

R-05-2004

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第12号

プロジェクト研究

「富士山周辺における自然特性に関する研究」

平成15年度

山梨県環境科学研究所

R-05-2004

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第12号

プロジェクト研究

「富士山周辺における自然特性に関する研究」

平成15年度

山梨県環境科学研究所

は じ め に

富士山は山梨県のみならず日本のシンボルであり、山梨県が世界に誇る山岳である。また、富士山は豊かな自然を有しており、この豊かな自然は世界に誇る山梨県民の財産である。この貴重な自然を人との共生を図りながら次世代に引き継いでいくことは私たちに課せられた使命である。山梨県でも、静岡県と共同で富士山憲章を制定し、また、富士山総合保全対策も推進されるなど富士山の保全に対する機運が高まっている。この貴重な富士山の自然を後世に伝えていくためには、今後の適切な保全のあり方を決定するための科学的知見が必要である。必要とされる知見としては、富士山の自然特性の現状としくみを明らかにしていくとともに、地球レベルの環境変化、地域の人間活動による影響を把握し、将来的な変化を予測することが必要である。

富士山は他の日本の山岳、例えば南アルプスや秩父山系などと比べて非常に特異な山岳である。例えば火山であり火山性土壌が広がっていること、独立峰であり周囲の山岳から孤立していること、山の歴史が新しく氷河期を経っていないこと、標高が著しく高いこと（日本第2位の北岳よりさらに500m以上高い）などがあげられる。したがって、そこに成立する植生も他の山岳と比較して特異なものが数多く見られ、富士山の自然を特徴づけている。例えば、森林限界上部のスコリア荒原上の草本群落、森林限界付近のスコリア上に成立したカラマツ林、溶岩流上のアカマツ林やモミ・ツガ林やハリモミ林、スコリア上のシラビソ林、ブナ林や草地等々。これらの自然は学術的にも非常に貴重なものである。

ところで、富士山の自然に関する総合的な学術調査は1970年になされており、その結果は「富士山」富士山総合学術調査報告書としてまとめられている。その後、個々の学問分野で研究が行われてきたが、総合的な調査はなされていない。豊かな富士山の自然を疑う人はほとんど居ないと思うが、実はその自然についての科学的な研究は多くなく、まだ始まったばかりであるのが現状である。本研究所が富士山麓の剣丸尾溶岩流上に開設されるにあたり、自然環境研究部を中心にまず最初に着目すべき富士山を選んだのはまさしく自然のことである。このような観点から、富士山およびその周辺の自然（土壌・地質・水・植物・動物）の特性に関して現状を把握し、将来を予測することを目的にプロジェクト研究を発足させた。5年間の研究期間が終了し、この度報告書を発表することになった。報告書では、土壌・地質、動物、植物、地下水、リモートセンシングのそれぞれの分野でサブテーマごとに最新の研究成果について記した。

5年間で富士山の自然の総てを調べるには余りにも期間が短く、本研究から明らかになったことは富士山の自然の貴重さを示すには十分ではなかった。しかしながら、富士山の自然の貴重さの一端を明らかにすることが出来たと考えている。また、今後の富士山周辺の自然を保全していくために必要な知見を提供し、本県の富士山保全対策や施策を支援していくことが出来るものと確信している。残念ながら、富士山は世界遺産（自然遺産）の候補地から漏れた。しかしながら、富士山の自然が他所に劣るとは思っていない。富士山の自然の研究はまだ緒に就いたばかりであり、今後も富士山の研究を進めていくことが私達研究所の使命の一つであると考えている。

平成15年12月

山梨県環境科学研究所

所 長 入 来 正 躬

目 次

はじめに

I プロジェクト研究の概要

I-1 研究テーマ及び研究期間	1
I-2 研究目的	1
I-3 研究体制	1

II サブテーマの概要

II-1 リモートセンシングによる自然環境モニタリング	
1) 研究目的	3
2) 研究成果の概要	3
II-2 植生分布の現状とその将来に対する温暖化の影響解明	
1) 研究目的	4
2) 研究成果の概要	4
II-3 富士山周辺における動物群集に関する研究	
1) 研究目的	10
2) 研究成果の概要	10
II-4 富士山の地下水	
1) はじめに	12
2) 調査概要	12
3) 研究成果の概要	12
II-5 地質・土壌の特性の把握	
1) 研究目的	15
2) 研究成果の概要	15

III 研究成果報告

III-1 リモートセンシングによる自然環境モニタリング	
1) 研究体制	17
2) 研究成果	
(1) 衛星データの収集	17
(2) 植生指数図	17
(3) 土地被覆分類図の作成	18
(4) 植生・水・土壌指数（VSW指数）	18
(5) 樹種分類図	19
(6) 土地被覆分類図の変化解析	19

3) 研究資料	19
4) 謝辞	20
Ⅲ－2 植生分布の現状とその将来に対する温暖化の影響解明	
1) 研究体制	28
2) 研究成果	
(1) 序論	28
(2) 「五合目樹木限界付近のスコリア荒原」	28
(3) 「青木ヶ原溶岩流上の針葉樹林」	33
3) 研究資料	37
Ⅲ－3 富士山周辺における動物群集に関する研究	
1) 研究体制	50
2) 研究成果	
(1) 富士山北麓の様々な森林環境におけるチョウ類群集の種多様性	50
(2) 富士山北麓森林地帯のチョウ類群集における成虫の食物資源利用様式	64
(3) 富士山北麓青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の多様性と 植生種数の関係	77
(4) 富士山北麓に生息する中型哺乳類（食肉目）の分布・生態調査	87
(5) 籠坂峠における国道周辺の哺乳類の利用状況調査	107
(6) 富士山における高山帯の哺乳類生息状況（聞き取り）調査	112
(7) 富士山精進口登山道周辺における小型齧歯目の垂直分布様式	116
3) 研究資料	124
4) 謝辞	125
Ⅲ－4 富士山の地下水	
1) 研究体制	127
2) はじめに	127
3) 調査方法と分析法	127
4) 結果	127
5) 考察	130
6) おわりに	134
Ⅲ－5 地質・土壌の特性の把握	
1) 研究体制	174
2) 研究成果	
(1) 富士山周辺の地質特性	174
(2) 富士山の地質・土壌中の元素の循環システム	174
(3) 第3回世界水フォーラム	175
3) 研究資料	175

I プロジェクト研究の概要

I プロジェクト研究の概要

I-1 研究テーマ及び研究期間

研究テーマ名：

「富士山周辺における自然特性に関する研究」

研究期間：

平成9年度～平成13年度

I-2 研究目的

富士山は山梨県のみならず日本のシンボルであり、その周辺に見られる豊かな自然は世界に誇る貴重な財産である。この貴重な富士山の自然を後世に伝えていくためには、今後の適切な保全のあり方を決定するための科学的知見が必要である。必要とされる知見としては、富士山の自然特性の現状としくみを明らかにしていくとともに、地球レベルの環境変化、地域の人間活動による影響を把握し、将来的な変化を予測することが重要である。このような観点から、本プロジェクトは富士山およびその周辺の自然（土壌・地質・水・植物・動物）の特性に関して現状を把握し、将来を予測することを目的とする。また、今後の富士山周辺の自然を保全していくために必要な知見を提供し、本県の富士山保全対策や施策を支援していくことを目指す。

本プロジェクトでは上記の目的のために、五つのサブテーマを挙げて研究を進めた。以下に、その具体的内容について概説する。

(1) リモートセンシングによる自然環境モニタリング

富士山周辺の自然特性を総合的に理解するためには、LANDSATやSPOTなどの人工衛星データを使って植生や土地利用等に関する現状を解析・ビジュアル化することが有効な手段となる。そこで、本研究では、時期の異なる富士山周辺の衛星データを収集し、過去から現在までの自然特性の変化を把握する手法を開発する。さらに、航空写真や航空機MSS画像を用いた環境モニタリングシステムの開発も行う。

(2) 植生分布の現状とその将来に対する温暖化の影響 解明

現在、地球規模の環境変化、とくに二酸化炭素などの温暖化ガスの増加に伴う地球温暖化が進んでおり、それらが植生に様々な影響を与えるのではないかと危惧されている。本研究では、植物の多様性や分布を調査して植生の現状を把握し、温暖化に対して植生がどのように変化するかを明らかにする。具体的には、調査地域として環境変化に敏感な森林限界付近の植生と貴重な原生林である青木ヶ原樹海を取り上げ、温暖化による森林限界の上昇や青木ヶ原の植物相の変化の可能性について予測する。

(3) 動物群集に関する研究

富士山は我が国一の標高を誇り、その結果、実に多様な自然環境を有しているが、近年観光地、リゾート地として開発が進み、自然環境および、そこに生息する動物相に大きな変化が生じてきていると言われている。そこで本研究においては、現在の富士山周辺に見られる様々な状態の自然環境下での、動物相の実態がどのようになっているかを捉え、自然環境の変化が動物相にどのような影響をもたらしているのかを調査する。また、その成果を基盤として、今後の富士山周辺の生物多様性保全の在り方や環境に配慮した開発等の在り方について考察を行う。

(4) 富士山の地下水

富士山は透水性の高い地質を持ち、富士山麓の雨水は地下に浸透して周辺地域の地下水・湧水となっている。これらの水は、忍野八海などの観光資源となると共に、地域住民の飲料水としても活用されている。さらに、近年は良質なミネラルウォーターとして新たな産業資源にもなっている。そのため、富士山の水の質と量を良好に保つことは重要である。本研究では、自然環境の変化や人為的活動がどのように水質に影響しているかを把握するために、富士山周辺の地下水・湧水の水質の特性と水質に影響する要因の解析を行う。

(5) 地質・土壌の特性の把握

富士山を知る上でもっとも基本となる富士山の活動によりもたらされた岩石・火山灰等の分布状況や年代を明らかにする。そのために従来の研究成果を踏まえ、現地で詳細な調査を行なう。その上で試料を採取し、物理的・化学的特徴を知る目的で室内で各種の分析を行う。

I-3 研究体制

山梨県環境科学研究所

環境計画学研究室

特別研究員 宮崎 忠国（研究代表者）

研 究 員 杉田 幹夫

助 手 内田 美香（平成9年～11年度）

助 手 佐藤 美紀（平成12年～13年度）

植物生態学研究室

研 究 員 中野 隆志

研 究 員 鞠子 茂（平成9年～10年度）

研 究 員 大塚 俊之（平成11年～13年度）

助 手 安部 良子

動物生態学研究室

研 究 員 北原 正彦

非常勤嘱託 今木 洋大（平成9年～12年度）

非常勤嘱託 上田 弘則（平成13年度）

助 手 渡辺 牧 (平成10年～13年度)
文科省特別研究員 姜 兆文 (平成11年～13年度)

環境生化学研究室

主幹研究員 瀬子 義幸
研 究 員 長谷川達也
助 手 小林 (保坂) 仁美

地球科学研究室

主幹研究員 奥水 達司
研 究 員 柴田 知之 (平成9年～11年度)
研 究 員 内山 高 (平成12年～13年度)
助 手 門西 恵 (平成9年～12年度)
助 手 高橋美乃里 (平成13年度)

共同研究者

県衛生公害研究所

研 究 員 小林 浩

山梨大学

助 手 小林 拓

茨城大学理学部

教 授 堀 良道
助 教 授 山村 靖夫

筑波大学

助 教 授 鞠子 茂

東京都立大学大学院理学研究科

教 授 可知 直毅
助 手 工藤 洋

東邦大学理学部

助 教 授 丸田恵美子

玉川大学農学部

講 師 関川 清広

静岡大学理学部

教 授 増澤 武弘

独立行政法人国立環境研究所

主任研究員 野原 精一
(株) 自然教育研究センター

研 究 員 白石 浩隆

富士吉田市立富士小学校

教 諭 早見 正一

野生動物保護管理事務所

研 究 員 藤井 猛
研 究 員 奥村 忠誠

山梨市立加納岩小学校

教 諭 湯本 光子

(財)リモート・センシング技術センター

研 究 員 中谷 幸廣

Ⅱ サブテーマの概要

Ⅱ サブテーマの概要

Ⅱ-1 リモートセンシングによる自然環境モニタリング

1) 研究目的

富士山周辺の自然特性を総合的に理解するためには、LANDSATやSPOTなどの衛星データを使って植生や土地利用等に関する現状を解析・ビジュアル化することが有効な手段となる。本研究では、時期の異なる富士山周辺の衛星データを収集し、過去から現在までの自然特性変化の把握や将来の予測を可能にする手法を開発する。

2) 研究成果の概要

(1) 衛星データの収集

富士山周辺の自然特性を総合的に理解するためには、LANDSATやSPOTなどの衛星データを使って植生分布状況、土地被覆状況、土地利用等に関する現状を解析・ビジュアル化することが有効な手段となる。また、過去から現在までにわたる自然環境変化の把握や将来予測を可能にする手法を開発するためには、時期の異なる衛星データを収集し、解析する必要がある。このため、富士山周辺を撮影範囲に含むLANDSAT、SPOT、MOS、JERS、EERS等の衛星画像の収集を行った。

(2) 植生指数図

植生は可視・近赤外のリモートセンシングにおいて特に利用が進んでいる対象である。赤と近赤外の波長帯における反射率の差、あるいは比は、植生の活性、植被率、葉面積指数(LAI)といった植生パラメータと相関を持つようになる。このような植生の分光反射特性から、LANDSAT1号が打ち上げられた1970年代以降、可視バンドと近赤外バンドの波長域の衛星データを用いて様々な植生指標が提唱されてきた。

NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)は正規化植生指数と呼ばれ、単に植生指標といった場合にNDVIが指し示されることが多く、非常に一般的でよく用いられている。

収集した衛星データのうち、LANDSAT-1/MSS、LANDSAT-5/TMおよびSPOT-2/HRV-XSの各衛星データを用いて、植生指数図の作成を行った。

(3) 土地被覆分類図

衛星データに対して、最尤法による教師付き分類を適用し、土地被覆分類図の作成を行った。

分類は、1:25000地形図、環境省自然保護局作成の現存植生データ、航空写真の目視判読結果を基に、土地被覆の教師データを選定した。土地被覆の分類項目は、「森林1」「森林2」「森林3」「草地1」「草地2」「裸地」「水面」「雪面」「その他」の9項目とした。分類の結果

をビジュアル化して、土地被覆分類図を作成した。

(4) 植生・水・土壌指数(VSW指数)

VSW指数とは、衛星データの可視赤バンドと近赤外バンドの観測値(DN値)の散布図を描くと、一般に三角形形状の分布を示すという経験的事実に基づき、この散布図に三角形を当てはめた時の3つの頂点を植生、土壌、水の3つの土地被覆タイプに対するエンドメンバー点と捉え、観測データ点からこの三角形の各辺までの距離をもとに、画素内の土地被覆構成比を指標化したものである。

衛星データを使用してVSW指数分布図の作成を行った。作成したVSW指数分布図を用いて、対象範囲の土地被覆状況変化を調査するために、2時期のVSW指数差画像の作成を行った。VSW指数画像は、エンドメンバー三角形を用いて可視(赤)バンドおよび近赤外バンドの2バンド画像を正規化した画像と捉えることが出来るため、単純な差演算により、土地被覆状況の変化を調べることができる。1991年4月4日と1997年4月27日のSPOT-2/HRV-XSデータそれぞれについて求めたVSW指数分布の差画像を作成した。植生指数では、画像中央上部に造成されたゴルフ場が明瞭に抽出された。アカマツ林の中に建設された山梨県環境科学研究所の敷地に対応する箇所を特定することができた。土壌指数では、山中湖周辺の大気状態の違いが抽出された。さらに、水指数では、北富士演習場が明るく抽出された。

(5) 樹種分類図

樹木の種類をリモートセンシングにより分類するため、樹種の異なるトレーニングエリアを富士北麓地域に設定し、樹種分類図の作成を行った。本研究では、富士北麓地域で樹種の判明している場所を選定して、これを教師データとすることにより、SPOT-2/HRV-XSデータを用いた樹種分類図を作成した。樹種の分類項目は、「アカマツ」「カラマツ」「ナラ」「ヒノキ」「シラビソ」「モミ・ツガ」「ウラジロモミ」「混交林」の8項目とし、この他に「草地」「水面」「雪面・雲域」「未分類」の土地被覆分類項目4項目の、全12項目に分類した。

(6) 土地被覆分類図の変化解析

多時期の衛星データを基に土地被覆の変化を解析することが可能である。

調査対象は、富士北麓の9市町村、約490km²の範囲とした。使用した衛星データは、1972年12月15日観測のLANDSAT-1/MSSデータ、1988年12月8日および1996年12月30日観測のLANDSAT-5/TMデータ、合計3シーンのLANDSAT衛星データである。各時点のデータに対して最尤法による教師付き分類を行い、得られた土地被覆分類図を基に、経年変化を解析した。

その結果、調査対象地域約490km²のうち、およそ半分が森林で覆われていることが分かった。また、森林面積は1972年から88年の16年間にわずかに増加し、その後96年までの8年間はそれ程変化していないという結果が得られた。

Ⅱ－２ 植生分布の現状とその将来に対する温暖化の影響解明

1) 研究目的

富士山は他の日本の山岳、南アルプスや秩父山系などと比べて非常に特異な山岳である。例えば火山であり火山性土壌が広範囲に広がっていること、独立峰であり周囲の山岳から孤立していること、山の歴史が新しく氷河期を経てないこと、標高が著しく高いこと（日本第2位の北岳よりさらに500m以上高い）などがあげられる。したがって、そこに成立する植生も他の山岳と比較して特異な植生が数多く見られ、富士山の自然を特徴づけている。例えば、五合目付近樹木限界上部のスコリア荒原上の草本群落やミヤマハンノキ林、樹木限界のスコリア上のカラマツ林、剣丸尾溶岩流上のアカマツ林や青木ヶ原溶岩流上のモミ・ツガ林や鷹丸尾溶岩流上のハリモミ林、スコリア上の亜高山帯シラビソ林、大室山のスコリア上のブナ林や草地等があげられ、これらの植生は学術的にも非常に貴重なものである。

これまでの富士山の研究では、フロラの記載や植生の記載を中心に行われてきた。しかしながら、生態的な調査調査研究は少なく富士山の植物の生態についてはまだほとんど分かっていない。富士山南斜面は静岡大学の増澤武弘教授を中心に生態学的な調査が進められているが、北斜面での植物の生態に関する研究例は極めて少ない。したがって、日本を代表する山岳であるにも関わらず、富士山に生育する植物の生態はいまだ十分に解明されていない。富士山の植物の生態的な研究はまだ始まったばかりである。

本研究は、富士山の代表的な植生の中から「五合目樹木限界付近のスコリア荒原」と「青木ヶ原溶岩流上の針葉樹林」を選び、その植生の現状を明らかにするとともに、地球温暖化が植生に及ぼす影響について考察を行った。

2) 研究成果の概要

(1) 「五合目樹木限界付近のスコリア荒原」

富士山は比較的新しい火山であり、未だ植生の発達は無熟である。富士山北斜面の樹木限界は現在標高2,400m付近にあり、樹木限界を形成する林の主な構成種はカラマツである。樹木限界より上部には、火山性噴出物に覆われたスコリア荒原が広がっている。そこには矮性化したミネヤナギのパッチや高木種であるカラマツ、ダケカンバの実生や稚樹、低木種であるミヤマハンノキおよびイワツメクサやオンタデ、フジハタザオなどの遷移初期のパイオニア性の草本種が散在している。富士山の樹木限界上部のスコリア荒原における植物の分布に関する研究は、植生の記載が中心になされてきた。一方、個々の種の分布を詳細に記載した研究はほとんどなされていない。

い。特に、富士山北斜面における個々の種の分布を詳細に記載した研究はなく、そのため、北斜面の山梨県側のスコリア荒原上の植物の詳細な分布パターンはいまだ明らかになっていない。

富士山南斜面の植物の分布に関する研究では、イタダリのパッチの存在が他の植物に定着の場を与え、植物の分布や遷移の進行に大きな影響を及ぼすことが示された。一方、富士山北斜面ではイタダリのパッチはほとんど見られず、かわりにミネヤナギのパッチが存在している。ミネヤナギのパッチ内にはしばしば他種やカラマツの実生や稚樹が存在しており、ミネヤナギパッチは、カラマツをはじめ他種にとって好適なマイクロサイトを与えている可能性がある。しかしながら、ミネヤナギのパッチが植物の分布や遷移の進行に及ぼす影響に関する研究はいまだなされていない。

富士山樹木限界周辺の植物群集は、まだ安定しておらず遷移進行の過程にある。また、樹木限界は、温度条件から考えると、標高2,700~2,800mまで上昇すると考えられており、樹木限界は上昇の過程にあると考えられている。植物間の正の効果である促進作用は、遷移の進行に対して重要な役割を果たしていると考えられてきた。富士山における樹木限界移行帯の形成過程は、移行帯に定着した匍匐型のカラマツによって、風などの環境ストレスが緩和され、新たに定着するカラマツの順調な生育から亜高山帯針葉樹林を形成していくと報告されている。樹木限界付近におけるカラマツ実生の定着過程におけるミネヤナギの効果を明らかにすることは、樹木限界の上昇を遷移の面から考える上でのキーポイントとなることが期待される

本研究は、富士山北斜面樹木限界付近のスコリア荒原において、植物の分布パターンを明らかにすること、さらに、ミネヤナギパッチの存在がカラマツや他種の分布に影響を与えている可能性について検討した。また、ミネヤナギパッチがカラマツの定着に与える影響を評価した。最後に、地球温暖化の影響について議論した。

その結果、富士山樹木限界上部のスコリア荒原に生育する植物では、ミネヤナギとオンタデはランダム分布しているが、カラマツ、ダケカンバ、イワツメクサ、フジハタザオは集中分布をし、ミネヤナギのパッチ内に有為に多く存在することが示された(図2-1、表2-1)。つまり、スコリア荒原上の植物の分布にミネヤナギのパッチが大きな影響を及ぼす事が示された。

さらに、ミネヤナギがカラマツの実生に及ぼす影響については、次のことが明らかになった。

1. 2年生までの若いカラマツ実生の死亡率は、パッチ内よりも裸地において高かった。また、カラマツ実生のパッチ内とパッチ外の密度の比は、基部径1.0mm未満ではほぼ1であるが、基部径4.0mmまで増加し、基部径8.0mm以上では減少した。

2. カラマツ実生の成長をパッチ内外で比較すると、パッチ内の伸長成長速度が有意に高かったが、基部径、バイオマスには差がなかった。また、パッチ内の実生はT/R比が大きい伸長型、パッチ外の実生はT/R比が小さい矮性型と形態が異なっていた。

3. パッチ内は、水条件、温度条件ともによく、スコリア土壌の移動も小さかった。栄養条件では全窒素はパッチ内に有意に多かったが、硝酸態およびアンモニア態窒素はパッチ内外に有意差はなかった。

以上のことより、スコリア荒原でのカラマツの定着においてミネヤナギがナース植物として作用することが明らかになった。ナース作用の過程において、定着の初期段階での効果が重要であった。カラマツの齢にともなうナース効果は変化し、基部径8.0mm以上ではパッチ内の死亡率がパッチ外より高くなった。これはパッチ内で形成された実生の形態が、成長にともなうさらされる厳しい環境に対して不利になるためと考えられた。

本研究から樹木限界の森林を形成するカラマツの定着にミネヤナギのパッチが重要であることが示された。従って、富士山の樹木限界の動態を考える場合、カラマツの種子生産や実生の定着、成長に温暖化が及ぼす影響を考慮することはもとより、ミネヤナギの定着と成長に対する温暖化の影響を解明する必要があることが明らかになった。今後も、研究を続けていくことで、ミネヤナギの成長速度や定着、枯死について明らかになってくる。今後の研究が待たれる所である。また、温暖化の影響は生育気温が上昇するだけではない(図2-2)。単に気温が上昇するだけであれば、気温の上昇に伴い植物の生育期間が延び植生の上昇が加速されることが容易に想像される。しかしながら、気温の上昇にともない地温や降水量の変化や、富士山のように独立峰では風の変化が予想される。風が変化すれば霧の発生や雲の発生が変化し日射が変化する。このように、温暖化は富士山の気象を複雑に変化させる。また、気候の変化により、雪崩などの攪乱の頻度や規模が変化することも予想される。カラマツの定着にはこれらの要因(土壌水分や地温、強風、礫の移動など)が大きく関することは先に述べた。残念ながら、地球温暖化にともないこれら気候要因がどのように変化するかを予想することは非常に困難である。特に富士山のような局所的な気象を予想することは現段階では不可能であり、地球温暖化の影響が森林限界付近の植生に与える影響を予想することは現段階では不可能であることが分かった。

(2)「青木ヶ原溶岩流上の針葉樹林」

今から約千年ほど前に噴火した青木ヶ原丸尾上の植生について、50m×50mの永久方形区を用いた毎木調査を行い、その森林の構造と動態を解析するとともにその将来に対する地球温暖化の影響について考察した。方形区内の森林全体としては、森林の優占度を示す胸高断面積

の割合がヒノキとツガで70%以上を超えており、ヒノキ・ツガ優占の針葉樹林群落とみなすことができた（表2－2）。しかしその内部構造を群落分類の方法により分類すると、大きく二つのパッチ構造に区分することが可能であった。一つは針葉樹パッチでありヒノキやツガの大径木個体が多く、林床はまばらで針葉樹の稚樹や落葉樹種の侵入は少なかった。もう一つは落葉樹パッチであり、林冠木は針葉樹だけでなくミズメやミヤマザクラなどの落葉樹が相対的に多く占めていた。その林床は落葉樹の稚樹は少ないが、ヒノキやツガの針葉樹の稚樹個体が多くを占めており、針葉樹の更新立地となっている可能性が高い（図2－3、表2－2）。

このことから青木ヶ原の針葉樹林冠下は暗くて、ヒノキやツガを含めて高木樹種の更新は困難な状況にある。このような森林内でもし針葉樹の大径木個体が倒れるような攪乱が起きた場合には、ミズメやミヤマザクラなどの成長の速い落葉樹が最初に侵入して一時的に林冠を構成

するようになると考えられる。このように形成された落葉樹パッチ内は針葉樹林冠下に比べて相対的に明るいのでヒノキやツガの更新立地として利用され、結果的にツガやヒノキが優占する針葉樹パッチと、落葉樹が優占して下層にはヒノキやツガの後継個体の多い落葉樹パッチがモザイク上に混じった森林構造を形成していると考えられた。

このように現段階では青木ヶ原丸尾上の植生は溶岩流上に成立した地形的極相群落とみなすこともでき安定的な更新を行っていた。地球温暖化に対する影響について考えた場合、土壌水分や栄養塩のような土壌要因によって種の分布が制限されている青木ヶ原溶岩流上の植生については、仮に温度が1－2℃上昇したとしても、生態系の時間的な発達に伴って土壌が形成されていくプロセスが最も重要であり、栄養塩の蓄積や土壌構造そのものの発達がなされない限り、温度上昇が植生に与える直接的な影響は比較的小さいと考えられた。

表2－1 ミネヤナギパッチ内外における各種の出現の偏りの検定。調査面積全体に占めるミネヤナギパッチの面積によって、偏りのない場合の出現数の期待値を計算し、 χ^2 検定を用いて解析した。

出現する種	ミネヤナギパッチ		ミネヤナギパッチ		χ^2
	観察値	期待値	観察値	期待値	
方形区 A (400 m ² あたり)					
イワツメクサ	21	9.57	188	199.43	14.3**
オンタデ	13	13.1	273	272.9	0.0008 ^{ns}
フジハタザオ	35	6.27	102	130.73	137.8**
方形区 B (775 m ² あたり)					
カラマツ	100	37.2	274	336.8	117.9**

** $P < 0.01$; ns, 有意差なし

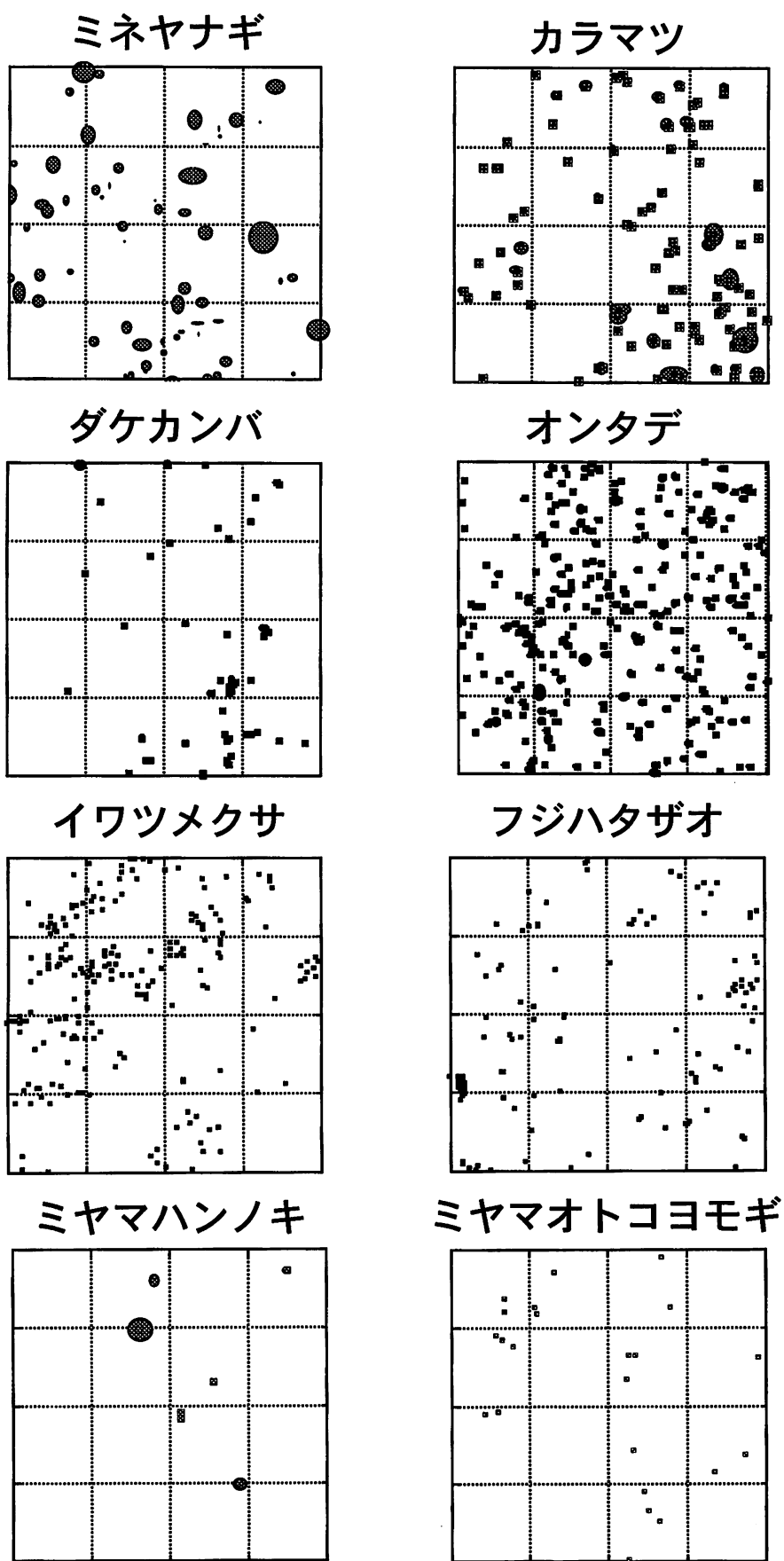


図 2-1 方形区 A (20×20m) に出現した種の分布図。楕円は、パッチ面積、樹冠投影面積を示す。

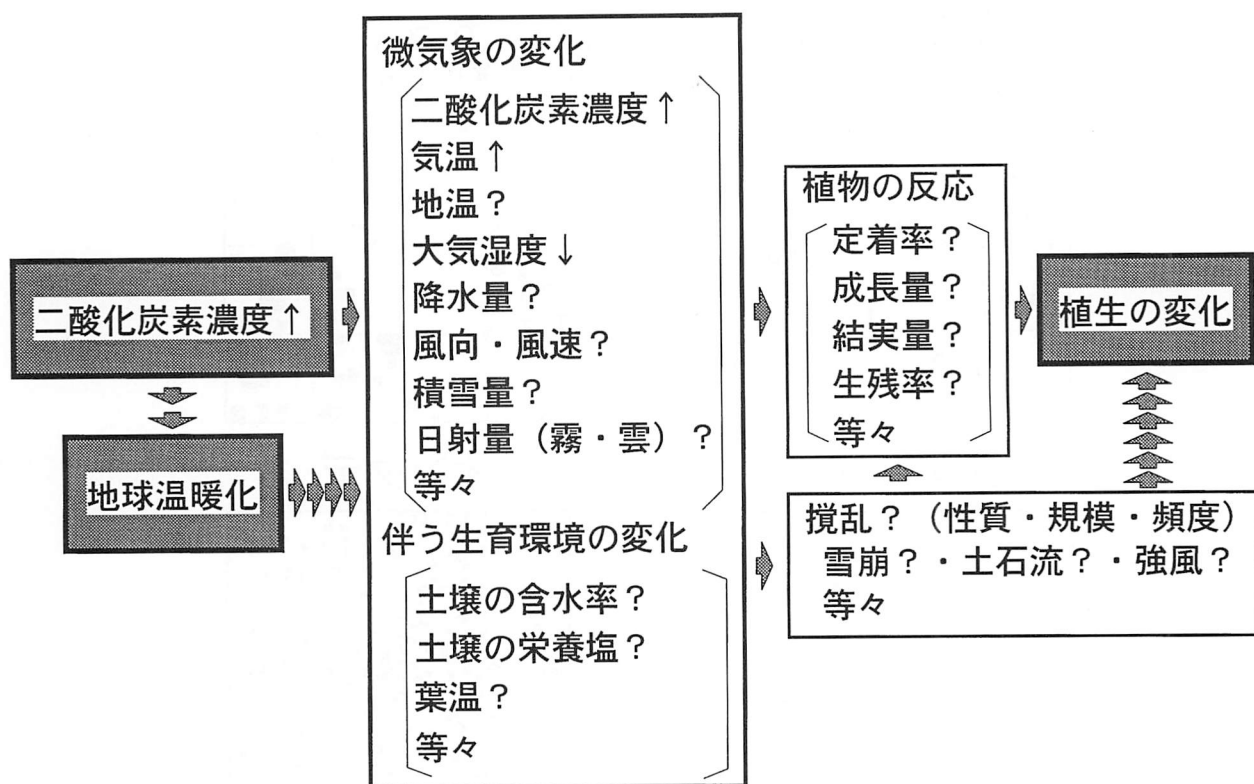


図 2-2 地球温暖化が植生の変化に及ぼす影響について

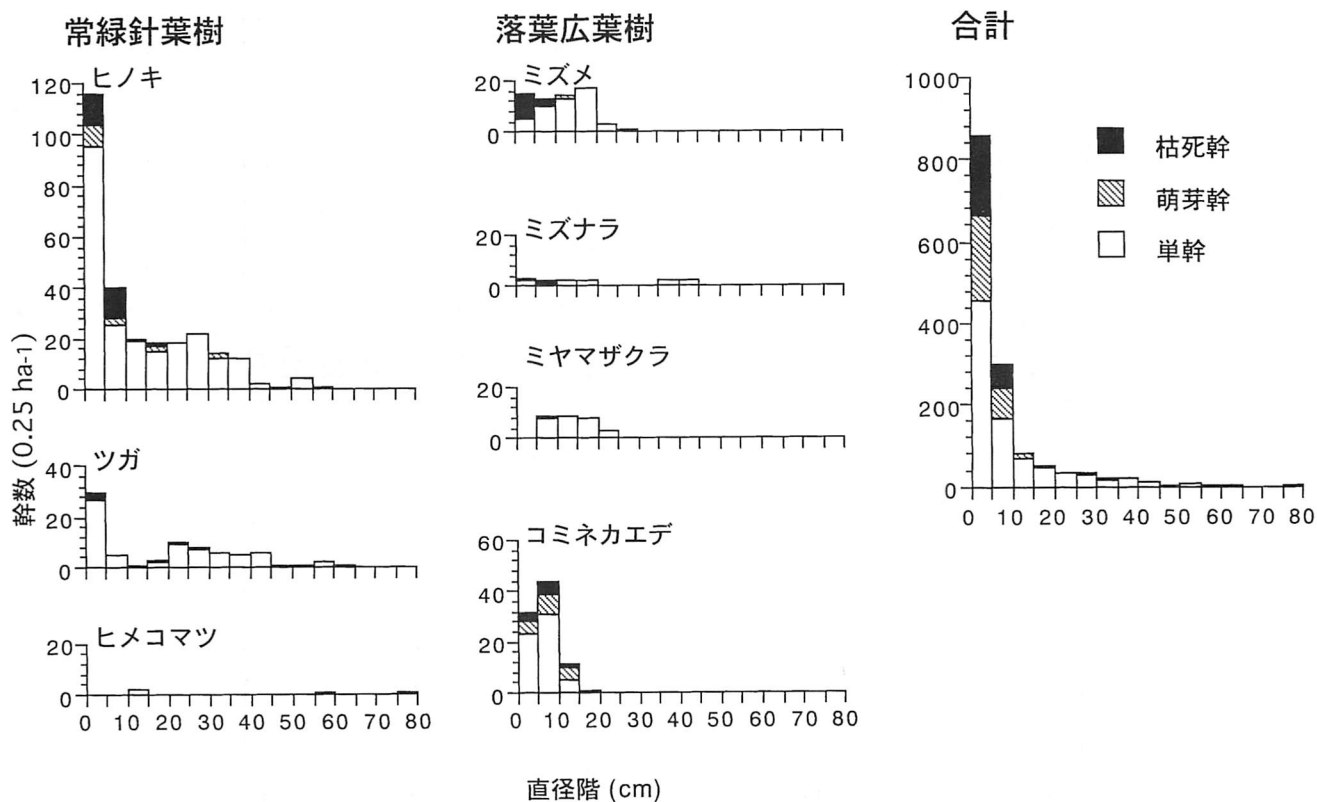


図 2-3 永久方形区内の主要樹種の直径階分布

表 2-2 永久方形区 (0.25ha) における樹高1.3m以上の個体の種組成

	胸高断面積		胸高直径 (cm)		幹数	
	(m ² ha ⁻¹)	(%)	平均値	最大値	(ha ⁻¹)	(%)
常緑針葉高木種						
1 ヒノキ	27.42	45.36	13.4	59.6	968	20.8
2 ツガ	15.88	26.27	19.9	60.5	292	6.3
3 ヒメコマツ	3.12	5.16	40.6	79.0	16	0.3
4 ウラジロモミ	0.02	0.04	6.0	7.6	8	0.2
小計	46.45	76.83			1284	27.6
落葉広葉高木種						
5 ミズメ	3.23	5.34	13.2	26.2	200	4.3
6 ミズナラ	2.38	3.93	23.0	43.0	40	0.9
7 ミヤマザクラ	1.87	3.09	13.8	23.0	112	2.4
8 コミネカエデ	1.32	2.18	6.7	16.0	312	6.7
9 ヒトツバカエデ	0.88	1.45	7.9	18.0	156	3.4
10 クマシデ	0.53	0.88	8.9	14.0	80	1.7
11 コハウチワカエデ	0.51	0.84	5.7	14.0	152	3.3
12 シラカバ	0.38	0.63	19.8	25.1	12	0.3
13 マルバアオダモ	0.13	0.22	4.6	9.5	68	1.5
14 コシアブラ	0.10	0.16	7.7	14.4	16	0.3
15 ダケカンバ	0.06	0.11	14.3	14.3	4	0.1
16 効ノツメ	0.04	0.07	5.6	6.8	16	0.3
17 イタヤカエデ	0.002	0.003	2.3	2.3	4	0.1
小計	11.43	18.90			1172	25.3
亜高木種						
18 ソヨゴ	1.11	1.83	4.3	9.7	660	14.2
19 ヒロハツリバナ	0.30	0.50	4.2	11.1	164	3.5
20 アオハダ	0.20	0.33	3.9	10.2	128	2.8
21 リョウブ	0.03	0.05	4.2	8.1	16	0.3
小計	1.64	2.71			968	20.8
低木種						
22 アセビ	0.69	1.14	2.9	7.8	924	19.9
23 クロソヨゴ	0.22	0.36	3.5	7.5	192	4.1
24 ツリバナ	0.01	0.02	4.6	5.9	8	0.2
25 ミヤマカマスミ	0.01	0.02	1.4	2.7	72	1.5
26 ナンキンナカマド	0.003	0.01	1.8	2.3	12	0.3
27 ベニトウダン	0.003	0.004	1.7	1.8	12	0.3
28 バイカウツギ	0.001	0.002	1.4	1.6	8	0.2
小計	0.94	1.56			1228	26.5
合計	60.45	100	8.2	79.0	4652	100

Ⅱ－３ 富士山周辺における動物群集に関する研究

１）研究目的

富士山は我が国一の標高を誇り、その結果、実に多様な自然環境を有しているが、近年観光地、リゾート地として開発が進み、自然環境および、そこに生息する動物相に大きな変化が生じてきていると言われている。そこで本研究においては、現在の富士山周辺に見られる様々な状態の自然環境下での、動物相の実態がどのようになっているかを捉え、自然環境の変化が動物相にどのような影響をもたらしているのかを調査した。また、その成果を基盤として、今後の富士山周辺の生物多様性保全の在り方や環境に配慮した開発等の在り方について考察を行った。

２）研究成果の概要

（１）富士山北麓の様々な森林環境におけるチョウ類群集の種多様性

山梨県富士山北麓部に位置する様々なタイプの７つの森林地区で、1996年の４月から11月までトランセクト法を用いてチョウ類群集の個体数モニタリング調査を行った。群集の総種数、種多様性（ H' ）の７つの地区間変動は類似したパターンを示し、総種数、種多様性共に落葉広葉樹の植林で、明るく攪乱の少ない林縁が発達する土丸尾地域で大きく、明るい林縁を持つ針葉樹の植林地帯である船津胎内地域、針葉樹の植林と針広の混合林が主体だが、暗い閉鎖林内のトランセクトであった中ノ茶屋地区、公園造成時の残存木や移植植物が主体で、草刈など徹底した植生管理が行われていた富士北麓公園地区で中間の値を示し、アカマツの二次林であったが切り開かれたばかりの伐開地で、人為攪乱の激しかった山梨環境研地区で低い値を示した。富士北麓の森林地帯におけるチョウ類群集の特性、森林タイプの違いによるチョウ類群集構造の変化、森林地域におけるチョウ類群集の多様性の維持と保全について、群集間の優占種構成の違いや富士山のチョウ相を特色づける種、隣接する神奈川県、絶滅種や絶滅危惧種などに注目して解析を試みた。

（２）富士山北麓森林地帯のチョウ類群集における成虫の食物資源利用様式

山梨県富士山北麓部に位置する様々なタイプの７つの森林地区で、1996年の４月から11月までトランセクト法を用いてチョウ類群集の個体数モニタリング調査を行った。本論文では、その際に集積された成虫の食物資源のデータに基づき、成虫の資源利用様式を解析した。全地区を通じて、48種類の成虫食物資源が確認できた。その内、45種類は植物種で、クヌギを除き全てが花蜜の利用であった。また、利用された植物種の多くは草本であり、中でも多年草（の花）がよく利用されていた。最も

多種のチョウに利用されていた食物資源は水であり、利用の様式は全て路上での吸水であった。成虫の食物資源のニッチ幅は、種間で変異が見られ、それは各種の年平均個体数密度および出現地区数との間で正の相関関係を示した。一方、各地区で確認できた成虫の食物資源の種類数は、地区ごとの総年平均密度（全種の密度の合計値）との間で正の相関を示したが、地区ごとのチョウの総種数との間では有意な関係を示さなかった。地域の森林性チョウ類群集の多様性を維持するには、成虫餌資源の多いソデ群落の発達した日当りの良い林縁や空地を擁する森林を広く保全すること、吸水ができるような道路などの裸地を森林周辺に配置すること、森林は針葉樹林よりは多様な樹種からなる広葉樹林の方が望ましいことなどの結論を得た。

（３）富士山北麓青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の多様性と植生種数の関係

チョウ類群集の多様性と生息環境の植生種数の関係をみるために、富士山北西麓青木ヶ原樹海周辺の全６地区（同樹海林内地区（２カ所）、同樹海林縁地区（２カ所）、同樹海林外オープンランド地区（２カ所））で、1999年の成虫出現期にトランセクト・カウント法を用いて、チョウ類成虫の個体数モニタリング調査を実施し、得られた群集データと生息環境の植生種数との関係を解析した。チョウ類群集の種数や種多様性は、生息環境の種子植物の種数と密接な正の相関関係を持っており、またそれらはそこに見られた幼虫ホストの種数とより密接な相関関係が見られた。これらより、チョウ群集の種数や種多様性には、生息環境の植生多様性が大きく関与しており、とりわけチョウの利用できる餌資源の豊富さは、群集の多様性決定の重要要因であることが示唆された。一方、ここのチョウ類群集の種数や種多様性は、生息環境の木本よりも草本植物の種数と密接に関係しており、この点で、青木ヶ原樹海周辺では、草本植生環境の種数の維持がチョウ類群集の多様性維持のために極めて重要であると考えられた。既存の研究から示唆されたように、青木ヶ原周辺においても、チョウの種数や種多様性のホットスポットは、樹海の林縁部に見られ、さらに環境省（2000）の昆虫類レッドリスト登録の7種は、全て林縁部を中心に生息しており、この点で、チョウ類群集の多様性維持における林縁部保全の重要性を強調したい。

（４）富士北麓に生息する中型哺乳類（食肉目）の分布・生態調査

富士北麓における分布調査を通じて、様々な自然環境下でキツネ、テン、イタチ、タヌキ等の生息を確認する事ができた。特にキツネとテンは他の２種に比較し、高密度でしかも広い垂直分布を示し生息していることが分かった。またロード・キル調査の結果からは、事故の生じた地域に偏りの見られる事や、特定の種が特定の場所で事故にあっていく傾向が分った。富士山の森林限界以上

の哺乳類については、聞き取りにより18種の哺乳類が確認された。中でも吉田口、須走口、富士宮口、御殿場口ともに五合目付近ではテンやハクビシン、ニホンジカなどの中大型哺乳類が確認された。その傾向は八合目まで見られたが九合目では目撃情報は得られなかった。山頂にある測候所ではおもに冬期に10種の哺乳類の目撃情報が得られた。標高につれて目撃種は減少するが、冬期にも山頂付近で生息している種のあることが確認された。これらの情報の多くは、登山シーズン前の7月上旬頃のものや冬期のものが主であり、登山シーズンに入ると目撃情報が極端に減少した。これは、夜間にも多くの登山者が登る富士山の特異ともいえる登山形態が野生動物の分布や生態に影響を与えている結果ではないかと推測された。

また、中型哺乳類を対象とする踏査による痕跡調査では、調査期間を通して最も多くのフンが確認されたのはテンであった。フンの数の多い標高を分布の中心として考えた場合、テンは8月から10月は1,500m付近で安定していたが、11月には1,694mまで上がり、その後12月には一旦下がったが、1月にはまた1,700m付近まで上がった。イタチは8月には1,450m付近に分布の中心があったが、9月には1,618mまで上がった。しかし、10月から1月にかけては11月に一旦上がったものの、安定した形で推移した。キツネは8月、9月と3種の中では高標高に分布の中心があった。しかし10月から12月にかけては1,500m付近で推移し、その後の1月には1,723mで最大となった。これら3種においてフンが採取された平均標高は8月から10月にかけてイタチとキツネで同じような動きを示し、11月から1月にかけてテンとキツネが同じような動きを示した。これは、テンの8月から10月頃の食性がおもに果実を中心としていることから、イタチやキツネのような動物食を中心としている種と利用標高が異なることが考えられる。また、その後の11月から1月にかけては、果実も無く積雪も多いため、地上での採食が不可能と考えられ、テンとキツネはより動物食中心の生活に移行したことが考えられる。一方、イタチは多量の雪に対して行動が阻害される可能性があり、より低標高の地域に移ったと考えられた。今回得られた行動様式が普遍的なものであるかどうか見極めるために、さらに追試が必要である。

テレメーターを使用した行動圏構造や生息場所利用の調査も実施したが（テン）、調査例数が極端に少なく、一般的な傾向について把握できるところまでは至らなかった。この点については今後の調査に期待したい。

(5) 富士山精進口登山道周辺における小型齧歯目の垂直分布様式

富士山北部で唯一、低標高から高標高にかけて原生林の残存している精進口登山道周辺において、小型齧歯目を対象とした生息密度と垂直分布様式の調査を行った。

標高および環境の異なる6地点（青木ヶ原樹海2地点、本栖高原、登山道一合目、同三合目、同五合目）を設定し、シャーマン・トラップを用いたコドラート（1ha）サンプリングを実施した。結果としてネズミ目のヒメネズミ、アカネズミ、スミスネズミ、ハタネズミとモグラ目のトガリネズミ、ジネズミの計6種のべ336個体を捕獲確認することができた（1998年度）。全6地点を込みにすると、最も確認個体数（平均値／地点）が多かったのはヒメネズミ（15.8個体）で、アカネズミ（7.7個体）、スミスネズミ（4.1個体）がそれに続いた。地点別には低標高森林の3地点（950—1360m）で捕獲率が高く（70%以上）、高標高の2地点（1745—2260m）で低い値（31%以下）が得られ、低標高から高標高に至るまでの森林環境の調査地においては、ネズミ類の群集内順位（優占種のヒメネズミ、中密度のアカネズミ、低密度のスミスネズミ）がほぼ一定している傾向が見られた。また、各構成種間の密度と環境選択の違いは比較的明瞭であり、ヒメネズミは低標高から高標高まで、また森林でも草原でも見られる種と考えられたのに対し、アカネズミも基本的には類似していたが、森林よりは低標高の草原で密度が高い種と考えられた。スミスネズミも多地点で確認されたが、どの生息環境においても低密度種と考えられた。これらに対し、ハタネズミは牧草地などの草原地帯に環境選考が特殊化した種と推定された。相対的に森林的環境を好むと言われるヒメネズミ、アカネズミ、スミスネズミ等が青木ヶ原樹海で優占している状況は、樹海がこれらの種にとって好適な環境を提供している一つの証拠と考えられる。以上の結果は、引き続き実施された1999—2001年度の調査でも追試され、ほぼ類似の結果を得た。

Ⅱ－４ 富士山の地下水

１）はじめに

富士山の地下水は、周辺地域の水道原水や工業用水として利用されている。良好な水質であるため、水道原水として利用される場合、塩素消毒のみで配水されることも多い。また、ミネラルウォーターの原料としても活用されており、最近では富士山地下水に含まれるバナジウムの健康影響、特に糖尿病に対する影響について一般の人々の関心が高く、多くの人々が富士山地下水を飲んでいる。効果の有無については、我々が別途行っている研究に譲ることにする。富士山地下水そのものに関する調査研究はこれまでに数多くあるが、本研究は、このように人々の生活に関わりの深い富士山地下水の水質について、調査を行い、得られた情報を地理情報化して解析することにより、富士山地下水の現状を把握するために行った。特に、富士山地下水に多く含まれることが知られているバナジウムの濃度がどの様な要因と関連するかを解析し、富士山地下水の特徴を明らかにした。

２）調査概要

富士山北側山梨県内の富士吉田市、西桂町、河口湖町、忍野村、山中湖村、鳴沢村、上九一色村、足和田村、および道志村の井戸を中心に110の地点で水を採取し、バナジウム、フッ素、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、塩素、硫酸、硝酸、ケイ酸、電気伝導度、pH、水中酸素安定同位体比を測定した。得られたデータを地図上にデータをプロットし、水質の地域差の有無を検討するとともに、データ間の相関等を検定し水質に影響する要因について考察した。

３）研究成果の概要

（１）バナジウム濃度、フッ素濃度、水中酸素安定同位体比：

富士山の地下水にはバナジウムが多く含まれていることは、既によく知られているが、本研究により、バナジウムのみならずフッ素も比較的多く含まれていることも明確になった。また、水の由来する標高の指標となる水中酸素安定同位体比も比較的小さい（高標高由来を示す）地域のあることが明かとなった。

（２）地質との関係：

バナジウム濃度は、富士山の溶岩が到達している採水地点で高かったが、フッ素濃度は富士山北側斜面の採水地で高く、東側斜面と西側斜面ではそれほど高くなかった。

（３）バナジウム濃度とフッ素濃度の相関：

富士山斜面の採水地と周辺地域の採水地のデータを全て用いて分析すると、バナジウム濃度とフッ素濃度の間には有意な正の相関が認められたが、富士山の斜面に位

置する採水地のデータのみを用いて解析した場合は、バナジウム濃度とフッ素濃度の相関は低くなった。また、pHや種々の溶解成分との相関の有無も、バナジウムとフッ素では異なっていた。両元素とも富士山を構成する溶岩に由来すると考えられるが、濃度を決定する要因は両者の間で異なるものと考えられた。

（４）バナジウム濃度およびフッ素濃度と水中酸素安定同位体比の関係：

バナジウム濃度およびフッ素濃度は水中酸素安定同位体比と有意な負の相関を示し、高標高由来の水はバナジウムおよびフッ素を多く含む傾向があった。

（５）標高と水質：

富士山斜面に位置する採水地では、標高が低くなるほど溶解成分濃度が多くなり、標高と溶解成分濃度（Na、K、Mg、Ca、溶解成分合計等）の間に有意な負の相関が認められた。バナジウム濃度については、弱いながら標高と正の相関が認められたが、フッ素と標高の間に相関は認められなかった。また、主要溶解成分濃度とバナジウム濃度の間には有意な負の相関が認められた。

（６）pHと水質：

富士山の地下水は、周辺地域の地下水と比較すると、pHが高い傾向が認められ、バナジウム濃度とpHの間には有意な正の相関が認められた。岩石の風化が進むとそこを通過する地下水のpHは高くなることが知られているため、風化が進んだ地質を通過しpHが高くなった地下水にバナジウムが多く含まれるものと考えられた。

（７）[Cl/Na]（塩化物イオンとナトリウムの濃度比）と採水地点の標高の関係（図４－１）：

[Cl/Na]比は、標高との間に有意な負の相関があった。一般的に、Naは地下水が地下を通過するのに伴って地質から溶け出して濃度が増加するのに対して、Clはそれほど濃度が増加しないと言われており、Cl濃度の増加は人為的な影響（汚染）に由来すると考えられている。そのため、Clや[Cl/Na]比は人為的な影響の指標と考えられている。標高とCl濃度や[Cl/Na]が負の相関を示したことから、富士山地下水は、標高が低くなるに従って人為的な影響を強く受けている可能性が考えられた。

（８）バナジウム濃度と[Cl/Na]比の関係（図４－２）：

両者の間には有意な負の相関が認められた。[Cl/Na]比を人為的影響の指標と考えると、影響の少ない地下水ほどバナジウム濃度が高いことを示唆している。

何を富士山の地下水とするかについては議論があるところであろうが、本研究で得られたデータの全体的な傾向から考えると、富士山の地下水の特徴は①バナジウムを多く含み、②pHがやや高く、③溶解成分が少なく、④高標高由来と言うことも出来るであろう。また、一部の地域ではフッ素が多く含まれていることも富士山の地下水の特徴といえる。

これまでの富士山地下水に関する水文学的研究では、主要な溶解成分と水中酸素安定同位体比を測定して解析するものが多かった。また、最近ではバナジウム の測定が盛んに行われるようになっているが、水文学的な測定項目と組み合わせた解析はほとんど行われていない。また、フッ素を測定した研究もみられない。本研究では、従来の水文学的な測定項目とバナジウム、フッ素の測定を組み合わせて解析し、バナジウムやフッ素が様々な水文学的なデータと関連することが明かとなった。また、地理情報としてデータを解析することによっても新たな知見が得られた。しかしながら、未だ富士山の地下水については未知の部分が多い。今後、さらに新旧の研究手法を組み合わせて調査を継続することが必要であると考えている。

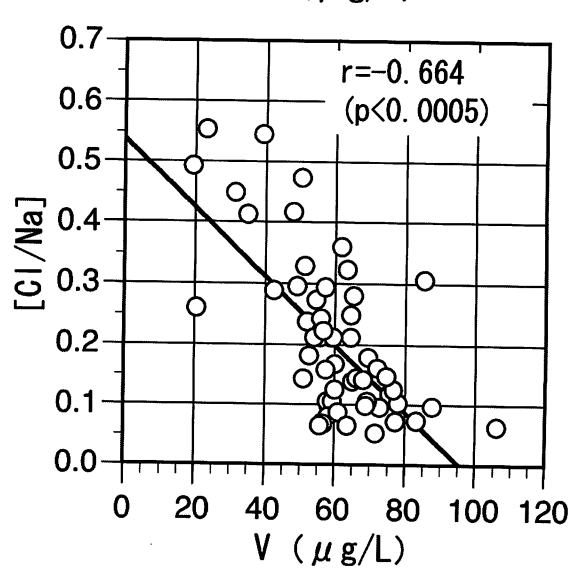
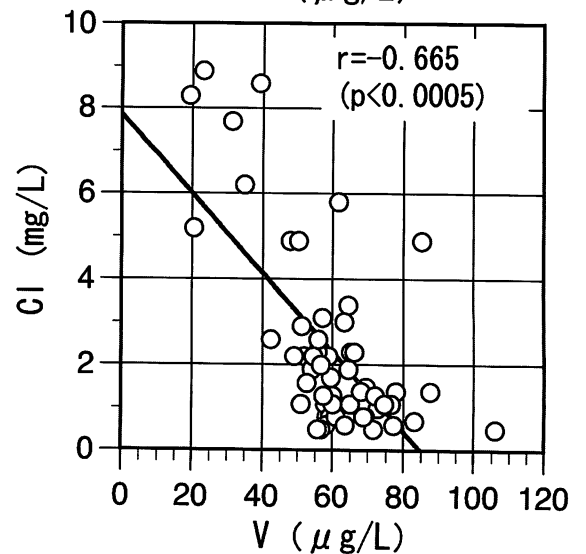
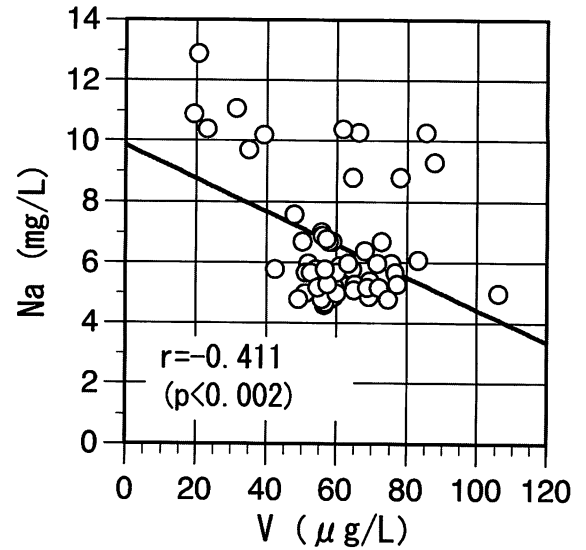
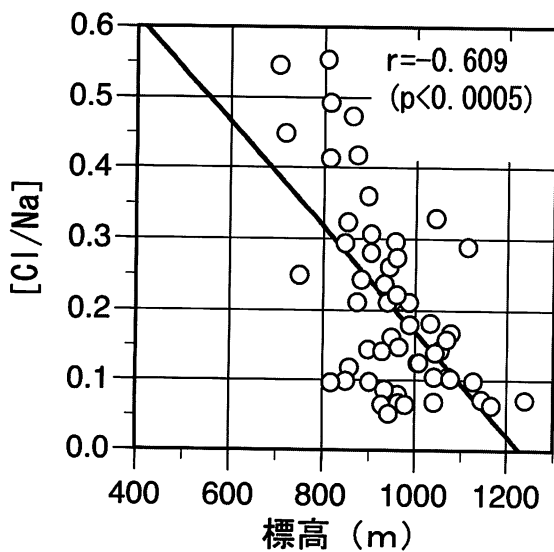
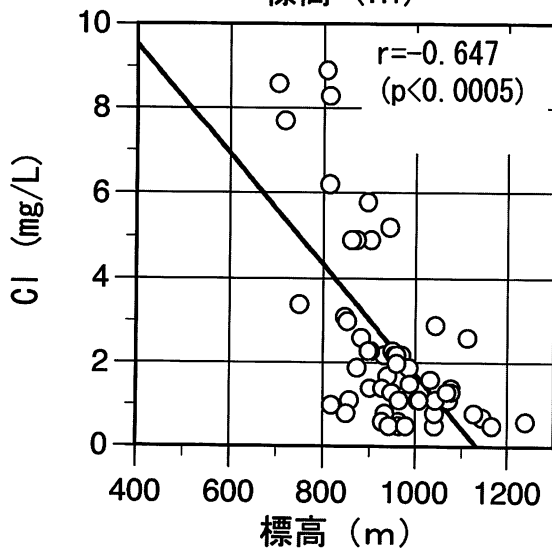
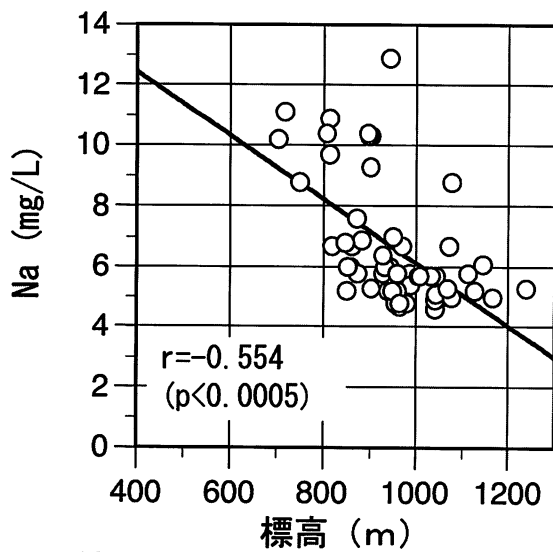


図 4-1 採水地の標高とNa、Clおよび [Cl/Na] 比 (ClとNaのイオン当量の比) の関係

図 4-2 富士山地下水中バナジウム濃度とNa、Clおよび [Cl/Na] 比 (ClとNaのイオン当量の比) の関係

※富士山斜面に位置する採水地のデータのみを使用 (n = 57)

Ⅱ－５ 地質・土壌の特性の把握

１）研究目的

本州中央部に位置する富士山は、岩石化学的にほぼ類似した玄武岩質のマグマを、現在までの約十万年間にわたって極めて大量に噴出し続けてきており、日本列島における特異な火山といえることができる。この特異性につき、山梨県を中心とする南部フォッサマグナ地域の地質構成や地質分布につき検討し、富士山を構成する岩石や火山灰等の特性を把握する。その上で、この富士山の特性（特に化学的特性）が周辺の水（地下水、湧水、河川水等）や動・植物にどのように反映されているかを明らかにする。

２）研究成果の概要

（１）富士山周辺の地質特性

富士山は、地質学的には南部フォッサマグナ地域に属する。南部フォッサマグナ地域には、糸魚川－静岡構造線が南北方向に走り、糸魚川－静岡構造線の西側には白亜紀－第三紀の堆積岩類を主とする四万十帯が分布している。これら堆積岩類を基盤として新第三紀の火山岩や堆積岩が、甲府盆地の西側から南東域の御坂山地等に分布する。また、花崗岩質の甲斐駒岩体や甲府岩体等が盆地の西北部から北部・東部において貫入している。その時代は中新世である。その後、甲府盆地北部から八ヶ岳地域において、第四紀のデイサイト質や安山岩質火山岩、火砕流の形成が知られている。さらに、富士山の玄武岩質を主体とする厚い噴出物が形成された（図５－１）。

南部フォッサマグナ地域には二つの主要河川、すなわち相模川および富士川が発達している。このうち、富士川水系は、富士山（主に玄武岩類）の湧水を主な起源とし、山中湖、忍野及び富士吉田市付近に端を発し、最初ほぼ北に流れ大月付近で向きを東に変え、最終的には神奈川県平塚市付近で太平洋に流れ込む。富士川水系は、山梨県北部の八ヶ岳や甲府市北部－東部の大規模花崗岩体に端を発し、甲府市南部で一つに収束し、静岡県富士市西方で太平洋に流入している。この約130km四方の狭い範囲内に、化学的に極端に異なる性質の岩石（花崗岩、玄武岩）が分布している地域であることを確認した。それ故、本地域は富士山を特徴づける玄武岩質の岩石・地層中に含まれる元素の、周辺の水試料や動・植物試料への循環を研究する上で、本邦において最も適した地域の一つと考えられる。

（２）富士山の地質・土壌中の元素の循環システム

富士山の岩石化学的性質としては、概ね玄武岩質で特徴づけられる。火成岩類における元素濃集特性として、玄武岩や斑レイ岩など二酸化ケイ素の値が低い岩石類には、バナジウムが豊富に含まれることが知られている。

富士山北麓に分布する典型的な溶岩類中のバナジウム濃度は、甲府盆地側に分布する花崗岩類中のそれに比べ、約百倍の高濃度を示すことを確認した。その上で、富士山を含む南部フォッサマグナ地域の河川水、地下水、湧水等に含まれるバナジウム元素につき、地域変動を検討したところ、富士山周辺の水試料に著しく高濃度が認められた。

地下水・湧水・河川水中のバナジウム濃度の相違が、分布する動・植物、人間にまで及ぼす影響を、極端にバナジウム濃度の異なる富士川および相模川の両水系に生育する動・植物試料を分析した結果、相模川水系側から採取された動・植物中のバナジウム濃度は、富士川水系のそれに対し、数倍の値が得られた（図５－２）。バナジウム濃度を分析し、岩石類の化学的な性質が河川水および動・植物に系統的に反映されていることを明らかにした。

（３）第３回世界水フォーラム

第３回世界水フォーラムが2003年３月に京都・大阪・滋賀を会場に開催された。このフォーラムのプレフォーラムが2002年12月に山梨県環境科学研究所において開催され、地球科学研究室が中心になり運営した。このプレフォーラムは、「富士山の地下水の現状と今後の問題」をテーマにし、一般向けの講演を中心として実施したものである（資料５－１）。

このプレフォーラムで「富士山北麓の地下水・湧水の特性」と題する発表が興水によってなされた。すなわち、上述の富士山周辺の水試料のバナジウムの起源が富士山の地質に由来すること、さらにリンなどの濃度が富士山周辺の水試料で高いことも、同様に説明できることを述べた。さらに、多くの微量元素についても検討したところ、清浄な富士山の地下水や湧水に、従来人為的な寄与に原因が求められてきた銅、鉛、亜鉛、カドミウムでさえも一定量含まれていることを報告した。地下水や河川水などの環境汚染調査に際し、各種元素濃度を測定するのみならず、水試料周辺の岩石や地層からの寄与を正確に把握することが重要性を述べた。

このプレフォーラムの内容を総括した内容が、2003年３月の世界水フォーラムの地下水（groundwater）セッションにおいて発表され、結果として第３回世界水フォーラムの事務局より表彰（Groundwater Session Award）された（資料５－２）。

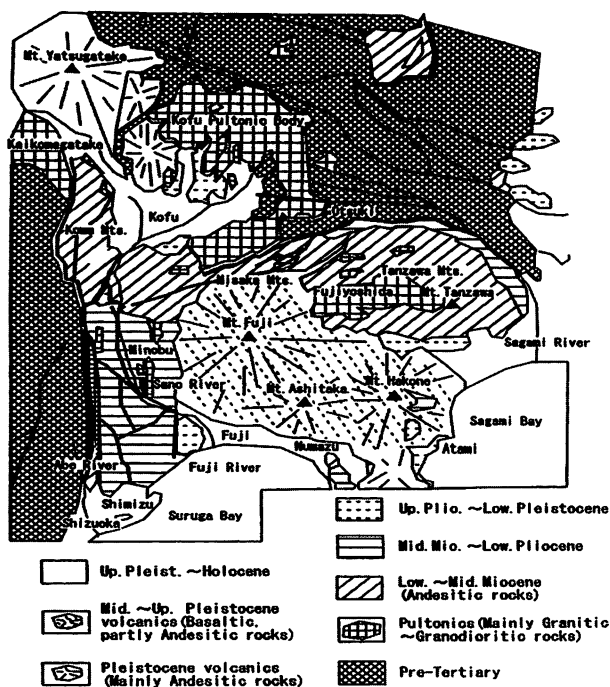


図 5-1 Geological map of southern Fossa Magna, compiled by Yamanashi Pref. geological compilation committee (1970), Shiba (1987) and Tsunoda (1988).
南部フォッサマグナ地域の地質概略図 (山梨県地質図編纂委員会、1970；柴、1987；角田、1988を基に作成)。

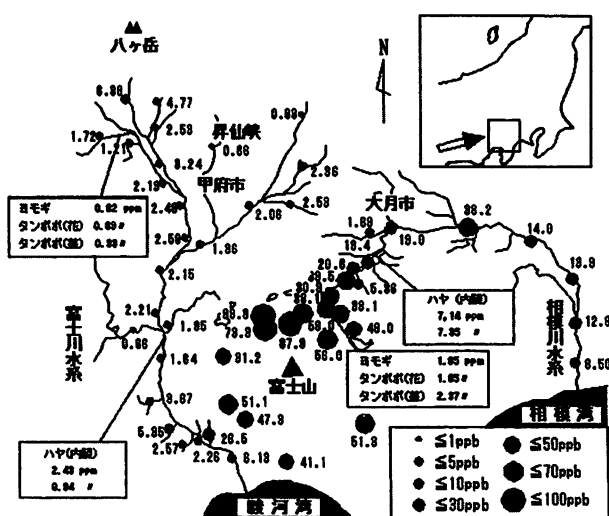


図 5-2 富士山麓周辺の湧水及び相模川・富士川水系の水・植物中のバナジウム濃度

第3回世界水フォーラム・プレフォーラム

●講演会

富士山の 地下水の現状と 今後の問題

平成14年12月14日 13:30~16:00
於 山梨県環境科学研究所

開会挨拶

講演 (13時30分~15時30分)

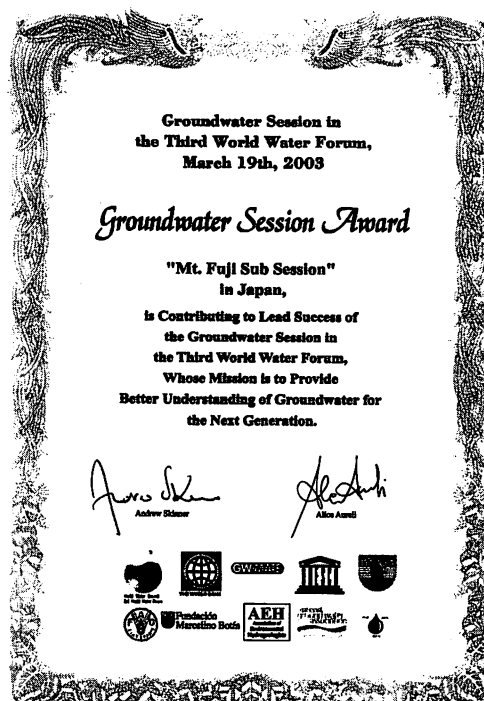
- 富士山の地形・地質と地下水
土 隆一 (静岡大学名誉教授) ————— 1
- 富士山北麓の地下水・湧水の特徴
興水 達司 (山梨県環境科学研究所) ————— 7
- 岳南の地下水塩水化の克服
井野 盛夫 (富士常葉大学環境防災学部長) ————— 16
- これで良いのか三島の湧水
長瀬 和雄 (元神奈川県温泉地学研究所) ————— 26
- おいしい水と地下水
藤岡 直建 (慶徳大学理工学部教授) ————— 50
- 忍び寄る地下水汚染
前川統一郎 (国際航業株式会社) ————— 60

ディスカッション (15時30分~16時)

閉会挨拶

—日本地下水学会「富士山の地下水と人間活動」総合調査委員会—

資料 5-1 世界水フォーラム・プレフォーラム



資料 5-2 第 3 回世界水フォーラムにおける発表に対し受けた賞

Ⅲ 研究成果報告

Ⅲ 研究成果報告

Ⅲ-1 リモートセンシングによる自然環境モニタリング

1) 研究体制

環境計画学研究室

特別研究員 宮崎 忠国

研究員 杉田 幹夫

共同研究者

山梨大学

助手 小林 拓

(財) リモート・センシング技術センター

研究員 中谷 幸廣

2) 研究成果

(1) 衛星データの収集

富士山周辺の自然特性を総合的に理解するためには、LANDSATやSPOTなどの衛星データを使って植生分布状況、土地被覆状況、土地利用等に関する現状を解析・ビジュアル化することが有効な手段となる。また、過去から現在までにわたる自然環境変化の把握や将来予測を可能にする手法を開発するためには、時期の異なる衛星データを収集し、解析する必要がある。このため、富士山周辺を撮影範囲に含むLANDSAT、SPOT、MOS、JERS、EERS等の衛星画像の収集を行った。表1-1は、収集した衛星データの一覧である。

本研究では、収集した衛星データのうち、LANDSAT-1/MSS、LANDSAT-5/TMおよびSPOT/HRV-XSの各衛星データを用いて、研究を行った。一般に、衛星データを利用する場合、大気補正および輝度補正を行う必要があるが、本研究では、大気および輝度については未補正のデータを用いた。

(2) 植生指数図

植生は可視・近赤外のリモートセンシングにおいて特に利用が進んでいる対象である。図1-1に代表的な土地被覆の分光反射スペクトルを示す。

植生の分光反射スペクトルでは、可視光(400~700nm)の範囲では緑(550nm付近)に反射率のピークが存在している。これは、葉中のクロロフィルが太陽光のうち青と赤の波長の光を強く吸収し、その結果として緑の波長の光を相対的に強く反射するため、植物の葉は人間の眼には緑色に見える。また、植生の分光反射率が可視光で0.2未満であるのに対し、近赤外波長域(700~1100nm)では0.6を超え、近赤外の光を強く反射していることがわかる。これは、クロロフィルを含む緑葉が可視光を吸収して光合成を行っているが、光合成に使われない近赤外の光をなるべく反射させて葉の温度が上昇

しないようにしていると考えられる。さらに、春から夏の生育期に植生の緑葉は可視光、なかでも赤の波長域の光をより強く吸収し、近赤外の光はより強く反射するようになる。また、植被率が増加するに従い全体として近赤外の反射率が増加する。したがって、赤と近赤外の波長帯における反射率の差、あるいは比は、植生の活性、植被率、葉面積指数(LAI)といった植生パラメータと相関を持つようになる。このような植生の分光反射特性から、LANDSAT1号が打ち上げられた1970年代以降、可視バンドと近赤外バンドの波長域の衛星データを用いて様々な植生指標が提唱されてきた。

NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)は正規化植生指数と呼ばれ、単に植生指標といった場合にNDVIが指し示されることが多く、非常に一般的でよく用いられている。通常、次式を使って算出する。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

ここで、R、NIRはそれぞれ可視光(赤)と近赤外の波長域における反射率を表す。NDVIの取り得る値の範囲は-1~1である。正規化することによって場所、季節、大気効果等の観測条件の違いによる影響を小さくする効果があるとされる。図1-1からも分かる通り、植生に覆われた場所ではNIRが大きくRが小さくなり、したがってNDVIは大きな値を示すことになる。植被率が大きいほど値は大きくなり、葉の重なりが増すことによっても値が増加する。

本研究では、収集した衛星データのうち、LANDSAT-1/MSS、LANDSAT-5/TMおよびSPOT-2/HRV-XSの各衛星データを用いて、植生指数図の作成を行った。この際、富士北麓に雲がかかっているシーン、あるいは雲の量が少ないシーンを選定した。植生指数算出の対象地域として、富士北麓の東西約23km、南北約19kmの地域で、東経138° 37.5'~138° 52.5'、北緯35° 20'~35° 30'の範囲である(図1-2)。表1-2に植生指数図の作成に使用した衛星データの一覧を示す。また、図1-3および図1-4にそれぞれ、LANDSAT衛星およびSPOT衛星データについて、シーン全体の画像と植生指数図の作成範囲で切り出した画像データを示す。

NDVIの計算には、衛星センサの観測バンドにおける反射率ではなく、衛星センサの観測値(DN値)をそのまま使用した。DN値には、センサの経時変化や太陽高度と大気による光の散乱・吸収が影響するが、DN値を正規化したNDVIに変換することで、DN値に含まれる影響・ノイズが軽減される。なお、DN値から反射率へ変換する場合、大気補正および輝度補正を行う必要がある。NDVIの計算式は、各衛星/センサに対して、以下の通

りとなる。

LANDSAT-1/MSS:NDVI＝

$$(\text{band7}-\text{band5}) / (\text{band7}+\text{band5})$$

LANDSAT-5/TM:NDVI＝

$$(\text{band4}-\text{band3}) / (\text{band4}+\text{band3})$$

SPOT-2/HRV-XS:NDVI＝

$$(\text{band3}-\text{band2}) / (\text{band3}+\text{band2})$$

この計算式により、植生指数の算出を行い、結果をビジュアル化して植生指数図の作成を行った。図1－5および図1－6に、LANDSAT衛星データおよびSPOT衛星データから作成した植生指数（NDVI）分布図を示す。

（3）土地被覆分類図の作成

表1－2に挙げた衛星データに対して、最尤法による教師付き分類を適用し、土地被覆分類図の作成を行った。LANDSAT-5/TMデータの場合、全7バンドのうち熱赤外バンド（TMバンド6）を除いた残りの6つのバンドを用いて分類を行った。LANDSAT-1/MSS（全4バンド）、SPOT（全3バンド）については、全てのバンドを用いて分類を行った。分類は、1：25000地形図、環境省自然保護局作成の現存植生データ、航空写真の目視判読結果を基に、土地被覆の教師データを選定した。土地被覆の分類項目は、「森林1」「森林2」「森林3」「草地1」「草地2」「裸地」「水面」「雪面」「その他」の9項目とした。分類の結果をビジュアル化して、土地被覆分類図を作成した。図1－7および図1－8に、LANDSAT衛星データおよびSPOT衛星データから作成した土地被覆分類図を示す。

（4）植生・水・土壌指数（VSW指数）

VSW指数とは、衛星データの可視赤バンドと近赤外バンドの観測値（DN値）の散布図を描くと、一般に三角形形状の分布を示すという経験的事実に基づき、この散布図に三角形を当てはめた時の3つの頂点を植生、土壌、水の3つの土地被覆タイプに対するエンドメンバー点と捉え、観測データ点からこの三角形の各辺までの距離をもとに、画素内の土地被覆構成比を指標化したものである。

衛星が観測した範囲内の土地被覆に植生、土壌、水のそれぞれが十分に含まれているならば、R-NIR平面にリモートセンシングデータをプロットして散布図を作成すると、三角形の領域が現れる（図1－9）。この三角形（エンドメンバー三角形）の頂点はそれぞれ植生、土壌、水のエンドメンバー点を表す。水と土壌のエンドメンバー点を結んだ辺はソイルラインに相当する。VSW指数では、エンドメンバー三角形の各辺から観測データ点Pまでの距離を用いることにより、植生指数、土壌指数、水指数をそれぞれ線分PV、PS、PWの長さとして定義している。

図1－10に、VSW指数計算に必須のエンドメンバー三角形最適決定の一例として、1997年4月27日観測の

SPOT-2/HRV-XSデータから作成した可視（赤）バンド（band2）と近赤外バンド（band3）における衛星データの散布図と、この散布図から最適決定されたエンドメンバー三角形を示す。

この散布図では、濃い部分ほどデータ頻度が多いことを示している。この図から、観測された衛星画像には、西湖および山中湖の部分に水面で占有された画素（ピュアピクセル）が十分存在するのに対して、植生および土壌の明確なエンドメンバーに対応するピュアピクセルが十分含まれていないことがわかる。散布図上に描かれた三角形は最適決定されたエンドメンバー三角形であり、ピュアピクセルが十分に含まれていない画像に対して、植生および土壌に対する妥当なエンドメンバーが決定されていることがわかる。

図1－10のエンドメンバー三角形を使って計算したVSW指数の各成分（植生指数、土壌指数、水指数）画像を図1－11に示す。植生指数画像から、虫食い状にゴルフ場の分布がよくわかり、起伏の少ない青木ヶ原樹海（画面左上）が様な濃度で表示されている。その他の森林においては、12月の観測で太陽が低いために、地形の起伏による影の影響が無視できない。土壌指数画像で明るく表示されている部分は、積雪部を除き、富士吉田市、河口湖町、忍野村の市街地（画面右上）、北富士演習場、道路に対応している。水指数画像では、西湖、山中湖の水面が明るく表示されている。

同様にして、表1－2に挙げた衛星データを使用してVSW指数分布図の作成を行った。図1－12および図1－13に、LANDSAT衛星データおよびSPOT衛星データから作成したVSW指数分布図を示す。図1－12および図1－13では、VSW指数の3つの成分画像、すなわち植生指数、土壌指数、水指数を濃度画像として表示しており、それぞれの画像で明るく表示されている部分は、各指数の値が大きいことを示す。

作成したVSW指数分布図を用いて、対象範囲の土地被覆状況変化を調査するために、2時期のVSW指数差画像の作成を行った。使用した衛星データは、観測日がそれぞれ1991年4月4日および1997年4月27日のSPOT-2/HRV-XSデータ2シーンである（図1－4を参照）。対象地域の状態、特に植生の季節変化が大きくなることを考慮し、同じ4月の2シーンを選定した。VSW指数画像は、エンドメンバー三角形を用いて可視（赤）バンドおよび近赤外バンドの2バンド画像を正規化した画像と捉えることが出来るため、単純な差演算により、土地被覆状況の変化を調べることができる。1991年4月4日と1997年4月27日のSPOT-2/HRV-XSデータそれぞれについて求めたVSW指数の差画像の各成分（植生指数、土壌指数、水指数）を図1－14に示す。この図では、明るく表示されている部分ほど、1997年4月のVSW指数値が1991年4月のそれより大きい値であることを示して

いる。

植生指数では、画像中央上部に造成されたゴルフ場が明瞭に抽出されている。また、この図では判読できないが、元の空間解像度の画像からは、アカマツ林中の山梨県環境科学研究所の敷地に対応する箇所を特定することができた。土壌指数では、山中湖が明るく表示されている。これは、1997年のシーンにおいて山中湖を霧が覆っていたため、画素濃度の高い観測値から計算した結果として、土壌指数値が大きくなったことによる。さらに、水指数では、北富士演習場が明るく表示されていることがわかる。

(5) 樹種分類図

樹木の種類をリモートセンシングにより分類するため、樹種の異なるトレーニングエリアを富士北麓地域に設定し、樹種分類図の作成を行った。本研究では、富士北麓地域で樹種の判明している場所を選定して、これを教師データとすることにより、SPOT-2/HRV-XSデータを用いた樹種分類図を作成した。樹種の分類項目は、「アカマツ」「カラマツ」「ナラ」「ヒノキ」「シラビソ」「モミ・ツガ」「ウラジロモミ」「混交林」の8項目とし、この他に「草地」「水面」「雪面・雲域」「未分類」の土地被覆分類項目4項目の、全12項目に分類した。図1-15に樹種分類に用いたトレーニングエリアを示した、この図の背景画像は、分類に使用した衛星データをナチュラルカラー表示した画像であり、この上にトレーニングエリアとしたポリゴン（多角形）領域を示した。図1-16に樹種分類結果を示す。

(6) 土地被覆分類図の变化解析

多時期の衛星データを基に土地被覆の変化を解析することが可能である。本研究では、正確に位置合わせを行った複数時期の衛星データをそれぞれ土地被覆分類し、その変化を調べた。

調査対象は、富士北麓の9市町村、約490km²の範囲である（図1-17）。使用した衛星データは、1972年12月15日観測のLANDSAT-1/MSSデータ、1988年12月8日および1996年12月30日観測のLANDSAT-5/TMデータ、合計3シーンのLANDSAT衛星データである（図1-4を参照）。対象地域の状態、特に植生の季節変化が大きくなることを考慮し、すべて12月のデータを選んだ。調査対象地域では、この時期、カラマツやブナ科樹木などの落葉樹が落葉した後で、初旬と下旬でも、衛星データへの季節変化の影響はほとんど無いものと考えられる。

3時点のLANDSAT衛星データは、解析対象地域の航空写真オルソ画像モザイクデータを基準に幾何補正を行い、調査対象地域の範囲を切り出した。熱赤外域であるLANDSAT-5/TMセンサのバンド6データは、以下の解析では除外している。まず、各時点のデータをISODATA法により50のクラスターに分割した。次に、

1:25000地形図、環境省自然保護局作成の現存植生データ、航空写真などを基に目視判読し、50のクラスターの一部に9つの土地被覆分類項目を割り当てた。分類項目の選定には、3時点のデータで共通に安定して存在すること、十分な広さで連続して分布していること、かつ互いの反射スペクトルパターンが十分に分離できることに留意した。3時点のデータそれぞれで分類項目を割り当てた後、3時点で同一の分類項目となっている画素、すなわち1972年から1996年までの間に土地被覆の変化がなかったと見なされる画素（無変化画素）を抽出した。各時点のデータにおいて、分類項目それぞれについて無変化画素のデータの集合を教師エリアに定めてトレーニングデータを作成し、各時点のデータに対して最尤法による教師付き分類を行った。最終的に得られた土地被覆分類図を基に、経年変化を解析した。

土地被覆分類項目として、表1-3に示す9つの分類項目を設定した。

図1-19に、1988年のデータを使って、分類項目の教師データとして用いた画素から求めた反射スペクトルパターンを示す（雪面は省略した）。森林1と森林3は、いずれも常緑針葉樹林に対応する分類項目であるが、スペクトルパターンに有意な差が認められる。

図1-20～図1-22にそれぞれ、1972年、1988年、1996年の各時点の衛星データを、上記9つの分類項目に土地被覆分類した結果を示す。図1-23に、1972年から1996年まで24年間における、土地被覆分類項目ごとの面積変化を示す。この図から、調査対象地域約490km²のうち、およそ半分が森林で覆われていることが分かる。また、森林面積は1972年から88年の16年間にわずかに増加し、その後96年までの8年間はそれ程変化していないという結果が得られた。

3) 研究資料

杉田幹夫（1998）衛星画像データによる土地被覆状態の把握。第6回山梨県科学技術シンポジウム，富士吉田。
Sugita, M. (1998) Monitoring land cover with a vegetation-soil-water index. Proceedings of SPIE, Barcelona, Spain.

杉田幹夫、宮崎忠国（1998）LANDSAT TMによる山梨県北部山岳地域の環境調査。日本リモートセンシング学会第25回学術講演会，京都。

杉田幹夫、宮崎忠国（1999）可視・遠赤外センサーによる富士北麓地域の土地被覆解析。日本リモートセンシング学会第27回学術講演会，熊本。

宮崎忠国（2000）森林分類，農地分類，湿地分類への応用例－富士北麓の植物種把握に関する研究－。ASTERシンポジウム，広島。

宮崎忠国（2000）リモートセンシングによる富士北麓の樹種分類に関する研究。第3回自然系調査研究機関連

絡会議（NORNAC）事例研究発表会，長野。
宮崎忠国（2000）地方におけるリモートセンシング技術
の活用，富山リモートセンシング水環境フォーラム，
富山。
杉田幹夫（2001）衛星データを用いた富士北麓の経年変
化解析，（社）日本リモートセンシング学会第31回学
術講演会，長野。

4）謝辞

本研究に際し、以下に示す通り、宇宙開発事業団の研究
目的配布の適用を受けて提供された衛星画像データを
使用した。ここに感謝の意を表する。

LANDSAT

衛星データ所有：米国政府

衛星データ提供：SpaceImaging／宇宙開発事業団

SPOT

衛星データ（1990、1991、1993、1997、2000）

COPYRIGHT CNES

衛星データ提供：SPOT／宇宙開発事業団

表 1-1 収集した衛星データの一覧

[LANDSAT]

衛星	センサ	バス/ロウ	撮影年月日
LANDSAT-1	MSS	116/035	1972/11/09
LANDSAT-1	MSS	116/035	1972/12/15
LANDSAT-1	MSS	116/035	1973/02/25
LANDSAT-5	TM	108/35	1987/09/01
LANDSAT-5	TM	108/35	1988/03/11
LANDSAT-5	TM	108/35	1988/12/08
LANDSAT-5	TM	108/35	1989/03/30
LANDSAT-5	TM	108/35	1989/10/24
LANDSAT-5	TM	108/35	1991/01/31
LANDSAT-5	TM	108/35	1991/03/04
LANDSAT-5	TM	108/35	1993/04/26
LANDSAT-5	TM	108/35	1994/02/08
LANDSAT-5	TM	108/35	1994/09/20
LANDSAT-5	TM	108/35	1995/05/18
LANDSAT-5	TM	108/35	1995/11/10
LANDSAT-5	TM	108/35	1995/12/28
LANDSAT-5	TM	108/35	1996/01/13
LANDSAT-5	TM	108/35	1996/12/30
LANDSAT-5	MSS	108/35	1997/01/15
LANDSAT-5	TM	108/35	1997/03/04
LANDSAT-5	MSS	108/35	1997/03/04
LANDSAT-5	TM	108/35	1997/06/08
LANDSAT-5	TM	108/35	1997/06/24
LANDSAT-5	TM	108/35	1997/08/27
LANDSAT-5	TM	108/35	1997/09/28
LANDSAT-5	TM	108/35	1997/10/14
LANDSAT-5	MSS	108/35	1997/10/14
LANDSAT-5	MSS	108/35	1997/10/30
LANDSAT-5	TM	108/35	1998/01/02
LANDSAT-5	TM	108/35	1998/02/19
LANDSAT-5	MSS	108/35	1998/02/19
LANDSAT-5	TM	108/35	1999/01/05
LANDSAT-5	TM	108/35	1999/01/21
LANDSAT-5	TM	108/35	1999/02/06
LANDSAT-5	TM	108/35	1999/02/22
LANDSAT-5	TM	108/35	1999/05/13
LANDSAT-5	TM	108/35	1999/08/01
LANDSAT-5	TM	108/35	1999/12/23
LANDSAT-5	TM	108/35	2000/02/09
LANDSAT-5	TM	108/35	2000/04/29
LANDSAT-5	TM	108/35	2000/11/07
LANDSAT-5	TM	108/35	2000/11/23
LANDSAT-5	TM	108/35	2000/12/09

[SPOT]

衛星	センサ	バス/ロウ	撮影年月日
SPOT-1	HP	328/279	1989/03/30
SPOT-1	HP	329/279	1990/05/09
SPOT-1	HX	329/279	1990/05/09
SPOT-1	HX	328/279	1990/11/17
SPOT-2	HP	329/279	1991/04/04
SPOT-2	HX	329/279	1991/04/04
SPOT-2	HP	328/279	1992/11/12
SPOT-2	HP	328/279	1992/11/16
SPOT-2	HP	328/279	1993/01/19
SPOT-2	HP	329/279	1993/02/03
SPOT-2	HX	329/279	1993/02/03
SPOT-2	HP	328/279	1993/03/05
SPOT-2	HP	329/279	1993/03/22
SPOT-2	HP	329/279	1993/04/26
SPOT-2	HX	329/279	1993/04/26
SPOT-2	HP	329/279	1993/10/11
SPOT-2	HP	328/279	1993/10/25
SPOT-2	HP	328/279	1993/10/31
SPOT-2	HP	329/279	1993/11/01
SPOT-2	HP	329/279	1993/11/15
SPOT-2	HP	329/279	1993/12/17
SPOT-2	HX	329/279	1994/02/18
SPOT-2	HP	329/279	1994/02/22
SPOT-2	HP	329/279	1994/02/23
SPOT-2	HP	329/279	1994/03/30
SPOT-2	HP	329/279	1995/02/17
SPOT-2	HP	329/279	1996/03/12
SPOT-2	HX	329/279	1996/03/12
SPOT-2	HX	330/278	1996/05/03
SPOT-2	HX	330/278	1996/05/24
SPOT-2	HX	328/279	1996/10/22
SPOT-2	HP	328/279	1996/11/17
SPOT-2	HP	329/278	1997/03/12
SPOT-2	HX	329/279	1997/04/27
SPOT-2	HX	329/279	1997/10/21
SPOT-2	HX	329/279	1997/11/01
SPOT-2	HP	329/278	1997/11/06
SPOT-2	HP	329/279	1997/11/11
SPOT-2	HP	329/278	1997/12/28
SPOT-2	HP	329/278	1998/01/17
SPOT-2	HP	329/278	1998/01/28
SPOT-2	HP	329/279	1998/02/18
SPOT-2	HP	329/279	1998/02/23
SPOT-2	HP	329/279	1998/03/10
SPOT-2	HX	329/279	1998/03/26
SPOT-2	HX	330/278	1998/05/07
SPOT-2	HX	328/279	1998/05/23
SPOT-2	HX	328/279	1998/06/01
SPOT-2	HX	328/279	1998/07/03
SPOT-2	HP	329/279	1998/09/08
SPOT-2	HX	329/279	1998/10/09
SPOT-2	HP	329/279	1998/10/31
SPOT-2	HP	329/279	1998/11/04
SPOT-2	HX	328/279	1998/11/20
SPOT-2	HX	328/279	1998/11/26
SPOT-2	HP	328/279	1998/12/17
SPOT-2	HX	330/279	1998/12/21
SPOT-2	HP	328/279	1998/12/22
SPOT-2	HX	330/279	1999/04/20
SPOT-2	HP	328/279	1999/10/24
SPOT-2	HP	329/278	1999/11/14
SPOT-2	HP	328/279	1999/11/19
SPOT-2	HX	328/279	2000/02/05
SPOT-2	HX	329/279	2000/03/18
SPOT-1	HX	329/279	2000/04/25
SPOT-2	HX	329/279	2000/04/29
SPOT-2	HX	329/279	2000/05/09
SPOT-2	HP	329/279	2000/05/30
SPOT-2	HX	329/279	2000/05/30
SPOT-1	HX	328/279	2000/06/20
SPOT-2	HX	328/279	2000/12/08

[ERS]

衛星	センサ	バス/ロウ	撮影年月日
ERS-1	AIM	66/241	1991/08/21
ERS-1	AIM	66/241	1991/08/24
ERS-1	AIM	66/241	1991/09/05
ERS-1	AIM	66/241	1991/09/08
ERS-1	AIM	66/241	1991/09/14
ERS-1	AIM	66/241	1991/10/02
ERS-1	AIM	66/241	1991/10/17
ERS-1	AIM	66/241	1991/10/20
ERS-1	AIM	66/241	1991/10/29
ERS-1	AIM	66/241	1991/11/04
ERS-1	AIM	66/241	1991/11/10
ERS-1	AIM	66/241	1991/11/16
ERS-1	AIM	66/241	1991/11/22
ERS-1	AIM	66/241	1991/11/28
ERS-1	AIM	66/241	1991/12/04
ERS-1	AIM	66/241	1991/12/07
ERS-1	AIM	66/241	1995/09/11
ERS-1	AIM	66/241	1996/01/29
ERS-1	AIM	66/241	1996/01/29
ERS-1	AIM	66/241	1999/01/07
ERS-2	AIM	66/241	1999/01/07

[JERS]

衛星	センサ	バス/ロウ	撮影年月日
JERS-1	SAR	66/241	1992/09/02
JERS-1	VNIR	66/241	1992/09/11
JERS-1	SAR	66/241	1993/01/12
JERS-1	SAR	66/241	1993/01/13
JERS-1	VNIR	66/241	1993/01/21
JERS-1	SAR	66/241	1993/02/26
JERS-1	VNIR	66/241	1993/03/06
JERS-1	SAR	66/241	1993/04/11
JERS-1	VNIR	66/241	1993/04/19
JERS-1	SAR	66/241	1993/11/16
JERS-1	VNIR	66/241	1993/11/25
JERS-1	SAR	66/241	1994/08/07
JERS-1	VNIR	66/241	1994/08/16
JERS-1	SAR	66/241	1995/12/04
JERS-1	VNIR	66/241	1995/12/13
JERS-1	SAR	66/241	1996/11/20
JERS-1	VNIR	66/241	1997/01/12
JERS-1	VNIR	66/241	1997/02/25
JERS-1	SAR	66/241	1997/04/01
JERS-1	VNIR	66/241	1997/04/10
JERS-1	SAR	66/241	1997/06/28

[MOS]

衛星	センサ	バス/ロウ	撮影年月日
MOS-1	MESSR	21/70	1987/12/12
MOS-1	MESSR	21/70	1990/01/07
MOS-1b	MESSR	21/70	1990/03/16
MOS-1b	MESSR	21/70	1990/04/11
MOS-1b	MESSR	21/70	1990/06/18
MOS-1b	MESSR	21/70	1990/07/22
MOS-1b	MESSR	21/70	1990/12/05
MOS-1b	MESSR	21/70	1991/01/08
MOS-1	MESSR	21/70	1991/01/16
MOS-1b	MESSR	21/70	1991/06/27
MOS-1b	MESSR	21/70	1991/12/14
MOS-1	MESSR	21/70	1992/01/25
MOS-1b	MESSR	21/70	1992/04/28
MOS-1b	MESSR	21/70	1992/10/23
MOS-1b	MESSR	21/70	1992/12/22
MOS-1b	MESSR	21/70	1993/10/24
MOS-1b	MESSR	21/70	1994/12/06
MOS-1b	MESSR	21/70	1995/01/09
MOS-1b	MESSR	21/70	1995/01/17
MOS-1b	MESSR	21/70	1995/04/21
MOS-1b	MESSR	21/70	1995/12/15

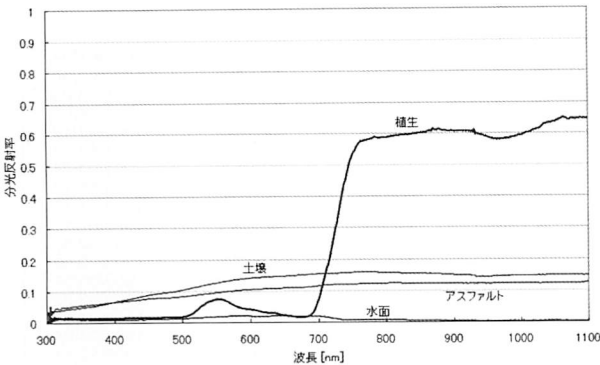


図 1－1 土地被覆と分光反射スペクトル

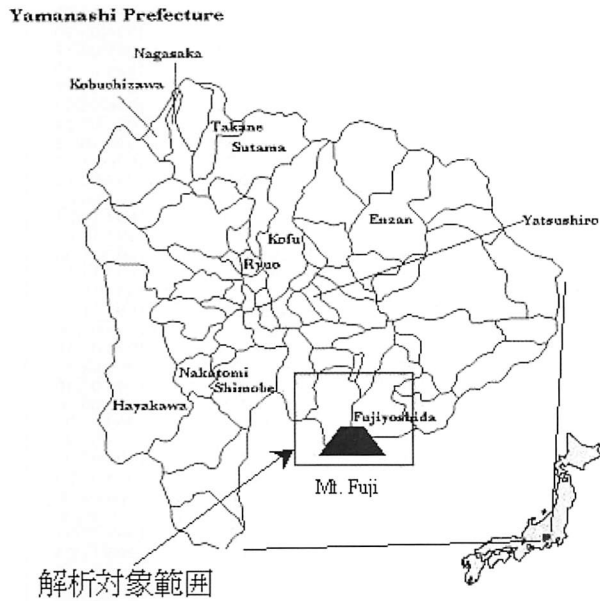


図 1－2 植生指数図の作成範囲

表 1－2 植生指数図の作成に使用した衛星データの一覧

衛星	センサ	パス／ロウ	観測年月日
LANDSAT-1	MSS	116/035	1972/12/15
LANDSAT-5	TM	108/35	1988/12/08
LANDSAT-5	TM	108/35	1994/09/20
LANDSAT-5	TM	108/35	1995/05/18
LANDSAT-5	TM	108/35	1995/11/10
LANDSAT-5	TM	108/35	2000/12/09
SPOT-1	HRV-XS	329/279	1990/05/09
SPOT-2	HRV-XS	329/279	1991/04/04
SPOT-2	HRV-XS	329/279	1993/04/26
SPOT-2	HRV-XS	329/279	1997/04/27
SPOT-2	HRV-XS	329/279	1997/11/11
SPOT-2	HRV-XS	329/279	2000/05/09

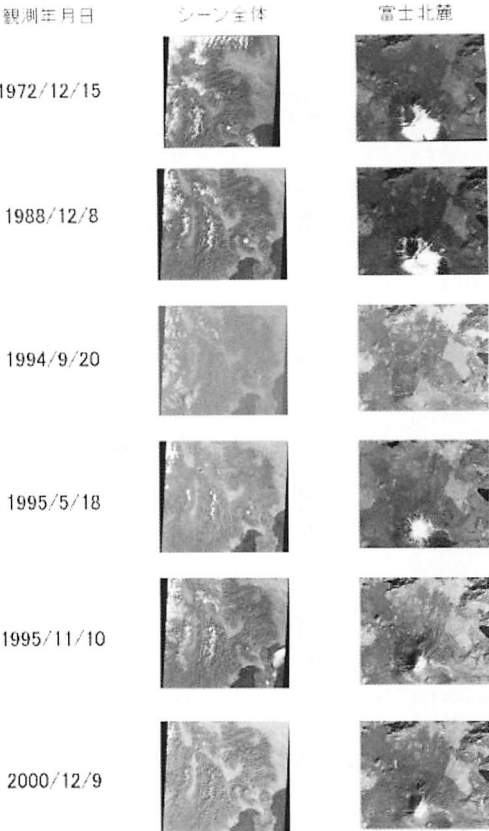


図 1－3 LANDSAT衛星画像データ

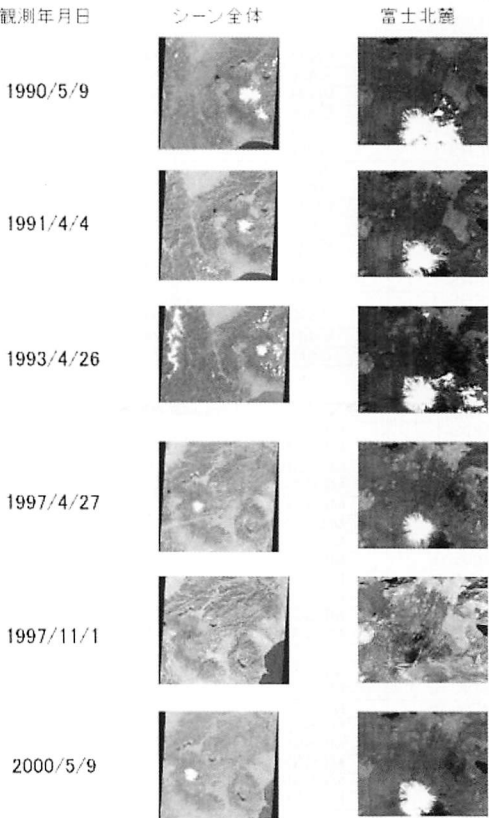


図 1－4 SPOT衛星画像データ

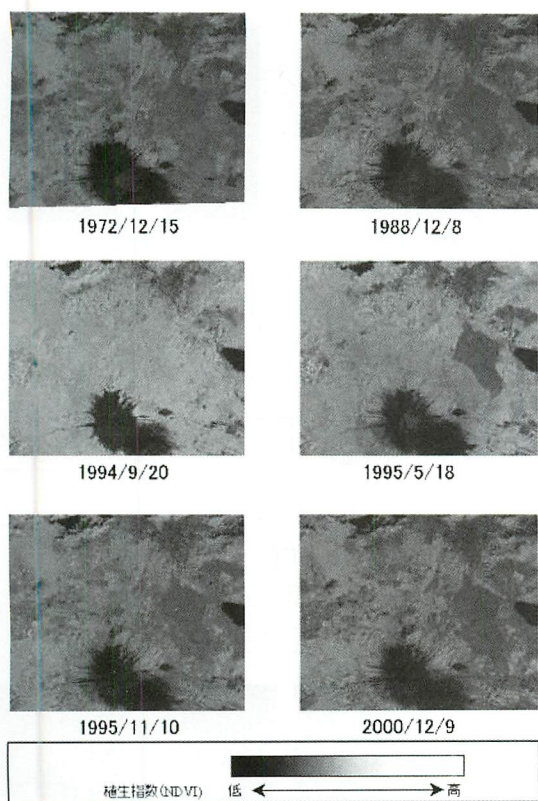


図 1-5 植生指数 (NDVI) 分布図 (LANDSAT衛星データから作成)

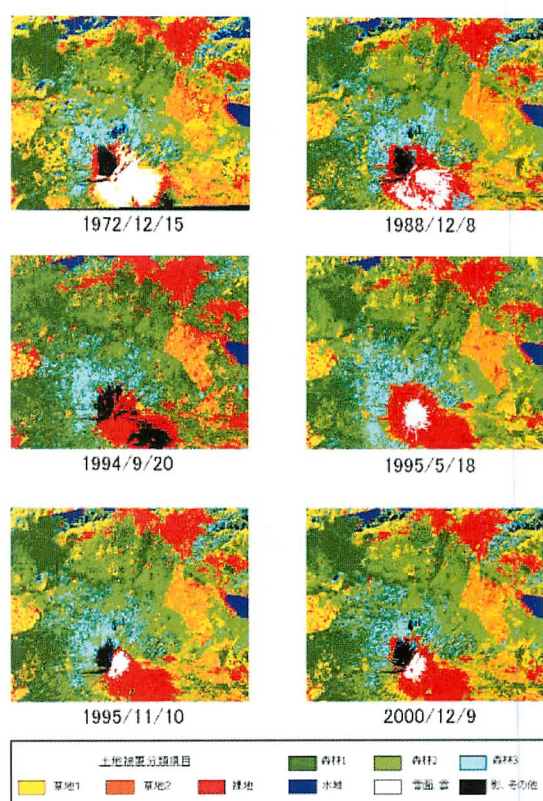


図 1-7 土地被覆分類図 (LANDSAT衛星データから作成)

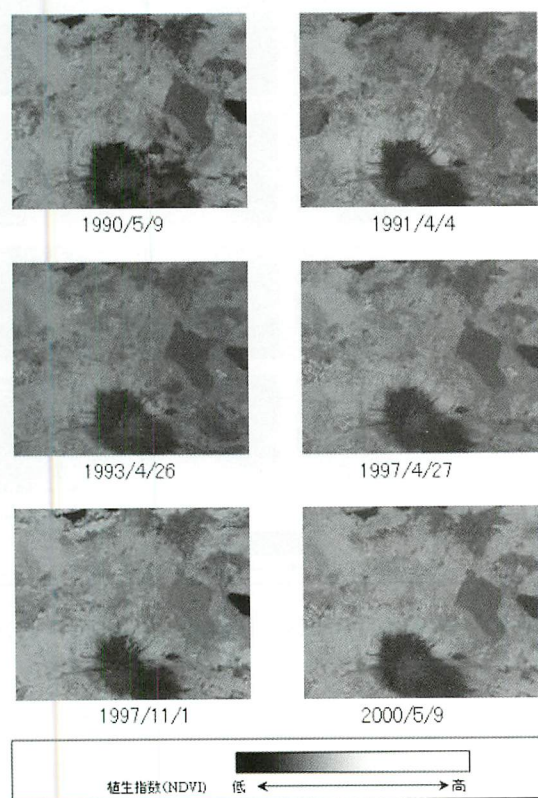


図 1-6 植生指数 (NDVI) 分布図 (SPOT衛星データから作成)

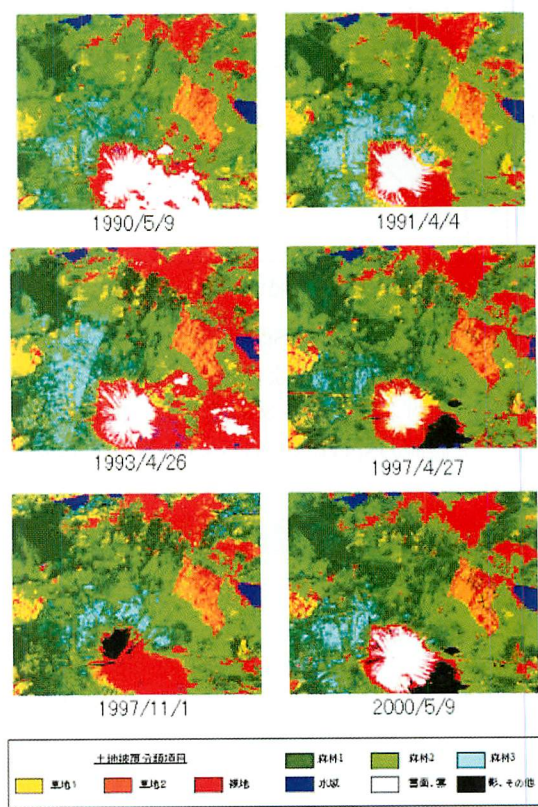


図 1-8 土地被覆分類図 (SPOT衛星データから作成)

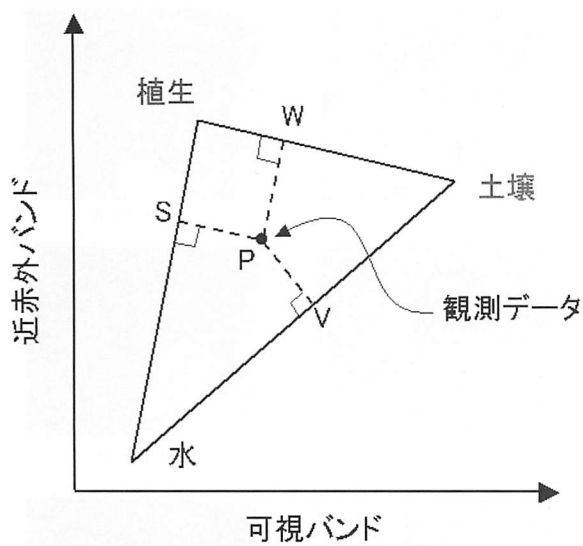


図 1-9 VSW 指数の計算概念図

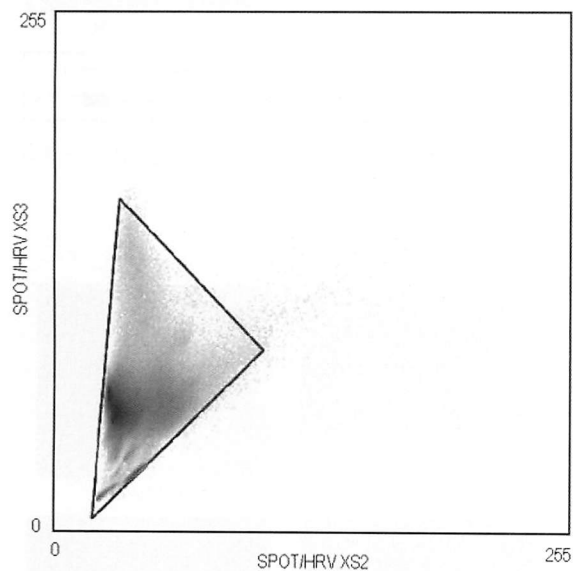


図 1-10 SPOT-2/HRV-XS 衛星データの可視（赤）バンド（band2）および近赤外バンド（band3）における衛星データの散布図。1997 年 4 月 27 日観測の SPOT-2/HRV-XS データから作成

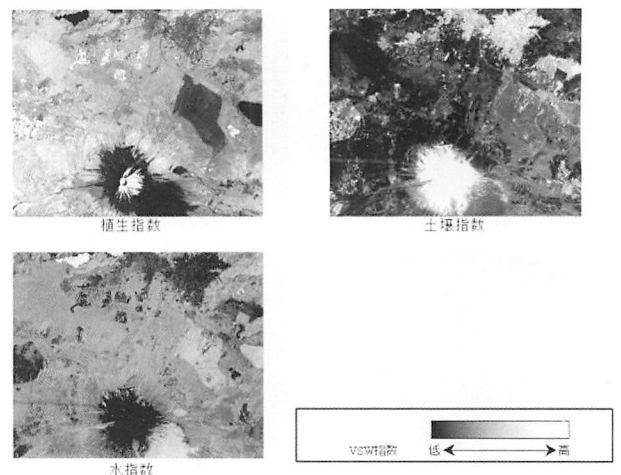


図 1-11 SPOT-2/HRV-XS 衛星データから作成した VSW 指数分布図

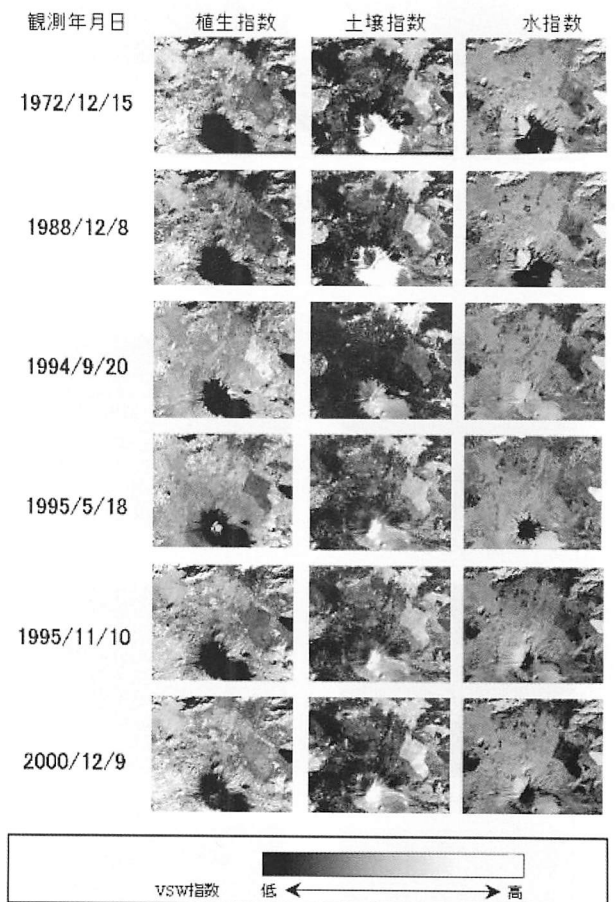


図 1-12 VSW 指数分布図。LANDSAT 衛星データから作成。

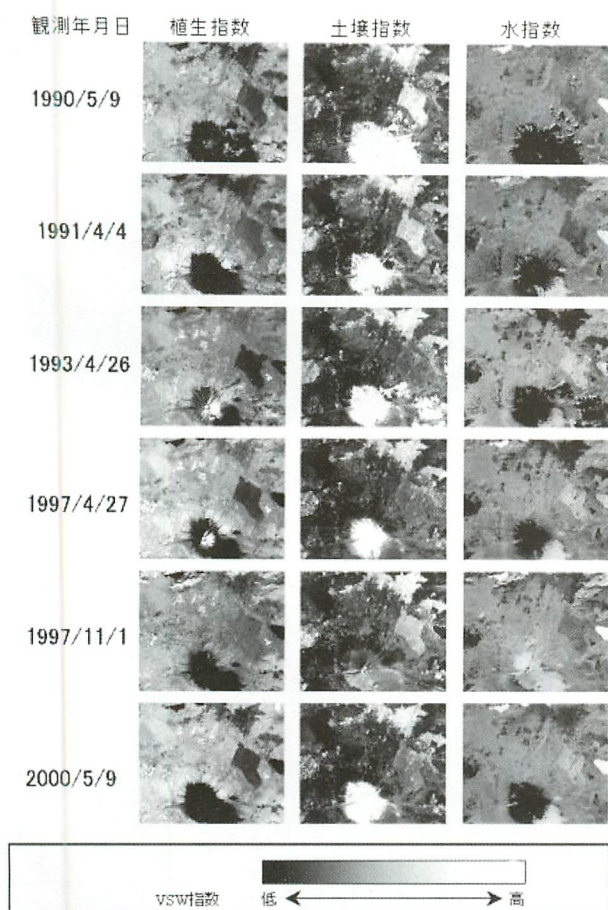


図 1-13 VSW指数分布図。SPOT衛星データから作成。

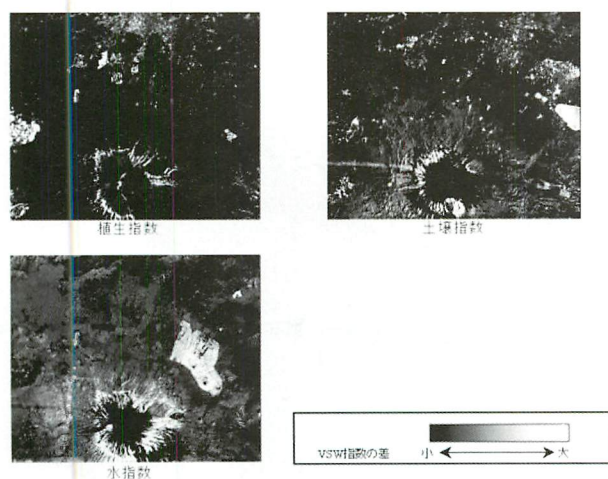


図 1-14 VSW指数差画像

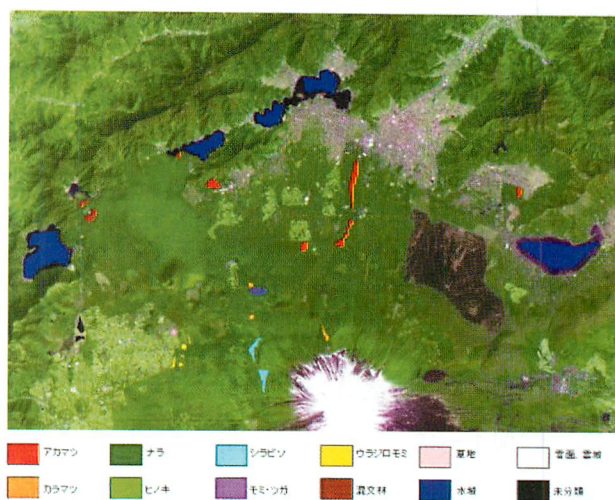


図 1-15 樹種分類に用いたトレーニングエリア

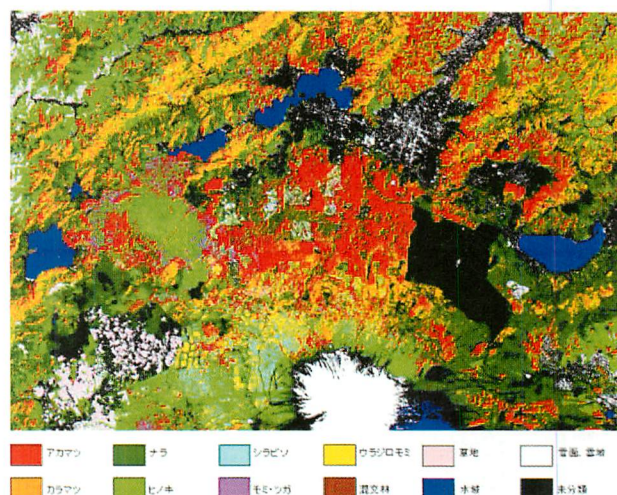


図 1-16 樹種分類結果

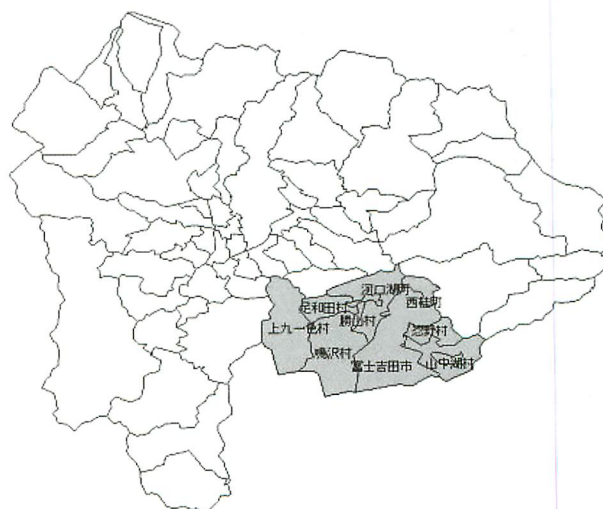


図 1-17 土地被覆変化解析の対象地域

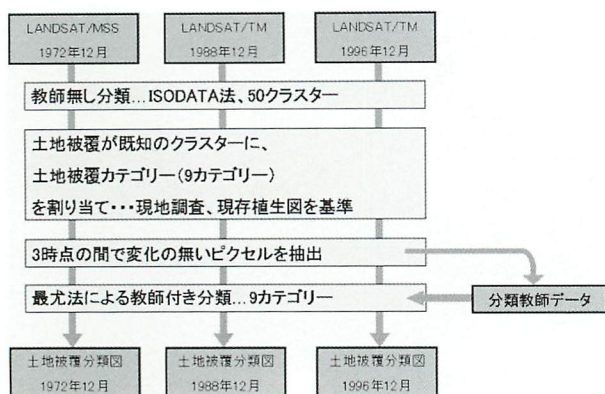


図 1-18 土地被覆変化解析の流れ

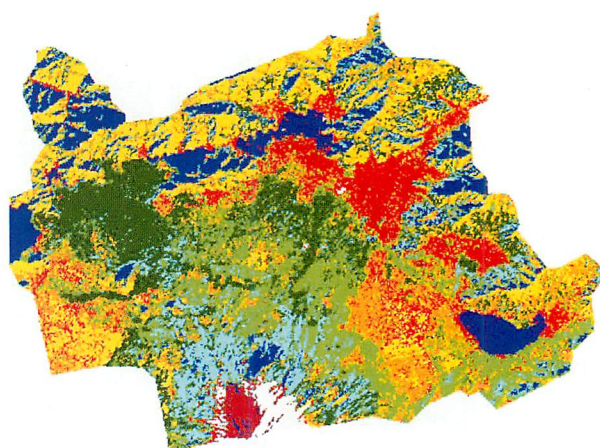


図 1-20 土地被覆分類図（1972年12月15日）

表 1-3 土地被覆分類項目

分類項目	説明
森林 1	アカマツ林などの常緑樹林
森林 2	カラマツ林などの落葉樹林
森林 3	シラビソ林などの常緑樹林
草地 1	ゴルフ場など
草地 2	北富士演習場など
裸地	市街地など
水面、影	湖水面、山の北西斜面
雪面	富士山頂周辺
雪面上の影	富士山の北西斜面

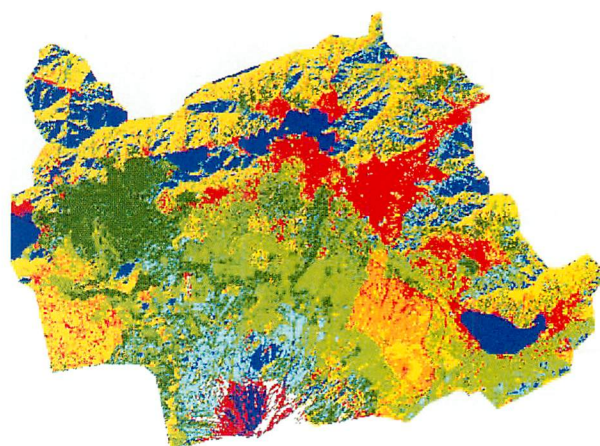


図 1-21 土地被覆分類図（1988年12月8日）

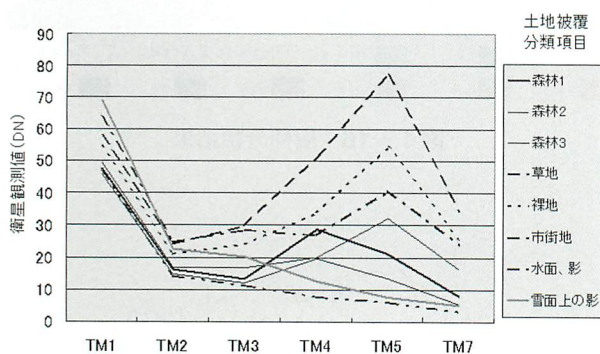


図 1-19 土地被覆分類項目ごとのスペクトルパターン

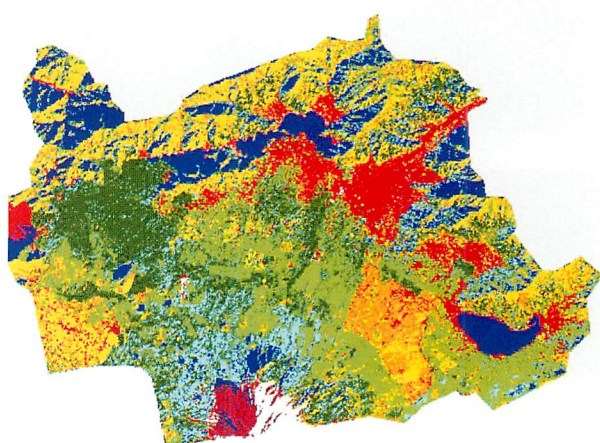


図 1-22 土地被覆分類図（1996年12月30日）

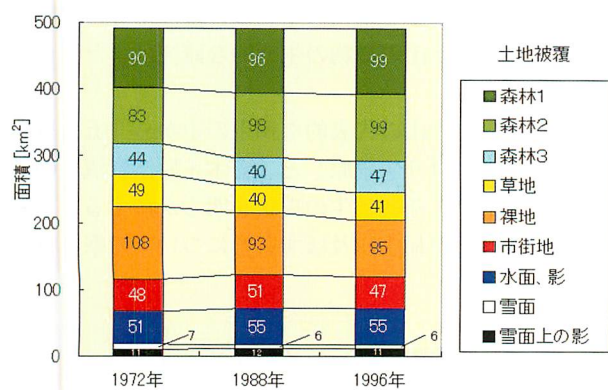


図 1-23 土地被覆分類項目ごとの面積変化

Ⅲ－２ 植生分布の現状とその将来に対する 温暖化の影響解明

1) 研究体制

植物生態学研究室

研究員 中野 隆志

研究員 鞠子 茂 (平成9年～10年)

研究員 大塚 俊之 (平成11年～13年)

助 手 安部 良子

共同研究者

茨城大学理学部

教 授 堀 良道

助教授 山村 靖夫

筑波大学

助教授 鞠子 茂

東京都立大学大学院理学研究科

教 授 可知 直毅

助 手 工藤 洋

東邦大学理学部

助教授 丸田 恵美子

玉川大学農学部

講 師 関川 清広

静岡大学理学部

教 授 増澤 武弘

2) 研究成果

(1) 序論

富士山は他の日本の山岳、南アルプスや秩父山系などと比べて非常に特異な山岳である。例えば火山であり火山性土壌が広範囲に広がっていること、独立峰であり周囲の山岳から孤立していること、山の歴史が新しく氷河期を経ていないこと、標高が著しく高いこと（日本第2位の北岳よりさらに500m以上高い）などがあげられる。したがって、そこに成立する植生も他の山岳と比較して特異な植生が数多く見られ、富士山の自然を特徴づけている。例えば、五合目付近樹木限界上部のスコリア荒原上の草本群落やミヤマハンノキ林、樹木限界のスコリア上のカラマツ林、剣丸尾溶岩流上のアカマツ林や青木ヶ原溶岩流上のモミ・ツガ林や鷹丸尾溶岩流上のハリモミ林、スコリア上の亜高山帯シラビソ林、大室山のスコリア堆積上のブナ林や草地等があげられ、これらの植生は学術的にも非常に貴重なものである。

これまでの富士山の研究では、フロラの記載や植生の記載を中心に行われてきた。しかしながら、生態的な調査調査研究は少なく富士山の植物の生態についてはまだほとんど分かっていない。富士山南斜面は静岡大学の増澤武弘教授を中心に生態学的な調査が進められているが、北斜面での植物の生態に関する研究例は極めて少ない。したがって、日本を代表する山岳であるにも関わら

ず、富士山に生育する植物の生態はいまだ十分に解明されていない。富士山の植物の生態的な研究はまだ始まったばかりである。

本研究は、富士山の代表的な植生の中から「五合目樹木限界付近のスコリア荒原」と「青木ヶ原溶岩流上の針葉樹林」を選び、その植生の現状を明らかにするとともに、地球温暖化が植生に及ぼす影響について考察を行った。

(2) 「五合目樹木限界付近のスコリア荒原」

① 序論

富士山は比較的新しい火山であり（津屋 1971）、未だ植生の発達には未熟である（宮脇 1971）。富士山北斜面の樹木限界は現在標高2,400m前後にあり、樹木限界を形成する林の主な構成種はカラマツ (*Larix kaempferi*) である。樹木限界より上部には、火山性噴出物に覆われたスコリア荒原が広がっている。そこには矮性化したミネヤナギ (*Salix reinii*) のパッチや高木種であるカラマツ、ダケカンバ (*Betula ermanii*) の実生や稚樹、低木種であるミヤマハンノキ (*Alnus maximowiczii*) およびイワツメクサ (*Stellaria japonica*) やオンタデ (*Polygonum weyricii*)、フジハタザオ (*Arabis serrata*) などの遷移初期のパイオニア性の草本種が散在している。富士山の樹木限界上部のスコリア荒原における植物の分布に関する研究は、植生の記載が中心になされてきた（宮脇 1971）。一方、個々の種の分布を詳細に記載した研究はほとんどなされていない。特に、富士山北斜面における個々の種の分布を詳細に記載した研究はなく、そのため、北斜面の山梨県側のスコリア荒原上の植物の詳細な分布パターンはいまだ明らかになっていない。

富士山南斜面の植物の分布に関する研究では、イタドリのパッチの存在が他の植物に定着の場を与え、植物の分布や遷移の進行に大きな影響を及ぼすことが示された（Masuzawa 1985, Adachi *et al.* 1996）。一方、富士山北斜面ではイタドリのパッチはほとんど見られず、かわりに矮性化したミネヤナギのパッチが存在している。ミネヤナギのパッチ内にはしばしば他種やカラマツの実生や稚樹が存在しており、ミネヤナギパッチは、カラマツをはじめ他種の定着に好適なマイクロサイトを与えている可能性がある。しかしながら、ミネヤナギのパッチが植物の分布や遷移の進行に及ぼす影響に関する研究はいまだなされていない。

富士山樹木限界周辺の植物群集は、まだ安定しておらず遷移進行の過程にある（Hayata 1911, Thoyama 1968, Masuzawa 1985）。また、樹木限界は、温度条件から考えると、標高2,700～2,800mまで上昇すると考えられており（大沢ら 1971）、樹木限界は上昇の過程にあるといえる。植物間の正の効果である促進作用は、遷移の進行に対して重要な役割を果たしていると考えられてきた

(Connell and Slatyer 1997)。富士山における樹木限界移行帯の形成過程は、移行帯に定着した匍匐型のカラマツによって、風などの環境ストレスが緩和され、新たに定着するカラマツの順調な生育から亜高山帯針葉樹林を形成していくと報告されている(丸田 1996)。樹木限界付近におけるカラマツ実生の定着過程におけるミネヤナギの効果を明らかにすることは、樹木限界の上昇を遷移の面から考える上でのキーポイントとなることが期待される。

植物間の正の作用は、植物群集の構築に影響を与える要因のひとつであり(Callaway 1995, Callaway and Walker 1997, Holmgren et.al. 1997)、特に、厳しい環境下で重要である(Bertness and Callaway 1994, Callaway 1995)。厳しい環境において、他種の定着と生残を助長するような植物をナース植物と呼ぶ(Muller 1953, Niering et.al. 1963, Turner et.al. 1966, 1969, Steenbergh and Lowe 1969, 1977)。ミネヤナギパッチは、カラマツ実生や他の種にとってナース植物である可能性を持つ。一方で、ナース植物による効果は、効果を受ける植物が実生のときに強くみられるが、その後成長とともに、その正の効果が弱まったり、競争等の負の効果に移行することも知られている(Pugnaire et.al. 1996, Callaway and Walker 1997)。また、ナース植物による効果は、正と負の効果を同時に引き起こすこともある(Franco and Nobel 1988, 1989, Nobel 1989, Barton 1993, Callaway 1994)。従って、ミネヤナギパッチのカラマツの実生に対するナース効果の評価には、カラマツ実生の成長にともなうその効果の変化も考慮する必要がある。

本研究は、富士山北斜面樹木限界付近のスコリア荒原において、植物の分布パターンを明らかにすること、さらに、ミネヤナギパッチの存在がカラマツや他の種の分布に影響を与えている可能性について検討した。また、ミネヤナギパッチがカラマツの定着に対して影響を与えているかを評価し、ミネヤナギパッチの正と負の効果を明らかにすることを目的とした。最後に、地球温暖化の影響について議論した。

② 調査地と材料

本研究では、富士山北斜面スバルライン終点から100 mほど上昇した標高約2,400 mの樹木限界付近(北緯35° 23′、東経138° 44′)において調査を行った(図2-1)。日本の山岳地域では、森林限界を越えると一般的にはハイマツ(*Pinus pumila*)の低木林が優占する。ハイマツは、氷河期に北方から南下し、北海道・本州まで分布したが、後氷期の気候の温暖化とともに高山に隔離分布されたものと考えられており、富士山のような歴史の新しい火山には分布していない。富士山の樹木限界では、カラマツ(*Larix kaempferi*)が優占し、樹木限界より上部では、玄武岩由来の火山性噴出物(スコリア)の荒原が広がっている。スコリア荒原には、オンタデ

(*Polygonum weyricii*)、フジハタザオ(*Arabis serrata*)、イワツメクサ(*Stellaria japonica*)、ミヤマオトコヨモギ(*Artemisia pedunclosa*)、コメススキ(*Deschampsia flexuosa*)のような高山性の草本種が散在しており、木本種ではコケモモ(*Vaccinium vitis-idaea*)、ハナヒリノキ(*Leucothoe grayana*)や矮性化したミネヤナギ(*Salix reinii*)、ダケカンバ(*Betula ermanii*)、カラマツ、ミヤマハンノキ(*Alnus maximowiczii*)などが存在している。矮性化したミネヤナギは、大小のパッチを形成し、パッチ内には草本種・木本種がしばしば生育している。

ミネヤナギは、本州中部以北から北海道の山地帯から亜高山帯に分布する。生育地によって樹形は大きく変化して、林縁では高さ5メートルに達するが、樹木限界を越えると匍匐型となる。富士山のスコリア荒原では、高さ約10cmほどに矮性化し、パッチを形成する。カラマツは、亜高山帯の先駆樹である。富士山、浅間山、八ヶ岳山系に多く自生し、垂直分布の範囲は標高1000~2800mである。落葉高木で高さ30mにもなるが、富士山の風衝地では、強風・低温のため偏形化、匍匐化している。

③ 方法

③-1 分布パターンの解析

樹木限界のスコリア荒原に20×20mの永久方形区(方形区A)を1998年6月24日に設置した。この方形区において、出現したすべての草本・木本種の位置、パッチあるいは樹冠の長径と短径、高さ、木本種のついては基部径を測定した。カラマツについては芽鱗痕より樹齢を測定し、植物が密生してパッチを形成している場合には、パッチの長径と短径を測定した。また、ミネヤナギとカラマツについては、方形区Aの近くに25×15mの永久方形区(方形区B)を1998年8月11日に設置し、位置、パッチあるいは樹冠の長径と短径、高さ、カラマツについては基部径、また、芽鱗痕より樹齢を測定した。

出現種の分布様式をI δ 指数(Morisita, 1959)を用いて解析した。I δ 指数は、分布様式を解析するときに用い、値が1の場合がランダム分布、値が0の場合完全な均一分布、値が1以上の場合集中分布であることを示す。なお、ここでは植物個体の占める面積を考慮せず、植物個体を点として扱い、解析を行った。

また、出現種がミネヤナギのパッチ内に偏って出現するかどうかを、 χ^2 検定を用いて解析した。調査面積全体に占めるミネヤナギパッチの面積によって、偏りのない場合の出現数の期待値を計算し、期待値からの出現の偏りを検定した。

③-2 カラマツの実生の生残と成長

方形区A、B内に出現するカラマツ、ミネヤナギ全個体をマークし、翌年の夏にカラマツ実生の生残率を調べた。また、2つの永久方形区においてミネヤナギパッチの長径と短径からパッチ面積を算出し、パッチ内と裸地でのカラマツ実生の密度を求めた。

永久方形区の周辺のミネヤナギパッチの内側と外側において、0年生から7年生までのカラマツ実生を各齢それぞれ約10個体採取した。ただし、2、4、7年生のものは、5個体以下しか採取できなかった。カラマツの齢は、芽鱗痕または年輪の判別によって決定した。採取した個体の高さ、地際径、年間伸長、主根長を測定し、各試料個体を葉、茎、根に分けて、70℃で72時間以上乾燥させ、重量を測定した。これらのデータを用いて成長解析を行った。カラマツ実生の葉の炭素および窒素含有量を全炭素窒素分析機 (Sumigraph NC-900, 住化分析センター) を使って測定した。

③-3 ミネヤナギパッチ内外の微環境

ミネヤナギパッチ内外の環境データとして、光強度と地温を10分間隔でデータロガー (DS-36IC2, リーブサイエンス) に記録した (2000年6月7日から8月29日)。光強度は光量子密度を光量子センサーを用いて測定した (IKS-27, 小糸工業)。光量子センサーはスコリア荒原の裸地の高さ5cm、ミネヤナギパッチ内の高さ5cmと3cmのところに設置した。また、地温は、裸地とパッチ内のスコリア土壌の地表面と地下5cmのところに銅-コンスタンタン熱電対 (素線径0.2mm, 林電工) を設置し、測定した。

ミネヤナギパッチ内外の土壌水分を比較するために、他の植物の侵入のないパッチを3個選び、各パッチの内側および外側の2カ所の地点より、面積100cm²、地表からの深さ5cmまでのスコリア土壌を採取した (2000年8月4日)。採取した土壌を密封して実験室に持ち帰り、生重を測ってから室温で十分に風乾した後に重量を測定した。さらに、70℃で72時間以上絶乾した重量を測った。風乾重、絶乾重と生重の差から含水率を算出した。

土壌中の全窒素量をミネヤナギパッチの内外で比較するために、植物の侵入のないパッチ6個について各パッチの内側および外側の3カ所の地点より、表層から深さ1cmと5cm地点で25cm²のスコリア土壌を採取した。土壌試料は、十分に風乾した後、目に見える有機物を取り除き、粒径1cm以下のスコリアをすりつぶし、全炭素窒素分析機 (Sumigraph NC-900, 住化分析センター) で炭素および窒素含有量を測定した。また、植物に利用可能な窒素量、硝酸態窒素とアンモニア態窒素を調べるために、他の植物の侵入のないミネヤナギパッチを3個選び、各パッチの内側および外側の2カ所の地点より、面積100cm²、地表から深さ5cmまでのスコリア土壌を採取した。硝酸態窒素は、土壌試料50gに蒸留水50mlを加えて100回/minで30分間振とうし、濾過後、溶液を比色法 (ダブルビーム分光光度計U-2001, HITACHI) によって測定した。アンモニア態窒素は、土壌試料20gにKCl溶液50mlを加えて100回/minで30分間振とうし、濾過後、溶液を比色法 (ダブルビーム分光光度計U-2001, HITACHI) によって測定した。

表層のスコリアの動きを調べるために、植物の侵入のないミネヤナギパッチを5個選び、各パッチの内側および外側の3カ所の地点に直径15cmの円をペンキで描いた。1年後に、10×10cmの正方形を100等分した枠をマークした場所に置き、ペンキの残った部分の被度を求め、スコリアの動きを推定した。

④ 結果

④-1 分布パターン

方形区Aに出現した種の分布図を図2-2に、方形区Bに出現したミネヤナギとカラマツの分布図を図2-3に示す。方形区Aに出現した種は、木本種4種；ミネヤナギ (n=61)、カラマツ (n=96)、ダケカンバ (n=59)、ミヤマハンノキ (n=8)、草本種5種；オンタデ (n=278)、イワツメクサ (n=209)、フジハタザオ (n=135)、ミヤマオトコヨモギ (n=22)、コメススキ (n=1) であった。ミヤマハンノキ、ミヤマオトコヨモギ、コメススキは個体数が少ないため分布解析から省いた。また、方形区Bに出現したミネヤナギは144個体、カラマツは269個体であった。

これらの分布図から、方形区AおよびBでの出現種の空間分布様式を森下のIδ法を用いて解析した結果を図2-4、図2-5に示す。方形区の分割は、方形区の横軸を1/2、次に縦軸を1/2と交互に2等分し、方形区Aで10回、方形区Bで8回行った。

方形区A、Bにおいて、カラマツ、ダケカンバ、イワツメクサ、フジハタザオは、集中分布を示した。一方、ミネヤナギ、オンタデは、ランダム分布を示した。

個体数が十分にあるイワツメクサ、オンタデ、フジハタザオ、カラマツについて、ミネヤナギパッチ内外への出現の偏りを検定した (表2-1)。イワツメクサ、オンタデ、フジハタザオの検定は方形区A (400m²) において、カラマツの検定は方形区AおよびB (775m²) において行った。イワツメクサ、フジハタザオ、カラマツの3種は、ミネヤナギパッチ内に偏って出現する傾向が強くみられた。オンタデは、ミネヤナギパッチの内か外かに関係なくランダムに出現する傾向にあった。

つづいて、カラマツを基部径でクラス分けし、各クラスについて出現の偏りを検定した (表2-2)。基部径1.0mm未満のカラマツ実生は、ミネヤナギパッチの内か外かに関係なくランダムに出現する傾向にあったが、基部径1.0mm以上になるとミネヤナギパッチ内に偏って出現する傾向にあった。とくに、基部径2.0~4.0mmクラスにおいてはパッチ内に偏って出現する傾向が強くみられた。

④-2 カラマツ実生の生残と成長

方形区Bにおけるミネヤナギパッチ内外での齢ごとのカラマツ実生の年間生残率を図2-6に示す。パッチ外における当年生実生の死亡率は24.1%、1および2年生実生では46.7%と著しく高かった。また、4年生実生以

上では枯死個体はみられなかった。一方、パッチ内の実生は、1および2年生実生で6個体中1個体、5年生実生で8個体中1個体が枯死していた。また、当年生、3、4、6、7、8年生では枯死個体はみられなかった。

つづいて、ミネヤナギパッチ内外のカラムツの密度を基部径クラス別に比較し、図2-7に示す。方形区A、Bをあわせた結果(775㎡)、ミネヤナギパッチ面積と裸地面積よりカラムツの密度を算出した。基部径1.0mm未満では密度に差はなかったが、基部径1.0mm以上ではパッチ内の方が密度が高いことが示された。出現実生数の年変動の効果を除いて密度の変化を比較するため、ミネヤナギパッチ内とパッチ外の密度の比を基部径クラス別にみた(図2-8)。カラムツの基部径1.0mm未満での比が0.96と1に近いことから、カラムツは同じ確率でパッチ内外に加入するとみなされた。定着初期段階(基部径1.0mm以上4.0mm未満)で0.96→3.32→6.04とパッチ内の密度比が増加し、基部径8.0mm以上で5.52→3.29→3.19と密度比が減少した。

ミネヤナギパッチ内外からのサンプリングによって十分に個体数が得られた0、1、3、5、6年生のカラムツ実生を用いて成長解析を行った。パッチの内と外におけるカラムツ実生の齢と自然高および茎の長さとの関係を図2-9に示す。高さとの両方において、1および3年生ではパッチ内外で差はみられなかったが、0、5、6年生においてはパッチ内の方が有意に大きかった。さらに、ミネヤナギパッチ内外における各齢それぞれのカラムツ実生の伸長成長を比較すると、1および3年生ではパッチ内外において差はみられなかったが、5、6年生においてパッチ内実生の方が伸長成長速度が有意に速いことがわかった(図2-10)。

カラムツ実生の基部径、葉、茎、根を含めたバイオマスの比較を図2-11に示す。基部径の比較では0および1年生でパッチ外の方が有意に大きいが、3、5、6年生では有意な差がみられなかった。全バイオマスの比較ではすべての齢においてパッチ内外に有意な差はみられなかった。

ミネヤナギパッチ内外におけるカラムツの実生の地上部と地下部の比(T/R比)、非光合成器官と光合成器官の比(C/F比)、茎密度の比較を表2-3に示す。茎密度は茎の体積の測定ができなかったので、茎の乾燥重量を基部径の2乗と茎長の積で割った値をその指標とした。T/R比をみると、0、1、3年生では有意な差はみられなかったが、5、6年生においてパッチ内の実生の方が地上部の割合が地下部に比べて有意に大きかった。C/F比をみると、1年生においてパッチ内の実生の方が光合成器官より非光合成器官の割合が大きかったが、0、3、5、6年生では有意な差はみられなかった。茎密度においては、当年生ではパッチ内の実生が有意に高く、5、6年生においてはパッチ外の実生が有意に高かった。

ミネヤナギパッチ内外におけるカラムツの実生の炭素窒素比(C/N比)、葉の窒素濃度の比較を表2-4に示す。C/N比、葉の窒素濃度においても、1年生でパッチ外の実生の方が窒素が多かったが、0、3、5、6年生においては有意な差がなかった。1年生のパッチ内のカラムツの実生は、パッチ外に比べ葉に窒素濃度が低かった。

④-3 パッチ内外の微環境

スコリア荒原の裸地(高さ5cm)、ミネヤナギパッチ内(高さ5cm、3cm)における成育期間中の日積算光量子密度の季節変化を図2-12に示す。ミネヤナギパッチの平均の高さは約13cmであった(n=209)。5月下旬にミネヤナギが展葉しはじめ、6月下旬に完全に終了した。ミネヤナギの展葉とともに、ミネヤナギの高さより低いところでの光量子密度は低下した。つづいて、裸地(高さ5cm)、ミネヤナギパッチ内(高さ5cm、3cm)における成育期間中の日中10:00~14:00の平均光量子密度を図2-13に示す。パッチ内において、成育期間の7月中旬から8月終わりまでの間は200~300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下に低下し、ミネヤナギより高さの低い実生にとっての光条件は光合成にとって十分ではなかった。

スコリア荒原の裸地とミネヤナギパッチ内における気温(高さ5cm)、地温(地表面0cm、深さ5cm)の季節変化をそれぞれ図2-14A、B、Cに示す。1月下旬から5月終わりまでは積雪があった。5月下旬から8月下旬までのパッチ内の日最高気温は、裸地の日最高気温に比べて約10℃も低かった。地表面0cmにおける温度の日最高地温は、7月中旬から裸地よりもパッチ内の方が10℃弱も低くかった。深さ5cmの地温には、裸地、パッチ内ともにあまり差はなかった。

ミネヤナギパッチ内外でのスコリア土壌の含水率を表2-5に示す。スコリア土壌の含水率は、生重量と風乾重、生重と絶乾重の差によって求めた。パッチ内での含水率は、約7%とパッチ外(約5%)に比べ有意に高かった。

ミネヤナギパッチ内外でのスコリア土壌の窒素濃度を表2-6に示す。全窒素では、深さ1cmにおいては約3倍、深さ5cmにおいては約2倍、パッチ内の方に有意に多く含まれていた。しかし、植物が利用可能な窒素としての硝酸態窒素およびアンモニア態窒素は、貧栄養下のためパッチ内外ともに絶対的な量が少なかった。パッチ内外において有意な差はなかったが、量としてはパッチ外の方で多かった。

スコリア荒原において、スコリア土壌の移動によるカラムツの実生の根返りが枯死する原因のひとつとして考えられる。そこで、スコリア土壌の移動をパッチ内外で比較した(表2-7)。動かなかったスコリア土壌の被度を%で表したため、値が大きいほど移動が小さいことを示す。パッチ内の被度が58.87%なので、パッチ外の

33.67%よりも値が大きく、スコリア土壌の移動が小さいことを示した。

⑤ 考察

⑤-1 植物の分布様式

富士山樹木限界上部のスコリア荒原は、一次遷移の初期段階にある植生である（宮脇 1971）。富士山と同じ新しい火山である桜島において、溶岩上に生育する植物は集中性を示し、遷移が進むとランダム性を示すと報告されている。（Tagawa 1965）。富士山では、ミネヤナギ、オンタデを除いたカラマツ、ダケカンバ、イワツメクサ、フジハタザオが集中分布を示した（図 2-4、2-5）。Tagawa（1965）の研究は溶岩流上で行われた。溶岩流上は凹凸が多く植物が定着できるサイトが限られているため、限られた場所に植物が定着することで集中分布となったと考えられた。一方、本調査地はスコリア荒原上であり、地形的にほとんど均一である。したがって溶岩流上のように植物が定着しやすいサイトが限られているわけではないと考えられる。実際、ミネヤナギとオンタデはランダム分布していた。このことは、これら 2 種がスコリアに最初に定着する種であることを示している。一方、集中分布を示した他の種は、裸地よりミネヤナギのパッチ内に有為に多く出現した（表 2-1）。このことが集中分布を示した理由であると考えられた。これらの種にとってミネヤナギのパッチが定着可能なサイトであり、樹木限界の植物の分布にはミネヤナギのパッチが大きな影響を及ぼすことが示された。

地表面における砂礫の移動は、高山帯の荒原植物群落の成立や生育などを規定している（大場 1969, 小泉 1979, 中条 1983）。このことは、植生の分布に影響を与えていると考えられる。調査地に出現した草本種がミネヤナギパッチ内に偏って出現する傾向は、フジハタザオ、イワツメクサの順で強くみられた。一方、オンタデはパッチ内外にかかわらずランダムに出現していた（表 2-1）。砂礫斜面に生育する植物の地下器官の適応形態は、フジハタザオのように礫の移動にあわせて根の形態を変える砂礫移動順応型、イワツメクサが前述よりやや深く根を張る砂礫移動半抵抗型、オンタデが土壌深部に強靱な直根を張る砂礫移動抵抗型と報告されている（中条 1983, 増沢 1996）。従って、フジハタザオ、イワツメクサは砂礫の移動に対して順応性はもっているものの、ミネヤナギパッチ内という土壌の動きの少ない立地に偏って出現し、オンタデは不安定な立地環境に対処できるため、単独で裸地に生育できること考えた。

樹木限界上部のスコリア荒原において、カラマツはミネヤナギパッチ内に偏って出現する傾向が強くみられた（表 2-1）。また、基部径クラス別にパッチ内への出現の偏りをみたところ、当年生から 2 年生くらいまでの基部径クラス 1.0mm 以下ではパッチ内外にかかわらずランダムに出現していた（表 2-2）。このことは、実生の

加入はパッチ内外で同じ確率で起ることを示している。その後、基部径 1.0mm 以上のカラマツは、パッチ内に偏って出現する傾向が強かったことにより、ミネヤナギのパッチはカラマツの生残にナース植物的な働きを持つことが示された。

⑤-2 カラマツの実生の形態

3 年生までのカラマツの実生に、パッチの内外における成長差はほとんど見られなかった（図 2-7、2-8、2-9）。5 年生から 6 年生になると、パッチ内の実生の方が伸長成長が良くなるが、トータルバイオマス、葉量に差は見られなかった（図 2-7、2-8、2-9、表 2-4）。しかしながら T/R 比や茎の密度の指標はパッチ内外で差が見られた（表 2-3）。以上のことから、パッチの内と外の実生では形態的に変化していることが示された（図 2-15）。ミネヤナギパッチ内の実生は、T/R 比が大きく伸長成長速度が速い「伸長型」の形態をとり、一方、環境が厳しいパッチ外（すなわち裸地）の実生は、T/R 比が小さく茎構造のしっかりした「矮性型」の実生が生き残ったと考えられる。

⑤-3 ミネヤナギパッチがカラマツの定着に及ぼす影響（ナース効果）

ナース植物は、ときとして負の効果も生み出すことがある（Holmgren *et al.* 1997, Callaway and Walker 1997）。砂漠地帯において、ナース植物は、土壌温度の低下や霜の害から保護する正の効果と植物に利用可能な水分と光を奪ってしまうという負の効果を兼ね備えていると報告されている（Franco and Nobel 1988, 1989, Valiente-Banuet *et al.* 1991）。スコリア荒原において、裸地と比較したミネヤナギパッチ内のマイクロサイトは、土壌表面温の低下土壌保水力の高さによって実生を乾燥から保護する効果が見られた（図 2-14A、表 2-5）。また、ミネヤナギパッチ内の土壌にはパッチの外（裸地）に比べて全窒素が多かった（表 2-6）。植物体に吸収可能な無機態窒素はパッチ内外で差が見られなかったが、有機態窒素は漸次分解され無機態窒素に変わることから、パッチ内の土壌の栄養条件は良いと考えられる。一方、ミネヤナギのパッチはカラマツの実生が受ける日中の光強度を低下させた（図 2-12、2-13）。しかしながら、必ずしも光を遮ることが負の効果となるわけではない。すなわち、強光から保護する効果がある可能性もある。本研究からは、どちらの効果が大きいかは明らかにならなかった。さらに、表面砂礫の移動を減少させる効果もみられた（表 2-7）。富士山のような火山荒原では、夏季の地表面の高温による乾燥および表面礫の移動による根抜けや倒伏が、実生の枯死原因になる可能性があると考えられている（大場 1969, 小泉 1979, 中条 1983, 梨本ら 1999）。このためミネヤナギのパッチの存在の結果生じる高温や土壌の乾燥緩和効果、砂礫の移動の減少効果は重要であると考えられた。

ナース効果は、それを受ける植物が実生のときに強く見られるが、その後成長とともに、その正の効果が弱まったり、競争等の負の効果に移行することも知られている (Pugnaire *et.al.* 1996, Callaway and Walker 1997)。ミネヤナギパッチのナース効果は、カラマツの実生の齢とともに変化を見せた (図 2-14)。カラマツの実生の定着初期段階において、ミネヤナギパッチの表面砂礫の移動防止や乾燥の緩和などの保護効果により、ミネヤナギパッチ内でのカラマツの実生の生残率が高くなった。このミネヤナギパッチのナース効果は、基部径が4.0mm前後までは強く見られるが、基部径が4.0mm以上すなわちカラマツがミネヤナギの高さを越えると、ミネヤナギパッチ内の死亡率がパッチ外 (裸地) より高くなった。これは、カラマツの実生がミネヤナギの高さを越えることで、保護効果が低下し、ミネヤナギパッチ内で形成されたカラマツの実生の形態が、成長にともなってさらされる厳しい環境、例えば強風などに対して不利になるためであると考えた。また、カラマツが集中分布していたことから詳細な調査は行えなかったが、ミネヤナギパッチ内でのカラマツの種内競争が影響を及ぼしている可能性もあると考えた。

⑤-4 ナース効果と遷移の進行および地球温暖化の影響

富士山南斜面の樹木限界においては、イタドリのパッチがナース植物として作用している (Masuzawa 1985, Adachi *et.al.* 1996)。南斜面は約300年前の宝永の噴火の影響を受けており、現在の樹木限界は標高約1400n付近にある。北斜面の樹木限界付近にイタドリのパッチが見られないのは、樹木限界が標高約2400m前後にあり、イタドリの生育限界に近い (Maruta 1983, 1994) であると考えられる。富士山の樹木限界は、温度条件から考えるに、標高2,700~2,800mまで上昇すると考えられている (大沢ら 1971)。四国・本州の温量指数45~15の標高域は亜高山帯針葉樹林となる (吉良 1949)。調査地である北斜面標高2,400mにおける温量指数は15以上であった (表 2-8)。実際に、富士山の西斜面では樹木限界は標高2,900mまで達しており (岡 1992)、北斜面においても樹木限界がさらに上昇することが推測される。

スコリア荒原でのカラマツの定着過程に対してのミネヤナギパッチのナース効果は、定着の初期段階においても最も重要であった。ミネヤナギパッチのナース効果によって定着しミネヤナギの高さを越えたカラマツの実生は、形態的に不利なため裸地に生育しているカラマツよりも死亡率は高くなったが、定着初期の効果によって10年経っても密度はより高い。パッチ内のカラマツは、パッチ外 (裸地) において生き残った匍匐型のカラマツとともに、風などの環境ストレスから新たに定着するカラマツを保護し (丸田 1996)、樹木限界の上昇を促進する役割を果たすと思われる。

以上のように本研究から、スコリア荒原上の植物の分布にミネヤナギのパッチが大きな影響を及ぼす事が示された。さらに、樹木限界の森林を形成するカラマツの定着にミネヤナギのパッチが重要であることが示された。従って、富士山の樹木限界の動態を考える場合、カラマツの種子生産や実生の定着、成長に温暖化が及ぼす影響を考慮するだけではなく、ミネヤナギの定着と成長に対する温暖化の影響を解明する必要があることが明らかになった。今後も、研究を続けていくことで、ミネヤナギの成長速度や定着、枯死について明らかになってくる。今後の研究が待たれる所である。また、温暖化の影響は生育気温が上昇するだけではない (図 2-17)。単に気温が上昇するだけであれば、気温の上昇に伴い植物の生育期間が延び植生の上昇が加速されることが容易に想像される。しかしながら、気温の上昇にともない地温や降水量の変化や、富士山のように独立峰では風の変化が予想される。風が変化すれば霧の発生や雲の発生が変化し日射が変化する。このように、温暖化は富士山の気象を複雑に変化させる。また、気候の変化により、雪崩などの攪乱の頻度や規模が変化することも予想される。カラマツの定着にはこれらの要因 (土壌水分や地温、強風、礫の移動など) が大きく関することは先に述べた。残念ながら、地球温暖化にともないこれら気候要因がどのように変化するかを予想することは非常に困難である。特に富士山のような局所的な気象を予想することは現段階では不可能である。本研究から現在の森林限界付近の植物の分布に地球温暖化が及ぼす影響を予想することは現段階では不可能であることが明らかになった。一方で、本研究で設置した永久方形区は、今後調査を続けていくことが可能である。つまり、調査を続けていくことで、今後スコリア荒原がどのように変化するかを直接観察することが可能である。今後も調査を続けることで、樹木限界の生成過程を明らかにする予定である。

(3) 「青木ヶ原溶岩流上の針葉樹林」

① はじめに

富士山では有史時代にも数多くの噴火が起っており、これらの噴火に伴い放射状に噴出した溶岩流は山麓の人々から丸尾と呼ばれている。古い山体の上に新しい溶岩で被覆された丸尾上には、鷹丸尾のハリモミ林や剣丸尾のアカマツ林のように周囲とは異なった独特の植生が成立する。この中の一つが青木ヶ原丸尾上に発達したヒノキ・ツガ林であり、樹海として知られている。このような森林は火山噴火後の一次遷移途上の植生と考えられ、森林構造の把握と遷移的な動態を明らかにすることが本研究の第一の目的である。また現在の青木ヶ原の植生構造と遷移的な動態を明らかにすることによってその将来に対する地球温暖化の影響について考察する。

② 調査地と方法

②-1 調査地の概況

調査対象地域は山梨県鳴沢村に位置する富士北麓の青木ヶ原溶岩流上に成立するヒノキ・ツガ林である。青木ヶ原溶岩は富士山の最新期溶岩の一つであり西暦864年に長尾山噴火口から噴出したとされている。現在では溶岩流は東経138° 36′ ~41′、北緯35° 27′ ~30′の間の面積約50km²に及ぶ広大な地域に広がっており、その大部分には針葉樹（ヒノキとツガなど）を中心とした森林が形成されている（呉ら 1989）。調査対象としたヒノキ・ツガ林の林床は現在でも溶岩が地表面に露出しており、溶岩に着生したコケ類を除くと林床草本は少ない。また土壌は未成熟で主に針葉樹のリターとその腐植からなっている。精進湖測候所(836m)の気象データでは年平均気温約10.1℃、年降水量は2000mmで、この地域は冷温帯落葉広葉樹林帯である。

②-2 植生調査

青木ヶ原を縦断する県道に隣接した標高約1000mの地点に0.25ha (50 m×50 m)の永久コドラートを2000年に設置し、25個の10×10 mのサブコドラートに分割した。2000年から2001年に掛けて、サブコドラートごとに樹高、1.3 m以上のすべての樹木個体（萌芽を含むので厳密には幹）について位置と胸高直径を測定した。出現した樹木は佐竹ほか（1999）の記載に従って高木種（最大樹高10m以上）、亜高木種（5 mから10m）、低木種（5 m以下）に分類した。

③ 結果

③-1 青木ヶ原ヒノキ・ツガ林の群落構造

0.25 haの永久方形区における毎木調査で28種の樹木が出現した（表2-9）。このうち常緑針葉高木種が4種、落葉広葉高木種が13種、亜高木種が4種、低木種が7種であった。胸高断面積合計は60.45 m² ha⁻¹に達し、比較的よく発達した針葉樹林であった。胸高断面積合計の相対値（RBA）では、ヒノキが45.4%、ツガが26.3%であり、この2種で70%を超えてヒノキ・ツガの優占群落と呼ぶことが出来る。それ以降はヒメコマツ5.2%、ミズメ5.3%、ミズナラ3.9%、ミヤマザクラ3.1%、コミネカエデ2.2%の順でそれ以外の種はRBAが2%以下であった。本数密度でもヒノキの968本ha⁻¹が最も多かった。また低木種のアセビ（924本）と亜高木種のソヨゴ（660本）がこれに続いており、林冠層の下にはこの2種が比較的多く出現していた。この森林での最大直径は79.0cmのヒメコマツでありヒノキやツガなどにおいても直径50 cmを超えるような大径木が見られた。

主要樹種の直径階分布を見ると（図2-18）、ヒノキは典型的な逆J字型分布を示しており特に直径5 cm以下の細い個体が数多く存在していた。ツガについては直径5 cm以下の細い個体はそれほど多くはないが逆J字型に近い分布である。また落葉樹に関してはミズメやミヤマザ

クラなどは直径10-20cm程度にピークを持った直径階分布を示すものが多く、針葉樹に比べて小径木の個体が少なかった。

③-2 パッチ構造と群落動態

永久方形区内の植生は、ツガやヒノキの大径木が存在するエリアと落葉樹が多く存在するエリアに相観的に区分できる。このようなパッチ構造を明確にするためにサブコドラート（各100 m²）を一つの単位としてサブコドラート毎の出現種のRBAを相対優占度に用いて、TWINSpan法による群落分類を行った。この分類の結果RBA 20-30 %のツガを指標種として、指標種の存在するPositive group（12個のサブコドラート）と、指標種の存在しないNegative group（13個のサブコドラート）の二つのグループにコドラート内を分類できた（図2-19）。

この二つのグループ内での各種の分布を常緑針葉樹と落葉広葉樹の代表種について図示した（図2-20）。その結果Positive groupには当然ながらツガが特異的に出現する傾向が明確であった。一方でヒノキについてはコドラート全体に分布しているが、大径木個体に注目するとややPositive groupに集中する傾向があった。このためここでは方形区内のサブコドラートのPositive groupを針葉樹パッチと呼ぶ。またツガがほとんど存在しないNegative groupに注目するとミヤマザクラはほぼこのグループ内だけに出現した。またミズメについてもこのグループに多く出現する傾向にあることが読み取れた。このためNegative groupについては落葉樹パッチと呼ぶ。このように今回設置した永久方形区内では全体としてはヒノキとツガが優占する針葉樹林とみなすことが出来たが（表6）、詳細なパッチ構造を見ると、ツガや大径木のヒノキが多い針葉樹パッチとミズメやミヤマザクラの多い落葉樹パッチに区分でき、この二つのパッチは森林動態において異なった段階にあると考えられる。

そこでそれぞれのパッチごとに集計して主要樹種の直径階分布を作成すると（図2-21）針葉樹パッチではヒノキやツガの大径木個体が多い傾向があった。ヒノキについては直径20cm以下の細いサイズクラスの個体も存在するが枯死率が高い傾向にあった。特にツガについては直径20cm以下の細いサイズクラスの個体は針葉樹パッチには極端に少なかった。またミズナラの大径木個体が数本出現するように全く針葉樹パッチ内に落葉樹種が全く存在しないわけではないがミヤマザクラやミズメの出現個体数は少なかった。一方でミズメやミヤマザクラが林冠を構成する落葉樹パッチ内では針葉樹の出現が全く見られないわけではない。ヒノキについては特に直径5 cm以下の稚樹サイズの個体が非常に多く出現し針葉樹パッチに比べて枯死率は低い傾向にあった。またツガについては直径が20cm以下の細いクラスの個体のほとんどが落葉樹パッチに、20cm以上の太いクラスの個体のほと

んどが針葉樹パッチに出現するといった極端な分布の偏りが観察された。

④ 考察

④-1 青木ヶ原ヒノキ・ツガ林での群落動態

一般的に森林群落内の各樹木の更新型は大きく一斉更新型・ギャップ更新型・連続更新型に分けられ成熟相の直径階分布のパターンによって識別することが可能である(大沢 2001)。例えば落葉樹パッチに多く出現し稚樹個体を持たない一山型の分布を示すミズメやミヤマザクラは、その更新のためにある程度の攪乱を必要とし、攪乱後林冠が閉じるとその後には同じ種の侵入は見られないために直径階分布は連続的にならない。一方で逆J字型の直径階分布は一般的には耐陰性が強くて林内での連続的な成長が可能である極相樹種のサイズ分布パターンとみなされていた。しかし現実的には林冠を構成する極相樹種でそれほど強い耐陰性を持った樹種は少なく、通常は耐陰性が極端に強い下層種(このサイトではソゴなど)に見られるという。

本研究においても森林全体で直径階分布を作成するとヒノキとツガの2種は逆J字型分布を示し連続的な更新を行っているように見られた(図2-18)。しかしながら林内を落葉樹パッチと針葉樹パッチに区分してそれぞれのパッチ内での更新を見ると、林冠の多くを落葉樹が占めている落葉樹パッチ内にはヒノキとツガは細いサイズの個体が多く、林冠層の多くをツガとヒノキが占めている針葉樹パッチに内にはツガとヒノキの後継木は少ないことが観察された。このことから青木ヶ原のヒノキ・ツガの針葉樹林内では次のような更新動態を予測することが可能である。ヒノキやツガの大径木の優占する林内は一般的に冬季も非常に暗く、ヒノキやツガを含めて高木樹種の更新は困難な状況にあると考えられる。實際上針葉樹パッチ内にはヒノキやツガを含めて高木樹種の稚樹個体は少ないために、このような森林内でもし針葉樹の大径木個体が倒れるような攪乱が起きた場合には、最初に侵入するのは針葉樹ではなくミズメやミヤマザクラなどの成長の速い落葉樹だと考えられる。

その後このような攪乱立地は落葉樹種が成長して林冠を構成する落葉樹パッチを形成するが、落葉樹パッチ内はヒノキやツガの林内に比べて相対的に明るいと考えられ、ヒノキやツガなどの針葉樹の更新立地として利用されることが考えられる。また落葉樹パッチ内では当然冬季にはかなりの明るさになるのでこのことは常緑樹であるヒノキやツガの更新に有利に働くと考えられる。このような更新動態の結果として、大径木のツガやヒノキが優占して小径木個体の少ない針葉樹パッチと、林冠に落葉樹が優占して下層にはヒノキやツガの後継個体の多い落葉樹パッチが、モザイク上に混じった森林構造を形成していると考えられる。

④-2 青木ヶ原ヒノキ・ツガ林の遷移的動態と地球温暖化に対する影響

青木ヶ原溶岩流が被覆している富士北麓地域は標高的には900-1300m程度の範囲であり基本的には冷温帯落葉広葉樹林帯に含まれる地域であり、潜在的な極相としてはブナやミズナラなどが優占する落葉広葉樹林である。調査地と標高的にはほぼ同じ大室山山麓には地形的な要因によって青木ヶ原溶岩の被覆を免れた地域が一部残っている。このような地域では溶岩流上とは異なり、十分な土壌形成が見られミズナラ・イヌブナ・ブナなどの落葉広葉樹が現在優占している。このためここで調査を行った青木ヶ原のヒノキ・ツガ林は基本的には一次遷移の途中相であり、将来的には土壌の発達に伴い落葉広葉樹林に遷移していくことが予想される。しかしながら現在の青木ヶ原の森林構造は落葉樹パッチと針葉樹パッチがモザイク上に混じり合っており、針葉樹の攪乱立地では落葉樹が一時的にギャップを埋めた後に再びヒノキとツガを中心とする針葉樹の優占する森林に戻っていくというようなサイクリックな動態が予測された。

さらに永久方形区内には冷温帯林の極相種である落葉樹種としてはミズナラがわずかに見られるだけで、極相性落葉樹の稚樹や実生もほとんど存在しなかった。このような意味で、現段階で青木ヶ原樹海を構成しているヒノキ・ツガ林はかなり安定的な更新をしており、針葉樹林から落葉樹林へと遷移的に交替していくような傾向も見られないことから地形的な極相群落とみなすことも可能である。このように現段階では青木ヶ原丸尾上の植生はマクロスケールでの植生帯を決定する気温的な要因によって制御されているのではなく、噴火後の歴史が浅い溶岩流上といった特異的な環境条件に成立した群落であり土壌的な要因(栄養塩類や保水力の不足、根を張る基質である土壌の未発達など)によって種の分布が制限されていると考えられる。

地球温暖化などの気温変化に対する影響について考えた場合、このような特異的な立地に成立した植生においては、冷温帯極相のブナ林のように気温によってその分布が決定されているような植生とは異なった反応が考えられる。マクロスケールでの植生帯は第一義的には温度(年平均気温や最寒月の平均気温など)によってその分布が決定されているので、地球の気候変動に伴う氷河の移動とともに植生帯も移動していくように、植生は地球温暖化によって直接的に大きな影響を受ける。一方で土壌水分や栄養塩のような土壌要因によってその分布が決定されている青木ヶ原溶岩流上の植生については、例えば温度が1-2℃上昇するということがあったとしても、生態系の時間的な発達に伴って土壌が形成されていくプロセスが最も重要であり、栄養塩の蓄積や土壌構造そのものの発達がなされない限り、直接的な影響は比較的小さいと考えられる。

本研究では青木ヶ原上のヒノキ・ツガ林は地形的な極相群落で比較的安定な更新をしているとみなした。しかしながら現在青木ヶ原丸尾上に落葉樹が少ないことの原因については土壌的な要因だけでなく人為的な要因も考慮する必要がある。特に火山灰地域で気温も低い富士北麓地域は、歴史的には非常に貧しいエリアであり、その人間生活は従来は林野産物にその多くを依存していた(大塚ら2003)。溶岩流出後、青木ヶ原地域の植生がどのように人間に利用されていたかについての記録はあまり残っていない。観察からは大径木の古い切り株などは少ないことからヒノキなどを用材として切り出すような利用は少なかったと考えられる。しかしながら青木ヶ原樹海の森林内には現在でも炭焼き釜の跡がいくつか見つかり、このことはナラ類などの落葉樹を森林内で抜き切りして炭として林外に持ち出すことが、少なくとも1960年代までは日常的に行われていたと考えられる。このことから現在のようなヒノキとツガの優占する特異的な森林の成立に関して、森林利用と言った人為的要因がどのように影響したかについて今後詳しい検討の必要がある。

参考文献

Adachi, N., Terashima, I, and Takahashi, M. (1996) Central die-back of monoclinal stands of *Reynoutria japonica* in an early stage of primary succession on Mount Fuji. *Annals of Botany* 77: 477-486.

Barton, A. M. (1993) Factors controlling plant distributions : drought, competition, and fire in montane pines in Arizona. *Ecological Monographs* 63 : 367-397.
Bertness, M. D., and R. M. Callaway. (1994) Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution* 9 : 191-193.

Callaway, R. M. (1994) Facilitative and interfering effects of *Arthrocnemum subterminale* on winter annuals in a California. *Ecology* 75 : 681-686.

Callaway, R. M. (1995) Positive interactions among plants. *Botanical Review* 61: 306-349.

Callaway, R. M. and Walker, R. L. (1997) Competition and facilitation : a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78 : 1958-1965.

中条広義 (1983) 木曾御嶽山高山帯における表面礫の移動と植生—ミヤマタネツケバナ群落の成立要因について—. *Japanese Journal of Ecology* 33 : 461-472.

Connell, J. H., and R. O. Slatyer. (1977) Mechanisms of

succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* 111 : 1119-1144.

Franco, A. C. and P. S. Nobel. (1988) Interactions between seedlings of *Agave deserti* and the nurse plant *Hilaria rigida*. *Ecology* 69 : 1731-1740.

Franco, A. C. and P. S. Nobel. (1989) Effects of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *Journal of Ecology* 77 : 870-886.

Hayata, B. (1911) The vegetation of Mt. Fuji. Tokyo, Maruzen: 125.

Holmgren, M., Scheffer, M., Huston, M. A. (1997) The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* 78 : 1966-1975.

吉良 竜夫 (1949) 日本の森林帯. 林業解説シリーズ 日本林業技術協会.

小泉武栄 (1979) 高山の寒冷気候下における岩屑の生産・移動と植物群落 I. 白馬山系北部の高山荒原植物群落. *Japanese Journal of Ecology* 29 : 71-81.

Maruta, E. (1983) Growth and survival of current-year seedlings of *Polygonum cuspidatum* at the upper distribution limit on Mt. Fuji. *Oecologia* 60: 316-320.

Maruta, E. (1994) Seedling establishment of *Polygonum cuspidatum* and *Polygonum weyrichii* var. *alpinum* at high altitudes of Mt. Fuji. *Ecological Research* 9: 205-213.

丸田恵美子 (1996) 植生のダイナミズム. 自然環境とエコロジー 丸田恵美子・高木勇夫共著 日科技連出版社 : 3-134.

Masuzawa, T. (1985) Ecological studies on the timberline of Mt. Fuji. I. Structure of plant community and soil development on the timberline. *The Botanical Magazine, Tokyo* 98:15-28.

宮脇 昭 (1971) 富士山の植生. 富士山 富士山総合学術調査報告書 富士急行 : 665-721.

Morisita, M. (1959) Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional pattern.

Mem. Fac. Sci. Kyusyu Univ., Ser. E (Biol.) 2 : 215-235.
Muller, C. H. (1953) The association of desert annuals with shrubs. *American Journal of Botany* 40: 53-60.

Niering, W. A., R. H. Whittaker, C. H. Lowe. (1963) The saguaro : a population in relation to environment. *Science* 142 : 15-23.

Nobel, P. S. (1980) Morphology, nurse plants and minimum apical temperatures for young *Carnegiea gigantea*. *Botanical Gazette* 141 : 188-191.

大場達之 (1969) 日本の高山荒原植物群落. 神奈川県立博物館研究報告 1 : 37-52.

大沢雅彦・鈴木三男・渡辺隆一・入倉清次・阿部葉子 (1971) 富士山における垂直分布帯の形成過程. 富士山 富士山総合学術調査報告書 富士急行 : 371-421.

岡 秀一 (1992) 富士山西斜面における樹木限界の群落構造とその動態. *地理学評論* 57 : 587-602.

Pugnaire, F. I., P. Haase, J. Puigdefabregas, M. Cueto, S. C. Clark, L. D. Incoll. (1996) Facilitation and succession under the canopy of a leguminous shrub, *Retama sphaerocarpa*, in a semiarid environment in southeast Spain. *Oikos* 76 : 455-464.

Steenberg, W. F., and C. H. Lowe. (1969) Critical factors during the first year of life of the saguaro (*Cereus giganteus*) at Saguaro National Monument. *Ecology* 50 : 825-834.

Steenberg, W. F., and C. H. Lowe. (1977) Ecology of the saguaro. II. Reproduction, germination, establishment, growth, and survival of the young plant. National Park Service Scientific Monograph Series Number 8. National park Service, Washington, D. C., USA.

Tagawa, H. (1965) A study of the volcanic vegetation in Sakurajima, southwest Japan. II. Distribution pattern and succession. *Japanese Journal of Botany* 19 : 127-148.

Tohyama, M. (1968) The alpine vegetation of Mt. Fuji. *Journal of Faculty of Agriculture, Hokkaido University* 55: 459-467.

Turner, R. M., S. M. Alcorn, G. Olin., J. A. Booth. (1966) The influence of shade, soil, and water on saguaro seedling establishment. *Botanical Gazette* 127 : 95-102.

津屋弘達 (1971) 富士山の地形・地質. 富士山 富士山総合学術調査報告書 富士急行 : 1-132.

Valiente-Banuet, A., A. Bolongaro, O. Briones, E. Ezcurra, M. Rosas, H. Nunez, G. Barnhard, E. Vasquez. (1991) Spatial relationships between cacti and nurse shrubs in a semisrid environment in central Mexico. *Journal of Vegetation Science* 2 : 15-20.

3) 研究資料

A 誌上発表

- 1) 丸田恵美子、中野隆志 (1999) 中部山岳域の亜高山帯針葉樹と環境ストレス *日本生態学会誌* 49, 293-300.
- 2) 関川清広、杉本和永、木村勝彦、中野隆志、鞠子茂 (2000) 富士北麓の溶岩流上に成立するアカマツ林の種組成、林分構造および樹木の年輪成長 *玉川大学農学部研究報告* 40, 15-29.
- 3) Uemura, A., Ishida, A., Nakano, T., Terashima, I., Tanabe, H. and Matsumoto, M. (2000) Acclimation of leaf characteristics of *Fagus* species to previous-year and current-year solar irradiance. *Tree Physiology* 14, 945-951.
- 4) 中野隆志 (2001) 富士山樹木限界付近に生育する2種のタデ科の先駆植物イタドリとオンタデの光合成と水分収支の日変化 *作物栄養研究会誌* 50: 56-59.
- 5) Ishida, A., Nakano, T., Uemura, A., Yamashita, N., Tanabe, H. and Koike, N. (2001) Light-use properties in two sun-adapted shrubs with contrasting canopy structure. *Tree Physiology* 21, 489-496.
- 6) Ishida, A., Nakano, T., Sekikawa, S., Maruta, E. and Masuzawa, T. (2001) Diurnal changes in needle gas exchange in alpine *Pinus pumila* during snow-melting and summer seasons. *Ecological Research* 16: 107-116.
- 7) 大塚俊之 (2001) 富士北麓アカマツ林における純一次生産量の年変動メカニズムの解明. 第11回テレビ山梨サイエンス振興基金研究報告書: 51-54.
- 8) Anisuzzaman, G.M., Nakano, T and Masuzawa, T. (2002) Relationships between soil moisture and content and root morphology of three herbs on alpine scoria desert of Mt. Fuji. *Polar Bioscience*, 15, 108-113.
- 9) 中野隆志 (2002) 富士山樹木限界付近に生育する2種のタデ科の先駆植物イタドリとオンタデの光合成と水分収支の日変化. *関東の農業気象* 28: 6-9.
- 10) 山村靖夫、柴田麻友子、中野隆志 (2002) 富士山山地帯の貧栄養地に生育する常緑広葉樹と落葉広葉樹の

- 生理生態。In『寒冷な貧栄養地に生育する常緑広葉樹の生活様式に関する研究』平成12～13年度科学研究費補助金基盤研究(c)(1)研究報告書 p11-21.
- 11) 中野隆志、柴田麻友子、菊川真理 (2002) 冷温帯域の貧栄養な溶岩流上に生育する常緑種の初冬と晩冬の光合成の日変化。In『寒冷な貧栄養地に生育する常緑広葉樹の生活様式に関する研究』平成12～13年度科学研究費補助金基盤研究(c)(1)研究報告書 p22-34.
 - 12) Isogai, N., Yamamura, Y., Mariko, S. and Nakano, T. (2002) Seasonal pattern of photosynthetic production in a subalpine ever-green herb, *Pyrola incarnata* Fisch. In『寒冷な貧栄養地に生育する常緑広葉樹の生活様式に関する研究』平成12～13年度科学研究費補助金基盤研究(c)(1)研究報告書 p35-43.
 - 13) 大塚俊之・安部良子 (2002) 高地アカマツ林における炭素循環過程～生態学的手法による炭素固定量の推定～。関東の農業気象 第28号: 41-46.
 - 14) 大塚俊之・鞠子茂・安部良子 (2002) 森林による二酸化炭素吸収量の評価。第28回リモートセンシングシンポジウム講演論文集: 43-48.
 - 15) 大塚俊之・安部良子・中野隆志・鞠子茂 (2003) 剣尾アカマツ林における生態系純生産量の年変動の解明。地球環境推進費「アジアフラックスネットワークの確立における東アジア生態系の炭素固定量把握」報告書 pp1-27
 - 16) 大塚俊之・渡辺美紀 (2003) 土壤炭素フラックスの時空間変動の定量的評価。地球環境推進費「21世紀の炭素管理に向けたアジア陸域生態系の統合的炭素収支研究」報告書 pp1-24
- B 学会発表
- 1) Nakano, T., Mariko, S., Hirota, H., Watanabe, M., and Masuzawa, T. (1997) Diurnal changes of net photosynthesis rates and water relations of two pioneer *Polygonum* species at an alpine timber line of Mt. Fuji. XX. the NIPR Symposium on Polar Biology, Tokyo.
 - 2) 中野隆志、鞠子茂、安部良子、廣田湖美、渡辺雅子、増沢武弘 (1998) イタドリとオンタデの富士山樹木限界における光合成速度及び水分収支の日変化 日本生態学会第45回大会 (京都)
 - 3) 関川清広、中野隆志、石田 厚 (1998) 陽生および陰生高山植物の陽葉～陰葉におけるクロロフィル蛍光特性 日本生態学会第45回大会 (京都)
 - 4) Sekikawa, S. Nakano, T. and Ishida, A. (1998) Chlorophyll fluorescence characteristics of sun and shade leaves in alpine herbs. VII International congress of ecology, Florence, Italy.
 - 5) Nakano, T., Endou, M., Abe, Y., Mariko, S. and Yamamura, Y. (1998) Distribution patterns of plants at a scoria desert near an altitudinal timberline of northern slope of Mt. Fuji. XXI the NIPR Symposium on Polar Biology, Tokyo.
 - 6) Maruta, E., Kumagai, T. and Nakano, T. (1998) Photoinhibition of conifer needles as a cause of tree-line. XXI the NIPR Symposium on Polar Biology, Tokyo.
 - 7) 三村愛美、戸田任重、関川清広、中野隆志、安部良子、鞠子茂 (1999) 開閉式チャンバーによる土壌-大気間のCO₂およびCH₄フラックスの測定 日本生態学会第46回大会 (松本)
 - 8) 磯海のぞみ、山村靖夫、鞠子茂、中野隆志、安部良子 (1999) 亜高山帯の常緑草本ベニバナイチヤクソウの物質生産過程 日本生態学会第46回大会 (松本)
 - 9) 田中格、齋藤隆實、中野隆志、田辺裕美、奥田史郎、松本陽介 (1999) 落葉広葉樹8樹種のガス交換特性 日本林学会第101回大会 (愛媛)
 - 10) 齋藤隆實、田中格、中野隆志、田辺裕美、奥田史郎、松本陽介 (1999) 落葉広葉樹8樹種の水分特性 日本林学会第101回大会 (愛媛)
 - 11) 秋山侃・賣書剛・酒井徹・大塚俊之 (1999) 冷温帯落葉樹林の炭素循環 3. 植生のバイオマス分布、システム農学会1999年秋季シンポジウム・研究発表会, (鳥取)
 - 12) 丸田恵美子、中野隆志 (1999) 森林限界のシラビソにおける強光阻害 日本植物学会第63回大会 (秋田)
 - 13) Nakano, T., Abe, Y. and Mariko, S. (1999) The winter photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics for two evergreen coniferous species (*Chamaecyparis obtusa* and *Tsuga sieboldii*) at a cool-temperate area of Mt. Fuji. XXII the NIPR Symposium on Polar Biology, Tokyo.
 - 14) Nakano, T., Tanaka, A., Ohtsuka, T., Abe, Y. Tanabe, H., Sato, Y., Sakano, C. and Yamamura, Y. (2000) Photosynthetic and water relational characteristics in two co-occurring *Polygonum* species at a scoria desert in an alpine timber line of Mt. Fuji. 2nd International Symposium on Environmental Research in the Arctic and Fifth Ny-Alesund Scientific Seminar, Tokyo.
 - 15) 鞠子茂、中野隆志、大塚俊之、安部良子、関川清広、小泉博 (2000) 冷温帯アカマツ林における土壌炭素循環 日本生態学会第47回大会 (広島)
 - 16) 遠藤潤、山村靖夫、中野隆志 (2000) 富士山樹木限界におけるカラマツの定着に及ぼすミネヤナギパッチの効果 日本生態学会第47回大会 (広島)
 - 17) 小泉博・西村格・秋山侃・莫文紅・大塚俊之・山本晋 (2000) 冷温帯落葉広葉樹林におけるNEP(生態系純生産量)について 第47回日本生態学会, (広島)
 - 18) Endo, M., Yamamura, Y. and Nakano, T. (2000) Nurse plant effect of dwarf *Salix* patches on *Larix*

- seedlings above treeline of Mt. Fuji, central Japan. 43rd International Association for Vegetation Science Symposium, Nagano.
- 19) 中野隆志、田中厚志、大塚俊之、安部良子、田辺裕美、山村靖夫 (2000) 富士山樹木限界スコリア荒原に生育するイタドリとオンタデの光合成と水分特性 日本植物学会第64会大会 (静岡)
 - 20) 大塚俊之 (2000) 森林長期継続調査—その目的と手法— 第2回自然系調査研究機関連絡会議, (山梨)
 - 21) Nakano, T., Maruta, M. and Oguchi, A. (2000) Seedling establishment of *Larix leptolepis*. XXIII the NIPR Symposium on Polar Biology, Tokyo.
 - 22) Tanabe, H., Abe, Y. Ohtsuka, T. Nakano, T. and Mariko, S. (2000) Biomass, net primary production and chronological changes of carbon fixation of *Pinus densiflora* forest established on a lava flow of Mt. Fuji, central Japan. XXIII the NIPR Symposium on Polar Biology, Tokyo.
 - 23) Endo, M., Yamamura, Y. and Nakano, T. (2000) Nurse plant effect of dwarf *Salix* patches on *Larix* seedlings above treeline of Mt. Fuji, central Japan. XXIII the NIPR Symposium on Polar Biology, Tokyo.
 - 24) 遠藤潤、山村靖夫、中野隆志 (2001) 富士山樹木限界におけるカラマツの定着過程に対するミネヤナギパッチの正と負の効果. 日本生態学会第48回大会 (熊本)
 - 25) 田中厚志、山村靖夫、中野隆志 (2001) 富士山亜高山帯上部のカラマツ林におけるシラビソの更新 日本生態学会第48回大会 (熊本)
 - 26) 中野隆志、大塚俊之、田辺裕美、安部良子、田中厚志、山村靖夫 (2001) スコリア荒原上に同所的に生育するタデ科草本イタドリとオンタデの光合成と水分収支 日本生態学会第48回大会 (熊本)
 - 27) 坂田剛、中野隆志、横井洋太 (2001) 富士山五合目に生育するイタドリとオンタデの葉内全蛋白質量とルビスコ活性 日本生態学会第48回大会 (熊本)
 - 28) 安部良子、大塚俊之、中野隆志、河原崎里子、堀良通 (2001) コウヤボウキとナガバノコウヤボウキ (キク科) の垂直分布とフェノロジー 日本生態学会第48回大会 (熊本)
 - 29) Tanabe, H., Abe, Y., Ohtsuka, T., Nakano, T. and Mariko, S. (2001) Biomass, net primary production and chronological change of carbon strage of *Pinus densiflora* forest established on a lava flow of Mt. Fuji, central Japan. Kamchatka Field Symposium "Plant and Volcanoes", Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia.
 - 30) Nakano, T., Tanaka, A., Ohtsuka, T., Abe, Y., Tanabe, H. and Yamamura, Y. (2001) Photosynthesis and water use of two co-occurring *Polygonum* species at a scoria desert of an altitudinal timberline of Mt. Fuji. Kamchatka Field Symposium "Plant and Volcanoes", Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia.
 - 31) Oguchi, A., Maruta, E. and Nakano, T. (2001) Factors affecting the mortality of larch seedlings in different successional stages on Mt. Fuji. XXIV the NIPR Symposium on Polar Biology, Tokyo.
 - 32) 大塚俊之・秋山侃・橋本靖・酒井徹・賣書剛・小泉博 (2001) 冷温帯落葉広葉樹林における樹木成長の推定方法の比較. 第48回日本生態学会大会 (熊本)
 - 33) 鞠子茂、三村愛美、戸田任重、大塚俊之、中野隆志 (2002) 寒冷地生態系における大気〜土壌間CO₂、CH₄、N₂Oフラックスの測定 環境科学会2001年会 (山梨)
 - 34) 磯海のぞみ、鈴木絵美、山村靖夫、中野隆志 (2002) 亜高山帯の常緑性草本ベニバナイチヤクソウの標高にともなう貯蔵物の動態について 第49回日本生態学会大会 (仙台)
 - 35) 田邊裕美、中野隆志、安部良子、大塚俊之 (2002) 富士山溶岩流上に成立したアカマツ林の物質生産、物質分配と窒素利用 第49回日本生態学会大会 (仙台)
 - 36) 田中さやの、山村靖夫、中野隆志 (2002) 光環境の異なるアカマツシュートにおける窒素経済の比較 第49回日本生態学会大会 (仙台)
 - 37) 田中厚志、山村靖夫、中野隆志 (2002) 富士山亜高山帯における攪乱影響下でのカラマツ林からシラビソ林への遷移と更新 第49回日本生態学会大会 (仙台)
 - 38) 坂田剛、中野隆志、横井洋太 (2002) 富士山五合目のイタドリとオンタデの葉の窒素利用と活性酵素消去能 第49回日本生態学会大会 (仙台)
 - 39) 大塚俊之、安部良子、中野隆志、鞠子茂 (2002) 富士山北麓剣丸尾アカマツ林における炭素フラックスと生態系純生産量 (NEP) 第49回日本生態学会大会 (仙台)
 - 40) 高松潔、堀良通、中野隆志、安部良子 (2002) 標高及び光環境の違いが富士山亜高山帯でのカニコウモリの生育に及ぼす影響 第49回日本生態学会大会 (仙台)
 - 41) Mariko, S & Ohtsuka, T. (2002) Soil respiration measured continuously using automated open/close chamber system and net ecosystem production in a Japanese cool-temperate *Pinus* forest. VIII International Congress of Ecology, Seoul, Korea.
 - 42) Ohtsuka, T, Sako, H. & Koizumi, H. (2002) Nutrient responses to fire on shifting cultivation area, central Japan. VIII International Congress of Ecology, Seoul, Korea.
 - 43) 大塚俊之 (2002) 遷移に伴う炭素循環機能の変化〜研究の新しい方向性〜 第50回日本生態学会、つくば.
 - 44) 大塚俊之・後藤徹寛・杉田幹夫・中島崇文・池口仁

- (2002) 富士北麓剣丸尾溶岩流上のアカマツ林の起源
第50回日本生態学会、つくば。新谷健一・大塚俊之・
鞠子茂 (2002) 冷温帯アカマツ林における土壌炭素フ
ラックス 第50回日本生態学会、つくば。
- 45) 酒向宏範・大塚俊之・内田雅巳・津田智・小泉博
(2002) 森林伐採跡地における焼畑が生態系純生産量
に及ぼす影響 第50回日本生態学会、つくば。

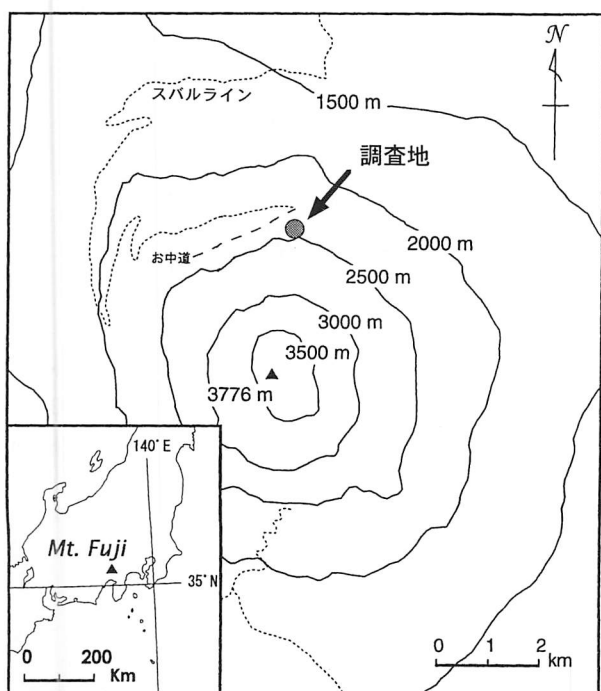


図 2-1 調査地

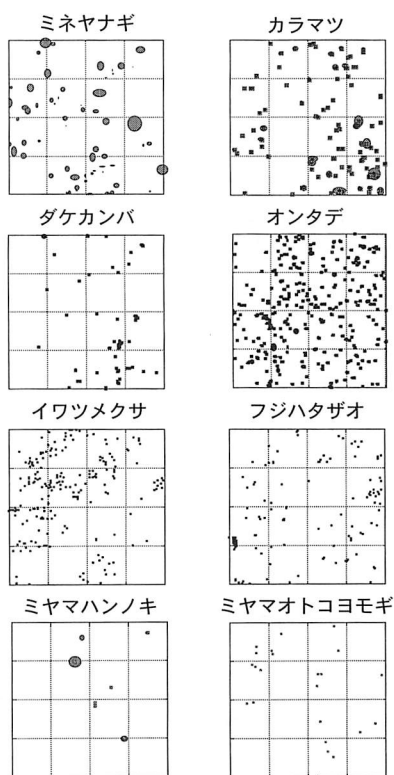


図 2-2 方形区 A (20×20m) に出現した種の分布図。
楕円は、パッチ面積、樹冠投影面積を示す。

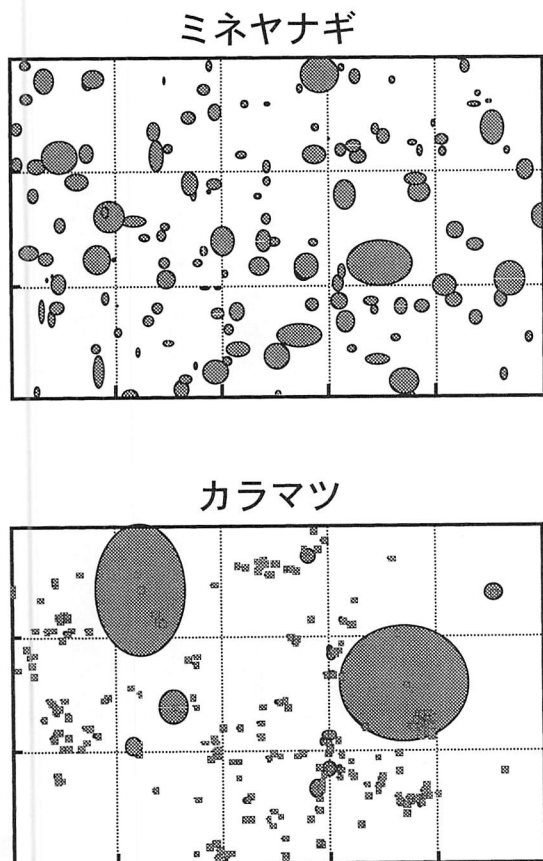


図 2-3 方形区 B (15×25m) に出現したミネヤナギ
とカラマツの分布図。ミネヤナギの楕円は、
パッチ面積を示し、カラマツの楕円は樹冠投
影面積を示す。

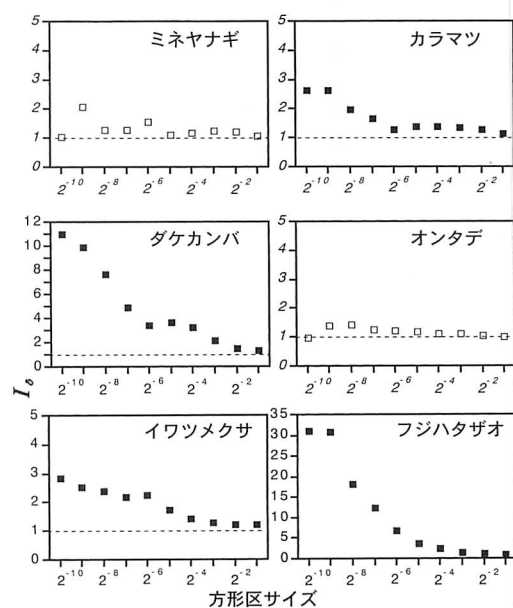


図 2-4 方形区 A に出現した種の I_s 値 (Morisita, 1959)
と分割したコドラートの面積の関係。コドラ
ートの面積は全体を 1 としたときの比で表さ
れている。 $I_s = 1$ のときランダム分布であり、
 I_s が 1 より大きいと集中分布、 I_s が 1 より
小さいとより均一分布となる。■は 1 から有
意な差があるもの、□は有意の差がないもの
を示す (F 検定; $P > 0.05$)。

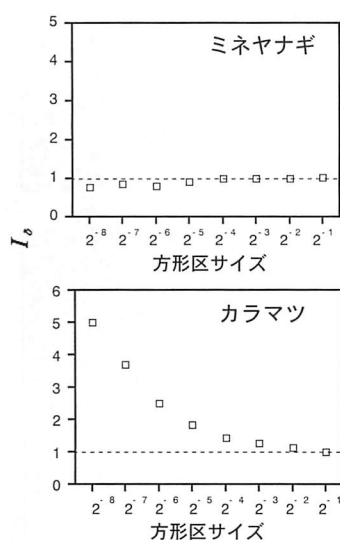


図 2-5 方形区に出現した種の I_d 値 (Morisita, 1959) と分割したコドラートの面積の関係。 $I_d = 1$ のときランダム分布であり、 I_d が 1 より大きいと集中分布、 I_d が 1 より小さいとより均一分布となる。■は 1 から有意な差があるもの、□は有意の差がないものを示す (F 検定; $P > 0.05$)。

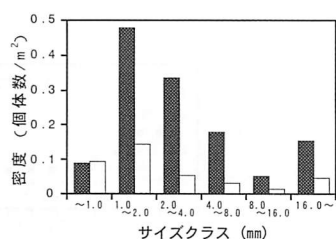


図 2-7 基部径クラス別のカラマツの密度の比較。方形区 A、B をあわせた結果 (775 m²)、ミネヤナギパッチ面積と裸地面積より密度を算出した。■はミネヤナギパッチ内、□はパッチ外を示す。

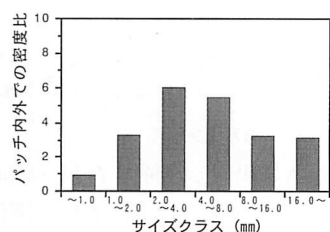


図 2-8 基部径クラスにともなうパッチ内外のカラマツの密度比の変化。図 7 から出現実生数の年変動の効果を消すため、ミネヤナギパッチ内/パッチ外の密度比になおしたもの。1 でパッチ内外で密度が等しく、1 以上でパッチ内の方が密度が高いことを示す。

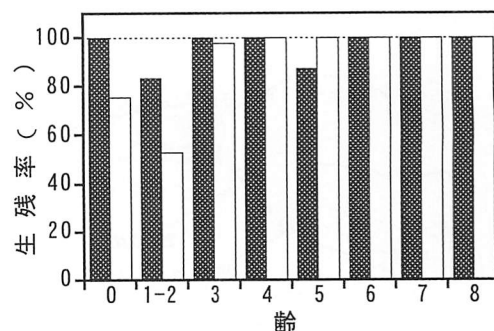


図 2-6 方形区 B におけるミネヤナギパッチ内外でのカラマツ実生の年間生存率 (1999~2000 年)。■はミネヤナギパッチ内、□はパッチ外を示す。

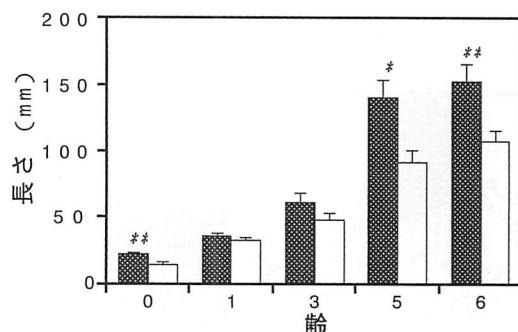
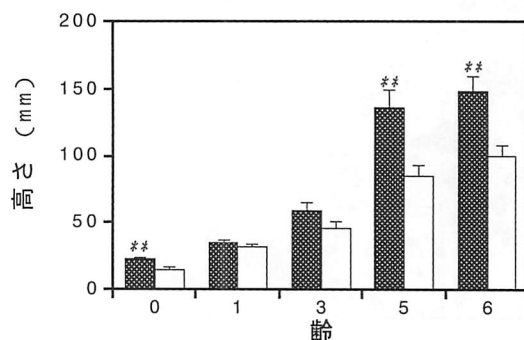


図 2-9 ミネヤナギパッチ内外におけるカラマツ実生の高さ (上) および長さ (下) の比較。■はミネヤナギパッチ内、□はパッチ外を示す。エラーバーは S E を表す ($n = 8 \sim 20$)。* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ (ANOVA)

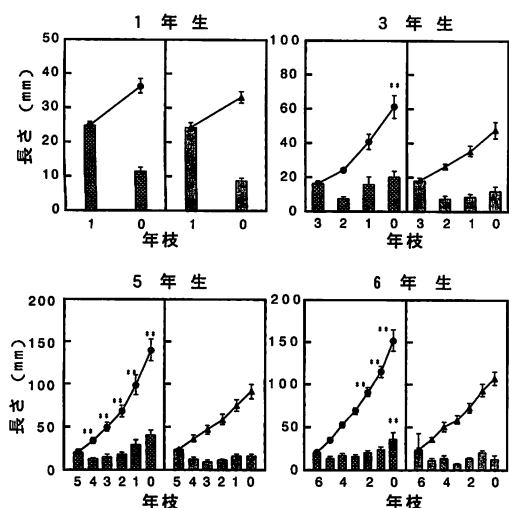


図2-10 ミネヤナギパッチ内外におけるカラマツ実生の伸長成長比較。図中の棒グラフは芽鱗痕から求めた年間伸長量、折れ線はその累積を表す。左側はミネヤナギパッチ内、右側はパッチ外を示す。エラーバーはSEを表す (n = 8~20)。* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ (ANOVA)

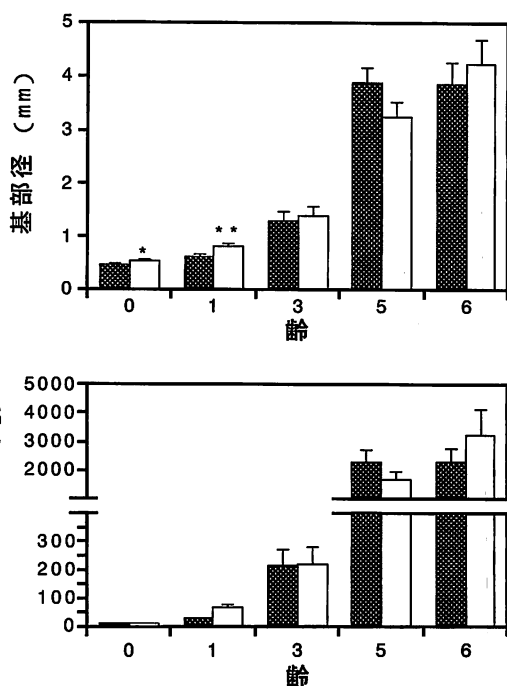


図2-11 ミネヤナギパッチ内外におけるカラマツ実生の基部径 (上) および葉、茎、根を含めたバイオマス (下) の比較。■ミネヤナギパッチ内、□パッチ外を示す。エラーバーはSEを表す (n = 8~20)。* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ (ANOVA)

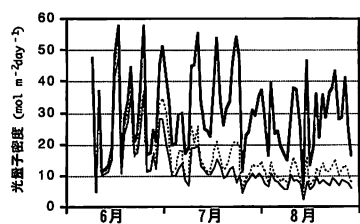


図2-12 裸地 (高さ 5 cm)、ミネヤナギパッチ内 (高さ 5 cm、3 cm) における育成期間中の日積算光量子密度。——は裸地 (高さ 5 cm)、——はパッチ内 (高さ 5 cm)、----はパッチ内 (高さ 3 cm) を示す。ミネヤナギパッチの平均の高さは10cmである。5月下旬にミネヤナギが展葉しはじめ、6月の下旬に終了する。

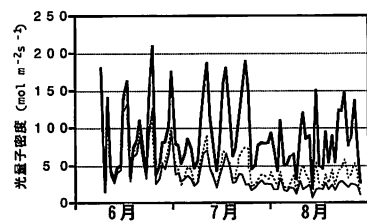


図2-13 裸地 (高さ 5 cm)、ミネヤナギパッチ内 (高さ 5 cm、3 cm) における育成期間中の日中平均光量子密度の比較。——は裸地 (高さ 5 cm)、——はパッチ内 (高さ 5 cm)、----はパッチ内 (高さ 3 cm) を示す。

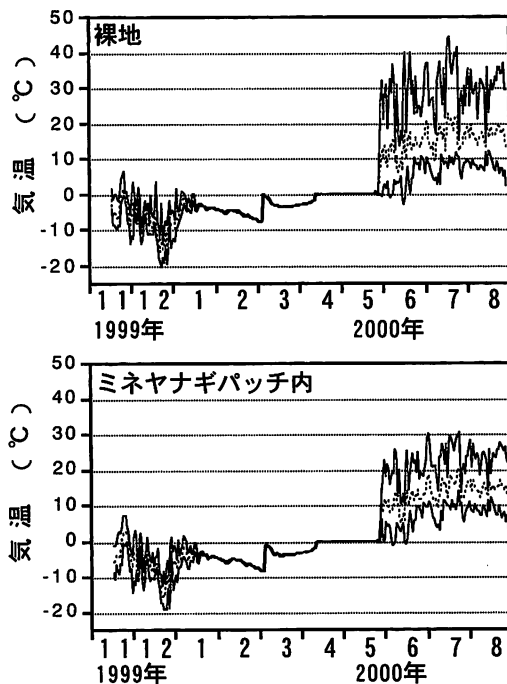


図2-14A スコリア荒原の裸地 (上) とミネヤナギパッチ内 (下) の気温 (高さ 5 cm) の季節変化。日平均値と日最高最低値を示す。

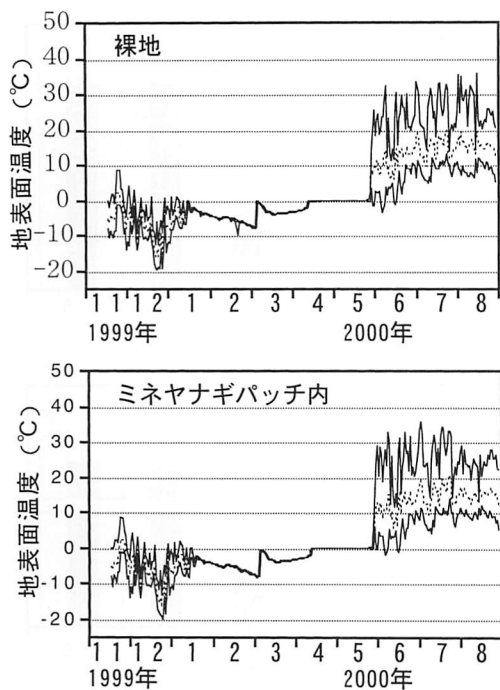


図 2-14B スコリア荒原の裸地（上）とミネヤナギパッチ内の地表面の温度（下）の季節変化。日平均値と日最高最低値を示す。

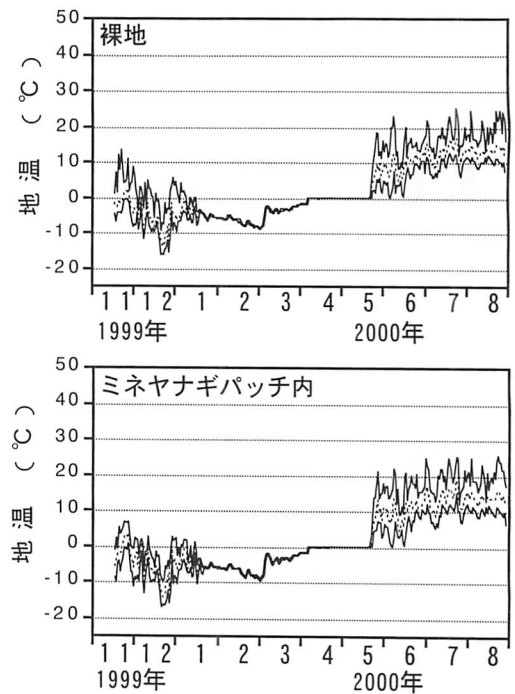


図 2-14C スコリア荒原の裸地（上）とミネヤナギパッチ内（下）の地温（深さ 5 cm）の季節変化。日平均値と日最高最低値を示す。

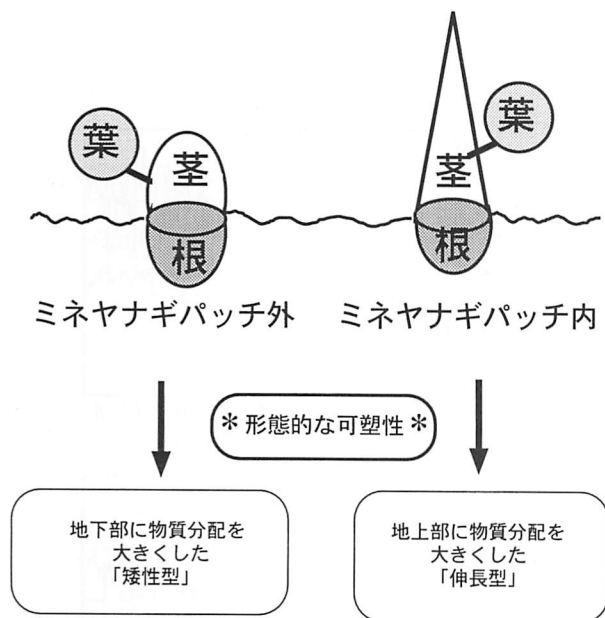


図 2-15 ミネヤナギパッチ内外におけるカラムツ実生の形態の異なりを表した模式図。

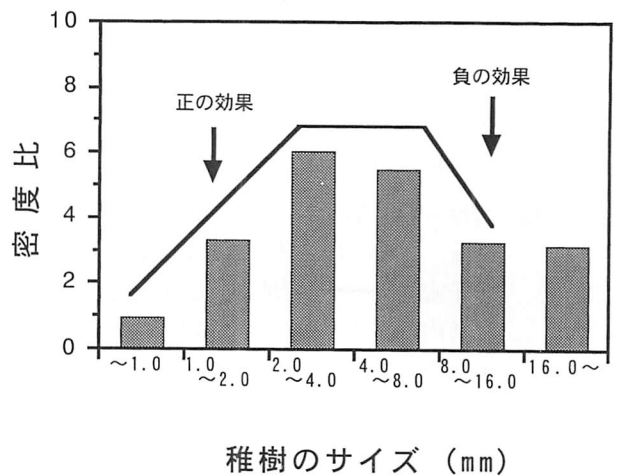


図 2-16 カラムツの稚樹に対するミネヤナギパッチの正（ナース）と負の効果。パッチ外のカラムツの密度に対するパッチ内のカラムツの密度。1でパッチ内外で密度が等しく、1以上でパッチ内の方が密度が高いことを示す。

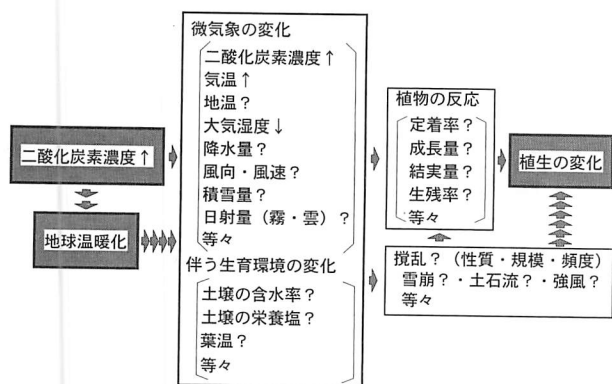


図 2-17 地球温暖化が植生の変化に及ぼす影響について。

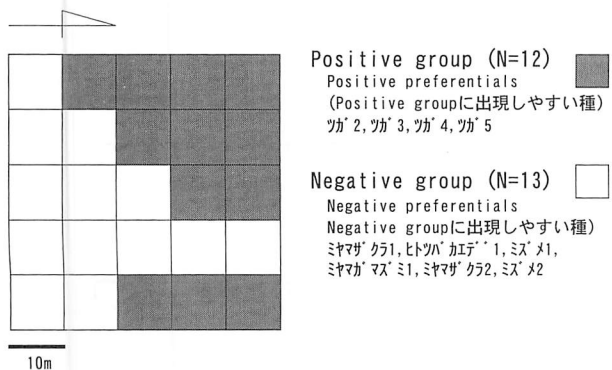


図 2-19 各100㎡のサブコドラートを単位とした TWINSpan 法に基づく植生分類。ツガを指標種としてツガの多く出現する Positive group とツガがほとんど出現しない Negative group の二つのグループに分類された。また Negative group に出現しやすい種としてはミヤマザクラ、ヒトツバカエデ、ミズメなどがある。

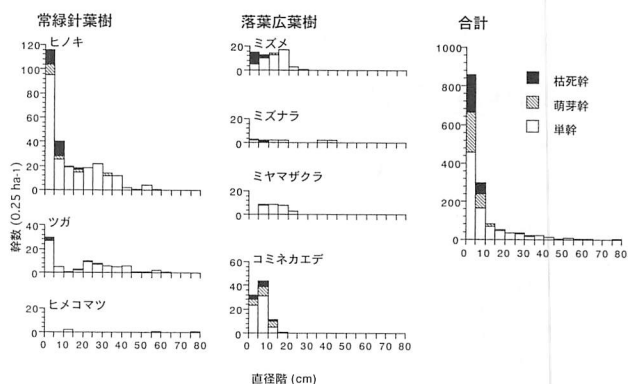


図 2-18 永久方形区内の主要樹種の直径階分布

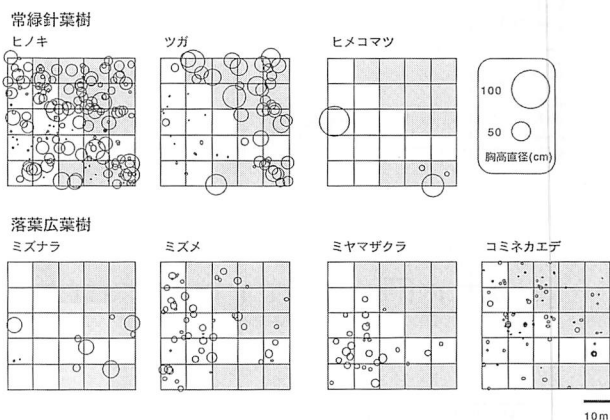
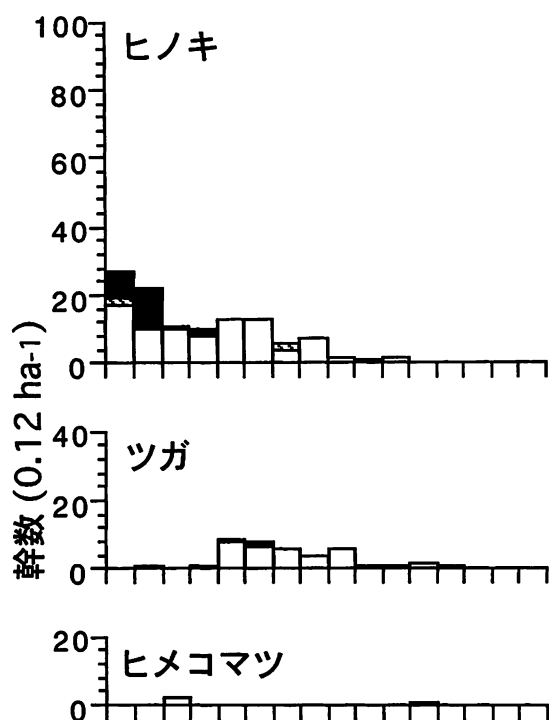


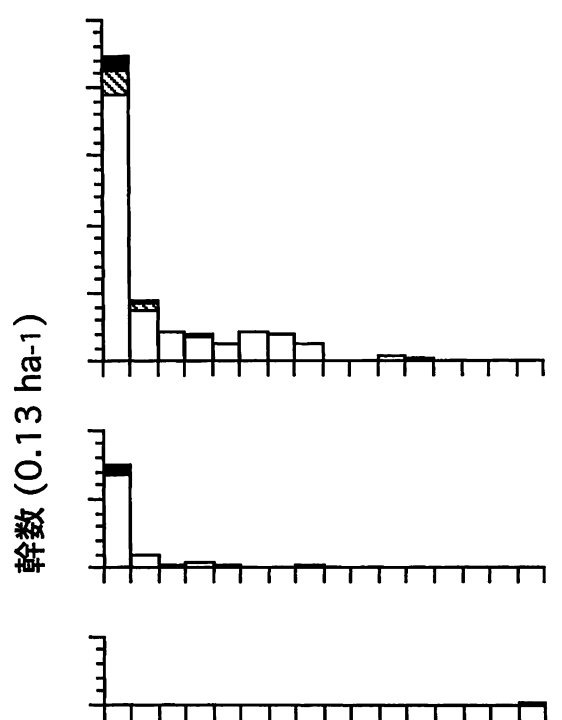
図 2-20 永久方形区内の主要樹種の分布。各個体の直径に比例した円で描いている。また各サブコドラートでは図 2 の Positive group と Negative group を色分けしている。

針葉樹パッチ

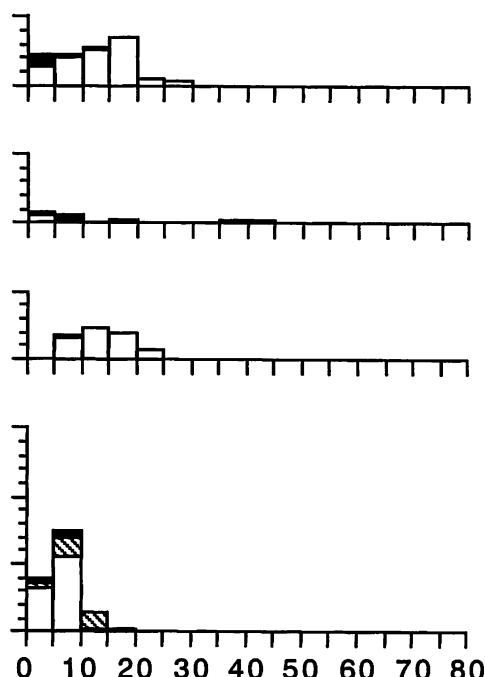
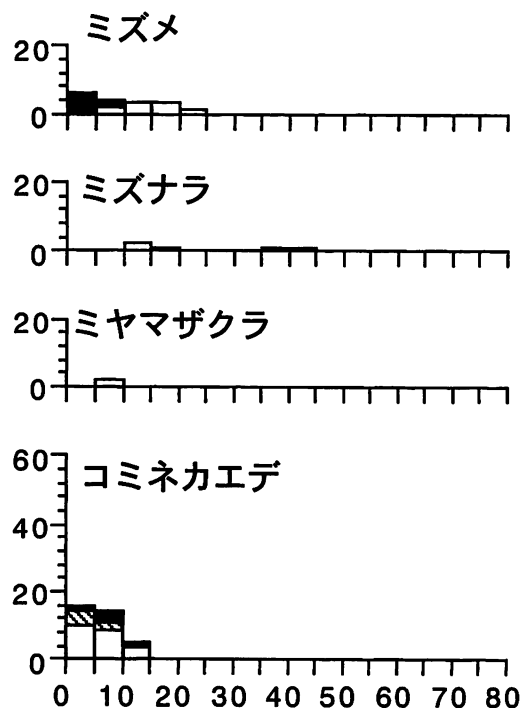
常緑針葉樹



落葉樹パッチ



落葉広葉樹



直径階 (cm)

図 2-21 針葉樹パッチと落葉樹パッチの各サブコードラートを集計した、主要樹種の直径階分布。

表 2-1 ミネヤナギパッチ内外における各種の出現の偏りの検定。調査面積全体に占めるミネヤナギパッチの面積によって、偏りのない場合の出現数の期待値を計算し、 χ^2 検定を用いて解析した。

出現する種	ミネヤナギパッチ内		ミネヤナギパッチ外		χ^2
	観察値	期待値	観察値	期待値	
方形区 A (400 m ² あたり)					
イワツメクサ	21	9.57	188	199.43	14.3**
オンタデ	13	13.1	273	272.9	0.0008 ^{ns}
フジハタザオ	35	6.27	102	130.73	137.8**
方形区 B (775 m ² あたり)					
カラマツ	100	37.2	274	336.8	117.9**

** $P < 0.01$; ns, 有意差なし

表 2-2 各サイズクラスのカラマツにおけるミネヤナギパッチ内外への出現の偏りの検定。

基部径クラス (mm)	ミネヤナギパッチ内		ミネヤナギパッチ外		χ^2
	観察値	期待値	観察値	期待値	
～1.0	7	7.26	66	65.74	0.01 ^{ns}
1.0～2.0	37	13.72	101	124.28	43.9**
2.0～4.0	26	6.46	39	58.54	65.6**
4.0～	30	9.74	68	88.26	46.8**

** $P < 0.01$; ns, 有意差なし

表 2-3 ミネヤナギパッチ内外におけるカラマツ実生の T/R 比、C/F 比、茎密度の比較。茎密度は、茎の乾燥重量を基部径 (D) の 2 乗と茎長 (L) の積で割った値である。平均値と S E (n = 8 ~ 20) を示す。* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ (ANOVA)

	当年生	1 年生	3 年生	5 年生	6 年生
T/R					
ミネヤナギパッチ内	1.85±0.19	1.72±0.13	2.80±0.34	2.83±0.20*	2.98±0.32**
ミネヤナギパッチ外	2.32±0.54	1.65±0.06	2.90±0.47	2.03±0.16	1.84±0.13
C/F					
ミネヤナギパッチ内	1.51±0.08	2.06±0.20**	1.87±0.21	2.14±0.08	2.47±0.18
ミネヤナギパッチ外	1.27±0.18	1.38±0.05	1.43±0.12	2.67±0.40	2.66±0.20
茎密度 (g) / D ² L					
ミネヤナギパッチ内	0.62±0.06*	0.54±0.04	0.59±0.06	0.41±0.03	0.42±0.02
ミネヤナギパッチ外	0.43±0.06	0.56±0.05	0.56±0.06	0.61±0.05**	0.53±0.04*

表 2-4 ミネヤナギパッチ内外におけるカラマツ実生の炭素窒素比 (C/N 比)、葉の窒素濃度の比較。平均値と S E (n = 8 ~ 20) を示す。* $P < 0.01$ (ANOVA)

	当年生	1 年生	3 年生	5 年生	6 年生
C/N 比					
ミネヤナギパッチ内	28.73±1.21	32.65±1.4**	27.08±1.18	25.61±0.92	24.45±1.16
ミネヤナギパッチ外	27.77±1.02	26.46±1.37	26.92±0.95	23.66±1.05	25.96±0.44
葉の窒素濃度 (mg/g)					
ミネヤナギパッチ内	17.47±0.74	15.62±0.68	18.74±0.80	19.98±0.64	20.85±1.12
ミネヤナギパッチ外	18.84±0.70	19.97±0.92**	19.75±0.95	21.59±0.90	19.60±0.35

表 2－5 ミネヤナギパッチ内外におけるスコリア土壌の含水率。含水率は生重量と風乾重、絶乾重の差より求めた。平均値と S E (n = 6) を示す。* $P < 0.05$ (t-test)

土壌含水率 (%)	ミネヤナギパッチ内	ミネヤナギパッチ外
風乾重	7.23±0.60*	5.30±0.57
絶乾重	7.58±0.62*	5.56±0.59

表 2－6 ミネヤナギパッチ内外におけるスコリア土壌の窒素濃度。全窒素と硝酸態およびアンモニア態窒素を示す。平均値と S E (全窒素： n = 18、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ； n = 5 ～ 6) を示す。** $P < 0.01$ (ANOVA)

土壌	全窒素	全窒素	硝酸態窒素	アンモニア態窒素
	深さ 1 cm (mg / g)	深さ 5 cm (mg / g)	(mg / kg)	(mg / kg)
ミネヤナギパッチ内	0.49±0.05**	0.37±0.03**	0.09±0.03	1.61±0.24
ミネヤナギパッチ外	0.14±0.004	0.19±0.01	0.14±0.02	1.90±0.18

表 2－7 ミネヤナギパッチ内外のスコリア表層土壌の移動。100cm の円をペンキで塗り、1 年後にペンキの被度を求め、スコリアの移動の指標とし、% で表した。値が大きいほど移動は小さいことを示す。平均値と S E (全窒素： n = 15) を示す。
* $P < 0.05$ (t-test)

土壌移動	ミネヤナギパッチ内	ミネヤナギパッチ外
被度 (%)	58.87±6.12*	33.67±8.81

表 2－8 富士山北斜面標高 2,400m 付近における温量指数 (WI)。月平均気温から 5℃ 引いて足しあわせたものを温量指数とした。スコリア荒原は調査地での月ごとの平均気温、林内は調査地付近のカラマツ林での月ごとの平均気温を表す。温量指数が計算されるのは 6 月から 10 月までであった。裸地の No data はデータがないことを示し、参考までに示す。林内のデータを調査地の温量指数と代用した。

月	6月	7月	8月	9月	10月	温量指数
スコリア荒原	10.48	13.99	14.06	No data	No data	
林内	11.05	13.74	14.9	13.41	7.001	35.1

表 2-9 永久方形区 (0.25ha) における樹高1.3m以上の個体の種組成

	胸高断面積		胸高直径 (cm)		幹数	
	(m ² ha ⁻¹)	(%)	平均値	最大値	(ha ⁻¹)	(%)
常緑針葉高木種						
1 ヒノキ	27.42	45.36	13.4	59.6	968	20.8
2 ツガ	15.88	26.27	19.9	60.5	292	6.3
3 ヒメコマツ	3.12	5.16	40.6	79.0	16	0.3
4 ウラジロモミ	0.02	0.04	6.0	7.6	8	0.2
小計	46.45	76.83			1284	27.6
落葉広葉高木種						
5 ミズメ	3.23	5.34	13.2	26.2	200	4.3
6 ミズナラ	2.38	3.93	23.0	43.0	40	0.9
7 ミヤマザクラ	1.87	3.09	13.8	23.0	112	2.4
8 コミネカエデ	1.32	2.18	6.7	16.0	312	6.7
9 ヒトツバカエデ	0.88	1.45	7.9	18.0	156	3.4
10 クマシデ	0.53	0.88	8.9	14.0	80	1.7
11 コハウチワカエデ	0.51	0.84	5.7	14.0	152	3.3
12 シラカバ	0.38	0.63	19.8	25.1	12	0.3
13 マルバアオダモ	0.13	0.22	4.6	9.5	68	1.5
14 コシアブラ	0.10	0.16	7.7	14.4	16	0.3
15 タケカンバ	0.06	0.11	14.3	14.3	4	0.1
16 効ノツメ	0.04	0.07	5.6	6.8	16	0.3
17 イタヤカエデ	0.002	0.003	2.3	2.3	4	0.1
小計	11.43	18.90			1172	25.3
亜高木種						
18 ソコ	1.11	1.83	4.3	9.7	660	14.2
19 ヒロハツリバナ	0.30	0.50	4.2	11.1	164	3.5
20 アオハダ	0.20	0.33	3.9	10.2	128	2.8
21 リョウブ	0.03	0.05	4.2	8.1	16	0.3
小計	1.64	2.71			968	20.8
低木種						
22 アセビ	0.69	1.14	2.9	7.8	924	19.9
23 クロソコ	0.22	0.36	3.5	7.5	192	4.1
24 ツリバナ	0.01	0.02	4.6	5.9	8	0.2
25 ミヤマカマスミ	0.01	0.02	1.4	2.7	72	1.5
26 ナンキンナナカマド	0.003	0.01	1.8	2.3	12	0.3
27 ベニドウダン	0.003	0.004	1.7	1.8	12	0.3
28 バイカウツギ	0.001	0.002	1.4	1.6	8	0.2
小計	0.94	1.56			1228	26.5
合計	60.45	100	8.2	79.0	4652	100

Ⅲ－３ 富士山周辺における動物群集に関する研究

１）研究体制

・研究担当者

北原正彦・今木洋大・上田弘則・姜 兆文・渡辺 牧
(山梨県環境科学研究所 自然環境研究部 動物生態学研究室)

・共同研究者

白石浩隆(自然教育研究センター 研究員)

－小型哺乳類調査担当、執筆(7) 章

早見正一(富士吉田市立富士小学校 教諭)

－昆虫類調査担当

湯本光子(山梨市立加納岩小学校 教諭)－植生調査

藤井 猛・奥村忠誠(野生動物保護管理事務所 研究員)
－中型哺乳類調査担当

・研究協力機関

(株)野生動物保護管理事務所・東京農工大学農学部野生動物保護学研究室・昭和大学教養部生物学教室・国土交通省関東地方建設局甲府工事事務所富士吉田国道出張所・日本道路公団東京第三管理局大月管理事務所・山梨県道路公社河口湖富士線有料道路管理事務所・山梨県森林環境部みどり自然課・山梨県富士北麓東部地域振興局吉田林務環境部・山梨県森林総合研究所・富士吉田外二カ村恩賜県有財産保護組合・鳴沢村外一町二カ村恩賜県有財産保護組合・上九一色村恩賜県有財産保護組合・環境省富士箱根伊豆国立公園管理事務所・環境省自然保護局生物多様性センター

２）研究成果

(１) 富士山北麓の様々な森林環境におけるチョウ類群集の種多様性

Ⅰ. はじめに

富士山は、標高(3,776m)を有し、比較的温暖な太平洋岸に孤立峰を成し、直径40kmの広大な裾野が外輪山に囲まれている(黒田、1971)。この特性のために、富士山は周縁の山塊とは異なる特徴あるチョウ類相を有することが以前より知られてきた(高橋、1958, 1971; 清、1988)。今日までに、全チョウ種を対象にした分布調査等を通して、富士山のチョウ類相の定性的な特徴が、かなり良く把握されてきている(高橋、1958, 1971, 1979; 清、1988)。しかし、富士山地域における複数種、あるいは群集を対象にした個体数調査等の定量的な研究は大変数少なく、わずかに北麓の鳴沢村から精進口登山道にかけて調査した渡辺(1975)、富士吉田口登山道と滝沢林道における早見(1977)、西麓の朝霧高原周辺における清(1986)、北縁に位置する三つ峠山周辺における早見・中村(1977 a, b, 1978 a, b, 1979)等の研究が知られているに過ぎない。しかも、これらの研究の現地調査

が実施されたのは、今から10～20年も前のことであり、最近における富士山周辺のチョウ類相の動向を定量的に扱った研究は、桜谷・藤山(1991)と清(1996 a, b)以外、ほとんど知られていないのが現状である。

そこで我々は、富士山北麓に位置する山梨県富士吉田市と河口湖町にかけての剣丸尾・土丸尾・船津胎内地区周辺におけるチョウ類群集について、1996年より1999年までの4年間、トランセクト法による個体数モニタリング調査を実施した。この4年間に群集の年次的な変動は若干観察されたものの、各地区(環境)間で比較した群集の存在様式にはほとんど違いが見られなかった。そこで本章では、1年間で最も多くの種数と個体数が確認された初年度(1996年)のデータを選んで、それを解析することで、富士山北麓の代表的景観の1つであるアカマツ群落、およびその周辺の森林地帯におけるチョウ類群集の特性を明白にし、併せて富士山周辺における近年の開発の増加に伴うチョウ類相への影響を知るために、開発程度や景観の異なる森林地帯のチョウ類群集の内部構造を比較することを試みた。なお本内容については、プロジェクト研究の成果の一部として、既に日本環境動物昆虫学会誌上に発表済みであることを付記しておく(北原、1999)。

Ⅱ. 調査地および調査方法

１. 調査地の概要

調査は、富士山の北麓部に位置する山梨県富士吉田市剣丸尾および土丸尾周辺と南都留郡河口湖町の船津胎内周辺の森林地帯に設定した合計7ヵ所の調査地区で行った(図3-1-1, 1-2)。地形、位置(緯度、経度)、標高の違いによるチョウ相への影響をできるだけ少なくするために、これらの7つの調査地区は全て富士山北麓部裾野の緩斜面に位置し、地区間の直線距離は最大で5.08km以内、標高は920～1075m(最大標高差155m)の間に設定した。また、調査面積の違いによる種数への影響を避けるために、各地区の調査ルートのは長さは300mに固定した。

以下に各地区の環境の概要を述べる。

(１) 土丸尾第1地区

富士吉田市土丸尾地区に位置し、富士山北麓裾野の標高920～940mの場所である。調査ルートは幅員約11mの未舗装の道路(裸地)に沿って設定した。道路の両側は、高さ7～10mに育ったケヤマハンノキの植林地帯になっており、その他にクヌギ、コナラ、アカマツ等の樹木が見られた。植林と道路の間は、ソデ群落(草地)が発達し、ハルジョオン、ヒメジョオン、シロツメクサ、アカツメクサ、ナワシロイチゴ、コウゾリナ、イタドリ、ツルフジバカマ、タイアザミ等の草本が見られた。通常は、道路の車の往来はほとんど無く、また歩行者も稀にしか見られなかった。植林やその周辺部の下刈り等はほとんど

ど行われていなかった。

(2) 土丸尾第2地区

富士吉田市土丸尾地区に位置し、富士山北麓裾野の標高920～940mの場所である。土丸尾第1地区からケヤマハンノキ植林の内部に入った部分に相当し、調査ルートは林内を通る幅員約2mの未舗装の道路沿いに設定した。道路は車が全く通らず、また歩行者も減多にいなかったために草地化しており、キジムシロ、シロツメクサ、オカトラノオ、ヒメジョオン、アレチマツヨイグサ、タチフウロ、ノコンギク等の草本が見られた。ケヤマハンノキの植林に混じり、林縁部にはクヌギ、コナラ、シラカンバ、アカマツ等の樹木が見られた。林縁には部分的にクズ、ウツギ類、ヤマハギ、バラ科植物等から成るマント群落が発達していた。

(3) 中ノ茶屋地区

富士吉田市吉田口登山道中ノ茶屋の北東方向約500mの位置にあり、富士山北麓裾野の標高1050～1075mの場所である。調査ルートは、吉田口登山道の旧道に沿って設定した。旧道は平均幅員約4mの未舗装の歩道だが、歩行者はほとんど見られなかった。道の両側は高さ20～25mのアカマツとカラマツの植林が主体だが、広葉樹がかなり混じり混交林化している部分もあり、ミズナラ、ケヤマハンノキ等が見られた。相対的に樹高が高く道幅が狭いために、ルート沿いの大部分は閉鎖空間になっており、道脇のソデ群落も未発達で成虫の吸蜜源に該当する草本類は少なかった。

(4) 北麓公園地区

富士吉田市の富士北麓公園西側に位置し、富士山北麓裾野の標高1010～1030mの場所である。調査ルートは富士北麓公園の西側を通る県道（幅員8mの舗装された車道）沿いの歩行者道路（幅員3mの舗装道）に設定した。県道の車の通行量は、今回の全7調査地区の車道の中では最も多かった。県道の西側は高木層にアカマツ、亜高木・低木層にコナラ、ミズナラ等の広葉樹が主体となるまとまった林が残存しているが、東側の公園側は、アカマツ、コナラ、ミズナラ、シラカンバ、ヒノキ等の樹木がまばらに残された形になっており（一部は移植木もあり）、林床部は年に2～3回行われる徹底した草刈のために未発達で、藪や成虫の吸蜜源になるような草本植物はあまり見られなかった。車道と歩道の間に移植された樹木による植え込みが配置されていたが、草刈等の人為的管理が不定期に行われていた。

(5) 山梨環境研地区

富士吉田市上吉田の剣丸尾地内に位置し、富士山北麓裾野の標高1030～1050mの場所である。富士山中腹の噴火口から流れ出た剣丸尾溶岩流の上に成立しているアカマツ林（高木層）であり、林齢約100年、樹高20～25mの群落である。亜高木・低木層は、コナラ、ミズナラ、カツラ、ソヨゴ、リョウブ、コメツガ、ウラジロモミ等

が多く、広葉樹が主体となっていた。1995年にこの林の一部が切り開かれ、造成工事、建築工事を経て、1997年に山梨県環境科学研究所が完成した。調査ルートはアカマツ林に切り開かれた工事用作業路（幅員約8mの未舗装の車道、完成後の研究所侵入路や駐車場にあたる）に沿って設定した。林縁は切り開かれたばかりの状態で、ソデ・マント群落は未発達で、草本植物は貧弱であった。一方、溶岩流の上に成立した樹林のために、林床植生は貧弱で未発達の状態であった。

(6) 船津胎内第1地区

南都留郡河口湖町船津口登山道の船津胎内付近に位置し、富士山北麓裾野の標高1050～1060mの場所である。高木層はアカマツ、カラマツ（一部ヒノキ）の植林で、樹高は約12～20mであった。亜高木・低木層は、ケヤマハンノキ、シラカンバ、ヤナギ類、マメザクラ、タラノキ等が見られ、一部カラマツの幼齢植林があった。調査ルートは林内を直線状に横切る幅員約3mの未舗装の林道上に設定した。林道は普段、入り口ゲートの鍵が掛かり車の乗り入れは全く無かった。林道脇から林縁にかけてソデおよびマント群落が発達し、ススキ、ハルジョオン、アカツメクサ、オカトラノオ、アレチマツヨイグサ、タイアザミ、ユウガギク等の草本や、ヤマハギ、ノリウツギ、ヤナギ類等が見られた。ルートの西端部分に沢状の地形が有り（普段は枯れ沢）、樹林が切れて明るくなっており広葉樹が優占していた。道路脇の草刈がたまに実施された。

(7) 船津胎内第2地区

南都留郡河口湖町船津口登山道の船津胎内付近に位置し、富士山北麓裾野の標高1050～1070mの場所である。船津胎内第1地区の西側に相当し、林道の延長線上にあたる。第1地区と同様に、高木層はアカマツ、カラマツの植林で、樹高は約17～20mであった。調査ルートは第1地区と同じく幅員約3mの未舗装の林道上に設定した。亜高木層にはケヤマハンノキ、ヤナギ類、シラカンバ等が見られる。また、ソデ・マント群落も比較的発達しており、ススキ、シロツメクサ、ツルフジバカマ、ナンテンハギ、タイアザミ、ノコンギク等の草本やウツギ、ノリウツギ、マメザクラ、バラ科、ヤナギ類、ヤマハギ等が見られた。

各地区の概要を表3-1-1に示した。

2. 調査方法

調査はチョウ類の成虫の主要出現期にあたる4月から11月まで、各地区原則として月2回（4月と11月は月1回）、トランセクト・カウント法（Pollard, 1977; 山本, 1988, 1998; 石井, 1993; Pollard and Yates, 1993）を用いて行い、出現したチョウ類全種の成虫を対象とする個体数モニタリングを実施した。モニタリングは通常2人で行い、内1名が常時野帖に記録した。調査日には原

則として晴天・微風の日が選択され、調査者は10:30~15:00の間に、調査地区内に設定した固定の調査ルート歩きながら、ルートの片側約5m(両側約10m幅)(場所によっては片側のみ約10m)に出現した全てのチョウ類成虫の種類と個体数を確認し記録した。後方から飛来した個体は記録に入れない等、できる限り重複カウントを防ぐための努力をした。

主として目視による種名確認を行ったが、目視で同定困難な個体については、その場で捕虫網で捕獲し、種名の確認後にすぐに捕獲地点に放逐した。ただし、スジグロシロチョウとエゾスジグロシロチョウについては、飛翔している個体が多く、その場で即座に同定することが困難であったので、この調査では両種を1種として扱った。また、一部の個体については、遠くを飛翔していたりして捕獲できずに、種の確認ができなかったが、それらは不明のまま記録した(例、黒色系アゲハ類、大型ヒョウモンチョウ類など)。

3. データの解析

調査時に種まで同定できなかった若干の個体(例えば、黒色系アゲハ類、大型ヒョウモンチョウ類)については、その調査日またはその前後の調査日に確認できた個体が該当すると考えられる全ての種の実際の出現比率に応じて、未同定個体(spp.)の個体数を比例配分する方法を採用した。各種の平均密度を算出するにあたっては、まず月個体数を4月から11月まで種ごとに算出した。通常は月2回の調査の個体数の平均値をそれに当てたが、2回のうち1回が悪天候の場合が数例あったので、その場合には2回のうちの個体数の最大値を月個体数とした。また、月1回の調査しか行わなかったケースが6例あったので、その場合には1回の調査の値をそのまま月個体数に充てた。次に4月から11月までの月個体数を種ごとに合計して年間個体数を算出し、それを調査月数(8)で割ったものを、月平均個体数とした。さらに調査ルートの距離が各地区300mであったので、月平均個体数を1kmあたりの値に換算したものを種ごとの平均密度とした。

各地区間の群集の解析には、総平均密度(確認された全種の平均密度の合計値)、総種数、平均多様度、相対多様度、優占度を用いた。このうち、平均多様度にはShannon-Wienerの情報量関数:

$$H' = -\sum (n_i/N) \cdot \log_2 (n_i/N)$$

相対多様度は、Pielouの均衡性種数(Pielou, 1969):

$$J' = H' / \log_2 S$$

(ただし、Nは総平均密度、Sは総種数、 n_i はi番目の種の平均密度)、優占度には、McNaughtonの優占度指数(McNaughton, 1967):

$$DI = (n_1 + n_2) / N$$

(ただし、 $N = \sum n_i$ 、 n_1 と n_2 は群集中の第1位および第2

位の優占種の平均密度)。

各地点間の構成種の重複度の解析には、Pianka (1973)の α 指数を用いた。すなわち、

$$\alpha_{1,2} = \frac{\sum_{i=1}^S p_{1i} \cdot p_{2i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^S (p_{1i})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^S (p_{2i})^2}}$$

(ただし、 $\alpha_{1,2}$ は群集1および群集2の重複度で、 p_{1i} および p_{2i} は群集1および群集2における種iの割合である)。

III. 結果

1. 種数と平均密度

表3-1-2に調査した7地区で記録したチョウ類の種と各々の平均密度を示した。7地区全体では8科72種1,274個体のチョウ類を確認することができた。

地区別に確認総種数をみると(表3-1-3と図3-1-3)、広葉樹(ケヤマハンノキ)の植林林縁である土丸尾第1地区(56種)や第2地区(48種)で多く、針葉樹(アカマツ・カラマツ)の植林林縁である船津胎内第2地区(33種)、中ノ茶屋地区(32種)、船津胎内第1地区(28種)がこれらに続き、舗装道路沿いの人為的な植生管理の行き届いた北麓公園地区(27種)やアカマツの遷移林だが、切り開かれて間もない、かつ人為的攪乱の激しかった環境研地区(10種)で少なかった。

地区ごとの総平均密度についても似たような傾向があり(表3-1-3と表3-1-4)、土丸尾第1(66.96)、土丸尾第2(64.86)地区や船津胎内第1(55.70)、船津胎内第2(46.06)地区で高く、中ノ茶屋(29.53)、北麓公園(16.51)、環境研(6.28)地区で低かった。

2. 平均多様度と相対多様度

地区ごとの平均多様度の変化は総種数の変化とほとんど同様であり(表3-1-3)、土丸尾第1(5.138)、土丸尾第2(4.925)地区で高い値を示し、船津胎内第2(4.486)、中ノ茶屋(4.439)、北麓公園(4.301)、船津胎内第1(4.284)地区がこれらに続き、環境研(3.072)地区で最も低い値を示した。なお、Simpsonの多様度指数(1949)を参考までに表3-1-3に示した(式は同表の脚注を参照)。

相対多様度は総種数、平均多様度とはかなり異なる地区間変化を示し(表3-1-3)、種数や個体数の相対的に少なかった環境研(0.925)や北麓公園(0.905)地区で高い値を示し、逆に種数や個体数の多かった土丸尾第1(0.885)や土丸尾第2(0.882)地区で低かった。

3. 優占度および優占種の特性

優占度指数は、環境研(0.432)や船津胎内第1

(0.355) 地区で相対的に高い値を示し、一方、種数や個体数の多かった土丸尾第 1 (0.156) や土丸尾第 2 (0.164) 地区で低い値を示した (表 3-1-3)。

各地区のチョウ群集の上位 5 種 (優占種) を比較してみると (表 3-1-4)、全 7 地区の内、4 地区以上に共通して見られる種は 4 種あり、イチモンジセセリ、スジグロシロチョウ類、ミドリヒョウモン、ジャノメチョウがそれに該当した。これらの種は最低でも 1 地区以上において群集の 1 位になっており、今回の調査地周辺における広域的な優占種と位置付けられよう。

一方、スジボソヤマキチョウやホシミスジは、土丸尾地区の、キチョウとツバメシジミは船津胎内地区の、イチモンジチョウは中ノ茶屋および船津胎内第 2 地区の優占種と考えられた。コツバメは環境研地区で最大の密度を示し、しかも当地区の第 1 位の優占種であった。

4. 地区ごとの種構成の比較

一般的に、種数の多い群集ほど、その地区にしか見られない種を多く含んでおり、逆に種数の少ない群集は、多くが他の地区にも見られる共通種から群集が成り立っている傾向がある (例えば、石井ら、1991; Kitahara and Fujii, 1994; 本田、1997; 吉田、1997) が、今回の調査結果もほぼ同様なことが言えた。

出現地区が限定された種 (偏在分布種: 全 7 調査地区のうち、1 または 2 地区でのみ記録された種) に該当する全 29 種のうち、半数以上の 62.1% にあたる 18 種が土丸尾第 1 と第 2 地区の両方あるいはどちらか一方でのみ確認された種であった (表 3-1-2)。このうち、第 1 地区でのみ記録された種は、キマダラセセリ、ウラナミシジミ、ヤマトシジミ、ヒメシジミ、フタスジチョウ、サカハチチョウ、ゴマダラチョウ、クロヒカゲ、ヒメジャノメであり、第 2 地区でのみ確認された種は、ミズイロオナガシジミ、アサマシジミ、オオムラサキであった。また、第 1 および第 2 の両方の地区でのみ確認された種は、ヘリグロチャバネセセリ、コキマダラセセリ、ツマキチョウ、アカシジミ、ミヤマカラスシジミ、ミスジチョウであった。

その他では、土丸尾 (第 1 または第 2) と船津胎内第 1 の両地区でのみ確認された種として、モンシロチョウ、エゾミドリシジミ、オオウラギンスジヒョウモンが挙げられる。また、全 7 地区のうち、中ノ茶屋地区でのみ確認された種はアサギマダラ、クジャクチョウ、北麓公園地区でのみ確認された種はムモンアカシジミ、ウラギンシジミ、船津胎内第 1 地区でのみ確認された種はアオバセセリであった。

5. 地区間重複度

各地区のチョウ類群集間の重複度については、表 3-1-5 に示した。

重複度が 0.8 以上の組み合わせは 2 つあり、船津胎内第 1 と船津胎内第 2 (0.862)、および土丸尾第 1 と土丸尾第 2 (0.838) の共に最も隣接する地区どうしの組み合わせであった。それに次ぐ高い重複度の組み合わせとして、中ノ茶屋と船津胎内第 2 (0.762)、土丸尾第 1 と船津胎内第 1 (0.720)、北麓公園と船津胎内第 1 (0.711) 等があった。

逆に、低い重複度を示した地区の組み合わせとして、土丸尾第 2 と環境研 (0.283)、土丸尾第 1 と環境研 (0.323)、北麓公園と環境研 (0.390) 等があった。

IV. 考 察

1. 富士山北麓標高 1,000m 近傍の森林地帯チョウ類群集の特性

この調査では、全 7 地区を通じて計 72 種 (スジグロシロチョウとエゾスジグロシロチョウを併せて 1 種として扱った) のチョウ類を確認できたが、この種数は、今までに富士山全体 (山梨・静岡両県を含めた範囲、外輪山は除く) から記録されたチョウ 118 種 (渡辺、1995) の 61.0% にあたり、また、北麓の富士吉田市 (今回の調査地区のうち、5 地区が含まれる行政区画) で記録されているチョウ 86 種 (渡辺、1995) の 83.7% にあたる。富士吉田市の富士山北麓地域で記録されている種の 8 割以上が、今回の調査で確認できたことは、恐らく今回の調査が調査地区に様々なタイプの森林環境を選択したことと場所を変えて複数設定したことに起因していると思われる。

全 7 地区を込みにした群集の優占種は、上位からイチモンジセセリ、ジャノメチョウ、スジボソヤマキチョウ、ヒメシジミ、スジグロシロチョウ類であり、他の各地の、これまでに報告されてきた多くのチョウ類群集調査例 (例えば、北九州 (矢田、1996)、神戸周辺 (服部、1997; 関谷、1998)、大阪近郊 (石井ら、1991; 石井、1996; 今井・夏原、1996; 本田、1997; 吉田、1997; 夏原ら、1998)、京都近郊 (森下、1967; 今井、1995)、豊田 (田中、1988)、長野 (田下ら、1997)、竜ヶ崎 (山本、1988; 1996)、筑波 (Kitahara and Fujii, 1994) など) と比較すると、かなり特異な優占種構成であると言える。このうち、イチモンジセセリは都市周辺、農耕地等を中心にした多くの調査例でも優占種になっており、また、スジグロシロチョウ類も森林を含む調査の場合には、林縁を中心にして優占種になっている場合が多い (例えば、石井、1996; 本田、1997; 夏原ら、1998)。従って、残るジャノメチョウ、スジボソヤマキチョウ、ヒメシジミが、今回の富士山北麓のチョウ類群集を特徴づける代表的な優占種と考えられる。石井ら (1995) の三草山や夏原ら (1998) の生駒山のチョウ群集のように、群集の優占種がほぼその環境に特有な種のみで構成されている場合もあるが、今回の群集のように、どのような地域、環

境においても密度が高くなる優占種を一部に含む一方で、その地域・環境に特有な優占種を含んでいるのが、チョウ類群集の一般的な在り方ではなかろうか。このことには、現代日本の景観における環境の分断化、モザイク化といった現象やある種のチョウ類の持っている種特性（高い移動性や分散性、山頂占有性など）とかが関与していると思われる。例えば、田下ら（1997）は、北アルプスの蝶ヶ岳、奥又白といった原生的な自然の高山においても、モンキチョウ、キアゲハ、イチモンジセセリなどが優占種に含まれてくることを報告している。

一方、今回の優占種の構成を標高がほぼ同じくらいの富士山周辺で行われた既存のチョウ類群集調査結果と比較してみると、富士山北東麓や北西部で行われた桜谷・藤山（1991）および渡辺（1975）の調査結果とはかなり類似していた。前者の東富士五湖道路周辺の調査では、イチモンジセセリ、スジグロシロチョウ類、ジャノメチョウが本調査と同様に優占していたが、同地ではヒメシジミよりゴマシジミの方が個体数が多く、また本調査でも密度の高かったミドリヒョウモンが優占種になっていた。また、後者の鳴沢周辺の調査では、スジボソヤマキチョウ、スジグロシロチョウ類、イチモンジセセリが本調査と共通しており、その他ヒメシロチョウ、モンシロチョウ、キタテハなどが優占種になっていた。このことは同調査が耕作地を一部に含んだエリアで行われたことに起因していたと考えられる。

一方、富士山西麓にあたる朝霧高原東部草原における調査では（清、1996a）、優占種はジャノメチョウ、ベニシジミ、キタテハ、イチモンジセセリ、ヒメウラナミジャノメ、モンキチョウなどであり、共通種はジャノメチョウ1種のみで種構成はむしろ平野部の農村・耕作地近辺のそれに近いものであった。このことはこの調査が周辺に牧草地や耕作地も存在する草原を主体にして行われたことに大きく起因していたと考えられる。すなわち、ここに見られた北麓と西麓のチョウ類群集の優占種構成の大きな違いは、地形的なものではなく、環境構成要素の違い（調査場所が森林主体か、草原主体か）に起因していたのではないかと考えられる。

高橋（1958, 1971）、清（1988）は、富士山周辺に分布が集中し、富士山のチョウ相をよく特徴づける代表種として、ホシチャバネセセリなど16種の温帯草原性チョウ類を挙げた。今回の調査では、このうち、ギンイチモンジセセリ、ヘリグロチャバネセセリ、コキマダラセセリ、ヒメシロチョウ、ヤマキチョウ、ミヤマカラスシジミ、ヒメシジミ、アサマシジミ、ホシミスジの9種が確認できた。森林地帯を中心に行った今回の調査で、これらの富士山を特徴づけると言われる温帯草原性チョウ類が半数以上（56.3%）確認できたことは特筆できよう。今回の調査地の一部では、林縁部に多くの草本植物から成るソデ群落が発達しており、このことがこれらの種の

森林地帯での生存・生息に大きく貢献していたと推測される。

2. 各調査地区間のチョウ類群集構造の比較

各地区のチョウ類群集の総種数、平均多様度は、両者ともに地区間でほぼ類似した変化のパターンを示し、広葉樹（ケヤマハンノキ）の植林で林縁部が明るく、マント・ソデ群落の発達している土丸尾第1・第2地区で大きな値を示し、アカマツとカラマツの植林で林縁部にマント、ソデ群落の発達する船津胎内第1・第2地区、アカマツとカラマツの植林だが落葉樹が多く混じる中ノ茶屋地区、公園造成時の残存木、移植木が主体だが、近くに落葉広葉樹のまとまった林が残る北麓公園地区で中間の値を示し、アカマツの二次林であるが、最近切り開かれたばかりの伐開地で人為的攪乱度も大きく、マント・ソデ群落が極めて未発達な環境研地区で最も小さな値を示した。

チョウ類は幼虫も成虫もほとんどが食物を植物に依存しているので、チョウ類群集の種数や多様性は、直接的にはその場にある植物の種数や多様性に大きく影響されることが考えられる。また、植物の種数や多様性は、攪乱やストレスといった環境の物理的要因に大きく規定されていると考えられる（Grime, 1977; Southwood, 1988など）。広葉樹の植林で、相対的に人為的攪乱が少なく、かつ林縁部も明るくマント・ソデ群落の発達した土丸尾地区では、チョウの食草や吸蜜植物の種類や量が豊富であり、成虫の利用が確認された餌資源（吸蜜植物や水など）の種数は土丸尾第1地区で15種、土丸尾第2地区で21種であった（北原、2000）。土丸尾地区でチョウの種数や多様性が高まったのはその結果と考えられる。一方、針葉樹の二次林で、伐採後の歴史も浅く、人為的攪乱の激しい環境研地区ではマント・ソデ群落が極めて未発達で、チョウの食草や吸蜜植物に乏しく、成虫の利用が確認された餌資源は僅かに3種であった（北原、2000）。その結果、この地区のチョウの種数や多様性が極端に低かったものと推測される。

総平均密度も、大要において総種数や平均多様度と似たような地区間変化を示したが、より鮮明に地域間の違いが表われており、土丸尾地区で大きな値を、船津胎内地区で中間の値を、残りの3地区で低い値を示した。特徴的なのは、他地区に比較して、船津胎内第1地区で種数の割に大きな総平均密度が得られたこと、逆に中ノ茶屋地区や北麓公園地区では、種数の割に低い総平均密度が得られたことが挙げられよう。前者にはイチモンジセセリ、ヒメウラナミジャノメ、ジャノメチョウ、モンキチョウといった草原性、林縁性のチョウの高密度が関与しており、それは当地区が船津胎内第2地区に比較し、より開放的でソデ・マント群落が発達していることに原因していたと思われる。一方、中ノ茶屋地区は針葉樹植

林に広葉樹の混じった混合林を構成しているが、樹高が高い上に道幅が狭く、マント・ソデ群落はあまり発達していない。このことが種数はある程度あるが総平均密度が低い大きな要因であったろう。また、北麓公園地区は開放的で明るい、林縁および林床は年に数回行われる徹底した草刈のために不安定な状態にさらされ、かつ芝生などをはじめとする栽培種が多くを占めるために、チョウにとって利用できない部分が多くあり、このことが当地区の総平均密度の低さに直接影響していたと考えられる。

相対多様度は総種数、平均多様度、総平均密度とは全く異なる地区間変化を示し、環境研や北麓公園地区で高い値を示し、土丸尾地区で低い値を示した。これは、前者では少ない種が似たような低密度で出現したのに対し、後者では多くの種が様々な密度で出現した事に起因していると考えられる。

優占度指数は平均多様度とほぼ負の関係にあり、平均多様度の低かった環境研地区と船津胎内第1地区で高く、平均多様度の高かった土丸尾第1、2地区で低かった。これは、他の群集構成種に比較して、環境研地区ではコツバメとミドリヒョウモンの、船津胎内第1地区ではイチモンジセセリとジャノメチョウの相対量がかなり大きかったことに起因している。

広域的な優占種と位置付けた4種の中で、富士北麓のチョウ類群集を特徴づける優占種としては、ミドリヒョウモンとジャノメチョウが挙げられよう。前種は森林依存の強い種であり、後種は草原性の種である。各地区間の優占種構成の主な違いは、各々の環境の違いに対応した結果と考えられた。コツバメが総種数の最も少なかった環境研地区で第1位の優占種であったことは特筆されよう。このことは、環境研地区が人手のほとんど入っていないアカマツ二次林の中に形成された新しい伐開地であり、明るい林縁的環境が新たに出現したことに大きく起因していたと考えられる。すなわち、伐開地に侵入してくる種の供給源としては、周りを取り囲む原生的なアカマツ林が最も近く、ここに従来より生息していたと考えられる種群（コツバメも含まれる）が今回、先ず優先して記録されたことが考えられる。一方、伐採直後に当たる1996年の調査時点では、移動力、分散力が大きいとされる、いわゆるパイオニア種は供給源との距離があるために、まだほとんどが環境研地区に侵入できていなかったものと推察される。

地区毎の種構成の比較では、種数の多かった土丸尾地区でのみ確認された種が多かったことが最も顕著である。土丸尾第1と第2地区の両方、あるいはどちらか一方でのみ確認された種は、18種あり、これらは大別すると2群に分かれる。1つはヒメシジミ、アサマシジミ、ヘリグロチャバネセセリ、コキマダラセセリ、ミヤマカラスシジミ、フタスジチョウ、ミスジチョウ、サカハチ

チョウなどで、多くは、高橋（1958, 1971）、清（1988）が言う富士山のチョウ相をよく特徴づける種に該当し、またアサマシジミ、ヘリグロチャバネセセリ、フタスジチョウは渡辺（1995）が述べる富士吉田市の富士北麓地域の特性種（富士北麓には分布するが、南麓には分布しない種）にあたる。これらのことから、土丸尾地区が、今回の調査地群の中では最も富士北麓を特徴づけるチョウ相を有していたと考えられる。もう1つは、標高1,000m以下の低山帯の農耕地や雑木林周辺を主生息地とする種群で、ヤマトシジミ、ヒメジャノメ、ウラナシジミ、ツマキチョウ、キマダラセセリ、クロヒカゲ、ミズイロオナガシジミ、アカシジミ、オオムラサキ、ゴマダラチョウがそれに該当した。この種群は恐らく、今回の調査地群の中では広葉樹が主体で、最も標高が低い土丸尾地区にのみ生息が可能だと考えられる。

地区間重複度については、高い値が最も隣接する地区間で得られた。また、それに次ぐ重複度は、中ノ茶屋と船津胎内第2（2.43km）および土丸尾第1と船津胎内第1（4.75km）などから得られた。恐らく前者は樹高が高い閉鎖性、後者は林間部の広い開放性といった環境構造の類似性がチョウ群集の類似性に関与していたと考えられる。一方、土丸尾と環境研、北麓公園と環境研は低い重複度を示したが、これも各地区間の環境構造が大きく異なることが原因していると考えられた。川ひとつ隔てて隣接する環境研と北麓公園のチョウ類群集構造が大きく異なっている事実は、注目に値する。

3. 富士北麓チョウ類群集の多様性と保全生物学的考察

図3-1-4に各群集の平均多様度と総平均密度の関係（a）、総種数と総平均密度の関係（b）を示した。両関係共に、有意の正の相関が認められ（a: $r_s=0.786$, $P<0.05$, b: $r_s=0.893$, $P=0.01$ ）、群集の平均多様度や総種数が増加するにつれて総平均密度も増加する傾向があった。

一方、図3-1-4で明白なように、当地域のチョウ群集を（a）多様度、種数が高く、密度も高い群集（土丸尾第1、第2地区）、（b）多様度、種数共に中程度で、密度が比較的高い群集（船津胎内第1、第2地区）、（c）多様度、種数共に中程度で、密度が比較的低い群集（中ノ茶屋、北麓公園地区）、（d）多様度、種数が低く、密度も低い群集（環境研地区）の4群に分類できる。前述したように、a群は広葉樹の植林、攪乱の少なさ、林縁部の草本植生の発達と、逆にd群は針葉樹（アカマツ）の二次林、誕生したての伐開地、過度の攪乱とリンクしていた。b、c群は共に針葉樹（アカマツ、カラマツ）の植林が主体の環境であったが、c群で密度が低かったのは、光条件の悪さ（中ノ茶屋地区）、または過度の人為攪乱（北麓公園地区）による林縁植生の未発達に起因していたと考えられる。

以上のことから、富士北麓の森林地帯のチョウ類群集の種多様性を維持するためには、人為攪乱があまり無く、光環境の良い林縁が必要であり（チョウの食餌植物や吸蜜植物を多く含むマント・ソデ群落の発達につながる）、また森林の種類も針葉樹よりは広葉樹林の方が優れていると考えられた。Warren (1985)、Greatedorex-Davies et al. (1993)、Sparks et al., (1996) などは英国の低地森林地帯で、森林の成長に伴い森に沿った小道 (ride) の日陰が増加し、その結果チョウ類群集の多様性が低下することを明白にしている。また、Spitzer, et al. (1993, 1997)、Kitahara and Fujii (1994)、Blair and Launer (1997) などは、人為的な攪乱圧の違いがチョウ類の群集構造を大きく変化させることを報じている。以上のように、光条件と攪乱の程度はチョウ類の群集構造に影響を与える環境要因の中では最も重要なものに位置付けられると考えられる。また、近年の研究で推移帯 (ecotone) がチョウ類群集の多様性に大きな貢献をしていることが強調されているが (田中・有田、1996)、森林地帯においても、推移帯にあたる林縁の構造がチョウ類群集の多様性に大きく影響していることが今回の結果からも示唆された。森林の林縁部の発達の程度は上記の光条件と攪乱の程度と密接に関係しており、今後はこれら三者の関係とチョウ類群集の関係をより明白にしていなければならないだろう。

本調査では、山梨県に隣接する神奈川県 of 絶滅種 (神奈川県で過去に生息していたが、現在既に絶滅した種) であるヒメシジミ、アサマシジミ (原ら、1995)、および神奈川県 of 絶滅危惧種 (神奈川県で個体数が著しく減少し、絶滅の可能性の高い種) であるヘリグロチャバネセセリ、コキマダラセセリ、ヒメシロチョウ、ヤマキチョウ、スジボソヤマキチョウ、ミヤマカラスシジミ、オオミスジ、ホシミスジ (原ら、1995) を確認することができた。これらの中には、ヒメシジミ、スジボソヤマキチョウ、ミヤマカラスシジミなど種によってはまだ個体数の多いものも見られ、富士北麓の自然環境がまだ本来的な姿を保持している 1 つの証拠と考えられた。一方これらの種は、前述の高橋 (1958, 1971)、清 (1988) が述べた富士山のチョウ相をよく特徴づける代表種と重複している種が多く、適度に人手の加わった草原や落葉広葉樹の疎林、およびその移行環境を主生息場所に行っているのが特徴で、神奈川県の場合には、(1) 土地開発や観光開発、(2) 都市化の山間地への急速な波及、および (3) 用途を失った雑木林の植林化、放置による荒廃化などが、絶滅および衰退の主要原因に挙げられている (原ら、1995)。

富士北麓においても現在、リゾート地としての観光開発、都市化の拡大、放置による草原や森林の荒廃化が進行しており、このままの状況が続けば、富士北麓も神奈川県と同じ事態になることが十分予測される。そこで、

現状の富士北麓のチョウ類群集の多様性を保持するためには、まず観光開発、都市化および草原・森林の荒廃化の縮小を進めていく必要があるだろう。また今回の調査でも明白になった多様度の高い森林環境、すなわち、適度の人為攪乱を受け、マント・ソデ群落の発達した明るい林縁部を伴う落葉広葉樹主体の森林を広い面積にわたって継続・維持していく必要があるだろう。また今回の調査でも明らかになったが、チョウの生息場所への人為的な働きかけ (例えば、下刈り、煎定などの植生管理) は、そのチョウ類群集に多大な影響を及ぼす (例えば、群集の単純化や種構成の変化)。そこで都市化や観光開発も含めた様々な人為が地域チョウ類群集へどのような影響を及ぼすのかを定量的にモニタリングし、より客観的なデータを蓄積していくことも地域チョウ類群集の多様性維持のためには不可欠と考えられる。

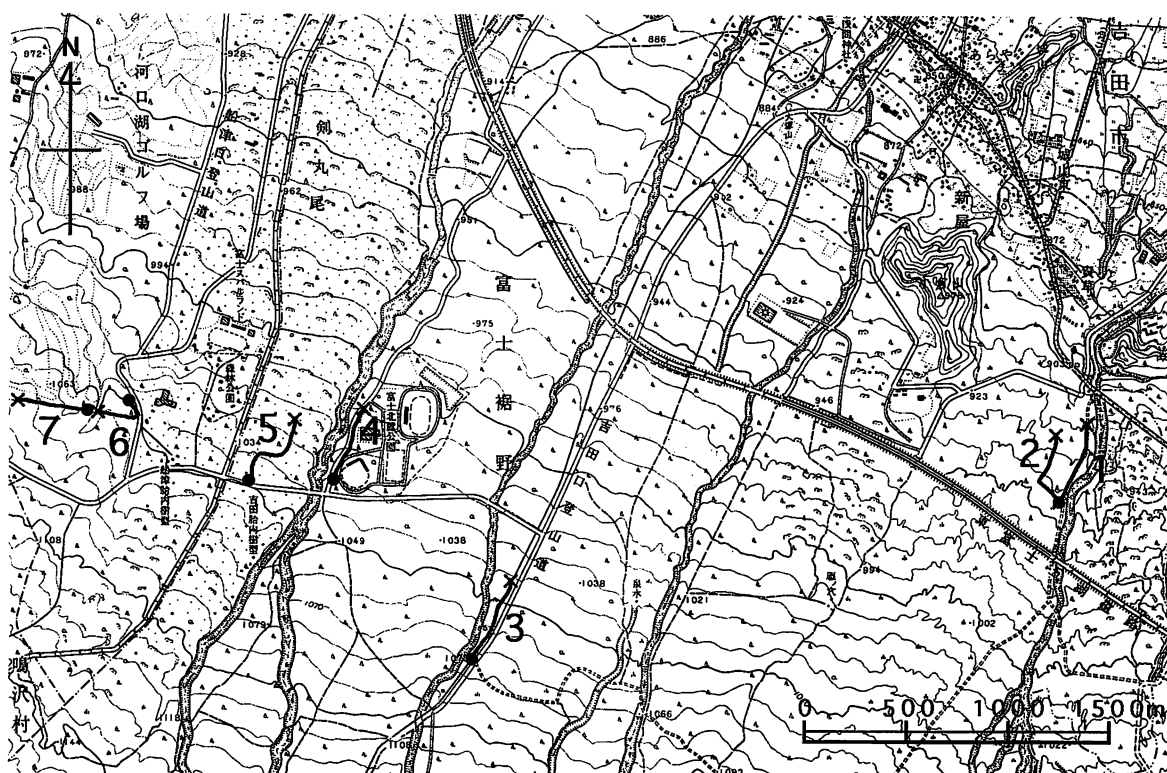


図 3-1-1 調査地周辺地図（使用地図は国土地理院発行25000分の1地形図、富士吉田より）。地図内の太線は各調査地区のセンサスラインを示す。黒点はセンサスの開始地点を示し、×は終了地点を示す。数字は以下の調査地区を示す：1；土丸尾①、2；土丸尾②、3；中ノ茶屋、4；富士北麓公園、5；山梨環境研、6；船津胎内①、7；船津胎内②。



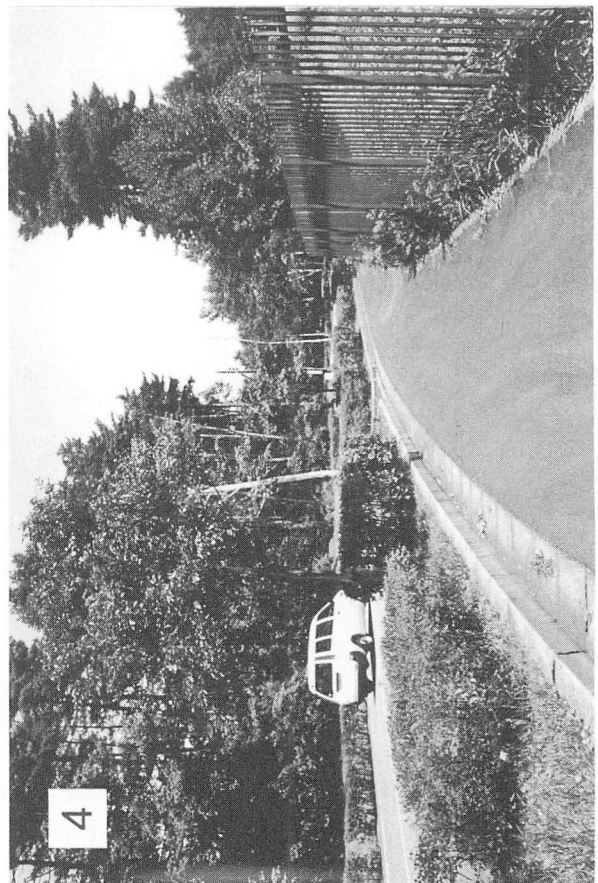
土丸尾第1地区



土丸尾第2地区



中の茶屋地区



北麓公園地区

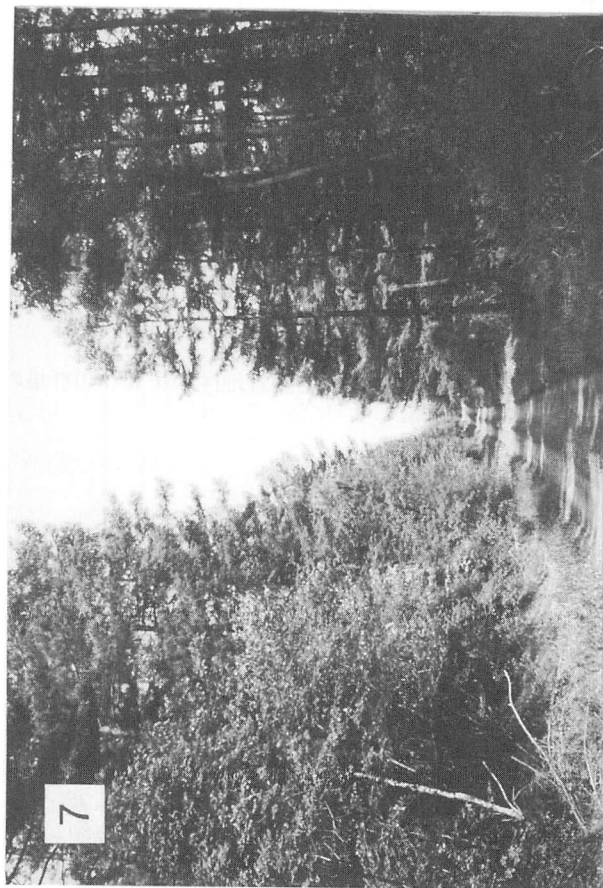
図3-1-2 調査地区の景観：1；土丸尾①，2；土丸尾②，3；中ノ茶屋，



環境研地区



船津胎内第1地区



船津胎内第2地区

4 ; 富士北麓公園, 5 ; 山梨環境研, 6 ; 船津胎内①, 7 ; 船津胎内②.

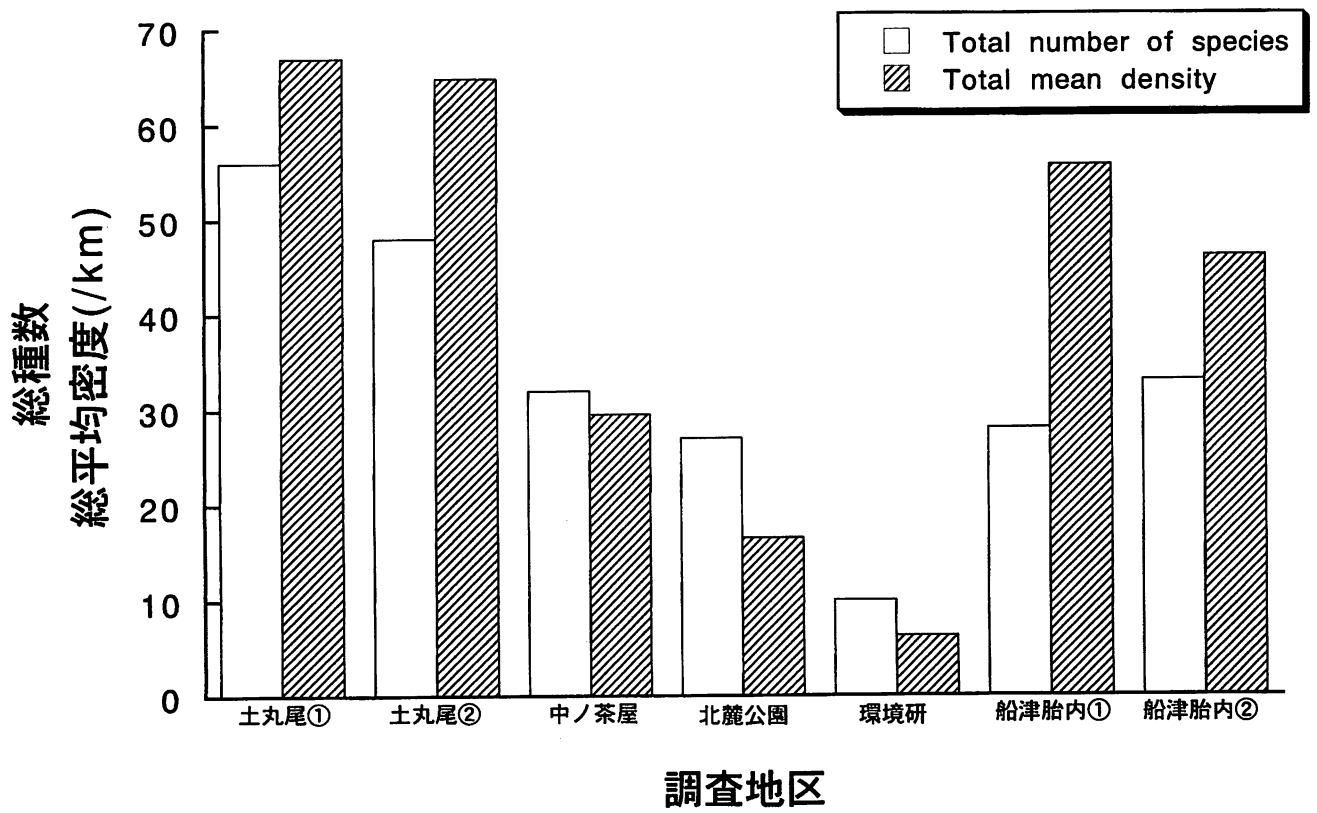


図 3-1-3 各調査地区のチョウ類群集の総種数と総平均密度（個体数／km）の比較。

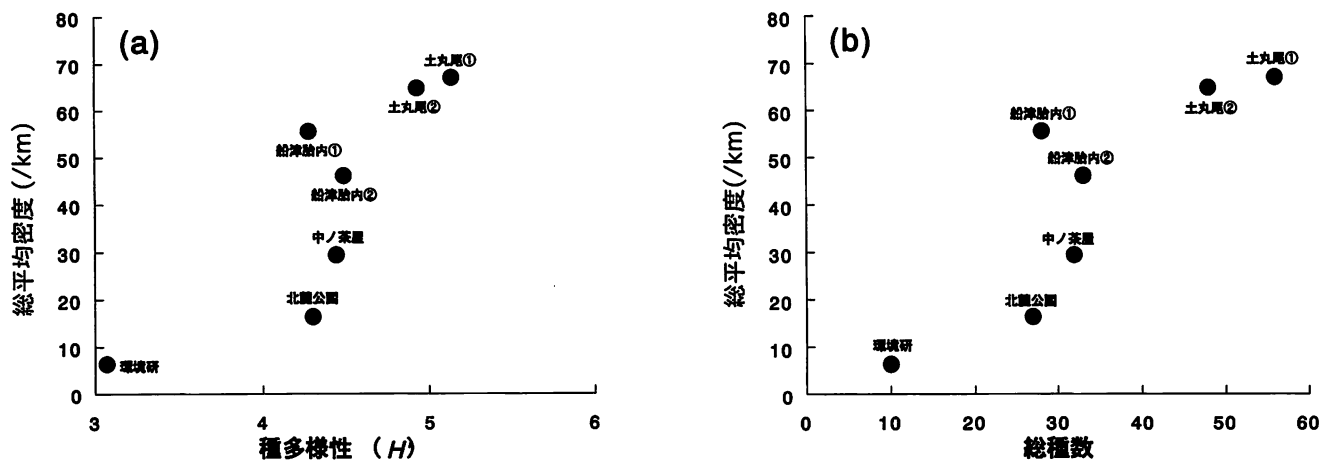


図 3-1-4 チョウ類群集の総平均密度と種多様性 (a) および総種数 (b) との関係

表 3－1－1 調査地区の概要

	土丸尾①	土丸尾②	中ノ茶屋	北麓公園
標高	920-940 m	920-940 m	1050-1075 m	1010-1030 m
植生 高木層			アカマツ・カラマツ植林	残存または移植木
亜高木層	ヤマハンノキ植林	ヤマハンノキ植林	落葉広葉樹	残存または移植木
マント群落の発達度	中程度	高い	中程度	低い
ソデ群落の発達の程度	高い	高い	中程度	低い
光環境（林縁部）	明るい	明るい	暗い	明るい
人為攪乱の程度（林縁部）	中	低	低	高

	環境研	船津胎内①	船津胎内②
標高	1030-1050 m	1050-1060 m	1050-1070 m
植生 高木層	アカマツ二次林	アカマツ・カラマツ植林	アカマツ・カラマツ植林
亜高木層	落葉広葉樹	落葉広葉樹	落葉広葉樹
マント群落の発達度	未発達	高い	高い
ソデ群落の発達の程度	未発達	極めて発達	高い
光環境（林縁部）	明るい	明るい	明るい
人為攪乱の程度（林縁部）	高	中	低

表3-1-2 今回の調査で確認された全チョウ類と各地区の平均密度 (No./km)

種名	土丸尾①	土丸尾②	中ノ茶屋	北麓公園	環境研	船津胎内①	船津胎内②	平均(合計)	出現地区数	和名
Hesperiidae										
<i>Erynnis montanus</i>	0.83 (4)	0.63 (3)	1.25 (5)	0.21 (1)	-	-	-	0.73 (13)	4	セセリチョウ科
<i>Daimio tethys</i>	0.21 (1)	1.04 (5)	0.21 (1)	-	-	-	1.04 (4)	0.63 (11)	4	ダイミョウセリ
<i>Choaspes benjaminii</i>	-	-	-	-	-	0.21 (1)	-	0.21 (1)	1	アオハセセリ
<i>Leptalina unicolor</i>	2.08 (10)	2.71 (13)	-	-	-	1.04 (5)	0.83 (2)	1.67 (30)	4	キンイチモンジセセリ
<i>Thymelicus sylvaticus</i>	0.21 (1)	1.04 (5)	-	-	-	-	-	0.63 (6)	2	ヘリグロチャバネセセリ
<i>Ochlodes venatus</i>	0.21 (1)	0.42 (2)	-	-	-	-	-	0.32 (3)	2	コキマダラセセリ
<i>Ochlodes ochraceus</i>	1.67 (8)	1.46 (7)	1.67 (12)	0.83 (4)	-	0.63 (3)	0.21 (1)	1.08 (35)	6	ヒメキマダラセセリ
<i>Potanthus flavus</i>	0.42 (2)	-	-	-	-	-	-	0.42 (2)	1	キマダラセセリ
<i>Thoressa varia</i>	-	-	0.13 (1)	-	-	0.42 (1)	-	0.28 (2)	2	コチャバネセセリ
<i>Parnara guttata</i>	4.79 (23)	3.54 (17)	1.88 (9)	1.25 (6)	0.63 (3)	13.54 (63)	7.5 (33)	4.73 (154)	7	イチモンジセセリ
Papilionidae										
<i>Parnassius glacialis</i>	-	0.21 (1)	1.67 (8)	-	-	1.88 (5)	2.29 (6)	1.51 (20)	4	アゲハチョウ科
<i>Papilio machaon</i>	0.63 (3)	0.42 (2)	-	-	-	0.21 (1)	-	0.42 (6)	3	ウスバシロチョウ
<i>Papilio xuthus</i>	0.63 (3)	0.42 (2)	-	-	-	-	0.21 (1)	0.42 (6)	3	アゲハ
<i>Papilio macilentus</i>	0.42 (2)	0.42 (2)	0.63 (3)	0.21 (1)	-	0.42 (1)	0.83 (2)	0.49 (11)	6	オナガアゲハ
<i>Papilio protenor</i>	-	0.21 (1)	-	0.21 (1)	-	-	1.04 (3)	0.49 (5)	3	クロアゲハ
<i>Papilio bianor</i>	1.04 (5)	0.83 (4)	1.04 (5)	0.83 (4)	0.42 (1)	0.83 (2)	0.83 (3)	0.83 (24)	7	カラスアゲハ
<i>Papilio maackii</i>	0.21 (1)	-	-	-	-	0.42 (1)	0.42 (1)	0.35 (3)	3	ミヤマカラスアゲハ
Pieridae										
<i>Leptidea amurensis</i>	2.08 (9)	0.63 (3)	0.13 (1)	0.63 (3)	0.21 (1)	0.42 (2)	-	0.68 (19)	6	シロチョウ科
<i>Eurema hecabe</i>	1.04 (5)	0.21 (1)	-	0.63 (3)	-	0.83 (3)	2.29 (10)	1.00 (22)	5	ヒメシロチョウ
<i>Gonepteryx rhamni</i>	0.83 (4)	0.21 (1)	0.21 (1)	-	-	0.42 (1)	-	0.42 (7)	4	キチョウ
<i>Gonepteryx aspasia</i>	5.63 (26)	3.96 (18)	2.50 (11)	-	-	1.67 (7)	2.08 (9)	3.17 (71)	5	ヤマキチョウ
<i>Colias erate</i>	2.71 (13)	0.42 (2)	-	0.21 (1)	-	2.08 (6)	1.67 (4)	1.42 (26)	5	スジホソヤマキチョウ
<i>Anthocharis scolymus</i>	0.63 (3)	0.42 (2)	-	-	-	-	-	0.53 (5)	2	モンキチョウ
<i>Pieris rapae</i>	1.25 (6)	-	-	-	-	0.21 (1)	-	0.73 (7)	2	ツマキチョウ
<i>Pieris melete or napi</i>	3.96 (19)	5.63 (27)	1.79 (11)	1.25 (6)	0.42 (2)	3.13 (13)	1.67 (6)	2.55 (84)	7	モンシロチョウ
Lycaenidae										
<i>Artopotes pryri</i>	0.21 (1)	-	0.29 (2)	-	-	-	1.25 (6)	0.58 (9)	3	スジミチチョウ科
<i>Shirozua jonasi</i>	-	-	-	0.21 (1)	-	-	-	0.21 (1)	1	ウラコマダラシジミ
<i>Japonica lutea</i>	0.63 (3)	0.42 (2)	-	-	-	-	-	0.53 (5)	2	ムモアカシジミ
<i>Antigius attila</i>	-	1.88 (9)	-	-	-	-	-	1.88 (9)	1	アカシジミ
<i>Neozephyrus japonicus</i>	0.42 (2)	1.88 (9)	0.21 (1)	-	-	-	-	0.84 (12)	3	ミズイロオナガシジミ
<i>Favonius orientalis</i>	0.21 (1)	0.42 (2)	-	0.21 (1)	-	-	-	0.28 (4)	3	シクリシジミ
<i>Favonius jezoensis</i>	-	0.63 (3)	-	-	-	0.42 (1)	-	0.53 (4)	2	オオシクリシジミ
<i>Rapala arata</i>	0.63 (3)	0.21 (1)	0.83 (4)	0.21 (1)	-	0.42 (1)	0.63 (2)	0.49 (12)	6	エゾシクリシジミ
<i>Fixsenia mera</i>	1.46 (7)	2.29 (11)	-	-	-	-	-	1.88 (18)	2	トラフシジミ
<i>Callophrys ferrea</i>	0.21 (1)	0.42 (2)	0.21 (1)	-	1.67 (4)	0.21 (1)	-	0.54 (9)	5	ミヤマカラスシジミ
<i>Lycaena phlaeas</i>	0.63 (3)	-	-	0.63 (3)	-	0.42 (1)	-	0.56 (7)	3	コウバメ
<i>Lampides boeticus</i>	0.63 (3)	-	-	-	-	-	-	0.63 (3)	1	ベニシジミ
<i>Pseudozizeeria maha</i>	0.42 (2)	-	-	-	-	-	-	0.42 (2)	1	ウナギシジミ
<i>Celastrina argiolus</i>	2.08 (8)	0.63 (3)	1.38 (8)	1.67 (5)	-	1.67 (5)	1.25 (4)	1.45 (33)	6	ヤマトシジミ
<i>Everes argiades</i>	3.13 (15)	2.50 (12)	-	0.63 (3)	-	2.92 (10)	1.04 (4)	2.04 (44)	5	ルリシジミ
<i>Plebejus argus</i>	2.71 (13)	-	-	-	-	-	-	2.71 (13)	1	ツバメシジミ
<i>Lycaeides subsolanus</i>	-	0.83 (4)	-	-	-	-	-	0.83 (4)	1	ヒメシジミ
<i>Cuetis acuta</i>	-	-	-	0.21 (1)	-	-	-	0.21 (1)	1	アサマシジミ
Libytheidae										
<i>Libythea celtis</i>	0.83 (4)	-	0.29 (2)	0.21 (1)	0.42 (1)	0.42 (2)	-	0.43 (10)	5	ウラギンシジミ
Danaidae										
<i>Parantica sita</i>	-	-	0.33 (2)	-	-	-	-	0.33 (2)	1	テングチョウ科
Nymphalidae										
<i>Argynome ruslana</i>	-	0.21 (1)	-	-	-	0.21 (1)	-	0.21 (2)	2	テングチョウ
<i>Argynnis paphia</i>	1.67 (8)	1.04 (5)	3.75 (26)	1.46 (7)	1.04 (5)	2.92 (13)	4.38 (16)	2.32 (80)	7	マダラチョウ科
<i>Nephargynnis anadyomene</i>	0.21 (1)	0.83 (4)	0.21 (1)	0.21 (1)	0.42 (1)	1.46 (5)	0.83 (3)	0.60 (16)	7	マダラチョウ
<i>Damora sagana</i>	0.21 (1)	1.04 (5)	0.21 (1)	-	-	-	0.21 (1)	0.42 (8)	4	オオムラサキ
<i>Fabriciana adippe</i>	0.63 (3)	-	0.71 (5)	0.21 (1)	0.63 (3)	1.46 (5)	-	0.73 (17)	5	ウスバムラサキ
<i>Speyeria aglaja</i>	-	-	0.29 (2)	-	-	0.83 (4)	0.42 (2)	0.51 (8)	3	キンホシムラサキ
<i>Limnitis camilla</i>	2.08 (10)	3.54 (17)	2.08 (15)	0.42 (2)	-	1.04 (5)	3.54 (14)	2.12 (63)	6	イチモンジチョウ
<i>Limnitis glorifica</i>	-	1.25 (6)	0.13 (1)	-	-	-	-	0.69 (7)	2	アサイチモンジ
<i>Neptis sappho</i>	3.54 (17)	4.58 (22)	1.46 (5)	0.63 (3)	0.42 (1)	1.67 (6)	1.04 (4)	1.91 (58)	7	コムラサキ
<i>Neptis phillyra</i>	0.21 (1)	0.42 (2)	-	-	-	-	-	0.32 (3)	2	ミズシチョウ
<i>Neptis alwina</i>	0.21 (1)	0.21 (1)	-	-	-	-	0.21 (1)	0.21 (3)	3	オオミスジ
<i>Neptis rivularis</i>	0.21 (1)	-	-	-	-	-	-	0.21 (1)	1	フタスジチョウ
<i>Neptis pryri</i>	1.67 (8)	4.79 (23)	0.29 (2)	-	-	0.21 (1)	0.83 (4)	1.56 (38)	5	ホシミスジ
<i>Araschnia burejana</i>	0.21 (1)	-	-	-	-	-	-	0.21 (1)	1	サカハチチョウ
<i>Polygonia c-aureum</i>	2.08 (8)	1.46 (4)	0.96 (3)	0.42 (1)	-	0.63 (2)	1.25 (3)	1.13 (21)	6	キタテハ
<i>Polygonia c-album</i>	0.63 (2)	-	1.04 (3)	-	-	0.21 (1)	0.63 (2)	0.63 (8)	4	シータテハ
<i>Kaniska canace</i>	1.04 (5)	0.42 (2)	-	-	-	0.63 (2)	0.63 (3)	0.68 (12)	4	ルリタテハ
<i>Nymphalis xanthomelas</i>	-	-	-	-	-	0.63 (2)	0.21 (1)	0.42 (3)	2	ヒトリシチョウ
<i>Inachis io</i>	-	-	0.21 (1)	-	-	-	-	0.21 (1)	1	クジャクチョウ
<i>Dichorraga nesimachus</i>	0.21 (1)	0.42 (2)	-	0.21 (1)	-	-	-	0.28 (4)	3	スミナガシ
<i>Apatura metis</i>	0.42 (2)	0.42 (2)	-	-	-	-	0.42 (1)	0.42 (5)	3	コムラサキ
<i>Hestina persimilis</i>	0.21 (1)	-	-	-	-	-	-	0.21 (1)	1	ゴマダラチョウ
<i>Sasakia charonda</i>	-	0.83 (4)	-	-	-	-	-	0.83 (4)	1	オオムラサキ
Satyridae										
<i>Ypthima argus</i>	1.25 (6)	1.46 (7)	1.54 (10)	0.42 (2)	-	2.71 (9)	2.50 (8)	1.65 (42)	6	ジャノメチョウ科
<i>Minois dryas</i>	4.17 (20)	5.00 (24)	-	2.29 (11)	-	6.25 (28)	1.88 (8)	3.92 (91)	5	ヒメウラナミジャノメ
<i>Lethe diana</i>	0.21 (1)	-	-	-	-	-	-	0.21 (1)	1	ジャノメチョウ
<i>Mycalesis gotama</i>	0.21 (1)	-	-	-	-	-	-	0.21 (1)	1	クロカゲ
Total	66.96 (314)	64.86 (307)	29.53 (163)	16.51 (75)	6.28 (22)	55.70 (221)	46.06 (172)	65.84 (1274)		

()内の数字は実個体数

表 3-1-3 各地区の群集指数の値

群集指数	土丸尾①	土丸尾②	中ノ茶屋	北麓公園	環境研	船津胎内①	船津胎内②
総平均密度 (/km)	66.96	64.86	29.53	16.51	6.28	55.70	46.06
総種数	56	48	32	27	10	28	33
種多様性 (H')	5.138	4.925	4.439	4.301	3.072	4.284	4.486
種多様性 ($1-\lambda$) *	0.965	0.958	0.939	0.948	0.900	0.889	0.934
均衡度指数 (E)	0.885	0.882	0.888	0.905	0.925	0.891	0.889
優占度指数 (DI)	0.156	0.164	0.212	0.240	0.432	0.355	0.258

* : シンプソンの多様度指数 (1949) : $1-\lambda$; $\lambda = \sum n_i(n_i-1)/N(N-1)$, n_i : i 番目の種の個体数 N : 総個体数

表 3-1-4 各地区の優占種の構成とその平均密度

土丸尾①	土丸尾②	中ノ茶屋	北麓公園	環境研	船津胎内①	船津胎内②
スジボソヤマキチョウ 4.79	スジグロシロチョウ類 5.63	ミドリヒョウモン 3.75	ジャノメチョウ 2.29	コツバメ 1.67	イチモンジセリ 13.54	イチモンジセリ 7.50
イチモンジセリ 4.79	ジャノメチョウ 5.00	スジボソヤマキチョウ 2.50	ルリシジミ 1.67	ミドリヒョウモン 1.04	ジャノメチョウ 6.25	ミドリヒョウモン 4.38
ジャノメチョウ 4.17	ホシミスジ 4.79	イチモンジチョウ 2.08	ミドリヒョウモン 1.46	ウラギンヒョウモン 0.63	スジグロシロチョウ類 3.13	イチモンジチョウ 3.54
スジグロシロチョウ類 3.96	コミスジ 4.58	イチモンジセリ 1.88	イチモンジセリ 1.25	イチモンジセリ 0.63	ツバメシジミ 2.92	ヒメウラナミジャノメ 2.50
コミスジ 3.54	スジボソヤマキチョウ 3.96	スジグロシロチョウ類 1.79	スジグロシロチョウ類 1.25	カラスアゲハ 0.42	ミドリヒョウモン 2.92	ウスバシロチョウ 2.29
..				スジグロシロチョウ類 0.42		キチョウ 2.29
				テングチョウ 0.42		
				クモガタヒョウモン 0.42		
				コミスジ 0.42		

表 3-1-5 各地区間のチョウ類群集の類似度指数 (α) (表の左下側) と各地区間距離 (表の右上側)

調査地区	土丸尾①	土丸尾②	中ノ茶屋	北麓公園	環境研	船津胎内①	船津胎内②
土丸尾 ①	-	0	3.00	3.60	3.95	4.75	5.08
土丸尾 ②	0.838	-	2.85	3.45	3.79	4.59	4.93
中ノ茶屋	0.658	0.585	-	1.13	1.35	2.13	2.43
北麓公園	0.708	0.624	0.615	-	0.35	1.15	1.48
環境研	0.323	0.283	0.472	0.390	-	0.83	1.15
船津胎内①	0.720	0.609	0.549	0.711	0.403	-	0
船津胎内②	0.706	0.613	0.762	0.660	0.408	0.862	-

(2) 富士山北麓森林地帯のチョウ類群集における成虫の食物資源利用様式

I. はじめに

今まで、チョウのトランセクト調査は、イギリスを中心に世界で広く行われてきている (Pollard, 1977; 石井, 1993; Pollard and Yates, 1993)。日本でも、森下 (1967) の先駆的研究を筆頭に、近年、広くトランセクト法を用いたチョウ類の群集構造解析の研究が行われるようになった (山本, 1988, 1998; 石井, 1993; 矢田, 1996a; 今井・石井, 1998)。一方、現在急速に進行しつつある地球的規模の生物多様性の著しい衰退に対し、それらの現状を詳細に把握し、保護・保全策を探っていく保全生物学・保全生態学が台頭してきた。その中でも、トランセクト法を積極的に活用した生物群集の評価とその保全の研究が盛んに行われている (Spitzer et al., 1993, 1997; Hill et al., 1995; Hamer et al., 1997; Natuhara et al., 1999)。現在、トランセクト法は群集をモニタリングできる数少ない簡便な手法として、また群集の保全生物学のアプローチに寄与できる強力な手法としての地位を確立しつつある。

しかし、上記のようなトランセクト法を使用した研究は、ほとんどが群集構成種の成虫の個体数モニタリングのデータに基づくものであり、利用資源のデータまで含めて群集解析を行った研究はほとんど知られていない。チョウの食物資源利用に関する研究も、定性的記載が知られているのみで (福田ら, 1982, 1983, 1984 a, b)、資源利用様式を群集レベルで定量的に解析した研究は知られていない。

チョウ類群集の保全を考えるには、群集の種多様性の様式とそのメカニズムの解明は必須の事項である。一般にチョウ類の種数や種多様性は、生態的遷移の途中の段階で最も多くあるいは高くなり、極相林などの遷移の後期の段階になるとかえって減少することが知られている (Erhardt, 1985)。その理由の 1 つとして、遷移の途中の段階でチョウの利用する食物資源が種類的にも量的にも最も豊富に存在することが挙げられる。したがって、チョウ類群集の保全を考える上で、その利用食物資源の解析は重要な部分を占めると考えられるが、チョウ類群集の多様性と利用資源の関係を定量的に解析し、その保全について考察した研究はほとんど知られていない。

本章では、前章で扱われたチョウ類群集データを野外で実際に集積する際に、同時に集積された成虫の利用食物資源のデータを基盤にして、富士山北麓の標高1,000 m 近傍の森林地帯におけるチョウ類群集の成虫の食物資源の利用様式を明らかにした。また、成虫の利用餌資源の特徴とチョウ群集の多様性の関係を解明することにより、森林地帯の地域チョウ類群集の保全について考察した。なお本章の内容については、プロジェクト研究の成

果の一部として、既に日本環境動物昆虫学会誌上に発表済みであることを付記しておく (北原, 2000)。

II. 調査地および調査方法

1. 調査地・方法の概要

調査地・調査方法については前章で詳しく述べたので、ここでは省略する。但し、成虫の利用食物資源のデータについては、各トランセクト調査の実施時に、成虫の餌資源の利用が確認された場合には、その餌資源の種類とそれを利用していた成虫の個体数を記録して、解析のための基準データとした。

2. データの解析

データの解析法の詳細は前章に示した。

その他、成虫の利用餌資源として蜜源植物が最も多く記録されたが、これらについては一年草、多年草 (以上、草本植物)、低木、高木 (以上、木本植物) に分類した。また、解析で扱った各チョウの化性は、海野・青山 (1981) と実際のモニタリング結果に基づく個体数季節変動の値から推定した。さらに、各種の幼虫の潜在食性幅は、遠藤・仁平 (1990) に記載されている食餌植物を基にして決定した。

III. 結果

1. 成虫の利用餌資源

成虫の利用餌資源は全地区を通じて48種類 (アザミ類とタンポポ類はそれぞれ1種として扱った) が確認され、その内、45種類 (93.8%が植物であり、クヌギの樹液利用以外は全て訪花 (花蜜の利用) であった。残りの3種類は、路上の水、人の汗、鳥の糞などの液体利用であった (図3-2-1)。また、利用された45種の植物の内訳は、草本が36種 (80.0%)、木本が9種 (20.0%) で、草本の内、一年草が7種 (15.6%)、多年草が29種 (64.4%)、木本の内、低木が6種 (13.3%)、高木が3種 (6.7%) であった。

図3-2-1に確認された成虫餌資源とそれらを利用していたチョウの種数の関係を示した。5種以上のチョウの利用が確認された餌資源は、路上水、ヒメジョオン、アカツメクサ、ウツギ、シロツメクサ、オカトラノオ、コウゾリナ、タイアザミの8種類であり、路上水とウツギを除いて、全て草本植物であった。これらは比較的多くのチョウ種が利用する餌資源とみなすことができよう。路上吸水は20種のチョウ類で確認され、またヒメジョオンは13種のチョウ類が利用していた。4種以下のチョウ種の利用が確認された餌資源は40種類であり、その多くは草本植物であった。これらは、当地域では比較的限られたチョウ種が利用する餌資源と考えることができる。図3-2-2は、成虫餌資源とそれらを利用していた成虫の個体数 (全てのチョウ種を込みにした値) の

関係を表したものである。多くの個体に利用されていた餌資源は、前記の多くのチョウ種に利用されていた資源とほとんど同じで、タイアザミ、路上水、ヒメジョオン、ウツギ、アカツメクサ、コウゾリナなどが該当し、大部分が草本植物であった。中でもタイアザミでは74個体の利用が確認されたが、その内の53個体（71.6%）がイチモンジセセリであり、本種の初秋の個体数増加期における重要な蜜源植物になっていたと考えられる。上記以外の餌資源は、少数の個体の利用しか確認されなかった。

図3-2-3は、成虫餌資源とそれらが利用されていた調査地区数の関係を示したものである。4地区以上で成虫に利用されていた餌資源はタイアザミ、ヒメジョオン、路上水、ヤマハギ、ノコンギクの5種類で、路上水以外、草本植物であった。これらは、当地では比較的広域的に様々な環境で利用されている餌資源といえよう。一方、全体の約半分に当たる餌資源は、限られた一地区でのみ利用が確認されたもので、広域に分布する資源もあったが、特定の地区でよく見かけられるような資源が多かった。

図3-2-4は、成虫餌資源とそれらの利用されていた月数の関係を図示したものである。3ヵ月以上にわたって利用されていた餌資源は4種類あり、アカツメクサ、路上水、コウゾリナ、ヒメジョオンがそれに該当した。これらは、当地で長期にわたって利用できる餌資源といえよう。しかし、成虫資源の大部分（34種、70.8%）は、ある一月の間に利用が限定されていた。これらの多くは花の咲く一時期に利用が集中する短期的な餌資源と考えられる。

2. 成虫餌資源のニッチ幅

図3-2-5に、群集構成種と各種成虫の確認できた利用餌資源の種類数の関係を示す。5種類以上の利用餌資源が確認できたのは7種類であった。これらの種類の成虫はこの地域では広食性種（generalist）とみなすことができる。そのうち、イチモンジセセリ、ツバメシジミ、スジグロシロチョウ類などは多化性種であり、スジボソヤマキチョウ、ミドリヒョウモン、ヒメキマダラセセリ、ミヤマカラスシジミなどは富士北麓では比較的個体数の多い代表種である（北原、1999）。一方、群集を構成していた大部分の種は、調査中に利用餌資源が確認できなかったか、わずかに数種類の餌資源の利用しか確認できなかった種であった。これらには、個体数の著しく少なかった種も多々含まれているので、一部は成虫餌資源に関する狭食性種（specialist）と考えられるが、成虫の観察頻度の少なさに起因する利用餌資源の観察もれの可能性もある。

図3-2-6は、群集構成種と各種の年間を通して資源を利用していた成虫個体数の関係を示したものである。餌資源を利用していた成虫が多く確認された種は、

前記の多くの種類の餌資源を利用していた種と完全に一致していた。中でも、イチモンジセセリの餌資源利用個体数は突出しており、これは初秋期に本種の個体数が急増したことから、ほとんどの成虫がタイアザミなどの花で吸蜜しているところを観察されたことによる。当然の結果ではあるが、年間を通じて確認個体数の少なかった種は、餌資源を利用していた個体数も少なくなっている。

1化性と2化性以上（多化性）の種群で成虫餌資源のニッチ幅（各種の成虫の利用資源の種類数）を比較したところ、両種群間には有意な違いは認められなかった（Mann-WhitneyのU検定： $U=566.5$, $z=-0.928$, $P>0.05$ ）。また、幼虫の潜在食性幅として、記載されている幼虫の食餌植物が1科の植物に限定されている種群（幼虫狭食性）と2科以上にまたがっている種群（幼虫広食性）で、成虫餌資源のニッチ幅を比較したところ、両種群間には有意な違いは認められなかった（Mann-WhitneyのU検定： $U=418.5$, $z=-1.664$, $P>0.05$ ）。次に、各種の成虫餌資源のニッチ幅とその種の出現した調査地区数の関係を見たところ、両者の間には正の相関関係が認められた（ $r=0.553$, $P<0.01$ ）（図3-2-7a）。すなわち、成虫が広食性な種ほど、より多くの調査地区で出現していたことになる。また、成虫餌資源のニッチ幅は、各種の年平均密度とも正の相関関係が認められた（ $r=0.662$, $P<0.01$ ）（図3-2-7b）。このことから、成虫が広食性な種ほど、個体群密度も高かったことになる。

3. 成虫餌資源の地区間特性とチョウ類群集の関係

図3-2-8に、各地区で実際に利用が確認できた成虫餌資源数と各地区のチョウ類群集の総種数および総平均密度の関係を示した。地区ごとの成虫餌資源数とチョウ類群集の総種数の間には、有意な関係は認められなかったが（ $r=0.673$, $P>0.05$ ）（図3-2-8a）、地区ごとの成虫餌資源数とチョウ類群集の総平均密度の間には、高い有意の正の相関関係が認められた（ $r=0.880$, $P<0.01$ ）（図3-2-8b）。すなわち、チョウ類の密度の高かった（個体数の多かった）地区ほど、実際により多くの種類の餌資源が成虫に利用されていた。このことから、地区ごとの成虫餌資源の種類の豊富さが、そのチョウ類群集のバイオマス（総個体数）を規定していると推察される。

調査地区別に多種のチョウに利用されていた餌資源を見てみると（表3-2-1）、地区ごとの特徴がいくつか見いだせる。土丸尾第1地区は未舗装の比較的広い林道があり、そこが多くの種の吸水の場として利用されていた。土丸尾第2地区はクヌギ、コナラが7地区中で最も多く、その樹液がいくつかの種に利用されていたのが特徴といえる。中ノ茶屋地区は閉鎖的な林内のトランセクトで、草本よりもウツギなどの落葉低木がよく利用さ

れていた。北麓公園地区は舗装道路や管理植生主体の人為度の高い場所で、多種が利用していた餌資源は無かった。山梨環境研地区は工事用の未舗装の作業路が、吸水の場として3種に利用されていた。船津胎内第1地区はソデ群落が発達しており、そこに見られる様々な草本植物が多くの種に利用されていた。船津胎内第2地区はソデ・マントの両群落が発達しており、そこに見られる幾つかの草本および低木が多くの種に利用されていた。

図3-2-9aに成虫の利用資源の数の月別変化を示した。成虫が利用していた餌資源の種類は、4月より徐々に増加して9月に最大になり、10月に一気に減少した。資源数が最大値を示した9月は、タイアザミ、ヤマハギ、コウゾリナ、ノコンギクをはじめとする21種類の花が、各種成虫に利用されていた。一方、各種資源を利用していたチョウの延べ種類数の月別変化は、7月と9月にピークの存在する二山型を示した(図3-2-9b)。7月は路上吸水20種、ヒメジョオン訪花15種、ウツギ訪花12種、オカトラノオ訪花7種など、延べ73種のチョウによる14資源の利用が確認された。9月はタイアザミ17種、ヤマハギ7種など、21資源で61種のチョウの利用が確認された。7月は9月に比較し、確認利用資源数は少なかったが、多種のチョウに利用される資源の存在が、ピークの形成に大きく寄与したと考えられる。

IV. 考 察

1. 成虫の利用食物資源について

今回の調査で、成虫の食物資源として植物(花)、特に多年草などの草本植物がよく利用されており、成虫食物資源として大変重要であることが判明した。従来、チョウ類各種の成虫がどのような餌資源を利用しているかについての記載は、かなり詳細になされてきたが(福田ら、1982, 1983, 1984a, b)、これらを地域群集を対象として、各種間で定量的に扱った仕事は、おそらく今回が初めてと考えられる。

確認された成虫餌資源は、各々のチョウによる利用様式に違いが見られた。しかし、多種の成虫、多個体の成虫に利用されていた餌資源はほとんど共通しており、路上水、ヒメジョオン、アカツメクサ、ウツギ、コウゾリナ、タイアザミなどがそれに該当した。これらの多くは草本植物であり、そのほとんどが森林の林縁部や道沿いのソデ群落に分布していた。また、路上吸水は最も多くのチョウ類(20種)で確認されたが、未舗装の道路の水たまり付近や湿った部分がよく利用されていた。一方、舗装道路や未舗装でも草の生い茂った道、植物群落の中(ソデ・マント群落、森林内林床部)は、吸水にはほとんど利用されていなかった。今回の調査は主に森林地帯で実施されたが、木本植物でチョウの成虫の餌利用が確認されたのは3種(2種が花蜜利用、1種が樹液利用)のみで、全てが落葉広葉樹であり、多くの地区で優占し

ていた針葉樹の利用は全く確認できなかった。

空間的に広域で利用されている餌資源や時間的に長期にわたって利用されている餌資源も特定できたが、これらも幾つか(ヒメジョオン、路上水など)は共通しており、路上水以外は全て草本植物であった。アカツメクサ、ヒメジョオン、コウゾリナ、タイアザミなど広域的もしくは長期的に成虫に利用されていた植物が、道路脇や林縁のソデ群落にきわめて普通に見られる草本植物であることは、注意すべき点であろう。

2. 各種の成虫食物資源のニッチ幅と関連特性

今回の調査では、成虫の食物資源の利用様式に群集の構成種間で変化の見られることが明白になったが、相対的に多くの種類の餌資源を利用していた種(generalist)の多くは、多化性種もしくは富士北麓の群集の優占種や特性種などであった。一方、数種類の餌資源の利用しか確認できなかった種、もしくは資源の利用が確認できなかった種も多く、これらは、成虫餌資源に関する狭食性種(specialist)であるか、利用資源の観察もれの可能性が大きかったと考えられる。

各種の幼虫の潜在食性幅と成虫の食性幅の間に関連性があるかどうかは、関心の持たれるところであるが、今回の解析においては、両者の間に有意な関係は認められなかった。すなわち、幼虫が狭食性でも成虫が広食性、幼虫が広食性でも成虫が狭食性という組み合わせが存在していることを示している。一般的には、多化性種は年間の色々な季節に成虫が出現するので、様々な餌資源を利用している(generalist的)と考えられるが、今回の解析では、成虫の食性幅と化性の間には有意な関係は認められなかった。このことは1化性種でも、成虫の寿命が長いことなどにより、多種の蜜源植物を利用している種がいることに起因している。

成虫の食性幅は各種の出現した調査地区数、および年平均密度との間に正の相関関係が認められた。すなわち、成虫がより多くの種類の資源を利用していた(広食性)種ほど、多くの地区で見られ(広域分布)、また個体群密度も高かった。今回の調査では、成虫が確認された時に餌資源の利用が見られたかどうかを記録したので、多くの地区で見られ、個体数も多かった種ほど成虫の観察機会は多かったわけで、そのために、そのような種ほど多くの種類の餌資源の利用が確認されたという可能性はある。しかし、図3-2-7で明らかのように、多くの地区で見られた種の中に数種類の資源しか確認できなかった種がいること(図3-2-7a)や、個体群密度が低い種の中にも多種の餌資源が確認されている種がいる(図3-2-7b)ので、上記の可能性はある程度否定できると考えられる。

以上のような、成虫資源のニッチ幅と他の諸特性との関係を定量的に解析した事例は、少なくとも日本産チョ

ウ類においてはほとんど知られていない。従って、これらの関係の普遍性や再現性を見るためにも、今後、同様な解析が各地の群集で行われることが望まれる。また、近年のマクロ生態学 (macroecology) においては、生物の資源利用に関するニッチ幅が、種の分布様式や個体群密度およびその変動、生態的 (生活史) 特性などに影響し関連を持つことが強調されている (Brown, 1984, 1995; Gaston and Lawton, 1988a, b; Pianka, 1988; Redfearn and Pimm, 1988; Cockburn, 1991; Hanski et al., 1993; Lawton et al., 1994)。このようなアプローチは保全生物学とも深い関連性を持っており、地域群集の保全という視点からも、このような解析をさらに押し進めていく必要があると考えられる。

3. 地区別の成虫餌資源量とチョウ類群集の関係

Feber et al. (1996) は英国の耕作地周縁環境におけるチョウ類の調査から、そこに生息する成虫の個体数は、主要蜜源植物の花の量と最も密接に関係していることを見出した。Steffan-Dewenter and Tscharnitzke (1997) も、チョウ群集の種数の変化を最も良く説明するのは、生息場所の蜜源植物の花の量 (これはその植物全体の種数とも密接に相関があった) であることを明らかにした。また、Usher and Keiller (1998) は、英国の農業地帯の森林におけるガの種数の一番の指標は、森林内の草本植物の種数であることを見出ししている。

今回の調査では、各地区ごとの確認できた成虫餌資源数 (種類) は、地区ごとのチョウ類群集の種数とは有意な関係にならなかったが、総平均密度との間には正の相関関係が認められた。すなわち、チョウの密度がより高かった (個体数が多かった) 地区ほど、確認された成虫餌資源の種類が豊富であった。この結果は上記のFeber et al. (1996) のものとよく類似している。以上から、成虫餌資源の種類の豊富さが、チョウ類群集の総個体数の増大に大きく貢献していることが考えられる。

成虫餌資源とチョウ類群集構造の関連性は、調査地区ごとのチョウの利用種類数の多い餌資源上位5種の違いを見てもよく分かる (表 3-2-1)。調査地区間の環境の違いは、地区間の成虫餌資源の分布の違いを生み出し、その結果が地区間の餌資源の利用様式の違いとなって表れていると考えられる。また、成虫の資源利用様式は種ごとに全て異なっている (図 3-2-5)、地区間の餌資源の分布様式の違いは、そのまま、そこに存在するチョウ類の群集構造の違いに関係していると考えられる。今回の調査では、成虫餌資源量 (種類数) と群集の総平均密度の密接な関係が明白になったが、今後、地域群集の保全を考える上で、物理的環境、食物資源 (幼虫および成虫)、チョウ類群集構造の3者の関係をより定量的に解明することが重要と考えられる。

4. 成虫の餌資源利用からみたチョウ類群集の保全

生物にとって餌資源の有無は、その生物がある環境に生息できるか否かの直接的な最重要要因の1つと考えられる。今回の結果において、チョウ類の成虫に最も利用されている餌資源は色々な植物の花蜜であること、また利用されている植物は、主に森林地帯で行った調査にも関わらず、多年草などの草本植物がほとんどであることが判明した。森林地帯においても、主に草本植物が餌資源として重要な役割を演じていることは、英国における森林内の草本植物の種数がそのガ類群集総種数の最大の指標であるという結果 (Usher and Keiller, 1998) にも如実に示されている。今回利用されていた多年草などの草本植物の大部分は、森林の林縁部や道路脇のソデ群落で見られた。樹冠に被われ薄暗い林縁 (中ノ茶屋地区)、攪乱行為 (草刈) が頻繁に行われていた林縁 (北麓公園地区)、切り開かれて歴史の浅い林縁 (環境研地区) においては、ソデ群落が発達で利用されていた草本植物は少なかった。多種や多個体の成虫から利用されていた餌資源 (チョウ類群集の種数や総個体数の増大に大きく影響する資源と考えられる) も、ほとんどがソデ群落に見られた草本植物であった。以上から、地域のチョウ類群集の多様性 (種数や総個体数) の維持のためには、チョウの分布・生息に直接関与する要因である餌資源の確保が必須であり、そのためには今回のような森林地帯においても、主要な餌資源である草本植物の含まれるソデ群落の発達した林縁 (明るく、攪乱は少ない) を擁する森林を、広い面積にわたり保全していく必要があるだろう。

一般にチョウ類の種多様性は、適度な攪乱の働く林縁的環境で最も高いと言われている (木元・武田, 1989; 石井ら, 1995; 石井, 1996; 矢田, 1996b; 田下・市村, 1997; 関谷, 1998)。その理由の1つとして、林縁的環境にはチョウの成虫や幼虫の餌資源 (蜜源植物や食餌植物) が豊富にあることが指摘されている (石井ら, 1995)。今回の結果はこの指摘を証拠づけ支持しており、確認された成虫の餌資源のほとんどが草本植物であり、明るく過度の攪乱の無い、ソデ群落の発達した林縁環境としっかり結び付いており、そのような環境を含む地区でチョウの種数や個体数が事実多かった。石井ら (1995) は、林縁部分を拡大すればチョウ類の種多様度と密度を拡大できると結論したが、このことも今回の成虫食物解析結果から支持されよう。一方、Kitahara (1999) は、森林の林縁部のソデやマント群落の発達が、チョウの種群の分化や形成に影響し、ひいては群集の多様性の増大につながることを指摘したが、この指摘も今回の解析結果と関連性があり矛盾はしない。また、Natuhara et al. (1999) は、地域チョウ類群集の多様性維持のためには、生息場所の多様性の維持が重要であると主張したが、成虫主要資源の草本植物は、単一な森林景観の環境よりも

明るい林縁や空地を擁する森林地帯に多く見られ、成虫の餌資源利用から見ても、Natuhara et al. (1999) の主張は正しいといえ、以下の論議においてもこの主張は支持される。

今回の解析においては、最も多種（全20種）の成虫が利用していた餌資源は路上の水であった。前記したように吸水のほとんどは未舗装の道路上で確認された。したがって、チョウ群集多様性維持のためには、この最多種利用資源の水を利用できる環境要素を生息場所の中に配置してやることが重要だろう。そういった意味で、森林の中や周縁部を通る道路（但し未舗装で交通量が少ない）もチョウに重要な資源を提供しており、多様性維持には必要な環境要素と考えられる。また、草本植物に比較すると割合はずっと少ないが、林縁部のウツギ、ノリウツギ、コゴメウツギ、サンショウなどの低木（花）もチョウはよく利用しており、ソデ群落だけでなく利用されている低木から見ても、林縁部は重要と考えられる。前記したように、高木で利用されていたのはわずかに3種で、しかも全て広葉樹であった。したがって、成虫の資源利用という点からも、針葉樹よりは広葉樹林の方が多様性維持のために望ましいと考えられる。今回の調査で、ほぼ同じようにソデ・マント群落の発達していた船津胎内地区と土丸尾地区で、後者の方が種数や総個体数が多かったのは、前者が針葉樹の植林で後者が広葉樹の植林であることによる高木層の餌資源数（成虫幼虫含めての）の違いに起因していたことが推測される。

以上要約すると、成虫の餌資源利用からみた地域森林チョウ類群集の多様性の維持は、成虫餌資源の多いソデ群落の発達した林縁や空地を擁する森林を広く保全すること、その際、吸水ができるような道路などの裸地を森林周辺に配置し、また森林は針葉樹よりは広葉樹の混合林の方が望ましいと考えられた。今井（1998）はビオトープ建設の実例をあげた上で、成虫の蜜源植物や幼虫の食餌植物の植栽が、実際にチョウの種数や個体数の飛躍的増加につながることを指摘したが、このように成虫や幼虫の食物資源は、チョウの多様性保全の応用面に直結する事項と考えられ、今後ますますの生態学的知識の蓄積が必要とされる。

成虫の利用資源 和名 利用していたチョウ種数

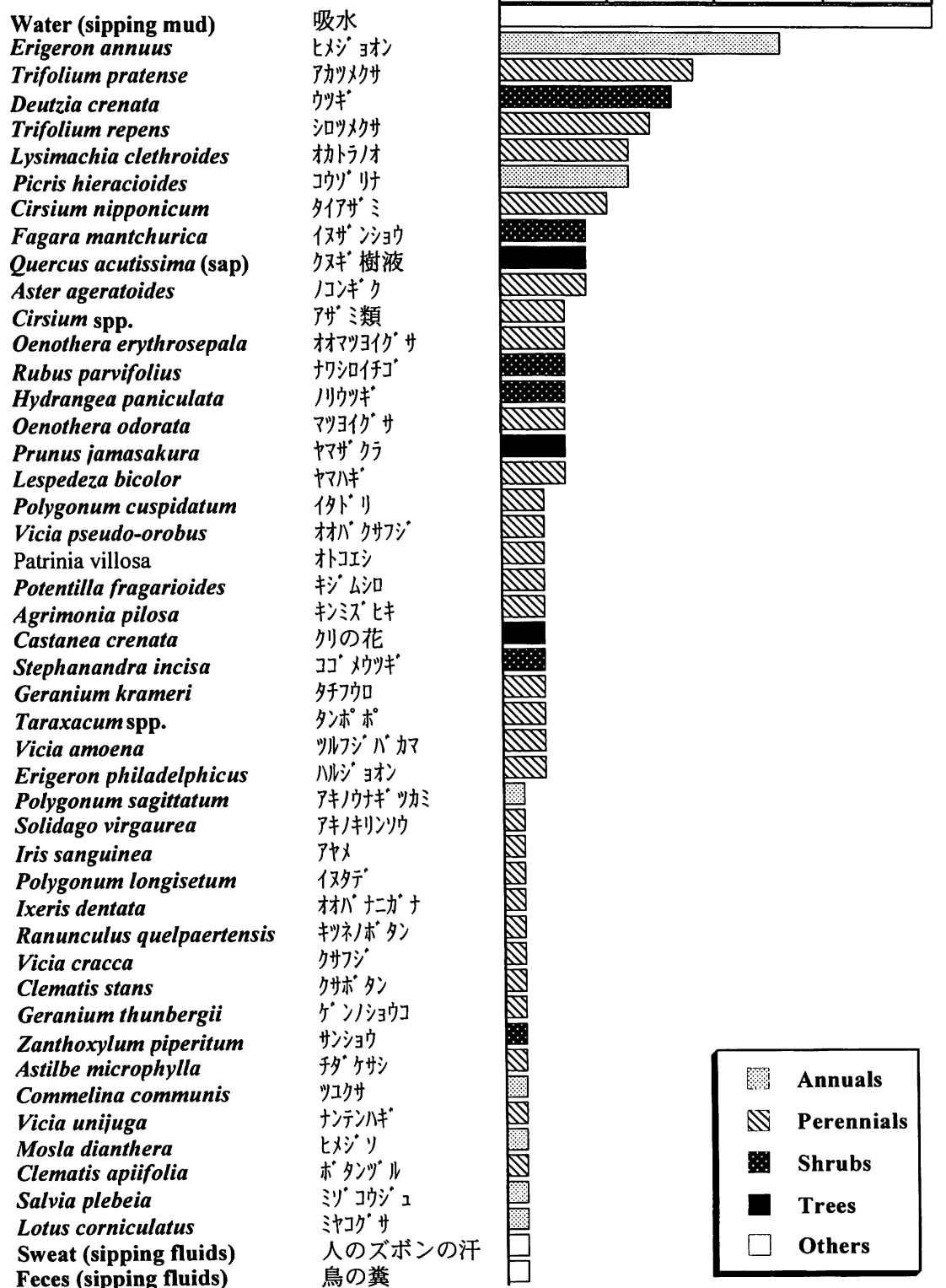


図 3-2-1 確認された成虫の食物資源とそれらを利用していたチョウの種数

成虫の利用資源

和名

利用していたチョウの個体数

Cirsium nipponicum
Water (sipping mud)
Erigeron annuus
Deutzia crenata
Trifolium pratense
Picris hieracioides
Aster ageratoides
Lespedeza bicolor
Trifolium repens
Ixeris dentata
Lysimachia clethroides
Potentilla fragarioides
Quercus acutissima (sap)
Vicia unijuga
Rubus parvifolius
Fagara mantchurica
Cirsium spp.
Vicia amoena
Hydrangea paniculata
Oenothera erythrosepala
Stephanandra incisa
Erigeron philadelphicus
Oenothera odorata
Prunus jamasakura
Solidago virgaurea
Polygonum cuspidatum
Vicia pseudo-orobus
Patrinia villosa
Agrimonia pilosa
Castanea crenata
Geranium krameri
Taraxacum spp.
Polygonum sagittatum
Iris sanguinea
Polygonum longisetum
Ranunculus quelpaertensis
Vicia cracca
Clematis stans
Geranium thunbergii
Zanthoxylum piperitum
Astilbe microphylla
Commelina communis
Mosla dianthera
Clematis apiifolia
Salvia plebeia
Lotus corniculatus
Sweat (sipping fluids)
Feces (sipping fluids)

タイアザミ
水(路上吸水)
ヒメジヨオン
ウツギ
アカツメクサ
コウゾリナ
ノコンギク
ヤマハギ
シロツメクサ
オオバナニガナ
オカトラノオ
キシムシロ
クヌギ(樹液)
ナンテンハギ
ナリシロイチゴ
イヌザンショウ
アザミ類
ツルフジハカマ
ノリウツギ
オオマツヨイグサ
ココメウツギ
ハルジヨオン
マツヨイグサ
ヤマザクラ
アキノキリンソウ
イトドリ
オオバクサフジ
オトコエシ
キンミズヒキ
クリ
タチアウロ
タンポポ類
アキノナギツカミ
アヤメ
イスタデ
キツネノホタン
クサフジ
クサボタン
ゲンノショウコ
サンショウ
チタケサシ
ツユクサ
ヒメジソ
ボタンヅル
ミゾコウジュ
ミヤコグサ
汗(人の衣服)
鳥の糞

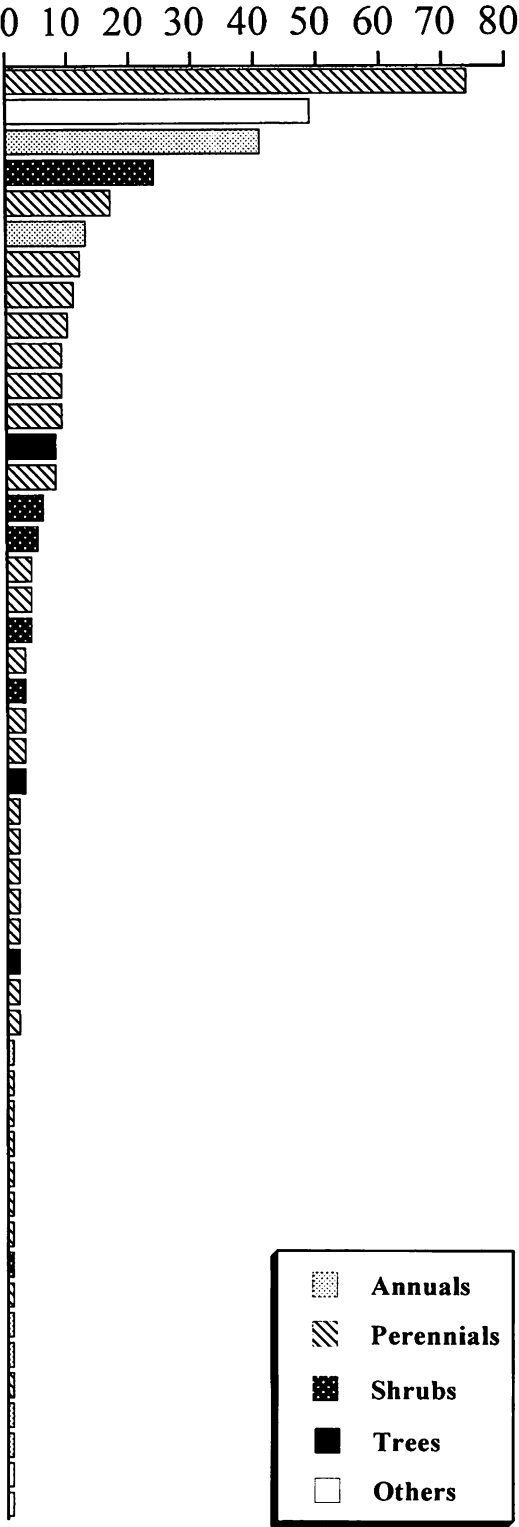


図 3-2-2 確認された成虫の食物資源とそれらを利用していたチョウの成虫個体数

成虫の利用資源

和名

利用されていた地区の数

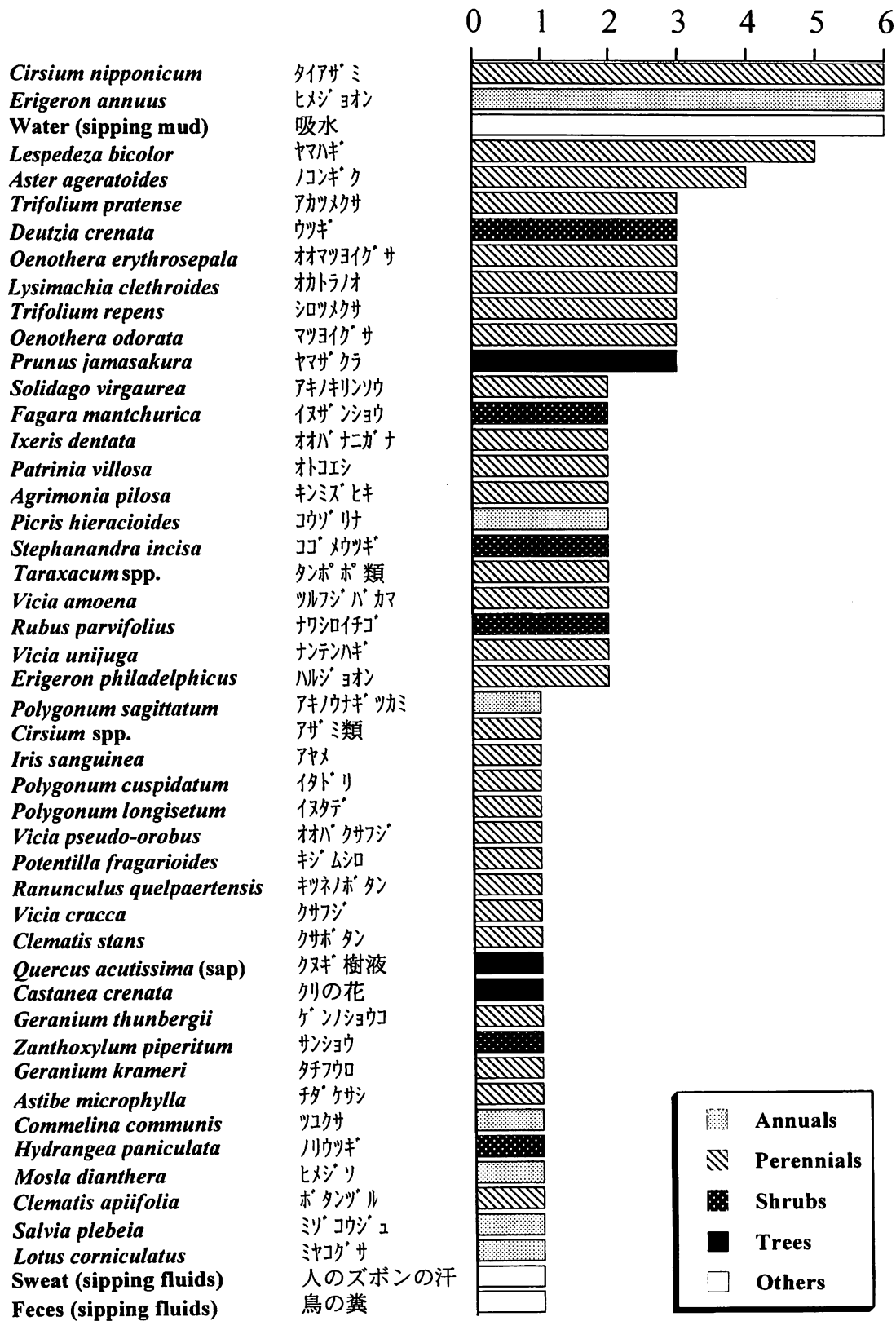


図 3 - 2 - 3 確認された成虫の食物資源とそれらが利用されていた調査地区の数

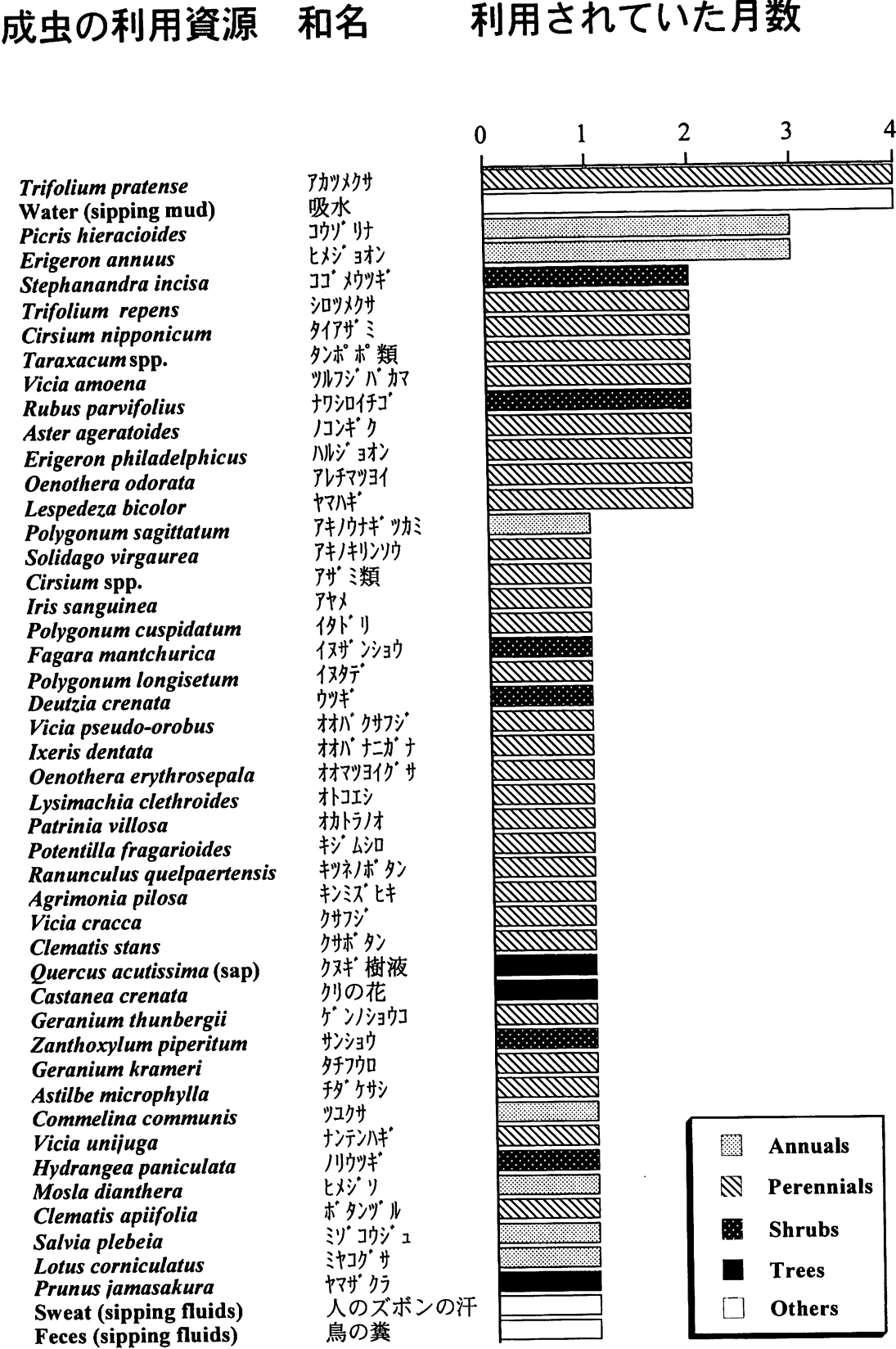


図 3 - 2 - 4 確認された成虫の食物資源とそれらが利用されていた月の数

チョウの種名 和名

利用していた資源数

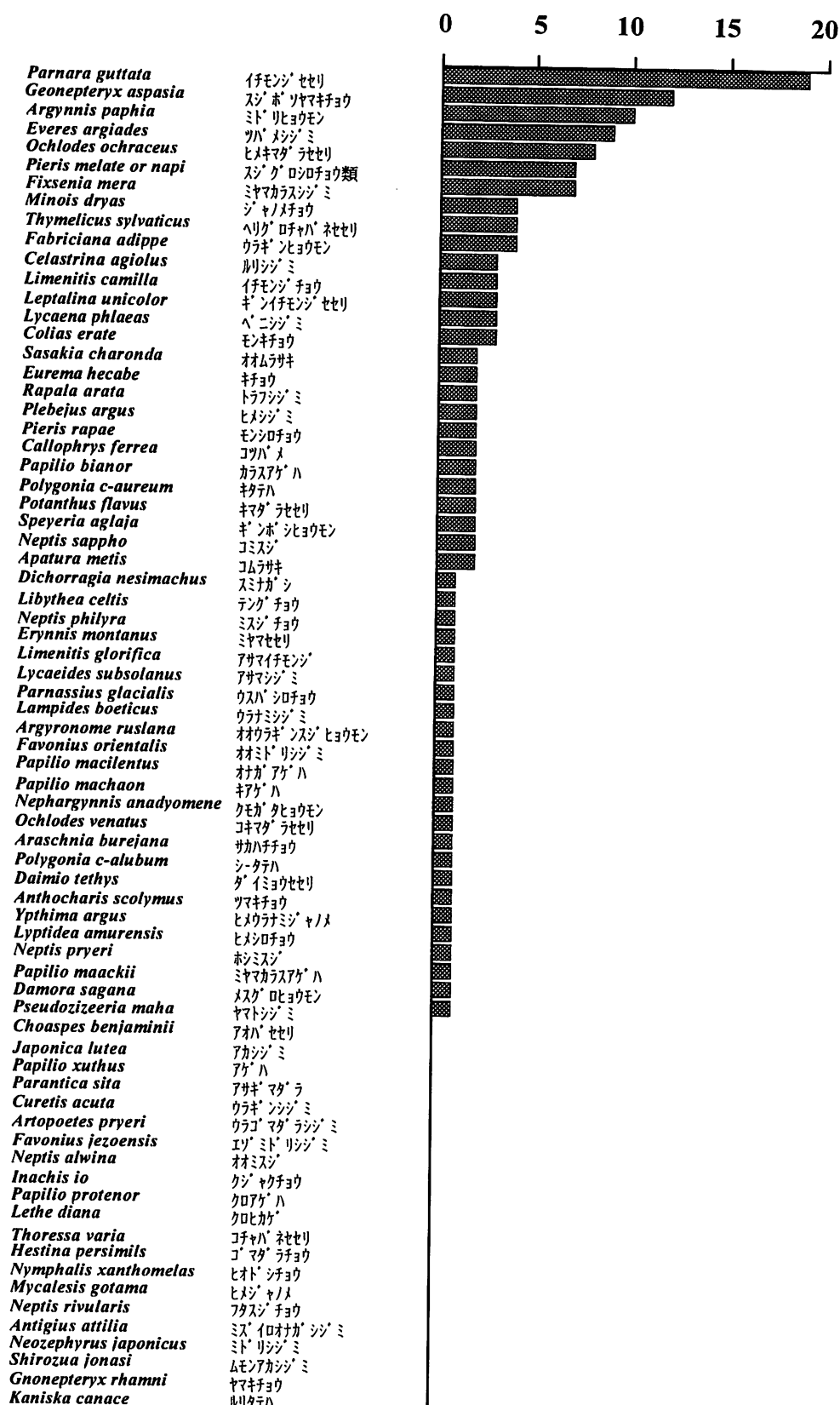


図 3-2-5 観察できたチョウとそれらが利用していた食物資源の種類数

チョウの種名 和名

資源を利用していた個体数

<i>Parnara guttata</i>	イチモンジ' セセリ
<i>Geonepteryx aspasia</i>	スジ' ボ' リヤマキチョウ
<i>Argynnis paphia</i>	ミト' リヒョウモン
<i>Everes argiades</i>	ツハ' メシジ' ミ
<i>Ochlodes ochraceus</i>	ヒメキマダ' ラセセリ
<i>Pieris melate or napi</i>	スジ' ク' ロシロチョウ類
<i>Fixsenia mera</i>	ミヤマカラスジ' ミ
<i>Minois dryas</i>	ジ' ャノメチョウ
<i>Thymelicus sylvaticus</i>	ヘリグ' ロチャハ' ネセセリ
<i>Fabriciana adippe</i>	ウラギ' ンヒョウモン
<i>Celastrina agiolus</i>	ルリシジ' ミ
<i>Limenitis camilla</i>	イチモンジ' チョウ
<i>Leptalina unicolor</i>	キ' ンイチモンジ' セセリ
<i>Lycaena phlaeas</i>	ベ' ニシジ' ミ
<i>Colias erate</i>	モンキチョウ
<i>Sasakia charonda</i>	オオムラサキ
<i>Eurema hecabe</i>	キチョウ
<i>Rapala arata</i>	トラフシジ' ミ
<i>Plebejus argus</i>	ヒメシジ' ミ
<i>Pieris rapae</i>	モンシロチョウ
<i>Callophrys ferrea</i>	コツハ' メ
<i>Papilio bianor</i>	カラスアゲ' ハ
<i>Polygonia c-aureum</i>	キタテハ
<i>Potanthus flavus</i>	キマダ' ラセセリ
<i>Speyeria aglaja</i>	キ' ンホ' シヒョウモン
<i>Neptis sappho</i>	コムシジ'
<i>Apatura metis</i>	コムラサキ
<i>Dichorragia nesimachus</i>	スミナガ' シ
<i>Libythea celtis</i>	テング' チョウ
<i>Neptis philyra</i>	ミスジ' チョウ
<i>Erynnis montanus</i>	ミヤマセセリ
<i>Limenitis glorifica</i>	アサマイチモンジ'
<i>Lycaeides subsolanus</i>	アサマシジ' ミ
<i>Parnassius glacialis</i>	ウスハ' シロチョウ
<i>Lampides boeticus</i>	ウラナミシジ' ミ
<i>Argyronome ruslana</i>	オオウラキ' ンスジ' ヒョウモン
<i>Favonius orientalis</i>	オオミト' リシジ' ミ
<i>Papilio macilentus</i>	オナガ' アゲ' ハ
<i>Papilio machaon</i>	キアゲ' ハ
<i>Nephargynnis anadyomene</i>	クモカ' タヒョウモン
<i>Ochlodes venatus</i>	コキマダ' ラセセリ
<i>Araschnia burejana</i>	サカハチチョウ
<i>Polygonia c-alubum</i>	シ-タテハ
<i>Daimio tethys</i>	タ' イミョウセセリ
<i>Anthocharis scolymus</i>	ツマキチョウ
<i>Ypthima argus</i>	ヒメウラナミシ' ャノメ
<i>Lyptidea amurensis</i>	ヒメシロチョウ
<i>Neptis pryri</i>	ホシミシジ'
<i>Papilio maackii</i>	ミヤマカラスアゲ' ハ
<i>Damora sagana</i>	メスグ' ロヒョウモン
<i>Pseudozizeeria maha</i>	ヤマトシジ' ミ
<i>Choaspes benjaminii</i>	アオハ' セセリ
<i>Japonica lutea</i>	アカシジ' ミ
<i>Papilio xuthus</i>	アゲ' ハ
<i>Parantica sita</i>	アサギ' マダ' ラ
<i>Curetis acuta</i>	ウラギ' ンシジ' ミ
<i>Artopoetes pryri</i>	ウラゴ' マダ' ラシジ' ミ
<i>Favonius jezoensis</i>	エゾ' ミト' リシジ' ミ
<i>Neptis alwina</i>	オオミスジ'
<i>Inachis io</i>	クジ' ャクチョウ
<i>Papilio protenor</i>	クロアゲ' ハ
<i>Lethe diana</i>	クロヒカゲ
<i>Thoressa varia</i>	コチャハ' ネセセリ
<i>Hestina persimilis</i>	ゴ' マダ' ラチョウ
<i>Nymphalis xanthomelas</i>	ヒオド' シチョウ
<i>Mycalesis gotama</i>	ヒメジ' ャノメ
<i>Neptis rivularis</i>	フタスジ' チョウ
<i>Antigius attilia</i>	ミス' イロオナガ' シジ' ミ
<i>Neozephyrus japonicus</i>	ミト' リシジ' ミ
<i>Shirozua jonasi</i>	ムモンアカシジ' ミ
<i>Gnonepteryx rhamni</i>	ヤマキチョウ
<i>Kaniska canace</i>	ルリタテハ

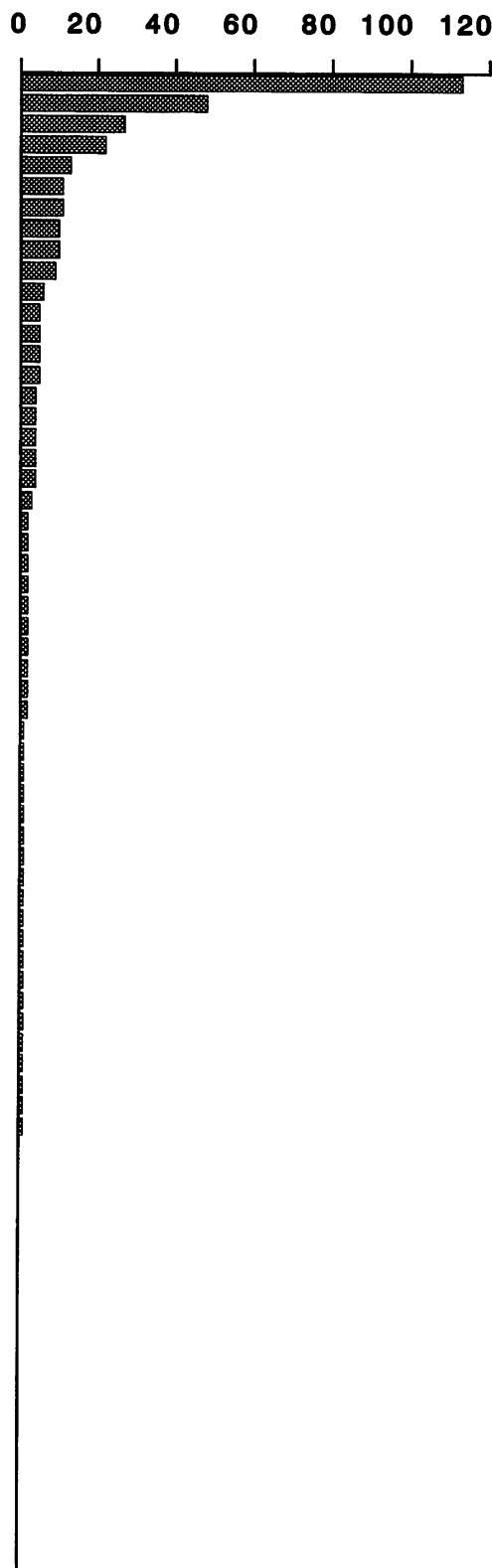


図 3-2-6 観察できたチョウと各種の食物資源利用個体数

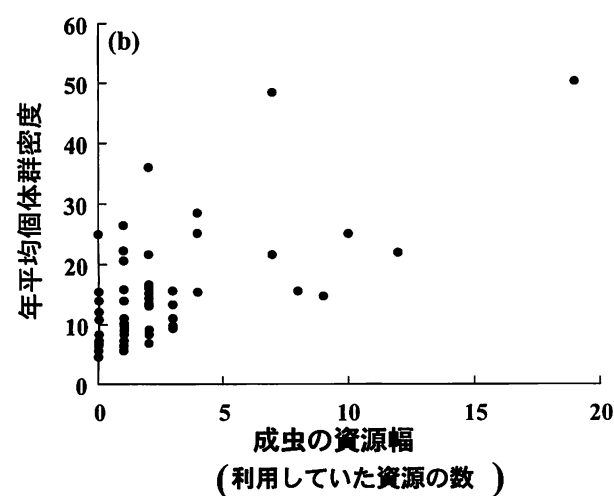
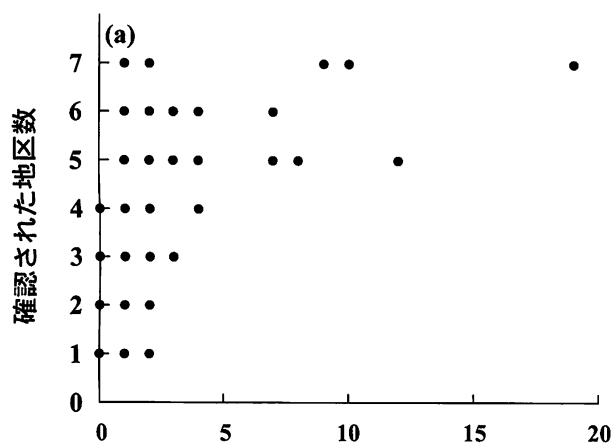


図3-2-7 成虫の資源利用幅（利用していた食物資源の種類数）と確認できた調査地区数（a）および年平均密度（b）との関係

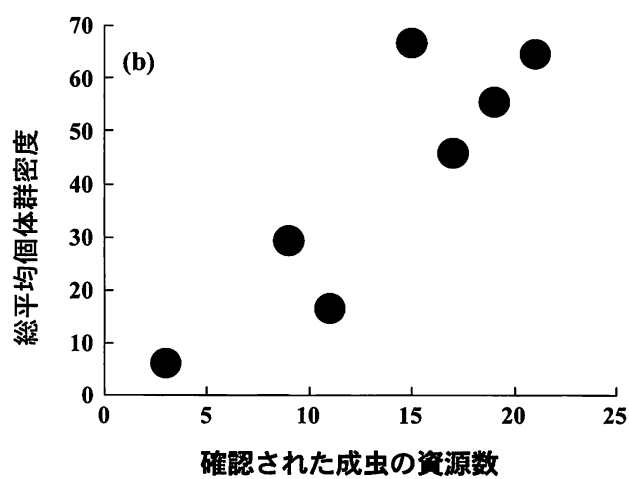
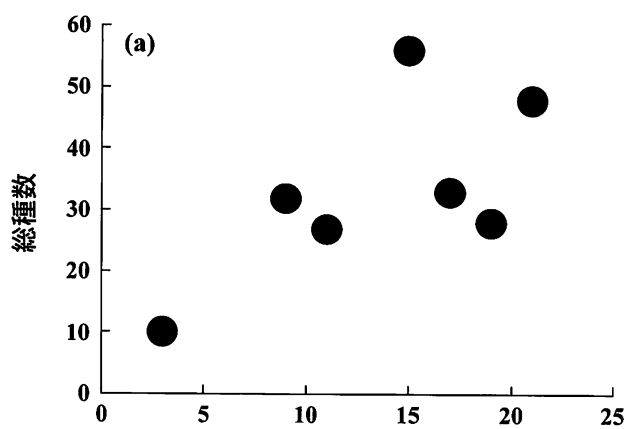


図3-2-8 各地区で確認できた成虫の食物資源種類数とチョウの総種数（a）および総平均密度（b）との関係

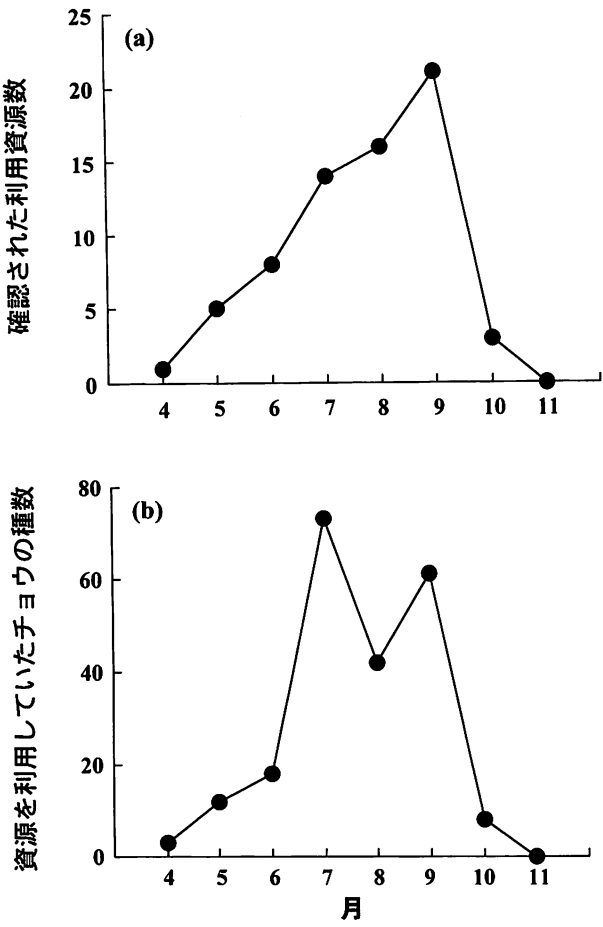


図 3-2-9 全 7 地区を含みにした成虫食物資源数 (a) とそれらを利用していたチョウの総種数 (b) の季節的变化

表 3-2-1 各地区で成虫の利用が多く確認された資源とその利用個体数

土丸尾 1		土丸尾 2		中ノ茶屋		北麓公園		環境研		船津胎内 1		船津胎内 2	
水 (路上吸水)	15	ヒメジョオン	5	ウツギ	8	アカツメクサ	2	水 (路上吸水)	3	オカトラノオ	5	ヒメジョオン	3
ヒメジョオン	8	クヌギ (樹液)	4	タイアザミ	4	ヤマハギ	2	マツヨイグサ	1	アカツメクサ	3	ノリウツギ	3
アカツメクサ	7	イヌザンショウ	3	ヒメジョオン	3	タイアザミ	1	オオバナニガナ	1	タイアザミ	3	タイアザミ	2
コウゾリナ	5	ヤマザクラ	3	水 (路上吸水)	3	ヒメジョオン	1			ヒメジョオン	3	ヤマハギ	2
シロツメクサ	4	キジムシロ	2	コゴメウツギ	2	水 (路上吸水)	1			アザミ類	3	シロツメクサ	2
		タイアザミ	2			アヤメ	1			コウゾリナ	3	ツルフジバカマ	2
		タチフウロ	2			オカトラノオ	1						
		ノコンギク	2			ナワシロイチゴ	1						
						ノコンギク	1						
						ハルジョオン	1						
						ボタンツル	1						

(3) 富士山北麓青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の多様性と植生種数の関係

I. はじめに

国内外を問わず、近年、トランセクト法を使用したチョウ類群集のモニタリング調査が盛んに行われるようになった (Pollard, 1977; 山本, 1988, 1998; 石井, 1993; Pollard and Yates, 1993; 矢田, 1996b; 吉田, 2000)。これらの研究の多くは、通常、集積されたデータを基にしてチョウ類群集構造の解析を行っているが、そのほとんどは生息環境のタイプとそこに成立していたチョウ類群集の構造の関係を分析したものが多くある。

このような、生息環境とそこに見られるチョウ類群集の関係の解明は、群集構造解析の中心テーマの一つであるが、従来は、景観構造や植物群落型の違いで生息環境をタイプ別けて、その各々に見られたチョウ類群集の構造の違いを解析した研究が主であった (例えば、森下, 1967; 田中, 1988; 山本, 1988; 1996; 石井ら, 1991; 桜谷・藤山, 1991; Kitahara and Fujii, 1994; 今井, 1995; 今井・夏原, 1996; 石井, 1996; 矢田, 1996a; 服部ら, 1997; 本田, 1997; 田下・市村, 1997; 吉田, 1997; 夏原ら, 1998; 関谷, 1998; 北原, 1999; Kitahara et al., 2000)。これらの場合、生息場所の植生環境の記載は定性的なことが多く、生物環境要因である植生種数を定量的に把握し、それと鱗翅類群集構造の関係を解析した研究は、国外には幾つか知られているが (Feber et al., 1996; Steffan-Dewenter and Tscharrntke, 1997; Usher and Keiller, 1998)、国内には見当たらない。チョウ類は一般に、幼虫期の食餌植物や成虫期の蜜源植物など、一生を通じてその餌資源を植物に依存しており、そのために生息環境の植生の多様性が、チョウ類の群集構造に大きな影響を及ぼしていることが予測される。

一方、種数が多く種多様度の高い群集がどのような環境に見られるのかということも、群集研究の最大の関心事の一つである。我が国の今までのチョウ類群集の調査では、農村近郊の里山の二次林周辺や景観構造で言うと森林とオープンランドが接する林縁の部分で、チョウの種数や種多様度が多くなったり、高まったりすることが知られている (木元・武田, 1989; 石井ら, 1993, 1995; 石井, 1996; 矢田, 1996a; 田下・市村, 1997; 関谷, 1998)。しかし、これについても、その要因については、そのような場所に幼虫の食餌植物や成虫の蜜源植物が質、量ともに豊富に存在することが推測され、指摘されているが (石井ら, 1995)、実際にこのことを定量的に解明した研究は、まだ知られていない。

本章では、富士北麓で最も原生的自然が残存している地域の一つと考えられている青木ヶ原樹海周辺を調査地に選んで、その代表的景観におけるチョウ類の多様性のホットスポットを探索した。また、調査地域の生物環

境要因の一つである植生種数を定量的に捉え、これとチョウ類群集構造の関係について解析を試みた。さらに、複数の調査地の中に森林の林縁部も含め、実際に種数や種多様度が大きいのか、また、もしそうであるならば、それがその植生環境要因と関連性を持っているかどうかを定量的に解析を試みた。最後に、本研究より得られた結果を基にして、富士北麓の地域チョウ類群集の保全の在り方について考察を試みた。なお本章の内容は、プロジェクト研究の成果の一部として、既に日本環境動物昆虫学会誌上に発表済みであることを付記しておく (北原・渡辺, 2001)。

II. 調査地および調査方法

1. 調査地の概要

調査は、富士山の北西部山麓にあたる青木ヶ原樹海内とその周辺に位置する6調査地区 (ルート) で実施した。これらの6地区は、それぞれ景観の明白に異なる樹海林内2地区 (FI-1, FI-2)、樹海林縁2地区 (FE-1, FE-2)、樹海林外オープンランド2地区 (OL-1, OL-2) であり、標高や地形などの物理的環境条件の違いがもたらすチョウ類群集への影響をなるべく減らすために、共に標高約1000mの東西2.4km南北0.63kmの範囲内に設置された。

各調査地区 (ルート) の概要については表3-3-1に示した。結果で述べるべき内容 (植生調査や照度測定 (共に後述) の結果) についても、便宜上表3-3-1に示してある。FI-1, FI-2は、青木ヶ原樹海の中を通っている東海自然歩道に沿って設定した。ルートの長さは共に300mで、樹林内の林床部にあたる。青木ヶ原樹海は、西暦864年に噴火した富士山北西部中腹の長尾山からの溶岩流の上に形成された原生林であると言われており、これまでの調査で高木の平均樹齢が約150年、記録された最高樹齢は優占種ツガ *Tsuga sieboldii* の356年、同じくヒノキ *Chamaecyparis obtusa* の240年などがある (清藤, 1991)。樹海全体にヒノキ、ツガなどの常緑針葉樹が優占しているが (宮脇ら, 1971)、FI-1とFI-2を比較した時に、FI-1の方がルート沿いにミズナラ *Quercus mongolica* var. *crispula*、コシアブラ *Acanthopanax sciadophylloides* などの落葉広葉樹が多く、光環境が明るい。しかし、林床部の草本類はFI-1にはほとんど見られず、FI-2の林縁に近い部分で僅かに確認されただけであった (表3-3-1)。

FE-1とFE-2は共に青木ヶ原樹海東縁にあたる林とオープンランドの接する林縁の部分に設定された。ルートの長さは共に300mであり、大部分が林のオープンランド側の縁の部分に沿って設定された。従って、ルートの大部分は、片側の景観要素が森林、もう一方の側が二次草原、幼齢植林地、耕作地、休耕地などの景観であった。ルートの一部については、両側景観要素が森林もしくは二次草原の部分も存在した。FE-1とFE-2共に、景観要素

や植生の大きな違いは存在しなかったが、木本、草本併せた種子植物 Phanerogamae の種数は、FE-2 の方が30種ほど多かった(表3-3-1)。オープンランドに見られた景観要素の多くでは人間の土地利用が見られ、草刈り、農薬散布、施肥、耕作、整地などの人的行為が確認できた。

OL1とOL2は、樹海の東側に開けたオープンランド内に設定された。調査ルートは、両者共に長さ300mであり、OL1はリゾート施設に附設された陸上のトラックを有する運動場に沿って、OL2は耕作地地域を通る農道に沿って設定され、両者共に高木は認められなかった(表3-3-1)。OL1は管理の行き届いた芝生や競技用トラック、園芸低木の植栽された植え込みなどが見られた。OL2を設定した農道は未舗装で、耕作地の多くはキャベツが栽培され、その他ジャガイモ、イチゴ、生け花用のワレモコウ *Sanguisorba officinalis* などが栽培されていた。両地区共にほとんどの部分が強い人的行為の影響を受けており、草刈、農薬散布、施肥、耕作、整地、踏み込みといった様々なタイプの人為攪乱が見られた。

2. 調査方法

調査は、チョウ類の成虫の主要出現期にあたる4月から11月まで、各地区月2回(4、10、11月は月1回)、トランセクト・カウント法(Pollard, 1977; 山本, 1988, 1998; 石井, 1993; Pollard and Yates, 1993)を用いて行い、出現したチョウ類全種の成虫を対象とする個体数モニタリングを実施した。調査日には原則として晴天・微風の日が選択され、10:00~15:00の間に調査ルートを歩きながら、ルートの片側約5m(両側約10m幅)(場所によっては片側のみ約10m)に出現した全てのチョウ類成虫の種類と個体数を確認し記録した。後方から飛来した個体は記録に入れない等、できる限り重複カウントを防ぐための努力をした。

主として目視による種名確認を行ったが、目視で同定困難な個体については、その場で捕虫網で捕獲し、種名確認後にすぐにその地点に放逐した。ただし、スジグロシロチョウとエゾスジグロシロチョウについては、その場で即座に同定することが困難であったので、この調査では両種を1種として扱った。また、一部の個体については、遠くを飛翔していたりして捕獲できずに、種の確認ができなかったが、それらは不明のまま記録した(例、黒色系アゲハ類、大型ヒョウモンチョウ類など)。

調査時の物理的環境条件として、天候、照度を記録した。照度については各調査日、各地区ごとに記録した。各調査ルートの中で、その地区を最も代表する景観の部分を選択し(林内地区:両側が森林景観の地点、林縁地区:片側森林、片側オープンランドの地点、林外地区:両側オープンランドの地点)、そこに各地区1地点の固定の照度測定ポイントを設定した。照度測定には、

TOPCONのIM-5デジタル照度計を用いて、地上約1mの高さで調査時に測定した。

各地区の植生調査は、調査期間中に2回(1999年6月12日および8月27日)実施した。調査にはベルト・トランセクト法を用いて、調査ルートに沿って約10m幅の中に見られた種子植物の種類をできる限り確認し記録した。

3. データの解析

調査は1999年より2001年まで3年間実施したが、ここでは初年度に当たる1999年の群集データを使用して解析を行った。

まず、調査時に種まで同定できなかった若干の個体(例えば、黒色系アゲハ類、大型ヒョウモンチョウ類)については、その調査日またはその前後の調査日に確認できた、個体が該当すると考えられる全ての種の実際の出現比率に応じて、未同定個体(spp.)の個体数を比例配分する方法を採用した。

各種の平均密度を算出するにあたっては、まず月個体数を4月から11月まで各地区ごとに算出した。月2回の調査の個体数の平均値をそれに充てたが、1回の調査しか行わなかった月については、1回の調査の値をそのまま月個体数に充てた。次に4月から11月までの月個体数を平均して、その値を月平均個体数とした。この際、個体が確認できなかった月の値(すなわち、0値)は計算から除外した。これは種間の化数の違いによる密度への影響を最小化するための処置である。最後に、月平均個体数を0.3km(各調査ルートの長さ)で割り、各種の調査地区ごとの平均密度(成虫個体数/月/km)を算出した。

各地区間の群集の解析には、総平均密度(確認された全種の平均密度の合計値)、総種数、多様性指数を用いた。このうち、多様性指数にはShannon-Wienerの情報量関数: $H' = -\sum (n_i/N) \cdot \log_e (n_i/N)$ (ただし、Nは総平均密度、Sは総種数、 n_i はi番目の種の平均密度)とSimpson(1949)の多様性指数 $1-\lambda$ (ただし、 $\lambda = \sum n_i(n_i-1)/(N(N-1))$ 、 n_i とNはi番目の種の平均密度と総平均密度)を用いた。

各地区間の日照条件の比較には、年間平均照度を用いた。この値は、各調査日に地区ごとに測定された照度(単位 lux)を年間を通して平均した値である(ただし、都合により測定できなかった日が数回ある)。また植生調査の結果から、各地区ごとに全種子植物種数、この内の木本種数、草本種数、高木種数、低木種数、多年草種数、一年草(越年草)種数を図鑑などを利用して割り出し、解析に使用した。各地区のホスト(幼虫の食餌植物)の種数については、各地区で確認できた全種子植物種のうち、今回の調査で確認できた全チョウ種のホストに該当する植物の種数を充てた。各チョウ種の食餌植物は、

遠藤・仁平 (1990) に記載されている種全てを充て、各チョウ種間で重複して利用されている植物種については、各地区1種として取り扱った。

Ⅲ. 結果

1. 地区ごとの群集指数の変化

付表に今回の調査で確認できた全チョウ類の種名と各種の地区ごとの平均密度およびその平均値を示した。

各群集の総種数および総平均密度は、樹海の林縁地区で多く (もしくは高く)、オープンランドの2地区で中間の値を示し、樹海の林内地区では種数、密度共に極めて低い値を示した (図3-3-1 a)。似たような結果は群集の種多様性についても見られ、 H' および $1-\lambda$ 共に林縁地区で高い値を示し、オープンランド地区がこれに続き、林内地区は、これらとかけ離れて低い値を示した (図3-3-1 b)。

各地区の群集指数と年間平均照度の間には、かなり密接な関係が認められた (図3-3-2)。すなわち、総種数、 H' 共に年間平均照度とは正の関係にあり、特に H' は有意の高い正の相関関係が認められた。他地区に比較して極めて低照度の林内地区の群集は、種数が極端に少なく極めて貧相な構造であった。

2. 群集指数と植生種数の関係

各地区の群集の総種数および H' は、その環境で記録された全種子植物種数と密接な正の関係にあり、特に群集総種数との間には、有意の高い正の相関関係が認められた (図3-3-3)。このことは、種子植物の種数の多い地区ほど、チョウの種数も多かったことを示している。

一方、各地区の木本植物の種数は、そこで見られたチョウの総種数や H' とはあまり関係が無く (図3-3-4)、林内地区のように、木本の種数はかなり認められたものの、チョウの種数は極端に少なかった地区も存在した。ところが、各地区の草本植物の種数は、そのチョウ群集の種数や H' と極めて密接な正の相関関係を持っており (図3-3-5)、各地区の草本植物の種数は、そのチョウ群集のパラメータを予測する際の最も好適な指標の1つに成りえると考えられた。

3. 群集指数と宿主植物の関係

チョウ類群集指数と宿主植物の関係は、先に述べた植生指数との解析結果とよく類似していたが、より一層密接なチョウ類群集との関係が明白になった。各地区で記録された植物種の中で、今回記録された全チョウ種の幼虫のホストの1種としても記載されている植物の種数 (以下、単にホスト種数) は、チョウ類群集の総種数および H' と密接な関係が見られ、共に有意の正の相関関係が認められた (図3-3-6)。

しかし、木本全種数の場合と同じく、各地区の木本のホスト種数は総種数や H' と有意な関係は認められず (図3-3-7)、特に林内地区は、多種の木本ホストが記録されたにも関わらず、チョウの種数は少なかった。それに対し、各地区の草本ホストの種数は、かなり高い有意の正の相関関係が認められ (図3-3-8)、各地区の草本ホストの種数が、そのチョウ群集の総種数や種多様性の決定に大きな影響を与えていることが推測された。

Ⅳ. 考 察

1. チョウ類群集の多様性と植生環境

チョウは幼虫期も成虫期も餌資源のほとんどを特定の植物に依存しているので、当然の事ながら、生息場所の植物の分布様式や植生構造が、そのチョウ類の群集構造の決定に重要な役割を演じていることが予測される。今回の解析結果はこのことを定量的に支持した1つの証拠と言える。

チョウ類群集の種数や種多様性は、生息環境の種子植物の種数と密接な正の関係を持っており (図3-3-3)、さらに、それらは生息環境に存在した幼虫ホストの種数とより密接に関係していた (図3-3-6)。以上のことから、チョウ類群集の種数や種多様性の増減には、生息環境の植物種数や植生多様性が大きく関与しており、とりわけチョウが利用できる餌資源の豊富さは、群集構造決定の重要な要因の1つであることが示唆された。

さらに今回の青木ヶ原の場合、チョウ類群集の種数や種多様性は、生息環境に見られた木本ではなく、草本植物の種数と密接な正の相関関係が見られた (図3-3-4 と 3-3-5)。また同様なことは、幼虫のホストについても言え、群集の種数や種多様性は、生息環境に見られた草本ホストの種数とより密接に関係していた (図3-3-7 と 3-3-8)。このことは、今回確認されたチョウの多くの個体が、草本植物の多く見られる環境 (すなわち、オープンランドと林縁地区のオープンランド側) で記録されたこと、幼虫が草本食の種が多かったこと、および樹海の周辺にも関わらず成虫の利用していた蜜源植物のほとんどが多年草などの草本植物であったこと (北原・渡辺、2000) (この傾向は近隣の他地域の成虫餌資源調査でも全く同様であった (北原、2000 a、b)) などに起因していたと考えられる。

今回は、各地区の木本植物や木本ホストの種数が、チョウ群集の種数や種多様性とほとんど相関がないという結果になったが (図3-3-4 と 3-3-7)、このことにはとりわけ、高木が多く見られた樹海林内・林縁地区、特に林内地区において、木本植物や木本ホストがかなり確認されたにも関わらず、記録されたチョウの種数が極端に少なかったことが大きく関係している。このよ

うに森林内のチョウの種数は、林縁やオープンランドに比較し少ないのが一般的だが（矢田、1996a；前藤・楨原、1999）、林冠部では日照条件も良く、幼虫が木本食の種（例えば、ミドリシジミ類など）がかなり生息していることが予想される。トランセクト法の短所の1つとして、樹木の上層部に存在する個体についてはモニタリングしにくい（サンプリング・ミスが生じやすい）という特性がある（Spitzer et al., 1993）。この点を考慮すると、今回のトランセクト法による調査では、高木の林冠部に存在する個体のサンプリング・ミスが生じていた可能性が十分あり、このことから樹海林内地区のチョウの種数は、他地区に比較し、かなり過小評価されているのではないかと推察される。もしそうであるならば、今回のチョウ群集と木本植物の間に見られた関係は、実際には、もう少し強い相互関係になっていたことが十分予測され、この点を明らかにするためにも、今後、林冠部のチョウ相の解明が大いに必要とされる。

一方、前述したように、各地区の草本植物や草本ホストの種数は、チョウ群集の種数や種多様性と最も関連性の深い指数であったが、ただ予想に反した結果として、各地区の草本植物の種数の方が、草本ホストの種数よりも、チョウ群集の種数および種多様性の両方と、より高い相関係数が得られたことが挙げられる（図3-3-5と3-3-8）。これには以下のようなことが関係していると思われる。すなわち、トランセクト調査では通常、チョウの成虫個体数がモニタリングされるので、得られた群集データは、正確には成虫の各地区間における分布様式と密度の違いを反映していると考えられる。従って、成虫群集の在り方は幼虫ホストの存在様式よりも、成虫の餌資源（蜜源植物など）のそれに、より大きな影響を受けていることが推測される（Loertscher et al., 1995；Feber et al., 1996；Steffan-Dewenter and Tscharnke, 1997）。今回のチョウ群集における成虫の主要蜜源植物が草本であったこと、それも多年草が多くを占めていたこと（北原・渡辺、2000）、および各地区の草本植物の種数は、そこで確認された幼虫のホストにあたる植物の種数よりも、成虫の蜜源植物の種数とより高い相関関係が見られたことなどから（北原、未発表）、幼虫ホストよりも草本植物そのものの種数の方が、成虫の蜜源植物の量と密接に関係しており、その結果、より高い相関値が得られたと推察される。

2. 多様性ホットスポットの林縁部とその植生環境

日本におけるこれまでのチョウ類群集の調査を通じて、農村近郊の里山の二次林周辺や景観構造で言うと森林とオープンランドが接する林縁で、チョウの種数や種多様度が最も高まることが知られてきた（木元・武田、1989；石井ら、1993、1995；石井、1996；矢田、1996a；田下・市村、1997；関谷、1998）。今回の結果もこ

のことを支持しており、林内、林縁、オープンランドの内、林縁地区で最も多い種数と最も高い種多様性が確認された（図3-3-1）。

今まで、林縁的環境でチョウ群集の多様性が高い理由として、そこに成虫や幼虫の餌資源（蜜源植物や食餌植物）が豊富にあることが指摘されてきたが（石井ら、1995）、このことを定量的に実証した研究はまだ知られていない。林縁部は景観的に見ても森林とオープンランドの両方を含み、そこに生息するチョウ類も森林性種と草原性種の両方が生息していると思われるので、この点でも、林縁でチョウ群集の多様性の高い理由が説明できるが、今回は、実際に植生環境の点から定量的に実証する結果となった。すなわち、林縁部では他の環境に比較して、種子植物、草本植物、木本植物、幼虫のホスト植物の全てにおいて最大の種数が確認された。このことから林縁部の植生の多様性、ひいては成虫、幼虫にとっての餌資源（蜜源植物、食餌植物）の豊富さが、そのチョウ類群集の多様性の重要な基盤になっていることが推察される。

3. 植生環境からみたチョウ類群集の保全

今回の調査結果より、地域のチョウ類群集は生息場所の植生環境要因と密接に関係しながら、成立していることが明らかとなった。生息環境の全種子植物の種数は、チョウ類群集の種数と密接に関係しており、この点からも、チョウ群集の多様性維持のためには、植生環境の多様性の維持が不可欠であると言える。

一方、今回の青木ヶ原周辺チョウ類群集の場合、木本よりも草本植物の種数の方が、よりチョウ類群集の種数や多様性と関連を持った指数であったが、この点においても、当地は青木ヶ原樹海という森林景観が中心となる地域ではあったが、草本植物の多様性がチョウ類群集の多様性の基盤にあり、草本植物の多様性の維持が当地のチョウ類群集保全にとって、極めて重要な事項であると考えられた。

特に、今回記録された全57種のチョウ類の内、7種（12.3%）が環境省（2000）指定の昆虫類レッドリスト登録種であり（付表）、これらの大部分（5種、71.4%）は幼虫が草本植物を食する種であった。このことは、森林内もしくは森林周辺の草本植生環境の多様性の維持が、絶滅危惧種保護の観点からも非常に重要であるということを示唆している。さらに、これらの絶滅危惧種が確認された調査地区をみると、林縁地区でのみ確認された種が4種あり、残りの3種も全てが、林縁地区で最も高い生息密度が確認され、そこが生息場所の中心と考えられた種であった（付表）。従って、樹海の林縁部は、種数が多く、種多様度が高いという観点のみならず、絶滅危惧種が多く生息しているという意味においても重要であり、その保全は真に大切であると言えよう。以上

から、青木ヶ原樹海の保全は、チョウ類群集の視点からみると、樹海（林の）部分だけを保全したのでは全く不十分であり、多様性ホットスポットとしての林縁部の景観まで含めた、より包括的な保全計画を策定する必要性があると言える。

地域の生物多様性の保全策は、その地域に生息する生物（生物群集）の実態や生態に則した計画が策定される必要があるだろう。この点で、今回のような群集とその生息する環境要因との関係を定量的に解析していく仕事は重要と思われ、様々な地域の、様々な動物群で、今後積極的にこの問題についてアプローチしていく必要があるだろう。

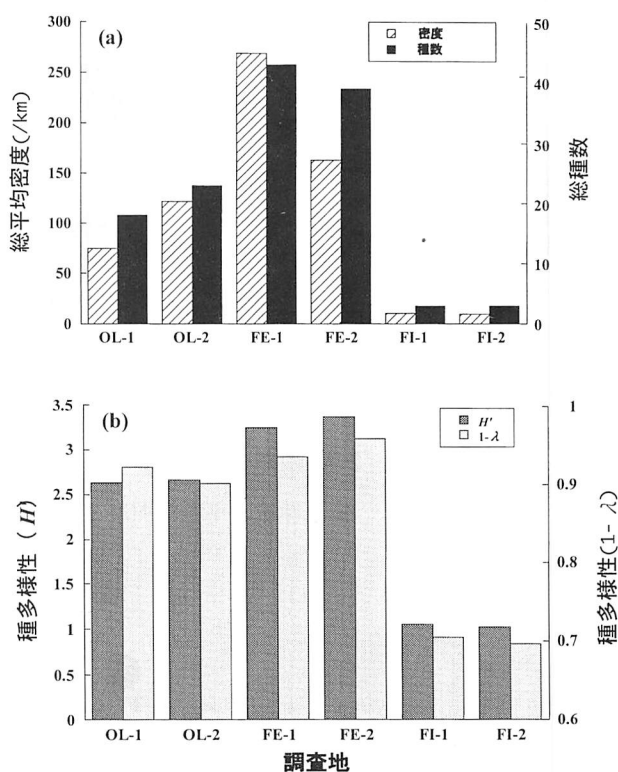


図 3-3-1 各調査地区におけるチョウ類群集の総平均密度と総種数 (a) および種多様性 H' と $1-\lambda$ (b).

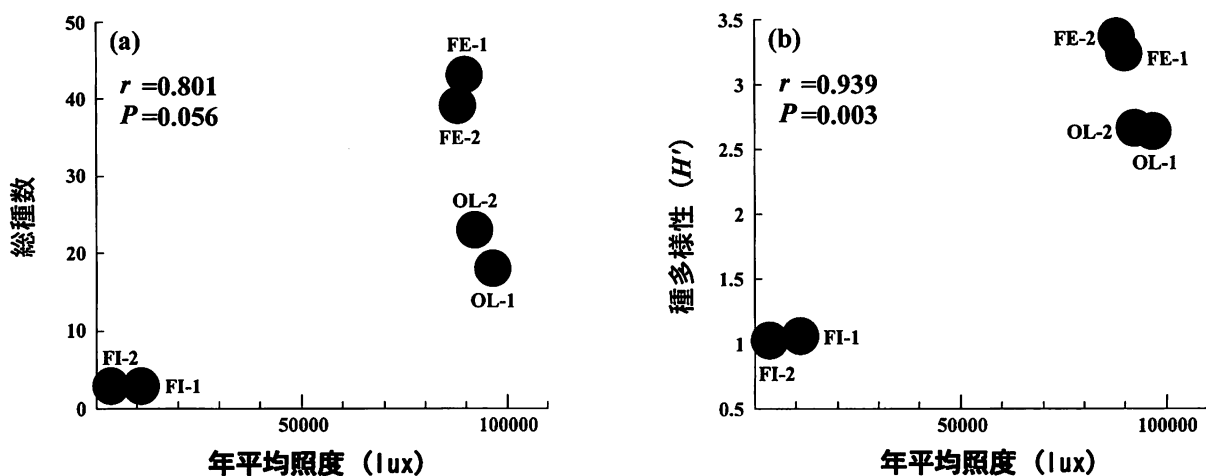


図 3-3-2 生息環境の年平均照度とチョウ類群集の総種数 (a) および種多様性 H' (b) との関係

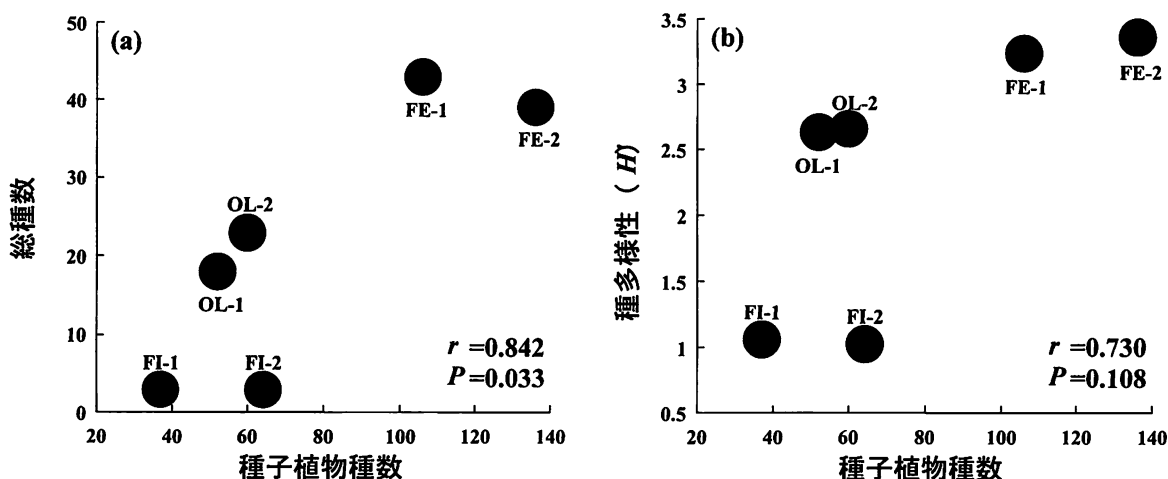


図 3-3-3 生息環境の植物種数 (種子植物) とチョウ類群集の総種数 (a) および種多様性 H' (b) との関係

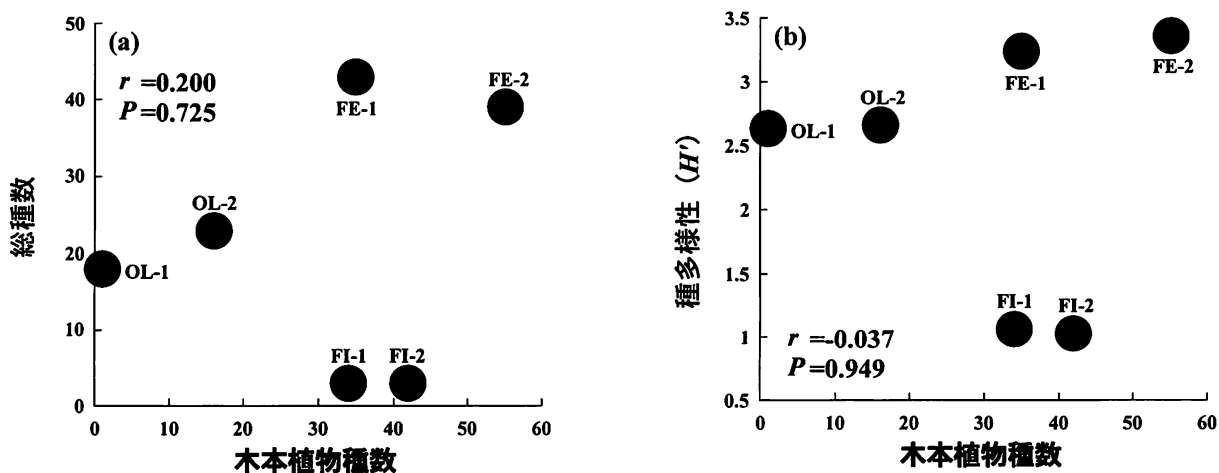


図 3-3-4 生息環境の木本植物種数とチョウ類群集の総種数 (a) および種多様性 H' (b) との関係

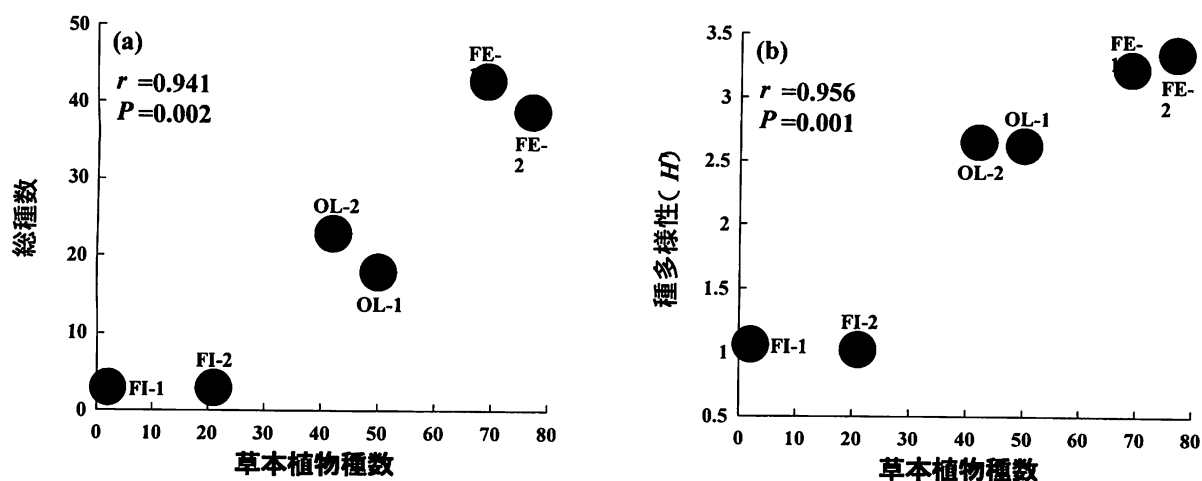


図 3-3-5 生息環境の草本植物種数とチョウ類群集の総種数 (a) および種多様性 H' (b) との関係

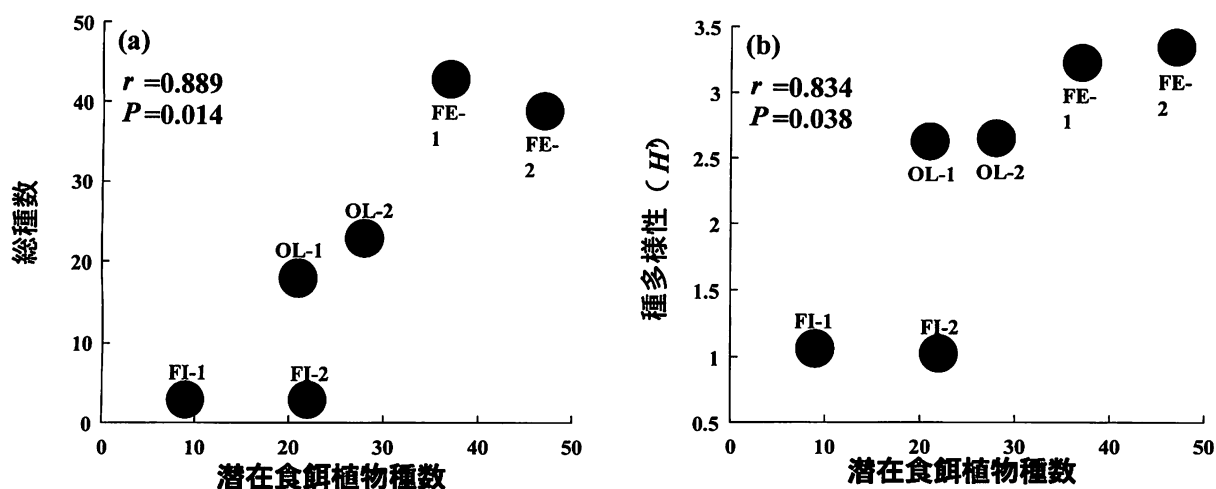


図 3-3-6 生息環境の幼虫の潜在食餌植物種数とチョウ類群集の総種数 (a) および種多様性 H' (b) との関係

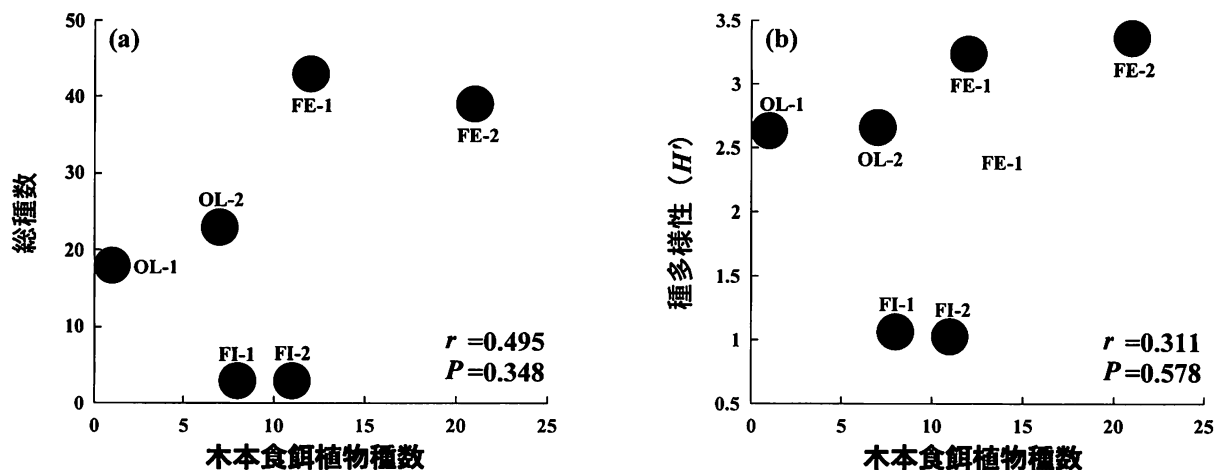


図 3-3-7 生息環境の幼虫の木本性食餌植物種数とチョウ類群集の総種数 (a) および種多様性 H' (b) との関係

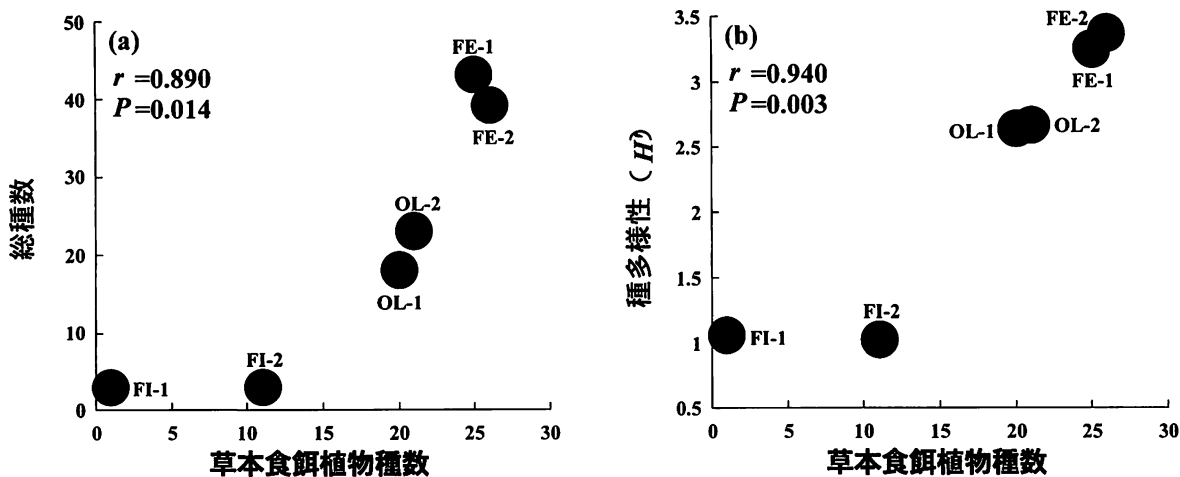


図 3-3-8 生息環境の幼虫の草本性食餌植物種数とチョウ類群集の総種数 (a) および種多様性 H' (b) との関係

表 3-3-1 調査地概要

調査地	標高	景観	主要植物			植物種数			年平均照度(lux)	
			高木	低木	草本	型	合計	幼虫のホスト		
FI-1	1030 m	森林	<i>Quercus mongolica</i> var. <i>crispula</i>	ミナナ	ヨコ	<i>Polygonum cuspidatum</i>	イナリ	高木	20	37
			<i>Clethra barbinervis</i>	リョウ	ミナナ	<i>Maianthemum dilatatum</i>	マイグル	低木	13	
			<i>Acanthopanax sciadophylloides</i>	コナナ	ナナナ			多年草	2	
			<i>Acer sieboldianum</i>	コナナ	ナナナ			1年草	0	
			<i>Pinus densiflora</i>	アハ	ナナナ			その他	2	
			<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒナ	ナナナ					
FI-2	1020 m	森林	<i>Tsuga sieboldii</i>	ナナ	ヨコ	<i>Opismenus undulatifolius</i>	ナナ	高木	22	64
			<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒナ	ナナ	<i>Plantago asiatica</i>	オオハ	低木	17	
			<i>Clethra barbinervis</i>	リョウ	ナナ	<i>Artemisia princeps</i>	ナナ	多年草	17	
			<i>Acer distylum</i>	ナナ	ナナ	<i>Maianthemum dilatatum</i>	マイグル	1年草	3	
			<i>Cornus controversa</i>	ミナ	ナナ	<i>Erigeron annuus</i>	ヒナ	その他	5	
			<i>Quercus mongolica</i> var. <i>crispula</i>	ミナ	ナナ	<i>Corydalis incisa</i>	ナナ			
FE-1	1025 m	森林	<i>Quercus serrata</i>	コナ	ヨコ	<i>Miscanthus sinensis</i>	スナ	高木	16	106
			<i>Castanea crenata</i>	ナナ	ナナ	<i>Boehmeria tricuspidata</i>	ナナ	低木	15	
			<i>Pinus densiflora</i>	アハ	ナナ	<i>Cirsium nipponicum</i> var. <i>incomptum</i>	ナナ	多年草	48	
			<i>Larix kaempferi</i>	ナナ	ナナ	<i>Lysimachia clethroides</i>	ナナ	1年草	18	
			<i>Alnus hirsuta</i>	ナナ	ナナ	<i>Agrimonia pilosa</i>	ナナ	その他	9	
			<i>Magnolia obovata</i>	ナナ	ナナ	<i>Sanguisorba officinalis</i>	ナナ			
FE-2	1010 m	森林	<i>Quercus serrata</i>	コナ	ヨコ	<i>Miscanthus sinensis</i>	スナ	高木	31	136
			<i>Pinus densiflora</i>	アハ	ナナ	<i>Opismenus undulatifolius</i>	ナナ	低木	20	
			<i>Larix kaempferi</i>	ナナ	ナナ	<i>Campanula punctata</i>	ナナ	多年草	55	
			<i>Alnus hirsuta</i>	ナナ	ナナ	<i>Cirsium nipponicum</i> var. <i>incomptum</i>	ナナ	1年草	20	
			<i>Acer capillipes</i>	ナナ	ナナ	<i>Kalleria pinnatifida</i>	ナナ	その他	10	
			<i>Zelkova serrata</i>	ナナ	ナナ	<i>Lysimachia clethroides</i>	ナナ			
OL-1	990 m	オープンランド	<i>Prunus maximowiczii</i>	ミナ	ヨコ	<i>Polygonum cuspidatum</i>	イナリ	高木	6	60
			<i>Clethra barbinervis</i>	リョウ	ナナ	<i>Trifolium repens</i>	ナナ	低木	9	
					ナナ	<i>Astilbe microphylla</i>	ナナ	多年草	23	
					ナナ	<i>Poa annua</i>	ナナ	1年草	27	
					ナナ	<i>Cerastium fontanum</i> ssp. <i>japonica</i>	ナナ	その他	1	
					ナナ	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatio</i>	ナナ			
OL-2	1025 m	オープンランド	<i>Morus australis</i>	ナナ	ヨコ	<i>Rorippa indica</i>	イナリ	高木	6	60
			<i>Pinus densiflora</i>	アハ	ナナ	<i>Miscanthus sinensis</i>	スナ	低木	9	
			<i>Cornus controversa</i>	ミナ	ナナ	<i>Plantago asiatica</i>	オオハ	多年草	24	
			<i>Salix bakko</i>	ナナ	ナナ	<i>Oxalis corniculata</i>	ナナ	1年草	18	
			<i>Pieris japonica</i>	ナナ	ナナ	<i>Taraxacum officinale</i>	ナナ	その他	3	
			<i>Celastrus orbiculatus</i>	ナナ	ナナ	<i>Rumex crispus</i> ssp. <i>japonicus</i>	ナナ			

付表 全地区で確認されたチョウのリストと各地区の平均密度と平均値 (OL-1, OL-2, FE-1, FE-2, FI-1, FI-2)

種	和名	平均密度 (No. /月/km)						平均	Red List種 ¹⁾
		OL-1	OL-2	FE-1	FE-2	FI-1	FI-2		
Hesperiidae	セセリチョウ科								
<i>Erynnis montanus</i>	ミヤマセリ	—	—	5.00	3.33	—	—	4.17	
<i>Daimio tethys</i>	ダイミョウセリ	—	—	1.67	2.50	—	—	2.08	
<i>Choaspes benjaminii</i>	アオハセリ	—	—	—	1.67	—	—	1.67	
<i>Leptalina unicolor</i>	ギンイチモンジセリ	—	—	1.67	3.33	—	—	2.50	*
<i>Ochlodes venatus</i>	コキマダラセリ	—	—	1.67	1.67	—	—	1.67	
<i>Ochlodes ochraceus</i>	ヒメキマダラセリ	—	—	5.83	7.50	—	—	6.67	
<i>Pelopidas mathias</i>	チャハネセリ	—	3.33	1.67	—	—	—	2.50	
<i>Parnara guttata</i>	イチモンジセリ	2.22	3.33	7.22	7.50	—	—	5.07	
Papilionidae	アゲハチョウ科								
<i>Parnassius glacialis</i>	ウスバシロチョウ	—	4.17	7.50	20.83	—	—	10.83	
<i>Papilio machaon</i>	キアゲハ	—	3.33	—	—	—	—	3.33	
<i>Papilio macilentus</i>	オナガアゲハ	—	—	1.67	3.33	—	3.33	2.78	
<i>Papilio protenor</i>	クロアゲハ	—	1.67	—	1.67	—	—	1.67	
<i>Papilio bianor</i>	カラスアゲハ	1.67	—	2.50	3.33	—	—	2.50	
<i>Papilio maackii</i>	ミヤマカラスアゲハ	—	—	—	1.67	—	1.67	1.67	
Pieridae	シロチョウ科								
<i>Leptidea amurensis</i>	ヒメシロチョウ	—	1.67	2.22	—	—	—	1.94	**
<i>Eurema hecabe</i>	キチョウ	3.33	1.67	11.94	11.94	—	—	7.22	
<i>Gonepteryx rhamni</i>	ヤマキチョウ	1.67	—	3.33	—	—	—	2.50	*
<i>Colias erate</i>	モンキチョウ	13.10	21.43	10.00	7.92	—	—	13.11	
<i>Anthocharis scolymus</i>	ツマキチョウ	1.67	—	—	—	—	—	1.67	
<i>Pieris rapae</i>	モンシロチョウ	6.67	26.67	4.58	2.50	—	—	10.10	
<i>Pieris melete or napi</i>	スズグロシロチョウ類	5.56	2.50	14.67	13.33	5.00	4.44	7.58	
Lycaenidae	シジミチョウ科								
<i>Narathura japonica</i>	ムラサキシジミ	—	—	1.67	—	—	—	1.67	
<i>Coreana stygiana</i>	ウラキシジミ	—	—	—	1.67	—	—	1.67	
<i>Antigius attilia</i>	ミスズロオナガシジミ	—	—	—	3.33	—	—	3.33	
<i>Chrysozephyrus smaragdus</i>	メスアカミドリシジミ	—	—	—	—	3.33	—	3.33	
<i>Favonius jezoensis</i>	エゾミドリシジミ	—	—	1.67	—	—	—	1.67	
<i>Rapala arata</i>	トラフシジミ	—	—	1.67	—	—	—	1.67	
<i>Callophrys ferrea</i>	コツバメ	—	—	—	3.33	—	—	3.33	
<i>Lycaena phlaeas</i>	ベニシジミ	5.00	5.00	6.94	2.50	—	—	4.86	
<i>Lampides boeticus</i>	ウラナミシジミ	5.00	3.33	9.17	2.50	—	—	5.00	
<i>Pseudozizeeria maha</i>	ヤマトシジミ	—	1.67	3.33	—	—	—	2.50	
<i>Celastrina argiolus</i>	ルリシジミ	—	—	2.50	3.33	—	—	2.92	
<i>Everes argiades</i>	ツバメシジミ	3.33	1.67	3.89	3.75	—	—	3.16	
<i>Plebejus argus</i>	ヒメシジミ	—	2.50	12.50	1.67	—	—	5.56	*
<i>Lycaeides subsolanus</i>	アサマシジミ	—	—	15.83	1.67	—	—	8.75	**
<i>Cueta acuta</i>	ウラギンシジミ	3.33	2.50	7.50	5.00	—	—	4.58	
Libytheidae	テングチョウ科								
<i>Libythea celtis</i>	テングチョウ	1.67	—	6.11	1.67	—	—	3.15	
Danaidae	マダラチョウ科								
<i>Parantica sita</i>	アサギマダラ	—	—	1.67	1.67	2.50	—	1.94	

Nymphalidae		タテハチョウ科							
<i>Brenthis daphne</i>	ヒヨウモンチョウ	-	-	1.67	-	-	-	1.67	*
<i>Argyronome ruslana</i>	オオウラギンスジヒヨウモン	-	-	-	1.67	-	-	1.67	
<i>Argynnis paphia</i>	ミトリヒヨウモン	1.67	1.67	2.50	2.50	-	-	2.08	
<i>Nephargynnis anadyomene</i>	クモカクヒヨウモン	-	-	2.50	1.67	-	-	2.08	
<i>Fabriciana adippe</i>	ウラギンヒヨウモン	-	-	3.33	-	-	-	3.33	
<i>Argyreus hyperbius</i>	ツマクモヒヨウモン	1.67	-	-	-	-	-	1.67	
<i>Limnitis camilla</i>	イチモンジチョウ	-	-	1.67	3.33	-	-	2.50	
<i>Neptis sappho</i>	コムシジ	-	1.67	7.78	3.89	-	-	4.44	
<i>Neptis philyra</i>	ミスジチョウ	-	-	1.67	-	-	-	1.67	
<i>Araschnia burejana</i>	サカハチチョウ	-	-	1.67	-	-	-	1.67	
<i>Polygonia c-aureum</i>	キタテハ	11.67	7.38	15.00	3.33	-	-	9.35	
<i>Kaniska canace</i>	ルリタテハ	-	-	2.50	-	-	-	2.50	
<i>Nymphalis xanthomelas</i>	ヒオトシチョウ	-	-	-	1.67	-	-	1.67	
<i>Inachis io</i>	クジヤクチョウ	-	2.50	6.67	3.33	-	-	4.17	
<i>Cynthia cardui</i>	ヒメアカタテハ	3.89	5.56	-	-	-	-	4.72	
<i>Sasakia charonda</i>	オオムラサキ	-	-	1.67	-	-	-	1.67	*
Satyridae		ジャノメチョウ科							
<i>Ypthima argus</i>	ヒメウラナミジャノメ	1.67	13.33	6.67	5.42	-	-	6.77	
<i>Minois dryas</i>	ジャノメチョウ	-	3.33	56.67	8.33	-	-	22.78	
<i>Zophoessa callipteris</i>	ヒメキマダラヒカゲ	-	-	-	1.67	-	-	1.67	
Total mean density		74.76	121.87	269.53	162.92	10.83	9.44	230.37	
Total species richness		18	23	43	39	3	3		
Species divesity (H')		2.63	2.66	3.24	3.36	1.06	1.03		
Species divesity ($1-\lambda$)		0.92	0.90	0.93	0.96	0.70	0.70		

1) **: Vulnerable species (Ministry of the Environment Government of Japan, 2000)

* : Rare species (Ministry of the Environment Government of Japan, 2000)

(4) 富士北麓に生息する中型哺乳類（食肉目）の分布・生態調査

I. はじめに

富士山は山麓から山頂まで3,000m以上の標高差があり、植生の垂直分布はアカマツやミズナラが生育する山麓から森林限界を超えて地衣植物の優先する高山帯まで変化に富んでいる。また、山麓部では自衛隊の演習場による草原や大規模な造林地や原生林と呼ばれているような森林など、本地域は極めて特徴的な自然環境を呈している。そのため、そこに生息している野生動物も、そのような環境に適応した独自の生活様式を備えていると考えられる。しかし、本地域周辺における哺乳類に関する研究は非常に少なく、情報は乏しい。人為的な環境改変による野生動物への影響を考える上で、また近年注目されている生物多様性の保全を考える上でも、本地域における野生動物の生息状況を早急に把握しておく必要がある。

そこで本研究では、本地域において食物連鎖の頂点に立つと考えられるキツネ *Vulpes vulpes* Linnaeus、テン *Martes melampus* Wagner、イタチ *Mustela itatsi* Temminckなどの中型食肉類の生息状況を明らかにし、食性について、主要な食物と季節的な変化を把握し、中型食肉目の標高利用と環境選択を調べることで、本地域における中型食肉類各種の保護、および生物多様性の保全に必要な生態学的情報を得ることを目的とした。

II. 調査地及び方法

1. 生息状況調査

調査対象地域（図3-4-1）内に生息する中型食肉類の種とその生息状況を把握する目的で痕跡調査、聞き取り調査、自動撮影装置を用いた調査などを行った。

(1) 痕跡調査

調査対象地域内に食性タイプなどに応じていくつかのルートを設定し（図3-4-2～5）、そのルートを踏査して、フン、足跡などの痕跡を探して、生息種の確認を試みた。調査は、1998年9月8日、1999年2月17日、3月6日に行った。発見した痕跡は地図に位置、判断された種名、痕跡の種類（フン、足跡等）について記録した。

(2) 周辺自治体への聞き取り調査

調査は1998年度に調査対象地域に含まれる7市町村のうち、6市町村（富士吉田市、河口湖町、鳴沢村、足和田村、勝山村）の各役場の清掃やゴミ収集の担当部署に、過去3年程度の間、野生動物の死体の回収の記録がないかどうかを電話にて聞き取りを行った。記録があった場合、その種と回収場所、年月日等を記録した。なお、山中湖村については、担当者が長期不在であったため、確認が取れなかった。

(3) 自動撮影装置の設置

滝沢林道や研究所周辺の獣道や糞が多数発見された場所に、2種類の自動撮影装置（トレイルマスター TM-500、赤外線センサーとカメラを組み合わせた自家製の装置）を設置して生息種の確認を試みた（図3-4-6、7）。

(4) 足和田村営野鳥の森への聞き取り

西湖近くにある足和田村営野鳥の森管理事務所に対して、同野鳥の森やその周辺に生息する哺乳類に関する情報について聞き取りを行った。調査は、1999年1月に行った。

2. 食性調査（1）中型食肉目3種の主要な食物と季節的な変化

本調査は、1998年6月から1999年5月までを行った。調査地域において代表的な植生タイプのうち4つのタイプを選び、各タイプに約1.5～2kmのルートをそれぞれ1本ずつ設定した。各ルートは、吉田口登山道（アカマツ植林）、滝沢林道（カラマツ植林）、精進口登山道（シラビソ・オオシラビソ群集）、富士大石林道（シラビソ植林）である（図3-4-8、9、表3-4-1）。

毎月1度、各ルートを踏査して、キツネ、テン、イタチのフンを採集した。採集したフンは持ち帰り、分析までの間、冷凍保存した。分析にあたって、始めに70%エタノールに浸してフンをほぐし、内容物を目視または顕微鏡を用いて確認し、哺乳類、鳥類、節足動物、果実、その他植物質、人工物、その他、不明に分類し、節足動物をさらに鞘翅目、直翅目（いずれも昆虫類）、その他に分けて、合計10項目に分類した。結果の解析は、1998年6月～8月を「夏」、同9月～11月を「秋」、同12月～1999年2月を「冬」、同3月～5月を「春」に、それぞれ分類し、出現率で示した。

(2) 中型食肉目3種の標高移動と食性との関係

本調査は富士北麓地域に2つの踏査ルートを設定して行った（図3-4-10）。踏査ルートは富士北麓の東側にある滝沢林道の標高1,400mから2,400mの区間と、富士北麓にある富士林道から軽水林道の標高1,200mから1,800mの区間の2ルートとした。調査は2000年8月から2001年1月の間に2つの踏査ルートをそれぞれ各月1回ずつ、4人で行った。発見した痕跡は1/25,000の地図に位置、判断された種名、痕跡の種類（フン、足跡等）について記録した。痕跡がフンであった場合には、ビニール袋に採取した上で持ち帰り、冷凍により保存した。分析は前述の方法と同様に行った。

3. 捕獲及び追跡調査

捕獲は2000年12月に行った。踏査による痕跡調査の結果から中型食肉目の痕跡の多く見られた地点を中心にワナの設置を行った。捕獲には20cm×20cm×50cmの箱ワナ

(網安金網製作所製)と30cm×30cm×80cmの箱ワナ(WOODSTREAM社製)を使用し、餌は唐揚げ、半生タイプのドックフード、ごま油を使用した。なお、捕獲には鳥獣捕獲許可(山梨県)を得て行った。

捕獲された個体は麻酔薬のケタラルール50(塩酸ケタミン 50mg/ml、三共製薬)を体重1kgに対して0.4mlの割合で使用し、筋肉注射を行った。その後、外部計測と発信機の取り付けを行い、麻酔から完全に覚めたと判断したところで、捕獲地点に放逐した。

使用した発信機(ATS社製)は首輪型で電池寿命は約7ヶ月、重量は約40g、周波数帯は146MHzを用いた。

追跡は無指向性の車載アンテナ(DIAMOND社製)を用いて、車で移動しながら大体の場所を確認した時点で三素子の八木アンテナ(ATS社製)により位置を確定した。

位置の確定には三角測量法を用いて行ったが調査者が一人であったため、一人が2地点以上から放探する方法で行った。その際、地点間の移動を迅速に行い、時間間隔が少なくなるようにした。また、2地点間の角度は45°以上になるようにした。

電波の受信にはポータブルタイプの受信機FT290MkII(八重洲無線株式会社製)を用いた。調査は30分間隔の24時間連続追跡を基本にし、追跡期間中の各月において上旬、中旬、下旬に一回ずつ行った。

得られたロケーションポイントは汎用のGISソフトであるArc View3.2aを用いてデジタル化をし、そのロケーションポイントを用いた行動圏の推定はArc ViewのエクステンションであるAnimal Movement(USGS, 1994)を用いて行った。

また、テン属は一般に活動中心を持たないと考えられており(Samuel et al., 1985)、国内では長崎県の対馬(Tatara, 1994)や長野県の入笠山(奥村, 1996)でも、そのような考えから最外郭法(Minimum Convex Polygon, Mohr, 1947)を用いている。今回の行動圏解析でも最外郭法を用い、その100%について計算した。

また、追跡したテンの環境選択性を調べた。植生図は環境省の第3回自然環境保全基礎調査をもとに第4回、第5回と部分的な改正を行ったものを使用した。

分析は行動圏内の植生割合を期待値とし、放探により得られた活動点を実測値として χ^2 検定を行い、期待値と実測値の間に有意な差が認められた場合には、Bonferroni Test(Neu et al., 1974)を用い環境の選択性を調べた。

Ⅲ. 結果及び考察

1. 生息状況調査

(1) 痕跡調査

1998年9月8日の調査では、キツネ、テン、イタチの生息を確認した(図3-4-11、12)。設定した5つの

踏査ルートのうち、滝沢林道のルートでは3種の痕跡とも発見し、特にキツネのフンは多数発見された(図3-4-11、12)。富士大石林道と上九一色村のルートでは、それぞれイタチのフンを発見した(図3-4-11)。精進口登山道でも3種の痕跡とも発見されたが、滝沢林道の痕跡の数と比べると少なかった。また三国山のルートでは全く痕跡を発見できなかった。

滝沢林道の痕跡が多かったのは、1999年2月17日の調査でも同様であった。このときは5つの踏査ルートを設定し、このうち滝沢林道のコースでは前述の3種に加えてタヌキ *Nyctereutes procyonoides* Grayの痕跡も発見した(図3-4-13)。詳細な検討は必要であると思われるが、9月と2月の2回の調査結果を比較してみると、滝沢林道では2月の調査の方が、痕跡の分布がより標高の低い場所に集中しているような傾向が見られた。これは、非積雪期に標高の高い地域に生息していた個体が、積雪により標高の低い地域に生息域を移動させたことを示唆している可能性がある。1999年2月の調査では、この他に精進口登山道のルートでキツネ、テンの痕跡が多数発見された。これも、9月の調査と比べると非常に多い数であったが、これについても、滝沢林道と同様に、積雪による分布の変化が原因である可能性がある。しかし、一方で、非積雪期には同登山道は溶岩土壌のため地面が黒っぽく見えるのに対し、積雪期には地面が白くなることから、単に積雪により雪上の痕跡が発見しやすくなったため発見数が増えた可能性もあり、さらなる検討が必要であると考えられる。さらに、梨ヶ原のルートでテンの痕跡が、北富士演習場のルートでテンとイタチの痕跡が、三国山のルートではキツネ、タヌキ、テン、イタチの痕跡が、それぞれ発見されたが、数はそれほど多くはなかった。

1999年3月6日の調査では、青木ヶ原を中心に4つのルートを設定し、キツネ、タヌキ、テン、イタチの痕跡を発見した。この4ルートのうち、樹海内の2コースではあまり痕跡は多くなかったが、樹海と御坂山地の先端部との境界付近の2ルートでは、特にキツネとテンの痕跡が非常に多く発見された(図3-4-14)。以上の結果は、この地域が哺乳類にとって樹海や富士山一帯と御坂山地をつなぐ重要な地域であることを示唆しているものであると考えられる。

なお、食肉類以外では、ノウサギ *Lepus brachyurus* Temminck、ニホンジカ *Cervus nippon* Temminck、イノシシ *Sus scrofa* Linnaeusの痕跡を確認した。特にノウサギは、1999年2月の調査時に三国山などで多数の足跡が発見できた。

(2) 周辺自治体への聞き取り調査

河口湖町内において、キツネ(1996年10月)とタヌキ(同12月)の死体が回収されていた。詳細な状況は不明であるが、いずれも交通事故によるものと推察される。

(3) 自動撮影装置の設置

自動撮影装置により、研究所独自で設置したものを含めて、キツネ、テン、タヌキが撮影された(図3-4-15)。機材の数などの関係から、長期間設置することができなかったが、今後、装置の数を増やして設置期間も長くすることにより、何らかの傾向が見られるであろう。また、捕獲してカラーテープなどで標識を付けて放し、自動撮影装置に撮影された個体を識別することによりある程度の密度推定を行うことも可能であると考えられる。

(4) 足和田村営野鳥の森への聞き取り

青木ヶ原樹海の北端に位置する同所では、餌付けしていることもあり、これまでタヌキ、キツネ、イタチ、テン、アナグマ *Meles meles* Linnaeus、ハクビシン *Paguma larvata* Smith など、多くの種が確認されていた。実際、同所の近くで行った痕跡調査でも多数の痕跡を発見しており、また国道139号線でもロードキルが多数起っていることから、同所付近にも多数の中型食肉類が生息していると考えられる。しかし、これらの種の多くは、同所では最近目撃が少なくなっているとのことだった。原因についてははっきりとしたことは分らないが、疥癬症やノイヌ *Canis familiaris* Linnaeus、ノネコ *Felis catus* Linnaeus の増加が考えられるのではないかとのことであった。

2. 食性調査

(1) 中型食肉目3種の主要な食物と季節的な変化

節足動物その他については、大半が昆虫類の幼虫、アリ類などであった。キツネ、テン、イタチ3種とも高い出現率を示しているものがあるが、多くのフンについて量的には非常に微量であり、重要な食物とは考えられなかった。また、植物質その他の出現率も3種とも高い値を示したが、葉、茎などの細かな破片が大半であり、他の餌食物を補食する際に偶然一緒に口に入っただけか、もしくは補食した齧歯類などの消化器官内に残っていたものであると推測され、主要な餌食物とは考えにくかったため、以下の解析では除いた。また、人工物、その他、不明についても、いずれも出現率は低い値が大半であったため、同様に解析の対象とはしなかった。

・キツネ

調査期間中に95個のフンを採取した(表3-4-2)。ルート別に見てみると他の3ルートいずれに比べても、いずれの季節においても滝沢林道が最も多かった。4ルート合計では秋が最も少ない結果となった。食性では、いずれの季節も哺乳類の出現率が90%以上の高い値を示した。鳥類は夏と冬に20%前後の値を示したが、秋と春には6%強に低下した。鞘翅目は夏に最も高い値をしめたが、テン、イタチについては秋、冬には出現率が少なくなるのに対して、いずれの季節も10%以上の値を維持

していた。果実は、夏～冬に40～60%の値を示していたが、春には8%と低くなった(表3-4-5)。

以上より、滝沢林道ルートでは、採集できたフンの数が他のルートと比較して非常に多い結果となったが、これには、以下の理由が考えられた。

キツネの主要な食性は哺乳類であるとされており(武内, 1995、阿部ら, 1994)、本調査の結果もそれを支持するものであった。一方、テンとイタチの結果を見てみると、滝沢林道ルートでの哺乳類の出現率が、吉田口登山道ルートや富士大石林道ルートと比べて高かった(表3-4-2)。この2種は、餌食物量に応じて食性を変化させるとされている(藤井, 1998、中村, 1999)ことから、吉田口登山道ルートや富士大石林道ルートでは、哺乳類の現存量が滝沢林道ルートと比較して少ないのではないかと考えられる。実際、白石(1996)の調査では、アカマツ林よりもカラマツ林の方が齧歯類の捕獲数が多かったことを示している。しかし、精進口登山道ルートでは、キツネのフンは非常に少なかったものの、テンとイタチのフンはキツネほど少なくない上に、いずれの季節も哺乳類が主要な食物となっていた。他の3ルートはいずれも植林地であるのに対して精進口登山道ルートは自然植生であるが、白石(1996)によると、このような自然林での齧歯類の捕獲数がアカマツ林やカラマツ林と比較して高かったことから、各ルートにおける齧歯類の個体数のみが、キツネの生息や植生に影響を与えたとは考えにくい。

ところが、滝沢林道は、陸上自衛隊北富士演習場に隣接している。演習場は広大な草地在広がっていることから、草原性のハタネズミやノウサギの個体数が非常に多いと考えられる。キツネの行動圏は、武内(1995)の例ではオスで659～2976haと非常に広いことから、両地域を行動範囲とすることは容易であると考えられる。同じく演習場の近くに、位置している吉田口登山道ルートではフンが少なかったことから考えると、滝沢林道ルートでは、ルート付近での餌食物量が多かったのに加えて、近くに位置する演習場における餌食物量も豊富であったため、キツネの個体数も多く、フンも多かったのではないかと考えられる。

・テンとイタチ

テンにおいては、調査期間中に121個のフンを採取することができた(表3-4-3)。全体のフンの季節的な変化を見ると、夏に多く、秋、冬に減少し、春に増加するという傾向が見られたが、ルートによって夏に少ないもの(精進口登山道)や秋・冬に多いもの(富士大石林道)が見られた。ルート別に見てみると、1年間の合計では滝沢林道が最も多い値を示したが、季節別に見ると秋と春の精進口登山道では滝沢林道よりも多い値を示した(表3-4-3)。食性では、夏と秋には果実が最も高い値を示し、ついで哺乳類の順となっていたが、冬

と春には果実はそれぞれ21.7%（平均値、以下同様）、11.4%に減少した。哺乳類は、夏～秋には70%前後の値を示していたが冬には60.9%に減少した。しかし、主要な食物項目の中では最も高い値を示した。また、春には80.0%と増加した（表3-4-6）。

イタチにおいては調査期間中に129個のフンを採取した（表3-4-4）。季節的な変化を見ると、他の2種と同様、夏に多く、秋、冬に減少し、春に増加するという傾向が見られた。ルート別に見てみると、夏には滝沢林道が最も高い値を示したが、他の3ルートとの差は最大でも2倍であり、他の2種ほどの差はなかった。秋には滝沢林道は6個に減少したが、富士大石林道や精進口登山道ではそれほど減少せず、また最も多い値を示したのは精進口登山道であった。冬には再び滝沢林道が増加して4ルートの中では最も高い値を示し、逆に富士大石林道や精進口登山道では減少した。しかし、春には再び滝沢林道で減少し、精進口登山道では増加して最も高い値を示した。食性はイタチもテンと同様に、夏と秋には果実が最も高い値を示し、次いで哺乳類の順となった。冬には、テンと同様に主要な食物項目の中で哺乳類が最も高い値を示したが、テンとは異なり、哺乳類の出現率は冬に最も高くなった。春には哺乳類のみが高い値を維持したままであった（表3-4-7）。

これら2種のフンが夏と冬に滝沢林道ルートにおいて多かったのは、キツネと同様、本ルート付近における齧歯類などの餌食物量を反映した結果であると考えられる。しかし、キツネほど哺乳類に依存する割合は高くなく果実など他の食物も選択できたこと、また行動圏もキツネのそれと比べて小さいこと（細田・鎭（1996）の例ではオスで80ha）から北富士演習場の影響はそれほどなかったと考えられる。そのため、キツネのような顕著な結果は出なかったものと考えられる。

秋や春には精進口登山道ルートでのフン数の方が多かったが、これは、本ルートでの哺乳類の出現率がどの季節も高かったことから、自然林に多い齧歯類（白石，1996）を狙って季節的に生息密度に変化が生じたためではないかと考えられる。冬には両種とも同ルートにおいてフン数が減少するが、これは、同ルートが他の3ルートと比較して高標高地域にあるため、積雪により齧歯類の捕食が困難になったためではないかと考えられる。

テンは、一般的にイタチよりも果実を好む傾向があるとされているが（Tatara et al., 1994）、本調査では特にそのような傾向は見られず、テン、イタチとも似たような食性の季節的な変化が見られた。しかし、夏の富士大石林道ルートや精進口登山道ルートでは、イタチの方がテンよりもフンが多く、果実の出現率は50%前後となっているが、テンのフンの数は少なかった。これは、採食する果実の選好性が異なっていたためとも考えられる。

・その他

得られたフンの内容物について、より詳細な分析は行っていないが、フンに含まれていた毛、骨などから、3種とも哺乳類については大半が齧歯類や食虫類、ウサギ類などの小型哺乳類であると考えられた。これまで、キツネ、テン、イタチなどの食肉類が食虫類を積極的に捕食するという報告はほとんどない。今後、フンの内容物についてより詳細な分析を行い、できる限り種レベルまで明らかにして、食べられた食虫類の種の解析とその割合について明らかにする必要があるものと考えられる。

また、小型哺乳類や果実などといった、各ルートの餌食物の分布と量についても明らかにする必要があるものと考えられる。

（2）中型食肉目3種の標高移動と食性との関係

踏査による痕跡調査で確認された種はキツネ、タヌキ、テン、イタチ、ノウサギ、ニホンリス *Sciurus lis* Temminck、ニホンジカ、イノシシであった（表3-4-8）。全期間中を通して最も多くのフンが発見された種はテンであり、次いでイタチのフンが多く発見された。食物連鎖の捕食者にあたるこれらの種は被捕食者であるノウサギなどよりも生息数は少ないと考えられるが、今回の調査では捕食者であるイタチ科のほうが多くのフンを発見することができた。このことは、イタチ科の動物がフンをマーキングとして目立つところにするためであると考えられる。

フンの数の多い標高をその種の分布の中心として考えた場合、夏にはキツネが1,646.5±132.3mとなり、3種の中では最も高い値となった。同時期のテンは1,517.8±209.4m、イタチは1,490±211.8mとなり、ほぼ同じ標高を利用していた（表3-4-9、図3-4-16）。また、秋には3種ともほぼ同じような標高を利用していたが、冬にはキツネとテンが標高1,700m付近に分布の中心を上げ、その逆にイタチは標高1,450m付近に下げた。

次に、分布のばらつきを表す標準誤差を見た場合、テンとイタチでは秋に他の季節よりも大きくなり、それぞれ227m、278.9mであった。キツネでは冬に最大となり329.6mとなった。

ここで、1998、1999年度に行ったフンによる食性調査の結果を参照してみると、キツネは年間を通して哺乳類の出現率が高くなっていた（表3-4-10）。テンでは季節的により出現率の最も高いものが変化しており、季節により採食している餌を変化させていることが伺えた。イタチは夏以外は哺乳類の出現率が最も高くなっていた。

また、出現率が50%以上のカテゴリーの数が最大になる季節はキツネでは冬で4カテゴリー、テンとイタチでは秋で4カテゴリーとなっていた。

以上のことから、夏にキツネが高標高を利用し、テンとイタチが同じような標高を利用していたことは、この時期のテンとイタチの食性は両方とも主に種実を利用し

ており、富士山の山地帯上部が標高1,600 m付近であることから、実がなり出す上限付近を利用するため、テンとイタチの利用標高が重なったのではないかと考えられた。

次に、秋には3種が似たような標高を利用していたが、食性から見るとテンとイタチは採食しているカテゴリーの数が多くなっている。そのことから、この時期は採食できるものを採食するような、よりジェネラリスト的な採食形態を取るのではないかと考えられた。

また、冬はキツネとテンが標高を上げ、イタチが下がっていた、イタチが標高を下げたのには、積雪や気温の影響があると考えられる。

フンの分析結果の採食しているカテゴリー数を見ると、数が多くなる時期がテンとイタチでは秋であり、キツネでは冬になるのは、テンとイタチは先にも記したようにジェネラリスト的な採食形態をとると考えられ、主な餌は決まっているが、秋にはその他にも多くのものが利用できるため、つまみ食いの採食になっていると考えられる。それとは逆に、キツネは食性からも分かるように哺乳類の出現率が年間を通して高く、哺乳類の利用に特化したスペシャリストと考えられる。しかし、冬には哺乳類の捕食も難しいため、その他のものでエネルギーを補っているのではないかと考えられた。つまり、テンとイタチは餌が豊富なときに多くのカテゴリーの餌を利用し、キツネは餌が乏しいときに多くのカテゴリーを利用していると思われる。

3. 行動圏構造と環境選択

(1) 捕獲

捕獲調査は2000年12月18日から22日の5日間に12台のワナを設置し、12月26日から30日の5日間に20台のワナを設置した(図3-4-17)。捕獲期間を通してのトラップナイト数は148であった。2000年12月28日にテンのメス1個体の捕獲に成功した。また、今回の捕獲調査では、テン以外にニホンリス、アカネズミ *Apodemus speciosus* Temminck、カケス *Garrulus glandarius* が捕獲された。

(2) 行動圏

追跡は12月28日から2月11日の間に24時間の連続追跡を4回行った。12月には捕獲地点周辺を利用し、面積は3.3km²であった。1月には低標高に移動をしたため、面積も4.1km²と最大となった。2月はロケーションポイントが少ないためか行動圏面積は0.7km²で最小となった。それぞれの時期での行動圏の重複は12月と1月では多少見られたが、1月と2月では全く見られなかった。(図3-4-18) 富士北麓でテンの行動圏を調べた中村(2001)は8頭のオスの行動圏の平均が373.61haで、4頭のメスの行動圏面積は98.93haという結果になった。今回の結果は中村の結果とは異なり比較的大きい行動圏

となっていたが、中村の調査時期が3月から11月であり、今回の調査時期とずれていたことと、今回の調査期間中に大雪が降ったことにより低標高域へ移動をしなくてはいけなくなったためではないかと考えられる。

また、テンは受精してもすぐには胚が子宮に着床せず、その後何かが引き金になって着床し、胎児発育が始まる着床遅延現象を持っている。着床を誘発するものが種によって異なっており、何が原因かというのは、いまだによくわかっていないが、通常の交尾期とは別に冬期に擬似交尾が行われ着床が起こっているのではないかという見方もある。もしそうだとすると、今回の個体の行動圏が他の調査と比べて大きくなっているのは、この擬似交尾により活動が活発になったことが考えられるが、今回の調査からは詳細を知ることはできない。

(3) 環境選択

12月から2月までのロケーションポイントから求めた行動圏構造について、ハビタット内の植生は、落葉針葉樹植林が54.6%を占め、ついで、常緑針葉樹植林が26.9%であった。

また、ハビタット選択については、常緑針葉樹植林に有意に高い選択性が見られ(表3-4-11)、落葉針葉樹植林とその他(草地と落葉針葉樹林)を回避していた($\chi^2=16.3$, $df=5$, $P<0.01$)。

富士山の冬は風が強く、しかも積雪も1 m程度にはなるような自然環境の厳しい場所である。そのような環境下で生活していくには常緑の森を利用し、落葉の森や草地は避けて生活していくことが適応的であると考えられる。今回、常緑針葉樹植林が選択的に利用されていたのはそのような理由からではないかと推測される。

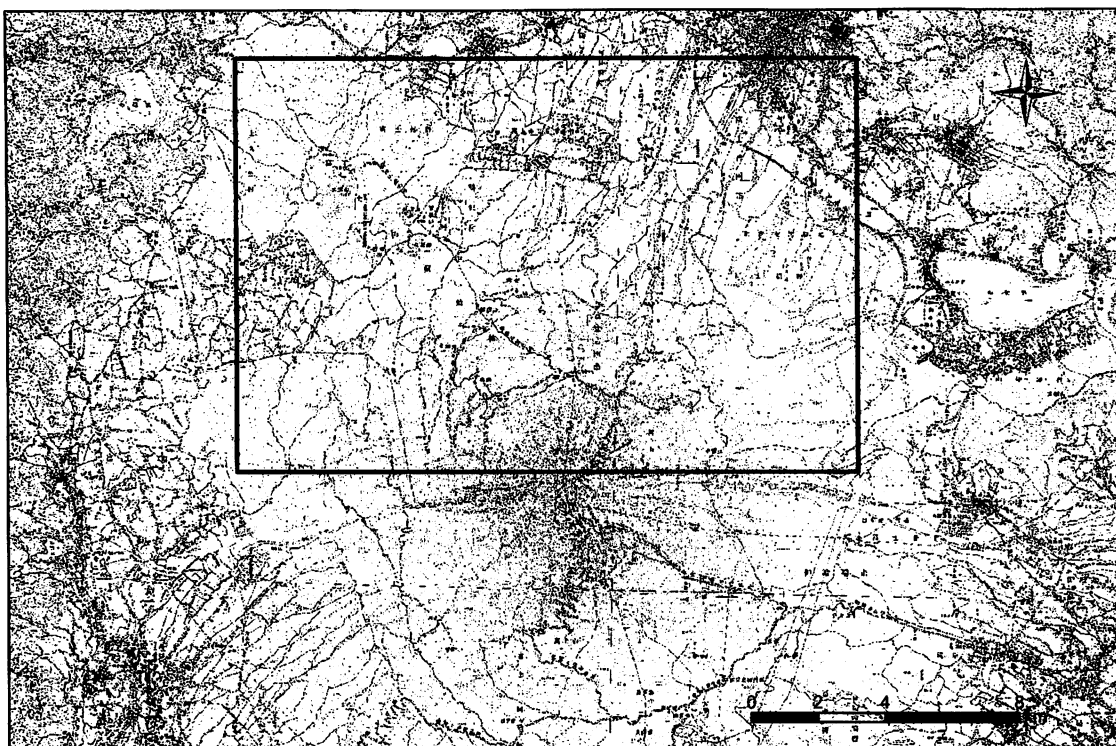


図 3-4-1 調査地（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）

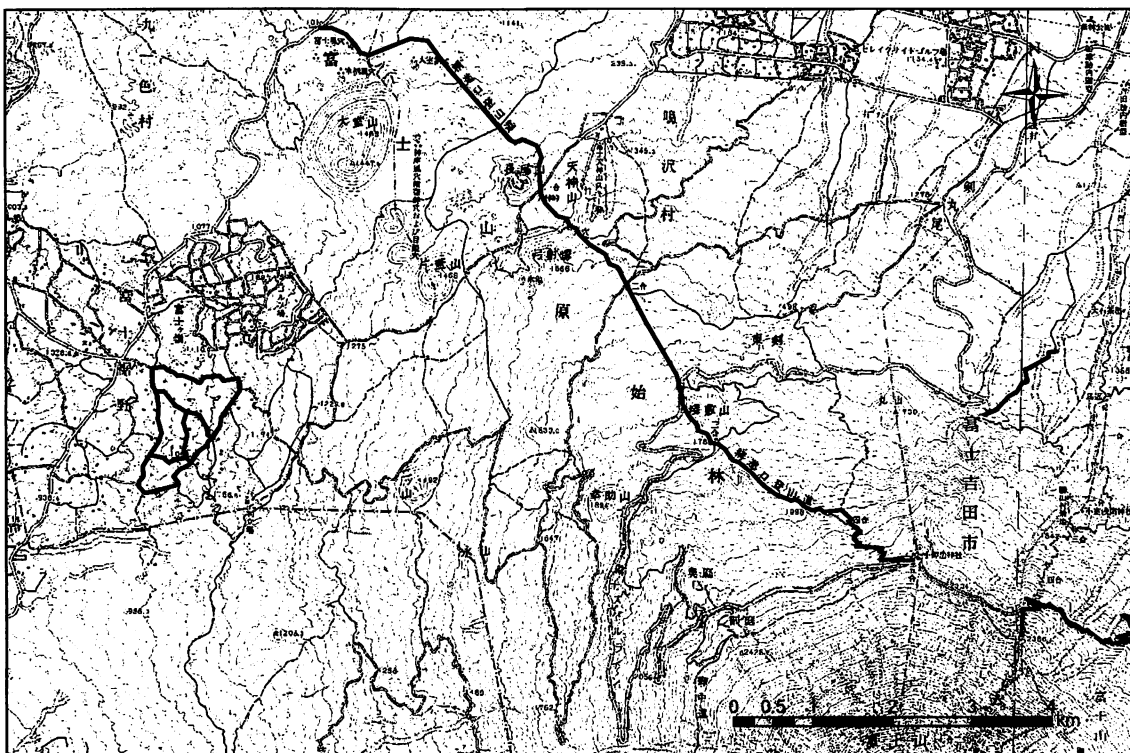


図 3-4-2 痕跡調査踏査ルート（1998年 9 月 8 日・その 1）（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）

—— 踏査ルート

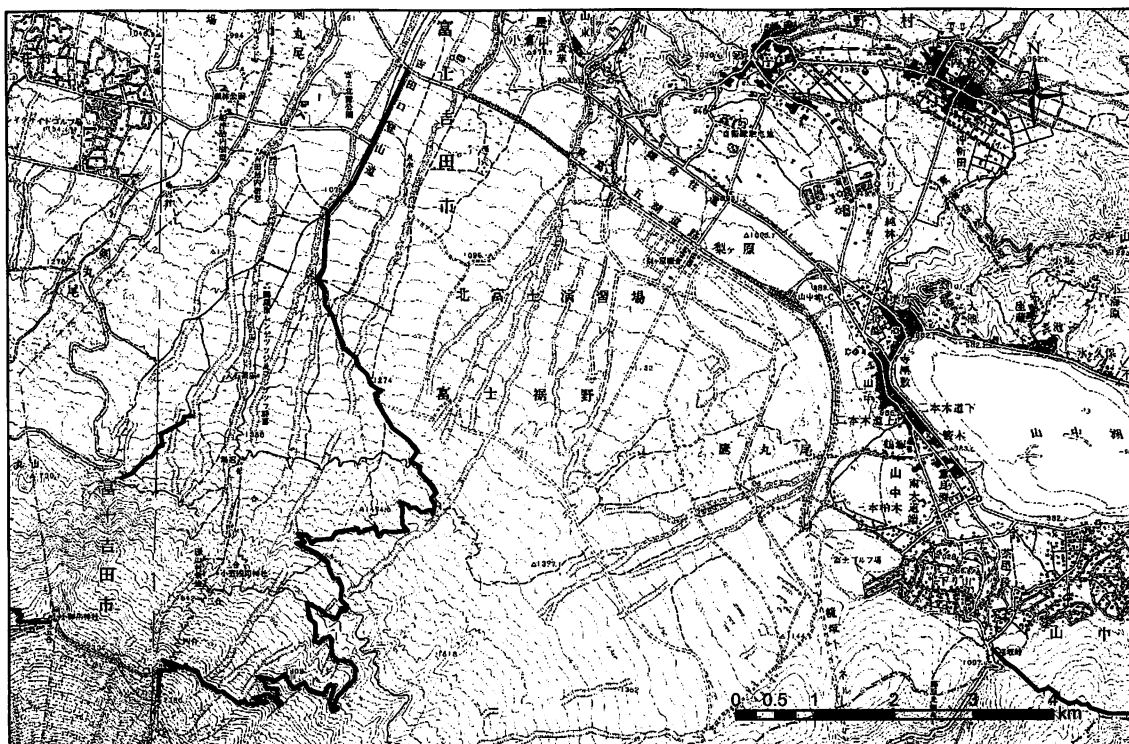


図 3-4-3 痕跡調査踏査ルート（1998年 9 月 8 日・その 2）（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）

—— 踏査ルート



図 3-4-4 痕跡調査踏査ルート（1999年 2 月17日）（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）

—— 踏査ルート

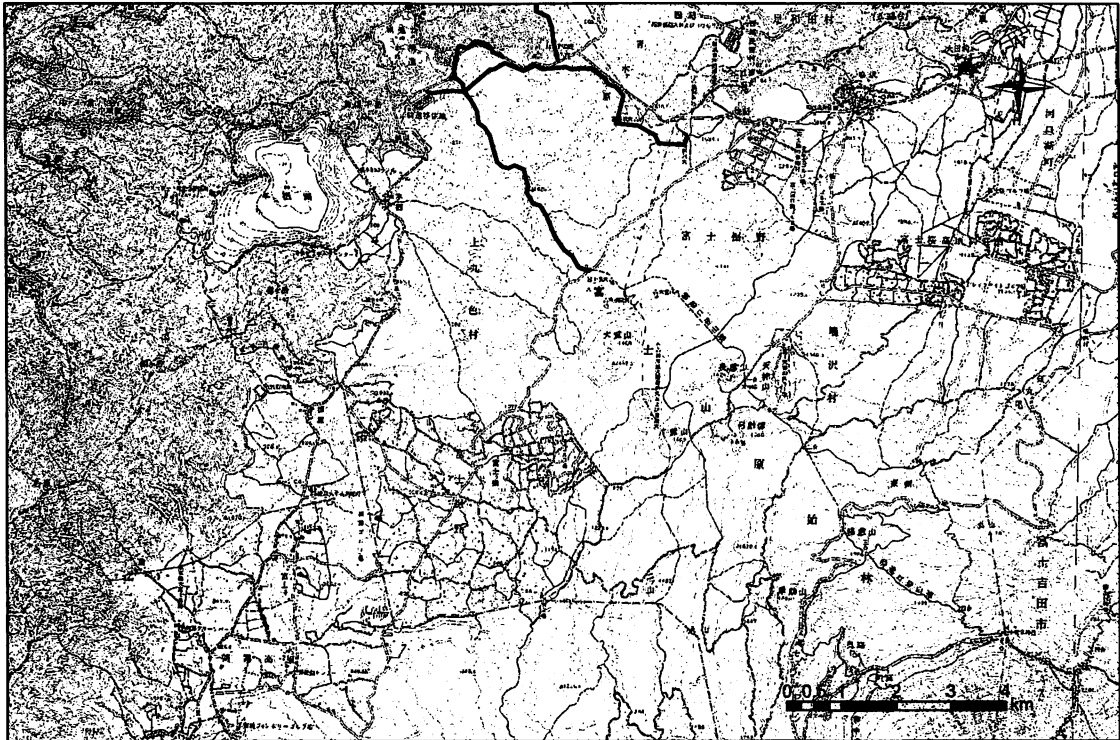


図 3-4-5 痕跡調査踏査ルート（1999年 3 月 6 日）（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）

—— 踏査ルート

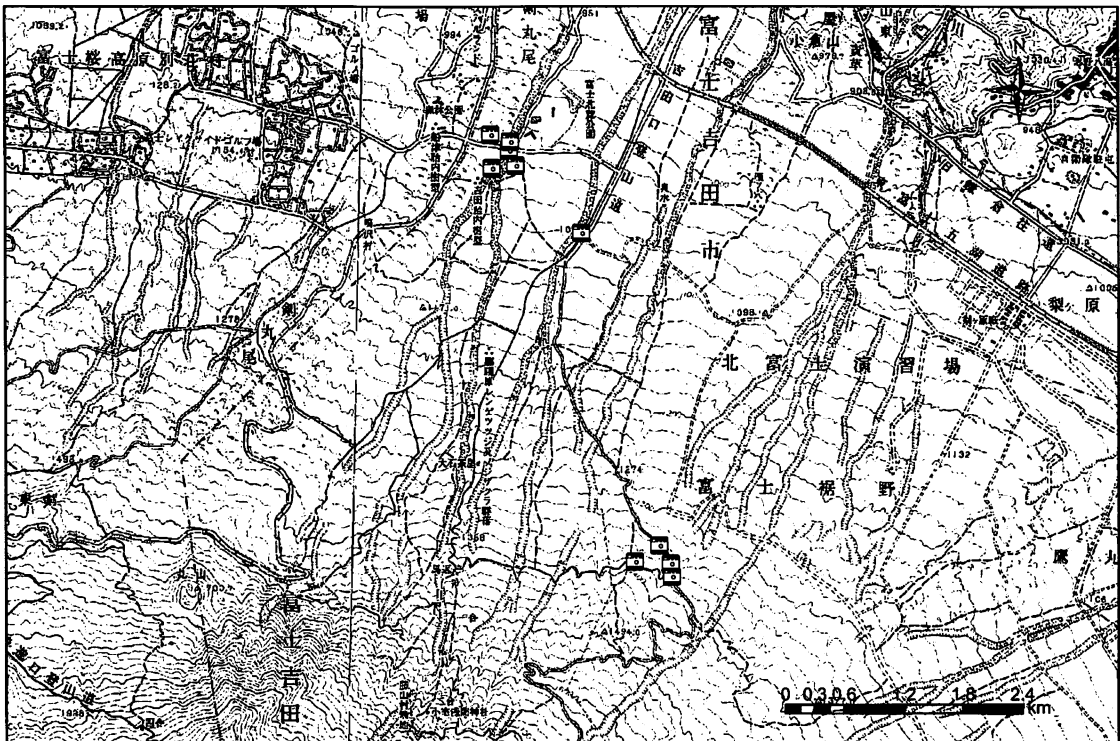


図 3-4-6 自動撮影装置設置場所（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）



図 3-4-7-1 自動撮影装置設置状況（センサー部）



図 3-4-7-2 自動撮影装置設置状況（カメラ部）

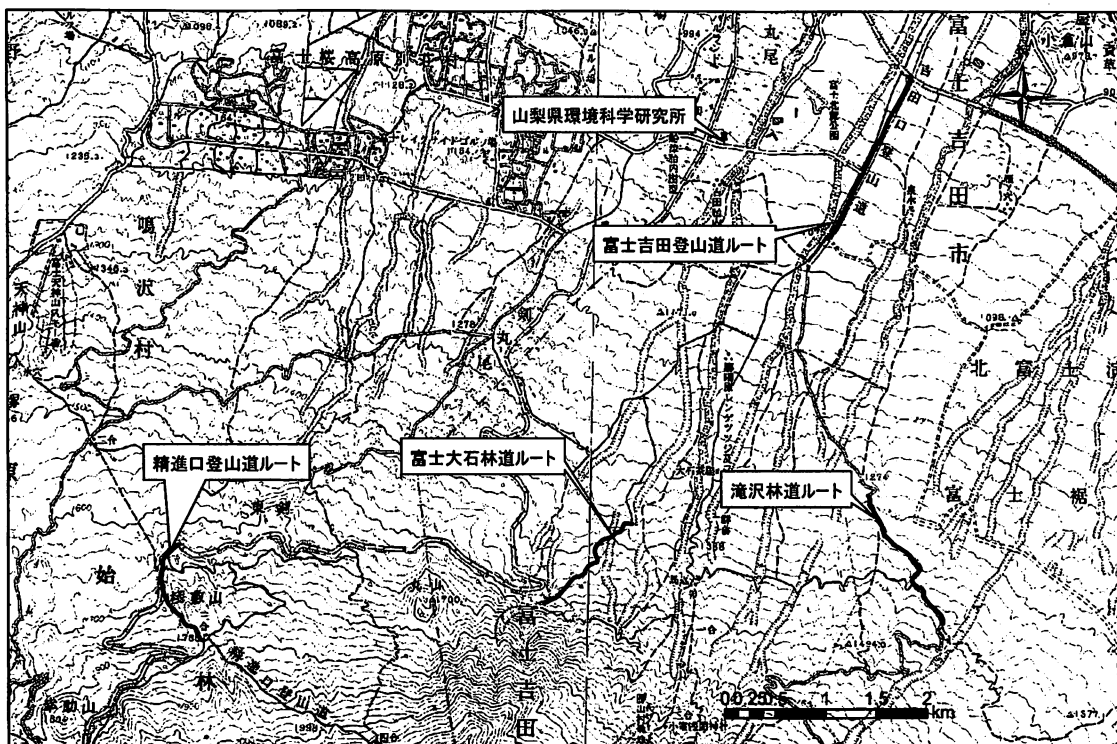


図 3－4－8 フン採取のための踏査ルート（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）

—— 踏査ルート



図 3-4-9-1 フン採集ルート（吉田口登山道コース）



図 3-4-9-2 フン採集ルート（精進口登山道コース）



図 3-4-9-3 フン採集ルート（滝沢林道コース）



図 3-4-9-4 フン採集ルート（富士大石林道コース）

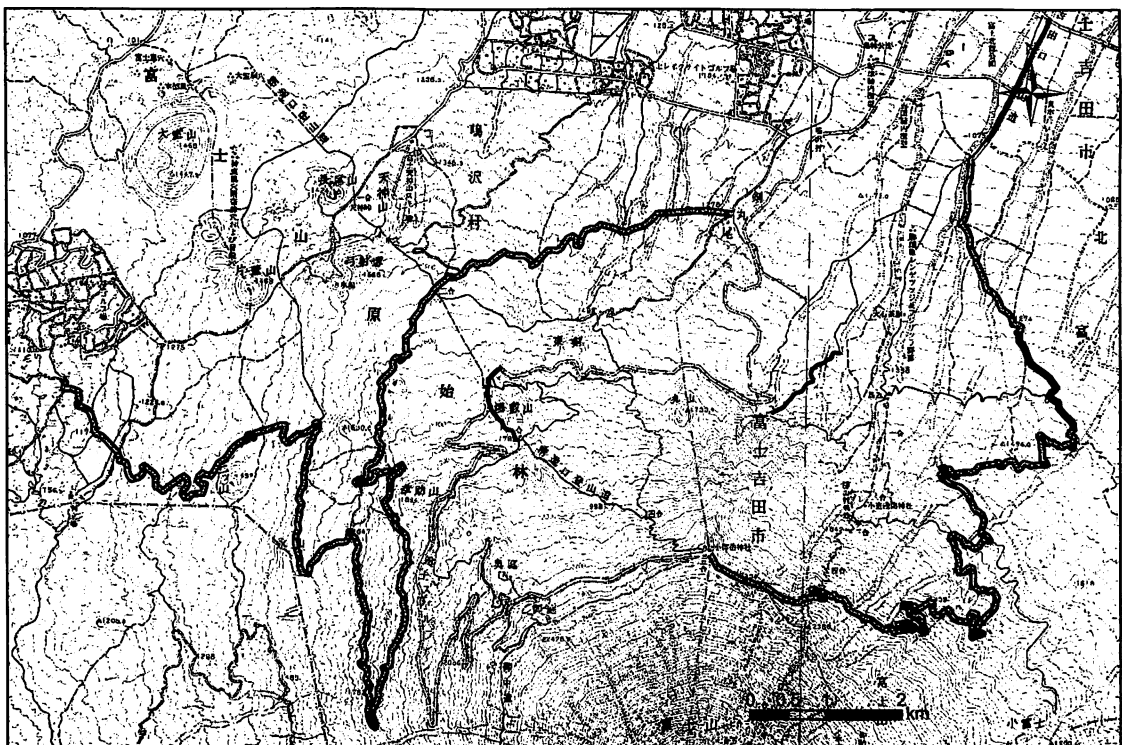


図 3-4-10 富士北麓における分布調査のための踏査ルートとフン採取ルート（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）
 —— 痕跡調査ルート ——— フン採取ルート

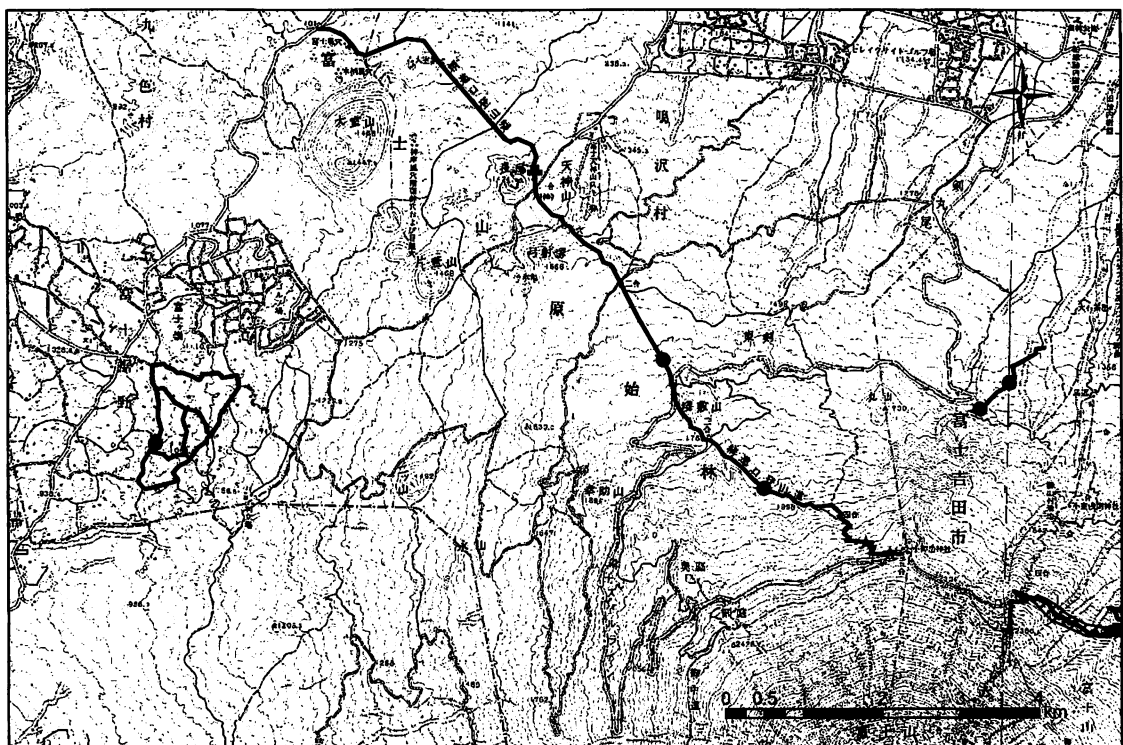


図 3-4-11 痕跡確認位置（1998年 9 月 8 日・その 1）（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）
 ——— 踏査ルート ●キツネ +テン ★イタチ

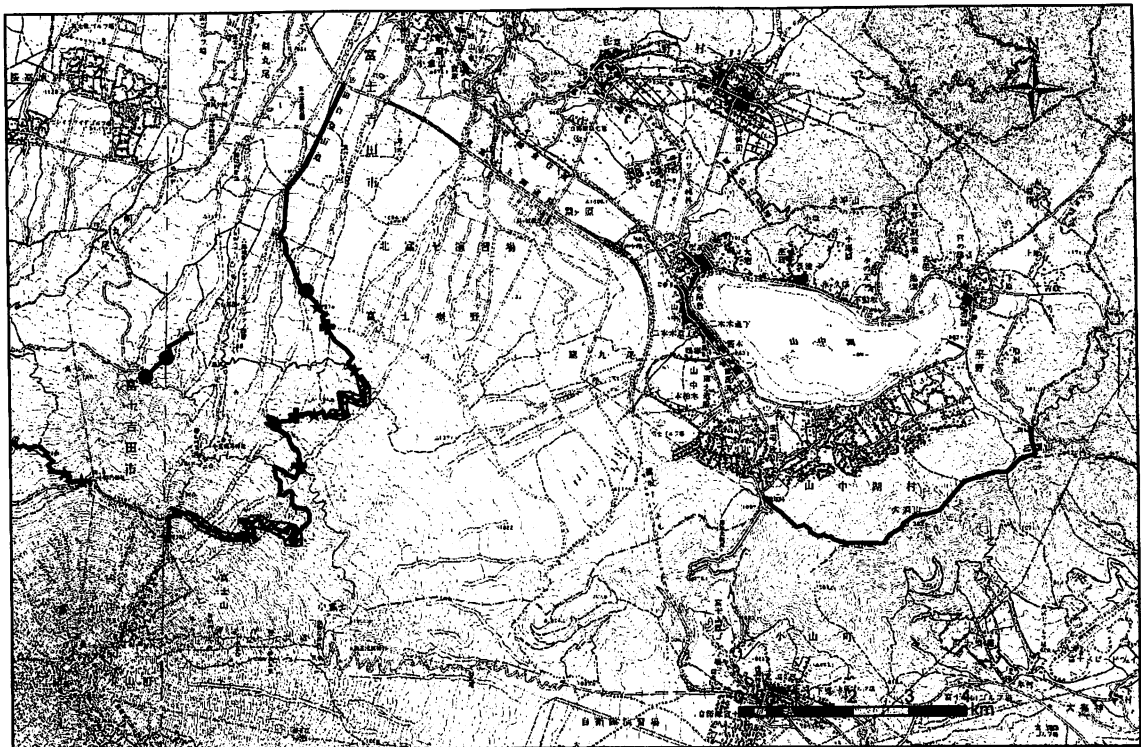


図 3-4-12 痕跡確認位置 (1998年 9 月 8 日・その 2) (国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』
(地図画像) 上に記載)

— 踏査ルート ●イタチ +キツネ ★テン ▨キツネ

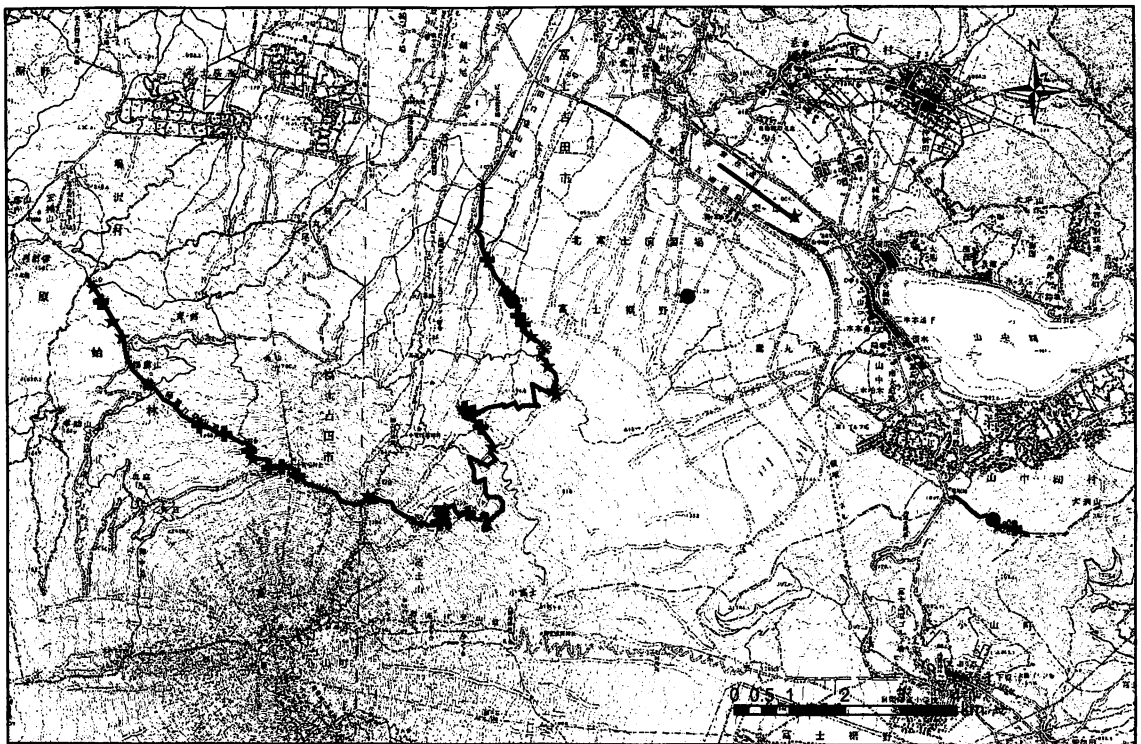


図 3-4-13 痕跡確認位置 (1999年 2 月17日) (国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』(地図
画像) 上に記載)

— 踏査ルート ●イタチ +キツネ ※タヌキ ★テン

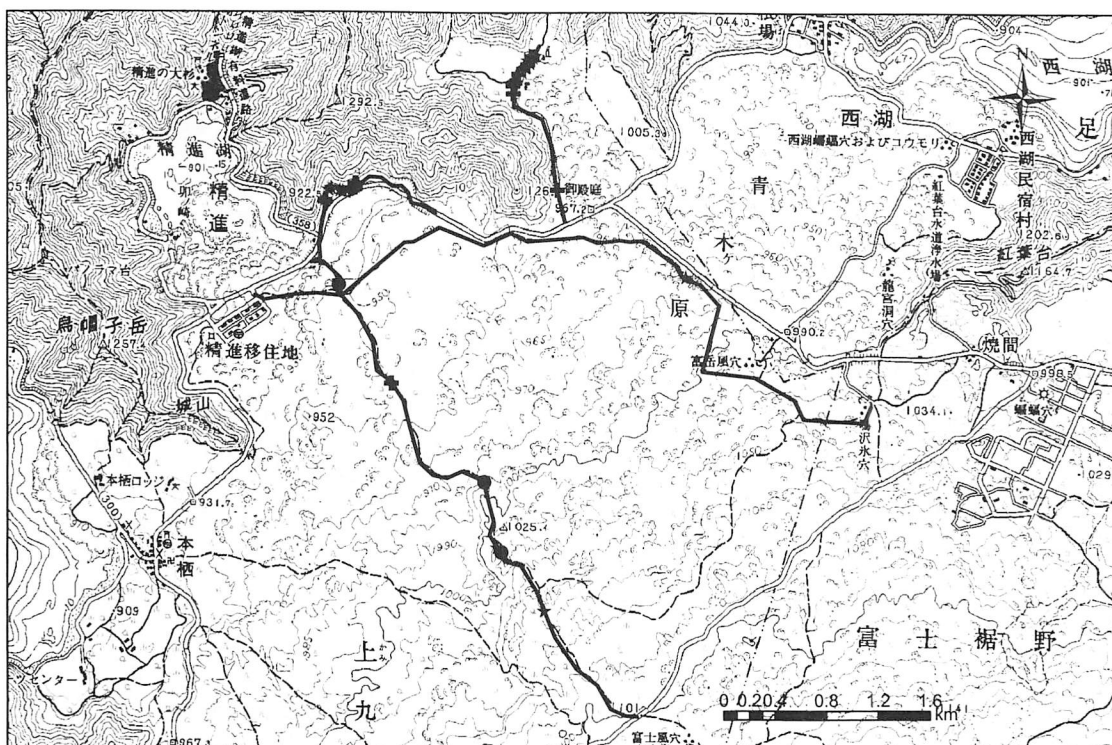


図 3-4-14 痕跡確認位置 (1999年 3月 6日) (国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』(地図画像)上に記載)

—— 踏査ルート ● イタチ + キツネ ※ タヌキ ★ テン



図 3-4-15-1 自動撮影装置によって撮影されたタヌキ



図 3-4-15-2 自動撮影装置によって撮影されたテン

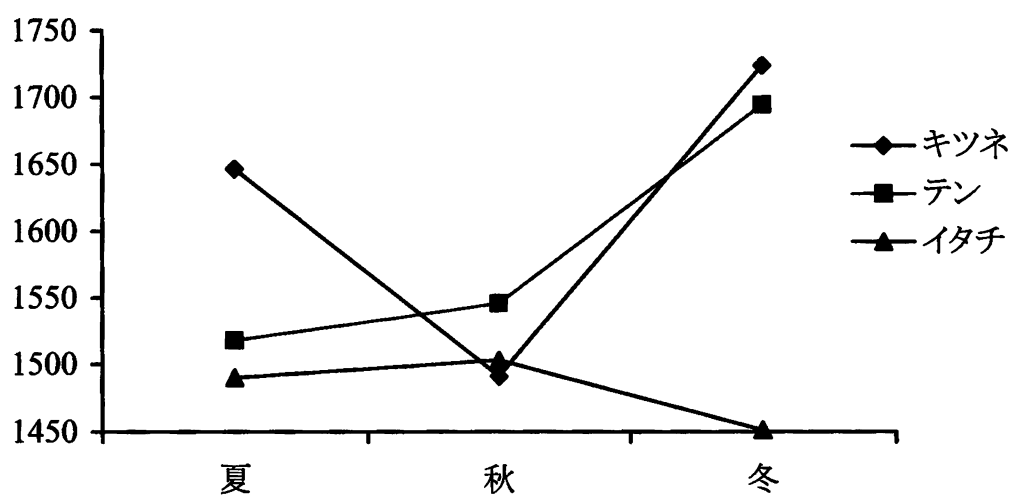


図 3-4-16 フン採取の集中地点からみた3種の標高利用変化

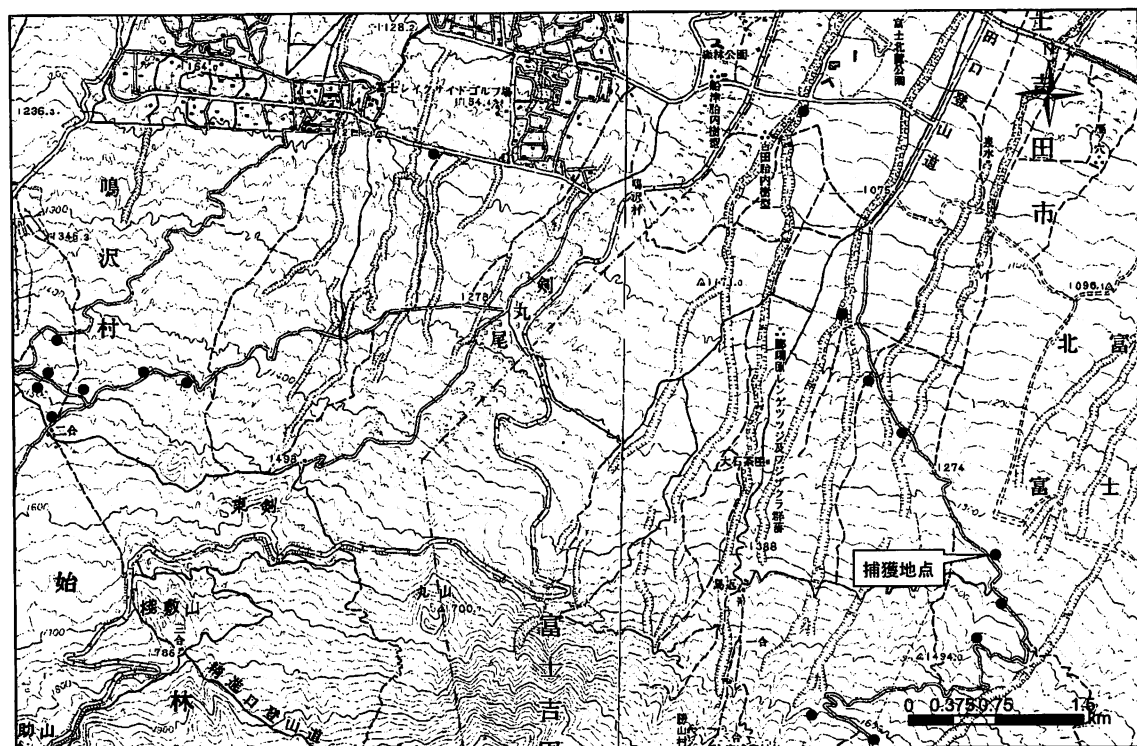


図 3-4-17 ワナ設置位置とニホンテンの捕獲地点（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）

●ワナ設置地点

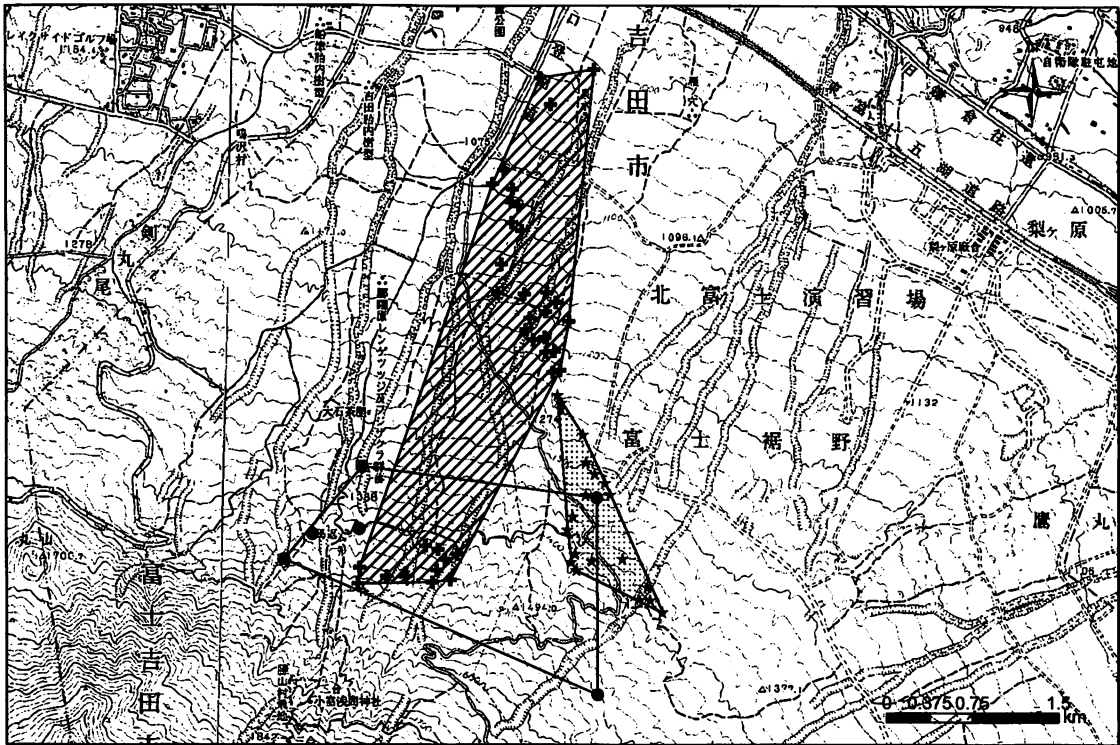


図 3-4-18 富士北麓におけるテンの行動圏（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）

- 2000年12月 2000年12月行動圏
- ✚ 2001年1月 2001年1月行動圏
- ★ 2001年2月 2001年2月行動圏

表 3-4-1 各踏査ルートの特徴

調査ルート	植 生	標高 (m)	踏査ルート長 (m)
吉田口登山道	アカマツ植林	950～1070	1750
滝沢林道	カラマツ植林	1300～1400	1650
富士大石林道	シラビソ植林	1350～1500	1400
精進口登山道	シラビソ・オオシラビソ林	1650～1800	1300

表 3-4-2 ルート別・季節別のキツネのフン採集数

		吉田口登山道	滝沢林道	富士大石林道	精進口登山道	計
98年	夏	2	20	6	0	28
	秋	0	15	0	1	16
	冬	1	20	0	0	21
99年	春	1	25	1	3	30
計		4	80	7	4	95

表 3-4-3 ルート別・季節別のテンのフン採集数

		吉田口登山道	滝沢林道	富士大石林道	精進口登山道	計
98年	夏	8	29	2	1	40
	秋	2	4	6	10	22
	冬	2	9	6	6	23
99年	春	2	11	4	19	36
計		14	53	18	36	121

表 3-4-4 ルート別・季節別のイタチのフン採集数

		吉田口登山道	滝沢林道	富士大石林道	精進口登山道	計
98年	夏	11	18	9	11	49
	秋	0	6	8	10	24
	冬	0	16	3	1	20
99年	春	1	7	8	20	36
計		12	47	28	42	129

表 3-4-5 富士山北斜面における踏査ルート別のキツネの主要な食性

98夏	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	100.0	0.0	50.0	0.0	50.0	2
	滝沢	95.0	15.0	30.0	10.0	45.0	20
	富士大石	83.3	50.0	16.7	16.7	66.7	6
	精進口	—	—	—	—	—	0
秋	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	—	—	—	—	—	0
	滝沢	100.0	6.7	13.3	0.0	53.3	15
	富士大石	—	—	—	—	—	0
	精進口	0	0	0	0	0	1
冬	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	100.0	100.0	0.0	0.0	100.0	1
	滝沢	100.0	15.0	15.0	0.0	40.0	20
	富士大石	—	—	—	—	—	0
	精進口	—	—	—	—	—	0
99春	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	1
	滝沢	100.0	4.0	4.0	0.0	8.0	25
	富士大石	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
	精進口	66.7	0	0	0	0	3

※数字は出現率（％）を示す。

表 3－4－6 富士山北斜面における踏査ルート別のテンの主要な食性

98夏	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	37.5	25.0	25.0	0.0	75.0	8
	滝沢	79.3	17.2	37.9	0.0	93.1	29
	富士大石	50.0	0.0	50.0	0.0	100.0	2
	精進口	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	1
秋	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	50.0	50.0	0.0	0.0	100.0	2
	滝沢	100.0	50.0	0.0	0.0	100.0	4
	富士大石	50.0	16.7	0.0	0.0	100.0	6
	精進口	80.0	10.0	0.0	0.0	70.0	10
冬	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	2
	滝沢	88.9	11.1	0.0	0.0	22.2	9
	富士大石	16.7	33.3	0.0	0.0	0.0	6
	精進口	83.3	16.7	0.0	0.0	16.7	6
99春	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	0.0	100.0	50.0	0.0	50.0	2
	滝沢	80.0	0.0	0.0	10.0	10.0	10
	富士大石	100.0	0.0	0.0	0.0	25.0	4
	精進口	84.2	26.3	0.0	0.0	5.3	19

※数字は出現率（％）を示す。

表 3－4－7 富士山北斜面における踏査ルート別のイタチの主要な食性

98夏	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	27.3	18.2	18.2	0.0	72.7	11
	滝沢	50.0	22.2	27.8	0.0	88.9	18
	富士大石	33.3	22.2	33.3	0.0	55.6	9
	精進口	81.8	18.2	18.2	0.0	45.5	11
秋	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	—	—	—	—	—	0
	滝沢	66.7	0.0	0.0	0.0	100.0	6
	富士大石	28.6	14.3	14.3	0.0	85.7	7
	精進口	90.0	10.0	0.0	0.0	50.0	10
冬	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	—	—	—	—	—	0
	滝沢	93.8	12.5	0.0	0.0	37.5	16
	富士大石	66.7	33.3	0.0	0.0	33.3	3
	精進口	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	1
99春	ルート	哺乳類	鳥 類	鞘翅目	直翅目	果 実	サンプル数
	吉田口	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
	滝沢	85.7	0.0	0.0	0.0	0.0	7
	富士大石	75.0	0.0	0.0	12.5	0.0	8
	精進口	90.0	10	0	0	5	20

※数字は出現率（％）を示す。

表 3－4－8 富士山北麓における踏査による中型食肉目の痕跡数

	テ ン		イタチ		キツネ		タヌキ		ニホンシカ		ニホンリス		ノウサギ		イノシシ		合計
	フン	足跡	フン	足跡	フン	足跡	フン	足跡	フン	足跡	フン	足跡	目撃	フン	足跡	足跡	
2000/8/16	19	0	20	0	6	1	0	1	0	17	0	0	0	2	0	0	66
2000/9/13	10	0	5	1	4	0	0	0	1	10	0	0	0	1	0	0	32
2000/10/18	37	0	25	0	5	0	0	0	1	3	0	0	3	0	0	2	76
2000/11/18	19	0	11	0	6	0	0	0	0	5	0	0	0	1	0	0	42
2000/12/13	101	2	27	0	15	0	4	0	0	1	0	0	0	1	1	0	152
2001/1/20	25	12	5	0	5	13	0	2	0	15	1	3	0	1	13	0	95
	211	14	93	1	41	14	4	3	2	51	1	3	3	6	14	2	463

表 3－4－9 フン採取の集中地点からみた 3 種の標高利用変化

		平均	標準誤差	最高標高	最低標高	サンプル数
キツネ	夏	1646.5	132.3	1903	1516	10
	秋	1490.9	194.9	2069	1134	26
	冬	1723.2	329.6	2156	1231	5
テ ン	夏	1517.8	209.4	1844	1105	29
	秋	1545.5	227.0	2311	1131	157
	冬	1694.0	197.9	2309	1504	32
イタチ	夏	1490.0	211.8	2147	1128	25
	秋	1502.9	278.9	2258	1097	63
	冬	1451.2	187.3	1747	1293	5

表 3－4－10 フン分析による出現率

	季節	個数	哺乳類	鳥類	昆 虫			植 物		人工物	その他	不明
					鞘翅目	直翅目	その他	種実	その他			
キツネ	春	14	92.9	21.4	7.1	0	28.6	35.7	71.4	7	0	0
	夏	23	95.7	13	34.8	13	56.5	8.7	21.7	0	8.7	0
	秋	22	95.5	9.1	18.2	0	40.9	40.9	81.8	18.2	0	13.6
	冬	10	100	40	0	0	70	60	50	20	0	0
テ ン	春	9	88.9	0	0	0	11.1	33.3	55.6	33.3	0	0
	夏	37	67.6	21.6	37.8	0	45.9	94.6	37.8	8.1	0	0
	秋	38	68.4	13.2	5.3	0	73.7	55.3	65.8	5.3	2.6	0
	冬	16	62.5	25	31.3	0	31.3	13	81.5	0	0	6
イタチ	春	18	83.3	0	11.1	0	33.3	11.1	11.1	5.6	0	5.6
	夏	49	46.9	22.4	22.4	0	36.7	71.4	42.9	4	0	2
	秋	34	76.5	11.8	0	0	55.9	58.8	70.6	5.9	0	0
	冬	16	87.5	12.5	0	0	31.3	18.8	56.3	12.5	6.3	0

春：4～6月、夏：7～9月、秋：10～12月、冬：1～3月

出現率が一番高かったものを で塗りつぶした

表 3－4－11 追跡したテンの環境選択性

植生区分	実測値	期待値	選択性
常緑針葉樹植林	39	26.9	＋
常緑針葉樹林	5	4.2	
伐跡群落	10	8.9	
落葉広葉樹林	3	1.7	
落葉広葉樹植林	38	54.6	－
その他	0	3.8	－
総 計	95	100	

その他には草地と落葉針葉樹林を含む

$\chi^2=16.2697$ $df=5$

$P=0.00611$

(5) 籠坂峠における国道周辺の哺乳類の利用状況調査

I. はじめに

近年、我が国において、道路交通網の整備が進み、路上での野生動物の交通事故、いわゆるロードキルが急増している。これは、道路の整備により、各地で野生動物の生息や移動が分断されたりしたためであると考えられる。最近では、動物の移動路を確保するためのボックスカルバートやオーバーパス、道路へ動物が進入しないような柵の設置などのロードキル対策が各地で試みられているが、まだ取り組みの事例や研究も非常に少ないのが現状である。今後、道路網の整備はますます進み、特に山間部を通過するような道路が整備されていくと予想されるなかで、ロードキルを防止するための対策を早急に確立する必要があるものと考えられる。

国道138号の籠坂峠付近については、環境庁による調査（環境庁自然保護局，1999）などで道路付近で哺乳類の痕跡が多数発見されたことから、多数の哺乳類が道路付近を利用し、また横断している可能性が示唆された。しかし、哺乳類の通行量が多いと予想されるにも関わらず、籠坂峠付近のロードキルの発生は過去5年間で1件も起こっていない。これには、哺乳類が交通量の少ない時間帯などを狙って国道を横断しているのか、もしくは横断していないのか、など様々な理由が考えられた。そこで、峠付近の国道周辺に自動撮影装置を設置し、哺乳類の国道周辺の利用の有無、利用しているとすればその利用状況を把握し、ロードキル対策のための基本的な情報を提供することを目的とした。

II. 調査方法

調査は国道138号線の籠坂峠付近において、自動撮影装置を用いて行った。峠のヘアピンカーブ付近、約300mの区間を調査地に設定した（図3-5-1）。この場所を設定したのは、事前に行った予備調査や、平成11年3月に実施した環境庁による現地調査（環境庁自然保護局，1999）において、哺乳類のフンや足跡、獣道などの痕跡が多数発見されていること、また峠付近は、2m以上のコンクリート壁が連続して設置してあることから、動物が横断できると考えられる場所はヘアピンカーブ付近のみと推測されたからである。この調査地内の10カ所に自動撮影装置を設置した（図3-5-2、7、8）。装置は、市販の組立式の赤外線センサーと、コンパクトカメラを改造したものを組み合わせて使用した。装置は、2000年3月22日に設置し、フィルムや電池の交換、また装置の故障や盗難が発生していないかとチェックするため、4～5日に1度見回りを行った。装置は連続4週間設置し、4月19日に全て回収した。

III. 結果及び考察

設置した自動撮影装置10台のうち、途中で盗まれた1台（No. 1）を除く9台で、計183枚が撮影された。このうち動物が写っていたのは、No. 3のテン1枚とNo. 5のテン6枚、ノウサギ3枚、ノイヌ2枚の計12枚であった（表3-5-1）。残りの171枚については何も写っておらず、センサーが動物に反応したもののカメラのフレームから動物が外れていたため何も写らなかったか、カメラもしくはセンサーの誤作動であると考えられた。動物が写っていた12枚については、カメラの故障のためか、撮影の日時は分からなかったが、いずれも夜間であった。

峠付近には、コンクリートおよび鉄製フェンスで構成された高さ2m以上の壁が連続して設置してある（図3-5-1、3～5）。

特に国道の静岡県側では、1km以上に渡って壁が連続している。従って、この付近で動物が横断できるのは、今回調査を行ったヘアピンカーブ付近に限られているのではないかと考えられる。予備調査や環境庁の調査（環境庁自然保護局，1999）の結果からも、カーブの内側（道路に挟まれた部分）において、道路に平行してカーブに向かうケモノミチを確認していた（図3-5-6）。今回の調査では、峠付近を動物が横断しているかどうかまでは明らかにできなかったものの、道路の東側のカメラ2台で、実際に動物が夜間利用していることが明らかになった（図3-5-9～11）。また最も多くの動物が撮影されたNo. 5は、ちょうどコンクリート壁が途切れている場所であった（図3-5-2、4）。これと道を挟んで反対側に設置してあったNo. 1は盗まれてしまったため、実際に動物が横断しているかどうかは明らかにできなかったが、夜間、動物が横断している可能性が高いことが示唆された。今後、これらの動物が撮影された時間を把握できるようにし、同時に峠付近の時間帯別の詳細な交通量について把握して、交通量と道路の横断との関係について明らかにする必要があるであろう。

一方、峠から山中湖に至る山梨県側の約2.5kmの区間では、国道は別荘地帯を走っており、峠付近のような壁はほとんど無いことから、動物がこの付近を横断している可能性も十分に考えられる。今後、装置の誤作動および盗難に対する防止策を施した上で、籠坂峠付近と山梨県側の別荘地帯において自動撮影装置をできる限り長期間設置して利用状況を把握するとともに、ラジオテレメトリー法などを用いて、峠付近の動物の行動圏や横断状況、環境選択性などをより詳細に把握し、峠付近の国道の形状の評価を行い、有効なロードキル対策を提言する必要があると考えられる。国道138号の西側には東富士五湖道路が走っているが、峠付近はトンネルとなっていることから動物が移動できるものと思われる。これと同様に、国道138号についても動物が容易に横断できるよ

うに峠付近にオーバブリッジかトンネルを設置することなどが、現時点で、具体的に想定される対策ではないかと考えられる。

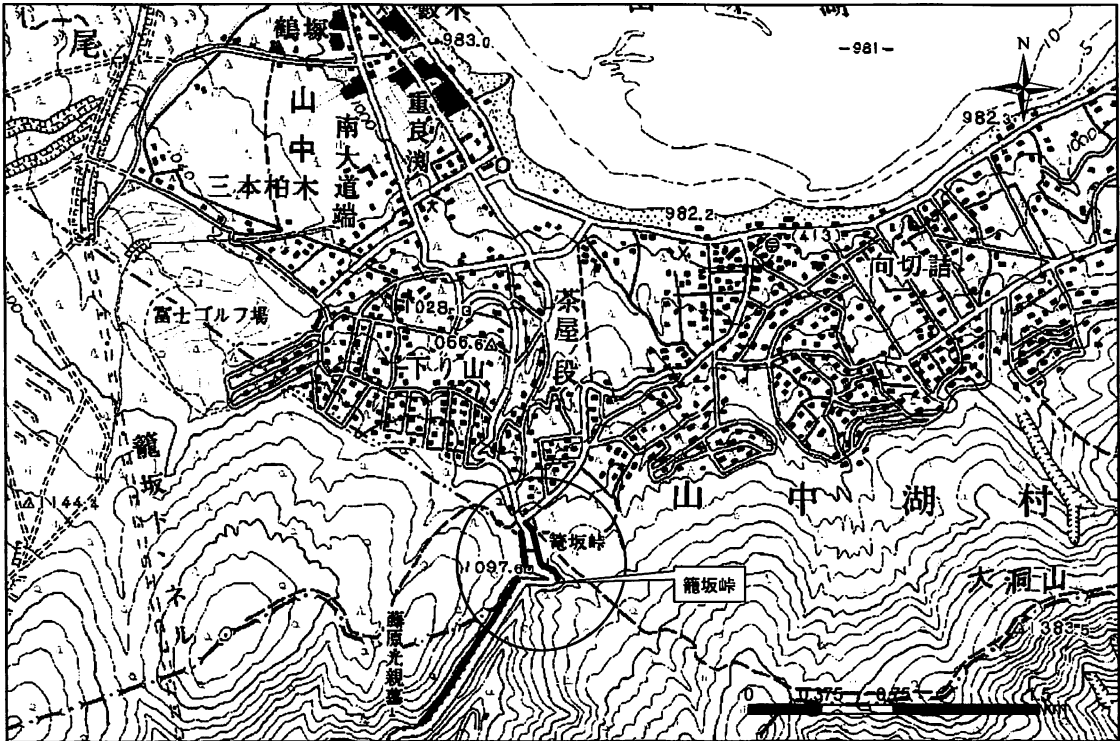


図 3-5-1 調査地（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）
——コンクリート壁

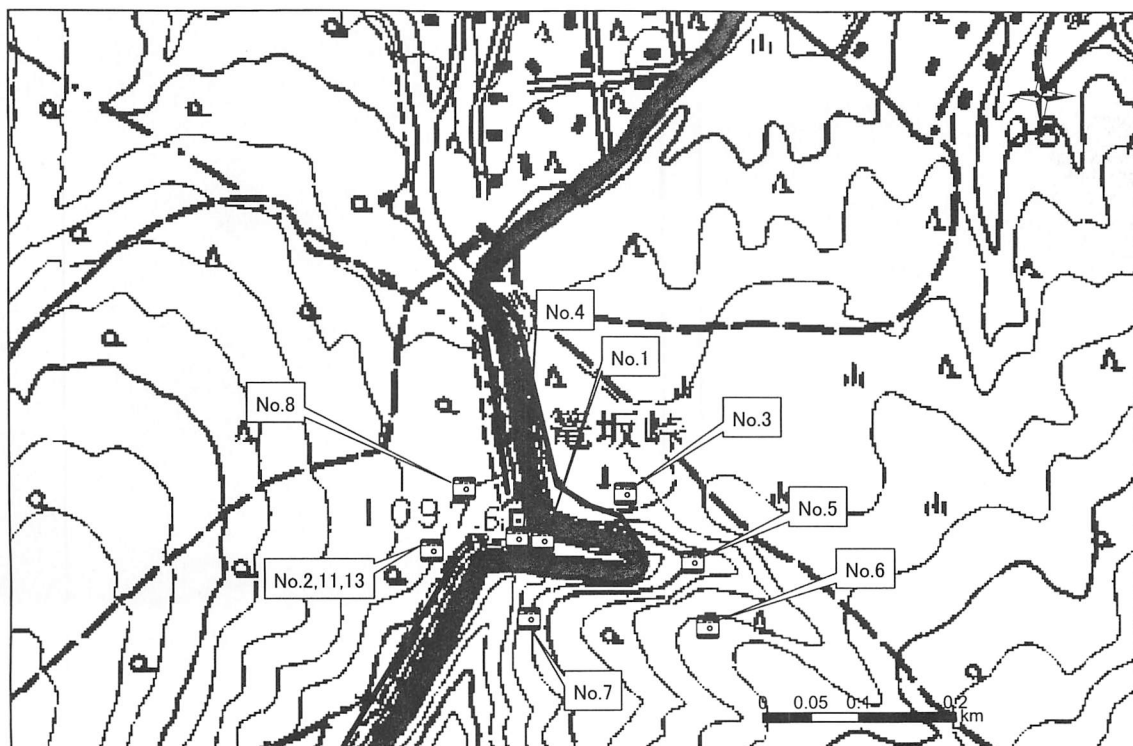


図 3-5-2 籠坂峠に設置した自動撮影装置位置図（国土地理院の数値地図25000『甲府』（地図画像）上に記載）


— コンクリート壁
 カメラの場所



図 3-5-3 籠坂峠付近の状況
 左のコンクリート壁裏にNo.8を設置した

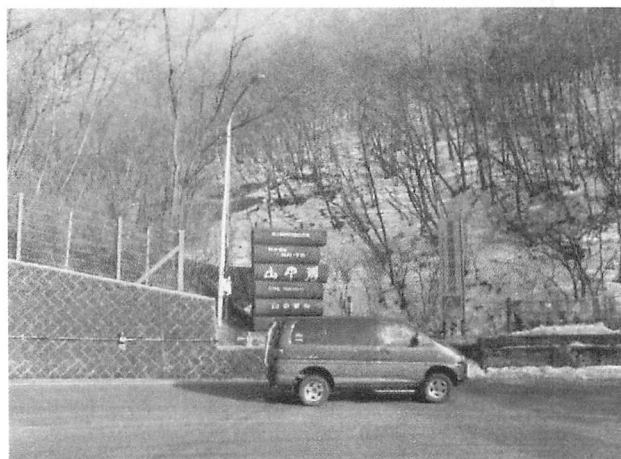


図 3-5-4 籠坂峠付近の状況
 中央の看板の裏にNo.5を設置した

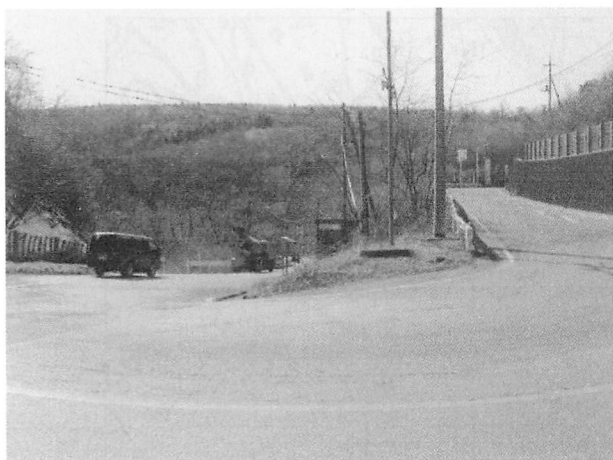


図 3-5-5 籠坂峠付近の状況
中央の斜面付近にNo.1を設置した



図 3-5-6 籠坂峠で発見したケモノミチ



図 3-5-7 自動撮影装置設置状況 (No.7)



図 3-5-8 自動撮影装置設置状況 (No.8)



図 3-5-9 自動撮影装置No.5 で撮影されたテン



図 3-5-10 自動撮影装置No.5 で撮影されたテン



図 3-5-11 自動撮影装置No.5 で撮影されたノウサギ

表 3-5-1 籠坂峠において自動撮影された枚数と動物

カメラNo.	フィルム回収日	撮影枚数	写っていた動物	備 考
8	4 月 7 日	30	0	
	4 月19日	1	0	
2	3 月30日	35	0	
	4 月10日	35	0	
	4 月19日	3	0	
11	3 月30日	0	0	カメラ故障のため交換
	4 月19日	5	0	
13	4 月19日	10	0	
4	4 月19日	24	0	
1	未回収	?	?	装置を盗まれる
7	4 月19日	14	0	
3	4 月 7 日	10	テン 1	カメラ故障のため交換
	4 月19日	4	0	
5	4 月19日	12	テン 6 / ノウサギ 3 / ノイヌ 2	
6	4 月19日	0	0	
	合 計	183	12	

(6) 富士山における高山帯の哺乳類生息状況（聞き取り）調査

I. はじめに

富士山周辺は多くの人が訪れる日本有数の観光地となっており、夏場は富士登山に訪れる人も多い。そのため、富士山の登山道には多くの山小屋が経営を行っていて、レジャー感覚気分の一般の観光客も多数登山を行っている。その中にはゴミを捨てる人も多く、このような状況は、そこに生息する野生動物にも何らかの影響を与えていることが考えられる。そこで、今回は未だにほとんど知られていない富士山の森林限界以上に生息する中型食肉目について分布調査を行い、夏の登山シーズンの過剰利用やゴミの散乱が野生動物に対してどのような影響を及ぼしているのかを明らかにするために調査を行った。

II. 調査方法

森林限界以上の中型食肉目の分布と登山客と山小屋の出すゴミの関係を調べるため、2000年度に山小屋への聞き取り調査を行った。調査は、富士山の登山シーズンであり山小屋が経営している7月から8月の間に行った。富士山には山梨県側に1つ（吉田口）と静岡県側に3つ（須走口、御殿場口、富士宮口）の計4つの登山道がある（図3-6-1）。今回の調査ではこれらの4つの登山道沿いにある山小屋に対して、哺乳類の生息状況や被害状況について聞き取りを行った。

III. 結果及び考察

1. 富士山の森林限界以上の哺乳類と登山者による過剰利用

山小屋への聞き取りは吉田口登山道、富士宮口登山道、須走口登山道、御殿場口登山道沿いにある山小屋で行い、聞き取り件数はそれぞれのルートで13件、9件、7件、2件となった（図3-6-2）。

また、今回の山小屋への聞き取り調査により、中型食肉目6種を含む15種の哺乳類が確認された（表3-6-1）。特に吉田口、富士宮口、須走口、御殿場口ともに五合目付近から八合目付近まではテンやハクビシン、ニホンジカなどの中大型哺乳類が複数確認されたが、九合目では目撃情報が得られなかった（図3-6-3）。しかし、山頂にある測候所では10種類の目撃情報が得られ、その情報はおもに冬期の間によるものであった。また、山頂での目撃は一時的なものであり、定着個体や繁殖個体がいるという情報は得られなかった。

今回の結果で山頂においてイノシシが目撃されているが、目撃されたのが12月頃であり、猟期に入り、麓でイノシシやシカなどの猟が始まったために、猟師や猟犬から逃げていたところ山頂まで来てしまったと考えられる。また、ムササビ *Petaurista leucogenys* Temminck は

森林を利用しながら移動すると考えられるが、森林限界から1,000m以上も標高の高い山頂付近に登ってくることは考えられにくい。聞き取り情報も、間接的な聞き取りのものが含まれるため信憑性に問題があるのではないと思われる。

今回の調査で得られた情報の多くは、登山シーズン前の7月上旬頃のものや冬期のものであり、登山シーズンに入ると哺乳類を見なくなるという情報が得られた（表3-6-2）。富士山の登山シーズンには約30万人の登山者が昼夜を問わず登山をしており、この時期の富士山では人間のいなくなる時間がほとんどない。そのため、登山シーズンにはあまり動物を見なくなると推測される。

今回の調査から、特殊な富士山の登山形態が野生動物の分布・生態・行動へ少なからず影響を与えていることが推測された。

2. 富士山の登山道のゴミ問題と哺乳類の関係

富士山頂の測候所で冬期の生ゴミを施設外に放置していた1988年頃までは、冬期にキツネなどの野生動物が目撃されたが、生ゴミの放置を止めた現在は、山頂で野生動物がゴミをあさっている様子は見られなくなった（表3-6-3）。

今回の調査結果から、五合目付近でもオコジョ *Mustela erminea* Linnaeus が山小屋の冬期閉鎖時に換気扇等から進入し、室内の食物を荒らすことが確認された。今泉（1971）によると、富士山は高山性のネズミ類やトガリネズミ類が生息しないと考えられている。これらのことから本来生息が困難となる冬期に哺乳類が高標高域で目撃されるおもな理由は、人間の残したゴミや山小屋の貯蔵食料をあさるために高標高域まで進出していると考えられた。

しかし、夏期に関しては登山者が多いため、人間の出したゴミをあさることは野生動物にとって大きな危険を伴うことになる。そのため、夏期には人目のつくところに出てくることなく、ゴミあさが少ないのではないかと考えられる。実際に今回の聞き取り調査中にも山麓から山頂までの登山道には多くの食べ物の残りやゴミが散乱していたが、動物のフンや足跡の痕跡を発見することは一度もなかった。

今後、富士山の環境問題を考える場合、ゴミの問題も当然だが、夏期に集中する登山者が植生や動物にどのような影響を与えているかを考えていく必要がある。

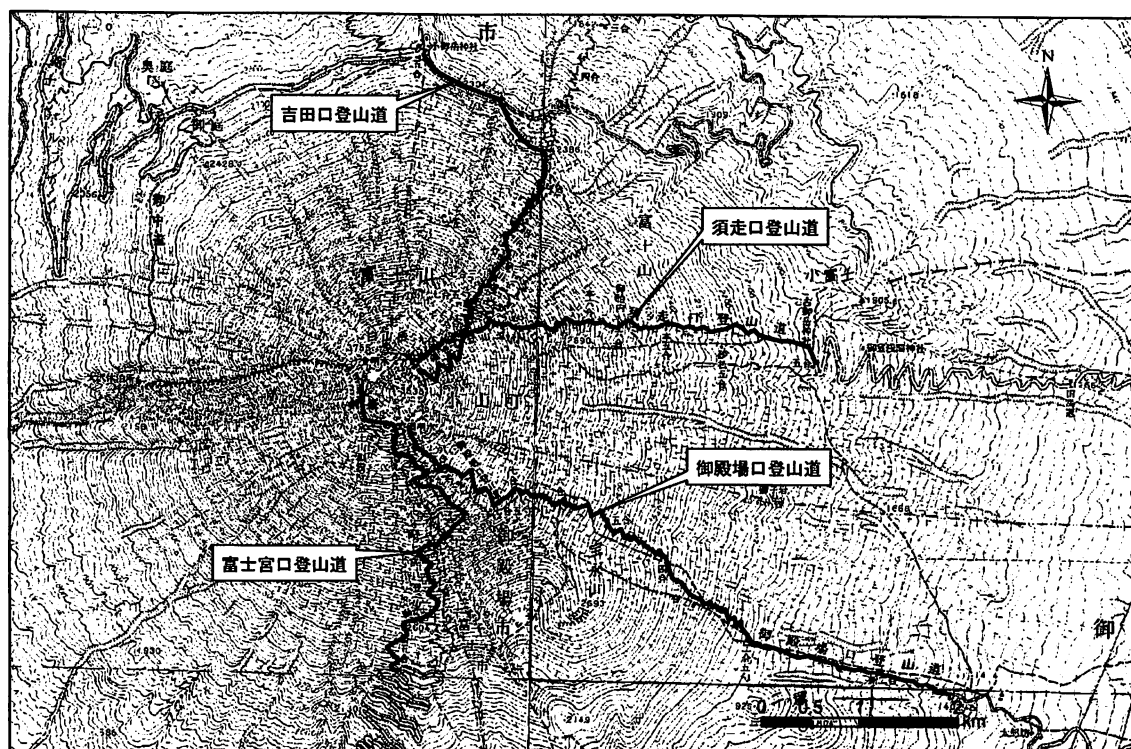


図 3-6-1 五合目以上において聞き取り調査を行った登山道（国土地理院の数値地図50000『山梨・静岡』（地図画像）上に記載）

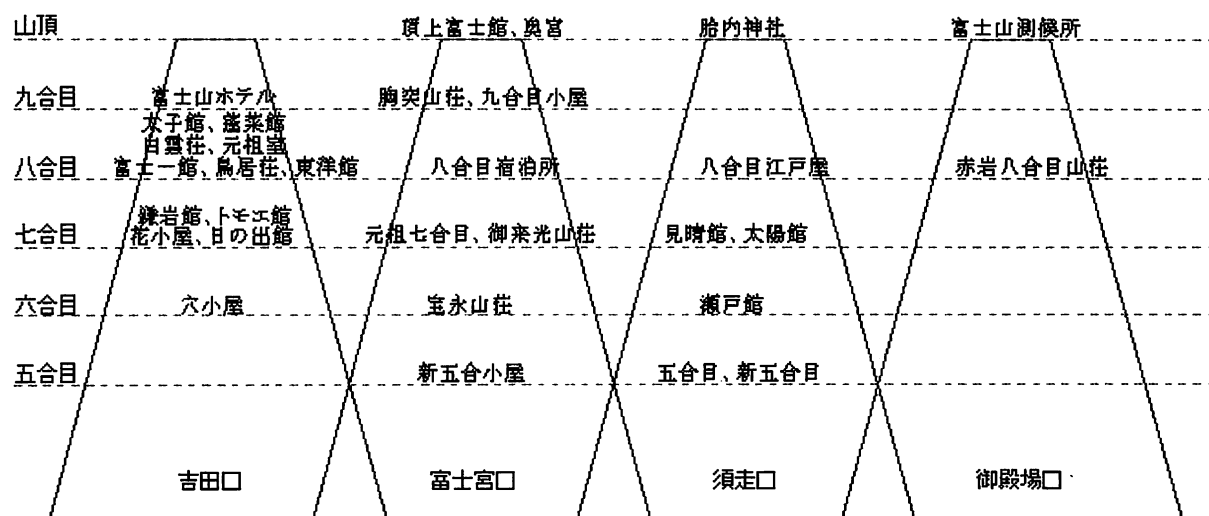


図 3-6-2 富士山の五合目以上において中型食肉目の聞き取り調査を行った山小屋

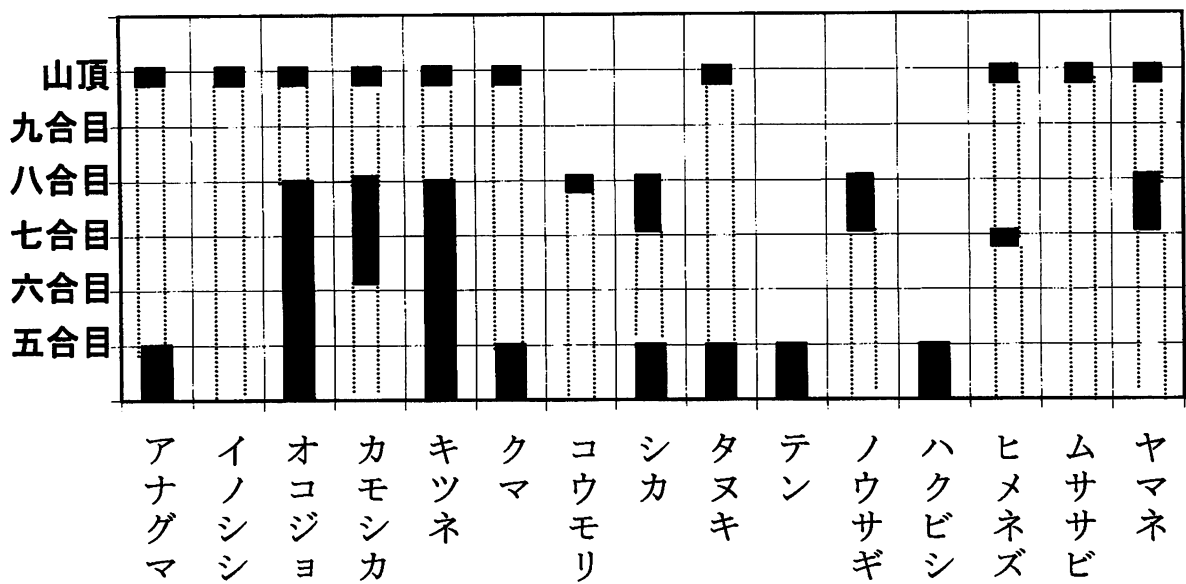


図 3-6-3 富士山の五合目以上での聞き取りにより哺乳類が確認された地点

表 3-6-1 富士山における聞き取り調査、痕跡調査、捕獲調査により情報を得た種

		聞き取り調査	痕跡調査・捕獲調査
CHIROPTERA	コウモリ目	+	
<i>Lepus brachyurus</i>	ノウサギ	+	+
<i>Sciurus lis</i>	リス		+
<i>Petaurista leucogenys</i>	ムササビ	+	
<i>Glirulus japonicus</i>	ヤマネ	+	
<i>Apodemus argenteus</i>	ヒメネズミ	+	+
<i>Apodemus supeciosus</i>	アカネズミ		+
<i>Vulpes vulpes japonica</i>	ホンドキツネ	+	+
<i>Nyctereutes procyonoides viverrinus</i>	ホンドタヌキ	+	+
<i>Martes melampus melampus</i>	ニホンテン	+	+
<i>Mustela itatsi</i>	イタチ		+
<i>Mustela erminea nippon</i>	ホンドオコジョ	+	
<i>Meles meles anakuma</i>	ニホンアナグマ	+	
<i>Ursus thibetanus</i>	ツキノワグマ	+	
<i>Paguma larvata</i>	ハクビシン	+	
<i>Capricornis crispus</i>	カモシカ	+	
<i>Cervus nippon</i>	ニホンジカ	+	+
<i>Sus scrofa leucomystax</i>	イノシシ	+	+

捕獲調査は捕獲時に錯誤捕獲された哺乳類種も含む。

表 3－6－2 哺乳類の確認時期

	観光シーズン	観光シーズン前後	冬期
キツネ	1	3	1
オコジョ	1	0	1
カモシカ	0	4	0
シカ	0	3	0
ヤマネ	0	2	0
合計	2	12	2

表 3－6－3 富士山における哺乳類による人為への依存状況

場所	種名	時期	状況
頂上	ホンドキツネ	12年位前	残飯あさり
八合目	ホンドキツネ	12年位前	残飯あさり
八合目	ヤマネ	9月頃	12年位前の冬、発電室周辺
八合目	ホンドキツネ	夏	残飯あさり
六合目	オコジョ	冬	換気扇の中を通して小屋の中に入ってくる

(7) 富士山精進口登山道周辺における小型齧歯目の垂直分布様式

I. はじめに

富士山は、日本人にとって象徴的な山であり、登山およびハイキングも盛んに行われている。しかしながら、山麓の自然環境については、その現状を把握する資料が少なく、動植物に関する基礎データが少ないのが現状である。歴史的には比較的新しい山体で、氷河期の名残を残す生物なども少ないとされているが、山麓から山頂までの標高差や青木ヶ原樹海を代表とする溶岩流上に形成された自然林は、野生動物の多様な生息環境を有し、その現状把握をすることは、自然科学分野のみならず、将来へ向けての自然財産の保護ならびに有意義な活用による人と自然の共生に必要な不可欠なものである。

本調査においては、野生生物の中でも哺乳類に絞り、さらにその中でも生態系ピラミッドのほぼ最下層に位置すると考えられる小型齧歯類（野ネズミ）の生息状況を把握することを第一の目的とし、標高による生息種・個体数の変化を把握し考察した。

II. 調査地および調査方法

1. 調査地概要

(1) サイト1 本栖高原（標高1010m）

上九一色村富士ヶ嶺地区牧草地（草地、ススキ〜カラマツ）

確認植物種（★印は優占種）

・高木層

★イヌシデ ★ミズナラ ミズキ アカシデ クマシデ
ホオノキ ウリハダカエデ エンコウカエデ ジゾウカンバ
アオハダ オオモミジ ヒメシャラ イタヤカエデ ヤシャブシ
コハウチワカエデ

・亜高木層

★リョウブ ダンコウバイ カマツカ マユミ ミネカエデ
ヒナウチワカエデ サワフタギ ナツツバキ

・低木層

クロモジ ムラサキシキブ バライチゴ ツノハシバミ
モミジイチゴ サンショウ コアカソ ノイバラ ノリウツギ
マルバハギ ツリバナ メギ ミツバウツギ コバノイヌツゲ
タンナサワフタギ イボタノキ シモツケ ウツギ
タニウツギ ナワシロイチゴ コマユミニシキギ
ニワトコ イヌツゲ

・草本類

ヒメジソ ユウガギク ミゾソバ アキノタムラソウ
ススキ キンミズヒ オニドコロ ギシギシ ヘクソカズラ
シラネセンキュウ ナギナタコウジュ バライチゴ ヤクシソウ
ヨモギ ウワバミソウ シオデ ボタンヅル ノハラアザミ
ワレモコウ オオバギボウシ ノコンギク カラハナソウ
カナムグラ イヌタデ ツ

ユクサ ミズタマソウ ヒヨドリバナ アキノキリンソウ
ゲンノショウコ シシウド ツルフジバカマ アキノ
ウナギツカミ ヤマラッキョウ ベニバナボロギク
アメリカセンダングサ ヒメドコロ オオバコ アラゲ
ハンゴンソウ シロヨメナ セイタカアワダチソウ スギナ
ヘビノネコザ ツルリンドウアカツメクサ シロツメクサ
アカネ ヒメジョオン ゲンノショウコ チヂミザサ
ハキダメギク ダイコンソウ ママコノシリヌグイ
ミヤマキケマン

・ツル植物

マツブサ ツルアジサイ ノブドウ サルナシ サルト
リイバラ ミツバアケビ ツルウメモドキ スイカズラ
テイカカズラ

・シダ類

ワラビ ゼンマイ

(2) サイト2 青木ヶ原樹海1（標高950m）

精進口登山道・東海自然歩道交差付近（低山帯混交林、
ウラジロモミ蟹カラマツ、青木ヶ原溶岩流）

確認植物種（★印は優占種）

・高木層

★コメツガ ★タカノツメ ★ヒノキ ★アカマツ キ
タゴヨウマツ ミヤマザクラ ヤマザクラ カヤ オオ
ヤマザクラ アオダモ ミズナラ アワブキ クマシデ
サワシバ コハウチワカエデ ウラジロモミ ダケカン
バ ナナカマド アカシデ ウリハダカエデ イタヤカ
エデ コナラ コシアブラ

・亜高木層

★ヒロハツリバナ ★ソヨゴ ヒナウチワカエデ ムラ
サキシキブ ナナカマド コミネカエデ ミネカエデ
コシアブラ リョウブ ヤマウルシ コバノガマズミ
ダンコウバイ クロモジ アオハダ ウリアエデ

・低木層

★アセビ ★ミツバツツジ クロソヨゴ ウスノキ ホ
ツツジ ハナイカダ ミヤマシキミ ヤマアジサイ ツ
ルシキミ ミヤマガマズミ コアジサイ クロモジ サ
ワフタギ イボタノキダンコウバイ ムラサキシキブ
ナツハゼ モミジイチゴ コバノガマズミ

・草本類

ヌスビトハギ アカソ キッコウハグマ

・ツル植物

イワガラミ サルナシ ツルアジサイ ミツバアケビ

(3) サイト3 青木ヶ原樹海2（標高1100m）

精進口登山道・開拓道路交差付近
（低山帯混交林、ウラジロモミ〜カラマツ、青木ヶ原
溶岩流）

確認植物種（★印は優占種）

・高木層

★ヒノキ ★タカノツメ ハウチワカエデ サワシバ
コハウチワカエデ クマシデ アオダモ ケナシアオハ
ダ ブナ ミヤマザクラ ミズメ ツガ モミ ミズナ
ラ アカシデ サワラ イタヤカエデ オオモミジ ヒ
トツバカエデ コシアブラ ナナカマド シラカンバ
アズキナシ キタゴヨウ ウラジロモミ

・亜高木層

★ヒロハツリバナ ★ソヨゴ コミネカエデ イヌガヤ
マメザク ズミ カマツカ ケアリイロハカエデ アセ
ビ ヤマウルシ ツゲ オオカメノキ ナナカマド ヒ
ナウチワカエデ リョウブ

・低木層

★ツルシキミ ★アセビ ヤマトツジ ナンキンナナカ
マ ハコネグミ コバノガマズミ コムラサキ コマユ
ミ クロモジ ガマズミ ミヤマシキミ モミジイチゴ
ムラサキシキブ スノキ チチブドウダン ヒロハヘビ
ノボラズ キブシ ウツギ イボタノキ コゴメウツギ
イヌツゲ ナツハゼ バライチゴ ミツバツツジ

・草本類

アカソ ヤマジソ ススキ ヨモギ イタドリ ボタン
ヅル クサボタン

・ツル植物

ツルアジサイ イワガラミ サルトリイバラ ミズヒキ
サルナシ ヤマゼリ ゲンノショウコ

(4) サイト4 精進口登山道一合目(標高1360m)

精進口登山道・鳴沢林道交差付近(亜高山森林帯、ツ
ガ〜シラビソ、火山灰その他の火山噴出物)

確認植物種(★印は優占種)

・高木層

★ミズナラ ★アカマツ カラマツ シナノキ ブナ
オオヤマザクラ イロハモミジ サワシバ ヤマハンノ
キ ウリハダカエデ カジカエデ イトマキイタヤ ミ
ヤマザクラ アカシデ コメツガ ケアオダモ ミズキ
オオモミジ ナナカマド シラカバ ウラジロモミ イ
ラモミ ツガ イタヤカエデ アズサバラモミ クマノ
ミズキ ヤマネコヤナギ アサダ

・亜高木層

★コシアブラ ★コミネカエデ ★ソヨゴ ★コハウチ
ワカエデ カマツカ アオハダ マメザクラ

・低木層

★スズタケ ツノハシバミ コバノガマズミ トウゴク
ミツバツツジ ハナイカダ オオバメギ ミヤマガマズ
ミ ウツギ ノイバラ マルバハギ イボタノキ クロ
モジ アキグミ フジイバラ オトコヨウゾメ ミヤマ
ガマズミ コアカソ エイガライチゴ モミジイチゴ
ミツバツツジ

・草本層

★イタドリ ハナイカリ トリカブト マイズルソウ
コバギボウシ アカネ ヨモギ オオバコ ヒヨドリバ
ナ アカソ キンミズヒキ アキノキリンソウ マムシ
グサ ゲンノショウコ タチコゴメグサ ヒメノガリヤ
ス ノコンギク ハナタデ ヒメガンクビソウ

・ツル植物

ツルウメモドキ ツタウルシ ツルアジサイ

(5) サイト5 精進口登山道三合目(標高1745m)

精進口登山道・三合目バス停付近(亜高山森林帯、ツ
ガ〜シラビソ、火山灰その他の火山噴出物)

確認植物種(★印は優占種)

・高木層

★ナナカマド ★コメツガ ★カラマツ シナノキ ア
ズキナシ ミズナラ ウラジロモミ トウヒ シラカン
バ コシアブラ モミ シラビソ ゴヨウマツ ヤマネ
コヤナギ ミヤマザクラ オイタヤメイゲツ

・亜高木層

★ミヤマハンノキ マメザクラ コミネカエデ マユミ
ヒナウチワカエデ ヒロハツリバナ ミネザクラ

・低木層

★ツルシキミ オオカメノキ ノリウツギ ミヤマガマ
ズミ イボタノキ バライチゴ ウツギ ツクバネ バ
イカウツギ イボタ ヒョウタンボク

・草本類

ジンヨウイチヤクソウ マイズルソウ オクモミジハグ
マ イチヤクソウ イタドリ ミヤマナルコユリ キソ
チドリ ズダヤクシュ イワセントウソウ バイカオウ
レン ホソバトリカブト ルイヨウボタン カニコウモ
リ イワカガミ イワキンバイ ヨツバヒヨドリ

・ツル植物

ツルアジサイ ツタウルシ イワガラミ

・シダ・コケ類

ホソバトウゲシバ ホソバミズゴケ フジノマンネング
サ ムツデチョウチングケ シラネワラビ

(6) サイト6 精進口登山道五合目(標高2260m)

精進口登山道・五合目駐車場下(高山帯下部、ヤハズ
ヒゴタイ〜ダケカンバ、雪代堆積物、火山灰、集灰岩、
溶岩)

確認植物種(★印は優占種)

・高木層

★カラマツ ★ウラジロモミ ナナカマド ダケカンバ
コメツガ キタゴヨウマツオオシラビソ

・亜高木層

★ミヤマハンノキ

・低木層

ケナシハクサンシャクナゲ アズマシャクナゲ コケモ

モ ハナヒリノキ スノキ

・草本類

コイチヤクソウ マイヅルソウ ツバメオモト トクワ
カソウ

・コケ類

イワダレゴケ タチハイゴケ

2. 調査方法

捕獲には、シャーマンタイプのライブトラップ（生け捕り式のわな）を用いた。調査サイト 1 カ所につき 100 m×100 m の調査エリア内にトラップ 50 個をランダムに設置し、一晚経過したのちに回収し、捕獲された個体は同定の後、現地で放獣した。エサにはヒマワリの種を用いた。

調査は、1998 年、2000 年、2001 年に実施した。毎年、本調査を 6 カ所の調査サイトにつき、春期および秋期に実施した。調査は 1 泊 2 日の行程で 2 カ所ずつ行い、のべ 12 日を費やした。また、周辺環境の年次変化を考慮し、捕獲調査に入る前に調査サイトの下見を実施した。

Ⅲ. 結果及び考察

1. 確認種について

本調査においては、以下の 5 種類の小型齧歯目の生息が確認された。

齧歯目 ネズミ科

ヒメネズミ *Apodemus argenteus*

アカネズミ *Apodemus speciosus*

スミスネズミ *Eothenomys smithii*

ハタネズミ *Microtus montebelli*

カヤネズミ *Micromys minutus*

2. 調査地別にみた野ネズミ相

本調査結果を種類別に見てみると、富士北麓地域においては、ヒメネズミが圧倒的に優占度が高く、次いでアカネズミ、スミスネズミの順となる。ヒメネズミおよびアカネズミは、950 m 付近から 2300 m 付近まで幅広く分布しており、富士北麓を代表する野ネズミと言える。

優占度を示すグラフを見てみると標高が上がるにつれてヒメネズミの優占度がより高くなりアカネズミの優占度が低くなる傾向がある。スミスネズミについては、数値がほぼ横這いであることから、富士山麓においては、ヒメネズミとアカネズミが森林棲のネズミとして競合していることがわかる。

スミスネズミも同様にほとんどの調査地から生息が確認できたが、本栖高原では 1 頭も捕獲されなかった。これは、本栖高原（主に牧草地）においては、草原性のハタネズミが、優位になることを示している。逆にハタネズミは、本栖高原以外の調査地では確認されなかった。スミスネズミとハタネズミは、ともにボウルタイプのト

ンネル棲のネズミであるが、牧草地（畑地）と森林によってその特異性があることがわかる。

カヤネズミについても、その名の通りススキなどイネ科植物の生える草原を好むことから、本栖高原以外の調査地では確認されなかった。

一般的にヒメネズミはアカネズミに比べてより成熟した森林を好むとされており、低地に比べるとより標高の高い地域で優占度が増すと言われているが、本調査においては、標高による特異性以外の結果が得られた。それは、一合目調査地において、アカネズミの優占度が増していることである。優占度としては、ヒメネズミを上回っているわけではないが、青木ヶ原 1 および 2 での圧倒的なヒメネズミの優占度をかなり抑えている。これは、調査地の土壌状態に大きく関係があるものと思われる。青木ヶ原 1 および 2 は、溶岩流上に形成された自然林であるのに対し、一合目調査地は、青木ヶ原溶岩流よりも上部に位置し、土壌は、火山灰ほか火山噴出物で歴史的には、青木ヶ原溶岩流よりも古く、土があることである。また、本栖高原において、アカネズミやハタネズミの優占度が増すことから、ヒメネズミとアカネズミについては、標高や森林の状況だけでなく、土壌条件も生息状況に大きく変化をもたらしていることがわかる。富士山については、青木ヶ原樹海を代表とする溶岩流上に形成された自然林がヒメネズミにとっての生息環境を育んでいるのである。

ヒメネズミは、アカネズミに比べてより樹上での活動が活発であるとされており、逆にアカネズミは飼育下でもよく土を掘ってトンネル生活も行うことがしばしば観察される。これらのことから、溶岩という固い岩盤状の土壌は、アカネズミの生息には不適であることが言える。また、溶岩流には、無数の亀裂やくぼみなど隙間的な空間が存在し、樹上生活を得意とし、より立体的な空間を好むヒメネズミの生息に適していると言えるのではないだろうか。もちろん、溶岩流だけでなく、その溶岩台地の上に成熟した森林が必要不可欠である。

優占度においては、標高や土壌条件によってネズミ相に明らかな違いが見られた。しかし、富士山全体において、どこにでも野ネズミが多数生息しているわけではなく、調査一回あたりの平均捕獲数のグラフを見ると五合目に至っては、種を問わず平均捕獲数が青木ヶ原樹海に比べて半減している。三合目や五合目など亜高山帯から高山帯下部にかけては、気圧や気温の低下に伴い気象条件が厳しく、植生も単純かつ貧弱になる。このことが、野ネズミ類の生息にも影響を与えるからである。

3. まとめ

富士山北麓のネズミ類の生息状況においては、本栖高原のような人為開拓地から溶岩流上の自然林、また、富士山という高山域にかけて多様な自然環境が凝縮されて

存在し、環境ごとに特徴が見受けられる。全体的にヒメネズミの生息が優占度を高く占めていることから、その自然度の高さを伺わせる。特に青木ヶ原樹海においては、ヒメネズミやスミスネズミの生息数が多く、人と自然の共生を考える上で山梨県の貴重な自然財産として科学的な研究を進め、保護や有意義な利用を検討していく必要があると思われる。

表 3－7－1 1998、2000、2001年における調査結果

	標高 (m)	植 生	土壌の状態	ヒメ ネズミ	アカ ネズミ	スミス ネズミ	ハタ ネズミ	カヤ ネズミ	合計	捕獲率 (%)
本栖高原	1010	開拓農地、ススキ、カラマツ	牧草地	22	81	0	22	2	127	50.8
登山口	950	低山帯混交林、ウラジロモミ～カラマツ	青木ヶ原溶岩流	80	21	27	0	0	128	51.2
開拓道路	1100	低山帯混交林、ウラジロモミ～カラマツ	青木ヶ原溶岩流	79	13	17	0	0	109	43.6
一合目	1360	亜高山森林帯、ツガ?シラビソ	火山灰ほか火山噴出物	68	41	11	0	0	120	48.0
三合目	1745	亜高山森林帯、ツガ?シラビソ	火山灰ほか火山噴出物	45	5	7	0	0	57	22.8
五合目	2260	高山帯下部、ヤハズヒゴタイ～ダケカンパ	雪代堆積物、火山灰、集灰岩、溶岩	38	3	8	0	0	49	19.6
合計				332	164	70	22	2	590	39.3

表 3－7－2 1995、96、97年における河口湖フィールドセンター周辺における調査結果（参考）

	標高 (m)	植 生	土壌の状態	ヒメ ネズミ	アカ ネズミ	スミス ネズミ	ハタ ネズミ	カヤ ネズミ	合計	捕獲率 (%)
河口湖町A	1050	植林地、アカマツ	火山灰ほか火山噴出物	39	31	11	1	0	43	7.2
河口湖町B	1050	植林地、カラマツ	火山灰ほか火山噴出物	44	35	28	0	0	63	10.5
河口湖町C	1050	低山帯混交林、アカマツ	剣丸尾溶岩流	96	24	6	0	0	30	5.0
合計				179	90	45	1	0	136	7.6

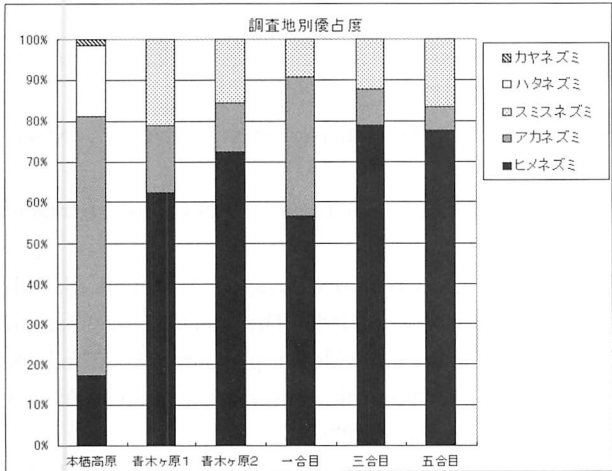


図 3－7－1 ネズミ類調査地別優占度

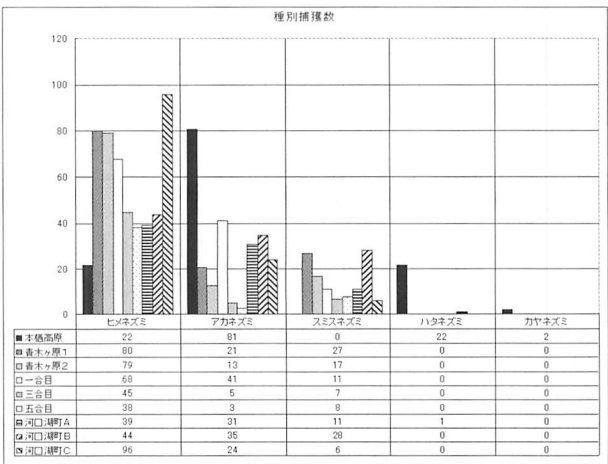


図 3－7－2 ネズミ類種別捕獲個体数

引用及び参考文献 (1) 章

- Blair, R.B. and A.E. Launer (1997) Butterfly diversity and human land use: species assemblages along an urban gradient. *Biological Conservation* 80: 113-125.
- Greathouse-Davies, J.N., T.H. Sparks, M.L. Hall and R.H. Marrs (1993) The influence of shade on butterflies in rides of coniferised lowland woods in southern England and implications for conservation management. *Biological Conservation* 63: 31-41.
- Grime, J.P. (1977) Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist* 111: 1169-1194.
- 原 聖樹・美ノ谷憲久・中村進一・岡部洋一 (1995) チョウ類. 神奈川県レッドデータ生物調査報告書 (神奈川県レッドデータ生物調査団編集) pp.176-186. 神奈川県立生命の星・地球博物館, 神奈川.
- 服部 保・矢倉資喜・武田義明・石田弘明 (1997) 蝶類群集による自然性評価の一方. 人と自然 8: 41-52.
- 早見正一 (1977) 富士吉田口登山道と滝沢林道の蝶について: 1975年4月~6月の個体数とその変化および生態の記録. 駿河の昆虫 97: 2837-2845.
- 早見正一・中村 司 (1977a, b, 1978a, b, 1979) 三ヶ峠山西側山域における蝶類群集の構造並びに大型ヒョウモンチョウ類4種の行動圏について: 1975年の調査結果. 山梨の昆虫 3: 55-88, 4: 93-106, 5: 124-132, 6: 152-153, 8: 187-208.
- 本田悦義 (1997) 大阪府和泉地方の自然環境の異なる3地域のチョウ類群集. 環動昆 8: 129-138.
- 今井長兵衛 (1995) 京都西賀茂における都市化とチョウ相の変化. 環動昆 7: 119-133.
- 今井長兵衛・夏原由博 (1996) 大阪市とその周辺の緑地のチョウ相の比較と島の生物地理学の適用. 環動昆 8: 23-34.
- 石井 実 (1993) チョウ類のトランセクト調査. 日本産蝶類の衰亡と保護第2集 (矢田・上田恭一郎編), pp.91-101. 日本鱗翅学会 (大阪)・日本自然保護協会 (東京).
- 石井 実 (1996) さまざまな森林環境における蝶類群集の多様性. 日本産蝶類の衰亡と保護第4集 (田中蕃・有田 豊編), pp.63-75. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 石井 実・広渡俊哉・藤原新也 (1995) 「三草山ゼフィルスの森」のチョウ類群集の多様性. 環動昆7: 134-146.
- 石井 実・山田 恵・広渡俊哉・保田淑郎 (1991) 大阪府内の都市公園におけるチョウ類群集の多様性. 環動昆 3: 183-195.
- 北原正彦 (1999) 富士山北麓の様々な森林環境におけるチョウ類群集の種多様性. 環動昆 10: 11-29.
- Kitahara, M. and K. Fujii (1994) Biodiversity and community structure of temperate butterfly species within a gradient of human disturbance: an analysis based on the concept of generalist vs. specialist strategies. *Researches on Population Ecology* 36: 187-199.
- 黒田長久 (1971) 富士山地域の動物相. 富士山: 富士山総合学術調査報告書 (財団法人国立公園協会調査委託), pp.723-1058. 富士急行, 山梨.
- McNaughton, S.J. (1967) Relationship among functional properties of California grassland. *Nature* 216: 168-169.
- 森下正明 (1967) 京都近郊における蝶の季節分布. 生態学的研究: 自然 (森下正明・吉良竜夫共編), pp.95-132. 中央公論社, 東京.
- 夏原由博・今井長兵衛・高橋満子 (1998) 生駒山での1994年のチョウのトランセクト調査. 環動昆9: 47-54.
- Pianka, E.R. (1973) The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 53-74.
- Pielou, E.C. (1969) An introduction to mathematical ecology. Wiley, New York.
- Pollard, E. (1977) A method for assessing changes in the abundance of butterflies. *Biological Conservation* 12: 115-134.
- Pollard, E. and T.J. Yates (1993) Monitoring butterflies for ecology and conservation. Chapman and Hall, London.
- 桜谷保之・藤山静雄 (1991) 道路建設とチョウ群集. 環動昆 3: 15-23.
- 清 邦彦 (1986) 富士山麓の草原における人為作用が蝶類群集におよぼす影響. 蝶と蛾 37: 179-183.
- 清 邦彦 (1988) 富士山にすめなかった蝶たち. 築地書館, 東京.
- 清 邦彦 (1996a) 富士山麓の草原における蝶類群集の変化: 第1報. 駿河の昆虫 173: 4863-4880.
- 清 邦彦 (1996b) 富士山麓の草原における蝶類群集の変化: 第2報. 駿河の昆虫 176: 4941-4950.
- 関谷善行 (1998) 神戸市神出山田自転車道沿道のチョウ類群集の多様性. 環動昆 9: 39-46.
- Simpson, E.H. (1949) Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
- Southwood, T.R.E. (1988) Tactics, strategies and templets. *Oikos* 52: 3-18.
- Sparks, T.H., J.N. Greathouse-Davies, J.O. Mountford, M.L. Hall and R.H. Marrs (1996) The effects of shade on the plant communities of rides in plantation woodland and implications for butterfly conservation. *Forest Ecology and Management* 80: 197-207.
- Spitzer, K., J. Jaros, J. Havelka and J. Leps (1997) Effect of small-scale disturbance on butterfly communities of an Indochinese montane rainforest. *Biological*

- Conservation 80: 9-15.
- Spitzer, K., V. Novotny, M. Tonner and J. Leps (1993) Habitat preferences, distribution and seasonality of the butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea) in a montane tropical rain forest, Vietnam. *Journal of Biogeography* 20: 109-121.
- 高橋真弓 (1958) 富士火山における蝶類分布とその生物地理学的意義について. *生態昆虫* 7 (1) : 5-13.
- 高橋真弓 (1971) 富士山の蝶類. 富士山: 富士山総合学術調査報告書 (財団法人国立公園協会調査委託), pp.731-733, 747-748, 797-806, 966-983. 富士急行, 山梨.
- 高橋真弓 (1979) チョウ: 富士川から日本列島へ. 築地書館, 東京.
- 田中 蕃 (1988) 蝶による環境評価の一方法. *蝶類学の最*
- 近の進歩* (三枝豊平・矢田脩・上田恭一郎編), pp.527-566. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 田中 蕃・有田 豊 (編) (1996) 日本産蝶類の衰亡と保護第4集. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 田下昌志・市村敏文 (1997) 標高の変化とチョウ類群集による環境評価. *環動昆* 8: 73-88.
- Warren, M.S. (1985) The influence of shade on butterfly numbers in woodland rides, with special reference to the wood white, *Leptidea sinapis*. *Biological Conservation* 33: 147-164.
- 渡辺通人 (1975) 富士山北部における蝶類の群集構造に関する研究, 1. 1973年度の個体数調査結果. *駿河の昆虫* 90: 2623-2641.
- 渡辺通人 (1995) 富士吉田市の昆虫. *霊峰富士の世界: 富士吉田景観野外博物ランド* (田中 収編), pp.230-234. 富士吉田市, 山梨.
- 山本道也 (1988) 蝶類の群集の研究法. *蝶類学の最近の進歩* (三枝豊平・矢田 脩・上田恭一郎編), pp.191-210. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 山本道也 (1996) 竜ヶ崎市中心部のチョウ相, 10年間の変化. *流通経済大学創立30周年記念論文集 (経済学部編)* pp.447-491. 流通経済大学, 竜ヶ崎.
- 山本道也 (1998) ルートセンサス法. チョウの調べ方 (今井長兵衛・石井 実監修), pp.29-43. 文教出版, 大阪.
- 矢田 脩 (1996) 北九州市山田緑地の照葉樹林の蝶群集. *日本産蝶類の衰亡と保護第4集* (田中 蕃・有田 豊編), pp.49-56. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 吉田宗弘 (1997) チョウ類群集による大阪市近郊住宅地の環境評価. *環動昆* 8: 198-207.
- Naturalist 124: 255-279.
- Brown, J.H. (1995) *Macroecology*. University of Chicago Press, Chicago.
- Cockburn, A. (1991) *An Introduction to Evolutionary Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- 遠藤 茂・仁平 勲 (1990) 日本産蝶類幼虫食餌便覧. グループ多摩虫, 東京.
- Erhardt, A. (1985) Diurnal Lepidoptera: sensitive indicators of cultivated and abandoned grassland. *Journal of Applied Ecology* 22: 849-861.
- Feber, R.E., H. Smith and D.W. Macdonald (1996) The effects on butterfly abundance of the management of uncropped edges of arable fields. *Journal of Applied Ecology* 33: 1191-1205.
- 福田晴夫・浜 栄一・葛谷 健・高橋 昭・高橋真弓・田中 蕃・田中 洋・若林守男・渡辺康之 (1982, 1983, 1984a, 1984b) 原色日本蝶類生態図鑑 I, II, III, IV. 保育社, 大阪.
- Gaston, K.J. and J.H. Lawton (1988a) Patterns in the distribution and abundance of insect populations. *Nature* 331: 709-712.
- Gaston, K.J. and J.H. Lawton (1988b) Patterns in body size, population dynamics, and regional distribution of bracken herbivores. *American Naturalist* 132: 662-680.
- Hamer, K.C., J.K. Hill, L.A. Lace and A.M. Langan (1997) Ecological and biogeographical effects of forest disturbance on tropical butterflies of Sumba, Indonesia. *Journal of Biogeography* 24: 67-75.
- Hanski, I., J. Kouki and A. Halkka (1993) Three explanations of the positive relationship between distribution and abundance of species. In "Species Diversity in Ecological Communities: Historical and Geographical Perspectives" (Ricklefs, R.E. and D. Schluter, eds), pp.108-116, University of Chicago Press, Chicago.
- Hill, J.K., K.C. Hamer, L.A. Lace and W.M.T. Banham (1995) Effects of selective logging on tropical forest butterflies on Buru, Indonesia. *Journal of Applied Ecology* 32: 754-760.
- 今井長兵衛 (1998) 都市に身近な生物を再生させるための基礎的研究. *環動昆* 9: 55-73.
- 今井長兵衛・石井 実 監修 (1998) チョウの調べ方. 文教出版, 大阪.
- 石井 実 (1993) チョウ類のトランセクト調査. 「日本産蝶類の衰亡と保護第2集」矢田 脩・上田恭一郎編, pp.91-101. 日本鱗翅学会 (大阪)・日本自然保護協会 (東京).
- 石井 実 (1996) さまざまな森林環境における蝶類群集の多様性. 「日本産蝶類の衰亡と保護第4集」田中

引用及び参考文献 (2) 章

Brown, J.H. (1984) On the relationship between abundance and distribution of species. *American*

- 蕃・有田 豊編, pp.63-75. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 石井 実・広渡俊哉・藤原新也 (1995) 「三草山ゼフィ
ルスの森」のチョウ類群集の多様性. 環動昆 7:
134-146.
- 木元新作・武田博清 (1989) 群集生態学入門. 共立出版,
東京.
- 北原正彦 (1999) 富士山北麓の様々な森林環境における
チョウ類群集の種多様性. 環動昆 10: 11-29.
- Kitahara, M. (1999) Structure and organization of butterfly
communities in a variety of woodlands at the northern
foot of Mt Fuji, central Japan. Transactions of the
Lepidopterological Society of Japan 50 (3): 145-161.
- 北原正彦 (2000) 富士山北麓森林地帯のチョウ類群集に
おける成虫の食物資源利用様式. 環動昆11: 61-81.
- Lawton, J.H., S. Nee, A.J. Letcher and P.H. Harvey (1994)
Animal distributions: patterns and processes. In "
Large-Scale Ecology and Conservation Biology"
(Edwards, P.J., R.M. May and N.R. Webb, eds), pp.41-
58, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- 森下正明 (1967) 京都近郊における蝶の季節分布. 「自
然－生態学的研究」森下正明・吉良竜夫編, pp.95-
132. 中央公論社, 東京.
- Natuhara, Y., C. Imai and M. Takahashi (1999) Pattern of
land mosaics affecting butterfly assemblage at Mt.
Ikoma, Osaka, Japan. Ecological Research 14: 105-118.
- Pianka, E.R. (1988) Evolutionary Ecology, 4th edn.
Harper & Row, New York.
- Pollard, E. (1977) A method for assessing changes in the
abundance of butterflies. Biological Conservation 12:
115-134.
- Pollard, E. and T.J. Yates (1993) Monitoring Butterflies for
Ecology and Conservation. Chapman and Hall, London.
- Redfearn, A. and S.L. Pimm (1988) Population variability
and polyphagy in herbivorous insect communities.
Ecological Monographs 58: 39-55.
- 関谷善行 (1998) 神戸市神出山田自転車道沿道のチョウ
類群集の多様性. 環動昆 9: 39-46.
- Spitzer, K., J. Jaros, J. Havelka and J. Leps (1997) Effect of
small-scale disturbance on butterfly communities of an
Indochinese montane rainforest. Biological
Conservation 80: 9-15.
- Spitzer, K., V. Novotny, M. Tonner and J. Leps (1993)
Habitat preferences, distribution and seasonality of the
butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea) in a montane
tropical rain forest, Vietnam. Journal of Biogeography
20: 109-121.
- Steffan-Dewenter, I. and T. Tscharntke (1997) Early
succession of butterfly and plant communities on set-
aside fields. Oecologia 109: 294-302.
- 田下昌志・市村敏文 (1997) 標高の変化とチョウ類群集
による環境評価. 環動昆 8: 73-88.
- 海野和男・青山潤三 (1981) 日本のチョウ. 小学館, 東
京.
- Usher, M.B. and S.W.J. Keiller (1998) The
macrolepidoptera of farm woodlands: determinants of
diversity and community structure. Biodiversity and
Conservation 7: 725-748.
- 山本道也 (1988) 蝶類の群集の研究法. 「蝶類学の最近
の進歩」三枝豊平・矢田 脩・上田恭一郎編, pp.191-
210. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 山本道也 (1998) ルートセンサス法. 「チョウの調べ方」
今井長兵衛・石井 実監修, pp.29-43. 文教出版, 大
阪.
- 矢田 脩 (1996a) トランセクト調査のすすめ. 昆虫と
自然 31 (14) : 2-4.
- 矢田 脩 (1996b) 北九州市山田緑地の照葉樹林の蝶群
集. 「日本産蝶類の衰亡と保護第4集」田中 蕃・有田
豊編, pp.49-56. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 引用及び参考文献 (3) 章
- 遠藤 茂・仁平 勲 (1990) 日本産蝶類幼虫食餌便覧.
グループ多摩虫, 東京.
- Feber, R.E., H. Smith and D.W. Macdonald (1996) The
effects on butterfly abundance of the management of
uncropped edges of arable fields. Journal of Applied
Ecology 33: 1191-1205.
- 服部 保・矢倉資喜・武田義明・石田弘明 (1997) 蝶類
群集による自然性評価の一方法. 人と自然 8: 41-52.
- 本田悦義 (1997) 大阪府和泉地方の自然環境の異なる3
地域のチョウ類群集. 環動昆 8: 129-138.
- 今井長兵衛 (1995) 京都西賀茂における都市化とチョウ
相の変化. 環動昆 7: 119-133.
- 今井長兵衛・夏原由博 (1996) 大阪市とその周辺の緑地
のチョウ相の比較と島の生物地理学の適用. 環動昆
8: 23-34.
- 石井 実 (1993) チョウ類のトランセクト調査. 日本産
蝶類の衰亡と保護第2集 (矢田脩・上田恭一郎編),
pp.91-101. 日本鱗翅学会 (大阪)・日本自然保護協
会 (東京).
- 石井 実 (1996) さまざまな森林環境における蝶類群集
の多様性. 日本産蝶類の衰亡と保護第4集 (田中
蕃・有田 豊編), pp.63-75. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 石井 実・広渡俊哉・藤原新也 (1995) 「三草山ゼフィ
ルスの森」のチョウ類群集の多様性. 環動昆7: 134-
146.
- 石井 実・植田邦彦・重松敏則 (1993) 里山の自然をま
もる. 築地書館, 東京.
- 石井 実・山田 恵・広渡俊哉・保田淑郎 (1991) 大阪

- 府内の都市公園におけるチョウ類群集の多様性. 環動昆. 3: 183-195.
- 環境省 (2000) 日本産昆虫類レッドリスト. URL: <http://www.biodic.go.jp/> (環境省生物多様性センター).
- 木元新作・武田博清 (1989) 群集生態学入門. 共立出版, 東京.
- 北原正彦 (1999) 富士山北麓の様々な森林環境におけるチョウ類群集の種多様性. 環動昆 10: 11-29.
- 北原正彦 (2000a) 富士山北麓森林地帯のチョウ類群集における成虫の食物資源利用様式. 環動昆11: 61-81.
- 北原正彦 (2000b) トランセクト調査によるチョウ類成虫の食物資源利用様式の解析とそれに基づく群集保全への提言. 昆虫と自然 35 (14): 4~9.
- Kitahara, M. and K. Fujii (1994) Biodiversity and community structure of temperate butterfly species within a gradient of human disturbance: an analysis based on the concept of generalist vs. specialist strategies. Researches on Population Ecology 36: 187-199.
- Kitahara, M., K. Sei and K. Fujii (2000) Patterns in the structure of grassland butterfly communities along a gradient of human disturbance: further analysis based on the generalist/specialist concept. Population Ecology 42: 135-144.
- 北原正彦・渡辺 牧 (2000) 富士山北麓青木ヶ原樹海周辺のチョウ類群集における成虫の食物資源利用様式. 日本鱗翅学会第47回大会 (千葉県立中央博物館) 講演要旨集p. 20.
- 北原正彦・渡辺 牧 (2001) 富士山北麓青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の多様性と植生種数の関係. 日本環境動物昆虫学会誌 12: 131-145.
- Loertscher, M., A. Erhardt and J. Zettel (1995) Microdistribution of butterflies in a mosaic-like habitat: the role of nectar sources. Ecography 18: 15-26.
- 前藤 薫・楨原 寛 (1999) 温帯落葉樹林の皆伐後の二次遷移にともなう昆虫相の変化. Japanese Journal of Entomology 2: 11~26.
- 宮脇 昭・菅原久夫・浜田丈夫 (1971) 富士山の植生図. 富士山: 富士山総合学術調査報告書 (財団法人国立公園協会調査委託), 別冊. 富士急行, 東京.
- 森下正明 (1967) 京都近郊における蝶の季節分布. 生態学的研究: 自然 (森下正明・吉良竜夫共編, pp.95-132. 中央公論社, 東京.
- 夏原由博・今井長兵衛・高橋満子 (1998) 生駒山での1994年のチョウのトランセクト調査. 環動昆 9: 47-54.
- Pollard, E. (1977) A method for assessing changes in the abundance of butterflies. Biological Conservation 12: 115-134.
- Pollard, E. and T.J. Yates (1993) Monitoring butterflies for ecology and conservation. Chapman and Hall, London.
- 桜谷保之・藤山静雄 (1991) 道路建設とチョウ群集. 環動昆 3: 15-23.
- 清藤城宏 (1991) 富士山青木ヶ原樹海におけるヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の樹齢と分布について. 日林関東支論 42: 33~36.
- 関谷善行 (1998) 神戸市神出山田自転車道沿道のチョウ類群集の多様性. 環動昆 9: 39-46.
- Simpson, E.H. (1949) Measurement of diversity. Nature 163: 688.
- Spitzer, K., V. Novotny, M. Tonner and J. Leps (1993) Habitat preferences, distribution and seasonality of the butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea) in a montane tropical rain forest, Vietnam. Journal of Biogeography 20: 109-121.
- Steffan-Dewenter, I. and T. Tschardt (1997) Early succession of butterfly and plant communities on set-aside fields. Oecologia 109: 294-302.
- 田中 蕃 (1988) 蝶による環境評価の一方法. 蝶類学の最近の進歩 (三枝豊平・矢田 脩・上田恭一郎編), pp.527-566. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 田下昌志・市村敏文 (1997) 標高の変化とチョウ類群集による環境評価. 環動昆 8: 73-88.
- Usher, M.B. and S.W.J. Keiller (1998) The macrolepidoptera of farm woodlands: determinants of diversity and community structure. Biodiversity and Conservation 7: 725-748.
- 山本道也 (1988) 蝶類の群集の研究法. 蝶類学の最近の進歩 (三枝豊平・矢田 脩・上田恭一郎編), pp.191-210. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 山本道也 (1996) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 10年間の変化. 流通経済大学創立30周年記念論文集 (経済学部編) pp.447-491. 流通経済大学, 竜ヶ崎.
- 山本道也 (1998) ルートセンサス法. チョウの調べ方 (今井長兵衛・石井 実監修), pp.29-43. 文教出版, 大阪.
- 矢田 脩 (1996a) 北九州市山田緑地の照葉樹林の蝶類群集. 日本産蝶類の衰亡と保護第4集 (田中 蕃・有田豊編), pp.49-56. 日本鱗翅学会, 大阪.
- 矢田 脩 (1996b) トランセクト調査のすすめ. 昆虫と自然 31 (14): 2-4.
- 吉田宗弘 (1997) チョウ類群集による大阪市近郊住宅地の環境評価. 環動昆 8: 198-207.
- 吉田宗弘 (2000) チョウのトランセクト調査と環境評価. 昆虫と自然 35 (14): 2~3.

引用及び参考文献(4)～(6)章

- 阿部 永・石井信夫・金子之史・前田喜四雄・三浦慎吾・米田政明. 1994. 日本の哺乳類. 東海大学出版会, 東京, 195pp.
- 藤井 猛・丸山直樹・神崎伸夫. 1998. 多摩川中流域河川敷におけるニホンイタチの食性の季節的变化. 哺乳類科学 38 (1) : 1-8.
- Hooge, P. N. 1998. Mamement -Animal movement analysis arcview extension-. USGS.
- 細田徹治・鏝 雅哉. 1996. テンとクロテン. (川道武男編: 日本動物大百科1) pp.136-139, 平凡社.
- 今泉吉典. 1971. 富士山 富士山総合学術調査報告書. 富士急行株式会社, 山梨.
- 環境庁. 1985. 第3回自然環境保全基礎調査(植生調査) 現存植生図.
- 環境庁自然保護局. 1999. 首都圏の自然・緑地等の再生に係る総合的推進調査(富士・箱根・丹沢地域緑の回廊構想) 報告書, 167pp.
- Mohr, C. O. 1947. Table of equivalent populations of Nouth American small mammals. American Midland Naturalist, 37, 223-249
- 中村俊彦. 1999. 東京都日の出町、あきる野市におけるニホンテンの食性の季節的变化. 東京農工大学農学部卒業論文, 東京, 27pp.
- 中村俊彦. 2001. 富士北麓におけるニホンテンの食性及び行動圏. 東京農工大学大学院修士論文, 東京.
- Neu, C. W., C. R. Byers and J. M. Peek. 1974. A technique for analysis of utilization-availability data. Journal of Wildlife Management, 38 (3) : 541-545
- 奥村忠誠. 1996. 亜高山帯に生息する雄ホンドテンの繁殖年終期に伴う行動圏変化. 日本大学卒業論文, 神奈川.
- 白石浩隆. 1996. 河口湖船津胎内周辺における小型齧歯類相について. 平成7年度河口湖フィールドセンター環境教育事業実施報告書. 河口湖フィールドセンター.
- Sumuel, M. D., D. j. Pierce and E. O. Garton. 1985. Identifying areas of concentrated use within the home range. Journal of Animal Ecology, 54, 711-719
- 竹内正彦. 1995. 栃木県産アカギツネ *Vulpes vlpes* の形態および生態学的研究. 金沢大学大学院博士論文, 金沢.
- Tatara, M. 1994. Social sysytems and habitat ecology of Japanese marten *Martes melampus tsunesis* (Carnivore; Mustelidae) on the island of Tsushima. Ph. D thesis. Department of Biology. Fuculty of Scirnces. Kyushu University.
- Tatara M. and T. Doi. 1994. Comparative analyses on food habits of Japanese marten, Siberian weasel and leopard cat in the Tsushima islands, Japan. Ecological

Research,9 (1) : 99-107.

山梨県・山梨県自然保護教育振興会. 1995. 希少種を主とする山梨県の野生鳥獣生息調査.

3) 研究資料

A 出版物

- 北原正彦(1998) 富士山北麓の様々な森林環境におけるチョウ類群集の種多様性. 日本環境動物昆虫学会誌, 10,11-29.
- 北原正彦(1999) 富士山北麓に見られる環境(森林)と動物相の関係ー蝶類の場合ー. 山梨の自然保護教育 12 : 24-25.
- Kitahara, M. (1999) Structure and organization of butterfly communities in a variety of woodlands at the northern foot of Mt.Fuji, central Japan. Transactions of the Lepidopterological Society of Japan, 50, 145-161.
- 北原正彦(2000) 富士山北麓森林地帯のチョウ類群集における成虫の食物資源利用様式. 日本環境動物昆虫学会誌, 11,61-81.
- 北原正彦(2000) トランセクト調査によるチョウ類成虫の食物資源利用様式の解析とそれに基づく群集保全への提言. 昆虫と自然, 35 (14), 4-9.
- Kitahara, M., Sei, K. and Fujii, K. (2000) Patterns in the structure of grassland butterfly communities along a gradient of human disturbance: further analysis based on the generalist/specialist concept. Population Ecology, 42, 135-144.
- Kitahara, M. and Sei, K. (2001) A comparison of the diversity and structure of butterfly communities in semi-natural and human-modified grassland habitats at the foot of Mt.Fuji, central Japan. Biodiversity and Conservation, 10, 331-351.
- 北原正彦, 渡辺牧(2001) 富士山北麓青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の多様性と植生種数の関係. 日本環境動物昆虫学会誌, 12,131-145.
- 北原正彦(2002) チョウ類の群集生態学的研究の幾つかの方向性について. 日本環境動物昆虫学会誌, 13 (2), 93-100.

B 学会発表

- 北原正彦(1998) 富士山北麓森林地帯におけるチョウ類群集の特性. 日本鱗翅学会第45回大会, 長野.
- 北原正彦(1998) 富士山北麓森林地帯のチョウ類群集における成虫の資源利用様式. 日本環境動物昆虫学会創立10周年記念年次大会, 京都.
- 北原正彦(1998) チョウ類の近縁種間の幼虫の潜在食性幅と分布範囲の間の関係. 第46回日本生態学会大会, 長野.
- 藤井 猛・今木洋大・渡辺 牧・北原正彦(1999) 富士

- 山北斜面における中型哺乳類3種の食性. 野生生物保護学会第5回大会, 盛岡.
- 北原正彦 (1999) 富士山北麓森林地帯のチョウ類群集におけるニッチ幅と生息密度および分布範囲の関係. 第11回日本環境動物昆虫学会年次大会, 奈良.
- 北原正彦・今木洋大・渡邊 牧・白石浩隆 (1999) 富士山精進口登山道における小型哺乳類の垂直分布様式. 野生生物保護学会第5回大会, 盛岡.
- 北原正彦 (2000) 富士山北麓青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の多様性と構造. 第47回日本生態学会大会, 東広島.
- 北原正彦 (2000) 富士山北麓青木ヶ原樹海周辺のチョウ類群集: ホットスポットとしての樹海林縁部. 第12回日本環境動物昆虫学会年次大会, 名古屋.
- 北原正彦 (2000) 植物 (餌資源) と植食者 (チョウ群集) の密接な関係: トランセクト法による群集調査より. 第12回日本環境動物昆虫学会年次大会, 名古屋.
- 北原正彦, 渡辺牧 (2000) 富士山北西麓青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の構造と保全について. 野生生物保護学会2000年大会, 東京.
- 北原正彦, 渡辺牧 (2000) 富士山北麓青木ヶ原樹海周辺のチョウ類群集における成虫の食物資源利用様式. 日本鱗翅学会第47回大会, 千葉.
- 北原正彦, 藤井猛, 今木洋大, 渡辺牧 (2000) 富士山周辺におけるロードキル発生状況の解析 (予報). 野生生物保護学会2000年大会, 東京.
- 中村俊彦, 藤井猛, 今木洋大 (2000) 富士山北斜面におけるニホンテンの食性. 日本哺乳類学会2000年大会, 大阪.
- 萩原未央, 白石浩隆, 北原正彦, 西田隆雄 (2001) スミスズミ (*Eothenomys Smithii*) における精子発生の季節変動に関する形態学的研究. 第129回日本獣医学学会学術集会, 筑波.
- Jiang, Zh-W., Kitahara, M., Watanabe, M., Imaki, H., and Ueda, H. (2002) Use of newly planted forest and damage on veitch fir by sika deer in Northern Mount Fuji. Anniversary Symposium of the Mammalogical Society of Japan in 2001, Okinawa.
- Jiang, Zh-W., Hamasaki, S., Kitahara, M., Watanabe, M., and Kishimoto, M. (2002) Seasonal and sexual variations in digestive organs of sika deer as related to feeding strategy. 49 th Anniversary Symposium of the Ecological Society of Japan in 2002, Sendai.
- 北原正彦 (2001) 富士山北東麓北富士演習場のチョウ類: 豊富なレッドリスト種の分布について. 第13回日本環境動物昆虫学会年次大会, 大阪.
- 北原正彦 (2001) チョウ類群集研究の方向性についての私見. 第13回日本環境動物昆虫学会年次大会, 大阪.
- 北原正彦, 奥村忠誠, 今木洋大, 渡辺牧 (2001) 富士山北麓における中型食肉類の標高利用変化とニホンテンの環境選択. 野生生物保護学会2001年大会, 兵庫.
- 北原正彦, 渡辺牧 (2001) 多変量解析による富士山青木ヶ原周辺チョウ類群集の内部構造の分析. 第48回日本生態学会大会, 熊本.
- 北原正彦, 渡辺牧 (2001) 富士山北麓青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の多様性と保全: 2000年の調査結果. 日本鱗翅学会第48回大会, 京都.
- 渡辺牧, 北原正彦 (2001) 富士山北麓森林地帯におけるチョウ類群集の成虫の食物資源利用様式の特徴と保全. 野生生物保護学会2001年大会, 兵庫.
- Jiang, Zh-W., S. Hamasaki, M. Kitahara, H. Ueda, and M. Kishimoto (2002) What determines the morphology of digestive organs of sika deer? -Food quality or food intake? Proceeding of the abstracts of 5th International Deer Biology Congress. Pp59-60. August 25-30, 2002. Quebec, Canada.
- Jiang, Z., Masahiko Kitahara, Hironori Ueda, and Keiko Ogawa (2002) Who decide whom? Among body size, food quality, and digestive organs of sika deer. Anniversary Symposium of the Mammalogical Society of Japan, October 3-6, 2002. Toyama, Japan.
- 北原正彦 (2002) 富士山山麓のチョウ類群集の多様性に関する一連の研究. 第14回日本環境動物昆虫学会年次大会研究奨励賞受賞講演, 大阪.
- 北原正彦 (2002) 富士山周辺のチョウ類群集調査について: これまでの結果と考察. 日本鱗翅学会関東支部2002年秋の例会, 東京.
- Kitahara, M. (2002) Diversity, rarity and conservation of butterflies in various types of grassland habitats around Mt. Fuji, central Japan. The 7th European Congress of Entomology, Thessaloniki, Greece.
- 北原正彦, 早見正一 (2002) 富士山北西麓本栖高原のチョウ類群集の特性と年次変動パターン. 第14回日本環境動物昆虫学会年次大会, 大阪.
- 北原正彦, 渡辺牧 (2002) 富士山北麓森林地帯のチョウ類群集構造: 1996年と1999年の年次比較. 第49回日本生態学会大会, 仙台.
- 奥村忠誠, 北原正彦, 上田弘則, 渡辺牧 (2002) 富士山における野生動物の高標高の利用と人間との関係. 野生生物保護学会第8回大会, 宇都宮.
- 北原正彦, 早見正一 (2003) 富士山北西麓本栖高原におけるチョウ類群集の年次動態様式. 第50回日本生態学会創立50周年記念大会, つくば.

4) 謝辞

本研究を遂行するにあたっては、実に多くの方々の御協力と御援助を頂戴した。特に研究体制に記載した、我々と協調して研究を進めて頂いた「共同研究者」の

方々、並びに一方ならぬ御援助・御高配を頂戴した「研究協力機関」の方々には、並々ならぬお世話になり、研究を滞りなく進行させることができた。これらお世話になった全ての方々に対し、心からの御礼と謝意を申し上げる次第である。また、本内容の一部について、学会誌からの転載を許可して頂いた日本環境動物昆虫学会事務局に対しても深謝申し上げる次第である。

Ⅲ－４ 富士山の地下水

１）研究体制

瀬子義幸、長谷川達也、小林（保坂）仁美、宮崎忠国、杉田幹夫、野原精一（独立行政法人国立環境研究所）

２）はじめに

富士山の地下水は、周辺地域の水道原水や各種の産業用の用水として利用されている。良好な水質であるため、水道原水として利用される場合、浄化処理は行わず、塩素消毒のみで配水されることも多い。また、ミネラルウォーターの原料としても活用されており、最近では富士山地下水に含まれるバナジウムの健康影響、特に糖尿病に対する影響が注目されており、多くの人々が飲んでいる。本研究では、このように人々の生活に関わりの深い富士山地下水の水質について、富士山の北側（富士北麓地域）を中心として基礎的な情報を得るために行った。富士山地下水に関する研究は数多くあり優れた調査研究が少なくないが、本研究はこれまでの研究とは異なり、現在注目されている富士山地下水のバナジウム濃度の高低がどの様な要因と関連するかに着目している。また、これまでの研究報告では殆ど測定されていないフッ素についても測定を行った。従来の調査研究とは異なる新しい測定項目の組み合わせで、多数の試料について測定を行い、それらを地理情報化することによって、いくつもの新たな知見が得られた。

３）調査方法と分析法

採水日：1998年5月12日から5月27日にかけて、それぞれの水源の管理者が水温測定と採水を行った。

採水地点：図4－1に示す合計110カ所から、ポリプロピレン容器に水を採取した。

処理法：採水後、0.45 μ mのポアサイズのメンブレンフィルターで水を濾過し、0.45 μ m以上の粒子状物質を取り除いた。ろ液100mlに硝酸（電子工業用）2 mlを添加し、バナジウム測定用試料とした。未処理のろ液は、イオンクロマトグラフィー、水中酸素安定同位体比分析、ケイ酸測定用に用いた。

バナジウム濃度の測定：ICP質量分析計（横河アナリティカルシステムズ社、HP-4500形）を用い、m/z=51の信号強度を測定しバナジウム濃度とした。

地下水中バナジウムの化学形の推定：Wang and Jiang (1997)の方法を用いて、高速液体クロマトグラフィーICP質量分析計を用いて推定した。

イオン類の測定：イオンクロマトグラフィーを用いた。試料は、濾過後に一部を－20℃で凍結保存したものを解凍して冷蔵保存したものを用いた。陰イオンとしてはフッ素イオン（F⁻、Fと略す）、塩化物イオン（Cl⁻、Clと略す）、亜硝酸イオン（NO₂⁻、NO2と略す）、硝酸イオ

ン（NO₃⁻、NO3と略す）、硫酸イオン（SO₄²⁻、同SO4と略す）、リン酸イオン（PO₄³⁻、同PO4と略す）、臭素イオン（Br⁻）を測定した。このうち、亜硝酸イオンは1試料で僅かに（0.1mg/L）検出され、臭素イオンは何れの試料からも検出されなかったため、表4－1にはデータを示していない。

得られたイオンのデータは、原子量又は分子量と価数からイオン当量濃度（meq/L）を計算し、各種の計算と解析に用いた。イオンの比や合計等を計算する場合は、イオン当量濃度を用い、計算結果は〔 〕で囲って表した（例：〔Cl/Na〕）。

合計イオン濃度：Na、K、Mg、Ca、F、Cl、SO4、PO4、NO3それぞれについて、イオン当量濃度を計算し、合計して求めた。炭酸イオン濃度は、陽イオンと陰イオンの差から求めたものであるため、合計イオン濃度には含めていない。

ケイ酸濃度：比色方を用いて測定した。

水中酸素安定同位体比：濾過後に凍結保存し、解凍した試料について、平衡化法を用いて安定同位体比質量分析計で測定して、 $\delta^{18}\text{O}$ （本文では「 $\delta^{18}\text{O}$ 」と表記する）を求めた。

電気伝導度：電気伝導度計を用いた。

pH測定：電極法を用いた。

炭酸イオン濃度：直接の測定は行わなかったため、陽イオンの当量から陰イオンの当量を差し引いて、計算で推定した。炭酸イオンのデータは、放射ベクトルデータによる解析と〔HCO3/Cl〕の計算に用いた。

採水地点の位置と標高：5万分の1の地形図とデジタイザーを用いて採水地の緯度経度を読みとり、緯度経度と数値地図のデータから計算して標高を求めた。

４）結果

測定結果一覧（表4－1）

測定結果一覧を表4－1に示す。試料はほとんどが井戸水あるいは湧水を採取したもので、御坂山地と道志の試料の一部が表流水となっている。井戸水も湧水も地下水であるので、本調査の試料はほとんどが地下水である。採水地点の分類：採水地点の位置と地形から採水地点を以下の5群に分類した。

- （１）富士山１：富士山の斜面に位置する採水地
- （２）富士山２：富士山の斜面に位置するが、周辺の山地との境界に近い採水地
- （３）山中湖北：山中湖北部に位置する採水地
- （４）山地（御坂）：御坂山地を中心とする富士山周辺の山地に位置する採水地（道志地方を除く）
- （５）道志：道志地方の採水地。

ヒストグラム

表4－1のデータをヒストグラムで表したものが図4

ー2ー(1)～(8)である。欠損値は、縦軸上の「○」で示した。このヒストグラムから、富士山1に分類される試料No.40、112では、Na、Mg、Cl、SO₄濃度がその他の試料と比べて異常に高いことがわかる。その結果として、合計イオン濃度も他の試料より高い。また、山地(御坂)に分類される試料No.19は、CaとSO₄が高く、合計イオン濃度も高い。さらに、No.23はNO₃濃度が他の試料より高い。これらの試料のデータは、後で行うデータ間の相関係数に影響する可能性があるため、No.19、23、40、112のデータを除いた相関係数の計算も行った。

バナジウム濃度：富士山1、富士山2および山中湖北の分類群で、山地(御坂)および道志の群より明らかに高い。但し、富士山2ではバナジウム濃度が低い試料も認められた。

Na、K濃度：富士山1、富士山2および山中湖北の方が、山地(御坂)および道志の試料より高い傾向が認められた。

フッ素濃度：富士山1の試料の中に他の試料より高いものが多く認められた。富士山2および山中湖北の試料でも、山地(御坂)や道志の試料よりやや高い傾向があったが、全て0.2mg/L以下で、富士山1の試料より低い値が多かった。

リン酸濃度：富士山1および富士山2でのみ検出された。PO₄の測定は、採水後直ちに行うことが望ましいと言われているが、本研究では、試料を凍結保存後、解凍して冷蔵したため、本研究でのPO₄のデータは参考データとしたい。

イオン濃度を用いた計算値：既存の文献で、水質を解析するときに用いられている各種の計算値を求め、図4ー2ー(6)～(8)に示した。これらの計算値のうち、富士山1、富士山2および山中湖北の試料と山地(御坂)および道志の試料との間に違いが認められるのは、[Ca/(Na+K)]、[Na+K]であった。

測定値の地域差(図4ー3、4ー4)

地図上に各採水地点の水質等のデータを円の大ききで示したのが図4ー3および図4ー4である。何れの図も、円の直径と濃度が比例する表示法を用いているため、2倍の濃度の違いが円の面積では4倍の違いとなり、濃度の違いが強調されている。

バナジウム(V)濃度：富士山周辺から採取された試料は、山地(御坂)あるいは道志の水よりバナジウム濃度が高かった(図4ー3ー(a))。また、地図上では富士山の斜面上に位置する採水ポイントでも、周辺の山地との境界付近から得られた試料では、バナジウム濃度が高くないものが認められる。しかし、富士山1でもバナジウム濃度がそれほど高くないものや、富士山2でもバナジウム濃度が60μg/Lを越えるものも認められ、地図上での分類とバナジウム濃度は完全には一致しなかった

(図4ー2ー(1)も参照)。

フッ素(F)濃度(図4ー3ー(b))：富士山1の試料にはF濃度の高いものが多く認められたが(図4ー2ー(3))、その地図上の分布は、河口湖と西湖の南側の富士山斜面上に集中していることが明かとなった。富士山の北東部の山中湖周辺と北西部の富士嶺周辺の試料のF濃度は低かった。山地(御坂)と道志の試料は、さらに低い値であった。

水中酸素安定同位体比(δ18O)：河口湖と西湖の南側の採水地では、他の地域よりδ18Oが小さい値を示した(図4ー3ー(c))。

Na、K、Mg、Ca(図4ー4ー(1))：何れも、富士山の斜面上に位置する採水地の値が高い傾向が認められた。図4ー2ー(3)では、富士山域とその他の地域との差は顕著ではなかったが、図4ー4ー(1)では、濃度と円の直径が比例するため、濃度の違いが強調されている。そのため富士山域のこれらのイオン濃度が山地(御坂)や道志と大きく異なるように見える。いずれにしても、富士山斜面上の採水地ではその他の地域より、これらのイオン濃度がやや高い傾向にある。また、富士山斜面上の採水地でも標高の高い地域より標高の低い地域の方が、これらのイオン濃度が高くなる傾向が見られた。あとで述べるように、標高とイオン濃度には有意な負の相関が認められている。

Cl(図4ー4ー(2))：比較的濃度の高いポイントが富士山斜面上にあるため、富士山斜面上のポイントでCl濃度が高い傾向にあるようにも見えるが、山地(御坂)や山地(御坂)と富士山の境界付近でも比較的濃度の高いポイントがあり、Na、K、Mg、Caほど、富士山斜面で高い傾向はなかった。

NO₃(図4ー4ー(2))：河口湖北側のNo.23で最も高い値が認められた。それ以外の採水地点では、富士山北部斜面上に比較的濃度が高いものが認められるが、低いものと混在していた。

SO₄(図4ー4ー(2))：最も高い濃度が認められたのは、山地(御坂)内のNo.19であった。この付近にはNo.20、21があり、これらのポイントではSO₄濃度はそれほど高くはなかった。No.19は湧水で、No.20、21は深井戸のため、近接する採水地ではあるが水質が大きく異なったものと考えられる。

SO₄は河口湖南側と河口湖南東の富士山斜面上で比較的濃度の高いポイントがあった。

PO₄(図4ー4ー(2))「参考データ」：前述したとおり、測定法に問題があったため、参考データではあるが、富士山斜面上のポイントで検出されており、それ以外の地域では、検出されていない。

合計イオン濃度：山地(御坂)のNo.19は、CaとSO₄が以上に高いため、調査した地点では最も合計イオン濃度が高い値となっている。各種のイオン濃度が富士山斜

面上の標高が低い採水地点で高い傾向にあったため、これらを合計した合計イオン濃度も、富士山斜面上の標高が低い採水地点で高い傾向が認められる。

SiO₂ (図4-4-(3)) 濃度：富士山斜面上の採水地点で高い傾向があるように見えるが、濃度の低い採水地点も混在している。

pH (図4-4-(3))：欠損値が多いため、全ての採水地点のデータはないが、富士山斜面上の採水地点でその他の地域よりやや高い傾向が認められた。

放射ベクトルデータによる解析 (図4-5)

水質の総合的な指標としては、主要溶解成分の値を用いて図示するいくつかの方法がある。ここでは、放射ベクトルデータを用いて、主要溶解成分のパターンを地図上に示した。尚、前述したようにここで用いているHCO₃のデータは、測定値ではなく陽イオン当量濃度から陰イオン当量濃度を差し引いて推定した値である。

これまで見てきたように、富士山斜面上の比較的標高の低い採水地点では、主要溶解成分の濃度が高い傾向にあったため、放射ベクトルデータのNa+K軸、Mg軸、Ca軸が長い傾向があるが、それほど顕著な地域差は認められなかった。地図上に円で現した図4-3、図4-4では値の違いが強調されていたのに対し、放射ベクトルデータでは、軸の長ささと濃度が比例するため濃度の違いは強調されていないことも原因である。

測定データ間の相関 (表4-2、図4-6～図4-20)

データ間の関連を解析するため、相関係数を計算し、その結果を表4-2に示した。相関係数を計算するに当たっては、使用するデータの選択方法によって解析結果の意味するところが違ってくる可能性があったため、以下の6通りのデータを用いて計算した。

(A) 全データ

(A') (全データ) - (No.19、23、40、112)：Na、K、Ca等の溶解成分濃度が他のデータより明らかに高い値を示したデータ (No.19、23、40、112) を除いたもの

(B) 富士山1+2：富士山1と富士山2のデータ

(B') (富士山1+2) - (No.40、112)：富士山1+2のデータから、溶解成分濃度が高かったNo.40とNo.112のデータを除いたもの

(C) 富士山1：富士山1のデータのみ

(C') (富士山1) - (No.40、112)：富士山1のデータからNo.40とNo.112のデータを除いたもの

計算結果と相関図は上記のA～C'の6つをまとめて表示してある。また、相関図は主なものを示した。

相関係数の有意性 (p 値) と相関図：表4-2には、相関係数と共に、計算に用いられたデータ数 (n) と相関係数の有意性を示す危険率 (p 値) も示してあるが、通常有意な相関とみなす $p < 0.050$ (5%) の値が得ら

れても、相関図を見ると必ずしも明確な相関ではなかった。例えば、標高とバナジウム濃度の関係では、B' データを用いた計算で、相関係数0.250、 $p < 0.034$ が得られたが (表4-2-1)、図4-10-(B') に示されるごとく、それほど明確な相関関係ではなかった。計算に用いたデータ数にもよるが、おおむね相関係数が0.4を越えたときに相関図上では何らかの相関のあることを示唆していると思われた。

水中酸素安定同位体比とバナジウム濃度およびフッ素濃度の関係：バナジウム濃度ならびにフッ素濃度共に、A、A'、B、B'、C、C'何れのデータを用いた場合も、 $\delta 180$ との間に相関係数0.43以上の有意な負の相関が認められた (図4-6、図4-7)。バナジウムとフッ素のいずれも、データを富士山1に絞り込んでサンプル数を少なくすることにより相関係数は小さくなった。

バナジウム濃度とフッ素濃度の関係：全データ (A、A') を用いた場合、バナジウムとフッ素の間には相関係数0.6以上の有意な相関が認められた (図4-8)。しかし、この場合もデータを富士山1に絞り込むことによって相関係数は小さくなり、データC'の場合は相関係数が0.314と有意ではあるものの明確な相関関係は認められなかった (表4-2)。

標高と水質の関係：一般的には $\delta 180$ は高標高由来の水で値が小さくなるため、採水地の標高と $\delta 180$ は負の相関を示すと期待したが、何れのデータを用いても、有意な相関は認められなかった (表4-2、図4-9)。

バナジウム濃度は、全データ (A、A') を用いた場合、標高との間に全く相関が認められなかったが、富士山1データ (C、C') のみを用いた場合、それぞれ0.343と0.430の有意な相関が認められた (表4-2、図4-10)。

バナジウム濃度とは異なり、フッ素濃度の場合は、何れのデータを用いても有意な相関は得られず、バナジウムの場合とは異なっていた (表4-2、図4-11)。

水温は、一般に高標高由来の水では低い傾向にあると言われている。全データを用いた計算では、標高と水温の間に有意な相関はなかったが、富士山1データのみを用いた時には0.4程度の有意な相関が認められた (表4-2、図4-12)。

pHは、地図上にデータをプロットした図4-4-(3)でも、高標高の試料で高くなる傾向があったが、富士山1+2あるいは富士山1データを用いた場合に、相関係数が0.6以上の有意な相関となった (表4-2、図4-13)。

Na、K、Mg、Ca、Cl、SO₄、NO₃、陽イオン、陰イオン、合計イオン濃度の何れも、全データを用いたときには標高との相関は低かったが、富士山1データを用いたときには、相関係数0.497～0.720の有意な高い相関が得られた (表4-2、図4-14、図4-15)。

バナジウム濃度と相関する測定項目：上に述べた δ 18O、フッ素、標高の他に高標高で高くなる傾向のある pHとも正の相関関係が認められた（表 4-2、図 4-16）。一方、標高が低くなると濃度が高くなる Na、K、Mg、Ca、Cl、NO₃、SO₄、陽イオン、陰イオン、合計イオン濃度等とは、相関係数 -0.4前後から -0.6前後の有意な負の相関を示した（表 4-2、図 4-17、図 4-18）。但しこの場合、No.40と112のClや合計イオン濃度の高いデータを除いたときにのみ有意な相関となった。

その他の相関：

バナジウムはpHと有意な正の相関を示したが、フッ素とpHの間には、相関図から判断する限り、意味があると考えられる相関は認められなかった（図 4-19）。

δ 18Oは標高との間に全く相関が認められなかったが（前述）、標高との相関が認められている水温（図 4-20、 $r=0.464$ [C'データ]）、Mg（ $r=0.413$ [C'データ]）、Ca（ $r=0.425$ [C'データ]）との間には、高くないものの相関が認められた。

合計イオン濃度は、A～C'の何れのデータを用いても、導電率との間に $r=0.98$ 以上の高い相関を示した（表 4-2）。導電率は欠損値が多いが、この結果は導電率の代わりに合計イオン濃度が使えることを示している。

バナジウムの化学形の推定

富士山周辺の 5 カ所で採水した地下水について、HPLC/ICP-MS法を用いて、バナジウムのクロマトグラフィー上の挙動を検討した。図 4-21には、その一例を示してあるが、これまで分析した水では、全て同様のパターンを示した。富士山地下水中のバナジウムは、標準として用いたメタバナジン酸（VO₃⁻、5 価のバナジウム化合物）と同じ位置に溶出した。検討した試料数は少なく、また、標準として用いたバナジウム化合物も限られているため、断定的なことはいえないが、これまでの結果は富士山地下水中のバナジウムはメタバナジン酸の形で存在する可能性を示唆している。

5) 考察

富士山の地下水（湧水）についてはこれまでに数多くの研究がなされており、データの量が多く優れた論文や報告書も少なくない。従来の研究と本研究の違いの 1 つは、測定項目の組み合わせである。従来の水質に着目した研究では、水に含まれる主要溶解成分（Na、K、Mg、Ca、Cl、SO₄、NO₃、SiO₂、HCO₃等）の分析と水中酸素水素安定同位体比を測定するものがほとんどであった。本研究ではこれらに加え、富士山の水に多く含まれていることが知られている微量元素バナジウムを測定した。さらに、従来の研究ではほとんど測定されていないフッ素についても測定した。また、従来の研究では湧水

を研究対象としたものが多いが、本研究では深井戸から採水した地下水が中心となっている。従来から測定されている項目に加え、バナジウムやフッ素を測定し、110もの多数の試料のデータを解析することにより、本研究ではいくつもの新知見が得られた。以下に、富士山地下水に関するこれまでの調査研究と本研究の研究成果に関して考察する。

富士山地下水中のバナジウムについて

富士山地下水中バナジウムの研究の歴史：富士山の地下水には他の地域より高い濃度のバナジウムが含まれていることは、広く知られるようになってきている。我々の知る限りでは、富士山の水にバナジウムが多く含まれることを最初に報告したのは岡部らの論文である（岡部・永森1968、岡部ら1981）。これらの報告では水に含まれるバナジウムの由来は、富士山の玄武岩であることも報告している。岡部ら（1981）は本栖湖の湖水を調べ、バナジウム濃度は地下水と比べて低いが、バナジウム以外の溶解成分と比べるとバナジウム濃度は深さ方向の変動が大きいことから、「湖水の成因を考察するときに重要な問題を提起していると考えられる」と指摘している。山本（1971）も、富士山地下水の水系を考える上で岡部らの見いだしたバナジウム濃度の水系による違いに注目している。つまり、バナジウムが富士山の地下水の流動等を考えるときにトレーサーとなりうることを指摘している。同様の指摘は、その後富士山地下水のバナジウムを詳細に検討したSakai et al.（1997）でもなされている。

1990年前後から、岡部らとは別の複数の研究グループが富士山の地下水中バナジウムを測定したデータを報告している（塚本ら1990 a、1990 b、1994；酒井ら1994 a、1994b；岩下ら1994；Sakai et al. 1997；Hamada 1998）。Tsukamoto et al.（1990）や酒井ら（1994 a）は、富士山周辺以外にも日本各地や世界各地の水道水を集めてバナジウムを測定し、富士山周辺の地下水中バナジウム濃度がきわだって高いことを明確にしている。彼らの報告では、富士山周辺以外にバナジウム濃度の高い水は得られていないが、富士山周辺以外にも、世界には水中バナジウム濃度が高い地域のあることは報告されている（WHO, 1988）。例えば、Schroeder（1970）によると米国のワイオミング川の水には30～220 $\mu\text{g/L}$ のバナジウムが含まれているという。また、現在海外から輸入されているミネラルウォーターの中にも、数十 $\mu\text{g/L}$ のバナジウムが含まれるものもある。

我々も、1997年に山梨県内の70本の井戸水について、高感度多元素同時分析が可能なICP質量分析計を用いて微量元素を測定し、富士北麓の地下水に他の地域より高い濃度のバナジウムが含まれていることを確認した（図 4-22、瀬子ら1997）。ついでながら、このときの調査では、峡北地方の地下水は他の地域よりルビジウム

(Rb)が多いこと、甲府盆地の地下水にはタンゲステン(W)やウラン(U)が県内の他の地域より多いことなども見いだしている(瀬子ほか1999)。

河川のパナジウム濃度と生き物のパナジウム濃度：富士山地下水の一部は河川水となるため、桂川やその他の河川のパナジウム濃度は、富士山の地下水が混入しない地域のものより高い。本研究では河川のパナジウムは測定していないが、既に富士山地下水が混入する桂川やその他の河川では河川水中のパナジウム濃度が高いことが報告されている(岡部ら1968、Tsukamoto et al. 1990a,b, 1994, 2002、岩下ほか1994、Sakai et al. 1997、興水ほか1998、Hamada 1998)。また、河川に生育・生息する植物や動物(魚)には、パナジウムが他の地域のものより高い濃度で蓄積していることも報告されている(興水ら1998、Hamada 1998)。塚本ら(1990、2002)は、桂川の下流の相模川の水を水道原水としている地域の腎臓透析患者では、血漿中パナジウム濃度がその多の地域の透析患者より高いことを見だし、その原因を追及した結果として富士山地下水にパナジウムが多いことをつきとめている。

富士山地下水と富士五湖のパナジウム：本研究では、富士五湖湖水中パナジウム濃度は測定していないが、これまでの報告を見ると、富士五湖湖水のパナジウム濃度はそれほど高くない(岡部ら1981、塚本1994、Sakai et al. 1997)。岡部ら(1981)の報告によれば、1979年8月に採水した湖水では、「富士五湖表層水中のパナジウム濃度は平均値で本栖湖において $1.1 \mu\text{g/L}$ 、精進湖で $1.4 \mu\text{g/L}$ 、西湖で $3.6 \mu\text{g/L}$ 、河口湖で $1.6 \mu\text{g/L}$ 、山中湖で $2.6 \mu\text{g/L}$ 」ということである。塚本(1994)の報告ではこれよりやや高い値であるが($5\sim 8 \mu\text{g/L}$)、富士山地下水より明らかに低い。富士五湖湖水には、富士山以外に周辺の山地からも水が供給されと考えられるため、湖水のパナジウム濃度が地下水ほど高くないことは当然予想されることではある。数 $10 \mu\text{g/L}$ のパナジウムを含む富士山地下水が富士五湖に流入する割合が高ければ、湖水のパナジウム濃度は高くなると考えられるが、実際の濃度はそれほど高くない。この事実、富士五湖の湖水は富士山由来のものより、周辺の山地由来のものが多いことを示唆しているのかもしれない。

富士山地下水中パナジウムと地質や地形との関係：

富士山溶岩分布範囲の概略を図4-23に示す。富士山の溶岩は、北側ではおおむね富士五湖の手前まで到達し、周辺の山地でせき止められる形になっている。一部が北東側の標高の低い方向に流れ、先端は都留、大月までのびていると言われている。西湖については、南側には紅葉台や足和田山があり、南岸東側には到達していない。

図4-3と図4-23から明らかなように、本研究のデータでパナジウム濃度が高い地域は、富士山の溶岩が到達している地域とほぼ一致していることが明らかとなっ

た。パナジウムは富士山の溶岩に由来すると考えられていることから、当然の結果とも考えられるが、富士山周辺の山地との境界付近では、パナジウム濃度の低い採水地点も認められる。境界地域でパナジウム濃度が低くなる傾向があるのは、周辺の山地由来の地下水が混合していることによる考えられる。

山中湖北側の地下水中パナジウム：山中湖北側の採水地点でも比較的高い濃度のパナジウムが検出された(図4-3)。河口湖、西湖、精進湖の場合、湖北側を含む周辺の採水地点ではパナジウム濃度が低いことは対照的である。山中湖は富士山の東寄りに位置することがこの違いに関係するのかもしれない。つまり、宝永の噴火で典型的に見られるように、富士火山の噴出物は偏西風に流されて富士山東側に多く堆積し、北側では堆積物が少ないことがわかっている(文献：Tsuya 1955, Tsuya et al. 1988)。富士火山地質図によれば、河口湖、西湖、精進湖周辺の山地の地質は「第三紀-中新世-御坂層群-変質火山岩類および堆積岩類」とされているのに対し、山中湖北部の大出山と山頂を除く大平山周辺の地質は「第四紀-新富士火山-新期-火山灰其の他の放出物」とされている。この「火山其の他の放出物」に溶出可能なパナジウムが多く含まれていて、かつ、山中湖北部の採水地点の地下水が、その北側にある大出山や大平山の降水に由来するとするならば、他の湖の場合と違って、山中湖の場合は北側の採水地点でもパナジウム濃度が高くなるであろう。

採水地の標高とパナジウム濃度の関係：富士山周辺山地由来の地下水の混合が少ないと考えられる採水地、つまり富士山の斜面に位置し標高の高い採水地の地下水は、より高い濃度のパナジウムを含むものと予想されたが、採水地の標高とパナジウム濃度の相関はそれほど高くなかった(表4-2、図4-10)。富士山地下水のパナジウム濃度は、降雨が地下水となった後通過してくる地下の地質や構造、溶岩の形状、通過時間や距離、通過速度、水のpH、パナジウム以外の溶解成分、水温等の様々な要因に影響されると考えられるため、標高のみの一要因では説明できないことを示している。

パナジウムとフッ素について：全データを用いてパナジウムとフッ素の相関を見たとき、有意な正の高い相関($r=0.674$)が認められたことから、当初は、地下水にパナジウムとフッ素が多くなることに共通の要因が関与しているものと考えていた。しかし、富士山1のデータのみを用いて両者の相関を見たところ、相関係数0.314の相関しか得られなかった。パナジウム濃度は富士山周辺でほぼ一様に高いのに対し、フッ素濃度は富士山北側に限定されていること、パナジウムはpHと相関するのに対しフッ素はpHと相関しないことなど、他の成分や要因との相関の有無や程度が、パナジウムとフッ素では異なるが多かった。これらのことは、フッ素とパナ

ジウムが地下水に増加する機構はそれぞれ異なることを示唆しているものと思われる。また、全データを用いたときにバナジウムとフッ素の間に高い相関が認められたのは、富士山周辺の山地や道志地方で得られたデータと富士山斜面上の採水地で得られたデータの違いを反映していたものと考えられる。水質に影響する要因を明らかにするには、環境条件の大きく異なる地域同士の比較をすることも重要であるが、より詳細に解析するためには、限定された地域内での比較（例えば富士山 1 データのみを使うこと）も重要であることがわかった。

バナジウム濃度とpHの関係：富士山 1 データを用いた場合には、バナジウム濃度と水のpHの間には、 $r = 0.653$ の有意な正の相関が認められた（表 4-2、図 4-16）。同様の結果は、岡部ら（1988）も報告しており、「この現象は岩石土壌の風化作用が進行するに従って、湧水のpHが上昇するとともにバナジウムの岩石からの溶脱も容易になるものと考えられる。」と考察している。本研究では、pHは採水地の標高と有意な正の相関を示していたので（表 4-2、図 4-13）、高標高の採水地では、岩石の風化が進んでpHとバナジウム濃度が高くなったものと考えられる。一方、富士山斜面上にあって比較的標高の低い富士山 2 データを富士山 1 データに加えてpHとの相関を計算すると（表 4-2、図 4-13）、バナジウムとpHの相関係数は低くなった。富士山1データには周辺の山地からの地下水混入や、水質への人為的な影響も考えられるため、相関係数が小さくなったものと考えられる。

バナジウムと[Cl/Na]の負の相関：一般的に、Naは地下水の地中通過時間の経過と共に地質から溶出して増加するのに対し、Clの溶出は少ないと言われている。Clは人為的な活動に伴って地下水に混入することが多いと考えられているため、[Cl/Na]は人為的な汚染の指標と考えられている。本研究のデータを用いて [Cl/Na] を計算して標高との関係をみたところ（図 4-24）、全データの場合は相関が認められないのに対し、富士山 1 あるいは富士山 1+2 データの場合は、有意な負の相関が認められた。つまり、富士山 1、2 の水は、標高が低くなるほど塩素の相対的な混入が多くなることを示している。富士山斜面の採水地は、標高が低くなるに従って市街地に及んでおり、[Cl/Na] が標高との間に有意な負の相関を示したことは、採水地点の標高が低くなるに従って、人間活動に由来するClの地下水への混入が増えている可能性も示唆している。さらに、[Cl/Na] とバナジウムの間には、負の相関が認められた（図 4-25）。この結果は、人間活動に伴うClの混入が少ない「きれいな」地下水ほど、高い濃度のバナジウムを含んでいることを示している、ということも出来るかもしれない。

通常、Clは生活雑排水、尿尿、海水の混入で地下水中の濃度が増加すると考えられている。富士山低標高の採

水地点のClの増加の原因は今のところ不明であるが、冬場に道路にまく、融雪剤（塩化カルシウム、塩化マグネシウム等）などが混入している可能性もあると考えているが、結論は今後の調査研究を待たなければならない。

水中酸素安定同位体比（ $\delta 18O$ ）について

$\delta 18O$ の意味するもの： $\delta 18O$ は水の由来や水系を推定するために、水文学研究で従来より用いられている。水分子（ H_2O ）の酸素原子の原子量は16とされているが、一部の酸素原子は18の原子量を持っており、自然界の平均値で0.2%とされている。また、その他、原子量17の酸素原子があり、その割合は0.04%とされている。ほとんどの水分子は分子量が18であるが、原子量18の酸素原子を持った水分子は分子量が20となり重たい。この分子量の違いが、自然界では水分子の挙動に僅かながら影響し、その結果として水に含まれる原子量18の酸素原子（ ^{18}O ）の割合が違ってくる。一般的に、高標高由来の降水に含まれる ^{18}O の割合が小さいことがわかっており（図 4-26）、このことから水の由来を推定するトレーサーとして ^{18}O の割合が用いられている。 ^{18}O の割合の多少（ $\delta 18O$ ）は、標準試料（標準海水）に含まれる ^{18}O の割合を基準として計算し、試料中の ^{18}O の割合が基準より多い場合はプラス（+）の値を示し、少ない場合はマイナス（-）の値を示す。また、 ^{18}O の割合が相対的に少ない水を「軽い水」、多い水を「重い水」という。 $\delta 18O$ の値は一般的に高標高で小さくなるほか、海からの距離が遠くなる内陸部では小さくなる、高緯度地方では大きくなることなどが知られているほか、地下の地質と水の反応によって $\delta 18O$ が変化する可能性も考えられている。

$\delta 18O$ から推定される涵養高度：

本研究で得られた値は、-12.20~-7.24%の範囲にあり、多くは-11~-9%の範囲にあった（表 4-1、図 4-2-(2)）。中井ら（1995）の報告では、河口湖周辺の井戸水と湧水の $\delta 18O$ は-12.2~-9.3%の範囲にあり、本報告の値もこれと同程度である。中井らはこの値と次式を用いて河口湖と山中湖周辺の地下水の平均涵養高度を、それぞれ1425~700mならびに875~325mと推定している。

$$A = [(-6.5 - \delta 18OA) / 0.4] \times 100$$

A：標高

-6.5：駿河湾沿岸の標高 0 m 地域の年平均（雨量加重平均） $\delta 18O$

0.4：富士山降水の高度効果（-0.4%/100m）（早稲田・中井、1983）

この値は、富士山（3776m）の標高と比べると比較的低高度の涵養源を持っており、その理由として「降水受入表面積が低高度の裾野部分ほど非常に大きくなっていることからもうなずける」としている。

また、河口湖並びに山中湖周辺の標高は、それぞれ約700mおよび約900mであるので、河口湖や山中湖周辺の井戸の平均涵養標高が700mあるいは325mという推定値は低すぎる。この点について中井ら（1995）は、湖面からの水分蒸発によって同位体分別が起こり、 $\delta 18\text{O}$ 値が高くなった湖水に由来する地下水では、 $\delta 18\text{O}$ が大きくなり、計算で求められる地下水の推定涵養高度も低くなったものと考察している。つまり、湖周辺の地下水は湖水に由来すると考えている。しかし、今回の我々の調査では湖周辺の地下水でもバナジウム濃度は比較的高い場合が多く、湖水のバナジウムが低いことを考えると、周辺の井戸水の由来を湖水に求める考え方と矛盾するように思える。但し、深井戸の場合、湖水がバナジウムを多く含む地層を通過し、かつその速度が非常に遅ければ湖水由来の地下水でもバナジウム濃度が高くなるものと考えられる。いずれにしても、富士五湖に近い井戸の井戸水が湖水に由来しているか否かについては、さらなる調査研究が必要である。

我々が採水した地点の標高は、全データでは404～1238mの範囲にあり、富士山1データでは703～1238m、富士山2データでは679～1100mである。 $\delta 18\text{O}$ と上記の計算式から涵養高度を計算したところ（「推定涵養高度」と呼ぶことにする）、中井らの報告と同様に採水地の標高より推定涵養高度の方が低い値が多く得られた。図4-27には、推定涵養高度と採水地の標高の差を示している。マイナスの値は推定涵養高度の方が採水地の標高より低いことを示し、プラスの値は推定涵養高度の方が高いことを示している。この結果を見ると、プラスの値をとる割合が富士山1（58%）で最も高かった。同様に、推定涵養高度と採水地の標高の差が200mを越える採水地の割合も同様に、富士山1で最も高かった。これらの結果は、富士山1の採水地では他の採水地より、標高差の大きい涵養高度を持っていることを示唆している。採水地と涵養高度の差が大きいほど地下水の地下通過距離が長いものと考えられる。そこで、標高差とバナジウム濃度の関係をみたところ（図4-28）、明確な相関関係は認められなかった。このことは、採水地と涵養高度の差はバナジウム濃度を決める大きな要因ではないことを示唆しているように思われる。

$\delta 18\text{O}$ の地域差：我々のデータでは、 $\delta 18\text{O}$ が相対的に小さいのは富士山北側の地域であることが明確になった。中井ら（1995）も、我々の結果と同様に、山中湖周辺より河口湖周辺の方が $\delta 18\text{O}$ が小さいことを報告している。この結果は、この地域の地下水は比較的標高の高い地域由来である可能性を示唆している。

このような結果に対して、富士山北側の地域は、北東地域や北西地域と比べると、海からの距離が遠いことも考慮する必要がある。富士山周辺に降水をもたらす気団のうち地表近くのもの、富士山の東側、あるいは西側

を巻くようにして太平洋側から来ると言われている（木澤ほか1969）。一般的に降水中の $\delta 18\text{O}$ は、内陸に行くほど小さくなると言われているため、太平洋側から見たとき大気の流れの下流側にある富士山北側では、降水中の $\delta 18\text{O}$ 自体が小さい可能性も考えられる。その結果として、富士山北側の地下水の $\delta 18\text{O}$ が小さくなった可能性も考えられる。実際、測定点は少ないものの、安原ら（1995）は、天水（降水）の酸素安定同位体比が富士山北側の方が小さい傾向があると報告している。

太平洋側からの大気の流れを考えると、御坂山地南側の採水地点は河口湖南側の地域よりさらに下流側に位置するため、降水の $\delta 18\text{O}$ はさらに小さくなり、その結果として地下水の $\delta 18\text{O}$ も小さくなると予想されるが、我々のデータでは、御坂山地側の採水地点の $\delta 18\text{O}$ は必ずしも小さくない。むしろ、河口湖や西湖の南側の採水地より大きな値となっている（図4-3-c）。また、同じ標高の $\delta 18\text{O}$ を比較すると、御坂山地（御坂）側は富士山北側斜面より大きな値となる傾向がある（図4-29）。このデータは、富士山側の地下水は御坂山地側と同じ標高であっても、涵養高度がより高いことを示唆している。 $\delta 18\text{O}$ から地下水の由来を推定するには、降水の $\delta 18\text{O}$ が地域によってどの程度違うかを明らかにしなければ明確な結論を出すことは出来ないが、本研究の結果は、河口湖北側の採水地の地下水は、その他の地域より涵養標高が高いことをある程度示唆しているものと思われる。いずれにしても明確な結論を得るには、さらに詳細な調査研究が必要である。

フッ素濃度について：本調査で、富士山北側の地域の地下水中フッ素濃度が他の地域より高いことが明確になった（図4-2-b）。富士山地下水は水道原水として用いられることが多いため、地域の保健所で以前から、水道原水としての富士山地下水中フッ素濃度に注目してきたが、富士北麓地下水中フッ素濃度を地図上に表現して地域差を明確にした調査研究は見あたらず、本調査が初であると思われる。水道水中フッ素の基準値は「0.8mg/L以下」であるので、基準値の25%値（0.2mg/L）を超えるものは保健所では要監視項目として注意が払われている。本調査で基準値を超えた地下水はなかったが、基準値に近いものも一部認められた。フッ素は、1mg/Lを超えると虫歯予防に効果が出始め、2mg/Lを超えると斑状歯が起こり始めるといわれている。

富士山地下水中バナジウムの化学形

通常河川水等に含まれるバナジウムは5価のバナジウム化合物であると言われている。しかし、地中深くは還元的雰囲気になっていることもあり、そのような場合硝酸が還元されて亜硝酸やアンモニアになることも知られている。バナジウムの場合も、5価であったものが4価に還元される可能性も想定をして測定を行った。採水後

に酸化される可能性も想定して、我々の研究所の地下水を分析するときは、ポンプでくみ上げられた直後の塩素を添加していないものを試料とした。その結果、測定した全ての地下水試料でバナジウムは5価の形で存在しているものと推定された(図4-21)。今回の試料の場合、亜硝酸が検出されたのは110試料中1試料のみであったため、採水した地下水が還元的な状態にあった可能性は少ないと考えられる。このことは、ほとんどのバナジウムが5価で存在したと矛盾しない。

6) おわりに

本研究では、従来の水文学的測定項目に加えて、微量元素バナジウムやフッ素を多数の試料について測定することにより、いくつもの新しい知見が得られた。水文学的調査項目として重要な $\delta 18\text{O}$ とバナジウムの間に負の相関を見いだしたのは、本研究がはじめてである。水文学では、 $\delta 18\text{O}$ と水中水素安定同位体比の両方を測定することにより、さらに詳細に水の由来等を推定することが出来る。今後は、水中水素安定同位体比など質の異なる情報を与えてくれる測定項目に加え、より広範囲に試料を集めて解析することにより、富士山周辺の地下水の水質を決める要因や地下水の由来がより明らかになっていくものと考えている。また、本研究で手がけることの出来なかった地下水の量的な研究や、地質や地下構造との関連についてもさらに詳しい調査研究が望まれる。

富士山の水には、他の地域より高い濃度でバナジウムが含まれていることは本研究でも従来の研究と同様に明確になった。バナジウム化合物は、大量に与えた場合、糖尿病動物あるいは糖尿病患者の血糖値を下げる効果を持っている。そのことから、富士山の地下水の糖尿病治療効果に関心が集まっているが、果たして効果があるのであろうか。現在我々は、この点に関しても研究を行っているが、現在までの研究成果は、2002年11月に行われた山梨県環境科学研究所国際シンポジウム2002「生体微量元素」で発表し、報告書としてとりまとめた。詳しくは、そちらを参照して頂きたい。

山梨県にとって地下水は重要な資源であり、その健康影響に県民の関心も集まっている。富士山の麓にある研究所として、今後も地下水そのものの調査研究、ならびにその健康影響について研究を続けていく予定である。

謝 辞

本研究は、以下の方々のご協力の下に行われました。この場を借りて、深く感謝申し上げます。吉田保健所、富士吉田市、富士河口湖町(旧河口湖町、足和田村、勝山村)、山中湖村、上九一色村、道志村、西桂町、忍野村の水道担当の方々、(株)山梨環境科学検査センター(旧山梨県薬剤師会環境衛生検査センター)の方々には、試料の採取について便宜を図って頂きました。甲府地方気

象台坂巻昇氏には、 $\delta 18\text{O}$ の地域差に関して貴重なコメントを頂きました。

文 献

- 相川嘉正、加藤尚之、今橋正征、高松信樹、塚本邦子、下平京子、中村幹夫、秋山悌四郎(1983)
富士吉田市周辺の鉱泉及び湧水の化学成分. 東邦大学教養紀要 15, 17-23. 丁 文軍、長谷川達也、保坂仁美、高橋幸治、瀬子義幸(2000) 富士山の地下水に含まれるバナジウムの糖尿病動物の対する影響. Biomed. Res. Trace Elements 11, 419-420.
Ding, W., Hasegawa, T., Hosaka, H., Peng, D., Takahashi, K. and Seko, Y (2001) Long-term effect of vanadate administration in drinking water on glucose homeostasis in diabetic KK mouse. J. Trace Elements Med. Biol. 80, 159-174.
Ding, W., Hasegawa, T., Hosaka, H., Peng, D., Enomoto, S. and Seko, Y (2001) Effect of long-term administration of vanadium in drinking water on three generation of KK mice with non-insulin-dependent diabetes mellitus (NIDDM). The third international symposium on chemistry and biological chemistry of vanadium, Abstracts, pp.52.
Hamada, T (1998) High vanadium content in Mt. Fuji groundwater and its relevance to the ancient biosphere. in Vanadium in the Environment (Part 1), J. O. Nriagu ed., John Wiley & Sons, Inc., pp.97-123.
濱野一彦(1976) 富士北麓の地下水. 山梨大学教育学部研究報告 27, 59-66.
長谷川達也、保坂仁美、高橋幸治、瀬子義幸(1999) HPLC/ICP-MSシステムによる生体内バナジウムの測定法の検討. Biomed. Res. Trace Elements 10, 273-274.
長谷川達也、瀬子義幸(2000) 生体および環境試料中のバナジウムの形態分析. Biomed. Res. Trace Elements 11, 441-442.
長谷川達也、丁 文軍、高橋幸治、保坂仁美、彭 端、瀬子義幸(2001) 富士山の地下水中バナジウム濃度の生体影響: マウスを用いた基礎検討. 35回 日本水環境学会年会講演集, pp.564.
Hasegawa, T., Hosaka, H., Ding, W. and Seko, Y. (2001) Involvement of plasma glutathione in prevention of ammonium metavanadate induced hepatic toxicity. The third international symposium on chemistry and biological chemistry of vanadium (Abstracts), pp.30.
Heyliger, E.C., Tahiliani, G.A. and McNeill, H.J. (1985) Effect of vanadate on elevated blood glucose and depressed cardiac performance of diabetic rats. Science 227, 1474-1477.
檜山哲哉、佐藤新、高山茂美(1995) 富士山周辺の降水

- の水質. 平成4・5・6年度文部省科学研究費総合(A)研究成果報告書, pp.65-73.
- 池田喜代治(1995) 富士山南麓地域における地下水の水文学的研究—地下水塩水化前後における水文と水質の挙動—. *ハイドロロジ* 25, 57-70.
- 井野盛夫(1987) 富士山東南西山麓の湧水. *ハイドロロジ* 17, 63-74.
- 岩下正人、安藤 寛、影山英紀、島村 匡(1994) 誘導結合プラズマ質量分析計による相模川水系の水質調査. *分析化学* 43, 925-932.
- 桂 敬(1951) 本邦火山の地球化学的研究(その33) 富士火山帯の火山岩のバナジウム含有量. *日本化学雑誌* 77, 358-363.
- 木澤 綏、飯田睦治郎、松山資郎、宮脇 昭(1969). 富士山の自然の謎を解く、NHKブックス(日本放送出版協会).
- 小林 浩、深澤喜延(1992) ゴルフ場周辺に位置する水道水源の水質. *山梨県衛生公害研究所年報* 36, 10-14.
- 小林 浩、興水達司(1999) 富士山麓及び甲府盆地周辺に位置する地下水及び湧水中のリン起源. *地下水学会誌* 41, 177-191.
- 小林 浩、大沼正行、興水達司(1999) 山梨県内の地下水及び湧水中のリン及びバナジウム濃度. *山梨県衛生公害研究所年報* 43, 5-8.
- 興水達司、酒井陽一、戸村健児、大下一政(1998) 地球環境変化の健康への影響—地球化学より—. *地球環境* 2, 215-220.
- 河野忠(1995) 富士五湖の水質について. 平成4・5・6年度文部省科学研究費総合(A)研究成果報告書, 85-106.
- 蔵田延男(1966) 富士山域水理地質図説明書 ?富士山の地下水・既往の調査性化の水理地質学的総括?. *日本水理地質図14(地質調査所)*, 1-31.
- 丸井敦尚、安原正也、河野忠、佐藤芳徳、垣内正久、檜山哲哉、鈴木裕一、北川光雄(1995) 富士山北麓西湖の水質と湖底湧水. *ハイドロロジ* 25, 1-12.
- Meyerovitch, J., Farfel, Z., Sack, J. and Shechter, Y. (1987) Oral administration of vanadate normalizes blood glucose levels in streptozotocin-treated rats. *J. Biol. Chem.* 262, 6658-6662.
- 中井信之、菊田直子、土隆一(1995) 富士山および周辺の地下水・河川水の安定同位体蘇生とその水文学への応用. *ハイドロロジ* 25, 71-81.
- 落合敏郎(1995) 東富士の地下水解析. リーベル出版.
- 岡部史朗、森永豊子(1968) 駿河湾に流入する河川とその河口域におけるバナジウムおよびモリブデン. *日本化学雑誌* 89, 284-287.
- 岡部史朗、柴崎道広、及川智文、川口賀弘、日本木均(1981) 富士山周辺の湧水および湖沼水の地球化学的研究(1). *東海大学紀要 海洋学部* 14, 81-105.
- 酒井陽一、大下一政、戸村健児、興水達司(1994) 前分離濃縮/中性子放射化分析による水試料中のバナジウムの定量. *分析化学* 43, 919-924.
- Sakai, Y., Ohshima, K., Koshimizu, S. and Tomura, K. (1997) Geochemical study of trace vanadium in water by preconcentrational neutral activation analysis. *J. Radioanal. Nucl. Chemistry* 216, 203-212.
- 佐藤芳徳、河野忠、北川光雄(1995) 富士山周辺の湧水の水質. 平成4・5・6年度文部省科学研究費総合(A)研究成果報告書, 23-32.
- 佐藤 新、鈴木裕一(1996) 富士山の湧水および地下水の水温について. *ハイドロロジ* 26, 23-34.
- 佐藤芳徳、安池慎治、河野忠、北川光雄、鈴木裕一、高山茂美(1997) 富士山周辺の湧水及び地下水の水質について. *ハイドロロジ* 27, 17-25.
- Schroeder, H.A. (1970) Vanadium. Washington DC, American Petroleum Institute (Air Quality Monograph No. 70-13).
- Schwarz, K. and Milne, D.B. (1971) Growth effects of vanadium in the rat. *Science* 174, 426-428.
- 瀬子義幸、長谷川達也(1998) 山梨県の水環境(特に地下水)の化学的特性の把握. 平成9年度山梨県環境科学研究所年報 1, 11-12.
- 瀬子義幸、長谷川達也、保坂仁美、宮崎忠国、杉田幹夫(1999) 山梨県内の地下水中微量元素濃度の地域差. *Biomed. Res. Trace Elements* 10, 271-272.
- 瀬子義幸、丁 文軍、長谷川達也(2000) 富士山の水と糖尿病. *山梨県環境科学研究所ニューズレター* 4.
- Seko, Y., Hosaka-Kobayashi, H., Hasegawa, T. and Nohara, S. (2003) Vanadium, fluoride and stable isotope ratio of oxygen in ground water from Mt. Fuji. *Proceedings of the International Symposium on Bio-Trace Elements* 2003, 125-127.
- 社団法人資源協会(1997) 富士山麓水資源調査会報告書(水資源部会).
- 高山茂美(1995) 富士山の地下水流動系の研究. 平成4・5・6年度文部省科学研究費総合(A)研究成果報告書.
- 塚本雄介(1990) 慢性腎不全透析患者における高V血漿と神奈川県における水道水中の高V濃度の原因. *Biomed. Res. Trace Elements* 1, 213-214.
- Tsukamoto, Y., Saka, S., Jumano, K., Iwanami, S., Ishida, O. and Marumo, F. (1990) Abnormal Accumulation of vanadium in patients on chronic hemodialysis therapy. *Nephron* 56, 368-373.
- 塚本雄介、岩波 茂、石田 吏、長谷川潤平、丸茂文昭(1990) 慢性腎臓透析患者における高V血漿と神奈川

- 県における水道水中の高V濃度の原因. Biomed. Res. Trace Elements 1, 213-214.
- 塚本雄介 (1994) 腎臓病と微量元素異常. Biomed. Res. Trace Elements 5, 61-68.
- 塚本雄介 (2002) 内科医からみた富士山の地下水 ―微量元素と健康― (富士山の地下水と健康). 山梨県環境科学研究所カンファレンスレポート 1, 30-31.
- 塚本雄介、岩波 茂、石田 吏、長谷川潤平、丸茂文昭 (1990 b) 慢性腎不全透析患者における高V血症と神奈川県における水道水中の高V濃度の原因. Biomed. Tes. Trace Elem 1, 213-214.
- Tsuya, H (1955) Geological and petrological studies of Volcano Fuji, V. -On the 1707 eruption of Volcano Fuji. Bull. Earthq. Res. Inst. 33, 341-383.
- Tsuya, H, Machida, H. and Shimozuru, D (1988) Explanatory note for geologic map of Mt. Fuji. 特殊地質図12 (富士火山地質図)、地質調査所.
- 堤充紀、高橋照美、清水源治、吉澤一家、小林規矩夫 (1990) 扶助北麓および八ヶ岳南麓湧水中の N・P 起源について―甲府盆地地下水との比較検討―. 山梨県衛生公害研究所年報 34, 62-65.
- Wang, China-Ching and Jiang, Shiuh-Jen (1997) Determination of vanadium species in water samples by liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry. Analytica Chimica Acta 357, 211-218.
- WHO (1988) Environmental Health Criteria 81: Vanadium.
- 山本莊毅 (1971) 富士山とその周辺の陸水. 富士山総合学術調査報告書 (富士急行株式会社発行), 150-209.
- 山本莊毅、高村弘毅、樋口政男 (1981) 富士東麓の湧水について. ハイドロロジー 11, 47-52.
- 山本莊毅 (1981) 日本の地下水―山梨県富士山麓の地下水. 水 23, 34-36.
- 山本莊毅 (1981) 日本の地下水―山梨県富士山麓の地下水. 水 23, 57-60.
- 山本莊毅 (1981) 日本の地下水―山梨県富士山麓の地下水. 水 23, 32-34.
- 山本莊毅 (1992) 富士山麓は豊かなわき水の宝庫である. 富士山 -その自然のすべて―、同文書院、諏訪彰編集, 197-217.
- 安原正也、風見康平 (1995) 富士山における天水の安定同位体組成と地下水の涵養高度. 平成 4・5・6 年度文部省科学研究費総合 (A) 研究成果報告書, 42-55.
- 安池慎治、佐藤芳徳、北川光雄、鈴木裕一 (1995) 多変量解析から見た富士山周辺の湧水の水質について. 平成 4・5・6 年度文部省科学研究費総合 (A) 研究成果報告書, 33-41.

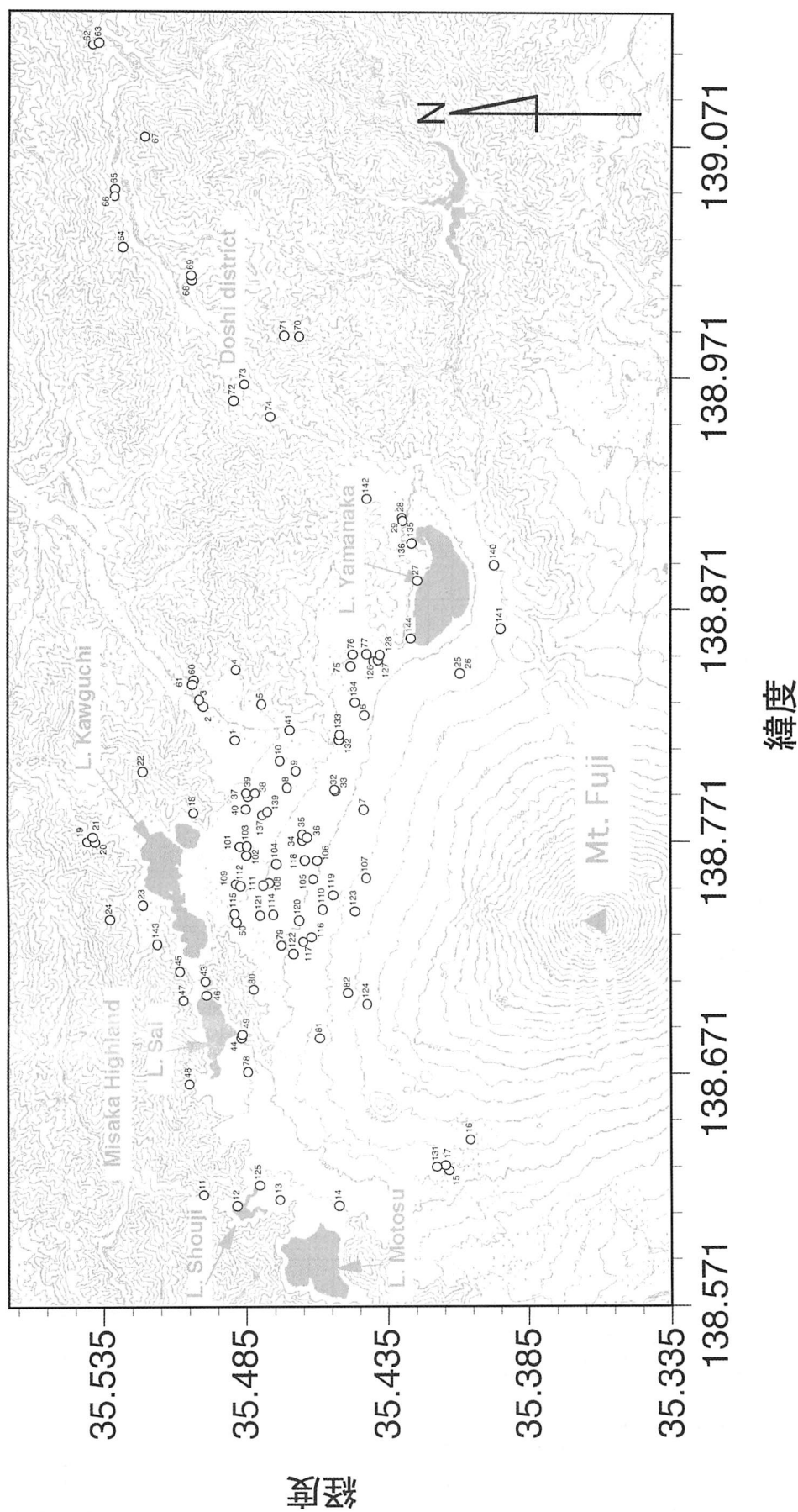


図 4 - 1 採水地点と試料番号

表 4 - 1 水質測定結果一覧 (1)

行番 号	試料 番号	採水地 区分	水源 種類	標高 m	水温 ℃	V μg/L	δ ¹⁸ O ‰	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	F mg/L	Cl mg/L	NO ₃ mg/L	SO ₄ mg/L	PO ₄ mg/L	SiO ₂ mg/L	溶解成分 濃度合計 *	導電率 μS/cm	pH	陽イオン濃度		陰イオン濃度	合計イオン濃度**
																					emq/L	emq/L		
1	1	富士山1	深井戸	749	11.2	64.4	-11.13	8.8	1.4	4.8	11.7	0.25	3.4	3.2	8.1	0.0	8.5	50.3	133	7.84	1.397	0.329	1.726	
2	2	富士山1	深井戸	716	12.8	31.2	-9.75	11.1	1.7	7.2	17.2	0.08	7.7	7.1	17.8	0.0	10.7	80.6	199	7.39	1.977	0.706	2.683	
3	3	富士山1	深井戸	703	12.8	39.0	-9.94	10.2	1.8	6.6	15.5	0.21	8.6	9.3	18.4	0.0	12.0	82.6	180	7.58	1.806	0.786	2.592	
4	6	富士山1	湧水	970	12.0	58.6	-9.54	6.7	1.4	4.7	12.2	0.08	2.2	2.9	3.5	0.0	11.3	45.1	120	7.78	1.322	0.186	1.508	
5	7	富士山1	湧水	1040	9.3	56.4	-11.03	4.6	0.5	2.1	6.5	0.14	0.5	0.5	1.6	0.0	5.4	21.9	63	8.51	0.710	0.063	0.772	
6	8	富士山1	深井戸	857	10.6	75.5	-10.82	6.0	1.2	3.7	9.7	0.24	1.1	2.0	2.2	0.0	6.6	32.8	98	7.87	1.080	0.122	1.201	
7	9	富士山1	深井戸	850	10.3	58.2	-11.04	5.2	0.9	3.1	8.3	0.27	0.8	1.3	2.1	0.0	5.5	27.5	80	8.00	0.918	0.102	1.020	
8	10	富士山1	深井戸	818	10.6	72.7	-11.39	6.7	0.8	3.4	8.2	0.37	1.0	0.9	3.5	0.0	6.1	31.0	86	8.18	1.001	0.135	1.136	
9	15	富士山1	深井戸	1054	10.0	50.9	-10.10	5.0	0.5	2.1	6.1	0.01	1.1	1.6	5.9	0.0	8.5	30.9	78	8.08	0.707	0.180	0.887	
10	16	富士山1	深井戸	1144	9.0	83.0	-10.93	6.1	0.5	2.7	6.5	0.09	0.7	0.5	4.8	0.3	7.4	29.7	74	8.27	0.824	0.136	0.960	
11	17	富士山1	深井戸	1071	10.0	57.8	-10.16	6.7	1.1	2.5	7.8	0.10	1.1	1.5	6.1	0.0	6.1	33.0	80	8.01	0.914	0.187	1.102	
12	25	富士山1	深井戸	1040	13.0	69.1	-9.99	4.9	1.0	3.1	7.5	0.08	0.8	1.1	1.3	0.0	4.8	24.7	74	8.03	0.868	0.071	0.939	
13	26	富士山1	深井戸	1040	13.0	59.1	-10.40	4.9	0.8	2.3	6.4	0.09	0.8	0.9	1.8	0.0	4.3	22.4	65	8.43	0.742	0.079	0.821	
14	32	富士山1	深井戸	963	10.0	58.0	-8.19	4.8	0.7	2.8	7.5	0.19	0.6	1.1	1.4	0.0	12.1	31.3	75	8.02	0.831	0.074	0.905	
15	33	富士山1	深井戸	964	10.2	56.6	-11.09	4.7	0.8	2.8	7.5	0.20	0.5	0.9	1.2	0.0	6.0	24.7	73	7.95	0.829	0.064	0.893	
16	34	富士山1	深井戸	934	10.6	60.9	-10.62	5.9	1.2	4.0	10.2	0.21	0.8	2.1	2.0	0.0	6.1	32.5	106	7.74	1.125	0.109	1.234	
17	35	富士山1	深井戸	927	10.2	63.5	-10.71	5.8	1.2	3.5	9.7	0.19	0.6	1.6	1.5	0.0	6.9	31.1	96	7.80	1.055	0.084	1.139	
18	36	富士山1	深井戸	943	10.3	71.4	-10.93	6.0	1.1	3.3	8.7	0.22	0.5	1.2	1.2	0.0	4.0	26.3	87	7.84	0.995	0.070	1.065	
19	37	富士山1	深井戸	812	13.5	19.2	-9.24	10.9	1.5	7.7	17.9	0.09	8.3	6.0	22.0	0.0	7.7	82.1	200	7.43	2.039	0.793	2.832	
20	38	富士山1	深井戸	813	11.7	34.7	-9.73	9.7	1.4	6.2	16.3	0.09	6.2	7.2	16.7	0.0	6.0	69.8	175	7.47	1.781	0.643	2.424	
21	39	富士山1	深井戸	806	12.8	23.0	-9.39	10.4	1.3	7.1	17.0	0.18	8.9	6.7	26.3	0.0	9.7	87.6	192	7.38	1.918	0.916	2.833	
22	40	富士山1	深井戸	832	12.9	77.5	-11.07	22.1	1.7	16.0	20.8	0.72	23.8	2.9	86.5	0.2	9.9	184.7	333	7.76	3.359	2.557	5.916	
23	50	富士山1	深井戸	903	13.5	85.1	-11.05	10.3	1.2	4.7	12.7	0.24	4.9	4.7	15.3	0.0	8.4	62.5	143	7.91	1.499	0.545	2.044	
24	75	富士山1	深井戸	933	13.0	51.9	-9.08	6.0	1.3	4.3	12.3	0.14	2.2	3.4	3.4	0.3	7.0	40.3			1.261	0.198	1.460	
25	76	富士山1	深井戸	943	13.0	20.5	-9.84	12.9	2.2	4.8	13.4	0.27	5.2	0.4	2.3	0.9	8.4	50.8			1.681	0.225	1.905	
26	77	富士山1	深井戸	950	13.0	55.5	-9.34	7.0	1.6	5.0	13.4	0.17	2.3	2.0	5.2	0.6	4.6	42.0			1.425	0.221	1.646	
27	79	富士山1	深井戸	985	9.5	64.4	-10.46	5.8	1.0	3.0	9.2	0.23	1.9	6.5	7.1	0.0	4.2	39.0	96	8.01	0.984	0.318	1.302	
28	81	富士山1	深井戸	1076	9.2	77.9	-11.13	8.8	1.1	2.9	8.8	0.33	1.4	1.1	10.9	0.6	6.7	42.7	105	7.79	1.088	0.308	1.396	
29	82	富士山1	深井戸	1164	9.3	106.0	-10.10	5.0	0.6	1.6	5.5	0.57	0.5	0.6	2.6	0.5	3.2	20.8	59	8.34	0.639	0.113	0.752	
30	101	富士山1	深井戸	870	11.0	47.8	-10.49	7.6	1.3	4.2	11.7	0.20	4.9	10.0	13.5	0.0	13.4	66.8			1.293	0.591	1.884	
31	102	富士山1	深井戸	872	11.0	54.0	-10.50	5.8	1.4	2.7	7.2	0.23	1.9	3.0	5.6	0.4	7.3	35.6			0.869	0.235	1.104	
32	103	富士山1	深井戸	860	11.0	50.1	-10.52	6.7	1.1	3.6	9.1	0.24	4.9	8.7	15.5	0.3	13.9	64.1			1.070	0.617	1.686	
33	104	富士山1	深井戸	903	11.0	65.1	-10.36	5.3	1.4	2.6	7.4	0.26	2.3	4.2	5.1	0.6	9.6	38.8			0.849	0.259	1.108	
34	105	富士山1	深井戸	987	11.0	69.3	-10.30	5.4	1.3	2.8	7.2	0.24	1.5	2.3	3.8	0.6	12.4	37.6			0.858	0.177	1.035	
35	106	富士山1	深井戸	978	11.0	55.5	-11.08	4.8	0.8	1.6	4.8	0.38	0.5	0.6	1.1	0.5	10.6	25.8			0.600	0.072	0.672	
36	107	富士山1	深井戸	1111	11.0	42.4	-10.38	5.8	1.0	2.3	6.9	0.22	2.6	1.2	2.2	0.3	9.2	31.8			0.811	0.153	0.964	
37	108	富士山1	深井戸	901	11.0	87.6	-11.09	9.3	1.7	3.0	7.3	0.42	1.4	1.0	6.8	1.1	6.7	38.8			1.059	0.231	1.290	
38	109	富士山1	深井戸	881	11.0	55.9	-10.76	6.9	1.1	3.2	7.3	0.36	2.6	2.4	11.6	0.4	12.8	48.7			0.956	0.377	1.332	
39	110	富士山1	深井戸	1043	11.0	64.7	-10.36	5.1	1.3	2.5	7.1	0.28	1.1	6.4	2.6	0.7	5.0	32.1			0.815	0.211	1.025	
40	111	富士山1	深井戸	897	11.0	66.0	-11.04	10.3	2.0	3.5	8.6	0.41	2.3	1.2	11.0	1.2	5.3	45.9			1.216	0.347	1.563	
41	112	富士山1	深井戸	884	11.0	106.0	-12.20	21.7	1.5	7.8	14.1	0.77	13.7	0.6	56.3	0.3	11.2	128.1			2.327	1.611	3.938	
42	114	富士山1	深井戸	939	11.0	59.3	-10.37	5.2	1.1	2.5	7.5	0.27	1.7	3.0	4.9	0.6	3.6	30.4			0.834	0.219	1.053	

表4-1 水質測定結果一覧(2)

行番	試料	採水地	水源	標高	水温	V	$\delta^{18}\text{O}$	Na	K	Mg	Ca	F	Cl	NO_3	SO_4	PO_4	SiO_2	溶解成分 濃度合計*	導電率	pH	陽イオン 濃度	陰イオン 濃度	合計イオン 濃度**
号	番号	区分	種類	m	°C	$\mu\text{g/L}$	‰	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	$\mu\text{S/cm}$		emq/L	emq/L	emq/L
43	115	富士山1	深井戸	895	11.0	61.6	-11.43	10.4	1.2	3.9	10.3	0.60	5.8	7.0	22.5	0.6	4.5	66.8			1.318	0.783	2.100
44	116	富士山1	深井戸	1043	11.0	51.2	-10.71	5.7	1.0	2.8	6.9	0.48	2.9	3.8	13.4	0.6	13.4	51.0			0.848	0.454	1.301
45	117	富士山1	深井戸	1032	11.0	52.6	-10.70	5.7	0.9	2.9	7.0	0.19	1.6	1.6	6.3	0.2	4.5	30.9			0.859	0.214	1.073
46	118	富士山1	深井戸	955	11.0	49.0	-10.64	4.8	1.2	2.4	7.0	0.20	2.2	2.1	2.3	0.0	4.8	27.1			0.786	0.154	0.940
47	119	富士山1	深井戸	1076	10.2	59.8	-10.47	5.0	1.3	2.8	8.0	0.16	1.3	2.7	2.4	0.0	5.5	29.2	82	7.96	0.880	0.139	1.019
48	120	富士山1	深井戸	1005	9.6	76.5	-10.70	5.7	1.2	2.3	6.5	0.19	1.1	1.4	3.6	0.3	10.1	32.5	80	7.89	0.792	0.142	0.934
49	121	富士山1	深井戸	928	10.3	67.8	-10.58	6.4	1.2	3.0	8.4	0.16	1.4	1.9	3.8	0.3	12.5	39.1	94	7.88	0.975	0.161	1.136
50	122	富士山1	深井戸	1008	10.8	59.9	-10.51	5.7	0.9	2.5	8.6	0.11	1.1	2.6	3.6	0.0	2.7	27.9	83	8.08	0.906	0.154	1.059
51	123	富士山1	深井戸	1125	10.2	68.6	-11.11	5.2	0.5	2.0	6.3	0.14	0.8	0.8	4.2	0.0	7.7	27.7	69	8.10	0.718	0.130	0.848
52	124	富士山1	深井戸	1238	9.6	77.0	-11.06	5.3	0.8	1.9	6.5	0.20	0.6	1.0	1.9	0.0	4.5	22.8	65	7.99	0.731	0.083	0.815
53	126	富士山1	深井戸	959	12.0	54.4	-9.14	5.2	1.3	4.0	10.9	0.08	2.2	3.9	3.6	0.0	4.7	35.9	118	7.81	1.132	0.204	1.336
54	127	富士山1	深井戸	949	12.0	71.8	-9.89	5.2	1.1	2.8	7.3	0.11	1.3	1.6	2.2	0.0	8.6	30.3	84	8.12	0.849	0.114	0.963
55	128	富士山1	深井戸	965	12.0	74.5	-9.93	4.8	1.0	3.2	8.0	0.09	1.1	1.4	1.9	0.1	8.2	29.9	81	8.12	0.897	0.099	0.996
56	131	富士山1	深井戸	1067	11.3	57.2	-9.49	5.3	0.9	2.3	6.2	0.05	1.3	3.2	7.1	0.0	9.8	36.2	74	7.91	0.752	0.239	0.991
57	134	富士山1	湧水	960	11.0	56.5	-9.47	5.8	1.4	5.5	11.7	0.07	2.0	3.2	2.7	0.0	10.9	43.3	115	7.71	1.324	0.168	1.492
58	137	富士山1	深井戸	846	9.0	56.9	-10.60	6.8	1.4	4.1	10.6	0.17	3.1	3.7	4.4	0.0	11.6	45.9			1.198	0.248	1.445
59	139	富士山1	深井戸	852	9.0	63.1	-10.60	6.0	1.3	3.9	9.1	0.20	3.0	1.5	2.0	0.2	12.6	39.9			1.069	0.163	1.232
60	4	富士山2	深井戸	788	12.8	9.9	-9.87	3.9	0.5	3.9	11.5	0.03	1.5	2.7	4.7	0.0	5.7	34.5	97	7.72	1.077	0.185	1.262
61	5	富士山2	浅井戸	807	12.4	26.9	-9.83	5.3	0.7	4.7	16.4	0.10	1.8	3.5	7.6	0.0	11.2	51.3	132	7.72	1.453	0.271	1.724
62	13	富士山2	深井戸	927	11.0	8.8	-8.38	6.5	0.6	2.5	9.0	0.05	3.2	1.4	6.7	0.0	3.7	33.6	90	7.53	0.953	0.255	1.207
63	14	富士山2	深井戸	975	11.5	23.6	-8.99	5.9	0.6	2.4	7.3	0.03	5.7	3.8	9.4	0.0	8.6	43.7	96	7.74	0.833	0.419	1.253
64	18	富士山2	深井戸	937	12.0	24.0	-10.02	5.5	0.0	5.2	17.2	0.08	2.3	4.1	10.4	0.0	6.9	51.7	144	7.98	1.525	0.351	1.876
65	41	富士山2	深井戸	822	7.0	35.0	-9.74	7.8	1.2	5.4	18.3	0.15	3.5	3.8	31.3	0.2	16.3	88.0	168	7.63	1.727	0.821	2.548
66	60	富士山2	浅井戸	680	11.5	70.3	-10.03	7.8	1.4	4.7	12.2	0.15	3.7	4.2	7.8	0.0	13.7	55.7	130	7.84	1.370	0.342	1.712
67	61	富士山2	湧水	679	11.5	69.1	-10.02	7.8	1.5	4.7	12.6	0.14	3.6	4.1	7.4	0.0	15.1	57.0	130	7.70	1.393	0.329	1.722
68	80	富士山2	湧水	1042	9.4	5.8	-10.00	3.2	0.2	1.9	11.6	0.07	2.1	1.7	7.3	0.0	8.0	36.1	86	7.73	0.879	0.242	1.121
69	125	富士山2	深井戸	915	11.8	11.4	-9.06	4.5	0.4	3.0	9.9	0.04	4.8	3.8	7.4	0.0	4.0	37.9	107	7.82	0.947	0.353	1.299
70	132	富士山2	深井戸	913	13.0	12.0	-10.06	9.0	0.7	3.6	13.3	0.16	3.6	1.9	18.3	0.0	9.6	60.2	144	7.62	1.369	0.521	1.890
71	133	富士山2	深井戸	924	13.0	11.9	-10.07	9.8	0.7	4.2	15.4	0.15	3.4	1.6	15.8	0.0	6.5	57.6	145	7.59	1.558	0.458	2.016
72	140	富士山2	深井戸	1090	13.0	53.8	-9.06	4.7	1.2	4.2	8.7	0.07	1.1	2.3	2.5	0.2	12.0	37.1			1.015	0.126	1.141
73	141	富士山2	深井戸	1100	8.0	39.6	-9.00	4.6	1.4	3.7	10.2	0.07	1.2	2.8	2.9	0.0	4.1	31.0	89	8.03	1.049	0.142	1.191
74	144	富士山2	深井戸	1030	8.3	28.0	-7.24					0.06	2.2	0.8	2.6	0.0	4.4		124	8.29		0.132	
75	27	山中湖北	深井戸	1010	13.0	46.5	-9.40	4.5	1.0	4.4	11.2	0.05	1.4	2.7	2.0	0.0	5.6	32.9	104	7.83	1.142	0.127	1.269
76	28	山中湖北	深井戸	1000	13.0	53.8	-9.29	4.8	1.1	3.7	11.0	0.04	1.3	2.1	2.5	0.0	3.1	29.7	99	7.80	1.090	0.125	1.215
77	29	山中湖北	深井戸	1000	13.0	40.3	-9.32	4.2	1.1	4.2	11.4	0.08	1.7	2.6	2.6	0.0	5.3	33.2	102	7.71	1.125	0.148	1.273
78	135	山中湖北	深井戸	990	13.0	43.6	-9.40	4.4	1.3	4.6	11.0	0.05	1.0	1.2	2.4	0.0	12.7	38.7	109	7.77	1.152	0.100	1.252
79	136	山中湖北	深井戸	990	13.0	43.4	-9.40	4.6	1.4	4.6	12.5	0.05	1.0	1.2	1.8	0.0	10.3	37.5	110	7.80	1.238	0.088	1.325
80	11	山地	伏流水	1160	10.0	8.9	-9.64	3.2	0.0	0.9	10.4	0.01	1.7	1.4	6.0	0.0	2.2	25.8	72	8.00	0.732	0.196	0.928
81	12	山地	深井戸	924	11.0	8.6	-9.42	3.0	0.0	2.0	9.3	0.03	2.7	5.3	4.1	0.0	7.0	33.4	79	7.76	0.759	0.249	1.008
82	19	山地	湧水	1101	13.0	0.8	-10.57	7.8	0.9	6.5	77.6	0.05	1.8	0.3	229.4	0.0	5.9	330.2	454	7.37	4.767	4.832	9.600
83	20	山地	深井戸	1035	11.0	2.2	-10.31	4.2	0.0	2.8	15.6	0.02	1.9	1.3	19.2	0.0	3.7	48.7	118	7.53	1.191	0.475	1.666
84	21	山地	深井戸	1067	12.0	5.6	-10.25	5.5	0.0	1.2	9.0	0.07	2.3	2.3	9.1	0.0	7.1	36.6	95	7.76	0.787	0.295	1.082

表 4 - 1 水質測定結果一覧 (3)

行番 号	試料 番号	採水地 区分	水源 種類	標高 m	水温 ℃	V μg/L	δ ¹⁸ O ‰	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	F mg/L	Cl mg/L	NO ₃ mg/L	SO ₄ mg/L	PO ₄ mg/L	SiO ₂ mg/L	溶解成分 濃度合計 * mg/L	導電率 μS/cm	pH	陽イオン濃度 emq/L	陰イオン濃度 emq/L	合計イオン濃度** emq/L
85	22	山地	湧水	1228	11.0	8.3	-10.41	3.5	0.0	2.0	12.3	0.02	2.3	1.3	5.6	0.0	4.2	31.2	89	7.54	0.930	0.203	1.133
86	23	山地	深井戸	845	12.0	2.0	-10.24	5.2	0.5	3.5	13.2	0.05	4.1	14.8	8.9	0.0	5.8	56.1	119	7.63	1.185	0.542	1.727
87	24	山地	湧水	1205	11.0	4.1	-10.43	2.6	0.0	1.8	8.7	0.01	1.2	1.7	3.5	0.0	2.8	22.3	63	7.66	0.695	0.135	0.830
88	43	山地	深井戸	960	17.0	4.1	-9.19	4.0	0.0	3.2	10.5	0.08	2.5	4.0	9.4	0.0	8.3	42.1			0.961	0.335	1.296
89	44	山地	深井戸	1182	12.5	3.0	-9.74	3.4	0.0	2.7	14.4	0.09	2.4	8.4	7.9	0.0	4.0	43.2			1.088	0.372	1.460
90	45	山地	深井戸	909	13.5	10.4	-10.07	3.2	0.0	2.2	11.6	0.06	2.1	2.8	4.8	0.0	2.0	28.7	82	7.53	0.899	0.207	1.106
91	46	山地	表流水	967	12.0	7.5	-9.90	3.5	0.2	2.9	10.1	0.02	1.9	2.2	3.8	0.0	7.5	32.1	81	7.46	0.900	0.169	1.069
92	47	山地	表流水	979	13.5	6.1	-9.27	3.1	0.0	1.6	8.1	0.03	1.2	1.5	2.8	0.0	3.9	22.2	61	7.36	0.670	0.118	0.788
93	48	山地	表流水	1023	13.0	3.7	-9.73	2.7	0.0	1.1	6.6	0.02	1.2	1.2	3.1	0.0	0.5	16.5	47	7.39	0.537	0.119	0.656
94	49	山地	深井戸	1172	12.5	4.4	-9.11	3.4	0.0	2.6	15.2	0.03	1.5	5.0	5.7	0.0	3.6	37.1	102	7.50	1.120	0.243	1.363
95	78	山地	深井戸	933	9.3	19.6	-8.49	4.5	0.5	1.5	6.8	0.05	2.9	2.0	4.9	0.0	3.1	26.3	71	7.76	0.671	0.219	0.890
96	142	山地	深井戸	1150	13.0	15.8	-8.94	3.4	0.9	4.4	9.1	0.03	1.5	1.8	3.3	0.0	5.4	29.9			0.987	0.142	1.128
97	143	山地	深井戸	946		2.6	-9.98	3.5	0.0	3.1	9.4	0.02	1.3	3.3	4.3	0.0	3.3	28.2			0.876	0.180	1.057
98	62	道志	表流水	479	8.0	19.9	-8.93	3.8	0.0	3.0	10.9	0.02	2.1	3.5	2.8	0.0	3.4	29.5	86	7.66	0.956	0.175	1.131
99	63	道志	湧水	404	8.0	19.9	-8.90	3.6	0.0	2.8	10.3	0.01	2.2	3.7	3.0	0.0	9.1	34.8	87	7.59	0.901	0.185	1.085
100	64	道志	表流水	702	8.0	8.7	-9.24	2.7	0.0	1.9	8.1	0.01	1.4	2.2	3.6	0.0	8.3	28.2			0.678	0.150	0.828
101	65	道志	表流水	658	8.0	8.4	-9.39	2.8	0.0	2.4	9.1	0.02	1.5	2.1	3.1	0.0	4.0	25.0	78	7.62	0.773	0.142	0.915
102	66	道志	湧水	654	8.0	8.2	-9.39	3.0	0.0	2.6	9.8	0.01	1.5	2.0	2.9	0.0	4.8	26.6	78	7.72	0.833	0.135	0.969
103	67	道志	表流水	786	7.0	4.7	-9.10	2.0	0.0	2.0	9.1	0.00	1.2	3.4	2.5	0.0	3.9	24.1	66	7.65	0.705	0.141	0.846
104	68	道志	湧水	811	7.0	12.5	-9.01	4.0	0.3	2.4	8.9	0.02	1.2	2.0	2.2	0.0	3.0	24.0	74	7.74	0.823	0.113	0.936
105	69	道志	湧水	793	8.0	11.9	-9.01	4.0	0.3	2.3	8.8	0.03	1.4	2.2	2.3	0.0	3.8	25.2	75	7.74	0.810	0.124	0.934
106	70	道志	湧水	1136	7.0	3.4	-8.99	2.6	0.3	2.0	7.2	0.01	1.6	2.4	4.7	0.0	3.2	24.0	59	7.48	0.644	0.182	0.827
107	71	道志	湧水	1117	7.0	3.4	-8.96	2.5	0.3	1.8	6.9	0.01	1.6	2.4	4.8	0.0	2.1	22.4	57	7.46	0.609	0.184	0.793
108	72	道志	湧水	980	8.0	4.7	-9.45	2.7	0.4	1.4	5.9	0.02	1.1	1.5	3.1	0.0	2.1	18.3	51	7.63	0.537	0.121	0.658
109	73	道志	湧水	839	8.0	4.7	-9.50	2.8	0.4	1.5	6.1	0.02	1.1	1.6	3.0	0.0	1.9	18.4	51	7.65	0.560	0.120	0.680
110	74	道志	湧水	898	8.0	3.8	-9.37	2.7	0.6	1.8	7.0	0.02	1.4	1.7	8.2	0.0	1.8	25.2	59	7.18	0.630	0.239	0.869

平均	943	10.9	40.7	-9.98	5.9	0.8	3.4	10.6	0.15	2.5	2.8	9.5	0.1	6.9				43	105	7.78	1.09	0.32	1.413
標準偏差	143	1.9	27.6	0.81	3.1	0.6	1.9	7.2	0.15	2.9	2.3	23.6	0.2	3.5				36	58	0.26	0.54	0.53	1.047
最大値	1238	17.0	106	-7.24	22.1	2.2	16.0	77.6	0.77	23.8	14.8	229.4	1.2	16.3				330.2	454	8.51	4.77	4.83	9.600
最小値	404	7.0	0.8	-12.20	2.0	0.0	0.9	4.8	0.00	0.5	0.3	1.1	0.0	0.5				16.5	47	7.18	0.54	0.06	0.656

【採水地区分】

富士山 1：富士山の斜面上に位置する採水地点
富士山 2：富士山の斜面と周辺の山地の境界付近の採水地点
山中湖北：山中湖北側の採水地点
山地（御坂山地）：富士山周辺の山地内にある採水地点。主に御坂山地。
道志：道志地方

空欄は欠損値（データなし）。

* 溶解成分濃度合計 (mg/L)：Na, K, Mg, Ca, F, NO₃, SO₄, PO₄, Cl, V, SiO₂ 濃度 (mg/L) の合計

** 合計イオン濃度 (meg/L)：Na, K, Mg, Ca, F, NO₃, SO₄, PO₄, Cl のイオン当量の合計

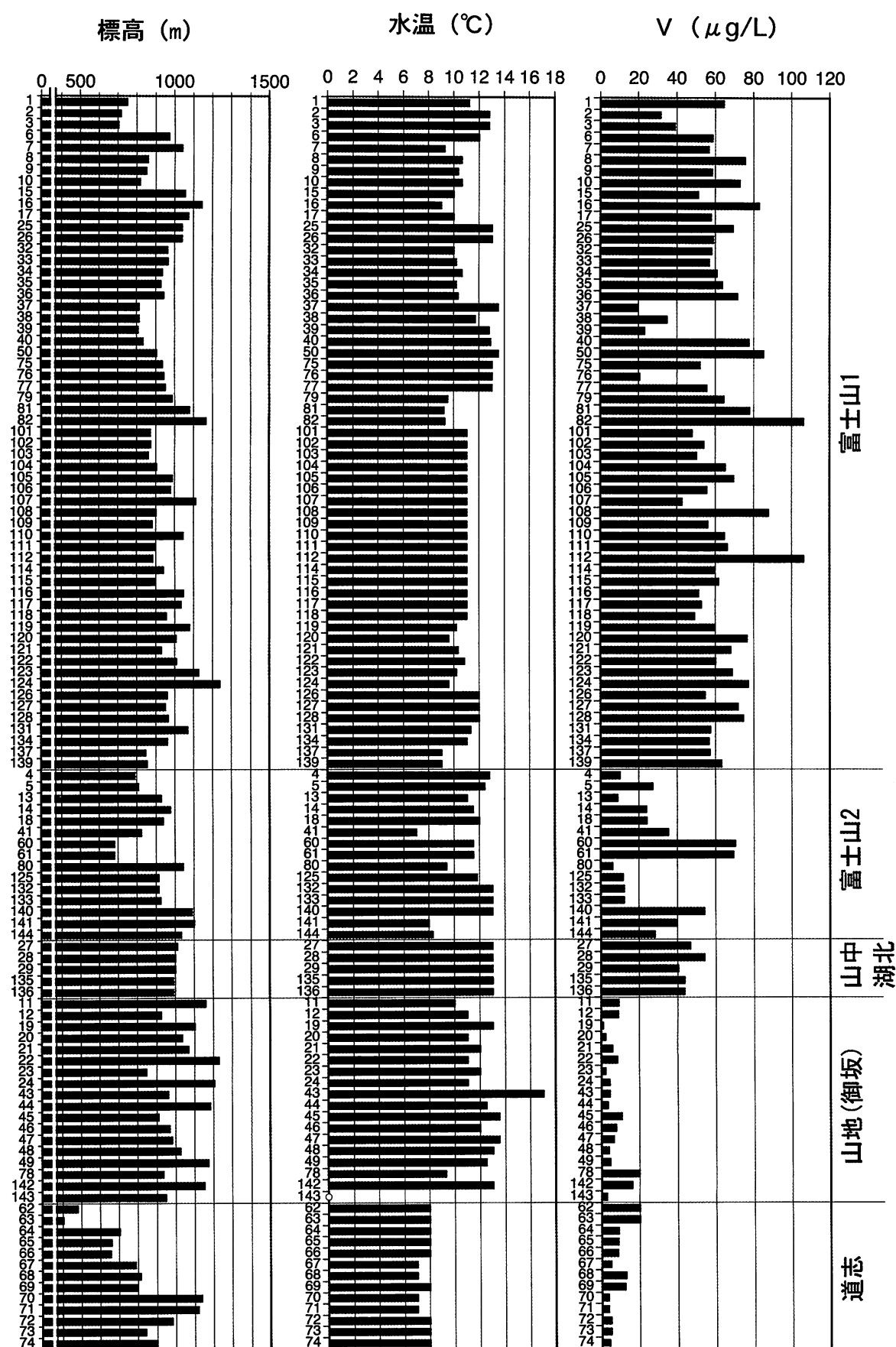


図4-2-(1) ヒストグラムによる地域別データの比較

※縦軸上の○は欠損値を示す。横軸の説明に [] が付いているものは、イオン当量で計算したもの。

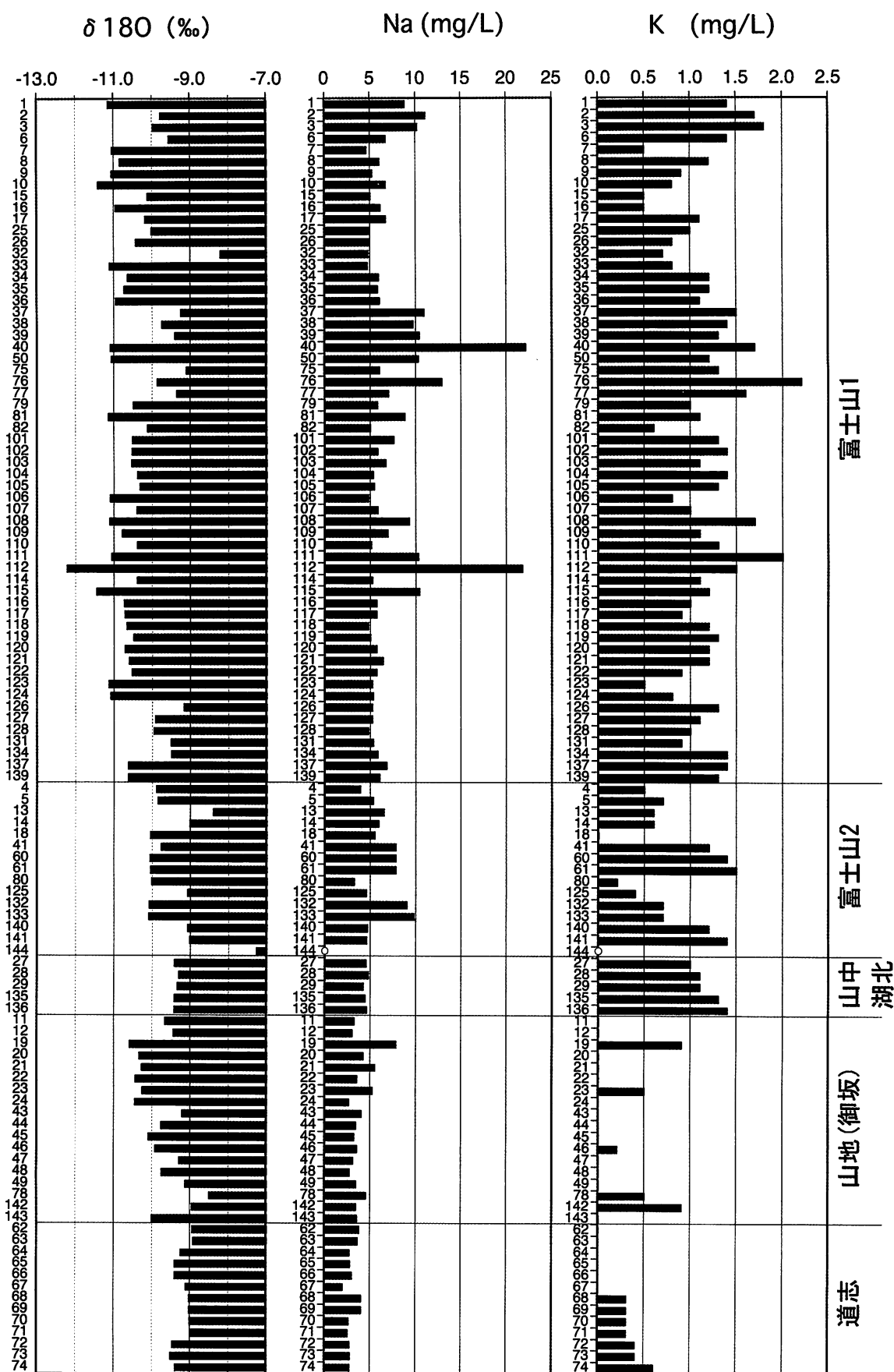


図 4-2-(2) ヒストグラムによる地域別データの比較

※縦軸上の○は欠損値を示す。横軸の説明に [] が付いているものは、イオン当量で計算したもの。

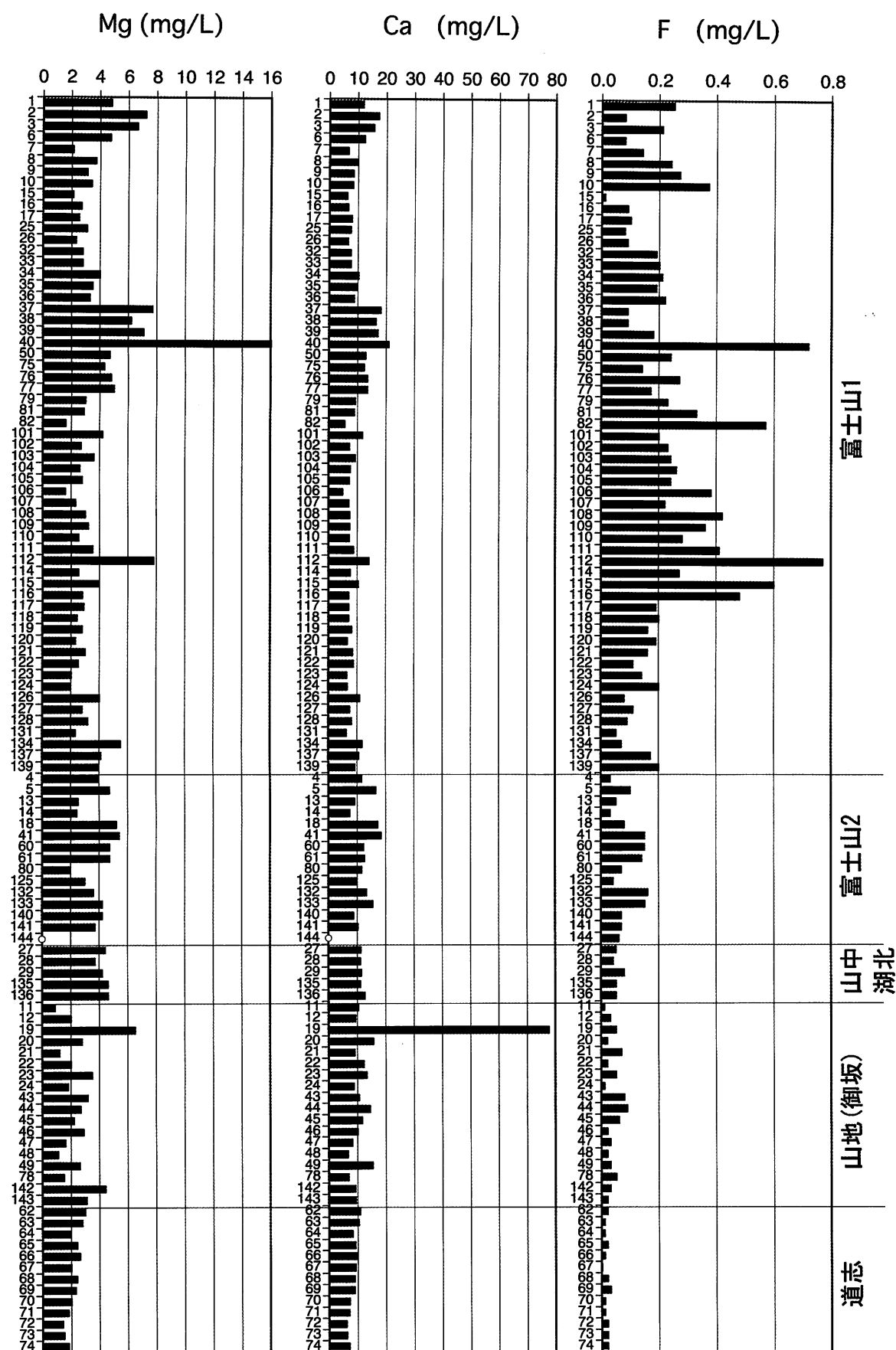


図 4-2-(3) ヒストグラムによる地域別データの比較

※縦軸上の○は欠損値を示す。横軸の説明に [] が付いているものは、イオン当量で計算したもの。

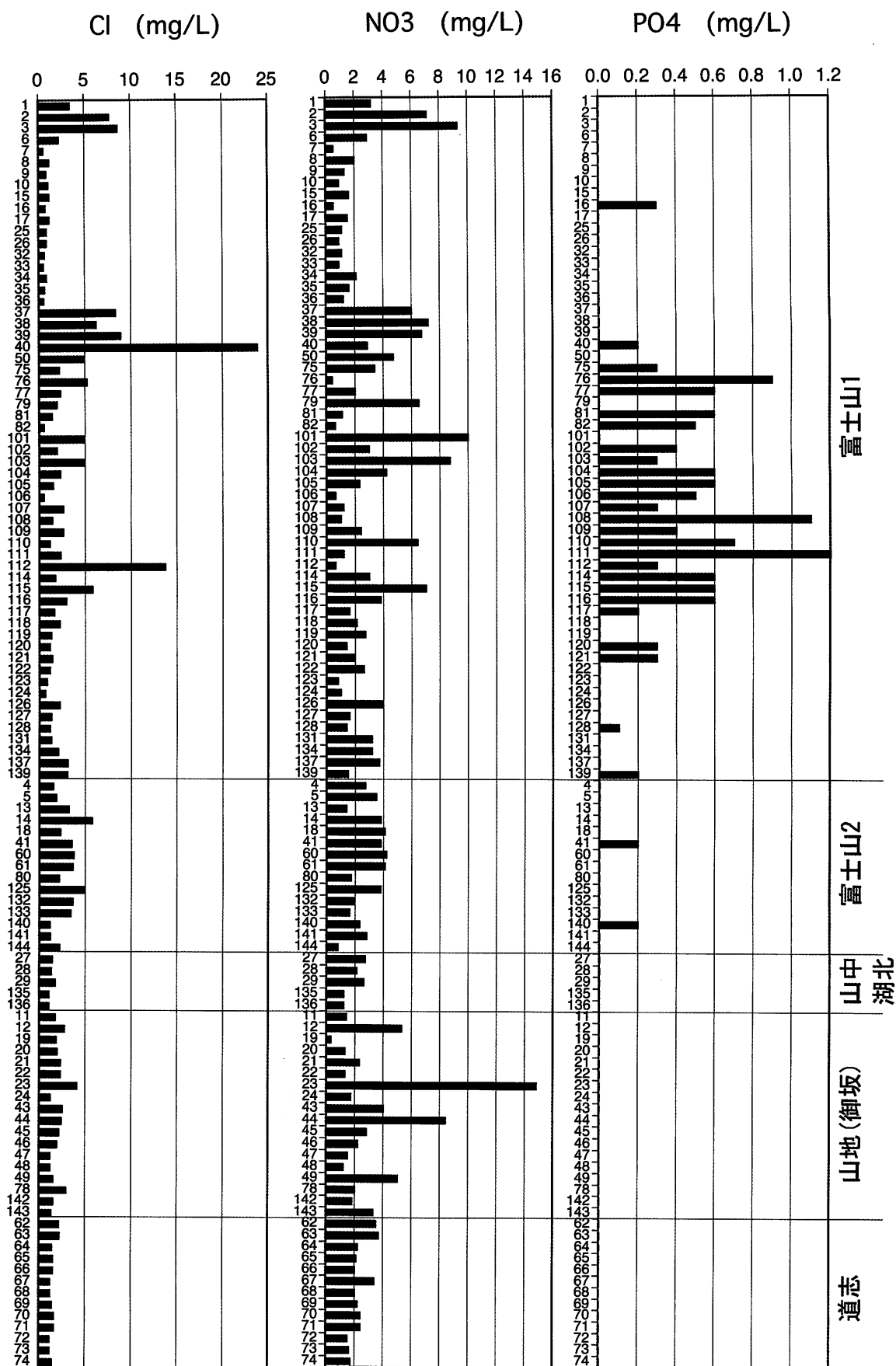


図 4-2-(4) ヒストグラムによる地域別データの比較

※縦軸上の○は欠損値を示す。横軸の説明に [] が付いているものは、イオン当量で計算したもの。

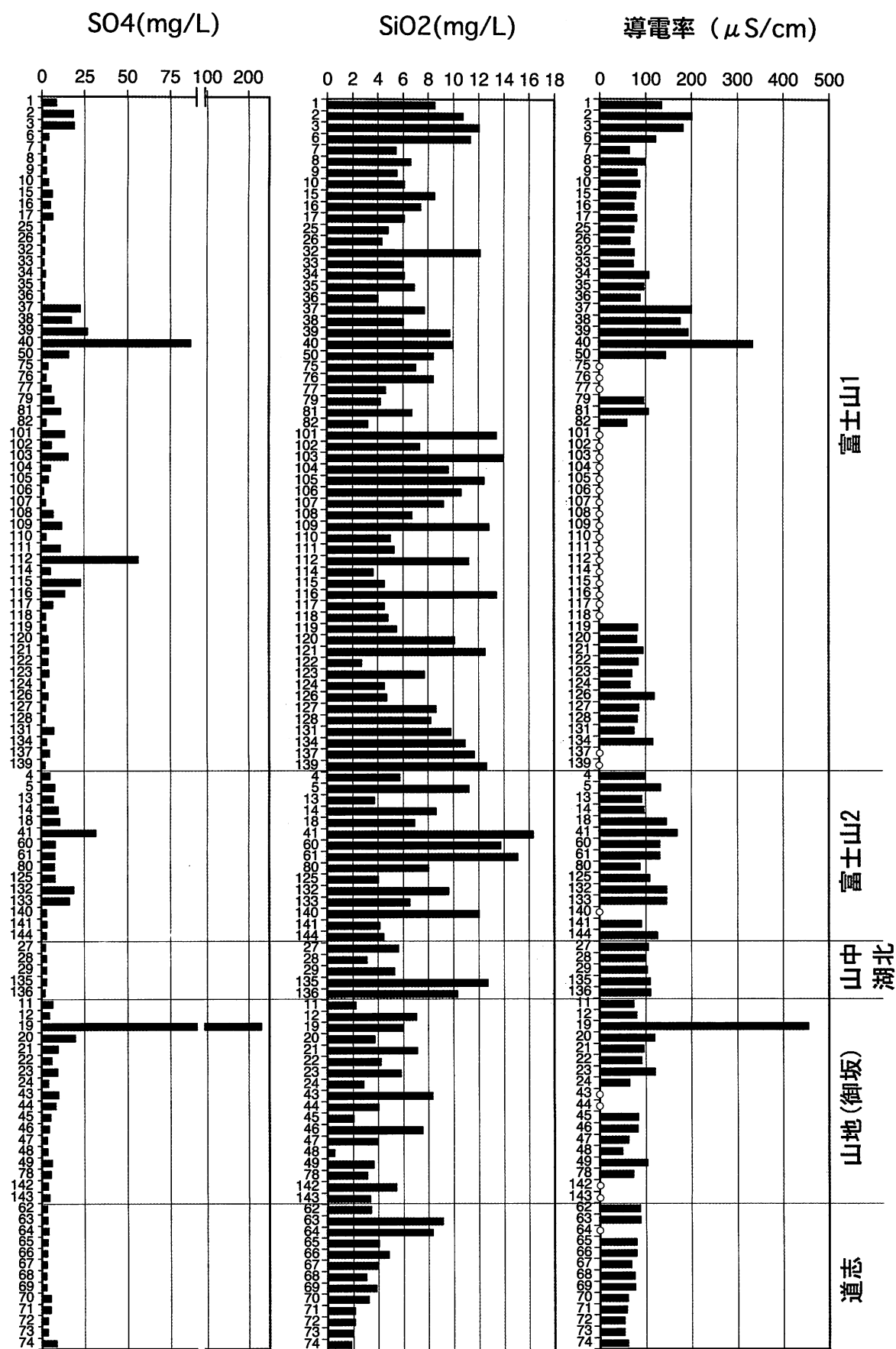


図 4-2-(5) ヒストグラムによる地域別データの比較

※縦軸上の○は欠損値を示す。横軸の説明に [] が付いているものは、イオン当量で計算したもの。

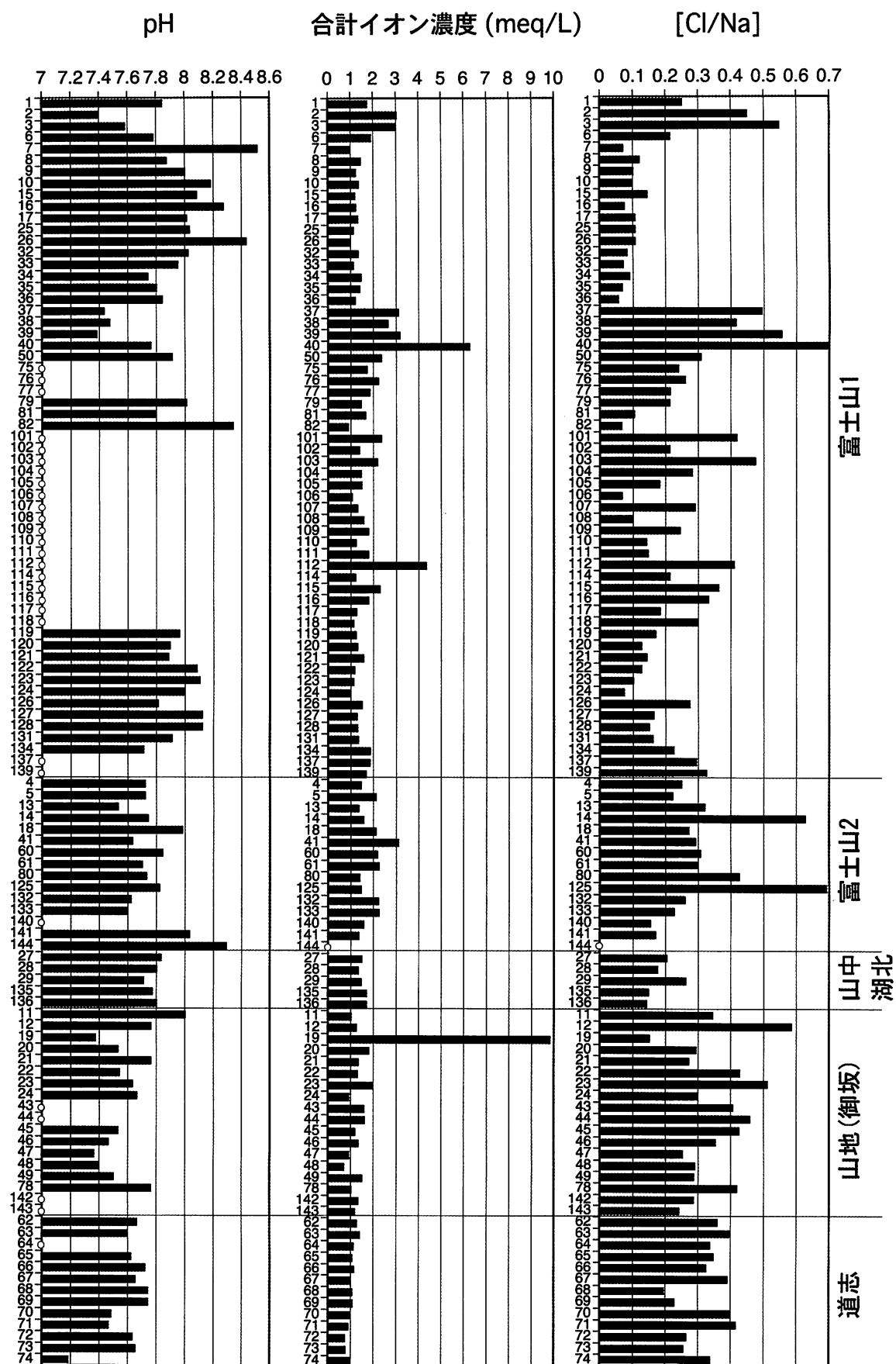


図 4-2-(6) ヒストグラムによる地域別データの比較

※縦軸上の○は欠損値を示す。横軸の説明に [] が付いているものは、イオン当量で計算したもの。

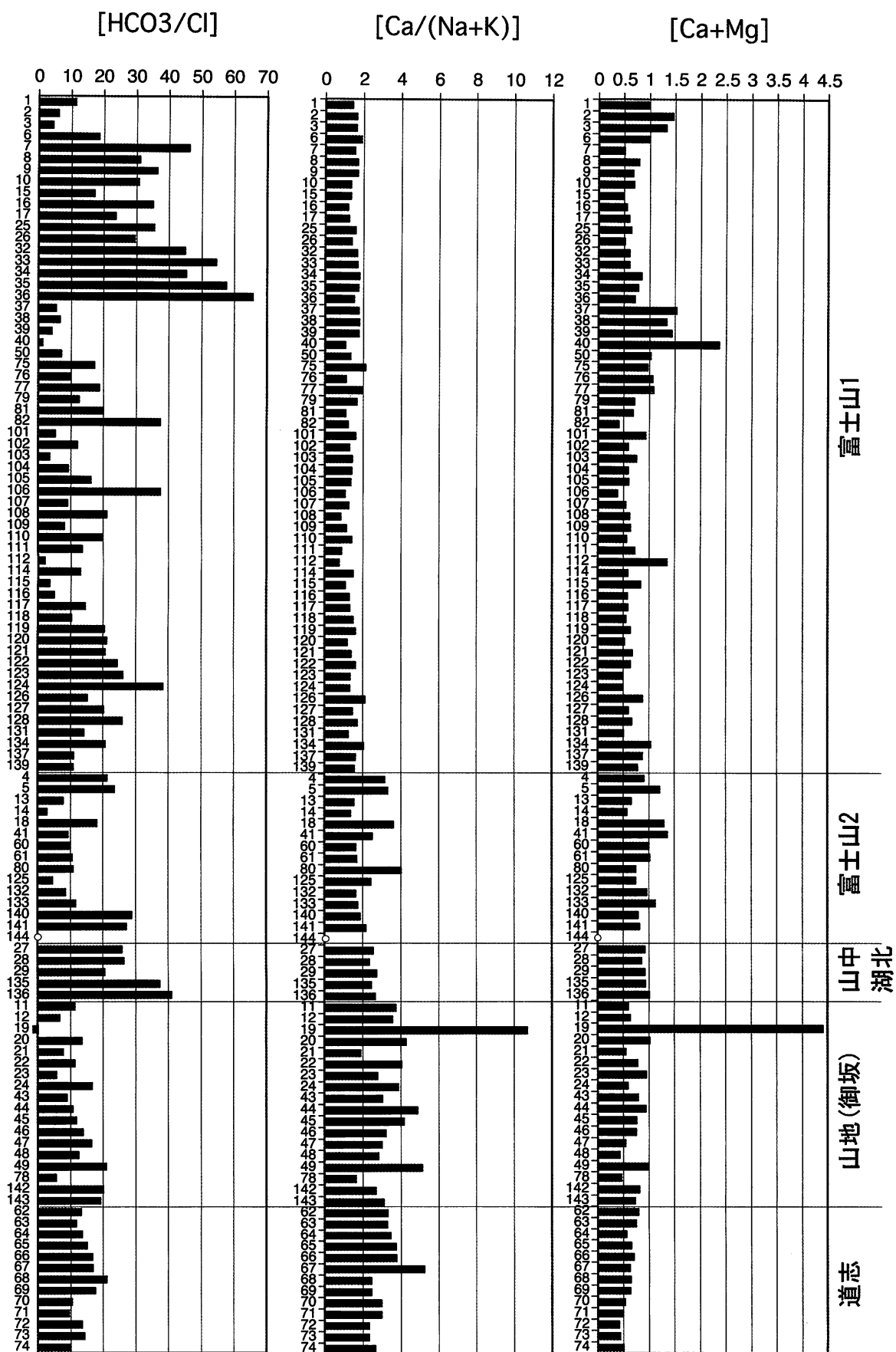


図 4-2-(7) ヒストグラムによる地域別データの比較

※縦軸上の○は欠損値を示す。横軸の説明に [] が付いているものは、イオン当量で計算したもの。

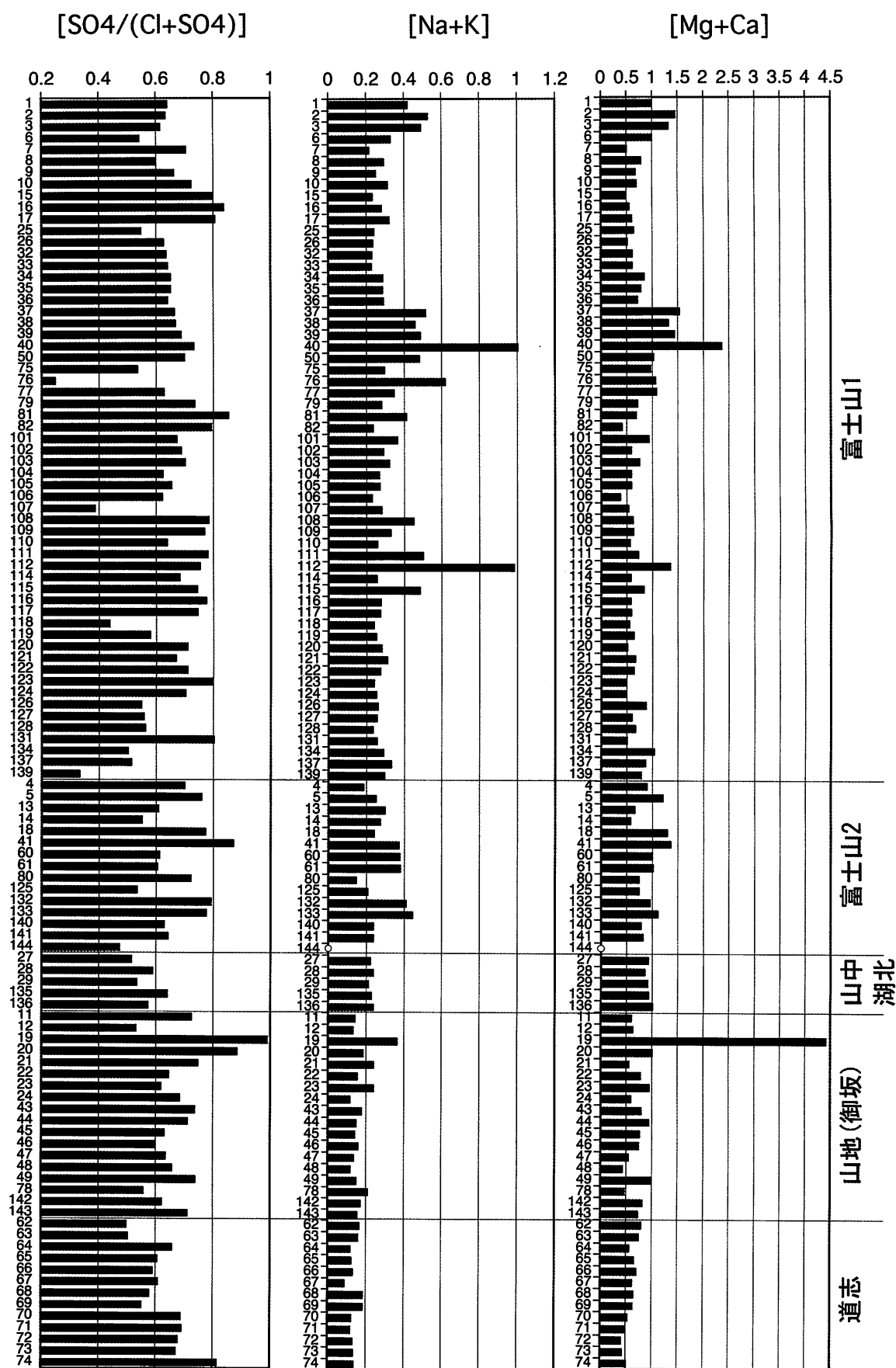


図 4-2-(8) ヒストグラムによる地域別データの比較

※縦軸上の○は欠損値を示す。横軸の説明に [] が付いているものは、イオン当量で計算したもの。

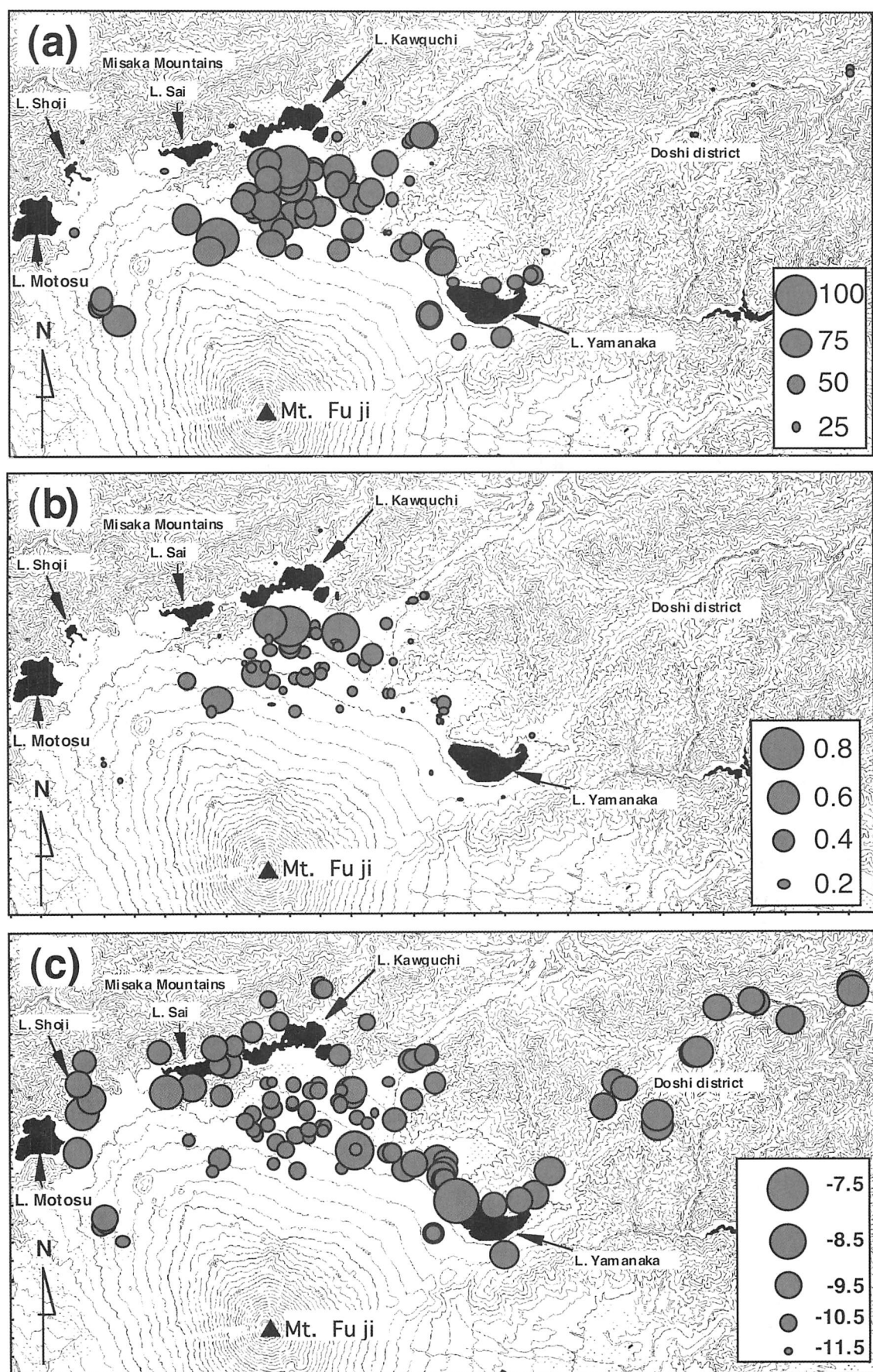


図 4-3 採水地の位置と地下水中バナジウム濃度 ($\mu\text{g/L}$) (a)、フッ素濃度 (mg/L) (b) および水中酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$, ‰) (c)

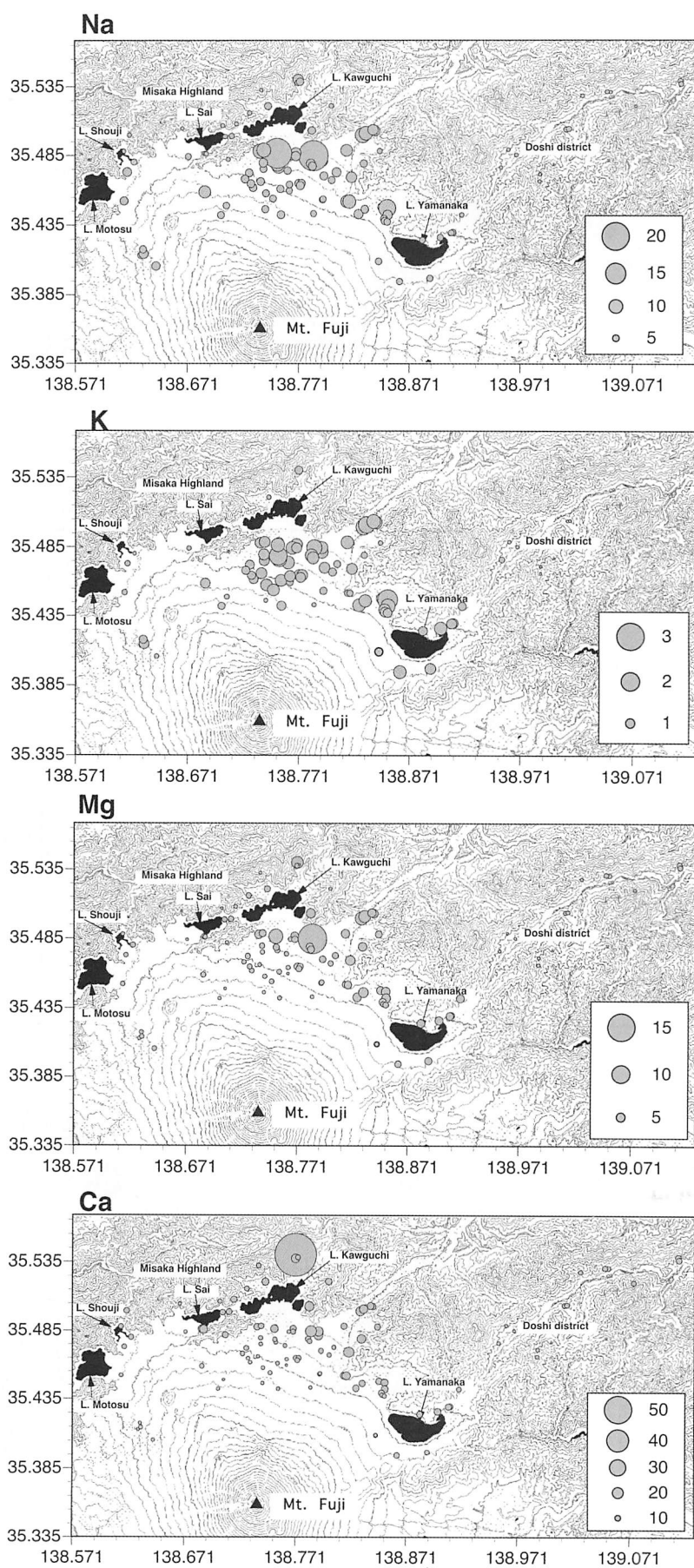


図 4 - 4 - (1) 採水地の位置と測定値の関係

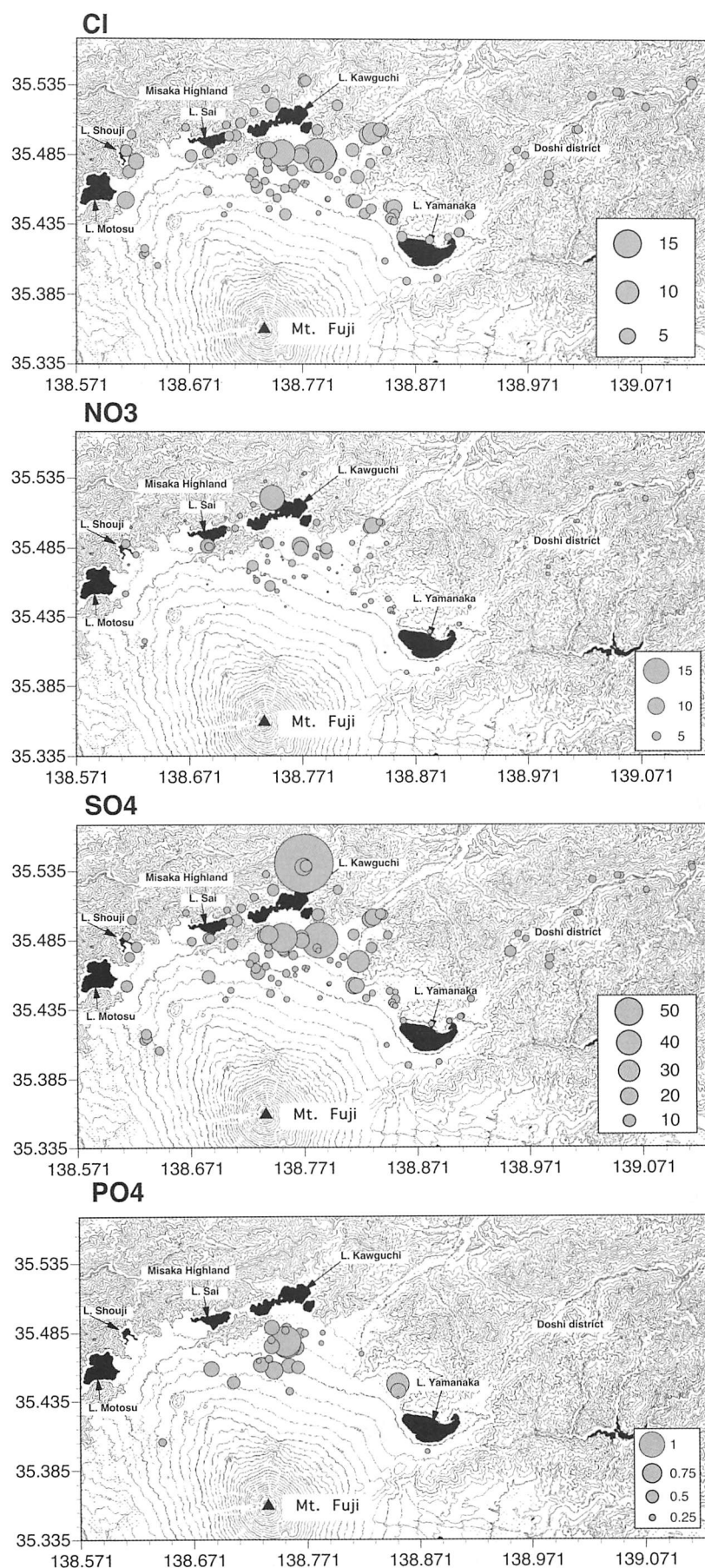


図 4-4-(2) 採水地の位置と測定値の関係

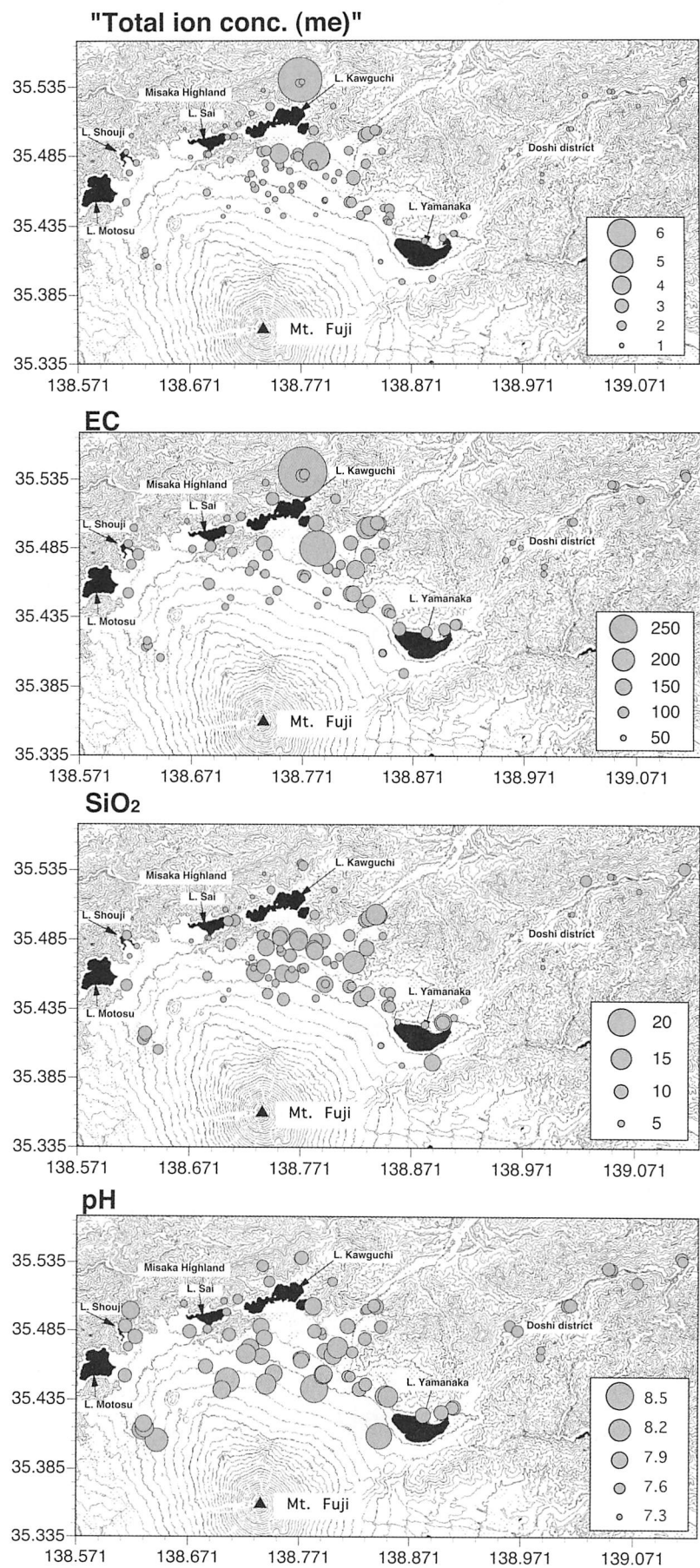


図 4-4-(3) 採水地の位置と測定値の関係

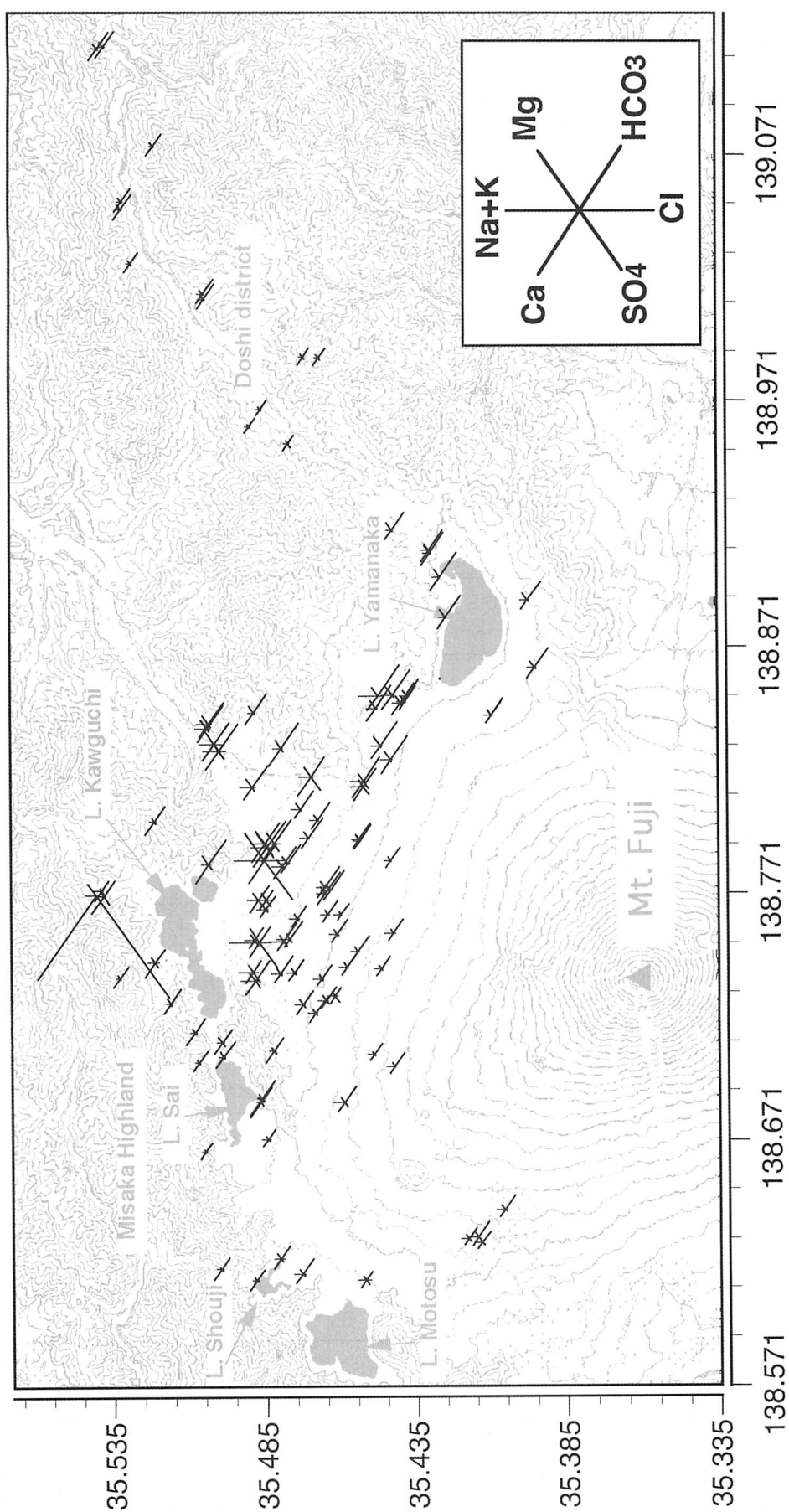


図 4 - 5 富士北麓および周辺地域の地下水水質の放射ベクトルデータによる比較

表4-2-1 データ間の相関：データ絞り込みによる相関係数の変化

	標高					水温					V				
	A	A'	B	B'	C	A	A'	B	B'	C	A	A'	B	B'	C
標高	1.000 p<.000 (N=110)	1.000 p<.000 (N=106)	1.000 p<.000 (N=74)	1.000 p<.000 (N=72)	1.000 p<.000 (N=59)	0.137 p<.155 (N=109)	0.141 p<.152 (N=105)	-0.350 p<.002 (N=74)	-0.339 p<.004 (N=72)	-0.409 p<.001 (N=59)	0.059 p<.089 (N=110)	0.089 p<.086 (N=106)	0.205 p<.080 (N=74)	0.250 p<.034 (N=72)	0.343 p<.008 (N=59)
水温	0.137 p<.155 (N=109)	0.141 p<.152 (N=106)	-0.350 p<.002 (N=74)	-0.339 p<.004 (N=72)	-0.409 p<.001 (N=59)	1.000 p<.000 (N=109)	1.000 p<.000 (N=105)	1.000 p<.000 (N=74)	1.000 p<.000 (N=72)	1.000 p<.000 (N=59)	0.037 p<.701 (N=109)	0.049 p<.701 (N=105)	-0.244 p<.036 (N=74)	-0.281 p<.017 (N=72)	-0.472 p<.000 (N=57)
V	0.059 p<.539 (N=110)	0.089 p<.365 (N=106)	0.205 p<.080 (N=74)	0.250 p<.034 (N=72)	0.343 p<.008 (N=59)	0.037 p<.701 (N=109)	0.049 p<.701 (N=105)	-0.244 p<.036 (N=74)	-0.281 p<.017 (N=72)	-0.409 p<.002 (N=59)	1.000 p<.000 (N=109)	1.000 p<.000 (N=105)	1.000 p<.000 (N=74)	1.000 p<.000 (N=72)	1.000 p<.000 (N=57)
$\delta^{18}O$	-0.094 p<.331 (N=109)	-0.115 p<.240 (N=106)	0.012 p<.916 (N=74)	-0.020 p<.869 (N=72)	-0.041 p<.759 (N=59)	-0.077 p<.425 (N=109)	-0.056 p<.573 (N=105)	0.136 p<.248 (N=74)	0.165 p<.166 (N=72)	0.399 p<.002 (N=59)	-0.574 p<.000 (N=109)	-0.568 p<.000 (N=106)	-0.572 p<.000 (N=74)	-0.527 p<.000 (N=72)	-0.435 p<.001 (N=57)
Na	-0.210 p<.028 (N=110)	-0.232 p<.017 (N=105)	-0.401 p<.000 (N=73)	-0.495 p<.000 (N=71)	-0.450 p<.000 (N=59)	0.280 p<.003 (N=108)	0.316 p<.001 (N=104)	0.304 p<.009 (N=73)	0.354 p<.002 (N=71)	0.376 p<.003 (N=59)	0.445 p<.000 (N=109)	0.413 p<.000 (N=105)	0.133 p<.282 (N=73)	-0.153 p<.201 (N=71)	0.059 p<.659 (N=57)
K	-0.106 p<.271 (N=109)	-0.099 p<.316 (N=105)	-0.407 p<.000 (N=73)	-0.393 p<.001 (N=71)	-0.601 p<.000 (N=59)	0.247 p<.010 (N=108)	0.242 p<.013 (N=104)	0.206 p<.080 (N=73)	0.186 p<.121 (N=71)	0.497 p<.000 (N=57)	0.662 p<.000 (N=109)	0.658 p<.000 (N=105)	0.238 p<.043 (N=73)	0.196 p<.101 (N=71)	-0.276 p<.034 (N=59)
Mg	-0.298 p<.002 (N=109)	-0.371 p<.000 (N=105)	-0.533 p<.000 (N=73)	-0.674 p<.000 (N=71)	-0.572 p<.000 (N=59)	0.378 p<.000 (N=108)	0.419 p<.000 (N=104)	0.403 p<.000 (N=73)	0.449 p<.000 (N=71)	0.511 p<.000 (N=59)	0.224 p<.019 (N=109)	0.169 p<.085 (N=105)	-0.061 p<.610 (N=74)	-0.351 p<.003 (N=59)	-0.594 p<.000 (N=57)
Ca	-0.045 p<.644 (N=109)	-0.300 p<.002 (N=105)	-0.616 p<.000 (N=73)	-0.619 p<.000 (N=71)	-0.662 p<.000 (N=59)	0.266 p<.005 (N=108)	0.367 p<.000 (N=104)	0.404 p<.000 (N=73)	0.381 p<.001 (N=71)	0.597 p<.000 (N=57)	-0.210 p<.028 (N=109)	-0.280 p<.004 (N=105)	-0.406 p<.000 (N=73)	-0.554 p<.000 (N=71)	-0.604 p<.000 (N=57)
F	-0.035 p<.720 (N=110)	0.014 p<.883 (N=106)	-0.083 p<.482 (N=74)	-0.112 p<.918 (N=72)	-0.134 p<.572 (N=59)	0.427 p<.077 (N=109)	0.056 p<.298 (N=105)	-0.053 p<.002 (N=105)	-0.148 p<.021 (N=72)	-0.071 p<.450 (N=59)	0.674 p<.000 (N=110)	0.661 p<.000 (N=106)	0.528 p<.000 (N=74)	0.463 p<.000 (N=72)	0.314 p<.017 (N=57)
Cl	-0.287 p<.000 (N=110)	-0.365 p<.000 (N=106)	-0.441 p<.000 (N=74)	-0.582 p<.000 (N=72)	-0.496 p<.000 (N=59)	0.009 p<.009 (N=109)	0.048 p<.048 (N=109)	0.266 p<.022 (N=74)	0.271 p<.021 (N=72)	0.335 p<.010 (N=59)	-0.153 p<.110 (N=110)	-0.100 p<.309 (N=106)	-0.255 p<.028 (N=74)	-0.234 p<.047 (N=72)	-0.454 p<.000 (N=57)
N03	-0.294 p<.002 (N=110)	-0.300 p<.000 (N=106)	-0.485 p<.000 (N=74)	-0.500 p<.000 (N=72)	-0.510 p<.000 (N=59)	0.190 p<.048 (N=109)	0.205 p<.036 (N=105)	0.266 p<.022 (N=74)	0.271 p<.021 (N=72)	0.335 p<.010 (N=59)	-0.153 p<.110 (N=110)	-0.100 p<.309 (N=106)	-0.255 p<.028 (N=74)	-0.234 p<.047 (N=72)	-0.454 p<.000 (N=57)
S04	0.014 p<.884 (N=110)	-0.205 p<.003 (N=106)	-0.341 p<.003 (N=74)	-0.454 p<.000 (N=72)	-0.367 p<.004 (N=59)	0.173 p<.072 (N=109)	0.174 p<.077 (N=105)	0.209 p<.074 (N=74)	0.187 p<.115 (N=72)	0.322 p<.013 (N=59)	-0.068 p<.477 (N=110)	-0.130 p<.810 (N=106)	0.028 p<.810 (N=74)	-0.391 p<.001 (N=72)	-0.446 p<.001 (N=57)
P04	0.059 p<.540 (N=110)	0.067 p<.494 (N=106)	0.104 p<.377 (N=74)	0.109 p<.360 (N=72)	0.070 p<.599 (N=59)	0.025 p<.799 (N=109)	0.029 p<.766 (N=105)	-0.018 p<.882 (N=74)	-0.019 p<.873 (N=72)	0.001 p<.993 (N=59)	0.407 p<.000 (N=110)	0.398 p<.000 (N=106)	0.276 p<.017 (N=74)	0.274 p<.020 (N=72)	0.155 p<.249 (N=57)
S102	-0.268 p<.005 (N=109)	-0.263 p<.007 (N=105)	-0.408 p<.000 (N=74)	-0.400 p<.000 (N=72)	-0.341 p<.008 (N=59)	0.175 p<.068 (N=109)	0.175 p<.074 (N=105)	0.030 p<.796 (N=74)	0.021 p<.863 (N=72)	0.053 p<.690 (N=59)	0.376 p<.000 (N=110)	0.354 p<.000 (N=106)	0.007 p<.952 (N=74)	-0.035 p<.771 (N=72)	-0.255 p<.056 (N=57)
溶解成分	-0.102 p<.292 (N=109)	-0.344 p<.000 (N=105)	-0.509 p<.000 (N=73)	-0.643 p<.000 (N=71)	-0.530 p<.000 (N=59)	0.265 p<.006 (N=108)	0.327 p<.001 (N=104)	0.302 p<.009 (N=73)	0.314 p<.008 (N=71)	0.429 p<.001 (N=59)	0.011 p<.909 (N=109)	0.054 p<.586 (N=105)	-0.061 p<.607 (N=71)	-0.414 p<.000 (N=50)	-0.581 p<.000 (N=57)
導電率	-0.176 p<.114 (N=82)	-0.374 p<.001 (N=79)	-0.610 p<.000 (N=51)	-0.702 p<.000 (N=50)	-0.663 p<.000 (N=37)	0.401 p<.000 (N=108)	0.440 p<.000 (N=79)	0.448 p<.001 (N=73)	0.443 p<.001 (N=50)	0.616 p<.000 (N=57)	-0.013 p<.740 (N=82)	0.038 p<.740 (N=105)	-0.268 p<.058 (N=73)	-0.483 p<.000 (N=50)	-0.702 p<.000 (N=57)
pH	0.279 p<.011 (N=82)	0.303 p<.007 (N=79)	0.603 p<.000 (N=51)	0.601 p<.000 (N=50)	0.641 p<.000 (N=37)	-0.119 p<.287 (N=82)	-0.092 p<.418 (N=79)	-0.410 p<.003 (N=51)	-0.406 p<.003 (N=50)	-0.460 p<.004 (N=37)	0.673 p<.000 (N=82)	0.673 p<.000 (N=79)	0.536 p<.000 (N=51)	0.554 p<.000 (N=50)	0.653 p<.000 (N=36)
陽イオン濃度	-0.171 p<.076 (N=109)	-0.345 p<.000 (N=105)	-0.579 p<.000 (N=73)	-0.667 p<.000 (N=71)	-0.605 p<.000 (N=59)	0.362 p<.000 (N=108)	0.425 p<.000 (N=104)	0.410 p<.000 (N=73)	0.433 p<.000 (N=50)	0.534 p<.000 (N=57)	0.052 p<.590 (N=109)	0.077 p<.432 (N=79)	-0.138 p<.244 (N=71)	-0.423 p<.000 (N=50)	-0.583 p<.000 (N=57)
陰イオン濃度	-0.051 p<.595 (N=110)	-0.282 p<.003 (N=105)	-0.404 p<.000 (N=73)	-0.535 p<.000 (N=71)	-0.439 p<.001 (N=59)	0.212 p<.027 (N=109)	0.231 p<.018 (N=104)	0.266 p<.022 (N=73)	0.278 p<.018 (N=72)	0.375 p<.003 (N=57)	-0.050 p<.608 (N=110)	-0.116 p<.236 (N=106)	-0.011 p<.927 (N=71)	-0.408 p<.000 (N=72)	-0.523 p<.000 (N=57)
合計イオン濃度	-0.113 p<.242 (N=109)	-0.345 p<.000 (N=105)	-0.516 p<.000 (N=73)	-0.654 p<.000 (N=71)	-0.545 p<.000 (N=59)	0.293 p<.002 (N=108)	0.378 p<.000 (N=104)	0.354 p<.002 (N=73)	0.393 p<.001 (N=71)	0.475 p<.000 (N=59)	0.000 p<.998 (N=109)	0.005 p<.958 (N=105)	-0.087 p<.462 (N=73)	-0.451 p<.000 (N=50)	-0.594 p<.000 (N=57)

表4-2-2 データ間の相関：データ絞り込みによる相関係数の変化

	δ °						Na						K					
	A	A'	B	B'	C	C'	A	A'	B	B'	C	C'	A	A'	B	B'	C	C'
標高	-0.094	-0.115	0.012	-0.020	-0.041	-0.094	-0.210	-0.232	-0.401	-0.495	-0.450	-0.554	-0.106	-0.099	-0.407	-0.393	-0.601	-0.587
	p<. 331 (N=110)	p<. 240 (N=106)	p<. 916 (N=74)	p<. 869 (N=72)	p<. 759 (N=59)	p<. 488 (N=57)	p<. 028 (N=109)	p<. 017 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 271 (N=109)	p<. 316 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 001 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)
水温	-0.077	-0.056	0.136	0.165	0.399	0.464	0.280	0.316	0.304	0.354	0.376	0.452	0.247	0.242	0.206	0.186	0.497	0.480
	p<. 425 (N=109)	p<. 573 (N=105)	p<. 248 (N=74)	p<. 166 (N=72)	p<. 002 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 003 (N=108)	p<. 001 (N=104)	p<. 009 (N=73)	p<. 002 (N=71)	p<. 003 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 010 (N=108)	p<. 013 (N=104)	p<. 080 (N=73)	p<. 121 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)
V	-0.574	-0.568	-0.572	-0.527	-0.513	-0.435	0.445	0.413	0.133	-0.153	0.059	-0.411	0.662	0.658	0.238	0.196	-0.276	-0.387
	p<. 000 (N=110)	p<. 000 (N=106)	p<. 000 (N=74)	p<. 000 (N=72)	p<. 000 (N=59)	p<. 001 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 262 (N=73)	p<. 201 (N=71)	p<. 659 (N=59)	p<. 002 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 043 (N=73)	p<. 101 (N=71)	p<. 034 (N=59)	p<. 003 (N=57)
δ 18 °	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-0.445	-0.352	-0.275	-0.058	-0.242	0.038	-0.445	-0.352	-0.071	-0.013	0.127	0.213
	p<. 000 (N=110)	p<. 000 (N=106)	p<. 000 (N=74)	p<. 000 (N=72)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 019 (N=73)	p<. 019 (N=71)	p<. 065 (N=59)	p<. 777 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 549 (N=73)	p<. 915 (N=71)	p<. 337 (N=59)	p<. 111 (N=57)
Na	-0.445	-0.352	-0.275	-0.058	-0.242	0.038	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.640	0.730	0.524	0.593	0.575	0.684
	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 019 (N=73)	p<. 629 (N=71)	p<. 065 (N=59)	p<. 008 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)
K	-0.324	-0.293	-0.071	-0.013	0.127	0.213	0.640	0.730	0.803	0.664	0.839	0.735	0.552	0.618	0.466	0.487	0.558	0.626
	p<. 001 (N=109)	p<. 002 (N=105)	p<. 549 (N=73)	p<. 915 (N=71)	p<. 337 (N=59)	p<. 111 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)
Mg	-0.134	0.046	0.026	0.312	0.065	0.413	0.792	0.683	0.803	0.664	0.839	0.735	0.552	0.618	0.466	0.487	0.558	0.626
	p<. 166 (N=109)	p<. 642 (N=105)	p<. 830 (N=73)	p<. 008 (N=71)	p<. 626 (N=59)	p<. 001 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)
Ca	-0.019	0.203	0.225	0.358	0.236	0.425	0.283	0.437	0.612	0.590	0.740	0.748	0.096	0.148	0.306	0.252	0.646	0.627
	p<. 844 (N=109)	p<. 038 (N=105)	p<. 056 (N=73)	p<. 002 (N=71)	p<. 072 (N=59)	p<. 001 (N=57)	p<. 003 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 322 (N=109)	p<. 132 (N=105)	p<. 008 (N=73)	p<. 034 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)
F	-0.655	-0.640	-0.607	-0.568	-0.562	-0.486	0.705	0.542	0.602	0.255	0.598	0.195	0.534	0.527	0.314	0.244	0.206	0.086
	p<. 000 (N=110)	p<. 000 (N=106)	p<. 000 (N=74)	p<. 000 (N=72)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 032 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 145 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 007 (N=73)	p<. 041 (N=71)	p<. 118 (N=59)	p<. 527 (N=57)
Cl	-0.141	0.093	-0.062	0.241	-0.078	0.272	0.821	0.670	0.872	0.726	0.904	0.797	0.339	0.333	0.380	0.365	0.497	0.558
	p<. 142 (N=110)	p<. 343 (N=106)	p<. 599 (N=74)	p<. 042 (N=72)	p<. 558 (N=59)	p<. 041 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 001 (N=105)	p<. 001 (N=73)	p<. 002 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)
NO3	0.060	0.056	0.131	0.103	0.245	0.219	0.129	0.311	0.168	0.381	0.183	0.434	0.101	0.169	0.278	0.302	0.340	0.369
	p<. 531 (N=110)	p<. 570 (N=106)	p<. 264 (N=74)	p<. 390 (N=72)	p<. 061 (N=59)	p<. 101 (N=57)	p<. 129 (N=109)	p<. 001 (N=105)	p<. 156 (N=73)	p<. 001 (N=71)	p<. 166 (N=59)	p<. 001 (N=57)	p<. 296 (N=109)	p<. 084 (N=105)	p<. 017 (N=73)	p<. 011 (N=71)	p<. 008 (N=59)	p<. 005 (N=57)
SO4	-0.180	-0.096	-0.194	0.049	-0.220	0.081	0.416	0.600	0.867	0.663	0.899	0.732	0.122	0.178	0.257	0.150	0.352	0.331
	p<. 060 (N=110)	p<. 328 (N=106)	p<. 097 (N=74)	p<. 682 (N=72)	p<. 094 (N=59)	p<. 547 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 206 (N=109)	p<. 069 (N=105)	p<. 028 (N=73)	p<. 211 (N=71)	p<. 006 (N=59)	p<. 012 (N=57)
PO4	-0.352	-0.353	-0.267	-0.265	-0.187	-0.188	0.322	0.390	0.190	0.253	0.172	0.263	0.459	0.455	0.408	0.411	0.387	0.395
	p<. 000 (N=110)	p<. 000 (N=106)	p<. 021 (N=74)	p<. 025 (N=72)	p<. 157 (N=59)	p<. 162 (N=57)	p<. 001 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 108 (N=73)	p<. 034 (N=71)	p<. 194 (N=59)	p<. 048 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 002 (N=59)	p<. 000 (N=57)
SiO2	-0.190	-0.161	-0.002	0.041	0.114	0.189	0.401	0.434	0.211	0.183	0.215	0.143	0.489	0.476	0.243	0.225	0.211	0.183
	p<. 046 (N=110)	p<. 099 (N=106)	p<. 986 (N=74)	p<. 735 (N=72)	p<. 389 (N=59)	p<. 159 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 073 (N=73)	p<. 127 (N=71)	p<. 102 (N=59)	p<. 289 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 038 (N=73)	p<. 059 (N=71)	p<. 109 (N=59)	p<. 173 (N=57)
溶解成分	-0.204	-0.069	-0.086	0.198	-0.085	0.249	0.594	0.773	0.886	0.756	0.916	0.810	0.289	0.474	0.406	0.387	0.517	0.566
	p<. 033 (N=109)	p<. 484 (N=105)	p<. 472 (N=71)	p<. 097 (N=71)	p<. 520 (N=59)	p<. 062 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 002 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 001 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)
導電率	-0.130	0.026	0.097	0.271	0.135	0.354	0.715	0.826	0.908	0.836	0.953	0.919	0.432	0.559	0.526	0.493	0.756	0.792
	p<. 245 (N=82)	p<. 819 (N=79)	p<. 498 (N=51)	p<. 057 (N=50)	p<. 424 (N=37)	p<. 034 (N=36)	p<. 000 (N=81)	p<. 000 (N=78)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=50)	p<. 000 (N=49)	p<. 000 (N=36)	p<. 000 (N=81)	p<. 000 (N=78)	p<. 000 (N=50)	p<. 003 (N=49)	p<. 000 (N=37)	p<. 000 (N=36)
pH	-0.293	-0.329	-0.223	-0.238	-0.343	-0.368	-0.023	-0.002	-0.466	-0.627	-0.532	-0.740	0.146	0.157	-0.422	-0.420	-0.810	-0.822
	p<. 008 (N=82)	p<. 003 (N=79)	p<. 116 (N=51)	p<. 097 (N=50)	p<. 038 (N=37)	p<. 027 (N=36)	p<. 839 (N=81)	p<. 988 (N=78)	p<. 001 (N=73)	p<. 000 (N=50)	p<. 001 (N=49)	p<. 000 (N=36)	p<. 193 (N=81)	p<. 170 (N=78)	p<. 002 (N=50)	p<. 003 (N=49)	p<. 000 (N=37)	p<. 000 (N=36)
陽イオン濃度	-0.171	-0.007	0.012	0.264	0.037	0.343	0.682	0.777	0.866	0.786	0.905	0.854	0.408	0.547	0.482	0.467	0.641	0.691
	p<. 075 (N=109)	p<. 946 (N=105)	p<. 918 (N=73)	p<. 026 (N=71)	p<. 783 (N=59)	p<. 009 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)
陰イオン濃度	-0.194	-0.056	-0.157	0.093	-0.164	0.147	0.528	0.651	0.874	0.703	0.899	0.748	0.181	0.260	0.319	0.261	0.417	0.429
	p<. 042 (N=110)	p<. 568 (N=106)	p<. 182 (N=74)	p<. 435 (N=72)	p<. 215 (N=59)	p<. 274 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 060 (N=109)	p<. 007 (N=105)	p<. 006 (N=73)	p<. 028 (N=71)	p<. 001 (N=59)	p<. 001 (N=57)
合計イオン濃度	-0.187	-0.019	-0.061	0.232	-0.057	0.284	0.621	0.784	0.900	0.803	0.929	0.862	0.302	0.474	0.422	0.413	0.555	0.627
	p<. 849 (N=109)	p<. 819 (N=105)	p<. 610 (N=73)	p<. 051 (N=71)	p<. 669 (N=59)	p<. 032 (N=57)	p<. 000 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)	p<. 001 (N=109)	p<. 000 (N=105)	p<. 000 (N=73)	p<. 000 (N=71)	p<. 000 (N=59)	p<. 000 (N=57)

表4-2-3 データ間の相関：データ絞り込みによる相関係数の変化

	Mg				Ca				F			
	A	A'	B	B'	C	C'	A	A'	B	B'	C	C'
標高	-0.298 p<.002 (N=109)	-0.371 p<.005 (N=105)	-0.533 p<.000 (N=73)	-0.674 p<.000 (N=71)	-0.572 p<.000 (N=59)	-0.720 p<.000 (N=57)	-0.045 p<.644 (N=109)	-0.300 p<.002 (N=105)	-0.616 p<.000 (N=73)	-0.619 p<.000 (N=71)	-0.662 p<.000 (N=59)	-0.671 p<.000 (N=57)
水温	0.378 p<.000 (N=108)	0.419 p<.000 (N=104)	0.403 p<.000 (N=73)	0.449 p<.000 (N=71)	0.511 p<.000 (N=59)	0.589 p<.000 (N=57)	0.266 p<.005 (N=108)	0.367 p<.000 (N=104)	0.404 p<.000 (N=73)	0.381 p<.001 (N=71)	0.597 p<.000 (N=59)	0.589 p<.000 (N=57)
V	0.224 p<.019 (N=109)	0.169 p<.085 (N=105)	-0.061 p<.610 (N=73)	-0.351 p<.003 (N=71)	-0.154 p<.243 (N=59)	-0.594 p<.000 (N=57)	-0.210 p<.028 (N=109)	-0.280 p<.004 (N=105)	-0.406 p<.000 (N=73)	-0.554 p<.000 (N=71)	-0.370 p<.004 (N=59)	-0.604 p<.000 (N=57)
$\delta^{18}\text{O}$	-0.134 p<.166 (N=109)	0.046 p<.642 (N=105)	0.026 p<.830 (N=73)	0.312 p<.008 (N=71)	0.065 p<.626 (N=59)	0.413 p<.001 (N=57)	-0.019 p<.844 (N=109)	0.203 p<.038 (N=105)	0.225 p<.056 (N=73)	0.358 p<.002 (N=71)	0.236 p<.072 (N=59)	0.425 p<.001 (N=57)
Na	0.792 p<.000 (N=109)	0.683 p<.000 (N=105)	0.803 p<.000 (N=73)	0.664 p<.000 (N=71)	0.839 p<.000 (N=59)	0.735 p<.000 (N=57)	0.283 p<.003 (N=109)	0.437 p<.000 (N=105)	0.612 p<.000 (N=73)	0.590 p<.000 (N=71)	0.740 p<.000 (N=59)	0.748 p<.000 (N=57)
K	0.552 p<.000 (N=109)	0.618 p<.000 (N=105)	0.466 p<.000 (N=73)	0.487 p<.000 (N=71)	0.558 p<.000 (N=59)	0.626 p<.000 (N=57)	0.096 p<.322 (N=109)	0.148 p<.132 (N=105)	0.306 p<.008 (N=73)	0.252 p<.034 (N=71)	0.646 p<.000 (N=59)	0.627 p<.000 (N=57)
Mg	1.000 p<.000 (N=109)	1.000 p<.000 (N=105)	1.000 p<.000 (N=73)	1.000 p<.000 (N=71)	1.000 p<.000 (N=59)	1.000 p<.000 (N=57)	0.475 p<.000 (N=109)	0.762 p<.000 (N=105)	0.829 p<.000 (N=73)	0.896 p<.000 (N=71)	0.904 p<.000 (N=59)	0.974 p<.000 (N=57)
Ca	0.475 p<.000 (N=109)	0.762 p<.000 (N=105)	0.829 p<.000 (N=73)	0.896 p<.000 (N=71)	0.904 p<.000 (N=59)	0.974 p<.000 (N=57)	1.000 p<.000 (N=109)	1.000 p<.000 (N=105)	1.000 p<.000 (N=73)	1.000 p<.000 (N=71)	1.000 p<.000 (N=59)	1.000 p<.000 (N=57)
F	0.396 p<.000 (N=109)	0.114 p<.247 (N=105)	0.306 p<.008 (N=73)	-0.185 p<.123 (N=71)	0.328 p<.011 (N=59)	-0.209 p<.119 (N=57)	-0.040 p<.680 (N=109)	-0.167 p<.088 (N=105)	0.011 p<.926 (N=73)	-0.265 p<.025 (N=71)	0.116 p<.383 (N=59)	-0.221 p<.000 (N=57)
Cl	0.819 p<.000 (N=109)	0.653 p<.000 (N=105)	0.887 p<.000 (N=73)	0.736 p<.000 (N=71)	0.933 p<.000 (N=59)	0.842 p<.000 (N=57)	0.255 p<.008 (N=109)	0.605 p<.000 (N=105)	0.672 p<.000 (N=73)	0.679 p<.000 (N=71)	0.802 p<.000 (N=59)	0.837 p<.000 (N=57)
N03	0.257 p<.007 (N=109)	0.481 p<.000 (N=105)	0.347 p<.003 (N=73)	0.579 p<.000 (N=71)	0.339 p<.009 (N=59)	0.594 p<.000 (N=57)	0.098 p<.309 (N=109)	0.495 p<.000 (N=105)	0.459 p<.000 (N=73)	0.519 p<.000 (N=71)	0.515 p<.000 (N=59)	0.613 p<.000 (N=57)
S04	0.486 p<.000 (N=109)	0.513 p<.000 (N=105)	0.834 p<.000 (N=73)	0.602 p<.000 (N=71)	0.863 p<.000 (N=59)	0.658 p<.000 (N=57)	0.918 p<.000 (N=109)	0.609 p<.000 (N=105)	0.633 p<.000 (N=73)	0.662 p<.000 (N=71)	0.666 p<.000 (N=59)	0.641 p<.000 (N=57)
P04	0.018 p<.850 (N=109)	-0.015 p<.883 (N=105)	-0.097 p<.413 (N=73)	-0.177 p<.139 (N=71)	-0.109 p<.411 (N=59)	-0.181 p<.177 (N=57)	-0.120 p<.216 (N=109)	-0.200 p<.040 (N=105)	-0.213 p<.071 (N=73)	-0.241 p<.043 (N=71)	-0.164 p<.215 (N=59)	-0.190 p<.157 (N=57)
S102	0.406 p<.000 (N=109)	0.475 p<.000 (N=105)	0.277 p<.018 (N=73)	0.312 p<.008 (N=71)	0.251 p<.055 (N=59)	0.243 p<.069 (N=57)	0.088 p<.363 (N=109)	0.235 p<.016 (N=105)	0.269 p<.021 (N=73)	0.252 p<.034 (N=71)	0.203 p<.123 (N=59)	0.160 p<.235 (N=57)
溶解成分	0.675 p<.000 (N=109)	0.801 p<.000 (N=105)	0.911 p<.000 (N=73)	0.821 p<.000 (N=71)	0.928 p<.000 (N=59)	0.850 p<.000 (N=57)	0.901 p<.000 (N=109)	0.747 p<.000 (N=105)	0.771 p<.000 (N=73)	0.814 p<.000 (N=71)	0.813 p<.000 (N=59)	0.835 p<.000 (N=57)
導電率	0.802 p<.000 (N=109)	0.917 p<.000 (N=105)	0.957 p<.000 (N=73)	0.938 p<.000 (N=71)	0.975 p<.000 (N=59)	0.968 p<.000 (N=57)	0.881 p<.000 (N=109)	0.888 p<.000 (N=105)	0.906 p<.000 (N=73)	0.939 p<.000 (N=71)	0.955 p<.000 (N=59)	0.985 p<.000 (N=57)
pH	-0.178 p<.113 (N=81)	-0.202 p<.076 (N=78)	-0.507 p<.000 (N=50)	-0.707 p<.000 (N=49)	-0.599 p<.000 (N=37)	-0.844 p<.000 (N=36)	-0.338 p<.002 (N=81)	-0.443 p<.000 (N=78)	-0.722 p<.000 (N=50)	-0.754 p<.000 (N=49)	-0.801 p<.000 (N=37)	-0.860 p<.000 (N=36)
陽イオン濃度	0.816 p<.000 (N=109)	0.940 p<.000 (N=105)	0.963 p<.000 (N=73)	0.957 p<.000 (N=71)	0.974 p<.000 (N=59)	0.974 p<.000 (N=57)	0.877 p<.000 (N=109)	0.877 p<.000 (N=105)	0.905 p<.000 (N=73)	0.948 p<.000 (N=71)	0.943 p<.000 (N=59)	0.980 p<.000 (N=57)
陰イオン濃度	0.595 p<.000 (N=109)	0.597 p<.000 (N=105)	0.863 p<.000 (N=73)	0.680 p<.000 (N=71)	0.889 p<.000 (N=59)	0.727 p<.000 (N=57)	0.889 p<.000 (N=109)	0.637 p<.000 (N=105)	0.667 p<.000 (N=73)	0.689 p<.000 (N=71)	0.729 p<.000 (N=59)	0.718 p<.000 (N=57)
合計イオン濃度	0.724 p<.000 (N=109)	0.874 p<.000 (N=105)	0.950 p<.000 (N=73)	0.905 p<.000 (N=71)	0.963 p<.000 (N=59)	0.932 p<.000 (N=57)	0.906 p<.000 (N=109)	0.848 p<.000 (N=105)	0.826 p<.000 (N=73)	0.904 p<.000 (N=71)	0.870 p<.000 (N=59)	0.933 p<.000 (N=57)

表4-2-4 データ間の相関：データ絞り込みによる相関係数の変化

	C1					N03					S04							
	A	A'	B	B'	C	C'	A	A'	B	B'	C	C'	A	A'	B	B'	C	C'
標高	-0.287	-0.365	-0.441	-0.582	-0.496	-0.647	-0.294	-0.300	-0.485	-0.500	-0.510	-0.532	0.014	-0.205	-0.341	-0.454	-0.367	-0.497
	p<.002 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.002 (N=110)	p<.002 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.884 (N=110)	p<.035 (N=106)	p<.003 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.004 (N=59)	p<.000 (N=57)
水温	0.251	0.298	0.357	0.424	0.450	0.548	0.190	0.205	0.266	0.271	0.335	0.344	0.173	0.174	0.209	0.187	0.322	0.385
	p<.009 (N=109)	p<.002 (N=105)	p<.002 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.048 (N=109)	p<.036 (N=106)	p<.022 (N=74)	p<.021 (N=72)	p<.010 (N=59)	p<.009 (N=57)	p<.072 (N=109)	p<.077 (N=105)	p<.074 (N=74)	p<.115 (N=72)	p<.013 (N=59)	p<.003 (N=57)
V	0.081	-0.160	-0.077	-0.492	-0.110	-0.665	-0.153	-0.100	-0.255	-0.234	-0.461	-0.454	-0.068	-0.130	0.028	-0.391	0.088	-0.446
	p<.400 (N=110)	p<.101 (N=106)	p<.515 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.409 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.110 (N=110)	p<.309 (N=106)	p<.028 (N=74)	p<.047 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.477 (N=110)	p<.183 (N=106)	p<.810 (N=74)	p<.001 (N=72)	p<.507 (N=59)	p<.001 (N=57)
δ_{O}	-0.141	0.093	-0.062	0.241	-0.078	0.272	0.060	0.056	0.131	0.103	0.245	0.219	-0.180	-0.096	-0.194	0.049	-0.220	0.081
	p<.142 (N=110)	p<.343 (N=106)	p<.599 (N=74)	p<.042 (N=72)	p<.558 (N=59)	p<.041 (N=57)	p<.531 (N=110)	p<.570 (N=106)	p<.264 (N=74)	p<.390 (N=72)	p<.061 (N=59)	p<.101 (N=57)	p<.060 (N=110)	p<.328 (N=106)	p<.097 (N=74)	p<.682 (N=72)	p<.094 (N=59)	p<.547 (N=57)
Na	0.821	0.670	0.872	0.726	0.904	0.797	0.129	0.311	0.168	0.381	0.183	0.434	0.416	0.600	0.867	0.663	0.899	0.732
	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.182 (N=109)	p<.001 (N=105)	p<.156 (N=73)	p<.001 (N=71)	p<.166 (N=59)	p<.001 (N=57)	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)
K	0.339	0.333	0.380	0.365	0.497	0.558	0.101	0.169	0.278	0.302	0.340	0.369	0.122	0.178	0.257	0.150	0.352	0.331
	p<.000 (N=109)	p<.001 (N=105)	p<.001 (N=73)	p<.002 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.296 (N=109)	p<.084 (N=105)	p<.017 (N=73)	p<.011 (N=71)	p<.008 (N=59)	p<.005 (N=57)	p<.206 (N=109)	p<.089 (N=105)	p<.028 (N=73)	p<.211 (N=71)	p<.006 (N=59)	p<.012 (N=57)
Mg	0.819	0.653	0.887	0.736	0.933	0.842	0.257	0.481	0.347	0.579	0.339	0.594	0.486	0.513	0.834	0.602	0.863	0.658
	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.007 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.003 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.009 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)
Ca	0.255	0.605	0.672	0.679	0.802	0.837	0.098	0.495	0.459	0.519	0.515	0.613	0.918	0.609	0.633	0.662	0.666	0.641
	p<.008 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.309 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)
F	0.473	0.109	0.446	-0.037	0.490	0.002	-0.013	0.066	-0.054	0.000	-0.068	-0.013	0.188	0.207	0.546	0.109	0.603	0.175
	p<.000 (N=110)	p<.265 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.761 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.987 (N=57)	p<.894 (N=110)	p<.499 (N=106)	p<.647 (N=74)	p<.998 (N=72)	p<.606 (N=59)	p<.921 (N=57)	p<.050 (N=110)	p<.034 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.360 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.193 (N=57)
Cl	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.345	0.685	0.376	0.726	0.378	0.762	0.390	0.752	0.926	0.770	0.955	0.867
	p<.000 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.000 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.001 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.003 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.000 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)
N03	0.345	0.685	0.376	0.726	0.378	0.762	1.000	1.000	0.264	0.625	0.269	0.741	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.741
	p<.000 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.001 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.003 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.952 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.023 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.039 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.952 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.023 (N=74)	p<.625 (N=72)	p<.039 (N=59)	p<.000 (N=57)
S04	0.390	0.752	0.926	0.770	0.955	0.867	0.006	0.557	0.264	0.625	0.269	0.741	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.741
	p<.000 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.006 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.039 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.006 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.625 (N=72)	p<.039 (N=59)	p<.000 (N=57)
P04	0.056	0.015	-0.011	-0.065	-0.009	-0.033	-0.085	-0.070	-0.120	-0.115	-0.133	-0.129	0.002	0.081	0.039	0.016	0.037	0.055
	p<.562 (N=110)	p<.882 (N=106)	p<.923 (N=74)	p<.587 (N=72)	p<.947 (N=59)	p<.809 (N=57)	p<.375 (N=110)	p<.473 (N=106)	p<.308 (N=74)	p<.337 (N=72)	p<.316 (N=59)	p<.338 (N=57)	p<.987 (N=110)	p<.406 (N=106)	p<.743 (N=74)	p<.893 (N=72)	p<.779 (N=59)	p<.682 (N=57)
Si02	0.294	0.329	0.262	0.296	0.307	0.338	0.202	0.266	0.286	0.305	0.276	0.300	0.099	0.318	0.268	0.330	0.246	0.254
	p<.002 (N=110)	p<.001 (N=106)	p<.024 (N=74)	p<.012 (N=72)	p<.018 (N=59)	p<.010 (N=57)	p<.035 (N=110)	p<.006 (N=106)	p<.013 (N=74)	p<.009 (N=72)	p<.035 (N=59)	p<.023 (N=57)	p<.301 (N=110)	p<.001 (N=106)	p<.021 (N=74)	p<.005 (N=72)	p<.060 (N=59)	p<.057 (N=57)
溶解成分	0.566	0.851	0.950	0.879	0.985	0.961	0.159	0.668	0.419	0.731	0.424	0.797	0.959	0.870	0.956	0.907	0.960	0.913
	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.098 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.001 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)
導電率	0.630	0.809	0.915	0.869	0.962	0.957	0.266	0.697	0.614	0.796	0.646	0.876	0.867	0.779	0.888	0.841	0.903	0.890
	p<.000 (N=82)	p<.000 (N=79)	p<.000 (N=51)	p<.000 (N=50)	p<.000 (N=37)	p<.000 (N=36)	p<.016 (N=82)	p<.000 (N=79)	p<.000 (N=51)	p<.000 (N=50)	p<.000 (N=37)	p<.000 (N=36)	p<.000 (N=82)	p<.000 (N=79)	p<.000 (N=51)	p<.000 (N=50)	p<.000 (N=37)	p<.000 (N=36)
pH	-0.268	-0.434	-0.479	-0.710	-0.516	-0.759	-0.327	-0.401	-0.638	-0.639	-0.738	-0.741	-0.256	-0.400	-0.408	-0.664	-0.399	-0.704
	p<.015 (N=82)	p<.000 (N=79)	p<.000 (N=51)	p<.000 (N=50)	p<.001 (N=37)	p<.000 (N=36)	p<.003 (N=82)	p<.000 (N=79)	p<.000 (N=51)	p<.000 (N=50)	p<.000 (N=37)	p<.000 (N=36)	p<.020 (N=82)	p<.000 (N=79)	p<.003 (N=51)	p<.000 (N=50)	p<.014 (N=37)	p<.000 (N=36)
陽付濃度	0.618	0.730	0.878	0.776	0.931	0.874	0.174	0.503	0.371	0.554	0.376	0.593	0.859	0.656	0.838	0.701	0.852	0.703
	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.071 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.001 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.003 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)
陰付濃度	0.542	0.883	0.963	0.891	0.979	0.934	0.126	0.724	0.380	0.770	0.382	0.833	0.983	0.961	0.988	0.965	0.990	0.978
	p<.000 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.188 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.001 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.003 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.000 (N=110)	p<.000 (N=106)	p<.000 (N=74)	p<.000 (N=72)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)
合計イオン濃度	0.595	0.843	0.949	0.872	0.981	0.951	0.153	0.625	0.386	0.676	0.390	0.726	0.944	0.822	0.938	0.853	0.942	0.856
	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.113 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.001 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.002 (N=59)	p<.000 (N=57)	p<.000 (N=109)	p<.000 (N=105)	p<.000 (N=73)	p<.000 (N=71)	p<.000 (N=59)	p<.000 (N=57)

表4-2-5 データ間の相関：データ絞り込みによる相関係数の変化

	P04				S102				溶解成分合計			
	A	A'	B	B'	C	C'	A	A'	B	B'	C	C'
標高	0.059 p<0.000 (N=110)	0.067 p<0.494 (N=106)	0.104 p<0.377 (N=74)	0.109 p<0.360 (N=72)	0.070 p<0.599 (N=59)	0.073 p<0.589 (N=57)	-0.268 p<0.005 (N=110)	-0.263 p<0.007 (N=106)	-0.408 p<0.000 (N=74)	-0.400 p<0.000 (N=72)	-0.326 p<0.013 (N=57)	-0.326 p<0.013 (N=57)
水温	0.025 p<0.799 (N=109)	0.029 p<0.766 (N=105)	-0.018 p<0.882 (N=74)	-0.019 p<0.873 (N=72)	0.001 p<0.993 (N=59)	0.003 p<0.985 (N=57)	0.175 p<0.068 (N=109)	0.175 p<0.074 (N=105)	0.030 p<0.796 (N=74)	0.021 p<0.863 (N=72)	0.053 p<0.690 (N=57)	0.037 p<0.786 (N=57)
V	0.407 p<0.000 (N=110)	0.398 p<0.000 (N=106)	0.276 p<0.017 (N=74)	0.274 p<0.020 (N=72)	0.156 p<0.239 (N=59)	0.155 p<0.249 (N=57)	0.376 p<0.000 (N=110)	0.354 p<0.000 (N=106)	0.007 p<0.952 (N=74)	-0.035 p<0.771 (N=72)	-0.168 p<0.203 (N=59)	-0.255 p<0.056 (N=57)
$\delta^{18}\text{O}$	-0.352 p<0.000 (N=110)	-0.353 p<0.000 (N=106)	-0.267 p<0.021 (N=74)	-0.265 p<0.025 (N=72)	-0.187 p<0.157 (N=59)	-0.188 p<0.162 (N=57)	-0.190 p<0.046 (N=110)	-0.161 p<0.099 (N=106)	-0.002 p<0.986 (N=74)	0.041 p<0.735 (N=72)	0.114 p<0.389 (N=59)	0.189 p<0.159 (N=57)
Na	0.322 p<0.001 (N=109)	0.390 p<0.000 (N=105)	0.190 p<0.108 (N=73)	0.253 p<0.034 (N=71)	0.172 p<0.194 (N=59)	0.263 p<0.048 (N=57)	0.401 p<0.000 (N=109)	0.434 p<0.000 (N=105)	0.211 p<0.073 (N=73)	0.183 p<0.127 (N=71)	0.215 p<0.102 (N=59)	0.143 p<0.289 (N=57)
K	0.459 p<0.000 (N=109)	0.455 p<0.000 (N=105)	0.408 p<0.000 (N=73)	0.411 p<0.000 (N=71)	0.387 p<0.002 (N=59)	0.395 p<0.002 (N=57)	0.489 p<0.000 (N=109)	0.476 p<0.000 (N=105)	0.243 p<0.038 (N=73)	0.225 p<0.059 (N=71)	0.211 p<0.109 (N=59)	0.183 p<0.173 (N=57)
Mg	0.018 p<0.850 (N=109)	-0.015 p<0.883 (N=105)	-0.097 p<0.413 (N=73)	-0.177 p<0.139 (N=71)	-0.109 p<0.411 (N=59)	-0.181 p<0.177 (N=57)	0.406 p<0.000 (N=109)	0.475 p<0.000 (N=105)	0.277 p<0.018 (N=73)	0.312 p<0.008 (N=71)	0.251 p<0.055 (N=59)	0.243 p<0.069 (N=57)
Ca	-0.120 p<0.216 (N=109)	-0.200 p<0.040 (N=105)	-0.213 p<0.071 (N=73)	-0.241 p<0.043 (N=71)	-0.164 p<0.215 (N=59)	-0.190 p<0.157 (N=57)	0.088 p<0.363 (N=109)	0.235 p<0.016 (N=105)	0.269 p<0.021 (N=73)	0.252 p<0.034 (N=71)	0.203 p<0.123 (N=59)	0.160 p<0.235 (N=57)
F	0.615 p<0.000 (N=110)	0.691 p<0.000 (N=106)	0.548 p<0.000 (N=74)	0.656 p<0.000 (N=72)	0.506 p<0.000 (N=59)	0.634 p<0.000 (N=57)	0.297 p<0.002 (N=110)	0.262 p<0.007 (N=106)	0.060 p<0.614 (N=74)	-0.024 p<0.844 (N=72)	0.058 p<0.664 (N=59)	-0.061 p<0.651 (N=57)
Cl	0.056 p<0.562 (N=110)	0.015 p<0.473 (N=106)	-0.011 p<0.923 (N=74)	-0.065 p<0.587 (N=72)	-0.009 p<0.947 (N=59)	-0.033 p<0.809 (N=57)	0.294 p<0.002 (N=110)	0.266 p<0.006 (N=106)	0.282 p<0.024 (N=74)	0.305 p<0.009 (N=72)	0.276 p<0.035 (N=59)	0.300 p<0.023 (N=57)
N03	-0.085 p<0.379 (N=110)	-0.070 p<0.473 (N=106)	-0.120 p<0.308 (N=74)	-0.115 p<0.337 (N=72)	-0.133 p<0.316 (N=59)	-0.129 p<0.338 (N=57)	0.202 p<0.035 (N=110)	0.266 p<0.006 (N=106)	0.286 p<0.013 (N=74)	0.300 p<0.009 (N=72)	0.276 p<0.035 (N=59)	0.300 p<0.023 (N=57)
S04	0.002 p<0.987 (N=110)	0.081 p<0.406 (N=106)	0.039 p<0.743 (N=74)	0.016 p<0.893 (N=72)	0.037 p<0.779 (N=59)	0.055 p<0.682 (N=57)	0.099 p<0.301 (N=110)	0.318 p<0.001 (N=106)	0.268 p<0.021 (N=74)	0.330 p<0.005 (N=72)	0.246 p<0.060 (N=59)	0.057 p<0.557 (N=57)
P04	1.000 p<0.000 (N=110)	1.000 p<0.000 (N=106)	1.000 p<0.000 (N=74)	1.000 p<0.000 (N=72)	1.000 p<0.000 (N=59)	1.000 p<0.000 (N=57)	0.160 p<0.095 (N=110)	0.149 p<0.128 (N=106)	0.007 p<0.954 (N=74)	0.000 p<0.998 (N=72)	-0.005 p<0.997 (N=59)	-0.023 p<0.969 (N=57)
S102	0.160 p<0.095 (N=110)	0.149 p<0.128 (N=106)	0.007 p<0.954 (N=74)	0.000 p<0.998 (N=72)	0.000 p<0.997 (N=59)	-0.005 p<0.969 (N=57)	1.000 p<0.000 (N=110)	1.000 p<0.000 (N=106)	1.000 p<0.000 (N=74)	1.000 p<0.000 (N=72)	1.000 p<0.000 (N=59)	1.000 p<0.000 (N=57)
溶解成分	0.036 p<0.709 (N=109)	0.109 p<0.268 (N=105)	0.011 p<0.926 (N=73)	-0.023 p<0.680 (N=71)	0.017 p<0.900 (N=59)	0.010 p<0.943 (N=57)	0.284 p<0.003 (N=109)	0.593 p<0.000 (N=105)	0.412 p<0.000 (N=74)	0.508 p<0.000 (N=72)	0.379 p<0.001 (N=59)	0.437 p<0.001 (N=57)
導電率	0.028 p<0.804 (N=82)	-0.051 p<0.652 (N=79)	-0.013 p<0.929 (N=51)	-0.160 p<0.268 (N=50)	-0.027 p<0.873 (N=37)	-0.029 p<0.866 (N=36)	0.363 p<0.001 (N=82)	0.558 p<0.000 (N=79)	0.395 p<0.004 (N=51)	0.434 p<0.003 (N=50)	0.391 p<0.017 (N=37)	0.392 p<0.018 (N=36)
pH	0.223 p<0.044 (N=82)	0.225 p<0.046 (N=79)	0.148 p<0.301 (N=51)	0.161 p<0.263 (N=50)	0.148 p<0.382 (N=37)	0.167 p<0.331 (N=36)	0.053 p<0.636 (N=82)	0.051 p<0.656 (N=79)	-0.397 p<0.004 (N=51)	-0.393 p<0.003 (N=50)	-0.431 p<0.008 (N=37)	-0.422 p<0.010 (N=36)
陽イオン濃度	0.018 p<0.850 (N=109)	0.037 p<0.467 (N=105)	-0.053 p<0.658 (N=73)	-0.099 p<0.411 (N=71)	-0.039 p<0.768 (N=59)	-0.067 p<0.619 (N=57)	0.288 p<0.002 (N=109)	0.427 p<0.000 (N=105)	0.282 p<0.016 (N=73)	0.280 p<0.018 (N=71)	0.239 p<0.069 (N=59)	0.194 p<0.149 (N=57)
陰イオン濃度	0.018 p<0.852 (N=110)	0.084 p<0.392 (N=106)	0.033 p<0.780 (N=74)	0.008 p<0.947 (N=72)	0.029 p<0.826 (N=59)	0.034 p<0.799 (N=57)	0.155 p<0.105 (N=110)	0.354 p<0.000 (N=106)	0.287 p<0.013 (N=74)	0.345 p<0.003 (N=72)	0.281 p<0.031 (N=59)	0.299 p<0.024 (N=57)
合計イオン濃度	0.018 p<0.853 (N=109)	0.057 p<0.560 (N=105)	-0.016 p<0.893 (N=73)	-0.063 p<0.263 (N=71)	-0.008 p<0.955 (N=59)	-0.029 p<0.831 (N=57)	0.226 p<0.018 (N=109)	0.428 p<0.000 (N=105)	0.291 p<0.012 (N=73)	0.322 p<0.006 (N=71)	0.266 p<0.042 (N=59)	0.248 p<0.062 (N=57)

表4-2-6 データ間の相関：データ絞り込みによる相関係数の変化

	導電率						pH						陽イオン濃度					
	A	A'	B	B'	C	C'	A	A'	B	B'	C	C'	A	A'	B	B'	C	C'
標高	-0.176 p<.000 (N=82)	-0.374 p<.001 (N=79)	-0.610 p<.000 (N=51)	-0.702 p<.000 (N=50)	-0.663 p<.000 (N=37)	-0.764 p<.000 (N=36)	0.279 p<.011 (N=82)	0.303 p<.007 (N=79)	0.603 p<.000 (N=51)	0.601 p<.000 (N=50)	0.641 p<.000 (N=37)	0.636 p<.000 (N=36)	-0.171 p<.076 (N=109)	-0.345 p<.000 (N=105)	-0.579 p<.000 (N=73)	-0.667 p<.000 (N=71)	-0.605 p<.000 (N=59)	-0.698 p<.000 (N=57)
水温	0.401 p<.000 (N=82)	0.440 p<.001 (N=79)	0.448 p<.001 (N=51)	0.443 p<.001 (N=50)	0.616 p<.000 (N=37)	0.642 p<.000 (N=36)	-0.119 p<.287 (N=82)	-0.092 p<.018 (N=79)	-0.410 p<.003 (N=51)	-0.406 p<.004 (N=50)	-0.460 p<.004 (N=37)	-0.451 p<.006 (N=36)	0.362 p<.000 (N=108)	0.425 p<.000 (N=104)	0.410 p<.000 (N=73)	0.433 p<.000 (N=71)	0.534 p<.000 (N=59)	0.588 p<.000 (N=57)
V	-0.013 p<.006 (N=82)	0.038 p<.074 (N=79)	-0.268 p<.058 (N=51)	-0.483 p<.000 (N=50)	-0.398 p<.015 (N=37)	-0.702 p<.000 (N=36)	0.673 p<.000 (N=82)	0.673 p<.000 (N=79)	0.536 p<.000 (N=51)	0.554 p<.000 (N=50)	0.627 p<.000 (N=37)	0.653 p<.000 (N=36)	0.052 p<.590 (N=109)	0.077 p<.432 (N=105)	-0.138 p<.244 (N=73)	-0.423 p<.434 (N=71)	-0.178 p<.176 (N=59)	-0.583 p<.000 (N=57)
δ_{18O}	-0.130 p<.006 (N=82)	0.026 p<.819 (N=79)	0.097 p<.498 (N=51)	0.271 p<.057 (N=50)	0.135 p<.424 (N=37)	0.354 p<.034 (N=36)	-0.293 p<.008 (N=82)	-0.329 p<.003 (N=79)	-0.223 p<.116 (N=51)	-0.238 p<.097 (N=50)	-0.343 p<.038 (N=37)	-0.368 p<.027 (N=36)	-0.171 p<.075 (N=109)	-0.007 p<.946 (N=105)	0.012 p<.918 (N=73)	0.264 p<.026 (N=71)	0.037 p<.783 (N=59)	0.343 p<.009 (N=57)
Na	0.715 p<.000 (N=81)	0.826 p<.000 (N=78)	0.908 p<.000 (N=50)	0.836 p<.000 (N=49)	0.953 p<.000 (N=37)	0.919 p<.000 (N=36)	-0.023 p<.839 (N=81)	-0.002 p<.988 (N=78)	-0.466 p<.001 (N=50)	-0.627 p<.000 (N=49)	-0.532 p<.001 (N=37)	-0.740 p<.000 (N=36)	0.682 p<.000 (N=109)	0.777 p<.000 (N=105)	0.866 p<.000 (N=73)	0.786 p<.000 (N=71)	0.905 p<.000 (N=59)	0.854 p<.000 (N=57)
K	0.432 p<.000 (N=81)	0.559 p<.000 (N=78)	0.526 p<.000 (N=50)	0.493 p<.000 (N=49)	0.756 p<.000 (N=37)	0.792 p<.000 (N=36)	0.146 p<.193 (N=81)	0.157 p<.170 (N=78)	-0.422 p<.002 (N=50)	-0.420 p<.003 (N=49)	-0.810 p<.000 (N=37)	-0.822 p<.000 (N=36)	0.408 p<.000 (N=109)	0.547 p<.000 (N=105)	0.482 p<.000 (N=73)	0.467 p<.000 (N=71)	0.641 p<.000 (N=59)	0.691 p<.000 (N=57)
Mg	0.802 p<.000 (N=81)	0.917 p<.000 (N=78)	0.957 p<.000 (N=50)	0.938 p<.000 (N=49)	0.975 p<.000 (N=37)	0.968 p<.000 (N=36)	-0.178 p<.113 (N=81)	-0.202 p<.076 (N=78)	-0.507 p<.000 (N=50)	-0.707 p<.000 (N=49)	-0.599 p<.000 (N=37)	-0.844 p<.000 (N=36)	0.816 p<.000 (N=109)	0.940 p<.000 (N=105)	0.963 p<.000 (N=73)	0.957 p<.000 (N=71)	0.974 p<.000 (N=59)	0.974 p<.000 (N=57)
Ca	0.881 p<.000 (N=81)	0.888 p<.000 (N=78)	0.906 p<.000 (N=50)	0.939 p<.000 (N=49)	0.955 p<.000 (N=37)	0.985 p<.000 (N=36)	-0.338 p<.002 (N=81)	-0.443 p<.000 (N=78)	-0.722 p<.000 (N=50)	-0.754 p<.000 (N=49)	-0.801 p<.000 (N=37)	-0.860 p<.000 (N=36)	0.877 p<.000 (N=109)	0.877 p<.000 (N=105)	0.905 p<.000 (N=73)	0.948 p<.000 (N=71)	0.943 p<.000 (N=59)	0.980 p<.000 (N=57)
F	0.296 p<.007 (N=82)	0.166 p<.014 (N=79)	0.337 p<.016 (N=51)	-0.121 p<.401 (N=50)	0.374 p<.022 (N=37)	-0.140 p<.336 (N=36)	0.338 p<.002 (N=82)	0.414 p<.000 (N=79)	0.107 p<.455 (N=51)	0.194 p<.178 (N=50)	0.063 p<.710 (N=37)	0.172 p<.315 (N=36)	0.277 p<.004 (N=109)	0.146 p<.137 (N=105)	0.312 p<.007 (N=73)	-0.118 p<.327 (N=71)	0.355 p<.006 (N=59)	-0.116 p<.392 (N=57)
Cl	0.630 p<.000 (N=82)	0.809 p<.000 (N=79)	0.915 p<.000 (N=51)	0.869 p<.000 (N=50)	0.962 p<.000 (N=37)	0.957 p<.000 (N=36)	-0.268 p<.015 (N=82)	-0.434 p<.000 (N=79)	-0.479 p<.000 (N=51)	-0.710 p<.000 (N=50)	-0.516 p<.001 (N=37)	-0.759 p<.000 (N=36)	0.618 p<.000 (N=109)	0.730 p<.000 (N=105)	0.878 p<.000 (N=73)	0.776 p<.000 (N=71)	0.931 p<.000 (N=59)	0.874 p<.000 (N=57)
NO3	0.266 p<.016 (N=82)	0.697 p<.000 (N=79)	0.614 p<.000 (N=51)	0.796 p<.000 (N=50)	0.646 p<.000 (N=37)	0.876 p<.000 (N=36)	-0.327 p<.000 (N=82)	-0.401 p<.000 (N=79)	-0.638 p<.000 (N=51)	-0.639 p<.000 (N=50)	-0.738 p<.000 (N=37)	-0.741 p<.000 (N=36)	0.174 p<.071 (N=109)	0.503 p<.000 (N=105)	0.371 p<.001 (N=73)	0.554 p<.000 (N=71)	0.376 p<.003 (N=59)	0.593 p<.000 (N=57)
SO4	0.867 p<.000 (N=82)	0.779 p<.000 (N=79)	0.888 p<.000 (N=51)	0.841 p<.000 (N=50)	0.903 p<.000 (N=37)	0.890 p<.000 (N=36)	-0.256 p<.020 (N=82)	-0.400 p<.000 (N=79)	-0.408 p<.003 (N=51)	-0.664 p<.000 (N=50)	-0.399 p<.014 (N=37)	-0.704 p<.000 (N=36)	0.859 p<.000 (N=109)	0.656 p<.000 (N=105)	0.838 p<.000 (N=73)	0.701 p<.000 (N=71)	0.852 p<.000 (N=59)	0.703 p<.000 (N=57)
PO4	0.028 p<.804 (N=82)	-0.051 p<.652 (N=79)	-0.013 p<.929 (N=51)	-0.160 p<.268 (N=50)	-0.027 p<.873 (N=37)	-0.190 p<.268 (N=36)	0.223 p<.044 (N=82)	0.225 p<.046 (N=79)	0.148 p<.301 (N=51)	0.161 p<.263 (N=50)	0.148 p<.382 (N=37)	0.167 p<.331 (N=36)	0.018 p<.850 (N=109)	0.037 p<.707 (N=105)	-0.039 p<.658 (N=73)	-0.099 p<.411 (N=71)	-0.067 p<.768 (N=59)	-0.067 p<.619 (N=57)
SiO2	0.363 p<.001 (N=82)	0.558 p<.000 (N=79)	0.395 p<.004 (N=51)	0.434 p<.002 (N=50)	0.391 p<.017 (N=37)	0.392 p<.018 (N=36)	0.053 p<.636 (N=82)	0.051 p<.656 (N=79)	-0.397 p<.004 (N=51)	-0.393 p<.005 (N=50)	-0.431 p<.008 (N=37)	-0.422 p<.010 (N=36)	0.288 p<.002 (N=109)	0.427 p<.000 (N=105)	0.282 p<.016 (N=73)	0.280 p<.018 (N=71)	0.239 p<.069 (N=59)	0.194 p<.149 (N=57)
溶解成分	0.965 p<.000 (N=81)	0.962 p<.000 (N=78)	0.973 p<.000 (N=50)	0.963 p<.000 (N=49)	0.977 p<.000 (N=37)	0.973 p<.000 (N=36)	-0.282 p<.011 (N=81)	-0.318 p<.004 (N=78)	-0.555 p<.000 (N=51)	-0.758 p<.000 (N=50)	-0.579 p<.000 (N=37)	-0.817 p<.000 (N=36)	0.951 p<.000 (N=109)	0.886 p<.000 (N=105)	0.931 p<.000 (N=73)	0.879 p<.000 (N=71)	0.937 p<.000 (N=59)	0.879 p<.000 (N=57)
導電率	1.000 p<.000 (N=82)	1.000 p<.000 (N=79)	1.000 p<.000 (N=51)	1.000 p<.000 (N=50)	1.000 p<.000 (N=37)	1.000 p<.000 (N=36)	-0.287 p<.009 (N=81)	-0.274 p<.015 (N=78)	-0.618 p<.000 (N=51)	-0.755 p<.000 (N=50)	-0.690 p<.000 (N=37)	-0.860 p<.000 (N=36)	0.994 p<.000 (N=109)	0.984 p<.000 (N=105)	0.991 p<.000 (N=73)	0.985 p<.000 (N=71)	0.995 p<.000 (N=59)	0.991 p<.000 (N=57)
pH	-0.287 p<.009 (N=82)	-0.274 p<.015 (N=79)	-0.618 p<.000 (N=51)	-0.755 p<.000 (N=50)	-0.690 p<.000 (N=37)	-0.860 p<.000 (N=36)	1.000 p<.000 (N=81)	1.000 p<.000 (N=78)	1.000 p<.000 (N=51)	1.000 p<.000 (N=50)	1.000 p<.000 (N=37)	1.000 p<.000 (N=36)	-0.285 p<.010 (N=81)	-0.272 p<.016 (N=78)	-0.622 p<.000 (N=49)	-0.765 p<.000 (N=37)	-0.680 p<.000 (N=36)	-0.854 p<.000 (N=35)
陽イオン濃度	0.994 p<.000 (N=81)	0.984 p<.000 (N=78)	0.991 p<.000 (N=50)	0.985 p<.000 (N=49)	0.995 p<.000 (N=37)	0.991 p<.000 (N=36)	-0.285 p<.010 (N=81)	-0.272 p<.016 (N=78)	-0.622 p<.000 (N=51)	-0.765 p<.000 (N=50)	-0.680 p<.000 (N=37)	-0.854 p<.000 (N=36)	1.000 p<.000 (N=109)	1.000 p<.000 (N=105)	1.000 p<.000 (N=73)	1.000 p<.000 (N=71)	1.000 p<.000 (N=59)	1.000 p<.000 (N=57)
陰イオン濃度	0.919 p<.000 (N=82)	0.846 p<.000 (N=79)	0.924 p<.000 (N=51)	0.901 p<.000 (N=50)	0.941 p<.000 (N=37)	0.932 p<.000 (N=36)	-0.293 p<.008 (N=81)	-0.431 p<.000 (N=78)	-0.464 p<.001 (N=51)	-0.717 p<.000 (N=50)	-0.473 p<.003 (N=37)	-0.744 p<.000 (N=36)	0.901 p<.000 (N=109)	0.717 p<.000 (N=105)	0.866 p<.000 (N=73)	0.754 p<.000 (N=71)	0.885 p<.000 (N=59)	0.767 p<.000 (N=57)
合計イオン濃度	0.978 p<.001 (N=81)	0.986 p<.000 (N=78)	0.986 p<.000 (N=50)	0.990 p<.000 (N=49)	0.987 p<.000 (N=37)	0.992 p<.000 (N=36)	-0.295 p<.008 (N=81)	-0.345 p<.002 (N=78)	-0.563 p<.000 (N=51)	-0.773 p<.000 (N=50)	-0.596 p<.000 (N=37)	-0.831 p<.000 (N=36)	0.975 p<.000 (N=109)	0.962 p<.000 (N=105)	0.972 p<.000 (N=73)	0.964 p<.000 (N=71)	0.976 p<.000 (N=59)	0.966 p<.000 (N=57)

表4-2-7 データ間の相関：データ絞り込みによる相関係数の変化

A : 全データを用いた計算

A' : 全データからNo. 19, 23, 40, 112を除いて計算

B : 富士山1+富士山2

B' : 富士山1+富士山2からNo. 40, 112を除いて計算

C : 富士山1

C' : 富士山1からNo. 40, 112を除いて計算

	陰イオン濃度					合計イオン濃度						
	A	A'	B	B'	C	C'	A	A'	B	B'	C	C'
標高	-0.595 p<.000 (N=110)	-0.282 p<.003 (N=106)	-0.404 p<.000 (N=74)	-0.535 p<.000 (N=72)	-0.439 p<.001 (N=59)	-0.574 p<.000 (N=57)	-0.113 p<.242 (N=109)	-0.345 p<.000 (N=105)	-0.516 p<.000 (N=73)	-0.654 p<.000 (N=71)	-0.545 p<.000 (N=59)	-0.689 p<.000 (N=57)
水温	0.212 p<.027 (N=109)	0.231 p<.018 (N=105)	0.266 p<.022 (N=74)	0.278 p<.018 (N=72)	0.375 p<.003 (N=59)	0.439 p<.001 (N=57)	0.293 p<.002 (N=108)	0.378 p<.000 (N=104)	0.354 p<.002 (N=73)	0.393 p<.001 (N=71)	0.475 p<.000 (N=59)	0.563 p<.000 (N=57)
V	-0.050 p<.608 (N=110)	-0.116 p<.236 (N=106)	-0.011 p<.927 (N=74)	-0.408 p<.000 (N=72)	-0.001 p<.993 (N=59)	-0.523 p<.000 (N=57)	0.000 p<.998 (N=109)	0.005 p<.958 (N=105)	-0.087 p<.462 (N=73)	-0.451 p<.000 (N=71)	-0.100 p<.452 (N=59)	-0.594 p<.000 (N=57)
$\delta^{18}\text{O}$	-0.194 p<.042 (N=110)	-0.056 p<.568 (N=106)	-0.157 p<.182 (N=74)	0.093 p<.435 (N=72)	-0.164 p<.215 (N=59)	0.147 p<.274 (N=57)	-0.187 p<.052 (N=109)	-0.019 p<.849 (N=105)	-0.061 p<.610 (N=73)	0.232 p<.051 (N=71)	-0.057 p<.669 (N=59)	0.284 p<.032 (N=57)
Na	0.528 p<.000 (N=109)	0.651 p<.000 (N=105)	0.874 p<.000 (N=73)	0.703 p<.000 (N=71)	0.899 p<.000 (N=59)	0.748 p<.000 (N=57)	0.621 p<.000 (N=109)	0.784 p<.000 (N=105)	0.900 p<.000 (N=73)	0.803 p<.000 (N=71)	0.929 p<.000 (N=59)	0.862 p<.000 (N=57)
K	0.181 p<.060 (N=109)	0.260 p<.007 (N=105)	0.319 p<.006 (N=73)	0.261 p<.028 (N=71)	0.417 p<.001 (N=59)	0.429 p<.001 (N=57)	0.302 p<.001 (N=109)	0.474 p<.000 (N=105)	0.422 p<.000 (N=73)	0.413 p<.000 (N=71)	0.555 p<.000 (N=59)	0.627 p<.000 (N=57)
Mg	0.595 p<.000 (N=109)	0.597 p<.000 (N=105)	0.863 p<.000 (N=73)	0.680 p<.000 (N=71)	0.889 p<.000 (N=59)	0.727 p<.000 (N=57)	0.724 p<.000 (N=109)	0.874 p<.000 (N=105)	0.950 p<.000 (N=73)	0.905 p<.000 (N=71)	0.963 p<.000 (N=59)	0.932 p<.000 (N=57)
Ca	0.889 p<.000 (N=109)	0.637 p<.000 (N=105)	0.667 p<.000 (N=73)	0.689 p<.000 (N=71)	0.729 p<.000 (N=59)	0.718 p<.000 (N=57)	0.906 p<.000 (N=109)	0.848 p<.000 (N=105)	0.826 p<.000 (N=73)	0.904 p<.000 (N=71)	0.870 p<.000 (N=59)	0.933 p<.000 (N=57)
F	0.261 p<.006 (N=110)	0.222 p<.022 (N=106)	0.524 p<.000 (N=74)	0.101 p<.399 (N=72)	0.569 p<.000 (N=59)	0.142 p<.293 (N=57)	0.275 p<.004 (N=109)	0.184 p<.060 (N=105)	0.421 p<.000 (N=73)	-0.041 p<.737 (N=71)	0.466 p<.000 (N=59)	-0.018 p<.892 (N=57)
Cl	0.542 p<.000 (N=110)	0.883 p<.000 (N=106)	0.963 p<.000 (N=74)	0.891 p<.000 (N=72)	0.979 p<.000 (N=59)	0.934 p<.000 (N=57)	0.595 p<.000 (N=109)	0.843 p<.000 (N=105)	0.949 p<.000 (N=73)	0.872 p<.000 (N=71)	0.981 p<.000 (N=59)	0.951 p<.000 (N=57)
N03	0.126 p<.188 (N=110)	0.724 p<.000 (N=106)	0.380 p<.001 (N=74)	0.770 p<.000 (N=72)	0.382 p<.003 (N=59)	0.833 p<.000 (N=57)	0.153 p<.113 (N=109)	0.625 p<.000 (N=105)	0.386 p<.001 (N=73)	0.676 p<.000 (N=71)	0.390 p<.002 (N=59)	0.726 p<.000 (N=57)
S04	0.983 p<.000 (N=110)	0.961 p<.000 (N=106)	0.988 p<.000 (N=74)	0.965 p<.000 (N=72)	0.990 p<.000 (N=59)	0.978 p<.000 (N=57)	0.944 p<.000 (N=109)	0.822 p<.000 (N=105)	0.938 p<.000 (N=73)	0.853 p<.000 (N=71)	0.942 p<.000 (N=59)	0.856 p<.000 (N=57)
P04	0.018 p<.852 (N=110)	0.084 p<.392 (N=106)	0.033 p<.780 (N=74)	0.008 p<.947 (N=72)	0.029 p<.826 (N=59)	0.034 p<.799 (N=57)	0.018 p<.853 (N=109)	0.057 p<.560 (N=105)	-0.016 p<.893 (N=73)	-0.063 p<.599 (N=71)	-0.008 p<.955 (N=59)	-0.029 p<.831 (N=57)
Si02	0.155 p<.105 (N=110)	0.354 p<.013 (N=106)	0.287 p<.013 (N=74)	0.345 p<.003 (N=72)	0.281 p<.031 (N=59)	0.299 p<.024 (N=57)	0.226 p<.018 (N=109)	0.428 p<.000 (N=105)	0.291 p<.012 (N=73)	0.322 p<.006 (N=71)	0.266 p<.042 (N=59)	0.248 p<.062 (N=57)
溶解成分	0.985 p<.000 (N=109)	0.924 p<.000 (N=105)	0.976 p<.000 (N=73)	0.950 p<.000 (N=71)	0.983 p<.000 (N=59)	0.959 p<.000 (N=57)	0.992 p<.000 (N=109)	0.965 p<.000 (N=105)	0.985 p<.000 (N=73)	0.964 p<.000 (N=71)	0.987 p<.000 (N=59)	0.965 p<.000 (N=57)
導電率	0.919 p<.000 (N=82)	0.846 p<.000 (N=81)	0.924 p<.000 (N=79)	0.901 p<.000 (N=78)	0.941 p<.000 (N=50)	0.932 p<.000 (N=57)	0.978 p<.000 (N=56)	0.986 p<.000 (N=50)	0.986 p<.000 (N=49)	0.990 p<.000 (N=37)	0.987 p<.000 (N=36)	0.992 p<.000 (N=36)
pH	-0.293 p<.008 (N=82)	-0.431 p<.000 (N=81)	-0.464 p<.001 (N=79)	-0.717 p<.000 (N=50)	-0.473 p<.003 (N=57)	-0.744 p<.000 (N=56)	-0.295 p<.008 (N=50)	-0.345 p<.002 (N=49)	-0.563 p<.000 (N=50)	-0.773 p<.000 (N=49)	-0.596 p<.000 (N=37)	-0.831 p<.000 (N=36)
陽イオン濃度	0.901 p<.000 (N=109)	0.717 p<.000 (N=105)	0.866 p<.000 (N=73)	0.764 p<.000 (N=71)	0.885 p<.000 (N=59)	0.767 p<.000 (N=57)	0.975 p<.000 (N=109)	0.962 p<.000 (N=105)	0.972 p<.000 (N=73)	0.964 p<.000 (N=71)	0.976 p<.000 (N=59)	0.966 p<.000 (N=57)
陰イオン濃度	1.000 p<.000 (N=110)	1.000 p<.000 (N=106)	1.000 p<.000 (N=74)	1.000 p<.000 (N=72)	1.000 p<.000 (N=59)	1.000 p<.000 (N=57)	0.975 p<.000 (N=109)	0.880 p<.000 (N=105)	0.969 p<.000 (N=73)	0.901 p<.000 (N=71)	0.965 p<.000 (N=59)	0.907 p<.000 (N=57)
合計イオン濃度	0.975 p<.000 (N=109)	0.880 p<.000 (N=105)	0.959 p<.000 (N=73)	0.901 p<.000 (N=71)	0.965 p<.000 (N=59)	0.907 p<.000 (N=57)	1.000 p<.000 (N=109)	1.000 p<.000 (N=105)	1.000 p<.000 (N=73)	1.000 p<.000 (N=71)	1.000 p<.000 (N=59)	1.000 p<.000 (N=57)

A：全データを用いた計算

A'：全データからNo. 19, 23, 40, 112を除いて計算

B：富士山1+富士山2

B'：富士山1+富士山2からNo. 40, 112を除いて計算

C：富士山1

C'：富士山1からNo. 40, 112を除いて計算

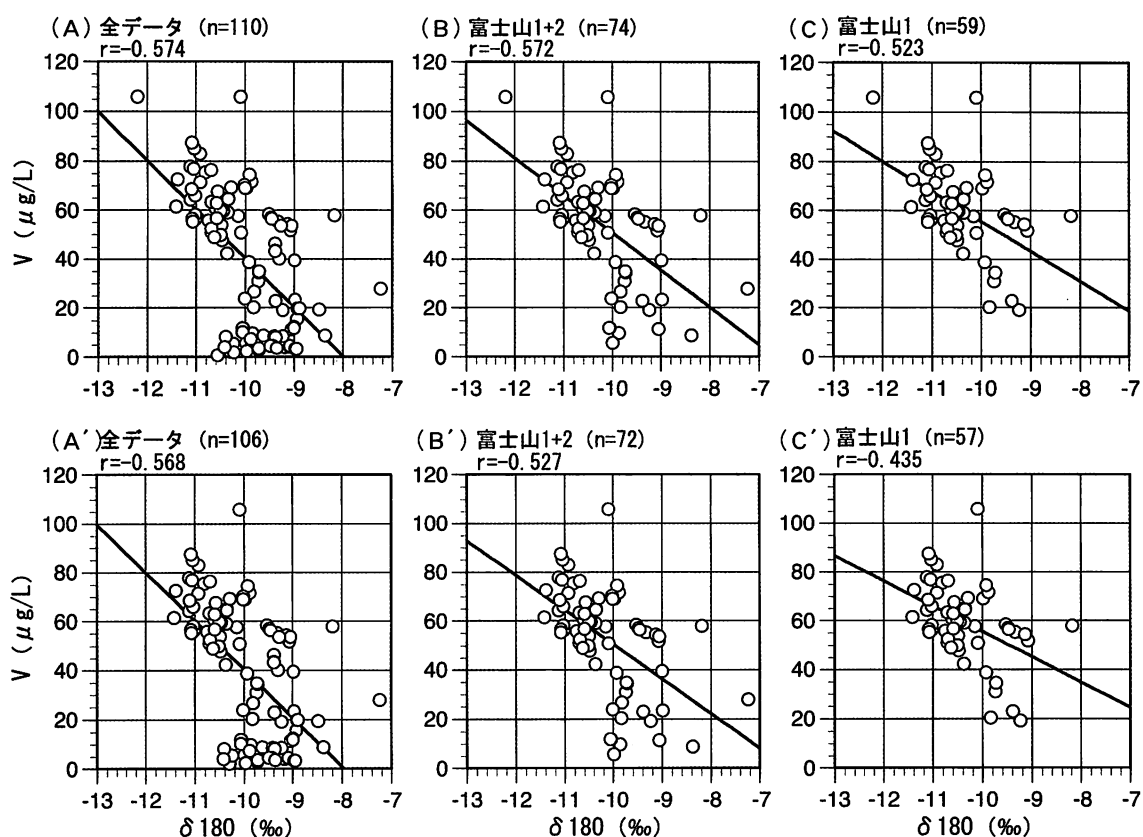


図 4-6 水中酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) とバナジウム濃度の相関

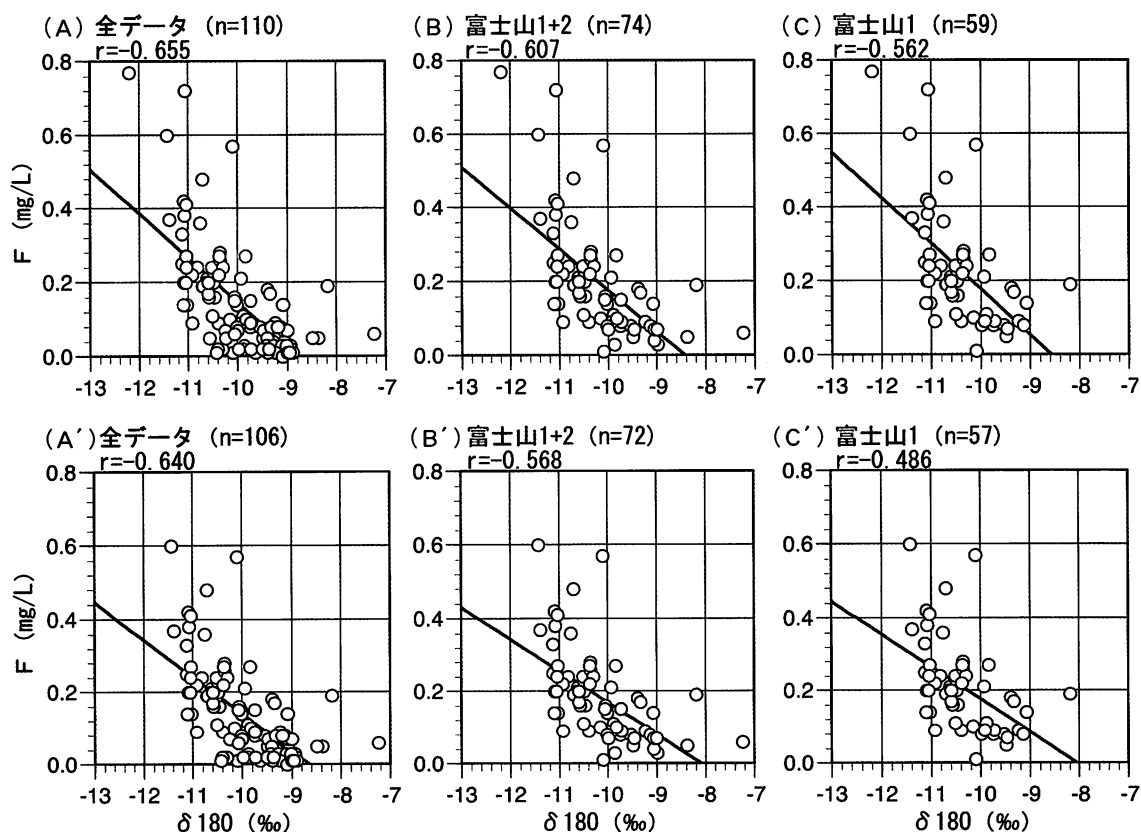


図 4-7 水中酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) とフッ素濃度の相関

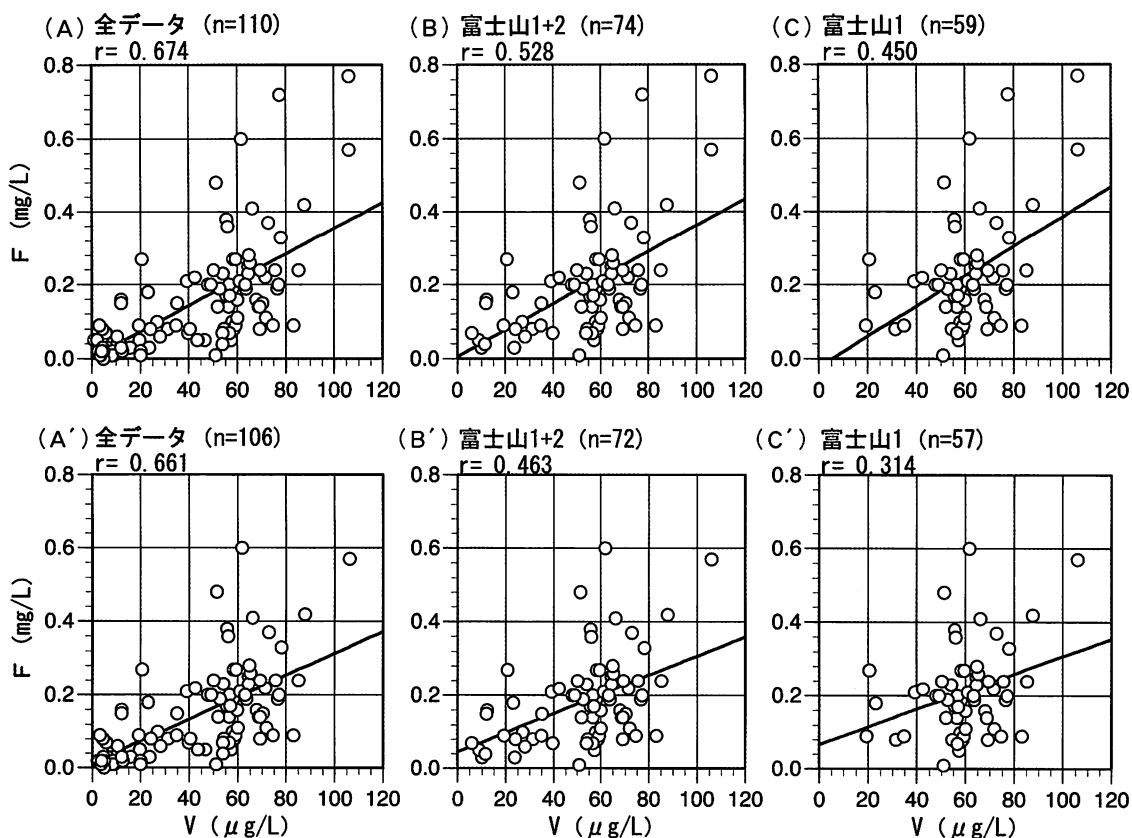


図 4-8 バナジウム濃度とフッ素濃度の相関

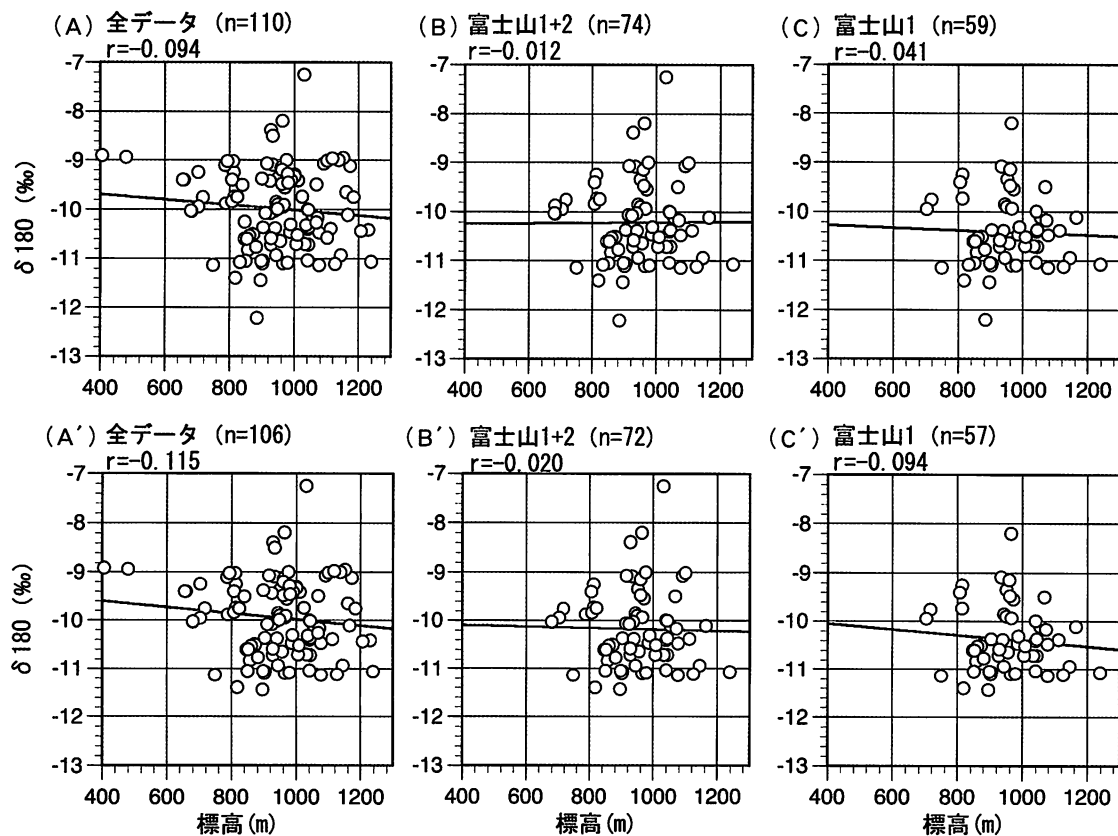


図 4-9 採水地の標高と水中酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) の関係

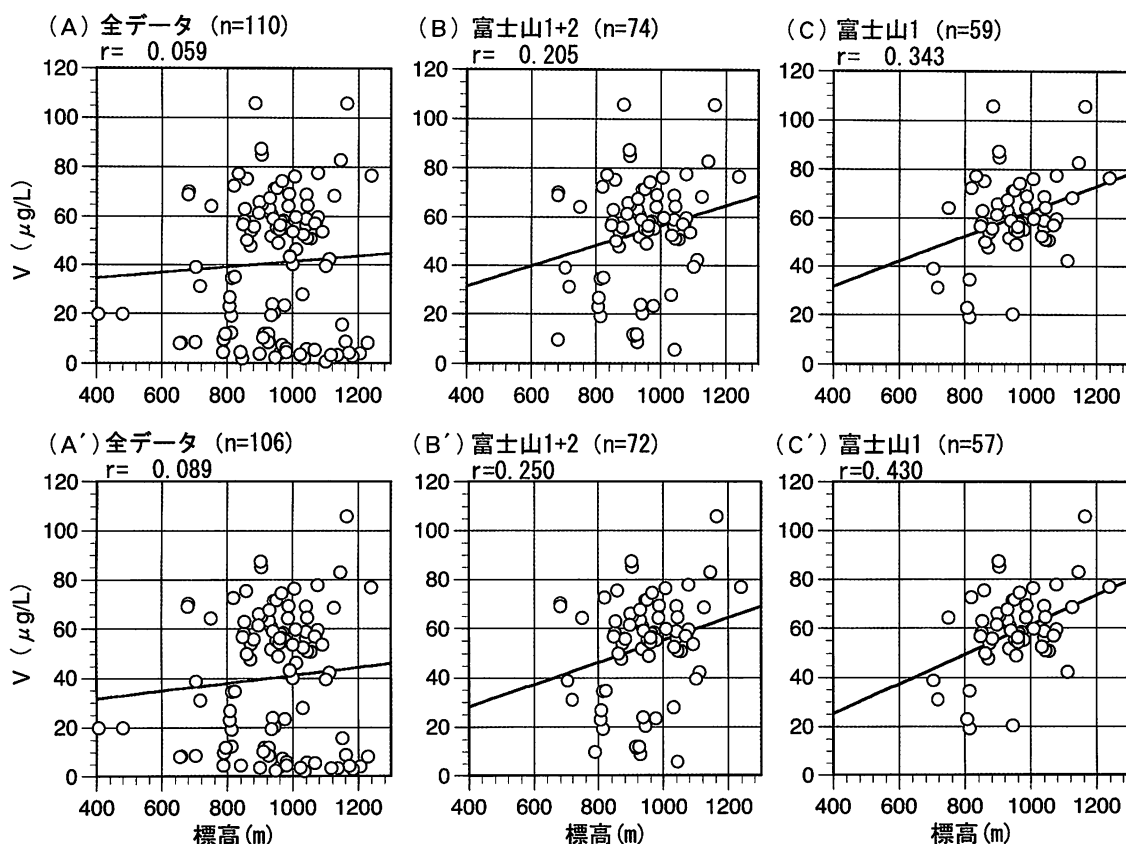


図 4-10 採水地の標高とバナジウム濃度の関係

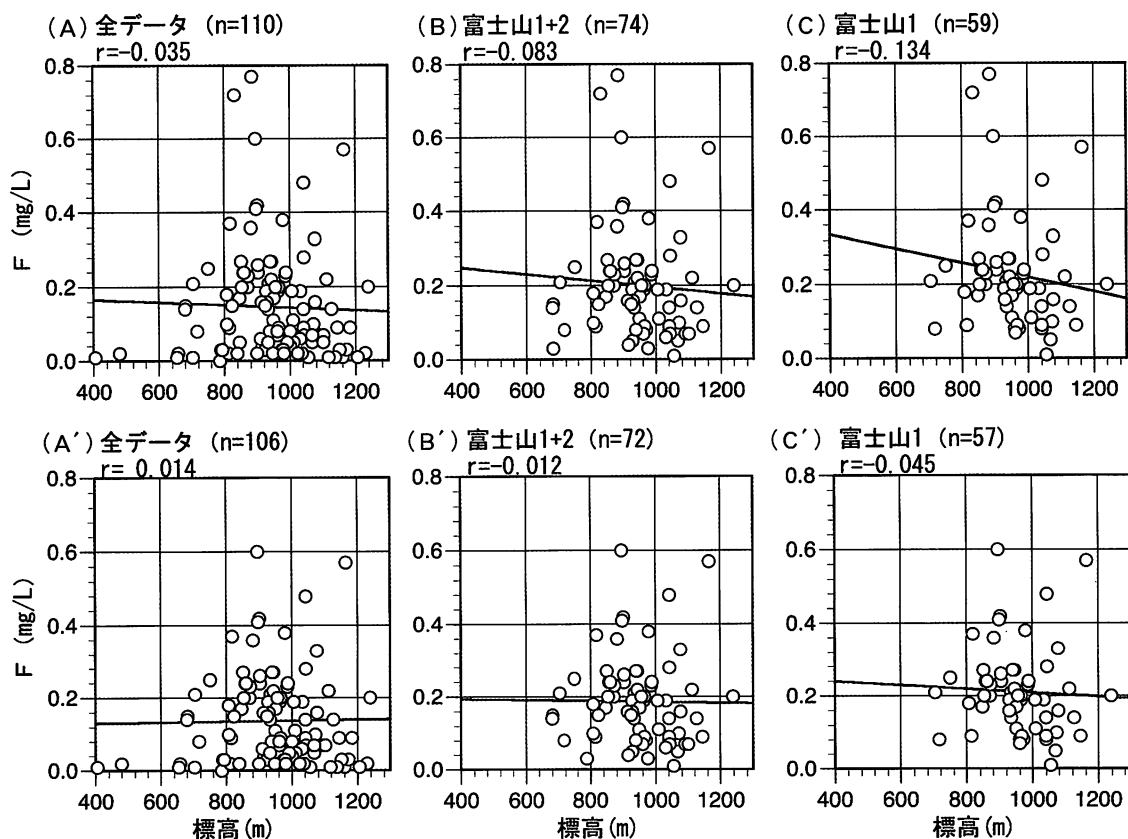


図 4-11 採水地の標高とフッ素濃度の関係

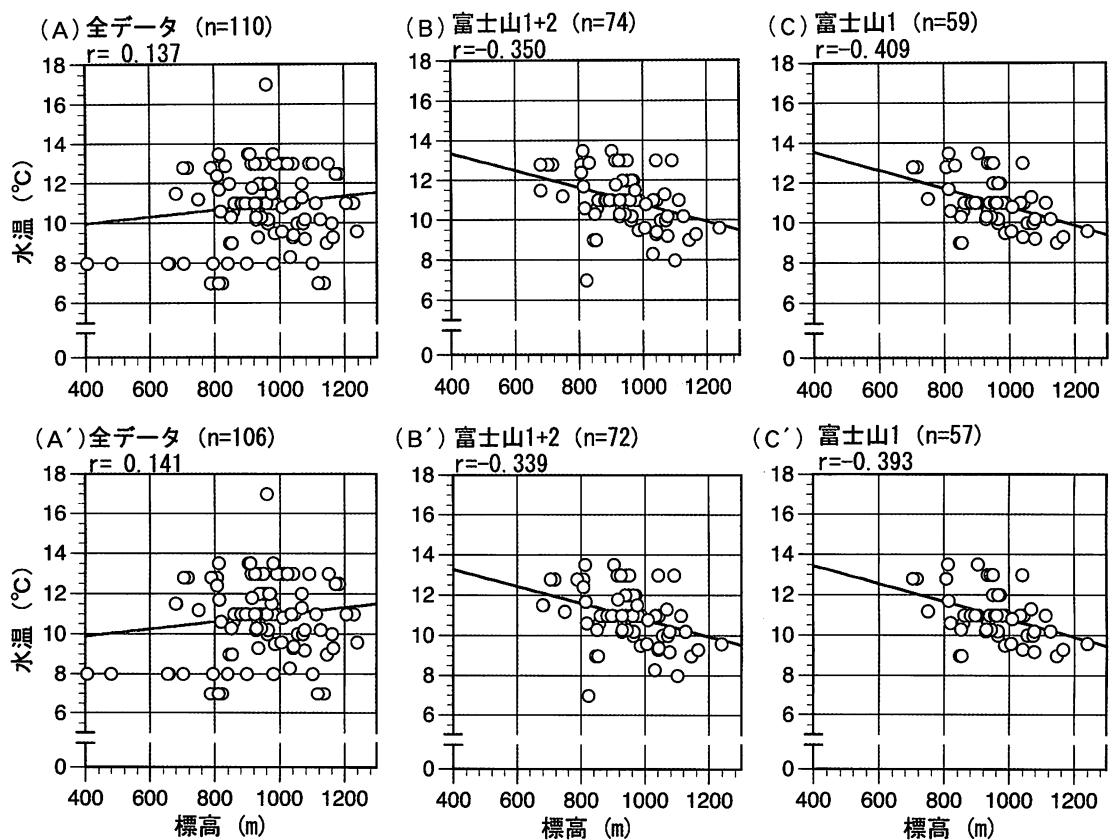


図 4-12 採水地の標高と水温の関係

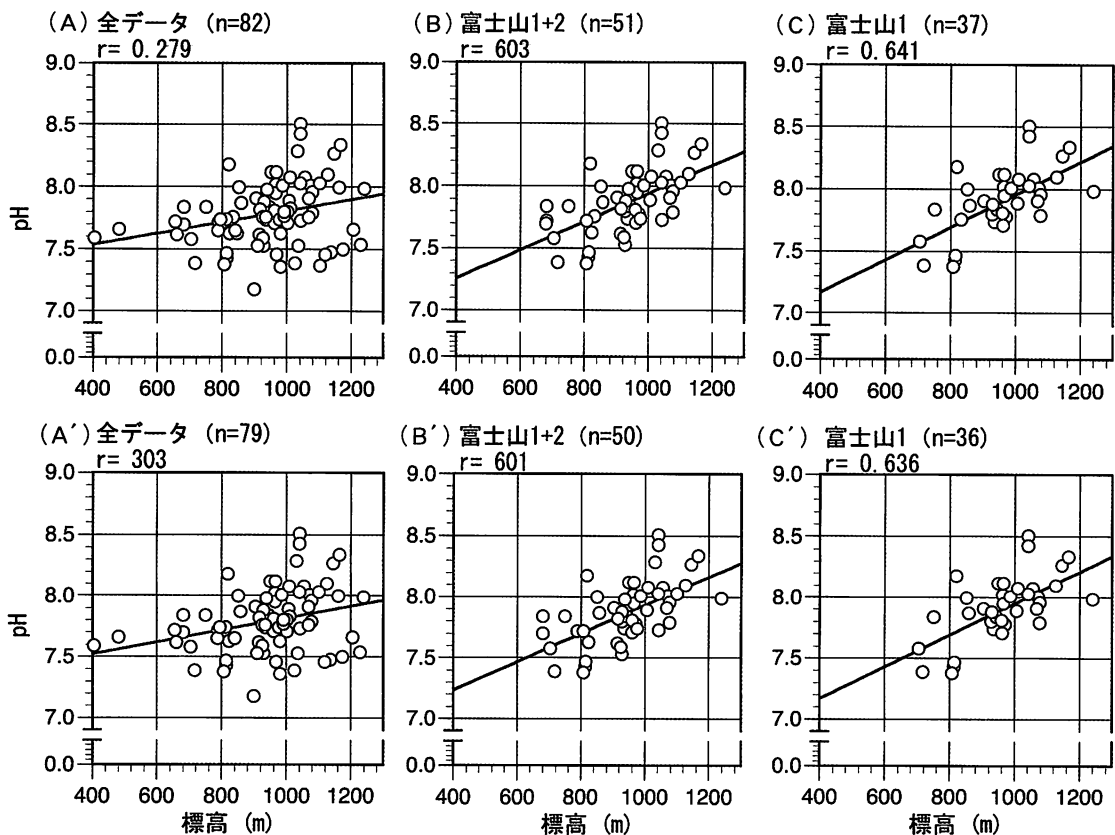


図 4-13 採水地の標高とpHの関係

図 4-15 採水地の標高と合計イオン濃度の関係

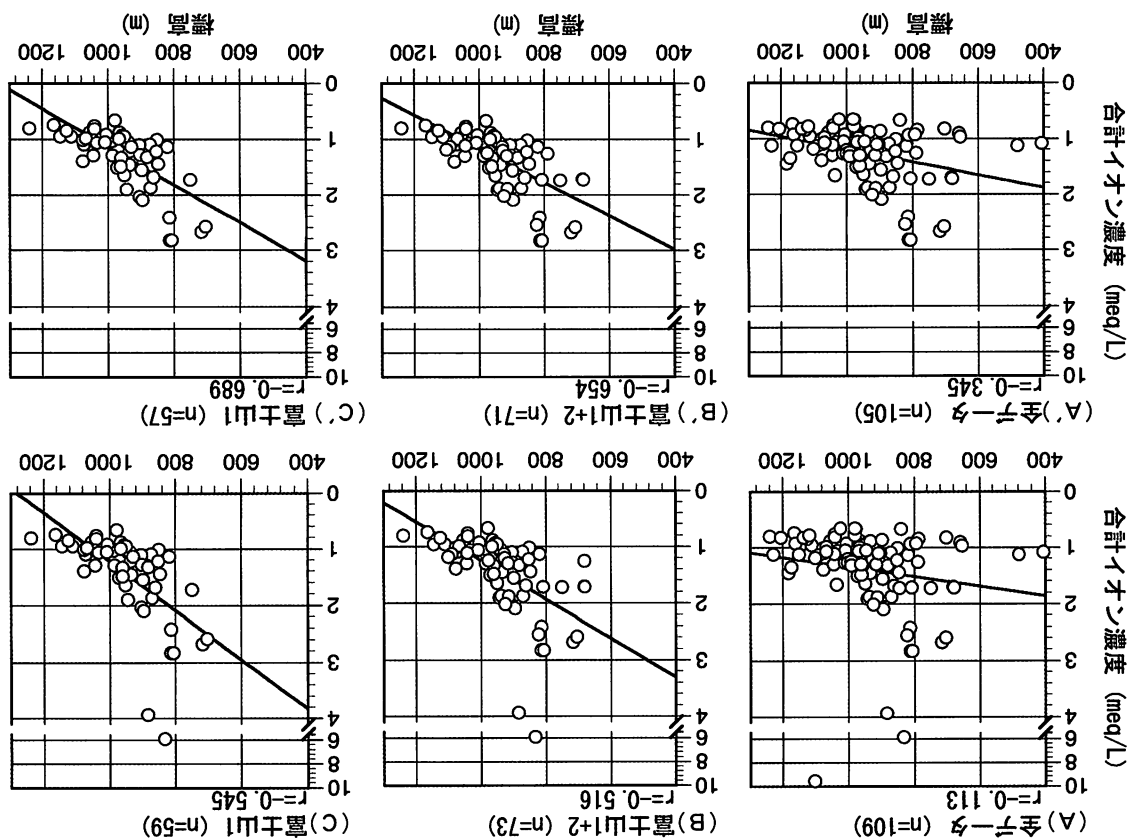


図 4-14 採水地の標高とマグネシウム (Mg) 濃度の関係

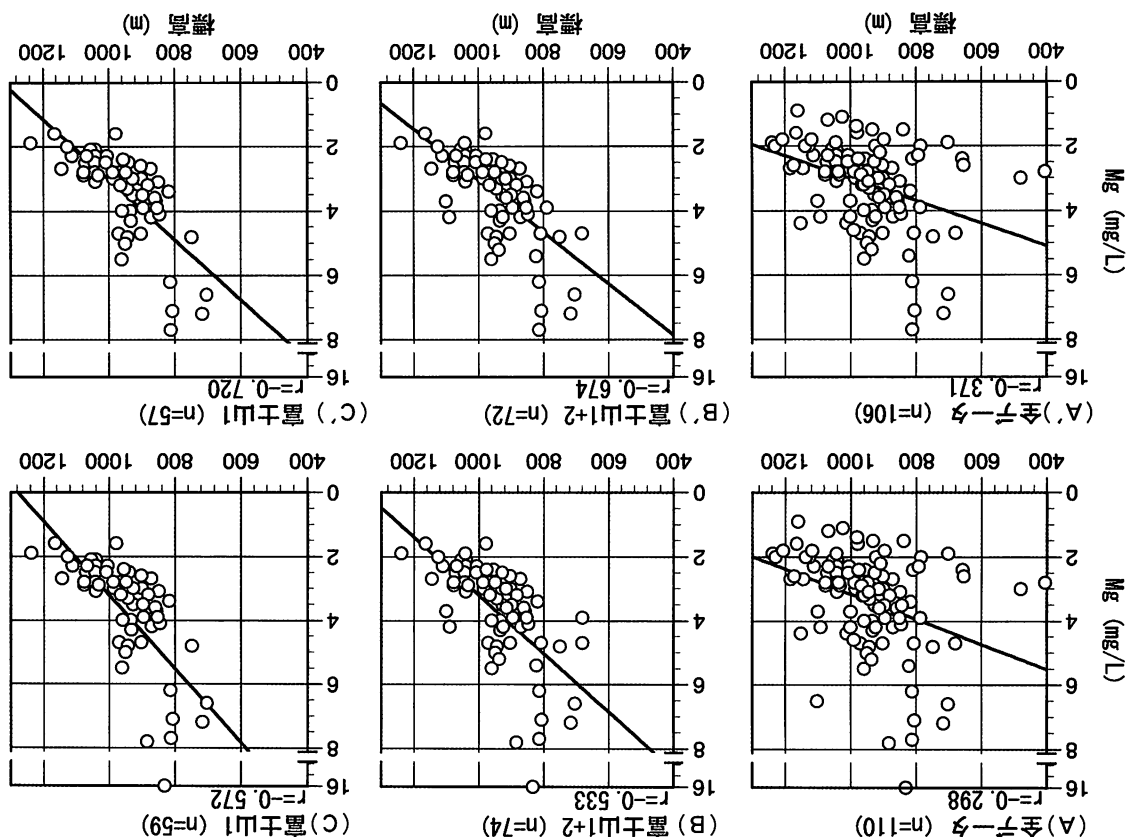


図 4-17 バナジウム濃度と塩化物イオン (Cl⁻) 濃度の相関

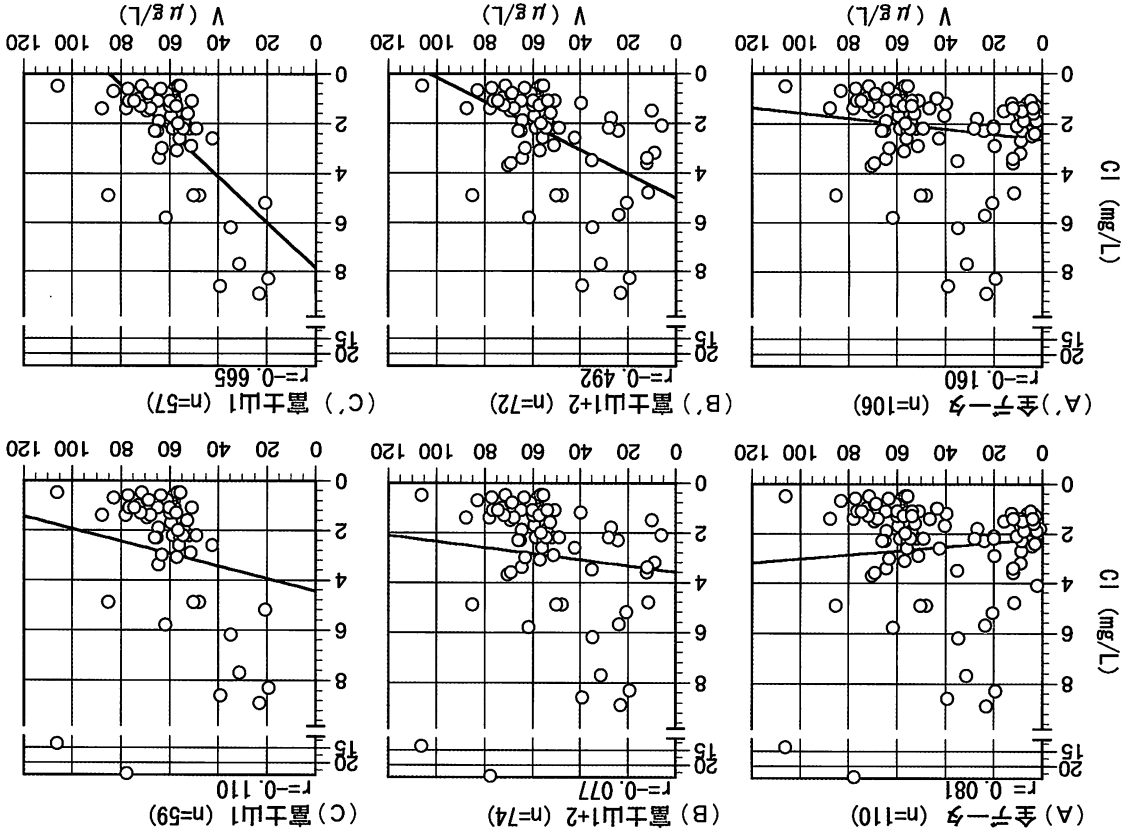
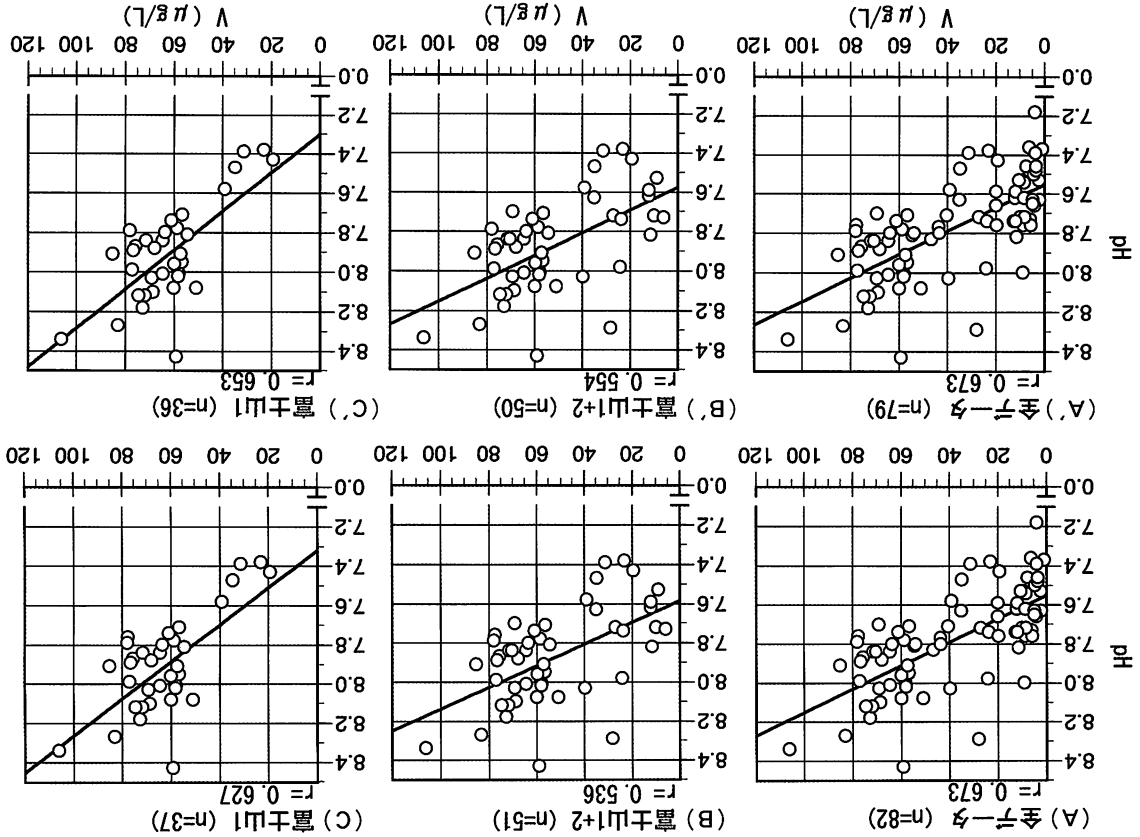


図 4-16 バナジウム濃度とpHの相関



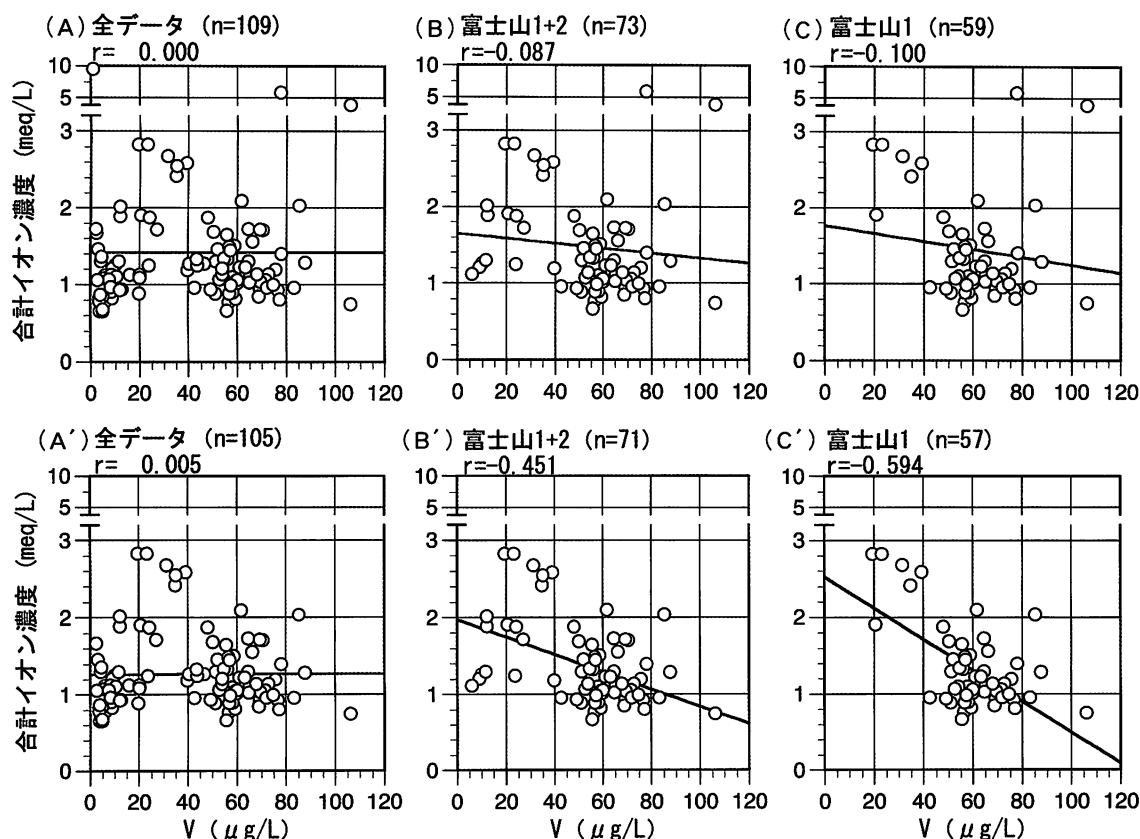


図 4-18 バナジウム濃度と合計イオンの相関

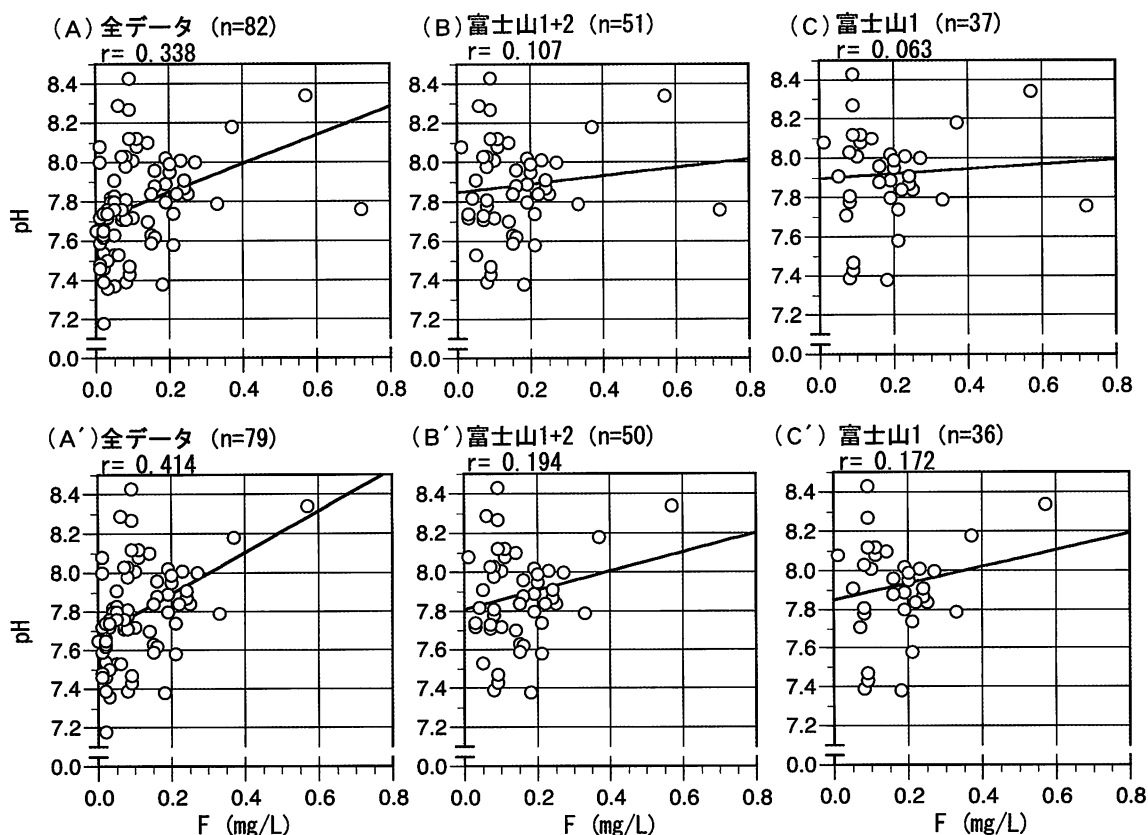


図 4-19 フッ素濃度とpHの相関

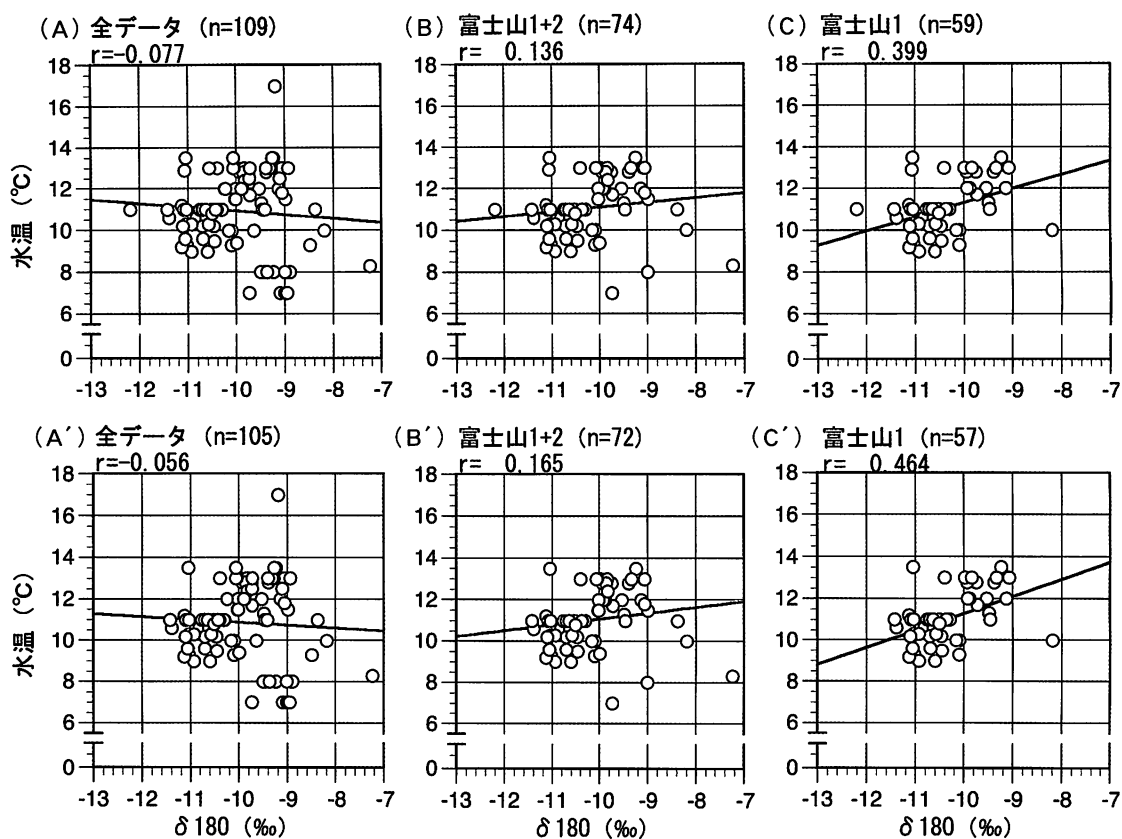


図 4-20 水中酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) と水温の相関

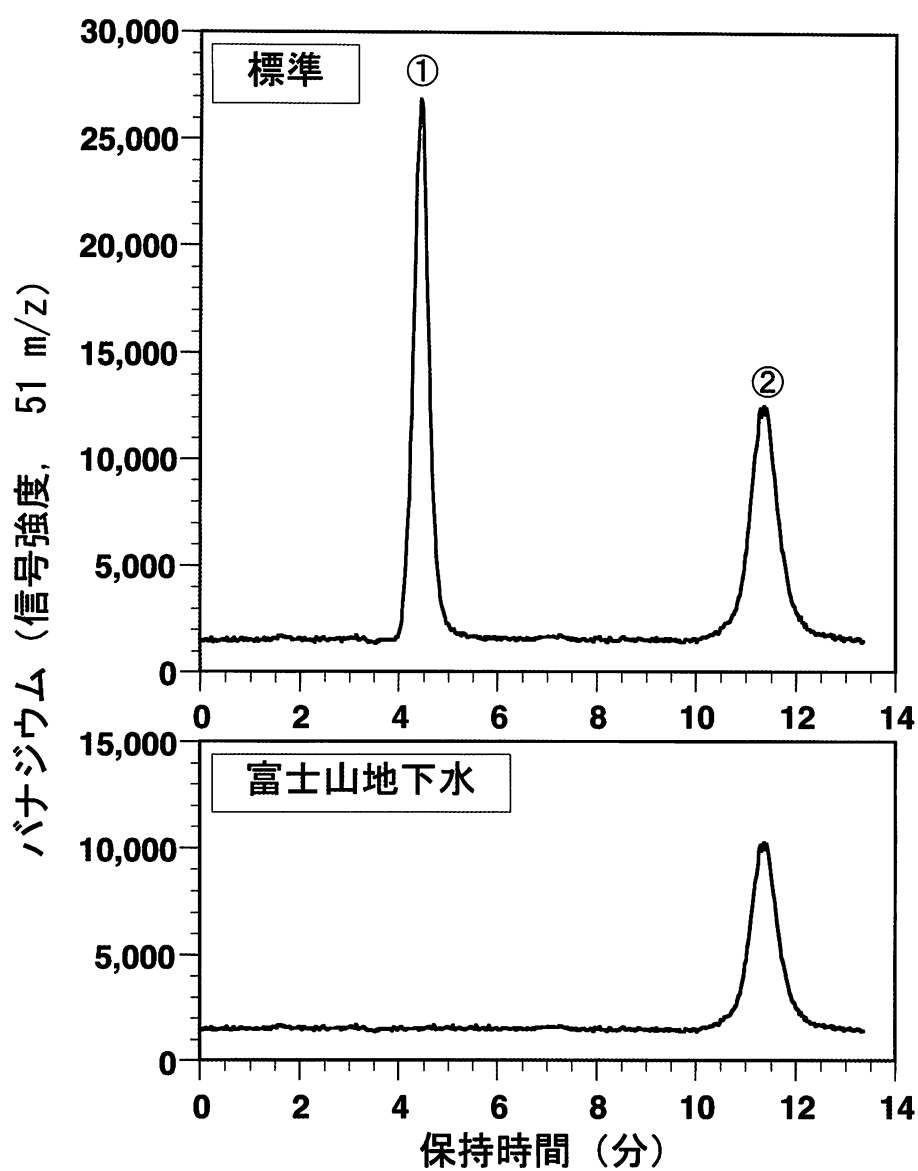


図4-21 高速液体クロマトグラフィー／ICP質量分析計（HPLC／ICP-MS）による富士山地下水中バナジウムの化学形分析例

- ①： VO^{2+} （バナジル、+4価バナジウム）
- ②： VO_3^- （メタバナジン酸、+5価バナジウム）

図 4-23 富士山周辺の地質（「日本列島の地質」工業技術院地質調査所監修、1996年を一部改変）

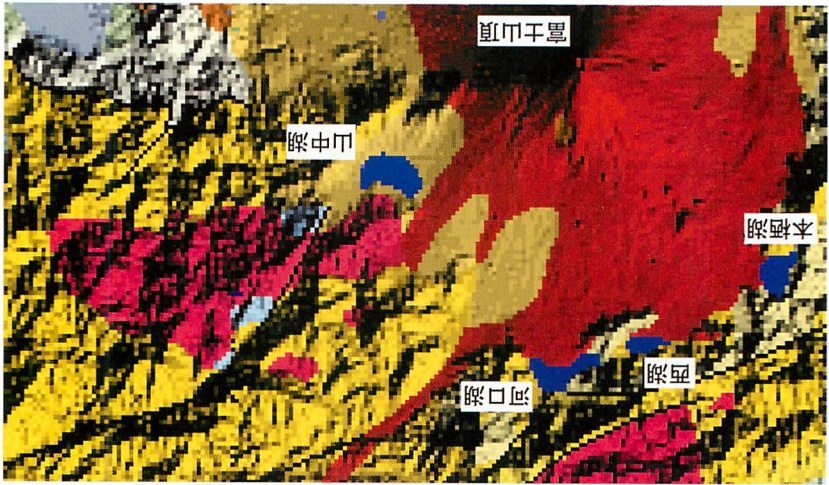
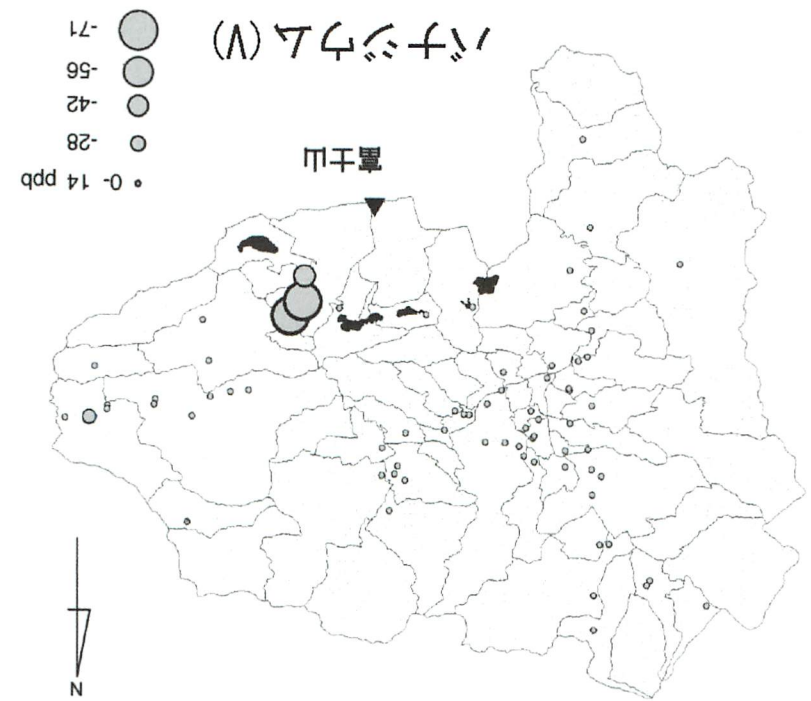


図 4-22 山梨県内の井戸水に含まれるバナジウム濃度 ($\mu\text{g/L}$) (瀬子 他 1999 より抜粋)



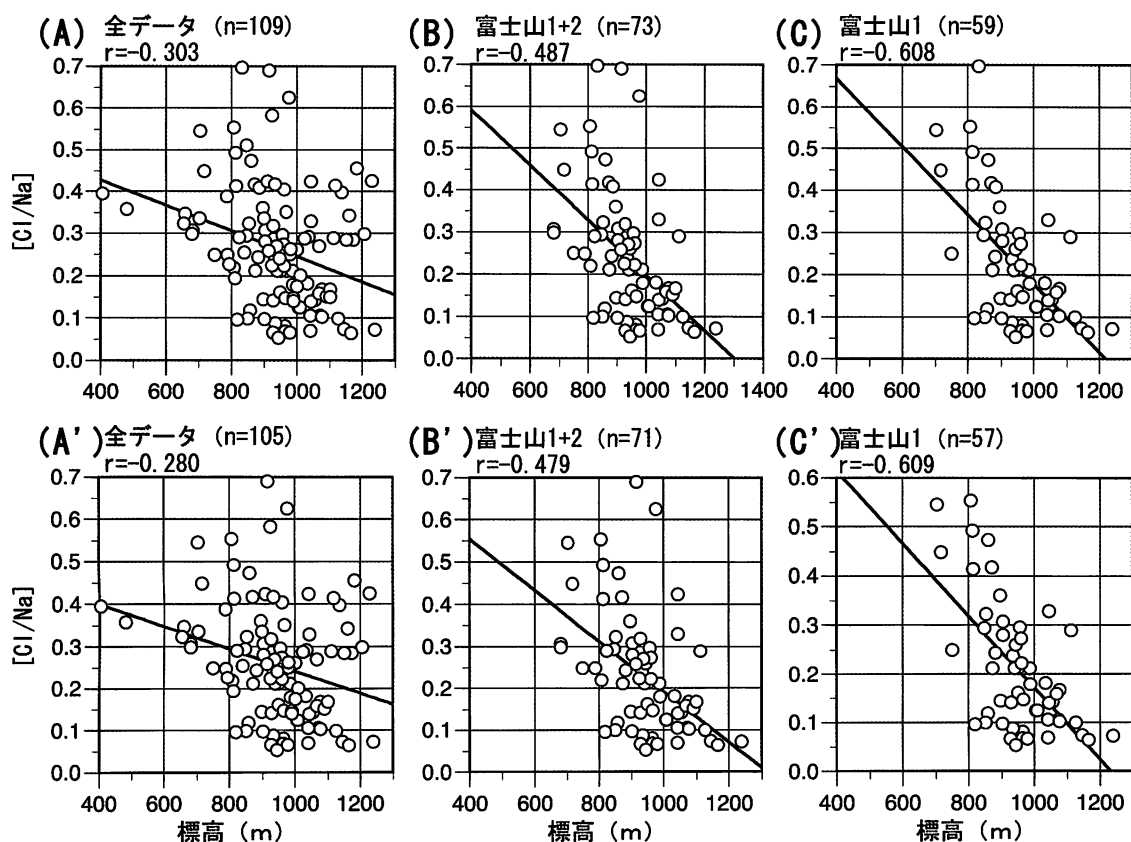


図 4-24 標高と $[Cl/Na]$ の相関

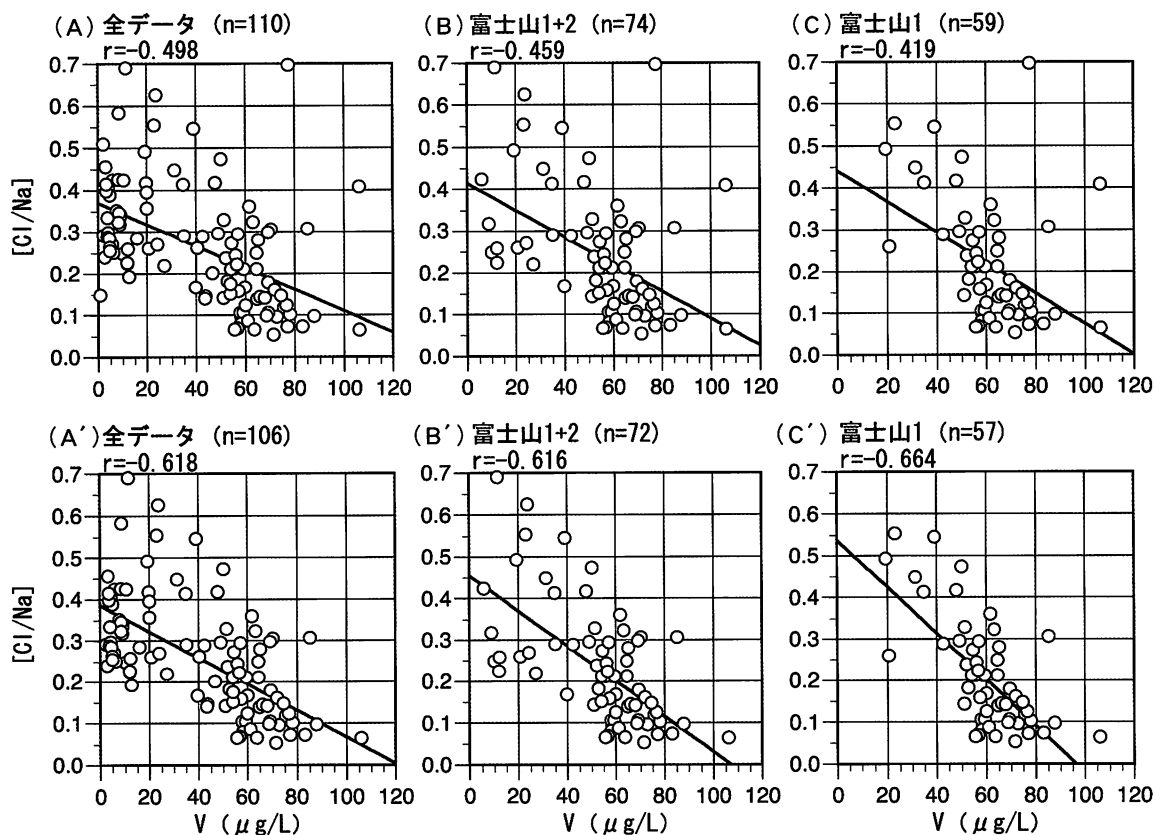


図 4-25 パナジウム濃度と $[Cl/Na]$ の相関

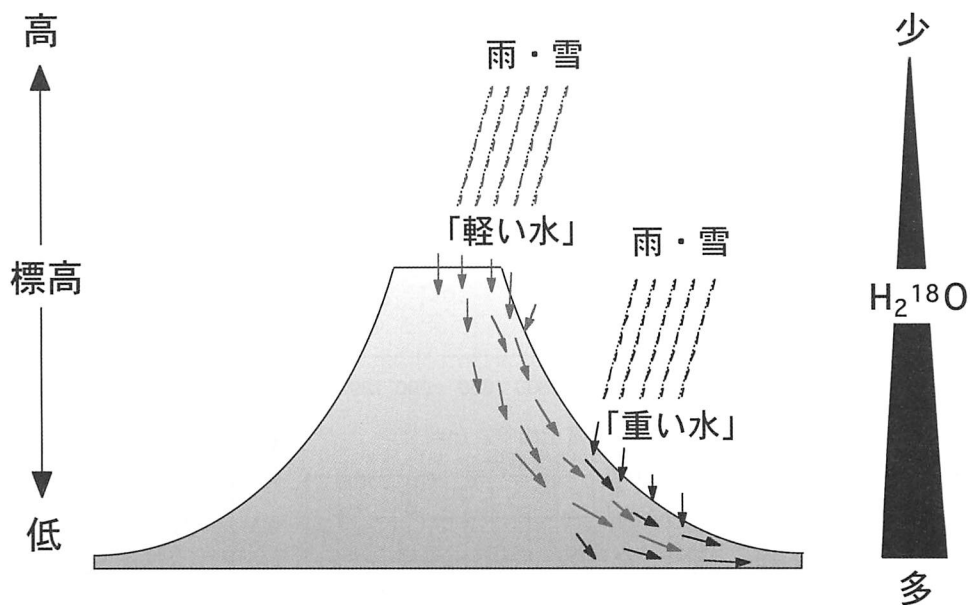


図 4 - 26 降水中の水中酸素安定同位体比と標高の関係

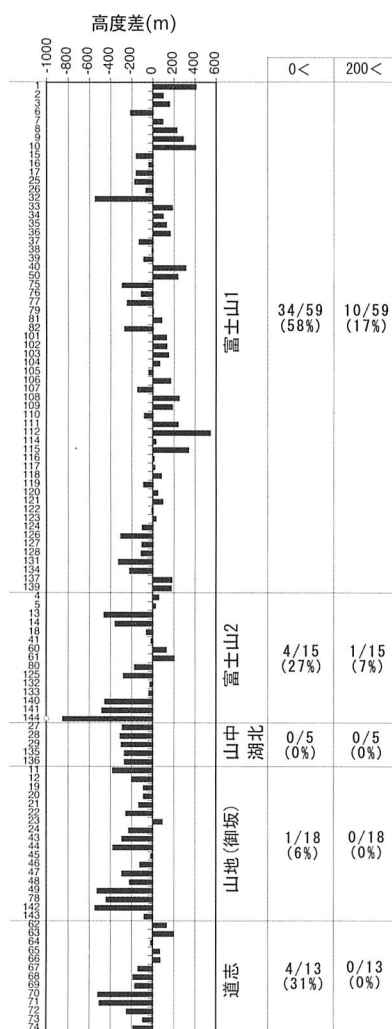


図 4 - 27 $\delta^{18}\text{O}$ から計算された涵養高度と採水地点の標高の差
 ※採水地点の標高が涵養高度より高い場合は、マイナス（－）の値となる。

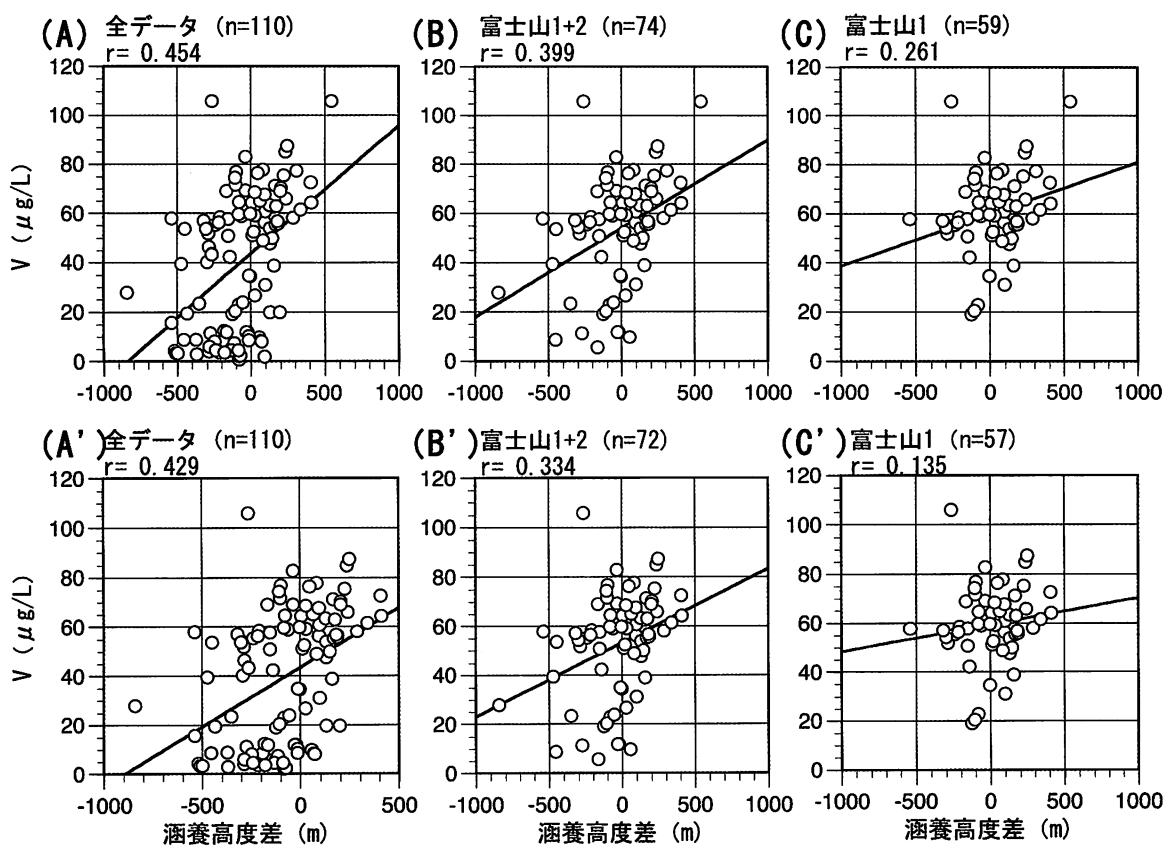


図 4-28 涵養高度差 ($\delta^{18}\text{O}$ から計算した地下水の涵養高度と実際の採水地点標高との差) とパナジウム濃度の関係

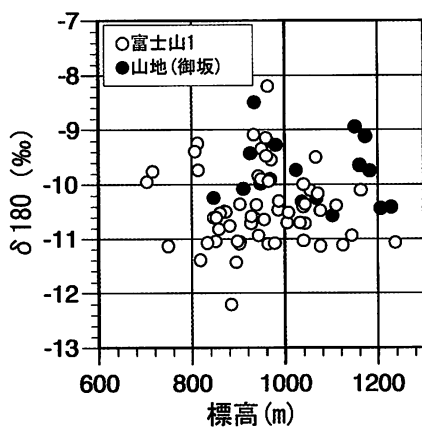


図 4-29 採水地の標高と水中酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) の関係：
富士山 1 と山地 (御坂) の比較

Ⅲ－５ 地質・土壌の特性の把握

１）研究体制

地球科学研究室

主幹研究員 興水 達司

研究員 柴田 知之（平成９年～１１年度）

研究員 内山 高（平成１２年～１３年度）

助手 門西 恵（平成９年～１２年度）

助手 高橋美乃里（平成１３年度）

共同研究者：県衛生公害研究所

研究員 小林 浩

２）研究成果

（１）富士山周辺の地質特性

富士山は山梨・静岡県境に位置し、日本列島の最高峰である。富士山付近は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、北米プレート、ユーラシアプレートの四つのプレートがひしめきあっており、地下からマグマの供給が長期にわたって供給される地質学的条件を備えている。そのため、約十万年間にわたって、岩石化学的にほぼ類似した玄武岩質のマグマを、極めて大量に噴出し続けてきており、富士山は日本列島における特異な火山といえることができる。

富士山を含む南部フォッサマグナ地域の地質の概要は以下のとおりである。

すなわち、甲府盆地西縁には糸魚川-静岡構造線が南北方向に走り、糸魚川-静岡構造線の西側には白亜紀-第三紀の堆積岩類を主とする四万十帯が分布している。これら堆積岩類を基盤として新第三紀の海成の安山岩を主とする火山岩や堆積岩が、甲府盆地の西側から南東域の御坂山地等に分布する。また、中新世に活動した大規模な花崗岩質の貫入岩体である甲斐駒岩体や甲府岩体等が盆地の西北部から北部・東部をとりまき分布している。その後、第四紀になると甲府盆地北部から八ヶ岳地域にデイサイト質から安山岩質にわたる火山岩や火砕流の形成が知られている。さらに第四紀に入ると、富士山の玄武岩質を主体とする火山活動によって厚い噴出物が形成された（図５－１）。

一方、南部フォッサマグナ地域には二つの主要河川が発達している。相模川水系は、富士山（主に玄武岩類）の湧水を主な起源とし、山中湖、忍野及び富士吉田市付近に端を発し、最初ほぼ北に流れ大月付近で向きを東に変え、相模湖付近で南に流れを変え、最終的には神奈川県平塚市付近で太平洋に流れ込む。もう一つの富士川水系は、山梨県北部の主に安山岩から成る八ヶ岳あるいは、甲府市北部-東部の大規模花崗岩体に端を発し、甲府市南部で一つに収束し南に流れ、静岡県富士市西方で太平洋に流入している。この約130km四方の狭い範囲内に、玄武岩と花崗岩の地質学（岩石化学）的に両極端な

岩石が卓越している地域であることを確認した。それ故、本地域は富士山を特徴づける玄武岩質の岩石・地層中に含まれる元素の、周辺の水試料や動・植物試料への循環を研究する上で、日本列島の中で最も適した地域の一つと考えられる。

（２）富士山の地質・土壌中の元素の循環システム

富士山を構成する地質・土壌の岩石化学的性質としては、概ね玄武岩質で特徴づけられる。一般に火成岩類における元素濃集パターンについて、玄武岩や斑岩岩など二酸化ケイ素の値が低い岩石類の特徴として、バナジウムが豊富に含まれていることが知られている。

そもそも、地球表層部を構成する岩石のうち、火成岩はマグマの固結により形成されたもので、変成岩や堆積岩類よりも同一岩石種内の化学組成変動が小さい。火成岩の基本的な区分は二酸化ケイ素の含有量でなされており、火山岩の場合その割合の多い順に流紋岩、安山岩、玄武岩、また深成岩の場合は同様に花崗岩、閃緑岩、斑岩岩などと呼称される。これら火成岩類につき標準岩石として日本地質調査所より配布されているものには、詳しい化学分析値が示されている。それによれば、二酸化ケイ素の値が高い花崗岩や流紋岩にはバナジウムが乏しく、玄武岩や斑岩岩など二酸化ケイ素の値が低い岩石にはバナジウムが豊富に含まれており、二酸化ケイ素とバナジウムの火成岩中の含有量には負の相関が認められる。しかも、花崗岩・流紋岩のバナジウム含有量に対し、玄武岩・斑岩岩類のそれは前者の10～200倍となっている。

標準岩石中の微量成分としてはバナジウム以外にも多数の元素について分析値が報告されているが、岩石中の二酸化ケイ素の含有量に対応して著しく変動する元素としては、バナジウムはトップクラスである。それ故、天然水中のバナジウム含有量を明らかにすることは、その周囲に分布する岩石種を知ることのできる、優れた指標元素の役割を果たすことになる。この意味でバナジウムを物質循環の視点で取り扱うことにより、環境科学に重要な貢献が期待される。

実際、富士山北麓に分布する典型的な溶岩類中のバナジウム濃度は、甲府盆地側に分布する花崗岩類中のそれに比べ、約百倍の高濃度を示すことを確認した。その上で、富士山周辺のみならず甲府盆地も含む南部フォッサマグナ地域一帯における河川水、地下水、湧水等に含まれるバナジウム元素につき、地域によるバナジウム濃度変動を検討したところ、富士山周辺の水試料に著しく高濃度が認められた。

さらに、地下水・湧水・河川水中のバナジウム濃度の相違が、分布する動・植物、人間にまで影響を及ぼすか否かを検討するために、極端にバナジウム濃度の異なる富士川および相模川の両水系に生育する動・植物試料を

採取し分析したところ、相模川水系側から採取された動・植物中のバナジウム濃度は、富士川水系のそれに対し、数倍の高い値が得られた（図5-2）。このように、バナジウム濃度を分析することにより、分布する岩石類の化学的な性質が河川水および動・植物に反映されていることを明らかにした。

（3）第3回世界水フォーラム

第3回世界水フォーラムが2003年3月に京都・大阪・滋賀を会場に開催された。このフォーラムのプレフォーラムが2002年12月に山梨県環境科学研究所において開催され、地球科学研究室が中心になり運営した（大会実行委員長は、興水が担当した）。このプレフォーラムは、「富士山の地下水の現状と今後の問題」をテーマにし、富士山の地下水・地質の研究を行っている研究者による委員会（日本地下水学会の中に設けられた「富士山の地下水と人間活動」総合調査研究委員会）が、一般向けの講演を中心として実施したものである（資料5-1）。

このプレフォーラムの講演のひとつとして、「富士山北麓の地下水・湧水の特性」と題する発表が興水によってなされた。その内容は、上述の富士山周辺の水試料のバナジウムの起源が富士山の地質に由来すること、さらにバナジウム以外の例えばリンなどの濃度が富士山周辺の水試料に高いことも、同様な観点から説明できることを述べた。さらに、バナジウムやリン以外の多くの微量元素についても、近年における測定法の進歩により、容易に測定できるようになり、清浄な富士山の地下水や湧水に、従来人為的な寄与に原因が求められてきた銅、鉛、亜鉛、カドミウムでさえも一定量含まれていることが分かってきたことを報告した。

今後、環境汚染調査に際し、地下水や河川水などの各種元素濃度を測定するだけでなく、水試料周辺の岩石や地層からの寄与を正確に把握することが重要となることを述べ、結論とした。この結論は、われわれが行った本研究を通して導かれたものである。

3月16日から23日にわたって開催された第3回世界水フォーラムに、数日間のみ参加したものであるが、世界の多くの地域において「水が足りない」「水が汚れている」「水災害」「水の問題は食糧問題にまで発展している」などの問題が具体化していることを知った（興水）。これらの問題のいずれも単純には解決できない重要な課題である。しかし、これらの課題の解決にあたり地球上の水は、地下水、湧水、河川水等のいずれも水循環の一つのステージとして存在しているわけで、この視点での正しい認識が求められる。この辺の理解が必ずしも十分でなかったため、我々人類は20世紀に、地下水枯渇、地盤沈下、地球砂漠化等の「傷害」を度々経験したわけである。

われわれは、「富士山周辺の自然特性に関する研究」

の中で、富士山の地質・土壌特性の把握を土台にした作業を進めてきた。この中で、地質・土壌特性を足がかりにして元素循環システムの解明という視点にたち、この地域の水循環の理解に努めてきた。この結果、富士山麓の地下水・湧水・河川水の特性は当然のことながら、富士山の地質特性との強い関係で理解できた。このように、地下水をはじめ水の問題の解明にあたり、それが胚胎している地質の理解が必須となる。それ故、われわれは今後も富士山の地下地質について、一層の基礎研究を進めつつ、関係する水問題の解明についても努めて行きたい。さらに、山梨県内の甲府盆地、八ヶ岳、南アルプスの麓などの広範な地域における地下水を始めとする水の問題についても、これら地域の特に地下地質の研究と一体になって事の解明を図りたい。

3）研究資料

誌上発表

Iwatsuki, M., Kyotani, T and Koshimizu, S (1997) A simple preparation method of thin-layer standard samples with activated carbon for the multi-element determination of airborne particulate matter by X-ray spectrometry. *Analytical Sciences*, 13,807-813.

Kobayashi, H. and Koshimizu, S (1998) Geochemical Behavior of Phosphorus in the Underground Waters and Springs at the foot of Mt. Fuji and in the Kofu basin, central Japan. *Proceedings of International Symposium on Groundwater in Environmental Problems*, 73-78.

小林浩, 興水達司 (1999) 富士山麓及び甲府盆地周辺に位置する地下水及び湧水中のリン起源. *日本地下水学会誌*, 41, 177-191.

小林浩, 興水達司 (1999) 山梨県内の主要河川におけるリンの起源と挙動. 第9回環境地質学シンポジウム論文集, 297-302.

小林浩, 興水達司 (1999) 山梨県の地下水・湧水・河川水のリン濃度. *山梨県衛生公害研究所年報*, 42, 69-73.

小林浩, 興水達司 (1999) 山梨県の地下水・湧水・河川水等のバナジウム起源-ミネラルウォーター等のバナジウム含有量からの考察-. *山梨県衛生公害研究所年報*, 42, 81-85.

小林浩, 興水達司 (2002) 富士山麓及び甲府盆地における地下水・湧水中の微量元素の起源. *Proceedings of the 12th Symposium on Geo-Environmental and Geo-Technics and International Symposium for Geological Environment*, 149-152.

小林浩, 興水達司, 深澤龍, 京谷智裕, 内山高, 岩附正明 (2000) 河口湖湖底表層堆積物の有機化学分析. *Proceedings of the 10th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics*, 217-222.

- 小林浩, 大沼正行, 興水達司 (2000) 山梨県内の地下水及び湧水中のリン及びバナジウム濃度. 山梨県衛生公害研究所年報, 43, 5-8.
- 興水達司 (1998) くり返す地球の温暖化現象-地球温暖化と富士山周辺の気温変化-. 月刊地球環境, 12月号, 98-101.
- 興水達司 (2000) 富士山周辺の高バナジウム水. 山梨地学, 42, 23-26.
- 興水達司 (2002) 富士山の生いたちを探る. 日本遺産第6号(富士山), 朝日新聞社, 8-11.
- 興水達司 (2002) 富士山の地下水の特徴. 富士山講演会「水の山富士山を語る」報告書(ふじさんネットワーク), 14 - 19.
- 興水達司 (2002) 富士山や富士五湖に記録されている地球の仕組み. 高等学校の総合的な学習時間に向けての調査・研究委員会(国立中央成年の家), 15-18.
- 興水達司 (2002) 富士北麓の地下水・湧水の特徴. 富士山の地下水の現状と今後の問題講演論文集, 7-15.
- 興水達司, 小林浩 (1999) 富士山麓および甲府盆地における地下水・湧水中のバナジウムおよびリン濃度とその地質学的背景. 第9回環境地質学シンポジウム論文集, 291-296.
- 興水達司, 小林浩 (2000) 富士山北麓地域の地下水・湖水中の微量元素の挙動. Proceedings of the 10th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics, 217-228.
- 興水達司, 京谷智裕 (2002) バナジウム濃度を指標とした富士川及び相模川水系河川水中多元素の地球化学的挙動. 陸水学雑誌, 63, 113-124.
- 興水達司, 京谷智裕, 岩附正明, 戸村健児 (2001) 富士山北麓で採取された大気エアロゾルの粒子化学特性と湖底堆積物中の黄砂への適用. Proceedings of the 11th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics, 297-302.
- 興水達司, 京谷智裕, 大越秀明, 内山高, 岩附正明 (2002) 富士山麓に認められる黄砂粒子の識別とその特性. Proceedings of the 12th Symposium on Geo-Environmental and Geo-Technics and International Symposium for Geological Environment, 463-466.
- 興水達司, 酒井陽一, 戸村健児, 大下一政 (1998) 地球環境変化の健康への影響-地球科学より-. 地球環境, 2, 215-220.
- Koshimizu, S. and Tomura, K. (2000) Geochemical Behavior of Trace Vanadium in the Spring, Groundwater and lake water at the Foot of Mt. Fuji, Central Japan. In Sato, K. and Iwasa, Y. (eds.) Groundwater Updates, 171-176. Springer, Tokyo.
- 興水達司, 内山高 (2002) 富士山の火山防災-山梨県環境科学研究所の試み-. 第四紀, 34, 9-18.
- 京谷智裕, 興水達司 (2001) 富士山北麓における降水中硫酸イオンの起源. Proceedings of the 11th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics, 303-308.
- Kyotani, T. and Koshimizu, S. (2001) Identification of Individual derived Si-rich Particles from Kosa Aerosol by the Alkali Elemental Composition. Bulletin of the Chemical Society of Japan, 74, 723-729.
- Kyotani, T. and Koshimizu, S. (2001) Quantification of Asian Dust-Storm Particles (Kosa) in Lake Kawaguchi at the Foot of Mt. Fuji, Central Japan by SEM-EDX and Its Application to Paleo-Climate Analysis, Analytical Sciences, 17 (Supplement), i1593-i1596.
- 京谷智裕, 興水達司 (2002) 蛍光X線分析法による湖底堆積物中炭素の簡易定量法. 分析化学, 51, 155-162.
- Sakai, Y., Ohshita, K., Koshimizu, S. and Tomura, K. (1997) Chemical study of trace vanadium in water by preconcentrational neutron activation analysis. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 216, 203-212.
- Sakai, Y., Tomura, K., Ohshita, K. and Koshimizu, S. (1997) Determination of trace copper in water samples by neutron activation analysis using preconcentration on activated carbon powder. Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry, 230, 261-263.
- 内山高 (2002) 長期的火山活動史からみた火山ハザードマップについて. 第四紀, 34, 1-8.
- 山本玄珠, 篠ヶ瀬卓二, 興水達司, 北垣俊明 (2002) 富士山南西麓の古富士火山溶岩について. 地球科学, 56, 191 - 196.
- 口頭発表
- 小林浩, 興水達司 (1999) 富士川、相模川水系におけるリン及びバナジウム起源. 日本地下水学会1999年秋季講演会, 徳島.
- 小林浩, 興水達司 (1999) 山梨県内の主要河川におけるリンの起源と挙動. 第8回環境地質学シンポジウム, 東京.
- 小林浩, 興水達司, 門西恵, 戸村健児 (1998) 富士山麓及び甲府盆地における土壌より水、作物への元素以降. 日本地下水学会1998年春季講演会, 東京.
- 小林浩, 興水達司, 深沢龍, 京谷智裕, 内山高, 岩附正明 (2000) 河口湖湖底表層堆積物の有機化学分析. 第10回環境地質学シンポジウム, 東京.
- 小林浩, 興水達司 (2000) 水試料におけるバナジウム濃度測定の有効性. 日本薬学会第121年会, 札幌.
- 小林浩・興水達司 (2001) 南部フォッサマグナ地域における地下水中の微量元素特性. 日本地下水学会2001年春季講演会, 富士.
- 小林浩, 興水達司 (2002) 富士山麓及び甲府盆地にお

- る地下水中・湧水中の微量元素の起源. 第12回環境地質学シンポジウム, 東京.
- 興水達司 (1997) 富士山麓の地質と水環境の成り立ち. 平成9年度山梨大学公開講座, 富士吉田.
- 興水達司 (1998) くり返す地球の温暖化現象—地球温暖化と富士山周辺の気温変化. 富士山セミナー, 富士山.
- 興水達司, 京谷智裕, 岩附正明 (1998) ICP-MSによる富士川及び相模川水系河川水中の微量元素. 日本化学会第74春季年会, 京都.
- 興水達司, 門西恵, 小林浩, 戸村健児 (1998) 土壌より水および植物への元素移行の地域性. 第35回理工学における同位元素研究発表会, 東京.
- 興水達司, 柴田知之, 門西恵, 中村文紀, 中川博, 保坂邦之 (1998) 富士五湖湖底の音波探査および磁気探査. 日本地質学会第105年学術大会, 松本.
- 興水達司, 小林浩 (1999) 富士山麓及び甲府盆地における地下水・湧水中のパナジウムおよびリン濃度とその地質学的背景. 第8回環境地質学シンポジウム, 東京.
- 興水達司, 内山高, 長島美音, 柴田知之, 吉澤一家, 河西学, 青砥澄夫 (1999) 河口湖湖底ボーリングコアの層序および年代. 日本地質学会第106回年会, 名古屋.
- 興水達司, 小林浩 (2000) 富士山北麓地域の地下水・湧水中の微量元素の挙動. 第10回環境地質学シンポジウム, 東京.
- Koshimizu, S. and Tomura, K. (2000) Geochemical behavior of trace vanadium in the spring, underground and lake waters at the foot of Mt. Fuji, central Japan. International Symposium 2000 on Groundwater, IAHR. Omiya.
- 興水達司 (2001) 最新の地下水研究事例. 日本地下水学会2001年春季講演会シンポジウム「富士山の地下水と人間活動」, 富士.
- 興水達司・小林浩・京谷智裕 (2001) 富士山麓の地下水中の微量元素の特性. 地球惑星科学関連学会2001年合同大会, 東京.
- 興水達司・京谷智裕・岩附正明・戸村健児 (2001) 富士山北麓で採取された大気エアロゾル粒子化学特性と湖底堆積物中の黄砂への適用. 第11回環境地質学シンポジウム, 東京.
- 興水達司・内山高・吉澤一家・山本玄珠 (2001) 富士山麓本栖湖畔のボーリングコアの層序. 日本地質学会第108年学術大会, 金沢.
- 興水達司 (2002) 富士山麓の地下水・湧水の特性 (2000) 第3回世界水フォーラム・プレフォーラム, 富士吉田市.
- 興水達司 (2002) 富士五湖の湖底ボーリングデータからさぐる富士火山. 第7回リモートセンシング部会研究会, 富士吉田市.
- 興水達司, 内山高, 京谷智裕 (2002) 富士五湖湖底ボーリングコアに認められる富士山火山活動. 地球惑星科学関連学会2002年合同大会, 東京.
- 興水達司, 内山高, 京谷智裕, 山本玄珠 (2002) 富士五湖湖底ボーリングコアの層序およびコア中の富士火山噴出物の化学組成. 日本地質学会第109年学術大会, 新潟.
- 興水達司, 京谷智裕, 大越秀明, 内山高, 岩附正明 (2002) 富士山麓に認められている黄砂粒子の識別とその特性. 第12回環境地質学シンポジウム, 東京.
- 京谷智裕, 興水達司 (2000) 春季の富士北麓及び甲府市における降水中溶存成分の化学特性. 日本地球化学会第47回年会, 山形.
- 京谷智裕, 興水達司 (2001) 富士五湖湖底堆積物の石英粒子の起源と黄砂の寄与. 日本化学学会第79春季年会, 神戸.
- 京谷智裕, 興水達司 (2001) EPMAによる富士五湖湖底堆積物中黄砂粒子の定量的識別. 地球惑星科学関連学会2001年合同大会, 東京.
- 京谷智裕, 興水達司 (2001) 富士山北麓における降水中硫酸イオンの起源. 第11回環境地質学シンポジウム, 東京.
- 京谷智裕, 興水達司 (2001) 富士山北麓と甲府市での降水の同時観測. 環境科学会2001年年会, 甲府.
- 京谷智裕, 興水達司 (2001) 富士山麓における黄砂エアロゾル観測の意義. 第10回環境化学討論会, 愛媛.
- 京谷智裕, 興水達司 (2001) 河口湖湖底堆積物中の個々の石英粒子のアルカリ元素組成から見た黄砂フラックスの変動. 日本地質学会第108年学術大会, 金沢.
- 京谷智裕, 興水達司 (2001) 河口湖湖底堆積物を用いた黄砂フラックス変動の高時間分解能解析. 日本地球化学会第48回年会, 東京.
- 京谷智裕, 興水達司 (2002) 蛍光X線分析法による湖底堆積物中炭素の簡易定量法. 日本化学会第81春季年会, 東京.
- Kyotani, T. and Koshimizu, S., (2001) Quantification of Asian Dust-Storm Particles (Kosa) in Lake Kawaguchi at the Foot of Mt. Fuji, Central Japan by SEM-EDX and Its Application to Paleo-Climate Analysis. IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2001, Tokyo.
- 京谷智裕, 興水達司 (2001) SEM-EDXによる富士五湖湖底堆積物中黄砂粒子の定量的識別と気候変動解析. 第62回分析化学討論会, 松本.
- 京谷智裕, 興水達司 (2001) SEM-EDXによる湖底堆積物中黄砂粒子の定量的識別法. 第10回環境化学討論会, 愛媛.
- 京谷智裕, 興水達司 (2002) 富士五湖湖底堆積物中の最近1年間の黄砂フラックスとオリビン化学組成変化. 日本地質学会第109年学術大会, 新潟.

京谷智裕，輿水達司（2002）富士五湖湖底堆積物中の個々のオリビン微粒子のMg/Fe比から見た新富士火山．地球惑星科学関連学会2002年合同大会，東京．

萩原成騎，福島嘉洋，輿水達司（2000）山中湖表層堆積物中の有機汚染物質の挙動．第12回環境地質学シンポジウム，東京．

内山高，輿水達司（2000）富士五湖河口湖湖底ボーリングの火山灰層序と編年．日本地質学会第107年学術大会，松江．

内山高，輿水達司（2001）富士五湖本栖湖・河口湖・山中湖ボーリングコアの岩相とテフラ層序．日本地質学会第108年学術大会，金沢．

内山高，輿水達司（2001）富士五湖本栖湖・河口湖・山中湖ボーリングコアの岩相．地学団体研究会第55回総会，山形．

内山高，輿水達司（2001）富士五湖山中湖ボーリングコアの岩相とテフラ層序．2001年日本第四紀学会大会，鹿児島．

内山高，輿水達司，渡辺正巳（2002）富士五湖本栖湖・河口湖・山中湖ボーリングコアのテフラ層序と花粉分析．日本地質学会第109年学術大会，新潟．

内山高，輿水達司，渡辺正巳（文化財調査コンサルタント）（2002）富士五湖山中湖ボーリングコアのテフラ層序と花粉分析．2002年日本第四紀学会大会，松本．

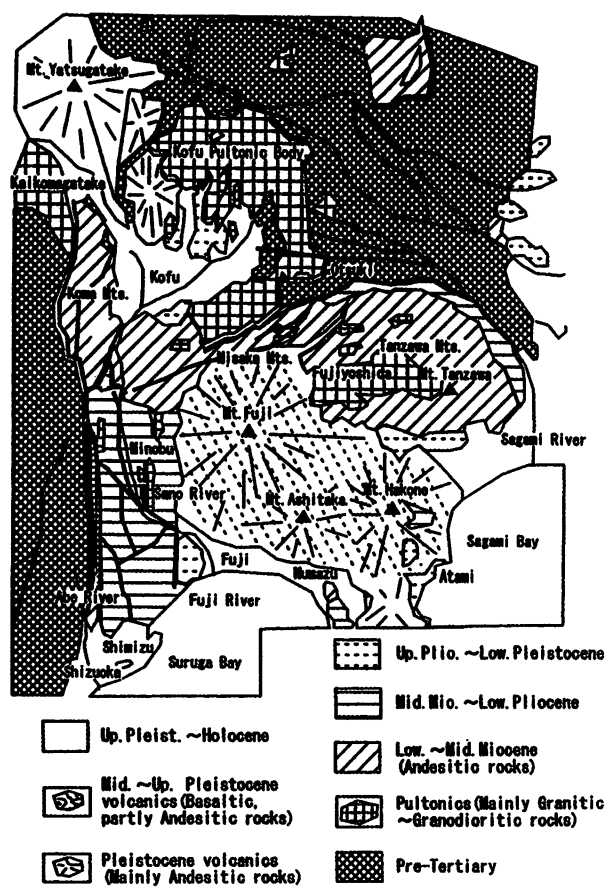


図 5 - 1 Geological map of southern Fossa Magna, compiled by Yamanashi Pref. geological compilation committee (1970), Shiba (1987) and Ysunoda (1988).
南部フォッサマグナ地域の地質概略図（山梨県地質図編纂委員会，1970；柴，1987；角田，1988を基に作成）

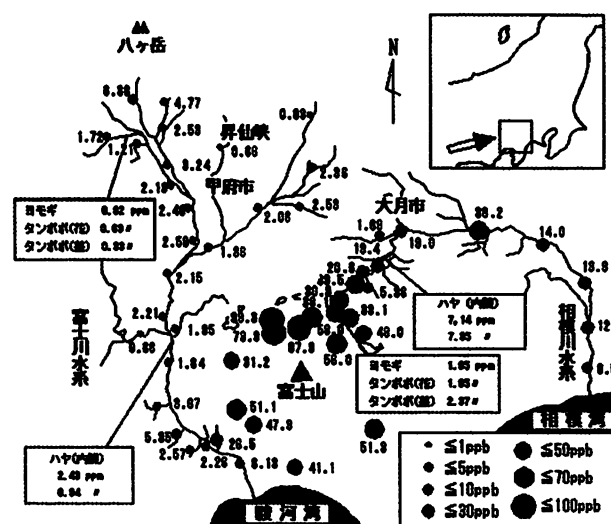


図 5 - 2 富士山麓周辺の湧水及び相模川・富士川水系の水・動植物中のバナジウム濃度

第3回世界水フォーラム・プレフォーラム

●講演会

富士山の
地下水の現状と
今後の問題

平成14年12月14日 13:30～16:00
於 山梨県環境科学研究所

開会挨拶

講演 (13時30分～15時30分)

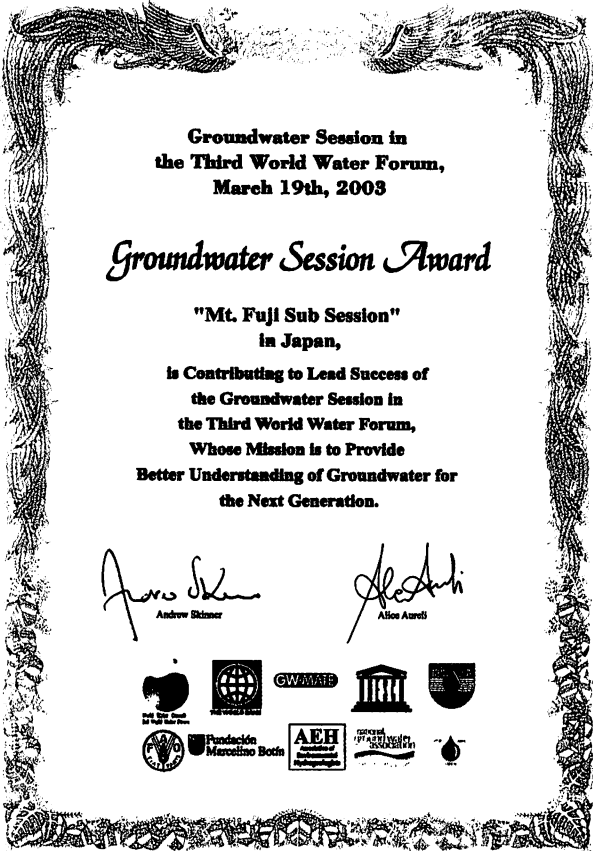
- 富士山の地形・地質と地下水
土 隆一 (静岡大学名誉教授) ————— 1
- 富士山北麓の地下水・湧水の特徴
奥水 達司 (山梨県環境科学研究所) ————— 7
- 岳南の地下水塩水化の克服
井野 盛夫 (富士産業大学環境防災学部長) ————— 16
- これで良いのか三島の湧水
長瀬 和雄 (元神奈川県温泉地学研究所長) ————— 26
- おいしい水と地下水
鹿園 直建 (慶應大学理工学部教授) ————— 50
- 忍び寄る地下水汚染
前川統一郎 (国際航業株式会社) ————— 60

ディスカッション (15時30分～16時)

閉会挨拶

—日本地下水学会「富士山の地下水と人間活動」総合調査委員会—

資料5-1 世界水フォーラム・プレフォーラム



資料5-2 第3回世界水フォーラムにおける発表に対し受けた賞

R-05-2004

平成15年度
山梨県環境科学研究所研究報告書
第12号

YIES Research Report

2004年 3 月発行

編集・発行
山梨県環境科学研究所

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾5597-1

電話：0555-72-6211

FAX：0555-72-6204

<http://www.yies.pref.yamanashi.jp/>

印刷 株式会社ヨネヤ

