

R-01-2018

MFRI Research Report

山梨県富士山科学研究所研究報告書

第37号

プロジェクト研究

「山梨県内の湖沼堆積物に記録された環境情報の時空分析」

平成30年度

山梨県富士山科学研究所

はじめに

人類が自然と調和を図りながら持続的な発展を遂げるために、基本的には人間活動が自然環境に与える影響を正確に評価し、適切な対策を凝らすことが必要である。その際、将来の環境がどのように変化するかを精度良く予測することが重要になるが、そのためには、過去から現在までにわたる環境の変化を正確に把握することが必要になる。

この中・長期的環境変動の解明については、20世紀後半から現在まで国の内外において活発に研究が展開されてきている。この過程における重要な成果として、人間活動が自然環境に及ぼす影響評価の把握のみならず、地球自身による環境変化の規則性についても、多くの知見が生み出されてきている。この分野の研究において、海洋底堆積物とともに湖底堆積物は連続した古環境の記録を含んでおり、過去からの環境変動に関する様々な情報を我々に与えてくれることが期待され、重要な貢献を果たしてきている。

このような背景から、本研究は既存研究において、富士五湖湖底堆積物をボーリングコアとして採取し、富士山の過去の火山活動に対する影響に関する地域特性の解明をはじめ、火山防災上についても地域的な特徴があることなど重要なデータを明らかにしてきた。さらに、中国大陸からの黄砂（こうさ）飛来量の厳密な把握方法についても検討し、東アジア地域の環境変化の規則性を知ることができた。このような成果の中には、地球自身によるリズムからもたらされる現象のほか、人為的活動の結果としての地球温暖化現象も含まれていることが理解できた。

上記の地球科学研究所の先行研究を発展させ、本研究では富士山麓地域は勿論、さらに甲府盆地一帯における湖沼の堆積物に分析対象を拡げ、堆積物中に記録されている環境変遷の歴史的解明を図り、将来の山梨県における環境予測の基礎資料の構築を目標に研究を進めてきた。

本研究は旧山梨県環境科学研究所時代において実施されたものですが、成果の公表が遅れておりました。このたび当時の成果を報告書として取りまとめ、公表する運びとなりました。

この報告書が、関係方面に今後広く活用されることを期待したい。

山梨県富士山科学研究所
所長 藤井敏嗣

目 次

はじめに

概要編

I プロジェクト研究の概要	1
I-1 研究テーマおよび研究期間	1
I-2 研究体制	1
I-3 研究目的	1
I-4 研究成果の概要	1
I-4-1 黄砂の長期間飛来量の環境変遷解析	1
I-4-2 湖沼堆積物の環境解析の意義と PAH 分析	2
I-4-3 ラドンの計測	2
II 研究成果報告	5
II-1 黄砂による環境変遷解析	5
II-1-1 研究目的	5
II-1-2 黄砂の飛来量の時系列解析	5
II-1-3 黄砂の粒子径の時系列解析	6
II-2 湖沼堆積物の有機化学分析	7
II-2-1 研究目的	7
II-2-2 試料の地質学的背景	7
II-2-3 PAHs の分析と結果	8
II-2-4 PAHs の自然災害復元への応用	8
II-3 ラドンの継続計測	11
II-3-1 ラドン観測の背景と原理	11
II-3-2 ラドン観測の意義	11
II-4 引用・参考文献	12

概 要 編

I プロジェクト研究の概要

I-1 研究テーマおよび研究期間

研究テーマ：

山梨県内の湖沼堆積物に記録された環境情報の時空分析

研究期間：

平成 19 年度～23 年度（5 年間）

I-2 研究体制

研究代表者：輿水達司（地球科学研究室）

共同研究者：内山 高（地球科学研究室）

杉田幹夫（環境計画学研究室）

小林 浩（県衛生公害研究所）

根元謙次（東海大学）

I-3 研究目的

地球温暖化等をはじめとする環境問題の解明にあたり、観測記録などの過去からの変化を基に、その規則性を見出し、そこから将来対策を試みる場合、よりどころとする記録が数十年、長い場合でも百年程度といった短期間に制約されるため、精度の高い将来予測をしばしば困難にしている。これに対し、湖底堆積（たいせき）物や海洋底堆積物を材料に検討した場合、より広範な年代幅につき環境変化の記録を読みとることを可能とし、結果として精度の高い将来予測に寄与する。そのため、内陸地域においては湖底堆積物等をボーリングコアとして採取し、この中に記録されている各種の環境情報を解析し、さらに歴史的变化を明らかにする研究が、国の内外において活発に実施されるようになってきた。

このような背景から、我々は先行プロジェクト研究において、富士五湖湖底堆積物をボーリングコア採取し、富士山の過去からの活動に関する地域特性の解明をはじめ、火山防災上についても重要なデータを明らかにした。これ以外にも、本プロジェクト研究に関連する成果として、環境変動の方面からは、富士五湖地域における過去からの大気環境等の歴史的变化の情報を明らかにできた。また、中国大陸からの黄砂（こうさ）飛来量変化についても検討し、東アジア地域の環境変化の規則性を知ることができた。このような成果の中には地球自身によるリズムからもたらされる現象のほか、人為的活動の結果としての地球温暖化等の現象も包含されている。

以上の地球科学研究室の先行研究を発展させ、本プロジェクト研究において富士山麓地域は勿論、さらに甲府

盆地一帯における湖沼の堆積物を中心に分析対象を挙げ、堆積物や地層の中に記録されている環境変遷情報につき、その変化の要因についても自然はもちろん人為についても対象とし、これらの歴史的解明を図り、将来の山梨県における環境予測の基礎試料を構築することを目標とした。

I-4 研究成果の概要

I-4-1 黄砂の長期間飛来量の環境変遷解析

東アジア地域における気候変動が黄砂の発生量に反映されているとの指摘がなされ、地球温暖化の問題に対する一つの研究方針として、湖底や海底の堆積物を用いて時代を追った黄砂量の変動を明らかにし、過去から現在にわたる気候変化の復元を試みる研究が、国内外において活発になってきている。ところが、従来の研究においては、黄砂粒子の識別において厳密さを欠く場合が多く、そのために日本列島およびその周辺域への黄砂飛来量の変遷を議論するうえで、最も基本となる黄砂の定量的方法に問題があると我々は考えた。そこで、先行プロジェクト研究「富士五湖周辺の自然環境変遷史に関する研究」において、走査型電子顕微鏡とエネルギー分散型 X 線分析法を組み合わせた方法により、試料中の個々の石英粒子に含まれる不純物組成を分析する新規な方法を試みた。その結果、個々の石英粒子を指標とすれば、黄砂起源の石英粒子を日本列島の岩石・土壌由来の粒子から、ある程度明瞭に識別することが可能になり、黄砂識別に新方法を提案できた。

ただし、先行プロジェクト研究においては現在から過去一万年頃まで遡る試料につき検討したのみであり、それ以前の過去に遡る時代における状況については、殆ど未解決なままであった。この事情を踏まえ、本プロジェクト研究においては富士五湖湖底堆積物の約二万年前辺りまで遡る試料につき、黄砂飛来量の変遷の検討を試みた。その結果、最終氷期のピークの頃すなわち 21000～22000 年前の時期から現在にわたる期間の富士山麓地域における黄砂飛来量の変遷を把握できることになった。その上で、最終氷期頃以降から現在までの期間の中で、黄砂飛来量が最も高い時期は最近における概ね百年間であることが確認できた。

一方、最近百年間の期間を除いた、つまり西暦 1900 年頃から過去に遡り最終氷期頃の期間にわたる黄砂飛来量の変遷については、その運搬量が相対的に多い時期が 2 万年前頃の最終氷期に求められ、逆に相対的に飛来量が少ない時期としては縄文時代半ばの、今から 6000～7000 年前頃に求められた。すなわち、地球環境として最近の 2

万数千年間で最も寒冷な時期に当たる最終氷期には黄砂飛来量が多く、その一方で地球史の中で比較的温暖な縄文時代でも特に温暖な半ば頃の時期には黄砂飛来量が少ない、という結果が得られたわけである。このような黄砂飛来量変動と寒暖の気候変動との関係については、従来日本列島周辺の海洋底における黄砂飛来量による検討結果とも、概ね整合する傾向である。結局、富士五湖湖底堆積物中の黄砂飛来量の変遷の成果は、大洋底や南極氷床等から採取されたコア試料から得られた地球史の寒暖の環境変遷と矛盾のない規則性を示すものと理解できた。すなわち、内陸地域の湖底堆積物に含まれる黄砂を材料に、過去からの気候変動のリズミカルな規則性を実証したものである。

その一方で、この地球史の中で認められる寒暖の変化と黄砂飛来量の対応関係が、仮に現在まで継続しているとすると、最近約百年間における富士山麓地域における黄砂飛来量の増加傾向については、気候が寒冷でなければならない、と説明されるべきものである。現実はそのようになっておらず、この矛盾こそ、近年大きな問題として取り上げられている地球環境問題であり、地球温暖化とも密接に関係する人為的な影響に原因が求められることと思われる。

I-4-2 湖沼堆積物の環境解析の意義と PAH 分析

湖や内湾域などの底質堆積物中には、人間の生産活動に由来する種々の化学物質が砂や泥の堆積物と共に蓄積し、人間活動の自然環境への影響が記録されている。このような化学物質のうち、多環芳香族炭化水素類 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAH と記す) は、化石燃料由来とされ、環境影響指標の検討を目的に、国の内外でも多くの研究がなされてきている。

この視点から我々は、先行プロジェクト研究において、河口湖湖底堆積物に含まれる PAHs の分析を行ない、時代を追った PAHs 濃度変化を基に、河口湖付近における人間活動による環境汚染の影響とその変遷を報告した (小林ほか, 2000)。この報告の中で、同じ河口湖内において PAHs 濃度が、場所の違いに応じた明瞭な違いを示した。この成果を発展させ、本プロジェクト研究では大気環境の変遷史の解明を目的に、富士山麓地域のみならず甲府盆地側の湖沼も含めた広範囲における地域を対象に検討を進めた。

甲府盆地側における検討対象として、具体的には四尾連湖 (市川三郷町) および千代田湖 (甲府市) を対象とした。四尾連湖は甲府盆地の南に位置し、比較的交通量が少なく、住宅地から離れた地域に特有な環境を示している。一方、千代田湖は甲府盆地の北に位置し、観光地の昇仙峡への入り口に当たり、春から夏場を中心に比較的交通量が多い環境にある。これら二つの湖沼の堆積物に対し、含まれる PAHs 分析を試みた。結局、甲府盆地側のこ

れら 2 箇所の湖沼堆積物中に含まれる PAHs 濃度は、富士五湖側 (河口湖など) に比較して、明らかに低濃度であることを我々は確かにした。確かに、本プロジェクト研究で実際に分析対象とした地域以上に、甲府盆地の中で交通量が多く大気環境の点で一層悪い環境条件における湖沼堆積物の検討については、本研究では検討は試みることは無理であった。しかし、現時点で我々が把握できた結果からは、甲府盆地側での盆地周辺域における湖沼堆積物採取地点における人間活動としては、富士五湖側に比べると、概して不活発という要因に求められそうである。

今後は湖沼堆積物の検討において、甲府盆地の中心部において、人口が密集し、しかも交通量の多そうな地域・地点からも湖沼堆積物試料を採取し、地域性や時代性などの点から総合的に検討することが重要となる。

I-4-3 ラドンの計測

1995 年阪神・淡路大震災を引き起こした兵庫県南部地震後、この震災・地震を契機として、1999 年から地震予知のための研究戦略を根本的に見直した「地震予知のための新たな観測研究計画」が始まる。国として、基盤的な地震観測網が整備され、この観測等によって日本の地下で起こっている現象について明らかになり、地震予知につながる多くの発見がされている。この中で、日本が世界に誇れる地震予知研究への大がかりな試みとしては、以下の 4 つであろう。地震断層そのものを捉えることすなわち地球深部探査船「ちきゅう」、地下の状態を遠隔モニターする精密制御定常信号システム「アクロス」、人工衛星から地殻変動観測を行う「だいち」、海底観測ネットワークである。これらが十分に機能すれば、地震予知において、ある程度大きな貢献することが期待される。

しかし、2011 年 3 月東北・関東地方に未曾有の大災害を引き起こした 2011 年東北地方太平洋沖地震に見られるように、社会的に認められるような実用的な地震予知は容易ではない状況である。これらの大がかりな地震予知研究は我々のような地方の研究機関が実施するには、予算面等からも人的な面からも困難である。このため、我々は地震活動に伴って地下から発生するラドンの連続計測に努めてきた。この方法の原理は、ラドンの大気中濃度の変動をもたらす理由として、地震等の活動が地殻の亀裂を引き起こすことに要因が求められる、という考えである。従来から、この原理で地震発生前後における大気中ラドン量の変化についての報告は少ない状況にあり、しかも山梨県内においては、この目的に沿った系統的なラドン計測は知られていない。

以上の事情と背景から、山梨県環境科学研究所として、地域の近未来の自然環境を把握あるいはその変化の予測を目的として、ラドン量の計測を継続監視する目的のもとに、研究所の開所以来連続測定につとめてきた。

そこで、我々が研究所開始から計測を進めてきたラドン濃度につき、具体的には南部町(旧富沢町)に機器を設置した以降の特に最近における観測データを紹介し、連続観測の意義についても報告する(詳細は本編参照)。

ラドンの連続観測の過程のなかで、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震はMw9という未曾有の規模であり、この地震発生前後における南部町に設置してある山梨県環境科学研究所のラドン計によって測定された値については、地震の前後で明瞭な変化として認められている。今まで我々が進めてきた大気中のラドンの連続観測データが、実際の地震現象との関係で、どのような因果関係が認められるのかといった点も含めて、その関係の詳細解析等をおおして、地震予知への前進など、広い意味での未来の環境変動への科学的貢献に活かしていきたい。

なお、本研究は平成19年度～23年度にかけて、山梨県富士山科学研究所の前身である環境科学研究所のプロジェクトとして実施した研究課題である。

本 編

II 研究成果報告

II-1 黄砂による環境変遷解析

II-1-1 研究目的

毎年春になると中国大陸から飛来する黄砂は、日本人にとって身近な風物詩になっている。この黄砂は、最近我々が富士五湖湖底から採取したボーリングコアの中にも、長い時代にわたって記録されている。富士五湖湖底ボーリングコアには、富士山噴火の歴史や富士五湖周辺の環境変遷などの情報が記録され、このうち黄砂には、地球規模の気候変動の謎を解く鍵が隠されており、湖底のボーリングコア試料を材料にして歴史的に解析することによって、多様な地球規模の環境の情報が読み取れる(図1)。

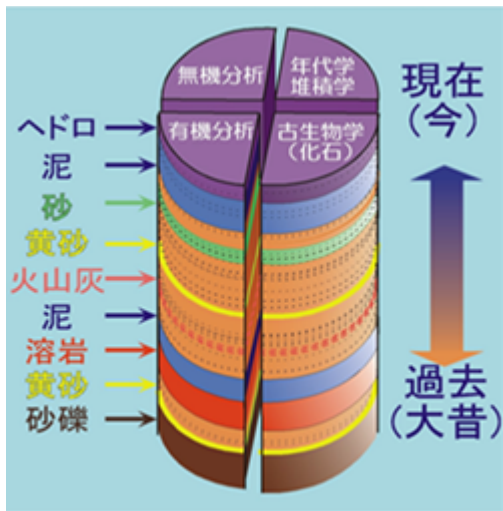


図1 湖底堆積物の各種分析概念図

このような研究を進める背景として、東アジア地域における気候変動が黄砂の発生量に反映されているとの指摘がなされ、地球温暖化の問題に対する一つの研究方針として、湖底や海底の堆積物を用いて時代を追った黄砂量の変動を明らかにし、過去から現在にわたる気候の復元を試みる研究が、国内外において活発になってきている。ところが、従来の研究においては、黄砂粒子の識別において厳密さを欠く場合が多く、そのために日本列島およびその周辺域への黄砂飛来量の変遷を議論するうえで、最も基本となる黄砂の定量の方法に問題があると我々は考えた。

そこで、先行プロジェクト研究「富士五湖周辺の自然環境変遷史に関する研究」において、走査型電子顕微鏡とエネルギー分散型X線分析法を組み合わせた方法により、試料中の個々の石英粒子に含まれる不純物組成を分析する新規な方法を試みた。その結果、個々の石英粒子を指標とすれば、黄砂起源の石英粒子を日本列島の岩石・土

壤由来の粒子から、ある程度明瞭に識別することが可能になり、黄砂識別に新方法を提案できた。その上で、具体的な富士五湖ボーリングコア試料について、時代を追った黄砂飛来量の変遷を検討したところ、過去一万年間の中で最近百年間が最大であることが明らかになった。これは、中国大陸における人為的な開発行為が、結果として砂漠化に拍車をかけたとみて大きな矛盾はない。このように、湖底堆積物中の石英粒子について新しい視点からの厳密な化学分析を実施することにより、これまで見えなかった気候変動に関する環境情報が読み取れるようになってきた。

ところが、先行プロジェクト研究においては現在から過去一万年頃まで遡る試料につき検討したのみであり、それ以前の過去の時代における状況については未解決なままであった。この事情を踏まえ、本研究において富士五湖湖底堆積物の約二万年前まで遡る試料につき、黄砂飛来量の変遷の検討を試みた。

II-1-2 黄砂の飛来量の時系列解析

富士五湖の中で、我々は先行プロジェクト研究によって、山中湖、河口湖、本栖湖からボーリングコア試料を採取し、それぞれにつきコアの構成を明らかにした上で放射年代の情報を刻み、その上で黄砂を含む環境変遷などの解析を進めてきている。この中で、山中湖から採取したボーリングコアには、富士火山起原の噴出物が多く含まれ、シルトや泥などの堆積物は相対的に乏しい構成を示している。河口湖から採取した試料には、富士火山の噴火の影響が乏しく、このためシルトや泥が相対的に卓越しており、先行プロジェクト研究において、黄砂の環境科学分析には多くをこの河口湖ボーリングコアを材料に検討を進めた。一方で、先行プロジェクト研究において本栖湖湖畔から採取されたボーリングコア試料の年代幅は最も長く現在から過去の遡る時代として、約25000年頃までをカバーしている。このような、コア試料の状況も加味して、本プロジェクト研究で検討対象とする2万年前あるいはさらに古く遡る時代については、本栖湖ボーリングコアを構成する試料が、特に古い時代の検討においては有効になる。

以上のように、我々が先行研究で採取した富士五湖のボーリングコアについては、湖の位置する場所の違いに応じて、その構成や構成物の年代幅などの特徴が様々であり、この状況を考慮して、しかも先行研究における黄砂の識別方法を踏まえて、約2万年前辺りに遡る過去から現在までにわたる年代幅につき、中国大陸から富士五湖付近に運搬された黄砂量を検討した。

その結果、最終氷期のピークの頃すなわち21000~22000

年前の時期から現在にわたる期間の富士山麓地域における黄砂飛来量が把の検討から把握できることになった(図2)。その一方で、この長い期間の中で、黄砂飛来量(運搬量)が高い時期は最近における概ね百年間であることが確認できた。これは、先行プロジェクト研究においても予測的に指摘したことが、確認できたわけである。

一方、この百年間の期間を除いた、西暦1900年頃から過去に遡り最終氷期頃の期間にわたる黄砂飛来量の変遷については、相対的にその飛来量の多い時期が2万年前頃の最終氷期に求められ、逆に相対的に飛来量が少ない時期としては縄文時代半ば頃の今から6000~7000年前頃に求められた。すなわち、地球環境として最近の2万数千年間で最も寒冷な時期に当たる最終氷期には黄砂飛来量が多く、その一方で比較的温暖な縄文時代の中でも特に温暖な半ばの時期には黄砂飛来量が少ない、という結果が得られたわけである(図2)。このような黄砂飛来量変動と寒暖の気候変化との関係については、従来日本列島周辺の海洋底における黄砂飛来量による検討結果とも整合する傾向である。結局、富士五湖湖底堆積物中の黄砂飛来量変遷につき我々が行った成果は、既に大洋底や南極氷床等から採取されたコア試料から得られた地球史の寒暖の環境変遷と概ね矛盾のない規則性を示すものと理解できる。すなわち、内陸地域の湖底堆積物に含まれる黄砂を材料に、過去からの気候変動のリズミカルな規則性を実証したものである。

ただし、この寒暖の変化と黄砂飛来量の対応関係が、仮に現在まで継続しているとすると、最近約百年間における黄砂飛来量の増加傾向については、気候が寒冷でなければならない、という矛盾が生じることになる。このことこそ、近年大きな問題として取り上げられている環境問題であり、地球温暖化とも密接に関係する人為的な影響に原因が求められることと思われる。

II-1-3 黄砂の粒子径の時系列解析

大陸から日本列島周辺に飛来する黄砂粒子の「量」につき時代を追って、その変化を検討し、その多少の変化傾向が過去からの地球環境の寒暖のリズムに概ね対応することは、従来からも我々以外にも報告がなされてきているが、その手法の正当性を我々の研究結果によっても支持することができた。しかし、従来しばしば検討された研究例のように、その研究対象が海洋域においてではなく、日本列島の内陸域で、しかも検討する年代幅を最終氷期以降において集中的に試み、かつ粒子毎の化学分析によった我々の研究は時間分解能の面でも従来に比較して一層厳密に検討できた。すなわち、内陸地域の湖底堆積物に含まれる黄砂を材料に、過去からの気候変動のリズミカルな規則を、より詳細な年代幅の試料を対象として実証したものである。

ところが、この種の研究において、過去の地球の歴史の中で黄砂飛来量が多い時期と、逆に黄砂飛来量の少ない時期における、それぞれの黄砂粒子のサイズについての厳密な検討は、特に内陸域においては従来ほとんど試みられていない。この点の解明において、我々の分析法は対象とする黄砂粒子の個々の化学分析を行う過程で、同時に粒子のサイズについても電子顕微鏡によって知ることができる、という有利な特徴を備えている。

そこで、前述の富士五湖湖底堆積物において過去からの黄砂飛来量の時系列変化の検討を試みた試料において、黄砂粒子径につき比較的寒い時期と、逆に温暖な時期について、互いの黄砂粒子径の比較をおこなった。その結果、2万年前あたりから幾分古い、いわゆる最終氷期頃における黄砂については平均粒径として約 5.6μ と、逆に比較的温暖な縄文時代半ば頃の黄砂については約 5.4μ と、それぞれ測定された。これらの粒子径については、確か

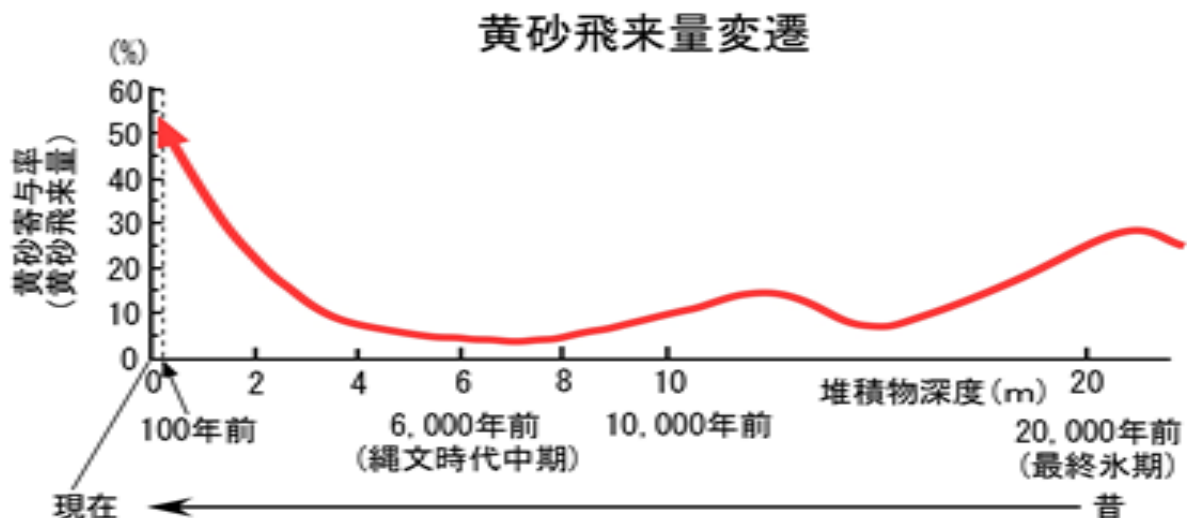


図2 富士五湖の黄砂飛来量変遷の概念図

に寒冷な時期の方が温暖な時期よりも幾分大きいと判断されるかもしれない。しかし、現時点におけるデータから判断すると、互いの粒子径の測定に伴う誤差を考慮すれば、この程度の違いをもって、寒暖の気候変動と関係で議論を展開するには危険が伴う。

むしろこの結果から、過去からの気候変動の規則性につき黄砂を材料に検討する場合に、粒子のサイズの比較を手段にする方法は有効ではないように思われる。すなわち、地球の歴史の中で、ある程度の寒暖の気候変動が認められるような、少なくとも2、3万年にわたる長期間においては、大陸から日本列島に飛来する黄砂粒子径には極端な変化はないのが実情であるのかもしれない。しかるに、我々以外の場合も含め気候変動研究においては、大陸から飛来する黄砂の「量」の大小を基準にした検討方法が、一般に取り入れられている理由になるのかも知れない。

過去からの寒暖の変化を含む気候変動と黄砂飛来量の対応関係が、仮に人為影響なしに現在まで継続していた場合に、我々が明らかにした事実すなわち最近約百年間における黄砂飛来量の増加傾向(図2)は、気候が寒冷でなければ説明できない、という矛盾につきあたる。結局、黄砂飛来量の変遷を時系列的に検討した本研究の結果からも、近年大きな環境問題になっている地球温暖化現象が地球本来のリズムによるもののみでは説明が困難であり、むしろその原因を人為的なところに求めるのが合理的となる。

以上のように、富士五湖湖底から採取された堆積物中に含まれる黄砂について、先行プロジェクト研究を土台にし、本プロジェクト研究で発展的に、その粒子毎の化学分析をおこない起源を知ることと同時に、粒子のサイズについても明らかにし、これらの時系列の変化特性を復元した。この結果、過去からの地球に認められる気候変動の規則性を一層厳密に解明するとともに、近年の地球環境の異変の現れが最近百年間の中で顕著にみとめられる可能性が明確になった。しかも、近年の地球環境異変が認められる場合においても、大陸から日本列島に飛来する黄砂の粒子サイズは、概ね一様な状況であることも、電子顕微鏡を用いると共に粒子毎の化学分析をおこなう我々の新規な研究方法によって、理解できるようになってきた。

II-2 湖沼堆積物の有機化学分析

II-2-1 研究目的

湖や内湾域などの底質堆積物中には、人間の生産活動に由来する種々の化学物質が砂や泥の堆積物と共に蓄積し、結果的に人間活動の自然環境への影響が記録されている。また、この堆積物中の化学物質について有機化学分析や地球化学的分析をおこなうことによって、人為的

な具体的な要因の把握が可能となる。

自然環境中に存在する多種多様な化学物質のうち、多環芳香族炭化水素類(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHと記す)には、ベンゾ[a]ピレン等の発ガン促進作用を示すものがあり、多くの研究が報告されてきている。このPAHsは石炭や石油などの化石燃料の不完全燃焼等により生じ、大気、湖沼および沿岸堆積物、土壤等に広く存在することが知られている。

湖沼堆積物中に見出されるPAHsの起源は、その寄与が最も高いと考えられる自動車排出等による大気粒子の沈積や、堆積物中の有機物の続成的変化、石油流出等のほか、高等植物やバクテリアなどにおける生化学的過程も、PAHsの生成起原と考えられている。これらPAHsの時代を追った変化を測定することにより、その湖沼等の歴史の変遷および環境汚染の推移を把握することが可能となる。

そもそも、湖沼の堆積物は、その周辺域から湖沼に物質が流入することにより形成されるため、そこには多くの場合人間活動の影響が蓄積されてきており、堆積物につき有機化学分析等の化学分析をおこなうことによって、その地域における人為的な影響度が歴史科学的に解析できるわけである。

この目的で、以前のプロジェクト研究において我々は河口湖湖底表層堆積物を中心に、多環芳香族炭化水素類(PAHs)にターゲットを当てた検討を試みたところ、湖周辺における石炭や石油等の化石燃料による大気汚染の変遷を知ることができた。この視点で、本プロジェクト研究において、富士山麓以外にも甲府盆地側の湖沼の堆積物についても対象を広くし、上記の富士五湖地域と同様に多PAHsにターゲットを当て、大気汚染の時間・空間的な状況の把握につき進めた。具体的に、甲府盆地周辺に位置する四尾連湖と千代田湖から採取した底質試料につき、PAHsの垂直分布を測定し、過去からの環境汚染状況を復元することを目指した。

また、このような湖沼堆積物に記録された地球化学的検討結果を基に、その地域にかつてもたらされた自然災害の記録を読み取ることも目的とした。具体的には、先行プロジェクト研究において我々が河口湖湖底堆積物について実施した有機化学分析の結果を材料に、その時代を追った検討を基に、河口湖付近における過去の自然災害の復元を目的とした。

II-2-2 試料の地質学的背景

本研究で検討対象にした湖沼の四尾連湖および千代田湖につき、地質学的背景につき以下に概要を述べる。まず、地理的背景として四尾連湖は御坂山地の西部に位置し、1280メートルの蛭ヶ岳に続く大島山の中腹、標高840メートル付近に湖周約1.5km、水深約10メートルのすり鉢状の小円を呈する神秘的な景観を漂わす湖として知ら

れている。その成因として、地質学的には付近を走る大畠山断層や四尾連湖断層の存在から、一般的には構造性の湖と考えられている。なお、昭和34年に山梨県自然公園に指定され、人々の憩いの場となっている。また、古来富士八湖の一つとして、富士八湖巡りの一霊場として数えられていたが、いつの時代からかその存在も忘れ去られ、明治21年出版の2万5000分の1地形図の発行の機会に、ようやくその位置が広く世人に再確認されたとされている。このような事情も含め、四尾連湖は甲府盆地の南縁の高台に位置するものの、自然環境の点では相対的に静穏な状況と一般的に考えられる。

また、千代田湖は甲府盆地北西部の盆地の縁に位置し、昇仙峡への入り口にあたる。この千代田湖は、もともと荒川の支流、帯那川沿いの水田が広がる谷間であったが、1937年(昭和12年)に県営農業利水(灌漑)改良事業によって、帯那川を堰き止め建設された人造湖である。その面積は約250平方メートルで、また湖面標高は約550メートルであり、付近には県立森林公園(武田の杜・健康の森)などが整備されており、秩父多摩甲斐国立公園の最南部に位置している。このため、甲府盆地の中でも千代田湖付近は、大気等の環境面では甲府市街地よりも良い条件にあるものの、昇仙峡への観光コースの通過地域の点からは、ある程度汚染が進行しているものと考えられる。

II-2-3 PAHsの分析と結果

試料は平成19年7月および平成21年8月において、つまり2時期にわたり、それぞれ四尾連湖(市川三郷町)および千代田湖(甲府市)から、佐竹式コアサンプラー(離合社、採泥管内径5.4cm)により採取した。採取地点は四尾連湖については湖の中の東側と西側の2ヶ所、また千代田湖については湖の中の北側・中央部・南側の3ヶ所の合計5地点とした。

採取試料は採取直後に冷蔵ボックスにて研究所に移動し、4°Cの冷暗所に保存した。分析に際しては、48時間風乾したうえで実験に供した。

風乾後の試料につき、平成19年度採取試料の場合には、1cmごとにスライスした泥約1.5gについてジクロロメタン・n-ヘキサン(9:1, v/v)混合溶液100mlを用い、ソックスレー抽出(12時間)を行った。次いで、ロータリーエバポレーターにより約2mlに濃縮後、0.45μmフィルター(Acrodisc)によりろ過し、窒素ガス吹きつけにより乾固したのち、アセトニトリル1mlに溶解し、蛍光検出/HPLC法(Shimadzu LC-10system, 分析カラム: Wakosil-PAHs)により測定した。一方、標準物質は関東化学(株)製PAH溶液を使用し検量線を作成した。測定対象物質は、フェナントレン(Ph)、フルオランテン(Fl)、ピレン(Py)、クリセン、ベンゾ[b]フルオランテン(B[b]F)、ベンゾ[a]ピレン(B[a]P)、ベンゾ[ghi]ペリレン(B[ghi]P)

など14成分を分析した。

また、ジクロロメタンおよびn-ヘキサンは残留農薬用を、アセトニトリルおよびメタノールはHPLC分析用(いずれも和光純薬社製)を用いた。

以上の方法による分析の結果は、四尾連湖および千代田湖のいずれの試料からも、目的としたPAHの物質を定量できなかった。この分析には、先行プロジェクト研究において実施した河口湖湖底堆積物の場合と、概ね同量に当る約1.5g程度の量を用い実験を行ったものである。この結果を踏まえ、我々は平成21年度に上記の四尾連湖および千代田湖において採取した試料につき、今度は分析に供する試料の量として、平成19年度の場合の約3倍量を用い、その他のPAH分析作業は平成19年度と同じ方法によって検討を重ねた。ところが、この場合においても、四尾連湖および千代田湖のいずれの試料からも、目的としたPAHの物質を定量できなかった。

結局、甲府盆地側で検討対象としたこれら2箇所の湖沼堆積物に含まれるPAHs濃度は、本プロジェクト研究による分析結果からは、厳密な定量はできなかった。しかし、これは定量下限を下回る程度のPAH濃度である、という判断にもなる。以上の状況からして、四尾連湖および千代田湖の場合、富士五湖側に比較して明らかに大気中のPAHは低濃度であることを我々は知ることができた。確かに、本プロジェクト研究では甲府盆地の中で、交通量が多く大気環境の一層悪い環境条件における湖沼堆積物の検討については試みなかったものの、現時点で我々が把握できた結果からは、甲府盆地側での盆地周辺域における湖沼堆積物から判断された限りでは、人間活動の点で富士五湖側に比べると、概して不活発という環境要因に求められそうである。

今後は湖沼堆積物の検討において、甲府盆地の中心部における、人口が密集し、しかも交通量の多そうな地域・地点からも湖沼堆積物試料を採取し、総合的に検討することが重要となる。

II-2-4 PAHsの自然災害復元への応用

1) 試料の概要

本プロジェクト研究では、湖沼堆積物に記録された地球化学的検討結果を、別の視点から検討することにより、この地域にかつてもたらされた自然災害の記録を読み取ることを目的に検討した。具体的には先行プロジェクト研究において、我々が河口湖湖底堆積物について実施した有機化学分析を材料にして河口湖付近の過去の自然災害の復元を試みた。そこで、この河口湖の湖底堆積物の有機化学分析の概要を以下に記す。

河口湖の東部(E)と西部(W)の各一カ所から佐武式コアサンプラー(離合社、採泥管内径5.4cm)により採取した(図3)。その上でこれらコア試料につき、1cmごと

にスライスし、前処理を行った上で、蛍光検出/HPLC 法により多環芳香族炭化水素類を測定した。

この落ち込みの時期については、その年代見積もりが重要にある。この点に関する年代的推定手順をはじめと



図 3 有機分析試料採取位置図

湖沼に堆積した試料につき、堆積物に年代的な情報が加味されることにより、人間活動の歴史的变化を読み取ることが可能となる。既に、このような視点によって、我々は河口湖周辺の比較的最近における（約百年間）変化傾向を報告している（図 4）。

こうした視点からの検討のために、河口湖湖底堆積物中に含まれる多環芳香族炭化水素類 (PSAHs) の最近百年間の変遷を概観してみると、東側の湖底堆積物には相対的に西側よりも PAHs が高濃度の値で推移し、しかもそのピークが 1960~1970 年頃に認められる。このピークの意義は公害基本法の効果であることは、別途の我々の報告（小林ほか, 2000）に詳述しているので参照されたい。

2) 洪水イベントの解析

前述までの記述と視点を変えてみると、こうした湖沼の堆積物には、人間活動の影響のみならず突発的な洪水等の流入記録も残されている場合もある。このような人為起源以外、つまり天然における環境変化の解析も可能となる。

そこで、前述した河口湖から採取された二つの湖底堆積物について、その PAHs の変化傾向をみると、湖東側の試料に比べ、西側の試料の PAHs は相対的にその濃度が低い値で推移している。しかも西側の試料においては、PAHs が極端に大きく落ち込む時期がある（図 4）。

する研究経緯等については、前述の報告に譲り（小林ほか, 2000）、結論を述べると、今から 40~50 年前に遡る。さらに、この時期に PAHs が大きく落ち込む理由としては、基本的に洪水等によって岩石や鉱物粒子が湖に、急激に多量に流入したことによって、その前後の時期に比べて PAHs の濃度が希釈されたと判断して大きな矛盾はなさそうである。この根拠として、人為影響の乏しい湖周辺を構成する山地表層の土壌には、そもそも PAHs を含む割合が、湖の堆積物に比べて低いと考えられるからである。なおその一方で、このように湖西側において PAHs の乏しい時期に、河口湖の東側の湖底においては、このような自然現象は特に認められなかったことが、PAHs の濃度推移から読み取れる。

以上の推定には、確かにこれらの科学的情報以外にも、今後は含水率やソフト X 線による試料断面の形状観察などの検討も加味されることが望ましいものの、現時点までの解析から判断する限り、以下の 2 点の重要な指摘ができる。つまり、河口湖の西側地域において大規模な洪水時に認められる土石の湖への流入現象が認められ、しかもその年代が今から 40~50 年ほど前に遡る、という推定が積極的にできそうである。こうした点を踏まえさらに、実際の災害記録との対応関係をみてみると、河口湖の西側一帯を含み、さらに西湖付近までの広範な地域にわたる「土石流」現象が、1964 年に発生している事実と

概ね符合する。以上の検討から、1964年における西湖・念場地域を襲った大規模な洪水現象を、堆積物中の PAHs の解析によって河口湖湖底堆積物から復元でき、当時の洪水現象が河口湖まで及んでいたことが読み取れる。

一般に、湖底堆積物中に含まれる PAHs については多くの場合、人間活動に伴う人為影響の側面の記録を解析する場合に有効な手段として用いられてきている。ところが、今回のように自然現象としての洪水等の影響を判

うである。つまり、自然現象によって陸域に起源をもつ岩石・鉱物の湖沼等への急激な流入によって、結果として人為起源物資が希釈される、という視点から互いの関係を理解することにより、今まで十分検討されていない環境解析等の点から、湖沼堆積物中の PAHs の応用が期待できそうである。以上の成果は、本プロジェクト研究の報告とは別途に、既にその解析内容を報告(興水・小林, 2010)しており、ここではその後の補足的な情報も加味し

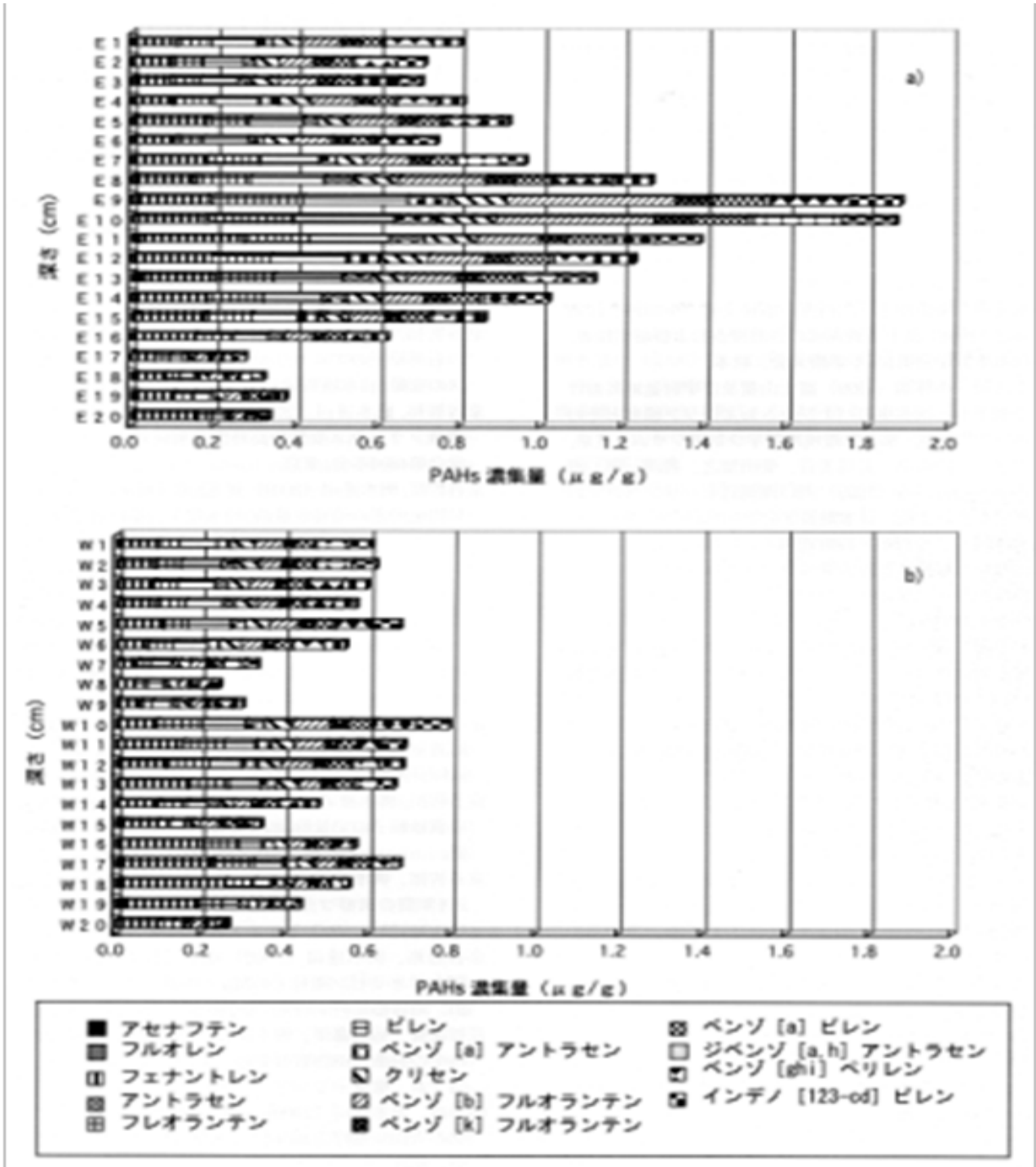


図 4 河口湖表層湖底堆積物中の PAHs 濃度の鉛直分布

断する場合にも、有効に活用できるということになりそ て記した。

このような湖沼の周辺域における自然の変動を原因とする環境変化等についても、湖沼堆積物には記録されており、その歴史の変遷の過程でその実態が解明される場合がある。このようなケースも含め、将来の環境予測への基礎資料としての貢献という視点から、日常的に我々の身の周りにおける自然の変化を観測し、その変化の規則性を検討することは重要である。

この視点から、次章においては地球科学研究室が長年観測を重ねてきているラドンの継続監視についても、本プロジェクト研究の目的・趣旨である「山梨県における環境予測の基礎資料の構築」という点から意味あるものとする。

II-3 ラドンの継続計測

II-3-1 ラドン観測の背景と原理

阪神・淡路大地震の後、地震の前兆現象の研究を本格的に着手しようという機運が高まり、国としても当時の科学技術庁により、具体的に着手したものの、実際には地震予知は容易ではない状況にある。

このような経緯の中で、日本が世界に誇れる地震予知研究への大がかりな試みとしては、以下の2つであろう。その一つは深海底掘削船「ちきゅう」による南海トラフでの掘削である。これは掘削した物質を調べることで、地震予知の研究が進歩するものと考えられている。実際、この報告書の作成時点においても地球科学分野の総合的組織での検討により、地球の動的な姿の解明を基本とした手法を駆使し、日本列島周辺域における地震の仕組みの理解は一段と進展している。ただし、日時を限定した地震予測については容易な状況には至っていない。もう一つの試みは、精密制御定常信号システム「アクロス」である。これは、地下の状態を能動的に監視するシステムであり、具体的にはプレート境界部や断層の状態をレーダーによって監視しようというものである。このレーダーが十分に機能すれば、地震予知にある程度大きな貢献することが期待される。

しかし、これらが大がかりな地震予知研究は我々のような地方の研究機関が実施するには、予算面等からも人的な面からも困難である。このため、我々は地震活動に伴って地下から発生するラドンの継続計測に努めてきている。この原理としては、ラドンの大気中濃度の変動をもたらす理由として、地震等の活動が地殻の亀裂を引き起こすことに要因が求められる、という仕組みである。従来から、この原理で地震発生前後の大気中ラドン量の変化についての報告は少なくないものの、山梨県内においては、この目的に沿った系統的なラドン計測は知られていない。

以上の事情から、我々が研究所開始から計測を進めてきたラドン濃度のうち、南部町(旧富沢町)に機器を設置

した以降の特に最近における観測データを紹介し、継続観測の意義についても触れたい。

II-3-2 ラドン観測の意義

ラドンの継続観測の過程のなかで、一般に長期にわたるその濃度変化をみると、時に増減の変化が認められる。その変化が極端な場合に、その原因の主要なものとして、地震活動に求められることは、前述のラドン観測の原理から理解できる。そこで、以下には我々がラドン観測を進めてきた中で、ラドンの変化の大きなケースを取り上げその観測意義と今後の発展的な利活用法につき簡単に記す。

地球科学研究室が、研究所開所以来観測を進めてきた中で、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震は未曾有の規模である。この地震発生前後における南部町に設置してある山梨県環境科学研究所のラドン計によって測定された値については、地震の前後で明瞭な変化として認められている(図5)。地震発生地域から遥かに離れている山梨県でのラドン観測から、その極端な変化が、地震活動と連動して認められていることは重要と考えられる。

地震現象の発生の前後において、地下水中ラドン濃度変化の確認については、国外の場合も含めると20世紀の後半から、科学的な成果の報告はなされており、本邦でも本格的に地震予知を目的にラドン濃度の継続監視が開始されたのは1970年代以降になる。その後、現在までの間に、具体的には1978年の伊豆大島近海の地震に関する報告、あるいは1995年の兵庫県南部地震(阪神大震災)発生前の水中ラドン濃度の変化の記録などは、関係方面に良く知られている。ところが、実際の地震予知への適用という活用方法までには至っていない状況にある。そもそも、地震活動は広い視点からすると地質現象の一つの出来事であり、その現象が発生する際には、地下におけるラドン濃度以外の多様な側面にその兆候などが表れているわけである。この点を踏まえ、今まで継続観測してきた我々のラドンの記録はもとより、地震現象に関連する地質情報を基本として、その他の物理的・化学的情報も統合的に検討を行うことが重要と思われる。この点も含め、地震予知への貢献のみならず、広い意味での未来の環境変動への科学的貢献にラドンの継続監視情報を活かしていきたい。

II-4 引用・参考文献

- 小林 浩, 奥水達司, 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論文集, 217-222.
- 奥水達司, 小林浩 (2010) 富士山北麓の水循環システムと土石の流れ. 第 20 回環境地質学シンポジウム論文集, 1-6.
- 奥水達司, 内山高 (2008) 富士スバルラインにおけるスラッシュ雪崩—発生状況と対策—. 2007 年富士山スラッシュ雪崩に関するフォーラム報告集, 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター, 66-68.
- 奥水達司, 内山高, 山本玄珠 (2007) 富士五湖湖底ボーリングコアに記録された富士火山活動史. 富士火山, 荒牧重雄ほか編, 山梨県環境科学研究所, 365-374.
- 萩原成騎, 福島嘉洋, 奥水達司 (2002) 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論文集, 457-462.

R-01-2018

平成30年度
山梨県富士山科学研究所研究報告書
第37号

MFRI Research Report

2019年発行

編集・発行
山梨県富士山科学研究所

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田剣丸尾 5597-1
電話 : 0555-72-6211
FAX : 0555-72-6204
<http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/>
