

R-01-2012

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第27号

プロジェクト研究
「富士山の火山活動に関する研究」

平成24年度

山梨県環境科学研究所

は じ め に

日本では、多くの活火山が知られていることは、今さら申し上げるまでもありません。このうち、2000年の3月には、北海道の有珠山が噴火し、その年の8月には三宅島の火山活動が活発化しました。そして富士山の直下で低周波地震が一時期頻繁になったのは、同じ年の秋でした。

その後、富士山の低周波地震は沈静化したものの、翌年5月には再び低周波地震が活発化し、この状況を考慮して2001年の夏には内閣府が主導で、富士山のハザードマップの作成が開始されました。このハザードマップの作成の過程で、関係の研究機関等の努力により、富士山の火山特性の把握の研究が一段と進展をしました。このような研究成果を土台にし、その後も、各研究機関によって富士山の火山としての科学的検討は進められてきています。

とりわけ、富士山の火山活動を把握するためには、過去の長期間にわたる火山活動の解明とともに、火山噴火の前兆現象を観測することが重要です。本プロジェクト研究では、過去の富士山の火山活動の地域的な特徴や環境影響などの解明とともに、富士山の火山活動の現状を把握し、火山活動を予測するための基礎データの蓄積を目的として進めてきました。

具体的には、富士山周辺における富士山起源の噴出物の調査・解析のみならず、既存のボーリングコアや富士五湖湖底堆積物などについても解析をすることにより、時間・空間的な変遷を明らかにすることです。さらに、富士山の火山活動の前兆現象の把握を目指し、低周波地震計・水位計・水温計の整備を進め連続観測を行うことです。

もう一点の柱としては、富士山の地形の微小変動を、リモートセンシング技術を用いて解析することを目的とし、人工衛星（RADARSAT）が観測したデータを用いて、地形標高データの作成、富士山の正確な立体図の作成、時期の異なる立体図を比較することにより富士山地形の微小変動の抽出、富士山地形の微小変動図の作成を目指すことです。

以上の研究が、基礎科学の領域での貢献に留まることなく、火山防災等の広い方面にわたって社会に役立つことを願っています。

山梨県環境科学研究所
所 長 荒 牧 重 雄

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 地震計の設置による火山活動の監視と火山防災の周知・普及	1
I-4-2 富士山の地形の微小変動に関する研究	2
I-4-3 地下水観測	3
I-4-4 富士山麓のボーリングコアによる富士火山活動史—特に古富士期の時空変遷—	4
I-5 研究成果の発表	5
I-5-1 口頭発表	5
I-5-2 誌上発表	6

本 編 —研究成果発表—

II 地震計の設置による火山活動の監視と火山防災の周知・普及	7
II-1 はじめに	7
II-2 地震計の設置および地震計データの利活用	7
II-3 火山防災ガイドブックと避難マップの周知・普及	7
III 富士山の地形の微小変動に関する研究	8
III-1 研究目的	8
III-2 方法	8
III-2-1 干渉 SAR 解析	8
III-2-2 干渉 SAR 処理システム	8
III-2-3 干渉 SAR 画像の作成と目視評価	9
III-3 結果および考察	9
III-3-1 RADARSAT 衛星データ	9
III-3-2 干渉 SAR 画像の作成と目視評価	11
III-4 まとめ	16

IV 地下水観測	19
IV-1 目的	19
IV-2 観測点、観測項目および観測井の概要	19
IV-2-1 地下水観測点	19
IV-2-2 地下水変動観測機器および項目	19
IV-2-3 観測井の概要	20
IV-3 観測結果	22
IV-4 まとめ	22
V 富士山麓のボーリングコアによる富士火山活動史	25
V-1 はじめに	25
V-2 富士山の火山活動の時空分布特性	25
V-3 古富士火山の活動特性	27
V-4 古富士火山の溶岩類の対比	30
V-5 まとめ	30

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：

富士山の火山活動に関する研究

研究期間：

平成 14 年度～18 年度（5 年間）

I-2 研究体制

研究代表者：奥水達司（地球科学研究室）

共同研究者：内山 高（地球科学研究室）

宮崎忠国（環境計画学研究室）

杉田幹夫（環境計画学研究室）

鶴川元雄（防災科学技術研究所）

大倉 博（防災科学技術研究所）

吉澤一家（県衛生公害研究所）

岩附正明（山梨大学）

根元謙次（東海大学）

I-3 研究目的

富士山の火山活動を把握するためには、過去の長期間にわたる火山活動史を解明するとともに、火山噴火の前兆現象を観測することが重要である。本プロジェクト研究は、過去の富士山の火山活動の地域的な特徴や環境影響などの解明とともに、富士山の火山活動の現状を把握し、火山活動を予測するための基礎データの蓄積を目的とする。

二つのサブテーマを挙げて研究を進めており、以下に、その具体的内容につき概説する。

（1）富士山の火山活動の影響と前兆現象の把握

富士山の火山活動の過去の記録の解明、その環境影響の変遷を明らかにする。そのために、陸上部の富士山起源の噴出物の調査・解析のみならず既存のボーリングコアや富士五湖湖底堆積物などについても解析をすることにより、時間・空間的な変遷を明らかにする。さらに、富士山の火山活動の前兆現象の把握を目指し、低周波地震計・水位水温計の整備を行い連続観測を行う。加えて、このような火山活動に関する情報や、ハザードマップの活用方法など、火山防災に対する試みとして地元住民を中心に周知や普及についても研究所としての取り組みを行う。

（2）富士山の地形の微小変動に関する研究

富士山の地形の微小変動を、リモートセンシング技術を用いて解析することを目的としている。具体的には、

人工衛星（RADARSAT）が観測したデータを用いて、地形標高データの作成、富士山の正確な立体図の作成、時期の異なる立体図を比較することにより富士山地形の微小変動の抽出、富士山地形の微小変動図の作成を目指す。また、これらの微小変動と低周波地震や地下水位の変動等、富士山の火山活動と関連が予想される現象との関連性を明らかにする。

I-4 研究成果の概要

I-4-1 地震計の設置による火山活動の監視と火山防災の周知・普及

2000 年 10 月から富士山山頂の北東側地下 15～20 km 付近を震源とする低周波地震が急激に増加して、富士山が活火山であることが改めて注目を集めることになった。これを受けて、翌 2001 年の夏には国（内閣府）が中心になり、関係自治体とともに富士山ハザードマップ作成協議会、富士山ハザードマップ検討委員会が設立され、具体的なハザードマップの作成や、その活用に向けた検討がなされてきた。2002 年 6 月には、富士山ハザードマップ検討委員会より中間報告がなされ、富士山ハザードマップの具体的な姿が明らかになった。

このような中で、山梨県環境科学研究所でも富士山の火山活動を把握するための研究を地球科学研究室が中心になって進めてきた。過去における富士山の活動史の解析について、一定の重要な知見を明らかにできた。しかし、富士山の活動における現状把握の面での研究としては、手薄な状況にあった。一般に火山活動の現状把握のための観測としては多様な観点から試みられているが、本プロジェクト研究では低周波地震・地下水位・地下水温の常時観測と富士山の地形の微小変動をテーマに掲げた。

このうち、初年度実施した低周波地震計の整備につき以下に概説する。系統的に低周波地震の観測を行うためには、全方位的に観測網を設置することが望ましいが、大きな富士山ではまだ不十分である。そこで、山梨県環境科学研究所では、防災科学技術研究所と東京大学地震研究所が既に設置してある観測点の空白地点を埋める地点として、富士山北東麓の県水産技術センター忍野支所に地震計を設置することにした。水産技術センターの敷地内において、まずパイロットボーリングを実施した。この掘削により地下 40 m 付近に緻密な溶岩層が発達していることを確認できた。そこで、このボーリング孔の隣に地震計埋設のための掘削を行い、地下 40 m の深度の位置に低周波地震観測のために地震計を埋設した。この忍野観測点から得られた地震データは専用回線により山梨

県環境科学研究所へ送られ、地球科学研究室で受信できる状況に整備された。

二年目以降では、このデータを筑波の防災科学技術研究所に送り、忍野地域とは別に防災科学技術研究所で収集している富士山周辺のデータと共に気象庁に送信され、富士山周辺の地震観測の面で貢献できるようになった。なお、忍野地域の地震データを含めて、防災科学技術研究所で収集している富士山関係の地震データを防災科学技術研究所において総合解析を行って、地震（低周波地震）発生時期や震源地等のデータを共有できる状況を構築できるようになった。

こうした火山防災の監視に伴う情報も含め、国（内閣府）が作成した富士山火山のハザードマップについて、この内容を地元住民に対し解説するための冊子を富士北麓地域の行政担当者と共同で作製し、さらに避難マップも同様に共同作成し、火山防災の周知・普及に努めた。

I-4-2 富士山の地形の微小変動に関する研究

広域の地表変動を監視し、評価する上で、人工衛星等を利用したリモートセンシングの応用は不可欠である。本研究では、富士山周辺の地形の微小変動を、リモートセンシング技術を用いて解析することを目的としている。

具体的には、人工衛星 RADARSAT に搭載されているマイクロ波センサ（SAR）が観測したデータを利用して、富士山周辺の地形の微小変動の抽出、富士山地形の微小変動図の作成を通じて、低周波地震や地下水位の変動等、富士山の火山活動と関連が予想される現象との関連性を明らかにするための基礎となる知見の獲得を目指した。

本研究のために取得した RADARSAT 衛星観測データは、以下の通りである。

2002 年 8 月 31 日、9 月 24 日、10 月 18 日、11 月 11 日

2003 年 10 月 13 日、11 月 6 日

2004 年 9 月 14 日、10 月 8 日、11 月 1 日、11 月 25 日

2005 年 10 月 2 日、10 月 26 日

2006 年 11 月 14 日、12 月 8 日

2002 年（平成 14 年）から 2006 年（平成 18 年）まで、年度ごとに複数の RADARSAT 衛星観測データを取得して各年度の干渉ペアを構成し、それぞれの干渉 SAR 画像を作成して目視による評価を行った。

2002 年は、この年に取得した上記の 4 観測日の RADARSAT データのうち 10 月 18 日（マスタ画像）および 11 月 11 日（スレーブ画像）の SAR 画像を 1 組の画像ペアとして用いて干渉 SAR 処理を行った。干渉 SAR 画像の作成に先立ってコヒーレンス画像の作成を行い、その後、初期干渉計測結果画像を作成した。

コヒーレンス画像から、コヒーレンスの高い場所は、

富士吉田市街、甲府盆地、富士川下流域、静岡県富士宮市、富士市のほか、富士山山頂近傍の標高の高い部分に分布していることが判読できた。これらの場所は森林に覆われていない場所に対応する。干渉 SAR ではコヒーレンスの高い場所ほど、地形に対応する干渉縞を正確に求めることができ、結果的に正確な地形測定が可能となる。したがって、RADARSAT データの干渉ペアでは、富士山の標高の高い部分では正確な地形抽出の可能性が大きいこと、また森林に覆われた富士山の裾野の部分ではコヒーレンスが低く、地形および地表変動の抽出が困難であることがわかった。これは、RADARSAT 衛星で SAR 観測に用いられている C バンド（波長 5.8 cm）はマイクロ波のなかでは比較的波長の短い電波であり、樹木などの植生に対する信号透過性に優れていないことが理由である。

干渉計測結果の干渉縞には、地表変動量のほか、対象地域の標高に依存する地形縞、大気中の水蒸気量などに依存する大気遅延が含まれており、地表変動量に直接対応する干渉縞ではないため、干渉計測結果から地表変動量を導くためには、地形縞の影響および大気遅延の影響を取り除く必要があることを確認した。

2003 年に取得された 10 月 13 日（マスタ画像）および 11 月 6 日（スレーブ画像）の RADARSAT データを 1 組の画像ペアとして用いることにより、干渉 SAR 処理を行った。処理には宇宙航空研究開発機構が開発したソフトウェアである SigmaSAR に防災科学技術研究所が改良を施したものを利用した。干渉 SAR 処理の過程で地形縞の補正および大気位相遅延補正を行う際、大気位相遅延には観測日当日の気象データを用いて、防災科学技術研究所が開発した手法・解析プログラムにより補正を行った。このとき、大気位相遅延の補正は、シーンセンター位置の鉛直方向の気象データだけを用いて大気位相遅延量を算出し、水平方向は一樣と仮定することにより、シーンセンター位置における気象データをシーン全体に適用した。

解析の結果得られた干渉 SAR 画像（変動量画像）から、富士山頂付近の一部領域には、SAR 画像に合わせ込んだ数値標高モデル（DEM）と SAR 画像の位置合わせが不完全なことに起因する位相変動が確認された。解析プログラムの中で、DEM と SAR 画像の位置合わせ処理の部分を改良することで、干渉画像の位相がより一様になると予想される。また、上記領域の近傍領域に特徴的な変動量分布が認められたが、2002 年および後続の 2004 年から 2006 年にかけての干渉 SAR 処理の結果にも特異的な変動パターンは見られないため、処理上の誤差によるものと考えられた。また、富士山のすそ野の盆地および平野内に位相変動が確認されたが、これは局地的な大気位相遅延補正を行っていないことによる誤差の範囲内と考えられ、実際の地表変動には対応していないと考えられる。

2004 年は、RADARSAT 衛星観測データとして連続する 4 回帰分、すなわち 2004 年 9 月 14 日、10 月 8 日、11 月 1 日、11 月 25 日の計 4 時期の観測データを利用した。この 4 連続回帰の画像から 3 つの干渉ペアを構成し、干渉 SAR 画像（地表変動量）を作成した。その組み合わせ（マスタ画像－スレーブ画像）は 9 月 14 日-10 月 8 日（ペア 1）、10 月 8 日－11 月 5 日（ペア 2）、11 月 5 日-11 月 25 日（ペア 3）の 3 組である。干渉 SAR 画像の作成には前年 2003 年と同様の処理手法を用いた。

ペア 1 およびペア 2 では、干渉 SAR 画像に大気中水蒸気の不均一分布に起因すると思われる局所的な干渉縞が認められたため、地形の微小変動をとらえることは困難な結果となった。2004 年 10 月 8 日の天候は、本州南岸の前線の影響で近畿から関東南部にかけて太平洋側を中心に大雨が降るという悪天候であった。このため、観測時の大気が不安定で、大気状態（水蒸気量、気圧、温度）が局所的に異なり、ひいては局所的な干渉パターンノイズとなって現れている。したがって 10 月 8 日の荒天が、10 月 8 日の SAR 画像を含むペア 1 およびペア 2 の干渉 SAR 画像に大きく影響していると考えられる。

また、ペア 3 では富士山の南東側に縦方向に伸びる干渉縞が確認できるが、この干渉縞を補正により除去することができなかった。さらに、富士山の山頂部に見られる干渉性低下は、11 月 1 日と 11 月 25 日で富士山山頂部の積雪状況に違いがあったことが原因と考えられる。

2005 年 10 月 2 日（マスタ画像）および 10 月 26 日（スレーブ画像）に取得された 2 時期の RADARSAT 衛星観測データを使用して、干渉 SAR 処理を行なった。処理の結果、得られた干渉 SAR 画像には富士山を中心に明暗の干渉縞が多数認められるが、その原因は不明である。

2006 年は、11 月 14 日（マスタ画像）および 12 月 8 日（スレーブ画像）に取得された 2 時期の RADARSAT 衛星観測データを使用して、干渉 SAR 処理を行なった。

干渉 SAR 処理の結果、通常の処理手順による地形縞の補正だけでは、地形縞に対応する縞が多数残り、地形縞を除去することが出来なかった。このため、干渉 SAR 画像から地形縞が消えるような標高面を推定したところ、数値標高モデルの標高値に 0.6 を乗じてシミュレートした場合に、干渉 SAR 画像から良好に地形縞が除去された。しかし、人為的なデータ改変を加えているため、地表変動を論じることは出来ない結果となった。なお、対応する気象データが入手できなかったため、水蒸気に起因する大気位相遅延の影響に対する補正も行うことが出来なかった。

以上の通り、本研究期間の 2002 年から 2006 年まで、年度ごとに複数の RADARSAT 衛星観測データを取得し

て各年度の干渉ペアを構成し、それぞれの干渉 SAR 画像を作成して目視による評価を行った。その結果、いずれの年度についても、地形の微小変動を捉えることは困難な結果となった。この理由としては、研究期間の 5 年間に主だった地殻変動が発生していないことが仮定できる。実際に地殻変動が発生していないと仮定するならば、富士山を含む約 30 km 圏内の範囲は、標高の高低差が約 3000 m あること、独立峰である富士山およびその周囲に存在する山地からなる地形によって水蒸気量等の気象パラメータが様々な条件で分布することなどを考え合わせ、干渉 SAR 処理における様々な補正量、とくに大気遅延量の補正手法の妥当性を評価するテストサイトとして適していると考えられる。

干渉 SAR の誤差としては、軌道による誤差、地形による誤差、大気中の水蒸気擾乱による遅延誤差などがあるが、除去の困難さの観点で最も大きな誤差となるのは、水蒸気擾乱による大気遅延誤差であり、特に水蒸気量の分布が不均一な場合は、処理による除去が難しく、干渉 SAR 画像にもムラようになって現れ、地殻等の微小変動検出において不利となる。日本付近は水蒸気量が多いため、夏場の天気の良い時などは、場合によって大気遅延誤差が 10 センチメートルを超えることもあるので、干渉 SAR 処理における誤差対策は重要な課題である。

I-4-3 地下水観測

本研究「富士山の火山活動に関する研究」のうち、サブテーマ 1：富士山の火山活動の影響と低周波地震に関する研究では、富士山の火山活動に起因すると推定されている低周波地震の常時観測を行い、火山噴火予知研究等に寄与する基礎データを得ることを目的にしている。この地震観測と併せて、地下水位・水温等の連続観測も実施している。

火山地帯の地下水位・地下水温および水質の観測は、1986 年伊豆大島の噴火前後に本格的な観測が始まり、それらの変化が火山活動に関連していることが明らかにされつつある。また、2000 年有珠火山や伊豆三宅島の噴火の前後にも、地下水位・水温および水質の変化が観測され、火山活動の前兆現象に関わる変化および噴火後の変化が明らかにされている。

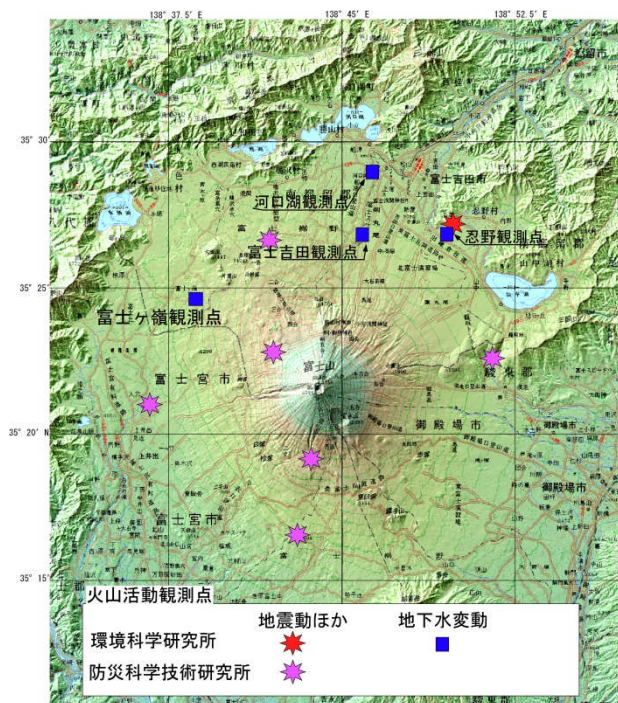
このように地下水の諸変化は火山地帯においては火山活動との関連が指摘されており、地震および地盤変動と併せて噴火の前兆現象および噴火後の推移を予測する上で重要な観測項目とされている。また、富士北麓地域はその生活および産業用水等の大部分を地下水に依存しており、火山活動等による地下水の量的・質的变化は北麓住民生活および産業に大きな影響を与えることが予想されるため、地下水モニタリングが必要とされる。

次に現在観測している観測点についてその諸元等とモニタリング現況について述べる。

地下水変動観測点は次の4箇所に設けて地下水位、水温等の変動の連続観測を実施している(図I-1)。

- ①忍野観測点：北麓(南都留郡忍野村忍草3098-1)
平成16(2004)年3月15日より観測を開始し、位置は北緯 $35^{\circ}27'20.54''$ 、東経 $138^{\circ}49'25.3''$ 、標高931mである。
- ②富士吉田観測点：北麓(富士吉田市上吉田字剣丸尾5597-1)
平成9(1997)より観測を開始し、火山モニター用に本研究で活用した。北緯 $35^{\circ}27'13.2''$ 、東経 $138^{\circ}45'44.4''$ 、標高1031mである。
- ③河口湖観測点：北麓(南都留郡富士河口湖町船津5239-1)
平成16(2004)年3月15日より観測を開始し、位置は北緯 $35^{\circ}29'17.4''$ 、東経 $138^{\circ}45'57.2''$ 、標高862mである。
- ④富士ヶ嶺観測点：北西麓(南都留郡富士河口湖町富士ヶ嶺39-1,2)
平成17(2005)年3月24日より観測を開始し、位置は北緯 $35^{\circ}25'13.9''$ 、東経 $138^{\circ}37'47.8''$ 、標高1075mである。

現在のところ、火山活動に係る地震や構造性地震による影響は観測されていない。



図I-1 富士山北麓の地下水変動観測点

I-4-4 富士山麓のボーリングコアによる富士火山活動史—特に古富士期の時空変遷—

2000年後半から2001年前半にかけて、富士山頂の北東地下15km付近を震源とする低周波地震が急増した(鶴川, 2001)。これが引き金になり、富士山の噴火に備えた観測体制の強化やハザードマップの作成に向けた動きが活発化し、ハザードマップは2004年6月に完成した(富士山ハザードマップ検討委員会, 2004)。この過程で、富士山一帯の陸上地質の調査内容をはじめ、多くの研究成果が集中的にもたらされ、その多くは学術書「富士火山」に収録されている(荒牧ほか, 2007)。この結果、とりわけ新富士期の活動実態の理解や現状の観測体制の強化といった面では、大幅な前進が図られた。それにもかかわらず、富士山の火山活動期間の大半を占める古富士期の活動実態については、一部地域を除いては、必ずしも十分な解明がなされてはいない。これは、富士山が火山としては、10万年程度しか経過していない比較的若い山であり、そのために開析が十分進行しておらず、より古い時代の火山活動の実態を地表で把握することも困難であるという理由による。

このような状況において、富士山のより古い時代である古富士期の活動実態を知るには、山体内部にボーリング掘削をするか、富士山から遙か遠方にまで運ばれた噴出物も含む調査が必要とされる。この視点からすると、富士山周辺における学術ボーリングは、我々の所属する山梨県環境科学研究所の場合も含め、古富士期の火山噴出物が含まれている場合が多く、古富士期の火山活動の時間・空間的変遷について把握する上で、有効な試料となる。

実際に、富士山麓には、富士山の火山活動の把握のために地震計等の観測機器類の設置を目的に学術ボーリングが実施されたのに始まり、その後の山梨県環境科学研究所のように火山活動史および環境科学的解析を目的にしたボーリング掘削など、現在までに掘削された地点は概ね富士山の全周にわたっている。その分布を概観すると、北麓側には掘削数が多く認められる。

確かに現時点での学術ボーリングコア試料数では必ずしも十分な解析数には至っていないのかも知れないが、これらのコア試料の構成につき検討すると、多くには古富士火山から新富士火山にわたって噴火の情報が記録されており、しかも山頂から北西方向に溶岩類の活動が卓越するという特徴が確認できる。このように、ハザードマップなどにも富士山噴火の重要な特徴として取り上げられている富士山の最近2000年間の噴火様式の方角による特徴と同様な傾向が、古富士火山活動の時期に遡って認められる、という理解で大きな矛盾はない。

富士山では前述のように、現時点における学術ボーリングコアに認められる古富士火山について地域特性の視点からみると、新富士火山の場合と同様に、富士山頂か

ら北西方向に溶岩類の卓越した分布が認められる。従来、古富士期も含む富士火山の溶岩類を中心に、化学組成の時系列変化を基に、富士山火山の活動のステージ区分が試みられている（富樫・山崎，1989；高橋ほか，1991，など）。そこで、我々が採取した富士山北麓のボーリングコアについても、これら溶岩類の岩石学的特徴の記載に加え、化学組成を蛍光 X 線分析により明らかにし時系列変化についても検討してきた（興水ほか，2007 など）。

そのうえで、既に防災科学技術研究所による地震計設置に伴い採取されたボーリングコアにつき、その中に含まれる溶岩類に関して、岩石記載に加えて化学分析の変遷の報告がなされている（宮地ほか，1995；2007）コア試料（FJN，FJ5）などとの対比を試みた。このように、富士山頂から北西方向にその分布が確認される古富士火山の溶岩類の活動については、現時点で報告されている試料については概ね本栖湖コアの深度 168 m よりも若い時代に収まりそうである。なお、本栖湖コアには、この 168 m 以下に約 4.8 m の堆積物を挟み、その下位に更に古い時代の溶岩が存在する。

以上のように、富士山頂から北西方向にはボーリングコア試料の検討から、古富士火山の活動が卓越して記録されていることが認識され、しかも現在までに報告されているボーリングコアのうち、本栖湖コアには古富士火山のより古い時代からの、最も長期間にわたる情報が記録されていることも明らかである。今後は、関連するコア試料に含まれる古富士期の溶岩類のみならず、陸上部の溶岩類との対比の研究においても、本栖湖ボーリングコアは富士火山の時空解析において重要な試料となる。

I-5 研究成果の発表

I-5-1 口頭発表

- 1) 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。
- 2) 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．日本地球惑星科学連合 2002 年大会，東京。
- 3) 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。
- 4) 京谷智裕，興水達司（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．日本地球惑星科学連合 2002 年大会，東京。
- 5) 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細成変化．日本地質学会第 109 年学術大会，新潟。
- 6) 内山高，興水達司，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。

- 7) 内山高，興水達司，渡辺正巳（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。
- 8) 興水達司，内山高（2003）富士北麓のボーリングコアの層序および湖の環境変遷史．日本地球惑星科学連合 2003 年大会，千葉。
- 9) 興水達司，内山高，吉沢一家，山本玄珠（2003）富士山北麓のボーリングコアによる湖の環境変遷史解析．日本地質学会第 110 年学術大会，静岡。
- 10) Koshimizu, S., Uchiyama, T., Yamamoto, G. and Yoshizawa, K. (2003) Geoenvironmental Investigation of borehole cores at the foot of Mt. Fuji, central Japan. XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Sapporo.
- 11) 野尻冨子，興水達司，内山高，小坂共栄（2003）富士山北麓、河口湖湖底ボーリングコアに認められる粗粒砕屑物の特徴．日本地質学会第 110 年日本地質学会第 110 学術大会，静岡学術大会，静岡。
- 12) 内山高，興水達司（2003）富士五湖の音波探査からみた富士山活動．火山災害軽減の方策に関するワークショップ，富士吉田。
- 13) 内山高，興水達司（2003）音波探査からみた富士五湖西湖の湖底堆積物．日本地質学会第 110 年学術大会，静岡。
- 14) 内山高，興水達司（2003）ボーリング調査・音波探査からみた富士五湖本栖湖の湖底堆積物の地質．日本第四紀学会 2003 年大会，大阪。
- 15) Uchiyama, T. and Koshimizu, S. (2003) The Volcanic Activity and Volcanologic Impact on Natural environment of Mt. Fuji, based on the lake bottom sediments from Fuji Five Lakes around Fuji Volcano, central Japan. XI INQUA Congress, Nevada, USA.
- 16) 興水達司，内山高，吉沢一家（2004）富士山北麓の湖底堆積物から湖形成史を語る．日本地球惑星科学連合 2004 年大会，千葉。
- 17) 興水達司，内山高（2004）富士山北麓のボーリングコアから探る富士火山の活動特性．第 23 回日本自然災害学会学術講演会，富士。
- 18) 興水達司，山本玄珠，松田泰治，内山高，渋谷誠（2004）富士山北西麓本栖湖周辺のボーリングコアおよび水中映像からみた富士山起源溶岩類の活動史．日本地質学会第 111 年学術大会，千葉。
- 19) 内山高，興水達司（2004）富士山の火山防災－山梨県環境科学研究所の取り組み－．第 23 回日本自然災害学会学術講演会，富士。
- 20) 興水達司，京谷智裕（2005）日本列島への黄砂飛来量の周期的変化と花粉飛散量の経年変化の関係．日

本地球惑星科学連合 2005 年大会, 千葉.

- 21) 興水達司, 京谷智裕, 大沼正行, 河口明日香, 内山高, 青木智彦 (2005) 日本列島への黄砂飛来亮の短周期変動と花粉飛散量の経年変化の関係を富士五湖湖底堆積物から探る. 日本地質学会第 112 年学術大会, 京都.
 - 22) 内山高, 興水達司, 安間 荘 (2005) 2004 年 12 月 5 日富士山北斜面で発生した雪代について. 日本地質学会第 112 年学術大会, 京都.
 - 23) 内山高, 興水達司, 安間 荘 (2005) 2004 年 12 月 5 日富士山北斜面で発生した雪代とその堆積物. 日本第四紀学会 2005 年大会, 島根.
 - 24) 興水達司, 内山高, 八木公史, 嵯峨山積 (2006) 甲府盆地 500m ボーリングコアの地質. 本地球惑星科学連合 2006 年大会, 千葉.
 - 25) Uchiyama, T. and Koshimizu, S. (2006) Stratigraphy and Paleoenvironments recorded from the lake bottom sediments of Fuji Five Lakes around Mount Fuji, central Japan. INQUA Sub-commission on Asian Quaternary Stratigraphy International Symposium, Ulan-Ude, Russia.
- I - 5 - 2 誌上发表
- 1) 興水達司 (2002) 富士山の生い立ちを探る. 日本遺産第 6 号-富士山-, 朝日新聞社, 8-11.
 - 2) 京谷智裕, 興水達司 (2002) 蛍光 X 線分析による湖底堆積物中炭素の簡易定量法. 分析化学, 51, 155-162.
 - 3) 萩原成騎, 福島嘉洋, 興水達司 (2002) 河口湖表層堆積物中の有機汚染物質の挙動. Res. Org. Geochem., 17, 65-69.
 - 4) 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の溶岩について. 地球科学, 56, 191-196.
 - 5) 萩原成騎, 福島嘉洋, 興水達司 (2002) 山中湖表層堆積物中の有機汚染物質の挙動. Proceedings of the 12th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics and International Symposium for Geological Environment, 457-462.
 - 6) 興水達司, 京谷智裕, 大越秀明, 内山 高, 岩附正明 (2002) 富士山北麓に認められている黄砂粒子の識別とその特性. Proceedings of 12th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics and International Symposium for Geological Environment, 463-466.
 - 7) 山本玄珠, 北垣俊明, 興水達司, 篠ヶ瀬卓二, 松田泰治 (2003) 富士山南麓・西麓の新富士火山の溶岩の分布と記載岩石学的研究. 地球科学, 57, 221-242.
 - 8) 荒牧重雄, 池谷 浩, 興水達司, 小山真人, 宮地直道 (監修) (2004) 富士山を知るー富士北麓住民ガイドブックス. 富士山火山防災協議会, 1-15.
 - 9) 興水達司, 鶴川元雄 (2004) 山梨県環境科学研究所国際講演会 2003 報告書. 山梨県環境科学研究所・防災科学技術研究所, 1-24.
 - 10) Kyotani, T. and Koshimizu, S. (2004) Characterization of individual particles in water samples from the Fuji and Sagami Rivers, central Japan by SEM-EDX. Rep. Res. Edu. Ctr. Inlandwat. Environ., 2, 69-73.
 - 11) Yoshizawa, K., Koshimizu, S. and Uchiyama, T. (2004) 2004: Environmental change based on diatom assemblages from Lake Yamanaka at the northern foot of Mt. Fuji, Central Japan. Rep. Res. Edu. Ctr. Inlandwat. Environ., 2, 105-110.
 - 12) 内山 高, 興水達司, 安間 荘, Adhikari, D. P., 中野隆志, 石原 諭 (2005) 2004 年 12 月 5 日富士山北麓斜面で発生した雪代とその被害. 地球科学, 59, 153-154.
 - 13) 河口明日香, 興水達司, 青木智彦, 後藤健介, 内山高, 石垣武久 (2005) 日本列島に飛来する黄砂の地域特性, Proceedings of the 15th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics, 153-156.
 - 14) Kyotani, T., Koshimizu, S. and Kobayashi, H. (2005) Short term cycle of eolian dust (Kosa) recorded in Lake Kawaguchi sediments, central Japan. Atmospheric Environment, 39, 3335-3342.
 - 15) Adhikari, D. P. and Koshimizu, S. (2005) Debris flow disaster at Larcha, upper Bhotekoshi Valley, central Nepal. Island Arc, 14, 410-423.
 - 16) 興水達司, 内山 高, 保坂邦之, 飯窪 基, 丸山眞一, 堀内太一, 中野隆志, 安田泰輔 (2006) 富士山の雪代における物質移動の 3 次元観測. Proceedings of the 16th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics, 261-264.
 - 17) 興水達司, 山本玄珠, 内山 高, 渋谷 誠, 根元謙次 (2006) 富士山北西麓本栖湖周辺のボーリングコアおよび水中映像からみた富士山起源溶岩類の時空分布. Proceedings of the 15th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics, 209-214.
 - 18) 荒牧重雄, 池谷 浩, 興水達司, 小山真人, 宮地直道 (監修) (2006) 富士山火山防災避難マップー富士北麓版. 富士山火山防災協議会・山梨県, 1-14.
 - 19) Adhikari, D.P., Koshimizu, S. and Uchiyama, T. (2006) Variation in particle-size distribution in the core sediment of Lake Yamanaka, northeastern foot of Mount. Fuji and its paleoenvironmental significance. Proceedings of the 15th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics, 191-196.
 - 20) 興水達司, 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, 山梨県環境科学研究所・日本火山学会 (編), 365-374.

Ⅱ 地震計の設置による火山活動の監視と火山防災の周知・普及

Ⅱ-1 はじめに

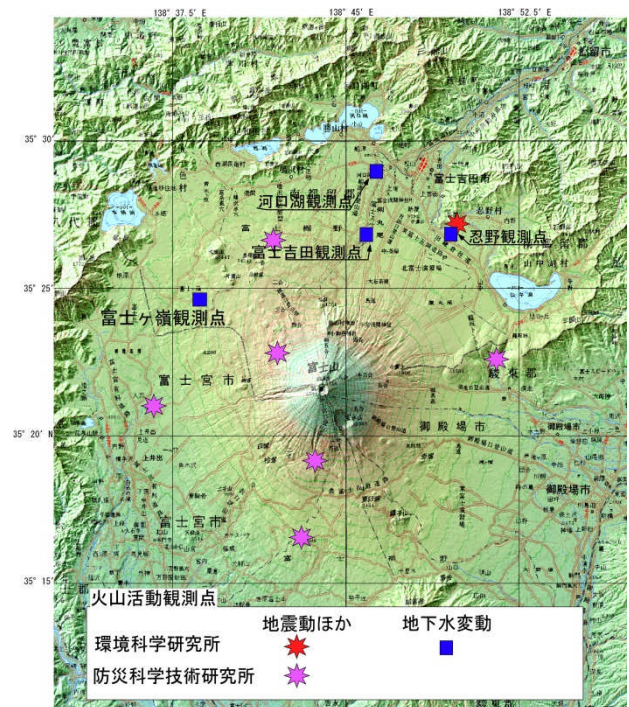
2000年10月から富士山山頂の北東側地下15～20 km付近を震源とする低周波地震が急激に増加して、富士山が活火山であることが改めて注目を集めることになった。これを受けて、翌2001年の夏には国（内閣府）が中心になり、関係自治体とともに富士山ハザードマップ作成協議会、富士山ハザードマップ検討委員会が設立され、具体的なハザードマップの作成や、その活用に向けた検討がなされてきた。2002年6月には、富士山ハザードマップ検討委員会より中間報告がなされ、富士山ハザードマップの具体的な姿が明らかになった。

このような中で、山梨県環境科学研究所でも富士山の火山活動を把握するための研究を地球科学研究室が中心になって進めてきた。過去における富士山の活動史の解析について、一定の重要な知見を明らかにできた。しかし、富士山の活動における現状把握の面での研究としては、手薄な状況にあった。本プロジェクト研究において富士山火山の現状把握の面では、低周波地震計・地下水位計の整備を図ることを大きな目的に掲げた。このうち、富士山の火山活動に関する地震観測のための地震計の整備をすすめ富士火山の活動監視を行っている。また、この監視に伴う情報も含め、国（内閣府）が作成した富士山の火山ハザードマップの内容を地元住民に対し解説するための冊子を富士北麓地域の行政担当者と共同で作成した。さらに、避難マップも同様に共同作成し、火山防災の周知・普及に努めた。

Ⅱ-2 地震計の設置および地震計データの活用

富士山の火山活動に起因する低周波地震の観測を行うためには、富士山周辺域において、全方位的に観測網を設置することが望ましいが、大きな富士山ではまだ不十分である。そこで、山梨県環境科学研究所では、防災科学技術研究所と東京大学地震研究所が既に設置している観測点の空白地点を埋める地点として、富士山北東麓の県水産技術センター忍野支所に地震計を設置することにした（図Ⅱ-1）。

研究の初年度には、水産技術センターの敷地内において、まずパイロットボーリングを実施した。この掘削により地下40 m付近に緻密な溶岩層が発達していることを確認できた。そこで、このボーリング孔の隣に地震計埋設のための掘削を行い、地下40 mの深度の位置に低周波地震観測のために地震計を埋設した。この忍野観測



図Ⅱ-1 地震計の設置地点（忍野観測点）

点から得られた地震データは専用回線により山梨県環境科学研究所へ送られ、地球科学研究室で受信できる状況に整備された。

二年目以降、このデータをつくば市の防災科学技術研究所に送り、忍野地域とは別に防災科学技術研究所で収集されている富士山周辺のデータとともに気象庁に送信され、富士山周辺の地震観測点として貢献できるようになった。なお、忍野地域の地震データを含めて、防災科学技術研究所で収集している富士山関係の地震データを、防災科学技術研究所において総合解析を行って、地震（低周波地震）発生時期や震源地等のデータを共有できる状況を構築できるようになった。

Ⅱ-3 火山防災ガイドブックと避難マップの周知・普及

火山防災の監視に伴う情報も含め、国（内閣府）が作成した富士山の火山ハザードマップについて、この内容を地元住民に対し解説するための冊子を富士北麓地域の行政担当者と共同で作成し、さらに避難マップも同様に共同作成し、火山防災の周知・普及に努めた。

Ⅲ 富士山の地形の微小変動に関する研究

Ⅲ－１ 研究目的

広域の地表変動を監視し、評価する上で、人工衛星等を利用したリモートセンシングの応用は不可欠である。

本研究では、富士山周辺の地形の微小変動を、リモートセンシング技術を用いて解析することを目的としている。

具体的には、人工衛星 RADARSAT に搭載されているマイクロ波センサ (SAR) が観測したデータを利用して、富士山周辺の地形の微小変動の抽出、富士山地形の微小変動図の作成を通じて、低周波地震や地下水位の変動等、富士山の火山活動と関連が予想される現象との関連性を明らかにするための基礎となる知見の獲得を目指した。

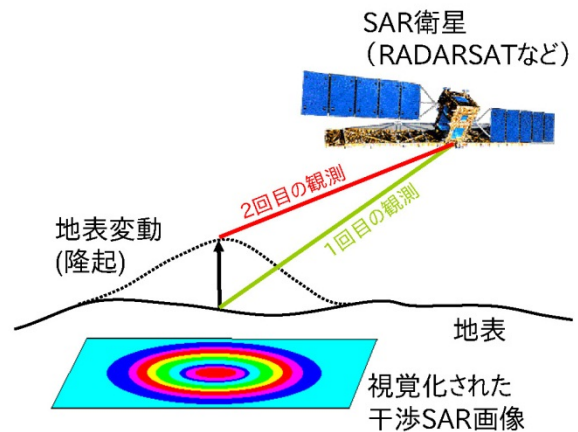
Ⅲ－２ 方法

Ⅲ－２－１ 干渉 SAR 解析

SAR (Synthetic Aperture Radar) とは合成開口レーダーのことで、人工衛星等に搭載されたセンサ (観測装置) からマイクロ波パルスを照射し、地表での反射強度および送受信したパルスの位相差を測定・記録するセンサである。SAR で用いるマイクロ波は、雲に遮られることがなく、明るさの制約を受けないことから、SAR による観測では、天候、昼夜、雲の有無を問わずに観測できるのが特徴である。このため、SAR は地震や火山活動に伴う地殻変動や災害状況等の把握において、最も期待されているセンサである。

SAR データから地形についての情報を得る技術である干渉 SAR は、同じ地域を違う時期に観測した 2 つの SAR データを使い、地形の起伏や地表の微小変動を詳しく調べる技術である。SAR データは各画素の振幅情報だけでなく、その位相情報も保存しているため、それらを用いて干渉処理を行い、各画素の位相差を算出することで変動を検出することができる。SAR で同じ地域を同じ位置から期間において 2 回観測した場合、その期間に地表が変動していれば 1 回目と 2 回目の観測でレーダーと地表との距離が変化し、反射したマイクロ波の位相もレーダーと地表との距離変化に応じて変化する。つまり、2 回の観測データで位相が異なっていれば、その位相差は変動量に対応する (図Ⅲ-1)。

この方法は、衛星からの観測視線方向のみの変位量しか観測できないとは言え、変位量の分布を面的に数メートルから数十メートルの空間分解能で、cm (センチメートル) のオーダーで明らかにできる能力を有している。干渉 SAR による地表面変動検出は、地震、火山活動、



地表変動 (隆起、沈下など) があれば、図のようなカラーの縞模様パターンとして面的に視覚化される。

図Ⅲ-1 地表変動と干渉 SAR 画像

地滑り、地盤沈下、氷床変動などの検出に応用することで、危険な場所や人が容易にアクセスできない地域を含め、地表面を面的にかつ定期的にモニタリングできるという意味で非常に重要である。

Ⅲ－２－２ 干渉 SAR 処理システム

SAR 観測データの解析および干渉 SAR 解析には専用の解析ソフトが必要となる。本研究では Atlantis Scientific 社の処理システム、および防災科学研究所による処理システムを使用した。

このうち、当初マイクロ波データ解析システムとして使用した Atlantis Scientific 社の高精度 SAR プロセッサ EarthView Advanced Precision Processor (EV-APP)、およびインターフェロメトリ (干渉計測) プロセッサ Earth View InSAR (EV-InSAR) の各解析ソフトウェアは、代表的な SAR センサ搭載衛星であるヨーロッパリモートセンシング衛星 (ERS-1、ERS-2)、地球資源衛星 (JERS-1)、そして RADARSAT の各衛星データに標準で対応している。干渉 SAR による解析のためには、事前処理を施した上でマイクロ波の位相差を測定すること、すなわちインターフェロメトリ (干渉計測) 処理を行う必要がある。上記の EV-APP ソフトウェアは、レベル 0 の SAR 観測データからレベル 1 の画像を作成することができ、干渉 SAR 処理に必要な事前処理を施すためのソフトウェアである。また、EV-InSAR ソフトウェアは事前処理が施された複数の SAR データを入力して、干渉 SAR 処理を

行うためのソフトウェアである。これら EarthView ソフトウェアは、干渉 SAR 応用の既往研究において、地盤沈下や地盤変動の抽出に利用されて成果をあげるなど実績のあるソフトウェアであり、Windows OS の稼動するパーソナルコンピュータ、パーソナルワークステーションで利用することができる。

もう一方の干渉 SAR 処理システムは、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が開発したソフトウェア SigmaSAR に防災科学技術研究所が改良を施したもので、地形縞の補正、大気遅延量補正に関して本研究実施期間当時の最新の研究成果による解析手法が取り入れられている。一般に、干渉 SAR 処理の結果として得られる干渉縞には、地表面が衛星からの視線方向に実際に移動したことに対応する位相差の他に、地表面の凸凹によって距離の差（位相差）が変わることによる地形縞、マイクロ波の経路にある水蒸気遅延（大気位相遅延）の効果による位相差などが含まれる。地形縞は標高データ（DEM）を用いて補正される。大気位相遅延は観測日当日の気象データを用いて、防災科学技術研究所が開発した手法・解析プログラムにより補正が行われる。

Ⅲ－２－３ 干渉 SAR 画像の作成と目視評価

2002 年（平成 14 年）から 2006 年（平成 18 年）まで、年度ごとに複数の RADARSAT 衛星観測データを取得して各年度の干渉ペアを構成し、それぞれの干渉 SAR 画像を作成して目視による評価を行う。本研究で干渉 SAR 画像の作成に利用する RADARSAT データの諸元および取得条件は以下の通りである。

- ・観測波長 : 5.6 cm (C バンド)
- ・衛星軌道 : 高度約 800 km の南向き（ディセンディング）軌道
- ・地上解像度 : 10 m
- ・観測モード : SAR FINE 2 FAR BEAM
- ・観測範囲 : 富士山周辺を含むこと（RADARSAT の 1 シーンの観測範囲は東西約 60 km、南北約 100 km の範囲）
- ・観測時期 : 秋（10 月から 11 月）

上記の通りデータ取得条件を整えることで、年度間での比較が容易となる効果を期待した。また、上記のうち観測時期については、2002 年に取得した 8 月から 11 月に観測された 4 シーンを用いた予備解析の結果、10 月と 11 月の間の干渉ペアによる干渉 SAR 画像が相対的に良好な画像となったため、それ以降の年度において同時期の観測シーンを指定して取得することとした。

Ⅲ－３ 結果および考察

Ⅲ－３－１ RADARSAT 衛星データ

本研究のために取得した RADARSAT 衛星観測データは、以下の通りである。

2002 年 8 月 31 日、9 月 24 日、10 月 18 日、11 月 11 日

2003 年 10 月 13 日、11 月 6 日

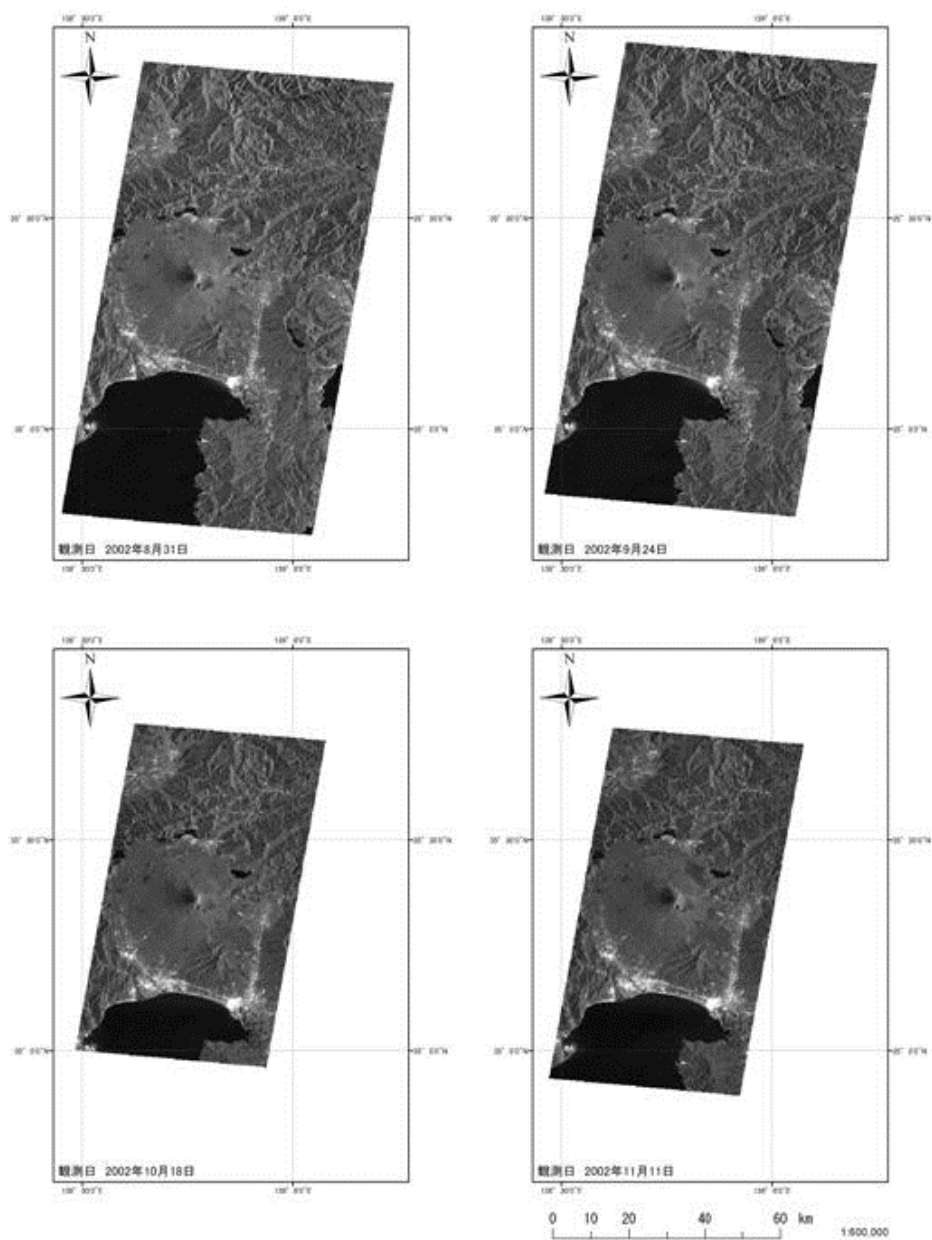
2004 年 9 月 14 日、10 月 8 日、11 月 1 日、11 月 25 日

2005 年 10 月 2 日、10 月 26 日

2006 年 11 月 14 日、12 月 8 日（注）

（注）当初の計画では、観測時期を他の年度とできる限り合わせるため、10 月 21 日と 11 月 14 日のペアで干渉 SAR 画像を作成する予定であったが、10 月 21 日撮影分が衛星の不具合で撮影が出来なかったため、この組合せとなった。

図Ⅲ-2 に 2002 年に取得された 4 つの観測日の RADARSAT データの SAR 強度画像を示す。観測日はそれぞれ、8 月 31 日（左上）、9 月 24 日（右上）、10 月 18 日（左下）、11 月 11 日（右下）である。この図から富士山を中心に、富士五湖、甲府盆地、駿河湾を容易に判読できることがわかる。



図Ⅲ-2 2002 年取得の RAEDARSAT 衛星データから生成した SAR 強度画像
観測日：8 月 31 日（左上）、9 月 24 日（右上）10 月 18 日（左下）、11 月 11 日（右下）

Ⅲ－３－２ 干渉 SAR 画像の作成と目視評価

2002 年（平成 14 年）から 2006 年（平成 18 年）まで、年度ごとに複数の RADARSAT 衛星観測データを取得して各年度の干渉ペアを構成し、それぞれの干渉 SAR 画像を作成して目視による評価を行った。以下、この結果について記述する。

干渉 SAR 処理では 2 つの SAR 画像を干渉させる。この時、その一方をマスタ画像、他方をスレーブ画像と呼ぶ。マスタ画像が基準であり、変位検出の場合には、変位が存在しない画像、あるいは相対的に古い方の画像をマスタ画像に選ぶのが一般的である。本報告書でも以下の記述では、2 つの画像で干渉 SAR ペアを構成する際に、観測時期の古い方をマスタ画像、新しい方をスレーブ画像としている。

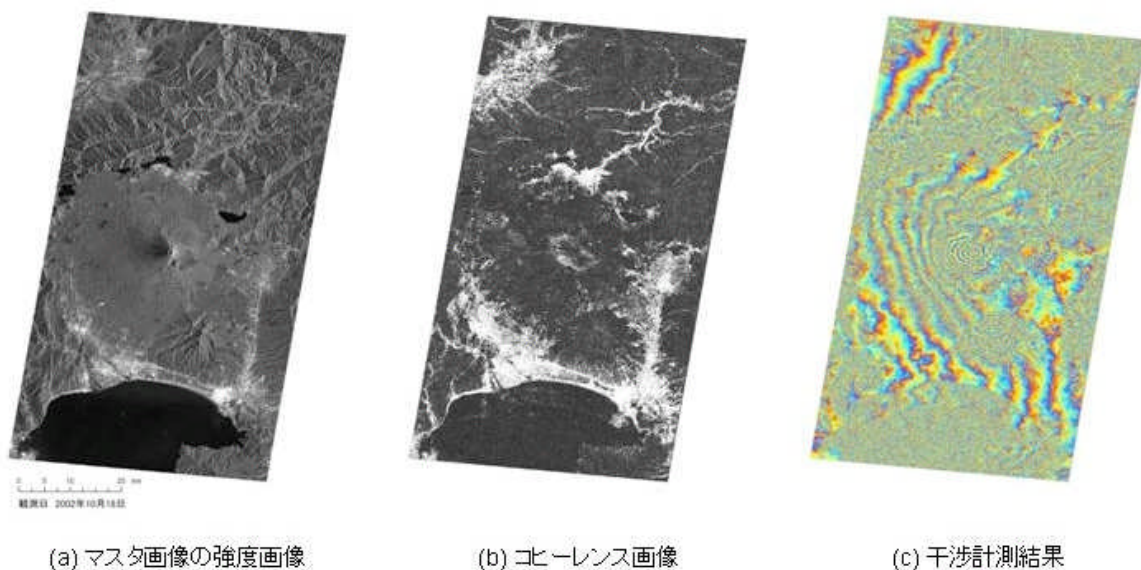
・2002 年（平成 14 年）

2002 年に取得した RADARSAT データは図Ⅲ-2 に示した 4 つの観測日の SAR 画像であるが、このうち 10 月 18 日（マスタ画像、図Ⅲ-2 左下）および 11 月 11 日（スレーブ画像、図Ⅲ-2 右下）の RADARSAT データを 1 組の画像ペアとして用いて干渉 SAR 処理を行った。

同一範囲を観測した 2 つの SAR 画像について、それぞれの画素が持つ位相の差がある領域内ではほぼ一定値を取る場合、その領域内では対象物の形状に変化がないと考えられ、コヒーレンスが高いという。コヒーレンスが高い領域では 2 つの SAR 画像はよく干渉し、良好な干渉縞が得られるので、干渉 SAR 処理による地表面変動解析に有効である。一方、コヒーレンスが低い領域では、位相差がランダムに変化し、良好な干渉縞が得られ

ない。コヒーレンスの高低分布を画像化したものをコヒーレンス画像という。

干渉 SAR 画像の作成に先立ってコヒーレンス画像の作成を行い、その後、初期干渉計測結果画像を作成した（図Ⅲ-3）。処理には EV-APP および EV-InSAR の各ソフトウェアを用いた。図Ⅲ-3(a)はマスタ画像（10 月 18 日観測）の強度画像である。これは図Ⅲ-2 の（左下）の画像と同一のものであり、コヒーレンス画像および干渉計測結果画像の位置参照のため再掲した。コヒーレンス画像からは、2 時期の SAR データに含まれる位相情報の干渉性を評価することができ、図Ⅲ-3(b)のコヒーレンス画像では、白く見えている場所ほどコヒーレンスが高い。コヒーレンスの高い場所は、図の中央上寄りの富士吉田市街、左上の甲府盆地、左下の富士川下流、静岡県富士宮市、富士市のほか、図の中央、富士山の標高の高い部分に分布していることが判読できる。これらの場所は森林に覆われていない場所に対応する。干渉 SAR ではコヒーレンスの高い場所ほど、地形に対応する干渉縞を正確に求めることができ、結果的に正確な地形測定が可能となる。したがって、RADARSAT データの干渉ペアでは、富士山の標高の高い部分では正確な地形抽出の可能性が大きいこと、また森林に覆われた富士山の裾野の部分ではコヒーレンスが低く、地形および地表変動の抽出が困難であることがわかった。これは、RADARSAT 衛星で SAR 観測に用いられている C バンド（波長 5.8 cm）はマイクロ波のなかでは比較的波長の短い電波であり、樹木などの植生に対する信号透過性に優れていないことが理由である。実際に、干渉 SAR 処理を行った結果は図Ⅲ-3(c)の通りであり、コヒーレンス画像で白く見え



図Ⅲ-3 2002 年取得の RADARSAT データを用いた干渉 SAR 処理結果
マスタ画像：10 月 18 日、スレーブ画像：11 月 11 日
(a) マスタ画像の強度画像、(b) コヒーレンス画像、(c) 干渉計測結果

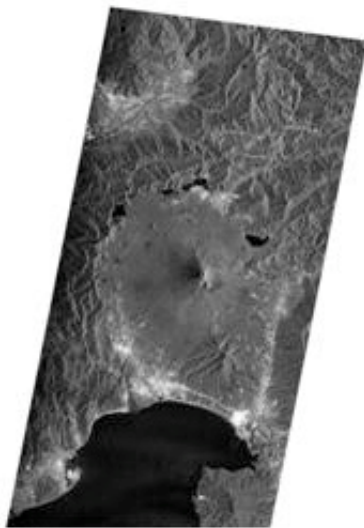
ている場所に対応する領域で、明暗の干渉縞が明瞭に観察されることがわかる。

なお、図Ⅲ-3(c)の干渉計測結果の干渉縞には、地表変動量のほか、対象地域の標高に依存する地形縞、大気中の水蒸気量などに依存する大気遅延が含まれており、図Ⅲ-1 に示したような地表変動量に直接対応する干渉縞ではない。干渉計測結果から地表変動量を導くためには、地形縞の影響および大気遅延の影響を取り除く必要がある。

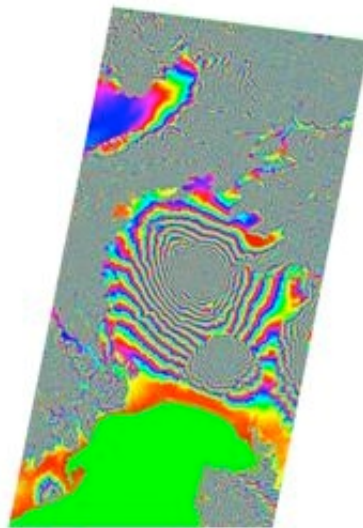
・ 2003 年（平成 15 年）

2003 年に取得された 10 月 13 日（マスタ画像）および 11 月 6 日（スレーブ画像）の RADARSAT データを 1 組の画像ペアとして用いることにより、干渉 SAR 処理を行った。処理には宇宙航空研究開発機構が開発したソフトウェアである SigmaSAR に防災科学技術研究所が改良を施したものをを用いた。干渉 SAR 処理の過程で地形縞の補正および大気位相遅延補正を行う際、大気位相遅延には観測日当日の気象データを用いて、防災科学技術研究所が開発した手法・解析プログラムにより補正を行った。このとき、大気位相遅延の補正は、シーンセンター位置の鉛直方向の気象データだけを用いて大気位相遅延量を算出し、水平方向は一様と仮定することにより、シーンセンター位置における気象データをシーン全体に適用した。

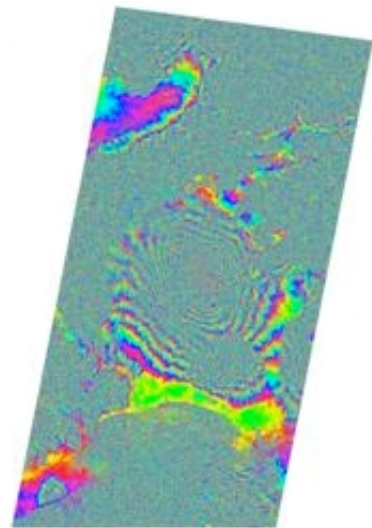
干渉 SAR 処理の各段階における処理画像および結果画像を図Ⅲ-4 に示す。(a)図はマスタ画像（10 月 13 日観測）の強度画像であり、(b)図は数値標高モデル（DEM）と推定された軌道情報を用いて地形縞をシミュレートした画像である。(c)図は RADARSAT データの干渉計測処理の結果得られた画像であり、(b)図と比較すると、富士山を中心とする同心円状の干渉縞や、甲府盆地内の干渉縞に対応が見られる。(c)図から(b)図を差し引くことで得られる(d)図は、大気遅延影響を含む干渉 SAR 画像となる。RADARSAT データ観測日当日の気象データを用いて大気位相遅延量をモデル計算した結果が(e)図である。(d)図から(e)図を差し引くことで、大気位相遅延が補正された干渉 SAR 画像が(f)図のように求められ、これが地表変動量に対応する画像となる。



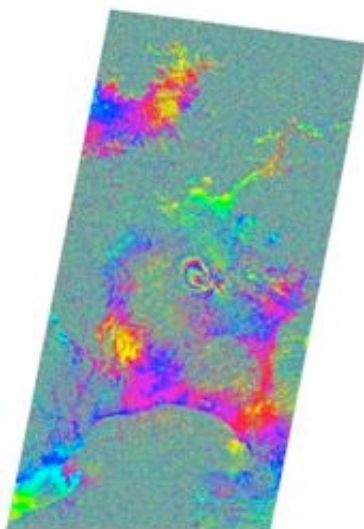
(a) マスタ画像の強度画像



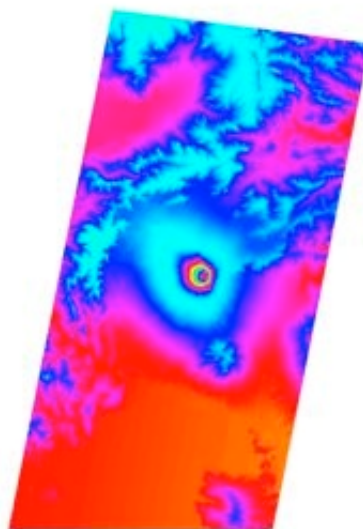
(b) 地形縞
(シミュレーション)



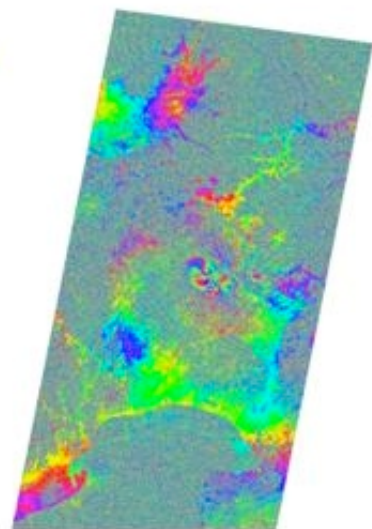
(c) 干渉計測結果



(d) 干渉SAR画像
(大気遅延補正なし)



(e) 大気遅延量
(モデル計算)



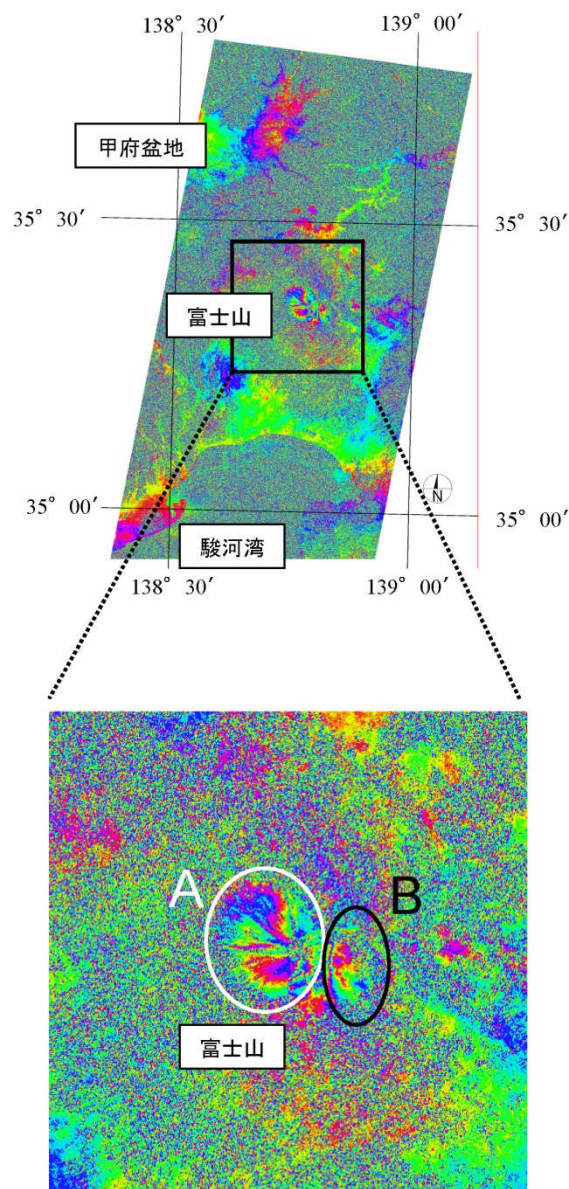
(f) 地表変動量

図Ⅲ-4 2003 年取得の RADARSAT データを用いた干渉 SAR 処理結果

マスタ画像：10 月 13 日、スレーブ画像：11 月 6 日

(a) マスタ画像の強度画像、(b) DEM を用いてシミュレートした地形縞、(c) 干渉計測結果、(d) 地形縞を取り除いた干渉 SAR 画像（大気位相遅延量を含む）、(e) 気象データを用いてモデル計算した大気位相遅延量、(f) 地表変動量

上記の解析で得られた図Ⅲ-4(f)の干渉 SAR 画像（変動量画像）に位置情報を付加し、その一部を拡大したものを図Ⅲ-5 に示す。拡大図中、富士山頂付近の A 領域（白の楕円内）には、SAR 画像に合わせ込んだ DEM と SAR 画像の位置合わせが不完全なことに起因する位相変動が現れている。解析プログラムの中で、DEM と SAR 画像の位置合わせ処理の部分を改良することで、干渉画像の位相がより一様になると予想される。また、B 領域



図Ⅲ-5 富士山周辺の干渉 SAR 画像（地表変動量）

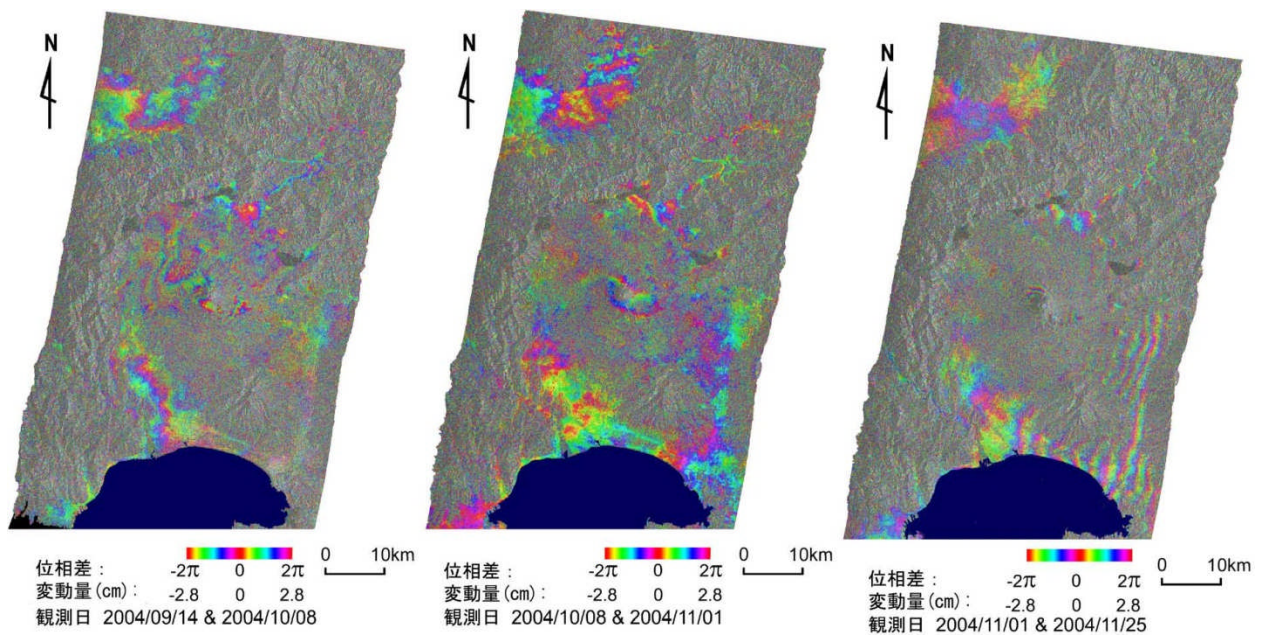
富士山頂付近の A 領域（白い楕円内）は、SAR 画像に合わせた DEM と SAR 画像の位置合わせが不完全なことに起因する位相変動が現れている。B 領域（黒い楕円内）に見られる特徴的な分布は 2003 年前後の RADARSAT データ干渉 SAR 処理では特徴的な変動が認められていないので、処理上の誤差によるものと考えられる。

（黒の楕円内）に見られる特徴的な分布は、2002 年取得の RADARSAT データの干渉 SAR 処理で変動が認められていない領域であったが、後述の 2004 年から 2006 年にかけての干渉 SAR 処理の結果にも特異的な変動は見られないため、処理上の誤差によるものと考えられる。また、富士山のすそ野の盆地および平野内に見られる位相変動は、局地的な大気位相遅延補正を行っていないことによる誤差の範囲内と考えられ、実際の地表変動には対応していないと考えられる。

・2004 年（平成 16 年）

RADARSAT 衛星観測データとして連続する 4 回帰分、すなわち 2004 年 9 月 14 日、10 月 8 日、11 月 1 日、11 月 25 日の計 4 時期の観測データを利用した。この 4 連続回帰の画像から 3 つの干渉ペアを構成し、干渉 SAR 画像（地表変動量）を作成した（図Ⅲ-6）。その組み合わせ（マスタ画像-スレーブ画像）は 9 月 14 日-10 月 8 日（ペア 1）、10 月 8 日-11 月 5 日（ペア 2）、11 月 5 日-11 月 25 日（ペア 3）の 3 組である。干渉 SAR 画像の作成には前年 2003 年と同様の処理手法を用いた。

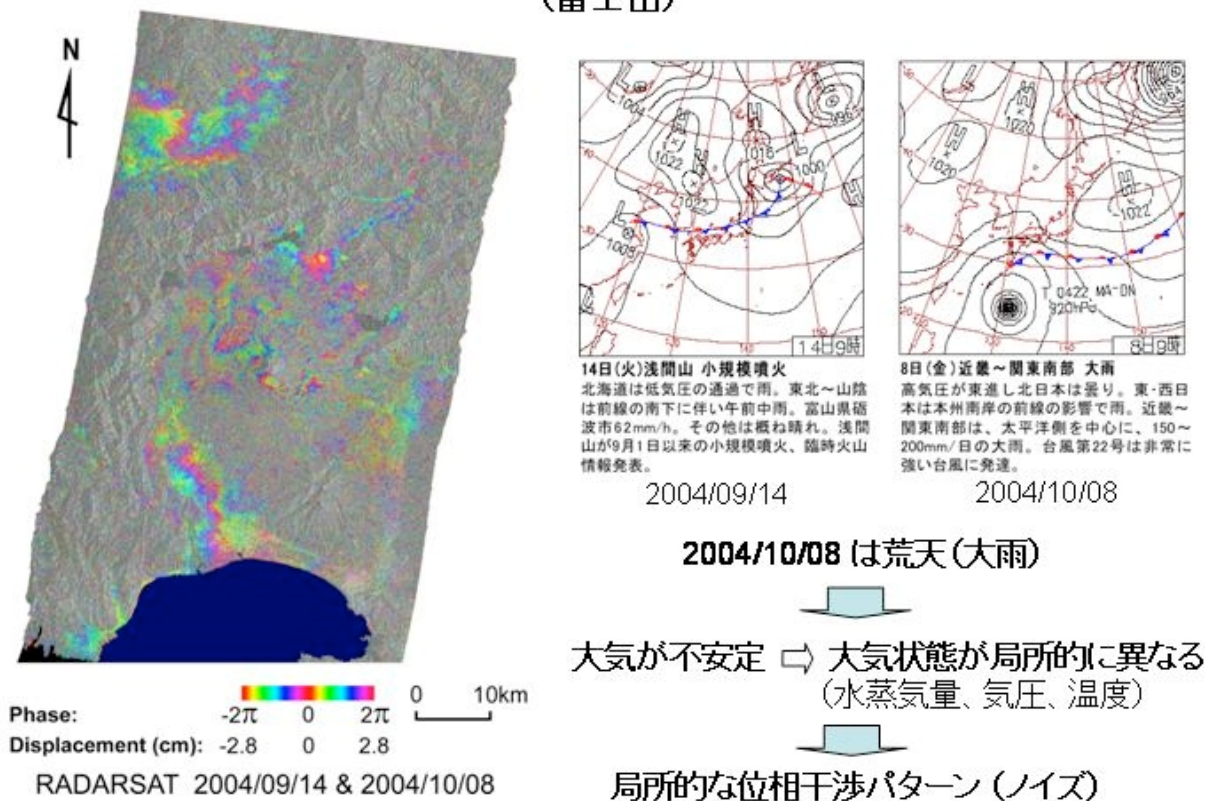
ペア 1 およびペア 2 では、干渉 SAR 画像に大気中水蒸気の不均一分布に起因すると思われる局所的な干渉縞が認められたため、地形の微小変動をとらえることは困難な結果となった。図Ⅲ-7 では、ペア 1（9 月 14 日-10 月 8 日）を例にとり、大気位相遅延に帰因する位相干渉パターンが現れた状況を説明している。図Ⅲ-7 に示した当日の天気図からもわかる通り、10 月 8 日の天候は、本州南岸の前線の影響で近畿から関東南部にかけて太平洋側を中心に大雨が降るといった悪天候であった。このため、観測時の大気不安定で、大気状態（水蒸気量、気圧、温度）が局所的に異なり、ひいては局所的な干渉パターンのノイズとなって現れている。したがって 10 月 8 日の荒天が、10 月 8 日の SAR 画像を含むペア 1 およびペア 2 の干渉 SAR 画像に大きく影響していると考えられる。



図Ⅲ-6 2004 年取得の 4 連続回帰分の RADARSAT データを用いた干渉 SAR 処理結果

(a) 9 月 14 日 (マスタ画像) - 10 月 8 日 (スレーブ画像)、(b) 10 月 8 日 - 11 月 5 日、(c) 11 月 5 日 - 11 月 25 日

大気位相遅延に帰因する位相干渉パターン (富士山)



図Ⅲ-7 2004 年 10 月 8 日の悪天候に観測された局所的な干渉パターンのノイズ

また、ペア 3 では富士山の南東側に縦方向に伸びる干渉縞が確認できるが、この干渉縞を補正により除去することができなかった。さらに、富士山の山頂部に見られる干渉性低下は、11 月 1 日と 11 月 25 日で富士山山頂部の積雪状況に違いがあったことが原因と考えられる。

・ 2005 年（平成 17 年）

2005 年 10 月 2 日（マスタ画像）および 10 月 26 日（スレーブ画像）に取得された 2 時期の RADARSAT 衛星観測データを使用して、干渉 SAR 処理を行なった結果を図 III-8 に示す。(a)図はマスタ画像（10 月 2 日観測）の強度画像であり、(b)図は数値標高モデル（DEM）と推定された軌道情報を用いて地形縞をシミュレートした画像である。(c)図は RADARSAT データの干渉計測処理の結果得られた画像であり、(c)図から(b)図を差し引くことで得られる(d)図は、大気遅延影響を含む干渉 SAR 画像である。(d)図に示した干渉 SAR 画像（地表変動量相当）には富士山を中心に明暗の干渉縞が多数認められるが、その原因は不明である。

・ 2006 年（平成 18 年）

2006 年 11 月 14 日（マスタ画像）および 12 月 8 日（スレーブ画像）に取得された 2 時期の RADARSAT 衛星観測データを使用して、干渉 SAR 処理を行なった。当初の計画では 10 月 21 日と 11 月 14 日のペアで干渉 SAR 処理を行う予定であったが、10 月 21 日撮影分が衛星の不具合で撮影が出来なかったため、上記の組合せとなった。

干渉 SAR 処理の結果を図 III-9 に示す。(a)図は数値標高モデル（DEM）と推定された軌道情報を用いてシミュレートされた地形縞である。(b)図は干渉計測処理の結果であり、(b)図から(a)図を差し引いた(c)図の干渉 SAR 画像（地表変動量 1）では、(a)図の地形縞に対応する縞が多数残り、地形縞を除去出来ていないことがわかる。このため、干渉 SAR 画像から地形縞が消えるような標高面を推定したところ、数値標高モデルの標高値に 0.6 を乗じてシミュレートした場合に、(d)図に示すように干渉 SAR 画像から良好に地形縞が除去された。しかし、人為的なデータ改変を加えているため、地表変動を論じることは出来ない結果となった。なお、対応する気象データが入手できなかったため、水蒸気に起因する大気位相遅延の影響に対する補正も行うことが出来なかった。

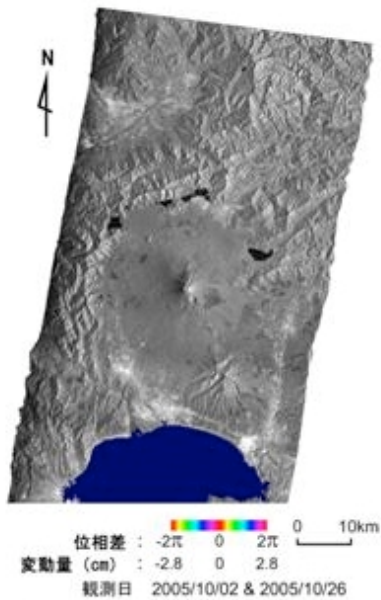
III-4 まとめ

本研究期間の 2002 年から 2006 年まで、年度ごとに複数の RADARSAT 衛星観測データを取得して各年度の干渉ペアを構成し、それぞれの干渉 SAR 画像を作成して

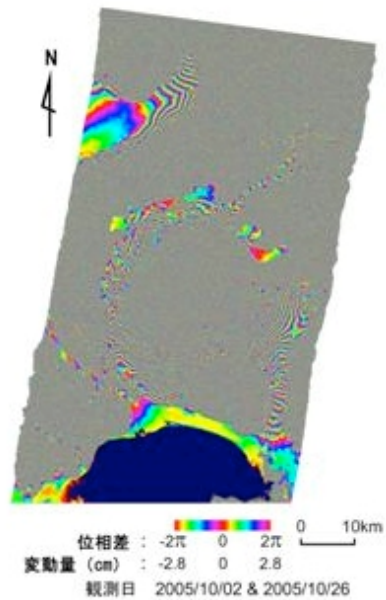
目視による評価を行った。その結果、いずれの年度についても、地形の微小変動を捉えることは困難な結果となった。この理由としては、研究期間の 5 年間に主だった地殻変動が発生していないことが仮定できる。

なお、実際に地殻変動が発生していないと仮定するならば、富士山を含む約 30 km 圏内の範囲は、標高の高低差が約 3000 m あること、独立峰である富士山およびその周囲に存在する山地からなる地形によって水蒸気量等の気象パラメータが様々な条件で分布することなどを考え合わせ、干渉 SAR 処理における様々な補正量、とくに大気遅延量の補正手法の妥当性を評価するテストサイトとして適していると考えられることもできる。

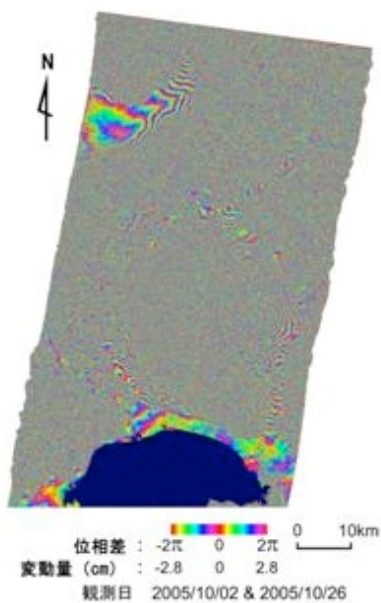
干渉 SAR の誤差としては、軌道による誤差、地形による誤差、大気中の水蒸気擾乱による遅延誤差などがあるが、除去の困難さの観点で最も大きな誤差となるのは、水蒸気擾乱による大気遅延誤差であり、特に水蒸気量の分布が不均一な場合は、処理による除去が難しく、干渉 SAR 画像にもムラのようになって現れ、地殻等の微小変動検出において不利となる。日本付近は水蒸気量が多いため、夏場の天気の良い時などは、場合によって大気遅延誤差が 10 センチメートルを超えることもあるので、干渉 SAR 処理における誤差対策は重要な課題である。



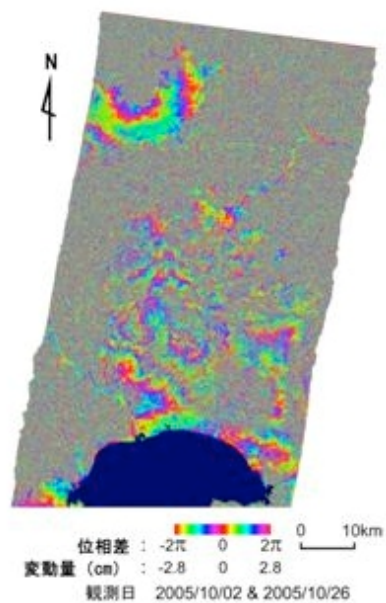
(a) マスタ画像の強度画像



(b) 地形縞
(シミュレーション)



(c) 干渉計測結果



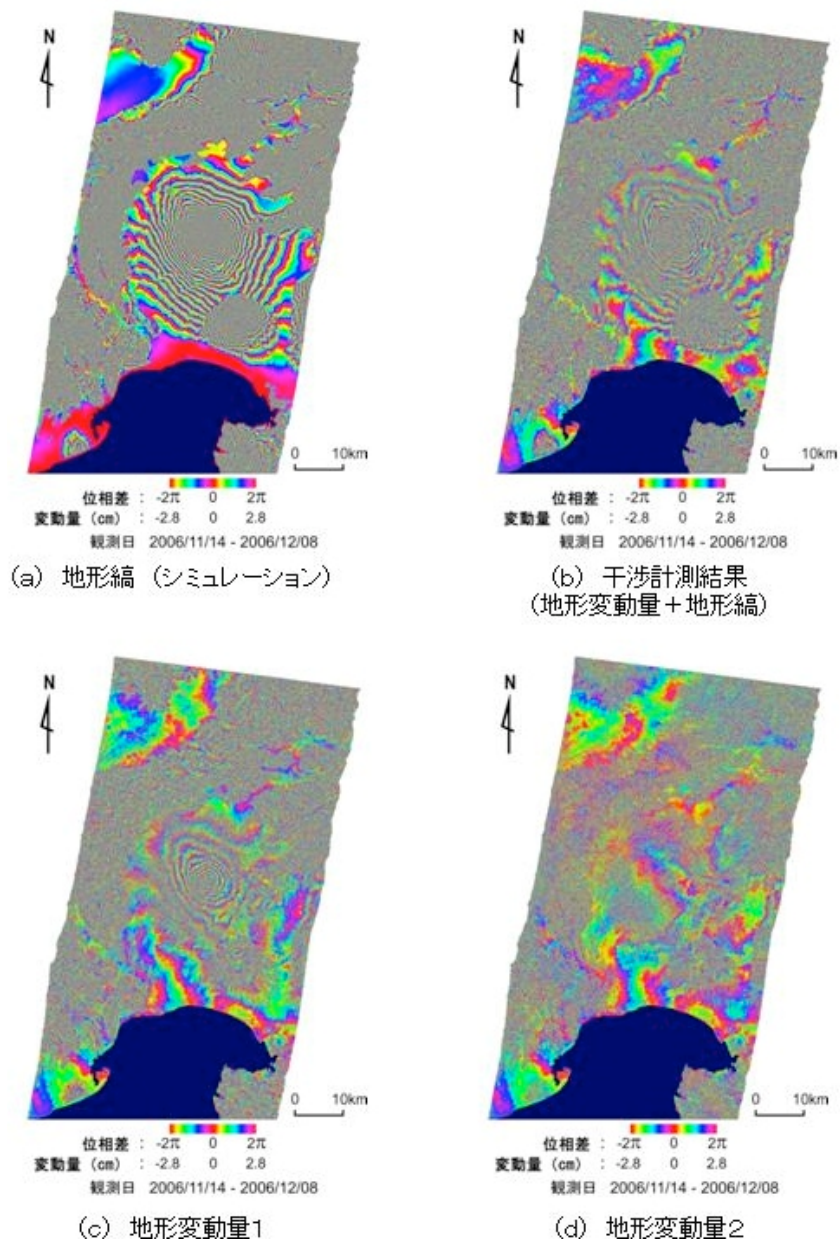
(d) 地表変動量

図Ⅲ-8 2005 年取得の RADARSAT データを用いた干渉 SAR 処理結果

マスタ画像 : 10 月 2 日、スレーブ画像 : 10 月 26 日

(a) マスタ画像の強度画像、(b) DEM を用いてシュミレートした地形縞、(c) 干渉計測結果、

(d) 地形縞の差分による干渉 SAR 画像 (大気位相遅延影響を含む)



図Ⅲ-9 2006 年取得の RADARSAT データを用いた干渉 SAR 処理結果

マスタ画像：11 月 14 日、スレーブ画像：12 月 8 日

(a) DEM を用いてシュミレートした地形縞、(b) 干渉計測結果、(c) 干渉計測結果から地形縞を除いた地表変動量、(d) DEM の標準値を 0.6 倍してシュミレートし直した地形縞を用いた地表変動量

Ⅳ 地下水観測

Ⅳ－１ 目的

本研究「富士山の火山活動に関する研究」のうち、サブテーマ１：富士山の火山活動の影響と低周波地震に関する研究では、富士山の火山活動に起因すると推定されている低周波地震の常時観測を行い、火山噴火予知研究等に寄与する基礎データを得ることを目的にしている。この地震観測と併せて、地下水位・水温等の連続観測も実施している。

一般的に、火山は山麓に豊富な水量の湧水をもつことが多く、その内部には大量の地下水が貯えられている。また、火山噴火や地震発生に関連して、地下水・温泉に異常が見えられることが知られている（例えば、太田，1990）。火山活動を考える上で、地下水（温泉を含む）の影響は次のような噴火様式を推定する上で重要とされている。例えば、マグマや高温の火山ガスが地下深くから上昇してきて、地下水と接触することで、前兆現象が起きたり、溶岩流を噴出するような噴火からマグマ水蒸気爆発のような爆発的な噴火に様式が変化したりすると考えられている。このように火山活動と地下水変動とは関係が深く、噴出するマグマが同じような性質であっても噴火様式が大きく異なることがある（鍵山，2001）。

火山地帯の地下水位・地下水温および水質の観測は、1986 年伊豆大島の噴火前後に本格的な観測が始まり、それらの変化が火山活動に関連していることが明らかにされつつある。また、2000 年有珠火山や伊豆三宅島の噴火の前後にも、地下水位・水温および水質の変化が観測され、火山活動の前兆現象に関わる変化および噴火後の変化が明らかにされている。

このように地下水の諸変化は火山地帯においては火山活動との関連が指摘されており、地震および地盤変動と併せて噴火の前兆現象および噴火後の推移を予測する上で重要な観測項目とされている。また、富士北麓地域はその生活および産業用水等の大部分を地下水に依存しており、火山活動等による地下水の量的・質的变化は北麓住民生活および産業に大きな影響を与えることが予想されるため、地下水モニタリングが必要とされる。

Ⅳ－２ 観測点、観測項目および観測井の概要

Ⅳ－２－１ 地下水観測点

地下水変動観測点は次の４箇所に設けて地下水位、水温等の変動の連続観測を実施している（図Ⅳ-1）。

① 野観測点：北東麓（南都留郡忍野村忍草 3098-1）

平成 16（2004）年 3 月 15 日より観測を開始し、位置は北緯 35° 27′ 20.54″、東経 138° 49′ 25.3″、標高 931 m である。

②富士吉田観測点：北麓（富士吉田市上吉田字剣丸尾 5597-1）

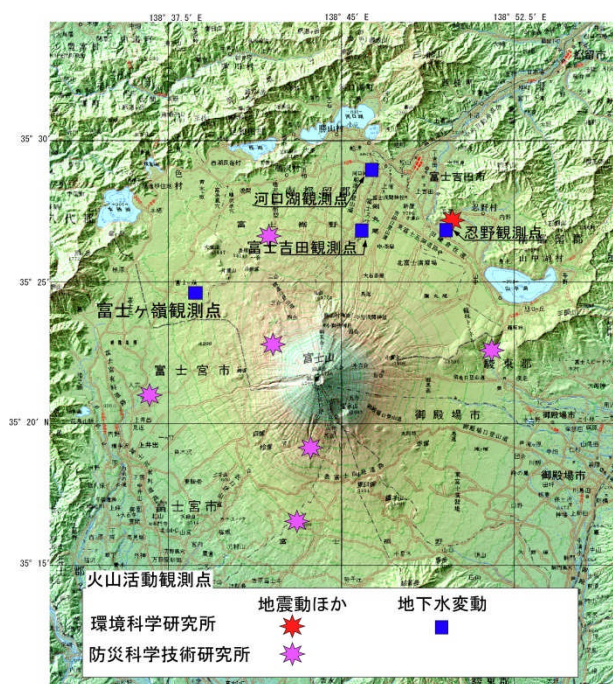
平成 9（1997）より観測を開始し、火山モニター用に本研究で活用した。北緯 35° 27′ 13.2″、東経 138° 45′ 44.4″、標高 1031 m である。

③河口湖観測点：北麓（南都留郡富士河口湖町船津 5239-1）

平成 16（2004）年 3 月 15 日より観測を開始し、位置は北緯 35° 29′ 17.4″、東経 138° 45′ 57.2″、標高 862 m である。

④富士ヶ嶺観測点：北西麓（南都留郡富士河口湖町富士ヶ嶺 39-1,2）

平成 17（2005）年 3 月 24 日より観測を開始し、位置は北緯 35° 25′ 13.9″、東経 138° 37′ 47.8″、標高 1075 m である。



図Ⅳ-1 富士山北麓の地下水変動観測点

Ⅳ－２－２ 地下水変動観測機器および項目

地下水変動観測機器は、水圧式水位計米国 In-Situ 社製 MP Troll 9000 Professional に、テレメトリー遠隔監視システムを付属させている。

観測項目は、地下水位、水温、pH、電気伝導度の 4 項目を、測定間隔は現在 1 時間毎としている。

取得したデータは、テレメータシステムにより研究所へ転送している。

IV-2-3 観測井の概要

各観測井の構造および地質構成について述べる。概要を図IV-2に示す。

①忍野観測点

井戸構造は、深度 60m VP 管で、スクリーンは深度 48-60 m で、スリット型、観測機器の設置深度 51.3 m である。初期の自然水位は地盤高 -5.11 m である。近傍に稼働中の井戸が 2 眼ある。

地質構成は、深度 0～6.25 m スコリア礫まじり砂層、深度 6.25～43.3 m 玄武岩溶岩で深度 28.8～29.0 m にクリンカーをはさむ。深度 43.3～60.0 m はスコリア礫の砂礫層からなる。

深度 6 m の炭素 14 放射年代は約 1 万年前を示す。したがってスクリーンは、古富士火山噴出物中にあると判断される。

②富士吉田観測点

井戸構造は、深度 161 m 鋼管、スクリーン深度 111～155 m である。観測機器は水圧式地下水位計で孔底に設置されている。初期の自然水位は地盤高-72.5 m である。

地質構成は深度 0～1 m 表土、深度 1～6.5 m 玄武岩溶岩（剣丸尾溶岩）、深度 6.5 m～18.0 m スコリア層、深度 18.0～41.0 m 巨礫まじりスコリア（砂礫）層、深度 41.0～72.0 m 溶岩流とスコリア質砂礫層との互層、深度 72.0～152.0 m 巨礫まじりスコリア質砂礫層、深度 152.0～161.0 m 火山泥流層からなる。

スクリーンは地質から推定して古富士火山噴出物中にあると判断される。

③河口湖観測点

井戸構造は既存の資料がないため詳細は不明であるが、地下水水位計設置にあたり、ビデオ撮影を行い、井戸構造を把握した。その結果、鋼管からなり、スクリーンは深度 94.7～115.5 m で巻線型であった。孔底深度は 120.1 m まで確認した。水位計は深度 115.5 m に設置した。

地質構成は既存の資料がないため詳細が不明であるが、南西約 400 m 地点にある地下水位観測井では、深度約 55.4 m まで溶岩を主体とし、深度 55.4～104 m は礫まじり砂層、火山砂礫層からなるとされている。これらの砂礫層は古富士火山噴出物相当層とされている。

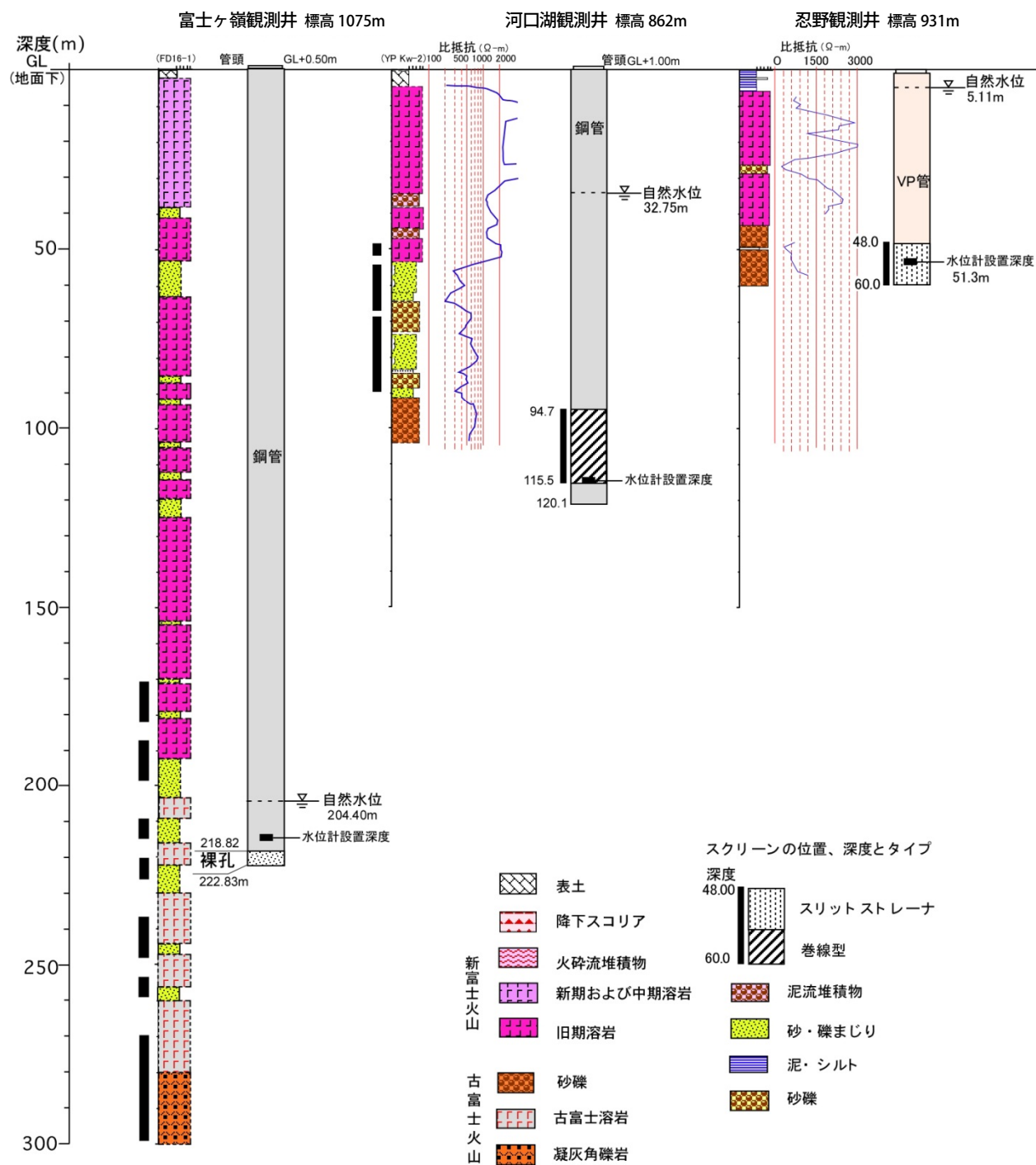
スクリーンはこれから古富士火山噴出物中に設置されていると推定される。

④富士ヶ嶺観測点

ここの観測点も既存の資料がないため、井戸構造を探るために、ビデオ観察を行った。その結果、深度 0

～218.8 m まで鋼管、深度 218.8～222.8 m まで裸孔であることが判明した。自然水位は地盤高 -204.4m であったため、水位計は水位低下に余裕を見て、深度 215 m に設置した。

地質構成については、上に述べたように資料がないため、詳細は不明である。北西にある FD16-1 井戸の資料から推定すると、古富士火山噴出物中に達していると推定される。



図IV-2 富士北麓地域の地下水変動観測点の観測井の井戸構造と地質構成

IV－3 観測結果

①忍野観測点

ここでは、近傍に稼働中の井戸があるため、その影響が見られ、観測値に細かい上下動が見られる。地下水位は地盤高 $-4.7\sim 4.8$ m の間を変動し、大きな変動は見られない。地下水温は電氣的なノイズ以外では急激な変動は見られないが、上昇傾向が見られる。pH は $7\sim 6.4$ の間で変動する。電気伝導度は $105\sim 110\ \mu\text{S/cm}$ の間で変動し、電氣的なノイズを除けば大きな変動は見られない。

②富士吉田観測点

ここは稼働中の井戸で、地下水位は動水位となるため参考にデータを測定している。

③河口湖観測点

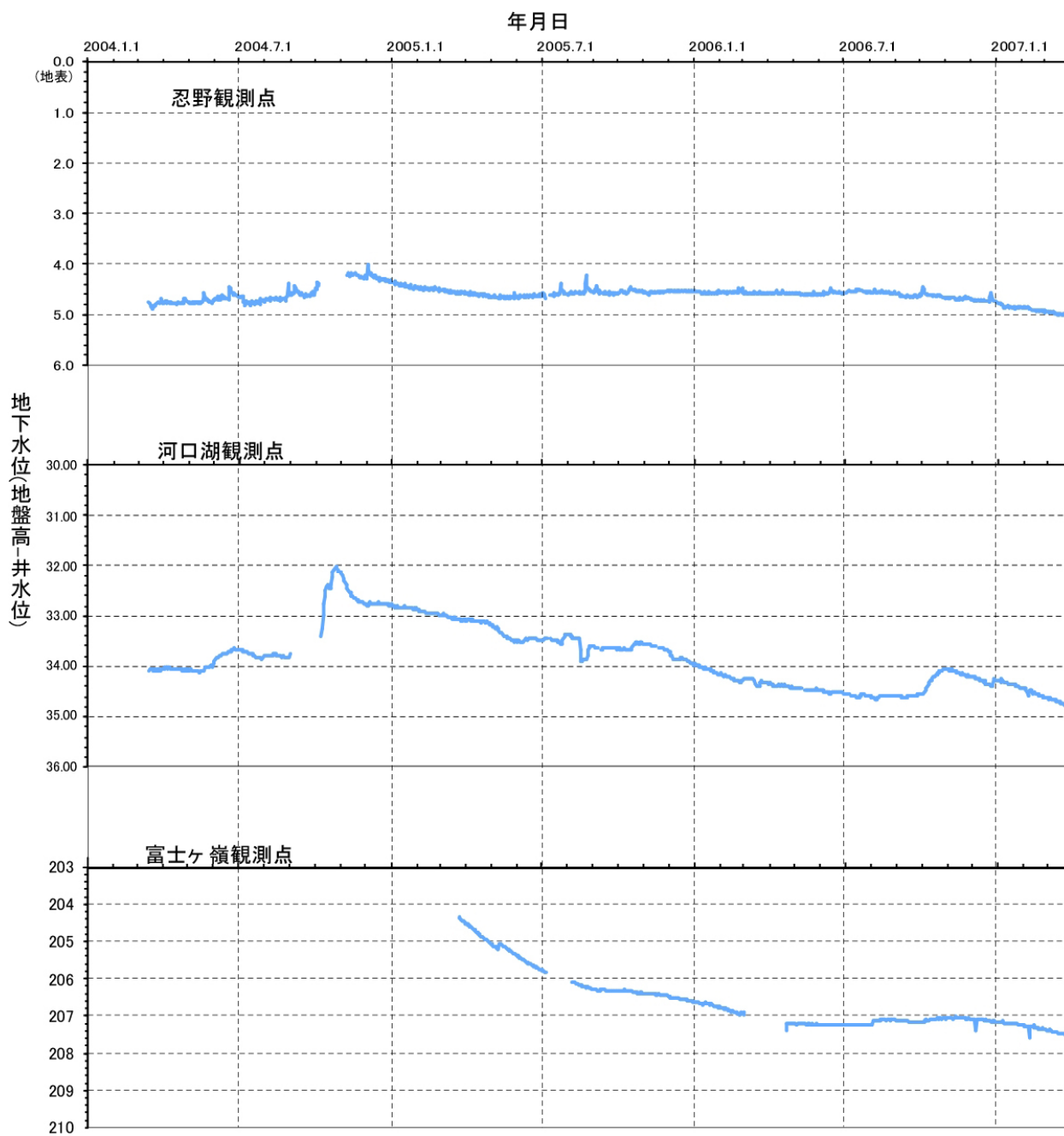
この地点の地下水位は、2004 年 10 月下旬に急激な水位上昇が見られたが、後は水位の低下傾向が見られる。この急激な水位上昇は強大な降水の影響であると推定される。水温は初期の $9.75\ ^\circ\text{C}$ から $9.4\ ^\circ\text{C}$ と低下傾向にある。pH と電気伝導度は変動が大きく、pH と電気伝導度の変動に及ぼす影響が解析できなかった。

④富士ヶ嶺観測点

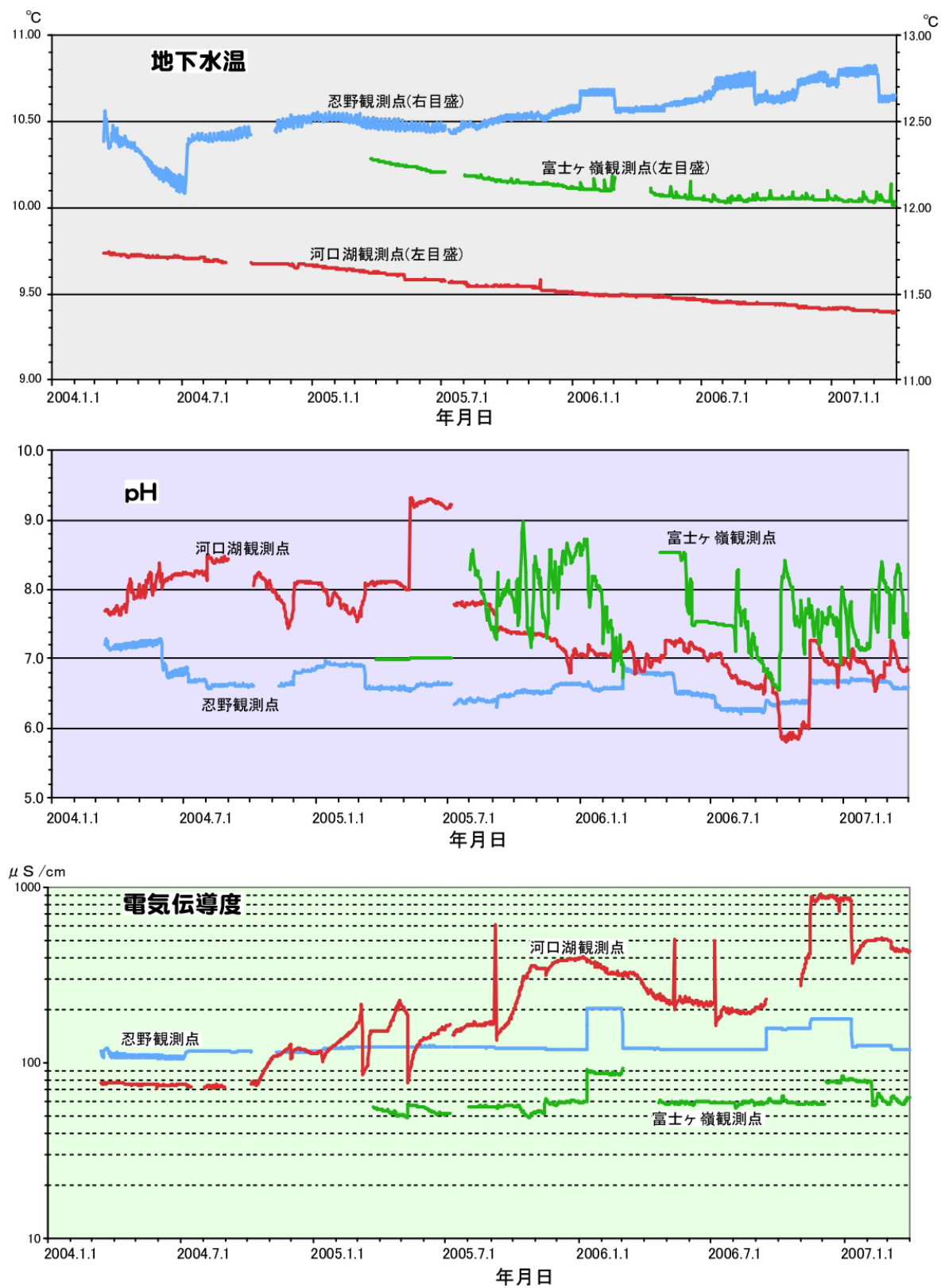
この観測点の地下水は観測開始より低下傾向が続いていたが、2006 年 4 月よりほぼ一定に地下水位を示す。水温は河口湖観測点と同様に低下傾向にあり、 $10.6\ ^\circ\text{C}\sim 10.1\ ^\circ\text{C}$ 位に低下している。pH は変動が激しい。電気伝導度は $60\ \mu\text{S/cm}$ で比較的安定した変動を示す。

IV－4 まとめ

各観測点の地下水位変動について、富士ヶ嶺観測点を除くと降水の影響が見られそうである。今後降水の影響等について詳細な解析が必要となる。富士ヶ嶺観測点は地下水位が深いためもあり、降水の影響が見られないが、影響を除くためには長期間の観測が必要となる。地震動、火山活動による影響を観測するためには、今後各種のノイズを地下水変動から取り除く必要がある。



図IV-3 忍野、河口湖、富士ヶ嶺各観測点の地下水位変動



図IV-4 忍野、河口湖、富士ヶ嶺各観測点の水温、pH、電気伝導度の変動

V 富士山麓のボーリングコアによる富士火山活動史

—特に古富士期の時空変遷—

V-1 はじめに

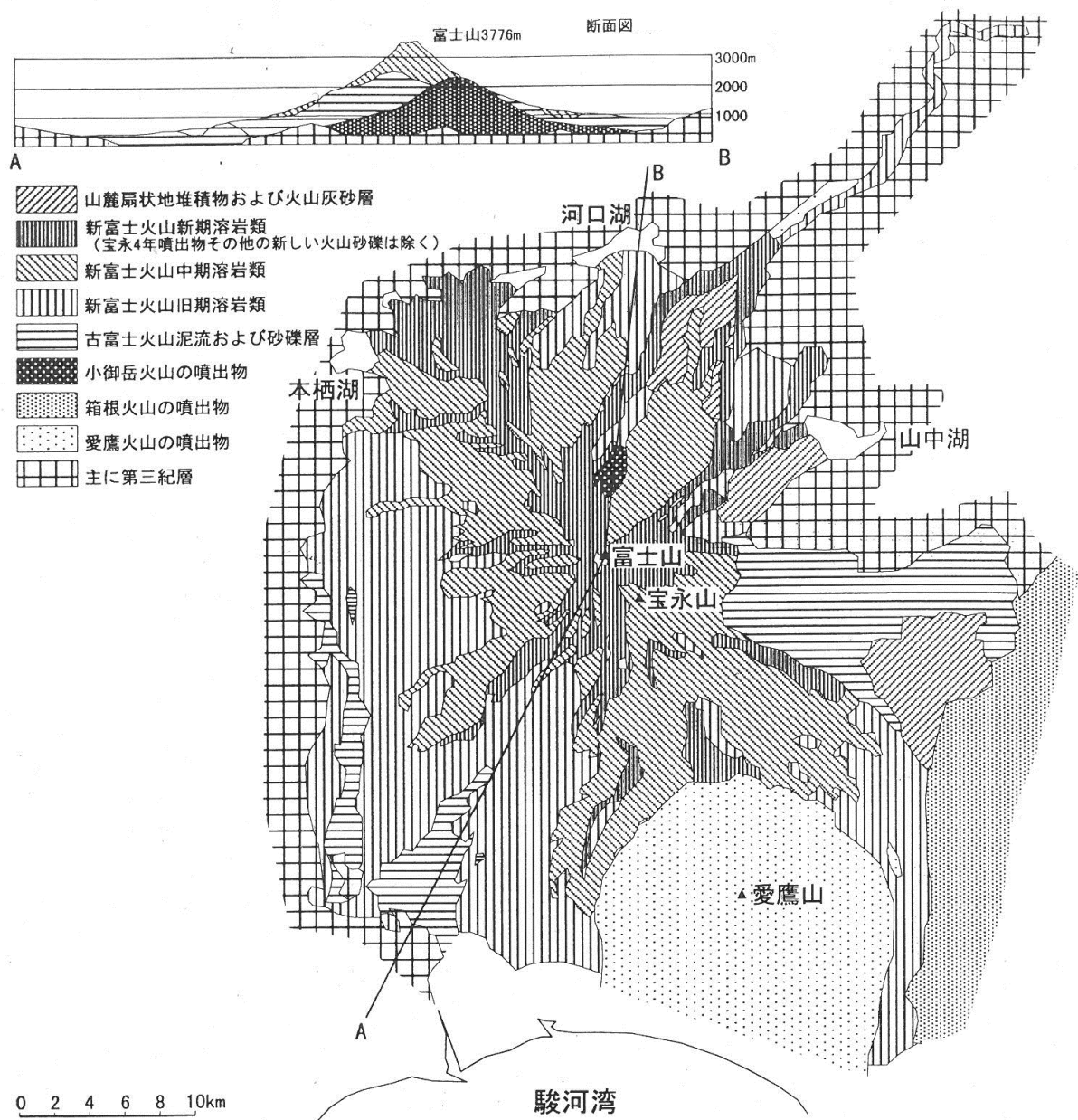
2000 年後半から 2001 年前半にかけて、富士山頂の北東地下 15 km 付近を震源とする低周波地震が急増した（鶴川，2001）。これが引き金になり、富士山の噴火に備えた観測体制の強化やハザードマップの作成に向けた動きが活発化し、ハザードマップは 2004 年 6 月に完成した（富士山ハザードマップ検討委員会，2004）。この過程で、富士山一帯の陸上地質の調査内容をはじめ、多くの研究成果が集中的にもたらされ、その多くは学術書「富士火山」に収録されている（荒牧ほか，2007）。この結果、とりわけ新富士期の活動実態の理解や現状の観測体制の強化といった面では、大幅な前進が図られた。その一方で、富士山の火山活動期間の大半を占める古富士期の活動実態については、一部地域を除いては、必ずしも十分な解明がなされてはいない。これは、富士山が火山としては、10 万年程度しか経過していない比較的若い山であり、そのために開析が十分進行しておらず、より古い時代の火山活動の実態を地表で把握することも困難であるという理由による。

このような状況において、富士山のより古い時代である古富士期の活動実態を知るには、山体内部にボーリング掘削をするか、富士山から遙か遠方にまで運ばれた噴出物も含む調査が必要とされる。この視点からすると、富士山周辺における学術ボーリングは、我々の所属する山梨県環境科学研究所の場合も含め、古富士期の火山活動の時間・空間的変遷について把握する上で、有効な試料となる。そこで、富士山北麓地域において我々が掘削したボーリングコアの、特に古富士期の噴出物を主体に、その周辺地域のコア試料も含めた時空的変遷の若干の検討を試みたので、以下に報告する。

V-2 富士山の火山活動の時空分布特性

富士山の火山活動について、その時間・空間的な視点からの把握という面では、津屋（1968）、町田（1977）、宮地（1988）などによる、特に新富士火山の噴出物を基に、火山層序学を主体に富士山頂以外の噴出口も含む火山活動の分布特性の把握がされている。さらに、噴火割れ目の特徴と進化の視点から、地表踏査にトレンチや炭素年代測定も含めた新富士火山噴火の検討の成果が報告され（高田ほか，2007）、最近 2000 年間については、富士山の割れ目噴火の時系列変化が詳しく把握されるようになってきた。

これらの研究成果は、最近とりまとめられたハザードマップにおける、将来噴火の可能性としての火口分布領域に制約条件を与え、火山防災の面でも基礎資料として重要な貢献を果たしている。一方で、古富士火山については、この種の割れ目噴火など噴火口の厳密な試みはなされていない。これは、富士山の山体においては古富士火山噴出物が新富士火山の噴出物に覆われている場合が多く、古富士火山噴出物の露出は東では御殿場付近に、西では白糸の滝、富士宮付近などに限られており（図 V-1）、古富士火山の噴火特性の検討を地表踏査により行う場合、新富士火山のそれに比べ相対的に困難な事情が大きな理由である。



図V-1 富士山の地質図（津屋、1971 を簡略化）

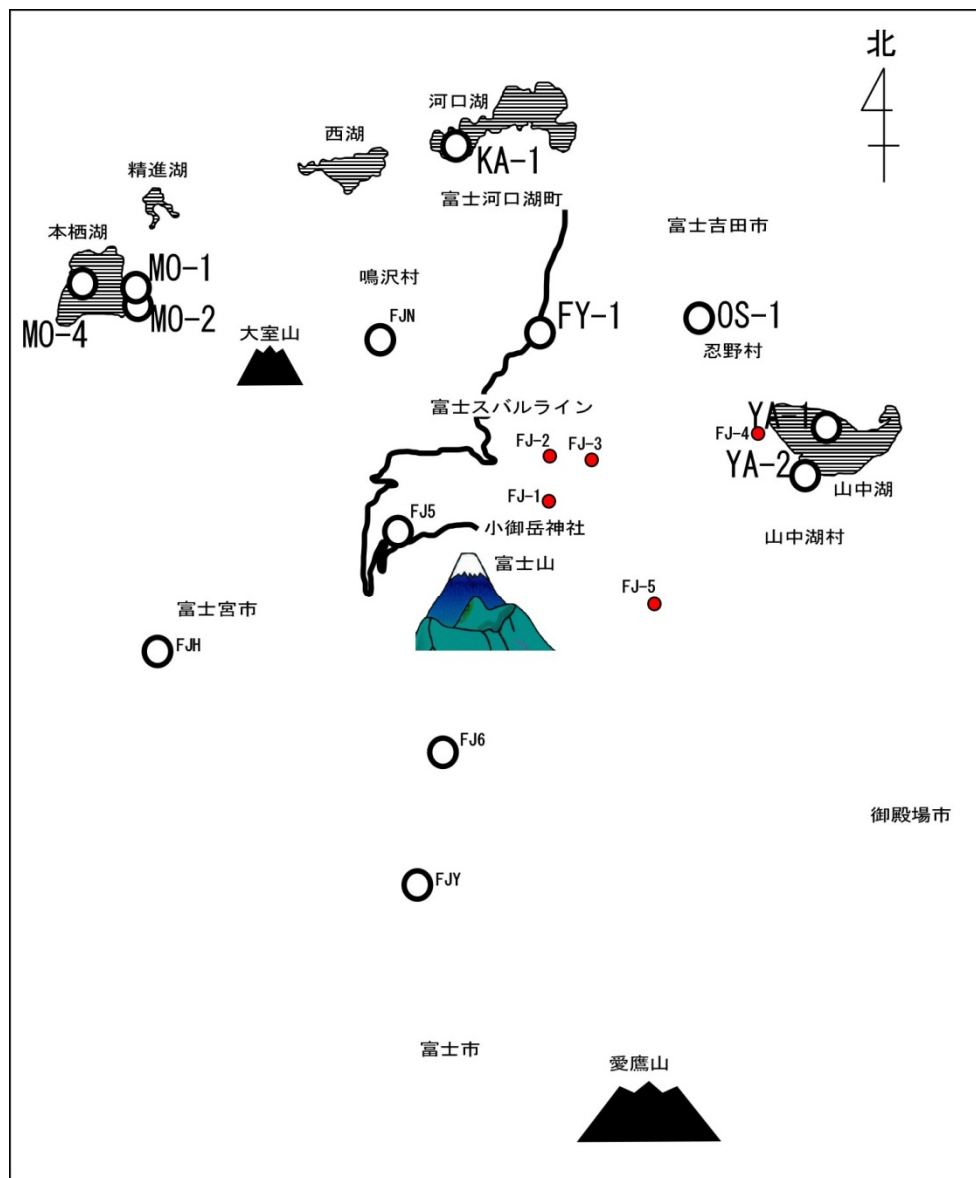
V-3 古富士火山の活動特性

富士山の火山活動のうち、古富士期の噴出物について、津屋（1971）は火山泥流、砂礫層などの火砕堆積物を主とし、これらに溶岩流が伴うとした。その後の町田（1977）、上杉（1993）などによる富士火山山麓に分布するテフラの詳細な研究から、古富士火山の活動ステージ区分が試みられ、また富樫・山崎（1989）などによる岩石化学の検討により、古富士火山の活動区分が進んでいる。

ところが、古富士火山の噴火口の分布特性といった面からの言及は、従来ほとんどなされてはいない。これは、古富士火山の噴火口の具体的位置を特定することが極

めて困難なためである。一方で、近年における学術ボーリングの掘削が富士山一帯で試みられるようになり、これらのコア試料の構成物につき明らかにされてきた地質学的情報の比較を行うことは、古富士期の火山活動の地域特性の把握に貢献するものと考えた。

富士山麓には、富士山の火山活動の把握のために地震計等の観測機器類の設置を目的に学術ボーリングが実施されたのに始まり、その後の山梨県環境科学研究所のように火山活動史および環境科学的解析を目的にしたボーリング掘削など、現在までに掘削された地点は概ね富士山の全周にわたっている（図V-2）。その分布を概観すると、北麓側には掘削数が多く認められる。



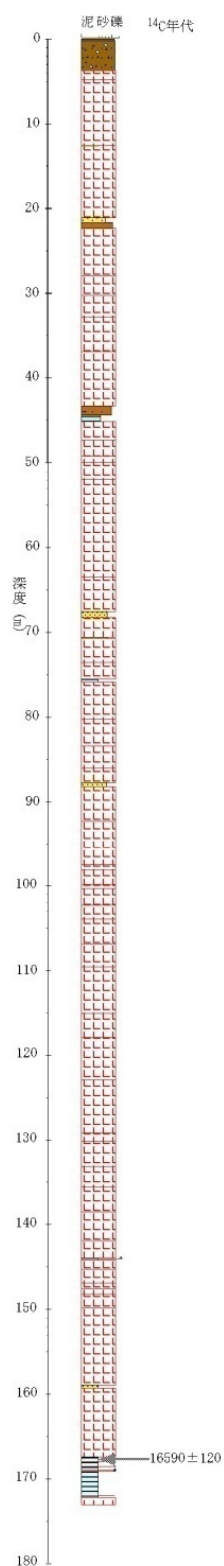
図V-2 富士山およびその周辺の主なボーリング掘削地点

このうち、我々が掘削し地質学的検討を行ってきたコア試料の構成と年代(奥水ほか, 2004; 奥水ほか, 2007)を基に、古富士期の富士火山の活動につき、地域性に視点を当てて概観する。図 V-2 の中で、YA-1 は富士山頂から北東方向の山中湖から、KA-1 は富士山頂から北方向の河口湖から、また MO-2 は富士山頂から北西方向の本栖湖湖畔から、それぞれ採取されたコア試料である。これらのすべてに、古富士期の時代を示す火山噴出物が見い出されている。もちろんそれぞれの地点における、古富士期から現在にわたる火山活動以外の環境情報も記録されている。そこで、富士山頂から方位の異なるこれら三試料について、火山活動の様式の比較を行った。その結果、北西方向には溶岩活動の具体的な影響が豊富に見られ、また北東方向にはその影響が乏しく、むしろ富士山起源のスコリア等の降下噴出物の影響が顕著に認められる。また、北側の河口湖の方角には、スコリア等の降下噴出物と溶岩層が混在している(図 V-3)。以上のように、方角によって富士山の火山活動の様式や影響の現れ方が、古富士期以降の違いとして把握できる。

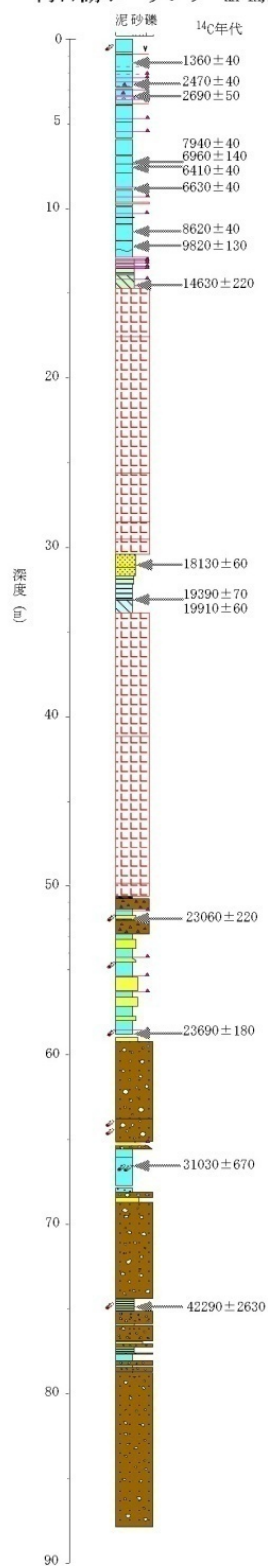
さらに、我々が掘削し解析した試料以外にも、防災科学技術研究所(図 V-2 の FJN, FJ-5 など) および東京大学地震研究所(FJ-1~5)によって掘削・解析されたほとんどのコア試料に、古富士期から新富士期にわたる火山活動の情報が記録されている(宮地ほか, 1995, 1998, 2001, 2007; 吉本ほか 2004)。これらの試料に含まれる火山活動の様式および年代を考慮して、富士山頂からの方位の面から噴火様式を検討した場合、上述同様な傾向が認められる。すなわち、山頂から北東方向の FJ-4, FJ-5 のコア試料には溶岩類は認められない。一方、FJN など北西方向から採取されたコア試料の構成には、古富士期以降の溶岩類の活動が厚く発達していることが確認できる。

以上に述べたように、確かに現時点での学術ボーリングコア試料数では必ずしも十分な解析数には至っていないかも知れないが、これらのコア試料の多くには、古富士火山から新富士火山にわたって噴火の情報が記録されており、しかも山頂から北西方向に溶岩類の活動が卓越するという特徴が確認できる。このように、ハザードマップなどにも富士山噴火の重要な特徴として取り上げられている富士山の最近 2000 年間の噴火様式の方向による特徴と同様な傾向が、古富士火山活動の時期に遡って認められる、という理解で大きな矛盾はない。

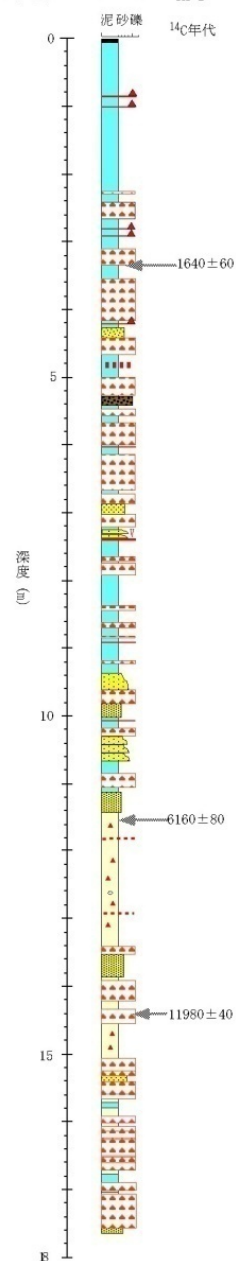
本栖湖ボーリング MO-2



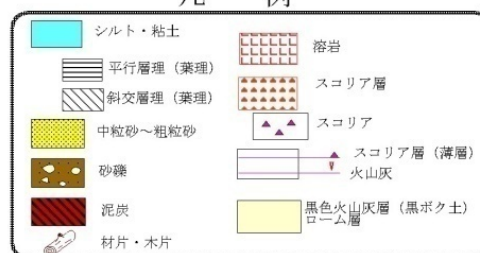
河口湖ボーリング KA-1A, B



山中湖ボーリング YA-1



凡 例



図V-3 本栖湖、河口湖と山中湖のボーリングコア柱状図

V-4 古富士火山の溶岩類の対比

富士山では前述のように、現時点における学術ボーリングコアに認められる古富士火山について地域特性の視点からみると、新富士火山の場合と同様に、富士山頂から北西方向に溶岩類の卓越した分布が認められる。従来、古富士期も含む富士火山の溶岩類を中心に、化学組成の時系列変化を基に、富士山火山の活動のステージ区分が試みられている（富樫・山崎，1989；高橋ほか，1991など）。そこで、我々が採取した富士山北麓のボーリングコアについても、これら溶岩類の岩石学的特徴の記載に加え、化学組成を蛍光X線分析により明らかにし、時系列変化についても検討してきた（興水ほか，2007など）。その具体例として、本栖湖湖畔のコア試料の概要を分析した化学組成の一部を含めて示す（図V-4）。

そのうえで、前述の先行研究における化学組成による時代区分の成果も加味して本栖湖コアのデータを検討すると、本栖湖ボーリングコアの地表下45 m付近が新富士と古富士の境界に、また45 m～168 mまでは10,000～22,000年までの古富士火山の溶岩に、対応することが確認できる。これは、我々が新規に炭素年代測定した値も含めた本栖湖ボーリングコアにおける溶岩類の化学組成の変遷が、先行研究による富士火山のステージ区分と大きな矛盾のないことを示している。

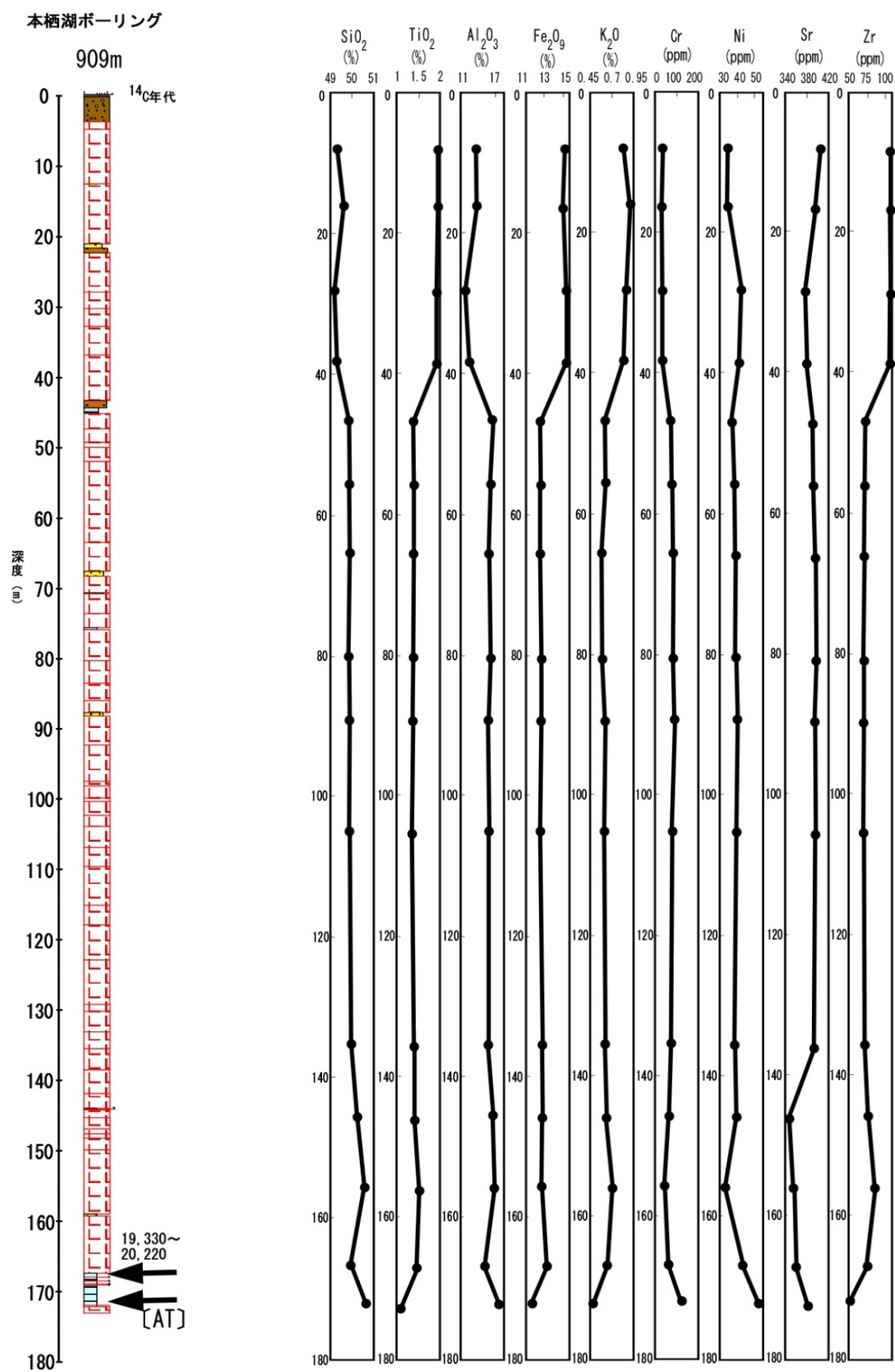
ちなみに、我々によって採取および解析された河口湖ボーリングコアの湖底下約20 mおよび40 m付近に認められる二枚の溶岩についても、これらの化学組成と炭素年代等を考慮すると、共に本栖湖コアの古富士期における10,000～22,000年の活動に対応する。

さらに、富士山頂から北西方向には、防災科学技術研究所による地震計設置に伴い採取されたボーリングコア（図V-2のFJN，FJ-5など）につき、その中に含まれる溶岩類に関して、岩石記載に加えて化学分析の変遷の報告がなされている（宮地ほか，1995；2007）。これら二つのコア試料（FJN，FJ-5）の溶岩類に関する化学組成等を、本栖湖ボーリングコアと比較すると、いずれのコアの溶岩類も本栖湖コアの22,000年より若い古富士期以降の活動に対比される。このように、富士山頂から北西方向にその分布が確認される古富士火山の溶岩類の活動については、現時点で報告されている試料については概ね本栖湖コアの深度168 mよりも若い時代に納まりそうである。なお、本栖湖コアには、この168 m以下に約4.8 mの堆積物を挟み、その下位に更に古い時代の溶岩が存在する。

されていることが認識され、しかも現在までに報告されているボーリングコアのうち、本栖湖コアには古富士火山のより古い時代からの、最も長期間にわたる情報が記録されていることも明らかである。今後は、関連するコア試料に含まれる古富士期の溶岩類のみならず、陸上部の溶岩類との対比の研究においても、本栖湖ボーリングコアは富士火山の時空解析において重要な試料となる。

V-5 まとめ

以上のように、富士山頂から北西方向にはボーリングコア試料の検討から、古富士火山の活動が卓越して記録



図V-4 本栖湖ボーリングコア中の溶岩の蛍光X線分析

R-01-2012

平成24年度
山梨県環境科学研究所研究報告書
第27号

YIES Research Report

2012年11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剣丸尾5597-1

電話：0555-72-6211

FAX：0555-72-6204

<http://www.yies.pref.yamanashi.jp/>
