

R-02-2013

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第30号

特定研究

「富士山火山防災における観測および情報の普及に関する研究」

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8月に三宅島の火山活動が活発化し、噴火しました。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、富士山が活火山であることが再認識されました。

この状況を考慮して2001年夏に、内閣府が主導して、富士山の火山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過程で、関係研究機関等の努力により、富士山の火山学的研究が一段と進展しました。この研究成果を土台にして、その後も、各研究機関によって富士山の火山としての研究が進められています。とりわけ、富士山の火山防災のためには、過去の長期間にわたる火山噴火史を解明するとともに、火山噴火に関する現象を観測することが重要となります。

当研究所では、プロジェクト研究「富士山の火山活動に関する研究(平成14年度～平成18年度)」により、富士山の火山性地震に関する観測強化のために富士北東麓忍野地区に地震計を設置し、観測を開始しました。この観測データは、(独)防災科学技術研究所に送信され、ほかの観測データと共に解析されています。さらに、気象庁にもデータが送られ、富士山の総合火山観測網の一端を担うようになり、情報の共有化が図られています。

本研究では、このように富士山の火山防災、噴火災害軽減のために、富士山の火山活動に関する観測・監視を継続するとともに、富士山の火山防災対策や防災・環境教育を効果的に推進する方策をたてることを目的に行いました。具体的には、県民に分かり易い情報を提供するために、「富士山火山防災情報センター」の機能をより一層強化し、充実した啓発・環境教育プログラムを構築し、わかりやすい防災情報の発信に努めることにあります。特に富士山の火山としての自然環境や恵みへの理解・関心を深め、富士山のなりたち、噴火の歴史などや、地下水・湧水など自然環境の恵みに関する基礎知識を伝えることが、富士山を知り、災害に対処する上でも有効な手段となると考えております。

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おります。

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 特定研究の概要

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 富士北麓地域の火山活動観測	1
I-4-2 溶岩流・火砕流シミュレーション	2
I-4-3 火山防災情報表示システム	2
I-4-4 富士山火山防災ウィークパネル展	2
I-5 研究成果の発表	3
I-5-1 口頭発表	3
I-5-2 誌上発表	3

本 編

II 研究成果報告

II-1 富士北麓地域の火山活動観測	4
II-1-1 低周波地震動観測	4
II-1-2 地下水変動	6
II-2 溶岩流・火砕流シミュレーション	11
II-2-1 溶岩流シミュレーション	11
II-2-2 富士山北東部溶岩流シミュレーション	11
II-2-3 富士山北西部溶岩流シミュレーション	19
II-2-4 富士山北東部火砕流シミュレーション	28
II-2-5 富士山北西部火砕流シミュレーション	32
II-3 火山防災情報表示システム	38
II-3-1 情報コンテンツシナリオの流れ	38
II-3-2 まとめ	38

I 特定研究の概要

I-1 研究テーマおよび研究期間

研究テーマ：

富士山火山防災における観測および情報の普及に関する研究

研究期間：

平成 19 年度～21 年度（3 年間）

I-2 研究体制

研究代表者：地球科学研究室 興水達司
共同研究者

地球科学研究室：内山 高・石原 諭

（独）防災科学技術研究所：鶴川元雄・藤田英輔・
石峯康浩・小園誠史

I-3 研究目的

環境科学研究所は、富士山麓に位置する地元研究機関として、関係する大学等の研究機関と連携を図り、富士山の火山活動に関する研究を行ってきた。さらに火山防災上、火山活動に関する観測・監視システムの充実および防災情報などの共有化と啓発が当研究所に求められている。

先行プロジェクト研究「富士山の火山活動に関する研究（平成 14 年度～平成 18 年度）」により、当研究所では富士山の火山性地震に関する観測強化のために忍野地区に地震計を設置し、観測を開始した。この観測データは、共同研究機関である（独）防災科学技術研究所（以下「防災科研」という）に送信され、ほかの観測データと共に解析されて、情報の共有化が図られた。さらに、気象庁にもデータが送られ、富士山の総合火山観測網の一端を担うようになった。この中で、火山活動と地下水変動との関連が指摘されており、当研究所独自の取り組みとして、富士山の火山活動との関連を探るために、富士北麓 4 箇所地下水変動の連続観測を開始した。

本研究は、このように富士山の火山防災、噴火災害軽減のために、富士山の火山活動に関する観測・監視システムの強化を図るとともに、より一層の富士山の火山としての自然環境や恵みへの理解・関心を深め、富士山の火山防災対策や防災、環境教育を効果的に推進することを目的に行った。具体的には、富士山のなりたち、噴火の歴史などの地質・地形や地下水など自然環境の恵みに関する基礎知識を伝えるために、より充実した啓発・環

境教育プログラムの開発と防災情報の発信に努め、県民に分かり易い情報の提供方法を発展させたので、その報告をする。

I-4 研究成果の概要

I-4-1 富士北麓地域の火山活動観測

1) 地震計による火山活動観測

2000 年 10 月から富士山山頂の北東側地下 15～20km 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、その活用にむ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、上述したように先行プロジェクト研究「富士山の火山活動に関する研究（平成 14 年度～平成 18 年度）」において、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・観測を地球科学研究室が中心になって進めてきた。また、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。

このうち、低周波地震計の整備について、防災科研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した。

観測されたデータについては、忍野観測点の地震データを含めて、防災科研で収集している富士山地域の地震データを同研究所において総合解析し、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。これらのデータについては、防災科研および当研究所の火山防災情報センター表示システムで閲覧できるようにした。

2) 地下水変動による火山活動観測

火山活動、特に噴火様式の変化に地下水が関係していることから地下水の変動について、当研究所として独自に取り組んできている。

このため、地下水の変動状態を監視することを目的に、富士北麓の 4 箇所に観測点を設けて地下水変動の連続観測を実施している。観測点は、北東麓忍野観測点、北麓富士吉田観測点、河口湖観測点、北西麓富士ヶ嶺観測点である。この 4 観測点で地下水位、地下水温、pH、電気伝導度を測定している。

I-4-2 溶岩流・火砕流シミュレーション

火山防災および防災教育上、分かりやすい情報の提供・表示方法を検討するために、防災科研と共同研究を行ってきた。その中で、平成19年度及び平成20年度に、富士山の噴火により、溶岩流が噴出した場合を想定し、溶岩流シミュレーションを、また火砕流が発生した場合を想定し、火砕流シミュレーションを実施した。

シミュレーションの実施条件等の詳細については後の章を参照してほしい。ここでは、溶岩流シミュレーション結果を下図(図I-1)に示す。図I-1は、噴火口を北西麓長尾山に、噴火レベルを中規模噴火に想定したシミュレーションの結果である。

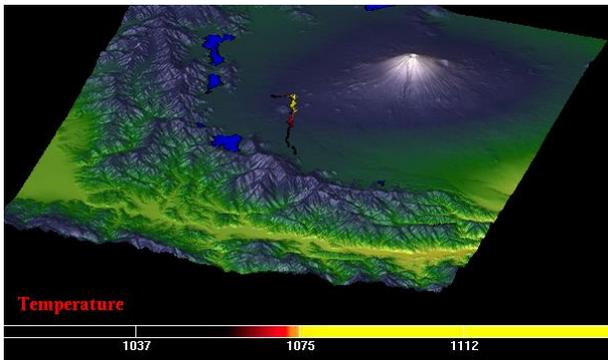


図 I-1 北西麓の溶岩流シミュレーション結果

I-4-3 火山防災情報表示システム

富士山の火山防災、噴火災害軽減のためには、ハザードマップに基づく火山現象の影響予想範囲に関する情報提供を、富士山の地元住民を中心に広い対象に発信する必要がある。このような噴火現象に関する知識や富士山で想定される噴火災害や必要な防災対策に関する情報提供を行うとともに、富士山のなりたち、噴火の歴史、地質・地形、自然環境、地下水やその恵みなど、富士山に関する基礎知識を伝えることも必要とされる。

当研究所では、防災科研との共同研究により富士山の火山活動に関する観測・監視システムの強化を図るとともに、富士山火山の自然環境や恵みへの理解・関心を深め、より充実した啓発・環境教育プログラムと防災情報の発信に努めるために富士山火山防災情報センターを併設し、富士山の火山防災対策や環境教育を効果的に推進することを目的として、研究を行ってきた。上で述べたような防災情報や火山現象および富士山の自然環境に関する基本的知識を一般県民に分かりやすく提供する方法として、火山防災表示システムを開発、構築し、本研究所において公開することとなった(エラー! 参照元が見つかりません。)。エラー! 参照元が見つかりません。はこの火山防災表示システムの表示例である。システムは、タッチパネル上で閲覧したい項目を選択して、コンテンツを見ていくものとなっている。コンテンツは大きく4

つ、「富士山の情報」、「富士山防災」、「富士山の研究」と「富士山の自然」とに分かれている。どこからでも興味があるコンテンツを見られるようなシステムとなっている。

以下に、それぞれのコンテンツの概略を説明する。「富士山の情報」は、富士山に関する基本的な知識・情報、すなわち位置、形と大きさおよび噴火の歴史がまとめられおり、火山防災情報を理解する上での導入部となっている。「富士山防災」は万が一富士山が噴火した場合、どのような噴火現象や災害が起こるかを説明し、どのように備えれば良いかを考えるコンテンツとなっている。ここはさらに4つのサブコンテンツ、[噴火が起こると]、[避難の準備と方法]、[噴火警報]および[避難マップ]に分かれており、実際の避難に役立つよう工夫されている。「富士山の研究」は、現在実際にどのような観測・監視システムが動いているかを実感できるような内容となっている。火山活動に関係した地震波形データやその震源分布などがリアルタイムで見られる。また、噴火により溶岩流と火砕流とが発生した場合を想定して、シミュレーションを行い、その結果が動画として見られるようになっている。「富士山の自然」は富士山噴火のマイナス面だけでなく、富士山の恵みの側面にも触れる内容としている。



図 I-2 火山防災表示システムの表示例

I-4-4 富士山火山防災ウィークパネル展

富士山は活火山であることから次の噴火に備えて何をしていけばいいかを考えておく必要がある。このような災害という負の面とは反対に、平常時において富士山と

ともに生きていくためには、富士山がもたらす恵みを学ぶことが重要であるとの観点から、学ぶ機会を増やすために、平成16年度から国土交通省富士砂防事務所と富士川砂防事務所との共催で、「富士山の自然・火山防災を知ろう」というテーマで、富士山火山防災ウィークパネル展を開催している。このパネル展は、富士山の恵みである自然とそこに成り立ってきた歴史や暮らしなどとともに、火山噴火および気象災害等をわかりやすく、パネルで説明したものである。この期間中に、火砕流、土石流および降雨や地震の体験車を用意して、災害の疑似体験、講演会を開催した。



図 I-2 火山防災ウィークパネル展ポスター

また、本研究課題そのものではないものの、本研究所の立場で富士北麓の火山防災に向けた取り組みを簡単に紹介する。

平成16年(2004年)に富士山火山防災マップ(富士山火山防災協議会; 内閣府および都県、関係市町村)が発行され、それを基に富士北麓の市町村から構成される富士山火山防災協議会により、「富士火山を知るー富士北麓住民ガイドブッケー」が刊行された。さらに、平成18年度には、国の富士山火山広域防災検討会の最終報告をもとに、防災や避難に関する内容の「富士山火山防災避難マップ~もしもの噴火に備えて~富士北麓版」(富士山火山防災協議会・山梨県)が刊行された。その後、平成

19年(2007年)には、外国人観光客向けに「英語版ハザードマップ」も刊行され、これらの製作に当たり、当研究所はアドバイザーとして、地元防災行政関係者と協力してきた。

I-5 研究成果の発表

I-5-1 口頭発表

- 1) 興水達司、内山高、杉田幹夫(2007) 富士山の雪代災害の3次元映像による監視. 日本地球惑星科学連合2007年大会, 千葉.
- 2) 内山高, 興水達司, 安間荘, 諸橋良, 上石勲, 竹内由香里, 町田敬(2007) 2007年3月富士山南斜面で発生したスラッシュ雪崩堆積物-2004年12月北斜面の雪代堆積物との比較, 日本地質学会第114年学術大会, 札幌.

I-5-2 誌上发表

- 1) 上石勲, 山口悟, 佐藤篤司, 兒玉裕二、尾関俊浩, 阿部幹雄, 樋口和生, 安間荘, 竹内由香里, 町田敬, 諸橋良, 後藤聡, 興水達司, 内山高, 川田邦夫, 飯田肇, 和泉薫, 花岡正明, 岩崎和彦, 中野剛士, 福田光男, 池田慎二, 会田健太郎, 勝島隆史(2007) 2007年2~4月に発生した雪崩事故状況調査報告. 雪氷, 69, 507-512.
- 2) 興水達司(2007) 富士山の成り立ちと特徴. Textbook for English Nature Guide in and around Mount Fuji. 富士河口湖町ふるさと振興財団, 3-7.
- 3) 興水達司, 山本玄珠, 内山高(2007) 富士山麓のポーリングコアによる富士火山活動史の時空解析. 第17回環境地質学シンポジウム論文集, 71-76.
- 4) 興水達司(2008) 富士火山活動史研究の最近の進歩. 山梨考古, 108, 6-7.
- 5) 興水達司, 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 富士山スラッシュ雪崩に関するフォーラム, 66-68.

II 研究成果報告

II-1 富士北麓地域の火山活動観測

ここでは、環境科学研究所で行っている火山観測について述べる。

II-1-1 低周波地震動観測

本研究は、プロジェクト研究「富士山の火山活動に関する研究」のうち富士山の火山活動の影響と低周波地震に関する研究を引き継ぎ、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(図 II-1)。このうち、低周波地震の当研究所の観測点は忍野観測点である。忍野観測点の詳細は先行プロジェクト研究「富士山の火山活動に関する研究」研究報告書に記載されているので、ここでは概略を述べる。

忍野観測点：北東麓(南都留郡忍野村忍草 3098-1)

平成 16 (2004) 年 3 月 15 日より観測開始、位置は北緯 $35^{\circ} 27' 20.54''$ 、東経 $138^{\circ} 49' 25.3''$ 、観測井孔口の標高 931 m である。

観測井の地質構成は、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

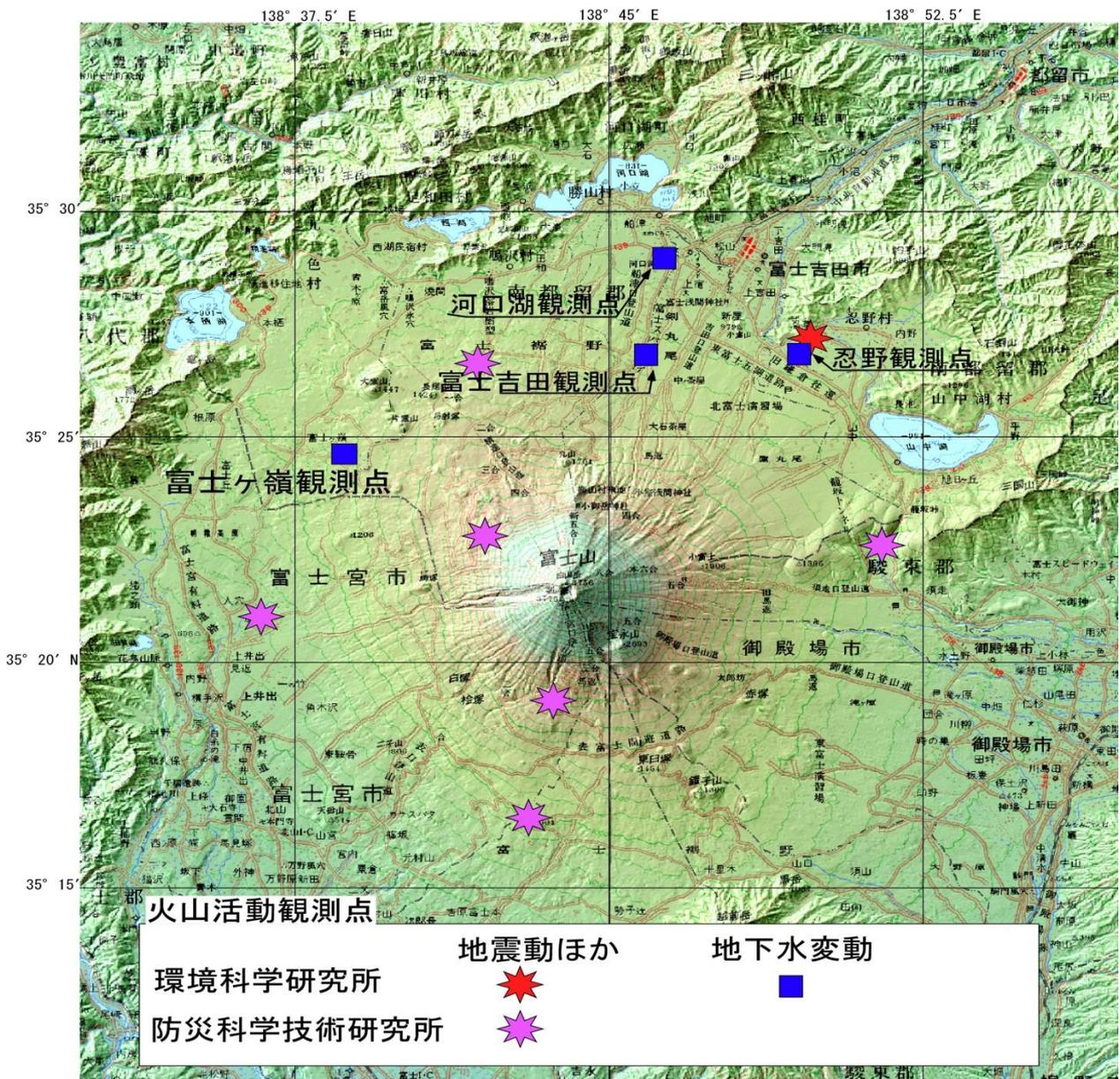


図 II-1 富士山北麓の火山活動観測点

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。

地震計設置深度は地盤高-40mの玄武岩溶岩中で、標高 891 m である。

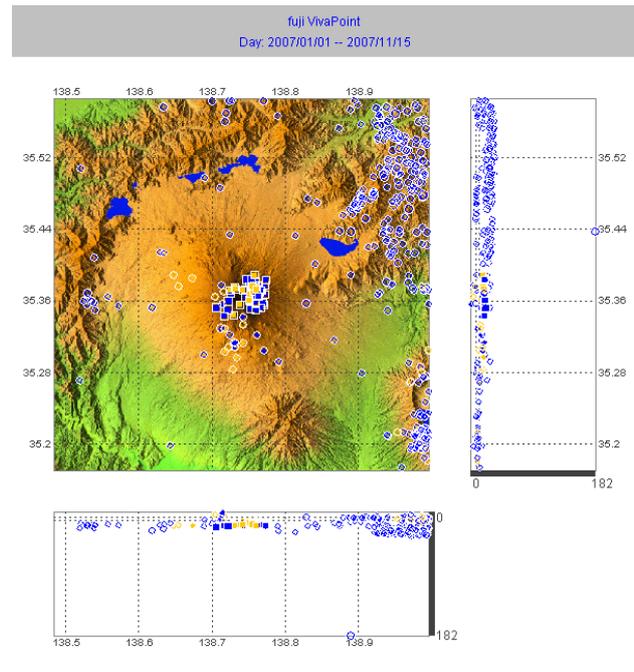
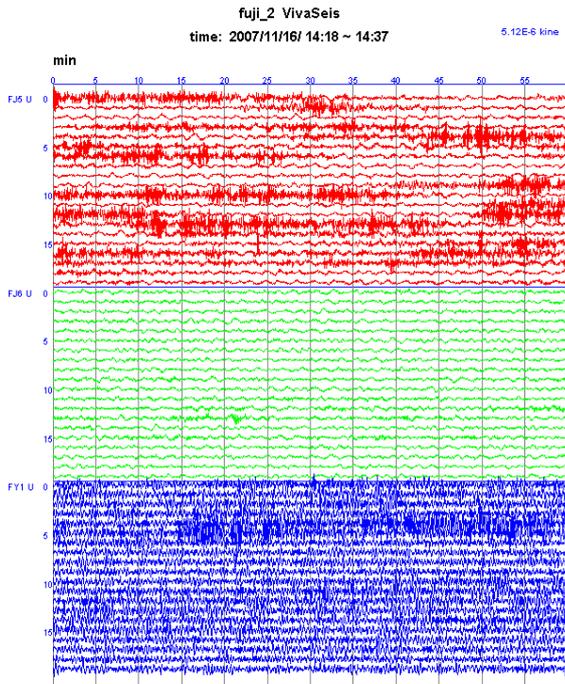


図 II-2 富士山の地震活動
左図；地震波形 右図；震源の分布

観測中の地震波形はリアルタイムに閲覧することができる。上の図 II-2 の左図はリアルタイムの地震波形を示す。ここでは 2007 年 11 月 16 日午後 2 時 18 分から 2 時 37 分間の富士山中腹北側 FJ5、南側中腹 FJ6 と忍野観測点 FY1 の上下方向の変動をしめてある。同図右図は 2007 年 1 月 1 日から 11 月 15 日までの富士山および周辺で発生した地震震源の分布を示す。

右図 II-3 は、忍野観測点の地震波形で、2009 年 12 月 7 日午後 4 時台の波形をしめている。

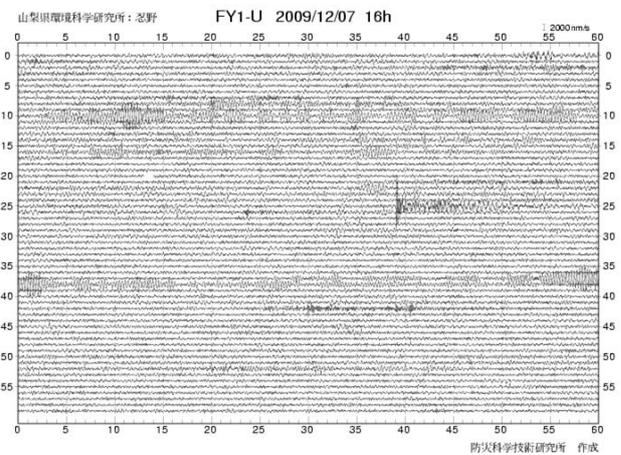


図 II-3 富士山の忍野観測点の地震波形

II-1-2 地下水変動

1) 目的

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。火山噴火や地震発生に関連して、この豊富な地下水・温泉に異常が見られることが知られている（例えば、太田、1990）。さらに、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状態を監視することは重要な火山観測のひとつとなり、富士北麓の4箇所に観測点を設けて地下水変動の連続観測を実施している。観測点は、先行プロジェクト研究「富士山の火山活動に関する研究」において整備し、その後観測器や通信システムの更新を行っている。

2) 観測点、観測項目および観測井の概要

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 II-1）。次に現在観測している観測点について、その諸元等について先行プロジェクト研究をもとに概略を述べる（図 II-4）。

① 忍野観測点：北東麓

位置は北緯 $35^{\circ} 27' 20.54''$ 、東経 $138^{\circ} 49' 25.3''$ 、観測井孔口の標高 931 m である。

観測機器の設置深度 51.3 m で、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 5.2m で 9440~9490 年前、深度 6.25 m で 10505~10655 年前（暦年）の放射性炭素 14 年代値が得られた。

② 富士吉田観測点：北麓

北緯 $35^{\circ} 27' 13.2''$ 、東経 $138^{\circ} 45' 44.4''$ 、観測井孔口の標高 1031 m。

地質構成は深度 0~1 m 表土、深度 1~6.5 m 玄武岩

溶岩（剣丸尾第1溶岩流）、深度 6.5m~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。ここでは、年代値は得られていない。

③ 河口湖観測点：北麓

位置は北緯 $35^{\circ} 29' 17.4''$ 、東経 $138^{\circ} 45' 57.2''$ 、観測井孔口の標高 862 m である。

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の地質構成は、深度約 55.4 m まで溶岩を主体とし、深度 55.4~104m 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。

④ 富士ヶ嶺観測点：北西麓

位置は北緯 $35^{\circ} 25' 13.9''$ 、東経 $138^{\circ} 37' 47.8''$ 、観測井孔口の標高 1075 m である。

自然水位は地盤高 -204.4 m 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。

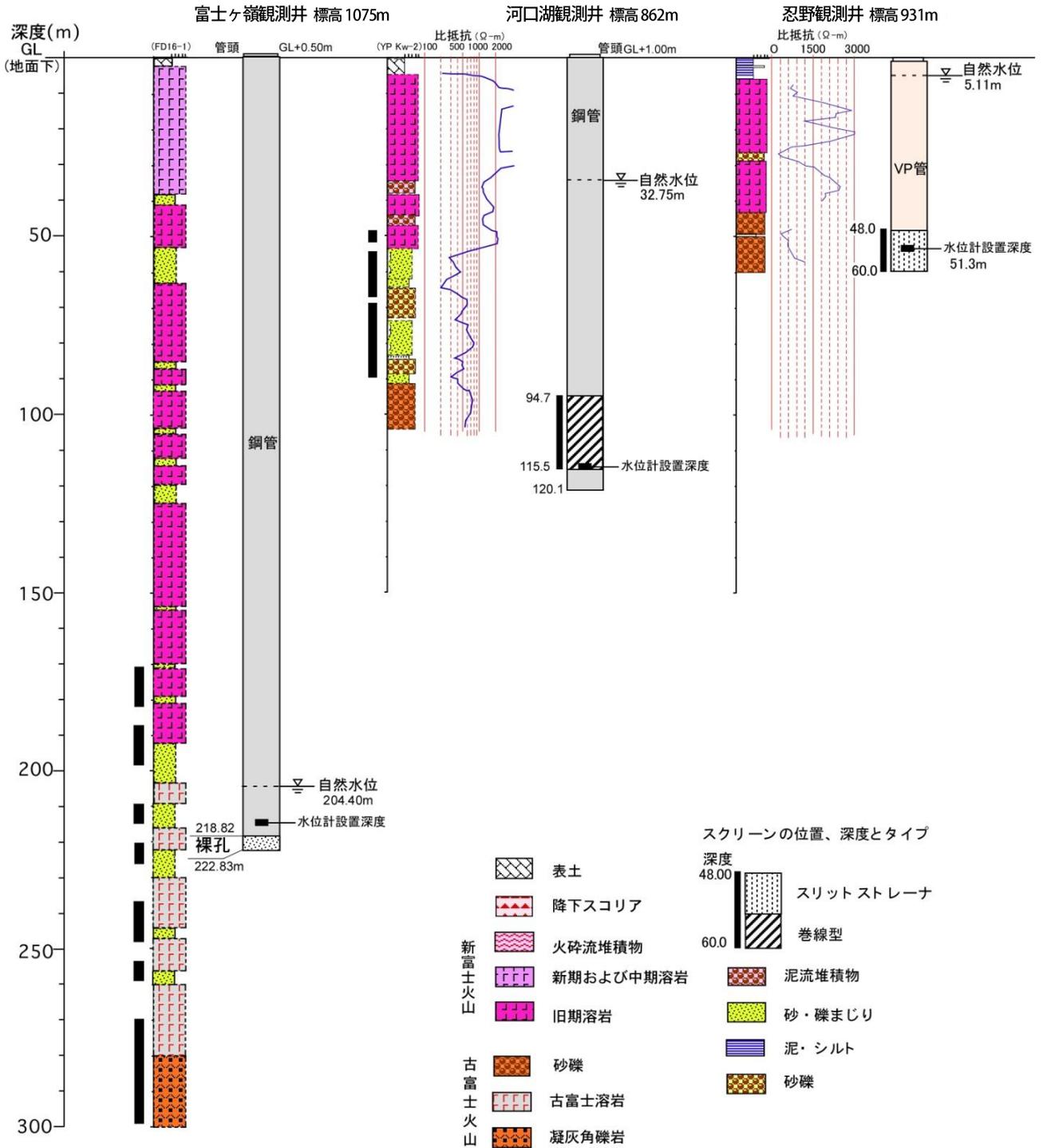


図 II-4 富士北麓地域の地下水変動観測点の観測井の井戸構造と地質構成

3) 地下水変動観測機器および観測項目と結果

地下水変動観測機器は、応用地質株式会社製 S&DL 水位・導電率計 MODEL-4631G に、データ通信ユニットと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。

ここで観測結果について、先行プロジェクト研究以降の変動について記す。なお、図には代表として富士ヶ嶺観測点の地下水変動を示す(図 II-5)。

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 -4.7~4.8 m の間を変動し大きな変動は、見られない。地下水温は電気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 7~6.4 の間で変動する。電気伝導度は 105~110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の間で変動し、電気的なノイズをのぞ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るが、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、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、2007年4月よりほぼ一定に季節変動を表す地下水位を示す。2008年8月~2009年1月まで観測機器の故障と交換のため欠測となった。2009年1月以降は水位が下がっている。水温は2008年1月より 10.6 $^{\circ}\text{C}$ ~10.1 $^{\circ}\text{C}$ 位に上昇している。pH は変動が激しい。電気伝導度は 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ で比較的安定した変動を示す。2009年1月以降は pH、電気伝導度は機器の交換に伴って測定していない。

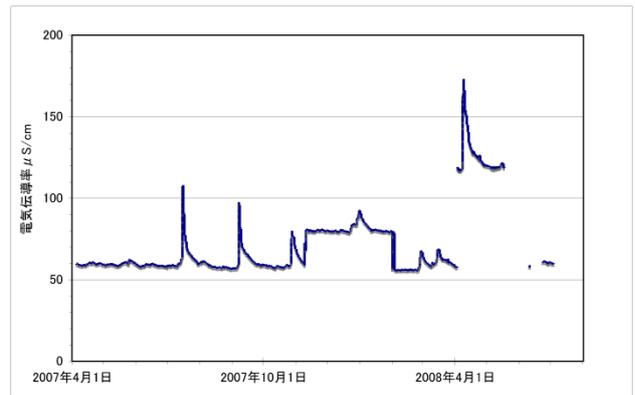
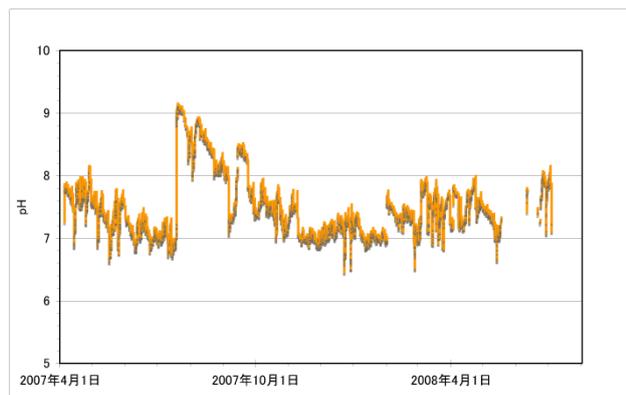
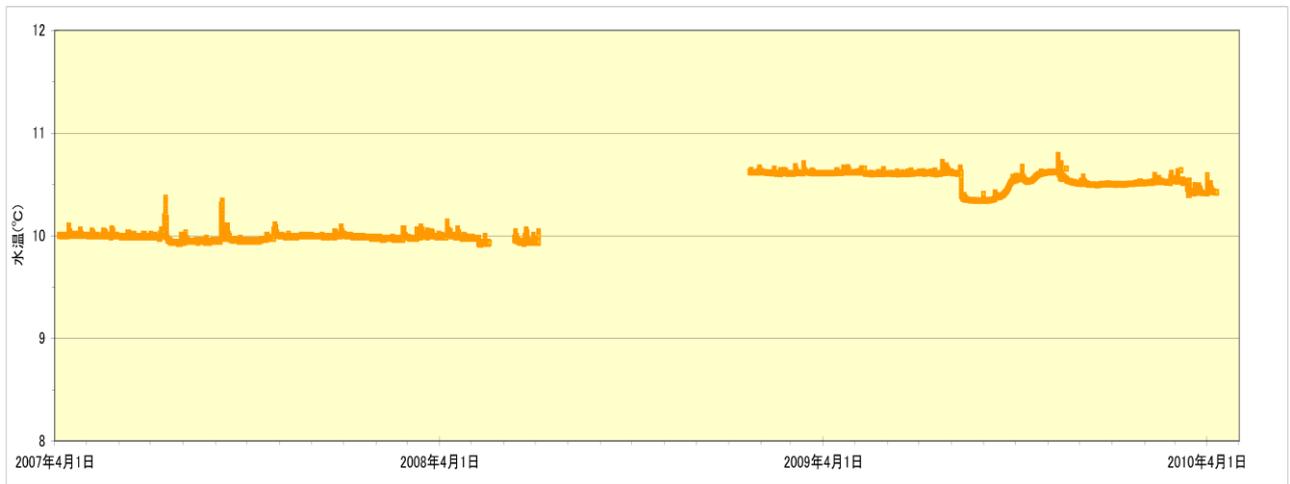
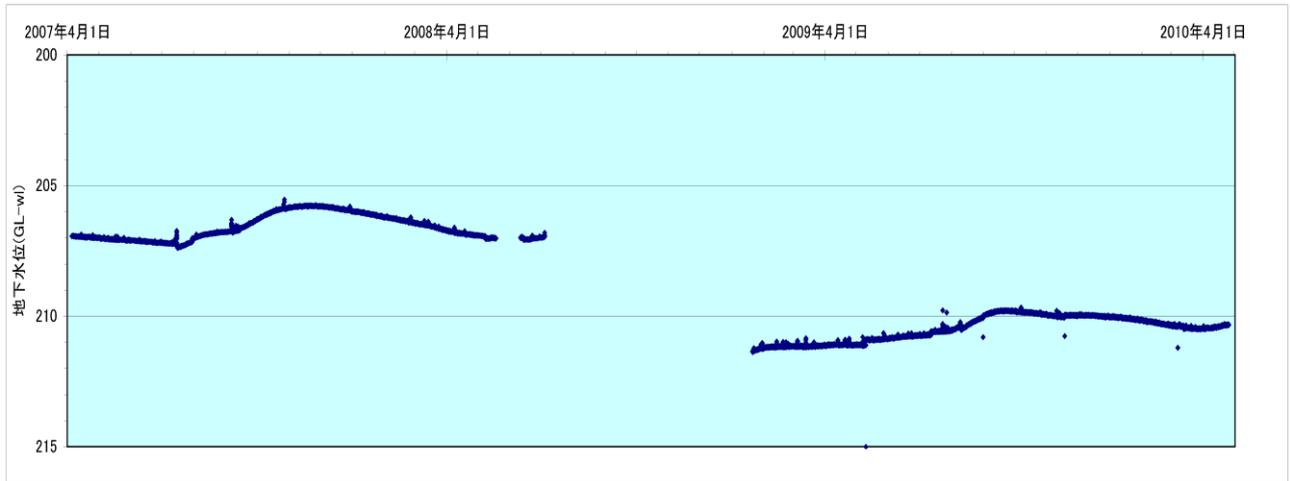


図 II-5 富士ヶ嶺観測点の地下水変動

4) 富士北麓の地下地質および水理地質構造

富士山の火山防災に関する研究の進展によって、富士山および一部湖の地下地質や噴出物に関する資料が蓄積されている。一方、富士山麓では最近、大深度ボーリングによる温泉開発や地下水の水質に注目が集まり、水産業が発展している。しかし、温泉を含む地下水資源の保全・管理および開発可能性に関する研究・調査についてはあまり進展が見られない。特に北麓全域にわたる総括的な水文地質構造や流動系に関する研究は少ない。

ここでは北麓地域のこれらの地下地質に関する研究結果をあわせて、富士山麓の地下の地質構成や構造の概要について、報告する。富士北麓および富士五湖地域の地下地質構成や構造の結果をまとめたものを図 II-6 に示す。

両地域では、御坂山地や丹沢山地をつくっている火山岩等が難透水性の基盤岩となっている。そして、その基盤岩を、おそらく第四紀（約 260 万年前から現在までの地質時代）に堆積した地層と小御岳火山（先小御岳火山

も含む）噴出物からなる地層が覆っている。その上を新旧富士火山の火山噴出物と同時代の河川成および湖成堆積物がそれらを覆うものと推定される。したがって、推定される地質構造から富士北麓および富士五湖の地下水の流れは、少なくとも河口湖では富士山から地下水は流れ込まず、流れ出るように推定される。図の下図でいえば、河口湖では紙面手前に流れ、富士吉田では紙面奥へ流れるような地下水流れが推定される。

5) 引用・参考文献

鍵山恒臣（2001）噴火予知における地下水の重要性. 月刊地球, 23, 801-805.

太田一也（1990）火山活動に関連した地下水・温泉の挙動に関する観測研究の重要性. 火山, 34 特別号「火山学の基礎研究」日本火山学会, s308-s309.

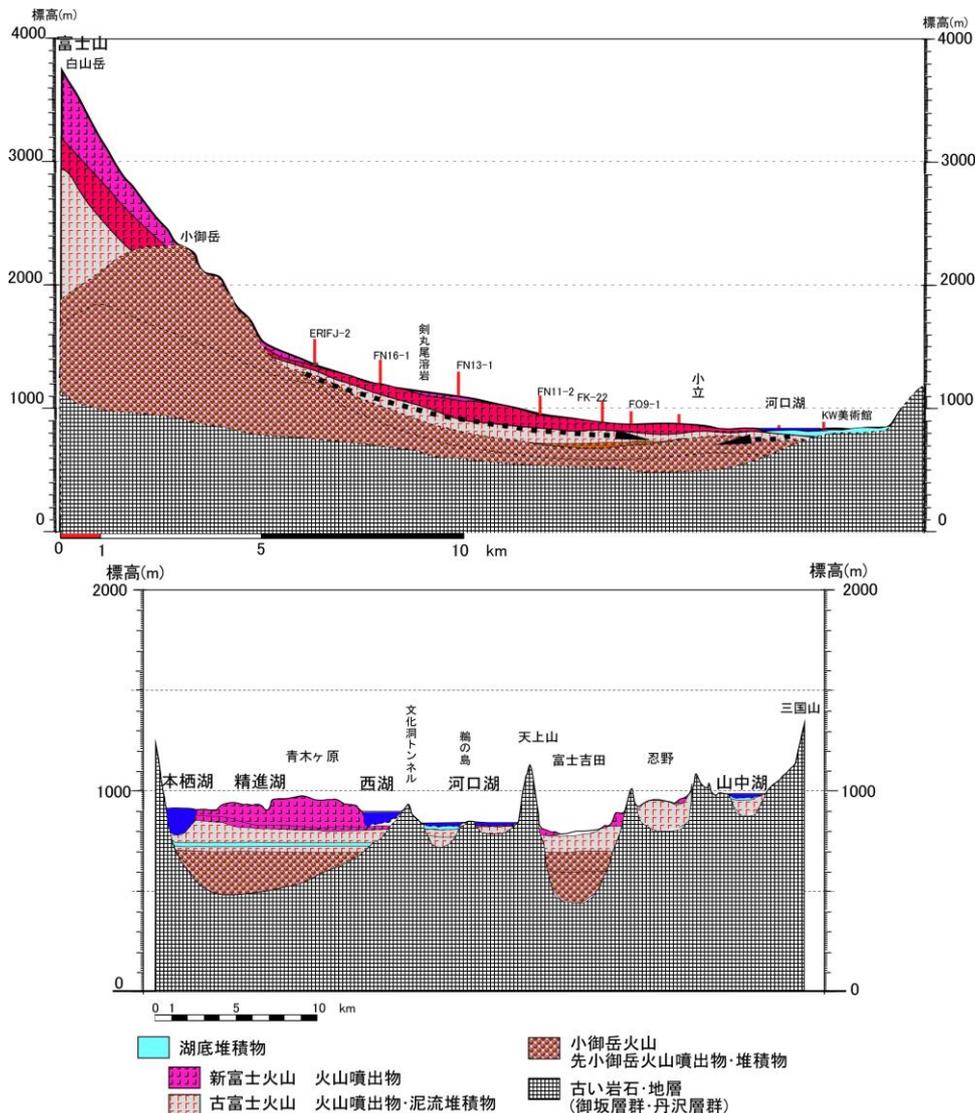


図 II-6 富士北麓・富士五湖地域の地下水の流れ

II-2 溶岩流・火砕流シミュレーション

防災教育上、分かりやすい情報の提供・表示方法を検討するために、(独)防災科学技術研究所(以下「防災科研」という)と共同研究を行った。その中で富士山の噴火により、溶岩流や火砕流が発生した場合を想定し、シミュレーションを行った。

仮想溶岩流シミュレーションコードは、防災科研が中心となり開発した LavaSIM を用い、火砕流のシミュレーションコードは、同研究所で開発したコードを用いた。また、各シミュレーションの計算には、同所のスーパーコンピュータ SGI Origin 3800 と SGI Altix4700 により計算を実施した。

シミュレーションのパラメータなどの実施条件等は次項以降で説明する。溶岩の流出地点は、内閣府「富士山ハザードマップ検討委員会報告書(平成16年6月)」(以下「報告書」という)による想定噴火口の範囲から、山腹の谷筋地形を鑑みて、富士山北西方面と北東方面へ流下すると予想される地点を選定した。

噴火規模については、報告書での定義である大規模噴火を仮定して実施した。また、火砕流の噴火のケースとして、北西・北東山腹から流出するケースを実施した。

II-2-1 溶岩流シミュレーション

1) LavaSIM の概要

LavaSIM の特徴は、3次元対流・拡がり凝固連成・物性の温度依存性の3点である。溶岩流の停止条件として、

従来はフィールドによる実測値をベースとした厚さを先見的に与えていたが、物理的にマグマの温度、組成、結晶状態などに依存した物性値や、傾斜角の効果を検討した結果としての最小拡がり厚さといった、より物理的に正確な理論モデルを作成・導入して高度化を行ったコードである(図 II-7)。

2) シミュレーション対象領域・計算条件

シミュレーションは、当研究所が所在する富士吉田市を含む富士山北麓へ流下する場合について実施し、到達範囲、時間、温度等について定量的な情報を与えるために行うものである。

II-2-2 富士山北東部溶岩流シミュレーション

1) 北東部の仮想火口の選定と噴火規模

溶岩の流出地点は、報告書による想定噴火口の範囲から、山腹の谷筋地形を鑑みて、富士山北東方面へ流下すると予想される地点を選定した。また、この場合、過去の溶岩流流出実績から、剣丸尾第1溶岩流、檜丸尾第2溶岩流と同等の噴出地点を念頭に検討した。

以上の視点を踏まえ、3つのケースについて計算を行った。大規模噴火の例として、山頂北側付近を仮想噴出口とするケース(FYN)を報告書での定義である大規模噴火を仮定して実施した。

また、中規模噴火のケースとして、北東山麓の2ヶ所からそれぞれ流出するケース(FYS1、FYSH)を実施した(図 II-8)。これらのシミュレーション条件を表 II-1 に、溶岩や地面の物性等については表 II-2 に示す。

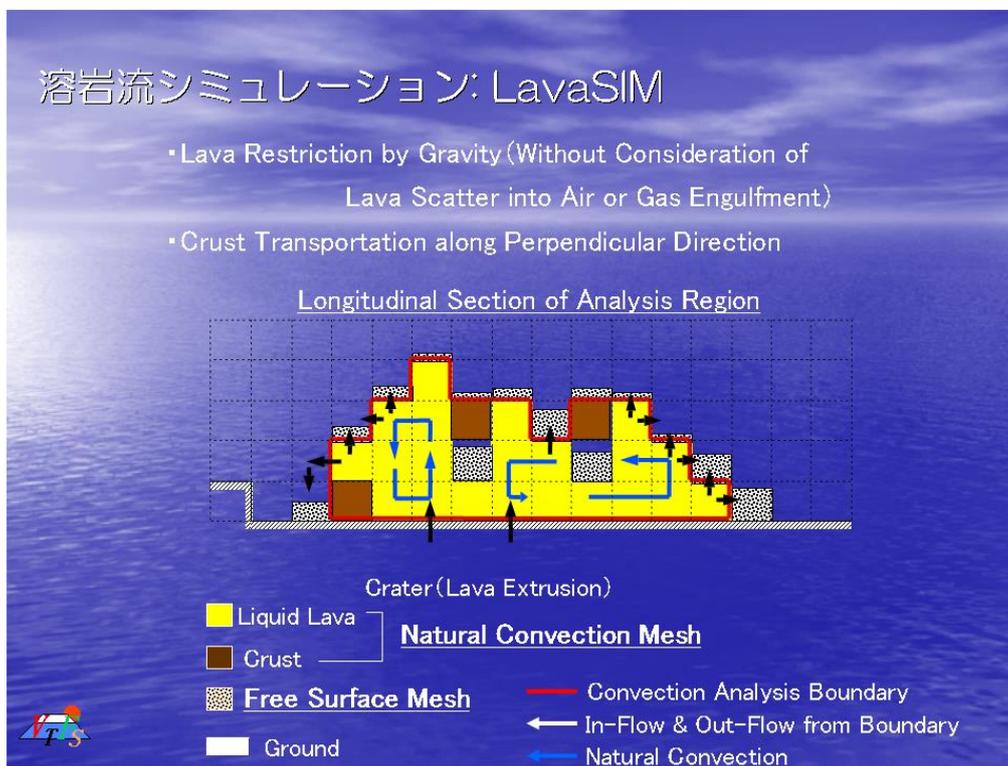


図 II-7 溶岩流シミュレーションコード LavaSIM 概要



図 II-8 対象領域 (Google Earth より)

表 II-1 シミュレーション条件

解析ケース名	FYN	FYS1	FYSH
噴火規模	大	中	中
解析領域範囲 (km)	20x20	10x14	10x14
水平方向解析メッシュサイズ (m)	100x100	50x50	50x50
メッシュ高さ (m)	1	1	1
解析メッシュ数(仮想メッシュ含む) (東西 x 南北 x 高さ)	202x202x22	202x282x22	202x282x22
火口位置 (緯度・経度)	35.367708N 138.729063E	35.399063N 138.755660E	35.394921N 138.773808E
噴出率	5.0e5 kg/s	2.5e5 kg/s	2.5e5 kg/s
総噴出量	7 億 m ³	2 億 m ³	2 億 m ³
溶岩密度	2.5e3 kg/m ³		
備考 (対応する過去の溶岩流)	剣丸尾第1相当		檜丸尾第2相当

表 II-2 溶岩の物性パラメータ設定値

溶岩比エンタルピー初期値		2.588831x10 ⁶ J/kg (1100 °C)		
流動停止条件		降伏応力評価による流動最小厚さ・凝固		
流動限界固相率		1.0		
渦粘性効果係数		1.0		
熱伝導度	温度の関数 (後藤の式)	比熱	相状態に依存	
溶岩の組成 (wt %)	SiO ₂	54.41	粘性係数	組成・温度の関数 (後藤の式)
	TiO ₂	1.26		
	Al ₂ O ₃	14.54		
	Fe ₂ O ₃	0		
	FeO	13.84		
	MgO	4.15		
	CaO	9.09		
	Na ₂ O	1.94		
	K ₂ O	0.46		
融点	1100 °C	凝固点	1000 °C	
凝固潜熱	1.256x10 ⁶ J/kg	密度	2.5x10 ³ kg/m ³	
地表面熱伝導度	1.56 W/(mK)	比熱	8.4x10 ² kg/m ³	
地表面密度	2.5x10 ³ kg/m ³			

2) 地形データの作成方法

地形データは、国土地理院発行電子数値地図 (50 m) を基本に使用した。計算対象領域が広範にわたるため、計算対象に応じて 50 m メッシュもしくは 100 m メッシュを利用している。100 m メッシュデータについては、50 m メッシュデータから間引くことにより求めたものである。地形データ作成の手順については、以下のとおりである。

3) MEM から xyz への変換

国土地理院発行の数値地図より、該当箇所の MEM ファイルを選択し、下記手順により xyz データへ変換する。

```
# ls *MEM > list
# ファイル list 内の .MEM を.TXT に置き換え
# awk '{print "mem2xyz.exe",$1,$1".xyz"}' list > memxyz.sh
# memxyz.sh を実行
```

4) xyz ファイルから LavaSIM 入力ファイルの作成

パブリックドメインソフトである R (<http://www.R-project.org>) を使用し、LavaSIM の計算のために必要とする入力データ (dem.dat, aspect.dat, slope.dat) を加工する。

```
# ls *.xyz > listxyz.dat
# awk '{print "head -40000", $1, ">", $1".dat"}' listxyz.dat > headmake.sh
# headmake.sh 内で xyz.dat を dat に置き換え
```

headmake.sh を実行

R を起動

→ demconvall.R 実行 → dem50.dat, theta50.dat, phi50.dat 生成

→ demconvll.R 実行 → lat50.dat, lon50.dat 生成

→ cutregion.R 実行 (対象領域の切り出し) → demFY.dat, slopeFY.dat, aspectFY.dat の生成

これらに用いたスクリプトファイルのデジタルデータをメディアに収録する。

5) 計算結果および可視化作業

LavaSIM による計算結果は、下記物理量を含むファイルとして出力される。

表 II-3 LavaSIM による計算結果出力ファイル

1	厚さ分布
2	温度分布
3	流速分布
4	水平断面固液分布
5	3次元固液分布
6	地形鳥瞰図と3次元拡がり分布

これらの計算結果の可視化を、防災科研スーパーコンピュータ Origin3800 で使用可能な可視化ソフトウェア

AVS EXPRESS を用いて実施している。

6) 考察

今回の富士山北東部溶岩流シミュレーションにおいて実施した3ケースはいずれも富士吉田市域へと到達しており、被害の発生が想定される。ケース FYN (図 II-9-a) は大規模ではあるものの、到達は市域北部に120時間後程度と想定される(図 II-9-b)。北東山麓から噴出したケースである FYS1 (図 II-10)、FYSH (図 II-11) では約36時間後程度には市の中心部へ差し掛かる。これら計算結果は、表 II-1 のシミュレーション条件を仮定したものであるため、規模が変わった場合、異なる到達時間、温度等となると思われるが、流下可能性域についてはおおよそ等価と考えられる。

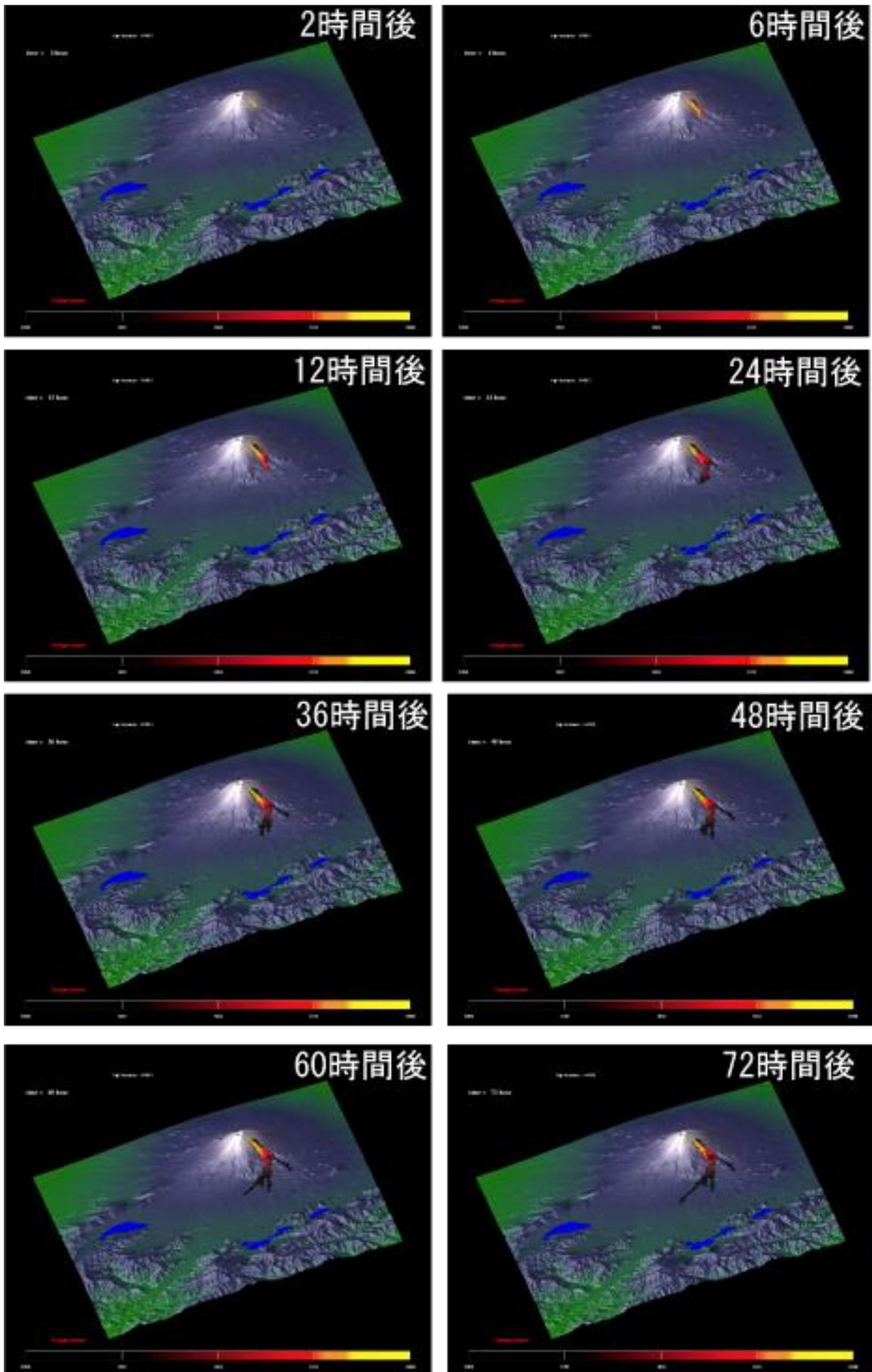


図 II-9-a シミュレーション ケース FYN

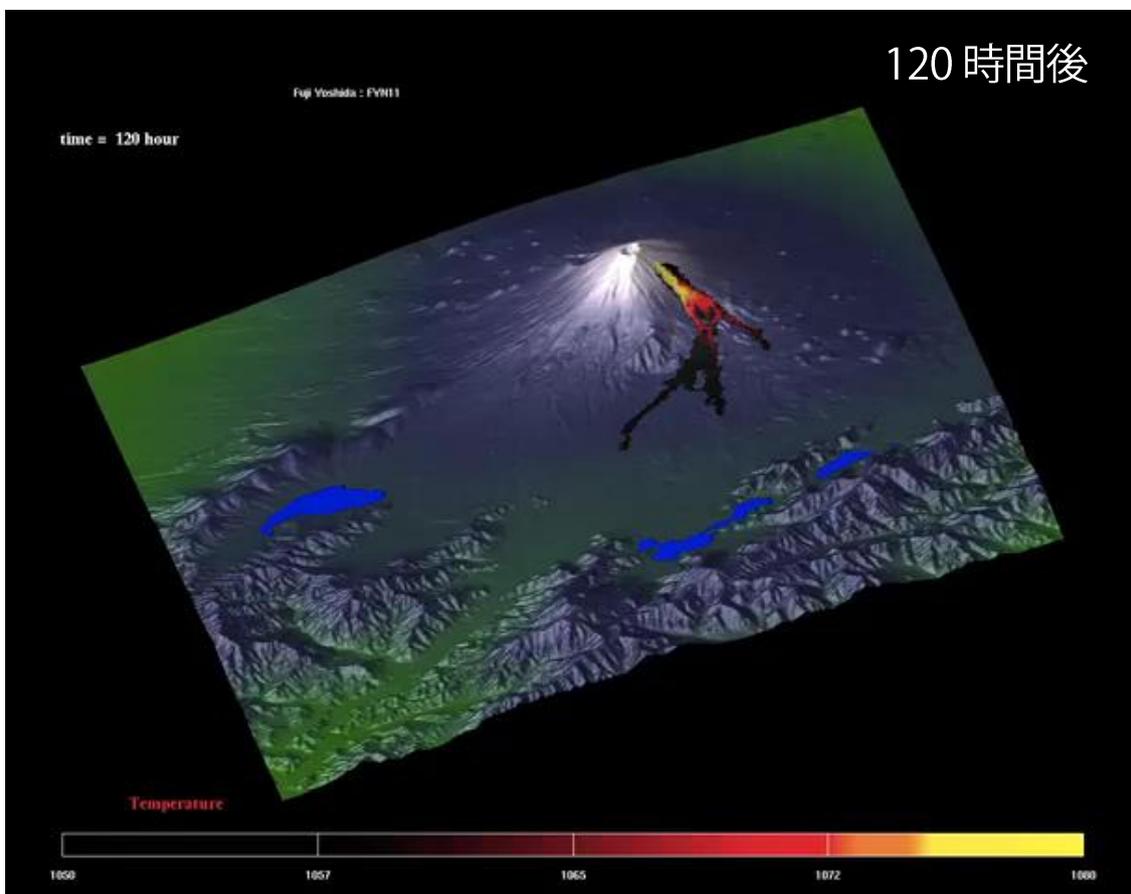


図 II-9-b シミュレーション ケース FYN

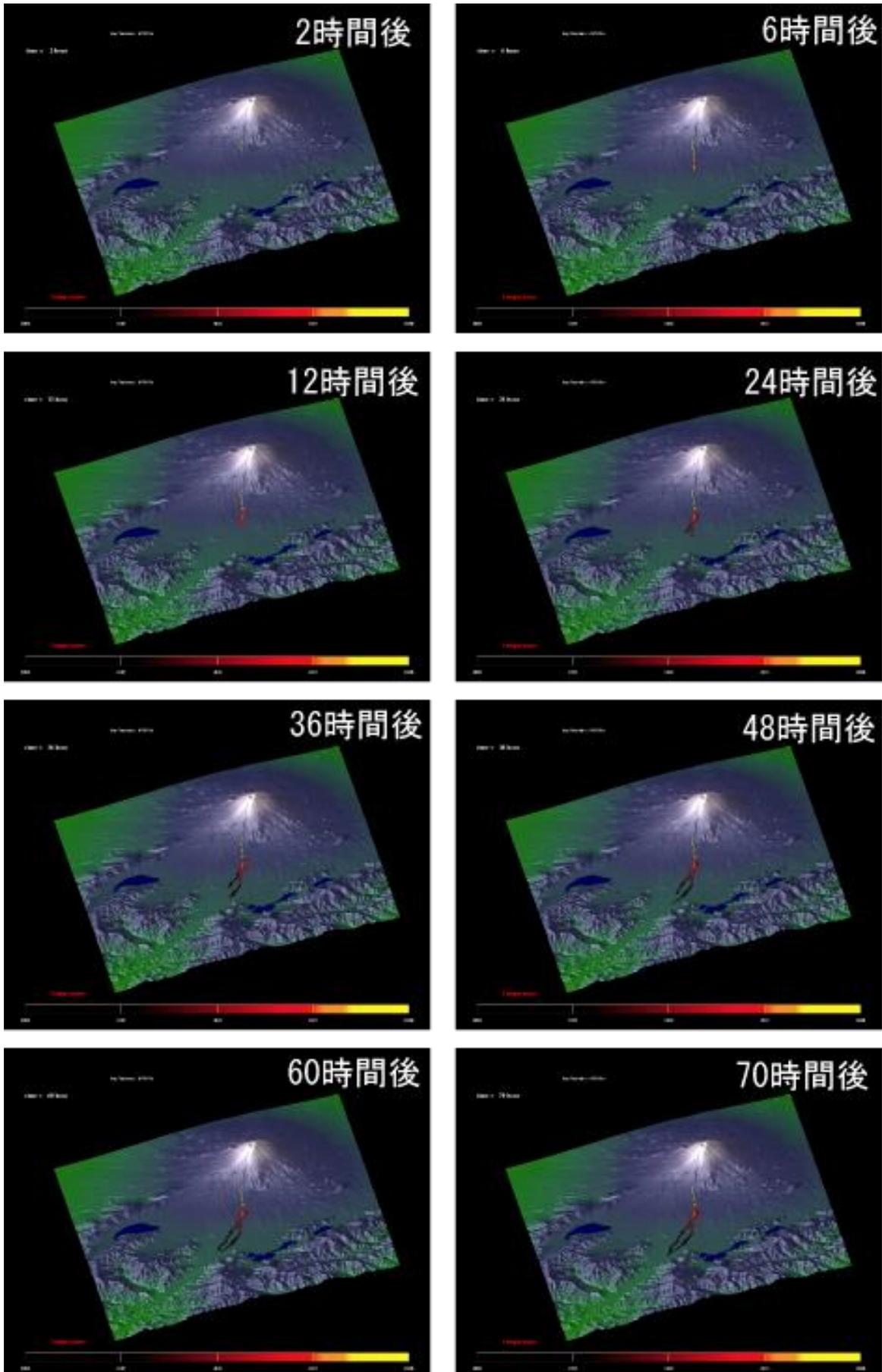


図 II-10 シミュレーション ケース FYS1

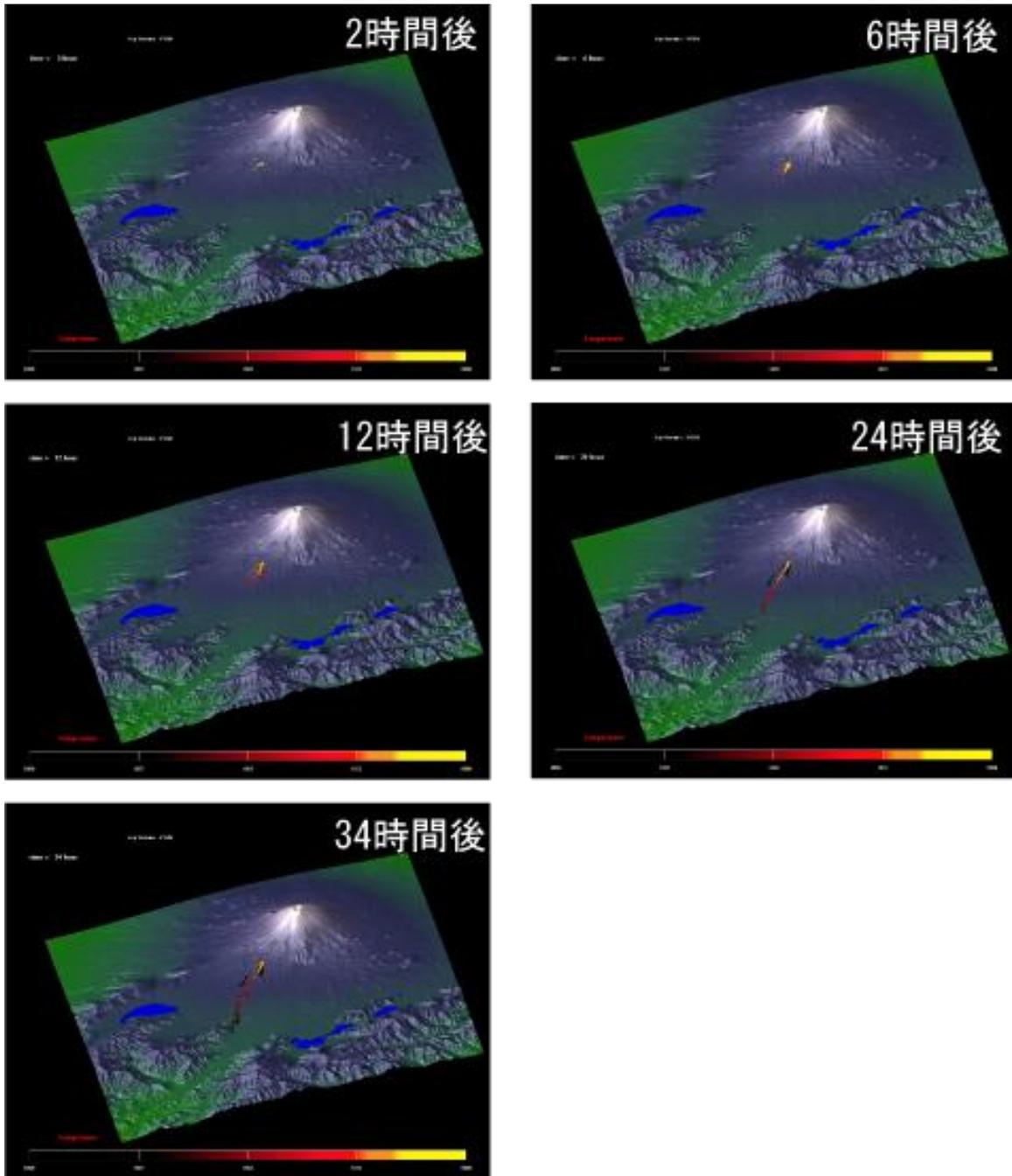


図 II-11 シミュレーション ケース FYSH

II-2-3 富士山北西部溶岩流シミュレーション

1) 北西麓の仮想火口の選定と噴火規模

青木ヶ原溶岩流などが分布する富士山北西部方面へ流下する場合について実施し、到達範囲、時間、温度等について定量的な情報を与えるために行うものである。

溶岩の流出地点は、報告書による想定噴火口の範囲から、山腹の谷筋地形を鑑みて、富士山北西方面へ流下すると予想される地点を選定した(図 II-12)。また、過去の溶岩流流出実績を鑑み、片蓋山南側、長尾山火口、大室山南側の3カ所を噴出地点とする計算を行った。

これらのシミュレーション条件を表 II-4 に、溶岩や地面の物性等については表 II-5 に示す。

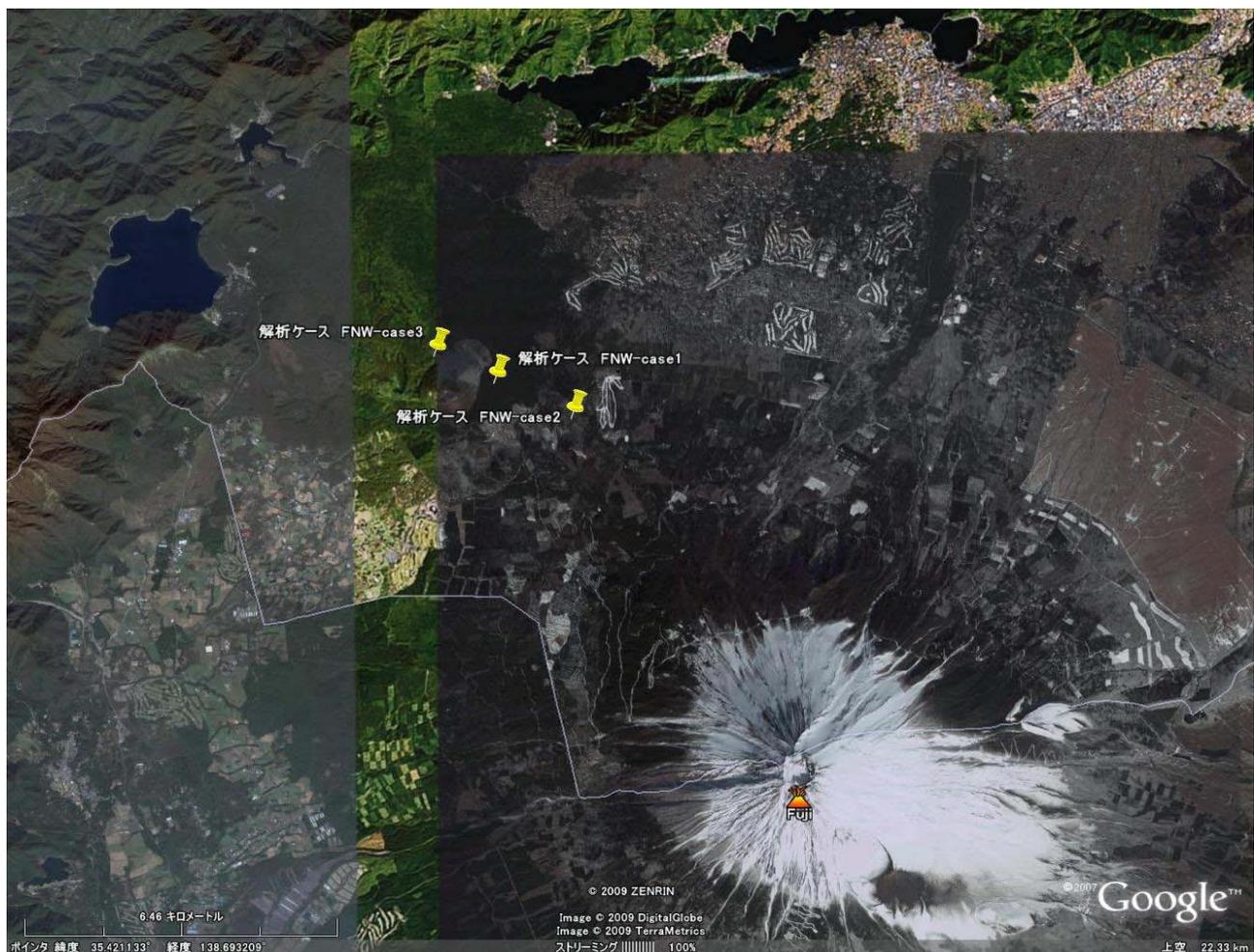


図 II-12 対象領域 (Google Earth より)

表 II-4 シミュレーション条件

解析ケース名	FNW-case1	FNW-case2	FNW-case3
解析領域範囲 (km)	10x10	10x10	10x10
水平方向解析メッシュサイズ (m)	50x50	50x50	50x50
メッシュ高さ (m)	1	1	1
解析メッシュ数(仮想メッシュ含む) (東西 x 南北 x 高さ)	202x202x18	202x202x18	202x202x18
火口位置 (緯度・経度)	35.41646N 138.66219E (片蓋山南側)	35.43354N 138.67969E (長尾山火口)	35.42104N 138.64844E (大室山南側)
噴出率	1.13e5 kg/s	1.13e5 kg/s	1.13e5 kg/s
総噴出量	2.34 億 m ³	2.34 億 m ³	2.34 億 m ³
溶岩密度	2.5e3kg/m ³		

表 II-5 溶岩の物性パラメータ設定値

溶岩比エンタルピー初期値		1.47x10 ⁶ J/kg (1200 °C)		
流動停止条件		降伏応力評価による流動最小厚さ・凝固		
流動限界固相率		0.5		
渦粘性効果係数		1.0		
熱伝導度	温度の関数 (後藤の式)	比熱	相状態に依存	
溶岩の組成 (wt %)	SiO ₂	51.10	粘性係数	組成・温度の関数 (後藤の式)
	TiO ₂	1.24		
	Al ₂ O ₃	14.57		
	Fe ₂ O ₃	3.38		
	FeO	14.10		
	MgO	4.07		
	CaO	9.02		
	Na ₂ O	2.05		
	K ₂ O	0.47		
融点	1100 °C	凝固点	1000 °C	
凝固潜熱	1.256x10 ⁶ J/kg	密度	2.5x10 ³ kg/m ³	
地表面熱伝導度	1.56 W/(mK)	比熱	8.4x10 ² kg/m ³	
地表面密度	2.5x10 ³ kg/m ³			

2) 計算結果および可視化作業

LavaSIMによる計算結果は、表 II-3 と同様な物理量を含むファイルとして出力される。

これらの計算結果の可視化を、防災科研スーパーコンピュータ SGI Altix4700 で使用可能な可視化ソフトウェア AVS EXPRESS を用いて実施している。なお、地形データの作成は前項で述べたとおりである。

3) 考察

今回の富士山北西部溶岩流シミュレーションにおいて実施した3ケースはいずれも中規模噴火レベルであり、最終到達範囲が広範囲にわたるよりもむしろそれぞれの谷筋に沿って流下する結果が得られている。FNW-case1 (噴火口：片蓋山南側；図 II-13) では、ほぼ真西方向へ流出を開始するが、18時間後ごろより南東の富士ヶ嶺方向へ流路を変え、朝霧高原付近に約36時間で到達する。FNW-case2 (噴火口：長尾山火口；図 II-14) では、長尾山がバリアーになり、最初に東側へ流下するが、24時間後あたりから東側への流下が鈍り、西側への流下を開始する。西側への溶岩流は、48時間後ごろに割石峠南方付近へ到達する。FNW-case3 (噴火口：大室山南側；図 II-15) では、最初の段階で複数の流路への分岐が見られるが、最終的に本栖湖東岸へ36時間後ごろに到達する。この後、溶岩流の先端では冷却が顕著になり、進行が停止するとともに、上流側の流路が拡大し、途中からのブランチの生成が見られる。

このように、噴火口の場所による流下域の相違が顕著に見られる結果となった。

4) 引用・参考文献

Hidaka, M., Goto, A., Umino, S., Fujita, E. (2004) VTFS project: Development of the lava flow simulation code LavaSIM with a model for three-dimensional convection, spreading, and solidification, G-Cubed, doi:10.1029/2004GC000869.

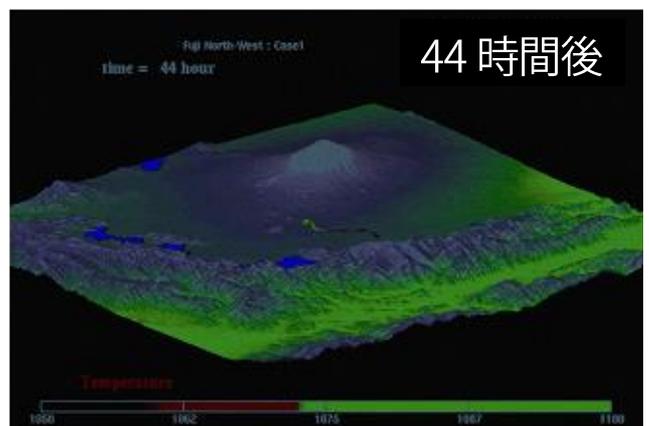
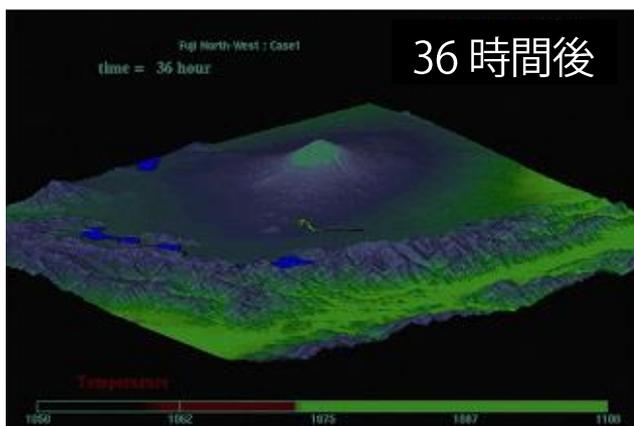
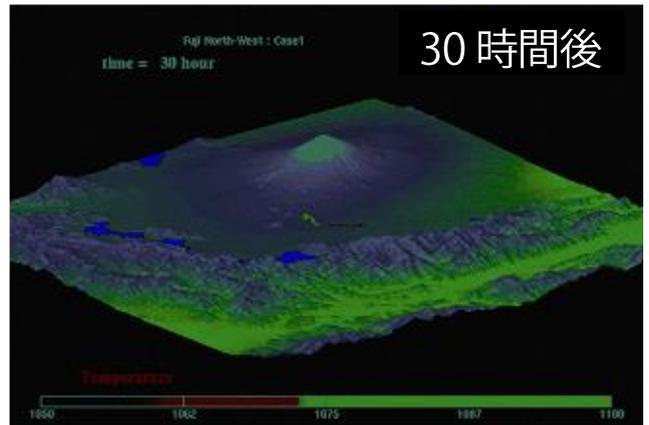
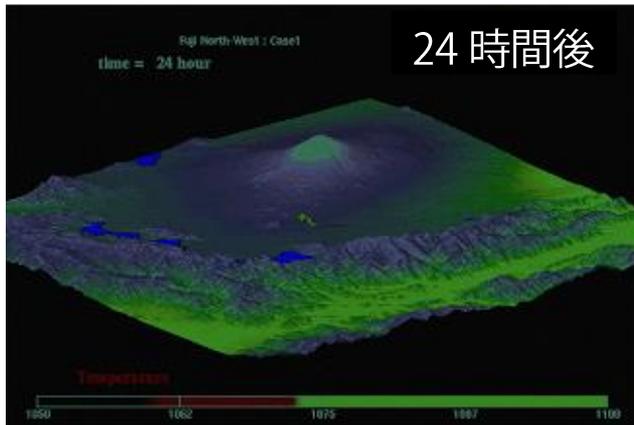
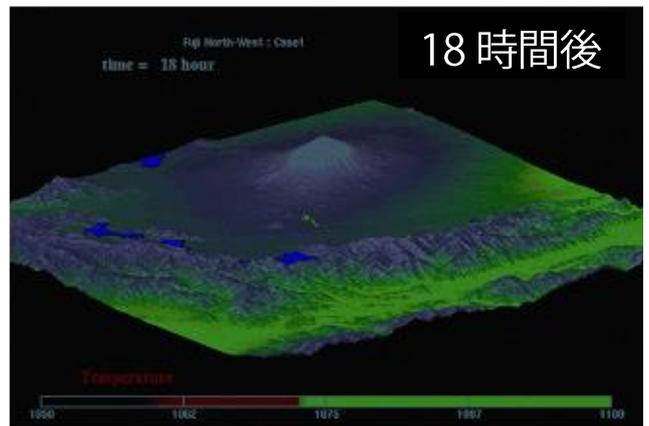
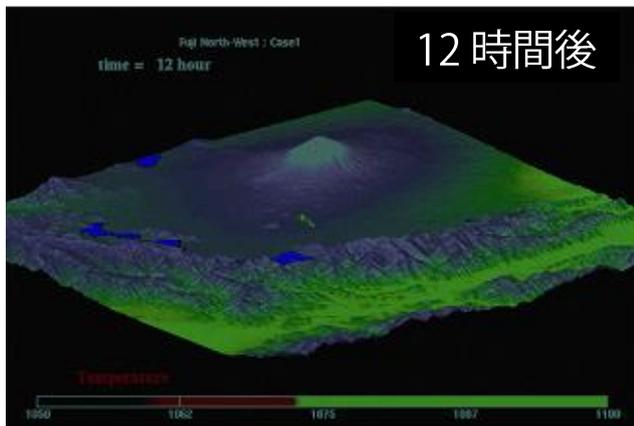
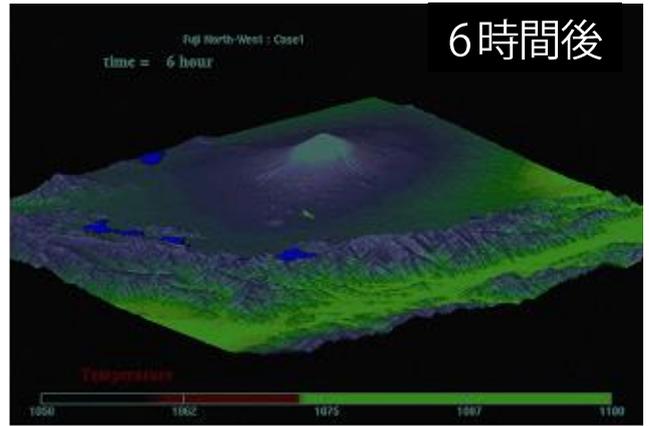
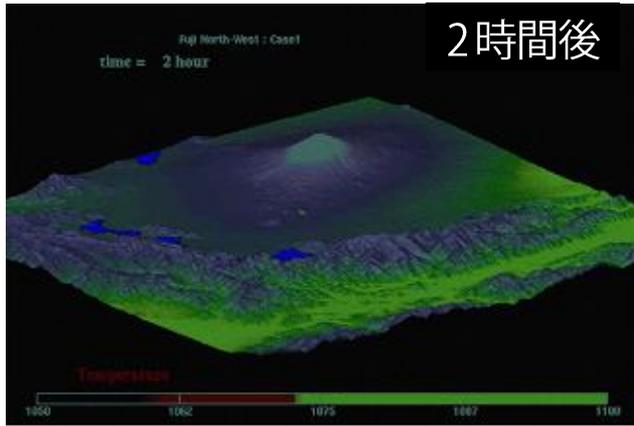


図 II-13-a シミュレーション FNW-case1 (立体図)

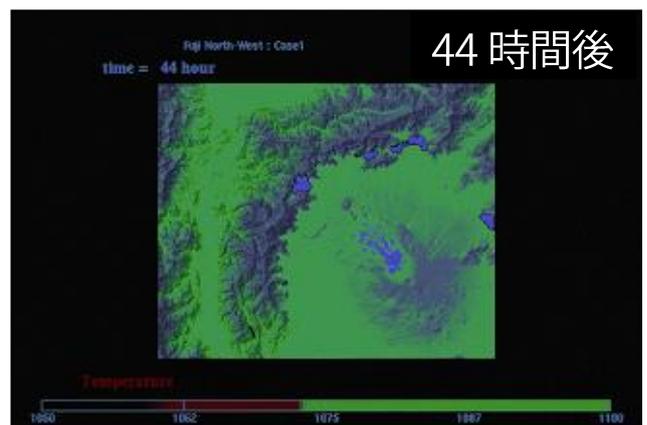
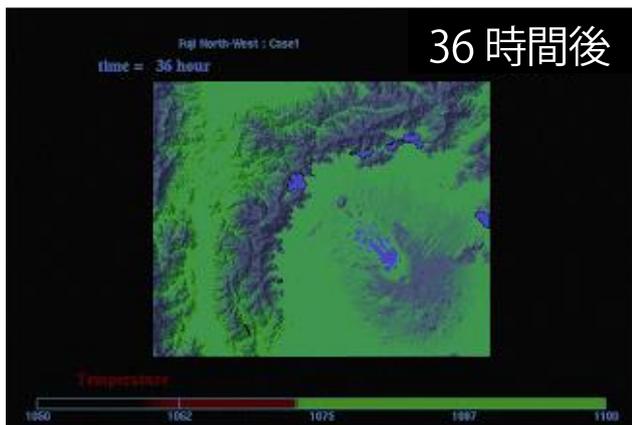
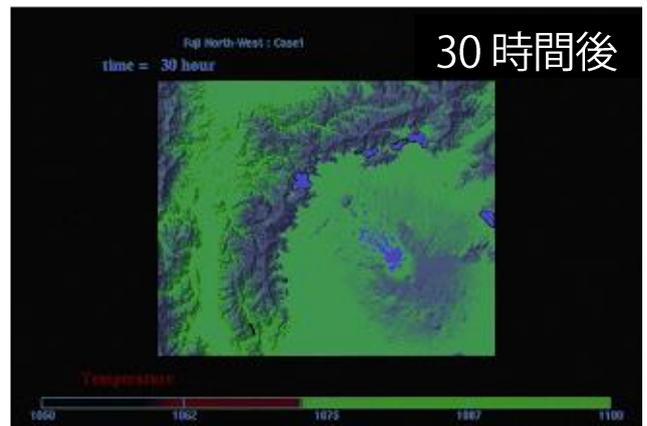
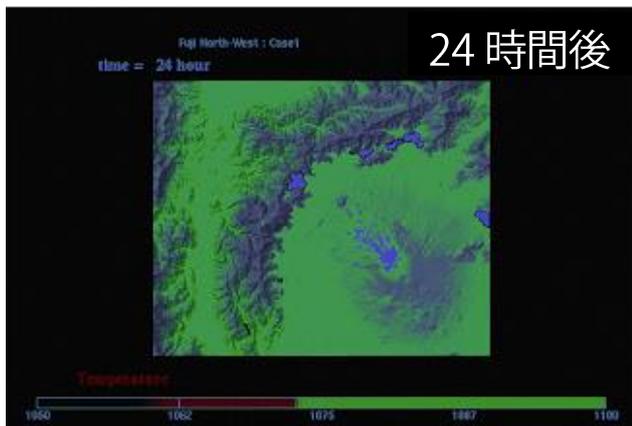
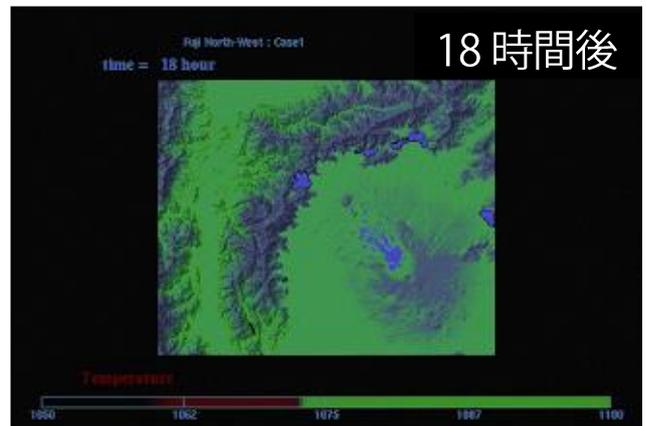
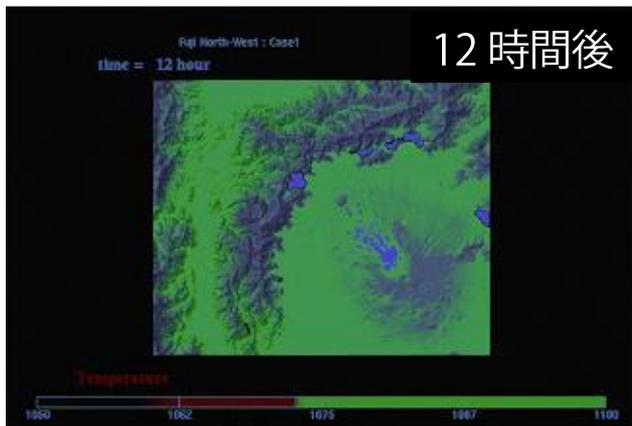
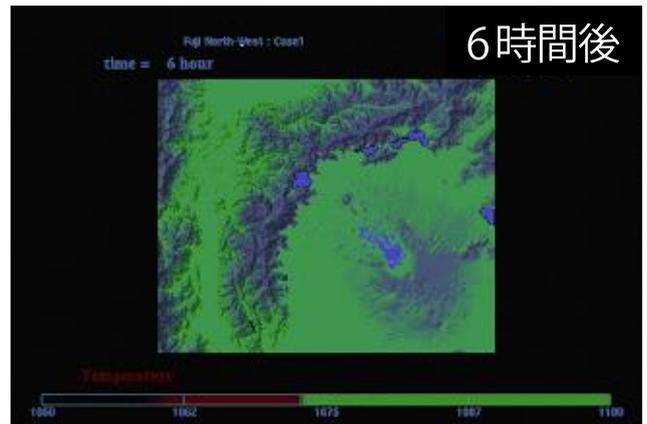
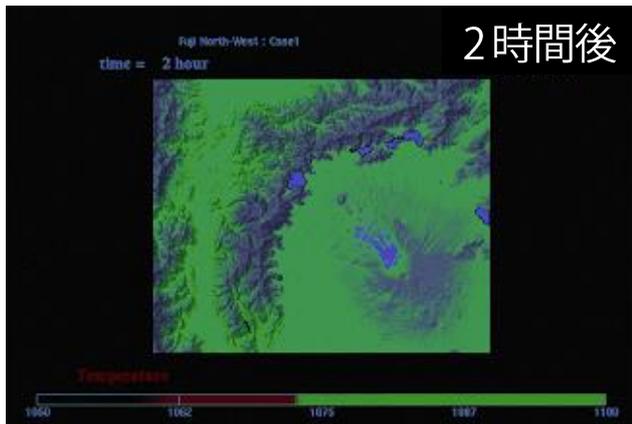


図 II-13-b シミュレーション FNW-case1 (平面図)

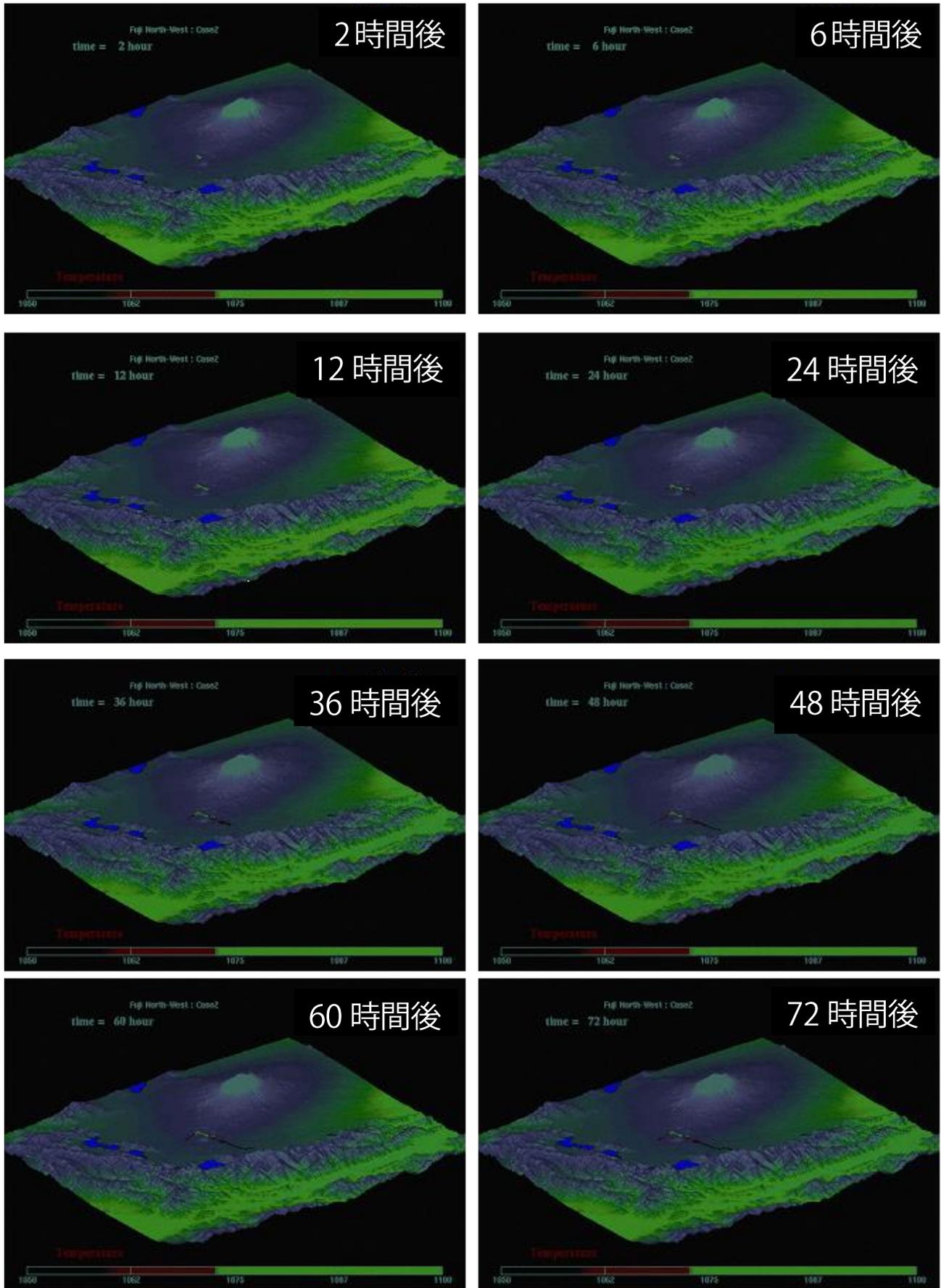


図 II-14-a シミュレーション FNW-case2 (立体図)

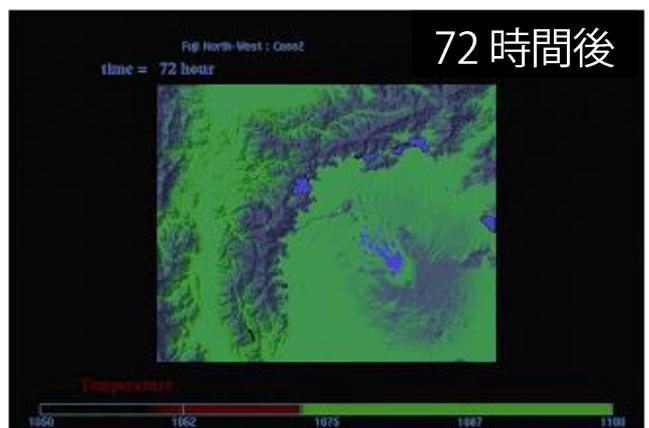
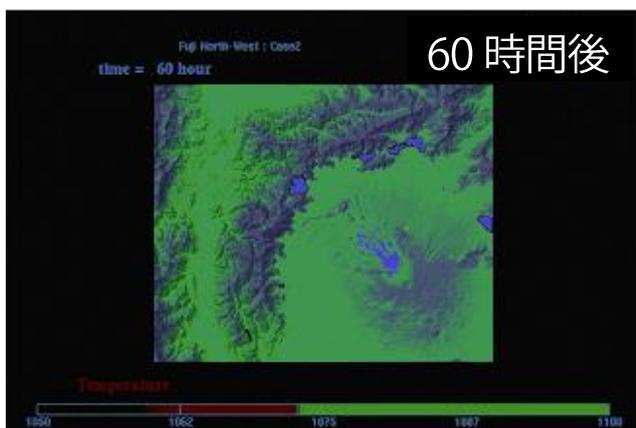
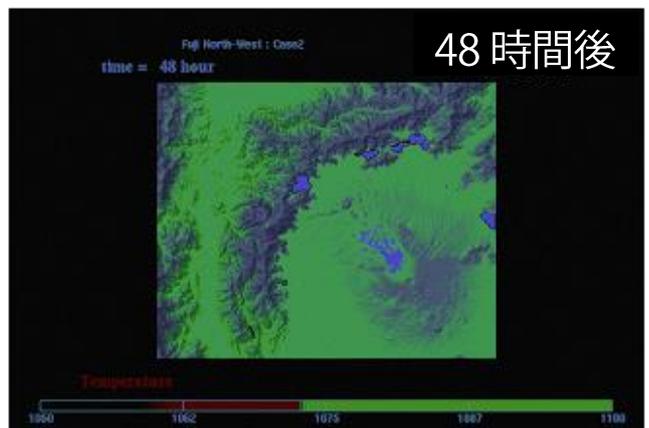
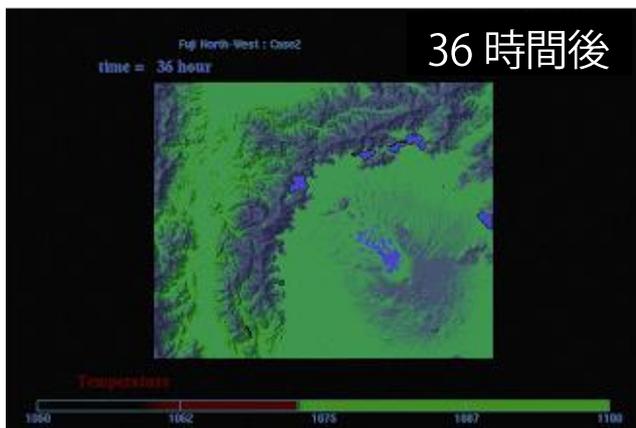
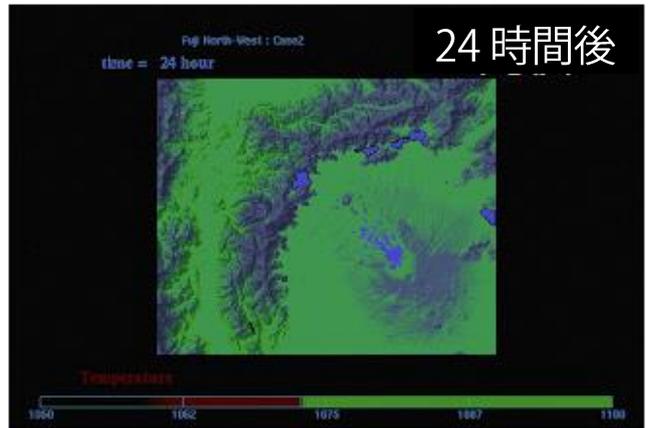
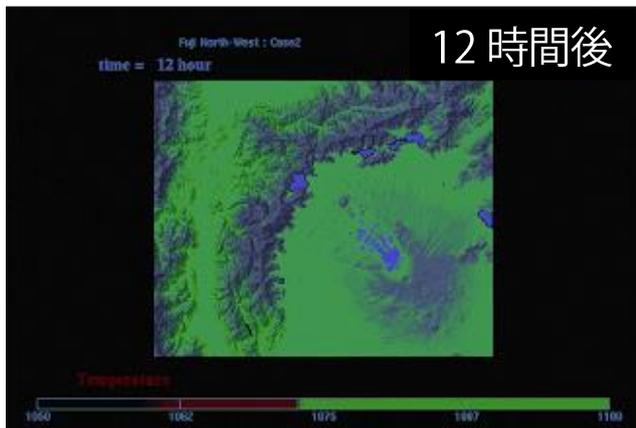
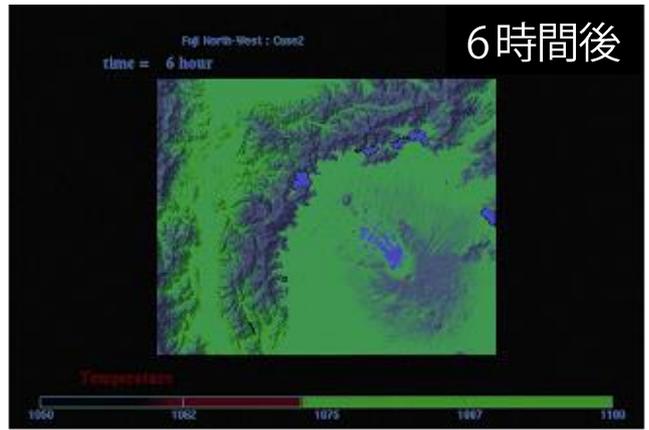
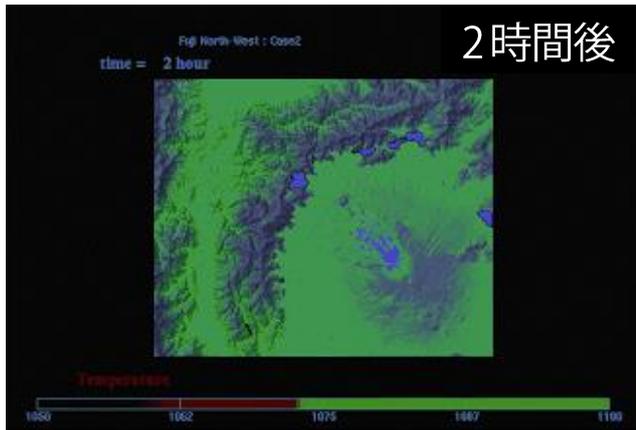


図 II-14-b シミュレーション FNW-case2 (平面図)

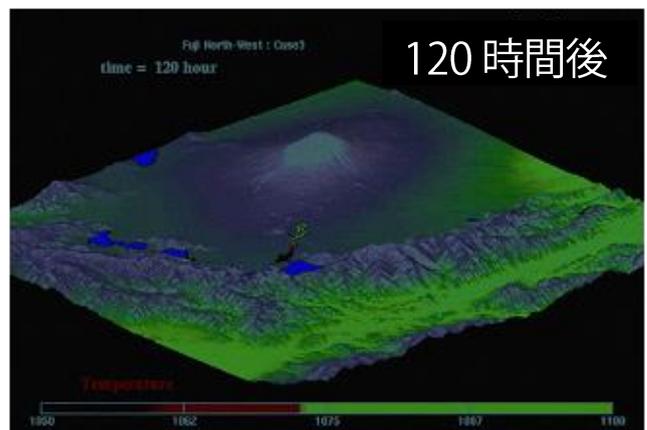
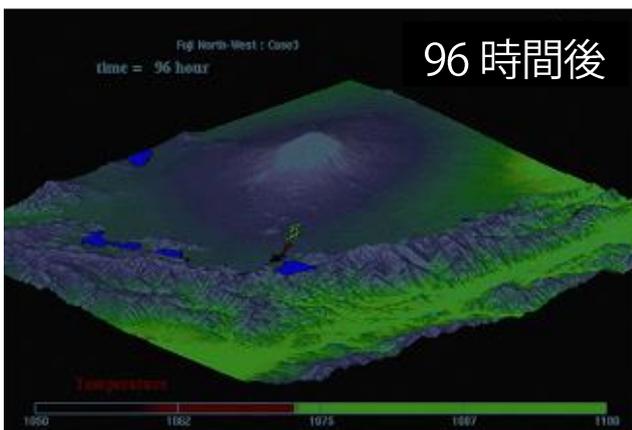
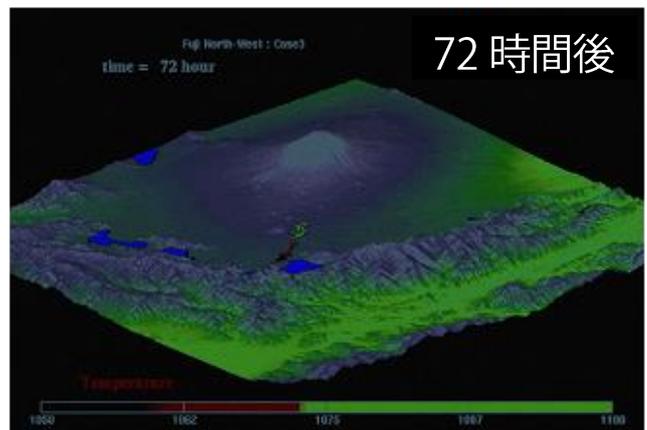
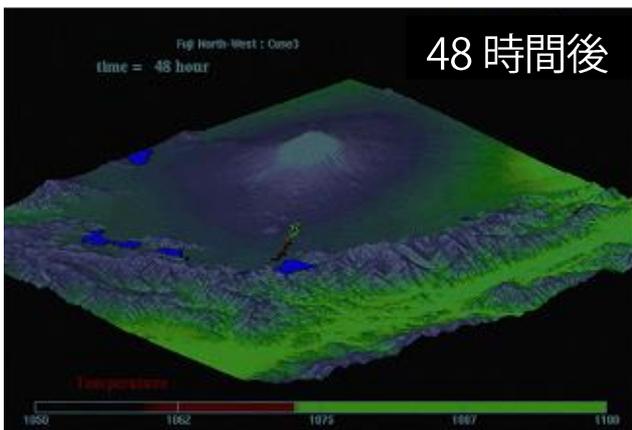
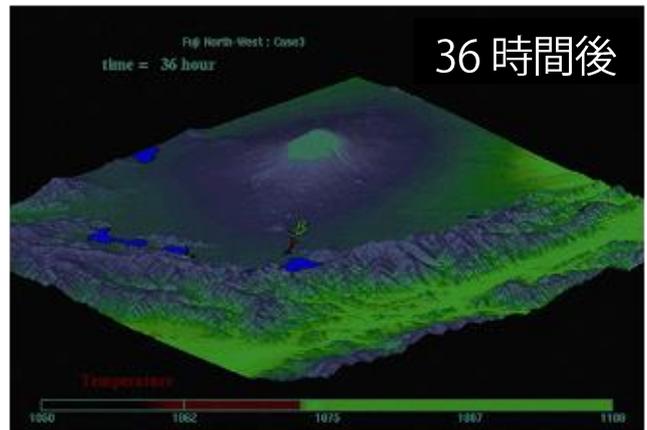
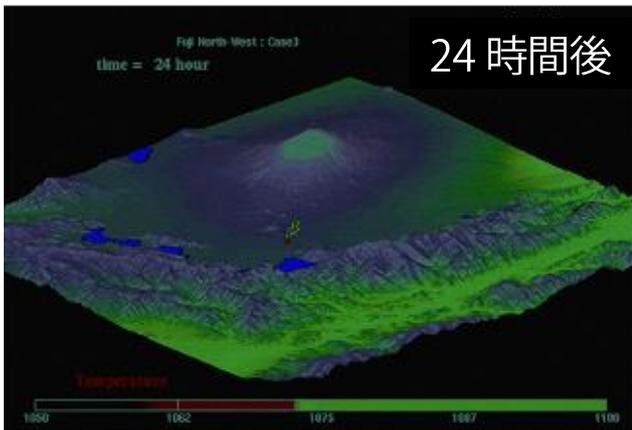
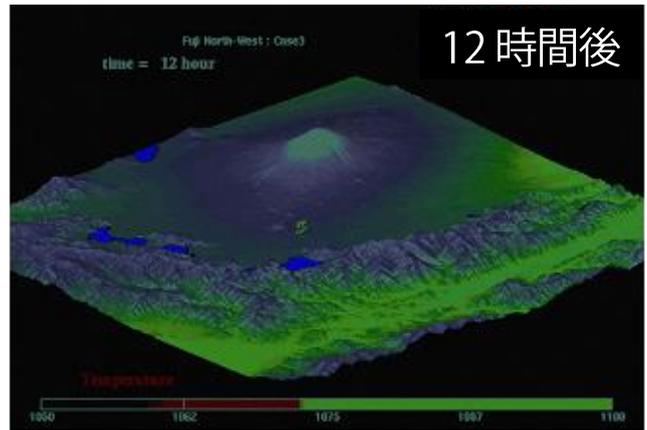
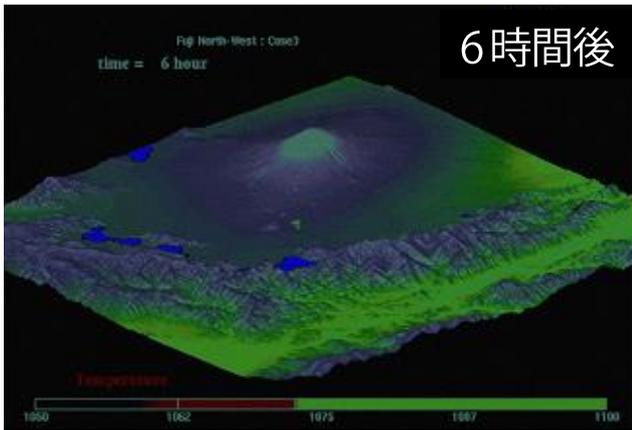


図 II-15-a シミュレーション FNW-caes3 (立体図)

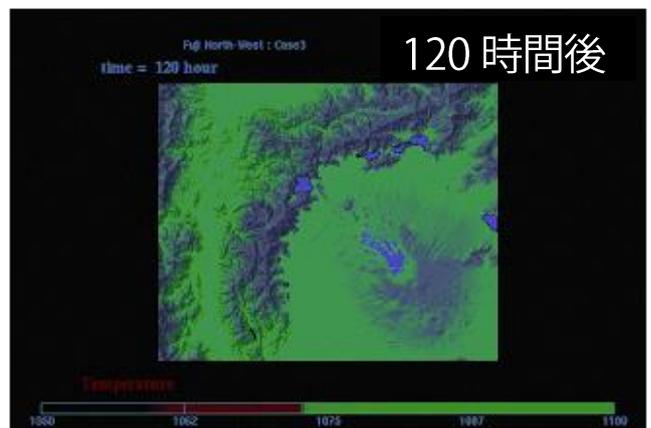
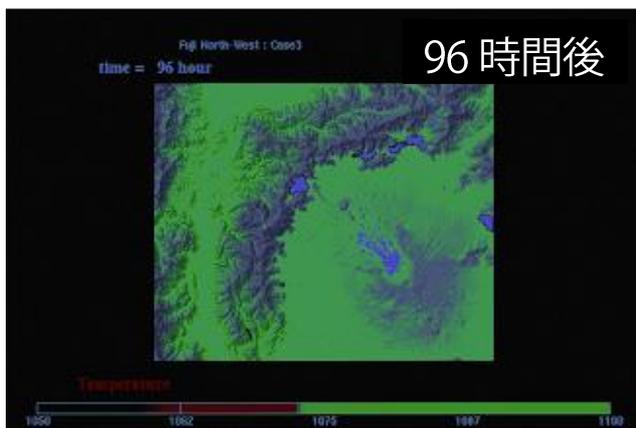
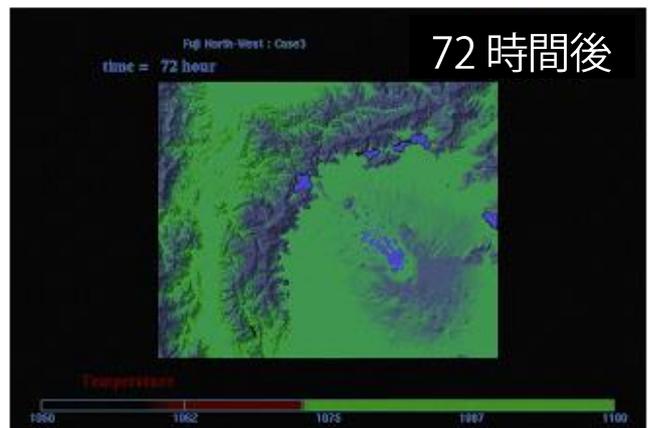
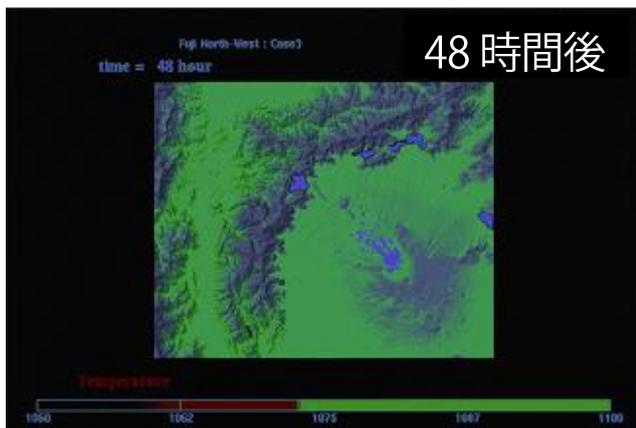
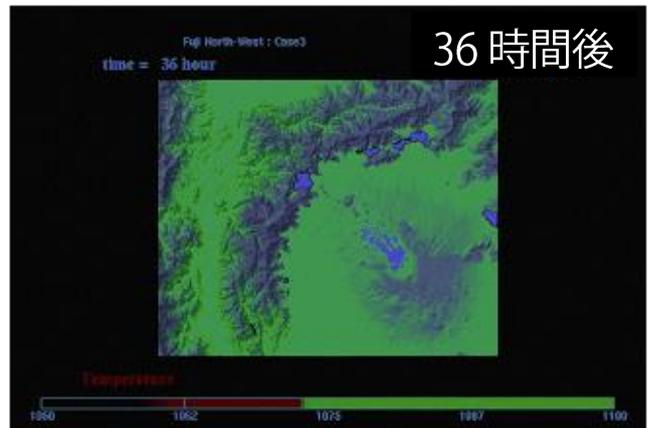
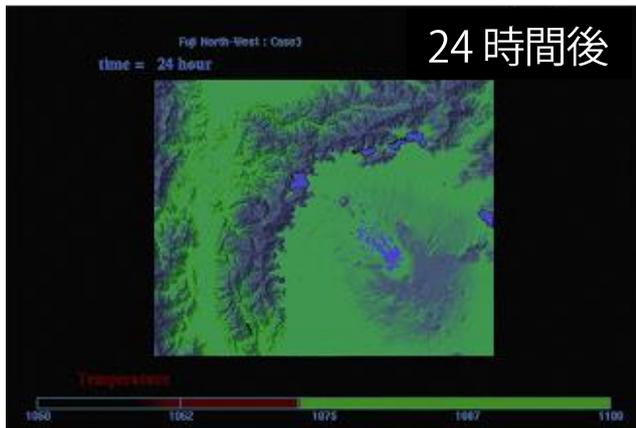
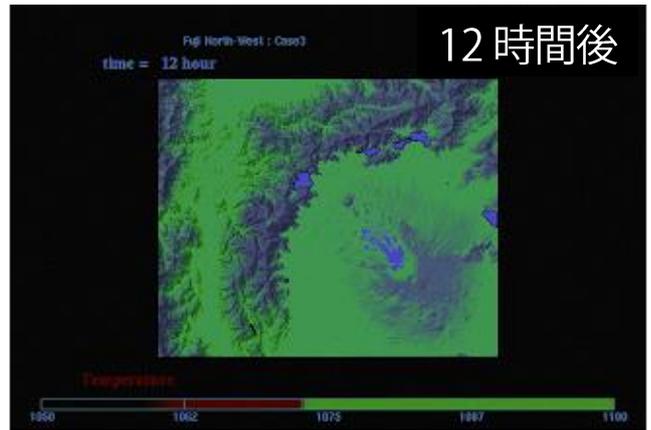
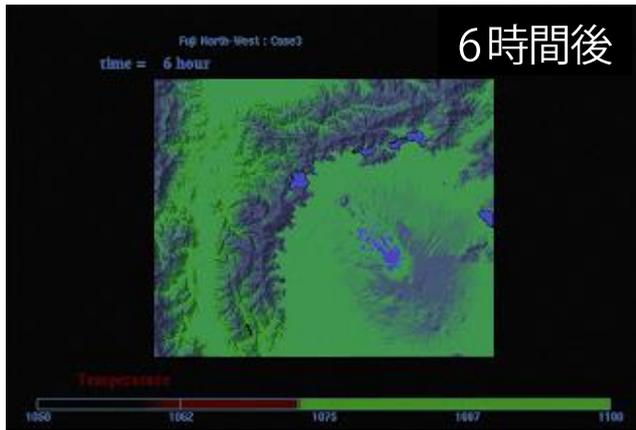


図 II-15-b シミュレーション FNW-caes3 (平面図)

II-2-4 富士山北東部火砕流シミュレーション

1) 目的

富士山（特に過去1万年の火山活動で形成された新富士と呼ばれる部分）は、玄武岩を主な構成要素とした成層火山であり、従来、山頂や山腹からの溶岩流や降下火砕物の噴出で特徴付けられる火山活動が中心であったと考えられてきた（例えば津屋、1971；宮地、1988）。そのため、富士山においては、火砕流の発生は比較的少ないとみなされてきた。

しかし、町田（1977）において3000年前から2500年ほど前に火砕流が発生していた可能性があることが指摘され「大沢火砕流」と名づけられているほか、上杉・他（1987）や小山（1998）などにおいても、富士山の北東側斜面にも火砕流堆積物が存在することが指摘されている。このように、富士山でも、過去の火山活動において火砕流が発生しており、今後も発生する可能性が否定できない。

火砕流は、火山噴火で発生する火砕物粒子（マグマが固化した岩片）が火山ガスと大気が混合したガス成分中に懸濁する固気混相流であり、地面に沿って高温のまま高速で流れ広がる特徴を持っている。長崎県の雲仙普賢岳で1991年から1995年にかけて9000回以上も発生し、日本国内で広く知られるようになった（Nakada and Fujii, 1993）。ポンペイ遺跡で有名なイタリア・ベスビオ火山の西暦79年の噴火や、約3万人の犠牲者を出したマルチニーク島（カリブ海にあるフランス領の火山島）でのモンブレール山の1902年の噴火でも火砕流が主な災害要因となっている（Sigurdsson et al., 1985；Anderson and Flett, 1903）。

このように火砕流は大規模災害に直結する非常に危険な現象である。したがって、火山噴火に伴う火山周辺地域住民の人命や財産の被害を軽減するための効果的な防災対策を実施するためには、火砕流の発生実態を事前に把握することが極めて重要となる。このような観点から、2000年・2001年に富士山の地下で深部低周波地震が発生したのを契機に設置された富士山ハザードマップ検討委員会でも、富士山の火山防災マップで対象とすべき現象の一つとして火砕流が取り上げられた。そして、過去の活動実績について、あらためて現地調査を実施した結果、新たな知見が加えられ、火砕流の発生は、それほど例外的な現象とは言えないとみなされるような状況となった（瀧・他、2003；田島・他、2007）。

本章では、これらの最新の知見を踏まえた上で、富士山で想定される火砕流のうち北東斜面方向へ流出する事象について、その到達範囲及び被害を想定するためのシミュレーションを実施する。それとともに、当該事象への短期的、中期的な知見を検討する資料を整理作成する。また、シミュレーション結果について可視化作業を行い、広報・啓発等の活動に資するコンテンツを作成すること

を目的とする。

2) シミュレーションコードの説明

本シミュレーションでは、火砕サージ部分の運動を数値計算によって表現することを試みる。火砕サージは流動性が高く大規模災害を引き起こす原因となることが多いため、防災的な観点から考えると、火砕流本体部分のダイナミクスを理解するよりも、むしろ、火砕サージについて、その運動を的確に予測できるような技術を開発することが重要であると考えられるからである。火砕サージは、火砕流の中でも火山灰粒子濃度が希薄な部分であり、火山灰粒子が周囲のガス成分の激しい乱流運動に巻き上げられてガス成分と一体となった懸濁流体として振る舞うことが知られている。

火砕サージはガス成分の1000倍以上の密度を持つ火山灰粒子を混合させているため、平均密度が周囲の大気よりも大きくなり、その結果、重力流となって地面に沿って流れ広がるという運動学的な特徴が生じる。一方で、火砕サージ中の火山灰粒子は非常に高温であるため、火砕サージ内部に取り込まれた大気は激しく加熱・膨張する。この結果、運動の初期には大気よりも重かった火砕サージ全体が軽くなり、上昇運動を引き起こす。

上のような運動学的な特徴を的確に計算するために、本シミュレーションでは、防災科でこれまで開発してきた火砕サージシミュレーション用の数値モデルを利用した。数値モデルの詳細はIshimine（2004）ならびにIshimine（2005）に記述してある。

本シミュレーションで用いた数値モデルの最も際立った特徴は、火砕サージを構成する高温の懸濁流体を一様な単相流体と仮定して、方程式系を構築している点である。すなわち、火砕サージには、非常に小さい火山灰粒子のみが混合しているとみなし、その粒子の自由落下における終端速度が、周囲の大気の乱流運動で生じる流れの典型的なスピードに比べて十分に小さいと仮定した。また、火山灰粒子と周囲のガス成分は熱的にも平衡状態にあると近似できるとみなし、火山灰粒子と周囲のガス成分の温度差も無視した。

この結果、高温の懸濁流体が、

$$\frac{1}{\rho} = \frac{nRT}{P} + \frac{1-n}{\rho_s} \quad (3-1)$$

という状態方程式で表される単相流体として表現できる。ここで ρ は固気混相流体の平均密度、 n はガス成分の質量分率、 R はガス成分の気体定数、 T は温度、 P は圧力、 ρ_s は火山灰粒子の密度である。右辺第一項は、ガス成分の比体積、第二項は岩片の比体積を表している。したがって、上式は両者の和が固気混相流体の比体積となるということを意味している。

このため、本シミュレーションでは、個々の火山灰粒

子よりも十分に大きなスケールの平均的な運動についてのみしか検討することができない。このことは、本シミュレーションで計算する事象に対応する実現象中では、火山灰粒子のいくつかは、本シミュレーションで求めた速度よりも大きな速度で運動する可能性があることを示唆している。

また、火山灰粒子どうしの衝突や、火山灰と地面との衝突の効果もまったく考慮されていない。この結果、火山灰もしくは火山灰よりも粗粒な火砕物が濃集していると考えられている火砕流本体部分の運動については、まったく検討できない。この点は、現実的な火砕流の運動を予測するためには、本質的に重要であると考えられ、改善すべき余地が大きい。しかしながら、現在の我々の計算技術ならびに火砕流の運動形態に関する知識では、予測性能の高いコンピュータシミュレーションを行うには、解決すべき課題があまりにも多いため、今回は、上の仮定の下で行うことで今後の研究の発展のためのたたき台を提供するという立場でシミュレーションを実施した。

数値モデルは、質量、運動量、エネルギーに関する保存式から構成されている。3次元空間において、これらの方程式系を有限差分法に基づいてコード化した。すなわち、質量の保存式としては、火山灰粒子の質量保存の式：

$$\frac{D}{D} = \frac{\partial}{\partial x} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z} \quad (3-2)$$

ならびにガス成分の質量保存の式：

$$\frac{D}{Dt} [1 - \phi_s \rho_g] = -(1 - \phi_s) \rho_g \operatorname{div} \mathbf{v} - \rho_g F_\phi \quad (3-3)$$

を用いる。ここで、

$$\frac{D}{Dt} (\phi_s \rho_s) = -\phi_s \rho_s \operatorname{div} \mathbf{v} + \rho_s F_\phi \quad (3-4)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{v} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (3-5)$$

であり、 ϕ_s は火山灰粒子の体積分率、 u, v, w はそれぞれ速度の x 成分、 y 成分、 z 成分、 F_ϕ は乱流混合による拡散の効果、 ρ_g は火山灰粒子の密度を表している。運動量保存の式は、

$$\begin{cases} \frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial x} + \mathbf{F}_u \\ \frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial y} + \mathbf{F}_v \\ \frac{Dw}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial z} + \left(\frac{\rho_a}{\rho} - 1\right) \mathbf{g} + \mathbf{F}_w \end{cases} \quad (3-6)$$

で表す。ここで、 P' は静止大気の圧力からの差圧力、 ρ_a は静止した標準大気の密度、 $\mathbf{F}_u, \mathbf{F}_v, \mathbf{F}_w$ は u, v, w に対する乱流混合による運動量拡散の効果である。エネルギー保存に関しては、熱力学の関係式：

$$\overline{C_v} dT = -PdV + Q \quad (3-7)$$

に、(3-2) 式、(3-3)式から得られる式：

$$\frac{D\rho}{Dt} = -\rho \operatorname{div} \mathbf{v} - (\rho_s + \rho_g) F_\phi \quad (3-8)$$

を組み合わせると、温度の時間発展の式：

$$\frac{DT}{Dt} = -\frac{P}{\rho \overline{C_v}} \operatorname{div} \mathbf{v} + F_T \quad (3-9)$$

に変形したものをを用いる。ここで、 $\overline{C_v}$ は固気混合懸濁流体の平均定積比熱、 T は温度、 V は比体積、 F_T は乱流混合による温度拡散の効果を表している。シミュレーションを行う系では乱流が十分に発達していると仮定し、乱流混合の影響については、スマゴリンスキータイプのサブグリッドモデル (Smagorinsky, 1963) を利用して組み込んだ。移流項計算に有理関数を利用した CIP 法 (Takewaki et al. 1985 ; Xiao et al. 1996) を用いた。

本シミュレーションでは、圧力を精度良く計算するために、(3-3) 式を直接、計算する代わりに

$$\frac{DP}{Dt} = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \frac{DT}{Dt} + \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T \frac{DV}{Dt} \quad (3-10)$$

を用いて圧力の時間発展式に変形した

$$\frac{DP'}{Dt} = -\frac{1}{1 - \phi_s} \left[\gamma - \frac{\phi_s \rho_s R}{\rho \overline{C_v}} \right] \operatorname{div} \mathbf{v} \quad (3-11)$$

の数値積分を C-CUP 法 (Yabe and Wang 1991 ; Yoon and Yabe 1999) を用いて行った。ここで、 γ はガス成分の比熱比、 R はガス成分の気体定数である。行列式の収束計算には BICGSTAB 法を利用した。

3) 入力データの作成手順

本シミュレーションでは、田島・他(2007)で詳細に記載されている「滝沢 B1 火砕流」に相当するデータを初期条件として用いた。この火砕流は、上杉・他(1987)で S-24-2 テフラの一部として扱った火砕流堆積物に含まれるものであり、また、田島・他(2002)ならびに瀧・他(2003)で滝沢 B 火砕流堆積物(TkzPfl-B)としたものの一部に相当する。この火砕流を選んだのは、現地調査によって、この火砕流が、富士山の北東山腹において過去に発生した火砕流の中で最も堆積物分布などの実態が詳細に検討されているからである。以下で田島・他(2002)に従って、滝沢 B1 火砕流の概要を記述する。

滝沢 B1 火砕流の堆積物は、富士山北東山腹・滝沢周辺の標高約 2800 m から 1250 m 付近に谷地形を埋積しているのが現地調査で確認されている(図 II-16)。主構成物は淘汰が悪い同質のスコリアである。本堆積物には、密度の高い本質岩片や鋭利な形状の硬質岩片、球状のスコリアが含まれる。堆積物の上部には赤色酸化が見られ、下部には炭化木片が多く含まれる。また、火砕流堆積物の最下部には、細粒の火山砂を主体として、凹凸形状に関わらず層厚がほとんど変化しない火砕サージ層がある。この火砕サージ堆積物には、一定方向に並ぶ炭化木片が含まれている。その上位にある淘汰が悪い火砕流本体の堆積物の層厚は最大で 4~5 m に達する。堆積物中の炭化木片の放射性炭素年代値は、AD500 前後の値を示している。

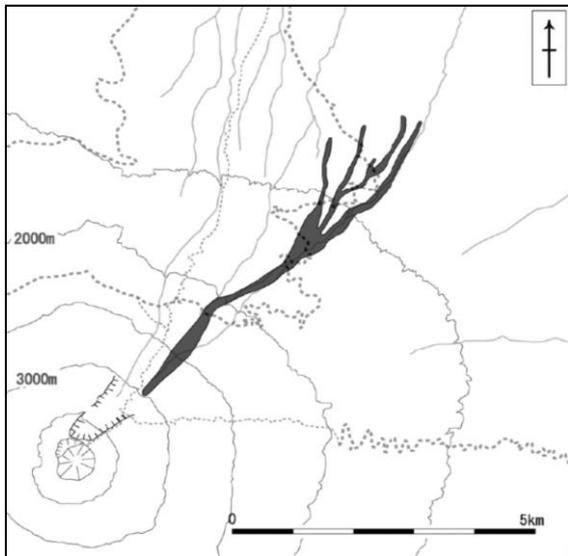


図 II-16 滝沢 B1 火砕流堆積物の分布
(田島・他 2002 より引用)

滝沢 B1 火砕流の流下距離は 5~7 km であり、火砕流の流れやすさの指標である H/L (比高差/流走距離) 比は 0.25~0.27 となる。すなわち、長崎県の雲仙普賢岳で 1991 年から 1995 年にかけて発生した火砕流とほぼ同程度であると推定される。火砕流堆積物のみかけ密度は

1.80 g/cm³ で、空隙を含むみかけの堆積量は約 2.4x10⁶ m³ と見積もられている。瀧・他(2003)の古地磁気測定から、滝沢 B1 火砕流の堆積温度は 500 °C 以上であることが示唆されている。

以上の滝沢 B1 火砕流の調査結果に基づき、計算条件を下のように設定した。すなわち、滝沢 B1 火砕流の発生推定地域に一致する滝沢の標高 2800 m 付近から 3200m 付近にかけての東西方向 284.5 m (5 メッシュ分)、南北方向 185.2 m (4 メッシュ分)、鉛直方向 50 m (1 メッシュ分) に周囲大気よりも 100 倍の密度を持ち、温度が 500 K の固気混相の懸濁流体を配置した(図 II-17 中の赤印)。このとき、初期の懸濁流体に含まれる火山灰の質量は、2.64x10⁷ kg となり、田島・他(2007)で見積もられる火砕流堆積物の質量の約 0.6 % にあたる。このような値を用いたのは、雲仙普賢岳の火砕流において、火砕サージの堆積量が火砕流の堆積物の 1 % 程度であったと見積もられているからである(Nakada and Fujii, 1993)。

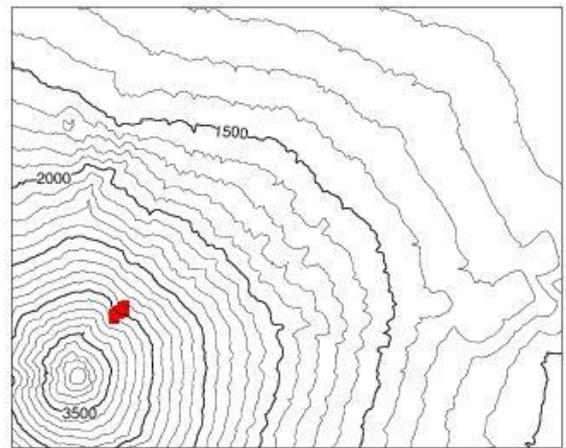


図 II-17 本シミュレーションの計算領域と火砕物の初期分布(赤印)

4) 計算条件

本シミュレーションで用いた計算格子の格子数は東西方向 200 点、南北方向 200 点、鉛直方向 160 点である。地形データとして、国土地理院発行の数値地図 50 m メッシュ(標高)を用いるため、格子サイズは東西方向 56.9 m、南北方向 46.3 m、鉛直方向 50.0 m とした。すなわち、計算領域の大きさは東西方向 11.38 km、南北方向 9.26 km、鉛直方向 8.00 km である(図 II-17)。時間ステップに関しては、0.1 秒間隔で 9000 ステップ計算した。すなわち、火砕流発生後、15 分間の時間発展を解析した。

周囲大気は、静水圧平衡の状態では静止しているものと仮定し、その成層構造は最下層を標高 2 km とした米国標準大気に従うとした。また、上端境界での擬反射を抑制するため、上端境界の上に Pinty et al. (1995) に従って 10 メッシュ分のスポンジ層を配置した。その他の境界は反射境界条件を用いた。

火砕サージの発生条件については詳細が不明なため、

本シミュレーションでは、3) 入力データの作成手順で示した火砕流発生想定域に、静止した火山ガスと固体粒子の混合懸濁流体を静水圧平衡に達した状態で配置した。そして、計算初期に瞬間的に、その支持を解除するという状況を計算によって再現し、混合懸濁流体の運動について解析した。

5) 計算結果

計算結果を図 II-18 に示す。計算の開始とともに火砕流は標高の低い北東側に向かって流れ始める。火砕流の先端部は、計算開始 50 秒で約 1.6 km、100 秒では約 2.6 km、

150 秒では約 3.7 km に達する。この間の平均拡大速度は秒速約 4.1 m である。田島・他 (2007) で得られている堆積物分布 (図 II-16) より幅の広い流れになっており、最も広いところでは幅が約 875 m となった。

6) 可視化手法

シミュレーションで得られた結果を広報・啓発活動に役立てるため、一般市民に分かりやすい形での可視化を試みた。今回は、1990 年代に長崎県の雲仙普賢岳で火砕流が発生したときに撮影された実現象の映像を参考に、実際に火砕流を目の当たりにしたときに得られると予想

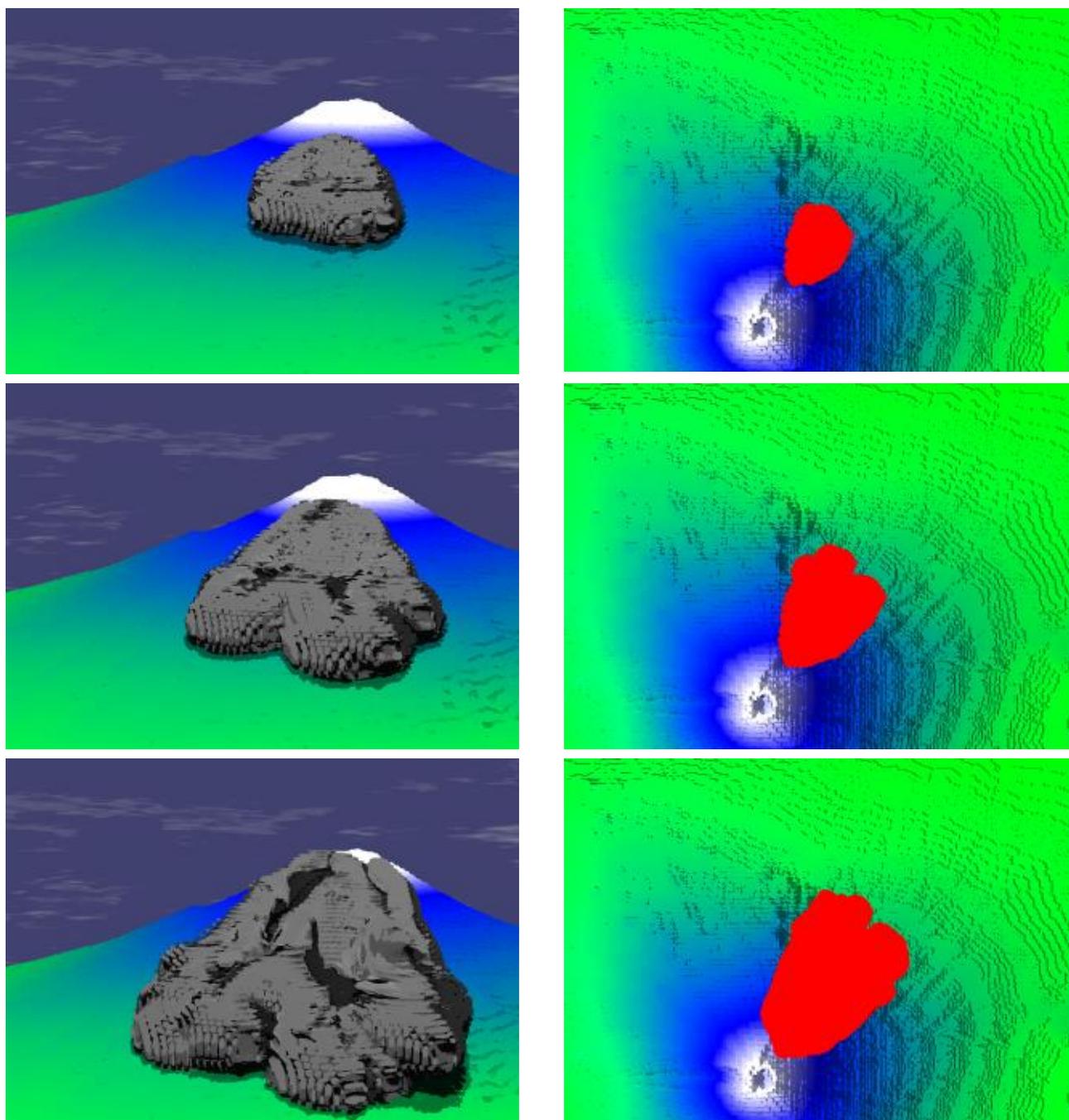


図 II-18 シミュレーション結果の可視化例 上から順に計算開始 50 秒、100 秒、200 秒後
左列は鳥瞰図、右列は真上からの火砕流分布

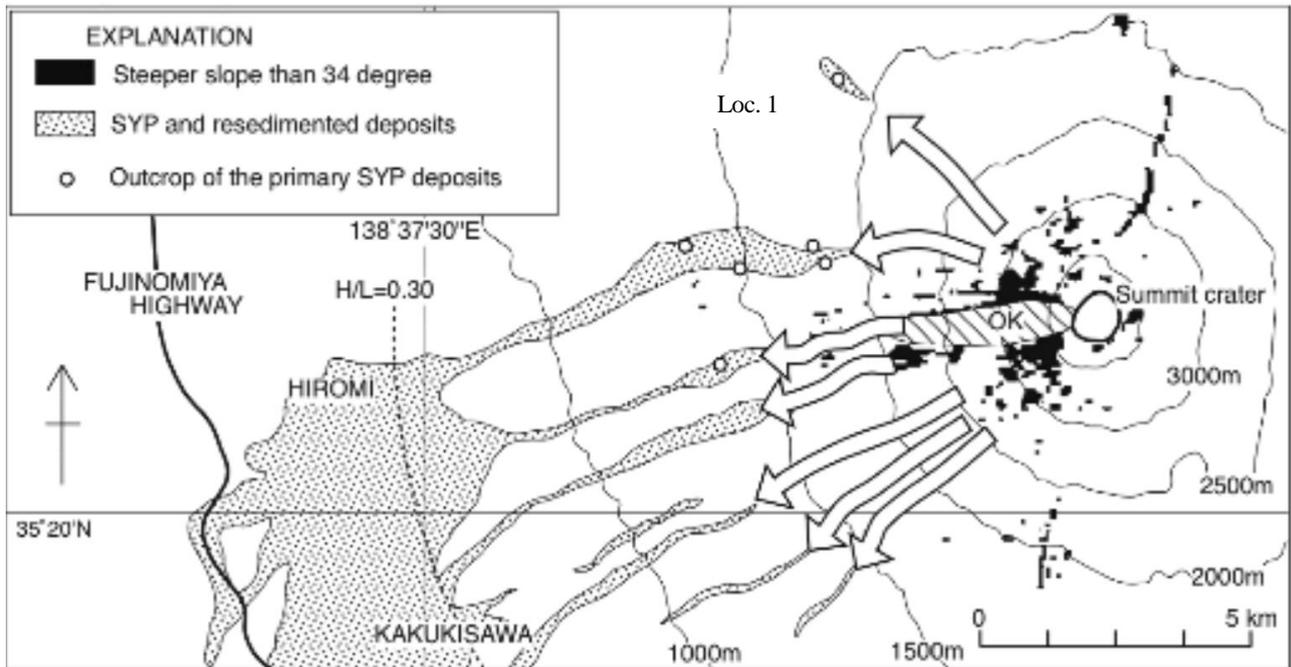


図 II-19 富士山西斜面に見られる火砕流堆積物の分布域とその推定発生源（山元・他 2007 より一部改変）。

されるイメージをできるだけ忠実に作成することを試みた。そのため、火山灰の粒子濃度が初期の最高濃度の 1 万分の 1 となる等値面を探索し、その面を描画させた。

シミュレーションで得られたデータを用いて、ある時間ステップにおける静止面を作成するには POV-Ray と呼ばれるレイトレーシングの機能を持つフリーの 3 次元コンピュータグラフィックス可視化ソフトを用いた。それらの静止面を複数枚、連続して描画して動画とする作業には、AVI Maker と呼ばれるフリーソフトを用いた。この結果、比較的、実現象に近い印象を与える図を作成することができたものと判断している。

II-2-5 富士山北西部火砕流シミュレーション

1) 目的

本章では、前章と同じ目的において、最新の知見を踏まえた上で、富士山で想定される火砕流のうち北西斜面方向へ流出する事象について、その到達範囲及び被害を想定するためのシミュレーションを実施する。それとともに、当該事象への短期的、中期的な知見を検討する資料を整理作成する。また、シミュレーション結果について可視化作業を行い、山梨県環境科学研究所で広報・啓発等の活動に資するコンテンツを作成することを目的とする。

2) 初期条件作成の方針

本シミュレーションでは、山元・他（2007）で詳細に記載されている 3200 年前から 2500 年前に発生したと考えられる富士山西側斜面の火砕流のうち、最も北側の露頭（山元・他、2007 の Loc.1）で確認されている SYP2 火砕流に対応する現象の再現を試みる。この火砕流を選

んだのは、これが富士山北西山腹で過去に発生したことが現地調査によって最も確実に確認されている火砕流だからである。

この火砕流の堆積物は、大沢降下スコリアと大室山降下スコリアの間に位置しており、炭化木片から補正年代で 3000 年前との値が得られている（山元・他、2007）。彼らによるとこの火砕流堆積物は、50 センチ以下の火山弾・スコリア・石質岩片を含む基質支持の塊状火砕物からなる層厚 2 メートル以下の本体部分と、層厚 1～15 センチの主に火山灰からなるサージ部分で構成されている。サージ部は多くの谷沿いの露頭で本体部の下に位置するが、谷底をはずれるとサージ部が単独で分布する。すなわち、本体部分は谷地形に沿って流れたと考えられるが、サージ部は本体部分に先行して、富士山の山腹全体を覆うように流れ広がったものと考えられる。

火砕流の発生源についても、山元・他（2007）に従って、Loc.1 の山頂側、標高 3000 メートル以上の領域に位置する傾斜角 34 度以上の急傾斜地であると仮定した（図 II-19）。山元・他（2007）によると、火砕流の流れやすさの指標である H/L （比高差/流走距離）比から判断すると、この火砕流が海拔 1000 メートルを大きく下回る地点まで流化していたとは考えにくい。すなわち、火砕流の流下距離は 10 km であり、長崎県の雲仙普賢岳で 1991 年から 1995 年にかけて発生した火砕流とほぼ同程度の規模であったと考えられる。

以上のような地質調査に基づく推察より、計算条件を次のように設定した。すなわち、SYP2 火砕流の発生推定地域に一致する標高 3000 m 付近に、周囲大気よりも 4 倍の密度を持ち、温度が 800 K の固気混相の懸濁流体を

配置した（図 II-20 中の赤印）。

3) 計算条件

本シミュレーションで用いた計算格子の格子数は東西方向 200 点、南北方向 200 点、鉛直方向 160 点である。地形データとして、国土地理院発行の数値地図 50 m メッシュ（標高）を用いるため、格子サイズは東西方向 56.9 m、南北方向 46.3 m、鉛直方向 50.0 m とした。すなわち、計算領域の大きさは東西方向 11.38 km、南北方向 9.26 km、鉛直方向 8.00 km である（図 II-21）。時間ステップに関しては、0.1 秒間隔で 12000 ステップ計算した。すなわち、火砕流発生後、20 分間の時間発展を解析した。

周囲大気および境界条件は、前章 4) と同様に設定した。

火砕サージの発生条件については詳細が不明なため、本シミュレーションでは、図 II-22 に示した 3 パターンの火砕流発生想定域に、静止した火山ガスと固体粒子の混合懸濁流体を静水圧平衡に達した状態で配置した。そして、計算初期に瞬間的に、その支持を解除するという状況を計算によって再現し、混合懸濁流体の運動について解析した。

4) 計算結果

計算結果を図 II-21、22、23 に示す。計算の開始とともに火砕流は標高の低い北西側に向かって流れ始める。計算開始後 5 分から 10 分における火砕流先端部の平均拡大速度は、ケース 1 で約 9.7 m/s（時速 35 キロ）、ケース 2 で約 13.4 m/s（時速 48 キロ）、ケース 3 で約 17.1 m/s（時速 62 キロ）に達した。

5) 可視化手法

シミュレーションで得られた結果を当研究所における広報・啓発活動に役立てるため、前章 6) と同じ方法で一般市民に分かりやすい形での可視化を試みた。

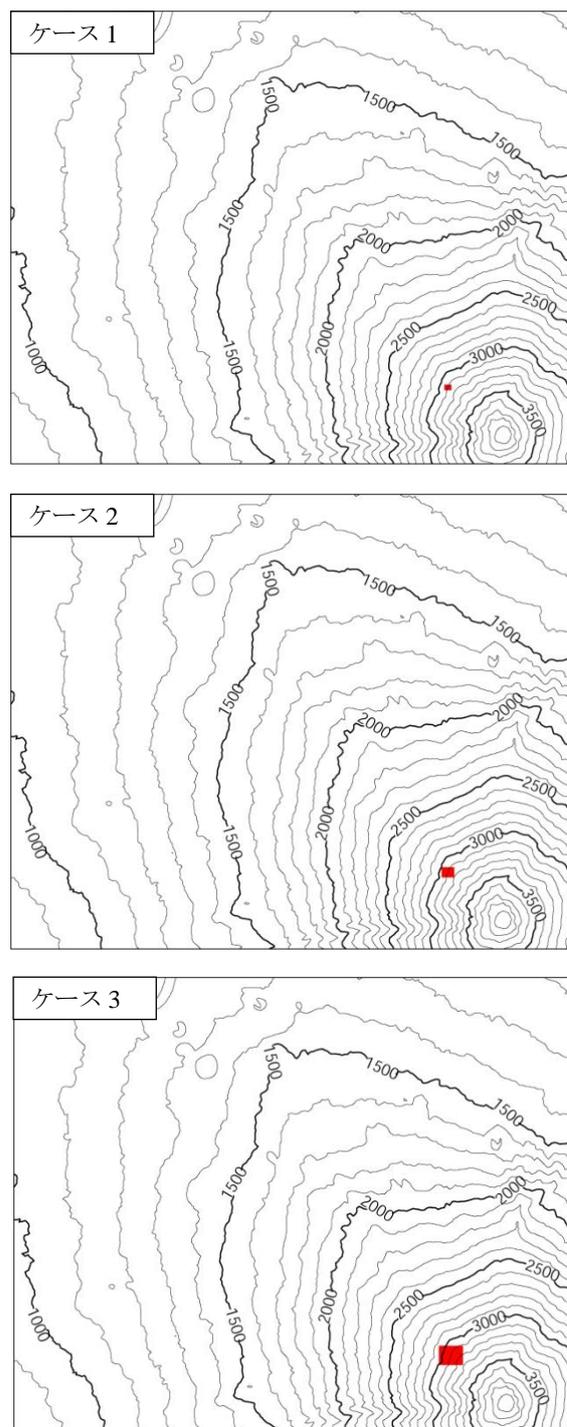


図 II-20 本シミュレーションの計算領域と火砕物の初期分布（赤印）
上から順にケース 1、ケース 2、ケース 3

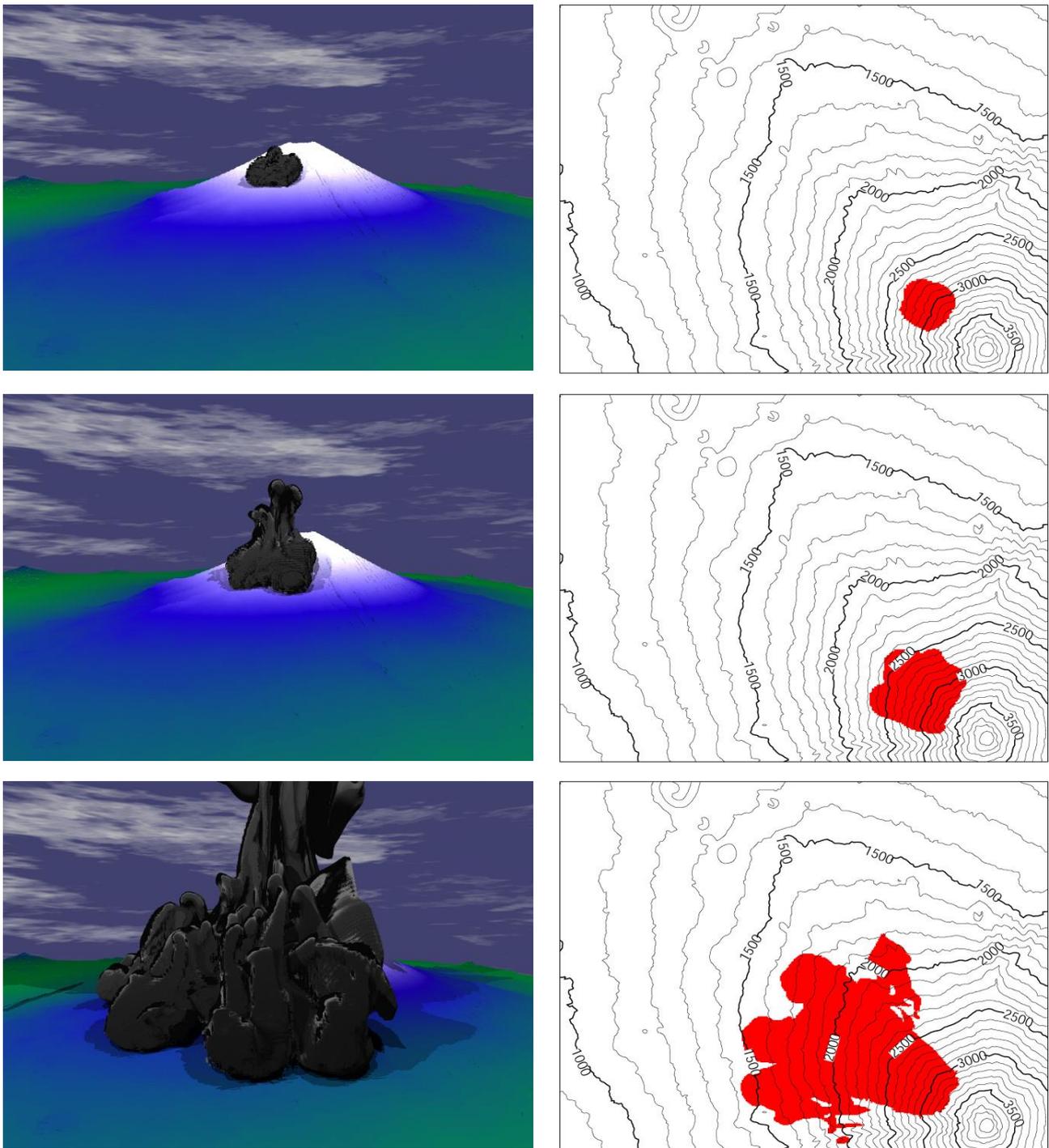


図 II-21 ケース1のシミュレーション結果 上から順に計算開始5分、10分、15分
 左列は鳥瞰図、右列は地形図上での火砕流分布

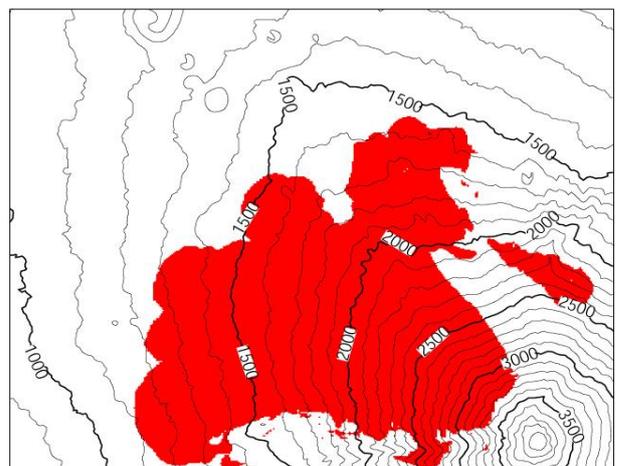
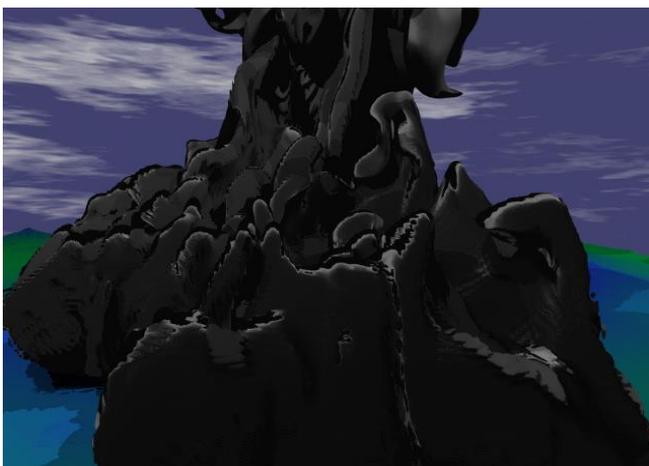
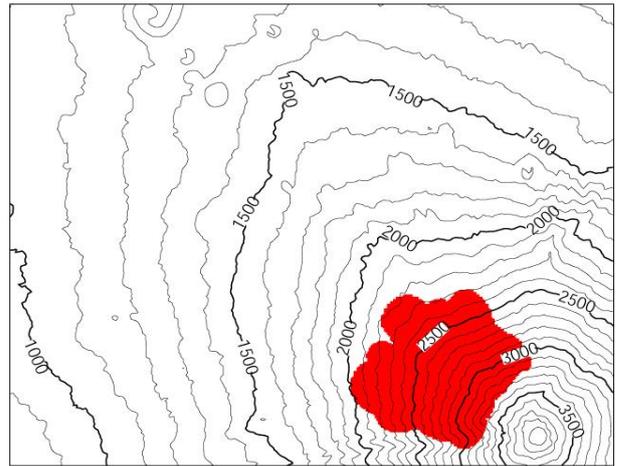
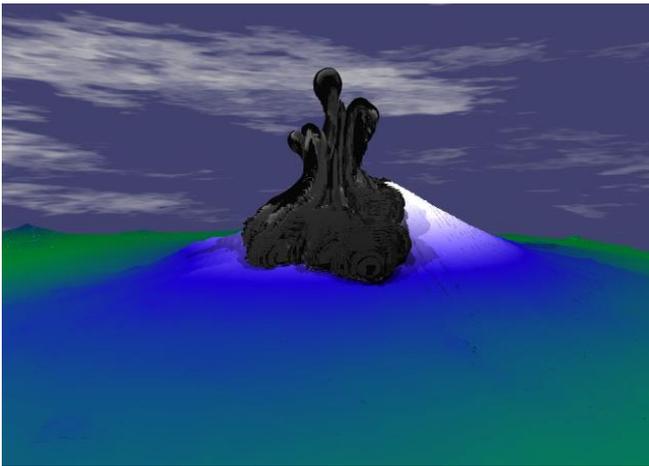
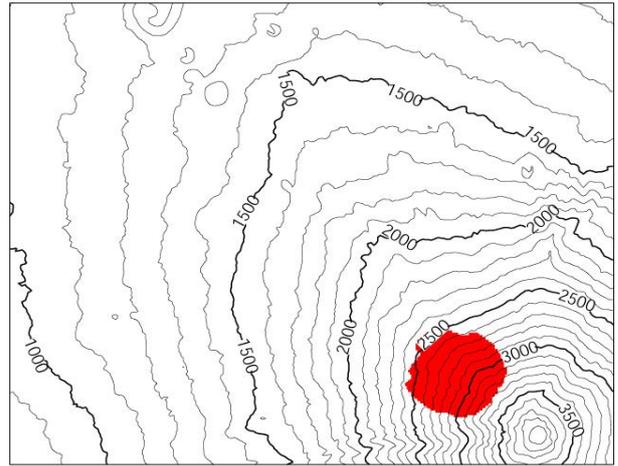
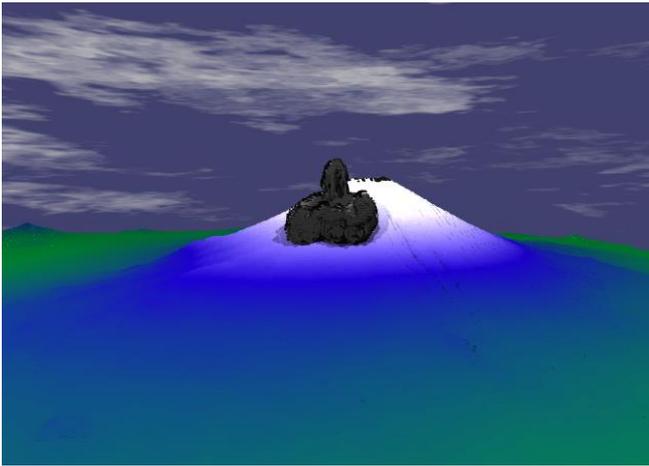


図 II-22 ケース2のシミュレーション結果 上から順に計算開始5分、10分、15分
左列は鳥瞰図、右列は地形図上での火砕流分布

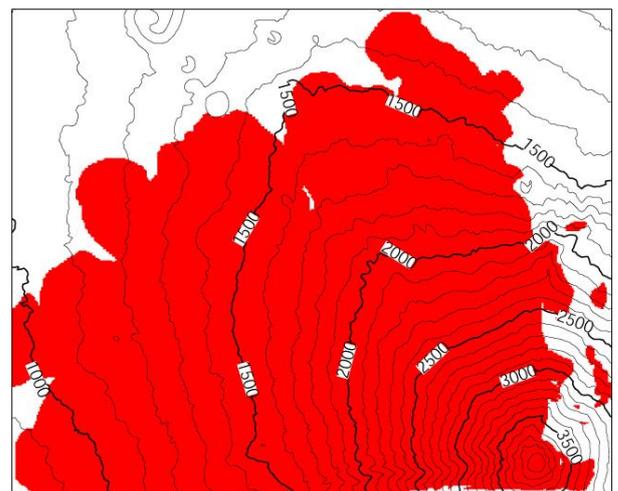
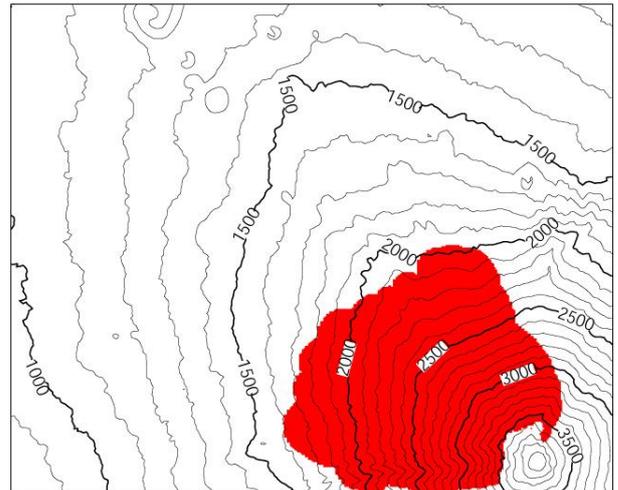
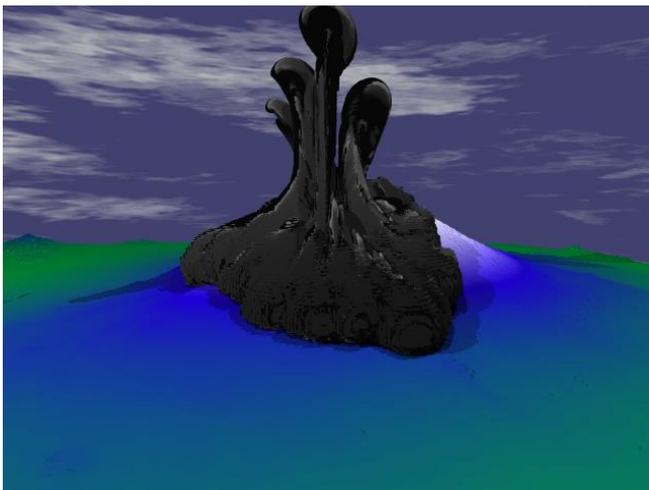
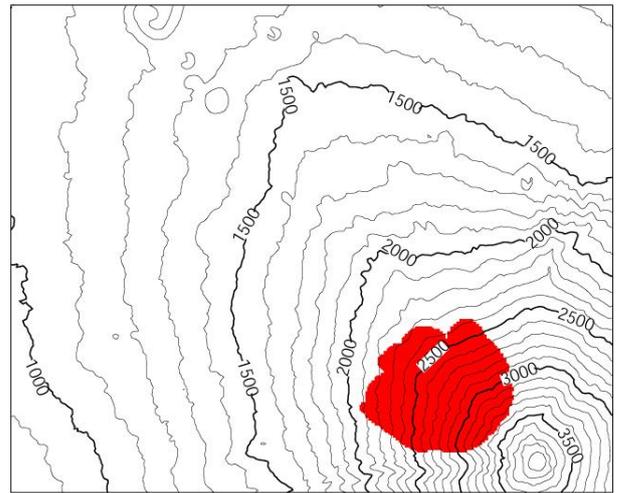
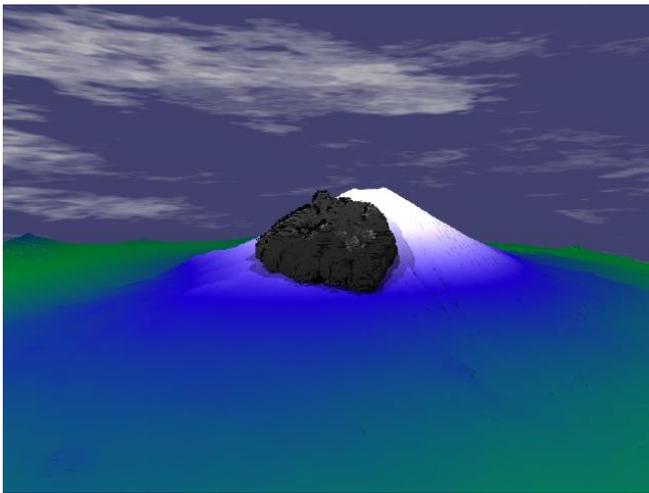


図 II-23 ケース 1 のシミュレーション結果 上から順に計算開始 5 分、10 分、15 分
左列は鳥瞰図、右列は地形図上での火砕流分布

6) 考察

本シミュレーションは、標準的な数値シミュレーション手法が確立していない火砕流の計算を試みるものであるため、残念ながら、その信頼性に関しては、災害軽減に直結するほどの高い予測性能を持つと期待することはできない。あくまで予察的な計算であり、火砕流の定性的な性質を理解するための啓発活動に用いることを想定したものであることに留意しておく必要がある。

また、本シミュレーションが対象とした富士山北東・北西山腹の火砕流のように現地調査から存在が確認された事例に関しては、シミュレーション結果についても、現地調査で得られた堆積物との対比によって、その妥当性を検討するのが理想であると考えられる。しかしながら、本シミュレーションでは高温懸濁流体と近似できる火砕サージ部分のみを計算しているため、火砕流の堆積構造に関する知見を得ることはできない。このような過程を解析するためには、火砕物粒子どうしの衝突や接触を計算に組み込むことができる個別要素法などの手法を、本シミュレーションで用いた数値モデルと組み合わせ、さらに精緻なシミュレーションを実施することが必要になると考えられる。

このようなシミュレーションで信頼性の高い結果を得るためには、シミュレーション技術の高度化だけでは不十分で、実際の火砕流が発生している間の定量的な物理観測や、室内実験などに基づく粉粒体の基本的な振る舞いに関する知識の蓄積が必要である。

7) 引用・参考文献

- Anderson, T., Flett, J.S. (1903) Report on the eruptions of the Soufrie're in St. Vincent, and on a visit to Montagne Pele'e in Martinique. *Trans. R. Soc. (London)* A200, 353-553
- Ishimine, Y. (2004) 3D simulations of a pyroclastic surge as an example of a compressible suspension flow, *JSME International Journal, series B*, 47, 744-749.
- Ishimine, Y. (2005) Numerical study of pyroclastic surges, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 139, 33-57.
- 小山真人 (1998) 噴火堆積物と古記録からみた延暦一九～二十一年 (800～802) 富士山噴火—古代東海道は富士山の北麓を通過していたのか? —. *火山*, 43, 349-371.
- 町田洋 (1977) 火山灰は語る. 蒼樹書房, 319 p.
- 宮地直道 (1988) 新富士火山の活動史. *地学雑誌*, 94, 433-452
- Nakada, S., Fujii, T. (1993). Preliminary report on the activity at Unzen volcano (Japan), November 1990–November 1991: dacite lava domes and pyroclastic flows. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 319-333.
- Pinty, J., Benoit, R., Richard, E., Laprise, R. (1995) Simple tests of a semi-implicit semi-Lagrangian model on 2D mountain wave problems. *Monthly Weather Review*, 123, 3042-3058.
- Sigurdsson, H., Carey, S., Cornell, W., and Pescatore, T. (1985) The eruption of Vesuvius in A.D. 79, *National Geographical Research* 1 (3), 332-387.
- Smagorinsky, J. (1963) General circulation experiments with the primitive equations: I. The basic experiment. *Monthly Weather Reviews*, 91, 99-164.
- 田島靖久, 宮地直道, 吉本充宏, 阿部徳和, 千葉達朗 (2007) 富士火山北東斜面で発生した最近 2,000 年間の火砕丘崩壊に伴う火砕流. 荒牧重雄, 藤井敏嗣, 中田節也, 宮地直道編集, 富士火山 (2007), 山梨県環境科学研究所, 255-267.
- Takewaki, H., Nishiguchi, A., Yabe, T. (1985) Cubic interpolated pseudo-particle method (CIP) for solving hyperbolic-type equations. *Journal of Computational Physics*, 61, 261–268.
- 瀧尚子, 千葉達朗, 田島靖久, 宮地直道, 遠藤邦彦 (2003) 富士山北東斜面における火砕流堆積物の古地磁気学的検討. 日本大学理学部自然科学研究所研究紀要, 38, 89-101.
- 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, 1-27.
- 上杉陽, 堀内真, 宮地直道, 古屋隆夫 (1987) 新富士火山最新期のテフラ—その細分と年代—. 第四紀研究, 29, 59-69.
- Xiao, F., Yabe, T., Ito, T. (1996) Constructing oscillation preventing scheme for advection equation by rational function. *Computer Physics Communication*, 93, 1-12.
- Yabe, T., Wang, P.Y. (1991) Unified numerical procedure for compressible and incompressible fluid. *Journal of Physics Society of Japan*, 60, 2105-2108.
- Yamamoto, T., Takada, A., Ishizuka, Y., Miyaji, N. and Tajima, Y. (2005) Basaltic pyroclastic flows of Fuji volcano, Japan: characteristics of the deposits and their origin. *Bull Volcanol*, 67, 622-633.
- 山元孝広, 石塚吉浩, 高田亮 (2007) 富士火山南西山麓の地表及び地下地質: 噴出物の新層序と化学組成変化. 荒牧重雄, 藤井敏嗣, 中田節也, 宮地直道編集, 富士火山 (2007), 山梨県環境科学研究所, 97-118.
- Yoon, S. Y., Yabe, T. (1999) The unified simulation for incompressible and compressible flow by the predictor-corrector scheme based on the CIP method. *Computer Physics Communication*, 119, 149-158.

II-3 火山防災情報表示システム

表示、展示方法を検討して、分かりやすい情報の発信を進めるために、環境科学研究所エントランスにタッチパネル式の大形モニターを設置し、火山防災情報や火山に関する基礎情報および火山としての富士山の基本的情報を見られるようにした。基本的な考え方は下記のようなコンセプトの元でコンテンツ設計をし、システム構築、製作は日本 SGI 株式会社 に委託した。

II-3-1 情報コンテンツシナリオの流れ

1) 基本情報の分かりやすい周知

- 活火山という側面を持つことの認識
- もし火山が活動開始したら？というネガティブ意識の想起
- 噴火したらこうなる、という具体的なイメージの提供
- そうなったときにどうすれば良いか？という情報の提供
- そのような情報の精度を上げ、災害を減らすために日々研究をしているというアピール
- 具体的な研究内容の紹介
- 活火山という側面を理解した上で富士山の豊かな自然と共生していくことをビジュアルで表現

2) 設計上の留意点

対象を小中学生として、研究のテイストを維持しつつなるべく平易な表現を心がける。また、タッチパネルというハードウェアの特性を活かし、ビジュアルを多用した印象を強く、テキストによる長い説明は避ける。設置台数も1台のみで少ないため、コンテンツの滞在時間は2～3分を想定。画面の設置高を考慮して身長の小さい子供でも操作できるよう考慮したデザインとする。

3) 展示用 PC ハード仕様と要件

展示用の PC は、PC の操作に不慣れな小さい子供たちにも積極的に利用してもらえようようにすることが最も重要である。そのため、想定外の操作方法によって故障が発生しても、その日のうちに修理ができるような保守サービスの充実したものにすることが望ましい。また、操作にキーボードやジョイスティックを用いると、利用者が平手で叩いたり、ぶら下がったりするという危険性があるので、なるべく避ける。できれば、利用者が操作できるのはマウスかトラックボールだけにして、アプリケーションを利用する際には、全画面モードで他に切り替えられないようにする工夫が必要である。丈夫で保守性が高いものが望ましい。

① 高性能なグラフィックカード

シミュレーション結果を表示するアニメーションは、PC の負荷が大きい。そのため、マザーボード内臓タイプではない高性能なグラフィックカードを搭載した PC が

望ましい。

② 大型ディスプレイ

大型のディスプレイにすることによって、PC の操作をする利用者だけでなく、周囲にいるより多くの訪問者が展示内容を理解しやすくなることが期待できる。できれば20インチ以上のものが望ましい。また、本作業において作成した動画は、縦横比4:3で作成されているため、ディスプレイにおいても縦横比4:3のもの（すなわち、ワイドモニターでないもの）の方が全画面表示に適している。

II-3-2 まとめ

以上の検討をふまえて、火山防災情報表示システムには、大型52インチタッチパネル式モニターを採用し、PCには高性能グラフィックボードを内蔵したヒューレッドパッカー社製のワークステーションを採用した。また、コンテンツ制作環境では、OSにはWindows XP SP2以降、オーサリングソフトはAdobe Flash CS4, ActionScript 3.0で製作を行い、今後の拡張性と改良を容易にできるようにした。

表 II-6 に火山情報表示システムのコンテンツ一覧を、図 II-24～27 に使用している代表的な図を示す。

表 II-6 火山防災情報表示システムコンテンツ一覧

メニュー	コンテンツ	サブコンテンツ		
ホーム				
富士山の情報	位置と範囲	衛星写真	「富士山はどこにある？」	
		山梨県	→富士山麓市町村→富士山の麓 →富士山麓市町村	
		富士山 (富士山の範囲)	→富士山の地形・地質	
		周辺県		
	富士山の形	いろいろな場所から見た富士山	富士山の3Dモデル	
		朝霧高原		
		熱海		
		乙女峠		
		富士吉田		
		北麓		
		南麓		
		東麓		
	山中湖 全景			
	富士山の大きさ	富士山の大きさ	→大きさ・高さ	
			→広さ	
	噴火の歴史	地下構造断面画像	先小御岳火山から新富士火山まで、現在の富士山の地下の様子を説明	
		プロフィール	富士山が噴火している場所に説明	
		富士山の噴火の歴史	噴火史の年代別画像 噴火年表	10万年前～50万年前 先小御岳火山と小御岳火山の火山活動期
			10万年前～8万年前 古富士火山の火山活動の開始 桂川の南流	
			5万年前～6万年前 古富士火山の火山活動 桂川の北流	
			2万年前～3万年前 一番寒い時期氷河期最盛期の富士山の火山活動	
			1.5万年前～8千年前 古富士火山の崩壊と新富士火山の火山活動の開始	
			5千年前～現在 3～5千年前と1千年前の火山活動	

メニュー	コンテンツ	サブコンテンツ	
富士山火山防災	噴火がおこると	さまざまな噴火現象	選択画面
			噴火
			溶岩流
			火山砕屑物(火砕物)
			火砕流
			火山泥流・土石流
			岩屑なだれ
			火山ガス
			噴火の種類
			火山の地形
	避難の準備と方法	避難と準備	選択画面
			防災と心構え
			持ち出し品
			避難の時は
	噴火警報		噴火警戒レベル図
	避難マップ	富士吉田市・富士河口湖町 etc	自治体ごとの災害マップ 選択画面

メニュー	コンテンツ	サブコンテンツ	
富士山の研究	富士山の研究	研究の意義	研究所の研究紹介
		観測点	位置図
	富士山の観測	富士観測データ	
		震源分布図	防災科学技術研究所 HP へ →最近1週間 →最近1ヶ月 →最近1年間
		地震連続波形	防災科学技術研究所 HP へ ソフトの立ち上げ、終了
		地震震源分布 3D (工事中)	工事中
		地下水観測データ	過去のデータ
	噴火シミュレーション	富士山噴火シミュレーション	
		火砕流シミュレーション	北東山腹
		溶岩流シミュレーション	北西溶岩流
			ケース1: 片蓋 (かたぶた) 山西側火口
			ケース2: 長尾 (ながお) 山火口
			ケース3: 大室山南火口
			北東麓溶岩流
			ケース1: 吉田大沢火口
	ケース2: 吉田大沢火口2		
	ケース3: 山頂北側火口(大規模)		

メニュー	コンテンツ	サブコンテンツ	
富士山の自然	富士五湖	富士五湖のなりたち	富士五湖の成り立ちの関する画像
			2 万年前 氷河期の湖
			1.5 万年前から 8 千年前 新富士火山の火山活動のはじまり 山麓の湖
			3~5 千年前 現在の富士五湖の元の湖の誕生
			3~1 千年前 富士五湖の誕生
			富士五湖の地下の様子
			写真：山中湖
			写真：化石湖 古忍野湖
			写真：富士吉田市街地
			写真：河口湖
			写真：精進湖と青木ヶ原樹海
	写真：本栖湖と大室山（側火山）		
	湧水と地下水	富士北麓の湧水・地下水	湧水位置図
			富士山の地下水の流れ
			白糸の滝の湧水の仕組み
富士山麓の湧水；写真；三島湧水、白糸の滝、夏狩湧水、忍野湧水			
富士北麓の地下水流動系 地下地質断面図			
富士山写真館	富士山のある風景	写真 19 枚	
	研究所から見た富士山 四季折々	写真 32 枚	

下記にこのコンテンツに使用している代表的な図を提示する。



図 II-24 富士山周辺の市町村

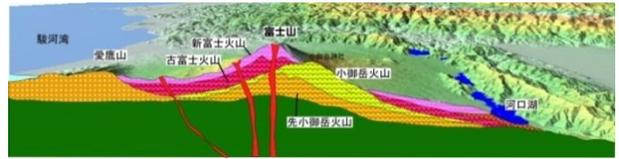
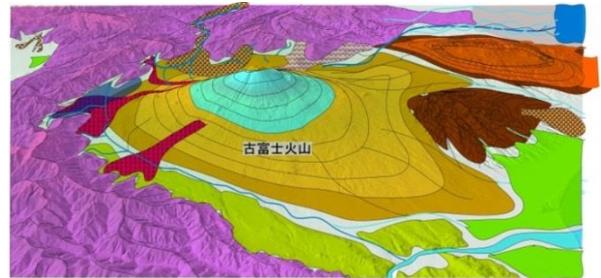


図 II-26 富士山の地下の様子



2万～3万年前頃 氷河期のいちばん寒い頃
富士火山の活動によって火山泥流(雪代)が山麓に流れる

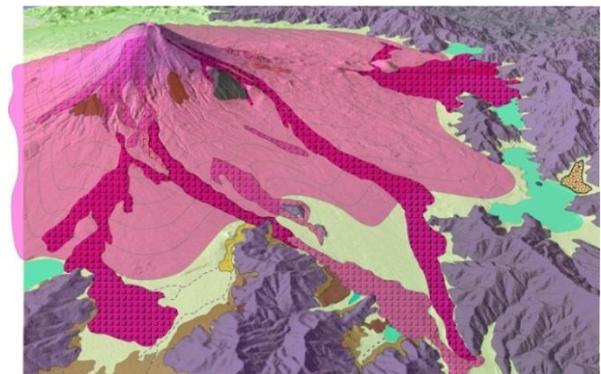
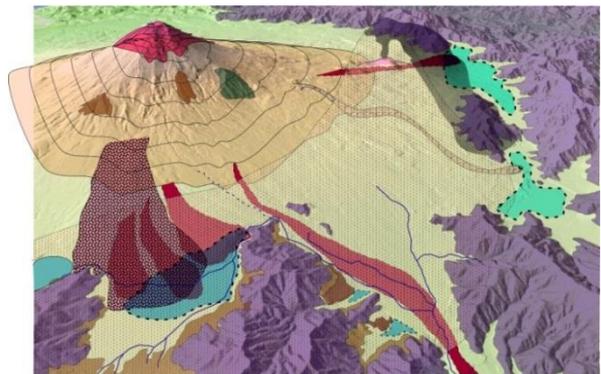


図 II-27 富士山の火山活動 復元図

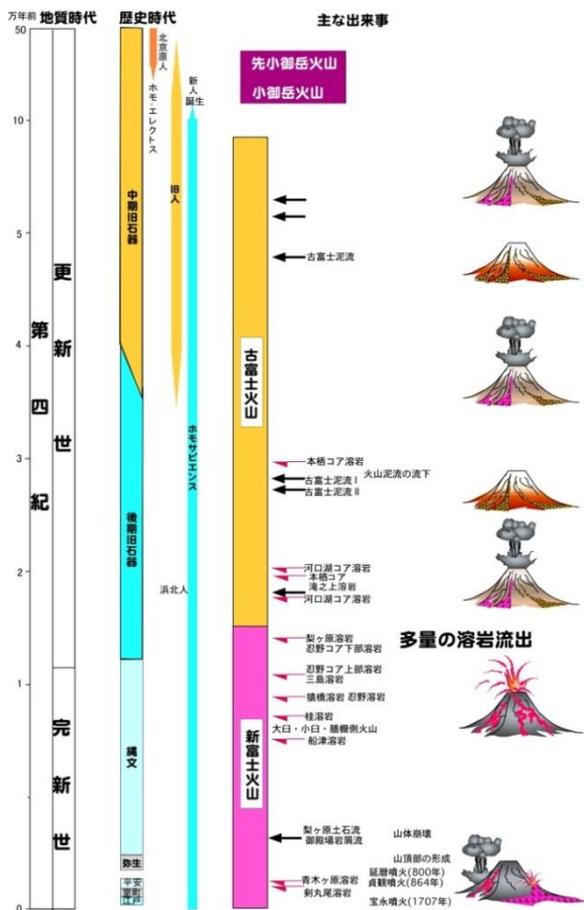


図 II-25 富士山の噴火史

R-02-2013

平成24年度
山梨県環境科学研究所研究報告書
第30号

YIES Research Report

2013年発行

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/>
