

「当面の富士山の観測研究の強化について(報告)平成13年6月」取りまとめ(案)

〇はじめに

第6次火山噴火予知計画において休止期間の長い火山の噴火ポテンシャル研究の対象とされていた富士山で、2000年10月以降マグマ活動に関連していると考えられる深部低周波地震が増加したことを受けて、測地学分科会火山部会では、「当面の富士山の観測研究の強化について」という報告をまとめ、早急に観測研究を強化し、活動変化を的確に把握できるようにするよう提言した。その後、関係各機関の連携・協力によって、この報告に基づく富士山の観測研究が実施された。

富士山はわが国で最大の活動的火山であるが、1707年の宝永噴火以降300年間にわたって噴火がなく休止期が長かったことや山体が大きいことなどが原因で、火山活動を的確に評価するための観測体制が不十分であり、噴火メカニズム解明のための基礎研究も十分に進んでいなかった。上記の報告を受けて観測体制が強化されたあと、深部低周波地震の活動が減少したため、深部低周波地震のメカニズム解明を行うにはまだ十分なデータが蓄積していない。しかし、集中的に実施された観測研究や地質調査等の基礎的研究の推進によって、活動的火山としての富士山の実態に関する理解は飛躍的に深まった。

(1) 富士山の活動を評価するための火山観測体制の強化

地震観測の強化

気象庁は、1987年以来の山頂での短周期地震計による観測に加え、2002年秋から、富士山山頂、御殿場口7.8合目、吉田口6合目(現地収録方式)、富士林道終点(現地収録方式)の4カ所で広帯域地震計による観測を開始した。これらのデータに加え、大学、防災科学技術研究所からリアルタイム提供される地震波形データ・傾斜観測データを利用して、火山監視・情報センターで火山活動を集中監視している。

大学は2002年～2003年にかけて、3カ所のボーリング孔に広帯域/短周期地震計立体アレー観測網を設置した。歪変化 10^{-9} 、温度変化 $0.3\text{m}^{\circ}\text{C}$ の感度で検出できる傾斜計および3成分歪計・温度計も各1カ所のボーリング孔に設置した。

防災科学技術研究所は富士山中腹の山梨県側と静岡県側に各々深度200mの抗井式地震傾斜変動観測施設を設置した。

山頂から中腹にかけての地震観測網を強化したことで、山体浅部の微小な高周波地震も検出可能となったが、この間活動は低調だった。冬季の山頂部だけで観測される微小な地震の発生状況とその正確な震源位置が気象庁・防災科学技術研究所の共同解析で明らかになった。

観測体制の強化により、高品位データが得られる観測点が新たに設置され、マグニチュード $-1\sim 0$ 程度の低周波地震まで震源決定できるようになったが、その後、深部低周波地震活動は低調となり、メカニズムを解明するにたる十分なデータは蓄積していない。既存地震観測網による活動活発時のデータを用いて精密震源再決定を行った結果、深部低周波地震の震源は富士山の山頂から北東方向が主であるが、山頂の南側まで広がっていたこと、その分布は板状で、2000年～2001年の活動活発化の際には震源が $2\sim 3\text{km}$ 移動していたことなどが分かった。

【課題と今後の展望】

富士山の地震活動を漏れなく把握するためには、気象庁の保有する現地収録式の2地震観測点のテレメータ化を進め、集中監視の密度を高める必要がある。また、このような高地に設置した観測点は、雷災等による欠測も多いので、安定稼働のための様々な工夫が必要である。

大学や防災科学技術研究所のこれまでの研究で得られた結果は、深部低周波地震の発生に流体が関与していることを示唆するものの、具体的な発生メカニズムやマグマ活動との関連は解明されていない。今後も高品位地震データを蓄積し、三成分歪・温度・傾斜計による地殻変動などとの対応関係を含む詳細な解析を行う必要がある。

地殻変動観測等の強化

気象庁は富士山山頂及び御殿場口7.8合目の2地震観測点にGPSも併設した。また、2001年から2003年まで富士山の地磁気特性等の調査観測を実施し、マグマの上昇に伴う異常検出のためのバックグラウンドデータを取得した。

国土地理院ではGPS機動連続観測点による連続監視を3ヶ所で行うとともに、富士山山頂に電子基準点を設置した。また、富士山周辺において水準測量180kmを実施し、富士山周辺の広域的な地殻変動量を検出した。さらに、富士吉田市上吉田およびその南方約18kmの富士市丸火公園内に全磁力連続観測装置を設置して、全磁力連続観測を実施している。

防災科学技術研究所は富士山中腹の山梨県側と静岡県側に設置した深度200mの抗井式地震観測点で、傾斜変動観測を行っている。また、RADARSAT衛星の2003年以降の観測データにより、干渉SAR手法による地殻変動検出のための解析を実施中である。

産業技術総合研究所は保有する9点のGPS観測点をこれまでの現地収録方式からテレメータ方式に改善し、連続観測を行っている。

情報通信研究機構では、頂上を含む北側地域を主とした地域を対象に年一回の航空機SAR観測を実施し、通常のSAR画像に加え、2つのアンテナによるインターフェロメトリによるDEM（地形図）を作成し、差分比較による解析を行っている。

上記のような観測点の整備・新たな観測手法の採用により、富士山周辺の地殻変動を連続的に監視する体制を実現し、地殻変動検知能力が向上した。しかし、これまでの地殻変動観測では、特段の変化は観測されず、現時点では、富士山直下でマグマ蓄積が進行しているとしても大きいものではないと考えられる。

【課題と今後の展望】

富士山地域に展開する観測装置に共通する問題でもあるが、冬期間における電力供給の強化等が課題である。富士吉田に設置した全磁力連続観測装置は、冬期間は積雪により点検保守が困難となり、観測に必要な電力が不足し全磁力毎分値データの取得ができない場合がある。

インターフェロメトリによる地表面高度計測の精度は現状では2m程度である。航空機SARによる計測の精度を更に向上させ、広域の地殻変動を監視できるようにするためには、現データの解析手法や軌道決定技術を改善する必要がある。

なお、地殻変動データからは富士山へのマグマ供給は現在のところ検知されていないが、多くの火山において地殻変動は間歇的に現れることから、火山活動の動静を監視するためには、今後も地殻変動観測を継続し、より詳細な解析を継続して行う必要がある。

(2) 富士山の活動機構を解明するための基礎研究の推進

噴火履歴の調査

大学では富士山体の北部において3ヶ所、東部斜面において2ヶ所でボーリング調査および地表調査を行い、得られた試料について、全岩組成、鉱物組成、メルト包有物等の化学分析を行った。

防災科学技術研究所では火山活動観測施設設置に際して得られた深度200mまでの岩石コア試料の岩石学的、層序学的特徴を検討するとともに火山噴出物間に堆積している有機物を含む土壌について年代測定を行った。

産業技術総合研究所は5万分の1地質図幅「富士宮」および「富士山」作成に向けた地質調査をおこなった。さらに、山体南部・北部を中心にトレンチによる噴出物調査を、また、山頂火口壁、宝永火口壁、大沢源頭部で、集中的な地質調査を行った。

このような地質学的、岩石学的調査によって、富士火山直下に既知の小御岳火山とは異なる安山岩の古い山体—先小御岳—が存在することが明らかになった。また、富士火山の噴出物の解析から、富士火山のマグマの組成変化は浅部の安山岩質小マグマ溜りに深部から大量の玄武岩マグマが繰り返し注入・混合するというプロセスで形成されるという大局的なマグマ供給モデルが提案された。

150 試料以上の炭素同位体年代測定とテフラ層序の解析に基づいて、富士火山の噴火史をより定量的に再編成した。その結果、従来の古富士と新富士という新旧2区分より、下位から星山期 (BC15,000 年以前)、富士宮期 (BC15,000-6,000 年)、須走期 (BC6,000 以降) と3区分するほうが適切であることがわかった。山頂部での噴火史の再検討からは、BC1,500-300 年頃の期間には山頂で繰り返し起こった爆発的噴火以外にも、非爆発的噴火や溶岩湖の存在があったが、BC300 年以降は山頂では大きな噴火は起こっていないことが明らかになった。

割れ目噴火の火口調査からは、山頂から13.5kmの遠方でも噴火があったことが明らかになった。新たに発見された溶岩流も数枚ある。AD700年-1,000年頃は、割れ目噴火が頻発し、割れ目火口列の方位も、AD850年頃を境に、北西-南東方向から、南北にシフトしたこともわかった。また、山頂をはさみ南北同時噴火が起こった可能性があることもわかった。宝永噴火以前で一番新しい溶岩の年代は、平安後期のAD1,050-1,200頃である。

新たに記載されたBC18,000年頃の田貫湖岩屑なだれを始めとした山体崩壊堆積物は、崩壊のトリガーが噴火ではなく地震である可能性もあることが分かった。富士火山西部で玄武岩質の火砕流の年代値と分布の特徴が明らかとなった。

山梨県側、標高約2,100mの掘削試料からは、新富士火山中期のスコリア丘や新富士火山旧期に属するとおもわれる溶岩の存在が、静岡県側、標高約2,000m地点の掘削試料からは新富士火山の中期溶岩、旧期溶岩の存在が確認され、化学組成の特徴から最下部には古富士火山の溶岩が分布する可能性があることがわかった。

【課題と今後の展望】

上記の長尺掘削により、富士山の基盤に先小御岳が存在することが明らかになったが、掘削が北東部に限られていたためその全容は不明である。この分布状況は、富士山の体積、従って噴出率の推定に大きな影響を与えるので、今後、富士山南～西地域で1,000m級の掘削を行い、

南西部で欠けている長いスパンの噴火履歴と共に、富士山内部の基盤構造を明らかにする必要がある。また、地質調査により判明しつつある噴火規模、噴火間隔、噴火様式のバリエーションをどのように定量的に評価するのが長期的噴火予測に向けての課題である。次期噴火の予測に向けては、これまでの噴火履歴の中で最終噴火の宝永噴火の位置づけが重要である。

構造探査

大学では2003年度に気象庁、国立極地研究所の協力を得て、人工地震による測線長87kmの火山体浅部構造探査を実施した。また、2002年度から2004年度において、富士山の周囲約60kmにおいて観測点間隔5-10kmの長期高密度地震観測を実施し、自然地震による深部構造解明のための調査研究を行った。

産業技術総合研究所では、1999-2003年度に富士山中腹部から山頂部の主に登山道が未整備な地域において、200点ほどの重力測定を行い、既存データとあわせて精緻な重力ブーゲー異常図を作成した。空中磁気探査については、ヘリコプターを用いた高分解能空中磁気探査システムを構築し、2003年5月、8~9月に富士山頂を含む東西12km、南北14kmの範囲で、探査を実施した。

地震波構造探査の結果、直下の詳細な地震波速度構造が得られ、震源決定を高精度化するための条件が整備された。また、富士山の基盤は、東側で浅く、西側で深くなっており、富士山が異なるテクトニクス場の境界に位置している可能性がある。このことは富士山が基盤構造の高まりに位置することを示す重力探査の結果と整合的である。また、地震波構造探査では、富士山直下に地震波高速度層の盛り上がりの存在が明らかになり、度重なるマグマの貫入の結果であることが示唆された。また、重力探査では、小富士などの各所に集中した岩脈などの伏在を示唆する局所的高重力異常が分布することがわかった。

磁気探査によって得られた高分解能空中磁気異常図からは、地形の起伏に対応した磁気異常のほか、東斜面等において伏在する磁気構造に対応すると考えられる磁気異常が分布することがわかった。

以上のようなさまざまな手法による構造探査から、低周波地震発生領域は、地震波低速度域であると同時に、沈み込むフィリピン海プレートよりも深部に位置する高電気伝導度領域の真上に位置することも明らかとなった。

【課題と今後の展望】

富士山直下の地震学的・電磁気学的構造の把握が一段と進んだが、低周波地震の発生域とマグマの蓄積領域や浅部の地震発生域との関連については、現段階では明らかになっていない。今後、低周波地震、浅部の地震の震源を精密に決定するとともに、レーザー関数解析など、より発展的な地震波形解析により沈み込むフィリピン海プレートの形状を明らかにすることにより、富士山直下におけるマグマ蓄積過程を解明する必要がある。

集中総合観測等による富士山の基礎的データの蓄積

大学では2002年度に、地震、地殻変動、重力、電磁気、火山ガス調査からなる集中総合観測を実施した。

防災科学技術研究所は、火山専用空中赤外映像装置を用いて、富士山山体の温度観測を山頂

火口を南北に横切る飛行コースと東北東山麓コースの2回実施し、富士山の現状把握を行った。

集中総合観測の結果、富士山の地下数100mには地下水を多く含む層が広がっており、山頂火口の地下500m付近には熱水の上昇を示唆する結果が得られた。しかし、空中赤外観測からは観測範囲において日射の影響と明瞭に区別できるような地表面温度の上昇領域は確認できなかった。

国土地理院はGPSデータを用いフィリピン海プレートと陸側プレート間のカップリング分布を推定し、富士山の下ではプレートは固着しておらず、この領域ではフィリピン海プレートが抵抗なく深部へ潜り込んでいることを示した。

【課題と今後の展望】

現状では山体の温度異常などは観測されていないが、富士山では過去に噴気や温度異常が観測された時期があり、今後も数年程度の間隔で、できるだけ広域の温度観測を行い、基礎データを整備する必要がある。

広域テクトニクスの解析から得られた富士山直下でのプレート間のデカップリングが富士火山の活動とどのような関係があるかについては今後の詳細な検討が必要であり、さらに観測の継続と注意深い解析が必要である。また、富士山周辺に現在大きな歪蓄積が見られないにもかかわらず、側火山が北西南東に配列するという事実は、従来考えられてきた広域応力場の方向と火山噴火の物理関係を再検討する必要性を示している。

（3）関係機関の連携・協力と研究成果による社会への貢献

関係機関の連携・協力

火山噴火予知連絡会において、関係機関の研究成果や観測データの情報交換が行われるとともに、気象庁では、大学、防災科学技術研究所からの地震波形データ・傾斜観測データのリアルタイム提供を受け、火山監視・情報センターでの集中監視を行っている。

人工地震による構造探査、自然地震による構造探査、集中総合観測において、各大学の連携による観測点の設置、解析研究が行われた。また、気象庁・極地研の協力も得られて実施された。国土地理院によるGPSデータは各大学に準リアルタイムで提供され、それぞれにおける観測データとあわせて解析がおこなわれている。

前述の（噴火履歴の調査）にあるように、大学・産業技術総合研究所・防災科学技術研究所等の関係機関が連携して、集中的に調査研究が実施された。

研究成果による社会への貢献

産業技術総合研究所は富士山地域の火山地質図の作成に向けての調査を数年にわたって行っており、近い将来「富士宮」、「富士山」の5万分の1地質図が刊行される予定である。

国土地理院は富士山の観測研究、ハザードマップ等の基礎資料とするため平成14年に1:10,000火山基本図「富士山（富士山頂）」、「富士山（宝永山）」、「富士山（御庭）」、「富士山（白塚・桧塚）」の4面、1:50,000火山土地条件図「富士山」1面、10mメッシュ火山標高データを整備した。

大学を中心として行われた集中総合観測や科学振興調整費により関係機関の連携のもとに行

われた「富士火山の総合的研究」の成果は火山噴火予知連や学会等で報告されるとともに、月刊地球号外として一冊にまとめられ、参照しやすい形で出版された。

地方自治体や地域住民への成果の普及

火山噴火予知連絡会は年3回の定例会議において、関係機関の研究成果に関する情報収集を行い、それを基に富士山の火山活動についての総合評価を行い、その結果を発表した。特に、平成12年～13年にかけての富士山の深部低周波地震の多発に際しては、平成13年5月28日、第89回本会議において、現状の検討を行い、「ただちに噴火等、活発な火山活動に結びつくものではないと考えられる」との総合評価結果を公表した。また、定例会議以外でも、火山噴火予知連絡会WEB等を通じて、富士山の観測研究に関する関係機関相互の情報交換を行った。

火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループにおいて、富士山の過去の噴火資料等の収集・整理、それに基づく噴火様式や規模等の推定、監視のあり方及び火山情報についての検討を行った。気象庁はその検討結果を踏まえて、富士山の火山活動に異常があった場合の火山情報発表の考え方をとりまとめ、その成果は富士山ハザードマップ（火山防災マップ）や火山防災マップの作成に活かされた。

【課題と今後の展望】

火山活動が活発化していくほど、より詳細な噴火等の状況についての情報や防災行動に役立つ具体的な記述を住民に提供することが重要となるので、今後もわかりやすく防災に役立つ火山情報の内容や表現方法、発表方法について検討を進めるとともに、火山活動度レベルの導入も進める必要がある。

○全体のとりまとめ

測地学分科会火山部会の報告「当面の富士山の観測研究の強化について」を受けて、富士山の活動を評価するための観測研究が強化されるとともに、その活動機構を理解するための基礎研究が推進された結果、火山としての富士山に関する理解は急速に深まった。しかし、富士山の噴出率の推移を見積るに足る山体内の地質構造に関する理解は不十分であり、今回の調査で有効性が明確となった長尺ボーリングによる山体調査を今後行う必要がある。また、現状ではマグマ上昇などの異常を示す地殻変動データは得られていないが、今後そのような異常が把握されたときに、変動源を迅速にモデル化し、評価するための手法を検討することとその体制を確立することも必要である。さらに、地震活動、地震波速度構造、電磁氣的構造、地質学的情報などに関する最近の成果も考慮して、総合的に富士山のマグマシステムのモデル化を進め、次の噴火に至るシナリオを検討することが必要である。

また、火山噴火予知連絡会富士山ワーキンググループで議論されたように、火山活動の監視観測体制については、まだ不十分な点もあり、今後関係機関が連携して強化していく必要がある。