

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

フィリピン海プレート北縁における地殻構造と火山深部構造の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

エ．地震活動と火山活動の相互作用

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-2) 火山噴火準備過程

ア．マグマ上昇・蓄積過程

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

建議に記載されている「海底観測を含む地震，地殻変動，地球電磁気等観測を行い，火山流体の移動と地震活動の関連を明らかにする」ため，マグマ移動に伴う火山性地震や群発地震の活動度の高いフィリピン海プレート北縁の伊豆大島，伊豆東部，富士山等の地域の構造を，地震探査，電磁気探査，重力探査から推定する．これらの地域では，これまでの研究で浅部構造がある程度解明されているので，火山噴火に直接かかわるマグマ溜りの存在が指摘されている深さ約 10km 以深の地殻構造に焦点を当てて，火山の深部構造の解明を行う．地震波速度構造，比抵抗構造から，地下の火山流体の分布を明らかにし，この地域における地震活動と火山活動の関連を明らかにする．

伊豆大島では，海陸合同の人工地震探査を実施し，深さ 4km 付近の浅部と深さ 10km 付近の深部でのマグマ分布の検出を試みる．海中発破及びエアガンによる多数の制御震源と稠密な陸上と海底の地震観測を組み合わせ，深さ 10km 付近からの反射波の地域分布に注目し，マグマ分布の推定を目指す．また，伊豆大島で観測されている間欠的な山体膨張とそれに同期する地震活動の時間変化を，マグマ蓄積が及ぼす応力変化を定量的に推定し，地震活動の時間変化の原因を火山体の不均質構造，周辺の広域応力場の影響も考慮に入れて解明する．

伊豆半島東方沖群発地震活動では，これまでマグマ貫入深度が 5 km 付近と 8km 付近の 2 つのグループに分かれる可能性が指摘されているが，過去の観測データを再解析し，貫入深度が 2 つに分かれることを精度の高い震源分布や地殻変動データから再検証する．この 2 つのマグマ貫入深度の違いの原因を，その南東約 30km に存在する伊豆大島の火山深部構造やマグマ蓄積の様式と比較することにより，明らかにすることを目指す．

富士山では，東西方向の電磁気構造探査により深さ 25km 以深に低比抵抗領域が存在するモデルが提唱されているが，低比抵抗域の広がりや富士山直下で発生する低周波地震との関連については明らかにされていない．この課題により南北方向の電磁気構造探査を行い，この深部低比抵抗体の空間的

な広がりを求め、地震波速度構造の結果と比較し、富士山の地下構造と山体直下の深部低周波地震の発生の関連を明らかにする。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

平成21年度には、伊豆半島～伊豆大島～房総半島沖の領域の南西～北東方向に走行を持つ総延長約70kmの測線で、陸上観測点約250点、海底観測点約30点の観測点を設置し、9箇所海中発破を実施する人工地震探査を行うとともに、測線に沿ってエアガンによる制御震源を発振する大規模構造探査を実施する。これにより、伊豆大島直下及びその周辺の地震波速度構造の推定を行う。屈折法解析と同時に反射法解析も行い、これまでの解析では不明瞭であった深さ約10kmでの反射面(速度不連続面)付近の構造を精度良く推定する。1999年に実施した北西～南東に測線を設定した人工地震構造探査の結果とも併せて、深さ約10kmからの反射波の強度分布からマグマ蓄積場所を特定できるか否かの可能性を検証し、伊豆大島火山のマグマ蓄積に関する新たな知見を得ることを目指す。

上記構造探査で得られる速度構造の情報を用いて、浅部マグマ溜り(深さ約4km)と深部マグマ溜り(深さ約10km)を分離したマグマ蓄積時間変化の検出を試みる。これらのマグマ溜りは、それぞれ1986年噴火の際の割れ目噴火のマグマの起源と山頂噴火のマグマの起源に相当すると考えられ、相互のマグマ蓄積の関連を解明することは、地下のマグマ蓄積現象の本質を理解する上で極めて重要な情報である。更に、マグマ蓄積に伴う応力変化を定量的に解析し、火山体の不均質構造、周辺の広域応力場の影響も考慮に入れ、伊豆大島で見られる山体膨張に同期した地震活動の時間変化を説明するモデルを構築する。

平成22年度には、平成21年度に実施した人工地震構造探査の解析を更に進め、1999年に実施した構造探査実験も併合して解析し、伊豆大島近傍の地震波速度構造をより精度良く推定することを試みる。更に、絶対重力計による高精度重力測定を伊豆大島火山観測所、鎧端観測点で実施すると共に、これらの点を基準とした相対重力測定を伊豆大島のカルデラ内を中心とした地域で実施する。また、伊豆大島で超長周期MT観測を行い、これまで実施してきたAMT観測、MT観測のデータと併合処理し、伊豆大島の地下数kmまでの比抵抗構造を明らかにする。比抵抗構造と地震波速度構造を比較し、伊豆大島の地下の火山流体の分布の検出を試みる。

平成23年度には、フィリピン海北縁に位置する富士山周辺において、絶対重力と相対重力の測定を行う。また、これまで蓄積された伊豆大島、伊豆半島、富士山周辺の地震記録を解析して地下構造の推定を行い、人工地震探査の結果と比較する。これまでの地震活動、地殻変動、構造探査の結果を統合し、伊豆大島、伊豆半島の火山性流体の存在を検証し、マグマ供給系を明らかにする。また、これらのマグマ供給系の構造と、この地域の地震活動を火山性流体の存在とこの地域の広域応力場の関連を考慮に入れて考察する。

平成24年度には、伊豆大島における絶対重力と相対重力を再測し、平成22年度の測定と比較して重力の時間変化を調査する。有意な重力変化があった場合には地殻変動等の観測データと比較し、その原因の地球物理学的な意義を明らかにする。富士山周辺において、これまで実施してきた北西～南東方向の電磁気構造探査と直交する北東～南西方向の電磁気構造探査を実施し、富士山直下の3次元電磁気構造探査を行い、富士山のマグマ供給系を明らかにする。また、これまで蓄積されてきた自然地震の観測データを用いて、伊豆半島から富士山周辺にかけての地震活動と、火山性深部低周波地震、マグマ貫入に起因する地殻変動を関連について明らかにする。

平成25年度には、富士山周辺で絶対重力及び相対重力の測定を行い、平成23年度の測定結果の比較し、重力の時間変化を調査する。有意な重力変化があった場合には地殻変動等の観測データと比較し、その原因の地球物理学的な意義を明らかにする。伊豆大島では超長周期MT観測を行い、平成22年に実施した同様の観測と比較し、伊豆大島の地下数kmまでの比抵抗構造の時間変化の検出を試みる。これまでの各種構造探査の結果を統合し、この地域の火山性流体の存在が、地震活動とマグマ蓄積活動に与える影響を明らかにし、この地域の地震活動と火山活動の関連を明らかにする。

(7) 平成 22 年度成果の概要 :

2009 年に実施した伊豆大島及び周辺海域の構造探査実験の解析を進めた。海底地震計で得られたエアガン発振信号の初動を読み取り値から、海底下の各層の速度を伊豆大島の西側と東側で独立に推定した。その結果、両側とも第 1 層を 1.7-2.0km/s、第 2 層を 2.5-3.2km/s、第 3 層を 4.0-4.8km/s と見積もられた。これらの値は 1999 年に実施した構造探査実験の解析結果とほぼ同じ値であった。更に、2 次元波線追跡法を用いて、境界面の深さを推定した。上記の解析で得られた第 3 層までの構造を元に、同様の方法で海中発破の初動を説明できる第 4 層の速度とその境界面の深度分布を求めた。1) 初動走時を説明するには、伊豆大島東方約 15km でフィリピン海プレートが約 20 度で東方に沈み込む構造でなければならない。この構造が測線の東側の走時に大きな影響を与えている。2) 火山の基盤を形成している第 4 層の地震波速度は 5.8-6.2km/s と推定され、その上面の深度は伊豆大島と伊豆半島の間で約 4km であるが伊豆大島に向かって徐々に浅くなり、伊豆大島島内ではほぼ 2.5km となる。一方、伊豆大島の東側では急激に深くなり、フィリピン海プレートの沈み込みの場所で約 4.5km となる。3) 伊豆大島島内における基盤面の以浅の構造については、1999 年の構造探査の結果(伊東, 2003) とほぼ一致している。北西 南東測線と南西 北東測線の両者とも、火山である伊豆大島の島内では基盤面が盛り上がっているという特徴を持っている。最終的な構造を推定するには解析を続ける必要があるが、これまでに得た大局的な構造を図 1 に示す。

今後は、伊豆大島島内に設置した稠密な地震計のデータを解析し、火山体内部の速度構造を明らかにしたい。具体的には、1999 年の実験で観測された深さ 8 ~ 10km から PxS 反射波と見られる後続波が、2009 年の実験でも震央距離 10km 付近で観測されているので、これを 1999 年の実験とも比較したい。また、伊豆大島の西南西及び東北東の両方向から来る地震波は、三原山山頂域を通過すると急激に振幅が減衰する。また、カルデラ内の観測点での波形は、コーダ部分で高周波成分の振幅が大きく、この地域では強い散乱の影響を受けていると考えらるので、この特徴を説明する構造について、検討したい。

伊豆半島東方沖で発生する群発地震については、これまでの系統的な解析により、マグマの貫入した先端で地震が発生しており、マグマの貫入量と群発地震の活動度が比例することが明らかにされていた。この様な火山噴火予知研究で得た成果に基づき、地震調査本部で「伊豆東部の地震活動の予測手法」を取りまとめ、気象庁では「地震活動予測情報」を発表する準備をしいている。これは火山噴火予知研究の成果が地震活動予測に応用され、伊豆東部では地震活動と火山活動の相互作用についての理解が進み、群発地震活動の予測の実用化されたことを示している。更に、静岡県危機管理部では、伊豆東部火山群噴火警戒レベル導入に際して、地域防災計画を策定しているが、その中でこれまでの研究成果を取り入れて、伊豆火山群の噴火シナリオ(図 2)を作成し、行政の機関に提供した。

伊豆大島におけるカルデラ北部深さ約 5km で発生する間欠的な山体膨張源周囲をはじめとする全島にわたる火山体深部比抵抗構造を調査するため、広帯域 MT 法観測を実施した(図 3)。観測には Metronix 社 ADU07 型測定装置を 10 台用い、2010 年 12 月~2011 年 1 月、2011 年 1 月~2011 年 2 月の 2 期間で、のべ 20 箇所観測を行った。局所的なノイズを除去するため、宮城県丸森町に遠隔参照観測点を置いた。また、伊豆大島では、課題番号 1402:「特定地域の地殻活動モニタリングシステムの高度化」による長基線地電位差ならびに 3 成分磁場連続モニタリング観測を実施しており、これらのデータから長周期、長基線のネットワーク MT 応答関数が推定できるので、帯域 MT 法データとあわせて全島にわたる深部構造が明らかになると期待できる。

三原山火口直下の現在の状況を明らかにするため、工電流源を用いた ACTIVE 観測を 2011 年 1 月に実施した。火口周辺の比抵抗構造変化の検知のために、三原山中央火口丘縁の 5 箇所で鉛直磁場観測を常時実施しているのに加え、電流源に直交する配置の 4 箇所で観測を実施し、磁場 - 電流間応答関数の推定を図った。

従来の計画では、伊豆大島に置いて重力測定をする予定であったが、現在地下水の回復が著しい三宅島で重力測定を実施した。このような地下水の回復現象は終息期の火山活動を理解する上で重要であり、測定が急がれるので計画の変更を行い、三宅島においてハイブリッド重力観測を実施した。そ

の結果、2006年～2010年の4年間の間に、火口を中心として20～40マイクロガルに及ぶ同心円状の重力増加を見出した。この変動は海水準付近の地下水層の回復としてモデル化でき、SO₂放出量の漸減とも整合した結果を得た。

(8)平成22年度の成果に関連の深いもので、平成22年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
伊豆大島構造探査グループ・森田裕一，2009年伊豆大島構造探査の概要，日本地球惑星科学連合2010年大会，SVC063-P11

森田裕一・酒井慎一・植木貞人，2009年12月伊豆半島東方沖マグマ貫入過程について，日本地球惑星科学連合2010年大会，SVC063-25

楠城一嘉・酒井慎一・森田裕一，伊豆半島東方沖のマグマ活動に伴う群発地震：統計的性質，日本地球惑星科学連合2010年大会，SVC063-26

酒井慎一・森田裕一，新たな段階に入った伊豆半島東方沖の群発地震活動，日本地球惑星科学連合2010年大会，SSS13-02。

菅野貴之・大久保修平・渡辺秀文・松本滋夫，三宅島における重力観測網の再構築および最近の重力変化とその解釈について，日本測地学会第114回講演会予稿集，123 - 124

(9)平成23年度実施計画の概要：

伊豆大島周辺の地震波速度構造に関しては、更に解析を進めて、伊豆大島島内に設置した稠密な観測点のデータを用いた火山体浅部構造の解析を進める。また、2010年8月～2011年2月までの山体膨張期の活発な地震活動について解析し、同様の活動のあった2004年4～8月、2007年3～8月の活動の震源分布、圧力源の位置の差異について検討する。

電磁気探査においては、富士山周辺でMT探査を行い、マグマ供給系の存在を確認する。既に実施したMT探査と直交する測線で探査を実施し、精度の向上をはかる。

重力観測については、平成22年度は現在地下水の回復により、重力構造の急変が予測された三宅島で、重力測定を行って成果を得た。そのため、本来22年度に実施予定であった伊豆大島において、絶対重力点3か所を含め、島内約30か所でハイブリッド重力観測を行う。これにより、重力の中期的な変動から、マグマ蓄積状況を探る。

(10)実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所 森田裕一(地震探査，地殻変動観測)，篠原雅尚(地震探査)，上嶋誠(電磁気探査)，大久保修平(重力探査)

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学理学研究院，秋田大学工学資源学部，東北大学理学研究科，東京工業大学地球流体化学研究センター，名古屋大学環境学研究科，京都大学防災研究所，九州大学理学研究院

(11)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5704

e-mail：morita@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

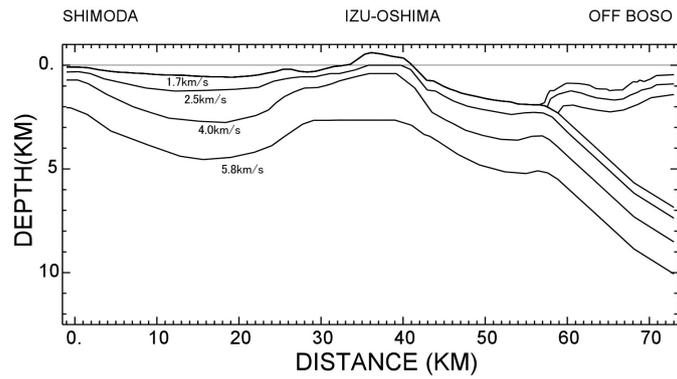


図 1
2009 年に実施した伊豆大島及びその周辺で実施した人工地震構造探査実験より得られた速度構造。

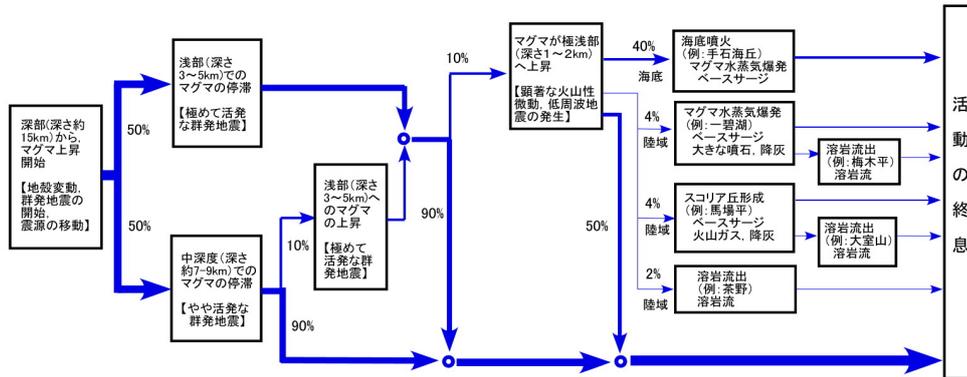


図 2
伊豆東部火山群における噴火シナリオ。これまでの群発地震活動の事例，火山噴火予知研究の成果，他の類似火山の噴火例等の火山学的知見に基づき，噴火事象系統樹を作成した。これは静岡県危機管理部が作成する地域防災計画に利用された。

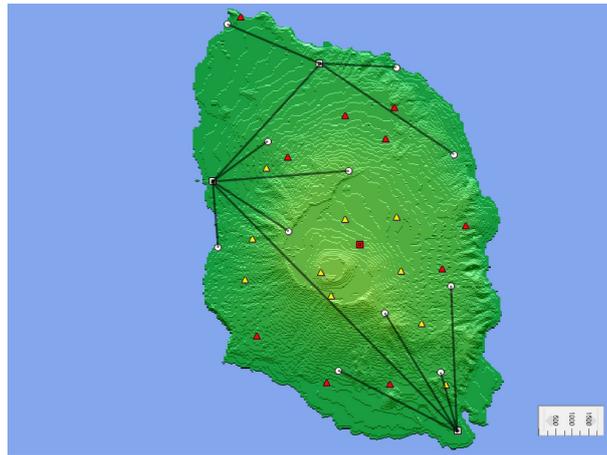


図 3

2010年12月～2011年1月(赤三角),2011年1月～2011年2月(黄三角)に実施した広帯域MT観測点分布.あわせて,NTT電話回線を用いた長基線地電位差観測網と3成分磁場観測点(赤四角)を示す.