

(1) 実施機関名：

東京工業大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

沈み込み帯のマグマ発生と地殻変動のダイナミクス

(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

イ. 上部マントルとマグマの発生場

(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

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ア. 列島及び周辺域のプレート運動, 広域応力場

(4) 地震発生・火山噴火素過程

ア. 岩石の変形・破壊の物理的・化学的素過程

イ. 地殻・上部マントルの物性の環境依存性

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

沈み込むプレートは、一般に著しい熱的および物質的な不均質を地球内部に持ち込み、その結果として地震や火山活動を引き起こす。これらの活動は、地質学的時間スケールにおける、広域変成作用、造山運動、大陸地殻の消長、地球内部の熱・物質の大循環など、地球の変動現象および進化と密接に関わる。本研究は、これら一連の現象の起こる場として沈み込み帯をとらえ、プレートの沈み込みと諸現象をつなぐ具体的メカニズムを明らかにすることを目的とする。そのために、以下の理論的、観測的、実験的な基礎研究を行う。(1) 地殻変動を、測地データ、反射法地震探査データ、地質構造、地表変形データなどから多角的に捉え、変位の食い違い理論に基づく数値シミュレーションによるモデル化やインバージョン解析を通して、歪・応力状態およびテクトニクスとの関連性の推定を行う、(2) 火成活動の実体を、日本列島に分布する岩石と熱水の調査、サンプリング、文献調査、分析によって物質科学的に捉え、沈み込み帯の温度場、流れ場、物質輸送のカップリング数値モデルと比較対照することによって、火成作用のメカニズムを明らかにする、(3) 含水マントルおよび地殻物質の高温高圧変形実験を行い、H₂O 流体が沈み込むスラブやウェッジマントルの地震学的特性に及ぼす影響を明らかにするとともに、スラブ起源流体の発生・浸透過程を制約する、(4) (1) から (3) を合わせて、沈み込み帯の温度構造、流動・変形、物質循環に関する統合モデルを構築する。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、概ね上記計画の準備(数値モデルのデザイン、野外調査・サンプリング、実験装置の開発・テスト)を行う。以下の計画を実施予定である
地殻変動：地表変形データおよび既存反射法地震探査データの再解析によって、東北日本における鮮新世以降の島弧リソスフェアの変形領域と、中新世におけるリソスフェア伸張領域とが、どの様に対

応するかを検討する。弾性-粘弾性多層構造媒質中のモーメントテンソルによる歪み場および応力場の導出を解析的に行い、その結果を利用してプレートの沈み込みによりどのような応力場が島弧内に形成されるのか数値シミュレーションにより明らかにすると共に、インバージョン解析の理論的研究も進める。

火成活動：東北日本の新生代火山の調査、岩石試料採取、西南日本の中生代-新生代火成活動の調査、岩石および熱水試料採取と化学分析、年代決定を行う。沈み込み帯の温度場、流れ場、物質輸送のカップリング数値モデルの構築に向けて、素過程を理論的に洗い出す。

変形実験：1GPaまでの圧力で含水マントルを構成する蛇紋岩の脱水変形実験を行ない、スラブ内地震のメカニズムを調べる。東京大学に新たに開発した固体圧式変形試験機によって、さらに広い圧力領域(2GPa、地下60km相当)で実験ができるようにするため、各種キャリブレーションテストを行なう。

平成22年度以降においては、以下の研究を実施予定である(平成21年8月に、研究者の移動があり、これに伴って平成22年度以降の計画に変更が予定されているため、『平成22年度以降』として一括記載する)。

地殻変動：地表変形データおよび既存反射法地震探査データの再解析によって、東北日本における鮮新世以降の上部地殻の短縮量と、中新世における上部地殻の伸張量とを推定することを試みる。また、これらの結果と、島弧の広域的な隆起・沈降データおよびシミュレーション・インバージョン解析とを比較し、島弧リソスフェアの変形仮定を考察する。

火成活動：火山岩および地下水・温泉・熱水系の調査・サンプリングに基づき、日本列島全域をカバーする空間規模で、沈み込むプレート由来(スラブ流体)の量と組成を、化学組成あるいは同位体システムティクス(特に、Pb,Nd,Srの5同位体比)に基づいて制約し、テクトニックセッティングとスラブ流体の起源の関係性を明らかにする。流体量の制約と、数値シミュレーションを合わせて、沈み込み帯のマグマ生成過程の定量的モデル化を行う。これらのマグマ生成場は、過去の東アジア一帯のテクトニクスとその歴史を強く反映する。中生代以降の火成・変成作用の時空分布・成因を、年代測定、化学・同位体分析によって解明し、対流の数値モデルと合わせることで、東アジアのテクトニクス発達史と、現在のセッティングの関係性を明らかにする。

変形実験：固体圧式変形試験機(東京大学・理)によって、蛇紋岩の高温高压変形実験を2GPa(地下60km相当)までの条件で行ない、沈み込むスラブにおける脱水反応・流体発生時の地震発生過程を明らかにする。また含水ウェッジマントルの脆性-延性転移挙動を明らかにし、スロー地震がカンラン岩の蛇紋岩化に起因するという説を検証する。

(7) 平成22年度成果の概要：

沈み込みに伴う山脈形成において、背弧域における地殻水平短縮が重要な役割を果たしていることが最近の研究によって分かってきた。本研究では昨年度に引き続き、反射法地震探査から得られる地下の地質構造から、東北日本弧の背弧域(羽越褶曲帯~北部フォッサマグナ)における地殻変形過程を検討した。昨年度の研究により、当該地域には中新世の日本海拡大時において非対称リフトが形成され、その構造が鮮新世~現在に至るこの地域の変形様式を強く支配していることが分かった。鮮新世以降の圧縮変形を引き戻す事によってこの非対称リフトの形状を復元した。その結果、この構造は羽越-北部フォッサマグナ堆積盆西縁から盆地下へ西傾斜で延びるリストリック断層とその深部延長に存在すると推定される水平な detachment 断層上でのすべりによって生じたと解釈された。屈折法地震探査のデータによれば東北日本背弧側では広範囲に下部地殻の薄化が起こっているため、上記 detachment 断層を介して上部地殻と下部地殻とで全く異なる様式の変形が生じていると推定される。

インバージョン解析の主に理論的研究を進めた。インバージョン解析では誤差の取り扱いが本質的に重要である。誤差は一般に観測誤差とモデル誤差の和からなる。これまで固体地球科学ではモデル誤差はほとんどの解析で無視されてきたが、近年観測精度が高まると共に観測密度も高くなり、データ間で相関を持つモデル誤差の重要性が増している。そこで、震源過程の地震波形インバージョンにお

いて、グリーン関数の誤差に起因するモデル誤差を解析に取り入れその有効性を示した（筑波大八木勇治氏と共同研究。投稿中）。また、InSAR（干渉合成開口レーダ）データの解析における、モデル誤差の重要性を明らかにした。更に、これまでに開発した ABIC（赤池ベイズ情報量規準）に基づく弱非線形インバージョン解析法を 2010 年ハイチ地震、2008 年四川地震の InSAR データに適用し、その滑り分布を明らかにした（京大防災研橋本学氏らと共同研究）。

弾性-粘弾性多層構造媒質中のモーメントテンソルによる歪み場および応力場の解析的な導出も行った（千葉大橋間昭憲氏らとの共同研究）。

当初の研究計画には含まれていなかったが、地殻変動の結果生じた地形の侵食過程についても研究を進めた。非対称山脈における隆起場と地形の関係を明らかにすると共に、侵食速度を規定する重要なパラメタの制約可能性を示した（投稿中）。河川侵食において、これまで数値モデルでは下刻の影響のみ専ら取り上げられてきたが、側刻（蛇行侵食）の効果も重要であることを示した（コロンビア大 Stark 氏らとの共同研究）。

第四紀火山岩の研究については、北海道、西南日本の試料について同位体分析を行い、結果として日本列島をかなりの密度で覆うことになった。その結果、より明確に、スラブ由来流体の組成と分布が明らかになりつつある。同時に、数値シミュレーションによって、スラブ由来流体の沈み込み帯ダイナミクスへの影響を評価するため、大きな粘性コントラストのある系を解くことが可能な直接法のコード開発に成功した。また、沈み込んだ成分が地球内部に大きく広がる様子を、海洋玄武岩の同位体を統計解析することにより見出した。その結果、かつての超大陸に向かって集中していた沈み込み成分が地球上に大きく 2 箇所あることが分かった。東南アジアの発達史に関しては、西南日本中央部を横断する断面において、70 を超える深成岩類試料について年代測定を行い、火成活動が系統的に動く様子を捉えた。この観察は、西南日本の発達史を理解する上で重要な制約を与え、特に海嶺沈み込みによる火成活動が重要な機構である可能性を示した。

- (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）：
榎本真梨・橋本学・福島洋・深畑幸俊，ALOS/PALSAR データを用いた 2008 年中国雑川地震に伴う地殻変動解析，測地学会誌，印刷中

Hashimoto, M., Y. Fukushima, and Y. Fukahata (2011) Fan Delta Uplift and Mountain Subsidence during the 2010 Haiti Earthquake, *Nature Geosci.*, in press.

Iwamori, H., Albarede, F., and Nakamura, H. (2010) Global structure of mantle isotopic heterogeneity and its implications for mantle differentiation and convection, *Earth Planet. Sci. Lett.*, doi:10.1016/j.epsl.2010.09.014.

Kusuda, C., Iwamori, H., Kazahaya, K., Morikawa, N., Takahashi, M., Takahashi, H.A., Ohwada, M., Ishikawa, T., Tanimizu, M., and Nagaishi, K. (2010) Geochemical modeling of slab-derived fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol.74, A550.

中村仁美, 岩森光 (2010) “スラブ起源流体と沈み込み帯でのマグマ生成”, *地学雑誌*, 119, 1054-1062.

Richard, G.C., and Iwamori, H. (2010). Stagnant slab, wet plumes and Cenozoic volcanism in East Asia. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 183, 280-287.

清水 以知子 (2010) 深部 H₂O 流体の連結性と界面の熱力学, *岩石鉱物科学*, 39, 208-219.

Stark, C.P., J.R. Barbour, Y.S. Hayakawa, T. Hattanji, N. Hovius, H. Chen., C.W. Lin, M.J. Horng, K.Q. Xu, and Y. Fukahata, 2010, The climatic signature of incised river meanders, *Science*, 327, 1497 - 1501.

- (9) 平成 23 年度実施計画の概要：

地殻変動：前年度に引き続き，東北日本における鮮新世以降の島弧リソスフェアの変形領域と、中新世におけるリソスフェア伸張領域とが、どの様に対応するかを検討する。また，鮮新世以降の上部地殻の短縮と、中新世における上部地殻の伸張とを定量的に求めることを試みる。インバージョン解析の理論的研究を更に進めると共に、実際の観測データへの適用も試みる。半解析的に導出した弾性-粘弾性多層構造媒質中のモーメントテンソルによる歪み場および応力場の表現を利用して、海洋プレー

トの沈み込みに伴う島弧内の変位場・応力場を数値シミュレーションにより明らかにする。地殻変動の結果生じた地形の侵食過程についても、流水侵食モデルに基づいた研究を進める。

火成活動：前年度に引き続き、火山岩および地下水・温泉・熱水系の調査・サンプリングに基づき、日本列島全域をカバーする空間規模で、沈み込むプレート由来（スラブ流体）の量と組成を明らかにすべく、化学組成と同位体システム解析を進める。また、前年度に開発した数値シミュレーションを合わせて、沈み込み帯のマグマ生成過程の定量的モデル化を行う。これらのマグマ生成場は、過去の東アジア一帯のテクトニクスとその歴史を強く反映する。中生代以降の火成・変成作用の時空分布・成因を、年代測定、化学・同位体分析によって解明し、対流の数値モデルと合わせることで、東アジアのテクトニクス発達史と、現在のセッティングの関係性を明らかにする。

変形実験：スロー地震がカンラン岩の蛇紋岩化に起因するという説を検証するため、蛇紋岩の高温高压変形実験を 2GPa（地下 60km 相当）までの条件で行ない、沈み込むスラブにおける脱水反応・流体発生時の地震発生過程を明らかにする。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岩森光、および研究員・学生（東京工業大学）

他機関との共同研究の有無：有

池田安隆、清水以知子、および研究員・学生（東京大学大学院理学系研究科）

深畑幸俊（京都大学防災研究所）

東京大学地震研究所、静岡大学、広島大学、産業技術総合研究所、JAMSTEC

(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：東京工業大学院理工学研究科地球惑星科学専攻

電話：03-5734-2339

e-mail：

URL：<http://www.geo.titech.ac.jp/index.php>