

平成 21 年 6 月 30 日 現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004 ～ 2008

課題番号：16075101

研究課題名（和文） スタグナントスラブ：マントルダイナミクスの新展開

研究課題名（英文） Stagnant Slab: A Key Word for the Mantle Dynamics

研究代表者

深尾 良夫 (FUKAO YOSHIO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・センター長

研究者番号：10022708

研究成果の概要：本特定領域の下、観測、実験、シミュレーショングループの連携により、スタグナントスラブの滞留と落下のメカニズム及びその地学的意義についての理解が飛躍的に進んだ。計画期間中に、観測からはマントル深部に沈み込むスラブの地震学的・電磁気学的形状と微細構造が明らかになった。高温高圧実験からはマントル遷移層物質の様々な物性が明らかになった。計算機シミュレーションからはスラブの滞留と落下の条件及びスラブ沈み込みに伴う水の挙動がかなり明らかになった。これらの成果を統合してスラブの沈み込みからマントル最下部への沈澱に到るまでの1つのシナリオを得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004 年度	2,900,000	0	2,900,000
2005 年度	4,000,000	0	4,000,000
2006 年度	4,900,000	0	4,900,000
2007 年度	4,000,000	0	4,000,000
2008 年度	4,900,000	0	4,900,000
総計	20,700,000	0	20,700,000

研究分野：理工系

科研費の分科・細目：地球・宇宙科学系

キーワード：地球深部スラブ，地球物理長期観測，高温高圧実験，計算機シミュレーション，水，マントル遷移層，地球進化，マントル対流

1. 研究開始当初の背景

地震・火山現象を引き起こすプレート運動は、マントル全体で起きている対流（＝マントル対流）の表層の動きに他ならない。地球活動の全体像を理解する上でマントル対流の解明は必須である。マントル対流の実体は未だよくわかっていないが、その最大の特徴は、対流の湧き出し口がプレートの生産域（中央海嶺）と一致せず、一方、沈み込み口はプレートの消滅域（海溝）と一致する点に

ある。即ち、マントル上昇流が厚いプレートに覆われてよく見えないのに対して、下降流はプレートの沈み込みとして地表でも観察可能なのである。従ってマントル対流の実体解明には、沈み込むスラブ（＝プレートのマントル中に沈み込んだ部分）に着目して下降流の側からマントル対流の全体像に迫るアプローチが有効と考えられる。沈み込むスラブに関して、日本はリージョナルスケール・グローバルスケールの地震波トモグラフィ

一、あるいはスラブ物質の相転移・脱水反応に関する高温高压実験において世界をリードする成果を得ている。またマントル深く沈み込んだスラブの鮮明なイメージングには海底地球物理観測が欠かせないが、その技術開発において日本は世界をリードしている。今やこれら実績を1つの領域研究へと結集し、下降流の側からマントル対流の全容に迫る機は熟している。

2. 研究の目的

(1) 世界最大の沈み込み帯である北西太平洋域を、スタグナントスラブの形状により極東ロシア域、日本域、フィリピン海域の3地域に分けて、特に分解能の低い極東ロシア域とフィリピン海域において長期アレー地震・電磁気観測を実施する。得られたデータに基づき従来よりも格段に鮮明なスタグナントスラブ像を得て、スタグナントスラブの顕著な形状変化が何に起因するかを観測の側から明らかにする。

(2) 沈み込むスラブが上部・下部マントル境界付近で滞留するメカニズムと下部マントルへ崩落するメカニズムをマントル物質に関する高温高压実験により明らかにする。このためスラブと周囲マントルとの相転移反応の違い、物性（密度・弾性波速度・電気伝導度・熱膨張率・レオロジー）の違いを明らかにし、また両者の間の（特に脱水反応を媒介とした）熱的・化学的相互作用を解明する。

(3) 沈み込むスラブが遷移層に滞留するメカニズムには、相転移反応、粘性率の温度・深さ依存性、スラブの内部構造などが関与している。これらの要素がそれぞれマントル対流にどのように影響するかを明らかにする。またそれらを総合し現実の地球に近いパラメタ空間・モデル空間で世界最速のコンピューター「地球シミュレータ」を動かし対流モデリングを行う。その結果と観測・実験結果とを合わせて、スタグナントスラブの滞留と崩落のメカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

本領域では、観測分野の4計画研究が観測による成果を領域に持ち込む一方、モデリング分野の4計画研究は実験・コンピューターシミュレーションによる成果を領域に持ち込む。中でコンピューターシミュレーション分野の2計画研究は観測・実験分野から領域に持ち込まれた成果を結合する役割も持つ。総括班（班長は領域研究代表者）は、領域の中でこの流れが機能するよう全体をリードし、各計画研究の進展と連携具合を点検する。特にスラブの沈み込みから遷移層滞留（スタグナントスラブ）を経て崩落に至る過程に関して一貫したイメージを得ることを目標に、

各計画研究間のフィードバックを図る。このために必要な国内ワークショップ及び国際シンポジウムを開催する。また得られた統合イメージを国際誌にレビュー論文として発表する。

4. 研究成果

本研究領域が目指すところは、スタグナントスラブに着目し、地球物理観測・物質科学モデリング・計算機モデリングを統合して設定した課題を解決し、マントルダイナミクスに新しい潮流を形成することにある。領域研究を通じてスタグナントスラブに関する2つの疑問

1. メカニズム：沈み込んだスラブは何故溜まり、何故落ちる？

2. 地学的意義：スラブが溜まり溜まったスラブが落下すると何が起こる？

の解明が、各研究項目および研究項目間連携によって進展した。

メカニズム「なぜ」に関しては、スラブの変形特性の指標となる高温高压物性（遷移層鉱物の弾性常数、電気伝導度、拡散係数、相転移に伴う粒径変化、クラペイロン勾配への水の影響など）の測定、および測定結果を取り込んだ流体運動シミュレーションによってスラブ滞留の様々な要因（海溝後退、スラブ伏角変化、細粒化に伴う粘性降下、660-km層粘性比、クラペイロン勾配、粘性レオロジー）が評価された。その結果、どの要因がスラブの滞留にどのような影響を及ぼすかが見えてきた。また海底観測結果を取り込んだ地震波トモグラフィーにより滞留スラブが660-km層を貫通する過程や貫通後の激しく変形したスラブの形状が見えてきた。特にスラブに関わる水の輸送と放出については集中的な成果が得られつつある。これらの成果は既に多くがSCIENCEやNATUREを含む国際誌に発表されているが、今後もデータ解析が終わるにつれて数多くの論文が発表されることが見込まれる。

地学的意義「どうなる」については、海底観測結果を取り込んだ地震波トモグラフィーにより沈み込み過程から滞留過程への移行に伴うスラブの亀裂が見えてきた。滞留スラブの下では660-km層以深にも地震学的不連続面のあることがわかってきた。スラブの下部マントルへの落下に伴いスラブ海洋地殻成分が周囲マントルより重くなりポストペロフスカイト相転移も周囲より早く起きることを実験的に明らかにし、海洋地殻成分が最下部マントルに蓄積する可能性が示された。この結果を取り込んだマントル対流シミュレーションにより最下部マントルに蓄積した海洋地殻成分こそがスーパープルームの実体であり巨大岩石区(LIPs)の源泉であるとするモデルが提示された。また地震

学的手段／実験的手段の組み合わせによりポストペロフスカイト転移の特異性とマントル最下部構造の複雑性との関係が明らかにされつつある。これらの成果は既に多くの国際誌に発表されているが、データ解析が終わるにつれてより多くの連携成果が見込まれる。

観測研究（研究項目 A1 と A2）ではほぼ予定通り観測点の設置、共同観測の開始、海底観測機器の設置が行われ、観測途上で回収されたデータは上記に述べた成果に既に反映されている。最後の回収は2008年11月で現在そのデータ処理がようやく終わった段階である。全計画期間を通してデータの回収率は海底地震観測が90%弱、海底電磁気観測は100%であった。処理されたデータの解析が進めば、これまでのデータで得られたカムチャッカから日本を経てマリアナに至る地球上最大の沈み込み帯の内部の高分解能イメージは更に解像度が増すと期待される。地質学的時間スケールの現象の瞬時のスナップショットである観測による地球内部イメージと、様々な条件下での高温高压実験の結果を数値対流モデルに統合し、スタグナントスラブの地球史に及ぼす影響が明らかにされつつある。

本領域では、研究成果を積極的に国際学術誌や国際学会で発表するのに加え、国際学会にセッション提案を行うなどしてより多くの研究者の関心を引き付ける試みを継続してきた。終了年度の時点で発表査読論文数はSCIENCE誌5篇、NATURE誌6篇を含む520篇でそのうち約9割が欧文国際誌である。開催したワークショップ・国際シンポジウムの内訳は下記のとおり。

- (1) 平成17年5月の地球惑星関連合同学会（現在の地球惑星科学連合大会）共通セッション「地球深部スラブ」
- (2) 平成18年5月の地球惑星科学連合大会国際セッション Deep Mantle Slab (2日間)
- (3) 平成19年7月の国際測地学地球物理学連合 (IUGG) の総会 (イタリア・ペルージア) : 本研究領域提案セッション Deep Mantle Slab
- (4) 平成19年11月松山研究集会
- (5) 平成21年2月国際シンポジウム (於・京都) Stagnant slab (3日間)
- (6) 市民向け講演会2回実施 (平成17年11月福岡、平成19年11月松山)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

*この他に512件 (総件数519件)

1. Fukao, Y., Obayashi, M., Nakakuki, T. and Deep slab project group (H. Utada, D. Suetsugu, T. Irifune, E. Ohtani, Y. Hamano, S. Yoshioka, H. Shiobara, T. Kanazawa, K. Hirose), Stagnant slab: A review, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 37, 19-46, 2009. 査読有
2. Obayashi, M., J. Yoshimitsu, Y. Fukao, Slab tearing to be stagnant, Science, 324, 1173-1175, 2009. 査読有
3. Kawakatsu, H., P. Kumar, Y. Takei, M. Shinohara, T. Kanazawa, E. Araki, K. Suyehiro, Seismic Evidence for Sharp Lithosphere-Asthenosphere Boundaries of Oceanic Plates, Science, 324, 499-502, 2009, 査読有.
4. Utada, H., Koyama, T., Obayashi, M., Fukao, Y., A joint interpretation of electromagnetic and seismic tomography models suggests the mantle transition zone below Europe is dry, Earth Planet. Sci. Lett., 281, 249-257, 2009. 査読有
5. T. Irifune, Y. Higo, T. Inoue, Y. Kono, H. Ohfuji and K. Funakoshi, Sound velocities of majorite garnet and the composition of the mantle transition region, Nature, 451, 814-817, 2008. 査読有
6. Ohtani E. and Sakai T., Recent advances in the study of mantle phase transitions. Physics of the Earth and Planetary Interiors 170, 240-247, 2008. 査読有
7. Torii, Y. and Yoshioka, S., Physical conditions producing slab stagnation: Constraints of the Clapeyron slope, mantle viscosity, trench retreat, and dip angles, Tectonophysics, 445, 200-209, 2007. 査読有

[学会発表] (計8件)

*この他に809件 (総件数817件)

1. Yanagisawa, T., The effect of phase transition and viscosity layering on the slab stagnation, Stagnant Slab Project International Symposium, Kyoto, February 26, 2009.
2. Y. Fukao, Integration of efforts in different disciplines towards the goal of the stagnant slab project, Keynote address, Final SSP International Symposium on "DEEP SLAB and MANTLE DYNAMICS", Kyoto, February 25, 2009.
3. Yoshioka, S., 2D temperature model in deep slabs incorporating kinetics of the 410-km and 660-km phase transformations, Final SSP International Symposium on "DEEP SLAB and MANTLE DYNAMICS", Kyoto, February 25, 2009.
4. D. Suetsugu, The mantle discontinuity depths beneath the Russian Far East as determined

by Japan-Russia cooperative broadband network, Asian Seismological Society Meeting, Tsukuba, November 24, 2008.

5. H. Utada, On one-dimensional mantle conductivity modeling of 3-dimensional Earth, AGU 2008 Fall Meeting, San Francisco, December 15, 2008 (invited).
6. H. Shiobara, First step for mobile ocean bottom broadband seismic observation of the next generation, AGU Fall meeting, San Francisco, USA, December 12, 2008.
7. T. Irifune, Sound velocity measurements to 20 GPa and 1800K at SPring-8 and some applications, AGU 2008 Joint Assembly, Fort Lauderdale, USA, May 28 2008.
8. Ohtani E., Physical and chemical properties of melts under deep earth conditions and their importance in geodynamics. 2007 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, December 11, 2007. (Bowen Lecture, Invited)

[図書] (計 3 件)

1. 阪口 秀、草野 完也、末次 大輔、階層構造の科学、東京大学出版会、227p、2008.
2. T. Irifune and T. Tsuchiya, Phase transitions and mineralogy of the lower mantle, in Treatise on Geophysics 2, D. Price (ed.), Elsevier Sci. Publ., 33-62, 2007.
3. 大谷栄治・掛川武 「地球・生命 その起源と進化」 共立出版、189p、2005.

[その他]

ホームページ等

<http://ohp-ju.eri.u-tokyo.ac.jp/tokutei/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

深尾 良夫 (FUKAO YOSHIO)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部
変動研究センター・センター長
研究者番号：10022708

(2) 研究分担者

笠原 稔 (KASAHARA MINORU)
北海道大学大学院・理学研究科・教授
研究者番号：40001846
末次 大輔 (SUETSUGU DAISUKE)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部
変動研究センター・グループリーダー
研究者番号：20359178
金澤 敏彦 (KANAZAWA TOSHIHIKO)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：30114698
歌田 久司 (UTADA HISASHI)
東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：70134632

入船 徹男 (IRIFUNE TETSUO)

愛媛大学・理学部・教授

研究者番号：80193704

大谷 栄治 (OHTANI EIJI)

東北大学大学院・理学研究科・教授

研究者番号：60136306

浜野 洋三 (HAMANO YOZO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部

変動研究センター・プログラムディレクター

—

研究者番号：90011709

吉岡 祥一 (YOSHIOKA SHOICHI)

九州大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号：20222391

川勝 均 (KAWAKATSU HITOSHI)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：60242153

塩原 肇 (SHIOBARA HAJIME)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：60211950

(3) 連携研究者

笠原 稔 (KASAHARA MINORU)

北海道大学大学院・理学研究科・教授

研究者番号：40001846

末次 大輔 (SUETSUGU DAISUKE)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部

変動研究センター・グループリーダー

研究者番号：20359178

金澤 敏彦 (KANAZAWA TOSHIHIKO)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：30114698

入船 徹男 (IRIFUNE TETSUO) 平成 20 年

7 月 24 日まで

愛媛大学・理学部・教授

研究者番号：80193704

西山 宣正 (NISHIYAMA NORIMASA) 平成 20

年 7 月 25 日から

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究セン

ター・助教

研究者番号：10452682

大谷 栄治 (OHTANI EIJI)

東北大学大学院・理学研究科・教授

研究者番号：60136306

浜野 洋三 (HAMANO YOZO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部

変動研究センター・プログラムディレクター

—

研究者番号：90011709

吉岡 祥一 (YOSHIOKA SHOICHI)

九州大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号：20222391

川勝 均 (KAWAKATSU HITOSHI)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：60242153
塩原 肇 (SHIOBARA HAJIME)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号：60211950