

機関番号：82706

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19253004

研究課題名（和文） 海底地震・電磁気観測によるポリネシア・マントルプルームの実態解明

研究課題名（英文） Imaging of the Polynesian mantle plumes from seismic and geomagnetic observation on seafloor in French Polynesia

研究代表者

末次 大輔（SUETSUGU DAISUKE）

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域・プログラムディレクター

研究者番号：20359178

研究成果の概要（和文）：

ソサエティ・ホットスポット（仏領ポリネシア）の成因を推定するために、2009年2月から2010年12月にかけて同ホットスポット付近海域で広帯域海底地震計、海底磁力電位差計、海底差圧計の観測網を展開し、観測は成功裏に終了した。表面波解析の予察的結果によれば、同ホットスポットの上部マントルに顕著な低地震波速度異常が見出された。これは同ホットスポットの成因がマントル上昇流であることを示している。

研究成果の概要（英文）：

We deployed broadband seismographs, ocean bottom electro-magnetometers, and differential pressure gauges on the Polynesian seafloor from Feb. 2009 to Dec. 2010. The aim of the observation is to understand origins of hotspot volcanism of the Society Islands. The observation was completed with success. A preliminary data analysis shows a presence of slow seismic-wave velocities beneath the hotspot, which suggests a hot mantle plume as the origin of the volcanism of the Society hotspots.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	12,100,000	3,630,000	15,730,000
2008年度	13,700,000	4,110,000	17,810,000
2009年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
総計	33,200,000	9,960,000	43,160,000

研究分野：固体地球惑星物理学

科研費の分科・細目：数物系科学 A・固体地球惑星物理学

キーワード：ホットスポット、マントルプルーム、海底地震計、海底電磁気計、トモグラフィ

1. 研究開始当初の背景

仏領ポリネシアは、海底の異常な盛り上がり（大海膨）や多くのホットスポット火山島や特異な同位体組成を持つ火山岩、そして下部マントル深部の地震波低速度層の存在などが知られており、巨大なマントルプルーム（スーパープルーム）が存在するのではないかと考えられてきた。この地域は海洋地域であり地震活動も低いいためその地学的重要性にも関わらず地震観測が手薄であり、そのマントル

構造はよく理解されていなかった。研究代表者のこれまでの研究から、仏領ポリネシアのホットスポットのうち、ソサエティ・ホットスポットでは下部マントルから上部マントルを貫き地表までマントル・プルームが上昇している可能性が高いことがわかってきた。これは上部マントルと下部マントルの間に大きな物質の流れが存在することになり、マントルダイナミクスを理解する上で重要である。

しかしこれまでのデータからは、この問題の鍵を握る上部マントル・下部マントル境界付近（深さ400-1000km）の地震波速度分布を精度よく決定することができない。この深さ範囲は表面波トモグラフィーの分解能を超えており、また実体波トモグラフィーでこの深さの構造を調べるためにはこれまでの観測点分布が粗すぎるからである。より稠密な広帯域海底地震観測が望まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、仏領ポリネシア地域のソサエティー・ホットスポット（タヒチ島の南東200km）下のマントル構造を地震学的及び地球電磁気学的に推定し、ホットスポットの原因と考えられるマントル・プルーム（上昇流）の形状、温度異常、組成異常、そして起源深度を明らかにすることである。そのために、ソサエティー・ホットスポット海域に広帯域海底地震計（BBOBS）及び海底磁力計（OBEM）を設置し、1年半稼働させる。回収されるデータを用いて地震波トモグラフィーと電磁気トモグラフィーを行い、マントル・プルームの地震波速度・電気伝導度構造を求めて、プルームの形状、深度、温度・組成異常を推定する。

3. 研究の方法

(1) 既存データの解析

仏領ポリネシア海域でこれまでに得られている全ての地震波データを解析し、同海域全体の地震波速度構造や異方性構造を構築する。ここで得られた構造モデルを元にマントルにおける対流を求め、対流によって生じる表層地形を計算して実際の海底地形と比較する。

(2) ソサエティーホットスポット海域への海底地球物理観測網（TIARES）の展開
ソサエティーホットスポット直下マントルにターゲットを絞り、広帯域海底地震計

（BBOBS、図1）と海底電磁気計（OBEM、図2）を9箇所1年半設置する。BBOBSのう



図1 広帯域海底地震計（BBOBS）の外観



図2 海底電磁気計（OBEM、写真中央）の投入作業

ち2機には海底差圧計（DPG）が備えられている。

(3) TIARES データの解析

BBOBS で得られた地震波データを用いて以下の解析をおこなう。

①表面波トモグラフィーによる上部マントル速度構造推定

上部マントルの深さ400kmまでを対象に、表面波の位相速度分散を用いた表面波トモグラフィーをおこない、3次元S波速度構造を求める。

②レーンバー関数法によるマントル遷移層構造の推定

Ps変換波を解析することによって深さ400-700kmにある速度不連続面の凹凸を求め、そこからマントル遷移層における温度構造を求める。

③実体波トモグラフィーによるマントル遷移層-下部マントル速度構造

P波走時データを用いて深さ400-1500kmのP波速度構造を推定する。

④電磁気トモグラフィーによる上部マントル・マントル遷移層電気伝導度構造の推定

磁場と電位差データを用いた3次元MT法によって深さ400-500kmまでの3次元電気伝導度構造を推定する。

⑤地震波速度構造と電気伝導度構造の温度構造・水分布の推定

地震波速度と電気伝導度の温度や水に対する依存性が異なることを利用し、地震波速度と電気伝導度からソサエティーホットスポット下マントルの温度分布・水分布を推定する。

4. 研究成果

(1) 既存データの解析

本計画で得られるデータの解析準備としておこなっている既存データの解析は順調に進んでおり多くの成果論文が出版された。

①マントルプルームの地震学的イメージ

P波、S波走時トモグラフィーをおこない、深さ1000km以深に差し渡し1000km以上のスーパープルームが、それより浅いところで

は差し渡しが 500km 以下の細かいブルームが存在していることが分かった。

②マンツルの流れ場

上記のマンツル地震波速度構造に基づいて 3次元密度構造を求め、そこからマンツル対流を計算した。得られたマンツル対流から推定される海底地形の凹凸は測定されている海底地形とよく一致し、マンツル対流が正しく再現できていることを示す。

③地震波異方性

SKS 波スプリットングから上部マンツルの S 波異方性を求めた。大部分の観測点では太平洋プレートの運動方向に早い異方性が得られたが、ソサエティーホットスポット付近ではそれとは異なる異方性が求められた。ソサエティー付近では太平洋プレート運動方向に平行な全体の流れがブルーム上昇で乱されていることを示している。

以上、新データで用いる予定の解析手法はすべて既存データに対して適用しその有効性が明らかになるとともに、マンツルブルームに関する科学的成果として国際誌上で出版された。

(2) 海底地震計・電磁気計の設置・回収
観測機器の設置は平成 20 年度海洋研究開発機構の観測船「みらい」によって予定通り実施された。機器の回収は平成 22 年 11 月から 12 月にかけてタヒチの漁船を傭船しておこなわれ、全ての機器を無事回収した。データの回収率もほぼ 100%であり、観測を成功裏に終了することができた。この観測網は、タヒチの代表的な花の名前にちなんで TIARES と名づけられた。

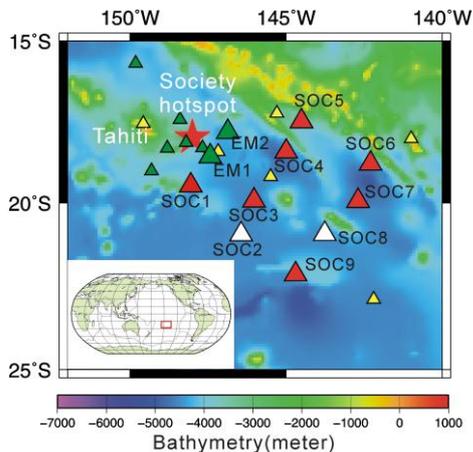


図 3 TIARES 観測網の配置図 (大きな△)。白△は BBOBS・OBEM・DPG 観測点；赤△は BBOBS・OBEM 観測点；緑△は OBEM のみ。小△は過去の観測点である。赤☆がソサエティーホットスポット。

(3) 新データの解析

①表面波トモグラフィー

TIARES の BBOBS データの上下動成分を解析し、レイリー波 (地球表層を伝わる地震波の一種) 位相速度の周期依存性を利用して 3次元 S 波速度を推定する手法 (表面波トモグラフィー) によって深さ 400km までの速度構造を推定した。その結果、ソサエティーホットスポット付近に上部マンツル深部までに及ぶ低速度異常が見出された。これはホットスポットの火山活動の原因がマンツル深部から上昇する高温ブルームであることを示唆する。また、ポリネシア全体で見ても、ホッ

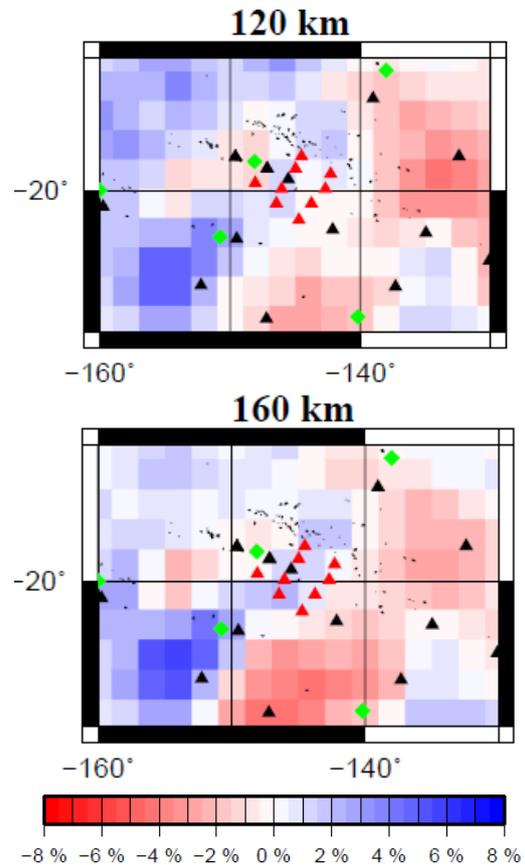


図 4 S 波速度分布。赤が低速度、青が高速度。黒△は既存・過去の観測点、赤△は TIARES 観測点。緑はホットスポット火山の位置。

トスポット直下には低速度異常が検出された。今後はより深部の情報を持つ実体波トモグラフィーをおこなう予定であり、現在、そのための P 波到着時刻読み取り作業を急ピッチですすめている。

②差圧計と電磁気計による津波検出

観測期間中の 2010 年 2 月 27 日に南米チリ沖でマグニチュード 8.8 の巨大地震が発生し、それによる津波が太平洋沿岸で観測された。TIARES の観測機器のうち、海底差圧計と海底電磁気計でも津波伝播に伴う明瞭なシグナルを記録することができた。津波の電磁気シグナルは、良導体である海水が津波によって

地球磁場中を運動することによって誘導されたものであり、理論的には以前から予測されていたが、津波によるシグナルは弱いためこれまでほとんど観測できなかった。これまで1観測点での観測が1例あるだけであり、観測網での観測はこれが世界初である。これは海底電磁気計の測定精度向上によるところが大きい。

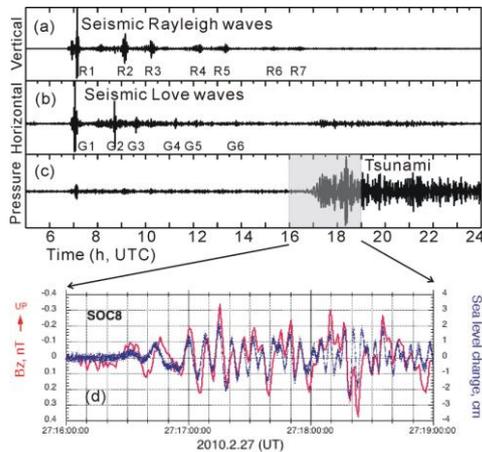


図5 2010年2月27日チリ地震の記録(観測点 SOC8)。(a)BBOBS 上下動；(b)BBOBS 水平動；(c)DPG。(a)-(c)は19時間の記録。DPG データで17時ごろから始まっているシグナルは津波による水位変動を表している。(d)OBEMによって得られた津波起源の磁場変動(黒線)。水圧変動(赤線)とよい相関を示している。(d)は3時間の記録。

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 34 件)

- ① Suetsugu, D., T. Inoue, M. Obayashi, A. Yamada, H. Shiobara, H. Sugioka, A. Ito, T. Kanazawa, H. Kawakatsu, A. Shito, Y. Fukao, Depths of the 410-km and 660-km discontinuities in and around the stagnant slab beneath the Philippine Sea: Is water stored in the stagnant slab?, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 183, 270-279, 2010 (査読有) .
- ② Adam, C., M. Yoshida, T. Isse, D. Suetsugu, Y. Fukao, and G. Barruol, South Pacific hotspot swells dynamically supported by mantle flows, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L08302, doi:10.1029/2010GL042534, 2010 (査読有) .
- ③ Gao, Y., D. Suetsugu, Y. Fukao, M. Obayashi, Y. Shi, R. Liu, Seismic discontinuities in the mantle transition zone and at the top of the lower mantle beneath eastern China and Korea: Influence of the stagnant Pacific slab, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 2010, 288-295 (査読有) .
- ④ Sugioka, H., D. Suetsugu, M. Obayashi, Y. Fukao, Y. Gao, Fast P and S wave velocities associated with the “cold” stagnant slab beneath the northern Philippine Sea, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 179, 1-6, 2010 (査読有) .
- ⑤ Sugioka, H., Y. Fukao, N. Hibiya, Evidence for infragravity wave-tide resonance in deep oceans, *Nature Communications*, 1, doi:10.1038/ncomms1083, 2010, (査読有).
- ⑥ Baba, K., H. Utada, T. Goto, T. Kasaya, H. Shimizu, N. Tada, Electrical conductivity imaging of the Philippine Sea upper mantle using seafloor magnetotelluric data, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 183, 270-279, 2010 (査読有) .
- ⑦ Suetsugu, D., T. Isse, S. Tanaka, M. Obayashi, H. Shiobara, H. Sugioka, T. Kanazawa, Y. Fukao, G. Barruol and D. Reymond, South Pacific mantle plumes imaged by seismic observation on islands and seafloor, *Geochemistry, Geophysics, Geosystem*, 10, Q11014, doi:10.1029/2009GC002533, 2009 (査読有) .
- ⑧ Barruol, G., D. Suetsugu, H. Shiobara, H. Sugioka, S. Tanaka, G. H. R. Bokelmann, F. R. Fontaine, and D. Reymond, Mapping upper mantle flow beneath French Polynesia from broadband ocean bottom seismic observations, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L14301, doi:10.1029/2009GL038139, 2009 (査読有).
- ⑨ Tanaka, S., D. Suetsugu, H. Shiobara, H. Sugioka, T. Kanazawa, Y. Fukao, G. Barruol, D. Reymond, The vertical extent of the large low shear velocity province beneath the South Pacific Superswell, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L07305, doi:10.1029/2009GL037568, 2009 (査読有).
- ⑩ Isse, T., H. Shiobara, Y. Tamura, D. Suetsugu, K. Yoshizawa, H. Sugioka, A. Ito, T. Kanazawa, M. Shinohara, K. Mochizuki, E. Araki, K. Nakahigashi, H. Kawakatsu, A. Shito, Y. Fukao, O. Ishizuka and J. B. Gill, Seismic structure of the upper mantle beneath the Philippine Sea from seafloor and land observation: Implications for mantle convection and magma genesis in the Izu–Bonin–Mariana subduction zone, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 278, 107-119, doi:10.1016/j.epsl.2008.11.032, 2009 (査読有).
- ⑪ Kasaya, T. (他 11 名中、第 1 著者), Trial of multidisciplinary observation at an expandable sub-marine cabled station "off-Hatsushima Island Observatory" in Sagami Bay, *Sensors*, 9, 9241-9254, 2009 (査読有).
- ⑫ Fukao, Y., K. Nishida, N. Kobayashi, Seafloor

topography, ocean infragravity waves and background Love and Rayleigh Waves, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2009JB006678, 2009 (査読有).

- ⑬ 塩原 肇、海底地震計用軽量自律型センサーの開発、地震2、61、137-144, 2009(査読有).
- ⑭ Tanaka, S., D. Suetsugu, M. Obayashi, H. Shiobara, H. Sugioka, Y. Fukao, T. Kanazawa, G. Burruol, P-wave tomography of the mantle beneath the South Pacific Superswell revealed by joint ocean floor and islands broadband seismic experiments, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 172, 268-277, 2008 (査読有).
- ⑮ 笠谷貴史 (他9名、第1著者)、深海巡航AUV「うらしま」によって得られた相模湾初島沖の海底地すべり音響イメージ、海洋調査技術、19、11-17、2007(査読有).
- ⑯ Tanaka, S., Possibility of a low P-wave velocity layer in the outermost core from global SmKS waveforms, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 259, 486-499, 2007 (査読有).

[学会発表] (計40件)

- ① Tada, N., Imaging and Understanding the Electrical Conductivity of Earth's Mantle; Lab Measurements, Regional and Global Studies, and Physical Interpretations, AGU Fall Meeting, 2010年12月14日、Moscone Center, San Francisco, USA.
- ② Sugioka H., Detection of near-source ground motions associated with VLF (very low frequency) earthquakes beneath the forearc slope of the Nankai trough by broadband ocean bottom seismometers, AGU Fall Meeting, 2010年12月14日、Moscone Center, San Francisco, USA.
- ③ Tanaka, S., Depth extent of hemispherical difference in equatorial path velocities in the upper inner core, AGU Fall Meeting, 2010年12月13日、Moscone Center, San Francisco, USA.
- ④ Tanaka, S., Deep Earth opportunities for EPOBS, Experiments with Portable Ocean Bottom Seismographs (EPOBS), 2010年9月27日、Snowbird Resort, Snowbird, Utah. USA.
- ⑤ Tanaka, S., Reduction of oceanic/seafloor noise, Experiments with Portable Ocean Bottom Seismographs (EPOBS), 2010年9月27日、Snowbird Resort, Snowbird, Utah. USA.
- ⑥ Tada, N. A three-dimensional inversion of marine magnetotelluric data: Extended version of WSINV3DMT, The 20th International Workshop on EM Induction in The Earth, 2010年9月20日、Cataract Pyramids Resort, Giza, Egypt.
- ⑦ Tanaka, S., Array analysis of PKP(BC) phase with station corrections for travel times and amplitudes, AGU Fall Meeting 2009, 2009年12月16日、Moscone Center, San Francisco, USA.

⑧ Kasaya, T., Recent progress of the Electro-Magnetic survey using ocean bottom electro magnetometer, RAEG2009, 2009年10月16日、京都大学.

- ⑨ Shiobara, H., First step for mobile ocean bottom broadband seismic observation of the next generation, Workshop for developing a broadband ocean bottom seismometer pool in the UK, 2009年9月15日、NOC Southampton, UK.
- ⑩ Tada, N. Modifications on wsinv3dmt to apply seafloor MT data, IAGA2009, 2009年8月26日、Liszt Ferenc Conference Center, Sopron, Hungary.
- ⑪ Ito, A., Submarine volcanic activity in French Polynesia detected by broadband ocean bottom seismographs, International Scientific Studies 2009, 2009年6月15日、Hofburg Congress Center Vienna, Austria.
- ⑫ Shiobara, H., First step for mobile ocean bottom broadband seismic observation of the next generation, AGU 2008 Fall meeting, 2008年12月17日、Moscone Center, San Francisco, USA.
- ⑬ Tanaka, S., S-wave velocity structure beneath the South Pacific superswell, derived from passive seismic experiments, AGU 2008 Fall meeting, 2008年12月15日、Moscone Center, San Francisco, USA.
- ⑭ Tanaka, S., P-wave travel time tomography in the mantle beneath the South Pacific superswell, the 7th General Assembly of Asian Seismological Commission, 2008年11月25日、つくば国際会議場.
- ⑮ Adam, C., French Polynesia hotspot swells explained by dynamic topography, AGU 2007 Fall meeting, 2007年12月11日、Moscone Center, San Francisco, USA.
- ⑯ Suetsugu, D., Seismic image of the South Pacific superswell, SOPAC 2007 annual meeting, 2007年11月22日、ヌクアロファ (トンガ王国).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

末次 大輔 (SUETSUGU DAISUKE)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部
ダイナミクス領域・プログラムディレクター
研究者番号：20359178

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

塩原 肇 (SHIOBARA HAJIME)
東京大学地震研究所・准教授

研究者番号：60211950
杉岡 裕子 (SUGIOKA HIROKO)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部
ダイナミクス領域・技術研究主任
研究者番号：00359184
一瀬 建日 (ISSE TAKEHI)
東京大学地震研究所・助教
研究者番号：60359180
笠谷 貴史 (KASAYA TAKAFUMI)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部
ダイナミクス領域・技術研究副主任
研究者番号：90373456
多田 訓子 (TADA NORIKO)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部
ダイナミクス領域・技術研究副主任
研究者番号：00509713
伊藤 亜妃 (ITO AKI)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部
ダイナミクス領域・技術研究主事
研究者番号：90371723
馬場 聖至 (BABA KIYOSHI)
東京大学地震研究所・助教
研究者番号：70371721
田中 聡 (TANAKA SATORU)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部
ダイナミクス領域・主任研究員
研究者番号：60281961
深尾 良夫 (FUKAO YOSHIO)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部
ダイナミクス領域・領域長
研究者番号：10022708

(4)研究協力者

Dominique Reymond

タヒチ地球物理学観測所・所長

Claudia Adam

ポルトガル・エボラ大学地球科学教室・助
手