

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月28日現在

機関番号：82706

研究種目：学術創成研究費

研究期間：2007～2012

課題番号：19GS0211

研究課題名（和文） 統合国際深海掘削計画（IODP）研究の推進：国際的リーダーシップの確立

研究課題名（英文） Promoting research in Integrated Ocean Drilling Program (IODP): towards establishing the international leadership

研究代表者

巽 好幸 (TATSUMI YOSHIYUKI)

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・招聘上席研究員

研究者番号：40171722

研究成果の概要（和文）：IODP 関連プロジェクトを国際的に主導して実効化することを目指した。NanTroSEIZE では、「ちきゅう」による掘削を行い、地震発生帯を含む付加体の応力・熱構造を解明した。IBM では地下構造・マグマ過程の総合解析により、大陸地殻が海洋島弧で形成されるとする仮説を提案し、それを実証する4点の掘削提案を実現した。LIP/OAE では巨大マグマ活動と表層環境変動のリンクを高解像度同位体比分析によって確認した。Mohole では、海域構造探査・陸域オフィオライト調査などを総合し、マントル掘削の候補地点を決定した。

研究成果の概要（英文）：This research aims to establish the international leadership of Japanese scientists for four IODP (Integrated Ocean Drilling Program)-related research projects and to realize drilling experiments for these projects by 'Chikyu.' NanTroSEIZE conducted Chikyu drilling at Nankai Trough and has decoded the stress and thermal structure of the subduction zone complex including the seismogenic zone. IBM proposed the continental crust formation model based on subarc crust-mantle structure and petrological/geological constraints, which enables four drilling experiments to be on a schedule of IODP expeditions. LIP/OAE found a close linkage between surface global changes and Os-Pb isotopic record decoded in marine sediments. Mohole conducted geophysical and geological surveys both in the ocean and the obducted oceanic crust section and, based on these data, decided successfully three candidates for mantle-drilling.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	88,500,000	26,550,000	115,050,000
2008年度	84,600,000	25,380,000	109,980,000
2009年度	88,500,000	26,550,000	115,050,000
2010年度	83,600,000	25,080,000	108,680,000
2011年度	82,200,000	24,660,000	106,860,000
総計	427,400,000	128,220,000	555,620,000

研究分野：地質学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：統合国際深海掘削計画（IODP）・地震発生帯・海洋島弧・大陸地殻形成・

白亜紀温室期・海洋無酸素事変・巨大マントルブルーム・モホ面

1. 研究開始当初の背景

2003年に開始されたIODPは、地球システム変動の包括的理解を目指す日米主導の大

型国際共同研究計画である。我が国は最新鋭のライザー掘削船「ちきゅう」を投入しているが、IODP研究をリードするには、「ちきゅう

う」を用いた超深度掘削提案を実効化し、掘削研究を主導することが必要不可欠である。そのための、地震学的構造探査を含む事前研究実施に必要な経費の確保が急務であった。

2. 研究の目的

- (1) NanTroSEIZE：来る30年以内の発生確率70%とされる、南海トラフにおける海溝型巨大地震に関して、地震発生プロセスの包括的理解と、地震発生予測の高度化を計る。
- (2) IBM：地球進化の解明に必要な不可欠な大陸の起源に関する知見を得るために、伊豆小笠原マリアナ弧における、地殻進化過程および大陸地殻形成過程の包括的理解を進める。
- (3) LIP/OAE：地球システム変動の包括的理解とその基本原理の解明を目指して、白亜紀温室期地球システムを総合的に解析する。
- (4) Mohole：地殻貫通とマントル物質の採取を目的とした掘削提案の実現にむけた事前研究を実施する。

3. 研究の方法

(1) NanTroSEIZE:

- ① 断層の物性・状態変化が地震発生（不安定すべり）をおこすとの仮説の検証。
- ② すべりの分配（地震・非地震）の断層内直接観測による検出。
- ③ 断層物質の分析・解析による地震発生に至る物性・状態の変化の把握と観測可能な先行現象の認識。
- ④ 孔内観測基地を設置による次期巨大地震発生にいたる過程の連続観測。
- ⑤ 南海トラフ全域における巨大地震発生に関する包括的モデルの構築。

(2) IBM

- ① 島弧中部地殻構成岩石の成因の理解。
- ② 下部地殻の融解によるマグマ生成過程の実験岩石学的検討。
- ③ 地殻・マントル構造の詳細決定。
- ④ 大陸地殻成長モデルの提案。
- ⑤ 複合掘削提案の実効化。

(3) LIP/OAE

- ① 巨大マントルプルーム（LIP）活動と海洋無酸素事変（OAE）の因果関係の理解。
- ② オントンジャワLIPの地殻マントル構造の解明。
- ③ 複合掘削提案の作成。

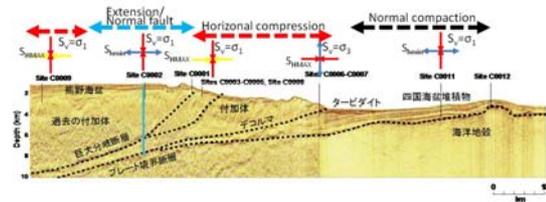
(4) Mohole

- ① 掘削候補地点の選定。
- ② オフィオライト岩体の調査・海洋地殻構造探査に基づく、モホ面の実体の理解。

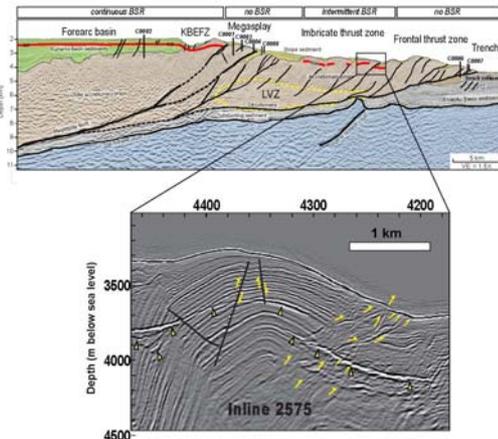
4. 研究成果

(1) NanTroSEIZE

17サイトで掘削（うち2点はライザー掘削）を行い、最大1600mまで到達、また地震断層浅部掘削に成功した。これらの結果を総合し、付加体浅部の広域応力場を明らかにした。



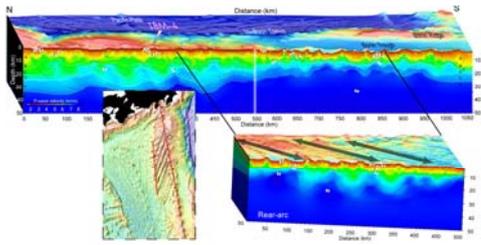
さらに、熱流量測定・BSR(海底疑似反射面)分布から浅部付加体の熱構造を明らかにし、BSRが前縁断層を境に不連続であることから、断層活動が最近1Ma以内であることを推定した。



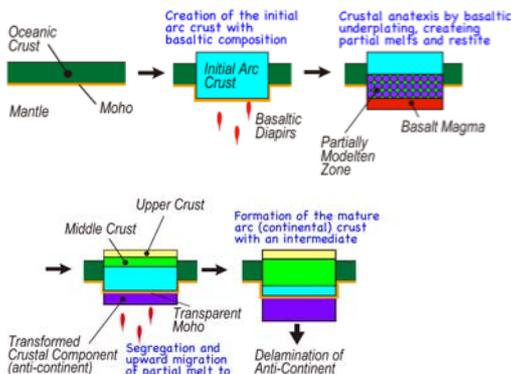
一方で、これらの成果を元に、第二期IODPにおいて、海溝型巨大地震発生帯で生じる物質循環、物理化学過程の解明の重要性を強調し、主要研究項目として国際的に認識された。

(2) IBM

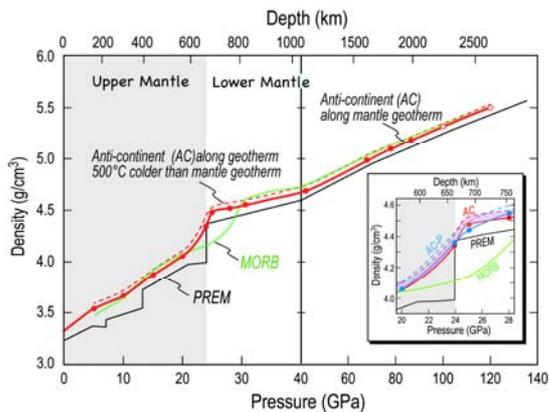
IBMの主要な島弧横断・伸長断面について高解像度の地殻・マントル構造を明らかにした。その結果、大陸地殻と同一物性を有する中部地殻が、IBMに代表される海洋島弧に普遍的に存在することが明らかになった。また、中部地殻と含む島弧地殻は、玄武岩質大型火山の直下で厚く成長している。



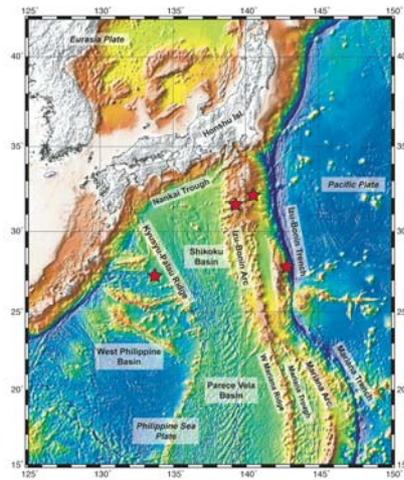
この地殻・マントル構造を物質科学的に再現するために、IBM 弧に産する火成岩に関して、地質学・岩石学・地球化学・高温高压化の相関係を総合的に解析し、「モホ面を超えて、マフィックな融解残査（反大陸物質）がマントルへ排出されることで、玄武岩質島弧地殻が安山岩質大陸地殻へ進化する」という大陸地殻形成モデル（「海で誕生する大陸」モデル）を提案した。



さらに、反大陸物質について超高压実験、地球化学的モデリングを行い、反大陸物質はマントルの底に蓄えられた後、ホットスポットの起源物質として上昇すること、つまりマントル内でリサイクルしていることを見いだした。



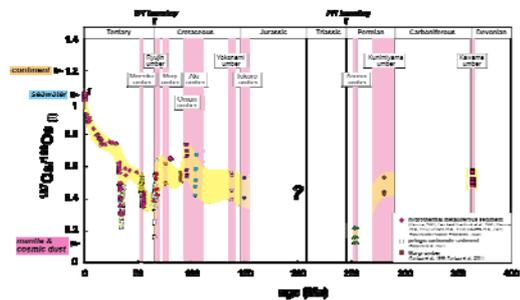
これらの成果、およびより詳細な海底構造探査の結果を元に、国際ワークショップを2度開催し、4つのIODP掘削提案を提出した。その結果、3つに関しては来年度より掘削が開始されることになり、またハイライトとも言える中部地殻に達する超深度掘削についても、スケジューリング段階に入った。



さらに、第二期IODPにおいても、本プロジェクトを発展させた「初期島弧形成過程の解明」が重点項目に選定された。

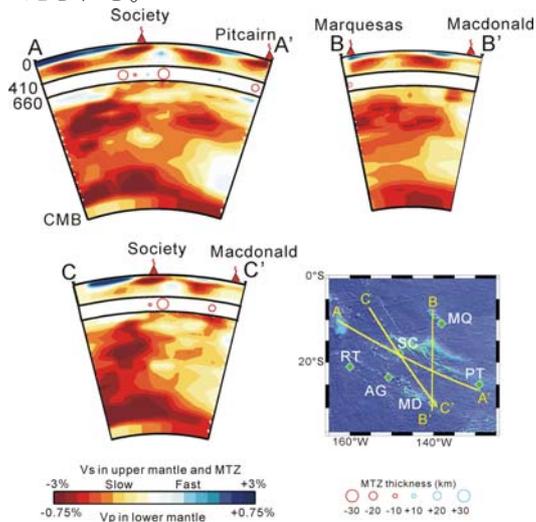
(3) LIP/OAE

鉛やオスミウムの高解像度同位体比分析を海洋堆積物に適用し巨大火成岩区(LIP)の活動との因果関係を解析した。その結果、海洋無酸素事変として知られてきた時期に加えて、三疊紀/ジュラ紀境界やバレミアン/アプチアン境界などの主要な地質境界についてもLIPによるものと考えられる大規模かつ明瞭な火成活動の記録を見出した。LIPと同時に起きた海洋無酸素事変(OAE)については、火成活動に起因する海洋環境の変動によって引き起こされたものと推定した。堆積物中に含まれるクロフィルの化石分子の窒素同位体比を初めて測定し、OAE時の海洋表層では窒素固定能をもつ生物によって栄養塩である硝酸が供給されていたことを明らかにした。



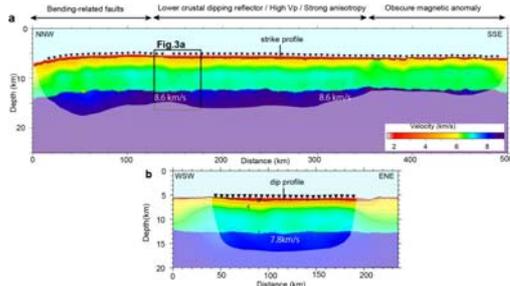
白亜紀にLIPが形成された南太平洋域において、広帯域海底地震観測データを用いた地震波トモグラフィーを行い、南太平洋下のコア・マントル境界から下部マントル深さ1000 kmまで1000 kmスケールの低速異常があり、その上から地表のホットスポット火山に100 kmスケールの細い低速異常がつながっていることを明らかにした。白亜紀には下部マントルの高温

異常がより地表近くに位置していたと考えられる。

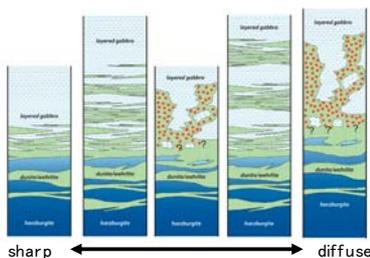


(4) Mohole

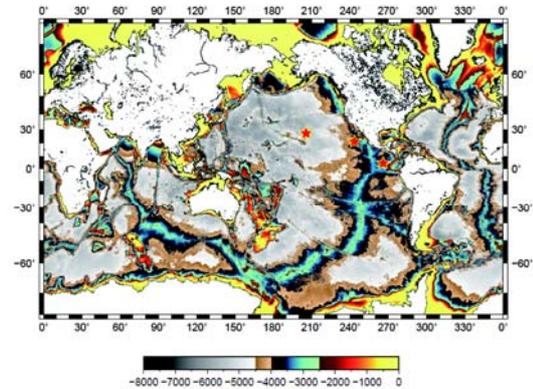
西太平洋で高精度構造探査を実施し、典型的な海洋地殻-マントル断面の特性を明らかにし、さらに、能動的なマントル対流の存在を示唆した。



モホの岩石学的実体を明らかにすべく、オマーン・オフィオライトの下部地殻～上部マントルの特性を解析した結果、以下の点が明らかになった。モホ遷移帯 (MTZ) はオマーンではセグメントの中心 (厚く、変化に富む) と端 (薄く、単純) では異なる。厚い MTZ (比較的 Mg に富む) では、フラックスの付加により、高い部分溶融が深部で期待される。オフリッジの島弧マグマ活動により、上記の初生的モホは著しく改変し、複雑化する。



「ちきゅう」を用いて海洋地殻貫通とマントルからのサンプルリターン (Mohole 計画) を実施する際の、技術的束縛条件、科学的妥当性を評価し、掘削可能な候補地点を選定した。今後、掘削に向けた近くマントルの構造調査を実施する。



さらに、第二期 IODP においても、本プロジェクトを発展させた「Mohole」が重点項目に選定された。

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 194 件)

- ① Fujie, G., S. Kodaira, M. Yamashita, T. Sato, T. Takahashi and N. Takahashi (2013) Systematic changes in the incoming plate structure at the Kuril trench, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 88-93, 査読有り, doi: 10.1029/2012GL054340
- ② Negishi, H., Arai, S., Yurimoto, H., Ito, S., Ishimaru, S., Tamura, A and Akizawa, N. (2013) Sulfide-rich dunite within a thick Moho transition zone of the northern Oman ophiolite: implications for the origin of Cyprus-type sulfide deposits, *Lithos*, 164-167, 22-35, 査読有り, doi:10.1016/j.lithos.2012.11.024
- ③ Suetsugu, D., and T. Hanyu (2013), Origin of hotspots in the South Pacific: Recent advances in seismological and geochemical models, *Geochemical J.*, 47, 259-284, 査読有り, <http://svr4.terrapub.co.jp/journals/GJ/pdf/free/4702/47020259.pdf>
- ④ Miura, M., Arai, S., Ahmed, A.H., Mizukami, M., Okuno, M., and Yamamoto, S. (2012) Podiform chromitite classification revisited: A comparison of discordant and concordant chromitite pods from Wadi Hilti, northern Oman ophiolite, *Journal of Asian Earth Sciences*, 59, 52-61, 査読有り, doi:10.1016/j.jseas.2012.05.008
- ⑤ Akizawa, N., Arai, S. and Tamura, A. (2012) Behavior of MORB magmas at uppermost

- mantle beneath a fast-spreading axis: an example from Wadi Fizh of the northern Oman ophiolite, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 164, 601-625, 査読有り, doi: 10.1007/s00410-012-0762-4
- ⑥Ichiyama, Y., Ishiwatari, A., Kimura, J-I., Senda, R., Kawabata, H., Tatsumi, Y., (2012) Picrites in central Hokkaido: Evidence of extremely high temperature magmatism in the Late Jurassic ocean recorded in an accreted oceanic plateau, *Geology*, 40, 411-414, 査読有り, doi: 10.1130/G32752.1
- ⑦Hanyu, T., Tatsumi, Y., et al. (2011) Geochemical characteristics and origin of the HIMU reservoir: A possible mantle plume source in the lower mantle, *G-cubed*, 12, Q0AC09, 査読有り, doi:10.1029/2010GC003252
- ⑧Kinoshita, M., G. F. Moore, and Y. N. Kido (2011), Heat flow estimated from BSR and IODP borehole data: Implication of recent uplift and erosion of the imbricate thrust zone in the Nankai Trough off Kumano, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 12, Q0AD18, 査読有り, doi:10.1029/2011GC003609
- ⑨Kuroda, J., Tanimizu, M., Hori, R.S., Suzuki, K., Ogawa, N.O., Tejada, M.L.G., Coffin, M.F., Coccioni, R., Erba, E., and Ohkouchi, N. (2011) Lead isotopic record of Barremian-Aptian marine sediments: Implications for large igneous provinces and the Aptian climatic crisis, *Earth and Planetary Science Letters*, 307, 126-134, 査読有り, doi:10.1016/j.epsl.2011.04.021
- ⑩Sekine, Y., Suzuki, K., Senda, R., Tajika, E., Tada, R., Goto, K., Yamamoto, S., Ohkouchi, N., and Ogawa, N.O. (2011) Osmium evidence for synchronicity between a rise in atmospheric oxygen and Palaeoproterozoic deglaciation, *Nature Communications* 2, 502, 査読有り, doi:10.1038/ncomms1507
- ⑪Raimbourg, H., Y. Hamano, S. Saito, M. Kinoshita, and A. Kopf (2011), Acoustic and mechanical properties of Nankai accretionary prism core samples, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 12, 4, 査読有り, doi:10.1029/2010GC003169
- ⑫Raimbourg, H., Ujiie, K., Kopf, A., Hisamitsu, T., Hamano, Y., Saito, S., Kinoshita, M. (2011), The role of compaction contrasts in sediments in decollement initiation in an accretionary prism, *Marine Geology*, 282, 188-200, 査読有り, doi:10.1016/j.margeo.2011.02.011
- ⑬Arai, S. (2010) Possible recycled origin for ultrahigh-pressure chromitites in ophiolites, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 105, 280-285, 査読有り, doi:10.2465/jmps.100622a
- ⑭Lin, W., M.-L. Doan, J. C. Moore, L. McNeill, T. B. Byrne, T. Ito, D. Saffer, M. Conin, M. Kinoshita, et al. (2010), Present-day principal horizontal stress orientations in the Kumano forearc basin of the southwest Japan subduction zone determined from IODP NanTroSEIZE drilling Site C0009, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L13303, 査読有り, doi:10.1029/2010GL043158
- ⑮Kuroda, J., Hori, R. S., Suzuki, K., Gröcke, D. R., and Ohkouchi, N. (2010) Marine osmium isotope record across the Triassic-Jurassic boundary from a Pacific pelagic site, *Geology*, 38, 1095-1098, 査読有り, doi: 10.1130/G31223.1
- ⑯Suetsugu, D., et al. (2010), 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, 査読有り, doi:10.1016/j.pepi.2010.09.004
- ⑰Tani, K., Dunkley, D. J., Kimura, J-I., Wysoczanski, R. J., Yamada, K. & Tatsumi, Y. (2010). Syncollisional rapid granitic magma formation in an arc-arc collision zone: Evidence from the Tanzawa plutonic complex, Japan, *Geology* 38, 215-218, 査読有り, doi: 10.1130/G30526.1
- ⑱Suetsugu, D., et al. (2009), South Pacific mantle plumes imaged by seismic observation on islands and seafloor, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10, Q11014, 査読有り, doi:10.1029/2009GC002533
- ⑲Takahashi N, Kodaira S, Tatsumi Y et al (2009). Structural variations of arc crusts and rifted margins in the southern Izu-Ogasawara arc-back arc system, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10, Q09X08, 査読有り, doi:10.1029/2008GC002146
- ⑳Tamura, Y., Gill, J. B., Tollstrup, D., Kawabata, H., Shukuno, H., Chang, Q., Miyazaki, T., Takahashi, T., Hirahara, Y., Kodaira, S., Ishizuka, O., Suzuki, T., Kido, Y., Fiske, R. S. & Tatsumi, T. (2009). Silicic Magmas in the Izu-Bonin Oceanic Arc and Implications for Crustal Evolution, *Journal of Petrology*, 50, 685-723, 査読有り, doi: 10.1093/petrology/egp017
- ㉑Tejada, M. L. G., Suzuki, K., Kuroda, J., Coccioni, R., Mahoney, J. J., Ohkouchi, N., Sakamoto, T., and Tatsumi, Y. (2009) Ontong Java Plateau eruption as a trigger for the early Aptian oceanic anoxic event, *Geology*, 37, 855-858, 査読有り, doi: 10.1130/G25763A.1
- ㉒Kashiyama, Y., Ogawa, N. O., Kuroda, J., Shiro, M., Nomoto, S., Tada, R., Kitazato, H.,

and Ohkouchi, N. (2008) Diazotrophic cyanobacteria as the major photoautotrophs during mid-Cretaceous oceanic anoxic events: Nitrogen and carbon isotopic evidence from sedimentary porphyrin, *Organic Geochemistry*, 39, 532-549, 査読有り, doi:10.1016/j.orggeochem.2007.11.010

②③ Python, M., Ceuleneer, G. and Arai, S. (2008) Chromian spinels in mafic-ultramafic mantle dykes: Evidence for a two-stage melt production during the evolution of the Oman ophiolite, *Lithos* 106, 137-154, 査読有り, doi:10.1016/j.lithos.2008.07.001

②④ Takahashi N, Kodaira S, Tatsumi Y et al (2008) Structure and growth of the Izu-Bonin-Mariana arc crust: 1. Seismic constraint on crust and mantle structure of the Mariana arc-back-arc system, *J Geophys Res.*, 113, B1, 査読有り, doi:10.1029/2007JB005120

②⑤ Tatsumi, Y., Shukuno, H., Tani, K., Takahashi, N., Kodaira, S. & Kogiso, T. (2008). Structure and growth of the Izu-Bonin-Mariana arc crust: 2. Role of crust-mantle transformation and the transparent Moho in arc crust evolution, *J Geophys Res*, 113, B02203, 査読有り, doi:10.1029/2007JB005121

②⑥ Sawyer, Audrey H., P. Flemings, D. Elsworth, and M. Kinoshita (2008), Response of submarine hydrologic monitoring instruments to formation pressure changes: Theory and application to Nankai advanced CORKS, *J. Geophys. Res.*, 113, B01102, 査読有り, doi:10.1029/2007JB005132

[学会発表] (計 303 件)

① Tatsumi, Y. The Andesite Problem: Why is this Planet to be the Earth? AGU (Bowen Award Lecture), Dec. 4 2012, the Moscone Center, San Francisco, USA.

② Kinoshita, M. Interseismic stress accumulation at the locked zone of Nankai Trough seismogenic fault off Kii Peninsula, AGU, Dec. 5 2011, the Moscone Center, San Francisco, USA.

③ Tatsumi, Y. Global chemical cycles and relation to mantle dynamics, Reaching the Mantle Frontier: Moho and Beyond, Sep. 9 2010, the Carnegie Institution of Washington, Washington, DC. USA.

④ Ohkouchi, N. Nitrogen isotopic compositions of sedimentary chlorophylls and porphyrins for reconstructing paleo nitrogen cycle, International Conference on Paleoceanography, Aug. 31 2010, La Jolla, California, USA.

⑤ Arai, S. Diversity and origin of Moho in the northern Oman ophiolite, EGU General

Assembly 2009, Apr. 22 2009, the Austria Center Vienna, Austria.

[図書] (計 8 件)

① 巽好幸, 幻冬舎新書、地球の中心で何が起きているのか、2011、211

② 巽好幸, 河出書房新社、いちばんやさしい地球変動の話、2011、226

③ 巽好幸, 岩波書店、なぜ地球だけに陸と海があるのか、2012、128

④ 巽好幸, 新潮選書、地震と噴火は必ず起こる、2012、197

[その他]

① NanTroSEIZE におけるちきゅう掘削に関する報道、プレス発表多数 (木下正高、他)

② TBS 系列情熱大陸で、Mohole, IBM, LIP に関する研究紹介 (巽好幸)

③ 2009 年 2 月、欧州 6 カ国 10 機関で、日本主導の IODP 科学計画についてレクチャーシリーズ開催 (巽好幸)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

巽 好幸 (TATSUMI YOSHIYUKI)

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・招聘上席研究員

研究者番号：40171722

(2) 研究分担者

木下 正高 (KINOSHITA MASATAKA)

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・所長

研究者番号：50225009

大河内 直彦 (OHKOUCI NAOHICO)

独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・プログラムディレクター
研究者番号：00281832

小平 秀一 (KODAIRA SHUICHI)

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：80250421

荒井 章司 (ARAI SHOJI)

金沢大学大学院・自然システム学系・教授
研究者番号：20107684

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

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