

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400457

研究課題名(和文) 『大きなマントルウェッジ』(BMW) 内の3次元マントル対流シミュレーション

研究課題名(英文) Numerical experiments of mantle convection in a Big Mantle Wedge associated with subducting plates

研究代表者

亀山 真典 (KAMEYAMA, MASANORI)

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・教授

研究者番号：70344299

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、研究代表者が中心となって開発してきたマントル対流のシミュレーションプログラムを発展させ、プレート沈み込み帯の局所的なマントルダイナミクスに注目したシミュレーションプログラムを開発した。新たなプログラムを用いた数値シミュレーションによって沈み込んだスラブの挙動や形態の多様性の原因の検討を行い、沈み込み口である海溝の移動速度やその時間変化の重要性を指摘した。またこれと並行して、プレートテクトニクスと深く関係するマントルダイナミクスの諸問題の解明を意図したプログラムの開発やシミュレーション研究も実施し、今後の高度なシミュレーション研究に資する技術を確立することができた。

研究成果の概要(英文)：In this study we have newly constructed simulation programs of mantle convection near the subduction zones, by extending our own techniques. The new programs have been utilized for numerical experiments on the dynamic behaviors of the slabs of cold descending plates near the base of the upper mantle. The series of our experiments demonstrated that the formation and avalanche of stagnant slabs are strongly related with the trench retreat particularly through its temporal changes. These findings may further imply that our study can offer important clues to the understanding of tectonic histories of subduction zones (such as the trench migration and back-arc opening), by properly combining with the observations on the morphology and behavior of subducting slabs in the mantle transition zone beneath them. Through our attempt of constructing these simulation programs, we have also developed new numerical techniques toward advanced modeling of mantle dynamics.

研究分野：固体地球惑星物理学

キーワード：マントル対流 数値シミュレーション プレート沈み込み 停滞スラブ

1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこれまでマントル対流のシミュレーションプログラムを自ら開発し、それを駆使したマントルダイナミクスの研究を進めてきた。その1つとして、プレート沈み込み帯周辺の局所的な流れ場の計算に特化した2次元シミュレーション (Kameyama and Nishioka, Geophys. Res. Lett., 2012) を実施したところ、沈み込んだプレートが上部マントル最深部で横たわる現象(「スラブの停滞」)が起きる場合には、停滞スラブの根元から局所的な上昇流が発生することが分かった。この結果は、東アジア地域での長白山(白頭山)に代表される、プレート境界から遠く離れた大陸の内部に火山を発生させるメカニズムの1つを提案した。さらに言えばこのモデルは、従来のプレートテクトニクス理論が不得手とする、プレート境界から離れたところで発生する地学現象の原因を考察するにあたっての新たなアプローチとなる可能性をも期待させるものであった。

2. 研究の目的

本研究の第1の目的は、研究代表者がこれまでに整備・活用してきたシミュレーションツール群の融合により、プレート沈み込み帯の局所的なマントルダイナミクスに注目したシミュレーションプログラムを開発することである。また開発したプログラムを用いて、プレート沈み込み帯でのマントルの流れ場に関する数値シミュレーションを実施することが第2の目的である。さらにこれらを通して、プレートテクトニクスと深く関係するマントルダイナミクスの諸問題の解明に資することも大きな目的である。

3. 研究の方法

本研究では、研究代表者自らが開発・整備してきたマントル対流シミュレーションプログラムをベースとし、これに必要な機能を順次追加していくことによって、プログラムの機能向上を図っていく。また開発したプログラムを用いて、固体地球惑星のマントルダイナミクス分野のいくつかのテーマに焦点を当てたシミュレーション研究を実施する。

4. 研究成果

本研究で実施した具体的な作業は、技術開発を主とするものとシミュレーション研究を主とするものの2つに大別される。以下では各々の成果について記す。

(1) 技術開発

2次元全円環領域内熱対流シミュレーションプログラム

計算のコストを抑えつつ地球の「まるい」形状の効果を取り入れるため、2次元の円環形状モデルに基づくマントル対流の数値シミュレーションプログラムを新たに開発した。この際、マントル対流の流れ場解法の特性に依拠して、円環の一部分のみを扱う部分円環モデルと、円環全体を扱う全円環モデルの2つに分けて開発を実施した。部分円環モデルにおいては、マントル対流の流れ場を流線関数(あるいは速度場のベクトルポテンシャル)を經由して解く方法を採用した。この方法は計算機資源の利用効率(メモリ使用量や並列化など)の点で不利ではあるものの、粘性率などの物理量の空間変化に対して頑丈なソルバとなっている。いっぽう全円環モデルにおいては、研究代表者が提案したACuTE法と呼ばれる高速アルゴリズムを採用した。この方法はメモリ使用量や並列化といった点で非常に優れており、部分円環モデルの手法を単純に全円環領域に適用した場合と比べて約60倍もの計算の高速化を図ることができた。

直交曲線座標系における移流方程式ソルバ

本研究ではCIP-CSLR法に基づく移流方程式ソルバを整備し、その多次元化や直交曲線座標系への適用を行った。CIP-CSLR法とは、数値計算メッシュの(i)界面における物理量の値と(ii)メッシュにわたる物理量の積分値、の2つの拘束条件を用いることによってメッシュ内の物理量の値の分布を有理関数で補間し、得られた分布を移流させる方法である。この方法を用いることにより、移流させる物理量の分布の「形」と「総量」の保存だけでなく「有界性」をも十分に満足させることができる。また方向分離という考え方に基づき、多次元の移流方程式であっても各方向の1次元移流方程式の組み合わせとして解くことができる。加えて、極座標系のような直交曲線座標系の場合であっても、適切な座標変換を施すことによってデカルト座標系と同様な移流方程式に変換し、その後方向分離を適用してやればよい。いくつかのテスト計算を行った結果、方向分離や座標変換を利用したCIP-CSLR法がこうした座標系での移流方程式であっても「形」「総量」「有界性」の保存をすべて十分に満足した数値解法であることを実証した。

非ソレノイダルなストークス流の数値解法

固体マントルの速度場が体積変化によって非ソレノイダルになってしまう場合に有効な、マントル対流の流れ場ソルバを新たに開発した。この目的は、マグマや水といった液相が対流する固体マントルの中を移動していく状況をモデル化にあたって、液相の

流入・流出に伴う固体マトリックスの膨張や収縮の効果を取り入れることにある。本研究では2種類の方法を整備し、マントル対流シミュレーションプログラムに実装した。1つはベクトル解析でよく知られる「ヘルムホルツ分解」を利用する方法であり、固体マントルの速度場のうち非ソレノイダルな成分とソレノイダルな成分を別個に解くものである。もう1つは研究代表者が開発したソレノイダルなストークス流の解法 (ACuTE 法) を転用する方法であり、ACuTE 法のアルゴリズムにごく軽微な修正を施すことによって、非ソレノイダルな流れ場を解くことを可能にした。いずれの方法であっても、ソレノイダルな流れ場を解く場合と比べて計算時間の増加をごくわずかに抑えることに成功した。なおこの成果をまとめた論文を現在投稿準備中である。

(2) シミュレーション研究

多様なスラブ挙動の「カタログ化」、およびスラブ挙動に影響を与えるパラメータ値のスラブの形態比較による制約

2次元円環形状領域内でのマントル対流シミュレーションプログラムを用いて、スラブ沈み込みの数値シミュレーションを実施した。ここでは、上部-下部マントル境界での主要構成鉱物の相転移の負のクラペイロン勾配・そこでの粘性ジャンプ・海溝移動速度・海洋プレート速度の4つを変更パラメータとし、これらの値を系統的に変化させた多数の組み合わせを考慮した。さらに、プレート収束速度と沈み込みの継続時間が分かっているスラブについて、観測と本研究の結果を比較対照し、観測されるスラブの形態をうまく再現できるパラメータ値の組み合わせの制約を試みた。

変更パラメータを幅広く変化させた256通りのシミュレーションにより、多様なスラブ挙動を再現し、各挙動が発現するパラメータの組み合わせを調べることで、スラブ形態のカタログ化に成功した。また複数の沈み込み帯について、シミュレーションと地震波トモグラフィー観測結果のスラブ形態を比較することによって、海溝移動速度を有意に制約できることを見出した。また上部-下部マントル間の粘性ジャンプが先行研究によって示唆された値より小さい(約10倍以下)可能性が高いことを指摘した。これらの成果は、日本地震学会2016年秋季大会で発表し、学生優秀発表賞を受賞した。さらにこれらの成果をまとめた論文を現在準備中である。

停滞から崩落までを含めた「スラブの一生」に与える海溝後退速度の時間変化の影響の解明

上部マントル最深部での停滞からその後

の下部マントルへの崩落までを含めた「スラブの一生」に実際の沈み込み帯テクトニクス史を適切に反映させることができるように従来のモデルを改良した。新たな計算プログラムを用いて、海溝移動速度が時間とともに変化する場合のシミュレーションを系統的に実施し、停滞スラブの多様な崩落様式の再現を試みた。

海溝移動速度が時間的に不変という仮定を排することにより、例えば停滞スラブの折れ曲がり部分から崩落するものや、深さ1000km付近で停滞するものなど、従来のモデルでは再現できなかった特異なスラブの崩落様式の再現に成功した。この結果は、海溝移動の有無やその速度の時間変化が停滞スラブの崩落様式を支配する最も重要な役割をもつ可能性を示唆する。この成果は、JpGU-AGU Joint Meeting 2017で学生優秀発表賞を受賞した。さらにこれらの成果をまとめた論文を現在準備中である。

表層のプレート分布とマントル内上昇ブルームの関係に関するシミュレーション

本研究では、マントル内上昇ブルームとの関係が期待されている(i)超大陸サイクルと(ii)マントル深部の熱化学構造という2つの要素の相互関係の理解を深めること目指し、2次元半円環領域内でのマントルの熱組成対流の数値シミュレーションを行った。計算領域の上面には「動く大陸」のモデルとして上面の1/3を覆う高粘性の硬いフタ、また下面には初期条件として高密度物質の層を設置する。これらの分布やその時間変化を追跡することで、表面の大陸と深部の化学的不均質の挙動を観察する。モデルの側壁では反射境界条件を採用し、全円環でのシミュレーションを擬似的に行っている。

ここでは特に高密度物質の負の浮力の程度を表すパラメータ値を系統的に変化させて計算を行ったところ、このパラメータが十分大きな値をもつときには大陸が効果的に駆動されることで超大陸の離合集散が引き起こされたが、そうでないときには超大陸サイクルのような大陸の周期的な移動は見られなかった。この違いは、マントル深部での高密度物質の分布の違いによる上昇ブルームの発生パターンの違いが原因であった。この結果に基づいて、超大陸の離合集散サイクルの仕組みについて考察すると、周囲のマントルと比べて十分高い密度を持つ化学的不均質構造がマントル深部に存在することだけでなく、超大陸から離れたところで発生する下降流もが重要な役割を果たしていると考えられる。言い換えると、超大陸サイクルにおける表面での大陸の分布とマントル深部での化学的不均質物質の分布との間を結び付けているものは、深部からの上昇ブルームというよりはむしろ表面からの沈み込む下降流であると考えられる。なおこの成果は

日本地質学会第 124 年学術大会にて招待講演として発表した。また既に国際誌に論文として掲載済みである。

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 10 件)

1. M. Kameyama, and M. Yamamoto, Numerical experiments on thermal convection of highly compressible fluids with variable viscosity and thermal conductivity: Implications for mantle convection of super-Earths, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 274, 23-36, 2018. x (査読有) [doi:10.1016/j.pepi.2017.11.001]
2. M. Kameyama, and A. Harada, Supercontinent cycle and thermochemical structure in the mantle: Inference from two-dimensional numerical simulations of mantle convection, *Geosciences*, 7, 126, 2017. (査読有) [doi:10.3390/geosciences7040126]
3. T. Miyagoshi, M. Kameyama, and M. Ogawa, Extremely long transition phase of thermal convection in the mantle of massive super-Earths, *Earth, Planets Space*, 69, 46, 2017. (査読有) [doi:10.1186/s40623-017-0630-6]
4. T. Yanagisawa, M. Kameyama, and M. Ogawa, Numerical studies on convective stability and flow pattern in three-dimensional spherical mantle of terrestrial planets, *Geophys. J. Int.*, 206, 1526-1538, 2016. (査読有) [doi:10.1093/gji/ggw226]
5. H. Ichikawa, S. Yamamoto, K. Kawai and M. Kameyama, Estimate of subduction rate of island arcs to the deep mantle, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 5447-5460, 2016. (査読有) [doi:10.1002/2016JB013119]
6. M. Kameyama, Linear analysis on the onset of thermal convection of highly compressible fluids with variable physical properties: Implications for the mantle convection of super-Earths, *Geophys. J. Int.*, 204, 1164-1178, 2016. (査読有) [doi:10.1093/gji/ggv507]
7. T. Miyagoshi, M. Kameyama, and M. Ogawa, Thermal convection and convective regime diagram in super-Earths, *J. Geophys. Res. Planets*, 120, 1267-1278, 2015. (査読有) [doi:10.1002/2015JE004793]
8. H. Ichikawa, K. Kawai, S. Yamamoto, and M. Kameyama, Effect of water on subduction of continental materials

to the deep Earth, In A. Khan, and F. Deschamps, editors, *The Earth's heterogeneous mantle: A Geophysical, Geodynamical, and Geochemical Perspective*, pages 275-299, Springer, 2015. (査読有)

- [doi:10.1007/978-3-319-15627-9_9]
9. M. Kameyama, T. Miyagoshi and M. Ogawa, Linear analysis on the onset of thermal convection of highly compressible fluids: Implications for the mantle convection of super-Earths, *Geophys. J. Int.*, 200, 1066-1077, 2015. (査読有) [doi:10.1093/gji/ggu457]
 10. H. Ichikawa, M. Kameyama, H. Senshu, K. Kawai, and S. Maruyama, Influence of majorite on hot plumes, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 7501-7507, 2014. (査読有) [doi:10.1002/2014GL061477]

[学会発表](計 37 件)

1. 亀山 真典、小河 正基、宮腰 剛広、柳澤 孝寿、「火成活動とプレートテクトニクスの3次元モデリング: 岩石惑星マンツルの熱化学進化の解明に向けて」、ポスト「京」萌芽的課題・計算惑星 第2回 公開シンポジウム、平成30年3月26日、神戸大学先端融合研究環統合研究拠点 (兵庫県神戸市中央区)
2. M. Kameyama, Simulation Studies on Mantle Dynamics of Terrestrial Planets: Theoretical Backgrounds, Tools and Outcrops, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing、平成30年3月10日、早稲田大学西早稲田キャンパス (東京都新宿区)
3. 土田 真愛、亀山 真典、「スタグナントスラブの形成・崩落メカニズムに関する数値シミュレーション」日本地震学会2017年度秋季大会、平成29年10月27日(金)、鹿児島県民交流センター (鹿児島県鹿児島市)
4. 亀山 真典、原田 あかり、「超大陸サイクルとマンツル内熱化学構造との相互関係: 2次元マンツル対流シミュレーションに基づく考察」日本地質学会第124年学術大会、平成29年9月18日(月;祝)、愛媛大学城北キャンパス (愛媛県松山市) [招待講演]
5. 亀山 真典、「マンツル対流と地学現象」流れと澱みを語る会、平成29年6月3日~4日、名古屋大学鶴舞キャンパス (愛知県名古屋市昭和区)
6. 土田 真愛、亀山 真典、Numerical simulations on the formation and behaviors of slabs in 2-D spherical annulus (2次元円環状モデルを用いたスラブの挙動・形態に関する数値シミュレーション) Jpgu-AGU Joint Meeting

- 2017 (日本地球惑星科学連合 2017 年大会)、平成 29 年 5 月 22 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
7. 宮腰 剛広、小河 正基、亀山 真典「スーパーアースのマンテル対流シミュレーション: 惑星サイズ依存性」日本地球惑星科学連合 2017 年大会、平成 29 年 5 月 25 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 8. 宮腰 剛広、小河 正基、亀山 真典「粘性率の応力履歴依存性を持つ流体の熱対流によるプレートテクトニクスの 3 次元シミュレーション」日本地球惑星科学連合 2017 年大会、平成 29 年 5 月 22 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 9. 柳澤 孝寿、亀山 真典、小河 正基「対流する固体マンテル中での軽い液相の分離様式」日本地球惑星科学連合 2017 年大会、平成 29 年 5 月 22 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 10. 亀山 真典、小河 正基「火成活動を伴うマンテル対流シミュレーションの試み: モデル形状の効果はいかほどか」日本地球惑星科学連合 2017 年大会、平成 29 年 5 月 22 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 11. M. Ogawa, M. Kameyama, and T. Yanagisawa, Numerical studies of mantle evolution in planets of various sizes, American Geophysical Union 2016 Fall Meeting、平成 28 年 12 月 15 日、サンフランシスコ (アメリカ合衆国)
 12. 土田 真愛、亀山 真典「2 次元円環状モデルを用いたスラブの挙動・形態に関する数値シミュレーション」日本地震学会 2016 年度秋季大会、平成 28 年 10 月 5 日、名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市熱田区)
 13. M. Kameyama, and M. Kinoshita, Numerical simulations on the upwelling plumes in the mantle of super-Earths in 2-D axisymmetric geometry, The 26th Goldschmidt Conference、平成 28 年 6 月 27 日、パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市西区)
 14. 亀山 真典、山本 真由美「熱伝導率の深さ依存性と強い圧縮性をもつ流体の熱対流シミュレーション: スーパー地球のマンテル対流に対する考察」日本地球惑星科学連合 2016 年大会、平成 28 年 5 月 26 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 15. 亀山 真典、宮腰 剛広、柳澤 孝寿、小河 正基「マンテル対流シミュレーションの技術開発: 地球型惑星内部の解明に向けて」日本地球惑星科学連合 2016 年大会、平成 28 年 5 月 24 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 16. 宮腰 剛広、亀山 真典、小河 正基「巨大スーパーアースのマンテル対流シミュレーション」日本地球惑星科学連合 2016 年大会、平成 28 年 5 月 24 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 17. H. Ichikawa, S. Yamamoto, K. Kawai, and M. Kameyama, Estimate of subduction rate of island arcs to the deep mantle, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会、平成 28 年 5 月 23 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 18. M. Kameyama and M. Kinoshita, Numerical simulations on the upwelling plumes in the mantle of super-Earths in 2-D axisymmetric geometry, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会、平成 28 年 5 月 22 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 19. 宮腰 剛広、亀山 真典、小河 正基「スーパーアースのマンテル対流シミュレーション」日本天文学会 2016 年春季年会、平成 28 年 3 月 15 日、首都大学東京 南大沢キャンパス (東京都八王子市)
 20. 亀山 真典、宮腰 剛広、柳澤 孝寿、小河 正基「マンテル対流シミュレーション: 地球型惑星内部の解明に向けて」日本天文学会 2016 年春季年会、平成 28 年 3 月 15 日、首都大学東京 南大沢キャンパス (東京都八王子市)
 21. H. Ichikawa, K. Kawai, S. Yamamoto, and M. Kameyama, Supply rate of continental materials by subduction of island arcs, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会、平成 27 年 5 月 28 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 22. 原田 あかり、亀山 真典「海洋性地殻物質の沈み込みとマンテル内化学的不均質構造の形成に関する数値シミュレーション」日本地球惑星科学連合 2015 年大会、平成 27 年 5 月 26 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区) ポスター
 23. 山本 真由美、亀山 真典「スーパー地球のマンテル対流シミュレーション: 熱伝導率の深さ依存性と断熱圧縮の効果」日本地球惑星科学連合 2015 年大会、平成 27 年 5 月 26 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区) ポスター
 24. M. Kameyama, Linear analysis on the onset of thermal convection of highly compressible fluids with variable physical properties, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会、平成 27 年 5 月 26 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 25. 小河 正基、柳澤 孝寿、亀山 真典「月のマンテル対流の三次元球殻モデリング」日本地球惑星科学連合 2015 年大会、平成 27 年 5 月 26 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 26. 柳澤 孝寿、小河 正基、亀山 真典「小さいコアを持つ球殻マンテルでの対流パターン: 粘性の温度依存性の影響」日

- 本地球惑星科学連合 2015 年大会、平成 27 年 5 月 26 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区) [招待講演]
27. 宮腰 剛広、亀山 真典、小河 正基「大質量スーパーアースのマントル対流の活発さと対流レジームダイアグラムについて」本地球惑星科学連合 2015 年大会、平成 27 年 5 月 25 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 28. H. Ichikawa, J. Hernlund, S. Labrosse, and M. Kameyama, Effective melt-silicate equilibrium temperature during core formation, 本地球惑星科学連合 2015 年大会、平成 27 年 5 月 24 日、幕張メッセ (千葉県千葉市美浜区)
 29. H. Ichikawa, M. Kameyama, H. Senshu, K. Kawai, and S. Maruyama, Influence of majorite on hot plumes, American Geophysical Union 2014 Fall Meeting, 平成 26 年 12 月 17 日、サンフランシスコ (アメリカ合衆国)
 30. T. Miyagoshi, M. Kameyama, and M. Ogawa, A stagnant lid formation and vigor of mantle convection in super-Earths, The 14th Symposium of SEDI, Study of the Earth's Deep Interior, 平成 26 年 8 月 7 日、湘南国際村センター (神奈川県三浦郡葉山町) ポスター
 31. M. Kameyama, A. Kimura, and R. Nishioka, Numerical simulation on the formation and development of stagnant slabs in 2-D cylindrical geometry, Asia Oceania Geosciences Society 2014 Annual Meeting, 平成 26 年 8 月 1 日、ロイトン札幌 (北海道札幌市中央区) ポスター
 32. T. Miyagoshi, M. Kameyama, and M. Ogawa, On the vigor of mantle convection and stagnant lid formation in super-Earths, Asia Oceania Geosciences Society 2014 Annual Meeting, 平成 26 年 8 月 1 日、ロイトン札幌 (北海道札幌市中央区) ポスター
 33. M. Kameyama, T. Miyagoshi, T. Nakagawa, T. Yanagisawa, T. Nakakuki, M. Ogawa, Mantle convection simulations on HPC: past, present and future, Asia Oceania Geosciences Society 2014 Annual Meeting, 平成 26 年 7 月 29 日、ロイトン札幌 (北海道札幌市中央区)
 34. 亀山 真典、宮腰 剛広、古市 幹人、中川 貴司、柳澤 孝寿、中久喜 伴益、小河 正基「マントル対流シミュレーションの HPC: これまでとこれから」本地球惑星科学連合 2014 年大会、平成 26 年 4 月 30 日、パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市西区)
 35. H. Ichikawa, M. Kameyama, H. Senshu,

- K. Kawai, and S. Maruyama, Influence of majorite on mantle convection, 本地球惑星科学連合 2014 年大会、平成 26 年 4 月 29 日、パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市西区)
36. M. Kameyama, Linear analysis on the onset of thermal convection of highly compressible fluids, 本地球惑星科学連合 2014 年大会、平成 26 年 4 月 29 日、パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市西区)
 37. 宮腰 剛広、亀山 真典、小河 正基「スーパーアースにおけるマントル対流とスタグナントリッドの形成について」本地球惑星科学連合 2014 年大会、平成 26 年 4 月 28 日、パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市西区)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
<http://earth.sci.ehime-u.ac.jp/~kameyama/>

6. 研究組織
 (1) 研究代表者
亀山 真典 (KAMEYAMA, Masanori)
 愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・教授
 研究者番号：70344299

(2) 研究分担者
 なし
 (3) 連携研究者
 なし
 (4) 研究協力者
 なし