

3C01

(Invited)

第一原理計算による地球内部物理学

○土屋卓久¹

(¹ 愛媛大地球深部ダイナミクス研究センター)

1. はじめに

密度汎関数理論に基づく第一原理計算法は、実験データに依存するような経験的なパラメータを一切用いずに物理学の基本法則のみから物質を高精度でシミュレートする方法である。最近の計算機の性能向上にも後押しされ、複雑な構造や組成を有する地球惑星物質に対しても適用範囲が広がり、高压高温物性を研究する有力な研究手段の一つとなった。計算結果は、地球惑星深部の極端条件下においては実験と同程度か場合によっては上回る精度を有しており、そのため重要性はますます増加している。本講演では、これまで我々の研究室において重点的に開発及び推進を行ってきた地球惑星物質のシミュレーションを中心に、第一原理計算による地球内部研究の現状について紹介する。

2. 高温高压相平衡

地球惑星物質の高温高压相平衡は、地球深部構造を研究するうえで最も基礎的な情報の一つである。高压下での安定結晶構造探索や高压相－低压相間の構造関係の解明には第一原理分子動力学（MD）法が有用である。また格子動力学（LD）法に基づく自由エネルギー計算から、固相－固相間の相転移境界を非経験的に制約することが可能である。我々はこれまでこれらの方法を用い、高压実験と協力しながら或いは計算のみから、マントル主要成分である MgSiO_3 、 SiO_2 、 Al_2O_3 などにおいて新たな相転移を見出してきた[1-3]。最近では多成分系、特に地球惑星科学的に重要となるアルミニウムや鉄の固溶効果への拡張も行い、より現実的な化学組成についても取り扱うことが可能となっている[4-7]。特に鉄含有系においては、再現が困難な遷移金属－酸素間特有の強相関的電子状態を正しく取り扱うための補正と LD 法を組み合わせ、有限温度熱力学の計算を可能としている[5-7]。

3. 弾性特性

地震学的観測データと直接対比し得る地球惑星物質の高温高压弾性特性は、状態方程式と並んで地球深部研究において極めて重要な物性である。観測される P 波・S 波速度や密度を岩石鉱物学的に解釈することにより、地球深部の物質構成や温度分布の定量的な推定が可能となる。基礎的弾性論と定温第一原理 MD 法や LD 法を組み合わせることにより、各種鉱物の弾性定数を温度圧力の関数として計算が可能となる[8]。この方法を用いてモデル岩石の弾性特性及び地震波速度を求め観測値と比較した結果、下部マントルは平均的にはパイロライト組成に近いこと[9]、核マントル境界（CMB）の温度が約 3800K であること[10]などの知見が得られた。核の化学組成についても同様のアプローチが可能であり、現在核中の軽元素の種類と量について解析を進めている。

4. 新たな取り組み（輸送特性・元素分配など）

計算機の高速大容量化により、現在ではより複雑な物理プロセスや数 100~1000 原子を含む大規模粒子系のシミュレーションも現実的な研究対象となりつつある。これにより格子欠陥や粒界など従来はより簡便な手法でしか扱えなかったような系や、熱伝導率や電気伝導率となど十分な精度を得るために膨大な計算量を必要とするような物性も、第一原理的に取り扱えるようになりつつある。我々のグループでは新たな重点研究課題としてこれまでの平衡特性から輸送特性に視野を広げ、非調和格子動力学理論に基づく地球惑星物質の熱伝導率の計算[11]や大規模粒子セルを用いた原子拡散・粒界のモデル化手法の開発を進めてきた。これらは現在ほぼ実用段階に到達しており、例えば MgSiO_3 ブリッジマナイトの格子熱伝導率を計算し下部マントルの熱輸送特性をモデル化した結果、これまでに約 5~10TW 程度と比較的小さな CMB 熱流量とこれに対応する 15~20 億歳程度の比較的長い内核年齢を得ている。

また昨年度から始まった新学術領域研究「核マントルの相互作用と共進化」では、地高压地球科学と地球化学の融合による深部化学不均質の解明が、主要研究目標の一つに謳われている。これに関連し、我々は統計力学の方法である熱力学積分法に基づく自由エネルギー計算手法の開発を行った。この方法は結晶だけでなく液体にも適用でき、融解相平衡や固液間及び液液間の元素分配の計算が可能となる。現在この方法を用いて超高压超高温下での熱源元素を含む放射性元素及び希ガスのケイ酸塩—金属間の分配等の計算を実行中である。今後地球化学分野とも連携を強化し、地球内部の熱化学状態について理解を深めたいと考えている。

参考文献

- [1] Tsuchiya et al., *EPSL* **224**, 241 (2004)
- [2] Tsuchiya, Tsuchiya, and Wentzcovitch, *PRB* **72**, 020103 (2005).
- [3] Tsuchiya and Tsuchiya, *PNAS* **108**, 1252 (2011).
- [4] Tsuchiya and Tsuchiya, *PNAS* **105**, 19160 (2008).
- [5] Tsuchiya et al., *PRL* **96**, 198501 (2006).
- [6] Metsue and Tsuchiya, *GJI* **190**, 310 (2012).
- [7] Tsuchiya and Wang, *JGR* **118**, 83 (2013).
- [8] Wentzcovitch, Tsuchiya, and Tsuchiya, *PNAS* **103**, 543 (2006).
- [9] Wang, Tsuchiya, and Hase, *Nature Geo.* **8**, 556 (2015).
- [10] Kawai and Tsuchiya, *PNAS* **106**, 22119 (2009).
- [11] Dekura, Tsuchiya, and Tsuchiya, *PRL* **110**, 025904 (2013).

Ab Initio Calculations for Physics of the Earth's Interior

*T. Tsuchiya¹ (¹Geodynamics Research Center, Ehime Univ.)

冥王代苦鉄質地殻組成の推定とその含水融解実験： 冥王代珪長質地殻の検証にむけて

○近藤望¹、小木曾哲¹

(¹ 京都大学人間・環境学研究科)

地球が誕生した 46 億年前から 40 億年前の冥王代は岩石記録の見つかっていない時代であり、この時代のテクトニクス様式や火成活動の様子、地殻の組成については大部分が未解明である。地殻は、液相濃集元素を濃集させる貯蔵庫として機能し、その形成とリサイクルによってマン托ルの枯渇化、富化を担う。したがって、冥王代の地殻組成は、マン托ル化学進化の初期過程を制約する上で重要である。先行研究のカンラン岩融解実験からは、初期地球でマン托ルが高温であるほど、より苦鉄質な地殻が生成される可能性が示唆されており、また冥王代唯一の遺物であるジルコンや太古代初期の岩石記録からは、冥王代に珪長質地殻があった可能性が示唆されているが、未だ十分な証拠や制約条件は得られていない。本研究ではこの冥王代の地殻組成に焦点を当て、冥王代に存在したと考えられる苦鉄質地殻の組成を推定するとともに、冥王代に珪長質地殻が存在したかどうかを検証する。

本研究ではまず、先行研究のマン托ル対流モデルから冥王代のテクトニクス様式を仮定し、そのテクトニクスにおける火成活動と、生成される苦鉄質地殻の組成を推定した。プレートテクトニクス以前には、断熱上昇するマン托ルが厚いリソスフェアの下で極微小に融解したメルトが地殻となり、プレートテクトニクス以降は、マン托ルが海嶺で大規模に融解したメルトが地殻になると想定すると、どちらの場合も地殻の組成はピクライト-コマチアイト質と推定されたが、その FeO/MgO 比や副成分元素組成などには大きな違いが見られた。次に、冥王代初期のプレートテクトニクス以前かつマン托ルが高温な状況を想定し、推定したコマチアイト質地殻の含水融解によって珪長質地殻が生成される可能性を検証するため、コマチアイトの含水融解実験を行った。出発物質は酸化物と水酸化物から合成し、高温高压実験はピストンシリンダー型高压発生装置を用いて行った。本実験では特に、酸素分圧を注意深く調整・確認した。実験結果として、プレートテクトニクス以前のコマチアイト質地殻の含水融解によって生成されるメルトは、 SiO_2 に乏しく TiO_2 に富んだ組成となることがわかった。 TiO_2 に富むことについては、出発物質のコマチアイト組成が既に液相濃集元素に富んでいるため、これらの元素がコマチアイトの含水融解時にメルトにさらに濃集したためと考えられる。また SiO_2 が乏しいことについては、メルト中の SiO_2 濃度と TiO_2 濃度がよく相関することから、Ti がメルト中で Si の替わりに架橋元素としての役割を果たし、 SiO_2 が減少しているためと考えられる。以上の結果から、プレートテクトニクス以前かつ高温のマン托ルを想定すると、冥王代苦鉄質地殻は液相濃集元素に富んだコマチアイト質組成であったと考えられるが、珪長質地殻は冥王代初期には生成されなかった可能性がある

Composition of the Hadean mafic crust and its hydrous melting experiments: A test for the Hadean silicic crust. *N. Kondo and T Kogiso (Grad. Human and Environmental Studies, Kyoto University)

アカスタ片麻岩体苦鉄質岩の ^{142}Nd 同位体から制約する
冥王代マントル進化○越田溪子¹、石川晃¹、横山哲也²、鏡味沙耶²、深井稜汰²、小宮剛¹(¹ 東京大学、² 東京工業大学)

初期地球は、その形成の最終段階におきたジャイアントインパクトにより、マグマオーシャンに覆われていたと考えられている。その後のマントルの構造や化学組成の変遷過程を読み解くため、様々な年代・地域の岩石に対し ^{142}Nd 同位体が測定されてきた。

^{142}Nd は ^{146}Sm (半減期 103Myr: Marks et al., 2014) の放射壊変によって生成され、かつ Sm と Nd の分別はマントルの分化過程によってのみ生じる。そのため、 ^{142}Nd の不均質の程度や分布は、およそ 42 億年前以前に生じたマントル融解イベントを反映する。現在の地球の岩石は均質な $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比を持つ一方で、太古代の岩石からは、同位体異常としてそれとは異なる値が報告されている。

最も大きな $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体異常は、Isua 表成岩帯や Nuvvuagittuq 表成岩帯に産する 3.8-3.7 Ga の変成玄武岩から報告されており ($\mu^{142}\text{Nd} = +20, -18$: e.g. Rizo et al., 2011; O'Neil et al., 2012)、その後は、2.7 Ga の Abitibi 緑色岩帯コマチアイトまで同位体異常が存在するが、原生代以降の岩石には見られない。これらの結果は、42 億年前以前にマントル分化が起き、それによって形成された同位体的不均質は、太古代のマントル混合によって徐々に均質化したことを示唆する (Rizo et al., 2013)。しかしながら、初期太古代の岩石データは未だ十分とは言えず、上述の 2 地域が初期太古代の地球マントルを代表しているかは不明である。本研究は、マントル分化の規模、混合による均質化の時間的・空間的スケールに、さらなる制約を加えるため、新たに ~4.0 Ga の年代を持つアカスタ苦鉄質岩の $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比を測定した。

アカスタ片麻岩体は、カナダ、スレーブ地塊の北西に位置し、3.6-4.0 Ga の珪長質片麻岩類と、それらに取り込まれる少量の苦鉄質岩石から構成される (例えば Iizuka et al., 2007; Reimink et al., 2014)。近年、3.9 Ga の珪長質片麻岩から ^{142}Nd の負異常が報告され、それらが冥王代の地殻に由来することが示唆された (Roth et al., 2014)。本研究では、マントルの同位体比を直接記録していることが期待される苦鉄質岩に着目した。アカスタ苦鉄質岩は、コンドライト質な微量元素存在比を示し、 ^{187}Re - ^{187}Os 同位体組成から、約 4.0 Ga に形成したことが示唆されている。測定の結果、アカスタ苦鉄質岩は、現在の岩石と誤差の範囲内で一致する $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比を持つことがわかった。これを当時の起源マントルの同位体比と考えると、40 億年前には現在と同じ $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比を持つマントルが存在したことを示す。この結果と先行研究より、冥王代マントル分化は局所的であった、あるいは分化後の活発な混合により、~40 億年前にはすでに完全に均質化したマントルと、分化の名残を残すマントルが混在していた可能性が考えられる。

$^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ composition in Acasta mafic rocks: Constraints on the early mantle dynamics

*K. Koshida¹, A. Ishikawa¹, T. Yokoyama², S. Kagami², R. Fukai², T. Komiya¹ (¹The University of Tokyo, ²Tokyo Institute of Technology)

3C04

(Keynote)

マントル進化における海嶺と沈み込み帯の役割

○木村純一¹

(¹ 海洋研究開発機構)

This study quantitatively explore element redistribution at subduction zones and mid ocean ridges using numerical mass balance models to evaluate the roles of the subduction zone filter and the spreading ridge factory in the Earth's geochemical cycle. Our models of differs from previous works by being internally consistent with geodynamic models of modern arcs and ocean ridges that successfully explains magma geneses and include element fluxes in the residual slab and mantle components. Estimated mantle potential temperature (T_p) was ~ 1650 °C at 3.5–2.0 Ga and gradually decreased to ~ 1300 °C today. Hot subduction zones with $T_p \sim 1650$ °C have a thermal structure like modern SW Japan where high-Mg andesite is formed that is like continental crust. After 3.0–2.0 Gyr of storage in the mantle, the residual igneous oceanic crust from hot subduction zones can evolve isotopically to the HIMU mantle reservoir, the residual base of the mantle wedge to EMI, the residual sediment becomes an essential component of EMII, and the residual top of the mantle wedge can become the subcontinental lithosphere reservoir. The Common or Focal Zone component is a stable mixture of the first three residues occasionally mixed with early depleted mantle. Slab residue that recycled earlier (~ 2.5 Ga) can form the DUPAL anomaly in the southern hemisphere, whereas more recent recycling (~ 1.7 Ga) focused in the northern hemisphere. The east-west heterogeneity of the depleted upper mantle involves sub continental mantle except in the Pacific. We also examined Sr-Nd-Hf-Pb isotopic evolution of the Earth's depleted mantle using a melting model for mid ocean ridges coupled with subsequent isotopic evolutions of the residual mantle. The two-stage mantle evolution model, including primitive mantle formation occurred at ~ 4.57 Ga followed by MORB melt depletion at ~ 2.0 Ga (average age), accounted for generation of the depleted MORB source mantle today. The high-mantle T_p age by ~ 2.0 Ga coincides with formation period of the majority continental crust and enriched mantle reservoirs from the hot Archean subduction zones. All above results suggest changes in mode of mantle convection, vigorous before ~ 2.0 Ga and gradually sluggish after that time. This change may characterize the thermochemical evolution of the Earth's mantle.

Title of Presentation: Role of subduction zones and ocean ridges on mantle evolution in English

*J.-I. Kimura¹ (¹Department of Solid Earth Geochemistry, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

地球では、プレートの生成、消滅にともなって活発な物質とエネルギー循環がおこり、火山や地震活動など、他の太陽系惑星に比べて際立って活動的である。このため、地表付近の多様な物質と不均質性がプレートの沈み込みとともに地球内部に持ち込まれ、内部の構造やダイナミクスに不均質性を生み出すと考えられている。しかし、そのような不均質が、激しい対流ゆえにマクロには均質化した構造を生むのか (e.g., Zindler et al., 1984; Meibom and Anderson, 2004)、あるいは長波長の地球規模構造をもつのか、もしもつとすればそれは上部/下部マントルなのか、あるいは水平方向の南北構造 (e.g., Dupre and Allegre, 1983; Hart, 1984) なのか、東西半球構造なのか (Iwamori and Nakamura, 2012; 2015) など、概要すら未解明である。一方、これらの不均質を生み出す機構や場については、(1) 海嶺での熔融 (Hofmann and White, 1982)、(2) ホットスポットや海台玄武岩 (McKenzie et al., 2004)、(3) 大陸下のリソスフェアのメタソマティズム (McKenzie and O'Nions, 1983)、(4) 沈み込み帯の火成作用と大陸地殻物質の再循環 (Tatsumi 2005; Jackson et al., 2007)、(5) 下の沈み込み帯の岩石-水反応 (Chauvel et al., 1992; Kellogg et al., 2007; Iwamori and Albarede, 2008) など、さまざまな機構や場が提唱されている。しかし、それらがどの程度、どのように実際に観察される不均質構造に貢献しうるのか、全体像の中において、定量的に比較検討されていない。

本研究では、上記の(4)と(5)に関わる沈み込み帯における元素輸送と分別を、2次元流体力学的なモデルに組み込み、数値モデルによって定量評価を行った (Ikemoto and Iwamori, 2014; Iwamori et al., submitted)。これらのモデル計算には、マントル対流、流体の発生、移動と固体との化学反応、熔融が考慮され、元素輸送や分別が2次元の固液2相流の中で再現される。その結果、熔融による元素分別と、流体による元素分別が2次元の複雑に交差する固液それぞれの流線に沿ってオーバーラップしながら起こり、多様な親娘元素比をもつマントル物質が生じることが分かった。また、それらはスラブ上面にそって厚さ数十 km の「物質境界層」(Iwamori and Nakakuki, 2013) を生じ、マントル深部にスラブとともに沈み込み、マントル中を長期間循環する可能性があることが分かった。5億年間の同位体進化を計算したところ、現在観測されるマントル同位体不均質に匹敵するベクトルや広がり再現されることが分かった。従って、マントルへの表層物質の入口である「サブダクションファクトリー」のみで、観測される不均質全体を生み出しうる可能性がある。

Elemental fractionation in subduction zones and its impact on global isotopic heterogeneity

*Hikaru Iwamori^{1,2}, Hitomi Nakamura^{1,2}, Shun-suke Horiuchi¹ (¹JAMSTEC, ²Tokyo Inst. Tech., ³Chiba Inst. Tech.)

ルソン弧ピナツボ火山とイラヤ火山のマントル捕獲岩に記録された脱水流体と堆積物由来メルトによるマントルウェッジでの交代作用

○芳川雅子¹、田村明弘²、荒井章司²、川本竜彦¹、B.D. Payot²、D.J. Rivera³、E.B. Bariso³、M.H.T. Mirabueno³、奥野充⁴、小林哲夫⁵

(¹ 京都大学地球熱学、² 金沢大学、³ PHIVOLCS、⁴ 福岡大学、⁵ 鹿児島大学)

沈み込み帯マグマに取り込まれたマントル捕獲岩は、沈み込んだスラブ由来のマントルウェッジでの交代作用を記録している。フィリピン・ルソン弧の火山フロントに位置するイラヤ火山とピナツボ火山の火山岩にはマントル捕獲岩が観察され、同一島弧での火山フロント下での交代作用の特徴の違いを議論することが可能である。

ピナツボ火山に産するマントル捕獲岩の構成鉱物の主要元素化学組成・輝石と角閃石の微量元素組成・角閃石の Nd-Sr 同位体比を得て、以下の特徴が観察された。

- 1) 鉱物の主要元素化学組成は、基本的に沈み込み帯の溶け残りかんらん岩の組成トレンドと調和的である。
- 2) 輝石・角閃石の始源マントル規格化パターンは基本的にはインコンパティブル元素に乏しい左下がりのパターンを示し、流体に溶け込みやすい元素 (Rb, Ba, U, Pb, Sr) に正異常が認められる。
- 3) 角閃石の Nd-Sr 同位体比は枯渇したマントルより低い Nd 高い Sr 同位体比を示し、枯渇したマントルと沈み込んでいる海洋地殻の間に位置する。

以上の特徴は、ピナツボマントル捕獲岩が沈み込んでいる海洋地殻由来の流体による交代作用を受けた事を示している。一方、イラヤマントル捕獲岩では、海洋地殻由来の流体による交代作用に加えて、堆積物由来のメルトによる交代作用が先行研究（例えば Turner et al., Nature Geosci., 2012）から提唱されている。

ルソン弧はイラヤ火山の位置する北緯 20 度近傍より北部ではユーラシア大陸プレートが沈み込んでおり、それより南部のピナツボ火山下では南シナ海海洋プレートが沈み込んでいる（例えば Bautista et al., Tectonophysics, 2001）。イラヤ捕獲岩とピナツボ捕獲岩に記録された交代作用の違いは、このテクトニックセッティングの違いを反映していると考えられる。

Mantle wedge metasomatism inferred from peridotite xenoliths from the Pinatubo and Iraya volcanoes along the volcanic front of the Luzon arc, Philippines

*M. Yoshikawa¹, A. Tamura², S. Arai², T. Kawamoto¹, B.D. Payot², D.J. Rivera³, E.B. Bariso³, M.H.T. Mirabueno³, M. Okuno⁴, T. Kobayashi⁵ (¹I.G.S., Kyoto Univ., ²Dep. Earth Sci., Kanazawa Univ., ³PHIVOLCS, ⁴Fac. Sci., Fukuoka Univ., ⁵Grad. Sch. Sci. and Eng., Kagoshima Univ.)

3C07

Pitcairn 玄武岩中の白金族元素存在度と Os 同位体比

○仙田量子¹、羽生毅¹、石川晃²、川畑博³、高橋俊郎⁴、
鈴木勝彦¹

(¹ 海洋研究開発機構、² 東京大総合文化、³ 高知大教育研究部、
⁴ 新潟大学理学部)

南太平洋ポリネシア地域に位置する Pitcairn 島に産出する海洋島玄武岩 (OIB) は、Sr・Nd・Pb 同位体組成などから、地球上で EM-1 と呼ばれるマンテル端成分の特徴を最も有していることが判明している。EM-1 成分の起源としては、遠洋性堆積物とともに沈み込んだ海洋地殻 (e.g., Chauvel et al., 1992)、剥離を起こした大陸地殻下のリソスフェアマンテル (e.g., Hauri and Hart, 1993)、沈み込んだ海台 (Gasperini et al., 2000) あるいは初生マンテルからのメルト形成 (Collerson et al., 2010) 等々が提案されているが、いまだその由来に関する結論は出ていない。白金族元素の中でもオスミウム (Os) はマンテルからマグマが分化する際にマンテル相に濃集する性質があり、マグマ相に濃集しやすい親核種のレニウム (Re) と分別するため、過去に形成された地殻物質の Os 同位体比はマンテルよりも高い値を示す。そのため、マンテル中の地殻物質の検出に有効な同位体系であると期待されており、実際、数十億年前に沈みこんだ海洋地殻がマンテル端成分 (HIMU, EM2) へ寄与していることが Os 同位体比からも示唆されている (e.g., Shirey & Walker, 1998)。そこで、1Ma よりも若い Pitcairn 島から採取したさまざまな MgO 濃度 (2~15wt.%) の玄武岩の白金族元素存在度および Os 同位体組成の結果から、これらの起源についての考察を行った。

今回測定した試料の Os 濃度は 20pg/g 以下の試料がほとんどであるものの、その Os 同位体比は ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.135\sim 0.152$)、EM-1 タイプの OIB の先行研究とほぼ同じ範囲を示し (Os > 50 pg/g の試料では ~ 0.150 , また Os > 20 pg/g の試料では ~ 0.180 [Eisel et al., 2002; Garapic et al., 2015; Reisberg et al., 1993]), 明らかに現在の海洋マンテルよりは高い ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.12\sim 0.13$)。固相濃集度の高い I-PGE と呼ばれる Os, イリジウム (Ir)、ルテニウム (Ru) 濃度は、ハワイやルイビルなど他地域の OIB よりも低いが、メルト相に移りやすい Re, パラジウム (Pd) はこれらの OIB と同程度の濃度を持つことが判明した。マンテルよりも明らかに高い Os 同位体比と MgO 濃度のバリエーションに限らず比較的低い白金族元素濃度 (特に I-PGE) を持つ Pitcairn 島の玄武岩は、大陸地殻下のリソスフェアマンテルに由来を持つのではなく、メルト相つまり地殻物質の影響を受けている可能性が高い。

PGE abundances and Os isotope ratios in Pitcairn basalts

○R. Senda¹, T. Hanyu¹, A. Ishikawa², H. Kawabata³, T. Takahashi⁴, and K. Suzuki¹ (¹ JAMSTEC, ² Univ. of Tokyo, ³ Kochi Univ., ⁴ Niigata Univ.)

海洋島マントル捕獲岩の強親鉄性元素から探る 核-マントル相互作用

○石川晃^{1,2}、鈴木勝彦²、小木曾哲³、秋澤紀克³

(¹ 東京大学総合文化、² 海洋研究開発機構、³ 京都大学人間環境)

海洋島（ホットスポット）に産するマントル捕獲岩は、海洋リソスフェアの断片がマグマにより表層へもたらされたものであり、マグマを生成したマントルプルームとは成因的に無関係と従来考えられてきた。しかし、ハワイ・ソルトレイククレター産のかんらん岩捕獲岩やオントンジャワ海台下の深部リソスフェア（95–120 km）に由来するソロモン諸島・マライタ島産のかんらん岩捕獲岩は、深海性かんらん岩やオフィオライトのデータから類推される最上部マントルのオスミウム同位体比頻度分布と比べた場合、低いオスミウム同位体比に富む傾向があり、地球深部に根を持つマントルプルームの化学的特徴を反映している可能性が指摘されている（Bizimis *et al.*, 2009; Ishikawa *et al.*, 2011）。かんらん岩のオスミウム同位体比は融解年代の指標と一般的に考えられており、過去に表層で高い部分融解（～20%以上）を被ったマントル物質が、親元素であるレニウムに枯渇した結果、低いオスミウム同位体比を獲得することが広く知られている。しかし、地球最下部マントルを考慮した場合、強親鉄性元素であるオスミウムやレニウムの存在度は、核-マントル相互作用に大きく支配されるため、最上部マントルと同様にオスミウム同位体比変動が生じていることが強く期待される。そこで本研究では、低いオスミウム同位体比（ $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} < 0.120$ ）を示す海洋島マントル捕獲岩に着目し、強親鉄性元素濃度（Os, Ir, Ru, Pt, Pd, Re）パターンや、その他全岩・鉱物主要・微量元素組成から、オスミウム同位体変動を生じた原因が“金属核成分の混入・分離あるいは化学平衡により生じた”可能性について検討を行った。これまでに解析を行った低いオスミウム同位体比を示すかんらん岩捕獲岩（ハワイ：3 試料；オントンジャワ海台：7 試料）は、様々な程度にメルト成分流入に伴う交代作用の影響を受けているが、（1）始原的マントルより低い重希土類元素（ $\text{Yb}_N < 0.7$ ）、ジルコニウム（ $\text{Zr}_N < 0.6$ ）、ハフニウム（ $\text{Hf}_N < 0.4$ ）存在度、（2）IPGE に比べて PPGE に枯渇する強親鉄性元素パターン（ $\text{Pd}_N/\text{Ir}_N < 0.5$ ）、を共通して示すことが判明した。このことは、ある種のマントル捕獲岩が低いオスミウム同位体比に富む傾向は、過去のメルト成分抽出を色濃く反映した結果であり、とりわけ核-マントル相互作用の化学的影響を考慮する必要がないことを示している。

Highly siderophile elements in ocean-island xenoliths: In search of evidence for core-mantle interaction

*A. Ishikawa^{1,2}, K. Suzuki², T. Kogiso³ and N. Akizawa³ (¹Univ. of Tokyo, ²JAMSTEC, ³Kyoto Univ.)

海洋下マンツルのメタソマティズム： タヒチ産マンツル捕獲岩を用いた岩石学的考察

○秋澤紀克¹，小木曾哲¹，石川晃²，荒井章司³

(¹京都大・人環，²東京大・総合文化，³金沢大・国際基幹教育)

マンツルかんらん岩中の白金族元素(PGE)濃度や同位体比は，地球形成時の核-マンツル分離，その後の化学的進化解明に有用であると考えられている．特に，マンツルかんらん岩中で PGE ホスト相となる Fe-Ni-Cu 硫化鉱物や白金族鉱物 (Os-Ir 合金・Ru-Os-Ir 硫化鉱物・Pt テルル化物など) の起源と成因の解明は，PGE のマンツル中での挙動を理解する上で不可欠である．我々の研究グループは，かんらん岩中の不透明鉱物の微小領域 PGE 分析を精力的に行っている．放射光 X 線を用いたマイクロビーム蛍光 X 線分析による PGE 元素マッピングによって，かんらん岩中の単斜輝石(Cpx)における列状のメルトリンクルージョンに伴う不透明鉱物の PGE 検出に成功した．本研究では，その不透明鉱物を含むかんらん岩の成因を，岩石学的に明らかにすることを目的とする．

タヒチ島には，アルカリかんらん石玄武岩中にマンツル捕獲岩が多く産する．そのサイズは 1~20 cm 程度で，主にダナイト，ハルツバーガイト，ウェールライトから成る．本研究で用いる，PGE 含有相を含むゼノリスは，Cpx を数%含むハルツバーガイトである．薄片中で Cpx の分布は偏っており，かんらん石や斜方輝石(OpX)の粒間に脈状に産していた．Cpx は虫食い状のクロムスピネルを伴い，OpX を置き換える組織が確認できた．

本研究で用いたハルツバーガイトは，比較的枯渇度の低い鉱物主要元素組成を示した．一方で，そのかんらん石，Cpx，OpX の微量元素組成は，海洋底で採取されるかんらん岩と異なった化学組成を示した．特に，Cpx は重希土類元素に比べて軽希土類元素に富んでおり，コンドライトで規格化した Cpx 微量元素パターンにおいて Sr, Zr, Hf Ti の負異常が確認された．これは，カーボナタイトメタソマティズムの証拠として，大陸下マンツル捕獲岩で数多く報告されている．それを示唆するように，列状の CO₂ 流体包有物(直径数 μm~十数 μm)が確認されている(Raman microscopy による解析結果)．さらに，ハルツバーガイトの PGE 濃度に関する分析も行った．

以上の結果，タヒチ島下の海洋地殻下マンツルでは，カーボナタイトメタソマティズムが起きていることが明らかとなった．その過程で形成された Cpx は，PGE を運ぶメルトリンにより二次的に切られているため，カーボナタイトメタソマティズムに続く PGE の付加が起きていることが示唆された．本研究成果は，海洋地殻下マンツル中での PGE の移動性を示唆し，マンツル中における PGE の挙動解明に大きく貢献することが期待される．
Mantle metasomatism beneath the oceanic floor: Petrological insight into the mantle xenolith from Tahiti

*N. Akizawa¹, T. Kogiso¹, A. Ishikawa², S. Arai³ (¹ Grad. Sch. Hum. and Environ. Stud., Kyoto Univ., ² Grad. Sch. Arts and Sci., Univ. of Tokyo, ³ Inst. Liberal Arts and Sci., Kanazawa Univ.)

○平野直人¹、町田嗣樹²、岩野英樹³、角野浩史⁴、清水健二²、
森下泰成⁵、田村明弘⁶、坂田周平⁷、石井輝秋⁸、檀原徹³、
荒井章司⁶、平田岳史⁴

(¹東北大、²JAMSTEC、³京都 FT、⁴東京大、⁵海上保安庁、
⁶金沢大、⁷学習院大、⁸静岡大)

太平洋プレートの中で、小笠原海溝南部からマリアナ海溝にかけての沈み込み地域のやや海側は、地球上最も古い海洋プレートである。無数の海山（西太平洋海山群：Western Pacific Seamount Province：WPSP）があり、そのうち比較的規模の大きな海山やギョーについて形成年代が知られている。それらの結果や海山基盤の同位体組成から、WPSP は 120～70 Ma の各時代の複数の短命ホットスポットによって構成され、現在のフレンチポリネシア海域に位置する複数のホットスポット群の当時の姿であるとされている（Koppers et al., 2003）。ところが、プレート最古部の北端に位置する南鳥島周辺海域から小海丘群が発見された（及川・森下, 2009）。この地形は、WPSP の複数の海山に囲まれた深海平原に存在しており、Hirano et al. (2006) が報告したプチスポット海丘群や、ホットスポット火山周囲の再生期海底単成火山群（Clague et al., 2006）の地形に類似する。本研究では、この小海丘群の成因を解明するために JAMSTEC よこすか YK10-05 調査航海において、しんかい 6500 調査潜航を行った。得られた岩石の化学組成、放射年代、同位体組成を報告する。

しんかい 6500 潜航調査により、深海軟泥の被覆がほぼ無い、若いプチスポット火山が確認された。一般的に知られている水中溶岩とは異なり、中身が抜けた溶岩チューブや縄状溶岩で構成され、非常に低粘性のマグマであったことを示唆する。岩石は Na 量が高いアルカリ玄武岩であり、斑晶は見られないが捕獲結晶を含有している。水深 5500m でありながら著しく発泡している点や、炭酸塩成分寄与のメルトに特徴的な Zr、Hf、Ti に比較的乏しい化学成分比の特徴は、北西太平洋のプチスポット溶岩と一致する（Machida et al., 2015）。急冷部が多い石基の ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代からは、中性子照射時のリコイル現象により年代値が得られなかったが、分離ジルコン粒子の U-Pb 年代により測定粒子は少ないが 2～3 Ma の噴出年代が得られた。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ および $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比は、WPSP の中でもより近傍の海山の組成に近い。本海域周辺のアセノスフェアの低部分溶融メルトがリソスフェアの亀裂に沿って上昇してきたと考えられる。太平洋プレート最古部のマントル組成を議論する上で重要な情報である。

Petit-spot submarine volcanoes erupted on the oldest Pacific Plate

*N. Hirano¹, S. Machida², H. Iwano³, H. Sumino⁴, K. Shimizu², T. Morishita⁵, A. Tamura⁶, S. Sakata⁷, T. Danhara³, S. Arai⁶, T. Ishii⁸, T. Hirata⁴ (¹Tohoku Univ., ²JAMSTEC, ³Kyoto FT Co., Ltd., ⁴Univ. Tokyo, ⁵Japan Coast Guard, ⁶Kanazawa Univ., ⁷Gakushuin Univ., ⁸Sizuoka Univ.)