

平成27-31年度 文部科学省 科学研究費助成事業
新学術領域研究

核-マントルの相互作用と共進化 ～統合的地球深部科学の創成～



02-07 各研究班の研究トピック

02-03 下部マントルの主要構成鉱物の溶融関係から地球深部を探る
～ブリッジマナイト-ペリクレース系の共融組成～

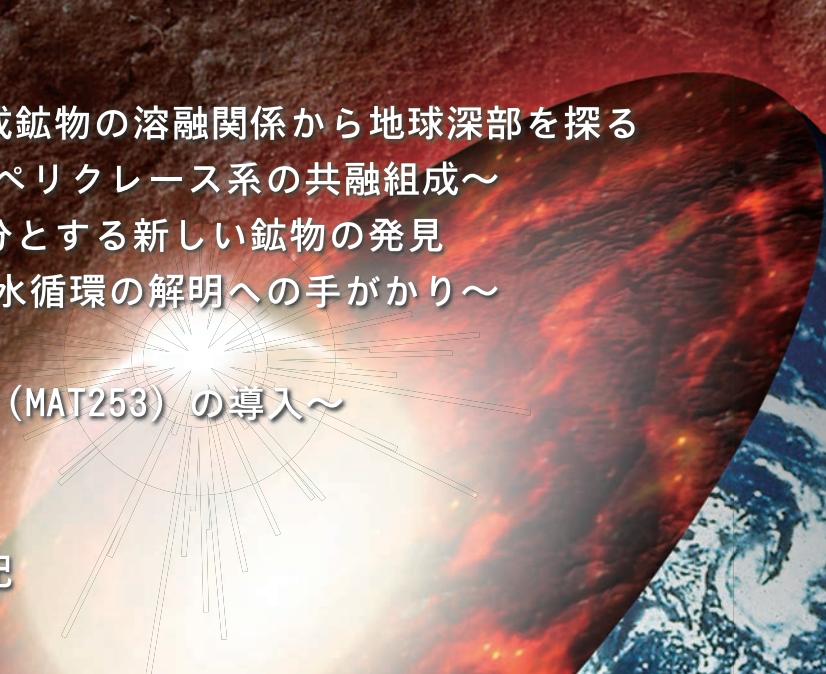
04-05 超高圧下で水と鉄を成分とする新しい鉱物の発見
～地球内部の大規模な水循環の解明への手がかり～

06-07 四種硫黄同位体分析
～同位体比質量分析計 (MAT253) の導入～

08-09 第1回若手研究集会

10-11 イベント報告・受賞

12 受賞・国際交流・編集後記





大西 里佳

産業技術総合研究所
地質調査総合センター
活断層・火山研究部門
マグマ活動研究グループ

下部マントルの主要構成鉱物の溶融関係から地球深部を探る

初期の地球において、月の形成を引き起こした原始惑星の衝突（ジャイアントインパクト）は、地球のマントルを溶融させ、マグマの海（グローバルマグマオーシャン）を形成したと考えられています。現在の地球は、このようなマグマの海が冷えて固体のマントルが形成されたと考えられており、冷却する過程においてマントルの化学的分化（化学組成の変化）が引き起こされた可能性があります。また、現在のマントルにおいても溶融した部分が観測されており、例えば地震波の観測から報告されるマントル最下部に局在する地震波超低速度領域（Ultra-low velocity zones: ULVZ）は、太古のマントルの部分溶融が残っていることが原因とも考えられています。このように、“溶融”は、地球進化の過程及び現在の内部構造を理解する上で非常に重要な現象ということができます。

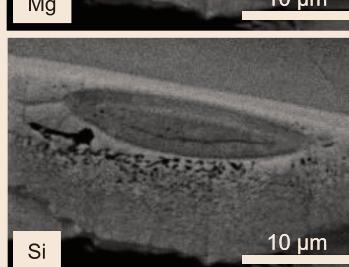
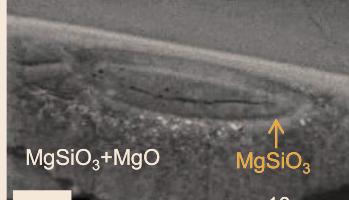
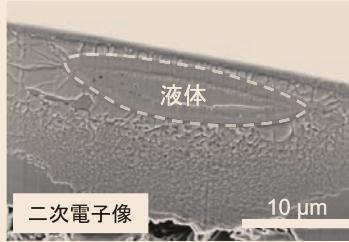
これまで上部マントルについては多様な化学組成での溶融実験が行われていますが、下部マントルについてはある特定のモデル組成の実験しか行われておりません。化学組成の違いは溶融に大きな影響を及ぼすため、任意の化学組成による溶融関係を決定することが極めて重要です。下部マントルの主要構成鉱物は、フェロベリクレース $[(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}]$ とブリッジマナイト $[(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3]$ という鉱物です。特にこれらの鉱物にはマグネシウム（Mg）が大部分を占めるため、 $\text{MgO}-\text{MgSiO}_3$ 系における溶融関係が最も基本的な情報となり、組成の特徴をシリコンとマグネシウムのモル数の比（Si/Mg モル比）を使って表現します。 $\text{MgO}-\text{MgSiO}_3$ 系の溶融関係は、これまで実験的に 26 万気圧（26 GPa）の圧力範囲まで決定されています。しかし、この圧力は下部マン

トルの最上部までであり、私たちの目的を達成するには、より高い圧力の実験を行う必要があります。そこで本研究では、下部マントル最下部までの温度圧力を発生することが可能なレーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセル（LHDAC: laser heated diamond anvil cell）を用いて、 $\text{MgO}-\text{MgSiO}_3$ 系の溶融関係の解明を試みました。

加熱に用いるレーザーは波長約 $1\text{ }\mu\text{m}$ の近赤外レーザーが一般的ですが、 $\text{MgO}-\text{MgSiO}_3$ 系の鉱物は無色透明であるため、波長の短いレーザーは吸収されずに透過してしまい加熱することができません。そこで $\text{MgO}-\text{MgSiO}_3$ 系の鉱物でも吸収される長波長レーザー光である CO_2 レーザーを使って加熱実験

を行いました。実験後の試料は研磨を行った後、電子顕微鏡を用いて化学組成の定量測定及び試料断面の元素分布を調べました。約 33 万気圧（33 GPa）、約 3000K の実験では、加熱中心部にペリクレース（ MgO ）（Fe を含まないので「フェロ」という言葉が外れます）とブリッジマナイト（ MgSiO_3 ）の結晶が見られましたが、溶融の痕跡は確認されませんでした。そこで、ほぼ同じ圧力条件（約 35 GPa）でより高温の約 4000 K の実験を行ったところ、加熱中心部に楕円形の組織、その外側に MgO と MgSiO_3 の結晶が観察されました（図 1a）。これは試料中央部の楕円形の部分で溶融が起こったことを示しています。

(a) 出発組成: 0.83 Si/Mgモル比



(b) 出発組成: 0.76 Si/Mgモル比

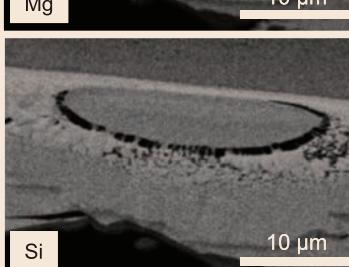
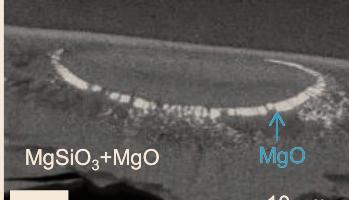
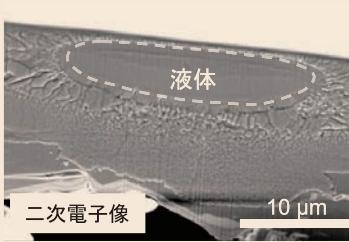
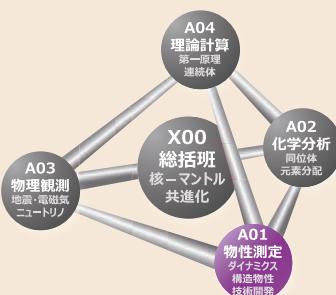


図 1. 35 万気圧（35 GPa）における回収試料断面の二次電子像及び Mg、Si の元素分布。

研究項目トピック



研究項目A01:物性測定

核とマントルの構造と運動を支配する鉱物学的・物質科学的実験データを、地球深部に相当する高温高圧条件のもとで実験的に収集します

～ブリッジマナイト-ペリクレース系の共融組成～

ペリクレースとブリッジマナイトのような2種類の鉱物が混ざり合った固体は、ある温度(共融温度)まで加熱すると、両方の鉱物が混ざり合った液体と、共存する一方の固体鉱物(リキダス相)が生成されます。このときの液体の組成を共融組成、鉱物と液体が共存する状態を部分溶融と呼びます。更に温度を上げていくと鉱物が少しずつ溶けて液体の組成が最初の固体の組成(出発組成)に近づいていき、完全に溶融する温度(リキダス温度)まで到達すると、試料全体が出発組成の液体となります。図1aを見ると、中心部に出発組成(Si/Mgモル比が0.83の場合)と異なる組成の楕円形組織、その縁に沿うようにブリッジマナイト、その外側にペリクレースとブリッジマナイトの混合した領域が形成されていることが分かります。試料内部には温度差があり中心付近が最も高温となるため、中心部の楕円形組織が液体、その縁の領域はリキダス相であると考えられ、ブリッジマナイトが液体と共に存在していたリキダス相であると判断されます。一方、Si/Mgモル比がわずかに小さい出発物質(Si/Mgモル比が0.76)を用いた場合、ほぼ同じ温度圧力条件下で楕円形組織の液体とペリクレース・ブリッジマナイトの混合領域との間にペリクレースが形成されていることが分かりました(図1b)。さらに私たちは組成を変化させて70万気圧(70GPa)までの実験を行い、部分溶融で溶け残るリキダス相及び液体の化学組成(Si/Mgモル比)を明らかにしました。

出発組成のSi/Mgモル比によってリキダス相は変化するため、リキダス相が分かれれば、その出発組成と共融組成の相対関係が分かります。また部分溶融が発生した場合、液体の組成からも

共融組成を見積もることができます。私たちはこれら2つの方法を組み合わせることで、MgO-MgSiO₃系の共融組成を決定しました。また、熱力学計算を行うことによって実験条件以上の圧力下における共融組成も推定しました。その結果、図2の赤線(桃色の範囲は推定誤差)に示すように80万気圧(80GPa)以下では、圧力の上昇とともにMgOに富んでいくためにSi/Mgモル比は低下していきますが、それ以上の高い圧力ではほぼ一定の値を示すことが分かりました。これに基づくと130万気圧(130GPa)を超えるマントル最下部の共融組成は約0.64 Si/Mgモル比となります。この共融関係は理論計算によって報告されている傾向と良い一致を示しており、下部マントルではこれまで考えられていたよりもMgOに富む可能性が示されます。

本研究の結果を応用して、グローバルマグマオーシャンの冷却によってマントル組成がどのように変化し得るかを推定することができます。地球の始原的な組成として考えられているコン

ドライトマントル組成(Si/Mgモル比が約0.84)でグローバルマグマオーシャンが形成された場合、マントル最下部(130GPa)から始まった結晶化が上方へ進行することが報告されています。この場合、本研究の結果からリキダス相がブリッジマナイトであると考えられるため、マントル最下部で最初にブリッジマナイトが結晶化し、残りの液体の組成は共融組成(Si/Mgモル比が0.64)に近づきます。その結果、マントル最下部では最もブリッジマナイトに富み、浅くなるにつれてペリクレースに富むように変化します。また共融組成は圧力低下に伴ってSiO₂成分に富むようになります。この共融組成は圧力低下に伴ってSiO₂成分に富むように変化するため、上部マントルでは従来から考えられているモデル組成であるパイロライト組成(Si/Mgモル比が約0.7)に近づきます。このように、本研究によってMgO-MgSiO₃系の溶融関係が決定されたことにより、マントル最下部までの任意の深さにおける組成及び圧力に関する溶融関係を議論することができるようになりました。

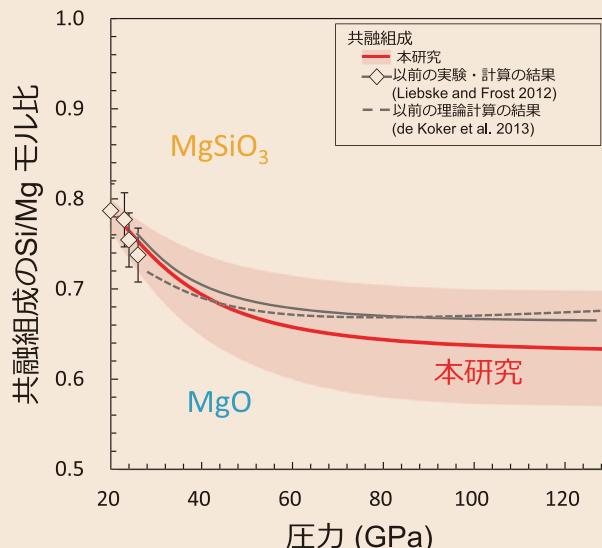


図2. 共融組成(Si/Mgモル比)の圧力依存性。図中のMgSiO₃とMgOはリキダス相を表しています。



西 真之

愛媛大学
地球深部ダイナミクス
研究センター



土屋 匚

愛媛大学
地球深部ダイナミクス
研究センター

超高压下で水と鉄を成分とする新しい鉱物の発見

読者のみなさんはこれまでにテレビ等で人工衛星から見た地球の写真を見たことがあると思います。ご存じの通り、多くの場所が鮮やかな青色をしています。そこには海があります。海は地表の 70% 以上を占めており、このことから、地球は「水の惑星」とも呼ばれています。さて、みなさんは地球の表層だけでなく内部にも多くの水があることをご存じでしょうか。地球内部には海水の総量を超える水が貯蔵されており、プレートテクトニクスやマグマの発生など地球のダイナミクスと進化に多大な影響を及ぼしていると考えられています。しかし、水量の正確な値や、水の分布、そしてその水はどこから供給されたのかは明らかになっておらず、地球深部水に関する研究が世界中で活発に行われています。

地球の表面は厚い岩盤であるプレートで覆われており、海や私たちが暮らす陸地はそれらプレートの上に乗っています。プレートは年間数センチメートルの速さでゆっくりと移動しており、

海底のプレートの一部は地球内部へと沈み込んでいきます。このような場所では、水はプレートを構成する岩石と化学反応を起こし、水を成分として含む石（含水鉱物）になります。たとえば、よく知られている含水鉱物には蛇紋石や雲母、角閃石などがあります。この含水鉱物を含むプレートが沈み込むことで、水成分が地球深部のマントルに運ばれます。さて、このような水はマントルのどの深さまで運ばれるのでしょうか。プレートは核マントル境界（深さ約 2,900 km）まで沈み込むことが知られています。ただし、マントルの温度は非常に高いため、プレートが地球深部へと沈み込む途中で含水鉱物から水成分が抜けてしまい（脱水分解）、放出された水が地表へ戻っていきます。地球深部の水のこのようなふるまいを直接見ることはできません。しかし、含水鉱物が分解せずに存在できる温度・圧力条件を明らかにすることで、含水鉱物がどの深さまで運ばれて水をどこで放出するかという地球深部の水

循環の理解をすることができるかもしれません。

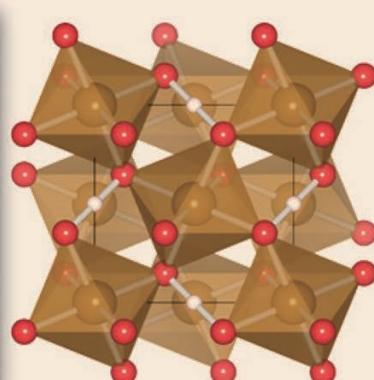
最近、私たちの研究グループは鉄(Fe)と水(H₂O)との化学反応により生成される含水鉱物として知られる水酸化鉄(FeOOH)に着目した研究を行いました。従来の研究では、マントル深部に相当する高温高圧条件下で水酸化鉄が水素(H₂)と酸化鉄(FeO₂)に分解し、プレートが鉄を多く含む場合はマントル深部に水を運ぶことができないと報告されていました。さらに、この水酸化鉄の分解反応は過去の地球表層の酸素濃度を変動させたとも考えられています。このため、マントル深部での水酸化鉄の挙動は多くの研究者の注目を集めました。そこで私たちの研究グループでは、スーパーコンピューター「京」などを用いて行った量子力学に基づく理論計算（第一原理計算）、ならびに、ダイヤモンドアンビルセルと呼ばれる超高压発生装置を用いた実験により、水酸化鉄の超高压下でのふるまいを調べました（図1）。



並列計算機



1 mm



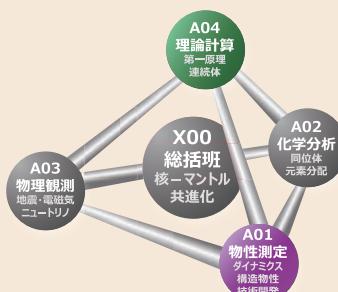
パイライト型水酸化鉄

図1. 理論計算に使用した並列計算機（左）とダイヤモンドアンビルセル高圧発生装置の加圧部（中央）。ダイヤモンドアンビルセルでは、先端を平らに研磨した2個のダイヤモンドに試料を挟み、高い圧力を発生させる。放射光X線による分析により理論計算で予測された結晶構造（右）が証明された。大（八面体中心の茶）、中（赤）、小（ピンク）の球はそれぞれ鉄原子、酸素原子、水素原子を示す。

研究項目トピック

研究項目A01: 物性測定

核とマントルの構造と運動を支配する鉱物学的・物質科学的実験データを、地球深部に相当する高温高圧条件のもとで実験的に収集します



研究項目A04: 理論計算

第一原理計算や連続体シミュレーションにより解釈・モデル化し、実験や観測をサポートします

～地球内部の大規模な水循環の解明への手がかり～

第一原理計算とは、電子や原子などミクロな世界を記述する理論である量子力学に基づき、結晶構造や物性を高精度に予測する手法の一つです。この手法は、任意の温度と圧力条件下の物質の状態を理論的に再現することが可能であり、超高温高圧環境の地球深部の研究をするうえで広く活用されています。今回、我々は先端的な第一原理計算技術を駆使し、地下 1,900 km 付近に相当する 80 万気圧において水酸化鉄がパイライト型と呼ばれる構造に変化することを予測しました（図 1 右、図 2 左側の結晶構造をご覧ください）。この結果は、水酸化鉄はマントル深部で水素と酸化鉄に分解するという過去の研究結果と異なります。

この結果を受けて、私たちはこのパイライト型構造の水酸化鉄の存在を検証するための実験を行いました。使用した実験装置はダイヤモンドアンビルセルと呼ばれるものです。これまでのニュースレターでも詳しく説明されている通り、この装置では向かい合う一組のダイヤモンドの先端に試料を挟み、高圧力を発生させます。この装置と兵庫県の大型放射光施設 SPring-8 の非常に強力な X 線（放射光 X 線）を組み合わせることで、高圧下での水酸化鉄の結晶構造を調べました。実験結果は、理論予測された通り 80 万気圧近傍で水酸化鉄の構造がパイライト型へと変化することを示しました。パイライト型水酸化鉄はマントルの底（2,900 km）に相当する圧力条件（約 130 万気圧）でも観察されました。さらに、測定した試料の体積を精密に調べた結果、パイライト型水酸化鉄の中における水素の含有が強く示唆されました。こうして、第一原理計算による理論予測結果が実験により証明されました。

本研究結果は、いまだに解明されていない地球深部における水の循環を明らかにするための新たな知見となると期待されます（図 2）。本結果によると、水は地表からマントルと地球中心核の境界付近の 2,900 km 程度の深さまで運ばれる可能性があります。マントルの底に運ばれたパイライト型の水酸化鉄は最終的に超高温のマントルの底で脱水分解し、水を放出すると考えられます。放出された水は周囲の岩石を部分的に溶かし、地球内部の巨大な上昇流

（ブルーム）を形成する役割を担うと考えられます。また、マントルの底に運ばれた水は金属鉄からなる中心核へ溶け込む可能性があり、水は 2,900 km より深く、地球の中心付近まで大規模に循環しているかもしれません。

本研究成果は、現東京大学の桑山靖弘氏と愛媛大学の土屋卓久氏（理論計算班）との共同研究によるものであり、2017 年 7 月 13 日付の英科学誌ネイチャーで発表されました。

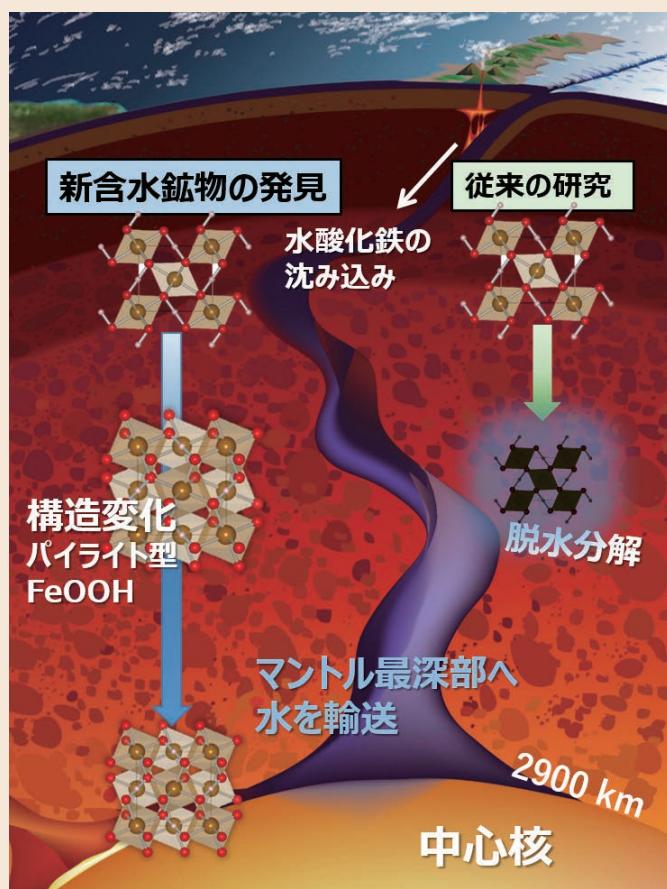


図 2. 地球内部構造と今回の研究から示唆される地球深部の水の循環。下部マントルに沈んだプレート内では、水酸化鉄の構造がパイライト型に変化し、中心核付近まで水を運ぶことが可能であると考えられる。



青山 慎之介

新潟大学
理学部Madhusoodhan
Satish Kumar新潟大学
理学部

四種硫黄同位体分析

日本は四方を海で囲まれた島国ですので、海水浴や釣りなど、海に行く機会は多いのではないかと思います。海へ行くと感じる磯の匂い、実はジメチルサルファイドという硫黄(元素記号 S)の化合物なんです。また海水には、これまた硫黄の化合物である硫酸が溶け込んでいます。硫酸というと皮膚を溶かす恐ろしい液体を想像される方も多いかもしれません、海水に溶けている硫酸は濃度が低いので安心を。そして硫黄は岩石の中にも、黄鉄鉱などの鉱物として存在しています。黄鉄鉱は金のような輝きを持つため、愚者の黄金とも呼ばれている鉱物です。このように、実は硫黄は地球の大気、海洋、岩石の至る所に、様々な形態の化合物として存在する身近な元素の一つです。そして硫黄は私たちの体の中にも、必須アミノ酸の一部として存在しています。地球全体で様々な形を変えながら、硫黄はどのように循環しているのでしょうか？

元素の循環を調べる指標として、よく安定同位体が用いられます。同位体とは同じ元素でも中性子の数が異なる、つまり質量の違う原子のことで、硫黄の場合は25種類の同位体が存在します。この25種類には安定な同位体と不安定な同位体があって、21種類の不安定な硫黄同位体は時間の経過とともに放射性崩壊して別の元素になってしまいます。一方で、時間に対して安定な硫黄の同位体は質量数が32, 33, 34と36である4種類存在します。ではこの4つの硫黄の同位体が、どんな硫黄化学種にも、同じ割合で含まれているかというと、実はそうではありません。例えば海水の硫酸は質量数32の軽い硫黄(以下、 ^{32}S とす)の割合が比較的少なく、逆に重い硫黄同位体である ^{33}S 、 ^{34}S と ^{36}S に富んでいます。それに対して、ド

ブ川や排水溝などで感じる卵の腐ったような匂いの原因である硫化水素は、 ^{32}S が濃集していて、その分 ^{33}S 、 ^{34}S と ^{36}S の割合は少ない、と言った具合です。このように安定同位体の割合、同位体比が異なる原因是質量の違いにあります。同位体は質量が違うだけで同じ元素なので、化学的性質は一緒です。しかし、質量が違うため、物理的な性質が異なります。軽い荷物と重い荷物を運ぶことを想像してみてください。軽い荷物(軽い同位体)は楽々運べますが、重い荷物(重い同位体)は運ぶのには時間がかかりますよね。様々な物理化学的過程の際にも同じことが起きて、軽い同位体は比較的反応しやすく、重い同位体はゆっくり反応します。この時、生成物は軽い同位体の割合が比較的高くなることになります。逆に、残った反応物は軽い同位体の割合が少なくなる、つまり重い同位体が濃集することになります。

ここで、割合が多い、少ないというのは、どのくらいの比率を指すのでしょうか？硫黄の場合、隕石中の硫黄の鉱物を同位体の割合の基準値として用います。この隕石の硫黄には ^{32}S が95.02%、 ^{34}S が4.21%含まれています。この基準に対して、 ^{34}S が濃集している現在の海水硫酸は4.23%程度の割合で ^{34}S を含むので、小数点第二位の数字が僅かに変わることです。このように多くの場合、同位体比の変化の割合はとても小さいのですが、しかしこの小さな変化を捉えることで、元素がどのように循環しているのかを解説することができます。例えば一部の微生物は ^{34}S が非常に少ない(^{32}S が多い)比率の硫黄を作ることができますので、もし環境中の硫黄がそのような同位体比を示せば、その硫黄は微生物の作用によって作られた、ということがわかります。

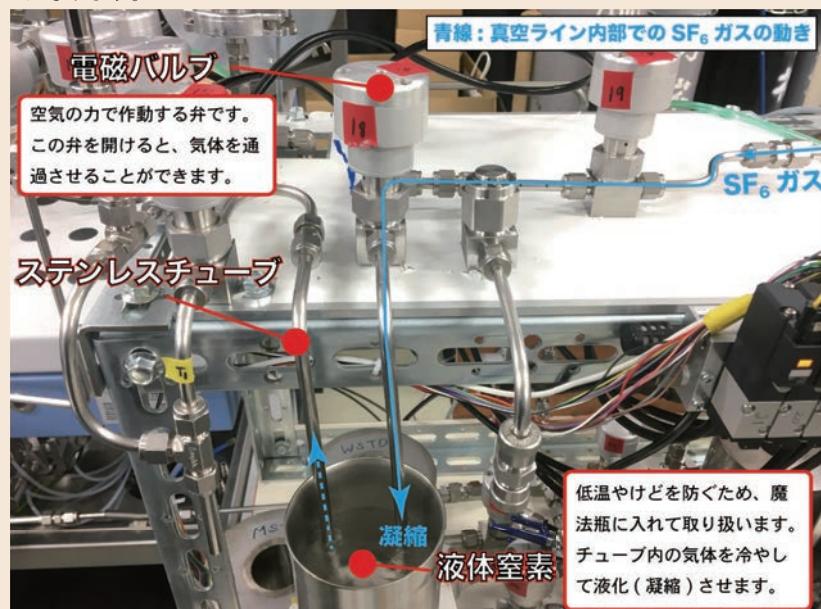
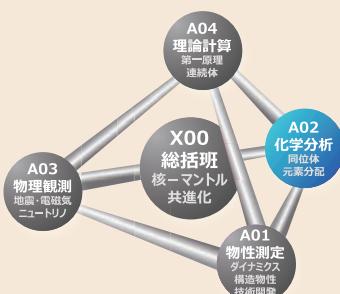


図1. 真空ラインで気体を精製する様子。液体窒素を使い、沸点の違いを利用して気体を分離・精製しています。このような工程を繰り返し、目的のガスの純度を高めます。

研究項目トピック



研究項目A02: 化学分析

マントル由来物質や高圧合成試料の微小領域分析により、核マントル間の元素分配や同位体分別を制約します

～同位体比質量分析計（MAT253）の導入～

さらに硫黄には存在量の少ない³³S(0.75%)、³⁶S(0.02%)という同位体もあります。この2つの同位体を分析することは重要です。なぜならいくつかの反応経路では、これら2つの同位体の割合が異常に高くなったり、あるいは低くなったりといったことが起きるからです。つまり、種々の反応機構によって4つの硫黄同位体の特徴が僅かに異なるので、四種硫黄同位体比の分析をすると、どのような起源の硫黄が、どのような反応を経験したのかをより詳細に推定することができるのです。このような硫黄同位体の分析によって、太古の地球大気における酸素濃度や微生物活動、古気候情報などが明らかになっていきます。

四種硫黄同位体比を分析する方法を紹介します。硫黄は大気、海洋、岩石中に様々な形態で存在しますが、化学実験を行ってこれら硫黄を濃縮させ、最終的に硫化銀の粉として抽出します。硫化銀はフッ素ガスやフッ化物と高温で反応させ、SF₆というガスにしてから装置に入れて分析します。しかし同時に余分なガスもできてしまうので、真空ラインを用いてガスの精製を行います。真空ラインとはステンレスやガラスのパイプ内部をポンプを用いて真空にしている装置のことで、チューブやバルブを組み立てて製作します。ガスの精製は主に沸点の違いを利用します。例えば真空ラインのパイプの外側から液体窒素を使って冷やす(-196°C)と、パイプ内部のSF₆ガスは凝縮して液体となり、一方で凝縮しないガス(例えばHeなど)はポンプで吸引できるので、SF₆純度を高めることができます(図1: 真空ラインでガスを精製する様子)。

精製したSF₆ガスは同位体比質量分析計(Thermo Fisher Scientific MAT253)に導入して四種硫黄同位体比

を分析します(図2: 同位体比質量分析計MAT253の全体図)。同位体比質量分析という言葉ですが、それぞれの同位体がどの様な割合で含まれているのかを分析する装置です。ガス導入チューブを通じて質量分析計に入ったSF₆ガスは、まずイオン源でSF₅⁺にイオン化されます。そして、電圧をかけて加速させ、巨大な磁石の間にこのSF₅⁺を通します。すると、磁場内において電流が流れる導体に力が発生する現象、すなわちローレンツ力によって、SF₅⁺は一定方向に力を受けます。この時、³²SF₅⁺、³³SF₅⁺、³⁴SF₅⁺、³⁶SF₅⁺の電荷は等しいので加わる力は一緒なのですが、質量数が異なるので、4種類のSF₅⁺は異なる半径で曲がることになります(図2における4本の青線)。つまり、軽い³²SF₅⁺ほど曲がりやすく内側(手前側)の軌道を、重い³⁶SF₅⁺ほど曲がりにくく外側(奥側)の軌道を描くことになります。

ということです。それぞれの軌道の先にはコレクターと呼ばれる検出器が付いていて、それぞれの同位体の SF₅⁺量を電圧値として測定します。この値を元にして、同位体比を計算します。

私達は現在、高圧下における硫黄の同位体分別を明らかにするため、高圧実験と硫黄同位体分析を組み合わせた研究を行っています。硫黄のような軽元素の同位体は、表層環境においては比較的研究が進んでいるのですが、例えば核マントルが分離する時や沈み込み深部でマグマが形成する時など、高温高圧下での同位体分別はあまりよくわかっていない。地球深部の温度圧力条件を実験により再現し、回収試料の硫黄同位体分析を行うことで、初期地球やその後の継続的なプレートテクトニクス活動を通じた地球内部での硫黄循環を明らかにできると考えています。

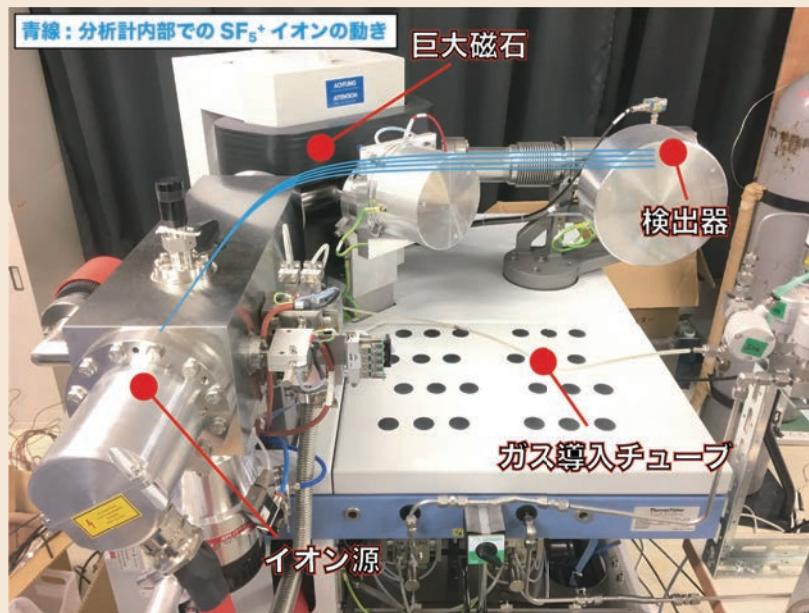


図2. 同位体比質量分析計MAT253の全体図。精製したSF₆ガスはこの装置に入れて、四種硫黄同位体比を測定します。

第1回若手研究集会

「地球惑星科学においてそれぞれ独立に大きな進展を遂げてきた研究分野を融合することにより、核-マントル相互作用と共に進化に焦点をあて、地球深部科学における大きな未解決問題を解き明かす」(領域ウェブサイトより引用)という本研究領域の目的を押し進めていくためには、個々の研究者が自身の研究を発展させていくと共に、それらを統合して大きな全体像を描いていくことが重要です。そのためには、研究分野や所属機関の垣根を越えた議論や共同研究が活発に行われる必要となります。また個々の研究者にとっても、新学術領域での学際的な議論を通して新しい知識や発想を得るとともに、それらをもとに全体を見渡す目を養って未来へ向かって研究を発展させていくことが重要になります。

研究分野や所属機関が多岐にわたる多様な立場の研究者から構成される本新学術領域のメンバーになったチャンスを最大限に活かすために、研究者が定期的に顔を合わせて広い視点から自由に議論を行う機会が必要であろうという若手メンバーからの意見が契機となり、本研究集会が企画されました。柔軟に動ける比較的若いメンバーを中心としたボトムアップによる運営を行い、核-マントル相互作用と共に進化の理解という太い柱を通じた様々なト

ピックについて、研究分野や所属機関の垣根を越えた学際的な議論を気軽にを行うことができる場を創出することを目指しています。

記念すべき第一回目の若手研究集会は、2017年8月25日から27日にかけて東京大学地震研究所で開催されました。国内の7つの研究機関から総勢17名が参加しました。参加者は、A01物性測定班、A02化学分析班、A03物理観測班からのメンバー及び関連する研究者や学生から構成されており、主に物質科学や地震波解析に関するトピックについて講演や議論が行われました。本研究会の目的である異分野の研究理解と自由な議論のために、それぞれの講演について質疑も含めて1時間と、時間に余裕のあるプログラムが設定されました。

研究集会1日目は、東京大学地震研究所の平賀岳彦准教授(A01-1班)による「SuperMan (superplastic mantle)」という演題の基調講演が始まりました。実験室で岩石を元々の長さの数倍にまで引き延ばす「超塑性変形」と呼ばれる現象や、結晶と結晶の間に挟まれた「結晶粒界」という非常にミクロな世界を題材に、マントルで起きている非常に巨大な時間空間スケールでの岩石の流動や変形までを語るという刺激的な講演となりました。その後、東京大学

弥生キャンパス内のレストランにて懇親会が行われました。懇親会でも活発な議論は続きました。

続く研究会2日目にはまず、東京大学理学系研究科の河合研志准教授(A03-1班)によって「地震波形インバージョンで地球内部を観る」という演題での基調講演が行われました。近年の地震観測データの増加や理論的な発展によって、地震波形の観測データを用いて、地球深部の構造を知ることが可能になりました。最新の成果や技術的な詳細が紹介されました。さらに、飯塚毅准教授(A03-2班)によって、「地球の初期分化とマントル内部構造」という演題で、高精度の化学分析によって得られた岩石や鉱物の化学組成データを用いて初期地球の化学進化を解き明かす研究についての基調講演が行われました。半減期が非常に短く地球史の初期にのみ存在していた同位体である「短寿命放射性核種」に着目することで分かった、初期地球の化学進化プロセスに関する話題などが提供されました。これらの3件の基調講演の次には、第1回幹事となった、東京大学地震研究所上木賢太特任研究員(A03-2班)による挨拶と趣旨説明、研究発表が行われました。その他に6件の研究発表が行われました。



イベント

最終日である3日目には、4件の研究発表が行われ、昼に散会となりました。会期を通じて、総計13件の口頭発表が行われました。詳細な演題や講演者名などについては、領域ウェブサイト(<http://core-mantle.jp/archives/3291>)をご参照ください。

上で述べた講演の他に口頭発表で登場した研究トピックは、機械学習の手法を用いて行われた岩石溶融の熱力学フォワードモデリング、第一原理分子動力学計算による中心核物質の物性推定、岩石の硫黄同位体比の分析とデータ解析に基づいた初期地球生命活動の解明、地球深部の酸素の存在形態や分布を理解するための高圧実験、ケイ酸塩鉱物や金属とマグマの間の元素分配・岩石変形・中心核物質の物理特性などの超高压実験結果や新たな超高压実験に向けた機器開発計画、岩石の溶融に伴う物理特性の変化を測定する室内実験、地震波観測データを用いた核マントル境界の構造や地震波異方性の解明、オマーンでの野外調査や掘削で得られた岩石を用いた上部マントルプロセスの岩石学的研究など、地球内部プロセスや地球発達史を理解しようという共通のテーマに根ざしていながら、非常に多岐にわたっています。地表・地殻・マントルそして核を含む全地球における、初期地球から現在に至るまでの様々なトピックが議論されました。室内実験、シミュレーション、データ解析、野外調査など多様な手法を用いて、原子スケールのミクロな現象から全地球規模のスケールまでの様々な視点に基づいた研究が行われています。

これらの研究トピックに関して、多様な視点から自由な議論が行われた一方で、新しい研究アイデアや手法に関する議論も展開されました。さらには参加者同士での新しい共同研究プランも立ち上がり、本研究集会の目的は大いに達成されました。一方で、講演時間が比較的長いために自由討論の時間が少なくなってしまったという点や、様々なバックグラウンドの研究者が集まる中で各々の研究テーマを理解してもらうためはどうしたら良いかという点、さらには集会のスムーズな進行に関する点など、次回以降に向けた改善点等も含めた活動プランの議論も行われました。

本研究集会は今後も定期的に開催していく予定です。研究会での議論を通して本新学術領域全体の研究遂行に貢献すると同時に、新しい共同研究の創出や、地球科学上の新しい問題の創出を目指していきます。若手を中心としたボトムアップの運営を行い、自由な発表の機会を設けるという狙いから「若手研究集会」と命名ましたが、特に年齢制限等は設けておりません。現在領域ウェブサイト上で新たなメンバーを募っておりますので、ご興味のある方は是非ご確認ください。今後の研究集会に関する詳しい情報は、領域ウェブサイトやメーリングリストなどで告知

される予定です。

次の研究会は、2018年の3月5日～7日に、東北大学がホストとなって行われます。

今回の開催に際しては、領域内の様々な方々や、東京大学地震研究所や愛媛大学のスタッフの皆様から多大な援助・ご協力を頂きました。この場を借りて感謝を申し上げます。

司会者：

上木賢太（海洋研究開発機構 地球内部物質循環研究分野）
秋澤紀克（東京大学大気海洋研究所 海洋底地球物理学分野）



合同ワークショップ（同位体班、元素分配班、地震・電磁気班）

2017年10月13日(金)～14日(土)にJAMSTEC 東京事務所にて、A02-1 同位体班、A02-2 元素分配班及び A03-1 地震・電磁気観測班の合同ワークショップを開催いたしました。総勢約 30 名が参加し、前半は地球化学・地震学それぞれのトピックのレビュー、後半はテーマごとの話題提供と地球深部のリザーバに関する議論を深めました。以下は世話人代表である鈴木勝彦さんからのレポートです。

ワークショップでは私も非常に勉強になりました(何より楽しかった)。お互いの分野の基礎的なレクチャーを聴いて、それに対してざくばらんに質問ができたので、これまでお互いにモヤモヤしたものを少しだけクリアにすることができたかと思います。もちろんさらなるモヤモヤが生じたと思いますが、これは次の研究計画に対するモチベーションとなるでしょう。

議論の中でクリアにすべき課題がたくさん出てきましたが、一方で、この新学術発の統合的なモデルを構築できそうに感じました。特に、以下のようなことが十分に議論できました。以下は、シンプルなメモではありますが、今後の議論のきっかけになるかと思います。

(1) 同位体的、地球化学的に異常が見えている(リザーバーの存在が想定される)地域とその下の地震波構造との対応の議論ができた。ハワイとカナダ北東部・バフィン島下のマントル最下部にある超低速度域(Ultra-low Velocity Zone, ULVZ)と同位体異常の対応が見えてきそう。下部マントルに存在する大規模 S 波速度低速度体(Large Low Shear Velocity Province, LLSVP)は何を示すか? 始原物質なのか? 地殻のリサイクルなのか? はたまた、最近提唱された BEAMS(Bridgemanite Enriched Ancient Mantle Structures、ブリッジマナイトに富む古代マントル構造)を、地球化学的リザーバーと対応させることは可能か?

(2) 数十億年リザーバーを安定的に保持するために必要な条件を考えると、マントル側で保持するのは割と難しそう。

(3) 地震波観測で見えるもの(解像度)と物質的な違い(同位体・化学組成の違い)を生み出す不均質のスケール感の比較を試みた。しかし、両者はまだ

非常に離れている。今後どのようなアプローチをしていくかが課題となろう。

(4) 地球史のごく初期から現在に至るまでの核マントルで起きていること、それと表層での出来事をどのようにリンクさせるかが興味深い。

(5) これまでマントル内にリザーバーを求めてきたが、核がリザーバーとなっても良いのではないか。タングステン同位体比に負の異常が見つかっていること、マントルで保持するに必要な高密度(+5%)が現実的では無いことは、核にリザーバーを置けば説明できる。

(6) 核マントル間での元素の挙動の解明が重要な鍵となる。

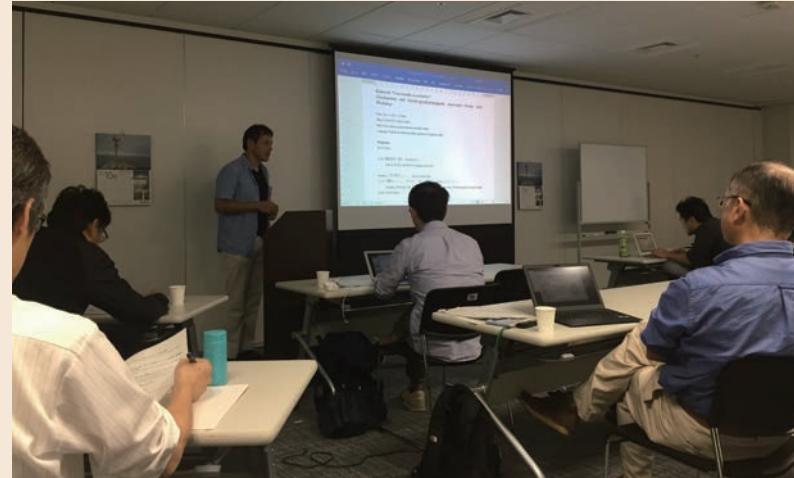
などです。すべて統合的な地球深部モデルにつなげるための重要なポイントだと考えます。

ワークショップで十分な議論ができたからといって、これらの問題が一気に解決するわけでは無いので、もう一

度出てきた課題を整理しなくてはいけないと考えています。それを踏まえて、ワークショップを開ければと思います。休憩中に、あちこちで分野を超えた議論が起きているのが印象的でした。本当にありがとうございました。(鈴木勝彦)

世話人: 鈴木勝彦 (JAMSTEC)・M. Satish-Kumar (新潟大学)・田中聰 (JAMSTEC)

参加者: 土屋卓久、芳野極、下田玄、石川晃、小木曾哲、鎌田誠司、館野繁彦、竹内希、清水久芳、George Helffrich、Christine Houser、大滝壽樹、河合研志、上木賢太、中川貴司、尾崎典雅、角野浩史、貴志智、新名良介、木村純一、伊藤正一、高畑直人、大林政行、賞雅朝子、秋澤紀克、青山慎之介



イベント

ワークショップ Crust to Core 2017

2017年7月30日～8月1日にかけて、大三島ふるさと憩いの家（愛媛県今治市）において、A04-1 理論計算班（担当：土屋旬）と東京工業大学地球生命研究所（以下 ELSI、担当：Christine Houser）の共催によるワークショップ “Crust to Core 2017, Linking planetary properties across space and time” を開催しました。

地球表面を覆うプレートは地球深部へ沈み込み、そのプレートは核マントル境界まで到達していると考えられています。沈み込んだ地殻は長い年月をかけて循環し再び表面に現れると考えられており、そのようなプロセスを地殻のリサイクルと呼んでいます。このワークショップは地球や月・火星などの惑星初期地殻の形成とリサイクルについて議論する目的で開催されました。

このワークショップには、当領域関係者と ELSI メンバー 30 名、海外 6ヶ国（アメリカ、イギリス、スイス、イ

タリア、フランス、オーストラリア）からの招待講演者 7 名の総勢 37 名（うち学生 9 名）が参加しました。発表は、地震学、シミュレーションやモデリング、高圧実験、地質学と多岐の分野にわたり、それらを横断した知識の共有や議論が熱心に行われました。特に招待講演者からは、マグマオーシャンからの結晶分化、初期地殻形成過程、初期地殻やリソスフェアの安定性、核・マントル境界における熱化学的相互作用に関するシミュレーションなど、地球形成初期からの進化過程について最新の研究結果が報告されました。

会場は、閉校になった小学校を改装して作られた民宿で、昭和の趣を色濃く残しており、会議も畳敷きの大広間で行われました。海外からの参加者は長時間畳に座つ

ているのは難しいようでしたが、興味津々の様子でした。一方、日本からの参加者からは、懐かしいとの感想も聞かれました。二日目には親睦会を兼ねたバーベキューが行われ、研究分野や立場を超えた交流が進みました。ワークショップの運営側からすると、離島という慣れない場所での開催に苦労した面（特に昼食や軽食の調達、プロジェクトとスクリーン、バスの手配など）もありましたが、瀬戸内の穏やかな海を臨む会場で、リラックスした雰囲気の中行われ、有意義な時間を過ごせました。（土屋旬）



Core Mantle coevolution

Award

受賞

日本鉱物科学会第21回研究奨励賞

境 毅 [愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, A01-3 技術開発班]

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センターの境毅講師（A01-3, 技術開発班）が日本鉱物科学会の第 21 回研究奨励賞を受賞し、2017 年 9 月に愛媛大学で開催された同学会大会において、授賞式ならびに本人の受賞講演が行われました。

日本鉱物科学会は、日本鉱物学会と日本岩石鉱物鉱床学会が統合され、2007 年に設立されました。2016 年から

は一般社団法人化され、会員約 1000 名を擁します。

なお、境講師の受賞タイトルは「マルチメガバール領域における鉱物高圧相の状態方程式の研究」です。これに関連する 2 段式ダイヤモンドアンビルセルの開発について、本ニュースレターの No. 2 でも紹介していますのでぜひご覧ください。



Core Mantle coevolution

Award

受賞

AGU Fellow

George R. Helffrich [東京工業大学地球生命研究所, A03-1 地震・電磁気班]

アメリカ地球物理学連合 (American Geophysical Union, AGU) は、世界 約 140 か国に会員を持つ地球科学分野の学会で、例年 12 月頃に開催される年会には 2 万人を超える参加者が集まります。このたび、2017 年の AGU Fellow として、東京工業大学の George Helffrich 教授が選ばされました。

AGU Fellow は「先導的なリーダーシッ

プと卓越的な学術成果を基に当該分野の根源的な進歩を促した (AGU HP より)」研究者に対し、1962 年から称号付与しているものです。2017 年は Helffrich 教授を始め 61 名が選ばれました。Helffrich 教授は、主に地震学を用いた地球深部構造の推定で先導的な役割を果たしていることが評価されました。



第66回愛媛新聞賞

入船 徹男 [愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, A01-3 技術開発班]

愛媛新聞賞は、愛媛の社会・経済の発展や文化振興に貢献した個人・団体に愛媛新聞社から贈られる賞で、第 66 回にあたる今年の受賞者の社会部門に愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センターの入船徹男教授 (A01-3, 技術開



Core Mantle coevolution

International Activities

国際交流

国際レクチャー

"固体地球科学特論 II"

Maxim D. Ballmer 博士 (ETH Zürich)、1/17-1/19、東京大学理学部 1 号館



海外研究者受け入れ

Maxim D. Ballmer (ETH Zürich, Senior Scientist)、1/9-2/8、東京大

海外派遣

土屋卓久 (愛媛大)

The 26th AIRAPT (The International Association for the Advancement of High Pressure Science and Technology)、中国・北京、8/19-8/22

The 9th HPMPS (High Pressure Mineral Physics Seminar)、フランス・サンマロ、9/23-9/30

研究打ち合わせ・セミナー発表、フランス・クレルモンフェラン大学、11/5-11/10

土屋旬 (愛媛大)

Deep Carbon Observatory Task Force2020 meeting、アメリカ・ワシントン DC、11/18-11/22

Sebastian Ritterbex (愛媛大)

AGU Fall Meeting 2017、アメリカ・ニューオーリンズ、12/10-12/17

大滝壽樹 (産総研)、田中聰 (JAMSTEC)

オーストラリアの機動的地震観測網による地球深部構造の研究、オーストラリア国立大、2/25-3/3

Core Mantle coevolution

Editor's note

編集後記

今号のニュースレターでは、最近の研究成果の解説とともに 3 つの研究集会の開催報告をお届けしています。いずれの研究集会でも分野や研究班の垣根を超えて活発な議論があ

こなわれており、新学術領域研究というものをよく活かして学際的な研究が進展しつつあることを感じます。また、そこから生まれた新しい研究が今後のニュースレターでご紹介で

きればと考えています。

(編集:田中聰、西原遊、舟越賢一、西真之、野村龍一、小木曾哲、渡辺寛子、土屋旬、山田朗)

平成27-31年度 文部科学省 科学研究費助成事業 新学術領域研究 核-マントルの相互作用と共に進化~統合的地球深部科学の創成~

事務局 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター 〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5
Tel: 089-927-8165 E-mail: contact@core-mantle.jp Home Page: http://core-mantle.jp/