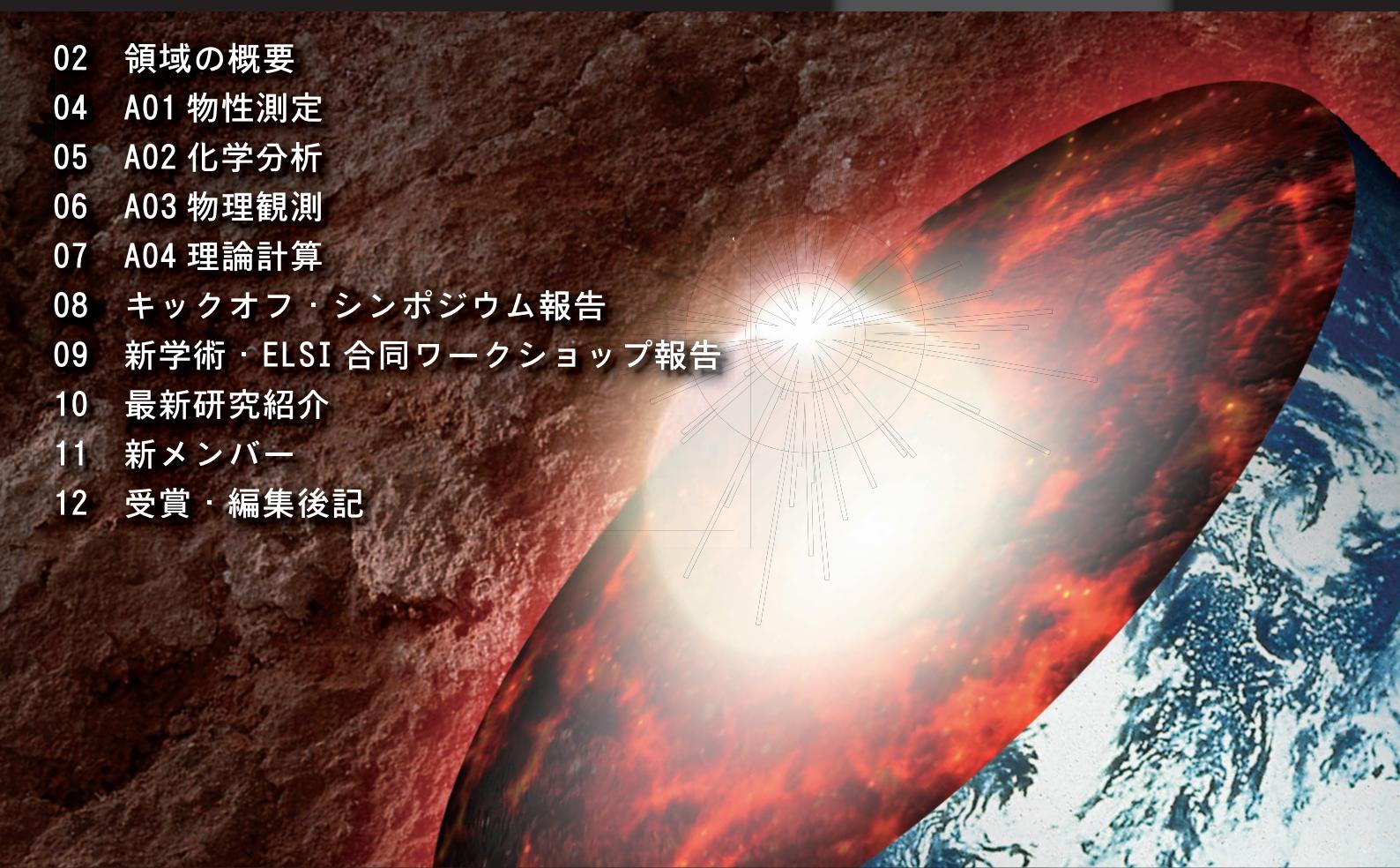


平成27-31年度 文部科学省 科学研究費助成事業
新学術領域研究

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 領域の概要
- 04 A01 物性測定
- 05 A02 化学分析
- 06 A03 物理観測
- 07 A04 理論計算
- 08 キックオフ・シンポジウム報告
- 09 新学術・ELSI 合同ワークショップ報告
- 10 最新研究紹介
- 11 新メンバー
- 12 受賞・編集後記



研究領域代表

土屋 卓久

愛媛大学 地球深部
ダイナミクス研究センター



直接見ることのできない「地球深部」は、いつの時代にも多くの人々の興味を惹き続けてきました。探査機が太陽系の外縁にまで到達する現在でも、地球深部はいまだ人類が未踏の領域「ラスト・フロンティア」です。こ

核－マントルの相互作用から

目的と内容

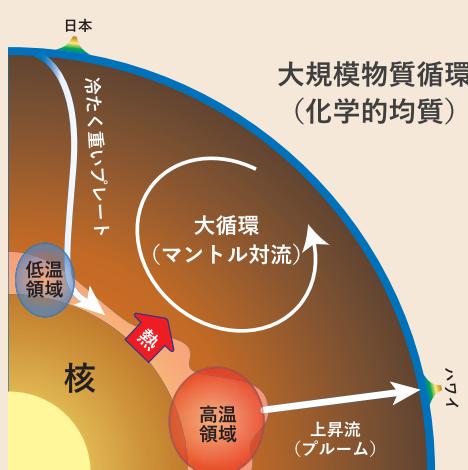
観測と実験の両面から地球深部の構造、物質構成に関する研究は近年著しく進展してきました。しかし、地球全体の体積の8割を占めるマントルの化学組成の詳細や残りの2割に相当する核に含まれる軽元素の組成は60年余りに渡って未解決のままであります。核とマントルの境界層領域は、地震学からは活発な対流運動による大規模物質循環が示唆されているのに對し、地球化学からは地球形成当初の痕跡を46億年もの間、保持し続ける不均質な領域（リザーバ）の存在が示唆されていて、両者の描像は相容れない状況です（図1）。一方、地球内部の運動を理解するには運動を駆動するエネルギー源の理解が重要となりますが、主要な熱エネルギー源となる放射性元素の種類や分布、地球深部のエネルギー収支などもいまだ未解明です。

このような地球内部科学における未解決の重要な問題は、核とマントルを結合系としてとらえ、その化学的・物理的相互作用を明らかにすることで初めて解明が可能となります。例えば外核の化学組成が分かれば地球誕生直後にマントル中で

進展した核の形成プロセスに対し重要なヒントが得られますし、核－マントル境界領域の化学組成の詳細が分かればこの領域に今も存在している不均質性の成因に迫ることができます。また核からマントルへ流れる熱エネルギー量が分かれば、マントル対流の強さや核の冷却速度を制約できます。

近年、地球中心部に至る温度压力条件でも実験が可能となつてきました。高精度な地球物理学観測、精密地球化学分析、数値シミュレーション技術も大きく発展しています。一方、地球ニュートリノ観測による地球深部における放射性元素分布観測も実用性が高まっています。これら最新の手法から得られるデータをフル活用することにより曖昧さの大きかった従来の地球深部の解釈から定量的な理解へと質的な転換が可能となります。本学術領域では、地球惑星科学においてそれぞれ独立に進展を遂げてきたこれらの研究分野を初めて一つに融合し（図2）、「地球深部の不均質性」を軸に核とマントルの共進化にかかわる謎に挑みます。

地球物理学的描像（地震学+高圧地球科学）



地球化学的描像（岩石の同位体分析）

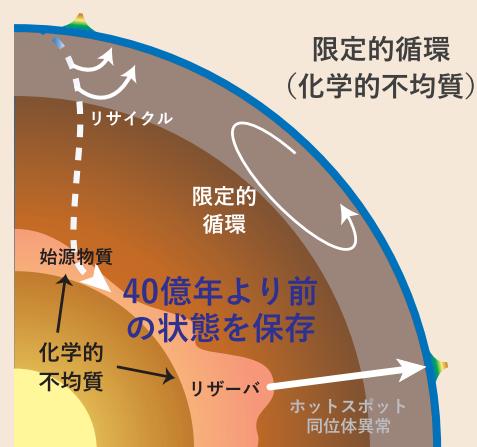


図1. マントル活動についての（左）地球物理学的、（右）地球化学的描像。マントル内の対流（ダイナミクス）が、マントル全体（左）、上部マントルのみに限定（右）、のどちらなのかはまだ分かっていない。

領域の概要

の度、我が国を代表する多様な分野の研究者が結集してこの地球深部の壮大な謎に挑む5年間の新たな研究プログラム「文部科学省・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～」が開

始されました。この記念すべきニュースレター第一号にて、地球深部科学の魅力と我々が計画するこの新たな研究プログラムをご紹介いたします。

不均質構造の発達と進化を解明する

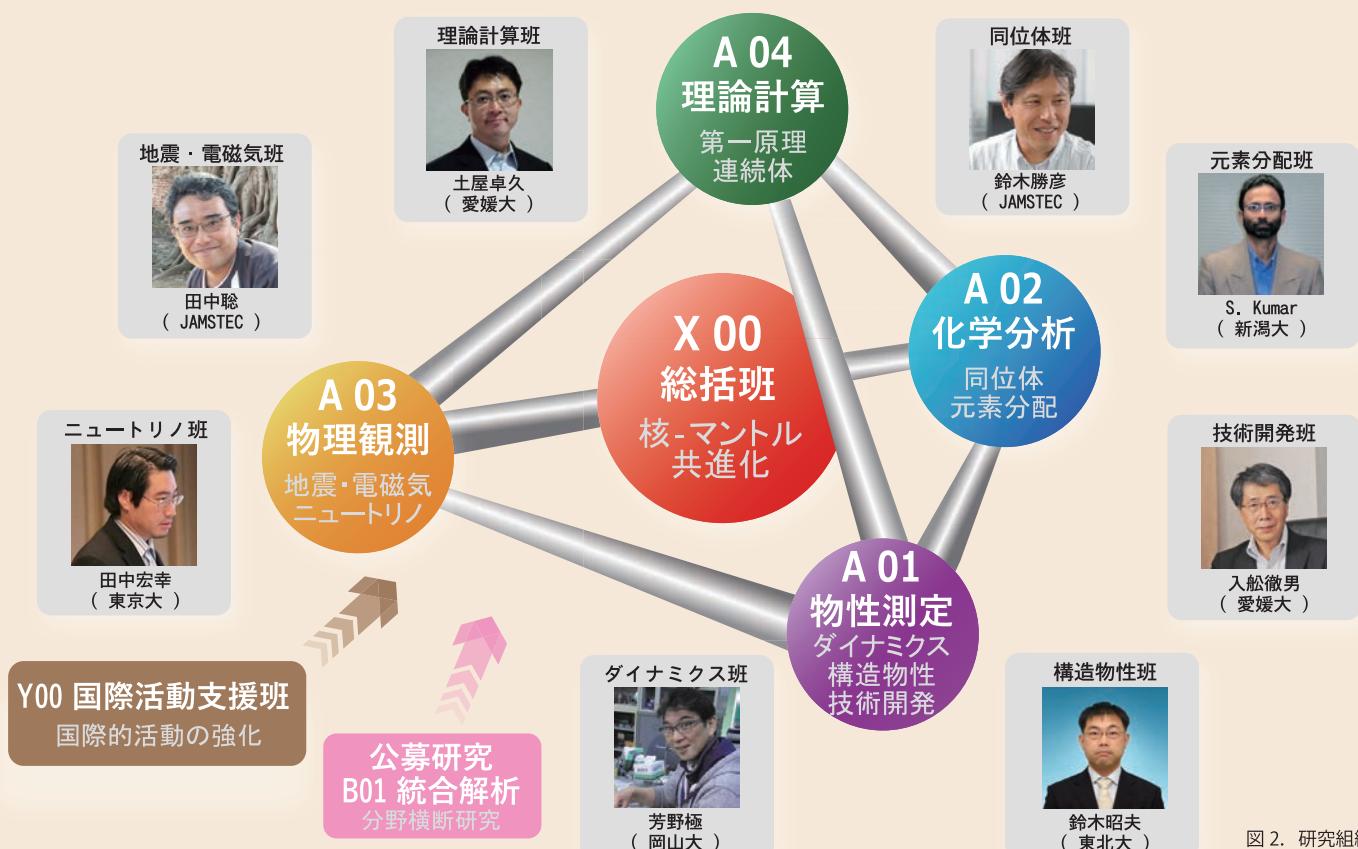


図2. 研究組織

期待される成果と意義

本領域を構成する高圧地球科学と地震学の研究者は従来から連携して共同研究を行っており、これまで地球内部構造の解明に大きく貢献してきました。これらに加え、本領域では精密化学分析を駆使した地球化学や急速に発展しつつあるニュートリノ地球物理学分野の研究者とも共同研究を展開することにより、形成から現在に至る46億年にわたる地球進化の実像に迫ります(図2)。精密に決定された元素分配や同位体分別などの熱化学特性や熱伝導率や変形機構などの物理特性に基づき高分解能観測の結果を解釈することで、地球内部ダイナミクスを支配する核マントルの相互作用と共進化の実態がより鮮明にあぶりだされてくると考えられます。この

ように本領域は従来の地球深部研究の枠を超えた広がりを持ち、様々な分野を統合して動的な地球深部描像を構築するという地球科学の新たな潮流を創成するものです。これにより我が国が世界を先導する地球深部科学をさらに前進させるとともに、先端的な研究を推進する中でグローバルに活躍できる人材の育成も期待できます。

本研究プロジェクト参加者は比較的年齢も若く、従来にはなかった連携や研究組織で地球深部の謎に迫る本プロジェクトに大いに意気込んでいます。今後5年間にわたる本研究プロジェクトへの皆様のご支援、ご理解、またご期待をどうかよろしくお願いいたします。

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。

A01-1 核-マントル物質の動的挙動

日本における高圧地球科学実験分野は、マントル、核にいたる地球深部を対象に、地球中心に相当する高温高圧条件の再現や新物質の発見など、先駆的な研究で多くの成果を挙げ、地球深部の組成、構造の大局的な理解に貢献してきました。しかしながら、核とマントルを含む全地球規模の熱対流現象についての理解が十分に進んでいるとは言えません。地球内部の運動の主要な原動力は、第一に熱かった原始の地球が

表面から一様に熱を奪われていくことです、沈み込む冷たいプレートによって局所的に冷やされることも重要な要素です。これらの異なる冷え方が、マントル対流だけでなく、地球の磁場を生み出す外核の対流、さらには内核の成長や内部流動にも影響を及ぼしています。そこで、本研究計画では、内核と下部マントルのそれぞれの主要構成物質の粘性、流動則、結晶の選択配向を決定するとともに、核-マントル境

界部における熱伝導、電気伝導度、元素拡散といった熱・物質輸送に関わる物性を高圧実験の手段により決定します。地球物理学的観測との比較から、核-マントルを含む地球深部のダイナミクスと核-マントル相互作用を総合的に解明することを目的としています。

研究代表者 芳野 極
岡山大学 地球物質科学研究センター

A01-2 核-マントル物質の構造と物性

核-マントル境界まで沈み込んだ海洋プレートは、核との熱や物質のやり取りによって浮力を得て再び上昇すると考えられています。このような物質の循環を経て地球深部における物質の構成が変化してきたというのが現状での大筋の理解です。しかしながら、地球深部がどのような物質でできており、それがどのような物性をもつかは十

分解明されているとは言い難く、物質循環や分化プロセスは未解決の問題です。本計画研究では、様々な地球内部物質の密度や弾性波速度などの物性測定および物性の根源となる構造を解き明かします。また本領域研究で掲げる到達目標を達成するため、計画研究各班と連携してマントルの化学組成と核の軽元素を解明し、核-マントルの不

均質構造をもたらす物質を解明することを目的とします。特に日本の研究者が先導的な役割を果たし数多くの実績を挙げてきた、量子ビームなどを活用した超高压下での実験的研究をより一層推し進めます。

研究代表者 鈴木 昭夫
東北大学 理学研究科

A01-3 核-マントル物質の精密高圧実験技術の開発

本計画研究では、最下部マントルから核に至る超高压・高温下での、精密実験技術の開発を主要な研究目的としています。特に新たな高硬度超硬合金の導入(図1)、独自に開発したナノ多結晶ダイヤモンド(NPD=ヒメダイヤ)や焼結ダイヤモンド(SD)をアンビル(高圧実験で試料を支える台)として活用し、放射光や中性子などの量子ビームと組み合わせることによって、独創的な超高压技術の開発に重点を置いた研究をすすめてまいります。得られた実験技術と装置を、他の研究計画メンバーや関連若手研究者及び学生に提供・共有することにより、領域全体の研究推進や若手育成においても重要な貢献をすることを目指します。

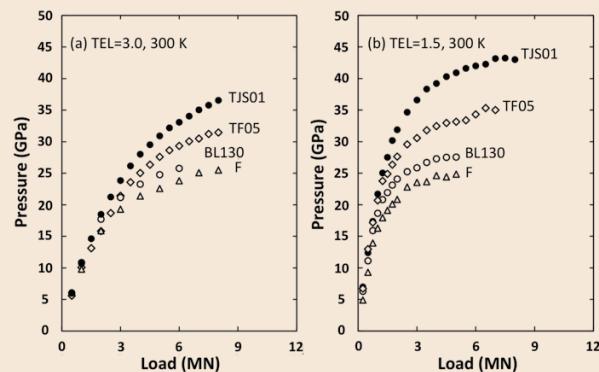


図1. 新開発超硬合金(TJS01)アンビルを用いた、マルチアンビル装置による圧力発生試験。従来最も高い圧力発生が可能であったTF05に比べ、はるかに高い圧力発生効率が確認され、既に50GPa領域の発生も実現されている(Kunimoto, Irfune, Tange, Wada, High Pres. Res., in press)。

研究代表者 入船 徹男
愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター

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することを目的としています。

A02-1 同位体から制約する核-マントルの共進化

本計画研究では、可能な限り実際の環境に近い条件での高温高圧実験と、実験によって生成された物質を用い、微小な試料を対象とした高感度元素組成・同位体分析を行います（図1）。それによって、核-マントル境界での同位体の挙動と分配を明らかにし、同位体の変動を作りうる条件と起こりうる分別の大きさを制約します。同時に、

下部マントル起源と考えられる火山岩等の高精度同位体分析を行い、これらのデータから時間軸を含めたモデリングを行い、現在観察されているマントルの同位体変動のうち核-マントル相互作用によって生み出されている同位体変動成分を抽出します（図2）。さらに高温高圧実験結果と融合して、核の進化すなわち核-マントルの化学反応の

歴史を、世界に先駆けて明らかにします。さらに、ウラン、トリウム、カリウムなどの放射性同位体を含む元素の核への分配を決めてことで、核の熱史を明らかにします。核の熱史は当然、地球進化や表層の環境変動に影響を与えてきたはずで、それを明らかにすることも本計画研究の目標です。

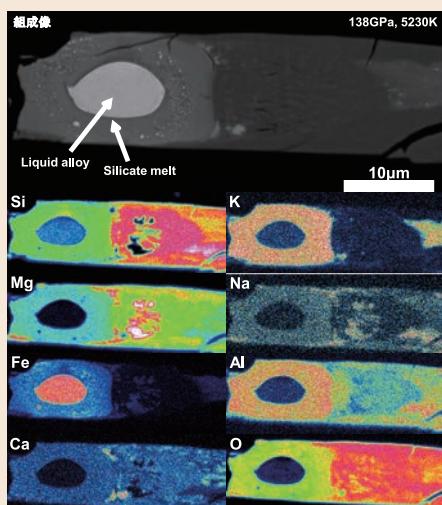


図1. 核-マントル境界の圧力条件において金属鉄-ケイ酸塩を溶融させた際の元素分配実験結果。電子顕微鏡イメージ（上）と元素分布図（下8枚）。実際に超高压・超高温条件で実験をすることによって、少量のマグネシウム（Mg）、アルミニウム（Al）、カルシウム（Ca）が液体鉄に溶け込むなど、従来予想されなかつたことが明らかになる。

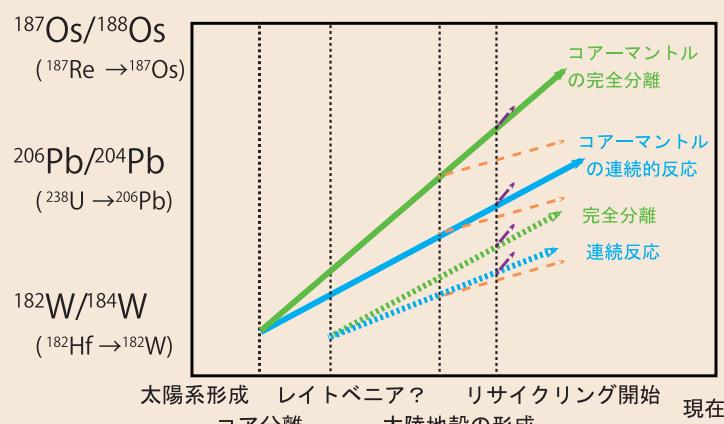


図2. 同位体進化曲線の概念図。オスミウム (Os)、鉛 (Pb)、タンゲステン (W) の同位体比の変遷は、コアとマントルの共進化に関わる様々な事件の影響を受ける。

研究代表者 鈴木 勝彦
海洋研究開発機構 海底資源研究開発センター

A02-2 元素分配から制約する核-マントルの相互作用

本計画研究では高温高圧下での元素分配・同位体分別係数の定量化を重要な目的とします。鉄ニッケル合金から構成される地球の核において、液体である外核は、地震波による観測から純鉄より10%ほど低い密度を有することが知られ、軽元素や強親鉄性元素の存在の可能性を示しています。さらに現在のマントルにおいても最下部にマ

グマが存在し、それがリザーバー（貯蔵庫）として地球の形成初期に起こった化学的分化を軽元素や微量元素に記録している可能性があります。つまり地球内部において起こり得る化学的分化を理解するには、高圧下における液相-固相間または金属融液-珪酸塩融液間（液相不混和：混じり合わない融液）の元素分配係数や同位体分別係

数の決定が必要です。本計画研究では、マントル最下部圧力条件までの岩石の融解実験を行い、元素分配係数や軽元素同位体分別係数を定量化し、初期から現在までの地球化学的進化の理解につなげることを目的とします。

研究代表者 Madhusoodhan Satish-Kumar
新潟大学 自然科学系

研究項目 A03

物理観測

地震・電磁気・地球ニュートリノの観測技術を駆使し、核とマントルにおける物質の移動と変形などに関する実証データを取得します。

A03-1 核-マントルの地震・電磁気観測

地震学や地球電磁気学の研究によって、地球深部構造を画像として写し出せるようになり、地球の現在の姿を理解する上でとても役に立ちました。しかし、本学術領域で目指す核-マントル物質の移動や変遷を解明するという点では、十分な貢献をしてきたとは言えません。本計画研究では、地震学や地球電磁気学的手法を用いた観測データ解析によって、核とマントルがお互いに影響を及ぼし合いながら共に進化してきたという視点に立った地球深部の総合的理 解に貢献することを目的とします。たとえば、地球深部での変形機構を理解するために重要な観測情報である「地震波速度の伝わる方向による違い」や「地震波の減衰」を精度よく明らかにする必要があります。また、熱の流れを議論するためには、マントル最深部にある「地震波速度が急に変化している地点」の深さを正確に押さえ、実験・理論から得られる物質の基本性質から、その地点の温度と温度変化率を推定する必要があります。また、熱伝導度という物理的性質と関係が深い地球深部の電気伝導度も観測データに基づく直接的な検証はなされていません。本計画研究では、各国との共同研究を通じて非公開データを収集し、臨時観測を遂行して新規データを獲得することなどによって、上記のような課題に挑戦します。

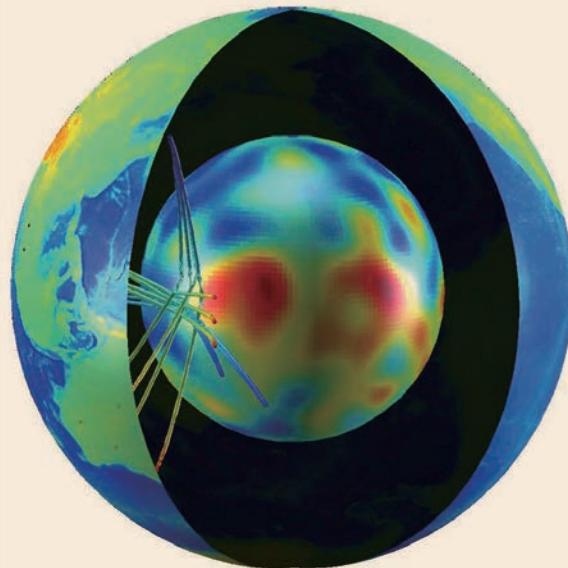


図1. 現在までに明らかにされているコアとマントルの境界域（マントルの底、コアを覆う岩石層）における地震波速度の異常。青色が速い領域、赤色が遅い領域を示す。マントル内部を通過している線は、これから収集しようとしている地震波の伝わる経路。

研究代表者 田中 聰
海洋研究開発機構 地球深部ダイナミクス研究分野

A03-2 ニュートリノ観測から制約する核-マントルの化学組成

ニュートリノには宇宙から降り注いでくるものの他に、地球そのものが起源になっているもの（地球ニュートリノ）があります。日本の観測施設が地球ニュートリノの検出に世界に先駆けて成功してから10年余が経ちました。地球ニュートリノは、地球深部における放射性元素の崩壊によって発生するので、これまでのデータ蓄積だけなら放射性元素の総量を推定することができるレベルに達しています。一方、マントル内の主要な熱源である放射性元素の種類とその割合が未だ推論の域を脱していないので、核-マントルの熱進化の理解が進んでいません。本計画研究では、まず、岐阜県飛騨市神岡町にある巨大反電子ニュートリノ検出器 (KamLAND、図2) 近傍の地殻や最上部マントルにおける地球ニュートリノ流量モデリングの精度を、地震波トモグラフィーや鉱物学などの地球科学による成果を基づいて向上させます。さらに期間内に蓄積量が倍加する地球ニュートリノ観測データと合わせてマントル中のウラン、トリウム濃度を決定します。また、革新的新技術である到来方向検知型ニュートリノ検出器の開発を推進し、長期的に世界をリードする基盤を形成します。

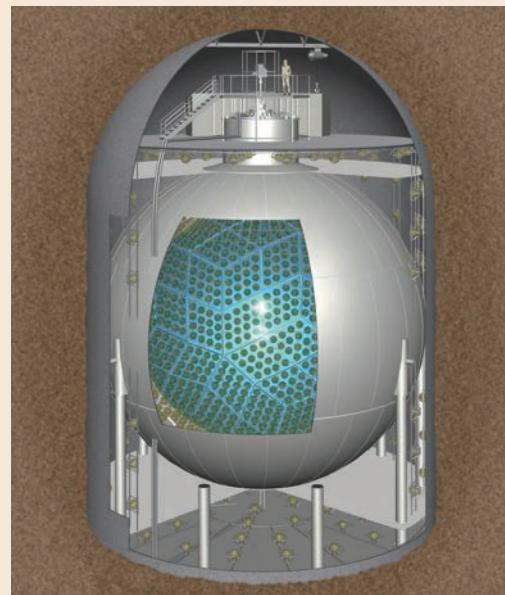


図2. 巨大反電子ニュートリノ検出器 (KamLAND)。直径約 13m。検出器の上に人影が見える。

研究代表者 田中 宏幸
東京大学 地震研究所

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。

A04-1 核-マントル物質とダイナミクスの理論モデリング

本研究項目は、一つの計画研究 A04-1:「核-マントル物質とダイナミクスの理論モデリング」から構成されています。地球惑星深部は、我々が住む地上とは全く異なる超高温超高压の未知の世界です。そのような世界では物質はしばしば常識をはるかに超えた振る舞いを示しますが、地球深部の温度や圧力を実験室でつくりだし複雑な地球惑星物質の性質を調べることは技術的に大変困難です。一方、プレートテクトニクスなど地球の運動はダイナミックですが、人間の時間スケールに比べてはるかに長い時間をかけて起きる現象がほとんどで、我々が直接観測す

ることは不可能です。本研究項目では、実験室での再現が困難な地球深部の超高温高圧環境や地質学的時間スケールの現象を、スーパーコンピュータや大型並列計算機を用いた大規模数値シミュレーションにより計算機内に作りだします。それによって、本研究プロジェクトの主要テーマである①マントルの化学組成と核の軽元素、及び放射性元素の分布、②地震学的に観測される核-マントル境界領域の不均質構造と地球化学的に示唆されるリザーバーとの関係、③外核の化学的成層構造と内核の不均質またそれらの成因、などに関する理論的・計算科学的アプローチか

ら研究を行います。そのための方法として第一原理電子状態計算法と呼ばれる方法で実験が困難な超高温超高压条件での物質の性質を調べます（図1）。また電磁流体シミュレーションの手法を用いて外核の運動を調べたり、3次元マントル対流シミュレーションによりマントルの運動を調べます（図2）。これらを通じ他の研究項目が取得する実験・観測データに対し理論的検証や解釈などのサポートを行うとともに、核-マントル相互作用や共進化の本質的要素を抽出しモデル化を通じて統合モデルの構築を目指します。

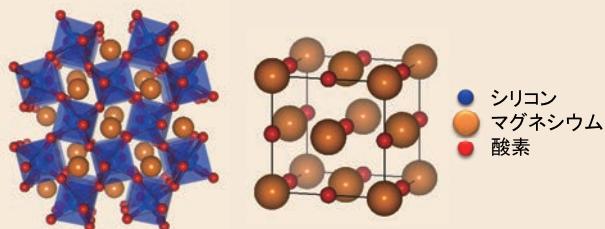


図1. 第一原理電子状態計算法での下部マントルの構成岩石モデルの推定。下部マントルの主要鉱物は(左)ブリッジマナイト(Br)と(右)フェロペリクレス(Fp)と分かっており、観測結果(PREMモデルによる地震波速度、密度)と一致するこれら2種類の組成比を理論計算で求めたところ、BrとFpが8:2の割合で存在している岩石モデル(パイロライトモデル)が最も適当と推定された。

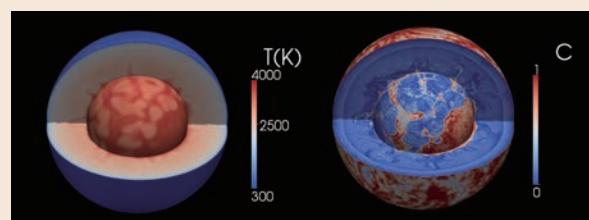


図2. マントル対流シミュレーションから推定された温度分布(赤いほど高温)(左)と組成分布(赤いほど玄武岩の成分が多い)(右)。マントルの底と断面に表示。

研究代表者 土屋 卓久
愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター

研究項目 Y00

国際活動支援班

国際共同研究の推進や海外ネットワークの形成促進のための活動を支援します。

領域の国際共同研究を加速させるという目的に特化した支援が、平成27年度から文科省により開始されました。私たちの領域も申請を行い、無事採択していただきました。この研究項目では、本領域における国際的ネットワークの構築や、国内外の共同研究・情報発信を中心に領域の国際連携促進を行います。特に、高圧科学コンソーシア

ムを中心とした全米・ヨーロッパ・アジアの拠点機関等との連携を強め、国際的な共同研究や人材交流を推進します。また、学生や若手研究者に海外研究者が直接アドバイスを与えるメンターワークショップや、計画研究をまとめて海外に短中長期滞在して研究活動を行うインターンシップなど、若手の育成も考慮した領域研究活動の推

進を計画しています。高圧地球科学分野のアジアにおけるネットワーク整備や地震・電磁気観測による国際観測網の構築など、本領域ではすでに分野ごとに活発な国際共同研究が展開されていますが、この国際活動支援班によりさらに手厚い支援が可能となりました。

研究代表者 土屋 卓久
愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター

キックオフ・シンポジウム



本学術領域（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～）のキックオフ・シンポジウムが2015年8月7～8日に愛媛大学総合研究棟Ⅰにおいて開催されました。日本各地から70名近い参加者があり、本学術領域の研究を推進するにあたり活発な議論が行われました。

本会は土屋卓久領域代表の開会の挨拶に始まり、芳野極（岡山大学、ダイナミクス班）、鈴木昭夫（東北大学、構造物性班）、入船徹男（愛媛大学、技術開発班）、鈴木勝彦（JAMSTEC、同位体班）、M. Satish-Kumar（新潟大学、元素分配班）、田中聰（JAMSTEC、地震・電磁気観測班）、田中宏幸（東京大学、ニュートリノ観測班）、そして土屋卓久（愛媛大学GRC、理論計算班）をリーダーとする8つの研究計画班から研究の現状と今後の研究計画が紹介されました。

二日目は、William McDonough（University of Maryland）教授による“Nature, evolution, and origin of the Core and Mantle: future prospects for understanding the Deep Earth”と題した招待講演が、入船徹男先生による同教授の紹介とともに行われました。会議終盤では、深尾良夫先生（東京大学名誉教授、JAMSTEC 上席研究員）による本学術領域研究班への激励がありました。同先生はまた、ご自身が開発を推し進めている地震波トモグラフィの可視化ツールの紹介もしてくださいました。本会は土屋卓久領域代表による結びの挨拶で締めくられました。

会議初日の夜には愛媛大学のレストランで懇親会が開かれ、多数の参加者が夕食を楽しみました。参加者には愛媛の地ビールがふるまわれたことで、研究者間の親睦・交流をより一層深め

ることができました。懇親会終盤には八木健彦先生（東京大学名誉教授）による挨拶があり、懇親会は大盛況のうちに幕を閉じました。

当日は日差しも強く大変暑い日でしたが、本学術領域が推進する研究に興味を持ち本会に参加した他大学の教員や学生の姿も見られました。ここに謹んでお礼申し上げます。ご参加下さり、誠にありがとうございました。また、愛媛大学GRCの事務員ならびに同センターの学生による設営の準備のおかげにより、本会を円滑に進行することができました。誠にありがとうございました。本学術領域は、今後も、各研究班の成果報告や地域に対しての発表の場を設けてまいります。今後とも宜しくお願ひいたします。

キックオフ・シンポジウム プログラム

8/7(金)

- 13:00-13:10 開会（土屋 卓久）
- 研究項目 A01 物性測定
- 13:15-14:05 計画研究1：ダイナミクス班
- 13:15-13:35 芳野極（班長）「核-マントルの動的挙動」の概要
- 13:35-13:50 太田健二「核-マントル境界での熱輸送研究の現状と今後の研究計画」
- 13:50-14:05 西原遊「超高压変形実験の現状と今後の研究計画」
- 14:05-14:55 計画研究2：構造物性班
- 14:05-14:25 鈴木昭夫（班長）「核-マントル物質の構造と物性」の概要
- 14:25-14:40 鍵裕之「地球深部での窒素の存在状態」
- 14:40-14:55 寺崎英紀「鉄合金融体の音速と弾性特性」
- 15:15-16:05 計画研究3：技術開発班
- 15:15-15:35 入船徹男（班長）「核-マントル物質の精密高压実験技術の開発」の概要
- 15:35-15:50 石松直樹「NPDを用いた高圧下X線吸収測定の研究計画」
- 15:50-16:05 西真之「焼結ダイヤモンドを用いたマルチアンビル装置による高温高压発生とその応用」
- 研究項目 A02 化学分析
- 16:05-16:55 計画研究4：同位体班
- 16:05-16:15 鈴木勝彦（班長）「同位体から制約する核-マントルの共進化」の概要
- 16:15-16:30 下田玄「マントル端成分の成因に関する地球化学的モデル：マントル不均質性への考察」

- 16:30-16:40 佐野亜沙美「高圧下同位体分配実験に向けた試行錯誤と夢」
- 16:40-16:55 野村龍一「超高圧下での分配実験：今までできることとこれからできるようになりますこと」
- 16:55-17:45 計画研究5：元素分配班
- 16:55-17:15 M. Satish-Kumar「元素分配から制約する核-マントルの相互作用」の概要
- 17:15-17:30 小木曾哲「カラン岩の強鉄性元素から見るマントルの化学進化」
- 17:30-17:45 館野繁彦“Element partitioning between lower mantle minerals and partial melt at the CMB condition”

8/8(土)

- 基調講演
9:00-10:00 William McDonough
“Nature, evolution, and origin of the Core and Mantle: future prospects for understanding the Deep Earth”
- 研究項目 A03 物理観測
10:15-11:05 計画研究6：地震・電磁気観測班
10:15-10:35 田中聰（班長）「核-マントルの地震・電磁気観測」の概要
10:35-10:45 河合研志「マントル最下部異方性と鉱物物理的考察」
10:45-10:55 Christine Houser “Global tomography below and above the core-mantle boundary”
10:55-11:05 George Helffrich “Properties of the F layer at the base of the outer core”
11:05-11:55 計画研究7：ニュートリノ観測班

- 11:05-11:25 田中宏幸（班長）「ニュートリノ観測から制約する核-マントルの化学組成」の概要
11:25-11:35 山野誠 島弧地殻の放射性発熱と沈み込み帯の温度構造
11:35-11:45 飯塚毅 日本島弧地殻の組成推定
11:45-11:55 渡辺寛子 KamLANDにおける地球ニュートリノ観測とその応用

- 研究項目 A04 理論計算
13:15-14:05 計画研究8：理論計算班
13:15-13:35 土屋卓久（班長）「理論計算班」の概要
13:35-13:50 John Hernlund “Core matters: Two plausible end-member scenarios for Earth's thermal, chemical, and magnetic evolution”
13:50-14:05 出倉春彦「深部マントルの熱輸送特性の現状と今後の研究計画」
14:05-14:15 閉会



Core Mantle coevolution

Event

イベント

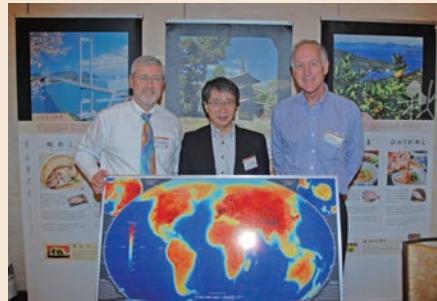
新学術・ELSI 共催ワークショップ The Earth's Mantle and Core: Structure, Composition, Evolution

2015年11月4日～7日に愛媛県松山市の道後プリンスホテルを会場として、表題のワークショップが開催されました。本開催は、東京工業大学地球生命研究所（ELSI）との共催であり、国内外の研究者や大学院生80人あまりが参加しました。ELSIは、地球科学や惑星科学、生命科学といった幅広い分野の学問を融合させることで、地球・生命の起源を解明することを目標としており、本新学術関連の研究者も複数人所属しています。本ワークショップでは、最新の実験ならびに観測データを

基に地球深部の構造・組成・進化を探ることを目的としており、4日間に渡って熱心な議論が交わされました。発表者の約半数は外国人研究者で、国際色の強いワークショップとなりました。

ワークショップの開会において、入船GRCセンター長とGeorge Helffrich ELSI教授から、新学術領域研究とELSIについての関連性を含めた挨拶が行われました。その後、メリーランド大学のWilliam McDonough教授によって反ニュートリノ世界地図が入船GRCセンター長に贈呈されました。

ワークショップは10のセッションから構成されており、地球型惑星の形成モデル、マグマオーシャンから現在の地球への進化、マントルと核の化学組成とダイナミクス、地球ニュートリノの観測等、非常に幅広いテーマについて、口頭発表とポスターにより議論されました。最終セッションでは、



John Hernlund ELSI教授を司会とした総合討論が行われ、本ワークショップの各テーマについて分野をまたいだ活発な意見交換が行われました。その後、土屋卓久 GRC教授（領域代表）による本ワークショップの総括と閉会の挨拶が行われました。4日間に渡る長いワークショップでしたが、参加者はワークショップの合間の懇親会や道後温泉巡り、松山城の観光にリラックスした様子でした。本ワークショップは、愛媛県と松山観光コンベンション協会からご支援を頂きました。ここに記して、感謝いたします。



ワークショップ プログラム

11/4(水)

- 9:00 Welcome message and introductory remarks, Tetsuo Irfune and George Helffrich
- Session 1: Terrestrial Planet Formation
- 9:15 A revised chronology of the inner solar system, Ramon Brasser
- 9:35 Giant impacts and terrestrial planet formation, Hidenori Genda
- 9:55 (Keynote Lecture) Stable isotope evidence for planetary differentiation, Anat Shahar
- Session 2: From Magma Ocean to Solid Earth
- 10:55 (Invited Talk) Crystallization of magma oceans and implications for mantle convection, Stéphane Labrosse
- 11:15 Early evolution and dynamics of Earth from a molten initial stage, Diogo Lourenço
- 11:35 Metal-silicate partitioning of chlorine: Implications for the origin of terrestrial missing chlorine, Hideharu Kuwahara
- 11:55 Geochemical evidence for the temporal evolution of the mantle redox state: implications for the volatile outgassing, Vincenzo Stagno
- Session 3: Core-Mantle interactions Chair
- 14:30 (Keynote Lecture) Conductivity and correlations at high pressure in Fe and FeO, Ronald Cohen
- 15:05 Core Neon, Andrew Jephcott
- Poster Session 1

11/5(木)

- Session 1: Mantle Structure and Composition
- 9:00 (Keynote Lecture) The lower mantle: a seismological perspective, Brian Kennett
- 9:35 Persistence of strong silica-enriched domains in the earth's lower mantle, John Hernlund

- 9:55 Discovery of new iron oxide Fe_7O_9 and its solid solution, $(Mg,Fe^{2+})_3Fe^{3+}O_9$, Ryosuke Shinmyo
- 10:15 (Invited Talk) Helium diffusion in mantle minerals from first principles, John Brodholt
- Session 2: Mantle dynamics
- 11:00 (Keynote Lecture) Modes of slab behavior: from the transition zone to the mid-lower mantle, Craig Bina
- 11:35 (Invited Talk) Multiscale seismic tomography and mantle dynamics, Dapeng Zhao
- 11:55 Three-dimensional analysis of pore effect on composite elasticity by means of finite element method, Akira Yoneda
- 12:15 Semi-analytical model for the effective grain size profile in the mantle of the Earth, Antoine Rozel
- Session 3: The Deep Lower Mantle
- 14:30 (Invited Talk) The relationship of crystallographic orientation between perovskite and post-perovskite during phase transformation, Daisuke Yamazaki
- 14:50 Temperature of the lower mantle, Christine Houser
- 15:10 Waveform inversion for 3D structure in D'', Kenji Kawai
- 15:30 Adjacent high- and low-velocity regions around the western edge of the Pacific Large-Low Shear Velocity Province, Satoru Tanaka
- Poster Session 2

11/6(金)

- Session 1: Composition of the core
- 9:00 (Invited Talk) Properties of liquid iron alloys under extreme conditions, Guillaume Morard
- 9:20 Liquid iron alloys with hydrogen at outer core conditions by first-principles, Koichiro Umemoto
- 9:40 Core Liquids: Fact and fiction, George Helffrich

- 10:00 Crystallization of SiO_2 in earth's core after high-temperature core formation, Kei Hirose
- Session 2: A look into the deep Core
- 10:45 (Invited Talk) Linking seismic observations of Earth's inner core boundary to deeper structure, Lauren Waszek
- 11:05 Freezing and melting above the inner core boundary, Marine Lasbleis
- 11:25 Thermal structure of the inner core boundary in numerical dynamos, Matsui Hiroaki
- 11:45 Lattice preferred orientation of hcp-iron induced by shear deformation, Yu Nishihara

11/7(土)

- Session 1: New insights from the Geo-neutrinos
- 9:00 (Keynote Lecture) View and perspectives on the lower mantle from the Geo-neutrinos, Stephen Dye
- 9:35 Geo-neutrino measurement with KamLAND and future prospects, Hiroko Watanabe
- 9:55 Core and Mantle compositions: Neutrino geophysics insights, William McDonough
- Session 2: Round Table
- 10:45
- 12:00 Concluding remarks, Taku Tsuchiya



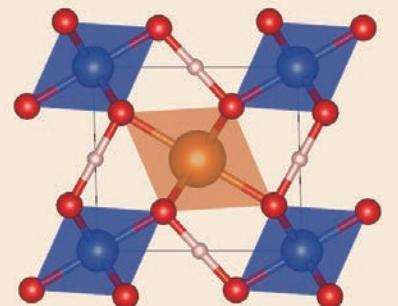
マントル下部で安定な含水鉱物H相の弾性的性質

土屋旬 [愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター]

地表付近に大量に存在する水の一部は、プレートの沈み込みに伴って地球深部のマントル（深さ 30-2900 キロメートル）へ含水鉱物としてもたらされます。2013 年、私たちはプレートにより運ばれた含水鉱物が下部マントル付近において新たな含水鉱物（H 相）へと変化するという理論予測を発表し、この H 相はその後の実験により確認されています。本研究は、H 相の詳細な結晶構造や、H 相の存在を観測で調べるために必要な弾性的性質について、第一原理計算と呼ばれる理論計算手法によ

り明らかにしたものです。これらの体積弾性率、地震波速度（S 波・P 波）、地震波異方性と、実際に観測された地震波速度を比較することによって、地球深部の水の循環経路が今後解明されると期待されます。

Jun Tsuchiya and Mainak Mookherjee, Crystal structure, equation of state, and elasticity of phase H ($MgSiO_4H_2$) at Earth's lower mantle pressures, *Scientific Reports*, 5, 15534, doi: 10.1038/srep15534, 2015.



H 相($MgSiO_4H_2$) の結晶構造（青：ケイ素、オレンジ：マグネシウム、赤：酸素、白：水素）

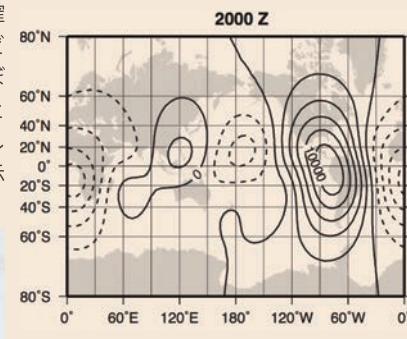
過去400年間の地球磁場

清水久芳 [東京大学地震研究所]

地球磁場は、地球外核内のダイナモ作用、すなわち、磁場と流体運動による発電効果により作られていると考えられています。従って、地球磁場の変動から地球外核の流体運動等に関する情報が得られます。この研究では、地球磁場の過去 400 年間のデータから移動性成分と停滞性成分が分離され、移動性成分は、図のように鉛直成分の絶対値が赤道域で最大となるような赤道面対称な分布を示すのに対し、停滞性磁場は、中-高緯度で最大となるよう

な赤道面反対称な分布をすることが確認されました。また、移動性磁場がどのような長さスケールの成分でもほぼ同じ速さで西向きに移動していることが示され、外核表面付近では全体として西に向かう運動が存在することが示唆されました。

Takeshi Yukutake Hisayoshi Shimizu, Drifting and standing fields in the geomagnetic field for the past 400 years, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 248, 63-72, doi: 10.1016/j.pepi.2015.08.003,



2000 年における移動性磁場（鉛直成分）の分布

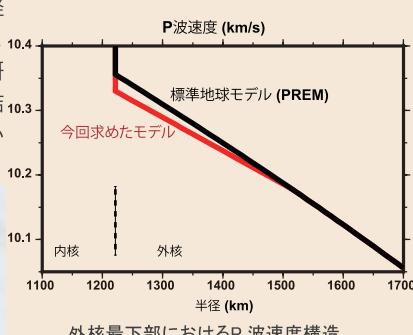
外核最下部の地震波速度構造

大滝壽樹 [産業技術総合研究所地質調査総合センター]

私たちは地球の外核底近くの地震波速度を従来より精密にきめ、より浅いところとくらべて深さ方向の速度勾配が少しうるやかになることを示しました。この研究では、外核の底近くをとおる波の速度が周波数によって変わること、その変わりかたが速度勾配によることに着目しました。この速度の周波数変化、そしてこの波と外核の底で反射する波との時間差を使って、マントルや内核の速度とは独立に外核底近くの速度を求めることができました。

地球の外核は鉄に少しのニッケル、軽元素をふくむ液体と考えられています。軽元素の種類や量はいま物性科学の研究が進んでいるところです。今回の結果がこの点の制約となればと考えています。

Toshiki Ohtaki and Satoshi Kaneshima, Independent estimate of velocity structure of Earth's lowermost outer core beneath the northeast Pacific from PKiKP - PKPbc differential traveltimes and dispersion in PKPbc, *Journal of Geophysical Research*, 120(11), 7572-7586, doi:10.1002/2015JB012140, 2015.



外核最下部におけるP 波速度構造

Core Mantle coevolution

New members

新メンバー

田阪美樹 特任助教

計画研究A02-2 元素分配班

2015年10月から新潟大学に特任助教として赴任し、M.Satish-Kumar教授のもと質量分析計の立上げや、高圧試料の元素分配、マントル構成鉱物の変形特性を求める研究を行っています。

私は東京大学地震研究所で博士号を取得後、アメリカのミネソタ大学と金沢大学に日本学術振興会の特別研究員として在籍し、地球内部の条件を実験室で再現し岩石・鉱物の物性を決める

研究や、野外調査を行い岩石の化学組成や組織から過去の地球内部の情報を読み解く研究を行っていました。本プロジェクトでは今まで私が主として行ってきた実験岩石的研究と、現在所属する研究室が得意とする地球化学的研究とを組み合わせることで、地球内部の様相を明らかにできればと考えています。



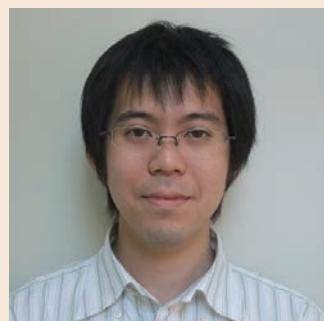
五味斎 特任助教

計画研究A01-1 ダイナミクス班

2016年1月に岡山大学 地球物質科学研究センターに特任助教として赴任しました。私の研究対象は外核の物質です。

方位磁針のN極は、北を指します。これは地球の深部にある液体鉄でできた外核と呼ばれる領域が対流運動をするにより、ひとつの大きな電磁石となっているからだと考えられています。これはダイナモ理論と呼ばれ、地球深部ダイナミクスにおける最も重要な

研究テーマのひとつです。高温・高圧下の液体鉄の電気抵抗は、ダイナモ理論において重要なパラメータであるにもかかわらず、その実験の難しさからこれまでほとんど測定されてきませんでした。私は、これまでダイヤモンドアンビルセル装置を用いて、常温・高圧下の固体鉄の電気抵抗率の測定を行ってきました。現在、マルチアンビルセル装置を用いた、高圧下における溶融状態の鉄の実験を計画しています。



熊志华研究員 (Xiong Zhihua)

計画研究A04-1 理論計算班

2016年1月に愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター (GRC) にポストドクとして着任しました。

北京大学で博士号を取得する際はマルチ・アンビルやダイヤモンド・アンビルを使った高圧実験による鉱物物理の研究をしていました。理論計算班における私の役割は、核とマントルの境界 (CMB) を移動する熱の流れの解明です。これは地球の熱進化を理解する上で非常に重要です。しかし、CMBにおける全熱流量の推定値は、現在でも2から15 TW (テラ ($=10^{12}$) ワット) と大きな幅があり、未だに確かな値は知られていません。これを見積もるうえで

特に重要なのは、カリウム、トリウム、ウランなどの放射性元素が、核に含まれているのか、あるとすればどれくらいあるのか、という点です。私は、これら放射性元素がどのように核とマントル間で分配されるかを調べています。分配係数は、ケイ酸塩と金属鉄の間の放射性元素の交換反応におけるギブス自由エネルギーを、第一原理分子動力学法と熱力学積分法という手法を用いて見積ることにより得られます。この研究によって、地球の磁場の発生や内核の成長と年齢について、新しい知見が得られるものと期待しています。

GRCに着任以来、同じグループのメ

ンバーの皆様に助けられながら研究を進めています。松山での暮らしはとても穏やかで素敵です。GRCのスタッフの皆さんのおかげで来日後すぐに落ち着くことができました。



Robert Wilhelm Bunsen Medal

入船徹男 [愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター]

ヨーロッパ地球科学連合（EGU）のR.W. Bunsen メダル 2015 年度の受賞者として、入船徹男教授（愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター長）が選出されました。

EGU はヨーロッパ最大の地球科学関連学会の連合体です。Bunsen メダルは 19 世紀のドイツの科学者 Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) の業績を記念し、地球化学・鉱物学・岩石学・火山学分野から毎年 1 名選出される国際賞です。Bunsen 教授はセシウムやルビジウムの発見でも著名なハイデルブルク大学化学教室の教授で、化学・物

理学の他に上記の地球科学分野でも重要な業績をあげています。理科の実験などで用いられている「ブンゼンバーナー」は同教授の発明によるものであり、またその弟子から 2 名のノーベル化学賞受賞者を輩出していることでも著名です。

この受賞は入船教授の高温高圧実験を用いたマントル深部及び沈み込むプレート関連物質の相転移・物性・化学組成の研究や、ナノ多結晶ダイヤモンドなど新しい鉱物・物質の合成が高く評価されたものであり、我が国及びアジアからは初の受賞者です。入船教授

は今年 4 月にウィーンで開催される EGU 総会での授賞式に参加し受賞講演を行う予定です。



日本高圧力学会奨励賞

太田健二 [東京工業大学大学院理工学研究科]

2015 年 11 月 10 日 (火) ~ 12 日 (木) に広島市で開催された日本高圧力学会主催の第 56 回高圧討論会において、計画研究 A01-1 物性測定班の太田健二講師（東京工業大学大学院理工学研究科）が、同学会から奨励賞を受賞しました。

高圧討論会は 1959 年から続く学際的な会議で、奨励賞は 35 歳未満の会員の中から高圧力の科学と技術に関する新進気鋭の研究者・技術者に授与されます。

す。太田講師の受賞タイトルは、「地球惑星深部物質の高圧力下における電気・熱伝導特性の解明」です。

この受賞は、太田講師による地球中心核や下部マントル深部の温度圧力条件下での構成物質の電気・熱電導特性の解明における成果に加え、それらを達成したダイヤモンドアンビルを用いた精密測定技術の開発が評価されたものです。



学生・院生の受賞

日本地球惑星科学連合 2015 年大会 学生優秀発表賞

中村佳博さん（新潟大 D2）「摩擦溶融時のシードタキライト中の動的な酸化・還元状態について」

新井達之さん（東工大 D1）「マグマオーシャン結晶分化による月斜長岩の形成」

大角正直さん（愛媛大 M1）「鉄合金液体の第一原理熱弾性計算による地球外核組成の制約」

原田隆史さん（愛媛大 M1）「MgO 格子原子拡散挙動の第一原理シミュレーション」

ゴールドショミット会議 EMU Poster Prize

柿澤翔さん（愛媛大 M2）「Water solubility of Al-bearing bridgemanite at the lower mantle condition」

日本鉱物科学会 2015 年年会講演研究発表優秀賞

中村佳博さん（新潟大 D2）「実験に基づいた炭質物の結晶構造進化のカイネティックモデル」

浅野奈津子さん（愛媛大 M1）「天然多結晶ダイヤモンド、カーボナードの鉱物結晶学的記載と成因の考察」

編集後記

新学術領域「核-マントル共進化（略称）」のニュースレター第 1 号をお届けします。初お目見えとなるこの号では、研究計画の目的とその概要を中心にお届けしました。今年度はこの学術領域の立ち上げで大

忙でしたが、本格的な研究を始める体制も整いました。今後は、半年に一度のペースで、私たちの活動と研究成果を出来るだけ分かりやすくお伝えしてまいりますので、ご期待ください。

（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/>