

平成29年度 高知大学海洋コア総合研究センター

---

## 共同利用・共同研究成果報告書

採択番号 17A001, 17B001

研究課題名 プレート収束帯における島弧地殻変形に関する研究

氏名・所属(職名) 星 博幸・愛知教育大学 教育学部(准教授)

研究期間 H29/6/19-24, 10/12-16, 11/2-4

共同研究分担者組織 学生3名

### 【研究目的・期待される成果】

世界に20ヶ所ほどある島弧-島弧衝突帯での研究によって、島弧-島弧衝突が上盤側島弧の地殻構造を大きく改変することがわかってきた。日本では北海道中部(本州弧と千島弧の衝突域)と本州中部(本州弧と伊豆弧の衝突域)でそうした例を見ることができる。プレート収束帯での島弧地殻の改変について知識が集積すれば、大陸地殻の生成と構造発達について理解が深まることになる。

西南日本の帯状地質配列は、伊豆弧衝突による地殻変形を受けて、本州中部で八の字型に大きく屈曲している。この構造は伊豆弧衝突によって生じた一種のオロクライン(orocline)である。筆者は本共同利用や科研費の支援を受け、古地磁気と地域地質の立場からこの八の字型屈曲構造の形成解明のために研究を続けている。申請者がこれまで本共同利用の支援を受けて進めてきた研究は、屈曲西側(糸静線の西側)について次の点を明らかにした。すなわち、18~17Maに帯状配列は直線状だったが、その後ノ型に湾曲した(星・小川2012; 酒向・星2014)。ノ型湾曲は15Maまでの200~300万年間に形成された可能性が高い(Hoshi and Sano, 2013)。それはちょうど西南日本が日本海拡大に関連して時計回りに回転した時期(Hoshi *et al.*, 2015)と同じである。一方、屈曲東部(糸静線の東側)では、約15Maの広域不整合形成時に40°前後の時計回り回転も起こったことが判明し、15Ma以降にも30~40°の時計回り回転が起こったことが見えてきた(H28年度までの本共同利用研究成果)。

本研究で申請者は、伊豆弧衝突初期における本州中部の地殻回転を明らかにするために、糸静線近傍の古地磁気に注目する。本州中部の八の字屈曲形成は19世紀後期から議論されている地質学上の大きな問題である。本研究によって地殻回転像が明らかになり、屈曲全体の形成過程が見えてくれば、本州中部の地質構造発達の理解が大きく前進すると期待される。また、稠密な古地磁気調査によって本州中部の八の字屈曲の形成が明らかになれば、古地磁気による造山帯のオロクライン・テストの好例として広く認知されることになると予想される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

伊豆弧衝突初期における本州中部の地殻回転を明らかにするために、本研究では糸静線近傍の中新世古地磁気に焦点を当てた。岐阜県東部の岩村地域に分布する前期中新世堆積岩層の古地磁気方位を明らかにできれば、伊豆弧衝突による回転の影響の西方限界を明らかにできる可能性がある。これまで岩村地域から古地磁気方位の報告はない。岩村の30km東方に分布する富草層群は伊豆弧衝突による回転の影響を強く受けていることが判明して

いる(酒向・星2014)。対照的に、岩村の西方に分布する瑞浪層群は伊豆弧衝突による回転の影響を受けていない(Hoshi *et al.*, 2015)。岩村の古地磁気方位を富草と瑞浪の古地磁気方位と比較することによって、地域間の相対回転を明らかにできると期待される。

岩村層群の泥岩及び凝灰岩を複数層準から採取し、その残留磁化を測定した。残留磁化測定には磁気シールドルーム内に設置されたパススルー型超電導磁力計を使用した。測定した試験片は約800個である。段階熱消磁と段階交流消磁によって初生的な残留磁化成分の分離を試みた。段階熱消磁では鉱物の熱変質をモニターする目的で初磁化率も測定した。ほとんどの層準の試験片から初生的な残留磁化成分を分離できた。それらの磁化極性はすべて逆極性であり、現在の地磁気方位と同様の方位を持つ初生的な磁化成分は認められなかった。消磁結果より、残留磁化は主にマグネタイトとグレイタイトによって担われていると推定される。初生的な磁化成分は、伏角は調査地域の地心軸双極子(GAD)磁場方位の伏角と同程度であったが、偏角は南西であった(正極性に変換すると北東)。これは調査地域において40°前後の時計回り回転運動が起こったことを示す。珪藻化石層序より堆積年代は18~17.5Ma頃と推定されるため、回転運動は17.5Ma頃よりも後に起こったことになる。この結果は岩村の東方に分布する瑞浪層群の結果(Hoshi *et al.*, 2015)と整合する。したがって、古地磁気方位の観点から見ると、瑞浪層群と同様に岩村層群も伊豆弧衝突による回転の影響を受けていないと考えられる。なお、残留磁化極性が調査した全層準で逆極性だったことは、岩村層群が地磁気極性年代のクロンC5Drに堆積したことを強く示唆する。今回の結果から、伊豆弧衝突による回転の影響の西方限界は岩村と富草の間にあるらしいことが見えてきた。今後は両地域間の中新世古地磁気方位を検討する予定である。

採択番号 17A002, 17B002

研究課題名 地球史を通した海底環境復元プロジェクト5：古原生代ケープスミス帯 Relgan Mine掘削コア

氏名・所属（職名） 清川 昌一・九州大学大学院 理学研究院 地球惑星科学部門（准教授）

研究期間 H29/6/26-28, 11/11-14, H30/3/1-2

共同研究分担者組織 池原 実（海洋コア）、伊藤 孝（茨城大学）、他 学生3名

#### 【研究目的・期待される成果】

古原生代の海底表層断面および海底層序についての詳細なコア試料観察を行い、太古代～原生代初期の(1) 海底熱水循環、(2) 海底堆積作用、(3) 海洋の酸化/還元状態・pH状態、(4) 初期生物の生態系、(5) 大気表層環境、などに関する重要な情報および変動を明らかにする (e. g., Nisbet, 2001).

**特色：**特に19億年前の新鮮な掘削コアや鉱山内のコア試料の取得により、古原生代の比較的深い大陸棚や島弧周辺海底の堆積作用と火山活動を明らかにする。また、新鮮な有機物に富む黒色頁岩による炭素や硫黄の同位体対比が可能になる。32-31億年前のDXCL・ガーナ21億年前のGHBコアとの比較により、酸素供給システムが稼働後の酸素濃度上昇時期の海底環境状態の復元および変動を考察する。

#### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

我々は時代・場所別4カ所の地層について、岩相記載、有機物分析を行い当時の環境復元を行っている。1) 太古代では、ピルバラにおいて、当時の深海堆積物の取得のために陸上掘削 (DXCL) を、2007年はDXCL1, 2011年はDXCL2と2回の掘削を行っている。コアセンターに試料を保管しており、分析研究中である。2) 古原生代では、ガーナケープスリーポイントを中心に調査しており、23億年前の海洋性島弧近辺の堆積物であることを見つけている。2015年12月にて195mの掘削コアを取得した (GHB掘削計画)。3) 古原生代において、地域と詳細な年代変化をみるために、2016年夏にカナダ調査を行い、フリントロン帯、ケープスミス帯の調査を行い、特にケープスミス帯のMine Relganニッケル鉱山において、地質調査、鉱山内部調査および掘削コア試料からの層序復元と取得を行った。

特に、フリントロン帯およびケープスミス帯の黒色頁岩について、炭素同位体・硫黄同位体に分析を行っている。フリントロンに関しては、タービダイトの黒色頁岩部分を約400mコアから炭素分析を行い、炭素同位体 $\delta^{13}\text{C}$ は、-20‰ぐらいを示した。ケープスミス帯では全体を通しておよそ-33から-28‰の間で変動し、下部層砂岩優勢部で重くなり (-28‰)、中部層砂岩優勢部で最小値 (-33‰) を取るまで同位体比は軽くなり、中部層黒色頁岩優勢部より上位では-32から-30‰の間で安定する。これらと硫黄同位体との変化によると、有機物部分濃集部分は硫黄同位体も軽くなり硫酸還元菌が活発であった可能性がある。今後、硫酸海洋か硫化水素海洋かについて議論を進めていく。

採択番号 17A003, 17B003

研究課題名 鉄沈澱作用2：水酸化鉄コロイド粒子の沈澱作用と堆積後変化

氏名・所属（職名） 清川 昌一・九州大学大学院 理学研究院 地球惑星科学部門（准教授）

研究期間 H29/6/26-28, 11/11-14, H30/3/1-2

共同研究分担者組織 池原 実（海洋コア）、伊藤 孝（茨城大学）、他 学生3名

### 【研究目的・期待される成果】

縞状鉄鉱層は化学沈澱岩石の代表であり、酸化還元の世界史を記す重要な地層である。この地層は有機物を含む黒色頁岩層を伴い関連性が強いと考えられる。この鉄沈澱物からなる地層を研究することで、当時の表層環境や生物活動を読み取ることが可能である。しかし、鉄沈澱作用について、1) シリカと鉄のみの成分理由、2) 縞々の原因、3) 堆積速度、4) 堆積場、5) 沈澱様式、6) 微生物との関連性、などについて問題点が多く、その成因については解決には至っていない。

薩摩硫黄島においては、半閉じられた環境が作り出す熱水噴出湾において、水酸化鉄が多量に堆積している（例えば、Kiyokawa and Ueshiba, 2015）。この沈澱物は水酸化鉄のコロイドが形成し沈澱してできた層である。海水中で水酸化鉄になって沈澱する様子や沈澱後地層に埋まった後の変化などの挙動は、酸素や生物が多い現在においても、その沈澱メカニズムや続成作用などの観察は可能である。我々は、この現世の鉄沈澱物について、詳細なカメラ長期連続観察、コア試料取得、気象データとの比較、粒度分析などを行って来ている。また、コロイドの沈澱様式は単に粒子のストークス則に則る沈澱だけでなく、pHや温度、粒子間力（ファンデルワールス力）などの条件が関連する吸着作用による粒子の大型化の影響もあると考えられる。

現世での鉄沈澱作用は、地球初期における鉄沈澱による酸素の地球への固定作用を明らかにすると共に、バクテリア活動や火山熱水活動が環境にどのような影響を及ぼすかを示す、重要なシステムを考えることが可能である。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本年度は水酸化鉄浮遊沈澱トラップを中心に研究を行った。鹿児島県薩摩硫黄島においては2009年から海底トラップを定期的に投入回収して、高知コアセンターに保存させてもらっている。2017年9月からほぼ半年ごとに投入回収しており、今回は長期トラップも含めて、満杯になっているものをすべて引き上げて、CTスキャンにかけた。

当初、トラップがあまりにブヨブヨ過ぎて半割ができないために、表面を開けて乾燥や、冷凍したものをカッターにて半割にしたことがある。乾燥試料は、表層のみの乾燥で内部は乾燥せず、半割を断念。カッターによる半割は、比較的うまく割れた。基本すべてがオレンジ色にみえて、地層があまりはっきり見えなかった。問題はその後、徐々に氷が溶けていくと、堆積物中に斜めの筋が見えるようになり、不思議に思ってみると最終的には氷の結晶が斜めに発達していることがわかった。氷が溶

けていくうちに堆積物がこの氷の斜め結晶（板状）の間でとけていくために層序が分断されて行くことになる。

今回は、CT撮影後、細いパイプ状ピストンコア（5mmのねじヘッドをピストンに見立てて、5mm径の1mパイプを使用）を作成し試料をとる事に成功した。堆積試料は非常に柔らかいため、このシステムで100%吸引しながら取得できた。

そのコアを大学に持ち帰るときに、学生がどこかの交通機関に置き忘れたらしく、残念ながら試料観察には至っていない。もう一度2018年6月に行って取得し、試料の観察分析を行っていく。

CTスキャンのデータについては、投入日時、回収日時から画像の対比比較を行い、約5mの連続した層序を復元している。ただ、2016年から2017年のトラップでは、1年間に満杯になっているものがあり、イベントが起こるとすぐに粗粒のものはトラップに入ってしまう、その後は水流の影響などで堆積侵食により連続的な堆積が起こっていない可能性もある。トラップを仕掛けてあるラック（1×1×1m）は現在ほぼ埋まっており、トラップ口と海底面の距離もかなり近いことは、そこでの堆積作用を考える上で、今後考慮する必要がある。



採択番号 17A005, 17B005

**研究課題名 非破壊分析手法を用いた津波堆積物同定技術の開発**

氏名・所属(職名) 後藤 和久・東北大学 災害科学国際研究所(准教授)

研究期間 H29/6/19-23, 7/31-8/4, 8/21-24, 9/11-14, 11/14-15, H30/1/29-31

共同研究分担者組織 駒井 武(東北大学), 藤野 滋弘(筑波大学), 山田 昌樹(東京大学)

篠崎 鉄哉(筑波大学), 石村 大輔(首都大学東京)

山田 圭太郎(京都大学), 他 学生4名

**【研究目的・期待される成果】**

津波堆積物の認定は、これまで堆積学的、古生物学的手法を用いて行われてきた。しかしながら、これらの分析には多大な時間を要し、津波堆積物研究を津波防災計画に反映するという社会の要求に対して迅速に対応することが現状では難しい。また、通常環境での堆積物と明瞭に異なるイベント堆積物(土壌層中の砂質堆積物など)であれば肉眼で観察することができ、津波による堆積の可能性を検討することができるが、近年の研究では津波が浸水しても堆積学的に明瞭な痕跡を残さないことが明らかになりつつある(例えば, Goto *et al.*, 2011)。そのため、迅速かつ高精度でイベント堆積物を地層試料中から識別し、かつ津波起源である可能性を評価するための手法の開発が望まれる。こうした考えに基づき、申請者らは高知大学海洋コア総合研究センターの共同利用申請を行い、CT画像、帯磁率、XRFコアスキャナ等の情報から、津波堆積物の識別が可能かを検討してきた。そして、特にCT画像は肉眼では観察されないイベント堆積物の識別に適していること、海水由来の元素の濃集が見られる場合があることなどが明らかになってきた。本計画では、未測定分の試料分析を進めるとともに、ITRAXも利用させて頂き、より高精度の津波堆積物認定法について検討することを目的とする。

**【利用・研究実施内容・得られた成果】**

仙台市若林区：本研究では、津波堆積物内に形成されている層状構造の違いを、ITRAXを用いて定性的に評価することを目的とした。得られた結果から、津波堆積物は採取地点によって数層に分かれた地質を有していた。しかし、コアサンプリングの地点は直線上に連続の地点であったのに対して、コア毎に層序が異なっており、元素分布から水平方向での連続性が見られなかった。

三陸海岸小谷島：同地で採取されたジオスライサー掘削によるブロック試料(1本0.5m)のCT撮影およびITRAX計測を行った。地層の側方対比を目的として行い、ITRAXによる各元素の分布から地層の側方対比が可能となった。これらの結果は、その後の津波堆積物の対比や年代測定試料の選定に対して有用であった。

福島県南相馬市、徳島県海部郡美波町：これらの地域で掘削された津波堆積物コア試料に対して、CT画像撮影、帯磁率測定、ITRAX測定を実施した。上記の分析により、有機質土壌中から津波堆積物砂層を正確に識別することができた。特に、福島県南相馬市の試料のCT画像観察から、津波堆積物の内部構造や堆積過程を詳細に復元する

ことが可能となった。

北海道太平洋沿岸地域で採取された試料についてITRAXおよびCTでの分析から、津波堆積物の認定を行った。これらは17世紀頃北海道に襲来したとされる複数の津波の痕跡を示していると考えられ、今後詳細な年代測定を実施する予定である。銚子市小畑池から得られたコア試料について津波堆積物認定のため非破壊分析(CT, ITRAX)を行った。肉眼観察では色調が類似していたため、砂層と上下の泥炭層の判別が困難であったが、CTでは明瞭な境界が観察できた。ITRAXでは、砂層部分においてバックグラウンドとは異なる組成を示し、特にCa, S, Srの顕著な増加が見られた。これは海水の侵入を示唆すると考えられる。岩手県の大槌町で採取されたコアには約400年前に形成されたと考えられるイベント層が確認できる。このイベント層についてCT, ITRAXの分析を行い、イベント層の起源推定を試みた。その結果このイベント層ではストロンチウムのピークが認められるなど、他の津波堆積物との類似性が確認できた。今後は粒度等の他の指標からも検討を行う予定である。古津波堆積物研究に活用し、コア中の堆積物の詳細な識別や堆積学的、化学組成の特徴を把握した。特に肉眼では確認できない微細構造や堆積層の識別を可能にし、イベント層および津波堆積物の認定における一助となった。

採択番号 17A006, 17B006

研究課題名 化学分析を用いた津波堆積物同定手法の開発

氏名・所属(職名) 後藤 和久・東北大学 災害科学国際研究所(准教授)

研究期間 H29/9/24-10/13

共同研究分担者組織 篠崎 鉄哉(筑波大学), 他 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

2011年東北地方太平洋沖地震津波を経験し、これまで以上に津波のリスク評価に対する社会的関心が高まっている。低頻度現象である津波の評価を行うにあたり、機器観測記録、歴史記録だけでは対象とする期間の長さや、情報の質・量ともに限りがあるため、先史時代の津波を含めた解析を行う必要がある。これまで、過去に発生した津波の解析には陸の地層中の砂質津波堆積物が広く用いられてきた。砂質津波堆積物は、海底や沿岸の砂が津波により運搬され陸上に再堆積したものであり、通常堆積している土壌と比較的区別が付けやすいためである。しかしながら、2011年津波などの調査から、砂質津波堆積物は津波の遡上限界に到達しない場合があることが明らかになってきており(例えばAbe *et al.*, 2012)、地層中の砂質堆積物から見積もられる浸水域は、過小評価となってしまうことが懸念される。一方、泥質津波堆積物は遡上限界まで堆積している場合が多いと言われているものの、肉眼では土壌との識別が困難である。津波のリスク評価のためにも、現在、泥質津波堆積物の識別もしくは海水浸入の有無の判別が喫緊の課題となっている。そこで本研究では、津波痕跡の識別手法確立を目的とし、地球化学分析を用いた解析を行う。本研究の結果、過去の津波のより正確な浸水域が推定でき、津波モデルの精度向上、ひいては津波の防災、減災に繋がることが期待される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

宮城県岩沼市沿岸域で採取した柱状堆積物に対し、CHNS/O元素分析装置を用いた全有機炭素量(TOC)および全窒素量(TN)の分析、元素分析計オンライン質量分析計を用いた $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ の分析を行った。どちらの分析でも酸処理した堆積物試料を用いたが、元素量の分析では酸処理していない試料(バルク堆積物)も併せて分析し、全炭素量(TC)および炭酸塩量の算出を行った。測定した柱状試料は全長1.4mで主に泥質(泥炭質)層と砂質層からなる。目視で観察される砂質層は深度0-27cm、深度47-52cmそして深度100-120cmの3層である。先行研究より、深度0-27cmおよび深度100-120cmの砂層はそれぞれ2011年東北沖津波と869年貞観津波により形成された可能性が高い(例えば、川又, 2015, 宮城考古学)。一方、深度47-52cmの砂層の起源ははまだ特定されていない。そこで本研究では、深度47-52cmの砂質堆積物層および直上直下の泥質層のC/N比、 $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ から、砂層の形成要因の特定を試みた。砂層の形成要因が津波であった場合、砂層中には海洋生物起源の有機物の混入が考えられ、この影響が化学的指標により捉えられる可能性が高

い。また、本調査地域は江戸時代以降に仙台藩によって開墾されており、急激な環境変化が地層中に残されていると考えられる。そこで化学分析を連続的にを行い、歴史記録と照らし合わせることで、詳細な年代軸を入れられる可能性がある。本試料は前年度の利用において化学分析を行うことで古環境の推定を行える可能性が高いことを確認している。今年度の利用では、泥層および砂層の特徴を把握するため柱状試料を網羅的に分析した。試料は泥層で0.5cmごと、砂層で1.0cmごとに切り分け、計51点分析した。有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、C3植物、C4植物、藻類などで異なる値を示すため有機物の起源の推定に用いられる。また種や生息環境などによっても値が変動する。泥層では-29.6--26.4%であり、これはC3植物がもつ値の範囲内である(Lamb *et al.*, 2006, ESR)。また、深度52-138cmでは上位方向に徐々に低下し、砂層を挟んで深度27-47cmでは上昇する傾向を示した。また砂層の直上は直下に比べて0.9%高いことから、急激な環境変化があったことが推測される。 $\delta^{15}\text{N}$ 値は大気、天水、河川といったリザーバーで異なる値をとるが、動物の代謝過程による濃縮係数が3.4台程度であるため、食物連鎖の解析にも用いられる。泥層では-4.0-0.80%であり、大気窒素固定と降水の中間的な値を示した。また砂層の直上は直下に比べて1.2%程度高いことから、 $\delta^{13}\text{C}$ 同様に急激な環境変化を捉えていると考えられる。今年度の利用では、今回用いた柱状試料に対し化学分析を行うことで古環境変化を定性的にとらえられることが分かった。今後、今回の結果を他の環境指標と対比することで、環境変動との因果関係の推定を行う。また歴史記録と照らし合わせ、詳細な年代の挿入も試みる。

採択番号 17A007, 17B007

研究課題名 永久凍土コア中アイスレンズおよび気泡の三次元分布解析と地球雪氷学的分析

氏名・所属（職名） 岩花 剛・北海道大学 北極域研究センター（海外研究員）

研究期間 H29/7/23-28, H30/3/12-16

共同研究分担者組織 なし

### 【研究目的・期待される成果】

極地に存在する永久凍土は、有機炭素と水の貯蔵庫として数十年から数百万年以上の期間にわたり発達あるいは保持されてきた。近年の気候変動によって、この永久凍土の熱的状态が変化していることを示す観測結果が報告され、大規模な融解が予測されている。このような背景の下、地表付近の永久凍土が融解することによって、これまで固定されていた有機炭素や水分が流動化し、大規模な地形変化を起こすことによって、その場の生態系を変化させ、地球規模の環境変化が起こる可能性が指摘されている。しかし、近い将来に融解することが予測されている表層付近の永久凍土中の体積含水率や有機物含有量に関するデータは非常に限られている。一方、永久凍土中の氷（アイスレンズ）や気泡の分布状態を解析することで、凍土発達史や古環境に関する情報を得られる可能性がある。永久凍土帯に存在する地下水の多くはアイスウェッジが発達して出来たと考えられているが、形成の元となる温度収縮割れ目のでき方については基本的にアイスウェッジポリゴンラインの中心線上に選択的に開くと考えられているが、どの程度この通説が現存する氷サンプル中に反映されているかの検証事例は少ない。こうした情報を得るために、本研究では凍土コア中の土粒子・氷・気泡の三次元的分布およびアイスウェッジクラックの分布を非破壊かつ定量的に把握するための基礎研究を行うことを目的とする。

H29年度は、新たに導入されたCTを利用し、H25年度に実施した旧CTによるスキャン結果と比較する。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

分析対象として申請した試料のうち、富士山山頂の永久凍土およびシベリア・アラスカ・スバルバール（ニーオルスン）の地下水試料に対して、H29年7月とH30年3月の2期間、合計7日間にわたって試料のCTスキャンを実施した。今回は、リニューアルされたCTスキャンシステムによる富士山およびニーオルスン試料の再測定も実施した。富士山頂の山岳永久凍土は、溶結凝灰岩の空隙を氷と気泡が占めた凍土であり、シベリア、アラスカおよびニーオルスンで採取した地下水は、年代の違うアイスウェッジ氷と考えられる。富士山およびニーオルスンの再測定と、シベリアおよびアラスカ試料の新規測定を合計して、160サンプルを測定した。これに合わせて校正用に水道水とそれを凍らせたものの測定を行い、凍土サンプル中の気泡・土粒子・氷の分離を行う基礎データとした。

測定結果は3D表示で永久凍土の内部構造がはっきりとわかる形で得られた。富士山の山岳永久凍土は、発砲状の溶結凝灰岩の立体構造とそこに含まれる氷と空隙の構

造を把握することができた。分解能の向上により、複雑な空隙の分布、気泡と氷の分離が新CTシステムのほうがより詳しく判別することがわかった。地下水試料の測定結果からは、アイスウェッジ形成の際にできたクラックに不純物が選択的に集まっていると考えられる3D構造が捉えられた。アイスレンズの3次元分布や地下水中の葉状構造の情報が得られたことで、地下水の凍結形成過程の状況を再現する大きな手掛かりが得られた。また、土粒子の分布だけでなく、礫や気泡の分布は非常によく顕れており、CTスキャンによる3次元非破壊分析がこうした地下水と永久凍土に有用であることが示された。特に、気泡がかたまつて分布する部分、アイスレンズの成長方向に連続的に分布する部分など、他の情報と併せて詳しい地下水成長過程の解明に重要な情報が得られている。現在、水と氷の校正データを基礎にして、凍土中の各組成の体積含有率を定量的に算出する試みを実施している。この結果は、他の方法で求められた体積含水率などと比較して検証していく予定である。

以前のCTシステムを使った分析は、測定速度と持ち時間の兼ね合いで、主にボリュームスキャンにて1mmスライスで行った。新システムでは、さらに密度の濃い測定が高速に実施でき、これまでの数倍の測定量を確保することができた。



採択番号 17A008, 17B008

**研究課題名 非破壊検査および堆積学的分析によるイベント堆積物認定の高精度化**

氏名・所属(職名) 澤井 祐紀・国立研究開発法人 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門(上級主任研究員)

研究期間 H29/9/24-25, 11/7-8, H30/1/22-23, 3/19

共同研究分担者組織 松本 弾, 谷川 晃一郎, 中村 淳路(産業技術総合研究所), 他 学生1名

**【研究目的・期待される成果】**

2011年東北地方太平洋沖地震の発生以降、地層中に残された過去の巨大津波の痕跡を検出し、低頻度の大規模災害の長期評価に役立てようという試みが注目されている。しかしながら、イベント堆積物の検出方法は必ずしも客観的でない場合があり、議論の余地が大きく残されている。例えば、連続柱状堆積物中に含まれる薄いイベント層の検出・解釈は、個々の研究者の経験値によって大きく異なる場合があり、発生間隔の推定に影響することもある。

こうした問題点を考慮し、本研究では、非破壊検査手法と粒度分析を組み合わせ、客観的にイベント堆積物を検出する方法を開発することにした。具体的には、低地や湖沼において採取されたコアの非破壊検査を行い、画像検索によってイベントの有無を確かめる。その上で、同試料の粒度分析を行い、画像診断によるイベント堆積物の検出の妥当性を検証する。この作業により、これまで肉眼で行ってきたイベント堆積物の検出方法の信頼性を評価することができる。さらに、本研究の成果によって過去の津波イベントのより正確な検出方法が確立され、巨大津波の繰り返し間隔の推定に大きく貢献できることが期待される。

**【利用・研究実施内容・得られた成果】**

平成29年度は、9月25日、11月8日、1月23日、3月19日にCT画像撮影装置を使用した堆積物の観察を行った。対象とした試料は北海道浜中町、宮城県七ヶ浜町、千葉県山武市、徳島県牟岐町で採取された試料である。

北海道浜中町では、低湿地においてジオスライサーおよびロシアンサンプラーを使用して柱状堆積物試料を採取した。得られた試料は現地においてアクリル製ライナーおよびパイプに入れ、産業技術総合研究所において一定期間保管した後に高知大学海洋コア総合研究センターに持ち込んだ。北海道東部では、17世紀に発生した巨大地震・津波による津波堆積物が報告されている。本研究では、この17世紀の津波堆積物とその一つ前の巨大地震(13世紀の巨大津波)の痕跡を確認するため、また13世紀の津波が襲来した時期の海岸線を決定するために、CT画像の撮影による非破壊観察を行った。この結果、津波堆積物と火山灰層について、イベント層準等を正確に決めることができた。

宮城県七ヶ浜町では、貝塚を含めた考古遺跡の周辺において見られるイベント砂層を観察するため、ハンディジオスライサーを用いて連続柱状堆積物を採取した。採取した試料を産業技術総合研究所に持ち帰り、アクリル製ライナーに移し替えた。CT画像の撮影を行った結果、

砂質イベント層中に多重級化構造を確認することができた。

千葉県山武市では、ハンディジオスライサーを用いて採取した。採取した試料は現地においてアクリル製ライナーに移し替えた。CT画像の撮影を行った結果、約400～1500年前に堆積した古津波堆積物の層準を正確に決めることができた。また、そのイベント堆積物の堆積構造を確認することができた。

徳島県海部郡牟岐町と美波町の低地では、過去に発生した巨大津波による浸水の履歴を明らかにするため、ハンディジオスライサーおよびシンウォールサンプラーを用いて柱状堆積物試料の採取を行った。採取した試料は、現地においてアクリル製ライナーおよび塩ビ製パイプに移し替え、産業技術総合研究所において一定期間保管した後、高知大学海洋コア総合研究センターに持ち込んだ。CT画像の撮影による非破壊観察を行った結果、軟質堆積物中に7枚の砂層および2枚の礫層が認められた。これらのイベント層の直上と直下において放射性炭素年代測定を行った結果、同地域では1500年前～5500年前の環境変化および津波の浸水履歴を記録している可能性があることがわかった。



採択番号 17A009, 17B009

研究課題名 高知県横倉山産のコノドント化石と天然アパタイト結晶との関連性に関する分析学的解析

氏名・所属(職名) 三島 弘幸・鶴見大学 歯学部 歯科理工学講座(非常勤講師)

※課題申請時 高知学園短期大学 医療衛生学科 歯科衛生専攻(教授)

研究期間 H30/3/15

共同研究分担者組織 安井 敏夫(横倉山自然の森博物館), 谷本 正浩(大阪市立自然史博物館)

### 【研究目的・期待される成果】

生体鉱物において、カンブリア紀初期に炭酸カルシウムの結晶(方解石)の殻が出現し、同時にリン酸カルシウムの結晶(アパタイト結晶)の殻も出現した。ヒトでは、炭酸カルシウムの結晶は耳石に存在し、アパタイト結晶は歯や骨に存在する。アパタイト結晶は天然の鉱物と生体内で作られる生体鉱物とがある。コノドント *Conodont* は1856年に発見され、カンブリア紀～三疊紀まで世界各地で発見されており、示準化石である。高知県横倉山のシルル紀の地層から産出しており、日本では最古のものである。コノドント動物は、脊椎動物の祖先系として再評価され、コノドントは口腔内の捕食器官であり、無顎類の歯という説がある。サケの稚魚に似ており、頭部先端近くにコノドント器官があり、噛み切りの機能を持ち、表面に微小な擦痕が見られる。組織的には表層にエナメロイド、内層に象牙質があり、結晶は脊椎動物の硬組織とは異なり、fluorapatiteであることがこれまでに判明した。コノドントは生体鉱物の起源を探る上で、重要な試料である。生体アパタイト結晶は天然に産するハイドロキシアパタイトとは、微量元素の成分に差があることがこれまでの研究で判明している。しかし、その形成機構の詳細な解析はなされていない。顕微レーザーラマン分光装置、EPMAやSEM-EDSは微細な領域の極微量分析に有効である。コノドントの生体アパタイト結晶と天然のハイドロキシアパタイト結晶との関連性を検索することにより、生体アパタイト結晶のより精密な基礎データが得られることが期待される。肉鰭類エウステノプテロンの歯や皮甲、高知県登層魚類耳石、さらに現生ラットやヒトの歯などと比較検討している。得られたデータを解析することにより、硬組織の進化の研究に寄与し、さらに歯や骨の代替材料の研究や再生医療に貢献できる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

顕微レーザーラマン分光装置において、これまで $\text{PO}_4^{3-}$ のピーク値は4種類が報告されている(Penel *et al.*, 2005)。v1:  $960\text{cm}^{-1}$ , v2:  $430\text{cm}^{-1}$ と $450\text{cm}^{-1}$ , v3: 1035, 1048,  $1073\text{cm}^{-1}$ , v4:  $587\text{cm}^{-1}$ と $604\text{cm}^{-1}$ である。我々の研究でもラットやヒトの歯や骨を含め、硬組織の生体アパタイト結晶ではv1の $960\text{--}961\text{cm}^{-1}$ に $\text{PO}_4^{3-}$ の一番鋭いピークが検出された。この波形はCarbonated-apatite (CHA) に近似するピークである。フロールアパタイトfluorapatite結晶(FAp)では $964\text{--}967\text{cm}^{-1}$ に $\text{PO}_4^{3-}$ のピークが検出され、Fの含有によるピークシフトが起こり、差異が見出された。サメのエナメロイド(FAp)では $963\text{cm}^{-1}$ であった。コノドント化石や *Eusthenopteron* の歯の外層エナメロイドの結晶は

$965\text{--}967\text{cm}^{-1}$ であった。またX線回折法で結晶がFApであることが確認された。シルル紀以降の両生類の歯の結晶は $960\text{--}961\text{cm}^{-1}$ のピークで、CHAであり、biological apatite結晶と報告した(Kakei *et al.*, 2016)。ハイドロキシアパタイト結晶HApやCHAはシルル紀以降に出現したと考察した。チリやブラジルなど世界各地天然アパタイト結晶15種全てのサンプルからSEM-EDS分析によりFが検出され、FApで有ることが示された。顕微レーザーラマン分光装置で鋭いピークv1は $964\text{--}967\text{cm}^{-1}$ であり、フロールアパタイト(FAp)と同定され、またX線回折法でもフロールアパタイト(FAp)と同定された。骨のアパタイト結晶でv1:  $960\text{cm}^{-1}$ , v2:  $430\text{cm}^{-1}$ と $450\text{cm}^{-1}$ , v3: 1035, 1048,  $1073\text{cm}^{-1}$ , v4:  $587\text{cm}^{-1}$ と $604\text{cm}^{-1}$ であった。その4種のピークは天然アパタイト結晶でも確認でき、骨代替材料の人工材料をインプラント後に、その周囲に形成される骨組織の結晶成熟度の比較対照試料としての可能性が示唆された。(三島ほか, 2014; 2015; 2016; 2017)。

*Eusthenopteron* の化石では下層から、層板骨、脈管に富む骨、象牙質、エナメロイドに区分され、皮甲表層や歯のエナメロイドはFAp結晶であり、その下層の象牙質や骨組織はHAp結晶とFAp結晶が混在していた。透過型電子顕微鏡ではエナメロイドの結晶は中心線が存在しない。形態学的にはFAp結晶であった。それに対し下層の象牙質や骨組織は中心線が存在する結晶であり、HAp結晶であった。象牙質や骨の化石のFAp結晶の存在は、海水中のFが長い化石化作用の間に歯髄から象牙質の象牙細管にあるいは骨髄から骨細管に浸み込み、二次的にOH基にF基が置換され、FAp結晶が形成されたと考察した。また *Eusthenopteron* は歯の硬組織のエナメル質、エナメロイドの起源を探る上で、貴重な標本である(Mishima *et al.*, 2017, 三島ほか2018)。さらに現生の歯の試料のbiological apatite結晶では、天然のアパタイト結晶より、多くの $\text{CO}_3^{2-}$ を含有しているとの報告があるが、ラマン分析において、 $\text{CO}_3^{2-}$ のピークを明瞭に検出できていない。この点は、耳石の炭酸カルシウムを対照試料にして検索しているが、まだ明らかにできていない。TEMの観察から、コノドント化石の硬組織の結晶は柱状であり、硬組織は2層性(外層と内層)であることが確認できた。外層のエナメロイドは結晶の大きさが大きく、内層の象牙質の結晶は小さかった。SEMにおいて、エナメロイドでは、エナメル質と異なり、成長線が認められなかった。組織構造的にも、従来の報告と異なり、外層がエナメロイドであることが確認できた。EPMAにおいてはコノドント化石では、CaとP、微量元素として、Fが検出された。Ca/P比は外層で1.60~1.62、内層で1.60~1.96であった。Fは外層で3.803±

0.236~4.137±0.089 weight%で、内層は3.203±0.646~5.456±0.185 weight%であった。外層が内層に比較し、F含有量が多かった。コノドント化石の硬組織の結晶はFAp結晶と考察した。ガーなどの鱗に存在する硬組織ガノインはエナメル質に相当する組織であり、結晶はbiological apatite結晶である。コノドント化石の組織構造で、内層は骨様象牙質、あるいは細管を持つ真正象牙質であり、外層はエナメル質ではなく、成長線が認められないエナメロイドである。この組織は魚類の歯に特徴的に存在するものであるので、コノドント化石は口腔内の捕食器官であるという説は妥当であると考察される。さらに我々の結果はコノドント動物が最初に石灰化組織を持つ生物との説を支持するものである (Venkatesh *et al.*, 2014)。しかし、Duncan *et al.*, (2013) が収斂の一例であり、歯ではないとする見解を報告した。今後精査し、歯と相同器官であることを追求していきたい。

歯と顎骨との関係で、歯槽やセメント質がワニや哺乳類しか存在しないとの見解が一般的だが、海生爬虫類化石のモササウルス類ではすでに歯槽の原形が存在し、セメント質があるとの報告もあり、歯槽の起源も追及していきたい。

採択番号 17A010, 17B010

研究課題名 長野県松本～上田地域に分布する中新世青木層に産する菱鉄鉱ノジュールの成因の解明

氏名・所属(職名) 森清 寿郎・信州大学 理学部 地球学コース(特任教授・名誉教授)

研究期間 H29/9/4-8

共同研究分担者組織 なし

### 【研究目的・期待される成果】

青木層は、長野県松本～上田地域に分布する、砂岩泥岩互層を主体とするフリッシュ型の海成層である。堆積の時代は中期中新世である。

青木層の泥岩中に産出する炭酸塩ノジュールは、菱鉄鉱ノジュールがほとんどで、方解石ノジュールや苦灰石ノジュールはほとんど産出しない。青木層は海成層なので、メタン発酵起源の菱鉄鉱が晶出するためには、間隙水中の硫酸塩イオンが、硫酸塩還元の進行によって、枯渇していなければならない。実際、青木層泥岩には黄鉄鉱が普遍的に含まれる。硫酸塩還元は次の式であらわされ、この反応により $\text{HCO}_3^-$ が生成する。

$2\text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{HS}^-$ このように $\text{HCO}_3^-$ が間隙水に付加されるのに、青木層では、なぜ硫酸塩還元ステージでの炭酸塩鉱物晶出が認められないのか、その理由は明らかになっていない。

本研究では、青木層に産出する炭酸塩や燐酸塩ノジュール、黄鉄鉱ノジュールなどの鉱物構成と炭素、酸素、硫黄などの同位体比を調べ、硫酸塩還元をへてメタン発酵に至るまでの過程を明らかにする。そして、青木層では、なぜ硫酸塩還元ステージでの炭酸塩ノジュールを欠くのか、その理由の解明をめざす。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

2017年度の研究・分析は、2016年度の共同利用研究によって得られた成果を論文化するうえで、まだ足りなかった同位体比データを取得することにあてた。2016年度の共同利用研究の成果は、次のような発見である。「新第三紀の海成層に産する方解石ノジュールの炭素・酸素同位体比を測定した結果、泥岩中のノジュールの酸素同位体比は晶出時の初生的性質を保持しているが、中～粗粒砂岩中のノジュールは初生的値より10数%低下している。研究した地層は、富草層群大下条層、新潟県松之山地域の田麦川層、長野県鬼無里地域の論地層、神奈川県葉山の鑑摺層、長野県飯山地域の一ノ瀬層である。この事実は、ノジュールが硫酸塩還元続成作用によって形成されたあと、地層が陸化し、砂岩層中を天水起源の地下水が浸透することによって、ノジュール方解石の酸素同位体比が初生値より低く改変された結果と解釈される。」この見解を裏付けるために、新たに約40試料の分析を2017年度に行い、上記見解をより確固にさせた。この成果は、下記二つの論文として「地球科学誌」に投稿した。

- 1) 森清・岡田 富草層群大下条砂岩中の方解石ノジュールに認められる、酸素・炭素同位体比の二次的改変。
- 2) 森清ほか 砂岩中に産する方解石ノジュールにおける、酸素同位体比の二次的改変—新第三系からの数例。

両論文とも、現在査読中である。

これらとは別のテーマであるが、2016年度の共同利用研究によって得られた成果の一部が、論文として公表された。それは、森清・神谷「新潟県松之山地域の鮮新統田麦川層から産したメタン起源方解石ノジュール」信州大学理学部紀要47巻, 1-8, である。

採択番号 17A011, 17B011

研究課題名 IODP Exp.346で採取された日本海半遠洋性堆積物の高解像度元素測定と古海洋復元

氏名・所属（職名） 多田 隆治・東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻（教授）

研究期間 H29/8/28-9/8, H30/3/6-29

共同研究分担者組織 村山 雅史, 池原 実（海洋コア）, 他 学生3名

### 【研究目的・期待される成果】

日本海の第四紀半遠洋性堆積物には、特徴的な明暗互層が存在する。この明暗互層は最終氷期においてダンスガードーオシュガー・サイクルに対比されており、数千年スケールの気候変動を反映していることが報告されている (Tada *et al.*, 1999)。しかし、これまでの先行研究は主に過去20万年に限られており、第四紀後半全体に見られる明暗互層の特徴が氷期-間氷期変動に伴ってどのように変化して来たのかはこれまで調べられて来なかった。

IODP Exp. 346 Asian monsoonでは、日本海深部の複数地点から第四紀全体を含む堆積物が連続的に採取された。そこで、本研究では、IODP Exp. 346において日本海の異なる水深の3地点から採取された海底堆積物コア試料を用いて、第四紀や中新世を通じた数千年スケールの気候変動・海洋環境の時間空間変動を復元することを目的とし、分析を行う。

昨年度の研究において、異なる水深の2地点の試料を分析し、水深の違いによる底層の酸化還元環境や炭酸塩溶解度の相違が明らかにされた。今年度はさらに3地点目 (U1426) の分析を進めることで、鉛直方向の海洋環境の復元を行い、考察を深めることを目的とする。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成29年度は、平成29年8月28日～9月8日と、平成30年3月6日～29日にITRAXを利用して堆積物コアの高解像度元素分析を行った。分析した試料はIODP Exp. 346 Site U1426の堆積物コア（水深903m）で、約1.5mのコアを3mm、10秒の解像度で測定した。分析総本数は104本であった。平成28年度の共同利用によるITRAX分析データと合わせると、U1426コアについて過去およそ1.9Maの高解像度元素分析が終了した。

ITRAXで分析したデータはX線管球の劣化によるカウント値低下の影響を受けているため、管球劣化の影響の補正などを行った上で連続記録を作成した。平成28年度の共同利用によるSite U1424（水深2808m）、U1425（水深1909m）コア試料の元素分析結果と合わせて解析を行い、過去70万年間について炭酸塩補償深度の変動の連続復元を行った。その結果、日本海における炭酸塩補償深度は過去70万年の間に903mよりも浅い水深から2808mよりも深い水深まで大きく変動し、その周期は氷期間氷期サイクルよりも短い数千年スケールであったことが示された。概ね大気中二酸化炭素濃度の上昇時期には炭酸塩補償深度が浅くなり、逆に二酸化炭素濃度低下時期には炭酸塩補償深度が深くなる傾向が見られた。また、間氷期の二酸化炭素濃度が～20ppm程度増加した0.45Ma前後ではそ

の変動様式に変化がみられ、炭酸塩補償深度の変動と大気中二酸化炭素濃度の変動には関連性がある可能性が示唆された。

これを踏まえ、炭酸塩補償深度の変動を制御する要因を探るため、ITRAXによる元素分析データのうちCaの変動を堆積物中のCaCO<sub>3</sub>濃度へ変換した。ITRAXによる元素分析データは半定量的なデータであるため、この作業には、ITRAX分析データの定量化を目的とした分析の結果を用いた（平成28年度に実施）。これを用いて水深の異なる3地点（903m, 1909m, 2808m）のCaCO<sub>3</sub>埋没フラックスを推量した結果、日本海における過去70万年間のCaCO<sub>3</sub>埋没フラックスは3地点で異なり、それぞれの地点においても一定ではなく、大きく増減していたことが示された。また、炭酸塩補償深度の変動様式と同様に、CaCO<sub>3</sub>埋没フラックスも0.45Ma前後で異なる様相を示すことがわかった。

また、平成28年度の共同利用の成果として、ITRAXで測定したBrが堆積物中の海洋起源有機物含有量の指標となっていることが示されている。このことを利用して、深度の異なる3地点における海洋起源有機物埋没フラックスを推量した。CaCO<sub>3</sub>埋没フラックスと海洋起源有機物埋没フラックスを比較することで、炭酸塩補償深度変動に有機物の分解が与える影響を検討することが可能になる。今後、U1426コアのITRAX分析データの解析を進め、70万年前より古い時代の炭酸塩補償深度変動の復元とCaCO<sub>3</sub>埋没フラックスの推量などを行うことで、炭酸塩補償深度変動を含めた過去の海洋循環変動を推測できると期待される。



採択番号 17A012, 17B012

研究課題名 コアサンプルデータを用いた静穏時における岸沖鉛直底質移動動態メカニズムの解明

氏名・所属(職名) 鈴木 宗之・横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院(准教授)

研究期間 H29/7/19-21

共同研究分担者組織 伴野 雅之(港湾空港技術研究所), 他 学生2名

#### 【研究目的・期待される成果】

底質の鉛直再配分, および岸沖方向移動動態把握を目的とした底質コアサンプリングを実施する。コアサンプリング実施前に, 特定箇所において蛍光砂を投入しておき, その後採取されたコアサンプル内に蛍光砂がどのような岸沖方向位置にどの深度に堆積しているのかを解析し, その移動速度, 移動範囲を検討する。

これまで, 高波浪時における侵食性波浪による岸沖鉛直混合について検討を行い, 底質の混合, 異粒径の配分について知見が得られた。また, 堆積性波浪での移動形態についてもバー地形を有する場合については推定できたものの, バー地形を有しない場合については未解明であることから, 平成29年度については, バー地形を有しない地形形状における堆積時の底質移動形態の把握を目的とする。これらの成果は, 沿岸域生態学への応用が可能となる。

#### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

2017年5月9日から21日まで, 茨城県波崎海岸に位置する波崎海洋研究施設にて現地観測を実施した。観測期間中, 岸沖方向位置 $x = 10, 120\text{m}$ にバーム, インナーバーが存在していたが, 観測期間中の波高 $2\text{m}$ を超える高波浪によりそれらは消失し,  $x = 190\text{m}$ にアウターバーが形成された。蛍光砂は中央粒径 $0.2\text{mm}$ の3色(緑, 黄, 赤)を $500\text{kg}$ ずつ用意し, それぞれ $x = 80, 160, 240\text{m}$ に投入した。底質コアの採取は静穏となった12日目に実施した。採取した底質コアは高知コアセンターにおいて, X線CTスキャン等を行ったのち,  $5.0\text{cm}$ 毎に分割し, 蛍光砂数, 粒度分布の解析を実施した。

観測期間中の土量変化( $x = 30\text{m}$ より海側)は, バームとインナーバーが侵食しその間が堆積したことにより, アウターバーまで地形が線形化していた。期間全体での土量収支は $97.2\text{m}^3$ の減少であった。蛍光砂投入の際, 黄, 赤色に関してはダイバーにより海底面上に散布したが, 緑に関しては波浪状況により水面からの投入となったため, より拡散が強まっていた。黄, 赤色に関しては, 両者概ね同様な岸沖分布となっており, 沖に投入した赤色がバーム位置まで到達していたことがわかった。これはバーが存在していない地形形状が影響したと考えられ, 筆者らの過去の現地調査でも同様の結果が得られている。

黄色蛍光砂を投入した $x = 160\text{m}$ にて採取したコアの解析では, 投入後, 地盤面が $0.37\text{m}$ 侵食していたが, 蛍光砂の有無により深度 $0.36\text{m}$ まで底質混合が生じていることがわかった(蛍光砂10個以下については無視)。観測期間中の最低地形断面を基準とし, 各底質コアから混合層厚を計測した結果, 黄・赤色蛍光砂の岸沖方向到達位置に関

しては概ね同一であったが, 赤色については, 岸に行くほど黄色よりも浅い箇所までの混合となっていた。両色の最深部を見ると, バー頂部となる $x = 190\text{m}$ よりも岸側では約 $0.3\text{m}$ , バー頂部ではほぼ $0.05\text{m}$ であった。バーよりも沖側では,  $x = 230\text{m}$ にて $0.3\text{m}$ まで増加するがその沖では $0.1\text{m}$ まで低下していた。これまでに提案されている混合深の計算値と比較すると,  $x = 80\sim 160\text{m}$ に関してはMadsen(1974)が理論的解析から提案した $Z = -0.11 H_b$ が最も近い値となった。推定碎波帯位置, 最低地盤計測日を考慮すると, 最も沖側の $x = 230\text{m}$ については, 砂連形成に伴う混合, また,  $x = 150\text{m}$ よりも岸側では, 赤色蛍光砂は表層のみの存在であったことから, 沖側の岸向き漂砂は主に高波浪イベント後であることが示唆された。

本観測では, 複数の蛍光砂を用いたことで, 高波浪イベントにおける岸沖底質移動, および混合層厚を合わせた解析が可能となった。

採択番号 17A013, 17B013

研究課題名 還元化学消磁による堆積岩中の磁性鉱物の変化と磁気層序

氏名・所属(職名) 渋谷 秀敏・熊本大学大学院 先端科学研究部基礎科学部門 地球環境科学分野(教授)

研究期間 H29/8/31-9/4

共同研究分担者組織 小玉 一人(同志社大学), 望月 伸竜(熊本大学), 他 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

古地磁気学において、二次磁化を消磁する手法として、熱消磁・交流消磁がよく用いられるが、化学消磁はあまり用いられてこなかった。それには、化学消磁に用いられてきた、強酸の扱いが面倒であったからという面がある。そこで、我々は、還元化学消磁(RCD)という手法を考案し、琉球層群の礁生石灰岩で、その有用性を示して来た(2014-2015共同研究)。この成功は、透水性のある堆積岩/堆積物では二次磁化は、透水域での磁性鉱物の生成が大きく寄与しているからであったと思われる。昨年度よりは、他に有効な試料を検討して、蝦夷層群の古地磁気研究に応用可能かを検討している。橋本(2012MS)は北海道古丹別地域に分布する蝦夷層群の古地磁気を測定し、白亜紀スーパークローン後の逆磁極期との境界を見出し、白亜紀の年代区分であるサントニアン-カンパニアン境界(Sn/Cm境界)と年代が極めて近いことを利用して、時間面の国際対比を行うことを試みた。しかし、この堆積物も、礁生石灰岩と同様に二次磁化の影響を大きく受けており、特に逆帯磁との判定される層準での方位のばらつきが問題となって、確定的な結論が導かれなかった。蝦夷層群の固結度は必ずしも高くないので、RCDが有効である可能性がある。

そこで、これらの蝦夷層群のRCD実験を行い、逆帯磁とみられる層準が確定できれば、蝦夷層群でのSn/Cm境界が確定できて、日本の中生界の対比を大きく前進させることとなる。また、他にも同様な試料を見出し、有効性を検証したい。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

今年度の共同利用では、上部白亜系蝦夷層群(試料採取地域:北海道古丹別)の泥岩試料に対し還元化学消磁(RCD)による熱消磁時化学残留磁化(CRM)の抑制についての研究を行った。高知コアセンターでは、泥岩試料25試片に対してRCD実験、その後RCDを行った25試片および行わない25試片に対しての段階交流消磁(AFD)実験(内訳:RCDあり10試片,RCDなし10試片)および段階熱消磁(TD)実験(内訳:RCDあり15試片,RCDなし15試片)を実施した。還元性エッチャントが試料内部まで浸透するように、RCDを行う試料は1インチの磁化測定用試料を厚さ5mm程度にスライスし、RCD後に再度定方位試料へ戻す手法を用いた。RCDを行わない試料に対するAFDおよびTDは初生磁化方位の取り出しが困難な結果であった。AFDでは消磁が完了しないことから、高保磁力成分の含有が示唆された。また、TDでは、およそ400°C付近において磁化が増加することが確認できた。RCDを行った試料については、固結度の問題から、試料の形

状保持が難しく、還元性エッチャントの供給法を再検討する必要があることが明らかとなった。しかし、方位は確認できないものの、400°C付近での磁化の増加はみられず、熱消磁時の熱変質によるCRM獲得を抑制する一定の効果があることが確認できた。そこで、より詳細に熱変質抑制効果を確認するために古丹別地域全36サイトについて熱磁気分析を行った。熱磁気分析は、同一コアから0.1g程度チップを2つ準備し、片方にRCDを施す。その後双方を熱磁気天秤にて測定することでRCDの熱変質抑制効果を確認した。熱磁気分析の結果から、古丹別地域の蝦夷層群試料は、熱変質のパターンが4タイプ存在することが明らかとなった。以下に4タイプを示す。

Aタイプ:含有磁性鉱物はゲータイトおよびマグネタイトで熱変質がおこらない

Bタイプ:RCDを実施しない試料について昇温時210°Cで磁化の増加がみられる

Cタイプ:RCDを実施しない試料について昇温時410°Cで磁化の増加がみられる

Dタイプ:RCDを実施しない試料について昇温時210°C, 410°Cで磁化の増加がみられる

特にB, C, Dタイプに見られる磁化の増加はRCD後の試料ではみられない。また、2016年度共同利用においてRCD実験を適用した中頓別地域より採取した蝦夷層群ではDタイプのみが確認され、RCDによる熱変質抑制効果も同様であった。

磁気層序を確立するためには、Aタイプの試料を用いることが好ましい。しかし、Aタイプの分布はランダムであり、また層準に当てはめると連続的ではない。このためB~Dタイプの熱消磁時CRMを抑制し、方位および極性を判断することは極めて重要である。今後は、定方位試料の形状を維持したRCD手法の検討を行い、B~Dタイプの試料について熱変質抑制下での方位測定を行う必要が有る。

採択番号 17A014, 17B014

研究課題名 インドネシア通過流の表層環境の解明とその気候変動との関係に関する研究

氏名・所属（職名） 源田 亜衣・岡山大学大学院 自然科学研究科（修士2年）

研究期間 H29/4/17-21, 6/19-23, 9/4-8, 9/25-28, 10/2-6, 11/6-9, H30/2/5-8, 2/19-22, 2/26-3/1

共同研究分担者組織 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

太平洋とインド洋を結ぶインドネシア通過流 (ITF) は海洋大循環において唯一熱帯域を通過する海流である。そのため、地球表層の熱及び水循環の要であり、気候変動とも密接に関わっている。近年、研究が進められITFの主要な流路や熱フラックス、流量といった基本的なデータが揃ってきたが、現場の観測のみでは数十年以上にわたるITFの環境変動の復元は困難である。特にモンスーンに伴い、ジャワ海に出現する低塩分の水塊の挙動がITFそのものやENSOなどの気候変動と密接に関わっていることが指摘されているが (Gordon *et al.*, 2003), 塩分の詳細な長期記録の報告はされていない。そこで本研究では、ジャワ海やバリ島近海から採取された現生のサンゴ骨格を試料としその骨格中の化学成分を測定することで、50-100年間の海水温と塩分の記録を復元する。本研究により、ITFの表層環境の解明および、最終的にはITFとENSOなどの気候現象との関係の一端を解明することが期待される。

これまでに同じ研究課題でサンゴ骨格中の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) の測定を行っているが、塩分の議論をするには十分なデータが得られていない。そのため本研究課題の継続により $\delta^{18}\text{O}$ のデータを延伸することで分析の進んでいるSr/Ca比と組み合わせ、長期の塩分復元を可能にする。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では、ジャワ海から採取されたサンゴ骨格試料について、安定同位体比質量分析計 (IsoPrime) を用いて酸素・炭素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$ ) の測定を行った。事前の計画では試料数500個程度の測定を予定していたが、装置の不調による再測定や追加試料の測定を行った結果、予定よりも作業日程や測定試料数が大幅に増えている。しかし本申請により分析を進められたことで、約70年に及ぶデータを揃えることができた。

測定結果からサンゴ骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ は-5.5~-7.0 ‰の間で変動し (平均-6.1‰)、これは他の熱帯~亜熱帯域のサンゴの結果よりも低い値を示している。骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ は降水量の多い地域ほど低い値を示す傾向にあり、今回の結果はインドネシア多島海周辺の降水量が世界的にみて多いことと一致する。また骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ は、海水温と海水の $\delta^{18}\text{O}$ を反映しており、海水の $\delta^{18}\text{O}$ は蒸発-降水のバランスにより決定することから塩分に近似される。そのため水温計として利用されるSr/Ca比との組み合わせにより塩分の復元が可能である。本研究において復元した塩分はおおよそ1年に2程度変動しており、塩分の変動幅としては大きいと言えるが、衛星データによって与えられる

この海域の塩分変動も同程度の変動幅を持っており、サンゴによる復元がこの海域の特徴を捉えることができていると考える。

熱帯太平洋のエルニーニョやインド洋の正のインド洋ダイポールは、インドネシア周辺で海水温の低下と降水量の減少をもたらすことが知られているが、これらのイベントと塩分変動を照らしあわせたとく明瞭な関係を示すことはできなかった。これらのイベントにより降水量や淡水の供給の減少が生じる一方で、南シナ海から南向きに流れるSouth China Sea (SCS) Throughflowは低塩分の水塊を運ぶことが言われている (Gordon *et al.*, 2012)。SCS Throughflowによるジャワ海への輸送はイベントに依らないため、エルニーニョやインド洋ダイポールとの関係を見る場合に、このような低塩分の水塊の寄与がジャワ海の塩分変動をより複雑なものにしている可能性がある。また時系列解析を用いることで、経年周期 (3-7年) に注目し海水温、塩分とエルニーニョ/南方振動 (1951年~2002年)、インド洋ダイポール (1958年~1999年) との関係調べたところ、両者に相関関係は認められなかった。このことから経年周期においてエルニーニョやインド洋ダイポールがこの海域の表層環境に優位的な影響を与えているわけではないことが示唆される。

今回結果を得たジャワ海はITFの表層環境や気候システムとの関係を議論する上で重要な地点の1つだが、未だITFの表層環境の解明には至っていないため、今後ITFの流域下で成長したサンゴ骨格を試料とし同様の分析を行い、目的の達成に向けさらに進展させていきたいと考えている。



採択番号 17A015, 17B015

研究課題名 エチオピア洪水玄武岩を対象にした約30Maの地球磁場変動の解析

氏名・所属(職名) 石川 尚人・京都大学大学院 人間・環境学研究科(教授)

研究期間 H29/10/27-11/13

共同研究分担者組織 山本 裕二(海洋コア), 山崎 俊嗣(東京大学), Tesfaye Kidan(アジスアベバ大学)  
乙藤 洋一郎(NPO法人地球年代学ネットワーク), Ahn Hyeon-Seon(慶尚大学校)  
他 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

エチオピア洪水玄武岩は、アフリカ・アラビア・ソマリアプレートの発散境界からなる三重会合点での大陸分裂に関して漸新世に起きた火山活動で、エチオピア・イエメンに広く(約60万km<sup>2</sup>)、地域的には2,000mを越える厚さをもつ溶岩層として分布している。従来の放射年代・古地磁気層序の研究から、約30Maに約100万年間という短期間におきた火山活動であると考えられている(Rochette *et al.*, 1998他)。多数の溶岩流からなるこの厚い溶岩層は、地球磁場変動、特に地磁気強度の変動を解析する上で絶好の対象物である。

そこで、エチオピア・Lima Limo地域に分布する溶岩層から98層準で試料を採取し、約30Maの地球磁場変動(方向・強度)を詳細に明らかにし、30Ma頃の地磁気極性逆転史の改訂・高精度化を目指すとともに、30Maの地球磁場強度データを求めることで、長い時間スケール(数千万年間)での地磁気強度の変動を明らかにすることを目的とする。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究課題期間において、貴センターの古地磁気・岩石磁気実験室のスピナー磁力計、交流消磁装置、非履歴残留磁化着磁装置、低温消磁装置を利用して、低温消磁付き2回加熱ショー法による絶対古地磁気強度の推定のための実験を20試料に対して行った。

今回の課題も含め、これまでの共同利用研究(14A036/14B036, 15B056, 16A022/16B020)の結果から、以下のことが明らかとなった。

古地磁気方位解析の結果、98層準中93層準から安定な古地磁気方位が得られ、それに基づき、約30Maの地磁気極性変化として、下から逆-正-逆の極性の変化が求められた(Ahn *et al.*, in preparation)。52層準に対する相対古地磁気強度、40層準に対する絶対古地磁気強度の推定のための実験を行った。50層準中48層準で相対古地磁気強度を求めることができ(昨年度から新たに1層準追加)、40層準(56試料)のうち28層準(31試料)で絶対古地磁気強度が求めることができた(昨年度から新たに4層準追加)。

絶対古地磁気強度データに基づいて算出した見かけの地磁気双極子モーメント(VDM)の強度は、0.2~10.2×10<sup>22</sup> Am<sup>2</sup>であり、その平均値は、3.20 +/- 2.24×10<sup>22</sup> Am<sup>2</sup>であった。この平均強度は過去500万年間の平均VDM強度(Yamamoto & Tsunakawa, 2005)と比較すると小さい。また、VDMの変動度合に関しては、堆積物から得られている相対古地磁気強度の変動から推定されている過去80

万年間のVDM強度の変動度合と比較すると同程度であることが認められた。

地磁気極性に区分して検討してみると、逆磁極期の溶岩層の試料の平均古地磁気強度は約17μTで、調査地域の現在の地磁気強度の半分程度であった。さらに、過去500万年間の平均古地球磁場強度(Yamamoto & Tsunakawa, 2005)と比較すると同程度であることがわかった。一方、正磁極期の溶岩層の試料の平均古地磁気強度は約5μTで、逆磁極期の溶岩層の強度と比べて有意に弱いことがわかった。磁極期の極性による古地磁気強度の差異が認められたことは興味深い結果である。



採択番号 17A016, 17B016

研究課題名 地磁気と気候のリンク

氏名・所属(職名) 兵頭 政幸・神戸大学 内海域環境教育研究センター(教授)

研究期間 H29/6/12-15, 7/24-27

共同研究分担者組織 Baladz BRADAK(神戸大学), 他 学生3名

### 【研究目的・期待される成果】

太陽活動や地磁気の変化が気候に影響を及ぼす研究は長年続く未解決の重要課題である。1997年に、銀河宇宙線量と下雲量に正の相関(スベンスマルク効果)が発見されて以降、太陽も地磁気も銀河宇宙線を介して気候変化をもたらす可能性が出てきたため、研究は急速に増えてきた。本研究は地質時代の気候を利用して、スベンスマルク効果が気候に影響を及ぼしたかを調べ、同効果の不偏性を検証するものである。

これまでに、海洋同位体ステージ(MIS)19と31の間氷期において寒冷化が起こり最高海面期の4000年遅れで最温暖化が起こったことを発見した。寒冷化は地磁気強度が40%以下に減少した期間に起こっていることから、宇宙線増加による雲量の増加が原因の可能性が高いことを指摘した(Kitaba *et al.*, 2013, PNAS; Hyodo and Kitaba, 2015, Quat.Int.; Kitaba *et al.*, 2017, Scientific Reports)。また、MIS 19の気候に太陽活動のDe Vriesサイクルを見つけた(Hyodo *et al.*, 2017, Scientific Reports)。これについても、銀河宇宙線を介して起こる下層雲量の変化が関与している可能性が高い。

本研究では、まず、地磁気の逆転、エクスカーション、永年変化の詳細な磁場変化を復元する。次に、気候変化も調べる。そして、古地磁気強度(銀河宇宙線量)と気候との相関を調べて、強度減少期に気候変化が起こった証拠を出す。また、数十年～数千年スケールの気候変化を復元して、太陽活動周期と同じ周期の気候変化を検出し、太陽活動の気候への影響を調べる。中国・ハンガリーのレス堆積物からは、地磁気逆転期の冬季モンスーン強化の証拠が出る可能性が高い。それは、寒冷化イベントに次ぐ重要な地磁気と気候のリンクの証拠となる。また、水月湖堆積物からは、エクスカーション付近における太陽活動周期の発見を期待している。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

水月湖年縞堆積物コア(FukuiSG14)の磁気分析により、地磁気エクスカーションの存在を示唆する大きな相対古地磁気強度の落ち込みを見つけた。それを見つけた部分は年縞がなくなっている深度区間のため、正確な年代は未定であるが、花粉化石群集が示す古気候変化データから、Blakeエクスカーションの可能性が極めて高い。中間極性的古地磁気方向データは少ないが存在する。花粉化石のデータと合わせると、Svensmark効果による銀河宇宙線-雲効果の寒冷化の可能性も見えており、今後エクスカーションの信頼度を上げるために、discrete試料の段階熱消磁実験が必要である。

ハンガリー・ブダペスト南のPaks, および中国黄土高原

で採取したレス・古土壌試料の岩石磁気実験を行った。

試料はどちらもMatuyama-Brunhes地磁気逆転を挟むMIS 19間氷期の主に古土壌である。熱磁気分析、帯磁率の温度変化測定により、含まれる主な磁性鉱物がマグネタイト、ヘマタイト、マグヘマイト、ゲーサイトであることを明らかにした。磁気ヒステリシス実験より粒径はPSDサイズが主であることが分かった。

ハンガリーの試料からは、これらの基礎実験結果と帯磁率異方性の測定結果から以下のことを明らかにした。帯磁率異方性の形状ファクターと堆積速度のプロットから、レス粒子の堆積過程が2段階に分かれることを見つけモデルを提唱した。初期過程では、細粒子は重力に支配され粒子の配向は弱く、粗粒子は流れに平行または直交する磁気構造をとる。これを堆積磁気構造とよぶことを提唱する。2次の過程は、堆積直後から土壌化開始直前までの未固結状態で起こる。遅い堆積速度の場合、粒子は埋もれずに表面付近で長期間、安定した向きの風にさらされ、方向性のない磁気構造から、流れに沿わない磁気構造、流れの方向が卓越する磁気構造に変化する。これを転換磁気構造と呼ぶことにする。この成果は、レスの磁気構造から過去の風向を推定する基礎を与える。これらの成果は、Aeolian Researchに公表した(Bradak *et al.*, 2018)。今後、この成果を応用して地磁気逆転期のモンスーン変動の研究を行う。

中国黄土高原Lingtaiの試料からは、岩石磁気の基礎実験結果と粒径分布、帯磁率、帯磁率の周波数依存性から、東アジアの夏季モンスーンがMatuyama-Brunhes地磁気逆転後の1000年スケールの気候イベントに敏感に反応していることを明らかにした。その一部においては冬季モンスーンも同期して反応することを発見した。また、冬季モンスーンは地磁気逆転トランジションにおいて強化したことが分かった。さらに、その強化した期間が地磁気強度スタックS-int800が示す双極子磁場が1/4以下の期間にほぼ一致することから、この冬季モンスーン強化は地磁気と気候のリンクを示唆する可能性が高い。現在、これらの成果をまとめた論文を投稿準備中である。

採択番号 17A017, 17B017

研究課題名 岩石磁気分析に基づく熱水鉱床の形成モデルの構築

氏名・所属（職名） 大野 正夫・九州大学大学院 比較社会文化研究院（教授）

研究期間 H30/3/21-23

共同研究分担者組織 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

本研究は、熱水活動域周辺の岩石磁気プロファイルの作成に基づき、熱水鉱床の成因の解明を目指すものである。研究に用いる試料は、戦略的イノベーション創出プログラム「次世代海洋資源調査技術」の、テーマ「海洋資源成因研究に基づく鉱床モデルの構築に向けた新たな指標の提案」によって、2016年3月および11月から12月に沖縄トラフで掘削された試料である。

熱水鉱床の形成場では、熱水の活動によって磁性鉱物に変質するため、残留磁化や初磁化率などが変化すると考えられる。本研究では、沖縄トラフの熱水活動域で掘削される複数の孔井のコア試料の岩石磁気分析に基づき、熱水活動域の磁気プロファイルを明らかにする。

本研究で明らかにされる熱水活動域の3次元磁気プロファイルは、同地域で計画されている磁気探査のデータ解析の基礎データを提供し、熱水鉱床探査方法の開発に資するものと考えられる。また、磁性鉱物の鉱物種が同定されれば、熱水鉱床の成因の探求にも貢献するものと考えられる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本年度は、昨年度に引き続き、熱水鉱床から掘削された試料の岩石磁気実験を行った。

分析に用いた試料は、沖縄トラフにおいて、平成28年3月と11月から12月にかけての2回、地球深部探査船「ちきゅう」で掘削されたコア試料である。本研究計画のメンバーは、3月の航海に楳尾が、11～12月の航海に大野が乗船した。岩石磁気分析には船上でXRD分析を行った試料の残りをを用いた。

これまでに行った岩石磁気分析は、2回目の航海で掘削されたC9025およびC9026のコア試料のうち、鉱体とみられる層準から採取した試料について行ったもので、熱磁気分析と低温磁気分析を行った。熱磁気分析は磁気天秤を用い真空中での加熱・冷却測定を行った。低温磁気分析は、MPMSを用いて、IRMcycle, FC, ZFCの各シーケンスで測定を行った。

今年度は、今後あらたな分析を行うに当たって時間経過による磁氣的性質の時間変化が問題になると考え、その影響を調べるために昨年度測定した試料の再測定を行った。昨年度の測定と今年度の測定の間には、ちょうど1年間の時間が経過しているが、比較の結果、磁化強度の増加がみられ、何らかの磁性鉱物が生成されているらしいことが示唆された。しかし、昨年測定時に認められて我々が注目している磁化の温度変化の特徴は保持されていることが確認された。特に低温磁気分析において、試料によって35Kから75K付近の温度で観察された、転移に

伴うとみられる磁化の変化については、変化の温度や変化幅が1年間の時間経過によって変化していないことが確認できた。また熱磁気分析においても、加熱に伴い240℃付近と550℃付近をピークとする2度の磁化の増加・減少の後、700℃まで緩やかに減少するパターンが変わりなく観察された。従って我々が注目している磁化の温度変化の特徴は保持されていると考え、今後、詳細な鉱物分析と岩石磁気分析を組み合わせ、これらの試料の分析を進める予定である。

これらの結果のこれまでの解釈としては、同試料のXRD分析で鉄や銅などの硫化物が報告されており特にピロタイトやパイライトが卓越することが報告されていることから、熱磁気曲線の低温側のピークは、これらの鉱物の加熱による分解で説明できると思われる。また低温磁気分析の35Kの転移は、ピロタイトの存在と調和的である。しかし、50K付近や70K付近の転移は対応する磁性鉱物についてはいまだに不明である。これらの鉱物を同定しその岩石磁氣的性質を明らかにすることは、岩石磁気の基礎実験として重要であると考えられる。

採択番号 17A018, 17B018

研究課題名 沿岸域～深海平原における生物源堆積構造とその古環境学的意義の解明

氏名・所属（職名） 清家 弘治・東京大学 大気海洋研究所（助教）

\*H29/12/1異動 産業技術総合研究所 地質調査総合研究センター（主任研究員）

研究期間 H29/6/21-24, 10/18, H30/3/7

共同研究分担者組織 なし

### 【研究目的・期待される成果】

地質時代の生物が形成した這いあとや巣穴などが地層中に保存されたものを生痕化石という。生痕化石の群集組成（生痕相）を解析することで、地層形成時の堆積環境や堆積作用を復元できると考えられている。しかしながら、生痕化石から古環境情報を得るためには、現世生痕についての知見を得て検証する必要がある。以上のことから、本研究課題では今現在の海底に発達する生物源堆積構造（現世生痕）についての調査を実施し、地質記録中の生痕化石が持つ古環境学的意義を解明することを目標としている。現世生痕の調査には、堆積学分野での観察手法（X線CT画像撮影、MSCLによる密度測定、粒度分析、および可視光下での観察など）を用いる。

2013～2016年度の共同利用研究では、三陸沖大陸棚や日向灘沖の南海トラフで採取したコア試料を対象として、水深および環境の違いによって発達する生痕相がどのように変化するかを調べた。また西部太平洋の深海平原にどのような生痕相が存在しているかを明らかにした。

今年度の申請課題では、2017年5月に行われる白鳳丸航海KH-17-2（熊野灘沖）、および2017年7月に行われる白鳳丸航海KH-17-3（北部太平洋およびアラスカ湾）で採取予定の海底コア試料を分析することを目的とした。それにより、生痕相と堆積環境の関係性をより広い空間スケールで理解することを目指す。さらには、前年度までに得られている成果をすべて合わせ、沿岸域～深海平原における生痕相とその対応する生痕化石の古環境学的意義を解明していく。

### 【利用・研究実施内容】

平成29年度・高知大学海洋コア総合研究センターでの分析項目としては、X線CT画像撮影（CT画像処理装置を使用）、コア半断面可視光撮影（コア連続画像撮影装置を使用）等を実施した。上記の項目を南海トラフの沿岸～深海域で得られたマルチプルコアラー採泥試料、アラスカ湾の沿岸～深海平原で得られたマルチプルコアラー採泥試料、そして沖縄周辺海域で採取したマルチプルコアラー採泥試料について実施した。

### 【得られた成果】

#### ①南海トラフにおける生痕群集

生痕化石の群集組成（生痕相：ichnofacies）を解析することで、地層形成時の堆積環境（水深帯）を復元できると考えられている。そのため、生痕化石は古環境復元の有用なツールとして用いられている。しかしながら、潮間帯などのアクセスしやすい環境を除けば現世生痕の研

究例は少なく、その有用性についての検証が十分になされていない。

今年度は、学術研究船白鳳丸KH-16-5航海において南海トラフで採取したマルチプルコアラー採泥試料のX線CT解析を行った。それにより、当海域の深度方向の生痕相変化を調べた。その結果、南海トラフという同じ海域内でも、水深に応答して、生痕相の構成種が明瞭に異なることがわかった。また、南海トラフに見られる生痕種は、三陸沖や琉球海溝周辺など他の海域（三陸沖など）で見られるそれとは異なっていた。このことは、地層中の生痕相から、地層が形成された水深のみならず、その形成場が位置していた気候帯を復元できる可能性を示唆している。今後、得られた結果を学術論文としてまとめることで、生痕学のみならず堆積学・古生物学に大きなインパクトを与えることが期待できる。

#### ②北東太平洋における生痕群集

研究代表者のこれまでの研究によって、日本周辺海域の沿岸～深海から得られたコア試料の解析が行われ、温帯域における生痕群集の多様性、および水深による生痕群集の変化が明らかになりつつある。その一方で、寒帯や熱帯などの海洋環境での生痕群集についての知見は少ないのが現状である。そこで本研究では、北東太平洋を対象とした研究航海KH-17-3に研究代表者が自ら参加し堆積物コアを収集することで、寒帯環境における生痕の多様性を把握することを目指した。得られたコアのX線CT解析を実施した結果、寒帯環境であるアラスカ湾周辺海域の海底堆積物においても、直径数センチ程度の大型生痕が多数含まれていることが判明した。今後は得られたX線CT画像の解析を進め、生痕種の詳細やバイオターベーションの強度などを測定し、この海域における生痕群集の多様性や生物攪拌の特徴などを明らかにしていくことを目指す。



採択番号 17A019, 17B019

研究課題名 完新世における東アジアモンスーン変動の復元

氏名・所属（職名） 山田 桂・信州大学 学術研究院 理学系（准教授）

研究期間 H29/10/23-31

共同研究分担者組織 学生2名

### 【研究目的・期待される成果】

東アジア地域の気候に深く関与するモンスーンについては、数万年スケールの変動に関するデータはそろいつつあるものの、数百年スケールでの変動や冬季モンスーンのデータは少なく、強度の変化やメカニズムは解明されていない。

西南日本の汽水湖である中海は、夏季および冬季モンスーン変動の影響を強く受ける地域に位置している。中海で現生し、コアから多産する貝形虫 *Bicornucythere bisanensis* は11-4月にA-1（成体の一段階前の幼体）に、4-8月に成体に脱皮するため、それぞれ冬季および夏季の湖水の環境を記録している。これまでに、成体の殻の酸素同位体比分析を行い、過去1700年間について、東アジアに共通する数百年スケールの夏季モンスーン変動を明らかにできた (Yamada *et al.*, 2016)。そこで、本研究ではA-1の *B. bisanensis* の殻の酸素同位体比を用いて、同域における冬季の東アジアモンスーン強度の変化を明らかにすることを目的とする。また、2015年に新たに中海で採取したコア試料を用いて、過去2800年前までさかのぼって数百年スケールの夏季モンスーン変動を復元することも目的とする。

H28年度までの共同利用で行った分析結果からは、A-1の殻中の酸素同位体比はモンスーンによる冬季の降水量の影響を強く反映していることが明らかになった。また約2800年前から1500年前の成体殻の酸素同位体比分析を行い、夏季モンスーン強度の大まかな変動が明らかになった。しかし、数百年スケールの変動を検討するためには試料間隔が大きい部分があり、追加の分析が必要である。また、A-1幼体殻を用いた冬季の気候変動は検討されていない。そこで、H29年度は約2800年前から1500年前の試料について成体とA-1幼体の殻の分析を行い、冬季および夏季の古気候復元を行う。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

昨年度までの結果と合わせて、N2015コアに含まれる成体設計166試料はコア深度387~207cm (BC884~AD1072年) から選択し、測定に必要な殻の数である3個を満たす試料について、全ての試料の酸素・炭素同位体比の測定を行った。コア全体としては、 $\delta^{18}\text{O}$ は-1.347~0.865‰の範囲で変動し、 $\delta^{13}\text{C}$ は-6.396~-3.855‰の範囲で変動した。コア深度387~295cm (BC884~AD403年) では、 $\delta^{18}\text{O}$ は-1.086~0.865‰の範囲で変動し、 $\delta^{13}\text{C}$ は-5.770~-3.855‰の範囲で変動した。また、コア深度294~207cm (AD414~AD1072年) では、 $\delta^{18}\text{O}$ は-1.347~0.518‰の範囲で変動し、 $\delta^{13}\text{C}$ は-6.396~-4.256‰の範囲で変動した。 $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^{13}\text{C}$ はどちらも、細かな増減を伴いつつ、深度が浅くな

るにつれて（現在に近づくにつれ）減少傾向を示した。加えて、78試料についてA-1幼体殻の酸素・炭素同位体比測定を行った。試料については、コア深度387~296cmを対象とし、測定に必要な殻の数である8個を満たす試料について、全ての試料の測定を行った。コア深度297cmから387cm、年代にしてAD387年からBC883年では、 $\delta^{13}\text{C}$ は-5.45‰から-4.19‰の範囲で変化し、 $\delta^{18}\text{O}$ は-0.138‰から0.947‰の範囲で変化した。 $\delta^{18}\text{O}$ の変動は、BC883年からBC750年にかけては減少、BC750年からBC1年にかけては増加、BC1年からAD387年にかけては減少を示した。また、全体を通して見ると、BC883年からAD387年にかけて、緩やかに低下する傾向を示した。 $\delta^{13}\text{C}$ に関しては、特に変動パターンは見られず、ほぼ一定に推移した。

既存研究のXコアの成果 (Yamada *et al.*, 2016) と総合し、過去2800年間のデータを得ることができた。成体の *B. bisanensis* 殻の酸素同位体比は、BC800年以降長期的に低下した。貝形虫群集によれば中海の塩分は徐々に低下したと推察されることから、酸素同位体比の長期的な低下は湖内の塩分低下によると推察される。この地域的な要因を排除するため、標準化した酸素同位体比変動を求め他地域の東アジア夏季モンスーン (EASM) 変動及び太陽活動を示す大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ と比較した。また、ウェーブレット解析およびスペクトル解析を行い、周期と卓越時期を明確にした。標準化した酸素同位体比の周期や変動パターンにより、BC800年以降は3つに区分された。Stage A (BC800~BC100年) では、EASM変動と大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ に200年周期と共通の変動パターンがみられ、東アジア全域のEASMが太陽活動に影響を受けていたと考えられる。Stage B (BC100~AD300年) では、EASM変動と大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ の振幅がともに小さくなるものの、周期やパターンの共通性はみられなかった。Stage C (AD300~AD1800年) では、他地域のEASMや大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ との共通性は認められず、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) と類似した変動がみられた。EASMと太陽活動との関係は北緯33度の日射量が大きかったBC800~AD300年のみに見られたことから、EASM強度は日射量の大きい時期にのみ太陽活動の影響を受けていたと推察される。A-1の殻の酸素同位体比からは、明瞭な周期を捉えることはできなかった。



採択番号 17A020, 17B020

研究課題名 後期鮮新世における貝形虫化石のMg/Caを用いた温度勾配の復元

氏名・所属（職名） 山田 桂・信州大学 学術研究院 理学系（准教授）

研究期間 H29/12/4-7, H30/2/19-21

共同研究分担者組織 学生3名

### 【研究目的・期待される成果】

過去350万年間の日本海は、その環境や水塊構造を大きく変化させてきたことが知られている (Kitamura, 2009など)。申請者はこれまで350-250万年前の日本海海洋環境に関する研究に着手し、現在の氷期-間氷期システムが形成される275万年前の時代には、間氷期に水温6-20°Cの暖水系中層水が日本海に存在し、日本海の温度勾配は現在より緩やかであったこと (Irizuki *et al.* 2007) を明らかにした。しかし、その具体的水温は不明なままである。そこで、この時代の地層が連続して露出する新潟県銚江層から得た浅海種および深海種の貝形虫殻のMg/Caにより、定量的古水温復元を目指す。

これまでの共同利用の成果として、浅海性貝形虫 *Cytheropteron* 属の回帰式を作成したこと (Yamada *et al.*, 2014)、約3.2~2.8Maの中層域の海水温変動を明らかにしたこと、当時の暖流系中層水の水温が約5-12°Cであったことが明確になったことが挙げられる。また、従来日本海側の鮮新-更新世の年代決定に用いられてきた浮遊性有孔虫 *Globorotalia inflata* の多産が、中層水温と関係があったことが定量的に示された。これまでの分析により、中層水温の定量的復元はほぼ完了したが、浅海性種による浅海水温の復元は12層準でしか行われておらず、温度勾配の復元には至っていない。そこでH29年度は、浅海の定量的古水温変動を明らかにし、温度勾配の復元を行うための追加の試料を分析する。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

H29年度の分析では、新潟県の胎内川流域に分布する銚江層中に挟在する浅海からの流れ込みによってもたらされた砂岩層中の貝形虫 *Cytheropteron* 属貝形虫の殻に焦点を絞って分析した。特に、これまでの分析では、異なる2種を混合して分析していたが、今回新たに *Cytheropteron sawanense* と *Cytheropteron miurense* を分けて分析することにより、同一属に属する両種の水温とMg/Caの関係式を作成し、より正確な古水温を見積もることを目的として行った。加えて、銚江層と同時期に日本海の浅海域で堆積したと考えられている新潟県四十日層から得られた浅海種 *Cytheropteron* 属の殻、対馬のボーリングコア中の *Krithe* 属、モンゴルの湖沼から得られた貝形虫殻のMg/Ca及びSr/Caの分析も合わせて行った。

これまでの結果を総合すると、胎内市に分布する銚江層では3.1~2.6Maの時代の地層から古水温が求められ、1~10°Cの範囲を示した。また、それぞれの種から作成された回帰式はわずかに差が認められた。比較した結果、これらの回帰式の差は誤差の範囲に含まれることが明らかになった。

四十日層から得られたMg/Caは年平均水温が7.39°Cおよび12.90°Cと見積もられた。これらの水温は、それぞれ、冷温性貝形虫種と暖流系貝形虫種の多産によって特徴づけられる試料から見積もられており、群集に基づく傾向と矛盾しない結果となった。また、下部では11度、中部では6度、上部では13度の古水温が復元され、調査地域が温暖~冷温の気候であったことが示された。

対馬のコアからは1回の水温上昇と低下イベントが見つかった。

モンゴルの湖沼から得られた貝形虫殻は *Leucocytherella sinensis* と *Leucocythere dorsotuberosa* について、1個体ずつの分析を行った。下部では、2種のSr/Caは0.00-4.13と11.68の間で変化した。しかし、上半部は *L. sinensis* が0.65-1.17、*L. dorsotuberosa* が0.48-1.67とばらつきや変動が小さかった。これらは同地域の塩分変動を示していると推察された。

採択番号 17A021, 17B021

研究課題名 金属染色した底生有孔虫細胞質の立体構造観察

氏名・所属（職名） 野牧 秀隆・国立研究開発法人 海洋研究開発機構（主任研究員）

研究期間 H30/1/22-26

共同研究分担者組織 なし

### 【研究目的・期待される成果】

単細胞真核生物である有孔虫は、単細胞生物としては大きい数百マイクロメートル～数センチメートルの細胞サイズを持っている。また、多室の種類では、房室と呼ばれる複数の「部屋」で細胞質が区切られており、房室ごとに、細胞小器官の種類や配置、数などが異なることが明らかになりつつある。底生有孔虫は多様な海底環境に生息しており、この、大きな細胞の中での細胞質のコンパートメント化と役割分担が、たとえば嫌気環境における微生物との共生や硫化水素の無毒化などに重要な役割を果たしていると考えられている。本研究では、有孔虫の細胞質の立体構造を3次的にとらえ、房室ごとの細胞質を区切りコンパートメント化を担うプラグの立体配置、外界との物質交換を担う仮足の立体構造、貧酸素化の際に硝酸塩を取り込むとされる液胞のサイズ、配置、などを定量的に解析するため、金属染色して樹脂に包埋した有孔虫細胞をマイクロフォーカスX線CTで観察する。有孔虫試料は、これまでに底質の化学環境や有孔虫類の生態がよく調べられている相模湾中央部から採取した個体であり、採取した堆積物の深度や有孔虫種の違いにより、上述した細胞構造の違いが見られることが予察的な観察から明らかである。得られた再構築CT画像から、有孔虫の細胞構造や細胞小器官の定量的な解析を行った後、観察した樹脂切片をTEM観察することにより、CT画像で見られる特徴的な細胞構造などのより詳細な検討を行う予定である。これらの研究により、真核生物である有孔虫の嫌気適応に関する細胞学的な知見が得られるとともに、単細胞生物が「多細胞化」せずに細胞質の機能分担をさせることで大型化するという、真核生物の進化に関する新たな知見も提供できる可能性がある。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

今年度は、KM16-01航海で相模湾水深1430mから採取した堆積物および2017年6月青鷹丸航海で相模湾水深730mから採取した堆積物から分離した底生有孔虫、計6種30個体について、高知大学の所有するマイクロフォーカスX線CT装置ZEISS Xradia Versa 410を用いて、細胞の3次元構造を解析した。有孔虫は、化学固定後にオスミウム導電染色および樹脂包埋を施した。有孔虫を包埋している樹脂によるアーティファクト、ノイズを軽減するために樹脂をなるべく均等に削りこむとともに、試料を試料台上にスタックし、夜間は複数試料の連続撮影ができるようにした。撮影時間と試料数の兼ね合いから、撮影条件は、X線源が40kV, 200uA, プロジェクション数が1201-1601, 露光時間を5-7秒に設定した。撮影の結果、*Uvigerina akitaensis*, *Bulimina subornata*, *Bulimina striata* などの浅

部内在性有孔虫は、液胞の多い細胞を最終房室（チャンバー）側に持ち、細胞質をチャンバーごとに区切るプラグを、口孔側から初室側に向けての多くのチャンバー間に有していた。また、初室から5-6チャンバー前後に、核を有している様子がX線CT像で観察できた。一方で、深部内在性有孔虫である *Globobulimina affinis* は、口孔の周りに堆積物粒子を集めて作ったシストの中に、液胞などをともなう細胞質で充填していることが観察された。また、口孔から細胞内部にかけて数十 $\mu\text{m}$ ほど陥入したような構造が複数の個体で見られた。*Globobulimina* 属は、漸深海帯の貧酸素堆積物に広く分布し、主に堆積物中の酸素浸透深度で深に生息している。*Globobulimina* の貧酸素環境への適応戦略として、堆積物間隙水から細胞内の液胞に高濃度に硝酸塩をため込み、酸素の代わりに硝酸塩を最終電子受容体として呼吸する硝酸塩呼吸を行うことが報告されている。TEM観察の結果、口孔付近の陥没様構造の周囲には、他の部分の細胞質と比べてミトコンドリアとペルオキシソームが多く存在しており、この構造を通して引き込んだ海水の溶存化学成分を用いて呼吸など何らかの代謝を行っている可能性がある。これらの細胞構造は、*Uvigerina*, *Bulimina*, *Bolivina* などの浅部内在性の有孔虫種や浅海の有孔虫種には見られない構造であり、*Globobulimina* が貧酸素堆積物に生息する上で重要な形態的特徴の可能性はある。一方で、同様に貧酸素環境で多産する *Chilostomella ovoidea* の観察結果では、液胞が初室側に多い、プラグがあまり見られないという特徴は *Globobulimina* と共通だったものの、*Globobulimina* に見られた口孔からの陥没様構造やシスト内部への細胞質の侵入などは見られず、有孔虫による貧酸素適応には生理・生態学的に複数の方法が存在することを示唆する。

採択番号 17A022, 17B022

研究課題名 富士火山の古地磁気・岩石磁気研究

氏名・所属（職名） 馬場 章・山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部（研究員）

研究期間 H29/7/3-6, H30/2/5-9

共同研究分担者組織 渋谷 秀敏（熊本大学）

### 【研究の目的】

本研究は富士火山の過去3200年間に噴火したとされる溶岩及び火山噴出物48層を研究対象とし、古地磁気・岩石磁気学的特徴から、富士山の噴火史を明らかにすることを目的としている。

### 【期待される成果】

申請者らは富士山山ろく域において32層の溶岩及び火山噴出物の試料を採取し、段階交流消磁実験（AFD）と段階熱消磁実験（THD）を行っている。歴史時代噴火である宝永火砕丘、剣丸尾第一溶岩などの古地磁気方位は地磁気永年変化モデルJRFM2K.1と調和的な結果が得られている。一方で、青木ヶ原丸尾溶岩など複数層準は調和的ではない結果が得られた。段階交流消磁実験からは安定な磁化成分が得られているが、自然残留磁化を担う磁性鉱物の粒子サイズなど岩石磁気学的特徴から磁化成分の起源の検討を行うことにより、要因の解明が期待される。

### 【利用・研究実施内容】

平成29年7月3日から7月6日、平成30年2月5日から2月9日の期間中、海洋コア総合研究センターの磁気天秤（NMB-89）を用いて40試料の熱磁気分析、振動磁力計（MicroMag 3900 VSM）を用いて306試料の磁気ヒステリシス実験を行った。平成29年度に分析を行った研究試料は、山梨県富士山科学研究所のスピナー磁力計（ASPIN）を用いて段階交流消磁実験・段階熱消磁実験を行った古地磁気方位測定用試料の溶岩・火砕流堆積物、富士火山起源の指標テフラとされている降下スコリア、宝永噴火（西暦1707年）の火山噴出物及び捕獲岩（斑れい岩）である。

### 【得られた成果】

熱磁気分析の結果、測定したすべての試料の残留磁化は冷却時に獲得された熱残留磁化であり、キュリー温度（500-580℃）から主要な磁性鉱物はチタノマグネタイトであることが推定される。一方で、測定は同一条件（空气中、加熱・冷却レート10℃/分）で行ったが、磁化温度曲線（Js-T曲線）は可逆や不可逆なものなど様々なタイプが見られる。青木ヶ原丸尾溶岩の断面を垂直方向に約20cm間隔で採取した試料の段階熱消磁実験においても加熱時の消磁曲線に差異が認められることから、酸化還元作用や冷却速度の違いが反映していることが考えられる。

磁気ヒステリシス実験の結果、古地磁気方位測定に用いた溶岩・火砕流堆積物は、Dayプロット上で分散せず、Dunlop (2002a) によるマグネタイトのSD-MD理論混合曲線上にプロットされる。また、宝永噴火の捕獲岩（斑れい岩）は、PSD領域でも右下にプロットされ、溶岩・火砕

流堆積物よりMDの寄与が増えていることがわかった。一方で、降下スコリアは、Dayプロット上で分散している。爆発的噴火の生成物であるスコリアは噴火後の堆積過程の違いを反映して全く異なる鉄チタン酸化物の産状を示す（齋藤，2005）ことから、噴火メカニズムの解明や岩相対比に磁気ヒステリシス実験や3軸IRMの熱消磁実験など磁気特性が有用であることが示唆される。

熱磁気分析および磁気ヒステリシス実験により、富士火山の火山噴出物の磁気特性に関する基礎データが蓄積できた。一方で、青木ヶ原丸尾溶岩の分析結果は、古地磁気方位が異なるサイトにおいて明瞭な差異がなく、自然残留磁化（NRM）や帯磁率などを含めて現在検討中である。今後、定方位サンプリングによる古地磁気方位測定の研究対象を過去5600年に遡って継続し、古地磁気強度測定や3軸IRMの熱消磁実験を行うことにより、古地磁気永年変化ならびに富士山の噴火史を解明していきたい。



採択番号 17A023, 17B023

研究課題名 2011年東北地方太平洋沖地震時の液状化－流動化の地中での実態解明とそのメカニズム解明に関する研究

氏名・所属（職名） 風岡 修・千葉県環境研究センター 地質環境研究室（主席研究員）

研究期間 H30/2/3-8

共同研究分担者組織 吉田 剛, 荻津 達, 八武崎 寿史, 潮崎 翔一（千葉県環境研究センター）

### 【研究目的・期待される成果】

**意義：**地震時に液状化－流動化が発生した地点においては、オールコアボーリング試料が採取された例が少なく、その発生メカニズムが必ずしも明らかになっているわけではない。近年、コア採取技術が進展し、非常に緩い砂層でも乱さず採取できるようになってきた。

本研究は、液状化－流動化が起こりやすい人工地層を中心に、採取できたオールコアのCTスキャン画像により、初生的な堆積構造の乱れから、液状化－流動化部分を明らかにし、その発生メカニズムを探るものである。

**成果・経過：**半分に分ったコアの断面観察と、比較することにより、初生的堆積構造の消失・ぼやけ部分・流動構造（液状化－流動化部分）の三次元分布を検討することが出来るようになった。

**目的・期待される成果：**従来の液状化予測手法では、2011年東北地方太平洋沖地震の際に液状化－流動化した東京湾岸埋立地においては、被害部分と無被害部分との違いを区別することができなかった。このため、新たな液状化－流動化の予測方法を検討する必要がある。本研究は、その第一歩となるものである。また、メカニズム解明ができれば、よりよい対策方法の検討ができるようになる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

Lowe (1975) は、砂層において初生的堆積構造が液状化によって変形しはじめ、これに引き続く流動化によりその構造が壊れ再配列していく過程を議論した。

本研究室では、利根川沿いの三日月湖をサンドポンプ工法で埋立てた場所で1987年千葉県東方沖地震時に発生した直径2mもの噴砂孔を伴う巨大な噴砂の発生箇所においてトレンチ調査を行い、トレンチ断面のはぎ取り試料より液状化－流動化部分・非液状化－流動化部分を特定し、地震時の液状化－流動化の過程を復元することができた（風岡ほか、1994；風岡、2004）。

その後、噴砂地点において極緩い砂層でもオールコアボーリングを採取できるようになり、そのコア断面のはぎ取りなどにより液状化－流動化部分を特定できるようになってきた（風岡ほか、2004）。

2011年東北地方太平洋沖地震では、平ほか（2011）により液状化－流動化被害のあった浦安市内の埋立地においてオールコアボーリング試料が採取され、CT画像により初生的堆積構造の変形・消失より、液状化－流動化部分が特定された。

今回は、2011年東北地方太平洋沖地震時に液状化－流動化により多量の噴砂がみられた九十九里平野の匝瑳市吉崎浜において、オールコアボーリングを行い、CT画像

やコアのはぎ取り断面を観察した。

**調査地点の層序：**調査地点の位置は、北緯35度40分22秒、東経140度37分5秒、標高2.5mである。調査地点の層序は、下位より、上総層群、沖積層、人工地層から構成され、沖積層基底の不整合は、深度62m、人工地層基底の人自不整合は深度2.1～2.9mである。沖積層中には、一部に液状化－流動化に伴うと思われるラミナが消失した部分が深度5.4mないし7.2m付近に認められた。また、人工地層中では表層の0.7～0.8mより深部においてはほとんどの層準で液状化－流動化により葉理が消失したり不明瞭となったりしている。

人工地層は深度2.9～0.00mに分布し、この場所で砂鉄を取った残渣をサンドポンプにて埋め戻して作られており、重鉱物の黒い葉理を伴い泥質分がほとんどない細粒砂～中粒砂から構成される。また、表層部の0.7～0.8mは現生の植物によって攪乱されているものの葉理は確認できる。液状化－流動化部分はほぼ全層準に渡ってみられ、一部に液状化していない直径10cmを超える砂層のブロックも伴っている。CT画像からは塊状となった部分はほとんどみられず、多くは何らかの葉理が確認されるが、流動により変形が著しい。

**液状化－流動化層準：**液状化－流動化部分は、コアの剥ぎ取り面やCT画像をもとに、ラミナの状態により識別できた。調査地点における液状化－流動化が発生した層準は、人工地層中の深度0.7m以深で人工地層の基底の深度2.9mまでのほぼ全層準といえる。一方、今回の地点では液状化－流動化部分でも変形が強いものの葉理がみられるのは、重鉱物による葉理のためと思われる。一般の葉理とは異なり重鉱物は比重が大きいため、流動しにくいことが考えられる。孔は確認できない。この現場ではこの砂泥互層の下位にはこの現場の汚染源からの地下水汚染は今のところ確認されておらず、このようなやや厚い泥層の止水性の効果が考えられる。



採択番号 17A024, 17B024

研究課題名 難透水層中における流動移動に関する研究

氏名・所属(職名) 風岡 修・千葉県環境研究センター 地質環境研究室(主席研究員)

研究期間 H30/2/9-11

共同研究分担者組織 吉田 剛, 荻津 達, 八武崎 寿史, 潮崎 翔一(千葉県環境研究センター)

### 【研究目的・期待される成果】

**意義:** 関東地方の下総台地には、関東ローム層の下位に常総粘土層が広く分布するもの、下総台地の関東ローム層上に立地する工場が原因の地下水汚染が多数見つかっている。汚染機構解明調査の際には、これら難透水層中にもほとんどの場合汚染物質が見つかる。この部分の浄化には、肉眼ではわからないこの難透水層中の流体の通り道がいかなるものかを解明する必要がある。また、地下水の涵養の機構としても、難透水層中をどのように地下水が下位の透水層へ流動しているのかを解明する必要がある。

**成果・経過:** 淡水成の泥層中に直径0.5mm程度の根の跡と思われる孔の他に、直径2~5mmの大きな孔が鉛直方向及び水平方向にみつき、これらが主要な浸透水の主要なパスの可能性が考えられる。

**目的・期待される成果:** 泥層を中心とした泥層は、一般には水が通りにくいので難透水層と呼ばれている。そのような難透水層中の流体の通り道を明らかにし、どのような浄化方法が考えられるのかを検討する。

\*使用するコアは、汚染されておらず、環境に影響がないものを使用する。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

房総半島の下総台地には、下総層群上を関東ローム層が厚く覆っている。関東ローム層の直下には常総層があり淡水性の泥層(難透水層)の常総粘土層が挟まれ、この下位に透水層である砂層が広がる。関東ローム層は透水性が良く、降雨が良く浸み込む(香川ほか, 1997)。この下位の淡水性の泥層は難透水性であるので、この上位に宙水が形成される。宙水はゆっくりとこの泥層を通過し、下位の砂層へ地下水が浸透していく(山浜ほか, 2002)。菊池(1981)は、この泥層中に管状斑紋を見出し、これがヨシ・スゲなどの水生植物の根の痕跡とみており、これらが宙水の通り道の可能性がある。地質汚染現場では、関東ローム層から浸透した汚染物質が、常総粘土層よりも下位の透水層に浸透している例が多く報告され(楡井ほか, 1994; 佐藤ほか, 1983など)、この泥層の不連続部分より下位へ汚染が浸透していったと復元されているものが多い。一方、近年下総台地における地質汚染現場において、金属工場の洗浄工程で使用されていた粘性の低いトリクロロエチレンなどの有機塩素系化合物が、難透水層を浸透し下位の透水層で見られる場合と見られない場合があることが明らかとなってきた。

そこで、今回は下総台地北部の地質汚染現場近傍において採取された下総層群中のコア試料について、高知大学海洋コア総合研究センターにてCT画像を撮影することにより、これら泥層中にみられる孔の有無や大きさなどを検討した。

**調査地点の地層構成:** 観察を行ったコアは我孫子市の下総台地上で採取されたオールコアボーリング試料であ

る。コア試料のなかでも特に難透水層部分の以下の深度について観察を行った。

深度4~9m: 常総層の泥層で、淡水生の泥層で構成される。

深度9~14m: 下総層群の木下層最上部にあたり、生痕がみられ汽水生と思われる泥層で構成される。

深度26~27m及び28~29m: 下総層群の清川層にあたる淡水~汽水成の砂泥互層で構成される。

深度45~46m: 下総層群の上泉層に相当する火山灰層を挟む淡水~汽水成の泥層で構成される。

**泥層中の孔のタイプ区分:** これまでの観察から、孔の直径や延長方向に注目して以下の4タイプに分類した。

タイプA: 直径1.5-3mm程度でほぼ鉛直方向に延びる。まれに、直径5mmあるもの、孔の壁に酸化鉄が覆っているものがみられる。

タイプB: 直径1.5-3mm程度で水平ないし斜めに延びる。

タイプC: 直径約1mmでほぼ鉛直方向に延びる。

タイプD: 直径約0.5mmで斜めに延びる。

**結果:** コアの観察において孔の大きさやその延びの方向を調べた結果、深度4~9mの泥層については、タイプA・Bが多くみられ、これに付随してタイプC・Dがみられた。

深度9~14mの泥層についてはごく一部にタイプBが見られるとともに、タイプC・Dがわずかに全層準に渡ってみられる。有機塩素系化合物はタイプC・Dの細かい孔を通じて下位の透水層へ浸透していったものと思われる。

深度26~27m及び28~29mの砂泥互層については、厚さ数cmの砂泥互層部分の泥層に関してはタイプA・BやタイプC・Dの孔がみられるが、厚さ10cmを超える厚い泥層中には、孔は確認できない。この現場ではこの砂泥互層の下位にはこの現場の汚染源からの地下水汚染は今のところ確認されておらず、このようなやや厚い泥層の止水性の効果が考えられる。

深度45~46mの泥層については、その最上部と基底部にはタイプA・BやタイプC・Dの孔がみられるが、中部では孔は確認できない。この現場ではこの砂泥互層の下位にはこの現場の汚染源からの地下水汚染は今のところ確認されておらず、このようなやや厚い泥層の止水性の効果が考えられる。

**まとめ:** 難透水層である泥層には、雨水などの真水が透過するもの、真水は透過しにくいトリクロロエチレンのような水よりも粘性の低い有機塩素系化合物は透過するもの、真水も有機塩素系化合物も透過しにくいものがあり、真水はタイプAやタイプBの孔を透り、有機塩素系化合物はタイプCやタイプDのような細かい孔でも透る。しかし、CT画像で孔が確認できない泥層については有機塩素系化合物でも透過しにくいことが今回の事例では言えそうである。今後の地質汚染機構解明調査において難透水層部分のCT画像解析は必要な手段となるであろう。

採択番号 17A025, 17B025

研究課題名 アフリカのザンビア共和国カブウェでの鉛汚染の分布や移動経路と汚染の歴史の解明—鉛同位体比も用いて—  
氏名・所属(職名) 豊田 和弘・北海道大学大学院 地球環境科学研究院(准教授)  
研究期間 H29/12/18-22, H30/3/19-23  
共同研究分担者組織 石川 剛志(海洋研究開発機構), 他 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

本申請者は、STREPSプログラム「地球規模の環境課題の解決に資する研究」(H27~H31・JST):「ザンビアにおける鉛汚染のメカニズムの解明と健康・経済リスク評価手法および予防・修復技術の開発」(研究代表者:石塚真由美)の地球化学分野における研究分担者として、長年の大規模な採鉱と精錬のために都市全体が鉛汚染されていることで有名なザンビア共和国中央部のカブウェ市において、鉱山跡地から2kmから10kmほど離れた地域への主に風成塵による運搬移動の量と時間変化、地下水調査、および別の研究グループにより住民の血液中の鉛濃度測定や疫学的な調査が行われている地域での風成塵や土壌での鉛汚染調査を行っている。2016年7月にカブウェの鉱山跡地東側の住宅街にて風成塵土壌試料採取を行い、2017年5月には鉱山跡地から全方向に2kmから10kmの離れた地域のコア試料を採取した。

本申請の目的は、北大内の申請者の研究室のクリーンルームにて当地で採取した試料から化学分離をした鉛溶液を持参して、貴センターのMC-ICP-MS NEPTUNEにて高精度な鉛同位体比測定を行うことで、住民への健康被害を見積もる上で必要となる、鉛汚染物質の運搬移動の量と移動経路についての情報を得ることである。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

2017年12月に貴センターを共同利用した際に測定させていただいたのは、2017年5月に採取した、当該地域での土壌1mコア試料の最深部位(深度約95cm)の土壌試料から分別抽出法により、鉛鉱山汚染による寄与がないと思われる成分を抽出して、北大内の申請者の研究室のクリーンルームにて分離した溶液試料中の鉛同位体比(鉛207/206比と鉛208/206比)である。鉱山跡地から西側で約5km以内の住宅街と、鉱山跡地より10kmほど離れた北から南まで東側のそれぞれ10地点において採取された土壌1m長コア試料の鉛含有量の垂直分布から、大部分のコアでは数十cm以深では鉛鉱山による汚染が微小で、特に間隙水、陽イオン交換成分、炭酸塩成分、鉄マンガン酸化物成分を取り除いた後のケイ酸塩相から強酸で抽出した鉛成分は、それぞれの地域の鉱害汚染以前の土壌の鉛同位体比と断言できる。カブウェの鉛鉱石の鉛同位体比は鉛207/206比が0.8731、鉛208/206比が2.1342である(Kamona *et al.*, 1999)のに対して、鉱山汚染前の周囲の地質の鉛同位体比は鉛207/206比が0.79-0.90、鉛208/206比が1.97-2.36と地域によってかなりばらつきがあることが判明した。鉱山跡地東西の住宅街の地下10mほどの浅い井戸水中の懸濁物中の鉛同位体比を北大のオープンファシリティーに設置されている通常のICPQQ質量

分析計で測定したところカブウェの鉛鉱石の鉛同位体比とほぼ等しいという結果がすでに得られている。本研究で測定されたその地域の汚染前の土壌の鉛同位体比とはややかけ離れているため、深さ10mほどの地下水の透水層も表層の汚染前の同位体比のそれと同じと推定できるため、井戸水中の懸濁物はカブウェの鉱山跡地のずり由来の鉛の寄与が強いことが示唆された。

2018年3月に貴センターを共同利用した際に測定させていただいたのは、2016年7月にカブウェの鉱山跡地東側の住宅街にて採取した風成塵土壌試料と鉱山跡敷地内の尾鉱(ずり)試料である。鉱山跡敷地内にはカブウェ鉱山の鉛鉱石を精錬した残りが堆積している場所が大部分であるが、カブウェ鉱山閉山後に他の鉱山から輸送されてきた鉛を処理した白色のクリーム状の池もある。黒色と赤色のずりの鉛同位体比はカブウェ鉱石のそれ(206/204比が18.00、鉛207/204比が15.71、鉛208/204比が38.41)とほぼ同じなのに対して、その東南地区の白色のずりの同位体比は全く異なり不均一性が多かった。カブウェの鉱山跡地東端より東へ0.5kmから3.5km離れた8地点の風成塵土壌試料を、250 $\mu$ m-125 $\mu$ m付近、125 $\mu$ m-63 $\mu$ m付近、63-20 $\mu$ m付近、20 $\mu$ m-2 $\mu$ m付近、2 $\mu$ m未満(粘土)に粒径分画した上で、それぞれの粒度の試料から王水で抽出した鉛成分の同位体比を前述のように測定した。土壌試料中で、粒径0.25mmよりも細かい試料は当地の風により運ばれてきたことは、すでに申請者らの研究で判明していたので、その風成試料を詳しく分画して貴研究センターで高精度に同位体比分析してみた。5つの粒度別に分けた試料は同一地点ではほぼ似たような同位体比を示した。8地点のうち5地点は文献にあるカブウェの鉛鉱石の鉛同位体比(鉛208/204比が38.41)に近い値、ただし鉛208/204比が38.36付近と少し低い値を示した。他の3地点ではその5地点からそれぞれ別方向に同位体比がシフトした値を示した。おそらく人為的な鉛汚染や白色ずりから飛来した成分の混入によるものと推定される。

精密な考察をするためには、土壌や風成塵のさらなる試料の高精度な同位体比測定が必要なので、本研究成果を含めて地下水の懸濁物の鉛同位体比について国際学術雑誌に投稿できたら、貴センターでの継続課題で申請予定である。



採択番号 17A026, 17B026

研究課題名 日本列島における中期中新世から鮮新世にかけての風化条件変遷史の解明

氏名・所属（職名） 葉田野 希・信州大学大学院 総合工学系研究科 山岳地域環境科学専攻（博士課程3年）

研究期間 H29/8/21-24

共同研究分担者組織 吉田 孝紀（信州大学）、他 学生3名

### 【研究目的・期待される成果】

本研究の目的は、陸成の泥質堆積物の化学・鉱物組成と古土壌を指標とし、中期中新世・鮮新世の日本列島の風化条件を追跡することである。

### 【背景・期待される成果】

アジア地域における中新世から鮮新世は、東アジア・モンスーン気候の形成とそれに伴う夏季モンスーン強度の変動、海洋循環の変遷により、アジア広域にわたって気候・風化条件が変動した時代である。しかしながら、極東アジアに位置する日本列島において、この時代は、海退や造山運動に伴う地史上の空白期であり、風化・気候条件に関するデータに乏しい。そこで本研究では、日本列島の陸成層の細粒砕屑物と古土壌に着目した。

東濃地方から琵琶湖周辺には、この時代に堆積した陸成層が分布する。細粒な砕屑物は、砂礫といった粗粒砕屑物と比べて広い集水域をもつため、当時の平均的な風化条件の変動を把握する上で有効である。さらに、陸成層に発達する古土壌は、過去の地表面で化学・生物風化によって生成され、古風化条件の記録媒体として有効である。細粒砕屑物の化学組成から当時の平均的な化学風化度を検討し、古土壌構成とのクロスチェックを行うことで、当時の風化条件に関する多角的な情報を得られることが期待できる。

### 【本申請の位置づけ】

本申請は、XRF分析によって細粒砕屑物の化学組成を検出し、化学風化度の時代変遷を追跡するために必要である。細粒砕屑物を用いて化学風化度ははかる場合、堆積物中から溶脱しやすいアルカリ・アルカリ土類元素と、堆積物中から溶脱せずに相対的に濃集する $Al_2O_3$ との比を用いる。堆積物の粒度バリエーションは、化学組成を規定し、化学風化度を検出する上でのノイズとなる。そのため、石英と粘土鉱物の比を示す $SiO_2/Al_2O_3$ 比を用いて、粒度による影響を抑制する必要がある。一般に、物理的風化に対して耐性のある石英は、粗粒なフラクションに濃集しやすいとされるため、石英を示す $SiO_2$ と粘土鉱物に多く含まれる $Al_2O_3$ の比は、粒度指標として利用できる。

本申請によるXRF分析は、堆積物の主要元素の測定によって化学風化度と粒度のバリエーションを把握するために必要不可欠である。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では、中部～西南日本に分布する瀬戸層群下部の陶土層、古琵琶湖層群の上野層、伊賀層、阿山層、甲賀層から採取した泥質砕屑物を対象に、全岩化学組成を測定し、中期中新世と鮮新世の化学風化度の時代変遷を追跡した。

全岩化学組成の測定は、本申請によって平成29年8月21日～24日にかけて高知大学海洋コア総合研究センター設置のPANalytical社製MagiX PRO蛍光X線分析装置を使用して実施した。この分析によって得られた約80試料の全岩化学組成値から、化学風化指標であるCIA値（Chemical Index of Alteration; Nesbitt & Young, 1982, 1984）を算出した。また、CIA値に影響を及ぼす粒度効果を抑制するために、 $Al_2O_3/SiO_2$  0.2-0.4を満たす試料に限定して、化学風化度を比較した。なお、母岩効果を抑制するために、希土類元素のEu負異常の大きさを示す母岩グルーピングによって、類似した母岩組成を示す試料を相互に比較した。希土類元素の分析には、新潟大学理学部のAgilent Technologies社製HP7500a誘導結合プラズマ質量分析計を使用した。

結果、CIA値は、陶土層（9-12Ma）で87-98を、上野層下部部層（4-6Ma）で72-80を、上野層上部部層（3-4Ma）で75-93を、伊賀層（3-3.8Ma）で76-96を、阿山層（2.5-3Ma）で78-80を、甲賀層上部部層（2-3Ma）で71-80を示すことを明らかにした。この結果は、中部～西南日本では、中期中新世（9-12Ma）と後期鮮新世（3-4Ma）に強風化期があったこと示唆していた。

一般に、化学風化は、降雨量や気温によって規制されるため、夏季モンスーン強化による季節性多雨や黒潮強化による温暖・海洋性気候によって、これらは促進された可能性があると考え、東アジアの既存の気候・風化変動研究との比較を行った。9-12Maは、南シナ海沖合堆積物の鉱物組成が示す夏季モンスーン強化の時期（Clift *et al.*, 2008）に相当する。この時代には、中部日本の内陸盆地では、VertisolやUltisolに相当する土壌が発達しており、特にVertisolの存在は、降水の明瞭な季節性を伴う温暖性気候条件を支持する（Hatano and Yoshida, 2017; 葉田野・吉田, 2018）。従って、9-12Maには、夏季モンスーンの強化に伴う季節性気候が、日本列島陸域の化学風化を促進させていた可能性が考えられる。一方で、3-4Maは、南シナ海沖合堆積物が示す夏季モンスーンの変動とは一致しないものの、中国黄土高原において、夏季の降水が増大し始めた時期（Sun *et al.*, 2010）に相当する。さらに、この時期は、日本列島軟体動物化石群集の分布や北西太平洋海洋コアのアルケノン古水温計が示す暖流流入の時期（小澤ほか, 1995; LaRiviere *et al.*, 2012）と一致する。この時代には、中部日本の内陸盆地では、Ultisolに相当する土壌が発達していたものの、降水の季節性を証拠づける土壌は発達していない（葉田野ほか, 2017）。このことから、3-4Maの日本列島陸域の化学風化強化は、暖温水塊の流入もしくは夏季モンスーン強化によって促進されていた可能性が考えられるが、季節性強化による化学風化への影響は、9-12Maと比べて小さかった可能性が高いと考えられる。

採択番号 17A027, 17B027

研究課題名 北西太平洋地域におけるMatuyama-Brunhes境界付近の古海洋変動

氏名・所属(職名) 林 広樹・島根大学大学院 総合理工学研究科(准教授)

研究期間 H29/4/24-26, 11/20-23

共同研究分担者組織 池原 実(海洋コア), 他 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

第四紀の気候変動はミランコビッチ周期における氷期-間氷期変動によって特徴づけられ、特にMIS19は軌道要素が現在のステージと類似していることから、現在の気候変動のアナログとして重要である。申請者らは更新世中期-後期境界のGSSPの候補地として注目されている房総半島のチバセクション(市原市田渕)近傍で掘削されたコア試料TB2を用いて高時間分解能(平均間隔510年)の浮遊性有孔虫群集解析を実施し、浮遊性有孔虫暖流種の急激な増加で示される温暖化がMIS20-MIS19境界よりも約15ka遅れることを示した(紫谷ほか2016, JpGU講演)。日本周辺海域は亜熱帯前線および亜寒帯前線が近接する収束帯に位置することから、申請者らは北上する黒潮前線がこの層準で当該地域を通過したのではないかと考えた。しかし、房総半島では外弧隆起部に相当する嶺岡山地がこの時期にも隆起していたことが知られており、局地的な要因が房総堆積盆における水塊分布に影響を与えた可能性も否定できない。

本研究では、MIS19における浮遊性有孔虫群集変動の時空分布を明らかにするために、TB2よりも親潮側(ODP Site 1150)と黒潮側(IODP Site C0001)で高時間分解能の浮遊性有孔虫群集解析を実施する。チバセクションではGSSP認定を目標としてmulti-proxyの古環境学的研究が進行中であり(Suganuma *et al.*, 2018など)、世界で最も詳細にMIS19近傍の古気候変動が明らかにされているセクションとして注目されている。本研究は水塊変動の観点からそれに貢献するものである。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究で扱うコアのうち、Site C0001については、既に浮遊性有孔虫 *G. inflata* を用いた酸素同位体層序が確立している(Matsuzaki *et al.*, 2015)。本申請ではさらにMISのサブステージレベルでの年代決定を目指し、追加試料に基づき同種の同位体分析を行った。Site 1150については古地磁気微化石複合層序による年代決定がされているもの(Motoyama *et al.*, 2004)、酸素同位体層序は確立されていないため、本研究で底生有孔虫(*Uvigerina proboscidae*, *Uvigerina akitaensis*)の酸素・炭素安定同位体分析を実施してMISステージ対比を行った。

Site C0001の同位体分析データを、同様に *G. inflata* の同位体比によりステージ対比されている千葉県養老川セクション(Pickering *et al.*, 1999)や犬吠層群(Kameo *et al.*, 2006)の同位体変動曲線と詳細に対比した。その結果、本研究による層位区間をMIS20~MIS18に対比した。Site 1150の同位体データについては、種間の同位体比偏差を補正したのち、標準的な底生有孔虫の同位体比スタック

カーブ(LR05; Lisiecki and Raymo, 2005)と対比した。その結果、本研究で用いた区間はMIS20~MIS15に対比された。なお、約746~696kaの区間に時間間隙が推定され、この位置にハイエイタスが存在するものと考えられる。このサイトについては先行研究でも古地磁気および微化石による年代モデルに不確実性が指摘されていたが(Motoyama *et al.*, 2004)、本研究によってその矛盾を解決することができた。

浮遊性有孔虫の群集解析の結果、Site C0001からは47試料中46試料で15属49種が認められた。群集は黒潮の要素である *Globigerinoides ruber* や *Globigerinita glutinata*, *Globoconella inflata* などに加えて、*Neogloboquadrina incompta* や *Neogloboquadrina pachyderma dextral* のような混合水塊の要素が卓越していた。また、Site 1150のコアでは56試料中46試料で13属38種の浮遊性有孔虫が認められ、親潮域を特徴づける *N. pachyderma sinistral* の多産に加え、上記で示した混合水塊に卓越する種の多産を確認した。得られた群集について各地点で因子分析を行い、TB2コア(紫谷ほか, 2016)や犬吠層群(五十嵐ほか, 2002)の結果と比較することにより、地点間で共通するMIS20~MIS18の年代区間について8つの海洋環境ステージに区分した。これらの海洋環境ステージは、大局的に氷期-間氷期の変動と対応しているものの、MIS境界からの有意な遅延や、さらに短周期(サブステージレベル)の変動も検出された。なお、TB2コアで認められていた約761kaの温暖化については、Site C0001や犬吠層群でも追認され、この層準で黒潮前線の北上があったものと推定された。このことから、房総半島チバセクションで認められた浮遊性有孔虫群集の変化は、テクトニックな要因による局地的なものではなく、海洋循環系の変動に関連した準グローバルな変動を反映したものである可能性が高い。



採択番号 17A028, 17B028

研究課題名 花崗岩から分離した鉱物単結晶を用いた古地磁気強度研究

氏名・所属（職名） 加藤 千恵・東京工業大学大学院 理工学研究科 地球惑星科学専攻（博士課程3年）

研究期間 H29/4/21-5/15, 6/23-7/10, 8/21-23, 10/10-13, 11/6-20, 12/6, 12/11-14

共同研究分担者組織 井田 茂（東京工業大学）、佐藤 雅彦（産業技術総合研究所）、山本 裕二（海洋コア）

### 【研究目的・期待される成果】

100万年スケールの地球磁場変動は地球深部ダイナミクスや表層環境の変動と深い関わりがあると考えられている。しかし、そのような長周期の地球磁気強度の変動は、逆転頻度の変化などの古地磁気方位に関する情報と比較してよくわかっていない。長周期の古地磁気強度変化をとらえるには、冷却時間が長く短周期の変動を平均して記録している花崗岩類を試料として用いることが有効である。しかし、花崗岩を用いた古地磁気強度研究は試料の変質・風化や粗粒なマグネタイトの影響から困難である場合が多い。そこで近年、これらの影響を受けにくいケイ酸塩鉱物単結晶を用いた古地磁気強度研究が行われている。本研究では、全岩での古地磁気強度測定がすでになされている花崗岩試料から分離した鉱物単結晶で古地磁気強度測定を行い、その信頼性を評価することを目的とする。前年度までに、入遠野花崗岩（福島県阿武隈山地, 100Ma）から分離したジルコン、石英、斜長石に対し種々の磁気測定を行い、斜長石が最も古地磁気強度測定に適していることがわかった。今年度は斜長石単結晶を用いて古地磁気強度測定を行い、全岩の値と比較する。また、斜長石単結晶は大きな磁気異方性をもつことがあるので、残留磁化異方性の測定を行い、古地磁気強度測定に対する影響を評価する。さらに、母岩の年代・鉱物組成の異なる花崗岩試料（神奈川県丹沢山地, 4-5Maなど）を用いて同様の測定を行う予定である。本研究により花崗岩から分離した鉱物単結晶の古地磁気強度測定法が確立されれば、様々な年代の試料で同様の測定を行うことにより長周期の地球磁場変動の理解が進むことが期待される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

全岩の古地磁気強度がすでに報告されている入遠野花崗岩（福島県阿武隈山地, 100Ma; Tsunakawa *et al.*, 2009）から分離した斜長石17粒に対し、綱川-ショー法（Tsunakawa and Shaw, 1994; Yamamoto and Tsunakawa, 2005など）による古地磁気強度測定を行った。17粒のうち9粒が検定に合格し、得られた古地磁気強度は $57.4 \pm 11.8 \mu\text{T}$ であった。この結果は全岩での測定結果 $58.4 \pm 7.3 \mu\text{T}$ と比較して平均値は整合的だが個々の試料のばらつきが大きいといえる。このばらつきの原因としては、斜長石の磁化を担う離溶マグネタイトのもつ大きな磁気異方性が考えられる。そこで、斜長石13粒に対し非履歴性残留磁化を用いた磁気異方性測定を行い、古地磁気強度測定結果に与える影響を検討した。その結果、本研究の試料及び実験条件では、9粒の結果を平均することによって異方性によるバイアスはキャンセルされると考えられるこ

とが分かった。また、斜長石から得られた古地磁気強度の比較的大きなばらつき（ $\pm 20\%$ ）は異方性の影響で説明可能である。従って、斜長石から得られた古地磁気強度の平均は全岩の値と整合的であると確かめることができた。今後この手法を用い、様々な時代の花崗岩試料で古地磁気強度測定を行うことで、地球磁場の長期スケールの変動を明らかにすることが可能となると期待される。

単結晶古地磁気強度測定に適した試料を選定するための指針を得るために、西南日本を中心とする20地域で採集された花崗岩から長石を分離し、岩石磁気測定を行った。まず磁場勾配磁力計（AGM）を用いた磁気ヒステリシス測定を行い、長石中に磁性鉱物が包有されているか否か、包有されている場合はその粒径の推定を行った。その後、磁性鉱物を有意に含む試料に対し磁気特性測定装置（MPMS）を用いた低温磁気測定を行い、磁性鉱物の種類の推定を行った。得られた結果を全岩の帯磁率と比較したところ、次のような傾向がみられた。全岩の帯磁率の大きい（ $> 10 \times 10^{-3} \text{ SI}$ ）試料では、長石の磁化が強い傾向があり、含まれる磁性鉱物は多磁区サイズのマグネタイトであった。帯磁率の小さい（ $< 1.0 \times 10^{-3} \text{ SI}$ ）試料では、長石が有意な磁化を持たない場合が多かった。また、磁性鉱物としてピロタイトを主に含むものがあつた。中程度の帯磁率の試料では、単磁区-擬単磁区サイズのマグネタイトを含むものがあつた。以上のことから、古地磁気測定に適した細粒なマグネタイトのインクルージョンをもつ長石を含む花崗岩を選定するには、中程度の帯磁率を示す花崗岩の中から探すのが良いと考えられる。

採択番号 17A029, 17B029

研究課題名 太平洋赤色粘土の古地磁気・岩石磁気研究

氏名・所属（職名） 山崎 俊嗣・東京大学 大気海洋研究所（教授）

研究期間 H29/4/21-24, 6/28-29, 12/21-28, H30/1/12-15

共同研究分担者組織 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

本研究では、古地磁気及び環境磁気学手法により、南鳥島周辺海域の赤色粘土の堆積様式を理解し、高レアアース層形成と底層流等の古海洋変動との関係を明らかにすることなどを目的とする。始新世～漸新世と推定される高レアアース含有層より下位には、後期白亜紀と推定される暗赤色と褐色の縞状を呈するユニットが存在し、等温残留磁化保磁力解析、透過電子顕微鏡観察等により、そのユニットの一部では他の赤色粘土とは生物源マグネタイトの形態が異なっていて、これは堆積当時は現在ほど酸化的環境ではなかったことを示唆する。堆積当時、生物生産量が高い赤道域に位置した可能性があり、もし堆積速度がやや大きければ古地磁気層序を復元できる可能性がある。H29年度はH28年度に新たに採取されたコアの測定に加え、特にこの縞状ユニットの古地磁気・岩石磁気測定を行い、古地磁気層序による年代や古緯度の推定、及び堆積環境の復元を試みる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

南鳥島周辺海域で採取された赤色粘土コアの古地磁気測定を進め、MR15-E01, MR15-02航海で採取された計4本のコアについて、自然残留磁化測定、交流消磁実験、非履歴性残留磁化（ARM）獲得実験を行った。過年度の測定結果とあわせて、南鳥島周辺赤色粘土の基本堆積層序と古地磁気の関係が次第に明らかとなってきた。高レアアース含有層付近は、古地磁気層序を復元できない場合が多く、極端に堆積速度が遅くかつ堆積間隙が多いためと推定される。一方、2層準ある高レアアース含有層より下位の、白亜紀～古第三紀と思われる層準では古地磁気層序が保存されている場合が多いが、現時点では古地磁気層序によるコア間の対比には至っていない。これは、各コアにおいてこの部分が必ずしも同時代ではないためと、年代決定に有効な微化石を含まず、古地磁気極性タイムスケールとの対比が容易ではないためである。未測定のコアがまだ残っており、さらにデータを蓄積した上で、古地磁気層序の構築を目指す。また、これらのコアについて、東大大気海洋研で測定した飽和等温残留磁化（SIRM）を用いて、ARM/SIRM比を算出した。この比は陸源・生物源磁性鉱物の割合のプロキシであり、上位の高レアアース含有層付近で急激に生物源マグネタイトの割合が増加するという、昨年度までに明らかになっていた現象が、今年度測定したコアでも確認された。さらに、中部太平洋において旧地質調査所で採取された赤色粘土についてもARM/SIRM比の急増が確認され、南鳥島周辺だけではなくグローバルな現象であることが確認された。

赤色粘土を含む赤道太平洋のいくつかの海底堆積物試

料について、交番力磁力計（AGM）によるfirst-order reversal curve（FORC）測定を行った。FORC図からは、いわゆるcentral ridgeの存在から生物源マグネタイトの寄与を評価できる。測定結果は上述のARM/SIRM比による陸源・生物源マグネタイトの割合の変動のサポートに用いるとともに、堆積残留磁化獲得プロセス、特に堆積残留磁化固着深度と生物源マグネタイトの関係に関するモデルの構築に用いられた。

さらに、オントンジャワ海台で採取されたMR1402-PC3コアの自然残留磁化測定、交流消磁実験、ARM獲得実験を行った。このコアは過去約100万年間をカバーする。ARMで規格化された相対古地磁気強度変動を求めた。オントンジャワ海台堆積物では、堆積物中のある深度以下では初期続成作用による強磁性鉱物の溶解が起きていることが知られており、その深度は有機物フラックスや堆積速度に規制されて場所により異なる。オントンジャワ海台の他のコアの測定済みデータ（MR1402-PC4等）と比較することにより、初期続成作用による磁性鉱物溶解が相対古地磁気強度推定に与える影響を評価することができると考えられる。

採択番号 17A030, 17B030

研究課題名 南海トラフ周辺活断層の古地震学的調査

氏名・所属（職名） 鈴木 康弘・名古屋大学 減災連携研究センター（教授）

研究期間 H29/4/20, 9/8, 11/30-12/1, 12/7-8

共同研究分担者組織 杉戸 信彦（法政大学）、岩井 雅夫（海洋コア）

### 【研究目的・期待される成果】

南海トラフ周辺海域には多数の海底活断層が発達している。これらは南海トラフ地震との関連が指摘され、その位置形状や活動履歴に関する知見は、南海トラフにおける歴史地震の発生源や将来の巨大地震の断層モデルの検討、あるいは津波シミュレーションのパラメータ設定において重要な意義を有する。

申請者らはこれまで、約3秒グリッドの海底地形データを用いて、南海トラフ周辺海域の活断層分布を、変動地形学的手法を用いて検討してきた。本研究は、従来に比べて格段に詳細な約1秒グリッド海底地形データを新たに取得して、海底活断層の位置形状を詳しく明らかにしたうえで、その浅部地下構造や地下地質試料の特徴から、活動履歴を解明することを目的としている。

本研究の特徴は、変動地形学的手法に基づいて断層変位地形を仔細に認定し、かつ古地震学的手法によって、その詳しい形態とこれをつくる地下構造、および形成時期の解明を目指す点である。最近1～数回の大地震の発生時期が推定されると期待され、南海トラフにおける地震発生予測に寄与するものと考えられる。

平成28年度にはフィージビリティ調査として、安乗口海底谷付近の海域を対象として一連の調査を実施した。得られたコアには、海底谷を侵食するイベントと関連すると推定される乱泥流堆積物が認められ、海底活断層の活動履歴を推定できる可能性が指摘された。こうした結果を踏まえて平成29年度は、安乗口海底谷付近において追加でコアを取得し、検討を行った。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

変動地形学・古地震学的手法を適用して、南海トラフ周辺海底活断層の位置形状や活動履歴に関する知見を得るべく、そのフィージビリティ調査として平成28年度、安乗口海底谷付近を対象に、(1)約1秒グリッドの海底地形データを取得し、(2)サブボトムプロファイラーを用いて浅部地下構造を推定したほか、(3)ピストンコーラーを用いて地下地質試料（コア）を4本取得し分析を行った。これらの成果を踏まえ、平成29年度は安乗口海底谷付近においてコアをさらに4本取得し、分析を実施して、平成28年度取得データとあわせて検討を行った。平成29年度に得られたコア（CORE 201701～04）の長さは、CORE 201701から順に、約0.85m・約0.6m・約2.4m・約2.8mである。使用したサンプラーは4m長であったが、平成28年度と同様、海底下すぐの深度に推定される固結度の相対的に高い層準の影響で、これより短いコアの取得にとどまったと考えられる。

CORE 201701～201704の分析は、平成28年度のコア

（CORE 01～04）と同様にして進められた。まず、X線CTスキャナ（Aquilion PRIME Focus Edition）を用いたCT画像の取得、およびマルチセンサーコアロガー（MSCL-S）を用いた帯磁率とガンマ線の計測が実施された。これらの非破壊計測の後、半裁機（MC-904）を用いてコアを半裁し、Working halfとArchive halfを決定した。両者には2cmごとにピンをうち、その後コア連続画像撮影装置を用いてコアイメージを取得した。さらにWorking halfを用いて、層相・層序の記載、写真撮影、サンプリングを実施した。サンプリングにおいては、放射性炭素年代測定向けの炭質物が6点、貝殻片等が計8点得られている。コアの冷蔵保管に際しては、コアをラップで包んだのちビニール袋に入れ、真空パックとした。

CORE 01～04およびCORE 201701～201704の分析結果を整理すると、(1)CORE 03の深度0.81mに不整合面が認められ、これより下位の地層がやや固結度の高い泥層によって構成される、(2)それ以外は固結度の低い泥層・砂層・砂礫層によって構成され、小規模な乱泥流によると推定される砂泥互層も多数認められる。以上のことから、海底谷中に発達する比高約10mの断層変位地形は、この不整合面が形成された以降に形成された可能性が指摘される。そのため、CORE 03から得た試料について、放射性炭素年代測定実施を念頭に置いて、有孔虫の拾い出しと群集分析等の作業を行った。

このように、コアの取得および分析は、断層変位地形をつくる地質および地質構造の解明に不可欠であり、また最近1～数回の大地震の発生時期の推定に直結する重要な作業となっている。



採択番号 17A031, 17B031

研究課題名 過去2000年間の日本における3次元地磁気永年変化曲線の構築と考古遺物の年代決定への応用

氏名・所属(職名) 北原 優・九州大学大学院 地球社会統合科学府(博士課程3年)

研究期間 H29/4/27-5/15, 7/18-8/18, H30/3/21-23

共同研究分担者組織 大野 正夫(九州大学), 畠山 唯達(岡山理科大学), 山本 裕二(海洋コア)

### 【研究目的・期待される成果】

1960~90年代にかけて大阪府教育委員会主導で発掘調査が実施され、大阪大学工学部の川井研究室ほかによって古窯群から焼土試料が採取された。これらの試料が記録した考古地磁気方位については、岡山理科大・大阪大谷大・熊本大で分析が進められている。本研究ではさらに古地磁気強度実験を行うことによって、紀元後5~9世紀周辺の西日本における3次元地磁気永年変化曲線を構築することを目的としている。

焼土試料は、大阪府堺市・泉北丘陵地域一帯に分布する日本最大の須恵器窯跡群である陶邑窯跡群より採取されたものである。これらの被熱遺構は1000度以上の高温に曝されたことによって非常に保存性の良い熱残留磁化を記録していることが知られている。これらの考古試料に対して最新の実験手法を適用することにより、遺跡操業当時の地球磁場の変化をより詳細に復元できることが予想されるほか、操業年代が未知の考古遺跡に対する年代推定のためのツールとしての応用も期待される。

上記の実現のため、本申請では紀元後5~9世紀の年代区間に属する陶邑試料に対し、綱川-ショー法による古地磁気強度実験を実施し、遺跡操業当時の考古地磁気強度変動を復元した。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

上記の研究目標を達成するため、申請者らは2017年の4月27日-5月15日, 7月18日-8月18日および3月21-23日の計52日間にわたり、コアセンターの古地磁気・岩石磁気実験室を利用して各種実験を実施した。以下に本研究において実施した実験の詳細と、その成果について記す。

### 陶邑窯跡群の焼土試料に対する綱川-ショー法実験および岩石磁気実験

日本における考古地磁気強度データセットの再構築と、考古地磁気強度永年変化標準曲線の作成を目的とした基礎研究として、大阪府堺市・和泉市の泉北丘陵地域に位置する「陶邑窯跡群」の合計24基の窯跡から採取された焼土試料を用いて、「綱川-ショー法」実験による古墳時代から平安時代にかけての地球磁場強度の復元を行った。実験はYamamoto *et al.* (2003) の論文に書かれた手順を参照し、交流消磁装置付き全自動スピナー磁力計(夏原技研製 DSPIN)および熱消磁装置(夏原技研製 TDS-1)、特製の低温消磁装置を用いて実施した。

結果として、合計83個の試片からYamamoto *et al.* (2003) にて提示された合格基準を満たすデータが得られた。続いて、これらのデータをサイトレベルで ①合格試片数 $\geq 3$ , ②変動係数 $\leq 20\%$ という基準を用いて選別し、最終的

に10の土器型式編年段階に属する一定信頼度を有する平均強度値が得られた。これらの平均強度値を全球的統計データベースGEOMAGIA50 (Donadini *et al.*, 2009; Korte *et al.*, 2009) から抽出した日本の先行研究データ(Nagata *et al.*, 1963; Sasajima and Maenaka, 1966; Sakai and Hirooka, 1986)と比較したところ、本研究データは先行研究データよりも低めの値を示すことが分かったほか、AD. 450年付近からAD. 600年付近にかけて強度が約15  $\mu\text{T}$ 減少し、AD. 600年付近からAD. 750年付近にかけて元の強度まで回復するといった新たな地磁気の挙動を見出すことができた。この新たに見いだされた強度変動は、減少のピークの位置は異なるものの中国において報告された最新手法(IZZI-テリエ法)を用いて得られたデータ(Cai *et al.*, 2014)と調和的な挙動を示すことが分かった。しかしながら、この変動のパターンはフランスにおいて報告された最新手法(Triaxe-テリエ法)によるデータにおいては観察されないため、AD. 450年からAD. 750年周辺の期間における地球磁場は非双極子磁場の寄与が大きかったことが示唆される。なお、これらの考古地磁気強度変動の傾向は、Hong *et al.* (2013)によって提示されたIZZI-テリエ法を適用して得られた韓国のデータセットと非常によく一致することが確認できた。この結果に基づき、本研究の日本における強度データと韓国のデータを結合させて補完曲線を引き、東アジアにおけるAD. 200年~AD. 1100年の年代区間を網羅する考古地磁気強度標準曲線を構築した。



採択番号 17A033, 17B033

研究課題名 考古学資料を用いた古地磁気強度・方位測定による完新世地球磁場の復元

氏名・所属（職名） 畠山 唯達・岡山理科大学 情報処理センター（准教授）

研究期間 H29/7/10-14, H30/2/12-15, 3/21-23

共同研究分担者組織 なし

### 【研究目的・期待される成果】

地球磁場は地球の核内における電磁流体的現象（ダイナモ作用）によって発生する。その変化は非常に複雑で、長期間に渡る地磁気の変動を追うためには古地磁気学的手法を使って岩石等に記録された磁化を復元する必要がある。これまで申請者らは、多くの先人によってなされてきた過去2000年間の考古学地磁気学（考古資料を用いた古地磁気学的研究）データから日本における地磁気永年変化の復元に関する研究をしてきた。しかし、古いデータの大部分は消磁等が不完全で古地磁気データの信頼性や年代値に問題があることがわかってきた。また、これまでの我々の研究より、一見よく焼けているような焼土であっても古地磁気的に安定とは限らないことが判ってきた。そのため、より信頼のおけるデータを増やすことを目的とし、本研究を申請する。

本研究の対象試料は須恵器などの土器を焼いた窯跡やカマド跡、火事跡と言った焼土である。これまでの共同利用研究では、古窯床面壁面試料から安定な古地磁気方位のほか、テリエ法、綱川ショー法で古地磁気強度を求めてきた。さらに、床面と壁面の方位の差から埋没時に起きた壁面のゆがみ量の推定などを行ってきた。平成29年度は、引き続きさまざまな遺跡から採取した試料の古地磁気・岩石磁気測定を行っていくほか、土器の焼成時における土器・床面表面および内部の酸化還元状態を推察するために岩石磁気測定を行う予定である。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成29年度の海洋コア総合研究センター全国共同利用に関連して以下のような研究を行った。

#### 1. 佐山東山窯跡床面の岩石磁気測定

岡山県備前市にある佐山東山窯跡は8世紀中盤に操業した須恵器登窯の窯跡である。この窯は同時期としては日本最大級の大きさ（全長約16m）を誇り、これまでに古地磁気方位測定が行われて良好な結果を出している（すでに報告書を出版済み）。

この窯跡は2017年夏まで申請者が所属する大学の考古学グループによって発掘調査が継続的に行われており、床面の多様な部分から試料を比較的自由に採取することができた。本研究では、操業時の床面の温度・酸化還元状態の推定をするために、6つの部位の床面断面から岩石磁気用試料を採取し、各種岩石磁気測定を進めている。高知大学では熱磁気天秤を用いた熱磁気分析と振動磁力計を用いた常温磁気応答を測定しており、本年度までに約8割の測定が終了した。また本年度より高温磁化率計を用いた磁化率温度依存性の測定もはじめた。これまでの

結果から、焚口部内部と焼成部では熱や空気の回り方がかなり違うこと、断面方向に磁気的にかなり複雑な変化をされており、一定以深で見られる熱で分解されていない土壤中磁性鉱物の残存状況から、被熱して温度上昇した深さが推定できることなどがわかった。残りの測定を行ったのちにデータをまとめ論文として公表する予定である。

#### 2. 佐山東山窯跡出土土器片の岩石磁気測定

上述の佐山東山窯跡から発掘された土器片数種について、岩石磁気測定（熱磁気分析および磁気履歴測定）を行った。土器片は窯床同様、もしくはそれ以上に不均質が大きく、非常にローカルな被熱・酸化還元状態の影響を受けている。専らその傾向は表面と断面の色に現れるが、今回磁気測定を行うことにより、色と磁性に大きな関係があることがあらためて確認できた。この試料は共同研究者により蛍光X線分析による組成が測定されており、今後はそれと合わせて焼成における磁性鉱物の晶出や変質に関して考察していく予定である。また、1.の結果とも併せて、土器が窯のどこで焼かれたかを追求できるのではないかと期待もある。

#### 3. 古地磁気・岩石磁気測定用プロットプログラム（オンライン版）の作成

古地磁気、岩石磁気測定で得られた結果を簡単にプロットするプログラムを作成している。プログラムは自分のPCで動作するように作成したが、さらに、オンライン（ウェブでのサービス）用にフロントエンドを作成し、実際にオンラインサービスを開始した。その結果、異なるプラットフォーム（OS）を利用する共同研究者間でのプロットの共有や、コアセンター滞在中などのプロットツール環境に乏しいときにも気軽に結果をプロットできるようになった。本研究の成果については、2017年度末に投稿し、2018年7月に受理された。

採択番号 17A034, 17B034

研究課題名 日本海溝におけるプレート境界断層発達過程の堆積学的研究

氏名・所属(職名) 山口 飛鳥・東京大学 大気海洋研究所(准教授)

研究期間 H29/4/24-28, 7/24-28

共同研究分担者組織 芦 寿一郎, 清家 弘治(東京大学), 池原 研, 宇佐見 和子(産業技術総合研究所)

金松 敏也, 福地 里菜(海洋研究開発機構), 亀田 純(北海道大学)

橋本 善孝, 新井 和乃, 村山 雅史(海洋コア), 他 学生2名

### 【研究目的・期待される成果】

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の滑りを引き起こした断層面は、膨潤性粘土鉱物のスメクタイトを多く含む中新世の遠洋性粘土層内に発達することが、地震から1年後に日本海溝陸側で行われたIODP第343次航海(JFAST)のコア解析結果から判明した。日本海溝に沈み込む堆積物中の遠洋性粘土の分布の解明は、東北地方太平洋沖地震のような巨大地震の破壊伝播機構を知るうえで重要であるが、遠洋性粘土層の分布には不明な点が多く、沈み込む海洋プレートの曲がりによって生じたホルスト・グラベン(地塁・地溝)構造のうちホルスト部には、遠洋性堆積物が極めて薄いか欠損しているように見える箇所が複数存在することが反射法地震探査により示された。このことをふまえて、申請者は平成27年度、学術研究船新青丸KS-15-3航海にて、ホルスト部の中で遠洋性堆積物の層厚が厚い箇所と薄い箇所、ならびにグラベン部において、ピストンコアラーによる採泥を行った。新青丸KS-15-3航海で得られたコアの解析を通じて、日本海溝外側のホルスト・グラベンにおける遠洋性粘土層の分布を明らかにするとともに、その分布をなす原因を探ることが本研究の目的である。本研究は、日本海溝で震災後に得られた最新の知見と新たなサンプルに基づき、堆積学的見地から沈み込み帯の断層発達過程に迫るといった特色を持ち、日本海溝のような遠洋性堆積物に富む古い海洋プレートが沈み込む海溝域での地震破壊伝播過程に新たな知見を提供することが期待される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成29年4月のセンター利用時には、KS-15-3航海で得られたコアのうちPC01-PC07の岩相の再観察、およびスミアスライド作成を行った。平成29年7月の利用時には、火山灰および粘土鉱物分析用の試料採取を行った。スミアスライド観察の結果、グラベン部のPC01は珪藻質軟泥が卓越するのに対し、ホルスト上に堆積したPC03, PC04には火山灰が多く含まれ、ホルストとグラベンで珪藻の堆積量が異なっていることが判明した。並行して平成27年度に取得したCT画像の解析を行い、グラベン部で複数のイベント堆積物が認められることが判明した。XRDによる粘土鉱物分析、LA-ICP-MSによる火山ガラスの微量元素組成分析と火山灰対比を現在行っている。

平成27, 28年度に行った火山灰分析の結果から算出した平均堆積速度からは、少なくともコア採取地点の海溝海側斜面やホルスト上では、JFASTで断層面をなしている遠洋性粘土層は存在しないばかりか、海洋プレート上の

堆積物が過去50万年以内に何らかの理由でリセットされ、その後に堆積が再び開始したことが推定された。海溝海側斜面およびホルスト上において堆積リセットが行われた理由としては、採泥点がプチスポットの模式地(Hirano *et al.*, 2006, *Science*)に近いこと、マグマの貫入により古い堆積物が熱変成を受けるか溶岩流に覆われた可能性を想定している。KS-15-3航海でコアを採取した39°25'N付近で遠洋性粘土層が存在しないことは、2011年東北地方太平洋沖地震において浅部のすべりがこの付近で停止したと調和的である。三陸沖日本海溝では、プレート境界浅部におけるすべり伝播は沈み込む物質の摩擦によって規定されており、プチスポットの火山活動による堆積物のリセットが大きく影響していると考えられる。

本研究の結果から、日本海溝に沈み込む太平洋プレート上において、音響基盤上の堆積層厚が薄い箇所では、プチスポットの火成活動により太平洋プレート上の堆積物が広範囲で改変されており、埋没したプチスポット火山はこれまで考えられてきたより広く分布しているのではないかと仮説を持つに至った。プチスポットがこれまでの想定より広範囲に分布していることが実証されると、以下の2点においてインパクトがある。①沈み込み帯に持ち込まれる堆積物の層厚が変化し、プレート間固着に影響する可能性がある。また、日本海溝の海溝軸付近で大きなすべりをもたらしたと考えられる、スメクタイトに富む低摩擦な遠洋性粘土層(Kameda *et al.*, 2015, *Geology*)の分布を制限し、海溝軸への破壊伝播に影響する可能性がある。②プチスポットはマントルからのCO<sub>2</sub>脱ガスの流路であり、全球炭素循環に影響する可能性がある。また、Enriched mantle 1 (EM1) typeの組成を持つ物質が沈み込み帯に運ばれることにより、島弧マグマ組成に影響を与える可能性がある。

採択番号 17A035, 17B035

研究課題名 古原生代の環境復元：カナダ・フリンフロン帯及びケープスミス帯

氏名・所属（職名） 元村 健人・九州大学大学院 理学府 地球惑星科学専攻（修士1年）

研究期間 H29/11/14-17

共同研究分担者組織 清川 昌一（九州大学）、池原 実（海洋コア）

### 【研究目的・期待される成果】

中生代の海洋は、酸素に乏しく、硫化水素を豊富に含むユーキシニック（貧酸素かつ富硫化水素環境）な海洋と貧酸素で鉄（Ⅱ）イオンに富む海洋に分かれていたといわれている。このような海洋の形成は古原生代に始まったと考えられている。本研究は、約19億年前に形成された二つの地質帯（フリンフロン帯、ケープスミス帯）より掘削された黒色頁岩が特徴的なコアを試料として用いて、当時の海洋環境を推定することを目的とする。また、当時の海洋に生息していた生物やその働きについて考察する。

フリンフロン帯にて掘削されたコア（TS07-01）、ケープスミス帯にて掘削されたコア（718.3333）の二本のコアに含まれる黒色頁岩について有機炭素同位体比分析を行うことにより、原生代の特徴的な海洋で活動していた一次生産者推定が可能となる。また、バイオマーカー等の研究を行うと、生息していたであろう生物が特定できることが期待できる。また、有機炭素含有量を同時に計測することにより酸化還元状態の推定も可能となる。

さらに19億年前の堆積物からは真核生物の体化石が発見されている。走査型電子顕微鏡による観察によって、本研究で扱うコアについても同様に当時生息していた真核生物の体化石が発見されることが期待される。これにより炭素同位体比のデータだけからでは難しい生物の特定ということが可能になるだろう。

### 【利用・研究実施内容】

平成29年11月14日～17日にかけてコアセンターを訪問し、カナダ、フリンフロン帯より得られたコアTS07-01及びケープスミス帯より得られたコア718.3333について全炭素同位体比、有機炭素同位体比測定を実施した。試料は全て黒色頁岩であり、マルチピースショッカー（九大設置）にて粉碎したものを全炭素同位体比測定用試料、6N塩酸と3日間60℃のオープン中で反応させたものを有機炭素同位体比試料とした。測定にはコアセンター有機化学実験室設置のEA-IR-MSを利用させていただいた。両サンプル共に2度の測定を行い、2度目の測定の際には炭素含有量から最適封入量を予測し、データの信頼性を高めた。

### 【得られた成果】

フリンフロン帯のコアTS07-01の有機炭素同位体比は-36.0から-26.4%の広い値を示した。これらの結果はシアノバクテリアや紅色硫黄細菌、メタン生成菌などのバクテリアが固定する有機炭素の同位体比と対比できる（Schidlowski, 1988）。このことは当時の海洋に上記の3種

のバクテリアが存在した可能性が高いことを示している。また、全炭素同位体比は有機炭素同位体比に一致し、本試料中に無機炭素が含まれないことを示唆する。これは、本コアに含まれる堆積岩の堆積場が、CCD以深であった為であると考えられる。また、硫黄含有量と有機炭素含有量比は非常に低い値を取り、硫酸イオンに枯渇した海洋環境であった可能性を示した。

ケープスミス帯より得られたコア718.3333の有機炭素同位体比は-32.5から-28.1%の値を示した。また、それらは連続的に変化しており、コア下部で-28.1%の最大値を取る。その後、約10mの間に最小値を取るまで急激に同位体比は軽くなり、-32.2%程度となる。それより上位の黒色頁岩では-32.5から-30%の間で緩やかに変動する。以上の同位体比は現世のシアノバクテリアや紅色硫黄細菌、メタン生成菌等が固定する有機炭素の同位体比と一致し、それら3種の生物の活動を示唆する。また、同位体比変動はコアの岩層から推測された海洋環境変化と関連している可能性が高い。コア上部には特徴的な硫化物のラミナが形成されている。これはコア上部に向かって海洋中に $H_2S$ が増加したことを示唆している。それに伴い、シアノバクテリアが支配的であった海洋から硫化水素を用いて呼吸する紅色硫黄細菌が支配的な海洋へと変化したことで、上記のような有機炭素同位体比の変動が見られるようになったと考えられる。



採択番号 17A036, 17B036

研究課題名 海底熱水性重晶石及び硬石膏の放射非平衡年代測定

氏名・所属(職名) 豊田 新・岡山理科大学 理学部(教授)

研究期間 H29/9/22-30, H30/1/5-9

共同研究分担者組織 石橋 純一郎(九州大学), 他 学生2名

### 【研究目的・期待される成果】

海底熱水の年代測定を行うことは、それに伴う海底熱水鉱床の成因を解明するために、また、化学合成生態系の進化を議論する上で重要である。海底熱水活動に伴って生成する塊状硫化物にはしばしば重晶石及び硬石膏が含まれ、これを用いた放射非平衡年代測定は、硫化鉱物のウラン非平衡年代測定と並んで、海底熱水活動の有力な年代測定法である。一方、申請者は、重晶石についてESR(電子スピン共鳴)年代測定によっても実用的に可能であることを示した。これまで、沖縄海底熱水域の硫化物鉱石に含まれる重晶石、及び硬石膏の放射非平衡年代を本共同研究によって求め、ESR年代と比較し、鉱物の産状を含めて検討してきた。重晶石については、多くの試料について2回の生成イベントによる鉱物が混合することで年代の差異を説明できることがわかった。硬石膏については、世界に先駆けて非平衡年代を求めることに成功し、また、その年代は半年後に再測定をすると、その分だけ年代が増加していることが確認できた。

本研究では、この方向性での測定をさらに進め、沖縄熱水域の地球化学的な進化を議論できるだけの蓄積データ数を確保できるよう年代測定を進めることを目的とする。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

今回の研究では、沖縄トラフ熱水域のANA、ふたごやま、ごんどう、鳩間海丘で採取された海底熱水活動で生成した硫化物からなる鉱石試料を使用した。水洗後乾燥したバルクの鉱石試料を砕いてシャーレに20gずつ入れ、岡山理科大学の低バックグラウンド純Ge半導体検出器によって、 $\gamma$ 線分光測定を行った。 $^{228}\text{Ra}$ の娘核種である $^{228}\text{Ac}$ (338keV, 911keV, 969keV)と、 $^{228}\text{Th}$ の娘核種である $^{212}\text{Bi}$ (727keV)、 $^{208}\text{Tl}$ (583.1keV, 2614keV)を定量し、非平衡となっている $^{228}\text{Ra}$ と $^{228}\text{Th}$ の放射能比から $^{228}\text{Ra}$ - $^{228}\text{Th}$ 年代を求めた。この測定の後、試料を塩酸、硝酸などによって化学的に処理し、重晶石を単離した。重晶石0.3gとNaCl 2.7gをプラスチック製サンプルびんに入れ混合し、高知大学海洋コア総合研究センターの低エネルギー $\gamma$ 線分光用低バックグラウンドGe半導体検出器を用いて $\gamma$ 線分光測定を行った。 $^{210}\text{Pb}$ (46.25keV)と、 $^{226}\text{Ra}$ の娘核種である $^{214}\text{Pb}$ (295keV, 352keV)、 $^{214}\text{Bi}$ (610keV, 1120keV)を定量した。非平衡となっている $^{210}\text{Pb}$ (46.25keV)と $^{226}\text{Ra}$ の放射能比から $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$ 年代を求めた。

現在も周辺で熱水活動の見られる試料については、 $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$ 年代と $^{228}\text{Ra}$ - $^{228}\text{Th}$ 年代が一致する傾向が見られた。一方、 $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$ 法で30年より古い年代が算出された試料からは $^{228}\text{Ra}$ を検出できなかったため、 $^{228}\text{Ra}$ - $^{228}\text{Th}$ 法で年代を算出

することができなかった。これは、試料が十分に古く、半減期が5.75年である $^{228}\text{Ra}$ が消滅したためと考えられ、 $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$ 年代が古いことと整合的である。

周辺で熱水活動が見られない試料では $^{228}\text{Ra}$ - $^{228}\text{Th}$ 法で得られた年代よりも $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$ 法で得られた年代の方が古く算出されていた。これは、試料の鉱石が複数回の熱水活動イベントによって生成しており、 $^{228}\text{Ra}$ - $^{228}\text{Th}$ 法では親核種である $^{228}\text{Ra}$ が減衰するため、年代の計算において若い年代の重晶石の寄与が大きく平均して年代が求められてしまっている可能性が考えられる。

今回測定した試料では、ANAサイト、ふたごやまサイトの熱水域で採取された鉱石試料よりも、ごんどうサイト、鳩間海丘で採取された鉱石試料の方が年代が古いという傾向があることがわかった。また、一か所の熱水域から採取された複数の試料は一定の年代を示すわけではなく、古い年代から新しい年代のさまざまな年代が得られた。これは、ある海底熱水活動域において熱水活動は単発のものではなく継続的に起きていたことを示唆している。

今後は、ESR年代を含めて、複数回の熱水イベントによる鉱石の生成を定量的に整合性をもって説明できるモデルの構築、沖縄海底熱水域全体についての活動史の解明や地域性、地球化学的特徴との対応、また同様の海底熱水活動が見られる伊豆小笠原地域との比較などを行っていく必要がある。



採択番号 17A037, 17B037

研究課題名 湖沼・内湾堆積物の残留磁化測定による完新世古地磁気永年変化の復元

氏名・所属(職名) 林田 明・同志社大学理工学部 大学院理工学研究科(教授)

研究期間 H29/9/17-20, H30/3/2-4

共同研究分担者組織 加 三千宣(愛媛大学), 他 学生2名

### 【研究目的・期待される成果】

本研究の目的は、湖沼・内湾堆積物を対象に古地磁気方位およびその他の磁気特性の変動を明らかにし、東アジアにおける古地磁気永年変化の詳細を解明することにある。これまでCALS10K.1b (Korte *et al.*, 2011) など古地磁気永年変化のモデリングが試みられてきたが、古地磁気データの地理的分布はヨーロッパや北米に偏っており、南半球や太平洋、東アジアにおいて堆積物から信頼性の高い古地磁気永年変化の記録を得る必要がある。別府湾の堆積物からは先行研究(Ohno *et al.*, 1991)によって信頼性の高い古地磁気記録が得られているが、近年、別府湾南西部で採取されたコアについて高精度の対比と編年の研究(Kuwae *et al.*, 2013)が進展したことから、2015年に採取されたピストンコア試料(BP15-1, BP15-2)を対象とする古地磁気および環境磁気学の研究を立案した。

平成29年度の共同利用では、U-チャンネル試料の自然残留磁化の測定を完了し、非履歴残留磁化や磁気履歴曲線などの磁気特性を検討することによって、磁性鉱物の起源と古地磁気方位の信頼性を確認する。さらに、考古地磁気や火山岩の残留磁化方位との比較を行うことによって、西南日本における完新世古地磁気永年変化の復元を試みる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

今回の研究対象は別府湾南西部の最深部(水深約72m)から採取された複数のコアであり、高知大学海洋コア総合研究センターの共同利用においては2015年に採取されたBP15-1(全長21.2m)の上部9mおよびBP15-2(全長20.5m)の上部18mから分取したUチャンネル試料を測定対象とした。2017年度には超伝導磁力計(2G Enterprises, Model 760R)を用いた自然残留磁化のパススルー測定と段階交流消磁を完了させ、さらに非履歴残留磁化の付加と交流消磁実験を行った。また、2008年に採取されたBP09-4およびBP09-5のUチャンネル試料についても同志社大学において同様の測定を行った。

Uチャンネル試料のパススルー測定には、キューブやミニコアのような個別試料を用いる場合に比べて迅速に連続的なデータが得られるという利点がある一方、磁力計のセンサーのレスポンス・カーブが5cm以上の幅を持ち、さらにZ軸(Uチャンネルの深度方向)とXおよびY軸(水平成分)のピックアップ・コイルの形状が異なることから、通常の均一な磁化を仮定した計算結果の解釈には注意が必要である。このような課題に対し、パススルー・データのデコンボリューションによって実際の磁化ベクトルを導出する手法が検討され、それに有効なソフトウェア

がXuan and Oda (2015)によって提案された。コアセンターのUチャンネル用磁力計についてはデコンボリューションに必要なレスポンス・カーブが計測されていることから、本研究の測定結果についてもXuan and Oda (2015)の手法によるデコンボリューションを行った。

デコンボリューションの結果、特に岩相が大きく変わる層準付近では、均一な磁化を仮定した計算によって、実際の磁化を反映しない伏角の変動が生じることが確認された。また、泥質堆積物に火山灰層や砂質イベント堆積物が挟まれる場合など、急激な磁化強度の変化を伴う試料については最適化が難しいことも示唆された。

これらの試料からは段階交流消磁によって安定な磁化成分が確認され、その方位の変動は複数のコア間で調和的なものであった。ただし、一部のセクション境界および泥質堆積物に挟在するイベント層では磁化方位に大きな偏りが見られ、試料採取時に堆積物が擾乱を受けた可能性が示唆された。今回の測定で得られた結果のうち、特にEvent 18のイベント層(約2,600年前)より浅い堆積物に認められた偏角と伏角の変動は別府湾北東部の結果と調和的であり、この地域の古地磁気永年変化の記録と見なすことができる。この記録は、琵琶湖の湖底堆積物から報告された完新世の古地磁気永年変化曲線(Ali *et al.*, 1999)とも調和的であり、西南日本の考古地磁気方位のデータとも共通する特徴を示す。このように、別府湾堆積物の残留磁化は日本列島の古地磁気永年変化の高精度復元のために重要な資料となることが明らかになった。

採択番号 17A038, 17B038

研究課題名 房総半島に分布する鮮新-更新統を用いた精密古地磁気記録の復元

氏名・所属(職名) 岡田 誠・茨城大学 理学部 地球環境科学領域 (教授)

研究期間 H29/7/12-18

共同研究分担者組織 学生3名

### 【研究目的・期待される成果】

本研究では、房総半島およびその周辺域に分布する鮮新-更新統の詳細な古地磁気記録を得ることで、磁場反転層準および地磁気エクスカージョンを検出し、さらにそれらの特徴的な古地磁気変動と酸素同位体カーブとの対比を行うことで、それらのタイミングを精密に復元することを目的とする。

本研究では、通常の深海底堆積物と比べ、格段に速い堆積速度を持つ地層を用いることで、地磁気極性反転およびエクスカージョンの年代をより確かに求めることができるかと期待される。昨年度までの共同利用では、GSSP候補地となっている千葉セクションのM-B境界付近における磁化記録から古地磁気強度の復元を試み、熱消磁と交流消磁を組み合わせた手法を用いることで、地磁気反転境界付近における相対古地磁気強度を部分的に復元した(Okada *et al.*, 2017)。さらに昨年度までに得られた千葉セクションにおける古地磁気記録では確認できなかった逆転後における古地磁気強度の復活を、上位層準から得た試料の測定を行うことでカバーした(Simon *et al.*, submitted)。一方、房総半島南端に分布する更新統におけるM-B境界においても磁化記録の復元を試み、地磁気強度が復活する層準まで古地磁気記録の復元をすることができた(JpGU2017, 2018で報告)。今後グローバル対比が可能な長期間の相対古地磁気強度記録を複数のセクションにおいて復元することで、地磁気逆転境界を含む期間における、より信頼できる地磁気変動記録の復元を目指す。

### 【研究実施内容】

房総半島上総層群国本層、勝浦層、浪花層、安房層群安野層、天津層、および千倉層群布良層、畑層から採取された泥岩試料を用い、低温磁気分析・熱磁気分析・AGFMによるヒステリシス磁気分析・FORC測定を実施した。

### 【得られた成果】

上記測定を元に以下の成果が得られた。

- 1) 小西修士論文：千倉層群畑層において地磁気極性反転境界を中心に詳細な古地磁気変動復元を行うとともに、同時期の堆積物だと考えられている房総半島中央部に分布する上総層群下部においても同様に古地磁気変動復元を行い、古地磁気層位的に両層群間の対比を行った。その結果、千倉・上総層群でReunion, Olduvai正磁極帯を検出することができ、古地磁気層位的に両層群を対比することができた。さらに千倉層群では、下位からReunion正磁極帯をカバーする層準まで酸素同位体記録を得ることができ、構築された年代モデル

から、諸説あるReunion正磁極帯上下境界の年代がそれぞれ2111.5ka, 2137.0kaと算出されている。これは、IODP Site U1308で報告された2116ka, 2137kaとほぼ一致する値となり、信頼性の高い磁場変動記録を提供するものである。

- 2) 霜多修士論文：房総半島西部から東部にかけて分布する上部中新統～下部鮮新統の天津層上部においてより信頼できる古地磁気記録を得ることで、当該地域における新第三紀回転運動の詳細な復元を行った。得られた古地磁気平均偏角に、研究地域内における西部地域、東部地域で差がみられた。このことを考慮して平均偏角の時系列変化を求めた結果、両地域とも天津層堆積期間中に構造回転は起こっておらず、清澄層堆積直後から安野層にかけて構造回転が起こったことが示された。また、天津層の各ルートの平均偏角および平均褶曲軸方位を用いてオロクライン・テストを行った結果、天津層堆積直後(約5Ma)の時期には褶曲軸は直線的で、その後、時計回り回転および褶曲軸の屈曲が起こったことを示した。
- 3) 羽田博士論文(第1章)：房総半島に分布する安房層群最上位層である安野層から、古地磁気および底生有孔虫酸素同位体記録に基づいた鮮新世複合年代層序を構築した。古地磁気分析の結果、安野層の古地磁気極性はNunivak正磁極帯(4.493Ma～4.631Ma)からクロンC2An.2n(3.116Ma～3.207Ma)に相当することが明らかになった。(Haneda and Okada, accepted to PEPS)として出版予定である。

採択番号 17A040, 17B040

研究課題名 IODP試料を用いた白亜紀-新第三紀の浮遊性有孔虫・炭素同位体比の統合層序の樹立

氏名・所属(職名) 西 弘嗣・東北大学 総合学術博物館(教授)

研究期間 H29/6/19-26, 11/27-30, H30/1/15-26

共同研究分担者組織 高嶋 礼詩(東北大学), 小松 俊文(熊本大学), 松井 浩紀(海洋コア) 他 学生2名

### 【研究目的・期待される成果】

微化石と炭素同位体比を用いた統合層序は、主に白亜系において年代対比の解像度の向上に大きな進展をもたらしてきた。しかしながら、新生界においては炭素同位体比の検討が一部のイベント層準でしか行われておらず、全時代を通じた炭素同位体比層序の作成はほとんど行われていない。本研究では、既に申請者らが所有しているIODP Expedition 342, 320/321, ODP Leg 198の各コアを用いて、白亜紀から中新世末期に至る地層の浮遊性有孔虫化石-炭素同位体比の統合層序を作成する。さらにこれらの結果を元に、イタリア(Scaglia Rossa Formation)や日本(姫浦層群, 根室層群, 坂瀬川層群, 安房層群)の陸上セクションの白亜系-中新統に至る地層において同様の炭素同位体比曲線を作成し、高解像度の層序対比を実施することを本研究の目的とする。

本研究の大きな特徴は、これまで炭素同位体比の層序対比がほとんど行われてこなかった新生代の地層にもその手法を適用することである。このことによって、日本などの陸上セクションの新生代の各地層の国際年代対比精度が飛躍的に向上することが期待される。

申請者らは既に、日本やイタリアの陸上セクションの地層、IODPの各試料は採取済みであるため、炭素同位体比の測定はすぐに開始可能である。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では、Newfoundland(ニューファンドランド)沖で掘削されたIODP Expedition 342, およびShatsky Rise(シャツキー海台)で掘削されたODP Leg 198のコア試料を用いて、白亜紀から古第三期に至る浮遊性有孔虫化石・石灰質ナノ化石・炭素同位体比の統合層序を作成することを目的とした。

IODP Expedition 342に関しては、浮遊性有孔虫化石と石灰質ナノ化石層序で化石帯を決定することができた。浮遊性有孔虫化石に関しては、*Abathomphalus mayaroensis* Zoneから*Rotalipora globotruncanoides* Zoneまで、ナノ化石に関してはUC20dからUC2までが認定された。その結果、このコアの地質時代はCenomanianからMaastrichtianまでの時代にわたることが明らかとなった。さらに、下部Maastrichtianに大きなハイエタスがあることも判明した。これらの区間の試料に関して、炭素同位体比層序を検討した結果、Cenomanian/Turonian境界, Turonian(Round down Event, Hitch Wood Event), Turonian/Coniacian boundary(Navigation Event), Santonian/Campanian boundaryに炭素同位体比の正のピークを見出すことができた。また、中期始新世の層準において酸素同位体比を測定した結果、Middle Eocene Climatic Optimum(MECO)とみられる温

暖化のイベントに相当する負のピークも見つけることができた。

一方、Leg 198のShatsky Riseのコア試料に関しては、最上部の*Plummeritia hantkeninoudes* Zoneは確認できなかったが、*Pseudoguembelina hariaensis* Zoneから*Contususotruncana plummerae* Zoneまでが確認された。ときおり、溶解を受けている試料はあるが、顕著なハイエタスはみられない。したがって、その地質時代はMaastrichtianからCampanianに至り、Maastrichtian/Campanian境界を挟んでいると推定される。酸素炭素同位体を測定し、顕著なCampanian/Maastrichtian boundary Event(CMBE), Late Campanian Event(LCE)などのイベントに相当する層準を推定することができたが、その層位的な位置を正確に捉まえるのには、さらに追加サンプルが必要である。これは、今後の共同研究でさらに明らかにしたいと考えている。



採択番号 17A041, 17B041

研究課題名 日本海の縞々堆積物 (IODP Exp. 346) が記録する堆積環境の酸化還元状態の変動史：炭素と窒素の安定同位体組成からの制約

氏名・所属 (職名) 山口 耕生・東邦大学 理学部 (准教授)

研究期間 H29/6/2-4, 6/28-7/15, 10/16-30

共同研究分担者組織 池原 実 (海洋コア), 多田 隆治, 高橋 聡 (東京大学), 他 学生3名

### 【研究目的・期待される成果】

東邦大学ではこれまでに、海洋の酸化還元状態の解明を行うため、堆積岩/堆積物中のFe・S・C・N・Pの化学形態別の存在量と安定同位体組成 (Pは除く) に関する多角的な研究を展開してきた。その一貫として、炭素と窒素の存在量および安定同位体分析に関して、継続的に貴センターの全国共同利用研究にお世話になってきた。

2015年度に、東大の高橋聡助教から日本海のIODP Exp. 346の堆積物試料の提供を受け、地球化学分析を始めた。まずは硫黄の化学形態別の存在量と安定同位体組成を測定して、卒業論文としてまとめた。2017年度は、リンと鉄の化学形態別の存在量の測定を行い、修士論文としてまとめる予定である。その際、有機炭素と窒素の存在量および安定同位体組成の測定が必須となる。

そこで本申請研究では、従来の貴センターでの全国共同利用研究での手法と経験を活かして、上記IODP日本海堆積物試料の炭素と窒素の形態別存在量と同位体組成の測定を行う。そして、Fe・S・Pの化学形態別の存在量と安定同位体組成 (Pは除く) のデータと比較および検討することによって、日本海の酸化還元状態の変遷およびそれに依存する微生物代謝の様相の解明に挑む事を、研究の目的とする。

嫌氣的堆積物中で生じる脱窒過程やメタン発酵および嫌氣的酸化 (AOM) 等が堆積物の窒素や有機炭素の安定同位体組成として記録されることを利用して、堆積環境の酸化還元状態の数値化を行う事が研究の特色である。従来、堆積物の明暗や黄鉄鉱の有無で二元論的に議論されてきた堆積環境の酸化還元状態の変遷が、連続した数値として把握することが期待される成果である。

本研究は、モンスーン気候システムの発達史の制約が可能である点で、研究を実行する意義は高いと言える。

### 【研究実施内容】

- 1) 炭素と窒素の形態別存在量 (有機炭素, 無機炭素, 全窒素)
- 2) 有機物の炭素・窒素の安定同位体組成
- 3) 炭酸塩成分の炭素と酸素の安定同位体組成の測定

### 【測定試料】

IODP Exp. 346 Asian Monsoon 航海で日本海で採取された堆積物

### 【得られた成果】

1) に関しては、全岩試料の炭素含有量 (有機炭素+無機炭素) と、全岩試料に関して東邦大学にて塩酸処理 (2N

HCl, 3 days) を施して脱炭酸処理を行った試料の炭素含有量を測定し、有機炭素および無機炭素存在量を求めた。その結果は、本研究の分担者の増田沙恵佳の2018年度の修士論文としてまとめる予定であり、予察的な結果を2017年12月のAGU Fall Meeting (New Orleans) にてポスター発表した。また、同じく本研究の分担者の押尾秀の2017年度の修士論文としても、硫黄同位体の地球化学と比較検討するために、一部データを使用した。

2) では、脱炭酸を施した試料に関して、炭素・窒素の安定同位体組成を測定した。窒素に関しては、ケロジェンの分離を行っていないので、有機態窒素+無機態窒素を合わせたものであることを付記しておく。有機態窒素の同位体組成の測定のためにはNを含む硝酸を用いないケロジェン分離 (混酸分解) が望ましいが、IODP試料ということで試料量が充分ではないので、測定が困難である。有機炭素同位体組成に関しては-25%付近で、堆積層の明暗の差に呼応する値が得られた。このことは、海洋環境、特に酸化還元状態に応じた生態系あるいは続成作用の違いを反映しているものと推察される。バルクの窒素同位体組成に関しても、バルクであるが故に現段階では解釈に限界があるが、堆積層の明暗の差に呼応する値が得られている。

3) では、Isoprimeを用いて、バルク試料の炭酸塩成分の炭素と酸素の安定同位体組成を分析した。酸素同位体組成は続成作用 (酸素の (同位体) 交換反応) を反映するために堆積環境の復元に適しているとは言えないとする向きもあるが、本試料に関しては、同じく続成作用の指標であるMn存在量と相関が無く、試料も極めて新しい時代のものであることから、その心配は少ないと言える。炭素同位体組成に関しては、一部の試料において有機炭素同位体組成との相関が見られ、堆積層の明暗の差に呼応する値が得られた。このことは、試料中の炭酸塩成分の一部は続成作用中の有機物分解に起源をもつ炭素を含む炭酸塩が形成されていることを示唆する。

本研究の日本海試料は、これまでに押尾 (2016) の卒業論文と押尾 (2018) の修士論文、増田 (2017) の卒業論文に使用し、増田 (2019) の修士論文に使う予定である。合計4本分の卒業論文と修士論文を合わせ、2つの英文論文としてまとめ、投稿する予定である。

採択番号 17A042, 17B042

研究課題名 太古代～初期原生代の陸上掘削試料が記録する堆積環境の酸化還元状態の変動史：炭素と窒素の安定同位体組成からの制約

氏名・所属（職名） 山口 耕生・東邦大学 理学部（准教授）

研究期間 H29/6/2-10

共同研究分担者組織 池原 実（海洋コア）、清川 昌一（九州大学）、他 学生2名

### 【研究目的・期待される成果】

東邦大学ではこれまでに、海洋の酸化還元状態の解明を行うため、堆積岩/堆積物中のFe・S・C・N・Pの化学形態別の存在量と安定同位体組成（Pは除く）に関する多角的な研究を展開してきた。太古代～原生代の堆積岩試料の炭素と窒素の安定同位体分析に関して、継続的に貴センターの全国共同利用研究にお世話になってきた。

2015年11～12月に、科研費基盤研究Aのサポートを受け、ガーナ南西部で陸上掘削を実施し、約22億年前の深海性の堆積岩の採取に成功した。これは、同時代における深海性の堆積岩の初の陸上掘削コアである。大気中酸素濃度が急上昇したとされている時代の深海性堆積物は、大気-海洋システムの酸化還元状態を制約する上で大きな価値を持っている。

本申請研究では、従来の貴センターでの全国共同利用研究での手法と経験を活かして、従来の太古代試料（約32億年前DXCL掘削試料）に加えて、上記のガーナの試料の炭素と窒素の形態別存在量と同位体組成の測定を行う。Fe・S・Pの化学形態別存在量と安定同位体組成（P以外）のデータと比較検討することで、堆積環境の酸化還元状態の変遷、およびそれに依存する微生物代謝の様相の解明に挑む事を、研究の目的とする。

上記のように多角的な地球化学データを用いることによって、堆積環境の酸化還元状態の数値化を行う事が、研究の特色である。従来、堆積物の明暗や黄鉄鉱の有無で二元論的に議論されてきた堆積環境の酸化還元状態の変遷が、連続した数値として把握されることが期待される成果である。本研究は、約22億年前の大気-海洋システムの酸化還元状態の制約が可能である点で、研究を実行する意義は高いと言える。

### 【研究実施内容】

- 1) 有機炭素、無機炭素の存在量、および
- 2) 有機炭素の安定同位体組成の測定

### 【測定試料】

- ・太古代堆積岩（陸上掘削コアDXCL2、オーストラリア北西部ピルバラ地域、約32億年前）
- ・原生代堆積岩（陸上掘削コアGHB、ガーナ南西部、約23億年前）

### 【得られた成果】

本研究では、約32億年前の陸上掘削の珪質堆積岩（チャート）および約23億年前の陸上掘削の黒色頁岩に関して、有機炭素と無機炭素の存在量、および有機炭素の安定同

位体分析を行った。その結果、約32億年前の試料では平均で約-30%、約23億年前の試料では平均で約-25%、となった。両者とも、明らかに堆積時に海洋に生息していた生物を起源に持つ有機物である。しかしながら、安定同位体組成が異なることから、炭素の微生物代謝の方法も異なっていたことが示唆された。前者では、海洋表層の酸素発生型光合成生物（初期生産者）に由来する有機物をエネルギー源とする炭素循環に嫌気的環境でメタンを媒介とするものが比較的多めに加わっていたこと、後者では逆で、同様なメタンを媒介とするものが比較的少なめに加わっていたこと、を示唆する。

約32億年前という時代は、主にオーストラリアのピルバラ地域、南アフリカのバーバートン地域に産する堆積岩を用いて、研究が行われてきた。しかしながら、露頭試料が中心だったために、比較的若い時代の風化変質等の情報が上書きされてしまい、堆積当時の状況を知るための試料としては限界がある。今回用いたのは、比較的若い時代の風化変質等の影響が局所だとされる陸上掘削試料である。よって、堆積当時の微生物生命活動を記録していることになる。

約23億年前という時代は、約24億年前に起きたとされている所謂GOE（Great Oxidation Event）よりも約1億年若い。海洋表層の酸素発生型光合成生物が生産した遊離酸素は、当初は周囲の還元的物質（火山ガスや溶存鉄や硫黄等）の酸化に使われ、余剰分が海洋表層に蓄積し、溶存酸素濃度が上昇し、大気へ放出されて段階的に酸化されたと同時に、海洋循環により海洋深層に溶存酸素がもたらされ、深海が徐々に酸化されたと考えられる。ガーナの試料は、まさに所謂GOE直後の深海の酸化を記録していることとなる。これまで、約23億年前の試料は主に浅海域あるいは陸域で堆積したものが研究に用いられてきたが、本研究では世界で初めて、同時代の深海の酸化を示すことが出来た。

採択番号 17A043, 17B043

研究課題名 K-Pg境界の堆積岩 (IODP Exp. 364) が記録する環境変動史

氏名・所属 (職名) 山口 耕生・東邦大学 理学部 (准教授)

研究期間 H29/6/2-10, 6/28-7/15, 10/3-6, 10/10-14, 10/16-30

共同研究分担者組織 池原 実 (海洋コア), 他 学生2名

### 【研究目的・期待される成果】

ユカタン半島北部の海底下に埋没する直径約180kmのチクシュループ・クレーターは、約66Maの白亜紀末期の小惑星衝突によって形成された。この小惑星衝突は、恐竜を含む生物の大量絶滅を引き起こしたと一般に理解されているが、アクセスの難しさ故に構造や形成過程は不明であった。特にピークリングと呼ばれる巨大衝突クレーター特有の構造に狙いを定め、2016年春にIODP Exp.364 “Chicxulub Impact Crater” (MSP) が実施された。地下約500mから約1,300mの深度から回収された約800mのコアは、618m付近から衝突起源の堆積物が、748m付近からは基盤岩 (花崗岩) が発見された。本結果と数値計算を組み合わせることでピークリングの形成過程の解明に成功し、11/18付の *Science* 誌に発表した。しかしながら、天体衝突の規模、環境変動の様子、大量絶滅のシナリオ、環境や生態系の回復過程、などは依然として謎のままである。

本申請研究では、従来の貴センターでの全国共同利用研究での手法と経験を活かして、上記試料の約500m～618m付近の区間のpost-impactセクションと約618m～748mのimpact堆積物セクションを対象に、有機炭素・無機炭素、および有機窒素の存在量と安定同位体組成の分析を行う。天体衝突直後や衝突後 (PETM等の温暖化イベントを含む) の炭素・窒素循環の復活のシナリオを解明する事を、研究の目的とする。また、別途、鉄・硫黄・リンの化学形態別存在量および鉄と硫黄の同位体組成、さらには、微量元素組成に関する研究と合わせ、堆積環境の酸化還元状態の変遷の数値化を行う事が、研究の特色である。Exp. 364のPost-Cruise Meetingに向けて、上記の各種データに基づいて複数の論文を執筆することが期待される成果である。よって本申請研究を実行する意義は高いと言える。

### 【研究実施内容】

- 1) EAによる炭素と窒素の形態別存在量 (有機炭素, 無機炭素, 全窒素)
- 2) EA-irMSによる有機物の炭素・窒素の安定同位体組成
- 3) Isoprimeによる炭酸塩成分の炭素と酸素の安定同位体組成
- 4) XRDによる鉱物組成の測定

### 【測定試料】

IODP Exp. 364 Chicxulub Impact Crater航海でユカタン半島沖で採取された堆積物

### 【得られた成果】

申請者と分担者の学生の計3人が、延べ約40日間にわたってコアセンターに滞在し、非常に多くの試料の各種分析を行うことができた。

Isoprimeによる炭酸塩成分の炭素と酸素の安定同位体組成分析では、約320試料の分析を行うことが出来た。繰り返し分析したものもあるので、実際の測定数は約340である。

有機炭素の同位体組成は約280試料に関して測定することが出来た。まだ40試料ほど未測定であり、繰り返し分析を含めて約60試料の測定は2018年度の課題とする。

バルクの窒素同位体組成は、約230試料に関して測定することができた。堆積物中の窒素は、粘土鉱物に含まれる無機態と有機物中の有機態として存在している。生物地球化学的挙動を議論する際には、有機態窒素の安定同位体組成が必要となる。試料をHF-HClで混酸分解してケロジェンを抽出して測定する必要があるが、これは2018年度以降の課題である。

有機炭素と無機炭素の存在量は、約310試料に関して測定することができた。未測定試料の分析と繰り返し分析を含めて、約30試料の測定は2018年度の課題とする。

バルクの窒素含有量は、約270試料に関して測定することができた。未測定試料の分析と繰り返し分析を含めて、約80試料の測定は2018年度の課題とする。EAにおけるピークの形状が不安定な部分があり、ピーク補正が必要となる場合が多い。クロマトグラムの再検討を含め、データの詳細な検討を2018年度に行いたい。バルクの硫黄含有量は一般に小さく、クロマトグラムのピークの形状がさらに不安定であり、ほぼ全ての試料においてピーク補正が必要となる。再測定が必要な試料が多いが、手間と時間がかかり、よりよいピーク形状を得るためには1試料あたり20mg程の試料を分析する必要がある。

XRDによる鉱物組成は、300個以上の全ての試料ではなく、岩相的に代表的な箇所を選び、約50試料の測定を行いたい。2017年度は、約10試料のみについて測定を行った。

以上のデータを用いて、本研究の分担者の小椋千尋の卒業論文「ユカタン半島沖の暁新世～始新世の炭酸塩岩の地球化学：有機・無機炭素同位体から探る海洋環境」としてまとめた。また、海外3件および国内4件の研究発表を行った。現在、海外の共同研究者らと論文を執筆中であり、9月に投稿予定である。



採択番号 17A044, 17B044

研究課題名 Carbon and oxygen stable isotope composition of benthic and planktonic foraminifera from late Quaternary, Oki and Hidaka Trough

氏名・所属（職名） SAEIDI ORTAKAND MAHSA・明治大学 研究・知財戦略機構 ガスハイドレート研究所(研究推進員)

研究期間 H29/12/11-20

共同研究分担者組織 池原 実（海洋コア）

### 【研究目的・期待される成果】

This research utilizes living and fossil foraminifera's carbon and oxygen isotope values, which are important tools to understand past global climate as well as their preferred microhabitat.

Living (stained rose Bengal) benthic foraminifera samples from three different sites (*Calyptogenia*, Mud Volcano, and Aragonite sites) at cold seep areas of Hidaka Trough and four piston cores from Oki Trough were selected for this research.

At Hidaka area the main purpose is pursued on isotopic values of different species of living benthic foraminifera for better understanding of the main factors that control the isotopic fractionations of living foraminifera carbonate shells such as bottom and pore water influence, habitat preferences and also to find out to what extent they assimilate methane-derived DIC into their calcite tests.

At Oki Trough the main purpose is to reconstruct Japan Sea oceanography through isotope profile and sediment geochemistry at one selected reference core (K06R) and then compare with three other cores which are influenced by cold seep activities in the study area.

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

In my previous research on two short piston cores at cold seep areas of Hidaka Trough I found episodic  $^{13}\text{C}$  depletion in the carbon isotope composition of fossil benthic foraminifera tests preserved in the stratigraphic records, which I interpreted as an active incorporation of methane-derived carbon. Understanding the extent to which these isotope excursions reflect basin-wide fluxes of methane carbon to bottom waters versus a local supply of methane carbon within the sediments in which benthic foraminifera live or a postmortem diagenetic imprint is necessary to the interpretation of  $\delta^{13}\text{C}$  paleoceanographic proxies. Therefore, during fiscal year 2017, I examined 122 samples of living calcitic tests of benthic foraminifera, which I collected during 2016 Umitakamaru and 2017 Dai Nana Kaiyomaru expedition cruises from three different sites (*Calyptogenia*, Mud Volcano, and Aragonite sites) at cold seep areas of Hidaka Trough using IsoPrime stable isotope ratio mass spectrometer at the Center for Advanced Marine Core Research of Kochi University. The primary results of my examination on different living benthic foraminifera species showed that each species has its own range of isotope signatures. In addition, differences in  $\delta^{13}\text{C}$  values

for living benthic foraminifera of a given species were observed within a same location or between different locations. My results also showed that in spite of extremely low pore water  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  values (-4 to -49‰) in the study area, the  $\delta^{13}\text{C}$  values of living benthic foraminifera in my research are not significantly lighter than those reported previously in non-seep sediments, and are within the range expected from local organic matter decomposition (0 to -3‰). However, carbon isotope value of fossil foraminifera found deeper in the sediments showed more negative than living  $\delta^{13}\text{C}$  values. For example, fossil specimens of *E. batialis* at *Calyptogenia* site showed  $\delta^{13}\text{C}$  value that were 5.95‰ lighter than its living  $\delta^{13}\text{C}$  value. The apparent  $\delta^{13}\text{C}$  disequilibrium between living benthic foraminifera calcite and pore water DIC might be suggests that in seep area of Hidaka Trough, living benthic foraminifera mostly calcify during periods of low methane discharge or during intermittent of seawater flow into the sediments and overprinting of the original isotopic composition of foraminifera by overgrowth or recrystallization at or below the sediment surface might cause extreme  $^{13}\text{C}$  depletion observed in fossil foraminifera. Heterogeneity of isotopic values may result either from genetic or biological differences between the populations or from differences in environmental isotopic influences such as pore water differences. Still I didn't finish all the living samples I collected for my experiment during last year and therefore, additional isotope analyses need to apply in my future experiment. Understanding the processes involved in the disequilibrium between benthic foraminifera isotopic composition and the pore water DIC where they were found will provide reliable proxies for paleoceanographic reconstructions. Moreover, other possible factors such as ontogeny, habitat preference, kinetic effect and respiration need to consider during experiment.

During last year, I also examined 52 samples of fossil planktonic foraminifera from a 70 m long sediment core (Core K06R) at Oki Trough using facilities at Kochi Core Center in order to add more detail on isotopic profile of this core and to complete reconstruction of Japan Sea paleoceanory in the study area. Most of the marine isotope stages from MIS1 to MIS 21 are identified based on both benthic and planktonic oxygen isotope curve, still a few parts of the core need more consideration for additional isotope measurements as the boundaries between some of the MIS stages are not clear enough.

採択番号 17A045, 17B045

研究課題名 中・古生代層状チャートを対象とした古地磁気・化石統合層序の確立

氏名・所属(職名) 山下 大輔・熊本大学大学院 先端科学研究部 基礎科学部門(文部科学研究員)

研究期間 H29/8/16-31, H30/1/24-30

共同研究分担者組織 尾上 哲治(熊本大学), 宇野 康司(岡山大学)

### 【研究目的・期待される成果】

近年、日本のジュラ紀付加体に含まれる三畳紀の遠洋性堆積岩からは、大規模火山活動や海洋酸性化、隕石衝突などの多種多様なイベントの痕跡が地球化学的手法を用いて非常に高精度に明らかにされてきている。それにとともに、遠洋性堆積岩の年代決定にも高い精度が求められるようになってきた。しかし、日本の遠洋性堆積岩の年代決定に用いられる放散虫化石層序は、同時代のアンモナイトおよびコノドントの化石層序や、古地磁気層序との対比が十分に行われていないために、年代決定の精度に乏しい。そのため、日本の遠洋性堆積岩は、当時のパンサラサ海の高緯度古海洋情報をもった重要な研究対象であるにもかかわらず、世界各地で盛んに行われているような地球規模での環境変動の解析ができず、現在の研究情勢から立ち遅れている状態が続いている。

そこで本研究では、地層や年代の欠損がない岐阜県美濃帯の三畳系層状チャートおよび、兵庫県丹波帯のペルム系～三畳系層状チャートを対象に、この時代の化石・古地磁気統合層序を確立することを目指す。平成26～28年度の研究では、美濃帯の層状チャートを対象に、後期三畳紀Carnianから三畳紀/ジュラ紀境界までの化石・古地磁気統合層序を確立することができた。また、試料の測定方法およびデータの解析手法についても改善を行ったことで、チャートの古地磁気測定技術を向上させることができた。これらの実績を生かし、本年度は検討範囲を三畳紀～ペルム紀まで拡げる予定である。そのため、本計画が実行されれば、ペルム紀～三畳紀までのタイムスケールの世界的スタンダードを作成することが可能になると期待できる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

調査地は兵庫県中部篠山地域に位置する畑山セクションおよび藤岡奥セクションである。畑山セクションでは層厚約2.6m、藤岡奥セクションでは層厚約16mの層状チャートが連続的に露出しており、そこから約30cm間隔でそれぞれ14層準と51層準から定方位ブロックサンプルを採取した。それを円柱状試料に整形し、84試料について、段階熱消磁および自然残留磁化の測定を行った。

段階熱消磁の結果をもとに主成分分析を行った結果、畑山セクションでは4つ、藤岡奥セクションでは3つの独立した自然残留磁化成分が確認できた。本研究では、温度段階の低いものから順にA～D成分と名付け、このうち逆転テストの結果から、畑山セクションではD成分が、藤岡奥セクションではC成分がチャート堆積時の初生磁化であると結論づけた。また、3軸IRMの消磁実験からは、両セクションのチャートにはチタノマグネタイトとヘマタ

イトが含まれ、初生磁化はヘマタイトが担っていることが明らかになった。

熊本大学の実験室において、チャートのフッ化水素酸処理を行った結果、畑山セクションからは後期石炭紀モスコビアンを示すコノドント化石である*Mesogondolella clarki* (Koike) が産出した。また、藤岡奥セクションからは、コノドント化石は産出しなかったものの、*Pseudoalbaillella simplex* (Ishiga and Imoto) や *Parafollicucullus sakumarensis* (Kozur) などの前期ペルム紀アッセリアンからクングーリアンを示す放散虫化石が見つかった。これらの結果に、先行研究の化石層序の結果を合わせると、両セクションの堆積年代は、畑山セクションが後期石炭紀モスコビアン、藤岡奥セクションが前期ペルム紀アッセリアンから中期ペルム紀キャピタニアンであることがわかった。

次に、両セクションにおいて、初生磁化方位を用いて古地磁気層序を作成し、化石層序にもとづいて国際対比を行った。その結果、畑山セクションの全体および、藤岡奥セクションの下部から中部のほとんどが逆磁極期となった。また、チャート堆積当時の古緯度をもとめると、畑山セクションでは誤差範囲が大きいですが、畑山セクションのチャートは南半球、藤岡奥セクションのチャートは北半球のそれぞれ低緯度域で堆積したことがわかった。今回見つかった逆磁極期は、カイアマ超逆磁極期に対比される可能性がある。しかしながら、藤岡奥セクションの前期ペルム紀サクマリアンにあたる層準では、短い正磁極期を含む。この正磁極期は、これまで知られていた前期ペルム紀の短い正磁極期よりも時代がやや新しい可能性があるため、今後はより多くの層準から微化石を拾い出し、正確な層序対比を行う必要がある。

採択番号 17A046, 17B046

研究課題名 海底斜面崩壊堆積物の堆積構造, 物性, 化学組成に関する研究

氏名・所属(職名) 池原 研・国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質情報研究部門(首席研究員)

研究期間 H29/8/16-18, H30/1/9-12, 2/20-23

共同研究分担者組織 金松 敏也(海洋研究開発機構), 喜岡 新, Michael Strasser(インスブルック大学)  
他 学生1名

#### 【研究目的・期待される成果】

巨大地震時には海底斜面や斜面に近接する海岸が崩壊し、局所的に大きな津波を発生させる場合がある。しかし、地震動に対する海底斜面の応答は時空間的に多様であると推定され、斜面崩壊の実態はよくわかっていない。また、地震時の海底斜面崩壊堆積物を用いて地震発生履歴を読み解こうとする研究も進められているが、給源から堆積場までの移動過程を踏まえた解析は進んでいない。本申請では、海底堆積物の堆積構造や物性、化学組成から、斜面崩壊起源の堆積層の特徴づけを行い、その堆積過程と給源に関する情報を得ることを目的とする。実際のコアに挟在する斜面崩壊堆積物は、その構造や粒度、化学組成が異なるものと推定されるが、様々な海域の様々な斜面崩壊堆積物の特徴を概括的にとらえるのが本申請の目的である。

実施する分析結果から海底斜面崩壊堆積物の特徴を概括的にとらえられれば、海底堆積物中の地震時の斜面崩壊イベントの検出に役立ち、地震発生履歴の検討を高精度化できると期待される。

#### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

駿河湾・熊野トラフから採取された海底堆積物コア(白鳳丸コア)と「みらい」により日本海溝底から採取された海底堆積物コアの分析を行った。白鳳丸コアはX線CT撮影、MSCL測定と一部試料についてのITRAX分析を、日本海溝底コアについてはITRAX分析を行った。

熊野トラフのコアでは、最新の海底扇状地上から採取されたコア中にイベント堆積物が確認でき、今後、年代測定を行うことにより、斜面崩壊を発生させた原因などについて検討する予定である。駿河湾石花海海盆のコアにも比較的厚いイベント堆積物が確認できた。2009年駿河湾地震時のイベント堆積物の可能性が示唆されるが、今後の年代測定による検証が必須である。2009年駿河湾地震のイベント堆積物は石花海海盆の他の場所でも採取されているので、今後、この地震時の堆積物移動の詳細が検討できる可能性がある。

日本海溝底コアについては、2017年のゾンネの航海で同じ場所で試料採取が行われ、ブレーメン大学において分担者の一人であるSchwestermannにより化学組成の分析がなされており、地震後のイベント堆積物の変化の有無が確認できる貴重なデータとなる可能性がある。

すべての結果はまだ解析途中であるが、斜面崩壊堆積物の特徴づけに関する貴重なデータを蓄積できており、今後逐次報告していく予定である。



採択番号 17A048, 17B048

研究課題名 地震性泥質タービダイトを用いた地震履歴推定の試み

氏名・所属(職名) 奥津 なつみ・東京大学大学院 新領域創成科学研究科 自然環境学専攻(博士課程2年)

研究期間 H29/6/28-30, 8/1-4, 9/20-22, 10/30-11/2

共同研究分担者組織 芦 寿一朗, 山口 飛鳥(東京大学), 村山 雅史(海洋コア)

### 【研究目的・期待される成果】

海域における古地震研究は、地震性タービダイトの分布と年代をもとに、世界各地の大地震が繰り返し発生している海域を中心に進められてきた。なかでも近年、顕著な砂層の堆積を伴わない泥質の地震性タービダイトが注目されつつある。しかし、泥質タービダイトの特徴についての報告は多くなく、それを用いた古地震研究も発展途中である。そこで本申請では、熊野沖および日向沖より採取された試料を中心に、その泥質地震性タービダイトの分布と年代から同海域における地震履歴を明らかにすることを試みる。試料は「白丸」KH-16-5次航海およびKH-17-2次航海において、既取得のマルチプルコア試料・ピストンコア試料である。

これまでの研究により、KH-16-5次航海で採取された海底堆積物内の泥質タービダイトはラミナが発達した層とそれを覆う無構造の泥層からなること、また、同地点で採取された別試料では、タービダイト層基底部付近でCa値とFe値のピークを有することなど、堆積構造および化学組成に特徴を有していることがわかりつつある。本研究で、それらの特徴をもとに認定を簡便・的確に行い、各海域の地震履歴を明らかにすることで、地震発生域の高精度化だけでなく、特に泥質の地震性タービダイトを用いた古地震研究が進展すると考えられる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本年度の共同利用では、KH-17-2次航海で得られたピストンコア試料、マルチプルコア試料(柱状)に対するX線CTスキャンおよびKH-15-2, KH-16-5, KH-17-2次航海において採取されたピストンコア試料(半裁状)を中心に、XRFコアスキャナーを用いた化学組成分析およびマルチセンサーコアロガーを用いた帯磁率測定を行った。

KH-17-2次航海で得られた試料のX線CTスキャンの結果、生物擾乱やフローインの影響を受けた試料も存在したが、多数のタービダイト層が確認された。マルチプルコア試料も同様であった。試料内のタービダイトはStow and Shanmugam (1980)において報告された細粒タービダイトの特徴と一致しており、下部から上部にかけて、極細粒砂から成る明瞭な基底部、平行葉理部、無構造の泥層から成る。XRFコアスキャナーITRAXを用いた化学分析は、上述の航海で採取された試料のうち、熊野沖および日向沖の試料に対して行った。熊野沖の試料の化学組成の傾向は、2016年度のCMCRにおける共同利用成果発表会にて報告済みのように(「地震性泥質タービダイトの堆積構造及び化学組成の理解」, 奥津ほか, 16B059), タービダイト層基底部でCa濃度が、そのやや上位でFe濃度のピークを持つ。日向沖の試料はその一方で、Fe濃度のや

や上位でCa濃度がピークを持ち、かつ、タービダイト直下でCa濃度がピークを持つといった層準も確認された。これらの傾向に関しては堆積構造をより詳細に観察するなどして議論を進めていく予定である。なお、Feの挙動はマルチセンサーコアロガーの帯磁率測定結果と一致することから、磁性鉱物粒子の量もしくはサイズの変化を意味すると考えられる。これらに加え、本年度はKS-14-8次航海の際に熊野沖で採取された表層コア試料内におけるタービダイトの形成過程の検証をCs-137濃度、Pb-210濃度、海底地形および古流向解析をもとに行った。その結果、海底地すべりといった大規模な堆積物の再移動ではなく、表層数cmほどの堆積物の再移動により本タービダイトが形成されたことが示唆された。同地点で採取されたピストンコア試料の浅部で確認されたタービダイトとその直下の層における、約170年の年代差からも同様の堆積過程が推定された。これらの成果は2017年度のCMCRにおける共同利用成果発表会にて報告済みである(「地震性泥質タービダイトを用いた地震履歴推定の試み」, 奥津ほか, 17A048, 17B048)。

今回の共同利用を通じて行ったX線CTスキャンによる詳細な堆積構造の観察、XRFコアスキャナーITRAXを用いた化学組成分析、マルチセンサーコアロガーを用いた帯磁率測定は、地震性タービダイト層の下限の決定において重要な役割を果たしており、本研究を進めていく上で必要不可欠であったといえる。

採択番号 17A049, 17B049

研究課題名 太平洋赤道域の深海堆積物を用いた9-19Maにおける相対古地磁気強度変動の解明

氏名・所属(職名) 熊谷 祐穂・東北大学大学院 理学研究科 地学専攻(博士課程2年)

研究期間 H29/9/25-10/7, H30/1/18-26, 1/29-2/8, 3/1-7

共同研究分担者組織 中村 教博(東北大学), 山崎 俊嗣(東京大学)

### 【研究目的・期待される成果】

1970年代より、地球軌道要素が気候変動を駆動し、それに伴う氷床の消長が地球の慣性モーメントを変化させ、核・マントル結合を通じて地磁気ダイナモに影響するという仮説が提案されている。Yamazaki (1999) は過去200万年間の堆積物試料の相対古地磁気強度変動から氷床の消長に関連する10万年の周期を発見し、地球軌道要素が地磁気ダイナモのエネルギー源となることを示唆した。

この変動周期の存否自体について未だに国際的な議論が続いており、決着のためには、10万年周期のサイクルの存在を統計的に扱う必要があるため、最低でも数百万年(数十サイクル分)以上の連続した古地磁気記録が必要である。

一方で、相対古地磁気強度の記録には、試料中に含まれる磁性鉱物の種類や粒径のほか、生物源磁鉄鉱の量比の変動が影響することが分かってきた。したがって、残留磁気の測定と同時にFORCダイアグラムを始めとする岩石磁気学的な測定を行い、残留磁気の獲得に影響する特徴を把握する必要がある。

IODP第363次航海の掘削サイトのうち、赤道太平洋の遠洋域にて掘削されたサイトU1490は、約877万年前～約1875万年前までのおよそ1000万年間の残留磁気を連続的に記録していた(Rosenthal *et al.*, 2017)。したがって、この長尺コアに記録された相対古地磁気強度変動を、気候変動に伴う磁性鉱物変動の影響を取り除いた上で復元する。さらに、長期間の相対古地磁気強度変動の周期性を解析することで、地球軌道要素とダイナモ運動との関係性を統計的に調べる。

また、今回の航海で得られた遠洋域の堆積物(サイトU1490)の岩石磁気学的測定を行い、試料中の碎屑性磁鉄鉱と生物源磁鉄鉱の量比を決定することで、気候変動に伴う磁性鉱物の変動成分を取り除く。これによって均質な相対古地磁気強度変動データを準備する。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

数百万年～1000万年間の相対的な古地磁気強度変動を復元し、地球軌道要素変動が地磁気ダイナモに影響を与えるかどうかを検証するため、次のような測定が必要となる。

- ①採取した深海底堆積物試料の自然残留磁化方位の測定
- ②自然残留磁化強度を規格化するための非履歴性残留磁化・等温残留磁化強度の測定
- ③試料に含まれる磁性鉱物の岩石磁気学的特徴をとらえるためのFORCダイアグラム作成

以上の測定には海洋コア総合研究センターの持つ超電導磁力計および磁場勾配磁力計を利用する必要がある。

平成29年9月～3月までの4回、海洋コア総合研究センター保有のパススルー型超電導磁力計を利用して、国際深海掘削計画(IODP)第363次航海で採取されたサイトU1490の深海底堆積物試料の自然残留磁化方位と強度、および非履歴性残留磁化の強度の測定を行った。測定に際し、平成29年夏にTexas A&M大学にて採取した84本の古地磁気測定用のUチャンネル試料(2×2×150cm)を用いた。

9月～2月までの3回のセンター滞在では、試料がもともと記録していた自然残留磁化の詳細な段階交流消磁測定を行った。段階交流消磁を行う理由は、堆積物の記録した磁化のうち、堆積当時の磁場を記録した初生磁化と、掘削時などに獲得された二次磁化の成分を分離するためである。また初生磁化の方位を既知の古地磁気逆転史と比較することで、堆積物試料の年代を決定することができる。今回実験室にて測定した結果はJOIDES RESOLUTION号船上での測定結果と整合し、測定した堆積物試料の年代が、現在～約180万年前と約900万年前～約1500万年前であることが確認できた(約1500万年前～約1900万年前に相当する試料については、Texas A&M大学からの採取許可が下りず未採取である)。また、船上での15mTでの交流消磁では、掘削時に獲得された二次磁化が十分に消えておらず、20mTでの交流消磁が必要であることを確認した。

3月の利用では、同じ堆積物試料に人工的に着磁した非履歴性残留磁化の強度測定を開始した。この強度の値を用いて自然残留磁化強度を規格化することで、相対的な古地磁気強度の変動を復元する。年度終了時点で、84本ある試料のうち半分の測定が終了した。

年度内に測定が終了しなかった非履歴性残留磁化と等温残留磁化強度の測定・FORCダイアグラム作成などの岩石磁気学的測定については、引き続き応募する平成30年度の計画で実施する。これらの測定が終了し次第、相対的な古地磁気強度変動の復元とその周期解析、および堆積物中の磁性鉱物の素性を明らかにするための岩石磁気学的指標の解析を行う予定である。

採択番号 17A050, 17B050

研究課題名 琵琶湖堆積物による高分解能・高信頼性古地磁気記録の復元

氏名・所属(職名) 小田 啓邦・産業技術総合研究所 地質情報研究部門(上級主任研究員)

研究期間 H30/1/9-12, 2/18-23

共同研究分担者組織 山本 裕二(海洋コア)

### 【研究目的・期待される成果】

琵琶湖堆積物の高分解能の地球磁場変動・環境変動記録を得ることを目的とした研究を行う。琵琶湖における地磁気永年変化の先行研究(Ali *et al.*, 1999; Hayashida *et al.*, 2007)よりも高分解能かつ信頼性の高いデータを取得し、地磁気永年変化曲線を用いた堆積物の年代推定のためのマスターカーブ作成を目指す。本研究では、琵琶湖の堆積物について信頼できる古地磁気記録に基づく地磁気永年変化曲線を求める。そのため、古地磁気キューブ試料による個別測定、u-channel試料とLL-channel試料によるパススルー測定とデコンボリューション(Oda and Xuan, 2014; Xuan and Oda, 2015; Oda *et al.*, 2016)、LL-channel試料のSQUID顕微鏡(Kawai *et al.*, 2016)によるサブミリメートル測定を組み合わせたにより相対古地磁気強度も含めた高信頼・高分解能地磁気永年変化データの取得を目指す。

Ali *et al.* (1999) *Geophys. J. Inter.*, 136, 218-228.

Hayashida *et al.* (2007) *Earth Planets and Space*, 59, 807-814.

Kawai, J., H. Oda, *et al.* (2016) *IEEE Trans. Applied Supercond.*, 26, 1600905.

Oda, H., and C. Xuan (2014) *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 15, 3907-3924.

Oda, H., *et al.* (2016) *Earth Planets Space*, 68, 109.

Xuan, C., and Oda, H. (2015) *Earth, Planets and Space*, 67, 183, 1-17.

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

琵琶湖高島沖で採取した堆積物ピストンコア柱状試料について古地磁気測定を行い、地磁気永年変化曲線の復元を進めている。ピストンコアは2012年に3本採取された内の1本(BWK12-2;長さ1633cm)である。堆積物は主として細粒の粘土からなり、少なくとも肉眼で確認できる火山灰層を10層程度含む。堆積物の13層準から得られた植物片について14C年代を得ており、堆積物は過去4万年程度以上に相当することがわかっている。堆積物はピストンコアで採取された後に、1m間隔で切断され、押し出した後に半割し、片方を古地磁気測定のために使用した。また、堆積物表面から連続的に古地磁気キューブ試料(7cc)を採取し、隣接する形でu-channel(断面積1.8cm×1.8cm,長さ100cm)の採取も行った。さらに、一部を除いてLL-channel(断面積1cm×1cm,長さ100cmのLアングルを4本組み合わせたもの)による試料採取も行った。

昨年度までの測定によって古地磁気キューブ試料について0-80mTまでの段階交流消磁と自然残留磁化の測定を産業技術総合研究所の超伝導岩石磁力計が完了している。

さらに、u-channel試料およびLL-channelについて高知コアセンターの超伝導岩石磁力計を用いて段階交流消磁による自然残留磁化のパススルー測定を比較しながら行っている。これまでに、20mTまで完了した。さらに本年度はBWK12-2コアから採取したu-channelについて、X線CTスキャン測定とXRFスキャナ測定を行った。特にFe, Ti, Mnについて帯磁率および残留磁化強度と比較を行ったところ、FeとMnの相関性が見られるとともに、これら2元素は残留磁化強度ともゆるい相関を示すことがわかった。X線CTスキャン測定の結果およびXRFスキャナ測定については、岩石磁気測定データと比較検討を行うとともに、X線CTスキャン測定データを用いた断面形状および試料欠落部分を想定した精密なパススルー測定のデコンボリューション手法のデモンストレーションに用いる予定である。また、低温磁性測定も行ったが、磁鉄鉱の相転移点(Verwey transition)を確認することができたため、stoichiometricな組成に近い磁鉄鉱が存在することが示唆される。

古地磁気永年変化について、特に現在から2700年程度前(水深約200cm)の伏角が特に浅い部分について検討を進めた。Ali *et al.* (1999) およびHayashida *et al.* (2007)でも同様の特徴的な浅い伏角への急激な変動を見ることができるが、これはShaar *et al.* (2010)などが中東から報告しているLevantine Geomagnetic Spikes(3000年ほど前に2回にわたって記録されている)と対応づけることができる可能性がある。このことは、当時の地球磁場の非双極子成分となるコアマントル境界の磁場変動および流れ場が特に北半球で激しかったかもしれない。このことを確認するために、該当するu-channel試料について慎重に追加分析の準備を進めているところである。



採択番号 17A051, 17B051

研究課題名 新原生代の縞状鉄鉱層形成作用：エジプトEl Dabbah地域

氏名・所属（職名） 鈴木 大志・九州大学 理学府地球惑星科学専攻（博士課程1年）

研究期間 H29/6/26-28, 11/11-14, H30/3/1-2

共同研究分担者組織 池原 実（海洋コア）、清川 昌一（九州大学）

### 【研究目的】

7億年前の鉄沈殿作用の解明。

前年度の研究目的は1) 鉄沈殿場所（層序）、2) 鉄鉱層と黒色頁岩の関係、3) 鉄鉱層の状態観察、4) 黒色頁岩の同位体変化、5) 鉄鉱層の同位体変化である。このうち、1)については前年度の研究により島弧周辺域で、層厚4000mからなる火山岩－火山砕屑岩シーケンス中に細粒な堆積岩と繰り返すことにより13回の縞状鉄鉱層が見られると結論付けた。しかし、2)～5)については未だ不明瞭である。そこで今年度は2)～5)について明らかにする。

### 【期待される成果】

新原生代の比較的深海における堆積環境・生物活動・鉄沈殿の関連性を復元する。特に鉄沈殿が生物に関連するものか、熱水活動に関連するものなのかが明らかにできる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

- ・エジプト、エルダバア地域の鉄鉱層（0.7Mg）
- a) 試料150321-08：SiとFeが主成分であり、これら両元素には緩やかな逆相関がみられる。全体を通し、Na, Mg, Al, P, Caが検出される。一部、Mg, Alに富む部分があり、火山岩起源の物質の混入が示唆される。
- b) 試料150321-22：SiとFeが主成分であり、これら両元素には明瞭な逆相関がある。全体を通し、Na, Mg, Al, P, Caが検出される。特に、SiやAlの元素分布図では葉理がみられ、緩やかな流れに伴ってシルトサイズの粒子が堆積したと思われる。露頭レベルの観察で、上下の黒色－暗緑色頁岩や緑色頁岩にもリップル葉理などがみられることも、これを支持している。
- c) 試料160320-06：SiとFeが主成分であり、これら両元素の逆相関が明瞭である。Feに富む部分には細かい葉理がみられ、他に検出される元素はない。Feに乏しい部分ではMnを除く、Si, Na, Mg, Al, P, Caを含む。また、細かな葉理がみられない粘土層にはP, Caが含まれる。
- d) 試料160321-50：SiとFeが主成分であり、これら両元素が顕著に逆相関する。Mgは比較的多く含まれ、Feと類似した分布パターンを持つ。PとCaの分布パターンは極めて類似しているが、一部では、Caに富むがPに乏しい。また、Alの濃度は他のエジプトの3試料に比べると少ない。

以上、4つの試料の分析結果をまとめる。エルダバア地域の鉄鉱層には、鉄鉱層の主要元素であるSiとFeに加え、Na, Mg, Al, P, Caが含まれる。最も多く含まれるSiとFeの両元素間には負の相関が見られ、どちらかが豊富な

部分では他方が乏しい。Siに富む領域に、Na, Mg, Al, P, Caが多く含まれる。今回の分析精度・解像度では、TiとMnはほとんど検出できない。PとCaは共通部で含有量が多く、相関関係がみられる。Siに富む領域とFeに富む領域の境界は不明瞭である。

・南アフリカ、バーバートン帯、フィグツリー層群マペペ層、コマチ川沿いの鉄鉱層（3.2Mg）

試料RD-17は、赤色のジャスパー層、光沢のある暗灰色の鉄層、茶色のシリカ層の互層からなる。SiとFeが主成分であり、これら両元素が顕著に逆相関する。他に、Na, Mg, Ca, Mnがわずかに検出される。今回の分析条件下では、AlとPは検出限界以下であった。SiとFeが豊富に含まれる領域の境界は明瞭である。NaとCaはともに、鉄層や脈に含まれる。MgとMnはそれぞれFeに富む領域で検出されるが、濃集箇所は異なる。Feは試料全体で検出されるが、特に径1mm程度の鉄鉱物は純粋な鉄酸化物からなる。

採択番号 17A052, 17B052

研究課題名 日本海における堆積物の古地磁気・岩石磁気研究

氏名・所属（職名） 杉崎 彩子・産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門（研究員）

研究期間 H29/7/13-14, 7/31-8/4, 10/24-27, H30/3/22

共同研究分担者組織 Chuang Xuan (Southampton University), 山崎 俊嗣 (東京大学), 山本 裕二 (海洋コア)

### 【研究目的・期待される成果】

日本海の第四紀堆積物は周期的に繰り返される明色層と暗色層からなり、この明暗互層は全球的な海水準変動と対比可能であり、更に世界的な気候変動が記録されている。

IODP Exp. 346にて日本海盆から採取された掘削点U1424はBrunhesクロンからThveraサブクロンまでの連続的な磁気層序が確立された唯一の地点である。この地点においては間隙水のMn酸化物がFe酸化物より深い深度まで存在しており、通常の有機物が多い堆積物と逆の結果が示された。また、間隙水中のFe酸化物と堆積物の帯磁率が同じ挙動を示すが、間隙水中のMn・Fe酸化物と堆積物のMn・Fe酸化物との同時性や関連は見られない。このことにより、堆積物の帯磁率をコントロールする主な磁性鉱物は走磁性バクテリア起源のマグネタイトではないかと仮説が立てられた。当研究ではU1424地点における走磁性バクテリア起源のマグネタイトの存在の有無の確認、また帯磁率、Fe酸化物との関連性の解明を試みる。走磁性バクテリア起源のマグネタイトが確認された場合、深度の異なる他掘削点 (U1425, U1427) の同時期面の堆積物の磁気特性との比較を行い、明暗互層に対応した環境変遷のプロキシとしての有用性を探る事を目的とする。この地点の磁気特性を明らかにすることにより、日本海のような続成作用を受けやすい環境下でなぜこの地点のみ続成作用の影響を受けていないのかの原因解明に繋がる事が期待される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

29年度は山本教授のご指導のもと、U1424Aコアの上部25mを対象として、109キューブ試料の帯磁率、帯磁率異方性、残留磁気、岩石磁気測定を行った。

帯磁率 ( $\chi$ ) と飽和等温残留磁化 (SIRM) は、間隙水中のFe酸化物と同じく6-8.5m, 14m以深に値が緩やかに減少し、堆積物中の磁性鉱物の減少を示唆した。規格化した非履歴性残留磁化の磁化率 ( $\chi_{ARM}/\chi$ ) から、上部2-5m, 11-12mに相当する間隙水中のFe酸化物、帯磁率、飽和等温残留磁化の値が高い箇所において、増減は認められるものの相対的な粒度が小さいことが明らかとなった。また両層準とも、帯磁率から観察されるような深度方向に伴う段階的な減少傾向ではなく、急激な変化であった。S比 ( $S_{-0.1T}$ ,  $S_{-0.3T}$ ) は上部25m全体を通じて低く、上述した他の結果に見られるような変動傾向は見られなかった。

走磁性バクテリアの指標とされる  $\chi_{ARM}/SIRM$  と、間隙水中のFe酸化物濃度の関連性を検証した結果、相対的な粒度が小さく  $\chi_{ARM}/SIRM$  極小値が認められる上部2-3mの層

準は最もFe酸化物濃度が高い層準であった。一方、その下部の相対的な粒度が小さく  $\chi_{ARM}/SIRM$  の極大値が認められた4-6mは、Fe酸化物濃度が緩やかな減少傾向にある層準に認められ、両者の相関関係は明瞭では無かった。しかし、測定している堆積物試料は風成塵や河川等陸起源の微粒子を含んでおり、得られた  $\chi_{ARM}/SIRM$  はそれらのバルクデータとなるので、必ずしも走磁性バクテリア起源の指標のみを観察できているとは限らない。

そこで走磁性バクテリア起源のマグネタイトの存在の有無を確認するため、間隙水中のFe酸化物濃度の高い、中間、低い3層準を対象として、first-order Reversal curve (FORC) 測定を行った。その結果、濃度の高い層準は相互作用の少ない単磁区粒子が主であり、走磁性バクテリアが含まれる可能性が多いにある。対して、中間の層準は単磁区と多磁区の両方の粒子が混在しており、低い層準においては多磁区の粒子が主要であった。これらのFe酸化物濃度の高い、中間の層準の  $\chi_{ARM}/SIRM$  は極小値に相当し、Fe酸化物濃度の低い層準の  $\chi_{ARM}/SIRM$  は中間値に相当する。今後、これらの関係性をより理解するため、FORC測定の層準を増やし分解能を上げ、Fe酸化物濃度と走磁性バクテリアの関連性の更なる検証を行う。

採択番号 17A053, 17B053

研究課題名 北太平洋およびベーリング海の第四紀テフラ層序の確立

氏名・所属(職名) 青木 かおり・立正大学 地球環境科学部(客員研究員)

研究期間 H29/8/28-9/1, H30/2/26-28

共同研究分担者組織 学生3名

### 【研究目的・期待される成果】

本研究では日本周辺海域からベーリング海までの第四紀のテフラの分布、さらに層序関係を北西太平洋の海底堆積物から解明し、環太平洋火山帯沿いの第四紀テフラ編年を確立することを目標としている。

2011年後期以降2016年度までに、海洋コア総合研究センターの共同利用研究として取り組んだテーマと同じ試料を用いる。今年度は2009年にIOD Pexp. 323ベーリング航海で採取されたU1344コア中のテフラ試料について追加分析を行う。ベーリング海中央部で採取された2ヶ所(U1343, U1344)の掘削コア中のテフラ試料については、国立科学博物館(～2011年2月まで)と海洋コア総合研究センター(2011年10月～)で63 $\mu$ m以上の粒子について分析が終わっている。本研究ではU1344コア中の19層のテフラ混じりの砂礫層中の45-63 $\mu$ mの細粒テフラ粒子について、U1343コアに対比できる可能性のあるテフラ粒子が含まれているかを検討する。特にU1343コアの優れた年代モデル(Asahi *et al.*, 2016)に対してU1344コアの年代モデルを直接つなぐ鍵層の有無を確認したうえで学会発表、投稿論文に結びつけた。

ドイツのAlfred Wegener Institute for Polar and Marine Researchが行った研究航海SO202-INOPEXで太平洋中高緯度域およびベーリング海で採取されたコア試料については、追加分析、再分析が必要な試料を10試料程度選別している。

また、鹿島沖MD01-2421コア中の有孔虫洗い出し試料の残渣を顕微鏡で観察したところ、肉眼での岩相観察では見落とされていた関東地方、西日本の火山起源と考えられる複数のテフラ層準を発見している。これまでの火山ガラスの主元素組成分析の結果から浅間火山起源、鬼界アカホヤテフラと考えられる火山ガラスが見つかっており、昨年度の学会発表で本コア中の男体山七本桜/今市テフラに対比されるテフラとともに浅間起源の火山ガラスの存在について触れた(青木・鈴木, 2016)。2017年度は有孔虫洗い出し試料の残渣試料について詳細な火山ガラスの主元素組成分析を継続する。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

IODP323次航海においてベーリング海中央部で掘削されたU1343コアでは、48層の火山性粒子を含有する砂層が確認され、U1343コアの北西259km地点で掘削されたU1344コアには34層の火山性粒子を含む砂層が確認されすべて採取した。採取された試料は、水洗、風乾後に250 $\mu$ m, 125 $\mu$ m, 63 $\mu$ mサイズで篩い、実体顕微鏡による観察および63-125 $\mu$ mサイズの試料はスライドガラスに樹脂で固定し、透過光での顕微鏡観察を行っている。その結果、全試料に火山ガラスおよび火山性鉱物が混入していることを確認したので、EPMA(電子プローブマイクロアナライザー)で火山ガラスの主元素組成分析を行い、報告してきた(青木ほか, 2011; 長妻ほか, 2011; 青木ほか, 2014)。

U1343コア中に介在する一次堆積したと推定されるテフラ層と掘削抗Hole A, C, D, E間で対比されるテフラの層準を整理すると、U1343コアには過去240万年間の間に21枚のテフラ層が介在していることが確認された。一方で、U1344コア中に介在する一次堆積したと推定されるテフラ層は8枚確認された。U1344コアの採取地点はU1343コアに比べるとベーリング海の北寄りであり、給源と考えられる火山地帯(カムチャッカ半島、アリューシャン列島、アラスカ半島など)からさらに離れていることから、63 $\mu$ mサイズよりも小さい粒子も新たに分析対象とすることにした。

U1344コアから採取された34層の砂層のうち、一次堆積したと考えられる8層のテフラ層を除いた26層の試料について、45-63 $\mu$ mサイズの粒子の火山ガラスの主元素組成を分析した。これらの試料には火山ガラスの含有量にばらつきがあり、他に円磨された鉱物や砂サイズの火山岩片、微化石等を多く含む。これらの26層の試料のうち、230.01-230.03m層準(約0.500Ma)では45-63 $\mu$ mサイズの粒子に火山ガラスを多く含む。その層準の45-63 $\mu$ mサイズの70粒子を分析したところ、Totalが90wt%以下の分析値、石英、長石等を除外した53粒子の分析値について検討した。8粒子はSiO<sub>2</sub>が65wt%より少ないことからスコリアや重鉱物の影響の大きい粒子と判断した。K<sub>2</sub>Oが2.63wt%以上の12点の分析値については火山ガラスではあるものの、散布図上でクラスターをつくらないことから、二次的な混在物と判断した。K<sub>2</sub>Oが2.63wt%以下の33粒子のうち、7粒子はSiO<sub>2</sub>が72.9wt%、23粒子はSiO<sub>2</sub>が69.1wt%でそれぞれクラスターをつくり、3粒子はどちらのクラスターにも属さなかった。SiO<sub>2</sub>が平均69.1wt%でクラスターをつくる23粒子の主元素組成は、U1343コア中のデイサイト質テフラBST-14(1.985Ma)に似る。これらの23粒子はBST-14(1.985Ma)に対比されるか、少なくともBST-14と給源が同じと考えられる。ただし、この23粒子が介在している230.01-230.03m層準の年代は、約0.500Maであることから、堆積年代については大幅に違いがある。現在のところ、U1344コアの230.01-230.03m層準に含まれる火山ガラスは、BST-14の二次堆積物と考えている。給源となりうる火山帯から遠く離れていることから、二次的に運搬される原因としては、氷床中に閉じ込められたBST-14のテフラ層が氷山として流出、あるいは氷床や季節海水がテフラ層が露出している地点からえぐって内部に取り込み、コア採取地点付近で溶解した、といったことなどを想定している。

SO202-INOPEXにおいて千島沖で採取されたコア試料については、以前の分析結果をもとにして、追加分析、再分析が必要な試料を選別し、粗粒な軽石類と細粒な火山ガラス、スコリアなど篩や磁石で選別して分けて分析した。分析値の詳細については現在詳細を検討しているところである。鹿島沖コアについては2017年度は分析する時間がとれなかったため、次年度に持ち越すことになった。



採択番号 17A054, 17B054

研究課題名 中・低緯度域における三疊紀前期の安定炭素同位体比と気候変動：古風化強度の測定

氏名・所属（職名） 吉田 孝紀・信州大学 理学部 理学科 地球学コース（教授）

研究期間 H29/9/1-3

共同研究分担者組織 学生2名

### 【研究目的】

ペルム紀末の大量絶滅直後の三疊紀初期は、高温な気候条件や大陸内部の強烈的な乾燥化、海洋環境の貧酸素化が強く進行していたとされる。しかし、申請者らはこの時期の中緯度帯における乾燥化・寒冷化イベントの存在を当時の南半球に存在したネパールヒマラヤにおいて見出した。この研究では、この気候イベントがグローバルスケールであるか否かを検証するために、低緯度域で堆積した三疊系を対象に検討を行い、炭素循環変動と気候変動の関連性を明らかにすることを目的とする。このことは、三疊紀前期の高温期の終息過程のモデル化に重要なデータを提供する。

### 【期待される成果】

石灰岩から得られた安定炭素同位体比変動を年代学的検討が進んでいる南中国地域と比較することで、低緯度域における詳細な海洋環境の復元が可能となる。また、北インドやヨーロッパの同時代の堆積物の同位体比変動と比較し、乾燥化・寒冷化イベントの地理的広がりを解明でき、気候変動のグローバル性を議論できる。特にこの三疊紀前期の寒冷化イベントは、海洋域での生物生産性の増加、海洋生物の多様化を伴っている可能性が高い。そのため、そのイベントの発生時期や終息時期の解明は、大量絶滅からの復活期における生物多様性の増加などの地球規模の生態系変化を議論する視座を提供する。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

H28年度に実施したネパール中部のムスタン地域の検討に続いて、本年度はネパール西部のカルナリ地域から得られた三疊系石灰岩を対象として、炭素・酸素安定同位体比の検討を行った。酸素安定同位体比はこれまで同様に、-16‰~-17‰を示し、非常に均質であることから続成作用での再平衡を示していたと考えられる。一方、炭素安定同位体比は-5‰~+2‰を示し、非常に多様である。特にペルム紀末から三疊紀最初期にかけては急激なnegative excursionを示し、その後、三疊紀前期の後半において+1‰のpositive excursionを示すため、これまでに得られたペルム紀から三疊紀境界を検出できたと考えられる。一方、その上位層は再び-5‰~4‰を示していたため、三疊紀最初期のDienerianまで及ぶと判断された。

一方、泥質岩の化学分析からペルム紀・三疊紀境界の上位・下位とも、アルミナに富み、ナトリウムに乏しい泥質岩が存在することがわかった。検討セクションの上限の年代が不明であるため、他地域との安定炭素同位体比excursionによる対比は困難であった。

これまで検討したオマーン北部の北部Sumeiniセクショ

ンから得られたペルム紀末から三疊紀前期の安定炭素同位体比は、+2‰から-4‰への大幅なnegative excursionを示し、これらと比較すると西ネパール・中央ネパールでも同程度の変動を示す。従って、検討の結果、オマーン山地、西ネパール・中央ネパールのそれぞれの地点で、ほぼ同様のexcursionを示すペルム紀・三疊紀境界の層準を特定できたことになる。また、オマーン、中央ネパールのそれぞれの調査地でもペルム紀・三疊紀界の直上では強い風化度を示す堆積物が見つかり、三疊紀最初期の極めて強い風化環境の存在が示唆される。三疊紀のオマーン、ネパール地域は南半球中緯度に位置し、これらの地域に共通して強い風化条件が出現していたことがわかる。これはヨーロッパ・アルプスで提唱されてきた三疊紀最初期の"HOT HOUSE"と符合するものであるが、現在のところ時空的な広がりを把握できていない。

従って、今後の検討としては、三疊紀初期の強風化環境の時間的な広がりをそれぞれの調査地において明らかにすることが必要である。候補として、北西インドのSpiti地域やミャンマーのテチスヒマラヤが考えられる。これらの地域において石灰岩の安定同位体比と泥質岩の化学風化度検討によって、三疊紀初期に南半球中緯度帯に発達した気候条件を具体的に復元できると思われる。

採択番号 17A055, 17B055

研究課題名 IODP Exp. 354ベンガルファン堆積物における重鉱物分布と粒度特性

氏名・所属(職名) 吉田 孝紀・信州大学 理学部 理学科 地球学コース(教授)

研究期間 H29/9/1-3

共同研究分担者組織 学生3名

### 【研究目的・期待される成果】

ヒマラヤ山脈・チベット高原の形成は、アジア一帯に強いモンスーン気候の発達をもたらし、ユーラシア周辺の気候を大きく変化させた。IODP Exp. 354ベンガルファンは、このようなヒマラヤの隆起・削剥史と気候変動の相関を探るために実施された。船上でのコアの帯磁率などの物性データから、単一のタービダイト層内部に多数の重鉱物が含まれることが推測された。しかしその分布は不規則であり、堆積時あるいは堆積後の流動・再移動の影響を被っている可能性がある。

本研究では、このプロジェクトで得られたコア試料(Exp. 354, U1449)中のシルトから細粒砂堆積物内部の粒度を粒度分析で、重鉱物量を重液を用いた分離手法で、重鉱物の分布をXRFによるコアイメージで測定し、単一のタービダイト層内部での重鉱物の分布・総量を明らかにすることを目的とする。

この研究によって、単一のタービダイト層内部での粒径分布、重鉱物量の分布が明らかとなり、タービダイト層の堆積機構や堆積後の再移動の有無を決定することができる。

深海扇状地堆積物に記録されるタービダイト層は多様であり、底層流によって堆積構造や粒度・組成の改変が生じる可能性がある。また、堆積後の液状化による異なる層との混合も起こりうる。このような改変を受けた堆積物は、その堆積環境の特性を保存していると考えられる。この研究でコア物性と粒度や堆積構造との関連が明らかとなれば、そのような特性を持つ堆積物をコア物性データから抽出できる。この手法を利用して、ベンガルファンの堆積環境の変遷について新たな情報を引き出すことが可能となると考えられる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

IODP Exp. 354ベンガルファンで掘削されたサイトのうち、U1449は東経90度海嶺の西麓から伸びる海洋底に設けられたサイトである。このサイトでは現世から鮮新世最上部までの掘削を行った。平成28年度では、このうち、震探断面によってチャンネル・レビーシステムが発達する層準(掘削深度150-160m)から得られた試料40個について粒度分析と重鉱物組み合わせを検討した。その結果、堆積物は非常に細粒であり、層準毎の粒度変化は不鮮明であった。これを受けて、検討層準を変えて、本年度の検討を始めた。結果として、コアイメージを取得する時間がなく、この検討については次年度とすることとした。

試料から得られた重鉱物組み合わせは多様であったが、雲母鉱物が卓越した。また、ジルコン、ルチル、ザクロ

石、燐灰石、角閃石、ゆうれん石、緑れん石などの鉱物も認められた。また、雲母鉱物は鉄鉱物に置換された雲母鉱物、スメクタイトやバーミキュライト等の粘土鉱物に置換されたもの、新鮮なものまで多様であった。

粒度はおおよそ極細粒砂サイズから粗粒シルトサイズであり、葉理の発達する泥質岩は粗粒シルト～中粒シルト、葉理に乏しい泥質岩は不淘汰かつ極粗粒砂を含む粗粒～中粒シルト岩であった。重鉱物組み合わせと粒度の相関はやはり不鮮明であり、葉理が発達する部分で不透明鉱物が多いケースや逆に非常に乏しいケースがあった。一方、雲母鉱物量と平均粒径は弱い正の相関(相関係数0.41)があったが、雲母鉱物の量の定量化に問題が残るため、必ずしも明瞭な相関関係にあるとは判断できない。

また、前年度の検討で問題点として浮かび上がった、堆積後の早期続成過程によって形成された自生黄鉄鉱や磁硫鉄鉱を含む可能性について検討した。重鉱物分離によって得られた鉱物集団を観察したところ、細粒なシルト岩は普遍的にこれらの自生鉱物を含んでいることが確認できた。同時に、それらの鉱物集団では様々な雲母鉱物の濃集が確認できた。そのため、現在のところ、堆積時のリワーキングによる雲母鉱物の濃集と、堆積後の自生鉱物の形成の両者が、粒度構成の一部として検出されていることがわかった。

このことから、堆積作用の復元に際しては、これらの自生鉱物を含む堆積物を除外する作業、あるいはそのような層準を除外した検討が必要であることがわかった。ただし、新鮮な雲母鉱物と鉄鉱物に置換された雲母鉱物は比重・密度が異なることが予測され、堆積時にどのような挙動を取るのか、判然としない。そのため、雲母鉱物の種類も堆積時の水理学的作用の復元には問題となると考えられる。

採択番号 17A056, 17B056

研究課題名 表層型ガスハイドレート産出域の岩石磁気学的研究

氏名・所属(職名) 下野 貴也・明治大学 研究・知財戦略機構 ガスハイドレート研究所(研究推進員)

研究期間 H29/9/3-13

共同研究分担者組織 なし

### 【研究目的・期待される成果】

ガスハイドレートの産出する還元的な環境の堆積物の磁気特性を調べ、表層型ハイドレート分布域の磁気特性や堆積構造を明らかにすることを目的とする。具体的には以下のような研究を行う。(1) ガスハイドレートの産出する場での磁気特性を調べ、磁性鉱物の種類、量、大きさなどの変化から堆積環境や続成過程について調べる。

(2) ガスチムニー形成やその後のガス流出に伴う堆積構造の変化を、磁化率異方性を用いて調べる。(3) 近年、海底堆積物の残留磁化を担う主要な成分として注目されている生物起源の磁性鉱物について(特にグレイガイト)の研究を行う。

日本海東縁の表層型ガスハイドレートの分布する海域で集中的に採取された堆積物試料の古地磁気・岩石磁気測定を行うことで、ガスチムニー構造形成後の続成過程や堆積環境の変化を調べる。また、古地磁気・岩石磁気測定を実施し、堆積残留磁化と生物源磁性鉱物の関係について調べる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本利用では、H27、H28年度に実施されたPS15調査航海、UT16調査航海で得られた日本海東縁(隠岐周辺と上越沖)のガスハイドレート賦損域とその周辺で得られた海底堆積物試料の古地磁気・岩石磁気測定を行った。H29年度の利用では、隠岐トラフ周辺と上越沖でコアリングされた150試料(7cc古地磁気キューブ)の古地磁気・岩石磁気測定を実施した。H29年度の利用では、H27年度の測定以降追加サンプリングを行った掘削コア試料とUT16調査航海で採取されたコア試料の古地磁気キューブ試料を用いて、超伝導磁力計による交流消磁、残留磁化測定、非履歴性残留磁化測定を行った。さらに、各海域、層序の磁気特性を調べるため層序毎に特徴的な試料(暗色層、各海域の明色層、表層堆積物)を選び、低温磁気測定、熱磁気測定、磁気ヒステリシス、保磁力獲得実験を行った。利用した装置は、超伝導磁力計(SRM-Model 760R)、交番力磁力計(AGFM)、MPMS帯磁率計、熱磁気天秤である。

泥質堆積物の磁性鉱物を推定するため磁化率、等温残留磁気、 $kARM/SIRM$ 比、 $S_{-0.1T}$ 、 $S_{-0.3T}$ 測定を行ったところ、ガスチムニー構造の泥質堆積物は表層数十cmから1mの深度でそれぞれの値が急減し、それより下部では磁化率が低い値( $5\sim 15\times 10^{-5}$  SI)で推移していることがわかった。そして、H29年度の利用では特に磁気測定(MPMS)、熱磁気測定(磁気天秤)、低温の結果について詳しく分析を行った。貴センターで利用した低温磁気測定により、コア上部を除き単磁区サイズの強磁性鉱物(磁鉄鉱、マグ

ヘマイトなど)は概ね溶解していることが予想される結果となり、磁気ヒステリシス曲線が不安定になる深さとも一致した。磁気天秤による熱磁気測定の結果、大気中での磁気測定(加熱時)では表層数十cmより下部の試料では磁鉄鉱のキュリー温度(約575°C)よりも低い温度で2つの磁化ピーク(約430~450°C、約500~530°C)とそれらを重ね合わせた中間的な成分を示した。これらの変化は常磁性鉱物などの硫化鉱物が、大気中で加熱したことにより強磁性鉱物(磁鉄鉱など)に酸化し生成されることに伴う磁化ピークであることが予想される。先行研究(e.g. Roberts 1995)より、500-530°Cの磁化ピークはグレイガイトの可能性が示唆され、430-450°Cのピークはそれ以外の磁性鉱物(黄鉄鉱や磁硫鉄鉱、シデライトなど)の可能性が考えられそれぞれの成分のピークの大きさは磁性鉱物の含有量や形状などの違いを表していることが示唆される。



採択番号 17A057, 17B057

研究課題名 西オーストラリア・ピルバラ及び南アフリカ・バーバートン地域の環境復元

氏名・所属（職名） 三木 翼・九州大学大学院 理学府 地球惑星科学専攻（博士後期課程3年）

研究期間 H29/6/26-29

共同研究分担者組織 清川 昌一（九州大学）、池原 実（海洋コア）、他 学生2名

### 【研究目的】

太古代中期の海底表層断面および海底層序を明らかにし、

- (1) 海底熱水循環
- (2) 海底堆積作用
- (3) 海洋の酸化還元状態
- (4) 初期生物の生態系
- (5) 大気表層環境に関する重要な情報を引き出す。

### 【期待される成果】

太古代から原生代にかけての海洋底環境の変化・生物活動・鉄沈殿物の関連性の解明

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

中期太古代（32～28億年前）は還元的な大気海洋環境の遷移的酸化を示す大規模縞状鉄鉱層の形成（Windley, 1995）など多くの地球史上重要なイベントがあった時代として知られている。硫黄の安定同位体比（ $\delta^{34}\text{S}(\text{‰}) = ((^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{sample}} / (^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{standard}} - 1) \times 1000$ ）は過去の硫黄サイクルや酸化還元環境を知る上で重要なプロキシであり、とくに還元性物質である硫化鉄物および酸化性物質である硫酸塩鉄物の $\delta^{34}\text{S}$ 変動は酸素濃度上昇や硫酸還元菌の活動活発化と密接に関わっていると考えられる。およそ32億年前の堆積物である西オーストラリア州ピルバラ地域のデキソンアイランド層（下位からコマチアイト→流紋岩質凝灰岩部層、黒色チャート部層、多色チャート部層からなる）の中にわずかに残存する重晶石および黄鉄鉱について行われた高空間分解能二次イオン質量分析計（NanoSIMS）による $\delta^{34}\text{S}$ 微小領域分析では、DXCL掘削により得られた多色チャート部層中の数mmから1mm以下の非常に細かなラミナを成す未風化黄鉄鉱試料は $\delta^{34}\text{S} -10.1 \sim +26.8\text{‰}$ （n 143; Avg. +8.9‰）（坂本, 2010MS）、初期にできた微小球殻状黄鉄鉱内は10 $\mu\text{m}$ で5～10‰の同位体変化が見られた（三木, 2015MS）。

一方、重晶石層はデキソンアイランド層黒色チャート部層の下部に5～8層残っているが全体に珪化しており、珪化を免れた重晶石が200 $\mu\text{m}$ 以下の結晶としてごくわずかに保存されている。また重晶石が結晶形を保って珪化した偽晶は非常に細粒の黄鉄鉱を含む。この地層から選んだ3層準の岩石試料についてSEIFRAGを用いた粒界粉碎により重晶石29粒および付随する黄鉄鉱19粒を取り出してNanoSIMS分析を行うと、重晶石からは $-7.1 \pm 1.0 \sim +18.7 \pm 0.9\text{‰}$ （Avg.  $+0.4 \pm 1.3\text{‰}$ ）という値が得られた。一方、共出した黄鉄鉱は $+2.1 \pm 2.0 \sim +22.3 \pm 5.9$ （Avg.  $+11.4 \pm 2.8\text{‰}$ ）であった。

このように幅広いばらつきを示す硫黄同位体比であるが、SEM元素マッピングを行ったところ微小球殻状黄鉄鉱およびそれらが集合、密着したと考えられる塊状黄鉄鉱では均質な組成を取っていることがわかった。また同試料に対する定量分析ではFeとS（およびまれに球殻状黄鉄鉱内部を占める閃亜鉛鉱ではZn）以外の熱水起源の指標となるAs, Co, Cu, Ni等の元素は1wt%以下の値を示し、ほぼ純粋な黄鉄鉱（ $\text{FeS}_2$ ）の組成であることがわかった。

採択番号 17A058, 17B058

研究課題名 背弧型・島弧型・超苦鉄質岩型の海底熱水・湧水系の磁気的特徴を探る

氏名・所属(職名) 藤井 昌和・国立極地研究所(助教)

研究期間 H30/3/7-10

共同研究分担者組織 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

海底熱水循環系の空間的な広がり、熱水系の寿命や流体の経路、地球冷却様式を推定する上で重要な要素である。これまでの中央海嶺研究により、熱水変質に伴う海洋性地殻の磁気的な特徴が、熱水循環系の分布や規模と密接に関連している事が報告されている。しかしながら、学際的な注目を集める超苦鉄質岩型や背弧型・島弧型熱水系では、熱水変質に伴う磁性鉱物の挙動に関して全く理解されていない。磁気観測に基づいて熱水系の分布や規模を網羅的に把握するには、熱水系母岩の岩石磁気的手法に基づく証拠が望まれる。本研究では、超苦鉄質岩型・背弧型・島弧型熱水系を支える母岩の磁気的な特徴を明らかにする事を研究目的とし、特に熱水変質帯における磁鉄鉱の有無と磁化への寄与、蛇紋岩の岩石磁気的パラメーターと蛇紋岩化度合いの関係を明らかにする。

本研究による岩石磁気物性の制約は、広域探査で行われる地磁気異常マッピングにおいて、詳細かつより客観的な推定を行うことを可能にする。また、熱水系の磁気的特徴が解明されれば、日本近海の海底熱水鉱床の分布や規模の推定を可能にするだけでなく、生態系への影響評価などを行う必要のない堆積物下に埋もれた海底熱水鉱床を発見する有効な手法が確立されると期待される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成29年度は沖縄トラフで採取された火山岩35試料(伊良部海丘, 久米島沖, 鳩間海丘, 多良間海丘)の岩石磁気分析を行った。

平成30年3月7-10日の期間で、磁気天秤を用いた高温磁気測定(久米島沖火山岩10試料), VSMを用いた磁気ヒステリシス測定(伊良部海丘火山岩18試料, 多良間海丘火山岩1試料, 鳩間海丘火山岩2試料, 久米島沖火山岩10試料), D-Spinを用いた段階交流消磁(伊良部海丘火山岩22試料, 多良間海丘火山岩1試料, 鳩間海丘火山岩2試料)を実施した。

超苦鉄質岩型の熱水系に関して、平成26年度から継続して実施している測定の結果とその考察をもとに、海嶺拡大軸不連続で起こる蛇紋岩化作用における磁鉄鉱の成長過程を明らかにした。本研究結果を下記の学会において紹介した。

Fujii M. *et al.*, Hydrothermal activity and sub-seafloor serpentinization on the Yokoniwa Rise developed in the Central Indian Ridge: Constraints from AUV mapping and rock magnetisms, *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*, 2017. (Poster)

Fujii M. *et al.*, New evolution model of ultramafic hosted

hydrothermal systems constrained by near-seafloor magnetism, *Geological Society of America Cordilleran Section 113th Annual Meeting 2017*, 2017. (Oral)

\*藤井昌和ほか, 岩石磁気と磁気異常観測で見る海洋リソスフェアの蛇紋岩化, *海洋リソスフェアの蛇紋岩化作用と物理・化学・生物プロセス ~InterRidge-Japan 研究集会~*, 2017. (ポスター)

背弧型・島弧型の熱水系に関して、平成26年度から継続して実施している測定の結果とその考察をもとに、背弧型・島弧型マグマから作られるチタン磁鉄鉱の初生的な特徴、および磁気特性への熱水変質の効果を明らかにした。本研究結果に関して、下記の学会において紹介し、修士論文(静岡大学・本田睦美)を提出した。

\*Fujii M. *et al.*, Rock magnetic study applied to characterization of back-arc volcanism in the southern Okinawa Trough, *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*, 2017. (Oral)

\*Fujii M. *et al.*, Rock magnetic study applied to characterization of back-arc volcanism in the southern Okinawa Trough, *The 142th Society of Geomagnetism and Earth, Planetary and Space Sciences fall meeting*, 2017. (Oral)

\*Fujii M. *et al.*, Extremely magnetized abyssal lavas erupted in active back-arc of the Okinawa Trough, *American Geophysical Union 2017 Fall Meeting*, New Orleans, USA, December 2017. (Oral)

採択番号 17A059, 17B059

研究課題名 スマトラ沖スダ海溝における沈み込み堆積物の三次元構造解析と物性分布の推定 (IODP第362次航海乗船後研究)

氏名・所属 (職名) 浜橋 真理・Earth Observatory of Singapore (南洋理工大学) (ポスドク研究員)

研究期間 H29/8/28-9/10

共同研究分担者組織 辻 健 (九州大学)

### 【研究目的・期待される成果】

2004年にスマトラ北部およびアンダマン・ニコバー島を襲った巨大地震・津波の発生原因、海溝浅部における断層滑りおよびプレート境界断層の形成過程を明らかにするために、沈み込むプレートの実態と寄与に着目し、2016年に国際深海科学掘削計画 (IODP) 第362次航海が実施された。本航海で採取されたコアは上部より、石灰質粘土層および一部火山灰層 (ユニット I)、陸源性砂層および粘土層 (ユニット II)、遠洋性粘土岩 (ユニット III)、玄武岩質溶岩および火山性碎屑岩 (ユニット IV)、石灰質粘土岩および玄武岩-安山岩質貫入岩 (ユニット V)、玄武岩溶岩 (基盤岩) (ユニット VI) により構成され、ユニット II に局所的な変形帯が稀に存在する一方で、主要な変形帯はユニット III に集中的に発達していた。海溝域での歪の分岐やデコルマ断層の発達様式を理解するためには、沈み込む前の海洋プレート上の既存の弱面とその状態を知ることが重要である。断層が多く発達する変形帯や深部流体と反応した化学続成帯、物性コントラストをなす岩相境界は、弱面となりうる。そのような場所の三次元的な内部構造・間隙構造を観察し、定量的に調べることは、変形の応力場や切断関係、断層弱化に寄与する流体の通り道や量を精査する上で有用である。申請者は乗船後研究として得られた試料を用い、三次元的な変形構造・微細構造を明らかにし、物性の異方性・流体の通り道を定量的に調べている。沈み込む前の初生の状態から、海溝域での変形・寄与を予測し、なぜ浅部で大きな歪りが起こりうるか、という問いに答えることが本研究の目的と意義である。

### 【利用・研究実施内容】

遠洋性粘土岩 (ユニット III)・石灰質粘土岩 (ユニット V) に顕著に発達する小断層群に着目し、マイクロフォーカスX線CTスキャナ (Zeiss製) を用いて詳細な三次元微細組織解析を行った。また、上記と合わせて海洋底層序全体のCT値の傾向、密度コントラスト、面構造を確認・比較するために、X線CTスキャナを用いてユニット I から V までの堆積物試料の観察を行った。代表的な試料について、主要粒子の形状および鉱物の産状を確認するために、電界放出形走査型電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いて試料を観察した。

### 【得られた成果および今後の予定】

遠洋性粘土岩 (珪質・石灰質、ユニット III・V) の深度方向・および水平方向の三次元構造から、主要な堆積構造やそれらを切る断層、一部の構成粒子の形状が抽出された。堆積物中の一般的な層理面 (厚さ約0.3-0.4mm) の傾斜角度は約5-15°であり、それに対し、やや低角~高角な面構造が観察された。一般的に低角な構造は高角な構造に切られているようである。周囲より高密度 (高CT値) で約0.3mmの構成粒子 (円形状) が頻りに観察され、これらはいずれかの重鉱物だと考えられる。粒子は水平方向と比べて深度方向で一部圧密を受けている。これら

の粒子よりややCT値は低いものの、周囲より高密度で、厚さ約0.9mmの円形または湾曲を伴う面状構造 (不連続) の分布が確認され、円形のものには深さ方向に圧密を受けている (アスペクト比: 約0.3-0.4)。水平方向からは、円形状の有孔虫や微化石 (約1.3mm) もたびたび確認された。貫入構造として観察されるものは、相対的に高角 (約30-70°)・ステップ状に存在する。これらは、スミアスライド観察から認定される凝灰質または砂質の碎屑物・クラスト (続成・再結晶を伴うために高密度?) および微化石、一方で面状のもの (不連続) は砂質の貫入構造だと考えられる。同じく周囲より高密度で、上記よりも連続かつ高角 (約20°) に分布する面構造 (厚さ約0.3-0.5mm) は、小断層だと区別される。同様に高角な構造で、低密度のものも存在する。また、一部低角 (約10°) に存在する断層は周囲と異なる傾斜角度で特徴づけられる。堆積物の構成物質はおよそ一様であるため、X線CT値は密度の関数だと仮定できる。今後、CT値の分布から密度の分布をより定量的に考察し、密度の高低の実態・物質 (とくに断層帯における) を明らかにする。

遠洋性堆積物の上部ユニット I から II の陸源性~半遠洋性堆積物は、ニコバーファンとよばれる扇状地堆積物からなり、過去9.5Maの間に急速に堆積したものと考えられる (McNeil *et al.* 2017)。その後9.5-70Maにかけて断続的に集積したこれら遠洋性堆積物の形成場・変形・応力場を理解することは、ニコバーファンの堆積開始 (9.5 Ma) の過程との関連性 (1)、およびその下の海洋地殻とその周囲の火成岩の形成 (>70Ma) に伴うイベントとの関連性 (2) を考察する上で重要である。

(1) ニコバーファンの堆積との関連: 遠洋性堆積物ユニット III, V には、歪マーカー (とくに圧密) となる微化石やクラストが豊富に分布する。今後、本研究の三次元微細構造からクラストの形状を抽出・統計解析し、歪 (圧密) の推定を詳細に行う予定である。コアの肉眼観察からは、遠洋性堆積物 (ユニット III・V) は共役断層がネットワーク状に複数分布しており、砂質の貫入構造・および続成を受けたクラストとの複雑な切断関係を有している。今後、この三次元構造を明らかにし、流体の通り道を精査するとともに、ニコバーファンの堆積場 (重力) の荷重が底部でもたらず間隙水圧の程度等を考察する。これらの物性構造を明らかにし、デコルマ断層の形成過程・海溝域の浅部すべりへの寄与を検討する。

(2) 海洋地殻およびその周囲の火成岩との関連: 遠洋性堆積物中の古応力場 (船上データ) を本研究の微細組織解析から検証する。また、変形場の原因となった底部の火成活動を既存の文献や他の地震探査結果と合わせて考察する。この沈み込みプレート上には、海洋底層序全体または一部を切る活断層が豊富に存在し、2012年M8.6の横ずれ地震を代表として活発な地震活動が頻発している。これら活構造 (沈み込み前の) と地質史の関連、将来沈み込んだ後の前弧の変形への影響を精査することは重要である。



採択番号 17A060, 17B060

研究課題名 陸上の土壌団粒と海底堆積物中の微小鉱物塊の構造の可視化および有機物・微生物・鉱物の相互作用の評価

氏名・所属(職名) 和穎 朗太・国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター  
気候変動対応研究領域 炭素窒素動態モデリングユニット(上級研究員)

研究期間 H29/7/26-8/2

共同研究分担者組織 浅野 眞希(筑波大学), 荒井 見和(農業・食品産業技術総合研究機構)  
浦本 豪一郎(海洋コア), 他 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

自然土壌では団粒構造が発達し、孔隙に富み、多様な生物の住み処となっている。自然生態系の破壊や収奪的農業は、有機物を消費させ、団粒構造および土壌の物理、化学、生物学的機能の低下をもたらす。化学肥料の普及により農地は拡大され、食料生産は増大した。一方で、温室効果ガス増大や硝酸汚染など地球規模の炭素・窒素循環の攪乱、土壌侵食や生物多様性の低下などの環境劣化を引き起こしている。

土壌の機能を回復させ本来の物質循環を取り戻すには、土壌団粒形成の促進が重要である。堆肥連用や不耕起栽培などの環境保全型農法は、土壌有機物を増加させると同時にミミズなどの土壌動物の働きや土壌有機物自体の接着機能により、団粒構造を発達させる。これによって、侵食に対する物理性向上、有機物の安定化、土壌動物・微生物相の回復などの効果があることが知られている。

しかし、団粒構造および空隙の空間的不均一性のため、その内部で何が起きているのか驚くほど知見に乏しい。一方、近年になり土壌有機物の大部分は団粒構造内に存在し、その分解は鉱物粒子との相互作用により抑制されることが分かってきている。そこで我々は、土壌中の有機物と微生物および土壌鉱物粒子の空間的関係の評価を行い、農法の異なる土壌の比較、また土壌と海底堆積物の比較を通して、団粒構造が有機物の分解・蓄積にどの様に関与しているかを明らかにすることを目指す。

これを明らかにすることで、地球表層の最大の炭素プールである土壌および海底堆積物の炭素動態の予測精度の向上が期待できる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

世界の土壌タイプの中でも高い(有機)炭素隔離能を特徴とする火山灰土壌に着目し、2つの研究を実施した。

#### ①数十年間の農地管理の違いが土壌団粒に及ぼす影響:

つくば農環研の長期連用試験圃場の慣行区(Till区)と不耕起・落葉堆肥区(NT区)から耐水性土壌団粒を分離し、高知コアセンターにおいてマイクロフォーカスX線CTスキャナ(Zeiss製Xradia)による団粒3次元構造の解析を行った。Till団粒にくらべて、NT団粒では単位体積当たりの空隙率が高く、それは大きな有機物の塊(残存植物残渣)が多いことに起因することが示唆された。一方、エネルギー調整やイメージ解析には困難があり、空隙構造の可視化などについては今後更なる調整が必要であることが分かった。

また、上位2つの処理区から同様に分離した団粒中の微生物の可視化を試みた。先ず、団粒構造の分散条件をテストし、次にサイバークリーンによるDNA染色を行い、染色されたセルのカウントを行った。分析結果は現在解析中。

更に、Till区、NT区の団粒を樹脂固定、削り出し後に切断し、団粒切断面の電界放出形走査型電子顕微鏡(SEM/EDX)による解析を行った。これによってTill団粒では植物残渣のような大きな有機物の塊に乏しく、一方のNT団粒では植物残渣と考えられる繊維質な大きな有機物の塊が高い頻度で観察された。

#### ②ミミズの植物残渣摂食によって形成された団粒の評価:

ミミズの摂食、廃糞行動によって形成される土壌団粒の増加は、土壌微生物の活性や土壌有機物、無機養分の動態に影響を及ぼすことが示されているが、そのメカニズムは不明である。ミミズが寄与する鉱物-有機物-微生物の相互作用を明らかにすることを目的に、ミミズの植物残渣摂食によって形成された団粒の物理構造の解析を行った。今年度は、代表的な表層性ミミズであるヒトツモンミミズがつくる土壌団粒構造と、非生物的な土壌構造の違いに着目した。筑波大学構内で採取した黒ボク土B層と、樹木のリター(サクラ、ケヤキ)で、10日間ヒトツモンミミズを飼育し、得られたミミズ糞塊について、高知コアセンターにおいてマイクロフォーカスX線CTスキャナ(Zeiss製Xradia)による団粒3次元構造の解析を行った。

その結果、ミミズ糞粒内の孔隙について十分な解像度で画像が得られた。構造の多様性や孔隙の連続性などについてどのように画像解析を行うか、本実験を踏まえて現在検討中である。

採択番号 7A061

研究課題名 メタン由来炭酸塩に見られる酸素同位体比異常の原因から、底層水の水温変化による可能性を排除する

氏名・所属（職名） 蛭田 明宏・明治大学 研究・知財戦略機構 ガスハイドレート研究所（特任講師）

研究期間 H29/5/22-27, 9/11-16

共同研究分担者組織 大井 剛志（明治大学）、村山 雅史、池原 実（海洋コア）

### 【研究目的・期待される成果】

日本海では、最終氷期に還元的な環境が水深500メートルより深い水深に発達し、底生有孔虫を産出しなくなる。そのため、低層水の変化についての研究が進んでいないと言える。この情報は、上越沖の海底で同じ時代に形成されたと言われている自生炭酸塩のデータの解釈にも影響を与える。そこで、水深500メートル付近の堆積物を扱うことで、最終氷期頃の底生有孔虫を得て、その $\delta^{18}\text{O}$ から、表層水以外の水塊の $\delta^{18}\text{O}$ がどのように変化したのかを明らかにする。

浮遊性有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ の挙動と比較することで、表層水の低塩分化が影響した深度の見積もり、もしくは低層水の水温変化の可能性、を明らかにできる可能性がある。さらに、その結果から、自生炭酸塩の高い酸素同位体比とガスハイドレートの分解のつながりを示せれば、古環境研究に新しい問題（知見）を提起できる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

X線を用いた堆積物コアの観察（2016年度の全国共同利用の一環）で、TL構造（還元環境発達の指標）が見られない事が判明しているコアの、継続研究を行った。浮遊性有孔虫、底生有孔虫の酸素・炭素同位体比を、より深い堆積深度の部分を実測し、600cmまで完成させた。また、去年の実測で、直後に分析機器の不調が生じ、不調が出始めていたと思われる時の実測を、一部やり直した。

14C年代の限界以下の深度では時代を示すテフラが乏しいコアだったが、底生有孔虫にMIS 6.2と思われる、 $\delta^{18}\text{O}$ 値の明瞭な低下が511.5cmに見られた。この堆積深度の浮遊性有孔虫には、LGMの時と同様に、ピーク後の回復期と思われる傾きが見られた。LGMの時と同様に浮遊性有孔虫の低塩分化の痕跡が見られないのは、海水準の低下に伴う堆積物の不安定化が繰り返されていた可能性が考えられる。ただし、MIS6.2に関してはCTの結果に不整合が見られない。セクション6と7の境目（534cm）で堆積構造が極端に変化していることから、セクションの境目が不整合になってしまった可能性が考えられる。LGMの時のプロファイルを考慮すると、底生有孔虫から決めたMIS 6.2は若干ずれている可能性もあるが、浮遊性・底生有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ 値と珪藻化石の群衆から認定したMIS 5.5(334cm)と合わせると、堆積速度が10cm/kyrとなり、先行研究のこの時代の堆積速度と整合的だった。

本研究から、以下のことが分かった。

- ①MIS 5.5付近で、浮遊性有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ 値の低下が比較的長い期間続くが、低下が終わる付近がMIS 5.5に該当する。
- ②MIS 5.5前から浮遊性有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ 値の低下が比較的

長い期間続くのは、水温の上昇が早かったと考えられる。LGM時前後同様、対馬海流の流入の影響が、表層と低層(500m)でのプロファイル形状の違いにつながったと考えられる。

- ③MIS 6.2, およびLGM前後で、底生と浮遊性で、低塩分化の後の挙動が異なっている。低塩分化の影響が消えるのはほぼ同時だが、底生の方が後から急に解消に向かっている。

機器の不調が生じた直前の分析（2017年2月9日）では、複数回実測した標準物質の値が安定していなかった。また、浮遊性有孔虫の酸素同位体比に異常に軽いものが見られた。この時の試料を数点再実測した結果、その上下の値から、妥当な値が得られたと判断できた。標準物質の実測値も安定した。これにより、当時のデータは用いないことにした。

採択番号 17A062

研究課題名 チリ沖海底堆積物を用いた南半球・過去42万年間の気候変動研究

氏名・所属（職名） 長島 佳菜・国立研究開発法人 海洋研究開発機構（技術研究員）

研究期間 H29/4/17-27

共同研究分担者組織 村山 雅史（海洋コア）、原田 尚美（海洋研究開発機構）、岩崎 晋弥（産業総合研究所）

### 【研究目的・期待される成果】

南大洋や南太平洋は、南極氷床、海氷、海洋循環、大気循環が密接に連動し、大気中の二酸化炭素濃度の変動をはじめとする地球規模の気候変動を引き起こす重要な海域として注目されている。中でも南太平洋・チリ沖は、南半球中高緯度における南極極前線、偏西風などの特殊な海洋・大気の構造や、海洋の生物基礎生産が高く海洋酸性化の影響を検出しやすいという点から重要な海域である。しかしながら、これまで主にチリ沿岸域で採取されてきたコア試料は、堆積速度が速いため、長い時代をカバーしておらず、古い時代の炭素循環や大気・海洋環境の復元は十分に行われていない。

そこで我々は海洋地球研究船「みらい」によるMR16-09 Leg.2航海において、チリ沖（これまでの主要なコア採取地点よりも陸から離れた地点）で採取されたピストンコアを用いて、南太平洋の海洋-大気循環の変動、炭素循環の復元と海洋酸性化影響の抽出を試みる。本申請研究では、MR16-09 Leg.2航海で採取した4本のピストンコアPC1~PC4を用いてX線CTスキャナおよびXRFコアスキャナーを用いた堆積構造や主要元素組成の測定を行う。得られた情報を、年代モデルが構築されている別のチリ沖コアと比較することで、MR16-09コアの年代モデルの構築が可能になり、また、放射性炭素年代を入れる際の炭酸カルシウムの濃集層を特定する上での重要な情報になる。更にXRFコアスキャナーによって得られた元素組成比（例えばTi/Al等）は、碎屑物の供給源復元に用いることで、過去の偏西風軸の変動復元を試みる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本課題では、高知大学海洋コア総合研究センターのX線CTスキャナおよびXRFコアスキャナーを使用し、チリ沖の南緯46~51度から採取された4本のピストンコア、MR16-09\_Leg.2、PC-1~PC-4の堆積構造や主要元素組成の測定を行った。測定長は、PC1：5.3 m、PC2：12.7 m、PC3：17.4 m、PC4：16.8 mである。

XRFコアスキャナーによって得られた元素組成測定の結果、特にチタンやカリウムを基に、PC1~PC4の予察的な年代モデル構築に取り組んだ。得られた主要元素組成の変動は、船上で測定したMagnetic Susceptibilityの結果と共に、チリ沖で採取され、先行研究で既に高精度の年代モデルが構築されているMD07-3088コアの元素組成やMagnetic Susceptibilityの変動（Siani *et al.*, 2013）と比較し、4本のピストンコアの年代推定を行った。その結果、PC1は過去約1.8万年、PC2は約5万年、PC3は約10万年強、PC4は過去40万年余りをカバーする堆積物であることが分かった。今後は、放射性炭素年代を入れることで、最終

版の年代モデルの構築を目指す。

一方、XRFコアスキャナーによって得られた元素組成比からは、碎屑物の供給源に関する情報についても得ることが出来た。チリ沖に供給される碎屑物の供給源は、アンデス山脈とアンデス山脈よりも南太平洋に近い沿岸地域が挙げられ、こうした2つの供給源からは、河川を通じた海洋への碎屑物供給が行われている（Lamy *et al.*, 1999, 2000, 2001, 2010）。アンデス山脈は火山岩が卓越し、アンデス山脈起源の碎屑物中にはチタンや鉄などの主要元素が沿岸地域から供給される碎屑物に比べ多く含まれる。一方沿岸地域は火成岩が卓越し、沿岸域起源の碎屑物中にはアンデス山脈から供給される碎屑物に比べ、カリウムなどの主要元素が卓越する（Lamy *et al.*, 2001）。そこで、堆積速度が最も早いPC1についてXRFコアスキャナー測定で得られた元素組成を基に、最終氷期以降のTi/Kの変動を復元した。その結果、Ti/Kの値は、千年規模変動と万年規模で変動することが明らかになった。すなわち約1.8万年前にTi/Kの値の急激な増加が見られた後、千年規模で何度か変動しつつも、完新世後期に向けて緩やかに増加する傾向が明らかになり、アンデス山脈からの碎屑物供給が沿岸域からの供給に比べて相対的に卓越していくトレンドが示唆された。PC1の採取地点は、現在の南半球偏西風帯の北限付近に位置し、偏西風が北側（南側）にシフトすると風が強（弱）くまた降雨量が増加（減少）する。降雨量の増加・減少は、アンデス山脈よりも沿岸域でよりシャープに起こるため（Scholl *et al.*, 1970; Lamy *et al.*, 2001）、PC1で復元された、完新世後期に向けてアンデス山脈からの碎屑物供給が沿岸域からの供給に比べて相対的に卓越していくトレンドは、偏西風が完新世を通じて徐々に南にシフトしたことを示唆する。今後は、年代モデルの精度を上げると共に、緯度トランセクトでコアに含まれる碎屑物供給源を明らかにし、偏西風の挙動を詳しく調べる。



採択番号 17A063

研究課題名 遠洋性堆積物中の石英・斜長石から新生代太平洋上の風系を復元する

氏名・所属（職名） 白井 洋一・国立研究開発法人 海洋研究開発機構（研究員）

研究期間 H29/7/1-3, 9/14-18

共同研究分担者組織 山崎 俊嗣（東京大学），下野 貴也（明治大学）

### 【研究目的・期待される成果】

本研究は、遠洋性赤色粘土からその供給源の情報を読み解き、過去の海洋上の風系の復元を行うことである。生物源粒子や河川由来の粒子、自生鉱物が混在するなかから風成物質を分離するために、徹底した化学処理を行い、遠洋性赤色粘土から石英・長石だけを取り出し分析する。本申請では特に、それらの石英・長石粒子を特徴づける方法として磁気特性の有用性を検証することを目的とした。

石英・長石は風以外のプロセスで遠洋域にもたらされにくい上、続成にも強い。本申請により化学処理と磁性により風成物質が特徴づけられることが明らかになれば、長期的な風系の復元を行う新たな手法を提示できる。さらにこの研究全体が完成すれば、新生代太平洋域の気候循環に大変動があったのかどうか明らかになり、長期的な気候変動のメカニズムと影響に関する理解が進むと期待される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

高知大学海洋コア総合研究センターにおいて、南鳥島周辺および南太平洋の試料を対象に、MPMS帯磁率計を用いた低温磁気特性の分析を行った。利用時期の調整がうまく行かなかったため、予定していたパルス磁化機とパスルー型磁力計、熱消磁装置を用いた実験は行わなかった。これに加え、申請者所属機関においてX線回折分析と常温磁気特性の分析を行った。一部試料について磁場条件を変えた測定を行いその影響を比較検討したため、実際の測定試料数は予定した試料数を若干下回った。

南鳥島周辺の試料は全て、120K付近において顕著な磁気転移を示した。これは磁鉄鉱のVerwey転移であると解釈され、南鳥島周辺の堆積物中の石英・長石には、磁鉄鉱が主要な磁性鉱物インクルージョンとして含まれていることがわかった。一方、南太平洋の試料には低温転移の深度変化が見られた。すなわち、表層から海底下約7mまでのものではVerwey転移が顕著である一方、それ以深では転移が目立たなくなる傾向が見られた。別途行ったX線回折から推定した長石の組成と常温の残留磁化強度にも、これに対応する深度変化が見られた。すなわち、約7m以浅では長石は主に斜長石であるのに対し、それ以深ではカリ長石の斜長石に対する割合が増え、さらに石英・長石の重量あたりの残留磁化強度が比較的高くなる傾向にあった。南太平洋のサイトにおける全岩化学組成の先行研究から、現在に向かってオーストラリア起源のダストの割合が増加していることがわかっている。従って、約7m以浅の石英・長石はオーストラリアダスト起源であると考えられ、その特徴として、(1)長石は主に斜長石で

ある、(2)磁鉄鉱が主な磁性鉱物インクルージョンである、(3)重量あたりの磁化が相対的に弱い、ということが推定される。約7m以深で増加するような化学組成成分は先行研究では報告されていないが、シリケートの供給源としてオーストラリアダストの他には火山灰の存在が提案されている。これから、カリ長石の存在や磁鉄鉱以外の磁性鉱物インクルージョンが相対的に多いこと、それに伴う相対的に強い磁化は、少なくとも一部の火山起源の物質の特徴であると考えられる。南鳥島周辺の風生物質は大部分が中国大陸由来のものと考えられるが、磁鉄鉱インクルージョンに富んでいるという特徴はオーストラリアダストと共通しており、大陸地殻の特徴かもしれない。また、変動はあるものの石英・長石の磁化強度は、飽和等温残留磁化で概ね $1 \times 10^{-3} \text{Am}^2/\text{kg}$ 程度であった。石英・長石の含有量を考慮すると、これは未処理堆積物の磁化強度に比べ弱く、インクルージョンでない磁性鉱物が還元的変質作用などで失われ限りは堆積物バルクの磁性には顕著な影響を与えないと見積もられる。

採択番号 17A064, 17B069

研究課題名 地下生物圏における木材劣化挙動の解明

氏名・所属（職名） 大村 和香子・国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材改質研究領域  
（領域長）

研究期間 H29/9/7, 12/20, H30/2/22

共同研究分担者組織 なし

### 【研究目的・期待される成果】

現在、木材利用推進のため、住宅のみならず学校や大型商業施設の木造化が取り組まれている。木材を長期に亘って利用して行く中で、木材の欠点となる微生物（木材腐朽菌）やシロアリによる生物劣化が懸念されるが、これまで様々な薬剤や化学処理により木材の改質を行う対策がなされてきた。

しかし最近、特に利活用が進められている直交集成板（Cross Laminated Timber = CLT）のような大断面の木質材料に対しては、未だ効果的な耐久性付与技術が確立されておらず、処理方法の選定とその評価方法の確立が喫緊の課題となっている。

通常、木材には節などの欠点があるが、外観からはその箇所が判断できない。腐朽箇所やシロアリ被害箇所も然りである。本研究ではこれを内部の密度低下や空洞を観察可能なX線CTを利用することにより可視化して、生物劣化の異方性や辺心材による劣化の違い等を明らかにする。

今年度よりCLTに関する大型プロジェクトが開始された。これに際し前年度後期ならびに今年度前期において蓄積したCLTの生物劣化の特徴に関する知見を生かし、今期はCLTの腐朽の進行と菌叢との接し方ならびに心材率との関係を明らかにすることを目的として、X線CTを利用して内部の腐朽状況を非破壊的に追跡する。

本申請により地中や木材中の生物劣化について、劣化の前後だけでなく、その過程が明らかとなり、木材の新たな耐久化対策技術や耐久設計の創出に繋がる。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

#### (1) CLTの腐朽の進行と菌叢との接し方ならびに心材率との関係

CLTは6材面のうち4材面に、水分や菌糸、シロアリの侵入が生じやすい木口面が現れる材料である。しかしCLTに特徴的な腐朽進行についてはほとんど報告がない状況である。

滅菌したグラスウールに対してオオウズラタケ菌粒を成長させた液体培地を添加後、2週間以上静置することによりグラスウール上に菌叢を形成させた。この上に70%エタノールで表面を滅菌した150mm立方体のCLT（5層5プライ、ラミナ厚30mm）を面、強軸、弱軸の異なる3パターンで菌叢に接するように置き、6ヵ月以上強制腐朽させた。その後、乾燥させた各試験体をX線CTで撮像して内部における密度差を確認したところ、木口面が最も多く菌叢に暴露される強軸タイプで、特にL方向に低密度域が存在することがわかった。面タイプは側面の木口面に辺材が使用されている場合、特に菌叢面と平行に菌糸

の伸長が生じ、これにより不均一な密度低下が認められた試験体も存在した。

腐朽は辺材より心材が生じにくいいため、X線CTで心材率の計測を行うべく、辺材・心材の境界判定を試みたが、密度差が小さいため明瞭に判定することができなかった。

#### (2) 保存処理した薄物CLTの腐朽進行

上記(1)と同様に菌叢を形成させたグラスウール上に、70%エタノールで表面を滅菌したAAC加圧注入ならびにホウ酸表面処理を行った36mmCLT（3層3プライ、ラミナ厚12mm）を、同形状の無処理CLTとともに置き、6ヵ月以上強制腐朽させた。試験終了後、乾燥させた各試験体をX線CTで撮像して内部における密度差を確認したところ、AAC加圧注入CLTはほとんど密度低下が認められなかった。一方、ホウ酸表面処理ではホウ酸が溶脱したと考えられる箇所からの腐朽菌侵入により材内のL方向の密度低下が認められた。

#### (3) 無処理CLTの生物劣化が強度に及ぼす影響の解明

5層5プライ、ラミナ厚30mm無処理CLTを150mm角の立方体に切削加工したあと、強制腐朽もしくは強制的にイエシロアリの被害を受けさせ材料の生物劣化を促進させた後、圧縮試験を実施し、加力によるCLT内部の破壊状況をX線CTで撮像した。コントロールとして生物劣化が生じていないCLTも同様に試験に供し、CT撮像を実施した。

圧縮試験における加力方向を面、強軸、弱軸の3パターンに分けて解析した結果、特に強軸方向の劣化が生じると、大きな強度低下が生じることなどが明らかになった。

今後、特にシロアリ被害部の空洞箇所と強度との関係を解明するため、画像解析を進める予定である。

採択番号 17A065

研究課題名 浮魚類の環境DNAによる個体数復元に関する古海洋学的研究

氏名・所属（職名） 加 三千宣・愛媛大学 沿岸環境科学研究センター（准教授）

研究期間 H29/7/12-15

共同研究分担者組織 鈴木 克明（早稲田大学），他 学生4名

### 【研究目的・期待される成果】

地球温暖化により、サケ、サンマ等の浮魚類の分布は大きく変わることが予想されているが、その根拠・参照とすべき過去の温暖な時期における分布範囲については、その痕跡となるウロコ等の遺骸がほとんどの場合海洋堆積物中に残っていないため、これまで何の情報も得られていなかった。本研究では、過去の海洋生物の分布範囲の解明に今後期待が寄せられる堆積物中の環境DNAに着目し、堆積物中の環境DNAが浮魚類個体数を推定する方法として有用性があるかについて明らかにする。

これまで堆積物中から環境DNAを定量できることはわかかってきているが、定量PCRによって定量されたDNA量から浮魚類の個体数を推定した例はなかった。その理由として、堆積物中のDNA量が個体数指標として妥当性があるかを検討できるような確固たる魚の個体数の海洋堆積物記録が希にしか存在しなかったことが一因にある。申請者は、貧酸素環境のために魚鱗が分解されずに堆積物中に残る別府湾の海底コア試料からイワシ類の化石魚鱗を発見し、過去3000年間の個体数記録を復元することに成功した(Kuwae *et al.*, 2017)。こうしたイワシ類個体数の堆積物記録は世界で数例しかなく、別府湾はイワシ類のDNA量と実際の個体数変動との関係を長期的に検討できる類希な海域であると言ってよい。この堆積物を使って環境DNA量が浮魚類の個体数を確かに反映するという事実が確認できれば、これまで何の情報も得られなかった様々な浮魚類の動態を知る道が開かれるだろう。本研究では、別府湾堆積物のマイワシ・カタクチイワシの環境DNAを分析し、魚鱗濃度や漁獲量、古文書記録と比較することで、これまで検討されたことがなかった堆積物中の環境DNAによる浮魚類個体数の推定法の有用性を確認することを第一の目的とする。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成29年度前期の共同利用研究により、アシュラコア試料S1-2, 8, 9, 10, 11, 12とグラビティーコア試料BG17-1のCT撮影及び帯磁率測定を行った。その結果、これまで別府湾最深部のコア試料から確認されてきたマイナーイベント層(Event -1a, 0a, 0b, 0c, 0d, 0g)がこれらの試料から確認され、BG17-1では、最下部にメジャーイベント層であるEvent 0（厚さ約3cm）も見つかった。これらのイベント年代はKuwae *et al.* (2013)で報告されているので、その年代を使って今回のコア試料の年代を決定した。また、新たに、上部に2つマイナーイベント層(Event -1b, -1c)が確認できた。

環境DNA分析には、アシュラコア試料S1-7とS1-10、グラビティーコア試料BG17-1を用いた。各コアの1cmスラ

イス試料を4cm間隔で分析試料として供し、湿泥にエタノールを加えてDNAを沈殿させ、NaOHでDNAを抽出した後、DNeasy Powersoil kitを用いて堆積物中の環境DNAを精製した。これをTacMan®定量PCRでDNAを増幅・測定し、標準試料の検量線を用いてDNAのコピー数を定量し、単位乾燥重量当りのコピー数を求めた。

カタクチイワシのDNA濃度は、S1-7で $158 \pm 153$ copies/gから $2536$ copies/g dry sediment（以下、単位はcopies/g）、S1-10で $318 \pm 138$ copies/gから $1062 \pm 198$  copies/g、BG17-1で0copies/gから $1161 \pm 387$ copies/gの範囲内の値を示した。ほとんどの試料は4回のリプリケーションでDNAを3~4回検出した。マアジについてはS1-7で0copies/gから $217 \pm 137$ copies/g、S1-10で0copies/gから $190$ copies/g、BG17-1では0copies/gから $248$ copies/gであった。マアジは、多くのサンプルで4回のリプリケーションでもDNAが全く検出されなかった。

カタクチイワシについては、環境DNA濃度と魚鱗濃度、コア試料の環境DNA濃度と漁獲量の間100年スケールの変動パターン的一致が確認され、環境DNAが個体数変動を復元する上で有効である可能性を示唆した。マアジについては、ほとんどのコア試料でDNAが検出されなかったが、いくつかのピークは漁獲量の高い時期と一致した。

今回別府湾堆積物を使って環境DNAを分析した結果、初めてカタクチイワシとマアジの環境DNAを検出することに成功し、魚の個体数記録の復元に環境DNAが利用できる可能性が見えてきた。しかしながら、鱗濃度とDNAとの数年から十年規模変動の対応関係が不明瞭で、これは鱗と同様、コア試料1本のDNAデータでは、空間的にバラツキが大きいDNAの沈積量の空間平均を見るのは難しいことを示唆した。今後は、複数本のDNA分析が必要と考えられる。また、マアジでは低濃度のため検出できた試料は少なかったが、統計的に有意な経年変化を明らかにするには、試料量を増やす、あるいは抽出効率を上げるなどの工夫が必要であると考えられた。



採択番号 17A067

研究課題名 ジュラ紀・白亜紀境界の策定に向けた放散虫の系統進化学的研究

氏名・所属（職名） 松岡 篤・新潟大学 理学部（教授）

研究期間 H29/4/25-29

共同研究分担者組織 Li Xin（新潟大学）

### 【研究目的・期待される成果】

ジュラ・白亜系（J/K）境界についての国際境界模式層断面とポイント（GSSP）は、カルピオネラ・アルピナ（石灰質浮遊性微化石）の初産出で定義するという方針が決定された。カルピオネラはヨーロッパを含む狭い地域からしか産出しないため、アジアの大半、オセアニア、環太平洋地域では、直接この定義を用いてJ/K境界を認定することができない。本研究では、J/K境界における放散虫の進化系統を把握し、カルピオネラ・アルピナの初出現層準を補完する進化イベントを放散虫の生層序基準面の中から選定することを目的とする。

放散虫はカルピオネラと同様にプランクトンであるが、珪質の殻をもっており石灰質の殻が溶けてしまうような深海の堆積物にも豊富に産出する。本研究では、放散虫の進化系統を追うことにより、有効な生層序基準面を多数認定する。これまでこの種の検討には、J/K境界を挟んで放散虫が連続的に産出する西太平洋のODPコア（Matsuoka, 1995）や極めて保存良好のマリアナ海溝産のベリアシアン前期の放散虫化石群集（Matsuoka, 1998）が用いられてきた。

本研究では、従来検討されてきた海域とは異なる海域から得られたコア試料を用いて、放散虫の系統進化学的研究を実施する。その成果は、放散虫生層序基準面の地理的広がりを確認するとともに、J/K境界の認定に際して、より安定的に利用しうる基準を提案することに繋がる。本研究の成果は、顕生累代の系境界として最後に残されたGSSP策定に対しても、影響を及ぼすと予想される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

ODP Leg 123, Site 765CのCore 54からCore 62の区間の堆積物を観察しながら、サンプリングを行った。この区間は、インド洋における最も古い海洋地殻上の堆積物（ジュラ紀末から白亜紀初頭にあたる）である。サンプリングは、1セクションにつき2個を目安として、1サンプルあたり10ccの堆積物を採取した。地層の観察に際しては、高知コアセンター所有のデジタル顕微鏡をもちいて、放散虫化石の産状にも留意した。

先行研究によると、放散虫化石が多産するのは放散虫の殻を主体とするシルトないし砂が濃集する数cmの層であるとされていた。われわれの観察でも、放散虫が濃集するシルト～砂層を多数認めることができた。それらの層の多くは、先行研究においてサンプリングの対象とされていることも確認した。われわれの観察では、上記の層に加えて、mmサイズのシルト薄層にも、放散虫が濃集する層があることを認めた。この薄層の認識には、地層面に対して垂直の断面よりも、地層面に水平な面をデジ

タル顕微鏡で観察することが有効であることを発見した。サンプリングでは、このような薄層にも留意しながら試料採取を行った。また、デジタル顕微鏡により、堆積物の画像データも多数取得した。

堆積物のサンプルを新潟大学に持ち帰ったあと、塩酸およびフッ酸を使った化学処理を行った。その結果得られた残渣を用いて、光学顕微鏡による観察を実施した。放散虫化石の産出量および保存状態について、プレリミナリーな結果を得ている。先行研究においては、シルトないし砂層から産出する放散虫は南半球高緯度の特徴を有し、粘土岩から産出する放散虫は低緯度を代表するテチス海の要素であることが強調されている。われわれのプレリミナリーな観察結果からは、異なる岩相から産出する放散虫群集に違いが認められるのは、古生物地理的なファクターだけではなく、岩相による保存の程度も大きく影響している可能性が指摘される。要するに、シルトないし砂層から産出する放散虫群集と粘土岩から産出する放散虫では、群集を構成する種数に格段の差があり、古生物地理の差だけで説明することは必ずしも妥当ではないと考えられる。

われわれはチベットの同年代の放散虫群集を検討している。プレート運動の復元からは、ODP Leg 123とチベットのセクションは、ジュラ紀末当時、地理的には近接していたと考えられる。今後、両地域の放散虫を比較することによって、当時の古生物地理復元を果たし、地理区ごとの放散虫系統進化を明らかにしていきたい。

採択番号 17B061

研究課題名 別府湾表層堆積物を用いた災害史定量復元

氏名・所属（職名） 鈴木 克明・早稲田大学 教育・総合科学学術院 地球科学専修（助手）

研究期間 H30/1/18-3/31

共同研究分担者組織 加 三千宣（愛媛大学）、村山 雅史（海洋コア）

### 【研究目的】

本研究では、大分県別府湾の表層堆積物試料と、周辺地域の観測・歴史記録の対比に基づいて、別府湾への地震・洪水堆積物流入プロセスを解明する。

### 【特色】

別府湾最深部の堆積物にはラミナが保存されていることが確認されており、観測・歴史記録との精密対比をすることが可能である。これにより、災害イベントの種類・規模に応じて、どのような規模（厚さ）の堆積物が形成されるかを明らかにできる。

### 【期待される成果】

本研究の結果を別府湾で得られた堆積物コアに応用することで、有史以前の災害史を定量的に復元することが可能になる。将来的には、近年北九州地域で多発している地震災害、洪水災害に関して、観測や歴史の範囲を超えた長期スケールについて、その種類・規模・頻度変動を復元して、その発生パターンの解析から、災害の将来予測につなげることが期待される。

### 【利用・研究実施内容】

本年度の共同利用では、別府湾表層堆積物柱状試料に対して、ガンマ線スペクトル分析装置を用いた放射性同位体 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ の測定によって年代モデルの構築を試みた。

測定対象試料は大分県別府湾最奥部、水深70m地点から採取した40cm長アシュラコアと1.1m長グラビティコア上部である。それぞれ、4cm解像度で分析を行うこととした。

具体的には、以下の通り作業を行った。

- ・2017年のうちに、早稲田大学で試料の凍結乾燥を行い、乾燥粉末試料を高知大学に送付した。
- ・2018年1月18日に高知大学にて研究打ち合わせと試料の調整を行った。
- ・1月18日以降、継続的に分析を行った。
- ・測定条件の設定に時間を要したが、1試料あたり最低2日程度測定することとした。
- ・測定期間中に分析装置備え付けのパソコンがクラッシュしたため、納品されるまでの約一ヶ月測定を中断した。
- ・最終的に、年度内で6試料の測定を行った。

### 【得られた成果と今後の予定】

2017年度は、アシュラコアから6試料、8cm解像度の測定値を得られたのみとなった。予定していた45試料の測定は終了しなかった。これは主に測定日程の遅れと機材トラブルに起因しており、これらの問題が解決された現

在は順調に測定が進んでいる。残りの試料の分析を2018年度の共同利用（前期・後期）で申請済みであり、現在も継続中である。

### 【 $^{210}\text{Pb}$ 測定結果】

2017年度の測定結果からは、 $^{210}\text{Pb}$ が深度増とともにほぼ単調に減衰していく傾向がみられ、堆積物上下方向の擾乱がほとんどないことが確かめられた。また、アシュラコアに保存されている葉理の計数結果は、2010年に採取されたグラビティコアで得られた核実験年代（1964年）およびイベント層Ev-1a（Kuwae *et al.*, 2013によれば、1968年豊後水道地震に対応）の年代と整合的な結果が得られており、Pb測定結果の解析と比較することで相互検証ができると考えられる。

### 【 $^{137}\text{Cs}$ 測定結果】

2017年度に測定した試料からは、 $^{137}\text{Cs}$ は検出されなかった。今回測定した試料に関して、先行研究（Kuwae *et al.*, 2013）で採取された試料との対比によると、アシュラコアS1-11の最下部は2010年に採取したグラビティコアから検出された1964年の核実験層準より上位にあたるため、これによって $^{137}\text{Cs}$ が検出されなかったと考えられる。今後、より深い層準をカバーするグラビティコアに関しても分析を進めることで、これを検証し、 $^{137}\text{Cs}$ のピークを検出する見込みである。

採択番号 17B063

研究課題名 The role of diagenesis in formation of bedded sedimentary sequences

氏名・所属（職名） Alexandra Abrajevitch・愛媛大学大学院 理工学研究科（講師）

研究期間 H29/7/19-25, H30/3/2-6

共同研究分担者組織 山本 裕二, Myriam Kars（海洋コア）, 堀 利栄（愛媛大学）, 小玉 一人（同志社大学）

#### 【研究目的・期待される成果】

The aim of the study is to understand diagenetic processes involved in formation of bedded biogenic sedimentary sequences, such as bedded chert and bedded limestones. The proposed research plan includes a combination of standard paleomagnetic measurements (to determine whether primary magnetization is preserved in the studied rocks) and rock magnetic measurements (to identify and characterize distribution of iron phases). The difference in concentration of the inert and redox-sensitive iron phases between the biogenic fragment-rich layers and shaly interbeds will be used to determine the extent of diagenetic modification. Information on diagenetic alteration will then be used to recover reliable paleo-environmental signal from bedded sedimentary sequences in future research.

#### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

Standard paleomagnetic samples of tuffaceous chert from the Arrow Rock locality (New Zealand) were subjected to stepwise thermal demagnetization. Analysis of the isolated magnetization directions indicated that the magnetization is secondary (postdated the formation of rock).

Representative samples of the Arrow Rock sequence were characterized with the combination of the following measurements: Low temperature cycling of IRM (using MPMS); thermomagnetic runs using the Curie Balance, hysteresis, FORC and IRM measurements (using VSM).

Magnetic characteristics of the Arrow Rock sequence were compared with those of the bedded sequence exposed at Seiyo (Japan). Magnetic properties of various color chert: grey, red and purple, as well as shale interbeds were investigated with the combination of Low temperature cycling of IRM (using MPMS); thermomagnetic runs using the Curie Balance, hysteresis, FORC and IRM measurements (using VSM).

Results:

Magnetization of the tuffaceous cherts of the Arrow Rocks sequence is dominated by high coercivity hematite. Hematite is likely to be a later authigenic phase based on the secondary magnetization it carries. Magnetite is present in small amounts, and its characteristics (e.g., a suppressed Verwey transition) are typical of a detrital source. The Arrow Rock sequence thus unlikely to provide paleoecological information.

Magnetization of the Seyio chert samples is dominated by a low coercivity phase. This phase can be identified as

biogenic magnetite based on its characteristic Verwey transition and IRM acquisition signatures. Characteristic biogenic magnetite signatures were detected in all Seiyo chert samples, regardless of color. Biogenic magnetite signature was absent in shale samples. Although the absolute concentrations of magnetic phases differ, the relative abundances of the low and high coercivity phases seems to be similar between the samples of different color. Thus, primary mineral assemblage, including the biogenic magnetite is partially preserved during the late-orogenic diagenetic processes that led to partial bleaching of chert color. Presence of biogenic magnetite signature thus can be used to discriminate between the grey cherts formed in anoxic conditions (no biogenic magnetite) and chert formed in oxic conditions that later lost its color during orogenic deformations. Overall, the Seyio sequence rocks may be suitable for paleoecological studies.



採択番号 17B064

研究課題名 極表層堆積物の圧密・続成の研究：琉球海溝・房総三重点での例

氏名・所属（職名） 川村 喜一郎・山口大学大学院 創成科学研究科（准教授）

研究期間 H30/3/5-9

共同研究分担者組織 Kan-Hsi HSIUNG（海洋研究開発機構）、他 学生4名

### 【研究目的・期待される成果】

本申請は、さまざまな海域での極表層堆積物の変化プロセスを解明することを目的とする。

圧密現象によって間隙率は、埋没深度が数センチメートル、数メートル、数キロメートルで減少率が異なる。特に、数センチメートルの極表層では、間隙率が劇的に減少するばかりでなく、鉱物が溶解、晶出する。

そのような極表層での圧密・続成は、堆積物には様々な記録が保存されるプロセスそのものである。地震、津波、流向、水温、気温など、どれも過去の地球の営みを理解するための重要な情報ばかりであるが、それらの記録プロセス、すなわち、海底極表層での物理化学的プロセスはよくわかっていない。比喩表現ではあるが、一連の記録システムがテープレコーダーだとしたら、堆積物という名のテープに録音された記録を読み解くためには、記録されるヘッド部での機構を知る必要があるだろう。

そこで、この申請では、磁化測定、粒度分析を行うことにより、極表層堆積物の基礎データを得るとともに、その微細組織の変化過程、含有される鉱物のXRD分析を通して、深海底極表層での圧密・続成プロセスを解明することを目的とする。

さらに測定する試料の一つである琉球海溝は、地震が頻発し、堆積物に地震記録が保存されている可能性もある。それらの記録を調べる目的として、ITRAXによる元素マッピングも同時に行った。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本申請ではさまざまな極表層の深海堆積物の微細組織を観察し、その解明に努めてきた。本申請は、これまでの解析の続きであり、以下にその経緯を列挙する。

2000年－2004年 極表層の半遠洋性泥、遠洋性泥（日本海溝、相模湾、フィリピン海）

2006年－2010年 極表層の半遠洋性泥（琉球海溝、沖縄トラフ）

2010年－2016年 極表層の半遠洋性泥（南海トラフ、スマトラ沖）

2016年－極表層の半遠洋性泥（琉球海溝、房総三重点、スマトラ沖）←本申請

今回、分析された試料は、以下のように実施され、成果が得られた。ここでは、1) 分析前の処理段階、2) 分析段階、3) 分析後の解析段階、の3段階に分けて記述する。ただし、来所の都合上、本申請の房総三重点の試料については分析時間を確保することができなかった。

#### 1) 分析前の処理段階

琉球海溝試料は、しんかい6500による6K#1467～1470潜航によって得られた。試料は、潜航中にMBARIコアサ

ンプラーによって採取された6K#1467MG, MR, 6K#1468MG, 6K#1469MG, 6K#1470MGの5本の長さ約30mの柱状試料である。試料は、すでに肉眼記載、スミアスライド観察、X線CT、MSCL測定が行われていた。

試料前処理として、卒論、修論提出後の2月中旬に、試料を研究する担当の学生とともに、試料の再確認および再スミアスライド観察を行い、輸送のためラップなどで保護した。

#### 2) 分析段階

分析は、2018年3月5日午前～3月9日午前までの実質4日間行われた。分析項目は、1) 粒度分析、2) 帯磁率異方性測定・古地磁気測定、3) ITRAXであった。実施項目ごとに作業内容を以下に列挙する。

1) 粒度分析は、まず、ビーカーに蒸留水と試料を入れ、1～2秒の超音波によって分散させた。その後、レーザー回折式粒度分析装置で測定した。分散媒は使用しなかった。

2) 帯磁率異方性測定は、常温になっている試料において行った。まず、測定者は、腕時計などの金属類を身体から取り外した。試料は、プラスチック・キューブ表面に付着した汚れをキムワイプで良く拭き取り、測定器に装着した。測定順序は、まず帯磁率異方性測定を行った後に、次に古地磁気測定を行った。測定において、試料の保湿に心がけた。

3) ITRAXは、センターの松崎さんにオペレーションをしていただいた。測定前に試料表面を薄く削り、平滑にした。

#### 3) 分析後の解析段階

粒度分析は、148サンプル行い、中央値は10 $\mu$ m前後のものが多かった。今後、スミアスライド観察と合わせて考察する予定である。

古地磁気測定は、78サンプルにおいて、段階交流消磁として、50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800Gを行い、200G以降でほぼ安定磁化方位が得られた。今後、ザイダーベルト図にプロットさせ、古地磁気方位を求める予定である。

帯磁率および帯磁率異方性測定は、78サンプル行った。帯磁率は、全体を通して、おおよそ $5 \times 10^{-3}$ SI前後であり、掘削深度と共に増加する傾向がみられた。帯磁率異方性は、異方性の度合いであるP値が掘削深度と共に、1.01から1.05へ増加する傾向が見られた。

ITRAXは現在解析中であるが、試料に見られるラミナの有無によってカルシウムの増減が明瞭に確認される。

採択番号 17B065

研究課題名 鮮新世中頃から末の温暖期に関連した日本海での暖流系浮遊性有孔虫化石の産出とその意義

氏名・所属（職名） 山崎 誠・秋田大学大学院 国際資源学研究所 資源地球科学専攻（准教授）

研究期間 H29/11/24-12/1

共同研究分担者組織 池原 実（海洋コア）、他 学生2名

### 【研究目的・期待される成果】

秋田県を含む日本海沿岸地域に分布する中期中新世以降の海成堆積岩は炭化水素鉱床を胚胎し、我が国固有のエネルギー資源として有効に活用されている。探鉱では、坑井に認められる地層の地質年代決定が鉱床の空間分布を知る上で非常に重要となる。海成堆積物に含まれる微量な化石は、地質年代決定において主要な手法のひとつに挙げられる。本申請で取り上げる化石種目「有孔虫」に関しては、「温暖系種の産出時代」が対比の基準とされてきたにも関わらず、温暖種の増加と過去の海洋環境変動の時空間規模との関係や温暖種の詳しい生態が未だ明らかとなっていないために、その時間面としての妥当性や現象の本質が理解されないまま利用されているに過ぎない。そこで、本申請では、秋田地域から青森地域に分布する上部鮮新統を精査層準として同化石の温暖種産出時期の古海洋環境を復元することを目的とする。分析に際しては2016年の研究（16B072/鮮新世中頃から末の温暖期に関連した日本海での暖流系種浮遊性有孔虫化石の産出とその意義）で同位体分析に供する有孔虫化石の量や前処理手法の手順が確立できたため、同様の手順を用いる。本申請では、特に、前回の研究で調査をおこなった地域の北方および南方地域を調査地域とし調査の層位間隔を密にして測定をおこなう。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成29年11月24日から12月1日にかけて高知大学海洋コア総合研究センターの同位体質量分析計を用いて、青森県西津軽郡鰺ヶ沢町の徳明川流域に分布する上部鮮新統～最下部更新統の舞戸層より採集された浮遊性有孔虫化石の分析を実施した。層位間隔1mで試料の採集をおこなったうち石灰質殻の保存良好な35層準について分析した。分析試料の層位間隔は1～20mであった。浮遊性有孔虫化石試料は凍結乾燥法により岩石試料から抽出した。分析に際しては、調査層準の連続的な同位体記録を見出すことを優先することとした。そのため、分析に用いたのは*Globigerina bulloides*, *Neogloboquadrina asanoi*, *Neogloboquadrina incompta*, *P. norcrossi*の4種であり、それぞれ17, 31, 8, 35層準で分析をおこなった。*Globorotalia inflata* s. l.は、多産層準が認められるものの、その産出が間欠的であったために今回は分析対象から除外した。分析の結果、92試料から有効な値を得ることができた。測定期間中の安定酸素同位体の分析精度は、0.053～0.07%であった。調査層準を通して*G. bulloides*は0.69～2.16%、*N. asanoi*は-0.12～2.11%、*N. incompta*は0.30～1.42%、*P. norcrossi*は2.65～3.49%の間で変動した。分析した層準は嶋田ほか（2017）によって、鮮新世末から更新世始

めに対比されている。鮮新世／更新世境界付近に注目すると酸素同位体比は*P. norcrossi*は2.95から3.49%へ、*N. asanoi*のそれは0.83から2.11%へといずれも重い値へと変化する傾向が認められた。根本（1990）の底生有孔虫群集に基づく舞戸層上部の古水深は上部漸深海帯に対比され、*P. norcrossi*が生息する海底付近で際立った低塩水や沿岸水の影響は考えにくい。一般に、鮮新世末の北極氷床の増加は、酸素同位体比を重くする傾向にあるため（Sarnthein *et al.*, 2009など）、舞戸層上部で認められる*P. norcrossi*の酸素同位体比の変化は世界的な寒冷化に関連している可能性が示唆される。一方、同位体比分析と同一層準で実施した浮遊性有孔虫化石群集解析に基づく、鮮新世末から更新世始めにかけて際立った寒冷化傾向は認められず、更新世始めには*G. quinqueloba*の増加傾向が認められた。Domitsu and Oda (2005)に基づく、日本海での同種の地理分布は相対的に低塩な環境を示唆することから、海洋表層付近では、沿岸水の影響がおよぶような環境にあったことが示唆される。本申請研究では、海洋表層に生息する浮遊性有孔虫については、同位体分析に供する十分な個体数が得られなかったため、今後これらの種について検討する必要がある。

採択番号 17B066

研究課題名 飛騨山脈における第四紀火山深成岩類の構造岩石学的研究

氏名・所属（職名） 原山 智・信州大学 学術研究院理学系（教授）

研究期間 H29/11/30-12/5

共同研究分担者組織 学生2名

### 【研究目的・期待される成果】

飛騨山脈には第四紀前期更新世の火山深成複合岩体が露出しており、これらを構成する岩石中には定置時の初生構造のほか、カルデラ陥没時や山脈隆起時の変形構造が記録されている。本研究では主として槍・穂高カルデラー滝谷花崗閃緑岩複合岩体と爺ヶ岳カルデラー黒部川花崗岩複合岩体を対象に、帯磁率異方性の測定を行うことで、初生的な流動構造や葉理面構造のほか、カルデラ陥没に伴うカルデラ内火山岩類の変形、山脈隆起に伴う脆性及び塑性変形構造の三次元的把握と変形程度の解析を行う。

飛騨山脈は隆起侵食による地形的な凹凸に富み、上記複合岩体はカルデラ火山体の深部構造や同時期の深成岩類の定置メカニズムの解析に好適な研究対象である。

期待される成果として、カルデラ深部におけるカルデラ内火山岩類の陥没時の高温変形の詳細やカルデラ深部に底付けした花崗岩類の定置時流動の解明が挙げられる。

また花崗岩の定置固結後に進行した山脈隆起による変形構造を明らかにすることで、飛騨山脈隆起の具体像を明らかにすることができると期待される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

1. 槍・穂高カルデラを埋積した火山岩の主体を占めるデイサイト溶結凝灰岩については、現地踏査時に測定した葉理面構造（フィアメの扁平化した面）と、同一地点で定方位採取した試料の帯磁率異方性とを比較検討した。

上記カルデラには南北軸を示す向斜構造があり、現地調査ではこれを横切るルートである涸沢カール側壁、前穂高岳北尾根、パンラマ登山道、横尾本谷において35地点で定方位試料を採取し、それらの試料から整形加工した117個の円柱状試料について銅ブリッジを用いた帯磁率異方性を測定した。なお比較のためにカルデラ外にアウトフローした丹生川火砕流堆積物についても定方位試料採取を行い、同様に成型加工した円柱状試料について帯磁率異方性の測定を行った。

帯磁率異方性のK3（方位・角度）の平均値から求めた走向・傾斜（AMS葉理面構造）と現地測定の走向・傾斜（29例）を比較した結果、20例中5例が走向方位のみ10°以上差があり、4例は傾斜のみが10°以上差があり、走向・傾斜ともに10°以上の差があったのが11例であった。一方カルデラ外にアウトフローした丹生川火砕流堆積物の帯磁率K3（平均値）は方位108°、角度77°であり、AMS葉理面構造はN18°W14°Eとなり、現地計測値（N10°W10°E）とほぼ一致した。

以上の結果から、カルデラの陥没時に向斜構造をな

して変形したカルデラ埋積凝灰岩は、AMS葉理面構造と現地計測の葉理面構造が一致しないことが一般的であることが確認された。アウトフローしたカルデラ外の溶結凝灰岩については測定数が少ないものの、現地計測値とはほぼ一致していることから、カルデラ内で高温時に変形したことがAMS葉裏面構造に影響を与えていることが考えられる。今後アウトフローした丹生川火砕流堆積物（溶結凝灰岩）の測定値を増やし、カルデラ内で変形作用を受けた溶結凝灰岩との比較検討を進めていく予定である。

2. 第四紀滝谷花崗岩についての帯磁率異方性の測定は、基本的にNE-SW方向の帯磁率葉理面構造が発達することが判明した。顕微鏡下での観察と総合すると、この葉理面構造は高温時に変形したマイロナイト構造を示していると推定できる。上高地地区の梓川河床に分布する巨礫の帯磁率異方性も測定したところ、地表で観察できる巨礫ごとの測定値はほぼ一致するものの、巨礫間の測定値には有意の差があり、山体崩壊起源のブロックの集合体である（岩屑なだれ堆積物）と判断された。帯磁率異方性は現地生の岩盤か移動体中のブロックなのかの判定にも有効な手段であると考えられる。



採択番号 17B067

研究課題名 紀伊半島に分布する非火山性温泉の希土類元素パターン

氏名・所属（職名） 堀 真子・大阪教育大学 教育学部教育協働学科 理数情報講座（准教授）

研究期間 H29/12/13-15 , H30/3/1-2

共同研究分担者組織 学生1名

### 【研究目的】

和歌山県と奈良県に分布する様々な温泉水を対象に、温泉水と堆積物の元素組成を分析し、希土類元素パターンやスパイダーダイアグラムを用いた母岩推定を行う。また、ユウロピウム異常を解析し、温泉水の供給源となる深度の温度・圧力指標との関係を検証する。特に、希土類元素のうち、2価のユウロピウムは、高温・高圧下で塩化物イオンと強く錯生成する。これにより、温泉水の希土類元素パターンには、母岩の希土類元素パターンとは無関係に、ユウロピウムの正の異常が卓越する。本研究では、ユウロピウムと塩化物イオンの錯生成の割合に着目し、温泉水の温度や既に報告されている沈み込みプレートとの深さと比較する。

### 【期待される成果】

奈良県入之波温泉を対象に実施した予察的実験では、温泉水と堆積物ともに正のユウロピウム異常が認められた。塩化物錯体の生成条件から推定される深度は、温泉水の温度と地温勾配から推定される深度とほぼ一致した。本研究では、さらに地域を拡大し、非火山性温泉を有する紀伊半島の温泉水の地球化学的特徴を明らかにする。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

温泉水は、和歌山県の海岸沿いに、花山温泉・白浜温泉周辺から採水した。また奈良県からは、入之波温泉と十津川温泉周辺で採水した。

希土類元素分析では、バリウムの質量干渉が深刻なため、キレートを用いて、金属元素を分離した。入之波温泉の温泉水28試料と、堆積物32試料について、キレート処理を行った。希土類元素分析は、高知大学の四重極型誘導結合プラズマ質量分析計（i-Cap Q ICP-MS）を用いて実施した。この操作による主要元素の除去率は、カルシウムで95%、マグネシウムで99%となった。なお、標準試薬を用いて推定した回収率は100%近い値を得ることができた。しかし、期待したユウロピウム異常は確認されず、弱いセリウムの負の異常と、温泉水の希土類元素パターンが、下流に向けて中希土下がりのパターンを示すことがわかった。

入之波温泉を除く8箇所の温泉水の主要イオン分析から、パイパーダイアグラムを作成し、温泉水の分類を行った。この結果と、温泉水の微量元素分析の結果を比較した。塩素－ホウ素－リチウムのダイアグラムを用いた分類では、海水型と熱水型の混合である花山温泉と典型的な海水型の白浜温泉、深層地下水型の十津川温泉を明確に区別できることが明らかとなった。

パイパーダイアグラムでは、入之波温泉は浅層地下水

型、花山温泉は海水－熱水混合型になる。また、別途測定した安定同位体比解析では、花山温泉で同位体異常が確認されるため、今後、花山温泉を中心に希土類元素分析を実施することで、ユウロピウム異常の原因について検証できる可能性がある。

追加して、合成炭酸カルシウムのXRD分析を実施し、結晶形を特定した。こちらは、海水中で炭酸カルシウムが生成した際の微量元素の挙動をモデル化するために実施した。

採択番号 17B068

研究課題名 潜在的レアメタル資源としての黒色泥に関する研究

氏名・所属（職名） 矢野 萌生・東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻（博士課程2年）

研究期間 H30/1/22-24

共同研究分担者組織 なし

### 【研究目的・期待される成果】

黒色頁岩は貧酸素環境で形成された有機物に富む堆積物で、地球史を通じて形成されてきた。現世海洋においても、閉鎖海や湧昇域など貧酸素水塊が発達する海域では、同様に有機物に富む黒色泥が堆積している。こうした黒色泥はredox sensitive elementsを濃集しており、特にMo, V, Reなど産業上重要視されているレアメタル元素の潜在的な資源となる可能性がある。このようなレアメタル元素は有機物に吸着されたり、硫化鉱物に取り込まれることで濃集することが知られている。

本研究では、現世海洋で堆積する黒色泥試料の化学組成データから、レアメタル元素濃集に関わる物質／プロセスを明らかにし、レアメタル資源の生成に必要な海洋環境などの条件を制約することを目的とする。本研究の特色は、黒色泥についてレアメタルを含む多元素の地球化学データセットを構築し、その統計解析によりレアメタル元素の濃集に関与する物質や海洋環境を明らかにする点にある。本研究により、黒色泥のレアメタル資源ポテンシャルとその生成条件を明らかにできれば、全く新しい海底鉱物資源の探査指針・開発可能性の提示につながることを期待される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成29年度後期の研究では、研究対象試料の特性を踏まえた適切な測定方法及び前処理法の検討と予察的な分析を行った。

まず測定を確実に実施してデータを取得するために、本研究において対象とする試料の全有機炭素量（TOC）、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 、全硫黄量（TS）を測定するための最適な方法の検討を行った。TOC、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ を測定するためには塩酸処理が必要となるが、本研究で対象としたDSDP堆積物コア試料（Leg42 Site 379, 380, 381）は、炭酸塩の含有量が試料ごとに大きく異なるため、試料を測定用カプセルに入れてから塩酸を加える方法では効率的な測定ができない可能性がある。また当該試料は本共同利用とは別途全岩化学分析に供したため、残量が限られている。そこで本研究では、使用する試料の量を推定できる、以下の方法で試料の前処理と測定を行うこととした。まずあらかじめ全試料について、遠沈管を用いて炭酸塩を除去するための塩酸処理を行う。これらの粉末について、元素分析オンライン質量分析計（Delta Plus Advantage）により $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ と、TOCを測定する。これとは別途、塩酸処理を行っていない粉末について、CHNS/O元素分析装置（Flash EA 1112）により全炭素量（TC）とTSの測定を行う。これらの結果の比較により、まず全無機炭素量（TIC）を求め、TCからTICを差し引くことにより、塩酸処理していない

粉末に対するTOCを求める。

測定前の塩酸処理については、遠沈管を用いる方法を習得し、この方法でDSDP堆積物コア試料（Leg42-Site 379, 380, 381）の処理を行った。現在測定に必要な前処理を引き続き進めているところであり、平成30年度に継続して測定を行う（前期分18A015, 後期分18B014）。

本研究では、DSDPにより黒海で採取された有機物に富む堆積物と、日本列島付加体に存在する黒色頁岩（京都府菟原地域のペルム紀/トリアス紀境界（P/T境界）層準）の対比を行う予定である。コアセンター共同利用においては、平成29年度はDSDP試料についてTOC、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 、TSの分析を行い、平成30年度以降にはこれらに加えて上述の黒色頁岩試料の分析を行うことを想定していた。しかしながら、DSDP試料に対しては上記の通り分析手法の検討が必要であることが分かったため、29年度の共同利用ではDSDP試料については確実に分析が行える手法の検討に留まった。その代わりに、予察的な分析として、菟原セクションの黒色頁岩試料（一部珪質頁岩を含む）について、Flash EA1112を利用しTS測定を行った。TSの値は0.5%～2.5%を示し、珪質頁岩部分では比較的狭い範囲の値を示すのに対し、黒色頁岩部分では変動が見られた。同様の傾向はTakahashi *et al.* (2014) により報告されている岩手県安家森セクションにも見られることから、当時の遠洋域における広域的な特徴であると考えられる。また、このTSと酸化還元敏感元素濃度との関係を見ると、Feと強い正の相関が、As, Mo, Reとは弱い正の相関が認められる。しかし、一般的に貧酸素環境で硫化鉱物を形成すると言われるCu, Znとはこのような関係は認められない。今後TOCなどのデータも合わせて検討する必要がある。また、平成30年度に実施予定のDSDP試料との比較も行い、堆積物へのレアメタル濃集機構と堆積環境の関連を考察する予定である。

採択番号 17B070

研究課題名 日本海新潟沖で見つかった円錐台地形が泥火山なのか判断する

氏名・所属（職名） 蛭田 明宏・明治大学 研究・知財戦略機構 ガスハイドレート研究所（特任講師）

研究期間 H29/11/27-29

共同研究分担者組織 角和 義隆（明治大学）

### 【研究目的・期待される成果】

歪集中帯に位置している新潟県では、陸上泥火山の存在が知られている。この地質構造は、沖にも広がっているが、日本海では海底泥火山が知られていない。最近新潟沖で見つかった円錐台地形は、場所・形状からすると泥火山の可能性もある。そこで、ここで回収された堆積物の堆積構造から、泥火山かどうかを判定することを目的とする。

堆積物コアには、珪藻化石に古い種が混ざる層準があり、深部から噴出した泥の可能性もある。CTスキャンで詳細な堆積構造を調べ、泥火山に特徴的なマッドクラストの分布や、その情報を基に詳細な微化石の研究に取り組めば、日本海側で最初の泥火山の発見報告が期待される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

海底泥火山の可能性のある円錐台地形から回収された堆積物コア3本のCTスキャンによる観察を行った。

円錐台地形の平端頂部の縁から回収されたPC1703（一部に30万年前に絶滅した珪藻が見られるコア）では、CTスキャンの結果、肉眼では見落としていたラミネーション構造が、456-487cmに見られた。この堆積構造中での浮遊性有孔虫の14C年代から、TL2に相当することが分かった。この時期に、マッドクラストの可能性のある脆い泥の塊が含まれていた。この泥の塊は、含まれる炭酸塩の炭素同位体比が-50パーミル程度と非常に軽いこと、およびこの泥塊中の珪藻化石に絶滅種が見られないことから、メタン由来炭酸塩が風化したものと思われる。TL2の特定の場所にのみメタン由来炭酸塩が見られることから、ここで発達したというよりも、円錐台地形中心部で形成されたものが、周辺に崩れてきたと考えられる。これは、上越沖で考えられてきた最終氷期頃のシーブ活動の活性化と関連している可能性がある。今後、泥火山ではなくシーブサイトと判断した場合の代替研究テーマができた。

円錐台地形の中心部から回収されたPC1701は、メタン由来炭酸塩の分布が下半分程度に偏っていた。経験から、炭酸塩が分布していると有孔虫に乏しいので、CTスキャン画像をもとに、炭酸塩が乏しい上部（38±3cm）から浮遊性有孔虫を集めた。それから14C年代を求めたが、2.4万年前の年代が得られた。これは、このコアの珪藻化石の群集から予想されていた結果（表層堆積物に、今日見られるはずの温暖種が含まれず、寒冷種が卓越している）と整合的だった。同じ時代で、PC1703には絶滅種が見られたが、このコアには見られなかった。この違いが意味することが、今のところはっきりしていない。炭酸塩試料は、肉眼で見つけられた試料と、堆積物から篩出した

ものも加え、数試料で安定同位体分析・XRD分析を実施した。ほとんどがMgの富むカルサイトで、PC1703コアで見られた試料同様、炭素同位体比は-50パーミル程度だった。

円錐台地形斜面から回収されたPC1702には、CTスキャンでも構造・高密度物質の分布が見られなかった。サブボトムプロファイルで見る限り、頂部から離れるほど堆積速度が早くなっている場所にあたる。このコアは最終氷期に達していないと、PC1703コアのTL2より上部に見られた無構造堆積物に相当すると思われる。



採択番号 17B071

研究課題名 鉱物情報に着目した科学捜査試料の新規異同識別法の開発

氏名・所属（職名） 西脇 芳典・高知大学 教育学部（講師）

研究期間 H29/10/11-12, 26-27, 11/10, 22, 24, 12/18, 22, H30/1/22, 24-25

共同研究分担者組織 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

自動車塗膜片は、交通犯罪を解明するための重要な証拠試料である。近年、塗膜性能向上のため、事件現場に遺留される自動車塗膜片は非常に微細である上、層構造を持つ塗膜の表面近傍層のみが採取され、分析が困難なケースが増加している。意匠・機能性を高めるため、着色ベース上または内に光輝材を含むものが増えている。光輝材は、粒子径数十～数 $\mu\text{m}$ オーダー、厚さ $1\mu\text{m}$ 以下の雲母等の鉱物の鱗状基材に金属酸化物を数十～数 $\text{nm}$ 皮膜したナノ構造を持った無機物である。警察は、自動車塗膜の膨大なFT-IRライブラリーを構築し、車種特定を行っている。しかし、表面近傍層であるクリアー層、メタリック顔料を含むベース層のみが遺留された場合、FT-IRライブラリーを用いても車種特定は困難である。安全・安心な社会の実現のため、表面近傍層だけでも車種特定が可能な新たな手法が強く求められている。自動車塗膜に使用される有機高分子は、20種類程度である。一方、自動車塗膜に使用される鉱物光輝材は、鱗状基材・粒子径・皮膜金属酸化物の種類の組み合わせから、100種類以上ある。更に、性能向上のために添加されたり、精製されずに残留したりする多くの微量元素を含有する。有機高分子よりメタリック顔料の方が種類が多く有利だが、現在のところ鉱物光輝材の微量元素成分・ナノ構造情報は異同識別に用いられていない。メタリック顔料による異同識別が可能になれば、ひき逃げ事件の解決率を大幅に引き上げることが可能になる。本研究の目的は、鉱物光輝材の微量元素成分・ナノ構造情報を総合的に活用した自動車塗膜片の新規非破壊異同識別法を確立することである。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

自動車塗膜片は、犯罪を立証するための科学捜査上最も重要な試料の1つである。自動車塗膜は層構造を有しており、亜鉛メッキされた車体鋼板から下塗層－中塗層－ベースコート層－光輝材層－クリアー層の5層で構成されているものが、最も多い。光輝材には、雲母片を用いたパール顔料、アルミニウムフレークを用いたメタリック顔料がある。日本で行われている自動車塗膜鑑定には、光学顕微鏡による外観検査、顕微分光法による色検査、顕微FT-IRによる材質検査、SEM-EDSによる元素検査が用いられている。このうち顕微分光とFT-IRについて、警察によって自動車塗膜データベースが構築されている。ひき逃げ等の事件現場に遺留された塗膜片から、車種・車色・年式を割り出すことができ、被疑車両の特定に役立てられている。しかし、これらのデータベースは、分析した層のスペクトルデータの組み合わせによって車種

特定を行っており、分析層数が少ないと精度が著しく低下するという欠点がある。事件・事故時に車体と人またはガードレールが擦れるように接触した場合、擦過状に表面近傍の塗膜片のみが遺留される。表面近傍層であるクリアー層・光輝材層・ベースコート層しか試料が得られないため、車種特定が困難になる。表面近傍層試料でも異同識別が可能で、プローブが小さい・高感度・非破壊的な分析手法が求められている<sup>1,2)</sup>。現在の鑑定では、顕微分光とFT-IRのデータが大きなウェイトを占めており、無機物質情報がほとんど用いられていない。光輝材には様々な無機物質が用いられており、従来法の情報に光輝材等の無機情報を付加させれば、特定精度を大幅に向上できる可能性がある。我々はSPring-8 BL05SSに科学捜査に特化した放射光蛍光X線装置の開発を進めている。高精度な顕微鏡モニターの導入により、微細試料の測定したい部位にX線を正確に当てることができ、マイクロビームを用いたXRF, XAFSの測定が可能である。本研究では、数～数十 $\mu\text{m}$ のマイカ粒子を含むホワイトパールマイカ自動車塗膜片に放射光マイクロビーム蛍光X線分析( $\mu\text{-SR-XRF}$ )を適用した。本研究の目的は、マイカ粒子の微量元素分析を行い、自動車塗膜片の異同識別力を改善させることである。

### （実験）

測定試料には、実車から採取したホワイトパールマイカ塗膜片16種を用いた。試料に、PM1～16の番号を付した。塗膜片を顕微鏡で観察しながら、純水で湿らせたサンドペーパー(#2000)を使って斜めに削った。削った後の外観写真を図1に示す。層構造が露出した塗膜片から、他層を混入させないように顕微鏡で観察しながらメスを用いて、クリアー層・光輝材層・ベースコート層の微細片を各3片ずつ採取した。サンプルホルダーには4cm角の亚克力板に3.0cm×0.5cmの長方形の穴を2つ開けたものを使用した。SEM用カーボンテープを長方形の穴を橋渡しするように貼り、微細片をカーボンテープ上に保持した。 $\mu\text{-SR-XRF}$ は、SPring-8 BL05SSにおいて行った。単

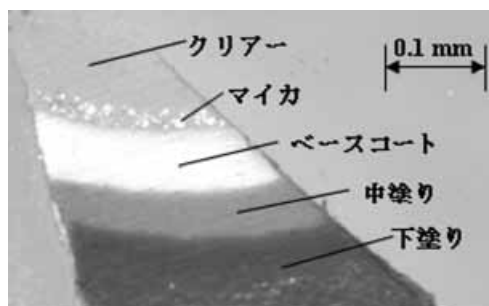


図1 ホワイトパールマイカ自動車塗膜の層構造

色化した20keV X線をKBミラーで集光した3.1 $\mu$ m(H) $\times$ 2.0 $\mu$ m(V)のビームを用いた。1点あたり200秒測定した。

(結果・考察)

カーボンテープ上に保持したマイカ層微細片の顕微鏡写真を図2に示す。マイカ粒子を明瞭に確認できた。BL05SSハッチ内に設置した顕微鏡カメラでも同様の観察ができ、マイカ粒子を確認しながら分析することが可能であった。微細片中のマイカ粒子の $\mu$ -SR-XRFを行い、異同識別を実施した。各試料のマイカ粒子から検出された元素を表1に示す。Tiは、マイカの光輝材としての機能を高めるために被膜された二酸化チタン由来であると考えられる。Baは、意匠性を向上させるために添加された硫酸バリウム由来と考えられる。硫酸バリウムは、マイカ層を塗装する際にマイカの並びが不均一になる現象（パールムラ）を防ぐ効果がある。マイカの組成式は、白雲母 $KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$ 、金雲母 $KMg_3(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$ 、合成雲母 $KMg_3(AlSi_3)O_{10}F_2$ である。Kは1族元素であるため、他の1族元素を不純元素として含有すると考えられる。従って、Rbはマイカ由来であると推測される。また、Zrはマイカの表面処理のために添加された金属酸化物由来の元素であると判断した。Brは、マイカ周辺樹脂由来の元素であると考えられる。16試料中13試料で検出されたSrは、Baと同じ2族元素に分類される。このことから、Srはパールムラを防ぐために添加されたBaSO4に由来すると考えられる。BaとSrは同族元素であり相関が高いと考えられたため、Ba L $\gamma$ 線のX線強度をSr K $\alpha$ 線のX線強度で

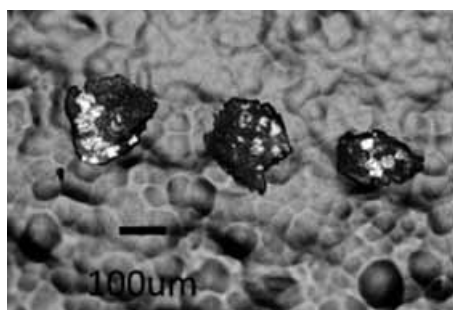


図2 自動車塗膜マイカ層微細片の顕微鏡写真

表1 マイカ粒子から検出された元素

試料番号	マイカ層から検出された元素
PM1	Ba Fe Zn Br Sr Zr
PM2	Ba Fe Zn Rb Sr Zr
PM3	Ba Fe Zn Rb Sr Zr
PM4	Ba Fe Rb Sr Zr
PM5	Ba Fe Br Sr Zr
PM6	Ba Fe Br Sr Zr
PM7	Ba Fe Br Sr Zr
PM8	Ba Fe Br Sr Zr
PM9	Ba Fe Rb Sr Zr
PM10	Ba Fe Rb Sr Zr
PM11	Ba Fe Rb Sr Zr
PM12	Ba Fe Zn Rb Sr Zr
PM13	Fe Zn Sr Zr
PM14	Ti Fe Zn Zr
PM15	Ti Fe Zn Zr
PM16	Ba Fe Zn Rb Sr Zr

除したBa/Sr X線強度比を比較に用いた。Ba/Sr X線強度比の平均値、標準偏差および相対標準偏差 (RSD) を表2に示す。Ba/Sr X線強度比のRSD値は、10%以下と高い再現性を示した。Ba/Sr X線強度比は異同識別のための有用な指標であることがわかった。全16試料のマイカ粒子による識別を行った結果、120通り中116通り(94.9%)が識別可能であった。

表2 マイカ粒子のBa/Sr X線強度比の比較

試料番号	Ba/Sr 元素強度比	RSD(%)
PM1	46.1 $\pm$ 1.7	3.8
PM2	42.4 $\pm$ 4.2	9.9
PM3	48.4 $\pm$ 2.4	4.9
PM4	57.8 $\pm$ 2.2	4.0
PM5	38.8 $\pm$ 1.4	3.7
PM6	44.4 $\pm$ 2.9	6.6
PM7	56.8 $\pm$ 1.7	3.1
PM8	46.0 $\pm$ 3.1	9.4
PM9	51.4 $\pm$ 2.2	6.2
PM10	42.6 $\pm$ 1.2	6.7
PM11	49.7 $\pm$ 1.7	7.8
PM12	30.5 $\pm$ 1.6	6.1
PM16	55.4 $\pm$ 3.0	5.5
平均値 $\pm$ SD (n=5)		

(まとめ)

$\mu$ -SR-XRFを用いることで、マイカ1粒子の微量元素分析が可能になった。マイカの微量元素情報は、パールマイカ自動車塗膜の異同識別精度を向上させる有用な指標であることが明らかになった。 $\mu$ -SR-XRFの微量元素情報を従来法に付加して異同識別する本法は、擦過状自動車塗膜鑑定に極めて有効であることがわかった。

(参考文献)

- [1] 石井健太郎, 竹川知宏, 大前義仁, 西脇芳典, 蒲生啓司: *分析化学*, 64, 867-874 (2015).
- [2] Y. Nishiwaki, S. Watanabe, O. Shimoda, Y. Saito, T. Nakanishi, Y. Terada, T. Ninomiya, I.Nakai: *J. Forensic Sci.*, 54, 564-570 (2009).

採択番号 17B072

研究課題名 延岡衝上断層学術掘削

氏名・所属（職名） 山口 飛鳥・東京大学 大気海洋研究所（准教授）

研究期間 H29/11/6-17, 12/26

共同研究分担者組織 木村 学（東京大学）、亀田 純（北海道大学）、橋本 善孝（海洋コア）  
濱田 洋平、福地 里菜（海洋研究開発機構）、北村 有迅（鹿児島大学）  
最首 花恵（産業技術総合研究所）、他 学生1名

### 【研究目的・期待される成果】

沈み込み帯における地震現象の観測・実験・理論研究の急進展をふまえ、プレート境界から分岐する断層で起きる、スロー地震から巨大地震までの多様なすべりメカニズムの理解を目指すことが本研究の意義である。そのために、最も好研究条件にある過去の地震発生分岐断層である九州延岡衝上断層を対象に行った陸上掘削コアの分析を通じて、断層帯の物性、変形破壊構造、すべり時の動的化学反応を明らかにし、分岐断層のすべりモデル及び断層帯発達モデルを構築する。それらを現在の沈み込み帯における地震観測・反射断面・掘削結果や、陸上付加体の広域地質調査・微細構造観察結果と有機的に結びつけ、断層メカニズムの理解につなげる。

本年度は断層岩の化学組成と岩石流体相互作用に焦点をあてた研究を行う。断層岩の化学組成は高温での岩石流体反応を反映しており、斜長石の増加に伴うSrの濃集がさまざまな断層帯の中軸部に位置する黒色断層岩から報告されてきた。一方、延岡衝上断層では、上盤にシュードタキライトの産出はあるものの、断層帯中軸部においてウルトラカタクレサイトや黒色断層岩は未だ発見されていない。また、断層帯中軸部において斜長石の分解とイライトの生成が生じたことが明らかにされた。これらの知見をふまえ、延岡衝上断層の断層帯中軸部及び上盤・下盤コアの研磨片および薄片を作成し、微細変形組織と対応づけてXRFコアスキャナーによる組成マッピングを行うことで断層帯内部の反応プロファイルを二次元的に読み解くことを目的とする。

本研究は、2018年度に行われる予定の南海トラフにおける深部掘削の事前研究としての重要性が大きく、今後の沈み込み帯地震研究の発展・予測可能性の向上に貢献することが期待される。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究ではまず、延岡衝上断層の断層帯中軸部をなすPrincipal Slip Zone (PSZ) を貫くように掘削されたボーリングコア試料中の、PSZ（深度41.3-41.8m）および下盤小断層（深度154.75m）からそれぞれ試料を採取した。PSZは樹脂固定のものを鉛直方向に三分割し、中心部を両面研磨した。研磨片の対面にあたる部分を用いて薄片を作成した。これらの研磨片・薄片の観察から変形構造の解析を行い、それぞれの薄片についてEPMAによる元素マッピングを行った。また、研磨片についてはXRFコアローガーによる主要元素分析を行った。その後、得られた結果を基にサンプリングと主要・微量元素組成分析、な

らびに微小部XRDを使用した微小部鉱物組成分析を行った。

変形構造観察の結果、延岡衝上断層剪断帯における断層岩は、シュードタキライトや、砂岩・頁岩・構造性メランジュからなるカタクレサイト、面状カタクレサイトを含み、重複した変形により構成された断層帯であることが明らかになった。延岡衝上断層では過去にも上盤小断層からシュードタキライトが2例発見されているが、PSZでは初の発見であり、PSZも地震性断層運動を起こしていたことが今回初めて明らかとなった。

化学組成分析の結果、シュードタキライト並びに下盤の小断層には共通してLi、Csの濃集が認められた。この共通した化学組成異常は、PSZと下盤小断層で共通のプロセスで起きたものであると推定される。この元素組成異常は断層運動後に高濃度のLi、Csを含む流体と断層岩との反応により引き起こされたと推定される。鉱物組成分析の結果、シュードタキライトの一部でパリゴルスカイトを含む粘土化が認められた。パリゴルスカイトの増加は、上盤剪断帯に形成されたシュードタキライトにおいても同様に認められている。シュードタキライトの粘土化は、熱水変質による結果と解釈され、粘土化した結果Csの吸着性が上がったと推定される。下盤小断層細粒化部においても粘土鉱物の存在が認められ、シュードタキライトと同様に断層運動後の流体流入と粘土鉱物へのCsの吸着が起きたと推定される。

シュードタキライトを含む断層岩や下盤の小断層へ流入した流体は、Li、Csに富むと考えられ、その流体の起源は、推定した流体の温度条件から下盤のメランジュもしくは断層沿いの深部であると考えられる。流体の流量は、シュードタキライトの厚さから見積もられた断層体積の約1000倍以上であると推定される。断層の厚さと変位量、変位量と断層長に関する経験式から推定した、シュードタキライトを含む断層岩に流入した流体の量は $4.8 \times 10^0 \sim 1.64 \times 10^4 \text{ m}^3$ と推定され、この流体がシュードタキライトから推定された $M_w$  2.78～5.65の地震後に移動したと考えられる。

本研究では、過去の沈み込み帯の巨大分岐断層の剪断帯において、断層運動によるクラックの形成とその後の大量の流体との反応が起こっていたことを示した。延岡衝上断層では、断層下盤のメランジュもしくはその深部の高間隙水圧帯から供給された流体が、分岐断層のPSZ内のみならず、上盤から下盤までの断層面を地震後に通過したと考えられる。



採択番号 17B073

研究課題名 モンゴルの湖沼堆積物から探る過去数千～数万年間におけるアジア中緯度域の気候変動と太陽活動との関係性

氏名・所属（職名） 勝田 長貴・岐阜大学 教育学部 地学教室（准教授）

研究期間 H29/11/6-22

共同研究分担者組織 長谷川 精（高知大学）、長谷部 徳子（金沢大学）、岩井 雅夫、村山 雅史（海洋コア）

### 【研究目的・期待される成果】

近年の人為起源による大気CO<sub>2</sub>濃度上昇により、地球温暖化は社会問題となっている。しかし2000年以降の世界の平均気温の停滞や、最近の偏西風蛇行や大気ブロッキングによる猛暑・厳冬といった異常気象の頻発により、地球の気候システムは単純な温暖化傾向を示すのではなく、太陽活動（太陽黒点の11年周期など）に起因する十年規模変動が重要であることが指摘されている。地球の気候変動が太陽活動の変動に相関することは以前から指摘されていたが、両者を繋ぐメカニズムは不明な点が多かった。最近の観測研究の進展により、太陽活動の紫外線領域の変化による成層圏オゾン加熱の変化が、対流圏の中緯度の気候循環を変化させて気候変動を生み出すというメカニズムで説明する仮説が提案されている。しかし、その仮説を検証しうる中緯度域の気候変動記録は未だ十分に検討されていなかった。

申請者らの予察的研究により、モンゴル中央部の湖底堆積物は、太陽活動変動に起因した降水量変動を記録している可能性が明らかになった。そこで本研究では、2017年1月にモンゴル南西部のOrog湖、Olgoi湖で採取した掘削コア試料（1.5m×26本）を対象とし、X線CTやXRFコアスキャナー、マルチセンサーコアロガー等により、過去数千～数万年間の気候変動記録を年～十年スケールで高解像度に解析する。そして、太陽活動の変動が中緯度の気候循環を介して地球の気候変動に影響するという仮説を実証的に検証する事を目的とした。

### 【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では、モンゴル南西部の湖底堆積物コア試料から古気候変動記録を高時間分解能で読み出すため、X線CTやXRFコアスキャナー（ITRAX）、マルチセンサーコアロガー等を用いて分析を行った。分析対象は、2017年1月にモンゴル南西部のOrog湖、Olgoi湖で採取した掘削コア試料（1.5m×26本）である。今回のITRAX測定では、0.5mmステップ、1点15秒で行った。その結果、Fe、Ti、Si、Ca、S、P、K、Mnなどの元素に岩相変化に対応した変動が検出された。このうち、Orog湖の掘削コア試料OROG 01\_450-600の最下部を境界としてCa濃度が上部で高く、下部で低いという明瞭な境界が見られた。先行研究との比較も含めて考えると、この岩相境界が氷期と完新世の境界であるdeglaciationに当たると考えられる。この対比を基にした暫定的年代モデルの結果、約6m深度が11500年前となるため、堆積速度は約50cm/kyとなる。この堆積速度は、先行研究の結果とも整合的である。

またOrog湖の掘削コア試料の最終氷期に相当する層準

（深度6m以下）では、Ca濃度が何層準かで若干増大しており、その前後層で逆にFeやSの濃度が増大していた。上述した暫定的な年代モデルと堆積速度でグリーンランド氷床の酸素同位体比に記録されるダンスガード・オシュガー・サイクル（DOC）と対比すると、DOCの変動パターンとOrog湖コアのCa濃度変動が概ね対応しており、最終氷期に見られる急激な気候変動の影響が、モンゴル南部のゴビ砂漠周辺の環境変動にも見られるという興味深い結果が明らかになった。現在、このOrog湖のコア試料から約1.5mごとに14C年代測定用の試料を採取し、年代測定に向けた前処理を進めているところである。14C年代測定の結果に基づき、詳細な年代モデルを構築できれば、最終氷期から完新世にかけてのアジア内陸の環境変動、特にDOCを始めとした全球的気候変動に対するアジア内陸の環境変動の応答様式が明らかになると期待される。

今後もOrog湖、Olgoi湖の解析を進め、太陽活動等の外的フォーシングに対するアジア内陸の気候システム変動の解明を包括的に推進して行き、得られた成果を順次国際誌に公表していく予定である。このOrog湖とOlgoi湖の分析結果の解析は、高知大学の卒業研究および金沢大学の修士・博士研究として現在進めている。また関連する予察的結果を*Global Planetary Change*誌に出版した（Katsuta *et al.*, 2018）。

採択番号 17B074

研究課題名 白亜紀久慈層群玉川層から産出する未知のマイクロジュール様化石「マユモドキ」の3次元微細構造解析

氏名・所属（職名） 鵜野 光・早稲田大学 理工学術院総合研究所 理工学研究所（招聘研究員）

研究期間 H30/2/19-21

共同研究分担者組織 浦本 豪一郎（海洋コア）、宮田 真也（城西大学）、平山 廉（早稲田大学）

#### 【研究目的・期待される成果】

岩手県の白亜紀後期玉川層から、直径10mm程度までのマイクロジュール様の「化石」が数多く産出する（発掘現場での呼称に基づき以下マユモドキと記す）。MC-ICPMS分析の結果、マユモドキの表面は、鉄やマンガンを中心とした金属元素が濃集し層構造を形成することが判明したが、表面形態からは、何らかの生物由来のものか、鉱物が無機的に凝集しただけのものか明らかでなかった。本分析によって、表面および内部構造が明らかになればマユモドキの正体の解明につながることを期待できる。

マユモドキの産地は、堆積年代（91Ma）が明らかで、分担者の平山ほかによって、脊椎動物群関連の論文が出版されている（平山ほか、2010）。

玉川層より数多く産出するマユモドキの同定や形成過程が明らかになれば、本産地の特異的な性質が明らかとなり、古環境について新たな議論につながることを期待できる。

#### 【利用・研究実施内容】

##### （使用機器・方法）

3点の試料をボクセルサイズ9-15 $\mu\text{m}$ の精度でマイクロフォーカスX線スキャナーを用いてマユモドキ3点を撮影した。得られたデータに基づいて、立体像構築ソフトで立体像に再現し表面の形態と内部構造を観察した。

##### （観察結果）

外層表面は、不規則な凹凸に覆われ、二次的な磨耗痕跡が多数見られた。生物由来の構造は特に見られない。また、外層は、数枚の薄層になる部分もあるが、単層の部分もある。外層に囲まれた内部は、大部分が粘土鉱物と思われるもので満たされているが、大きさおよび形態が不規則なパイライトがランダムに存在する。

#### 【得られた成果】

外側の層は部分的にしか多層になっておらず、マユモドキ本体と埋没した時の母岩との間を酸化鉄や水和鉄が埋めたものと考えられる。内部のパイライトの構造は不規則であり、なんらかの器官や含有さされていた不消化物を置換したというより、偶然生じた間隙をパイライトが埋めたと考えられる。

以上のことから、マユモドキは大部分が、非生物学的な作用で形成されたと考えられる。