

平成30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 18A002, 18B002

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 H30/11/7-8, H31/3/7-13

共同研究分担者組織 学生4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; 星, 印刷中)と同じである。一方、屈曲東部(糸静線の東)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(H29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、昨年度に引き続き本州中部の古地磁気に注目する(下記参照)。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岩石の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。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。岩村の古地磁気は昨年、本共同研究で着手したが、本年度も引き続き検討を行った。

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。本年度測定した試験片は約200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昨年度検討した他の層準と同様、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、偏角は昨年度検討した他の層準と同様に南西であった(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結論できる。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。

中新世堆積物の分布は地理的に限定されるため、より広範に分布する変成岩類(領家帯の高温低圧型変成岩および花崗岩体周辺に分布する接触変成岩)からも試料を採取し、その残留磁気を測定した(試験片は約200個)。このタイプの変成岩の検討は本研究グループにとって初めてなので、本年度は予察的な段階交流消磁および段階熱消磁実験を実施した。全試料の2/3程度は残留磁気不安定であり、試料に固有な残留磁化成分を分離できなかった。それでも約1/3の試料からは意味のある残留磁化成分の分離に成功した。今後、さらに試料を増やして、残留磁化の地質学的意味について検討したいと考えている。

採択番号 18A003, 18B003

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 H30/7/2-6, 12/17-21

共同研究分担者組織 駒井 武, 中村 謙吾(東北大学), 山田 昌樹(東京大学)
西村 裕一, Simon Falvard(北海道大学)

【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】

宮城県山元町：用いた試料は、宮城県山元町で採取された柱状湖沼堆積物であり、2011年東北沖津波による湖沼内での再堆積物を含む事が示唆されている。これらの柱状試料について、X線CTスキャナーを用いた内部堆積構造の把握、コアスキャナ型蛍光X線分析装置(COX)を用いた主要元素の濃度変化の計測を行った。本計測において得られた元素濃度のデータから、海水浸入に優先して相関を示す元素を抽出するため、主成分分析を行った。その結果、亜鉛及びルビジウムについて、濃度変化率は小さいが、相関が強いことが明らかになった。今後はフーリエ変換などを用い、数値的検討を行う。

岩手県山田町・青森県むつ市：イベント堆積物を含む土質試料に対してCT撮影を行った。非破壊で内部構造を把握でき、津波堆積物か否かや今後の分析層準決定をする上で有益な情報となった。山田町小谷島の試料では、不明瞭ではあるがイベント層準を確認することができ、今後は試料を処理し、海岸起源の堆積物の探索を行う。青森県むつ市の試料では、イベント堆積物の内部構造を把握することができ、今後年代測定やイベ

ント堆積物の粒度組成を明らかにし、津波堆積物か否かを検討する。

岩手県山田町・青森県八戸市：沿岸堆積物コアのCT画像の撮影と高解像度化学分析を行った。これらの測定は東北地方太平洋沿岸における古津波履歴を記録していると考えられる堆積物を特徴づけるという目的で行った。CT画像解析では相対的な密度変化を画像化することで、目視では判定しにくい微細な堆積構造を把握することが可能となった。ITRAXによるXRF化学分析ではコアの構成元素を1mm間隔で測定し、堆積物間での構成元素の明瞭な違いが検出された。これらの違いは堆積時に起きたイベントや環境の変化を示唆するものであると考えられる。

仙台市：4本の歴史津波堆積物コアサンプルをITRAXで蛍光X線分析を行い、試料1mmの深さごとに30元素についてスペクトラムを得た。得られたスペクトラムを用いて統計的な手法を用いて元素間の関係性を評価すると、砂層とその他層ごとに特徴のある元素の抽出ができた。これら元素より歴史津波堆積物の判別・判定が可能となると考えられる。

青森県おいらせ町, 同三沢市：3本の津波堆積物コアサンプルのCT画像の撮影を行った。比重が異なる砂粒子が複雑な堆積構造を有している様子がよくわかった。葉理が示唆する流れの方向は単調に内陸を示すのではなく、時間とともに変化している。

北海道むかわ町：2018年胆振東部地震で形成された噴砂堆積物コアサンプルのCT画像の撮影を行った。噴砂丘が層構造を有していること、および噴出口から離れるにつれ粒径の大きい粒子が減っていく様子が明瞭に示された。これらの構造を説明する噴砂形成モデルは今後検討する。

採択番号 18A004, 18B004

研究課題名 新第三紀の砂岩層に産する方解石ノジュールの酸素同位体比の二次的改変

氏名・所属(職名) 森清 寿郎・信州大学 理学部 (特任教授・名誉教授)

研究期間 H30/5/14-18, H31/3/7-11

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

2016および2017年度の共同利用研究において、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%低下していることを見出した。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、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(森清ほか 投稿中)。

この事実は、今後実施に移されると思われる、日本の高レベル放射性廃棄物を地層処分する方策について、その安全性を評価する上で、重要な論点になると思われる。そのため、より多くの地域から、いろいろな年代、母岩、産出状態のノジュール試料を同位体分析し、「地下水浸透による、砂岩中の方解石ノジュールの酸素同位体比二次的改変」の事実を検証したい。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

中～粗粒の砂岩中に産する石灰質団塊は、泥岩中に産する団塊とは性質が異なっている場合が多い。すなわち、1)砂岩中の団塊はほとんどが、方解石団塊であること、2)方解石の酸素同位体比は17～24‰(vs.SMOW)であり、多くの泥岩中の団塊の酸素同位体比より8～15%低いこと、3)砂岩中の団塊は泥岩中のそれより著しく大きい場合があり、かつ団塊と母岩砂岩との境界が不明瞭な場合がある。このような性質があるため、Encyclopedia Sedimentologyでは「砂岩中の団塊は、その方解石成分が地下水によって運ばれ、核の周りに沈殿した、後生的起源と信じられている。」との記述がある。そのため、中～粗粒砂岩中に産する石灰質団塊の本質を明らかにするため、団塊の酸素・炭素同位体比をもとめ、泥岩中と砂岩中とで、同位体比に系統的な差があるかどうかを調べた。

研究した地層は、長野県阿南町の富草層群大下条層、新潟県松之山の田麦川層、長野県鬼無里地域の論地層、神奈川県葉山地域の鑑摺層、長野県飯山地域の一ノ瀬層、新潟県栃尾地域の荒谷層である。大下条層を除いて、砂岩中の団塊方解石は17～24‰の $\delta^{18}\text{O}$ を示し、 $\delta^{13}\text{C}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ 図上で、地域ごと狭い範囲にまとまった値を示す。泥岩中の方解石団塊の酸素同位体比は、30%前後の高 $\delta^{18}\text{O}$ を示す場合(富草層群下部新木田層、田麦川層、鑑摺層、荒谷層)と、17～21‰の低い $\delta^{18}\text{O}$ を示す場合(論地層、一ノ瀬

層)があった。泥岩中に産する団塊としては方解石よりは菱鉄鉱である場合の方が多く、後者ではすべて30～35%の高い値であった。

泥岩中の方解石団塊の30～35%という値は、海成層における初期続成作用(方解石晶出は硫酸塩還元、菱鉄鉱晶出はメタン発酵)の時に定まった初生的値である。一方、砂岩中の方解石の酸素同位体比(低 $\delta^{18}\text{O}$ である)については、Mizota and Kusakabe (1994)による日本各地の天水の酸素同位体比との差から、方解石がそれぞれの地点での天水と15℃付近で酸素同位体平衡にあると結論できる。

CaCO_3 と溶解平衡にある地下水から、 CaCO_3 が晶出するには、 CO_2 の脱気が必要である。地中を流動する地下水から、 CO_2 が脱気するメカニズムがあるとは考えがたい。したがって、砂岩中の団塊方解石は地下水からの晶出物ではなく、団塊が-12～-8‰である天水起源地下水にさらされたため、低く改変された結果である。砂岩中の団塊は、初生的には泥岩中の団塊と同様な+30%前後の値をもっていたと推測される。

この解釈は、1)菱鉄鉱-方解石団塊の中心から外縁部にかけての同位体比プロファイル(荒谷層)、2)砂岩中の団塊の $\delta^{18}\text{O}$ が泥岩中の団塊の値を起点として、直線的に変化すること(大下条層)、3)団塊が、母岩が変形を受ける前に生成したことを示す変形構造(鑑摺層)、4)黄鉄鉱の含有(団塊が硫酸塩還元によって生成したことを表す)

(研究したすべての地層)、などから支持される。砂岩中の方解石団塊の酸素同位体比が改変されたのは、母岩が中～粗粒砂岩であるため透水性が高いことと、団塊の鉱物種が方解石であるため、再平衡しやすいこと、による。

採択番号 18A005, 18B005

研究課題名 浅海堆積物と深海堆積物の詳細比較から探る日本海深海無酸素イベントの要因

氏名・所属（職名） 佐川 拓也・金沢大学 理工研究域地球社会基盤学系（助教）

研究期間 H30/8/16-31, 11/4-9

共同研究分担者組織 村山 雅史（高知大学）、松崎 琢也（海洋コア）、他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

日本海深層水の特徴である高い溶存酸素は、大気から良く酸素を溶かした日本海の表層水が冷やされることで深海まで沈み込んでいることを示している。日本海深層水の溶存酸素は数万年前の過去に目を向けると幾度となく増減を繰り返しており、時に無酸素環境にまで陥ったことが海底堆積物の記録から明らかになってきた。こうした過去の無酸素の要因とメカニズムを理解することは、日本海深層の環境変動への応答性を知る上で重要である。

深層水溶存酸素の濃度は“深海への供給”（つまり、表層水の沈み込み）と“深海での消費”（有機物の分解）のバランスに左右されるため、これらのどちらが無酸素環境の要因として強く働いたのかを理解する必要がある。深海堆積物には酸素濃度変化の“結果”として起こった環境情報が記録されているが、浅海堆積物には深海酸素濃度を左右する“原因”である表層水の冷却度合いや、表層における植物プランクトンの増殖が直接記録されていると期待される。しかしながら、これまで深海酸素濃度の変化と比較可能な浅海堆積物のデータは存在しない。そこで、本研究では浅海堆積物に着目し、深海無酸素の“原因”である表層海洋環境を復元すると同時に、隣接した海域から得られた深海堆積物から“結果”も復元し、両者を比較することで深海無酸素の要因とメカニズムを探ることを目的とした。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本共同利用課題では、日本海若狭湾沖で採取された深度トランセクト堆積物コアの蛍光X線コアスキャナー分析と、浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比分析を行った。蛍光X線分析においては、浅海で採取されたWB1コア（水深284m）、WB3コア（337m）、WB4コア（397m）、中層で採取されたWB6コア（845m）、深海で採取されたWB8コア（1745m）の計5本の海底堆積物コアで分析を行った。分析解像度はWB1、WB3、WB4コアでは2mm間隔、WB6、WB8コアでは1mm間隔であった。

蛍光X線分析を行った結果、WB6コアの臭素（Br）の変動は、堆積物の明度であるL*と負の相関関係、全有機炭素（TOC）含有量と正の相関関係があった。堆積物中のBrは海洋起源有機物の指標となるため、日本海堆積物の明度の変化は主に海洋起源有機物の濃度に依存することが明らかになった。ただし、最終氷期極大期（LGM）の暗色層ではBrの値が比較的小さい。このLGMの暗色層ではマンガン（Mn）と硫黄（S）のカウント値が僅かに大きくなっている。MnやSは海洋還元の指標と考えられているため、LGMに日本海の中層が還元的環境であったことを示す。さらに、カリウム（K）とチタン（Ti）に注目する

と、これら2つは大局的に正の相関関係に有るが、局所的にKにのみ大きなピークが見られる層準が確認された。このピークのいくつかはテフラ層に対応し、先行研究の結果から中国大陸起源のテフラによるものと推測される。また、KのピークはMnのピークを伴うことが確認され、MnもKとともに大陸起源テフラの指標として使える可能性がある。

浅海で採取されたWB4コアにおいても中層のWB6コアと同様の特徴が見られる。BrはL*変動と概ね一致しており、WB4コアにおいても海洋起源有機物が堆積物の色の要因であることが確認された。また、KとMnに局所的なピークが確認され、テフラによるコア間対比のツールとして有用である。しかし、WB6と比較すると、KやMnのピークの大きさは小さいことから、日本列島側からの物質によって大陸起源の物質が希釈された可能性が考えられる。WB4コアのSとMnの変動には、局所的にそれぞれのピークが確認される層準も存在するが、WB6コアで見られたようなLGMにおける増加は確認されなかった。このことから、日本海浅海はLGMに還元的環境になっていた可能性は低いと推測できる。

日本海の浅海と中層コアで共通してBrとL*に相関関係が認められることは、中深層における酸素濃度の変化よりも海洋表層での一時生産の変化が両深度における堆積物の明度、TOC含有量を支配していることを示唆する。しかし、LGMに関しては塩分成層の発達によって中層以深で還元的環境に陥ったものと考えられる。今後の調査では、異なる地点から採取された浅海コアや、より深海の堆積物の結果と比較することで、浅海から深海にかけての海洋環境を復元することで、深海無酸素の要因とメカニズムを探っていく。

採択番号 18A006, 18B006

研究課題名 浅海生態系における堆積物中の埋没炭素量とその起源の解明

氏名・所属(職名) 桑江 朝比呂・海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所(沿岸環境研究グループ長)

研究期間 H30/9/18-20

共同研究分担者組織 渡辺 謙太, 棚谷 灯子(港湾空港技術研究所), 渡部 要一(北海道大学)

山野 博哉(国立環境研究所)

【研究目的・期待される成果】

これまで、海洋によるCO₂吸収は、外洋で発揮されていて、陸域からの負荷を受ける沿岸域では有機物が分解する場、すなわちCO₂の放出源と考えられてきた。ところが近年、応募者らの先行研究によると、沿岸生態系では、熱帯林に匹敵もしくはそれを上回る高いCO₂吸収速度の事例が示されるようになってきた。したがって、沿岸域はまさに炭素のmissing sinkとなっている可能性がある。しかし、陸、河川、外洋の影響を受ける複雑な場という沿岸海域の特性により、実証には手法や解析上の困難が伴う。したがって、「未知の炭素フロー」の検証作業はすすんでいない。以上の背景から、本研究では、様々な計測手法を新たに開発し、多分野の学術アプローチによる解析から、沿岸生態系における「未知の炭素フロー」を検証することを最終的な研究目標とする。

平成24年度に採取したサンプルについては、MSCL、X線CTスキャナー、コア連続画像撮影装置、レーザー粒度分布測定器を利用させていただき、堆積物コアの深度方向の基本的なプロファイルを得ることができた。現在、層別に分取したサンプルの年代測定・有機物起源推定の結果と合わせて取りまとめを行っている。

また、平成28年度には人為的な環境変化の影響があるサイトの堆積物コアを本共同利用にて1次処理させていただいた。分取したサンプルの分析を現在進めている。

今年度は炭酸塩地盤などの地理的成り立ちの異なるサイトにて得られたコアサンプルについて、これまでと同一の項目について分析を実施し、堆積物コアの深度方向の基本的なプロファイルを得ることを目的とする。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

1. 目的

平成30年度はサンゴ等の石灰化生物やその死骸が積み重なって形成される炭酸塩地盤における炭素の蓄積速度を推定するため、複数のサンゴ礁で採取した炭酸塩地盤の堆積物コアやサンゴについて、非破壊測定による性状観察を実施した。

2. 利用・研究実施内容

(1) 堆積物コアとサンゴの採取

平成22年から平成29年にかけて、沖ノ鳥島と南鳥島、およびそのモデルサイトである沖縄県ルカン礁において、炭酸塩地盤の堆積物コアとサンゴを採取した。沖ノ鳥島と南鳥島は、サンゴ礁上に排他的経済水域の根拠となる低潮線保全区域が設定されており、炭酸カルシウムとしての炭素蓄積速度の把握は国土保全上も重要な意義を有する。ルカン礁は浅いラグーンを持つ外洋上の孤立した

サンゴ礁であり、南鳥島や沖ノ鳥島に似た地形的な特徴を持つため、アクセスが困難な両島のモデルサイトとして設定した。

(2) コア性状の非破壊測定(平成30年度に実施)

採取した堆積物コアとサンゴを高知大学海洋コア総合研究センターに持ち込んだ。X線CTスキャナーを用いて、非破壊の性状測定を実施した。

サンゴのX線CT画像からは、サンゴ骨格内の密度差による年輪の構造が観察された。

堆積物コアのX線CT画像から、成長方向がコアの上向きで、かつポリプの摩耗が少ない現地性のサンゴを特定した。また、ラグーンの堆積物コアにおいて高密度の領域を特定し、マイクロフォーカスCTスキャナーを用いて、高密度領域の詳細なCT画像を得た。CT画像から、ミクライト様の構造が観察され、高密度領域はマトリクスが生化学または無機化学的に固化したものを含むことが推定された。

(3) 炭素蓄積速度の推定

今後は、サンゴのX線CT画像を画像処理ソフトウェアImageJに読み込み、成長方向に沿った年輪幅を測定するとともに、サンゴとともに撮影した密度標準物質(アルミニウム片)を用いて、サンゴ骨格のCT値を密度に換算し、年輪幅と骨格密度から、炭酸塩地盤の元となるサンゴの成長速度(サンゴ骨格としての炭素蓄積速度)を推定する。

堆積物コアのX線CT画像から特定した現地性のサンゴを切り出し、加速器をベースとした¹⁴C-AMS専用装置(NEC社製)を使用し、¹⁴Cの計数、¹³C同位体比(¹³C/¹²C)、¹⁴C同位体比(¹⁴C/¹²C)を測定し、¹⁴C法による年代測定を行い、炭酸塩地盤における炭素の蓄積速度を推定する。またCT画像の詳細な観察により、堆積物コア中の現地性サンゴの割合や堆積物コアの固化過程の推定を行う。

今後、これらの分析結果を用いて解析を進めていく予定である。

採択番号 18A007, 18B007

研究課題名 マイクロフォーカスX線CTを用いた底生有孔虫の貧酸素適応生態の解明

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 H30/12/3-7, H31/1/10

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、多様な海底環境に分布し、生態学的、生物地球化学的に重要な役割を果たしているほか、その石灰質/砂質の殻は古環境解析にも幅広く用いられている重要な分類群である。有孔虫は貧酸素環境で特に豊富に産する生物であるが、有孔虫の貧酸素適応には、微生物との共生、硝酸塩呼吸などさまざまな戦略があることが明らかになりつつある。有孔虫は口孔から出す仮足を通じて外界と物質のやり取りをし、それらの物質、あるいは液胞内にため込んだ溶存物質などを用いて代謝を行っていると考えられ、仮足、液胞を含めた細胞質な構造を3次元的に、かつ、定量的に明らかにすることが、有孔虫の貧酸素適応の理解に必須である。そこで本研究では、オスミウム導電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で観察し、細胞質の立体構造解析を行う。得られた再構築CT画像から、有孔虫の細胞構造の定量的な解析を行った後、超薄切片を作成して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。2017年度までの相模湾有孔虫試料の観察結果から、より貧酸素環境に生息する深部内在性の種は、浅部内在性の種と比べて細胞質を最終房室側に局在させていること、周囲の海水を引き込みやすくすると思われる構造が口孔下部にあり、その周囲にミトコンドリアとペルオキシソームを集積させていることなどが明らかになった。異なる海域の同種試料の観察からその一般性を確かめるとともに、複数種の比較から有孔虫に見られる細胞構造学的な貧酸素適応生態の多様性について検討する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2018年度の観察では、有孔虫の生息環境、特に呼吸に用いる酸素、硝酸塩の濃度と、貧酸素環境で細胞内に硝酸塩をためこむための液胞などの細胞小器官との関わりを明らかにするため、アリューシャン列島沖ベーリング海底谷の深海底およびスウェーデンのフィヨルドで採取した有孔虫種についてマイクロフォーカスX線CT解析を行った。特に、同属の有孔虫の細胞質立体構造が生息環境などによりどのように異なるのかを明らかにするため、*Globobulimina* 属に着目した解析を行った。*Globobulimina* 属は、これまでの相模湾で採取した個体の観察結果から、シスト内に細胞を展張する、口孔下部に特徴的な陥入構造を持つ、その周囲にミトコンドリアーペルオキシソームの凝集体を持つことなどがわかっている。ベーリング海底谷、フィヨルドで採取した表層堆積物の一部をグルタルアルデヒドで固定し、拾い出した有孔虫個体に導電染色を施し、樹脂包埋した後にX線の減衰が均質になる

よう樹脂のトリミングを行い、高知大学の所有するX線CTで細胞質の立体構造を観察した。撮影条件などはこれまでの撮影時とほとんど同条件である。

フィヨルド内で採取された*Globobulimina* 属の2種は、同属である相模湾の*Globobulimina affinis* とほぼ同様の細胞構造を見せ、細胞構造が、属レベルでは似通っていることを示唆した。一方、フィヨルドの2種では、石灰質殻の周りに薄く堆積物で覆ったシストを特徴的に保持していた。*Globobulimina affinis* と異なり石灰質殻全体を覆っており、CT像ではシスト内に細胞質は認められない。これらの個体について、樹脂包埋個体から超薄切片を作成して透過型電子顕微鏡で観察した結果、シストのすぐ内側に、2-3層になった泡状の細胞質が存在していた。石灰質殻の周りにこれらの泡状細胞質を展開し、薄く堆積物で覆うことで、環境とのバッファーなどに利用している可能性がある。また、フィヨルド試料の複数個体に、線虫と思われる生物を捕食しているか、捕食されていると思われる様子が実体顕微鏡観察で見つかった。これらの個体をCTで観察したところ、有孔虫の石灰質殻内に線虫が入り込んでいる様子が観察されたことから、有孔虫が線虫に頻繁に捕食されていることを示す。今後は、フィヨルドの*Globobulimina* 属の一部に見られた、石灰質殻外の泡状構造について、これらの個体の硝酸塩濃度の分析や、これらの個体の出現と堆積物中の環境との関連を調べ、その機能を推定する。また、得られたCT画像のAMIRAを用いた定量解析を進め、細胞質や液胞の表面積、体積などの定量化を随時進めていく。

採択番号 18A008, 18B066

研究課題名 Diagenesis of magnetic minerals in siliceous sediments

Rock magnetic study of siliceous sediments recovered by ODP leg 129

氏名・所属（職名） Abrajevitch Alexandra・愛媛大学 理学部 地球科学科（講師）

研究期間 H30/7/6-11, 7/27-30, 11/29-12/12, H31/2/25-3/1

共同研究分担者組織 山本 裕二, KARS Myriam（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 main objectives of the proposed collaboration study are to evaluate formation, modification and preservation potential of iron oxide constituents of biosiliceous sediments during early diagenesis.

Siliceous sediments recovered by ODP leg 129 is used in this study. A sample collection includes sediments with various initial composition (clay-rich vs. radiolarian-rich sediment), silica diagenesis stage (radiolarite, porcelanite and chert), and local redox conditions (red vs. grey sediments). Magnetic mineral assemblages of the studied sediments are characterized with a combination of rock magnetic techniques. Observed trends in the distribution of detrital and authigenic magnetic phases will be used in construction of a model for the diagenetic modification of iron oxides in siliceous sediments. Information on diagenetic alteration will be used in future studies to recover reliable environmental information from the siliceous sedimentary sequences.

non-reactive detrital phases and dissolution of biogenic magnetite grains leads to the formation of shale interlayers, while redeposition of silica cement in the adjacent silica-rich layers creates chert beds. Potential redistribution of redox-sensitive elements during the differential diagenesis should be taken into account in paleoenvironmental studies of bedded chert sequences. Diagenetic model for bedded chert formation also questions the application of cyclostratigraphic analysis to bedded chert sequences.

【利用・研究実施内容・得られた成果】

A combination of hysteresis, Isothermal Remanent Magnetization (IRM) acquisition, First Order Reversal curves (FORC) measurements, and low-temperature cycling experiments was used to characterize the samples. Majority of the studied samples show characteristic narrow ridge on the FORC diagrams and narrow IRM acquisition peaks that are typical of magnetofossils. With rare exceptions, the studied samples lack the distinct Verwey transition expected for stoichiometric biogenic grains, likely due to partial oxidation of the magnetofossils. Relative abundances of biogenic hard and biogenic soft particles differ between the samples collected from the different drill cores, however, there are no significant differences in relative abundances between the adjacent clay-rich and silica-rich bands.

Contrary to the previous rock magnetic studied of bedded chert sequences that show dramatic differences in magnetic characteristics between chert and shale layers, result of our study indicate uniform magnetic assemblages of clay-rich and silica-rich intervals of precursor sediments. The observed magnetic features are inconsistent with the current “silica dilution” model for the bedded chert formation. More likely, the observed differences arise during differential diagenesis. Diffusion of silica out of clay-rich bands accompanied with the passive concentration of

採択番号 18A009, 18B008

研究課題名 高知県横倉山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)

研究期間 H31/2/6-7, 3/4

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 hidroksiapatit 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 hidroksiapatit 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 Eusthenopteron 化石の歯や皮甲、海生爬虫類モササウルス類化石の歯、高知県登層魚類耳石(炭酸カルシウム結晶アラゴナイト)、さらに現生ラットやヒトの歯や骨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 PO_4^{3-} のピーク値は4種類が報告されている (Penel *et al.*, 2005)。 ν_1 : 960 cm^{-1} , ν_2 : 430 cm^{-1} と450 cm^{-1} , ν_3 : 1035, 1048, 1073 cm^{-1} , ν_4 : 587 cm^{-1} と604 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960-961 cm^{-1} (ν_1) に PO_4^{3-} の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。フルールアパタイト fluorapatite 結晶 (FAp) では964-967 cm^{-1} に 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 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965-967 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。シルル紀以降両生類より上位の脊椎動物の歯の結晶は960-961 cm^{-1} のピークで、biological apatite結晶CHAであると報告した (Kakei *et al.*, 2016; Mishima *et al.*, 2017)。hidroksiapatit 結晶HApやCHAはシルル紀以降に出現したと考察した。日本を含め世界各地の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 ν_1 は964-967 cm^{-1} であり、フルールアパタイト (FAp) とされ、またX線回折法でもFApと同定された。骨のアパタイト結晶では4種のピーク (ν_1 : 960 cm^{-1} , ν_2 : 430 cm^{-1} と450 cm^{-1} , ν_3 : 1035, 1048, 1073 cm^{-1} , ν_4 : 587 cm^{-1} と604 cm^{-1}) であった。これらのピークは天然アパタイト結晶と近似し、天然アパタイト結晶が骨代替材料の人工材料をインプラント後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有効であるが示された。(三島ほか, 2014; 2015; 2016; 2017; 2018)。生体アパタイト結晶はBタイプ炭酸含有アパタイト結晶CHA (type B CO3Ap) であることが追認できた (Mishima *et al.*, 2018)

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。*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 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、 CO_3^{2-} のピークを明瞭に分離できていない。耳石の炭酸カルシウムを対照試料にしてさらに検索していく計画である。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。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。従来の報告では、外層がエナメル質とされていたが、外層はエナメロイドであると報告した。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. 外層が内層に比較し, F含有量が多かった. コノドント化石の外層の結晶は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CHA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. 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, 歯槽の起源やセメント質の構造も追及していきたい.

採択番号 18A010, 18B009

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 H30/10/9-11

共同研究分担者組織 小玉 一人 (同志社大学), 望月 伸竜, 穴井 千里 (熊本大学)

岡田 誠, 羽田 裕貴 (茨城大学), 他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

堆積岩には堆積時の初期構成粒子に含まれる磁性鉱物と、堆積後に粒間や空隙に晶出する二次磁性鉱物がある。二次磁性鉱物には晶出時に二次磁化として化学残留磁化(CRM)を獲得するものもある。二次磁性鉱物の起源物質である鉄イオンは外部から流入する水分に含まれるものと、堆積物自体が粘土鉱物中などに保持しているものがある。つまり二次磁性鉱物は外部から流入した鉄イオンが堆積物内部で晶出する、もしくは流入した水分によって内部の鉄イオンが磁性鉱物へと変質する場合がある。いずれも晶出する場所は堆積物内の流路や粒子間であると言える。また、一部の堆積物には熱消磁の際、消磁温度の上昇に伴い試料中の磁性鉱物が熱変質し更にCRMを獲得してしまうため初生磁化の分離が困難な試料がある。この場合は試料中に含まれる磁性鉱物または鉄イオンが外部の水分や酸素と結びつき、CRMを獲得すると考えられ、やはり外気と接触しやすい流路や粒子間での積極的な晶出が予想される。古地磁気学的検討を行うためには、二次CRMを獲得した磁性鉱物や熱変質が生じる粒子を流路や粒子間から選択的に取り除くことが望ましい。

粒間や流路から積極的に二次磁性鉱物や原因物質を除去する手法として、還元化学消磁が有効である。我々は平成26~28年度の高知コアセンター共同利用において、礁性石灰岩を用いた還元化学消磁の有効性についての研究を継続的に行い優良な成果を得た。さらにこの手法を用いて熱変質が起こる物質を選択的に除去できるかを平成29年度からの共同利用において研究している。試料は白亜系蝦夷層群(中頓別および古丹別地域)の泥質岩を用いた。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では北海道古丹別地域に分布する蝦夷層群に対してRCDを用いた古地磁気研究を行った。これは白亜紀スーパークロ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る事を目的としている。この試料は、熱消磁で350℃付近までにある程度の磁化が消磁されるが、その成分は原点へ向かっていない。それ以降は450℃付近まで磁化が大幅に増加するため磁化成分を取り出すことはできない。高知コアセンターではRCDの実施およびパススルー型スクイッド磁力計での磁化測定を行っている。まず方位・極性の検討を前提にRCDの効果を確認するために熊本大学にて熱磁気分析を行った。真空雰囲気下の熱磁気天秤を用いて J_s-T 曲線を確認すると、

昇温曲線では、150℃、350℃で J_s が減少、400℃付近で大幅に増加する挙動を示した。450℃で増加のピークに達しその後緩やかに減少しながら580℃で J_s は0となる。これに対しシスターサンプルに還元化学消磁を行った試料では450℃での J_s の増加が見られず、150℃、350℃で J_s の減少が確認でき、580℃で J_s が0になった。このことは、この堆積物に400℃付近で熱変質する鉄を含む鉱物が存在し、還元化学消磁によってこれらが選択的に除去されたことを示している。すべての層準で熱磁気分析を行った結果、熱変質の種類は4パターンあることが確認できた。このすべての熱変質パターンを還元化学消磁により抑制することができた。この結果を踏まえて古地磁気方位測定を行った。測定パターンは、交流消磁、熱消磁、RCD+交流消磁、RCD+熱消磁の4つである。また、熱消磁およびRCD+熱消磁の結果については、先行研究において350℃までの成分が初生磁化であるとしたKodama *et al.* (2000)を元に、350℃までの低温成分および400℃以上の高温成分に分けて方位のまとまりを確認した。結果はRCD+熱消磁の高温成分において、方位およびVGPの緯度から求めた極性が逆帯磁を示唆するものであった。これは岩石磁気測定の結果とも矛盾しない。これらの結果はRCDは蝦夷層群の二次磁化に対して有効な消磁手法である事を示していると考えられる。また、本研究では同時に熱消磁時CRMが確認されている千葉複合セクションの試料に対して、RCDの有効性を確認する研究も進めている。こちらは高知コアセンターの熱磁気天秤を用いて熱磁気分析を行った。結果は蝦夷層群と同様にRCDによって熱変質が抑制されるということが明らかとなっている。

採択番号 18A011, 18B010

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 研究部火山防災科（研究員）

研究期間 H30/12/16-21

共同研究分担者組織 渋谷 秀敏（熊本大学）

【研究目的】

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麓域において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30年12月16日から12月21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30試料の熱磁気分析、振動磁力計(MicroMag 3900 VSM)を用いて227試料の磁気ヒステリシス実験を行った。平成30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ンナー磁力計(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・火砕流堆積物及び宝永噴火(西暦1707年)の火山噴出物である。

【得られた成果】

富士火山の火山噴出物の磁気特性に関する基礎データを蓄積するため、熱磁気分析及び磁気ヒステリシス実験を昨年度と同一条件で行った。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°C)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。また、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理論混合曲線上のPSD領域にプロットされる。これまでの測定結果から、火山噴出物の酸化還元作用や冷却速度の違いが磁気特性に反映されていることは示唆されるが、地磁気永年変化モデルと異なる古地磁気方位を示す青木ヶ原丸尾溶岩などの複数層準と地磁気永年変化モデルに一致する層準に有意差は認められない。また、自然残留磁化(NRM)と現在の地球磁場による誘導磁化の比であるケーニヒス

ベルガー比(Qn比)においても有意差は認められず、要因は特定の溶岩の磁性の違いである可能性は考え難い。

結城ほか(2018: JpGU)は、青木ヶ原丸尾溶岩が分布する富士火山北東麓において空中磁気探査を行い、溶岩や火口列の分布域に対応した正負の全磁力異常を報告している。そこで更に詳細な全磁力異常を明らかにするため、オーバーハウザー磁力計を用いて青木ヶ原丸尾溶岩の分布域を広域的に地上磁気探査した。その結果、富士火山の基盤である第三系と富士火山起源の溶岩との境界部に±9000nTと高い全磁力異常が観測された。地磁気永年変化モデルの期待値と古地磁気方位が異なった青木ヶ原丸尾溶岩のサンプリングサイトは、流下・定置時に下位の溶岩と第三系の岩相境界であったことから、磁化獲得時に下位の溶岩による誘導磁化が影響したことが示唆される。

富士火山の火山噴出物から正確な古地磁気方位を得るために、これまで同一層準でも複数(2~5)サイトの定方位サンプリングから二次傾動の有無や同時性を検証してきた。加えて、磁気異常の影響を考慮したサイト選定を行うことにより、古地磁気永年変化ならびに富士火山の噴火史をより詳細に解明していきたい。

採択番号 18A012, 18B011

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 H30/4/23-25, 10/29-31, H31/2/5-8

共同研究分担者組織 学生1名

【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迫る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氣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および同時代に噴出した火山岩である。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30年度は、引き続きさまざまな遺跡から採取した試料と火山岩試料の古地磁気・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参加還元状態を推察するために岩石磁気測定とEPMAによる観察・分析を行う予定である。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2018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. 篠西山1号窯床面の古地磁気・岩石磁気測定

京都府亀岡市の篠窯跡群中の西山1号窯(1-1, 1-2の2基)について、古地磁気測定および岩石磁気測定を進めた。その結果、同古窯の操業年代と古地磁気方位が指す推定年代には良い一致が見られた。また、岩石磁気測定からは、古窯床面と焚口付近の焼土において特徴的な磁氣的性質が見られた。これは焼成環境に由来すると考えられ、今後、岩石磁気を使った古窯焼成環境の復元研究へと発展することが期待できる。

2. 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に関して、1と同様の岩石磁気測定を行っている。同窯跡は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、床面の多様な部分から試料を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。共同利用を利用して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、本年度までにおおむね測定が終了した。

3. 富士山歴史溶岩の岩石磁気測定

最近、北原(2018)により日本最大の須恵器窯跡である陶邑窯跡群の床面試料に対する考古地磁気強度測定が行われ、地磁気強度変動の様子が一新された。陶邑窯跡群の年代(5~10C)と同時期に活動していた火山の歴史溶岩として富士山の須走d期溶岩(200BCE~1100CE)がある。そこで、この溶岩を使って古地磁気強度測定をし、比較することにした。古地磁気強度測定は所属組織で行い、これまでに10溶岩流より良好な結果を得ている。一方で、古地磁気強度測定を裏づけるために、各種岩石磁気測定を行う必要があり、本申請において、熱磁気分析、高温磁化率、および磁気履歴測定を行った。これらの結果より、一部の溶岩にTiを多く含む磁鉄鉱がかなり入っていること、また、一部の試料が通常の疑似単磁区の線上来ないことがわかった。現在、岩石磁気と古地磁気の結果の対応関係を精査しており、今後いくつかの追加測定を行った後に発表する予定である。

4. 鉱物標本、試薬の測定

上記のように各種の試料に対して古地磁気・岩石磁気測定してきたが、当初予想していなかった磁性鉱物と遭遇する機会が増えた。そこでそれらの磁性の文献値を確認するとともに、鉱物標本や試薬を使って、自分たちが測定している測定法における挙動を確認する必要が生じた。とくに磁赤鉄鉱(Maghemite)の真空中・空気中における高温での振る舞いを確認し、土壌面から土器窯が作られ土器を焼成する際に起こる化学反応や転移について、一定の理解を得た。

採択番号 18A013, 18B012

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 理学府地球惑星科学専攻（修士2年）

研究期間 H30/7/22-27

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】

海洋の酸化還元環境は約19-18億年前に大きく変化した。近年の研究では約19-18億年前の期間に海洋は鉄イオンに富む環境（Ferruginous）から、硫化水素に富む環境（Euxinic）へと変化したと考えられている（Poulton *et al.*, 2010 *Nature Geoscience*）。しかし、これらの海洋環境変化のタイミングやその要因についての全貌は未だ明らかとなっておらず、より多くの地質帯から当時の海洋環境に関する化学データを報告することが必要となっている。本研究では、約19-18億年前の堆積物が保存されているトランスハドソン造山帯に着目し、フリンフロン帯やケープスミス帯など様々な地質背景、年代の地質帯より得られたコア試料の黒色頁岩について有機炭素同位体比を測定する。一般に、黒色頁岩に含まれる有機炭素の同位体比を測定することにより当時の一次生産者を推定することができる。これは約18億年前に生息していたとされるバクテリアが炭素固定を行う際に引き起こす同位体分別の大きさが各バクテリアによって異なるためである。本年度はこれまでの研究を継続し、堆積環境と生息していたバクテリアの関係について検討する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今年度は、前年度までの有機炭素同位体データの時間解像度を改善するために、約50mの砂岩-黒色頁岩互層より構成されるコア試料から105試料（およそ50cm間隔）を作成し、分析を行った。試料は全て黒色頁岩である。有機炭素同位体比を分析するにあたって、九州大学にて6N塩酸を用いた脱炭酸を行った。脱炭酸では黒色頁岩粉末を60℃の塩酸に72時間以上浸し、超純水を用いて5回以上すすいだ。この時、リトマス紙を用いて上澄みが中性になることを確認している。

分析は池原実先生の協力のもと、有機化学実験室設置の元素分析オンライン質量分析計を使用して行った。標準試料としてL-Alanine（昭光通商 株式会社 杉戸研究所、 $\delta^{13}\text{C} = -19.6 \pm 0.2 \text{ ‰}$ ）とSulfanileamide（ $\text{C} = 41.84 \%$ ）を用い、10サンプルごとに1個ずつ測定した。誤差は $\pm 0.2 \text{ ‰}$ である（ $n = 11$ ）。また、試料封入には錫カップを用いた。

層序中の黒色頁岩の有機炭素同位体比は-30.6から-33.4%の値幅を持つ。変化の傾向については、下部層砂岩優勢部で-30.6%から-33.2%程度まで急激に減少する。また、その後有機炭素同位体比はおおよそ一定の値を取り続け、下部層黒色頁岩優勢部で浅く-31.9%まで緩やかに上昇する。有機炭素含有量（TOC）は0.2から4.6%の間で変動する。炭素同位体比が減少し始める層準付近でTOCは減少し、その後上昇する。TOCの最大値に近い値（4.4%）を取った後は、1.8%までの緩やかな減少傾向を見せる。

本研究で得られた有機炭素同位体比は-30から-33%程度の比較的狭い範囲で変動する。ここで約19億年前の海洋中無機炭素同位体比が現在と同程度の0%付近で安定していたとするならば、同位体分別幅は-30%程度であったと予測できる。このような大きな炭素同位体分別幅は、カルビンサイクルや還元的アセチルCoA回路によって固定された場合の炭素同位体分別幅に一致する。また、還元的アセチルCoA回路によって炭素固定が行われた場合、メタン生成菌の成長に伴い炭素同位体分別幅も大きくばらつくことが知られていることから（House *et al.*, 2003）、約19億年前海洋において炭素固定はカルビンサイクルを用いて行われていたと考えられる。

また、本研究により得られた有機炭素同位体比の変動は、これまでの研究によって得られた硫黄同位体比の変動と同時に起きる。今回、分析点を105点という高時間解像度で行ったことにより有機炭素同位体比と硫黄同位体比の共変動が完全に同時期に始まっていることが明らかとなった。このような硫黄同位体比と炭素同位体比の共変化の原因として、海洋への炭酸イオンや硫酸イオンの供給を現在想定しているが、確かな証拠は得られていない。今後の研究では以上の同位体変化の原因を解明すること課題としている。

採択番号 18A014, 18B013

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 H31/1/23-25, 1/29-2/1

共同研究分担者組織 Baladz BRADAK, 安田 裕紀(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。銀河宇宙線量と下雲量の正の相関(スベンスマルク効果)は、太陽と地磁気が銀河宇宙線を介して気候変化をもたらす可能性を示唆する。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。

本研究では、地磁気の逆転、エクスカージョン、永年変化の詳細な磁場変化を復元し、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。

本共同利用研究では、水月湖年縞堆積物コアの磁気分析から地磁気エクスカージョンの発見が期待される。中国レスの磁気分析からは、地磁気逆転トランジションの詳細磁場復元が期待される。千葉セクションコアTB2の非破壊分析から新たな古環境プロキシを獲得して、太陽活動との相関を調べることができる可能性がある。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

水月湖年縞堆積物コア試料の熱磁気分析、等温残留磁化(IRM)獲得実験、ヒステリシス実験を行った。IRM獲得実験では、磁性鉱物含有量が少なすぎてVSMではよいデータは得られなかった。AGMで再測定する必要がある。全体的には、熱磁気分析結果から、磁化を担っている磁性鉱物はマグネタイト、グレイタイト、ヘマタイトであることが分かった。分析した試料は主に、更新世末期のエクスカージョン(A,Bの仮称)が見つかった深度から採取したものである。エクスカージョンA付近の試料は、グレイタイトの量が相対的に多いことが分かった。エクスカージョンB付近についてもグレイタイトは存在するが、加熱冷却後の磁化損失が非常に少ないことがエクスカージョンA付近と異なる。加熱後の磁化損失は、グレイタイトの分解とその酸化によるヘマタイト化と細粒マグネタイトの高温酸化によるヘマタイト化が考えられる。エクスカージョンB付近はグレイタイトが崩壊してマグネタイトが生成してヘマタイトへ酸化した量が少ないことを示唆しているのかもしれない。

含まれる磁性鉱物に大差はないが、エクスカージョンBはHole EとHole Fの両方のコアに記録されていることが分かったのに対し、エクスカージョンAはHole Eのコアにしか記録されていなかった。後者はコアセクションの端に記録されていることからコアのねじれが原因の可能性など今後検討が必要である。

試料は1個だけであるが、年代が約41kaのエクスカージョン付近からも熱磁気分析データを得た。同じく、磁性鉱物はマグネタイト、グレイタイトが主であった。ヘマタイトのシグナルも出るが、グレイタイトの分解、酸化によるものである可能性は否定できない。このエクスカージョンは主に熱消磁実験により得ているので、信頼度は極めて高い。その年代範囲は、報告されているラシャンエクスカージョンと整合的である。こちらは、岩石磁気分析をさらに進めて、近いうちに論文執筆を行う予定である。

昨年度以前に行った実験で得られたデータをH30年度に解析して得られた成果について報告する。中国レスのヒステリシス測定、IRM獲得実験、熱磁気分析により、レス・古土壌が碎屑性および土壌性のマグネタイト、表面がマグヘマイト化した碎屑性マグネタイト、碎屑性および土壌性のヘマタイトからなることが分かった。この基礎データに基づいて、レス・古土壌層の帯磁率と帯磁率の周波数依存性データの古気候学解釈を行った。その結果、百年スケールの夏季モンスーン強化/弱体化イベントとそれに逆相関で応答する冬季モンスーンの弱体化/強化イベントがペアで存在することを明らかにした。そして、地磁気逆転期の地磁気強度減少期には、それが存在せず冬季モンスーン強化が起こっていることを明らかにした。そしてその原因が銀河宇宙線量の増加により、下層雲が増加し、その日傘効果が原因であることを突き止めた。この成果はScientific Reportsに論文公表した。

採択番号 18A015, 18B014

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（博士後期課程3年）

研究期間 H31/3/18-22

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を濃集させるメカニズムの1つとして、有機物への吸着が知られている。

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が期待される。平成29年度後期の申請においては、研究対象試料の特性を踏まえた適切な測定法及び前処理法の検討と予察的な分析を行った。現在はその検討に基づき、測定に必要な前処理を引き続き進めているところである。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成30年度の研究では、平成29年度後期に行った、試料の特性を踏まえた適切な測定法及び前処理法の検討と予察的な分析に基づき、研究対象試料の測定に必要な前処理を行い、実際に全有機炭素量 (TOC), $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, 全硫黄量 (TS) の測定を行った。

KCCにおける分析に先立ち、あらかじめ全試料について、所属研究室にお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った。塩酸処理を行う際は、試料約300mgを遠沈管に入れ、そこに6N塩酸10mlを加えた。これを60°Cの恒温器で72時間加熱した。その後Milli-Qを加えて攪拌し、遠心分離機で試料と上澄み液を分離し、上澄み液を吸い取る作業を繰り返し行い、塩酸を希釈した。その後恒温器の中で試料を乾燥させた。これらの粉末試料について、KCCの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を測定した。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 EA1112) により全炭素量 (TC) とTSの測定を行った。試料は電子天秤で秤量し、粉末を錫カプセルで包んだ。錫カプセルは助燃剤として働いた

め二重にした。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を求めた。

TOCはLeg.165 (カリアコ海盆), Exp. 347 (バルト海) では数%, Leg. 40 (ナミビア沖) 海洋無酸素事変の堆積物では30%以上, Leg. 23 (紅海) では数%のものと20%弱のものがあることが明らかになった。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ の値は, Leg. 165 (カリアコ海盆) では-24‰~-21‰, Exp. 347 (バルト海) では4サイトの内3サイトで-28‰~-26‰, 1サイトで-22‰~-21‰, Leg. 40 (ナミビア沖) 海洋無酸素事変の堆積物では-28‰から-26‰と、海域により違いがあることが明らかになった。TSについては試料を多く包みすぎたことなどにより、精度の良いデータが得られなかった。令和元年度の分析においては試料量を少なくすること、粉末試料に助燃剤を加えて錫カプセルで包むこと、試薬を取り替えることを行い、再分析を行う予定である (前期分19A014, 後期分19B012)。

平成30年度の測定では、予定していた150試料について塩酸処理を行い、90試料について測定を行った。未分析試料の測定と平成30年度測定した試料の再測定を令和元年度に継続して行う。本研究で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ことを目的としている。令和元年度の分析結果と合わせて解析を行い、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 18A016, 18B015

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 H31/2/8-15

共同研究分担者組織 加藤 千恵(九州大学)

【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。

掘削されたコア試料からは、熱水の活動によると思われる様々な金属硫化物が報告されている。その中には磁氣的なふるまいが良く解っていないものもあるため、熱磁気分析や低温磁気分析など、様々な岩石磁気分析を駆使して磁性鉱物を同定する。

これらの磁性鉱物の研究は、鉱物学および岩石磁気学の基礎的な研究に寄与する。また本研究で明らかにされる熱水活動域の鉱物の磁氣的性質は、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。さらに、熱水鉱床の成因の探求にも貢献するものと考えられる。またこれまで報告された様々な金属硫化物の中には隕石に含まれるものも多く、それらの磁氣的性質を明らかにすることで、宇宙科学への展開の可能性もあると考えられる。

【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他、チムニーから採取した岩石についても分析した。分析は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の各シーケンスでの測定に加え、低温での磁気ヒステリシス曲線の測定も行った。

今年度、特に注目したのは、チムニー試料に含まれる硫化鉱物の低温における特異な磁気特性である。X線回折(XRD)測定と化学分析の結果、チムニー試料は主に磁硫鉄鉱とCu-Fe-S硫化鉱物からなることが判った。このCu-Fe-S硫化鉱物は常温で常磁性を示すことから、常温で強磁性を示す磁硫鉄鉱とは磁氣的に分離できる。また結晶構造は閃亜鉛鉱の結晶構造と類似しており、その化学組成はCuFe₃S₄に近いことから、当初、アイソキューバナイトに近い鉱物であると考えられた。この常温で常磁性を示していた硫化鉱物の低温磁気測定を行ったところ、100K以下で強磁性に磁気転移し、50Kでの飽和磁化は20 Am²/kgと非常に強い磁性を示した。

一方、比較のためにアイソキューバナイトの低温磁気分析を行ったところ、その磁氣的なふるまいはチムニーの硫化鉱物とは異なるものであった。まずアイソキューバナイトは、キューバナイトの標本資料を300℃で加熱することで合成した。この合成されたアイソキューバナイトは、常温では弱い強磁性を示し、冷却すると、チムニー

の硫化鉱物と同じく約100Kで磁気転位し比較的強い強磁性を示すが、飽和磁化は50Kで0.4 Am²/kg程度とチムニーの硫化鉱物に比べて二桁近く弱い。

このチムニー試料の硫化鉱物と近い磁性を示す鉱物として、Wintemberger (1994) で報告された、CuFe₃S₄に近い組成の鉱物がある。この鉱物は、やはり海底の熱水鉱床から採取された試料であるが、採取当初はアイソキューバナイトであったものが、変質して、このCuFe₃S₄に近い組成の鉱物と黄銅鉱(CuFeS₂)に分離したとされる。この鉱物の低温での磁氣的振る舞いは、我々のチムニー試料のそれと非常によく似ている。Wintemberger (1994)はこの鉱物のメスバウアー分光測定を行い、低温における強磁性の原因を研究しており、アイソキューバナイトではランダムである鉄と銅の配置が規則的になることで、強い磁性を持つようになるとしている。我々も今後、チムニー試料のメスバウアー分光測定を行い、磁氣的特性の考察を行いたいと考えている。

また、これまでに報告してきたように、掘削試料の低温磁気分析において、50Kから70K付近の温度で磁気転位と思われる変化が観察されている。これらの変化の候補として、試料に含まれるいくつかの鉱物の標本試料の低温磁気分析も行った。しかし、これらの転移に対応する磁性鉱物については今のところまだ不明である。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ので、こちらの分析も進めて行く予定である。

採択番号 18A017, 18B016

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 比較社会文化研究院(学術研究員)

研究期間 H31/1/16-23, 3/4-8

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世紀を中心とする西日本における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。

また同時に、最新の考古地磁気強度実験手法の正確性の検討を目的として、陶邑窯跡群以外の複数の同一年代区間のサイトから採取された複数のタイプの試料に対して考古地磁気強度実験を適用し、得られた強度値のクロスチェックを実施する。

【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2019年の1月16-23日および3月4-8日の計13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。

二ヶ所の古窯から採取された試料群から復元された強度値のクロスチェック

日本における考古地磁気強度データセットの再構築を行う際に使用する、最新の考古地磁気強度実験手法の精度の検討を目的とした実験を行った。具体的には、岡山県備前市に位置する佐山東山奥窯跡(操業年代=10世紀周辺)と京都府亀岡市に位置する篠西山1号窯跡(操業年代=10世紀後半)から採取された焼土試料と土器片試料に対して最新の実験手法である「綱川-ショー法(e.g. Yamamoto *et al.*, 2003)」と「IZZI-テリエ法(e.g. Tauxe and Staudigel, 2004)」を適用して考古地磁気強度を復元し、各値の整合性を確認することによって、実験手法の正確性を検討した。実験は、交流消磁装置付き全自動スピナー磁力計(夏原技研製DSPIN)、スピナー磁力計(夏原技研製ASPIN)、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、東山奥窯の焼土にショー法を適用して復元された強度値は $48.1 \pm 3.1 \mu\text{T}$ (n=8)、東山奥窯の焼土にテリエ法を適用して復元された強度値は $45.3 \pm 4.4 \mu\text{T}$ (n=3)、東山奥窯の土器にショー法を適用して復元された強度値は $50.2 \pm 4.7 \mu\text{T}$ (n=4)、西山1窯の焼土にショー法を適用して復元された強度値は $33.7 \pm 6.0 \mu\text{T}$ (n=7)、西山1窯の焼土にテリエ法を適用して復元された強度値は $42.3 \pm 10.9 \mu\text{T}$ (n=6)、西山1窯の土器にショー法を適用して復元された強度値は $50.1 \pm 5.9 \mu\text{T}$ (n=5)となった。以上のように、ほぼ同じ年代区間に属すると考えられる6種類の考古地磁気強度を比較してみると、西山1窯の焼土のショー法が低めの値を示す以外は概ね調和的であることが分かった。このことは、最新の2種の実験手法(綱川-ショー法およびIZZI-テリエ法)を使用して復元した考古地磁気強度値が高い正確性を有していることを示唆する。また、得られた実験結果を詳細に検討すると、綱川-ショー法の低めの値を示す結果については、高めの値を示す結果と比較すると、NRM-TRM1グラフの湾曲が大きい(ARM補正の寄与が大きい)傾向があることが分かった。東山奥窯の土器に対するテリエ法と西山1窯の土器に対するテリエ法に関しては、現段階においては合格試片数が $n \leq 3$ であるため、平均強度値が得られていない。今後も同様の実験を継続して実施し、より詳細な検討を行っていく予定である。

採択番号 18A019, 18B018

研究課題名 日本周辺海域における貝形虫化石のMg/Caを用いた鮮新世以降の古水温復元

氏名・所属（職名） 山田 桂・信州大学 学術研究院 理学系（教授）

研究期間 H31/1/15-17

共同研究分担者組織 学生 2名

【研究目的・期待される成果】

微小甲殻類の貝形虫は2枚の石灰質殻を持ち、殻のMg/Caは定量的古水温復元に用いられる。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275万年前の時代について、日本海の中層水及び浅海域の水温を定量的に復元してきた。同研究により貝形虫殻のMg/Caが、過去の水温を定量的に復元する手法として有用であることが示された。そこで、これまで群集解析が行われてきた更新世や完新世の試料について、殻のMg/Caを用いた定量的古水温復元を行い、鮮新世以降の日本周辺海域の新たな水温データを得ることを目的とする。

2018年度は、これまで分析を行ってきた新潟県銚江層の試料に加え、対馬と隠岐で掘削された完新世の柱状試料と陸奥湾で掘削され群集解析がすでに終了している柱状試料中の殻を用いた分析を行う。いずれも近過去について高解像度で解析可能な試料であり、人間の生活域に関連する内湾や浅海の古水温を得られることが期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今年度本研究で対象とした地域は、新潟県四十日地域、胎内地域、及び長崎県対馬である。2018年度は、2019年1月15日～1月17日に、新潟県南魚沼市四十日地域及び新潟県胎内市から得られた *Cytheropteron* 属貝形虫の殻と、長崎県対馬の舟志湾で採取された16SS1Cコア中の *Krithe japonica* の殻のMg/CaとSr/Caを、ICP-AESを借用して計87試料の分析を行った。今年度は日本列島周辺の鮮新世～完新世の試料を対象に、底層水温を定量的に復元するため、Mg/Caと水温が相関を示すことを利用して殻の化学分析を行った。

新潟県四十日地域では、*Cytheropteron sawanense* と *Cytheropteron miurense* 殻数個体ずつを用いて、Mg/Caの分析を行った。貝形虫化石群集に基づいて明らかになった底層水温変動と類似した変化を示した。

胎内市の銚江層については、これまで氷期・間氷期変動に対応した中層水と浅海域の底層水温が示されていた。今年度はこれまでデータのなかった2.7-2.6Maについて新たに分析を行った。考察については現在検討中である。

対馬の舟志湾のコアからは、*Krithe japonica* の1試料あたり8個の成体殻を使用し、微量元素分析を行った。結果として、コア下部（約BC2,000-AD100）および、コア上部（約AD1,100以降）においてMg/Ca比は約27-39mmol/mol（平均33mmol/mol）を示した。一方で、コア中部（約AD100-AD1,100）の層準では、約21-34mmol/mol（平均27mmol/mol）と低い値を示した。このMg/Ca比の低下す

る期間は古墳寒冷期（阪口, 1993）に相当する。これらのMg/Ca比が変化する層準は、貝形虫群集の変化する層準と一致し、Koizumi *et al.* (2006)による珪藻化石を用いた対馬暖流の表層水温変化とも調和的である。そのため、舟志湾における *K. japonica* 殻のMg/Ca比の変動は、対馬暖流の表層水温変化に起因して変動しており、それらが相対的海水準変動とともに舟志湾の貝形虫群集に影響を与えた可能性が高いと考えられた。

今後は陸奥湾のコア試料中の貝形虫殻を連続的に分析し、完新世における定量的古水温変動を復元する予定である。

採択番号 18A020, 18B019

研究課題名 生物源磁鉄鉱に関する古地磁気・岩石磁気学的研究

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 H30/4/27-30, 10/1-2, 12/25-27, H31/3/23-26

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

深海底堆積物中の強磁性鉱物は、主として陸源と走磁性バクテリア(MTB)起源の磁鉄鉱である。本課題では生物源磁鉄鉱に関する以下の研究を行う。

- (1)陸源と生物源磁鉄鉱では、粒径や保磁力分布等が異なることから、堆積残留磁化の獲得効率が異なると考えられる。古地磁気強度変動の正確な復元のため、これらの量比の変動を検出し、その影響を補正する手法を考案する。
- (2)生物源磁鉄鉱の存在量や形態(MTBの種により異なる)は、有機物供給量などの古環境を反映していると考えられる。生物源磁鉄鉱を用いた古環境プロキシの可能性を、さまざまな種類の堆積物を用いて検証する。
- (3)MTBの生態について、堆積物中の酸化・還元境界付近が生息好適環境であり、その場所に効率的に留まるために地磁気伏角を利用しているといわれてきた。しかし、酸化・還元境界の存在しない赤色粘土にも生物源磁鉄鉱は普遍的に存在するため、従来のモデルは必ずしも成り立たない。さまざまな環境におけるMTBの種類や生息密度と、古地磁気との関連を研究し、MTBの生態の解明に貢献する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

南鳥島周辺海域から採取された赤色粘土コア試料(MR15-E01-PC4, MR15-02-PC8, PC10, PC12)について、パススルー型超伝導岩石磁力計を用いて、自然残留磁化測定及び段階交流消磁実験、非履歴性残留磁化(ARM)着磁及びその段階交流消磁実験を行った。東京大学大気海洋研究所で行った飽和等温残留磁化(SIRM)測定結果とあわせて、生物源磁鉄鉱と陸源磁鉄鉱の量比のプロキシであるARM磁化率とSIRMの比を求めた。あるコア深度(海底数m程度)以下ではこの比が急増し、生物源磁鉄鉱の割合が極めて高いことが判明した。これは南鳥島周辺海域の赤色粘土で普遍的に見られる現象であることが、改めて確認された。石灰質・珪質の微化石を含まない赤色粘土の年代を求めることは難しいが、生物源磁鉄鉱と陸源磁鉄鉱の量比が急変するのは古第三紀と推定され、グローバルな環境変動を反映している可能性がある。また、赤色粘土試料の一部については、低温磁気特性測定を行った。これまでの研究から大きな低保磁力成分の存在が知られていた試料について、単磁区・超常磁性境界付近の粒径の磁性鉱物の存在を、交流磁化率の低温領域における周波数依存性を用いて検出することを試みたが、特に明瞭な周波数依存性は観測されなかった。

上述した、南鳥島周辺海域の赤色粘土において、磁性鉱物に占める生物源磁鉄鉱の割合が古第三紀では極めて

高いという特徴は、南太平洋中緯度の環流域(South Pacific Gyre)に位置するIODP Site U1365コアにおいても、年代的にはあいまいさが残るものの、同様であることがすでに報告されている。そこで、この現象の広がりを確認するため、南太平洋低緯度域(ベンリン海盆)で採取されたP406コアについて、交番力磁力計を用いて、磁気ヒステリシス、等温残留磁化獲得曲線、及びFORC(first-order reversal curve)の測定を行った。得られたFORC図の特徴(生物源磁鉄鉱を示す“central ridge”成分と陸源を示す磁気相互作用が大きく保磁力の低い成分)から、この海域においても、海底数m以深では、磁性鉱物に占める生物源磁鉄鉱の割合が極めて高いことが確認された。

マリアナトラフの熱水性金属硫化物試料からは、弾丸型の磁鉄鉱を作る走磁性バクテリアが発見されている。熱水チムニーでは酸化還元勾配が上下方向ではないため、地磁気伏角を利用することのメリットはないと思われる。バクテリアが何のために磁鉄鉱を持つのか興味深い。その解明の一助とするため、試料に含まれる磁性鉱物の同定を行うことを目的として、低温磁気測定を行った。特にビビアナイトが存在する可能性を検討したが、特徴的な低温磁気相転移は検出されなかった。

採択番号 18A021, 18B020

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 H30/6/5-6, H31/1/7-10

共同研究分担者組織 谷川 晃一郎, 嶋田 侑真（産業技術総合研究所）, 藤野 滋弘（筑波大学）

【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、非破壊検査手法を用い、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30年度は、6月5日、1月8日、1月9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と高知県須崎市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コア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津波（13世紀の巨大津波）の痕跡を確認するため、CT画像の撮影による非破壊観察を行った。この結果、当時の津波の遡上限界付近と考えられる場所では、17世紀の津波堆積物を肉眼で全く確認することができなかったが、CT画像によって津波堆積物を確認することができ、津波の遡上に関するより詳細な情報を得ることができた。13世紀の津波堆積物については、CT画像からその堆積構造を詳細に確認することができた。また同時に、掘削試料において、肉眼では観察できない火山灰層の位置を特定することができた。

高知県須崎市では、現在は水田あるいは畑地として利用されている低地において、ロータリー式の試錐機を使用した機械式ボーリングにより柱状堆積物試料を採取し

た。得られた試料は、コアパックに入れられたままの状態、堆積構造が崩れないように半割の塩ビ製パイプで挟み込むように保管した。試料は、一時的に請負業者の倉庫で保管した後に高知大学コアセンターに持ち込んだ。高知県沿岸では、沿岸湖沼における掘削調査から、過去数千年間の地層中に複数の津波堆積物が残されていることが明らかにされている。本研究では、CT画像によりイベント堆積物の位置を特定し、その堆積構造を観察することによって津波堆積物の認定を試みた。コアSK2018-02を観察した結果、泥層あるいは砂質泥層中に挟まれる砂質イベント堆積物の位置を特定することができた（深さ3.30m～3.64m, 深さ3.75m～3.78m, 深さ3.90m～4.03m, 深さ4.18m～4.20m, 深さ4.51m～4.53m, 深さ4.86m～4.88m, 深さ5.04m～5.10m, 深さ5.51m）。また、コアの深さ6.40m～10.30mは礫層が分布することも認められた。これらのイベント堆積物には、明瞭な地層境界や級化構造などの構造を確認することができた。今後は、年代測定や古生物学的手法を組み合わせ、津波堆積物の認定を行っていく予定である。

採択番号 18A022, 18B021

研究課題名 地震性タービダイトに記録された熊野沖南海トラフから日向沖における地震イベントの推定

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（博士課程3年）

研究期間 H30/11/20-21

共同研究分担者組織 芦 寿一郎（東京大学）、村山 雅史（高知大学）

【研究目的・期待される成果】

過去に発生した巨大地震の記録は海底堆積物中に地震性タービダイトとして残されている。これまで世界各地の地震多発域でタービダイトを用いた地震履歴の推定が進められてきた。しかし、南海トラフの地震履歴に関しては、津波堆積物を用いた研究例は存在するが、海底堆積物を用いた研究例は未だ限られている。本研究では、熊野沖から日向沖にかけて採取された海底堆積物を用いて、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。また、得られた地震履歴を津波堆積物から推定された記録と対比することで南海トラフにおける地震履歴の総合的な理解を目指す。

用いる試料は学術研究船「白鳳丸」にて既取得済みのコア試料である。肉眼観察およびX線CTスキャンを終えた多くの試料において泥質タービダイトが確認されており、これらのタービダイトはStow and Shanmugam (1980, *Geology*) で報告された細粒タービダイトの特徴と一致している。また、化学組成・帯磁率についても特徴を有しており、多くの試料が少なくとも数千年間の地震記録を有していることがわかりつつある。本研究において、堆積構造・化学組成・物性値に基づき、泥質タービダイトの認定を簡便かつ高精度で行うことは、南海トラフにおける地震履歴の詳細な理解だけでなく、泥質タービダイトを用いた古地震研究の進展につながると考えられる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

東海沖で採取された2本のピストンコア試料についてX線CTスキャン撮影を行った。PC01は8mの試料で、19層の細粒タービダイト層が認められた。タービダイト層の挟在は約30cm間隔で比較的一定しているが、細粒砂層の層厚は一定しておらず、堆積構造も葉理の発達するものから不明瞭なものまで様々である。1個所に20cm厚の空隙が存在すること、および5m以深はフローインしていることが分かった。PC02は9mの試料で、PC01とほぼ同一地点で採取されたものである。X線CTスキャン画像には、空隙が3箇所認められコアが引き伸ばされた部分に相当し、8.5m以深はフローインしていることが分かった。PC01との対比により相互の乱れた部分を補完して完全な層序の復元が可能なが分かった。本測定は8月の分析試料追加申請により行ったもので、当初申請のコアについては申請者の研究進行の都合により測定を実施できなかった。成果報告については、前年度までの利用により得られた堆積構造・化学組成・物性値に基づき、泥質タービダイト基底部の認定がITRAXによる化学組成とCT値を用いることで簡便かつ高精度で行えること、ならびに

化学組成とCT値の関係は試料によって異なること、について成果発表会にて報告した。また、2019年度の地球惑星科学連合大会にて、本共同利用の成果を発表した（[HCG27-P02] 細粒タービダイトによる南海トラフ地震履歴解明に向けた基礎的研究）。

採択番号 18A023, 18B022

研究課題名 モンゴル国東南部, Chandmani Uul熱水性磁鉄鉱鉄床の成因的研究

氏名・所属(職名) 林 謙一郎・筑波大学 生命環境系(教授)

研究期間 H30/9/9-13

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

モンゴル南東部に位置する鉄鉱山であるChandmani Uul鉄床は資源量として鉄25Mtに加え0.1Mtの銅および3tの金が伴われ、採掘した鉱石は中国に輸出されている。鉄床は原生代後期-カンブリア紀前期の火山岩に胚胎し、カンブリア紀中-後期に貫入した花崗岩類と成因的関係を有する熱水鉄床である。本鉄床について、これまでに鉄床学的な成因研究は行われていないが、従来漠然とスカルン型とされてきた。我々は鉄資源量把握のために行われたボーリングコアから200試料ほどの岩石・鉄石を入手し、岩石・鉄石記載、母岩・関係火成岩の全岩化学分析、EPMAや放射光蛍光X線法による鉄物の化学分析などを行っている。これまでに得られた情報では、スカルンに特徴的な鉄物が伴わない、同地域に小規模に分布する石灰岩には鉄化作用が認められないなど、スカルン型とは異なるタイプに属することが示唆される。本鉄床はモンゴル国を東西に横切る主要な線構造(main Mongolian lineament)上に位置している点、銅鉄物が伴われることなど、世界各地で報告されているIOCG (Iron Oxide Copper Gold) 型鉄床との共通点が多い。本鉄床から産する鉄物組み合わせはごく単純で、主要鉄物である磁鉄鉱を研究対象とする。磁鉄鉱に伴われる微量成分と、磁鉄鉱の酸素同位体比から磁鉄鉱が生成された環境を明らかにし、鉄床の成因を議論する。世界各地のIOCG型鉄床と本鉄床の共通点を各種情報に基づき議論することで鉄床の成因を解明する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

Chandmani Uul鉄床はモンゴル国南東部Dornogobi県にあり、同地域に東西に走るリニアメントによってIdermegおよびGobi Altai地塊が接する変動帯に位置する。鉄床はIdermeg地塊を構成する後期原生代から初期カンブリア紀のShar Zeeg層に胚胎し、同層は安山岩質火砕岩類より成っている。同層中には中期-後期カンブリア紀の花崗閃緑岩および閃緑岩が貫入している。鉄床はSWS-NEN方向に約2.5kmに亘り分布し、長さ100~200m、厚さ10~30mのいくつかのレンズ状鉄体としてみられる。鉄床母岩の安山岩質火砕岩類および貫入岩類は著しく熱水変質を被り、セリサイト-緑泥石帯、緑簾石帯およびカリウム変質帯が発達する。

鉄石は磁鉄鉱を主要な鉄物とし、この粒間を埋めて黄鉄鉱および黄銅鉱がみられる。磁鉄鉱は産状から以下の3タイプに分けることができ、それらは1) マッシュケットバイト(赤鉄鉱仮像としての磁鉄鉱)、2) 化学組成的に累帯を示す自形磁鉄鉱、3) カリフラワー状磁鉄鉱(微細な磁鉄鉱結晶の集合体)である。これらの中で最も卓越するのはマッシュケットバイトで、鉄床全般に亘って出現する。

本研究では磁鉄鉱および鉄石に伴われる珪酸塩鉄物の酸素同位体比を分析した。分析試料の準備は以下のよ

うに行った。比較的粗粒の鉄物の場合は、鉄石試料の板状片を用い実体顕微鏡下で鉄物を掘り出したが、粗粒であるので鉄物の純度は高い。石英は特に細粒で物理的分離が困難であるため、以下のような化学処理により鉄物分離を行った。石英を伴う磁鉄鉱鉄石をメノウ乳鉢中で粉碎し、粉末試料から磁石を用いて磁鉄鉱を分離した。その後粉末試料は塩酸処理により残っている磁鉄鉱および方解石を溶解後に濾過した。残渣中には黄鉄鉱、黄銅鉱などの硫化鉄物が含まれるので、王水処理により硫化鉄物を溶解し最終的に純粋な石英粉末を得た。以上のようにして分離した鉄物は、筑波大学において真空ラインを用い五フッ化臭素雰囲気中でCO₂レーザー照射により加熱し、鉄物より酸素を抽出した。抽出された酸素は合成ダイヤモンドと加熱反応させCO₂ガスに変換し、ガラス管中に封入した。高知大学海洋コア総合研究センターでは安定同位体分析システムMAT253を用い、デュアルインレット法によりガラス管に封入し持参したCO₂ガスの酸素同位体比を得た。分析の精度を確認するために、分析試料と同様の処理により準備した標準試料(NBS28石英)から得られたCO₂ガスの酸素同位体比を求めた。本研究で得られた鉄物の酸素同位体比は以下のものである。マッシュケットバイト($\delta^{18}\text{O}=-5.9\sim+2.8\%$, n=47)、自形磁鉄鉱($\delta^{18}\text{O}=-3.8\sim+2.9\%$, n=6)、石英($\delta^{18}\text{O}=+10.4\sim+14.9\%$, n=11)、緑簾石($\delta^{18}\text{O}=+3.6\sim+6.6\%$, n=16)。磁鉄鉱-石英ペアは酸素同位体分別係数が鉄物間で最も大きくなる組み合わせとして知られており、この組み合わせを地質温度計として用いた。本研究では6箇の磁鉄鉱-石英ペアが利用可能で、同位体温度として218~368°Cが得られた。このうち4ペアは約300°Cを示し、鉄物の晶出温度として300°C付近が考えられる。本鉄床は熱水鉄床であり、鉄物の沈殿に関与した熱水の酸素同位体比を求めることができる。晶出温度を300°Cとした場合、鉄物の生成に関与した熱水の酸素同位体比は、マッシュケットバイトおよびその他の磁鉄鉱 $\delta^{18}\text{O}=+2.3\sim+10.9\%$ 、石英 $\delta^{18}\text{O}=+3.5\sim+8.0\%$ 、緑簾石 $\delta^{18}\text{O}=+3.1\sim+6.2\%$ と見積もられる。Chandmani Uul鉄床が形成された地質環境を考慮すると、上記の同位体比を有する熱水溶液の起源としてマグマ水が考えられるが、通常マグマ水よりも軽い酸素同位体比を有する水の関与も認められる。特に緑簾石と一部のマッシュケットバイトの生成にはより軽い酸素同位体比を有する熱水が関与し、その起源は天水であると思われる。

Chandmani Uul鉄床の成因は、世界で報告されているIOCG (Iron Oxide Copper Gold) 鉄床の典型的なタイプの一つに相当する。すなわち、生成深度は中程度で、セリサイト-緑泥石帯およびカリウム変質帯が形成され、赤鉄鉱が安定な酸化環境であった。鉄床形成に関与した熱水の起源は主にマグマ水で、天水の影響も認められる。

採択番号 18A024

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 H30/5/14-17

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 (Kuwaie *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。平成29年度の共同利用研究により、別府湾堆積物から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、鱗濃度とDNAとの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。そこで、本研究では、新たに別府湾コア試料複数本のカタクチイワシ・マアジの環境DNAを分析し、堆積物中の環境DNAが確かに浮魚類個体数の推定に利用できる可能性を明らかにする。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本申請研究は、平成30年5月に採取した別府湾海底柱状試料について、層序に関する基礎的情報を得ることを目的とし、CT撮影、MSCLによる帯磁率、ITRAXを使った元素濃度測定を行った。その結果、合計12枚の厚さ1cm以下のマイナーイベント層BMC18コア及びBG18コア試料に狭在し、厚さ4-5cmのEv1に対比される層がBGに狭在することがわかった。これにより、従来の年代測定結果で得られたイベント層の年代を使ってDNA分析用コア試料の年代モデルを確立した。

3本のグラビティー試料及び3本のアシュラ式コア試料

を1cm間隔でスライスし、4cm間隔の解像度で定量PCR法に基づいてDNA濃度を分析した。その結果、別府湾の海底堆積物の柱状試料から海洋では初となるマイワシ、カタクチイワシ、マアジといった魚類の環境DNAを検出した。これにより、魚類のDNAが過去300年にわたって堆積物中に保存され、過去の魚の個体数変動の歴史が堆積物中に連続的に記録されていることを明らかになった。さらに、魚鱗や漁獲量との関係を調べたところ、マイワシでは魚鱗濃度及び漁獲量との間に有意な相関を示し、マアジでは漁獲量と有意な相関を示すことがわかった。このことから、堆積物中のDNA濃度は魚類の個体数変化を反映している可能性が高いことが判明した。

これまで、海洋マクロ生物の動態は魚鱗等の遺骸が堆積物中に残る限られた種しか明らかになっておらず、全海洋のほとんどの種の個体群がモニタリングの始まるずっと以前からどのような経緯を経て現在までにいたったのか、どの種が絶滅の危機に直面しているのか、いまだ謎に包まれている。本研究の結果は、少なくとも貧酸素な海底環境ではDNAによるマクロ海洋生物の長期動態が解明できる可能性を示唆した。

近年、堆積物のDNA解析法が、過去の生物種の在・不在や群集組成、生物多様性を解明する有力ツールであることを示す例が急速に増加しつつあるが、生態系を把握する上で最も基本的な情報である「存在量・個体数」をも解明できるツールになりうるかどうか、これまで確かめられた研究はなかった。申請者は、魚鱗濃度及び漁獲量と堆積物DNA量の時系列データを比較することで、これまで確かめることができなかった堆積物DNA解析法の存在量・個体数復元のツールとして有用性を確かめることができた。今後、海洋の幾つかの海域に存在する貧酸素海底環境を持つ堆積物を用いることで、これまで不明であったマクロ海洋生物個体群の長期動態の解明が期待される。

採択番号 18A025, 18B023

研究課題名 エチオピアLIPを対象にした約30Maの地球磁場変動の解析

氏名・所属(職名) 吉村 由多加・東京大学 大気海洋研究所(博士課程1年)

研究期間 H30/10/1-5, 10/16-21, H31/3/23-24

共同研究分担者組織 山崎 俊嗣(東京大学), 山本 裕二(海洋コア)

Tesfaye Kidane (Kwazulu-Natal大学), 乙藤 洋一郎(地球年代学ネットワーク)

【研究目的・期待される成果】

エチオピア巨大火成岩岩石区(LIP)は、アフリカ・アラビア・ソマリアプレート発散境界からなる三重会合点での大陸分裂に関係して漸新世に起きた火山活動で、エチオピア・イエメンに約60万km²、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80万年間という短期間におきた火山活動であると言われている(Rochette *et al.*, 1998ほか)。多数の溶岩流からなるこの厚い溶岩層は、地球磁場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地域の98層準で試料を採取し、30Ma頃の地球磁場変動(方位+強度)を詳細に明らかにし、それに基づくエチオピアLIPの古地磁気層序を確定し、その活動時期と期間を再考するために研究を行っている。この強度推定を合わせた古地磁気層序解析により、30Ma頃の地磁気極性タイムスケールの改訂・高精度化への貢献や、現状では強度データが少ない古い時代の長期的な地磁気強度の変動を明らかにする目的に見合うデータの提供が期待できる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

これまでの共同利用研究(14A036/14B036, 15B056, 16A022/16B020, 17A015/17B015, 18A025/18B023)により以下のことが明らかとなった。98層準中93層準から得られた安定な古地磁気方位は下から逆-正-逆の地磁気極性の変化を示した(Ahn *et al.*, in preparation)。また、50層準(77試料)のうち47層準(74試料)で相対古地磁気強度、40層準(56試料)のうち28層準(31試料)で絶対古地磁気強度を求めることができた。これらは、古地磁気・岩石磁気実験室のDSPINと熱消磁炉を用いて得られたものである。逆極性溶岩層の試料の平均強度は約17 μ Tで、調査地域の現在の地磁気強度の半分程度であり、過去500万年間の平均古地球磁場強度(Yamamoto & Tsunakawa, 2005)や、過去2億年間の長期的安定値(Tauxe *et al.*, 2013)と同程度であることが判明した。また、上から2番目の正極性溶岩層の試料の平均強度は約5 μ Tで逆極性溶岩層の強度と比べて有意に弱いという興味深い結果が得られた。言い換えると、LIP最下部の逆極性の溶岩層では古地磁気強度が増減を繰り返す、LIP中部では比較的弱くなり、細かい極性変動がある部分ではパルス的に強い古地磁気強度を示し、上部では再び増減を繰り返すという連続的な結果が得られている状況である。これがそのまま約30Maの地球磁場変動を反映しているとする世界初であるし、非常に興味深い。しかし、そのデータの中には実験に適

していない試料から得られた信頼性の低いデータが混入している可能性がある。そのため、古地磁気・岩石磁気実験室にある磁気天秤とVSMを用いた岩石磁気のパラメータ(今回の共同利用で得られたJs-T曲線や、既に測定済みであるヒステリシス曲線)を用いて実験に不適な試料を排除する必要がある。今回、磁気天秤を用いて熱磁気分析を行い、溶岩が冷え固まる時に記録した熱残留磁化ではない、常温で岩石と水が反応して起こる低温酸化によって獲得した化学残留磁化を取り除くという作業を行った。しかし、その結果、先述した「LIP最下部の逆極性の溶岩層では古地磁気強度が増減を繰り返す、LIP中部では比較的弱くなり、細かい極性変動がある部分ではパルス的に強い古地磁気強度を示し、上部では再び増減を繰り返す」という傾向は大きく変わらないということが判明した。したがって、現時点で得られたデータは地球磁場由来であり、暫定的に約30Maの地球磁場変動が復元できたと結論付けている。相対および絶対古地磁気強度が複数未推定の溶岩層はいまだに存在するので、各溶岩層から3点以上の古地磁気強度データを得るために、随時絶対および相対古地磁気強度の追加を行っていく予定である。最終的には、地磁気の連続時間変動の推定から当時の地球外核の対流速度を推定するという想定のもと研究を行っている。

まとめると、①エチオピアLIPの中央部の溶岩層準の磁性を評価するための岩石磁気データの測定・蓄積、②古地磁気強度が未推定であった溶岩層準の新規強度データの推定実験・蓄積が成功しており、研究は順調に進んでいる。

採択番号 18A026, 18B024

研究課題名 深海冷湧水系を主とする海底地質試料の物質科学的解析と海底地質の関連解明
—チムニー、シロウリガイ、マンガンノジュール等の非破壊物質科学—

氏名・所属（職名） 石井 輝秋・静岡大学 防災総合センター（客員教授）

研究期間 H30/8/26-29, H31/3/5-8

共同研究分担者組織 小原 泰彦（海上保安庁）、町田 嗣樹（千葉工業大学）

【研究目的・期待される成果】

研究主題は「深海冷湧水系を主とする海底地質試料の物質科学的解析と海底地質の関連解明—チムニー、シロウリガイ、マンガンノジュール等の非破壊物質科学—」である。

最近では陸上、海底地質試料研究ではXRF、ICP等による粉末試料分析が主流となっている様に見受けられる（ここでは粉末科学と仮称する）。例えば岩石の薄片観察をせずに、その粉末をいきなり分析に供する（ここでは粉末岩石学と仮称する）など、極端な例が見られる。本研究では、高知コアセンターの装置を駆使して、先ず1~10センチメートル単位の非破壊観察により全体像を詳細に観察、把握し、その情報を基に、順次よりファインオーダーの非破壊観察を行うことにより、粉末科学を超える物質科学を目指す。

研究に用いた試料は下記の試料である。B：南部マリアナ海溝内側斜面（水深約5500m）、しんかい湧水域（=SSF）産チムニー（しんかい6KDive 1365等の潜航調査で採取）およびシロウリガイ（6K1234等で採取）。C：相模湾初島沖（水深約1100m）産シロウリガイ（淡青丸で採取）。D：南鳥島海域産及び東北日本沖プチスポット火山産岩石試料（6KDiveで採取）。

主にCTスキャナーにより、チムニー、貝殻、岩石等の観察を試みたなかで、有益な情報が得られつつある事例を次に示す。プチスポット火山産岩石試料中にはマントル由来の捕獲岩や捕獲結晶が確認された。チムニーの内部構造が判明したが、成因論の議論には未到達。尚、TATSCANによりチムニーの3次元的組成変化の概要が認知出来た（石井輝秋 2017参照）。シロウリガイ殻；今のところ特筆すべき結果には未到達。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

利用した装置：（ア）キヤノンメディカルシステムズ株式会社製Aquilion PRIME/Focus Edition CT画像処理装置の撮影条件は以下の通りである。（ア-1）Scanogram（2次元透過画像）では120kV, 100mA, 画素数=幅552で固定、長さは撮影長に準ずる。（ア-2a）Helical（断層画像, 3D, スパイラル撮影）では120kV, 100mA, スライス厚さおよび画像再構築間隔=0.5mm, 画素数=512×512である。更に石工室の（イ）岩石カッター、（ウ）薄片作成装置、（エ）偏光顕微鏡に関しては、随時利用させて頂いた。

利用できなかった装置：（オ）日本電子（JEOL）社製JSX-3600CAZ TATSCAN-F2 XRFコアスキャナーである。TATSCANで線分析測定を予定していたが、8月は装置の検出器が「ちきゅう」船上へ貸出中であったため、更に3月は全体が修理中であったため、利用できなかった。そ

の後、松崎琢也氏のご厚意により、測定を行って頂く事ができた（現在測定結果の検討中です）。

研究実施内容と成果：（ア）CTスキャナーによる観察 R/V「よこすか」YK18-08航海（町田嗣樹が主席研究員、石井も乗船）は、6/25小笠原二見港出港—7/7東京晴海入港で行われた。南鳥島海域で「しんかい6500」によりプチスポット火山産岩石試料を採取し、その一部をCTスキャナー観察に供した。試料は発泡度が高いためCTスキャナーによる内部観察が可能であり、マントル由来の捕獲岩や捕獲結晶の分布が確認できた。そして、マントル由来の捕獲岩や捕獲結晶の存在密度は、東北沖プチスポット火山産岩石試料に比べて、かなり低いという結果が得られた。これらの地域差の原因を解明したいと思う。CT画像処理装置で、東北沖プチスポット産溶岩を観察したところマントル橄欖岩が特定の面に沿って分布していることが観察されたが、この面（流離面？）の成因の解明には至っていない。

R/V「よこすか」YK13-06航海（小原泰彦が主席研究員、石井も乗船）南部マリアナしんかい湧水域（=SSF）で「しんかい6500」により採取した炭酸塩チムニー試料を再度CTスキャナー観察に供し、成層構造が読み取れた。更に、淡青丸で採取した初島沖産シロウリガイをもCTスキャナーで観察した。

採択番号 18A027, 18B025

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) 杉戸 信彦・法政大学 人間環境学部(准教授)

研究期間 H30/4-H30/6

共同研究分担者組織 岩井 雅夫(海洋コア), 鈴木 康弘(名古屋大学)

【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。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。平成30年度はコア分析をさらにすすめ、海底活断層の活動履歴について検討する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

変動地形学的手法・古地震学的手法を適用することによって、南海トラフ周辺海底活断層の位置形状や活動履歴の解明を目指す。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) 詳細な海底地形データの整備、(2) サブボトムプロファイラーによる浅部地下構造の推定、(3) ピストンコアラーを用いた地下地質試料(コア)の取得(4本)、を実施した。平成29年度には付近でコアをさらに4本取得し、平成28年度取得データとあわせて検討を行った。

平成30年度は、CORE 03の深度0.81mに認定された不整合面の年代を推定することを主目的として、平成29年度に引き続いて有孔虫の分析を実施し、放射性炭素年代測定を行った。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て以降に形成された可能性があり(杉戸ほか 2018 日本地質学会)、この不整合面の年代は、南海トラフにおける大地震の発生履歴の復元

において重要な意義を有する。

試料分析は、CORE 03から1cm単位で採取された試料(泥層)を対象として実施された。内容は、秤量・洗浄・篩い分け(41試料)、堆積物の移動評価のための底生有孔虫群集概査分析(31試料)、および放射性炭素年代測定に向けた浮遊性有孔虫分析(31試料)である。篩い分け後の秤量データから算出された含砂率は放射性年代測定を実施する層準の決定に役立った。有孔虫は、0.18-0.25mmのものおよび0.25mm以上のものに分けて抽出した。なお、有孔虫分析は若木仁美研究員および松井浩紀特任助教にご担当いただいた。その後、浮遊性有孔虫の放射性炭素年代測定を実施した(株式会社加速器分析研究所に依頼)。測定試料は、必要重量確保のため、0.18mm以上のものを合体、また深度方向でも合体し、0.17-0.24m・0.33-0.37m・0.44-0.47m・0.50-0.52m・0.70-0.71m・0.71-0.72m・1.04-1.08mの7点の試料を得た。浮遊性有孔虫の主要種は表層種(生息水深0-100m)と亜表層種(生息水深100-200m)により構成されていた。測定結果からは、深度0.81mの不整合面の上下で大きな年代差が確認され、また不整合面の上位における年代をもとに計算される堆積速度から、不整合面の年代が推定された。

不整合面の下位に含まれる有孔虫は着色個体が多く、また底生有孔虫群集概査分析では、不整合面の下位から浅海性の底生有孔虫が少量ながら見出された。これらの点は、得られた年代から推定される海水準および堆積環境と調和的である。

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 18A028, 18B026

研究課題名 デボン系, 白亜系, 古第三系の微化石・炭素同位体比統合層序の樹立

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 H30/7/30-8/3, 9/27-10/2, 10/14-26, H31/1/16-24

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), 他 学生3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、デボン系や古第三系では炭素同位体比層序の検討は一部のイベント層準でしか行われておらず、全時代を通した炭素同位体比層序の作成はほとんど行われていない。本研究では温室期の古環境変動を明らかにする目的で、デボン系、白亜系、古第三系において高解像度での微化石・炭素同位体比統合層序の樹立を行う。

デボン系については、北部ベトナムのデボン系トクタク層において、コノドント化石層序と炭酸塩の炭素同位体比層序を作成する。白亜系と古第三系については、NewfoundlandおよびShatsky Riseで掘削されたIODP Expedition 342のコア (Site 1407), ODP Leg 198のコア (Site 1210, 1212, 1213) を用い、浮遊性有孔虫化石、石灰質ナノ化石層序と炭素同位体比層序を作成する。

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古生代や新生代の地層にもその手法を適用することである。このことにより、日本などの陸上セクションの新生代や古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、ベトナムのデボン系の炭酸塩岩の試料、ODP, IODPの各試料はすでに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】

ベトナムのデボン系層序に関しては、上部デボン系ソムニャー層 (Xom Nha Formation) の炭酸塩の炭素同位体比層序を作成し、上部および下部ケルワッシャーイベント層準に特徴的な炭素同位体比の正のエクスカーションを見出すことができた。これらの結果は、コノドント化石層序や黒色頁岩を伴う岩相の特徴とも調和的であり、今後、パンサラッサ海の低緯度地域における後期デボン紀の絶滅イベント発生時の古環境変動を解明するうえで重要な成果となる。

白亜系の層序に関しては、白亜紀後期のCenomanian～Santonian区間については、ニューファンドランド沖のIODP Expedition 342のSite1407のコア、白亜紀末期～古第三紀最初期のCampanian～Danian区間については、シャツキー海台のODPLeg198のSite1210, 1212, 1213のコアを用いて、全岩炭酸塩の炭素同位体比曲線を作成した。同時に行った浮遊性有孔虫化石、石灰質ナノ化石層序と組み合わせることにより、Site1407コアからは白亜系に見出されている各種同位体比イベント (Mid-Cenomanian Event, Lulworth,

Pewsay, Hitchwood, Navigation, White Fall, Horseshoe Bay, Hawks Brown, Santonian/Campanian Boundary) を見出すことができたが、Campanian～Maastrichtianの区間には多数のハイエイタスが存在していることが明らかとなった。一方、シャツキー海台のコアからは、Campanian～Danian区間の連続層序を得ることができ、とりわけ、白亜紀/古第三紀境界において顕著な炭素同位体比の負のエクスカーションを見出すことができた。

古第三系の層序に関しては、ニューファンドランド沖のIODP Expedition 342 U1408コアの浮遊性有孔虫・炭素同位体比層序の検討を行った。その結果、始新世において見出されている汎世界的な温暖化イベント (Middle Eocene Climatic Optimum: MECO) を発見した。この古環境イベントについては、浮遊性有孔虫および底生有孔虫化石の酸素同位体比も検討し、この時期の水塊構造の変化も明らかにすることができた。

採択番号 18A030, 18B028

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 H30/6/21-24, H31/2/15-18

共同研究分担者組織 石橋 純一郎(九州大学), 他 学生4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、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。

昨年度30試料程度の重晶石、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た。申請者らが開発した、重晶石のESR(電子スピン共鳴)年代と比較し、鉱物の産状を含めて検討した。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って鉱物が生成し、年代の異なるものが混合することで年代の差異を説明できる。硬石膏については、 ^{228}Ra - ^{228}Th 法については問題にならないが、 ^{226}Ra - ^{210}Pb 法については初期の鉛の混入の問題があるケースがあることがわかった。

今年度は引き続き沖縄海底熱水域の試料の年代測定をさらに進め、重晶石の年代測定によって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と共に、2回以上の生成イベントによってそれぞれの年代が説明できるモデルの構築を試みる。硬石膏については測定例を増やし、熱水イベントの年代と低温の海水による溶解の競合がどのように起きているのかについて考察を行う。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今年度は、主に沖縄トラフ熱水域の鳩間海丘でKR16-16航海の際に採取された海底熱水活動で生成した重晶石からなる鉱石試料の非平衡年代の検討を行った。チムニーを輪切りにし、外側から内側にブロック状に切り出し、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、低エネルギーγ線分光用低バックグラウンドGe半導体検出器を用いてγ線分光測定を行った。 ^{228}Ra の娘核種である ^{228}Ac (338keV, 911keV, 969keV)と、 ^{228}Th の娘核種である ^{212}Bi (727keV)、 ^{208}Tl (583.1keV, 2614keV)を定量し、非平衡となっている ^{228}Ra と ^{228}Th の放射能比から ^{228}Ra - ^{228}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低エネルギーγ線分光用低バックグラウンドGe半導体検出器を用いてγ線分光測定を行った。 ^{210}Pb (46.25keV)と、 ^{226}Ra の娘核種である ^{214}Pb (295keV, 352keV)、 ^{214}Bi (610keV, 1120keV)を定量した。非平衡となっている ^{210}Pb (46.25keV)と ^{226}Ra の放射能比から ^{226}Ra - ^{210}Pb 年代を求めた。

今回、分析を行った試料において ^{228}Ra は検出されず、

^{228}Ra - ^{228}Th 法では年代が得られなかった。 ^{226}Ra - ^{210}Pb 法では、activeなチムニーとinactiveなチムニーの年代に本質的な差は見られなかったが、これとは別に実施したESR年代測定によってinactiveなチムニーでは ^{226}Ra - ^{210}Pb 年代より250年以上大きい年代が得られたため、 ^{226}Ra が減衰し若い年代が得られたと考えられる。

1つのチムニーから切り出した試料において、28年~40年の年代が得られた。外側から内側にかけての年代分布に大きな差は見られず、系統的な規則性も見られなかった。これは、重晶石がチムニーの隙間を埋めていくように成長したためだと考えられる。

採択番号 18A031, 18B029

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理学科 地球科学専修（助手）

研究期間 H30/4/1-6/15, 6/25-10/1

共同研究分担者組織 加 三千宣（愛媛大学）

【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}Pb 、 ^{137}Cs の測定によって年代モデルの構築を行った。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解像度で分析を行った。

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、2017年度内で6試料の測定を行った。
- ・2018年度は、残った39試料の分析を継続して行った。

【得られた成果】

2018年度に、予定していた45試料の測定を終了した。

< ^{137}Cs 測定結果>

1964年の核実験年代に相当すると思われる ^{137}Cs のピークを、アシュラコアとグラビティコアの両方で検出した。

ただし、上位に向かっの ^{137}Cs 濃度減衰パターンが2本のコア間で異なっており、圧密の程度やローカルな堆積環境が異なっている可能性がある。

< ^{210}Pb 測定結果>

2本のコアで、 ^{210}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 ^{210}Pb の減衰傾向、 ^{137}Cs の産出層準、堆積層相は、2本のコアで矛盾しなかった。

<別府湾葉理の年縞としての可能性>

堆積物中に見られる葉理は1cm程度の周期で高密度層と低密度層を繰り返しており、高密度層はさらに詳細に観察するとより薄い数枚の層で構成されている。高密度層の組成から、こうした薄層は強雨に伴う河川流出物によるものである可能性が考えられる。もしそうだとすると、別府湾堆積物の葉理は年縞（年1セットする堆積物）であり、なおかつその縞のパターンが強雨変動を記録している可能性がある。

採択番号 18A032, 18B030

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 H30/5/8-9, 11/8-15, 12/17-20

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（海洋コア）
村山 雅史（高知大学）、池原 実（海洋コア）、他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

近年の人為起源による大気CO₂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、その仮説を検証しようとす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。

応募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オログ湖、オルゴイ湖で採取した掘削コア試料（1.5m×計26本）を対象とし、X線CTや μ XRFコアスキャナー（Itrax）、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ことを進めてきた（採択課題17B073）。2017年度に実施したItrax分析の結果、オログ湖の主要元素組成変動（特にSiやCa, S）が数十cm～mオーダーで大きく変動しており、最終氷期～完新世を通じた同地域の詳細な古環境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、特にオログ湖堆積物コアを対象に、14C年代測定と、2cm毎に分割した試料（約100試料）に対して有機化学分析（CNS分析）や無機化学分析（XRF, XRD）などを行うことにより、過去数千～数万年間のモンゴル南西部の環境変動を詳細に復元し、気候変動と太陽活動との関係性を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・オログ湖で2017年に採取した湖底堆積物コア試料（24m長のOrog01と21m長のOrog02）を対象とし、同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 μ 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。2017年に実施したItrax分析の結果、Si, Ca, S, Fe, Tiなどの元素に岩相変化に対応した変動が検出された。

本年度はまず、Itrax分析結果に基づいてOrog01とOrog02

を詳細対比し、1本の複合柱状図コア（約20m長）を構築した。また年代モデルを構築するため、14C年代測定のための前処理やグラフィット化作業、そしてCNS分析をコアセンターにて行った。14C年代測定の結果、複合コア深度1.85mが7,456±79BP, 10.39mが19,966±344BP, 15.21mが31,749±340BPとなった。この暫定的年代モデルによると、複合コア深度約4.2mが完新世の始まりに、最下部の深度約20mの年代は約38kaに対応すると考えられ、最近報告されたオログ湖堆積物コアの14C年代の結果（Yu *et al.*, 2019）とも整合的であった。

得られた年代モデルとItrax分析結果の元素組成変化に基づくと、以下のような古環境変動が推定される。まずCaは完新世で高く、最終氷期で総じて低くなっており、オログ湖は完新世においては現在と同様に砂漠域に位置し、乾燥した塩湖環境であったのに対し、氷期には相対的に湿潤な環境下であったことが示唆された。またS濃度はMIS3の時期に総じて高く、数回に渡って特に高い時期が見られた。このS濃度の変動は、ダンスガード・オシュガー（DO）イベントの亜間氷期の温暖な時期に対応している可能性が示唆された。最終氷期においてオログ湖周辺にまで永久凍土が発達していたとする証拠（Owen *et al.*, 1998）と合わせて考えると、S濃度増大は亜間氷期に気温が上がって永久凍土が融解し、硫黄分を多く含む凍土融水がオログ湖に多量に流入したことを反映していると考えられる。

このように、オログ湖の堆積物コアの分析から、最終氷期の急激な気候変動である、DOイベントを反映したアジア中緯度域の環境変動の応答、特に永久凍土の動態を鋭敏に記録する可能性が明らかになった。今後さらに年代モデル14C年代モデル測定を進め、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DOイベントを始めとした全球的気候変動や、太陽活動の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。

この研究の成果は、高知大学理学部地球科学コースの卒業論文や、幾つかの学会で発表したほか、2019年7月には国際会議INQUA2019で発表を行う予定である。また国際誌への投稿・公表も進める予定である。またItrax分析に関連する高含水率試料のX線強度補正に関する論文を *Sedimentology* 誌に出版した（Katsuta *et al.*, 2019）。

採択番号 18A033, 18B031

研究課題名 亜寒帯東部北太平洋, 亜熱帯西部北太平洋における溶存態鉛安定同位体の分布解明

氏名・所属(職名) 則末 和宏・新潟大学 理学部(准教授)

研究期間 H30/7/3-4, 10/30-11/2, 12/18-19, H31/1/29, 3/6

共同研究分担者組織 小畑 元, 蒲生 俊敬(東京大学), 石川 剛志(海洋研究開発機構)

【研究目的・期待される成果】

海洋における鉛の安定同位体 (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb) の同位体組成 ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比など) は, 物質循環のトレーサーとして, 人為起源物質による海洋環境変動の理解のための基礎データとして重要であり, グローバル海洋における微量元素・同位体に関する国際共同研究プロジェクトGEOTRACES計画において, key parameterに指定されている。申請者等は, 日本グループの代表として, 各国機関と協働し, 世界大洋におけるPb同位体組成の分布を解明する研究を進めてきた。過去の貴所共同利用を通して, 溶存態Pbの同位体組成の分析法を確立(中川ほか, 2016; 2017)し, 亜寒帯西部北太平洋における溶存態Pbの同位体組成の鉛直分布を解明した(中川, 2017; Norisuye *et al.*, 2017)。2018年度は, 未だ分析が進んでいない東部亜寒帯域で採取した海水試料の分析を進める。本研究の遂行により, 亜寒帯北太平洋の広範囲におけるPb同位体組成の分布の全貌を明らかにできる。また, 亜熱帯域の海水試料分析も進め, 亜熱帯域と亜寒帯域といった異なる地理区分において対比的な分布が生み出される要因(大気からの供給の影響など)を探究する。さらにPbの循環において重要な粒子状物質も対象に含め, その分析法開発のための基礎検討も行う。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

30年度の共同利用研究では以下の成果が得られた:

●KH-12-4次航海で採取した全海水試料の分析が完遂し, 極めて信頼性の高い溶存態Pb同位体組成の鉛直分布のデータセットを取得した。得られたデータから数多くの興味深い海洋化学的知見が得られた。北太平洋亜寒帯域における溶存態Pb安定同位体は大部分が人為起源であること, その供給はサンゴ骨格の同位体比データとの比較により過去100年以内にもたらされたものであり, 海洋Pbの滞留時間は極めて短いこと, 同位体比-同位体比プロットより人為起源Pbの供給時代を推定できることなど, 新しい知見も得られた。さらに同位体比の鉛直分布の変化傾向は海域によって異なることを見出し, 生物地球化学サイクルによる深海への物質輸送に起因する同位体比伝播速度は, 海域間で異なることを世界で初めて見出した。東部太平洋海域ファンデーフーカ海嶺近傍では, 熱水活動に起因する同位体比変動が見出された。これは粒子による除去により低濃度化された溶存態Pbが熱水活動に伴って大きく変動した結果であり, 再度の分析により再現性がえられたことから分析誤差によるものではないことが判明した。数pmol/kgレベルの溶存態Pb同位体比のこのような特徴的な挙動を見出した例は世界的にない。

●北大西洋でサンプリングされ, 調製された国際相互校正試料を分析し, 溶存態Pb同位体組成の高精度データを取得した。我々のデータは海外の共同研究者が得た数値と極めて近く国際相互校正は不成功となった。このことは我々がイニシアチブをとって分析・取得するデータは世界的にも認められる良質のものであることを示す結果となった。

●海洋中の懸濁粒子状物質の内部に含まれる超微量Pbの同位体組成を高精度に測定するために必要となるクリーンろ過・粒子回収法を考案し, 検討を重ねた。用いるフィルターの洗浄法を改良し, 無汚染なる過操作が実現可能であることを見出した。我々の技術では, 海水ろ過・粒子回収の過程でのPbのブランク値を数fmol/kg程度に抑えることが可能であることが判明した。これにより, 海水中1 pmol/kgあるいはそれ以下で存在する粒子態Pb同位体組成に関する次年度以降の研究に繋がることと期待される。これは世界的にない, 独創的で最高水準の技術である。

上記の多様な成果を国内外の学会や関連講演で公表した。平成30年度は, 学会・講演会等で国内21件, 海外2件, 雑誌2件, 修士論文3件の成果が出た。これらの成果は, 2019年度の研究の発展に繋がるものである。

採択番号 18A034

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 地球深部ダイナミクス研究分野(研究員)

研究期間 H30/8/28-30

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), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

本研究は、気候変動の理解に重要な意義を持つ新生代太平洋上の風の復元を推定することを目的とする。磁気を用いた分析のために、ピロ硫酸塩溶融による試料の前処理で、風成物質の代表とみなせる石英・長石を分離する点を特色とする。

昨年度の研究では主にサイトU1366を対象とした分析を進め、海底下10m付近より深部で石英・長石に伴う磁鉄鉱が相対的に少なく、磁氣的粒径も小さいことを見出した。これはピロ硫酸塩溶融処理が、遠洋性堆積物中の風成物質の特徴付けに有用であることを初めて示したものである。この変化が起こる深度は、同サイトの別ホールにおけるバルクの化学分析より推定された、風成物質供給源の大きな変化が起こる層準(Dunlea *et al.*, 2015)と大局的には一致する。しかし、岩相境界によるホール間の対比を仮定すると、両者には若干の深度のオフセットが存在する。化学分析はExp. 329の別サイトでも行われており、対応すると考えられる変化が報告されている。これらのサイトでも同様の磁気分析を行い化学分析と比較することで、オフセットの普遍性を明らかにする。これにより、ピロ硫酸塩溶融処理と磁気分析の組み合わせの風成物質分析手法としての有用性をさらに評価できると期待される。さらに、北太平洋にある南鳥島周辺の堆積物に対し、ピロ硫酸塩溶融を用いた同様の分析を行う。これらの分析を通じ、南北の風系を分ける亜熱帯収束帯の位置が漸新世初期～始新世以前に亜熱帯収束帯の位置が大きく(20度以上)北上していた、という説を検証することを目指す。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

申請者所属機関で化学処理をした南鳥島周辺の堆積物を用い、平成30年8月28日から30日にかけて、コアセンターにて磁気測定を行った。昨年度までに分析した南太平洋のSite U1366より得られた試料では、特に磁鉄鉱の低温転移の有無および長石の鉱物組成に明確な深度変化が見られ、異なる供給源を反映していると解釈した。一方、今回分析した南鳥島周辺の試料では、測定した範囲の試料では常に磁鉄鉱の低温転移が明瞭に見られた。また、後日申請者所属機関でX線回折測定を行ったところ、長石の鉱物組成もほとんど一定であり、斜長石が主体であった。Site U1366においては、斜長石が主体で低温転移が見られる堆積物はコアの上位に見られ、オーストラリア大陸起源のダストであると解釈されている。南鳥島周辺では、少なくとも堆積物の上位では中国大陸起源のダストが主体であると考えられるため、斜長石の卓越と磁鉄鉱の低温磁気転移の存在は大陸起源のマーカーであるかもしれない。さらに、南鳥島周辺のデータは、過去にこのエリ

アに到達したダストの供給源はほとんど一定であったことを示している可能性があり、今後年代決定を進めると同時に、太平洋中の他の海域の試料の測定を進めていくことで、当初目的である風系の推定が行えると期待される。

これに加えより細かい変動も見られた。交番力磁力計を用いた測定では、南鳥島周辺の試料では特定の層準で、強磁性鉱物(磁鉄鉱)の寄与が反強磁性鉱物の寄与に対して大きくなる様子が見られた。この結果について大気海洋研究所の同一機器で追試を行ったところ、バルク堆積物中のレアアース濃度のピーク(Iijima *et al.*, 2016, *Geochem. J.*)の直上の層準で強磁性鉱物の寄与が高くなっていることが確認された。これまでのところ、交番力磁力計での測定を重量で規格化しておらず、この変化が強磁性鉱物の増加を示しているのか反強磁性鉱物(おそらく石英)の減少を示しているのかは定かではない。ただし、この層準に対するX線回折測定では、大まかな長石/石英比を含め目立った変化が観察されないため、強磁性鉱物の増加のほう有力である。これらを説明できる一つのシナリオとして、磁鉄鉱を多く含む特殊な石英ないし長石が、近隣の伊豆小笠原弧の火成活動により少量付加されているという仮説を考えている。興味深いことに、バルク堆積物の帯磁率も同じ層準で高くなっており、これも直接的な強磁性鉱物の供給を反映していると見ることができる。この仮説は微量元素組成などから検証可能であると考えられるため、今後重量で規格化した交番力磁力計測定を進めると共に、化学分析結果と合わせ検討していく。

採択番号 18A035, 18B032

研究課題名 水酸化鉄コロイド粒子の沈殿環境と堆積量変化

氏名・所属（職名） 酒本 直弥・九州大学大学院 理学府 地球惑星専攻（修士課程2年）

研究期間 H30/5/7-11, 7/17-27, 10/25-11/1

共同研究分担者組織 清川 昌一（九州大学）、池原 実（海洋コア）、伊藤 孝（茨城大学）

【研究目的・期待される成果】

鉄沈殿物からなる地層は堆積時の表層や海水中の酸化環境や酸素使用する生物活動についての影響を記録する重要な指標になる。しかし、鉄沈殿作用について、1) シリカ・鉄のみが交互に沈殿し、2) それぞれ縞々を作成、3) 堆積速度、4) 深度、5) 沈殿時の海水化学状態、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。これらの問題点を解決するため、現在の海洋環境における鉄沈殿物の沈殿や堆積環境を明らかにする。

薩摩硫黄島は、半閉鎖的な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）。調査地の海底の沈殿物は、水酸化鉄のコロイドが形成し沈殿してできた層である。海水中で水酸化鉄になって沈殿する様子や沈殿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、その沈殿メカニズムや続成作用などの観察は可能である。

2009年頃からトラップにて採取した、現世鉄沈殿物の層序を組み立てる。化学的特徴を解析し、実際の海上・海底での水酸化鉄粒子の沈殿に向かう挙動を明らかにすること、具体的な鉄沈殿物の挙動の解明、水酸化コロイドの吸着条件、微生物の関与を定量的に明らかにすることが期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

トラップのCTスキャン結果

CTスキャンを行ったトラップは、厚さ3~25cmの白く映る密度の大きい層（高密度層）、厚さ1~5cmの黒く映る密度の小さい層（低密度層）、厚さ数mm~数cmの白と黒の層が重なっている層（互層）に分けられた。

CTスキャンを行ったトラップのうち連続的に回収されている、2011年6月~2018年10月までのトラップ34本を対比した結果、この期間の全層厚5m70cmの層序が復元された。この層序は、高密度層（32層）、低密度層（26層）、高密度低密度互層（7層）で構成されており、厚い高密度層と薄い低密度層が溜まり、互層が溜まるサイクルがあった。このサイクルを1ユニットとすると、2011年から2018年までに8つのユニットがあった。

SEM観察結果

高密度層（細粒砂層）

直径100nmほどの水酸化鉄粒子が吸着して数 μm ~数十 μm になる構造や直径10~50 μm の火山ガラスや珪藻が観察された。この火山ガラス表面には水酸化鉄粒子の吸着は見られなかった。高密度層を構成するのは、主に直径100nm

ほどの水酸化鉄粒子の集合体と直径10~50 μm の火山ガラスであった。

低密度層（水酸化鉄層）

直径50nmほどの水酸化鉄粒子が吸着して数 μm ~数十 μm になる構造や直径10 μm ほどの火山ガラスが観察された。低密度層で観察される火山ガラスは高密度層において観察されたサイズより小さいが、表面には水酸化鉄粒子の吸着は見られなかった。低密度層を構成するのは、主に直径50nmの細粒な水酸化鉄粒子が凝集した直径数 μm ~数十 μm ほどの集合体であった。

水酸化鉄の沈殿速度の推定を行った。水酸化鉄は、沈殿物の観察や台風記録からCT映像における黒い層（低密度層）と互層において起きていると考えられる。そのため、黒層と互層の厚さを測定したところ、層厚220cmが水酸化鉄層として地層に記録されていることが分かった。このことから、2011年6月~2018年10月まで（7年4か月）における水酸化鉄の沈殿速度は、計算すると30.0cm/yearであることが分かった。

採択番号 18A037, 18B034

研究課題名 Research on the extent of living benthic foraminifera sensitivity to pore water anomalies at cold seeps of Hidaka Trough and multi-proxy reconstruction of the Japan Sea oceanography by foraminifera isotope analysis

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 H30/11/1-8

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】

- 1- To investigate the carbon isotopic characteristics of the foraminifera and their response to methane release in the gas hydrate geological system and to correlate the results with foraminifera at reference site
- 2- To study the connection between carbon isotope composition of the test of living benthic foraminifera with pore water DIC at methane vent environments and observe their limit in response to pore water carbon isotope anomalies.
- 3- To multi-proxy reconstruction of the Japan Sea oceanography by creating foraminifera isotope profile and sediment geochemistry.

Because cold seeps are a source of oceanographically and atmospherically relevant compounds such as methane and sulfide, a good comprehending on stable isotope composition foraminifera at cold seeps may help to identify paleo-seeps. In addition, they will provide natural records of potential environmental changes related to global temperature change for predicting modeling of future climate and that is why they were selected for this research.

【利用・研究実施内容・得られた成果】

During fiscal year 2018, I examined carbon and oxygen isotope of benthic foraminifera calcite shells from two short piston cores PC1727 and PC1728 (Dai Ichi Kaiyomaru expedition cruise) at Hidaka Trough, northwestern Pacific using a GV Instruments IsoPrime stable isotope ratio mass spectrometer coupled to a Multicarb automatic sample treatment system at the Center for Advanced Marine Core Research of Kochi University. The main purpose of my analysis was to find an applicable reference core in the study area to be able to compare with the anomaly core I previously studied in the area. Formerly, I analyzed two cores PC1609 and PC1611 during UT16 expedition cruise. Originally, based on on-board observation I planned to use PC1609 as reference core to compare with PC1611 (anomaly core), however after isotope and other analyses this core didn't meet my expectations to be fit as a standard reference core. Then I chose two other cores from 2017 expedition initially based on on-board observation in order to complete my research plan. Afterward, based on the results I've got from isotope analysis and other criteria from PC1727 and PC1728, I could successfully select PC1727 as reference core in the study area to correlate with my anomaly core. Based on the results, unlike PC1611 which showed several intervals extremely ^{13}C -depleted value as low as -31.8‰ , core PC1727 indicates the normal range of $\delta^{13}\text{C}$ values in marine environment which is

between -1‰ to 1‰ and made it fit to be the reference core.

In addition, I analyzed carbon and oxygen isotope of living benthic foraminifera from Hidaka Trough using samples which obtained during UT16 and 1K17 expedition cruises. Half of the samples were analyzed during fiscal year 2017, while the other half were measured during fiscal year 2018. In recent years, significant negative excursions in $\delta^{13}\text{C}$ values of fossil benthic foraminifera reported in Quaternary records in several areas globally, suggesting to some researchers that the seafloor methane has influenced biogenic carbonate in these intervals. As mentioned above I also found anomaly intervals with light carbon isotope values from my studied piston core at Hidaka Trough. Therefore, the purpose of my research to analysis living foraminifera isotope value was to investigate the extent to which living benthic foraminifera assimilate methane-derived DIC into their calcite tests. My results analysis of living foraminifera (joint results from fiscal years 2017 and 2018) showed that in spite of extremely low pore water $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values (as low as -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, heterogeneity in isotopic values observed among the same species in the same site or between the sites in the same area. Also, carbon isotope value of fossil foraminifera found deeper in the sediments showed more negative than living $\delta^{13}\text{C}$ values. The disequilibrium between isotope composition of living foraminifera from my studied seep sites with pore water DIC might determine that the living foraminifera secreted biogenic carbonate only during episode of light or no methane discharge and 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. In addition, ^{13}C depletion observed in fossil foraminifera deeper in sediments might be due to overprinting of the original isotopic composition of foraminifera by overgrowth or recrystallization at or below the sediment surface.

Additional to isotope analysis of both fossil and living benthic foraminifera at Hidaka Trough, I could measure a few fossil foraminifera samples from core K06R from Oki Trough, Japan Sea in order to get a better understanding of its oxygen isotopic profile. However, it is still need a bit more analysis to complete the research.

採択番号 18A038, 18B035

研究課題名 微小試料を用いた地球型惑星の磁場強度研究

氏名・所属(職名) 佐藤 雅彦・東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻(助教)

研究期間 H30/8/6-8, 11/5-9, 11/28-12/3

共同研究分担者組織 山本 伸次(横浜国立大学), 山本 裕二(海洋コア), 他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

地球型惑星の磁場強度進化を知る事で、惑星内部ダイナミクス進化を知る事ができる。また、惑星磁場の状態は表層環境とも密接に関係しているため、磁場強度進化データは、惑星進理解において必須の情報となっている。しかし、従来の研究手法では、古惑星磁場強度復元に適した試料採取が困難なため、磁場強度進化を議論する十分なデータが得られていない事が課題となっている。本研究では、微小・微量試料を用いた新手法を開発・適用する事で、地球および月・火星・水星の古惑星磁場強度復元研究に取り組む。各研究の詳細は下記の通りである。(1)地球の場合、古い岩石試料では風化のため古地磁気強度測定を行うことが困難であり、かつ短時間で多くの岩体から試料を採取する事は困難である事が問題となる。ジルコン結晶は風化に強く、大規模河川の河口では幅広い結晶化年代を示すジルコン結晶を効率的に採取できる点に注目し、川砂ジルコンを用いた古地磁気強度研究を行う事で、十億年スケールでの地球磁場強度進化復元に取り組む。(2)月・火星・水星の場合、磁場強度測定に適した試料を得られない点が問題となる。衝突クレーターに記録されている磁場記録に注目し、衝突実験後の岩石試料を細分化・残留磁化測定する事で衝突に伴う残留磁化分布のモデルを構築し、構築したモデルを用いて衝突クレーター上空での人工衛星による磁場観測記録を読み解く事で、地球型惑星の磁場強度進化を解明する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

(1)川砂ジルコンを用いた古地磁気強度研究

アメリカ合衆国ルイジアナ州のミシシッピ川河口でサンプリングした川砂中に含まれるジルコンの各種磁気測定を行った。磁気特性測定装置(MPMS-XL5)を用いて、zero-field cooling remanence(ZFC remanence)曲線、field cooling remanence(FC remanence)曲線の測定を行った。ZFC remanence曲線とFC remanence曲線の測定ではミシシッピ川のジルコン単結晶10粒子を測定に用いた。低温磁気測定の結果、ZFC remanence曲線とFC remanence曲線において、35K付近と120K付近での低温変態温度が確認された。35K付近及び120K付近の低温変態温度の存在から、分析した試料中にはピロータイト及びマグネタイトが含まれていると推定される。超電導磁力計(SRM model 755)を用いて等温残留磁化(IRM)強度の測定を行った。IRMの着磁には、パルス磁化装置(Magnetic Measurements PPMP10)を用いた。IRMの強度測定ではミシシッピ川のジルコン単結晶500粒子を測定に用いた。IRM測定の結果、ジルコン単結晶の磁氣的性質分類にとって重要な自然残留磁化(NRM)強度vs. IRM強度ダイアグラムを作成す

る事が出来た。ミシシッピ川のジルコン試料では、古地磁気測定には適していると考えられるNRM/IRM比が約0.01程度を示しかつマグネタイトを含む試料が一定数含まれていることが分かり、今後の実験では当該試料を用いて古地磁気測定を進める予定である。

(2)衝突磁化を用いた古惑星磁場研究

磁場中で衝突実験(外部磁場100 μ T, 弾丸速度7km/s)を実施した円柱形玄武岩試料のクレーターを含む領域を3mm角の立方体に細分化し、各立方体試料について段階交流消磁を実施して残留磁化ベクトルを測定した。測定の結果、衝突残留磁化の構造を得ることに成功し、以下の特徴が得られた:(1)衝突点から距離約10mm以内では距離に対して増加傾向を示し高保磁力成分が強く磁化している、(2)衝突点から距離10mmより遠方領域では強度が距離に対して減少する傾向であった。これらの特徴は、衝突残留磁化の異なる獲得機構を示唆しており、前者は温度上昇および圧力、後者は圧力が支配的であると推定される。今後の測定では、異なる実験条件(外部磁場条件や衝突速度など)で衝突実験を行った試料の測定を行い、衝突残留磁化構造モデルを構築し、得られたモデルと磁気異常観測値と比較・検討する事により、クレーター形成時の惑星磁場復元を目指す。

採択番号 18A039, 18B036

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・首都大学東京 火山災害研究センター（特任研究員）

研究期間 H30/12/17-26, H31/3/5-12

共同研究分担者組織 なし

【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2017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。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のうち、特に千島ーカムチャッカ沖の試料について、海流もしくは海氷によって運搬されたと考えられる粗粒な火山性碎屑物が混在しているため、粒度等で細分化して追加分析、再分析が必要な試料を選別しなおした。今年度は追加分析が必要な20試料程度を用意している。

また、年度途中で研究対象とすることが決まった房総沖CK09-03, C9010Eコア中のテフラ試料（200試料程度）は、広義では本研究課題で研究対象としている海域に含まれるということで分析する許可をいただいた。本コアに介在するテフラの給源火山として想定される伊豆諸島の新島・神津島の模式テフラ試料とともに分析をする。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

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のうち、特に千島ーカムチャッカ沖の試料について、海流もしくは海氷によって運搬されたと考えられる粗粒な火山性碎屑物が混在しているため、粒度等で細分化して追加分析、再分析が必要な試料を選別しなおした。今年度は追加分析が必要な16試料を分析した。千島沖〜カムチャッカ沖のコア試料のデータと、2017年ー2018年に公開されたAWIの研究者らによるコアの年代モデルと、テフラの層位関係を確認しながら、対比される可能性のある給源火山およびその噴出物について検討を行っているところである。

年度途中で研究対象とすることが決まった房総沖CK09-03, C9010Eコア中のテフラ試料（200試料程度）は、広義では本研究課題で研究対象としている海域に含まれるということで分析する許可をいただいた。最終的にテフラ試料として314試料を入手しているが、その半数程度に当たる珪長質テフラを優先して分析を進めている。特に、広域テフラとみなされるガラス質の細粒テフラの分析を最優先とした。まず、火山ガラスの主元素組成から、全長約190mのコア試料の深度149m付近で、Aso-4テフラ、さらにその下位に御岳第1テフラ（On-Pm1）、Aso-ABCDテフラに対比されるテフラ層を発見した。これらの広域

テフラの層位関係は、これまでに各地で確認されている層位関係とも矛盾はしない。以上のことから、本コア上位150m分は最終間氷期以降の堆積物であることが分かった。

次に、コアの最上部から順に28試料を分析した。また、本コア採取地点の西方には伊豆諸島の後期更新世〜完新世に珪長質マグマによる噴火が続いた新島・神津島が存在することから、新島・神津島の標準テフラ層序を組み立てるうえで模式露頭となる地点で採取されたテフラ試料を用意し、平成30年度内に62試料の分析を完了することができた。これらの火山ガラスの主元素組成のデータセットと、コアの最上部から分析したテフラ試料の火山ガラスのデータを比較したところ、最上位から新島向山テフラ（AD886）、神津島天上山テフラ（AD838）、新島本島で確認される噴火イベント（宮塚山南部、式根島、宮塚山、赤崎峰）に対比されるテフラ層を確認した。また、新島・神津島起源テフラとは大きく異なる主元素組成をもつテフラが介在しており、本テフラは海底火山である大室ダシから13.4kaに供給された流紋岩質テフラ（葉室ほか、1983；斎藤・宮入、2008；谷ほか、2017）に対比されると考えられる。CK09-03, C9010Eコアは、全長190mのうち上部30m分のテフラ層の分析が終わったところであるが、平成30年度の分析結果から、本コアは後期更新世の伊豆諸島の火山活動史を詳細に記録している可能性が高いことが明らかになった。

採択番号 18A040, 18B037

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・九州大学大学院 比較社会文化研究院(学術研究員)

研究期間 H31/2/8-15

共同研究分担者組織 佐藤 雅彦(東京大学), 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と考えられる。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、これまでに全岩の古地磁気・岩石磁気情報が既知である花崗岩試料(福島県阿武隈山地, 100Ma)から分離した斜長石の古地磁気強度実験を行い、複数の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。そこで今後は、様々な年代の花崗岩から分離した斜長石の古地磁気強度実験を行い、長周期の磁場強度変動を解明することを目指す。

今年度は、白亜紀スーパークローン前後の磁場強度変動を制約するため、0~150Maの年代をもつ花崗岩試料で、古地磁気強度実験に適した斜長石を含むものを岩石磁気測定によって選定する。その後、必要に応じて選定された花崗岩試料の再採集を行い、斜長石単結晶の古地磁気強度実験を行う。試料には、西南日本及びアメリカ西部で採集された花崗岩を用いる。また、これまで測定を行ってきた阿武隈及び丹沢の斜長石の更なる岩石磁気測定も行う。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

深成岩に含まれる斜長石を用いた古地磁気強度実験を行うため、古地磁気・岩石磁気測定により適した試料の探求を行った。その結果、道志ハンレイ岩(5Ma)に含まれる斜長石が最も古地磁気強度実験に適していることが分かったので、さらに詳細な測定を行った。

測定には海洋コア総合研究センターの古地磁気・岩石磁気実験室設置の以下の機器を用いた。残留磁化測定には、個別試料型超伝導岩石磁力計を用いた。鉱物単結晶に包有される磁性鉱物の推定は、磁気特性測定装置(MPMS)を用いた低温磁気測定により行った。また、磁場勾配磁力計(AGM)を用いて磁気ヒステリシス測定を行った。着磁および段階消磁実験には交流消磁装置を用いた。

使用した試料は、道志ハンレイ岩(5Ma)、丹沢花崗岩(5Ma)、阿武隈花崗岩(100Ma)、Mt. Edgar花崗岩(3.3Ga)

である。なお、阿武隈花崗岩は前年度までに古地磁気強度実験を行った(Kato *et al.*, 2018 EPS)試料と同一の露頭で再度サンプリングを行ったものである。

まず、低温磁気測定を行い、斜長石に含まれる磁性鉱物の種類および粒子サイズの推定を行った。結果はすべて100-120K付近のフェルベーター転移を示し、(チタノ)マグネタイトが磁性を担っていることが分かった。また、磁場中冷却で獲得された残留磁化と無磁場中冷却ののち低温(10K)で獲得された等温残留磁化の大小関係から、磁性粒子の大きなサイズ(単磁区、多磁区)を判断した。今回測定した試料では、丹沢花崗岩で多磁区的な特徴がみられ、他の試料では単磁区ないし擬単磁区的であった。粒子サイズについては、磁気ヒステリシス測定の結果も同様の傾向を示した。

次に、各岩石試料から分離した斜長石の自然残留磁化(NRM)測定を行った。申請者のこれまでの研究で、古地磁気強度実験が可能な試料は斜長石一粒のNRMが概ね $5 \times 10^{-11} \text{Am}^2$ 以上のものであった。この条件を満たす粒子の割合が5%以上である試料は道志ハンレイ岩と阿武隈花崗岩のみであった。従って、次に古地磁気強度実験を行う試料として、道志ハンレイ岩が最も適当であるといえる。

そこで、道志ハンレイ岩の斜長石について、古地磁気強度実験の条件を設定するため、段階交流消磁実験と残留磁化異方性の評価を行った。段階消磁の結果、高保磁力側に原点に向かう直線成分がみられ、初生残留磁化であると期待される。残留磁化異方性の評価は、7方向に非履歴性残留磁化(ARM)を着磁し、着磁テンソルを推定することで行った。異方性の大きさおよび形状は阿武隈花崗岩の斜長石と同程度であり、古地磁気強度実験への影響はそれほど大きくないと考えられる。

以上の結果をもとに、次年度は道志ハンレイ岩の斜長石を用いた古地磁気強度実験を行う。

採択番号 18A041, 18B038

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 地質調査総合センター
地質情報研究部門(首席研究員)

研究期間 H30/12/4-6, H31/1/8-11

共同研究分担者組織 金松 敏也(海洋研究開発機構), 喜岡 新(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することがあるが, 斜面崩壊の実態はよくわかっていない。また, イベント堆積物から地震発生履歴を解読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, 地震などに伴う海底の崩壊や再移動に伴って形成されるイベント堆積物を含む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標とする。分析は, 構造や粒度, 化学組成が異なると推定されるコアを用い, 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目的である。

分析から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】

八重山前弧域のコアでは, 粗粒な石灰質粒子のイベント層が化学組成でも検知できた。また, 日向灘のコアでは泥質タービダイトを特徴付ける化学組成を認定し, 当初の肉眼記載では見落としていた泥質タービダイトの認定につなげた。泥質タービダイトの特徴を持つ化学組成は別の層準でも確認できるので, 今後堆積構造の確認を行っていく予定である。このようにして識別された泥質タービダイトと半遠洋性泥の年代値を比較することで, タービダイト泥の起源に関する情報を取得できた。これによれば, このコアに挟在する泥質タービダイトのほとんどは表層堆積物の再移動によって形成されたものであることが判明した。このことは地震毎でのイベント層の形成において, 表層堆積物の再懸濁現象が重要なプロセスのひとつであることを示唆している。この結果については, 2019年4月のEGU 2019 General Assembly, 日本堆積学会2019年大阪大会, 5月の日本地球惑星科学連合2019年大会において口頭発表した。

採択番号 18A042, 18B039

研究課題名 表層型ガスハイドレート産出域の岩石磁気研究

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 H30/10/10-17, H31/3/7-8

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、H27～30年度に実施された調査航海で得られた日本海東縁(隠岐周辺と上越沖)及び北部(沿海州沖)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。H30年度の利用では、隠岐トラフ周辺と上越沖、日本海北部(沿海州沖)でコアリングされた500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。H30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7K18調査航海、LV81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)、振動型磁力計(VSM)、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、 $k_{ARM}/SIRM$ 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ている。H30年度の利用ではこれらの試料の岩石磁気特性を明らかにするため、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。さらに、振動型磁力計(VSM)を使用し試料量を調整することにより、交番力磁力計(AGFM)ではバックグラウンドの影響で測定することのできなかつた試料のFORC測定を行うことができた。この測定により、一部の海域の表層試料に限定されるが、磁性細菌由来の磁性鉱物のシグナルを検出することができた。

採択番号 18A044, 18B041

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 化学科（准教授）

研究期間 H30/10/23-11/1

共同研究分担者組織 池原 実（海洋コア）、他 学生4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32億年前の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。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

研究実施内容：有機炭素、無機炭素の存在量、および有機炭素の安定同位体組成の測定

測定試料：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22億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22億年前の試料では平均で約-25‰、となった。一方、窒素の存在量は極めて低く、同位体分析が通常の方法では叶わなかった。ケロジェンを抽出して分析する必要があるため、次年度以降の課題としたい。

試料中の有機物は、明らかに堆積当時に海洋に生息していた生物を起源に持つものである。安定同位体組成は、微生物代謝の様式を示唆する。海洋の表層に生息していた酸素発生型の光合成バクテリア（初期生産者；例：シアノバクテリア）が生産した有機物のうち、分解されずに海底に運搬されたものが、堆積岩中に保存されることになったと考えられる。

ここまでは事前に予想できたことだが、鉄の化学種別存在量分析、硫黄の化学種別存在量分析、希土類元素組成、遷移金属元素組成、等から、分析した20mのセクションの堆積環境は、水塊と堆積物は基本的には酸化的で、上位に行くほど不定期に水塊が嫌氣的となり、水塊中で黄鉄鉱の形成が進んだことがわかった。にもかかわらず、堆積物中に保存された有機物の炭素同位体組成は変化がなかったことから、酸化還元状態に関して安定な生態系が存在していたことが示唆され、また、嫌氣的環境でメタンを代謝する生態系は無かった事が示唆される。

約22億年前という時代は、約22～24億年前に起きたとされている所謂GOE（Great Oxidation Event；大酸化事変）の直後である。海洋表層の酸素発生型光合成バクテリア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）の酸化に使われたが、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。これまで、約22億年前の試料は、主に南アフリカ、オーストラリア北西部、カナダ東部に産出する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。本研究では世界で初めて、GOE後の深海の酸化のタイミングを制約することができた。すなわち、GOEの直後に深海まで溶存酸素が行き渡っていたことがわかった。このことは、表層で生産された酸素の量が深海を酸化するのに十分な量であっただけでなく、効率的に酸素を深海に運搬する海洋循環が機能していたことを示唆する。本研究は、初期原生代の大気-海洋システムの進化に関して、極めて重要な示唆を持つと言える。

採択番号 18A045, 18B042

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 化学科 (准教授)

研究期間 H30/10/23-11/1

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】

ユカタン半島北部の海底下に埋没する直径約180kmのチクシュルーブ・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、2016年11月18日付の *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・生物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。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

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), および
- 2) EA-IRMSによる有機物の炭素・窒素の安定同位体組成
- 3) XRDによる鉱物組成

の測定

測定試料

IODP Exp. 364 Chicxulub Impact Crater (チクシュルーブ衝突クレーター) 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が、延べ約10日間にわたって高知コアセンターに滞在して、多数の試料の各種分析を行

うことが出来た。

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40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60である。

有機炭素の同位体組成は約40試料に関して測定することが出来た。繰り返し分析を含めて約60試料の測定を行った。

バルクの窒素同位体組成は、約40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2019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30試料に関して測定することができた。繰り返し分析を含めて約40試料の測定を行った。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行った。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、岩相的に代表的な箇所を選び、約40試料の測定を行った。測定の後には、ピークのパターンから鉱物のマッチングを行った。

以上をもって、Exp. 364の試料のバルク存在量および同位体分析を終了できた。今後は、溶脱フェイズやケロジェンのフェイズ等、フェイズ別の分析が必要であり、2019年度以降と課題としたい。

以上から、本研究の分担者の小椋千尋の修士論文研究「(仮題) ユカタン半島沖の暁新世～始新世の炭酸塩岩の地球化学：炭素と硫黄の同位体組成から探る海洋環境」のためのデータ収集を行った。また、海外2件および国内1件の研究発表を行った。

採択番号 18A046, 18B043

研究課題名 フィリピンのサンゴ記録を用いた西太平洋熱帯域の表層環境の解明および気候変動との関係に関する研究

氏名・所属（職名） 智原 睦美・岡山大学大学院 自然科学研究科（修士2年）

研究期間 H30/6/4-8, 9/10-14, 10/9-12, 10/30-31, 11/26-12/2

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

サンゴ骨格の酸素同位体比やストロンチウム・カルシウム比 (Sr/Ca比) からは海洋表層の温度や塩分に関する定量的な情報を得られることが知られており、特に年輪を持つハマサンゴが研究にはよく用いられている。造礁サンゴは熱帯から亜熱帯に生息しているため、サンゴ骨格気候学は気候システムの駆動源でもある熱帯域から亜熱帯域にわたる気候の経年変動を高時間分解能で復元するのに適している。しかし、サンゴ骨格を用いて200年以上にわたる連続的な環境復元を行った研究は世界的にもそれほど多くない。

そこで本研究では西太平洋熱帯域のフィリピン東岸で採取されたサンゴについて、まず温度指標として知られているサンゴ骨格中のSr/Ca比の記録に基づき1778年から2002年の約220年分について月単位の時間分解能で海水温の復元を行った。本研究では、西太平洋熱帯域の過去220年にわたる海水温および塩分の復元を行うことを目的とする。本研究により、長期的な海水温と塩分の変動とそれらの気候変動との関係について理解が進むことが期待される。

度の変動周期が検出され、本海域はアジアモンスーンなどいくつかの気候要素が影響しているものの、ENSOの影響が支配的である可能性が示された。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究で用いたフィリピン沿岸から得られたサンゴコア試料の全長は約2.5mであり（約220年分に相当）、約2ヶ月の時間分解能でSr/Ca比の測定については岡山大学所有の誘導結合プラズマ発光分光分析装置を用いて実施した。酸素・炭素同位体比の測定は高知大学海洋コア総合研究センターの安定同位体比質量分析計 (IsoPrime) を用いた。誤差はそれぞれSr/Ca比 $<0.5\%$ (SSTに換算すると 0.5°C 未満)、 $\delta^{13}\text{C}<0.06\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}<0.10\text{‰}$ であった。また復元した各変動に対して、トレンド成分を除去しKspectraを用いて時系列解析を行った。

分析の結果、約220年にわたってSr/Ca比から復元した海水温の変動からは、複数の寒冷化イベントが認められ、火山活動に起因した寒冷化が示唆されたが、本研究結果により、Sr/Ca比同様に $\delta^{18}\text{O}$ についてもいくつかの寒冷・乾燥化イベントがあったことが分かった。特に、1800年代初頭の寒冷・乾燥化傾向は、この時期の大規模な火山活動の影響及び小氷期の影響を受けていることが考えられる。海水温のデータと $\delta^{18}\text{O}$ のデータを組み合わせて、塩分に近似できる海水の $\delta^{18}\text{O}$ も復元したところ、この時期には顕著な乾燥化が起きていたことが分かった。一方、 $\delta^{13}\text{C}$ からは、全体を通して増減があるものの、1950年代以降は急激に減少する傾向が見られており、これは、 $\delta^{13}\text{C}$ の低い化石燃料の放出の影響であるスース効果によるものと考えられる。さらに、時系列解析の結果からは、本研究地域の海水温や $\delta^{18}\text{O}$ の変動は、ENSOに関連した3~7年程

採択番号 18A047, 18B044

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・国立研究開発法人 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 (上級主任研究員)

研究期間 H30/9/19-21, 9/28-10/1

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。これまでの研究でBIW12-2コアについて個別試料の自然残留磁化測定を終了し、u-channelとLL-channel測定をそれぞれ20mT, 10mTまで交流消磁実験を終了した。個別試料とu-channel試料の結果はおおむね整合的である。将来の琵琶湖掘削 (ICDP) にもつながる研究と位置づけられる。

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にて完了している。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。また、X線CTスキャン測定とXRFスキャナ測定から、FeとMnについて帯磁率および残留磁化強度と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ている。また、低温磁性測定から磁鉄鉱の相転移点 (Verwey transition) が確認されている。本年度はu-channel試料についてNRMの25-80mTでの交流消磁、および非履歴性残留磁化 (ARM) の0-80mTでの交流消磁測定を行った。また、Cube試料のARM0-80mTでの交流消磁測定を行った。このうち10mT, 20mT, 30mT, 40mTのデータからPseudo Thellier法を用いて、相対磁場強度を求めた。相対磁場強度の全体的傾向はHayashida *et al.* (2007) と概ね一致することが確認された。また、u-channelのdeconvolution結果とcubeから求めた相対磁場強度を比較したが、長期的変動はよく一致することが確認された。

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、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らかもしれない。

採択番号 18A048, 18B045

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 H30/4/23-26, 5/1-2, 5/7-11, 5/16-18, 5/21-25, 5/28-31, 6/4-6

共同研究分担者組織 村山 雅史(高知大学), 他 学生1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通常のピストンコアで可能な過去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一週氷期変動に伴ってどのように変化して来たのかは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、各地点の明暗互層が対比された(Tada *et al.*, 2015, 2018; Irino *et al.*, 2018)。異なる水深から採取されたコアから得られる過去の海洋底層環境や海底への物質フラックスを比較することができれば、海洋環境の変動をより詳細に復元することが可能である。

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、第四紀を通じた数千年スケールの気候変動・海洋環境の変動の時間空間変動を復元することを目的とし、分析を行う。本申請では、XRFコアスキャナー(ITRAX)を用いて2-3mmの解像度で堆積物中の元素組成変動を分析することにより、明暗互層に伴う数千年スケールの変動を第四紀(約260万年)を通じて復元する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成30年4月末から6月上旬にかけて、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第346次航海で採取されたU1426地点(水深903m)の堆積物コアで、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110本であった。平成28年度・平成29年度の共同利用によるITRAX分析データと合わせ、U1424地点(水深2808m)・U1425地点(水深1909m)・U1426地点の3地点の第四紀堆積物の高解像度元素分析が終了した。

本研究では、ITRAXで測定した堆積物中の元素組成を定量的に扱えるようにするため、標準試料の測定を合わせて行った。標準試料の測定結果を基に、堆積物の測定結果からX線管球の劣化による影響を補正し、平成28年度からの3年間の共同利用で測定した結果を全て直接比較可能なデータに変換した。さらにノイズの除去などのデータ処理を行った後、測定結果をスプライス(Irino *et al.*, 2018)に沿ってつなぎ合わせ、連続記録を作成した。

これまでの3年間の共同利用で測定した3地点の第四紀堆積物は、明暗互層を用いて詳細に対比されている(Tada

et al., 2018)。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(Seki *et al.*, 2019)。そこで、詳細対比を用いて3地点のBrを比較したところ、過去約150万年間は3地点のBrは同じような変動を示し、日本海の深層が1つのシステムとして動いていたことが示唆された。約175万年前よりも古い時代には、深い2地点(水深2808m, 1909m)は似たような変動を示すものの、浅い1地点(水深903m)は他の2地点とは異なる変動を示した。先行研究では、約175万年前に対馬海峡が開き、現在の日本海と同じような海流の流れになったことが示唆されており、このことが堆積物中のBr、つまり海洋起源有機物量の変動に影響を与えた可能性がある。

さらに3地点の海洋起源有機物量をより詳しく比較するため、各地点で海洋起源有機物埋没フラックスを計算した。その結果、浅い地点(水深903m)から深い地点(水深2808m)にかけて、徐々に海洋起源有機物埋没フラックスが減少していることが明らかになった。各地点のフラックスは数千年スケールで大きく変化しており、この結果をさらに解析することで、数千年スケールの過去の気候変動が明らかになることが期待される。

現時点では主にBrの測定結果に着目して研究を進めているが、平成28年度の共同利用の成果により、ITRAXで測定した26元素のうち、Br, S, Fe, Tiが底層の酸化還元環境の指標となることが示されている。また、平成29年度の共同利用の成果により、堆積物中のCaの変動から過去の炭酸塩補償深度を復元できることが示されている。今後は、これらの元素についても、本年度得られたITRAXの測定結果を解析することで、過去の日本海の海洋環境について新たな知見が得られることが期待される。

採択番号 18A049, 18B046

研究課題名 探査機搭載分光観測機器による小惑星表層の水と有機物の定量のための地上実験研究

氏名・所属(職名) 藪田 ひかる・広島大学大学院 理学研究科 地球惑星システム学専攻
地球惑星科学グループ(准教授)

研究期間 H30/6/20-21, 9/24-25

共同研究分担者組織 中村 智樹(東北大学), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

わが国の小惑星サンプルリターン探査機「はやぶさ2」は、地球上の生命と海の起源を解明する目的で、有機物と水を多く含むことが期待される小惑星リュウグウに2018年6月27日に到達した。その後、約1年間の観測と2回の試料採取に成功した。探査機は2019年末にリュウグウを出発し、2020年に地球に帰還する予定である。観測データは、リュウグウ表層全体の物理状態や物質分布を明らかにし、科学的価値の最も高い試料採取地点を決定するための情報を提供するため、帰還試料分析にとっても非常に重要となる。

「はやぶさ2」ではリュウグウ表層において有機物と水(含水鉱物)の豊富な地域を第1回目の試料採取地点として狙った。有機物の分布については①光学航法カメラ(ONC)で得られる紫外可視反射スペクトルにおける0.39, 0.55 μm 帯反射率で評価した。含水鉱物の分布については②可視反射スペクトルにおける0.7 μm 帯吸収、③近赤外分光計(NIRS3)で得られる反射スペクトルにおける3 μm 帯吸収・波長中心で評価した。しかし②、③は含水鉱物の有無や量を反映するだけでなく、試料中の有機炭素含有量の違いによっても変動してしまう。すなわち、小惑星表層の含水鉱物を正確に同定するためには、①で有機炭素量を高精度で求め、補正を行うことが必要不可欠である。

そこで本計画では、2018年夏に実施された試料採取地点選定に向けて、分光観測装置と元素分析計を用いた隕石試料・小惑星模擬物質の有機炭素量評価を行い、小惑星リュウグウ表層における有機物と水の全球的な高精度定量を目指した。この結果と、2年後に得られる帰還試料分析からの結果を統合することにより、初期地球へ供給された揮発性物質の量・組成に制約を与えることが期待できる。

【実験】

空隙率を揃えた、始原始的な炭素質CMコンドライト3種(Murchison, Murray, Y-980115)と加熱脱水を経験した炭素質CMコンドライト5種(Jbilet Winselwan, Y-982086, Y-793321, B-7904, Y-86720)、および、粒径を揃えたMurchison隕石(非加熱, 300, 400, 500, 600 $^{\circ}\text{C}$ 加熱), LAP 04721隕石(非加熱, 600, 900 $^{\circ}\text{C}$ 加熱), Tagish Lake隕石(非加熱, 400, 600, 900 $^{\circ}\text{C}$ 加熱)の各粉末試料を用いた。各試料の反射スペクトルを東北大学のフーリエ変換分光計(VERTEX 70v, Bruker)を用いて取得した。また、各試料の全炭素量を高知大学海洋コア総合研究センターのCHN元素分析装置(Flash EA1112, Thermo/Finnigan)を用いて計測した。

【結果と考察】

①始原始的なCM隕石と加熱脱水したCM隕石との比較：全体的に、始原始的なCM隕石は全炭素量が比較的多く0.39, 0.55 μm 帯の反射率が低いものに対して、加熱脱水を受けたCM隕石は全炭素量が比較的少なく反射率が高い傾向を示した。この結果から、隕石母天体での加熱脱水作用による炭素量の減少が反射率の変化に影響を及ぼすことが示唆される。但し、Murchison隕石とY-793321隕石のように、炭素量に大きな差異はないが反射率が異なる隕石も見られた。これは、穏やかな加熱を受けたCM隕石の炭素量は減少しないものの、含まれる有機物のH/C比が加熱により減少する(すなわち芳香族性が増加する)ために反射率が低下すると考えられる。

②様々な温度で加熱した炭素質コンドライト隕石の比較：全炭素量が多い試料は0.39, 0.55 μm 帯の反射率が低いものに対し、全炭素量が少ない試料は反射率が高い傾向を示した。しかし加熱に伴う炭素量、反射率の変化は各隕石で異なった。Murchison隕石の全炭素量(3.3%)は600 $^{\circ}\text{C}$ での加熱まで殆ど変化しなかったが、900 $^{\circ}\text{C}$ で0.4%まで減少した。一方で反射率は300 $^{\circ}\text{C}$ の加熱で低くなり400 $^{\circ}\text{C}$ で極小値を示した後、500 $^{\circ}\text{C}$ 以上では再び高くなった。Tagish Lake隕石の全炭素量(7.7%)は400 $^{\circ}\text{C}$ での加熱では殆ど変化しなかったが、600 $^{\circ}\text{C}$ で減少し(4.8%), 900 $^{\circ}\text{C}$ で1.0%に激減した。一方で反射率は600 $^{\circ}\text{C}$ まで殆ど変わらず、900 $^{\circ}\text{C}$ で急激に高くなった。600 $^{\circ}\text{C}$ での炭素量減少は炭酸塩の分解によると考えられる。以上から、小惑星リュウグウ表層の0.55 μm 帯の平均反射率は400~600 $^{\circ}\text{C}$ で加熱を受けたTagish Lake隕石の値に近く、その炭素量は約3%と見積もられる。しかし、反射率が炭素量以外の要因を反映する可能性も考えられるため、今後の検討が必要である。

採択番号 18A050, 18B047

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 H30/11/6, H31/2/19

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

非火山性の温泉は、海洋プレートの沈み込みから脱水した流体を起源とするものがあり、これらの温泉水の化学組成は、プレートの運動と同期して変化している可能性がある。温泉水の持続的な観測は時間的な制約が伴い、長期間の継続的な観測が困難である。一方、温泉堆積物は例え温泉水が枯れても、長期間保存されるため、その化学組成を分析することで、過去の温泉水の起源やプレート運動に関する間接的な知見が得られると期待できる。

本研究では、紀伊半島に分布する様々な温泉水を対象に、温泉水と浮遊粒子の元素組成を分析し、希土類元素パターンやホウ素－リチウム－塩素ダイアグラムを用いた起源推定を行う。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。

希土類元素は堆積物中に残りやすく、環境指標として有望である。本研究では、特に、ユウロピウム異常に注目し、同位体やホウ素－リチウム－塩素ダイアグラムから得られる温泉水の特徴と希土類元素パターンの関係性を明らかにする。これにより、温泉堆積物の希土類元素パターンから、過去の温泉水の水質に関する情報が求められると期待される。

【利用】

当初、温泉水のLi, ホウ素についても共同利用で分析する予定だったが、申請者が所属する大阪教育大学の誘導結合プラズマ発光分析で十分な成果が得られたため、本申請では、希土類元素の分析のみを行い、試料数を削減した。分析は、2月19日に行った。また、別の共同利用で分析を予定していた炭酸塩試料について、利用先の装置に不具合が生じたため、EPMAの追加利用を申請し、表面分析を11月6日に実施した。

【内容】

希土類元素のうちユウロピウムは、バリウムからの質量干渉を受けるため、質量分析では過剰見積もりが起きやすい。そこで、申請者は温泉水、および堆積物の重金属元素をキレートで固定し、バリウムなどのアルカリ土類金属から分離した。これにより、試料のバリウムはブランクレベルまで低下した。分離した溶液試料は、標準物質とともにICP-MS (iCap) で分析した。炭酸塩試料については、表面研磨済みのものを持ち込み、炭素蒸着した上で、EPMAで元素マッピングを行った。元素は塩素、カルシウム、ストロンチウムとし、1ピクセル当たり1マイクロメートルの解像度で行った。

【成果】

温泉水は紀伊半島に分布する14の施設から採集した。このうち、同位体異常が見られたのは5つの温泉施設であった。一方、主成分分析では、2つの施設が『火山型』に分類され、そのいずれにも同位体異常が認められた。この2つの施設の温泉水は、それぞれ炭酸塩と鉄質の沈殿物を生成していた。オーストラリア頁岩 (PAAS) で規格化した希土類元素パターンは、同位体異常の観察された5つの施設のうち3つの施設と、同位体異常のない1施設で正のユウロピウム異常を示した。『火山型』の2つは、ユウロピウム異常がないか、弱い異常を示し、大きな正のユウロピウム異常を示したのは、全て『海水型』の温泉水となった。

『海水型』の温泉は、塩化物イオンに富み、総イオン濃度も顕著に高いものが多い。塩化物イオンは、ユウロピウム異常を卓越させることが知られており、海水型に異常が集中したと考えられる。温泉水のユウロピウム異常は、岩石との相互反応には起因せず、水の溶存成分に支配されている可能性が高い。

採択番号 18A051, 18B048

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 研究教育系地圏研究グループ 総合研究大学院大学(助教)

研究期間 H30/7/9-12

共同研究分担者組織 Zhao Xiangyu(国立極地研究所)

【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硫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30年度は沖縄トラフで採取された火山岩4試料(伊良部海丘)、フィリピン海で採取された火山岩・深成岩・変成岩24試料(マドメガムリオン)の岩石磁気分析を行った。

平成30年7月9日-12日の期間で、磁気天秤を用いた高温磁気測定(5試料)、VSMを用いた磁気ヒステリシス測定(24試料)、D-Spinを用いた段階交流消磁(14試料)を実施した。

中央海嶺・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。本研究成果に関して、下記の学会において紹介した。

***Fujii M.**, H. Sato, T. Nozaki, Y. Takaya, Rock magnetism for characterization of submarine volcanism in the Okinawa Trough, *Japan Geoscience Union Meeting 2018*, Chiba, Japan, May 2018. (Oral presentation)

***Fujii M.**, K. Okino, Submersible Magnetism for Understanding Off-axis Volcanism of Central Indian Ridge,

The 144th Society of Geomagnetism and Earth, Planetary and Space Sciences fall meeting, Nagoya, Japan, November 2018. (Oral presentation)

***Fujii M.**, K. Okino, Understanding Circum-Antarctic Ridges: Magnetic insights into off-axis volcanism and hydrothermal systems near the Rodrigues Triple Junction, *The Ninth Symposium on Polar Science*, Tachikawa, Japan, December 2018. (Oral presentation)

***Fujii M.**, K. Okino, Near-seafloor magnetism of off-axis volcanism near the Kairei and Yokoniwa hydrothermal fields of the Central Indian Ridge, *American Geophysical Union 2018 Fall Meeting*, Washington D.C., USA, December 2018. (Poster presentation)

また、本研究成果に関する下記論文3編を出版した。

***Fujii M.**, H. Sato, E. Togawa, K. Shimada, J. Ishibashi, Seafloor hydrothermal alteration affecting magnetic properties of abyssal basaltic rocks: Insights from back-arc lavas of the Okinawa Trough, *Earth, Planets and Space*, doi:10.1186/s40623-018-0958-6, 2018.

***Fujii M.**, K. Okino, Near-seafloor magnetic mapping of off-axis lava flows near the Kairei and Yokoniwa hydrothermal vent fields in the Central Indian Ridge, *Earth, Planets and Space*, doi:10.1186/s40623-018-0959-5, 2018.

*Zhao, X.Y., **M. Fujii**, Y. Suganuma, X. Zhao, Z. Jiang, Applying the Burr type XII distribution to decompose remanent magnetization curves. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, doi:10.1029/2018JB016082, 2018.

採択番号 18A052, 18B049

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 H30/9/21, 11/15

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）

【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關係の評価を行い、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】

土壌団粒試料に含まれる有機物のミクロスケールでの分布を電子顕微鏡やマイクロCTで可視化するために、重金属元素（オスミウム）の付加処理を改良した試料処理法を構築した。H30年度の利用では、前年度までに重金属付加処理や樹脂包埋を行った試料について、SEM-EDSで観察や分析を行い、処理した団粒内での有機物に対してオスミウムが局所的に付加していることを確認した。

採択番号 18A053, 18B050

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3年)

研究期間 H30/4/16-27, 7/2-17, H31/3/14-26

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。

H30年度共同利用では、長尺コア最深部のUチャンネル試料採取と、採取済みのUチャンネル試料における残留磁気の測定、非履歴性残留磁化(ARM)、等温残留磁化(IRM)の付与と測定、FORCダイアグラム作成、帯磁率測定を行い、相対古地磁気強度の復元や岩石磁気学的特徴の解明を行う予定である。

【利用】

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ことを目的として、次のような測定を実施した。以下の測定のために、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

利用した。

- 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試料中の磁性鉱物の岩石磁気学的特徴をとらえるためのFORC測定

【研究実施内容】

平成29年度夏に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)について、平成30年度4月～3月までの3回、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。平成30年度前期では、相対的な古地磁気強度の変動を復元するために、堆積物試料(採取済み試料84本すべての試料)に人工的に着磁した非履歴性残留磁化および等温残留磁化の強度測定を行った。平成31年3月の利用では、センター所有のMSCL-Sを利用して帯磁率の測定を開始し、84本中30本について測定を終えた。また、Texas A&M大学からの採取許可が下りず未採取であった長尺コア最深部のUチャンネル試料35本を追加で採取した。

【得られた成果】

これらの結果と、東北大で実施した強磁性共鳴測定・走査型電子顕微鏡観察をあわせて、サイトU1490の堆積物の自然残留磁化強度が高い部分では主に走磁性バクテリア由来の磁鉄鉱が磁性を担っていること、堆積環境の変化に伴ってチタン磁鉄鉱の含有量が変化していることが明らかになり、この成果を国際誌にて公表する準備を進めている。また、すべての結果は博士論文として報告した。

平成30年度末までに測定が終了しなかった測定項目については、2019年度に利用申請を行い採択されれば、当初の予定通り、最深部の試料も含めた約877万年前～約1875万年前までのおよそ1000万年間におよぶ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 18B051

研究課題名 えりも岬西方沖掘削 (Exp. 910) で採取した間隙水の微量成分分析

氏名・所属 (職名) 戸丸 仁・千葉大学大学院 理学研究院 地球科学研究部門 (准教授)

研究期間 H30/11/18-22

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

2017年9月に襟裳岬西方沖で行われた表層科学掘削プログラム (SCORE, Exp.910) では、地滑り堆積物 (Mass Transport Deposit; MTD) の発達する海域で海底面下約100mまで掘削し、堆積物コアが回収された。本研究ではこの堆積物から抽出した間隙水試料の微量成分の濃度分析をIODP/ちきゅうの標準的な船上分析プロトコルに基づいて行う。微量成分は間隙水の移動経路やその場の酸化還元状態を反映しており、他海域の掘削コアとの比較可能なデータの取得は、本調査海域の間隙水の化学環境の特徴を知るための基本的なデータとなる。また、本航海で取得した試料に関してもIODPと同等の船上分析項目を完了することは、SCORE航海をIODPレベルの成果が得られる航海と位置付けるためにも必要なタスクである。

本利用申請では、主にLiやSr, Mnなどの深度変化に特に着目してICP-MSとICP-AESによる間隙水溶存微量成分の定量を行う。本研究海域の日高トラフを挟んだ南西側にはIOCP Exp. 337 (下北八戸沖石炭層掘削プロジェクト) やCK06-06 C9001C (ちきゅう慣熟航海) による掘削間隙水のほか、周辺海域で申請者を含む研究グループによる表層堆積物間隙水のデータが既に報告されており、これらとの比較により日高トラフの発達に伴う化学環境の変化を追跡できる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

襟裳岬西方沖の水深1069mの地点において、表層科学掘削プログラム (SCORE, Exp.910) 「えりも岬西方沖掘削」が行われた。この海域では、地震や気候変動に密接に連動していると考えられる、複数の海底地すべり堆積物 (Mass-Transport Deposit: MTD) と鮮新世～完新世の半遠洋性堆積物の互層が発達している。海底地すべりによって再堆積した堆積物や間隙水は、地球表層部 (海底面付近) での間隙水を介した物質循環や微生物の生息環境を短期的に著しく乱す可能性がある。しかし、堆積相の急激な変化と間隙水の化学組成変化との関係は、該当する海域での掘削事例も少なく、十分に議論されている現象とは言えない。そこで本研究では、MTDによって乱された間隙水の化学組成がどのように変化・分布しているのかを検証するため、襟裳岬西方沖の海域から採取した深海掘削コアの間隙水の化学分析を、IODPの標準的な分析プロトコルに従って行った。本研究の成果は、海底地滑り等の地質学的なイベントが、海底下生物圏や生物地球化学的な元素循環プロセスに及ぼす影響や環境に対する応答を明らかにすることにつながる。

高知大学海洋コア総合研究センターのICP-AESとICP-MSを用いて、間隙水中の微量成分の濃度を測定した。微量成分は主に掘削深度以深で起きている岩石-間隙水反応

(粘土鉱物の脱水、岩石中の成分の溶出など) を反映して、単調な増加もしくは減少を示すものが多かったが、特にバリウムイオン濃度とリチウムイオン濃度は、MTDの上部境界のある深度付近 (~47 mbsf) で濃度の極小値が顕著に見られた。通常バリウムイオン濃度は、硫酸-メタン境界 (Sulfate-Methane Interface: SMI, 本研究では約5 mbsf) 以深でのバライトの溶解によって、深度とともに急激に濃度が上昇する。本研究ではバリウムイオン濃度は25 mbsfで40 μ M程度まで上昇したのち、MTD最上部で20 μ M以下まで低下し、再び深度とともに上昇した。これは、海底面直下のバリウムイオン濃度が低い間隙水が、地滑りが起きた後もある程度堆積物内に保存されて、MTDとして再堆積したためであると考えられる。他方、リチウムイオンはSMI周辺でのアルカリ度の上昇によって生成する炭酸塩に取り込まれるため、海底面直下から深度とともに濃度が低下する (SMIで~18 μ M)。それ以深は堆積物深部から移動するリチウムイオンの拡散により緩やかに濃度が上昇するが (100 mbsfで30 μ M)、MTD最上部では16 μ M程度の濃度の極小値が見られた。これはMTDを構成する堆積物が、もともと水深が浅く、おそらくメタンフラックスが大きく炭酸塩の生成が活発な“SMIでのリチウムイオン濃度がより低い”地点から移動し、再堆積したことを反映していると考えられる。

MTD周辺での局所的な濃度変化は、MTDとなった堆積物がもともと存在した深度と位置 (海域) における、間隙水の化学成分の情報を保存しうることが明らかになった。これは海底面下での濃度変化が大きな成分でより顕著にみられると考えられる。今後は他の成分の検討を進めるとともに、対象とする成分の堆積物中の濃度と比較し、成分の保存されている量に関して検討を進める予定である。

採択番号 18B052

研究課題名 XRFコアスキャナーITRAXを用いたKR0515-PC2, PC4コアの高分解能, 高解像度解析

氏名・所属(職名) 七山 太・国立研究開発法人 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(上級主任研究員)

研究期間 H31/2/25-3/15

共同研究分担者組織 山崎 俊嗣(東京大学), 清家 弘治(産業技術研究所)

【研究目的・期待される成果】

堆積物の残留磁化獲得プロセスは、半世紀以上の研究にもかかわらず不明の点が多く、これが古地磁気学やその年代層序等への応用の発展の妨げとなっている。本研究は、従来のモデルでは全く考慮されていなかった生物学的な作用の解明を目指す。具体的には、(1) 走磁性バクテリアの生息密度は堆積物中で深度とともにどう変化しているのか、(2) 走磁性バクテリア起源のマグネタイトはバクテリアの死後、堆積物中でどのように保存され配列しているのか、(3) 生物擾乱は堆積残留磁化にどう影響するのか、を検討する。

堆積物の残留磁化獲得過程への生物擾乱の影響について、これまで定量的な議論は全く行われていない。生物擾乱はモデル化が難しいこともあり、これまでは一律に表層10cm程度が攪拌されるモデルで考えられ、古地磁気も微化石層序や同位体層序と同様に生物擾乱を受けるとして、depth-lagの議論では無視されてきた。本研究では、depth-lagと生物擾乱との関係の定量化も目指す。生物擾乱の研究には、上記の海底最表層堆積物及び、depth-lagの大きさがすでに実測されている堆積物コアを用いる。具体的には、西部赤道太平洋のニューギニア北方海域で採取され、現在高知大学海洋コア総合研究センターに冷蔵保存されているKR05-15-PC2, PC4コアを用いる。

今回は、同コアを、新型XRFコアスキャナーITRAXを用いて主成分分析を行い、既存の古地磁気や他の年代層序データとの高分解能・高解像度での比較を行う。特に今回我々が着目する生物擾乱は、大きさ数ミリ以下の底生生物によって形成される。そのためその精度で堆積物の元素の分析ができるITRAXはこの研究目的に最適であると言える。底生生物は、堆積物中の酸化還元(Redox)環境をドラスティックに変えることがよく知られており、この環境変化の指標としてはCo, Cr, Mn, Mo, Ni, Vなどの元素が有効であることが知られている(Tribovillard *et al.*, 2006; Chemical Geology)。我々もこの手法に準じて、時系列的な検討を試みる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今回測定を行ったKR05-15-PC2, PC4コアでは、すでに詳細な古地磁気・岩石磁気測定が行われている。古地磁気記録においては、堆積速度がほとんど同じであるにもかかわらず、PC4コアの方がDepth-lagが大きく、短波長の変動成分が失われているが、その違いの原因は明らかでない。また、岩石磁気記録においては、磁性鉱物粒径あるいは生物源磁鉄鉱と陸源磁鉄鉱の量比を表すプロキシは、約2万年の歳差の周期を示すが、それ以外の地球

軌道要素パラメータの周期は弱い。一方、磁化率の変動には、約2万年の歳差の周期と約10万年の離心率の周期が見られ、約2万年の周期は炭酸カルシウムによる希釈効果で説明できるものの、約10万年の周期は希釈効果によらず、その起源は不明である。

以上の背景を踏まえ、平成30年度の共同利用・共同研究利用においては、KR05-15-PC2およびPC4コアの全試料を対象として、XRFコアスキャナーITRAXの測定を実施した。今回の共同利用研究で測定対象とした元素は、Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Os, Pt, Pb, Th, Uである。これらのうち、代表的な測定結果については下記の通りである。バナジウムの深さ方向の変動に関しては、KR05-15-PC2コアにおいては深さ4mまでの範囲には明瞭な周期性が存在しないが、それ以深では約1m間隔でピークを示す周期を示すことが判明した。また、PC4のバナジウムの深さ方向の変動に関しては、約1m間隔および約4m間隔でピークを示すことが判明した。マンガンの深さ方向の変動に関しては、KR05-15-PC2コアにおいては表層付近に強いピークが存在していることがわかった。PC4コアのマンガンの深さ方向の変動に関しては、表層付近に強いピークが存在することに加えて、深さ6m付近にもピークが存在していることがわかった。

現在、XRFコアスキャナーITRAXで得られた上述の元素データについて、古地磁気・岩石磁気パラメータとの相関や周期の解析を行っており、今後、上述の古地磁気・岩石磁気的変動の原因について、地球化学的な観点から解釈を行うことができると期待される。また、各コアデプスの生物擾乱強度を把握するために、これまでに撮影されたKR05-15-PC2, PC4コアのX線CT画像データの解析を現在実施中である。生物擾乱強度の変動データも、元素変動データ、古地磁気・岩石磁気的変動データと合わせて解釈し、古地磁気・岩石磁気的変動を左右する要因を明らかにすることを目指す。

採択番号 18B053

研究課題名 亀裂評価方法確立への挑戦

氏名・所属（職名） 北村 真奈美・産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地圏資源環境
研究部門（研究グループ員）

研究期間 H30/10/1-5, 10/22-11/2, H31/2/11-15

共同研究分担者組織 高橋 美紀（産業技術総合研究所）、浦本 豪一郎（海洋コア）
廣瀬 丈洋（海洋研究開発機構）、他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

高温・高圧の地下環境であっても、岩石の浸透率は高く、10-14m²もの値が保たれていることが地震活動や地震波の減衰の周期的な時間変化から推察されている[Nakajima and Uchida, 2018, Nature Geoscience]. このような高浸透性の流路を担う構造は亀裂であり、固体地球内における水循環の経路として重要な役割を担う。また、流体の移動を妨げる帽岩との組み合わせにより、亀裂のネットワークは貯留層としての役割も担う。岩石中の亀裂は、固体地球における水循環、熱資源としての利用、地殻の変形などを議論する上で重要となってくる。しかしながら、亀裂を含む岩体を多孔質岩体と同じように扱って良いものだろうか？同じ孔隙率であっても亀裂の連結性次第でバルク物性にばらつきが生じるものであり、バルク物性のみで亀裂の状態を議論することは難しい。そこで、我々は急減圧・急冷実験によって亀裂を生成した花崗岩試料を用いて、亀裂の評価とバルク物性との比較と経験式の確立に挑戦する。亀裂の連結性を評価するため、貴所共同利用機器であるマイクロフォーカスX線CTスキャナ(Xradia)を用いて亀裂の3次元分布を得る。加えて試料の孔隙率を算出するため、同じく貴所共同利用機器のペンタピクノメータを使用する。また、弾性波速度測定を実施し、連結性と弾性波速度・弾性常数の関係を得る。本研究は地熱エネルギーの開発において、貯留層中の亀裂の連結性に関連した問題、高い浸透性（経済性を担保）と強度低下（地盤沈下や誘発地震のリスク）の両者を、いかにバランスを取りつつ実施するのか、の疑問に答えうるものである。

【利用】

2018年度後期は、マイクロフォーカスX線CTスキャナ(Xradia)を計22日間使用、ペンタピクノメータを計5日間使用した。

【研究実施内容】

急減圧・急冷法による亀裂を生じさせる前のインタクト試料と亀裂を生じさせた後の試料の孔隙率を算出するために、固体部分の真密度測定をペンタピクノメータを用いて実施した。インタクト試料ならびに亀裂入り試料のそれぞれについてXradiaを用いて亀裂分布の画像を得た。これらCT画像を用いて、亀裂のトレースを実施した。

Hestir and Long [1990, JGR]は2次元平面上にランダムに分布する亀裂をパーコレーションモデルに適用できる形で評価する方法を提案した。ランダムに配置される亀裂のネットワークにおいて、格子点の位置は既知でない

ため、 p を求めることは難しい。そこで彼らは1本の亀裂に交差する他の亀裂の平均の数を ξ とし、 ξ と p の間に $p = \xi / (\xi + 2)$ が成り立つことを利用して p を求めた。この手法に倣い、亀裂を持つ花崗岩試料のCT画像から亀裂をトレースし、1本の亀裂に交わる複数の交点を数え、その平均値 ξ から p を求めることとする。また試料の弾性波速度を計測し、得られた p と比較を行う。

【得られた成果】

急減圧・急冷法による亀裂を生じさせる前の、インタクト試料は0.8%以下の孔隙率しか持っていなかったが、亀裂を生じさせると主に2~3%の孔隙率を、また最大で10%程度までの孔隙率を示した。孔隙率の増加に伴い、弾性波速度・弾性常数は低下することを示している。

亀裂の連結性を示す p は、インタクト試料で0.37ほどであり、孔隙率が5.8%の試料で $p=0.56$ と、亀裂が増加するにしたがって p の増加傾向が示された。同じ孔隙率でも見た目で亀裂の連結が強いものと弱いものとで p の値に差が生じており、同じ孔隙率でも高 p 値を示す試料の方が、弾性波速度が低く示されるなど、 p と弾性波速度や弾性常数の間に相関がみられた。つまり連結性の定量化並びにその連結性と物性の関係を示すことができた。

インタクト試料における p と亀裂を持つ試料の p の差はごくわずかでありながら、物性値である弾性波速度や弾性常数は急激に変化していることも示された。つまりパーコレーションスレッショールド p_c は0.39付近に存在するだろうと考えられる。

採択番号 18B054

研究課題名 年縞湖成層から探る白亜紀中期および始新世前期“温室期”の気候変動

氏名・所属(職名) 長谷川 精・高知大学 理工学部 地球環境防災学科(講師)

研究期間 H31/1/7-18

共同研究分担者組織 村山 雅史(高知大学), 池原 実(海洋コア), 他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

本研究ではモンゴル南東部のシネフダグ地域に露出する白亜紀中期(約1億2千万年前)の湖成層(シネフダグ層)と、米国ユタ州北部のインディアンキャニオン地域に露出する始新世前期(約5千万年前)の湖成層(グリーンリバー層)を対象とする。白亜紀中期および始新世前期は、大気二酸化炭素濃度が現在の約4倍に達し、極域にも氷床が存在しない、極端な温暖化が進行した“温室期”として知られる。両湖成層は、年縞(ねんこう)が保存されるため年～十年オーダーの古気候変動が解析可能であるのに加え、地球軌道要素変化を反映した万年～十万年オーダーの岩相変化が見られることがこれまでの研究で明らかになっている(e.g., Hasegawa *et al.*, 2018, Island Arc)。さらに年縞の解析とX線顕微鏡(XGT-5000)を用いた主要元素組成変動の解析により、白亜紀中期のシネフダグ層には太陽活動周期を反映した十年～千年スケールの気候変動も見られることが分かってきた。

そこで本研究では、 μ XRFコアスキャナー(ITRAX)を用いた高時間分解能な主要・微量元素組成変動の解析と、XRD分析を用いた鉱物組成の解析、CNS分析を用いた湖生物生産因子の解析を併せて行うことにより、白亜紀中期および始新世前期“温室期”における、十年～十万年オーダーという幅広い時間スケールにおける陸域中緯度域の古気候変動(降水量変動と気温変動)の復元を試みる。そして、これまでの研究から明らかになった十年～千年スケールの変動が、より長期間ではどのように変動しているのかを解明する。本研究の成果は、現在よりも大気二酸化炭素濃度が高く、極端な温暖化が進行した“温室期”には、十年～千年スケールの気候変動がどのように挙動していたのかを、代表者が発見した年縞湖成層を用いることで実証的に明らかにしようとするものである。したがって本研究の成果は、温暖化が進行する地球の気候システムの将来像を予測する上でも重要である。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本年度は、モンゴル南東部のシネフダグ地域に露出する白亜紀中期湖成層(シネフダグ層)で2013年と2014年に掘削したコア試料(CSH01とCSH02)を対象として、 μ XRFコアスキャナー(ITRAX)を用いた超高時間分解能な主要・微量元素組成変動の解析に注力した。CSH01とCSH02コアの20m区間(約20万年区間)に対して、500 μ m間隔(約5年の解像度)で測定を行った。得られた分析結果を解析したところ、まずCa/Ti比がシネフダグ層に見られる岩相変化である、頁岩ードロマイト互層に非常に良く対応して変動していることが明らかになった。代表者のこれまでの研究により頁岩ードロマイト互層は降水量変動に起

因した湖水位変動を反映していることが明らかになっており(Hasegawa *et al.*, 2018), Ca/Ti比は降水量変動のプロキシとして有用であることが明らかになった。この降水量変動プロキシのCa/Ti比の変動をよく見ると、約2m毎に増減する地球軌道要素変動(特に歳差運動と離心率変動周期)を反映していると考えられる変動と共に、百年～千年スケールで急激に増減する変動も見られることが明らかになった。またCa/Ti比の他にも、Na/TiとK/Tiが岩相変化との対応が見られ、これらの化学風化のプロキシと考えられる変動は、百年～千年スケールの変動はあまり顕著に見られず、地球軌道要素変動の方が卓越するという興味深い結果が得られた。さらに、P/Tiの変動が、前者3つのプロキシとは独自の周期変動を示しており、地球軌道要素のうち地軸傾動に対応する約4万年周期の変動が見られた。P/Tiがなぜ地軸傾動周期で変動しているのかは、今後検討していく必要がある。

本研究は今後も継続して進める予定であり、CSH01とCSH02を対象として μ XRFコアスキャナーを用いたより長期間の解析を進め、上述の変動パターンが継続するかどうかを検証する。また、X線回析装置および元素分析装置を用いて分割試料(約300個)の鉱物組成とCNS分析を行う。これらの分析結果を統合して、シネフダグ層に記録される白亜紀中期“温室期”における年～十万年オーダーの古気候変動を詳細に解明する。本研究ではまた、米国ユタ州北部の始新世前期の湖成層(グリーンリバー層)も併せて対象としており、白亜紀と始新世の記録を比較検討することで、地質時代の代表的な“温室期”における、十年～十万年スケールの気候変動を実証的に明らかにしていく。

採択番号 18B055

研究課題名 大規模分岐年代推定—真核生物の誕生と進化を解き明かす!!—

氏名・所属（職名） 石谷 佳之・筑波大学 計算科学研究センター（特任研究員）

研究期間 H30/11/14-24

共同研究分担者組織 氏家 由利香（海洋コア）

【研究目的】

真核生物の誕生は、地球生命史にとって非常に重要な礎である。真核生物が「いつ」誕生したのかを知る手法として、化石記録を遡る手法が挙げられるが、古い時代の化石は産出が限られるという問題点がある。一方、タンパク質のアミノ酸置換率に基づき、系統分岐の時期を推定する分岐年代推定法という手法がある。高解像度の系統解析や分岐年代推定を行うには、3つの条件：①系統を代表する分類群を網羅的に含め、②大規模遺伝子データを得て、③信頼性の高い化石記録に基づく制約年代を用いることが必要不可欠と世界的に認識されている。ところが、いずれの先行研究でも、どちらかの条件を満たせず、推定年代値の誤差を改善するには至らなかった。近年、遺伝子データ量は飛躍的に増加しているが、放散虫と有孔虫の遺伝子情報は極端に乏しい。一方で、放散虫・有孔虫はカンブリア紀からの詳細で連続的な化石記録を持ち、上述の制約年代に関する条件について、非常に大きな役割を果たすと考えられる。そこで、緻密な化石記録を持つが、遺伝子情報の乏しい放散虫と有孔虫の遺伝子情報を補完し、真核生物全体を含めた高精度な大規模分岐年代推定を行う。堅牢な化石記録を用いた大規模分岐年代推定から、地球史の中での真核生物全体の起源、初期進化を明らかにする。

【期待される成果】

真核生物の初出と各々の系統が分岐した時期を高分解能で解析することによって、地球環境変遷史と高精度に比較し、どのような環境変遷が生物の進化に関連があるか検証し、「真核生物の進化と環境変遷の関連」を明らかにする。

本申請では遺伝子データが不足している放散虫・有孔虫を採取し、大規模遺伝子解析用分子データを拡充することを目的としている。過去の観測から高知大学海洋生物研究教育施設で対象としている放散虫・有孔虫が採取できることがわかっている。本申請課題で行う大規模遺伝子データの取得には「生きている」放散虫・有孔虫からRNAを抽出し、迅速にcDNAライブラリを合成する必要がある。そのため、高知大学海洋生物研究教育施設に近く、実験機器の充実した貴センターの設備を利用したいと考えている。

【研究実施内容】

- ①遺伝子データが不足している放散虫・有孔虫をターゲットにし、高知大学海洋生物研究教育施設にて、プランクトンネットを用いてプランクトン試料を採取した。
- ②貴センターにて、実体顕微鏡を用い、放散虫・有孔虫

を単離し、RNA固定試薬にて試料固定を行った。その後、RNA抽出、cDNA合成を行った。

- ③研究室に帰着後、得られたcDNAからcDNAライブラリ作成を行い、国立科学博物館所有の次世代シーケンサー Miseq (Illumina社製)を用いて、タンパク質コード遺伝子を網羅的に解析し、断片配列のアセンブル、分子系統解析により、大規模分岐年代推定に用いる遺伝子の同定を行った。同定された遺伝子データセットを用い、分子系統解析、大規模分岐年代推定を行った。

【得られた成果】

- ①真核生物全体を含めたデータセットだと、解析に時間がかかるため、まず放散虫有孔虫を含めたリザリア・ストラメノーパイル・アルベオラータで構成されるSARデータセットを用意し、これを解析に用いた。

これまで有孔虫の系統関係は分子系統学的サポートが弱く、不明瞭であった。しかし、大規模遺伝子データを用いて分子系統解析を行った結果、有孔虫主要系統5目の系統関係が非常に高い系統学的サポートで復元された。

先行研究では有孔虫の初出は95%信頼区間が270Ma (650-920Ma)と推定されていたが、放散虫・有孔虫のデータを補完した大規模分岐年代推定を行った結果、95%信頼区間は21Ma (502-523Ma)と推定され、精度が大幅に向上した。これにより、より高精度な有孔虫の進化に関する議論が可能となった。

これまで有孔虫はクライオジェニアン紀に出現し、その後、カンブリア紀に主要系統が分岐したと考えられてきた。しかし、大規模分岐年代推定の結果、有孔虫の初出は502-523Ma (カンブリア紀前期)と推定され、その直後の500-510Maの間に有孔虫の主要系統が分岐したことが明らかになった。カンブリア紀は捕食者の目の発達やそれに伴い被食者の進化も促されたと考えられている。つまり、カンブリア爆発による生態系の複雑化が有孔虫の初出や主要系統の分岐を促したことが示唆された。

- ②SARデータセットで十分な結果が得られたので、真核生物全体にデータを拡充し、分子系統解析を行った。先のSARデータセットを同じ解析結果が得られた。

真核生物全体を含めた分岐年代推定に関しては、現在、解析中である。

採択番号 18B056 18C002

研究課題名 軟X線回折法による土壌堆積環境の復元にもとづいて、先史時代の大洪水を同定する

氏名・所属（職名） 松本 剛・山形大学 人文社会科学部（准教授）

研究期間 H30/8/6-7

共同研究分担者組織 野口 真利江（㈱パレオラボ）

【研究目的・期待される成果】

本研究は、堆積学において援用される分析技術を導入することで考古学的問題を解決することを目指した学際研究である。今から千年ほど前に南米・ペルー北海岸ランバイエケ地方で栄えた政体「シカン」の衰退期に焦点をあて、シカン社会と自然環境の相互作用とその変化を通時的に見通すことで、シカン衰退プロセスの詳細を明らかにする。また、衰退の原因を気候変動に求める従来説を検証する。

この地に伝わる口頭伝承によれば、ランバイエケ王朝フェムペイエック王はその不埒な行いによって祖先神の怒りを買って、30年に渡る大洪水とそれに続く一年の干ばつと飢饉をもたらした。これによって社会は崩壊し、フェムペイエック王は殺害され、王朝最後の王となった。伝承中の大洪水や干ばつを史実と見なす考古学者は少ない。島田（1990）は首都・シカン遺跡の主要神殿基壇が燃やされていることに注目し、放射性炭素年代測定法によって火が放たれた年代を測定した。いずれの年代も紀元後1100年頃であり、美術様式からの神像の消失や、Thompsonら（1985）によるアンデス山脈のケルカヤ氷河のコア分析の結果が示唆する大規模な気候変動のタイミングと一致した。そこで島田（1991）は、1020年頃から30年間続いた大旱魃とそれに続く大洪水によって経済的な大打撃を受けたシカン社会では、自然を司るシカン神への信仰が揺らぎ、灌漑農耕や冶金活動などによって大きな負担を負わされていた一般民衆が反乱を起こし、神殿に火を放ったと説明した。

コアに含まれる砂塵や化学成分、氷の同位体の分析は、アンデス地域における1500年の気候変動を一年の時間分解能で示すことを可能にしたが、これによってランバイエケ地方における洪水そのものの年代が測定されたわけではない。ペルー南部高地のケルカヤ氷河とランバイエケの間には直線距離にして約1280キロ、高低差にして約5400メートルもの隔りがある。また、申請者による近年のシカン遺跡での発掘では、遺跡が放棄されたとされる1100年後も人々が集まって儀礼活動を行った痕跡が多く見つかっている。シカンは従来説の通り、気候変動によって崩壊したのだろうか。本研究では、発掘から得られた堆積土壌の分析によって洪水堆積層そのものを特定し、含有遺物の年代測定によってランバイエケ地方での洪水の発生年代を明らかにするだけでなく、洪水の前後の環境や社会の変化からシカンの衰退プロセスをより詳細に論じることを試みる。

従来の研究では、衰退期の変化プロセスを説明する際に環境因子を過度に強調した決定論的な議論が目立った。そこでは、近年盛んに議論されている社会・生態系シス

テムの弾力性や回復力といった概念は完全に欠如している。これに対し、本研究は衰退から復興までの環境・社会プロセスを長期的に見通すことを目指しており、複合社会の動的なプロセスに関する新しい説明モデルを提供できる可能性を秘めている。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

貴センターのX線CTスキャナーを用いて透過映像を取得し、試料土壌内の堆積構造を明らかにした。この結果を、同一試料の堆積環境を明らかにするために後日実施した①粒度分析や②珪藻化石の分析、③放射性炭素年代測定の結果と組み合わせて、洪水の有無や時期、規模などの詳細を明らかにすることができた。

「研究目的」の項で述べた従来説が主張するように、紀元後1100年頃（中期シカン期から後期シカン期への過渡期）に大洪水が起こったことは間違いない。しかし、この大洪水の後すぐにシカン遺跡が放棄されることはなく、その後もしばらくは大規模な饗宴や生贄儀礼が継続された。これは人々が気候変動に対して儀礼的な抵抗を見せていたことを示唆している。そして1100年以降も何度も洪水が発生し、ある一時期、大広場内には水塊が存在したことも明らかになった。水塊があった頃には人間活動の痕跡はまったく見当たらないため、その頃までにはおそらくシカン遺跡は放棄されていた。ただし、試料がないため絶対年代は不明である。

生贄儀礼は、上述の大洪水の前にも行われていた。とくに生贄にされた9体の遺体が折り重なるようにして遺棄されたものは大洪水の直前と言っていいタイミングで行われたため、従来説が主張する「30年以上続いた大旱魃」の最中に行われた可能性がある。気候変動に対する儀礼的な抵抗はこの頃すでに始まっていたのかもしれない。以上のように、堆積構造や堆積環境、堆積時期の復元によって、従来説に反して、後期シカン期もしばらくシカン遺跡は放棄されずに機能し続けたことが明らかになった。

採択番号 18B057

研究課題名 円筒形花崗岩試料に対する比抵抗トモグラフィ測定とX線CTイメージの対比

氏名・所属（職名） 鈴木 健士・京都大学大学院 理学研究科（博士後期課程3年）

研究期間 H31/2/4-8

共同研究分担者組織 吉村 令慧（京都大学）、山本 裕二（海洋コア）、村山 雅史（高知大学）

【研究目的・期待される成果】

本研究の目的は、円筒形花崗岩試料に対する比抵抗トモグラフィ測定とX線CTスキュンの対比を行い、対比を通して申請者が新たに構築してきた比抵抗トモグラフィ測定手法の性能を評価することである。

この目的に対し、本共同利用・共同研究では、比較的寸法が大きく高密度で低空隙率の試料に対し、マイクロフォーカスX線CTスキュンによる撮像の可否を検討する。加えて、岩石試料中に存在するフラクチャーなどの微細構造の様相をどこまで詳細に可視化できるか確認する。

本研究により、フラクチャーの形状や連結性は比抵抗にどのような影響を与えるかを明らかにできる可能性がある。マイクロフォーカスX線CTスキュンによる撮像が可能であった場合は、通常のX線CTと比較して、より詳細な岩石試料内部の構造情報を得ることができ、比抵抗イメージとの細部の対比が可能となる。これより、フィールドで得られた地下比抵抗イメージの解釈にも適用できるような、比抵抗イメージとフラクチャーの連結性の関係に関する、基礎的情報が得られるものと期待する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

申請者は平成31年2月4日から2月8日の計5日間、高知大学海洋コア総合研究センターに滞在した。滞在中、申請者はX線CTスキュンとマイクロフォーカスX線CTスキュンを使用し、花崗岩試料の内部構造を撮像した。

申請者はまず、無垢な花崗岩試料と亀裂を含む花崗岩試料の両方をX線CT撮像した。次に、段階を分けて、花崗岩試料に対するマイクロフォーカスX線CT撮像を試みた。まず、無垢な試料に対して部分的な撮像を行い、次に同試料の全体撮像を行った。その結果を踏まえ、亀裂を含む試料の全体撮像を行った。マイクロフォーカスX線CT撮像においては、試料の大きさ・密度からX線が試料を透過しない可能性を考え、X線の照射強度を出来るだけ高めた、長照射時間による撮像を行った。一回の撮像では最大半日程度の時間を要した。上記、岩石試料そのものの分析以外に、試料と電極の接触状況の把握にマイクロフォーカスCTが使用可能か評価するため、花崗岩試料に貼りつけられた測定電極周辺をおよそ20mm四方でカットし、その接着部の撮像も行った。カットには岩石カッターを使用し、カットした試料の乾燥には定温乾燥器を使用した。

最初に行ったX線CT撮像結果より、先行研究での報告例と同等の結果を得ることに成功した。この結果から、申請者の用意した高密度花崗岩試料に対しても、比抵抗イメージと対比するための、X線CTイメージの取得は可

能であることが示された。ここで得られたX線イメージのピクセルサイズは数mmサイズであった。次に行ったマイクロフォーカスX線CT撮像により、X線CT撮像結果よりも更に高解像度のイメージ取得に成功した。ここで得られたX線イメージのピクセルサイズは約50 μm であった。これにより、寸法が大きく空隙の少ない花崗岩試料に対しても、マイクロフォーカスX線CTでの撮像は十分に可能であることが示された。また、ここで得られたイメージは、亀裂の細かい分岐や形状についても詳細に可視化していた。これらはX線CTによる撮像は不明瞭だった構造であり、先行研究よりも詳細に試料内部の亀裂の様相に関する議論が行える可能性を示している。そして、電極貼り付け部を中心にカットした試料に対する撮像により、岩石試料表面の電極形状と接着面形状についても、マイクロフォーカスX線CT撮像が可能であることが示された。新たに構築した比抵抗トモグラフィ測定手法に用いる電極と試料の接着性能についても、マイクロフォーカスCT撮像を用いて一定の評価が可能であることが示された。

採択番号 18B058

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

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 H31/3/15-16

共同研究分担者組織 なし

【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とされる。IODP Exp. 354ベンガルファンでは、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、インド洋上から堆積物コアを採集した。このコア試料について、偏光顕微鏡を用いてなされた観察では、コアを構成する碎屑物の続成作用による変質や、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ことが明らかとなった。

そこで、本研究では、このプロジェクトで得られたコア試料 (Exp. 354, U1451) 中のシルトから細粒砂堆積物内部の粒度を粒度分析で、重鋳物量を重液分離手法で明らかにし、単一のタービダイト層内部での重鋳物の分布・総量について検討することを目的とした。また、炭酸塩鋳物の安定同位体比を測定し、続成作用によるものか、碎屑性の粒子であるのかを判断することも、目的の一つとした。

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、重鋳物量の分布が判明し、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と考えられた。

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】

この研究では、IODP Exp. 354においてインド洋上の北緯8度帯に設けられたボーリング地点のうち、最も東端部にあたるU1451から採取された試料について分析を進めた。このサイトでは、おおよそ21Maから現在にかけての碎屑物が累重しており、特に中部中新統が厚く発達する。事前に行った、重液を用いた重鋳物分離によるコア深度と重鋳物産出の関連について、約15Ma以降の堆積物からその種類が多様化し、角閃石やザクロ石が豊富に含まれることがわかった。また、12Ma以降の堆積物において重鋳物の量比が増大し、粒子数のおおよそ3%から8%を占めるようになる。この量比は鮮新統・更新統においてはさらに増大し、10%以上に達する。この結果をも

とに、粒度と重鋳物量や種類の関係について議論するため、重鋳物量の測定がなされている試料について粒度分析を行った。

また、この過程において、11Ma以前の堆積物には炭酸塩鋳物が豊富に含まれることが判明した。その起源としては、おおよそ、陸上の後背地からそのまま供給された砂サイズの炭酸塩鋳物や、続成作用によって形成されたもの、堆積時の海洋生物の遺骸に由来するもの、の3つの起源が想定されるが、判然としない。そこで、これらについても砂試料中から炭酸塩鋳物を実体顕微鏡下で拾い出し、その安定炭素同位体比を測定することで、起源の判定を行った。

粒度分析の結果、試料によって平均粒径のばらつきは認められるものの、大まかには下部中新統から上部中新統にかけて、粗粒シルトサイズから極細粒砂サイズへの変化が認められた。しかし、最も層厚の大きい中部中新統内部では重鋳物量や多様性とは明瞭な相関は見いだせなかった。そのため、対象とした深度の試料では堆積物の流動や変異が生じている可能性が見いだされた。その一方で、下部中新統から更新統までを通観すると、重鋳物量比の増大、多様性の増大は粒度と相関する傾向が見いだされた。

質量分析機を用いた炭酸塩鋳物の炭素安定同位体比の測定では、発生したガス量のばらつきが大きく、機器のトラブルもあり、測定に供した44試料のうち26試料において有意な測定結果を得られなかった。しかし、更新統・鮮新統試料において $\delta^{13}\text{C}$ が-1‰前後を示すのに対し、中新統の試料において2‰~-14‰と非常に多様であることから、ヒマラヤ山脈のテチス帯や高ヒマラヤ帯からの供給があったと推測された。

この検討によって、砂堆積物の粒度、重鋳物の量比や多様度が時代を追って変化していることがわかった。しかし、厚い砂層内部に生じた粒度の多様性は、その傾向をわかりにくくしている。そのため、粒度特性や重鋳物の変化の関連は、別の方法によって検証される必要がある。また、炭酸塩鋳物の安定同位体比から、中新世の碎屑物供給において、ヒマラヤ山脈のテチス帯・高ヒマラヤ帯が貢献していることがわかった。しかし、炭酸塩鋳物を堆積物中から拾い出すという過程において、十分な量の鋳物を濃集できていないことが問題である。そのため、鋳物の拾い出しや濃集方法の新たな開発が不可欠であることがわかった。

採択番号 18B059

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

研究期間 H30/10/30-11/1, H31/3/18-19

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

上越沖に位置する円錐台地形は、地質背景および形状から泥火山の可能性がある。浸食の少ない海底では、陸上に比べ、過去の活動履歴が残りやすい。そのため、堆積物から、過去の活動履歴まで明らかになる可能性もある。そこで、この地形が泥火山であることを示すとともに、どの時代に活動的だったのかを明らかにすることを目的とする。

泥火山の堆積物はマッドクラストに特徴づけられる。回収した堆積物コアのCTスキャンにより、マッドクラストの可能性のある塊を見つけ出し、分析からマッドクラストを見つけられることが期待される。また、マッドクラストの堆積深度とこの地形での平均堆積速度から、地形が活動的だった時代が明らかになることが期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2018年に円錐台地形から回収した堆積物コア（PC1807）およびその周辺の小規模なマウンド地形から回収したコア試料（PC1806, PC1808）に、別サイトのサブボトムプロフィールから過去の泥火山活動が期待されたリッジ地形から回収した堆積物コア（PC1803, PC1805）を加えてCTスキャンを実施した。また、PC1803, PC1805コアは、イカイトが含まれており、堆積構造に異常が見られたことから、特殊な形成環境が期待された。そのため、ITRAXによる元素分析も追加した。

円錐台地形の平坦頂部の西側で回収したPC1807コアは、生痕が発達しており固いものが一切含まれていなかった。ガスを含めて深部からの物質の移動が起こっていた場所を狭めることができた。PC1806, およびPC1808コアは、固いものが多数確認されたが、CT後の取り出し、及び化学分析から、いずれもメタン由来炭酸塩だった。泥火山を思わせる要素はなく、ガスハイドレートマウンドの新たな発見になった。PC1806の炭酸塩は、内部に空洞を持つものが複数見られた。上越沖で見えてきた試料とは様子が異なっており、形成時に特殊な環境が発達した可能性がある。

PC1803, PC1805コアは、マッドクラスト、メタン由来炭酸塩が見られなかった。複雑な葉理構造が発達しており、葉理の傾斜が途中で変動していることから、地滑りの痕跡と思われた。イカイトの分布と、地滑り構造の発達には関連性がなかった。PC1803は、イカイトが半断面をまたぐように含まれていたため、イカイトが存在した場所直近の葉理構造が観察できた。イカイトのすぐそばと離れた場所で葉理構造に違いがないことから、イカイトの成長による構造の乱れは起こらなかったことが分かった。これは、イカイトが海底面直近の堆積物が非常に柔

らかい深度で発達したと解釈する根拠になると思われる。PC1805コアは、連続した葉理構造の中で、ある深度を境に極端な色の変化が見られたが、CTでは違いが反映されなかった。色の変化とCT値に反映される鉱物組成の違いは無関係だった。

元素含有量の異常を、各元素/Tiで見た。PC1803では、Mn/Tiに明瞭なピークが見られた。堆積構造に異常がない部分なので、今日のMnの酸化還元境界を反映していると考えられる。Fe/Tiも明瞭な増減を示したが、ピークと呼べる形状ではなかった。Mnのピークよりも深部でいったん下がるが、さらに深くなると、徐々に増加し、急に下がった。いったん下がる場所は、TL1に相当すると思われる葉理構造の下部だったが、下部の急に下がった場所は、葉理構造の途中で、構造的な要素が見られなかった。その下のイカイトが採集された跡の付近ではFe/Tiが少し高くなるが、他の元素にはCaを除き、増減は見られなかった。イカイトと関係しているのかは判断できなかった。Ca/Tiも増減が見られた。ピークではないので、小さなイカイトが分解したCaの影響ではないと考えられる。微化石の保存度と考えられる。PC1805の地滑り構造の部分でも、特に元素の増減は見られなかった。海水が巻き込まれるようなイベントではなかったと思われる。下部にある葉理構造がいったん不明瞭になる場所で小さなMn/Tiのピークが見られた。ここが本来の葉理構造の終点で、それより上が地滑りで再堆積した可能性がある。堆積物の色の変化は、特定の元素の増減で説明ができなかった。

採択番号 18B060

研究課題名 二枚貝類の地球化学分析から探る鮮新世以後の古土佐湾沿岸海域の環境変動

氏名・所属（職名） 近藤 康生・高知大学 自然科学系 理工学部門（教授）

研究期間 H30/12/6-7, 12/14

共同研究分担者組織 長谷川 精（高知大学），他 学生4名

【研究目的・期待される成果】

室戸半島西岸に分布する穴内層には、北半球で寒冷化が進行した鮮新世から更新世にかけての土佐湾沿岸海域の古環境変化が記録されている。穴内層から多産する二枚貝モミジツキヒガイは、これまでの申請者の研究により、外部形態の観察から日単位の殻成長を手軽に知ることができることが分かっている。

本研究では、現生種イタヤガイ科の微細成長線ごとの成長量と地球化学的パラメータとの関連を明らかにし、この関係に基づき鮮新世の海洋気候変動を明らかにする。具体的には、まず、酸素同位体分析により復元される水温変動から季節的成長パターンを明らかにする。さらに、成長線ごとにICP-MSを用いた微量元素分析を行うことで、リチウム (Li) の含有量からモミジツキヒガイが生息していた当時の海水中の植物プランクトンの増減傾向を推定する。また、モミジツキヒガイの成長量変動グラフと海水温変動グラフそれぞれを比較し、成長量増大時期にLi/Ca比のピークが現れた場合、モミジツキヒの成長量増大の要因が植物プランクトンブルームによるものと推定できる。

現生種であるイタヤガイの成長量の増大時期は春から夏にかけての水温上昇時期に対応する。これに対して、絶滅種モミジツキヒガイは秋から冬にかけての水温下降時期を中心に成長しており、両種の間で高成長期にずれが存在する。その成長時期のずれは植物プランクトンブルームの時期のずれに起因するとの仮説を検証する作業を通じて、鮮新世から更新世にかけての古土佐湾の沿岸海域古環境の変化をより詳細に復元できると期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

室戸半島西岸に分布する穴内層には、北半球で寒冷化が進行した鮮新世から更新世にかけての土佐湾の古環境変遷が記録されている。本層から産出するイタヤガイ科絶滅種二枚貝 *Amusiopecten praesignis* の殻形態や殻成長の特性と古環境との関連が、酸素同位体比測定に基づいて検討されてきた（近藤ほか、2016など）。絶滅種である本種を季節レベルおよび日レベルの高解像度古環境解析のモデル古生物として確立するため、本研究では、同じイタヤガイ科で近縁な現生種イタヤガイ *Pecten albicans* の殻成長特性と環境要因との関連を検討した。今回は、LA-ICP-MSによる現生イタヤガイ殻の元素プロファイル、特にLi/Ca比と殻成長との関連に注目し、それらと土佐湾での実測水温等のデータ（広田・市川、2012）との照合を行った。分析した標本は、2011年4月29日に土佐湾で採取されたイタヤガイ（KSG-th001）の左殻で、前年の2010年に成長した部分を中心として、日輪と考えられる微細

共縁状ラメラの幅、および微量元素の時系列変動を調べた。また、酸素同位体分析に基づき、それらを季節変動に読み替えて検討した。

その結果、分析個体のイタヤガイは2010年の春から夏にかけて同位体水温（以下、水温と略記）の上昇期によく成長したが、9月から10月にかけての高水温期には殻成長は鈍化し、秋の高水温期から冬の低水温期にかけては成長が停滞したことが分かった。この成長停滞期は褐色を呈する左殻表面の年輪（白色バンド）と一致する。ただし、春の高成長期（50日間弱）と夏の高成長期（約20日間）の間にも明瞭な殻成長の停滞期が認められたが、これは同位体水温の低下期にあたる。この時期に推定される水温低下は、土佐湾垂表層における観測データと符合していた。

このような殻の微細成長変動パターンはLi/Ca比の変動パターンとよく一致し、クロロフィルaの変動とも調和することが分かった。Liは珪藻の細胞壁に多く含まれていることから、ヨーロッパイタヤガイ *Pecten maximus* のLi/Ca比はプランクトンブルームの時期および規模の指標となる可能性が指摘されている（Thébault & Chauvaud, 2013）。本研究の結果、日本周辺に分布するイタヤガイにおいても殻成長とLi/Ca比は強く関連しており、殻のLi/Ca比がプランクトンブルームの指標として有用であることが確かめられた。

採択番号 18B061

研究課題名 北海道東部釧路市春採湖で採取した湖底堆積物の高分解能、高解像度解析

氏名・所属（職名） 中西 利典・国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構（特定課題推進員）

*～H30/10/31 京都大学 地球熱学研究施設（研究機関研究員）

研究期間 H31/3/4-8

共同研究分担者組織 七山 太（産業技術総合研究所）、香月 興太（島根大学）、山田 圭太郎（立命館大学）

【研究目的・期待される成果】

釧路市春採湖の完新世堆積物は、年縞を示唆する植物片混じりの細互層やそれらに挟在するテフラ層や貝混じりの砂層によって主に構成される (Nanayama *et al.*, 2003; 添田・七山, 2005). これらには過去の放射性炭素 (^{14}C) 海洋リザーバー効果やプレート間の巨大地震による古津波の情報を高精度に記録していることが期待される. 現世における北海道東部のリザーバー効果 (R) は700～800年程度と日本周辺では最も大きな値を示すことが予想される (Nakanishi *et al.*, 2015など). その原因はオホーツク海での深層流の湧昇が主に寄与していると考えられるので、海洋リザーバー効果の変化を解明することを通して同効果が完新世を通してどのように変動してきたかを検討できる可能性がある. 一方、完新世を通してプレート間の巨大地震の記録を高精度に復元することは、歴史資料が少ない北海道東部地域における将来の地震・津波防災や減災を策定する上での貴重な基礎情報となると期待される. 上記の課題を検討するために、氷結した湖上で掘削採取された既存コア試料 (H3C) から分取したスラブ試料でX線CT解析とITRAX分析を実施した. 2019年10月に掘削・採取を計画しているボーリングコア試料を用いてX線CTスキャナ解析とマルチセンサーコアロガー (MSCL), XRFコアスキャナー (ITRAX) による主成分分析を予定しており、それらの結果と合わせて総合的な検討を実施する予定である.

【利用・研究実施内容・得られた成果】

釧路市春採湖のSite3の既存ボーリングコア (H3C) から分取した約17m分のスラブ試料を用いてX線CTスキャナ解析とXRFコアスキャナー (ITRAX) による主成分分析 (0.5–1mm間隔) を実施した. このコア試料は概ね完新世に形成されたものであると考えられるので、1.7mm/yrの堆積速度が想定される. すなわち、ITRAXの1測定は0.3～1年分程度に相当すると推定される. このオーダーは目視で確認した縞数および層厚と調和的である. したがって、ITRAXで測定したデータを詳しく解析すれば、1～10年程度の変化パターンが議論できると期待される. また、同分析結果は、細互層の成因の解釈や海水の影響の評価、微量のテフラの認定などに活用できると考えられる. 上記の測定に当たっては、高知コアセンターの技術スタッフの方々の適切な説明と機器操作のおかげで作業を順調に行うことができ、5日間の限られた期間の中ですべての層準において解析を終わらせることができたので感謝を申し上げる.

一方、放射性炭素 (^{14}C) の海洋リザーバー効果を検討す

るために、解析が終わった試料から植物片と貝殻片を分取した. その結果、10層準程度で植物片と貝殻片のセットを得ることができた. これらの ^{14}C 年代値を比較することで、日本沿岸で海洋リザーバー効果の影響が最も大きな北海道東部のリザーバー年代 (R) を検討できると考えられる. また、完新世におけるR値の経時変化を連続的に測定することによって、オホーツク海での深層流の湧昇がどのように変動してきたのかを検討できる可能性がある. また、8層準程度で津波堆積物直下から植物片を採取することができた. これらの ^{14}C 年代値と先述した年縞の枚数およびR値を検討した層準の年代値を総合的に解釈することによって、プレート間で発生した巨大地震の記録を高精度に編年できると考えられる. こうして得られた、歴史資料が少ない北海道東部地域における将来の地震・津波防災や減災を策定する上での貴重な基礎情報となると期待される.

上記の研究課題を詳細に検討するために、2019年10月に同海跡湖の海側を閉塞する沿岸砂州において掘削・採取を計画している新たなボーリングコア試料 (長さ40m) を用いてCT解析とマルチセンサーコアロガー (MSCL), ITRAXによる主成分分析を申請している. また、同コアでも詳しく ^{14}C 年代測定を行う予定である. これらの測定データをH3Cコアで取得したデータと対比することによって、海洋リザーバー効果の変化傾向や津波堆積物の編年、年縞堆積物に記録された古環境変化について詳しく検討したいと考えている.

採択番号 18B063

研究課題名 デジタル岩石物理学によるフラクチャーを含む岩石の地震波特性の特徴化

氏名・所属（職名） 池田 達紀・九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所

研究期間 H30/11/26-28

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】

岩石に存在するフラクチャーは、主に地下の応力状態を反映していると考えられるため、フラクチャー情報を抽出することができれば、地下の応力状態の推定やモニタリングにつながり、ダイナミックな固体地球の活動の理解を深めることができる。また、フラクチャーが卓越する岩石は、地熱貯留層としてのポテンシャルが高いため、フラクチャー情報の抽出は、資源開発においても重要である。岩石中のフラクチャー特性（方向や密度）は、弾性波速度の異方性として理論的にモデル化される。しかしながら、岩石中のフラクチャーの不均質性が強い場合、従来の岩石物理による理論的な取り扱いが困難であるという問題がある。そこで本研究では、不均質なフラクチャーを含む岩石を特徴化（アップスケール）する手法の開発を目的とし、デジタル岩石物理学を用いたアプローチを適用する。具体的には、まずフラクチャーが卓越する延岡衝上断層の露頭の岩石サンプルに対し、X線CTスキャナにより、デジタル画像データを取得する。取得した画像データから作成した3次元のデジタル岩石に対し、弾性波動シミュレーションを適用することで、弾性波速度を推定し、異方性を持つ弾性体モデルとしてフラクチャー情報を特徴化する。

本研究の特色は、理論的に取り扱いが困難である不均質な岩石に対し、デジタル岩石に数値シミュレーションを適用することで、数値的にモデル化を試みることである。この手法が確立されれば、対象地域の不均質性を考慮した岩石物理モデルの構築が可能になると考えられる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

高知大学における利用・研究実施内容

本共同利用・共同研究利用において、マイクロX線CTスキャナ（Xradia）を利用し、岩石のデジタル画像イメージを取得した。岩石サンプルとしては、3つの延岡衝上断層の露頭サンプルと1つの砂岩のサンプルを利用した。特に取得した画像イメージが明瞭で、解析におけるキャリブレーションに必要な弾性波速度や密度の実験値がある延岡のサンプルのうち1つを対象として、デジタル画像データを用いた研究を進めた。その結果を以下にまとめる。

取得した画像データを用いた研究成果

デジタル岩石物理学はデジタル化した岩石に対し、数値シミュレーションにより弾性定数や浸透率などの岩石物性を推定する物理学である。この手法の利点として、従来の岩石物理学では理論的に取り扱いが難しい不均質性の強い岩石であっても、数値的にその物性を求め、不均質構造との関連を調べることができるとい点が挙げ

られる。岩石の複雑な空隙形状を正確に把握するには、高い解像度でデジタルデータを取得する必要があるが、解像度を上げると局所的な岩石物性を評価することになり、岩石全体の特徴を反映できない可能性がある。そこで、岩石サンプル全体を把握できる限られた解像度で取得されたデジタルデータから、岩石サンプルの弾性的特性（弾性波速度）を特徴化することを目的とし、デジタル岩石物理学を用いた検討を行った。岩石サンプルとしては延岡衝上断層の路頭で取得されたフラクチャーを含む不均質な岩石を利用した。まず、岩石サンプル（高さ38mm×直径38mmの円柱）にマイクロX線CTスキャナ（解像度20 μm および41 μm ）を適用することで、岩石の3次元デジタルモデルを構築した。次に、岩石サンプルの密度をもとに、各ピクセルのCT値を密度に変換した。本研究では岩石サンプル全体の特徴を抽出するため、比較的解像度の低い画像データ取得を行ったため、各ピクセルを鉱物と空隙のどちらかに割り当てること（2値化）は難しい。そこで、各ピクセルが鉱物と空隙の集合体で表されると仮定し、各ピクセルの密度データから、それぞれの割合を推定した。その割合と鉱物（石英）と空隙の弾性定数をもとに、Modified Hashin-Shtrikman boundを用いた有効媒質理論により、各ピクセルの弾性定数を推定した。このように構築した3次元弾性体モデルに対し、有限差分法を用いた弾性波動シミュレーションを適用することで、デジタルモデルの有効P波速度を求めた。その結果、解像度41 μm で取得したデジタル岩石に有効媒質理論を用いた手法を適用することで、実験室で得られたP波速度に整合的な速度を再現することができた。また、推定したP波速度には数10%程度の異方性が確認でき、岩石のフラクチャー分布に関連すると考えられる。より解像度の高い20 μm で取得したデジタル岩石の結果では、低解像度の結果と若干の差異が確認された。今後、デジタル岩石の不均質構造や、実験によるP波速度の異方性と比較することで、アップスケール手法としての適用限界を調べる予定である。

採択番号 18B064

研究課題名 漂流軽石を用いた古海流の復元

氏名・所属（職名） 平峰 玲緒奈・首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 地理環境学域（博士前期課程1年）

研究期間 H30/12/17-24

共同研究分担者組織 鈴木 毅彦, 石村 大輔, 青木 かおり（首都大学東京）

【研究目的・期待される成果】

軽石は、火山砕屑物のひとつであり、そのほとんどが多孔質であるために水に浮く。そのため、ひとたび海域での漂流を始めると、海底に沈むか、海岸に打ち上げられるまで、漂流し続けると考えられている。このように漂流を経た軽石は「漂流軽石」と呼ばれ、海岸や地層中から発見されている（例えば、白石ほか、1992；沢田ほか、1997）。

白石ほか（1992）は、秋田県男鹿半島の海岸堆積物中に、阿蘇4火砕流（Aso-4）および三瓶木次軽石（SK）由来の漂流軽石が存在することを報告し、これらの軽石が噴出した7～9万年前にも、現在と同様に日本海を北上する海流が存在した可能性を述べた。このことは、漂流軽石の給源やその漂流プロセスがわかれば、漂流軽石を年代指標、古環境指標として使用できることを意味している。しかし、日本列島スケールでの漂流軽石に関する研究は行われておらず、漂流軽石の漂着状況や漂流プロセスは不明である。そこで、本研究では、日本各地の海岸における漂流軽石の主成分化学組成分析を実施し、それらの給源を明らかにすることで、漂流プロセスの検討を行う。また、KH-96-3次航海時にシャツキーライズ付近において採取された軽石試料の分析も実施し、給源火山を検討する。

本研究により、現在の海岸や海底における漂流軽石の分布と給源が明らかとなり、年代指標、古環境指標としての使用が期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

現在の海岸に分布する漂流軽石について、今年度は、青森県むつ市、秋田県男鹿市、岩手県山田町、神奈川県三浦市、東京都大島町、香川県観音寺市、鹿児島県指宿市、鹿児島県南さつま市、沖縄県竹富町の10地域の海岸を調査対象地域とし、採取した漂流軽石試料の分析を実施した。まず、採取した試料は、肉眼的特徴（色、形状、有色鉱物の量）による分類を行った。そして、粉碎した試料を洗浄後、乾燥させ、63 μ m未満、63-120 μ m、120 μ m以上の3区分にふるい分けし、63-120 μ mサイズの火山ガラスを用いてEPMA（電子プローブマイクロアナライザー）で主成分化学組成分析を実施した。EPMA分析は、1地点につき2試料以上、計65試料の分析を行った。分析結果は青木・町田（2006）の分析値との比較を行い、給源火山の推定を試みた。

その結果、最も多い地点で確認された軽石は、始良Tn（AT）テフラ（町田・新井、2003）に対比されるものである。AT起源の漂流軽石は給源に近づくほど多くなる傾向を持ち、九州地方（指宿市、南さつま市）では7試料中6試

料、瀬戸内地方（観音寺市）では4試料中2試料、島嶼部を含めた関東地方（三浦市、大島町）では7試料中4試料、東北地方（むつ市、男鹿市、山田町）では45試料中5試料がATに対比された。また、東北地方（むつ市、男鹿市、山田町）では十和田火山噴出物に対比される漂流軽石が45試料中17試料確認された。そのほかの地域では、十和田火山噴出物に対比される軽石は確認されなかった。

これらの漂流軽石は、噴火時に漂流を開始した軽石が直接海岸に漂着した可能性と、給源近くに分布する火砕流堆積物が、土石流等の二次的な移動により海域に流入・漂流し、海岸に漂着した可能性があるが、ATの噴出年代（約3万年前：Smith *et al.*, 2013）と給源近くでの分布状況を考慮すると、後者である可能性が高い。このように、直接的な噴火だけでなく、火砕流堆積物の二次的な移動が、継続的な漂流軽石供給の重要なメカニズムであると考えられる。また、むつ市浜奥内と竹富町中野海岸で採取された試料に対比可能なものが存在し、この2試料は、加藤（2009）の分析値より1924年西表島北北東海底火山起源の漂流軽石と対比される可能性がある。

KH-96-3次航海時にシャツキーライズ付近で採取された漂流軽石について、今年度は、11試料（Shatsky-1～10、22とする）のEPMA分析を実施した。その結果、Shatsky-1、7、9、10の4試料およびShatsky-2、8の2試料は、それぞれ分析値が類似しており、同一の給源から噴出した軽石である可能性が高い。しかし、現時点では対比可能な火山は見つかっていない。今後、対比候補を増やし、検討を行う予定である。

採択番号 18B065

研究課題名 初期続成過程における炭酸塩コンクリーションの形成メカニズムと続成進化史の解明

氏名・所属（職名） 村宮 悠介・公益財団法人 深田地質研究所（研究員）

研究期間 H30/4/22-26

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

球状炭酸塩コンクリーション（以降コンクリーション）は、堆積物（岩）中に形成される緻密な球状岩塊であり、世界各地の様々な地質時代の地層から発見されている。近年の研究により、コンクリーションは、間隙水中のカルシウムイオンと、生物体が分解される際に発生する重炭酸イオンとの過飽和反応によって、続成過程の初期段階において急速に形成されることが明らかになった。これは、コンクリーションの形成のためには、炭素源となる生物遺骸が必要であることを意味している。しかし、炭素源となり得る化石が存在しても、コンクリーションが形成されていない例などから、生物遺骸の他にも、その形成には必要な条件があることが予想される。しかし、具体的にどのような条件でコンクリーションが形成されるのかは、明らかにされていない。

コンクリーションに内包される化石等の内部空間は、累帯構造を持つ炭酸塩で充填されている。本研究では、この炭酸塩充填物の地球化学的分析から、コンクリーション形成時とそれ以降における、続成環境の経時的な変化を明らかにすることを目的とする。本研究は、コンクリーションの形成条件に関する新知見を提供することが期待されるとともに、コンクリーションを続成環境の記録媒体として応用することにつながる可能性がある。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今回分析を行った分析試料のひとつは、白亜系蝦夷層群から産出した、方解石で充填されたアンモナイト化石を含むコンクリーションである。アンモナイト化石は、殻の内側を縁取るように位置する繊維束状の方解石と、さらにその内側に残された空間に位置するスパーライト質の方解石によって充填されている。もうひとつの試料は、始新統幌内層から産出した、玄能石を中心に含むコンクリーションである。玄能石とは方解石のイカイト ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 仮晶で、イカイト由来の粒状カルサイトと、それを覆うように形成した繊維束状方解石、さらにそれらの間隙を充填するように形成した、スパーライト質の方解石からなる。これらの2種類の試料は、一見全く異なるように見えるものの、共通の内部構造を持っている。すなわち、コンクリーション中の初生的な空洞の壁面沿いに繊維束状の方解石が成長し、さらにその内側をスパーライト質の方解石が充填する構造である。各標本から、コンクリーション部分、アンモナイト殻あるいはイカイト由来の粒状方解石、繊維束状の方解石、そしてスパーライト質の方解石を、実体顕微鏡下で針等を用いて削り、分取した。これらを高知大学海洋コア総合研究センターにおいて秤量し、約100マイクログラムずつバイア

ル瓶に封入した。これを安定同位体比質量分析計IsoPrimeによって分析し、酸素・炭素安定同位体比值 ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) を得た。

その結果、コンクリーションと繊維束状方解石は、 $\delta^{13}\text{C}$ が $-20\sim-10\%$ 程度の低い値を、 $\delta^{18}\text{O}$ が $\pm 0\%$ 程度の値を示した。一方で、スパーライト質の方解石は、 $\delta^{13}\text{C}$ が $-5\sim+5\%$ の値を、 $\delta^{18}\text{O}$ が $-10\sim-5\%$ の低い値を示した。このことから、コンクリーションと繊維束状の方解石は、同時期に、同様の材料（炭素起源）から形成され、その後、全く異なる起源を持つスパーライト質の方解石が、残された間隙を充填したことが示唆される。また、本共同利用とは別に行った、蛍光X線分析による予備的な全岩化学組成分析では、コンクリーションと繊維束状の方解石に、同じ特定の元素が濃集していることが分かっており、本分析結果と整合的である。これらのことから、繊維束状の方解石はコンクリーション形成時の環境を、スパーライト質の方解石はコンクリーション形成後の環境を記録していると考えられる。ここまでの内容は、2019年度の地質学会や古生物学会において、発表を予定している。今年度以降は、貴センターの共同利用に申請の上、EPMAによる、コンクリーションと方解石充填物の微小領域における元素組成分析を行い、詳細な形成環境・条件の解明につなげたい。

採択番号 18B067 18C005

研究課題名 八代海における海底地すべり履歴の解明とその底質環境 マスフラックスへの影響

氏名・所属（職名） 北村 有迅・鹿児島大学大学院 理工学研究科（助教）

研究期間 H30/8/1-8/9, 10/11-19

共同研究分担者組織 富安 卓滋, 児玉谷 仁, 川端 訓代（鹿児島大学）, 山口 飛鳥, 角森 史昭（東京大学）
亀田 純（北海道大学）, 濱田 洋平（海洋研究開発機構）, 他 学生9名

【研究目的・期待される成果】

2016年4月に発生した「平成28年熊本地震」に関連し、八代海においても布田川・日奈久断層帯で発生する地震をトリガーとした海底地すべりの発生は十分に考えられる。また、八代海南部の水俣湾では人為的な排出による有機水銀汚染が知られている。湾内の海底堆積物中の水銀量の分析から、複雑な時空間的变化が明らかになっている（Tomiyasu *et al.*, 2014）。水銀を含む碎屑物の移動は、堆積速度や潮流に依存していると考えられ、海底地すべりも底質環境を劇的に変化させる可能性を持つ要因の一つとして重要である。

これらのことを踏まえ、本研究では八代海における海底地すべり発生の履歴を探る。2018年7月27～30日に実施される白鳳丸KH-18-3航海では八代海においてピストンコアラーおよびマルチプルコアラーによる採泥を行う。得られたコア試料は層序学・堆積学的検討を行い、水銀量の空間的分布の測定、X線CTスキャンによる構造解析、海底地すべりの力学特性に関する粘土鉱物のレオロジー測定、断層地殻流体に関するラドン濃度測定を行う。

本研究は、八代海における海底地すべりの履歴を明らかにし、布田川・日奈久断層帯の活動による海底擾乱および津波災害の可能性について検討し、海底地すべりが水銀含有堆積物の移動・拡散への寄与の程度について、基礎的なデータの採取を行い、海底環境の変化と地殻活動の関連について新知見を提供する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本課題では2018年7月27～30日に実施された白鳳丸KH-18-3次研究航海で採取された堆積物コア試料を分析した。コア試料は八代海において、ピストンコアラーにより11サイト、マルチプルコアラーにより13サイトで採取された。得られたコア試料はピストンコア55本、マルチプルコア13本である。高知大学海洋コア総合研究センターにて、まずX線CTスキャナー、マルチセンサーコアロガーによる測定を行ったのち、コア半裁機で半裁し、コア画像撮影装置、肉眼記載、分光測色計、コアスキャナー型蛍光X線分析装置（ITRAX）による分析を行った。

採取されたコアは主にオリーブ灰や黒の砂泥を基質とする。CT値と帯磁率、 γ 線密度は深さに伴って増加傾向にあり、コア対比を行うにあたって、帯磁率とCTスキャン画像をもとに層区分を行い、鉄の濃度を用いて八木ほか（2016）による高分解能地層探査断面図と井上ほか（2011）で採取されたピストンコアと比較した。地層探査断面図では、帯磁率によって区分した層と音波探査による層を対比させることが可能であった。また、帯磁率を用いた

コア対比は概ね一致しており、PC01からPC07はイベント層の推定が可能であった。推定されたイベント層では帯磁率が極大を示す傾向がある。鉄濃度はイベント層の前後で相対的に高くなる傾向がみられたことから、鉄の濃度を用いたイベント層の推定が可能であると考えられる。鉄の濃度がイベント層で変化する要因として、タービダイトの発生後は重い粒子が先に沈殿すると考えられ、重金属である鉄も早くに沈殿するためであると考えられる。

Itraxのデータは、先行研究を参考にタービダイトとの関連を検討した。特に、タービダイト基底層でピークが認められるとされるCa/Ti値とFe/Ti値、火山碎屑物タービダイト基底層でピークが認められるFe/Ti値とZr/Ti値の挙動を解析した。これらの指標はサイトPC01～PC06で確認され、PC07～PC11では認められなかった。Rifardi *et al.*（1998）によると、PC01～PC06は堆積速度の早い海域に、PC07～PC11は堆積速度の遅い海域に位置する。このことから、PC01～PC06は海底表層堆積物が未固結であるためタービダイト形成がされやすい環境であり、PC07～PC11は海底表層堆積物が固結した状態であるためタービダイトの形成がされにくい環境であると考えられることができる。本研究で得られたタービダイトシグナルとされる指標については、記載、観察を含む多くのデータによる更なる検証が必要である。

採択番号 18B068

研究課題名 チリ沖海底堆積物を用いた高解像度分析による偏西風経路復元

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 地球環境観測研究開発センター
（技術研究員）

研究期間 H31/3/23-30

共同研究分担者組織 村山 雅史，長谷川 精（高知大学）

【研究目的・期待される成果】

南北両半球の中緯度帯上空を吹く偏西風は、日本をはじめ世界の多くの人々が暮らす中緯度の気候と密接に関係する。そのため、地球温暖化に伴い偏西風の経路がどのように変わってきたのか、今後どのように変わるのかを理解することが、日本を含む中緯度帯における気候変動の将来予測における重要な課題である。我々は科研費基盤B「南北両半球の堆積物を用いた年レベルの偏西風経路復元と地球温暖化影響の検出」(H30-32；代表長島)において、高時間分解能で長期間の記録が保存される堆積物試料（日本の湖沼年縞堆積物と南米チリ沖の海底堆積物）を用いて、南北両半球の過去の偏西風経路を年レベルの分解能で復元することを目的とした研究に着手した。本課題では、南米チリ沖の海底堆積物を用いて、 μ XRFコアスキャナーで堆積物中に含まれる碎屑物の元素組成を年～数十年の解像度で復元し、碎屑物の供給源を推定する。またそれと同時に μ XRFコアスキャナーによる“定量的”な高解像度元素組成分析法の確立に取り組む。碎屑物の供給源は、偏西風がもたらす降雨帯の緯度によって異なることが先行研究で知られており、 μ XRFコアスキャナーの結果から、碎屑物供給源の変遷を高時間分解能で復元することにより、過去の南半球の偏西風経路の変動について詳しく検証することが可能になる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

完新世後期の偏西風変動の詳細な復元に向け、チリ沖の南緯約46度から採取された2本のピストンコアMR16-09_Leg. 2, PC-1, PC-2, および各々のパイロットコアPL-1, PL-2を用いて、高知大学海洋コア総合研究センターのXRFコアスキャナー (ITRAX) による高時間分解能・定量的な主要元素組成分析を行った。

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)。PC-1, PC-2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く（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)、PC-1, PC-2で

完新世後期の元素組成（例えばTi/K）の変動を復元することで、降雨量の増減、すなわち偏西風の南北へのシフトを検証することができる。

本課題では、主要元素組成の測定を高解像度 (PL-1, PL-2とPC-1, PC-2のsection1は200 μ mステップ (約1年解像度), PC-1, PC-2のsection2は500 μ mステップ) で分析した。これらのコアは昨年度の共同利用研究 (#17A062) においてXRFコアスキャナーによる元素組成分析が行われているが、その際の解像度は5mmステップであったため、今回はその10倍の解像度での分析になる。また本課題では、XRFコアスキャナー分析により得られた元素組成値から、含水率の影響を補正するための検討を行った (e.g., Weltje *et al.*, 2015)。含水率補正を行うためには、①均一の高さで分析し、②透過X線強度値を利用した含水率変動の復元と、③標準試料の同時測定によるX線強度値の測定、などの検討が必要となる。そこでまず分析に用いる試料をLLチャンネル (1cm \times 5.5cm \times 105cm) で採取し、測定面の高さをなるべく均一にして測定した。また標準試料 (プレス試料) を同時測定した。さらに透過X線強度値から含水率変動を定量的に復元することができるかどうかを検討するため、約20-30cm間隔で20ccのサンプリングを行い、含水率の測定を行った。しかし本課題での検討の結果、透過X線強度値で含水率補正を行うためには、もっと高解像度でサンプリングを行う必要が明らかになった。そこでITRAXデータの含水率補正に関しては、次年度以降に継続して行うこととした。今後は、XRFコアスキャナー測定で得られた元素組成の結果に含水率による補正を行った上で、完新世後期のTi/Kの変動を年～数年の解像度で計算し、過去の南半球の偏西風変動と温暖化影響の抽出を試みる。

採択番号 18B069

研究課題名 鹿児島県中甕島に分布する始新統赤色泥岩を用いた古地磁気層序の確立

氏名・所属（職名） 山下 大輔・薩摩川内市役所 企画政策部 甕はひとつ推進室 甕ミュージアム 恐竜化石等準備室（グループ員）

研究期間 H31/1/22-2/1

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

近年、九州に分布する古第三紀の陸成層からは哺乳類化石が報告されており、アジアの陸生哺乳類化石の動物相を知る上で重要な調査地となっている。とりわけ、熊本県天草地域に分布する弥勒層群赤崎層と、その南西延長にあたる鹿児島県上甕島に分布する上甕島層群中甕層からは、国内最古の古第三紀哺乳類化石群集が見つまっている。これらの地層はいずれも河川堆積物と考えられているが、年代決定に有効な化石をほとんど含まない。近年、中甕層の上限付近の凝灰岩から報告されたジルコンのウラン鉛年代によれば、磁気層序のデータによって推定された年代よりも古い年代値 ($50.2 \pm 0.5 \text{ Ma}$, $50.7 \pm 0.8 \text{ Ma}$) が示されている (宮田ほか, 2018, 2019)。しかしながら、赤崎層と中甕層の堆積年代についてはいまだ議論が行われており、古第三紀哺乳類化石群集の正確な年代を絞り込むことができていない。

そこで本研究では、上甕島に分布する上甕島層群中甕層を対象に、古地磁気層序を確立することを目的として研究を行う。本研究が達成されれば、哺乳類化石群集の年代を絞り込むことが可能となるだけでなく、中甕層の堆積速度の見積もりや、始新世以降のテクトニクスについても議論が可能になると期待できる。九州は、始新世から日本海形成期まで、大陸の大型草食獣が往来する場所であったと考えられており、これに詳しい年代制約が加われば、古生物地理の議論が進むと考えられる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

井上ほか (1982) によって報告された中甕層の柱状図とルートマップに従い、中甕層が連続的に観察できる海岸線に沿って、主に赤色泥岩層を採取した。柱状図全体をカバーするように、全22サイトにおいて試料採取を行い、42試料を高知コアセンターに持ち込み、段階熱消磁および自然残留磁化の測定を行った。段階熱消磁は、熱消磁炉2機を用いて、25, 100, 200, 250, 300, 360, 420, 480, 520, 550, 580, 610, 630, 640, 660, 680, 690°Cの17段階で行い、各段階でSQUID超電導磁力計を用いて残留磁化を測定した。

測定結果をもとに主成分分析を行った結果、主に4つの独立した自然残留磁化成分が確認できたため、低温域から順にA~D成分と名付けた。A成分は25~250°Cで消磁され、東偏した北方向下向きの方位をもつ。傾動補正を行うと、方位のまとまりが悪くなるので二次磁化と考えられ、現在の地球磁場によるDRMである可能性が高い。250~550°Cで消磁されるB成分は、西偏した北方向下向きの方位をもち、伏角が深い。Aより伏角が深く、傾動補正すると方位のまとまりが悪くなるので二次磁化と考えら

れる。C成分は520~640°Cで消磁され、ほとんど北向きだが、一部南向きの方位をもつものもある。この成分は傾動補正を行っても、方位のまとまりはほとんど変化しない。最後に消磁されるD成分は、640~690°Cで消磁され、ばらつきが大きい。傾動補正後に北東-南西の2つの方位に分かれるようにも見える。これらの結果から、D成分が初生磁化方位を記録しているように見えるが、得られたデータが少なく、また、二次磁化の影響が大きいためか、データのまとまりが悪い。天草地域の赤崎層では、加熱によってマグヘマイトがヘマタイトに変わることが報告されており (Ishikawa, 1997)、赤崎層と対比される中甕層においてもデータのまとまりが悪い一因となっている可能性がある。

今後は、熱磁気分析による熱変質の評価や、褶曲テストを用いた初生磁化の認定、化学消磁などを合わせた測定手法の改善などを行い、データの吟味と、より多くの層準からデータを得ることが必要である。また、サンプリング間隔が50m以上空いている層準もあるため、より密に試料を採取し、データの密度を高める。

採択番号 18C001

研究課題名 IODP Expedition 357 Atlantis Massif蛇紋岩等の有機地球化学的特徴

氏名・所属(職名) 三瓶 良和・島根大学大学院 総合理工学部 総合理工学研究科(教授)

研究期間 H30/4/23-24

共同研究分担者組織 Amila Ratnayake (Uva Wellassa大学), 池原 実(海洋コア)

【研究目的・期待される成果】

最下部地殻～最上部マントル由来岩石中に存在する有機物とその起源および地下生命圏との関係を推察するため、本研究ではIODP Expedition 357 (Atlantis Massif)により採取された「蛇紋岩化作用を被った比較的若い超塩基性～塩基性岩試料」を用いて炭化水素等の研究を進めている。これまでの島根大・高知大の合同研究によって、炭化水素類については、①「熱水の影響または続成作用によって生成され移動し取り込まれた石油炭化水素」、②「フィッシャートロブシュ反応で無機的に生成された n アルカン等」、③「バクテリア活動で生成された炭化水素類」の三者が混合して存在していることが分かり、鉱物粒子外側・開放系岩石クラック中には①②③が、鉱物粒子内側・閉鎖系岩石クラック中には②が多く含まれていることが分かった。今回の共同利用研究では、蛇紋岩形成場において発生した水素がフィッシャートロブシュ反応に使われて n C30程度までの n アルカンを生成し、それに伴う熱水活動は周辺堆積物有機物を短期間で熟成させて石油炭化水素を生成させ、同時にそこではバクテリア活動が起こっていたこと(またはバクテリア起源炭化水素が移動してきたこと)、また「サブダクションから上部マントルに供給されて分解し残った炭化水素類」が加わった可能性、さらに、下部地殻～上部マントルでは多数の起源の炭化水素類が共存する地下有機物圏が形成されていること、などが明らかになると期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

- (1) TOC濃度(平均値)は、玄武岩優勢岩(0.148%)>蛇紋岩-かんらん岩優勢岩(0.044%)>かんらん岩優勢岩(0.041%)>蛇紋岩優勢岩(0.035%)であった。
- (2) 全岩の $\delta^{13}\text{C}$ 値(平均値)は、かんらん岩優勢岩(-9.6‰)>玄武岩優勢岩(-14.9‰)>蛇紋岩優勢岩(-17.2‰)>蛇紋岩-かんらん岩優勢岩(-20.5‰)であった。
- (3) 全 n アルカン濃度(平均値)は、蛇紋岩-かんらん岩優勢岩(7.0ng/gRock)>玄武岩優勢岩(4.5ng/gRock)>蛇紋岩優勢岩(2.4ng/gRock)>かんらん岩優勢岩(2.0ng/gRock)であった。
- (4) 蛇紋岩優勢岩と蛇紋岩-かんらん岩優勢岩ではTH濃度は0.6～1.6%と高く、これらの岩石中ではTH濃度が高まると(すなわち蛇紋岩化が進むと)炭素の $\delta^{13}\text{C}$ 値は重くなる傾向を示した。
- (5) n C₂₁～ n C₂₈アルカンの $\delta^{13}\text{C}$ 値は-27.8～-29.7‰の軽い値を示し、FFT反応起源ではなく現世生物(ここではバクテリア)の値を示した。一方、 n C₂₉～ n C₃₀アルカンは-22.5～-21.4‰の重い値を示し、FFT反応の影響があることを示唆した。

(6) n 14, 16, 18脂肪酸メチルエステルの $\delta^{13}\text{C}$ 値は-28.8～-24.8‰であり、 n C₂₁～ n C₂₈アルカンの軽い値と同程度であり、いずれもバクテリア活動に伴うものであることを示唆した。また、ジカルボン酸のDecanedioic acid methyl esterも同程度の-28.3～-26.9‰でありバクテリア活動を支持した。

(7) 脂肪酸濃度が高い試料(それぞれ0.85, 0.38, 0.38, 0.31 $\mu\text{g/gRock}$)では、全 n アルカン濃度よりも1～2ケタ高く、バクテリア活動が活発であったことを示す。 N アルカン濃度と脂肪酸濃度との間には、弱いながらも正の相関があるように見える。

(8) n アルカンは全般に鉱物粒子外側の1回目抽出と2回目抽出のものでは偶数優位性が顕著に見られ、鉱物粒子内部の3回目抽出のものでは奇数優位性も偶数優位性も見られない。このことは、鉱物粒子外側ではバクテリア活動によって n アルカンが生成されていたことを示している。

(9) 鉱物粒子外側では n 14, 16, 18脂肪酸が主要脂肪酸として存在し、量比はほとんどが16脂肪酸>18脂肪酸>14脂肪酸であった。また、ジカルボン酸であるDecanedioic acidが全てに伴われた。

以上のことから、比較的若い超塩基性～塩基性岩(最下部地殻～最上部マントル由来岩石)に存在する①「熱水または続成作用によって生成され周辺堆積物へ移動し取り込まれた石油炭化水素」、②「サブダクションから上部マントルに供給されて分解し残っていた炭化水素類」、③「FFT反応で生成された n アルカン等」、④「バクテリア活動が生成した炭化水素・脂肪酸類」の4者のうち、今回の試料の鉱物粒子外側・開放系岩石クラック中では④が大勢を占め、FFT等の炭化水素類はそのエネルギー供給物として存在している可能性を示している。

採択番号 18C004

研究課題名 白亜紀の温暖期から寒冷期への移行期に認められた深海循環の逆転

氏名・所属（職名） 大河原 秀祐・東北大学大学院 理学研究科 地学専攻（博士3年）

研究期間 H30/8/13-30

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】

底生有孔虫殻の炭素同位体比は海洋深層循環によって影響を受け、海水の沈み込む地域に近い深層ほど $\delta^{13}\text{C}$ の値が高くなる (Nunes and Norris, 2006).

修士論文 (村上, 2013MS) では上記の炭素同位体比と深層循環の関係を基にし、暁新世から始新世にかけての深層循環が復元され、深層水の供給源が寒冷期には南半球高緯度、温暖期では低・中緯度であることが明らかとなった。

白亜紀の海洋深層循環については、ネオジム同位体比を用いた研究 (Voigt *et al.*, 2013; Jung *et al.*, 2013) がされているものの、中期から後期にかけての白亜紀を通じた深層循環の復元は行われていない。本研究では、白亜紀のAlbianからMaastrichtianの期間の深層循環を底生有孔虫殻の炭素同位体比によって明らかにすることを目的としている。研究地域は北大西洋と南大西洋、インド洋中緯度と太平洋低緯度である。

2015年の2月と10月、2016年の6月に共同利用を活用して同位体比測定を行い、温暖期から寒冷期への変遷時に深層循環が低緯度の温暖な海水起源から、高緯度の冷水起源へ変化したことを明らかにした。

2017年に国際誌に投稿したものの、返却されて再投稿をした。しかし、中期白亜紀の深層循環を考察するのに同位体比データが足りないと判断され、中でもOAE2とその前後での深層循環の変化を探る必要があった。再投稿のためにも測定データを追加する必要がある。

今回の測定で同位体比データを追加することで、より確実に白亜紀の深層水循環を明らかにできることが予想される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

池原実教授の研究補助の下、安定同位体比質量分析計のIsoPrimeを使用し底生有孔虫殻の炭素と酸素の安定同位体比を測定した。今回用いた底生有孔虫の殻は、*Nuttallides*, *Gavelinella*, *Osangularia*, *Hanzawaia*, *Protoasangularia*, *Notoplanurina* の6属のものになる。炭素と酸素の同位体比測定の前に底生有孔虫殻のクリーニング作業を行った。はじめにエタノールをつけた筆を用いて底生有孔虫殻をスライドから拾い出し、重量を計測した。そして、メタノールを入れたビンに重量計測した底生有孔虫殻を入れて、クリップで有孔虫殻を砕いた。再びビンにメタノールを入れ、数秒間超音波洗浄をする。その後、攪拌させて上澄みをピペットで除去した。この作業を3回繰り返した。作業後にメタノールでピペットを共洗いし、アセトンに浸したキムワイプで有孔虫殻を砕くのに使用したクリップを洗浄した。

IsoPrimeでの測定のため、底生有孔虫殻とリン酸、液体窒素を準備した。試料が微量の場合は、それに対応するようにIsoPrimeを設定した。測定前はリン酸テストを行った。測定時にはCO-1とJCp-1をスタンダードとして用いた。

同位体比の測定は6回行われ、1回のみ大河原の研究期間後に池原教授が測定された。有孔虫の個体数が豊富な場合は、同じ試料で2~3回測定をした。

測定で出た炭素と酸素の同位体比は、データの補正が行われた。微量なサンプルの中には測定できなかったものも存在した。補正された同位体比データと先行研究の同位体比データをまとめた。

本測定において、中期白亜紀の同位体比データを新たに加えることができた。今後は、ネオジム同位体比とも比較を行い、深層循環と白亜紀の環境変動との関連を明らかにし、研究を進めていく。

採択番号 18C006

研究課題名 北太平洋の海山に分布するマンガンクラストの時間空間分布：特に、磐城海山より採取された特異な表面組織を持つマンガンクラストの成因について

氏名・所属（職名） 伊藤 孝・茨城大学 教育学部 人間環境教育課程（教授）

研究期間 H31/3/27-29

共同研究分担者組織 浦本 豪一郎（海洋コア）、他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

申請者らは「SIP次世代海洋資源調査技術・海のジパンク計画」のプログラムのもと、海洋底のマンガンクラストの成因を明らかにするため、日本の管轄海域内に位置する海山（拓洋第5海山、拓洋第3海山、磐城海山など）で実施されてきた海底探査航海に継続参加してきた。このプロジェクトのなかで、申請者は、マンガンクラストの産状の実態を詳細に解析し、産状の変化に寄与する海底環境の特徴、特に水深との関係を検証し、マンガンクラスト成因の理解に寄与することを大きな目的としている。これまで、海底探査で取得された海底の映像からクラストの産状観察を進め、予察的な検討の結果、クラストの存在する水深によって、産状が変化することが分かってきた。特に、水深1,000～2,000mに分布するマンガンクラストで、表面に光沢の認められる特異な表面組織をもつクラストが存在することが明らかになりつつあった。直近の2018年10月末に行われた茨城県沖の磐城海山を対象としたJAMSTEC YK18-02E航海では、ついにこの特異な光沢面を持つサンプルの取得に成功した。これまで海洋底の鉄マンガン酸化物の表面組織は、smoothとroughに大別され、その相違は単に形状の違いに留まらず、鉍物組成・微量元素組成・微生物組成等にも反映することが明らかとなっている。今回採取された光沢面は第三の表面組織の区分となる可能性もあり、その記載・成因解明は大きな意義を有すると考えられる。鉄マンガン酸化物はいわば生ものであり、なるべく日を置かずして観察を開始することで、初期状態に極めて近い表面組織・内部構造を捉えられることが期待できる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

北西太平洋に位置している拓洋第3海山において、2017年4月と2018年8月にJAMSTEC研究航海が行われた。その際に、マンガン酸化物の表面が極めて肌理細かく、平滑な面を持っているクラストが複数確認された。そのような特徴をもつクラストの「表面構造の違い」、「形成過程」について予察的な検討を行った。具体的な実施内容としては、「表面構造の違い」については、走査型電子顕微鏡を用いて、同一クラスト上における平滑面と非平滑面の表面を観察した。「形成過程」については、平滑面がマンガン酸化物の表面にのみ現れている構造なのか、それとも連続的に形成されている構造なのかを確かめるために、CTスキャンおよび μ -CTによる断面観察を行った。

結果として、「表面構造の違い」については、100～150倍ほどの観察で非平滑面の表面には山と谷が明瞭な凹凸が見られるのに対し、平滑面では同倍率では明瞭な凹凸が全く見られなかった。さらに高倍率にし1000倍ほどで

観察してみると、平滑面および非平滑面の表面には似た構造が見られ、ともに1～10 μ mほどの凹凸が広がっている様子が観察された。さらに、平滑面の表面には、乱雑な方向・長さをもつ何かを引きずったような傷跡が複数確認できた。このことから平滑面の成因としては、海中の微細粒子による摩耗が一つの可能性として挙げられた。

続いて、「形成過程」について、平滑面をもつクラストに対してCTスキャンおよび μ -CTを行い、断面観察を行った結果、表面が平滑である部分の酸化物層には高密度（色の薄い）の層と低密度（色の濃い）の層が平行に連なっていることが確認された。また全体的に低密度（色の薄い）の部分が少なく、緻密な成長が確認できた。一部不連続な面も観察されたがそれは一般的ではないことが確認できた。

以上、拓洋第3海山産クラストに見られた平滑面の成因であるが、表面構造の観察からは、海中の微細粒子による摩耗がその可能性の一つとして挙げられたが、一方で断面観察からは連続的な成長の記録を読み取ることができた。

拓洋第3海山における海底面の観察から、これら平滑面を持つマンガンクラストは主に海山の浅海部、とくに地形的な稜のところに多く分布していることが見出されている。今後は、海流の発達仕方、海水中の微細粒子の分布頻度等も踏まえ、マンガンクラストにおける摩耗と成長の兼ね合いについて、さらに検討を進めることを予定している。

採択番号 18C007

研究課題名 古琵琶湖層群堅田層の定方位コアを用いた中期更新世初期の気候変動の解明

氏名・所属（職名） 加藤 茂弘・兵庫県立人と自然の博物館（主任研究員）

研究期間 H31/1/23-25, 1/28-2/1, 2/4-6

共同研究分担者組織 兵頭 政幸（神戸大学）、北場 育子、中川 毅、山田 圭太郎（立命館大学）

石村 大輔（首都大学東京）、廣瀬 孝太郎（早稲田大学）

安田 裕紀（神戸大学）、他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

本研究は、更新世以降における近畿三角帯の地形発達
の理解の基に、1) 地球規模の気候変動とアジアモンス
ーンの制約が、約125～70万年前の中期更新世気候転換期
(Mid-Pleistocene Transition ; MPT期) の気候変動にどのよ
うに表現されているかを明らかにし、2) プリュンヌ・松
山古地磁気境界 (BM境界) における地磁気強度の弱
化に伴う気候の冷涼化が、近畿三角帯内陸部でも大阪湾沿岸
部と同様に生じていたかを検証することを目的としている。

MPT期の気候変動については、深海底コアなどの研究
から、気候メカニズムやその要因を含めて新知見が次々
と報告されている。しかし、陸域での高時間分解能、高
精度の気候変動を復元した研究は、この時代では数少な
い。日本列島ではアジアモンスーン変動が気候変動と密
接に関係し、そこでの古気候記録は、ヨーロッパや北米
など氷床変動の影響が強い地域との比較を通してMPT期
気候変動の特色を強調できるほか、偏西風などを媒介と
した気候の広域リンクの有無とその性質を解明する重要
な鍵となる。

2017年には研究代表者を含むグループが、房総半島の
上総層群国本層から採取されたBM境界を含む定方位コ
アの十～百年スケールの高精度分析から、約76～79万
年前のMIS19に数百～千数百年周期の急激な気候や海洋
の変動が生じており、それらが北大西洋の深海底コアから
得られていた急激な古水温変動とリンクしている可能性
を示した。

本研究では、琵琶湖西岸の丘陵地を構成する古琵琶湖
層群堅田層の下部層準を定方位およびオールコアでボー
リング掘削し、上記のBM境界を含むMPT期後半におけ
る詳細な古地磁気変動や古気候変動を明らかにすること
を試みる。陸域堆積物からMPT期気候変動を詳細に分析
する研究は、堆積年代や堆積速度、細粒層を主とする層
相など堆積物の特徴に強く制約されるため、堆積速度の
大きな湖沼堆積物を主とする古琵琶湖層群堅田層を対
象とする本研究は、この分野で多くの新知見を生み出す
ことが期待される。

さらに本研究は、内湾（大阪層群）、湖沼（古琵琶湖層
群）、浅海底（上総層群）という異なる環境下の3地域
の堆積物を広域テフラにより対比、編年するため、各地
で示された気候変動の広域性や関連性を直接的に議論で
きるという独自性を持つ。ボーリング掘削では、約85万
年前の獅子牟田ーアズキテフラ、約80万年前の狭山テ
フラやバイオタイト-1テフラ、約75万年前の八甲田ー国本
テフラを検出・対比し、またBM境界の層準を明らかにして

上記の3地域の地層の詳細対比を行う。

BM境界における磁気強度の弱
化に起因する気候の冷涼
化は、東灘1700mコア (GS-K1コア) の分析から初めて地
質学的に示された。気温や降水量の季節変動の復元から
は、日傘効果が冷涼化の有効なメカニズムとして働いた
可能性が指摘されている。このような地質学的な証拠は
世界的にも稀少であり、異なる堆積環境にある内陸の湖
沼堆積物から同様な気候変動が明らかにされれば、冷涼
化がより確実となり、日傘効果の重要性も強調される。
冷涼化の検証と冷涼化メカニズムの解明は、磁気強度が
弱まりつつある近未来の地球温暖化の予測や対策を進め
る際にも重要である。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2018年11月末に掘削を終了した古琵琶湖層群堅田層の
定方位ボーリングコア (KT1コア) について、2019年1月23
日～2月6日にかけての合計11日間に、コアの半裁を行い、
層相の記載と肉眼観察によるテフラ層（とくにバイオタイ
ト-1テフラと獅子牟田ーアズキテフラ）の検出を行った。
その後コア連続写真撮影を行い、層相記載を確認でき
る基礎的なデータを得た。

上記のコアの半裁や連続写真撮影と合わせて、古地磁
気分析と花粉分析用のテスト試料を採取した。古地磁気
分析はBM境界の層準を明らかにするために、花粉分析
は古気候層序（酸素同位体層序）との対比を明らかにす
るために、それぞれ行う。前者は神戸大学低温センターに
て、後者は立命館大学古気候学研究所にて、それぞれ分
析を進めているところである。

層相記載の結果、従来の調査で指摘されているBM境界
の層準がKT1コアの深度38m以浅のシルト～砂質シルト
層下部に存在する可能性が確認された。しかし、肉眼観
察ではKT1コア中にテフラ層が1枚も確認できず、今後は
10～数十cm間隔で試料を採取し、火山ガラスの含有量
の変化を調べてテフラ層準を明らかにする「火山ガラス分
析」を追加実施する必要が明らかになった。