

地球掘削科学共同利用・共同研究拠点

共同利用成果報告書

Proceedings of the
JURC-DES Joint Use Program

2019

採択番号 19A001, 19B001

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(教授)

研究期間 2019/9/12-17

共同研究分担者組織 学生6名

【研究目的・期待される成果】

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、本州中部でハ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ハの字型屈曲構造の形成解明のために研究を続けている。申請者がこれまで本共同利用の支援を受けて進めてきた研究は、屈曲西側(糸静線の西側)について次の点を明らかにした。すなわち、18~17Maに帯状配列は直線状だったが、その後ノ型に湾曲した(星・小川2012; 酒向・星2014)。ノ型湾曲は15Maまでの200~300万年間に形成された可能性が高い(Hoshi and Sano, 2013)。それはちょうど西南日本が日本海拡大に関連して時計回りに回転した時期(Hoshi *et al.*, 2015)と同じである。一方、屈曲東部(糸静線の東側)では、約15Maの広域不整合形成時に40°前後の時計回り回転も起こったことが判明し、15Ma以降にも30~40°の時計回り回転が起こったことが見えてきた(2017年度までの本共同利用研究成果)。2018年度も引き続き調査を行い、それも含めた研究のレビューを2018年度に2編発表した(星, 2018a, b)。

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。本州中部のハの字屈曲形成は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を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ハ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。岩村の古地磁気は一昨年と昨年、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。検討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一昨年度と昨年度に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ナ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18~17.5 Ma頃と推定されるため、回転運動は17.5 Ma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ーンC5Drに堆積したことを強く示唆する。今回の測定により、岩村層群の残留磁化測定はすべて終了した。

中新世堆積物の分布は地理的に限定されるため、昨年度に引き続き、より広範に分布する変成岩類(領家帯の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400個)。昨年度の予察的な段階交流消磁および段階熱消磁実験を受け、今年度は本格測定を実施した。約400個の試験片のうち、解釈可能な段階消磁データが得られた(試料に固有な残留磁化成分を分離できた)ものはわずか10%ほどであった。わずか4個の地点平均方位しか算出できないため、今回の結果からテクトニクスについて議論することはできない。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 19A002

研究課題名 日本海溝での表層堆積物の堆積過程の解明

氏名・所属(職名) 川村 喜一郎・山口大学大学院 創成科学研究科(准教授)

研究期間 2019/8/19-23

共同研究分担者組織 学生3名

【研究目的】

この申請では、日本海溝から採取された深海堆積物(ピストンコア約2m×4)のスミアスライド観察、粒度分析、元素分析、磁化測定に基づいて、日本海溝周辺に存在する底層流の卓越方向を調べることを目的とする。堆積物の年代は、採取された試料に挟まれる火山灰層によって決定する予定である。

【期待される成果】

この申請の海域は、日本海溝に沈み込む直前の太平洋プレートであり、その上を被覆する堆積物は、日本海溝に沈み込む物質である。この物質の沈み込む前の特徴を理解することは、日本海溝陸側で生じている変形プロセスを知ることに貢献する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今回、分析された試料は、以下のように実施され、成果が得られた。ここでは、1) 分析前の処理段階、2) 分析段階、3) 分析後の解析段階、の3段階に分けて記述する。

1) 分析前の処理段階

今回測定に用いた試料は、学術研究船「白鳳丸」のKH-18-5次航海によって得られた。試料は、ピストンコアラで得られた4本の各長さ約2mの柱状試料である。試料は、すでに肉眼記載、スミアスライド観察が行われていた。

試料前処理として、4月から8月にかけて、試料を研究する担当の学生とともに、試料の確認、スミアスライド観察、キューブサンプリング、粒度分析用サンプル袋への袋詰め作業を行った。また、輸送のためラップなどで保護した。

2) 分析段階

分析は、2019年8月19日午後～8月23日午前までの実質4日間行われた。分析項目は、1) 粒度分析、2) 帯磁率異方性測定・古地磁気測定、3) Itrax, X-CTであった。実施項目ごとに作業内容を以下に列挙する。

- 1) 粒度分析は、まず、ピーカーに蒸留水と試料を入れ、1-2秒の超音波によって分散させた。その後、レーザー回折式粒度分析装置で測定した。分散媒は使用しなかった。
- 2) 帯磁率異方性測定は、常温になっている試料において行った。まず、測定者は、腕時計などの金属類を身体から取り外した。試料は、プラスチック・キューブ表面に付着した汚れをキムワイプで良く拭き取り、測定器に装着した。測定順序は、まず帯磁率異方性測定を行った後に、次に古地磁気測定を行った。測定において、試料の保湿に心がけ

た。

- 3) ItraxおよびX-CTは、センターの松崎さん等にオペレーションをしていただいた。Itraxは測定前に試料表面を薄く削り、平滑にした。

3) 分析後の解析段階

粒度分析は、163サンプル行い、中央値は10 μ m前後のものが多かった。今後、スミアスライド観察と合わせて考察する予定である。

古地磁気測定は、251サンプルにおいて、段階交流消磁として、50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 600, 800 Gを行い、200G以降でほぼ安定磁化方位が得られた。今後、ザイダーベルト図にプロットさせ、古地磁気方位を求める予定である。

帯磁率および帯磁率異方性測定は、264サンプル行った。帯磁率は、全体を通して、おおよそ 5×10^{-3} SI前後であり、砂層において増加する傾向が認められた。

Itraxは現在解析中であるが、ふるいでふるって砂サイズの粒子組成をカウントした値と変動パターンに関係性がある元素がある。詳細はJpGUなどで報告する予定である。

採択番号 19A003, 19B002

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

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

研究期間 2020/2/4-5

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】

コノドントconodontはカンブリア紀～三畳紀まで世界各地で発見されており、示準化石である。コノドントは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、脊椎動物の起源として再評価され、コノドント器官は口腔・咽頭内の捕食器官であり、無顎類の歯という説が有力となってきた。しかしNatureでその反論(Murdock, DJE, *et al.*, 2013)が掲載され、再び論議されつつある。コノドント動物は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とされる。組織的には表層にエナメロイド、内層に象牙質があり、アパタイト結晶は陸生の脊椎動物の生体鉱物とは異なり、fluorapatiteであることが判明した(三島ほか, 2010)。コノドントは脊索動物以降で、最初に石灰化組織をもったものとして認識されている(Venkatesh *et al.*, 2014)。コノドント器官は歯のエナメロイドとエナメル質の起源や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アパタイト結晶(fluorapatite)とは異なり、炭酸含有アパタイト結晶(carbonate apatite)であり、Na, Mg, Clなどの微量元素の含有量に差があることが判明してきた(Mishima *et al.*, 2018)。しかし、その形成機構の詳細な解析はなされていない。コノドントの生体アパタイト結晶と天然のアパタイト結晶との関連性を検索することにより、生体アパタイト結晶のより精密な基礎データが得られることが期待される(三島ほか, 2018)。本研究ではコノドント化石や他のヒトの歯、エウステノプテロンの歯や皮甲の化石、モササウルス類の歯あるいは高知県登層魚類耳石とも比較し、系統発生的に検討している(三島ほか, 2011; 2012; 2013; 2014; 2016; 2018; 2019, Mishima *et al.*, 2011; 2013; 2017; 2018; 2019)。本研究はコノドント器官や生体鉱物に含まれる元素の違いによる生体活性、生体親和性、骨伝導能などを評価して、新たな歯科材料や形成外科の骨補填材を開発する上で、参考となる有益な情報を得られるかを追求するとともに、生体鉱物の進化研究あるいは古生物の古環境の推定に寄与することを目的とする。

【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、これまでアパタイト結晶の 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} ; 450 cm^{-1} , ν_3 : 1035; 1048; 1073 cm^{-1} , ν_4 : 587 cm^{-1} ; 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。それは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} (ν_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。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)。ハイドロキシアパタイト結晶HApやCHAはシルル紀以降に出現したと考察した。日本を含め世界各地の天然アパタイト結晶15種はSEM-EDS分析やX線回折法により、FApで有ることが示された。また顕微レーザーラマン分光装置でも鋭いピーク964-967 cm^{-1} (ν_1)が検出され、FApであることが確認された。骨のアパタイト結晶の PO_4^{3-} でも4種のピーク (ν_1 : 960 cm^{-1} , ν_2 : 430 cm^{-1} ; 450 cm^{-1} , ν_3 : 1035; 1048; 1073 cm^{-1} , ν_4 : 587 cm^{-1} ; 604 cm^{-1})が検出された。これらのピークは天然アパタイト結晶と近似していた。天然アパタイト結晶が医用・歯科用インプラント後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ことが示された。(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 CO_3Ap)であることが追認できた(Mishima *et al.*, 2018)。

*Eusthenopteron*の化石では皮甲の下層から、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結晶と判断された。*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、さらに歯と顎骨を結ぶ支持様式の起源を探る上でも貴重な標本である(Mishima *et al.*, 2017, 三島ほか2018; 2019)。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-} を含有しており(Mishima *et al.*, 2018)、耳石化石の炭酸カルシウムと比較し検索してきた(Mishima *et al.*, 2019)。

コノドント化石の硬組織は2層性(外層と内層)であり、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。コノドント化石の外層エナメロイドの結晶はFAp結晶であり、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った。エナメロイドは魚類の歯の表層に特徴的に存在するものである。コノドント器官は口腔内の捕食器官であるという説は妥当であると考えられる。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。

歯と顎骨との支持様式で、歯槽やセメント質がワニ類や哺乳類しか存在しないとの見解が一般的であったが、モササウルス類化石や*Eusthenopteron*化石ですでに歯槽の原形が存在することを追認した(三島ほか2018; 2019)。歯の支持組織の系統進化とも関連し、歯槽の起源やセメント質の系統発生も追及していきたい。

採択番号 19A004, 19B003

研究課題名 北部フォッサマグナ地域の別所層に産する炭酸塩ノジュールの成因

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 2019/5/27-30, 2020/2/26-29

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

長野県の松本一上田地域に分布する中部中新統下部別所層には、炭酸塩ノジュールが産出する。それらノジュールは、1) 自生鉱物として苦灰石、菱鉄鉱、方解石、燐灰石、黄鉄鉱が出現し、また1ノジュール中に炭酸塩鉱物を2種ないし3種含むものもあって、非常に多種多様であること、2) 別所層内の地点によって、産出するノジュールの種類および種ごとの産出頻度に違いがあること、3) 大型の苦灰石ノジュールの炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}$)は、海成石灰岩の値より著しく高い値($\sim +18\text{‰}$)を示す場合が多いこと、4) 方解石ノジュールの炭素・酸素同位体比と全炭酸塩体積パーセント(TCC vol%)は苦灰石ノジュールの値より低い傾向があること、などが判明してきた。このように別所層産ノジュールに関する知見は増えているものの、多種多様な炭酸塩ノジュールが産する理由およびそれらの生成させたメカニズムは完全には明らかにできていない。本研究では、ノジュールを構成する各種炭酸塩鉱物の炭素・酸素同位体比を多数測定し、別所層における炭酸塩ノジュールの成因を明らかにすることを目的とする。特に、方解石ノジュールの酸素同位体比が、地下水との交互作用により、二次的に改変されている可能性を検討する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

松本一上田地域に分布する中新世の別所層は、苦灰石、菱鉄鉱、方解石などからなる多種多様な炭酸塩団塊を産する。それら団塊の炭素・酸素同位体組成と総炭酸塩含有量(TCC vol.%)に基づいて、団塊の成因を研究した。

苦灰石と菱鉄鉱団塊では $\delta^{18}\text{O}$ とTCCの間に正の相関が認められ、そのことは、 $\delta^{18}\text{O}$ 低下が、間隙水 $\delta^{18}\text{O}$ が深度増大とともに大きく変化しない状況下での、埋没深度増大による温度上昇を表している。団塊の $\delta^{18}\text{O}$ は団塊形成時の温度によって決められている。

求められた同位体組成全部を $\delta^{13}\text{C}$ 対 $\delta^{18}\text{O}$ の図に表すと二つの直線状トレンドが認められた。トレンド1は $\delta^{18}\text{O}$ の低下に伴って、 $\delta^{13}\text{C}$ も低下するトレンドで、主に苦灰石と菱鉄鉱から成る。トレンド2は、トレンド1の左下端付近から始まり、 $\delta^{18}\text{O}$ の上昇に伴って $\delta^{13}\text{C}$ は低下するトレンドで、主に方解石から成る。トレンド1は、団塊を生成させた初期続成作用が、埋没深度増大とともにメタン発酵から有機物熱分解へと変わっていったことを表す。高 $\delta^{13}\text{C}$ の大型苦灰石団塊は埋没の浅所で、一方低 $\delta^{13}\text{C}$ の小型苦灰石団塊は埋没深所で生成した。

トレンド2は次のようにして形成された：硫酸塩還元起源の高 $\delta^{18}\text{O}$ ・低 $\delta^{13}\text{C}$ の方解石団塊が、別所層陸化後、地下水の浸透をうけて、方解石同位体比が晶出時の値から、より低 $\delta^{18}\text{O}$ ・高 $\delta^{13}\text{C}$ へと変化した。方解石の炭素・酸素同位体比は、晶出時の初生的性質を保持していない。以上

のことから、トレンド1は団塊生成時の続成環境の変化を表す初生的トレンドであるが、トレンド2は地下水浸透による同位体比変化をあらわす二次トレンドである。

苦灰石団塊は方解石団塊生成後の苦灰石化作用の産物ではなく、有機物に富んだ堆積物の間隙水から直接晶出したorganogenic dolomiteである。別所層において、メタン発酵ステージに菱鉄鉱団塊ではなく苦灰石団塊が卓越するのは、次の理由からである：別所層堆積物の堆積速度はおそかった。そのため堆積物表層での硫酸塩還元が長期間続き、堆積物中に含まれる反応性鉄は黄鉄鉱として固定された。堆積物中での反応性鉄が枯渇したので、菱鉄鉱に替わって苦灰石が晶出した。

別所層堆積物中で晶出する炭酸塩鉱物は、埋没深度増大に伴って次のように変化していった。硫酸塩還元ステージでは方解石団塊(多数)と苦灰石(1薄層のみ)→メタン発酵ステージ初期での大型苦灰石団塊→メタン発酵ステージ中期での苦灰石と菱鉄鉱→有機物の熱分解ステージでの苦灰石。

硫酸塩還元初期では、 H_2S などの生成のため、間隙水は炭酸カルシウムに関して不飽和となる。そのため、堆積物中に有孔虫などの石灰質生物遺骸が含まれれば、それは溶解し、間隙水の $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ 比が、海水値より上昇する。通常の塩濃度の海水と平衡にある炭酸塩は苦灰石であるが、それにもかかわらず別所層で方解石団塊が形成されるのは、硫酸塩還元初期に石灰質生物遺骸が溶解した結果と考えられる。

採択番号 19A005, 19B004

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 2019/6/5-6, 7/16-19, 12/17-18, 12/26, 2020/2/27

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）
芦 寿一郎，宇佐見 和子（東京大学），天野 敦子（産業技術総合研究所）
他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

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】

複数箇所で採取された試料の分析を予定していたが、サンプルの準備状況から別府湾の大分沖から採取されたコアの Itrax 分析とサンプリング及び帯磁率測定（測定装置は持参）作業のみを行った。Itrax 分析ではイベント層の識別に有効な化学組成データが取得できた。分取したサンプルは花粉・珪藻分析並びに XRD 分析を終了している。花粉・珪藻分析結果から別府沖コアとの対比が可能となり、これに基づいて両コア間でのイベント層の対比が改定でき、環境変動を鍵としたコア間対比が別府湾規模で可能であることを示すことができた。

当初計画にはなかったが、産総研に導入された Itrax との比較検討のため、標準試料を用いた測定も実施した。現在、インスブルック大学の Itrax でも同じ試料を分析中であり、それらの結果を比較検討していく予定である。

採択番号 19A006, 19B0025

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 利用なし

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。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の構造を3次元的に、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ーフォーカス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のより詳細な検討を行う。

今年度は、同一地点の堆積物中の異なる生息深度(=異なる溶存酸素濃度)から採取した同一種の細胞質の観察を行い、種ごとの細胞質の分布の特徴が、生息時の溶存酸素濃度によって変化しているのかを確かめる。溶存酸素濃度に応じて、特徴的な細胞形態を変化させているとすれば、その細胞質の構造が効率的な酸素や硝酸塩などの取り込みに関係していることを裏付ける。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今年度は、同一地点の堆積物中の異なる生息深度(=異なる溶存酸素濃度)から採取した同一種の細胞質の観察を行い、種ごとの細胞質や液胞などの分布の特徴、体積などが、生息時の溶存酸素濃度や硝酸塩濃度によって変化しているのかを確かめる予定であった。2017年および2019年9月に相模湾の漸深海底2地点から採取した表層堆積物の一部およびそこから拾い出した有孔虫個体に固定、染色を施し、11種245個体の深海性有孔虫を得た。そのうち、7種232個体を樹脂包埋し、一部の種について連続切片観察などから3次元構造を解析した。うち、5種については、好気的な堆積物表層からほぼ無酸素の深度5cmまでの5層での比較ができるサンプルセットとなっている。2020年3月下旬に、高知大学のマイクローフォーカスX線CTでの撮影を行う希望でセンター側対応教員らと日程調整を行っていたが、コロナウイルスなどの問題もあり、利用を断念した。

ただし、前年度までに高知大学のマイクローフォーカスX線CTで撮影した有孔虫細胞の液胞の定量化を、新規導入した画像解析ソフトAMIRAなどを用いて進めており、これまでに共同利用で得たデータの解析は順次進んでい

る。特に、新規導入した拡張パックの利用により、ある閾値以上/以下のX線吸収度を持つボクセルを自動抽出し、それらの連続したオブジェクト数百個―数千個を個別のオブジェクトとして面積、体積、位置などの多重解析ができるようになった。これにより、トレース作業を繰り返したり、自動抽出したオブジェクトを個別に定量解析したりしていく必要がなくなり、定量作業が大幅に迅速化した。たとえば、X線CT画像と、その後切片として切り出した1断面の光学顕微鏡画像を基準として比較し、光学顕微鏡画像上での液胞の見え方と、X線CT画像上でのX線吸収度の高い(=細胞質など)/低い部分(液胞、周囲の樹脂など)の見え方がほぼ同じようになるようにそろえ、その閾値で個体全体のボクセルを区切ると、液胞が個別に区切られたオブジェクトが数百個自動抽出、自動認識される。実際には、解像度の問題などでオブジェクトのShrink-growを繰り返す操作なども必要であるが、個別のオブジェクトに対して行う必要はなく、液胞のトレースに1個体あたりこれまで2週間以上かかっていたものが、半日程度で終了することとなった。有孔虫の房室ごとの解析を行うために、自動判別は困難な房室の境界のトレース作業は必要であるものの、マイクローフォーカスX線CTによる迅速な撮影に追いつけるだけの迅速な解析体制が徐々に整いつつある。

採択番号 19A007

研究課題名 完新世の世界最大魚場を形成した日本周辺海域の海洋環境に関する研究

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 2019/6/26-7/2, 9/12-18

共同研究分担者組織 日向 博文（愛媛大学）、井上 淳（大阪市立大学）

鈴木 克明（産業技術総合研究所）、他 学生10名

【研究目的・期待される成果】

完新世において、全海洋で最も魚場生産が高い海域はどこにあったのかという問いは、未だ明らかにされていない。20世紀において魚場生産の高い海域は世界で最も漁獲されるイワシ類の有数魚場であるが、そのうちペルー沖はカタクチイワシの世界最大魚場として知られている（Chavez *et al.*, 2008）。1970年には20世紀最大の1200万トンに及ぶカタクチイワシが漁獲され、その豊漁期は沿岸湧昇が活発な時期に起こった。しかし、ペルー沖の魚鱗や魚骨の堆積物記録から、過去700年で最もカタクチイワシの多い時代は20世紀であり（Gutierrez *et al.*, 2009）、完新世で最大魚鱗堆積量は20世紀の魚鱗量の多くて1.7倍程度であることから（DeVries, 1979）、ペルー沖で大幅に魚場生産が増加した時代は完新世の間に存在しない。一方で、申請者らの研究から、1980年代に450万トンの世界最大の漁獲量を記録した日本周辺海域のマイワシは、2650年前に魚鱗堆積量が1980年代の5倍高かったことがわかっており（Kuwaie *et al.*, 2017）、同じ漁獲能力が当時であったとすると2200万トンを超え、日本周辺海域はまさに全海洋で最も魚場生産の高い海域であったことが想像される。そこで本研究では、なぜ日本周辺海域においてそれほど魚が多かったかを古海洋学的手法を用いて明らかにする。

本研究では、新青丸航海で得られた3地点のコア試料を用いて、オパール及び色素の濃度を分析し、最もマイワシが多かった時代にマイワシ索餌海域の低次生産が最も高かったかを明らかにする。これにより、日本周辺海域のボトムアップ効果が世界最大のマイワシ生産を支えたという仮説を検証する。

本研究は、完新世という長い時間スケールから見ると、全海洋で最も魚場生産が高い海域がペルー沖ではなく、日本周辺海域にあったというこれまでの水産海洋学の常識を覆す研究成果として注目されることが期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本申請研究では、新青丸航海で得られた3地点のコア試料を用いて、低次生産指標としてオパール及び色素を分析するためのコア試料の物性データ（DCTスキャナー、MSCL, Itrax）を取得した。それによって、堆積層の把握やイベント層、火山灰層の検出を行った。また、Itraxで得られたSi/Ti比、Br/Ti比のような珪藻生産、生物生産の指標を用いて超高解像度の生物生産変動記録の復元が可能かについて検討した。Si/Ti比、Br/Ti比とバルク堆積物の生物源シリカ濃度やクロロフィルa濃度（Pheophytin a等の分解物も含む）との関係を調べた結果、どちらの比も生物源シリカ濃度やクロロフィルa濃度との正の相関関係は認められず、Itraxによる高解像度記録が必ずしも生産指

標として利用できるとは限らない可能性があることがわかった。Brについては、Total organic carbonの指標として利用できるという報告があるが、一次生産由来の有機炭素だけでなく、陸源有機炭素も堆積物中に含まれる可能性があり、Br/Tiを生物生産指標として利用するのであれば、そうした陸源有機炭素の成分を除去する必要があるのかもしれない。

過去3000年間のクロロフィルa濃度やSCEs色濃度（動物プランクトン指標）を調べた結果、黒潮続流域に位置する海底コア試料（GC01コア）では、200年、600年周期の変動成分が認められ、親潮域に位置する海底コア試料（GC06コア）で、350年の周期の変動成分が認められた。親潮域に認められた周期性は、別府湾で復元されたマイワシの魚鱗堆積量記録にも認められるのは興味深い。さらに、親潮域のコア試料では、いくつかのクロロフィルa濃度やSCEs濃度のピークがマイワシの増加する時期と一致する傾向が認められた。マイワシが2650年前に最も多かった時期にこれらの濃度の増加は認められなかったが、マイワシにみられる数百年規模変動成分のピークの減少トレンドはこれらの濃度にも認められる。このことは、過去数千年前のマイワシの増加の原因として、親潮域の餌環境と何らかの関係がある可能性を示唆している。

このように日本周辺海域のボトムアップ効果が世界最大のマイワシ生産を支えたという仮説を支持する結果が得られつつある。今後、親潮域のもう一つのサイトである気仙沼沖コア試料（GC02コア試料）を用いて、同様の結果が得られるか検討する予定である。

採択番号 19A008, 19B006

研究課題名 エチオピアLIPを対象にした約30Maの地球磁場変動の復元

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2年)

研究期間 2019/6/5-6, 8/5-9, 8/19-23, 11/18-22

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(地球年代史研究所)

Hyeon-Seon Ahn(韓国地質資源研究院)

【研究目的・期待される成果】

エチオピア巨大火成岩岩石区(Large Igneous Provinces: LIPs)は、紅海、アデン湾、東アフリカリフトからなるアフール三重会合点での大陸分裂(Bosworth *et al.*, 2005)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2,000 mを越える厚さをもつ溶岩層として分布している(Rooney, 2017, Lithos). 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(Hofmann *et al.*, 1997, Nature; Rochette *et al.*, 1998, *EPSL*). 大量の溶岩層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(方位と強度)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、現状では比較的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, 19A008/19B006)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と熱消磁装置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と世界初であるし、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ー(加熱時の飽和磁化曲線や、磁気ヒステリシスパラメーター)を用いて実験に適さない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、ブロッキング温度よりも低い温度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5点以上の古地磁気強度データを得るために、随時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 19A009, 19B007

研究課題名 微小・微量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（助教）

研究期間 2019/11/25-29, 12/16-20, 2020/2/19-21

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る事が問題となる。珪酸塩結晶中にはミクロンサイズの微細磁鉄鉱がしばしば含まれており、磁場情報の優良な記録媒体であることが近年明らかになった。ジルコンや斜長石などの珪酸塩単結晶を磁気測定する事で、億年～10億年スケールの地球磁場強度・形状変化の解明に取り組む。（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】

道志ハンレイ岩を用いた古地磁気強度研究

丹沢山地の道志ハンレイ岩体（約500万年前に形成）で採取したハンレイ岩試料から斜長石単結晶を分離し、自然残留磁化（NRM）の強度測定、NRMの段階交流消磁測定、低温消磁2回加熱ショー法を用いた古地磁気強度測定を行った。NRM測定の結果、今回実験に用いた試料はSQUID磁力計の検出限界より有意に強い残留磁化を持ち、段階交流消磁測定で直線的な残留磁化成分を示す粒子が一定量含まれている事が明らかになった。古地磁気強度測定では、非履歴性残留磁化（ARM）の強度が弱く、低温消磁2回加熱ショー法の基準を満たす試料は無かった。一方で、NRMと熱残留磁化のプロットでは、原点に向かう直線的な振る舞いを示し、予察的な古地磁気強度の算出を試みたところ、過去研究で報告されている古地磁気強度よりも強い値を示した。今後はショー法を用いてより多くのデータを得ていく事や、テリエ法などのARMを使わない手法によって古地磁気強度を算出する事を計画している。

斜長石中の離溶磁鉄鉱に関する研究

道志ハンレイ岩体およびオマーンオフィオライトのハ

ンレイ岩から斜長石試料を分離し、交番磁場勾配磁力計を用いて磁気ヒステリシス測定を行った。磁気ヒステリシスの結果から斜長石単結晶に含まれる磁鉄鉱量の算出に成功した。今後は、化学的な測定から得られた斜長石中の鉄含有量や価数の結果と比較・検討を行う事で、斜長石中における離溶磁鉄鉱の成因解明を進める。

熔岩中に含まれる微小磁性鉱物の特定

磁気特性測定装置を用いて、桜島大正軽石およびその加熱試料のzero-field cooling remanence（ZFC remanence）曲線、field cooling remanence（FC remanence）曲線、room-temperature isothermal remanent magnetization（RT-IRM）曲線、IRM獲得曲線の測定を行った。ZFC remanence曲線とFC remanence曲線では、40K付近と70K付近に低温変態温度が確認された。また加熱の有無によってZFC remanence曲線とFC remanence曲線の残留磁化強度比も変化していた。RT-IRM曲線では、無磁場中での冷却・昇温サイクルで僅かな減少が確認された。IRM獲得曲線では、加熱によって高保磁力成分が出現している事が確認された。今後の測定では、高保磁力成分とZFC remanence/FC remanenceの関係や、含まれる磁性鉱物の組成推定および定量を進める。

採択番号 19A010, 19B008

研究課題名 土壌の磁気特性に基づいた鑑定手法のための基礎的研究

氏名・所属(職名) 川村 紀子・海上保安大学校(准教授)

研究期間 2019/9/26-30

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

事件や事故等の捜査では、客観的証拠に基づき起こった出来事を証明する必要がある。このような捜査において科学的手法や技術を研究する学問分野を法科学という。特に陸上で発生した事件や事故では、関係者を結びつける重要な証拠試料として土砂が採取されることが多い。こうした土砂試料は、地質学の技術や知識を用いて鑑定が行われており、地質学を法科学に適用する分野を法地質学と呼ぶ。法地質学分野では、これまで鑑定の経験が蓄積されており、粒度分析や化学分析の手法が確立している。しかし、上記の化学分析のためには薬品処理や加熱する必要がある。土砂試料の変質は避けられない。鑑定資料によっては \geq 数十 mg 程度しか採取できず、また多くの場合、追加して採取することが難しい。迅速な捜査に貢献するために、また被疑者の身柄送致などの法的な手続きに必要な場合は、速やかに鑑定結果を提示する必要がある。そして長期化する裁判に備えて、鑑定資料の一部をたとえ少量であっても保存しておく配慮が求められている。このためには非破壊で迅速な測定方法や、少量の試料に対して有効な分析方法が求められる。

磁気分析は、鑑定試料に対して与えるエネルギー量が少なく非破壊で実施が可能であり、かつ迅速にデータを出すことが出来る。よって鑑定試料の分析に適していると考えられる。また数 mg 程度の少ない試料であっても、試料に含まれる強磁性鉱物の相対量や磁氣的粒径を調べることが可能であり、低温磁気測定を行うことによって加熱による変質を避けて、試料に含まれている鉄酸化物の種類を非破壊で同定することが出来る。これまで磁気分析を鑑定試料へ応用した研究例については、ヨーロッパでは数件が挙げられているが、我が国では全く例が無い。

そこで本申請研究では、我が国での鑑定で捜査対象とされる件数が比較的多い褐色森林土を対象として、この土壌の磁気特性についての基礎的なデータを得ることを目的とする。土壌の異同識別のための基礎的なデータを得て、これらのデータに基づいて実際の鑑定へ応用することを試みる。

【研究実施内容】

5日間の滞在中に、褐色森林土の低温磁気測定の実施を行った。数 mg の土壌試料をポリ塩化ビニリデン(サランサップ、旭化成)で梱包して、プラスチック製のサンプルホルダーに入れて室温から5 Kまで低下させ、2.5 Tの磁場をかけた。後に、無磁場で5 Kから300 Kまで昇温させて残留磁化強度を計測した。

当初の計画にはなかったが、海難事故や漂着物の鑑定を目的として海砂の低温磁気測定を行った。海砂の鑑定には、二つの目的がある。一つは、海砂が、どの場所に

由来するものなのかを明らかにすることである。二つには海砂が、被疑者が所有し付着しているもの、あるいは犯行現場のものと同じか否か、という異同識別を実施することである。海砂の固相部分は、岩石片や鉱物、微生物や植物、昆虫や動物、動植物の遺骸や腐敗物、人工物など様々な物から形成されている。海砂の異同識別に使われる科学的手法は、顕微鏡による観察を経て、構成物を判別した後に決定される。これまで土砂の分析には、重さ、粒度、色といった基礎的な物性データに加えて、鉱物学や岩石学的な手法で分析されてきた。また逮捕した被疑者の身柄を拘留することができる期間や裁判の日程に合わせるため、迅速な分析方法や新しい指標が望まれる。特に石英は、海砂に必ずと言ってよいほど一般的に含まれる鉱物であり、鑑定をする上で扱う普遍的な物質の一つである。石英は二酸化ケイ素(SiO_2)が主成分で、強酸や強塩基に耐性があり、硬度も高いため風化に極めて強い。石英には、しばしば黒色のインクルージョン(包有物)が含まれる。石英の包有物には鉄やチタンが含まれており、磁鉄鉱(Fe_3O_4)や赤鉄鉱($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$)、チタノマグネタイト($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$)、チタノヘマタイト($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$)といった強い磁性を持つ鉱物(強磁性鉱物)を含む場合があり、磁気測定の結果から新たな異同識別の指標として提案できる可能性がある。

【得られた成果】

褐色森林土の試料は、磁鉄鉱のフェルベール点(120 K)でのIRMの減少は不明瞭であった。高温の磁気測定での結果では、磁鉄鉱の存在が確認されているので、磁鉄鉱の表面が酸化して磁赤鉄鉱が形成されていると推定できる。深度6~7 cmの試料と攪乱された土壌表層から採取した試料は、100 Kから250 Kの間にIRMの増加が見られた。現在、査読付きの国内学術雑誌へ投稿するために準備中である。

海砂の試料も同様にフェルベール点を含む特徴的な曲線を示した。新たな異同識別の指標として提案するために、継続して実験を行う予定である。

採択番号 19A011, 19B009

研究課題名 太平洋深海堆積物を用いた前期始新世「超温暖化」イベントに関する研究

氏名・所属（職名） 安川 和孝・東京大学大学院 工学系研究科 エネルギー・資源フロンティアセンター（講師）

研究期間 2019/9/9-13, 11/25-29, 2020/2/24-3/3

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

申請者は2017年に、南インド洋のODPコア試料から暁新世末～始新世前期の「超温暖化イベント（Hyperthermals）」の地球化学的痕跡を復元し、多元素の化学組成と全岩 $\delta^{13}\text{C}$ 及び CaCO_3 含有量を統計的に解析した。その結果、繰り返し発生した温暖期の全てで海洋の生物生産性が増大し、大気－海洋系から余剰な CO_2 を除去することで、気候の回復に寄与したことを明らかにした。本研究は、次なるステップとして、上記の「生物生産フィードバック」が真にグローバルなものであったかを検証し、急激な温暖化に対する地球システム応答のさらなる詳細な描像を得ることを目的とする。そのために、南インド洋に対して地球上のほぼ反対側に位置する北東太平洋で掘削された、複数の超温暖化イベントを含む深海堆積物の高次元地球化学データを取得し、先行研究と同様の解析を行う。もし同一のメカニズムが複数の温暖化時に両海域で共通して働いていたことが示されれば、「生物生産フィードバック」は気候の温暖化に対して汎地球的に機能し、元の気候状態への回復過程を担う、普遍的で重要な地球システム応答であることを真に支持する強力な地質学的証拠となる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では、先行研究（Leon-Rodriguez & Dickens, 2010）により複数の古第三紀Hyperthermalイベントを記録していることが報告されており、かつYasukawa *et al.* (2017)で対象とした南インド洋の対蹠的な海域にあたる中央北太平洋のODP Site 1215Aを対象とした。当該サイトで掘削された深海堆積物コアのうち、海底面下深度27.72～67.23 mbsfの区間から分取した96試料に対して炭素・酸素安定同位体（ $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ ）分析を、86試料に対して炭酸塩（ CaCO_3 ）含有量分析を行った。 $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ 分析はIsoPrimeを用いて実施した。炭酸塩含有量は、試料中の全炭素含有量と有機炭素含有量をFlash EA1112を用いて測定し、その差分にあたる無機炭素量が全て CaCO_3 に由来するものとみなして、計算により算出した。

得られた $\delta^{13}\text{C}$ の深度方向プロファイルを基に、Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM), Eocene Thermal Maximum (ETM) 2, ETM3といったHyperthermalイベントに対応する層準を、Leon-Rodriguez & Dickens (2010)による報告と整合的に検出することができた。具体的には、54～55 mbsfにおいて約1.8%の $\delta^{13}\text{C}$ 負異常が見られ、これはPETMに相当する。また、34～35 mbsf及び28 mbsf付近においてそれぞれ約0.4%及び約1%の $\delta^{13}\text{C}$ 負異常が見られ、これらはETM2, ETM3にそれぞれ相当する。 CaCO_3 含有量は、10%程度から80%以上という幅広い値を取り、変動が非常に激しい。上述したPETM, ETM2, ETM3に相当する層準はいずれも急激な CaCO_3 含有量の減

少を示した。これらはいずれも、大気－海洋系への急激な炭素放出に伴う炭酸塩補償深度の変動を反映したものと解釈できる（Leon-Rodriguez & Dickens, 2010）。

さらに、東京大学工学部が所有するXRFおよびICP-MSを用いて、上記と同一試料の主要・微量元素組成を分析した。これらの多元素データセットに上述の $\delta^{13}\text{C}$ 深度プロファイルを組み合わせ、生物源バライト由来のBaとHyperthermalイベントとの関連性について考察を行った。各試料中における生物源バライト由来のBa量は、まず各元素濃度測定値をcarbonate-free basisに補正した上で、上部大陸地殻及び熱水性堆積物の端成分組成を仮定して、陸源砕屑物・熱水性成分によりもたらされるBa量を計算により除去することで推定した。その結果、ETM2においては生物源Baの増大が見られたものの、他のHyperthermalイベントにおいては明瞭な増大が見られなかった。このことから、古第三紀のHyperthermalイベントに対する生物生産の応答は、海域ごとに異なっていた可能性が示唆された。

採択番号 19A012, 19B010

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 2019/12/2-6

共同研究分担者組織 小玉 一人(高知大学), 望月 伸竜(熊本大学)

岡田 誠, 羽田 裕貴(茨城大学), 他 学生2名

【研究目的】

古地磁気学において、二次磁化を消磁する手法として、熱消磁・交流消磁がよく用いられるが、化学消磁はあまり用いられてこなかった。それには、化学消磁に用いられてきた、強酸の扱いが面倒であったからという面がある。そこで、我々は、還元化学消磁(RCD)という手法を考案し、琉球層群の礁生石灰岩で、その有用性を示して来た(2014-2018共同利用研究)。この成功は、透水性のある堆積岩/堆積物では二次磁化は、透水域での磁性鉱物の生成が大きく寄与しているからであったと思われる。一昨年度よりは、他に有効な試料を検討している。

上総層群のB-M境界の層位の確定はGSSPの観点から重要である。Okada *et al.* (2017) で現在の古地磁気技術の最高水準での測定がなされているが、二次磁化の影響の懸念が完全に払拭されたわけではない。そこで、新たにRCDを適用し、逆転層準の確定と逆転時の磁場の振る舞いの研究をする。

【期待される成果】

一般に、逆転層準の確定は地質学へのインパクトが大きい。上総層群のB-M境界の層位の信頼性向上の意義は、第四紀地質学全体にとっても大きく、また、方法論普及にとっても、極めて大きなインパクトを与えるであろう。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

12月2日から12月6日にかけて、高知コアセンターにて磁気天秤を用いた熱磁気分析と、パススルー型磁力計を用いた堆積残留磁化および非履歴残留磁化の測定を行った。

熱磁気分析

今回高知コアセンターに持ち込み熱磁気分析を実施した試料は、千葉県房総半島の海成鮮更新統である千倉層群畑層(2試料)、上総層群国本層(6試料)および黄和田層(4試料)、そして茨城県に分布する白亜系海成層である那珂湊層群平磯層(3試料)の計15試料である。実験は基本的に酸素雰囲気条件で行っているが、那珂湊層群平磯層の試料のみ真空条件も実施した。

特に、上総層群国本層の試料については、硫化鉄鉱物を除去することを目的として還元化学消磁(RCD)を適用し、効果の検証を進めている。今回、RCDによるリーチングの効果を検証することを目的として、RCD処理を施した試料と未処理の試料の両方について熱磁気分析を実施した。結果としてRCD後でも硫化鉄鉱物によると思われる400℃から500℃の温度区間での磁化の上昇は抑制されていなかった。つまり、今回の試料に対するRCD処

理の効果は不十分であると考えられる。

自然残留磁化および非履歴残留磁化測定

房総半島南端に分布する千倉層群畑層では、底生有孔虫化石の酸素同位体層序より、畑層上部が1.59~1.82 Ma(MIS 55~MIS 64)にあたり、同層準内にOlduvai正磁極亜期上限境界を含むことが示されている(小竹ほか, 1995)。今回、千倉層群畑層において、Olduvai正磁極亜期上限境界を含む層厚14mの区間でサンプリングを行い、41層準から各層準複数本のミニコア試料を回収した。これら試料を高知コアセンターに持ち込み、自然残留磁化(NRM)および非履歴残留磁化(ARM)の測定を1層準当たり1試料ずつ実施した。NRM測定の終了後、試料に対し30μTの直流磁場をかけた状態で80mTの交流消磁を行い、ARM着磁を行った。そして、組み合わせ消磁を行い、ARM測定を実施した。

NRMの測定結果より固有磁化成分を抽出し、固有磁化成分から仮想地磁気極(VGP)を算出した。VGP緯度の結果より、今回サンプリングを実施した14mの層準区間の内、3.3mから4.2mの層準区間に極性反転を確認し、Olduvai正磁極亜期上限境界とした。

次に、NRM強度とARM強度の結果より相対古地磁気強度(RPI)を算出した。VGP緯度から見た逆転開始前の正磁極帯ではすでにRPIが低下していることから、地磁気逆転の開始過程について議論するためには、より下位の層準の追加サンプリングが必要であることが分かった。

採択番号 19A013, 19B011

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 2019/5/16-17

共同研究分担者組織 加藤 千恵, 北原 優（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、沖縄トラフの熱水鉱床で掘削された試料の岩石磁気実験を行った他、これとの比較のため標本試料についても同様の分析を行った。分析は低温磁気分析を中心に行い、必要に応じて熱磁気分析を行った。低温磁気分析は、MPMSを用いて、IRMcycle, FC, ZFCの各シーケンスで測定を行った。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。

我々は、沖縄トラフで採取されたチムニー試料や熱水鉱床掘削試料に含まれる鉱物の低温における特異な磁気特性に注目して実験を行っている。注目している低温磁気変化は（1）100K付近での磁気相転移で、低温側で磁化が非常に強くなる。（2）50～70K付近での磁気相転移で、高温側で磁化がやや強くなる、の二つである。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ており、（1）の変化についてはCu-Fe-S硫化鉱物が担っていると考えられることを、昨年度に報告した。

今年度は、（2）の変化を担っている鉱物の特定を目指し、熱水鉱床掘削試料に含まれる主要鉱物の磁気相転移を明らかにするため、標本試料についても低温磁気分析を行った。熱水鉱床試料のX線回折（XRD）測定や顕微鏡観察によりとらえられている主要な構成鉱物は、（1）で分析した磁硫鉄鉱やアイソキューバナイトの他に、黄鉄鉱、白鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱、硫砒銅鉱、重晶石、であるが、これまでの分析の結果、これらの中に、50～70K付近での特徴的な磁気相転移を示す鉱物は見つからなかった。他の可能性としては、XRD分析や顕

微鏡観察で捉えられていない微量な鉱物、あるいは、主要鉱物を含めた構成鉱物の二次生成物が微量に含まれていることが考えられる。岩石磁気分析の大きな特徴として、磁化の強い鉱物については分析感度が非常に高くなることを考えれば、微量な鉱物のシグナルが検出されることは十分にありうる。例えば、XRD分析で検出されないような微量なマグネタイトしか含まないような試料でも、磁気分析では十分な感度を持って磁気シグナルが検出でき、相転移の温度からマグネタイトを含むことが特定できる場合があり、岩石磁気分析の大きなメリットとなっている。ところが今回のように、未知の岩石磁気シグナルを担う鉱物を探そうとする場合は、磁気シグナルが検出できても、それを担う鉱物をXRD分析などで検出できないことがありうるわけであり、鉱物の探索は困難である。しかし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、岩石磁気の基礎情報として大変重要であると考えられるので、今後、特徴的な磁気相転移を示す試料について、XRD分析や顕微鏡観察などをより精密に行うなど、未知の磁性を示す鉱物に迫りたい。

採択番号 19A014, 19B012

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 2019/6/17-24

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

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

本研究では、現世海洋に堆積している黒色泥試料の化学組成データから、レアメタル元素の濃集に関わる物質／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事が期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

令和元年度の研究では、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、全有機炭素量(TOC)、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 、全硫黄量(TS)について、未分析試料の測定と平成30年度に測定した試料の再測定を行った。

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℃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。TS測定の際には、平成30年度に行った検討(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)を踏まえて、測定を行った。TOCについては、これらの分析結果の比較により、塩酸

処理していない粉末に対するTOCを求めた。

測定の結果、多くの試料はTOC~10%を示し、特に黒色を呈する試料などは10%を超える値を示した。TSは多くほとんどの試料で~3%を示し、Leg. 23(紅海)の試料で特にTSが高い試料は7%程度を示した。またTOC、TSと酸化還元鋭敏元素との関係を調べたところ、TOCとUは現世の試料全体で正の相関を示すことが明らかとなった。また、NiについてLeg. 165(カリコ海盆)の試料はTOCと相関を示すが、Leg. 42B(黒海)の試料は無相関であった。一方でLeg. 42B(黒海)の試料はNiとTSが弱い正相関を示し、Niの濃集は硫化物鉱物の存在に起因していることが示唆される。さらにLeg. 23(紅海)の試料は、As, Cuなどの元素とTSが正の相関を示す。これはこれらの元素の濃集に硫化物鉱物が関与していることを示唆する。これに対し、Leg. 175(ナミビア沖) Site 1084の試料はこれらの元素についてTSと無相関であり、元素の濃集には生物生産性などの硫化物とは異なる要素が関係していると考えられる。元素により有機物との関係が優勢であるか硫化物との関係が優勢であるかという違いがあり、さらにその特徴は海域によっても異なるということが示された。

今後、本研究で得られたデータと所属研究室で行った全岩化学組成データを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 19A015, 19B013

研究課題名 考古学資料等を用いた古地磁気・岩石磁気学測定による地磁気記録物質と土器焼成環境の解明

氏名・所属(職名) 畠山 唯達・岡山理科大学 情報処理センター(教授)

研究期間 2019/5/11-14, 9/10-13, 11/21-23

共同研究分担者組織 白石 純(岡山理科大学)

【研究目的・期待される成果】

本研究では、(1) 古地磁気記録媒体として含まれる強磁性鉱物の挙動、とくに考古資料に含まれる鉱物がどのタイミングで生成・磁化されるかを磁氣的に推定すること、(2) 被熱遺構や土器片等に含まれる鉄酸化物の動態を古地磁気・岩石磁気学的手法を用いて推定すること、を目的とする。

申請者はこれまで、土器片やそれを焼成した遺構(窯跡)などの考古資料や歴史溶岩を用いた古地磁気方位・強度の測定や、熱残留磁化を保持して埋没している窯体を源とする磁気異常の観測を行ってきた。地磁気の記録媒体は対象物質中に含まれる鉄酸化物などの強磁性鉱物である。考古資料の場合、もととなる物質(粘土や土壌)や遺構周囲の環境と比べて、熱を受けた土器片や被熱遺構などは磁性鉱物を多く含み強い残留磁化を持つが、磁性鉱物の起源については不明な点が多い。一方で、鉄化合物は様々な形態をとり、温度・圧力・酸化還元状態等さまざまな環境の影響を受けやすく、無釉土器の場合はその色にも大きな影響を及ぼしている。そのため、鉄酸化物を調べることは残留磁化の起源に関する知見だけでなく、土器の焼成環境や住居内かまど面などの被熱度合いなどを知るうえで大きな手掛かりとなるが、複数種の鉱物の違いや結晶粒径などを見極めるために岩石磁気測定が有効である。

そこで本申請では、被熱・非被熱遺構や土器片など複数種の考古資料に対して古地磁気・岩石磁気学的手法を用いて磁性を測定し、上記のような情報を抽出することを計画している。(将来的には化学分析等の結果と比較することを考えている。) 2019年度の計画では、考古資料の部位(土器の断面や土器窯内の各部位)ごとの磁性の特徴を計測して比較し、温度や酸化状態に関する情報を抽出したい。また比較のために手持ちの試薬・鉱物標本や火成岩試料なども測定する予定である。

本研究の成果は、考古地磁気学における残留磁化の保持物質と磁化の起源に関する基礎的な資料となるだけでなく、考古学分野における古代窯業生産過程等の解明への情報を提供することが期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2019年度の海洋コア総合研究センター全国共同利用制度を利用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、すでに行われている古地磁気測定・岩石磁気測定を補完するための岩石磁気測定を行った。その結果は昨年までの結果を補強するものであり、今後まとめて公表する。

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、これまで古地磁気測定・岩石磁気測定を行ってきた。これまでに

窯内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きた結果、部位のみならず窯床面(地表)からの深度によって磁性鉱物の量などが異なることがわかった。2019年度からは、磁鉄鉱の結晶粒径・磁区等を探る手法として新たに磁気特性測定装置(MPMS)を使用した交流磁化率を始めた。試料の窯内での位置によって明らかに異なる交流磁化率の温度依存性があることがわかった。結果の詳細な分析と解釈は今後行うが、今後も測定を続けて行く予定である。

3. 庄田工田窯跡から出土した土器片の岩石磁気測定

2018年度から発掘調査を行っている岡山県瀬戸内市の庄田工田(しょうだくでん)窯跡から出土した土器片について、岩石磁気分析を開始した。この試料(140点)については、白石教授ゼミにおいて2018年度までに約140点の試料について蛍光X線による胎土分析(土器の全岩化学分析)と土器片の磁石に対する反応の程度を測定している。今回は、上記の結果と対比できるように全点についての磁気ヒステリシスと一部試料の熱磁気分析などを行い、主に鉄の量と磁性、色等を比較することを目的としている。2019年度には約50点のヒステリシスと4点の熱磁気分析を行った。今後も作業を続ける予定である。

4. 復元窯で焼成した粘土の岩石磁気測定

岡山県備前市を中心に制作されている備前焼は須恵器(上記1~3の土器)をルーツとし、現在でも無釉で焼成されている炆器である。備前焼作家の平川忠氏は古備前(鎌倉期~)の復元を目的に自身で土窯(登り窯)を復元しており、実際に多くの作品をそこで焼いている。氏に協力を仰ぎ、使用後の土器窯や粘土片を古地磁気・岩石磁気測定に使わせて頂くことができた。今回は、中世までに使用されていた粘土と近いものと考えられる粘土片2種類を土窯で焼成した試料についての岩石磁気測定を海洋コア総合研究センターで行った。今後は焼成時の挙動について調べていく予定である。

5. 鹿児島県中岳山麓遺跡・表土の岩石磁気測定

九州本土最南端の須恵器窯跡群である同遺跡で申請者らは磁場観測を用いた埋没古窯の探査を行っている。地中に埋まっている窯の古地磁気・岩石磁気特徴をつかむため、すでに発掘されている窯(荒平第2支群1号窯)の古地磁気・岩石磁気を行っているが、そのうち、磁性鉱物の同定に必要な熱磁気分析を共同利用で行った。

6. 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・岩石磁気測定をしてきたが、解釈が困難なデータを見ることが増えた。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・環境下における挙動を確認する必要が生じた。そこで、手持ちの試薬や鉱物標本等(磁赤鉄鉱: Maghemite など)の真空中・空气中における高温での振る舞いや磁気ヒステリシスを測定した。

採択番号 19A016, 19B014

研究課題名 Anisotropy-based evaluation of compaction and inclination shallowing in siliceous sediments

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 2019/7/11-16, 2020/2/17-29

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 proposed research aimed at evaluation of compaction in chert beds in order to correct for possible paleomagnetic inclination shallowing in this type of rocks. The alignment of different magnetic phases in chert was investigated using the set of anisotropy measurements (anisotropy of magnetic susceptibility, anisotropy of remanence and anisotropy of high-field isothermal remanence).

Such set of measurements was planned to be used in separating contributions from paramagnetic (detrital), low coercivity ferromagnetic (detrital + early diagenetic) and high coercivity hematite pigment (authigenic) phases into anisotropy fabrics.

【利用・研究実施内容・得られた成果】

Comparison of different types of anisotropy showed that anisotropy ellipsoids are similar in all types of measurements. However, for all studied samples, the observed the shape and orientation of the anisotropy ellipsoids deviated from the expected for the normal sedimentary fabrics affected by compaction (such as near-vertical minimum principal axis (K_{min})). Such deviations indicate that the anisotropy of the studied rocks reflects tectonic deformation fabrics, and thus cannot be used in evaluation of primary sedimentary compaction processes.

採択番号 19A017, 19B015

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 2019/10/3-14, 2020/1/7-19, 2/1-9

共同研究分担者組織 村山 雅史(高知大学), 池原 実, 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】

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(Hasegawa *et al.*, 2018, Island Arc; 日本地質学会2019年論文賞を受賞)。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、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(X'pert PRO)を用いた鉱物組成の解析、CNS分析による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。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、昨年度に引き続き、モンゴルの白亜紀中期湖成層(シネフダグ層)のコア試料(CSH01とCSH02)を対象とした、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の30m区間(約30万年区間)とCSH02コアの60m区間(約45万年区間)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→ドロマイイト互層に非常に良く対応しており、Ca/Ti比は蒸発量/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Ca/Ti比の変動は、約2m毎に増減する地球軌道要素変動(特に歳差運動周期)を反映

していると共に、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。特に千年スケールで蒸発量/降水量が変動する様子は、氷期に見られる急激な気候変化(ダンスガードサイクル)と類似していることを見出した。このことから、温暖化が進んで極域氷床が融解した温室期においても、千年スケールで気候が不安定的に変動していることを示すと解釈し、現在Nature geoscience誌に投稿中である。またCa/Ti比の他にも、Na/TiとK/Tiが化学風化のプロキシと、さらにP/Tiが風強度の変化に伴う湖底還元度のプロキシとして有用であることを見出し、これら3つのプロキシが地球軌道要素変動を反映した独自の挙動を示すという興味深い結果を得た。このことに関しては、今年度は実施できなかったCNS分析を進めることにより、今後更に検討して行く予定である。

本年度はまた、アメリカの始新世前期～中期の湖成層(グリーンリバー層)を対象として、X'pert PROを用いた鉱物組成変動の解析も行った。そして、グリーンリバー層上部に見られる10～20cm毎に互層するチャート層が、太陽活動周期(1000年&2300年)を反映した湖表層生物生産量の変動を反映していることを明らかにした。また湖底でチャート層が形成されるプロセスに、藻類起源有機物の腐食と、それに伴う湖底堆積物中の間隙水のpH変化が関係していたことを明らかにした。この成果はScientific Reports誌に公表し、名古屋大学と高知大学で共同プレスリリースを行った。またグリーンリバー層の鉱物組成分析(300試料)の結果からは、より長期的な数万～数十万年スケールの湖環境の変動と、始新世前期～中期における全球的気候変動との対応関係も明らかになっており、近くPEPs誌に投稿する予定である。

以上のように、白亜紀と始新世の湖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 19A018, 19B016

研究課題名 深成岩中の鉱物単結晶を用いた古地磁気強度研究

氏名・所属（職名） 加藤 千恵・東京工業大学 地球生命研究所（研究員）

*～2019/9/30 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 2019/5/16-17, 8/20-9/4, 2020/2/12-18

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場強度の変動は、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深成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、深成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。申請者らは、これまでに白亜紀スーパークロン中期の花崗岩試料（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、 $\sim 90 \text{ ZAm}^2$ という平均磁場強度推定値を得ることができた（Kato *et al.*, 2018）。本研究では、スーパークロンではない、逆転が頻繁に起きていた時期の平均磁場強度の推定を行う。試料は、前年度に行った岩石磁気測定から古地磁気強度実験に適することがわかっている、山梨県丹沢地域の斑レイ岩中の斜長石を用いる。得られる結果は500万年前の平均的な磁場強度とみなすことができるため、白亜紀スーパークロン中の平均磁場強度と比較することでダイナモシミュレーション研究から提案されている逆転頻度と平均磁場強度の関係を検証することが可能となる。

【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、岩石磁気測定による適した試料の探求、および予察的な古地磁気強度実験を行った。前年度に行った測定により、道志ハンレイ岩（山梨県・5Ma）に含まれる斜長石が古地磁気強度実験に適していることが分かっている。しかし、この測定に用いた試料は研究協力者から譲り受けたものであり、正確な採集地および採集時の状況、保管状況が不明であった。そのため、2019年5月に改めて試料採集を行い、以下のように古地磁気・岩石磁気測定を行った。

まず、定方位のコア試料として採取した全岩試料の自然残留磁化測定を、スピナー磁力計を用いて行った。結果得られた方位はばらつきが大きいものの逆磁極期を示し、初生的な磁気記録がある程度保存されていることが示唆される。次に、全岩のブロック試料を砕いて斜長石を分離したのに対し酸処理を施し、以下の岩石磁気測定を行った。斜長石に含ま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。含まれる磁性鉱物の磁気的な粒径の推定は低温磁気測定および磁場勾配磁力計（AGM）を用いた磁気ヒステリシ

ス測定により行った。残留磁化測定には個別試料型超伝導岩石磁力計（SQUID）を用いた。段階交流消磁および非履歴性残留磁化の着磁実験には、交流消磁装置を用いた。段階熱消磁および熱残留磁化の着磁実験には、熱消磁装置を用いた。これらの測定の結果、新しく採取した試料は前年度に測定を行った試料と比較し、含まれるマグネタイトの磁気的な粒径が大きく保磁力が低いことが分かった。そのため、当初予定していた綱川－ショー法による古地磁気強度実験には適さないと考えられる。今後、テリエ法のバリエーションによる古地磁気強度実験を試みる予定である。

申請者は2019年10月に東京工業大学地球生命研究所に異動し、同大学地球史資料館に保存されている西オーストリア・ピルバラで採取された先カンブリア時代の斑レイ岩試料についても測定の機会を得た。3つの岩体の試料について、上記の道志斑レイ岩と同様に斜長石を分離し、岩石磁気測定を行った。うち1つの試料については、斜長石から離溶したマグネタイトによると考えられる高い保磁力を示したため、7粒の斜長石に対しショー法により予察的な古地磁気強度実験を行った。結果は34-122 uTと大きなばらつきを示した。今後、試料の熱履歴の検討と古地磁気強度実験の結果の採用基準の設定を進める。

採択番号 19A019, 19B0017

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 2019/7/16-17, 11/18-25, 2020/2/13-21

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

浦本 豪一郎（海洋コア）、志知 幸治（森林総合研究所）

中川 麻悠子（東京工業大学）、Ichinnorov N.（モンゴル科学アカデミー）

出穂 雅実（首都大学東京）、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クによる猛暑・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。応募者らのこれまでの研究により、モンゴル中央部および南西部の湖底堆積物は、太陽活動変動に起因した降水量変動を記録する可能性が明らかになった。さらに、モンゴル南西部のオログ湖で2017年1月に採取した掘削コア試料（1.5 m×計26本）を対象に、X線CTやXRFコアスキャナー（Itrax）、マルチセンサーコアロガー等の分析を行った結果、最終氷期に起こったダンスガードオシュガーイベントのような急激な気候変動に対するシベリア南部の永久凍土の動態を記録している可能性が明らかになった（採択課題18A032, 18A030）。

そこで本研究では、2019年3月1～5日にモンゴル北西部のサンギンダライ湖で採取した掘削コア試料（1.5 m×計16本）を対象とし、X線CTやItrax, MSCL等により、過去数千～数万年間の同地域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目的とした。さらに1 cm毎に分割した試料に対して無機化学分析（XRF）や密度分析、そして花粉分析も併せて行うことにより、過去数千～数万年間のモンゴル北西部の環境変動を詳細に復元し、太陽活動の変動が中緯度の気候循環を介して地球の気候変動に影響するという作業仮説の検証を目的とした。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では、モンゴル北西部・サンギンダライ湖で2019年3月に採取した湖底堆積物コア試料（19SD01～05; 1.5 m×16本）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。また1 cm毎に分割した試料に対して計50試料を選定し、花粉分析を行った。そして抽出・同定された花粉種の割合から植生帯の復元を行い、Itrax分析の結果と併せて比較考察することで、同地域の古環境変動・植生変遷を復元した。

まずItraxを用いて0.2 mm解像度で主要・微量元素組成変動を測定し、得られた元素組成データとコア写真に基づいて、5本のコアの対比と、複合コア柱状図の作成を行った。その結果、コア間の未回収堆積物の間隙が一部に見

られるものの、ほぼ連続的な約13 m長の複合柱状図が構築された。湖底堆積物の年代モデルは、土壌試料の14C年代により算出した。分析が完了している表層コアの14C年代によると、湖底面からの深度82 cmは約2800年前に相当し、堆積速度は約33 cm/kyに相当することが明らかになった。この堆積速度では、湖底堆積物の岩相が茶褐色泥から緑灰色シルトに大きく変化する、深度約4 mの層準が約1万2千年前の退氷期に相当すること、また最深部（深度約13 m）は約3～3.5万年前頃に対応すると予想される。

この暫定的な年代モデルと複合コアの岩相変化、Itrax分析による元素組成変動、そして花粉分析による植生復元の結果から、以下のような古環境変動と植生変遷が推定された。湖底面からの深度4～13 mにおいては黒灰色砂と緑灰色シルト質砂、茶灰色シルトの互層からなり、最終氷期にサンギンダライ湖は浅い塩湖環境、もしくは湖が干上がって氾濫原環境であったと考えられる。一方で深度0～4 mでは茶褐色泥を主体とし、部分的に年縞と考えられるラミナも発達していた。したがって、完新世には現在のサンギンダライ湖と同様に、湖水位が高く湖底が還元的な環境が維持されていたと考えられる。またItrax分析による元素組成変動を見ると、炭酸塩量を示すCa/Ti比、湖底還元度の指標となるMn/Fe比、砂量を示すSi/Ti比、そして凍土融解の指標となる硫黄量S/Ti比から、岩相変化だけでは判別が困難な定量的な古環境変動が明らかになった。例えば、B/AやDOサイクルの亜間氷期のような、最終氷期における突発的な温暖化イベントに対応して、干上がった氾濫原の環境から、相対的に湿潤な塩湖環境に変わったことが示唆された。さらに花粉分析の結果と併せると、最終氷期にはステップ・砂漠植生が支配的な乾燥環境であり、湖水がほぼ干上がった氾濫原環境と、湖水位の低い塩湖環境であったこと、一方で、完新世には凍土融解によって比較的湿潤でステップとタイガ植生が混在する環境であり、現在と同程度の湖水位が高く湖底が還元的な環境に変わったことが示唆された。

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、国内学会（JpGUや花粉学会）や国際学会（INQUA2019）で発表したほか、今後は国際誌への投稿・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 19A020, 19B018

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 2019/6/11-14, 10/15-18, 12/2-13, 2020/1/6-10

共同研究分担者組織 学生4名

【研究目的・期待される成果】

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す。本研究は地質時代の気候を利用して、太陽や地磁気が地球の気候に影響を及ぼしたかどうかを調べ、同効果の不偏性を検証するものである。

共同利用施設では、湖沼堆積物、海成層の陸上掘削コアの古地磁気分析を行って、主に地磁気の逆転、エクスカージョンの検出を行う。また、逆転やエクスカージョンが見つかった堆積物試料について岩石磁気実験を行って磁化を担う磁性鉱物を特定する。さらに、太陽活動周期が見つかったコアについて高解像度の古環境データを得るために、MSCLを用いてガンマ線密度の測定を行う。

期待される成果として、水月湖年縞堆積物コアFukui-Suigetsu SG14からは、後期更新世末期の複数の地磁気エクスカージョンの検出が見込まれる。古琵琶湖層群のコアKT1からは、Matuyama-Brunhes地磁気逆転磁場変動の検出が期待される。千葉セクションコアTB2の古環境データの増強によって地磁気逆転期の寒冷化の後、急激な温暖化にいたる期間の古海洋環境が解明される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

水月湖年縞堆積物コアFukui-Suigetsu SG14のLL-channel試料の段階交流消磁による古地磁気分析の結果、これまでに更新世最末期に地磁気エクスカージョンの存在が示唆されていた。本年度は熱消磁実験による古地磁気解析、熱磁気分析・ヒステリシス測定・等温残留磁化(IRM)獲得実験による岩石磁気分析を行って古地磁気記録の検証を行った。まず、異なるHoleのコアの、エクスカージョンが報告された深度に相当する部分からキューブ試料を18個採取し、680℃までの段階熱消磁実験を行った結果、3個から信頼できる古地磁気ベクトルが得られ、残りからは得られなかった。得られなかった理由として考えられるのはコア採取後4年が経過しており、強磁性硫化鉄鉱物は変質した可能性がある。実際に自然残留磁化強度は数分の1から1/10以上減少しており、その可能性は高い。熱磁気分析によるJsTカーブは試料にMagnetiteとGreigiteが含まれることを示した。これは段階熱消磁実験の結果とも調和的である。IRM成分分析により、すべての試料が中央保磁力(B1/2)が20~40mTの低保磁力成分と、80~100mTの中保磁力成分を持つことが分かった。これは、低保磁力成分を担っているのがMagnetite、中保磁力成分を担っているのがGreigiteと考えられる。この2つの成分の中央保磁力値が大きく離れていることから、段階交流消磁実験データを40mT以下と以上の消磁レベルのデータに分けて主成分分析した結果、magnetiteが担うエクスカージョンの存在が明らかとなった。また、エクスカージョンが示

唆されていた3個のうち2個については、砂など薄いイベント層の影響であることが分かった。41ka付近のエクスカージョンについても熱磁気分析、IRM獲得実験により、同じ結果が得られ、真のエクスカージョンを示すことがより明確になった。

千葉セクションコアTB2の生物生産量に太陽活動周期(約200年)が報告されている深度範囲の、ガンマ線密度の測定を行ったが、生物生産量と同じ200年周期変動は示さなかった。しかし、コア全体の、ガンマ線密度は、低海水準期を除き生物生産量ときれいな逆相関を示した。低海水準期は中新世の砕屑粒子が増えていることが分かった。

中国黄土高原Lingtaiのレス層のヒステリシス測定、FORCの測定により、磁性鉱物の粒径が明らかになり、2つの国際誌論文の受理に大いに貢献した。

古琵琶湖層群のコアKT1の古地磁気分析により、Matuyama-Brunhes地磁気逆転付近の詳細な古地磁気記録を得た。全部で9回の地磁気小反転が起こっていることが分かった。また、同地磁気極性境界は花粉化石データが示す、海洋酸素同位体ステージ19の最温暖期の直下に位置することも明らかとなった。

採択番号 19A021, 19B019

研究課題名 タービダイト泥と半遠洋性泥の判別に関する研究

氏名・所属(職名) 芦 寿一郎・東京大学大学院 新領域創成科学研究科(准教授)

研究期間 2019/5/22-23, 2020/2/18-19

共同研究分担者組織 学生3名

【研究目的・期待される成果】

タービダイトの堆積年代決定には、基底部の粗粒層直下の半遠洋性泥中の微化石やテフラが一般に用いられる。砂質タービダイトでは肉眼で基底部を認定することができるが、泥質タービダイトではタービダイト層自体の存在を肉眼で確認することが困難な場合がある。その場合でも、X線CTスキャナは堆積構造や粗粒層の存在を知る有力な装置と言える。さらに、碎屑物の化学組成変化はタービダイトの基底部の位置の特定のみならず、タービダイト泥と半遠洋性泥の間の位置の推定に有効である可能性がある。

本研究ではX線CTスキャナとXRFコアスキャナ(Itrax)を用いて、タービダイト層を含んだ堆積物コアを非破壊で測定し、タービダイトと半遠洋性泥の測定事例を増やし、密度と化学組成の変動の差異を明らかにするとともに、タービダイト／半遠洋性泥境界の認定手法の確立を目指す。

期待される成果としては以下が挙げられる。まず、タービダイト基底と半遠洋性泥の境界の認定は、粒度分析が最も基本的な手法と言えるが、高密度の測定には労力を要する。本研究により泥質タービダイトの基底部の認定手法が確立されれば、非破壊による迅速な作業が可能となり、タービダイトを用いた古地震研究の進展が期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

目的で述べた通り、X線CTスキャナおよびXRFコアスキャナを用いてタービダイトの下底面における密度および化学組成の変化を調べた。過年度の共同利用(18A022, 18B021)／地震性泥質タービダイトを用いた地震履歴推定の試み)では、熊野沖のコアにおいて、基底部のCT値の上昇と鉄の組成ピークが一致しない現象が明らかとなっており、まず再現性を確認するため、同試料(熊野沖KH-14-8 PC03)から得たUチャンネル試料を用いて、基底部のCT値上昇と鉄の組成ピークが一致しない箇所の再測定を行った。結果として、両者のピークに大きなズレは認められなかった。しかし、以前の測定は半断面で行ったのに対して、層準は同じものの新たにUチャンネルで分取したもので変形の影響も考えられ、引き続き検討が必要である。なお、この測定では表面の影響を評価するため、1度目の測定の後で、表面を約0.5 mm削り、再度測定を行った。結果は化学組成の変動に有意な差は認められなかった。

上記の熊野沖のコアより陸に近い地点のKS-12-34航海のピストンコア試料およびマルチプルコア試料は、2012年度の共同利用においてX線CTスキャン画像を取得済みで、今回はXRFコアスキャナ測定を行った。これらのコアでは、Feの変動はCT値の最大と一致してピークを持つ場合と、両者のピークがずれてFeのピークがCT値のピー

クよりやや上位になる場合が見られた。しかし、上記のコアで報告した大きくずれる現象はこのコアでは認められなかった。また、本コアでは、堆積物中の全有機炭素(TOC)の放射性炭素年代の高密度測定を別途行った。これら3種類のデータの相互の比較は、イベント層の基底の位置の認定に加えて、イベント層の上限である半遠洋性泥との境界の位置の推定に有効であることが分かった。また、全有機炭素の放射性炭素年代の補正値を用いることで、火山灰層や有孔虫化石の放射性炭素年代測定では年代決定の難しい層準においても従来に比べて精度の高いイベント年代を得られる可能性が示された(2019年度の日本地質学会で報告)。

銚子沖KS-15-2 PC01, MC01試料, KH-19-5 MC03試料はX線CT撮影のみ行った。銚子沖試料のX線CT画像のうち、ピストンコア試料では12試料中の8試料にフローインによる構造が認められた。残りの試料には激しい生物擾乱が見られ、明瞭なタービダイト層は認められなかった。

採択番号 19A022, 19B020

研究課題名 富士火山の古地磁気・岩石磁気研究

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

研究期間 2019/9/12/20-24

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。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】

令和元年12月20日から12月24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24試料の熱磁気分析、振動磁力計（MicroMag 3900 VSM）を用いて134試料の磁気ヒステリシス実験を行った。令和元年度に分析を行った研究試料は、山梨県富士山科学研究所のスピナー磁力計（ASPIN）を用いて段階交流消磁実験・段階熱消磁実験を行った古地磁気方位測定用試料の溶岩・火砕流堆積物及び宝永噴火の火山噴出物（白色軽石、黒色スコリア、黒曜石、溶結凝灰岩）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℃）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。本年度の測定結果は、昨年度までの測定結果と同様に、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が考えられる。

令和元年度は、富士山南東麓、御殿場口登山道沿いの野外調査において、これまで富士火山の火山噴出物として報告がない溶結凝灰岩を多数発見した。溶結凝灰岩は、溶結レンズが発達した強溶結のものから白色軽石が偏平

していない弱溶結のものまで溶結程度に幅があり、赤色酸化や類質岩片の有無など岩相にバリエーションがみられる。いずれも宝永噴火の白色軽石や黒色スコリアからなるスラッシュ雪崩堆積物中に発見できることから、宝永火口付近や火道内で形成された溶結凝灰岩が宝永噴火時に取り込まれ、一度降下・堆積した後にスラッシュ雪崩によって流された転石と考えられる。それらの熱磁気分析は同一条件（空气中、加熱・冷却レート10℃/分）で行ったが、磁化温度曲線（Js-T曲線）は可逆や不可逆なものなど様々なタイプが見られ、磁気ヒステリシス実験結果を含めて現在検討中である。

新たに発見した溶結凝灰岩は、初生的な産状こそ失われているが、鉄チタン酸化物の産状や磁気特性、全岩化学組成から宝永噴火初期の噴火様式やメカニズムを解明する手掛かりとなりうると考えられる。今後、宝永噴火のどの降下ユニット中に含まれているのかを野外調査から明らかにし、電子顕微鏡観察や3軸IRMの熱消磁実験、全岩化学組成分析から宝永噴火の噴火プロセスを解明していきたい。

採択番号 19A023, 19B021

研究課題名 海底熱水・湧水系の磁気的特徴を探る

氏名・所属（職名） 藤井 昌和・国立極地研究所（助教）

研究期間 2019/4/8-16

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統一的な理解が未だ進んでいないのが現状である。磁気観測等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、熱水系の磁気の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】

2019年度は中央インド洋海嶺で採取された蛇紋岩30試料、ロス海で採取された堆積物5試料の岩石磁気分析を行った。

2019年4月8～16日の期間で、磁気天秤を用いた高温磁気測定、VSMを用いた磁気ヒステリシス測定、AGMを用いたFORC測定、MPMSを用いたZFC-FCおよびIRM cycling測定を実施した。

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、超苦鉄質岩の岩石磁気特性と不均質性を明らかにした。下記の学会において本研究成果を紹介した。

***Fujii Masakazu**, Okino Kyoko, Submersible magnetism reveals relationship between off-axis volcanism and hydrothermal systems of the Kairei and Yokoniwa fields at the Central Indian Ridge, *Japan Geoscience Union Meeting 2019*, Chiba, Japan, May 2019. (Poster presentation)

*Zhao, X.Y., **Fujii M.**, Oda H., Zhao X., Understanding the Heterogeneous Magnetic Properties of Serpentinized Peridotites: Indication of Serpentinization Processes?, 海洋地殻-マントルの新たな実像: オマーン掘削から、海域観測から -*InterRidge-Japan* 研究集会-, 柏, November 2019.

採択番号 19A024, 19B022

研究課題名 海底堆積物の古地磁気・岩石磁気、特に磁性鉱物の還元溶解の影響について

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 2019/6/7-9, 9/16-22, 11/19-21, 12/20-27

共同研究分担者組織 学生2名

【研究目的・期待される成果】

海底堆積物では有機物の分解に伴い、海底下の深さとともに還元的環境となり、鉄還元境界以深では磁性鉱物の溶解が起きる。本研究は第一に、部分的な磁性鉱物溶解が相対古地磁気強度推定に与える影響の評価を行うことを目的とする。これは、鉄還元境界付近の堆積物の古地磁気強度記録の信頼性向上のため重要であるが、従来系統的な研究は行われていない。また、生物源と陸源の磁性鉱物では還元溶解への耐性が異なると推定されることから、溶解途上の堆積物を用いることにより、それぞれの堆積残留磁化への寄与を分離できる可能性がある。磁化獲得効率が異なると考えられるこれら2つの成分を分離することは、堆積残留磁化の獲得機構解明のための重要なテーマであり、信頼性の高い相対古地磁気強度推定を行うために必要である。第二の研究目的は、還元溶解を強く受けた堆積物でも、珪酸塩鉱物中に包有される磁性鉱物が溶解を免れ、これらが古地磁気強度記録を担い得る可能性の検証を行うことである。これらが古地磁気記録を担い得ることが確認されれば、強還元環境であることを理由にほとんど古地磁気研究が行われなかった堆積物コア、例えばIODPのレガシーコアが古地磁気学研究に非常に役に立つ可能性がある。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

オントン・ジャワ海台で採取された2本のピストンコア（MR1402-PC3, PC4）の古地磁気測定を行った。測定内容は、自然残留磁化（NRM）測定、段階交流消磁、非履歴性残留磁化（ARM）の着磁と段階交流消磁、等温残留磁化（IRM）の着磁と段階交流消磁である。事前の磁化率測定結果から、この2本のコアは還元による磁性鉱物溶解のパターンが異なっていて、PC3ではある深度で一気に溶解が起き、PC4ではコア深度とともに徐々に溶解が進んでいると予想していた。ところが、古地磁気・岩石磁気測定の結果、PC4では最下部及び一部にパルス状に磁性鉱物溶解が起きている層準があるものの、コアの大部分では溶解は起きておらず、磁化率の減少は炭酸カルシウムによる希釈効果と陸源磁性鉱物の含有量の減少のためであり、それに伴い陸源・生物源磁性鉱物の量比が大きく変化していることが判明した。そのため、このコアは、陸源・生物源磁性鉱物の残留磁化獲得効率の違いと、その相対古地磁気強度推定への影響を研究するために適したコアであることが判明した。

コアPC4では、ARM及びIRMで規格化したNRM強度のうち、短波長の変動成分は標準曲線PISO-1500と類似し、相対古地磁気強度変動を保存しているように見える。さらに、特にARMによる規格化により求めた相対古地磁気強度において、コア深度とともに減少するトレンドも認められ、これが陸源・生物源磁性鉱物の量比のプロキシ

であるARM/SIRM比と逆相関していることから、陸源・生物源磁性鉱物の量比の変化が相対古地磁気強度に影響していると考えられる。相対古地磁気強度推定のためのNRM-ARM交流消磁プロットは下に凸の曲線となり、保磁力の低い区間から求めたNRM/ARM（相対古地磁気強度）が、保磁力の高い区間から求めたNRM/ARMよりも深度とともに減少する度合いが大きい。磁性鉱物の起源（陸源・生物源）と保磁力分布の関係の議論には、今後さらにFORC測定やIRM保磁力分析などの岩石磁気分析や透過電子顕微鏡による磁性鉱物観察が必要であるが、今年度の共同利用により、生物源・陸源磁性鉱物の堆積残留磁化獲得効率の違いを解明するための手がかりが得られたと考えられる。

コアPC3から暫定的に求めた相対古地磁気強度は、標準曲線PISO-1500と対比可能であった。磁性鉱物溶解が急激に進む層準の前後で磁性鉱物粒径や陸源・生物源磁性鉱物の量比が大きく異なるにもかかわらず、それが相対古地磁気強度推定に大きな影響を与えていないように見え、興味深い。今後さらに分析を進める予定である。

熊野沖南海トラフで採取されたコア（KPC04）についても、古地磁気測定（NRMの段階交流消磁、ARMの着磁と段階交流消磁）を行った。磁性鉱物の還元溶解は起きていないようであり、過去3万年程度の地磁気永年変動を記録していると考えられる。

採択番号 19A025, 19B023

研究課題名 海洋酸性化に対するウニの成長と棘の骨格組成の変化

氏名・所属(職名) 宮井 里紀・岡山大学大学院 自然科学研究科(修士課程2年)

研究期間 2019/10/7-11

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

産業革命以降、大気に放出された人為起源の二酸化炭素(CO_2)が海水に溶解することで海洋酸性化が進み、現在多くの海洋生態系への影響が懸念されている。中でも炭酸カルシウム(CaCO_3)の殻や骨格を形成する生物にとっては、炭酸イオン濃度が減少するため骨格形成が難しくなり悪影響が及ぶと予測される。しかし、その影響評価がなされていない生物も多い。そこで本研究では、方解石を棘や殻の主成分とし、日本の重要な水産資源の一つでもあるキタムラサキウニとエゾバフンウニを用いて飼育実験を行い、その成長と棘の化学組成や構造の変化から海洋酸性化の影響を明らかにすることを目的とする。

本実験で用いたウニは、以下の5つの二酸化炭素分圧(pCO_2 , μatm)条件で飼育したものである。(i) 2000, (ii) 1000, (iii) 700, (iv) 350 (原海水), (v) 250 (アルカリ添加区)。

これまでMg/Ca比やSr/Ca比の測定により、種ごとの元素含有量や各 pCO_2 区における飼育条件での溶解量の違い、または石灰化の影響を見てきたが、これらのウニに対する大気 pCO_2 の変化を記録することが知られている $\delta^{13}\text{C}$ の影響は報告されていない。炭酸カルシウムの殻や骨格を形成する生物の $\delta^{13}\text{C}$ は、古環境解析等に用いられてきた一方、高Mg方解石で作られている棘皮動物の骨格内の炭素は、古海洋復元に有用であるかは定かではない。本研究により、ウニの海洋酸性化の影響が大気 pCO_2 の潜在的なプロキシになり得るか解明することが期待される。また、本研究では1年以上にわたる海水掛け流し(開放系)の長期飼育実験をしており、水温も変化しているため、 $\delta^{18}\text{O}$ についても分析を行い、 $\delta^{13}\text{C}$ 同様、 $\delta^{18}\text{O}$ も古環境指標として有用であるか検討することも目的とする。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究で使用した棘試料は、飼育期間中の2017年5, 8, 11月と2018年2, 5, 9月, および2019年1月の計7ヶ月分について、120-150 μg 秤量の後、酸素・炭素同位体分析を行った。分析の結果、棘の $\delta^{13}\text{C}$ と飼育条件の pCO_2 について、逆相関関係が見られた(r^2 0.88)。一方、 $\delta^{18}\text{O}$ と pCO_2 の関係については有意な関係は認められなかった(r^2 0.11)。本研究では、約2年におよぶ長期飼育実験で得られたウニの棘を試料としているため、 pCO_2 との関係だけでなく、季節の違いに応じた $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の変動を見ることができた。その結果、 $\delta^{13}\text{C}$ では季節変化は見られないが、 $\delta^{18}\text{O}$ には季節変化が認められた。また、キタムラサキウニの殻長と体重の成長率について $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ をそれぞれ比較すると、どちらも正の相関関係を示した。

炭酸カルシウムの殻や骨格を形成する生物の $\delta^{13}\text{C}$ は大気 pCO_2 の潜在的なプロキシとして古環境復元に利用されており、高Mg方解石より作られている棘皮動物において

も、貴重な指標となり得ることが推察される。本研究から $\delta^{13}\text{C}$ は pCO_2 と逆相関になるが、季節変化は見られなかった。これにより、棘の $\delta^{13}\text{C}$ は海水温の影響を受けず pCO_2 のプロキシとなり得ると考えられる。Courtney and Ries (2015)による熱帯に生息する種である*Echinometra viridis*を用いた研究では、棘試料と培養液の溶存無機炭素(DIC)の酸素同位体($\delta^{18}\text{O}_e$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{DIC}}$)・炭素同位体($\delta^{13}\text{C}_e$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$)組成について分析したところ、 $\Delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}_e - \delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$)と pCO_2 は正の相関になったという報告がある。本実験では海水中の $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ を測定していないため比較はできないが、 $\delta^{13}\text{C}_e$ と pCO_2 の関係は本研究とCourtney and Ries (2015)の結果で異なっており、種によって棘の $\delta^{13}\text{C}$ の変動パターンが異なる可能性が考えられる。

また、本研究では海水掛け流し(開放系)の長期飼育実験をしているため季節変化による水温の変化を記録しているので、季節変化の見られた $\delta^{18}\text{O}$ について水温指標として有用であるか検証した。ウニの棘の $\delta^{18}\text{O}$ は、 pCO_2 の影響は特に受けなかったが、春から秋にかけて値が低下し、冬に向けて上昇する傾向が見られた。ウニの飼育に使用された濾過海水掛け流し時の水温記録と比較したところ、 $\delta^{18}\text{O}$ は温度に弱い逆相関となっていることが分かった。これは*E. viridis*を用いた実験結果とも整合的であった[Courtney and Ries, 2015]。よって、ウニの棘の $\delta^{18}\text{O}$ は海水温の変化を記録すると考えられ、古水温指標となることが期待される。しかし、水温指標としての実用化を目指すためには更にデータを集める必要がある。

また殻長と体重の成長率においては $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ のどちらも正の相関が見られたが、*E. viridis*における石灰化率と $\Delta^{13}\text{C}$ 、 $\Delta^{18}\text{O}$ の関係は有意な逆相関であった[Courtney and Ries, 2015]。また他の様々な石灰化生物についても石灰化率と $\Delta^{13}\text{C}$ 、 $\Delta^{18}\text{O}$ との間に逆相関関係が見られるという報告がある。($\Delta^{13}\text{C}$: ウミユリ [Gorzalak *et al.*, 2012], 浮遊有孔虫 [Bijma *et al.*, 1999], $\Delta^{18}\text{O}$: イシサンゴ [Erez, 1978; Land *et al.*, 1975; Weil *et al.*, 1981])。石灰化率は速度論的同位体効果の要因であり、生物起源の炭酸塩中の安定同位体分別への影響を評価する上で、詳細に検討していく必要があるだろう。

採択番号 19A026, 19B024

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 2019/8/5-9, 9/2-6, 2020/3/23-25

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。

昨年から新たに房総沖で掘削されたCK09-03, C9010Eコア中のテフラ層序の研究に取り組みはじめた。本コアには、伊豆諸島北部の新島、神津島、海底火山の大室ダシ起源の流紋岩質テフラと、そのほかの玄武岩質テフラ、また遠来の広域テフラが介在しているとみられ、それらの層序・編年を海底コアで確立することにより、伊豆諸島北部の火山活動史の年代観をより高精度に組むことが可能になると見込まれる。本コアの研究は首都大学東京火山災害研究センターの研究ミッションの一環で取り組んでおり、東京都の島嶼部の火山ハザード策定に資するものと考えている。

また、2011年後期以降2018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、追加分析、再分析が必要な5試料程度を分析することを考えている。アラスカ半島沖のSO202-27-6コアについては、Aoki（2020）が出版された。

IMAGES鹿島沖MD01-2421コア中の有孔虫洗い出し試料の残渣を顕微鏡で観察したところ、肉眼での岩相観察では見落とされていた関東地方、西日本の火山起源と考えられる複数のテフラ層準を発見している。2019年度は、有孔虫洗い出し試料の残渣試料についてさらに下位の層準、またこれまでの検鏡で検出した微小な火山ガラスの主元素組成分析を継続する。

また、2011年～2012年に本研究課題の一環として取り組んでいた津軽海峡の下北沖で採取されたMD01-2409コア中のテフラについて、下北半島で調査した際に新たな知見をもとに、5試料程度を分析する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

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。

2018年度から新たに房総沖で掘削されたCK09-03, C9010Eコアから314のテフラ試料を採取し、テフラ層序研究に取り組みはじめた。伊豆諸島北部の火山活動史の年代観をより高精度に組むことによって、東京都島嶼部の火山噴火シナリオを議論するための基礎資料になるものである。2019年度は研究の途中経過についてJpGU、日本第四紀学

会大会において発表し、現在投稿論文を執筆している。

2011年後期以降研究してきたSO202-INOPEXコア試料の一つであるアラスカ半島沖のSO202-27-6中のテフラ層について、*Journal of Quaternary Science* に投稿した論文が掲載された。

IMAGES鹿島沖MD01-2421コア中の有孔虫洗い出し試料の残渣試料から、これまでの火山ガラスの主元素組成分析の結果から浅間火山起源、鬼界アカホヤテフラと考えられる火山ガラスが見つかっており、2016度の学会発表で本コア中の男体山七本桜／今市テフラに対比されるテフラとともに浅間起源の火山ガラスの存在について触れた（青木・鈴木, 2016）。また、2016年度から2017年度の分析では、コア最上位の試料に混在している複数の火山ガラスについて、SEM画像で分析粒子を個別に記録しながら全火山ガラス粒子の分析を行った。有孔虫の炭素年代から江戸時代後期以降の火山噴火に伴う火山ガラスと想定され、浅間山、富士山のほかに、遠来と考えられる細粒の火山ガラスの起源について、桜島大正噴火に由来する火山ガラスに相当するガラスを見いだし、2018年第四紀学会大会で発表した。上記の結果について投稿準備をすすめており、2019年度は浅間火山起源の噴出物の分析結果について、*Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University* の55号に掲載された。

2018年に下北半島で調査した際に津軽海峡の海と陸を結ぶテフラ候補として採取した5試料を分析した。その結果、原子力規制委員会（2016）で示された下北半島における北海道南西部起源の濁川テフラ（Ng）の報告が間違っていること、さらにこれまでに報告されているどのテフラにも対比できないことを確認した。

採択番号 19A027, 19B025

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 2020/1/20-25

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】

Research Objectives:

- 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 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.

isotope analysis based on the samples I obtained from core 14HC at cold seeps of Tatar Strait during 2018 LV85 expedition cruise in order to reconstruct the paleoenvironment of the northern part of the Japan Sea and to identify paleo-seeps at this area. These samples are in waiting list due to IsoPrime maintenance.

【利用・研究実施内容・得られた成果】

During fiscal year 2019, I examined carbon and oxygen isotope of fossil benthic and planktonic foraminifera based on samples that obtained during 2015 Poseidon expedition cruise at Oki Trough in the southern part of the Japan Sea 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. Formerly, I examined isotope geochemistry of several foraminifera samples at Oki Trough (core K06R) in order to provide an adequate amount of data for reconstructing the paleo-oceanography of the Japan Sea during the last 850000 years and to compare its oxygen isotope profile with the global standard curve. During last year, I prepared the last parts of the samples for my research at KCC, which are in sample's waiting list due to IsoPrime's maintenance. With the results I can get from the last experiment, my experiment will almost be completed for this research and currently I am working on processing the isotopic data with other supporting data such as elemental analysis of foraminifera and water sample analysis and sediment data in order to comprehend the paleoenvironment as well as bottom and sea surface temperature in hope to complete my manuscript for this research.

In addition, during my last visit at KCC, I prepared several samples of foraminifera for oxygen and carbon

採択番号 19A028, 19B055

研究課題名 香川県小豆島・豊島における古第三系から得られた試料の元素含有量分析

氏名・所属(職名) 山下 祐磨・信州大学大学院 総合理工学研究科(修士課程2年)

研究期間 2019/8/19-25, 10/21-11/2

共同研究分担者組織 吉田 孝紀(信州大学)

【研究目的・期待される成果】

本研究の目的は古瀬戸内区に分布する古第三系について、堆積相解析と年代の分析、また堆積物中の粘土・泥・砂を分析することによって得られるデータから、当時の古環境を推定することである。西日本における古瀬戸内区の古第三系は、新第三紀以降の日本列島における活発な活動によって散在的に分布していることが知られている。そのため、堆積相解析や年代考証を含めた情報は十分であるとは言えない。またこれらの層の関係性においてもデータが不足しており、不明瞭である。本研究においては香川県小豆島および豊島に分布する古第三系土庄層群について堆積相解析を行い、前年度に行った淡路島における古第三系との比較を行うことを目的とした。

小豆島および豊島地域周辺には、この時代に堆積した陸成～海成堆積物が分布する。このうち、泥・粘土などの細粒堆積物内には硫黄(S)が含まれている。陸成泥質堆積物では全硫黄含有量が0.3%未満であるのに対し、海成泥質堆積物では0.3%以上の数値を示すことが知られている。このため、泥質堆積物の全硫黄含有量分析を行うことは、堆積当時の環境指示成分として扱う事が出来ると考えられる。また、C/N比は有機物を生産する生物種の違いを反映することから、陸域および海域のどちらの有機物生産が優勢であったかを分析するために有効である。この分析を行うことにより、地質踏査によって得られた情報および、堆積相解析による古環境の推定に更なる補強を行うことが期待される。

意義；西日本における古第三系は、新第三紀以降の日本列島の活動のために分布に乏しく、様々な検討がなされている。そのうち、古第三系土庄層群は渦鞭毛藻および貝化石による年代決定はある程度なされてはいるものの、その堆積環境および堆積年代、またその他の地域における古第三系との比較は十分になされておらず、この時期における古瀬戸内区における古環境変遷は不明瞭である。従って、古瀬戸内区における古環境変遷の理解のためには、散在的に分布するこれらの古第三系における詳細な年代の決定および堆積相の比較、およびそれによって得られる古環境の変遷について明確にする必要がある。そのためにも、本調査地域における堆積相・堆積環境を明確に決定することは、古瀬戸内区における古環境変遷を解明するために重要な課題であると考ええる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

四国地方が位置する西南日本では、漸新世から中新世にかけて生じた四国海盆の形成や日本海の拡大に伴う活発な構造運動により、新生界の多くは散在的に分布することになった。その結果、四国地方における古第三系および新第三系の古環境の復元は年代的な考察と比較して不十分であり、中でも四国地域の土庄層群と讃岐層群の

関係や土庄層群内の層序については未だ議論が多い。そこで本研究では四国地域における古第三紀から新第三紀の堆積物が分布する香川県北部の小豆島・豊島地域に分布する古第三系土庄層群(Saito, 1962)の海成層～陸成層および、讃岐層群下部の凝灰角礫岩・凝灰岩を対象として、地質踏査および調査を行い、岩相の記載を行った。また堆積相解析を行い、小豆島および豊島の土庄層群についてそれぞれ比較を行った。また同様に、瀬戸内区に分布する古第三系である淡路島における神戸層群岩屋層においても同様の調査を行った。結果として、香川県豊島および小豆島土庄層群の堆積期において2回、淡路島岩屋層の堆積期において1回の海進が生じていたことを推定した。また調査地域において、泥質岩を採取し、CNS分析を行った結果、有機炭素および総硫黄含有量は堆積環境と関係することがわかった。これらの結果から層序の対比を行った。先行研究における豊島・小豆島の土庄層群の対比においては、陸成層の伊嬉末層と豊島層下部、海成層の四海層と豊島層上部～唐櫃層が対比される(奥村・佐藤, 1999; 坂東・古市, 1978)とされてきた。しかし本研究においては、陸成層～海成層の伊嬉末層と豊島層が対比され、その上位の陸成層～海成層を示す四海層と家浦層～唐櫃層が対比されるとすることが妥当であると推定した。また古流向の測定から、伊嬉末層および豊島層堆積期には南東に向かって開いた湾が存在しており、海進期においては小豆島の方が先に海域が入ってきたことが推定される。しかしその後の家浦層および四海層のチャネルの方向はおおよそ南南西方向に向いており、このときの海進は南から海域の進行があったとみられ、豊島の方が先に進水したことが推定された。本研究におけるCNS元素分析の結果、堆積相解析によって得られた結果および岩相、堆積構造や包有物との比較を行うことによって、堆積環境推定に対しての支持を行うことが出来た。特に総有機炭素(TOC)については、堆積環境における陸原生有機物の供給についての支持を行うことが出来た。しかし全硫黄量(TS)および全窒素量(TN)についてはまだ議論の余地があるほか、全有機炭素(TOC)においても、始新世から現在までの間に層序が受けた熱を含めた続成作用による影響がどの程度であったのかという点に関してはまだ議論の余地がある。

採択番号 19A031, 19B028

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) 山田 昌樹・信州大学 理学部 理学科 地球学コース(助教)

研究期間 2019/9/4-6, 9/10-11

共同研究分担者組織 後藤 和久(東京大学), 駒井 武, 中村 謙吾, 石澤 堯史(東北大学)
西村 裕一(北海道大学), 石村 大輔(首都大学東京), 他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

2011年の地震・津波をきっかけとして、全国各地で津波堆積物の研究調査が盛んに行われるようになった。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。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コアスキャナー等の情報から、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た。本計画では、未測定分の試料分析を進めるとともに、Itraxコアスキャナーや μ -focus X-ray CTを用い、より高精度の津波堆積物認定法について検討する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2019年度の共同利用では、宮城県東松島市、北海道浜中町、青森県三沢市において採取された津波堆積物掘削試料の分析を実施した。

宮城県東松島市において、ハンディジオスライサーを用いて採取した津波堆積物の柱状コア10本(長さ1 m程度)については、Itraxコアスキャナーと μ -focus X-ray CTを用いて分析を行った。Itraxコアスキャナーから得られた津波堆積物の柱状コア表面の元素分布より、元素ごとにスペクトルの強度が、深度によって異なることが示された。このことから、各層中の元素分布は、層ごとに特徴があることが示された。また、 μ -focus X-ray CTによる内部観察でも、層ごとの孔隙分布の特徴を可視化することができた。得られた成果を用いて行ったデータ駆動型の解析では、頻度分析や主成分分析などに対して数理統計手法を用いることで、従来の堆積学的、古生物学的手法では得られなかった未判別の津波堆積物の層を判定・判別することができた。本研究で実施した分析及び解析を用いることで、高精度での地層試料中におけるイベント堆積物の識別判別方法を提案することが可能である。

北海道浜中町において採取された複数の柱状コア試料について、CTによる非破壊分析を行った。各柱状コア試料には泥炭層とそれに挟在する2層の津波堆積物(17世紀と12~13世紀に形成されたと推定される)が確認でき、CT画像から津波堆積物中のラミナ等の構造を詳細に確認することができた。また、1 mm間隔で撮影したCT画像を用いて津波堆積物と泥炭層の境界部を3次的に復元することで、津波による泥炭層の侵食の様子を可視化できた。さらに、同じ地域で採取された泥炭層でも含砂率や植物量に差があることがCT画像から確認できた。この差異は泥炭層の堆積環境を議論する際、重要になると考えられ、CTを用いることでそれらの情報について試料を破壊することなく得ることができた。

青森県三沢市において採取した柱状コア試料について、CTを用いた分析を行った。分析した柱状コア試料中には砂丘砂層、砂丘上に形成された土壌層、2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物が認められ、それらの堆積構造についてCT画像を用いて確認した。その結果、2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物からはラミナや級化構造といった、津波堆積物に特徴的な堆積構造を確認することができた。本地域では、2011年東北地方太平洋沖地震津波後から継続して調査を実施しており、今回得られた情報から津波堆積物の堆積後の経年変化についても議論できると考えられる。

採択番号 19A032, 19B029

研究課題名 ICDP DSeis計画 M5.5余震発生帯掘削コアの非破壊検査と定方位

氏名・所属(職名) 小笠原 宏・立命館大学 理工学部(教授)

研究期間 2019/5/15-16, 9/12, 9/30-10/20, 11/29-12/6, 12/17-20

共同研究分担者組織 矢部 康男(東北大学), 廣野 哲朗(大阪大学), 他 学生11名

【研究目的・期待される成果】

地震発生メカニズムの理解および地震発生場と大深度地下生物圏の関係の解明を目的として、2017-2018年に、ICDP DSeis計画(Drilling into Seismogenic zones of M2.0-5.5 earthquakes in South African gold mines; 申請者が代表者)が行われた。南アフリカのモアブ・コツォン金鉱山では、その下(地下約3.5~7km)を破壊した2014年M5.5オークニー地震(左横ずれ型)の余震発生帯上縁部とその周辺の掘削調査が、同鉱山の地下約2.9kmから行われた。

Hole A(817m長)はM5.5地震と余震とをホストした地質構造(以下M5.5ホスト構造)に約100mまで迫ることができたが貫通することができなかった。しかし、West Rand層群Jeppetown Sub GroupのRoodepoort, Crown, Babroscio層(29億年前)とそれらに貫入したDolerite質のシルをほぼ100%回収することができ、孔内物理検層を行うこともできた。掘削トレンドを少し変更したHole B(700m長)とSidetrack孔(Hole C 96m長)は、Hole Aと同じ地層を掘進し、Hole Aには見られなかったM5.5ホスト構造と交差することができた。交差部付近ではコアロスが数m分発生したがそれ以外はコアを回収することができた。しかし、Hole BとCは、孔が閉塞したため、閉塞部とその奥の孔内物理検層を行うことができていなかった。コアのCTスキャン等の追加分析も行えると理想的であった。Hole BとCは、孔内光学テレヴィューワーでの観察ができなかったためコアの定方位ができていなかった。残留磁気定方位ができるかどうかを評価する必要もあった。そこで、Hole BとCのM5.5ホスト構造交差部近辺(Crown層(約29億年前の安山岩質玄武岩溶岩層)とDoleriteシルとLamprophyreダイク)と、比較のためのHole AのCrown層とDoleriteシルを日本に輸入することにした。本研究の目的は、高知大学海洋コア総合研究センター(以下KCC)の優れたスタッフのお力添えを頂き、優れた設備で、これらのコアの物理・化学物性と断層構造の詳細を明らかにすることであった。

地震発生場の掘削とこれだけの量のコア試料回収に成功した例は他にないため、ユニークな成果が得られると期待されていた。

【得られた成果の概要】

南アフリカからKCCに輸入されたものは、Hole A, B, およびCの、総掘削長約150mの区間から回収された約140m長分のコア、総重量約880kgであった。これらはM5.5ホスト構造を含むもので、各コアピースは、Intactなコアでも数十cm長より短く、断層角礫や断層ガウジはcm大から粉末状のものまでを含んでいた。輸入されたすべてのコアに対し、MSCL(密度・磁化率・ γ 線)および医療用X線CTスキャンを行った。M5.5ホスト構造のtalc含有量に

違いがあるコアや、熱水変質しているコア、条線が見られる破断面を持つコアについては、micro-focus X線CTスキャンを行った。

M5.5ホスト構造と交差したHole BとCでは、交差点の少し手前で孔が閉塞し、孔内物理検層を行うことができていなかった。KCCでは、孔の閉塞部から約30~40m奥までのコアに対しMSCLによって密度・磁化率・ γ 線分布を測定することができ、貴重なデータを得ることができた。

昨年度のうちに、M5.5ホスト構造で回収された断層ガウジや周囲の岩石についてXRD分析ができていた。これらのサンプルに対しXRF分析を加え、XRDの鉱物解釈を補強することができた。talcを多く含むコアには、弾性波速度も測定した。

これらの結果、M5.5ホスト構造が、マントル起源のLamprophyre Dykeであることを地球化学物性的・鉱物学的に特定することができた。このLamprophyre Dykeは物理物性的にも顕著な違いを持っていることも明らかにすることができた。

Dolerite質のシルの残留磁気を基準にするとHole BやHole Cのコアの定方位が出来る可能性があることも確認できた。

【利用・研究実施内容の概要】

2019年5月15日~2019年5月16日: ゴールデンウィークに小笠原が南アからチェックイン荷物で持ち帰ったコアサンプル数kgに対し、予備解析として高知大学海洋コア総合研究センター(以下KCC)でMSCL(密度・帯磁率・ γ 線)とX-Ray CTスキャンを実施した。

2019年6月: 5月のKCCでの予備分析の経験を考慮に入れ、南アフリカにおいて、輸出すべきコアの最終選別とラベリングとパッキングを完了した。

2019年9月10日: 船便で神戸に到着したコアが、通関後、KCCに到着した。

2019年9月12日: 小笠原がKCCで、コアの着貨を確認。分析の進め方について打ち合わせを行った。

2019年9月30日~2019年10月20日: 南アフリカ共和国Witwatersrand大から修士院生2名を迎え、立命大院生2名、阪大院生1名と共に、小笠原・矢部・廣野の監督指導の下、コアのMSCL, X-Ray medical CTスキャン, XRF分析を行った。

2019年11月29日~2019年12月6日: 小笠原と立命学生4名が未完であったMSCLを完了した。弾性波速度測定, Micro Focus CTも実施した。

2019年12月17日~2019年12月20日: 廣野と阪大院生2名が断層物質のSEMによる微小変形構造分析を行った。

採択番号 19A033, 19B030

研究課題名 マイクロフォーカスX線CTによる岩石試料表面と導電性エポキシ樹脂製電極の接着面観察

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 2019/9/25-28, 2020/2/26-28

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スキャンの対比を行い、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、比抵抗トモグラフィ測定において電極として使用する導電性エポキシ樹脂と岩石試料表面間の接着面を高解像度で撮像し、そこで接触抵抗を生んでいる構造の空間スケールを明らかにする。加えて、良好な接触状態を実現するために必要な接着条件の検討を行う。

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。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、基礎的情報が得られるものと期待する。

本研究の最終的な目標に対し、本共同利用・共同研究は、接触抵抗の軽減に有効な電極接着手法を確立できる可能性がある。これにより、接触抵抗の低減による、安定した電流の印加・電圧の測定が可能になると考えられ、高精度な比抵抗トモグラフィ測定に資する技術の確立が期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

申請者は、令和元年9月25日から27日までの3日間と、令和2年2月26日から27日までの2日間、合計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、申請者はマイクロフォーカスX線CTスキャナを使用し、花崗岩試料表面と電極間の接着面を撮像した。また、撮像のために必要な試料のカッティングと試料の乾燥についても、岩石カッターと定温乾燥機を使用し、それぞれ実施した。

申請者はまず、電極として使用する導電性エポキシ樹脂の塗布の手順を変えたとき、接触面の様相に変化があるかを調べた。樹脂を載せてそのまま乾燥させるか、樹脂を載せた後、樹脂をヘラで伸ばしながら岩石に対して押し込むように塗って乾燥させるか、2条件を用意した。次に、塗布の手順は揃えて、乾燥時の接着面の向きを鉛直上向き・下向きと変えたとき、接触面の様相に変化があるかを調べた。撮像する岩石試料の形状は、一辺およそ20mm程度の大きさの扇柱とし、その表面に10mm四方の正方形電極を貼り付けた。

撮像により、ピクセルサイズ約4 μ mで接触面のCTイメージを取得することができた。この分解能は一般的な医療用CTの約1000倍であるため、非常に高分解能な撮像に成功したといえる。撮像したCTイメージから、導電性エポキシ樹脂と試料表面の間には数10 μ mの空隙が存在していることが明らかになった。接触面において空隙が占める割合は接触面上でバラつきがあり、少ない領域では殆ど空隙が存在せず、多い領域では30%前後であった。加えて、空隙の存在量は、押し込むように樹脂の塗布を行った方が少なくなるという結果が出た。また、鉛直上向きに乾燥させた方が、鉛直下向きに乾燥させるよりも空隙が少なくなった。しかし、その差は樹脂の塗布方法の違いによるものより小さかった。

CTイメージで確認された空隙が接触抵抗にどの程度の影響を及ぼしているかを調べるため、今回撮像した電極と同寸法の電極と花崗岩試料表面間の接触抵抗も調べた。様々な湿度条件で抵抗測定を行い、測定された抵抗から数値計算を用いて試料抵抗と接触抵抗を分離し、接触抵抗を求めた。そこから簡単なモデルを用いて、見かけの電極面積に対して真の接触面積が占める割合を推定すると、低湿度でおよそ1000分の1、高湿度でおよそ10分の1程度であった。これより、上述のCTイメージで空隙が確認されなかった箇所についても、限られた場所にしか電流が流れていないことが分かった。これより、ピクセルサイズ約4 μ mでは検出できていない、非常に微細な構造の存在が示唆された。

上述の結果から、接触抵抗を生んでいる構造の空間スケールは数10 μ mから4 μ m以下にまで及ぶということが明らかになった。また、CTイメージで確認された数10 μ mの空隙を減らすには、導電性エポキシ樹脂を試料表面へ押し込むようにヘラで塗布することと、接着面を鉛直上向きにしてそれを乾燥させることが有効であると分かった。

採択番号 19A034, 19B031

研究課題名 室戸ユネスコ世界ジオパークにおける漂着軽石の起源についての研究

氏名・所属(職名) 中村 有吾・室戸ジオパーク推進協議会(地理専門員)

研究期間 2019/11/21

共同研究分担者組織 高橋 唯(室戸ジオパーク推進協議会)

【研究目的・期待される成果】

室戸半島の先端に位置する室戸ユネスコ世界ジオパーク(以下、室戸UGGp)の海岸部には多数の漂着軽石が転石として分布している。これら漂着軽石は遠隔地の火山地域から海流によって運搬されたものと推定される。

本研究では、この漂着軽石の主成分化学組成を明らかにすることで、給源火山を特定する。漂着軽石の供給源が明らかになれば、日本列島沿岸の潮流の傾向、さらには、北西太平洋における黒潮の流れる経路を明らかにできる。太平洋に突き出した室戸岬付近には黒潮で運搬されてきた様々な軽石が漂着していることを申請者らは把握しており、黒潮流域における漂着軽石の研究において室戸UGGpはサンプル採取が最も容易な地点の一つである。

室戸市の住民は日ごろから海岸に接しており漂着軽石の存在にも気づいているが、その起源や地球科学的意味については意識していない。ジオパークにおける地域住民への普及啓発を進める上でも、漂着軽石の研究成果は格好の教材となるであろう。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

室戸UGGpの海岸において現地調査を行ったところ、礫浜、砂浜など堆積物の存在する海岸ではいずれも漂着軽石の存在が確認できた。本研究では、室戸半島の西側、先端付近、東側のそれぞれの海岸(礫浜)で、試料採取に当たって自然公園法による規制範囲とならない地域(室戸市吉良川町、室戸岬町高浜、室戸岬町椎名)の、潮間帯よりやや上の後浜である。いずれの地点でも、数ミリ以上のサイズの漂着軽石が、海岸線ぞいの100メートル程度の範囲に10~30個認められた。漂着軽石は、粒径数mmから最大8cmまでとばらつきがあるが、色調は灰白色から灰色のものが多く、一部でにぶい黄橙色を呈する。いずれもよく発泡している。各地点において、30個程度の軽石を採取した。

今年度の分析では、吉良川町の海岸で採取した試料のうち、比較的粗粒(2~8cm)の軽石5個を選別し、分析試料とした。高知コアセンター所有の岩石試料処理施設において岩石薄片を作成し、試料の研磨、鏡面処理、炭素蒸着を行ったうえで、電子線マイクロアナライザ(EPMA)によって主要9元素を定量した。

主要元素の測定結果によると、 SiO_2 は77~78%の範囲にあるが、 K_2O の比率が3.5~3.8%の試料と1.1~1.2%の試料が見られた。 K_2O 比の低い試料は、 FeO 、 CaO 、 Na_2O 比が他より若干高い傾向にある。このように、室戸半島海岸(吉良川町)で得られた漂着軽石には2つのタイプが存在することがわかった。

調査地の周辺(四国エリア)には活火山が存在せず、また、高知県内には漂着軽石の起源となるような火山砕

屑物の大規模堆積地域は存在しない。よって、室戸半島海岸の漂着軽石は海流(黒潮)に流されてきたと考えられる。黒潮の上流にある九州には、次に示す第四紀火山(大規模火砕流堆積物)が存在する:阿蘇カルデラ(Aso-4)、始良カルデラ(AT)、鬼界カルデラ(K-Ah)、など。また、さらにその西南方にあるフィリピンのピナツボ火山は、1991年に大規模火砕流噴火したことが知られている。そこで、これらの火砕流堆積物の組成と、室戸半島海岸で得た試料を比較した。

漂着軽石のうち量の多い試料(K_2O が3.5~3.8%の軽石)の組成は、今回比較した火砕物の中では南九州・始良カルデラ起源の火砕流堆積物(AT火山灰)と類似していることから、始良カルデラ起源の軽石である可能性が示唆される。

本研究は、現時点では分析点数が少なく今後も野外調査及び室内分析を継続する必要がある。しかし、室戸UGGp内の海岸で採取された漂着軽石の起源が明らかになれば、室戸UGGpが広く他の地域と「ジオストーリー」でつながることを地域住民が認識し、ジオパークネットワークと共有することができる。

将来的には国内外のジオパーク地域と協力して、漂着軽石やその給源となる火山噴出物について調査・分析のネットワークを広げることを計画している。

採択番号 19A035, 19B032

研究課題名 魚介類地方品種の遺伝的集団構造の把握と日本列島の成り立ちがそれらの集団構造の形成に及ぼす影響

氏名・所属（職名） 關 伸吾・高知大学 農林海洋科学部（教授）

研究期間 2019/7/17, 11/12-13, 12/20, 12/26-27, 1/7

共同研究分担者組織 学生3名

【研究目的・期待される成果】

ミトコンドリアDNAを遺伝標識として用いて魚類の遺伝的集団構造の把握を行い、同じ種でも遺伝的に異なる地方品種が数多く存在すること、それらの集団構造は日本列島の成り立ちと深く関連性をもつことを明らかにすることを目的としている。実験対象として、純淡水魚および両側回遊の生活史をもつ種について遺伝的集団構造を把握することが、国内での非意図的放流による拡散（国内外来種）の把握や、それらの由来を判定することにも貢献し、地方品種の保全の在り方を提起することができる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今回は、実験対象として、純淡水魚であるアカザおよびムギツク、両側回遊の生活史をもつテナガエビ類の遺伝的集団構造を把握することを目的とし、母系遺伝であるミトコンドリアDNAを遺伝標識として用いてそれらの遺伝的集団構造の把握を行い、同じ種でも遺伝的に異なる地方品種が数多く存在すること、それらの集団構造は日本列島の成り立ちと深く関連性をもつことを明らかにした。また、それらの集団構造を把握することが、国内での非意図的放流による拡散（国内外来種）の把握や、それらの由来を判定することにも貢献し、地方品種の保全の在り方を提起する上でも貢献している。

ムギツクについては、まず、瀬戸内海の東西で大きく東瀬戸グループと西グループの2つに分かれ、さらに西グループ内で西瀬戸グループと九州グループに分かれていた。一方、福井県北川、滋賀県愛知川、和歌山県真国川では、それらのグループには含まれない特異的なハプロタイプが検出された。特に愛知川グループと北川グループは東瀬戸グループと西グループの中間に位置していた。このような結果を、これまで調べてきた純淡水魚の遺伝的集団構造と対比させることで、日本列島の成り立ちをより詳細に把握することが可能となった。アカザについては、ミトコンドリアDNAからみた場合に遺伝的に明らかに異なり、別種ではないかともいわれている2つの系統の存在が知られている。この2系統については、高知県においては中央部がその境界域となっている。そこで高知県中央部に調査を絞り、中央部の各河川（物部川、国分川、鏡川、仁淀川、新荘川）を詳細に調査することで、それらの遺伝的集団構造の詳細を把握した。また、並行して核遺伝子の1つであるアロザイムについても検討した。その結果、ミトコンドリアDNAからは鏡川が両系統の混合域になっていること、一方、アロザイムからは、鏡川・仁淀川で遺伝的に違いがあるものの、ミトコンドリアDNAとの明確な対応はなく、両系統が遺伝的に明らかに異なる別種とはいえないことが明らかとなった。テナガエビおよびミナミテナガエビについては、西日本を中心とし

た各河川の標本群について解析を行い、両種とも少なくとも西日本では遺伝的に明確に分かれた分集団を形成しておらず西日本全体ではほぼ均質である可能性が高いことが示唆された。なお、テナガエビは高知県では現在資源量の減退が問題となっており、将来的な種苗放流等の可能性が考えられている。テナガエビ類に限らず、今回得られた情報は、多く見られる地方品種の遺伝的多様性保全の一助となるものと思われる。

採択番号 19A036, 19B033

研究課題名 日本海溝地震性タービダイトの磁気異方性からみた堆積特性の研究

氏名・所属（職名） 金松 敏也・国立研究開発法人 海洋研究開発機構 海域地震火山部門（専門部長）

研究期間 2019/11/27-29

共同研究分担者組織 臼井 洋一（海洋研究開発機構）、池原 研（産業技術総合研究所）

【研究目的・期待される成果】

東北地方太平洋沖地震以降の海底調査により、水深7,500mを超える日本海溝に歴史時代の超巨大海溝型地震に対応する厚層細粒タービダイトが保存されている事が報告された。超巨大地震の地質記録としては陸上の津波堆積物が注目されてきたが、東北沖の地震に関しては海溝に堆積したタービダイトも地震履歴を理解するための重要な情報である事が示された。大水深の堆積物である故に解析手法に限りがあるが、古地磁気・岩石磁気解析を適応して研究を進めている。磁気解析において細粒なタービダイトを明確に識別し、DRMを古地磁気方位検討から排除する必要がある。細粒な海溝底のタービダイトの認定には、いくつかの方法が考えられるが、帯磁率異方性を利用した堆積時の粒子配列を利用する事を考え、その基礎データを収集することを目的とし、多機能な帯磁率異方性測定装置の使用によりその特徴化を進める。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

東北地方太平洋沖地震以降の海底調査により、水深7,500mを超える日本海溝に、歴史時代の超巨大海溝型地震に対応する厚層細粒タービダイトが保存されている事が報告されており、この厚層細粒タービダイトがどのように海溝に形成されたのか知るため、古地磁気・岩石磁気学的に粒子ファブリック配列や粒度変化を研究した。

海溝に堆積した厚層タービダイトの古地磁気方位は、タービダイトの下底面で急激な偏角のシフトを示し、堆積時のハイドロダイナミクスを反映している可能性が考えられる。一方従来、古流向解析に用いられるタービダイトの帯磁率異方性は、リニエーションが小さく、フォリエーションが大きい事で特徴づけられるタービダイトがある事が分かった。このタービダイトは半遠洋性よりもフォリエーションが発達しており、堆積時に圧密が卓越する状況があった事が考えられる。

今回の試料の帯磁率の主な担い手は、常磁性の粘土鉱物と考えられ、一方、古地磁気は強磁性鉱物が担っていると考えられる。それぞれの堆積時、堆積後の粒子レベルの配列構造が反映されていると考えられる。

採択番号 19A038

研究課題名 海洋ハンレイ岩掘削試料中の斜長石を用いた第四紀の平均地磁気強度の研究

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 海域地震火山部門
火山・地球内部研究センター 地球物理観測研究グループ（研究員）

研究期間 2019/7/25-26, 8/20-9/4, 9/19-27

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】

徐冷した海洋斑レイ岩を用い、第四紀の地球磁場強度の平均値を求めることを目指す。先行研究では急冷した火山岩によるスポット強度を多数取得し、それを何らかのクライテリアで平均して平均値を求めているが、半世紀にわたるデータの蓄積をもってしても広く受け入れられる値を得ることに成功していない。本研究では、年代と冷却史が比較的良好にわかっている海洋斑レイ岩の掘削試料から斜長石や石英を分離し磁気測定を行い、海底での変質作用の影響を除外して古地磁気方位と強度を復元することを試みた。単結晶測定により高品質な古地磁気強度データの取得が期待される上、第四紀では堆積岩による相対古地磁気強度変動も得られており、これと本研究で得る平均古地磁気強度を合わせることで、ダイナモプロセスの理解も促進されると期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

申請者所属機関において顕微鏡観察や自然残留磁化強度の測定を行い、コアセンターでの測定用の斜長石単結晶試料を100試料程度用意した（後述するように実際の測定は28試料について行った）。まず7/26に、今回新たに作成した測定用の試料ホルダーをテストし、8月・9月に計3週間程度測定を行った。

まず18試料について綱川－ショー法による古地磁気強度を適用した。これは自然残留磁化と実験室で与えた熱残留磁化を交流消磁し、各ステップで強度の比をとることで自然残留磁化を与えた過去の地磁気強度を推定し、さらに追加の熱残留磁化を与え実験室での熱変質も見積もる方法である。予想に反し、いずれの試料も採用基準を満たすことは出来なかった。形式的には実験室の熱変質を示唆する結果となったが、同時に自然残留磁化の消磁において、ほぼすべての試料がかなり高い消磁強度（ $> 80\text{mT}$ ）まで原点に向かわない振る舞いを示すことが観察された。基本的な綱川－ショー法では原点に向かう自然残留磁化成分を用いることになっているため、今回の解析では大部分の磁化を使用しておらず、これがデータの質を著しく損ねている可能性がある。一方、単結晶でなくバルク試料を消磁した場合、 20mT 程度で二次磁化が消え原点に向かうことから、今回測定した単結晶試料の振る舞いは二次磁化ではないと考えられる。一つの説明として、高い磁気異方性が影響していることが推定された。

古地磁気強度実験に困難を生じる主原因とみられる高い異方性についての知見を深めるために、続いて10試料について、保磁力、ブロッキング温度と磁気異方性の関連を調べた。斜長石単結晶に9方向の非履歴性残留磁化を与え交流消磁を行い、異方性と保磁力の関係を調べた。続いて、交流消磁の際に方位の変動が見られた着磁方向

について、非履歴性残留磁化の熱消磁を行い、異方性とブロッキング温度の関係を推定した。実験中のトラブルにより4試料のみ結果が得られたが、いずれの試料においても保磁力で異方性が大きく変化し、大きく分けると3種類の組織が複合しているようである。熱消磁においても2-3種類の組織の存在が示唆されたが、意外なことに高いブロッキング温度の成分は低い保磁力の異方性に類似していた。自然界においては変成作用など温度変動が主に起こるため、高いブロッキング温度の成分が一般に初生磁化である可能性が高い。したがって、交流消磁で原点に向かう成分を利用する古地磁気強度プロトコルをそのまま斜長石単結晶に適用することは、一般には正しくないということがわかった。この結果を踏まえ、大きな異方性の存在下でも適用できる古地磁気強度実験手法を開発していく。

採択番号 19A039

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微化

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（助教）

研究期間 2019/9/24-25

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】

本研究の目的は、従来の岩石物理学では取り扱いが困難であるフラクチャーを含む不均質な岩石の地震波特性をモデル化するために、X線CTスキャナで取得したデジタル画像データの解析手法を開発することである。

従来の手法では、ある岩石サンプルの内部構造について均質な弾性波速度や密度、クラック密度分布を仮定したモデル化が行われる。一方、本研究で開発を目指す手法では、X線CTスキャナによるデジタル画像から推定される3次元密度分布を元に、ピクセルごとの不均質性を考慮したモデル化をすることができる。

本研究では、昨年度の共同利用の研究で行った岩石物理モデルを改良し、岩石サンプル内部の3次元密度分布を考慮しながら、フラクチャー情報（例えば、クラック形状）をモデル化できる手法の開発を試みる。この手法が確立されれば、従来の岩石物理学では困難であったフラクチャーを含む不均質な岩石サンプルに対し、その弾性特性をモデル化することが可能になる。

また、不均質性の異なる岩石サンプルに対し適用性を拡張するために、異なる岩石サンプルのデジタル画像データを取得し、提案手法の適用性を検討する。

【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、IODP Exp. 358で取得された4種類の岩石サンプルを利用し、 $1.9\mu\text{m}$ ～ $32\mu\text{m}$ の解像度の異なるデータを取得した。

取得した画像データの分析およびモデリング手法の開発

岩石のデジタル画像データから、岩石内部の3次元密度分布を考慮しながらクラックをモデリングする解析手法を開発した。具体的には、（1）密度の実験値を元に各ピクセルのCT値から各ピクセルの密度を推定する。さらに（2）鉱物を仮定し、各ピクセルの間隙率分布を推定する。最後に（3）ピクセルごとの間隙率および鉱物の弾性定数を元に有効媒質理論を適用し、各ピクセルに弾性定数を割り当てる。この際、あるアスペクト比をもつクラックの影響を考慮できるDifferential Effective Medium (DEM) (Mukerji *et al.*, 1995) を導入することで、岩石内の不均質な密度分布とクラックの影響を考慮できるモデリングを提案し、適用した。

以上のプロセスにより、岩石のデジタルデータから、任意のアスペクト比のクラックを仮定した岩石の3次元弾性体モデルを構築することができる。さらに構築した3次元弾性体モデルに弾性波動シミュレーションを適用することで、岩石サンプル全体の弾性特性を定量的に得ることができる。しかし、デジタルデータからピクセルサイ

ズより小さいクラックの形状（アスペクト比）を決定することは困難であるため、実験値との比較によるアスペクト比の決定が必要である。そこで、P波・S波速度の実験値が既に計測されていた昨年度の共同利用でデジタル画像を取得した延岡衝上断層のサンプルを用いて、アスペクト比の決定を試みた。その結果、クラックのアスペクト比を0.075と仮定したモデルを適用すると、実験値との誤差が数%以内のシミュレーション結果が得られることがわかった。

しかし、モデリングにおいては、岩石内の粒子が岩石のフレームに支持されるか、流体に支持されるかその境界となる密度を定義するcritical porosityもパラメータとなっている。仮定したアスペクト比ごとに実験値に整合性の高いcritical porosityの値が存在する傾向がわかったため、さらなる実験値による制約が必要であることがわかった。以上の内容は物理探査学会第141回学術講演会において発表している。

IODPで得られたサンプルの画像データを用いたアスペクト比の検討については、非常に柔らかいサンプルも含まれていたため、弾性波速度の実験値の取得に課題があるが、引き続き検討を進めていく予定である。

採択番号 19A040, 19B035

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・東京大学 大気海洋研究所(特任研究員)
*~2019/09 東北大学大学院 理学研究科(研究補佐員)

研究期間 2019/10/28, 11/25-12/10

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)はこの仮説を検証するために、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は、未だに国際的な議論が続いている。この議論の決着には、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100年以上の連続した古地磁気記録が必要である。

IODP第363次航海の掘削サイトのうち、オーリピック海膨(Eauripic Rise)にて掘削されたサイトU1490は遠洋域かつ速い底層流の影響で酸化的な環境であり、磁性鉱物の溶解が起こりにくく、古地磁気記録の保存が良いことが示唆されていた。船上での測定により、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る希少な深海堆積物試料であると判明した(Rosenthal *et al.*, 2017)。サイトU1490の長尺コアの特徴を生かし、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ができる。

一方、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、生物源磁鉄鉱の量比の変動が影響することが分かっている(例えばYamazaki, 2013)。したがって、残留磁気の測定と同時にFORCダイアグラム作成や強磁性共鳴測定(東北大学化学専攻にて実施)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。

2019年度共同利用では、特に長尺コア最深部の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・測定と、採取済みのUチャンネル試料全体における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100万年~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、パルス磁化器、およびスプリットコア用マルチセンサーコアロガー(MSCL-S)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(ARM)・等温残留磁化(IRM)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帯磁率測定

【実施内容】

2019年3月に追加採取したIODP Site U1490最深部のUチャンネル試料(2×2×150cm)35本について、2019年10月~12月までの2回の訪問で、自然残留磁化方位と強度、非履歴性残留磁化と等温残留磁化の強度測定を行った。2019年11月~12月の利用ではMSCL-Sを利用して帯磁率測定を行い、前年度に測定を終えた30本と併せて、採取済みの試料119本すべてについて測定を終えた。

【得られた成果】

過去の共同利用で行った残留磁気測定とあわせて、現在~約170万年前と約870~1800万年前の古地磁気方位の逆転を46か所同定し、年代値を決定することができた。また、測定した帯磁率、相対的な古地磁気強度変動、磁性鉱物の起源の指標となるARM/IRMの変動を比較したところ、帯磁率・相対古地磁気強度変動とARM/IRMが逆相関する傾向が認められた。この逆相関関係について解釈するため、今後、透過型電子顕微鏡観察やFORCダイアグラム作成等の測定を大気海洋研究所において追加で実施し、結果を国際誌に投稿する予定である。

採択番号 19A041, 19B036

研究課題名 鹿児島県中甕島に分布する始新統中甕層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 甕はひとつ推進課(グループ員)

研究期間 2020/1/21-2/1

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、鹿児島県上甕島に分布する上甕島層群中甕層と、熊本県天草地域に分布する弥勒層群赤崎層からは、国内最古の古第三紀哺乳類化石群集が見つかった(Miyata *et al.*, 2011)。これらの地層はいずれも河川堆積物と考えられており、年代決定に有効な化石をほとんど含まない。そのため、堆積年代は、上位に位置する海成層の石灰質ナノ化石の年代と、赤崎層から報告された古地磁気層序によって、前期-中期始新世境界付近と推定されている(Miyata *et al.*, 2011)。しかしながら、赤崎層から報告された古地磁気方位は、二次的な化学残留磁化によるものであるとの指摘もある(Ishikawa, 1997)。また近年、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±0.5 Ma, 50.7±0.8 Ma)が示されている(宮田ほか, 2018, 2019)。このように、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った。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】

調査地は、鹿児島県北西部に位置する甕島列島北部の上甕島である。上甕島には、古第三系上甕層群の下部にあたる中甕層が広く分布している。中甕層は層厚約700mで、赤色泥岩を特徴的に挟む、礫岩・砂岩・泥岩の互層からなる。本研究では、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、主に赤色泥岩を採取した。柱状図全体をカバーするように35サイトにおいて試料採取を行い、高知大学海洋コア総合研究センターにおいて、83試料に対して段階熱消磁および自然残留磁化の測定を行った。段階熱消磁は、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℃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。また、8試料に対しては磁気天秤を用いた熱磁気分析

も行った。

熱磁気分析の結果、赤色泥岩が含む主要な磁性鉱物は顔料赤鉄鉱と鏡赤鉄鉱であり、一部、磁鉄鉱や水酸化鉄鉱物を含むことがわかった。また、Ishikawa(1997)で指摘されていた熱変質による影響はほとんど見られなかった。次に、段階熱消磁の結果をもとに主成分分析を行った結果、主に3つの独立した自然残留磁化成分が確認でき、低温成分から順にA~C成分と名付けた。この中で、630-700℃の区間で消磁されるC成分の方位をもとに逆転テストを行うと、傾動補正後におおよそ北西-南東方向の対蹠的な方位に分かれた。この成分は鏡赤鉄鉱が担っていると考えられ、初生磁化方位を記録している可能性がある。

C成分の方位と柱状図をもとに、古地磁気層序を立てた。その結果、全体的に逆磁極期になり、中部に短い正磁極期を挟むことがわかった。前述したように、宮田ほか(2018)は中甕層上限付近の凝灰岩から50.2±0.5Maおよび50.7±0.8Maのウラン鉛年代を報告し、宮田ほか(2019)はそれより下位の地層から見つかる哺乳類群集の年代を、哺乳類時代ブリッジリアン前半であると推定した。この時代は、1回の正磁極期を挟む逆磁極期で特徴付けられるため(Ogg *et al.*, 2016)、今回の結果と調和的である。これらの結果から、中甕層は約50~52Maの間に堆積したと推定される。しかしながら、柱状図間の対比が不十分であり、データ密度の低い区間もあるため、今後は柱状図の対比を野外で確認し、より多くの層準から古地磁気データを得る必要がある。

採択番号 19A042, 19B037

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 2019/11/8-13, 2020/1/20-23

共同研究分担者組織 大野 正夫(九州大学), 畠山 唯達(岡山理科大学), 山本 裕二(海洋コア)
加藤 千恵(九州大学)

【研究目的・期待される成果】

考古試料に記録された残留磁化を実験的に復元し、年代ごとに集成して構築された「地磁気永年変化曲線」は地球深部のダイナミクスの究明のほか、考古遺物の年代決定などにおいても活用することが可能である。このうち考古地磁気方位に関しては、1970年代に過去2000年を網羅する永年変化曲線が構築され、考古学の現場において多くの活用例が報告されている。その一方で考古地磁気強度に関しては、80年代にデータセットが公開されたものの、データ数が方位に比べて圧倒的に少ないほか、現代的な視点から見れば、実験手法が古いゆえにその信頼性には疑問が呈されている。このような背景を踏まえ、申請者らは現在、古窯の焼土を中心とする考古試料に最新の実験手法を適用し、過去数千年を網羅する考古地磁気強度永年変化曲線を新たに構築するための研究に取り組んでいる。

現時点までの成果としては、まず佐山東山奥窯跡(岡山県備前市)で採取された焼土に対して最新の実験手法である綱川-ショー法とIZZI-テリエ法を適用し、考古地磁気強度を復元してその結果の一致を確認することによって、両手法による強度復元の正確性を保証することができた。続いて陶器窯跡群(大阪府堺市・和泉市)に属する複数の窯跡で採取された焼土に対して綱川-ショー法を適用し、強度復元を試みた。その結果として39ヶ所の窯跡に属する98個の試片から考古地磁気強度を復元することができた。最終的に土器編年の型式ごとに集成し、韓国で報告されたIZZI-テリエ法による強度データセットと組み合わせて、西暦200年~1100年を網羅する東アジアにおける強度永年変化曲線を構築することができた。

今後は、引き続き同様の手法を用いて実験を進めることにより、考古地磁気強度データセットの充実を図るとともに、新たな試料を追加することによって、永年変化曲線の年代区間を拡張する足掛かりとしていきたい。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本共同研究においては、日本における考古地磁気強度データセットの年代区間の拡張を主な目的として、申請者らは2019年の11月8-13日、および2020年の1月20-23日の計9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、佐賀県の甕屋窯跡で採取された焼土試料10点に対して綱川-ショー法の適用による、同窯跡操業当時の考古地磁気強度の復元を実施した。甕屋窯跡は佐賀県武雄市東川登町に所在する陶器窯跡であり、2018年に九州新幹線のルート建設工事に伴う緊急調査において発掘され、歴史文献等の情報と併せて、その操業年代は17世紀後半~18世紀後半(~1725±75年)であると推定されている。実験はYamamoto *et al.* (2003) の論文に

書かれた手順を参照し、交流消磁装置付き全自動スピナー磁力計(夏原技研製 DSPIN)および熱消磁装置(夏原技研製 TDS-1)、特製の低温消磁装置を用いて実施した。結果として、綱川-ショー法実験を実施した全10試片のうち2個の試片からYamamoto *et al.* (2003) にて提示された合格基準を満たすデータが得られた。(試片THK-12-bから38.0μT, 試片THK-12-bから36.7μT, 平均37.3±0.9μTという結果が得られている。)

続いて、本研究において得られた上記の強度値を、Kitahara *et al.* (2020, 投稿準備中)において報告している考古地磁気強度データセット(および永年変化曲線)と組み合わせ、西暦200~1725年周辺にかけての地球磁場強度の変動についての予察的な考察を行った。Kitahara *et al.* の考古地磁気強度データセットは、大阪府の陶器遺跡群に由来する焼土試料に対して綱川-ショー法を適用して復元した強度データ群をHong *et al.* (2013) によって報告された韓国の先行研究データセット(Tauxe and Staudigel (2004) によって提案されたIZZI-テリエ法を使用)と組み合わせて構築されたものであり、西暦600年周辺と950年周辺において特徴的な地磁気強度の減少が観察される。この強度データセットに基づいて作成された永年変化曲線は12世紀周辺において約60μTの値を示していることから、本研究における甕屋窯跡の操業年代18世紀までの約600年間に約20μTの強度の減少が起こったことが推察される。

採択番号 19A043, 19B038

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2年）

研究期間 2019/8/5-9, 9/2-6, 12/2-6

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】

火山砕屑物の一つである軽石は、そのほとんどが多孔質であるために水に浮く。そのため、なんらかの理由により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。このような軽石は「漂流軽石（漂着軽石）」と呼ばれ、海岸や地層中から発見・認定されてきた。

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11.5～9万年前にも、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、漂流軽石の漂流・漂着に関する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示唆している。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・漂着に関するプロセスは不明である。そこで、本研究では、まず日本各地の現在の海岸に分布す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・漂着に関するプロセスの検討を行った。

本研究により、漂流軽石の漂流・漂着に関するプロセスが明らかとなり、漂流軽石を年代指標、古環境指標として使用可能となることが期待される。

【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・東通村・風間浦村、岩手県山田町、千葉県旭市、神奈川県小田原市、三重県紀北町、和歌山県白浜町、高知県室戸市・土佐清水市、愛媛県伊方町、福岡県福津市、宮崎県宮崎市、鹿児島県龍郷町の14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101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。

前年度実施したEPMA分析結果も含めて120試料についてEPMA分析結果を得ており、始良Tn（AT）テフラ、十和田火山（十和田aテフラ；To-a, 十和田八戸テフラ；To-H）、西表島北北東海底火山（1924年噴火）、福徳岡ノ場（1986年噴火）に同定される漂流軽石が発見された。AT起源の漂流軽石は日本各地の海岸から見出され、120試料中50試料がATに同定された。AT起源の漂流軽石は、青森県の下北半島を最北端、沖縄県の西表島を最南端として確認さ

れている。特に西表島に漂着したAT起源の軽石は、周辺の海流系を考慮すると、黒潮、黒潮続流、北赤道海流等での漂流を経て、再度、黒潮本流に合流し、当該地域に漂着した可能性がある。また、鹿児島県奄美大島の海岸から、十和田火山起源の漂流軽石も見出されており、漂流軽石は海流により太平洋上を循環している可能性が示唆される。

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ものと、給源近くの陸域に分布する火砕流堆積物等、軽石主体の堆積物が、崩壊・土石流や河川流等の二次的な移動により海域に流入・漂流し、海岸に漂着したものに分類される。約3万年前の噴出物であるATを起源とする漂流軽石は、日本列島各地の海岸で見つかっている。ATの火砕流堆積物は給源近くに厚く分布して火砕流台地を形成しており、開析谷沿いや海岸沿いに広く露出していることを考慮すると、崩壊や土石流、および河川流などによる火砕流堆積物の二次的な移動による軽石の海域への流入が、平穏時における軽石供給の主要なメカニズムであると考えられる。

以上から、給源近くの河川沿いや海岸沿いに存在する火砕流堆積物のマスマーブメントが、継続的な軽石供給の重要なメカニズムであると考えられる。AT起源の漂着軽石が現在の海岸にも多数漂着していることから、漂着軽石は、噴出後数万年以上経過しても、継続的に海域に供給される、され続けると考えられる。そのため、地層中で漂着軽石が確認された場合は、その連続性や量から、噴火直後の漂着物か、噴火発生後時間が経過してからの漂着物かを検討する必要がある。

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は、現時点では対比可能な火山は見つかっておらず、今後、対比候補を増やし、検討を行う予定である。

採択番号 19A044, 19B039

研究課題名 日本海溝外側における火成作用・断層運動の履歴解明

氏名・所属(職名) 山口 飛鳥・東京大学 大気海洋研究所(准教授)

研究期間 2019/5/13-16, 10/15-18

共同研究分担者組織 福地 里菜(東京大学), 他 学生4名

【研究目的・期待される成果】

近年の地質学的・地球物理学的研究から、日本海溝に沈み込む太平洋プレートは沈み込む直前にさまざまな火成作用(アウターライズにおけるプチスポット火山(Hirano *et al.*, 2006)の活動)・断層運動(海溝外側のホルスト・グラーベン(地塁・地溝)においてアウターライズ地震を引き起こす正断層運動)を受けており、そのことが沈み込み帯における巨大地震の発生や物質循環に大きな影響を与えている可能性があることが指摘されている。しかし、これらの活動履歴はほとんど解明されていない。本研究では、海溝外側における火成作用・断層運動の履歴を解明することを目指す。

申請者は、新青丸KS-15-3航海において三陸沖日本海溝の海溝外側から採取されたコアを用いて2015-2017年度の共同利用としてコアの解析を行った。その知見をもとに、本研究では以下の2点の研究を行う。①プチスポット起源と考えられる浅い音響基盤が広く分布する宮城沖において、2019年8月の新青丸航海で採取予定のコアを用いて基盤の年代推定を行う。②グラーベンから採取予定/採取済みのコアの詳細な解析を行い、グラーベンにおけるイベント堆積物の実態とその履歴を明らかにする。

本研究により、以下の2点の成果が期待される。①堆積物によって埋没したプチスポットの活動年代に制約を与え、プチスポット火成活動の規模を推定できる。②グラーベンのイベント堆積物記録を海溝底のイベント堆積物記録と比較することにより、アウターライズ地震の履歴を推定することができる。なお、申請者は東北沖日本海溝においてプチスポットを掘削するIODPプロポーザル(939-APL: Impact of Petit-Spot Magmatism on Subduction Zone Seismicity and the Global Geochemical Cycle)を申請中であり、本研究はそのサイトサーベイの一環として行うものである。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

新青丸KS-15-3航海で得られた、日本海溝海側斜面中のグラーベンから得られたピストンコア試料(KS-15-3, PC01およびPC02)のItrax分析を2019年5月および2019年11月に行った。2019年8月に行われたKS-19-14航海において日本海溝海側斜面およびアウターライズから得られた9本のピストンコア試料、および付随するパイロットコア試料を採取し、コアセンターにてお受け取りいただいた。2019年11月にはKS-19-14コアのCT分析を行った。

KS-15-3 PC01のItrax分析の結果、CT画像で観察されたCT値の高いラミナの発達する層の基底部において、Mn, Fe, Caの値が鋭い正のピークを示すことが明らかになった。Fe, Caはピークを示した直上でピークを示す前の水準まで値が減少する一方、Mnに関してはピークを示した後、Fe, Caのように減少せず、高止まりしたあとに減少

することが判明した。一方、海盆斜面から採取されたPC02ではCaは400cm付近で2つの大きなピークが見られるが、Mn, FeにはPC01でみられたような明確な正のピークは見られなかった。PC01に認められるMnのピークは再移動した堆積物の基底部付近で確認されることが知られており、海底表層のMnで被覆された堆積物が再移動したことによってMnが供給された可能性が示唆される。コアの観察結果と総合し、KS-15-3 PC01で観察される、下位から順に①Mn, Fe, Caの正のピークが見られるラミナの発達しCT値の高い層、②無構造な層、③生痕の発達する層、のセットは地震性イベントを反映して堆積した可能性があることを考察した。本コアの深度270-272cmには約6000年前に噴出したTo-Cu火山灰が確認されており、これをもとに本コアにおける平均堆積速度を求めると45cm/kyrとなった。この堆積速度が一定と仮定すると、イベント層の堆積頻度は6000年で4回程度となり、海溝型地震の発生頻度と比較して明らかに少ない。よって、イベント層の堆積は採泥点近傍で生じた擾乱のみを記録している可能性が高い。すなわち、PC01に認められるイベント層はアウターライズ地震の履歴を保存している可能性が考えられる。このように、これまで詳細な検討が行われて来なかった日本海溝海側斜面のコア試料においては、CTとItraxを併用することで、アウターライズ地震に関連する可能性の高いイベント堆積物の認定が可能であることが示された(倉野紘彰修士論文)。

KS-19-14コアのCT分析の結果、グラーベン底から採取されたPC02, PC05の2コアにおいて、KS-15-3 PC01と同様の堆積サイクルが認められた。また、PC03, PC04は海底面直下に火山灰層が存在し、その層準より下はフローインによるコアの擾乱が認められた。当初予定していた、KS-19-14コアの半裁・コア画像撮影・MSCL分析・記載・サンプリングおよびItrax分析は、研究代表者の白鳳丸乗船に伴い日程確保が困難となり、2019年度内に行うことができなかったため、2020年度に継続中である。

採択番号 19A045, 19B040

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 2019/4/17-20, 12/9-27, 2020/3/19-22

共同研究分担者組織 石橋 純一郎(九州大学), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

海底熱水の年代測定を行うことは、それに伴う海底熱水鉱床の成因を解明するために、また、化学合成生態系の進化を議論する上で重要である。海底熱水活動に伴って生成する塊状硫化物にはしばしば重晶石及び硬石膏が含まれ、これを用いた放射非平衡年代測定は、硫化鉱物のウラン非平衡年代測定と並んで、海底熱水活動の有力な年代測定法である。平成29, 30年度に50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。重晶石については、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。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。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。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2019年度は、沖縄トラフのごんどう熱水域から採取された試料を中心に放射非平衡年代測定を行ったので、その成果を以下にまとめる。対象とする試料は、JAMSTECによって実施されたKR16-16航海において行われた無人潜水艇による潜航調査で採取されたチムニー試料と、J-MARES(次世代海洋資源調査技術組合)によりSIPプロジェクトのもとで実施された掘削調査航海JM17-04航海においてBMS掘削によって採取された堆積物コア試料である。これらの試料を粉碎した後、試料をHCl, HNO₃によって化学的に処理し、必要な場合は重液分離も行つて重晶石を抽出した。この重晶石0.3gとNaCl 2.7gをプラスチック製サンプルびんに入れ混合し、高知大学海洋コア研究センターの低エネルギー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。210Pb(46.25keV)と、226Raの娘核種である214Pb(295keV, 352keV), 214Bi(610keV, 1120keV)を定量した。非平衡となっている210Pb(46.25keV)と226Raの放射能比から226Ra-210Pb年代を求めた。また228Raの娘核種である228Ac(338keV, 911keV, 969keV)と、228Thの娘核種である212Bi(727keV), 208Tl(583.1keV, 2614keV)を定量し、非平衡となっている228Raと228Thの放射能比から228Ra-228Th年代を求めた。

潜航調査で得られたチムニー試料のうちアクティブなチムニーから抽出された重晶石2試料はいずれも最大4yr.という若い年代を示した。また、226Ra-210Pbの組み合わせに加えて、228Ra-228Thの組み合わせからも放射非平衡年代を得ることができ、両者の年代の一致も良かった。

これらの結果は、現在も成長を続けるチムニーが示す年代として、期待どおりの年代が得られたと言える。潜航調査で得られたチムニー試料のうち活動を停止したインアクティブなチムニーから抽出された重晶石3試料は、226Ra-210Pbの組み合わせから20-45yr.という放射非平衡年代を示した。現在の熱水活動が見られないチムニーの年代が古いという結果が得られたこともリーズナブルであると言える。これに対し、海底下から掘削で得られた堆積物コア試料から抽出された重晶石は、一般的に放射性核種の濃度がチムニーから抽出した重晶石に比べて圧倒的に少なく、特に娘核種である210Pbが検出されないために放射非平衡年代を求めることができないものばかりであった。

以上のように、同じ熱水域の海底面上から得られたチムニー試料と海底面下から得られた堆積物コア試料についてγ線測定を行って放射非平衡年代を算出して比較した結果、産状から期待される年代を得ることができた。同じ重晶石試料に対してESR年代測定を適用し、得られた結果と比較検討を進めている。

採択番号 19A046, 19B042

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
ーチムニー、シロウリガイ、マンガンノジュール等の非破壊物質科学ー

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 2019/7/24-26, 2020/2/26-28

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）、金子 誠（深田地質研究所）

【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ーチムニー、シロウリガイ、マンガンノジュール等の非破壊物質科学ー」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。D：南鳥島海域産マンガンノジュールとブチスボット火山産岩石試料（6KDive で採取）、及びE：東北沖ブチスボット産火山岩（6K, 新青丸）である。主にCTスキャナーにより、マンガンノジュールと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。ブチスボ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。溶岩流の内部構造が判明した。尚、TATSCANによりマントル橄欖岩の2次元組成変化の概要が認知出来た（石井・金子他, 2019参照）。今後マントル橄欖岩やブチスボット火山産岩石中のジルコンやダイヤモンド等の稀少鉱物の非破壊条件下での同定、採取に応用を試みたい。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

利用した装置：

（ア）キャ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-2）Helical（断層画像, 3D, スパイラル撮影）では120kV, 100mA, スライス厚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。

研究実施内容：

CTスキャナーによる観察：

R/V「よこすか」YK19-05S航海（町田嗣樹が主席研究員、石井・金子乗船）は、4/19小笠原二見港出港ー4/28横須賀追浜入港で行われた。南鳥島海域で「しんかい6500」でブチスボ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。

更に、R/V「よこすか」YK18-08航海（町田嗣樹が主席研究員、石井乗船）は、6/25小笠原二見港出港ー7/7東京晴海入港で行われた。南鳥島海域で「しんかい6500」によりブチスボ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、東北沖ブチスボ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、東北沖ブチスボ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（石井・金子他 2019参照）。

CT画像データから科学的情報を引き出すには、Mac環境でコンピューターに習熟する共同研究者が必要であり、適任者の金子誠（深田研）を迎い入れることとした。更に近年火成岩中のジルコン研究が注目されているが、存在頻度が小さいため、試料採取が難しい。幸い比重が4.7と大きいのでCTスキャン画像を活用して、少量の試料からのジルコン採取を可能にする手法を確立したい。更にブチスボット産溶岩中の捕獲鉱物・岩石のCT値の差異から3次元密度マッピングの、疑似カラー表現を行い、岩石の内部構造の理解を深めたい。この手法はジルコンやダイヤモンド等の稀少鉱物発見、採取にも活用できるであろう。

採択番号 19A047, 19B043

研究課題名 亜熱帯域と西南太平洋の人為起源鉛安定同位体組成の分布解明

氏名・所属(職名) 則末 和宏・新潟大学 理学部(准教授)

研究期間 2019/10/15-17, 12/10-12, 2020/1/14-15

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)
岡村 慶(高知大学), 他 学生5名

【研究目的・期待される成果】

海洋における鉛の安定同位体の同位体組成は、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、日本の代表として、各国とも連携し、世界大洋におけるPb同位体組成の分布の解明を主な目的として研究を進めている。これまでの貴所共同利用の採択を受けて、外洋水中の溶存態Pbの同位体組成の分析法を確立し(中川ほか, 2016; 2017), 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). 同位体比の再現性や操作ブランク値の影響評価など緻密な精度評価を行い、精度が高く信頼性の高い手法として確立できた。この最高水準の技術によって、亜寒帯域北太平洋の試料の分析も完遂させ、鉛直下方向の同位体比の伝播速度は西部において高いこと、および現代の西部北太平洋のPb同位体は1900年~1950年頃に供給され、概ね時代経過と対応して深層へ輸送されていることを見出した(松原ほか, 2017, 2018; 松原, 2019)。粒子反応性の高いPbの海洋プロセスの詳細を把握するには、上述の溶存態に関する知見のみならず、粒子態の情報も極めて重要となる。粒子態Pb同位体組成の高精度手法を開発し、これをインド洋で我々が採取済みの粒子状物質の試料に適用することで新たな知見が得られ、粒子態と溶存態の相変換の相対的な速さに制約を与えることができると期待される。粒子態Pbの同位体組成のデータを世界に先駆けて取得することを目的として、2019年度は手法開発・基礎検討を目的として研究を行う。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

外洋海水中懸濁粒子態鉛(Pb)同位体組成の分析法は世界的に確立されていない。申請者等は、船上での大量海水のクリーンろ過による粒子状物質の回収、粒子状物質の分解、Pbの分離精製、およびNeptune多重検出方式ICPMSによるPb同位体組成の高精度計測を行い、手法確立に向けて基礎検討を行った。白鳳丸KH-18-6次航海の東部インド洋で採取した粒子状物質を分析し、インド洋深層部におけるPb同位体組成($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ や $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 同位体比など)の系統的な鉛直分布を高精度で解明することに成功した。

海水中粒子態Pb濃度は溶存態のその5%程度かそれ以下と推定されるため、溶存態分析の20倍もの海水を処理する必要があるが、これにより高濃縮されるマトリックスによる系統誤差が生じる可能性が予見された。そこで、外洋海水を試験的に大量ろ過し、高濃縮マトリックスの

模擬試料を調製し、これを基に同位体分離精製を行った試料の同位体組成計測を行った。測定とその準備では貴所のクリーンルームとNeptune MCICPMSを用い、3回の訪所により分担者との共同実験を実施した。

これらの結果、懸濁粒子態Pb同位体組成の分析操作手順を概ね確立できた。東部インド洋ベンガル湾南方域の深層部(500m~4800m)における粒子態Pb同位体組成の鉛直分布を解明した。懸濁粒子態Pb同位体比($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ や $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 同位体比)は、深さと共に増大していること、近隣観測点で我々が既に獲得している溶存態Pb同位体組成の分布と類似していることを発見した。粒子態の同位体組成は、周辺国からの人為的供給と自然のサイクルによる供給を反映した値を示しており、溶存態の起源に関する知見と合致する。さらに、溶存態と懸濁粒子態のPb同位体組成が互いに近い値を示すことから、Pbについては両存在形態の相互変換過程が深層水柱(deep water column)全体にわたって非常にすばやく進行していることが分かった。このような知見は世界最先端のものであり、国際学会Ocean Sciences Meeting 2020において発表した(Asanuma *et al.*, 2020 Feb)。

また、本研究で開発した技術を日本海の垂表層において採取した試料に適用した。日本海は、周辺を浅い海峡と陸地に取り囲まれた半閉鎖型の縁海であり、過去に我々が実施したPb濃度の観測結果から、周辺国の人為的汚染が顕著であることが示唆されていた。粒子が多い日本海における粒子態Pb同位体組成の知見を獲得するために、いくつかの上層水中試料を分析した。その結果、日本海の大和海域と日本海盆ではPb同位体比が顕著に異なる可能性を見出した。今後、Pb同位体組成を継続的に広域調査することで、日本海におけるPbの循環像確立に関する情報、例えば、複数の起源とその及ぶ範囲など、について新たな知見が得られていくことになると期待される。

本年度の研究遂行により、Pb同位体の海洋内の循環や挙動に関して、新しい情報が獲得できた。今年度は成果のとりまとめと公表(未報告のもの含めて)の重点化を図りつつ、研究を進めていく予定である。

採択番号 19A048

研究課題名 チリ三重会合点表層コア試料記載・計測による海嶺沈み込み場研究

氏名・所属(職名) 木下 正高・東京大学 地震研究所(教授)

研究期間 2019/6/10-14

共同研究分担者組織 阿部 なつ江(海洋研究開発機構), 安間 了(徳島大学)

井尻 暁(海洋研究開発機構), 他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

チリ三重会合点(CTJ)は、地球上で唯一、拡大中の中央海嶺が大陸下に沈み込む場である。拡大がもたらす熱・マグマ・水などが地震発生帯の性質・挙動にどのような影響を及ぼすのか、1969年M9.5地震の破壊域南限をなすこの地点で、鍵となる熱流量観測などから解明を試みるのが、本研究の基となる科研費(代表:木下)の目的である。特にRuff and Kanamori(1980)が提案した「沈み込むプレートが若く、速いほどMが大きい」というシンプルな関係を検証したい。若くて速く沈み込むプレートは「常に」Mが大きい(破壊域が広い)のか、そしてその物理メカニズムは何か、プレート固着の実態(差応力・断層強度)の理解にもつながるこの問いに対する鍵を握るのが、熱構造である。

CTJ周辺では、これまでに地震探査やコア採取が行われているが、熱流量データは数点しかなく、しかもCTJそのものの計測値が皆無であった。提案者らは2018年度後半に、CTJでの調査を含む105日間の研究航海(調査船「みらい」、MR18-06)を獲得した。そのうちCTJでの観測(Leg2)が実質5日間実施され、海嶺軸=海溝軸周辺でコア試料採取・熱流量測定・ドレッジ・シングルチャンネル地震探査・海底地震計設置が行われた。これらのうち、熱流量データとコア試料分析を本研究で実施し、最新鋭のシミュレーションと併せて、地震の大きさという大きな課題に挑戦する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2019年6月10日から14日まで、KCCにて試料測定を集中的に実施した。チリ三重会合点付近で得られた6本のピストンコア試料・パイロットコア試料について、MSCL, CT, MAD物性, Itrax計測を実施した。MSCL, CT, Itraxについては高知大学技術職員や技術補佐員に実際の計測やデータ出力をお願いした。MAD計測は本共同研究の協力機関である、JAMSTEC高知コア研究所の装置により実施した。

計測したコア試料は、2019年1月、JAMSTEC調査船「みらい」による航海がチリ三重会合点(南緯46度、西経76度付近)において実施された航海で得られたものである。実質5日間程度であったが、コア試料以外に、浅部反射法探査(4測線)、熱流量測定(6点)、ドレッジ(2点)、海底地震計設置(13点)が実施された。

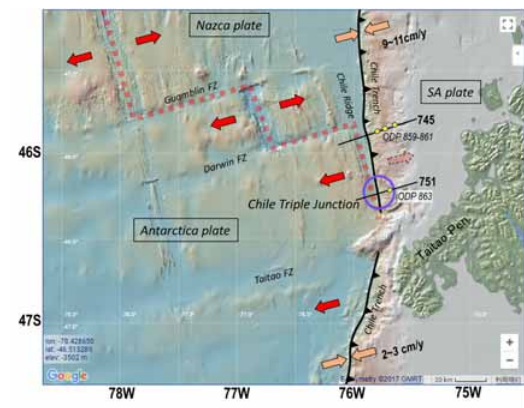
6本のコア試料のうち、海側(HP5)のみが非常に密度が高く、かつ深度方向に密度が増加する傾向を示した。それに対して、中軸上(HP2, HP6)では、最もタービダイトの頻度が高く、密度はほぼ一定の傾向を示した。また陸側斜面の2点(HP3, HP7)にはタービダイトが少なく、密度は深度とともに漸増する傾向を示した。

海側のHP5は、軸部から一段高く海溝斜面から遠いこと

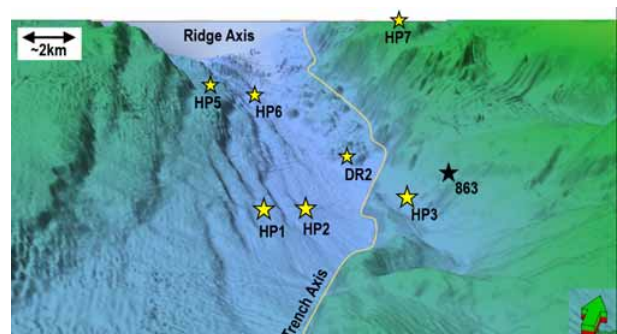
から、軸部に流入する現生のタービダイトは到達していないと考えられる。したがって、HP5の表層堆積物の起源は、海嶺で生成された後の、過去の堆積物、あるいは現在の半遠洋性堆積物の可能性がある。

熱流量は、海嶺中軸部で $140 \sim 210 \text{ mW/m}^2$ であったのに対して、西側の正断層崖上で 370 mW/m^2 、陸側(付加体斜面下部)でも 230 mW/m^2 を超える高熱流量が観測された。陸側ではODPによる掘削(863サイト)が実施されているが、熱流量は 100 mW/m^2 以下と低いものと極めて対照的であった。ODPの値は、地震探査記録に検出されたBSR深度から推定された値と整合的であったことから、陸側斜面の表面の高熱流量は、既往研究で指摘されたような、地下からの湧水に起因する可能性が考えられる。一方で、軸部の熱流量が両側に比べて低いのは、軸部への大量のタービダイト流入による表面熱流量の低下が原因とも考えられるが、それに加えて、最近のマグマ活動・熱水活動が軸部では起きていないことを示すのかもしれない。

今後元素組成データ解析や数値計算などと合わせて、堆積物の起源や拡大・沈み込みのテクトニクスを明らかにしていく予定である。



チリ三重会合点調査海域 (○)。



ピストンコア採取地点の鳥観図。

採択番号 19A049, 19B044

研究課題名 地球史を通した海底環境復元プロジェクト7:

掘削コアおよび海底断面露頭試料を用いた海底層序／環境変化の解析

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

研究期間 2019/6/4-8, 12/23-27, 2020/2/27-3/7

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】

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

ラミナにマグネタイトが徐々に濃集していることが判明した。今後、シデライト層からマグネタイト層に移行するシステムを考察する必要がある。

【期待される成果】

太古代から原生代にかけての海洋底環境の変化・生物活動・表層大気環境変動と鉄沈殿物の関連性を探る。特に、大陸成長がおこる31億年前、GOE前後、全球凍結時における海底の変化を明らかにする。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

時代・場所別4カ所の地層について、岩相記載、有機物分析を行い、当時の環境復元を行っている。

- 1) 太古代では、ピルバラにおいて、当時の深海堆積物の取得のために陸上掘削(DXCL)を、2007年はDXCL1, 2011年はDXCL2と2回の掘削を行っている。コアセンターに試料を保管してきたが、場所の関係上香川の地球史試料センターに移動させた。
- 2) 古原生代では、ガーナケープスリーポイントを中心に調査しており、23億年前の海洋性島弧近辺の堆積物であることを見つけている。2015年12月に195mの掘削コアを取得した(GHB掘削計画)。
- 3) 古原生代において、地域と詳細な年代変化をみるために、2016年夏にカナダ調査を行い、フリンフロン帯、ケープスミス帯の調査を行い、特にケープスミス帯のMine Relganニッケル鉱山において、地質調査、鉱山内部調査および掘削コア試料からの層序復元と取得を行った。

特に、本年度はGHANAコア、DXCLコアについて、再度観察および試料取得および解析を行っている。中でもDXCL CL3コアはクリバービル縞状鉄鉱層を掘削しており、この詳細な解析を行っている。BIFはシデライトBIFであり、嫌氣的環境で沈殿しているもので、陸上に見られているものは、後の酸化によって赤くなっているものである。改めて、層序の確認を行い、連続的に成分変化が見られるItrax解析、およびEPMAによるマッピング、FE-SEMによる詳細観察を行っている。

今回の成果として、マグネタイトBIFが形成するラミナは、その前後の縞々堆積物のうち、粘土物質の濃集する

採択番号 19A050, 19B045

研究課題名 鉄沈殿作用4：水酸化鉄コロイド粒子の堆積機構と地層形成記録

氏名・所属（職名） 酒本 直弥・九州大学大学院 理学府（博士後期課程1年）

研究期間 2019/6/17-21, 10/7-17

共同研究分担者組織 清川 昌一（九州大学）、池原 実（海洋コア）、他 学生1名

【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、微生物の関与が定量的に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】

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～2019年8月までのトラップ40本を対比した結果、この期間の全層厚6m 20cmの層序が復元された。この層序は、高密度層（35層）、低密度層（28層）、高密度低密度互層（8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2019年までに9つのユニットがあった。

2018年4月～2019年8月におけるCT映像の対比を行った結果、同時期に入れ、3ヵ月で取り出したトラップと7ヵ月で取り出したトラップでは、3ヵ月で取り出したトラップには低密度の層が存在するが、7ヵ月で取り出したトラップには低密度の層が存在していなかった。

SEM観察結果：

高密度層（細粒砂層）では直径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）では直径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 μm ～数十 μm ほどの集合体であった。

EDS・MAP分析：

EDSやMAP分析により、沈殿物は主にSi 鉱物、火山ガラス、水酸化鉄粒子、haliteから構成されていると考えられる。Si 鉱物や火山ガラスは数 μm ほどの大きさで点在して分布していたが、水酸化鉄粒子は観察視野全体に分布していた。また、高密度層と低密度層の分析結果を比べると、高密度層の方がSi 鉱物や火山ガラスの割合が多いことが分かった。

トラップのCT画像の対比、沈殿物の観察、気象観測結果から、厚い高密度層は台風時のうねりにより数時間から数日で形成し、細粒な砂や火山ガラスを含む沈殿物であることが考えられる。また、低密度層や互層は海底が穏やかな時に形成する、鉄沈殿物が多い地層であると考えられる。2018年は台風が6回、2019年は2回接近・通過しており、台風前に形成した縞状の地層は、台風が接近・通過した時に高密度層が沈殿したため消失したと考えられる。低密度層や互層が地層として保存されるには、海底が穏やかな環境であることが必要と示唆される。長浜湾において水酸化鉄の沈殿は突発的ではなく、数年間定常的に起きていることが明らかになった。

採択番号 19A051, 19B046

研究課題名 白亜紀末の天体衝突爆心地における海洋と生態系の復活過程

氏名・所属(職名) 山口 耕生・東邦大学 理学部(准教授)

研究期間 2019/6/3-8, 12/2-11, 2020/1/13-22

共同研究分担者組織 池原 実(海洋コア), 石川 剛志(海洋研究開発機構), 他 学生6名

【研究目的・期待される成果】

ユカタン半島の北部沖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の白亜紀末期の天体衝突によって形成された。この天体衝突は、恐竜等の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。様々な重要な成果が本コアから得られたが(Morgan *et al.*, 2016; Lowery *et al.*, 2018; Riller *et al.*, 2018), 天体衝突後の爆心地付近での海洋の化学組成の復活過程や栄養塩元素の生物地球化学循環の復活過程、広くは環境や生態系の回復過程は、依然として謎のままである。

本申請では、複数の同位体比の測定を軸とした研究を提案する。試料は、上記コアの約500m~618mのpost-impactセクションと約748m~の基盤岩セクションを対象とする。前者では、有機/無機炭素・有機窒素の存在量と安定同位体組成と鉱物組成の分析、炭酸塩中のストロンチウム(Sr)の同位体組成の分析を行う。後者では、基盤岩中のSrの同位体組成の分析を行う。天体の衝突時および衝突後(PETM等の温暖化を含む)のC・N・Srの循環の復活過程を解明する事を、研究の目的とする。また、申請者の研究室で別途行う、コアのpost-impact部のFe・S・Pの化学形態別存在量およびFeとSの同位体組成と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および海底熱水の寄与の変遷の数値化を行うことが、研究の特色である。また、海洋中のSrは大陸風化と海底熱水の2つの起源があり、起源物質の同位体組成に顕著な違いがある。クレーター形成時の基盤岩の猛烈な熱水変質で大量に元素が放出されて“toxic ocean”となった海洋の復活過程を、Sr同位体組成から探ることも研究の特色である。元素毎に異なる海洋滞留時間に留意をしつつ、Exp. 364試料の各種データに基づいて地球化学循環の復活のテンポが解明され、複数の論文を執筆することが期待される成果である。本申請研究を実行する意義は高いと言える。

【研究実施内容】

- 1) TIMSによるストロンチウム同位体分析、および研究打ち合わせ
- 2) GC-MSによるバイオマーカー分析、および研究打ち合わせ

【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2名が、往復日を含めて延べ約33

日間にわたって高知コアセンターに滞在し、多数の試料の各種分析および研究打ち合わせを行うことができた。

学部4年の武藤は、Sr同位体分析を担当した。武藤はコアスクール同位体コースに参加することによってバックグラウンドの知識と経験を備え、コアセンターでの実試料の分析は、石川所長および川合博士に分析の指導を受けながら、試行錯誤の末、樹脂によるイオン交換と濃度調整を含む試料前処理を行い、TIMSを用いて同位体測定およびデータ解析を行った。試料の前処理においては、堆積当時の海洋の化学組成を反映すると推察される炭酸塩成分のSrを、粉末試料を酢酸で溶脱することにより抽出した。こうして調整した約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40以上となった。

その結果、K/Pg境界の直後において海洋のSr同位体組成が急激に変化していたことを、世界で初めて検出することに成功した。これは、天体衝突爆心地のコア試料という大きな利点を活かしたものであった。

学部4年の齋藤は、Exp. 364の黒色頁岩部分の試料粉末を用いて、バイオマーカーの分析を、池原教授の指導を受け、行った。その際、高速溶媒抽出装置を用いて堆積岩中の有機溶媒に可溶性成分の抽出を行い、濃縮し、シリカゲルクロマトグラフィーで分画し、GC-MSにかけ、2 α -methylhopaneやisorenierateneやokenoneといった有機分子の検出を試みた。質と量の両面で、今後の更なる研究が必要である。黒色頁岩が形成するような嫌気的環境が発達した海洋では、上記のバイオマーカーが検出される可能性があるが、検出の暁には、その試料内での平面分布をバイオマーカーのマッピングにより明らかにしていきたい。

以上の結果を用いて、武藤功太は卒業研究報告「ユカタン半島沖の掘削試料から探る白亜紀以降の海洋ストロンチウム循環の復活過程 (IODP Exp. 364 “Chicxulub Impact Crater”)」を提出し、また、2018年度に貴所で取得した炭素と酸素の安定同位体組成のデータを組み入れ、本研究の分担者の小椋千尋は修士論文研究「Biogeochemical cycles of carbon and sulfur after the K-Pg impact event recorded in the core recovered off Yucatán Peninsula (IODP Exp. 364 “Chicxulub Impact Crater”)」を仕上げた。また、以下に示すが、国内で2件の研究発表を行った。

学会口頭発表

山口 耕生, 葉山 熙大, 小沼 一元, 阿部 剛, 山口 飛鳥, 池原 実, 清川 昌一, 伊藤 孝, 尾上 哲治, George Tetteh, Frank Nyame (2019) ガーナの陸上掘削堆積岩の地球化学から示唆される約22億年前の深海の酸化。In 日本地質学会第126年学術大会, 山口大学, 山口県山口市, 9月23-25日。

学会ポスター発表

小椋 千尋, 山口 耕生, 池原 実 (2019) ユカタン半島沖の暁新世~始新世の炭酸塩岩の地球化学: 天体衝突後の炭素と硫黄の生物地球化学循環の復活過程を探る。In 地球環境史学会年会, 講演要旨集p. 304, R23-P-4, 産業技術総合研究所, 茨城県つくば市, 11月16-17日。Poster。

採択番号 19A052, 19B047

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(研究員)

研究期間 2019/4/22-26, 11/5-8, 2020/1/27-2/7

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j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j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、の疑問に答えるものである。

【利用】

2019年度は、マイクロフォーカスX線CTスキャナ(Xradia)を計14日間、ペンタピクノメータを計6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、ペンタピクノメータを用いて固体部分の真密度測定を実施した。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(グザイ)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だけ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pcは0.39付近に存在するだろうと考えられる。

採択番号 19A053, 19B048

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 地球環境科学専攻(助教)

研究期間 2019/9/9-12

共同研究分担者組織 川端 訓代, 富安 卓滋, 児玉 谷仁(鹿児島大学), 角森 史昭(東京大学)
濱田 洋平(海洋研究開発機構), 亀田 純(北海道大学)
山口 飛鳥(東京大学), 他 学生3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」に関連して、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が、関連するデータは得られていない。八代海では、南部の水俣湾において人為的な排出による有機水銀汚染が知られている。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、白鳳丸KH-18-3航海では八代海においてピストンコアラおよびマルチプルコアラによる採泥を行った。

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、ピストンコアラにより11サイト、マルチプルコアラにより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。本年度は、有孔虫分析用の個別試料の採取を実施した。センター利用の実施期間は2019年9月9日から同年9月12日である。

KH-18-3次研究航海で採取されたピストンコア試料PC01～PC11の計11本のコアから、表層からおおよそ50cm間隔で2cmの厚さのクォーターラウンド試料を採取した。DI001～DI110の合計110試料であり、本研究ではPC02から採取されたDI013～DI022の10試料を使用した。10試料を開口径63μmの篩上で水洗して泥成分を除去し、乾燥させた。その後、乾燥させた各試料を分割し、1つの試料から200～300個体の底生有孔虫化石を採取した。規定に達しない場合にはすべての個体を拾い出した。属までの同定を行い、そこから優占率が5%を超えるものは種の同定まで行った。また、DI018～DI020においては、RIMS2000を使用して火山ガラスの屈折率を分析した。

10試料のうち、DI013～DI020から底生有孔虫化石が採取された。しかし、DI019, DI020においては有孔虫の個体数が規定に達しなかった。DI013～DI016までは、優占率の違いはあるがほとんど群衆が変化せず、環境が変化していないと推定した。DI017, DI018は汽水域を好む種の優占率が増加したこと、4000～2000年前にかけて、関東

地方で一時的な海退期が認められていることから、当時は海退により汽水域であったと推測した。DI021, DI022は有孔虫が採取されず、井上ほか(2011, 活断層研究)の年代測定とZhenh *et al.* (1994); 斎藤(1998); 大木(2002)の海水準低下の報告から当時は淡水化していたと考察した。また、火山ガラスは、屈折率から入戸火砕流だと考えられ、豪雨による河川からの流入ないしは断層活動の影響が推定された。

コア試料に含まれる底生有孔虫化石群集から、八代海南部の過去10000年近くの堆積環境が推定された。本研究ではPC02のみの結果であるため、他の10本のコアの有孔虫の分析を行い、空間的な広がりを検討する必要がある。

採択番号 19A054, 19B049

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 学術資源研究公開センター(教授)

研究期間 2019/9/2-6

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2名

【研究目的・期待される成果】

微化石と炭素同位体比を用いた統合層序は, 主に白亜系において年代対比の解像度の向上に大きな進展をもたらしてきた。しかしながら, 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, 全時代を通じた炭素同位体比層序の作成はほとんど行われていない。本研究では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。このことによって, 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。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

デボン紀後期のフラニアン期・ファメニアン期境界 (F-F 境界) 付近で生じた大量絶滅は, 顕生累代に生じた Big 5 と呼ばれている大量絶滅事変の一つである。この大量絶滅は, 下部・上部ケルワッサー事変の2回の絶滅イベントからなっていることが明らかになっていて, 下部ケルワッサー事変は *P. rhenana* コノドント化石帯の中で生じ, 上部ケルワッサー事変は *P. linguiformis* コノドント化石帯の最上部から *P. triangularis* コノドント化石帯の基底, すなわち F-F 境界付近で生じている。そのため, ケルワッサー事変層を特定する場合, コノドント化石帯の調査が不可欠であるが, 下部ケルワッサー事変層については, コノドント化石だけでは特定する事が困難である。そのため, 下部・上部ケルワッサー事変層を特定する上では, コノドント化石の調査と合わせて, 産出化石の種数や産出量が減少する層準を調べるのが一般的である。しかし, 化石の産出量が少ないセクションでは, 大量絶滅事変層を特定する事が難しいため, 安定炭素同位体比の変動パターンを明らかにすることが重要である。これは下部・上部ケルワッサー事変に伴って, 汎世界的な海洋無酸素事変が生じていたことが明らかになっており, これに合わせて安定炭素同位体比が大きく正にシフトすることが知られているため, 現在ではコノドント化石の調査と安定炭素同位体比の変動パターンを調べる事が, ケルワッサー事

変層を研究する上で最も一般的な研究手法となっている。

2016年から2019年にかけて熊本大学と東北大学およびベトナム人研究者との北部～中部ベトナムでの協同研究によって, 北部ベトナムハーザン省のシャウホー (Seo Ho) 地域に分布している上部デボン系トクタット (Toc Tat) 層と中部ベトナムクアンビン省のミンホア (Minh Hoa) 地域に露出している上部デボン系ソムニャー (Xom Nha) 層から多くのコノドント化石が見つかることが明らかになった。そのため, コノドント化石を調べたところ, *P. rhenana* コノドント化石帯から *P. linguiformis* 化石帯, *P. triangularis* 化石帯が, 欠如なく分布していることが分かり, 下部・上部ケルワッサー事変層を挟んでいる可能性が高いことが明らかになった。そのため, これらの地域で安定炭素同位体比の変動パターンを調べて, 同位体比層序を確立し, ケルワッサー事変層を特定する事を研究の目的として, 高知大学海洋コア総合研究センターの質量分析計を用いて, 石灰岩試料の分析を実施した。その結果, *P. rhenana* から *P. triangularis* コノドント化石帯までの安定炭素同位体比層序を確立し, *P. rhenana* 化石帯と *P. linguiformis* 化石帯の最上部で顕著な正のシフトを確認することができた。なお, シャウホー地域では, 安定炭素同位体比の正のシフトが確認できた層準で, 海洋無酸素事変に伴って形成されたと考えられる有機物に富む黒色石灰岩や黒色泥岩層が発達している事も明らかになった。

なお, 白亜系の試料に関しては, 2月下旬～3月上旬ごろの分析を予定していたが, コロナの影響等を考慮し, 今回は見送った。

採択番号 19A055, 19B050

研究課題名 Jbilet Winselwan隕石中の不溶性有機物の元素・同位体分析による小惑星リュウグウの母天体環境評価

氏名・所属（職名） 藪田 ひかる・広島大学大学院 先進理工系科学研究科（教授）

研究期間 2019/9/9-13, 11/18-20

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

「はやぶさ2」有機物と水を多く含む炭素質小惑星のサンプルリターン計画である。リモートセンシングにより得られたリュウグウ表面の反射スペクトルから、リュウグウの表層物質は加熱脱水を受けた炭素質コンドライトCM隕石に類似することが明らかとなった。この成果を踏まえると、加熱脱水を受けた炭素質コンドライト隕石は小惑星リュウグウの適した模擬物質となり得る。また、試料帰還前にその詳細な有機物組成を理解し、リュウグウの表層作用を推定することが大変重要である。

そこで本研究では、反射スペクトルがリュウグウと類似するJbilet Winselwan隕石から精製した不溶性有機物の元素組成および炭素・窒素同位体比を明らかにし、加熱を受けていない炭素質コンドライト隕石の不溶性有機物の組成と比較することによって、母天体熱変成度を評価する。この結果と、2021～2022年に行われる予定となっている帰還試料初期分析からの結果を統合することにより、炭素質小惑星の表層熱進化の理解を発展させる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

【序論】

本研究では、小惑星リュウグウの熱史とそれにより形成される有機物の組成を理解する目的で、熱変成を経験した炭素質CMコンドライトであるJbilet Winselwan隕石中のIOMの元素・同位体組成と化学構造を明らかにした。

【実験】

Jbilet Winselwan隕石（CM2）、Murray隕石（CM2）、Murchison隕石（CM2）、Allende隕石（CV3）の4種類の炭素質コンドライトを用いた。各隕石粉末からIOMをHCl/HFおよびCsF/HF処理により精製した。IOMのCHN元素組成を元素分析装置（Flash EA 1112, Thermo Fisher Scientific, 高知大学海洋コア総合研究センター）、炭素同位体組成を元素分析オンライン質量分析計（DELTA plus Advantage, Thermo Fisher Scientific, 高知大学海洋コア総合研究センター）、化学構造を顕微ラマン分光装置（T64000, Horiba-JY, 広島大学）を用いて分析した。

【結果と考察】

Jbilet Winselwan隕石中のIOMのH/Cは 0.405 ± 0.039 , N/Cは 0.0368 ± 0.0018 , 炭素同位体比は $\delta^{13}\text{C} -10.408 \pm 0.486\%$ であることが明らかとなった。本研究で得られた他の隕石およびAlexander *et al.* (2007) のデータと比較すると、Jbilet Winselwan隕石のIOMは始原的なCMコンドライトや熱変成したCVコンドライトとは異なる組成を示したのに対し、Yamato 793321, PCA 91008, WIS91600といった熱変成を経験したCMコンドライトや未分類のTagish Lake C2コンドライトのIOMの値と類似した。特に、Jbilet Winselwan, WIS91600両隕石の値は最も近かったことから、これら2つの隕石母天体は似た熱変成過程を

たどった可能性が高い。WIS91600隕石は、Tagish Lake隕石と同様の条件の水質変成を受けた後、400-500℃の短期的な加熱を経験したと考えられている（Yabuta *et al.*, 2010）。一方で、Jbilet Winselwan隕石のIOMのラマンスペクトルはMurchison隕石やMurray隕石のIOMのものと類似し、Allende隕石のIOMに記録されるような長期的な熱変成によるグラファイト化の痕跡は見られなかった。以上の結果は、小惑星リュウグウの表層作用または母天体熱変成に伴う高分子有機物の化学進化を理解する上で重要な知見を与えるものと考えられる。

採択番号 19A056

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・日本原子力研究開発機構（特定課題推進員）

研究期間 2019/12/9-14

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）

山口 龍彦（国立科学博物館）、山田 圭太郎（立命館大学）、他 学生1名

【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2018年度に実施した。それに引き続いて、2019年10月に湖と太平洋を隔てる砂州の湖岸側において掘削・採取したR1H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実施した。これらの分析結果を解釈して上述した課題を検討する予定である。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

まず、釧路市春採湖の湖岸において採取されたH3Cボーリングコアから分取したスラブ試料（約17m分）を用いて、2018年度にX線CT解析とItrax分析（0.5-1mm間隔）を実施した結果について東アジア加速器質量分析（EA-AMS）国際シンポジウムにおいて12月に発表した。砂層の同層準から得た植物片と貝の放射性炭素年代値は、残念ながら再堆積の影響をすべてが受けていて海洋リザーバー効果を検討できなかったが、実際の堆積年代よりも1000年以上も古い年代値を示す植物片や貝殻を含んだそれらの砂層が津波堆積物であることを強く支持した。この成果は、春採湖の津波堆積物の形成機構を理解する上で非常に重要であると考えられる。この結果は、Proceedings of the 22nd Japanese symposium on Accelerator Mass Spectrometry（JAMS-22）において掲載される予定である。また、雄山閣が出版する「環境考古学と富士山4」において同コアの研究事例の一部を紹介した。

一方、2019年10月に湖と太平洋を隔てる砂州の湖岸側において科研費（18H01310）で掘削・採取した全長43.7mのR1H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実施した。Itrax解析の一部が期間内に終わらなかったため2020年3月に追加測定を予約したが、新型コロナウイルス対策の外部受け入れ中止措置がとられたために実現できなかった。半裁して観察した結果、深度0～9.05mは砂層と礫層の互層、深度9.05～15.80mは砂泥互層、深度15.80～20.50mは年縞と砂層の互層、深度20.5～25.50mは砂泥互層、深度25.50～39.00mは細粒～中粒砂層、深度39.00～43.50mは砂礫層、深度43.50～43.70mは固結砂岩であった。これらは堆積構造や含有物などの特徴や周辺の地形・地質、土地利用の履歴を基にして上位から、人工盛土、内湾堆積物、年縞堆積物、エスチュアリー堆積物、沿岸堆積物、網状河川流路堆積物、古第三系の浦幌層群であるとそれぞれ推定される。予察的に測定した放射性炭素年代値に基づくと、深度25.50mより上位が完新統で、それ以深の沿岸堆積物は更新統であると考えられる。津波起源である可能性がある砂層は深度9.10～21.10mに合計16層が確認された。

現在、放射性炭素年代測定や貝化石の群集組成解析、珪藻、有孔虫、貝形虫、花粉などの微化石群集組成解析、古地磁気測定、テフラ分析等を進めており、これらの結果も踏まえた多角的な研究成果が期待できる。当面の目標は2020JpGU-AGU合同大会で研究概要を発表して、第15回加速器試料分析（AMS）国際学会で放射性炭素の海洋リザーバー効果について発表することである。

高知コアセンターの解析では、技術スタッフの適切な説明と機器操作のおかげで順調に作業を行うことができたので感謝を申し上げます。

採択番号 19B041

研究課題名 古原生代の海洋環境復元：カナダ・フリンフロン帯及びケープスミス帯

氏名・所属（職名） 元村 健人・九州大学大学院 理学府 地球惑星科学学科（博士後期課程1年）

研究期間 2019/11/12-16

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】

古原生代は地球環境が大きく変化した時代である。大酸化事変（約24-22億年前）により大気中の酸素濃度が急上昇したことにより、海洋の酸化還元状態も大きく変化した（Lyons *et al.*, 2014, *Nature*）。このような海洋の酸化還元状態の変化は海洋中の生物必須元素濃度等に大きな影響を与え、生物進化を阻害していた可能性が指摘されているが、実際に海洋の酸化還元状態の時空間変化は詳細に制約されていない。そこで本研究では約19億年前の大陸棚堆積物が保存されているカナダ・ケープスミス帯に保存されている黒色頁岩を対象に主要・微量元素組成分析、軽元素（C-N-S）同位体比分析を行い、海洋環境についての検討を行う。

【期待される成果】

今後さらに複数の調査地域に保存される後期古原生代の堆積物について、これまでの研究と同様のデータセットを構築できれば、後期古原生代の海洋環境がどのようなものであったか、どのように変化したかが明らかになる事が期待される。

【利用】

2019年11月12-16日の日程で有機地球化学実験室設置の元素分析オンライン質量分析計（EA-IRMS）を池原実先生協力のもとで利用した。

【研究実施内容】

今年度は、カナダ・ケープスミス帯から掘削されたコア試料（4G8069コア：約90m）、カナダ・フリンフロン帯から掘削された試料（EEL425コア：約150m）、ガーナ・ビリミアン帯から掘削された試料（GHBコア：約170m）に含まれる黒色頁岩の分析を行った。4G8069コア・EEL425コアは、砂岩-黒色頁岩互層より構成される。GHBコアは主に火山碎屑岩層や火山岩層から構成されており、所々に細粒なシルト岩層を挟む。ただしGHBコア上部に含まれるシルト岩層については山口ほか（2019, *地質学会アブスト*）により炭素同位体比の分析結果が報告されているため、それらの分析は行わず、GHBコア下部に含まれるシルト岩層を重点的に分析した。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。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Sulfanilamide（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。

【得られた成果】

● 4G8069コア/EEL425コア

4G8069コアにおいて有機炭素同位体比は-32‰から-29‰の値を取り、大きく2度の変動をする（Carbon isotope excursions; CIEs）。CIE1ではコア底部（-32.0‰）から約45mかけて-29.5‰まで徐々に上昇する。CIE2では約5mかけての同位体減少（-29.5‰から-32.1‰）後、約25mかけての同位体上昇（-32.1‰から-31.0‰）をする。同様のCIEは昨年度の共同利用研究によって得られた分析結果（718.3333コアの分析）からも確認できる。718.3333コアにおいて、有機炭素同位体比は-30.6‰から-33.2‰まで約8mかけて減少した後、約40mかけて-31.9‰まで上昇する。以上のCIEsはそれぞれのコア試料に見られるコマチャイト層を同時断面として対比することで、2回のCIEとみなすことができる。

● EEL425コア

EEL425コアにおいて有機炭素同位体比は-22.3‰から-24.9‰の値をとる。

● GHBコア

GHBコアについては有機炭素含有量が非常に少なかったため、今後フッ酸処理を行い、再測定を行う予定である。

採択番号 19B051

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

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

研究期間 2019/11/24-12/5

共同研究分担者組織 池原 実（海洋コア）、他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

秋田県を含む日本海沿岸地域に分布する中期中新世以降の海成堆積岩は炭化水素鉱床を胚胎し、我が国固有のエネルギー資源として有効に活用されている。採鉱では、坑井に認められる地層の地質年代決定が鉱床の空間分布を知る上で非常に重要となる。海成堆積物に含まれる微少な化石は、地質年代決定において主要な手法のひとつに挙げられる。本申請で取り上げる化石種目「有孔虫」に関しては、「温暖系種の産出時代」が対比の基準とされてきたにも関わらず、温暖種の増加と過去の海洋環境変動の時空間規模との関係や温暖種の詳しい生態が未だ明らかとなっていないために、その時間面としての妥当性や現象の本質が理解されないまま利用されているに過ぎない。そこで、本申請では、秋田～青森地域に分布する上部鮮新統を精査層準として同化石の温暖種産出時期の古海洋環境を復元することを目的とする。2016～2017年の申請研究（16B072・17B065）では同種の間欠的な産出傾向を明らかにするとともに青森県鯉ヶ沢地域にて鮮新世／更新世境界付近での急激な酸素同位体比の変化傾向を捉えることができた。本申請では、さらに、同様の地質時代を対象に、石灰質微化石の保存が良好な秋田県能代地域で採集された*Globoconella* 属を中心に分析を行い、鮮新世末から更新世始めにかけての同種の時空間分布の傾向について検討を行う。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

令和元年11月24日から12月5日にかけて高知大学海洋コア総合研究センターの同位体質量分析計を用いて、秋田県能代地域鯉ヶ沢地域に分布する上部鮮新統～最下部更新統の天徳寺層・笹岡層より採集された浮遊性有孔虫化石の分析を実施した。層位間隔1mで試料の採集を行ったうち石灰質殻の保存良好な31試料について分析した。同位体分析試料の層位間隔は1～24mであった。浮遊性有孔虫化石試料は岩石試料から凍結乾燥法により抽出した。分析に際しては、調査区間を通して連続的な同位体記録が得られるように豊産する種を中心に測定したほか、比較的多様度の高い層準については、*Globoconella* 属と共産する種の同位体比の関係を検討するために、できるだけ多くの種の測定も試みた。最終的に、酸素同位体比分析に用いた種は*Globigerina bulloides*（18試料；以下同様）*Globoconella inflata praeinflata*（150～250 μ m:14, 250～355 μ m:17）、*Globigerina quinqueloba*（12）、*Neogloboquadrina incompta*（10）、*Neogloboquadrina asanoi*（2）、*Elphidium excavatum*（17）、*Planocassidulina norcrossi*（3）の7種で、合計93試料で有効な値が得られた。測定期間中の分析精度は0.02～0.121‰であった。

調査した層序区間を通して、*G. bulloides* が δ -0.07～-1.10‰、*G. inflata praeinflata*（150-250 μ m）が δ -1.21～-0.16‰、

G. inflata praeinflata（250-355 μ m）が δ -0.73～-0.53‰、*G. quinqueloba* が δ -0.54～-0.83‰、*N. incompta* が δ 0.05～0.76‰、*N. asanoi* が δ 0.64～-0.68‰、*E. excavatum* が δ 0.44～1.73‰、*P. norcrossi* が1.80～2.27‰の間で変動した。層準によって違いはあるものの、一般的に*P. norcrossi*、*E. excavatum*、*N. asanoi*、*G. bulloides*、*N. incompta*、*G. inflata praeinflata*（250-355 μ m）、*G. quinqueloba*、*G. inflata praeinflata*（150-250 μ m）の順に重い値を示した。*G. inflata praeinflata*の系統のうち、現生種である*G. inflata*は外洋域では亜表層に生息し、海洋表層に生息する*G. bulloides*よりも重い酸素同位体比を示すのに対して（例えば、Niebler *et al.*, 1999）、本研究では*G. inflata praeinflata*の酸素同位体値が比較的軽い値を示すことが明らかとなった。また、北半球高緯度域の氷床拡大期に対比される基準面A（2.75Ma；佐藤ほか、2003）前後の層序区間の変化に注目してみると、いずれの種でも際立った傾向の変化はみられなかった。今後これらの傾向について、堆積環境の変遷と合わせて検討を行う。

採択番号 19B052

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・国立研究開発法人 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 2019/10/28-30, 2020/1/27-28

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）, 畠 俊郎（広島大学）
伊藤 一教, 赤塚 真依子, 高山 百合子（大成建設株式会社）

【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、陸域負荷を受ける沿岸域では有機物が分解される、CO₂の放出源と考えられてきた。ところが近年、応募者の先行研究により、沿岸生態系が、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域の特性により、実証には手法や解析上の困難が伴い、「未知の炭素フロー」の検証は進んでいない。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年度に採取した試料については、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た。年代測定・同位体分析結果と合わせて取りまとめを行い、相対的海水準、土砂供給、静穏性、植生の変化が有機炭素貯留速度を規定していることがわかった（Watanabe *et al.*, 2019, Global Change Biology）。

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次処理させて頂いた。分取したサンプルの分析を現在進めている。

平成30年度は地理的成り立ちの異なる炭酸塩地盤のコア試料について、X線CTスキャナー、マイクロフォーカスCTスキャナーを利用させていただき、コア性状を観察した。

今年度は、炭酸塩地盤における炭素貯留速度と、炭素の起源や固化メカニズムを検討することを目的とする。さらに、堆積物中に埋没した炭素が、物理的な破壊を免れて長期間に渡り地盤として貯留されるメカニズムを検討するため、コアの性状と地盤強度との関係を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】

1. 目的

沿岸生態系への炭素隔離・貯留メカニズムを検討する。令和元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貯留速度と固化メカニズムを検討するため、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、性状観察に基づく分析試料の切り出し、試料分析（XRD）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）コア性状の非破壊測定と試料の切り出し（令和元年度に実施）

ルカン礁の地盤コアについて、地盤コアのX線CT画像を元に、固化状況の異なるコアの部位を選定し、マイクロフォーカスCTスキャナーを用いて取得した詳細なCT画像に基づき、分析領域を選定し、分析試料の切り出しを行った。分析試料として、地盤強度試験のためのスラブ、XRD分析試料、DNA分析試料、¹⁴C年代測定用試料を切り出した。

また、昨年度X線CTスキャナーで撮影した地盤コアとサンゴについて、外箱の影響や試料の厚みのために画像が不鮮明だったものについては試料の取り出しや切り出しを行い、再撮影を行った。

（4）試料分析（令和元年度に実施）

切り出した試料の一部についてXRD分析、¹⁴C年代測定、強度試験（針貫入試験）を行った。リーフの地盤コアから切り出したサンゴ試料は1万年前以降（完新世）の年代を示し、XRD分析の結果アラゴナイトが9割と主体であった。一方ラグーンの地盤コアから切り出したサンゴ試料は約4万年前（更新世）と古い年代を示し、XRD分析の結果カルサイトの比率が4-9割と高く、再結晶が進むなどリーフの地盤とは異なるメカニズムで固化していることが推定された。

また一部の試料についてレーザーラマンマッピングを行った結果、沖ノ鳥島のコア試料からはカルサイト、アラゴナイトに加えてアパタイトが検出され、場所によって再結晶化のメカニズムが異なる可能性が示唆された。

さらに地盤の強度を調べる針貫入試験を行った結果、ミドリイシ属のサンゴが他種のサンゴやマトリクスよりも高い強度を示した。同じミドリイシ属の骨格でも成長が速い枝の部分が枝の間を埋める共骨の部分よりも強度が高かった。地盤コアのマトリクスとサンゴの比率や、コアを構成するサンゴの種類、サンゴ骨格内の部位による強度の違いが地盤強度に影響する可能性が示唆された。

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 19B053

研究課題名 日本海の表層型ガスハイドレート含有堆積物の層序学的・地球化学的研究

氏名・所属（職名） 松本 良・明治大学 研究・知財戦略機構ガスハイドレート研究所（研究員・特任教授）

研究期間 2019/10/16-26, 11/17-22, 2020/1/20-26

共同研究分担者組織 大井 剛志, 下野 貴也, 柿崎 善宏, 蛭田 明宏（明治大学）

【研究目的・期待される成果】

表層型ハイドレートの起源を解明する上で最後に残された課題は、どのような地質背景で濃集したのか？なぜ日本海か？という根源的な問いである。濃集のタイミングについては、日本海の発達史、環境変動（氷期・間氷期変動）のフレームの中で評価する必要がある。これまでに得られたコア試料をもう一度全て見直し、層序的検討の不十分なものは新たな微化石、マグネの解析を実施、XCTにより炭酸塩の濃集層準を特定、それらの絶対年代を求め、日本海の変動とのリンクを実証し、ハイドレートの形成・発達史を定量的に明らかにしたい。本研究のゴールは日本海のメタン活動が、日本海の構造発達および第四紀の環境変動がどのように関連してきたかを明らかにすることであり、地球温暖化への新たな視点を提示するものとする。具体的には以下の分析・解析を実施することで、ハイドレート濃集時期の特定と、その地質背景を解明することが期待される。

- 1) 有孔虫の同位体層序：これまでの分析間隔を狭める高精度分析を行い、珪藻化石帯と比較することにより層序の高度化を目指す。
- 2) 古地磁気データの精密化により、層序を再評価する。
- 3) 炭酸塩コンクリーションの地化学分析：炭酸塩のSr同位体から海洋循環と年代について議論する。炭素と酸素の同位体組成からコンクリーションの生成時期、生成環境の解明を目指したが、装置不具合により計画を実施できなかった。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

- 1) 有孔虫の分析：

2018年度と2019年度の航海で、日本海南部上越沖の鳥が首海脚と日本海北部ロシア沿岸域で数mの長さの海底コア堆積物が複数のメタンブルーム域で採取され、そのうちの5つのコア（PC1810, PC1809, 11HC, 10HC, 08HC）についての有孔虫殻について安定同位体比組成と群集解析を実施した。安定同位体比の測定は、2019年10月末から12月にかけて、計135試料の有孔虫試料の安定同位体比を、高知大学の高知コアセンターにある質量分析計IsoPrimeで測定した。具体的には、10月20日～26日までの期間、高知コアセンター（担当：池原 実 教授）にて試料の準備を実施し、その後、11月末から12月にかけて何回かに分けて測定後、測定データを送付していただいた。

日本海南部、上越沖、鳥が首海脚（水深550～573m）

新潟県上越沖に分布するガストムニーマウンドで複数観測されたメタンブルーム（メタンシープ）上で採取されたPC1810（水深550m）、およびすぐ脇で採取されたPC1706とPC1809について、有孔虫殻の安定同位体比と群集解析を実施した。年代モデルより、堆積構造が保存され

ているPC1706およびPC1809には最終氷期最盛期（LGM）を含むMIS1とMIS2の連続堆積記録が、一方堆積構造が不明瞭で炭酸塩岩を介在するPC1810にはLGMのピークからMIS3にかけての堆積記録が得られた。加えて、PC1810の93cmbsfの1試料からメタン湧出を示唆する*R. rotundata*が多産し、その前後の有孔虫殻の炭素同位体比は殻表面が二次沈着しており、炭素同位体比も-14‰～-18‰に低下する。これらの産状と放射性炭素年代値より、LGMにおける海底近くのメタン濃度が急激に上昇し、殻への炭酸塩の膠着が進んだと思われる。

日本海北部、ロシア沿岸サハリン沖タタール海峡（水深300～330mおよび水深660m）

日本海北部のサハリン沖水深300～330mには、メタンハイドレートに起因したメタンブルームが南北の等深線に沿って列状に集中している。こうしたブルーム列より、炭酸塩岩が多く採取されたLV85-08HCとコアトップの厚い黒色層が特徴的なLV85-11HCについて、微化石分析を実施した。これら2コアでは、どちらもSMI深度（約1.2～1.4mbsf）の上位に炭酸塩岩の分布と浮遊性有孔虫殻の炭素同位体比の負異常（-10～-30‰）が認められ、年代モデルより現在もしくは近過去における高いメタンフラックスを示唆している。一方、ボックマーク近傍の水深660mより採取されたLV85-10HCからは、コア下部にglendoniteが採取されたものの、LGM以降の日本海北部における基礎的な安定同位体比と群集組成結果が得られた。これらは同コアにおける珪藻層序のA～C帯の分布や放射性炭素同位体年代とも極めて整合的である。

若狭湾沖で回収された堆積物コアの有孔虫の酸素同位体比のプロファイルから、最終氷期以降に流入を開始した対馬暖流に関して作業仮説を立てた。それを検証するために、隠岐の北方と南方から回収した堆積物中の有孔虫の分析を目的とした。機材不調のため、試料の準備だけを済ませ、分析待ちの状態になっている。

- 2) 古地磁気データの精密化：

古地磁気方位について一部層序的検討の不十分なもの（測定頻度や海域など）について追加測定を行い、古地磁気層序の検討を行った。さらに、泥質堆積物に含まれる磁性鉱物種や組み合わせを推定するため、同センターで岩石磁気測定（非履歴性残留磁化、磁気ヒステリシス、熱磁気測定、低温磁気測定など）を行った。上越沖コアの古地磁気層序は全てブルン期であったが、いくつかの層準で古地磁気強度の低下や伏角が浅くなる地磁気エクスカージョンと思われるイベントを確認できた。また、上越沖暗色層内の試料に含まれる強磁性鉱物については、一部でGreigiteと予想されるジャイロ残留磁化の影響とみられる磁気変化がみられたが、全有機炭素、全硫黄の高い

日本海北部（日本海盆，沿海州沖）の試料に比べるとその影響は小さくなく，Greigiteなど硫化鉱物由来の強磁性鉱物が含まれていたとしてもごく僅かであることが示唆される。

3) 炭酸塩のSr同位体：

メタン由来自生炭酸塩（MDACs）は海底直下のメタンの還元的酸化によって析出した炭酸塩であり，底層水の同位体比を記録している．今回は日本海東縁部のMDACsのSr同位体比と比較するため，日本海北部のタタートラフから産出したMDACsのストロンチウム同位体比（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比）の測定を行った．

Sr 吸着樹脂を充填したカラムと硝酸を使用してMDACsからSrを分離した．単離したSrは希硝酸，タンタル溶液とともにタングステンフィラメントに塗布し，表面電離型質量分析計で $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を測定した．これらの作業はすべて高知コアセンターで行った．

この分析の結果，タタートラフのMDACsの13試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の平均値は0.709146であり，日本海東縁部のMDACsよりも低い値を示すことが判明した（Kakizaki *et al.*, 2016）．この結果は，MDACsの形成当時タタートラフの底層水には周辺地域に由来する ^{86}Sr が多く含まれていたこと，また日本海の底層水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は一定ではなく海域ごとに多様であった可能性を示唆する．

4) 総括的議論：

日本海のメタンハイドレートはガスチムニー構造内に集積することが明らかにされたが，地震探査イメージの類似性から，ガスチムニーは泥火山，泥ダイアピールと同じものではないか，という主張がなされてきた．しかし，微化石層状や古地磁気データから，チムニー内の堆積物は層序を維持していることが確認され，ガスチムニー構造内に流動化は見られない．古い異地性の岩塊がチムニーを形成しているという証拠は見られない．ガスチムニーは，初生的には過剰なガスの逸脱ルートとして発達し，ガスのハイドレート化に伴い，円盤状～円柱状の形態を作ったものと説明される．

採択番号 19B054

研究課題名 海棲哺乳類の海洋環境適応の変遷史

氏名・所属（職名） 松井 久美子・九州大学 総合研究博物館（特別研究員）

研究期間 利用なし

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

哺乳類は三畳紀に誕生し、恐竜絶滅後、新生代に入り大繁栄した動物群で、地球上あらゆる環境に適応し、高山から深海までその生息域を広げている。海棲哺乳類は哺乳類の中でも海洋に適応した動物群で、鰭脚類、ラッコ、ホッキョクグマ、鯨類、海牛類、デスモスチルス類、長鼻類（一部）がこれに当たる。海棲哺乳類は始新世に現れ、現在までの間に海洋全体にその生息域を拡大させたが、海棲哺乳類が現在のような多様な形態・生息域を獲得した経緯は未だに明らかになっていない。そこで、これら海棲哺乳類を対象に、海棲哺乳類の爆発的多様化と海洋環境への適応の要因を解明することが本研究の目的である。本研究は各脳神経・感覚器形態の変化、各海棲哺乳類の進化・絶滅・多様性の変化などこれまで切り離して個別に議論されることの多かった課題を複数の分類群間で議論し、さらに全球規模の環境変動と結びつけて議論することを可能にする。さらに、各海棲哺乳類の生態的地位の変遷を明らかにし、加えて各海棲哺乳類分類群間の相互作用という視点から追跡することによって、海棲哺乳類の進化史の新たな側面を明らかにすることが可能になる。将来的には絶滅大型爬虫類についてもこの手法を応用していくことによって二次的水棲適応を果たした大型海棲脊椎動物の出現・絶滅と多様性の変化を明らかにすることが可能になると期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本申請では、海棲哺乳類の進化史を明らかにするために、海棲哺乳類の現生骨格をベースとした基礎研究の実施を予定していた。当初計画では、まず現生海棲哺乳類頭部骨格のCTスキャンの実施を行う予定であった。海棲哺乳類は一般的に大型であり、一般的な工業用X線CTスキャナーや小型X線CT装置で断層画像を取得することが極めて困難である。そこで、本申請課題では、一般的なCTスキャナーでは撮影不可能な、特に大型の哺乳類骨格標本も撮影が可能である高知大学海洋コア総合研究センター所属の医療用CTスキャナーAquilionを用いて海棲哺乳類頭部骨格標本（特に、ミンククジラを含むクジラ類）の撮影の実施を予定していた。医療用CTスキャンによって得られる骨格標本の断層画像のデータをもとに、頭骨内部の画像から二次的に脳や神経の3Dデータの構築を実施する計画であった。鯨類は体長1.5mから34mの非常に大型の動物であるが、大半の哺乳類とは異なり、頭蓋骨と耳骨が分離する構造を持っている。鯨類の巨大な体サイズと比較し、鼓室砲を除くと耳骨部位はわずか数センチメートル程度と非常に小型であり、マイクロCTスキャナーで撮影するのに非常に適したサイズである。そこで、これら耳骨をマイクロフォーカスX線CTスキャナXradiaを用いて撮影を実施する予定であった。当初、得られた

断層画像を用いて、鯨類の耳骨の3Dデータを構築し、耳骨内部、特に三半規管や蝸牛管といった構造の立体構築を実施する予定であった。取得予定であったデータをもとに、平衡感覚に関わる三半規管や小脳、視覚に関わる眼窩と視神経、聴覚に関わる蝸牛、嗅覚に関わる嗅球と篩骨、呼吸に関わる上顎甲介、知能に関わる大脳などの形態を復元し、これら3D形態データの取得と解析を実施し、化石種の水棲適応度や生息環境を明らかにしていくための基盤を構築という計画を立案し、九州大学総合研究博物館、いのちのたび博物館よりヒゲクジラ類、ハクジラ類、長鼻類、鰭脚類の骨格標本の借用を行っていた。しかしながら、2020年2月中旬以降、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の日本国内における感染経路不明の発症例が散発的に発生に伴い、感染拡大防止の観点から、高知大学外からの共同利用機器の利用が停止となり、予定していた骨格標本のCT撮影を実施することができなかった。新型コロナウイルスの感染拡大が落ち着き、海洋コア総合研究センターでの高知県外からの研究利用および研究滞在が再開されたのちにこれら標本のCT撮影を改めて実施したいと考えている。

採択番号 19B056

研究課題名 フィリピン海プレートの運動史の研究

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 2019/12/20-23, 2020/3/28-31

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

フィリピン海プレートの運動史を復元することは、プレート沈み込み開始や背弧拡大のテクトニクスを理解、さらには日本列島の構造発達史の解明のために重要であり、30年以上前から議論されてきた。フィリピン海プレートは一般に、50Ma頃には赤道付近にあり、その後大規模に北上したと考えられているが、これまで提案されている運動モデルは、大規模な時計回り回転運動を伴ったか否かに大別される。議論が収束しない最大の理由は、フィリピン海プレートが海洋プレートであり殆ど陸がなく、プレート運動復元の常套手段である古地磁気によるみかけの極移動曲線の構築が困難なためである。そこで本研究は、フィリピン海プレート内部の構造的に安定な場所から定方位試料を採取して古地磁気方位を求めることにより、長年の回転／非回転の議論を決着させることを目的とする。そのため、海底から長さ最大30cm程度の定方位コア試料を採取することが可能な、ROVでハンドリングするコアリング・システムの開発を、鉦研工業（株）で行ってきた。2019年5月に実施された新青丸KS-19-8航海において、フィリピン海北部の大東401海山及び日向海山の2カ所で、定方位コア試料の採取に成功した。採取された岩石は石灰岩及び砂質石灰岩で、予想年代は始新世～漸新世である。本研究では、採取されたコアの古地磁気測定を行う。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2019年5月の新青丸KS-19-8航海において、フィリピン海北部の大東401海山（大東海嶺）及び日向海山（九州パラオ海嶺）の2カ所で、鉦研工業（株）により製作されたコアリング・システムを無人探査機ハイパードルフィンで操作することにより、計5本の定方位コアが採取された。コア径は直径約35mm、採取されたコア長は、5～35cmである（マンガンクラスト被覆を除く）。これらのコアからダイヤモンド・カッターで整形した計25個の試料について、古地磁気測定を行った。

コアの同一層準から切り出された2個の試料について、それぞれ段階熱消磁と段階交流消磁を行った。段階熱消磁は100～600℃の間の16段階、段階交流消磁は5～80mTの間の12段階で行った。残留磁化の測定には個別試料用の超伝導岩石磁力計を用いた。個別試料用の超伝導岩石磁力計は自動的に交流消磁を行うことができないため交流消磁実験の効率が低いが、パススルー型超伝導岩石磁力計システムよりノイズレベルが低く、より微弱な残留磁化の測定に適している。採取されたコアは石灰岩または石灰質砂岩であることから、残留磁化強度が小さいと予想して個別試料用の超伝導岩石磁力計を用いたが、コア1本を除いて0.1A/mオーダーのかなり強い残留磁化を持っていた。

日向海山から採取された4本のコアのうち2本は比較的安定な残留磁化を持ち、主成分解析の結果、初生磁化と推定される磁化方位求めることができた。MAD（maximum angular deviation）は10度前後である。段階交流消磁と段階熱消磁ではほぼ一致する方位が得られ、各試料から得られた方位は比較的よいまとまりを示し、正帯磁である。残り2本のコアは、残留磁化はやや不安定で、まとまりの良い平均磁化方位は得られなかったが、逆帯磁と思われる。大東401海山から得られた1本のコアは、コア長が5cm程度と短く、測定できたのは2層準計4試料と数が少ないため、得られた磁化方位の信頼性の評価が難しい。

日向海山から得られた磁化方位は、偏角は大きく東偏し、伏角は現在の日向海山の緯度で地心軸双極子磁場から期待される伏角と同程度である。コアの年代は暫定的には漸新世であるが、現在石灰質ナノ化石による年代同定を依頼中である。以上の結果から、フィリピン海プレートは現在に近い緯度まで北上してから、大きな時計回り回転をした可能性が示唆される。

採択番号 19B057

研究課題名 後背地の土壌・風化環境変動が河川・湖沼の水質・生物生産性に及ぼす影響の評価

氏名・所属（職名） 葉田野 希・長野県環境保全研究所（技師）

研究期間 2019/10/21-25

共同研究分担者組織 吉田 孝紀（信州大学）、他 学生1人

【研究目的】

本研究では、温暖湿潤気候下において、集水域の地質と土壌熟成度が湖沼の水質や生物生産性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。温暖・湿潤気候下において、陸域の土壌は熟成しやすく、アルカリ・アルカリ土類元素といった可溶性元素が下層へ溶脱し、下流の水域へとすばやく流出する。そのため、温暖・湿潤気候かつ東アジア・モンスーンによる季節性多雨気候下にある日本列島の場合、集水域に分布する岩石の化学組成や土壌熟成度、土壌物質の流出プロセスは、湖沼の水質や生物生産性を規定する主な要因となる。しかしながら、日本列島において、湖沼の水質・生物生産性と集水域の地質や土壌環境との関係に着目した研究例は少ない。本研究では、中部日本の諏訪湖を研究対象とし、碎屑物の給源と土壌熟成度の変遷による湖沼環境への応答を捉える。

【期待される成果】

湖や河川において、堆積物からもたらされる無機栄養塩類は生物の一次生産性に大きな影響を及ぼす。現在、富栄養湖である諏訪湖の場合、気候変動や地殻変動などによる給源の変動に伴い、湖に運搬される碎屑物も変化してきたと考えられ、それによる湖沼の水質・生態系も大きく変化してきたことが解明されると期待される。また、諏訪湖の堆積速度は、1.2～2.0m/103yearと早く、高時間分解能の古環境変動を推定できることが期待できる。

【利用・研究実施内容】

諏訪湖は31本の流入河川をもち、流域の複数の地質帯から碎屑物が供給されている。過去の湖沼堆積物の給源やその時代変化を捉える上で、湖の集水域に分布する各地質帯の代表値を得る必要がある。一般に、現世の河川堆積物の組成は、後背地に露出する岩体の代表値を示す。そこで2019年度は、現世河川の浮遊物質および河川堆積物を採取し、各水系が運搬する浮遊泥の組成と流出源、それらの化学風化程度（土壌化の程度）を捉えるために、全岩化学組成を測定した。

諏訪湖流入河川のうち、単一の地質帯を通る計26の支流から、河床堆積物をそれぞれ2～3試料ずつ、計75試料を採取した。採取した試料は、風乾させた後、篩掛けによって63 μ m以下の粒子を選別し、2019年10月21日～25日に高知大学海洋コア総合研究センター設置のPANalytical社製MagiX PRO蛍光X線分析装置を使用し、全岩化学組成の測定を実施した。

【得られた成果】

鮮新統～更新統火山岩・火山碎屑岩類起源の河床堆積物は、 Al_2O_3/SiO_2 が0.4以上を示し、細粒な粒径構成を示す。化学風化指標であるCIA値は、鮮新統火山岩・火山碎

屑岩類起源の堆積物で74～84を、鮮新統～下部更新統火山岩類起源の堆積物で73～84を、中部～上部更新統火山岩類起源の堆積物で66～74を示し、源岩のCIA値（53～69；中村，1991；手島・河内，1994；山岸ほか，1999；向井ほか，2009）と比べて高い。鮮新統～更新統火山岩・火山碎屑岩類起源の堆積物におけるCIA値の差は、これら火山岩類が噴出後に地表で受けた化学風化強度の違いを表している可能性がある。その要因として、風化時間、土壌熟成度の違いが起因していると考えられる。中部～上部更新統火山岩類起源の堆積物は、LOIが著しく高く、LOIと Al_2O_3/SiO_2 が強い正相関を示すことから、アロフェンやイモゴライトなどの非晶質粘土の存在が示唆される。

また、これら堆積物は、 P_2O_5 濃度が源岩と比べて高く、リン酸吸収力が高い黒ボク土の生成を支持する。以上より、鮮新統～更新統火山岩・火山碎屑岩類では、化学風化・黒ボク土生成の進行によって、細粒碎屑物の生産が卓越していると考えられる。

三波川変成帯・秩父帯を起源とする河床堆積物は、 Al_2O_3/SiO_2 が0.3以下を示し、粗粒な粒径構成を示す。CIA値は、68～76と低く、緑泥石、雲母粘土鉱物、膨縮性粘土鉱物などの結晶質粘土鉱物のピーク強度が高い。このことから、三波川変成帯・秩父帯では、物理的風化による粗粒な碎屑粒子の生産が卓越していることが明らかとなった。

採択番号 19B058

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

氏名・所属(職名) 源田 亜衣・岡山大学大学院 自然科学研究科(博士後期課程2年)

研究期間 2019/12/9-13, 2020/2/12-13

共同研究分担者組織 井上 麻夕里(岡山大学), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

インドネシア通過流(Indonesian Throughflow: ITF)は、海洋大循環で唯一、熱帯表層を通過する海流である。そのため、地球表層の熱・水循環の要であり、エルニーニョ/南方振動やインド洋ダイポールなどの太平洋やインド洋の気候変動とも密接に関わっていることが示唆されている[Sprintall *et al.*, 2014]。しかし、インドネシア多島海は地形の複雑性のために数十年以上の観測記録の蓄積が乏しい領域である。そこで本研究では、ITFの影響下で成長した複数のサンゴ骨格を地質学的試料とすることで、ITFの表層域の環境と気候システムとの関係を空間的かつ時系列的に明らかにすることを目的とする。

本研究では、ITFの入口/出口であるブナケン島/バリ島近海から採取された現生の造礁サンゴの骨格コアを利用し、その骨格中の化学成分分析を行うことで50-100年間の海水温と塩分の復元を行う。また、これまでに同じ研究課題でセリブ諸島から採取されたサンゴ骨格中の酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$)の分析を行っている。セリブ諸島が位置するジャワ海はITFの主要な流路から外れるが、この海域に出現する低塩分水塊の挙動はITFの表層の輸送に影響し、気候変動とも関わっていることが示唆されている[Gordon *et al.*, 2003]。そのため、ブナケン島やバリ島のサンゴ骨格の分析を行うことで、ジャワ海表層の水塊とITF表層の海洋環境の関係を解明することも期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本申請では、バリ島沿岸から採取された塊状ハマサンゴ(*Porites* sp.)の骨格中の酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$)分析を、安定同位体質量分析計(IsoPrime)で行った。機器トラブルなどがあり予定よりも測定数が少なくなっているが、数年分のデータを得ることができた。

本研究で扱うサンゴ骨格は2012年に採取されたもので、骨格断面のX線写真を用いた年輪のカウントから90年前後の記録を保持していると推測される。本申請の測定では採取年に近い部分から断続的に約10年分の結果を得ている。分析結果から、骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ は-4.65~-6.01‰の間にプロットされた(分析精度 $\pm 0.07\%$)。同じ研究課題で測定を行ったインドネシア・セリブ諸島のサンゴ骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ は、-5.5~-7.0‰の間で変動しており、これらの値は他地域のサンゴ骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ と比較し低い値を示している。サンゴ骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ は海水温と海水の $\delta^{18}\text{O}$ を反映しており、降水量の多い地域ほどサンゴ骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ は低い値を持つ傾向があることから、インドネシア多島海が世界的に見ても降水量の多い地域であることと整合的である。また本研究では $\delta^{18}\text{O}$ と並行して、海水温にのみ依存する骨格中のストロンチウム・カルシウム比(Sr/Ca比)の測定を行っている。いずれの測定も1.6mm間隔で測定を行っており、サンゴ骨格コア上部の成長速度が6-10mm/yrであることか

ら時間分解能は2-3ヶ月に相当する。インドネシア多島海では、海水温の季節変動に年2回のピークが現れるが、バリ島沿岸では11-5月にかけて海水温が高く、6-10月にかけて低くなるような1サイクルの変動に見える。また降水量は、海水温が高い北半球の冬季に多くなる傾向にある。骨格中のSr/Ca比と $\delta^{18}\text{O}$ を比較すると、Sr/Ca比の変動から海水温が高くなる時期に骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ は軽くなる(海水温が高い/塩分が低い)傾向にあり、両者の変動が合致しているように見られた。このような合致は2008-2012年に見られたが、2005、2007年には海水温が高くなる時期に骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ が重くなっており(海水温が低い/塩分が高い)、Sr/Ca比の変動とは異なる傾向を示した。Sr/Ca比と $\delta^{18}\text{O}$ の相関を調べると、2008-2012年までは相関があるのに対し($r = 0.65$)、2005-2007年には相関がない($r = 0.07$)。バリ島周辺の降水量データ(CEREGE)から北半球の冬季(12-2月)の降水量を比較したところ、2006、2008、2009年には400mm以上の降雨があったのに対し、2005、2007年には280mm未満と少ない。降水量の違いが試料採取地周辺の海水の $\delta^{18}\text{O}$ に影響を与え、骨格中の $\delta^{18}\text{O}$ に反映されている可能性はあるが、数年分のデータしか揃っていないため、今後さらにデータ数を増やし調べを進めていくと同時に、降水量の変化に影響を及ぼしていることが考えられるエルニーニョ/南方振動やインド洋ダイポールといった太平洋、インド洋の気候変動との関係についても今後、検討していく予定である。

採択番号 19B059

研究課題名 IODP Exp. 358の掘削試料による南海掘削の三元応力測定に係わる古地磁気研究

氏名・所属（職名） 林 為人・京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻（教授）

研究期間 2020/3/25-26

共同研究分担者組織 山本 裕二（海洋コア）、他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

地震発生サイクルにおいて、応力は次の地震発生までの期間（間震期）に震源断層およびその周囲に蓄積され、地震時に急激に解放されると言われている。しかし、定量的な地震と応力の関係は未だ解明されていない。現在、IODPによる第358次研究航海が行われている南海トラフでは、Mw8クラス以上の大地震がおおよそ100年周期で繰り返し発生しており、同様の規模の大地震が今世紀中に発生する可能性が極めて高いと懸念されている。本研究では、平成30年度に行われていたIODP科学掘削で得られるコア試料を用いることにより、間震期にあると考えられる南海トラフ沈み込み帯における原位置応力測定を目的とする。また得られた応力状態をもとに地震と応力の定量的な関係の解明に寄与することを目指す。

本研究ではコアを用いた応力測定法として非弾性ひずみ回復法（ASR法）を用いる。ASR法では独立な6方向について掘削コアの非弾性ひずみの回復量を測定することで主応力方向を得る。また掘削コアを線形粘弾性体と仮定することで非弾性ひずみ回復量を応力値に変換する。ASR法では鉛直応力を主応力と仮定しておらず、3次元の原位置応力状態を測定できるという優れた利点を持つ。ASR法は過去のIODP航海においても実績があり、有効な応力測定法である。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今世紀中に発生する可能性が高いと危惧されている南海トラフMw8クラス以上の巨大地震の震源断層特性を解明するために、国際深海科学掘削計画（IODP）の代表的なプロジェクトである、南海トラフ地震発生帯掘削計画（NanTroSEIZE）は2007年の第314次研究航海（Exp. 314）から始まり、2018年10月～2019年3月の間に行われた Exp. 358まで断続的に行われてきた。発表者らは、NanTroSEIZEの掘削断面内における原位置応力状態の分布を解明するために、これまで多くの研究航海に参加して、応力の計測研究を行ってきた。本発表の研究では、Exp. 358で採取された掘削コア試料を用いた非弾性ひずみ回復（ASR）法による主応力の方向を原位置の方向に戻すために、ASR法応力測定に使用された同一コア試料を用いて古地磁気測定を行い、コア試料の定方位を行った。

コアの定方位化には、NanTroSEIZEにおいて実績を積んできた岩石の自然残留磁化を用いた方法（杉本ほか、2020）を採用した。今回定方位を行ったコア試料は、紀伊半島沖のフロントスラストのサイトC0024Eから3個（2R, 8R, 12R）と、前弧海盆のサイトC0025Aから3個（11R, 18R, 19R）であった。1つの円柱状コア試料から約2cmの厚みを持つ円盤状の試料を切り出し、その円盤状試料を9つのサブサンプルに切り分けた。その中から状態の良いものを8つ選び、それらに対してパススルー型超電導

磁力計を用いて段階的に交流消磁を行った。段階的に消磁を行っていくと、方向が変わらず大きさのみ減少していく磁化成分が現れる。この成分は特徴成分と呼ばれ、その水平成分は、岩石が形成された際の平均化された地磁気の水平成分、すなわち磁北方向に一致すると考えられる。この特徴成分の方向と岩石形成当時の磁北を一致させることでコアの定方位化を行う。8つのサブサンプルのうち、特徴成分が抽出出来たものを用いてその平均方向を決定した。その結果、6コア試料のうち方位決定出来たものは5試料であった。この5試料については、今回得られたコアの方位データを用いることで、ASR法による主応力方向の決定が可能となる。

参考文献：杉本 達洋，山本 裕二，山本 由弦，林 為人，2020，岩石残留磁化を用いた掘削コア試料の定方位化：半遠洋性堆積軟岩への適用例，*材料*，Vol.69，No.3，pp.256-262。

採択番号 19B060

研究課題名 南半球深海ペルム系－三畳系 (P-T) 境界層における有機地球化学的検討

氏名・所属(職名) 堀 利栄・愛媛大学 理工学研究科(教授)

研究期間 2019/11/12-27

共同研究分担者組織 池原 実(海洋コア), 他 学生1人

【研究目的・期待される成果】

約2億5000万年前の古生代末大量絶滅後の中生代初期(三畳紀前期)の海洋においては、汎世界的に無酸素水塊が繰り返し発生し不安定な環境であったことが示されている。その様な無酸素水塊の記録として、有機物に富む黒色堆積物が浅海から深海までの下部三畳系に広く分布し、特に北半球に分布する黒色堆積岩中の有機分子分析は進んでいる。一方で南半球の下部三畳系の有機物に富む黒色堆積岩の存在はよく知られているにも関わらず、十分な有機地球化学的検討がなされていない。そこで、申請者が所有しているニュージーランド北島に産出する下部三畳系深海堆積岩層中の有機物に富む黒色チャートの有機分子解析と炭素同位体比解析を行う事を目的に、共同研究を計画・申請した。

期待される成果としては、本研究を実施する事により、すでに多くの先行研究のある北半球の同時代の浅海・深海堆積岩の有機地球化学的検討成果と、南半球の成果とを比較することが可能になり、三畳紀前期の不安定な地球環境の全地球的解明が、海洋生物の変動も含めて、有機地球化学的側面から議論することが可能となることである。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

南半球ニュージーランド北島産のP-T境界層の下部三畳系黒色チャート試料5資料のうち、まず1試料について有機化学分析を行った。また、実際の未知試料の分析を行う前に、分析手順を習熟する為House Standardを使つての分析練習を最初に実施した。

未知試料の分析については、(1)含有有機炭素量の分析、次に(2)有機炭素同位体比分析、最後に(3)含有有機化合物(バイオマーカー等)の抽出を行った。

まず、(1)の有機炭素含有率の分析では、まず、サンプル中の無機炭素を除去するため、0.10031g量り取り、塩酸溶液を加え、72時間50℃に保った。その後、72時間塩酸に浸し反応させたサンプルを、超純水と遠心分離機を用いてリトマス紙が中性を示すまで洗い、試料中の塩酸を除去した。十分な純水によるリンスの後、試料を乾固させた。最後に、塩酸処理済サンプルを一定量量り取り、Sn箔で包みこみ、元素分析機(FLASH-EA)に投入し分析を行った。未知試料の有機炭素量は、同時に分析した標準試料Sulの測定値が推奨値と一致していることから、得られた分析値は信頼のおける値と言える。その結果、未知試料(ARB H15)サンプルの全有機炭素量は0.59%であった。これは既に報告されている同産地の他層準赤色チャート(ARB M12)の有機炭素含有量0.023%(Hori *et al.* 2007)と比べて1桁大きく、今回分析ターゲットとする黒色チャートには、多くの有機物が含まれていることがわかった。引き続き、(2)の有機炭素同位体比の分析

を実施した。同じく、塩酸処理済みの黒色チャート(ARB H15)試料を5.60mg, 14.17mgと量り取り、重さを変えて炭素同位体比分析を行った。2試料とも、有機炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)は、-26.56, -26.56‰と同様な数値を示した。これらの値は、すでにHori *et al.* (2007)によって報告されている、同層準の試料分析値とも一致しており、データの再現性が非常に良いことが判明した。また、今後は検討予定の黒色チャート分析において、5mg前後で分析を実施すると良い事がわかった。(3)の分析では、バイオマーカー抽出分析により、分子量の小さい有機物からかなり連鎖の長い分子量の大きい有機物まで、多種多様な有機物を分離できた。しかしながら、予定されていた共同研究期間では時間が不足していた為、バイオマーカーの特定までには至らなかった。今後は、分析指導の池原実教授の指導の元、他層準(4試料分は未分析)と、今回分析を行った黒色チャート試料の有機化合物の特定を行っていく予定である。

採択番号 19B061

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 2019/10/21, 11/5-10, 11/17-21, 12/3-6, 2020/1/26-31, 2/2-3

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）、廣瀬 孝太郎（早稲田大学）、安田 裕紀（神戸大学）
生野 賢司（兵庫県立人と自然の博物館）、他 学生3人

【研究目的・期待される成果】

深海底コアなどの研究から、前期更新世末～中期更新世初めのMPT期の気候変動について新知見が次々と報告されている。しかし、陸域堆積物を用いて高時間分解能、高精度の気候変動を復元した研究は少ない。とくにアジアモンスーン変動が気候変動に強く関係している日本列島の古気候記録は、氷床変動の影響が強い高緯度地域との比較から、MPT期における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もなる。

本研究では、古琵琶湖層群堅田層から採取したコア堆積物を用いて、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MPT期の気候変動にどのように表現されているか、2) ブリュンヌ・松山（BM）境界における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同様に生じたかを検証する。

陸域堆積物からMPT期の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、堆積速度の大きな湖沼堆積物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。また本研究は、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堆積物を広域テフラにより対比、編年し、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独自性を持つ。

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コアの分析から初めて地質学的に示され、日傘効果が冷涼化の有効なメカニズムであった可能性が指摘された。このような地質学的な証拠は世界的に稀で、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なれば、冷涼化がより確実となり、日傘効果の重要性が強調される。冷涼化の検証とその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を進める際にも重要な意義を持つと考えられる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本年度は初めに、2019年6～7月に古琵琶湖層群堅田層から掘削した2本のオールコア（KT2, KT3コア）の半割とコア連続写真撮影を行い、コア堆積物の層相と挟在するテフラ層の記載を行った。並行してKT3コアを主体に花粉分析用の試料を採取した。次に、昨年度に掘削した定方位コア（KT1コア）のX線CT撮影と、帯磁率およびγ線強度の測定を行った。KT1コアに引き続いて、KT2およびKT3コアを対象として、X線CT撮影と、帯磁率およびγ線

強度を測定した。コア連続写真とX線CT写真を用い、さらに帯磁率変化を参考にして、挟まれるテフラ層の確認を行った。

半割した一方のKT1コアは神戸大学理学部に運搬し、松山・ブリュンヌ（MB）境界の層準を明らかにするための試料を採取した。採取試料は、神戸大学低温センターおよび高知大学海洋コア総合研究センターにて古地磁気分析を進めた。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、昨年度終わりに採取したKT1コアの試料の分析を立命館大学古気候学研究センターにて進めた。

KT1コアからは肉眼で識別できるテフラは確認されなかった。このため、帯磁率の深度変化を参考にし、その急増ピークを示す層準を中心に火山ガラス分析用の試料を採取した。KT2コアでは広域テフラである八甲田－国本テフラに対比される今熊I、大阪層群など西日本各地の中部更新統中で確認されている今熊IIの2層のテフラを、KT3コアでは広域テフラであるアズキテフラと、その上位に狭山、バイオタイトIの2層のテフラを、それぞれ肉眼で識別した。各テフラの対比は、岩石記載の特徴に加えて火山ガラスの主成分・微量成分分析により確認した。テフラ対比の結果、堅田層（KT1～KT3コア）－大阪層群（大阪湾1700mコア）－上総層群国本層をテフラ鍵層で直接的に対比できることになった。

古地磁気分析では、KT1コアの試料の熱消磁分析を行って古地磁気層序を明らかにし、KT1コアの深度30.77～36.29mにMB境界を確認した。この境界層準には9回の極性反転が起こっており、中国黄土高原で報告されているMB境界における煩雑な極性反転の存在を、日本で初めて指摘できる可能性が高まった。

花粉分析はKT1コアについて約1m間隔で採取した試料について行い、酸素同位体ステージMIS22～MIS18間の気候変動（寒暖の変化）に対応する古植生の変化が推定された。とくに上記のMB境界直上での温暖化が指摘でき、今後の高精度分析によって、MB境界における地磁気弱化に伴う冷涼化とその後の回復に伴う温暖化を検出できる可能性が確認された。

採択番号 19B063

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域の環境変動

氏名・所属(職名) 近藤 康生・高知大学(教授)

研究期間 2019/11/25-29, 2020/1/16

共同研究分担者組織 長谷川 精(高知大学), 他 学生3人

【研究目的・期待される成果】

室戸半島西岸に分布する鮮新・更新統鮮新統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。このような背景の下、本研究は、モミジツキヒガイおよび近縁現生種であるイタヤガイ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、穴内層産鮮新世二枚貝モミジツキヒガイを用いて、鮮新世の海洋気候変動を明らかにすることをめざす。具体的には、酸素同位体分析およびICP-MSを用いた微量元素分析を行い、リチウム／カルシウム比(Li/Ca)の変動パターンと微細殻成長パターンを比較するとともに、これらの変動パターンと実測水温やクロロフィルaの変動パターンとの関連を検討する。

昨年度の研究により、土佐湾の現生イタヤガイには、(1) 一年のうち、春と初夏の2回の高成長期があり、それぞれとLi/Caの増大期が一致すること、(2) これら2回の高成長期はクロロフィルaの増大期と一致しており、プランクトン・ブルームに対応していると考えられること、(3) 鮮新世末のモミジツキヒガイは、現生イタヤガイとは、季節的殻成長パターンが逆転していたこと、すなわち、現生イタヤガイは春から初夏にかけての水温上昇期、モミジツキヒガイは秋から春にかけての水温低下期、によく成長していたこと、が明らかとなった。

今年度は、平成30年度の分析個体とは生存期間が異なるものの、一部重複する別個体のイタヤガイの分析を行うことによって、これまでのイタヤガイについての研究成果を検証する。さらに、異なる年代のイタヤガイの分析を行い、時代的な変化を探る予定である。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

鮮新世から更新世にかけての黒潮沿岸域における絶滅と進化を探るためのモデル古生物として確立するため、土佐湾産現生種イタヤガイ *Pecten albicans* の殻成長特性と環境要因との関連を、昨年度に引き続いて検討した。今年度も、酸素同位体比分析、LA-ICP-MSによる元素分析、特にLi/Ca比に注目し、それらと土佐湾での実測水温等のデータ(広田・市川, 2012, 等)と照合する研究を継続した。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2個体(A個体: KSG-th001, およびB個体: KSG-ho429-3)の左殻である。両個体とも採集時に生きていたが、A個体には微小な捕食痕が見られた。また、A個体はB個体に比べて約3週間早く成長が停止していたことが推定された。このことから、A個体に対する捕食は致死적ではなかったが、捕食以後殻成長はできなくなったと解釈された。これら2個体について、2010年から2011年の春にかけて、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、同位体水温と実測水温の変動パターンの対比に基づいて、時系列データを実際の季節・月に対応させた。

その結果、A個体は、B個体に比べて約50日早く孵化したことが推定された。また、土佐湾産イタヤガイの日成長量およびLi/Ca比は、両個体で同じ傾向で変動したことが確かめられた。このことは、イタヤガイの異なる個体が環境変化を共に記録していることを意味し、イタヤガイの殻が、観察が容易な日輪と相まって、古環境アーカイブとして有用であることを示す。ただし、早く孵化したA個体は、B個体に比べて2年目秋に殻成長が失速することが推定された。したがって、イタヤガイを古環境アーカイブとして利用する際には、孵化後1年を過ぎると、殻成長が鈍化することに留意すべきことを示す。

なお、同位体水温と実測水温の対照に基づく、明瞭な日輪が認められない殻成長停滞期が約120日あり、そのほとんどが8月~11月であることが推定された。言い換えれば、この期間を除くとイタヤガイはほぼ欠落無く日輪を形成することが推定された。以上の結果、イタヤガイの殻は、殻形成が停滞する秋季を除き、黒潮沿岸域における日単位の記録が残る古環境アーカイブとして有用であると言える。

さらに今回は、表生生活者であるイタヤガイ類との比較のため、内生生活者であるマルスダレガイ科二枚貝のスダレガイ *Paphia euglypta* の酸素同位体分析も併せて行った。スダレガイにおいても、イタヤガイと同様に夏季の終わりから秋の始めにかけての高水温期に殻成長が停滞したことが明らかとなった。ただし、同じ海域の同じ水深帯で、表生生活者と内生生活者で殻形成にどのような違いがあるかは、今後の検討課題である。

採択番号 19B064

研究課題名 岩石磁気特性を用いた火山噴出物の分類に関する基礎研究プロフィール

氏名・所属（職名） 穴井 千里・京都大学大学院 理学研究科附属地球熱学研究施設
火山研究センター（機関研究員）

研究期間 2020/1/20-24

共同研究分担者組織 大倉 敬宏（京都大学）、望月 伸竜（熊本大学）、他 学生2人

【研究目的・期待される成果】

近年、火山噴出物による古地磁気学的手法を用いた「火山層序の高精度化」や古地磁気方位・強度測定による「地球磁場変動の復元」などの研究が進められている。本研究は、これらの研究への寄与として岩石磁気学的見地から各噴出物の磁気的性質を明らかにし、噴火ごとの分類を行うことが可能であるかを検討することを目的としている。

本研究では、現在も活動を続ける阿蘇中岳の火山層序の高精度化を試みるために、古地磁気方位測定を先行的に行なっている。阿蘇中岳の火山層序は古期・新期・最新期の3つに区分されている。詳細な層序は遠地に堆積したテフラにより評価されているが、溶岩やアグルチネートとの対比は付いておらず、溶岩やアグルチネートに関する詳細な層序の情報はない。そのため古期（22-21ka）・新期（5ka前後）・最新期（～現在）山体はそれぞれ単一時期の噴火であるとされている。しかし、測定した新規山体の古地磁気方位は少なくとも3つの異なる時代の噴火を示唆していることが明らかとなってきた。そこでこれらの岩石磁気特性を確認することで、各噴出物の特徴を明確にし、対比を行うための分類に寄与するかを検討する。また、古地磁気強度測定においても、その溶岩が持つ岩石磁気特性を明らかにすることは、得られた古地磁気強度の妥当性の判断に役立つ。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

高知コアセンター古地磁気・岩石磁気実験室において、VSM, MPMSおよびスピナー磁力計を用いた岩石磁気測定および古地磁気測定を行った。主たる実施研究は阿蘇中岳新期山体から噴出した溶岩流およびアグルチネート試料を用いてVSMによる磁気履歴曲線の作成およびFORC測定である。対象サンプルの基本的な磁気特性を理解することが目的であり、得られた結果は以下の通りである。

VSMデータから作成したDay plotより、溶岩流試料の磁性鉱物の粒子サイズはほぼ擬単磁区粒子（pseud single domain; PSD）の領域であることが確認できた。アグルチネート試料は、溶岩流と比較してやや単磁区粒子（single domain; SD）寄りの領域にプロットされた。磁性鉱物の粒子サイズはSD<PSD<多磁区粒子（multi domain; MD）であるが、PSDはSD+MD粒子で構成される試料およびPSDサイズの粒子がプロットされる（Dunlop, 2002）。溶岩流を構成する磁性鉱物はSD+MD Mixing Line（Dunlop, 2002a, b, Heslop and Roberts, 2012）に沿って分布しているため、SDとMDの混合であると考えられる。Bcr/Bcが1.8~3.0, Mrs/Msが0.05~0.3の値をとる範囲にプロットされることから、Dunlop（2002a, b）およびHeslop and Roberts（2012）よりMDの割合は70~90%と見積もられる。

アグルチネートは、Bcr/Bcが1~2, Mrs/Msが0.2~0.5の範囲に集中しており、MD粒子が60%未満のSD+MD粒子から構成されている。

同一の火山からの噴出物の化学組成は類似していることが多い。特に阿蘇中岳新期山体から噴出した溶岩やアグルチネートは、化学組成はほぼ同一であり分類や対比は極めて困難であることが知られている。また、中岳は古期、新期、最新期と3つの山体および火砕丘からなっており基本的な地質が複雑であり噴火規模やその範囲に関する情報が曖昧である点が火山研究の律速となっていた。古地磁気および岩石磁気学は、新たな側面からのデータを提供できるツールとしての利用が期待できる。現段階で得られた岩石磁気学的結果は、噴出物の対比や分類に直接利用できるには至らないものの、古地磁気方位と複合的に検討すると、新期中岳噴火の詳細が理解できるものとなった。

また、本研究における最大の成果として、比較的大規模な噴火による噴出物の磁気特性を明らかにすることで、現在起こっている噴火プロセスの推定に繋げる可能性が示唆されたことである。阿蘇中岳は2019年7月より噴火を開始し、現在までその噴火は続いている。この噴出物の岩石磁気特性と過去の噴火によって得られた岩石磁気特性を比較することで、噴出した火山灰の被熱温度や磁気特性を特定し、噴火の段階に応じた変化を捉える。この研究が確立すれば、火山地質や古地磁気学への新たな見識を提供できるのみでなく、防災・減災に対しての波及効果も期待できる。

採択番号 19B065

研究課題名 相模湾産 現生種キサゴ *Umbonium (Suchium) costatum* に記録される酸素同位体比プロファイル

氏名・所属（職名） 中山 健太郎・福井県立恐竜博物館 主事（研究職員）

研究期間 2019/11/24-12/1

共同研究分担者組織 近藤 康生（高知大学）

【研究目的・期待される成果】

キサゴ亜属 *Umbonium (Suchium)* はニシキウズガイ科・サラサキサゴ亜科に属する腹足類であり、本邦のキサゴ類は軟体動物の中でも数多くの化石種および現生種の祖先-子孫関係が明らかにされている分類群である。しかしながら、このように系統関係がほぼ明らかになっている分類群についても、成長・生息環境などといった生態情報がその系統樹に併記され、系統進化における生態学的特性の変化が表現された例はない。申請者は小澤・岡本（1993）の系統関係に基づき、キサゴ類の酸素同位体比分析による成長速度および生息場所（緯度分布・鉛直分布）について、祖先種（化石種）から子孫種（現生種）への進化に伴う生態学的特性の変化を解明することを目的としている。その研究成果の例として、酸素同位体比分析に基づくダンバイキサゴの酸素同位体比プロファイルの解明（Nakayama *et al.*, 2016）や現生種キサゴとその祖先種 *U. (S.) obsoletum* の進化に伴う生態学的変化の研究（中山・近藤, 2018）が挙げられる。これらの研究の特色は酸素同位体比分析をキサゴ類に用いることにより、これまで解明されていなかった成長が具体的な数値で議論できるようになった点である。分析標本数を増やすことによって、地域的・緯度的な成長の比較や酸素同位体比プロファイルの比較、同一地域の生息水深の異なる種間での酸素同位体比プロファイルの比較などといった、より詳細な進化の議論が可能となる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

MAT-253を用いた酸素同位体比分析を行うにあたり、ハンディルーターを用いて相模湾産キサゴ *Umbonium (Suchium) costatum* の殻表面の外層を微細成長線に沿って5-6mmにわたって粉末試料を採取した。分析によって得られた酸素同位体比プロファイルに基づき、水温換算式から殻形成時の海水温を算出した。その後、相模湾で実測された海水温データから殻形成時の年月を推定し、相模湾産キサゴの絶対成長を推定した。また、Nakayama *et al.* (2016) の相模湾産ダンバイキサゴ *U. (S.) giganteum* の酸素同位体比プロファイルとの比較も行った。

分析標本は、佐藤ほか（2009）が相模湾産ダンバイキサゴの成長解析を行った際に採集された（2000年10月19日採集）標本であり、採集時には生きていたことが確認されている。酸素同位体比分析を行った結果、本標本には1998年4月～2000年3月までの季節性の海水温変動が記録されていることが分かった。ただし、殻口縁辺が欠損しているため、2000年4月～10月までの海水温データは欠如している。殻に記録される $\delta^{18}\text{O}$ 値は殻形成期前半で-0.74～-2.83、後半で-1.50～-0.25の間で推移し、殻形成期後半に記録される $\delta^{18}\text{O}$ 値は前半に比べ、全体として大きい値が記録されている。グラフの形状は殻形成期前

半において緩やかな形状を示すのに対し、後半では上に鋭角な凸のグラフの形状を示す。これは殻形成期前半の成長速度が速く、後半では殻成長速度が前半に比べ、緩慢になったことを示す。次に殻表面の成長障害輪の形成時期をみると、最初の成長障害輪は1998年8月～9月頃、2本目は1999年の6月～7月頃に形成されており、いずれも夏季に形成されていることが分かった。つまり、本標本の殻表面にみられる成長障害輪は夏季に1本形成される年輪であり、中山・近藤（2018）が高知県産キサゴにおいて確認した年輪の形成時期と一致する。さらに、年輪の形成月とその直後の推定月に着目すると、最初の年輪は1998年8月～9月頃に形成され、その直後に記録されているプロファイルは12月であり、10月、11月の約2ヶ月分が記録されていない。また、2本目の年輪では1999年の6月～7月頃、その直後では2000年2月～3月であり、8月～1月の約6ヶ月の記録が残っていない。これらの酸素同位体比が記録されていない期間は、おおよその成長停滞の期間（殻成長が復帰するまでの期間）と解釈することができる。最後に相模湾産ダンバイキサゴのプロファイルとの比較を行う。Nakayama *et al.* (2016) が分析に用いた標本は1999年11月25日に採集された標本であり、酸素同位体比分析の結果から、殻表面の成長障害輪が秋季～冬季に形成される年輪であることが明らかになっている。両種間のプロファイルを比較すると、殻に記録される $\delta^{18}\text{O}$ 値の幅に大きな違いはなかったが、成長停滞期間に違いがあることが分かった。ダンバイキサゴの最初の年輪形成後の成長停滞期間は約0～1ヶ月、2本目では約1～2ヶ月であり、キサゴと比較すると短い。つまり、相模湾産ダンバイキサゴは、秋季～冬季にかけて一時的に成長が停滞するが、すぐに付加成長が再開されるため、年間を通して連続的に成長しているのに対し、相模湾産キサゴは夏季に成長が著しく停滞し、その後、すぐに付加成長は再開せず、ある程度の期間を経過した後に付加成長を再開し始める」と解釈できる。

採択番号 19B066

研究課題名 猪苗代湖と周辺の湖成堆積物にみられるバーコード様縞構造の成因解析

氏名・所属（職名） 片岡 香子・新潟大学 災害・復興科学研究所（准教授）

研究期間 2019/11/25-30, 2020/2/24-28

共同研究分担者組織 長橋 良隆（福島大学）

【研究目的・期待される成果】

福島県の猪苗代湖は、最大水深が94mで、日本最大の火山性せき止め湖である。猪苗代湖湖底および湖の拡大期の地層を含む周辺の平野域において掘削されたボーリングコア堆積物は、過去5万年間に堆積したもので、水深が深い環境下で堆積した湖成粘土をバックグランド堆積物として、湖の上流域にある磐梯山（ばんだいさん）と安達太良山（あだたらやま）から流入した火山性密度流起源のイベント堆積物が多数挟まる（長橋ほか, 2018; Kataoka and Nagahashi, 2019）。バックグランド湖成粘土には、それぞれがサブミリメートルからミリメートル厚のバーコード状で不規則な縞模様が発達する。それらは構成粒子や年代モデルとの比較からも、一般的年縞ではない他の成因に求められる。また縞模様のパターンは層準により変化し、リズムカルな周期がみられる区間も存在する。

本研究は、湖成粘土について、XRFコアスキャナーを用いた堆積物鉛直方向の連続化学組成分析を行うことで、色調や粒径の変化だけでは理解できない、縞構造の成因を明らかにすることを目的とする。具体的には、1) 縞構造に周期性がみられる区間について、どの元素が卓越し、それが周期的に変化するのかを検討し、そこから湖外の流入イベントの変化によるものか、湖内の全湖的な現象によるのかを探る。2) 縞構造のパターン変化について、異なる地点間の対比を試み、岸により近い地点と湖心での異なる環境下での縞構造パターンの組成的変化を明らかにする。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では、実施期間の二度にわたり（11月下旬・2月下旬）それぞれ4日間、高知大学海洋コア総合研究センター所有のCox Analytical Systems製Itrax XRFコアスキャナーを用い、猪苗代湖湖底および猪苗代平野域から得られたボーリングコア堆積物の鉛直方向の連続化学組成分析を行った。管電圧30kV・管電流55mAの条件で、試料は、猪苗代湖底コアはIN01-22の深度19-20mを200 μ m間隔で、猪苗代平野コアは、小平潟コア（KBR2015）が深度70-71m, 74-75m, 93-94m, 102-103mがそれぞれ200 μ mと500 μ m間隔、JAコア（JA2018）深度57.3-61m区間の連続4本分のコア（それぞれは1m長, no. 74-77コア）については500 μ m間隔, no. 74-76については200 μ m間隔でも、測定を行った。その結果、以下の1) から3) の成果を得た。なお、報告書作成の現時点では、一部の分析データの解析はまだ進行中である。

1) KBR2015コアを共通の分析試料として、Itraxによる分析結果と福島大学共生システム理工学類所有のHORIBA製XGT-7200のXRF分析結果について、X線強度プロファイルの比較を行った。XGT-7200によるXRF分析は、長橋・

中澤（2016, 第四紀研究）に基づいて行った。ItraxとXGTのX線強度プロファイルを比較すると、K・S・Ti・Mn・Fe・AsのX線強度プロファイルは、移動平均の傾向がよく似ており、また強く出るピークの位置（層準）もほぼ一致している。Si・CaのX線強度プロファイルは、移動平均の傾向は概ね似ているが、一部で強度の変化傾向が異なる（例えば、深度70.77m-71.00m）。これはItraxのX線照射部が20mm×500 μ mの矩形であるのに対して、XGTのプロブ径は1.2mmであるため、粗粒な堆積物の場合にXGTの方が固有粒子の影響を受けやすいためと考えられる。AlのX線強度プロファイルは、Itrax分析による強度が低く、増減の傾向が読み取れないため比較自体が困難であった。

2) KBR2015コアの深度70-71m部には、層厚0.4~4.4cm、特徴的な青灰色を呈する粘土層が少なくとも7層挟まる。これらでは硫黄と鉄含有量が高く、微量にヒ素が検出される。これらの層相と化学的特徴は、猪苗代湖の湖心部の湖底堆積物コア（INW2012）で検出されている安達太良山起源の密度流堆積物の特徴（Kataoka and Nagahashi, 2019, *Sedimentology*）と一致する。猪苗代湖湖底のINW2012コアの密度流堆積物と同様に、KBR2015コアにも、安達太良山の水蒸気噴火の堆積物あるいは火口付近の熱水変質帯に由来する黄鉄鉱や硫酸塩鉱物、変質岩片が含まれると考えられる。

3) JA2018コアには、サブミリメートルからミリメートル厚の縞状湖成粘土と、それとは異なり、数mm~2cm程度と厚い、黒灰~濃青灰色粘土（濃色粘土とする）が数cm間隔で繰り返して挟在する。この濃色粘土は塊状・均質で、上・下位の縞状湖成粘土に比べて鉄とマンガンが高く、しかもマンガンの数1000カウントと高い層準が多いことが特徴である。一方、硫黄とヒ素とが顕著に検出される濃色粘土もあるが、その数は11層準程度と濃色粘土の層数に較べると1/10程度と少ない。湖心付近のINW2012コアでは、JA2018コアのような厚層の濃色粘土の繰り返しは見られない。JA2018コアの位置関係から、堆積当時はINW2012コアよりも、岸に近い環境であったと考えられるため、磐梯山などの陸源や湖底斜面からの物質や水の供給が、濃色粘土の形成に関わった可能性もある。

採択番号 19B067

研究課題名 秋田県田沢湖の湖底堆積物の地球化学的特徴と環境変動の解析

氏名・所属（職名） 石山 大三・秋田大学大学院 国際資源学研究所 資源開発環境学専攻（教授）

研究期間 2019/10/19-22

共同研究分担者組織 学生2名

【研究目的・期待される成果】

田沢湖は170万年前に形成されたカルデラ湖で、秋田県東部に位置する日本で最も深い深度を持つ湖である。田沢湖の水深が深いこともあり、これまで湖底の堆積物試料について研究された例は多くはなかった。田沢湖の堆積物を研究することで、完新世の環境変動を解析できる可能性が考えられ、本堆積物を研究する意義は高いと思われる。本研究では、2015年に田沢湖の湖底から採取された長さ約4mの堆積物コア試料を解析し、堆積物の地球化学的特徴を明らかにするとともに、その特徴に基づき、過去から現在までの環境変動を明らかにすることを目的にしている。

期待される成果としては、田沢湖の湖底堆積物の地球化学的特徴を明らかにすることにより、近年の人為的な環境変化の影響も含めて、過去7000年から現在までの環境の変動を明らかにすることができると考えている。具体的には、田沢湖の堆積物の P_2O_5 含有量等の化学組成変化と珪藻土層の出現の関係から珪藻土層形成の要因の解明や、堆積速度の変化から気候の変化を推定することができると考えている。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

1. 研究の目的

地球が温暖化しているか判断するためには、過去の地球の気候を知る必要がある。気候変化は湖底堆積物の岩相から読み取ることができる。2015年に秋田県東部の田沢湖から、およそ7,000年前から現代までの環境情報を記録している堆積物コアが採取された（松岡, 2016）。本研究では同コアを分析し、結果から推定される7,000年間のイベントを検討した。

2. コアの分析手法

①堆積物の岩層変化を把握するために、コアの肉眼観察結果や構成粒子の顕微鏡観察を行った。②岩相をさらに詳細に検討するために、CTスキャンで得た堆積物粒子の密度・粒度測定結果を検討し堆積物の物性を明らかにした。またXRFコアスキャナを用い堆積物全体の連続的化学組成変化を1mm間隔で測定した。③さらに堆積物の給源を特定するためXRDやSEM-EDSで鉱物組み合わせを調べた。以上の結果を松岡（2016）の ^{14}C 年代測定データと対応させイベントを検討した。

3. 分析結果及び考察

コアの基質は暗黄褐色シルトで、38枚の砂層、9枚の珪藻土層が存在する。2枚の十和田火山テフラ層（松岡, 2016）も認められた。コア上部0～13cm部分は元の暗黄褐色から灰色かかった黒色に変色している。 Fe ・ As 等の元素の高い強度異常が見られることから、1940年の玉川温泉由来

の玉川河川水が田沢湖に導水されて以降の堆積物であると考えられる。シルト質堆積物の構成鉱物は石英・斜長石・緑泥石・イライト・沸石類で、砂層は斜長石に富む傾向があり Ca ・ Sr に富む。

XRFコアスキャナで得た Ca ・ Sr 強度の連続スペクトルから、砂層の流入頻度はコア下部では1000年あたり6.1回であったのに対し、上部では1000年あたり1.7回であった。また、粒度測定の結果に基づくと、コア下部では砂層中の砂含有量が高い値を示したのに対し、コア上部はその値が低かった。田沢湖のように流入河川がほとんどなく堆積物が周囲の外輪山から供給されるような環境では気候が温暖な時期は降水量が増え堆積物の流入が増えると考えられる。また寒冷な時期は降水量が減り堆積物の流入が減ると考えられる。この堆積環境の変化は気候変化に起因すると考えられる。

堆積環境変化を年代データと合わせ気候変化年代を推定した。気候変化年代はおよそ4,700BPである。コア下部に相当する前期の7,000～4,700BPは温暖な気候だったと考えられ、見かけ堆積速度は0.048cm/年であった。上部に相当する後期の4,700BP～現在は寒冷な環境だったと考えられ、見かけ堆積速度は0.035cm/年であった。推定した気候変化年代は国内の寒冷化が始まったとされる5,000年前（甲元, 2008）とおおよそ調和的である。

採択番号 19B068

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 2020/2/3-5, 2/17-18

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

海成堆積岩には、炭酸塩コンクリーションという球状の硬くて緻密な岩塊が頻繁に含まれている。このことから、コンクリーションの形成は、海成堆積物の続成過程における普遍的な現象だといえる。しかし、海成堆積岩中のコンクリーションに関して、(1) 形成に必要な化学的条件、(2) 形状を決める要因が明らかにされていない。本研究では、これらを解明することを目的に、(1) について、コンクリーション内部の空間に形成した方解石充填物のEPMA分析を、(2) について、コンクリーション本体の酸素・炭素安定同位体比の測定をそれぞれ行う。(1) で扱う方解石充填物は累帯構造を持ち、その一部がコンクリーションと同時に形成したものだと考えられる。これの元素組成と元素分布を調べることで、コンクリーション形成時の間隙水の化学的環境が明らかにできると考えられる。(2) の測定では、コンクリーションの形状に影響を与えると思われる、コンクリーションの炭素起源と形成環境に関する情報が得られると期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

【EPMAによる元素分析】

コンクリーション内部の空間に形成した方解石充填物の元素組成と元素分布を調べるために、EPMA分析を実施した。充填物は主に、先に形成した繊維束状方解石と、その後に形成したスパーライト質の方解石からなる。これまでの研究から、繊維束状方解石はコンクリーションと同時に形成したと考えられる。試料は事前に薄片に加工して1 μ mダイヤモンドペーストで琢磨したものをを用いた。これを炭素蒸着したのちに、EPMAを用いて定量点分析と定性面分析を行った。点分析は合計80点、面分析は合計5領域について行った。分析元素は、点分析がMg, P, K, Al, S, Ca, Si, Fe, Mnの9元素、面分析がMg, P, S, Ca, Fe, Mnの6元素である。分析は2020年2月3日～5日にかけて行った。その結果、繊維束状方解石には、FeとMnの濃集帯と、リン酸カルシウム包有物の密集帯が存在することが分かった。また、繊維束状方解石とスパーライト質方解石の間には、厚さ50 μ m程度の、シデライトまたはドロマイトの薄層が存在していた。スパーライト質方解石は、繊維束状方解石と比べてMg含有量が低い傾向が見られた。このことから、繊維束状方解石は、海成堆積物の表層付近に存在する、マンガン還元と鉄還元による有機物分解ゾーンで形成した可能性が高いことが分かった。このゾーンでは間隙水のpHが上昇することが知られていて、pHが上昇することで溶解度が極端に小さくなるリン酸カルシウムが繊維束状方解石に包有物として取り込まれていることも、繊維束状方解石がこのゾーンで形成したことに矛盾しない。繊維束状方解石とスパーライト質方解石の間に存在するシデライトあるいはドロマイ

トの薄層は、堆積物が硫酸還元による有機物分解ゾーンを経た後に形成したと思われる。スパーライト質方解石は酸素・炭素安定同位体比から、天水起源と解釈されるが、低いMg含有量は、その解釈と整合的である。今回の分析からコンクリーション内部に形成した方解石充填物の形成環境が明らかになった。さらに、コンクリーションはマンガン還元と鉄還元による有機物分解ゾーンで形成した可能性が高い。

【IsoPrimeによる酸素・炭素安定同位体比分析】

コンクリーションの炭素起源と形成環境を調べるために、安定同位体比質量分析計（IsoPrime）をもちいて酸素・炭素安定同位体比分析を行う予定であったが、機器の故障によって現時点では未分析の状態である。分析試料数は58で、いずれの試料も方解石が主体である。試料の秤量とバイアルへの封入作業までを2020年2月17日と18日に行った。

採択番号 19B069

研究課題名 海底堆積物を用いた東南極氷床融解時期・メカニズムの解明

氏名・所属（職名） 菅沼 悠介・国立極地研究所（准助教）

研究期間 2020/2/17-20

共同研究分担者組織 羽田 裕貴，石輪 健樹（国立極地研究所）
板木 拓也（産業技術総合研究所），松井 浩紀，池原 実（海洋コア）

【研究目的・期待される成果】

近年，衛星観測や南極沿岸の海洋・棚氷上などでの観測によって南極氷床の融解や流出の加速が相次いで報告され，近い将来起こるとされる急激な海水準上昇が社会的に強く懸念されはじめた。

しかし，南極氷床の70%を占める東南極氷床の融解メカニズムは未解明の部分が多く，最新の気候・氷床モデルシミュレーションにおいてもその正確な再現は難しい。一方，南極大陸やその周辺の地形・地質学的な記録からは，断片的ではあるとはいえ，過去の南極氷床変動を復元するうえで，他の地球科学的手法では得ることができない独特のデータを得ることができる。この観点から，気候・氷床モデルを用いた将来予測の中には，過去の南極氷床変動をモデルの制約条件（拘束条件）としているものもある。この場合，地形・地質学的手法によって復元された過去の南極氷床変動の復元精度が，気候・氷床モデルシミュレーションによる海水準上昇の予測精度を規定していることになる。つまり，南極氷床変動の将来予測に対し，地形・地質学的手法による過去の南極氷床変動の復元精度向上が非常に重要な課題となる。

そこで，本研究では，過去の南極観測事業によってリュツォホルム湾から採取された海底堆積物試料の分析・解析（年代測定・微化石・有機物分析など）に基づき，最終氷期最盛期以降（過去2万年間）の東南極氷床の後退・融解史を復元する。とくに，周極深層水（Circumpolar Deep Water: CDW）の流入と，氷床後退のタイミングについて精査することで，氷床融解メカニズムの解明に取り組む。このように，南極氷床末端における氷床融解とトリガーになった海洋変動を復元することは，南極氷床変動研究の突破口となる可能性がある。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

南極地域観測事業（Japanese Antarctic Research Expedition: JARE47）において東南極のリュツォホルム湾から採取された11本の海底堆積物試料について，X線CTスキャナを用いて再度の物理測定（X-CT）を行った。これらの試料については，採取当時に非破壊計測などの基礎解析を済ませているが，数年前に更新された最新のX線CTスキャナを用いて，より高精度の画像取得を目指したものである。また，また一部の試料については，TATSCANを用いた連続的元素分析を行い，その有用性を確認した。また，アーカイブコアについては，詳細な岩相記載を行った。さらに海底堆積物のBe-10濃度分析，粒度分析，および有孔虫の放射性炭素年代測定などのためのサブサンプリングを実施した。

物理測定（X-CT）分析の結果，乾燥による変形を被っていない試料については，以前より高分解能のCT画像デー

タを取得することができた。この結果と，岩相記載に基づき，現在これらの試料の堆積環境の復元を進めている。とくに，これまでに得られた海底堆積物中のBe-10濃度変動との比較に基づき，最終氷期最盛期（約2万年前）において，東南極氷床がどこまで拡大していたのかについて検討している。これまでに得られたデータによる暫定的な解釈によると，リュツォホルム湾において，恐らく1万2千年前頃には，それまで海底を覆っていた東南極氷床が後退を開始し棚氷環境に移行した可能性が高い。その後，約9～8千年前頃には棚氷もなくなり，Open sea環境に移行したのではないかと考えられる。ただし，上記の年代値については，以前取得されたバルク有機物の放射性炭素年代に基づくものであり，今後は，今回サブサンプリングした試料を用いて有孔虫の放射性炭素年代測定を実施し，より正確な年代値の決定を目指す。

また，今回の一連の測定・分析は，昨年度実施した東南極シューマツハオアシスにおける湖沼・浅海堆積物掘削，およびJARE61でのリュツォホルム湾，ケーブダンレー沖，およびトッテン氷河縁での海底堆積物掘削で得られた試料の測定・分析に向けたテストを兼ねている。今回実施した測定・分析フローは，新たな共同利用申請においても有用な経験となった。とくにTATSCAN分析については，測定に非常に長い時間がかかること，氷河性礫を大量に含む試料に対して連続的な元素分析が困難なケースがあることが分かった。このため，新規に取得した海底堆積物試料については，事前に充分な準備をした上で，主にItraxを利用して元素分析を実施するなど，測定・分析フローを検討している。

採択番号 19C002

研究課題名 デジタル岩石物理学による岩石および砂に存在する不均質性の定量的評価手法の開発

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(助教)

研究期間 2019/12/12-13, 2020/3/9-10

共同研究分担者組織 辻 健(九州大学), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

本研究の目的は、従来の岩石物理学では取り扱いが困難である、岩石や砂に存在する不均質性を定量的に評価するデジタルデータの解析手法の開発である。ベースとなる手法は、昨年度後期および今年度前期に共同利用で実施した岩石に対する手法である。この手法では岩石のサンプルの鉱物情報が必要となるが、文献を元に仮定した値を使っていたため、本研究でEPMAにより岩石サンプルの元素情報を取得し、より正確なモデリングを行うことを試みる。この手法が確立されれば、岩石サンプルの不均質性を考慮しながら、その内部の情報(クラック形状など)を定量的に評価することが可能となる。

さらに、提案手法の不均質性の異なる問題への適用として、月の表層を模擬した砂への適用性を検証する。月極域には砂状の表層内部に氷水資源が存在していると考えられているが、その定量化手法が確立されていない。提案手法により、不均質に分布する氷の飽和度と物性(例えば弾性波速度)の関係を明らかにすることができれば、将来、月極域において氷水資源探索を行う際、氷水資源を定量的に評価する手法となりうる。

【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、岩石および砂のデジタル画像イメージを取得した。延岡衝上断層の露頭サンプル、2種類の月面を模擬した砂、さらに異なる粒状体として銅粉のデータを取得した。延岡衝上断層の露頭サンプルについては、X線CTスキャナによる画像イメージを取得した後、一部を切り出して研磨し、岩石薄片を作成した。その後、薄片を顕微鏡により観察し、さらにEPMAによる元素分析を行った。

取得データの分析

月面を模擬した砂については、非常に細かい解像度(1~4 μ m程度)でデータを取得することができたため、粒径の大きい粒子についてはその境界を明瞭に可視化することができた。砂サンプルの弾性特性を調べるために、デジタル画像データから弾性体モデルを構築する必要がある。まず、デジタルデータの輝度値(CT値)に閾値を設定し、砂粒子と空隙部分を区別(2値化)することを試みたが、比較的粒径の小さい粒子も多く含まれていたため、デジタルデータの各ピクセルを2値化することが難しいことがわかった。そこで、これまで岩石で進めてきたようなCT値と密度の換算式を作成し、CT値をサンプルの密度分布に変換するモデリングの方が適切であると考えた。砂サンプルの密度情報は既に取得しているため、現在、CT値から密度分布を推定するプロセスを進めている。さ

らに密度情報から各ピクセルの弾性定数を割り当てるのに必要な弾性波の実験値については、我々の実験室でさまざまな条件下で実験を行っている。また、その砂の内部に氷が分布する場合の弾性波特性を評価するために、デジタルデータ内に仮想的に氷を分布させる方法について検討しているところである。さらに、砂に含まれる氷によって、弾性的特性だけでなく電気的な特性についても変化が見込まれるため、電気特性をシミュレーションする手法の検討も行っている。

延岡衝上断層で得られた露頭サンプルにEPMAを適用して得られた元素分析結果から、当初は鉱物分布を推定することを考えていた。しかし元素分布からピクセルごとの鉱物情報を推定することは可能であるが、3次的に鉱物を推定するには解析に非常に時間がかかることがわかった。また、様々な元素が複雑な形状で含まれており、取得したデータのみから鉱物組成を定量化することやクラック形状を観察することが困難であった。そのため、まずは花崗岩などのより鉱物モデルやクラック形状を推定しやすい岩石について、検討を進めていく必要があることがわかった。