

平成27年度 高知大学海洋コア総合研究センター

共同利用・共同研究報告書

採択番号 15A001, 15B001

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 H27/7/7-13, 8/24-26, 10/5-9, 12/21-24, H28/1/8-11, 2/22-25

共同研究分担者組織 学生4名

【研究目的・期待される成果】

素粒子物理学, 大気科学の分野で発見された銀河宇宙線量と下雲量の正の相関(スベンスマルク効果)の気候への影響があるかどうかを, 地質時代の気候の大振幅変化を利用して検証を行う。地磁気の逆転, エクスカーション時には地磁気強度は大幅に減少し, 40%以下に減少するとその時銀河宇宙線量は40%以上増加することが分かっている。申請者のこれまでの研究で地磁気強度が40%以下という値が寒冷化を起す閾値である可能性が示唆されたので, 永年変化でもその程度の地磁気強度減少は起こり, 気候との相関がみつかる可能性がある。本研究では, 地磁気の逆転, エクスカーション, 永年変化の詳細な磁場変化を復元し, 並行して気候も調べ, 古地磁気強度(銀河宇宙線量)と気候との相関を調べて, 強度減少期に気候変化が起こった証拠を見つける。全国共同利用施設での実験は高精度の古地磁気データを得ることが主目的である。また, 古地磁気データの信頼度を上げるための岩石磁気実験も行う。

水月湖堆積物コアからは永年変化の復元と, ラシアンエクスカーションの発見を期待している。大阪湾堆積物コアについては, すでに見つけているエクスカーション記録に岩石磁気データを追加する。中国レス堆積物については, マツヤマープリュンス地磁気逆転記録付近の岩石磁気データを増やす。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

水月湖年縞堆積物コア(FukuiSG14)の磁気分析により, ラシアンエクスカーションを発見し, 過去20,000年間の永年変化データを得ることができた。パスルー型超伝導磁力計を用いた交流消磁による古地磁気分析では, 原点に向かって減衰する磁化ベクトルのパターンは得られないことが分かった。そこで, u-channel試料(水月湖研究グループではLL-channelとよんでいる)を用いた古地磁気分析をあきらめ, discrete試料の熱消磁を行うことにした。熱消磁では, 350°Cまでに二次磁化が消磁され, 350°C~400°C以上で原点に向かう初生磁化成分が抽出できることが分かった。Unblock温度は500°C~560°C, 最高は680°Cまでである。このことから, 初生磁化を担うのはチ

タノマグネタイトかヘマタイトであることが分かった。350°Cで失われる成分は強磁性の硫化鉄, おそらくグレイジャイトであろう。さらに, 150°C付近でunblockされる成分があり, これはゲーサイトが含まれていると考えられる。

熱消磁データは固有磁化成分以外に, 100°C~250~300°Cの安定した方向を示す二次磁化成分が存在することを示した。その偏角は1mのコアセクション内ではまとまり, セクション間では異なることが分かった。また, 伏角はセクションに関係なくほぼ49°付近に集中することから, 二次磁化は最近の地磁気方向についていると仮定して, 偏角の補正を行った。補正後の偏角, 伏角から仮想地磁気極(VGP)の緯度と経度を計算した。その結果, 緯度が45°Nより浅いVGPをもつ古地磁気方位がcomposite depthの33.3m~32.9mに見つかった。その中心年代は約41kaであることから, これはラシアンエクスカーションに対比できる。また, VGPパスを調べると, まず, 太平洋東部の赤道付近に移動し, 極付近に戻った後, アフリカの赤道付近へ移動して極へ戻ることが分かった。これは, 北大西洋のコアから報告されているラシアンエクスカーションのVGPパスと一部重なることから, ラシアンエクスカーションであることを確認し, かつ, 双極子磁場が卓越していた可能性が示唆された。

水月湖年縞堆積物コアの永年変化は, 完新世については伏角変化がこれまでに報告されている変化と似ていることが分かった。偏角については, まだ補正をしていないので, 評価できないが, 一部の変動の特徴は似ている。

中国黄土高原Lingtaiの古土壌層とレス層から抽出した磁性粒子の熱磁気分析, ヒステリシス測定, IRM獲得実験から, 二次磁化の原因となる土壤化生成磁性粒子はマグネタイトかマグヘマイトであることが分かった。また, 土壤化生成磁性粒子はさまざまな粒度の碎屑物の中にも含まれることも見出した。今後, SEM観察やTEM観察を行い, さらに追及していく必要がある。

採択番号 15A002, 15B002

研究課題名 磁性流体含浸試料の岩石磁気特性に基づく浸透率異方性評価

氏名・所属(職名) 伊藤 康人・大阪府立大学大学院 理学系研究科(教授)

研究期間 H27/10/19-21

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

地殻上部の岩石には、脆性破壊に伴う微細なクラックが発達する。そのネットワークは地層流体の導通を制御し、地下資源探査や廃棄物処分に際して問題となる浸透率の異方性の原因となる。従来、浸透率異方性は弾性波アジマス異方性やボーリングコア分析に基づいて評価されてきたが、それらの手法は大規模な先行調査が必要であり、利用には一定の制限がある。

岩石微細ファブリックを定量評価する手法としては初磁化率異方性(anisotropy of magnetic susceptibility; 以下AMS)が有用である。造岩鉱物配列を反映したAMSは迅速・非破壊に高精度な測定が可能であり、さまざまな研究事例が報告されている。

しかし、鉱物の配列と空隙ファブリックは必ずしも1対1に対応するものではなく、バルクAMS値に寄与する鉱物も岩相によってさまざまであり、データ解釈には曖昧さが残されていた。平成27年度に共同利用研究を申請した「磁性流体含浸試料」を用いる手法は、超微粒の磁鉄鉱懸濁液を岩石試料に注入し浸透経路の形状異方性を測定する点に特色がある。磁性流体は光を透過しないので、一般的な薄片観察に基づいて含浸状況を確認することは困難であるが、貴センター所有のマイクロフォーカスX線CTスキャナを用いた密度構造の三次元イメージングは、含浸状況評価に極めて有効である。そのような見地から、申請を行うこととなった。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成27年度には、北海道中軸部に分布する中新統・川端層のタービダイトについて分析を行うこととなった。これは、千島弧の衝突が引き起こした日高山脈の急激な隆起によって、フォアランド堆積盆にもたらされたイベント堆積物であり、その微細ファブリックは、堆積プロセスやテクトニクスの考察に資するのみならず、石油・天然ガス貯留岩としてのポテンシャル評価など、資源探査の見地からも極めて注目されている地質ユニットである。さらに、川端層については岩石自体の磁化率異方性(AMS)測定と分析に関する先行研究(Itoh *et al.*, 2013)があり、磁性流体含浸試料との比較・検討が容易であるという

メリットもあった。試料は元々は古地磁気測定用に採取した直径1インチのシリンダー型であり、容積7 cm³のプラスチックキューブに封入するため、定方位でトリミングを行うための治具を作成し整形作業を行った。平成27年度は実験手順の完成のため、前年度に実施した減圧含浸法とは違って加圧含浸法を試行した。試料を配置した耐圧ベッセルを磁性流体で満たし、5MPaの封圧下で1ヶ月静置したのち、洗浄・乾燥してプラスチックキューブに封入した。その後、KappaBridge KLY-3SでAMS測定を実施した。バルク磁化率はすべての試料片で有意に上昇しており、加圧含浸に顕著な成果があることが確認された。一方、AMSの3主軸分布は堆積構造(地層面)に拘束された扁平型(oblate)ファブリックとは異なり、磁化率最大軸が調査地域周辺の構造トレンドに平行になる傾向が見られた。この結果より、含浸手法によって流体が浸透する微細フラクチャーネットワークが異なる傾向が実証された。マイクロフォーカスX線CTスキャナで取得した三次元画像では、すべての試料片で内部まで磁性流体が含浸している状況が確認された。一方、密度コントラストが試料片によって異なる傾向も確認された。これは、川端層の岩相が関係すると考えられる。試料採取を行ったルートでは、channel-leveeタイプの砂質タービダイトとdistalでmuddyなタービダイトが互層している。卓越粒度の相違や淘汰度によって含浸効率が変化したものと考えられる。また、ルートの一部では、明瞭なスランプ構造が確認されているが、その地点で採取した試料については、他地点との相違が顕著なAMSファブリックが確認できた。このように、磁性流体含浸試料のAMSファブリックは、堆積プロセスの相違を反映しており、堆積学的な応用も視野に入れて、更なる検証を行う必要がある。技術的改良点としては、水を用いた整形作業で崩壊が激しく処理が困難な事例がいくつか見られた。その対処法として、油浸法で処理を行い、油ベースや炭化水素ベースの磁性流体を用いて試料を調製する作業ルーチンを確立することが望ましい。また、X線スキャナ画像でも確認できるような試料の定方位マーキング法にも工夫の余地が残されており、将来の検討課題としたい。

採択番号 15A003, 15B003

研究課題名 美濃帯に分布するチャート-砕屑岩シーケンスの古緯度の研究

氏名・所属(職名) 宇野 康司・岡山大学大学院 教育学研究科(准教授)

研究期間 H27/5/18-21, 7/27-30, 9/7-19, H28/2/24

共同研究分担者組織 学生4名

【研究目的・期待される成果】

中生代の初期、現在の東アジア地域を構成する地塊群に対して沈み込んでいたパンサラッサ海の運動方向を知ることは、当時の陸域のテクトニクスを解明する為にも非常に重要であるが、その情報は現在も得られていない。

海洋プレート上の堆積物は、そのプレートの運動の歴史を物語る。海洋プレートの上にチャートが堆積した頃には、そのプレートが遠洋域に存在していたことを示しており、砕屑岩が堆積する頃には陸域の近くまで海洋プレートが移動していたことを示す。

古地磁気学は過去の海洋プレートの運動方向についての情報を得る手段の一つとなる。中生代初期におけるパンサラッサ海の運動を古地磁気学的にアプローチするために、美濃帯犬山地域に分布するチャート-砕屑岩シーケンスを研究対象とする。まず、パンサラッサの海洋底を構成する玄武岩上に堆積したチャートの古緯度を得る。さらに、そのプレートが陸域に近づいた後に堆積した砕屑岩の古緯度をチャートと同一のスラストシート内から取得し、両者の値を比較することでパンサラッサの沈み込みの方向を推測したい。

チャートがほぼ赤道域で形成される結果が期待され、砕屑岩についても低い緯度で堆積した証拠が得られることを期待している。それらの結果が得られた場合、現在の日本でみられる付加体はパンサラッサのプレートから剥離し、一度、南中国地塊などの低緯度地域に付加および定置していた可能性を提示したい。

【利用・研究実施内容】

岐阜県坂祝地域に分布する三畳紀に形成された堆積岩および火成岩に対する古地磁気学的研究を行った。赤色チャート、砕屑岩(砂質・泥質)、玄武岩の計7サイトが古地磁気測定に用いられた。各サイトから6~8個の古地磁気測定用の定方位試料が準備された。それらに対して、高知大学海洋コア総合研究センターが有する段階熱消磁炉による熱消磁を行い、同センターが有する超伝導磁力計またはスピナー磁力計による残留磁化測定を行った。また、3軸IRMの着磁実験、およびその残留磁化の熱消磁実験を行い、試料が含有する強磁性鉱物の同定を行った。また熱磁気分析により試料が含有する磁性粒子の特定も行った。残留磁化を測定した試料については、残留磁化の測定前に磁化率異方性の測定についても行ってお

り、試料内部の磁気ファブリックの変形の度合いを見積もっている。

【得られた成果】

3軸IRMの着磁実験およびその残留磁化の熱消磁実験の結果、砕屑岩は低保磁力成分の磁化強度が最も強く、その磁化は580°Cで消磁された。高保磁力成分は、1サイトを除いて、明瞭な磁化を有しなかった。このことから砕屑岩の主要な磁性鉱物はマグネタイトであることが明らかとなった。赤色チャートは高保磁力成分が最も明瞭に帯磁しており、その磁化は500~600°C以降に明瞭な減衰を見せ、最終的に690°Cまでに磁化を失った。赤色砕屑岩については主要な磁性鉱物はヘマタイトであることが明らかとなった。

砕屑岩により構成されるサイトは段階熱消磁実験により安定な自然残留磁化成分を呈した。3軸IRMの実験結果と同様に580°Cにおいて消磁される磁化成分を期待したが、自然残留磁化の消磁温度は約500°Cであった。また、3軸IRMの実験結果において高保磁力成分を持つ(すなわち600°C以上の自然残留磁化成分が期待される)サイトについても、600°C以上の明瞭な残留磁化は観察されなかった。これらのサイトから得られた特徴的残留磁化方向は褶曲補正前において北向きの偏角と中間的な伏角で特徴づけられる。磁化方向に対して褶曲補正を施すとその集中度は低下する。これまでに報告されている美濃帯砕屑岩からの古地磁気方向との比較により、今回観察された残留磁化の獲得年代は地質学的にごく最近であることが結論されたため、古緯度に関する議論を行えなかった。一方、赤色チャートから構成されるサイトではUno *et al.* (2015, PEPI 249, 59-67) の報告と同様に、最大で4つの独立した自然残留磁化成分が観察された。熱消磁の過程で4番目に現れる磁化成分は約680°Cで原点に向かい減衰しており、初生磁化であると判断された。その初生磁化の伏角から、チャートはその堆積時に赤道付近の緯度に存在したことが示唆された。玄武岩のサイトでは、580°Cまでに消磁される磁化成分が観察されたが、その消磁挙動はあまり鮮明ではなく、特徴的残留磁化方向の議論を行うための十分な精度を持たないことが明らかとなった。本研究では玄武岩の貫入を受けている赤色チャートからも消磁データを得たが、その消磁過程では2番目に現れる磁化成分が確認されなかった。玄武岩貫入による被熱のため、赤色チャートが残留磁化の一部を失ったものと考えられる。

採択番号 15A004, 15B004

研究課題名 プレート収束帯における島弧地殻変形に関する研究

氏名・所属(職名) 星 博幸・愛知教育大学 教育学部(准教授)

研究期間 H27/11/9-15, 11/18-25, H28/2/29-3/7

共同研究分担者組織 学生5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、本州中部で八の字型に大きく屈曲している。この構造はたいへん特徴的であるため、さまざまなアプローチから形成過程を解明する努力がされてきた。形成時期は、地質調査と屈曲東側(糸静線の東側)の数少ない古地磁気データから、15Ma頃かそれ以降と考えられている。

一方、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。この成果は伊豆弧衝突開始が15Maよりも前であることを示唆し(Hoshi & Sano, 2013)、糸静線の東側で推定されている15Ma頃かそれ以降という見解と一致しない。この不一致は屈曲の西側と東側が異なるタイミングで観音開きに回転した可能性を示唆するが、他方、年代や古地磁気にデータ不足や信頼性の問題があるため見かけ上一致しないという可能性もある。この不一致の原因を追究することは、伊豆弧衝突開始時期と本州弧地殻変形の実体に迫るポイントになる。

本研究では屈曲東側(関東山地側)に焦点を当てる。関東山地では中新世に90°に達する時計回り回転が起こったが、回転を示すデータはわずか2地域から得られているだけで(Hyodo & Niitsuma, 1986; Takahashi & Watanabe, 1993)、回転像の解明には中新世以降の古地磁気データを系統的に取得し、回転の時間変化を詳しく調べる必要がある。その上で、関東山地側に存在する約15Maの広域不整合(庭谷不整合)との関連を探ることが島弧衝突による地殻の回転・昇降を解明するポイントになる。庭谷不整合(大石・高橋, 1990)は島弧衝突に呼応して本州弧に水平圧縮が働き、地殻が広域に隆起して生じたと考えられている。従って伊豆弧衝突開始、関東山地回転、不整合形成は互いに関連しているはずで、その関連性の有無は不整合を挟む地質断面で古地磁気の層序変化を系統的に調査することによって検証できるはずだ。

H26年度は群馬県富岡地域の約15Maの地層について調査した。データは現在解析中だが、信頼度の高い古地磁気方位は40°程度の東偏を示しているようである。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本州弧と伊豆弧の衝突に伴う本州中部(特に関東山地)の地殻回転の実体を解明し、その上で「地殻回転運動」と衝突によって生じたとされる「約15Maの広域不整合(庭谷不整合)」との関連性の有無を検証するために、関東山地縁辺部に分布する中期中新世~後期中新世(約16~10Ma)の堆積岩から岩石試料を採取し、古地磁気測定を行った。

群馬県富岡地域では、庭谷不整合の上位に位置する原市層(中部中新統)の詳細な地質調査と古地磁気測定を行った。星川ルートにおいて原市層の約30地点から堆積岩を採取した。残留磁化測定にはコアセンターのパススルー型超電導磁力計を用い、全試料に段階交流消磁と段階熱消磁を適用した。測定データは現在解析中であるが、残留磁化の安定性は全体的にやや低いようである。この主な理由は泥岩層に二次鉱物と考えられる硫化鉄鉱物(グレイガイト)が生成しているためである。泥岩中に挟在する凝灰岩層からは初生磁化と考えられる残留磁化成分が分離され、それを担う強磁性鉱物はマグネタイトと推定される。この地域では30°程度の時計回り回転運動が起こったことを示唆する解析結果が得られつつある。

埼玉県比企丘陵北東の荒川河床に露出する中期中新世~後期中新世の堆積岩層も調査した。荒川にて約50層準から試料を採取し、全試料に段階交流消磁と段階熱消磁を適用した。残留磁化測定は上記の富岡地域と同様、コアセンターのパススルー型超電導磁力計を使用した。測定データは現在解析中であるが、残留磁化の安定性は富岡地域の堆積岩に比べると高いようである。特に凝灰岩層は信頼性の高い残留磁化成分を与えている。この地域でも古地磁気方位がやや東偏を示し、20~30°程度の時計回り回転運動が起こったことが示唆される。

今回、西南日本の時計回り回転運動について、特に回転時の内部変形の有無と(変形有の場合)その程度について従来よりも詳細に理解する目的で、関東地域から離れるが京都府南部の下部中新統堆積岩から新たに試料を採取し、その残留磁化方位の検討を行った。約25地点から試料を採取し、残留磁化方位と地質構造との関係を調べたところ、堆積盆地内に発達する向斜構造の形成が時計回り回転の最中に起こっていたことを示すデータが得られた。これは回転運動の最中にこの地域の地殻最上部に側方圧縮力が作用したことを示す。偏角の東偏量は50°程度に達し、これは西南日本の他の地域で観測されている東偏量とほぼ等しい。

採択番号 15A005, 15B005

研究課題名 川砂ジルコンを用いた古地磁気強度研究

氏名・所属(職名) 佐藤 雅彦・産業技術総合研究所(研究員)

研究期間 H28/1/18-22, 2/22-3/1

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)

【研究目的・期待される成果】

地球磁場の変動を知る事で、過去の地球内部構造や表層環境に関する情報を得る事が出来る。現在までに、全岩試料或いは岩石試料から取り出した鉱物単結晶を使った古地磁気強度実験が行われている。これらの研究では、採取可能な岩石試料に限られるため地球史を通じた磁場強度変化を議論するために十分なデータが得られない事が問題となっている。本研究では、川砂から採取したジルコン単結晶を用いた古地磁気強度実験を行う。川砂中に含まれるジルコンは、地殻中の様々な岩石を起源とするため(Rino *et al.*, 2008)、上記目的を達成するのに十分な試料が得られると期待される。

前年度までに、神奈川県丹沢山地中川で採取したジルコンを用いて、基礎的な岩石磁気測定を行った。測定の結果丹沢のジルコンは下記3つに分類可能である事が明らかになった。(グループ1)自然残留磁化・等温残留磁化が弱く磁性鉱物をほとんど含まない粒子。(グループ2)疑似単磁区マグネタイトを含む粒子。(グループ3)単磁区的な磁性鉱物を含む粒子。予察的な古地磁気強度実験を行った結果、グループ2のジルコン粒子は過去500万年間の丹沢地域の磁場と調和的な古地磁気強度を示す事が分かった。

本年度は、長江とミシシッピ川で採取したジルコン結晶を用いて同様の岩石磁気測定を行いその分類を行うことで、長江及びミシシッピ川のジルコン試料を用いた古地磁気強度実験手法の確立を目指す。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本年度は、中華人民共和国上海市の長江河口でサンプリングした川砂中からジルコン約1,000粒子の採取を行い、各種の磁気測定を行った。また、アメリカ合衆国ルイジアナ州のミシシッピ川河口でサンプリングした川砂中からジルコン約1,000粒子の採取を行い、その一部についても各種の磁気測定を行った。具体的な実施内容は下記の通りである。

①各種の残留磁化測定

超電導磁力計(SRM model 755)を用いて、自然残留磁化(NRM)強度及び等温残留磁化(IRM)強度の測定を行った。IRMの着磁には、パルス磁化装置

(IM-10-30 Impulse Magnetizer)を用いた。NRM及びIRMの強度測定では、長江及びミシシッピ川のジルコン単結晶それぞれ1,000粒子を測定に用いた。NRM及びIRMの強度測定を行ったのち、液体窒素を用いた低温消磁処理、交流消磁装置(DEM-95C)を用いた最大振幅10mTでの交流消磁処理を行った。これらの段階消磁処理は、長江のジルコン試料のうちNRM強度が強かった約100粒子を用いて行った。

②低温磁気測定

磁気特性測定装置(MPMS-XL5)を用いて、zero-field cooling remanence(ZFC remanence)曲線及びfield cooling remanence(FC remanence)曲線の測定を行った。これらの低温磁気測定は、長江のジルコン試料のうちNRM強度が強かった25粒子を用いて行った。

上記①、②の測定と合わせて、九州大学の交番磁場勾配磁力計(MicroMag2900)を用いて、長江のジルコン試料の磁気ヒステリシス測定を行った。

今回の測定により、長江試料の基礎的磁気測定が完了した。ジルコン単結晶の磁氣的性質分類にとって重要なNRM強度vs. IRM強度ダイアグラム(Sato *et al.*, 2015, Earth Planet Space)を作成する事が出来た。NRM/IRM比は、約1から約0.01に分布する。NRM/IRM比の値と低温磁気測定の結果の間には関係性が確認され、NRM/IRM比が大きい試料中にはピロータイトが含まれ、NRM/IRM比が小さい試料中にはマグネタイトが含まれることが分かった。NRM/IRM比の値とヒステリシス測定の結果の間にも関係性が確認され、NRM/IRM比が大きい試料は単磁区的なヒステリシス曲線を示し、NRM/IRM比が小さい試料中は疑似単磁区的なヒステリシス曲線を示すことが分かった。これらの結果から、NRM/IRM比が小さい試料が古地磁気測定には適していると考えられ、今後の実験では当該試料を用いて古地磁気測定を進める予定である。

採択番号 15A006, 15B006

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

氏名・所属(職名) 畠山 唯達・岡山理科大学 情報処理センター(准教授)

研究期間 H27/5/12-14, 7/8, 10/1-3, 12/8-11

共同研究分担者組織 山本 裕二(海洋コア), 鳥居 雅之(岡山理科大学), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

地球磁場は地球の核内における電磁流体的現象(ダイナモ作用)によって発生する。これまで申請者らは、その複雑な変化のうち過去2,000年分の考古学地磁気方位データから日本における地磁気永年変化の復元に関する研究をしてきた。しかし、過去に測定されたデータの大部分は消磁等に不完全なところがあり、信頼性や年代値がしっかりしたものがあまり多くないことが分かった。また、ほとんどのサイトからは方位データのみが得られているが、地磁気永年変化の理解には、考古地磁気強度データも必要不可欠となる。

本研究の対象試料は須恵器などの土器を焼いた窯跡や土器片・竈・火災跡等の焼土である。これらに対して古地磁気方位・強度測定を行い、正確な古地磁気方位・強度のデータを増やすことが大きな目標である。これまでの研究では、古窯床面壁面試料から安定な古地磁気方位のほか、テリエ法、綱川ショー法で古地磁気強度を求めてきた。さらに、床面と壁面の方位の差から埋没時に起きた壁面のゆがみ量の推定などを行ってきた。平成27年度の研究は、これまでにサンプリングした試料を用いて、古地磁気・岩石磁気データを増やすことに注力した。(手持ちの試料の関係で、とくにこれまでデータが手薄だった時代のデータを増やせることになった。)

【利用・研究実施内容】

越前焼古窯(福井県越前町:鎌倉時代~室町時代)

越前焼古窯のうち、これまで行ってきた西山1, 2号窯の古地磁気・岩石磁気測定を引き続き行ったほか、釜屋谷窯についての岩石磁気測定を行った。各測定の結果から、窯床面部位によって昇温の度合いと熱残留磁化の安定性が異なることが見い出せた。また、過去に測定された同地域の他のサイトの古地磁気結果や過去の地磁気永年変化曲線(モデル)とを比較し、13~15世紀に地磁気変動に関してより詳細な変動を得た。

杉沢遺跡(島根県出雲市:弥生時代中期)に関する古地磁気・岩石磁気測定

弥生時代の遺跡からの古地磁気データは極めて少

なく、地磁気変化の詳細が不明であった。弥生中期の大規模な集落址である杉沢遺跡の2建物内から炉跡が発掘され、その古地磁気測定を行った。古地磁気強度は極めて小さいうえ安定性が低く、安定と見込まれる残留磁化方位は炉内11試料中4試料のみから得られた。この方位はこれまで報告された弥生時代の方位とはことなり、過去の報告を精査した結果、消磁をともなった過去の研究が皆無であり、今後も同時代の測定を続けていく必要性が確認された。一方、岩石磁気測定の結果から、試料中にはマグネタイトとマグヘマイトが共存していることが分かった。つまり、炉は部位によって昇温が十分でなく(400度以下?)、これが熱残留磁化を弱く不安定にしている原因であることが推測される。熱磁気分析等岩石磁気測定による昇温・熱残留磁化が不十分であったかの判定性が確認されたので、今後他の遺跡試料、とくに住居址床面等温度が期待できないものについても行っていきたい。

篠遺跡(京都府亀岡市:平安時代中期)

同遺跡は当代最大の須恵器古窯群であった大阪府陶邑遺跡が衰退するのと時期を合わせるように興隆した須恵器古窯群である。そのため、陶邑遺跡のカバーが弱い9世紀以降の地磁気変動をよく表していると期待される遺跡である。今回は、2015年3月に同遺跡より2古窯(いずれも10世紀)の床面試料を採取し、岩石磁気・古地磁気測定を行っている。今年度はパイロットサンプルに関する古地磁気測定と数試料についての岩石磁気測定を行った。古地磁気方位は未消磁ながらこれまでに報告されてきた同時代の古地磁気方位と近いが、2号窯については少し東偏しており、地磁気編年変化曲線との比較により、同窯が1号窯と比べて少し遅い時代の可能性があることが分かった。今後は詳細な古地磁気測定と岩石磁気測定を引き続き行っていく予定である。

採択番号 15A007

研究課題名 広島湾と仙台湾堆積物中の強磁性鉱物の季節変化

氏名・所属(職名) 川村 紀子・海上保安庁海上保安大学校(准教授)

研究期間 H27/7/14-19

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

海底堆積物中に普遍的に存在する強磁性鉱物は、地球磁場の方向や強度、堆積供給起源についての情報を持っていると考えられている。主に強磁性鉱物を構成している鉄は、酸化還元状態に敏感に反応する元素であり、埋没や季節変化による堆積場の酸化還元状態に応じて形態を変化させる。よって堆積ときに磁性鉱物へ記録された情報は、ある程度改変されている可能性がある。そこで本研究は、堆積場において強磁性鉱物が改変する時間や物理化学条件の解明を目的とする。この目的のために、下記2つの内湾の堆積物を研究対象とした。

1. 広島湾: 1970年代から鞭毛藻やバクテリアの異常発生による漁業被害が報告されている。これらの海洋生物にとって鉄は必須元素であり、かつ制限元素であることが知られている。現在、水質汚濁防止法の改定や条例の制定により、陸上からの鉄供給量は減少している。しかし広島湾内では夏季に貧酸素水塊が発生して堆積場が還元状態になり、堆積物から溶存態鉄が溶出して海水へ供給されることが申請者らの調査によって明らかになった。本研究では、この影響を今後も継続してモニターするために、広島湾の3点の観測点において1月おきに海底堆積物と底層水を採取した。コアセンターでは低温下での磁気特性を測定することによって堆積物中の強磁性鉱物種の同定を行って鉄化合物の化学反応時間や物理化学条件を明らかにすることを目的とする。

2. 仙台湾: 漁業の盛んな海域であり、海洋環境のモニターのために様々な海洋観測が行われている。申請者は仙台湾の5つの観測点において1年おきに採取された堆積物試料中の強磁性鉱物種の同定を行い、仙台湾において堆積物から供給される鉄量を推定する目的でXRF分析を行う。

【利用・研究実施内容】

本申請研究では、下記3つの海域の堆積物を研究対象として磁気測定を実施した。また其々の海域についての研究成果を記す。

1. 広島湾

当初の申請書の通り、コアセンターではMPMSを用いて低温下での磁気特性を測定して磁鉄鉱の同定及びこの酸化の程度を推定した。この結果、磁鉄鉱の存在を示す120Kでの磁化の減少(フェルベール点)が認められたため、堆積物の磁化を担う磁性鉱物は磁鉄鉱(Fe_3O_4)であることが判った。また堆積場の酸化状態に対応し、磁鉄鉱の表面が酸化してマグヘマ

イト($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$)化していることを明らかにした。この研究成果の一部は、下記の「10. 見込まれる成果物」のうちKawamura, N., Y. Amano, and N. Ishikawa (2016) Seasonal changes in rock magnetic parameters of sediments with changing redox conditions in Hiroshima Bay, Japan., *Geochem. Geophys. Geosyst.* doi:10.1002/2016GC006347 にて受理済みであり、現在、印刷中である。

2. 仙台湾

この試料も当初の申請書の通りの測定を実施した。コアセンターでは、ビードサンプラの使用の許可をいただいて、海底表層から採取された堆積物粉末試料のガラスビードを作成した。作成した試料を持ち帰り、本学所有のXRF分析を行った。この結果、東日本大震災後に採取された堆積物試料中には津波前の試料と比較すると、鉄が増加したことが明らかになった。鉄は陸を起源とする元素として知られており、津波によって陸から海側へ物質が移動したことを示す有力な証拠を示すことが出来た。また一般的に、海底の津波堆積物の同定は難しいことが知られているが、本研究では元素濃度を定性的に示すことにより、津波堆積物としての証拠を提示できる可能性を示した。以上の結果は、原著論文として国際学術雑誌へ投稿中である。

3. チリ沖

当初の申請書には盛り込むことが出来なかったが、上記の広島湾と仙台湾の研究についての課題の申請結果を待っている間に、チリ沖の海底堆積物の磁気特性についての論文を投稿しており、この後の査読コメントに対応する過程で、追加データを得る必要が生じた。このような状況のときに、研究課題が採択されて、コアセンターにて測定を実施する機会を得た。そこで、チリ沖にて採取された粉末状の海底堆積物試料低温磁気測定を実施した。この結果、堆積物に含まれる磁性鉱物としては磁鉄鉱の存在を示すフェルベール点が認められた。磁鉄鉱だけでなく、強酸化環境下にあるチリ沖の海底堆積物には、マグヘマイト($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$)やゲーサイト(FeOOH)が含まれていることが明らかとなった。この測定結果の一部は、「10. 見込まれる成果物」のうちKawamura, N., N. Ishikawa, and A. Kurasawa (accepted) Magnetic properties in nearshore marine sediments off southern Chile, JAMSTEC Report of Research and Development (23) に受理されており、2016年9月に印刷の予定である。

採択番号 15A008

研究課題名 IODP Exp.353堆積物資料の古地磁気および岩石磁気的特徴

氏名・所属(職名) 白井 洋一・海洋研究開発機構(研究員)

研究期間 H27/5/18-22

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

古地磁気記録は核-マントル間の熱輸送など地球深部の情報を持っていると期待されているが、具体的関係性は不明確である。様々な境界条件を持つ地球ダイナモシミュレーションと古地磁気記録との比較は、この関係性を明らかにするための有力な実証的アプローチである。特に、堆積物から得られる数千~数万年程度の時間解像度を持つ連続的な古地磁気記録は数値シミュレーションとの直接比較が可能であるため重要である。

これまでのところ、そのような古地磁気記録で数千万年以上過去へ遡るものはごく少数である。本研究では、海洋掘削により赤道東インド洋から得られた過去2,500万年間の石灰質軟泥から古地磁気記録を得ることを目的とする。そのような記録はこれまで赤道太平洋と大西洋からのみ得られている。本研究から、1,000年以上前のグローバルな地磁気変動を制約するデータが得られると期待される。また、詳細な岩石磁気測定を合わせて行い、走磁性バクテリアの増減など長期環境変動に関するプロキシを得ることも目的とする。

【利用・研究実施内容】

研究の全体目標は上記の通り赤道東インド洋から過去2,500万年間の古地磁気記録を得ることである。今回の利用時には古地磁気測定用の試料はいまだ入手できていなかったため、岩石磁気測定により古地磁気測定に向けた基礎データを得ることに重点を置いて利用を行った。MPMS帯磁率計およびVSMを用い、磁気分析を行った。しかし、磁化強度が予想よりも弱かったため、VSMからは有用なデータは得られていない。今後、試料の量を増やしたり測定時間を長くしたりして再挑戦する予定である。

JOIDES Resolution号船上の測定をまとめた結果、良い古地磁気シグナルが得られそうなインターバルは0-70m (CSF-A) および130-200m (CSF-A) であることがわかっている。さらにそれぞれのインターバルの年代は、おおそ0-5Maおよび18-25Maであると推定されている、これを踏まえ、上部の0-70mのインターバルでは古地磁気逆転時の磁場変動に焦

点を当て、下部のインターバルでは長期的古地磁気強度変動に焦点を当て研究を行う。

まず、上部0-70mの中で、コアの再上部約5m程度で磁化強度および帯磁率が深部へ向けて減少することが分かっていた。今回、このインターバルについてMPMS測定を行ったところ、コアトップでは磁鉄鉱に由来するVerwey転移がはっきり観察され、帯磁率の減少に合わせ転移が見られなくなっていく様子が観察された。これは変質作用によるバクテリア起源磁鉄鉱の還元を見ていると考えられる。一方で、比較的低保磁力な鉱物(典型的には磁鉄鉱)と高保磁力な鉱物(典型的にはヘマタイト)との比を表す $S_{0.3T}$ 比パラメータは、帯磁率の減少に伴い増加した。これは還元的な変質作用だけでは説明できず、帯磁率の減少そのものはバクテリア起源磁鉄鉱の還元だけでなく、ヘマタイトやマグヘタイトの供給量の減少も反映していると考えられる。船上測定によれば帯磁率が減少しても古地磁気方位は問題なく復元できることが分かっているが、今回の測定結果から、その磁化を担っている鉱物の変質や気候変動によって複雑に変動している可能性が示唆される。逆転時の磁場変動を正確に復元するためには、今後もより詳細な岩石磁気実験が必要である。

下部の130-200mのインターバルについても、今回測定した試料でははっきりとしたVerwey転移は見られない。このことから磁性鉱物は主に陸源性であると考えられ、上部のインターバルと同様に、気候変動の影響を受けていることが予想される。

採択番号 15A009

研究課題名 太古代岩石の古地磁気学的研究

氏名・所属(職名) 白井 洋一・海洋研究開発機構(研究員)

研究期間 H27/5/18-22

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

地球上の古地磁気記録のうち最も古いもののいくつかは、西オーストラリアから報告されている。しかし、それらの古地磁気記録の信頼性については意見が一致していない。また、堆積岩中の磁性鉱物組み合わせは地球表層の遊離酸素の有無と関連しているという指摘もあり、古地磁気記録ならびに磁性鉱物が初生的なものかどうか判定することは重要である。本研究は、西オーストラリアの岩石から古地磁気記録を得て、プレート運動や地磁気強度を復元することを目的とする。これにより、最も古い古地磁気記録の信頼性についての議論に決着をつけられると期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

西オーストラリア、ピルバラ地域から採取したデイサイトおよびチャート礫について、古地磁気実験を行った。先行研究により、これらの岩石の固結年代ないし堆積年代はおおよそ34.6億年前と考えられている。これは、岩石から復元された古地磁気記録でこれまで最古の年代(34.4億年前)よりも古い。今回の試料の古地磁気記録の年代は、フィールドテストにより制約できる。すなわち、デイサイトは大局的な褶曲にそってサンプリングされており、褶曲テストを適用できる。チャート礫に対しては礫岩テストが適用できる。今回の利用では、それぞれの試料の磁化方位を決定するために、無磁場加熱炉を用いた段階加熱消磁、交流消磁装置を用いた段階交流消磁を行い、超電導磁力計を用い磁化を測定した。

まず、今回測定したデイサイトについては、ほとんどの自然残留磁化が300–400℃程度で消磁された。300℃程度のピーク温度を持つ地域的な変成作用が想定されるので、これらのデイサイトの自然残留磁化は岩石形成時の磁化ではないと考えられる。褶曲テストを行ってみても、褶曲前後どちらの座標系を使っても集中した磁化方位を得ることはできなかった。従って、サンプリング地点ごとに様々な年代の磁化の上書きがあると考えられる。

チャート礫の自然残留磁化には少なくとも500℃まで安定な成分があることが、事前の測定でわかって

いた。またチャート礫を500℃以上に加熱すると熱変性し、磁気測定が困難であることもわかっていた。そこで今回の利用では詳細な交流消磁を行った。多くの試料は低保磁力の成分と、高保磁力の成分との二つの磁化成分を示した。これらの成分の切り替わりの交流磁場強度はおおよそ15–30mTであった。低保持力な成分の方位は、おおむね現在の地磁気方位か、近隣で報告されている原生代の磁化方位のいずれかと近い方位を示した。礫からこのような集中した方位が得られることから、低保持力成分はオーバープリントであると考えられる。また、この結果はチャート礫が落雷の影響もほとんど受けていないことも示す。チャート礫から得た高保磁力成分の磁気方位を統計的に解析すると、ランダムな方位分布であることが示唆される。試料数が少ないものの、形式上は古地磁気礫岩テストをパスし、磁化の獲得が礫岩の堆積時であることを意味する。これらの結果より、今回の測定により、岩石から最古の磁化記録が復元できる可能性が示せた。

採択番号 15A011, 15B008

研究課題名 化学分析を用いた津波堆積物同定手法の開発

氏名・所属(職名) 藤野 滋弘・筑波大学 生命環境系(准教授)

研究期間 H27/4/16-23, 6/24-26, 7/28-31, H28/1/18-20

共同研究分担者組織 後藤 和久(東北大学), 千葉 崇(筑波大学), 他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

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

【利用・研究実施内容・得られた成果】

津波堆積物の識別に有効な地球化学的指標を提示するため、北海道東部太平洋沿岸域で得た堆積物に対してガスクロマトグラフおよびガスクロマトグラフ質量分析計によるバイオマーカー分析を行った。本研究では新たな手法の有効性について検討を行うため、堆積学的特徴や微古生物学的特徴など、異なる判断基準により古津波堆積物と認定された試料を用いることが望ましい。そこで本研究では、2015年2月に北海道厚岸郡厚岸町に位置する床潭沼で採取した堆積物を用いて検討を行った。先行研究より、同

湖底には先史時代の津波によって堆積した砂層が複数枚確認されている(Sawai *et al.*, 2002, *Journal of Asian Earth Sciences*)。また、年代決定や層序対比に重要な火山灰層も複数確認されている。

床潭沼では計3地点で湖底堆積物を採取した。表層の堆積物を攪乱することなく得るため、簡易サンプラーを用いた。さらに古い時代の堆積物の採取には、ハンディージオスライサーおよびロシアンサンプラーを用いた。ハンディージオスライサーで得た試料中には、砂層が3枚、火山灰層が2枚含まれていた。上から2枚目の砂は層厚が20cmと厚く、間には厚さ3cm程度の植物密集層が確認された。先行研究から、2枚の火山灰層はTa-a(1739年樽前山)火山灰層とKo-c2(1694年駒ヶ岳)火山灰層であると考えられ、これらテフラ層の下位にみられた砂層は、17世紀に発生したとされる津波により堆積したと考えられる。バイオマーカー分析は、ハンディージオスライサー試料で見られたすべての砂層とその上位3cm、下位3cmの泥層で行った。溶媒抽出、アルカリけん化後、シリカゲルカラムクロマトグラフィーにより複数のフラクションに分け、N1(炭化水素)、N3(ケトン)、N4(アルコール、ステロール類)を分析した。すべての層で陸上植物由来と考えられる長鎖炭化水素が確認されたが、海洋生物起源の化合物は確認されなかった。また、N4フラクションは抽出時になんかのミスをしており、分画がきちんとされておらず今回はきちんとした結果が得られていない。すべての層準において海洋生物起源の化合物が確認されなかった理由の一つとして、海洋起源の有機物の寄与率の低さが考えられる。湖底に溜まった堆積物の中で陸源の有機物が海洋のそれに比べて相対的に多いことにより、海洋起源の有機物が見かけ上、検出しなかった可能性がある。そこで今後は、前処理段階で陸起源の有機物を除去するなど技術的な改良をし、改めて津波流入の痕跡が化学的に残されているか検討を進める。

採択番号 15A012, 15B009

研究課題名 海洋無酸素事変期におけるオービタルスケールの炭素循環動態の解読

氏名・所属(職名) 池田 昌之・静岡大学 理学研究科(助教)

研究期間 H27/7/21-23, 9/1-3

共同研究分担者組織 池原 実(海洋コア), 堀 利栄(愛媛大学)

【研究目的・期待される成果】

地球温暖化が表層環境に与える影響の一側面として、海洋の溶存酸素濃度の低下が挙げられる。同様の現象が全球的に起こるイベントは海洋無酸素事変(OAE)と呼ばれ、ペルム紀/三畳紀境界やジュラ紀Toarcian期、白亜紀など火成活動が活発な時期に繰り返し起きた。しかし、OAEの発生機構やその変動の時間スケールについて議論が続いている。欧米では炭素同位体比の負のシフトを根拠に、¹³Cに富む火山ガスやメタンハイドレートの崩壊等で温暖化し、海洋が無酸素化した可能性が指摘されている(e.g. Hesselbo *et al.*, 2000)。

一方、申請者はToarcian OAEが火山活動開始とほぼ同期し、日射量極大に伴う生物生産極大期にOAEが発生し、その後の極小期に終焉したことを示した。この要因として、一次生産量変動によって有機物分解に消費する酸素量の変動し、酸化還元度に影響を与えた可能性がある。そこで、Toarcian OAE時期の海洋酸化還元度と炭素循環動態を高時間解像度で復元し、火山活動や日射量変動とOAEの関係を検討することで、両者の影響の評価を試みる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

Toarcian OAE時期の遠洋深海性層状チャートの有機炭素同位体比を、高知大学海洋コア総合研究センター無機地球化学実験室の安定同位体質量分析計IsoPrime GV Instrumentsを用いて測定した。結果、全岩有機炭素量(TOC)は0.01%から30%以上にも及び、有機炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)は-32‰から-24‰の間で変動し、下部黒色層状チャート(T-OAE 1)と上部黒色層状チャート(T-OAE 2)のそれぞれ最下部で急激な負のシフト、最上部で緩やかな正のシフトが確認された。これらの炭素同位体比の負のエクスカージョンは、放射虫化石記録(Grocke *et al.*,

2011)に基づく、欧米で報告されているPliensbachian/Toarcian境界、および前期Toarcian OAEの時期の炭素同位体比の負のエクスカージョンに対比されると考えられる。

放射虫化石層序、および天文年代層序によると、T-OAE 1とT-OAE 2は、KarooおよびFerrarの巨大火成区の活動開始年代の放射年代値と調和的であり、これらの火成活動に伴うCO₂などの温室効果ガスの増加によって、T-OAE 1とT-OAE 2が引き起こされたとする解釈と調和的である。

またT-OAE 1とT-OAE 2は、いずれも40.5万年周期の離心率変動の生物生産極大期に始まり、生物生産極小期に終了したと指摘されている(Ikeda and Hori, 2014)。一般に、離心率極大期には夏モンスーンが強化され、降水量の増加や大陸風化の促進により、海洋への栄養塩供給量が増大し、一次生産が増加する。増加した有機物の分解に溶存酸素が消費されて、海洋が貧酸素になりやすくなる。一方、T-OAE 1とT-OAE 2の黒色頁岩の堆積終焉時期は、チャート層厚変動の40.5万年周期極小期に対応していた。離心率極小期には、上記の逆で富酸素化しやすくなり黒色頁岩が堆積しにくくなった可能性がある。実際、堆積構造や細粒野苺状黄鉄鉱、微量元素組成から推定される海洋酸化還元度からもT-OAE 1とT-OAE 2の大きく2回、海洋が貧酸素～硫化水素の発生する強還元状態になったと推定されている。

すなわち、大規模火成活動の開始に伴って炭素同位体比が負にシフトすると共に、40.5万年周期の離心率変動の生物生産極大期に伴ってT-OAE 1とT-OAE 2は発生した。その後有機物の埋没速度増加によって炭素同位体比が正にシフトし、40.5万年周期の離心率極小期に伴いT-OAE 1とT-OAE 2は終焉したと考えられる。

採択番号 15A013, 15B010

研究課題名 北大西洋海底掘削コア試料の古地磁気・岩石磁気研究

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 H28/1/21-22

共同研究分担者組織 佐藤 雅彦(産業技術総合研究所), 林 辰弥(御舟町恐竜博物館)
他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

本研究はIODP(統合国際深海掘削計画)第306航海で採取された堆積物コア試料の岩石磁気・古地磁気研究により,過去数百万年間の地球磁場変動や古環境変動を明らかにすることを目的としている。

特にU-channel試料の詳細な古地磁気・岩石磁気測定により,地磁気エクスカージョンや地磁気逆転時の磁場の振る舞いや,地磁気方向・強度の永年変化など,過去数百万年間の地球磁場変動の解明に大きく貢献することが期待される。

また,環境磁気学的な研究によって,北半球の氷床発達に伴う古気候・古海洋の高分解能の変動記録が明らかになると期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究は,地球磁場の変動の古地磁気学的研究に加え,岩石磁気学的研究により北半球の大陸氷床の出現・発達時における海洋循環の変遷史を明らかにすることを目的として行ってきた。これまでの研究では,2.2~2.7Maの間の氷期-間氷期サイクルの変動を明らかにするとともに,大陸氷床が初めて大規模に発達したとされる海洋酸素同位体ステージ(MIS)100付近(2.50~2.55Ma)およびその直前に当たるMIS104付近(2.58~2.62Ma)の数千年スケールの詳細な分析を行った。そして今年度は,MIS104よりさらに遡ってMIS G1-G7(2.62~2.74Ma)の数千年スケールの分析を開始した。

研究に用いた試料の掘削地点は,アイスランドの南方およそ千キロメートルに位置し,アイスランド周辺の海底から深層流によって運ばれてきた陸源の砕屑物を多く含む。さまざまな岩石磁気測定の結果,堆積物中の磁性鉱物の保磁力の変動が,海洋循環の変動を反映していると解釈できることが明らかになった。保磁力は,間氷期には約20mTに達するのに対し,氷期には12mT程度まで低下する。そしてこの氷期・間氷期サイクルに対応する長周期の変化に加え,MIS100およびMIS104の氷期中に発生したIRD(氷床由来の漂流岩屑)の増加イベントに伴って急激な保磁力の減少が観察された。この保磁力の変化は,北大西

洋深層水(NADW)がアイスランド周辺から運んでくる高保磁力な玄武岩起源の砕屑物と,南方から運ばれてくるとされる低保磁力の成分の量比の変化によって説明できる。従って,IRDイベントに伴う保磁力の低下は,NADWの流れが弱くなったことを示していると解釈される。我々は等温残留磁化の獲得曲線の解析により,高保磁力成分と低保磁力成分を分離してその割合の変動を求めたが,その結果はこの解釈を裏付けるものであった。今回我々は,MIS G1-G7のIRDの分析を行い,MIS G2およびG4でもIRD堆積イベントを新たに確認した。そして予備的な岩石磁気分析の結果,MIS G4中のIRDイベントにおいても,対応して急激な保磁力の低下が確認された。今後,さらに岩石磁気分析を進める必要があるが,大規模な大陸氷床量が発達したMIS100よりも氷期・間氷期サイクルにして数サイクル遡り大陸氷床出現初期初期であるMIS G4においても,氷床の崩壊に伴って北大西洋深層流にはMIS100と同様な変化が起こっていた可能性を示唆すると考えられる。

採択番号 15A014, 15B011

研究課題名 化学消磁を用いた礫性石灰岩の古地磁気測定

氏名・所属(職名) 六井 千里・熊本大学大学院 自然科学研究科(博士後期課程3年)

研究期間 H27/8/13-24

共同研究分担者組織 渋谷 秀敏, 望月 伸竜(熊本大学)

【研究目的】

磁化強度が微弱な岩石を対象とした古地磁気学の研究は、初生磁化を取り出し議論するための二次磁化の選択的消去と測定機器の精度が極めて重要である。本研究で用いる第四紀の礫性石灰岩(琉球層群)は、氷期・間氷期の海水準変動による複数回の陸上露出で粒子間を水分が通過したことにより化学残留磁化を獲得していると推定される。しかし、磁化強度が0.075~2.352mA/mと弱く、通常の測定方法では極性の判定が困難である。そこで、化学消磁により二次磁化を選択的に取り除くことでより信頼性の高いデータを得ることを目的とし研究を行っている。

【期待される成果】

熱消磁およびスピナー磁力計での結果で、BM境界が存在することが確認できている。極性の判定は、スピナー磁力計の測定結果に基づくものであり精度の部分で疑問が残っている($\alpha_{95} < 50^\circ$ で判定)。化学消磁を行い、超伝導磁力計(SQUID)で測定を行うことでこの問題点が解決できると考えている。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

高知コアセンターでは、礫性石灰岩200試料について、還元化学消磁(Reductive Chemical Demagnetization: RCD)を行い、その後の試料に対して段階交流消磁(Alternating Field Demagnetization: AFD)を行った。RCDは、複数の試料に対してエッチャントを72時間連続で滴下するために、新たな装置を考えた。その後、古地磁気実験室において磁化測定および交流消磁を行った。使用した機材は交流消磁装置および、パススルー型超伝導磁力計(SQUID)、また、消磁の有効性の比較のために熱消磁炉を利用した。

測定の結果、RCDを行った試料は、その後の成分をAFDで消磁することができ、RCDによって消磁された磁性鉱物は、岩石磁気の結果と調和的な高保磁力成分であることが明らかとなった。また、RCD+AFDを行った試料は特徴磁化成分を明確に捉えることができた。

結果として、通常のAFDのみを施した試料と、RCD+AFDを行った試料の比較で、 α_{95} が57.3→26.0、仮

想地磁気極(VGP)の緯度が $-13.4^\circ \rightarrow -84.9^\circ$ と、集中がよくなるとともに、双極子磁場方位に近い方位に改善した。これから、RCDは有効で初生磁化を取り出すことができたと考えている。

この炭酸塩岩を含む琉球層群は、Yamada and Matsuda(2002)で石灰質ナノ化石から0.95~0.41Maの堆積物であることがわかっている。サンゴ化石や石灰藻球化石・生細砕物を主体としており、自然残留磁化強度が0.075~2.352mA/mと弱い。通常の段階交流消磁では100mTでも完全に消磁できず、段階熱消磁では、 α_{95} が50前後となる。極性を判定するパラメーターのVGPの緯度は、 60° 以上もしくは -60° 未満になるサイトは全体の10%に満たなかった。他のサイトの試料にも化学消磁を適用することで、段階交流消磁が有効となり、 α_{95} 、VGPの緯度ともに大幅に改善した結果を得ることができ、古地磁気層序の議論が可能となった。今回の結果は、年代決定の手段の少ない礫性石灰岩に年代軸を設定する新たな手法を提供するものと考えている。

採択番号 15A016, 15B013

研究課題名 地震性泥質タービダイトの微細堆積・変形構造の研究

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 自然環境学専攻(准教授)

研究期間 H27/6/11-12, 10/27-29

共同研究分担者組織 山口 飛鳥(東京大学), 村山 雅史(海洋コア), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

海洋域の古地震学は主に地震性タービダイトの研究によって進められており、タービダイトを覆う半遠洋性泥の年代から地震発生間隔が議論されている。堆積物の供給源となるエリアが小さく孤立した小海盆では、一般に低密度の小規模乱泥流から薄い泥質タービダイトが溜まるため、短い試料で長期の地震履歴が得られ、さらに削剝による過去の地震イベントの欠落が避けられる。しかし、タービダイト泥とそれを覆う半遠洋性泥の境界の判別は簡単ではなく研究例も限られている。

本申請では、セシウム137、過剰鉛-210の濃度測定結果より2004年紀伊半島南東沖地震時に堆積したと考えられる地層とその下位層を研究対象として、X線CTスキャナーを用いた堆積・変形構造の詳細な観察を行い、泥質タービダイトと半遠洋性泥を判別するとともに、地震動による変形を明らかにすることを目的とする。試料は、「新青丸」KS-14-8次航海にて熊野沖の小海盆より採取されたマルチプルコア試料・ピストンコア試料に加え、本年度実施予定である「白鳳丸」KH-15-2次航海により得られる同海域からの追加試料を用いる。

本研究において、泥質タービダイトと半遠洋性泥の堆積・変形の特徴を明らかにすることにより、泥質タービダイトを用いた古地震履歴研究が進展するものとする。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

KS-14-8次航海で得られたマルチプルコア試料に対して、X線CTスキャンを行った。また、マルチプルコア試料内で地震時に堆積したと考えられるタービダイト部に対し、マイクロフォーカスX線CTスキャンを行った。その結果、本研究で用いたマルチプルコア試料内の泥質タービダイトは、シルト質の葉理部と、それを覆う無構造の厚い泥層からなることが明らかとなった。更に、CTスキャンに加え、マイクロX線CTスキャンの結果から、泥質タービダイトの葉理部において葉理が7枚存在し、また、その一枚一枚の葉理の傾きも明らかとなった。今後、これら一枚一枚の葉理に関しても更に詳細な解析を進めてい

くことにより、堆積過程の理解の一助となると考えられる。タービダイト直下の堆積層では、おそらく2004年の地震時による擾乱がみられた。以上に挙げたような、泥質の地震性タービダイト試料の構造的な特徴は、地震性タービダイトの認定を行う際の指標の一つとして用いることができる。これらの構造は肉眼では全く確認できなかったことから、僅かな粒度の変化も捉えることが可能であるX線CTスキャナーの利用は、泥質タービダイトの研究では不可欠であるといえる。

KH-15-2次航海で得られたピストンコア試料に対しても同様に、X線CTスキャンを行った。こちらの試料ではマイクロフォーカスX線CTスキャンは行っていない。その結果、コア試料採泥時の影響か、擾乱を受けており堆積構造が見られない試料も存在したが、それ以外の試料では、生物擾乱は見られるものの、多数のタービダイト層が確認された。

本研究において、CTスキャンによる詳細な堆積構造の観察により、地震性タービダイトの下限の決定が可能となった。泥質タービダイトと半遠洋性泥との境界は、CTスキャンのみでは確認し難いが、他の測定と組み合わせることにより、その境界を決定づけていく予定である。これらの特徴を、他の試料にも適用していくことにより、タービダイト層の認定が簡便にかつ精密に行うことが可能となる。既に現在、KS-14-8次航海で得られたピストンコア試料に対して、特徴をもとに認定を試みた結果、ピストンコア試料内のタービダイト層の間隔が、南海トラフにおける地震の発生間隔と概ね一致することが明らかになっている。今後、引き続き各層の年代決定を行うと共に、先述の、KH-15-2次航海で得られたピストンコア試料に対しても同様の手順を踏まえることで、試料採取地点である熊野沖や日向沖の詳細な地震履歴が明らかになると考える。今回の共同利用で得られた成果は本研究の最もベースとなる地震性タービダイトの認定を行う際に重要な役割を果たしたといえる。

採択番号 15A017, 15B014

研究課題名 延岡衝上断層学術掘削

氏名・所属(職名) 木村 学・東京海洋大学 学術研究院(特任教授)

研究期間 H27/9/29-10/6

共同研究分担者組織 山口 飛鳥(東京大学), 亀田 純(北海道大学), 藤本 光一郎(東京学芸大学), 斎藤 実篤, 濱田 洋平(海洋研究開発機構), 橋本 善孝(高知大学), 北村 有迅(鹿児島大学), 堤 昭人(京都大学), 他 学生3名

【研究目的・期待される成果】

沈み込み帯における地震の観測・実験・理論研究の急進展をふまえ、その一層の飛躍をはかるためのツボというべき断層メカニズムの理解が本研究計画の目的である。特にプレート境界から分岐する断層で起きる、ゆっくり地震から巨大地震までの多様なすべりメカニズムの解明に焦点を当てる。そのために、最も好研究条件にある過去の地震発生分岐断層である九州延岡衝上断層を対象に、陸上掘削を行い、カタクレサイト帯・ダメージ帯の全試料採取、分析、孔内検層を通じて、断層帯の物性、変形破壊構造、すべり時の動的化学反応を明らかにし、分岐断層のすべりモデル及び断層帯発達モデルを構築する。それらを現在の沈み込み帯における地震観測・反射断面・掘削結果や、陸上付加体の広域地質調査・微細構造観察結果と有機的に結びつけ、断層メカニズムの理解につなげる。

本研究は、断層全体からの均質な物理・化学データの取得、地表地質調査との比較、現在の沈み込み帯断層との比較を行う点で他に類を見ないものであり、今後の沈み込み帯地震研究の発展・予測可能性の向上に大きく貢献することが期待される。また本研究は、陸上観察-海洋掘削-地震観測-岩石実験という異なる手法の統合を目指しており、固体地球科学におけるシームレスな研究体制の構築に寄与することが期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成23年7-9月にかけて延岡衝上断層のコアリングおよび検層が実施された。コア試料は掘削サイトでの一次記載終了後、高知コアセンターに移送され、コア保管庫において全深度(0-255m)が保管されている。掘削サイトでの一次記載とその後の解析においては、岩相層序区分・構造区分、および、物理検層結果(比抵抗、孔隙率、音波速度など)による岩石物性区分の解析・検討を進めた。上記コア記載・検層の解析結果をふまえ、平成23年11-12月にかけて、マルチセンサーコアロガー(MSCL)を用いた延

岡衝上断層掘削コアの連続物性データ取得、および鉍物分析用のスポットサンプリングが実施された。

平成24年6月、25年6月、26年3月には、岩石物性解析用、微細組織観察用、年代測定用のサンプリングを実施した。平成27年9月には、断層岩中の組織・クラックの観察を目的に、掘削コアのCTスキャンを行った。

1. 延岡衝上断層の掘削コアに多数見出された小断層について、多重逆解析法およびK-means clusteringを用いて古応力場の復元を行った結果、6種類の応力場が大局的に見出され、その中でさらに2グループに分類がなされた。応力場がグループ間で変化をし、地震前後の応力解放による場の変化が検知されている可能性が考えられる。それぞれの断層群の形成過程の詳細な解析結果を論文にまとめ、現在投稿査読中である(Kawasaki *et al.*, in review, *Island Arc*)。
2. 延岡衝上断層露頭に発達する引張クラックに着目し、応力場逆解析・流体圧比の解析を行った。分岐断層の地震発生前後における応力場変化を議論し、得られた成果を論文にまとめ受理された(Otsubo *et al.*, accepted, *Island Arc*)。
3. 延岡衝上断層掘削コアを用いて、上盤・下盤・主断層周辺の微量元素分析を行い、断層帯における化学特性・組成変化を調べた成果を卒論としてまとめた(鹿児島大 長谷川, H27卒論)。
4. 高速摩擦すべりを示唆するシュードタキライトの三次元解析を実施し、断層形成と鉍物脈沈澱の関係、幾何学的な力学過程についての解析結果を論文にまとめ、投稿査読中である(Amada *et al.*, in review, *Island Arc*)。
5. 延岡衝上断層掘削コアの断層面から複数の鏡肌が発見され、これらのナノスケールの微細組織(原子間力顕微鏡)観察および化学分析が実施された。その結果、鏡肌を構成する光沢面が炭素でできていることが見出され、断層形成との関連についての詳細な解析結果を論文にまとめ、投稿査読中である(Kitamura *et al.*, in review, *Island Arc*)。
6. 延岡衝上断層掘削コアを用いて三軸高速摩擦実験

- を実施し、高温高压下での断層岩の摩擦特性、有効圧がもたらす脆性・塑性変形の効果を解析した。成果を論文にまとめ、現在投稿査読中である (Kitajima *et al.*, in review, *Island Arc*)。
7. 延岡衝上断層掘削コア試料を用いて封圧下の地震波速度測定をwet conditionで実施し、先行研究：物理検層結果 (Hamahashi *et al.*, 2013; 2015)・封圧下 (dry condition)での測定結果 (Tsuji *et al.*, 2005)との比較を行った。解析結果を論文にまとめ、現在投稿査読中である (Hashimoto *et al.*, in review, *Island Arc*)。
 8. 延岡衝上断層・掘削コアサンプルを用いたX線結晶回折 (XRD) による鉱物同定、およびイライト結晶度の解析の結果から、イライト半値幅 (イライトピークの幅) は、主断層近傍で大幅な増加、すなわち結晶度の減少がみられた。この原因を特定すべく、ボーリングコア試料を用いた粉碎実験を行った結果、イライトの半値幅は機械的な粉碎による非晶質化と熱水活動による沈殿 (再結晶化) の二つのプロセスの影響を受けていることがわかった (Fukuchi *et al.*, 2014, *Earth, Planets and Space*)。本年度は、延岡衝上断層露頭試料・コア試料を用いて、XRFコアロガーを用い、断層岩の化学組成と微細組織を詳細に調べた (Fukuchi *et al.*, in prep)。
 9. これまで実施した延岡衝上断層の上盤と下盤における物理検層結果と岩相・構造・物性データの明瞭なコントラスト (Hamahashi *et al.*, 2013, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*; Hamahashi *et al.*, 2015, *Earth, Planets and Space*)を踏まえ、掘削コア試料を用いて深度方向・水平方向・最大傾斜方向における比抵抗・地震波速度・間隙率の測定 (非封圧下) を行い、物性の異方性の評価と、岩相・構造と物性の関係性を考察した。結果を論文にまとめ、現在投稿準備中である (Hamahashi *et al.*, to be submitted to *Island Arc*)。また、延岡衝上断層掘削で得られた物理検層データを用い合成波形を作成して、反射法地震探査のシミュレーションを行った (現在進行中)。物性を支配するパラメータを変えて、分岐断層深部の物性を再現すべく、合成波形モデルを今後構築する (Hamahashi *et al.*, in prep)。

上記の関連する発表は、日本地球惑星科学連合大会 (2015年5月・千葉幕張)、日本地質学会 (2015年9月・信州大学)、American Geophysical Union (2015年12月・サンフランシスコ) において行った。

採択番号 15A018, 15B015

研究課題名 非破壊分析手法を用いた津波堆積物同定技術の開発

氏名・所属(職名) 後藤 和久・東北大学 災害科学国際研究所(准教授)

研究期間 H27/4/14-16, 6/24-26, 7/28-31, H28/1/18-21

共同研究分担者組織 金丸 絹代(マサチューセッツ大学), 菅原 大助(東北大学), 藤野 滋弘
千葉 崇(筑波大学), 澤井 祐紀(産業技術総合研究所), 他 学生5名

【研究目的・期待される成果】

2011年東北地方太平洋沖地震津波以降, 日本全国で津波堆積物調査を実施し, 各地の津波履歴を明らかにすることが, 低頻度巨大津波のリスク評価のために喫緊の課題となっている。これまで, 津波堆積物は砂質堆積物を中心に研究が行われてきた。これは, 沿岸低地の地層中に堆積する砂質堆積物は, 通常時に堆積する土壌と明瞭に異なるため比較的認定がしやすいからである。しかし, 沿岸部や沖合の供給源に砂が存在しなければ, 泥質堆積物しか堆積しない場合がある。また, 2011年津波の調査などによれば, 砂質堆積物は津波遡上限界まで到達しない場合があることが明らかになりつつあり, 砂質堆積物の分布限界を津波の最低遡上限界として波源モデルを推定していた従来の手法では過小評価であった可能性が高い。その一方で, 泥質堆積物は遡上限界まで堆積していることが多く(Goto *et al.*, 2011), 泥質堆積物を地層中から認定できれば, 過去の津波の遡上限界をより精度よく見積もることができる可能性がある。そのため, 泥質津波堆積物の地層中からの認定は, 津波堆積物研究における最重要課題の一つと言える。ただし, 泥質津波堆積物は, 肉眼で土壌と識別することが困難で, 地球化学的または古生物学的に認定を行う必要があり, このような研究事例は近年国際的にも注目されている(例えば, Minoura *et al.*, 1994)。しかし, 通常的手法(数cm間隔のサンプリングによるXRF分析や微化石分析)は, 膨大なコア試料から泥質津波堆積物を認定するには非効率である。そこで本研究では, 迅速かつ高解像度で半定量的にコア試料を分析し, 泥質津波堆積物の候補を効率的に探し出す技術の開発を主目的とする。この技術開発により, 堆積物を用いた津波のリスク評価をより精度よく迅速に実施することができ, 我が国の津波防災に資するものと期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本申請は, 肉眼では観察が難しい津波堆積物の同定技術の検討や, 津波堆積物がどのような地球化学的特徴を有しているのかを検討するために, XRFコアスキャナ, およびITRAX, X線CTスキャナ, 帯磁率

計を活用しようというものである。先行研究によれば, 仙台平野で得られた2011年津波堆積物についてはS, Cl, K, Ca, Srなどの元素が特徴的に含まれることが示されている(例えば, Chague-Goff *et al.*, 2012)。そこで本研究では, 砂質・泥質津波堆積物中に含まれる海水由来の元素の濃集をXRFコアスキャナやITRAXで確認できるかを検討した。また, X線CTスキャナや帯磁率計などを活用して, 津波堆積物の特徴を把握した。以下に, 具体的な成果を示す。

北海道東部の湖底および低湿地から得られた堆積物を, X線CTスキャナを用いて撮影した。その結果, 泥質堆積物中に存在する砂層を確認することができた。また, 泥炭層中の砂層については, その堆積構造を撮影・観察することができた。

岩手県沿岸域(陸前高田市)で得られた堆積物試料に対しXRFコアスキャナ分析を行った。同地域では過去に繰り返し津波が来襲したと考えられるものの, 津波履歴についてはまだよくわかっていない。分析の結果, 化学組成の連続データを得ることができ, 泥層と砂層とで化学組成の違いを確認した。

大分県と和歌山県の沿岸低地で採取したボーリングコア試料について, CT画像撮影とITRAXによる元素組成分析を行った。CT画像撮影では肉眼で観察しにくかった堆積物の内部構造などを鮮明に識別することができた。ITRAXによる元素分析では, 津波堆積物と考えられる砂層と周囲の泥層の間に明確な元素組成の違いを確認できた。これらの分析により珪藻化石群の分析結果などとともに津波堆積物の識別に不可欠な情報を得ることができた。

以上の結果から, XRFコアスキャナおよびITRAX, X線CTスキャナ, 帯磁率のいずれも津波堆積物認定に有用な情報を得ることができることがわかった。特に, これらの分析で肉眼では観察できない薄さのイベント層を検出できる可能性があり, そうした層準を対象を絞ってその後の詳細な分析を行うという手順が効率面からも望ましい。そのため, 津波堆積物の認定を今後行うにあたり, 試料採取を伴う粒度分析や微化石分析等を行う前に, これらの機器で非破壊かつ一時的な分析を行うことが重要だといえる。

採択番号 15A019, 15B016

研究課題名 活断層のスリープゾーンに含まれる炭質物の元素組成と温度異常との関係について

氏名・所属(職名) 廣野 哲朗・大阪大学大学院 理学研究科 宇宙地球科学専攻(准教授)

研究期間 H27/7/5-11

共同研究分担者組織 池原 実(海洋コア), 向吉 秀樹(島根大学), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

断層に着目した物質科学的研究にあたり、履歴している温度情報は過去の地震時の滑りパラメータ(剪断応力など)の推定に繋がるため、極めて重要である。断層での温度プロキシとしては、ケロジェンなどの炭質物の熟成度が挙げられる。台湾チェルンプ断層では、炭質物のラマン・赤外吸収スペクトルでの変化を検出することができた。しかし、これらの分光学的異常は熱分解特性に依存し、この熱分解による変化は炭質物の元素組成の変化にも現れる可能性がある。そこで、新たな断層摩擦発熱プロキシの開発として、炭質物のCHNO元素濃度について研究を推進する次第である。

本研究は、平成26年度後期からの継続である。すでに、先行的な分析によって、高温下では元素組成が変化しつつあることが明らかになっている。しかし、分析にあたりケイ酸塩鉱物の除去など前処理が不十分であった。そのため、本年度の申請研究によって、十分な処理及び分析を実施し、学術論文として公表できる信頼性の高いデータを取得することを目指す。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

四国四万十付加体の久礼メランジに露出する高角逆断層は、シェードタキライトを伴う構造地質学的な特徴から、過去のプレート境界における巨大分岐断層であると報告されている。中でも代表的な断層においては、地震性滑りに伴って350℃を超える温度の高温流体が発生したと報告されている。本研究では、この代表的な断層及び周囲の破碎帯・母岩からバルク試料を採取した。平成26年度後期の採択課題では、これらの試料から重液分離で炭質物を抽出したが、元素分析を行った際に珪酸塩等の影響によって正確な元素比を分析できない問題があった。本課題では、それらの問題を打開すべく、HCl-HF法を用いて島根大学にて試料中の炭質物を抽出した。抽出した母岩の炭質物について、大阪大学に設置のTG-DSC装置を用いて100-1000℃まで100℃刻みで加熱実験を行った。加熱試料10個及び天然試料5個について、高知大学に設置の元素分析装置を用いて、元素組成

分析を実施した(全国共同利用の申請研究)。その結果、滑り面において顕著なH/C比・O/C比の低下が確認された。また加熱試料についても、温度上昇と共にH/C比・O/C比の系統的な低下が確認された。天然・加熱試料の元素比について比較すると、滑り面試料の元素比は、母岩試料を500-600℃に加熱した試料の元素比と調和的であった。さらに、同様の試料について、大阪大学に設置の赤外・ラマン分光測定器を用いて、分光スペクトルの測定を行った。赤外分光測定の結果、滑り面試料では脂肪族C-H基のピークの消滅及び芳香族C=C基のピークの減衰が確認された。加熱試料においては、500℃以上で脂肪族C-H基のピークの消滅、600℃以上で芳香族C=C基のピークの減衰、700℃以上で芳香族C=C基のピークの消滅が確認された。よって、滑り面の赤外スペクトルは、500-600℃以上の加熱試料と調和的であった。ラマン分光測定の結果、滑り面試料ではDピークとGピークの強度比が、周囲の母岩と比較して増加していることが確認された。加熱試料においては、温度上昇にともなってDピークとGピークの強度比が系統的に増加することが確認された。滑り面試料は、100-600℃の加熱試料と調和的な強度比を示した。これらの3つのデータを総合すると、過去の地震時に滑り面では500-600℃の高温が達成された可能性が示唆される。これらの最高温度、報告されている各種物性値、摩擦発熱を加味した一次元熱拡散方程式に基づく数値シミュレーションの結果、一回あたりの滑り量は2-9mであると計算された。この滑り量は、津波インバージョンから逆算された過去の地震時の滑り量と調和的であった。

採択番号 15A020, 15B017

研究課題名 北太平洋における第四紀の古環境変動の研究

氏名・所属(職名) 大串 健一・神戸大学 人間発達環境学研究科(准教授)

研究期間 H27/10/26-28, 11/9-13

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

本研究は、最終氷期から完新世にかけての北太平洋中層水循環変動を明らかにすることを目的とする。北太平洋中層水の形成は北半球高緯度域の気候変動に密接に関連していると考えられており、その変動は深層水による熱塩循環や炭素循環に影響する可能性がある。このため、申請者は、北太平洋の東太平洋コスタリカ沖から得られた海底コアと北海道沖から得られた海底コアに含まれる有孔虫の酸素同位体比分析をこれまで実施し、古環境の復元に取り組んできた。

コスタリカ沖コアについては、申請者が乗船したJR号のIODP研究航海「コスタリカ沖沈み込み浸食縁辺域における地震発生過程の解明」の際に得た多数の堆積物試料である。また、北海道沖の海底コアは、申請者が海洋地球研究船「みらい」に乗船し採取したMR04-06 PC01コアとPC02コアである。これまで申請者は北海道沖コアについて分析を行っており、新しい成果を得てきた(現在投稿準備中)。その結果によれば、底生有孔虫の酸素同位体比カーブは、ヤンガードリアス寒冷期には北太平洋起源中層水の形成が活発化し水深800m付近までその流れが到達した可能性を示していた。

また北海道沖の堆積物の特徴からは、最終氷期から完新世にかけて中層水循環の変動とともに生物生産性の変動や炭酸塩堆積物の保存度の変化が見られる。これらの変化は、海水中の炭酸イオン濃度や炭酸カルシウムの飽和度の変化に関係しており、最終的には大気中の二酸化炭素濃度の変動にも関わっていると考えられる。

最終的に、これら北太平洋の離れた2地域や他の既存研究とも比較することで中層水循環の空間的な広がりも考察したい。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

北海道苫小牧沖の水深777mから採取された海底コアMR04-06 PC1の有孔虫の酸素・炭素同位体比分析を行った。分析は高知大学海洋コア総合研究センターの質量分析計IsoPrimeにより行った。本コアの有孔虫の酸素・炭素同位体比は、底生有孔虫、浮遊性有孔虫ともにこれまでの分析により得られているが、今

年度はより高い時間分解能での分析を目指した。このため主に完新世の層準から底生有孔虫*Uvigerina akitaensis*を拾いだして分析し、データを追加した。さらに、最終氷期から完新世にかけての退氷期に相当するベーリングアレレード温暖期からヤンガードリアス寒冷期の層準を特定する必要があるため、両期の境界付近と判断される1層準において加速器質量(AMS)分析法による放射性炭素年代分析を行った。試料は浮遊性有孔虫*N. pachyderma*の石灰質化石殻を1層準約2,000個体拾いだしクリーニングを行い測定試料とした。AMS測定はBeta Analyticに依頼した。得られた放射性炭素年代データは、既存の放射性炭素年代データとともに、インターネットで公開されているプログラムCalib 7.1により暦年補正を行った。年代データが得られていない層準は堆積速度を一定と仮定して線形補間して年代モデルを構築した。年代モデルを用いて得られた有孔虫酸素同位体比の時系列変化をもとに過去16,500年間の親潮水域の海洋環境変遷を推定した。その結果、最終退氷期において底生有孔虫の酸素・炭素同位体比の急激な変動が確認された。ヤンガードリアス寒冷期において底生有孔虫の酸素同位体比は急激に増加した。このことから水深700m付近の中層水域においても寒冷化が起きたことが明らかとなった。この変動は浮遊性有孔虫の酸素同位体比にも見られる。したがって、親潮水域の表層から中層まで寒冷化が及んでいたことが明らかとなった。この変動パターンはグリーンランド氷床コアの気温変動と同期していることも判明した。したがって、最終退氷期においては北半球高緯度の急激な寒冷化が何らかの要因により北太平洋の中層水に影響を与えていると推察される。親潮水域において寒冷な中層水の供給源として考えられるのはオホーツク海またはベーリング海等の亜寒帯縁海の沿岸表層水である。現在においても冬季にはオホーツク海の北西縁沿岸部で海水形成に伴い、高塩分水が形成され、オホーツク海中層水となっている。その中層水は親潮水域に輸送され、黒潮流域において北太平洋中層水が形成される。ヤンガードリアス期においてもオホーツク海における活発な海水形成に伴い中層水が形成されたと考えられる。

採択番号 15A021, 15B018

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・高知学園短期大学 医療衛生学科 歯科衛生専攻(教授)

研究期間 H27/4/28, 5/14, 5/28, 6/22, 6/24, 7/31, H28/2/26

共同研究分担者組織 笥 光夫(明海大学), 安井 敏夫(横倉山自然の森博物館), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

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

【利用・研究実施内容・得られた成果】

顕微レーザーラマン分光装置において、これまで 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 : 960cm^{-1} , ν_2 : 430cm^{-1} と 450cm^{-1} , ν_3 : 1035 , 1048 , 1073cm^{-1} , ν_4 : 587cm^{-1} と 604cm^{-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 ν_1 の $960-961\text{cm}^{-1}$ に PO_4^{3-} の一番鋭いピークが検出された。この波形は Carbonated-apatite (CHA) に近似するピークである。フロールアパタイト fluorapatite 結晶 (FAp) では $964-967\text{cm}^{-1}$ に PO_4^{3-} のピークが検出され、Fの含有によるピークシフトが起こり、差異が見出された。サメのエナメロイド (FAp) では 963cm^{-1} であった。コノドント化石や *Eusthenopteron* の歯の外層エナメロイドの結晶は $965-967\text{cm}^{-1}$ であった。またX線回折法で結晶がFApであることが確認された。シルル紀以降の両生類の歯の結晶は $960-961\text{cm}^{-1}$ のピークで、CHAであり、biological apatite 結晶と報告した (Kakei *et al.*, 2016)。ハイドロキシアパタイト結晶 Hap や CHA はシルル紀以降に出現したと考察した。チリやブラジルなど世界各地天然アパタイト結晶15種全てのサンプルからSEM-EDS分析によりFが検出され、FApで有ることが示された。顕微レーザーラマン分光装置でも鋭いピーク ν_1 は $964-967\text{cm}^{-1}$ であり、フロールアパタイト (FAp) と同定された。またX線回折法でもフロールアパタイト (FAp) と同定された。骨のアパタイト結晶で ν_1 : 960cm^{-1} , ν_2 : 430cm^{-1} と 450cm^{-1} , ν_3 : 1035 , 1048 , 1073cm^{-1} , ν_4 : 587cm^{-1} と 604cm^{-1} であった。その4種のピークは天然アパタイト結晶でも確認でき、骨代替材料の人工材料をインプラント後に、その周囲に形成される骨組織の結晶成熟度の比較対照試料としての可能性が示唆された。(三島ほか, 2014; 2015; 2016)。

Eusthenopteron の化石では下層から、層板骨、脈管に富む骨、象牙質、エナメロイドに区分され、皮甲表層や歯のエナメロイドはFAp結晶であり、その下層の象牙質や骨組織はHAp結晶とFAp結晶が混在していた。透過型電子顕微鏡ではエナメロイドの結晶は中心線が存在しない。形態学的にはFAp結晶であった。それに対し下層の象牙質や骨組織は中心線が存在する結晶であり、HAp結晶であった。象牙質や骨の化石のFAp結晶の存在は、海水中のFが長い化石作用の間に歯髄から象牙質の象牙細管にあるいは骨髄から骨細管に浸み込み、二次的にOH基にF基が置換され、FAp結晶が形成されたと考察している。また

Eusthenopteron は歯の硬組織のエナメル質, エナメロイドの起源を探る上で, 貴重な標本である. 今後エナメロイドの微細構造を検討していきたい (Mishima *et al.*, 2013, 三島ほか2014). さらに現生の歯の試料の biological apatite 結晶では, 天然のアパタイト結晶より, 多くの CO_3^{2-} を含有しているとの報告があるが, ラマン分析において, CO_3^{2-} のピークを明瞭に検出できていない. この点は, 耳石の炭酸カルシウムを対照試料にして検索しているが, まだ明らかにできていない. TEMの観察から, コノドント化石の硬組織の結晶は柱状であり, 硬組織は2層性 (外層と内層) であることが確認できた. 外層のエナメロイドは結晶の大きさが大きく, 内層の象牙質の結晶は小さかった. SEMにおいて, エナメロイドでは, エナメル質と異なり, 成長線が認められなかった. 組織構造的にも, 従来の報告と異なり, 外層がエナメロイドであることが確認できた. EPMAにおいてはコノドント化石では, CaとP, 微量元素として, Fが検出された. Ca/P比は外層で1.60~1.62, 内層で1.60~1.96であった. Fは外層で $3.803 \pm 0.236 \sim 4.137 \pm 0.089 \text{weight}\%$ で, 内層は $3.203 \pm 0.646 \sim 5.456 \pm 0.185 \text{weight}\%$ で

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

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

採択番号 15A022, 15B019

研究課題名 堆積残留磁化の獲得過程の研究

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 H27/6/8-11, 8/17-21, 11/9-12, H28/1/15-18, 2/24, 3/14-15

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

堆積物の残留磁化獲得機構は、30年以上前から議論されているが、未だに不明の点が多い。従来は圧密過程に伴い徐々に磁化が獲得されるとするモデルで考えられることが多かった。しかし、最近、外洋域の堆積物においては走磁性バクテリア起源のマグネタイトが磁性鉱物の主要な成分の一つであることが判明し、生物化学的なプロセスが堆積残留磁化獲得に重要な役割を果たしている可能性が認識されるようになった。本研究では、生物源マグネタイトが堆積物の残留磁化獲得に果たす役割を総合的に解明することを目指す。具体的には、以下のような研究を行う。(1) 走磁性バクテリアの好適生息環境とされる酸化還元境界の海底面からの深度と、堆積残留磁化獲得の遅れ(Depth lag)の関係の研究、(2) 生物源マグネタイトと陸源磁性鉱物の割合の変化が堆積残留磁化獲得効率を支配し、相対古地磁気強度推定に影響している可能性の研究、(3) 赤色粘土において知られる、数百万年以前の堆積物では残留磁化が不安定である現象と、生物源・陸源磁性鉱物の供給との関係の研究。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2013年以降、南鳥島周辺ではレアアース資源ポテンシャルの観点から、赤色粘土コアの採取が密な間隔で行われてきた。その結果、基本的な層序として上位より、(1) レアアース含有量の低い茶褐色の部分、(2) レアアース含有量の高い層を含む暗赤色の堆積物、(3) 全体にやや色が明るく生物擾乱を思わせる黄褐色と茶色の縞々状を呈する堆積物からなることが判明した。赤色粘土は年代決定に有効な石灰質・珪質微化石を含まないため、詳細な年代推定は困難であるが、(1)~(3)はそれぞれ、更新世~鮮新世、始新世~漸新世またはそれ以前、白亜紀に対応するらしい。

本年度は、MR14-E02航海で採取された4本のピストンコア、及びMR15-01航海で採取された1本のピストンコアについて、磁化率異方性測定、自然残留磁化測定及び段階交流消磁実験、非履歴性残留磁化(ARM)獲得実験及び交流消磁を行った。東大気

海洋研で行った飽和等温残留磁化(SIRM)測定とあわせ、ARM/SIRM比の変動を求めた。ARM/SIRM比は、生物源・陸源磁性鉱物の割合のプロキシである。磁化率及びARM/SIRM比を用いて、コア間の対比が可能である。その結果、堆積間隙が多く存在し、またその時空間分布は局所的に大きく異なることが判明した。深海底の赤色粘土は、極端に遅い堆積速度で静かに連続的に堆積しているという従来のイメージとは異なり、比較的強い底層流下でその強度変動や微地形等の空間的条件に支配されて、断片的にしか堆積していないことが判明した。高レアアース含有層は、ARM/SIRM比の急変部に近く、古海洋学的イベントと関連していると推定される。

赤色粘土に含まれる磁性鉱物は主として生物源マグネタイトで、上記(1)の表層部では陸源磁性鉱物も多く含む。単磁区サイズで安定な残留磁化を担うと期待される生物源マグネタイトが主であるにもかかわらず、古地磁気層序を確立できるのは(1)のみである。しかし、古地磁気層序を確立できない部分でも、個々の試料の磁化方位は概ね正・逆の2つのグループを形成する。また、古地磁気層序を確立できる部分とできない部分で、保磁力に差はない。これらのことから、古地磁気層序が得られない原因として、極端に遅い堆積速度のため、1個のキューブ試料の約2cmの間に正帯磁・逆帯磁部分が混在する可能性が考えられる。また、生物源マグネタイトが二次的磁化を獲得して、古地磁気層序の確立を妨げている可能性がある。酸化的環境の赤色粘土では、酸化/還元に関わる化学的勾配が小さいことから、走磁性バクテリアがもし堆積層中で広い深度幅をもって生息しているとする、個々のキューブには様々な年代の生物源マグネタイトが含まれることとなる。

西部赤道太平洋MR14-02-PC01コアについては、代表的試料について、FORC測定、IRM獲得曲線の測定、低温磁気測定を行った。すでに測定されていたARM/IRM比、及び東大気海洋研で行った透過電子顕微鏡による磁性鉱物観察とあわせて、生物源マグネタイトが主要な磁性鉱物であることが確認できた。

採択番号 15A023, 15B020

研究課題名 堆積構造による西部赤道太平洋の古環境研究

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 H27/6/8-10

共同研究分担者組織 七山 太(産業技術総合研究所)

【研究目的・期待される成果】

西部赤道太平洋海域は、世界で最も海面温度が高い海域(Western Pacific Warm Pool, WPWP)として知られ、WPWPの地域的・時間的変動はグローバルな大気循環・水循環に大きな影響を与えてきたと考えられるため、古海洋学的に重要な海域である。申請者のグループはこれまで、ニューギニア北方の西カロリン海盆で採取された堆積物コア試料を用いた環境岩石磁気学的な研究を行ってきた。その結果、炭酸塩含有量・含水比を補正後の磁化率では、約10万年の周期的変動が卓越することが判明した。一方、西カロリン海盆南部の堆積物では、磁化率異方性測定結果及び、3.5kHzサブボトムプロファイラー記録から、底層流の影響を強く受けていることが推定された。そこで、本研究では、X線CT画像を用いて、より詳細に堆積構造の時間変化を解析することにより、この海域の深層水循環の変動の解明を試みるとともに、磁化率変動との関係を考察する。また、この海域の堆積物は、堆積残留磁化獲得メカニズムの解明の観点からも研究が進行中であり、堆積構造と堆積残留磁化獲得との関係の解明にも資することを旨とする。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

西部赤道太平洋ニューギニア沖(西カロリン海盆)で採取されたKR0515-PC2, PC4コアの各20セクション、計40mについて、X線CT画像の撮影を行った。一部サブサンプリングされているセクションがあったものの、多くはArchive sectionが半割コアの状態で保管されており、良好な画像を得ることができた。現在、予察的な解析を行っている段階であるが、全体として強く生物擾乱を受けていることが判明した。これらの2本のコアは、ニューギニア海溝の外縁隆起帯上に約400km離れて位置し、堆積物は半遠洋性粘土からなる。水深はPC2が約3600m、PC4が約4300mであるため、PC4の方が炭酸カルシウム含有量が少ない。陸からの距離は同程度で、平均堆積速度はそれぞれ44m/m.y., 38m/m.y.と大差なく、類似した堆積環境にあると推定していた。しかし、生物擾乱には以下のような違いが見られた。コアPC2はコアPC4より相対

的に生物擾乱が弱く、直径5mm程度の比較的小規模な巣穴跡が多い。一部には生物擾乱がほとんどなくラミナが保存されている層準も存在する。一方コアPC4の巣穴跡は、直径1~2cm程度の比較的大きなものが多く、中には、コアの鉛直方向に30cm以上追跡できる巨大な巣穴も確認された。また、それぞれのコアの深度方向にも生物擾乱の強度の変化が認められ、氷期・間氷期変動などの気候変動による深層水循環や生物生産性の変化と対応している可能性がある。

これらのコアでは、Iceland Basin地磁気エクスカージョン時の古地磁気強度変動を、ベリリウム同位体比を用いた手法と従来の古地磁気手法と比較することにより、堆積残留磁化の獲得深度(lock-in depth)が推定された。PC2では約6cm、PC4では約10cmと違いがあり(Horiuchi *et al.*, 2016)、また、Suganuma *et al.* (2010)で同じ海域で採取された別のコアについて報告されている15cmという値とも異なっている。このことは、コアサイトの局所的な堆積環境の違いがlock-in depthの違いをもたらしている可能性を示唆している。上記の、生物擾乱の程度の違いが、lock-in depthの違いの要因の可能性がある。今後、生物擾乱の程度を半定量化し、lock-in depthとの関係や、氷期・間氷期変動等に伴う古海洋変動との関係についての議論を深める予定である。

採択番号 15A024, 15B021

研究課題名 第四紀の水河性海水準変動が日本海の海洋環境に与える影響

氏名・所属(職名) 佐川 拓也・金沢大学 理工研究域 自然システム学系(助教)

研究期間 H27/4/17-24

共同研究分担者組織 岡崎 裕典(九州大学), 村山 雅史, 岡村 慶(海洋コア)

【研究目的・期待される成果】

日本海は半閉鎖的な縁海であるため、その海洋環境は氷期-間氷期変動に伴う海水準の変化に敏感に反応する。最終氷期最盛期には対馬海峡からの外洋水流入が大幅に制限され表層水が低塩化し、深層水が形成されなくなった。深層水の形成停止によって日本海深層へ酸素が供給されず、海洋生態系に甚大な影響を及ぼした。氷期-間氷期サイクルは約100万年前の中期更新世気候変換期(MPT)と呼ばれる時代を境に徐々に振幅が大きくなり、サイクルに卓越する周期も4万年周期から10万年周期へと移行してきた。このような全球気候変動サイクルの変化が縁海の海洋環境に与える影響は未だはっきりとしていない。本研究課題では、IODP346次航海で採取された鳥取沖U1427と北大和堆U1425の試料について、底生・浮遊性有孔虫の酸素炭素同位体比とMg/Ca分析によって海洋環境の復元を行う。水深が330mと浅い鳥取沖サイトは堆積速度が速いうえに有孔虫化石が連続的に産出し、表層環境の復元に適した試料である。また、大和堆サイトは現在の亜寒帯前線付近に位置し、鳥取沖との水温差を見ることで過去の前線の移動を追うことができると期待される。本申請は平成26年度後期に採択された課題の継続研究である。平成26年度にはU1427の底生有孔虫について酸素炭素同位体を約300試料分析した。その結果、予察的年代モデルで氷期と考えられる層準において酸素同位体比が軽くなるイベントが数回繰り返し起こっていたことが明らかになった。また、このようなイベントは約100万年前から顕著になり始めたことがわかってきた。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本課題では、2013年8-9月に行われた統合国際深海掘削計画(IODP)の第346次航海で採取されたU1427掘削コアについて分析を行った。U1427は日本海南部の鳥取沖水深約330mの地点にて掘削が行われ、最も深い掘削孔では海底下約550mまでの堆積物を採取した。本年度は、昨年度までに分析が終了している1m間隔の分析に加えて解像度を上げる試料を分析した。U1427堆積物試料から拾い出した底生・浮遊性有孔虫を顕微鏡下で粉碎し、マイクロチューブに移して前処理を行った。前処理は超純水を試料の入ったマイクロチューブに満たし、数秒間超音波洗浄を行った

のちに上澄み液を除去という作業を数回繰り返した。その後、超純水の代わりにメタノールを用いて同様の手順を数回繰り返し、再度超純水を用いてメタノールを除去した。安定同位体質量分析計MAT253を用いて炭素・酸素同位体比を分析した。

コア全体を通して産出した底生有孔虫は *Uvigerina* 属の3種と *Cassidulina japonica* であった。特に、*Uvigerina* 属が産出しない層準では *C. japonica* が産出することが多く、これら両方を分析することで連続的な同位体変動を得た。*Uvigerina* 属3種の酸素同位体比は同一層準から得られたデータに有意な差は見られなかった。さらに、*Uvigerina* 属と *C. japonica* についても有意な差がなく、vital effectによる違いは確認されなかった。浮遊性有孔虫は主に *Globigerina bulloides* と *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral) が産出した。これら2種の酸素同位体比も同一層準から得られたデータに有意差は見られなかった。

本研究課題では日本海で初めて過去100万年間を越える酸素同位体層序の構築と海洋環境の復元を目指している。これまでに得られた同位体分析データと微化石層序、火山灰層序等のデータを合わせて年代モデルがほぼ完成した。その結果、U1427の堆積物は過去140万年を越える日本海の表層海洋環境を記録していることが明らかとなった。また、日本海特有の氷期最盛期に起こる低塩分イベントは過去100万年間を通して繰り返し起こってきたこと、さらに、各氷期の同位体ピーク値の違いが低塩分イベントの強度(低塩分化の程度)を表している可能性が高いことも明らかになってきた。このピーク値の違いは、酸素同位体標準カーブとの比較から、各氷期の海水準低下の振幅を反映していると考えられる。現在の日本海は隣接する東シナ海から対馬暖流が流入しており、表層と中層に強い水温躍層が発達しているが、このような水温構造は間氷期のごく一部の時代に限られ、その他の大部分の時代は水温躍層の発達が弱かったものと考えられる。さらに、氷期の最盛期には対馬暖流の流入は完全に停止し、表層水の塩分は大幅に低下することで、塩分による成層が強まった。以上のように、本申請課題によって得られた浅海域掘削コアの有孔虫同位体記録によって、日本海海洋環境の劇的な変化を復元する事に成功した。

採択番号 15A025, 15B022

研究課題名 氷期-間氷期変動に対する太平洋熱帯域の水溫躍層深度の応答

氏名・所属(職名) 佐川 拓也・金沢大学 理工研究域 自然システム学系(助教)

研究期間 H27/11/9-21

共同研究分担者組織 岡崎 裕典(九州大学), 村山 雅史, 岡村 慶(海洋コア)

【研究目的・期待される成果】

西部熱帯太平洋域(WPWP)は全海洋で最も水溫が高い海域であり, 大氣に大量の熱と水蒸気を供給することで地球気候システムのエンジンとして働いている。よって, 長期的な気候変動を理解するにはWPWPの表層水溫記録は必要不可欠である。過去40万年間のWPWPの表層水溫変動は氷床コアから復元された大氣二酸化炭素濃度の変動と酷似しており, WPWPが二酸化炭素による放射強制の影響をダイレクトに受ける海域であることが知られている。一方で, WPWPの水溫躍層深度には顕著な年々スケール変動が観測され, エルニーニョ南方振動(El Nino-Southern Oscillation: ENSO)と深く関わっていることがわかっている。しかしながら, 水溫躍層深度の長期的な記録は数少なく氷期-間氷期スケールにおける変動に関して未だ理解されていない。水溫躍層の変動は, 躍層付近に生息する浮遊性有孔虫のMg/Ca古水溫に記録されていると期待できるので, 表層から水溫躍層にかけて生息する複数の浮遊性有孔虫種のMg/Ca古水溫が復元できれば, WPWPにおける鉛直的な水溫構造が遂げてきた変化の理解に繋がる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本申請課題では, 西部熱帯太平洋域(WPWP)のオーリックライズから採取されたKR05-15 PC1堆積物コア試料から拾い出した底生・浮遊性有孔虫について酸素・炭素同位体分析とMg/Ca分析を行い, 過去37万年間の水溫躍層深度の変動を復元することを目的としている。平成26年度までに4cm間隔で拾い出した底生有孔虫*Uvigerina sp.*の同位体分析, *Pulleniatina obliquiloculata*の同位体・Mg/Ca分析が終了している。これらの酸素同位体分析結果と放射性炭素年代データからPC1コアの年代モデルが構築されている。堆積速度は平均3.4cm/kyrでありコア全体を通してほぼ一定である。コア最下部の年代はMIS10の約37万年前であることが明らかになっている。昨年度までの分析データを解析したところ, MIS3にあたる層準に数百~千年スケールの変動が記録されている可能性が見つかった。そのため, 今年度は過去7万年間の分

析解像度を上げることを目的とした。

これまで採取した堆積物試料の解像度を2倍に上げるために, 堆積物のサンプリングを再度行い, 試料間隔をこれまでの4cmから2cmとした。これにより約400年間隔のデータが得られることとなった。新たにサンプリングした試料は63 μ mのふるい上で水洗し, 乾燥試料から浮遊性有孔虫*P. obliquiloculata*を拾い出した。拾い出した有孔虫化石は粉碎した後に超音波洗浄によって泥粒子を除去し, その一部を同位体分析に用いた。残りの試料はさらに化学的処理を施し, 有機物と金属酸化物を除去した後に硝酸に溶解させてMg/Ca分析に用いた。

*Pulleniatina obliquiloculata*の同位体・Mg/Ca分析結果を見ると, どちらも千年スケールの変動を顕著に示し, その変化パターンはグリーンランド氷床コアの酸素同位体比変動に代表されるダンスガードーオシュガーサイクルのそれと類似していた。このことは, 西部熱帯太平洋域の水溫躍層が北大西洋高緯度域の千年スケール気候変動と関わっていることを示唆する結果となった。本研究海域の表層水溫は南極氷床コアから復元された南極域の気溫変動パターンと類似していることが報告されている。つまり, 当海域の表層水溫と水溫躍層の変化は別のメカニズムで駆動されていることが示唆された。また, これまでに得られた氷期-間氷期スケール(数万年スケール)の水溫躍層変動からは, 熱帯域における日射量変動と同様の変動周期を示すこと, 融氷期には南半球で起こったと考えられる深層水循環変動のシグナルが記録されていることが明らかになった。以上のことから, 西部熱帯太平洋域の水溫躍層は時間スケールによって異なる要因で駆動されており, 第四紀気候変動を解明する上で重要な古気候データを提供することがあらためて確認された。

採択番号 15A026, 15B023

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

氏名・所属(職名) 清家 弘治・東京大学 大気海洋研究所 底生生物分野(助教)

研究期間 H27/7/21-24, 10/5-16, 10/26-29, 11/20, H28/2/15-19

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

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

これまでの共同利用研究(2013・2014年度)では、三陸沖大陸棚のコア試料を対象として、水深および環境の違いによって発達する生痕相がどのように変化するかを調べた。また西部太平洋の深海平原にどのような生痕相が存在しているかを明らかにした。

今年度の申請課題では、2015年の三陸沖大陸棚の生痕相について調べる。それにより、2013年～2015年にかけて生痕相がどのように変化したかを明らかにする。また、主要な生痕形成者である甲殻類やウニ類の体内部/外部形態を詳細に観察し、それらの生態学的知見を得る。それにより、生痕化石とその形成者の生態の関係性をも解明していく。以上をすべて合わせ、本申請課題では沿岸域～深海平原における生痕相とその対応する生痕化石の古環境学的意義を解明していくことを目的とした。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

2015年度・高知大学海洋コア総合研究センターでの分析項目としては、X線CT画像撮影(CT画像処理装置を使用)、粒度分析(レーザー粒度分布測定器 Mastersizer 2000を使用)、コア半割面可視光撮影(コア連続画像撮影装置を使用)等を実施した。上記の項目を三陸沿岸～深海域で得られたマルチプルコア採泥試料、宮城県仙台湾で得られたパイプロコア採泥試料、宮城県女川湾で得られたグラビティーコア採泥試料、および岩手県船越湾・島根県沖の島

で潜水作業により採取したコア試料について実施した。また、重要な生痕形成者であるウニ類の内部構造をもX線CT画像撮影で観察した。今年度の主要な成果は以下の通りである。

1. 現世生痕相の沿岸方向変化

生痕化石の群集組成(生痕相: ichnofacies)を解析することで、地層形成時の堆積環境(水深帯)を復元できると考えられている。そのため、生痕化石は古環境復元の有用なツールとして用いられている。しかしながら、潮間帯などのアクセスしやすい環境を除けば現世生痕の研究例は少なく、その有用性についての検証が十分になされているとは言えない。

今回、宮城県仙台湾で得られたパイプロコア採泥試料のX線CT解析を行い、仙台湾の沿岸方向の生痕相変化を調べた。その結果、同じ水深帯でも沿岸方向で生痕相の発達が明瞭に異なることがわかった。この成果は、生痕相の沿岸方向変化を現世の浅海環境で初めて明らかにし実証したという点で、生痕学のみならず堆積学・古生物学に大きなインパクトを与えることが期待できる

2. 2011年東日本大震災から約二年後の沿岸～深海底堆積物の状況把握

地層中の津波堆積物の存在から、過去の津波の発生状況や規模を推測することができる。しかしながら、近年に形成された津波堆積物が地質記録として保存されるかどうかを検証した例は少ない。今年度の申請課題では、宮城県女川湾で採取したマルチプルコア採泥試料およびグラビティーコア採泥試料のX線CT解析および粒度分析を行い、この湾に分布する2011年津波堆積物と過去に形成された津波堆積物を比較し、長い時間スケールで津波堆積物が生物攪拌(生痕)によりどのように変化しているかを検証した: 2011年津波堆積物には明瞭な平行葉理が観察された。その一方で、2011年以前の津波により形成された砂層は生物攪拌作用によってほぼ均質化されており、明瞭な平行葉理を含んでいなかった。このことは、津波堆積物は形成時そのままの状態では地質記録に保存されないことを意味している。

採択番号 15A027, 15B024

研究課題名 フランスおよびベトナムにおける白亜紀・デボン紀海洋無酸素事変の高解像度解析

氏名・所属(職名) 西 弘嗣・東北大学 総合学術博物館(教授)

研究期間 H28/2/8-12

共同研究分担者組織 小松 俊文(熊本大学), 高嶋 礼詩(東北大学), 村山 雅史, 山口 龍彦(海洋コア),
他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

デボン紀後期および白亜紀中期は二酸化炭素濃度の上昇により温暖化が進行したことが知られている。この温暖化の極大期に両時代で海洋の酸素が枯渇する海洋無酸素事変が発生した。デボン紀後期の海洋無酸素事変は、上部・下部Kellwasserイベント、Hangenbergイベントと名付けられ、白亜紀の海洋無酸素事変はOAE1a~1d, OAE2などが知られている。この両時代における海洋無酸素事変の発生は海洋生物の絶滅を引き起こしただけでなく、石油根源岩の形成にも大きく寄与したことから、資源の観点からも重要なイベントである。

本研究では、温室期における無酸素水塊の拡大がどのような原因で発生するのかを解明するため、海洋生態系の異なる白亜紀とデボン紀の海洋無酸素事変に焦点を当て、両時代の海洋無酸素事変の共通点を明らかにする。扱う試料は、デボン系に関してはベトナムの上部・下部Kellwasserイベント、Hangenbergイベント、白亜系に関してはフランス南東部のOAE1bを予定している。本研究により、急激な温暖化が海洋の環境や生態系に及ぼす影響を明らかにすることができると思われる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

ベトナム北部, Dong Van地域のSi Phai Passに露出するデボン系上部Toc Tat層から採取した石灰岩及び黒色頁岩試料約50試料を東北大学・総合学術博物館で粉末化し、高知海洋コア総合研究センター無機地球化学実験室設置の安定同位体分析システムMAT 253を用いて酸素・炭素同位体比の測定を実施した。分析は2016年2月8日~12日にかけて、高知大学海洋コア総合研究センターの山口龍彦特任助教、熊本大学の小松俊文准教授、熊本大学・大学院生の浦川良太が行った。

分析の結果、炭素同位体比は0~2.2%の値を示した。炭素同位体比の層序学的変化としては、Toc Tac層下部では0~1%の間の値を示すが、Toc Tac層中部で2.2%に大きくシフトし、Toc Tac層上部では、1%前後の値へと徐々に減少することが明らかとなった。

Toc Tac層からは、申請者らの予察的研究で多くのコノドント化石が確認されており、下部はフラシニアン階の*Palmatolepis hassi* コノドント化石帯、中部はフラシニアン階・*Palmatolepis rhenana* コノドント化石帯、上部はフラシニアン階・*Palmatolepis linguliformis* ~ファメニアン階・*Palmatolepis triangularis* コノドント化石帯に対比されることが明らかとなっている。

今回の分析により得られた炭素同位体比曲線では、Toc Tac層中部に大きな正のシフトがみられた。コノドント化石帯の結果と合わせて考えると、この層準は後期デボン紀の大量絶滅イベントである、Frasinian/Famennian境界イベントの下部Kellwasserイベントに対比される可能性が高い。Frasinian/Famennian境界イベントは顕生代の五大大量絶滅イベントの一つとされ、下部Kellwasserイベントと上部Kellwasserイベントの2つのイベントからなり、両イベントで海生生物の21%の科が絶滅したと考えられている。今回、ベトナムにおいて初めて下部Kellwasserイベントを見出すことができ、同絶滅イベントの低緯度地域における古環境変動を検討するうえで重要な発見となったと考えられる。

採択番号 15A028, 15B025

研究課題名 凝灰岩のアパタイト微量元素組成を用いたテフロクロロジーの樹立

氏名・所属(職名) 高嶋 礼詩・東北大学 総合学術博物館(准教授)

研究期間 H28/2/8-10

共同研究分担者組織 伊藤 康人(大阪府立大学), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

テフロクロロジーは第四紀の研究において年代対比・決定の重要なツールとなっている。しかし第四紀より古い時代のテフラについては、火山ガラスが変質している場合が多いため、ほとんど検討されてこなかった。このような背景から、古い時代の凝灰岩の対比は困難であったが、変質に強い重鉍物の化学組成を用いると、第四紀同様、個々の凝灰岩を識別し、テフロクロロジーの樹立が可能である。重鉍物の中でもアパタイトはほとんどの酸性凝灰岩に含まれ、埋没続成に強く、また、マグマの化学組成や、ハロゲン・酸素分圧、温度などによって微量元素の含有量が増減するため、個々の凝灰岩の識別には極めて有用である。

本研究では、北海道に露出する白亜系蝦夷層群および根室層群の凝灰岩に含まれるアパタイトの微量元素組成をWDS EPMAを用いて測定し、各凝灰岩の識別および対比を行うことを目的とする。この方法が成功すれば、本研究で目的としている白亜系だけでなくすべての時代の凝灰岩に対しても同様の成果が得られ、古い時代の層序対比研究に大きな進展をもたらすことが期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

高知大学海洋コア総合研究センターの分光分析室設置の波長分散型EPMA(日本電子製 JXA-8200)を用いて、東北大学・高嶋礼詩が2016年2月8日～2月10日にかけて分析を実施した。分析に際しては、まず、日本電子製のEPMA用標準試料(NaCl, CaF, MnTiO₃, [Zr, Y]O₂, MgSiO₃, CeP₅O₁₄, SrSO₄)を、加速電圧10KeV, 電流4nA, Probe径10μm, ピークカウント30秒, バックグラウンド15秒の条件下で測定し、キャリブレーションを行った。さらに、上記と同条件・同一標準試料を用いて、東北大学金属材料研究所設置の波長分散型EPMA(日本電子製 JXA-8350F)で測定したアパタイト試料6試料(北海道の白亜系・蝦夷層群に挟まる凝灰岩より抽出)についても、同様に分析を行い、両装置での分析結果の再現性を検証した。その結果、Mg, Mn, Fe, Ce, F, Ca, Y, Pの各元素の含有量については、両装置の測定結果はほぼ

誤差の範囲内で一致した。一方、Clの含有量については、東北大学で測定した結果と高知大学海洋コア総合研究センターで測定した結果が大きく異なることが明らかになった。この理由としては、標準試料のNaClの保存が難しく、湿気により表面が腐食している可能性が高いと考えられる。実際、電子顕微鏡で確認したところ、表面にごく小さな結晶が数多く晶出していることが確認された。したがって、NaClについては新たに標準試料を購入し、再度、分析・キャリブレーションを行うことにより、上記の測定値の違いが克服できるものと思われる。

今回、持参した標準試料のうち、NaClが使用不可であることが分かったため、Clの含有量がすでに分かっているサンプル(スミソニアン博物館の標準アパタイトNMNH104021)の測定値を用いて、再度、上記の既知試料のアパタイトのClの値でキャリブレーションし、測定した結果、東北大学での測定値とほぼ一致した。このことから、今回使用不適だった標準試料を新たに購入し、測定することにより、研究課題の未知試料の分析を行うことが可能であることが分かった。

採択番号 15A029, 15B026

研究課題名 後期鮮新世における貝形虫化石のMg/Caを用いた温度勾配の復元

氏名・所属(職名) 山田 桂・信州大学 学術研究院 理学系(准教授)

研究期間 H28/3/28-31

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

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

これまでの共同利用の成果として、浅海性貝形虫 *Cytheropteron* 属の回帰式を作成したこと(Yamada *et al.*, 2014)、約3.2-2.8Maの中層域の海水温変動を明らかにしたこと、当時の暖流系中層水の水温が5-12°Cであったことが明確になったこと(図1)が挙げられる. また、浅海~中層の温度勾配を定量的に明らかにし、当時の水塊構造変化を明確にした. しかし、貝形虫殻のMg/Caの連続した分析は海洋酸素同位体比ステージのG19からG13に限られることや、作成した回帰式は定量的な古水温復元に十分とは言えない. そこでH27年度は、これまで十分なデータが得られていない3.0-2.8Maの連続的な水温変動の復元とより高精度な回帰式の作成を目指し、追加の試料を分析する.

【利用・研究実施内容・得られた成果】

H27年度末に、4日間高知大学海洋コア総合研究センターのICP-AESを借用し、新潟県鯨江層から産出した貝形虫 *Kriathe* 属殻について計31試料の分析を行った. これまでの研究で行った分析データと合わせて、図1の日本海中層水温変動を定量的に復元することができた.

日本海の鮮新-更新世において、浮遊性有孔虫 *G. inflata* が特定の時代に産出することから、*G. inflata* の産出はよい年代指標として用いられてきた. 加えて、産出は日本海が温暖であった証拠と考えられてきた(米谷, 1988). また、同種が現在生息する水深

から水深200m以深の水温が5°C以上であったと考えられてきた(Kitamura, 2009). しかし、これまで定量的に具体的水温を見積もり、その水温を検討した例はなかった. そこで、本研究では、No. 3の *G. inflata* bedが産出する新潟県鯨江層を対象にし、中層水に生息する貝形虫 *Kriathe* 属の殻のMg/Caから、後期鮮新世の中層水温変動を明らかにした. *G. inflata* の産出層準と無産出層準について、貝形虫殻のMg/Caから求められた水温の平均値は、産出層準では5°C以上、無産出層準では5°C以下となり、*G. inflata* の産出は当時の日本海の中層水温が5°C以上だったことを明らかにした.

H28年度は、同試料に含まれる浅海種を抽出し、より浅海の水温変動を明らかにし、日本海の当時の温度勾配について検討していきたい.

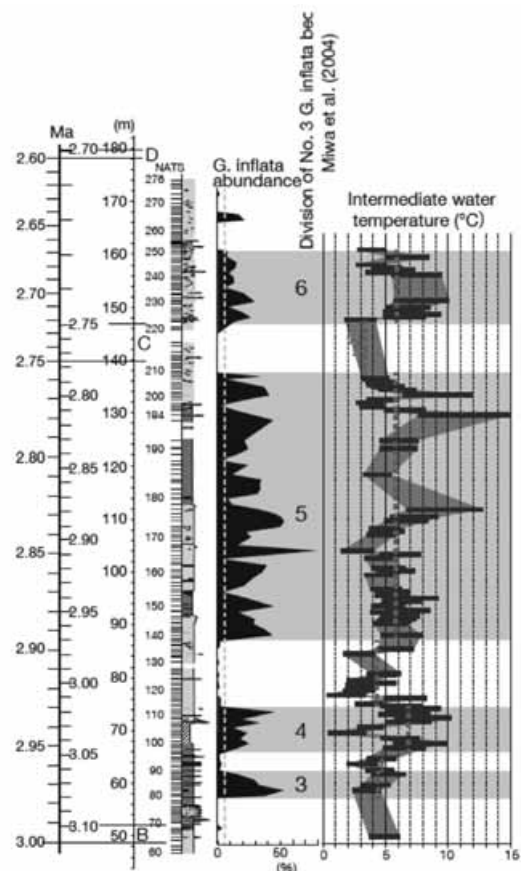


図1. 新潟県鯨江層の貝形虫殻のMg/Caに基づく中層水温と浮遊性有孔虫 *G. inflata* の産出との関係.

採択番号 15A030, 15B027

研究課題名 完新世における東アジアモンスーン変動の復元

氏名・所属(職名) 山田 桂・信州大学 学術研究院 理学系(准教授)

研究期間 H27/7/13-17, 9/14-18

共同研究分担者組織 学生2名

【研究目的・期待される成果】

過去1万年間(完新世)の気候は比較的安定していたと考えられてきた(Dansgaard *et al.*, 1993). しかし, 近年, 変動幅は小さいものの, 完新世においても周期的な変動が見いだされてきている(Bond *et al.*, 1997). 東アジア地域の気候に特に関与するモンスーンについては, 数万年スケールの変動に関するデータはそろいつつある. その結果, 東アジアのモンスーン変動は時代や場所により変動パターンや強度が異なっており, それはシベリア高気圧と小笠原気団の勢力の差によって説明できるとする説が琵琶湖の成果を中心として提唱された(Nakagawa *et al.*, 2008). 一方, モンスーン変動の強度やパターンの違いは数百年スケールでも認められる(例えば, Kubota *et al.*, 2010)が, 同スケールについても先述の説が適応可能かどうか, は検討されていない.

西南日本の汽水湖である中海は, 夏季および冬季モンスーン変動の影響を強く受ける地域に位置している. 中海で現生し, コアから多産する貝形虫 *Bicornucythere bisanensis* は11-4月にA-1(成体の一段階前の幼体)に, 4-8月に成体に脱皮するため, それぞれ冬季および夏季の湖水の環境を記録している. これまでに, 成体の殻の酸素同位体比分析を行い, 過去1,700年間について, 東アジアに共通する数百年スケールの夏季モンスーン変動を明らかにできた(Yamada *et al.*, 2014). そこで, 本研究ではA-1の *B. bisanensis* の殻の酸素同位体比を用いて, 同域における冬季の東アジアモンスーン強度の変化を明らかにすることを目的とする.

これまで, 夏季と冬季のモンスーン変動を同一の地域で復元した例はなく, はじめての試みである. また, 特定の季節の変動を高精度で復元可能であること, 地球規模で研究者が取り組む国際的課題の一つであること, 気象・気候, モデリング, 古海洋学, 古環境など多分野への波及効果が見込まれることが特徴である.

【利用・研究実施内容・得られた成果】

島根県と鳥取県にまたがる汽水湖である中海は, 特に高い降水量が底層塩分に影響を与えてきた水域

である. そのため, 底層水や水温の影響を受ける底生貝形虫殻の酸素同位体比は, 夏季の降水量の良い指標となることが指摘されている(Yamada *et al.*, 2016). 中海に現生する *Bicornucythere bisanensis* は冬季に幼体(A-1)殻を, 夏季に成体殻を形成し, 殻の形成は数日から数週間で行われる. すなわち, 特定の季節の良い指標として用いられる可能性がある. すでに成体殻の酸素同位体比が分析され, 夏季モンスーン強度の復元に成功したXコア中のA-1殻を用いて, 冬季の気候変動を明らかにするため, 殻の酸素および炭素同位体比の分析を行った.

H27年度は2期間の計10日間分析をさせて頂いたが, 機械の調子が悪く全ての試料測定が行えなかったため, 後日, センターの方に行って頂いた. 中海から採取したコア中の *B. bisanensis* のA-1幼体殻について, 同位体比質量分析計(IsoPrime)を借用し, 酸素炭素同位体比を測定した. その結果, 図1の結果が得られた. 同じ試料の成体殻の酸素同位体比の結果と合わせてプロットすると, 図2の様な変化を示した. いずれの酸素同位体比も1,000 AD以降徐々に軽い値へシフトするが, A-1の酸素同位体比は成体のそれに比べて高い値を保っていた. まだ分析に用いた試料間隔が成体に比べて大きいため, 来年度以降さらに分析を行い, 酸素及び炭素同位体比の変動パターンを正確にし, 変動が示す意味について議論していく予定である. また, 現生の *B. bisanensis* も採取し, 現在の中海において, それらがどのような要因に影響を受けているのかについても, 検討していく予定である.

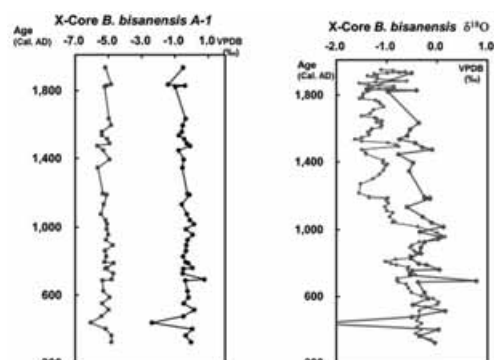


図1 *B. bisanensis* のA-1殻の酸素炭素同位体比. 青が酸素, 赤が炭素同位体比をそれぞれ示す.

図2 中海のXコアから得られた *B. bisanensis* の成体殻(灰色)とA-1殻(赤)の酸素同位体比.

採択番号 15A032, 15B028

研究課題名 深海冷湧水チムニーの形成過程を解明し海底地質との関連を明らかにする

氏名・所属(職名) 石井 輝秋・公益財団法人 深田地質研究所(特別研究員)

研究期間 H28/2/29-3/3

共同研究分担者組織 小原 泰彦(海上保安庁), 町田 嗣樹(早稲田大学)

【研究目的・期待される成果】

研究主題: 深海冷湧水チムニーの形成過程を解明し海底地質との関連を明らかにする。

現有するA, B 2種類の深海冷湧水チムニーの内部構造の解析から, 各々の特色を明らかにし, 両者の比較研究から形成過程の解明を行う。両者の類似点, 差異からチムニー形成に関与した冷湧水の特色, 起源を, 地質学的背景を関連づけて議論したい。

A: 中部マリアナ, コニカル蛇紋岩海山産チムニー(水深約4,000mからアルビン号で採取)

チムニーAは採取後手付かずの円柱形を保持している。内部構造の方向性を観察の後, 最適な面で切断し, 切断面上の元素組成分布測定を行う。

B: 南部マリアナ海溝内側斜面(水深約5,500m), しんかい湧水域(=SSF)産チムニー(しんかい6KDive 1365で採取)

チムニーBは円柱形チムニーを縦方向に半割したため, 現在は半円柱形を呈する。内部構造の方向性を観察の後, 最適な面で切断し, 切断面上の元素組成分布測定を行う。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

利用した装置:

(ア)GEヘルスケア・ジャパン株式会社製Light Speed Ultra16 CT画像処理装置および, (イ)日本電子(JEOL)社製JSX-3600CAZ TATSCAN-F2 XRFコアスキャナーである。(ア)のCT画像処理装置での撮影条件は以下の通りである。(ア-1) Scout (2次元透過画像)では120kV, 100mA, 画素数=幅888で固定, 長さは撮影長に準ずる。(ア-2a) Helical (断層画像, 3D, スパイラル撮影)では120kV, 100mA, スライス厚さおよび画像再構築間隔=0.625mm, 画素数=512×512である。(ア-2b) Axial (断層画像, 3D, 断面撮影)ではHelicalではない点を除けば(ア-2a)の条件と同じである。(イ)のXRFコアスキャナーの線分析の測定条件は以下の通りである。線分析でのビーム径は(イ-1)10×7mm, 又は(イ-2)1×0.8mm, いずれも1点5分(従って1時間で12点, 8時間で96点), ステップ間隔は1mm以上, 30kV, 0.01mA, Heガス雰囲気, 測定元素はNa, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Feの9元素。

研究実施内容:

(ア)のCT画像処理装置での測定時間は旧装置(日立メディコ社製)から新装置への入れ替えにより大幅に短縮されたため, 当初予定していた, チムニー試料A, Bに加え予備的に持参した試料の測定も行うことが出来た。即ち表7に示した様に, 新たに板状に切り出したチムニー, シロウリガイの貝殻, 円筒状炭酸塩団塊である。(イ)のXRFコアスキャナーの線分析測定は長時間に渡る事が判明したため, ステップ間隔を調節し対応した。昨年CT画像処理装置で観察した内部構造をもとに, 最適な平面で切断し, 切断面上の元素組成分布測定を行った。

得られた成果:

表7中のA: 半円柱状に切断したチムニー試料の内部構造の三次元的データを取得できた。今後内部構造の方向性を観察の後, 最適な面で切断し, 切断面上の元素組成分布測定を行ないたい。B: 切断済みチムニー試料に関しても内部構造の三次元的データ及び2次元透過画像を取得できたので, 画像データと実試料の観察を行ないたい。(ア)のCT画像処理装置測定が迅速に行なわれたため, 予備的に持参した試料(即ち表7に示した, 新たに切断した板状チムニー, シロウリガイの貝殻, 深海産円筒状炭酸塩団塊)の3Dデータも取得できた。中でも円筒状炭酸塩団塊の帯状内部構造の鮮明な画像が得られたのには驚愕を覚えた。このデータにより有意な面での切断が確実にこなえると考えられる。

要望: XRFマッピング装置の設置を希望します。

採択番号 15A033, 15B029

研究課題名 造礁サンゴの骨格成長メカニズムの解明および古気候指標としての再評価

氏名・所属(職名) 井上 麻夕里・岡山大学大学院 自然科学研究科 地球科学専攻(助教)

研究期間 H27/4/13-15, H28/2/21-26

共同研究分担者組織 学生3名

【研究目的・期待される成果】

高い生物多様性を誇り、観光や漁業資源、さらには自然の防波堤として人々の暮らしを支えているサンゴ礁の礎は、生き物である造礁サンゴの骨格成長により築かれている。しかしこの骨格形成と成長メカニズムは未だ解明されていない。一方でサンゴ骨格中の化学成分は、環境変動を復元するツールとして世界的にも多用されているが、骨格成長機構を解明することで、より高精度な環境復元、さらには近未来予測が可能になる。これまでに古気候復元に利用されている造礁サンゴはサンゴ年輪が明瞭なハマサンゴ属が主であるが、IODP掘削により採取された化石サンゴには枝状に成長するミドリイシ属も数多く存在していた。しかし、ミドリイシ属についてはこれまでに地球化学的な研究があまり行われていないため、古気候指標として利用可能かどうか明らかでない。これまでに、サンゴ骨格中の酸素同位体比は海水温と塩分の指標として、炭素同位体比は光合成活性の指標として報告されているが、本研究では両者の骨格メカニズムの解明および古気候指標としての評価を目的として、骨格中の酸素・炭素同位体比測定を行う。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では、ハマサンゴとミドリイシの温度コントロール飼育実験によって得られた試料を分析対象試料とした。サンゴ試料はそれぞれ沖縄県瀬底島周辺海域の同一海域より3群体ずつ採取し、採取後のサンゴ試料はアクリル板に水中ボンドで固定し、屋外水槽にて約5週間の養生を行った。その後、室内実験室において温度を5段階(18, 21, 24, 27, 30℃)に設定した水槽で長期飼育実験を約80日間実施した。

骨格分析は、飼育期間中に成長した骨格のみを慎重に採取し、酸素・炭素同位体比を測定した。測定の結果、温度指標としてよく用いられている酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$)に関しては、ミドリイシ、ハマサンゴとも温度と明瞭な逆相関関係が見られ、温度依存性もこれまでにハマサンゴで報告されている範囲と整合的であることが分かった。また、ミドリイシには化学成分の変動に群体差は見られなかったが、ハマ

サンゴは群体毎で異なる変動パターンが見られた。よって、ミドリイシはハマサンゴに比べて化学成分の取り込み方において群体差が小さく、比較的一様に反応することが示唆され、今後の古気候復元の研究に有効に利用できるサンゴ種であることが示された。また、面白いことに、ハマサンゴとミドリイシでは $\delta^{18}\text{O}$ にオフセットが見られ、同様に $\delta^{13}\text{C}$ においてもオフセットが認められた(両者ともミドリイシの方が高い方向にシフト)。このことは、種の違いにより、元の母液の組成が異なっても、そこから形成されるあられ石(CaCO_3)の温度依存性は両種で類似しており、さらに無機的に求められた温度依存性ともほぼ一致することを示している。これにより、古気候研究において過去の海水温などを復元するときは、種を混同することは絶対値がずれるため危険であるが、それぞれの値の差分からおおよその温度変化率を求めることは可能と考えられる。特に、本研究ではミドリイシについて、ハマサンゴのように年輪が明瞭ではないため季節性の細かな気候復元は困難かもしれないが、化石試料などを組み合わせ、ある特定の時代における平均的な海水温の復元を行える可能性は十分に保持していることが明らかになった。

採択番号 15A034, 15B030

研究課題名 磁気岩石学的解析による御嶽火山2014年噴火プロセスと堆積物の堆積プロセスの解明

氏名・所属(職名) 齋藤 武士・信州大学大学院 理学系(准教授)

研究期間 H27/12/22-24

共同研究分担者組織 片岡 香子(新潟大学)

【研究目的・期待される成果】

申請者は岩石磁気学的手法と岩石学的手法を組み合わせた「磁気岩石学」を用いて火山噴出物を解析することで、マグマの誕生から噴火・堆積までの一連の火山噴火現象を探る研究を推進している。火山噴火を考える上で、マグマの生成・準備過程のみならず、マグマ溜まりと火口をつなぐ火道での冷却・脱ガス・結晶化の過程は、噴火の爆発性や様式を支配する重要なファクターである。火道内のプロセスを探る上で、磁気岩石学がターゲットとするFeTi酸化物は非常に有効である。珪酸塩鉱物よりも低温で結晶化と再平衡化を行うため、火道内での温度低下、酸素分圧の上昇、マイクロライトの結晶化などの記録が残されている可能性がある。もちろん珪酸塩鉱物と同様に、FeTi酸化物斑晶や珪酸塩鉱物の包有結晶を解析することでマグマ生成の記録も期待できる。本研究では、磁気岩石学的手法を用いて御嶽山の2014年噴火の噴火プロセスと、山麓への火山灰の堆積プロセスを解明することを目的とする。他の研究者が注目することが少ないFeTi酸化物に特化して詳細に解析する点、その解析方法に磁気岩石学的手法を用いる点が本研究の大きな特色である。平成26年度の共同利用の結果、今回の噴出物にはpyriteが特徴的に含まれることがわかっており、その特異な磁気岩石学的特徴を捉えている(齋藤ほか, 2015, JPGU)。平成27年度も、継続して山頂から運搬されている噴出物を南麓で調査・サンプリングし、未だ全容が不明な山頂付近の火砕流堆積物について、さらにはその山麓への運搬プロセスについて明らかにすることを目指す。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

御嶽山の南麓に分布する濁川を中心に2014年噴火による噴出物である、火山泥流堆積物の調査と試料採取を行った。2014年噴火の初生的な噴出物として、山頂東斜面の石室山荘周辺や、開田高原でも試料採取を行った。本共同利用で、採取した御嶽山2014年噴出物の磁気ヒステリシス測定を行い、噴出物に含まれる磁性鉱物の粒径についてデータを集めた。加えて、信州大学で熱磁気分析を行い、磁性鉱物の同定を行った。前年度までの結果と合わせて、以下の成果を得ることができた。

2014年噴出物に含まれる磁性鉱物のほとんどは自

形のpyriteであることが明らかとなった。加熱実験中に380℃以上でmagnetiteへ変化することから、今回の噴出物は酸性熱水変質帯で形成され、pyrite生成以降、噴火・堆積過程において380℃以上に昇温していないことが示された。この温度は粘土鉱物の生成温度(200℃以上, 宮城ほか, 2014; 240–350℃, 井村ほか, 2014)から推定される噴出物の温度とも調和的である。また、pyriteが380℃以上の温度でmagnetiteへ変化することで、試料の磁化が急増することが分かった。水蒸気噴火は酸性熱水帯の発達した火山で、マグマの熱によって熱水が爆発的に膨張することで生じる。酸性熱水帯に由来するpyriteは水蒸気噴火による噴出物に特徴的に含まれ、他の火山でもpyriteが水蒸気噴火のマーカースとして有効であり、かつ磁化の変化を追うことで、噴出物の温度や噴火のメカニズムについて推定することが可能であることが示唆される。

現地調査の結果、濁川の上流の東に位置する支流である赤川の流域には厚い連続した火山泥流堆積物が認められるのに対して、西に位置する支流の白川流域には薄い火山灰層がわずかに確認できたのみであった。また赤川の河川は噴火直後から現在まで、2014年噴出物を浮流土砂として含んだ濁った流れであるのに対し、白川の水は噴火直後からほとんど濁っていない。これらのことから、赤川の上流には2014年噴出物が厚く堆積しているのに対し、白川の上流域には2014年噴出物はほとんど堆積していない可能性が示唆される。空中写真や上空からの観察によれば噴火直後に発生した火砕流は噴火口から南西方向に流下して、赤川と白川の源頭部に堆積したと考えられているが(及川ほか, 2014; 金子ほか, 2014)、火砕流本体の部分は赤川上流部のみ堆積しているのかもしれない。

磁気ヒステリシス分析の結果、2014年噴火の初生的噴出物に含まれる磁性鉱物の粒径が大きいことが分かった。今回の調査範囲は火口周辺6km以内であり、噴火初期の爆発で生産された粗く重いFe鉱物が火口周辺に早い段階で降下して堆積した可能性がある。同様の岩石磁気学的特徴を示した火山灰層が赤川上流の火山泥流堆積物の基底部分に見つかった。この地点は先行研究で示された火砕流の分布域の外側に位置するが、火砕流に伴うash-cloud surgeが到達した可能性があることがわかった。

採択番号 15A035

研究課題名 別府湾海底堆積物における環境変動解析

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 H27/8/17-25, 9/16-20

共同研究分担者組織 山本 正伸(北海道大学), 池原 研(産業技術総合研究所), 高原 光(京都府立大学), 他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

別府湾堆積物には、海洋生態系、気候変動、地震活動、人間活動等、様々な環境や人類史に関わる情報が高精度で記録されている。先行研究では、過去2,900年間を通じてマイワシ鱗堆積速度に減少トレンドや100年スケールの個体数変動が見つかったこと、PDO(太平洋十年規模振動)の振幅は数百年スケールで変動し、巨大噴火が頻繁に起きた時代で変動の振幅が大きかったが徐々に減少してきたこと、12世紀以降別府湾周辺の植生が人為的に大きく改変されてきたこと、地震により形成されたイベント堆積物の年代決定から地震史が復元可能であること、九州で噴火した火山起源の火山灰の年代から火山噴火史の復元が可能であることが明らかになった。本研究では、過去6,000年間のマイワシ資源の長期的変化、植生の変化と人為的攪乱、地震及び火山噴火の頻度の変化を明らかにすることを目的とし、研究チームを組織し、多角的な成果をあげることを目指す。

本申請研究は、平成27年度に別府湾掘削で得られた試料について、基礎的情報を得ることを目的とする。堆積構造、物性について解析し、各分析用試料を採取する。得た情報を、年代決定、イベント層解析、各種環境変動解析に役立てる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

別府湾で掘削されたBP15-1, BP15-2の海底コア試料について、CTスキャン、帯磁率、密度を分析し、柱状試料の物性データが得られた。岩相記載を合わせて別府湾最深部堆積物の層序を明らかにした。

主にシルト質粘土で構成され、BP09コアシリーズで得られたタービダイト層、Ev3~Ev18が見つかった。さらに、今回はEv18以深のイベント層を記載した結果、1cm以上の厚さを持つタービダイト層が新たに17層準が見つかった。それぞれイベントIDを新たに付与し、特徴を記載した。一部、火山灰分析を行った結果、Ev35にあたるイベント層は、K-Ah火山灰層であることがわかった。採取した貝の¹⁴C年代を測定した結果、それらの層準の年代はK-Ah火山灰の年代と整合的であることがわかった。深度13m以深では、それ以浅よりも堆積速度が2~3割遅いことがわかった。

また、Ev3, Ev5, Ev15のように厚さ10cmを超える厚いタービダイト層は、Ev15以深で見られない。このことは2,000年前~7,300年前には目立った大規模な地震性タービダイトがないことを示している。今後、この時期に厚いタービダイトを形成することがなかった理由について考える必要があるが、別府湾堆積物から別府湾周辺の地震履歴に関する新たな知見を見出す可能性がある。

現在コア試料の各種分析が進行中であるが、魚鱗分析に関しては愛媛大学4回生の卒業研究によって、マイワシ・カタクチイワシ魚鱗の堆積量記録を2,900年前から3,400年前まで拡張することができた。さらに7,300年前まで拡張する予定であるが、マイワシには長期的な10年スケール変動の振幅の顕著な減少トレンドが見つかったこと、カタクチイワシは逆に増加トレンドが見つかった。イワシ類の個体数変動を決定する黒潮親潮続流域の冬から春の水温は、日射量の変化によって変化すると考えられる。完新世において北半球の中緯度高緯度は冬から春に増加トレンドを示しており、日射量強制を与えた大気海洋モデルを使って過去7,000年間の冬の黒潮親潮続流域の温度上昇は0.7~1℃上昇しているという報告がある

(Lorenz *et al.*, 2006)。親潮域でも冬の水温と同程度の温度上昇トレンドが認められており(Sagawa *et al.*, 2014)、イワシ類が次の年の親の数を決定する続流域の仔魚の生残に影響を与えた可能性がある。イワシ類の過去3,400年間の記録には10年スケール変動成分や百年スケール変動成分が卓越しており、これらの個体数変動の振幅が完新世の日射量変動に伴う温度上昇トレンドに対して応答しているかもしれない。今後7,300年前まで記録を遡れば、これまで明らかでなかったイワシ類の日射量変動に対する応答について新知見が得られるものと期待される。また、アルケノン水温とあわせることで、太平洋十年規模振動の変調やレジームシフトに関する理解が深まると考えられる。

その他、各種分析によって多角的な研究成果が得られると期待されるが、BP15-1コア試料の花粉分析結果をまとめた嶋田 美咲(D2)の日本植生史学会の発表では優秀発表賞を受賞した。

採択番号 15A036, 15B031

研究課題名 北太平洋およびベーリング海の第四紀テフラ層序の確立

氏名・所属(職名) 青木 かおり・立正大学 地球環境科学部(客員研究員)

研究期間 H28/2/29-3/4

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

2011年後期, 2012年度通期, 2013年度後期, 2014年度に海洋コア総合研究センターの共同利用研究として取り組んだテーマと同じ試料を用いる。

2009年にドイツのAlfred Wegener Institute for Polar and Marine Researchが行った研究航海SO202-INOPEXにおいて太平洋中緯度域で採取されたコア試料, IODP exp.323ベーリング航海で採取されたテフラ試料の分析を行う。2011年後期, 2012年度通期, 2013年度後期に海洋コア総合研究センターの共同利用研究として取り組んだテーマと同じ試料を用いる。2013年度までに分析した試料のうち, より細粒な試料について電子ビーム径等の分析条件を変更しながら取り組む予定である。本研究では日本周辺海域からベーリング海までのテフラの分布, さらに層序関係を解明することを目標としている。さらに, INOPEXの共同研究者らによって古環境解析の研究がすすめられており, ^{14}C 年代値や酸素同位体比層序が得られることで, 環太平洋海域のテフラ編年の高精度化が望める。

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, 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た。これらのテフラと既知テフラとの対比をすすめるために, 火山ガラスの化学分析を継続する。これらのテフラのうち, 西日本から飛来した広域性のテフラを認定することで, 水月コアの縞層序, ^{14}C 年代値の層序とMD01-2421コアを対比することが見込まれる。2013年度までに約4万年以降の北関東の浅間山, 榛名山起源の大規模噴火によるテフラ試料の分析がほぼ終了したことから, 今年度は当該火山起源の詳細な噴火実態が解明されていないテフラ層や男体山等起源のテフラについても分析する予定である。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

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, 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た。これらのテフラと既知テフラとの対比をすすめるために, 火山ガラスの化学分析を行い, 陸上で採取された北関東の火山起源のテフラ試料の分析値と比較検討した。2014年度までにコア試料の観察も上位4セクション(約8kaまで), 2015年度までに7セク

ション半ばまで検鏡が終了し, 火山ガラス濃集層の分析を行った。また, 7セクション半ば17.7kaに介在するTephra 1が日光火山群の男体山を起源とする男体山七本桜/今市テフラ(Nt-S/I)に対比される可能性があることがわかった。Nt-S/Iの分布範囲や, Tephra 1が粗粒の軽石粒であることから, 本テフラ層は北関東の低地帯に降下した軽石層が鬼怒川や那珂川といった大規模河川経路で流され, 太平洋上に流出したことが推定される。今後, Tephra 1より上位までに見つかった火山ガラス濃集層についての検討結果をまとめる予定である。

また, Tephra 1の下位に別の火山ガラスが濃集している層があり, 火山ガラスの主元素組成を検討すると浅間板鼻黄色テフラ(As-YP)に対比される火山ガラスが含まれていることがわかった。本発見は日光市周辺ではNt-S/Iの直下にAs-YPが確認されている点と(鈴木, 2011)矛盾しない。

SO202-INOPEXのベーリング海周辺で採取された試料については, 特に微細な発泡をしたスコリア質の試料については, 以前に分析したさいにFe, Mn等の分析値が高めに検出されており再分析を行った。分析の際にはアルカリ元素の減衰を極小にするために一旦電流値を下げた上でボックスキャッター画像を注意深く見ながら微細鉱物等を避けて分析点を厳選した。また, Feの標準試料としてHematiteとFayaliteの両方を用いて計算を行った。分析値はHematiteとFayaliteを用いた双方ともに良好で, 以前の分析値の異常については分析中のマシンドリフトの影響と微細鉱物の影響によるものと考えられる。

2014年度までに分析したINOPEXおよびIODP exp.323航海によってベーリング海で採取された試料のうち, 微小な火山ガラス(粒径 $4\mu\text{m}$ 以下)を分析するために, 現在使用している分析条件の設定を変更することを考えており, 分析時にモニタリング用に用いている標準試料用の黒曜石(RIS1;立正大学で使用しているhouse standard)を用いて, 予備実験を行った。2014年度には電子ビーム系は $1\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, 電流値は $0.6\times 10^{-8}\sim 1\times 10^{-8}$ で変化させて得られた結果から, 今回は $5\mu\text{m}$, 0.6×10^{-8} および 0.7×10^{-8} で集中的に分析値を得た。次年度には, この結果をもとにして元素ごとの分析時間の変更を考慮しつつ実験する予定である。

採択番号 15A037, 15B032

研究課題名 難透水層中における流動移動に関する研究

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

研究期間 H28/1/23-31

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

【研究目的・期待される成果】

意義: 関東地方の下総台地には、関東ローム層の下位に常総粘土層が広く分布する。しかし、下総台地の関東ローム層上に立地する工場が原因の地下水汚染が多数見つかった。汚染機構解明調査の際には、難透水層である常総粘土層中にもほとんどの場合汚染物質が見つかる。この部分の浄化には、肉眼ではわからない、この層中の地下水の通り道がいかなるものかを解明する必要がある。

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

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今年度は、下総台地でのボーリング試料は得られなかったが、東京湾岸埋立地内において沖積層のオールコアボーリング試料を得、これまで検討していなかった沖積層の泥層の難透水層中の空隙状態を検討することとした。これは、この地域では地下水の過剰揚水に伴い、昭和40年代に入り著しい地盤の沈下が生じた。地下水の過剰揚水によって、沖積層中の泥層内の間隙水が透水層中へ浸透し、その分泥層が縮むことによって沈下が生じたと考えられている。しかし、一般にこの泥層の透水性は 1×10^{-6} cm/sec以下であり、短時間に沈下が進みすぎている。その原因として、植物の根の痕のような泥層内の小さな孔が間隙水の通路となっている可能性が考えられる。このような観点から、泥層の内部構造を検討してみた。調査に利用したボーリング試料は、市川市行徳地区と船橋市日の出地区より採取したオールコアである。以下にそれぞれのコアの特徴について述べる。

市川市行徳地区: 調査地点の位置は、北緯35度39分55秒、東経139度54分44秒、標高は、3.3mである。この地点の沖積層は、深度41.7~5.5mに分布する。細粒シルトを主体とする下部層と極細粒砂~中粒砂層を主体とし上方粗粒化する上部層からなり、その境界は深度13.0mである。

下部層は、層相から最下部、下部、中部、上部、

最上部に区分される。最下部は、深度41.7~41.6mに分布する。淘汰の悪い、泥まじり細礫質中粒砂層である。下部は、深度41.6~31.35mに分布する。細粒シルト層からなり、植物片を含む。まれに貝化石を含む。また、肉眼では生痕化石は見えないが、CT画像より、植物の根の跡と思われる直径1mm以下で長さ数cmの小さな細い孔がみられる。中部は、深度31.35~25.7mに分布する。極細粒砂~中粒砂層からなり、上方粗粒化がみられる。この上部と下部には生物擾乱がみられる。上半部の中粒砂中にはロームの礫や貝殻片を含む。上部は、深度25.7~16.5mに分布し、全体に貝化石を多く含む細粒シルト層からなる。肉眼でも観察できる直径1cm程度で長さ数cmの生痕化石がみられる。深度24.3~25.7mは生物擾乱が著しく、細粒砂混じりである。貝化石の密集部が、深度24.9mと18.5mに分布する。最上部は、深度16.5~13.0mに分布する。細粒シルト層中に厚さ1~2cmの粗粒シルト層や極細粒砂の薄層をしばしば挟み、上位ほどその頻度は高い。その下部では0.3~0.5間隔に粗粒シルトの薄層を挟むが、上部では0.05~0.1mの間隔で粗粒シルトや極細粒砂の薄層を挟むようになる。貝化石は少ないものの、植物片をしばしば含む。また、直径0.5cm程度で長さ数cm程度の生痕化石がみられる。

上部層は、層相から下部、中部、上部に区分される。下部は、深度13.0~10.3mに分布する。平行ラミナがみられる極細粒砂~細粒砂層からなり、上方粗粒化を示す。下部には生物擾乱がみられる。まれに細粒シルト層の薄層を挟む。中部は、深度10.3~7.6mに分布する。斜交ラミナや平行ラミナがみられる中粒砂層を主体とし、細粒シルト層をまれに挟む。この頂部には泥炭層を挟む。深度8.3mに軽石質火山灰が挟まれる。中粒砂層中には関東ロームの礫を多数含む。上部は、深度7.6~5.53mに分布する。生物擾乱が著しい粗粒シルト~極細粒砂層である。貝化石を多く含む。深度6.6m付近には貝化石や関東ローム礫が密集する。

以上のように、難透水層がみられる下部層の上部・最上部及び上部層最上部には肉眼でも観察できる生痕化石がみられ、これらが間隙水の通り道となって

いる可能性が高い。また、下部層下部には肉眼では確認できないもののCT画像から植物の根の痕のようなごく細かい孔がみられ、これらが間隙水の通り道となって急速な沈下が生じた可能性がある。

船橋市日の出地区：調査地点は、北緯35度41分24秒、東経139度58分50秒、標高は、1.8mである。この地点の沖積層は、深度36.3～3.55mに分布する。中粒砂を主体とする最下部、細粒シルトを主体とする下部層、シルト層と細粒砂層との互層である中部層、ローム礫混じりの細粒砂～粗粒砂層を主体とする上部層、細粒シルト～粗粒シルト層を主体とする最上部層から構成される。

最下部層は、深度36.3～31.1mに分布し、植物片を含みラミナの発達する細粒砂～中粒砂層中に有機質な細粒～中粒シルト層や泥炭層を挟む。基底付近に粗粒砂～極粗粒砂サイズの白色の軽石を含む。下部層は、深度31.1～23.9mに分布し、生痕がみられない細粒シルト層を主体とする。下部は植物片を多く含む層準がある。上部は厚さ1cmにも満たない薄い極細粒砂ないし細粒砂層をしばしば挟む。そして、この泥層中に直径1mm未満の長さ数cmに及ぶ細かい孔を

CT画像から読み取ることが出来た。中部層は、深度23.9～15.65mに分布し、厚さ5～30cmの細粒～中粒シルト層と厚さ1～10cmのローム礫混じりのラミナのみられる極細粒砂～細粒砂層との互層である。下部で、直径約1cm長さ数cmの生痕が発達する。上部層は、深度15.65～9.15mに分布し、細粒砂～中粒砂層を主体とする。砂層は一般に厚さ10～30cmで正級化とラミナがみられ、直径2～16mmの関東ローム層の礫を含む。全体に上方細粒化する。上部に貝殻を含む。頂部に貝殻が密集する。最上部層は、深度9.15～3.5mに分布する。細粒シルト～粗粒シルト層を主体とし上方粗粒化し、最上部は側細粒砂となる。貝殻を多く含む直径数cm長さ数十cmに及ぶ生痕が発達し、特に深度8m以浅は生物擾乱が強い。

以上のように、難透水層がみられる中部層・最上部層には肉眼でも観察できる生痕化石がみられ、これらが間隙水の通り道となっている可能性が高い。また、肉眼では確認できない下部層においては、CT画像から植物の根の痕のようなごく細かい孔がみられ、これらが間隙水の通り道となって急速な沈下が生じた可能性がある。

採択番号 15A038, 15B033

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

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

研究期間 H28/1/23-31

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

【研究目的・期待される成果】

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

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

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

【利用・研究実施内容・得られた成果】

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

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

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

2011年東北地方太平洋沖地震では、平ほか（2011）

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

今回は、2011年東北地方太平洋沖地震時に液状化－流動化により多量の噴砂がみられた船橋市日の出地区、市川市行徳地区において、オールコアボーリングを行い、CT画像やコアのはぎ取り断面を観察した。**船橋市日の出地区**：調査地点の位置は、北緯35度39分55秒、東経139度54分44秒、標高は、3.3mである。調査地点の層序は、下位より、下総層群、沖積層、人工地層から構成され、沖積層基底の不整合は、深度41.7m、人工地層基底の人自不整合は深度5.5mである。このうち、沖積層中には、液状化－流動化に伴うラミナが消失した部分は認められなかった。液状化－流動化は人工地層中のみ認められた。

人工地層は深度5.53～0.00mに分布する。下部の埋立アソシエーションと上部の盛土アソシエーションからなり、埋立アソシエーション内においてのみ液状化－流動化が認められた。埋立アソシエーションは、深度5.53～0.9mに分布する。淘汰が良く灰白色の縞が発達する細粒シルト層を主体とし、その基底部の0.5mと中部の約1.1mに細粒砂層ないし中粒砂層が積層している。また、最上部に細粒砂層ないし極細粒砂層の薄層を挟む。各層のラミナの多くは消失ないしボヤケており、液状化－流動化していると推定される。

調査地点の沖積層は36m以上あり、2011年東北地方太平洋域地震時には地震動が大きく増幅したことが推定される。また、液状化－流動化部分は、人工地層の埋立アソシエーション中のみみられる。この地域の埋立後に液状化－流動化が発生した地震は今回がはじめてである。これらのことから、この埋立アソシエーション中の泥層中に挟まれる砂層の多くが液状化－流動化し、噴砂・噴水やこれに伴う沈下が生じたものと推定される。

市川市行徳地区：調査地点の位置は、北緯35度41分24秒、東経139度58分50秒、標高は、1.8mである。調査地点の層序は、下位より、下総層群、沖積層、人

工地層から構成され、沖積層基底の不整合は、深度36.3m、人工地層基底の人工不整合は深度3.5mである。このうち、沖積層中には、液状化－流動化に伴うラミナが消失した部分は認められなかった。液状化－流動化は人工地層中にも認められた。

人工地層は、淘汰の良い砂層を主体としサンドポンプによって作られた埋立アソシエーションと、淘汰の悪い砂混じりのロームを主体とし、重機によって作られた盛土層アソシエーションから構成される。このうち、埋立アソシエーション内においてのみ液状化－流動化が認められた。下位の埋立アソシエーションは、深度3.5～0.5mに分布し、淘汰の良い細

粒砂を主体とする。ラミナは最上部にのみみられるが、ほとんどの層準では消失している。一部に貝殻が多く含まれる層準では痕跡程度にラミナがぼんやり認められる。

調査地点は、この周辺も含め多量の噴砂が見られた。オールコアを観察する限り、埋立アソシエーションの地層は、深度1.0～3.5mまでのほとんどの層準で初生的堆積構造のラミナが消失しており、著しい液状化－流動化が発生したことが推定される。この地点は、深さ30mを超える沖積谷の中央部であり、地震動増幅が大きかったことも影響しているものと思われる。

採択番号 15A039, 15B034

研究課題名 IODP第317次航海ニュージーランド沖陸棚・斜面掘削試料を用いた海水準変動の解析

氏名・所属(職名) 竹内 時実・信州大学大学院 理工学系研究科 地球生物圏科学専攻(修士2年)

研究期間 H27/10/26-30, 11/16-21

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

IODP第317次航海によってニュージーランド東沖に位置するカンタベリー堆積盆地の陸棚と陸棚斜面が掘削された。そのうち陸棚斜面を掘削したU1352Bコアから得られた底棲有孔虫 *Nonionella flemingi* を用いて酸素同位体比の測定がなされたが(Hoyanagi *et al.*, 2014), これまでこの底棲有孔虫種を用いた酸素同位体比変動を測定した研究は報告がなく, 何%補正すれば海水の酸素同位体比を示すのかを検討する必要がある。そこで, 海水の酸素同位体比と同じ同位体比を保存し, 凡世界的な海洋酸素同位体変動であるLR04 stack (Lisiecki and Raymo, 2005) で用いられた底棲有孔虫 *Uvigerina peregrina* が産出する層準の酸素同位体比および安定炭素同位体比を測定し, 同層準の *N. flemingi* の酸素同位体比および安定炭素同位体比と比較する。

また, この *N. flemingi* の酸素同位体比をLR04 stack と対比させると全体的におおよそ1%低く, 1Maから1.8Maの一部でその変動の振幅が大きくなることも問題であるため, これらの変動の原因についても検討し, 海水準変動との関係を考察する。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

底棲有孔虫 *N. flemingi* と *U. peregrina* の殻の酸素同位体比および安定炭素同位体比はそれぞれ正の相関を示すことがわかった。このことから, 底棲有孔虫 *N. flemingi* の酸素同位体比および安定炭素同位体比は *U. peregrina* の酸素同位体比および安定炭素同位体

比とほぼ同じであると考えられる。

また, LR04 stackでは深海の底棲有孔虫の酸素同位体比が用いられているが, U1352Bコアは水深344mの浅海の底棲有孔虫の酸素同位体比である。この浅海では深海より暖かく, 塩分濃度の異なった水塊が存在することが明らかになっている。このような地域的な影響を受けてU1352Bコアの酸素同位体比はLR04stackより全体的におおよそ1%低くなると考えられる。さらに, 1Maから1.8Maの一部区間において, 酸素同位体比を測定した底棲有孔虫の殻に海水準低下期の古地下水が作用したと考えられる続成作用がみられた。この続成作用がみられる区間の酸素同位体比はLR04 stackと比べて低い値をとるため振幅が大きくみえると考えられる。

これらから, 海水準変動の絶対値は不明だが, 海水準が変動した時期が明らかになった。例えば, U1352Bコアでは岩相記載から認定された主要な6つのシーケンス境界が認められており, それらが形成される時期は海水準が最も低下した時か, もしくは上昇の初期であると考えられる。これらのシーケンス境界は, 陸棚での3つの掘削地点では, 陸上侵食による不整合面となっていることがIODP第317次航海の掘削で明らかになっている。すなわち, 酸素同位体比の示す海水準低下期に, 実際に縁辺海域で陸棚の露出がおこっており, 不整合をつくっている。このように, 海洋酸素同位体比変動を陸域の不整合形成と結びつけることができた。

採択番号 15A040, 15B035

研究課題名 海底堆積物を用いた放射性同位体Be分布の解明

氏名・所属(職名) 永井 尚生・日本大学 文理学部(教授)

研究期間 H27/8/27-31

共同研究分担者組織 山形 武靖(日本大学), 齊藤 敬(尚絅学院大学), 他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

長半減期放射性核種¹⁰Be(半減期1.36Ma)は1950年代から海底堆積物中の分布について研究が行われており,過去1,000万年程度までの年代測定等への応用が検討されてきた。しかしながら大気-海水-堆積物中のグローバルな分布或いはその間のフラックスについての定量的なデータが不足しているため,年代測定あるいはトレーサーとしての応用手法が確立していない。本申請研究では,海底堆積物表層中の放射性同位体(¹⁰Be)の濃度測定を中心とし,安定Be同位体及び主成分分析,粒度分布測定などを行う。これらの結果については,同時期に研究船によって採取された大気や海水中のBe分布測定結果との比較を行い,¹⁰Beのグローバルな緯度分布や海水中の深度分布,海底へのフラックスを求めることを目的とする。これにより,Be同位体のトレーサーとしての実用性を高め,グローバルな物質循環へ寄与することが期待される。

【利用・研究実施内容】

平成27年度は,研究船白鳳丸KH-14-6次航海(測点名:GR,東京-南極海(165°E,170°W縦断),2014.8.23-2015.2.26,10測点),KH-09-5次航海(測点名:ER,東京-インド洋-南極海,2009.11.6-2010.1.10)においてマルチプルコアラー(5測点)およびピストンコアラーにより採取した海底堆積物試料についてXRFによる組成分析及びレーザー粒度分布測定器を用いた粒度分布測定を行った。

【得られた成果】

ピストンコアラー試料ER15PCはCaCO₃,Bio-Opalなどについて分析済みの試料の内264~791cmの分析を行った。CaCO₃が70%以上の558~684cmを中心にその上下において,上部331~505cm及び下部724~778cm共に,主成分をはじめ元素組成はほぼ一定であり,それぞれSiO₂:51.5%,52.8%,Al₂O₃:16.1%,17.3%,Fe₂O₃:8.4%,9.3%と下部の方が合計4%程度高くなっていた。また,これに対応してCaCO₃,Bio-Opalの合計は下部において4%程度減少していた。これらの試料について安定⁹Be及び放射性¹⁰Beの分析を行った結

果,⁹Be濃度は非炭酸塩(陸源+Bio-Opal)濃度と極めて高い相関を示し,平均濃度は2.3ppmであった。一方,¹⁰Be濃度はBio-Opalとの相関が見られた。300,700cm付近のBio-Opalの急激な変動とリンクして変動が見られるなど,部分的にはよい相関を示したが,全体的には時期により比例係数が異なっていた。また¹⁰Be fluxが4-5倍に急増している部分があり,この変動がこの近辺の海域における¹⁰Beの供給速度のドラスティックな変化を示している可能性が高い。

GRコア試料の粒度分布については,GR3(15°10'N 165°E),GR4(5°S172°E)GR(30°S174°E)は5μm付近のピーク(粘土鉱物)が主でありGR4,6は100μm付近のピーク(生物起源)の寄与も見られた。170°W上のGR12-21についても同様に5μm付近と80-100μmのピークの2成分であった。深度による粒度分布の変動が大きかったコアはGR12(39°S),GR17(20°S),GR18(15°S),変動が小さかったコアはGR15(30°S),GR20(5°S),GR21(0°N)である。GR11(46°S170°W)のみ10-50μm付近の単一ピークであり深度による変動が大きかった。粒度分布の結果は今後のXRFなどによる組成分析結果と合わせ,Be同位体分析の指標に用いる予定である。

採択番号 15A041, 15B036

研究課題名 日本海溝におけるプレート境界断層発達過程の堆積学的研究

氏名・所属(職名) 山口 飛鳥・東京大学 大気海洋研究所(助教)

研究期間 H27/6/11-19, 9/2, 10/26-11/2

共同研究分担者組織 芦 寿一郎, 清家 弘治(東京大学), 池原 研, 宇佐見 和子(産業技術総合研究所), 金松 敏也, 新井 和乃(海洋研究開発機構), 亀田 純(北海道大学), 村山 雅史(海洋コア), 他 学生4名

【研究目的・期待される成果】

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の滑りを引き起こした断層面は、膨潤性粘土鉱物のスメクタイトを多く含む遠洋性粘土層内に発達することが、地震から1年後に日本海溝陸側で行われたIODP第343次航海(JFAST)のコア解析結果から判明した(Chester *et al.*, 2013; Ujiie *et al.*, 2013)。日本海溝に沈み込む堆積物中の遠洋性粘土の分布の解明は、東北地方太平洋沖地震のような巨大地震の破壊伝播機構を知るうえで重要だが、遠洋性粘土層の分布には不明な点が多く、沈み込む海洋プレートの曲がりによって生じたホルスト・グラベン(地塁・地溝)構造のうちホルスト部には、遠洋性堆積物が極めて薄いか欠損しているように見える箇所が複数存在することが反射法地震探査により示されている(小平・中村ほか, 私信)。このことをふまえて、申請者は平成27年度、学術研究船新青丸を用いて、ホルスト部の中で遠洋性堆積物の層厚が厚い箇所と薄い箇所、ならびにグラベン部において、ピストンコアラーによる採泥を行った。新青丸航海で得られたコアの解析を通じて、日本海溝外側のホルスト・グラベンにおける遠洋性粘土層の分布とそれを引き起こす堆積・侵食作用の素過程を探ることが本研究の目的である。また、日本海溝と同様に古い海洋プレートの沈み込みで形成されたと考えられている美濃帯中の断層岩についても解析を行い、プレート境界断層の発達が発達した遠洋性堆積物中の粘土層に規定されているとする仮説が過去の沈み込み帯においても有効であったか、検証を行うことも目的とする。本研究により、日本海溝のような遠洋性堆積物に富む古い海洋プレートが沈み込む海溝域において堆積物が地震破壊伝播過程に果たす役割に関して新たな知見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】

平成27年5月19日に新青丸KS-15-3航海が終了し、得られたコア(10地点, 合計111セクション)は冷蔵コンテナで高知コアセンターに運ばれコア保管庫に受け入れていただいた。平成27年6月11日-19日には全てのコアのX線CT分析を行うとともに、10本中8本の半裁・コアスキャナー撮影・肉眼記載を行った。9月2日と10月26日-11月2日にコアセンターを再び訪問し、残り2本のコアの半裁・コアスキャナー撮影・

肉眼記載を行ったのちに古地磁気測定用のキューブ試料の採取、年代測定用の火山灰・有機物試料の採取、および圧密実験・粘土鉱物分析用の試料採取を行った。

肉眼観察の結果、今回採取された地点には遠洋性粘土は産出せず、堆積物の層厚が薄い箇所でもアウトライズにおいては遠洋性粘土の産出層準よりも新しい堆積物が堆積していることが明らかとなった。また、海溝軸から回収されたコアにはイベント堆積物が複数確認され、2011年東北地方太平洋沖地震やそれ以前の巨大地震の記録を保持していることが期待される。

海溝軸より海側から回収されたコアの火山灰同定の結果、約1,000年前~9万年前に噴出した火山灰(Spl1, AT, Aso-4など)が複数枚確認された。コアが採取された各サイトの平均堆積速度を暫定的に求めると、海側海溝斜面で20-40cm/ky, ホルスト上で5-20cm/ky, グラベン底で>800cm/ky, グラベン端で~1cm/kyとなった。今後、古地磁気層序との対比によりさらに詳細な堆積速度の決定を目指している。また、火山灰中に含まれるジルコンのウラン-鉛年代などにより、グラベン端で採取された同定不能のより古い火山灰についても年代測定が可能であると考えられ、今後これらの分析に取り組む予定である。

現在アウトライズ上で確認される堆積物の層厚(最も薄い箇所約20m)を算出された堆積速度で割ると、最も長くても200万年、短い場合には5万年でホルスト上の堆積が完了してしまうことになり、底層流による侵食ないしは無堆積が進行していることが示唆される。一方でホルスト上の各コアの平均堆積速度には大きなばらつきがあり、ホルスト・グラベンにおける堆積・侵食作用と正断層形成テクトニクスの実態を明らかにすることが重要と考えられる。

また、陸上断層岩についてもXRFコアロガーによる分析を行い、主要元素についてマッピングおよびライン分析結果が得られ、断層面近傍での粘土鉱物相の変化(緑泥石とイライト)および炭酸塩鉱物脈沈殿に伴って全岩化学組成変化が変化していることがとらえられた。今後、日本海溝で採取された海底堆積物試料の鉱物・化学分析および圧密実験の結果と比較しつつ、堆積物の続成作用と変形について研究を進める予定である。

採択番号 15A042, 15B037

研究課題名 中低緯度域の堆積物を用いた第四紀後期の広域的古環境復元

氏名・所属(職名) 石輪 健樹・東京大学 大気海洋研究所(博士課程2年)

研究期間 H27/6/8-22

共同研究分担者組織 横山 祐典, 宮入 陽介(東京大学), 池原 実(海洋コア)

【研究目的・期待される成果】

極域のアイスコアによる気候復元は、現在信頼性の高い気候記録とされている。しかし、10万年以上の長期記録をもつアイスコアが存在しない中低緯度域では、湖沼堆積物や海洋堆積物を用いてモンスーンなどの気候復元がなされてきた。中低緯度域と極域の古気候記録を比較することで広域的な気候システムの理解に大きな知見が得られると期待される。本研究では中低緯度域の堆積物コアを用いて古環境復元を行い、アイスコアをはじめとする極域の古気候記録と直接比較することで、全球的な気候変動の解明を行うことを目的とする。

中低緯度域における湖沼堆積物は、堆積速度が速く、モンスーンをはじめとする古気候記録を高時間解像度で復元することが期待される。また、北西オーストラリアのBonaparte湾の海洋堆積物は、全球的な気候変動に影響する氷床変動を約50,000年前から現在にわたり復元することが可能である。元素分析オンライン質量分析計、XRFコアスキャナーによって堆積物の供給源の変化を読み取ることで、上記のような気候変動の復元につながり、地球表層システムの解明に繋がる成果が期待される。高知コアセンターでは高精度かつ多様な測定が可能である。元素分析オンライン質量分析計により堆積物中の有機炭素から陸源有機物の寄与の変動を復元でき、XRFコアスキャナーにより堆積物中の元素比から堆積物の起源推定が可能である。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本共同利用は、大陸氷床の変動メカニズムを解明するため、ボナパルト湾の相対的海水準の復元を研究目的とした。相対的海水準の復元は、古水深と年代の情報が必要であるが、高知大学海洋コア総合研究センターでは地球化学的手法から古水深の復元を行うことを目的とした。

ボナパルト湾で行われた白鳳丸KH11-1航海では水深が異なるコアが約20本採取され、これらの堆積物コアを用いることで約30,000年前から連続的な相対的海水準の復元が可能である。申請者は、ボナパルト湾で行われた白鳳丸KH11-1航海の堆積物、約250サ

ンプルのEA-IRMSの測定を平成27年6月に行った。約7cm³のキューブに保存された堆積物を乾燥・粉末化した後、堆積物中の炭酸塩の除去を含む前処理およびEA-IRMSの測定を高知大学海洋コア総合研究センター・池原教授の指導の下、申請者が行った。EA-IRMSの測定では、水深が異なる10本の海洋コアの全有機炭素、全窒素量、炭素・窒素安定同位体比の連続的な結果が得られた。また、XRFコアスキャナーによる元素分析は、順次測定して頂き、貝の破片などにより表面状態が悪いセクションが見られたが、EA-IRMSの結果と調和的な結果が得られている。また、平成27年度の測定においてKH11-1航海で採取されたコアの分析はほぼ完了した。

これらの結果から、高海水準期には陸源有機物の寄与の減少が各コアに対して見られ、最終氷期最盛期(約20,000年前)では、陸源有機物の寄与が増加していることが明らかになり、海水準変動による北西オーストラリア・ボナパルト湾の堆積環境の変化を反映していると示唆された。

地球化学的手法で復元された古水深と放射性炭素年代から得られた年代を組み合わせることで、相対的海水準の復元が可能となった。復元例が少ない最終氷期最盛期の相対的海水準の復元を達成することで、氷床変動をはじめとする地球表層システムの解明に繋がる成果が期待される。

なお、本研究の成果の一部は2016年度日本地球惑星科学連合大会、Goldschmidt2016において発表済である。今後、国際・国内学会において発表予定であり、申請者の博士論文の内容の一部となる予定である。

採択番号 15A043, 15B038

研究課題名 コアサンプルデータを用いた岸沖底質移動動態メカニズムの解明

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

研究期間 H27/12/1-3

共同研究分担者組織 Ahman Nadeem(横浜国立大学), 伴野 雅之(港湾空港技術研究所), 他 学生2名

【研究目的・期待される成果】

海岸侵食に関する問題は各地で頻発し、多くのハード対策が行われてきた。しかし、漂砂が活発となる遡上帯から沖浜帯までの漂砂体系を一体的に解析し、地形形状や底質移動特性を考慮した砂移動メカニズムの解明に関する研究は数少ない。

そこで本研究では、この遡上帯から沖浜帯までを研究領域とし、現地観測結果に基づいた、プロセスベースの鉛直混合メカニズムの解明と検証、および前浜からバー沖側端までの底質移動の動態解明を行う。具体的には、底質の鉛直再配分、および岸沖方向移動動態把握を目的とした底質コアサンプリングを実施する。コアサンプリング実施前に、特定箇所において蛍光砂を投入しておき、その後採取されたコアサンプル内に蛍光砂がどのような岸沖方向位置にどの深度に堆積しているのかを解析し、その移動速度、移動範囲を検討する。

採取したコアについては、始めにCT画像処理装置にて内部構造を計測する。その後、コア半裁機を用いて半割し、コア連続画像撮影装置で断面を撮影するとともに、XRFコアスキャナーにて主要元素濃度、マルチセンサーコアロガーにて各種物性値を計測する。さらに、2.5cm毎に分割したコアをレーザー粒度分析装置にて粒度を計測する。

これらの検討により、高波浪時における底質移動の実態が明らかになると共に、地形変化に伴いどの程度の鉛直混合が発生しているのかについても解明できる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では茨城県波崎海岸を対象とし、遡上帯から砕波帯内外にかけての帯を研究対象領域とし、蛍光砂の投入とコア採取により、高波浪イベント時における底質の岸沖、および鉛直方向移動動態を明らかにすることを目的とした現地観測を行った。

観測は、2015年10月1日から12日までの12日間波崎海岸に位置する波崎海洋研究施設の観測棧橋にて実施した。この期間中に行われた5回の地形測量結果により、観測期間中は明瞭なバー地形は有していないことが分かった。蛍光砂は、黄と赤の2色の蛍光塗料を中央粒径0.18mmと0.60mmの砂にそれぞれ塗装し、計4種類作成した。これ以降、0.18mmの蛍光砂を蛍

光細砂、0.60mmのものを蛍光粗砂と呼ぶ。10月1日、岸沖方向位置 $x = 140\text{m}$ 地点に黄の二粒径蛍光砂を投入し、 $x = 290\text{m}$ に赤の二粒径蛍光砂をそれぞれ250kgずつ投入した。蛍光砂投入5日後の10月6日から9日にかけて、波高2.0m以上の高波浪が来襲した。その後、静穏となった10月12日に底質コア採取を実施した。コア採取は、約50mごとに計9箇所にて行った。海中中部にて採取したコアの平均長は27cmであった。採取したコアは、高知大学海洋コア総合研究センターにてX線CTスキャンを行った。その後、コアを半割し、画像撮影を行ったのちに、2.5cm毎に分割し、蛍光砂数、粒度分布の解析を実施した。

本観測で採取された蛍光砂は、細砂($d_{50} = 0.2\text{mm}$)の黄と赤のみであり、粗砂($d_{50} = 0.6\text{mm}$)はどの地点のコアからも採取されず、また、 $x = 220\text{m}$ よりも沖では細砂についても採取できなかった。沖に投入した赤の蛍光細砂の一部は、高波浪来襲前の静穏時に徐々に岸側に輸送され堆積し、沖に残存していたものについては高波浪時に沖側または沿岸方向に輸送されたことにより、沖側では蛍光細砂は採取できなかったと考えられる。一方、蛍光粗砂は静穏時に大きく移動することは考えにくいから、その多くは投入地点付近に留まっていたと考えられる。しかし、その後の高波浪時に一気に移流・拡散してしまったと推察された。

本検討では、コア採取を実施した測点毎での解析結果および考察を行ったと共に、解析を実施した遡上帯から砕波帯内外における底質空間的移動動態について考察を行った。以下に、主な結論を示す。(1)異なる2種類の粒径の蛍光砂を用いることで、粒径別の底質輸送について考察することができた。(2)明瞭なバー地形が存在しない場合には、バーよりも沖側の細砂についてもバームの形成に寄与していることが分かった。(3)バーよりも沖側の粗砂についてはバームの形成には寄与せず、細砂とは異なる移動動態を示し高波浪により一気に移動することが示唆された。

今後は、これまで2年間実施してきた高波浪時の底質移動動態に伴う地形変化をバーの有無に着目して再度検討を行う。さらに、これまで実施できていない、堆積性波浪時の移動動態についても現地調査・検討を行う予定である。

採択番号 15A044, 15B039

研究課題名 多孔質炭酸塩岩の貯留岩特性と初期続成作用が及ぼす影響—沖縄県南大東島大東層を例に—

氏名・所属(職名) 島津 崇・熊本大学大学院 自然科学研究科 理学専攻(博士後期課程2年)

研究期間 H27/6/1-5

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

【意義】

炭化水素を胚胎する炭酸塩岩の貯留岩性状・分布は、堆積作用と続成作用によって複雑に支配されており、その評価や予測は依然として課題である。特に地表露出に関連したセメント作用や溶解作用などの初期続成作用は、貯留岩性状に大きな影響を与える。したがって、貯留層評価技術の向上のためには、初期続成作用が炭酸塩岩の貯留岩性状・分布にどのような影響をおよぼすのか検討する必要がある。

【目的】

本研究では、炭酸塩岩貯留層のアナログとして沖縄県南大東島の中新統～更新統大東層を検討対象とする。南大東島の外縁部で掘削された大東層のボーリングコアを用いて、ペトロフィジクスや堆積学、岩石学的な観点から、本層の貯留岩性状(孔隙率・浸透率)および続成作用の影響について検討する。

【期待される成果】

世界には、南大東島大東層のような数km四方の炭酸塩ビルドアップを貯留層とする油ガス田が多く存在する。したがって、本研究は実フィールドにおける炭酸塩岩貯留層の貯留岩性状や貯留層構造を評価する重要な知見となり、二次回収を含めた油ガス回収率の向上への貢献が期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

【分析試料詳細】分析には南大東島から採取された上部中新統～更新統大東層のボーリングコア(全長48m)を用いた。本コアは、礫性堆積物の炭酸塩岩からなり、深度27.3mを境に、下部のUnit Iと上部のUnit IIIの堆積ユニットに細分される。またコアの大部分がドロマイト化している。

【研究実施内容】共同利用として、マルチセンサーコアロガー(MSCL)とX線CTスキャン(XCT)を使用した。MSCLでは、コアのバルク密度を約5cm間隔で測定し、別途測定した粒子密度を用いて、孔隙率に変換した。XCTでは、得られたCT値から、空気CT値のみを表示し、岩石中の孔隙の3次元可視化を行った。これらのデータと既存データ(浸透率やコア・薄片観察)との対比から、大東層コアの連続的な孔

隙システムの変化を検討した。

【成果1:孔隙率-浸透率の関係】大東層コアの孔隙率は、大部分が数%~50%の範囲にあり、その増減のトレンドは、浸透率との相関が認められる。孔隙率・浸透率は堆積ユニット間で大きく異なり、Unit Iでは孔隙率が10%以下で浸透率が0.1mD以下の区間が卓越するのに対し、Unit IIIでは孔隙率が10%以上で浸透率が1mD以上の区間が大部分を占める。

【成果2:孔隙システムに対する続成作用の影響】

各堆積ユニットにおいて、下記の続成シーケンスが認められる:(1)ミクライト被膜,(2)リムセメントおよびブロック状セメントによる粒子間孔隙の充填,(3)サンゴ骨格や粒子の溶脱(モールド孔隙の形成),(4)粒子および方解石セメントのドロマイト化,(5)ブロック状セメントによるモールド孔隙の充填,(6)溶解作用によるバグ孔隙の形成,(7)リムセメントおよびブロック状セメントによるバグ孔隙の充填。Unit Iでは、上記(1)から(5)までの続成作用が進行しており、特にセメント作用((2)および(5))による孔隙の充填が顕著である。Unit IIIでは、Unit Iと比較して、セメント作用の発達が弱く、粒子間孔隙に加えて(3)や(6)で形成された溶脱孔隙の保存がしばしば認められる。そのためUnit IIIでは、粒子間孔隙と溶脱孔隙からなる連結性の良い孔隙システムが形成されており、高い孔隙率・浸透率を示すものと推定される。これらの孔隙システムの違いは、XCTによる3次元孔隙分布からも明らかであり、Unit Iでは、孤立した孔隙が卓越するのに対し、Unit IIIでは連結性の良い孔隙分布が認められる。

このように本研究から、大東層において、溶解作用やセメント作用などの続成作用の進行の違いが孔隙システムや貯留岩性状に大きく影響している可能性が示された。

採択番号 15A046, 15B041

研究課題名 房総半島に分布する鮮新-更新統を用いた精密古地磁気記録の復元

氏名・所属(職名) 岡田 誠・茨城大学 理学部(教授)

研究期間 H28/2/29-3/1, 3/24-25

共同研究分担者組織 学生3名

【研究目的・期待される成果】

本研究では、房総半島の鮮新-更新統を用いて、詳細な古地磁気記録を得ることで、磁場反転層準および地磁気エクスカージョンを検出し、酸素同位体カーブとの対比を行うことで、それらのタイミングを精密に復元することを目的とする。

堆積物が獲得する残留磁化は、堆積面より下位20cm程度の部分で獲得されることが様々な研究より明らかになっている。この磁化獲得深度の存在が原因となり、現在言われている地磁気反転層準の年代は、実際よりも古く算出されている可能性が高い。磁化獲得深度が一定ならば、堆積速度が速いほど堆積面と磁化獲得との間の時間差は小さくなる。本研究では、通常の高海底堆積物と比べ、格段に速い堆積速度を持つ地層を用いることで、地磁気極性反転およびエクスカージョンの年代をより確かに求めることができると期待される。一昨年度の共同利用では上総層群国本層におけるMatuyama-Brunhes (M-B) 極性反転の詳細な記録を復元し、実際に反転が記録されている層準が、既存研究の結果よりも2m程度上位であることを明らかにした。また昨年度の共同利用では、M-B境界付近における磁化記録から古地磁気強度の復元を試みた。当該層準におけるM-B境界の年代は、酸素同位体層序と火山灰の放射年代を用いて決定することを試みているが、さらに古地磁気強度変化を他の記録と対比することで、これらとは独立した年代指標を得ることができる。

上記の研究目的を達成するため、本申請では千葉セクションの試料に対して岩石磁気分析を行い、得られた試料の持つ磁気的性質を明らかにすることを試みた。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

測定試料：

下部-中部更新統境界GSSP候補である千葉複合セクションの主要部分を構成する田淵セクションでMatuyama-Brunhes磁場反転境界層準付近の詳細な地磁気変動を復元するため古地磁気試料の採取を行った。千葉県市原市田淵の養老川沿いの砂質シルト岩露頭において、火山灰鍵層Byk-Eの上位50cmから下位665cmまでの区間で採取された試料を用い、以下の測定を実施した。

岩石磁気実施：

平成28年2月29日から3月1日まで、および平成28年3月24日から3月25日の間、熱磁気天秤を用いて熱磁気分析を、AGMを用いて磁気ヒステリシス実験およ

びFORCダイアグラム作成を行った。

測定結果および考察：

一昨年の共同利用の結果、千葉セクションの試料においては、磁性を持つ硫化鉄であるgreigite起源と思われる磁性鉱物の持つ二次磁化成分は交流消磁では消磁できないが、熱消磁では300℃程度でほぼ消磁されること、またgreigiteを含む硫化鉄の分解は、空气中・真空中問わず300℃までは起こっていないことが確認された。昨年度はさらに、古地磁気方向だけではなく、磁場反転中における古地磁気強度変化の復元を行うことを試みた。しかし本研究で用いているような硫化鉄を含む試料に対して熱消磁を行ってしまうと、含まれる磁性鉱物が加熱・酸化の影響で変質し、消磁した試料に含まれる磁性鉱物粒子の量に関する情報を得ることが大変難しくなる。今回は磁性鉱物の変質を避けた状態で初生的な磁化を抽出することができる条件を検討した。その結果、300℃熱消磁を行った後に段階交流消磁を行うことでChRM成分を抽出し、その後、ARM着磁を行った上で同様の熱・交流組み合わせ消磁実験を行い、磁性粒子濃度の指標を得ると、多くの場合で磁鉄鉱起源の成分を優先的に抽出できることがわかった(岡田・他, 2015; 連合大会)。さらにこの手法を用いて磁場反転境界付近の古地磁気強度変化を求めた所、北大西洋の古地磁気記録とよく似た変動を示すことが分かり、グローバルな対比に用いることができる可能性が示された(Okada *et al.*, 2015; XIX INQUA congress)。本申請では、以上の結果をより確かなものにするため、千葉セクション試料の磁気的性質をより詳細に分析した。空气中における繰り返し熱磁気実験を、最高温度を100℃から500℃まで50℃刻みで段階的に上昇させることで実施した結果、千葉セクションの試料は空气中においても400℃より低温であれば磁性粒子の化学変化が起きないことが示された。これにより上記で示した300℃加熱による残留磁化ベクトルおよび磁性粒子濃度指標の抽出の信頼性を高めることができた。またAGMによる磁気ヒステリシス実験およびFORCダイアグラム作成により、千葉セクション試料の磁性粒子は主にPSD粒子が卓越することがより確かになり、千葉セクションから得られる残留磁化ベクトルの信頼性が高いことが示された。このように本研究から、大東層において、溶解作用やセメント作用などの続成作用の進行の違いが孔隙システムや貯留岩性状に大きく影響している可能性が示された。

採択番号 15A047, 15B042

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

氏名・所属(職名) 藤井 昌和・東京大学 大気海洋研究所(博士後期課程3年)

研究期間 H28/2/22-3/4

共同研究分担者組織 なし

【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での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、生命の起源解明の鍵を握る生物が群集している超苦鉄質岩型、有用な金属元素を多く含む背弧型・島弧型熱水系では、熱水変質に伴う磁性鉱物の挙動に関して全く理解されていない。これらを理解し熱水系の分布や規模を把握するためには、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する。特に、熱水変質帯における磁硫鉄鉱の有無と磁化への寄与、蛇紋岩の岩石磁気的パラメーターと蛇紋岩化度合いの関係を明らかにする。

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

【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成27年度はインド洋で採取された岩石12試料(蛇紋岩12試料)と沖縄トラフの伊良部海丘と多良間海丘で採取された岩石31試料(玄武岩30試料, 流紋岩1試料)の岩石磁気分析を行った。分析には、MPMS, 磁気天秤, VSM, AGMを用いた。

平成28年2月22~3月4日の期間で、MPMSを用いた低温磁気測定に2試料(沖縄トラフの玄武岩), 磁気天秤を用いた高温磁気測定に25試料(インド洋の蛇紋岩6試料, 沖縄トラフの玄武岩18試料, 流紋岩1試料), VSMを用いた磁気ヒステリシス測定に31試料(沖縄トラフの玄武岩30試料, 流紋岩1試料), AGMを用いたFORC測定に20試料(インド洋の蛇紋岩6試料,

沖縄トラフの玄武岩13試料, 流紋岩1試料)を適用し、それぞれ分析を実施した。

上述の測定の結果、中央インド洋海嶺の拡大軸不連続で採取された蛇紋岩の磁化キャリアは純粋な磁鉄鉱である事が明らかとなった。また、沖縄トラフの伊良部海丘及び多良間海丘で採取された火山岩は、ほとんど低温酸化を受けておらず、最近噴出した溶岩流から採取された事が明らかとなった。本試料の磁化キャリアであるチタノマグネタイトのチタンの量は、中央海嶺の玄武岩に比べて少なく、島弧や背弧で作られるマグマの特徴を反映していると考えられる。岩石磁気的に見積もったチタンマグネタイトの量には0.1-3.0wt.%とバリエーションがあり、急冷により結晶成長の度合いが異なることが明らかとなった。磁気的粒度の分析結果とも調和的で、絶妙な結晶成長の度合いが自然残留磁化強度を規制している事を示すデータを取得した。

平成26年度から引き続き行ったインド洋の蛇紋岩の磁気測定結果とその考察に関して、国際誌「*Earth and Planetary Science Letters*」に出版した。また、沖縄トラフの玄武岩の磁気的特徴に関する講演をThird InterRidge Theoretical Institute(中国, 杭州)で行い、「Best Student Presentation Awards」を受賞した。本研究によって得られた岩石磁気物性と、磁気異常探査の解析結果(中央インド洋海嶺, 沖縄トラフ, 南部マリアナトラフにおける観測研究)と合わせて、

「Magnetic study of seafloor hydrothermal systems in various tectonic settings(多様な地質学的背景を持つ海底熱水系の磁気的研究)」というタイトルの博士論文として成果をまとめた。上述の研究成果に関して、国内外の学会やシンポジウムにおいて、5件の口頭発表、3件のポスター発表を行った。

採択番号 15A048, 15B043

研究課題名 パススルー型超伝導磁力計データのデコンボリューションによる高分解能・高信頼性古地磁気
記の復元

氏名・所属(職名) 小田 啓邦・産業技術総合研究所(主任研究員)

研究期間 H27/5/13-15, H28/2/26-3/1

共同研究分担者組織 山本 裕二(海洋コア), Chuang Xuan (Univ.Southampton, UK)

【研究目的・期待される成果】

堆積速度の速い深海底・湖底堆積物のu-channel古地磁気試料によるパススルー型超伝導磁力計連続測定データを用いて高分解能の地球磁場変動・環境変動記録を得ることを目的とした基礎的研究を行う。申請者はOda and Shibuya (1996)で赤池情報量基準を用いたABIC最小化の手法による古地磁気連続データのデコンボリューションの開発を行い、最近の研究(Oda and Xuan, 2014)でその手法に改良を加えることで信頼性と一般性を高めた。また、同時に使いやすいGUIを備えたMATLABによるデコンボリューションソフトウェアの開発を行っており(Xuan and Oda, 2015), 1年以内にソフトウェアを公開する予定である。本研究では特に試料の位置決め精度についての分析をさらに進め、データが等間隔では無い場合のアルゴリズムについて検討を進める。一連のデコンボリューション研究論文およびMATLABソフトウェアは堆積物コア試料を用いた古地磁気研究にとって今後重要なツールになると期待される。

Oda, H. and Xuan, C. (2014) Deconvolution of continuous paleomagnetic data from pass-through magnetometer: A new algorithm to restore geomagnetic and environmental information based on realistic optimization, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **15**, 3907-3924, doi:10.1002/2014GC005513.

Xuan, C. and Oda, H. (2015), UDECON: deconvolution optimization software for restoring high-resolution records from pass-through paleomagnetic measurements, *Earth Planets Space*, **67**, 183, doi:10.1186/s40623-015-0332-x

【利用・研究実施内容・得られた成果】

パススルー超伝導岩石磁力計による堆積物コア試料の測定とデータの蓄積は、国際深海科学掘削計画(IODP)のジョイデスレゾリューション号、「ちきゅう」ならびに掘削コア試料リポジトリ付属の研究施設をはじめとして弊所を含む世界中の古地磁気実験室で10年以上にわたって行われている。しかしながら、パススルー磁力計による測定はセンサー感度曲線に

よって平滑化され、なおかつ歪められている。これまでパススルー磁力計のデータについてデコンボリューション処理が試みられてきたが、正確なセンサー感度曲線の取得ができなかったために、その実用化が遅れていた。本研究では、昨年度に引き続きOda and Xuan (2014)で提案した試料の位置補正、試料の長さ補正の2つのパラメータを加えた新アルゴリズムによる赤池情報量基準に基づくデコンボリューションソフトウェアをMATLABで開発し、Xuan and Oda (2015)として論文発表した。また、昨年度に引き続いて精密成型した小型立方体プラスチックに埋め込んだ磁気点源と治具の改良を行い、これを用いてパススルー超伝導岩石磁力計のより正確なセンサー感度曲線を求めることに成功した。その結果、高知大学海洋コアセンターの超伝導岩石磁力計はセンサー感度曲線の半値幅(FWHM)が46-54mmであり、オレゴン州立大学の装置(パルスチューブ使用)の73-80mmよりも幅が狭いこと、X-Y軸のセンサーが試料測定用トレイの面に対して4.5°反時計回りに回転している可能性があることがわかった。さらに、レーザー干渉距離計を用いて、試料トレイの位置決め誤差の評価を行った結果、堆積物試料無しで0.1-0.2mm、試料有りでは0.5mm程度の誤差が確認された。繰り返し測定で同じ位置で位置ずれが再現することから、トレイのトラックあるいはステッピングモーターで駆動するはしご状のロープの形状のゆがみなどが原因として考えられる。位置決め誤差を考慮に入れたモンテカルロシミュレーションでは地球磁場の弱い地磁気エクスカージョンの部分で伏角誤差が最大3°程度となることがわかった。本研究によって、新しいアルゴリズムによるデコンボリューションの実用化に向けてさらに一歩前進した。今後の古地磁気学の発展に寄与すること、特に地磁気逆転・地磁気エクスカージョンによる古地磁気層序学の発展と年代決定の精度向上に役立つと期待される。

採択番号 15A049, 15B044

研究課題名 アルゼンチン共和国ChubutおよびNeuquén地域白亜紀／第三紀堆積岩の有機地球化学的研究

氏名・所属(職名) 藪田 ひかる・大阪大学大学院 理学研究科(助教)

研究期間 H27/11/20

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

約6,500万年前に起こった生物大量絶滅は硫酸塩岩が多量に分布する地域への天体衝突によりSO₂, SO₃の蒸気が発生し酸性雨が地表に降りそそいだことがきっかけであった可能性が, Ohno *et al.* (2014) の衝撃実験研究により明らかとなった. 本研究計画では, この仮説を検証するために, アルゼンチンNeuquén地域の白亜紀/第三紀(K/T)境界堆積岩中に含まれる有機硫黄化合物の超微量分析に取り組む. その第一段階として, 全岩試料, および酸不溶性固体有機物(ケロジェン)の硫黄含有量をCHNS/O元素分析装置を用いて測定し, 深度分布を明らかにする. たとえば芳香族チオフェンは硫酸還元バクテリアのバイオマーカーとして知られ, 硫化鉱物の深度分布と関連するため(Katsumata *et al.*, 2001), 全岩試料とケロジェンの硫黄含有量が境界層付近で検出され関連を示せば, 酸性雨により海洋に供給された硫酸が生命活動に影響を与えた可能性を示すことが期待できる.

【利用・研究実施内容・得られた成果】

大量絶滅の原因として有力な巨大天体衝突説を支持するイリジウム濃集(e.g., Alvarez *et al.*, 1980)はほぼ全てのK/Pg境界層に共通して見出されている. しかし, 全有機炭素量(TOC)等の分布が各境界層で異なる原因については言及されていない. 本研究では, 当時の地球環境変動が生命に及ぼした影響の地域的差異とその要因を理解するため, 北半球に比べ研究の少ない南半球のアルゼンチンK/Pg境界層に着目し, 炭素・硫黄含有量および数種の生物指標分子の分布を解明することで, 他地域との比較を行った. 研究計画にはケロジェンを分析する予定を含めていたが, 今回は及ばなかった.

TOCは白亜紀層(0.3-0.4wt%)から境界層(0.1-0.2wt%)にかけて減少し, 第三紀層で再び回復した(0.4-0.5wt%). 生物大量絶滅を反映するこのような分布傾向は, TOCが境界層で高いスペイン・カラバカ(Kaiho *et al.*, 1999), TOCが境界層と上下層で一定である北海道川流布(Mita *et al.*, 1996)とは対照的であった. この違いは, 南半球で森林火災の

影響が少なく煤の寄与が低かったためと考えられる. 一方, TSは白亜紀層で検出限界以下であったが, 境界層(0.3-5.0wt%)で増加しその上部で最大値を示した後, 第三紀層(0-0.3wt%)にかけて再び減少した. このような分布は川流布(Kajiwara and Kaiho, 1992)やアメリカ・ドギークリーク(Maruoka *et al.*, 2002)でも報告されており, 硫酸還元菌の活動による硫化物生成の原因として考えられている酸性雨が地球規模であった可能性を支持する. また, 各堆積岩からはn-アルカン(C₁₂-C₃₅), プリスタン(Pr), フェイタン(Ph), 飽和脂肪酸(C₈-C₃₀)の他, フェナントレン, コレステノン, 陸上植物由来のカダレン, デヒドロアピエチン酸等を同定した. 特に, 白亜紀層の一試料でPr/Ph比が1程度であるのに対し, 古第三紀層の一試料で0.6-0.7であったことから, 大量絶滅前に酸化的であった海洋が大量絶滅前後に還元的环境へ変化したと考えられる. 本結果は川流布の硫化物(Kajiwara and Kaiho, 1992)やチオフェン類(Katsumata and Shimoyama, 2001)の記録とも調和的である.

採択番号 15A050, 15B045

研究課題名 地球史を通じた海底環境復元プロジェクト3：水酸化鉄沈殿メカニズムと太古代・原生代の
海洋底環境復元

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（准教授）

研究期間 H27/8/11-31, 9/25-10/2

共同研究分担者組織 伊藤 孝（茨城大学）、山口 耕生（東邦大学）、尾上 哲治（熊本大学）、
菅沼 悠介（国立極地研究所）、他 学生4名

【研究目的・期待される成果】

目的：太古代～原生代の海底表層断面および海底層序を明らかにし、太古代～原生代初期の（1）海底熱水循環、（2）海底堆積作用、（3）海洋の酸化／還元状態・pH状態、（4）初期生物の生態系、（5）大気表層環境、などに関する重要な情報および変動を明らかにする（e.g., Nisbet, 2001）。また、より具体的な沈殿作用を理解するために、薩摩硫黄島における海洋記録・堆積物・チムニーの観察・解析分析より、水酸化鉄層やマウンドの形成メカニズムを解明し、鉄沈殿物の成因を明らかにする。初期地球の堆積物と現世の薩摩硫黄島における鉄沈殿物を比較することで、より具体的な水酸化鉄の沈殿作用および鉄鉱層形成作用の解明に迫る。

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・鉄沈殿物の関連性
- 現世鉄沈殿物の水酸化鉄堆積様式・鉄酸化菌の関与と水酸化鉄マウンドの理解

【利用・研究実施内容・得られた成果】

1) 太古代・原生代試料では、サンプリング・顕微鏡下観察測定・CTスキャン・TATスキャン、炭素同位体測定を行った。

炭素同位体：Pirubara DXCL2コアおよび南アフリカフイグツリー層群マペペ層：縞状鉄鉱層前後の黒色頁岩について100mに及ぶ堆積物の炭素同位体を測定した。DXCL2によりとられたCL3コアの縞状鉄鉱層前後の試料中のシデライト（鉄炭酸塩鉱物）層とマグネタイト層について昨年度につづいて炭素同位体を測った。黒色頁岩の有機炭素量を測定するために、酸処理に時間をかけて完璧に溶かして測定を行った。基本的にはほとんど全サンプル30パーミル前後を示すようになり、その起源は同一有機物であることが示された。また、7億年前のエジプト試料でも、予察的な分析で25-30‰であり、鉄鉱層に伴う黒色頁岩はシアノバクテリアなどの沈殿作用で堆積したも

のであると思われる。

2) 薩摩硫黄島試料

薩摩硫黄島・鬼界カルデラカルデラ底堆積物試料：表面観察・CTスキャン・柱状図の作成・サンプリング・スミアスライド・電研観察を行った。特に水酸化鉄沈殿物の電研観察、堆積粒子の粒度分析を行った。

粒度分析および吸着状態の電研観察において、数ミクロンの水酸化鉄粒子が数百ミクロンのコロイド、それが凝集して0.1-0.3mmの粒子を形成していることが明らかになった。

FE-SEM観察：チャージをしない工夫をして、観察を試みた。鉄沈殿物は1ミクロン以下のコロイド粒子の沈殿物で有り、ストークス式では数日沈殿にかかるところが、数時間という非常に早い堆積速度で沈殿していることが明らかになった。チムニーにおける、水酸化鉄の成長速度を上げるには鉄還元バクテリアの存在が重要であるが、沈殿作用においては懐中での凝縮作用により、粒子が大きくなることが重要であることが、明らかになった。

採択番号 15A051, 15B046

研究課題名 三疊紀層状チャートを対象とした古地磁気・化石統合層序の確立

氏名・所属(職名) 尾上 哲治・熊本大学大学院 自然科学研究科(准教授)

研究期間 H27/4/15-28, 8/24-9/6, 10/18-11/9, H28/2/11-20

共同研究分担者組織 宇野 康司(岡山大学), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

三疊紀という時代は、ペルム紀末に起こった古生代型生物の大量絶滅に引き続いて、現代型の生物が爆発的に進化・繁栄した中生代の前半にあたる。この時代の地層には、超海洋無酸素事変からの回復過程や、浮遊性炭酸塩殻生物の出現による炭素循環の変化、洪水玄武岩の噴出を伴うパンゲア大陸の分裂、海洋酸性化による三疊紀末の大量絶滅など多種多様なイベントが記録されている。このような地球環境の変動が、現代型生物の進化の方向性を決定した要因であることは疑いようがない。しかしながら変動の期間やタイミングについて調べる尺度となる三疊紀のタイムスケールは、極めて断片的な時代の古地磁気・化石層序の層序を繋ぎ合わせたものであり、古地磁気層序のデータが欠損した時代や、離れた地域間の時代対比が正確に行えないなどの欠点があった。

そこで本計画では、ジュラ紀付加体である美濃帯の層状チャートを対象に、三疊紀を通じた古地磁気・化石統合層序を確立するための研究を行った。美濃帯の層状チャートが古地磁気層序の研究に適していることは、先行研究において明らかにされているため、本計画により三疊紀を通じた試料採取と測定を行なうことができれば、この時代を通じた古地磁気層序を確立することができる。また申請者はこれまで、三疊紀チャートを対象とした放散虫・コノドント化石層序の研究に取り組んできた。そのため本計画が実行されれば、三疊紀タイムスケールの世界的スタンダードとなりえる「古地磁気、放散虫、コノドント化石層序の統合」が可能となると期待できる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

調査地は愛知県北部と岐阜県南部を流れる木曾川河床に露出するSection-H, R, Qである(Rは上部のみ)。このセクションはSugiyama (1997) によって設定され、詳細な放散虫化石層序が報告されている。Section-Hでは層厚約20m, Section-R上部では層厚約5.5m, Section-Qでは層厚約15mの層状チャートが連続的に露出しており、そこから10-20cm間隔で定方位ハンドサンプルを採取した。今年度はSection-Hでは51層準、Section-Rでは36層準、Section-Qでは151層準のチャー

トについて段階熱消磁および自然残留磁化の測定を行った。

測定の結果を元にザイダーフェルト図を作成し、自然残留磁化成分の消磁温度帯と偏角・伏角から自然残留磁化成分の認定を行った。その結果、4つの独立した自然残留磁化成分が認定でき、これらの磁化成分を低い温度段階から順にA~D成分と名付けた。660°C~690°Cの区間で消磁されるD成分のベクトルに関してはMADを計算し、MAD<20のものの伏角と偏角を記録した。D成分の方位は傾動補正を施すと、2つの極性グループに分かれ、それらは逆転テストを合格した。そのため、D成分が層状チャートの初生磁化方位を記録していると考えられる。これらの結果は、先行研究の結果とも調和的である。そこで、北向きのグループをPolarity group α 、南向きのグループをPolarity group β として古地磁気層序を作成した。これをコノドント化石の産出層準をもとに、古地磁気層序が比較的連続して確立されているイタリアとスロバキアの海成層セクションと、北アメリカの陸成層のセクションと対比を行った。いずれのセクションも当時の北半球に堆積したと考えられている。その結果、カーニアン後期と、ノーリアン中期~後期の期間において、古地磁気層序をおおよそ対比させることができた。しかし、ノーリアン前期~中期においては上手く対比ができないため、今後の課題である。また、本研究におけるPolarity group α が正磁極、Polarity group β が逆磁極に対応することがわかった。このことから、Section H, R, Qの層状チャートは当時の北半球に堆積したと考えられる。また、D成分の伏角の平均値から堆積当時の緯度を見積もると、層状チャートは低緯度域に堆積したことがわかった。

これまで三疊紀後期の古地磁気層序の報告は、テチス海起源の海成層と北アメリカの陸成層からのものがほとんどで、パンサラサ海に起源をもつ海成層からの報告はない。また、カーニアン前期/後期付近やノーリアン中期においては、連続した古地磁気層序が確立されていないといった問題もある。今後は、三疊紀後期を通じた古地磁気・化石層序を層状チャートから確立し、他地域の古地磁気層序との対比や、古地磁気層序が報告されていない時代について検討を進める予定である。

採択番号 15A052, 15B047

研究課題名 美濃帯の三畳系層状チャートに記録された有機炭素同位体比変動に関する研究

氏名・所属(職名) 尾上 哲治・熊本大学大学院 自然科学研究科(准教授)

研究期間 H27/10/27-30, H28/3/16-24

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】

申請者は近年、美濃帯の上部三畳系層状チャート中に挟まれた粘土岩の1層準から、巨大隕石衝突の証拠を発見した(Onoue *et al.*, 2012, PNAS; Sato *et al.*, 2013, Nature Commun.). H26年度の研究では、隕石衝突イベントを記録した粘土岩および上下のチャート層(約100層準)を対象に、有機炭素の同位体分析を行い、隕石衝突により同位体比が一時的に低下したことを明らかにした(投稿準備中).

この研究の過程で、層状チャートに記録された有機炭素同位体比($\delta^{13}C_{org}$)は、一定の周期で約5%程度変動していることが明らかになった。層状チャートは大陸から遠く離れた大洋域で形成された堆積物と考えられており、現在の深海底堆積物にみられる有機炭素同位体比の変動と同様に寒冷期・温暖期のサイクルを示しているのではないかと考えた。従来の研究でも層状チャートの有機炭素同位体比は検討されてきたが、海洋無酸素事変や生物大量絶滅境界(例えば、三畳紀/ジュラ紀境界)といったイベント層準以外での有機炭素同位体比の変動に関する基礎研究は行われていない。

そこでH27年度の研究では、層状チャートの有機炭素同位体比を検討し、これまで明らかになった同位体比の変動周期や変動の要因を明らかにすることを目的とする。具体的な研究対象は、岐阜県東部に分布する美濃帯の上部三畳系層状チャートである。H26の研究でみつかった有機炭素同位体比の変動周期や要因を明らかにすることで、海洋の一次生産変動や当時の二酸化炭素濃度の変化などの古環境情報を得ることができると考えられる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究では、層状チャートの主要・有機炭素同位体の分析から、珪質部・泥質部の堆積時における海洋環境を明らかにすることを目的として、岐阜県東部に分布する美濃帯の上部三畳系層状チャートについて検討を行った。層状チャートは過去の遠洋域で堆積した深海底堆積物と考えられており、珪質部・泥質部に記録された有機炭素同位体比は、当時の遠洋域における生物生産や海洋環境の変動を記録して

いると考えられる。

研究対象は、岐阜県東部木曾川沿いの坂祝セクション(美濃帯上麻生ユニット)にみられる上部三畳系～下部ジュラ系層状チャートである。本研究では、層状チャートの珪質部と泥質部から連続的に試料採取を行ない、元素分析オンライン計Delta Plus Advantageを用いて、有機炭素同位体比、全有機炭素濃度(TOC)、全窒素量、窒素同位体比を測定した。

研究の結果、検討した全ての層状チャートにおいて、珪質部は泥質部より低い有機炭素同位体比を持つことが明らかになった。現在の深海底堆積物の検討からは、寒冷期に比べて温暖期には相対的に低い有機炭素同位体比をもつことが知られており、珪質部の堆積が温暖期に起こった可能性が示唆される。また本研究と並行して熊本大学で行った主要元素の検討からは、珪質部は泥質部に比べて高い化学風化を被った陸源碎屑物を含むことが、CIA値(Chemical index of alteration)を用いた検討から明らかになった。同時に風成塵の輸送強度の指標となるTi/Al比の検討からは、珪質部は泥質部に比べて低い風成塵輸送強度のもとで堆積したことが明らかになった。これらの結果は、珪質部は陸域の化学風化の卓越する温暖・湿潤期に、泥質部は反対の寒冷・乾燥期に堆積した可能性を示しており、有機炭素同位体比の結果とも調和的である。検討セクションにおける珪質部-泥質部1セットの堆積期間が約2万年であることから、この湿潤・乾燥の変動は約2万年で起こったと推定される。しかしこのように短い周期で大陸起源物質の化学風化度が変化するとは考えにくく、今後さらなる検討が必要である。

採択番号 15A053, 15B048

研究課題名 海底熱水性重晶石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 H27/10/19-23, H28/2/22-25

共同研究分担者組織 内田 乃(岡山理科大学), 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が含まれ、これを用いた放射非平衡年代測定は、硫化鉱物のウラン非平衡年代測定と並んで、海底熱水活動の有力な年代測定法である。一方、申請者らは、重晶石についてESR(電子スピン共鳴)年代測定によっても実用的に可能であることを示した。昨年度20試料程度の重晶石の放射非平衡年代を本共同研究によって求め、ESR年代と比較した。沖縄の各熱水域の年代幅が大まかに求められ、熱水域の進化について議論ができる段階に達しようとしている。今年度は、さらに20試料程度の重晶石について放射非平衡年代を求め、ESR年代と比較することによって、複数の熱水活動によって生成した重晶石が混合していることを確認し、これらの年代測定法による測定結果を組み合わせることで複数の熱水活動イベントの年代範囲を議論したい。それと共に、地球化学的な沖縄熱水域の進化を議論できる年代についての蓄積データを確保したい。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

沖縄トラフ及び伊豆小笠原弧の海底熱水域を調査したIODP1331, NT-12-06, NT13-09, KY14-02, KR15-16の各航海において、第四与那国海丘、鳩間海丘、伊平屋北海丘、ANA site及び、明神礁カルデラから採取された硫化物堆積物試料から重晶石を抽出し、 ^{226}Ra - ^{210}Pb 年代を求めめるために高知大学海洋コア総合研究センターの低バックグラウンド純ゲルマニウム半導体ガンマ線分光装置を利用した。岡山理科大学において測定を行って得られたESR(電子スピン共鳴)年代、 ^{228}Ra - ^{228}Th 年代と比較して各試料の年代を議論した。

^{226}Ra - ^{210}Pb 年代として、鳩間海丘の試料で約56年、伊平屋海丘の試料で約45年、ANA siteの試料で約65年、伊豆小笠原弧の明神礁カルデラの試料で約4-9年の年代が得られた。適用範囲が約10年までの ^{228}Ra - ^{228}Th 年代として、明神礁カルデラの試料から約4年の

年代が得られた。一方、ESR法によって、鳩間海丘の試料で 6700 ± 510 年、伊平屋海丘の試料で 560 ± 1000 年の年代が得られた。

平成27年度に得られた上記の結果は、これまでに得られていた結果と同様に、同じ試料について年代を求めた場合には、年代が古くなるに従って各年代の差が開き、ESR年代が古くなるという傾向がみられた。これは、重晶石は複数の熱水活動によって生成したものが混合していると考えれば、ESR年代がそれらの平均を示すのに対し、放射非平衡年代では親核種が減衰することによって、平均よりも若い年代を示しているということによって説明できる。この差を利用して硫化物沈殿物の生成過程のモデルによる年代学的議論ができるはずであるが、これは今後の課題である。

一方、重晶石と同様の硫酸塩鉱物である硬石膏の放射非平衡年代測定を世界で初めて試みた。 Ra のイオン半径は Ba により近いこと、硬石膏試料に含まれる Ra 量が少なく、測定は難しく、ANA site から採取されたKIV673R02試料では測定ができなかった。それでも ^{228}Ra - ^{228}Th 年代測定法により、HPD#1621R04の試料について2.5年が得られたほか、 ^{226}Ra - ^{210}Pb 年代測定法によって、C0013の試料について7.3年と年代が求められた。硬石膏は純粋な分離が難しいため、 ^{226}Ra - ^{210}Pb 年代が大きくなっているのは、初生の ^{210}Pb を同時に測定しているためである可能性が高い。硬石膏は低温で海水に溶解するため若い年代となることが予想されたが、それと整合的であった。硬石膏の年代測定に初めて成功し、硬石膏の生成と溶解の過程を議論したり、ごく最近の熱水活動史を明らかにする新たな手法を確立することができた。硬石膏は重晶石よりより普遍的にみられるため、汎用的に年代が得られる可能性がある。

採択番号 15B049

研究課題名 現生爬虫類の眼球における各組織の相関関係の解明と化石爬虫類の視覚機能の復元

氏名・所属(職名) 山下 桃・東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 地球生命圏
科学講座(博士課程2年)

研究期間 H27/10/5-16

共同研究分担者組織 對比地 孝亘(東京大学)

【研究目的・期待される成果】

中生代の海洋生態系では、海生爬虫類が消費者のトップとしてのニッチを占めており、海洋生態系を理解する上で重要な役割を担っている。しかし、中生代の海生爬虫類について、潜水深度のような生活様式についての知見は乏しい。本研究では、現生爬虫類における眼の硬組織と軟組織のサイズおよび形態の関係性を定量的に明らかにし、それらを基に化石海生爬虫類の視覚機能の推定と潜水深度の復元を行うことを目的としている。

化石動物の生活様式を理解するための方法の一つとして感覚機能の推定があげられる。骨のような硬組織は化石として保存されやすいが、感覚器官のような軟組織は多くの場合保存されない。そのため化石動物の感覚器官の復元は困難であり、このような観点から生活様式を論じた研究事例は少なかった。現生生物を対象として感覚器官の硬組織と軟組織の関係性を定量化することができれば、化石として残っている硬組織から軟組織の大きさを復元することが可能になる。本研究では、現生爬虫類の眼の軟組織と硬組織の関係性を明らかにし、その知見を基に化石海生爬虫類の硬組織から眼の軟組織を復元する。それにより、化石海生爬虫類の視覚機能を推定し、中生代における海生爬虫類の生活様式を明らかにしていく。今後、同様の手法を用いて、硬組織しか化石として保存されていない他の古脊椎動物においても眼の軟組織の詳細な復元を行うことができるようになることが期待される。また視覚機能の推定は潜水行動だけでなく、夜行性/昼行性のような陸上動物の生活様式にも応用することができ、古脊椎動物学全体において新たな視点からの生活様式の復元、さらに光学的な環境変化と動物の生活様式の多様化のつながりへの理解が期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

共同利用研究ではマイクロフォーカスCTスキャナーを使用させていただき、トカゲ類の頭部及び眼球のCTスキャンを行った。従来のCTスキャンでは、軟組織と硬組織の識別のみであり、硬組織の観察・測定が主に行われてきたが、軟組織をルゴール溶液(L₁, KI)で染色することで筋肉や脳、眼球、さらに眼球

の内部の組織など各軟組織を識別することが可能になる。そこで、本研究ではあらかじめエタノール標本をCTスキャンして鞏膜輪(きょうまくりん)と呼ばれる硬組織を撮影、さらに標本をルゴール染色してCTスキャンすることで、眼球や眼球の内部の水晶体を撮影し、デジタルデータから3次元構築をして軟組織の計測を行った。鞏膜輪とは眼の内部(角膜の中)にある骨質の硬組織であり、十数枚の薄い骨片が瓦状に重なり合って形成されるリング状の組織である。ヘビ類やワニ類、一部のトカゲ類を除く爬虫類(鳥類を含む)や魚類に見られる。化石爬虫類においても保存されることがあり、化石動物の眼の組織として唯一観察できる組織である。

エタノール標本のCTスキャンと硬組織の計測は事前に行っており、今回の共同利用研究では、ルゴール染色した標本のCTスキャンを行った。具体的には、*Varanidae*(オオトカゲ類)、*Gekkonidae*(ヤモリ類)、*Iguanidae*(イグアナ類)、*Scincidae*(スキネク類)、*Agamidae*(アガマ類)を含む19属20種のトカゲ類の頭部、及び眼球の標本を撮影して各組織を計測し、硬組織と軟組織の相関関係の有無を調べた。その結果、鞏膜輪の内径と水晶体の直径に強い相関関係(相関係数:0.96)があることがわかった。さらに水晶体の径が鞏膜輪の内径に対し劣成長(鞏膜輪の内径が大きくなるほど水晶体の径が小さくなる)であることが明らかになった。これまで、鳥類とトカゲ類では、眼の構造が非常に類似していることが指摘されており、水晶体や鞏膜輪、眼球の直径、入射瞳の径など、各組織の大きさの関係についても同様な関係性があると考えられていた。水晶体の直径と鞏膜輪の内径の強い相関関係は鳥類においても同様に示されているが、鳥類は水晶体の直径と鞏膜輪の内径が等成長の関係にあり、本研究により、鳥類とトカゲ類では各組織の相対的な大きさが異なることが示された。これまでの、その類似性から化石爬虫類の視覚についての研究は現生鳥類に基づいていた。将来的には、眼球の直径や入射瞳の径(軟組織)と鞏膜輪の外径など各組織の相関関係も加え、現生鳥類とトカゲ類を合わせた関係性に基づく、より詳細な化石爬虫類の眼の軟組織の復元を可能にするものである。

採択番号 15B050

研究課題名 有機化学分析を用いた中生代珪質堆積物の堆積テクトニクス

氏名・所属(職名) 鎌田 祥仁・筑波大学 生命環境系(准教授)

研究期間 H27/12/14-25

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

中・古生界の珪質堆積岩(特に放散虫チャート)は遠洋域の堆積場を代表する堆積物として、大陸縁辺部の付加体形成史、かつて大陸間に発達した海洋の形成年代や堆積期間などの情報を提供する。特に西南日本の付加体を構成する放散虫チャートは年代論や堆積速度などの検討から、遠洋性堆積物と解釈され、広大な海洋の存在と広域な太平洋型の沈み込み帯を示唆する堆積岩とされている。一方で中・古生界の放散虫岩(放散虫チャート)は、大陸棚や背弧海盆、引張場を背景とする地塁・地溝でも堆積することが知られている。島弧や大陸同士の衝突を含む東南アジアの構造発達を検証していく上で、放散虫チャートを一義的に、遠洋性堆積物と解釈してしまうと、背弧や島弧縁辺部、または静的大陸縁辺での珪質堆積物を見落とす可能性が高く、そのテクトニクス史の誤解に繋がる。本研究では中・古生界の珪質堆積物について、無機分析だけでなく、有機分析による陸域からの影響を考慮することで、珪質堆積物の堆積場とそのテクトニクス背景をより正確に評価することを目的とする。これまでに、広域的な踏査と放散虫年代論をもとに、層序を構築し、パレオテチス海洋域において、遠洋性チャート、静的大陸縁における半遠洋性の珪質堆積物、背弧海盆域での放散虫チャートなどを識別してきた(例えば、Kamata *et al.*, 2009, 2012, 2014, 2015)。層序学的に裏打ちされた珪質堆積物について、無機的及び有機的化学組成の特徴を明らかにすることで、堆積場推定の識別法を確立することは、古環境の復元に留まらず、動的ダイナミクスを表す地体構造区分とテクトニクス史の解明に寄与すると考えられる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

平成27年12月12日から平成27年12月25日(12日間)に施設を利用した。今回の利用期間は、対象試料のバイオマーカー分析を行うための、抽出・分離・機器測定トレーニングと予備実験にそのほとんどを費やした。

分析トレーニングには池原先生に用意して頂いた試料(KH-07-4 COR-IPC sec.5.6)を使用した。まず

高速溶媒抽出装置、高速自動濃縮装置、およびガスクロマトグラフなどの機器の使用方法を学ぶとともに、シリカゲルカラムを用いた脂質の分離法などについても指導していただいた。

また対象試料について、バイオマーカー抽出の前にCHNS/O元素分析装置を用いて、全炭素含有量を確認した。その結果、対象試料である放散虫チャートは全炭素含有量が0.009~0.085%であり、一般的な海底堆積物の1/10程度しか炭素が含まれないことがわかった。そこで本研究では、海底堆積物を測定するために必要な分析量(2~3g)のおよそ10倍の量の試料から溶媒抽出を行う必要があることが判明した。今後この結果を考慮して十分な量の試料を準備する必要がある。

トレーニング用試料の分析を繰り返して、バイオマーカーの抽出がある程度適切に行えるようになったことを確認した後に、対象試料である放散虫チャートからの抽出を試みた。しかし対象試料の場合、抽出する行程が煩雑になってしまい、バイオマーカーの濃度を十分にあげることができなかった可能性がある。このためガスクロマトグラフ質量分析計を用いた構造解析が行えず、今回は炭素数既知の標準試料を測定しRetention timeを比較することで炭素数を決定した。この方法で得られた結果は、高分子量に対して低分子量のバイオマーカーを多く含むこと、高分子量のバイオマーカーに奇数炭素数優位性が明確には識別できないこと、などの特徴を示している。このことは、続成作用の影響などでバイオマーカー分子が改変した可能性を示唆しており、今後、十分に考慮していく必要がある。

今回の利用期間では、1試料当たりの分析量を増やすことで、濃度をあげることができたか否かが検討できなかった。次回の分析ではこれについて検討するため、1試料当たりで分析量を変えて測定を行いたいと考えている。また、測定する試料数を増やしていくことで、対象とする試料群についてのバイオマーカーの特徴を把握していくとともに、熱的分解に強いと考えられる脂肪酸についても、その特徴を明らかにしていく予定である。

採択番号 15B051

研究課題名 南大洋コンラッドライズで採取された最終氷期の暗色堆積物の地球化学：有機態・無機態窒素の存在量及びその窒素安定同位体組成からみた窒素循環

氏名・所属（職名） 山口 耕生・東邦大学 理学部（准教授）

研究期間 H27/11/30-12/11

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】

申請者は、これまで、貴センターの全国共同利用研究にて、陸上掘削で採取されたオーストラリア北西部のピルバラ地域の太古代の黒色頁岩を研究試料として、池原教授が管理されている元素分析計—オンライン安定同位体質量分析装置（EA-IRMS）を用いて、有機態と無機態の窒素の存在量と窒素同位体組成の測定を行い、太古代の海洋中での窒素循環、特に脱窒および窒素固定に関する研究を行ってきた。その結果、少なくとも約32億年前から、始原的代謝である窒素固定が現代と同じ同位体組成を持つ大気中の窒素や海底熱水中の窒素を用いて行われていたこと、さらには窒素の最も酸化された形態である硝酸の還元（脱窒）も行われていたことを、世界で初めて明らかにした。

2014年度より、池原教授による試料提供を受け、南大洋の最終氷期の堆積物コア試料（COR-1bPC）の分析を始めた。この試料は、上部の明色層および下部の暗色層からなる。季節的な海水成長に伴う海洋表面の部分的カバーにより大気—海洋相互作用が減少して、溶存酸素が深海まで行き渡りにくくなる。当時の海底で形成された嫌氣的暗色（有機物に富む）堆積物（コア観察より明らか）は、この過程によるものである可能性がある。

そこで東邦大学では、当時の海洋の酸化還元状態の解明を行うため、Fe・S・C・Pの存在形態別の存在量と安定同位体組成（Pは除く）に関する多角的な研究を展開している。本申請研究では、上記の全国共同利用研究での手法と経験を活かして、窒素の形態別存在量と同位体組成を測定し、南大洋の最終氷期（以降）の酸化還元状態に依存する窒素代謝の様相の解明に挑む事が**研究の目的**である。

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

本研究は、氷期から間氷期への遷移期での $p\text{CO}_2$ の変遷の制約が可能である等の点で、研究を執行する意義は高いと言える。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

研究実施内容

EA-IRMSを用いた有機炭素量、および有機物の炭

素同位体組成の測定

測定試料

南大洋におけるKH10-07航海で採取されたCOR-1bPCコア

得られた成果

リンおよび鉄の化学形態別存在量分析の結果と合わせて、以下に報告する。

大陸からの流入量を示す P_{det} （Detrital Phosphorus）の存在量は、最終氷期の方が間氷期よりも多く、それぞれ平均で0.004wt.%, 0.002wt.%であった。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 値は、最終氷期は間氷期よりも低く、それぞれ平均で-23.63‰, -21.73‰であった。これらの結果は、海水が最終氷期にコア採取地点であるConrad Rise（南緯54.2°）まで到達していたことを示唆する。

最終氷期では還元的な堆積環境で生成する黄鉄鉱が存在したため、海水によって大気—海洋相互作用が制限されて海中の溶存酸素濃度が減少し、還元的な堆積環境を形成したと考えられる。さらに、 P_{Fe} （Iron-bound Phosphorus）、 Fe_{ox} （Oxide-phase Iron）存在量の増減の繰り返しは、最終氷期の間に短期的な酸化イベントが起こっていたことを示唆する。

最終氷期から完新世への遷移期にあたるDeglacial Periodでは、完新世に移行するにつれて C_{org} 量は減少するが、制限栄養塩元素のリンの各形態と Fe_{ox} 、 Fe_{HCl} （HCl-soluble Iron）の存在量は、急激に増大した後で減少した。これは、海水の融解量が増加して栄養塩供給が増大し、同時に溶存酸素の供給も増加して急激に酸化的な環境に変化し、鉄酸化物量が増大し有機物分解が促進されたため、と考えられる。この溶存酸素の供給の増加は成層化の解消、南極周極流の南下に起因していると考えられる。

本研究により、最終氷期では、海水の存在が還元的な堆積環境を形成したが、鉄酸化物量の増減により、短期的な酸化イベントも起こっていたと示唆される。融氷期では、成層化の解消と南極周極流の南下による溶存酸素の供給増大が、リン・鉄の形態別存在量・有機物存在量の変化に反映されていた。

窒素存在量および窒素同位体組成の測定も試みた。全窒素存在量は極微量で、ほとんど測定限界に近かった。窒素同位体組成の測定に関しては、窒素含有量が極微量だったため、数試料分の燃焼ガス試料をコールドトラップで集めて分析する等の工夫をこらしたが、精度的に満足の行く結果が得られなかった。

採択番号 15B052

研究課題名 白亜紀の深海底生有孔虫の炭素酸素同位体比変動から見た海洋循環と水温変動

氏名・所属(職名) 大河原 秀祐・東北大学大学院 理学研究科 地学専攻(修士2年)

研究期間 H27/10/12-24

共同研究分担者組織 池原 実(海洋コア), 海保 邦夫(東北大学)

【研究目的・期待される成果】

底生有孔虫殻に含まれる炭素同位体比を測定することで過去の地球の海洋深層循環を求められる(Nunes and Norris, 2006).

海保研究室修士論文では上記の理論を基にし、暁新世から始新世にかけての海洋深層循環が復元された。この研究から、深層水の供給源が寒冷期には南半球高緯度、温暖期では低・中緯度であることが明らかとなった。

本研究では白亜紀の海洋深層循環を復元することを目的とする。対象とする年代は白亜紀のAlbianからMaastrichtianとする。研究地域は北大西洋と南大西洋、インド洋中緯度と太平洋低緯度である。

南大西洋の一部と、太平洋低緯度の同位体比のデータは先行研究より扱う。

今回の研究においても寒冷期と温暖期に着目して、底生有孔虫殻の炭素同位体比を測定し、深層循環の変化を明らかにする。温暖期と寒冷期で深層循環の違いが見られる事が予想される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

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

炭素・酸素同位体比測定は、無機地球化学実験室の安定同位体比質量分析計IsoPrimeで行った。準備物は測定する底生有孔虫殻とリン酸、液体窒素になる。試料が微量の場合は、それに対応するようにIsoPrimeを設定した。測定前はリン酸テストを行った。測定

時にはCO-1とJCp-1をスタンダードとして用いた。

同位体比の測定は6回行う予定であったものの、機械の調子の不良のため3回分の試料の測定となり、残りの試料の測定は後日池原先生により行われた。試料の用意において、重量が40 μ gに達しなかった場合は、個体数を増やして測定した。電子顕微鏡での写真撮影のため、いくつかの底生有孔虫殻を残した。

測定で出た炭素と酸素の同位体比は、データの補正が行われた。微量なサンプルの中には測定できなかったものも存在した。補正された同位体比データと先行研究の同位体比データをまとめた。南大西洋のSite 511とインド洋のSite 762のデータは、それらの地点の古水深より中層水のデータとした。

データのまとめより、海洋無酸素事象のOAE2を含めた温暖期では、深層水の起源が低緯度にあったこと、白亜紀の終わりごろに、北大西洋から南大洋、インド洋を順に経て太平洋までの現代型の深層循環が起きていたことを示せた。また、深層水と比べて中層水が古いことが明らかとなった。

採択番号 15B053

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

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

研究期間 H27/11/4-7

共同研究分担者組織 加 三千宣(愛媛大学), 他 学生3名

【研究目的・期待される成果】

本研究の目的は、湖沼・内湾堆積物を対象に古地磁気方位およびその他の磁気特性の変動を明らかにし、東アジアにおける古地磁気永年変化の詳細を解明することにある。日本では琵琶湖の堆積物から過去約10,000年間の標準曲線が提唱されているが(Ali *et al.*, 1999),他の地域においてもこの結果を検証し、古地磁気永年変化の標準記録を確立する必要がある。

別府湾の堆積物からは先行研究(Ohno *et al.*, 1991)によって信頼性の高い古地磁気の記録が得られているが、最近の採取されたコアについて高精度の対比と編年の研究(Kuwae *et al.*, 2013)が進展したことから、改めて古地磁気および環境磁気学の研究を立案した。特に歴史地震に対応するイベント層の認定あるいは火山灰層の対比によって、考古地磁気や火山岩の残留磁化方位と比較できる可能性もある。

本研究の成果は太平洋や東アジアの古地磁気データを充実させ、完新世のグローバルな古地磁気永年変化のモデリングの進展に貢献することが期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

地球磁場の観測や考古地磁気の資料が利用できない時代について、湖沼や内湾の堆積物の残留磁化方位をもとにした古地磁気永年変化のモデリングの努力が続けられている。しかし、古地磁気データの地理的分布はヨーロッパや北米に偏っているため、南半球や太平洋、東アジアで信頼性の高い古地磁気永年変化の記録を得る必要がある。別府湾では、北西部から採取されたピストンコア試料の残留磁化測定がおこなわれ、完新世の古地磁気永年変化の記録が報告されている(Ohno *et al.*, 1991)。これに加え、近年、別府湾南西部の堆積物(BP09-3コアなど)について高精度の対比とAMS ^{14}C 年代に基づく編年の研究(Kuwae *et al.*, 2013)が進展したため、改めて古地磁気および環境磁気学の研究を立案した。

本研究では、別府湾南部で別府一万年山断層帯の調査のために2015年に採取されたコアのうちBP15-2を対象として残留磁化の測定を行った。BP15-2コアは全長約20mで、主としてシルト質粘土からなるが、

タービダイトおよび火山灰の薄層を含んでいる。これらはBP09-3コアのイベント層に対比され、また深度約17.8mにアカホヤ火山灰(7.3ka)が存在することから、BP15-2の年代モデルを作成することができ。このコアは長さ1mのセクションに分割されており、それぞれのセクションから断面2cm×2cmのUチャンネル試料を採取した。これらについて、高知大学海洋コア総合研究センターに設置された超伝導磁力計Model 760Rを用いて残留磁化の測定および段階交流消磁実験を行った。

段階交流消磁の結果、BP15-2コアのほとんどの層準で安定な磁化成分が見いだされたが、イベント層では異常な伏角と偏角の値が認められた。イベント層を除く層準で、特に最近3,000年間の偏角・伏角の変動は、別府湾北西部の古地磁気永年変化の記録(Ohno *et al.*, 1991)と調和的であり、さらに琵琶湖の堆積物から求められた永年変化曲線(Ali *et al.*, 1999)や西南日本の考古地磁気永年変化(Shibuya, 1980)ともよく対応するものであった。

このように、別府湾の完新世堆積物には信頼性の高い古地磁気永年変化の記録が保存されていることが明らかになった。今後、BP15-2の近傍で採取されたBP15-1コアの磁化測定を行うとともに、3,000年前よりも古い堆積物についてより詳細な年代モデルを構築し、別府湾北西部のコアとの高精度対比を確立する予定である。

採択番号 15B054

研究課題名 河川を通した土砂と生元素の供給が河口干潟の形成に果たす役割

氏名・所属(職名) 小森田 智大・熊本県立大学 環境共生学部(講師)

研究期間 H28/1/12-14

共同研究分担者組織 学生1名

【研究目的・期待される成果】

河口域の土砂動態は河口干潟の地盤高や安定性に寄与し、底生動物の生息範囲を決める要因の1つである。地形の評価は、河川を通した土砂供給量や地盤高の測量調査などの海岸工学的なアプローチにより進められてきた。これに対して、近年、川がもつ役割として、河口域への有機物や無機態栄養塩の輸送の重要性が指摘されている。物質輸送に関する研究は、生態学関連の分野で盛んに行われており、有機物の安定同位体比に基づくアプローチにより主に進められてきた。本研究では、これまで個別に進められてきた河口域における土砂動態と生元素循環を融合し、河川からの物質供給が河口干潟の形成に果たす役割を明らかにすることを目的とする。

河口干潟は、無機態栄養塩類の吸着および取り込みといった浄化の機能、二枚貝類や稚仔魚の生育といった生物生産の機能を有する重要な環境である。このような環境を保全する上で、客土や土砂の移動防止のための枠、耕耘などの対処療法的な対策が進められてきた。従来の考え方に対して、本研究は、干潟が必要とする、川と干潟のつながりの評価を試みる点が他に類を見ない。さらに、異なる学問領域にまたがる評価手法を開発し、実践に移そうとする点が独創的である。このような知見は、河川や沿岸域の生態学に関する分野において、国際的にも先進的であり、学術的な価値も極めて高い。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本研究において、4月と7月の標高差が0-0.2mである場所の堆積物の鉛直構造において、堆積物表層のTOC含量、TN含量、含水率が梅雨前には表層から深度30cmの層までほとんど一緒なのに対し、梅雨後には表層0-15cmの層で増加、上昇していたことが示された。これに対して、有機物の質的には含有量ほど大きな変化は見られなかった。このことから、柱状堆積物を採取した地点においては有機物の組成に大きな違いが見られなかったものの、量的に大きく変化したことが示された。有機物含量の上昇した層に、土砂が堆積したと仮定すると、この地点で梅雨期に堆積した土砂の厚みは5-15cmとなる。この結果は、測量によって得られた標高の差(10-20cm)

と概ね一致していることを示している。

干潟全域のTOC・TN、 $\delta^{13}\text{C}$ の分布において、梅雨後に河口付近で有機物含量が増加し、陸起源有機物の割合が上昇していたことから、梅雨期に河川を通して陸から河口干潟へ有機物が流入したと考えられる。標高が上昇した地点では、有機物含量の変化量がTOCで $1.63 \pm 5.33 \text{ mg g}^{-1}$ 、TNで $0.12 \pm 0.44 \text{ mg g}^{-1}$ であったのに対し、標高が下降した地点では、TOCで $0.12 \pm 1.60 \text{ mg g}^{-1}$ 、TNで $0.02 \pm 0.16 \text{ mg g}^{-1}$ であったことから、梅雨後に標高が上昇した場所では有機物含量が増加する可能性が示された。84地点中、TN含量が増加した地点は45地点であり、干潟全域の53%でTN含量が増加していた。これを面積に換算するとTN含量が増加していた場所の面積は 11.79 km^2 であった。堆積した厚さを0.3mとして、 1 m^2 あたりのTN平均増加量を試算したところ、 439.6 g m^{-2} となる。これより、緑川河口干潟全域の梅雨期のTN堆積量を求めると、 $5,182 \text{ tN}$ という結果が得られた。2000年から2010年にかけての緑川の年間窒素負荷量は、 $3,000-7,500 \text{ tN}$ であった(環境省 2013)。このことから、本研究における梅雨期の緑川河口干潟へのTN堆積量の試算値は、緑川の年間窒素負荷量に匹敵する可能性が示された。

干潟におけるTNの堆積量が流入負荷のみによって賄われているとすれば、干潟への堆積量は供給量を上回ることとなり、矛盾を生じさせることとなる。これに対する解釈の一つとしては、河川を通した窒素負荷以外の別な供給源があげられる。本研究の調査地である砂質干潟の上流部には有機物を豊富に含んだ堆積物からなる泥質干潟があり、潮汐流に伴い砂質干潟へと有機物が供給されていることが報告されている(Yamaguchi *et al.*, 2004)。出水期においては、潮汐流よりもはるかに大きな力が作用することが予想される。つまり、本研究期間においては、泥質干潟から砂質干潟へと大量の有機物が供給され、堆積したと考えられる。このことから、本研究における試算値には、泥質干潟から砂質干潟への流入分が含まれており、砂質干潟への窒素供給源としては、河川だけでなく、河口近くの泥質干潟も重要な供給源となっている可能性が考えられる。

採択番号 15B055

研究課題名 IODP Exp.344コスタリカ西方沖コア中の有孔虫安定同位体分析による赤道域東太平洋の海洋環境変化の推定

氏名・所属（職名） 内村 仁美・東北大学大学院 理学研究科 地学専攻（博士後期課程2年）

研究期間 H28/3/6-26

共同研究分担者組織 西 弘嗣, 黒柳 あずみ（東北大学）

【研究目的・期待される成果】

IODP Exp.344にて海溝外側で掘削されたリファレンスサイトU1414は連続性が良いことが船上の概査研究で示されていたが、U1414と近いサイトU1381では約一千万年の不整合が確認されており、コスタリカ西方沖の海洋環境の特異性が指摘されていた。また現在のコスタリカ西方沖の海洋表層環境は複雑で、北方から流れ込むカリフォルニア海流と南方を流れる赤道逆流が混ざり合うだけでなく、コスタリカンプールと呼ばれる湧昇流の発達が確認されている。しかしながらコスタリカ西方沖の表層流及び湧昇流の時代変化を詳細に求めた例はない。この地域での海洋表層環境の特異性と時代変化を明らかにするためには湧昇流影響化にある地域で掘削されたコアの詳細な年代を求め、他海域のコアと比較する必要がある。そこで、U1414の高精度の酸素炭素同位体比を測定し、微化石層序、火山灰層序、古地磁気層序を統合して、このサイトでの年代モデルを確立することを目標とし、IODP Exp.344の乗船研究者を中心に計画を立てた。その計画の初期段階として、現在から更新世までの高解像度の酸素炭素同位体比を求めることを本申請の目的としている。また、浮遊性有孔虫殻と底生有孔虫殻を調べることで表層環境及び底層環境の違いを見ることで湧昇流が環境に与える影響を求める。本研究によって、現在から更新世までの期間で数千年スケールの解像度によって同位体比が求められる見込みである。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

今回の分析では、有孔虫殻の安定酸素同位体比からMISを認定し、リファレンスサイトU1414の上部の詳細な年代を決定する予定であった。しかし、追加でリクエストしたサンプルが年度内に届かない、機器の不調などのトラブルがあったため、分析できたサンプル数は当初の予定よりはるかに少なくなった。そのため分析量は十分ではなかったものの、それでも概ね1MaまでのMISを特定することができた。これにより、少なくともMIS11までは保存されていることがわかった。MIS11前後はMBE (Mid-Brunhes Event)

があったとされ、海洋環境変化があったと考えられるが、東赤道太平洋付近ではMBEの研究例はないため、大きな前進である。MISが決定したことにより、より詳細に東赤道太平洋の海洋環境の変動を求めることが可能になった。そこで決定したMISと既に分析していた底生有孔虫群集を比較した。その結果、MISの挙動と同じように、U1414の底生有孔虫群集は氷期ではより貧酸素環境に強い内生種や深い深度帯に存在する種が優勢し、間氷期ではより酸素を必要とする種が優先する傾向が確認された。MBEとの比較によると、MBE後に底生有孔虫群集の変化があり、直接的にMBEが底生有孔虫の群集変化に影響を与えたかは現在の解像度では不明である。追加試料が届いたため、底生有孔虫の群集変化について解像度を上げ詳細に調べる予定である。更に今までの研究結果と比較すると、陸側サイトU1413で大規模スランプが発生したと考えられる0.4Ma前後では、今回のリファレンスサイトの結果からこの海域において氷期から間氷期の移行イベントがあり、底生有孔虫群集変化からも海水準が変動した可能性が高い。よって、陸側サイトで大規模スランプが引き起こされた原因として、海水準変動により海底に係る圧力が変わり、不安定な状態になった可能性が一つの可能性として考えられる。また今回の分析内容について受託研究の共同研究者との研究打ち合わせも行った。打ち合わせで議論をする中で、今までの研究で得ていた有孔虫群集データと、今回の分析で得られたMISが決定した層準の比較から、いくつかの重要な過去の海底環境変動が示唆された。当初予定していたサンプルが年度内に届かなかったというトラブルがあったため、同年代を記録していると考えられるODPの2サイトの試料も合わせて分析をした。この内U1151はMIS8以前は記録されていないようであるが、MIS11前後は記録されているため、MBEなどの重要なイベントの海底環境の比較が行えるようになった。U1150はノイズと思われる値が多かったため、引き続き検討をしている。

採択番号 15B056

研究課題名 エチオピア洪水玄武岩を対象にした約30Maの地球磁場変動の解析

氏名・所属(職名) 石川 尚人・京都大学大学院 人間・環境学研究科(教授)

研究期間 H27/10/26-30, H28/1/25-2/3

共同研究分担者組織 山本 裕二(海洋コア), Tesfaye Kidane(アジスアベバ大学),
乙藤 洋一郎(神戸大学)
他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

本研究の目的は約30Maに約100万年間という短期間におきた火山活動であると考えられているエチオピア洪水玄武岩を対象にして、地球磁場変動、特に地磁気強度の変動を詳細に明らかにすることである。試料は、エチオピア・Lima Limo地域の約2,000mの溶岩層に対して、98層準の溶岩流から採取した。93層準から得られた古地磁気方位からは、主たる傾向として下位より逆-正-逆の地磁気極性の変化があり、加えて、各磁極期内の短期間の極性変化と極性移行期と思われる方向変化が多数認められた。そこで本研究では、古地球磁場強度の推定を行なうことで、方向だけからはわからない地磁気の変動期(極性逆転期や短期間の地磁気変動)の特定を行う。

本研究によりこの溶岩層が記録している地磁気変動を極短期間の地磁気変動を含めて詳細に解明することで、約30Maの地球磁場変動の詳細な様相を提示できること、30Ma頃の地磁気層序の見直しと高精度化ができること、古地磁気層序によるこの溶岩層の火山活動時期の推定が明確になること、が期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

貴センターの古地磁気・岩石磁気実験室のスピナー磁力計、熱消磁装置、交流消磁装置、非履歴残留磁化着磁装置、低温消磁装置を利用して、低温消磁-2回加熱ショー法により、絶対古地磁気強度の推定のための実験を行った。この実験に適する試料を選別するために、これまでに行っている熱磁気分析の結果を検討し、加熱に対する試料の熱変質の度合を評価した。その結果、試料を採取した98層準のうち38層準の試料が、加熱による熱変質の度合が小さく、古地磁気強度の推定実験に適するものと判断した。

選定した38層準のうち実験実施期間内に19層準の20試料に対して実験をすることができ、14層準の15試料から上記手法のデータの棄却の判定基準に合格する絶対古地磁気強度を求めることができた。

古地磁気強度が求められた試料の古地磁気方位から

仮想的地磁気極(VGP)を算出し、そのVGP緯度に基づいて絶対古地磁気強度を検討すると、以下の傾向が伺える。

(1) 高VGP緯度(北緯/南緯45°以上)を持つ試料の絶対古地磁気強度の平均は17.97 μ Tであり、仮想的地磁気双極子モーメント(VADM)は3.31 $\times 10^{22}$ Am²であった。その平均古地磁気強度は、Lima Limo地域の現在の地磁気強度(35 μ T)の約半分にあたる。Plenier *et al.* (2003)によると、0~0.3Maの平均VADMは約8 $\times 10^{22}$ Am²で、0.3Ma~300Maのそれは約5 $\times 10^{22}$ Am²である。高VGP緯度の試料の古地磁気強度が現在の地磁気強度より小さいことは、約30Maの地磁気強度が現在より小さかったことを示唆する。

(2) 低VGP緯度(北緯/南緯45°以下)をもつ試料(1試料)の強度は6.25 μ Tであり、VADMは1.21 $\times 10^{22}$ Am²であった。この試料の層準の上下の層準の試料は高VGP緯度を示している。低VGP緯度の試料の地磁気強度がこのように小さいことは、地磁気極性の変化時ではなくて地磁気方向が大きく変化する(地磁気エクスカージョン)期間においても地磁気強度が減少するという従来の指摘と調和的であり、その試料は地磁気エクスカージョンを記録している可能性が示唆される。

(3) 高VGP緯度を持つ試料であっても、地磁気極性が短期間で変動したことが古地磁気方位から示唆される層準の試料には、約8 μ Tと小さい古地磁気強度を示すものがあった。そのことから、その層準は高VGP緯度を示していても安定な磁極期を示しているものではなく、地磁気極性の移行期の変動を捉えているのかもしれない。

採択番号 15B057

研究課題名 IODP Exp.342 (北大西洋) での始新世～漸新世の浮遊性有孔虫の安定同位体比層序

氏名・所属(職名) 松井 浩紀・東北大学大学院 理学研究科地学専攻(博士後期課程2年)

研究期間 H28/1/18-24

共同研究分担者組織 西 弘嗣(東北大学), 山口 龍彦(海洋コア), 他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

新生代の気候変動を解明する上で、古環境変動の詳細な検討は重要である。南極氷床は始新世/漸新世境界に発達し、中期漸新世から前期中新世にかけて周期的に拡大、縮小し、漸新世/中新世境界において再び大規模に拡大したと考えられている。しかしながら、北大西洋域における始新世/漸新世境界、漸新世/中新世境界を連続的に記録した堆積物はまれであり、古環境変動の詳細な研究例はこれまで少なかった。本研究ではIODP Exp. 342で掘削された北大西洋ニューファンドランド沖の堆積物試料を用いて、始新統～中新統に相当する浮遊性有孔虫安定同位体比を測定し、高解像度の古環境復元を解明することを目的とした。具体的には、1) 当時の海洋表層水温の変動を推定する、2) 浮遊性有孔虫-炭素同位体比統合層序を設定することを目的とした。IODP Exp. 342の堆積物試料は堆積速度が速く、非常に保存のよい浮遊性有孔虫化石が産出するため、高精度の古環境復元が期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

IODP Exp.342によって掘削された北大西洋域の始新統～中新統の堆積物試料100点について、浮遊性有孔虫酸素、炭素同位体比の測定を行った。*Paragloborotalia siakensis*, *Dentoglobigerina venezuelana*, *Catapsydrax dissimilis*を測定に用いた。成長段階に応じた同位体比の影響を避ける為、*P. siakensis*について212-250 μm 、*D. venezuelana*について355-425 μm 、*C. dissimilis*について250-355 μm とサイズを限定し、それぞれ約14個体、4個体、8個体を使用した。複数種の浮遊性有孔虫の酸素同位体比の差に基づいて、氷床量の影響を除いた、鉛直温度勾配の変化を復元することができる。一方、浮遊性有孔虫の炭素同位体比の差から、生物生産性の高低を評価することができる。

深層種である*C. dissimilis*の酸素同位体比について、中期漸新世～前期漸新世(30.0～25.0Ma)にかけては顕著な変動が見られないものの、後期漸新世～前期中新世(25.0～23.0Ma)にかけて負の方向へのシフトが確認できた。後期漸新世温暖期(Pälike *et al.*,

2006)において、北大西洋の海洋深層水温が上昇したと考えられる。表層種である*P. siakensis*についても、後期漸新世～前期中新世(24.5～23.0Ma)にかけて負の方向へのシフトが確認でき、海洋表層水温が一時的に上昇したと推定される。また*D. venezuelana*については、*P. siakensis*と*C. dissimilis*の中間の値を示し、後期漸新世において中深層に生息していたことが確かめられた。先行研究における*D. venezuelana*の生息深度の解釈(Stewart *et al.*, 2012; Matsui *et al.*, 2016)と統合的な結果が得られた。

炭素同位体比について、表層種である*P. siakensis*と中深層種である*D. venezuelana*の2種の同位体比勾配は後期漸新世～前期中新世(24.5～23.0Ma)にかけて拡大している。複数種の炭素同位体比勾配の拡大は生物生産性の増加を示唆するため、後期漸新世～前期中新世にかけて北大西洋域の生物生産性が増加したと考えられる。また、前期中新世(23.0～22.5Ma)においては両者の同位体比勾配は縮小しているため、生物生産性は後期漸新世～前期中新世と比較して減少したと考えられる。

今回得られた安定同位体比の解析と並行して、浮遊性有孔虫生層序、群集解析を進めており、結果を統合することで、詳細な古環境変動を明らかにし、浮遊性有孔虫-炭素同位体比統合層序を設定する予定である。

採択番号 15B058

研究課題名 別府湾海底堆積物における環境変動解析

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 H28/3/14-19

共同研究分担者組織 山本 正伸(北海道大学), 池原 研(産業技術総合研究所), 竹村 恵二(京都大学),
他 学生1名

【研究目的・期待される成果】

別府湾堆積物には、海洋生態系、気候変動、地震活動、人間活動等、様々な環境や人類史に関わる情報が高精度で記録されている。先行研究では、過去2,900年間を通じてマイワシ鱗堆積速度に減少トレンドや100年スケールの個体数変動が見つかったこと、PDO(太平洋十年規模振動)の振幅は数百年スケールで変動し、巨大噴火が頻繁に起きた時代で変動の振幅が大きかったが徐々に減少してきたこと、12世紀以降別府湾周辺の植生が人為的に大きく改変されてきたこと、地震により形成されたイベント堆積物の年代決定から地震史が復元可能であること、九州で噴火した火山起源の火山灰の年代から火山噴火史の復元が可能であることが明らかになった。本研究では、過去6,000年間のマイワシ資源の長期的変化、植生の変化と人為的攪乱、地震及び火山噴火の頻度の変化を明らかにすることを目的とし、研究チームを組織し、多角的な成果をあげることを目指す。

本申請研究は、今年度別府湾掘削で得られた試料について、基礎的情報を得ることを目的とする。平成27年度前期共同利用研究(15A035)に引き続き、堆積構造、物性について解析し、各分析用試料を採取する。得た情報を、年代決定、イベント層解析、各種環境変動解析に役立てる。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

別府湾で掘削されたBP15-3, BP15-4, BP15-5, BP15-6の海底コア試料について、帯磁率と密度を分析し、柱状試料の物性データが得られた。岩相記載を合わせて層序を明らかにした。

今回対象としたコア試料は、別府湾湾奥沿岸部(大分川沖及び別府市沖)において音波探査で認められた海底斜面崩壊地形最前面にあたる地点のものであり、別府湾最深部に狭在する地震性タービダイトの起源域にあたると思われる。本共同利用研究では、堆積層の層序確立と、起源域と最深部域のイベント層対比を行うための情報を得ることを目的としている。

これまでの共同利用研究において別府湾最深部のイベント層序を確立してきたが、最深部(水深72m)に見られるイベント層が別府市沖の斜面崩壊地形前面の水深71mのBP15-3(BP15-1サイトから800m西)

で見つかった。最深部BP09-3, BP09-4, BP09-5, BP09-6で記載された19枚のイベント層のうち、Ev3~Ev17までのイベント層が認められた。厚いタービダイト層のうち、Ev3は最深部で30-40cmの厚さであるのに対し、BP15-3では50cmの厚さがあった。また、Ev5については、最深部で50cm弱、BP15-3で58cm、洪水性のタービダイトを呈するEv14は最深部で10-16cmであるのに対し、BP15-3では厚さ42cmであり、その他の薄いタービダイト層(Ev2, 4, 8, 9)の層厚も、BP15-3で厚い傾向にあることがわかった。一方で、Ev15は最深部で厚さ17-27cmで基底部に1-3cmの砂層を有するが、BP15-3では厚さ22cm程度で基底に数mmの砂層しかなかった。このように斜面崩壊地形前面と最深部のイベント層の特徴の違いは、タービダイト層の起源域を特定する上で貴重な情報となる。一方、海底斜面崩壊側に位置するBP15-4(水深64m)では、厚いイベント層が上部(深度0-135cm)に存在するが、これが最深部のどのイベントにあたるかについてはBP15-4のイベント層と特徴が異なるため不明である。Ev7に似た洪水性堆積物とその下位に存在するが、対比の根拠は不十分である。

BP15-1サイトより8km東に位置する大分川沖斜面崩壊地形前面のBP15-5(水深54m)でも、イベント層の記載を行った。深度0-51cm, 深度165cm-268cmに厚いタービダイト層が存在し、深度680cm-748cmに火山灰層が認められた。この火山灰層は、層準と色で言えばK-Ah火山灰層であると推察された。K-Ah火山灰層は、最深部では1,750cm前後に挟まれる。したがって、BP15-5では堆積速度が遅いか上述の厚いタービダイト層をもたらした密度流によって半遠洋性堆積物のかなりの部分が剝離されている可能性がある。BP15-5には、1-4cm厚程度のタービダイト層が多数狭在する。最深部のイベント層との特徴が異なるので、各イベント層の対比は困難である。大分川沖斜面崩壊地形側水深49mのBP15-6にも深度0-9cm, 67-149cm, 620-680cmにタービダイト層が存在する。他にもcmオーダーのタービダイトが多数認められる。BP15-5と同じく最深部のイベント層との対比は困難である。これらのイベント層の対比には年代決定が今後重要であるが、水平的にイベント層の層相変化が予想されるため、最深部との間にさらに数本10m級のピストンコア試料採取が必要である。

採択番号 15B059

研究課題名 海洋における鉛安定同位体組成の分析法の開発

氏名・所属(職名) 則末 和宏・新潟大学 理学部(准教授)

研究期間 H27/12/3-4, H28/1/27-29, 3/24-25

共同研究分担者組織 石川 剛志(海洋研究開発機構), 岡村 慶(海洋コア), 蒲生 俊敬, 小畑 元(東京大学), 他 学生1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(204Pb, 206Pb, 207Pb, 208Pb)の同位体組成(206Pb/207Pb比など)は、物質循環のトレーサーとして、人為起源物質による海洋環境変動の理解のための基礎データとして重要であり、グローバル海洋における微量元素・同位体に関する国際共同研究プロジェクトGEOTRACES計画において、key parameterの一つに指定されている。当該プロジェクトの一環として、大西洋については、欧米のグループがPb同位体組成の分布を解明しつつある。インド洋については、申請者等のグループとMITのグループの共同研究として、Pb及びPb同位体組成の分布が解明されており、その一部の成果は高いインパクトファクターを誇る学術雑誌PNASに公表された。一方、我が国が使命を担う北部及び西太平洋については研究が遅れており、同位体組成の分布の知見は乏しい現状にある。金属元素濃度が低い海水についての同位体計測技術が我が国に備わっていないことや、太平洋深層水中に豊富に含まれるSiが分離分析を妨害することが要因であった。これまでに申請者等は、Siに影響されない独自のPb濃縮分離法を検討してきており、妨害元素の分離と海水中Pbの濃縮に関して、良好な結果を得ている。申請者の研究目的は、この濃縮分離法をNeptune MCICPMSによる同位体測定と組み合わせ、太平洋試料に適用したPb同位体組成の分析法を確立することである。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

当該共同利用研究において、申請者の濃縮分離法技術を外洋海水試料の分析に十分適したものとするために、本所現有のNeptune MCICPMSによる測定と組み合わせ、性能評価等の検討を行った。特に、次の諸課題を検討し、満足度の高い成果をあげることができた。検討課題別に実施内容と成果を以下に示す。

(課題1) 海水中の超微量レベルでの精確なPb同位体比計測が可能か。

要求水準の測定精度を実現するための必要海水量を協議し、400ml程度の海水からPbを定量的に濃縮することで同位体比計測が可能であることを確認した。

(課題2) 海水中の主要塩類・妨害元素W, Re, Hg, Tlなどの分離除去操作を行うことで、十分な精度の同位体比の測定値を得ることができるか。

あらかじめ海水中Pbを除去したクリーンな外洋海水に、上記妨害元素の溶液を海水濃度レベルよりやや過剰に、また同位体比値が既知のPb標準溶液を、

それぞれ海水濃度レベルになるように添加し、エチレン三酢酸型キレート樹脂カラム(ノビアスキレート、日立ハイテクノロジーズ社製)を用いる二段階カラム分離濃縮および蒸発乾固に供し、得られた乾固物を本所クリーンルーム施設にて溶液状態に戻した後、Neptune MCICPMSに導入しPb同位体比を計測した。その結果、上記の妨害重元素は問題ないレベルにまで除去できており、得られた分離精製試料中のPb同位体比は、添加に用いたPb標準溶液の同位体比と高精度で一致することが確認できた。

(課題3) 分析操作全体を通して、汚染の影響を最小限に抑制できているか。

海水中のPb濃度は極めて低い為、Pb同位体比を高精度で測定するために、操作ブランク値を低くすること及びその同位体比がサンプルの同位体比測定値に影響しないことが重要である。新潟大のクリーン分析技術と本所のクリーン設備・技術を最大限活用し、全操作を通して $0.30 \pm 0.02 \text{ pmol/kg}$ ($n=5$)と十分低く、安定したブランク値を実現することに成功した。また、ブランク試料を海水試料よりも高倍率で濃縮することで数値の精度を高めた。ブランクの同位体比の実サンプル同位体比への影響を評価するために、操作ブランク値の補正あり同位体比と補正なし同位体比をそれぞれ求め比較したところ、変わらない結果となった。これにより、操作ブランク値は濃度の点のみならず、同位体比の点においても、問題ないことが分かった。

(課題4) 全操作により十分な再現性が得られるか。同位体分別の影響は大きくないか。

ここでは、太平洋のKH-14-6次航海で採取した外洋海水を用いた。申請書にはKH-12-4次航海と記していたが、手法検証には同じ同位体比を示す重複分析用試料が必要であったため、KH-14-6で同一水深から多量に採取された均一海水を用いることとした。現代の外洋水中Pb濃度は、 $3 \text{ pmol/kg} \sim 80 \text{ pmol/kg}$ 程度の範囲にある。 3 pmol/kg を示す深層水(3,000m)を分析したところ、深層水として妥当な繰り返し精度を得ることができた。また、 60 pmol/kg の外洋海水試料の繰り返し精度はさらに良好であった。また、濃縮過程での同位体分別は極めて小さいことも確認できた。

以上の検討により、外洋海水中Pb同位体比を高精度で測定する準備が整ったと考えられ、次年度以降の申請研究では外洋海水の分析を強力に進めることができるものと期待される。

採択番号 15B060

研究課題名 過去2,000年間の日本における3次元地磁気永年変化曲線の構築と考古遺物の年代決定への応用

氏名・所属(職名) 北原 優・九州大学大学院 地球社会統合科学府(博士1年)

研究期間 H27/10/4-26, 12/6-28, H28/3/1-10

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

【研究目的・期待される成果】

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

焼土試料は、大阪府堺市・泉北丘陵地域一帯に分布する日本最大の須恵器窯跡群である陶邑窯跡群より採取されたものである。これらの被熱遺構は1,000度以上の高温に曝されたことによって非常に保存性の良い熱残留磁化を記録していることが知られている。これらの考古試料に対して最新の実験手法を適用することにより、遺跡操業当時の地球磁場の変化をより詳細に復元できることが予想されるほか、操業年代が未知の考古遺跡に対する年代推定のためのツールとしての応用も期待される。

上記の実現のため、本申請では紀元後5~9世紀の年代区間に属する陶邑試料に対し、綱川一ショー法による古地磁気強度実験を実施し、遺跡操業当時の考古地磁気強度変動を復元したほか、得られた古地磁気強度推定値の信頼性を検証するため、熱磁気分析をはじめとする岩石磁気実験および段階熱消磁実験を実施した。

さらに、試料品質が保証されている別サイト群の焼土試料に対しても同実験を適用し、実験手法の検討も併せて行った。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

上記の研究目的を達成するため、申請者らは2015年の10月5-26日および12月7-28日の計44日間にわたり、コアセンターの古地磁気・岩石磁気実験室を利用して各種実験を実施した。以下の本研究において実施した各種実験の詳細と、その成果に関して記す。

(1) 邑久窯跡群の焼土試料に対する綱川一ショー法実験

本研究計画の主課題である陶邑試料に対する綱川一ショー法実験を実施する前段階として、岡山県備前市佐山地区の3窯、佐山新池1号窯跡・佐山東山窯跡・佐山東山奥窯跡から採取された焼土試料22個に対して同実験を実施した。本試料は申請者が岡山理科大学における卒業論文研究および高知大学における修士論文研究で扱ったものであり、試料品質は別途実

施した岩石磁気実験(熱磁気測定、低温磁気測定、ヒステリシス測定、FORC測定)によって検証済みである。また、同試料から別途復元された古地磁気方位のデータは、日本における考古地磁気標準曲線(Hirooka, 1971)のデータと非常に整合的である。

綱川一ショー法実験は、交流消磁装置付き全自動スピナー磁力計(夏原技研製DSPIN)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、佐山新池1号窯跡では5個、佐山東山窯跡では3個、佐山東山奥窯跡では6個の試片から一定信頼度を有するデータが得られた。続いて、これら各試片のデータからサイトごとの平均強度を求めたところ、新池1号窯と東山窯の平均強度が誤差の範囲で一致し、東山奥窯のみ異なるという結果が得られた。この結果は考古学的な遺跡編年と非常に整合的である。またこれらの平均強度値を全球的統計データベースGEOMAGIA50(Donadini *et al.*, 2009; Korte *et al.*, 2009)から抽出した日本の先行研究データと比較したところ、本研究データは先行研究データよりも全体的に低めの値を示す傾向にあることが分かった。

(2) 陶邑窯跡群の焼土試料に対する綱川一ショー法実験および岩石磁気実験

(1)に引き続き、陶邑遺跡群の13窯から採取された焼土試料のパイロット試片(各窯につき1個、計13個)に対して綱川一ショー法実験を実施した。実験に使用した機器類および実験条件は(1)と同様である。なお本実験は高知大学理学部の西山大樹氏との共同研究として実施した。

結果として計3個の試片から一定信頼度を有するデータが得られた。この結果を日本における先行研究データ((1)参照)と比較したところ、本研究データは先行研究データに比べて相当低めの値を示すことが分かった。

続いてこの原因を調べることを目的として、磁気天秤(夏原技研製NMB89)を用いた熱磁気分析と熱消磁炉(夏原技研製TDS-1)およびスピナー磁力計(夏原技研製DSPIN)を用いた段階熱消磁実験を実施した。熱磁気実験の結果、本試料中の主磁性鉱物がチタノマグネタイトであることと、試料が室内加熱に対して概ね安定であることが判明したため、本研究試料が強度実験に適した試料であることが改めて確認できた。また熱消磁実験の結果をザイダーベルト図に投影したところ、極端に低い強度値を示した試片に関しては、同図が高温側で折れ曲がり、2個の固有磁化成分を持つことが判明した。

採択番号 15B061

研究課題名 ガスハイドレートマウンドでのメタン由来炭酸塩の鉛直分布からガスハイドレート域の発達過程を明らかにする

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

研究期間 H28/1/6-8, 3/7-9

共同研究分担者組織 村山 雅史（海洋コア）

【研究目的・期待される成果】

ガスハイドレートが海底面で発達するような、メタンフラックス（メタンの深部から浅部への移動量）の高い場所では、メタン由来炭酸塩が海底面付近に発達する。なので、そのような炭酸塩が分布している層準は、メタンフラックスが高い時期の海底面と仮定できる。ガスハイドレート域から回収された堆積物中の、メタン由来炭酸塩の鉛直分布から、メタンフラックスが高かった時期を明らかにする。フラックスの変化に伴い、ガスバブルの漏えい活動も変化すると予想されることから、同コア試料堆積物の粒度を組み込むことで、フラックスの強弱を明らかにしていく。メタン由来炭酸塩が最初に産出する層準から、ガスハイドレート域の始まりの時期を、繰り返し産出する層準からメタンフラックスに変化を与える原因を明らかにできると期待される。堆積物の粒度分析の異常の有無から、より詳細な変化が明らかになると期待される。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

粒度分析；研究目的の達成には粒径分布の異常の定義が必要である。そのために、今日のガスシープ活動域の堆積物を優先に分析を行った。ガスシープサイトから離れたレファレンス試料が持つ粒径分布のパターンはほぼ一定（10 μ m以下を最頻値とし、細かい方、荒い方に向かい粒子の頻度がなだらかに下がる分布。最頻値の全体に占める割合は4~4.5%辺り）であり、基準とすることができた。バブル漏えい箇所直近（1~2メートル程度離れている）から回収した堆積物、異常な堆積構造をセメントした炭酸塩中の泥を分析したが、ほとんどが基準型と同じパターンで、期待した異常が見られなかった。今日の漏えい活動が、粒径分布異常を引き起こすには不十分なのか、漏えい活動の影響が非常に狭い範囲にしか及ばず、用いた試料が十分な条件を満たしていなかったのかは、今のところ判断がつかない。今後、試料回収点が異なる試料を用意し、比較する必要がある。数試料（漏えい地点近くの表層堆積物と、礫状の小さな炭酸塩塊をセメントしている炭酸塩）で、

非常に小さくではあるが、基準型からずれる粒径分布パターンが得られた。最頻値の位置は基準型と同じであるが、全体に占める割合が3.5%ほどに下がり、代わりに荒い方の粒子頻度が増えるため、基準型からずれている。この小さな変化が、試料準備中に起こる人為的な物なのか、有意義な違いなのかを区別する必要がある。今後、これらの試料から再度分析試料を準備・計測し、再度違いが出るかを確認する。

CTスキャン；申請後に行ったPS15航海では、レファレンスコアは非常に良い状態で得られたため、CTで堆積構造がきれいに確認できた。また、IRD（氷床によって運ばれた岩石）と思われる、密度の高い物質がコアの一部に見られた。IRDと断定できれば、別研究ではあるが発表できる成果に繋がるので、今後別研究として進める。ガスハイドレート域のコア試料は、ガスハイドレートの分解に加え、炭酸塩が分布する堆積物に合わせた掘削方法のため、CTで扱えるコアがほとんど回収できなかった。そのため、過去にピストンコアで回収・保管されているコア試料に分析対象を変更した。海底面から数メートルのコア堆積物全体に炭酸塩が分布していると思われていたが、今回の計測で、炭酸塩の分布における不均質性が初めて明らかになった。炭酸塩が見られない部分や、周囲に比べ炭酸塩の産出頻度が下がる部分が確認された。また、上越海丘でのコアでは、通常の堆積構造中に、特定の時代（層準）だけに炭酸塩が分布していた。このような不均質性は、ガスハイドレートマウンドの発達と関係していると予想される。今後も研究を継続する必要がある。

採択番号 15B062

研究課題名 低緯度域における三疊紀前期の安定炭素同位体比と気候変動

氏名・所属(職名) 吉田 孝紀・信州大学 理学部理学科(教授)

研究期間 H28/3/23-25

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

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

この研究成果は、三疊紀前期の高温期の終息過程のモデル化に重要なデータを提供することになる。特に、石灰岩から得られた安定炭素同位体比変動を年代学的検討が進んでいる南中国地域と比較することで、低緯度域における詳細な海洋環境の復元が可能となる。また、北インドやヨーロッパの同時代の堆積物の同位体比変動と比較し、乾燥化・寒冷化イベントの地理的広がりを解明でき、気候変動のグローバル性の議論が可能となるはずである。

【利用・研究実施内容・得られた成果】

三疊紀前期は古生代末の大量絶滅をもたらした地球環境の大きな変化が継続していた時代と考えられる。その後の環境変化の状況を探るために、三疊紀前期～中期の地層に着目した。

オマーン北部、スメイニ地域に分布するスメイニ層群・マカム層は、三疊紀系下部のグリースバツハ階からディエネリ階を主体とし、スミス階・スパース階を経て、三疊系中部のアニス階にまで達する地層とされている。この地層はかつて南半球の低緯度地域に位置したアラビア地塊の上に堆積し、三疊紀初期から中期にわたる低緯度帯の環境条件を保存していると考えられる。今回、このマカム層の石灰岩試料78試料について安定炭素・酸素質量分析機MAT 253を使用した同位体比分析を行った。採取した試料の層準は下部三疊系(スミス階・スパース階)から中部三疊系(アニス階)であり、主に石灰泥岩からなっている。

試料の分析によって、これらの石灰泥岩は $-2\sim+2$

‰ の $\delta^{13}\text{C}$ 値と $-15\sim-16\text{‰}$ の $\delta^{18}\text{O}$ 値を保存していることがわかった。 $\delta^{18}\text{O}$ 値は現在の海水の値と比較して非常に低いため、続成段階での再平衡作用を被っていることが推定される。一方、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は $\delta^{18}\text{O}$ 値とは無関係に変動することから、初生的な海水における同位体比を保存している可能性が示唆される。

この $\delta^{13}\text{C}$ 値について詳しく検討すると、三疊紀前期のスミス期では -2‰ から $+2\text{‰}$ までの大きな変動を保存している。特にスミス期とスパース期境界での著しいポジティブな変化(-2‰ から $+1.8\text{‰}$)への変化は明瞭であり、上記の時代境界を明瞭に認識できた。また、スミス期中期における高い同位体比($+2\text{‰}$)の状況も明瞭であり、スミス期全体の詳細な時代を認識できた。

一方、スミス期の直後のスパース期では、南中国で作成された安定炭素同位体比層序と明瞭な一致を見いだせず、本地域ではスパース階上部を欠いている可能性が浮かび上がった。更には安定炭素同位体比の大きなネガティブな変化(-1.3‰)から、スパース階下部に重なる地層が、三疊系上部のカールニア階である可能性が示唆された。試料採取地の西方延長からはカールニア～ノール階の二枚貝化石が報告されており、この地域では中部三疊系の大部分を欠いていると判断できる。

今回新たになったマカム層の層序と時代認識をもとに、現在進めつつある泥岩の化学組成による気候変動の復元を進めてゆくつもりである。昨年度までの分析結果からは、スミス期前期での高温気候が泥岩の化学組成をもとにした古風化度の検討から明らかとなっている。ここで、スミス期後期での古風化度が明らかとなれば、三疊紀前期での気候状況の復元が可能となると考えられる。

採択番号 15B063

研究課題名 表層型ガスハイドレート産出域の岩石磁気学的研究

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

研究期間 H27/12/7-12

共同研究分担者組織 なし

【研究目的・期待される成果】

ガスハイドレートの産出する還元的な環境の堆積物の磁気特性を調べることで、表層型ハイドレート分布域の磁気特性や堆積構造を調べる。具体的には以下のような研究を行う。(1) ガスハイドレートの産出する場での磁気特性を調べ、磁性鉱物の種類、量、大きさなどの変化から堆積環境や続成過程について調べる(2) ガスチムニー形成やその後のガス流出に伴う堆積構造の変化を、磁化率異方性を用いて調べる(3) 近年、海底堆積物の残留磁化を担う主要な成分として注目されている生物起源の磁性鉱物について(特にグレイガイト)の研究を行う。

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

【利用・研究実施内容・得られた成果】

本利用では、2015年夏～秋に実施されたPS15調査航海(多目的作業船POSEIDON-1)で得られた日本海東縁(隠岐周辺と上越沖)のガスハイドレート賦損域とその周辺で得られた海底堆積物試料の古地磁気・岩石磁気測定をおこなった。2015年度の利用では、隠岐周辺と上越沖でコアリングされた230試料(7cc古地磁気用キューブ)の古地磁気測定と磁化率測定とその異方性測定を主に実施した。はじめに磁化率および磁化率異方性測定をおこない、超伝導磁力計による交流消磁、古地磁気方位測定、非履歴性残留磁化測定を実施した。各海域、層序の磁気特性を調べるため6試料の低温磁気測定、磁気ヒステリシス、保磁力の予察測定を行った。今後環境磁気のためFORC測定も試みた。利用した装置は、Kappabridge(KLY-3S)、超伝導磁力計(SRM-Model 760R)、MPMS帯磁率計、交番力磁力計(AGFM)である。

まずPS15航海中に船上で導入されたループセンサー型の磁化率計(MS3/MS2C)と古地磁気キューブから得られたdiscrete試料の磁化率の値の相互確認をおこなうため、PS15航海中に採取されたリファレン

スサイト(ガスハイドレートが産出しない海底堆積物)から採取されたwhole-roundコア試料と半割後のarchive-halfコア試料から得られたdiscrete試料の測定結果の比較を行った。船上で測定したwhole-round試料の磁化率と海洋コア総合研究センターの古地磁気実験室で実施したdiscrete試料の磁化率の値と変化パターンは概ね一致し、船上での磁化率測定の確からしさを確認することができた。

隠岐周辺海域で得られたリファレンスサイトの古地磁気伏角は交流消磁、主成分解析の結果、概ね安定な古地磁気方位を示すことを確認でき、ガスハイドレートが産出された堆積物の周辺の古地磁気方位は不安定であった。隠岐周辺海域のリファレンスサイトから得られた古地磁気伏角から50mbsf付近で地磁気の極性逆転の可能性を示した。このことから隠岐周辺海域の堆積物は、上越海域、周辺の日本海堆積物に比べて堆積速度が遅いことが唆される。

今後、各海域、層序で得られた堆積物試料の詳細な岩石磁気測定をおこない、船上で得られたガスハイドレートとその周辺堆積物の磁化率の測定結果を用いてガスハイドレートを含む泥質堆積物の含有量推定を試みる。

採択番号 15B064

研究課題名 Stable isotopes of benthic foraminifera carbonate at cold seep areas of the eastern margin of the Japan Sea and surrounding areas and comparing with data from non-seep areas

氏名・所属（職名） Saeidi Ortakand Mahsa・明治大学 ガスハイドレート研究所（研究推進員）

研究期間 H27/12/7-12, H28/1/25-30

共同研究分担者組織 池原 実（海洋コア）

【研究目的・期待される成果】

Cold seeps are a source of oceanographically and atmospherically relevant compounds such as methane and sulfide and that is why reliable proxies of seep activities are needed to reconstruct their activities. Species composition of foraminiferal assemblages and chemistry of their tests are considered reliable proxies for paleoceanographic parameters and processes.

The main purpose of this study is to measure the stable isotopic compositions of living foraminifera from active seepage sites to assess the effects of methane on foraminiferal carbonate and determine the relationship between cold seeps and stable isotope composition of live species associated with them.

The results of this research will be expected to assist more understanding on the influences of hydrocarbon seepage on benthic foraminiferal $\delta^{13}\text{C}$ values. In addition, the geochemical results of modern seep foraminifera might be providing basic and reliable robust proxy that can be used to semi-quantitatively reconstruct environmental parameters from fossil foraminifera such as possible interaction between isotope carbonate of the test of foraminifera and gas venting in geological records.

【利用・研究実施内容・得られた成果】

Stable isotope analyses of living (stained) specimens of 6 species of benthic foraminifera, Shell materials including gastropods and bivalves from cold seep areas of the Hidaka Trough were measured using an IsoPrime isotope-ratio mass spectrometer at inorganic geochemistry laboratory at the Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, Japan.

The aim of this research was to investigate the effects of methane on the geochemistry and faunal characteristics of benthic foraminifera assemblages and to discuss potential applications of foraminifera for

reconstruction of methane release in the past and present. Sediment cores for this research were collected from eight chimney sites and one reference site with gravity corer in July 2015.

Geochemical analyses of living (stained) benthic foraminifera in the research sites doesn't show highly negative $\delta^{13}\text{C}$ values comparable to those fossil (unstained) benthic foraminifera that are reported from seep sites such as Gulf of Mexico (Sen Gupta and Aharon, 1994) or Monterey Bay (Martin *et al.*, 1999); however differences in $\delta^{13}\text{C}$ values for living benthic foraminifera of a given species were observed within a single core or between cores at chimney sites, which are unusual. For instance, chimney site cores contain live specimens of *Bolivina spissa* with carbon isotope values ranging from -0.37‰ to -1.97‰ . In contrast, at reference core the $\delta^{13}\text{C}$ composition of *B. spissa* varies little and remains approximately constant around -0.70‰ over the length of the core. Variable carbon isotope values were also evident in other species such as *Chilostomellina fimbriata*, which was varied by as much as 2.9‰ between chimney sites.

These results suggest that $\delta^{13}\text{C}$ values of foraminifera tests are influenced by methane seepage and different pore-water chemistry. Therefore, variations in isotopic composition can suggest temporal variations in seep activities and the differences in carbon isotope values will be expected to increase with the activity of the seeps.

採択番号 15C001

研究課題名 IODP Exp. 325 drilled 34 boreholes in submerged reefs east of the Great Barrier Reef (GBR) to study late Quaternary sea level and environmental changes and their impacts on reef communities and reef growth.

氏名・所属(職名) Humblet, Marc・名古屋大学 理学部 地球惑星学科 (准教授)

研究期間 H27/7/8-10

共同研究分担者組織 井龍 康文 (東北大学)

【研究目的・期待される成果】

Significance: Cores drilled into fossil submerged reefs along the shelf edge of the Great Barrier Reef offer a unique opportunity to reconstruct the history of sea level and reef growth over at least the past 169 ka. Variations on biotic content within the cores provide a window on the responses of reef ecosystems during rapid environmental and sea level changes corresponding to glacial-deglacial cycles.

Background: Variations in coralgal assemblages since the end of the last glacial period recorded in the IODP Exp. 325 cores have been analyzed in details. Combined with over 500 U/Th and C14 ages, the data were used to reconstruct sea level and reef growth history.

Objectives and expected outcome: The present sampling party focused on the older Pleistocene (>27 ka) sections. The reexamination of these cores for the identification of scleractinian corals and sampling of algal crusts and sediments are intended to clarify the evolution of coralgal assemblages and sedimentary environments within the cores. In addition, additional CT scan images of cores were acquired to characterize and quantify changes in bioerosion in response to sea level and environmental changes.

【利用・研究実施内容・得られた成果】

The older Pleistocene (>27 ka) sections of IODP Exp. 325 cores were reexamined in details to reassess the taxonomy of scleractinian corals in these sections. Samples of algal crusts were collected for the taxonomic identification of coralline algae. The samples of algal crusts are being analyzed by Professor Yasufumi Iryu (Tohoku University). In addition, bioclastic sediments were also sampled for grain analysis which will be conducted in Dr. Jody Webster's lab (University of Sydney). These data will be used to define down-hole variations in coralgal assemblages

and sedimentary facies and interpret the observed shifts in terms of bathymetric changes. Samples taken at Kochi Core Centre are also being screened for U-Th dating which will be performed by Dr. Alex Thomas (University of Edinburgh). The paleobathymetric data combined with U-Th ages of reef limestones will be used to constrain sea level and reef growth history since at least 169 ka.

The X-ray CT scanning of about 42 m of core sections was performed to complement the existing data set. The CT scan images were used to quantify bioerosion activity and analyze the relationships between variations in relative abundance and intensity of different types of bioerosion traces (sponges, bivalves and worms) and major events in sea level and reef growth history. The CT data are currently being analyzed by Madhavi Patterson, a PhD student of the Geocoastal Research Group at the University of Sydney.

Additional samples of corals and algae were also taken from one borehole of the Ribbon transect of IODP Exp. 325 (borehole 49B, sample request 033355 IODP). New ¹⁴C ages were obtained from these samples at Prof. Yusuke Yokoyama's lab (University of Tokyo), which helped constrain the timing of reef growth in this borehole.

Another goal of the visit at the Kochi Core Centre was to verify the position of turbidite deposits in hole 823 of ODP Leg 133 (sample request 031206 IODP). The sampling of these turbidites was carried out by the staff of Kochi Core Center. The sediments are being analyzed at Dr. Angel Puga-Bernabeu's lab (University of Granada) and Dr. Jody Webster's lab (University of Sydney).