

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 17 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400485

研究課題名(和文) 中生代初頭における異なる気候区での古風化変動史の比較

研究課題名(英文) Early Mesozoic paleoweathering history in low and middle latitude areas in the northern margin of Gondwana

研究代表者

吉田 孝紀 (YOSHIDA, Kohki)

信州大学・学術研究院理学系・教授

研究者番号：00303446

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、中生代に南半球中緯度帯に位置していたオマーンやネパールの三畳系の古風化度の差違から、両地域をまたいだ広域的な気候条件を探ることを目的とした。両地域の検討の結果、三畳紀最初期には強い風化を進める環境、たとえば高温環境が広域的に発達していたと考えられる。その環境は2百万年程度継続したが、その後、寒冷化や乾燥化などが起こり、大きな気候変動が生じた。これらは Gondwana 大陸北縁のテチス海南岸での広域の変動に相当する可能性が高い。一方、三畳紀後期では高温多湿の気候環境が出現したと考えられるが、海水準変動などの複合的な現象である可能性もあるため、今後の検討が必要である。

研究成果の概要(英文)：This study aims the reconstruction of the Early Mesozoic climatic environments around southern Tethyan margin on the basis of the survey in Oman Mountains and Nepal Himalaya. The former was located in lower latitudinal area and latter was in middle latitudinal area in early Mesozoic period.

As a result, the intense weathering environments, i.e., high temperature climate, was developed in both areas during Early Triassic time. The duration of the intense weathering environments is possibly approximately two million years. Then, the environments changed to dryer and cooler situation. These environmental change is considered to have appeared in the wide area around northern part of the Gondwana continent. Meanwhile, it is considered that the intense weathering also appeared in late Triassic time. However, this climate pattern is still obscure because of complex effects by compositional change due to chemical weathering in hinterland and drainage system caused by relative sea level change.

研究分野：地質学

キーワード：三畳紀 中生代 Gondwana 古風化 気候変動

1. 研究開始当初の背景

古生代ペルム紀末の大絶滅は顕生代最大の絶滅事件である。この事件の後も、生物群の回復と絶滅が幾度も繰り返されたため、全体的な生態系の回復は著しく遅れ、およそ三畳紀前期全ての期間(約 500 万年)が費やされた。同時に、海水の安定炭素同位体比は三畳紀前期を通して著しく変動し、流体圏には生物の継続的回復が困難な条件が幾度も出現したとされる。

研究代表者は、この生態系回復遅延の原因として高温期と温暖期が繰り返して海洋循環変動や気候変動を招き、生態系回復にストレスを与えたと考えた。これまでの中央ネパールでの泥質岩化学組成の研究において、三畳紀初期の新テチス海南部で、強く風化が進む時期とほとんど進まない時期が交互したことを見いだした。

一般に泥質岩の化学組成は後背地の平均的な化学組成を反映していると考えられる。この化学組成は、気候区毎に個性的な土壌構成と集水域に露出する岩石構成に影響を受ける。従って、供給源地の岩石構成が不変であれば、泥質岩の化学組成の時間的変化は土壌構成の変化を示し、気候条件の変動を示す可能性が高い。そのため、研究代表者が見いだした古風化変動は地域的な気候条件の変遷を示すと考えられる。しかし、これまでのネパールヒマラヤでの調査では、最高温期である三畳紀最初期と安定した温暖期である三畳紀中期以降の連続的セクションを見いだせず、古風化変動史の解明には至らなかった。

また、当時のネパールヒマラヤは温帯域の高緯度に位置していたため、風化変動が鋭敏に記録された可能性がある。しかし、一般には熱帯・亜熱帯域の大陸周辺海域が最も生物多様性の高い地帯であり、この地域の回復が地球規模の生態系回復には重要である。従って、古風化変動を鋭敏に記録する温帯域と、生態系回復に最も影響を及ぼす熱帯・亜熱帯域の古風化変動記録との比較が、広域的な変動の解明のために不可欠である。

そのため、新テチス海沿岸の南半球温帯域と熱帯・亜熱帯域の異なる気候区において、ペルム紀から三畳紀全般にわたって、海成堆積物中に記録された後背地の風化強度の変化を比較し、大量絶滅期～回復期の古風化変動史を解明することが必要である。後背地の風化によって生産された土壌は泥質物となって海洋に堆積し、示準化石とともに古風化の時間的変化を記録する。即ち、当時の海成泥質岩の古風化記録から、気候変動史を解明できると考えられる。

加えて、本研究では古風化記録により現実的な解釈を与えるために、供給源岩や供給地域が判明している、現世から近い過去の堆積物を対象として、源岩組成が古風化度推定に及ぼす偏差についても検討を行った。この検討を加えることで、より具体的な風化度の復

元を実現できると考えられる。

2. 研究の目的

この研究は次の3つの事柄の解明を目的とする。

(1) 2つの気候区で大量絶滅からの回復期の堆積物を調査し、堆積相の変化を検出する。

特に、古生代末から中生代初頭ではネパールヒマラヤは温帯の高緯度域に位置しており、この地域の泥質岩は気候変動に伴う古風化条件の変化を鋭敏に記録していると考えられる。そこで、従来の研究代表者らの調査の問題点を補完するために、新たに三畳系の完全な層序が残り、生層序が確立している西ネパール・ドルポ地域において、ペルム系下部～三畳系中部までの堆積環境の変遷を検討し、古風化変動史の解明をめざす。

一方、グローバルな生態系に大きな影響を与える亜熱帯に位置した地域において、古生代末から中生代初頭の堆積環境を検討する。そのために、調査対象を生層序が確立しているオマーン山脈の中部ペルム系～中部三畳系とし、堆積環境の検討を行う。

(2) 源岩組成と古風化度の関連を解明する。

日本列島の第三系やヒマラヤ近傍の第四系・第三系における供給源岩と古風化度の測定を行い、起源の異なる堆積物にける古風化度記録の差を検討することで、供給源が判然としない地質体における古風化度推定をより現実的なものとするを追求する。

最終年度にはこれらの検討結果を総合し、三畳紀前期の古風化変動の異なる気候区間での比較を行う。この結論をアメリカ地球物理学ユニオン(AGU)の研究集会で報告する。

3. 研究の方法

平成 26-28 年度において、温帯と亜熱帯に堆積した中生代初頭の古風化変動史を解明し、これを比較する。そして大量絶滅からの回復期における広域的な古気候変動の存在を解明する。

平成 26 年度：温帯で堆積した西ネパールのペルム・三畳系で高精度の堆積環境の復元を行い、堆積物の化学分析から温帯域の古風化変動史を編む。

平成 27・28 年度：亜熱帯で堆積した北オマーンのペルム・三畳系の高精度な堆積環境の復元を行い、化学分析によって古風化変動史を解明する。

そのために次のステップを掲げる。

1) 泥質岩の無機化学組成を測定し、温帯と亜熱帯域各 1 例の後背地構成と風化環境の変遷を解明する。更に、両地域の古風化変動史の比較によって、異なる気候区を巻き込んだ広域的変動の存在を明らかにする。

2) 風化条件変動を堆積物の化学組成から解

明するには、供給源岩が大きく変化していないことが前提となる。供給源岩の“指紋”として砂質岩に含まれる希土類元素組成を測定し、供給源を検討する

3) それぞれの調査地域の石灰岩の安定炭素同位体比を測定し、化学層序を編む。この化学層序は当時のグローバルな炭素循環変動を記録しており、有効な鍵層として使用できる。

4) 2つの気候区での古風化変動の同時性とそれをもたらした要因を解明する。

4. 研究成果

(1) ネパール中央部での地質調査：平成 26 年度のネパールの調査においては、当初予定していた西ネパール、ドルポ地域が天候不順に見舞われていたため、中央ネパール、ムクチナート南部地域に検討対象を変更した。この地域に分布する三畳系の岩相変化の詳細な把握と試料採取のために、調査期間を平成 26 年 8 月中旬～9 月上旬の 15 日間として現地調査を実施した。しかし、この地域の下部三畳系は非常に薄層であり、露頭欠如のために十分な試料採取が困難であった。また、中部および上部三畳系は断層による構造的な攪乱を被り、層序の保存状況は不良であった。そのため、採取した試料の層準の把握は困難であった。

一方、平成 27 年度・28 年度では新たにムクチナート北部・西部地域を調査対象として設定した。調査期間は平成 27 年 8-9 月、平成 28 年 9 月、および 11 月である。この地域で、新たに下部三畳系の露出を見だし、柱状図の作成と共に試料採取と主要元素・微量元素の化学分析に取り組んだ。新たなセクションは、主に中部三畳系～上部三畳系の石灰岩と泥質岩の互層から構成されるが、断層を挟んで碎屑物を大量に含んだドロマイト質の下部三畳系石灰岩が分布していた。年代決定には既に報告されている安定炭素同位体比エクスカージョンを用い、信州大学理学部設置の蛍光 X 線分析装置と新潟大学理学部設置の ICPMS を利用して不溶性元素である REE の濃度を検討し、風化残留による元素の濃集などの、各種の元素濃度の垂直変動を検討した。その結果、ペルム系・三畳系境界直上の堆積物では再堆積に伴う碎屑物の混入が多く、特定層準での Zr の濃集は認められるものの、風化残留物である Al₂O₃ の濃集トレンドは見いだせなかった。しかし、下部三畳系上部では高い Al₂O₃ 濃度と REE 濃度を示す堆積物が検出された。安定同位体比エクスカージョンから見積もると、これらの元素の濃集期間は短く見積もってもインデュアン期からその後のオレネキアン期前半に及ぶ。その継続時間は約 2 M.y. 以上と見積もられる。一方、中部～上部三畳系では K 濃度の明瞭な減少期が見いだされた。その時期はカールニア期初期であり、継続期間は少なくとも 4-6 M.y. と推定された。

(2) オマーン北部での地質調査：現地調査では、オマーン山脈北部のスメイニ地域においてペルム系と三畳系に相当するスメイニ層群マカム層の詳細な柱状図の作成とサンプル採取を行った。調査期間は平成 26 年 12 月上旬～中旬の 14 日間、平成 27 年 12 月中旬～下旬の 14 日間であった。

このスメイニ層群はペルム紀から白亜紀にかけて大陸縁辺に堆積した地層であり、下部三畳系は主にストロマトライト石灰岩を含む遠洋性石灰岩と遠洋性石灰岩・半遠洋性泥岩の薄互層から構成される。特に最下部三畳系は非常に薄層のミクライト質石灰岩とやや泥質な遠洋性石灰岩の互層であり、生物擾乱構造をほとんど含まない。下部三畳系の上部から中部三畳系にかけては、遠洋性石灰岩と半遠洋性泥岩の互層が厚く発達する。上部三畳系はやや砂質な石灰岩、泥岩、泥灰岩とチャートからなる。これらの地層の詳細な年代決定には先行研究によるコノドント化石 (Richoz et al., 2010) と石灰岩の安定炭素同位体比エクスカージョンを利用した。

マカム層の下部を占めるペルム系上部では海底下の斜面崩壊に起因する重力流堆積物が卓越する。一方、三畳系においても斜面崩壊に由来する堆積物はチャネル堆積物として頻繁に含まれるものの、その層厚はペルム系に比べて相対的に薄い。これらは浅海性の石灰岩礫を含む含礫泥岩や、層厚数 m の礫岩から構成され、層状のシート状堆積物や側方連続性の不良な塊状堆積物として出現する。そのため、この地域はペルム紀後期では斜面環境にあったものの、三畳紀には斜面前面の堆積盆底環境に移行したと考えられる。

このスメイニ層群堆積時である、ペルム紀後期から三畳紀での古風化条件と供給源の変化を検出するために、採集した泥岩試料の主要元素について化学分析を行った。これによれば、マカム層の泥質岩は標準的な大陸の泥岩(例えば PAAS; Post-Achaean Australian Shale)に類似した組成を持ち、Al₂O₃ や全鉄に富み、SiO₂ に乏しい特徴を示す。しかしペルム紀・三畳紀境界直上では Al₂O₃ と REE の濃集が検出された。この傾向は三畳紀最初期のインデュアン期末期まで継続する。このことは、三畳紀の最初期では大陸風化強度は非常に高く、その強度が徐々に低下してきたことを示す。この地域において三畳紀最初期の高い風化強度が継続した時間は、三畳紀最初期から 1.7 M.y. 程度の間と考えられる。

また、この特徴的な化学組成を示す層準は岩相変化とは関わりなく出現している。そのため、泥岩組成の差違を生じさせた陸上域の化学風化条件の変動は海水準変動やテクトニクスとは独立に生じていたと考えられ、気候変動による可能性がある。

一方、中部～上部三畳系に挟まれる遠洋性泥岩は海退期での陸源性物質の供給を示し、低い風化強度を示す。遠洋性泥岩に記録

された不溶性元素の濃集度と比較すると、海水準変動に伴う短期間での風化条件の変動があった可能性がある。ただし、これらは混入する碎屑物の粒度変化を反映している可能性が残る。

(3) 供給源岩と古風化度の関連：日本の白亜系、第三系およびインド洋深海域に分布するベンガル海底扇状地堆積物を対象として、堆積物の化学組成と古風化度の変化について検討を行った。この検討では、三重県北部から滋賀県南部に分布する鮮新統、岐阜南東部に分布する中新統・鮮新統、インド洋のベンガル深海扇状地の第三系～第四系、ネパールの第三系を取り上げ、重鉱物構成を用いた供給源岩の推定と粘土鉱物や全岩化学組成を用いた古風化度の推定を行った。

結果として、日本の中新統・鮮新統では、供給源岩と古風化度は一見すると関連が乏しいが、希土類元素濃度をもとに供給源岩をグループ分けし、そのグループごとに古風化度を評価すると、それぞれが異なる古風化度を示すことがわかった。たとえば花崗岩に起源を持つグループでは高い古風化度を示すのに対し、玄武岩・安山岩などに起源を持つグループではやや低い古風化度を示す。一方、日本の白亜系やベンガル深海扇状地、ネパールの第三系ではそのような傾向は認められず、源岩構成も単一グループとして取り扱うことができ、古風化度も多様性が低いことがわかった。ただし、堆積物の粒度による古風化度の差は大きく、粒度構成との関連性や堆積時の粒子分別作用の効果について、更に検討する必要性が示された。

(4) 三畳紀最初期の古風化環境変動：オマーン・ネパールの2つの地域の下部三畳系から得られた堆積物は、粒度による多様性が少なく、単純な供給源から由来したものが多く、そのため、大部分は古風化度の評価には非常に適した試料といえる。しかし、オマーン地域の中部～上部三畳系の一部では古風化度の差が粒度変化による可能性が残ることから、古気候変遷の詳細かつ広域的な議論が可能な層準は下部三畳系に限定される。

検討地域を通観した場合、三畳紀初期のオレネキアン期末期では共通して大陸風化強度の低下が認められる。この現象は寒冷化や乾燥化イベントと考えられる。従って三畳紀最初期の強風化を招いた気候条件は、この時期までに大きく衰退したと考えられる。従って、三畳紀最初期の2 M.y.の間、強風下環境は南半球の中緯度帯に広く及び、その後、地域的に分化したか、衰退したものと考えられる。これらはゴンドワナ大陸北縁のテチス海南岸での広域の変動に相当する可能性が高い。一方、上部三畳系のカールニアン期での風化強度の変動は、海水準低下期での粒度変化を反映している可能性があり、風化強度の見積もりには他の手法の併用が必要といえ

る。

このように、ネパール・オマーン両地域での検討から、三畳紀初期において広域的な気候条件の変動があったことが判明したため、当初の目的は達成されたと考えられる。しかし、三畳紀後期においては多角的な分析手法の導入が課題であることが判明した。また、オマーン地域では碎屑物の供給源となった岩石が現在も近傍に露出している可能性があるため、その供給源の特徴や化学組成を把握し、過去の堆積物と比較するとことで現実的な古風化度の見積もりが可能となると考えられる。具体的にはオマーン地域西部やアラブ首長国連邦に分布する古生界や先カンブリア系がどのような碎屑物を生産するかを現地調査によって解明し、それらをオマーン地域の三畳系と比較することが必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

1. Nozomi Hatano, Kohki Yoshida, 2017, Sedimentary environment and paleosols of middle Miocene fluvial and lacustrine sediments in central Japan: Implications for paleoclimate interpretations. *Sedimentary Geology*, 347, 117-129. (査読あり)

2. Amar Deep Regmi, Kohki Yoshida, I Peng Cui, Nozomi Hatano, 2017, Development of Taprang landslide, West Nepal. *Landslides*, 14, 929-946. (査読あり)

3. Mayuko Nishio, Kohki Yoshida, 2014, Tectonic constraints to Cretaceous magmatic arc deduced from detrital heavy minerals in northeastern Japan - evidence from detrital garnets, tourmalines and chromian spinels. *Cretaceous Research*, 48, 39-53. (査読あり)

4. Kohki Yoshida, Toshio Kawamura, Shigeyuki Suzuki, Amar Deep Regmi, Babu Ram Gyawali, Yuka Shiga, Yoshiko Adachi and Raj Megh Dhital, 2014, Continental weathering in the Early Triassic in Himalayan Tethys, central Nepal: Implications for abrupt environmental change on the northern margin of Gondwanaland. *Jour. Asian Earth Science*, 79PA, 288-301. (査読あり)

5. Amar Deep Regmi, Kohki Yoshida, Hidehisa Nagata, Biswajeet Pradhan, 2014, Rock toppling assessment at Mugling - Narayanghat road section: A case study

from Mauri Khola landslide', Nepal. CATENA, 114, 67-77. (査読あり)

〔学会発表〕(計 23 件)

1. Yoshida, K., 2016, Heavy mineral assemblages in Early to Middle Miocene sands from the Bengal Fan based on International Ocean Discovery Program (IODP), Expedition 354, preliminary report. Himalaya, Karakorum and Tibet Workshop, Aussois, France, 2016/ 5/9-12.

2. Hatnao, N., Yoshida, K., 2016, Comparison of the weathering condition between the middle Miocene and the early Pliocene in Japan –on the basis of Paleosols and Geochemistry. Himalaya, Karakorum and Tibet Workshop, Aussois, France, 2016/ 5/9-12.

3. Yoshida, K., Cruz, J., Gyawali, B.R., Osaki, A., Hatano, N., Manoj M.C., France-Lanord, C., Spiess, V., Klaus, A. and IODP Expedition 354 Science Party, 2016, Heavy mineral assemblages in Lower-Middle Miocene sediments in the Bengal Fan, IODP Exp. 354. AGU Fall meeting, T51D-2965, San Francisco, 2016/12/16.

4. Hatano, N., Yoshida, K., 2016, Paleoweathering condition in middle Miocene to early Pliocene period in Japanese Islands: From paleopedology and chemistry of muddy sediments. AGU Fall meeting, 153848, San Francisco, 2016/12/16.

5. 吉田孝紀・中嶋 徹・大崎 愛・松本悠暉・Gyawali B. R.・Regmi A. D.・Rai L. K.・酒井治孝, 2016, IODP Exp. 354 ベンガルファン堆積物とヒマラヤ山脈前陸盆地堆積物における重鉱物構成の比較. R8-P-7, 日本地質学会第 123 年学術大会講演要旨(東京), 2016/ 9/12 .

6. 中嶋 徹・吉田孝紀・松本悠暉・Regumi Amar Deep・Rai Larit・酒井治孝, 2016, ヒマラヤ山脈前縁盆地堆積物シワリク層群下部の重鉱物分析に基づく後背地の削剥史:西部～中央ネパールにおける例. R8-O-1, 日本地質学会第 123 年学術大会講演要旨(東京), 2016/ 9/11 .

7. 葉田野希・吉田孝紀・笹尾英嗣・久保田満・足立佳子, 2016, 瀬戸層群下部陶土層の化学組成の地域間比較:新第三紀の古風化条件復元に向けて. R8-O-2, 日本地質学会第 123 年学術大会講演要旨(東京), 2016/ 9/11 .

8. 吉田孝紀・ギャワリ バブラム・アディカリ ソースティク・中嶋 新・大崎 愛・葉田野 希, 2016, IODP Exp. 354, ベンガルファンの堆積物記録と重鉱物組成. 日本地球惑星科学連合大会(幕張メッセ), MIS16-P01, 2016/ 5/26.

9. 加藤倫平・植田勇人・吉田孝紀, 2016, 北海道, 白亜系蝦夷層群中部から下部の凝灰岩の U-Pb 年代による層序対比. 日本地球惑星科学連合大会(幕張メッセ), SGL-37-P02, 2016/ 5/22.

10. 中嶋 徹・吉田孝紀・Regumi Amar, Rai Larit, 2016, 西部～中央ネパール, 南部シワリク層群下部における砂岩記載と地域間比較. 日本地球惑星科学連合大会(幕張メッセ), SGL-37-O1, 2016/5/22

11. 葉田野希, 吉田孝紀, 足立佳子, 2016, 瀬戸内区における中期中新世と鮮新世の古風化条件:陸成泥質堆積物の地化学組成. 日本地球惑星科学連合大会(幕張メッセ), HCG26-06, 2016/ 5/22.

12. 大崎 愛・Gyawali Babu・吉田孝紀・葉田野 希, 2016, ベンガルファンから採取された深海砂の重鉱物組み合わせによるヒマラヤ山脈上昇史の検討. 日本地球惑星科学連合大会(幕張メッセ) SGL37-P06, 2016/ 5/22.

13. 本庄 連・吉田孝紀, 2015, オマーン北部、オマーン山地の Alwa 層における frutexites の化学組成と分類. 地球惑星科学連合大会(幕張メッセ), HCG35-P06, 2015/5/27 .

14. 葉田野 希・吉田孝紀・足立 佳子, 2015, 中部中新統土岐口陶土層の古土壌における化学組成と粘土鉱物組成. 地球惑星科学連合(幕張メッセ), HCG35-06, 2015/5/27 .

15. 葉田野 希・吉田孝紀・笹尾英嗣・足立 佳子・岩野英樹・檀原 徹, 2015, 土岐口陶土層における源岩構成の多様性. 地球惑星科学連合学会(幕張メッセ), HCG35-05, 2015/5/27.

16. 松本悠暉・吉田孝紀・酒井治孝, 2015, シワリク層群中部～上部中新統砂岩における砂岩組成とザク口石組成. 日本地質学会第 122 年学術大会講演要旨(長野), R-8-P2, 2015/ 9/10.

17. 葉田野 希・吉田孝紀, 2015, 瀬戸内区新第三系における古土壌構成の変遷:中部中新統と上部鮮新統の比較. 日本地質学会第 122 年学術大会(長野), R8-P-4, 2015/9/10.

18. 勝家康太郎・吉田孝紀, 2015, 北海道天塩中川地域に分布する蝦夷層群の泥質堆積

物に含まれる粘土鉱物組み合わせの意義．日本地質学会第 122 年学術大会講演要旨(長野), R8-P-1, 2015/9/10.

19. 吉田孝紀・葉田野 希, 2015, オマーン山地, 下部三畳系半遠洋性堆積物の岩相と化学組成．日本地質学会第 122 年学術大会講演要旨(長野), R8-O-2, 2015/9/10.

20. 吉田孝紀・宮嶋千恵・志賀由佳・葉田野希, 2014, テチスヒマラヤの上部三畳系に記録された大陸風化状況の変化．日本地質学会第 121 年学術大会講演要旨(鹿児島) R9-O-7. 2014/9/13 .

21. 葉田野 希・吉田孝紀, 2014, 岐阜県に分布する瀬戸層群下部陶土層の古土壌学的検討に基づく中部日本中期中新世の陸上風化環境の検討．日本地質学会第 121 年学術大会講演要旨(鹿児島), R-9-O7. 2014/9/13 .

22. 葉田野 希・吉田孝紀, 2014, 新第三系中新統陸成相における堆積盆地内の古土壌を用いた河川地形の復元．日本地球惑星科学連合大会(横浜), H-CG37-P02 . 2014/4/30.

23. 吉田孝紀・葉田野 希・森 沙織・入江志織・足立佳子, 2014, 強い風化条件下での珪長質深成岩を起源とする石英砂とカオリナイト質泥の形成．日本地球惑星科学連合大会(横浜), H-CG37-03 . 2014/4/30.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

吉田 孝紀 (YOSHIDA Kohki)

信州大学・学術研究院理学系・教授

研究者番号：00303446