

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05678

研究課題名(和文) インド洋・ベンガルファンコアの連続的解析に基づくヒマラヤ山脈の隆起・削剥史の解明

研究課題名(英文) Uplift and weathering history of Himalaya based on successive analyses of the Bengal Fan core

研究代表者

吉田 孝紀 (Yoshida, Koki)

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：ベンガルファンは、ヒマラヤ山脈の形成を受けて誕生した深海扇状地である。この堆積物からボーリングコア試料を採取し、その中の重鉱物の組み合わせやその化学組成の時代変化を利用して、堆積物の供給源の解明を目指した。その結果、以下のことが明らかとなった。約1700万年前においては、既にインド北部～北西部においてヒマラヤ山脈が成立し、1200万年前までに活発に砕屑物を生産していた。約1200万年前では、ヒマラヤ山脈の前面にあたる低ヒマラヤ地域が隆起したが、その後の約900万年前には再び高ヒマラヤ地域が隆起して現在のヒマラヤ山脈のような山脈に変化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒマラヤ山脈・チベット高原の形成は、アジア一帯に強いモンスーン気候の発達をもたらした。しかし、広いヒマラヤ山脈のどの地域がいつ隆起していたのか、を知る方法は非常に少ない。この研究ではベンガル深海扇状地のボーリングコアを利用し、ヒマラヤ山脈の具体的な隆起の時期や地域を明らかにした。結果として、約1700万年前までにインド北西部～北部まで、広域的にヒマラヤ山脈は形成されていたと考えられる。約1200万年前に、ヒマラヤ山脈前面のレッサーヒマラヤ地域が隆起し、その後、約900万年前から再度ヒマラヤ山脈の核心部である高ヒマラヤ地域が大規模に隆起し、現在の姿に至った。

研究成果の概要(英文)：The Bengal Fan was formed directory by the formation and uplift of the Himalaya Mountains. This study focuses the evolution history of the Himalaya on the basis of the heavy mineral assemblage and chemical composition of the specific detrital minerals. As a result, this study reveals follow historical change of the Himalaya. 1) until 17 Ma, the Himalayan range had been formed with uplifting of the High Himalaya Crystalline series, 2) around 12 Ma, Lesser Himalayan Range was uplifted, 3) around 9 Ma, High Himalayan range uplifted widely and present type Himalayan Range was formed in this time.

研究分野：地質学

キーワード：ヒマラヤ ベンガルファン 中新世 重鉱物

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ヒマラヤ山脈・チベット高原の形成は、アジア一帯に強いモンスーン気候の発達をもたらし、ユーラシア周辺の気候を大きく変化させた。同時に山脈の活発な風化と浸食は大気二酸化炭素量の低減に貢献したと考えられている。一方、ヒマラヤ山脈そのものの形成時期やメカニズムについては、わからないことが多い。近年、ヒマラヤ山脈東部の大規模な上昇が、従来の考え方よりも約 2000 万年も新しい、漸新世(34Ma)あるいは前期中新世(18Ma)以降である可能性が示され、この山脈の形成の関わる議論は新たな展開を迎えている。

このようなヒマラヤ山脈成立の時期の解明において、インド洋北部のベンガルファン(ベンガル深海扇状地)の堆積物はヒマラヤ山脈・チベット高原の隆起を直接反映して形成され、この山脈・高原の形成史を解明できる希少な材料である。

2015 年初頭に実施された国際海洋掘削プロジェクト(IODP)第 354 次航海では、ベンガルファンの基底部から現世に至る約 2400 万年分の堆積物を採取した。このコア試料を利用し、砕屑物組成のデータを集めて、ヒマラヤ山脈の最初期から現在までの上昇史を解明することとした。

### 2. 研究の目的

この取り組みでは、ベンガルファンコア試料中の重鉱物の組み合わせやその化学組成の時代変化を利用した供給源の時代的変動の解明を目指した。特に「ヒマラヤのどの地域や地質帯が、いつ上昇したのか」の解明を目的とした。これによって、ヒマラヤ山脈形成における上昇域の特定とその時代変化を解明することが可能となると考えられる。

### 3. 研究の方法

ベンガルファンにおける国際掘削プロジェクト(IODP Exp. 354)で取得した海底コアから重鉱物を取り出し、その鉱物構成と化学組成を検討した。特に、砕屑性ざくろ石は普遍的に含まれることから、その化学組成の変化を追跡した。また、ネパールヒマラヤを流れる河川から砂試料を採取し、重鉱物分析を行った。これによって、ヒマラヤ山脈に分布する様々な地質体が生産する砕屑物の標準的鉱物構成を明らかにした。両方の結果を合わせ、ネパールヒマラヤを流れる河川砂堆積物の検討結果と、ベンガルファン堆積物の時間的変化を比較した。

### 4. 研究成果

(1)ベンガルファンから得られた海底コアから重鉱物を取り出し、その鉱物構成と化学組成を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

中新世前期において、ベンガル深海扇状地の供給源となる地質体には、藍晶石や珪線石、十字石を含む高度変成岩が露出していた。

砕屑性ざくろ石の化学組成について、その時代変化を検討した。それぞれの試料から得られた測定値を Mange and Morton(2007)の Py-Alm+Sp-Gro+And からなる三角ダイアグラムにプロットして、その変化を議論した。結果として、中新世前期(17Ma)においてはヒマラヤ山脈の中核部の高度変成岩を含む変成岩類からの供給が卓越していた。しかし、中期中新世(12-9Ma)では、それらに加え、低ヒマラヤや中程度の変成岩からの供給が増加した。中新世後期以降(9Ma 以降)再び高ヒマラヤの高度変成岩からの供給が増加し、現在と同様の状況となった(図を参照)

(2)ネパールヒマラヤにおける河川から砂試料を採取し、重鉱物分析を行った。これによって、ヒマラヤ山脈に分布する様々な地質体が生産する砕屑物の標準的鉱物構成を明らかにできた。その特徴は以下のようにまとめられる。

テチスヒマラヤ地域では、電気石・シリコン・ルチル等を主成分とする重鉱物を産する。

高ヒマラヤ地域では、角閃石・ざくろ石を主成分とし、珪線石・藍閃石・十字石などを含む重鉱物を産する。

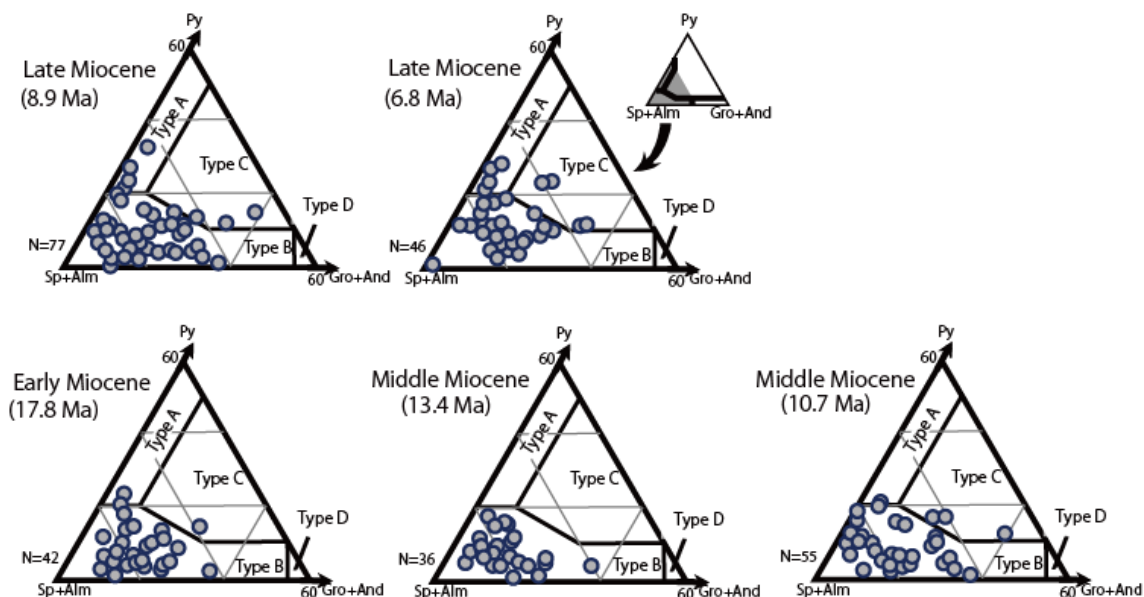
低ヒマラヤ地域では、雲母鉱物をもっとも卓越するものの、角閃石やルチル、電気石を主体とする重鉱物を産する。

(3)ネパールヒマラヤを流れる河川砂堆積物の検討結果と、ベンガルファン堆積物の時間的変化を比べると、以下の事柄が推測される。

中新世前期においては、高ヒマラヤ地域からの供給が卓越していたと言える。これはヒマラヤ山脈のいずれかの地域が活発に隆起し、砕屑物を供給していたことを示す。

中新世中期初頭では依然として高ヒマラヤからの供給が卓越していたが、中新世中期の後半(12Ma から 9Ma にかけて)、低ヒマラヤ・テチスヒマラヤ地域からの供給が増加した。従って、この時期に低ヒマラヤ地域やテチスヒマラヤ地域の隆起があったことを示す。

中新世後期では、再び高ヒマラヤからの供給が増加し、現在のヒマラヤ山脈に近い地質構成となったと考えられる。



図：ベンガルファンの砂質堆積物から抽出した碎屑性ざくろ石の化学組成。ざくろ石の端成分 (Py: パイロップ, Sp: スペサルティン, Alm: アルマンディン, Gro: グロシュラー, And: アンドラダイト) を利用した三角ダイアグラム (Mange and Morton, 2007) により示す。時代を問わず、碎屑性ざくろ石の多くは Type B 領域 (堆積岩を起源とする角閃岩相の変成岩や珪長質深成岩) にプロットされるが、前期中新世 (17.8 Ma) や 8.9 Ma 以降では type A (高度変成岩) の領域にプロットされるものが認められる。高ヒマラヤ変成岩のうち、珪線石や藍晶石を含む高度変成岩は Type A の領域に、その他の変成岩は type B の領域にプロットされることが多い。従って、ベンガルファンの碎屑性ざくろ石の化学組成の変化は、高度変成岩の露出規模が時代と共に変化したことを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Swostik Kumar Adhikari, Tetsuya Sakai, and Kohki Yoshida	4. 巻 -
2. 論文標題 Data report: grain size analysis of Bengal Fan sediments at Sites U1450 and U1451, IODP Expedition 354	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 354	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14379/iodp.proc.354.202.2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Hatano, N., Yoshida, K., Sasao, E.	4. 巻 386
2. 論文標題 Effects of grain size on the chemical weathering index: A case study of Neogene fluvial sediments in Southwest Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sedimentary Geology	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sedgeo.2019.03.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 葉田野 希・吉田孝紀	4. 巻 124
2. 論文標題 瀬戸内区中新統瀬戸陶土層の古土壌構成が示す古風化および古気候条件	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 191-205
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5575/geosoc.2017.0070	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hatano, N. and Yoshida, K.	4. 巻 -
2. 論文標題 Vertical and horizontal distribution of sedimentary facies and hydromorphic paleosols around paleo-lake in the Pliocene sediments in southwest Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Catena	6. 最初と最後の頁 104387
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104387">https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104387</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 葉田野希・入江志織・吉田孝紀	4. 巻 47
2. 論文標題 岐阜県恵那市に分布する瀬戸層群下部層の古土壌	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信州大学理学部紀要,	6. 最初と最後の頁 25-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nozomi Hatano, Kohki Yoshida	4. 巻 347
2. 論文標題 Sedimentary environment and paleosols of middle Miocene fluvial and lacustrine sediments in central Japan: Implications for paleoclimate interpretations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sedimentary Geology	6. 最初と最後の頁 117-129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.11.004">https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.11.004</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件(うち招待講演 0件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Kohki Yoshida, Jarrett Cruz, Ai Osaki, M.C. Manoj, Nozomi Hatano, Christian France-Lanord
2. 発表標題 Miocene Denudation History of Himalaya Deduced from IODP Exp. 354 Bengal Fan
3. 学会等名 15th Annual Meeting, Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 France-Lanord, C., Spiess, V., Feakins S., Galy, V, Galy, A., Huyghe, P., Yoshida, K
2. 発表標題 Expedition 354 on the Bengal fan: implications on Neogene erosion regime and climate
3. 学会等名 33rd Himalaya-Karakorum-Tibet workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshida, K., Cruz, J., Osaki A., Manoj, M.C., Hatano, N., France-Lanord, C.
2. 発表標題 Detrital heavy mineral record in Bengal Fan constrains on the evolution of Himalaya and linkage of Ganga and Brahmaputra rivers
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 C. Manoj, M. Kawsar, K. Yoshida, At. Baxter, B. Reilly
2. 発表標題 Morphological and chemical properties of Microtektite grains from Bay of Bengal (IODP Expedition: 354)
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Lalit Kumar Rai, Kohki Yoshida
2. 発表標題 Lithostratigraphy and facies analysis of Siwwalik along Muksar Khola section, Eastern Nepal Himalaya
3. 学会等名 Progress and perspective of the studies on the crustal evolution of the Indian Peninsula from Archean to the present by geochemical, chronological and geological approaches (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohki Yoshida
2. 発表標題 Detrital heavy mineral record and Nd-Sr isotopic signature in Bengal Fan demonstrating evolution of Himalaya and historical changes in two big river discharges
3. 学会等名 Progress and perspective of the studies on the crustal evolution of the Indian Peninsula from Archean to the present by geochemical, chronological and geological approaches (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lalit Kumar Rai, Babu Ram Gyawali, Kohki Yoshida
2. 発表標題 Neogene fluvial style of Middle Siwalik along Muksar Khola section, eastern Nepal Himalaya
3. 学会等名 Nepal Geological Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田孝紀
2. 発表標題 IODP Exp. 354ベンガルファンの中新統から見いだされた古ブラマプトラ川起源の碎屑物
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshida Kohki, Jarrett W Cruz, Ai Osaki1, M C Manoj, Nozomi Hatano, Christian France-Lanord, Volkhard Spiess, Adam Klaus and IODP Expedition 354 Science Party
2. 発表標題 The comparison of heavy mineral assemblage and chemical composition of detrital garnets between Bengal Fan and foreland basin sediments of Himalaya
3. 学会等名 JPGU Annual meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshida Kohki, Jarrett W Cruz, Ai Osaki1, M C Manoj, Nozomi Hatano, Christian France-Lanord, Volkhard Spiess, Adam Klaus and IODP Expedition 354 Science Party
2. 発表標題 Heavy mineral assemblage in Lower-Middle Miocene Sediments in Bengal Fan, IODP. Exp. 354
3. 学会等名 IODP Exp.354 postcruise meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshida Kohki, Jarrett W Cruz, Ai Osaki1, M C Manoj, Nozomi Hatano, Christian France-Lanord, Volkhard Spiess, Adam Klaus and IODP Expedition 354 Science Party
2. 発表標題 Miocene denudation history of Himalaya deduced from IODP Exp. 354 Bengal Fan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田孝紀・大崎愛・葉田野希・酒井治孝
2. 発表標題 IODP Exp. 354で採集されたベンガルファン中新統に含まれる碎屑性ザクロ石の化学組成とその時代変化
3. 学会等名 日本地質学会松山大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 葉田野希・吉田孝紀
2. 発表標題 瀬戸内区中部中新統におけるパーティソルの発見とそれが示す古風化・古気候条件
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 葉田野希・吉田孝紀・入江志織・森沙織・名取和香子・足立佳子・笹尾英嗣
2. 発表標題 新第三紀中期中新世・鮮新世の古風化強度変遷史；古土壌相，化学風化度，粘土鉱物組成を指標値として
3. 学会等名 日本地質学会松山大会
4. 発表年 2017年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----