

氏名	Adhikari, Swostik Kumar
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	総博甲第122号
学位授与年月日	平成29年9月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
文部科学省報告番号	甲第602号

学位論文題目	Geological and geochemical studies of the Neogene Siwalik Group, Khutia Khola Section, Nepal Himalaya and comparison with the Middle Bengal Fan sediments: implications for provenance, paleoclimate and Himalayan tectonics (ネパールヒマラヤ、クティア川セクション新第三系シワリク層群の地質学的・地球化学的研究とベンガル海底扇状地堆積物中部との比較：堆積物起源、古気候、ヒマラヤのテクトニクスとの関係)
--------	---

論文審査委員	主査 島根大学教授 酒井 哲弥
	島根大学教授 石賀 裕明
	島根大学教授 臼杵 年
	島根大学教授 入月 俊明
	島根大学教授 林 広樹

論文内容の要旨

The Neogene fluvial sediments (Siwalik Group) forming the southernmost hills in the Himalaya are one of the best archives of the climatic history and uplift of the Himalayas. This study focuses on geological and geochemical studies of a small river system at the time of Siwalik Group deposition, and compares the results with those from a large river system, to decipher the differences between the fluvial systems, as well as the provenance, tectonic setting and weathering regime of the sediments. The Siwalik Group in the Khutia Khola section is the target of this study. The Khutia Khola section contains finer sediments and thinner sandstone units than that of the neighboring Siwalik successions. These features indicate the deposition from a small river system. Results are compared with equivalent sediments in the adjacent Karnali River section, which are known to have been deposited by the large paleo-Karnali River system. The river deposits in these two sections are important records of tectonism and climatic change in the western part of the Nepal Himalaya, and the local variation of these key processes during middle to late Miocene times. Furthermore, the grain sizes of coeval turbidite beds from the Middle Bengal Fan were also analyzed. These sediments were originally eroded from the Himalaya and deposited in the Bengal Fan. The

results from both studies are compared to decipher the effect on sedimentation and climatic changes interlinked with Himalayan tectonics.

The newly established stratigraphy of the Khutia Khola area comprises the Jagati Formation (~2110 m, equivalent to the Lower Siwalik) and the Kala Formation (~2050 m, equivalent to the Middle Siwalik) in ascending order. The Jagati Formation consists of bioturbated, reddish-brown, brown to variegated mudstones, interbedded with very fine- to medium-grained, grey, reddish-grey to brown sandstones. The Kala Formation comprises thinly- to thickly-bedded, medium- to very coarse-grained, light-grey and grey to greenish-grey 'salt and pepper' sandstones and pebbly sandstones, interbedded with greenish-grey and brown to reddish-brown mudstones.

Depositional facies description from the Khutia Khola section shows the same sequences of facies associations that are recognized in other Siwalik sections in Nepal Himalaya. These comprise a fine-grained meandering river system (FA1), a flood-flow dominated meandering river system (FA2), and deep (FA3) and shallow (FA4) sandy braided river systems. FA1-FA2 corresponds to the Lower Siwalik, and FA3-FA4 to the Middle Siwalik. The timing of the appearance of FA2 is crucial for determining the timing of increased precipitation due to monsoon intensification, and accelerated sediment supply associated with tectonic uplift. FA2 appears at around 13.5 Ma in the Khutia Khola section, which corresponds with timing in the adjacent Karnali River section.

Changes in geochemical indices including provenance, sorting effects, and intensity of weathering are well synchronized with the changes in depositional facies. Petrographic study shows that the compositions of the Khutia Khola sandstones are similar to other Siwalik sandstones in the Nepal Himalaya. Comparable petrographic and geochemical provenance indices suggest a common source for the Khutia Khola and Karnali River sediments. Stratigraphic elemental ratio plots (e.g. Ga/Rb, K_2O/Al_2O_3 , Na_2O/Al_2O_3 , SiO_2/Al_2O_3) identify more intense weathering, uniform source, and greater sorting fractionation in the meandering river systems. Systematic upward changes in such elemental ratios reflect change in fluvial style in the Lower to Middle Siwaliks, with shift from meandering to braided river systems.

Collectively, the dominance of the finer sediments and thinner sandstone units compared to neighboring Siwalik successions indicate that the Khutia Khola section was deposited by a small river system. This system was located at the western margin of the paleo-Karnali River system, or may represent the interfluvial setting of major river systems. FA2 appears in the Khutia Khola and the Karnali River sections at the same time, as noted above. This implies increased discharge and accelerated erosion from the frontal part of the Himalaya at around 13.5 Ma in the far-western Nepal Himalaya, earlier than in the central and eastern Nepal Himalaya (9.5 to 10.5 Ma). There is no significant variation in the record of monsoon intensification between the small and large river systems in the Siwalik Group in this area.

Grain size analyses of the turbidite beds from the Middle Bengal Fan, IODP EXP 354 show

that inversely graded beds are dominant in the Hole U1450, and thicker massive beds dominant in the Hole U1451. Vertical variations in mean grain size show slight coarsening upward, and this may be associated with shifting of levees. In this instance, the variation in the grain size in the Middle Bengal Fan turbidites cannot be correlated with lithological changes in the Khutia Khola section of the Siwalik Group, probably because the change around 13.5 Ma was not strong enough to cause the sediment characteristics from the far western Himalaya to be transmitted to the Ganges River mouth and the Bengal Fan.

論文審査結果の要旨

申請者はネパール極西部・クティア川沿いに露出するシワリク層群と呼ばれる地層を対象に研究を行った。論文の第 1 章ではクティア川沿いのシワリク層群の研究を行う意義が述べられた。クティア川沿いのシワリク層群は他地域のシワリク層群に比べて泥岩が卓越しており、他の地域よりも小さな河川が地層形成に貢献した可能性があるとして述べられた。泥岩の卓越した堆積物においては、一度堆積した地層が河川による侵食を免れた確率が高く、気候変動やヒマラヤ山脈上昇の記録が精度良く保存されている可能性が高いと述べられた。また河川堆積物から過去の気候変動を復元する場合、堆積物を供給した河川の大きさの影響も考慮する必要がある。クティア川沿いのシワリク層群では小さな河川から堆積した地層が保存されている可能性が高く、これと大きな河川から堆積した地層との比較を通じて、気候変動のタイミングが河川系の大小で違うかどうか、比較する価値があると述べられた。

第 2 章では研究方法が述べられ、第 3 章、第 4 章でヒマラヤの地質概略、申請者が新たに確立した岩相層序学について触れられた。第 5 章では詳細な現地地質調査に基づいて高解像度で復元された堆積環境とその変化が述べられた。第 6 章では岩石の化学分析結果、第 7 章では砂岩の鉱物組成の分析結果が紹介された。第 8 章では申請者自身が参加した国際共同掘削計画、「IODP Expedition 354 Bengal Fan プロジェクト」で得られた地下 1,100m までの砂岩試料の観察結果と粒度分析結果が示された。第 9 章ではそれらを総括して、多岐にわたる議論がなされた。議論の中では、気候変動復元の鍵となる、洪水堆積物が頻繁に出現し始める層準(=降水量の増加のタイミング: 夏のインドモンスーンが強まったことを表す)を確定させ、既存の年代学的研究をもとに、その年代をおよそ 1,350 万年前とした。この年代は隣接するカルナリ川沿いのシワリク層群のものとはほぼ同じである。カルナリ川沿いのシワリク層群は大きな河川からの堆積物で、極西ネパールでは河川系の大小にかかわらず地層に記録された気候変動のタイミングが同じであることが示された。岩石の化学分析結果からは、化学組成の変化が河川堆積物の特徴の変化とよく同調することが示された。ここからは、河川堆積物の特徴の変化が気候変動や山脈の上昇のタイミングとも同調することが示された。これはヒマラヤの隆起が河川の特徴の変化とよくリンクすることを具体的に示した重要な成果である。

ベンガル海底扇状地より得られた砂岩の観察結果、粒度分析結果から、砂岩は海底での濁り水の流れ(混濁流)からの堆積物であるタービダイトと判断され、タービダイトの中でも河川の洪水流が直接海底に流れ込んだ、ハイパーピクナル流由来と解釈できる堆積物が比較的多く見られることが示された。サンプリング地点は現在のガンジス・ブラマプトラ川の河口から 1,500km 程度、沖合にあるが、このような長距離にわたって洪水由来の混濁流が流れ下る原因については不明である。これは将来、検討しなければいけない事項であることが述べられた。また、クティア川やその東方のカルナリ川のシワリク層群に記録されているような 1,350 万年前の変動の記録はベンガル海底扇状地、インダス川沖合、ベンガル海底扇状地、南シナ海の沖合の堆積物には現れてい

ないことが示され、この変動はヒマラヤ山脈西部の局地的な変動であった可能性がある」と議論された。

このように申請者が行った研究は、ヒマラヤの地質学、ヒマラヤ山脈の隆起が関係する気候変動の理解に大きな貢献をしたと判断される。成果の一部は 2 編の査読つき論文として公表済み、ならびに受理済みである。審査委員会では、申請者の研究は博士（理学）の学位に十分相当するものと結論づけた。