

# 古カトマンズ湖のボーリングによるモンスーン変動の研究

Study on the changes in Indian monsoon based on core-drilling at the Paleo-Kathmandu Lake

研究代表者 酒井治孝 教授 九州大学大学院比較社会文化研究院環境変動部門  
Harutaka SAKAI, Professor, Faculty of Environmental Changes, Graduate School of Social  
and Cultural Studies, Kyushu University

**要旨：**過去 100 万年の中央ヒマラヤ南斜面の古気候・古環境を復元し、ヒマラヤ前縁山地の上昇史とインドモンスーン変動史のリンケージを解明する目的で、カトマンズ盆地南部で深度 114m の湖成層基底を貫通するボーリングを行った。ボーリングコア試料に含まれる気候と環境の各種指標について分析を行うと同時に、年代軸を入れるため AMS14C 年代測定と古地磁気測定を行った。これまでの研究により、過去 70 万年前までの気候変動史と古カトマンズ湖の環境変遷史を復元することができた。またヒマラヤの前縁山地が約 100 万年前に急激な上昇を開始した結果、河川が堰き止められ古カトマンズ湖が誕生したことが明らかとなった。

**Abstract:** In order to reconstruct the paleoclimate and paleo-environments in the southern slope of the Central Himalaya and to clarify the linkage between uplift of frontal range of the Himalaya and variability of Indian monsoon, we undertook a core-drilling which penetrates the base of lacustrine sediments in the southern part of the Kathmandu basin. After analyses of the core, we have reconstructed history of changes in Indian monsoon and paleo-environments of the Paleo-Kathmandu Lake during the last 700 kyr. In addition, we clarified that the frontal range of the Himalaya started its rapid uplift at 1Ma, which induced birth of the Paleo-Kathmandu Lake behind the range.

## 1. 研究目的

ヒマラヤ・チベット山塊の誕生に伴ってアジアの気候システムの中核を成すモンスーン気候が生まれ、その上昇に伴ってモンスーン気候は変動してきたといわれている。しかし、その上昇史と気候変動史の詳細や相互のリンケージについてはよく判っていない。また、近未来の気候変動を予測するために、第四紀の連続した気候変動史の解明を目指して世界中で精力的に研究が行われているが、南アジアの陸上から得られた、連続古気候記録は皆無である。そこで本研究では以下の3点に焦点を絞って研究を行った。

- ① ヒマラヤの上昇：ヒマラヤの前縁山地の上昇開始時期を特定する
- ② モンスーン変動：過去 100 万年のインドモンスーンの変動史を復元する

- ③ 湖の環境変遷：過去 100 万年の古カトマンズ湖の環境変動史を復元する
- これら3つの目標のために、カトマンズ盆地の湖成堆積物をコアボーリングし、回収したコアについて 10~50cm 間隔で各種の古気候・古環境の変動指標について分析を行い、200~2000 年程度の分解能をもった古気候・古環境変動曲線を復元することを目指した。またコアについて古地磁気層序学的研究と AMS<sup>14</sup>C 年代測定を行い、変動曲線に年代の目盛りを入れ、これらの成果と地表地質調査の成果を併せて、ヒマラヤの前縁山地の上昇開始時期と古カトマンズ湖の形成時期を特定することを目指した。

## 2. 研究経過

2002 年度には、2000 年に盆地中央部で実施した



Fig. 1 Drill sites of the Paleo-Kathmandu Lake project. Previous drill sites in 2000, 2001 (●) and newly proposed drill sites in 2003 (○) are shown. T: Trichandra Campus, D: Pulchok, R: Rabibhawan, L: Lulandol, CK: Chhayasikot, CP: Champi, J: Jotku, DK: Dhapkile, TD: Tau Daha



Fig. 2 2003 年秋に実施したボーリング(CP 地点)

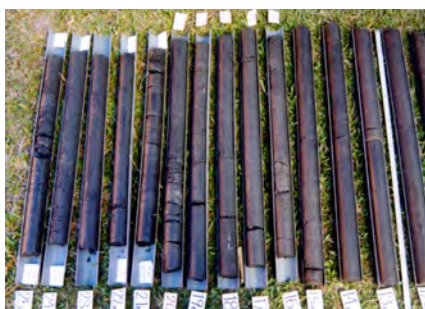


Fig.3 ボーリングで得られた有機質湖成堆積物のコア

ボーリングで得られた全長 218mのコア (RB コア) の各種分析を行うと同時に、古地磁気と年代の測定を行った。ボーリング作業は共産ゲリラの活動が活発で現地の社会状況が不安定であったため、13.5mの短い試験的掘削を Tau Daha で実施しただけに留まった。

2003 年度には、盆地南部のチャンピー (Champi) で約 114mのボーリングを行い、湖成層の基底を貫通するコアを採取することができた (CP コア)。地表露頭との関係から、このコアの基底部は 100 万年以上に遡ることが推定されている。また、科学技術振興機構の CS 放送「サイエンスチャンネル」の番組制作に協力し、『微化石の 250 万年・地球環境の歴史』を製作し、現在も放映中である。

2004 年度には、2 本のコアについて花粉、珪藻、堆積物、粘土 X線分析、有機・無機分析、AMS<sup>14</sup>C 年代測定、古地磁気測定などを実施すると同時に、コアの堆積学的記載を行った。また、盆地南部の地質調査を継続して行い、第四紀層分布域の地質図を 60%程度完成した。これらの研究成果については、毎年 1 回研究集会を開催し、データの交換と解釈に関する議論を行った。さらに「Himalaya-Tibet-Karakoram Workshop」、 「国際花粉学会」、 「IGCP-476 Monsoon Evolution and Tectonic-Climate Linkage in Asia Symposium」などの国際学会、および日本地質学会や地球惑星科学合同学会などで研究成果を発表した。

### 3. 研究成果

#### 3.1 ヒマラヤ前縁山地の上昇

カトマンズ盆地南縁部に分布する河川・湿地堆積物のルクンドール層と上位の扇状地礫質堆積物イタイティ層の境界の年代は、古地磁気学的研究からハラミロ・イベント (107~99 万年前) 上部であることが判明した。またルクンドール層最上部は、南方からの土石流堆積物とそれによって堰き止められた湖の堆積物から構成されており、それを覆って南方のヒマラヤ前縁山地から供給された扇状地礫層が厚く堆積していることが判明した。これまでの堆積学的研究と併せると、前縁山地の急速な隆起開始により約 100 万年前に河川が堰き止められ、その結果古カトマンズ湖が誕生したことが明らかになった。また、同時期にシワリーク層群では断層運動に伴う上昇が活発化し、ピギーバック盆地には扇状地性巨礫層が堆積していることから、前縁山地の上昇の原因は、プレート境界

断層がMBTから南方のMFTにジャンプしたことに伴い新たな沈み込みが開始したことに求められる。

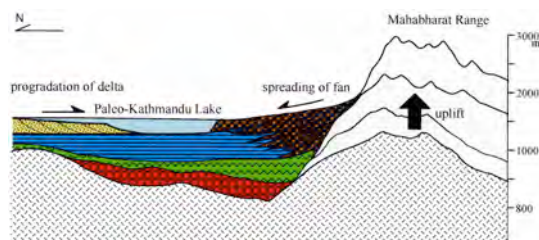


Fig. 4 ヒマラヤ前縁山地の上昇に伴い河川が堰きとめられ、約100万年前に古カトマンズ湖が誕生したことを示す模式断面図

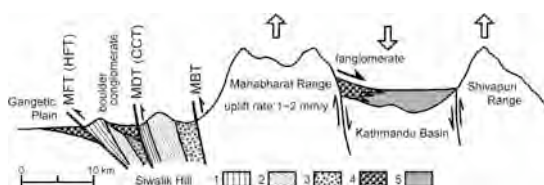


Fig. 5 プレート境界断層がMBTから南方のMFTにジャンプし、そこでインドプレートの沈み込みが始まることによってヒマラヤ前縁山地は約100万年前に上昇を開始した。1: Lower Siwalik, 2: Middle Siwalik, 3: Upper Siwalik, 4: Upper Siwalik 最上部の巨礫層とカトマンズ盆地南方の扇状地礫層, 5: カトマンズ盆地の湖成層

### 3.2 インドモンスーン変動史の復元

カトマンズ盆地中央部から得られたRBコアについて各種プロキシの分析を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

花粉化石と有機物分析により、カトマンズでは過去約70万年の間に8回の温暖期と寒冷期が繰り返しており、それは地球規模の氷河期と間氷期に対応している(MIS 2-MIS17)。また本地域では氷期には寒冷で乾燥、間氷期には温暖で湿潤であった。約40万年前のMIS11に相当する時期には、極めて高温湿潤で、生物生産量が高く、約40万年前を境に生物の生産量は激減した。ヒマラヤの山岳氷河は温暖な間氷期に前進しているが、これは温暖湿潤な大気が温暖期にはヒマラヤの河谷に沿って奥深くまで入り込み、その結果降雪量が増加したことを示す。カトマンズでは最終氷河期

の最盛期が終了した直後の2-1.9万年前から温暖化が始まっており、南極周辺海域や赤道太平洋地域とは同期しているが、北大西洋地域に比べると数1000年早い。

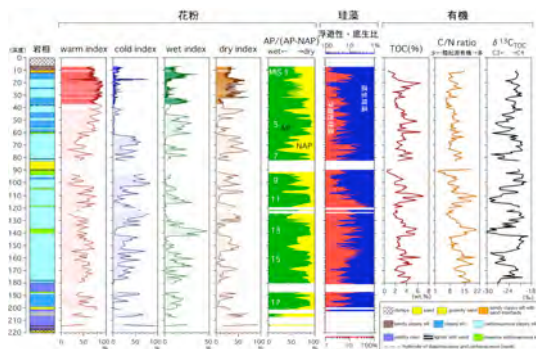


Fig. 6 ボーリングコアの分析から復元されたカトマンズ盆地の過去75万年間の気候・環境変動記録

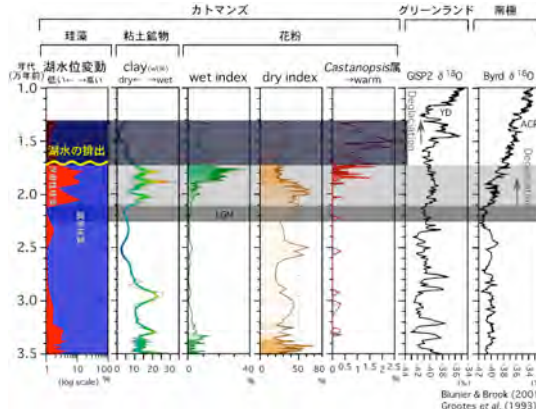


Fig. 7 ボーリングコアの最上部40mに記録された最終氷期末期の気候・環境変動記録とグリーンランドと南極から報告された気候変動記録の比較

### 3.3 古カトマンズ湖の環境変遷史の復元

珪藻化石の研究によると、古カトマンズ湖の湖水位は8回大きく低下している。この時期は花粉化石や有機物の分析では寒冷乾燥な時期を示すことから、氷河期には湖水位が低下したものと考えられる。またこの時期にはTOC濃度とC/N比は低く、 $\delta^{13}C$ 値は高い。従って、寒冷な時期には陸上起源有機物の流入は少なく、C4植物が拡大したことが推定される。また粘土鉱物の分析によると寒冷期には堆積速度は遅く0.3-0.7m/kyrであるが、温暖期には堆積速度は速く3-4.3m/kyrに増加している。また粘土鉱物の含有量も温暖湿

潤期には増加し、寒冷乾燥期には減少しており、イライトの結晶化度もそれに対応して乾燥期には高く、湿潤期には低くなっている。これは即ち温暖期には化学的風化作用が促進されたためである。

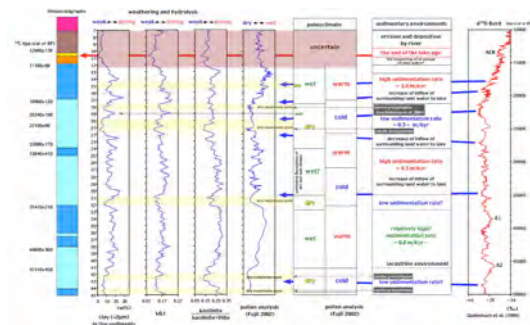


Fig. 8 粘土鉱物の分析から復元された過去5～1万年前のカトマンズ盆地の古気候・古環境の変遷およびその南極の酸素同位体比変動曲線との比較

約60～30万年前の間は、この湖の固有種である珪藻が圧倒的に優勢で、生物源オパール生産量も多くなる。この時期にバイカル湖でも同様な変化が起こったことが報告されており、同時期にアジア南部でも北部内陸部でも共通した生物のイベントが起きているようである。

#### 4. 今後の課題と展望

現在抱えている最大の問題点は、得られた2本のコアに正確な年代の目盛りを入れることである。RB コアについては、古地磁気測定により判明した地磁気エクスカージョンを利用して年代の目盛りを入れることを試みている。しかし、このコアの基底がブルンヌー-松山境界(約78万年前)に達していなかったために、エクスカージョンの対比に問題が残されている。現在CP コアについても古地磁気測定を実施しているが、このコアについてはブルンヌー-松山境界を越え、ハラミロ・イベント(約99～107万年前)に達している。従ってCP コアの古地磁気測定が完了し、地磁気エクスカージョンの目盛りを入れることができれば、信頼度の高い年代の目盛りが入った、南アジアのスタンダードとなる古気候・古環境変動曲線を提示することができる。

約5万年前に相当する深度約45mまでのコアについては、世界的に高い時間精度での議論が行われているので、約200年の年代分解能をもった議論ができるように、10cm 間隔で各種分析を行い、変動曲線を得ることができた。しかし、コア中の有機物の堆積した年代と有機物形成年代の差があるため、精度の高い年代軸を入れることができないでいる。今後、有機物の粒径を揃えた試料についてAMS<sup>14</sup>C年代測定するなどして、精度を上げる必要がある。

本研究の成果は、近い将来実施される予定のモンスーン気候下にあるアラビア海やベンガル湾などの統合深海掘削計画 (IODP) にも大きな影響を与えると同時に、海洋から得られたヒマラヤの上昇とモンスーン変動の記録と比較するための貴重な陸上の記録となることが予想される。

#### 5. 発表論文リスト

- 酒井治孝 (2005) ヒマラヤ山脈とチベット高原の上昇プロセス—モンスーンシステムの誕生と変動という視点から—。地質学雑誌, 111 巻
- 酒井治孝 (2005) ヒマラヤ山脈の上昇のテクトニクス。地学雑誌, 114 巻, 113-117.
- Harutaka Sakai, Hideo Sakai, Wataru Yahagi, Rie Fujii, Tatsuya Hayashi, Bishal Nath Upreti (投稿中) Pleistocene rapid uplift of the Himalayan frontal ranges recorded in the Kathmandu and the Siwalik basins. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*
- Harutaka Sakai, Minoru Sawada, Yutaka Takigami, Yuji Orihashi, Tohru Danhara, Hideki Iwano, Qi Dong, Huawei Cai and Jianguo Li (投稿中) Geology on the summit of Mt. Qomolangma (Mt. Everest) and metamorphic and cooling ages of the Yellow Band. *Island Arc* (Special Issue of 19<sup>th</sup> HKT) .
- Harutaka Sakai and Yutaka Takigami (投稿中) Problematic Late Pliocene age of plant fossil-bearing beds on the northern slope of Mt. Shisha Pangma, central Himalaya. *Island Arc* (Special Issue of 19<sup>th</sup> HKT) .