

学 位 論 文 題 名

Late Pleistocene and Holocene glaciations
in the Nepal Himalayas and their implications
for reconstruction of paleoclimate

（ネパール・ヒマラヤにおける更新世後期以降の氷河変動と古気候復元）

学位論文内容の要旨

中緯度から低緯度の地域に高い標高が広がるヒマラヤ・チベット山塊は、大気循環に強い影響を及ぼしている。ヒマラヤ・チベットの古環境、古気候の復元は、アジアのモンスーン変動を解明するうえで重要な課題であり、この観点から近年では堆積物を用いた高精度の解析が進められるようになった。しかし、堆積物に残された環境指標の記録と地域の気候とは必ずしも直接的な関係にあるわけではなく、その変動記録の解釈には議論の余地が残されているものと考えられる。一方、ヒマラヤ・チベット山塊の雪氷圏の変動は気候変動そのものであることから、氷河変動を明らかにすることは今日においてもなお重要である。様々な指標を用いた高分解能の古気候復元がなされている現状を踏まえれば、むしろ氷河地形を指標に最終氷期以降の気候変動の枠組みを提示することは急務の課題といえる。ヒマラヤ山脈における氷河地形編年の研究では、炭素試料の不足に起因して絶対年代に基づく編年を構築することが従来困難であった。しかし近年炭素法に依らない絶対年代測定法の開発が進み、ヒマラヤ山脈西部でこの手法が適用され始めている。そこで、ヒマラヤ山脈中部をなすネパール・ヒマラヤを対象に氷河地形の分布を詳細に明らかにし、ネパール・ヒマラヤにおける最終氷期以降の氷河編年のフレームワークを提示することを本研究の目的の第一とする。

ヒマラヤ山脈では年降水量の多くが、東部では主に夏季に、西部では冬季にもたらされており、この降水が氷河を涵養、維持している。ネパール・ヒマラヤでは夏季南西モンスーンによる降水が多くを占めるが、ネパール西部には冬季の偏西風擾乱による降水が到達している。したがって、ネパール・ヒマラヤ東西での最終氷期以降の氷河拡大規模の違いは、夏季モンスーンと冬季偏西風擾乱の相対的な強度変化を示唆すると考えられる。これを踏まえ、過去の氷河作用の規模を氷河平衡線高度で読み替え、過去と現在の氷河平衡線高度を比較して最終氷期中の古気候復元を試みることを目的の第二とする。

ネパール・ヒマラヤでの東西の比較、及び全域のフレームワークを確立するため、東部から2山域（カンチェンジュンガ、クーンブ・ヒマール）、西部から3山域（シスネ、チャンディ、アビ・ヒマール）を選び、研究対象地域とした。各研究対象地域について、各域内全域の空中写真の実体視判読を行い、モレーンの分布を詳細に明らかにした。フィールド調査では分布するモレーンの地形層序に基づいてモレーンのステージ区分を行い、各山域において5つの氷河拡大ステージを認めた。ステージ区分されたモレーンの分布位置および現成氷河からの相対的な距離から、分布するモレーンを現成氷河に近い方から、IM, I, M, O, OM の5つのモレーン群に区分できた。それぞれのモレーン群の分布する地理的特性は、IM は現成氷河の直近を取り囲む、I は IM のさらに外縁を取り囲むモレーン・ゾーンを形成する。末端は現成氷河の末端とほぼ同じ位置にある。M は現成氷河末端直下に小規模なモレーンを発達させ I モレーンに覆われる。O モレーンは分布するモレーンの中でもっとも顕著なラテラルモレーンを長さ数キロにわたって発達させる。OM モレーンは著しく侵食を受け断片的に残存するのみである。分布の地理的特性はいずれの山域

においても共通して認められる。ステージ区分の妥当性を確認するため、各研究対象地域において相対年代法を適用して5つのステージ間の形成期の違いを検証した。相対年代法にはモレーンを構成する礫の風化度を指標とした手法（シュミットハンマー反撥値、酸化礫の出現率、マフィック鉱物の突出高、風化ピットの最大深度、風化皮膜の厚さ）と、土壌や植生を指標した手法（地図苔の最大径、地表の植被率、モレーン上に発達した土壌のハースト土色インデックス、土壌赤色化指数及び土壌層位発達による年代推定）を用いた。相対年代法は東部山域でそれぞれ40カ所、25カ所に、西部山域ではそれぞれ17カ所、10カ所に適用した。各手法で得られた相対年代値について、5つに区分したステージ毎に有意差があるかマンホイットニーのU検定により統計的にも検証した。この結果、東部山域ではカンチェンジュンガ・ヒマールにおいて、旧期から新期へ順に、シンプワ期、ツェラム期、ヤルン期、ラブサン期、ラムゼ期の各ステージを、クーンブ・ヒマールにおいては、ペリチェⅠ期、ペリチェⅡ期、トゥクラ期、ロブチェⅠ期、ロブチェⅡ期の各氷河拡大ステージを認定した。同様に西部山域について、シスネ・ヒマールでは、マリー期、ダルガリ期、ツォウケ期、ダウリ・ダー期、ドルブ・カン期の各ステージ、チャンディ・ヒマールでは、ナントアン期、ラーレ期、タンギン期、タック・ララⅠ期、タック・ララⅡ期の各ステージ、アビ・ヒマールでは、ドール・オダール期、ピール・ガンダ期、チュサン期、リウデⅠ期、リウデⅡ期の各氷河拡大ステージを認定した。

次いで各氷河拡大ステージの時期を特定するため、絶対年代の測定を行った。具体的には氷河堆積物及びアウトウォッシュ堆積物の光ルミネッセンス（OSL）年代測定、及び氷河堆積物から産出した材、モレーン上に発達した土壌、ターミナルモレーンに堰き止められ堆積した泥炭の放射性炭素年代測定である。試料の産出状況により得られた年代は、氷河の最拡大時、氷河が後退を始めた時、氷河が後退して以降の時期、2つの氷河拡大期の間の相対的な温暖期、のいずれかを示す。得られた炭素年代8点、OSL年代4点について検討した結果、5つの氷河拡大期は旧期から新期へ順にそれぞれ、40 ka 前後の同位体ステージ3相当の最終氷期前半、20 ka 前後の最終氷期極相期（LGM 期）、11 ka 前後の新ドリラス期相当の晩氷期、6～1 ka の間の完新世、および小氷期であると考えられる。空中写真判読により明らかになったモレーンの分布およびモレーンのステージ区分に着目すると、ネパール・ヒマラヤにおける氷河の最拡大は MIS3 にあたるということが明らかになった。また氷河の拡大範囲からは、最終氷期中の氷河拡大であるにも関わらず、氷河の拡大規模はかなり限定されたものに過ぎないことが示された。

次に、モレーンの分布が全域に渡り詳細に明らかになった LGM 期を対象に、氷河平衡線高度の復元から当時の気候復元を試みた。各山域で分布するラテラルモレーンの上端高度のうち特に高いものを選び、これを当時の平衡線高度とした。また各山域の空中写真判読から氷河目録を作成し、氷河の表面形態から現在の氷河の平衡線高度を推定し、現在と過去の平衡線の違いを明らかにした。現在のネパール・ヒマラヤでは急峻な山地の障壁効果により山城南縁部ほどより多くの降水がもたらされることから、緯度方向での氷河平衡線の断面は南に傾いている。LGM 期についても復元した平衡線はいずれの山域においても南下がりの傾向が維持されていた。このことから LGM 期も現在と同様、氷河を涵養する降水の多くを夏季の降水が占める強い夏季南西モンスーンの影響下にあったことを示している。既存の古気候研究の多くは LGM 期に南西モンスーンが衰退していたことを示しているが、氷河を涵養する降水は持続していたものと考えられる。また東部山域では、緯度方向での氷河平衡線の傾きが、LGM 期には現在と比べ強化されていた。北方ほど著しく乾燥が進み、南北方向での乾湿差が強化されていたことを示しており、全般的なモンスーンの衰退と調和的である。一方西部山域では氷河平衡線の傾きは LGM 期も現在とほぼ変わっていない。東部とは異なるこの傾向は、冬季の偏西風擾乱による降水がもたらされていたことを示唆するものであり、夏季に減少した降水を冬季の降水が補って氷河を形成、維持していたものと考えられる。

学位論文審査の要旨

主査	助教授	渡辺 悌二	
副査	教授	小野 有五	
副査	教授	平川 一臣	
副査	教授	岩田 修二	(東京都立大学理学研究科)
副査	助教授	白岩 孝行	

学位論文題名

Late Pleistocene and Holocene glaciations in the Nepal Himalayas and their implications for reconstruction of paleoclimate

(ネパール・ヒマラヤにおける更新世後期以降の氷河変動と古気候復元)

中緯度から低緯度の地域に高い標高が広がるヒマラヤ・チベット山塊は、大気循環に強い影響を及ぼしている。ヒマラヤ・チベットの古環境、古気候の復元は、アジアのモンスーン変動を解明するうえで重要な課題である。したがって、氷河地形を指標に最終氷期以降の氷河変動と気候変動の枠組みを提示することは急務の課題といえ、この観点でヒマラヤ山脈各地から氷河地形に関する研究が蓄積されてきた。しかし炭素試料の不足に起因し絶対年代に基づく編年の構築が従来困難であり、また地形図や空中写真の不足により過去の氷河拡大範囲の検討も十分に行われてこなかった。

申請者は、長期滞在を含め過去 10 年間の現地調査及び空中写真判読によって、ネパール・ヒマラヤの 5 つの山城において氷河及び氷河地形の分布を詳細に明らかにした。また氷河の拡大年代を踏まえ氷河変動の編年を明らかにし、併せて最終氷期極相期の気候の推定を行った。これらの研究成果は以下に要約される。

ネパール・ヒマラヤのうち、東部 2 山城、西部 3 山城について、空中写真判読によってモレーンの分布を詳細に明らかにした。いずれの山城においても地形層序と相対年代により、分布するモレーンを 5 つのステージに区分できた。氷河拡大ステージの年代を特定するため OSL (光ルミネッセンス) 及び炭素年代測定を試み、5 つそれぞれのステージから絶対年代を得た。この結果、5 つの氷河拡大ステージはそれぞれ、小氷期、完新世、晩氷期、LGM 期及び MIS 3 に対比できた。モレーンの分布から、ネパール・ヒマラヤにおける氷河の最拡大は MIS 3 にあたることが明らかになった。また氷河の拡大範囲からは、最終氷期中の氷河拡大であるにも関わらず、氷河の拡大規模はかなり限定されたものに過ぎないことが示された。

次にモレーンの分布を全域に渡り詳細に明らかにした LGM 期を対象に、氷河平衡線高度の復元から当時の気候復元を試みた。各山域で分布するラテラルモレーンの上端高度のうち特に高いものを選び、これを当時の平衡線高度とした。ネパール・ヒマラヤは現在南西モンスーンの影響下にあり、緯度方向での氷河平衡線は南に傾いている。LGM 期においても平衡線の南下がりには維持されており、南西モンスーンは全般に衰退していたものの、氷河を涵養する降水は持続していたものと考えられる。また LGM 期に氷河平衡線の傾きが強化されていたことは、南北方向での乾湿差が強化されていたことを示す。

以上の成果は、ネパール・ヒマラヤにおける氷河地形分布とその編年のフレームワークを提示するとともに、現在の氷河を形成、維持するヒマラヤの気候や、最終氷期のモンスーン変動の解明に大きな貢献をなすものである。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程における業績や取得単位なども併せ、申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。