

学位論文題名

Geomorphological studies on the first-order basins in the Siwalik Hills, Nepal

（ネパール，シワリク丘陵の一次谷に関する地形学的研究）

学位論文内容の要旨

The study aims to explore morphology of the first-order basins (FOBs) of three areas in the Siwalik Hills, i.e., the Machheli Khola Area, the Banganga Khola Area, and the Binai Khola Area using morphometric variables. All three areas are within the geological belt of the same orogeny, and have comparable ranges of lithology. This study examined the multivariate nature of morphometric variables (geometric measures) of the FOBs to find out leading variables and their spatial pattern. The study also attempted for morphological characterizations of the FOBs and discussed their relation to litho-stratigraphy, structure, and amplitude of relief, which has never conducted in any geologically instable young mountains such as the Siwalik Hills.

For the study, 11,200 FOBs were identified and manually digitized from the topographic maps (scale 1: 25, 000). Twenty morphometric variables (basin area, stream length, drainage density, elevation range, standard deviation elevation, mean elevation, percent of convergent area, average basin slope, surface-plan area ratio, stream slope, standard deviation basin slope, maximum stream slope, stream power index, sediment transport index, basin shape index, junction angle, hypsometric integral, valley angle, average contour sinuosity, and basin asymmetry factor) for each FOB were obtained from maps and Digital Elevation Model of the area using GIS.

Principal component analysis identified six major components pertaining to slope, size, valley and depression, shape, relative massiveness and basin asymmetry (in that order of variance explained), which account for 78—82% of the total variance of the original dataset in the three study areas. Slope and size components account for nearly half of the total variance in the data. Unlike the previous studies, this study recognized the morphological importance of valley angle, hypsometric integral and basin asymmetry factor of the FOBs.

Varimax rotation determined that variables strongly loaded (0.97—0.71) on the first principal component (PC-1), in all three areas, are average basin slope, surface-plan area ratio, and average stream slope, maximum stream slope, stream power index and sediment transport index. The inter-correlated variables associated to PC-2 (with loadings of 0.98—0.62) are basin area, stream length, drainage density elevation range, standard deviation of elevation, and percentage of convergent area. Elevation range has moderate to strong loadings on both components, reflecting its relation to both slope and size of basins. Valley angle and average contour sinuosity, which are

inversely related, load > 0.80 on PC-3/5. Basin shape and junction angle are elements of PC-4 with loadings between 0.78—0.67. Commonly, elongated basins are found to have smaller junction angles. Hypsometric integral occasionally paired with standard deviation slopes is strongly loaded with PC-5/3. Basin asymmetry factor is the isolated variable, strongly loaded with PC-6 in all three areas. This study recognized a uniform morphometric interaction in the three areas, and identified average slope, area, valley angle, elevation range, basin shape, hypsometric integral and basin asymmetry factor as the leading morphometric variables of the FOBs.

Nearest neighbor (NN) analysis was performed to examine spatial clustering (in relation to environmental controls) versus randomness. From the 1st order NN to the 6th order NN observed versus expected mean distance were examined to see whether there was a correlation between the NNs at varying scale. The analysis discovered that, in order of relative magnitude, slope, elevation range, area, valley angle, basin shape and hypsometric integral are generally clustered (for all six neighbours), while basin asymmetry factor is random in distribution. This implies that first six variables are correlated to localized spatial phenomenon.

Spatially clustered variables were used to classify the FOBs to provide meaningful geomorphic characterizations using multiple steps of multivariate clustering method. The analysis of the variance revealed that the importance of morphometric variables in characterizing the basin types is in the order of the elevation range, slope, valley angle, shape, area, and hypsometric integral. Eight basin types were classified: (1) deep and low relief, (2) shallow and rounded, (3) small, shallow and low relief, (4) small, shallow, elongated and low relief, (5) steep, small, shallow, elongated, and high relief, (6) steep, shallow and high relief, (7) large, shallow, elongated and high relief, and (8) gentle, large, deep and elongated. Type-7 basin is common in the three areas of the Siwaliks.

Finally, roles of lithology, structure, and amplitude of relief on first-order basins' morphology were discussed. Mean values of morphometric variables such as slope, relief, shape and hypsometric integral in the litho-stratigraphy of the Siwaliks are lower than those in the Lesser Himalaya. Geological structure (dipping) influences the morphometric variables of the first-order basins in the Siwalik Hills. Mean value of relief variables (average basin slope, elevation range, valley angle, and hypsometric integral increased with amplitude of relief, whereas that of planar variables (area and shape) decreased. Coefficient of variation of the morphometric variables suggests that FOBs' morphology in the Siwaliks compared to the Lesser Himalaya, and on lower amplitude of relief compared to higher amplitude of relief, are more variable. The study demonstrates that the multivariate approach, followed by a spatial pattern analysis, and a cluster analysis, can be applied in the systematic study of morphology and characterization of first-order basins.

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	渡 邊 悌 二
副 査	教 授	平 川 一 臣
副 査	教 授	杉 本 敦 子
副 査	助 教	澤 柿 教 伸
副 査	教 授	檜 垣 大 助 (弘前大学

農学生命科学部)

学 位 論 文 題 名

Geomorphological studies on the first-order basins in the Siwalik Hills, Nepal

(ネパール, シワリク丘陵の一次谷に関する地形学的研究)

申請者は、ヒマラヤの南縁部を北西から南東方向に走るシワリク丘陵を対象に、流域の最小単位である一次谷の表面形態の特徴を多数の変数を用いて分析することで、ヒマラヤのなかでもっとも地質学的に活発なシワリク丘陵の地形学的特徴を明らかにした。

本研究では、まず、シワリク丘陵の3地域において、25,000分の1地形図からすべての一次谷を同定した。同定の結果得られた合計11,200の一次谷について、その形態学的特徴を示す20種類の変数 (area, stream length, drainage density, elevation range, standard deviation elevation, mean elevation, percent of the convergent area, average basin slope, surface-plan area ratio, stream slope index, junction angle, hypsometric integral, valley angle, average contour sinuosity, basin asymmetry factor) をGIS (地理情報システム) で解析し、そのデータを主成分分析して、7つの変数でシワリク丘陵の一次谷の特徴が表現できることを明らかにした。これら7つの主要変数には、hypsometric integral (流域面積高度積分), valley angle (谷底横断方向角度)およびbasin asymmetry factor (谷の非対称度)といった、これまでの研究ではまったく扱われることのなかった変数が含まれており、この分野における研究手法の改善と研究の進展に寄与することができた。

次に、7つの主要変数に着目して、変数がどのような空間分布パターンを有しているのかを最近隣距離法によって分析した。その結果、basin asymmetry factorのみが無秩序分布を示しているのに対して、そのほかの6つの主要変数が密集分布を示していることがわかった。無秩序分布を示す形態変数の空間分布パターンは、地すべりなどの地形形成プロセスと関連していることが示唆され、そのほかの6変数の空間分布パターンは緩慢な地形形成プロセス

と関連していることが示唆され、この分野における将来の研究の基礎を提供することにつながった。

さらに、形態的特徴に基づいてシワリク丘陵の一次谷の分類を試みた。分類にはクラスター分析を用いた。その結果、8つのタイプに区分することができた。タイプ1はdeep and low relief, タイプ2はshallow and rounded, タイプ3はsmall, shallow and low relief, タイプ4はsmall, shallow, elongated and low relief, タイプ5はsteep, small, shallow, elongated and high relief, タイプ6はsteep, shallow and high relief, タイプ7はlarge, shallow, elongated and high relief, タイプ8はgentle, large, deep and elongatedの特徴をもっていた。このタイプ区分によって、シワリク丘陵では81%の一次谷が浅い谷で特徴づけられることがわかった。一次谷のタイプ別の空間分布パターンは、基本的には地質と対応していることが示唆された。

最後に、シワリク丘陵の一次谷の形態的特徴に影響を与える要因について分析した。対象地域が小地域であることから、気候や人為的な影響については大きな差はないものと仮定し、上昇、地質構造、岩相層序、および地すべりの4つの地質学的要因を分析対象とした。上昇の大小については地表面起伏振幅を、また地質構造については地層の傾きを指標として用いた。地表面起伏振幅、地層の傾き、岩相層序の3要因は、いずれも一次谷の形態的特徴を示す6つの主要変数（密集分布を示した変数）に影響を与えていた。また、シワリク丘陵においては、地すべりが一次谷の発達に重要な役割を果たしているものと考えられた。

以上のとおり、申請者はシワリク丘陵における一次谷の表面形態の特徴に関する新知見を得たものであり、一次谷のみならず高次谷の表面形態における地形学的研究に対して貢献するところ大なるものがある。

審査委員一同は、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、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（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。