

15. ネパール・ヒマラヤ、カリガンダキ川トレッキング・ルートに応用地質学

Engineering geology along the Kaligandaki river, central Nepal Himalaya

○ Ranjan Kumar Dahal (香川大学大学院工学研究科)
長谷川 修一 (香川大学工学部)

1. はじめに

ネパール中央部のアンナプルナ・ヒマラヤを北から南へ流れるカリガンダキ川沿いのトレッキングルートは、ジヨムソン (2700m) からベニ (817m) に至る約 60 km、3 日間の行程である。このトレッキングコースは、谷の比高 5000m を超える世界一の峡谷を南下し、北からテーチス/STDS (南パトデタッチメント系)/高ヒマラヤの変成岩/MCT (主中央衝上断層)/低ヒマラヤの堆積岩・変成岩とヒマラヤの断面を観察できる唯一のコースである。また、ルート沿いにはカリガンダキ川を閉塞させたレテ地すべりダムとジヨムソン堰止湖跡、MCT 沿いのタトパニ温泉、ネパールの道路建設などの応用地質学的見学スポットも豊富であるため、ヒマラヤの応用地質学的問題点を概観するのに最適な地質巡検ルートである。

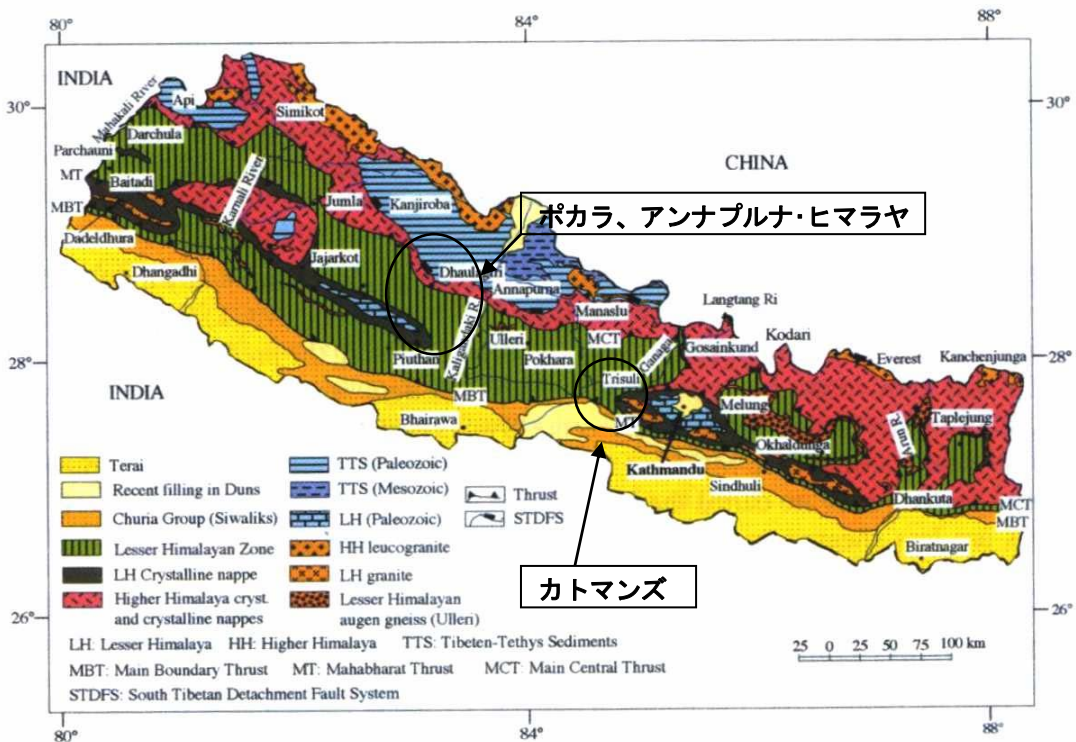


図-1 ネパール・ヒマラヤの地質構造図と巡検ルート (Upreti and Yoshida, 2005 に加筆)

2. ネパール・ヒマラヤの地形、地質と地殻変動

2. 1 地形と地質

ネパールの地形は、地質構造帯と調和的な東西方向の地形列からなり、北から高 (大) ヒマヤラ、低 (小) ヒマラヤ、外 (サブ) ヒマラヤ (シワリク帯)、テライ平原 (ガンジス平野) に大別される (図-1, 2)。

高(大)ヒマラヤ (Higher or Great Himalaya) は 6000m 以上の山岳地からなり、世界の屋根である。高ヒマラヤは、テーチス海に堆積した白亜紀の堆積岩とそれに貫入する第三紀中新世花崗岩類および変成岩類からなる。ここでは、氷河による侵食作用によって岩肌が露出した長大斜面が形成されている。高山のため、山腹斜面には植生がない。

低（小）ヒマラヤ（Lower or Lesser Himalaya）は、変成岩、古生代と中生代の堆積岩および花崗岩類から構成され、2000～3000m級の比較的定高性のある山脈が連なっている。定高性のある山稜は丸みを帯び、赤色風化殻がよく保存されている。河川は下刻作用によって急峻なV字谷を形成し、河床には、新鮮な岩盤が露出している。そして、山腹斜面には、地すべり地形や岩盤クリープによるはらみだし地形がしばしば形成され、棚田として利用されている。

外ヒマラヤ（Sub-Himalaya）はシワリク（Siwalik）帯とも呼ばれ、ヒマラヤ前縁に新第三紀の堆積岩からなる標高1000m級の山地である。この山地においても、河川の下刻作用によって急峻なV字谷が形成され、軟質な堆積岩からなる斜面において、地すべりや崩壊が多発している。

テライ平原（ガンジス平野）は、第四紀の厚い未固結堆積物からなる平野で、亜熱帯の気候・植生によって南アジアの景観を呈している。

2. 2 主要断層と地殻変動

前述の地形列の境界には、大断層が東西に走っている。高ヒマラヤと低ヒマラヤは、プレート衝突によって形成されたとされる主中央衝上断層（MCT：Main Central Thrust）によって境いされる。MCTに沿って認められる活断層は西ネパールに限られ、しかも地質学的に認定される北上がりの衝上断層とは異なり、北落ち変位を伴う右横ずれ活断層が卓越する（中田, 1997）。低角衝上断層によって高ヒマラヤを成長させたMCTは役割を終えているようである。

低ヒマラヤとサブヒマラヤ（シワリク）は、主境界断層（MBF：Main Boundary Fault）によって境いされている。MBFに沿っては顕著な活断層活動が連続的に認められ、シワリク山地の背後で低ヒマラヤは急崖をもってそそり立っている（中田, 1997）。

シワリク山地とテライ平原（ガンジス平野）との地形境界に沿って、ヒマラヤ前縁断層（MFF：Himalayan Front Fault）が発達し、この断層の最近の活動によって外ヒマラヤの隆起が継続している（中田, 1997）。インド亜大陸とユーラシア大陸の衝突が始まったのは第三紀始新世で、その後ヒマラヤ山脈の大規模な隆起は、前縁に堆積した砕屑物の時代から中新世中期に始まったと考えられている。

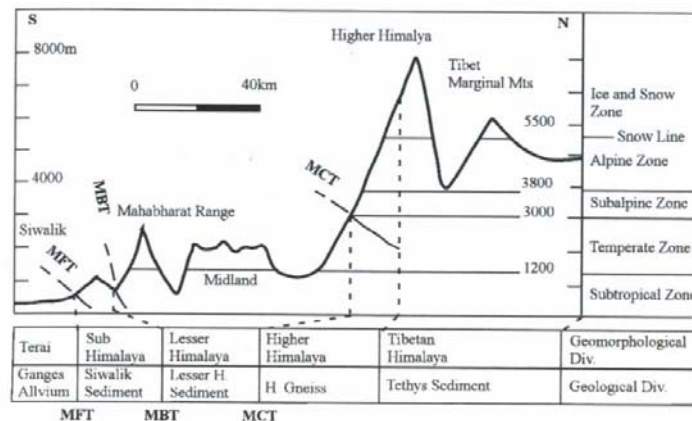


Fig. 10. Simplified physiographic and geologic cross section of the Himalaya along with climatic zones (Kizaki 1994). MCT: Main Central Thrust, MBT: Main Boundary Thrust, MFT: Main Frontal Thrust.

図-2 ヒマラヤの地形区分と主要地質構造線 (Upreti and Yoshida, 2005 に加筆)

3. ネパールと四国の類似性

ネパールは、南側のインド亜大陸が北側のユーラシア大陸に衝突し、その下に沈みこんでいる衝突帯で、東西に伸びる8000m級のヒマラヤ山脈に特徴付けられる。一方、日本列島は東側の太平洋プレートおよび南側のフィリピン海プレートが北西側のユーラシア大陸プレートの下に沈みこんでいる沈み込み帯の島弧である。このようにネパールと日本とは、プレートテクトニクスとしては異なる環境にあるにもかかわらず、ネパールと日本の地形・地質および景観には類似した点も多い（吉川ほか, 2003；長谷川ほか, 2004）。

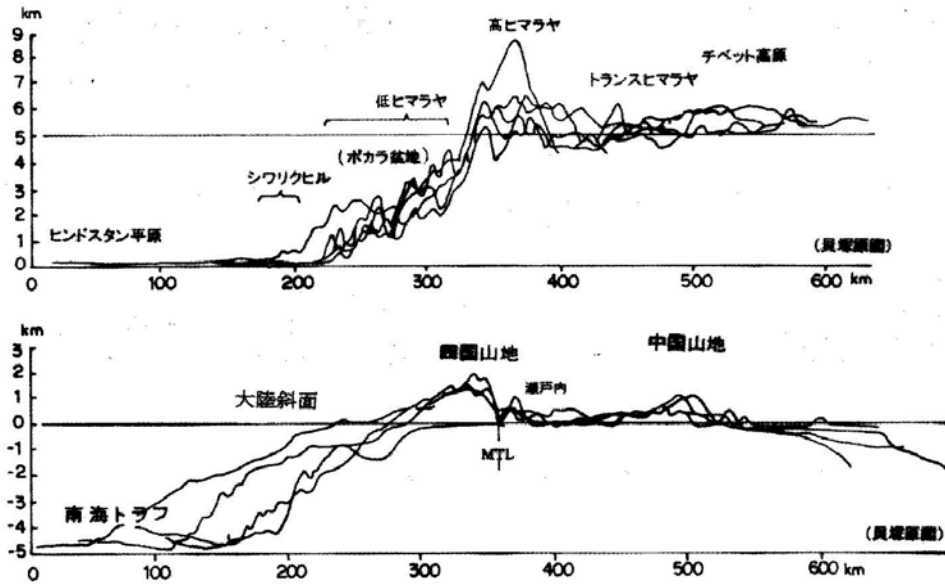


図-3 ネパールと西南日本の地形断面図 (原図は鄧・汪: 吉川ほか, 2003)

3. 1 山の最も高いところに中期中新世の花崗岩がある

ネパールと西南日本は地形配置および地質構造が類似している (吉川ほか, 2003)。西南日本とヒマラヤの地形を対比すると、以下のように対比される (図-3)。

- シワリク⇔大陸斜面の付加体
- 低ヒマラヤ・高ヒマラヤ⇔四国山地
- チベット高原⇔中国山地

また、四国山地の高まりは、中期中新世の花崗岩類と密接に関係している (長谷川ほか, 2003)。すなわち、西日本の最高峰は、近畿では紀伊半島の大峰山 (1915m)、中国では大山 (1729m)、四国では石鎚山 (1982m)、九州では宮之浦岳 (1935m) で、大山を除けば、いずれも中期中新世の1400万年前後の年代を示す花崗岩体もしくは火砕岩から構成されている。

一方、高ヒマラヤにも基盤岩を貫いて中新世の年代を示す優白色花崗岩が分布している (図-4)。この花崗岩類は、主として堆積岩起源の地殻物質が部分もしくは全溶融して形成されたと考えられている (石原, 1985)。

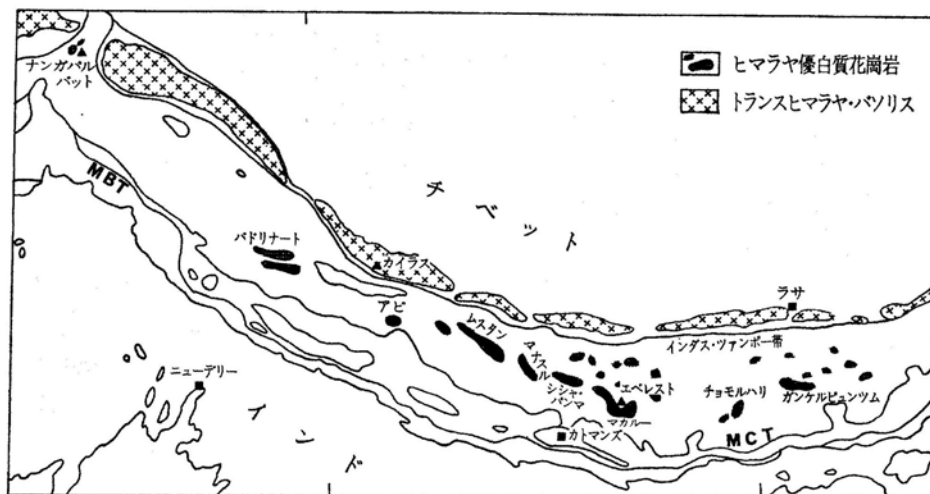


図-4 ヒマラヤ優白色花崗岩類の分布 (中島, 1987)

3. 2 第四紀の火山活動がないのに温泉がある

四国及び紀伊半島には道後温泉（泉温 43℃）や湯の峰温泉（泉温 90℃）のように、第四紀の火山帯でないにもかかわらず通常の地温勾配よりはるかに高い温泉がある。一方、ヒマラヤにも数多くの温泉が知られ、その最高温度は 71℃である（金原, 1991：図-5）。

四国もネパールも第四紀の火山活動は認められないが、中期中新世の花崗岩体が地下に伏在している。したがって、これらの温泉は、地下深部に浸透した天水が花崗岩貫入マグマの潜熱によって加熱され、MCTやMBF等の大断層帯に沿って湧出する、いわゆる構造規制型温泉であると解釈される（金原, 1991）。

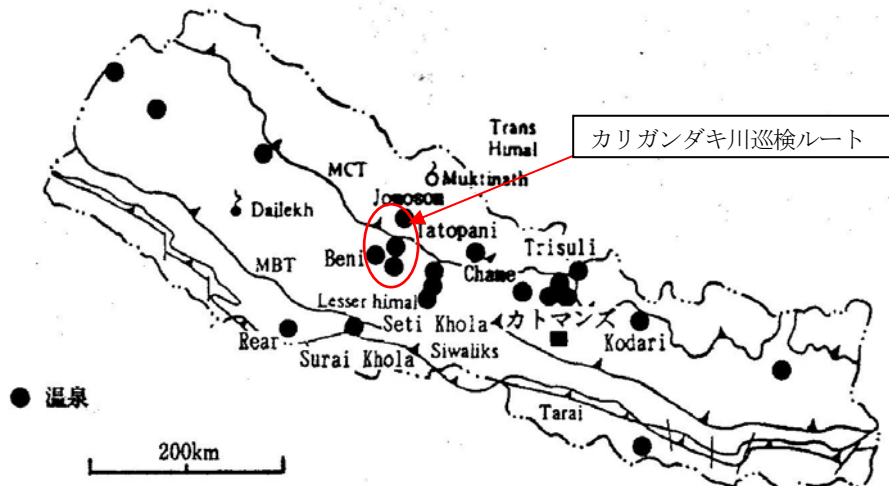


図-5 ネパールの温泉分布 (Bhattarai, 1986 : 金原, 1991 に加筆)

3. 3 巨大地震が発生する

四国山地は、沈む込むフィリピン海プレートによって約 100 年間隔で発生する南海トラフの巨大地震の震源断層面の北側に当たると共に、1000-2000 年間隔で発生する中央構造線活断層系による直下型巨大地震の震源近傍に当たる。また、ヒマラヤもインドプレートとユーラシアプレートの衝突帯にあたり、ネパールでは約 100 年間隔でM8クラスの巨大地震に襲われてきた(吉田・ウプレティ, 2006)。そして、四国と共にネパールも来るべき巨大地震の脅威にさらされている。

3. 4 地すべり・崩壊と熱水変質作用

四国には第四紀の火山活動がなく、また新第三紀の火成岩体の分布もわずかなため、熱水変質作用による岩盤劣化が見逃されている。しかしながら、四国の中央構造線沿いには、中期中新世火成活動に伴う熱水変質帯が形成されており、地すべりの素因となっている（長谷川, 2002）。同様の熱水変質作用は、中央構造線付近だけでなく、地質帯を問わず広く四国地方に存在する可能性が高く、地すべりの素因として注目される。50-100℃程度の低温で中性の熱水変質作用では、変質鉱物として一般にスメクタイトが生成する。

ネパールでも、変質粘土がすべり面となった可能性のある地すべり、崩壊が認められる。現時点では、ネパールの地すべり粘土からスメクタイトなどの膨潤性粘土鉱物は確認されていないが、ネパールにおいても、熱水変質起源の粘土帯・粘土脈は大規模地すべりの素因として注目される（長谷川ほか, 2004）。

4. カリ・ガンダキ川沿いのトレッキングルートの見所

カリ・ガンダキ川沿いのトレッキングルートは、ジョムソン（2700m）からベニ（817m）に至る約 60 km、3 日間の行程である（図-6, 7）。

4. 1 ジョムソンからレテ

ポカラ空港から早朝の飛行機でジョムソン空港に降り立つと周囲の山地斜面には植生がないため、テーチス帯の堆積岩の地質構造がよく観察できる。

ヒマラヤ奥地のジョムソンに空港があるのは、ジョムソン下流のレテにおいてカリガンダキ川に大規模地すべりダムが形成された結果、上流域に高大な堰止湖跡が形成されたためと推定される。河道閉塞は更新世においても幾度が発生し、数段の河成段丘と湖成堆積物が形成されている。

広大な堰止湖跡の河原はカロパニ（黒い水）で終わり、これよりレテまでは大規模地すべり堆積物中を通過する。STDS（南ベットデタッチメント系）は、カロパニからレテ付近を通過し、これより南側は高ヒマラヤの変成岩が分布する。このSTDSは、エベレスト山頂直下においても露出し、高ヒマラヤの隆起に伴いその上部にあったテーチス堆積岩が北側に重力滑動して形成されたと解釈されている。

4. 2 レテからタトパニ

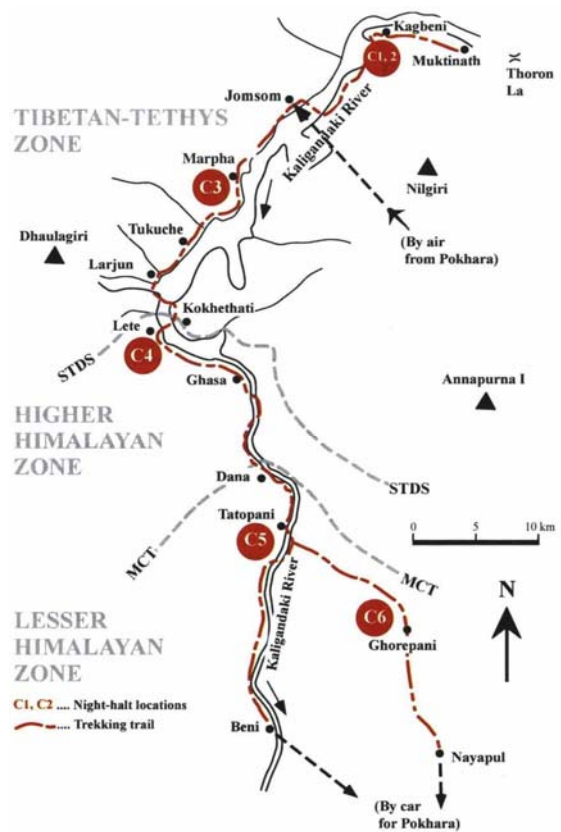
レテからタトパニ間には主として高ヒマラヤの変成岩が分布し、各種の片麻岩を観察することができる。ダナの北では、MCT帯を構成するマイロナイト、ウルトラマイロナイトを観察することができる。これより南側には低ヒマラヤの変成岩（主として千枚岩）が分布する。このルート沿いでは、大規模な地すべりや崩壊地地形も各所で観察できる。

4. 3 タトパニからベニ

タトパニ（Tatopani）は、「熱い水」、すなわち温泉を意味している。タトパニの泉源は、カリガンダキ川河床にあり、約65℃の温泉が自噴している。カリガンダキ川河床にある温泉は、地元の住民だけでなく、トレッカーの憩いの場となっている。

タトパニからベニのルート沿いには、低ヒマラヤの千枚岩、角閃岩や堆積岩類が分布している。また、片理面や層理面を分離面とする崩壊も各所で観察される。

ポカラからの自動車道はベニまで開通している。ベニからポカラ間はタクシーもしくはバスで移動でき、自然と景観と調和した山岳道路の工事方法についても調査することができる。



Model trekking routes and halts along the Kaligandaki valley

図-6 カリガンダキ川沿いのトレッキングルート (Upreti and Yoshida, 2005)

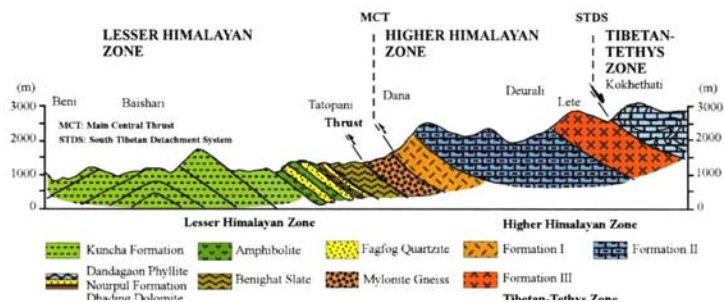


図-7 カリガンダキ川沿いの地質断面図 (Upreti and Yoshida, 2005)

5. おわりに

日本応用地質学会中国四国支部では、平成 20 年の創立 15 周年記念事業として、ネパール国を訪問し、今回紹介したルートを中心にヒマラヤ山脈の応用地質学的問題に関する知見を深め、ネパールとの地質技術者との交流を行う計画です。今後詳細な計画を立てて、参加者を募集する予定ですので、ご意見をお願い申し上げます。

参考文献

- 1) B.N.Upreti and M.Yoshida(2005) : GUIDBOOK for HIMALAYAN TREKKERS, Department of geology, Tri-Chandra Campus, Tribhuvan University, 165p.
- 2) 長谷川修一(2002) : 四国の地質現象の黒幕としての中期中新世珪長質火成岩体, 日本応用地質学会平成 14 年度研究発表界論文集, 23-26.
- 3) 長谷川修一・矢田部龍一・Netra P.Bhandary・中島淳子・高橋治郎・北川隆司 (2004) : ネパールにおける斜面災害の地質的背景—四国との類似性—, 地盤災害・地盤環境問題論文集, 第 4 巻, 81-86.
- 4) 石原舜三(1985) : チベット—ヒマラヤ衝突帯の花崗岩類, 地質ニュース, 374, 6-17.
- 5) 金原啓二 (1991) : インド・ユーラシアプレート衝突 (ヒマラヤ地域) の地熱・温泉資源, 地質ニュース, 446, 18-32.
- 6) 中嶋輝允 (1987) : ヒマラヤの海とその消滅(3). 地質ニュース, 389, 36-47.
- 7) 中田高 (1997) : ヒマラヤの隆起と活断層, 貝塚爽平編「世界の地形」, 東京大学出版会, 29—38.
- 8) 吉田勝・B. N. ウプレティ(2006) : 中部ヒマラヤ巨大地震とカトマンズの危機, 地学教育と科学運動, 53, 41—51.
- 9) 吉川宏一・大野博之・稲垣秀輝・平田夏実(2003) : オムニスケープジオロジー—ネパールと四国の比較—, 応用地質, 44, 14—24.