

ネパール・ムスタン地域の地質巡検報告

2020年7月22日 内山孝男

1. はじめに

私は、鈴木肇さん、田野倉勝則さん(50音順・以下同じ)とともに2020年3月5日から3月16日に行われた「第9回学生ヒマラヤ野外実習ツアー」に参加し、ネパール連邦民主共和国のムスタン渓谷及びポカラ市、タンセン市、タライ平原の地質を見学した。参加者は全国から集まったためそれぞれ出発便帰国便が違うが、私たち3人の場合、3月4日の深夜0時20分に羽田を発ってその日の12時45分にカトマンズに到着し、帰国は3月17日の13時55分にカトマンズを発って翌18日の6時30分に羽田に到着した。参加者は、当初は20名の大学生と3名の引率指導者を含む26名の予定だったが、そのうち最も多くの学生と指導者の参加が見込まれた島根大学が新型コロナ対応として参加を取りやめたため、引率指導者1名(吉田勝先生)、大学生7名及び市民3名(私と鈴木さん、田野倉さん)の計11名となった。学生たちの在籍する大学は北海道大学、山形大学、千葉大学、信州大学(2名)、横浜国立大学、名古屋大学で、いずれも理学部の学生である。

1-1 「学生ヒマラヤ野外実習ツアー」とは

「学生ヒマラヤ野外実習ツアー」は2012年から毎年行われている。ネパール国立トリブバン大学トリチャンドラキャンパス地質学教室(カトマンズ)が運営に協力している。しかし、今回の場合、同大学当局が新型コロナ対応として同大学の学生と教授の日本人との接触を禁じたため、3月16日に行われた総括討論会の会場として同大学の教室を提供し、プラカース・ダス・ウラク先生がそれに参加した他は、同大学の協力は無かった。事業実施主体は Gondwana 地質環境研究所(和歌山県橋本市)で、「学生のヒマラヤ野外実習プロジェクト世話人会」が企画と準備を行っている。世話人会は吉田勝先生(代表、Gondwana 地質環境研究所会長・元大阪市立大学理学部教授・ネパール国立トリブバン大学名誉教授)、在田一則氏(北海道大学総合博物館・元北海道大学理学部教授)、酒井哲弥氏(島根大学総合理工学部准教授)とビサル・ナート・ウプレティ氏(ネパール科学技術アカデミー)で構成している。また、関係分野6学会等(abc順に、地学団体研究会・国際Gondwana研究連合・ネパール地質学会・ネパール地すべり学会・日本地質学会・日本応用地質学会)のほか、日本全国のシニア研究者や関係分野企業が推薦、後援して、参加学生の負担軽減を図っている(吉田2019)。

1-2 そもそもは

第73回地団研東京総会は昨2019年の8月23日から25日にわたって行われ、最終日8月25日のポスト巡検Gコースは当会が受け持って秋川流域のジオサイトを案内した。参加者とスタッフが武蔵五日市駅前に集合して自己紹介した際に、ネパールヒマラヤに「ヒマラヤ世界ジオパーク」を実現すべく長年努力してきた旨の自己紹介をされたのが他でもない吉田勝先生で、私はこれに衝撃を受けた。

と言うのは、私はネパール大好き人間で、それまでに15回もネパールを訪れていたからである。参加者は3台の車に配車されたが、私は強引に吉田先生と同じ車に配車してもらい、車中で、ヒマラヤ地域の地質や「学生ヒマラヤ野外実習ツアー」のことを聞き出したのである。私がネパールを訪れた過去の15回は、もっぱらカトマンズ盆地内三都市(カトマンズ市・パタン市・バクタプル市)の旧市街に遺る文化財、特に石造文化財の研究のためだったが、ジオに関心を持ってからは、いつかジオに

特化した旅をしてみたいと思っていた矢先だったから、鈴木さん、田野倉さんを誘って参加することにしたのである。

2. ネパールとムスタン渓谷

2-1 ネパールの地理

ネパール連邦民主共和国は、ヒマラヤ南麓のインドと中国(チベット自治区)に挟まれた場所に位置する、国土面積約 14.7 万 km^2 (北海道の約 1.8 倍)の小国である(外務省 HP)。国土は西北西から東南東方向に細長く伸び、南北の幅は 157km から 234km、東西の幅は約 1000km である。標高は、インドと接する南側の最低所が 60m、中国(チベット自治区)と接する北側の最高所がエベレスト山頂の 8480m であるから、その差は 8000m 以上にもなり、国土全体が南北に激しく傾斜している。緯度は首都のカトマンズで北緯 27 度 42 分 6 秒と、与論島とほぼ同じ緯度であるから、北側の高ヒマラヤ地域を除いては全体に東京よりもずっと温暖である。気候区分は、標高区分に沿って東西に同じ気候帯が分布し、南部のタライ平原が亜熱帯、北部のハイヒマラヤ地域が寒帯、その間の中間山地(低ヒマラヤと言う)が温帯に属する。

2-2 ムスタン渓谷

アジアの大河の多くはチベット高原に源を発し、高ヒマラヤを避けて西流(インダス川、ガンジス川、ヤムナー川)または東流(黄河、長江、メコン川、ヤルツァンポ川)するが、高ヒマラヤを貫いて南流する川もいくつかある。それらの川は高ヒマラヤが隆起するスピー



図 2-2-1 ネパールとヒマラヤ地域を流れる川

ドよりも川が侵食するスピードの方が速かったために高ヒマラヤを貫いて流れることができたわけである。ネパール国内にはそうした川が何本もあり、西部のカルナリ川、中西部のカリガンダキ川、東部のアルン川、及びその支流がそれである。ただしこれらのうちアルン川を除く河川は、中間山地を過ぎると東西方向に流れを変える。これは、南部に至って傾斜が緩くなったために侵食力が低下し、同時に、後述するもっとも新しい造山帯であるシワリーク山地の隆起するスピードに、河川の侵食するスピードが打ち勝てなかったためである(木崎 1994 53P)。

ネパールのこうした横谷(山脈の延長方向に直交する方向の谷)のうち、中西部のカリガンダキ川流域にはかつてチベット系住民による「ムスタン王国」が存在した。ムスタン王国は、ネパールの他の地域が 1769 年にゴルカ王朝によって統一された後でも独立または高度な自治権が保障された特別な地域であったが、2008 年にネパールの王制が廃止されて共和国となって以降は、行政的にはタウラギリ県ムスタン郡と位置付けられている(Wikipedia)。

ムスタン渓谷は西のダウラギリ(8172m)、東のアンナプルナ(8091m)を過ぎてさらに北方に延び、チベット高原と直接接している。つまり、高い峠を越えないでチベットに至ることができるわけで、そ

のため、チベット世界とインド世界とを結ぶ回廊として古くから主要な交易路となって来た。また、谷の両側に 8000m 峰がそびえていることから「世界最深の谷」という言い方もされてきた。

地質的には、南側のインド亜大陸の地層＝後述する東ゴンドワナ大陸の地層から、インド亜大陸とアジア大陸との衝突現場の変成岩帯を経て、北方に押し上げられたテーチス海の地層を過ぎてから、さらに北側にある本来のアジア大陸の地層まで、ムスタン渓谷を歩けばすべてを見ることができる、ということになる。ムスタン渓谷が地質巡検に最適とされる所以である。

3. 巡検旅行の概要（全体行程図は最終 32 ページに掲載）

3月5日 午前はホテルでパワーポイントを使用した事前学習会。午後はカトマンズ市内見学。市内見学は私が案内した。本来は、これらにはトリブバン大学トリチャンドラキャンパス地質学教室の教授や学生も参加するはずであったから、以後の日程も含めて説明はすべて英語で行われるのが過去の通例であったが、前記のようなわけで日本人だけとなったため日本語が通用した。このことは、英語がからきしダメな私たち3人にとっては幸運であった。

3月6日 カトマンズ(標高 1400m)から西へ 170km のポカラ(レイクサイドで 827m)へ移動。ポカラはネパール第二の都市で湖畔のリゾート地。以後の日程も含め長い移動はすべて貸し切りミニバス。

3月7日 ポカラからカリガンダキ川沿いに北上してムスタン郡に入り、カロパニ(2530m)へ。

3月8日 カロパニから旅程中最高所のムクティナート(3760m)へ。ムクティナートはヒンドゥー教仏教両方の信者にとっての聖地。下ってカグベニ(2800m)に泊。

3月9日 カグベニから徒歩でカリガンダキ川を下りながら地層観察しカロパニ泊。

3月10日 カロパニから徒歩でカリガンダキ川を下りながら地層観察しタトパニ泊(1190m)。タトパニでは温泉に入れる。火山の無いネパールの温泉はヒマラヤ隆起に伴う断層の活動に起因し、断層帯に沿って散在する(木崎 1994 P9)。タトパニ **तातोपानी** とはネパール語で「熱い水=お湯」の意味。

3月11日 カロパニからポカラへ移動。

3月12日 午前はポカラのペワ湖畔の高所にある日本山妙法寺からアンナプルナ山群を遠望。午後はポカラ周辺の地質見学とポカラ山岳博物館の見学。

3月13日 ポカラからタンセン(1090m)へ移動。タンセンはヒマラヤ中間山地の斜面に立地する旧都。

3月14日 タンセンから南下してルンビニ(標高 100m)へ移動。ルンビニはインドとの国境近くに位置する釈迦牟尼生誕地で、四大仏跡(釈迦牟尼生誕地ルンビニ・降魔成道の地ブッダガヤ・初転法輪の地サールナート・入涅槃の地クシナガラ)の一つ。気候は亜熱帯。

3月15日 ルンビニからカトマンズへ移動。

3月16日 午前は自由時間。午後はトリブバン大学トリチャンドラキャンパス地質学教室で総括討論集会。吉田先生以外の参加者全員が、巡検旅行を通してのそれぞれの感想や発見を発表する。私は、前日のルンビニに因んだ話題としてジャータカ(釈迦牟尼の前生譚)について、ウラク先生のためにネパール語を交えて述べた(一応ネパール語の翻訳家)。

なお、毎日の夕食後には参加者全員が参加してのセミナーがある。内容は、その日に見学した見学地の一か所について一人が、そこで見た地学現象について説明したり感想を述べた後、それをめぐって皆で討論し、終わると次の見学地について同じことを繰り返す、というもので、長い時には終わり

が夜の 10 時 30 分にもなった。つまりは、朝から夜まで完全にジオ漬けの毎日で、素晴らしくも得難い体験であった。

4. ゴンドワナ大陸の分裂とインド亜大陸のアジア大陸との衝突

巡検旅行で見た個々の地学現象を説明する前に、それらの元になった地球史の一部を大づかみに理解しておく必要がある。

4-1 ゴンドワナ大陸

今から 3 億 6000 万年前から 1 億 5000 万年前(木崎 1994 59P)の間、地球上の陸地が一塊になった超大陸パンゲアが存在した。パンゲアは北側のユーラシア大陸と南側のゴンドワナ大陸から成り、ゴンドワナ大陸はさらに東ゴンドワナ(南極とインドとオーストラリア)と西ゴンドワナ(南北アメリカとアフリカ)に分けて捉えられる。「C」の字の内側にあたる広大な入り江がテチス海である。この時、後にインドとなる部分は南極と接しているが、現在とは 90 度違って南端のコモリン岬が西に在りインド洋側(東岸)が北に向いて南極とつながっている。



図 4-1-1 パンゲア超大陸

この間の南極とインドの関係に注目すると、5 億年前に南極大陸の今の大西洋側に花崗岩が貫入して(クイーンモード変動)広大な高地になっていた(クイーンモードランド)。河川はクイーンモード高地からテチス海に向かって流れていたから、後のインド亜大陸部分には氷河を源とする河川が網目状に流れ、ところどころに森林がありところどころに湖があった(木崎 1994 69P)。したがって、現在ネパールで見られる後述するゴンドワナ起源の地層は、基本的には陸上(河川や湖)堆積物である。この際、後のインド亜大陸は今と比べて 90 度東に寝ていたから、後にネパールになる部分では、源流は東側にあったことになる。



図 4-2-1 大陸分裂と移動

4-2 大陸分裂とインド亜大陸の北上

1 億 5000 万年前になると超大陸は分裂をはじめ、現在のそれぞれの大陸の位置に移動を開始する。ジュラ紀と白亜紀は地球全体が猛烈に暖かかったと考えられているが、それは超大陸がほどけて赤道海流が西進できるようになるからである。また南北アメリカの間も閉じていないから赤道海流は地球を一周することができてどんどん熱せられ、熱せられた海水は南北海流で極地にももたらされるから、地球全体が暖かかったというのである(木崎 1994 79P)。

インド亜大陸は北へ向かうプレートに乗って北上し、酒井 1997 11P 図 17 によれば、今のニューデリーあたりは 7000 万年前には南緯 20 度あたりを、5700 万年前には赤道あたりを通過し、5000 万年前ころにアジア大陸と陸続きになったと考えられている。この間の移動スピードは年間 15cm から 20cm

という高速だが 5000 万年前以降は年間 10cm 以下に減速する(酒井 1997 10P)。減速の原因がアジア大陸との衝突にあることは言うまでもない。

インド亜大陸が 5000 万年前にアジア大陸と陸続きになったことは古生物のデータからも裏付けられている。インド亜大陸から大型陸生動物の化石が発見されるのは始新世(5600~3780 万年前)以降のことで、それ以前、インド亜大陸には哺乳動物がいなかったらしい(木崎 1994 76P)。インドとアジアが陸続きとなりアジア側からサイなどの動物が移動してきたわけである。このころ、テチス海はずでに閉じていて両者の境界あたりに点在する淡水湖や湿地や陸地となっていた。

4-3 インド亜大陸とアジア大陸の衝突

北上するインド亜大陸が乗ったプレートはインド・オーストラリアプレートである(インドプレートとオーストラリアプレートを分ける説もある。wikipedia)。インド・オーストラリアプレートは海洋プレートである(wikipedia)。したがって、ユーラシアプレートとの関係で言うと、インド・オーストラリアプレートの方が大陸プレートであるユーラシアプレートの下に沈み込もうとする。しかしインド亜大陸を乗せており、インド亜大陸は軽い大陸地殻であるから容易に沈み込むことができないため、プレート境界自体を北へ北へと押し込みつつテチス海堆積物を上へ上へと押し上げ、巨大な山脈(ヒマラヤ)を造ることになる。エベレスト山頂直下にあるイエローバンドがテチス海堆積物中の石灰岩帯であることはよく知られている。また潜り込まれる方のアジア側の地殻は潜り込まれた分、ぶ厚くなるため、広大な高原地帯が出現する(チベット高原)。

5000 万年前に最初にアジアと接触した場所はインド北西のラダック地方で、当時北緯 7 度付近にあったようだ。現在のラダックの緯度は北緯 34 度であるから、その差は 27 度、距離にして約 2600km もインドはアジア側にめり込み、地殻が短縮したことになる(酒井 1997 10P)。

5. ネパール南部からチベット南部にかけての地質構造

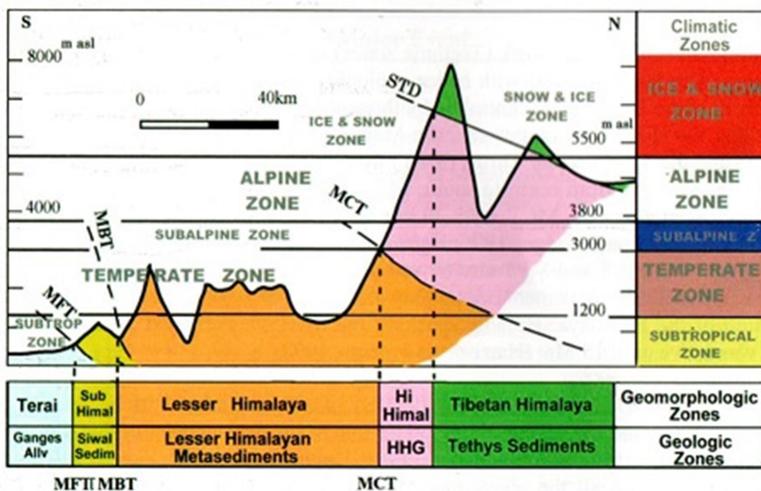


図 5-1-1 ヒマラヤ地域の地質断面と断層

図 5-1-1 は、図左(南)のネパール南部から図右(北)のチベット南部までの南北断面に、横軸に各部の地質体と断層を、縦軸に標高と気候区分を示したものである。全体としては左(南)にインド亜大陸の地層があり、右(北)にアジア大陸の地層があり、両者の間にテチス海の地層がある、ということになるが、この図ではアジア大陸の地層までは示されていない、この図により図左から順にそれぞれの地質体と断層の概略を 5-1 として述べ、5-2 以降にそれぞれについて詳述する。

5-1 各地質体と断層の概略

○ガンジス沖積地(タライ平原)

ガンジス川とその支流(ネパール国内を流れる河川はすべてガンジス川の支流)が運んだ泥・砂・礫による平原で、そのネパール領内を「タライ平原」と言う。タライ平原部分には北隣のシワリーク山地から供給された砂礫が溜まっており、北ほど粗粒になる。

○HFT(Himalayan Frontal thrust ヒマラヤ前縁衝上断層)または MFT(Main Frontal thrust 主前縁衝上断層)

南のガンジス平原と北のシワリーク山地を分ける断層。これより北側が大陸衝突による隆起帯で、広義の「ヒマラヤ」はこれよりチベット南部の山脈(トランスヒマラヤ)までの全体を言う。

○シワリーク山地[5P の図 5-1-1 の黄色部分]

高ヒマラヤ帯が隆起し始めて以降に高ヒマラヤから供給された泥・砂・礫による地層(シワリーク層群)。したがって比較的新しい。現在もっとも激しく隆起しつつある地帯で、現在の標高は 1200m ほど(wikipedia)。

○MBT(Main Boundary thrust 主境界衝上断層)

地形的には南の垂ヒマラヤ帯(シワリーク山地)と北のマハーバーラト山脈(低ヒマラヤ帯の南縁山脈)を分ける断層。地質的には南のシワリーク層群と北の低ヒマラヤ変成堆積物帯とを分ける断層。

○低ヒマラヤ帯[5P の図 5-1-1 のオレンジ色部分]

低山(シワリーク山地)と高山(高ヒマラヤ)との間の中間山地。ゴンドワナ大陸北縁の地層が基盤になる。南縁にマハーバーラト山脈(最高点 2560m・コトバンク)が東西に延びる。ヒマラヤ南麓先住民諸族の居住エリア。

○MCT(Main central thrust 主中央衝上断層)

南の低ヒマラヤ変成堆積物帯と北の高ヒマラヤ片麻岩帯とを分ける断層。ヒマラヤ片麻岩は南のゴンドワナ大陸起源の変成堆積物帯の上に舌状にのし上がって(ナップ)おり、その境を言うため、「断層」とはいうものの真っ直ぐでなく、グニャグニャ曲がっている。

○高ヒマラヤ帯[5P の図 5-1-1 のピンク色部分]

テーチス海堆積物は潜り組むプレートによって押し上げられているため高ヒマラヤの 5500m 以上及び北側のチベット域に分布する。それ以下の部分は、岩石が地下深くまで沈みこみ、高温高压下で変成したできた片麻岩が上昇して地表に現れた地域。

○STDS(South Tibetan Detachment System 南チベット分離構造線)

南の高ヒマラヤ片麻岩帯と北のテーチス海堆積物帯とを分ける断層。この断層だけは北側がずり落ちる正断層である。

○チベット南部=トランス(奥)ヒマラヤ帯[5P の図 5-1-1 の緑色部分]

ゴンドワナ大陸及び北上するインド亜大陸の北縁の浅海(テーチス海)の陸棚に堆積した土砂やサンゴ礁の地層。この陸棚は干上がって陸になることもあった。

○ITSZ(Indas-Tsanpo suture zone インダス・ツァンポ縫合帯)

図 5-1-1 には示されていないが、本来のアジア大陸とテーチス海堆積物帯とを分ける構造線で、現在その谷にはインダス川の上流部分が西流し、ヤルツァンポ川の上流部分が東流する。広義のヒマラヤの北限。ヒマラヤ地域ではこの一帯だけにチャートや枕状溶岩などの深海堆積物が分布すると言うが(在田 1988 53P)、本巡検ではここまで北上していない。

図 5-1-2 は図左(南)のネパール南部から図右(北)のチベット南部までの南北断面の地質構造をサンドイッチのパンとパンの間に挟まれる具として分かりやすく表したものである。断層と断層の間のパンの部分に矢印→で傾動方向が示されている。全体としては、インド・オーストラリアプレートが北

方向に潜り込みつつ上の地層を押し上げるため地層はすべて南側にのし上がり、北落ちの傾斜になっている。したがって北へ向かうほどより上位の、新しい時代の地層が地表に現れることになる。MCTとSTDS間の高ヒマラヤ片麻岩帯は南にのし上がってナップとなっており、その背後(北側)に引張応力が働くためSTDSだけは正断層である。これによりSTDSに乗っているテーチス海堆積物はずり落ちながら激しく褶曲する。図5-1-2ではその褶曲をグニャグニャと曲がったハムとして表している。

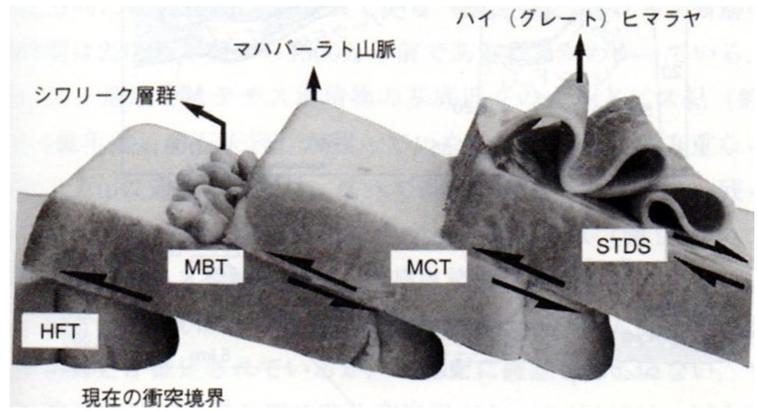


図 5-1-2 ヒマラヤ地域の地質構造

なお、北へ潜り込もうとするプレートの働きによって高ヒマラヤは今も隆起しているが、過去において造山運動の主役だったMCTは今も動いていない(木崎 1994 51P)。高速道路上での玉突き衝突のように、先頭の手車(ITSZ)が止まった後も後続車の勢いは止まらないために、衝突現場(断層)は2台目(MCT)へと移り、2台目が止まった後は3台目(MBTやMCT)へと移ったのである。

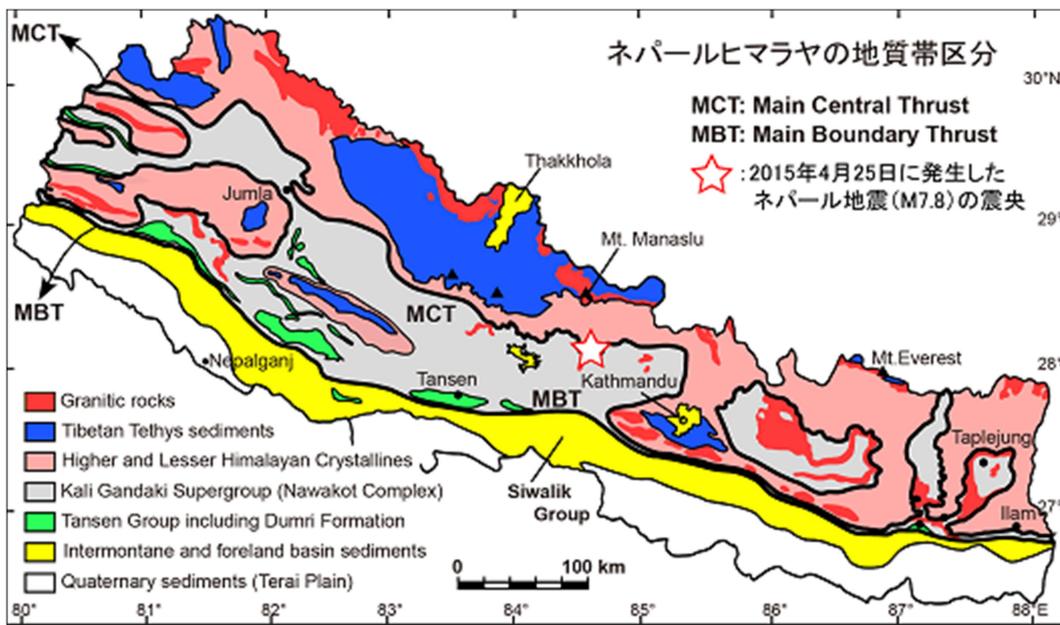


図 5-1-3 ネパールヒマラヤの地質体区分

図5-1-3は酒井2015によるネパール領内の大まかな地質図である。南から白(ガンジス沖積層)、黄(シワリーク堆積物)、灰(低ヒマラヤ変成堆積物・ナワコト層群)、ピンク(高ヒマラヤ片麻岩)が東西に並んでいるが、ピンクの高ヒマラヤ片麻岩は南にのし上がり、地域によってナップまたはクリッペ(ナップの先端が侵食によって島状に取り残された部分)となっているため、地域によってその分布に違いがある。顕著なナップとクリッペは西部のカルナリクリッペと中央部のカトマンズナップである。

「MCT」の「T」の文字の上の▲はダウラギリを、その右の▲はアンナプルナを表わしている。ムスタン渓谷は二つの▲の間を通り、青(テーチス海堆積物)の中を北側の黄色へと続く。黄色の上にかかれている「タコーラ」とはムスタン渓谷北部(カリガンダキ川上流部)のことを言う。

なお、ムスタン溪谷の他に、カトマンズ盆地周辺の一部にも青で塗られた部分があるが、これはテーチス海堆積物がカトマンズナップの上に乗ってはるばる南に運ばれてきたものと考えられている(在田 1988 70P)。

5-2 シワリーク山地

高ヒマラヤは隆起しつつ侵食され、侵食された土砂や礫は南流する川によって南方に運ばれて堆積する。この、今のシワリーク山地にあたる部分には中新世中期から更新世前期まで、高ヒマラヤ隆起に伴って沈降する堆積盆「前縁堆積盆地」があり(在田 1988 96P)、高ヒマラヤからもたらされる土砂を厚く溜めた。

この地層は、衝突帯が南に移動するためにやがて隆起に転じ、シワリーク山地となる。シワリーク山地やその北方のマハーバーラト山脈には、以前は川床だったが今は山上に押し上げられて峠となった「空谷」が多く見られると言う(在田 1988 126P)。

高ヒマラヤが隆起をはじめた約 1500 万年前にはまだ山は低く、泥しか運ばれて来なかったが、高度を増し川の傾斜も大きくなるとともに運ばれて来るヒマラヤ碎屑物は泥から砂、砂から礫へと移行する。そうした典型的な上方粗粒化を示す。下表のアルンコーラ層上部(1000 万年前頃)からゴマシオ砂岩がはじまる。ゴマシオは白い石英砂や長石砂と黒い黒雲母が混じって砂岩となったものであり、高ヒマラヤがかなり高くなって片麻岩や花崗岩が削られはじめたことを示している。最上位の不淘汰巨礫は、高ヒマラヤが高く急傾斜になり、山体崩壊をはじめたことを示している。

表 5-2 シワリーク層群の層序表(木崎 1994 104P 掲載の表を内山が改変)

シ ワ リ ー ク 層 群	デオラリ層	不淘汰巨礫	150 万年前頃から 70 万年前頃	↑ 上 方 粗 粒 化
	チトワン層	淘汰の良い中礫(珪岩)	250 万年前頃から 150 万年前頃	
	ビナイコーラ層	細・中礫 砂岩優勢	750 万年前頃から 250 万年前頃	
	アルンコーラ層	砂岩に泥岩混じる (ゴマシオ砂岩はじまる) 泥岩に砂岩を少量挟む	1500 万年前頃から 750 万年前頃	

5-3 低ヒマラヤ帯

MBT から MCT までの広い範囲には Gondwana 大陸北縁の、先カンブリア代後期から古生代前期の地層が分布する。この時代の Gondwana 大陸北縁には 4-1 で述べたように南の氷河を源とする河川が網目状に流れ、扇状地堆積物や湖沼堆積物を溜めたが、陸地のそばのごく浅い海であった時代もあった。表 5-3 に中央ネパールにおける低ヒマラヤ堆積物の層序表を示すが、これらの地層は全体として東西方向に軸がある形で緩やかな背斜構造を成しており(在田 1988 70P)、さらに、上部が侵食されて無くなっているために最下位のクンチャ層が広い範囲を占め、FagFog 珪岩層よりも上位の部分はクンチャ層を挟んで南側と北側に分かれて分布している。また、図 5-1-3 を見ると低ヒマラヤ帯の南側に東西方向に細長い緑色の帯状が何か所か見えるが、これはタンセン周辺を模式地とするタンセン層群である。タンセン層群はペルム紀から古第三紀漸新世の地層で(Yoshida and Ulak 2017 125P の Table V-2(Sakai1988)による)、東西方向に軸がある向斜の軸部分だけに分布する(Yoshida and Ulak 2017 126P の FigV-28 及び FigV-29 による)。ナワコット層群とタンセン層群の関係は不整合である。つ

まり、ゴンドワナ大陸及び北上するインド亜大陸の北縁は古生代中期には陸化して削剥の地になったがペルム紀以降に再び海に沈んで堆積物を溜めた。しかし後の隆起に伴って削剥を受け、向斜軸部分(基盤の凹部)だけに取り残された、ということであろう。

ナワコット層群(低ヒマラヤ帯のゴンドワナ堆積物)は全体として大陸衝突によるストレスを受けているが、北のMCTに近づくほど変成の度合いは大きくなる。MCTは幅1kmから10kmに及ぶ断層帯で、狭義のMCTはその北限断層であるが、断層帯にはいくつかの断層が並行して走っており、それぞれは谷を造っている。地層は谷に近づくとき強く変成し、離れると元に戻る、といったことを繰り返してMCT北限断層に至ると、顕著なマイロナイト(破碎岩)になる。

表 5-3 中央ネパール低ヒマラヤ変成堆積物の層序表(Yoshida and Ulak 2017 10P に掲載された Table11-1. (central Nepal. Stocklin1980)を内山が訳した。

ナ ワ コ ッ ト 層 群	上部 ナワ	ロバン千枚岩及びドゥンガ 珪岩層	千枚岩 珪岩 角閃岩	層厚 200~1000m	古生代
	コッ	マレク石灰岩層	石灰岩 苦灰岩	層厚 800m	古生代
	ト層	ベニガート粘板岩及びジク 炭酸塩岩層	粘板岩 泥質岩 石灰岩	層厚 500~3000m	古生代
複 合 岩 体	不整合				
	下部 ナワ	ダディン苦灰岩層	ストロマトライト 苦灰岩	層厚 500~1000m	先カンブリア代後期
	コッ	ノアプル層	千枚岩 珪岩 苦灰岩	層厚 800m	先カンブリア代後期
	ト層	ダンガオン千枚岩層	千枚岩	層厚 1000m	先カンブリア代後期
	群	Fagfog 珪岩層	白色珪岩	層厚 400m	先カンブリア代後期
	クンチャ層	千枚岩 珪岩 硬質粗粒 砂岩 礫岩	層厚 3000m 以上	先カンブリア代後期	

5-4 高ヒマラヤ帯

MCT と STDS の間には高ヒマラヤ片麻岩が分布する。高ヒマラヤ片麻岩は衝上断層である MCT に沿って南側にのし上がり、地域によっては MBT 近くまで低ヒマラヤ帯を覆っている。

高ヒマラヤ片麻岩はガーネット(ザクロ石)、カイヤナイト(藍晶石)、シリマナイト(珪線石)などの鉱物を含むが、鈴木 2020 によれば、鉄礬ガーネットが生成するには 30000 気圧と 900 度の温度が必要である。こうした条件が実現する深さは地下約 20km 以上(在田 1988 64P)とも地下約 40km(酒井 1997 12P)ともされているが、いずれにしても、一度大陸地殻の基底(モホ面)近くまで沈み込んだ低ヒマラヤ堆積物の一部は溶け、溶けて密度が減少したために軽くなって上昇を始める。この上昇こそが高ヒマラヤ隆起の核心であり、上昇した時期は、再溶融した優白花崗岩(長石と石英だけで出来ているような花崗岩)の同位体年齢から 2500 万年前から 1500 万年前と考えられている(酒井 1997 12P)。

この「2500 万年前から 1500 万年前」は高ヒマラヤ片麻岩が最後に変成を受けた時期を示すが、高ヒマラヤ片麻岩はそれ以前にも変成を受けていた。複数の同位体を測定することによって岩石が受け

た変成の履歴がわかり、木崎 1994 90P によれば、高ヒマラヤ片麻岩は 20 億年前と 5 億年前にも変成を受けていた。このことは、高ヒマラヤ片麻岩の原岩が Gondwana 堆積物であることを如実に示している。巡検コースにおける高ヒマラヤ片麻岩は南が下位、北が上位で、変成の度合いは下部(南)ほど強い(在田 1988 64P)。

表 5-4 高ヒマラヤ片麻岩帯の層序表(Yoshida and Ulak 2017 11P の記述をもとに内山が作成。層厚は巡検コースにおける層厚を示す)

Ⅲ層	粗粒な眼球状片麻岩 優白花崗岩	層厚 1300m
Ⅱ層	輝石及び角閃石石灰質縞状片麻岩 大理石 泥質片麻岩	層厚 2850m
Ⅰ層	ザクロ石、藍晶石を含む白雲母・黒雲母片麻岩	層厚 800m

5-5 チベット南部

STDS と ITSZ の間にはインド亜大陸の北側にあった海(テーチス海)の堆積物が分布している。ITSZ はテーチス海にあった海洋プレートの沈み込み帯が 2000km 以上北上してアジア内陸部にめり込んだ、いわば内陸に取り残された海溝の遺跡で、この周辺にだけ枕状溶岩、粗粒玄武岩、チャートなどの海洋プレートの残骸が分布すると言うが(酒井 1997 12P)、その他は浅海の堆積物である。

高ヒマラヤ片麻岩は MCT に沿って激しく南側にのし上がっているために、のし上がりの背後にあたる高ヒマラヤの北側には強烈な引っ張りの力(引張応力)が働く。また、テーチス海堆積物の基底付近は主に石灰岩で構成されており、石灰岩は高温高压下では塑性化して流動するため(酒井 1997 15P)、テーチス海堆積物は正断層である STDS を「すべり台」に、流動する石灰岩を潤滑油にしてずると滑り落ち、そのためテーチス海堆積物はグチャグチャに褶曲している。特に、いたるところで折り畳んだような横臥褶曲が見られる。

テーチス海堆積物ほどの地層も豊富な化石を含んでいる。カンブリア紀では環形動物の這い跡や三葉虫、オルドビス紀のウミユリや腕足類、デボン紀のサンゴ、石炭紀からペルム紀のスピリファー(腕足貝)やコケムシ、中生代のアンモナイトやベレムナイトなどが主なものである。

表 5-5 テーチス海堆積物帯の層序表 (Yoshida and Ulak 2017 13P の table II-2(after Colchen et al. 1986) の、Important fossils の項目を除去して内山が訳した)

ムディン層	層厚 300m	薄い、淘汰の良い灰色砂岩及び灰色頁岩	白亜紀中期
チュカ層	層厚 900m	厚い円磨された緑灰色砂岩及び暗灰色頁岩	白亜紀前期
スピティ層	層厚 500m	葉理のある灰色頁岩 灰色石灰岩と砂岩を挟む	ジュラ紀後期
ルマチャレ層	層厚 300m	灰色石灰岩と頁岩の互層 砂岩 泥灰石	ジュラ紀中期
ジョムソン層	層厚 400m	暗灰色細粒及び魚卵状石灰岩 灰色砂岩と黒色頁岩を挟む	ジュラ紀前期
コーツァイト層	層厚 300m	厚い珪岩 頁岩を挟む	三疊紀後期
ティニガオン層	層厚 800m	明褐色石灰岩と明灰色頁岩の互層 頁岩は石灰岩より厚い	三疊紀前期
ティニチュー層	層厚 700m	白色の粗粒な珪岩 灰色頁岩を挟む	石炭紀～ペルム紀
ティリチャーレイ	層厚 300m	灰色または青灰色から黒い石灰岩 石灰岩質片	石炭紀～ペル

ク層		岩黒色頁岩	ム紀
ティリチョーパス層	層厚 600m	黒色粘板岩 千枚岩 中粒砂岩と千枚岩	デボン紀
ソンプレ層	層厚 600m	黒色粘板岩と砂岩を挟む粗粒な苦灰岩	シルル紀
ノースフェイス珪岩層	層厚 700m	碎屑性の砂岩 珪岩 白色からピンク色の片岩	オルドビス紀
ニルギリ層	層厚 1500m	片岩を挟む厚い青色石灰岩	オルドビス紀
ピー層	層厚 450m	黒色片岩と石灰質片岩の互層	オルドビス紀
アンナプルナイエロー層	層厚 2000m	青灰色石灰岩 珪岩 片岩	カンブリア紀
サントゥアイレ層	層厚 350m	硬砂岩と苦灰岩と千枚岩の互層	カンブリア紀

6. ポカラ盆地の成り立ち

以下は、巡検で訪れたジオサイトやその地で見られる地学現象を、写真を解説する形で紹介する。実際には、中継地であったポカラから一気に終着点のムクティナートまで北上し、南下しながら各ジオサイトを見学したのだが、本報告では南から北へと以下の順で報告する。

6. ポカラ盆地の成り立ち 7. シワリーク層群と MBT 8. 低ヒマラヤ変成堆積物 9. MCT と高ヒマラヤ片麻岩 10. ムスタン渓谷とテーチス海堆積物 11. 氷河性堆積物と河岸段丘 12. 自然災害

ポカラは中西部に位置するネパール第二の都市で、ペワ湖やベグナス湖を中心にした観光地でもある。街はペワ湖北岸の扇状地に発展し、扇状地の砂礫を供給した給源ははるか北方のアンナプルナⅢ峰(7555m)の南面である。

図 6-1 はサランコットの丘から俯瞰したポカラの町とペワ湖。写真の左方が北で左方延長にアンナプルナⅢ峰南面とセティーコーラ(アンナプルナⅢ峰南面から南流する川。「コーラ」とは川のこと)がある。写真から右(南)へ緩く傾く扇状地であることが見て取れる。基盤は表 5-3 のクンチャ層で、基盤の凹部を 12000 年前のアンナプルナⅢ峰南面の氷河湖決壊洪水堆積物(ガチョック層)が埋めた。さらに、700 年前の大規模な土石流の堆積物(ポカラ層)がそれに重なっている。これらによって西方(写真右下の外)から盆地に流れ込むハルパンコーラが堰止められてペワ湖ができた(Yoshida and Ulak 2017 21P)。なお、写真手前の緩斜面はサランコット山(1592m)が山体崩壊して出来た緩斜面である。ネパール中間山地では、盆地を除いては、人々は例外なくこうして出来た緩斜面を利用して耕作し、居住している。



図 6-1 ペワ湖とポカラの町俯瞰

次ページの図 6-2 はペワ湖の南東に位置するグプテスワルマハーデブ寺院である(訳すと「秘密のシヴァ神寺院」)。この寺院はガチョック層が侵食されてできた洞穴の上に堂宇が築かれており、写真の螺旋階段を洞窟に降りてゆくと地下のガチョック層を観察することができる。ここで見るガチョック層は水平に成層した砂礫層であった(図 6-3)。



図 6-2 グプテスワルマハーデブ寺院

12000 年前のガチョック層も、それを覆った 700 年前のポカラ層も、完新世の堆積物にしては信じられないほどに硬く締まっている。図 6-4 のシヴァリング(中央)、象頭神ガネッシュ(左)、聖牛ナンディン(右)などの彫刻は、なんとポカラ層の礫岩を彫刻したものである。これらの土砂を運んだセティーコーラは「白い川」の意味で、石灰分を多量に含むために白濁しており、これによる炭酸塩コンクリーションの作用で、ポカラ盆地の地層は若いにかかわらず猛烈に硬いのだ。



図 6-3 洞窟のガチョック層



図 6-4 ポカラ層の石を彫って出来た石仏

7. シワリーク層群と MBT

図 7-1 はタライ平原からのシワリーク山地遠望。遠くに見える山並みがシワリーク山地。逆に北からシワリーク山地を車で下ると、まったく唐突に広大な平地に出る。山と平地の境は明瞭で、この境に HFT(ヒマラヤ前縁衝上断層)が引かれている。



図 7-2 アルンコーラ層の露頭



図 7-1 タライ平原からシワリーク山地遠望

図 7-2 はチディヤコーラという川に面したシワリーク層群の露頭を見ている。シワリーク層群は、前述したように中新世中期から更新世前期まで厚い堆積物を溜めながら沈降した「前縁堆積盆地」が後に隆起に転じた地層。そのうちの下部、中新世中期のアルンコーラ層がここに露頭している。左の学生が立っている面はそのうちの一枚の層界面で北へ緩く傾斜している。厚い細粒な緑灰色石灰質砂岩と泥岩の有律互層で、泥岩には雨粒の跡

や植物化石、生物擾乱の跡が認められ、平地を緩やかに蛇行する川のような堆積環境が想定されている(Yoshida and Ulak 2017 132P)。私も小さな這い跡化石がある細粒石灰質砂岩を採集できた。

図 7-3 はケラバリ村近くのシッダールタハイウェイ(中間山地とタライ平原を結ぶ南北路の一つ。「シッダールタ」は釈迦牟尼の出家前の名前)。写真の左上鞍部から道路を結ぶ線を MBT(主境界衝上断層)が走っている。その左がシワリク層群で右に低ヒマラヤ堆積物中の石灰岩が分布する。写真を見てもわかるように、断層線の右は地形も険しく植生に乏しい。左は緑豊かで地形は緩やかである。MBT が活動を始めた時期は約 1000 万年前と考えられている(Yoshida and Ulak 2017 131P)。



図 7-3 MBT が造る尾根の鞍部

8. 低ヒマラヤ変成堆積物

8-1 ダディン苦灰岩層の ストロマトライト

ダディン苦灰岩層(9P 表 5-3)のドロマイト(苦灰岩)は多彩な見かけのストロマトライトを多量に含んでいる。図 8-1-1 は前述したシッダールタハイウェイ沿いのマハーバーラト山中のマルンガバザール近くの道路沿いの露頭に現れたストロマトライト。ストロマトライトは、シアノバクテリアが日中に光合成を行って成長し夜間はその死骸や泥粒を粘液で固定し、それを繰り返しながら上方に向かって層構造を造るが、図 8-1-1 では層状のドームは下に向いている。つまり、横臥褶曲の下側を見ているのである。



図 8-1-1 下を向いたストロマトライト



図 8-1-2 マルディアンガコーラの巨礫の川原



図 8-1-3 巨礫表面のストロマトライト

図 8-1-2 は同じくマハーバーラト山中のラムディバザール近くのマルディアンガコーラというカリガンダキ川支流の川原。谷を埋めている巨礫は多彩な見かけのストロマトライトを含むドロマイトで、図 8-1-3 はその一つ。石表面をドームの頂上部分が埋め、無数の玉ねぎ状構造のような見かけになっている。なお、前述したように(8P)ナワコット層群は全体として背斜構造を成しており、最下位のク

ンチャ層を挟んでクンチャ層より上位の地層は南北の両側に2回現れる。これらのダディン苦灰岩層は南側で見られる同層である。

8-2 Fagfog 珪岩層のリップルマーク

Fagfog 珪岩層(Fagfog coartzite formation 9P 表 5-3)はつまり「砂質珪岩層」という意味であるが、「砂質珪岩層」では一般名詞となり、特定の地層名とならないため原語をそのまま使い「Fagfog 珪岩層」とした。「砂質珪岩」は低ヒマラヤ帯のゴンドワナ堆積物からチベット南部のテーチス海堆積物を通してたびたび現れるが、純粋な石英砂だけが固化したような岩石を言う。堆積環境としては、現在のアラビア半島のような低い乾燥した大陸の周辺の海と考えられている(在田 1988 69P)。つまり、高温乾燥下で泥などの不純物が風化して飛んでしまい、石英砂だけになった砂漠の砂が浅海に堆積して最固結した、というような出来方である。

図 8-2 はシャンギアバザール近くのシッダールタハイウェイ沿いの巨大な一枚岩の表面に現れた見事なリップルマーク。リップルマークには、風が造ったもの(wind ripple)と水流が造ったもの(Current ripple)があるが、ここでは写真右上から左下方向に流れる水流が見て取れ、浅海の内湾に入る河口部分が想定されている(Yoshida and Ulak 2017 121P)。なお、この場所の Fagfog 珪岩層も、南側に現れる同層である。



図 8-2 Fagfog 珪岩層のリップルマーク

8-3 Fagfog 珪岩層の斑レイ岩の貫入

先カンブリア代後期の一時期、ゴンドワナ大陸北縁に火成活動があったことがわかっている(在田 1988 70P)。図 8-3-1 と 2 はタトパニ北側の道沿いの Fagfog 珪岩層に斑レイ岩マグマが貫入した部分の露頭。タトパニは 5P で前述したように MCT 断層に伴う温泉地だから、つまりこ



図 8-3-1 Fagfog 珪岩層と貫入した斑レイ岩の境界部
こでの Fagfog 珪岩層は北側に現れる同層である。

図 8-3-1 は Fagfog 珪岩層と貫入した斑レイ岩の境界部分。右上半分は砂質珪岩で左下半分は斑レイ岩。斑レイ岩は、この境界部分ではやや変成して片理構造の発達した角閃岩となっている。見た目は片岩で斑レイ岩にはまったく見えないが、この境界部から離れて貫入岩体の中心部へ進むと輝石や普通角閃石の黒と斜長石の白



図 8-3-2 斑レイ岩を採集する

が細かく斑状に入り混じった美しい斑レイ岩となる。図 8-3-2 はその中心部分で斑レイ岩を採集する学生たち。カリガンダキ川沿いの道路脇の露頭ではどこでもそうだが、露頭はオーバーハングしていて危険だ。写真左下には吊り橋が見える。

8-4 ベニガート粘板岩層の変成

北上して MCT 北限断層に近づくほど道路脇の露頭に見られる岩石はより強く変成していく。図 8-4-1 はタトパニから約 2km 北の道路脇に現れた上部ナワコット層群ベニガート粘板岩層 (9P) の露頭。粘板岩はやや変成して石墨-絹雲母千枚岩となっているが (Yoshida and Ulak 2017 86P)、ここではまだそれほど強い変成は被っていない。



図 8-4-1 ベニガート粘板岩層の露頭

図 8-4-2 は MCT 北限断層が通るダナまであと 1km の、ドゥワリコーラ近くのフィローナイトの露頭。露頭は MCT 断層帯中に存在する何本かの断層のうちの 1 本のほぼ直上に位置する。本来はまっすぐ平行に並んでいるはずの千枚岩の劈開はさらに強烈に引っ張られて薄くなる。薄くなると歪みやすくなり、細かい褶曲が発達する (クレニューレーション)。平行な劈開に平行に挟まっていたはずの石英脈は引き伸ばされてぶつぶつと千切れ、レンズ状の塊になっている。「フィローナイト」は、マイロナイト (圧砕岩=断層深部の高温領域で壊れることなく塑性変形し細粒多結晶化した特殊な変成岩 (wikipedia)) と同義だが、泥質岩起源の岩石が強い剪断応力のもとでこのようにグニャグニャと変形したものを特にこのように呼ぶらしい。図 8-4-3 はこうしたフィローナイトの劈開部分。滑った劈開面には雲母類が集合するが、ここでは劈開の一枚一枚に絹雲母が生じて美しく輝いている。また、石灰質な部分には黒雲母が生ずる。



図 8-4-2 フィローナイトの露頭



図 8-4-3 フィローナイトの劈開部分

9, MCT と高ヒマラヤ片麻岩

9-1 MCT 北限断層とマイロナイト

ダナ (1440m 16 ページ図 9-1-1) は MCT 北限断層が直下を通る町である。木崎、在田らは 1980 年に、MCT 北限断層を挟んで南側に 2 か所、北側に 2 か所、計 4 か所の基準点を四辺形を成すように設けて測量し、四年後の 1984 年に再側して四年間の変化を記録した。それによるとこの四年間で MCT 北限断層の北側が南側に比べて相対的に 6mm 上昇し (木崎 1994 39P)、水平方向で言うと、南側の基準点は不動だが北側の基準点は西に 3~4cm 動いていることがわかった (木崎 1994 40P)。つまり、ここでは南

西-北東方向の圧縮力がかかっているため、断層の北側が隆起すると同時に左ずれしている、ということになる。3月7日にカロパニを目指して北上した私たちのマイクロバスは、道を塞いだ落石を重機が除去するまでの間、しばらくダナで足止めを食われた。こうしたことは日常茶飯のこのようであった。



図 9-1-1 ダナの町



図 9-1-2 MCT の谷・ガッテコーラの川原で

図 9-1-2 はダナの町に東流するガッテコーラの川原で転石を採集する巡検参加者たち。この谷の右側(北)には低ヒマラヤ堆積物の露頭が無いことからこの川筋が MCT 北限断層と考えられている。つまり谷を挟んで写真の右側は高ヒマラヤ片麻岩帯、左は低ヒマラヤ変成堆積物帯である。川原では左側の山から供給されたフィローナイトと右側の山から供給された片麻岩の、両方の転石が拾える。



図 9-1-3 高ヒマラヤ片麻岩

ガッテコーラから北側のカリガンダキ川右岸の道路脇は高ヒマラヤ片麻岩の連続露頭となる。図 9-1-3 はダナの町の道脇に転がっていた典型的なマイロナイトチックな(圧砕岩質の)ヒマラヤ片麻岩の転石。MCT の剪断、圧砕作用を被って写真左上から右下方向に引き伸ばされた白色の帯は石英や長石。写真左下や各所に千切られて孤立した白色のレンズ状の塊が見えるが、こうした状態を表現して「眼球状片麻岩 augen gneiss」と言う。



図 9-1-4 珪線石と藍晶石



図 9-1-5 ザクロ石

ガッテコーラから北へ数 100m 進んだ地点の道路脇の露頭や露頭から崩れ落ちた転石で、私たちは鉱物探しに興じた。前ページの図 9-1-4 で、数ミリから 5cm の青く細長い柱状はカイヤナイト(藍晶石)、その下の、同方向に伸びた白濁した繊維状部分はシリマナイト(珪線石)。写真左下から右上の黒い帯は黒雲母の集合帯。図 9-1-5 の径 5mm ほどの赤黒い塊はガーネット(ここではアルマンディン・鉄礬ザクロ石)。

藍晶石と珪線石は、紅柱石(アンダルサイト)とともに化学組成としては珪酸アルミニウムで、成分は同じでありながら結晶が安定する生成条件(温度と圧力)が違うために違った見かけの鉱物になる「同質異像」の鉱物としてよく知られるそうである(以下を含め堀 2004 による)。珪線石は常圧下では約 800 度以上の高温ででき、紅柱石はそれ以下の低温側で生じ、藍晶石は約 600 度では 6kbar 以上の高圧でないと造られない。

藍晶石には、写真のような柱状結晶の柱の方向に劈開があり、柱に平行な方向にはナイフで傷がつくが、それと直角な方向には傷がつかない「異方性」があるという。和名は特有の藍青色による。

珪線石は針状結晶が平行に集合して写真のような繊維状になることが多い。色はほとんどの場合、写真のような無色から白色である。結晶片岩や花崗片麻岩中に出ることが多く、鉄礬ザクロ石を伴うことが多いと言う。

鉄礬ザクロ石はガーネットグループではもっとも普通に産出する。硬度が高く、粒の細かいものは安価に採掘できることから金剛砂として紙やすりなどの研磨剤として利用された。

9-2 「世界最深の谷」と縞状片麻岩

図 9-2-1 は MCT 北限断層が通るダナから北へ約 2km のカリガンダキ川とルプセコーラの合流点あたり。谷底の標高は 1620m で、川は南北に流れ東にアンナプルナ I 峰 8072m 西にダウラギリ I 峰 8191m がそびえることから谷底との標高差は 6500m ということになり、そう考えればたしかに「世界最深の谷」ということになるが、川を挟む崖との比高だけで言えば「世界最深」とまでは言えないだろう。車道は硬い片麻岩を穿って一台がやっと通れる幅で右岸のがけ下に延びており、路面の凹凸のために私たちのバスは激しく動揺した。谷側に傾くたびにそのまま「世界最深の谷」に転げ落ちるか、と思われ、谷側の席に座った者たちはそのたびに悲鳴を上げた。

NHK が放送した「グレートネイチャー 体感! ヒマラヤ造山帯～ネパール・カリガンダキ河をゆく～」では、このあたりのつり橋から谷底に懸垂下降し、川床に露出する岩石をカメラに収めたが、それは明色な層と暗色な層が縞状に互層する「縞状片麻岩」であった。

カリガンダキ川沿いの巡検コースでは、MCT と STDS に挟まれた高ヒマラヤ片麻岩帯は約 5000m で、その中は三層に分けて捉えられている。MCT に近く、圧砕作用を被ってマイロナイトとなった部分が I 層、チベット側の優白花崗岩が卓越する部分を III 層とし、その間の典型的な片麻状構造(縞状構造)が見られる広い範囲を II 層としている(10P 表 5-4)。次ページの図 9-2-2 は図 9-2-1 からさらに 3km 近く北上したパイロタプラという村あたりの縞状片麻岩の露頭。黒雲母などの暗色の層と石英長石質の明色な層が美しく互層し、縞模様のある花崗岩のような見かけに見える。



図 9-2-1 「世界最深の谷」あたり



図 9-2-2 花崗岩質な縞状片麻岩



図 9-2-3 微褶曲する縞状片麻岩

図 9-2-3 はⅡ層の真ん中にあたるタントゥンコーラ合流点あたりの露頭。全体に暗色で、縞模様は細かく波打っている。地下に引き込まれた低ヒマラヤ変成堆積物のうち、比較的泥質な原岩が片麻岩となったものであろう。

9-3 STDS と優白花崗岩

ダナから約 5km 北上したコケタティ集落の西にチャカンコーラの谷(図 9-3-1)がある。この谷が高ヒマラヤ片麻岩帯とテーチス海堆積物帯とを分ける STDS(南チベット分離構造線)の谷だと考えられている。つまり、写真中央の谷の左側が高ヒマラヤ片麻岩帯のうちのⅢ層、右側がテーチス海堆積物帯のうちのアンナプルナイエロー層である(最下位のサントゥアイレ層はここでは見えない)。



図 9-3-1 STDS の谷

図 9-3-2 はチャカンコーラの南 200m ほどの道路脇で見られる STDS の露頭。田野倉さんの背後の壁は上部がアンナプルナイエロー層、下部が優白花崗岩である。ここで見るアンナプルナイエロー層は、高ヒマラヤ片麻岩の上昇による変成を受けて片理構造が発達した砂質珪岩と泥質千枚岩であった。



図 9-3-2 STDS の露頭

MCT に沿って地下深くに引き込まれたインド亜大陸の岩石は、地熱に岩石同士がこすれ合う摩擦熱も加わって一部が熔融してマグマとなり、花崗岩マグマとして高ヒマラヤ片麻岩帯からチベット南部の各所に貫入した(在田 1988 74P 酒井 1997 12P)。花崗岩は石英・カリ長石・斜長石・黒雲母・白雲母・普通角閃石などで構成されるが、その量比はまちまちであり、量比や主にカリ長石の帯びる色によって全体の見かけの色合いが変わる。優白花崗岩は、ほぼ石英と白い長石(カリ長石・斜長石)だけで出来たような見かけの花崗岩で、STDS 地帯では STDS に沿って貫入したために、高ヒマラヤ片麻岩帯の最上位にあたるⅢ層で特徴的に見られるの

である。この花崗岩が上昇した時期がすなわちヒマラヤが隆起した時期ということになるが、それについては9Pを参照されたい。

この優白花崗岩はトルマリン(電気石)を多く含んでおり、私も良い標本を得た。図9-3-3がそれで、表面に現れた黒い三角形が結晶の端の部分、黒い直線状が結晶の側面。電気石は、過熱により一方が+、他方が-に帯電し、冷えるとそれが逆転するという(堀 2004 156P)。標本は長径 128mm。



図 9-3-3 含電気石優白花崗岩

10. ムスタン溪谷とテーチス海堆積物

10-1 ムスタングラーベン

3月7日、私たちを乗せたマイクロバスはネパール第二の都市・ポカラを出発し、カリガンダキ川沿いに北上してムスタン郡に入り、カロパニ(2530m)を目指した。谷は狭く、道は急崖の上に細く延びていて、「世界最深の谷」のあたりでは生きた心地がしなかったと述べたが(17P)、カロパニの手前までは常にこれと似たような状態であった。そうした地形はカロパニまで達すると一変する。谷は広々とし、広い砂利河原が現れ、車道は砂利河原の上についている。ムスタン溪谷と称されるカリガンダキ川北部は元来非常に広い谷なのである。図10-1-1は翌3月8日の宿となったカグベニ(2800m)あたりの谷を俯瞰。



10-1-1 カグベニあたりの谷の地形

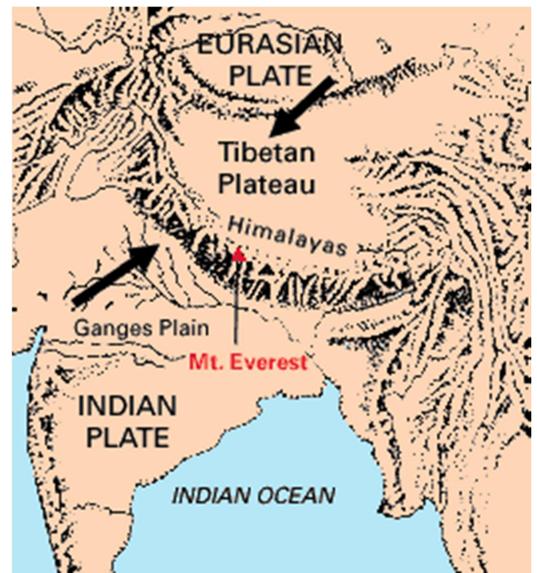


図 10-1-2 ヒマラヤと南北横断山脈→

ムスタン溪谷の谷が広々としている理由として ①カロパニまでは過去に氷河の末端が達していたため地形は氷河の影響を受けている(吉田先生教唆) ②カロパニから北は、地形的には高ヒマラヤを超えてチベット高原地帯に入っている ことが上げられるが、基本的には、ムスタン溪谷が地溝帯(グララーベン)と考えられるからである。

ネパールやチベット高原には南北性の凹地がいくつも存在している(木崎 1994 116P 在田 1988 111P)。インド亜大陸の衝突と北上による南北方向の圧縮は東西方向には引張応力として働き、正断層による裂け目(地溝帯)を生じさせる。ムスタン溪谷はこのようにして出来た地溝帯の代表的なもので

ある。万力の間には挟まれた饅頭は万力に力が加わるとやがて裂け、ついには潰れ、万力の左右に押し出されて零れ落ちるが、こうした力関係はアジアの大地形にも見事に反映されている。図 10-1-2 で、ヒマラヤ山脈とチベット高原の東方から東南方に連なる中国青海省からミャンマーにかけての南北横断山脈は、インド亜大陸が北上しつつ東方に押し出した地塊群である。

10-2 横臥褶曲

10P で述べたようにテーチス海堆積物の地層は激しく褶曲しており、各所で大規模な横臥褶曲が見られた。図 10-2-1 は STDS から北へ 13km のマルファの町 (2670m) の東方の山腹に現れた横臥褶曲。褶曲のトップ=褶曲先端のヘアピンは写真左(北)に向いており、目に見えるカーブの部分はシルル紀のソンプレ層、その外側はデボン紀のティリチョーパス層、写真外の南方(写真の右外)にはオルドビス紀のノースフェイス珪岩層 (10P 表 5-5) が分布する。つまりこの横臥褶曲は、より上位の地層が凸の上側に来る背斜構造が北向きに倒れたものである。



図 10-2-1 マルファ東方の横臥褶曲



図 10-2-2 横臥褶曲の大理石化したコア



図 10-2-3 褶曲軸の曲面

図 10-2-2 はマルファからさらに 2km 北上したダウンバコーラ合流点あたりの山腹に見られる横臥褶曲で、トップは南(写真左)に向いている。褶曲軸の方解石成分の高い部分は変成して大理石となっており、硬いために侵食から逃れて地表に露出している。MCT からの距離は約 25km もあるが、方解石を変成させて大理石を造った熱源は MCT の断層運動による摩擦熱がここまで及んだものと考えられる(吉田先生教唆)。図 10-2-3 は図 10-2-2 の写真左側から大理石部分のトップを撮影したもの。ヘアピンカーブ先端の曲面がむき出しになっている。写真上方の大理石にかぶさった水平な片理構造のある岩石は石灰質泥岩が変成した頁岩。図 10-2-2 の写真左側の学生の右に転がっている岩もトップ部分の曲面が転げ落ちた大理石である。地層はデボン紀のティリチョーパス層だが、テーチス海堆積物は全体として北(写真の右)が上位なので、より上位の地層が凹の上側に来る向斜構造が北向きに倒れたものとする。

次ページの図 10-2-4 はさらに 2km 北にあるジョムソンの町 (2720m・飛行場がある) の少し手前の地点で、写真手前に見える谷はシャンコーラ。谷の奥に見える雪山はサンダチェヒマール(標高不明)。

サンダチェヒマールの東面の山腹に南(写真左)にトップを向けた巨大な横臥褶曲が見えるのだが、

全体に雪をかぶっているためやや分かりにくい。

南に向いた白い曲線部分は三畳紀後期のコーツァイト層、曲線の内側はジュラ紀前期のジョムソン層である(10P 表 5-5)。「コーツァイト層」でも「珪岩層」でも特定の地層名にはならないが、せめて原文 Quartzite Formation の通りとした。なお、写真手前の中央と左に3段の河岸段丘が見えることにも注意。シャンコーラが造った河岸段丘である。



図 10-2-4 サンダチェヒマール東面の横臥褶曲

10-3 マルファの町と河口慧海

マルファ(図 2-3-1 2670m)は、ムスタン渓谷の中の私たちが歩いた範囲(渓谷全体の南半分。北半分は「ローマントン」と言う)の中では空港のあるジョムソンに次いで大きな町である。この町の中に河口慧海記念館がある(図 2-3-2)。

河口慧海(1866~1945)は黄檗宗(禅宗の一派)の僧侶で、漢訳經典に疑問を覚え、釈迦牟尼の教えをより直接伝えるサンスクリット語写本やチベット語訳を入手することを思い立ち、大冒険の末に日本人として初めてチベットに足を踏み入れた。

慧海が神戸港を発った 1897 年当時、チベットは清国の庇護下にあり帝政ロシアにも頼っていたが、アジアにおいて覇権主義政策をとるイギリスやイギリスと友好関係にあった隣国ネパールに対しては厳重な鎖国政策を敷いていた。慧海はまずインド・西ベンガル州のダーズリンで 1 年間

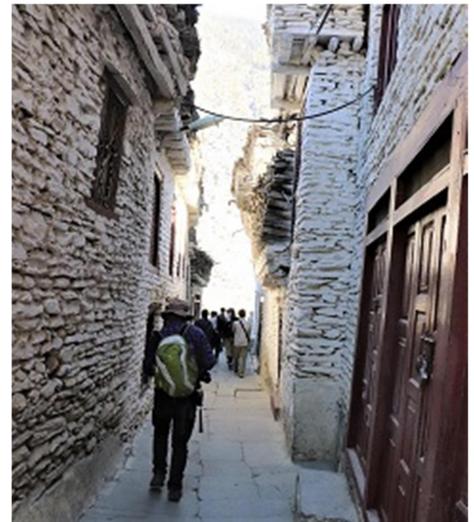


図 10-3-1 マルファの町

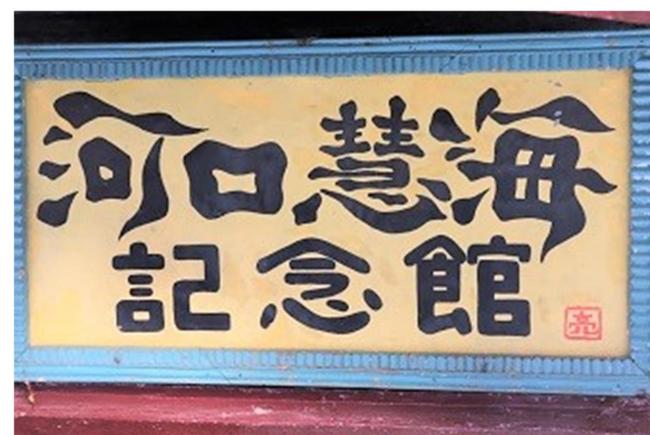


図 10-3-2 河口慧海記念館の看板

チベット語を学習し、その後ネパールに入る。当初、ムスタン渓谷を北上してローマントンからチベットに入る前述の正規ルート(2P~3P)を目指すのが、警戒が厳しくて難しいことが分かったためマルファまで戻り、ここに滞在して警戒の薄い間道を探った。慧海がマルファに滞在したのは 1900 年 3 月から 6 月の 3 か月間で、村長のアダム・ナリン氏のもとに身を寄せた。現在「河口慧海記念館」となっているのはこの村長宅で、滞在時に慧海が使用した生活用具や衣類等が展示されている。ここになんと!!アダム・ナリン氏のお孫さんと

いう方がいらっしゃって、慧海に心酔する私と鈴木さんはおおいに感激した(次ページ図 2-3-3)。

慧海とアダム・ナリン氏はある種、特別な関係にある。マルファ滞在中の慧海については鈴木 2020 が要領良くまとめているので、以下、これによって述べることにする。

ナリン氏は、家に伝わるサンスクリット語写本を慧海が読み下し講釈してくれたことから慧海に恩義を感じていた。また、間道として考えられた西のドルポ方面に彼の放牧地があり、牧童小屋も持つ

ていたのが案内人としてはうってつけの人であった。ところが、慧海がイギリスのスパイだという噂が村中に広がったため、ナリン氏は慧海に真相を問い詰める。慧海はこれまで中国人僧と身分を偽ってきたが、ナリン氏の実直さを認め、自分がチベット仏教の経典を求めて日本から来た学僧であることをはじめて打ち明ける。説明を聞いてナリン氏は納得し、経典に誓って秘密を守ることを約束する。

つまり、慧海がネパールとチベットにいた 1899 年から 1902 年までの四年の間、彼が日本人であることを知っていたのはマルファ村村長アダム・ナリン氏だけなのであった。「特別な関係」と言ったのはこういうわけである。

ナリン氏に案内された慧海はドルポからトゥジェ・ラという 5000m の峠を越えてチベット領内に潜入する(鈴木 2020 の推定)。1901 年 3 月にラサに達し、ラサではセラ大寺の学僧となり、たまたま脱臼を治してやったことから、近代医学の存在しない当地のこととて名医と評判になり、「セーライアムチー」(セラ寺のお医者さま)

と呼ばれるに至る。帰国後の 1904 年にまとめた旅行記が「西藏旅行記」で、現在、講談社学術文庫から『チベット旅行記(一)～(五)』が出ているから興味のある方はお読みになると良い。



図 10-3-3 アダム・ナリン氏のお孫さんと吉田勝先生

10-4 難解な褶曲と断層



図 10-4-1 ジョムソン層の褶曲



図 10-4-2 カグベニ南の難解な露頭

テーチス海堆積物は 10 ページ 5-5 に述べたような理由で激しく褶曲し断層も発達している。図 10-4-1 は空港のあるジョムソンから北へ 2km のカリガンダキ川右岸に見られるジョムソン層の露頭。ジュラ紀前期の砂岩と頁岩の互層が折り畳んだように激しく重力褶曲している。前述(10P)のNHK「グレートネイチャー 体感!ヒマラヤ造山帯～ネパール・カリガンダキ河をゆく～」ではヒマラヤ造山運動の激しさを物語る場面としてタイトルバックに映し出されていた。

図 10-4-2 はカグベニの町(2800m)の手前のカリガンダキ川右岸に見られる露頭。小さな写真では分かりにくいですが、北(写真の右)が上位で、右奥から左にムディン層、チュカ層、スピティ層と並び、写真左上から右下の巡検メンバーたちのところを斜めに結ぶ暗灰色の線のあたりに断層があって、写真左半分に再びムディン層、チュカ層、スピティ層が現れる。つまり、三層は背斜構造を成して虹のような曲線を描いていたが、曲線の途中が切れて北向きに倒れた、というイメージである。ムディン層は白亜紀中期、チュカ層は白亜紀前期、スピティ層はジュラ紀後期(10P 表 5-5)。こうした難解な地層の組み合わせはここここに見られた。

10-5 チュカ層の砂質珪岩と風成漣痕

私たちが3月8日に宿をとったカグベニの町はかつての「ムスタン帝国」(2P)の入口にあたり、本流沿いに北上すればローマタンへ、支流のジョンコーラ沿いに東に向かえば聖地ムクティナートに達する交通の要衝である。3月9日の朝、宿を出た私たちは本流にかかる橋を渡り、対岸にそびえるチュカ層の露頭を観察した。前ページの図10-4-2の、写真右端のあたりである。

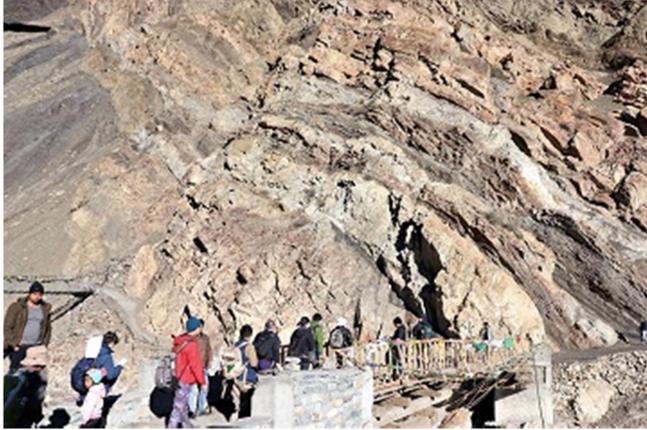


図 10-5-1 立ち上がったチュカ層の露頭



図 10-5-2 チュカ層中の砂質珪岩

図10-5-1がチュカ層の露頭。全体として北落ち45度くらいに立ち上がり、ぐにやぐにやと褶曲している。灰褐色の砂岩と暗灰色の泥岩から成り、灰緑色の砂質珪岩(オーソコーツァイト)を挟んでいる。図10-5-2は砂質珪岩の部分アップ。砂質珪岩の堆積上面(北向き面)に図10-5-3のみごとなりリップルマークがあり、風成漣痕(wind ripple)と考えられている(吉田・ネパール・ウプレティ2013)。



図 10-5-3 砂質珪岩堆積面の風成漣痕

砂質珪岩のできる環境については14ページに述べたが、乾燥高温の砂漠のようなところで泥などが風化して飛ばされてしまった末に石英砂だけとなり、石英砂の表面に出来た風紋が保存されたまま水没して地層になった、ということなのであろう。

10-6 スピティ層のアンモナイト

ムスタンに行くとなれば誰もがアンモナイトの採集を期待する。アンモナイトは主にジュラ紀後期のスピティ層から産出するが、二通りの探し方がある。一つは河原の礫に混じったノジュールを見つけること。誰もがアプローチできる方法だから競争相手が多く、そもそもノジュールではない礫の方が圧倒的に多いわけだから容易に見つからない。しかし、河原のノジュールはよく洗われているため真っ黒で美しく、上手に割れば化石の保存も良い。もう一つの方法はスピティ層が山崩れして堆積した土石流堆積物の中に、ノジュールや破片を見つけることである。この方法の方がはるかに産出頻度が高いが、長く土中に埋まっていたために鉄分が染みついていて、河原のノジュールに比べるとやや汚い。私たちは3月8日にムクティナートに近い高所の、畑か放牧地のような場所でアンモナイトを探した。夢中でハンマーを振っていると気が遠くなるから気を付けるように、との、吉田先生からの事前の注意があった(酸素が薄いため)。

図10-6-1は千葉大のH君が見つけた巨大なノジュール。彼はこうしたことを予測して鬼が持つような巨大なハンマーとタガネを持参していた。採集できる時間が1時間不足だったため、仕方なく持ち運べる重さまで三分割してバスに運び、連日ホテルでクリーニングしていた。

図10-6-2は私が見つけた破片。前日にハンマーを失くしてしまったためノジュールを割ることはできず、すべて「拾った」ものである。家畜の糞の横に、良く見ないと糞と区別がつかない姿で転がっていた。この場所では、アンモナイトの破片は文字通り「無尽蔵」のようであった。

図10-6-3も私がgetしたもの。皆で河原の護岸用蛇籠の上を歩いていたとき、たまたま先頭にいた私が足元のハリガネの下に挟まっているのを発見した。蛇籠を造った村人はアンモナイトだと気付かなかったのだろうか。アンモナイトだと知れば土産物屋に売ったはずである。ちなみにネパールではアンモナイトのことをサリグラム **शालिग्राम** と言い、「神の石」として祀る寺院もある。



図10-6-1 巨大なノジュールに挑む



図10-6-2 拾ったアンモナイトの破片



図10-6-3 蛇籠に入っていたアンモナイト

10-7 聖地ムクティナート

巡検行程の最終目的地にして最高所は、アンナプルナ山群の北側にあたる標高3760mのムクティナートであった。ムクティ(मुक्ति)は「解脱」とか「解放」、ナート(नाथ)は狭義には神通力を持った行者、普通には「神様」を意味し、つまり「解脱の神様」という名のヒンドゥー教徒、仏教徒の双方が信奉する聖地である。ムクティナートへの巡礼は、彼らにとっては一生のうちに一度は果たしたいお勤めであり、有名な観光地でもあるから、カグベニからムクティナートへ向かうバス道路は乗客を満載した観光バスが引きも切らなかつた。



図10-7-1 ムクティナートへ向かう道



図 10-7-2 沐浴する信者

つ直ぐ下に向かって断層がある。写真では、その部分は白い傷のように見える。

ムクティナート寺院はジョンコーラ支流のタンガルガジュコーラ源頭の崩積土上に位置し、豊富な湧水を集めた沐浴場で身を浄める信者の姿も見られた(図 10-7-2)。また、土中からメタンガスが染み出すため、これに火を灯し、「神聖な火」として拝む。

図 10-7-1 は観光バスの駐車場から寺院へ向かう道。写真左下のように観光用の馬に乗る客もいるから道は馬糞だらけである。バスでここまで上がる途中で高山病の症状が出たために、担架に寝かされ担がれて寺院に向かうお年寄りも一人や二人ではなかった。一生に一度の巡礼だから、ここまで来て高山病くらいで引き返すわけにはいかないのである。

図 10-7-1 の中央に見える高山はヤクワカン(6482m)。Yoshida and Ulak 2017 の 47 ページにトニー・ハーゲン(1917~2003 ネパールで初めて本格的な地質調査をしたスイス人)が描いたヤクワカンのスケッチがあり、それによれば山頂部と向かって左肩あたりがジュラ紀後期、そのすぐ下がジュラ紀前期、中腹が三畳紀後期、下部が三畳紀。それらの地層は写真左落ちに傾斜して、山頂のやや凹んだ部分から真



図 10-7-3 燈明を捧げる信者

11. 氷河性堆積物と河岸段丘

3月15日にカトマンズに戻り、翌3月16日の午後はトリブバン大学トリチャンドラキャンパス地質学教室で総括討論集会を行った(3P)。この場で、吉田先生以外の参加者全員が、巡検旅行を通してのそれぞれの感想や発見を発表したが、ヒマラヤ地域の侵食量のものすごさを感想として述べた者が最も多かった。斜面崩壊した地形そのものや、崩積土や土石流堆積物の量、それらが再堆積してできた氷河性堆積物や河岸段丘のスケール、といったことであるが、実際それらは想像を超えたものであり、現地に行って実見しない限り決して理解できないほどのものであった。まさに、ヒマラヤは激しく隆起しつつ常に崩れているのだ。

11-1 氷河性堆積物

ネパールは前述したように緯度が低いため(2P 2-1)氷河は高山帯にしか分布しないが、それでもヒマラヤ地域の氷河面積はアジアでは群を抜いて広く、2位のカラコルム山脈と比べても倍近い(門田 1997 56P 表 1 による)。ヒマラヤをはじめとするアジアの氷河の特徴は、降水量(高地では降雪量)の多い夏(雨季)に涵養され、同時に、気温が高いこの時期に消耗するという点である。したがってモンスーン期の降雪量と消耗量の収支が、氷河が前進するか後退するかを決定することになるが(門田 1997 59P)、地球温暖化が叫ばれる近年では、ひたすら後退し続けて大きな問題となっていることは

ご存じのとおりである。

氷河は、周囲の地層を削りながら流下し、運ばれた岩屑は氷河末端に堆積して、やがては高さ数 10m から 150m にもなろうかという巨大なエンドモレーン(末端の氷堆石地形)を形成する。モレーンはダムとなり、ダムの内側は氷河が溶けて氷河湖となることがある。氷河湖には湖成層が溜まる。氷河性堆積物とは、このモレーンと氷河湖湖成層のことである。

歴史時代には、16 世紀から 20 世紀にかけて起きた汎地球的な寒冷期として知られる小氷期があり、この時期にヒマラヤの氷河は前進して末端に巨大なモレーンを残した。現在のヒマラヤの氷河末端に見られるモレーンは、みなこの時期にできたものだという(山田 1997 73P)。しかし、カリガンダキ川沿いの巡検コースでは、現在の氷河末端よりもずっと低い標高のそこここにかつてのエンドモレーンと湖成層が見られたから、上記の小氷期よりも古い時代に前進後退を繰り返した氷河が、各時代の氷河末端に遺したもののなのであろう。カリガンダキ川流域で見られるこうした第四紀氷河湖堆積物は「マルファ層」と呼ばれている。

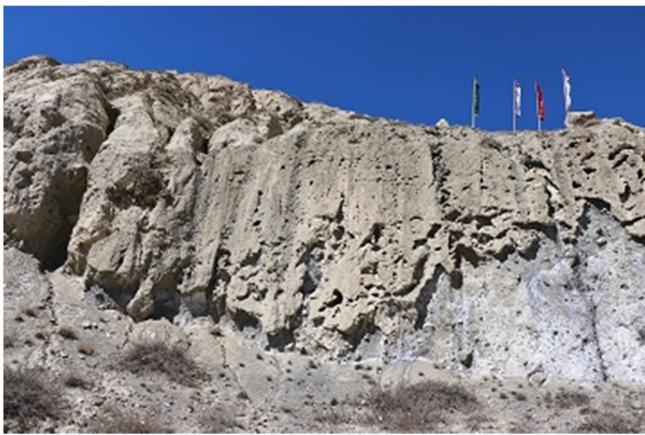


図 11-1-1 マルファの町の裏山



図 11-1-2 マルファ層を観察する

図 11-1-1 はマルファ層の模式地マルファの町の西側にそびえる氷河湖湖成層の山。この写真では分からないが、道路からの比高は優に 150m を超える。マルファでは、黄灰色の湖成層と暗灰色のモレーン堆積物が基盤のテーチス層群ティリチョーパス層を不整合に覆う様子が観察できる(Yoshida and Ulak 2017 57P)。図 11-1-2 は湖成層を観察する学生たち。黄灰色の粗粒なシルトと細粒な粘土層が水平に積み重なって縞になっている。これは、夏季の融氷期に大量の土砂が氷河湖に流れ込み、冬季には凍結して土砂は流れ込まず、細粒な粘土だけが積もる季節変化(年縞)で、「氷縞粘土」と言う。また、クロスラミナ(斜交葉理)が見られる部分もあった。クロスラミナは水流が造る模様だから、湖成層が厚く成長する過程で、そこが湖への流入部であった時代もあったということであろう。

図 11-1-3 はマルファよりずっと南の高ヒマラヤ帯ガサの町(2010m)の北 2.5km あたりの左岸に見られる膨大な量の湖成層堆積物。前ページで述べた「侵食量の凄さ」を最も強く実感できた場所だった。ここでは最上部に礫層が見られる部分もあった。カリガンダキ川本流はこの湖成層を削りながら礫を溜め、段丘を形成したのだ。



図 11-1-3 ガサの町近くの本流左岸

11-2 河岸段丘

ヒマラヤ地域では、段丘の素材となるものの供給量がすごいから段丘のスケールも想像を超える。

私たちの秋川流域では、川は一方的に下刻し、谷は一方的に深くなるもの、というイメージが強いが、頻繁に山体崩壊を繰り返してきたヒマラヤ地域ではそうではない。つまり、山体崩壊は谷を埋めてダムを造り、ダム湖に溜まった堆積物によって谷は浅く、河川の傾斜は緩やかになる。川は再びダムを突破して段丘を残しながら下刻する、ヒマラヤ地域ではそうした経過が各所で繰り返されて来たとし、今も起きている、ということである。したがって、段丘の最上部が川が運んだ礫であることには違いが無いが、本体は基盤の地山(じやま)であったり山体崩壊堆積物であったり、前ページ図 11-1-3 のような湖成層であったりする。ちなみに、山体崩壊堆積物は崩れたばかりの角礫、モレーン堆積物はやや淘汰の悪い亜角礫、段丘堆積物は淘汰の良い円礫、というように区別できるが、それらがさらに崩れて現在の地形を造っているため、ことはそう単純でもない。

図 11-2-1 はエクリバッティの町(2740m)から上流のカグベニの町(2800m)を遠望したもの。高位段丘を 1、中位段丘を 2、低位段丘を 3 とした。カグベニの町は 3 の低位段丘にある。写真左側の 1 は、吉田・ネパール・ウプレティ 2013 によれば第四紀氷河湖湖成層が残存した段丘で、川床からの比高は 200m もある。削剥されて近い将来無くなってしまうだろう、と言う。

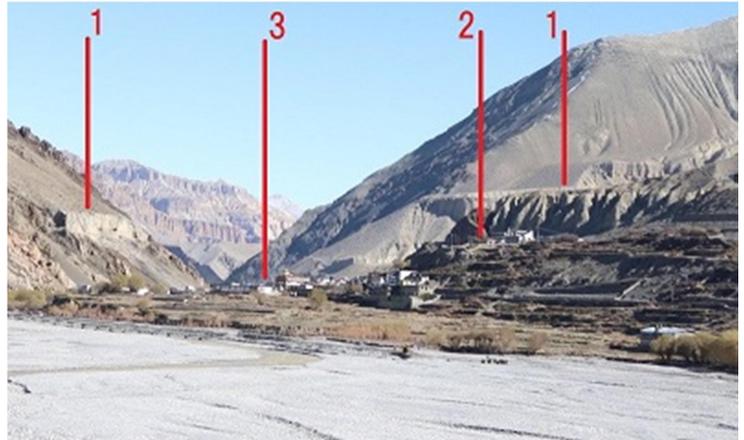


図 11-2-1 下流からカグベニを遠望



図 11-2-2 タントウンコーラの段丘とニルギリ



図 11-2-3 取り残された段丘

図 11-2-2 は前ページ図 11-1-3 とほぼ同じ場所。カリガンダキ川とタントウンコーラの合流点から左岸のタントウンコーラを見たものである。谷奥に見える高山はニルギリ南峰(6839m)。高位段丘を 1、中位段丘を 2、低位段丘を 3 とした。Yoshida and Ulak 2017 75P によれば、高位段丘とカリガンダキ川本谷の川床との比高はなんと 360m もある。低位段丘 3 の本体はカリガンダキ川本谷にかつて存在した氷河湖の湖成層、つまり図 11-1-3 の湖成層だが、1 と 2 は地形から見て、タントウンコーラの出口を塞いだ山体崩壊堆積物を、タントウンコーラが乗り越えながら造った段丘ではないかと私は考える。

図 11-2-3 はタトパニから約 2km 北。カリガンダキ川本流の川幅の真ん中あたりに屏風のような壁が出現している。かつてあった段丘が、流路変更とともにこちら側と向こう側が削られて板状になり、

中洲のように取り残されたのである。見ごたえのあるジオサイトだと思うのだが、これもいずれは消えて無くなってしまふのだろう。

12 自然災害

高ヒマラヤやマハーバーラト山脈、シワリーク山地は今も激しく隆起しているが、隆起しているということは、場所によっては高角度に地層が傾いているということでもある。また、HFT、MBT、MCT、STDS という大断層帯が並行して東西に走り、断層に挟まれた岩石は断層の影響を受けて多少とも変成して頁岩、千枚岩、結晶片岩、片麻岩となっており、片理構造が発達して片理面で滑りやすくなっている。片理面にぺらぺらと剥がれやすい雲母類が生じていれば、なおさら滑りやすい。硬質堅固な珪岩と柔らかい泥岩が積み重なっているような場合、泥岩のみ差別侵食されて珪岩は不安定になり、また両者の境界部は弱線になる。こうした片理面や弱線の向きが山腹斜面の傾斜方向と一致している場合もあり、そのような場合は簡単に地すべりが生じる。そもそもネパールという国の国土全体が標高差約 8000m という急傾斜の中にあるわけだから、地すべりは自然の摂理なのだとも言える。



図 12-1 道を塞ぐ斜面崩壊



図 12-2 ヴァイシャーリの地すべり跡

図 12-1 は前ページ図 11-2-3 から少し南へ移動したタトパニの北約 1.5km のところ。前方に新鮮な地すべり跡が見える。地すべり堆積物(デブリ)の上にやや薄い水平な線があるのが見えるだろうか。この薄い部分が車道である。車はデブリの上を何事も無かったかのようにして通り、車の通った跡が新たな道になる。

地層は上部ナワコット層群ベニガート粘板岩層。滑り台となった高角度のスレートの片理面が山腹に剥きだしているのが見える。この地すべりは「片理面の向きが山腹斜面の傾斜方向と一致している場合」の好例である。

図 12-2 は、ポカラから西へ 35km のベニを経て、ベニから北へ 5km のヴァイシャーリという村があったところ。写真下の巡検参加者たちに向かって右上方から伸びている凹部は 2015 年ネパール地震の際の地すべりの跡である。膨大な量の岩塊がこの滑り台のような凹部を一気に滑り落ちて対岸のヴァイシャーリ村を一瞬で埋め尽くし、数時間の間、上流側 2km にわたる湖が出来た(Yoshida and Ulak 2017 99P)。だから、今この村は存在しない。「村があったところ」と言ったのはそういうわけである。2015 年ネパール地震の際のこのあたりの震度は 5 だったという(吉田先生教唆)。後述するように、震央はカトマンズーポカラ間のほぼ中央よりやや西の北側にあたるゴルカ地方だったと考えられるが、全体に東のカトマンズ方面の方が震度も被害も大きく、2014 年以来久しぶりにポカラを訪れた私は、カトマンズに比べて被害が少ないことに驚いた。それでも各所にこのような深刻な傷跡を残し

ている。

図 12-3 はポカラ郊外の、ペワ湖の北東 3km の地点。セティーコーラ(11P)の支流カリコーラの、段丘崖の大崩落。地層は下部が 12000 年前のガチョック層で上部は 700 年前のポカラ層。これらについては 11~12 ページですでに述べたが、炭酸塩コンクリーションによって完新世の堆積物とは思えないほどに硬く締まっており、ここで見る対岸の崩落も、巨大なブロックの崩壊となっている。



図 12-3 カリコーラの崩落

Yoshida and Ulak 2017 は学生ヒマラヤ野外実習ツアーのために吉田先生とウラク先生が執筆編集されたガイドブックで、巡検コース上の各見学ポイントについての地図・解説文・現場写真で構成されている。この 113 ページに見学ポイント H-34 として「クリシュナ崖の地すべり」がある。まず、解説文を引用する。なお、本書は英文で、下記は私の翻訳である。

トゥリスリ川南岸のプリティビハイウェイ沿いの斜面で、巨大な地すべりが起った。斜面の地層はベニガート粘板岩層である。地すべりが発生したのは 2000 年 8 月 21 日の雨の日で、地すべりによるデブリはその後一週間道を塞いだ。地すべりの主な原因は地層が風化して(脆くなって)いたことで、多量の降雨が引き金を弾いた。(現在、)その道路の部分は、斜面がコンクリートブロックで保護され、また植栽されて、さらなる地すべりを防御している。(カッコは内山が挿入)

プリティビハイウェイはカトマンズとポカラを結ぶ道路で、トゥリスリ川の南岸に延びている。事故が起きた場所はカトマンズーポカラ間の中間にあたるムグリンよりもやや東(カトマンズ側)。

実は、地すべりが起きた 2000 年 8 月 21 日、私はこの現場にいたのである!!

2000 年 8 月 21 日、私が乗ったイエティエンカウンターというバス会社のツーリストバスは午前 6 時 15 分にカトマンズを出発した。ポカラには午後 2 時過ぎに到着の予定である。雨季のバスは、道路が不通になっていないかどうかを常に注意して連絡を取り合っているはずだから、途中のドライブインで朝食を食べた午前 9 時頃までは、地すべりは起きていなかったはずである。やがて渋滞しはじめ、午前 11 時少し前くらいだったろうか、バスは完全に停車した。事故現場の手前からカトマンズ側には、延々と続くバスとトラックの列が出来た(図 12-4)。

待っていても埒が明かないので歩いて山越えすることになり、かくして最悪のトレッキングが始まった。カトマンズ側とポカラ側から、数千人の乗客たちがすれ違いながら尾根の峠を越えるのだ(次ページ図 12-5)。雨季とは言うものの、ネパールの雨季は一日中雨が降り続くということはない。すでに雨は上がっていて 8 月のギラギラした太陽が照り付けていた。同じバスには戻らないから荷物は全部持たなければならない。道はたっぷり雨水



図 12-4 カトマンズ側の車列

を含んでいて滑りやすい。ようやく峠に着いてポカラ側を俯瞰すると、ポカラ側にもバスとトラックの長い長い列が出来ていた。

歩き始めてから1時間半、ポカラ側に下山した。車体にかかれているバス会社名を確認しながらイエティエンカウンターのツーリストバスを探す。同じ会社のバスが事故現場の両側にいて、乗客の受け渡しをするのだ。車体に「HIROSHIMA」と書かれたバスがあったことを今でも記憶している。

「HIROSHIMA」は、憧れの先進国であり、当時はまだネパール観光業にとっての上客だ

った日本を想起させる言葉の一つとして採用されたのだろう。結局、ポカラのバスパークに着いたのは午後7時を回っていた。なお、当時はまだデジタルカメラを持っておらず、図12-4と図12-5はプリント写真をスキャンしたものである。



図12-5 双方から歩いて峠を越える

巡検で見学したものではないが、自然災害と言えど2015年ネパール地震のことにも触れなければならない。

2015年ネパール地震は、現地時間2015年4月25日11時56分ガンダキ県ゴルカ軍サラウパニの深さ15kmを震源として発生した地震で、アメリカ地質調査所によれば規模はマグニチュード7.8と推定されている。同年5月15日時点でのネパール国内の死者数は8560人、負傷者数14398人であった(wikipedia)。

7ページの図5-1-3には、震央と考えられる部分に☆が描かれている。☆はピンク色と灰色の境界あたりにポイントされているが、酒井2015によれば、「MCTゾーンの真上に位置し、その地下15kmは丁度レッサーヒマラヤ堆積物の基底近くに相当」する。したがってこの地震は「グレートヒマラヤ直下のユーラシアプレートとインドプレートの境界断層面上で破壊と滑りが生じ、上盤側のユーラシアプレートがインドプレートの上に滑り上がったものと判断される」としている。また、「断層破壊が震源から東南東方向に進み、その滑りはカトマンズ盆地周辺で最大4.3mに達し」という。



図12-6 地震後のチョウタラの町



図12-7 レンガを積んで「再建中」

地震から4か月経った2015年9月、私はもっとも被害が大きかった地域の一つであるシンドゥパルチョーク郡チョウタラの現状を視察した(図12-6 12-7)。シンドゥパルチョーク郡はカトマンズ盆地

の北東に位置し、その首府であるチョウタラは盆地の北側を囲む山々の主稜線上に発達した町である。上記の酒井 2015 は「断層破壊が震源から東南東方向に進」んだ、としているが、ゴルカの東南東延長はまさにチョウタラにあたる。

旧式のレンガ積みの建物はすべて全壊し、鉄筋の建物も半壊して傾いていた。山腹には無数の地すべり跡が見えている。人々は倒壊を恐れて自宅を避け、中国の支援による青色のテントや波トタンで急造したドーム型の住居に寝泊まりしていた。瓦礫の片付けもほとんど手が付けられておらず、「復興」には程遠い状態であった。

13. 終わりに

ネパールは私にとって特別に愛着の深い国である。ヒンドゥー教や仏教の宗教的造形物や、それらを生み出したネワール(カトマンズ盆地をホームランドとする先住民集団)の伝統的文化についての研究は、私のライフワークだと思っており、今後もこの国に関わり続けていきたいと考えている。



図 13-1 ペワ湖畔にて

2020 年は「visit Nepal 2020=ネパール観光年」であった(図 13-1)。農業以外にこれと言った産業の無いこの国にとって、観光は唯一の外貨獲得手段であり、visit Nepal 2020 は「最貧国」から抜け出すための起爆剤になるはずだったが、コロナ騒ぎで吹き飛んでしまったのはまことに残念であった。この状況がいつ収束するのか先が見えないが、将来は多くの人が訪れてこの国の魅力に触れてほしいと願っている。

今回の旅で学んだことを忘却したくないと思い、本報告をまとめた。内容については下記の引用文献によって裏付ける努力をしたが、理解が浅いための間違いも多々あるものと思われる。これを入口にしてこれらの文献に進んでいただければ本報告の意義がある。

[引用文献] (引用順)

- 吉田勝 第9回学生のヒマラヤ野外実習ツアー実施要項 2019
- 外務省ホームページ ネパール連邦民主共和国基礎データ
- 木崎甲子郎『ヒマラヤはどこから来たか』中公新書 1994
- 酒井治孝「ヒマラヤ山脈の成り立ち」『ヒマラヤの風物詩』東海大学出版会 1997
- 在田一則『地球の歴史をさぐる⑤ ヒマラヤはなぜ高い』青木書店 1988
- 酒井治孝「2015年ネパール地震のテクトニクスとカトマンズの極軟弱地盤」日本地質学会 2015
- Yoshida and Ulak 2017 “Geology and Natural Hazards along Kaligandaki and Highways Kathmandu-pokhara-Butwal-Muguling”
- 鈴木肇「先行河川と岩石と慧海」『ヒマラヤ造山帯大横断—学生のヒマラヤ野外実習ツアー2020年3月の記録』2020

堀秀道『楽しい鉱物図鑑』草思社 2004

吉田勝 K.P. ネパール B.N. ウブレティ「ネパールヒマラヤのジオパーク計画」大阪市立大学山岳部
総会講演 2013

門田勤「ヒマラヤの氷河の成長と変動」『ヒマラヤの風物詩』東海大学出版会 1997

山田知充「氷河湖決壊洪水」『ヒマラヤの風物詩』東海大学出版会 1997



図 13-2 第 9 回学生ヒマラヤ野外実習ツアー行程図

[図の出典]

2-2-1=wakurou. exblog. jp より、に内山が加筆 4-1-1=Wikipedia 4-2-1=海洋開発研究機構 HP

5-1-1= Yoshida and Ulak 2017 4P 5-1-2=酒井 1997 13P 5-1-3=酒井 2015 より

10-1-2= blog.sizen-kankyo.com より 13-2=吉田 2019 より 他はすべて内山撮影