

第 17 回海外応用地質学調査団

第 15 回 IAEG アジア地域応用地質学シンポジウム

調査報告書

2026 年 3 月

一般社団法人 応用地質学会

目次

はじめに_(長田 昌彦)

1.	調査団概要 (加地 広美).....	1-1
2.	ARC-15 1 日目(11 月 27 日)(平田 康人).....	2-1
3.	ARC-15 2 日目(11 月 28 日)(菅原 大介).....	3-1
4.	ARC-15 3 日目(11 月 29 日)(菊地 輝行).....	4-1
5.	Young Engineering Geologists (YEG : 若手地質技術者) プログラムセッション (乃一 由依、阪木 誠悟).....	5-1
6.	Women in Engineering Geology(WEG : 女性地質技術者)活動(加地 広美).....	6-1
7.	ARC-15 市内巡検(11 月 25 日)(水野 直弥).....	7-1
8.	EX-2:A full day Kathmandu Valley tour to explore ground response and related reconstruction after the 2015 Gorkha Earthquake, Nepal(2025 年 11 月 26 日)(西村 智博).....	8-1
9.	EX-3:A Full Day Tour to Explore Engineering Geological Setting of the Kathmandu Valley(2025 年 11 月 26 日)(野々村 敦子).....	9-1
10.	EX-5: Engineering Geology and Geotechnical Characteristics of Kathmandu-Pokhara Area (西村 智博).....	10-1
11.	EX-6:Engineering Geology Insights: Exploring the Tea Farming Landscapes of Far-Eastern Nepal from Koshi River, Jhapa and Ilam (長谷川 修一).....	11-1
12.	ネパールの応用地質 (長谷川 修一).....	12-1

おわりに (徳永 朋祥)

はじめに

IAEG Japan NG 代表 長田 昌彦 (埼玉大学)

第 15 回 IAEG アジア地域会議(ARC-15)が、2025 年 11 月 27 日～29 日にネパール・カトマンズで開催された。日本応用地質学会国際委員会は、会員の皆様に広くお声がけし、11 月 24 日日本発－12 月 4 日日本着の 11 日間を基本日程として、第 17 回海外応用地質学調査団(以後、海外調査団)を編成した。その際、IAEG において現在活発に活動している YEG(Young Engineering Geologist)や WEG(Women in Engineering Geology Group)への積極的な参加を促進するために、若手会員には「田中治夫国際積立金助成事業」による海外支援制度の活用が図られた。

海外調査団は、発足当初は海外応用地質学関連サイト調査団と呼称し、当学会主催の海外地質、土木施設等の見学旅行としてスタートしている。その後、IAEG や IGC(International Geological Congress)などの国際会議に合わせて編成されるようになっており、今回も IAEG の地域会議の 1 つであるアジア地域会議に合わせた形での実施である。海外調査団の結成は、コロナ禍前の 2019 年 9 月に韓国済州島で開催された ARC-12 のとき以来であり、実に 6 年ぶりであった。

今回の調査団への最終的な参加者数は 12 名であった。その内訳は後述の表のとおりであるが、これまでの海外調査団とは異なり、若手会員の人数が多いことが特徴である。カトマンズでのアジア地域会議の開催が、第 5 回(2005)、第 11 回(2017)に続く 3 回目であり、以前に参加した会員からは敬遠されたのかもしれないと考えている。なお、ARC-11 の日本人参加者数は約 50 名であったのに対して、今回 ARC-15 への日本人参加者は約 20 名であった。全体のツアーの手配等については、2015 カトマンズと 2019 済州島でもお世話になった旅行代理店：有限会社ジオプランニングに今回もお世話になった。

アジア地域会議は、カトマンズ・マリOTTホテルを会場として開催された。ARC-15 は当初バングラディッシュ NG 主催でダッカにおいて開催される予定であったが、政情不安のため、ネパール NG との共催に変更してカトマンズで開催されることになった経緯がある。また、共催となったあとも、開催半年前に会議会場ホテルが変更となるなど、様々な困難があった。しかし、蓋を開ければ、長谷川・元会長を含む 16 名のキーノートスピーカーに加えて、徳永・現会長と野々村先生を含む 19 名のインバイトスピーカーを配置し、20 カ国から約 350 名の参加者があり、アジア地域会議としては大変盛大であった。個人的に印象に残ったことは、IAEG のアジア VP を務めるランジャン氏をはじめ、日本で学んだことのある外国人参加者が多かったほか、日本通の海外参加者も多く、片言でのあいさつをよく耳にしたことである。

ARC-15 では巡検も充実しており、エベレストベースキャンプへの航空ツアーを含むプレ巡検 3 つ、ポスト巡検 5 つの合計 8 巡検が企画されていた。このうちポスト巡検 2 つは共催であるバングラディッシュ NG によるものであった。エベレストベースキャンプへのツアーとカトマンズ南部のタンコットーマルクークレカニダムへのツアー、及びバングラディッシュへのツアーはキャンセルとなったが、最終的に 4 つの巡検が実施された。海外調査団としては、巡検-3 と巡検-6 を基軸としたが、結果的には 4 つすべての巡検にメンバーの少なくとも 1 名が参加した。各巡検の報告は、参加者のページを楽しみにしてください。

最後に、現地での世話役の労を加地さんに担っていただいた。心より御礼申し上げます。特に現地での連絡を LINE のオープンチャットを設定していただいたことで、大変スムーズに連絡を

取り合うことができた。私自身、海外調査団への参加は初めてであり、過去の海外調査団との比較はできないが、比較的少人数であったこともあり、すべてのメンバーと顔と名前のみならず、それぞれのメンバーの個性の一部を垣間見ることができ、程よい感じの連帯感が生まれたと感じるのは、私だけではないと思う。海外調査団への参加を通して、会員間の交流がより緊密になることは、今後の海外調査団の参加募集の際にも強調していただいたらよいのではと考えている。参加されたメンバーの方々には、是非ご自身の体験を、職場や学会など様々な場面でお伝えいただくとともに、次回日本での開催となる ARC-16 では、その経験を活かして、中心的に活躍いただけることを期待する次第である。

1. 調査団概要

加地 広美(応用地質(株))

海外調査団の行程概要を表 1-1 に示す。11 月 24 日(月)日本発, 12 月 4 日(木)を基本行程とした。参加者を表 1-2 に示す。

表 1-1 第 17 回海外調査団の概略行程(基本日程)

日付	行程	摘要
11 月 24 日(月)	日本発 カトマンズ着	徳永, 野々村, 乃一, 水野, 菊地, 阪木 西村は 11 月 23 日(日)に現地到着
11 月 25 日(火)	昼食会, 市内巡検	スワンヤブナート, パシュパティナート, ボードナート訪問 長谷川, 長田, 菅原, 加地現地到着
11 月 26 日(水)	各自巡検等に参加	EX-2 : A full day Kathmandu Valley tour to explore ground response and related reconstruction after the 2015 Gorkha Earthquake, Nepal(西村) EX-3 : A Full Day Tour to Explore Engineering Geological Setting of the Kathmandu Valley(徳永, 野々村, 菊地, 水野, 乃一, 阪木) WEG : Outdoor “Walk and Talk”(加地) 平田現地到着
11 月 27 日(木)	第 15 回 国際応用地質学会アジア 地域会議 1 日目	開会式 基調講演 技術セッション WEG プログラム ポスターセッション 歓迎夕食会(文化プログラム)
11 月 28 日(金)	第 15 回 国際応用地質学会アジア 地域会議 2 日目	基調講演 技術セッション ポスターセッション YEG プログラム
11 月 29 日(土)	第 15 回 国際応用地質学会アジア 地域会議 3 日目	基調講演 技術セッション WEG プログラム 閉会式
11 月 30 日(日)	各自巡検等に参加	EX-5: Engineering Geology and Geotechnical Characteristics of Kathmandu- Pokhara Area. (西村) EX-6: Engineering Geology and Geotechnical Characteristics of Kathmandu- Pokhara Area. (徳永, 長谷川, 野々村, 水 野, 菅原, 平田, 乃一) 長田, 菊地, 阪木, 加地帰国
12 月 1 日(月)	同上	同上
12 月 3 日(水)	カトマンズ発 (機中泊)	徳永, 長谷川, 野々村, 菊地, 水野, 菅 原, 平田, 乃一, 西村帰国
12 月 4 日(木)	日本到着	

表 1-2 第 17 回海外調査団参加者

氏名	所属	日本応用地質学会	日程
徳永 朋祥	東京大学大学院	会長	11/24-12/4
長田 昌彦	埼玉大学	前会長	11/25-12/1
長谷川 修一	香川大学	元会長	11/25-12/4
野々村 敦子	香川大学	国際委員	11/24-12/4
菊地 輝行	公立諏訪東京理科大学	国際副委員長	11/24-12/1
水野 直弥	(株)建設技術研究所	国際委員	11/24-12/4
西村 智博	国際航業(株)	災害地質研究部会	11/22-12/2
加地 広美	応用地質(株)	国際委員	11/25-12/1
菅原 大介	(株)四電技術コンサルタント	会員	11/25-12/4
平田 康人	(一財)電力中央研究所	研究企画委員会	11/26-12/4
乃一 由依	西日本高速道路エンジニアリング四国(株)	-	11/24-12/4
阪木 誠悟	公立諏訪東京理科大学大学院	学生会員	11/24-12/1

旅行会社は、有限会社ジオプランニング(立澤富朗氏：日本側)、ヒマラヤンアクティビティズ(春日山紀子氏：ネパール側)にお世話になった。航空券・宿泊先・ビザ・現地ガイドの手配等，すべてに行き届いた配慮を感じた。なお，旅程や費用に関する案内(会告)は応用地質第 66 巻 第 3 号(2025 年 8 月)，および学会ウェブサイトに掲載した。

2. ARC-15 1 日目(11 月 27 日)

平田 康人((一財)電力中央研究所)

2.1 会場の紹介

ARC15 は Kathmandu Marriott Hotel で行われた。このホテルは、カトマンズ中心街のタメル地区から徒歩で 10 分ほど東に歩いたところ、ナラヤンティ宮殿(旧王宮)の南東に位置する。

メイン会場は L 階の Bagmati Hall で、白布で覆われた約 200 席が配置され、4 m × 10 m の大型液晶モニターが設置されていた(図 2-1(D))。発表者は正面から撮影され、モニターの右端に発表者映像が表示される仕様で、モニターの左右いずれかには常時スポンサー企業ロゴが表示されていた。M 階には 60～100 席規模の会場が 3 室(Koshi, Karnali, Trishuli)が用意され、並行テクニカルセッション(Parallel technical sessions)が行われた。こちらでも白布で覆われた席が密に並べられており、テーブルは伴わない。また、スライドは一般的な会議室サイズのモニターに投影され、発表者は舞台上で貸し出されたポインタを用いてスライドを送る形式で会議が進行した。

メイン会場前の廊下はポスターセッションの場所となっており、廊下はビュッフェスタイルの食事が並べられる部屋と広い中庭につながっている。中庭においては、10 件程度のスポンサー企業のブースが並ぶ。昼食の時間では、この Bagmati 室前の廊下と中庭で、参加者は狭い丸いテーブルに皿とコップを置いて立って食事することとなった。13 時頃が昼食時間であり、10 時と 15 時のセッションの合間には Tea time が設けられた。

2.2 開会式

海外調査団一行のバスは午前 8 時に Fairfield by Marriott Hotel を出発し、Marriott Hotel の会場へ入った(図 2-1)。

当初 8 時 30 分開始予定であった開会式(inaugural session)は、ネパールインフラ・交通大臣の到着遅延により 30 分遅れて開始した。壇上にはネパール交通大臣、トリブワン大学代表、ネパール地質学会代表、IAEG 代表ら計 8 名が登壇し、それぞれ祝辞を述べた(図 2-2 と図 2-3)。要旨は以下の通りである。

- ・ ネパール交通大臣：ネパールでは電力供給と洪水調節を目的とした多数の水力発電プロジェクトが進行中であり、急峻な地形に多くの居住者が存在すること、豪雨や地震に伴う斜面災害の頻発、さらに乾季と雨季で流量差が大きいことなどを挙げ、応用地質学の重要性を強調した。
- ・ カトマンズ大学教授：貯水池建設に限らず、地熱や資源開発に対する応用地質学の役割が重要であると付記した。
- ・ トリブワン大学代表・IAEG バングラデシュ代表：ネパールとバングラデシュが地域を一体として都市化や気候変動の課題に取り組む必要性を強調した。
- ・ IAEG 代表：1959 年のマルパッセダム崩壊や 1963 年のヴァイヨントダム崩壊を契機に、1964 年に IAEG が設立されて以来、岩盤分類を伴う地質モデル化、現地調査法、ハザードマップ作成、モニタリング、技術者教育などに取り組んできたことを紹介した。さらにアジア地域の会員動向(日本は約 80 名)にも触れた。



図 2-1 ARC15 会場の位置と写真

(A) KATHMANDU MARRIOTT HOTEL の位置図. (B) エントランス.(C)中庭. (D) メイン会場の BAGMATI HALL .



図 2-2 開会式の来賓者の紹介

左から出席者の名前(所属)を列挙する. PROF. KUMND RAJ KAF(PRESIDENT OF NSEG), PROF. KUMUD RAJ KAFLE (THE MINISTER OF PHYSICAL INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT, NEPAL), DR. ATM SHAKHAWAT HOSSAIN (PRESIDENT OF IAEG BANGLADESH NATIONAL GROUP), PROF. ACHYUT PRASAD WAGLE(VICE- CHANCELLOR KATHMANDU UNIVERSITY, DR. VASSILIS P. MARINOS (PRESIDENT OF IAEG), PROF. KEH-JIAN SHOW(TAIWAN), DR. SHANGWENG QI(IAEG VICE PRESIDENT FOR ASIA)/ER KESHAV KUMAR SHARMA(NEPAL).



図 2-3 本大会ネパール側コンビナーの Prof. Ranjan Kumar Dahal と Prof. Kumud Raj Kafle
(ネパール応用地質学会会長)

2.3 キーノートセッション

開会式は 11 時に終了し、30 分のティータイムの後、キーノートセッションが行われた。(配布のプログラム上はテクニカルセッションとなっている。)キーノート(テクニカル)セッションでは 6 名が各 30 分発表し、最後にゴールドスポンサーである Geobrigg 社の宣伝広告が 5 分間行われた。次に各発表の要点を紹介する。

(1) Dr. Vassilis P. Marinos (President of IAEG)

約 30 年にわたるトンネル工事の調査・研究成果(主に NATM 工法における岩盤分類)を報告。トンネル現場ごとに不連続面の存在と分布、岩盤強度を併せたスケッチ(mixed ground condition)を作成する手法・結果を提示。Geological Strength Index(GSI)の適用事例を示し、節理面方向や地質情報からトンネル崩壊パターンを簡易に推定するシステムを紹介した。発表時間が遅延していたため議長から「30 分枠を 20 分で終えてほしい」との要請が出たが、議長とのやり取りの結果、Marinos 氏は最後まで発表を続け、発表は 12:15 に終了した。

(2) Mr. Dinesh Kumar Napit(ネパール鉱山地質部門の代表)

地すべりインベントリマップ(1:50,000)作成や、1:250,000 地質図の整備、さらに一部で 1:50,000 地質図を作成していることを報告。警報システムの整備状況を説明。国内の主要鉱種として石灰岩が挙げられた。

(3) 長谷川修一先生(香川大学)

ヒマラヤの高山帯から低標高部にわたる横断的な地形・地質が、日本の四国山地から南海トラフにかけてのものと類似する点を指摘(図 2-4)。温泉や鉱山の分布、古い地すべりの特徴、トンネル工事における地すべりや熱水変質の影響事例を示した。日本での調査手法がヒマラヤ地域にも適用可能であることを強調した。

(4) Er. Keshab Kumar Sharma(Secretary of the Ministry of Physical Infrastructure and Transport, Nepal)

2020年時点でネパールの道路総延長は約1万 km に達しており、道路問題が深刻化していると報告。KGT-KTM 間の Narayanghat 川沿い道路の崩壊危険度評価事例を示し、500 m メッシュでの評価に基づき最も脆弱な区間を設定した。脆弱な区間には早期警報システムが敷設されているが、設計の全体として地質情報が十分利用されていないことを指摘した。

(5) Prof. Trilok Nath Singh

インドの道路現場で見られるオーバーハングング露頭による落石問題に対し、UDEEC(離散要素法)を用いたシミュレーション事例を紹介した。

(6) Dr. Shangwen Qi(IAEG vice president for Asia)

中国・チベット地域における学術的地域研究の蓄積から、現在行われている災害研究と対策を網羅的に紹介。洪水、豪雨、地震に起因する地すべりや融解地すべりの事例を提示したチベット地域の解析範囲と国境の位置付けには、政治色が認められた。

(7) Geobrugg 社

落石災害防止用の超高強度ワイヤメッシュ・リングネットを開発している。スイス Walenstadt の実験場において、25t の試験体をネットから 52m の高さまでクレーンで持ち上げて、ネットへ落下させる実験を行った動画を披露した(図 2-4)。1 区画離して同 2 個の試験体を使用した場合でも、ネットは破壊されていない映像を示した。



図 2-4 長谷川先生発表時の会場ディスプレイ

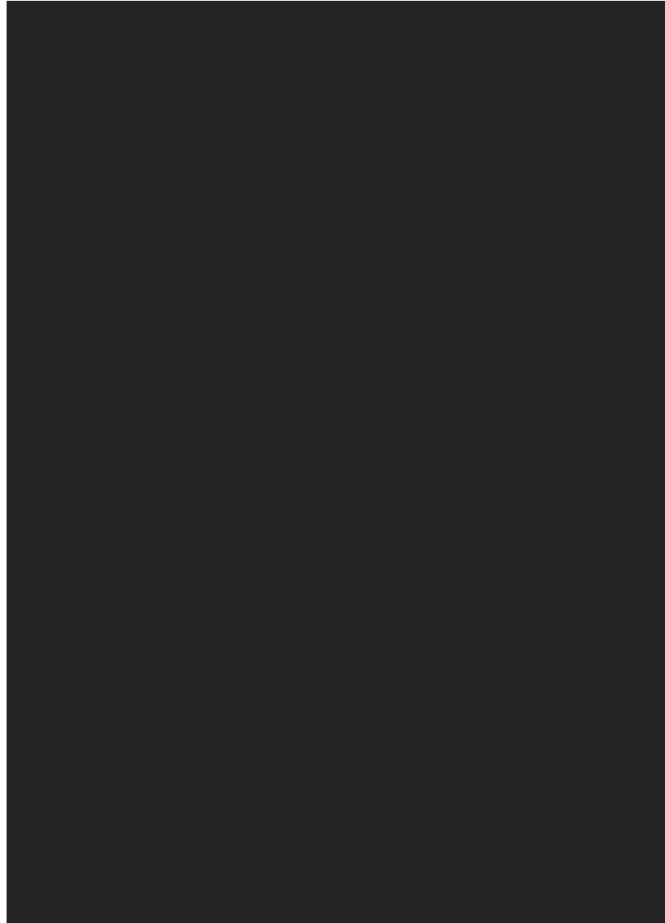


図 2-5 Gold sponsor である Geobrugg 社の広告

2.4 パラレルテクニカルセッション(Theme 3: Active Tectonics and Geohazard)

約 14 時 45 分からは、4 つの会場に分かれてパラレルテクニカルセッションが行われた(予定よりも 15 分遅れ)。ここでは、Theme 3 における日本人関係者の口頭発表の事例を紹介する。

1) 西村智博(国際航業㈱)

日本応用地質学会の海外調査団として、能登地震により発生した災害全般の現象理解のための調査活動を行い、その主要な結果を説明し、被災者を含む地域の人々へ災害の実態を説明する活動をしてきたことを示した(図 2-6)。さらに日本応用地質学会では、2015 年以降、度重なる災害に対して同様の調査と報告を継続していることをつけ加えた。聴衆からは「地震で発生した地表地形の分類は AI によるものか」、また「地すべり変位と地殻変動をどのように区別したのか」、といった質問が寄せられた。



図 2-6 西村の口頭発表

2) 八木浩司先生(山形大学名誉教授, 現深田地質研究所)

共同発表者は京都大学の松四先生(図 2-7). Gunsakot landslide の地形判読結果と現地での観察, 堆積域に点在する巨岩の ^{10}Be 年代, さらに崩壊発生に伴う堰き止め湖堆積物とみられる試料の年代測定結果を示した.



図 2-7 八木先生の口頭発表

3) Mr. Ashi Acharya(京都大学防災研究所・小暮先生指導)

光ファイバーケーブルと電熱線をボーリング孔内に設置して, 熱伝導率の変化とその深度位置を計測するユニットを開発し, 島根の砂岩層に適用して 1 地点の地下水移動の特性を深度ごとに分類した. 優れた内容が評価され, 口頭発表賞を受賞した.

2.5 ポスターセッション(1 日目)

ポスターセッションは会議 1 日目と 2 日目に分かれており, 掲示されるポスターはそれぞれの日で異なった. 1 日目のポスターは 14 時に掲載可能となり, 16:30-17:30 がポスターセッションタイムであった.

1 日目の 20 件の発表中，日本人による発表は 7 件であった(図 2-8)．ポスター番号順に列挙する．山中先生(香川大学)，平田(電力中央研究所)，阪木(東京諏訪理科大学)，遠藤氏(国土地理院)，菅原(四電技術コンサルタント)，乃一(NEXCO エンジニアリング四国)，地元先生(香川大学)．

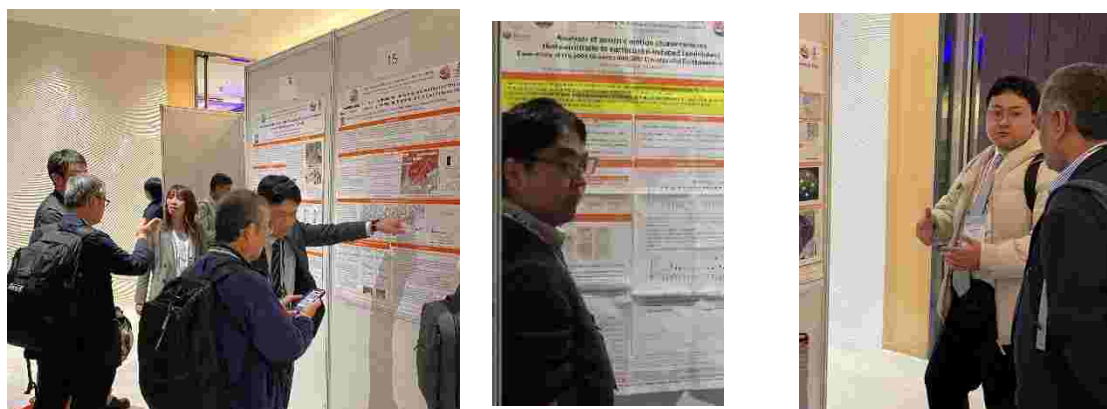


図 2-8 1 日目ポスターセッションの様子．発表者は図の左から
乃一，菅原，遠藤氏，阪木

2.6 ウェルカムレセプションとディナー

18 時 30 分からメイン会場でウェルカムレセプションが開催された．レセプションでは，いくつかの民族舞踊が大モニター前の壇上で披露された．舞踊の後半には，聴衆も立ち上がって音楽に合わせて体を動かし，手を上げて踊る場面も見られた(図 2-9)．ショーが終わった後は，昼食会場と同じ場所でビュッフェ形式のディナーが用意され，振る舞われた．21 時頃，海外調査団のうち Fairfield by Marriott Hotel に滞在のメンバーはバスにて会場を後にした．

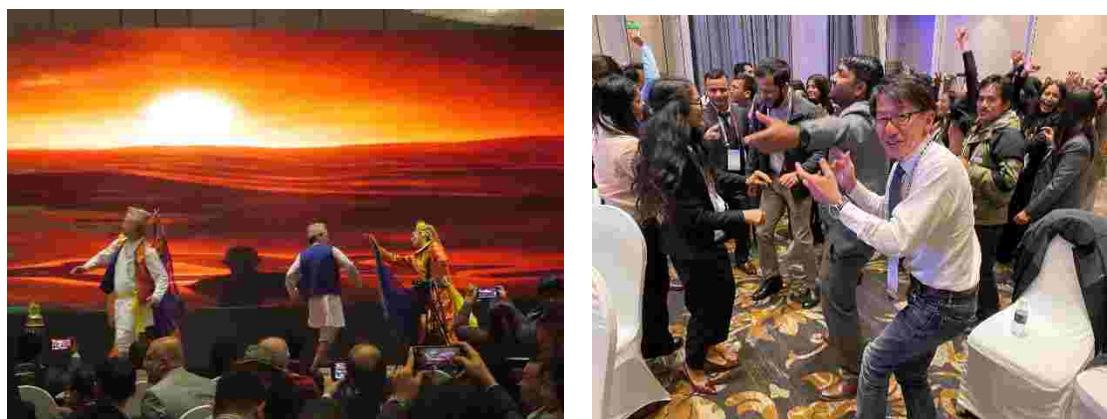


図 2-9 ウェルカムレセプションの様子 右側写真中央は水野(建設技術研究所)

3. ARC-15 2 日目(11 月 28 日)

菅原 大介(㈱四電技術コンサルタント)

海外調査団は前日同様、8 時に Fairfield by Marriott ホテルを出発し、Marriott ホテル内の会場へ移動した。8 時 30 分から 11 時 30 分までは、メイン会場の Bagmati Hall でキーノートセッションが行われた。キーノートセッション後にティー&コーヒープレイクを挟んで主に午前 12 時から 16 時 30 分までは、4 会場にてパラレルテクニカルセッションが開催された。なお、この間の 13 時 30 分から 14 時 30 分の間には、昼食提供があった。そして、16 時 30 分から 17 時 30 分までは、ポスターセッションが開催された。

3.1 キーノートセッション(2 日目)

キーノートセッションでは、6 名、各 30 分の講演が行われた(図 3-1.1)。各講演の要点は以下のとおりである。

最初に Dr. Ann Williams が「Climate Change: closing the gap between challenges faced by developing and developed countries」と題して講演された。ニュージーランドとネパールの洪水事例を通じ、気候変動が先進国と発展途上国双方の脆弱性を顕在化されている点を紹介された。ニュージーランドの対応として、水位データや斜面観測データのデータベース化を推進していることが報告され、過去 150 年間で約 600 人の災害死者、被害額は GDP7%に相当するとの整理が示された。

続いて、Prof. Keh-Jian (Albert) Shou が「On the Catchment Sedimentation and Landslides Induced by 1999 Taiwan Chi-Chi Earthquake」と題して講演された。1999 年の集集地震により、大規模な地すべりが発生し、地震後に 100 万 m³を超える崩壊土砂が流出した。この地震後の土砂流出後の状況についてリモートセンシングと現地データを用いて、斜面景観の変化とその回復について分析されていた。地震で不安定化した斜面は、その後の豪雨等で再活動しやすく、危険性が高まることを指摘した。

Dr. Daniele Giordan が「Glacier instabilities identification and monitoring: case studies in the Alps」と題して講演された。不安定化するアルプス氷河の挙動を監視することを目的に、SAR、ドローン、レーダー、カメラの監視手法を比較評価し、早期警報への適応性について検討された講演であった。それぞれ、費用、労力と監視限界のトレードオフがあり、一見カメラは汎用性が高く費用対効果に優れると考えられたが、データ連続性の点から警報用途には適さないと報告があった。

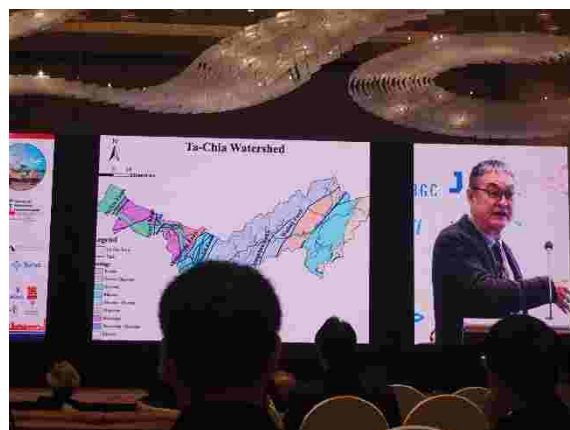
Prof. Christian Zangerl が「Deep-Seated Rock Slides: Understanding Processes and Assessing Impacts on Settlements and Infrastructure」と題して発表された。オーストリアアルプス、貯水池沿い斜面、道路沿い斜面における岩盤崩壊や地すべりの研究を基に知見を整理された講演であった。高解像度の DEM と高品質のオルソ画像の活用で、地形・地質的特徴の把握が進み、大まかな滑動タイプや厚さの推定が可能になった事例紹介があった。貯水池沿いの岩盤すべりでは、岩盤の異方性等が 3 次元的に影響するので、汎用の 2 次元モデル解析の高度化と 3 次元導入が重要と述べられた。

Anil Pokhrel 氏が「A Multidisciplinary Approach to Disaster Risk Reduction in Nepal」と題して講演された。ネパールにおける洪水、土石流、斜面崩壊等の多様な災害リスクに対処するための学術的アプローチを提示したものであった。レジリエンスを強化するために、専門機関と政府が共同で意思決定できるようなシステム構築を進めている報告があった。一方、携帯電話の非所有者へ

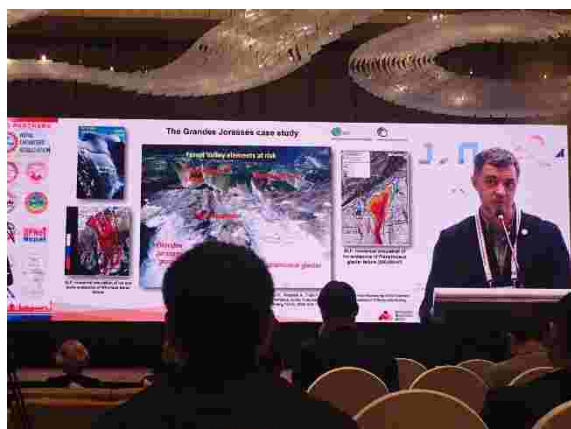
の情報提供が課題として示された。



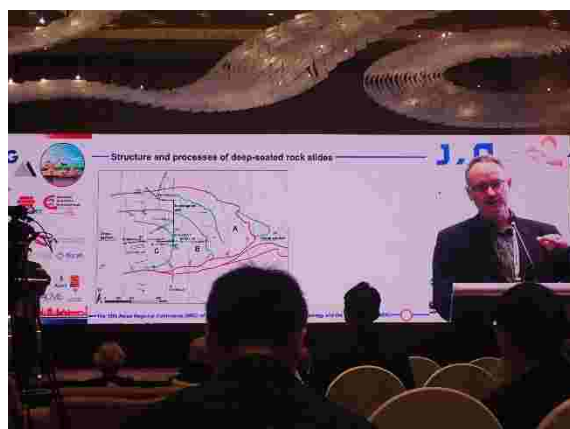
Dr. Ann Williams の発表状況



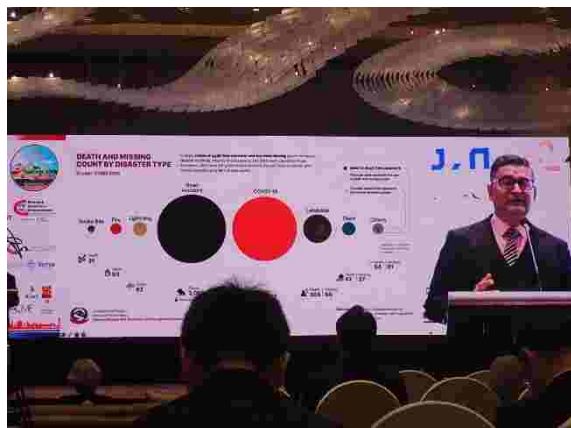
Prof. Keh-Jian(Albert) Shou の発表状況



Dr. Daniele Giordan の発表状況



Prof. Christian Zangerl の発表状況



Anil Pokhrel 氏の発表状況



Dr. Scott Anderson の発表状況

図 3-1 会議 2 日目 6 名のキーノートセッションの様子

Dr. Scott Anderson が「The evolution of remote sensing for regional characterization and response to geohazards and extreme events」と題して講演された。衛星やライダーセンサー等を組み合わせにより、広域地すべり、洪水、地震などの災害を監視し、災害リスク低減に活用する取り組みについての講演であった。これらのリモートセンシングデータをクラウド上で重ね合わせる技術進化により、例えば地域社会等がリスク特定、優先順位の決定、復旧計画の立案を支援する枠組みを示された。

3.2 パラレルテクニカルセッション(2日目)

パラレルテクニカルセッションにおける日本人の発表については、メイン会場の Bagmati Hall において、長田昌彦 (埼玉大学)、野々村敦子 (香川大学)、加地広美 (応用地質(株))の発表が行われた。また、Karnali Hall 会場において、小暮哲也先生(京都大学)の発表が、Koshi Hall 会場において、酒井哲弥先生(島根大学)、松四雄騎先生(京都大学)の発表があった。Bagmati Hall 会場で聴講後、Koshi Hall 会場へ移動して聴講した。聴講した各発表の要点については以下のとおりである。

Bagmati Hall では、長田昌彦先生(埼玉大学)が「Fundamental Study for Real-Time Inundation Depth Estimation Using a New Weather Radar」と題して発表された(図 3-2-1)。新型気象レーダーMP-PAWR についてのご紹介で、急発達する積乱雲に対し、従来より上空の広範囲に雨となる基をとらえる観測技術を用いて、早期の豪雨検出等に資する観測手法であった。関東平野の適用例では、雨滴の高濃度域ならびに、どのように雨滴が上昇し下降するかまで 3 次元的に可視化し、直感的に理解しやすい成果が示された。また、実観測の浸水状況との照合において、浸水深予測が高い整合性を有することを示された。



図 3-2 長田昌彦先生(埼玉大学)の発表状況

Bagmati Hall では、野々村敦子 (香川大学)が「Communication and application of engineering geology for community-based disaster preparedness」と題して発表された(図 3-2-2)。本発表は、エンジニアリングジオロジーを地域の防災教育に適応する意義と実践に関するものであった。専門家と子供では現象の認知や着目点が異なるので、一方向の知識伝達では無く、問いかけを重ねる対話型コミュニケーションにより重要点の共通理解を形成することが有効であると示された。これにより、物事の見方や解釈の枠組みを学び、主体的な判断力の涵養につながるとした。併せてコミュニケーションや実践事例が紹介され、また、高齢者等の擁護者の防災についての課題も示された。



図 3-3 野々村敦子先生(香川大学)の発表状況

Bagmati Hall では、加地広美 (応用地質㈱)が「Enhancing School Safety Activities: The Contribution of Geological Engineers ~An Example from Tochigi Prefecture's Elementary Schools」と題して発表された。小学校教員の業務負担増と集中豪雨の頻発化を踏まえて、防災教育の質向上に向けた取り組みと、訓練等を通じた効果検証の結果を発表された。地質技術者が教育(知識)支援として参画し、豪雨時に危険性が高まる低地の識別など扱う知識的な整備を通じて、学習内容の高度化を図った。避難訓練では、地域の消防、警察と連携し、マイ・タイムライン検討ツールである逃げキッドを作成・活用した。総じて、災害対策には、教育による知識の付与と実践訓練の両方が不可欠であり、両者を組み合わせたアクティブラーニングにより、防災意識と防災力の向上が期待されると報告された。



図 3-4 加地広美氏(応用地質㈱)の発表状況

Koshi Hall 会場では、松四雄騎先生(京都大学)が「Possible mechanisms of cascading hillslope mass movements induced by earthquake and heavy rainfall in the Noto Peninsula, Japan」と題して発表された。2024 年能登半島地震後の豪雨時に確認された地質条件に着目し、地震により地盤構造および地盤物性値が変化し、降雨浸透挙動にも影響を及ぼすことで斜面安定性が低下し得る点を検討分析した結果であった。これらの変化を踏まえ、連鎖的な斜面崩壊の発生メカニズムを検討し、危険度評価に資する着眼点を提示した発表であった。

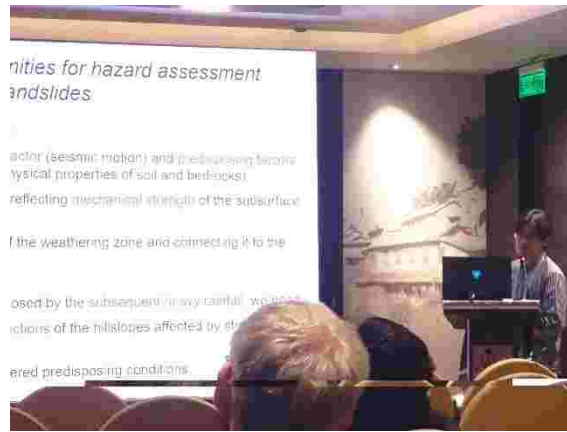


図 3-5 松四雄騎先生(京都大学)の発表状況

3.3 ポスターセッション(2日目)

ポスターセッションは、メイン会場 Bagmati Hall 前から、中庭へ連続する間の広いスペースにて実施され、日本人2名の発表があった。

湯木 熙氏(東京大学大学院)が「A Study Based on Large-Scale Model Testing a Field for Subsurface Cavity Detection」と題して、トンネル内から地盤の空洞部を検出する手法に関して発表された。空洞を模擬して構築された大規模模型を用いて、SH 波を利用して空洞部を捕捉する試験を実施し、反射波の確認に成功した。トンネル周辺の空洞の早期発見に有効な手法であることが示唆された。

橋本拓幸氏(東京大学大学院)が「Evaluation of shear strength of volcanic soils in mountainous areas using in-situ direct shear test apparatus」と題して発表された。緩く乱されやすい火山砕屑物(軽石)の力学特性を簡便に把握するための手法として、原位置一面せん断試験装置を開発した。これは、単調載荷および繰り返し載荷の双方に対応可能な点の特徴とする装置である。国内の軽石を対象に実施した試験では、既往の一般値と同程度の結果を確認し、装置の実用性を示した。

4. ARC-15 3 日目(11 月 29 日)

菊地 輝行(公立諏訪東京理科大学)

ARC-15(IAEG 第 15 回アジア地域会議)最終日である Day 3 は、応用地質学分野における最新の研究成果と実務的課題を総括するとともに、今後のアジア地域における学術連携の方向性を展望する一日として構成された。午前の基調講演、午前・午後の並行技術セッション、そしてエンディングセレモニーを通じて、災害多発地域であるアジアにおける応用地質学の社会的役割が改めて確認された。特に Day 3 は、日本人研究者・技術者による発表や議論への貢献が随所に見られ、日本の応用地質学が国際社会において果たすべき役割が強く印象づけられた。

午前 8 時 30 分からの基調講演セッション(Bagmati Hall)では、地すべり・斜面崩壊、地震・気候変動に起因する地盤災害、地下水・地盤環境の長期変化などをテーマとした講演が行われた。これらの内容は、日本を含むアジアの山岳地域・地震多発地域に共通する課題を扱うものであり、日本における地震・豪雨災害対応の経験や長期観測・解析の蓄積が、今後の国際的な防災・減災議論において重要な参照点となることが改めて認識された。

11 時からの午前の並行技術セッション(Session 14~19)では、地震・降雨に起因する斜面変動、地すべり評価手法、数値解析およびモニタリング技術に関する研究発表が各会場で行われた。この中で、日本人研究者による発表は、災害事例に基づく実証的研究と先端的解析手法を融合させた点に大きな特徴があった。王 功輝先生(Gonghui Wang, 京都大学防災研究所)は、2024 年能登半島地震により発生した複雑な地すべり事例を対象とし、地震動特性と斜面変形の関係について詳細な解析結果を報告した。この発表は、近年の日本の地震災害から得られた知見を国際的に共有する重要な事例として、多くの参加者の関心を集めた。また、長谷川修一(香川大学)およびその研究グループは、微動探査や地形・地質解析を用いた地すべり地形評価に関する研究成果を紹介し、山岳地域における深層崩壊・大規模地すべりの長期的発達過程の理解に資する知見を提示した。これらの研究は、ヒマラヤ地域をはじめとするアジアの山岳地帯への応用可能性が高く、活発な質疑が行われた。さらに、野々村敦子(香川大学)は、応用地質学の知識を地域防災や教育活動に結びつける実践的取り組みについて発表し、技術的研究にとどまらない社会実装型の貢献として注目された。

午後の並行技術セッション(Session 20~22)においても、日本人参加者は都市域および山岳域における地盤災害対策、インフラ計画への応用地質学的知見の適用、地震動・微動データを活用した斜面評価手法などについて発表・議論を行った。これらの研究は、学術的な新規性だけでなく、行政・実務への応用を強く意識した内容であり、日本における防災・減災研究の蓄積が、アジア各国の実情に即した課題解決に直接的に貢献し得ることを示すものであった。

これら一連の活動は、日本応用地質学会(JSEG)による国際的学術貢献の具体的な成果として位置づけてよい。JSEG は、能登半島地震をはじめとする近年の大規模災害に対する調査・研究成果を継続的に国際会議で発信しており、ARC-15 においても、日本の研究者が発表者、討論者、座長として積極的に関与することで、アジア地域における応用地質学の知識共有と人材交流を牽引していた。

17 時からのエンディングセレモニーでは、3 日間にわたる会議全体の成果が総括されるととも

に，次回の ARC-16 が日本の大阪府泉佐野市で開催されることが改めて紹介された．セレモニー終了後の会場では，日本開催への大きな期待を各国の関係者からいただいた．特に，地震・豪雨・斜面災害などを数多く経験してきた災害先進国としての日本が，アジア地域に対して果たし得る役割の重要性が強調することができたと思われる．

5. Young Engineering Geologists (YEG : 若手地質技術者) プログラムセッション

乃一 由依(西日本高速道路エンジニアリング四国(株))

阪木 誠悟(公立諏訪東京理科大学)

11月16日と11月28日に Young Engineering Geologists (YEG)の活動が行われた。対象者は、①工学地質学及び地盤工学の若手専門家、②学生および新卒者、③学術研修者および教育者、④若手人財の指導等に関心のある業界専門家、⑤地質工学の学会および協会の方であった。年齢制限は設けられていなかったが、参加者は35歳以下が大半であったように思う。海外調査団からは、平田康人((一財)電力中央研究所)、阪木誠悟(公立諏訪東京理科大学院)、乃一由依(西日本高速道路エンジニアリング四国(株))が一部活動に参加したので報告する。



図 5-1 YEG ポスター



図 5-2 参加者(左から阪木, 平田, 乃一)

5.1 プレカンファレンス・ミートアンドグREET(11月16日)

カンファレンスに先立ち、オンライン形式でネットワーキングセッションが開催されたが、海外調査団からは誰も参加していないため、詳細は把握できていない。

5.2 YEG プログラム(11月28日)

YEG プログラムは、パラレルテクニカルセッションの1つとして2日目に開催され、パネルディスカッションとYEG リサーチセッションの2つで構成されていた。時間の都合上、パネルディスカッションのみの参加となったが、「Past, Present and Future of Engineering Geology」をテーマとして地質エンジニアリングが過去から現在にかけてどのように変化してきたかについて議論された(図 5-3)。討議の中では、かつては現地調査が中心であり、利用できる便利なツールも限られていたが、現在では、リモートセンシング技術やAI技術の発展により、現地や調査が困難な場所に赴かなくても調査が可能となり、研究の幅が大きく広がったことが指摘された。そのため、若手エンジニアにとっては、これらの新しい技術を学び、積極的に活用することが重要であると議論された。一方で、いかにリモートセンシング技術が発展しても、最も重要なのは現地調査を通じて人の目で直接確認することであり、こうしたフィールドサーベイの技術を若手エンジニアに継承し、教育していくことの重要性について強調された。



図 5-3 パネルディスカッションの様子

5.3 YEG パーティー(11 月 28 日)

2 日目の夜には、18 時 30 分から Raddison Hotel にて YEG パーティーが開催され、約 80 名が参加した(図 5-4)。Prof. Ranjan Kumar Dahi による乾杯の挨拶(図 5-5)で開幕し、様々なおいしい料理やお酒をいただいた。パーティー中は、自国の文化の紹介やそれぞれの研究内容について話し、様々な国の方とコミュニケーションを取った。パーティーは大いに盛り上がり、終盤には、前日のウェルカムレセプション同様、多くの参加者が音楽に合わせて体を動かし、手を上げて踊る場面が見られた(図 5-6)。Raddison Hotel でのパーティー後、2025 年世界クラブランキングで 44 位にランクインした LOD(Lord of The Drinks)へ移動した(図 5-7)。お酒は飲まなかったが、クラブ内の雰囲気を楽しみ、20 分ほどで 3 人ともホテルへ帰宿した。



図 5-4 集合写真



図 5-5 乾杯の挨拶

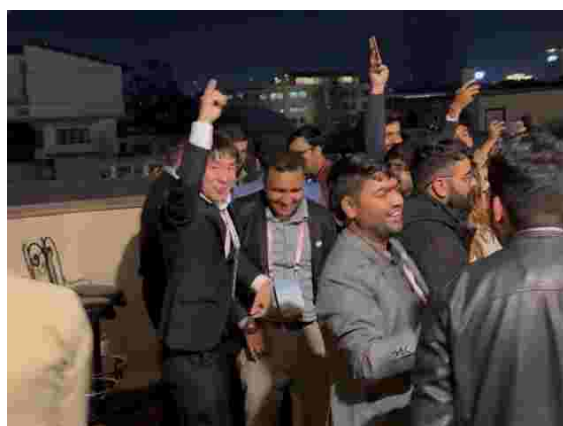


図 5-6 パーティー中の様子



図 5-7 LOD 内の様子

6. Women in Engineering Geology(WEG : 女性地質技術者)活動

加地 広美(応用地質株)

プレオンラインイベントを含む4日間で Women in Engineering Geology(WEG)の活動が盛大に行われた。世界中から専門家、研究者、学生が集い、女性エンジニアのネットワーク構築とキャリア支援を目的とした多彩なイベントが展開された。

6.1 プレカンファレンス・ネットワーキングイベント(11月17日)

カンファレンスに先立ち、オンライン形式でネットワーキングイベントが開催され、各国の WEG メンバーが自己紹介や活動紹介を行った。今後の協力体制や課題についても活発な意見交換がなされ、国際的な連携強化の礎となった。



図 6-1 ネットワーキングイベントの様子

6.2 ウォーク&トーク・ハイキングセッション(11月26日・Chobhar)

「Outdoor Walk and Talk」セッションでは、カトマンズ盆地の Chobhar エリアでガイド付きハイキングが開催された。参加者は Chobhar の地質・地形・フィールド技術について学び、地質学的・文化的背景についても活発な議論を交わした。

Chobhar は、カトマンズ盆地の南西部、カトマンズ市中心部から約 5km ほど離れた丘陵地帯に位置する(図 6-2)。行政的にはキルティプル自治体に属し、標高は約 1,300~1,420m である。Bagmati 川がこの丘を切り裂いて形成した Chobhar 峡谷が有名で、カトマンズ盆地から外へ水が流れ出る唯一の出口となっている。周辺にはキルティプルやパタン(ラリトプル)などの町があり、カトマンズ市街地から車で 15~20 分ほどでアクセスできる。

Chobhar 渓谷では、ティストウン(Tistung)層、ソピヤン(Sopyang)層、チャンドラギリ(Chandragiri)

石灰岩が分布する(図 6-3, 表 6-1). 古代のカトマンズ湖(Palaeo-Kathmandu Lake)が排水された狭い峡谷で, 褶曲構造や Chobhar 断層が観察できる. さらに, 隆起した岩石の上位には湖沼堆積物が堆積する. そのため, カトマンズ盆地の構造史を理解する上で重要な場所となっている.

Chobhar という名称は, ネワール語の Chobhah に由来し, Cho は「高い部分／丘の頂上」を, Baha は「僧院」を意味する.

伝説によると, かつてカトマンズ盆地全体は巨大な湖(ナーガ池)だった. 人々が住めるようにするには湖の水を抜く必要があったが, 誰にもできなかった.

智慧を司る菩薩である文殊菩薩(マンジュシュリー)は, その智慧の剣(智剣)を使って, Chobhar の丘にある岩山を切り裂いた. その結果, 湖の水は南へと流れ出し, 現在の肥沃なカトマンズ盆地が形成されたと伝えられる.

伝説と科学的知見が交差するこの地で参加者は, 地域の地質学的特性と文化的背景に関する複合的理解を深化させる機会を得た. ハイキング後はリフレクション・サークルで学びや気づきを共有し, WEG バッグやビーズブレスレットなどの記念品が配布された. 昼食にはネパール地質学会(NSEG)提供の本格的なネパール料理を味わい, ヒマラヤの絶景を楽しんだ. さらに, トリブバン大学地質学部を訪問し, 学生から教育プログラムについて説明を受けた.



図 6-2 位置図 (GOOGLE MAP)



図 6-3 カトマンス盆地内南部の地質

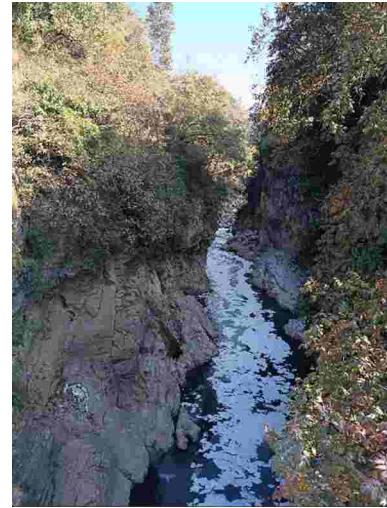
ACHARYA AND PAUDYAL (2021)より引用加筆

表 6-1 Chobhar 溪谷の地質層序 ACHARYA AND PAUDYAL (2021)より引用和訳

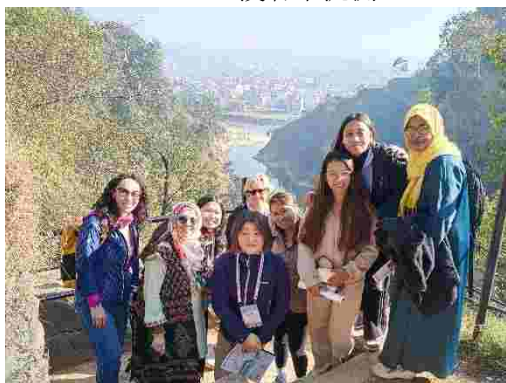
地層名	ティストウン層 (Tistung Formation)	ソピャン層 (Sopyang Formation)	チャンドラギリ石灰岩 (Chandragiri Limestone)
年代	後期カンブリア紀～ 初期オルドビス紀	ティストウン層とチャンドラギリ石灰岩の移行帯	中期カンブリア紀
特徴	灰色～褐色の厚層～塊状のメタ砂岩と、暗灰色～灰白色の片岩が互層。下部に微細な黒雲母を含む。カルシウム質メタシルト岩・メタ砂岩が頻出。石英脈が多方向に発達。	暗灰色の片岩と灰色の粗粒メタ砂岩の層状構造。下部に灰色粗粒砂岩と暗灰色細粒砂岩の互層。 Chobhar では層厚約 11m。カルシウム質メタ砂岩や淡灰色～桃色の珪質石灰岩が一部に存在。	灰色の薄層～厚層の粘土質石灰岩、白色オルソ石英岩、淡灰色の粘土質片岩、灰色雲母質メタ砂岩を含む。上部は暗灰色～淡灰色片岩と白色石英岩の互層(約 150m)。石灰岩には象皮状風化、空洞、洞窟、石英脈・方解石脈が多く見られる。



Chobhar 溪谷下流側



Chobhar 溪谷



カトマンズ市を背景に WEG メンバーと



ランチ後に WEG メンバーと



WEG メンバーと団結の印



Tribhuvan 大学の地質学科校舎の前で

図 6-4 Chobhar ハイキング

6.3 技術セッション&パネルディスカッション(11月27日)

Bagmati Hall にて「Parallel Technical Session-1: WEG Session: The Role of Women in the Development of Engineering Geology」が開催された。

このセッションでは、この日は招待講演を含む5つのプレゼンテーションが行われ、応用地質学の発展における女性の役割をテーマに、招待講演やパネルディスカッションが行われた。参加者は、ジェンダーステレオタイプ、キャリア経験、女性の機会について活発に意見交換し、国際的な視点から多様な課題と展望を共有した。

パネルディスカッションでは、ニュージーランドでも、女性がジェンダー不平等による不利益を感じているという発言があった。ニュージーランドは、世界経済フォーラムの「ジェンダーギャップ指数」でも常に上位にランクインしている国である。ニュージーランドのようなジェンダー平等の先進国として国際的に評価されている国でも、女性が不利益を感じているという発言は、制度的には平等が進んでいるが、現実には課題が残っていることを示していることの現れだろうと感じた。

一方で、国や地域に関係なく、女性技術者が直面する問題や課題は共通していることを知ることができたのは大きな収穫だった。具体的には、トイレや生理などの衛生面の問題、性被害への不安、育児との両立、ガラスの天井などが挙げられる。

また、今回のパネルディスカッションでは、ネパールのトリブワン大学のRanjan 先生が積極的に女性エンジニアの悩みや課題を理解しようとする姿勢を示してくださったことがとても印象的で、心強く感じた。

さらに、著者からはジェンダーギャップに係る日本の先進的な取り組みを紹介した。たとえば、大学における女性専用ポストを設けた教員採用プログラムやSTEM分野の大学院での女子学生の推薦枠等である。



パネルディスカッションの様子



パネル後に WEG メンバーと

図 6-5 WEG セッションの一コマ

6.4 キャリア開発ワークショップ(11月29日)

本ワークショップ「Essential Skills for Career Advancement: Communication, Leadership & Negotiation」では、リーダーシップ、コミュニケーション、ネゴシエーション、アライシップを主要なテーマとして取り上げ、グループでの振り返りおよび個人的経験の共有を通じて、参加者のキャリア形

成に資する知見の獲得を目的とした。

質疑応答において特に注目されたのは、「キャリアの転機において不安を感じた際、どのように意思決定を行うか」という問いである。この議論では、まず不安の原因を明確化することが重要であるとの見解が示された。不安は、情報不足、リスクの大きさ、自信の欠如などに起因するため、要因の整理が初期段階として不可欠である。

次に、情報収集の重要性が強調された。具体的には、仕事内容や役割に関する調査、先輩やメンターへの相談を通じて、選択肢の把握が可能となる。また、短期的な不安にとらわれるのではなく、自己の価値観や長期的目標との整合性を検討することが望ましいとの意見も提示された。

さらに、リスク評価と最悪の事態への対応策を事前に準備することが安心感を高める要因となる。意思決定は一度に大規模に行うのではなく、小規模な試行を段階的に実施する方法が有効であることも議論された。最終的に、感情と事実の均衡を図ることが必要であるとの結論に至った。感情を排除せず、データや事実に基づく裏付けを行うことで、合理的な判断が可能となる。

本ディスカッションを通じて、「不安は自然な感情であるが、体系的な整理と準備により克服可能である」という共通認識が形成された。



Anjila さんのサプライズ誕生日会



WEG 入会への呼びかけ

図 6-6 キャリア開発ワークショップの様子

今回の WEG 活動は、女性エンジニアにとって支援ネットワークおよび包括的なプロフェッショナルスペースの重要性を再確認させる機会となった。屋外での交流、専門的な議論、キャリア支援に至るまで、多面的な活動を通じて、国際的な協力の強化とジェンダー平等の推進に寄与したと考えられる。

7. ARC-15 市内巡検(11 月 25 日)

水野 直弥(榊建設技術研究所)

11 月 25 日(火)の市内巡検では、ネパール人ガイドのシャムさん(図 7-1)の案内で、下記の 3 つのお寺を巡った。これらの寺院および各地のダルバール広場を合わせて、ユネスコは 1979 年にネパールの宗教・芸術・建築の歴史的発展を象徴する複数の重要遺跡をまとめて世界文化遺産に登録している。この日は巡検に先立ち、ホテル近くの Dechenling というレストランにてランチに鍋を美味しくいただいた(図 7-2)。

- ① パシュパティナート(Pashupatinath)寺院
- ② ボーダナート・ストゥーパ(Boudhanath Stupa)寺院
- ③ スワヤンブナート(Swayambhunath)寺院(愛称：Monkey Temple)

【参加者】徳永、野々村(①のみ)、乃一、菊池、坂木、水野の計 6 名



図 7-1 ガイドのシャムさん



図 7-2 Dechenling でのランチ



図 7-3 訪れた寺院の位置図 出典：Google map

7.1 ネパールの宗教的背景

ネパールの宗教的背景の概観は、以下の通りである。

(1) 古代(紀元前)：仏教誕生とヒンドゥー文化の影響

ネパールは古くからインド亜大陸北部の文化圏と交流が深く、ヴェーダ宗教(ヒンドゥー教の前身)の影響を受けた。シッダールタ・ゴータマ(後のブッダ)は、紀元前 5 世紀頃にネパール南部のルンビニで誕生したとされ、これ以降、仏教が地域に広がった。

(2) 中世(リッチャビ朝～マッラ朝)：宗教の融合

リッチャビ朝(約 400～750 年)にてヒンドゥー教が国家的に保護される。しかし大乘仏教も盛んで、仏教・ヒンドゥー教の共存状態が続く。

マッラ朝(12～18 世紀)にてネパール芸術の黄金期を迎え、ネワール仏教(大乘系)とヒンドゥー教タントラの融合がさらに深まる。例えば、仏教寺院にヒンドゥーの神像がある、ヒンドゥー寺院に仏教シンボルが使われる、といった「宗教的シンクレティズム(混融)」が進む。

(3) 近世(シャハ王朝)：ヒンドゥー王国として統治

1768 年にシャハ王朝がネパールを統一し、ネパールは「世界で唯一のヒンドゥー王国」となり、国教はヒンドゥー教に定められた(2006 年まで)。ただし仏教は弾圧されず、ネワール族を中心に信仰が継続。

(4) 現代(2006 年～)：宗教的多様性の国へ

2006 年に王制が終わり世俗国家(Secular State)へ移行。現在の宗教分布(概略)は、ヒンドゥー教が約 80%、仏教が約 10%(ネワール仏教、チベット仏教など)、他にキリスト教、イスラム教など。

7.2 市内巡検

(1) パシュパティナート(Pashupatinath)寺院

パシュパティナート(Pashupatinath)寺院は、ガンジス川に通じる Bagmati 川(Bagmati River)の河岸に位置し、5 世紀のリッチャビ朝時代に建設されたとされる。ネパールのカトマンズにあるヒンドゥー教シヴァ神の最大級の聖地のひとつであり、インドのヴァラナシと並ぶヒンドゥー教の火葬場の聖地でもある。シヴァ神の化身 Pashupati(パシュパティ＝“動物の主 / 万物の主”)を祀り、ネパールにおける宗教・文化の中心的存在である。

門前にはお土産や花などの供物を売る店、茶屋などが立ち並び、とてもにぎわっていた。私たちは西門から入って Bagmati 川に到着した。この日も河岸にて何件かの火葬が行われていた(図 7-4)。火葬には 3 時間ほどかかる。日本では目にすることのない火葬がとても印象的だった。また、ヒンドゥー教では輪廻転生を信じてお墓を作らず、遺灰は川に流すそうだ。

Bagmati 川の橋をわたると、小高い丘に配置された白い塔が目に入った(図 7-5)。これはシヴァ神の 11 の化身を意味する「エッカイダス・ルドゥラ」と呼ばれ、シヴァ信仰の象徴であるリングが祀られているそうだ。丘の上の寺院はヒンドゥー教徒以外の立ち入りを禁じているため、そこから来た道を引き返し、次の目的地であるボーダナート・ストゥーパ(Boudhanath Stupa)に向かった。帰り道に私は門前のお土産屋さんにて、現地では聖なる石(サリグラム：Shaligram)と呼ばれるアンモナイト化石の入ったノジュールを 500 ルピー(約 500 円)で購入した(図 7-6)。これらはジュラ紀の堆積岩に由来し、ネパール西部～北西部、ヒマラヤ山脈域のカル・ガンダキ川流域(特にムスタンやムクトゥナート付近)で採取されるそうだ。



図 7-4 Bagmati 川の火葬場



図 7-5 エッカイダス・ルドウラ



図 7-6 お土産に買ったアンモナイト化石のに入ったノジュール(Shaligram)



(2) ボーダナート・ストゥーパ(Boudhanath Stupa)

ボーダナート・ストゥーパ(Boudhanath Stupa)は、パシュパティナート(Pashupatinath)寺院から直線距離で約 2 km 北東に位置する。5 世紀頃に建設されたが、現在のストゥーパは 14 世紀頃の再建とされる。ネパール最大の仏塔であり、チベット仏教(ラマ教)の世界的中心地である。ストゥーパとは、仏陀の遺骨(仏舎利)や重要な聖遺物を納めるために築かれた仏教の記念塔・塚状建造物だ。

大規模なストゥーパは歴史的に堅固な丘頂、扇状地の高まり、地震に強い岩盤あるいは中位・下位段丘面などに建てられることが多いが、ネパールのストゥーパ(スワヤンブナート、ボーダナート)は盆地の軟弱層に対し、巨大な基壇構築で安定を確保しているようだ。

私たちは広い車道にて車を降り、店が立ち並ぶ狭い道を歩いていくと、眼前に突如巨大なスト

ウーパが現れた(図 7-7)。チベット仏教徒はストゥーパの周りを時計回りに巡礼しながらマニ車(祈祷用の回転筒)を回す。私たちもそれにならって、マニ車を回してみた。チベット仏教では、回転が祈りの広がり象徴しているようだ。

ストゥーパは、下位から曼荼羅をかたどった正方形の台座(基壇)、須弥山をイメージした白いドーム、四方に智慧の象徴である方形塔、仏陀が悟りに至るまでの13の段階をイメージした塔、最終到達点である解脱をイメージした傘と金色の尖塔という構造的特徴をもつ。私たちは靴を脱いで、須弥山をイメージした白いドーム下の正方形の台座を歩いてみた。悟りのことはすっかり忘れ、そこから見える周囲の景色を楽しんだ。その後、ネパール仏教の聖地であるスワヤンブナート(Swayambhunath)寺院に向かった。



図 7-7 ボーダナート・ストゥーパ

(3) スワヤンブナート(Swayambhunath)寺院

スワヤンブナート(Swayambhunath)寺院は、ボーダナート・ストゥーパ(Boudhanath Stupa)から直線距離で西方約7km、市街地よりも60m程高い丘の上に位置し、カトマンズ盆地にある最古級の仏教寺院である。その起源は非常に古く紀元前まで遡るとされるが、現在の寺院は中世に再建されたものである。

この寺院には猿がたくさん住んでおり、モンキー・テンプルという愛称もあるようだ。ただ猿もたくさんいると、身の危険を感じる。参拝する前にガイドのシャムさんから、猿に餌をあげないように、目を合わせないように等の注意が私たちに伝えられたことを思い出した。

下からは365段の階段を上る必要があるそうだが、私たちは途中まで車で上がり100段程の階段を上り頂上にたどり着いた。そこにもストゥーパがあり、その特徴はボーダナート・ストゥーパと同様であった(図 7-8)。丘の上からはカトマンズの街を一望でき、夜には夜景も楽しむことができる(図 7-9)。

スワヤンブナート(Swayambhunath)寺院は、カトマンズ盆地がまだ湖だった頃から丘の上に立っていたという伝説を持つそうだ。カトマンズ湖は、湖成堆積物の年代から数万年以前に形成され、その後の水位低下・沖積作用により現在の姿になったとされる。寺院の建つ丘は古第三紀の基盤岩からなるとされ、その伝説が地質学的事実を含んでいる点は非常に興味深い。

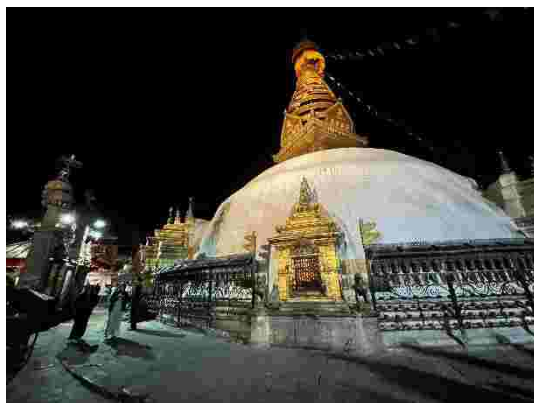


図 7-8 スワヤンブナート・ストゥーパ(左：昼，右：夜)

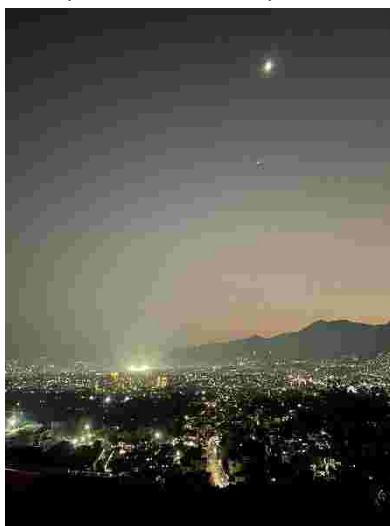


図 7-9 スワヤンブナートからの眺め(左：昼，右：夜)

注)写真-6 および写真-7 は，翌 11/26 に Ex3 にて再度スワヤンブナートを訪れた際に撮影したものです。

8. EX-2:A full day Kathmandu Valley tour to explore ground response and related reconstruction after the 2015 Gorkha Earthquake, Nepal(2025 年 11 月 26 日)

西村 智博(国際航業株)

カンファレンスに先立つプレ・エクスカージョンのうち、11 月 26 日(水)に催行された EX-2「カトマンズ盆地における 2015 年ゴルカ地震の地盤挙動および構造物の再建」に参加したので、その概要を報告する。

8.1 EX-2 の概要

EX-2 はカトマンズ盆地内の史跡を巡りながら、2015 年ゴルカ地震時の被害状況やその後の復興状況を視察して回るプログラムである。EX-2 の行程を表 8-1 に、ルートの概要を図 8-1 に示す。

表 8-1 EX-2 の行程

Time	Schedule
8:00	Departure from Venue Hotel
9:00	Arrival at Bhaktapur Durbar Square
9: 00 – 11:30	Observation of Reconstructed Monuments
11:30 – 13:00	Lunch at Bhaktapur
13:00 – 14:00	Travel to Kathmandu Durbar Square
14: 00 – 15:30	Observation at Kathmandu Durbar Square
15:30 – 16:00	Travel to Dharahara Tower
16:00 – 17:00	Visit Newly Constructed Dharahara Tower
17:00	Return to Venue Hotel



図 8-1 EX-2 の視察ルート(背景は Google マップ)

朝 8 時にカンファレンス主会場の Marriott Hotel を出発し、バスにてカトマンズ盆地の東部に位置する旧都・バクタプルへ移動、バクタプル・ダルバール広場周辺にて地震被害やその復興状況を視察した。その後バクタプルの旧市街を自由散策にて視察して、地震被害や街の構造を確認し、広場に面したレストランにてお上品なネパール定食：ダルバートのランチ。

午後からはカトマンズの中心部に戻り、地震で倒壊し、その後 3 度目の再建を果たしたダーラハラ・タワーを見学してから(当初予定と順路入替)、カトマンズの中心地であるカトマンズ・ダルバール広場周辺にて、旧王宮や寺院の被災状況および復興状況を視察した。

本エクスカージョンの参加者は、ヨーロッパ各国(主にドイツ)から 8 名、日本から 1 名(私のみ)、あとはネパールから案内者である Prof. Kumud Raj Kafle(NSEG 会長)と 2 名のサポーターの計 12 名であった(図 8-2)。



図 8-2 EX-2 の参加者(バクタプル・ダルバール広場にて)

8.2 EX-2 の訪問先

(1) バクタプル・ダルバール広場周辺

バクタプル・ダルバール広場周辺は道路が狭くバスが入れないため、市役所前のバス乗降場所から歩いて広場に向かう。途中、150m ほどの間隔を置いて 5-10m 四方、深さ 3-5m ほどの共同水場が整備されているのが見える。このような給水施設は市内の至る所に整備されており、現在はほとんど利用されていないが、旧都の機能を維持する上でかつては重要な役割を果たしていたと思われる(図 8-3)。



図 8-3 バクタプルの旧市街各所に見られる共同水場

段急崖と思われる急斜面に設けられた階段を登ると、バクタプル・ダルバール広場の西門前に出る。門前にある長屋建の土産物屋は古くからの建物のようなのだが、地震により 1 階部分が傾き、鉄骨の支柱で何とか倒壊を免れているような状況である(図 8-4 左). 近年の建物は、主要な部材が RC 造となっているため大きな変形を免れているが、古くからの建物は木柱もしくはレンガ造となっているようで、壁面や上層階に用いられているレンガ等の重さに耐えられず、変形しているものが多くみられた(図 8-4 右). 現況では何とか利用できているものの、次の地震では容易に倒壊するものが多数出そうな危険な状況となっている。



図 8-4 バクタプルの旧市街各所に残る地震被災家屋

バクタプルは 15 世紀から 18 世紀にかけてのマッラ王朝時代に 3 王国の首都の一つとして王宮が置かれていた街で、ダルバールとは「宮廷」を意味し、広場はその中心地にあたる。広場に面して、55 の窓を持つ旧王宮の建物や、ヒンドゥー教の寺院が立ち並ぶなど、一見するだけでは歴史的建造物が立ち並ぶ華やかな観光スポットである(図 8-5). しかし、2015 年ゴルカ地震では、ヒンドゥー教の寺院塔が倒壊し、王宮の建物にも甚大な被害が出たとのことで、建物の裏に回るとまだ修復工事中のものも多く残されていた(図 8-6). これらの建物は中国の支援を受けて再建が進められている。



図 8-5 バクタプル・ダルバール広場に面した歴史的建造物(表側：修復済)



図 8-6 バクタプル・ダルバール広場に面した歴史的建造物(裏側：修復中)

一方、ダルバール広場の南東に位置するトウマディー広場では、ニャタボラ寺院の 5 重の塔や 3 層のバイラヴナート寺院が建立されているが、こちらは地震による大きな被害は出ていない(図 8-7 左). これらの高層建物の詳細な構造は確認できていないが、地震に耐えうるしなやかな構造となっていると考えられる. エクスカーションでは、この広場に面するルーフトップのレストランにてネパール定食のランチを頂いた(図 8-7 右). 11 月末のため気温はさほど高くないものの、北緯 28 度の世界では未だジリジリとした日差しに焼かれた.

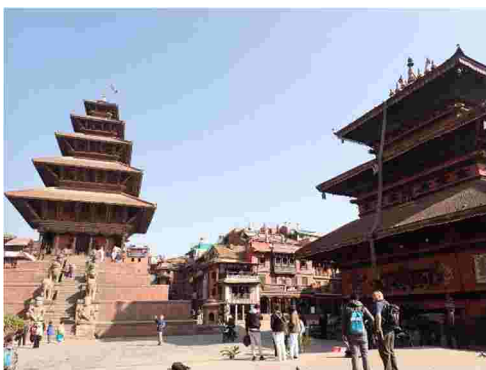


図 8-7 トウマディー広場に面した建造物と広場を見下ろすルーフトップでのランチ

(2) ダーラハラ・タワー周辺

昼食後、カトマンズの中心部南側にあるダーラハラ・タワーまでバスで移動し、見学した。

初代ダーラハラ・タワー(高さ 62m)は 1832 年に建設されたが、1934 年のビハール・ネパール地震により倒壊した。1936 年には 2 代目タワー(高さ 62m)が再建され、2005 年から一般公開されていたが、2015 年のゴルカ地震にて再び倒壊し、少なくとも 50 名が下敷きになったとされる。2021 年には 3 代目タワー(高さ 72m)が建設され、現在に至っている(たぶん耐震構造のはずだが...)。カトマンズ随一の高さを誇る建造物であり、展望台からはカトマンズ盆地を一望することができる。

12:40 ごろ現地に到着したが、入場券を購入しようとしたところ、チケット売場が昼休みで閉まっているとのことで、しばらく待たされる。門前には同様の観光客が数多く集まっていた。白亜の塔は青空に映え、数字よりも高く見える。塔内に入ると、展望フロアまで人々を運ぶエレベータと、その横には階段も。当然エレベータで...と思いきや、参加者の皆さんはなぜか階段を選択、20 階相当の展望デッキまでみんなでヒーヒー言いながら登る。展望台からは大パノラマが広がっているが、排ガスや砂埃で全てがややかすんで見えるのが残念である。

3 代目タワーの隣には、地震被害の記念として倒壊した 2 代目タワーの基部が残されている(図 8-8)。これも一種の自然災害伝承碑の役割を果たしている。

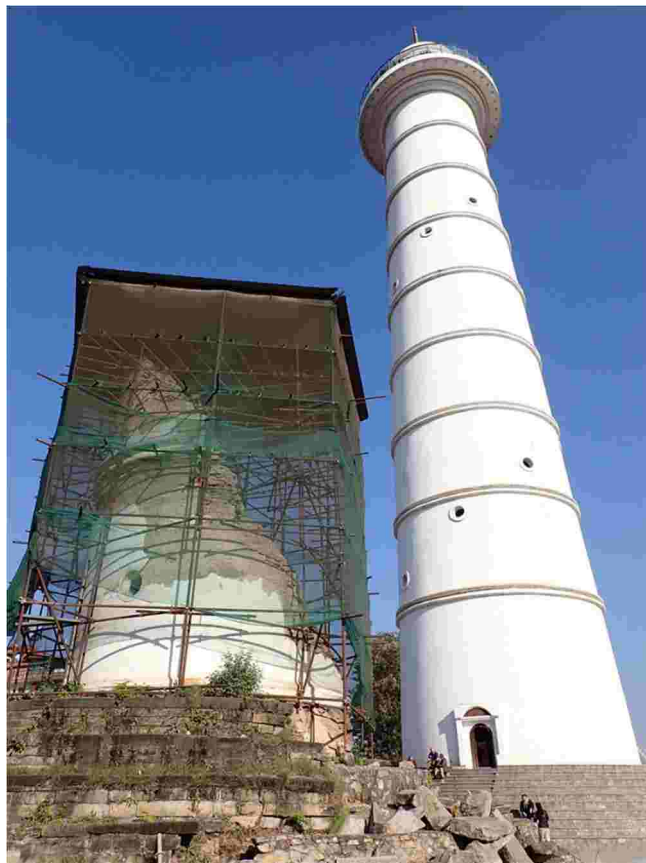


図 8-8 倒壊した 2 代目タワーの基部(左)と 3 代目ダーラハラ・タワー(右)

(3) カトマンズ・ダルバール広場周辺

ダーラハラ・タワーから北西へ約 500m, カトマンズの中心地であるカトマンズ・ダルバール広場へは徒歩にて移動。車・バイク・歩行者が入り乱れる路地をはぐれないように歩くのはなかなか難しい。エクスカージョンの参加賞でもらった青いザックを目印に、みなさんの背中をひたすら追いかける。15 分ほど雑踏を歩くと広場に出た。

カトマンズ・ダルバール広場は、外国人観光客の立ち入りは有料となっており、警官から「チケットを買うまで勝手にウロウロするな!」と何度も警告を受ける。先行していたガイドの一人がまとめてチケットを買っていてくれるはずだが、彼女とはぐれてしまい、しばらく広場の片隅に留め置かれる。ようやくチケットを受け取り、クマリの館やナラヤン寺院、シヴァ寺院などを脇目に見ながら、ハヌマン・ドカ(旧王宮)のゲートまで移動。広場の象徴的な建物、シヴァ寺院は未だ再建途中だ(図 8-9)。旧王宮の中も各所にグリーンネットが架けられており、まだまだ修復途上といった感じであった(図 8-10)。

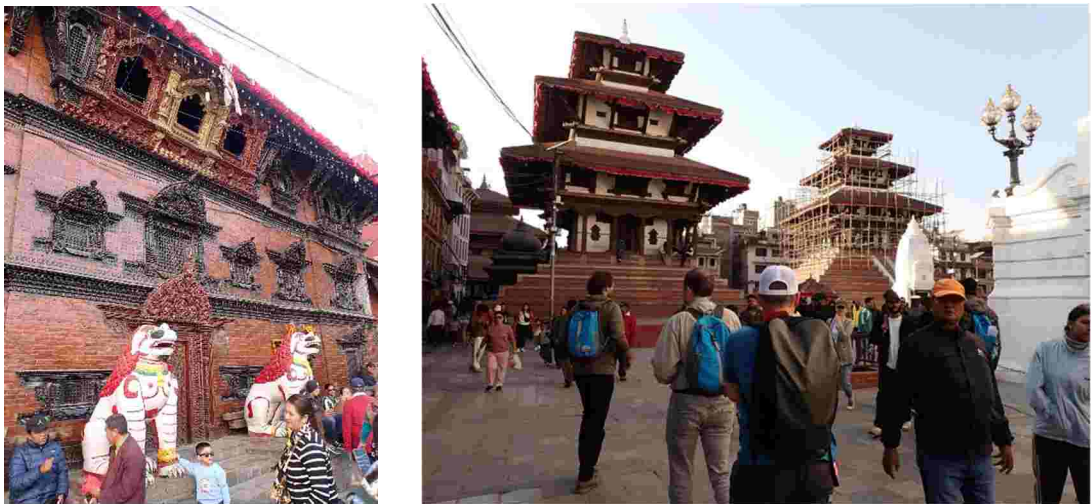


図 8-9 ダルバール広場に面した建造物の状況
(左：クマリの館、右：シヴァ寺院等)



図 8-10 ハヌマン・ドカ内の建造物の復旧状況

8.3 カトマンズ盆地の構造と地震被害

カトマンズ盆地は、2015 年ゴルカ地震の震源から南東へ約 77km 離れているにもかかわらず大きな被害を受けた。これにはカトマンズ盆地の地質構造が大きく影響しているとされている。

カトマンズ周辺はヒマラヤ造山運動の影響を受けた盆地構造となっているが、約 300 万年前から 1 万年前まで、周辺の山々からもたらされる碎屑物により埋積され、最大約 600m の厚さの堆積物で覆われている。中央部は盆地内に巨大な湖が存在した 100 万年前以降 1 万年前までの時期に堆積した黒泥で、Kalimati 層群と呼ばれている(図 8-11)。

この軟弱層の存在が、カトマンズの脆弱な地盤構造を決定づけており、地震被害の拡大や地盤沈下をもたらしている。



図 8-11 カトマンズ盆地の模式地質断面図(Sakai et al.,2006 に加筆)

8.4 EX-2 に参加して

今回、図らずも日本から一人で EX-2 に参加することになったが、主にヨーロッパから参加している研究者と交流できたのは良かった。それぞれみなさんお国の言葉で話されているシーンが多く、(こちらの語学力も含め)深い議論はできなかったが、ネパールの歴史的・象徴的な建造物を地震被害という観点から見るという興味深い内容であった。ネパール初入国につき、地形や地質に関して全く予備知識を持たないままの参加であったが、NSEG のメンバーの周到な準備により、効率よくカトマンズ盆地の史跡を巡り、応用地質学的特徴を学ぶことができた。

2015 年のゴルカ地震の被害の爪痕は未だ各所に残されているが、ダーラハラ・タワーのように、被災の痕跡を残し、後世に地震被害の悲惨さを伝えようという取り組みも行われており、ネパールにも自然災害に対する文化が芽生えつつあるような気がした。災害は起きないのが一番であるが、ネパールでも災害とうまく付き合う方法を見出してもらいたい。

9. EX-3:A Full Day Tour to Explore Engineering Geological Setting of the Kathmandu Valley(2025 年 11 月 26 日)

野々村 敦子(香川大学)

9.1 2024 年 9 月カトマンズでの大雨について

EX-3 では、2024 年 9 月末の大雨による被害を受けた地点およびネパールで初めて建設されたトンネルを訪れた。

報告者の野々村は大学の業務で 2024 年 9 月 25 日から 9 月 30 日までカトマンズに滞在していた。その際に見たカトマンズでの豪雨時の様子の概要を述べる。

トリブバン国際空港の気象観測所では、24 時間で 239.7 mm の降雨量を計測するなど 2024 年 9 月末にカトマンズ盆地で 54 年ぶりの降雨量記録を更新した。この大雨によりネパール国内各地で壊滅的な洪水と土砂崩れが発生し、112 人が死亡、38 人が行方不明となったと報じられた。トリブバン大学は香川大学の協定校であり、2024 年 9 月末、香川大学では教員 2 名と学生 2 名でトリブバン大学を訪問中にこの大雨をカトマンズで経験した。9 月 27 日から雨が降り、28 日も朝から雨が降り続いていた。28 日の朝の時点で道路は所々、冠水し始めていた。カトマンズ盆地は広大な湖が、カトマンズ盆地南部における Bagmati 川越流部の決壊とその後の地すべりによる堰き止めを繰り返して離水したと推定される。このため、Bagmati 川とその支流は、離水面を下刻し、かつての離水面は複数の段丘面となっている。カトマンズ盆地では川沿いでは標高が低いため、夕方、Bagmati 川沿いでは浸水が始まっていた。29 日の朝刊で大雨による被害が報じられた。



図 9-1 2024 年 9 月のカトマンズでの大雨の様子

(A)2024 年 9 月 28 日午前中のカトマンズ市内の様子 (B)2024 年 9 月 28 日午前中のカトマンズ市内の様子 (c)2024 年 9 月 28 日夕方の BAGMATI 川の様子 (D) ランジャン・クマール・ダハル氏のオフィスで見た ZOOM EARTH の雨雲

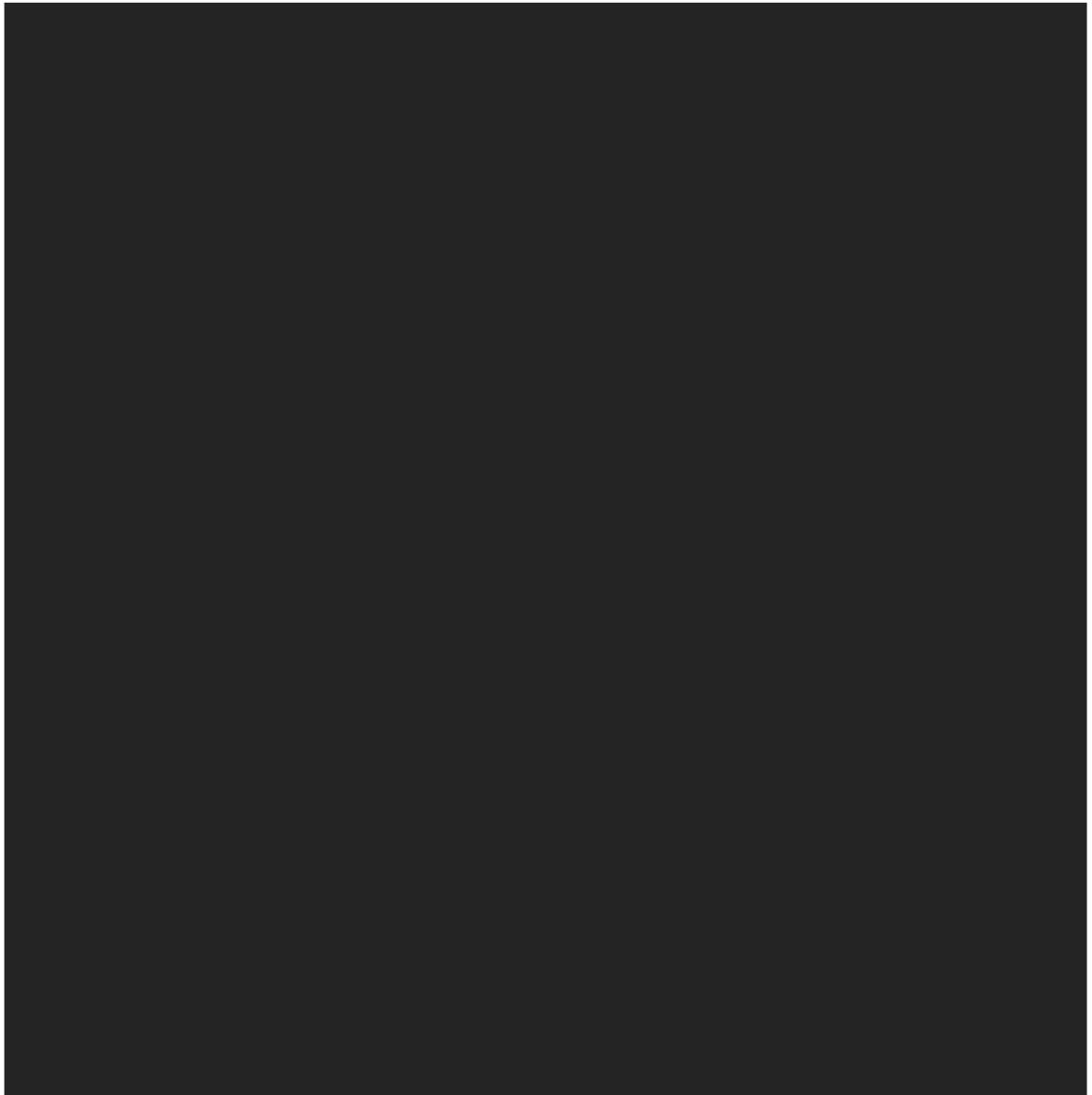


図 9-2 2024 年 9 月のカトマンズでの大雨の様子を報じる現地のニュース
(カトマンズポスト)

(1) STOP1 Nakhhu River

Bagmati 川の支流の Nakkhu 川は Chobhar 溪谷付近で Bagmati 川と合流している。Nakkhu 川はカトマンズ盆地南部に降った雨を集めて流れる河川である。巡検の際に配布された資料によると 2024 年 9 月の大雨で Bagmati 川支流の Nakkhu 川でも Nakhu 橋付近で水位が上昇し、洪水が発生していたとのことである。

Nakkhu 川の観察は Nakhu 橋付近で実施した。Nakhu 橋より下流側では高水敷に立地する建物の 1 階部分に浸水深 1 m 程度の浸水痕跡がみられた。Nakkhu 川下流側には病院が立地する。現在、病院の周りにはコンクリートの擁壁が建設されているが、説明によると、この擁壁は洪水後に建設されたとのことである。洪水以前に建設されていた擁壁は洪水で倒壊した。

Nakhu 橋より上流側では高水敷に円磨された礫が多数見られた。一方、Nakhu 橋下流側では高水敷に 1 m 程度土砂が堆積していた。斜面崩壊により上流部で大量の崩壊土砂が発生したこと、

大量の崩壊土砂が河川に流入したこと，本流の Bagmati 川の水位が上昇したことにより，支流から本流へ流入しにくい状況であったことなどが考えられた(図 9-3，図 9-4).



図 9-3 STOP1 と STOP2 位置図



図 9-4 STOP1 見学地点

(A) NAKHU 橋より上流側の NAKKHU 川 (B) NAKHU 橋より下流側に立地する 1 階部が浸水被害を受けた病院 (C) 下流側で堆積した土砂を観察している様子 (D) 高水敷に立地する建物に残る 1m 程度の浸水痕跡

(2) STOP2 Chobhar Gorge

Chobhar 渓谷では水位が上昇し、Chobhar 寺院も 1 m 程度浸水痕跡が見られた。渓谷のところで川幅が狭くなるのでより水位が上昇すると考えられる。Chobhar 渓谷は石灰岩からなるが、砂質片岩(メタサンドストーン)由来の土砂が付着しており、上流から流れてきた洪水流に含まれていたものと考えられる。

Wikipedia によると、カトマンズ盆地の成り立ちに関する伝説では、約 8000 年前までは湖底であったが、文殊菩薩が南にある山を削り湖の水を流したところ、その後に肥沃な土地が出現したとされており、湖の水を流したという地点が、Chobhar 渓谷となっている。Chobhar 渓谷の左岸側の Manjushree Park にも立ち寄った。この公園には文殊菩薩像があり、建立の経緯が多言語で石碑に刻まれていた。

“With the main objective of highlighting the importance and contribution of Manjushree in the development of Kathmandu valleys civilization, 33 ft tall stone statue of Manjuserr made by Jalabinayak Community Forest Users Group at historical Kirtipur Municipality -6 Chobhar has inaugurated on Saturday 16 June 2019”

調査の中では、応用地質の観点からいうと湖の水が流れたのは活断層による地震の影響とも考えられるという意見が出された。

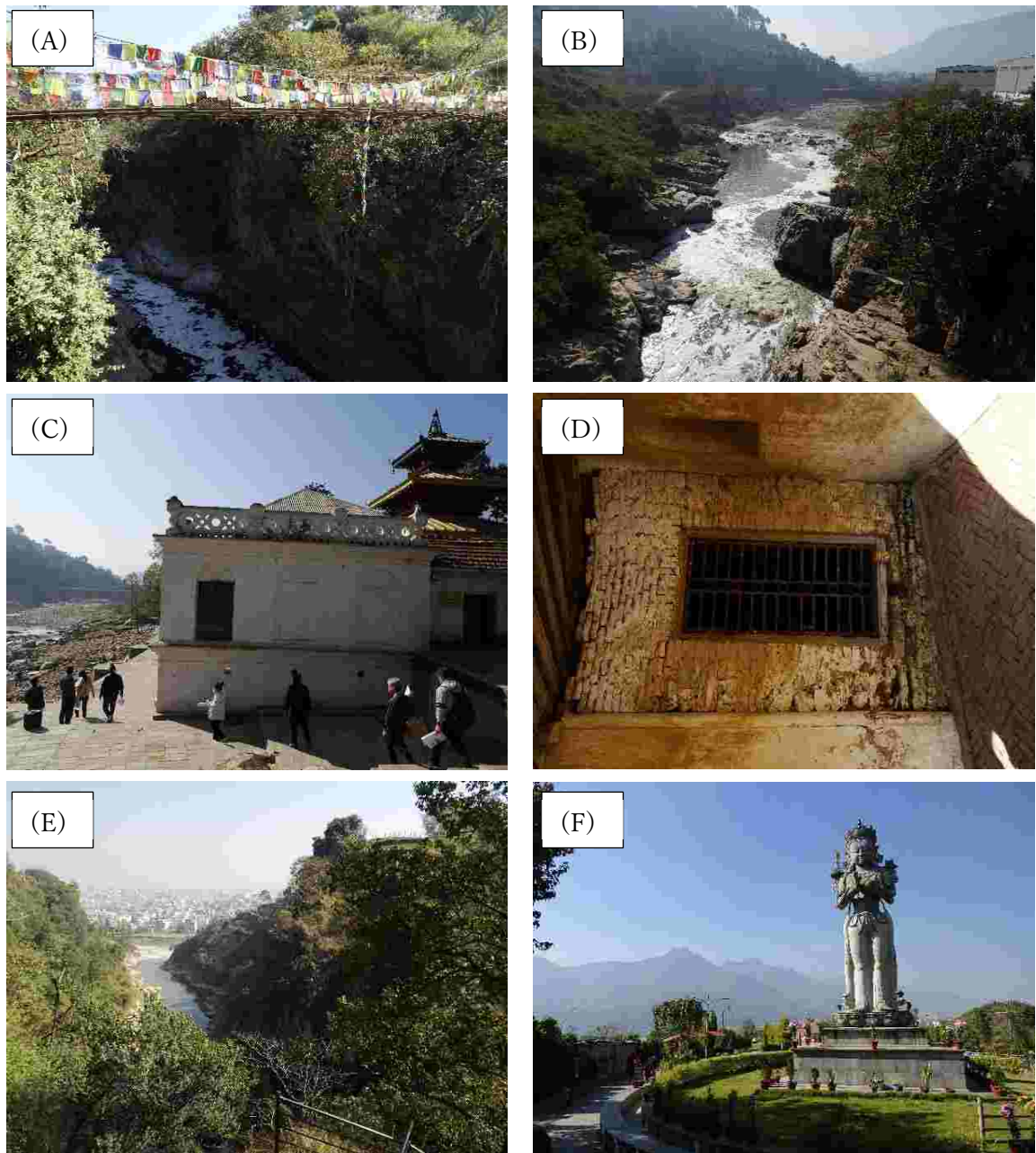


図 9-5 Chobhar 溪谷周辺の様子

(A) CHOBHAR 溪谷 (B) CHOBHAR 溪谷より下流側の BAGMATI 川
 (C) CHOBHAR 寺院 (D) CHOBHAR 寺院の壁に残る浸水痕跡
 (E) MANJUSHREE PARK から望むカトマンズ盆地 (F) MANJUSHREE PARK

(3) STOP3: Nagdhuga Tunnel

Nagdhuga Tunnel は、JICA の支援事業としてネパールに建設された最初のトンネルでカトマンズとダーディンを繋ぐトンネルで本坑 2.69 km, 避難坑 2.56 kmが建設された。トンネルの建設は2019年10月に開始された。建設工事は(株)安藤・ハザマが行った。トンネルを施工した箇所の地質は粘板岩、珪質千枚岩、黒色片岩、砂質片岩で、複雑な地形・地質のため難工事となったとのことであった。特に、トンネル内部では両側から押される内空変位のため1.5mの変位があり、へき開による変位が進行したこと、またトンネル坑口が崩落したこともあったとの説明を受けた。

2025 年の大雨ではトンネル西側の斜面で地すべりが発生した。この対策として、これから 30m のアンカー50 本を打設予定である旨も説明頂いた。トンネル内部では避難坑を歩いて見学することができた。赤色に変色している箇所があった。表層の酸素の影響が割れ目に浸透した水により及んだことを考えると、トンネルの地山が固いが割れ目が多いということを裏付けるものであると考えられた。

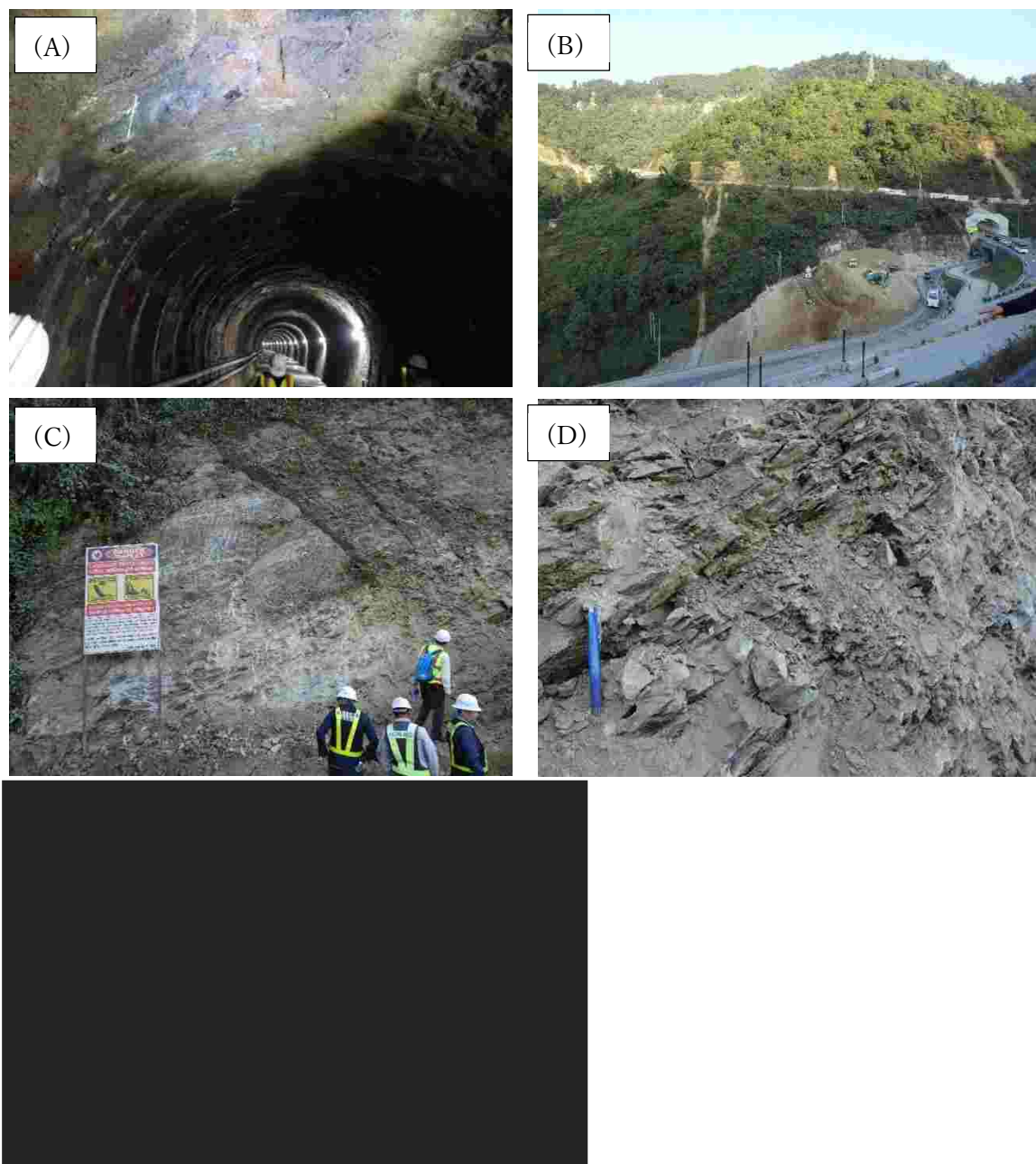


図 9-6 Nagdhuga Tunnel 見学地点の様子

(A) 避難坑内部 (B) NAGDHUGA TUNNEL 西坑口付近 (C)西坑口付近の岩盤 (D)西坑口付近の緩んだ岩盤 (E)トンネル位置図(GOOGLE MAP に加筆)

(4) STOP4: Swayambhunath Stupa

交通渋滞等の影響で到着が日没後となった。そのため地形を観察することはできなかったが、ライトアップされた寺院はとても美しかった。モンキーテンプルという別名をもつということであるが群れをサルの多さにはただただ圧倒された。



図 9-7 Swayambhunath Stupa

(5) 昼食

エクスカーシンの昼食はキルティプールでカトマンズ盆地をみながらネパール料理を頂いた。

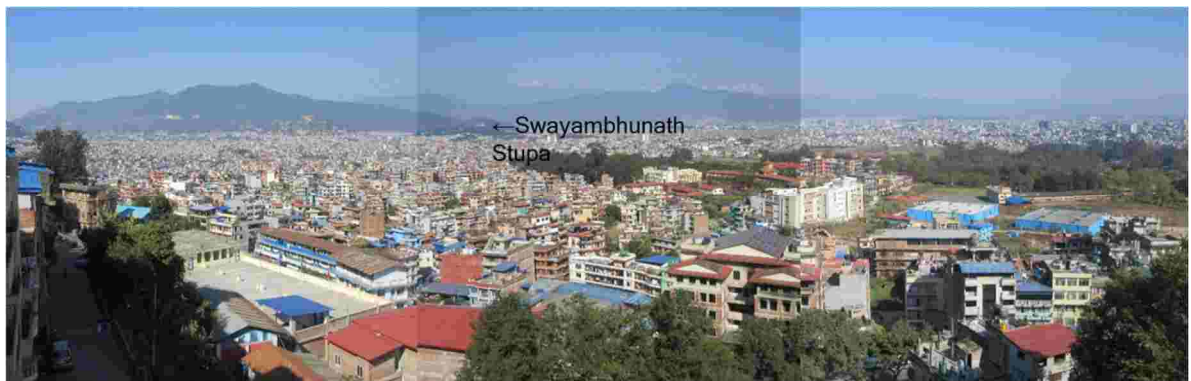


図 9-8 キルティプールから見たカトマンズ盆地 (長谷川先生ご提供資料)

10. EX-5: Engineering Geology and Geotechnical Characteristics of Kathmandu-Pokhara Area.

西村 智博(国際航業株)

カンファレンス終了後のポスト・エクスカージョンのうち、11月30日(日)～12月2日(火)の3日間で催行されたEX-5「カトマンズーポカラ地域の応用地質と地質工学的特性」に参加したので、その概要を報告する。

10.1 EX-5 の概要

EX-5 はカトマンズを起点に、西方約 150 kmにあるポカラまで、Prithvi Highway 沿いの地形・地質を見ながら、最近建造された大規模構造物をいくつか見学するコースである。また、ポカラ周辺では、地域の特徴的な地形・地質を見て回り、周辺山地とポカラ盆地の成り立ちを考察した。EX-5 の行程を表 10-1 に、ルートの概要を図 10-1 に、ポカラ周辺の視察ルートを図 10-2 に示す。

表 10-1 EX-5 の行程

Time	Schedule
Day 1	Kathmandu – Pokhara Road (Prithivi Highway)
8:00 AM sharp	Departure from the symposium venue hotel
9:00 – 10:00 AM	Arrival at Site-1; Nagdhunga–Sisnekhola Road Tunnel (Observation at the tunnel outlet)
10:00 – 11:30 AM	Break (Observation around the area)
11:30 AM – 1:30 PM	Arrival at Site- 2; Galchi
1:30 PM – 2:30 PM	Arrival at Krishnabhir and Observation of landslide mitigation measures
2:30- 3:30 PM	Lunch at Kurintar Barasinghe Beer factory
3:30 – 4:30 PM	Observation of Tanahu Hydropower Dam
6:00 PM	Arrival at Pokhara
7: 00 PM	onwards Dinner at Lakeside, Pokhara
Day 2	Pokhara Valley- Geological Features Excursion
8:00 AM	Departure from Hotel
8:00 AM – 10:00 AM	Arrival at Sarangkot, Observation of the site
10:00 AM – 11:30AM	Mahendra Bridge observation
11:30 AM – 1:00 PM	Observation of Seti River Gorge at Ramghat
1:00 – 2:00 PM	Lunch (Thakali Authentic Cuisine)
2:00 – 4:00 PM	Observation of Devis fall and Gupteshwor Cave
4:30 PM	Arrival at Lakeside, Free time
Day 3	Fly to Kathmandu from Pokhara International Airport



図 10-1 EX-5 の視察ルート(全体図：背景は Google マップ)



図 10-2 EX-5 の視察ルート(ポカラ周辺：背景は Google マップ)

本エクスカーションの参加者は、中国から 5 名、ヨーロッパ各国(主にドイツ)から 3 名、日本から 1 名(私のみ)、あとはネパールから案内者である Manita さん、Sweata さんと同行のカメラウーマンの計 12 名であった(図 10-3)。ヨーロッパからの 3 名は EX-2 でも一緒だったので、比較的气楽な気持ちで参加できた。WEG 主催ということもあり、女性の参加者が約半数と多かったのも特徴である。



図 10-3 EX-5 の参加者(サランコットの展望台にて)

10.2 EX-5 の訪問先

朝 8 時にカンファレンス主会場の Marriott Hotel に集合し、トヨタハイエースにドライバーを含む 13 名が乗り込んで出発。2 泊 3 日、ポカラへのエクスカーションが始まった。

(1) ナグドゥンガ(Nagdhunga)・トンネル(1 日目-Stop1)

最初はカトマンズ盆地の西端にて建設中のナグドゥンガ・トンネルへ。未だ施工中ではあるものの、貫通したばかりの本坑や並行する避難坑を見学させてもらう。国道からの分岐点は立体交差となっており、日本のような橋梁構造物が設けられているが、未だ開通待ちの状態(図 10-4 左)。工事現場を案内してくださる(株)安藤・ハザマの井上所長、中谷氏、Madan 氏と合流し、日本の高規格道路のような自動車専用道を進むと、前方に盆地西縁を区切る山地が迫ってくる(図 10-4 右)。



図 10-4 ナグドゥンガ・トンネルの東側の取り付け道路

ここにナグドゥンガ・トンネルの東側の坑口があり，全長 2688m，2024 年 4 月に貫通したばかりのトンネルが見えてくる．トンネルの主要構造や付帯構造物は日本の基準で造られているため，日本でなじみのある形状，色調のものばかりである(図 10-5 左)．坑口でトンネル周辺の地質構造や工事の進捗について説明を受ける．トンネルは坑内で約 90 度湾曲する構造となっているため，破砕帯に並行する区間は難工事となり，コロナ期間中に建設資材の入手が困難となったことも合わせて，かなり苦労されたとのことである(図 10-5 右)．



図 10-5 ナグドゥンガ・トンネルの東側坑口および工事の経緯を説明する中谷氏

構内では，本坑と，これに並行する避難坑を見学させていただいた(図 10-6 左)．避難坑は本坑に先立って掘削されたそうだが，脆弱な地盤構造の影響を受け，本坑の掘削延伸時に大きく変形し，何度も掘削しなおしになったなど，大変な苦労されたようである(図 10-6 右)．

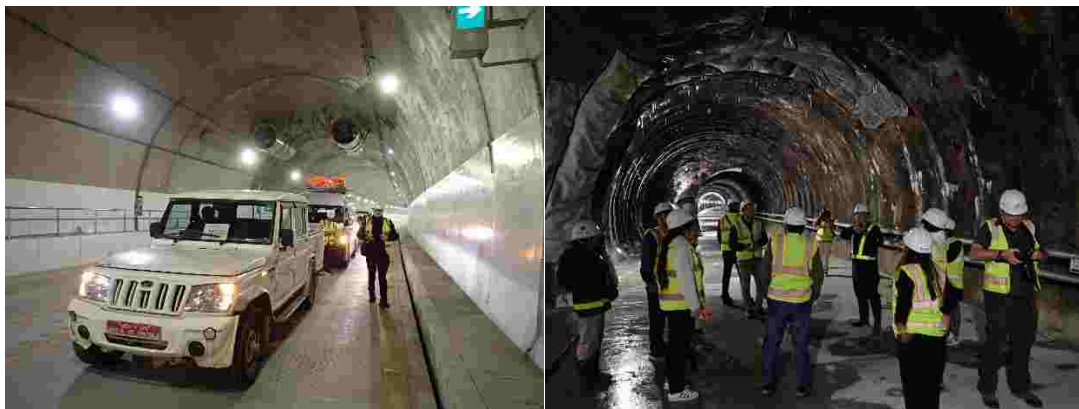


図 10-6 ナグドゥンガ・トンネルの本坑(左)と避難坑(右)

トンネル西側はカトマンズ盆地を外れてシスネ・コラに出るが、坑口の上下には現道の九十九折りがあり、長距離バスや物資を運搬するトラックがひっきりなしに往来している。トンネル開通により 20 分程度の短絡効果があるとのことであるが、移動時間の短縮だけでなく、土砂災害のリスクや燃料消費、環境負荷、ドライバーの負担など、様々な軽減効果が期待できる。西側の料金所を設ける平坦地を造成する際に切土を行った斜面が変形し、現在その対策工を実施中とのことであるが、この対策が完成すれば、ネパールとの国交 80 周年にあたる来年中には開通の見通しとなっている(図 10-7)。



図 10-7 ナグドゥンガ・トンネルの西側坑口(左)と料金所わきの斜面(右)

(2) ガルチ(Galchhi)の在来斜面对策工(1 日目-Stop2)

ナグドゥンガ・トンネルから約 40km 西のガルチでは、段丘礫層の切土のり面をジュートネットで覆い、植生の早期回復を図るネパール在来工法ののり面保護工を眺める。ジュートネット自体に斜面を抑える効果は期待できないが、植物の種子が絡みやすく、植生の早期回復が期待できるとのことであった(図 10-8)。



図 10-8 ガルチ付近のジュートネットを利用した在来のり面对策工

(3) トリプル・クラウン(Triple Crown)の段丘礫層と湖成層(1 日目-Stop3)

ガルチのすぐ先に位置するトリプル・クラウンでは、段丘礫層の上に湖成層が載る露頭が露出し、かつて河道閉塞が発生して一帯が湖になったことを確認した(図 10-9 左). 周辺の山地には、大規模な地すべりを起相させる滑落崖状の急崖や、その下の緩斜面が見られ、2015 年のゴルカ地震では、山地斜面に多数の崩壊が生じたとのことである(図 10-9 右). この付近では同様の露頭が点在するが、時折直径数 m に及ぶ巨岩が挟まるなど、どのような経緯でここに運ばれてきたものか、検討が必要である.



図 10-9 トリプル・クラウン付近の段丘礫層/湖成層の露頭と周辺の斜面

(4) クリシナ・ヴィル(Krishna Bhir)の地すべり災害(1 日目-Stop4)

カトマンズから 83 km の地点に位置するクリシナ・ヴィルでは、2000 年 8 月に地すべりが発生し、重大な交通障害が発生した. エクスカーションでは、地すべり発生当時の様子を聞き、じゃかご工や、施工中の土留擁壁・アンカー工・水抜ボーリング工を見学した.

この地すべり地は、トゥリシュリ(Trishuli)川の攻撃斜面に位置し、地質的にはかなり立った地層のクリープにより発生したようである(図 10-10).



図 10-10 クリシナ・ヴィルの地すべりと模式断面図(Yatabe et al.,2005)

本地すべりの発生により，11 日間にわたってインドからの物資がカトマンズに届けられない事態に陥り，国家的な危機となるなど，最悪の地すべり災害の一つとして記憶されている(これを受けて，バイパスとなるシンズリ道路建設の重要性が一段と認識された)．主な崩壊は 2000 年 8 月 11 日に発生し，トゥリシュリ川を一時閉塞した．地すべりの深さは約 10m で，明瞭なすべり面が形成されていた．

2003 年から本格的な対策工が実施され，まずは排土工・排水工による対策が行われた．また，並行して植生工も行われ，不安定な土砂は徐々に植生に覆われるようになっている．現地を訪問した際には，道路沿いにはじゃかご工による擁壁が設けられ，道路下方に擁壁工および水抜きボーリング・アンカー工が施工中であった(図 10-11)．



図 10-11 クリシナ・ヴィルの地すべり対策工

(5) バラシンゲ・ビア・ファクトリー(Barahsinghe Beer Factory)(1 日目-Stop5)

遅めのランチはクリンタル(Kurintar)にあるバラシンゲ・ビア・ファクトリーにて．トゥリシュリ川を挟んで対岸には大きな崩壊地が複数見える．バラシンゲはネパールを代表するビールブランドで，カトマンズでも手軽に買える．工場併設のレストランで 5 種類のビールを試飲しながら，フィッシュ・アンド・チップスをいただく(図 10-12)．



図 10-12 バラシンゲ・ビア・ファクトリーにて崩壊地を眺めながらのランチ

(6) タナフ水力発電ダムサイト(Tanafu Hydropower Dam Site)(1 日目-Stop6)

トゥリシュリ川に沿ってムグリン(Mugling)まで下り，今度はダラウディ(Daraudi)川からマルシヤンディ(Marsyangdi)川に沿ってダマウリ(Damauli)まで移動する．ここではタナフ水力発電ダムが建設中であるが，もはや日没を過ぎ，かなり暗くなったサイトを見学させてもらった．

ダムサイトは，ポカラから流れてくるセティ・ガンダキ(Seiti Gandaki)川に位置し，地質的にはドロマイトが分布する地域にあたる．急峻な峡谷部を整形して基盤岩を露出させ，下方からコンクリートを打設してダムが構築されつつあった．現在は高さ 40m ほどまで工事が進んでいるが，完成すると高さ 140m のハイダムになるとのことで，貯水湖は延長 25 kmに及ぶとのことである(図 10-13)．



図 10-13 Tanafu Hidropower Dam Site の施工状況

ダムサイトからポカラまでさらに 1 時間強、宿に着くと既に 19 時 30 分であった。1 日目からなかなかハードな移動である。ホテルにチェックインすると、すぐにディナーへ。ペワ湖畔のレストランにて、本日も民族ダンスを鑑賞しながら、皆さんと楽しいひと時を過ごす(図 10-14)。



図 10-14 Phewa 湖畔のレストランでのディナー(結局最後は踊らされる)

(7) サランコット(Sarangkot)展望台(2 日目-Stop1)

2 日目は朝一番にサランコットの展望台へ。天候にも恵まれ、ヒマラヤの山々が良く見える。正面に見える三角の格好の良い頂はマチャプチャレ(Machhapuchhre, 6993m), その右奥にアンナプルナIII峰(7555m), 鞍部を挟んでさらに東にアンナプルナII峰(7219m), 西側にはアンナプルナI峰(8091m)がそびえ立つなかなか壮観な眺め。足元にはポカラの街が見え、アンナプルナ山塊の氷河や急峻な山地から流出する岩屑により、扇状地や扇状地性の段丘が形成されているのも観察できる(図 10-15)。小一時間、写真を撮ったり、カフェでお茶を飲んだり、思い思いに時間を過ごす。この後観察するセティ・ガンダキ川沿いの地形・地質の概要について説明を受け、後ろ髪を引かれる思いで山を下る。

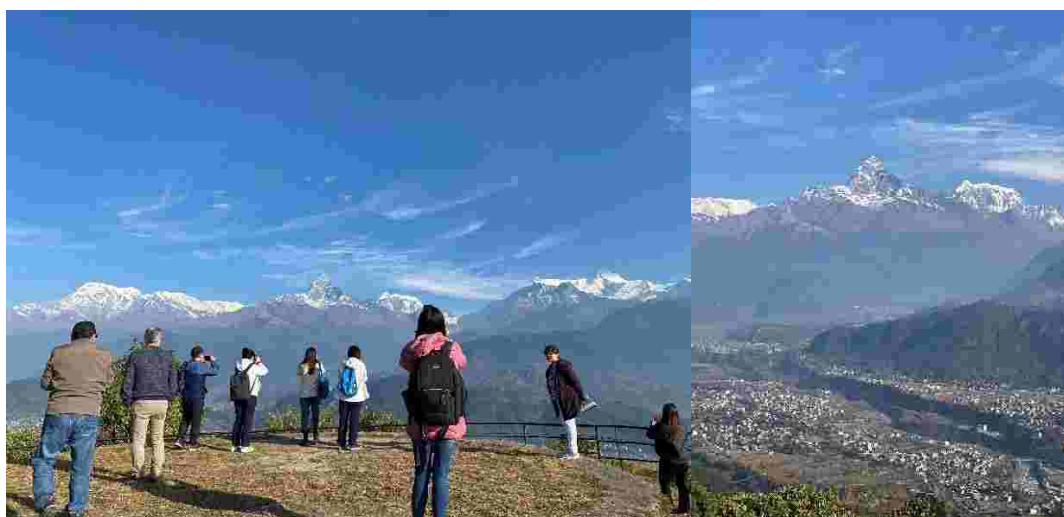


図 10-15 サランコット展望台からの眺め

(8) セティ・ガンダキ川沿いの地形・地質(2日目-Stop2,3,4)

ポカラの市街地まで戻り、セティ・ガンダキ川に架かるマヘンドラ(Mahendra)橋へ。一見何の変哲もない長さ 50m ほどの橋梁で、対岸の段丘面まで歩いて 1 分ほどで渡れるのだが、橋の中央部から下をのぞくと、谷の底が見えないぐらい深く、はるか下方にチラッと激流が見える(図 10-16)。この付近ではセティ・ガンダキ川は狭い峡谷を形成し、衛星画像で見ても、ここに大きな川が流れているとは思えないぐらい狭い流れとなっている(図 10-17)。



図 10-16 セティ・ガンダキ川に架かるマヘンドラ橋と橋上からの眺め



図 10-17 ポカラ市街地を流下するセティ・ガンダキ川周辺の衛星画像(GOOGLE マップ)

次いで市街地上流のバラム(Bhalam)つり橋へ。段丘面をつなぐ長さ 200m 近いつり橋を渡ると、兩岸は切り立った段急崖。よく見ると、段丘崖から崩落した巨岩塊が点在している(図 10-18)。段丘礫層の下層に基盤岩が露出しているのかと思いきや、段丘礫層自体が礫岩化しているのだそう。セティ・ガンダキ川の上流には石灰岩を含む地層が露出しているため、これらが流出・堆積するとセメント化して地層が固化し、切り立った断崖を形成するが、水による侵食に弱く、下方を侵食されると、トップリングや陥没のような現象が起きるとのこと。日本で言えば火砕流台地に見られる地形のような感じとなっている。先に見たマヘンドラ橋の峡谷もこのような地質条件によって形成されているのだそう。



図 10-18 バラムつり橋と上下流の眺め

上流部を見たあとは、ポカラの下流側、マヘンドラ橋で見た狭窄部の出口にあたるラムガット(Ramghat)へ向かう。川底までかなりの段数の階段を降りると、上流側には幅 10m、深さ 40m 程度の狭い峡谷が見える。上方にはマヘンドラ橋と同規模の短い橋梁があるが、そこから下流は谷幅が広がり、一気に幅 250m 程度の河原となっている(図 10-19)。河原の側方は切り立った急崖になっているが、増水時には側方侵食が著しいらしく、護岸擁壁を設けて侵食を食い止める試みが行われている。ただし、基礎部の施工が甘く、すでに水は擁壁の裏へ回り込み、擁壁自体も前面に倒れ込んできている。

河原ではヒンズー教徒が亡くなった人の着衣をお祈りしながら川に流していた。綿や麻の衣類ならいずれ自然に還るのだろうが、化学繊維の服まで流すのは如何なものか…河原にはいろいろな残骸が流れ着いている。

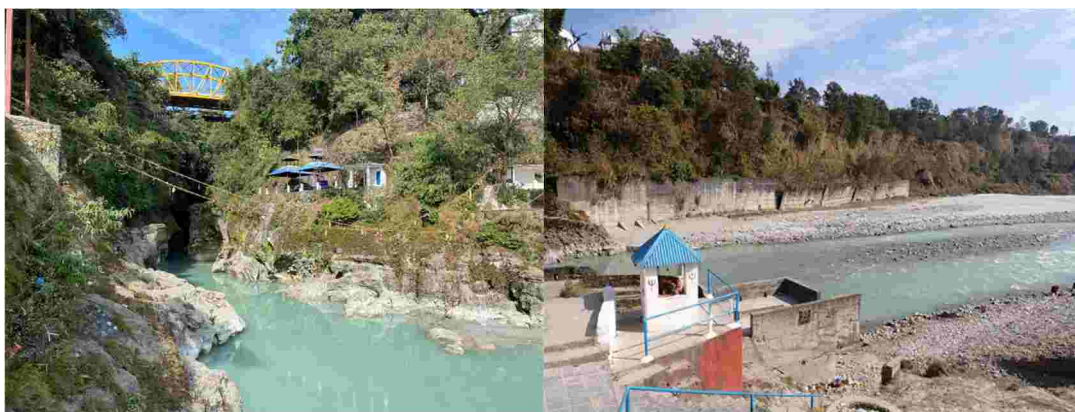


図 10-19 ラムガットの狭窄部出口と下流側に広がる河原

本日のランチはペワ湖に近いお上品なレストラン「ポカラ・タカリ・キッチン」にて整ったダブルバート。ライスに熱したバターを垂らしてもらうとジュッと香ばしい匂い(図 10-20)。食後にコーヒーが飲みたいというヨーロッパ系の皆さんのリクエストに、店員さんが近くのカフェまで買い出しに行ってくれた。



図 10-20 2日目のランチ

(9) デヴィズ・フォール(Devi's Fall)とグプテスワー洞窟(Gupteswar Cave) (2日目-Stop5,6)

午後からはセティ・ガンダキ川を離れ、ペワ湖から流れ出すパルディ・コラ(Pardi Khola)の流域へ。といってもポカラ市街地の西のはずれなので、車で10分ほど。車通りの多い大通りで降ろされ、ゴチャゴチャとした土産物屋街を抜けるとゲートがあり、ちょっとした公園になっている。100mほど行くと周辺の平坦地から10mほど掘りこんだ谷の底に、柵に囲まれて川の流が見えるが、足元の滝で地中深くに消えて行っている。下流側に川の流は見えず、幅5mほどの亀裂が続くのみ。これがデヴィズ・フォールと呼ばれる滝のようだ(図 10-21 上)。元は別の名前があったようだが、その昔、川遊びをしていたご婦人が流され、行方不明になった後、しばらくして思いもかけない下流で発見されたということで、彼女の名前が付けられたとのこと。

続いて大通りを南へ渡り、昭和っぽい土産物街をしばらく進んだ際にあるグプテスワー洞窟へ。ヒンズー教の寺院の中に地下へ続くらせん階段があり、さらに湿度の高い洞窟を200mほど進むと、湖成層の堆積物がパツカリと割れ、その奥にデヴィズ・フォールが見える神秘的な空間に出る(図 10-21 下)。市街地や大通りの地下にこのような空間があるなんて・・・ザ・ジオサイトといった景観にしばし息をのむ。

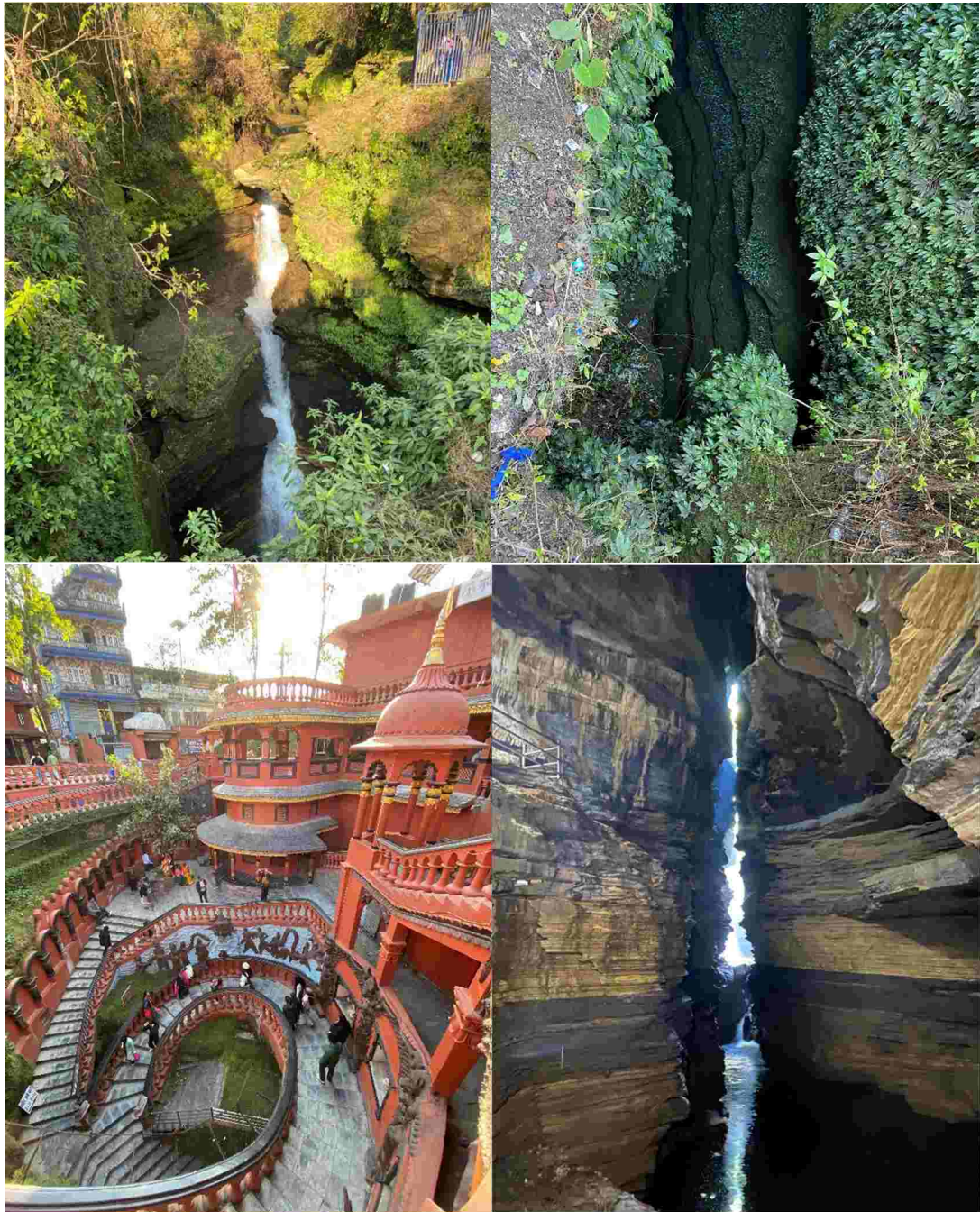


図 10-21 デヴィズ・フォール(上)とグプテスワー洞窟(下)

(10) ペワ(Phewa)湖(2日目-Stop7)

2日目のメはペワ湖。皆さんで2隻のボートに分乗し、湖に浮かぶヒンズー寺院のある島へ(図10-22)。ボートは船頭付きの1時間貸し切りのため、お参りした後は夕暮れ時の湖をグルッと一周。

ペワ湖はセティ・ガンダキ川の支流沿いに形成されたものであるが、本流側の土砂堆積速度が速く、支流下流側が扇状地性の堆積物で閉塞されてしまったためにできた「支谷閉塞湖」とのこと。最近では周辺斜面の土地開発が著しく、土砂の流入が激しくなって年々埋積が進んでいる。このため、下流端にダムが設けられ、水位が管理されている。



図 10-22 ペワ湖と遊覧ボート

(11) ポカラ国際空港(3日目-Stop1)

3日目はポカラからカトマンズへ空路で戻るのみ。ただし、ポカラからの便は欠航や遅延が多いらしく、我々の搭乗予定便も宿を出る時点で既に1時間遅延の予告。ポカラ国際空港は2023年に新規開港した空港で、ロビーからはヒマラヤの山々が見渡せ、飛行機を待ちながら雄大な景観が楽しめる(図 10-23)。が、肝心の飛行機がなかなか降りて来ない。少ない機体を使いまわし、早朝はネパール各地の谷沿いの空港が濃霧で降りられないことが多いため、先の便の遅延が玉突きで影響し、次第に拡大していくのだそう。ただし、同じ航空会社の場合、前の便に空席があれば、次の便の乗客も乗せて出発する(彼らは「マージする」と言っていた)ので、それなりに需給バランスは取れているようだ。我々のブッダ・エア 608 便は結局3時間遅れで離陸。

飛んでしまえばカトマンズまではあっという間の30分。陸路12時間近くかけてきた道をまさしくひとつ飛びで戻る。左の窓側席を割り当ててもらえたので、アンナプルナ山塊やマナスル(Manaslu, 8163m)など、ヒマラヤの山々もバッチリ見える(図 10-24)。



図 10-23 ポカラ国際空港と空港建物からの眺め

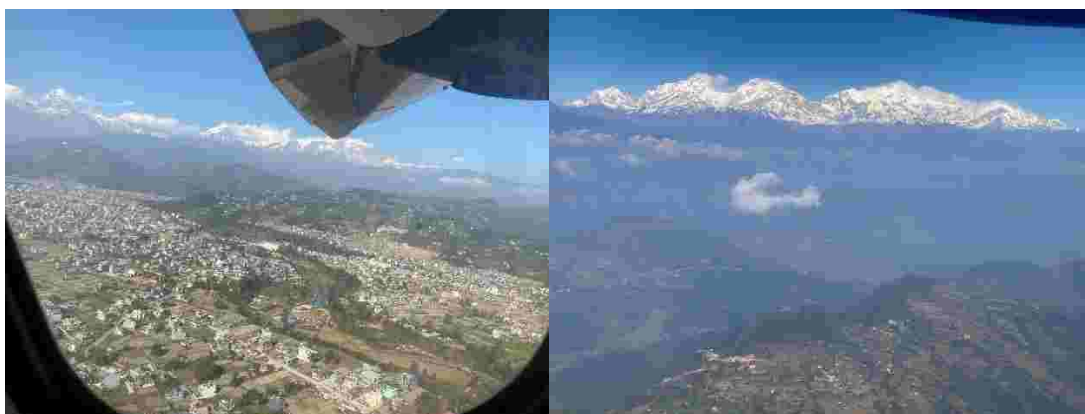


図 10-24 機上からポカラ国際空港周辺とマナスル

10.3 カトマンズからポカラにかけての地質概要

ネパールの地質については別章で詳述されているが、本エクスカージョンは、大まかに見てカトマンズからポカラまでの東側 1/3 がハイ・ヒマラヤの変成岩帯、残り 2/3 がレッサー・ヒマラヤの堆積岩地帯を往く行程であった(図 10-25, 図 10-26).

このため、1 日目前半のナグドゥンガ・トンネルやガルチ、クリシナ・ヴィルでは片岩やスレート、変斑レイ岩などが形成する斜面を眺め、後半は堆積構造を残した堆積岩の露頭が多く見られた(図 10-27). 変成岩帯は、主境界衝上断層(MBT)や主中央衝上断層(MCT)に近く、グチャグチャに変成を受けた岩盤が露出しているため、切土斜面なども崩れやすく、土砂災害が多発しているような印象を受けた(2024 年の豪雨災害の影響もあると考えられる). 後半は比較的安定した地層となり、顕著な災害は見られなかった(ネパールの荒れた斜面に目が慣れただけの可能性もある). タナフ・ダムは、セティ・ガンダキ川がドロマイトの硬い岩盤を深く侵食した狭窄部に位置していた. 周辺では、他にこのような岩盤が露出する区間がほとんどないため、奇跡的な場所をうまく見つけてダムが建設されているといえる.



図 10-25 ネパール周辺の概略地質図(石浜, 2008)



図 10-26 カトマンズからポカラにかけての国道沿いの地質図(EX-5 案内書に地名加筆)



図 10-27 ガルチ周辺の変成岩(左)とクリンタール-タナフ間の堆積岩(右)

10.4 EX-5に参加して

今回、EX-2に続いてEX-5も日本代表として単身参加することになったが、中国やヨーロッパから参加している研究者とゆっくり交流できたのは良かった。2025年11月以降、中国とは政治的に微妙な温度感となっているが、EX-5参加メンバーとは日本への帰国時も成都まで同じ便になるなど、何だかんだと4日間顔を合わせてお友達になれたと思う。ヨーロッパからの参加者はEX-2でも顔を合わせていたので、都合4日間一緒にネパール各地を巡り、だいぶ親しくなった。

参加者9名のうち中国からの参加が5名(うち3名女性)ということで、移動中の車内はほとんど中国語が飛び交う環境だったが、案内者のManitaさんやSweataさんは愛媛大学に留学経験があるとのことで、合間合間にはカタコトの日本語も交えて交流できた。

エクスカーション自体は、カトマンズからポカラまでの国道沿いに見られる「応用地質学的に関心の高い」トンネル、地すべり、ダム、地質構造の見学が主で、ネパール初上陸の私としては地域の概要を知るうえで非常に参考になった。2日目のポカラ周辺は、観光で来ると見逃してしまいそうだが、地形・地質的に非常に面白い事象を案内してもらえた。

また機会があれば、もっと広く、もっと深く、ネパール各地に分け入りたくなるようなエクスカーションであった。

11. EX-6:Engineering Geology Insights: Exploring the Tea Farming Landscapes of Far-Eastern Nepal from Koshi River, Jhapa and Ilam

長谷川 修一(香川大学)

11.1 EX-6 の概要

ARC-15 の大会後の見学会 EX-6 は、2025 年 11 月 30 日～12 月 2 日の 2 泊 3 日の行程で東ネパールを訪問し、テライ平原からミッドランドまでの地形を観察し、構成する地質帯を応用地質学の視点から観察した。

この地域では、南からテライ平原を構成するテライ帯の堆積物、シワリク丘陵を構成するシワリク帯の堆積岩、マハバーラト山脈とミッドランドを構成する小ヒマラヤ帯の変成岩、大ヒマラヤ帯の変成岩を短距離で見ることができる。そして、それぞれの地質帯の境界であるヒマラヤ前縁衝上断層(HFT : Himalayan Frontal Thrust)), 主境界衝上断層(MBT : Main Boundary Thrust), 主中央衝上断層(MCT : Main Central Thrust)を通過する。なだらかなイラム郡の丘陵地は、なぜか大ヒマラヤの変成岩帯からなり、ネパールを代表する茶の産地である。イラム郡の東側はインドのダージリンである。

EX-6 のねらいは以下のとおりである。

- ① なぜ東ネパールでは、テライ平原からミッドランドまでの地形で、4 つの地質帯が(3 つの主要な衝上断層が)接近して観察できるのかその理由について検討する
- ② なぜイラム地方がお茶の産地になったかについて、大地の成り立ちから検討する。
- ③ ネパールの地方における灌漑、治水、道路整備、電源開発等の社会資本整備における応用地質学の役割を考える。

見学は、図 11-1 のルートと図 11-2 の行程で実施され、リーダーは長谷川修一(香川大学)が、サブリーダーを Praveen Upadhayaya Kandel 氏と Sudhan 氏(共に Geotech Solutions International)が担当した。参加者は、日本からは、徳永朋祥会長(東京大学)、菅原大介(四電技術コンサルタント)、乃一由依(西日本高速道路エンジニアリング四国)、野々村敦子(香川大学)、平田康人(電力中央研究所)、水野直弥(建設技術研究所)の 6 名、ポーランドの地理学者 2 名と案内者 3 名の計 11 名が 3 台の 4 輪駆動車に分乗して見学した。

主な見学行程は以下のとおりである。

11 月 30 日(日) :

カトマンズ→ビラトナガル(国内線でヒマラヤ山脈を観察)

テライ平原の地形地質と土地利用、コシ大河の利水と治水、

12 月 1 日(月)

アジア・ハイウェイの拡幅、MFT, MBT, MCT の地形と地質、イラム郡の茶園

12 月 2 日(火)

イラム郡の茶園、ネパール・インドの国境

バクタプル→カトマンズ(国内線でヒマラヤ山脈を観察)

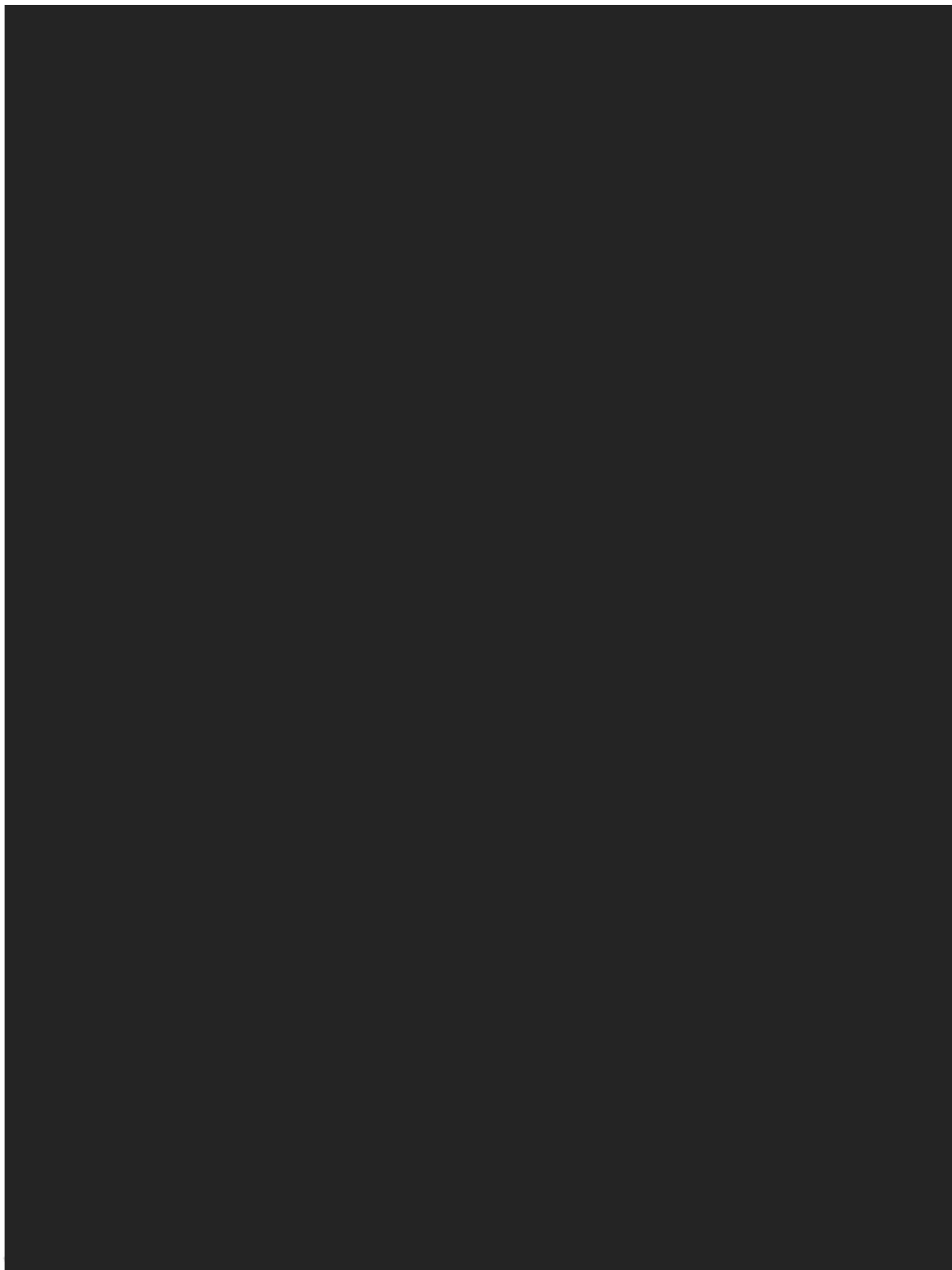


図 11-1 EX-6 のルート図(ARC-15 の Final Circular より)

Date: 2025-11-30 to 2025-12-2 Conference Tour Schedule

Ex-6: Engineering Geology Insights: Exploring the Tea Farming Landscapes of Far Eastern Nepal from Jhapa to Ilam (Three Days- 1h fly from Kathmandu in Airplane and Bus Trip in Jhapa and Ilam)

Time	Schedule	
Day 1 (2025-11-30): Kathmandu – Biratnagar – Jhapa		
8: 00	Departure from Venue Hotel, Kathmandu	
8:30	Arrival at Tribhuvan International Airport	
9: 30 – 10:30	Flight to Biratnagar from TIA	
10: 30	Arrival at Biratnagar Airport	
10: 30 – 12:00	Biratnagar Airport to Chatara Koshi bridge	
12:00 – 13:00	Lunch at Koshi Bridge, Chatara	
13:00 – 14:00	Observation of Koshi Sediment, MFT and Siwalik	
14:00 – 15:30	Moving to Koshi Barrage	
15:30 – 16:00	Observation of 63 yrs old Koshi Barrage	
16:00 – 18:45	Travel to Damak, Jhapa	
18:45	Stay at Jhapa	
Day 2 (2025-12-01): Jhapa – Ilam		
8: 00	Departure from Jhapa to Ilam	
8: 30 – 9:00	Observation of Main Frontal Thrust (MFT) at Budhabare	
9:00 – 9:30	Arrival and Observation of MBT at Chihandada	
9:30 – 10:00	Arrival and Observation of Lesser Himalayan Rock at Kutidada area	
10:00 – 10:30	Arrival and Observation of Tea State	
11:00	Arrival at Tea State at Kanyam	
11:30 – 12:30	Observation and enjoy the surrounding of Tea State at Kanyam	
12:30 – 13:30	Lunch at Fikkal Bazar	
14:30	Arrival at Maikhola	
14:30 – 16:00	Observation of Creeping Landslide at Maikhola	
16:30	Arrival and stay at Ilam	
17:30	Free time, evening walk at Tea State	
16:00	Moving to Hotel at Fikkal	
18:30	Dinner at Hotel	
Day 3 (2025-12-02): Pashupatinagar to Kathmandu		
8: 00	Departure from Pashupatinagar	
11:30	Arrival at Kakarbhitta	
11:30—12:30	Lunch	
<u>Interested participants can go to India from the border, be careful that you have valid Indian Visa</u>		
14:00	Departure from Bhadrapur Airport to Kathmandu	
16:00	Arrival at Venue Hotel in Kathmandu	

図 11-2 EX-6 の行程(ARC-15 の Final Circular より)

11.2 東ネパールの地形と地質

(1) カトマンズービラトナガル間の空路から見た東ネパールの地形

霧の影響のため 2 時間遅れで、カトマンズ空港から国内線でビルトナガルに向かった。

ネパールの地形は、地質構造帯とほぼ調和的な東西方向の地形列からなり、北からチベット高原、高ヒマラヤ、ヒマラヤ前縁、ミッドランド、マハバーラト山脈、デュン盆地、シワリク丘陵及

びテライ平原(ガンジス平野)に大別される(図 11-3). カトマンズからビラトナガルまで国内線の移動中に(図 11-4), ミッドランドから高ヒマラヤ山脈を観察することができた(図 11-4). 世界 1 位のエベレスト山(ネパール語でサガルマータ)と世界第 3 位カンチュンジュンガ山も明瞭に見ることができた(図 11-5). しかし, 東ネパールに近づくと, 高ヒマラヤは遠望できるが, 手前のミッドランドやマハバーラト山脈には雲がかかり, テライ平原からイラム丘陵地帯から高ヒマラヤの地形を撮影することができなかった.



図 11-3 EX-6 の移動中に観察できるヒマラヤ山脈の地形(GOOGLE EARTH に地名等を追記)



図 11-4 ミッドランドにおける地すべりによって形成された緩斜面と高ヒマラヤの山脈.



図 11-5 世界 1 位の黒いエベレスト山(左)と世界第 3 位の白いカンチュンジュンガ山(右)

エベレスト手前の白い岩盤斜面は中新世の優白色花崗岩の貫入で、雪ではない。

カンチュンジュンガのあるネパール東部とインドとの国境はベンガル湾の奥にあるため、ベンガル湾からの湿った風によって降雪量が多くなっている。

(2) EX-6 の舞台ネパール東縁部の地形

EX-6 の舞台ネパール東縁部の地形を図 11-6 に示す。東ネパールのヒマラヤ山脈南麓では、南からテライ平原、シワリク丘陵、マハバーラト山脈、ミッドランドが分布するが、マハバーラト山脈が不明瞭なので、全体してミッドランドのような緩斜面からなる。

東ネパール最大の大河コシ川は、チベット高原に源流があり、カトマンズ以東の東ネパールをほぼ流域に治めている。コシ川は、支流をシワリク丘陵の北側で集め、シワリク丘陵に南のテライ平原で一気に川幅を広げている。コシ川に対して、マハバーラト山脈およびシワリク丘陵を源流とする河川は小規模で、特にシワリク丘陵を源流とする小河川は乾季には涸れ川となっている。



図 11-6 EX-6 の舞台ネパール東縁部の地形(GOOGLE EARTH に地名等を追記)

(3) EX-6 の舞台ネパール東縁部の地質

ネパールの地質は、大規模な衝上断層に行って、北からチベット・テーチス帯、大ヒマヤラ帯、小ヒマヤラ帯、シワリク帯、テライ帯に大別される(図 11-7).

大ヒマヤラ帯と小ヒマヤラ帯の境界は、主中央衝上断層(MCT : Main Central Thrust)と呼ばれる。ネパール東部では、大ヒマヤラ帯に属する片麻岩等の高変成度の変成岩がミットランドとマハバーラト山脈の南部まで広がっているため、大ヒマヤラ帯と小ヒマヤラ帯の境界とされる MCT は南傾斜で南に張り出し(変成岩ナップと呼ばれる)、小ヒマヤラ帯の分布は著しく狭くなっている(図 11-7). また、ミットランドとマハバーラト山脈の MCT は南傾斜の場所もあり、フェンスターとなって、小ヒマヤラ帯の変成岩が分布して所もある。

小ヒマヤラ帯とシワリク帯の境である主境界断層 MBT は、マハバーラト山脈とシワリク丘陵の境界に沿って追跡される。これに対して、シワリク丘陵とテライ平原の地形境界は、出入りが激しく、地形境界そのものがヒマヤラ前縁断層(MFT)ではないが、地形境界の南縁に沿って MFT が走っている。

ネパール東部の MFT 周辺では被害地震が繰り返し発生した。1934 年のネパール東部からインド北東部ビハール地方の巨大地震(M8 以上)では 1 万人以上の死者が、1988 年にはネパール・ビハール地震 (M6.9)でも 1000 人以上の死者が、2011 年にはシッキム地震(M6.9)が発生し、100 名以上の死者が出た。



図 11-7 EX-6 の舞台ネパール東部の地質(HASEGAWA ET AL.(2025)からの再引用)¹⁾

11.3 11月30日の見学内容

東ネパール最大の都市ビルトナガルに2時間遅れて到着後、見学を開始した。見学予定地点 stop1-4 と臨時見学地点 Stop1 を図 11-8 に示す。また、地質図を図 11-9 に示す。



図 11-8 見学地点の地形(GOOGLE EARTH に地名等を追記)



図 11-9 見学地点の地形(HASEGAWA ET AL., 2025)¹⁾

(1) Stop 1

テライ平原では、平地のため自転車が多く、自動二輪車を活用したトゥクトゥクのタクシーが利用されている(図 11-10). テライ平原の氾濫平野は広大な水田地帯で、ヒマラヤからテライ平原に電力を送る送電用鉄塔の電線は、電線が低くされ下がっている(図 11-11).



図 11-10 テライ平原の町(左)とイタハリの中心部(右)



図 11-11 テライ平原の水田地帯(左)と農家の住宅(右)

(2) Stop2 テライ平原の生物保護区

テライ平原の生物保護区では、亜熱帯のジャングルの生態系が保全され、アジアゾウ等が生息している。保全には、地域コミュニティが参加しているのが特筆され、家畜の放牧や下枝の採取をしながら、ゆるく保全している(図 11-12).

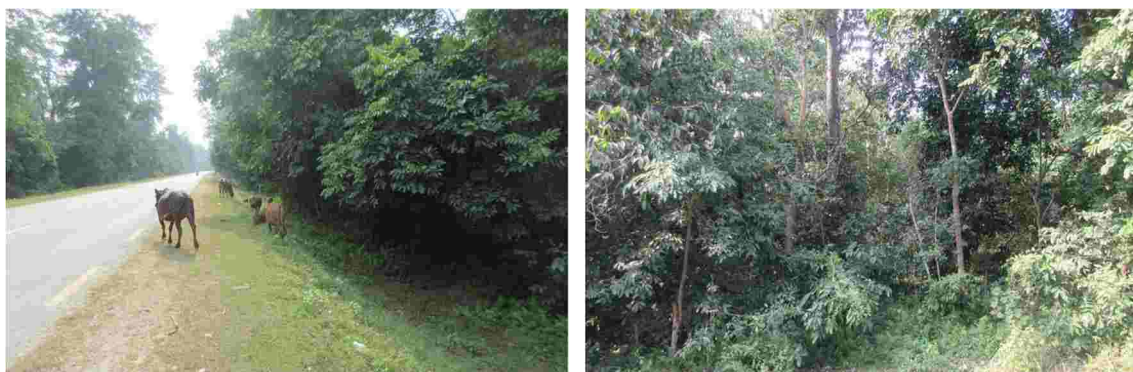


図 11-12 テライ平原の生物保護区の中を通過する道路

(3) Stop3 シワリクから流下する小河川

シワリクから流下する小河川は、乾季には涸れ川になっている(図 11-13. 涸れ川の要因は、降水量の不足、透水性の高い礫質の扇状地堆積物による河川水の伏流等が考えられる。また、シワリク丘陵の南縁ある MFT を境に、下流側(南側)の堆積物が厚くなっていることも影響しているかもしれない。



図 11-13 シワリク丘陵とテライ平原の地形境界(左)と
シワリク丘陵から流下するテライ平原の小河川(右)



図 11-14 コシ大橋周辺の地形(GOOGLE EARTH に地名等を追記)

(4) SPOT1 チャタラのコシ大橋(チャタラ大橋)

コシ川に架かるコシ大橋(チャタラ大橋：2015 年竣工)は、シワリク丘陵からテライ平原への出口に建設されたトラス橋である(図 11-14, 図 11-15). シワリク丘陵から流下する小河川は、乾季に涸れ川になるが、流域がチベット高原、高ヒマラヤに広がるコシ川は、豊富な水量を誇る大河である.

コシ大橋左岸にはシワリク層群の砂岩が露出している. この砂岩層は、上流で北傾斜、下流で南傾斜をしていることから、背斜構造を呈している(図 11-15 左下, 右下). また、この砂岩層には開口割れ目が発達しているので、地すべりによる移動岩塊の可能性がある. シワリク層群の変形構造は、MFT の衝上断層に伴うテクトニックな変形構造として解釈するのではなく、地すべり地形や deep-seated gravitational deformation(DSGD), 古期地すべり移動体の応用地質学視点による再検討が必要であろう.

コシ川左岸の砂岩露頭上には、大ヒマラヤを構成する片麻岩などの高変成度変成岩の円礫等が堆積している(図 11-15 左下, 右下). コシ大橋の下流左岸には、ヒンズー教の聖地で左岸には有名なヒンズー教寺院(Chataradham)がある.

コシ川右岸のレストランで、ようやくネパール料理にありついた(図 11-16 左上, 右上). コシ川は、ヒマラヤ山脈から流下する大河で、今も筏流しによって竹や材木が下流に運ばれている(図 11-14 右下). また、豊富な水量を左岸から取水し、灌漑用水として利用し、テライ平原の水田を涵養している(図 11-16 左下).



図 11-15 コシ川にかかるコシ大橋と左岸に露出するシワリク層群の砂岩



図 11-16 コシ川右岸のレストランから見たコシ川

(5) Stop4 古コシ川の段丘堆積物

コシ川右岸では、シワリク丘陵に張り付くように段丘面が形成されている。この段丘面は、現河床から数 10m 高く、堆積物は赤色に風化していることから、更新世中期に堆積したと推定される。堆積物は、基質支持の円礫層で、大ヒマラヤ由来の円礫層が多く含まれていることから、かつてのコシ川による堆積物と推定される(図 11-17)。しかし、現河床堆積物は、クラスト支持であるから、通常の扇状地堆積物とは考えられない。コシ川が高ヒマラヤから流下していることを考えると、この礫層は、更新世中期の fluvio-glacial deposit で、氷河湖決壊堆積物の可能性が考えられる。この段丘堆積物は堆積後隆起していることから、現在活動的な MFT は、この段丘面の南方にあると推定される。



図 11-17 コシ川右岸では、シワリク丘陵に張り付くように段丘面

(6) SPOT2 コシ堰(Koshi Barrage)

コシ川は、コシ橋から下流のテライ平原に入ると、一気に川幅が広がり、扇状地を流れる網状河川になる(図 11-17)。SPOT2 はコシ橋の約 50 km 下流にあるインド・ネパール国境のビムナガル近郊に位置するコシ堰である。コシ堰は、1960 年頃にインドによって建設されたコシ川本流に建設された主要な水利施設で、洪水を制御し、水流を調整し、ネパールとインド間の灌漑と輸送を支えている(図 11-18)。コシ堰は、ヒマラヤ地域でも有数の河川コシ川の膨大な流量を管理する上で重要な役割を果たしているが、インドによって建設されたため、灌漑用水の約 8 割をインドが利用している。

社会経済的には、この堰はネパールとインドのビハール州の数百万人の人々に恩恵をもたらす広範な灌漑システムを支え、農業、漁業、貿易、地域雇用を支えている。隣接する町々もまた、交通の要衝および観光拠点としてこの堰に依存している。しかしながら、この地域は依然として洪水災害に対して脆弱であり、頻繁な川筋の変化は近隣の住民の脅威となっている。



図 11-18 コシ堰周辺の地形(GOOGLE EARTH に地名等を追記)



図 11-19 コシ堰上流右岸

(7) SPOT3 2008 年のコシ洪水跡

2008 年のコシ洪水(通称コシ・カタン)は、ネパールとビハール州(インド)の近年における最も壊滅的な河川災害の一つである。2008 年 8 月 18 日、スンサリ県西クサハ付近でコシ川が突如東側の堤防が約 2 km にわたって決壊し、70 年以上も流れていなかった旧河道へと流れ込んだ(図 11-20)。その結果、20 万家屋以上が倒壊し、少なくとも 140 万人が被災したとされる。現地では、当時の洪水による砂が堆積して、20 年近く経過しても植生が戻っていない所も残っている(図 11-20, 図 11-21)。コシ堰と堤防は砂地盤状に築造されているので、将来の MFT 巨大地震による液状化被害も懸念される。

SPOT3 の見学は夕暮れになり、その後 2 時間かけてマヘンドラ・ハイウェイ(東西道路路も呼ばれ、アジア・ハイウェイに拡幅中)等を使って 20 時頃にジャパ郡のダマルクに到着し、夕食を愉しんだ。



図 11-20 2008 年コシ川堤防による洪水箇所(GOOGLE EARTH に地名等を追記)

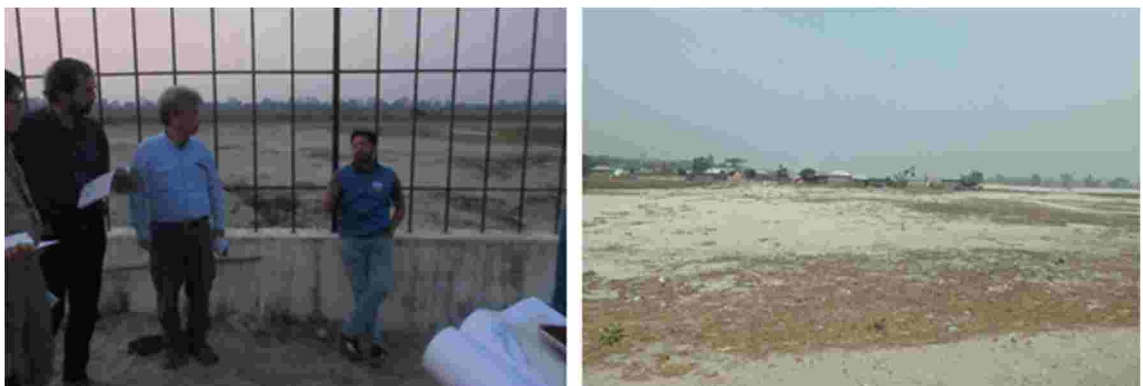


図 11-21 2008 年コシ洪水被害地区

11.4 12月1日の見学内容

2日目は、ダマルクを8時に出発し、イラム郡内のテライ平原からイラム市まで、メチ・ハイウェイ沿いの地形と地質を応用地質学視点から見学した(図 11-22, 図 11-23).



図 11-22 イラム郡の見学地点(GOOGLE EARTH に地名等を追記)



図 11-23 イラム郡の見学地点の地質(HASEGAWA ET AL., 2025)¹⁾

(1) SPOT4 MFT の北側

SPOT4 では、MFT の北側に広がる扇状地を見学した(図 11-24). MFT は丘陵とテライ平原の扇状地との地形境界より南の扇状地を通っていると推定される. 扇状地面における断層変位地形の認定は難しいため、水理地質構造の違いとしての瀬切れ(涸れ川の出現)も活構造の指標にする調査も考えられる.



図 11-24 SPOT4 : MFT の北側に広がる扇状地

(2) SPOT5 扇状地性段丘面の茶園

SPOT5 では、MFT の北側に広がる扇状地性段丘面に広がる茶園を見学した(図 11-25). 日本では牧ノ原台地の茶園と似ている. 水理の悪い、保水性の悪い扇状地の悪条件が、茶の栽培に向かわせたのかもしれない.



図 11-25 SPOT5 : 扇状地性段丘面の茶園

(3) SPOT6 MBT 通過地点

SPOT6 は、シワリク丘陵とマハバーラト山脈の地形境界に当たり、MBT 通過地点とされている. 北側には、開口割れ目が発達して小ヒマラヤ帯の弱変成砂岩・泥岩が露出しており、地すべり移動体と推定される(図 11-26). 千枚岩から構成される斜面の南端が MBT とみなされているが、MBT に対応する断層露頭は確認できなかった.



図 11-26 SPOT6 MBT 通過地点と弱変成砂岩・泥岩からなる地すべり移動体

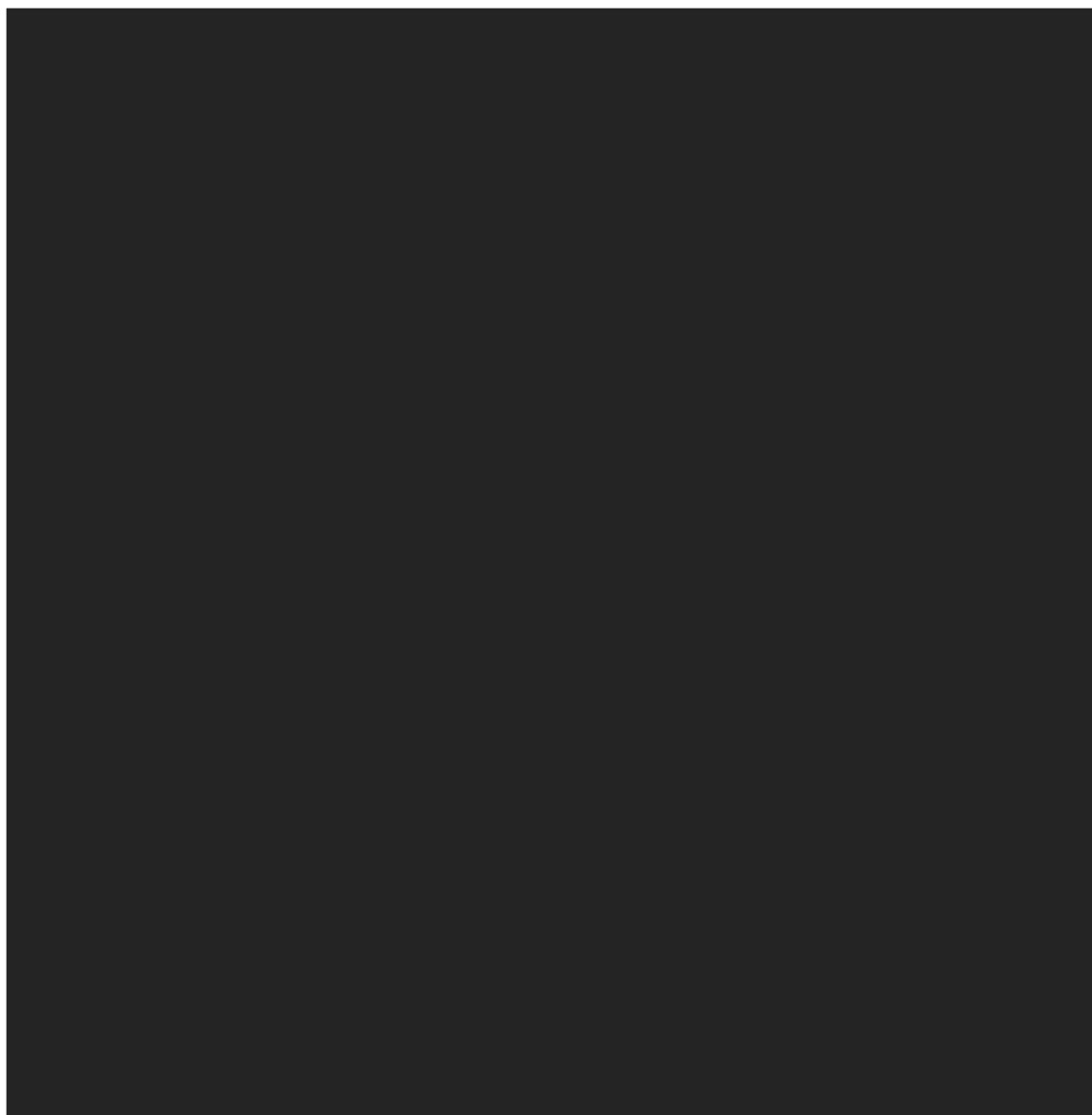


図 11-27 SPOT6～SPOT9 の地形(ネパール国測量部作成の地形図に加筆)

(4) Stop5 小ヒマラヤ帯の変成砂岩・泥岩

SPOT7の手前には、地すべりによって形成された緩斜面があり、道路はヘアピンカーブを繰り返して高度を稼いでいる。この斜面を構成する弱変成砂岩・泥岩は、開口割れ目が発達し、風化が進行しているため、ハンマーの打撃で容易に崩れ落ちる(図 11-28)。



図 11-28 Stop5：地すべりによって形成された緩斜面を構成する弱変成砂岩・泥岩

(5) SPOT7 小ヒマラヤ帯の弱変成砂岩・泥岩

SPOT7の道路に露出する小ヒマラヤ帯の弱変成砂岩・泥岩は硬質で、横臥褶曲が明瞭に残されている(図 11-29)。この弱変成砂岩・泥岩は、小ヒマラヤ帯の基盤岩で、弱い熱水変質作用を受けている。



図 11-29 SPOT7：小ヒマラヤの弱変成砂岩・泥岩(基盤岩)

(6) SPOT8 大ヒマラヤの片麻岩と小ヒマラヤの弱変成砂岩・泥岩の地質境界付近

SPOT8 付近に、大ヒマラヤ帯の片麻岩と小ヒマラヤ帯の弱変成砂岩・泥岩との境界断層である MCT が想定されている。上盤側の大ヒマラヤ帯の片麻岩は地すべりに特徴的な開口割れ目が発達する地すべり移動体で、脆弱である(図 11-30)。また、地質図によると(図 11-7)、高標高部に片麻岩が、低標高部に弱変成砂岩・泥岩が分布することから、MCT とされる地質境界はほぼ水平と推定されるが、これが高ヒマラヤとヒマラヤ前縁で確認されている MCT と同じ断層かどうかは調査の必要がある。



図 11-30 SPOT8：風化を受けて脆弱な大ヒマラヤ帯の片麻岩(古期地すべり移動体)

(7) SPOT9 大ヒマラヤ帯の片麻岩

SPOT9 では、道路拡幅工事によって、大ヒマラヤ帯の片麻岩が露出し、表層部がすべり落ちている(図 11-31)。すべり面の下にある片麻岩も開口割れ間が発達し、ハンマーによって容易に崩れ落ちるため地すべり移動体と推定される。なお、SPOT9 付近から、霧に覆われるようになった。



図 11-31 SPOT9：開口割れ目が発達した脆弱な片麻岩(古期地すべり移動体)

(8) SPOT10 カンヤム(Kanyam)の茶園

カンヤム(Kanyam)の茶園は、東ネパールの女王とも呼ばれる代表的な観光地で、新婚旅行や若いカップルが訪れる恋人たちの聖地である。ここを訪れるのはほとんどがネパール人で、ネパールの様々な民族衣装を借りて、写真を撮る映えスポットである(図 11-32)。

12 月 1 日の午後は霧がかかって視界が悪かったが、翌日の朝は快晴で地形を観察することができた(図 11-33)。東ネパールのイラム地方と東隣のインドのダージリンがお茶で有名な理由の一つは、この霧によって昼の強い日射がさえ切られて、マイルドな風味のお茶ができることにあると思われる。また、霧が発生しやすい気象条件は、ベンガル湾からの湿った海風が吹き込み、ヒマラヤ山脈にぶつかる地域であることが原因であろう。

2025 年 10 月 4 日から 5 日にモンスーンによる豪雨によって、イラム郡は土砂災害と洪水によって大きな被害を受けた。ネパール政府の National Disaster Risk Reduction and Management Authority (NDRRMA)によれば、イラム郡における土砂崩れによる死者は 37 人に達した。茶園の表層崩壊跡

はその時に発生したものであろう(図 11-34).

お茶は薄い、栄養分の乏しい土壌で栽培されている。また、土壌の下には開口割れ目が発達した強風化片麻岩(一部礫状)があり、保水性は悪いと推定される。また、丘陵の尾根部のため灌漑に不向きな土地である。このため、東隣にあるインドのダージリンにおけるお茶栽培の成功もあって、換金作物してお茶を栽培するようになったと思われる。そして、森林を伐採した造り上げたお茶園の景観が、貴重な観光資源になっている。

イラム茶の最高級品は、手摘みした新芽の一番緑茶である。図 11-35 のような茶摘みの葉は、細かく切断され、主に紅茶用に加工される(インドに輸出されるとダージリン茶)。

カンヤムの茶園はなだらかな丘陵で、地盤は大ヒマラヤ帯の片麻岩から構成される古期地すべり移動体と推定される(図 11-36)。しかし、背後に地すべり地形はなく、どこから滑ってきたかはすぐにはわからない(近くの斜面に復元できない)。



図 11-32 SPOT10 : カンヤムの茶園



2025 年 12 月 1 日午後

2025 年 12 月 2 日朝

図 11-33 SPOT10 : 霧が発生しやすいイラム地方の茶園



図 11-34 2025 年 10 月 4 日～5 日の豪雨による茶園の崩壊跡



図 11-35 SPOT10

カンヤムの茶園はなだらかな丘陵で、地盤は大ヒマラヤ帯の片麻岩から構成される古期地すべり移動体と推定される。しかし、背後に地すべり地形はなく、近くに斜面に復元できない。変成岩ナップは、高ヒマラヤからの重力滑動かもしれない。



図 11-36 2 日目のホテルで名物のモモ(チベット伝来の蒸し餃子)のランチ

(9) SPOT11 マイベニ水力発電水圧管路斜面の斜面崩壊対策

SPOT11 からマイベニ水力発電プロジェクトエリアを遠望した。この斜面では、斜面変動が継続して安定な状態が続いていたため、バイオエンジニアリングとグラウンド・アンカーとグリッドビームを使用した斜面对策によって、斜面の安定化を図られた。バイオエンジニアリングでは、単一種ではなくさまざまな種類の植物が使用された。その結果、このため、2025 年 10 月初旬にイラム郡を襲った豪雨の際にも変状や被害は発生しなかった(図 11-37)。ネパールの開発途上国における効果的かつ低予算の斜面安定工法の優れた事例である。



図 11-37 SPOT11：マイベニ水力発電水圧管路斜面の斜面安定工の成功事例

(10) SPOT12 メチ・ハイウェイの地すべり災害

当地点の斜面の傾斜は、通常 25° から 35° の範囲で、流れ盤の片岩の上に厚い崩積土が堆積しており、地すべりが発生しやすい地形・地質条件である。SPOT12 では、小ヒマラヤ帯に属する千枚岩、片岩、風化珪岩からなる崩積土が地すべり活動を継続していたため、貧弱なアンカー工が施工されていた。しかし、対策工にもかかわらず、斜面の活動が継続し、2024 年 3 月に訪問したときは、道路路面が沈下していた。また、当地点のクリーピング地すべりは、傾いたり曲がったりした樹木、家屋の基礎のひび割れ、歩道のずれ、地表の隆起、段々畑の漸進的な変位などで確認することができた。この変動きは通常、緩やかで季節性があり、モンスーン期の降雨の影響を強く受けて進行しているらしい。2025 年 10 月初旬にイラム郡を襲った豪雨の際に新たな地すべりを発生させ、メチ・ハイウェイは一時通行止めになった。幸い、見学は 2 か月後であったため、応急復旧工事によって通行することができた(図 11-38)



図 11-38 Spot12：メチ・ハイウェイの2025年10月の降雨による地すべり災害

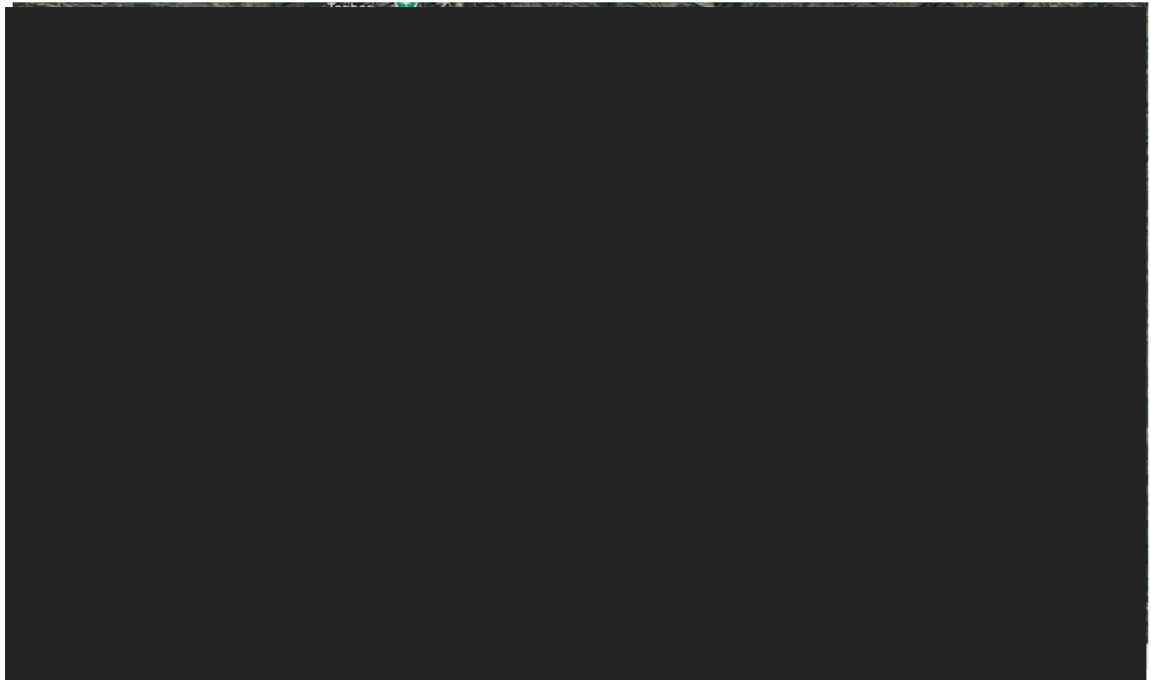


図 11-39 イラム周辺の地形(Google Earthに地名等を追記)

(11) Stop6 イラム

イラム茶の中心地のイラムは、標高1300m前後の尾根上の高台に位置しており、昼夜の寒暖差が大きく、霧が発生しやすい気候条件が紅茶の栽培に適しているとされる。この尾根も丸みを帯びた緩斜面で古期地すべり移動体の可能性がある(図11-39)。また、尾根に位置するため、灌漑用水の確保は困難である。畑作に困難な地形条件が、お茶の栽培への動機になったと思われる。イラム茶の中心地のイラムを訪問したときには、日が暮れていたため、イラム茶専門店でイラム茶を購入した(図11-40)。



図 11-40 イラムの茶園¹⁾とイラム茶専門店

11.5 12月2日の見学内容

3日目は、前日霧のため地形を観察できなかったカンヤムを再訪し、写真を撮影した。その後、フィカル・バジャーから尾根沿いの道路をネパールとインドの国境の町パシュパティ・ナガルに車を進めた(図 11-42)。途中、茶園のビュースポット(Stop7)、国境近くの仏塔(Stop8)に立ち寄って記念撮影を行った(図 11-41)。ネパールとインドの国境は尾根に位置し、地形上の障壁はない(Stop9)。ネパールのイラムとインドのダージリンはお隣さんであるが、この国境を通過できるのはインド人とネパール人のみで、外国人は通過できない。

国境訪問後、ネパール東端のバドナプル空港へ移動して、国内便でカトマンズ空港に向かった。機内から再びヒマラヤ山脈の眺望を楽しむことができ、明るいうちにカトマンズ空港国内線ターミナルに到着して、解散した。



図 11-41 Stop8：ネパールとインドの国境近くの尾根に建設された仏塔で集合写真

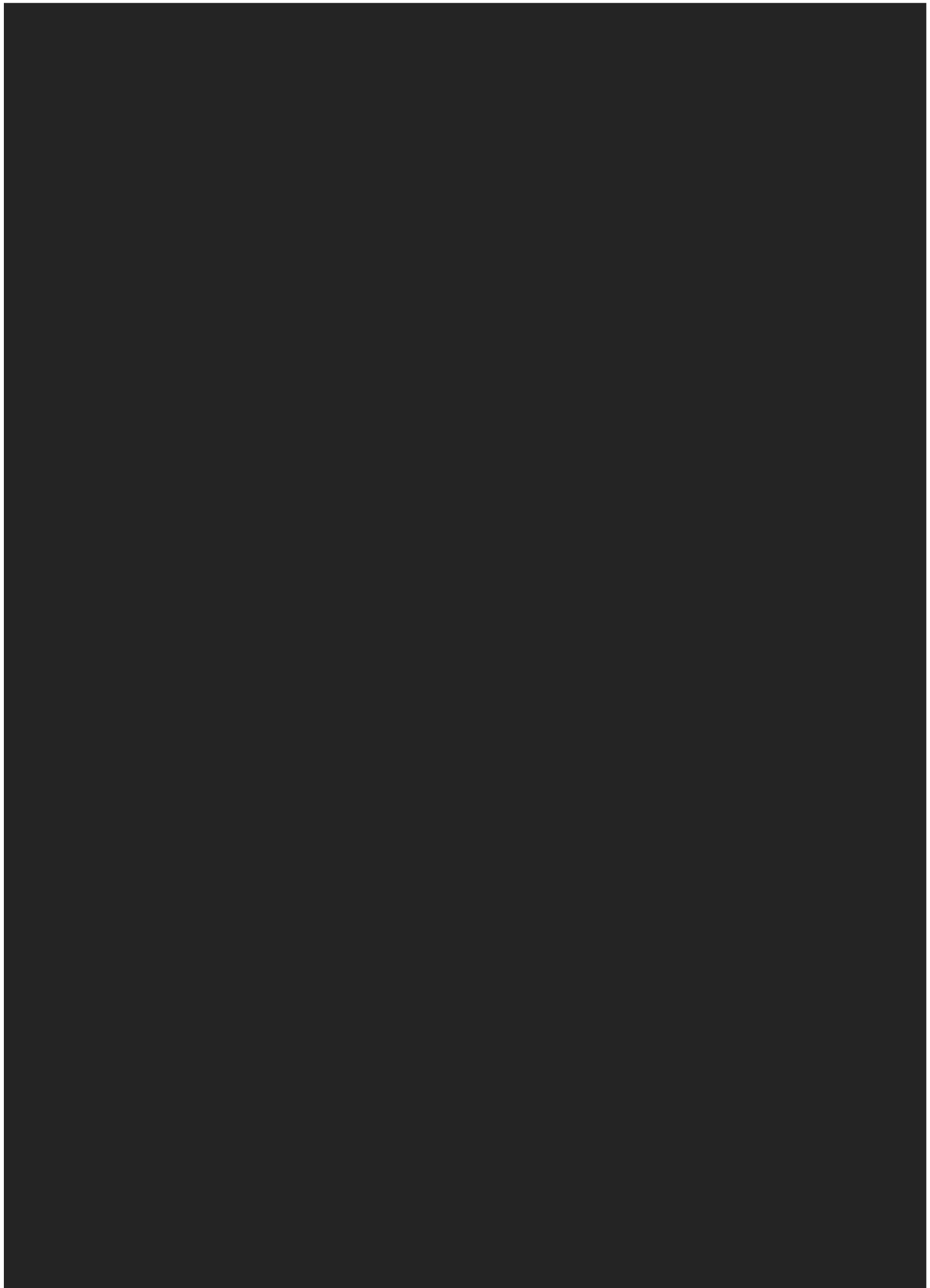


図 11-42 12 月 2 日の見学地点(ネパール政府測量部の地形図に加筆)

11.6 おわりに

EX-6 のねらいは以下のとおりである。

- ① なぜ東ネパールでは、テライ平原からミッドランドまでの地形で、4つの地質帯が(3つの主要な衝上断層が)接近して観察できるのかその理由について検討する。
- ② なぜイラム地方がお茶の産地になったかについて、大地の成り立ちから検討する。
- ③ ネパールの地方における灌漑、治水、道路整備、電源開発等の社会資本整備における応用地質学の役割を考える。

このねらいにどこまでたどり着いたかわからないが、案内人のまとめは以下のとおりである。

- ① 地質帯の境界をすべてテクトニック断層としていいのか？重力による滑動や変形をすべてテクトニックと解釈していないのか？ヒマラヤの地質構造と応用地質学は、重力滑動および重力変形から見直す必要があるのではないだろうか。図 11-43 にテクトニック MCT と重力性 MCT の概念図を示す。

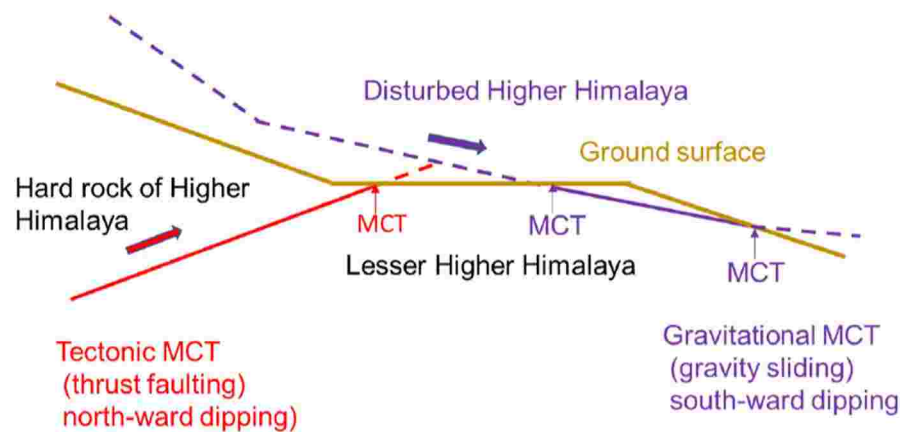


図 11-43 2種類のMCTの概念図(Hasegawa et al., 2025)

- ② 茶園は、古期地すべり移動体と推定される、丸みを帯びた尾根状緩斜面のため、灌漑が必要な穀物や野菜の栽培に不向きなため、森林を破砕して灌漑が不要なお茶を栽培したと推定される。また、ベンガル湾奥のヒマラヤ山脈南山麓に位置するため、湿った南風(海風)による霧が発生する気象条件もお茶の栽培に適していたと考えられる。
- ③ 日本で培われた変動帯に応用地質学はヒマラヤ山脈にも適用可能と思われる。しかしながら日本流の建設技術や防災対策技術を直接ネパールに当てはめるのではなく、現地向けでカスタマイズする工夫が必要と考えられる。日本の地質技術者が、当たり前ヒマラヤで活躍することを期待している。

参加者のご意見と感想を伺えたら、ありがたい。

【謝辞】

EX-6 の実施に当たっては、国際応用地質学会(IAEG)副会長(アジア地域)の Ranjan Kumar Dahal 博士(トリブバン大学准教授)と Geotech Solutions International の Praveen Upadhyaya Kandel 氏には、現地の下見とコース選定、資料作成の協力をいただいた。Praveen Upadhyaya Kandel 氏(写真右)と Sudhan 氏(写真左) には、現地案内の運営に尽力いただいた。また、日本応用地質学会の徳永朋祥 会長(東京大学大学院教授)をはじめ参加者の皆様との議論は新たな気づきにつながりました。

また、ポーランドからの参加者からは、大変面白かったが、地質の説明には混乱したとの講評をいただいた。混乱しているのはこれまでの地質解釈の方で、テクトニックと重力性の地質構造を識別できれば、これまでの混乱がかなり解消されると期待しています。そして、次の世代の地質技術者が、ヒマラヤの地質が脆弱なのは、衝突帯の構造運動だけではなく、新旧様々な重力滑動と重力変形に起因していると堂々と説明する日のためにももう少し頑張れたらと思っています。

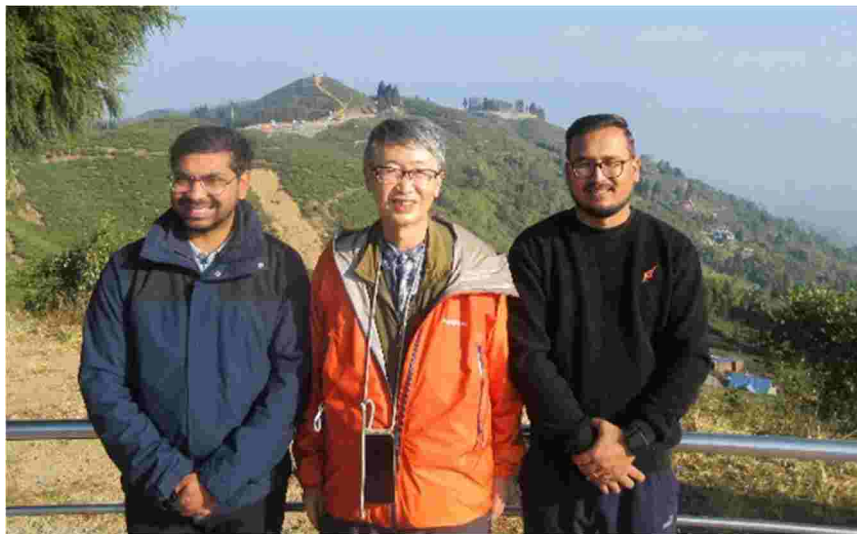


図 11-44 EX-6 案内人一同からご協力に感謝申し上げます。

【引用文献】

本報告に当たり EX-6 ガイドブックを参照した。

1)Hasegawa S., Dahal, R. K., Kandel P. U. (2025): Engineering Geology Insights: Exploring the Tea Farming Landscapes of Far-Eastern Nepal from Koshi River, Jhapa and Ilam, Excursion -6 Guidebook of the 15th Asian Regional Conference of IAEG, 43p.

12. ネパールの応用地質

長谷川 修一(香川大学)

12.1 はじめに

ネパールは、インド亜大陸がユーラシア大陸に衝突して形成されたヒマラヤ山脈の中央部に位置している(図 12-1). 狭義のヒマラヤ山脈は、西はインダス川から東はブラマプトラ川に至る全長約 2400km に達する世界最高峰の大山脈で、その北側には標高 4000m 以上のチベット高原が広がっている. チベット高原からヒマラヤ山脈を越えてベンガル湾に流れ込むインダス川、ガンジス川とブラマプトラ川は、ヒマラヤ山脈の南側に広大なヒンドスタン平原を形成している. バングラデシュの国土は、ベンガル湾の奥に形成された世界最大の三角州の低地からなる.

ヒマラヤ山脈は北緯 30°付近を中心に東北東から西南西方向に約 2400km に連なる 8000m 級の峰々が連なる地球上最大の高まりで、厚さ約 12km の対流圏最大の障壁となつて、偏西風等に大きな影響を与え、南西アジアの乾燥気候と東南アジアのモンスーン気候を形成した(酒井, 2023)¹⁾. ヒマラヤ山脈はヨーロッパのアルプス山脈と同じ衝突帯に位置するが、地震や豪雨による地質災害や建設工事に係る応用地質的課題は、アルプス山脈より日本との共通点の方が多い²⁾. ここでは長谷川(2017)²⁾の紹介文に加筆し、ネパールの地質と地形と共に応用地質学的な諸課題について紹介する.



図 12-1 ネパール及び周辺国の地形(GOOGLE EARTH に地名を追記)

12.2 ネパールの地形

ネパールの地形は、地質構造帯とほぼ調和的な東西方向の地形列からなり、北からチベット高原、高ヒマラヤ、ヒマラヤ前縁、ミッドランド、マハバーラト山脈、デュン盆地、シワリク丘陵及びテライ平原(ガンジス平野)に大別される(図 12-3)²⁾。

チベット高原は、ヒマラヤ山脈の北側に広がる標高 5000m 前後の起伏の緩やかな高地で、インドプレートがユーラシアプレート の下に沈み込むことによって形成された。

高ヒマラヤは 6000m 以上の山岳地からなる世界の屋根である。ここでは、氷河による侵食作用によって岩肌が露出した急傾斜の長大斜面が形成されている。ヒマラヤ前縁は高ヒマラヤの前山を形成する大起伏山地で、長大な斜面が形成されている。集落は、過去の地すべりによって形成された緩斜面に点在している。

ミッドランドは、北側のヒマラヤ前縁と 3000m 級のマハバーラト山脈との間に形成された相対的に低標高かつ緩傾斜の山地である。ミッドランドでは大規模な地すべりによって形成された緩斜面と地すべり堰き止め湖跡の段丘や盆地に耕地と居住地が集中している。ミッドランドにあるカトマンズ盆地、ポカラ盆地などの山間盆地が点在するヒマラヤ山脈中の貴重な人口集中地区になっている。

首都カトマンズがあるカトマンズ盆地は、東側のスンコシ川の渓谷及び西側のトリスリ川の渓谷と比較して 500m 以上高い、高原のような盆地で、マグマティ川が盆地の南から南に流下している(図 12-3)。カトマンズ盆地は厚い湖成堆積物から構成されて、巨大な堰止湖起源と推定される。カトマンズ盆地の住宅は、伝統的に湖成粘土を焼成した煉瓦を利用している。一方、アンナプルナ山塊のトレッキングの拠点であるポカラ盆地は、アンナプルナ山塊から供給された氷河湖決壊洪水堆積物がセティ川の渓谷を埋め立てて形成された盆地である。ここでは、住宅の建材に変成岩の礫や石材を使用している。

マハバーラト山脈には、急峻な長大斜面が発達し、大規模な地すべりによって形成された緩斜面に耕地と人家が集中している。これに対して、シワリク丘陵は標高 1000m 級の山地で、礫岩・砂岩・泥岩が不安定な急斜面を形成しているため、山地斜面は耕地や居住地としてあまり利用されていない。

テライ平原は、厚い未固結堆積物からなる平野で、亜熱帯の気候と植生によって南アジアらしい景観を呈している。耕地と居住地は平坦なデュン盆地とテライ平原に集中し、ネパールの農業と人口を支えている。

ネパールの河川はいずれもガンジス川の支流を構成しているが、チベット高原からヒマラヤ山脈を横断するコシ川のような大河、高ヒマラヤに源流があるトリスリ川のような河川、マハバーラト山脈に源流がある河川、シワリク丘陵に源流がある小河川に分類され、前者ほど形成時期が古く、流域が広い。また、ヒマラヤ山脈から流下する多くの河川は、シワリク丘陵に阻まれて、南北方向からと東西方向に流れを変えている。これは、シワリク丘陵の隆起に伴い流路が規制された結果と考えられる。



図 12-2 ネパールの地形区分(RANJAN KUMAR DAHAL 原図)²⁾



図 12-3 カトマンズ盆地周辺の地形

(AW3D30 データを用いて地形を可視化した野々村敦子原図に地名を追記)

12.3 ネパールの気候と気象災害

ネパールは南北約 200km の間に、標高 100m のテライ平原の亜熱帯から 8000m を超える高ヒマラヤの極地までの気候区がある(図 12-4a)²⁾。

降雨は 6 月から 9 月のモンスーン季に集中し、10 月中旬から翌年の 5 月までが晴天が続く乾季に当たる。モンスーン季の降雨はヒマラヤ山脈の南側に集中し、高ヒマラヤの氷河を涵養するとともに、稲作の水源となっている(図 12-4b)²⁾。これに対して、ヒマラヤ山脈の北側のチベット高原は年間を通じて乾燥気候となっている。首都カトマンズの年間平均降水量は、約 1400mm であるが、アンナプルナ山塊の南麓のポカラでは約 4000mm に達し、アンナプルナ山塊の北側のジョムソンでは約 250mm である。

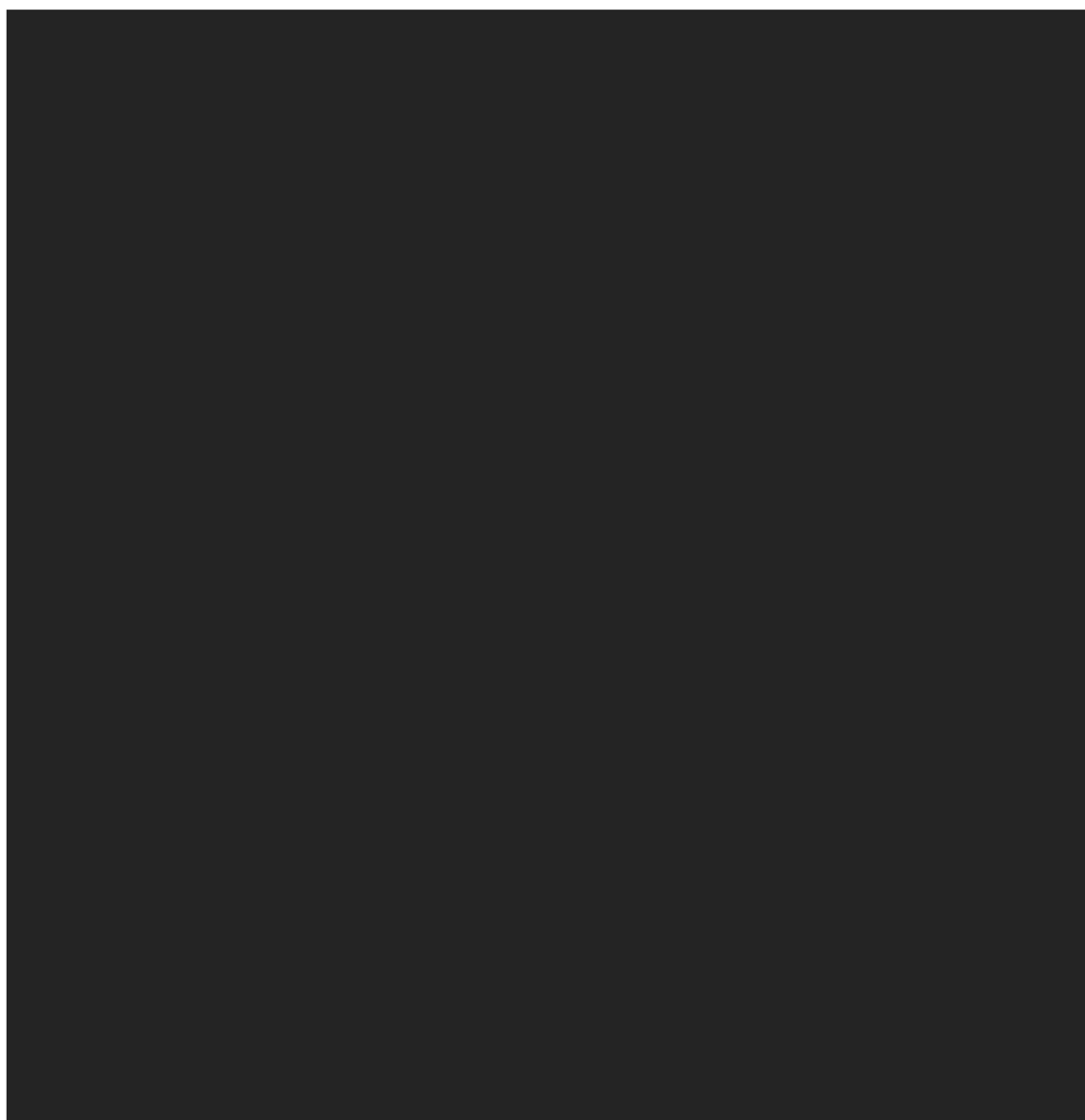


図 12-4 a.ネパールの高度分布と b.模式南北断面(RANJAN KUMAR DAHAL 原図)²⁾

ネパールでは、毎年のようにモンスーン季の豪雨による土砂災害と洪水によって大きな被害が発生している³⁾。例えば、ネパール国家災害・リスク軽減管理局(NDRRMA)によれば、2024 年 9

月 26 日～28 日の豪雨によってネパール全土で約 250 人が犠牲になった⁴⁾。ネパール政府の水文・気象局によると、9 月 28 日 8:45 までの 3 日間の累積雨量は、カトマンズ盆地の南部で 400 mm を超え(図 12-5)、日雨量が 300 mm を超える観測所もあった⁴⁾。その結果、山地部では表層崩壊と土石流が多発し(図 12-6)、河川の氾濫も相次ぎ、カトマンズ市内でも Bagmati 川等の氾濫によって浸水被害が発生した⁵⁾。

また、近年温暖化の影響によって、高ヒマラヤでは、モンスーン季の降雪が降雨に変わり、氷河を涵養する降雪の減少によって、白いヒマラヤの峰が縮小して、黒いヒマラヤに変貌しつつある。また、近年温暖化の影響による氷河の後退が著しいため、氷河湖決壊洪水(Glacial Lake Outburst Flood: GLOF)が脅威となっている⁶⁾。



図 12-5 2024 年 9 月 26～29 日累積雨量(ネパール政府水文・気象局)⁵⁾



図 12-6 2024 年 9 月豪雨によるカトマンズ盆地南部の被害状況(2025 年 1 月 30 日撮影)

左：小河川の氾濫によって家屋が流出 右：主要地方道における路肩と斜面の崩壊

12.4 ネパールの地質と地質構造

ネパールの地質は、大規模な衝上断層に行って、北からチベット・テーチス帯、大ヒマヤラ帯、小ヒマヤラ帯、外ヒマヤラ(シワリク)帯、テライ帯に大別される(図 12-7)。

大ヒマラヤ(Great Himalaya)帯は、テーチス海に堆積した白亜紀の堆積岩および変成岩類それに貫入する中新世花崗岩類からなり、山岳部の急斜面を形成している。大ヒマラヤ帯の岩石はミッドランドにも分布し、山稜が丸みを帯びた丘陵を構成し、地すべり移動体のように、岩盤の緩みと風化が進行している(図 12-8)。

小ヒマラヤ(Lesser Himalaya)帯は、変成岩、古生代と中生代の堆積岩および古生代の花崗岩類から構成されている。

外ヒマラヤ (Sub-Himalaya)帯はシワリク(Siwalik)帯とも呼ばれ、ヒマラヤ前縁に堆積した新第三紀の堆積岩からなる。テライ帯は、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。

前述の地質帯の境界には、北傾斜の大規模な衝上断層が想定されている。大ヒマラヤ帯と小ヒマラヤ帯の境界は、主中央衝上断層(MCT : Main Central Thrust)と呼ばれる。MCT に沿って認められる活断層は西ネパールに限られ、低角衝上断層によって高ヒマラヤを成長させた役割を終えているようである⁷⁾。ネパール中部～東部では、MCT は南傾斜で南に張り出しているため、小ヒマラヤ帯の分布は著しく狭くなっている(図 12-7)。

小ヒマラヤ帯と外ヒマラヤ(シワリク)帯との境界は、主境界衝上断層(MBT : Main Boundary Thrust)で、MBT に沿っては顕著な活断層活動が連続的に認められ⁵⁾、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ことが多い。

シワリク帯(山地)とタライ帯(ガンジス平野)との地形境界を形成しているのがヒマラヤ前縁衝上断層(HFT : Himalayan Frontal Thrust)である。この断層に沿って活断層帯が形成され、沈み込み帯のメガスラストの地表地震断層に対応している⁷⁾。

1934 年のネパール東部からインド北東部ビハール地方の巨大地震(M=8 以上)では、ネパール東南部の HFT に沿って地表地震断層が出現したことがトレンチ掘削調査や露頭調査により明らかにされている⁸⁾。しかし、2015 年 4 月 25 日に発生したネパール中部で発生したゴルカ地震(Mw7.8)は、インド-オーストラリアプレートとユーラシアプレートの境界で発生した逆断層型の地震であるが、震源断層面は MFT に達しなかった(図 12-9)。

なお、2015 年ゴルカ地震では、震源域のミッドランドで隆起し、背後の高ヒマラヤは沈降した(宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター, 2015)⁸⁾。これは高ヒマラヤの隆起は、プレートの沈み込みによるメガスラストではなく、中新世花崗岩の隆起に起因する可能性を示している。



図 12-7 ネパールの地質区分(RANJAN KUMAR DAHAL 原図)²⁾

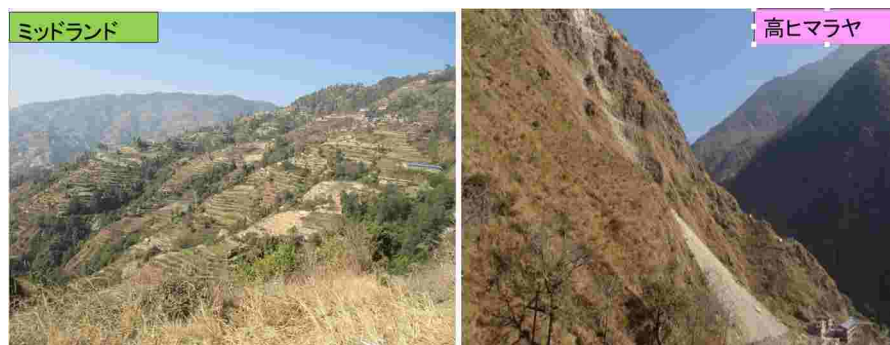


図 12-8 大ヒマラヤの変成岩から構成されるが、全く異なる山地斜面の地形



図 12-9 2015 年ゴルカ地震の余震分布²⁾

12.5 ヒマラヤ山脈の形成過程

酒井(2023)⁹⁾によると、ヒマラヤ山脈の誕生は、約 5500 万年前にインド亜大陸がアジア大陸へ衝突開始し、縫合帯が形成されたことに始まる。それに引き続き、アジア大陸の下に沈み込んだインド亜大陸の上部地殻の一部が地下深部に達して、4300～2400 万年前に変成帯を形成した。その後 2400 万年前に変成帯が上昇に転じ、1500 万年前には地表に露出して、ヒマラヤ山脈が形成されたようである。

その過程で約 3000 万年前に沈み込み帯が現在の MCT に移動した結果、2500-1500 万年前に優白色花崗岩の貫入と同時に沈み込んだインド亜大陸が急上昇し(ヒマラヤの急激な上昇)、2200-1900 万年前にテチス海に堆積した地層が北へ滑り落ちたと推定されている(STDS の活動)。また、変成帯の下底面を限る断層、Main Central Thrust に沿って変成岩は上昇し、地表に到達した変成岩は、100～150km にわたって南側に(ヒマラヤ山脈の南縁まで)押し被さり、変成岩ナップとなったと推定されている⁹⁾。

カトマンズ盆地から東ネパールでは低角度に南に傾斜する MCT 上盤側に高ヒマラヤの変成岩類等が分布する。この南に張り出した大ヒマラヤ帯の変成岩からなるミッドランドの斜面は、高ヒマラヤと比べて著しく緩傾斜である(図 12-10)。この南傾斜の MCT(変成岩ナップ)はヒマラヤ山脈の隆起に伴う重力滑動による根無しのすべり面で、本来の MCT とは区別すべきかもしれない。この張り出しが、テクトニックな衝上断層によるものか、あるいは南への重力滑動もしくは巨大な地すべりによるものかの識別が課題である。

優白色花崗岩の貫入後、沈み込みは 1500 万年前以降に MBT に移動して、マハバーラト山脈を隆起させた⁹⁾。現在、沈み込みのメガスラストの地表地震断層は MFT に移動し、シワリク丘陵を隆起させている。

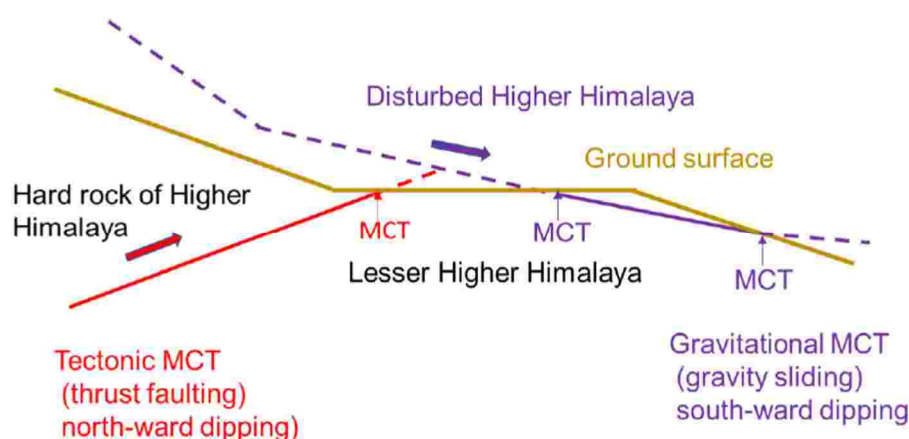


図 12-10 テクトニックな MCT と重力滑動による MCT の概念図

12.6 ネパールの応用地質学的課題

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)¹⁰⁾。ここでは、ネパールの応用地質学的課題を西南日本と比較して紹介する⁹⁾。

(1) 巨大地震の脅威

2015 年 4 月にネパール中部で発生したゴルカ地震(Mw7.8)は、プレート境界沿いの巨大地震で

あったが、震源断層面が MFT に達しなかったため、シワリク丘陵及びテライ平原における被害は軽微で、被害はミッドランド以北に集中した(桧垣ほか, 2015)¹¹⁾。また、乾季の終わりの 4 月～5 月に大地震が発生したため、河道を閉塞するような大規模な地すべりやヒマラヤ津波にたとえられる氷河湖決壊洪水が発生しなかった。それでも、ネパールでは地震によって約 9000 人が亡くなり、50 万人が家を失い、数十万の建物が被害を受けた。

カトマンズ盆地では、厚い湖成堆積物が短周期成分を減衰させ、周期約 6 秒の長周期地震動が卓越し、観測された最大加速度も 200gal に達しなかった¹¹⁾。このため、世界遺産に指定されている仏塔等の長周期の建造物には大きな被害が発生したが、耐震性の低いレンガ造 RC 建造物が倒壊を免れ、首都カトマンズの機能が保たれた。

また斜面崩壊は震源断層直上のミッドランドでは少なく、震源断層から離れたヒマラヤ前縁と高ヒマラヤで多発した(例えば Martha et al., 2017)¹²⁾。これは、ミッドランドを構成する山地斜面が古期地すべり起源の緩みの著しい岩盤から構成されているため、短周期成分の強振動が減衰したためと推定される(図 12-11；長谷川ほか, 2016)¹³⁾。

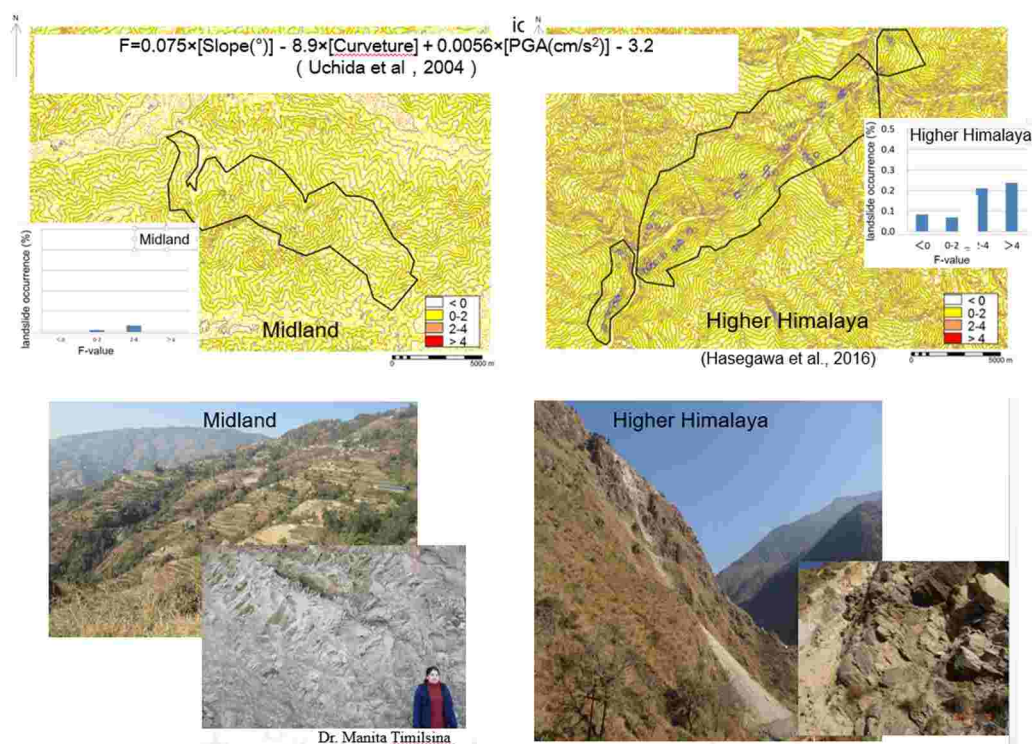


図 12-11 2015 年ゴルカ地震による斜面崩壊が同じ地形効果にもかかわらず、ミッドランドでまれで、高ヒマラヤで多発したのは基盤岩の緩みの違いによる¹³⁾

(2) 高ヒマラヤの中新世の花崗岩

西南日本外帯と高ヒマラヤの高まりには、中新世の花崗岩類が分布している。

西南日本外帯では、紀伊半島の大峰山(1915m)、四国では石鎚山(1982m)、九州では宮之浦岳(1935m)のように、地域の最高峰付近には中期中新世の花崗岩体もしくは火砕岩が分布している。一方、高ヒマラヤにおいてもエベレスト(8849m)、マナスル(8125m)のように山体には中新世の年

代を示す優白色花崗岩が貫入している。高ヒマラヤの花崗岩類は、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)¹⁴⁾。

西南日本外帯の山地とヒマラヤ山脈の高ヒマラヤは沈み込み帯における巨大地震の際には沈降しているので、外帯山地と高ヒマラヤの隆起には、相対的に密度の小さい中新世花崗岩の浮力が関係している可能性が高い(長谷川, 2009)¹⁵⁾。また、仏像構造線などの東西性の大断層が第四紀における活動が認められないのは、断層面を貫いた外帯花崗岩がバリアになっている可能性が指摘されている¹⁵⁾。同様に MCT が活動性を失い、MBT ヘシフトしたのも MCT を貫いた優白色花崗岩の杭効果で説明可能である。



図 12-12 ネパールにおける中新世優白色花崗岩と温泉の分布((金原,1991)17)を改変)

(3) 非火山地帯における熱い温泉

西南日本外帯とネパールには第四紀の火山は分布していないが、中期中新世の花崗岩体と密接に関係した温泉が分布している。

西南日本外帯には、紀伊半島の湯の峰温泉(泉温 90℃)等のように、通常的地温勾配よりはるかに高い温泉がある。紀伊半島の熱い温泉は中新世の熊野カルデラ分布域にあるので、このような非火山地帯の温泉の熱源として注目されている(巽, 2014)¹⁶⁾。

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)¹⁷⁾。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ている。

(4) 非火山地帯の熱水変質

西南日本外帯とネパールヒマラヤには、第四紀火山が分布していないため、過去の火成作用に伴う熱水変質作用が見逃されていた。しかし、共に中新世の火成活動に伴う熱水変質作用が重要な作用を及ぼしている。

西南日本外帯には中期中新世の火成活動に伴う浅熱水性の水銀やアンチモン鉱床が分布していた(例えば、渡辺ら, 1973)¹⁸⁾。これに対して、熱水変質作用による岩盤劣化の重要性が認識されるようになったのは 2000 年以降になったからで、四国の中央構造線沿いでは中期中新世火成活動に伴うスメクタイトを主体とする熱水変質粘土が、地すべりの素因¹⁹⁾や掘削岩盤の膨張²⁰⁾やトンネル内空変位増大²¹⁾の原因となっていると報告された。同様の熱水変質作用は、中央構造線付近だ

けでなく、地質帯を問わず西南日本外帯に広く存在する可能性が高く、地すべりや深層崩壊の素因として注目される。

ネパールのスンコシ川上流では、かつて砂金が採取された。スンコシ川上流のジュレでは、2014年に深層崩壊によって崩落した岩塊が熱水変質によって褐色化しており、石英脈中に自生の水晶の結晶が観察された(図 12-13)。ヒマラヤ水晶と金鉱床は、中期中新世の熱水変質の産物と推定される。

低ヒマラヤ帯の大規模地すべりのすべり面粘土が、中新世優白色花崗岩の貫入後の熱水変質によって形成されたと推定されている(図 12-14: Hasegawa et al., 2009)²²⁾。熱水変質はMCTやMBTなどの大規模断層に沿って進行し、緑泥石とイライトを主体とする粘土化帯が形成されて、大規模地すべりのすべり面となっている。ネパールにおいても、熱水変質起源の粘土帯・粘土脈は地すべりの素因として、またトンネル掘削時の地山の押し出しの要因として重要である。また、ヒマラヤ山脈の隆起の伴う大規模重力滑動、大規模地すべり等のすべり面の起源としても注目される。

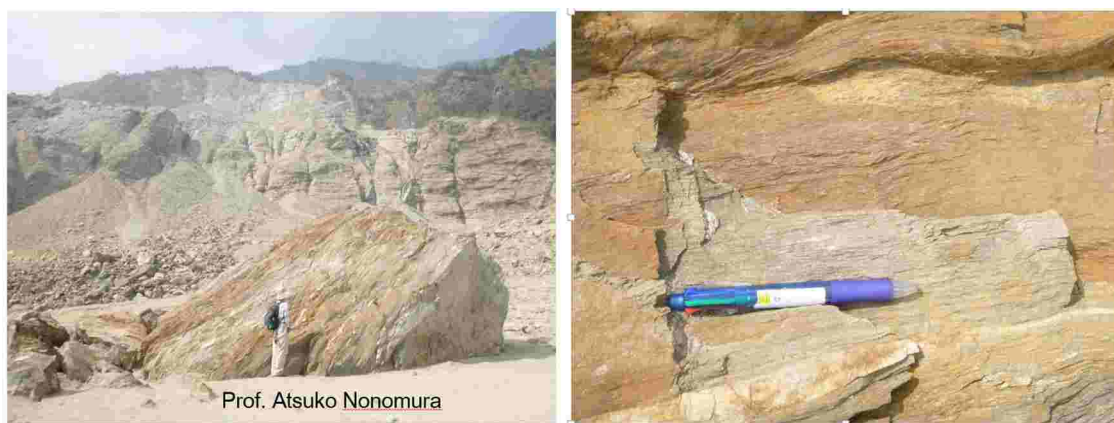


図 12-13 熱水変質によって褐色化した崩落岩塊中の石英脈(スンコシ川上流のジュレ)

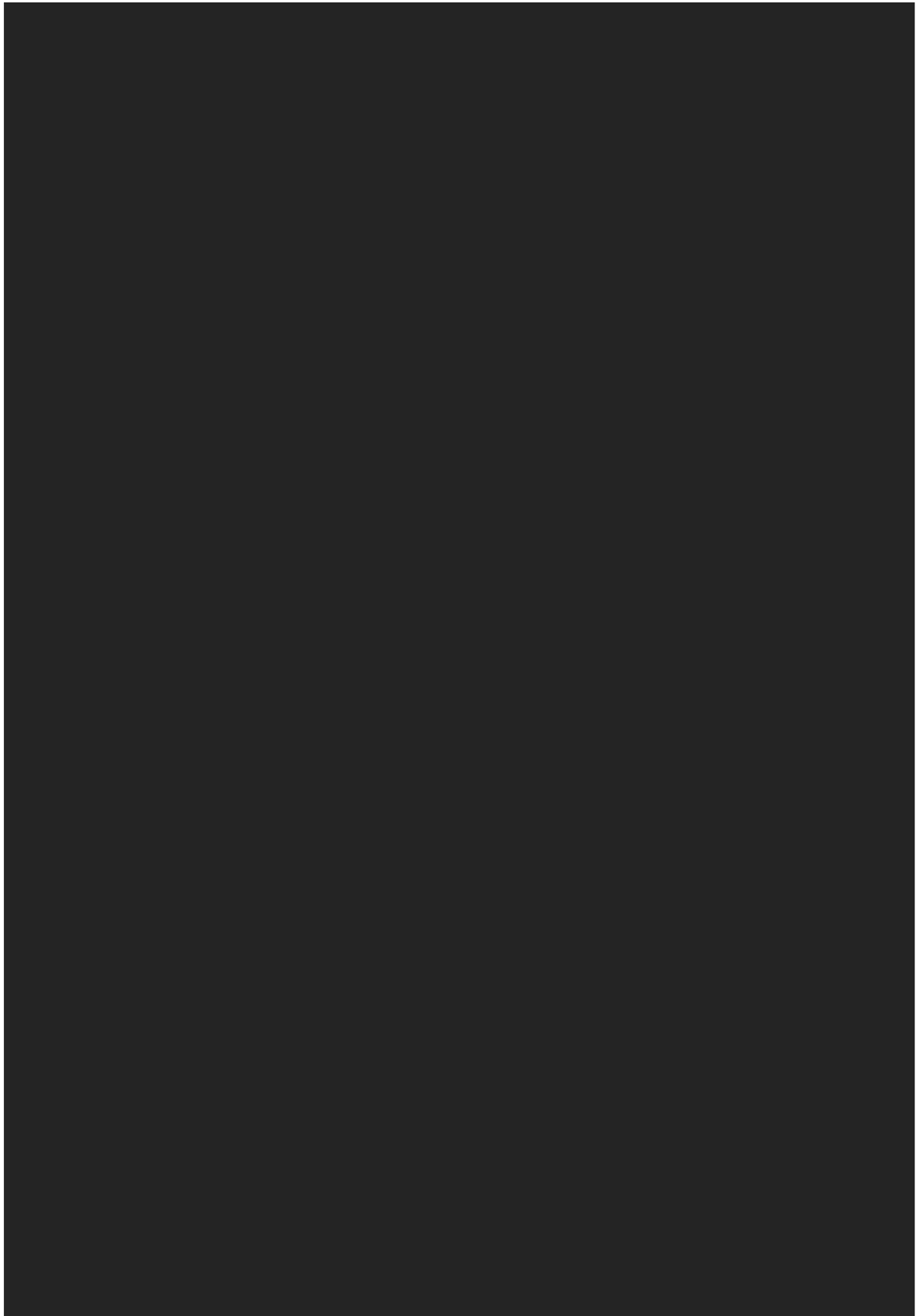


図 12-14 中新世優白色花崗岩に伴う熱水変質の形成モデル(Hasegawa et al., 2009)²²⁾

(5) 地すべり地形が開析された古期地すべり移動体

地すべり地形は，形成後開析が進行し，大規模な地すべり地形でも 100 万年経過すると，地すべり地形は完全に開析されるが，移動体は残っている²³⁾．地すべり地形が完全に開析された古期

地すべり移動体は、①尾根の不連続、②移動体の斜面の緩傾斜、③明瞭に低くなった標高を手掛かりに抽出することが提案されている(菅原ら、2021)²⁴⁾。

上記の基準でカトマンズ盆地周辺の地形を判読すると、カトマンズ盆地西縁の丘陵が大規模な古期地すべり移動体(ラムコット巨大地すべり)である可能性があることを2017年にカトマンズで開催された第11回アジア地域会議の基調講演で指摘した(図12-15)。

この丘陵の南麓では、カトマンズと主要都市を結ぶ幹線道路上にあるナグドゥンガ峠の渋滞を緩和するJICA支援によるナグドゥンガ・トンネルが建設中((株)安藤・ハザマ施工)²⁶⁾で、2024年3月に貫通直前の切羽付近の岩盤を観察した(図12-16)。掘削面に露出した変成砂岩・泥岩は新鮮で硬質であるが、微細な割れ目が発達し、手で容易に掘削できるほど緩んでいた。これは、トンネルが大規模地すべり移動体中を掘削していることを支持している。

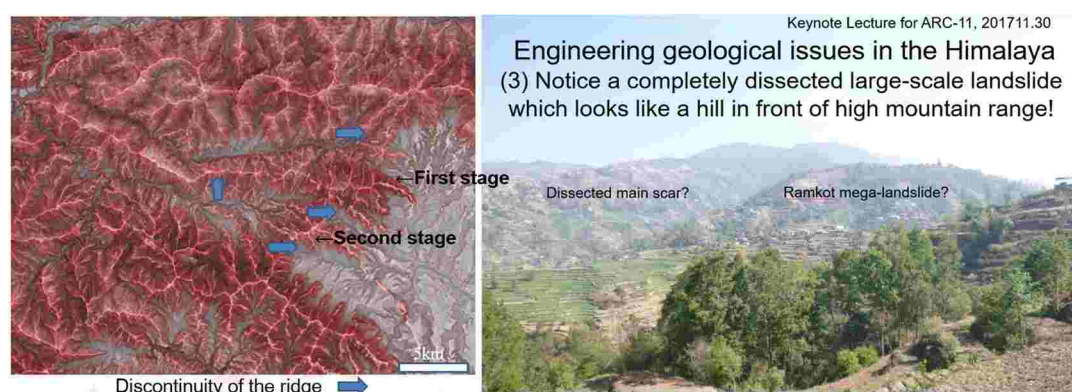


図12-15 カトマンズ盆地西縁の大規模な古期地すべり移動体(ラムコット巨大地すべり)
(左図：AW3D30データを用いて地形を可視化した野々村敦子原図に地名を追記)



図12-16 ナグドゥンガ・トンネルのルート

(左：JICA報告書に2024年9月の土石流災害地点●を加筆より)と切羽付近の微細な割れ目が発達した変成砂岩・泥岩(右)

(6) 脆弱な道路ネットワーク

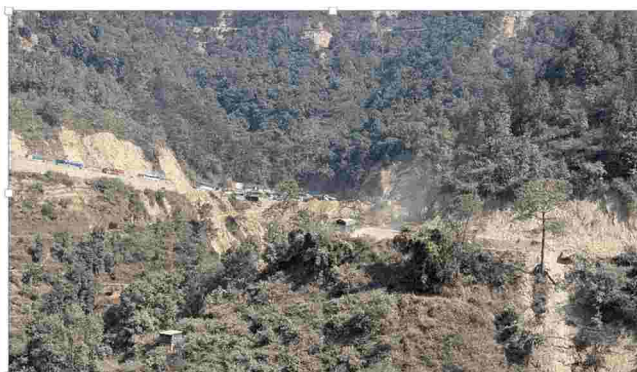
ネパールでは国土の約80%が急峻な山岳地帯という厳しい地形条件のため道路網の整備が遅れている。また、国道も適切な斜面对策工が施工されておらず、モンスーン季には、落石、斜面崩壊などによって、通行止めが頻発している。

稲垣ら(2007)²⁵⁾は、ネパール国内の主要道とのハザードマップを空中写真判読、現地調査によって作成し、災害種別の簡易のリスク分類と対策工案を提示した。また、カトマンズの西の玄関となるとナグドゥンガ峠に交通渋滞と災害対策としてトンネルを建設すること提案している。

2024 年 9 月末の豪雨の際には、ネパール国内で 27 の国道が通行止めになった。特にカトマンズとポカラを繋ぐプリティヴィ・ハイウェイでは、ナグドゥンガ・トンネル西坑口の近くで土石流が発生し、バス 2 台が流されるなどの甚大な災害が発生して 100 台以上のバスや車が立ち往生した。このとき(株)安藤・ハザマナグドゥンガ・トンネル出張所は、2024 年 4 月に貫通したナグドゥンガ・トンネルを緊急避難路として開放し、救急車両や臨時バス通行に協力して、4000 人以上を救援した²⁶⁾。日本の誇るべき国際貢献である。



ナグドゥンガ・トンネルを緊急避難路として避難する人々(株)安藤・ハザマ工事事務所の井上賢一所長提供)



土石流によってバスが流された谷には土砂が残っていて渋滞が継続している。トンネルはこの道路をショートカットする(2025 年 2 月撮影)。

図 12-17 2024 年 9 月末の豪雨による土砂災害によって通行止めになったナグドゥンガ峠西側のプリティヴィ・ハイウェイ

(7) 水力発電所の建設と維持管理

2003 年に初めてネパールを訪問した当時は、計画停電も常態化していた。ネパールでは、電力の 99%を水力発電に依存しており、その多くは流れ込み式の水力発電であるため、発電能力が降雨量に左右され、乾期には最大 16 時間の計画停電を余儀なくされていた。しかしながら、2017 年頃から状況は急速改善され、2021 年に入ってから水力発電による電力が供給過剰の状態にあるという。政府の統計によれば、水力発電量は過去 8 年間で 4 倍の 12,071 GWh(2024 年)に増加し、現在では人口の 95 パーセントが電気を利用できるようになった²⁷⁾。このため、ネパールは豊富な水力発電資源を、インドに売電して外貨を獲得することを目指すようになっている。

水力発電所は急峻なヒマラヤ山脈の渓谷に立地しているため、地すべり対策、急斜面の落石や斜面崩壊対策が重要で(8)、土石流や氷河湖決壊洪水の直撃等のリスク抱えている。2024 年 9 月の豪雨の際には、26 の水力発電所が斜面崩壊、土石流、洪水に襲われて、1636MW の発電能力が失われた⁴⁾。また、ダム式発電所が増えるに従い、堆砂問題も顕在化するであろう。日本のダム地質技術、電力土木の経験はヒマラヤ山脈でも役に立つであろう。



図 12-18 東ネパールイルラム県のマイベニ水力発電所水圧管路斜面の斜面安定工 28)

法枠工とグラウンドアンカー工に植生工を併用して安価な斜面安定工を施工している。

12.7 おわりに

応用地質学的視点からネパールを紹介した。日本のような変動帯における応用地質学は、ヒマラヤ山脈にも適用可能である。若い世代の活躍を期待したい。

本稿を作成するに当たり、トリブバン大学 Ranjan Kumar Dahal 准教授と香川大学野々村敦子教授作成の図を使用した。また、ネパール国内の現地調査では、愛媛大学矢田部龍一名誉教授、トリブバン大学 Ranjan Kumar Dahal 准教授、Geotech Solutions International の Manita Timilsina 博士、Himalaya Conservation Group の Gangalal Tuladhar 博士、香川大学野々村敦子教授らに支援いただいた。(株)安藤・ハザマのナグドゥンガ・トンネル出張所の井上賢一所長には現場の案内と救援時の写真を提供いただいた。ここに記して、謝意を表します。

【引用文献】

- 1) 酒井治孝(2023) : ヒマラヤ山脈形成史, 東京大学出版, 207p.
- 2) 長谷川修一 (2017) : 国際応用地質学会第 11 回アジア地域会議 (ARC-11) が開催されるネパールの応用地質, 応用地質, Vol. 58, 121-125.
- 3) Dahal R.K., Hasegawa, S. (2008): Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya, *Geomorphology*, Vol. 100, 429-443.
- 4) National Disaster Risk Reduction and Management Authority (2024): Preliminary Loss and Damage Assessment of Flood and Landslide September 2024.
https://bipad.gov.np/uploads/publication_pdf/Loss_and_Damage_Assessment_of_Flood_and_Landslide_2024_Updated_compressed.pdf(2025 年 12 月 20 日閲覧)
- 5) Department of Hydrology and Meteorology (2024): Situational Report on Extreme Precipitation and Flooding Event of 27-29 September 2024.
https://www.dhm.gov.np/uploads/dhm/downloads/Situational_Report_on_Extreme_Precipitation_and_Flooding_Event_of_27-29_September_2024.pdf(2025 年 12 月 20 日閲覧)
- 6) 山田知充(2000) : ネパールの氷河湖決壊洪水, 日本雪氷学会誌雪氷, Vol. 62, No.2, 137-147.
- 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, pp.29-38.
- 8) 熊原康博(2015) : 2015 年ネパール地震(ゴルカ地震), 歴史地震, 活断層との関係について,
<https://jsaf.info/jishin/items/docs/20150609165017.pdf>
- 9) 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター(2015):「だいち 2 号」によるネパール地震の観測結果について (4), (2017 年 3 月 22 日閲覧)
http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jdis_pal2_npl-eq_20150502.htm
- 10) 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, Vol. 44, No.1, 14-24.
- 11) 檜垣大助・長谷川修一・八木浩司・若井明彦 (2015) : ゴルカ地震によるネパールでの地盤災害緊急調査報告. 日本地すべり学会誌, Vol.52, No.4, 43-46.
- 12) Martha, T.R., Roy, P., Mazumdar, R. et al. (2017): Spatial characteristics of landslides triggered by the 2015 Mw 7.8 (Gorkha) and Mw 7.3 (Dolakha) earthquakes in Nepal. *Landslides* 14, 697-704. <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0763-x>
- 13) 長谷川修一・野々村敦子・Ranjan Kumar Dahal・Manita Timilsina (2016) : 2015 年ネパール・ゴルカ地震震源域のミッドランドではなぜ斜面崩壊が少なかったのか?, 文部科学省科学研究費補助金(特別研究促進費)「2015 年ネパール地震と地震被害に関する総合調査」報告書, 45-61.
- 14) 石原舜三(1985) : チベットーヒマラヤ衝突帯の花崗岩類, 地質ニュース, No. 374, 6-17.
- 15) 長谷川修一(2009) : 14Ma 花崗岩体と西南日本外帯のネオテクトニクス, 電力土木 / 電力土木技術協会 編 No.341, 3-8.
- 16) 巽 好幸(2014) : 和食はなぜ美味しい——日本列島の贈りもの, 岩波書店, 181p.
- 17) 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, No. 446, 18-32.
- 18) 渡辺武男・沢村武雄・宮久三千年(編)(1973) : 日本地方鉱床誌 四国地方. 朝倉書店, 426p.

- 19) 田村栄治・長谷川修一・渡辺弘樹・宮田和幸・矢田部龍一・内田純二(2007)：中央構造線沿いの熱水変質に起因する地すべり，地すべり，Vol. 44, No.4, 222-236.
- 20) 田村 栄治・浄内 明・松崎 伸一・長谷川 修一(2007)：結晶片岩中のスメクタイト含有破碎帯の膨潤特性と隆起メカニズム，応用地質，Vol.48, No.2, 80-89.
- 21) 吉田幸信・安藤幹也・赤木渉・菅原大介・田村栄治・長谷川修一・鈴木昌次・中川浩二(2006)：トンネルの地山挙動を予測する和泉層群の岩盤特性区分，応用地質，Vol.47, No.2, 877-876.
- 22) Hasegawa S., Dahal R.K., Yamanaka M., Bhandary N.P., Yatabe R., Inagaki H. (2009): Cause of large-scale landslides in Lesser Himalaya of central Nepal, Environ Geol, Vol.57, 1423-1434.
- 23) 柳田誠・長谷川修一(1993)：地すべり地形の開析度と形成年代との関係，地盤工学会四国支部「地すべりの機構と対策に関するシンポジウム」論文集，pp. 9-16.
- 24) 菅原大介・長谷川修一・野々村敦子・千葉達朗・木村祭(2021)：中央構造線沿いの開析された大規模地すべり移動体の識別方法，応用地質，Vol. 62, 296-307.
- 25) 稲垣秀輝・Bhandary N. P.・矢田部龍一・長谷川修一(2007)：ネパール最重要道路のハザードマップとリスク管理，日本地すべり学会，Vol. 43, No. 6, 38-45.
- 26) ケシャブ クマール シャルマ・ビジェイ ジェイシー・中谷匡志・井上賢一(2024)：ヒマラヤの難関地質に挑むネパール初の道路トンネル―ナグドゥンガ・トンネル建設事業―，トンネルと地下，Vol. 56, No.11, 57-66.
- 27) Kathmandu Post (2021): From darkness to light,
<https://kathmandupost.com/editorial/2021/11/04/from-darkness-to-light-1636022081>(2025 年 3 月 20 日閲覧)
- 28) Hasegawa S., Dahal, R. K., Kandel P. U. (2025): Engineering Geology Insights: Exploring the Tea Farming Landscapes of Far-Eastern Nepal from Koshi River, Jhapa and Ilam, Excursion -6 Guidebook of the 15th Asian Regional Conference of IAEG, 43p.

おわりに

徳永 朋祥(東京大学大学院)

2025年11月24日から12月4日の間、一般社団法人日本応用地質学会の第17回海外応用地質学調査団の一員として、ネパールを訪問する機会を得ました。この調査団は、第15回国際応用地質学会(IAEG)アジア地域応用地質学シンポジウム(ARC-15)への出席と併せ、日本応用地質学会の会員の皆様が海外の地質・応用地質に係る事例を見て一緒に考える機会を提供するものとして、実施されたものです。今回、応用地質株式会社の加地広美さんを中心に、このような調査報告書が取りまとめられましたこと、大変うれしく思うところです。調査団に参加された方はもとよりのこと、調査団には参加されなかった方にも、今回のネパールでの様々な活動を知っていただくよい資料になっていると思います。ぜひ、ご一読いただけますよう、参加者の一人としてお願いをします。

私は、ネパール訪問は初めてであり、地域の特性や環境、人々の生活も含め、学ぶことがたくさんありました。また、地質・応用地質に関しても、考えさせられることが多く、日本国内で実装している地質学の応用を通じた社会への貢献と同様に検討が進められると有意義であろうと思うことも多々ある中、地域の特性やその地域に住む人々の考え方、地域の方々考えている社会のあるべき姿をどれだけ理解するかということも重要であると感じました。カトマンズ盆地においては、いくつかの宗教施設を訪問する機会を得ましたが、それらの施設が人々の生活の中で極めて重要なものであり続けているということも知ることができました。一方、大陸が衝突するというユニークなセッティングにある地質や、そこで起こる地質現象、生活とのかかわりあいの中で生じる災害についても事例を学ぶことができました。日本とはスケールの違う事象としてとらえなければならないと思うこともあったと同時に、考え方としては、プレート収束帯である日本でこれまで議論し、整理してきたことを基礎としながら考えることが有意義であろうと思われる事例もあったように記憶しています。いずれにせよ、「現場を見て考える」という機会を積極的に持つということが大事であるということを確認した機会でもありました。

そのような観点からは、今回、調査団メンバーも含め、若手の応用地質技術者・研究者がARC-15やその前後の巡検に参加されていることは、とても好ましいことであると思いました。日本国内でよい仕事をし、技術力をあげていくということがこれまでと同様に、もしくはこれまで以上に重要になるということはその通りだと思いますが、海外での事例を知ることを通して、個々の技術者の能力がさらに高まることは十分にありうるものだと思いますし、そのための機会を持つことの意義は大きいのだと思います。日本応用地質学会として、今後とも、今回と同様の海外調査団が企画されることに大いに期待するところです。

私は、1996年に実施された第6回海外応用地質学調査団に参加し、その年に北京で開催された万国地質学会議(IGC)と、その中で企画されたタリム盆地への巡検に参加しました(<https://www.jseg.or.jp/wp-content/uploads/2025/01/no6.pdf>)。その時は応用地質学という分野の駆け出しであった私が、今年の調査団に参加する機会を得たということも感慨深いものでした。この種の企画を継続することが大事だと強く思う理由の一つにもなっているものと思います。

日本応用地質学会と国際応用地質学会日本支部(IAEG-Japan)は、2027年に第16回アジア地域応

用地質学シンポジウム(ARC-16)を日本で開催することを決定しています。このような機会も見据え、国内外において様々な活動が広がっていくことに強い期待を持っています。繰り返しになりますが、今回の調査団に参加された方も、参加をされなかった方も、ぜひ、この報告書に目を通していただき、今後企画されるであろう様々な国内外での学会活動や会議へ出席をすることの面白さを感じ取っていただければと思います。

最後になりますが、このような報告書を作成してくださった執筆者の皆様、また、全体のとりまとめをしてくださった加地広美さんに深く感謝を申し上げます。