

# ネパールのジオ・地震警見

加藤 碩一<sup>1)</sup>・プラダン・オム<sup>2)</sup>

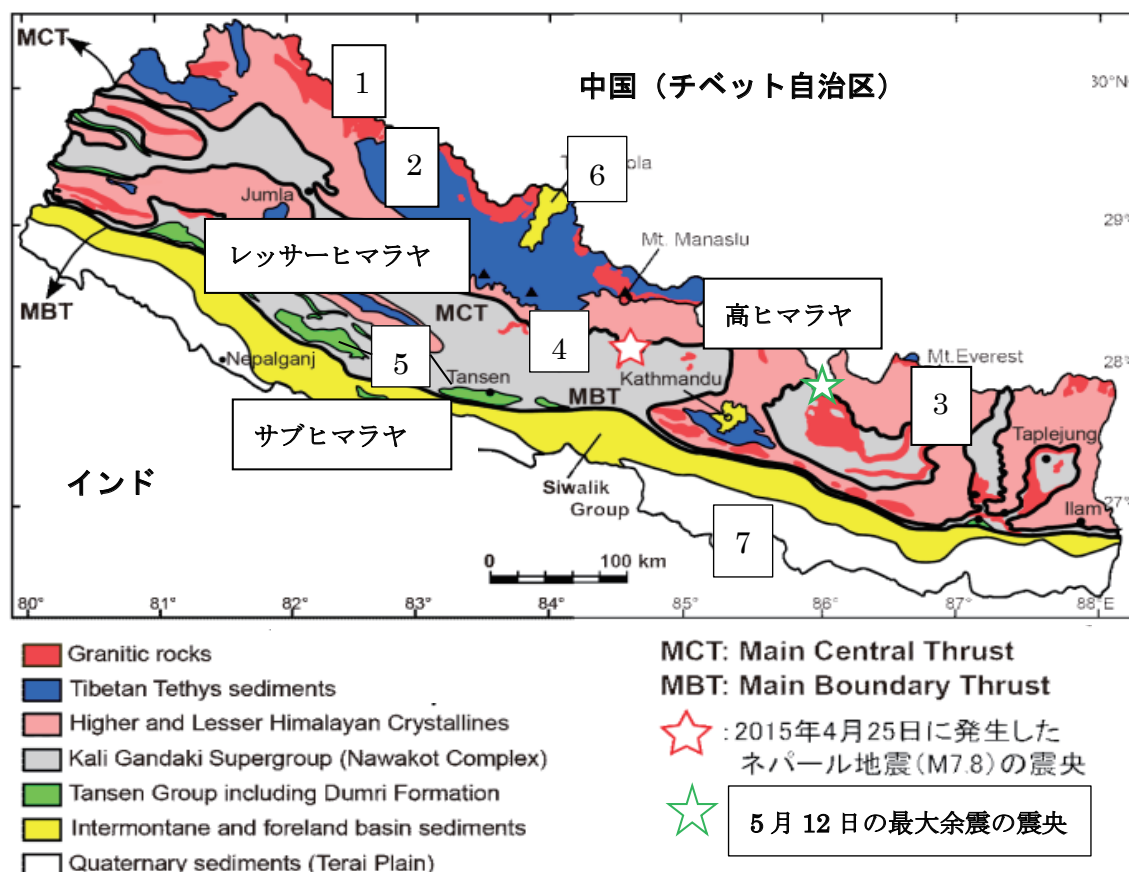
## 1. まえがき

2015年4月25日にネパールの首都カトマンズ北西方のゴルカ(Gorkha)付近で、震源の深さ約15 km, Mw 7.8の地震(第1図左星印)が生じ、ネパール・ゴルカ地震と称される。さらに同年5月12日には、カトマンズ東方(本震の震源域東端付近)でMw 7.3の最大余震(第1図右星印)が発生し、多くの人的・物的被害が生じ、今、なお復旧の途上にある。これを契機として筆者らは応用地質株式会社の計らいで関係者らと現地調査を実施し、当該地の地形地質や被災・復旧状況やネパール側の地質調査機関について警見する機会を得た。詳細な報告は別途投稿中(早川ほか、

2016)であるが、それとなるべく重複を避け、視点を変えてここでさらに紹介する次第である(本号口絵参照)。

## 2. ネパールの地形・地質・テクトニクス

ネパールは、地形と地質・テクトニクスが密接に関連する。すなわち北側のヒマラヤ山脈は、インド亜大陸とチベット高原を隔て、緩やかに南方に凸な弧を描いて平走する3つの山脈、すなわち南から北へ、サブヒマラヤ・レッサーヒマラヤ・高ヒマラヤに区分される。それらの境界は、いずれも北側上がりのスラスト(MCT・MBT)が画している(第1図)。



第1図 ネパールの地質略図(酒井, 2015に加筆)。

1:花崗岩類, 2:チベット・テーチス堆積岩類, 3:高ヒマラヤ及びレッサー・ヒマラヤの結晶片岩類, 4:カリ・ガンダキ超グループ(ナワコット・コンプレックス), 5:タンセングループ(含ダウンリ層), 6:山間盆地及び前縁盆地堆積物, 7:第四紀堆積物(テライ平原)。

1) 産総研 名誉リサーチャー  
2) 応用地質株式会社

キーワード: ネパール・ゴルカ地震, 高ヒマラヤ, レッサーヒマラヤ, サブヒマラヤ, シワリク, 地震被害

## 2.1 テライ平原

ヒマラヤ地域の隆起に起因する第四紀更新世以降の厚い未固結河成堆積物からなる。さらに南方のインド側ではガンジス (Indo-Gangetic) 平野に連なる。Main Frontal Thrust (MFT, 主前縁スラスト) が、本平野北縁を画し、次項のサブヒマラヤとの境界をなしている。

## 2.2 サブヒマラヤ Sub Himalayas・前(外)ヒマラヤ(シワリク山地 Siwalik Range)

標高 900 m 前後 (~ 1,200 m) をなす。新第三紀中期中新世・鮮新世ないしそれ以降 (第四紀更新世初期) のヒマラヤ山脈の急激な隆起に伴って、その前縁盆地に流出したいわゆるモラッセ堆積物 (シワリク層：陸成の動植物化石を多産。第 2, 3 図) を主とし (一部異地性岩塊を含む)、積算層厚は 6,000 m 以上に達する。北縁で主境界スラスト (Main Boundary Thrust : MBT) によって、次項のより古いレッサーヒマラヤと境される (第 1 図)。



第 2 図 南にシワリク山地を望む。



第 3 図 シワリク層の河成礫・砂。

## 2.3 レッサーヒマラヤ Lesser Himalayas・低ヒマラヤ Lower Himalaya

高ヒマラヤの南前縁をなす標高 2,000 ~ 5,000 m の北西-南東性の山地 (第 4 図) で、南縁を MBT によって、北縁を主中央スラスト (Main Central Thrust, MCT) で境され (第 1 図)、主に変成・変形を受けた堆積岩類 (メタ堆積岩類) や結晶質岩類からなる。緩傾斜面では、棚田が各地にみられる (第 5 図)。レッサーヒマラヤ南部の標高 1,000 ~ 2,500 m の山地はマハーバーラト山地 (Mahabharat Lekh (Range), ML) と称され、100 万年前以降隆起が著しく、現在でも年 1 ~ 2 mm 上昇しているといわれる。カトマンズ盆地は、本地帯で ML の北側に位置する山間盆地で、その形成には ML の隆起が密接に関連している。(Stöcklin, 1980 ; Sakai *et al.*, 2006)。



第 4 図 レッサーヒマラヤから北方の高ヒマラヤ遠望 (カトマンズ西方より)。



第 5 図 レッサーヒマラヤ地域で良く見られる棚田。



(1) レッサーヒマラヤ・メタ堆積岩類 Lesser Himalayan

**Metasediments** : 下位から Kuncha Group (主に先カンブリア界の厚く単調なフリッシュ様岩相で、塩基性岩が併入している), Nawakot Group (先カンブリア界~下部古生界の一部逆転した浅海性堆積岩類 (第6図) で、塩基性岩が併入している), 及び Tansen Group (二畳・石炭系~新第三系中新統の碎屑岩類を主とする) と重なる。

(2) レッサーヒマラヤ結晶質岩類 Lesser Himalayan

**Crystallines** : カトマンズナップを構成し、下位の Bhimphedi Group (主として先カンブリア界の堆積岩起源の変成岩 (緑色片岩) で、部分的にミグマタイト化・片麻岩化している。花崗岩が貫入) を Phulchauki (Phulchoki) Group (上部は、前~中期古生代の石灰質岩を主とし、下部は、碎屑岩やそれらがわずかに変成した岩石) が不整合に覆う (古生代火成岩類については割愛)。

2.4 高ヒマラヤ Higher Himalayas

大ヒマラヤ (Great Himalayas) とも称され、エベレスト (8,844 m) を始め多数の 6,000 m 以上のピークを有し、最も形成年代が古い。北縁は、南チベット・ディタッチメント (South Tibetan Detachment, STD) で画され、地下深部とその北方にはテチス堆積物からなるテチス帯が分布する。

(1) チベット・テチス堆積岩類 Tibetan Tethys Sediments/ Tibetan sedimentary Zone

: 化石に富んだ上部カンブリア系~二畳系の堆積岩類と主に浅い中生代陸成堆積岩類を主とするが、後者にはアンモナイトや矢石 (ベレムナイト) を豊富に産出するジュラ紀石灰岩が挟まれる。

(2) 高ヒマラヤ結晶質岩 Higher Himalayan Crystallines

: 先カンブリア紀基盤をなす高度変成岩で、片麻岩・ミグマタイト・硅岩・結晶質石灰岩などを含む (第7, 8図)。



第6図 Nawakot Groupの砂岩層に見られる2種の堆積構造(a) (b)。



第7図 石英脈の発達する高ヒマラヤ結晶質岩。



第8図 結晶質岩は片理や節理の発達が著しく、岩塊としては脆弱で、第6図横の川沿い道路脇では地震による崩壊が見られる。



## 2.5 ヒマラヤ地域のテクトニクス

ヒマラヤ山脈は、後期白亜紀(約 7,000 万年前)に北上を開始した IAP(インド・オーストラリア・プレート)と北側に位置していた EUP(ユーラシア・プレート)間の大規模プレート同士の衝突により生じた。古第三紀始新世(約 5,000 万年前)になると、海底の堆積層が褶曲隆起し、また周縁部で火山活動が活発化していき、インド亜大陸とユーラシア大陸の間にあったテチス海を完全に閉鎖した。相対的に比重が軽かった堆積岩類は、海洋プレート下には沈まずに隆起しヒマラヤ山脈を形成した。現在でも IAP は北上し、隆起上昇が継続して地震の多発地帯となっている。

ヒマラヤ各帯を画する、ないしその内部を細分する上述の西北西-東南東性のスラスト群(MFT, MBT, MCT)は、地下深部に行くにつれてさらに傾斜を減ずるリストラクチャー断層の性質をもち、大部分が MFT に収められていくと推定されている(例えば、酒井, 2015 参照)。

## 3. カトマンズ地域の地形・地質

### 3.1 カトマンズ地域の地形

レッサーヒマラヤ内に位置するカトマンズ盆地(峡谷)は、東西約 30 km, 南北約 25 km, 平均標高 1,340 m で、南北縁を東西性の活断層で画された第四紀構造盆地であ

る。本盆地は、地形的には南を ML で境され、北はシバプリ山地(Shivapuri Lekh)で高ヒマラヤから隔てられている。盆地周辺から流入する支流は、盆地中央でバグマティ(Bagmati)川に合流し、谷の南縁の最低高度(標高約 1,200 m)の地点で ML を切って、ガンジス平野に南流する。シバプリ山地南山麓では、顕著な沖積扇状地と湖成段丘が発達し、ML 北斜面では、幾つかの沖積扇状地性段丘が分布する。盆地内では、古い順に大きくゴカルナ段丘・ティミ段丘・パタン段丘に区分されるが、高位段丘は、盆地南縁の一部に発達するのみで、これは ML の隆起に関連すると解されている。(Yoshida and Igarashi, 1984)。

### 3.2 カトマンズ地域の地質・地形・テクトニクス

**カトマンズ盆地(峡谷)及び周辺の基盤岩類:**カトマンズ盆地は、前述のカトマンズ・コンプレックスに属する変成岩ナップとその上位に載るテチス堆積岩類から構成されるカトマンズ・ナップ上に位置する。両グループの全層厚は、13 km に達する。カトマンズ峡谷の北斜面は、主に片麻岩・片岩質花崗岩からなるが、他の斜面や峡谷中央部では弱変成を受けた Phulchauki Group からなる。Bhimphedi Group と花崗岩体は、カトマンズ峡谷の分水界の外側で南方に露出する。

**カトマンズ盆地(峡谷)内の被覆層(鮮新統~第四系):**盆地底の基盤を不整合で覆って以下の第四系(一部鮮新統)



第 9 図 カトマンズ盆地中央部の市街地(カトマンズ中心部の西約 3 km に位置する丘の上に建てられたスワヤンブナート Swayambhunath 寺院より東を望む)。

が分布する。従来、研究者によって区分が異なることが多く、また盆地南北部で対比が必ずしも明確でないが、ここでは、主に最近の記述に依拠する。なお、カトマンズ市中央部におけるボーリングデータでは、約 550 m 地下で基盤岩に達している（酒井ほか，2000；Sakai *et al.*, 2012）。なお、以下現地語の発音が不明確な場合は、英字表現を優先し、補助的にカナ表記を付す。

(1) **Terebhir 層**：主に盆地南部に分布し、基盤上に不整合で載る最下位のいわゆる基底礫岩であるが、対比には課題が残る（Dongol, 1987；Shrestha *et al.*, 1998；Yoshida and Igarashi, 1984；Yoshida and Gautam, 1988；Sakai *et al.*, 2001；Sakai, 2001）。

(2) **Lukundol 層**：従来鮮新世とされてきたが（例えば、Yoshida and Igarashi, 1984）、最近の鮮新世～更新世境界の見直し（2.58 Ma）を考慮するとほとんどが前期更新世に相当する可能性が高い。基底礫の上に河成～湖成の褐鉄鉱層（一部指交）、弱固結の粘土・シルトからなり、全体的に同時異相を呈する。中部の主体をなす有機物に富む黒色粘土質堆積物は Kalimati clay（後述）とも称され、盆地中央下で厚くなる。

(3) **Itaiti 層**：盆地北部では、Lukundol 層の上位に位置し、両層の境界年代は約 0.97 Ma（Sakai *et al.*, 2006）とされている。盆地南部では、細かい有律砂泥互層をなす Sunakothi 層（Kalimati 層の上位）の上位に部分的に浸食境界をもって重なる。また、盆地内での対比も不明確で（オンラップ・指交関係）、段丘面（堆積物）とその給源である地層との関係も不明確である。

(4) **Thimi 層**：主に盆地北縁部に分布し、Itaiti 層中部に対比される。後期更新世（4～5 万年以上前）の湖成～氾濫原上の河成堆積物である（名取ほか，1980）。カトマンズの東南東約 9 km のティミ地域の採砂場の露頭（第 10 図）では、水平に近い層状シルトや砂層の繰り返しからなり、全般に中新世の白雲母花崗岩由来と思われる白雲母片を多量に含む。砂層中には、各種のラミナの発達ที่著しい部分があり、露頭上部には 40 cm 厚の黒色粘土層を 2 枚挟む。

(5) **Kalimati 層**：盆地中央底では、ゴカルナ（Gokarna）層・ティミ層・パタン（Patan）層（後述）と指交する厚さ 200 m 以上に達する有機質に富んだ黒色の湖成粘土質堆積物を呈するカリマティ（Kalimati, 注：ネパール語で Kali は「黒」、Mati は「粘土」を意味する）層が伏在する（Yoshida and Igarashi, 1984；Katel *et al.*, 1996；Sakai *et al.*, 2006, 2008）。また、盆地南部ではバグマティ川のやや離れた両岸域などに分布する。峡谷における天然ガスの発生は、地表下の粘土質堆積物が豊富な有機質を含むこ



第 10 図 ティミ層のシルト・砂層。



第 11 図 パタン層の無層理シルト。

とを示唆する（名取ほか，1980）。

#### (6) 段丘堆積物：

**盆地南縁**：高位段丘堆積物は、上位に厚さ 5 m 以上に達する風化赤色土を載せており、当該地域の隆起に起因する最古の段丘であることを示唆している。ルクンドル（Lukundol）層及び基盤岩類を不整合に覆い、下位にはシルトや砂の薄層を挟在するが、主に pebble-cobble 大の基盤岩由来の河成亜円礫からなる。

**盆地北縁**：カトマンズ盆地グループ最上部は、ゴカルナ層（河成～湖成のラミナの発達したアルコーズ砂・シルト・粘土・ピートを主とし、厚さ 60 m 以上で 2 枚の厚い泥層を挟む。後期更新世後期 50～40 ka 程度）・ティミ層（河成～湖成のアルコーズ砂・シルト・粘土・ピート・礫。部分的に小規模なクロスラミナやコンボリュート層が発達。厚さ 40 m 以上）・トクハ（Tokha）層（およそ 30 m 厚、23～14 ka）・パタン層（河成～湖成のラミナの発達したアル



コース砂・シルト・粘土・ピート。30 m 以上。第 11 図)からなり、ほぼ水平に分布する。ティミ層は、ゴカルナ層下半部にオンラップし、<sup>14</sup>C 年代値で 35 ~ 24 ka 程度を示唆する。パタン層は、ティミ層下半部にオンラップし 17 ~ 10 ka で、後期更新世最後期 (~ 完新世最初期)である (Sakai *et al.*, 2012)。

**(7) 盆地充填堆積物:** カトマンズ峡谷は、カトマンズ盆地グループ (Kathmandu Basin Group; Sakai, 2001) と総称される第四紀更新世後期の、側方変化の著しい層厚 600 m 以上 (~ 650 m +) (Moribayashi and Maruo, 1980) の泥~砂質の盆地充填堆積物 (下部: 網状河川堆積物, 中部: 泥質の湖成堆積物, 上部: 湖成デルタと河川の堆積物) が分布する。Sakai *et al.* (2006) によれば ML が更新世中期 (約 1 Ma) に隆起を開始し、北麓を流下した土石流堆積物や扇状地堆積物が古パグマティ川をせき止めた結果、古カトマンズ湖が誕生したという。

### 3.3 カトマンズ盆地及び周辺のネオテクトニクス

おおまかに複向斜をなす基盤 (カトマンズ・コンプレックス) に沿って発達すると推定される盆地底の西北西 - 東南東性の断層群は、カトマンズ盆地 (の形成や第四紀のテクトニクス) を構造規制しているといわれる。即ち、盆地北縁で更新世層を切る活断層である Kalphu 断層 (Kalphu-Dhan Khola 断層と同一) と盆地南縁を画す活断層である Chandragiri 断層 (Chandragiri Thrust Fault や Kathmandu south fault と同一) である。後者は、盆地南方の ML 構成層がカトマンズ盆地の第四紀堆積物に衝上するスラストで、他の併走するスラスト群と傾斜を異にし (南傾斜)、それらとアンティセティックな位置にある。したがってこれによって、ML は北方のシバプuri山地 (順序外衝上断層 (out-of-sequence スラスト) の上盤が断層折れ曲がり褶曲によって形成されたランプ (ramp) 上にあると解釈されている) と同様にポップアップ pop up とみなされる。さらに両者間に位置する沈降域であるカトマンズ盆地は piggy-back 盆地とみなされている (Sakai *et al.*, 2012)。なお、Chandragiri 断層の平均変位速度は 1 mm/yr と推定されており (Saijo *et al.*, 1995; Yagi *et al.*, 2000)、極めて活発であるといえる。

## 4. 鉱山・地質局 (Department of Mines and Geology, DMG)

DMG は、各国の地質調査所に相当する政府機関で、ネパール国内の地球科学的研究や鉱物資源探査を担当する。1926 年に「灌漑・地質事務所 (Office of Irrigation and

Geology)」として発足し、1942 年に分割され「鉱山事務所 (Office of Mines)」となった。さらに、1961 年に「鉱山局 (Bureau of Mines)」となり業務を拡張した。1962 年に「ネパール地質調査所 (Nepal Geological Survey, NGS)」が独立した研究所として新設された。1976 年に両者が合併して、工業・通商・供給省 (Ministry of Industry, Commerce and Supplies) 傘下の「Department of Mines and Geology」となり、現在に至っている (現工業省 Ministry of Industry)。スタッフは、346 人で、そのうち 268 人が研究・技術スタッフである。ちなみにカウンターパートとして対応してくれたのが、副局長格で地球科学部長を兼ねる Dr.Soma Nath Sapkota であった。

組織は、地球科学部 (Geoscience Division)、鉱物資源部 (Mineral Resources Division)、技術・行政サービス部 (Technical and Administration Services Division) からなる。また、地震センター (National Seismological Centre, NSC) を持ち、石油探査振興計画 (Petroleum Exploration Promotion Project, PEPP) を重点的に実施している。

地球科学部は、地質図幅課 (Geological Mapping Section, GMS)、応用地質課 (Engineering Geological Section)、環境・都市地質課 (Environmental and Urban Geology Section)、リモート・センシング課 (Remote Sensing Section)、岩石・鉱物課 (Petrology and Mineralogy Section)、地質技術実験課 (Geo-Technical Lab Section) からなる (この他、「調査・企画課 Survey and Planning Section」)。次に幾つかのトピックを紹介する。

**地質図幅課:** ネパールの地質図幅作成、ネパール・ヒマラヤの地球科学的調査・地質情報の出版公表を実施している。ネパール人地質家による地質図幅調査は、1960 年代後期の NGS の時代に開始され、その後 DMG に継承されている。最初は主に中央部 (レッサーヒマラヤ地域) と Churia range の広域地質図 (縮尺: 1" = 1 mile) が 1967 ~ 1980 年に作製された。第二段階として、1980 ~ 1985 年に編図が作成され、レッサーヒマラヤやシワリク地域の層序構造が明らかにされた。その後、1:250,000 地質図 (Geological Map of Kathmandu & Central Mahabharat Range, 1980; Geological Map of Central Western Nepal, 1983; Geological Map of Eastern Nepal, 1984; Geological Map of Central Nepal, 1985; Geological Map of Mid Western Nepal, 1988) が刊行された。また、全ネパールをカバーする 1:1,000,000 地質図 (1980, 1993, 1994, 1996) が出版された。高ヒマラヤ、ネパール東及び西縁地域の図幅作成が、1985 ~ 1990 年に実施された。同様に高所域のチベット・テーチス堆積盆の予察的調査が、

1990～1992年に行われた。また、Mineral Exploration Development Board (MEDB) / DMG によって中央西部ネパールの1:50,000地質図幅の刊行が始まった(Geological Map of part of Tanahun, Gorkha & Nawalparasi Districts, 1997ほか)。その他、Geotectonic Division & Mineral Deposits of Nepal (1:200,000, 1980), Photogeological Map of a part of Central Nepal (1:100,000, 1982), Mineral Resources Map of Nepal (1:1,000,000, 1993)ほかの主題図も刊行されている。

**国立地震センター：**ネパールの地震観測網(National Seismological Network, NSN)整備は、1978年にカトマンズ盆地南縁のPhulchoki hill topにフランスのthe Laboratory de Geophysique Applique (LGA)の協力により地震観測点が設けられたことに始まる。NSNは、現在Department Analyse, Surveillance and Environment (DASE)との連携によって21か所の短周期テレサイスミック・ステーションが設置されて全国をカバーし、M2程度以上の地震データを観測している。観測データはカトマンズのNSCとBirendranagar, Surkhetの広域地震センターRegional Seismological Centreに送られデータ処理と解析が行われている。ネパール全土の微小地震の震央マップ(1:1,000,000及び1:2,000,000)が出版されている。また、過去3年にわたって、DASEとアメリカのCalifornia Institute of Technology (CALTECH)の協力によって大陸プレートの運動や地殻変形を知るために全国各地に22か所のGPSステーションが設けられている。

**石油探査振興計画：**過去30年間、二国・多国間協力によってテライ平原とシワリク山地において計5,000 km<sup>2</sup>に及ぶ10探査ブロックを設定し、調査が実施されている。先カンブリア紀後期～新第三紀前期中新世の頁岩層を対象としている。これらはTotal Organic Content (TOC)が2～20%である。とくにシワリク山地では豊富な貯留層タイプの岩石を挟み、背斜やスラストによる構造トラップが発達している。また、天然ガスや石油胚胎に適する良好な地質状況が、テライ・シワリク地域下に発達する伏在スラスト～褶曲がトラップとして期待されている。また、西ネパールではMelpani砂岩(上部白亜系～下部中新統)中には固体状の hidrocarbon が満たされている。現在、本プロジェクトのチーフは上述のDr. Sapkotaである。

**地質調査所との関わり：**カトマンズ地域のひっ迫した燃料事情緩和のため、DMRは水溶性天然ガス鉱床の地質学的・鉱床学的・地球化学的・地球物理学的調査研究を計画し、JICAを通じた要請に応じて、地質調査所から技官4名を1979年5～6月に派遣した(名取ほか, 1980参照)。

## 5. カトマンズ地区の歴史建造物の被災・復旧状況

国土地理院による人工衛星観測データ解析によると(国土地理院, 2015)、ネパール・ゴルカ地震によって生じた10 cm以上の地表変位が観測された地域は、カトマンズ北方を中心とした東西約160 kmの範囲に達し、特にカトマンズ北方から約30 km東方にかけての領域の地殻変動が顕著で、最大1.2 m以上変位した。最大余震による最大変位は70 cm以上であった。一般に大きな地殻変動が見られる領域は余震分布と調和的であるとされているが、斜面災害・建造物被害の甚大さ分布とは必ずしも一致しない。当然のことであるが、地震動や地殻変位の大きさだけでなくそれらの耐震度との関連性が影響している。

以下に紹介するカトマンズ盆地の歴史建造物(世界遺産を含む)は、耐震性は殆ど考慮されておらず、それらの位置する微地形の違い(小丘上か低地上か等)や軟弱地盤の状況による揺れの差異が大きく影響している印象を受けた(本号口絵参照)。

ダルバール広場(Durbar Square)は、カトマンズ峡谷内の3つの主要都市(古都)カトマンズKathmandu、パタンPatan、バクタプルBhaktapurに各々ある王宮広場(ダルバールは、ネパール語で「宮廷」を意味する)である。今回に限らず過去の地震、例えば、1934年1月15日のネパール東部の高ヒマラヤ山脈域で発生したビハール・ネパール地震(M8.1)によっても甚大な被害(死者・行方不明者1万人以上、カトマンズ盆地では建築物の約20%が破壊)を生じ、多くの歴史的建造物が被災している(当時は、鎖国中で、詳細は不明なことが多い。Himalayan Earthquakes, 1934 Mw 8.1 Bihar / Nepal earthquake 15 January 1934 - アメリカ合衆国の共同研究機関Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences内のHP)。筆者らによる今回の地震前、約3か月後(7月)及び約半年後(11月)における代表的な建造物事例を本号口絵とともに以下に紹介する。

### 5.1 カトマンズのダルバール広場及び周辺地域

カトマンズ市街域は大きく環状道路によって囲まれている。その中の中心街の1つであるタメル地区南に位置するダルバール広場の建造物も大きな被害を受けた。例えば、著名な仏塔(ストゥーパ)で、9段の煉瓦階段の基礎の上に17世紀末に建設された3層階からなるシヴァ寺院Maju Dega(17世紀末のマッラ王朝時にバクタプルの皇太后によって建設)や広場南端に位置する同じく17世紀末に建設された5層階からなるTrailokya Mohanの塔部は



完全に倒壊し、基礎のみ残存している。11月には瓦礫類は大部分撤去されていたが、復興のめどはたっていない(口絵第1図)。

広場北側に位置するシヴァ・パルヴァティ寺院 Shi-Parvati Temple は、18世紀コルカ王朝後期にバハドゥール王によって建設された(パルヴァティ女神は、シヴァ神の妻)。地震で3層の塔は完全に倒壊し、4段の煉瓦基礎(広い一段目は、舞踏のステージとしても用いられた)上に立てられた本殿(一階正面に5つのドアがあり、真ん中のみ開いている。2階の窓からシヴァとパルヴァティの彩色木像が外を眺めている)は、一部損傷を受けて(屋上に取り付けられた黄金色の3つの小尖塔は無事)木柱で応急的に支えられている(口絵第2図)。

バサンプール寺院 Basantapur Temple (バサンプール・ダルバール)は、18世紀中頃に建てられた。広場で最も高い9層のバサンプール塔は、地震で上部2層が倒壊し、修復中である(口絵第3図)。

ダラハラ塔 Dharahara Tower の最初の建造は1832年で、高さ61.88mであった。ネパールの首相ビムセン・タパが建てたため、ビムセン塔 Bhimsen Tower とも呼ばれた。ビハール・ネパール地震で倒壊した後、再建されたが、今回の地震で再び崩壊した(口絵第4図及び本文第12図)。

スワヤンブナート寺院 Swayambhunath Temple は、カトマンズ市街地中心部から西へ約2kmに位置する小丘上に建てられた1世紀に遡るネパール最古の仏教寺院といわれる。猿が棲みついているので猿寺 Monkey Temple とも俗称される。高さ15mの黄金色のストウパの先端か

ら本来なら四方八方へ張られたロープにチベット仏教で用いられる5色の祈祷旗(タルチョ)が結ばれていたが、地震後は張られていなかった。塔本体には外部から目立つ損傷は見えなかったが、近隣のシカラ Shikra 様式の仏塔の1つは全壊した。寺院に登る365段といわれる急な石段はすでに修復されていたが(第14図)、周囲の建造物には地震による崩壊跡が残し、十分に復旧されていない。

## 5.2 パタンのダルバール広場及び周辺地域

カトマンズ盆地南西部、バグワティ川南岸の段丘上に位置するパタンは、サンスクリット語でラリトプル Lalitpur (美の都)とも呼ばれるネパール第三の都市で、カトマンズ盆地内で最古の都市といわれ、住民のほとんどがネワール族である。町の外側四方にはアショカ王が3世紀に建てたとされる仏塔が配置されている。このダルバール広場は、17～18世紀にかけて建てられたマッラ王朝の遺構である。ネパールの石像中では最もすばらしいと評価されている17～18世紀のマッラ王が祈っている像を乗せた石柱が立っている。ヴィシュワナート寺院と17世紀に建てられた石造りのクリシュナ寺院は、一部応急的に木製の支持棒で支えられているが、外見的には甚大な損傷を受けていないようであるが、仏塔は倒壊した(口絵第6図)。一方、1705年に建造されたハリ・シャンカール寺院(ヴィシュヌとシヴァの両方の神性を持つハリ・シャンカールを祀る)の3層の塔は全壊し、台座部だけが残存している(口絵第7図)。



第12図 ダラハラ塔(左の写真はビハール・ネパール地震前、右の写真はビハール・ネパール地震後に再建された塔の様子)。





第13-1図 カトマンズ市街の約9 km 東に位置するボダナート Boudhanath の15 世紀に再建されたネパール最大のストゥーパ(中央の写真は地震前の状況)は、地震で損傷を受け7月時点では周囲にやぐらを組んで保護していたが、11月には地面に降ろし修復作業をしていた。



第13-2図 地上に降ろされ修復中のストゥーパ最上部の木造部。



第13-3図 崩壊した仏塔の建築材。煉瓦の他に、左に積み重ねられた結晶片岩を整形加工した平石が大量に用いられていたことは新たな知見である。



第13-4図 命綱なしの復旧工事(ボダナート)。

### 5.3 バクタブルのダルバール広場及び周辺地域

カトマンズの東約12 km、盆地東端に位置するバクタブルは、9世紀後期にネワール族によって築かれ、その後12～18世紀の間、首都のひとつとして栄えた。別名「バドガオン Bhadgaon」(信仰の街・皈依者の町)とも呼ばれる。広場入り口に17世紀末に建造された石造の獅子像がある(第15図)。

ダルバール広場から細い小道でつながっているトゥマディー広場のバイラブナート Bhairavnath 寺院は、17世紀初めに建てられ、その後1718年にプパティンドラ・マッラ王により増築されたヒンドゥー教の寺院(本尊のバイラブは、シヴァの化身)で、1934年のビハール・ネパール地震で大きな被害を受けたため、その後に再建されたものである。最初に建てられたときは1層、その後の増築で2層に、地震後の再建で3層に造りかえられたが、今回の地震で基礎部分を残して全壊してしまった。

55の窓のある旧王宮は、1427年にヤクシャ・マッラ王の統治期間に建てられ、17世紀にプパティンドラ・マッラ王によって再建された3層の建物で、ネワール建築の傑作といわれ、その名通り入り口を含めると窓が55あり、それぞれの窓には緻密な彫刻が施されている(現在は国立





第 14 図 地震の 3 か月後(左)と半年後(右)の階段の復旧状況.



第 15 図 「獅子門」の石像。石塊の継ぎ目は白く補修されているが、脚部と胴体部のずれは修復されていない。



第 16 図 ファシィ・デガ寺院基盤の階段横の動物を象った石像群.

美術館)。地震では一部被害を受けたが、7月には既に瓦礫は片付けられており、関連する建物は応急的に木柱に支えられていた。11月には、さらに木柱の数が増していた(口絵第8図)。

ヴァスタラ・ドゥルガ寺院 Vastala Durga Temple は、ユニークな八角形をした建物だったが、地震で全壊し台座と入り口の棒が残るのみとなっている(口絵第9図)。

ファシィ・デガ寺院 Fasi Dega Temple は、シヴァ神を奉じる寺院だが、地震で階段脇の石像は無事だったが(石塊の継ぎ目部分は、一部白く補修している。第16図)、白い塔部分は全壊した(口絵第10図)。

ニャタポラ寺院 Nyatapola Temple は高さ 30 m の 5 階建て(五重塔)で 18 世紀初めに建てられたカトマンズ盆地で一番高い建物である。右隣のバイラヴナート寺院 Bhairavnath Temple (17 世紀に建てられたが、1934 年のビハール地震で倒壊しその後再建された)や広場中央部の 1427 年に建造されたダッタトレヤ寺院 Datta-traya Temple (本尊のダッタトレヤは、ブラフマー、ヴィシュヌ、シヴァの三神が一体化したとされる)とともに、近隣の建物では完全に倒壊したものがあるが、外見的には顕著な被害は受けなかったようである(口絵第11図)。



## 文献

- Dongol, G.M.S. (1987) The stratigraphic significance of vertebrate fossils from the Quaternary deposits of the Kathmandu Basin, Nepal. *Newsl. Stratigr.* **18**, 21–29.
- 早川俊之・プラダン・オム・長谷川信介・加藤碩一 (2016) 2015年ネパール・ゴルカ地震被害状況調査, 応用地質技術年報, no.35 (投稿中).
- Katel, T. P., Upreti, B. N. and Pokharel, G. S. (1996) Engineering properties of fine grained soils of Kathmandu Valley, Nepal. *Jour. Nepal Geol. Soc.* **13**, 121–138.
- 国土地理院 (2015) ネパールの地震, 地震予知連絡会報, **94**, 377–379.
- Moribayashi, S. and Maruo, Y. (1980) Basement Topography of the Kathmandu Valley, Nepal-An Application of gravitational method to the survey of a tectonic basin in the Himalayas. *Jour. Japan Soc. Engineering Geol.* **21**, 30–37.
- 名取博夫・滝沢文教・永田松三・本島公司 (1980) カトマンズ盆地の天然ガス(その1地質), 地質ニュース, no. 312, 24–35.
- Saijo, K., Kimura, K., Dangol, G., Komatsubara, T. and Yagi, H. (1995) Active faults in southwestern Kathmandu Basin, Central Nepal. *Jour. Nepal Geol. Soc.* **11** (Special Issue), 217–224.
- Sakai, H. (2001) Stratigraphic division and sedimentary facies of the Kathmandu Basin sediments. *Jour. Nepal Geol. Soc.* **25** (Special Issue), 19–32.
- 酒井治孝 (2015) 2015年ネパール地震のテクトニクスとカトマンズの軟弱地盤. 日本地質学会ホームページ.
- 酒井治孝・藤井理恵・桑原義博・野井英明 (2000) 古カトマンズ湖の堆積物に記録された気候変動とテクトニックイベント. 地学雑誌, **109**, 759–769.
- Sakai, H., Sakai, T., Gajurel, A. P. and Fujii, R. (2012) *Guidebook for Excursion on Geology of Kathmandu Valley*. Nepal Geological Society, 45p.
- Sakai, T., Gajurel, A. P., Tabata, H. and Upreti, B. N. (2001) Small amplitude lake-level fluctuations recorded in aggrading deltaic deposits of the Upper Pleistocene Thimi and Gokarna formations, Kathmandu Valley, Nepal. *Jour. Nepal Geol. Soc.* **25** (Special Issue), 43–51.
- Sakai, T., Gajurel, A. P., Takagawa, T., Tabata, H., Ooi, N. and Upreti, B. N. (2006) Discovery of sediment indicating rapid lake-level fall in the Pleistocene Gorkana Formation, Kathmandu Valley, Nepal : implication for lake terrace formation. *The Quaternary Research*, **25**, 99–112.
- Sakai, T., Gajurel, A. P., Tabata, H., Takagawa, T., Kitagawa, H. and Upreti, B. N. (2008) Revised stratigraphy of fluvio-lacustrine sediments in the northern Kathmandu valley, Nepal. *Jour. Nepal Geol. Soc.* **37**, 25–44.
- Shrestha, O. M., Koirala, A., Karmacharya, S. L., Oradhananga, U. B., Pradhan, R. and Karmacharya, R. (1998) Engineering and environmental geological map of the Kathmandu Valley (1:50,000). Department of Mines and Geology, Nepal.
- Stöcklin, J. (1980) Geology of Nepal and its regional frame. *Jour. Geol. Soc.* **137**, 1–34.
- Yagi, H., Maemoku, H., Ohtsuki, Y., Saijo, K. and Nakata, T. (2000) Recent activities of active faults distributed in and around Kathmandu Valley, Lower Himalaya Zone. In Okumura, K. *et al.* eds : Active fault research for the new millennium. *Proceedings of the Hokudan International Symposium and School on Active Faulting*. 557–560.
- Yoshida, M. and Gautam, P. (1988) Magnetostratigraphy of Plio-Pleistocene lacustrine deposits in the Kathmandu Valley, central Nepal. *Proc. Indian Natural Science Academy*, **54** (A3), 410–417.
- Yoshida, M. and Igarashi, Y. (1984) Neogene to Quaternary lacustrine sediments in the Kathmandu Valley, Nepal. *Jour. Nepal Geol. Soc.* **4** (Special Issue), 73–100.

---

KATO Hirokazu and PRADHAN Om (2016) A glimpse of geology and earthquake of Nepal.

---

(受付:2015年12月25日)