

北西インドヒマラヤ、デリー～レールートでのジオトラバース (前)

吉田勝*

はじめに

2009年8月にジオプランニング社とゴンドワナ地質環境研究所によって実施された北西インドヒマラヤ(ヒマチャルヒマラヤとラダックヒマラヤ)の地学見学ツアーは、デリーから出発し、昔日の交易路、現代のバス道路をジープキャラバンでジャム・カシミール州南部ラダック地方の首都レーまでの総距離約1100kmを9日間で横断研修した。このコースは北西インドヒマラヤの横断コースとして最もよく知られたルートであり、また、地学見学コースとして有名なコースである。

デリーを出発し、インド平原から大ヒマラヤ山脈(グレートヒマラヤ)を横断して、カラコルム山脈を近々と望むトランスヒマラヤに入るこのコースでは、ヒマラヤの基本的な地質構造のすべてを観察できるほか、ヒマチャルヒマラヤ、ラダックヒマラヤの特徴的な氷河、氷蝕の崖と山稜、寒冷砂漠などの風景を堪能できる。インドと中央アジアを結ぶ古い交易路を辿るこのツアーコースでは、旧王国ラダックの首都であったレーを始めとして、由緒ある町や寺院、あるいは歴史を秘めた民族・文化も特徴的であり、研修の魅力でもあった。

ジオツアーは、現地地学研究者らに定評あるボンベイのヒマラヤツアー会社「ヒマラヤンカントリー」に委託し、全行程をジープで走破した。

大ヒマラヤ山脈横断など、5000m前後の峠を何度もジープで越えた。また、途中2箇所の宿泊地はそれぞれ3500mと4200mの高地であったため、高所順応対策を考慮し、行程に配慮した。ツアーの途中の町3箇所には病院があり、万一の場合の高度障害への対応は可能とされていたが、万全を期して一部の参加者らは高山病予防・治療薬のダイアモックスを服用した。ツアーの参加者は、案内役を含めて17人(男15、女2)で、年齢は35歳から78歳、平均60才前後であった。中高校の理科教員が多く、現・元大学教員は3人であった(第1図)。吉田とインド、クマオン大学のR、ウバジャイ(著者ら)が案内役で参加した。また、ヒマラヤンカントリー社からはガイドとドライバーを含む設営サポートチーム12人が加わった。

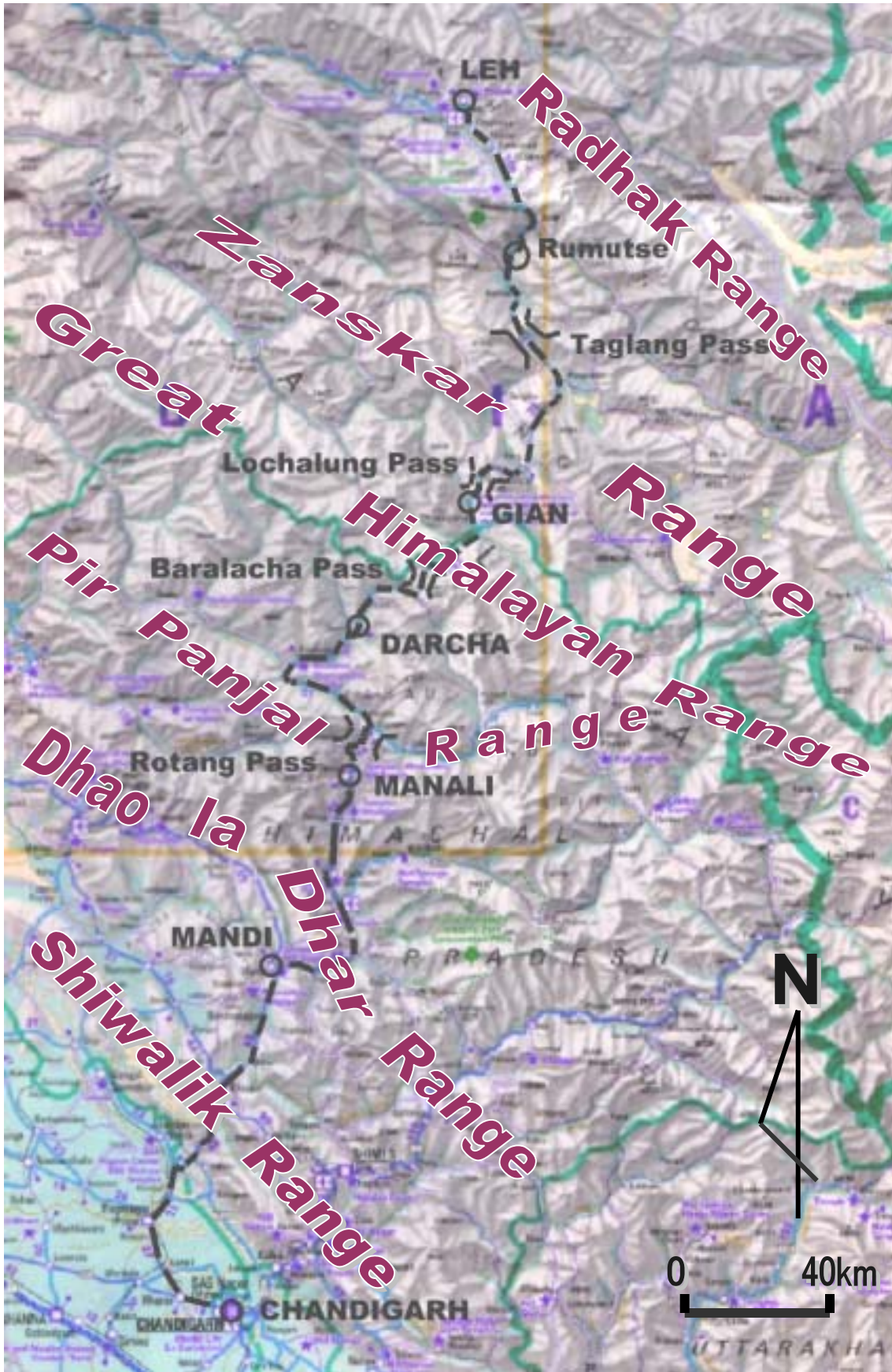


第1図. ジオツアーの一行(カルドウン峠で)

を加え、ほぼ1日の研修コースごとにまとめて記述する。

ジオツアーでは、ガンジス平原から大ヒマラヤを横断してインダス・スーチャーを横切り、白亜紀島弧のラダック火成岩帯まで、大ヒマラヤとその近接地質帯をすべて観察することができた(第2図、第3図、第1表)。以下に今回のジオツアーコースに沿って地質、地形の特徴をSinha (1998)、Steck (2003) とUpadhyay (2002)を参考とし、今回実施したジオツアーの観察結果

* 大阪支部 ゴンドワナ地質環境研究所 和歌山県橋本市柱本147-2
E-mail: gondwana@gaia.eonet.ne.jp



第2図 ジオツアーコース周辺の地形と主な町や集落 (Nelles Map 1:1500000 India Northの一部に加筆)
 宿泊地等の主な町、及び主な山脈と峠を示してある

第1表. 北西インドヒマラヤジオツアー (2009年8月実施) の日程と見学内容

月日	出発地／到着地・移動手段・ほか	見学内容等
8月19日 (水)	12:00 成田発 AI307 16:55 デリー着 14:00 関空発 AI315 21:00 デリー着 (泊) 宿泊*ブルーサファイアホテル	*インド研究者と合流、打ち合わせ
8月20日 (木)	デリー／マンディ (標高640m・泊) 専用車 宿泊: ヴィスコリゾートホテル	インダス平原からシワリーク山脈の横断、亜ヒマラヤの遠望、主前縁衝上断層、ダラムサラ層群とシワリーク層群、低ヒマラヤ変堆積岩類の観察
8月21日 (金)	マンディ／ソラン(マナリの北8km、2700m 泊) ロタン峠(3975m)往復 専用車・徒歩 宿泊: アイスランドホテル	ダオラダール山脈の横断、主境界断層、低ヒマラヤ変堆積岩類、主中央衝上断層帯、高ヒマラヤ結晶質岩類、インフラテチス層群、古生代花崗岩の観察
8月22日 (土)	ソラン／ロタン峠／ジスパ(ダルチャの南西5km、3284m 泊) 専用車・徒歩 宿泊: キャンプ	ビルパンジャル山脈の横断、グレートヒマラヤ山脈の展望、高ヒマラヤ結晶質岩類、古生代及び新生代花崗岩類、インフラテチス層群の観察
8月23日 (日)	ジスパ／ジスパ(泊) パララッチャ・ラ(4883m)ーサルチュー往復 専用車・徒歩 宿泊: キャンプ	大小の氷河・ザンスカー山脈・グレートヒマラヤ山脈の展望、インフラテチスとテチス層群、ザンスカー断層の関連断層(南チベットディタッチメント対応)の観察
8月24日 (月)	ジスパ／バララチャ峠／ラチュルン峠(5065m)／ルムツェ(4100m・泊) 専用車・徒歩 宿泊: キャンプ	グレートヒマラヤ山脈とザンスカー山脈の横断、両山脈の展望、ラホールからラダックに入る、氷河・氷食地形・高ヒマラヤ結晶質岩類、インフラテチスとテチス層群、巨大横臥褶曲、ザンスカーせん断帯、サルチュー断層の観察、テチス層群の化石採集 ラダック地方の風景・文化・民族
8月25日 (火)	ルムツェ／レー(泊) 専用車・徒歩 宿泊: キャンプ	ラダック及びザンスカー山脈の展望、ラマユル層、インダス・スーチャー、インダス層群、ラダック火成岩類の観察
8月26日 (水)	レー／ラマユル(3615m)／レー 往復 専用車・徒歩 宿泊: ロータスホテル	インダス層群、インダススーチャー、オフィオライトメランジェ、ニンダム層群、ラダック火成岩類の観察。 ラダックの風景・民族・文化。
8月27日 (木)	レー／カルドウン峠／ヌブラ谷 往復、専用車・徒歩 宿泊: ロータスホテル	レーの風景・民族・文化、カルドウン峠、ショーク谷、ヌブラ谷、ラダック火成岩類、ショークスーチャーの観察
8月28日 (金)	08:10 レー 発 IT3342 09:25 デリー着 20:50 デリー発 AI306 成田行 23:15 デリー発 AI314 関空行 機内泊	デリー着後 デリー市内見学 夕食時に解散会 *オプションツアー8月28日～9月1日(アグラ、ジャイプール、デリーの観光)
8月29日 (土)	08:00 成田着、 12:50 関空着	

デリー～マンディ区間

<デリーとその周辺>

長い歴史を持つインドの首都デリーは文化的、戦略的にインドでは大変に重要な都市である。この都市は現在、地震災害軽減対策が最重要課題とされている。デリー首都圏は面積 1482 平方キロメートル、人口は 2007 年で 1400 万人弱、2011 年には 1800 万になると見込まれている。

地質学的には、デリーは主にインダス沖積層の上に位置するが、基盤は原生代のデリー層群であり、この地層はデリー市内でも露頭をあちこちで見ることができる。デリー累層群の岩石は、デリーから南方のアラバリ山脈まで続いて、同山脈を構成し、全体として延長 800km の分布を示している。

デリー盆地の深さは大変に変化に富んでいるが、長期にわたる膨大な沖積堆積物に被覆されて表面は平坦である。しかし、盆地北縁ではかなりの撓曲と変位が見られ、北端では主前縁衝上断層に接して亜ヒマラヤ帯に衝上されている。ガンジス盆地の基底は平坦ではなく、うねりがあり、また伏在稜線などの地形が発達する。無数の断層が伏在しており、デリー、チャンディガール等のハリヤナ州周辺の大都市は地震危険第 IV 帯*に属し、極めて危険な地域と見られている。

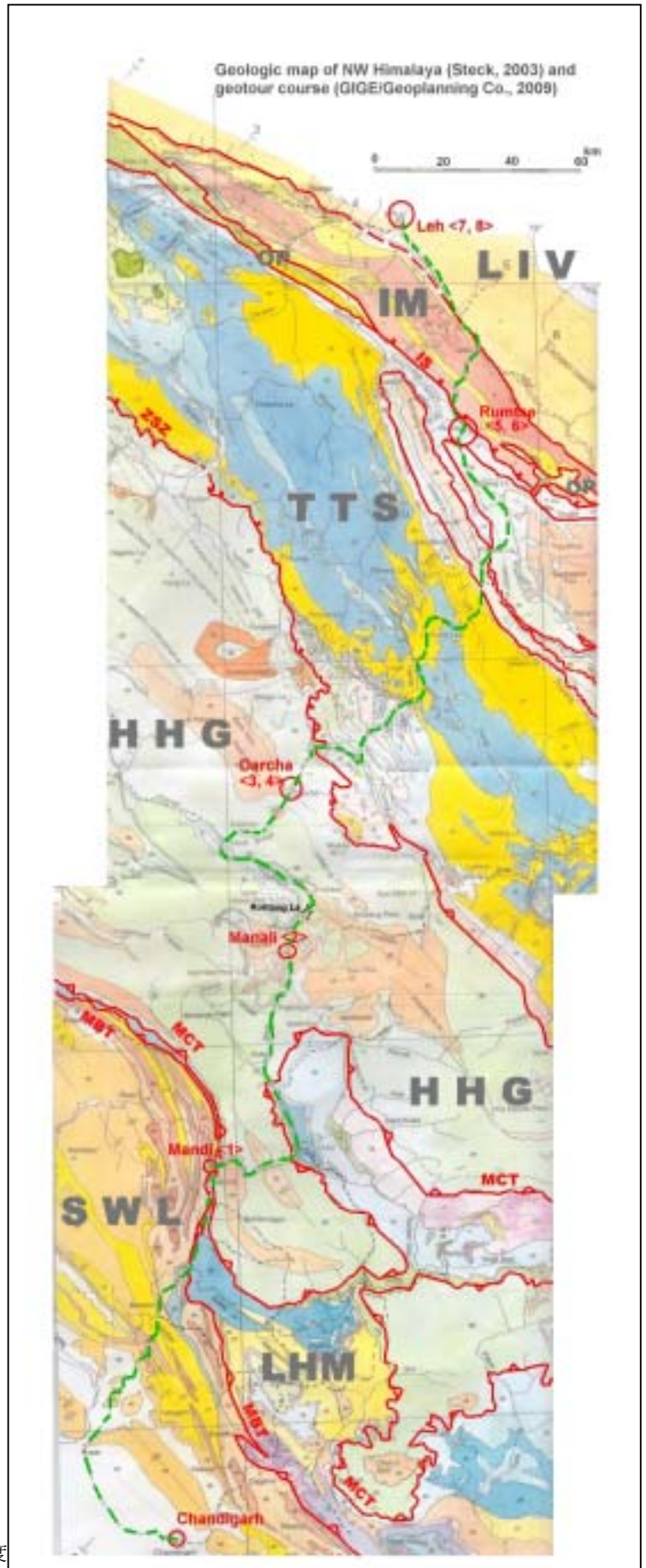
<デリー～チャンディガール～マンディ>

デリー～チャンディガール間は平坦なインダス平原を走るハイウェイだが、チャンディガールに近づくと主前縁衝上断層 (Main Frontal Thrust : MFT) で突然にインダス平原からシワリーク山脈が立ち上がる。チャンディガールからマンディまでは、MFT、ダ

第 3 図 ジオツアールート上の地質図と地質構造分帯 (Steck, 2003 から抜粋、加筆)

SWL : 亜ヒマラヤ帯、LHM : 低ヒマラヤ帯、HHG : 高ヒマラヤ帯、TTS : テチスヒマラヤ帯、OP : インダススーチャー帯、IM : インダスモラッセ帯、LIV : ラダック火成岩帯、MBT : 主境界衝上断層、MCT : 主中央衝上断層、ZSZ : ザンスカーせん断帯、IS : インダス衝上断層

* インドで使用されている地震危険度で、第 I V 度あるとされる。



ラムサラ層群及びシワリーク層群、主境界衝上断層 (Main Boundary Thrust:MBT)、低ヒマラヤ変堆積岩類上部の地層群 (ネオ原生代) を次々と横切る。

ビラスプールまでは、ルパール経由とシムラ経由のルートがあり、今回はルパール経由ルートを通った。ルパール経由のハイウェイは、亜ヒマラヤ帯と低ヒマラヤ帯の両方をよく観察できる。一方シムラ経由のルートは、シムラナップ/ウインドウを構成する低ヒマラヤ帯の下部～上部及びその上に乗るインフラテチス (前節で説明したが、ここではクロール層群及びシムラ層) が特徴的である。マンディは再びシワリーク帯の中であるが、MBT のすぐ際に位置している。

ジャム・カシミール州とヒマチャルプラデッシュ州のシワリーク層群は亜ヒマラヤ帯の上部地質体で、下部の地質体である上部暁新世～漸新世のダラムサラ層群を整合的に覆っている。同層群は脊椎動物化石を多く含み、その組み合わせから下部、中部と上部に分けられている。

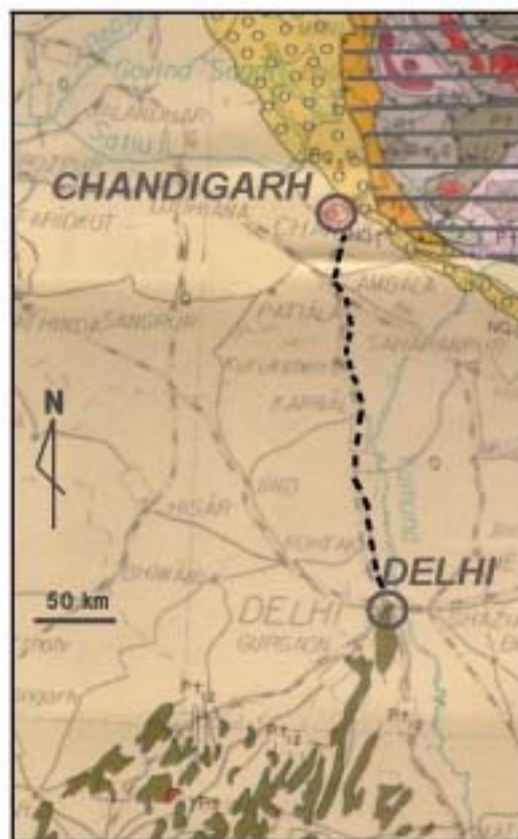
下部シワリークは、砂岩粘土互層を主体とし、泥岩・礫岩の薄互層を持つ。中部シワリークは砂岩を主体とし、薄い泥岩を挟在し、石灰質ノジュールを持つ。上部シワリークは、下半部は砂岩泥岩互層、上半部は膨大な礫岩層で、最上部では薄い泥岩が挟在する。シワリーク層群の全層厚は約 6500m、全体として河川性堆積物で、早期中新世 (約 2000 万年前) から初期洪積世 (約 220 万年前) の間、上昇を続けるヒマラヤの前縁に堆積した。地磁気編年によると中部シワリークは 660 万年～480 万年前、上部シワリークは 500～50 万年前である (Sangode et al., 1996; Kumar et al., 2003)。

チャンディガール～ビラスプール間では、亜ヒマラヤ帯下部のスバツス層群とムレ/ダラムサラ層群の露頭が見られる。スバツス層群は全層厚 150～1800m、暁新世から中期中新世の化石に富む浅海性の頁岩・泥岩互層と少量の石灰岩から成る。ムレ層群は主として赤色から紫緑色の頁岩とグレイワックからなり、少量の礫岩を持ち、特徴的に上方細粒化サイクロセムを示す。南方のシワリーク層群とはムレ/ビラスプール衝上断層で境され、北方の低ヒマラヤ帯とは主境界衝上断層 (MBT) で接している。

チャンディガール市はインダス平原の沖積層の上に位置している。下部には、やや固結した中期中新世のシワリーク層群があり、市の北東縁に露出している。シワリーク丘陵の山麓の沖積層は、大小さまざまな礫と砂が多く、平地に向かって泥、粘土層に漸移している。

チャンディガールからキラトプールまでは殆ど平坦な地形である。ところどころで遠くに、低くならかな亜ヒマラヤが見える。ビラスプールから道路は北東に向かい、亜ヒマラヤ帯の横断に入る。所々にシワリーク層群やダラムサラ層群が露出している。4 kmほどで最初の露頭、ダラムサラ層群の砂岩・泥岩層が見られる。さらに 4 kmほどで道はいよいよ亜ヒマラヤへの急な登りに入り、眼下にはシワリーク山地の南縁を画す MFT とインダス沖積層の分布がみごとに見られる (第 5 図)。

このあと、ビラスプールまで、シワリーク山地を横断する間、各所でシワリーク層群やダラムサラ層群の大きな露頭がみられる (第 6 図)。ビラスプール付近では、亜ヒマラヤ帯の第三系中に石灰岩の内座層が分布している。これはドロマイト質石灰岩、含ストロマトライト・チャート質石灰岩等で、ストロマトライトの特徴から低ヒマラヤ帯のデオバン/シャリ層に対応すると見られる。ビラスプール～マンディ間では、ルートはほぼ MBT に沿っており、各所で MBT を横切る。



第 4 図 デリー - チャンディガールのジオツアールルートと周辺の地質特徴
広い明灰色部分は沖積層、デリー南東の暗灰色小岩体群はデリー層群、北東部分の白丸部分は亜ヒマラヤ帯、横線部分は中生代以前の低ヒマラヤ帯と高ヒマラヤ帯



第5図 シワリーク山地北縁の主前縁衝上断層とインダス平原を望む



第6図 シワリーク山地の第三系露頭



第7図 マンディ南のインフラクロール層露頭

サンダーナガルとマンディ間には低ヒマラヤ帯の露頭がいくつかあるが、詳しい地層名はわかっていない。これらは、シャリ/デオバン層、マンディ/ダラ火山岩類であろう。マンディ付近の低ヒマラヤ帯はパンジャル・スラストとMBTの間で著しく狭まっている。

マンディの南2 kmほどにヴィスコリゾートホテルがある。このホテルの100mほど西に、低ヒマラヤ帯岩石のよい露頭がある(第7図)。赤紫色頁岩と暗灰色砂岩の互層で、インフラクロール層であろう。ホテルの80mほど東にはブライニ層の特徴的な褐紫色の石灰岩が見られる。

マンディ～マナリ区間

この区間は、最初と中ごろに低ヒマラヤ帯がウインドウ等で顔を出すほかは、ずっとインフラテチス帯と高ヒマラヤ帯である。後2者の中にはしばしばオルドビス紀の花崗岩体が貫入している。両者の境界には主中央衝上断層帯(Main Central Thrust: MCT)を構成する断層群のいずれかの断層が介在する。マンディの街はMBTに横断されており、街の西部はシワリーク層群、東部は低ヒマラヤ帯のクオーツアイアとその破碎岩である。マンディの南端付近では、左岸にシワリーク層群のよい露頭が見られるが、そこから南100mの道路側壁には低ヒマラヤ帯のクオーツアイアトが露出しており、その間にMBTが走っている。このMBTの位置は対岸、マンディの街の背後の尾根鞍部に繋がるものと見られる(第8



第8図 マンディの主境界衝上断層。右端の露頭は低ヒマラヤ帯、左の明るい部分はシワリーク層群露頭。



第9図 マンディの街とビーズ川。MBTは街を横切って写真左方鞍部を抜ける。

ベアズ川に沿ってマンディの東～北東数キロメートルのところには、低ヒマラヤ帯岩石がチャイル衝上断層或いはパンジャル衝上断層（MCT 断層群の最下位断層）で高ヒマラヤ帯のチャイル層群と接している。高ヒマラヤ帯の花崗岩や変成岩の中座層が、ばらばらに低ヒマラヤ堆積岩類の上位に衝上断層を挟んで乗っている。これらの岩石は主シンフォーム構造のコアを占めており、高ヒマラヤ帯から押し出されて来た巨大なスラストシートの削剥残存岩体（クリッペ）である。

このクリッペの主部はジュトクリッペである。このクリッペ岩体は、2つの結晶質岩体（下部のチャイル岩体と上部のジュト岩体）から成る。チャイル岩体は全体として緑色片岩相の岩石で、千枚岩、コーツアイト、砂質片岩、青色石英脈含有結晶片岩、緑泥石・白雲母片岩で、ときに石灰岩や変火山岩類を含む。チャイル岩体の最下位には、各所に500～1000m層厚のマイロナイト質片麻岩が露出する。これらからは Rb/Sr 同位体比で12億年前の年代が得られている。

チャイル岩体中にも、大小さまざまな花崗岩ブロックがあり、マンディの東数kmから見られる。そのうちのマンディ/バンドー岩体は斑状花崗岩が主な岩相である。石英中に包有されている自形モナザイトの化学年代は4億6200万年（±4400万年）であった。ラクチャン地域の2つの標本からは第三紀年代も得られている。したがって、このパンアフリカ花崗岩体中にはヒマラヤ花崗岩（第三紀）も含まれていることになる。主要岩体である斑状花崗岩はパンアフリカ年代（5億1400万年±4900万年）であり、他の地域のものとよい対応をしめしている（Jaeger et al., 1971; Mehta, 1977; Miller et al. 2001）。しかし、モナザイト年代に見られる再平衡の影響や、それと整合的な鉱物変質は第三紀の地質事件を明らかに反映している。

バンドー～クル間でベアズ川が北に向きを変えるラルジ付近から十数kmの間には、ラルジ・ランプルーウインドウが大規模なアンチフォームをなして分布している。チャティコギ手前では千枚岩化した高ヒマラヤ結晶質岩類が低変成度の低ヒマラヤ岩類（シャリノデオバン層群）とMCTで接している（第10図）。このウインドウはコーツアイトと25.1億年前の塩基性火山岩、中期原生代ストロマトライト石灰岩からなるシャリ層と、1.8億年前のバンドル花崗岩から成る。この低ヒマラヤ帯岩類は、周囲を高ヒマラヤ帯のチャイル層群及びジュト層群に囲まれている。クルの南にスラストがあり、再びテチス帯のインフラテチス層群分布地域に入る。

ベアズ川中流のクルは緑と水の豊富なきれいな街で、林檎、プラム等の果実と、カシミヤの生産地として知られている。クル付近では、低変成度のチャイル層群の岩石が中変成度のジュト層群の岩石とジュト衝上断層（MCT 断層群の中位断層）で接している。クルから上流では、高ヒマラヤ帯のジュト層群が露出している。ジュト層群は主としてガーネット・雲母片岩～片麻岩、眼球片麻岩、斑状変晶片麻岩、細粒縞状片麻岩、石灰質片岩、雲母質片状コーツアイト、角閃岩などからなる。これらの岩類は主にガーネットグレードで、ストーロライトやカイヤナイトも稀に産出する。ジュト衝上断層は変成度の急変位置を繋いで描かれている。チャイル層群の岩類は緑色片岩相で、角閃岩相のジュト層群と対照的である。チャイル層群の岩石は絹雲母・緑泥石片岩と千枚岩からなり、断層に沿って著しいせん断作用を被っている。これらの高ヒマラヤ帯岩類は全体として逆転変成帯をなしている。ジュト層群中では変成度は北方、つまり構造的上位に向かって上昇し、南方、つまり構造的下位に向かって下降する。ジュト層群の岩石はマナリ手前からカイアナイト・シリマナイト帯に入る。



第10図 MCTの谷、谷の左が高ヒマラヤ帯で右が低ヒマラヤ帯



第11図 ジュトー層群のフィローナイト

マナリ～ダルチャ区間

この区間には全体として高ヒマラヤ帯岩類が広く分布している。そのうち前半は下位の結晶質岩類（チャイル、ジュトー及びヴァイクリタ層群）と花崗岩類が、後半、チャンドラ川に沿うあたりからは低変成度のハイマンタ層群（インフラテチス）が広く分布している。一部に顕生代テチス層群も見られる。マナリの北、マルヒ付近（ロタン峠の下）では、ジュトー層群の岩石は、ヴァイクリタ衝上断層（MCT断層群の最上位断層）に沿って高変成度の中央結晶質岩類であるヴァイクリタ層群によって衝上されている。MCTは数キロメートルの間に複数の衝上断層が分布する延性せん断帯で、最下位はチャイル衝上断層、最上位はヴァイクリタ衝上断層である。最上位の衝上断層は変成度と岩相の急変位置となっている。ヴァイクリタ層群は粗粒カイアナイト・シリマナイト片岩・片麻岩であり、細粒のガーネット・黒雲母片岩・片麻岩からなるジュトー層群とは変成度が大きく異なっている。ヴァイクリタ衝上断層に沿うヴァイクリタ層の片麻岩類は著しくせん断され、圧砕作用を被っている。一方下位のジュトー層群のコーツアイトや片岩は破碎され、絹雲母化を被っている（第11図）。これら両方の岩体中には、巨大な片状花崗岩の貫入体が分布している。マルヒの西方数キロにあるピークの東壁には見事な横臥褶曲を持つテチス帯岩類が、高ヒマラヤ帯の上に乗っている。

ロタン峠からはグレートヒマラヤ山脈（狭義）の展望が素晴らしい（第12図）。ロタン峠付近には高ヒマラヤ結晶質岩類のうち、高変成度のヴァイクリタ層群が露出している。この片麻岩は何人かの研究者によって年代測定が行なわれ、5億8100万年、6億1200万年などの値が得られている。ロタン峠付近には第三紀の含ターマリン優白質花崗岩の巨大な貫入体がある。ヴァイクリタ層群は峠の北方にも分布し、コクサルを経てチャンドラ川沿いにラホール地域のシッスまで見られる。



第12図 ロタン峠からバガ川右岸のグレートヒマラヤの峰

峠の下りでは、逆転変成構造 (Wyss, 1977) を示す大理石化した石灰岩がチャンドラ川の左岸に沿って露出する。この岩層は、下位の低変成度ハイマンタ層群と整合境界で接している。文献によれば、この石灰岩は中生代のアンモナイト類の化石を産出する (Powell & Conaghan, 1973; Steck et al., 1993)。このあたりからバララッチャ峠の北までは、低変成度のインフラテチス帯岩類とオルドビス紀花崗岩類が主に分布している。

シッス付近では、ヴァイクリタ層群 (高ヒマラヤ結晶質岩類) は、厚い (12000m) 低変成度のハイマンタ層群 (インフラテチス) と構造境界で接している。ハイマンタ層群をテチス層群に入れるインド研究者らは、この境界断層を、南チベットディタッチメント相当断層と考えている (トランスヒマドゥリ断層あるいはテチス断層などともよばれている)。シッス付近では 3000m以上の層厚を持つハイマンタ層群は、千枚岩、スレート、コーツアイトを主とし、石灰岩と火山岩類を少量伴う。下部は前期古生代の花崗岩類に貫入され、上部の地層には後期カンブリア紀の三葉虫を産出する。バガ川左岸岸壁のハイマンタ層群及び顕生代テチス層群からなる大岸壁は見事である (第 13 図、第 14 図)。



第 13 図 バガ川左岸のハイマンタ層群およびテチス層群の大露頭



第 14 図 ハイマンタ層群の石灰質細互層



第 15 図 ダルチャの村 (対岸右) と対岸 (写真手前) の岩石崩壊の跡

ケイロンを過ぎて、ジスパで再び低変成度のインフラテチス帯 (ハイマンタ層群) 地域に入る。バガ川を横切ると、ハイマンタ層群 (インフラテチス) 中に貫入する 5 億年及び新生代花崗岩の大きな岩体がある。ジスパ花崗岩は S-タイプ過アルミナ質で、5 億 1200 万年 (+1600 万年) の年代が得られている (Frank et al., 1977)。

ダルチャはバガ川本流を離れて、バララッチャ峠に向かう支流の合流点にある (第 15 図)。ここではごく最近の巨大な岩石崩壊の跡が見られた。