

# IASPEI 国際会議ヒマラヤ巡検に参加して

楠瀬 勤 一郎 (環境地質部)

Kinichiro Kusunose

## 1. はじめに

1984年10月31日から11月まで インド アンドラ・プラデシュ州 ハイデラバートのインド地球物理研究所で IASPEI (国際地震学地球内部物理学協会) 地区大会が開かれた。著者は科学技術庁より派遣され この大会に出席した。大会では 地震予知とならんで ヒマラヤ衝突帯のテクトニクスがそれぞれ講演の1/4づつを占め 大きなテーマとして取り上げられた。これに関連して 講演会後にカシミール・ヒマラヤ パンジャブ・ヒマラヤ ガルワル・ヒマラヤ ダージリンヒマラヤの4コースの巡検が予定されていた。しかし 大会の開催当日にガンジー首相暗殺というショッキングな出来事があったため 種々のスケジュールが大幅に変化した。巡検は ダージリン・ヒマラヤのみ実施された。この巡検ではシルグリからダージリンまで ヒマラヤのフットヒルを登り さらに ティスタ溪谷ぞいに主としてレッサー・ヒマラヤを見学した。巡検参加者は次の通り。

巡検案内者: D. C. Chakravart 博士 (インド地質調査所ガントック研究所長) K. K. Roy 教授 (カルカッタ大学) D. Rao 博士 (インド地球物理研究所) 巡検参加者: P. Lefort 博士 (フランス) M. P. Searl 博士 (イギリス) A. Koirala 氏 (ネパール) D. R. Pant 氏 (ネパール) P. Molner 博士 (アメリカ) H. Lyon-Caen 博士 (フランス) J. D. Byerlee 博士 (アメリカ) G. Bunt ebarth 教授 (西ドイツ) Vacquier 名誉教授夫妻 (アメリカ) 筆者。

このうち Lefort 博士から Molner 博士までの6人は皆ヒマラヤを研究テーマとしており 巡検は9人の専門家と5人の観光客という感じで行われた。専門家集団のリーダーは Molner 博士と Lefort 博士であった。後で述べるような意見の違いが背景にあったため 専門家集団の間では巡検中盛んに熱水の存在や熱史について議論がかわされた。

## 2. 地震活動からみたヒマラヤ

IASPEI 地区大会では 主として地球物理的な側面からヒマラヤのテクトニクスについて論じられた。ここでは 特に地震活動からみたヒマラヤのテクトニクス

について簡単にまとめてみよう。

ヒマラヤの地質構造は ヒマラヤ山脈に平行な幾つかの地質構造区に分離できる。(例えば Gansser 1964) Molner (1984) は ヒマラヤの北限を チベット高原南縁に東西にのびた帯状をなすトランス・ヒマラヤ (Kangdese) 花崗岩帯 (パソリス) (1)におき 2) インドス・ツアンポ・スーチャ帯 3) テーチス・ヒマラヤ 4) グレーター・ヒマラヤ 5) レッサー・ヒマラヤ 6) ガンガ・ベーズンに分けている (図2)。

多くの研究者は ヒマラヤがインド亜大陸とユーラシア大陸の衝突によって造られたと考えている。この両大陸の衝突を示すように 地震活動がヒマラヤ山脈にそって大変活発であり 例えば 最近100年間にマグニチュード8.4以上の地震が4回もヒマラヤ地域に発生している。しかし 地震波記録は1960年頃から観測され始めただけで かつ 観測点間の距離も離れており (30°以上) まだ密な震源分布図を画けるまで至っていない。また 震度分布についても最近160年間の記録しかない。北西ヒマラヤについては 局所的な地震観測がつくれ熱心な研究が行われている (Armbruster et al., 1978; Seiber et al., 1984) がこの地域は大変複雑な速度構造をも最っているようである。残りの地域のうち 震源分布が最もよく求まっているように考えられるのは レッサー・ヒマラヤの Main Central Thrust (MCT) と Ma in Ba-

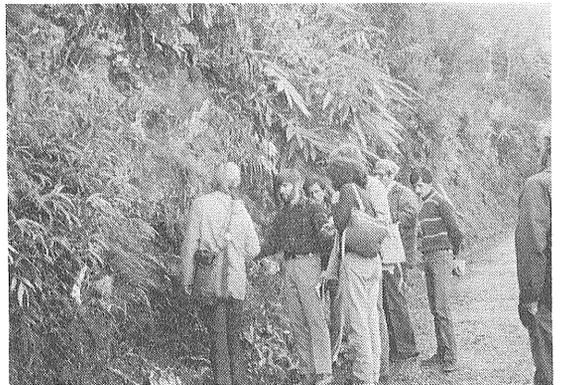


図1 巡検風景。露頭のまわりにいる専門家集団と少し離れて見物している Byerlee 博士。露頭で説明しているのは Molner 博士。

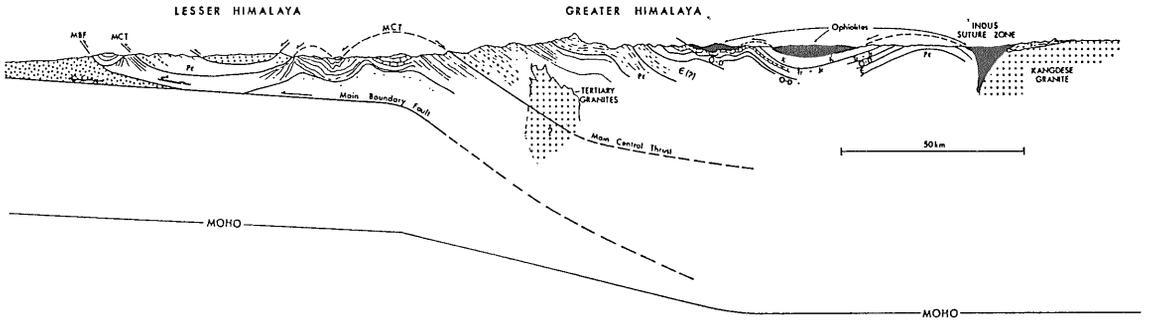


図2 ヒマラヤの地質横断面図 (Molner et al 1983) 浅い方の3 km は Kumaon ヒマラヤについて Gansser (1964) が出した図を参考にし Main Boundary Fault の形は Lyon-Caen & Molner (1983) によっている。

undary Fault (MBF) の間である。この範囲に生じる大部分の地震の震央は MCT のすぐ南に求まる。これらの地震の震源の深さは10-20km で北に約15°傾いた面上に分布しているように見える。また WWSSN (世界標準地震計観測網) の地震観測網にかかるような比較的大きな地震でかつその発震機構が分かっているものについては理論波形と観測波形を比較することによって震源の深さを求めることができる。このようにしていくつかの地震についてはその震源がレッサー・ヒマラヤの下15km あたりにあることがわかっている。

MBF と MCT が共に北落ちであると仮定すれば MCT は現在余り活動的ではなく MBF にそって多くの地震が発生しているように見える (Barazangi & Ni: 1984)。

地震の発震機構の節平面の一つは急な南落ち もう一方はゆるい北落ちをしめし MBF の傾斜と矛盾しない。Slip Vector はゆるくレッサー・ヒマラヤの下に潜り込んでおり その方向は MBF のローカルな走向に垂直で

ある。ヒマラヤの東部分では沈み込みの角度が数度 (<10°) しかないが西部分ではより急になる (20-25°)。この地域による沈み込みの角度の差異が東西での MBF の dip の違いによるものか他の原因によるものかは明らかになっていない。いずれにせよヒマラヤ地域に発生する地震活動は両大陸の衝突がまだ続いていることを表わしている (図3)。地震のサイスミック・モーメントや主要な断層を横切った測線での測量 活断層の変位などの調査から最近の衝突速度を推定する試みが行われている。Sinval et al (1973) や Armijo et al (1982) の推定によれば両大陸の取れんは10-20mm/year という速い速度で現在も続いている。

一方 グレーター・ヒマラヤの北に位置する テーチス・ヒマラヤの地震の発震機構はチベットの地震と同様 正断層をしめしており テーチス・ヒマラヤ地域の応力場が東西引っ張りであることを表わしている。テーチン・ヒマラヤの岩石は元来インドと Gondwana の一

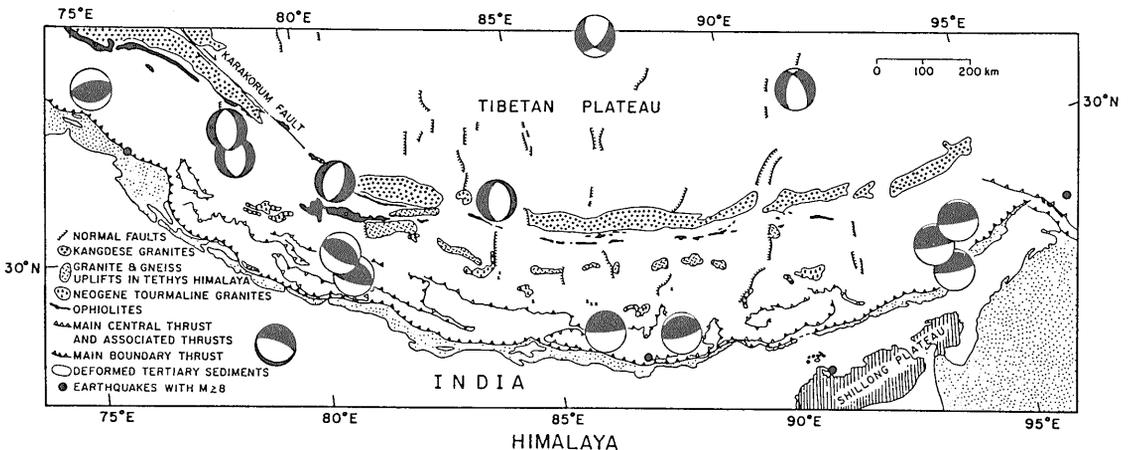


図3 ヒマラヤ地域で求めた地震の発震機構 MBF に沿った地震は低角逆断層を示し テーチスの地震は東西張力の正断層を示している。

部であったもので ユーラシア大陸側のものではないことが明らかである。しかし 地震の発震機構を見るかぎり現在のこの地域のテクトニックな応力場はチベットと同じであり テーチン・ヒマラヤの構造運動が現在ではヒマラヤとは別のものになっていることが分かる。

### 3. ダージリン・シッキム・ヒマラヤ地域の地質の概略

次に 巡検が行われたダージリン・シッキム・ヒマラヤ地域の地質の概略を述べてみたい。ダージリン・シッキム・ヒマラヤは 北ベンガルからチベット高原 カンチェンジュンガからパウフンリまでの南北約125km (北緯26°45'-28°10') 東西約100km (東経88°-89°) の範囲を指している。この地域の主要な都市であるダージリンは 標高2100mの小高い丘の上に発達しており カリンポは ティスタ溪谷を挟んで ダージリンの東51km 標高1250mの丘の上にある。シッキムの州都であるガントックは カリンポの北77km 標高2000mにある。Chakravorty & Roy (1984) によれば、この地域の地質構造は東西にのびる三つのユニットに分けることができる。

1) 最南端のユニットは 先の区分によるガンガ・ベーズンの堆積物に対応する 中新世-鮮新世モラセ堆積物であるシワリク層から成っている。このシワリク層は ヒマラヤのふもと丘陵に帯状に露出し ガンガ・ベーズンを埋め さらにインドブラットホームの第四紀-現世堆積物の下まで続いている。シワリク層群は北側で Main Boundary Fault (MBF) によって切れ突然終わる。

2) 2番目のユニットは ダージリン・シッキム・ヒマラヤ地域の大部分をしめ MBF からシッキムの北部にいたる。先の区分によるレッサー・ヒマラヤとグレート・ヒマラヤを支めることになるユニットである。この地域の最も古い岩石は 先カンブリア代とされるシッキム層群である。シッキム層群は次の3つに分けられる。最も変成度の高いダージリン片麻岩類は Bi-Ga-Sill 片麻岩などの高変成度変成岩類から成る。ダージリン片麻岩類の構造的下位には パロ亜層群があり 石墨片岩やコーツァイト等から成る。さらに この構造的下位には リンツェ片麻岩の薄い層がくる。この構造的下位のダージリン層群は コーツァイト 粘板岩 苦灰岩などのあまり変成されていない岩石からなっており 上部先カンブリア代とされている。構造的にさらにこの下に Gondwana 層群の著しく変形作用を受けたレキ岩 含レキ粘板岩 コーツァイト 質砂岩 炭質粘板岩 炭層

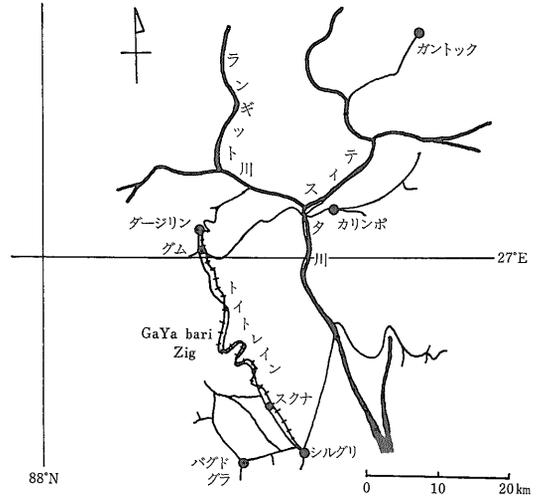


図4 巡検範囲 太線は川 細線は主要道路 シッキム領内は15万分の1の比較的良好な地図があるが西ベンガルには100万分の1の地図しかない。

がくる。表1はこの構造的上下関係に基づいてまとめられている。地形的にも地下深部にあったはずの高変成度変成岩類が高所にあり 構造的の下位の変成度が低い岩石が低所に分布する 逆転構造をなしている。

レッサー・ヒマラヤとグレート・ヒマラヤでは 東西方向の褶曲と 南北方向の褶曲が重ね合わさったベーズンドーム構造になっており 地形的にもそれが強く反映している。東西方向のシンフォームの二本の軸は カリンポーダージリンとカンチェンジュンガーパウフン

表1 レッサー 及びグレート・ヒマラヤの地層区分。これらは北から南へ(地形的には高い方から低い方へ)この順で露出する。

ほぼ北  
↑

シッキム層群 (岩石は先カンブリア代)	ダージリン片麻岩 パロ亜層群 リンシェ片麻岩
ダージリン層群 (先カンブリア代)	ゴルバサン亜層群 レヤン亜層群 ブクサ亜層群
ゴンドワナ層群 (古生代-中生代)	ランギット含れき粘板岩 ダムダ亜層群

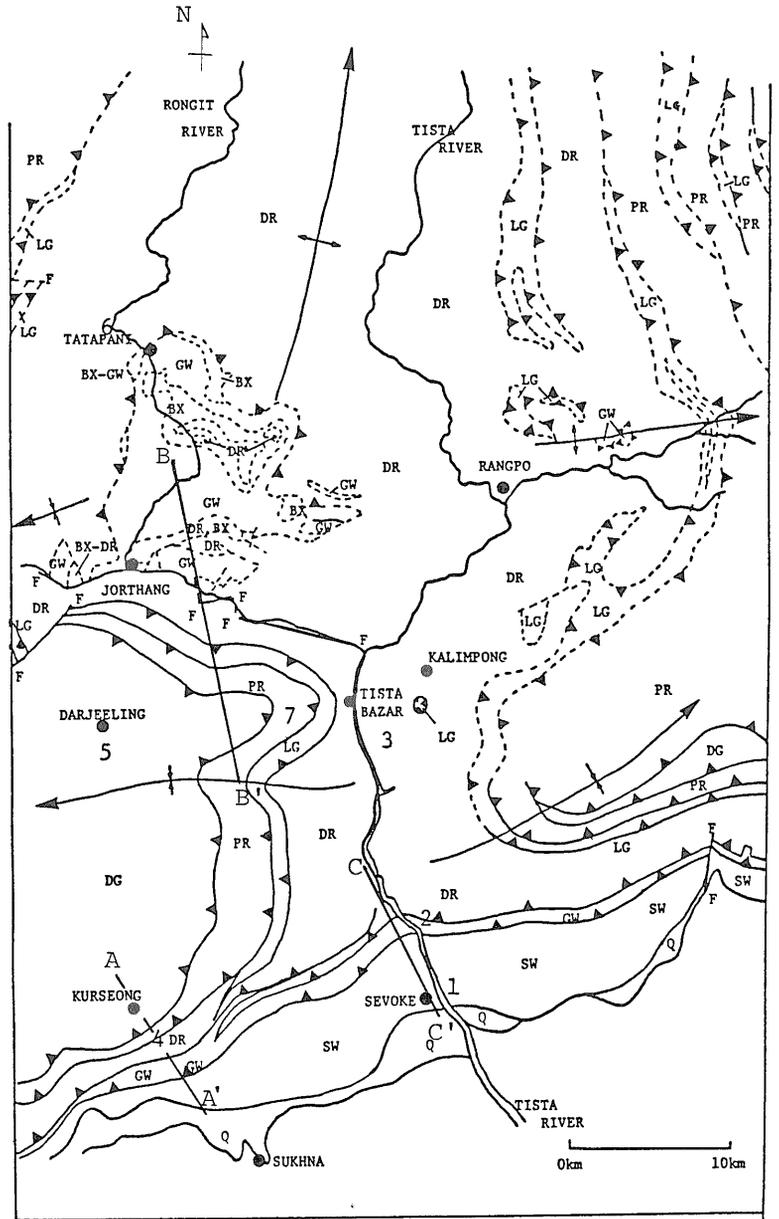


図5  
巡検案内書(Chakravorty & Roy, 1984) にのせられている シッキム・ダージリン・ヒマラヤ地質図。  
Q: 第四紀 SW: シワリク層群 GW: ゴンドワナ層群 DR: ダーリン層群 BX: ブクサ亜層群 LG: リンツェ片麻岩帯 PR: パロ亜層群 DG: ダージリン片麻岩帯

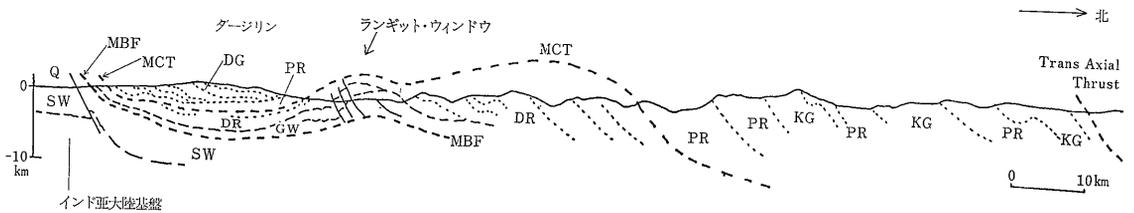


図6 シッキム・ダージリン・ヒマラヤ地質断面図(南—北) MCT の位置には 議論があつて定まらないところだが Chakravorty & Roy は ダーリン層群と シッキム層群(図では DR と PR の協会)の間にひいている。 図中 MBF: Main Boundary Fault, MCT: Main Central Fault, KG: カンチュンジュンガ片麻岩帯 他の記号は図5と同じ。

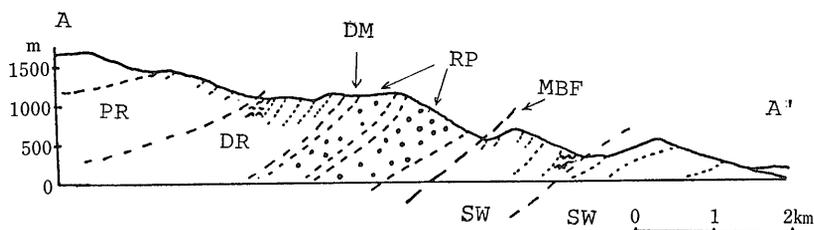


図 7  
ヒマラヤのふもとの丘陵の地質断面図(図5のA-A') RPはランギット含礫粘板岩層。

リを通り 南北のシンフォーム軸は カンチェンジュンガーダーズリンとパウフンリーカリンボを通っている。これらのシンフォームの帯によって シッキムの中央部にドーム構造が発達している。ダーズリン地域ではアンチフォーム構造に沿って ティスタ川が流れ ダーズリンとカリンボがある2つの小高い丘に分けている。

3) 最北のユニットはテーチス海にたまった堆積岩類である。シッキム領内最北部にわずかに分布し チベット高原のインダス・シアンポ・オフィオライトシューチャー帯までのびている。今回の巡検ではテーチス・ユニットには行っておらず ここについては 中島(1985)を参照してほしい。

このような魅力的なフィールドでの巡検ではあったが さて実際にどれだけのものを見て来たかとなると また話は別になる。

#### 4. 巡 検 報 告

講演会終了後 すぐに出発。カルカッタで一泊。バグドグラ空港到着後マイクロバスでヒマラヤの麓の丘陵をダーズリンまで登っていく。高度差は約2000m。インドとすれば窓もちゃんとしまる大変きれいなバスだが 当然のこと空調などない。シルグリからは有名なト



図 8 巡検案内書によれば MCT がここを通っているハンマーの柄の位置に石墨質岩石が顔を出している。

イ・トレインが道の横をのんびり走っていく。SLに興味がある観光客ならば別だが ダーズリンまで7時間もかかるのはとても実用的とは思えない。初めは比較的平坦なのんびりした風景がつづくが スクナでバスに給油し終わると道はしだいにけわしくなっていく。

しばらく山道を登ったところで シワリク層を見るため ちょっとした露頭の前に車がとまる。ここにでていたのは 風化した面はやや黄色っぽく 比較的粒度のそろった細粒砂岩で粒子の結合はあまり強くない。なかにまじっている白雲母がキラキラ光っていた。モラセとはこんなものかとひとかけら採ってカバンにしまいこむ。

少しのぼって 次に停ったのは Gayabarie 南東の小さな沢が道路を横切っている所。 Gondwana 層群と上部のランギット含れき粘板岩に ダーリン層群(先カンブリア代)の片岩類の岩層が衝上しているのを観察した。この Gayabarie 南東の観察点とシワリク層の露頭の間に MBF があるはずだが と思ったのも後のまつり この巡検中 とうとう MBF を見る事ができなかった。どうも素人には手におえないサイズの話だぞとこのあたりから心配になってきた。

この日最後に見たのは つづらおりの道を上がり切った Gayabarie Zig という所。シッキム層群のパロ匝層群の雲母片岩とダーリン層群が接している所で 巡検



図 9 ホテルから見たカンチェンジュンガ



図 10  
ダージリン片麻岩標識地.

案内によればここに MCTがあることになっている。衝上しているパロ亜層群の下盤には たいてい石墨質石層が伴われており ここでは それを観察した。

次の日は実質上お休みで 普通の観光旅行を半日させてもらい 残り半日は自由行動にしてくれた。観光客派の同室者の Buntebarth 教授は さっそく Byerlee 博士とごみごみした町にでかけ 趣味のジュエストーンを買ってきた。こんな調子なら楽だと思ったのが 後から思えば大間違いであった。ガンジー首相暗殺事件のため この巡検もいちどはすべてキャンセルされ 宿から飛行機の切符まで出発の直前に再び予約なおされたので Roy 博士はこの間 我々の帰りの切符を手配するのにおおわらわであったことを後で知った。

3日目は 朝3時半に起こされ タイガーヒルまででかけてカンチェンジュンガが朝日の反射で桃色に染まるのを見せられた。簡単な朝食の後 巡検に出発。Vacquier 名誉教授夫妻 おととい登ってきた道を ダージリンから約7km 下ったところにダージリン片麻岩(ジッキム層群)の標識地となっている採石場がある。ダージリン片麻岩は 白黒のバンディングがきれいな Bi-Ga-Sill 片麻岩であり 今回の巡検範囲では最も高変成度の変成岩で シッキムでは カンチェンジュンガ片麻岩と呼ばれている。

ヒマラヤではインド亜大陸が衝突した後に地殻の再溶融があったと考えられており この露頭を前に 専門家集団の間ではこの再溶融の熱源について議論がかわされていた。この再溶融の熱源について Le Fort 博士はすでにある程度暖かい上部プレートに水が加われば溶融温度が低下するため 別の熱源を考えなくてもよいと考えており (Le Fort: 1981) 一方 Molner 博士 (1983) は Main Central Thrast (MCT) 面上でのす

べりが始まって10m. year 以内に溶融が始まったか 下盤のプレートがシールドと同じ程度冷たく上盤の熱が下盤に奪われてしまう場合には MCT 面上での摩擦熱のような熱源が必要であると主張している。そこで 熱水の存在や熱史について 鉱物の組み合わせなどをもとにした議論がこのあとも巡検中ずっと続けられた。

ダージリン片麻岩の標識地をすぎてしばらく行くとグム (Ghum) という集落がある。ここでいままでの道からはずれてダージリン丘陵の東斜面を下る道にはいる。グムから5km ほど入ったところにミグマタイト的なダージリン片麻岩が観察できるところがある。このなかに Bull's eye と呼ばれているカルクシリケイト・ノジュールが伴って産出するといわれた。

ここをすぎて 山道はやがてとつぜん急な下り坂になる。ここがダージリン片麻岩とその下の片岩層 (パロ亜層群) の境だそうだ。雨季になると片麻岩帯にはよく大規模な地滑りがおきる。地滑りのあとを横目に見つつ 山道はここから一挙に1000m程おりていく。この道は 車の走ったあと 雲母の細かいチリが舞い上がって陽に反射し キラキラと輝く。

レプチ (Lepch) という部落をすこしすぎたところに茶園があり その手前の露頭にパロ亜層群の石墨片岩とコーツァイトがリンツェ片麻岩層の上ののっているのが観察できる。このリンツェ片麻岩層は 粗粒—ベグマタイト的なものから強い方向性を持ち片状構造を持つものまでバラエティーが広い。片麻岩層というのがこれには ざくろ石雲母片岩 フィロナイト (phylionite) グレーワッケ片岩などのより低変成度のダーリン層群の片岩類と数百mの間に交互に重なり合うような形で露出している。

リンツェ片麻岩帯に入ると道はよほどゆるやかになっ

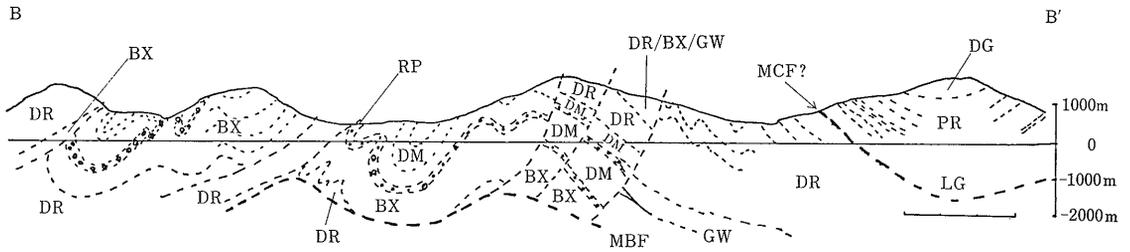


図 13 ランギット・ウィンドー地質断面 (図5の B-B') 図中記号は図5と同じ。

てやがて Pashok View point につく。小さな東屋があるだけで 店も便所もない。この露頭ではダーリン層のフィロナイト質緑泥石—絹雲母片岩が見られる。はるか下にランギット川とティスタ川の合流点が望める。川の向こうはジッキム。Tista Bazar でティスタ川を渡る。カリンボまで ダーリン層群の片岩類やコーツァイトが続く。カリンボから 来た道を引き返す。宿について7時。毎日標高差1500mを行ったりきたりさせられるのかと思うとしんどい。

4日目。6時前に出発。ダージリンを北上。きのうよりもさらに急な道を一挙に1500m近く下り ランギット川へ。ジッキム領内に入り ランギット川沿岸にタタパニまで北上。ランギット・ウインドーの観察。ここは地殻“深部”が地表に覆われているところと聞かされ 期待をしていたのだが 案内書の地質横断面図をみてはかなり複雑で 私にとっては ちょっといってすぐに分かるようなしろものではなかった。テクトニック・ウィンドウの中に ブクサ亜層群 (ダーリン層群の最上部) の石灰岩や Gondwana の石炭 始めの日におなじみになったランギット含れき粘板岩を見ることができ

た。この地域は ほぼ温度構造が逆転しているから より深く侵食された低地ほど 低温の岩石が出ることになる。テクトニック・ウィンドーにのぞく地殻“深部”とは一種のアイロニーである。この日の巡検の最後はランギット川の中にわきだしているタタパニ温泉。

巡検の最終日の5日目は ティスタ溪谷を下り ダーリン層群からシバリク層群までの露頭を観察する。少しはヒマラヤの石にもおなじみになったから きょうこそ MBFが見られると いきごんで出発。3日目と同じルートでティスタ川まで降り 川を渡らずに ダージリン丘陵の縁を南下。ダーリン層群の岩石が強い変形作用をうけている様子を幾つかの露頭で観察。

Geilkhola 南で ダーリン層群の緑色片岩を見 Reyang 休憩所手前の露頭ではレヤン亜層群 (ダーリン層群) のプロト・コーツァイトの横がしゅう曲を見た。Kali-K-



図 11 片麻岩層と片岩層の境は 山の地形の変曲点となっている。

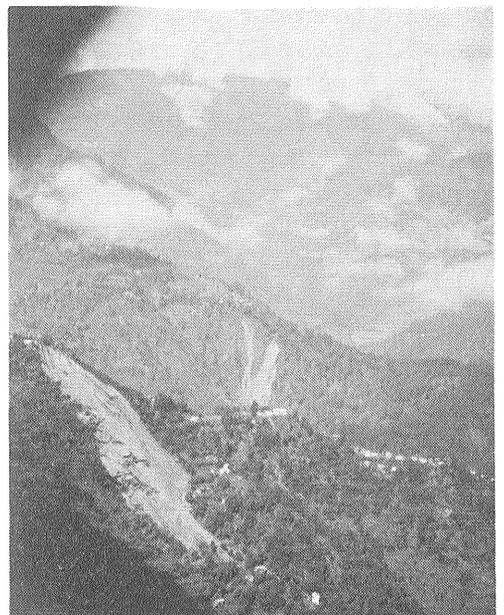


図 12 雨期になると片岩層のところで大きな地すべりをひきおこす。

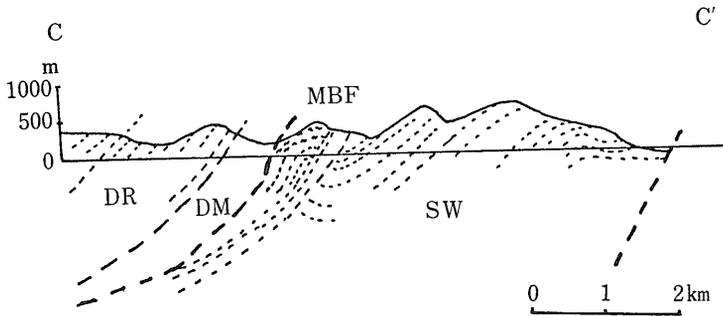


図 14  
ティスタ溪谷沿の地質断面図 (図 5 の  
C-C') 図中記号は図 5 と同じ。

hola の南にある露頭では 細粒砂岩 シルト岩 泥岩  
及びマールからなるスワク層群が著しく変形・褶曲して  
いる。 ティスタ川対岸にシワリク層群に衝上している  
ダムダ垂層群のせん断変形を受けた炭層がみえるといわ  
れたのだがよくわからなかった。 しかし ころへん  
をMBFが通っているはず。

少し下って Adheri Khola Halt 南で見た シバリ  
ク層群の花崗砂岩 (アルコース) は大変粗粒で 一部れき  
質かられき岩になっていた。 れき岩の斜層理の発達し  
たルーズな岩石を前に 著しい岩石の変形が激しい変動  
を暗示する造山帯主要部の世界が終わったことを実感し  
た。 この先 Coronation 橋から下流を見れば 溪谷のす  
ぐ先にベンガルの低地がひろがっていた。

#### 文 献

- Armbrust, J., L. Seeber, K. H. Jacob, (1978), The North-  
western Termination of the Himalayan Mountain  
'A Front: Active Tectonics from Microearthquakes,  
J. Geophys. Res., Vol. 83, 269-282.
- Armijo, R., P. Tapponnier, J. L. Mercier, T. Han, (1982),  
A Field Study of Pleistocene Rift in Tibet. Eos, Trans.  
Am. Geophys. Union 63, p. 1093.
- Barazangi, M., and J. Ni, (1984), Seismological Constrai-

ins on the Tectonics and Evolution of the Himalaya  
Arc and the Tibetan Plateau, IASPEI Regional Assem-  
bly 1984, Abstract p. 228.

Chakravorty D. C. and K. K. Roy, (1984) Geology of  
Darjeeling-Himalaya, Guide to Excursion E4.

石原舜三 (1985), チベット-ヒマラヤ衝突帯の花崗岩類 地質  
ニュース Vol. 374, p. 6-17.

Le Fort, (1981) Himalayas: The Collided Range. Present  
Knowledge of the Continental Arc, Am. J. Sci. 275-  
A, p. 1-44.

Molner, P., W. P. Chen, E. Padovani, (1983), Calculated  
Temperatures in Overthrust Terrains and Possible  
Combinations of Heat Sources Responsible for the  
Tertiary Granites in Greater Himalaya, J. Geophys.  
Res. Vol. 88, 5375-5384.

Molner, P., (1984) Structure and Tectonics of the Hima-  
laya: Constractions and Implications of Geophysical  
Data, Ann. Rev. Earth Planet. Sci. p. 489-518.

中嶋輝允 (1975), ヒマラヤの海とその消滅-その 1, 地質ニュ  
ース Vol. 376, p. 33-45.

Seeber, L., J. C. Armbruster, R. C. Quittmeyer, (1984),  
Seismicity and Continental Subduction in the Hima-  
laya Arc, Zagro-Hindu Kush-Himalaya Geodynamic  
Evolution, Edit. by H. K. Gupta and F. M. Delany,  
American Geophysical Union, p. 215-242.

Sinhal, H., P. N. Agrawal, G. C. P. King, V. K. Gaur,  
(1973) Interpretation of Measured Movement at a  
Himalayan (Nahan) Thrust, Geophys. J. R. Astron.  
Soc. Vol. 34, p. 203-210.

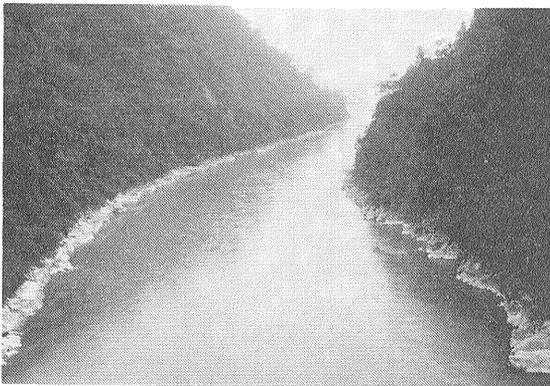


図 15 Coronation 橋から下流を見る。 溪谷の向うは  
ベンガル低地。