

ブータンとその周辺の地質 (1)

—その概要と問題点—

茂木 睦¹⁾

I. 今までの調査

東部ヒマラヤは地質調査のための立ち入りが政治的・物理的に難しいため、地質データは少ない。ブータンの地質についても19世紀から20世紀の中頃までは、石炭など資源地質的な調査が散発的に行われていたに過ぎない。インド地質調査所(以下GSIと略称)は1961年にブータン南西端の町サムチ(Samtse)にブータン支所を開設し、以後約20年間は基礎的な地質調査をすすめてきたが、調査結果は部外秘としてほとんど公表していない。GSIは現在、鉱物資源探査のボーリングを主業務としている。そのほかの初期の貢献としては、Gansser(1964, 1983)の業績がある。このようにブータンの地質調査は、主に外国の地質家によってすすめられてきた。

これまでブータンについては、50万分の1の縮尺で4種類の地質図が公刊されている。

最初の地質図は、GSI(1983)のGeological and Mineral Map of Bhutanと、同じ年に出版されたGansser(1983)の地質付図である。前者では広大な北部山地が未調査で白く残されたが、後者によって北部山岳地帯の空白はほぼ埋められた。しかし、後者の地質図に示された北部の変成岩中の石灰岩は、珪岩や優白色花崗岩を誤認したものがかなりある(Davidson et al., 1997)と指摘されている。

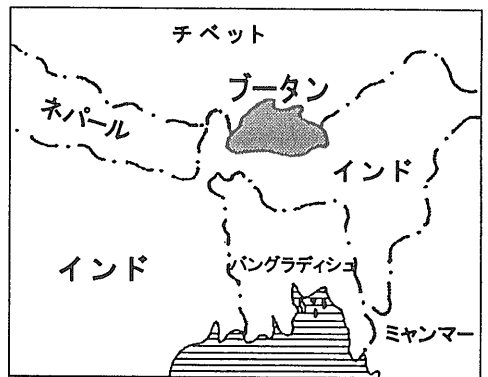
これら二つの地質図の主な相違点は、Gansser(1983)がブータン中央部のブラックマウンテン(Black Mountain)山地(第5図中央のBHUTANの国名付近)のチェカ(Chekha)層を、変成岩類のメンバー(パロ層)と扱っていることであるが、これについては別項で議論する。いずれの地質図も東

部から中央部ブータンにかけての地質は、Jangpangi(1974, 1978)とChaturvedi et al.(1981, 1983)の地質分布を、ほぼそのまま踏襲している。

1991年になって、ESCAPから鉱物資源アトラスとしての地質図(ESCAP(1991)、インドではAnon(1991)として引用される)が説明書とともに公刊された。邦文では富樫(1995)の工業原料鉱物資源についての報告がある。

最も新しい地質図は、1997年にゲラ刷りを校正して1995年付けで出版されたGSIのSpecial Publication, No. 39(Bhargava, 1995)の付図である。この地質図は観念先行型の地質図で、主中央衝上断層(Main Central Thrust: 以下MCTと略称)の下位の地層は岩相の如何にかかわらずシュマール層とするなど多くの疑義があり、GSIの中からも反論のプレプリントが出回っていた。

なお、インドでは1978年の論文で1979年の他誌の論文を引用していることもあり、Himalayan Geologyの1981年版(Vol. 11)はissued 1983と奥付に書いている。この場合引用文献のリストには(1981)



第1図 ブータン位置図。

1) 元ブータン地質調査所, JICA専門家:

〒157-0062 東京都世田谷区南鳥山2-7-11-306

キーワード: ブータン, 東部ヒマラヤ, パロ層, テチス, レッサーヒマ
ラヤ, メランジ, シワリク, 第四紀変動, 地質, 地形

と書かれることが多いが公刊年の(1983)を書く人もいるので、前後2年間の雑誌にあたらないと原著を見られないことがある。

著者は1997年から2001年にかけて3年間あまりブータンに滞在し、ブータン地質調査所の活動を軌道に乗せる仕事に従事した。ここではその間の調査結果と入手した資料とを総合し、東西に隣接するインドのアルナチャルプラディッシュとシッキムなどを含め、ブータンを中心に東端部ヒマラヤの地質を概観する。

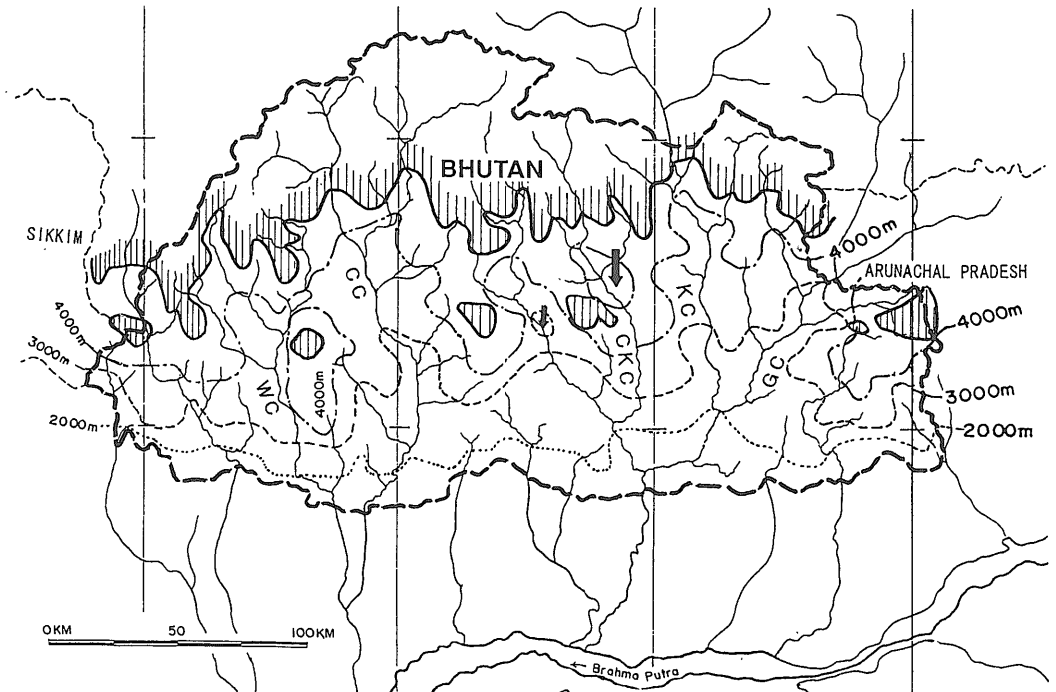
II. ブータンの地形

ブータンは東部ヒマラヤの南面に位置し、チベットとインドに挟まれている(第1図)。東西約330km、南北約180km、面積は46,500km²、人口は58万2,000人(1994年)である。チベット仏教の地域にあるが、チベットとシッキムがそれぞれ大国に併合されたため、侵略されずに残っている唯一の密教王国である。

ブータンで標高が最も低い地点は南部中央のイ

ンド国境で、5万分の1地形図に107mの標高が記されている。また最高点は中央北部の国境にある名峰クーラカンリ(Kulha K(G)angri)で7,554mである。そのほか西部国境にはジョモハリ(Jomolhari, 7,316m)がある(表紙)。ブータンの主要部については高田(1992)による地形概説がある。その後Motegi(1998)はブータン全域にわたる接峰面図から、3,000m、4,000m、5,000mの各等高線が、西から東にゆくほど北にシフトする傾向があることを指摘し、西部の隆起量が東部よりも大きいことを示すと解した。

水系についてみると、ブータンではチベットから流れてくる先行河川は東部のクルチュウ(Kuru (i) Chhu : Chhuは水・川をさすが本稿では川の意、第2図のKC)と東端部のガムリチュウ(Gamri Chhu, 第2図のGC)だけで、ほとんどの川はヒマラヤ山脈の南側だけを流れている。また、ネパールではシワリク山地の北側でいくつもの川が合流してインド平原に出ているが、ブータンの川は変成岩地帯からブラマプトラ河にいたるまで、大きな屈曲も合流もなく南に流下している。シワリク層が地表に露出して



第2図 ブータン水系図(等高線はMotegi, 1998の接峰面図から作成。縦線範囲は5万分の1地形図で判読した氷河周辺地形の範囲)。河川名の略号: CC=チャンチュウ, CKC=チャムカルチュウ, GC=ガムリチュウ, KC=クルチュウ, WC=ワンチュウ。

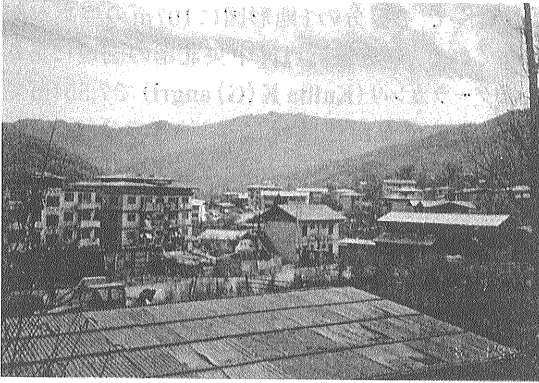


写真1 首都ティンブーからサウザンドレイクがある標高4,200mの準平原を南に見る。

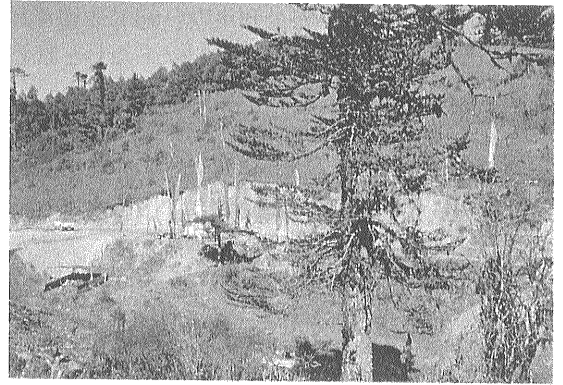


写真2 ウォンディポダン(第5図のW)の東方の峠, ペレラ(3,350m)では緩斜面の山稜に厚い風化帯と森林がみられる。

いない地域があることや、シワリク山地の最高点がネパールでは1,500mを越えているのに対し、ブータンではせいぜい500mであることなどから、ブータンでは川をせき止めるようなシワリク層の急激な隆起はまだ始まっていないということになる。

山地についてみると、ネパールヒマラヤとブータンヒマラヤの高峰の標高差は1,000m程度であるが、標高3,000mないし4,000mの山地の地形にはかなりの違いがみとめられる。ネパールヒマラヤの3,000mを越える尾根では、風化帯が削剥されて堅硬な基盤岩が露出していることが多いのに対し、ブータンヒマラヤでは標高3,800mから4,500m付近に氷河周辺地形が顕著な準平原があり、4,000mに近い尾根にも厚い風化帯をもつ緩傾斜面が残っていて、うっそうとした森林がみられるなど、隆起が先行し浸食が後追いしているようにみられる(写真1, 2)。

このように、シワリク層が地表に露出していない地区がある、川をせき止めるようなシワリク層の急激な隆起はまだ始まっていない、4,000mに近い尾根の上に風化帯が浸食を免れて残っていることなどは、ブータンヒマラヤの隆起運動の時期が新しいことを示しているものであろう。これに関連して茂木(1997)は、ネパールからブータンまでの主中央衝上断層帯を比較して、ネパールのMCT帯にはより深部の構造が露出しているが、ブータンではMCT帯の浅部が露出していることを指摘して、ブータンの隆起は“slow or recently started uplifting”であろうと述べている。

Ⅲ. ブータンの地質構造

ブータンは、西はシッキムを隔ててネパールに、北はテチスの堆積岩が分布するチベットに、東はインドのアルナチャルプラディッシュに接している。

ブータン全域の地質を巨視的に見ると、ほかのヒマラヤと同じく、北からテチス堆積岩類、ヒマラヤ変成岩、および優白色花崗岩からなるグレーターヒマラヤ(高ヒマラヤ)帯、先カンブリアから二畳紀までの変堆積岩からなるレッサーヒマラヤ(低ヒマラヤ)帯、その南側のシワリク層からなるサブヒマラヤ帯と分布している(第3図)。

しかし、ブータンではレッサーヒマラヤの変堆積岩類は山麓沿いに帯状に細長く分布しているだけであり、したがって片麻岩はインド平原からあまり遠くない所まで幅広く分布している。また山麓にシワリク層群が分布する範囲は約70%であり、山麓延長の約30%ではレッサーヒマラヤの変堆積岩類が直接インド平原の第四系に接している。

さらに、ブータン中央部においては片麻岩を覆うテチス堆積岩類がインド平原から約13kmの地点まで、大きく南に張り出している。このテチスの分布を規制しているのは南北系の大きなグラーベンと予想しており、一部の地区では南北系の断層が最新期の優白色花崗岩を切っている断層を確認している(口絵2)。

このような点が、ネパール以西のヒマラヤの地質構造との主な違いである。

ブータン南西部の地質、とくにMCTの位置につ

いては第4図に示したような異論がある。GSI (1983)やGeological Survey of Bhutan (2001) (以下GSBと略称)などの地質図には、片麻岩帯の中に細長く分布する変堆積岩が図示されているが、MCTは第4図の下に示したようにインド平原に近い山麓に引かれている。

一方、Shanker *et al.* (1989)の地質図(第4図の上)ではこれらの変堆積岩を含めて、シッキムの南半部からブータンのパロ地区(第5図のPr)までをレッサーヒマラヤと図示しており、MCTはブータン中部から西部にかけて大きく北に張り出している。

この場合はレッサーヒマラヤの変堆積岩の中に、ブータン南西部からダージリンまで分布している片麻岩が含まれていることとなるが、レッサーヒマラヤの変堆積岩類の中には各所で10数億年の岩石が“tectonic enclave”として取り込まれており、その存在についての異論は見あたらない。

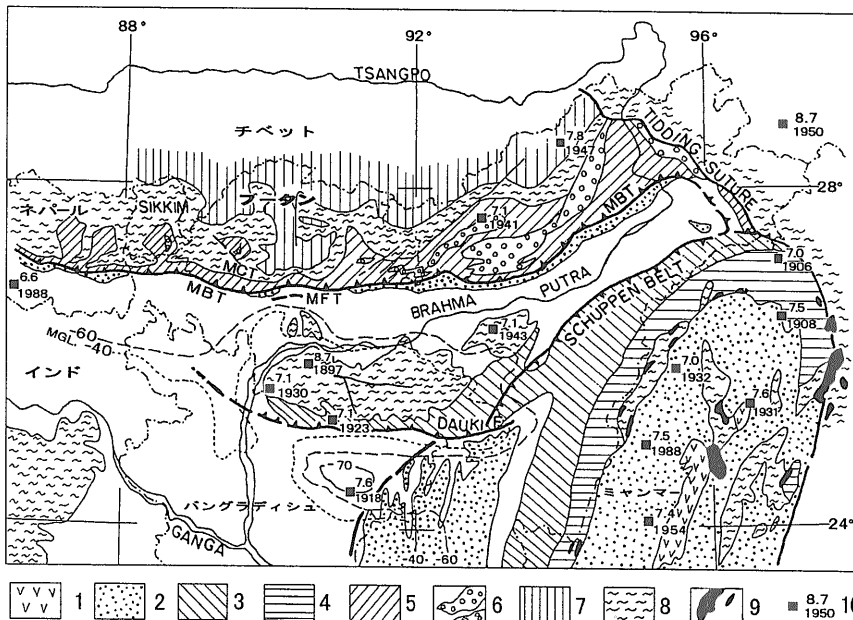
Gansser (1983)はダージリン片麻岩の岩相はブータン北部のタクツァン片麻岩に類似すると述べており、ブータン南西部やダージリンには変成度が異なる片麻岩が隣接して分布していることを示唆している。このようにShanker *et al.* (1989)の見解は

Gansser (1983)の記載に整合的な地質構造であり、十分な検討が必要と考える。

しかし、この地区については著者の調査が充分ではないので本稿では第5図のように従来の考え方を踏襲した。

Valdia (1980)はヒマラヤで最も重要な構造としてMCTと主境界断層(Main Boundary Thrust: 以下MBTと略称)をあげ、MCTについては高ヒマラヤの結晶質岩類と低ヒマラヤの堆積岩類を分ける断層であるが、相当する断層は2本あり各地で異なる名前が付けられているとして、どれが本来のMCTかという立場で議論している。またMBTはシワリクの褶曲に伴う多数の衝上断層のひとつであるとしている。

MCTは、その位置や数については議論がある(Acharyya, 1980)が、ヒマラヤの西から東に向かってより多数に分岐している(茂木, 1997)。またAcharyya (1980)は、MCTの両側の変成度の差は西隣のダージリンやシッキムでは明瞭であるが、ブータンではさほど明らかではないと述べている。茂木(1997)はこれを浸食レベルの差であるとし、ブータンではMCT帯の浅い部分が露出していること



第3図 東部ヒマラヤ・インド東北部地質構造図。1=火山・深成岩複合体、2=新第三系、3=白亜紀～古第三系、4=オフィオライト帯、5=レッサーヒマラヤ変堆積岩類、6=Tectonic Enclave、7=テチス堆積物、8=片麻岩帯、9=超塩基性岩、10=震央(マグニチュード・年)、等重力線はNandy (1986)による。



写真3 ウォンディポダン南50km, チャンチュウ右岸の道でみられるMCT. 上は眼球片麻岩, 下はシュマール層の珪岩であるがここでは変成相を欠いている. (Koike, 2001bの原図, 小池撮影).

に起因すると解した. ブータンでは変成度の差が明瞭ではないため, 分岐した個々のMCTの追跡は最下位のMCT(写真3)を除いて至難である.

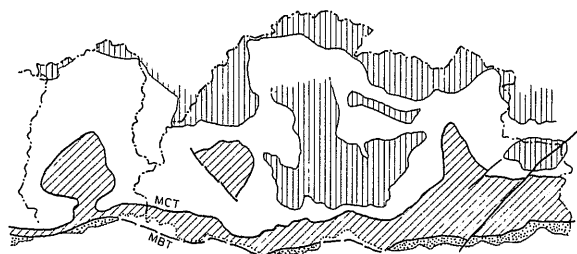
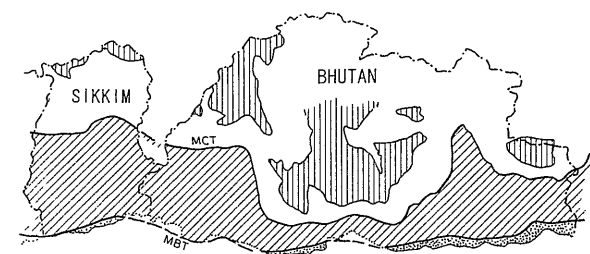
また, もうひとつの大断層のMBTはブータンとインドの国境の山麓にあり, 茂木(2000)はブンツォリン付近のMBTを写真で紹介して“活発に動いていると見られる”とし, 茂木(2001)ではピギーバック構造を紹介し, 本報文で図示した(第5図). さらにその西方延長部を5万分の1の地形図上で見ると, 明瞭な水系異常が認められるので, MBTはインド平原の扇状地に変形を与えていることは確実である.

MCTとMBTの東方延長をみると, 10Maから20Maの間に活動を終えた(Molnar, 1986)とされるMCTは, ヒマラヤの片麻岩とともにアルナチャルプラディッシュの東端でTidding Sutureによって切られている(第3図).

MBTの東方延長についてみると, ビルマ国境近くでTidding Sutureの西側にレッサーヒマラヤの変堆積岩が図示されている(Kumar, 1997)ので, MBTはTidding Sutureと平行に南東方向に向きを変えて平野の下に伸びているものと推定される. Molnar and Tapponnier(1978)の図ではMBTはさらに南西に向きを変えて, 南傾斜で北に衝上する断層帯に連続するように図示されている. Desikachar(1999)はこの衝上断層帯をSchuppen Beltと呼んでナガ(Naga)山地の北麓をかぎる構造線として図示している.

ほかの断層系をみると, 東部ブータンにはヒマラヤでは例外的な北東-南西系の断層が記載されており(Jangpangi, 1974), 東隣のアルナチャルプラディッシュではこの断層の延長部に片麻岩とレッサーヒマラヤ変堆積岩の境界が引かれている. Kumar(1997)はこの境界を急傾斜のMCTとしているが, 急傾斜であることとその位置から見れば, ブータンで認められた北東-南西方向の断層の延長部と考えたい.

さらにブータン西部のパロ地区では, レッサーヒマラヤの変堆積岩の西側が北西-南東方向の断層



- 1
- 2
- 3
- 4

第4図

東部ヒマラヤのMCTの位置の二解釈.
1=テチス堆積物と優白色花崗岩,
2=片麻岩帯, 3=レッサーヒマラヤ変堆積岩類, 4=シワリク帯.

で切られているとみられる。このほかに、ブータン中央部ではグラーベンをつくっていると見られる南北系の断層があるので、大きく見ると三方向の断層が認められる。

ブータン中央部山麓にある国境の町、ゲレフ(Geylegphu, 第5図のG)ではMBTが北に湾入している。その南方約40kmには、Gansser(1983)が“(ブラマプトラ河南岸の)シロン楯状地から北西に突出した”と述べた変成岩の丘陵が、ゲレフの南方約40kmの平原に点々と分布している。それらの中間の平原にはNakata(1972)が記載した扇状地を南に傾動させている東西系の活断層がある。第四紀変動のところで議論するが、傾動ブロックの北端は北向きの急崖で扇状地と接しており、これで見るとかぎり断層は北落ちである。

Motegi(2001b)はこの地区の地質構造について議論し、ゲレフにおけるMBTの湾入や、この地区だけに見られる扇状地を切る活断層の存在、さらに前項で述べた三方向の断層系を考えた場合、次に議論するように、シワリク帯に付加されつつあるシロン山地の衝突による局所的な南北の圧縮を考える必要があるとしている。

Nandy(1986)の重力図にはシロン山地の南側に東から延びてくる顕著な低重力異常が示されており、Desikachar(1999)は重力異常の中心を“Subsiding Suma Basin”として図示している。この低重力異常はシロン山地の西から南西にかけても、山地を取り巻くように入り込んでいる(第3図)。このことは、シロン山地の基盤岩体はインド亜大陸からほとんど切り離されていて、その割れ目が新期の堆積物で満たされていることを示すと解される。つまり、この重力構造は、シロン山地がインド亜大陸とヒマラヤとの間の新期の堆積物の中に浮いている状態にあって、シワリク帯に付加されつつあることを示すと考えられる。

シロン山地の地震についてはKayal(1996)が、USGSとISCのデータを用いて1964年以降の北東インドの地震を検討している。その図によればマグニチュード4.5以上の地震が集中するゾーンは、アルナチャルプラディッシュから西南に伸びてシロン山地に連続しており、MBTには沿っていない。また、ほぼ同じ面積のブータンとシロン山地について図示された地震を数えると、マグニチュード4.5を

超える地震はシロン山地で56個あるのに対し、ブータンで12個が図示されているにすぎず、地震活動の中心はシロン山地にあることを示している。

第3図にはKayal(1996)の図からマグニチュード7.0以上の震央と1988年の東部ネパールの地震(M=6.6)を示してあるが、単純に大地震の震央を結ぶとアルナチャルプラディッシュからシロン山地をへて東部ネパールに続いているように見える。これらの地震活動を考えると、大地震が発生するようなヒマラヤ南縁の衝上断層の活動は、ブータン付近ではすでに約180km南のシロン山地の南縁に移っていると解される。

さらに、池田(1980)によればChen and Molnar(1977)はシロン山地南縁の断層(Dauki Fault)は北へ傾く低角の逆断層であるとしている。これらの、シロン山地南縁で北へ傾く低角の逆断層の存在や重力構造を考え併せると、シロン山地はヒマラヤに衝突しつつある陸上の付加体プリズムであろうと考えられる。

なお、シロン山地の西半部では1897年にマグニチュード8.7の地震があり、1923年と1930年には、それぞれマグニチュード7.1の地震が起きている。1897年の地震ではシロン山地南縁の断層とほぼ平行な地震断層がシロン山地北部に出現したほか、北北西-南南東方向の断層もこの地震で形成されたと報告されている(Kayal, 1996)。

South Tibetan Detachment System (STDS)については、ブータン中部のテチス堆積岩類のなかに、ほぼ水平で上盤が北に滑っている断層が記載されている(Motegi, 2001a)。この断層の下盤は優白色花崗岩がシート状に入っている珪質岩で、上盤は薄層理が発達する砂質岩、薄層理石灰岩である。これらの地層は後述する下部古生代のワチラ(Wachi La)層と考えられる。この断層はおそらくSTDSの一部に相当するものとみられ、最も南で観察できるSTDSであろう。

IV. ブータンと近隣地区の地質

1 概要

著者はブータンとその周辺の地質を概観するために、以下の8地質単元にまとめて西のシッキムから東のアルナチャルプラディッシュまでの範囲につ

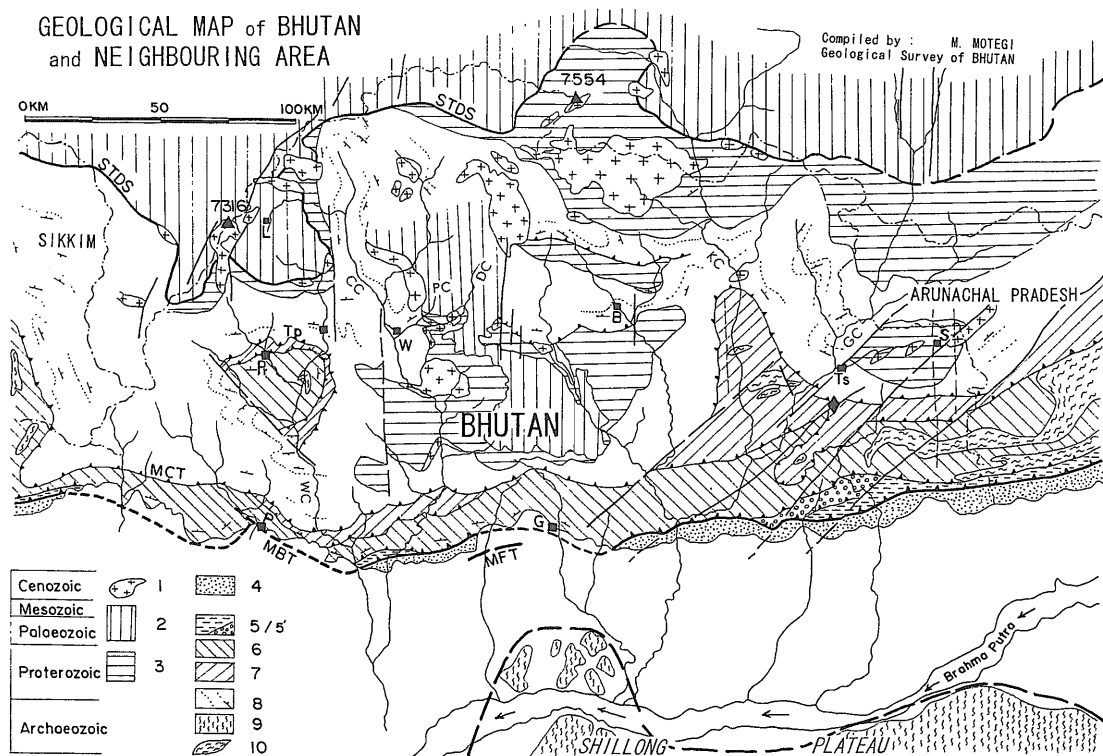
いて100万分の1地質図をコンパイルして公刊した (GSB, 2001). 第5図はその一部である.

MCTの上位にありupper nappeとも呼ばれるグレートヒマラヤに分布する地層は、地質時代の古い方から1) 変成岩類, 2) それを覆っているテチス堆積岩最下部のチェカ層, 3) その上の含化石テチス堆積岩類, 4) 優白色花崗岩類と4区分した.

MCTとMBTに挟まれてlower nappeとも呼ばれるレッサーヒマラヤについては変堆積岩類を3区分し, 5) シュマル層と6) バクサ層群のほかに, 7) 二畳系の含礫粘板岩のディウリ層・含石炭層のダムダ層・海成二畳系のセティコーラ層をゴンドワナ層群として一括した. これらに山麓の70%に分布する8) シワリク帯を含めて8つの地質単元として100万分の1地質図をまとめた.

ここで新しく提起された解釈は次の通りである.

- 1) 片麻岩に挟まれている変堆積岩や結晶片岩は、今まではすべてパロ層と呼ばれてきたが、模式地のパロ地区 (第5図のPr) に分布するパロ層は、片麻岩に囲まれている地窓に分布するレッサーヒマラヤの変堆積岩類と判明した. したがって、パロ層の名称はパロ地区の変堆積岩に限ることとし、ほかの地区に分布している片麻岩中の変堆積岩とは区別した. 片麻岩中の変堆積岩については調査が不充分である.
- 2) テチス堆積岩最下部のチェカ層と、レッサーヒマラヤで見かけの最上部にあるシュマル層は、岩相も層序も類似している. さらに、東隣のアルナチャルプラディッシュでは両者は同一の地層と考えられており (Kumar, 1997), ブータンでも両者を同じ地層とする見方が個別に提唱されてきている. 本稿では同一の地層と考えた.
- 3) レッサーヒマラヤの変堆積岩の中に分布してい



第5図 ブータン周辺地質図 (GSB, 2001の一部). 1=優白色花崗岩, 2=含化石テチス, 3=先カンブリアのテチス, チェカ層, 4=シワリク, 5/5'=ゴンドワナ層群, 6=バクサ層群, 7=シュマル層, 8=片麻岩帯, 9=シロン山地, 10= Tectonic Enclave (◆はバルソン層の位置を示す). 地名の略号: B=プムタン, G=ゲレフ, P=プンツォリン, Tp=ティンプー, Ts=タシガン, W=ウォンディボダン, L=リンシ, Pr=パロ, S=サクテン. 河川名の略号: CC=チャンチュウ, DC=ダンチュウ, GC=ガムリチュウ, KC=クリチュウ, PC=ペチュウ, WC=ワンチュウ.

る片麻岩状の両雲母花崗岩は、接触変成作用が認められないため構造的に取り込まれた変成岩と考えられており、一般に tectonic sliver、大きな岩体は tectonic enclave と呼ばれている。アルナチャルプラディッシュでバソリス規模の貫入岩とされてきた花崗片麻岩は、周囲の岩石よりも年代が古いので、レッサーヒマラヤに取り込まれた tectonic enclave と判定した。

これに関連してシッキムで変成岩地帯の南部にあるダージリン片麻岩やブータン南西部の片麻岩は tectonic enclave の可能性があるかもしれないことは前述した。

4) レッサーヒマラヤの変堆積岩は、北側(見掛けの上位)の先カンブリア紀のシュマール層から、上部 Riphean から Vendian とされるバクサ層群、その南の二疊紀の各地層と南に行くほど地質時代が若くなっており、全体として逆転している。今までのバクサ層群の層序は、見掛けの累重関係で記載されているものがあり、研究者によって同一の地層名を使いながら上下関係が逆であったりして混乱がみられたが、本稿では今までの見方を整理して北から南へ地質時代の順に地層を記載した。

2 グレーターヒマラヤの地質

2.1 概要

MCTの北側で、upper nappe と呼ばれるグレーターヒマラヤを構成する地層を大きく分けると、地質時代の古い方から、変成岩類、それを覆っているテチス堆積岩類(無化石のチェカ層と、その上の含化石テチス堆積岩類)、およびテチス堆積岩類の下部に貫入する優白色花崗岩類とに分けられる。これらはヒマラヤの他の地域と同様に、北部にテチスが分布し、その南に変成岩類があり、花崗岩類は主に両者の境界部付近に貫入している。ブータン中部では南北系の断層によるグラーベンが形成されており、テチスはインド平原から約13kmの地点まで、張り出して分布している。

変成岩類は Nautiyal *et al.* (1964) が片麻岩を主とするティンブー(Thimphu)層群と、結晶片岩・変堆積岩を主とするパロ(Paro)層群とが衝上断層で繰り返しているとして以来、片麻岩に挟まれている変堆積岩や結晶片岩はすべてパロ層と呼ばれてき

た。最近の調査では、石灰岩など片麻岩に挟まれた変堆積岩の存在は疑いないが、模式地とされたパロ地区の変堆積岩は、片麻岩に囲まれた地窓に分布しているレッサーヒマラヤの地層と判明している。また、各地で変堆積岩とかパロ層とされてきた片麻岩に挟まれた地層の一部は、変成作用を受けたチェカ層を誤認している場合も多いとおもわれる。

片麻岩とチェカ層との関係は、多くの場合は変成漸移(metamorphic gradation)とされており、現地調査でも明らかな構造的境界や不整合はみられない。

テチス堆積岩類の最下部のチェカ層は無化石で最上部の先カンブリアとされており、広く分布している。化石を産するテチスは下部古生代から上部古生代の地層が分布するブータン中部のブラックマウンテン地区と、上部古生代から白亜紀までの地層が分布するブータン北西部とが調査されており、ブータン北西部のテチスは隣接するチベットとの対比がおこなわれている。北部高山地帯の含化石テチスは資料に乏しい。

変成岩類とテチスの境界部には優白色花崗岩(電気石花崗岩)が貫入している。後述のようにブータンの優白色花崗岩については11Maから15Maまでの年代が報告されているほか、ブータン東端からアルナチャルプラディッシュに伸びる29Maの電気石花崗岩体もある。

2.2 変成岩類

(1) 概要

ブータンの変成岩類は Nautiyal *et al.* (1964) 以来、カヤナイト、シリマナイト、ザクロ石片麻岩を主とするティンブー層群と、石灰岩を含む結晶片岩・変堆積岩からなるパロ層群とが、いくつもの衝上断層で繰り返しているとされてきた。これらの地層はMCTによってレッサーヒマラヤの変堆積岩類に衝上しているのでupper nappe と呼ばれることもある。

Gansser (1983) は各地区ごとに片麻岩を記載し、観光名所の岩壁上のタクツァン寺院(写真4)を模式地とする北部の片麻岩は変成度が高いと述べているが、地質図上では変成度による片麻岩の区別をしていない。

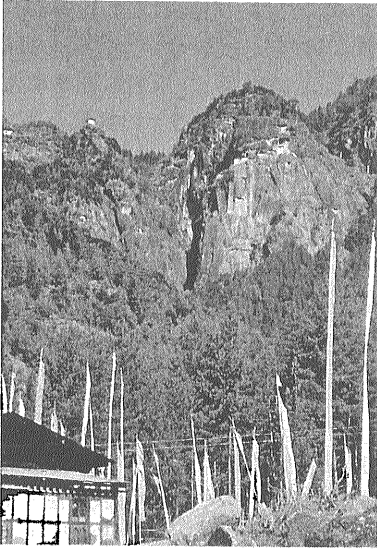


写真4 片麻岩の急崖の上に建てられたタクツァン寺院。密教伝来の伝説の地。

Golani (1995) は、ティンパー層群を層序の下位(つまり南部)からカヤナイトやシリマナイトに乏しい片麻岩60%と、片岩40%からなるスレ(Sure)層、石灰岩を含む変堆積岩のナスベ(Naspe)層、およびシリマナイト、ザクロ石を頻繁に伴う片麻岩を主とする北部のタクツァン(Takhtsang)層と3区分しており、南から北へ変成度が高くなっていると考えている。最近の調査では、このナスベ層の模式地はテチス堆積岩類下部のチェカ層と考えられるので地層名と模式地については改訂が必要であるが、ウォンディポダ(Wangdue Phodrang, 第5図のW)から、その北方10kmのプナカ(Punakha)まで続く石灰岩層のように、片麻岩に挟まれる変堆積岩の存在は疑いもない。

以上をまとめると、Nautiyal *et al.* (1964) 以来 Golani (1995) まで、ブータン北部を占めるタクツァン片麻岩は南部の片麻岩よりも変成度が高いこと、片麻岩には石灰岩を含む変堆積岩が挟まれていることが共通した理解となっている。

前述のように Gansser (1983) は、ダージリンやその東側のブータン南部には変成度が異なる片麻岩が混在していることを示唆している。このことは南から北に向かって順次変成度の高い地層が分布しているような地質図(たとえば Bhargava, 1995) は検討の余地があること、さらにこの地区における

MCTの位置の再検討と、これらの片麻岩が tectonic enclave である可能性の調査が必要であることを示唆する。

なお、眼球片麻岩はMCTの直上部のほかいくつかの層準で認められるが、それらが分岐したMCTをそれぞれ代表しているのかどうか明らかではない。個々の眼球片麻岩の厚さは数mから30mくらいであるが、時には何層もの眼球片麻岩が繰り返し出現して厚さ数100mの眼球片麻岩帯となっている。これらの眼球片麻岩は確認した限りでは20kmないし30kmの範囲では良く連続しており、構造解析や対比のキーベッドとなりうる。このように層厚に比べて連続性がよいという点からみれば Sarkar and Dasgupta (1995) のように眼球片麻岩をすべて構造的にもたらされた岩体、tectonic sliver として扱うのは無理がある。

(2) パロ層(群)について—問題のありか—

これまでブータンの変成岩の中で議論が多かったパロ層群の所属については、次の3つの考え方に要約される。

すなわち、後述するレッサーヒマラヤのシュマル層とバクサ層群の変成相が、構造的に衝上断層に伴って分布しているとする Jangpangi (1980) などの見解と、変成岩類のメンバーであるとする Gansser (1983) の見解のほか、Chaturvedi *et al.* (1983) はパロ層はテチスの基盤を占めているチェカ層と同じ地層で、変成度がやや高いだけであると主張している。

すでに述べたように、片麻岩に挟まれている変堆積岩の存在については異論がないので、パロ層が片麻岩のメンバーであるか、あるいは地窓で構造的に盛り上がったレッサーヒマラヤの地層であるのかといういわゆるパロ層の問題は、パロ地区に分布する変堆積岩類と、ほかの場所で衝上断層で片麻岩に覆われている変堆積岩との、所属の問題だけに限られることになる。

以下に調査結果について述べるが、結論的にこのパロ層の問題は、第一にパロ地区に分布する変堆積岩は上位の片麻岩と明らかに衝上断層で境されているにもかかわらず、今までの地質家が衝上断層を見逃して、片麻岩に挟まれていると誤認したこと。次に片麻岩に挟まれている各地の石灰岩

を含む結晶片岩と変堆積岩を、すべてパロ層と呼んだところに問題の起源がある。

(3) パロ地区再調査の結果

パロ地区における変堆積岩の産状を調査した結果、ティンブー(第5図のTp)とその西南西10kmのパロとの中間の谷、ギダコム(Gidakom)の西側斜面の林道で、片麻岩の下に衝上断層が2本確認された。片麻岩の下を限る衝上断層(MCT)の下位には、ブータンでは新発見のリプルマークをもつ、変成度の低い石英質砂岩と板状珪岩がある(口絵5)。この珪質岩層の下部はさらに別の衝上断層で切れ、その下位に分布している地層は、上部の石灰岩と鉛・亜鉛鉱床を伴うドロマイトを主とする岩相から、順次下部の石灰岩を含まない千枚岩質の岩相に変わっていることが判明した。

岩相から見ると上位の石英質砂岩や板状珪岩はレッサーヒマラヤのシュマル層に相当すると考えられ、下位の石灰岩から千枚岩への岩相変化の傾向は、一般に理解されているレッサーヒマラヤのバクサ層群の岩相変化と同様である。ただしバクサ層群に特徴的な雑色の千枚岩は見られない。

さらに、層準規制型の鉛・亜鉛鉱床が、この地区のパロ層にだけ胚胎していることもこの考え方を支持する。まず同様な層準規制型鉛・亜鉛鉱床の分布をみると、南部ブータンではレッサーヒマラヤのバクサ層群上部の石灰岩層にもいくつかの産地が知られている。また東隣のアルナチャルプラディッシュでは、バクサ層群に対比されるボンディラ(Bomdila)層群の最上部チリパン層のドロマイトの中に層準規制型の鉛・亜鉛鉱床がある。さらに西のネパールではMCTの直下に炭酸塩岩に伴う層準規制型の鉛・亜鉛鉱床があり約300万トンの鉱量が確認されている。

このように、ヒマラヤにおいては既知の層準規制型の鉛・亜鉛鉱床はすべてMCTの下位にだけ分布している。したがって、層準規制型の鉛・亜鉛鉱床を含むパロ層が片麻岩の下部を限るMCTの下盤にあるということは、近隣地域の地質から見ても自然であり、パロ層をレッサーヒマラヤのシュマル層とバクサ層との延長部であるとするJangpan-gi(1980)の見解を支持する。

なお、Jangpan-gi(1980)が、“レッサーヒマラヤに

は分布しない地層”としてパロ層群の最下部層とした花崗片麻岩からなるシシナ(Sisina)層は、現地の観察では上下盤の地層とは変成度が不連続なので、変成岩がパロ層群に取り込まれたものと考えられる。Sarkar and Dasgupta(1995)もこの岩体を構造的に取り込まれたtectonic sliverと解しており、本稿では層序の検討からは除外しておく。後で述べるが、このような外来の地層を含むことは、東部のレッサーヒマラヤの特徴と考えられる。

次にChaturvedi *et al.*(1983)は、パロ層はテチス堆積物の基盤とされているチェカ層と同じ地層で変成度がやや高いだけであり、これ以外に対比できる地層はないと主張している。またGansser(1983)の地質図では、ブータン中部のブラックマウンテン山地の含化石テチス堆積物を取り巻いて分布するチェカ層をパロ層としている。

これらは、少なくともパロ地区の地窓にパロ層として分布するレッサーヒマラヤの地層は、チェカ層の岩相・層序と似ているということの意味するが、これらの地層の対比については、チェカ層のところで述べる。

2.3 テチス堆積岩類・チェカ層

(1) 概要

テチス堆積岩類は変成岩類を覆って、ブータン東端部のサクテン(Sakteng, 第5図のS)山地、中部のブラックマウンテン地区(第5図中央のBHUTANの国名付近)、北西部のリンシ(Lingshi, 第5図のL)地区、および北部高山地帯の4カ所に分布している。全体として、東から西へゆくほど地質時代が若くなっているとみられるが、やや詳しい調査がされているのは古生代の化石を産するブータン中部のブラックマウンテン地区と、アンモナイトを産するブータン北西部の2カ所だけである。ブータン北部の高山地帯にも化石の産出が知られているが、Gansser(1983)が大略の層序を示してシルル紀からデボン紀の年代を示唆している以外、報告はない。

本稿ではテチス堆積岩類を最下部の先カンブリア紀のチェカ層と、化石を含むテチスとに分けて記載する。今までのすべての報告ではチェカ層をテチス堆積岩類に含めているが、分布が広く、変成作用を受けており、化石を含まないことから、本稿

では含化石テチス堆積岩類とは分けて図示した。

チェカ層は Nautiyal *et al.* (1964) がブータン北西部で“ティンパー片麻岩類の上に乗る砂泥質累層”をチェカ統と命名したものである。ブータン国内の分布は前述の4ヵ所であるが、さらに東のアナチャルプラディッシュにも相当層が広く分布している。これらの分布を地質図上で見ると西では層厚が薄くなっているようにみえる。

このチェカ層は変成作用を被っており、片麻岩類に接する基底部にはザクロ石黒雲母片岩や十字石片岩があり変成度が高く、上方に変成度が低くなっている。

地質構造のところで触れたように、かつてはチベツタスラブとも呼ばれていたテチス堆積岩類が、ブータンではインド平原まで約13km、標高は600m以下というような低い所まで分布している。また最近の調査では、テチス堆積岩類を取り巻いて分布している優白色花崗岩を南北系の断層が切っている露頭が見つかった(口絵2)。おそらく11Maころまでの優白色花崗岩の活動の後に、南北系の正断層によってグラベンが形成されて、標高の低いところまでテチス堆積岩類が分布しているものであろう。

(2) ブータン各地のチェカ層

ブータン中部のチェカ層

チェカ層が最も広く分布しているブータン中部のブラックマウンテン地区(写真5)では、チェカ層は Passayat and Das (1977) によりゴンコーラ(Gong Khola)層群、Chaturvedi *et al.* (1981) によりマオコーラ(Mao Khola)層群などと呼ばれてきた。

Chaturvedi *et al.* (1981, 1983) は、マオコーラ層群を下位の石灰質のハレチュウ(Hare Chhu)層と、上位の片岩、珪岩、千枚岩などからなるティルコーラ(Tirkhola)層にわけて、この地区のチェカ層の層厚は800mから2,000mに及ぶとしている。

このブラックマウンテン地区のチェカ層は、黒雲母ポーフィロプラストを含む斜層理のある石英質砂岩にはじまり、その上位に薄層理のある結晶質石灰岩と千枚岩、片岩と累重する。この層準には厚さ150m以下の結晶質石灰岩を挟むことがある。さらにその上には3cm以下の薄層理が発達するときにはザクロ石を含む薄層理千枚岩、片岩があり、2・



写真5 伝説に富むブラックマウンテン山地の4,200m前後の準平原を東からみる。

3枚の灰色石英質砂岩を挟む。所によってはその上に薄層理の緑色千枚岩と緑灰色細粒砂岩とシルト岩と続く。

ブラックマウンテンの西を流れるチャンチュウ(Chang Chhu, 第2図のCC)沿いの調査では、基底部の珪岩礫を含む珪岩やザクロ石黒雲母片岩から上方に変成度が低くなっており、中部には塩基性火山活動を伴い、薄層ながら連続性の良い銅の鉍化作用がしばしば見られる。上部には板状珪岩や石英質砂岩がある。

なお、北部のダンチュウ(Dang Chhu, 第5図のDC)の支流のペチュウ(Pe Chhu, 第5図のPC)ではチェカ層の上部に塩基性の火山岩があるが Tangri and Pande (1995) は安山岩質の溶岩が不整合で覆っていると解している。ここでは後述するワチラ層が不整合で下位の地層を覆っているとも見られるので、チェカ層の上部層準の地層は不整合で削られているのかもしれない。

ブラックマウンテン地区におけるチェカ層と下位の片麻岩類との層序関係は、Chaturvedi *et al.* (1983) は漸移とし、Gansser (1983) は整合としているが Tangri and Pande (1995) は不整合としている。最近の調査では、チェカ層の東端部のウラ(Ura)地区と、北部のペチュウでは漸移関係である。分布の南縁のチラン(Tsirang)町近くのブリチュウ(Buri Chhu)では、チェカ層がティンパー層群と直線的な境界で接しており、Puskhar Singh (1965) は衝上断層と解したが、現地を観察したところ、平滑な斜面で直線的な境界が形成されているもので、断層とは考えられない。

ブータン北西部のチェカ層

ブータン北西部はチェカ層の模式地であるが、層厚は所によっては約500m以下とブータン中部にくらべて薄くなっている。おそらく、上位層に不整合で覆われているために、チェカ層の一部しか分布していないものと見られる。

Tangri and Pande (1995)は、厳密な定義がされていないため混乱があったとして、チェカ層についての7人の研究者の比較表を作った上で“ティンブー層群(変成岩類)の上に乗る石灰岩を伴う砂泥質累層”と再定義した。岩相については下位から斑状変晶を含むザクロ石雲母片岩、ときに礫岩を挟む斜交層理石英質砂岩、石英質雲母片岩、さらに、まれに厚さ150m以下の結晶質石灰岩を挟む薄層理の千枚岩、石英質砂岩と続き、その上部には薄層理の緑色千枚岩・細粒砂岩・シルト岩があるとしている。

なお、このブータン北西部では塩基性火山岩は記載されていない。

この地区におけるチェカ層と下位の片麻岩類との関係はGanesan *et al.* (1978)やChaturvedi *et al.* (1983)は変成漸移(metamorphic gradation)としており、Gansser (1983)も変成度が片麻岩から上方に漸移的に低くなることを認めている。しかし、Tangri and Pande (1995)は不整合としている。

(3) 近隣地区のチェカ層と対比、シュマル層との関係

Tangri and Pande (1995)などによれば、Hayden (1907)はブータン北西部の模式地におけるチェカ層をネパールや西部ヒマラヤと対比し、Chumbi ValleyのKhongbu Seriesに連続していると解した。またGansser (1964)はEverest Peliteに対比できるとし、さらに西方のクマウン(Kumaun)ヒマラヤのガルビヤン(Garbyang)地区におけるブディ(Budhi)結晶片岩に対比していると紹介している。

ブータンの西隣のシッキムを調査したRavikant (1995)の地質図では、テチス堆積岩類はチベットとの国境付近の小範囲だけに分布しており、山頂部に分布する石灰岩の下にEverest Pelite Formationが図示されているが記載はない。

Gansser (1983)はブータン中部のダンチュウの西方の丘(おそらくサムテガン(Samtegang)二重山

稜の東方)で、黒雲母片岩の上に乗る珪岩と石灰質片岩が厚い緑泥石片岩・緑泥石千枚岩と互層している岩相が“surprisingly similar to the Daling schist”であると述べている。これはシッキムのレッサーヒマラヤに分布するダリン片岩と、グレートヒマラヤのチェカ層とが類似しているということになる。なお、Gansser (1983)はダリンとシュマル層を併せてダリン・シュマル層群と呼んでいる。

ブータンの東隣、インドのアルナチャルプラディッシュには、変成岩を覆って主に弱変成の片岩状珪岩からなり、黒雲母・ザクロ石・十字石片岩、結晶質石灰岩などを挟み、最上部に角閃岩を伴っている地層があり、Tripathi *et al.* (1982)がルムラ(Lum La)層と命名している。Kumar (1997)はこのルムラ層をテチスの基盤を作る地層としており、内容的にはチェカ層と解され、問題なく対比できると思われる。

地質構造上の位置については、Kumar (1997)はルムラ層は幅10kmほどの片麻岩帯を挟んでMCTの南のレッサーヒマラヤに分布しているディラン(Dirang)(結晶片岩)層の同時異相としている。これは、最下部テチスの地層がレッサーヒマラヤの地層に連続していることになる。

一方、ディラン層はブータンのシュマル層に連続しているので、ブータンにおいては、チェカ層とシュマル層とが同一の地層かどうかが問題となる。岩相・層序をみると、いずれも基底部のザクロ石黒雲母片岩から上方に変成度が低くなっており、中部には塩基性火山活動を伴い、上部には板状珪岩や石英質砂岩があるなど類似している。

さらに、前述したようにJangpangi (1980)はパロ層をシュマル層とバクサ層群に対比し、Chaturvedi *et al.* (1983)はチェカ層をパロ層に対比している。これら個々に提唱されていた対比論を総合すると、チェカ層=パロ層=シュマル層+バクサ層群となり、アルナチャルプラディッシュにおけるKumar (1997)の対比と同じ結論になる。

このKumar (1997)の考え方は、Jangpangi (1980)、Chaturvedi *et al.* (1983)を包含したものとなり、またGansser (1983)の地質図に示された見解とも矛盾しない。

チェカ層の時代については議論があり、Chaturvedi *et al.* (1981, 1983)はチェカ層に相当

するマオコーラ層群の下部のハレチュウ層について、“ハレチュウ(川)に分布するハレチュウ層の褐色石灰岩質バンドの中には保存の悪い腕足類の化石を産する”として最後期の先カンブリア紀からカンブリア紀とした。しかしその後、この化石産地は確認されていない。Tangri and Pande (1995)は、マオコーラ層群はチュカ層のほかにチュカ層を不整合で覆うペレラ層群の下部を含んでいると解し、時代は先カンブリア紀であるとした。なお、先カンブリア紀とカンブリア紀の境界はペレラ層群上部の中に置いている。

2.4 含化石テチス堆積岩類

(1) 概要

含化石テチス堆積岩類が分布しているのはブータン中部のブラックマウンテン地区とブータン北西部のリンシ地区、およびブータン北部の高山地帯であるが、やや詳しい調査が行われているのは下部古生代から上部古生代の地層が分布しているブータン中部と、上部古生代から白亜紀までの地層が分布するブータン北西部の2地域だけである。

層序区分についてはいくつかの見解がある。ブータン中部についてChaturvedi *et al.* (1981)はマオコーラ層群(=チュカ層)を不整合に覆う含化石テチス堆積岩類をブラックマウンテン層群と一括したが、Tangri and Pande (1995)は下部のペレラ(Pele La)層群と、これを不整合で覆う上部のダンチュウ層群とに分けている。

一方、ブータン北西部にはペレラ層群に対比されるバルション層、ダンチュウ層群に対比されるシヨグ層、およびジュラ紀から白亜紀のリンシ層(群)が分布している。リンシ層群は下部から上部のすべての層準に上部ゴンドワナの*Ptilophyllum*を産し、植物化石層の間にはアンモナイトなどテチスの化石層を挟んでいる。

ここでは層序についてはTangri and Pande (1995)を参照しながら、ブータン中部はChaturvedi *et al.* (1981)、ブータン北西部はGanesan *et al.* (1978)によって述べる。

(2) ブータン中部の含化石テチス堆積岩類

Chaturvedi *et al.* (1981)はブータン中部でマオコーラ層群(=チュカ層)を不整合に覆う含化石テ

チス堆積岩類を、ブラックマウンテン層群と一括して記載している。

ブラックマウンテン層群の最下部には厚さ15mから20mの、引き伸ばされた珪岩礫をもつ珪質基底礫岩にはじまる珪質岩層のナケチュウ(Nake Chhu)層がある。ナケチュウ層からは“strophomenids, lingulids, orthoids”に似た腕足類の印象化石を産し、スピティ地方の下部オルドビス紀の化石群集に対比している。

ナケチュウ層を覆う粘板岩を挟む薄層理珪岩のマネティン(Maneting)層は、腕足類、三葉虫、二枚貝などの豊富な化石を産し下部から上部のオルドビス紀とされている。

その上位に漸移するワチラ層は薄層理の石灰岩質千枚岩、白色糖晶質石灰岩、ドロマイトからなり、時に珪岩や頁岩を挟むが化石の産出はない。

最上部にはブラックマウンテン北部のダンチュウとペチュウに分布するダンチュウ層がある。ダンチュウ層は、上下2枚の石灰岩とそれに挟まれるroofing slateの千枚岩、粘板岩からなり、腕足類、コケ虫など多くの化石が知られている。Chaturvedi *et al.* (1981)は層序的にはダンチュウ層の下部石灰岩とワチラ層の区別は困難で、下部石灰岩の一部はシルル紀かもしれないとしている。

一方、Tangri and Pande (1995)はブータン中部の含化石テチス堆積岩類を、チュカ層を不整合で覆うペレラ層群と、さらにそれを不整合で覆うダンチュウ層群に分けて記載している。

ペレラ層群はChaturvedi *et al.* (1981)のナケチュウ層とマネティン層にほぼ相当するもので、帯緑灰色で無斑晶杏仁状の玄武岩質溶岩・火砕岩とデイサイト質火山岩のバイモダルなシング(Singhi)火山岩類の活動に始まり、その上位に薄層理が発達する砂質岩と石灰岩、および珪岩礫を含む珪岩からなり生痕化石を含むナケチュウ層相当のデシチリン(Deshichiling)層があり、さらにこれを覆って下部で薄層理砂泥質、最上部に灰白色珪岩層を伴うマネティン層がある。マネティン層の化石群集の時代についてはChaturvedi *et al.* (1981)はオルドビス紀としたが、Tangri and Pande (1995)は後期カンブリア紀としている。

ダンチュウ層群については、下位の各層を不整合で覆うワチラ層が、ダンチュウ層の下部石灰岩と

連続することが判明したとして、下部石灰岩をワチラ層に含めてダンチュウ層群の最下部層とし、下位層との関係は不整合とした。その上に漸移関係で乗る粘板岩と薄層理石灰岩・ドロマイトからなり、コケ虫類や腕足類、二枚貝などを含む地層を、新たにリパカ(Ripakha)層としたものである。最近三葉虫の化石がこの地層から発見されている(Koike, 2001a)。

現地調査では、ダンチュウ層の下部石灰岩は層序的にワチラ層の薄層理石灰岩質千枚岩の数100m上位にあり、間に珪岩層を挟んでおり別層準の石灰岩層と判明している。したがって、Tangri and Pande (1995)がダンチュウ層の下部石灰岩がワチラ層の石灰岩に連続するとしたのは何らかの誤認があると思われる。しかし、ワチラ層の下位にある地層の厚さは変化が激しいので、ワチラ層の下部に不整合がある可能性は大きい。この不整合が証明されれば、ワチラ層をペレラ層群から分離させてダンチュウ層と合わせて、石灰岩を含むことを特徴とする層群を新設することになる。

このようにブータン中部のテチス堆積岩類の層序は、ワチラ層の対比と、その基底部の不整合の存在が未解決の大きな問題である。

なお、ダンチュウ層の時代についてはGansser (1964)はデボン紀としているが、Nautiyal *et al.* (1964)とSingh (1973)は二疊-石炭紀、Chaturvedi *et al.* (1981)は下部デボン紀から下部石炭紀としている。

Jangpangi (1978)は下部石灰岩と粘板岩を二疊紀とし、上部石灰岩は中生代とした。しかし、この地区からはフズリナは知られておらず、さらに、上部石灰岩の最下部からKoike (2001a)が三葉虫化石を採集しているうえ、ヒマラヤで普遍的に見られる二疊紀の含礫泥岩は見られないので中生代説には無理がある。

(3) ブータン北西部の含化石テチス堆積岩類

ブータン北西部のテチスについてはGansser (1964)が石炭紀から白亜紀に至る層序を示し、次いでPushkar Singh (1966)がさらに広く調査して地層名を提案した。その後Ganesan *et al.* (1978)、Gansser (1983)、Tangri and Pande (1995)の調査が続いている。

Ganesan *et al.* (1978)の層序では、ティンパー片麻岩類に漸移関係でのるチュカ層をさらに漸移関係で覆うデボン紀から石炭紀のバリション(Barishong)層、バリション層を不整合で覆う二疊紀の含礫粘板岩のショドグ(Shodug)層、さらにこれを不整合で覆う白亜紀のリンシ(Lingshi)層となっている。

バリション層は、時に石灰質珪岩を挟む厚さ100mから150mの白色糖晶質石英質砂岩に始まり、さらに厚さ1,000mほどの青灰色石灰岩、石灰質千枚岩が重なり、最上部には上部デボン紀から石炭紀の腕足類、*Syringothiris*, *Spirifer*, *Productus*などの化石を産する厚さ約200mの板状石灰岩がある(Ganesan *et al.*, 1978)。

下位のチュカ層との関係が漸移とされているのは疑問が残るが、Tangri and Pande (1995)も、バリション層と下位のチュカ層との関係について、間に火成活動があるとか、片麻岩の上に直接乗っているところがあるなどの未公開資料を紹介しており、不整合を示唆しているものとおもわれる。

Tangri and Pande (1995)は、バリション層の青灰色石灰岩から上位の地層は、ブータン中部のワチラ層とリパカ層(=Chaturvedi *et al.* (1981)のダンチュウ層)に対比され、最下部の白色石英質砂岩はデシチリン層(=ナケチュウ層)とマネティン層に相当すると述べている。このうちバリション層の大部分を二疊-石炭-デボン紀とされるダンチュウ層に対比するのは、下部から上部へ石灰岩、千枚岩、石灰岩と累重している岩相変化の傾向と、上部の石灰岩から産する化石群集からみて問題ないと思われるが、ブータン中部地区でワチラ層の下部に予想される不整合を考えると、Chaturvedi *et al.* (1981)のダンチュウ層とワチラ層とを合わせた石灰岩を含むことを特徴とする二つの地層が、バリション層に相当する可能性もある。

なお、最下部にある化石を含まない白色糖晶質石英質砂岩の対比については、この地区のテチス堆積岩類にはオールドビス紀の地層が含まれている古生物学的な証拠がないので、これをオールドビス紀のブラックマウンテン層群(ナケチュウ層+マネティン層)に対比するよりも、中嶋(1985)が紹介したデボン紀のムース砂岩(Muth Quartzite)に対比するのが層序・岩相からみて妥当であろう。つまりこの

地区では、先カンブリア紀のチェカ層の後はデボン紀からテチス海の堆積が始まったことになると思われる。

バリション層を不整合で覆う含礫粘板岩のショドグ層は、*Spirifer*, *Productus*, *Marginifera*などの腕足類の化石を豊富に含む厚さ40mほどの頁岩に始まり、1,000m近い厚さの含礫粘板岩からなっていて、礫にはバリション層の礫を含んでいる。時代については大雑把に石炭紀から後期二畳紀とされている。

なお、シッキムからブータン、さらにチベットにいたるグレーターヒマラヤでは含礫泥岩はテチス海の堆積物に覆われている。

さらに、ブータン北西部でショドグ層を不整合で覆う白亜紀のリンシ(Lingshi)層についてはGanesan *et al.* (1978)は下部から、(1)緑灰色薄層理珧岩と挟まれる粘板岩、(2)黒色含黄鉄鉱粘板岩、(3)暗色炭質頁岩・褐緑色頁岩・含ノジュール頁岩に3区分した。いずれにも植物化石とアンモナイトが含まれており、記載もされている。

一方、Tangri and Pande (1995)はこれら3区分された部層を層として独立させ、全体をリンシ層群とした。層序区分は最下部の厚さ300m~350mで上部ゴンドワナの植物化石を産し中期ないし後期ジュラ紀の淡水性モ・チュウ(Mo Chhu)層、それを整合で覆い、層厚1,500m~2,000mで後期ジュラ紀の腕足類・アンモナイトを産する淡水から海水に変わるチェベサ(Chebesa)層、その上に漸移関係で乗っているアンモナイトを産しソルトレンジの最上部白亜紀のベレムナイト帯に対比されるンギレラ(Ngile La)層とした。*Ptilophyllum*はモチュウ層、チェベサ層、ンギレラ層のいずれからも産する。

このように海生の化石と植物化石がすべての地層から産することは、この付近が当時のテチス海とゴンドワナ大陸の境界部であったことを示すものであろう。

Acharyya (1980)はこれらのジュラ紀から白亜紀の石灰質頁岩をスピティ頁岩に対比し、上部ゴンドワナの植物化石はネパールのタッコラ地区のそれに対比しており、さらにインドのラニガンジ植物化石群に対比している。

このブータン北西部地域の標高は4,000mを超え、道は5,000mの峠を越えるため調査は極めて困

難ではあるが、三畳紀のアンモナイト *Parajuvavites* や、ジュラ紀の *Pseudomonotis* などのほか、Albianのトリゴニアやアンモナイトもでているので(Gansser, 1983)、層序はさらに調査・検討する余地が大きいとみられる。

2.5 花崗岩

産状からみてブータンの花崗岩質岩石は、(1)片麻岩中の花崗岩質片麻岩、(2)レッサーヒマラヤに取り込まれた片麻岩状の花崗岩質岩体、および(3)優白色花崗岩(電気石花崗岩)に分類できる。地質図では優白色花崗岩だけを花崗岩として図示した。

なお、文献から引用した年代については、方法と試料を述べているものはそのまま紹介したが、文献のかかなりの部分は単に年代だけを述べている。

(1) 花崗岩質片麻岩

花崗岩質片麻岩はティンパー層群の中に最も普通に見られる岩相で、一般に優白色ないし中色(mesocratic)で中粒ないし粗粒の岩石で、片理が発達しており時にはゼノリスを含むこともある。鉱物組成は石英、斜長石、カリ長石、黒雲母で白雲母を伴うこともあり、ところにより角閃石、ザクロ石を豊富に含む。ほかにエピドート、燐灰石、電気石、ジルコンなどが認められる。Sarkar and Dasgupta (1995)によるブータン東部のタシガン(Trashigang, 第5図のTs)の岩体の主要成分の平均分析値(wt. %)は第1表のとおりである。

Sarkar and Dasgupta (1995)はブータン東部の町タシガンの岩体の7個の全岩Rb-Sr年代について $524 \pm 8\text{Ma}$ と良く一致したと報告し、岩体の貫入年代と解している。

さらに南部ブータン国境の町ゲレフの西北で、ブルコーラ(ブルチュウ)のレッサーヒマラヤの最上部“ジャイシダダ層に取り込まれた”花崗岩質片麻岩について $508 \pm 15\text{Ma}$ というGSIの未公開年代資料を紹介している。また、Kumar (1997)はアルナチャルプラディッシュのMCTに近いRama Campの角閃石花崗片麻岩について“ $481 \pm 23\text{Ma}$ というリセットされた年代(Dikshitullu *et al.*, 1995)”を紹介しているが、Rama Campの位置は地図上には示されていない。

Kumar (1997) は、このほかにもアルナチャルプラディッシュのジロ(Ziro)片麻岩を、貫入した花崗岩起源と解していくつかの年代を紹介しているが、これらはtectonic enclaveと考えられるので次項で述べる。

Gansser (1983) は京都大学の初登頂で有名なマサカン(Masang Kang) 峰の南(図では南西約15km地点に示されている)で優白色花崗岩に貫かれている黒雲母花崗岩について $369 \pm 8\text{Ma}$ という全岩Rb-Sr年代を報告し、同じSr同位体比をもつ西部ヒマラヤの古生代花崗岩($\pm 500\text{Ma}$)に対比している。

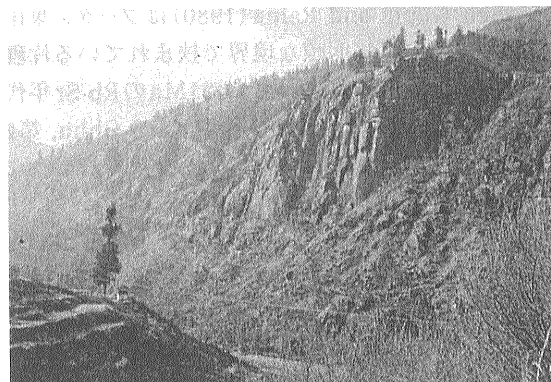


写真6 ティンブー近くのシシナ村ではtectonic enclaveの片麻岩状花崗岩が大きな壁をつくっている。

(2) 片麻岩状の花崗岩

レッサーヒマラヤのシュマール層やバクサ層には、上下盤を剥離しやすい結晶片岩や破碎された珪岩、千枚岩などに挟まれている片麻岩状黒雲母花崗岩がある。その成因について、Jangpangi (1974) は接触変成作用が認められないため貫入岩ではないとしており、Sen Gupta and Raina (1980) は“basement slices”であるとするSinha Roy (1974) と、“volcano - sedimentary origin”とするLe Fort (1975) の両論を紹介している。Ray *et al.* (1989) は境界が鮮明であって接触変質がなく、ミロナイト化が顕著であることなどから、見かけは調和的なシート状岩体であるが構造運動でもたらされたものとしている。ESCAP (1991) は周囲の岩石との関係を“接触変成作用が認められないtectonized contact”としている。

パロ層群のシシナ層について調査した結果は前述したが、周囲の岩石とは変成度が不連続で、接触変質も認められず、構造的に取り込まれた変成岩と考えられる。Sarkar and Dasgupta (1995) もこのシシナ岩体を構造的に取り込まれたtectonic sliverと解している。なお、この岩体の主要成分の平均分析値(wt. %)は第1表のとおりである。

岩相は花崗岩質片麻岩に比べ片理にやや乏し

く、全体として塊状でマサ状に風化していたりするが、ティンブー近くのシシナでは大きな岩壁を作っている(写真6)。

Ravikant (1995) のシッキムの地質図にもいくつかの岩体が描かれており、周囲の変堆積岩との境界は低角度ないし非調和的でductile shearを伴うとしている。

このような外来の(取り込まれた)岩体は、一般にtectonic sliverと呼ばれ、大きな岩体はtectonic enclaveとも呼ばれている。規模の差こそあれブータン東部からシッキムまでのシュマール層やバクサ層群の各所に含まれており、ほとんどの岩体の規模は延長が20km以下である。このようなtectonic enclaveがレッサーヒマラヤの変堆積岩の中に分布するのは東部ヒマラヤの特徴といえるかもしれない。

なお前述したように、いわゆるダーズリン片麻岩やブータン西南端部の片麻岩もtectonic enclaveの可能性があるが、この地域におけるレッサーヒマラヤと片麻岩帯との境界(=MCT)の調査を実施できなかったため、地質図(第5図)ではGSI (1983) の構造を参照した。

これら構造的に取り込まれた片麻岩状花崗岩の年代については、次のようないくつかの報告があ

第1表 各岩体の主要成分の平均分析値。(wt. %)

分析岩体名	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
タシガン岩体	72.95	0.11	14.01	0.20	2.29	0.05	1.78	0.95	2.84	3.48	0.14
シシナ岩体	69.68	0.30	14.01	0.20	2.29	0.05	1.78	0.95	2.84	3.48	0.14
カメチュウ岩体	74.61	0.05	16.22	0.54	0.29	0.02	0.47	0.09	2.90	3.97	0.10

る。Sen Gupta and Raina (1980)はブータン東南部でバクサ層群に明瞭な境界で挟まれている片理がある眼球片麻岩について1,421MaのRb-Sr年代を報告している。またクルチュウ(Kuru Chhu, 第2図のKC)のGachhang地区で、シュマール層に含まれている延長10数Kmの片麻岩状花崗岩についてはSarkar and Dasgupta (1995)が1,109±125Maの全岩Rb-Sr年代を報告している。なお、原著には当たれなかったがSinha-Roy and Sen Gupta (1986)はブータン東端部のタシガン県のカンパラ(Kangpara)地区と推定される“Kangpar, Bhutan”で、バクサ層群の中に楔状にはまりこんでいる基盤岩の片麻岩について1,012Maの全岩Rb-Sr年代を報告している。

Acharyya (1980)はSen Gupta and Raina (1980)などを引用して、シッキムのリンツェ(Lingtse)花崗片麻岩と東部ブータン山麓のバクサ層群の中の片麻岩は良く一致する年代(1,050Ma)であると述べて、岩石ができた年代と解している。

東のアルナチャルプラディッシュでは幅数10km、長さ100kmを超える巨大な花崗岩質の岩体がレッサーヒマラヤに含まれており、ボンディア片麻岩(Tripathi *et al.*, 1982)、ジロ片麻岩(Kumar, 1997)などと呼ばれている。この岩体の産状についてはDikshitulu *et al.* (1995)もKumar (1997)もバソリス規模の貫入岩と解している。年代についてKumar (1997)は、1,644±40Maと1,676±122Ma(Bhalla and Bishui, 1989)の両雲母花崗岩の全岩Rb-Sr年代、および1,914±23Maと1,536±60Ma(Dikshitulu *et al.*, 1995)のRb-Sr年代を紹介し、周囲の地層の年代の上限値を示すとしている。

しかしこの岩体を取り囲んでいるボンディア層群に対比されるブータンのバクサ層群は、ストロマトライト化石から上部RipheanからVendianとされており(Raha and Das, 1989)、Kumar (1997)が紹介した“バソリス規模の貫入岩”の年代よりも被貫入岩が若いことになる。また、変成度が周囲の岩石よりも高いこと、構造的にはジロ片麻岩状花崗岩の一部はSen Gupta and Raina (1980)がブータン東南部でtectonic sliverとした1421Maの岩体の延長部に相当すること、片麻岩状花崗岩の中には各所で細長いボンディア層群がくりかえし挟まれていること、などの点からこの岩体は貫入岩ではなく構造

的に取り込まれた変成岩の岩体、tectonic enclaveと考えられる。

なお、ブータンの南方約80kmにあつて、重力構造ではインド亜大陸からほとんど切り離されているシロン山地では、変成岩を貫いている花崗岩の765±10Maと1,043±101Maという年代がRahman (1999)に紹介されている。

シロン山地では1,500Maを超えるような貫入岩は知られていないが、ヒマラヤだけに1,500Maより古い貫入岩があるとするのは位置関係からみて不自然であり、ジロ片麻岩が構造的に取り込まれた基盤岩体で、貫入岩ではないと考える傍証となる。

以上の諸研究は、レッサーヒマラヤに取り込まれているインド亜大陸の基盤岩の年代は10億年から19億年と原生界の全般にわたっていることを示している。

(3) 優白色花崗岩 (電気石花崗岩)

優白色花崗岩はティンパー層群と、その上位のチェカ層やテチス堆積岩類との境界部だけに局在している。岩相としては一般に中ないし粗粒で、常に白雲母と電気石を伴う優白色の花崗岩であるが、有色鉱物がほとんど電気石だけの細粒の岩体から、粗粒の両雲母花崗岩まである。しばしば見られるペグマタイトには、バレルの巨晶やシーライトがあり、時にはカナイトの20cmに達する結晶を含む。

一般に小規模な岩体としてチェカ層の中に厚さ1mから30mほどのシート状に貫入している例が多く、ペグマタイトも多い。Acharyya (1980)が、優白色花崗岩はダリン層やバクサ層群には伴わないと述べたように、レッサーヒマラヤには分布しない。

ブータン北部にはクーラカンリ峰(7,554m)の南のクーラカンリ岩体、その西のゴプラ(Gopu La)岩体(Davidson *et al.*, 1997)のように長径数10kmに達する大きな岩体がある。そのほか100万分の1の図上に示すことができる岩体は、ブータン中部のウォンディポダン(第5図のW)の東南25km付近に分布するカメチュウ(Kame Chhu)岩体と、ウォンディポダンの北方に細長く分布して多くの温泉を伴うポチュウ(Po Chhu)岩体などのほか、北西部のジョモラリ峰(Chomolhari)から東北に伸びる国境山岳地帯のいくつかの岩体などがある。

Gansser (1983) は多くの岩体の黒雲母と白雲母9試料について、Rb-Sr年代とK-Ar年代を報告したが、タシガン地区からの白雲母の26MaというRb-Sr年代を除けば、すべて9Maから13Maの間であった。ブータン北部のクーラカンリ岩体の白雲母と黒雲母については11MaというAr-Ar年代が、またゴプラ(Gopu La)岩体の白雲母と黒雲母については14.0Ma~15.1MaというRb-Sr年代がDavidson *et al.* (1997) に紹介されている。

Gansser (1983) はブータンの優白色花崗岩は再溶融した大陸地殻に由来する花崗岩の極めて明確な例であると述べており、Davidson *et al.* (1997) は、MCTの衝上と同時に活動したSTDSの滑落による岩圧の除去によって形成されたものとしている。

カメチュウ岩体についてはSarkar and Dasgupta (1995) の記載があり、石英、カリ長石、斜長石、白雲母、電気石が普遍的で、主要成分の平均分析値は第1表の通りである。

この岩体には局部的にシーライトが濃集しており、ブータン地質調査所がボーリング調査を実施した。

鉱物資源としては最近チュカ水力発電所のダム近くの石灰岩の中にザクロ石を含む厚さ数mほどの磁鉄鉱スカルンが発見されており、優白色花崗岩と成因的關係ありと予想されるが、今のところ花崗岩は確認されていない。

さらにブータン東端のサクトン(Sakteng)にも国境からアルナチャルプラディッシュに伸びる電気石花崗岩があり29±7Maという年代がKumar(1997) に紹介されている。このほか、アルナチャルプラディッシュではジロ片麻岩中の眼球片麻岩に電気石のノジュールを含む優白色花崗岩が貫入している(Kumar, 1997)と報告されている。

引用文献(末尾の*は孫引きの文献を示す)

- Acharyya, S.K. (1974) : Stratigraphy and Sedimentation of the Buxa Group, Eastern Himalaya. *Himalayan Geology*, 4, 102-116.
- Acharyya, S.K. (1980) : Structural Framework and Tectonic Evolution of the Eastern Himalaya. *Himalayan Geology*. 10. 412-439.
- Acharyya, S.K. (1994) : The Cenozoic foreland basin and tectonics of the eastern sub-Himalaya : Problems and prospects. *Himalayan Geology*. 15. 3-21.
- Acharyya, S.K., Ghosh, S.C., Ghosh, R.N. and Shah, S.C. (1975) : The Continental Gondwana Group and associated marine sequence of Arunachal Pradesh (NEFA) eastern Himalaya. *Himalayan Geology*. 5. 60-82.
- Acharyya, S.K. and Sastry, V.A. (1979) : Stratigraphy of the Eastern Himalaya. *Geol. Surv. India, Misc. Pub. no. 41* (paper presented at Him. Geol. Seminar, New Delhi, 1976) .
- Acharyya, S.K., Shatt, D.K. and Sen, M.K. (1987) : Earliest Miocene Planktonic Foraminifera from Kalijhola area, Tista River section, Darjeeling sub-Himalaya. *Indian Minerals*. 41 (1) . 31-37. *
- Alam, M.K., Hasan, A.K.M.S., Khan, M.R. and Whitney J.W. (1990) : Geological Map of Bangladesh. *Geol. Surv. Bangladesh, Dhaka*.
- Azmi, R.J. (1981) : Microfauna and age of the Tal Phosphorite of Missoorie syncline, Garhwal Lesser Himalaya, India. *Himalayan Geology*. 11. 373-409.
- Bhalla, J.K. and Bishui, (1989) : Geochronology and geochemistry of granite emplacement and metamorphism in Northeastern Himalaya. *Rec. Geol. Surv. India*. 122 (2) . 18-20.
- Bhargava, O.N. ed. (1995) : Bhutan Himalaya, A Geological Account. GSI Special Publication. no. 39. 245p.
- Biswas, S.K., Ahuja, A.D., Sapru, M.K. and Basu.B. (1979) : Geology of Himalayan foot hills of Bhutan. *Geol. Surv. India, Misc. Publ.* 41 (5) . 288-309.
- Chaturvedi, R.K., Mishra, S.N. and Mulay, V.V. (1981) : On the Tethyan palaeozoic Sequence of Black Mountain Region, Central Bhutan. *Himalayan Geology*, 11. 224-249.
- Chaturvedi, R.K., Mishra, S.N. and Mulay, V.V. (1983) : On the Fossiliferous Ordovician Rocks of Black Mountain Region, Bhutan Himalaya and their Significance in Stratigraphic Correlation. *Geol. Surv. India Rec.* 113. (2) . 35-47.
- Chen, W.P. and Molnar, P. (1977) : Seismic Moments of Major Earthquakes and the Average Rate of slip in Central Asia. *Jour. Geophys. Res.* 82. 2945-2969. *
- Dasgupta, S. (1995) : Jaisidanda Formation. in Bhargava ed. : Bhutan Himalaya, A Geological Account. GSI Special Publication. no. 39. 79-88.
- Davidson C., Grujic, L.S. and Schmid, S.M. (1997) : Metamorphic Reactions Related to Decompression and Synkinematic Intrusion of Leucogranite, High Himalayan Crystalline, Bhutan. *Jour. Metamorphic Geol.* 15. 593-612.
- Department of Mines and Geology, International Center of Integrated Mountain Development, Carl Duirberg Gesellschaft, and United Nations Environment Programme (1994) : Geological Map of Nepal. 1:1,000,000.
- Desikachar, S.V. (1999) : Landscape and Petroleum Provinces of North Eastern India. in Pramod Kumar Verma ed., *Geological Studies in the Eastern Himalayas*. 264p. (Pilgrims Book PVT. LTD. Delhi) . 11-18.
- Dhaundial, J.N. and Awasthi, (1981) : Report on investigation for coal in Samdrup Jongkhar district, SE Bhtan. *Geol. Surv. India*. unpublished report. Field Season 1980-1981. *
- Dikshitullu, G.R., Pandey, B.K., Krishna Veena and Dhana Raju, R. (1995) : Rb-Sr systematics of granitoids of the Central Gneissic Complex, Arunachal Himalaya: Implications on tectonics, stratigraphy and source. *Jour. Geol. Soc. India*. 41 (1) . 51-56.
- ESCAP (1991) : Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region, 8, Bhutan. with Explanatory Brochure. U.N.Publication. E.92. II. F.7.
- Ganesan T.M., Chaturvedi R.K. and Reddy K.P. (1978) : Progress

- Report on the Expedition to Lingshi and Laya, Northwestern Bhutan, unpublished Prog. Rept. for Field Season 1976-1977. 30p.
- Gangopadhyay, P.K. and Sibsadhan Ray. (1978) : Structure of Gorubathan Area, Darjeering District, West Bengal. with Special Reference to Rock Types and Lead-Zinc Occurrences. *Himalayan Geology*. 8. Pt. 1. 323-342.
- Gansser, A. (1964) : *Geology of the Himalaya*: John Wiley and Sons, London. 289p.
- Gansser, A. (1983) : *Geology of the Bhutan Himalaya*. Birkhauser Verlag, Basel. 181p.
- GSB (Geol. Surv. Bhutan) (2001) : Motegi, ed. Geological Map of Bhutan and Neighbouring Area, as of August 2001. (1 : 1,000,000).
- GSI (Geol. Surv. India) (1983) : Geological and Mineral Map of Bhutan. (1 : 500,000).
- Golani, P.R. (1995) : Thimphu Group, in Bhargava ed. : *Bhutan Himalaya, A Geological Account*. GSI Special Publication. no. 39. 89-108.
- Gurung, D.R. (2001) : Quaternary system in the Chamkhar and Tang valley floor, Bumthang. *Bhutan Geology*. no. 4. 1-6.
- Hayden, H.H. (1907) : The Geology of the provinces of Tsang and U in Tibet. *Mem. Geol. Surv. India*. 36 (2) . 122-201. *
- 池田安隆 (1980) : Himaraya-Burman Syntaxisのテクトニクス, 月刊地球. 2. no.10. 699-706.
- Ikemoto, M. (2000) : Quaternary System in the Thimphu valley floor. *Bhutan Geology*, no. 2. 1-11.
- Jangpangi, B.S. (1974) : Stratigraphy and Tectonics of Part of Eastern Bhutan, *Himalayan Geology*. 4. 117-136.
- Jangpangi, B.S. (1978) : Stratigraphy and tectonics of Bhutan Himalaya. in Saklani P.S. ed., *Tectonic Geology of Himalaya*. Today's and Tomorrow's Pub., New Delhi. 221-242.
- Jangpangi, B.S. (1980) : Lithostratigraphy and Correlation of Daling (Phuntsholing), Buxa and Shumar Formations of Bhutan Lesser Himalaya, in Valdiya and Bhatia ed., *Stratigraphy and Correlation of Lesser Himalayan Formations*. Hindustan Publishing Corporation, Delhi. 211-222p.
- Joshi, A., Dorji Wangda and Mamgain, V.D. (1990) : Marine Permian sequence in foothill of Bhutan, Lesser Himalaya. *Indian Minerals*. 44. no 2 & 3. 151-162.
- Joshi, A. (1995) : Setikhola Formation. in Bhargava ed. : *Bhutan Himalaya, A Geological Account*. GSI Special Publication. no.39. 34-37.
- Kayal, J.R. (1996) : Earthquake Source Processes in North-East India : A Review. *Himalayan Geology*. 17. no. 1 and 2. 53-69.
- Koike, T. (2001a) : New finding of Torilobite from the Dang Chhu Formation, along Pe Chhu, Wangdue Phodrang. *Bhutan Geology*. no. 4. 9-11.
- Koike, T. (2001b) : On the Outcrop of the Main Central Thrust at Tsirang-Daga Road Section. *Bhutan Geology*. no. 5. 1-3.
- Kumar, G. (1997) : *Geology of Arunachal Pradesh*. Geol. Society of India, Bangalore. 217p.
- Lahiri, A. (1941) : Geology of the Buxa Duars. *Quart. Jour. Geol. Min. Met. Soc. India*. 13 (1) . 1-62. *
- Lakshminarayana, G. and Bhagwan Singh (1995) : Siwalik Group. in Bhargava ed. : *Bhutan Himalaya, A Geological Account*. GSI Special Publication. no.39. 23-28.
- Le Fort, P. (1975) : Himalayas : the collided range. Present knowledge of the continental arc. *Am. Jour. Sci.* 275A. 1-44. *
- Molnar, P. and Tapponnier, P. (1978) : Active Tectonics of Tibet. *Jour. Geophysical Research*. 83. no.B11, 5361-5375.
- Molnar, P. (1986) : The Geological History and the Structure of the Himalaya. *American Science*, 74. 144-154.
- 茂木 睦 (1997) : ヒマラヤの主中央衝上断層のスプレイング. *地学雑誌*. 106. 320-331.
- 茂木 睦 (2000) : ブータン王国ブンツォリン付近の主境界断層帯. *地学雑誌*. 109. 1. 口絵3.
- 茂木 睦 (2001) : ブータン王国ウォンディボダン周辺の河成段丘の地質と氷河湖決壊洪水堆積物. *地学雑誌*. 110. 17-31.
- Motegi, M. (1998) : Physiographic Study on Bhutan. *Bhutan Geology*, no.1. 1-5.
- Motegi, M. (2001a) : On the Flat-lying Fault in the Tethyan Sediments, near Nobding, Wangdue Phodrang. - Possible Outcrop of STDS-. *Bhutan Geology*, no. 4. 7-9.
- Motegi, M. (2001b) : Notes on the Geo-Structural Set-up of BHUTAN. *Bhutan Geology*. no. 5. 11-13.
- Motegi, M., Koike, T. and Phuntso Norbu. (2001) : The first finding of the Limestone Cave in the East Himalayas, Ugyen Chholing, Bumthang. *Bhutan Geology*. no. 5. 5-8.
- 中嶋輝允 (1985) : ヒマラヤの海とその消滅 (1). *地質ニュース*. no. 376. 33-45.
- Nakata, T. (1972) : Geomorphic History and Crustal Movements of the Foot-Hills of the Himalayas. *Science Rept. Tohoku Univ.* 7th Ser. 22. 1. 1-14. *
- Nandy, D.R. (1986) : Tectonics, Seismicity and Gravity of North-eastern India and adjoining regions. *Geol. Surv. India Mem.* 119. 13-17. *
- Nautiyal, S.P., Janpangi, B.S., Singh, P., Guha Sakar, T.K., Bhate, V.D., Rhaghavan, M.R. and Sahai, T.N. (1964) : A Preliminary Note on the Geology of Bhutan Himalaya. *Himalayan and Alpine Orogeny*. 22nd International Geol. Cong. New Delhi. XI/1, 1-14.
- Pantic, N., Hochuli, P.A. and Gansser, A. (1981) : Jurassic palynomorphs below the main central thrust of East Bhutan (Himalayas). *Eclogae geol. Helv.* 74/3, 883-892.
- Passayat, S. and Seva Das. (1977) : *Geology of Parts of Tongsa - Shemgang - Sarbhang Districts, Bhutan*. unpubl. Rept. F.S.1976-1977, Geol. Survey of India.
- Puskhar Singh. (1965) : *Geology of Parts of Punakha and Wangdu Phodrang Districts, Bhutan*. Geol. Surv. India, Unpubl. Field Rept. 1964-65.
- Puskhar Singh. (1966) : *Geology of Parts of Thimphu, Punakha and Wangdu Phodrang Districts, Bhutan*. Geol. Surv. India, Unpubl. Prog. Rept. 1965-66. *
- Raha, P.K. and Das, D.P. (1989) : Correlation of Stromatolite-Bearing Upper Proterozoic Basins of India and Palaeogeographic Significance. *Himalayan Geology*, 13, 119-142.
- Rahman, S. (1999) : The Precambrian rocks of the Khasi Hills, Meghalaya, Shillong Plateau. in Pramod Kumar Verma ed., *Geological Studies in the Eastern Himalayas*. 264p. (Pilgrims Book PVT. LTD. Delhi) . 59-65.
- Ravikant, V. (1995) : A note on the structural pattern and gneiss-metasedimentary relations in the Central Crystalline Complex (Higher Himalaya) of East Sikkim, Eastern Himalaya. *Himalayan Geology*. 16. 131-141.

- Ray, S.K., Bandopadhyay, B.K. and Razdan, R.K. (1989) : Tectonics of a part of the Shumar allochthon in eastern Bhutan. *Tectonophysics*. 169. 51-58.
- 酒井治孝(1988) : ヒマラヤ以前-テチス海と Gondwana 大陸-. 木崎甲子郎編. 上昇するヒマラヤ. 11-39.
- 酒井治孝(1997) : エベレスト直下のデタッチメント断層とそのヒマラヤ造山運動におけるテクトニックな意義. *地質学雑誌*. 103. 240-252.
- Sarkar, A. and Dasgupta, S. (1995) : The Granitic Rocks. in Bhargava ed. *Bhutan Himalaya, A Geological Account*. GSI Special Publication. no.39. 143-171.
- Sen Gupta, S. and Raina, P.L. (1980) : The Buxa Stratigraphic Column as exposed in Bhutan Hills, and its possible range in age. in K.S. Valdiya and S.B. Bhatia ed. *Stratigraphy and Correlation of Lesser Himalayan Formations*. Hindustan Publ. Corp., Delhi. 223-227.
- Shanker, R., Kumar, G. and Saxena, S.P. (1989) : Stratigraphy and Sedimentation in Himalaya : a Reappraisal. in Shanker *et al* ed., *Geology and Tectonics of the Himalaya*. Geol. Surv. of India. Special Publication. 26. 1-60.
- Singh, T. (1973) : A note on the fossiliferous formations in Lesser Himalaya of Nepal and Bhutan. *Himalayan Geology*. 3. 372-380.
- Singh, T. (1981) : Age and Faunal affinity of the Garu Formation, Arunachal Pradesh. *Himalayan Geology*. 11. 271-286.
- Sinha Roy, S. (1974) : Tectonic Elements in the Eastern Himalayas and Geodynamic Model of Evolution of Himalaya. *Misc. Pub. Geol. Soc. India*. 34 (1). 57-74. *
- Sinha-Roy, S. and Sen Gupta, S. (1986) : Precambrian deformed granites of possible basement in the Himalayas. *Precamb. Res*. 31. 209-235.
- Srikantia, S.V. and Sharma, R.P. (1972) : The Precambrian salt deposits of the Himachal Pradesh Himalaya - its occurrence, tectonics and correlation. *Himalayan Geology*. 2. 222-238.
- 高田将志(1992) : ブータンヒマラヤの地形-山間盆地の河岸段丘に関するいくつかの問題-. *地学雑誌*. 101. 283-297.
- Talukdar, S.N. and Ranga Rao, A. (1978) : Is there a concealed Miogeosyncline in the Himalayas?. *Himalayan Geology*. 8(1). 560-573.
- Tangri, S.K. (1995a) : Baxa Group. in Bhargava ed. : *Bhutan Himalaya, A Geological Account*. GSI Special Publication. no.39. 38-58.
- Tangri, S.K. (1995b) : Diuri Formation. in Bhargava ed. : *Bhutan Himalaya, A Geological Account*. GSI Special Publication. no.39. 59-63.
- Tangri, S.K. and Pande, A.C. (1995) : Tethyan Sequence. in Bhargava ed. : *Bhutan Himalaya, A Geological Account*. GSI Special Publication. no.39, 109-142.
- 富樫幸雄(1995) : ブータンの工業用鉱物資源とその開発. *地質ニュース*. no.485. 29-40.
- Tripathi, C., Gupta, P.D., Ghosh, R.N., Malhotra, G. and Dungrakoti, B.D. (1978) : Geology of the Area around Pasighat, Siang District, Arunachal Pradesh with special reference to its Eocene Rocks. *Himalayan Geology*. 8 (2). 1064-1079.
- Tripathi, C., Dungrakoti, B.D., Jain, L.S., Kaura, S.C., Basu Roy, S. and Laxmipathi, N.S. (1982) : Geology of Dirang-Doimara area, Kameng district, Arunachal Pradesh. with special reference to structure and tectonics. *Himalayan Geology*. 10. 353-365.
- Valdia, K.S. (1980) : The two intracrustal boundary thrusts of the Himalaya. *Tectonophysics*. 66. 323-348.

MOTEGI Mutsumi (2001) : *Geology of Bhutan and Neighbouring Areas 1 - Generalization and Geostructural Problems -*.

<受付: 2001年10月19日>