

ブータンとその周辺の地質 (2)

—その概要と問題点—

茂木 睦¹⁾

3. レッサーヒマラヤの地質

3.1 概要

MCTの北側にある変成岩類(Upper nappe)に対し, MCTの南側にはLower nappeとも呼ばれるレッサーヒマラヤの変堆積岩類と二疊紀の地層が分布しており, さらにMBTを隔ててシワリク層がある。

ブータンではこのレッサーヒマラヤの変堆積岩類のうち, 最も北側(見かけの上位)に分布しているのは板状珪岩と千枚岩を主とするシュマル層で, 一般にザクロ石黒雲母片岩を主とする変成相が断層で片麻岩と接しており, 南(見かけの下位)に行くにしたがって変成度が低くなっている。

シュマル層の南には石灰岩・ドロマイトと珪岩, 雑色の千枚岩などからなるバクサ層群がある。バクサ層群はメランジと考えられる乱雑な地層であり, これまでは調査者によって2層ないし4層に分けられているが異論が多い。

さらにその南には厚い含礫粘板岩のディウリ層, ゴンドワナの扶炭層を下部に含むダムダ垂層群, 海成の下部二疊系のセティ・コーラ層など, 二疊紀の累層がそれぞれ衝上断層で境されて分布しているが, これら二疊系については議論は少ない。二疊系は地質図上では一括してゴンドワナ層群と図示した。

大きく見ると, 上に述べてきたレッサーヒマラヤの変堆積岩類は, それぞれが衝上断層で境されていて, 見かけの上位の北から化石を含まないシュマル層, 上部RipheanからVendianのストロマトライトを産するバクサ層群, 二疊紀の化石を産する

ゴンドワナ層群と, 南側(見かけの下位)ほど地質時代は若くなっており, ブータンのレッサーヒマラヤの層序は全体として逆転しているとみられる。

Acharyya(1980)は, 西隣のシッキム・ダージリンでシュマル層とバクサ層群に相当する変堆積岩類をダリン変成岩類(層群)として一括してフリッシュと考えている。その南にはゴンドワナが分布している。

東隣のアルナチャルプラディッシュではブータンと同様にレッサーヒマラヤの変堆積岩は3区分されており, 北からディラン(結晶片岩)層, ボンディアラ層群があり, 最も南に二疊紀のゴンドワナ層群が分布している。

なお, 前述したようこれらのシュマル層とバクサ層群に相当する地層には, しばしば片麻岩状の両雲母花崗岩がtectonic sliverとして含まれている。

また, 現在はアッサム独立義勇軍がインド軍に追われてブータンの南部国境地帯にいるため, 治安の問題で立ち入りはできないところが多く, 調査はペンツォリン(写真10)を中心とする地域に限られる。

このほか, 局部的に分布しているレッサーヒマラヤの地層としては, ブータン東部のMCT帯に挟まれて, 厚さ100mのジュラ紀のバルソン(Barsong)層がある。前にも述べたがレッサーヒマラヤの変堆積岩類は, バクサ層群からゴンドワナ帯まで新しい地層ほど南側(見かけの下位)に分布しているが, このバルソン層はレッサーヒマラヤでもっとも若い地層でありながら最も北に分布しており, MCT帯に巻き込まれているという点で, このバルソン層は特異である。

1) 元ブータン地質調査所, JICA専門家:
〒157-0062 東京都世田谷区南烏山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

3.2 シュマル層 (Shumar Formation)

(1) 概要

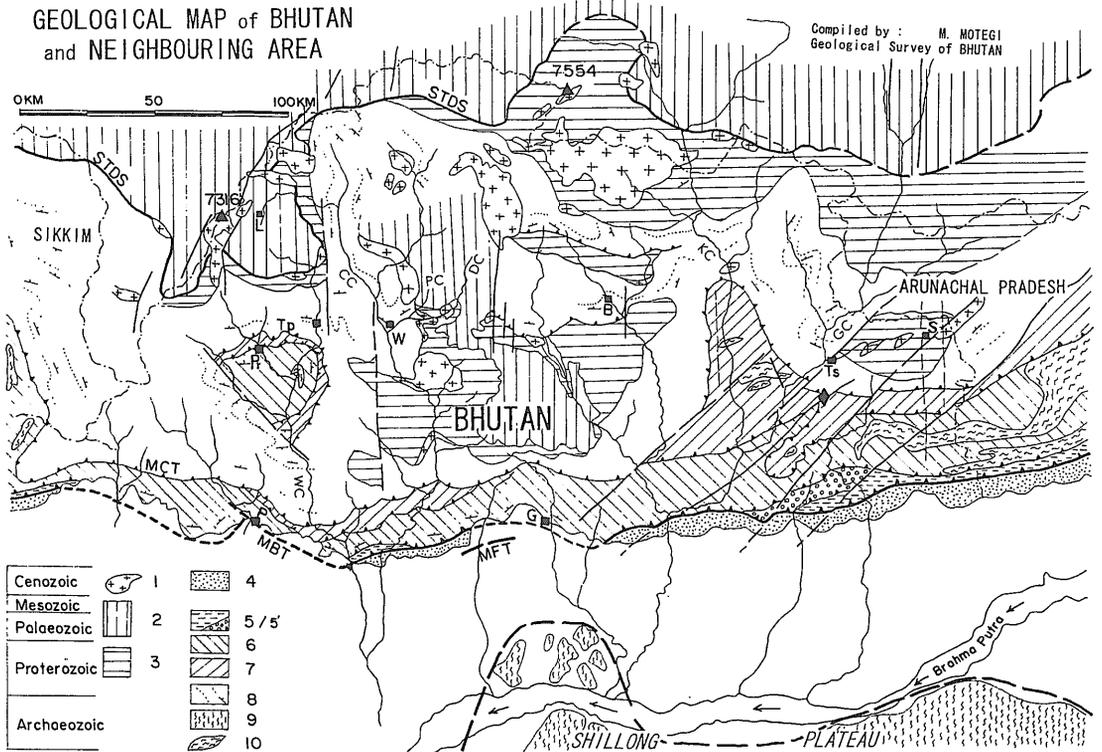
シュマル層は Nautiyal *et al.* (1964) が東部ブータンの Nangkur-Shumar 地区を模式地として、千枚岩、板状珪岩、塊状珪岩などからなり、時に石膏を挟む地層をシュマル統と命名したもので、ブータン西部のサムチ (Samchi) 統の中の千枚岩や珪岩の部分に相当する地層としている。

模式地からその北のクルチュウ・ハーフウィンドウと呼ばれる北に湾入した地区に分布しているシュマル層については、すべての研究者がシュマル層であると認めている。しかし、ブータン中部から西部にかけて MCT の下位に接している地層については、Nautiyal *et al.* (1964) の地質図では、第5図と同じく2カ所の珪岩だけをシュマル層としているが、GSI (1983) ではクルチュウ・ハーフウィンドウの地層だけをシュマル層とし、ほかはす



写真10 ブータン第2の都市プルツォリンとインドのジャイガオンは遠望では一つの町。遠景はバクサ層群マナス層のドロマイの山。MBTはここでピギーバック構造を造っているとみられる。

べてバクサ層群としている。一方 Tangri and Pande (1995) は岩相に無関係に MCT の下位の地



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、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 (◆はパルソン層の位置を示す)。地名の略号: B=ブムタン、G=ゲレフ、P=プルツォリン、Tp=ティンブー、Ts=タシガン、W=ウォンディポダン、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。

層をすべてシュマル層としている。

このように、シュマル層の珪岩とバクサ層群の珪岩はかなり混同されており、両者を区別することが妥当なのかどうかを含めて再検討が必要である。

構造的な問題としてMCTの下位にある地層の岩相をみると、クルチュウ・ハーフウィンドウのようにMCTが北に100km近く張り出しているところではシュマル層の板状珪岩が広く分布する。また、山麓から70kmほど山側のパロ地区の地窓にもリップルマークを伴う石英質砂岩や板状珪岩のシュマル層が分布する。このように北部にあって山麓から離れた地区には板状珪岩が見られるのに対し、ブータン南西部山麓のプンツォリン市(第5図のP)近くでMCTの下位に直接する地層は、珪岩よりもバクサ層群とおもわれる千枚岩であることが多い。

一般に、MCTは上盤の地層とは平行であるが、下盤の地層とは斜交していることなどを考え合わせると、上記の事実は板状珪岩と千枚岩を主とするシュマル層は、変成岩のupper nappeに覆われていることを示唆しているのかもしれない。

また、グレートヒマラヤではチェカ層が片麻岩に直接する部分にザクロ石黒雲母片岩を主とする変成相があるのと同様に、レッサーヒマラヤでシュマル層が片麻岩と衝上断層で接しているところにも厚さ最大150mほどのザクロ石片岩があることが多い。Dasgupta (1995)はこのザクロ石片岩の上下盤が衝上断層で境されているとしてジャイスダダ(Jaisidanda)層を提唱したが、最近の調査では、この岩相は見かけの下位に向って漸次変成度が低くなっており、その下位の非変成ないし弱変成のシュマル層とは漸移関係であるので、本稿では今までどおりにシュマル層に含めた。

(2) ブータン各地のシュマル層

Gansser (1983)はシュマル層を、千枚岩質頁岩、粘板岩、珪岩からなるレッサーヒマラヤでもっとも複雑な堆積岩類であると性格づけて、ダリン・シュマル層群と呼んでいるが層序については議論していない。

ブータンにおけるシュマル層の岩相層序を大きく見ると、含雲母板状珪岩と千枚岩・雲母片岩の互層を主とする地層で、衝上断層(MCT)で片麻岩に接している北部には厚さ50mから150mのザクロ

石黒雲母片岩相がある。この層序は構造的には逆転していると考えているが、一般に本層の北部、見掛けの上部では板状珪岩、珪岩、雲母片岩を主とし、ときに石灰岩を伴う。中ないし上部では板状珪岩に塩基性火山岩を挟み、厚さは2mm程度であるが連続性の良い銅の層状鉱化作用がみられ、下部では千枚岩質である。そのほかの岩相としてはチェカ層の珪岩礫岩と酷似する礫岩や千枚岩質砂岩がある。Gansser (1983)は東部ブータンのタシガンで層厚は5,000mとしている。

ブータン東南部のペマガツェル(Pemagatshell)県では、本層の上部層に石膏のレンズを構造的に(断層で)挟み込んでおり、稼行されている。また、シュマル層の下部をかぎる衝上断層に近いところには、衝上断層の下位にあるバクサ層群のドロマイトの岩体を取り込んでいる例もある(Jangpanji, 1974)と報告されている。

(3) 近隣地域のシュマル層

西隣のシッキム・ダーズリン地方では、シュマル層とバクサ層群は一括してダリン変成岩類とかダリン層群、ダリン・バクサ・シーケンスなどと呼ばれ、つねに3区分されている。Gangopadhyay and Ray (1978)はダリン変成岩類で最も北にある最下部層のゴルバタン(Gorubathan)亜層群をシュマル層に対比している。ゴルバタン亜層群はダリン層とも呼ばれる。中部層はレヤン(Reyang)層またはレヤン・プンツォリン層、上部層はバクサ(Buxa)層と名付けられている。

ゴルバタン亜層群の岩相は、フリッシュに似た千枚岩質砂岩、緑泥片岩・塩基性火山岩とこれに伴う層状金属鉱床、陽起石-透輝石片岩とされ、グレートヒマラヤのシュマル層の岩相変化と対比できる。

また、Gansser (1964)はダリン層は先カンブリア紀からカンブリア紀にかけての粘土質岩であるとして西ヒマラヤのシムラ(Simla)粘板岩相当とみている。このほか、ブータン中部におけるテチス堆積岩類最下部のチェカ層の岩相がダリン層に驚くほどよく似ていると述べている(Gansser, 1983)ことは前述した。

酒井(1997)はネパールでMCTの下盤となっているクンチャ(Kuncha)層について、厚さ5km以上

の単調な岩相でフリッシュに似た千枚岩、千枚岩質砂岩、礫混じり砂岩がくり返し、上部には玄武岩質のシルや火砕岩が挟まれ、最上部にはリップマークや斜交層理の発達した石英砂岩層を伴うとしている。このクンチャ層は構造的な位置も岩相層序の記載も、先カンブリア紀後期と見なされている時代も、ブータンのシュマール層とよく似ている。

東のアルナチャルプラディッシュでは、片麻岩とMCTで接しているディラン結晶片岩は変成したシュマール層であろうとJangpangi (1980) は述べている。ディラン層の南には、ボンディアラ層群、ゴンドワナ層群と分布している。

Kumar (1997) によればディラン層の岩相は、最下部では引き伸ばされた礫をもつ礫岩から漸次上方に細粒となっており、ついで黄金色のドロマイトと黄鉄鉱・硫砒鉄鉱・黄銅鉱入りの炭質千枚岩のバンドを含む珪岩、透輝石入りの大理石と珪岩・片岩の繰り返しと累重して、最上部にザクロ石雲母片岩があり、全体で4,000mから5,000mあまりの地層である。

このディラン層は、二つの点で注目される地層である。一つは前述したようにKumar (1997) がグレーターヒマラヤのルムラ(Lumu La) 層に対比しているので、テチスの最下部層がレッサーヒマラヤに連続していることになる。

二つめは、このディラン層の岩相はブータンのシュマール層のザクロ石片岩相に対比できると考えられるが、その変成相の層厚の変化がきわめて大きいことである。すなわち、このディラン結晶片岩層の層厚は、東のアルナチャルプラディッシュでは4,000mから5,000mを超えている(Kumar, 1997) が、ブータンでは50mから150m (Dasgupta, 1995) で、一部ではこの片岩相を欠くところもある(Koike, 2001b)。さらに西のダーズリンではGangopadhyay and Ray (1978) の図上でみると、ダリン変成岩類最下部のゴルバタン層の厚さは約3,000mと推定される。これは、MCTが下位の地層と斜交していることによるのかもしれない。

3.3 バクサ層群 (Baxa Group)

(1) 概要

ブータンではシュマール層の構造上の下位には、

シュマール断層を隔てて先カンブリア紀とされているバクサ(Baxa) 層群がある。バクサ層群は“著名なブータン南西部のバクサ(Buxa) 砦の名から1875年にMalletが命名した”(Tangri, 1995a) とされているが、命名時の綴り間違いの“Baxa”がそのまま使われている。

前にも述べたとおり、シュマール層の珪岩とバクサ層群の珪岩との振り分けは研究者によって異なり、したがってバクサ層群とシュマール層を分けるシュマール断層の位置はパロ地区で観察できるほかは明確ではないため、シュマール断層についての記載は見あたらない。

バクサ層群についての議論をまとめると、Acharyya (1974) によれば、当初Lahiri (1941) はバクサ層群上部(北部)のドロマイトだけをバクサ層と呼び、ジャインティ(Jainti) 珪岩を含むそのほかの岩相をシンチュラ(Sinchu La) 層と呼んだ。Nautiyal et al. (1964) はバクサ層にドロマイトの見かけの下位にあるディウリ(Diuri) 礫層を含め、紫色や緑色の千枚岩など、そのほかの岩相をプンツォリン(Phuntsholing) 層とした。

Acharyya (1974) はバクサ層群の下部(南部)の厚く成層した珪岩と青灰色ないし紫色の千枚岩、黒色炭質千枚岩をシンチュラ層、上部のドロマイトと珪岩の厚い地層をジャインティ層とした。その後、Acharyya (1980) はダリン・バクサ・シーケンスと呼び、下部からフリッシュ状のフェルシクワックと緑色岩、多金属層状鉄鉱床を伴う塩基性火山岩からなるダリン層、珪岩礫岩やオルソコーツァイト質の珪岩を伴い酸化が顕著な砂泥質のレヤン・プンツォリン層、その上のドロマイトと石灰岩のバクサ層に3区分した。これはAcharyya (1974) のバクサ層群の地層名を変えて、その下にシュマール層に対比されるダリン層を加えたものであり、実質的にはシュマール層をバクサ層群に含めることを提案しているともおもわれる。この場合、バクサ層群は二つの地層に分けられていることになる。

つまり、ここまでの研究者は珪岩の扱いは違ったが、見かけの上部のドロマイトを主とする地層と、見かけの下部の炭酸塩岩を含まない地層との2層に分けていた。

その後GSI (1983) の地質図では、ブータン東部でJangpangi (1974) が記載したドロマイトをおおう

珪岩を主とするトゥンシン層を、二畳紀のデイウリ含礫粘板岩から分離してバクサ層群の最下部層とし、下から珪岩のトゥンシン層、緑紫灰色千枚岩、灰白色珪岩、雑色の千枚岩質珪岩からなるプンツォリン層、ドロマイトに暗色のスレートと珪岩を伴うマナス(Manas)層に3区分した。本稿はこの層序を採っている。

Gansser (1983) はそれまでの研究史のまとめの中で、バクサ層群を下からシンチュラ珪岩層、ジャインティ珪岩層、およびバクサ・ドロマイト層と3区分したが、これはAcharyya (1974) からドロマイト層を独立させたことになる。なお、トゥンシン珪岩とシュマール層の珪岩にはいかなる差も見られないとしている。

Tangri (1995a) は見かけの上下関係 (order of superposition) で層序を記載しており、バクサ層群を下位から珪岩のジャインティ層、珪岩とドロマイトのマナス層、珪岩と千枚岩のプンツォリン層、および新設のパンサリ(Pangsari)層の4層にわけた。これは見かけの層序のため、マナス層とプンツォリン層の層序関係がこれまでのすべての研究者(たとえばGSI, 1983)と上下が逆になっている。さらにシュマール衝上断層の直下にパンサリ層を新設したが、逆転を考慮するとこの地層はバクサ層群の下部層に相当し、層序的にはトゥンシン層やプンツォリン層に相当する地層と思われる。

以上のように南部ブータン全域から、西はシッキム・ダーズリン、東はアルナチャルプラディッシュにわたり分布しているバクサ層群であるが、Acharyya (1980) のようにシュマール層をバクサ層群に含めるかどうかの基本的な問題のほか、異なる岩相に同じ地層名を用いたり、研究者によっては上下関係が逆になったりして混乱があった。これは前述の通り、レッサーヒマラヤ全体としての層序の逆転を考えていない研究者があることや、プンツォリン付近のバクサ層群にはオリストリスと考えられる連続性のない巨大なドロマイト岩体があること、繰り返して出現する破碎帯、複雑な押しかぶせ褶曲など、構造が複雑で正確な層序の確立が至難であるのも原因であろう。

今後は、バクサ層群が全体として逆転していることや、メランジである可能性を念頭に置いて、層序区分について十分に検討する必要があるだろう。

西隣のダーズリンで、シュマール層相当のゴルバタン垂層群に含まれている層状銅鉱床 (Gangopadhyay and Ray, 1978) が、ブータンのサムチではバクサ層群に含まれていることなども、層序の解釈になんらかの誤解があるのではないかと思われる。

なお、ブータン中南部の国境近くのサルバン町の北西5km付近には、鉛垂鉛鉱床を伴うバクサ層群の石灰岩層があり、その下位に食塩泉がある。これはSrikantia and Sharma (1972) がヒマチャルプラディッシュで記載した先カンブリア紀のドロマイト、石灰岩、雑色頁岩などに伴う岩塩層と食塩泉とも関連して、エバポライトがバクサ層群の中に含まれている可能性を示唆するものであろう。レッサーヒマラヤに分布するエバポライトは、すでに述べたシュマール層に含まれている石膏鉱床がある。

(2) バクサ層群各論

やや詳しい調査が行われているブータン南西部のプンツォリン市付近だけが、インドのゲリラが侵入しない安全に調査できる地域であり、数回にわたり調査に訪れた。この付近における層序は、北から南へ(下から上へ)、小さいガーネットを含む板状千枚岩、白色塊状珪岩、緑灰色千枚岩と珪岩の細かい互層、ときに珪岩礫岩を伴う雑色の石灰質珪岩、珪岩を挟む雑色の千枚岩・頁岩、厚いドロマイト、薄い珪岩を挟む緑色千枚岩、千枚岩を挟む灰白色珪岩となっている。

これまでの層序に対比すれば白色塊状珪岩までがトゥンシン層で、その上の緑色・雑色の地層がプンツォリン層、ドロマイトから上がマナス層に相当するとおもわれる。大きく見ると構造的には北に50°前後傾斜しており、層厚は大雑把にトゥンシン層が5,000m以上、プンツォリン層が3,000m以上、マナス層が2,000m前後とみられる。

トゥンシン層 (Thungsing Formation)

Acharyya (1974) によれば、当初バクサ層群下部の珪岩層はLahiri (1941) がジャインティ(Jainti)層と命名した。その後、GSI (1983) やRaha and Das (1989) は、ブータン東部で見かけ上ドロマイトを覆い上部に泥質岩を挟む珪岩層のトゥンシン層(Jangpangi 1974)をバクサ層群の最下部の地層と



写真11 プンツォリン層の破碎された千枚岩、微小構造の宝庫だが研究は遅れている。

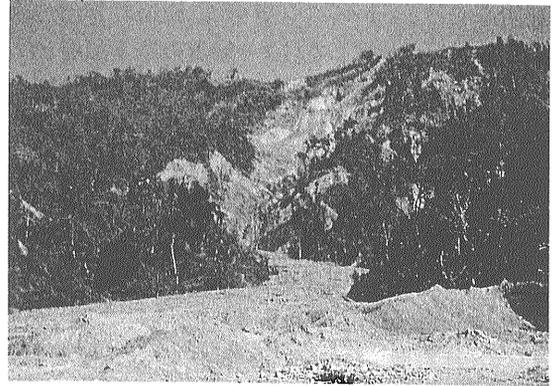


写真12 プンツォリン東部におけるブンツォリン層の斜面崩壊(茂木, 2000の場所)。

した。

なお, Tangri (1995a) が東部のトゥンシン層に対比できると考えたブータン中西部の“トゥンシン珪岩”は, Acharyya (1974) や Gansser (1983) がバクサ層群最下部の珪岩層と解してシンチュラ層と呼んだ珪岩層であるが, この地名の場所にある珪岩は Nautiyal *et al.* (1964) の地質図ではシュマール層とされており, 構造的な位置から判断して本稿の地質図でもシュマール層とした。

Tangri (1995a) によれば, 東部の模式地でドロマイトを覆うこの珪岩は, 一般に灰白色で層理が発達しており, 時に赤色珪岩や碧玉の薄片を含む珪岩礫珪岩のレンズを挟み, 堆積構造から古流向は $N10^{\circ}W$ から $N65^{\circ}W$ を示している。

なお Tangri (1995a) はバクサ層群の見かけの最下部層をジャインティ層とし, 千枚岩が卓越する“A部層”と桃色・紫色・白色の板状珪岩の“B部層”に分けているが, この地層は見かけの最下部層であり, ほかの研究者とは異なる地層を議論している。

ブンツォリン層 (Phuntsholing Formation)

Nautiyal *et al.* (1964) によって紫色千枚岩, 珪岩, 珪質石灰岩などの褶曲した地層に名付けられ, “南側で Gondwana または Sivapuri を (衝上断層で) 覆い, 北側ではドロマイトや粘板岩に断層か不整合で覆われる”とされ, ネパールでクロールの下位にある紫色粘板岩に対比された。

その後, GSI (1983) はトゥンシン層の上の緑色・紫色・灰色の千枚岩と珪岩, 雑色の千枚岩質珪岩,

桃色珪岩をブンツォリン層としている。Tangri (1995a) はブンツォリン層を白色から淡灰色の珪岩と灰色・灰緑色千枚岩, 千枚岩質粘板岩, まれに炭酸塩岩を含む互層状の繰り返しとしている。

このように多少の混乱はあるが, いずれも緑色, 紫色などの雑色の千枚岩を特徴とし, これに珪岩, 石灰岩を伴うという点で共通している。

なお, プンツォリン付近の本層は MBT に直接しているため, 激しく破碎されているので斜面崩壊が多く, 大量の土石がインドに流入している (写真 11, 12)。

マナス層 (Manas Formation)

GSI (1983) の地質図で初めて使われた地層名でドロマイトを主とし, そのほか珪岩, 炭質千枚岩からなるとされたが, ドロマイトが大部分で一部に石灰岩を含む大規模な炭酸塩岩がマナス層の特徴である。これらの炭酸塩岩には, 連続性にとぼしい巨大岩塊や 10km にわたって追跡できる薄いドロマイト層がある。

ティンブーから南に流れるワンチュウ (Wang Chhu, 第2図の WC) の下流部はライダック (Raidak) 川と呼ばれるが, その下流部に分布する炭酸塩岩にはストロマトライトを産し Acharyya (1974) は古生代のストロマトライトの可能性ありと述べたが, Raha and Das (1989) はインド各地との比較を行って上部 Riphean から Vendian を示すストロマトライト (*Jurusania himalayaika* など) を記載した。

(3) 隣接地域のバクサ層群

一方、東のアルナチャルプラディッシュでは、シュマール層に対比されるディラン層の南に断層(不整合?)をへだてて分布しているボンディアラ層群がバクサ層群に対比される。ボンディアラ層群については著しい混乱があることをKumar (1997)が詳述しており、ダージリンのダリン層(=シュマール層)に対比されたり、バクサ層群と同じ地層としてバクサ層群と呼ばれたりしたほか、ダージリン片麻岩に対比される片麻岩、結晶片岩をボンディアラ層群と呼んだ研究者さえあったという。

最終的にKumar (1997)はボンディアラ層群を下から珪岩を主とするケタバリ(Khetabari)層、下部の塩基性火山岩類と上部の珪岩からなるテンガ(Tenga)層、これを不整合で覆う礫岩、千枚岩の下部層と上部のドロマイトからなるチリーパン(Chilliepan)層に分け、それぞれをパロ層、プンツォリン層、バクサ層に対比した。

パロ層に対比されたケタバリ層は珪岩を主としたボンディアラ層群の最下部の地層であり、層序としてはバクサ層群最下部の珪岩を主とするトゥンシン層に対比されることになる。なお、トゥンシン層がパロ層に対比されたということは、パロ層に対比されているシュマール層とバクサ層群の最下部の地層が同じ地層ということにもなり、バクサ層群とシュマール層の区別について再検討が必要になってくる。

テンガ層は色調は灰色であるが、下部に塩基性火山活動があり、緑色の千枚岩のほか時に石灰岩の薄層を伴い、上部は板状の珪岩と千枚岩からなる地層でプンツォリン層に問題なく対比できると考えられる。

チリーパン層はドロマイトと雑色の千枚岩が特徴であるとされ、岩相や層準規制型の鉛・亜鉛鉱床を含むことから、バクサ層群の含ドロマイト層準(マナス層)との対比は問題ない。別項で述べたがティンブー近くのパロ層の中で層準規制型の鉛・亜鉛鉱床を含むドロマイトや石灰岩層も本層に対比される。

このように、ボンディアラ層群はシュマール層との関係に多少の疑問が残るが、全体としてはバクサ層群に対比される地層ということになる。

つぎにブータンの西方では、すでに述べてきたよ

うにAcharyya (1980)が提唱したダリン・バクサ・シーケンスや、Gangopadhyay and Ray (1978)のダリン変成岩類の中部層と上部層がバクサ層群に対比される。

3.4 古生界・ Gondwana 層群

(1) 概要

ブータンの地質調査の初期には山麓地帯の Gondwana からの石炭の産出が注目されていたが、体系的な調査はみられない。Nautiyal *et al.* (1964)はバクサ統の記載のなかで“ブータンで Gondwana とされている長石質砂岩は、バクサのドロマイトよりも若く、おそらくラニガンジ階であろう”としている。Jangpangi (1974)は、ディウリ含礫粘板岩とその下にあるトゥンシン珪岩をバクサに含め、ディウリ含礫粘板岩の南に破碎帯を隔てて接し、南はシワリク層に挟まれている挟炭層を Gondwana とした。

Acharyya and Sastry (1979)はブータンの Gondwana 層群を下部のランギット含礫粘板岩と上部の炭質砂質のダムダ垂層群に分け、ランギット含礫粘板岩は東部ヒマラヤ全般にわたって著しく均質であること、ダムダ垂層群は下部の含黄鉄鉱炭質シルト岩ないし砂岩のケロン(Kelong)層、挟炭層のバレリ(Bhareli)層、および後にみずから *Globorotalia* を記載したチュナバティ(Chunabati)層の3層をダムダ垂層群とした。

その後Joshi *et al.* (1990)がブータン中央南部山麓で、砂泥質の海成二畳紀のセティコーラ(Seti Khola)層を記載した。

このようにブータンの二畳系は、ブータン東南部に分布する厚い含礫粘板岩のディウリ(Diuri)層、Gondwanaの挟炭層を下部に含むダムダ(Damuda)垂層群、およびブータン中南部に分布する海成下部二畳系のセティコーラ(Seti Khola)層からなるが、地質図は100万分の1で作成したので、すべてをGondwana層群と一括した。

これら二畳紀の地層はそれぞれ衝上断層で境されているとみられるが、全体としてみれば南側はMBTでシワリク層群に接しており、北側は衝上断層を隔ててバクサ層群のプンツォリン層に覆われているとみられる。一方、Acharyya (1980)は東部ヒマラヤの議論の中でGondwanaはバクサ層群に非整合で乗るとしている。

(2) ゴンドワナ層群各説

ディウリ層 (Diuri Formation)

ディウリ層は最初に Nautiyal *et al.* (1964) が Diu Ri (Riは川の意) に分布する含礫千枚岩質粘板岩を Diuri Boulder Bed と命名してバクサ層群に含めた。その後 Jangpangi (1974) が Diuri Boulder Slate Formation と命名して二疊紀の地層とし、Gansser (1983) が Diuri Formation と改称したものである。

分布は、治安上の問題で調査ができない東南部ブータンの山麓部が主で、マナス (Manas) 川よりも東の地域に限られている。

Jangpangi (1974) は円礫の基底礫岩が、礫層を挟む薄い珪質砂岩に覆われ、その上に厚さ 2,500m に達する含礫粘板岩があると述べている。礫質は種々の珪岩、粘板岩、千枚岩、石灰岩、ドロマイト、まれに花崗岩、片麻岩を含み、角礫から円礫としている。

Tangri (1995b) によれば、ディウリ層の岩相は灰白色珪岩、帯緑色粘板岩、ドロマイトなどの礫からなる厚さ数 10m の礫岩にはじまり、暗灰色塊状無層理で淘汰のよくない含礫粘板岩とそれに挟まれる礫を含まない粘板岩・千枚岩からなっている。礫は垂角礫から垂円礫で最大の礫径は 25cm、礫質は淡色の砂岩、脈石英、灰緑色粘板岩、灰色ドロマイト、石灰岩などで、まれに花崗岩質岩を含むとされている。礫を含まない部分にある珪岩の中の斜層理から南から北への古流向が推定されている。

Acharyya *et al.* (1975) はアルナチャルプラディッシュでゴンドワナの最下部層としてランギット含礫粘板岩を記載した。この記載によればこの含礫粘板岩はワッケや珪岩と互層しており、斜層理、リプルマーク、スコアマーク、ロードキャスト、コンボリューションなどの堆積構造が認められる。また *Fenestella* を主とする含化石層が 50km にわたって連続しており、*Fenestella* のほか腕足類、二枚貝、海百合、生痕などを産し、保存が悪いために種の判定はできないが、全体の組み合わせから見てシッキムのランギット含礫粘板岩の化石群集に対比されるとして、最下部二疊紀としている。

さらに、礫の起源が近隣であること、淘汰が認められ、礫が円磨されていることから氷河で運ばれ

たととは考えられず、同時代に火山活動があることを勘案すると、海底地すべりと考えたいと結論している。

ブータン国内のディウリ層からは化石の報告はないが、アルナチャルプラディッシュのランギット含礫粘板岩からは、上述のようにシッキムのランギット含礫粘板岩に対比される化石群集を産すること、テチス堆積物のショドグ層に岩相が類似していること、後述の海成下部二疊紀のセティコーラ層と密接に伴っていることなどから、下部二疊紀であることは確かである。

層序関係について Acharyya *et al.* (1975) はブータン東南端のサムダップジョンカ (Samdrup Jongkha) 県の南北道路で下位のバクサ層群の珪岩とは漸移していると報告しているが、ブータン南西部の多くの衝上断層の覆瓦構造から見ればディウリ層全体としては北側ではバクサ層群、南側では二疊紀のダムダ層やセティコーラ層などと衝上断層で接していると推定される。

地質図ではゴンドワナ層群に含めた。

ダムダ層 (Damuda Formation)

挟炭層として著名であり Jangpangi (1974) により調査されて、いくつかの産炭地が“ゴンドワナ”として報告された。

本層はおおきく見て下部の挟炭層と上部の炭層のない地層とに分けられる。岩相は長石質砂岩、頁岩、炭層などで、それぞれの岩相は連続性に乏しくレンズ状である。砂岩は中ないし粗粒で円磨度の悪い石英、長石、雲母、ザクロ石、ジルコン、燐灰石と不透明鉱物からなっている。地層全体として下部で斜層理が見られる粗粒砂岩、上部で細粒の頁岩、炭質頁岩などとなっている。

暗灰色の砂岩からは *Glossopteris* や *Gangamopteris* などの植物化石を産する。また一部には *Fenestella* や巻貝などを含む海成相もあるが、Acharyya (1980) によれば、東のアルナチャルプラディッシュではさらに海の要素が強くなっている。

分布は限られていて、ブータン東南部のサムダップジョンカ県だけに延長約 65km にわたって分布しており、北側はバクサ層群またはディウリ層と衝上断層で接し、南側はシワリク層と衝上断層 (MBT) で接している。

なお、炭層は厚さ1mから数mであるが、灰分が多く品質バラつきが多い上、しばしばレンズ状に尖滅して連続性がないので資源としてはあまり重要ではない。

地質図では Gondwana 層群に含めた。

なお、ブータンの中央西部を流れるチャンチュウの下流部は、サンコシ(Sankosh)と別名で呼ばれるが、インドとの国境近くのサンコシ川左岸のダムダ層分布地域には、厚さ25mをこえる燐灰石鉱床が衝上断層(MBT)に沿って延長800mあまり確認されている(ESCAP, 1991)。ネパールの西隣のウツタルプラディッシュで、ムッスーリ向斜地区で採掘されている下部タール層の燐鉱石中の微化石は、古生代から上部白亜紀まで同定がバラついていたが、Azmi(1981)によって、リワークされた下部カンブリア紀の化石を含むが、後期カンブリア紀から早期オルドビス紀と時代が決定されている。

ブータンの燐灰石鉱床が、タール層の燐鉱石と同じ下部古生代の燐鉱石なのか、または世界的に多い二畳紀の燐鉱石なのか今後の検討課題であろう。

セティコーラ層(Setikhola Formation)

Joshi et al.(1990)がブータン中央南部山麓で、チャンチュウ下流部の右岸支流のセティコーラ(Seti Khola)において記載した砂泥質の海成二畳紀の地層で、下部の厚さ約400mの赤色ないし赤褐色の成層した砂岩と、中部の厚さ約140mの炭質頁岩と石灰質石英ワッケとの規則的な互層、および上部の厚さ約550mの厚く成層した灰色石灰質砂岩に炭質頁岩、礫層伴う部層に3区分されている。化石を産出するのは上部層だけである(Joshi et al., 1990, Joshi, 1995)。

全体の層厚はほぼ1,000mで、東西の延長方向に約10kmの分布が確認されている。また、南はMBTを隔ててシワリク層と接している。

現地は外国人立ち入り禁止地域であり、現在は調査を実施できないがJoshi et al.(1990)によれば、化石を産する最上部の石灰質灰色砂岩には斜層理が認められ、石灰質ノジュールや石英の核をもつウーライト(oolite)がみられた。含化石層は4層準あり、ノジュールの中からは早期二畳紀を示す *Neospirifer*, *Orthotetes*, *Trigonotreta*,

*Waagenoconcha*などの化石が得られている。

Joshi et al.(1990)は、この地層はSingh(1981)によってアルナチャルプラディッシュで海成 Gondwana を代表するとされたガル(Guru/Garu)層と岩相上の類似があり、化石と岩相の両者からガル層のボムテ部層に対比できるとした。また、ボムテ部層の上位にある含礫泥岩のシッキアブ(Sikki Abu)部層は、ブータン東南部のディウリ層に対比されるとしている。しかし、この対比は前述のKumar(1997)とは一致しない。また、模式地のセティコーラ周辺には含礫泥岩は見られない。

地質図では Gondwana 層群に含めた。

(3) 近隣地域の二畳系

この地域の二畳系の地層の時代についてはあまり議論はない。東隣のアルナチャルプラディッシュに分布する含礫粘板岩は、岩相と化石群集から西隣のシッキム二畳系のランギット含礫粘板岩に対比されるとしてランギット含礫粘板岩と呼ばれてきた(Jangpangi, 1974, 1978)。また、Kumar(1997)がビチョム層と呼んだ下部二畳系の海生動物化石を豊富に含む含礫泥岩を主とする地層もランギット含礫粘板岩に対比されている。

Acharyya et al.(1975)は、アルナチャルプラディッシュでバクサ層群相当のボンディアラ層群を不整合で覆っている地層をダムダ層群と呼び、下からランギット(Rangit)含礫粘板岩、ケロン(Khelong)層、バレリ(Bhareli)層に分けている。さらに、ブータンのダムダ層をインドの Gondwana 植物化石層に、炭層はインドの Gondwana 挟炭層に対比している。ブータンのダムダ層は、暗色の厚い砂岩・泥岩層で *Glossopteris* など下部 Gondwana の植物化石を含むバレリ層に対比されるとおもわれる。

一方、アルナチャルプラディッシュの地質を総括したKumar(1997)は、二畳系を下から珪岩礫岩にはじまり珪岩、長石質砂岩、雑色の千枚岩からなるミリ(Miri)層、これを整合に覆い下部二畳系の海生動物化石を豊富に含む含礫泥岩を主とする地層をビチョム(Bichom)層、さらにこれを整合に覆う厚い(4,050m)暗色の砂岩・泥岩層で *Glossopteris* など下部 Gondwana の植物化石を含むバレリ層、下部二畳紀の花粉を産する塩基性火山岩類のアボー(Abor)火山岩層に分けている。

ミリ層はバクサ層群より新しくゴンドワナよりも古いことは共通した認識とみられるが、Kumar (1997)はこれまでの議論と誤解を紹介し、下部二畳紀の化石を産するビチョム層に整合で覆われることから下部ゴンドワナと考えている。しかしミリ層の岩相の記載を見ると、下位のボンディア層群に属するテナガ層の珪岩と区別できるのかどうか疑問である。

従来ランギット含礫粘板岩とか、リル (Rilu) 層、ボムテ (Bomte) 層、ガル層など多くの名前で呼ばれた海生動物化石層は、Kumar (1997)ではビチョム層に含まれている。

また、アポー火山岩類の時代は、北西部ヒマラヤの下部二畳紀のパンジャル (Panjal) 火山岩層に対比している。記載によれば、溶岩は底部が緑色で表面が赤色とされており、陸的環境の火山活動と推定される。

Acharyya (1980)は、アポー火山岩類につながる火山活動はシッキムやブータンから東に行くほど目立ってくると述べている。さらに含礫泥岩はブータンから西のシッキムやチベットにかけてはテチスの動物化石を含む海成層に覆われていること、エベレストの北やダーズリンなどで *Glossopteris* を豊富に含む植物群はインドのラニガンジ植物群に対比されることなど、東部ヒマラヤの地質構造の枠組みを述べている。

3.5 中生界

(1) バルソン層 (Barsong Formation)

東部ブータンの中心地タシガンの南方道路で、MCTの直下に厚さ約100mの薄く成層した灰色石灰質粘板岩があり、この地層からは、ジュラ紀のOxfordianの花粉・胞子を産し、南のゴンドワナとも北のテチスとも異なる植物相とされておりPantic *et al.* (1981)によりバルソン (Barsong) 層と命名された。

この地層は上位の片麻岩や周囲の強く破碎された変堆積岩とは対照的な岩相であり、上盤のMCTで衝上している片麻岩との間には、数mのミロナイト化された珪岩と両雲母千枚岩を挟むだけで、一方下盤には厚いシュマール層が分布しており、この地層は“tectonic slice”であるとしている。

化石はジュラ紀のOxfordianとされている花粉の



写真13 インド側の平原から突然抜け出ているブータンの山。山麓がMBTの位置。

ほかに、主にシルル紀とデボン紀に産する *Angochitina* や、オルドビス紀からデボン紀の *Desmochitina* などがあることから、ジュラ紀には古生層が地表に露出して浸食されていたと解している。

さらに同定可能な花粉は埋没深度が7,000mまでであるとの研究を引用し、保存状態の良いことは驚異的であると述べている。共著者Gansse (1983)は以上をほぼそのまま引用している。

バルソン層は分布が狭いので、第5図には位置を◆で示した。

4. サブヒマラヤと低地の地質

4.1 概要

レッサーヒマラヤの南側はMBTで限られている。MBTの南には一般にシワリクが分布するが、ブータンでは西部を主とするMBTの延長距離の30%でシワリクを欠いているので、そこではサブヒマラヤ帯はないことになる。そのような所では茂木 (2000)が紹介したように、レッサーヒマラヤの変堆積岩がインド平原から突然抜け出しているように急斜面の山体をつくっている(写真13)。

このように、シッキム東部からブータン西部にかけてはシワリクは局部的に分布するだけであるが、ブータン中部山麓のゲレフから東方では、東隣のアルナチャルプラディッシュまでシワリクが幅広く連続して分布している。シワリクの分布の広さがMBTの活動量の累積に関係するとすれば、シッキム東部からブータン西部にかけてはMBTの活動が弱い、または活動量が少ないということになる。

そのほかに、古第三系と推定されている地層もあるのでテチス海の消滅についても紹介する。

4.2 古第三系 -テチス海の消滅-

ブータンには古第三系は知られていないが、疑わしい地層としてNautiyal *et al.* (1964)が記載したデワタン(Dewathang)統がある。デワタン統はブータン東南部のサムダップジョンカ県で、シワリクの北側に分布している緑色から焦げ茶色の珪質砂岩を主とする地層で、化石はないが下部第三系かもしれないとして仮に始新世とされた。

さらに、Acharyya and Sastry (1979)は、第三系が分布する地域の北部にある変形の激しい地層という点が共通するとして、デワタン統をダーズリン地方の下部中新統のチュナパティ層に対比した。このデワタン統についてはその後の研究はない。

また、現在はインド軍がアッサム独立義勇軍をブータンに追い込んでいるため、治安の問題で立ち入りはできない。

ネパールではレッサーヒマラヤの中に分布する古第三系について多くの研究がある。Talkdar and Ranga Rao (1978)がまとめた当時のヒマラヤの古第三系は、ネパールガンジ以西のMBTの両側に限られていたが、その後のGSIを主とする調査により産地も増えている。ここではネパールのほか、ダーズリンで*Globorotalia*を含む地層と、アルナチャルプラディッシュ東端で*Nummulites*を含む地層とを紹介する。

ネパールの始新統の層厚は西部国境から東へ薄くなっており(Talukdar and Ranga Rao, 1978), Dept. Mines and Geol. *et al.* (1994)の地質図ではナラヤニ(Narayani)川から東には古第三系は分布していない。また酒井(1988)によれば、始新世のサブトウ(Subathu)層には汽水性のカキ殻や陸上動物の化石の産出が知られており、ネパールでは東にゆくほど陸的な環境になってきていると解される。これらのことは、ネパールの始新世の海は西方で大洋に開いていたことを示すものであろう。

次に、Acharyya *et al.* (1987)が報告したブータン西隣のダーズリンで発見された*Globorotalia opina nana* B. を含む最下部中新世のチュナパティ層であるが、この海がどのような形の海であったのか議論できるデータは見あたらぬが、浮遊性有



写真14 MBTの断層上の淡水湖。地元では、タツノオトシゴやヒトデまでが生息しているという言い伝えがあるが…。

孔虫があることは細長く伸びた循環の悪い湾の奥であったとは考えにくい。

ダーズリンの西のネパールの海は、ネパール国内の東部で陸的な環境になっているので、より東のダーズリンまで海が続いていたとは考えにくい。一方、ダーズリンの東のブータンには始新世の海進は及ばなかったと見られており、下部二畳系以後の地層は知られていないので、ダーズリンの海がブータンよりも東のアッサム地方の海につながったとも考えられない。したがって、ダーズリンにはネパールとも、アッサムとも別の湾入部があったものであろう。

一方、ブータン東隣のアルナチャルプラディッシュではTripathi *et al.* (1978)が*Nummulites*石灰岩を報告しているが、以下に紹介するように産状については議論があり、再堆積したものという見解がつよい。いずれにせよ、この産地の南側のナガ山地には始新世から中新世の地層が広く分布しているので、南に開いた海が東端部ヒマラヤのアッサム地方に存在したことを示す。

以上のように、テチス海が消滅する時期にはネパールからアッサムにかけて三カ所の湾入部が推定され、ダーズリンの海とアッサムの海は、それぞれ南に開いていたと考えられる。

やや余談になるが、ブータン中南部の国境付近で海成二畳紀のセティコーラ層とシワリク層群が接しているMBTの断層上に小さな淡水湖(写真14)があり、地元ではカキやヒトデ、さらにタツノオトシゴまでが生息しているという言い伝えがある。

外国人の立ち入りが許可されない地域ではあるが、テチス海の relic fauna がいるとしたらビッグニュースなので、ダメでモトモトと旅行許可を申請したところ意外にも許可証が発行された。これが担当者の手違いで発行されたとは知らずに調査に出かけたが、結果としてはカキとされていたのは淡水二枚貝のタガイで、そのほかには青い縞があるメダカや、タナゴ、フナ、ドジョウなどの淡水魚しか見られなかった。地下水で涵養されている直径120mほどの小さな湖なので、テチス海の生態系が維持されている可能性はほとんどないと判断し、凶暴な野生の牛や野生の象を遠くに見て退散した。ところが2週間ほど後からゲリラの活動がこの付近で活発化したため、担当者の手違いを棚に上げて、著者がゲリラとの関係を疑われたりしたことがあった。

ここでアルナチャルブラディッシュ東端部と、アッサム地方にある古第三系の二カ所の産地について記載と議論を紹介する。

ヒマラヤの東端部近くのレッサーヒマラヤでは、二畳系のアポー火山岩類を覆っている暁新世から下部始新世のインキョン (Yinkiong) 層群があり、Kumar (1997) はいくつかの論文を抄録して、下部の火砕岩や緑紫色頁岩からなり植物化石を産するゲク (Geku) 層と、上部で *Nummulites* や *Orbitolites* などの有孔虫を産する灰色石灰岩と頁岩の互層のダルブイン (Dalbuing) 層とにわけられること、後者は北西ヒマラヤのスパトゥ層群に対比されていることを紹介している。

一方、もう一カ所の産地については議論が多い。最初の発見は Tripathi *et al.* (1978) で、ツァンボ川のアッサム平原への出口に近いパシガット (Pasighat) の北西約8kmのディハン (Dihang) 川沿いの調査で、いままでレッサーヒマラヤの古生層とされてきた地層から *Nummulites* を発見したと報告した。その地区の第三系を、下から灰色砂岩、石灰岩、炭質頁岩などで *Nummulites* を産する850mの厚さのレンギン (Rengging) 層、灰褐色砂岩、灰色頁岩のダフラ (Dafla) 層、時に含礫のゴマシオ砂岩のスパンシリ (Subansiri) 層と3区分し、それぞれの時代は始新世、中新世、鮮新世とした。

Acharyya (1980) はこの化石産地を調査し、MBTに近い炭質の地層は二畳紀の動物化石や白

亜紀の Ostracoda を産するが、始新世の海成層は MBT の南側のシワリク帯の中にあること。また、化石を含む砂岩はグリットや礫岩に伴っているがこれらの中にはレッサーヒマラヤの岩片は全く認められないことを報告し、この地区の堆積物は北のヒマラヤからではなく南から供給されていることを示唆した。

Kumar (1997) はレンギン層から報告された数種の *Nummulites* や *Operculina*, *Globorotalia*, *Lepidocyclina* などについては、種の同定や再堆積の可能性について多くの議論があることを紹介し、再堆積した化石であると考えた。さらにこれらすべての第三系を Acharyya (1980) と同じく MBT よりも南側にあるとして、全体をシワリク層群と一括した上で次のように4区分した。

最下部の *Nummulites* を産するレンギン層はキミ (Kimi) 層と命名して、岩相からも構造的な位置からもダージリンの最下部中新世の *Globorotalia opina nana* B. や *Globigerina* を産するチュナバティ層に対比できるとしている。

中下部のダフラ層は最大厚さ3,800mの砂岩頁岩互層で、上位層に比べ雲母と石英が少なく、植物化石を産する。重鉱物は不透明鉱物、ザクロ石、電気石、ジルコン、エピドート、輝石、十字石、角閃石、カヤナイトである。

中上部のスパンシリ層は単調な粗粒ゴマシオ砂岩で、厚さは4,200m。不規則な形の石灰質ノジュールを含み、重鉱物はエピドート、角閃石、カヤナイトが増えて電気石、ジルコンが減少する。

最上部のキミン (Kimin) 層は礫岩優勢の地層で、固結していない砂や粘土を挟み、厚さは2,300mに達する。礫質は多い順に片麻岩、珪岩、片岩で、挟在する粘土は下部では緑灰色で上部では赤みを帯びる。重鉱物は電気石、ジルコン、ルチル、紅柱石、カヤナイト、シリマナイト、ザクロ石、十字石などで、紅柱石があることはヒマラヤとインド (シロン山地) の南北両方からの堆積物であることを示すとしている。

このようにヒマラヤの東端部近くにある古第三系は、レッサーヒマラヤの中で二畳系の火山岩類を覆っているインキョン層群と、MBTの外側のシワリク帯との二カ所の古第三系産地がある。しかし、これら二カ所以外のヒマラヤにおける古第三系産地は

遠く離れており、約700km西のダーズリンに至ってはじめて下部中新統が出現するが、古第三系はさらに西のネパールまで分布していない。

4.3 シワリク層群

(1) 概要

Lower nappeを形成するレッサーヒマラヤの変堆積岩類はMBTで南縁を限られており、MBTをへだててシワリク層群がある。ブータン地質調査所では計画的なシワリク層の調査は実施しておらず、シワリク層群の地質についてはデータは少ない。

ブータンにおけるシワリク層群の分布は局部的で、中南部の国境付近に小規模に分布するほかは、ブータン東半部の山麓部からアルナチャルプラディッシュにつながる地域に限られている。MBTの総延長の約70%にはシワリク層群が分布しているが、プンツォリン付近など約30%の範囲は、シワリクを欠いてバクサ層群の変堆積岩類がインド平原から突然盛り上がっている。後者ではシワリクの大部分はまだインド平原の下にあるものと考えられる。なお、アルナチャルプラディッシュの東端部のシワリク層群については古第三系の所で触れた。

ブータンのシワリク層群は、Nautiyal *et al.* (1964)により下部、中部、上部に3区分されている。下部層は雲母質砂岩で時に礫層や青灰色シルトを挟み、不明瞭な境界で中部層の礫層を挟む塊状軟質砂岩に移化する。上部層は灰色の雲母質の砂とそれを覆う厚い巨礫層である。下部層と中部層は褶曲しているが上部層は緩傾斜しているだけであり、デワタン地区では北西-南東方向の軸を持つ非対称褶曲が認められ、厚さは3,000mから4,000mに達するとした。この地区でシワリクの北側に分布するデワタン統については前述した。

次いでAcharyya (1994)は最下位の砂泥互層のFormation Iと、中ないし粗粒のゴマシオ砂岩で時に含礫のFormation II、巨礫岩と礫質砂岩で泥質岩をほとんど含まないFormation IIIとに分け、シワリク層群の堆積環境として下から上に、氾濫原、湖成層、河川堆積物、沖積扇状地または網状河川という変化を認めている。さらにダーズリンから南南東に約70km離れたバングラディッシュ最北部のボーリングの資料(Alam *et al.*, 1990)から、ダーズリン地方における堆積物の厚さは3kmを超えない

であろうと推定している。

ここではAcharyya (1994)の地層区分を採用し、文献と偶然の手違いで訪れることができたブータン中南部における限られた観察をもとに述べる。

(2) シワリク層群各説

Formation I: 細粒相で暗灰色、緑灰色の粘土質岩、細粒砂岩でときに石灰質ノジュールを含む。重鉱物についてはLakshminarayana and Singh (1995)はザクロ石、ジルコン、電気石、イルメナイト、磁鉄鉱であると述べている。

この時代に電気石を含む優白色花崗岩が後背地に露出していたとすると、ブータン東部で最も古い優白色花崗岩は29±7Maなので、シワリク層群の最下部層の年代について問題が残る。しかし、電気石は別の起源であるかもしれず、またヒマラヤの東ほどシワリクの最下部層の時代が若いということもありうるかもしれない。

化石としては月桂樹などの葉の化石やヤシの花粉などを含み、粘土の中には淡褐色の垂炭のレンズを挟むこともある。

Formation II: 前者を整合に覆う厚さ200mから1,000mに及ぶ地層で、ブータンでシワリクが分布する所では常にこの地層が分布している。

担当者の手違いで訪れることかできたブータン中南部で、たまたま観察できたシワリク層群はこの層準である。岩相は一般に塊状、ときには厚く成層する粗粒の青緑灰色のゴマシオ砂岩を主とし、漸移関係で含礫砂岩、レンズ状礫岩を挟み、まれに頁岩を伴う。砂岩には木炭化した1mほどの漂材がみられた。含礫砂岩のなかの礫は、10cm前後の粒形のそろった珪岩が大部分であった(写真15)。

Lakshminarayana and Singh (1995)によれば、ブータン東南部における礫種は珪岩、ドロマイト、石灰岩のほかに黒雲母片麻岩や花崗岩をまれに含むとされており、片麻岩が近隣の後背地に露出していたことを示している。また、ブータン東南部においては、Formation IIの基底部における最大礫径は10cm程度であるが、上部では3mに達する礫もあるという。

重鉱物については、Acharyya (1994)はFormation IからFormation IIへのカヤナイトの増加が

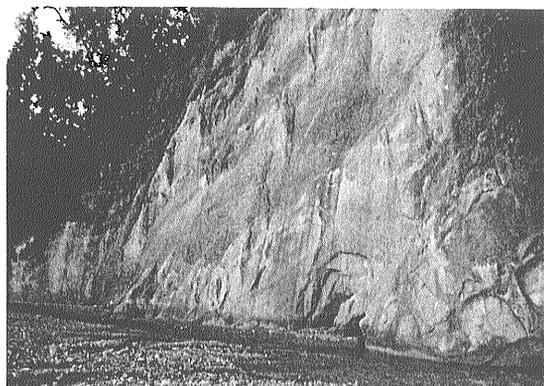


写真15 プータン中南部のシワリク層群のFormation II. 下部は塊状のゴマシオ砂岩. その上には礫岩を挟んでいる.

“Middle Siwalik Kayanite marker”に対応すると述べているが、Lakshminarayana and Singh (1995)はザクロ石、電気石、ジルコン、および不透明鉱物としか記載していない。

サムダップジョンカ県の石炭調査の際に、このFormation IIからワニの化石が発見されている(Dhaundial and Awasthi, 1981)ほか、材化石や葉の化石が粘土の中に見られる。プータン東部で見られる不規則な形の石灰質ノジュールは、局部的に土壌化をうけた地表を指示するもの(Lakshminarayana and Singh, 1995)と考えられている。

Formation III: Lakshminarayana and Singh (1995)によれば、この地層は前者を整合的に覆う厚さ600mから800mの地層で、東部プータンには分布せずに中南部プータンのライダック川周辺地区だけに分布している。岩相は巨礫岩、礫質砂岩、砂岩を主とし所によりシルトや頁岩のレンズを伴う。礫質は珪岩、片麻岩、花崗岩で、礫径は中礫から大礫で、基底部では礫は層理面にそって並んでいる。砂岩はワッケで黒雲母の多いマトリックスの中に珪岩、片麻岩、花崗岩、片岩、千枚岩などの岩片が入っている。重鉱物はカヤナイト、シリマナイト、ジルコン、ルチルで代表される。

なお、原著には当たれなかったがプータンにおけるFormation I, Formation II, およびFormation IIIの関係については、指交関係とする見方(Biswas *et al.*, 1979)もある。

4.4 第四系

(1) 概要

プータンの第四系は、一般に小規模な河岸段丘とそれに漸移してゆく扇状地や泥流堆積物を主とし、ほかには小規模な崖錐や、まれに地すべりによる堰き止め湖に堆積した湖沼堆積物がある程度で、第四系が広く分布している地区は限られている。

東部のブムタン(Bumthang, 第5図のB)は標高2,600m前後の広く開いた谷にあるため、段丘が発達しており、5段の段丘が識別されている(Gurung, 2001)。その上位には斜面に貼りついた礫層が4段あり、さらにその上位には標高3,000m以上の平坦面が、少なくとも3段認められる。

また、中部プータンのウォンディボダン町(第5図のW)付近にも2段の段丘とそれを覆う氷河湖決壊洪水堆積物などが知られている(茂木, 2001)。

風成層は厚さは1mほどであるが2,500mから3,000m付近の標高に各地で認められ、ブムタンでは2層が識別されている。

これらのほかに標高3,800m以上にはモレーンや氷河湖堆積物が見られる。

(2) 各地の第四系

第四系についての調査はようやく始めたところであり、またプータンでは第四系、とくに河岸段丘が何段にも発達しているところは限られている。ここでは現在までに調査が行われている地区について地域別に述べる。

ティンブー地区

Ikemoto (2000)はこの地区の第四系を扇状地、河岸段丘、崖錐に分類した。扇状地を形成する堆積物は巨大岩塊が地表面近くにあり、逆級化が認められるなど、地すべり堆積物や泥流堆積物とみられると述べている。

河岸段丘は2段認められ、比高2m~3mの低い段丘と比高5m~16mの高い段丘とがある。いずれも、主に淘汰の良い花崗岩や花崗岩質片麻岩の円礫層からなり、インプリケーションが顕著である。

扇状地はこの地区ではくり返し形成されたとして、層序関係から扇状地の形成期を3期に区分した。すなわち、高い段丘に削られている最も古い



写真16 ウォンディポダンの北側、バジヨ村の中位段丘からバジヨ僧院の丘を遠望。僧院の下の白色はアバットしているGLOF堆積物で氷縞粘土と塊状白色砂。(茂木, 2001)。

扇状地の時代をF1, 高い段丘とそれに漸移している扇状地の時代をF2, さらに低い段丘とそれに漸移している小規模な扇状地の時代をF3と区別した。

ウォンディポダン地区

茂木(2001)はウォンディポダン町周辺のチャンチュウ沿いの第四系を調査して、従来高位段丘とされていた地形が中位段丘を覆う地すべり堆積物の堆積面であり、この地すべり堆積物により大きな堰き止め湖が形成されたこと、その後の巨大な氷河湖決壊洪水(Glacier Lake Outburst Flood, 以下GLOFと略称)によって堰き止めていたダムが破壊されて湖が消滅したこと、このイベントは数1000年前の温暖な時代であったと予想され、地元の伝承に残っていることなどを明らかにして、第四紀地形発達史を図示した(写真16)。

この地区の地質は、低位段丘は比高2mから18mで旧河道などの微地形が明瞭である。中位段丘は比高20mから50mで、径20cmほどの円礫を主とする礫層と粗粒の砂層との互層である。中位段丘に含まれる特徴ある珪岩礫層の分布からみると、礫を供給した支流、ダンチュウの合流点は現在の合流点よりも約1km上流であった。

この中位段丘を覆っている泥流堆積物の堆積面が、比高約110mの高位平坦面を造っている。この泥流堆積物は、対岸の大規模な地すべりで形成された厚さ約60mの塊状無層理の乱雑な堆積物で、



写真17 1637年築造のプナカ・ゾン。築造時には上流の土着の神が巨石を送り届けたなどGLOFが頻発したと解される伝説がある。

これにより自然のダムが形成されて、上流のプナカ町までの延長10kmに及ぶ堰き止め湖が生じた。このダムは巨大なGLOFによって破壊されたが、ごく狭い範囲に残されたGLOF堆積物は氷縞粘土の破片を含む白色塊状の砂で、最上部には径13mにも及ぶ氷縞粘土の大塊がほぼ水平に堆積している堆積面が小規模ながら残っている。

プナカ町には、上流の土着の神が巨石を流送してゾン(Dzong, 国府と国分寺の機能をもつ城塞僧院, 写真17)の建設を助けたなど、上流から建築資材が供給されたことを示す伝説がいくつかあり、建設当時の17世紀前半にはGLOFが多発したものと解される。しかしそれ以後については、20世紀なかばまでそのような伝説がない。このことは、20世紀前半までの氷河湖は安定していてGLOFの発生はなかったとみられることを意味する。しかし、20世紀後半からはGLOFが多発しているの、温暖化が進捗していることを示唆するものと考えた。

プムタン地区

プムタン地区は、チャムカルチュウ(Chamkhar Chhu, 第2図のCKC)沿いに河岸段丘が多数分布し、ブータンで最も良く第四系が発達している地区であり、東京都立大学の岩田教授の現地指導を得てブータン地質調査所で調査を実施した。Gurung(2001)によれば、河岸段丘はI(比高3~5m), II(10~12m), III(15~20m), IV(38~40m), V(65~70)の5段が識別され、さらにそれよりも古い

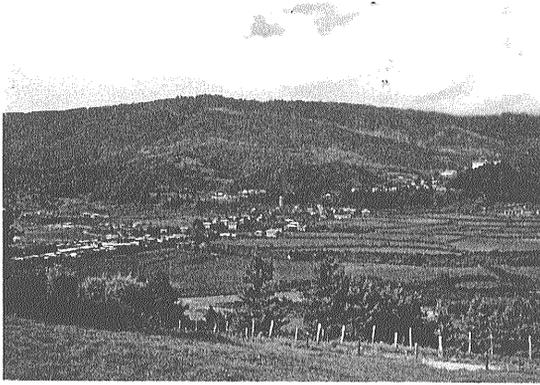


写真18 プムタン県を中心商店街とゾン。川岸の段丘Iの上は段丘III, ゾンの左の民家は段丘Vの上にある。ゾンは段丘Vを覆う泥流(29,940BP)の上に立てられている。

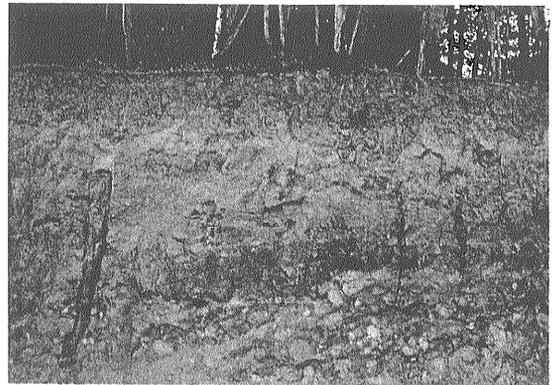


写真19 プムタン近くの峠, キキラ(2,900m)には比高270mの段丘堆積物を覆う白色風成層があり, それらを切る垂直の化石氷楔(?)とみられる構造が紫褐色風成層に覆われている。

段丘堆積物(比高265m)があるとしている。

著者は、V(65~70m)の段丘のさらに上に、比高120m, 170m, 230m, 270mにおいて段丘堆積物を確認している。比高270mの段丘はGurung(2001)が比高265mとした段丘なので、全部で9段の段丘が分布していることになる(写真18)。

このうち比高65~70mのV面と、それより上位の段丘は新期の紫褐色風成層に覆われている。また170m面から上位の段丘礫は主にクサリ礫で、露頭面では円形の断面となっている。比高270mの段丘堆積物の中には、堆積面に垂直な化石氷楔ともみられる楔状の構造がいくつもある。この化石氷楔状の構造は古期の白色風成層を切っており、さらに新期の紫褐色風成層に覆われている(写真19)。

さらにチャムカルチュウの左岸支流で埋蔵教典伝説で著名な“瀟”(地元では燃える湖・メンバル・ツォと呼ぶ)があるタンチュウ(Tang Chhu)の道路際の標高2,785m地点で、ゆるやかにうねるラミナをもつ淡褐色のシルトとこれを覆う乱雑な角礫層が見られたが、氷河堆積物の可能性があるかもしれない。

タンチュウの上流部にウジェン・チェリン・パレスと呼ばれる往時の豪族の館があり、その北東3kmにある石灰岩層でMotegi, Koike and Phuntsho(2001)が鍾乳洞を記載した。標高3,040mに入口があり、入り口から約140mはゆるく斜めに下っており、そこから上のぼり入り口の方向に戻っ

ているが終点までは確認できていない。全長は約200mに近い。近くのタンチュウの水面は約2,630mであり、比高370mのところ鍾乳洞の底があることになる。付近にはこの鍾乳洞の形成と同時期とみられる標高2,850mから3,000mにかけての緩斜面があるほか、その上位にさらに2段の緩斜面が見られる。これらは、このプムタン地方で最も高位の地形面である。

(3) 第四紀変動

Gurung(2001)によれば、プムタンの第四系についての岩田教授による年代測定結果は、IV面の段丘堆積物の中の材が $27,340 \pm 180$ BPで、V面の段丘礫層を覆う泥流堆積物の中の薄い泥炭が $29,940 \pm 180$ BPであった。二つの段丘面の比高差30mを2600年間の隆起量とすると11.5mm/年という異常に速い隆起速度となる。

一方、上述のように比高約370mのところ鍾乳洞が発見されたが、鍾乳洞が地下水面に沿って石灰岩が溶食されてできたとすれば、鍾乳洞の存在は石灰岩が溶食される期間にわたって地下水位が安定していたことを示す。つまりその地域の隆起活動が静かであった証拠であり、これに対応する地形面もある。

前項の異常に早い隆起速度と、鍾乳洞の存在とを考えあわせると、プムタンヒマラヤの隆起は間欠的におこなわれたのではないかと思わせる。

次に、活断層についてみると、茂木(2000)はプ

ンツォリン付近のMBTの破碎帯を口絵で紹介して“現在活動していると見られる”とした。さらにその西方延長部の5万分の1の地形図上で、青年海外協力隊の地質隊員の小池 徹はインド平原の扇状地に水系異常が認められることに気づいた。このことは、MBTがインド平原の扇状地に変形を与えており、東部ヒマラヤではMBTが活断層であることを示している。

MBTのさらに南側ではNakata (1972) がブータン中部山麓のゲレフの湾入部において、扇状地を南に傾動させている東西系の断層を認めてHimalayan Front Tectonic Lineとして記載した。Gansser (1983)はこの図を引用しているが、名称としてはMain Frontal Thrust (MFT)として図示した。

この地点はインド領内であるが、5万分の1図上で明瞭に読みとれるほどの、南に傾動した扇状地があり、傾動ブロックの北端には北向きの急傾斜の崖が連続している。すでに述べたように、この南方からは北に突出部をもつ基盤岩体のシロン山地がヒマラヤに衝突しており、このゲレフの湾入部だけにみられるMBTの外側の活断層は、シロン山地の衝突による局所的な現象とみられ、MCTやMBTとは運動形式も異なると見られる。

(4) 氷河周辺地形

ブータンでは標高3,800m付近から4,500m付近にかけて、顕著な氷河地形を伴う準平原が広く分布している。この準平原を流れる川には、モレーンで堰き止められた湖がそれぞれ2ないし3カ所見られることが多い。ティンプーの南には“Thousand Lakes”という多数の氷河湖(氷河はない)と高山植物のお花畑を見るトレッキングコースもある。

著者が実見した最も低い氷河地形は、ティンプーの北西約15kmにある氷河湖、ビメランツォ(標高3,815m)で高さ約15mのダムを作っている末端モレーンであるが、その下流にも削られたモレーンともみられる疑わしい地形が続いている。

またパロ(第5図のPr)の西の峠、チェレラ(約3,750m)付近の山稜緩斜面には構造土が発達している(写真20)

過去の氷期に氷河が到達した高度については、Bhargava (1995)は大きな川の支流で、U字谷が峽

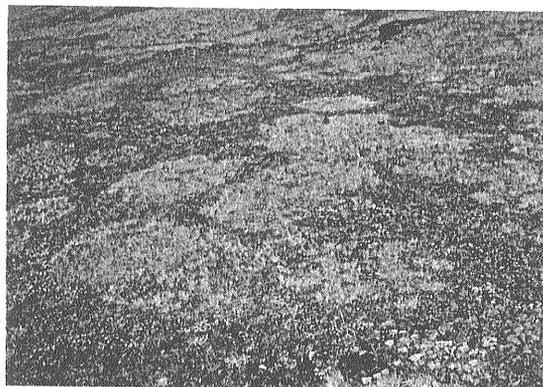


写真20 パロの西の峠、チェレラ(3,750m)からすこし登った標高3,850m地点の、山稜緩斜面にみられる構造土。イネ科の草はブロックの中に生え、センブリはブロックの間の細粒土壌のところに咲いている。

谷に変わる地点を過去の氷河の末端を示すとして、その標高を3,000mとしている。前述したブータン東部のタンチュウの2,785mの氷河起源とみられる堆積物の高度もこれに近い。

一方、Gansser (1983)は標高2,500mまで氷河が発達したと述べているが、この標高から推定すると、鶴が飛来する観光名所のポブジカ(Phobjikha)とその西にある標高2,600mから3,000mの3カ所の幅広い谷を氷河地形とみたものとおもわれる。

これらウォンディポダンの東10km～25kmにある3カ所の幅広い谷では、かつて川原であったことを示す風化した円礫層がしばしば見られ、谷頭部には風隙が認められる。したがって、これらの谷の成因としては、ゆるやかな起伏の準平原を南に流れていた川の上流部が、西方に流れるダン・チュウの谷頭浸食によって争奪されたものと考えられる。争奪により広い流域を獲得したダンチュウには急速な河床低下が起ったが、争奪された川は幅は広いが水量が少ない谷として残され、浸食作用が進行しないために、準平原時代の広い谷底となどらかな山地が残されている。

V. あとがき

筆者は1997年から3度にわたり国際協力事業団(JICA)の個人派遣専門家としてブータン地質調査所に派遣され、技術指導と地質調査の機会をえ



写真21 キャンプの朝。調査に出るときは寝袋から食器まで持参する。コックより早く起きて、人夫が集めてきた薪をくべて、お茶を待っているところ。学卒は新人でも一人でテントに寝ている。

た。それ以前の調査を含めると合計4年の滞在になるが、このような長期にわたりブータンに滞在した外国人地質家は、筆者が初めてだそうである。貴重な経験をさせていただいた関係諸氏に感謝する。

ブータン地質調査所は、1982年の第5次5カ年計画に伴い貿易産業省の中に新設され、数名の新卒地質家が配属されたのに始まる。しかし、実務経験のない新卒は業務方針もないまま、インド地質調査所の調査に参加したり、非金属鉱山関係の行政・管理を行っていたらしいが、記録も報告書も残っていない。

1997年の第8次5カ年計画の開始とともに、インドが実施しながらブータン側には報告もしない鉱物資源探査の評価や、地すべりなど新分野の調査能力を増強する必要性に迫られ、局長と所長の2名だけになってしまったシニア地質家に加えて、7名の新卒を急遽採用した。かれら若手の教育と、GSIが長年実施している資源探査ボーリングの結果を評価する目的もあって、日本に専門家の派遣を要請したものである。

装備についても1997年頃は調査に出るのに書類を書いてハンマーを借り出し、プラントコンパスはグループに一つという状態であったが、JICAの供与で調査に携わる全員がハンマー・クリノメータを持つようになった。また、二代にわたる青年海外協力隊員の派遣もあって調査技術の進歩は著し

く、いまでは地質図幅調査と防災地質図幅調査を実施して、各地で新発見の貴重な地質データが蓄積されつつある。

また、教育面では日本の大学に文部省奨学生枠を確保してもらうなどして留学生を派遣し、すでに3名が日本の修士課程に学んでいる。ほかにも米国、豪州の大学に修士課程の学生を受け入れていただいている。

2000年の末には100万分の1の近隣地域地質図を編集し、その一部は地学雑誌に紹介された(茂木, 2001)。さらに2002年には50万分の1地質図を発行する予定であったが、ブータン側の任期延長の要請は日本側から認められず、100万分の1の近隣地域地質図の改訂(GSB, 2001)にとどまった。

本報文ではブータンの地質の概要と50万分の1地質図にもりこむ予定であった最近の調査結果、およびブータンの地質の問題点を含めて報告した。

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., Saproo, 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 Gorbathan 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. 211-223p.
- Joshi, A., Dorji Wangda and Mamtang, 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 Tsihang-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) : ブータン王国プ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ポ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., Bhatte, 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 paly-nomorphs 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-Sarbhanga 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-テチス海とゴンドワナ大陸-. 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.
- Valdiya, K.S. (1980) : The two intracrustal boundary thrusts of the Himalaya. *Tectonophysics*. 66. 323-348.

MOTEGI Mutsumi (2001) : Geology of Bhutan and Neighbouring Areas 2 - Generalization and Geostructural Problems -.

< 受付 : 2001年10月19日 >