

地学クラブ講演要旨

ブータンの地形と地質構造

—今までにわかったこと—

茂 木 睦*

Land forms and Geological Structures in Bhutan

Mutsumi MOTEGI *

I. ブータンの地形の概要

1. ブータンは東西約 330 km, 南北約 180 km, 面積は 46500 km² で, 人口は 58 万 2000 人(1994 年)の小さな密教王国である。

もっとも低い標高点は, 南部中央のインドとの国境で 107 m。最高点は中央北部の中国国境にある名峰クーラカンリで, 7554 m である。

2. 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。Motegi(1998)はブータン全域にわたる接峰面図から, 3000 m, 4000 m, 5000 m の各等高線が, ブータン東南部の弱変成の地層からなるサクテン高地を除くと, 西から東に行くほど北にシフトする傾向があることから, 西部の隆起量は東部よりも大きいと解した。

3. ブータンの主要都市をむすんでいる東西道路は 3000 m 以上の峠をいくつも越えることになる。もっとも西のチェレ・ラ(約 3770 m, ラは峠をさす)では基盤岩が露出している草地がみられるが, その東側に並ぶ東西道路の峠はドチェ・ラ(3142 m), ペレ・ラ(約 3370 m), ヨトン・ラ(3425 m), トムシン・ラ(3767 m)のいずれも厚い風化帯があり, うっそうとした針葉樹の森林がみられる。この点で堅硬な基盤岩が露出していることが多いネパールの峠とは, 景観が全くこ

となっている。

茂木(1997)は西部ネパールの主中央衝上断層(以下 MCT と略称)帯には深部の構造が露出しているが, ブータンの MCT 帯では浅部が露出していることを指摘し, ブータンの隆起は“slow or recently started uplifting”であろうと述べたが, 尾根の上の厚い風化帯の存在は隆起がごく新しい地質時代のことではないかと思わせる。

4. 標高 4000 m から 4500 m 付近には顕著な氷河地形をとまなう準平原が広く分布している。氷河について Gansser(1983)は標高 2500 m まで氷河が発達したと述べているが, おそらくポブジカなどウォンディポダンの東南部の標高 2600 m から 3000 m 付近にある幅広い 3 カ所の谷を氷河地形とみたものと思われる。しかし, それらの谷には風化した円礫層が見られ, かつては円礫を有する川原であったことを示している。

これらの谷の成因については岩田修二教授に示唆いただいたが, ゆるやかな起伏の準平原をほぼ南に流れていた川の上流部が, 西方に流れるダン・チュウ(チュウは水・川をさす)により争奪されて, 幅広い谷が残されたものと考えられる。

なお, 調査した範囲でもっとも低い氷河地形は, ティンブーの北西約 15 km のビメラン・ツォ(ツォは湖, 標高 3815 m)のモレーンである。

* ブータン王国地質調査所(国際協力事業団・派遣専門家)

* Geological Survey of Bhutan, JICA Expert

本稿は 2000 年 11 月 20 日に行われた講演をまとめたものである。

5. 水系についてみると、ネパール東部のアルン川からブータン東部のクリ・チュウまで約 400 km の間は、すべての川はヒマラヤ山脈の南側だけの流れしており、先行河川がない。やや乱暴な議論となるが、ヒマラヤの西から東への変化が、西から始まった隆起運動の時間軸に対応していると考え、ヒマラヤの延長 2500 km を 5000 万年にわりふると、東のブラマプトラ屈曲点からクリ・チュウまでは約 1000 万年に相当し、アルン川までは約 1800 万年となる。したがって、先行河川がないアルンとクリチュウの 400 km の距離は隆起が急激だった 800 万年を代表するということになろう。

II. ブータンの地質構造の概要

1. ブータンの地質については、4 種類の地質図が 50 万分の 1 の縮尺で公開されている。

最初の地質図は 1983 年にインド地質調査所(以下 GSI と略称)が発行した *Geological and Mineral Map of Bhutan* で、広大な北部山岳地帯は未調査で残されたが、同じ年に出版された Gansser (1983) の地質図によって、北部山岳地帯の空白が埋められた。さらに 1991 年には、ESCAP のコンパイルによる地質図が公開された (ESCAP, 1991)。

東部から中央部ブータンにかけては、これら地質図の地質分布がほぼそのまま現在まで踏襲されている。ただし、Gansser (1983) の地質図で変成岩中の石灰岩として図示された岩石のかなりの部分は、珪岩や優白色花崗岩を誤認しているといわれる (Davidson *et al.*, 1997)。

つぎの地質図は、1997 年にゲラ刷りを校正して 1995 年付けで出版された Bhargava (1995) の *Bhutan Himalaya, A Geological Account* (GSI Special Publication 39) と題する図書の付図である。この地質図では変成岩類を境する MCT の下位、レッサーヒマラヤを構成する地層の最上部にざくろ石片岩を主とするジャイシダダ層を新設した。その存在については異論はないが、岩相に関係なく MCT の下位層をすべてジャイシダダ層と作図するなど、問題が指摘されている。

なお、パロ層の模式地もジャイシダダ層とさ

れたが、次に述べるようにフィールドの観察結果とは明らかにことなる。

2. ブータンの変成岩類は Nautiyal *et al.* (1964) 以来、片麻岩を主とするティンブー層群と、石灰岩・変堆積岩を主とするパロ層群とが衝上断層で繰り返しているとされてきたが、パロ層の層序的な位置については未だに議論がある。

主な論点はパロ層を変成岩のメンバーとみる (Gansser, 1983 など) か、レッサーヒマラヤの低変成堆積岩類が地窓状にパロ地区に分布しているともみるか (Janpangi, 1978, 1980 など) である。

最近模式地を再調査した結果、従来パロ層とされてきた片麻岩に被われている地層は、その最上部ではリプルマークをともなう板状珪岩があり、その下位層は上部に鉛・亜鉛鉱床を伴う石灰岩を挟み、下部に向かって石灰岩を含まない千枚岩質の地層となっている。これらの岩相層序から見て、模式地のパロ層はレッサーヒマラヤのシュマール層とバクサ層群に相当する地層を一括していると考えられ、Janpangi の調査結果と一致する。

3. ブータン地質調査所では、ブータンの地質を概観しやすくするために、以下の 8 地質単元にまとめてブータンと、その周辺の地質図をコンパイルした (図 1)。

グレートヒマラヤでは地質時代の古い方から、変成岩類、それを被って下部から上部に変成度が低くなるチェカ層、その上に乗るテチス堆積岩類、これらを貫く花崗岩類と 4 区分し、さらにレッサーヒマラヤに分布する低変成堆積岩類は、シュマール層とバクサ層群、および含礫粘板岩・含石炭層・海成二疊紀をゴンドワナ帯として一括し、3 区分した。これにインド平原に接する山麓の一部に分布するシワリク帯をふくめた 8 つの地質単位である。以下この新しく編集した地質図に基づいて主な点をのべる。

4. 地質構造についてはまずブータンの東部国境付近について、5 万分の 1 地形図から直線状の地形に注意しながら接峰面図をつくった。その結果顕著なリニアメントとしては北東-南西方向と南北方向とがあり、北東-南西方向のリニアメントはブータン国内の既知の断層と一致するものが多

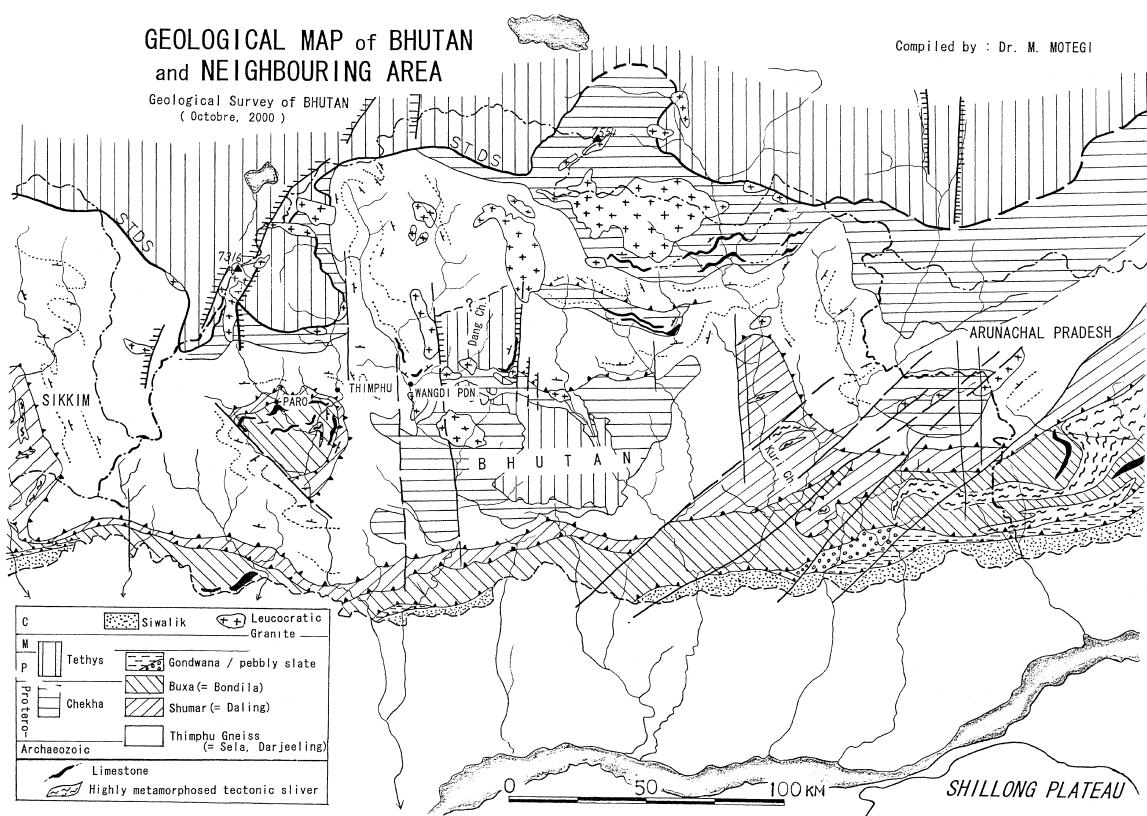


図 1 プータンおよびその周辺の地質図.

いことが判明した。そこでプータン東部の国境付近の北東-南西方向のリニアメントを断層と考えて、東隣のインド・アルナチャル地方の地質図 (Kumar, 1997) をふくめてコンパイルした。

この地質図によって、ヒマラヤ東端部の北東-南西系の地質構造と、ヒマラヤ主部の東西系の地質構造とがはじめてつながったことになる。

5. アルナチャル地方では花崗岩質片麻岩 (19 億年) の巨大な岩体が、レッサーヒマラヤ帯に取り込まれているが (Bhushan, 1999), このようなレッサーヒマラヤの中の高度変成岩のレンズは、規模の差こそあれプータン東部からシッキムまでの、シュマル層やバクサ層群の各所に含まれており (たとえば Sinha-Ray, 1997) tectonic sliver と呼ばれている。

一方, Nandy (1986) による東北部インドの重

力図を見ると、シロン・プラトーの南には低重力帯が東から西にはいりこんでおり、この地下に比重の低い地層で満たされた凹地ができていていることを示している。この凹地の北縁は池田 (1980) によって議論された活断層 (Dauki Fault) である。これらから、この凹地は活断層に関係する割れ目とみられ、これはシロン・プラトーが、ヒマラヤのシワリク帯に取り込まれつつあることを示しているものであろう。

6. プータン国内における第四紀に活動したとみられる南北系断層も新発見である。

プータン中部ではテチス堆積岩類の東西両側が南北系の断層で境されており、この南北系の断層は東西系の衝上断層に沿って貫入した花崗岩を切っている。未調査であるが、プータン東部の国境付近にも南北性の断層とみられるリニアメント

が発達している。これら2地域は Armijo *et al.* (1986) の南部チベットの南北性断層帯のうち、rift V と rift VI の南方延長部に相当する位置にある。

また、段丘をおおう泥流堆積物が南北系の断層で切られている露頭もある。

7. 一方、テチス堆積物がチベット側に滑り落ちる STDS は、チェカ層と化石を含むテチス堆積岩類との間を切っていると見られる。しかし、ティンプーの北部ではテチス堆積物の中の褶曲軸は北傾斜とされており (Ganesan *et al.*, 1977MS), その他のブータン地質調査所が調査した地区でもテチス堆積物の褶曲の形は、STDS の動きと一致しない例がみられる。

8. つぎに、石灰岩と珪岩をマーカーベッドとして既存のデータをコンパイルし、変成岩帯の大構造をみると、ブータン東部のクリ・チュウ地区に背斜構造、ブータン中央部のテチス堆積岩類が分布している地区に向斜構造、さらに西側のシッキムに背斜構造が明らかとなった。しかし、この変成岩帯の構造については議論できるデータがない。

9. 南部国境付近でシワリク層が地表に露出していない地区では、主境界衝上断層 (以下 MBT と略称) 帯がブータンの山麓 (国境) を形成している。

山麓線はなめらかな線ではなく、ところどころで北側に入り込んで湾入部ができています。このような地区では地層の走向も山麓線に平行して湾入しており、これにともなって北西-南東方向の破碎帯が見られることが多い。Armijo *et al.* (1986) はこの地区の MBT についてピギーバック構造のような断層を描いている。衝上断層帯の浅部に相当するので、ピギーバック構造もありうると考えるが調査は十分ではない。全体として、ブータンの MBT は活動中とみられる。

III. ブータンの自然災害

1. 自然災害に関しては斜面崩壊と氷河湖決壊洪水が重要である。

斜面崩壊は、変成岩地帯では南北系の断層周辺

に顕著である。一方、レッサーヒマラヤでは MCT の付近とその下位の低変成堆積岩類の地域に崩壊が多い。とくにシワリクを欠いて低変成堆積岩類が MBT をへだてて、インド平原に直接する地区では斜面崩壊が顕著である (茂木, 2000)。

氷河湖決壊洪水は、伝説によると 17 世紀前半には頻繁に発生したらしい (茂木, 2001) が、それ以後の約 300 年間は被害を及ぼすような洪水はなかった。しかし 1950 年以後は 1960 年, 1968 年, 1994 年と氷河湖決壊洪水が発生し (National Environmental Commission, 1993), 17 世紀前半に建造されたプナカのゾン (Dzong: 国府と国分寺をあわせた機能を持つ城塞僧院) が, 1960 年には 324 年ぶりにはじめて被害をうけている。

これは地球温暖化の議論にも関係するデータと思われる。

文 献

- Armijo, R., Tapponier, P., Mercier, P. and Tonglin, J.H. (1986): Quaternary extension in southern Tibet: Field observation and tectonic implications. *J. Geophys. Res.*, **91**, B14, 13803-13872.
- Bhargava, O.N. ed. (1995): *Bhutan Himalaya, a geological account*. GSI Special Publication, No.39, 245p.
- Bhushan, S.K. (1999): Reappraisal of the Geology between the MBT and the MCT in Western Arunachal Pradesh. In Pramod Kumar Verma ed.: *Geological studies in the eastern Himalaya*. Pilgrims Book, Delhi, 161-176.
- Davidson, C. *et al.* (1997): Metamorphic reactions related to decompression and synkinematic intrusion of leucogranite, high Himalayan crystalline, Bhutan. *J. Metamorphic Geol.*, **15**, 593-612.
- ESCAP (1991): *Atlas of mineral resources of the ESCAP region, 8, Bhutan*. U.N. Publication, E.92.II. F.7.
- Ganesan, T.M., Chaturvedi, R.K. and Reddy, K.P. (1977MS): *Progress report on the expedition to Llingshi and Laya, northwestern Bhutan*. Unpublished Prog. Rept., 1976-1977 Season, 30p.
- Gansser, A. (1983): *Geology of the Bhutan Himalaya*. Birkhauser Verlag, 181p.
- Geological Survey of India (1983): *Geological and mineral map of Bhutan (1:500,000)*.
- Janpangi, B.S. (1978): Stratigraphy and tectonics of parts of eastern Bhutan. *Himalayan Geology*, **4**, 117-136.
- Jangpangi, B.S. (1980): Lithostratigraphy and cor-

- relation of Daling (Phuntsholing): Buxa and Shumar formations of Bhutan Lesser Himalaya. In, *Stratigraphy and Correlation of Lesser Himalayan Formations*. Hindustan Publishing Corporation, Delhi, 211-222.
- 池田安隆 (1980): Himaraya-Burman Syntaxis のテクニクス. 月刊地球, **2**, 699-706.
- Kumar, G. (1997): *Geology of Arunachal Pradesh*. Geol. Soc. India, Bangalore, 217p.
- 茂木 睦 (1997): ヒマラヤの主中央衝上断層のスプレイイング. 地学雑誌, **106**, 320-331.
- Motegi, M. (1998): Physiographic study on Bhutan. *Bhutan Geology* (Geol. Surv. of Bhutan), **1**, 1-5.
- 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**, 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.
- National Environmental Commission (1993): *Bhutan's country report on natural disaster reduction*. 19p.
- 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. *22nd International Geol. Congr., New Delhi*, **XI/1**, 1-4.
- 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.