

ネパールヒマラヤのナップ・テクトニクス

Nappe Tectonics in the Nepal Himalayas

在 田 一 則*
Kazunori ARITA

I はじめに

近年、“造山帯”や“造山運動”の多様性の認識とともに、“regional geology”の研究が重要となってきた。大陸と大陸の衝突の典型例の一つと考えられているヒマラヤの研究もますます盛んになりつつある。この数年をみても、Seminar of the Himalayan geology（1976年、インド地質調査所、ニューデリー）、Colloques international : Himalaya（1976年、Centre National de la Recherche Scientifique、パリ）、International Geodynamics Conference（1978年、IUCG、Working Group 6、カトマンズ）、Symposium on Qinghai - Xizang Plateau、（1980年、中国科学院、北京）などの国際シンポジウムが開かれ、それぞれ大冊のProceedingsを出版している（GSI、1981；CNRS、1977；TATER、1980；GUPTA and DELANY、1981；中国科学院、1981）。今年の6月には中国・成都で、International Symposium on Geology of the Himalayasが中国科学院とフランスCNRSの共催で予定されている。一方、衝突帯における地殻上層部での現象として、“Thrust fault”や“Nappe”の構造や機構、原因についても種々議論がなされている（例えば、McCLAY and PRICE、1981）。

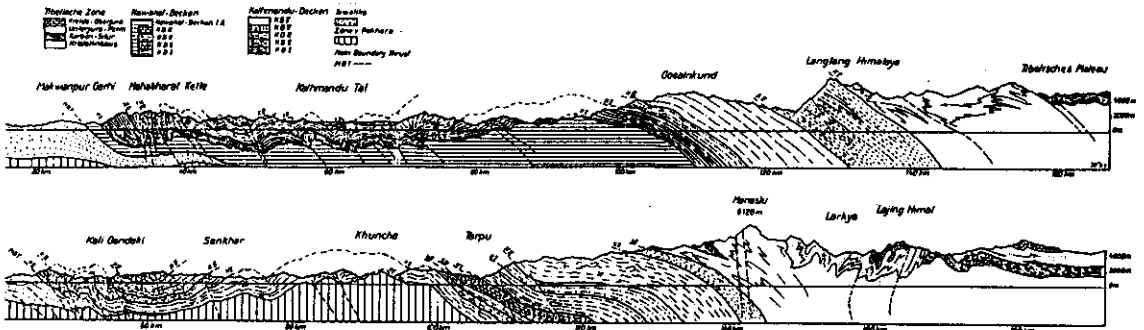
小論では、初めにヒマラヤのナップ構造論の歴史やネパールの地質の概略を述べ、ついでネパールヒマラヤのナップの構造やそれにまつわる現象について紹介する。

II ヒマラヤのナップ構造論の歴史

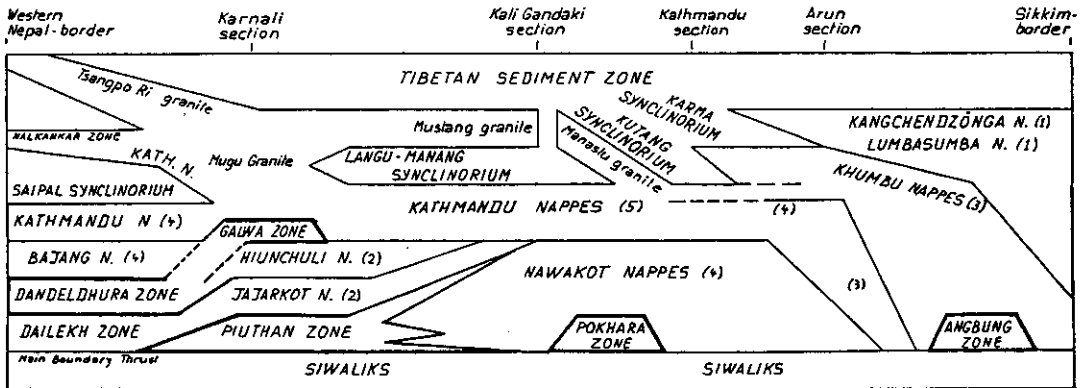
今世紀の初頭、ハンガリーの地質学者 L. v. LÖCZYはナップ説を初めてヒマラヤに適用した（HAGEN、1969）。彼はネパールの東端のカンチェンジュンガ（8570m）を通る地質断面（第1図）を示し、150 kmに達する大規模な横臥背斜を考えた。アルプスにおけるナップ論者の一人である E. ARGAND（1922）は WEGENER の大陸漂移説をヒマラヤの成因に適用し、ヒマラヤやチベットはインド大陸がアジア大陸の下にもぐり込んだ結果であるとした（第2図）。今世紀前期には、インド地質調査所の人たちがインドヒマラヤ（パンジャブヒマラヤやクマウンヒマラヤ）で多くのナップ構造を認め、その中で、J. B. AUDEN（1937）はクマウン地域で北から南へ衝上する Garhwal ナップや Krol ナップを提唱した（第3図）。彼の研究は HEIM and GANSSER（1939）とともに、今日の Himalayan geology の基礎となっている。T. HAGEN（1969）は1950年から10年間ネパール全土を歩き、数多くのナップ群を設定した（第4、5図）。しかし、彼は無化石のミッドランド堆積物を、岩相の類似性から、6,000 km離れたアルプスの二畳紀“Verrucano”に対比するなどしており、その構造には疑問がもたれた。

HASHIMOTO *et. al.*（1973）は HAGEN の主張した多数のナップ群には反対し、一部のナップ以外は原地性とし、基盤のブロック運動を強調した。G. FUCHS（1982）や最近のフランス派の人々

* 北海道大学理学部地質学鉱物学教室



第4図 HAGEN(1954)の考えた中央ネパールの地質断面 (HAGEN, 1969より)。
彼は累重したナップシート構造を考えた。Kathmandu ナップと Nawakot ナップがネパールヒマラヤの骨格をなす。

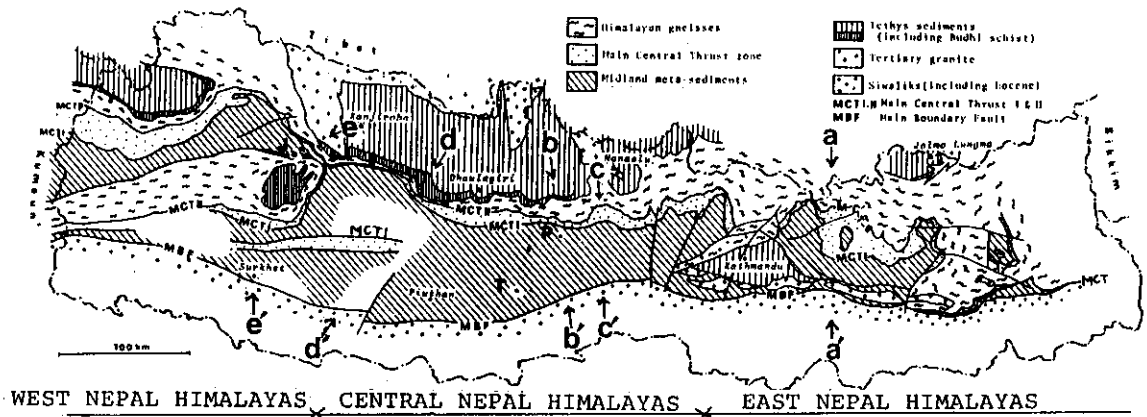


第5図 HAGENによるネパールでのナップの分布 (HAGEN 1969)。
太線で囲った原地性~準原地性ブロック以外はすべてナップ群からなる。カッコ内の数字はそのナップ群中のナップの数
を表わす。北(上)ほど上位のナップである。

に石灰質岩がつづく。これらの岩石は山脈方向の軸で大規模に褶曲し、その軸面は南落ちと北落ちの両方がある(第4図)。カトマンズ地域ではテチス帯の古生界がミッドランド帯の中に分布する。第6図ではこれらの岩石は北のテチス帯本体のものと独立した堆積盆をなすという解釈のもとに画いてあるが、北からのクリッペである可能性が高い。

2. ヒマラヤ片麻岩帯 (Himalayan gneiss zone; Higher Himalayas, Central Crystalline zone ともいう)

この帯は砂泥質部を主体とし、石灰質部や珪質部を挟む、中圧型の変成岩からなる。下部は珪線石や藍晶石、ザクロ石を含み、上部へ変成度が低下して、テチス帯へ漸移する。しかし、テチス帯との関係については種々意見がある。ヒマラヤ片麻岩帯の厚さは場所により大きく変わるが、最大10kmある。これらの岩石は北へ10°~30°で傾斜し、局所的な等斜褶曲は南へのフェルゲンツを示す。最下部は後述の Main Central Thrust zone (MCT帯)で切られ、MCT帯とともにその下位(南)のミッドランド帯に衝上し、一部では南でクリッペをつくっている(第7図)。ヒマラヤ片麻岩



第6図 ネパールヒマラヤの地質区分 (ARITA, 1981を一部改変)。
 a-a', b-b', c-c', d-d', e-e'はそれぞれ第7図-a
 ~eの断面位置を示す。MCTIおよびIIは Lower MCT,
 Upper MCTに当る。ミッドランド帯は内帯と外帯に区分し
 てない。J: ジュムラ, P: ポカラ, T: タンシン

帯の最下部は著しく変形し、ザクロ石が緑泥石化するなど強い後退変成作用をこうむっている。

3. ミッドランド帯 (Midland sediment zone, Lesser Himalayas とともいう)

ミッドランド帯は砂岩や泥岩、千枚岩、珪岩、石灰岩などからなり、10km以上の厚さをもつ。ストロマトライト以外には有効な化石が産出しないために、この堆積物の層序と時代は多くの議論を呼んできた。第6図では一括したが、ミッドランド帯は一般に、内帯(北側)と外帯(南側)に分けられ(第7図)、前者は先カンブリア系、後者は古生界~第三系からなる。内帯は全体として複背斜をなす、ゆるい構造を示し、外帯はそれとは対照的に閉じた複雑な褶曲帯をなしている(第7図)。内帯では局部的なものを除き、逆転層序はみられない。変成度の点でも両者に違いがあり、内帯の低変成に対して、外帯はほとんど変成していない。ミッドランド帯の南は Main Boundary Fault (MBF)によって、中新世~更新世のいわゆるモラッセ堆積物であるシワリク層群に接する。

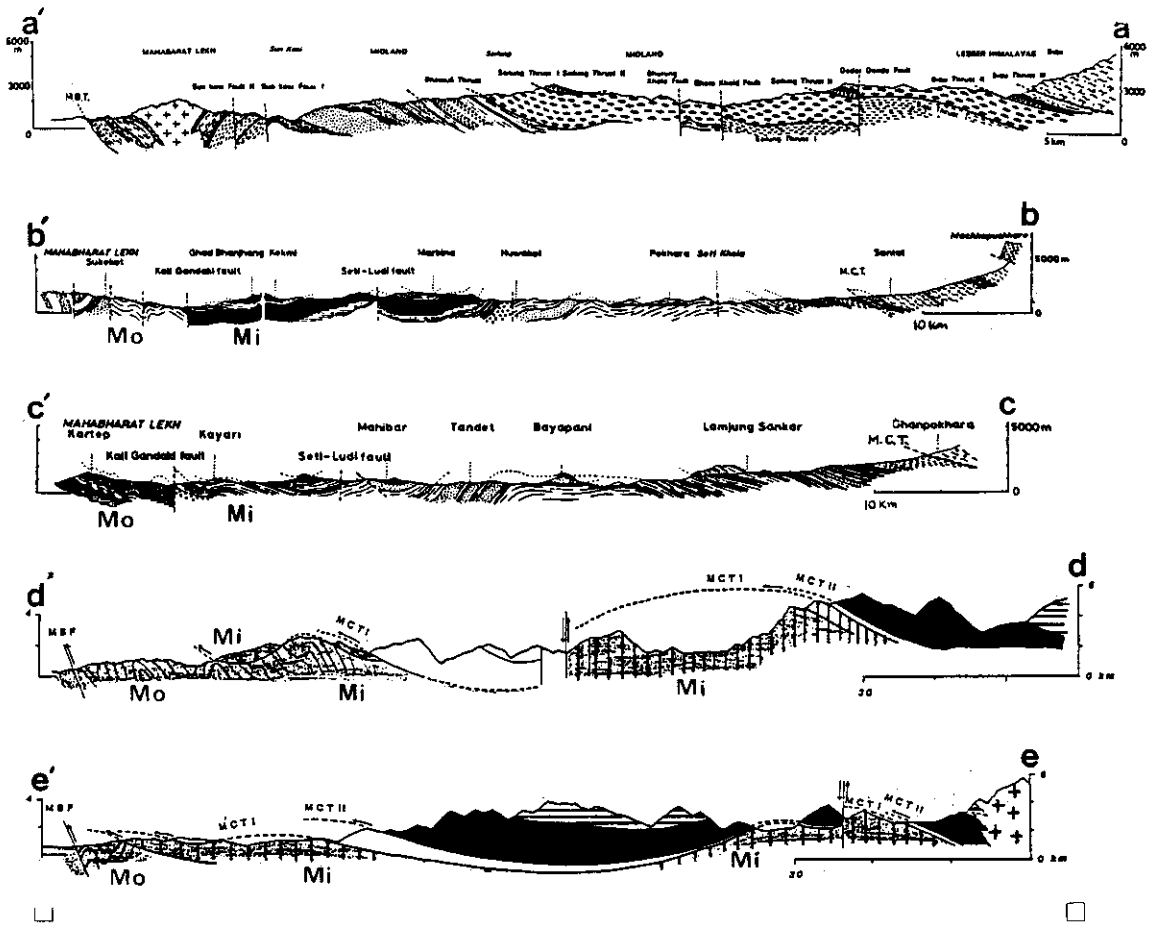
ミッドランド帯は以下に述べるように、しばしば北からのヒマラヤ片麻岩やMCT帯の変成岩のナップやクリッペ (Lesser Himalayan crystallines といわれる) でおおわれている。

IV ネパールヒマラヤのナップ構造

ネパールヒマラヤはヒマラヤ片麻岩やMCT帯の岩石の南へのナップやクリッペの発達程度から、便宜的に、ほぼカトマンズ以東の東ネパール、ジュムラ付近以西の西ネパール、その間の中央ネパールに大別できる(第6図)。東および西ネパールではナップがよく発達し、中央ネパールではまれである。ただし、このちがいは後の上昇、侵蝕の相違をあらわすのかもしれない。

東ネパールでは、blastomylonitic augen gneiss が多くを占めるMCT帯が南へ大きく衝上している(第7図, a-a')。さらに東では、ヒマラヤ片麻岩は南のMBFにまで達している。第7図, a-a'において、Sun Kosi Fault Iより南(左側)では、中心は花崗岩、周辺部は変成岩からなる向斜構造になっている。HASHIMOTO *et al.*(1973)はこれを Mahabharat 帯と呼び、独立した構造帯と考えたが、MAURO *et al.*(1979)は北からのクリッペとしている。

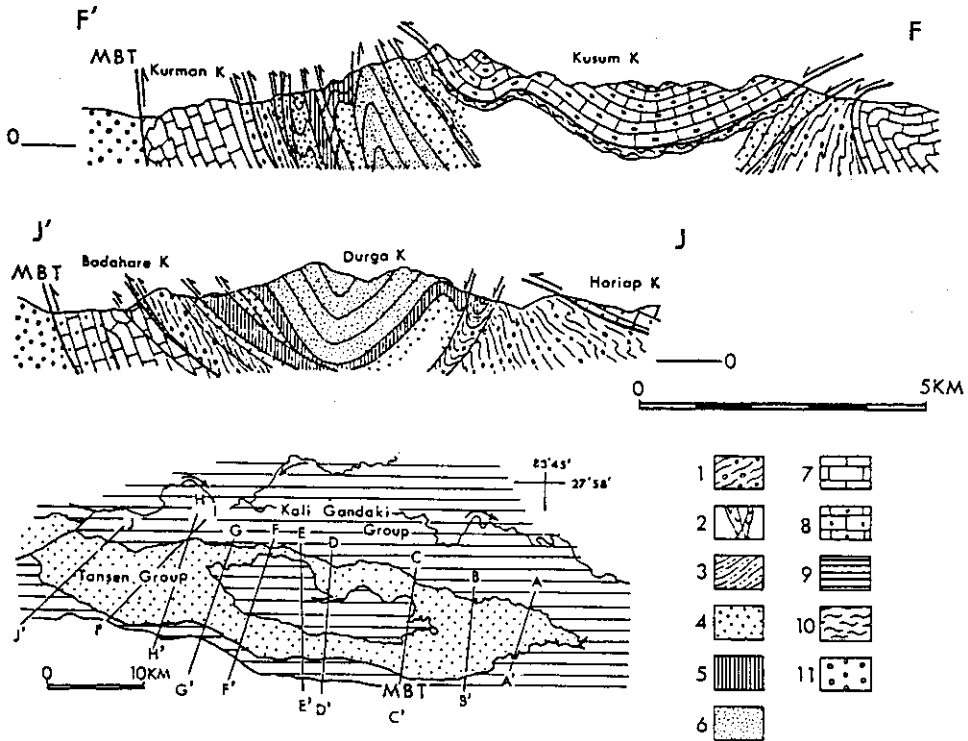
中央ネパールでは、MCT帯は北の“根”の部分に限られ、南にはミッドランド帯の堆積物が広く分布する(第7図, b-b' と c-c')。ミッドランド帯は Kali Gandaki 断層を境界に、北の内帯と



第7図 a-a' : 東ネパール, カトマンズ東方の地質断面(HASHIMOTO *et al.*, 1973)。Biqu Thurust IIIと Biqu Thrust I (Sai-lung Thrust I, Bhatauli Thrust)はそれぞれ後述の Upper MCTと Lower MCTに当る。b-b'と c-c' : 中央ネパールのポカラ (b-b')とその東方 (c-c')を通る地質断面 (HASHIMOTO *et al.*, 1973)。MCTは Upper MCTを示す。Lower MCTはその南であるが、ここではその位置が明瞭でないで示していない。d-d' : 中央ネパール西部の地質断面。激しく褶曲するミッドランド外帯 (Mo)の上に内帯 (Mi)が衝上し、クリッペを作る。黒塗りはヒマラヤ片麻岩、白地はMCT帯、横線はテチス帯下部、十字は花崗岩。e-e' : 西ネパール、ジュムラを通る地質断面。ヒマラヤ片麻岩が大小2つのクリッペを作る。凡例はd-d'と同じ。

南の外帯に分れる。両者はポカラ地域では (第7図, b-b'), Kali Gandaki-Bari Gad 断層 (現在は右横ずれの活断層である) で接するが、西方では前者が激しく褶曲している後者の上に衝上している (Midland Thrust)。さらに、それをおおって、MCT帯が衝上している (第7図, d-d'と e-e')。

最近, SAKAI (1983)は中央ネパール, タンシン地域の調査を行ない、ミッドランド外帯に相当す



第8図 中央ネパール、タンシン地域の地質断面 (SAKAI, 1983)。

1-6: Tansen 層群 (後期古生代~第三紀), 7-9: Kali Gandaki 層群 (先カンブリア紀), 10: Palpa クリッペ基盤の破碎帯, 11: シワリク層群

る部分は下部ゴンドワナ層を含む古生界~第三系よりなることを、多くの化石の発見により明らかにした。彼によると、全体として複向斜構造をなし、シュッペン構造を伴う複雑な褶曲をした Tansen 層群 (外帯に相当) の上に先カンブリア紀の Kali Gandaki 層群がクリッペ (Palpa クリッペ) としてのっている (第8図)。両者の間はどこにより、厚さ200mの破碎帯となっているが、上盤の Kali Gandaki 層群の基底部は、断層から20~30cmをのぞいてほとんど圧碎していない (堆積面を残している) のに対して、下盤の Tansen 層群は強く変形し、数mmから数10cmの角状やレンズ状のブロックを含んだ *mélange* あるいは *teconite* になっている。中央ネパール西部でも内帯の珪岩が外帯の破碎した石灰岩をおおっている (第7図, d-d')。

西ネパールでは、ヒマラヤ片麻岩がその下盤のMCT帯とともに南へ衝上し、ミッドランド帯の中で大きなクリッペを作っている (ARIFA *et al.*, 1984) (第7図, e-e')。この大きなクリッペの西方延長はインド、クマウン地方の有名なアルモラ・ナップ (HEIM and GANSSER, 1939) につづくと思われる。西ネパールでも、ミッドランド内帯は外帯の上に衝上しているようである。

V Main Central Thrust zone (MCT帯) とそのナップおよびクリッペ

これまで述べてきたように、ネパールヒマラヤでは、MBFを除いては、ミッドランド帯内の衝上断層 (ミッドランド衝上断層) と MCT帯の衝上断層 (押しかぶせ断層) の存在が明らかであり、それぞれナップやクリッペを作っている。ネパール以外でも両者に対応する衝上断層は広く認めら

れるが、特に MCT 帯のものはヒマラヤ全域にみられ、いろいろな名前がつけられている。

Main Central Thrust (MCT) とは、もともと HEIM and GANSSER(1939)によりクマウン地域で、カタ帯の高変成の片麻岩が下位の変成度の低いメソ帯の変成岩をおおう境界衝上断層に対して命名された。しかし、場所によっては、メソ帯の変成岩とその下位にあるエビ帯の変成岩（ミッドランド帯）との間の衝上断層の方が明瞭な場合もあり、MCT をどこにするかが問題となったりした (VALDIYA 1980。ただし、VALDIYAは HEIM and GANSSER(1939)を誤解しているように思われ、多少我田引水的である)。著者は上下両方に衝上断層があると考え、下を Lower Main Central Thrust (あるいは MCT I), 上を Upper Main Central Thrust (あるいは MCT II), 間を Main Central Thrust zone と呼んでいる。MCT 帯は上盤のヒマラヤ片麻岩が南へ衝上する滑動帯 (断層帯) であり、それ自身も衝上移動している。

1. MCT 帯の層序

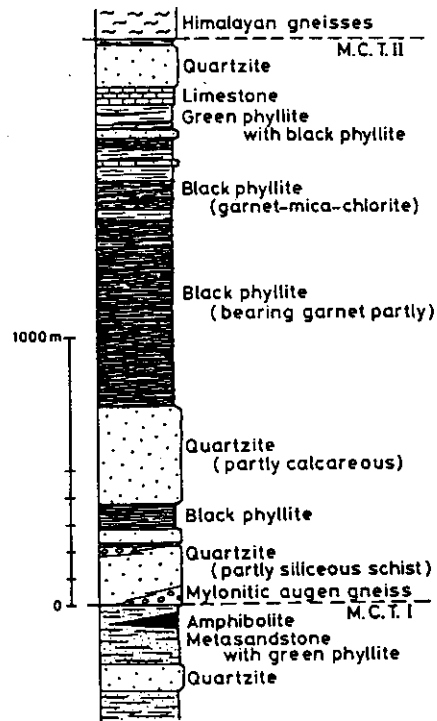
MCT 帯は、前述のように、全体が断層帯であるが、基本的には、下部は絹雲母千枚岩を挟む珪岩、中部は千枚岩や泥質片岩、そして上部は珪岩や石灰質岩に富む (第9図)。しかし、ところによっては、その一部しかなかったり、衝上断層で繰り返していたりして、厚さは様々 (数100~3,000m) である。下部には珪岩に伴って blastomylonitic augen gneiss が所々みられるが、東ネパールでは極めて厚く発達する (第7図)。泥質の千枚岩や片岩はみごとな snow-ball 組織をもつザクロ石をしばしば含む。全体的に変形、再結晶しているが、特に黒色~緑色千枚岩や石灰質岩には滑り面の発達が著しい。これらの岩石の時代ははっきりしていないが、岩相的に下位のミッドランド帯内帯の中部~上部に相当する可能性がある。

2. MCT 帯の構造

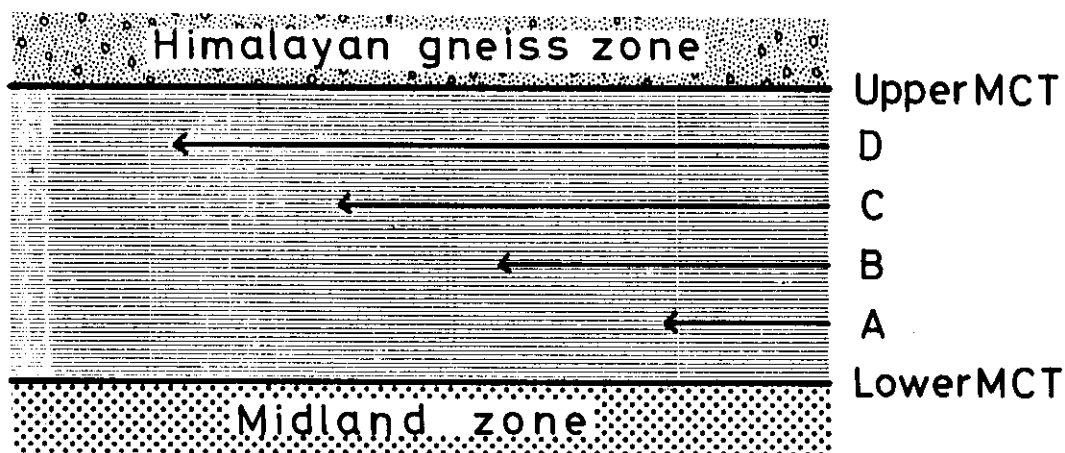
Upper MCT の位置はヒマラヤのどこでも岩質や変成度の点で明確である。しかし、Lower MCT は、上盤の MCT 帯と下盤のミッドランド帯の岩石がよく似ているため、認定し難い場合が多い。この原因は MCT 帯内の差動的滑動にあると考えられる (第10図)。ARITA *et al.*, (in HASHIMOTO *et al.*, 1973)

が MCT を I から IV まで分けたように、MCT 帯には大小沢山の滑り面 (衝上断層面) が考えられる。第10図において、Lower MCT の位置が C や D にある場合にはその存在ははっきりするが、A やその下位にある時は不明瞭になる (この図から MCT 帯の厚さとヒマラヤ片麻岩の移動量および Lower MCT の不明瞭さとの間にそれぞれ相関関係が予想されるが、今のところはっきりしない)。

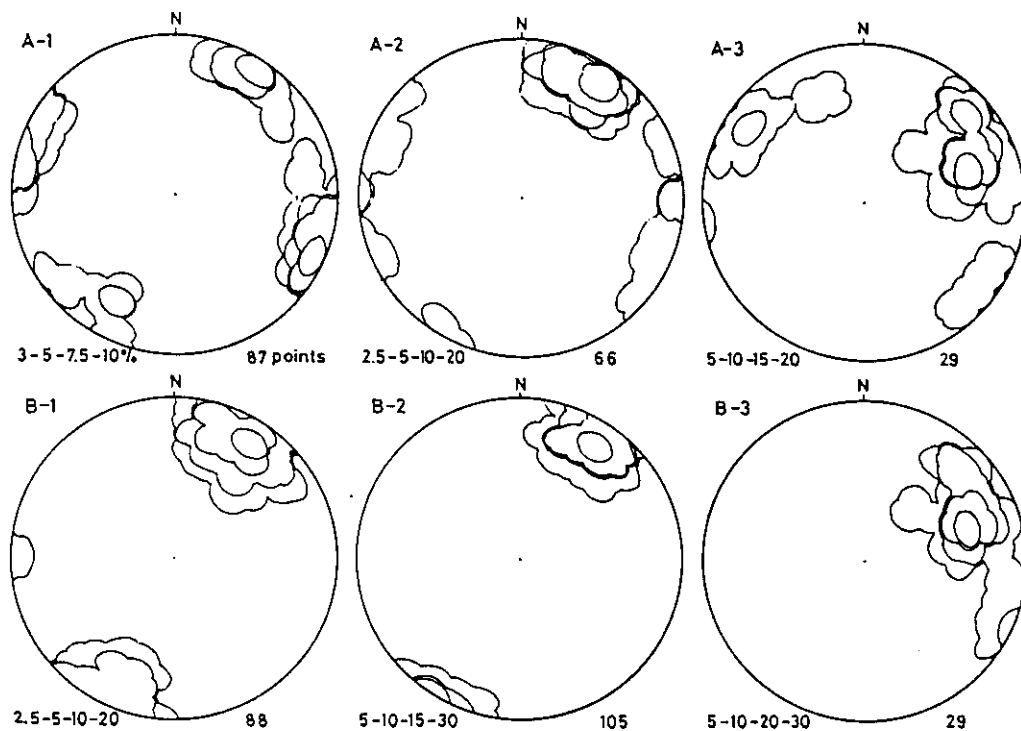
ミッドランド帯内帯や MCT 帯、ヒマラヤ片麻岩帯の岩石には 2 方向の線構造が発達している。ヒマラヤ方向と同じ西北西-東南東方向の褶曲軸と、雲母類や緑泥石の定向配列および石英の伸長による運動軸 a 方向 (北北東-南南西ないし北東~南西方向) の線構造である (第11図)。後者は褶曲軸も伴う。a 軸方向の鉱物線構造はミッドランド帯外帯にはみられない。ミッドランド帯と MCT 帯の a 線構造はともに北北東方向であるのに対して、ヒマラヤ片麻岩帯のものは北東方向で



第9図 中央ネパールの MCT 帯の層序 (ARITA, 1983)



第10図 MCT帯内の差動的変位を示す概念図。
矢印の長さは変位量の程度をあらわす。



第11図 中央ネパールのミッドランド帯内帯(1)とMCT帯(2)、
ヒマラヤ片麻岩帯(3)の褶曲軸(A)と鉱物線構造(B)ダイヤ
グラム (ARITA, 1983)
ネパール全域でも同じ傾向を示す。下半球投影。

ある。これは Lower MCT より Upper MCT の変位の方が大きいことの現われと考えられる。

3. MCT 帯の変成作用

ヒマラヤ片麻岩帯の変成岩は下部で藍晶石や珪線石を含む角閃岩相を示し、上部へ変成度は低下する。含まれるザクロ石はスペサルティン成分に乏しく、周縁へスペサルティン成分がより増加する後退的累帯構造 (reverse zoning) を示す。一方、MCT 帯の泥質岩は (ザクロ石) — 緑泥石 — 白雲母 — 黒雲母 — 曹長石 — 石英の組み合わせをもち、緑れん石角閃岩相の変成度を示す (ARITA, 1983)。GANSSEER はクマウン地域で、この岩石はアルプスの “schistes lustrés” にたいへんよく似ていると述べている (HEIM and GANSSEER, 1939)。東ネパールでは、MCT 帯の中心部よりも、上下の衝上断面に沿ってより高変成度になっており、十字石や藍晶石が生じている (MARUO *et al.*, 1979)。MCT 帯に特徴的にみられる blastomylonitic augen gneiss は polygonization や変形双晶を示す微斜長石や斜長石の巨晶 (時に 10cm に達する) や、再結晶した石英、曹長石、雲母、緑泥石を含み、典型的な fluxion 組織をもつ。ザクロ石はヒマラヤ片麻岩のものとは対照的に、スペサルティン成分に富み、累進的累帯構造 (normal zoning) をもつ。

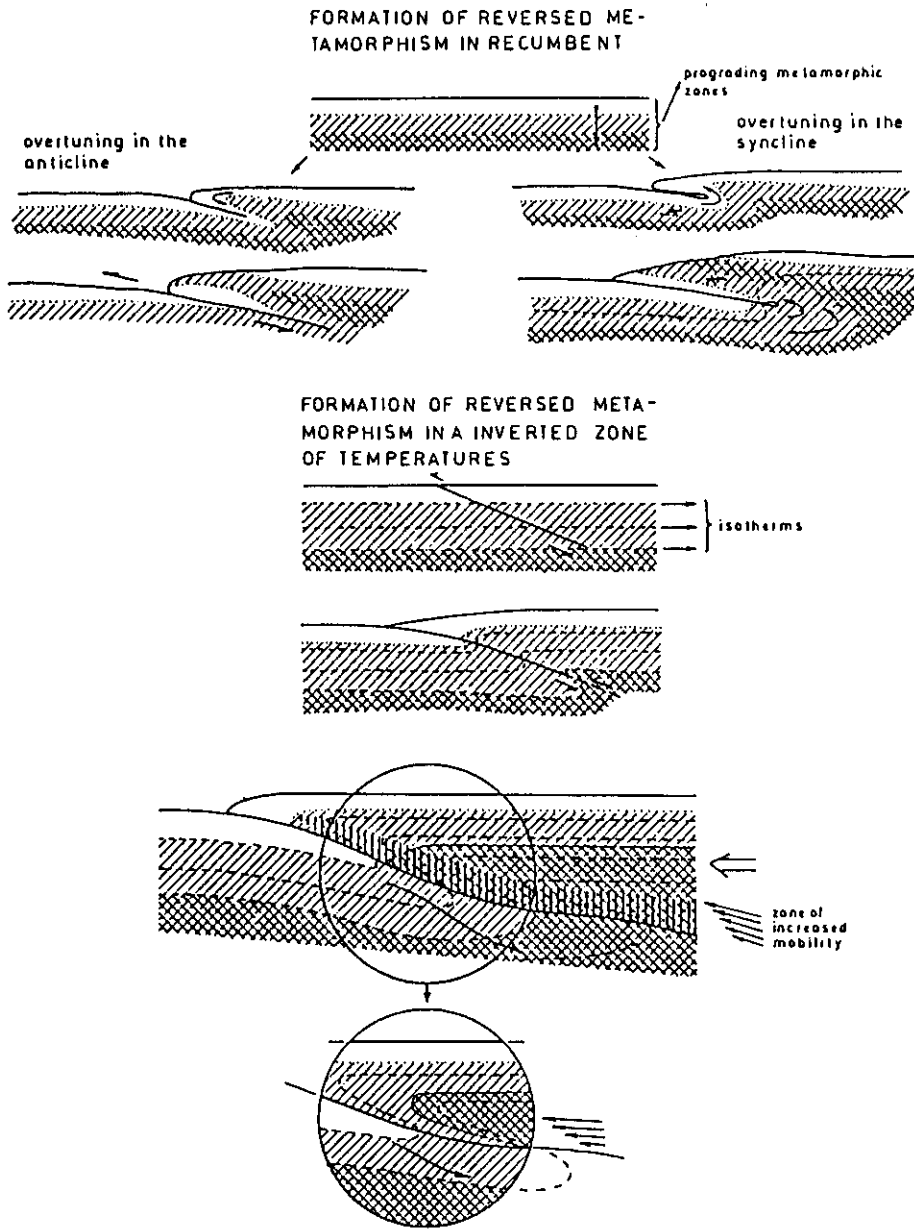
MCT 帯におおわれるミッドランド帯 (内帯) の岩石は弱変成を受けている。その変成度は下位 (南側) から上位 (北側) へむかって上昇し、Lower MCT 近くでは黒雲母帯に達する。このように、ミッドランド帯と MCT 帯は、全体として変成度が連続的に上方へ増加する “inverted metamorphism” を示す。この現象は北の MCT 帯の “根” の地域だけでなく、南へ張り出したナップやクリッペの地域でも観察される。ミッドランド帯の外帯はほとんど変成していない。

4. MCT 帯をめぐる “inverted metamorphism”

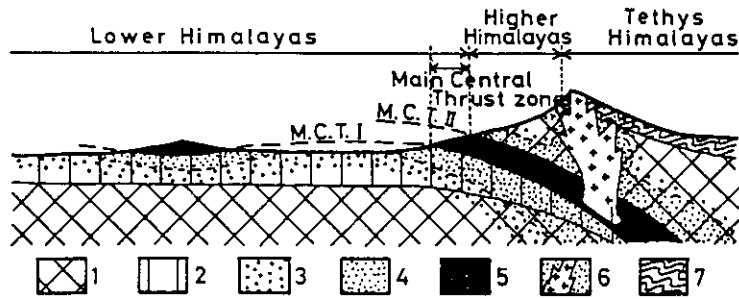
ミッドランド帯から MCT 帯にかけての “inverted metamorphism” は古くから、Himalayan geology の不思議の一つとされてきた。上盤のヒマラヤ片麻岩は上方へ変成度が下降するので、ヒマラヤ片麻岩下部を核とする大規模な横臥背斜が考えられたこともある。しかし、既に述べたように、逆転脚部に当る下位のミッドランド帯には広範な逆転層序は認められない。ちぎれた押しつぶせ褶曲や衝上断面に伴う等温線の逆転で説明しようとする試み (FRANK *et al.*, 1973; LE FORT, 1975) もあるが (第12図)、MCT 帯からヒマラヤ片麻岩帯にかけての “inverted metamorphism” は説明できても、ミッドランド帯内の “inverted metamorphism” の説明は困難である。著者は、第13図に示すように、ヒマラヤ期 (アルプス期) 変動における MCT 帯の衝上運動に伴う shear heating により、下位のミッドランド帯には “inverted metamorphism” が生じ、上位の深部から衝上してきた既に高度の変成作用を受けていたヒマラヤ片麻岩は後退変成作用をこうむったと考えている (在田, 1978; ARITA, 1982)。

5. MCT 衝上運動の時代

ヒマラヤ地域の同位体年代測定データは近年増えつつあり、最近では 500 ヶ近いと思われる。これらのデータは多少ばらつくが、アシント期、ヘルシニア期、燕山期、ヒマラヤ期 (アルプス期) に集中する。1,800~1,900 Ma という全岩年代も数個出ている。ヒマラヤ期は 10~70 Ma に散らばるが、10~20 Ma が大部分を占める。ネパールにおいても一部にアシント期など古い時代を示す全岩年代や角閃石の鉱物年代もあるが、大部分はヒマラヤ期のものである (KRUMMENACHER *et al.*, 1978; KAI, 1981 a, b)。ヒマラヤ期における MCT 帯の衝上運動に伴う変動によって既存の変成岩が再変成したことはまちがいないが、どの程度まで影響を受けたかはまだ不明な点が多い。KRUMMENACHER *et al.* (前出) や KAI (前出) は東ネパールで、MCT 帯に近づくほど同位体年代が若くなると報告している (第14図)。KAI (1981 b) はこの現象をヒマラヤの上昇による冷却過程に結びつけて、0.60 mm/年の上昇速度を算出している。しかし、この現象は MCT 帯の shear heating により、MCT 帯に近いほど遅くまで Rb-Sr 系の黒雲母の閉鎖温度 (300°C) が保持されたためと



第12図 “inverted metamorphism” の2つの説明
 (FRANK *et al.*, 1973)。
 ハッチの密度が濃いほど変成度が高い。



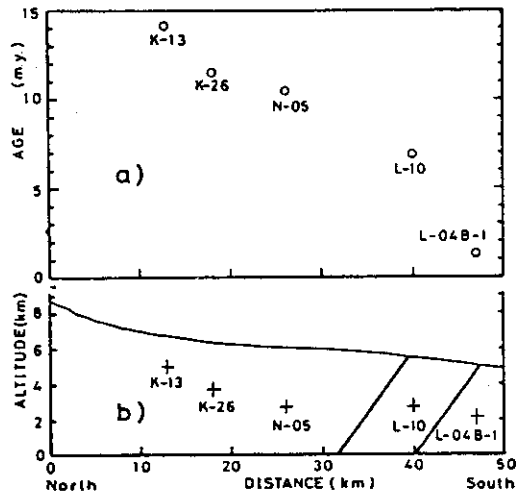
第13図 Shear heating による “inverted metamorphism” の説明 (ARITA, 1983)。

1と2：先ヒマラヤ期（先カンブリア紀末？）広域変成作用による角閃岩相以上の変成岩(1)と緑色岩相以下の変成岩(2)。3～5：ヒマラヤ期の衝上運動による frictional metamorphism によって MCT帯(5)付近は緑泥石帯(3)や黒雲母帯(4)，緑レン石角閃岩相(5)に変成された。深部では再生花崗岩(6)ができ，テチス帯の岩石などに接触変成を与えた。

も解釈できる。ところで，MCT帯のものとは推定される黒雲母-白雲母片岩（第14図のサンプル番号L-04B-1）の黒雲母と白雲母の Rb-Sr 年代はそれぞれ 1.3 ± 0.8 Ma と 7.3 ± 3.3 Ma である (KAI, 1981 b)。Rb-Sr 系の白雲母の閉鎖温度は $450^{\circ} \sim 500^{\circ} \text{C}$ といわれているので，この岩石は 7.3 Ma から 1.3 Ma の間に，約 $29^{\circ} \text{C}/1 \text{Ma}$ の速度で冷却したことになる。地温勾配を $30^{\circ} \text{C}/\text{km}$ と仮定し (MEHTA, 1980)，その間その値は変らなかったとすると，7.3 Ma から 1.3 Ma の間に $0.97 \text{ mm}/\text{年}$ の速度で上昇したことになる。これは垂直変位であるから，衝上変位量は数 mm/年のオーダーとなるであろう。なお，MEHTA(前出)はインドヒマラヤで，50 Ma から 25 Ma の間では約 $4^{\circ} \text{C}/1 \text{Ma}$ ，25 Ma から 13 Ma の間では約 $21^{\circ} \text{C}/1 \text{Ma}$ の冷却速度を，また過去 24.5 Ma と過去 17.5 Ma の平均上昇速度をそれぞれ $0.78 \text{ mm}/\text{年}$ と $0.80 \text{ mm}/\text{年}$ と計算している。

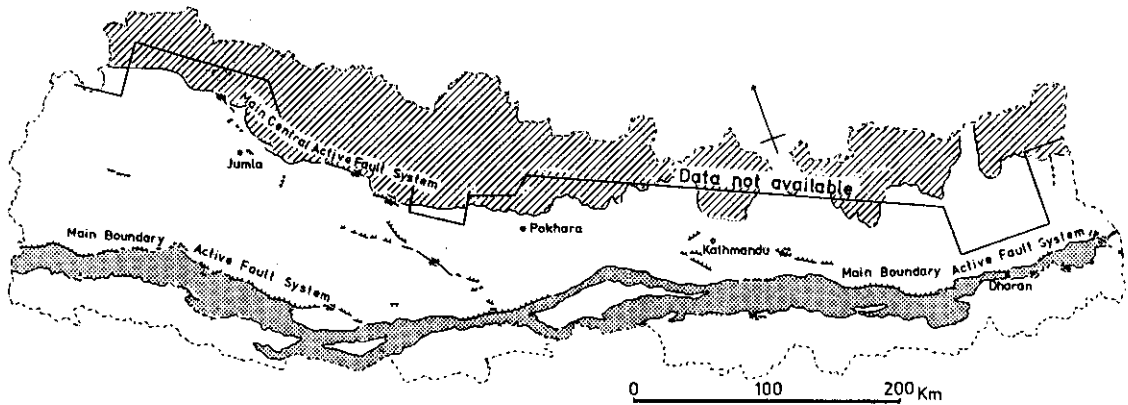
6. MCT帯と活断層

空中写真判読によると，ネパールでは主に3グループの活断層が認められる (NAKATA, 1982)。ヒマラヤ前縁帯のもの，ミッドランド帯のもの，MCT帯(主に Upper MCT)に沿うものである(第15図)。これらの活断層の多くは地質断層に沿うものであるが，特徴的なことはほとんど急立し，垂直断層は北側(山側)が落ち，水平ずり断層は右ずれであることである。MCTに沿うものもほ



第14図 東ネパール，クンプ地方の Rb-Sr 黒雲母年代値と高度との関係 (KAI, 1981 b)。

(a)は年代値と高度の関係，(b)は地形断面とサンプル地点を示す。太線は断層を示す(右側の断層は Upper MCT と思われる)。



第15図 ネパールヒマラヤの活断層の分布 (NAKATA, 1982)。
 ケバ方向は落ちた側を示す。

とんどが垂直で、右横ずれ断層である。一方、地質断層としての MCT 帯は $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ NE の傾斜をもち、ところによっては水平に近い。地質図上での分布も全体として非常にゆるい傾きをもつことがわかる。西ネパールの MCT や Bari Gad 断層に沿う右横ずれの活断層は中央アジアの左横ずれの Altyn Tagh 断層などと共役な Karakoram 断層の延長と考えられる。地質時代の衝上断層が最近になって、なぜ水平横ずれ断層に変化したのか。また、新しい地質時代の水平横ずれ断層が、更新世に入って急激になったといわれているヒマラヤの上昇とどのように関係しているのか興味ある問題である。

VI おわりに

ヒマラヤの上昇運動は北から始まり、しだいに南へ移動して、最後に現在の主稜部分が急激に上昇したといわれている (在田, 1980)。大陸衝突説によると、インド大陸とアジア大陸の衝突はツァンポーインダス縫合帯で始まったが、underthrust 帯はインド大陸内の MCT 帯、MBF と南へ移り、現在は MBF の動きがもっとも活発といわれている (POWELL and CONAGHAN, 1973 など)。実際、ヒマラヤでの地震活動は MBF から深さ 50 km ぐらいで北へ広がる面やそれより浅いところに多い。このような underthrust 面の南への移動は上昇運動の南への移動と対応している。このように考えると、新しい地質時代では地殻下部の北への運動が地殻表層部では水平横ずれ断層運動となっており、それが主稜付近の最近の上昇に関係しているかもしれない。

このように、現在では運動が停止しているといわれる (NAKATA, 1982) MCT 帯の滑動のメカニズムはどのようなものであろうか。有名なスイスの Glarus 押しかぶせ断層 (overthrust) では、二畳紀 "Verrucano" などからなる厚さ 2,000 m 以上のブロックが約 35 km にわたって第三紀フリッシュの上を衝上滑動している。このナップの基底にはほとんどどこでも Lochseiten 石灰岩が存在し、その厚さ 2 m に満たない石灰質ミロナイトが滑動面として働いたといわれている (SCHMID, 1975) Glarus ナップに較べると、ヒマラヤ片麻岩のナップははるかに大規模である。衝上ブロックの厚さは 10 km 以上あり、滑動距離は 100 km 近くに達する。Glarus ナップとは異なり、ヒマラヤ片麻岩ナップの場合は滑動面 (MCT 帯) が非常に厚い。MCT 帯に多数挟まる石灰質岩層や千枚岩層が Lochseiten 石灰岩のような役割を果たしたと考えられる。個々の滑動距離は小さくても、それが集積すれば、ヒマラヤ片麻岩の移動量は達成されよう。さらに、MCT 帯の shear heating 累進変成作用による脱水反応によって水が供給されることが予想される。この水は上位のヒマラヤ片麻岩下部

の後退変成作用を促進させるとともに、間隙水圧を増加させ、10km以上の衝上ブロックの有効応力を減少させるのに効果があったと思われる。

前に述べたように、MCT帯の衝上速度は数mm/年が予想される。この値はダーズリン地域のMBFとHFF(Himalayan Front Fault)の両方に沿う変位速度3~4mm/年(NAKATA, 1982)の2倍近い。BIRD(1978)やSCHOLZ(1980)はMCT帯のshear heatingの計算で3~5cm/年の速度を仮定しているが、この値は大きすぎるようである。

謝 辞

「構造地質ゼミナール」で発表の機会を与えて下さった構造地質研究会事務局の方がたに御礼申し上げる。

文 献

- 在田一則, 1978: HimalayasのMain Central Thrust Zoneとその意義. 構造地質研究会誌, no. 22, 26-27.
- 在田一則, 1980: 地質学データからみたヒマラヤの上昇プロセス. 月刊地球, 2, 767-777.
- Arita, K., Hayashi, D. and Yoshida, M., 1982: Geology and structure of the Pokhara-Piuthan area, central Nepal. Jour. Nepal Geol. Soc., 2 (Special Issue), 5-29.
- Arita, K., 1983: Origin of the inverted metamorphism of the Lower Himalayas, central Nepal. Tectonophysics, 95, 43-60.
- Arita, K., Shiraishi, K. and Hayashi, D., 1984. Geology of western Nepal and a comparison with Kumaun, India. Jour. Fac., Sci., Hokkaido Univ., (4), 21, 1-20.
- Bird, P., 1978: Initiation of intracontinental subduction in the Himalaya. J. Geophys. Res., 83, 4975-4987.
- 中国科学院 1981: Geological and Ecological Studies of Qinghai-Xizang Plateau (vol. 1, Geology, Geological History and Origin of Qinghai-Xizang Plateau). 974p., Science Press, 北京.
- CNRS, 1977: Himalaya, Sciences de la Terre. Colloque internat., 268. 560p., CNRS (Ed.), Paris.
- Frank, W., Hoinkes, G., Miller, C., Purtscheller, F., Richter, W. and Thöni, M., 1973: Relations between metamorphism and orogeny in a typical section of the Indian Himalayas. Tschermarks Min. Petr. Mitt., 20, 303-332.
- Fuchs, G., 1982: Geologic-tectonic map of the Himalaya (1:2,000,000) and its explanations, 50p. Geol. Surv. Austria, Wien.
- GSI, 1981: Himalayan Geology Seminar, New Delhi, 1976 (Section-II B). Geological Survey of India, Miscellaneous Publication no. 41. Part IV, 297p.
- Gupta, H. K. and Delany, F. M. (Ed.), 1981: Zagros-Hindu Kush-Himalaya, Geodynamic evolution. Geodynamic Series vol. 3. 323p., American Geophysical Union, Washington, D. C.
- Hagen, T., 1969: Report on the geological survey of Nepal, vol. 1. Denkschr. Schweiz. Naturf. Gessel., 86 (1), 1-185.
- Hashimoto, S., Ohta, Y. and Akiba, C. (Ed.), 1973: Geology of the Nepal Himalayas, 286p., Saikon Pub., Tokyo.
- Heim, A. and Gansser, A., 1939: Central Himalaya, Geological Observations of the Swiss Expedition 1936. Denkschr. Schweiz. Naturf. Gesell., 73, 1-245.
- Kai, K., 1981a: Rb-Sr geochronology of the rocks of the Himalayas, eastern Nepal. Part I, The metamorphic age of the Himalayan gneiss. Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. Mineral., 47(2), 135-148.
- Kai, K., 1981b: Rb-Sr ages of the biotite and muscovite of the Himalayas, eastern Nepal; its implication in the uplift history. Geochemical Journal, 15, 63-68.
- Krummenacher, D., Basett, A. M., Kingery, F. A. and Layne, H. F., 1978: Petrology, metamorphism and K/Ar age determinations in Eastern Nepal. In: P. S. Saklani (Ed.) Tectonic geology of the Himalaya, 151-166. Today & Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi.

- Le Fort, P., 1975: Himalayas, the collided range. *Am. J. Sci.*, 275 (A), 1-44.
- Maruo, Y., Pradhan, B. M. and Kizaki, K., 1979: Geology of eastern Nepal: between Dudh Kosi and Arun. *Bull. College of Science, Univ. Ryukyus*, no. 28, 155-191.
- McClay, K. R. and Price, N. J. (Ed.), 1981: Thrust and nappe tectonics. 539p., Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Mehta, P. K., 1980: Tectonic significance of the young mineral dates and the rates of cooling and uplift in the Himalaya. *Tectonophysics*, 62, 205-217.
- Nakata, T., 1982: A photogrametric study on active faults in the Nepal Himalayas. *Jour. Nepal Geol. Soc.*, 2 (Special Issue), 67-80.
- Powell, C. McA. and Conaghan, P. J., 1973: Plate tectonics and the Himalayas. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 20, 1-12.
- Sakai, H., 1983: Geology of the Tansen Group of the Lesser Himalaya in Nepal. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, (D), 25, 27-74.
- Schmid, S. M., 1975: The Glarus overthrust: field evidence and mechanical model. *Eclogae geol. Helv.*, 68(2), 247-280.
- Scholz, C. H., 1980: Shear heating and the state of stress on faults. *J. Geophys. Res.*, 85, 6174-6184.
- Stöcklin, J., 1980: Geology of Nepal and its regional frame. *Jour. geol. Soc. London*, 137, 1-34.
- Tater, J. M. (Ed.), 1980: The Alpine-Himalayan Region. *Tectonophysics*, 62, 1-164.
- Valdiya, K. S., 1980: The two intracrustal boundary thrusts of the Himalaya. *Tectonophysics*, 66, 323-348.