

「ヒマラヤ山脈高峰の成り立ち:エベレスト、ダウラギリ、マナスル」

京都大学名誉教授 酒井 治孝

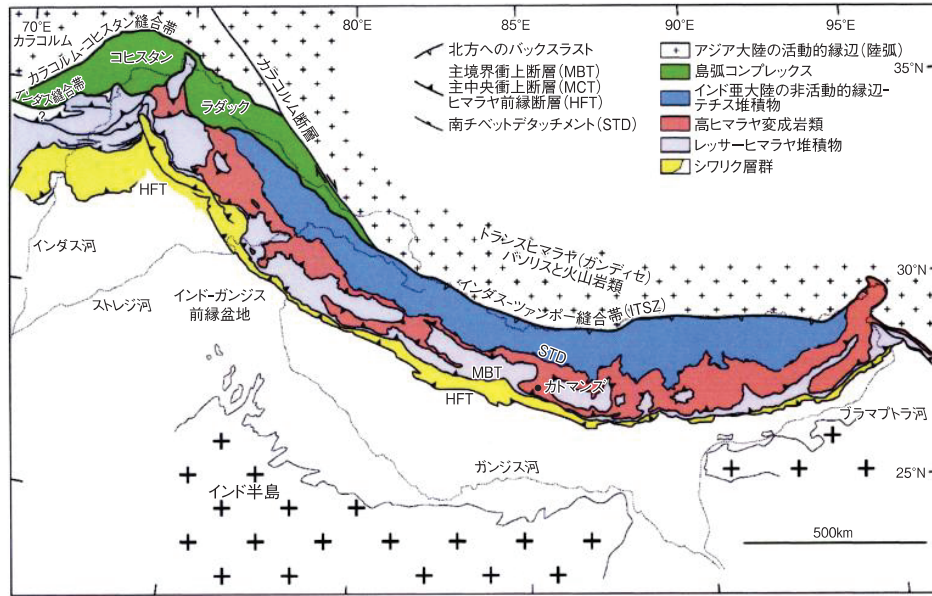
要旨: ヒマラヤの3つの高峰から、エベレスト、ダウラギリ、マナスルの3つを取り上げ、地質学的成り立ちを概説しながら、ヒマラヤの上昇の秘密に迫ります。どの山も山体を構成する地層は20~30度北に傾斜しており、南側から厚さ5~10 kmの変成岩(主に片麻岩)、その上に厚さ10 km程度のテチス堆積物が載った構造をしています。その両者の境界部には、様々な規模の優白色花崗岩が貫入しています。変成岩の原岩は、約12~5億年前にインド亜大陸の北部に堆積した地層から構成されています。インド亜大陸とアジア大陸の衝突と、それに引き続く沈み込みの結果、この地層は地下30~40 kmに達し、高温・高圧下で変成作用を受けた後、急激に上昇し地表に出てきました。この変成岩帯の上昇こそが、ヒマラヤ山脈を造り出したのです。テチス堆積物は、両大陸の間にあった古海洋「テチス海」の陸棚に、約5億年前から4500万年前に堆積した地層から成ります。優白色花崗岩は変成岩が上昇の過程で、部分的に溶融して形成されたメルトが、変成岩帯の上部やテチス堆積物の下部に貫入したものです。変成岩帯の急激な上昇に伴いテチス堆積物は断層面に沿って北方に滑り落ち、巨大な横臥褶曲群を形成しています。この断層は、エベレストでは頂上直下8500 m付近に、ダウラギリでは標高2500 m付近にあります。マナスルではこの滑動面に沿って東西延長90 kmに亘って花崗岩体が貫入しています。

口絵2 解説「ヒマラヤ山脈の成り立ちを示す地質図と地質断面図」

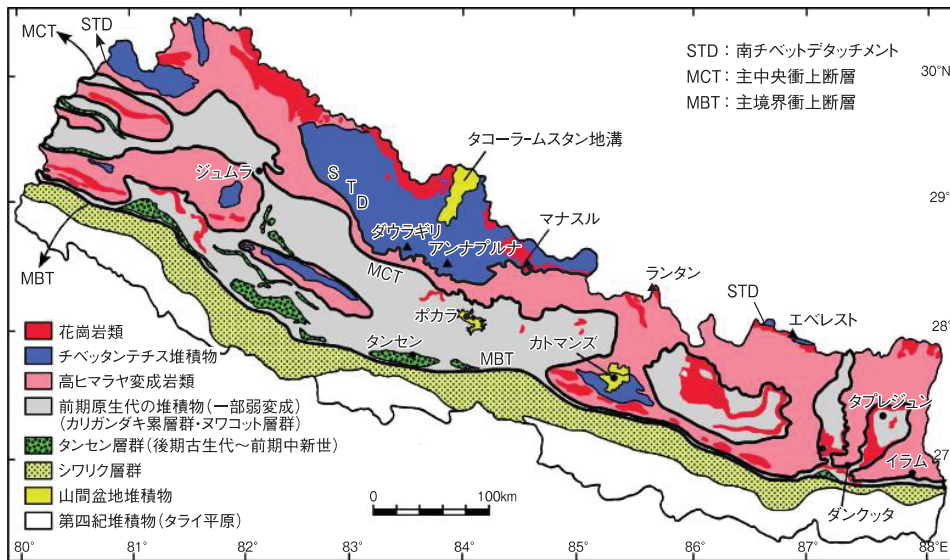
- 1 ヒマラヤ・カラコルム山脈の地質概略。南からシワリク層群(黄)、レッサーヒマラヤ堆積物(灰)、高ヒマラヤ変成岩類(ピンク)と花崗岩類(赤)、テチス堆積物(青)、ラダック・コヒスタン島弧(緑)に分けられる。各地帯の境界はMFT, MBT, MCT, STD, ITSZで画されている。高ヒマラヤ変成岩類はMCTに沿ってレッサーヒマラヤに押し被さり、MBTの背後に達する広大なナップ構造を形成している。
- 2 中央ヒマラヤに位置するネパールの地質概略図。8000 m級の山頂部の多くは古生代の海成層であるテチス堆積物、あるいは約1600万年前に貫入した花崗岩からなる。高ヒマラヤの南斜面は変成岩類から構成されており、南方に押し出されて変成岩ナップを作っている。レッサーヒマラヤは19~17億年前の浅海堆積物と Gondwana大陸上の堆積物、およびその上にある衝突時の浅海堆積物と衝突後の河川堆積物から構成されている。ヒマラヤの南縁を取り巻くシワリク丘陵は、ヒマラヤから供給された河川堆積物からなる。
- 3 エベレストを切る東ネパールの地質断面図。変成岩ナップは南北100~120 kmにわたってレッサーヒマラヤの堆積物を構造的に覆っている。上部の高ヒマラヤ変成岩からなるナップと、下部の変成度の低いレッサーヒマラヤ起源のクンチャナップから構成されている。カトマンズやジュムラでは、高ヒマラヤ変成岩の上にテチス堆積物がのっている。

* 口絵と図表は、「ヒマラヤ山脈形成史」酒井治孝著、東京大学出版会、2023年3月16日出版から引用

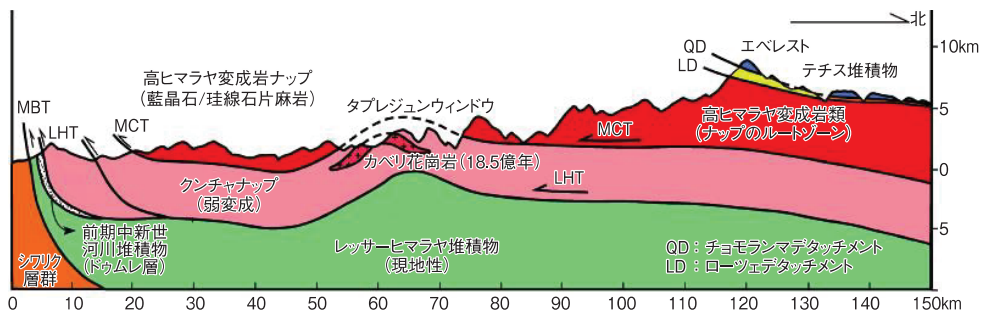
●口絵2 (1章)



口絵2-1 ヒマラヤ山脈の地質概略図 (Burg, 2018)

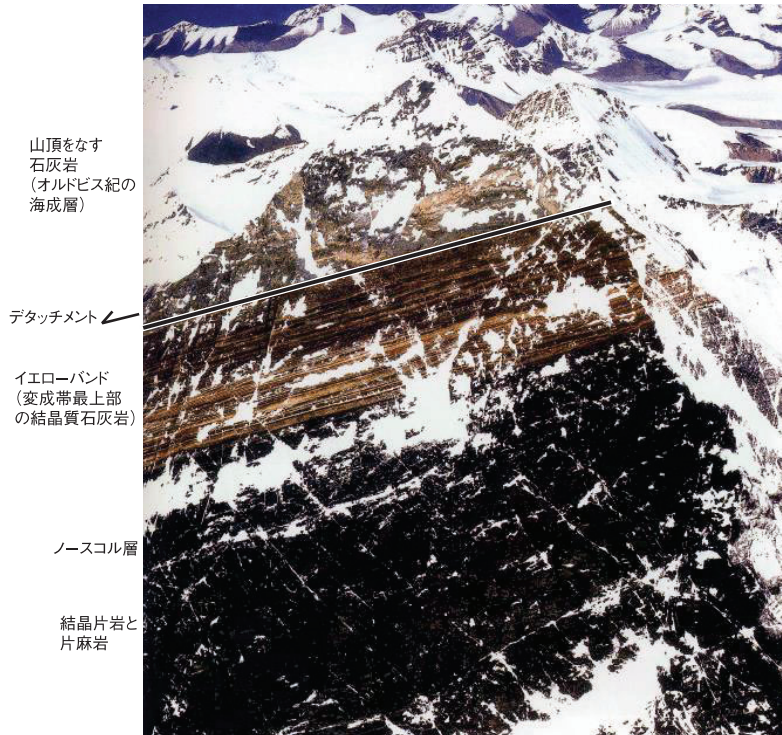


口絵2-2 ネパールヒマラヤの地質概略図 (Sakai et al., 2013a)



口絵2-3 エベレストを南北に切る東ネパールの地質断面図 (Sakai et al., 2013a)

●口絵 10 (6章) テチス堆積帯と高ヒマラヤ変成岩帯を画すデタッチメント



口絵 10-1 エベレスト山頂直下のチョモランマデタッチメント (大森弘一郎撮影)



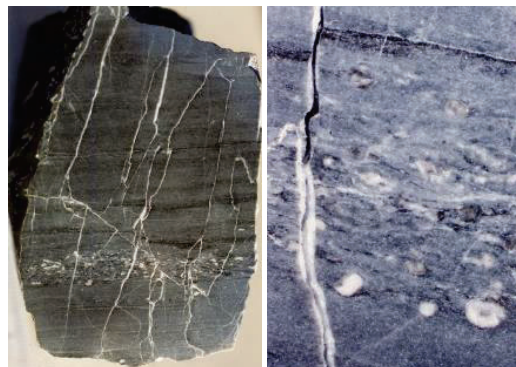
口絵 10-2 8512 m 地点のチョモランマデタッチメント



口絵 10-3 チョモランマデタッチメントの露頭写真



口絵 10-4 デタッチメント直下の延性変形した花崗岩の顕微鏡写真



口絵 10-5 頂上の有機質バンドを伴う石灰岩、海ユリの破片 (右下隅) を含む

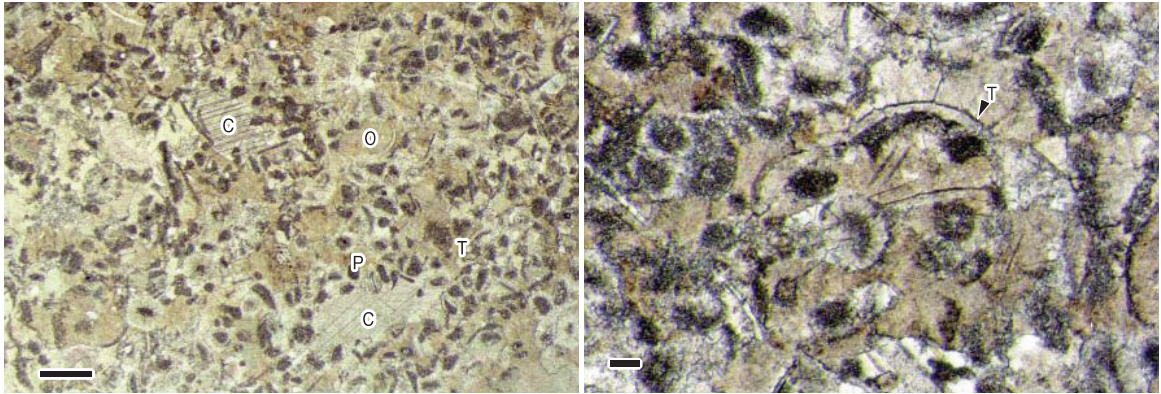
口絵10 テチス堆積帯と高ヒマラヤ変成岩帯を画すデタッチメント

- 1 エベレスト南西壁に露出したチョモランマ・デタッチメントとその上を重力的に滑動した非変成のテチス堆積物。山頂の石灰岩からは5~4.6億年前の古生代前期オルドビス紀の化石が産出(口絵11-1,2)。デタッチメントの下盤の最上部イエローバンドは、厚さ約170mの変成した結晶質石灰岩と雲母質片岩の互層(口絵11-3,4)、およびその下の黒色の黒雲母質結晶片岩と片麻岩から構成されている。
- 2 標高8512mのチョモランマ・デタッチメントの前に立つ澤田君の写真。デタッチメント上のチョモランマ石灰岩層には小正断層が発達している。
- 3 チョモランマ・デタッチメントの露頭写真。断層面は鋭利な面であるが、30cm余りの断層角礫帯を伴う。イエローバンドには小褶曲が認められる。
- 4 デタッチメント直下の高温状態で剪断されたマイロナイト質電気石花崗岩。白雲母と石英は流動変形を受けているが、電気石は破断されて破片状になっている。岩体が冷却されながら高温化下では流動、比較的低温下では断層運動によって変形したことを物語っている。
- 5 頂上直下で採取された石灰岩はミクライト質で、有機質の黒色葉理を伴う。ウミユリの破片(右下隅)を含む。自重によると思われる2方向の小断層が発達し、それを方解石が充填している。

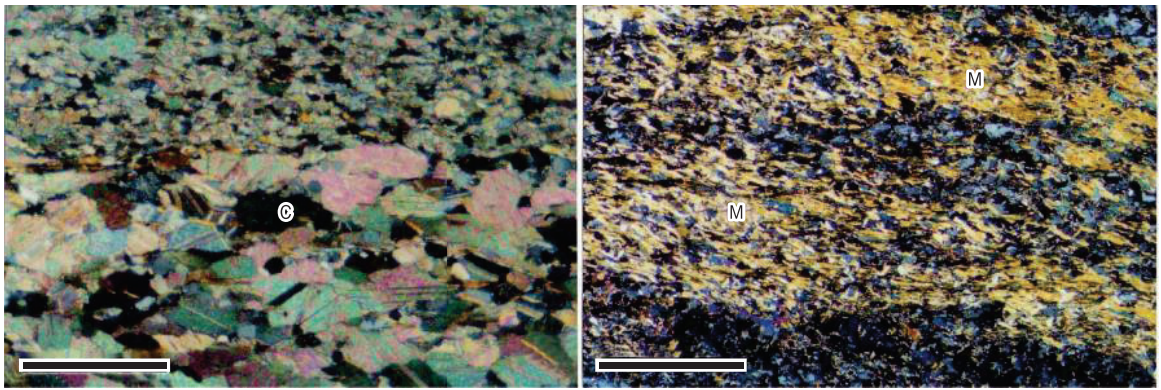
口絵11 テチス堆積物から産出した海生動物化石

- 1 エベレスト頂上のオルドビス紀石灰岩中の化石(顕微鏡写真、スケール1mm)。海ユリ(c)、貝形虫(o)、三葉虫(T)、フィーカル・ペレット(p:糞化石)を含む。
- 2 エベレスト頂上の石灰岩から産出した三葉虫の化石(T)、(顕微鏡写真、スケール1mm)。三つの畝をなす甲羅と両端のフックに注意。
- 3 イエローバンドの薄片顕微鏡写真、スケール1mm:方解石結晶の集合体からなる。
- 4 結晶質石灰岩と互層をなす白雲母片岩。元々は泥質堆積物だったと思われる。
- 5 ペルム紀の示準化石腕足貝のプロダクタス石灰岩。全く変成しておらず、貝塚の貝のような産状を示す。風塵により自然にクリーニングされている。エベレスト北方
- 6 三畳紀の二枚貝や巻貝の殻が、嵐の際に掃き寄せられて形成された貝化石層。ネパールのタコーラ地溝の谷を吹く、砂混じりの強風でクリーニングされている。
- 7 ニルギリ北方のヒンズー教の聖地ムクチナート近傍から産出したジュラ紀中期のアンモナイト、直径60cm以上。タコーラ地方、ジャジャルコット
- 8 円磨された石英砂と玄武岩砂礫を含む白亜系下部のカグベニ砂岩層の顕微鏡写真、横幅約4mm。インド亜大陸とオーストラリア・南極大陸が分裂した約1.5~1億年前の火山活動によって噴出した溶岩が、侵食運搬され、堆積したものと考えられている。

●口絵 11 (6章) テチス堆積物から産出した海生動物化石



口絵 11-1, 2 エベレスト頂上の石灰岩から産出した三葉虫や貝形虫の化石の顕微鏡写真

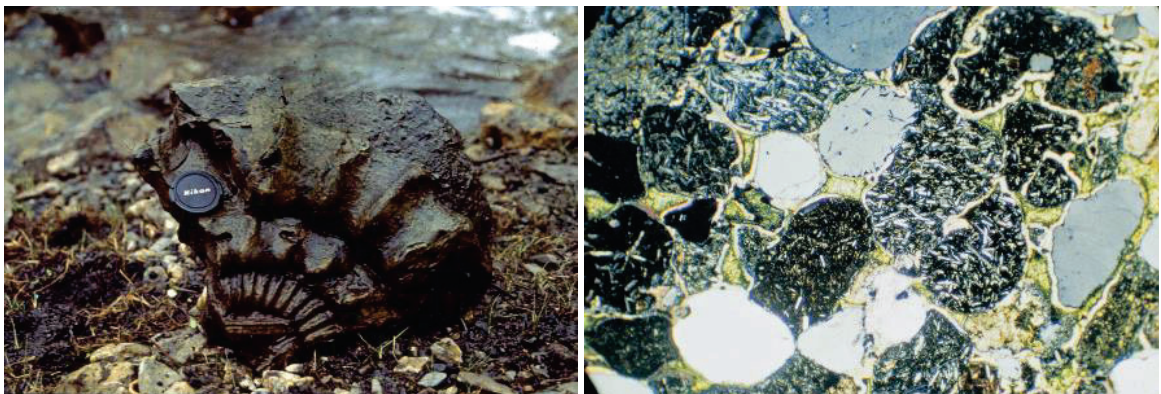


口絵 11-3, 4 弱く変成し再結晶したイエローバンド石灰岩と変成白雲母 (M, 黄色)



口絵 11-5 ペルム紀の腕足貝化石のプロダクタス (非変成)

口絵 11-6 三畳紀のストーム堆積物からなる貝化石層



口絵 11-7 ジュラ紀中期の巨大なアンモナイト

口絵 11-8 白亜系基底部の玄武岩質砂岩の顕微鏡写真

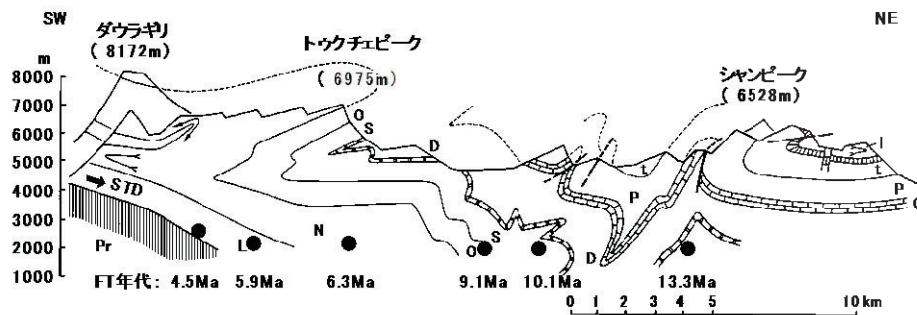


図8-1 ダウラギリ北方のタコーラ地溝西側斜面の模式地質断面図 (Bordet et al., 1971)
 オルドビス紀からジュラ紀までの地層が南北30 km にわたって横臥褶曲している。碎屑性
 ジルコンのFT年代を併せて示す。Pr: 先カンブリア系, L: カンブリア系, N: 下部オルド
 ビス系, O: 上部オルドビス系, S: シルル系, D: デボン系, C: 石炭系, P: ペルム系, t:
 三畳系, I: ライアス(下部ジュラ系)。

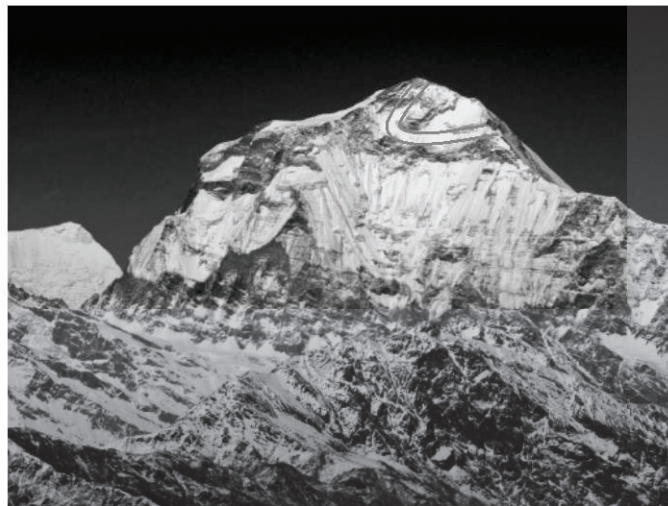


図8-2 ダウラギリ(8167 m)の山頂部とバットレスをなす、横臥
 褶曲したオルドビス紀の石灰岩と、すべり台の役目をしたデタッチメ
 ントをなす高ヒマラヤ変成岩のスラブ(左下半)
 横臥褶曲している山頂部の地層をトレースした。

しているのが観察できる(図8-3)。石灰質な地層は再結晶し、方解石と雲母の集合体になっ
 ているが、腕足貝などの化石は残っている。このようにテチス堆積物の下部は巨大な横臥褶曲
 群をつくっている。

タコーラの谷は北北東—南南西に約55 km にわたって延びており、それに直交するように
 西北西—東南東方向に、各時代の地層が褶曲しながら露出している。南部には古生代前期の地
 層が、中部には古生代後期の地層が、そして北部には中生代の地層が分布している。中部にな
 ると巨大な横臥褶曲は姿を消し、南西に高角度傾斜した波長数 km の褶曲が卓越するようにな
 り、その中には箱型褶曲(褶曲の両翼が曲面でなく平面的で、折れ曲がって箱を伏せたような
 形態を持つもの)をしたものもある(図8-4; アルプスではジュラ型と呼ばれている)。北部で
 はジュラ紀や白亜紀の地層が緩やかに褶曲を繰り返すが、ジョムソン北方の岩壁のように中規

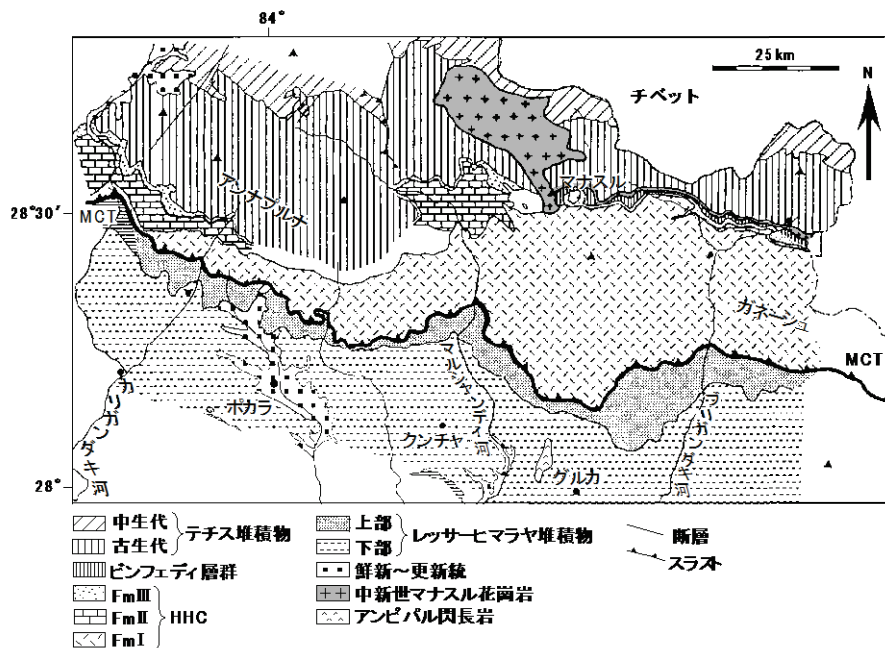


図 5-7 マナスル花崗岩とその周辺地域の地質図 (Le Fort, 1981)

花崗岩はテチス堆積物の境界に沿って進入すると同時に、テチス堆積物に貫入している。花崗岩質メルトは変成岩類の再溶融によって 2500 万年前頃に生成され、1600 万年前には 250°C 以下に冷却した。

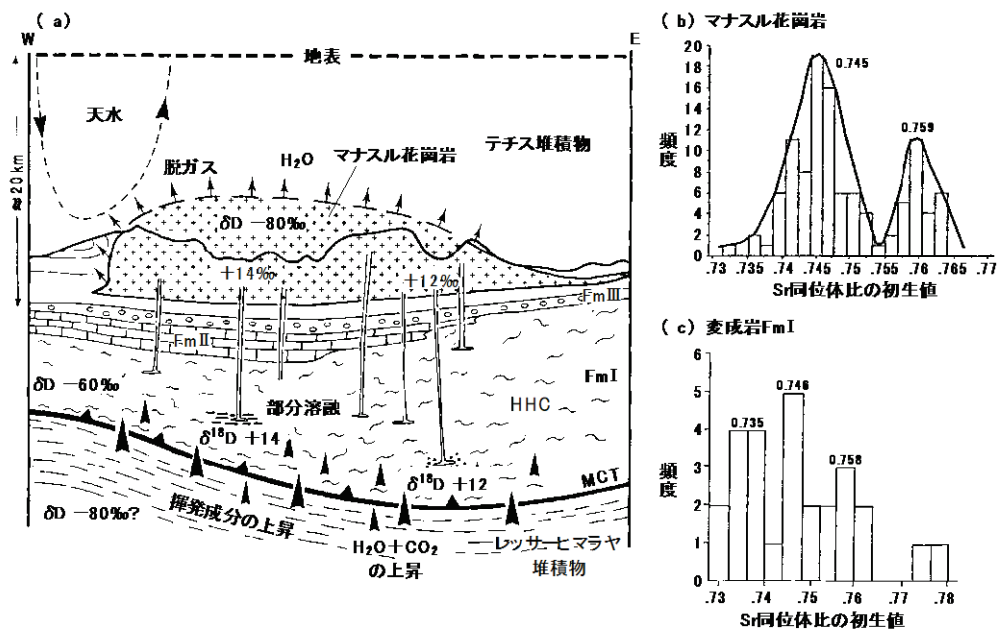


図 5-8 (a) マナスル花崗岩の供給源を高ヒマラヤ変成岩の部分溶融に求めたモデル (Le Fort et al., 1987) および (b) 花崗岩と (c) 変成岩の Sr 同位体比を比較した図 (Gulliot & Le Fort, 1995)

部分溶融した Fm I とその上の花崗岩の Sr 同位体の初生値がほぼ対応していることを示す。また両者の酸素同位体比や水素同位体比がほぼ同じであることも、花崗岩の起源が Fm I に求められることを示している。