

# 「ヒマラヤの高峰の成り立ち」

## ～エベレスト、ダウラギリ、マナスル～

1. ヒマラヤ研究の出発点
2. エベレストの地質と構造
3. 横臥褶曲したダウラギリ
4. 花崗岩が貫入したマナスル

酒井 治孝  
京都大学名誉教授

エベレストの南西壁に露出した、オルドビス紀の石灰岩と変成したイエローバンド、およびヌプツェ・ローツェの南壁に露出した変成岩とそれに貫入した1600万年前の優白色花崗岩

# ヒマラヤ研究の出発点：小学校～高校時代の夢

★小学校4年生の時、担任の先生に引率されて見た  
**K2（8611m）初登頂の記録映画の強烈な印象**

科学的トレーニング、チームワーク、強い意志  
があれば、登攀不可能に見えるヒマラヤでも登頂できる！



いつかヒマラヤに初登頂することを誓う

しかし、ヒマラヤの処女峰は少年期に初登頂されてしまった  
アンナプルナ（1950）エベレスト（1953）～シシャパンマ（1964）

**パイオニアワークとしての魅力を失う**



中学時代：理科で岩石や化石の中にも秩序と法則性が  
あり、地球の歴史が隠されていることを学ぶ  
「**ヒマラヤ山脈形成の地質学的研究がしたい**」



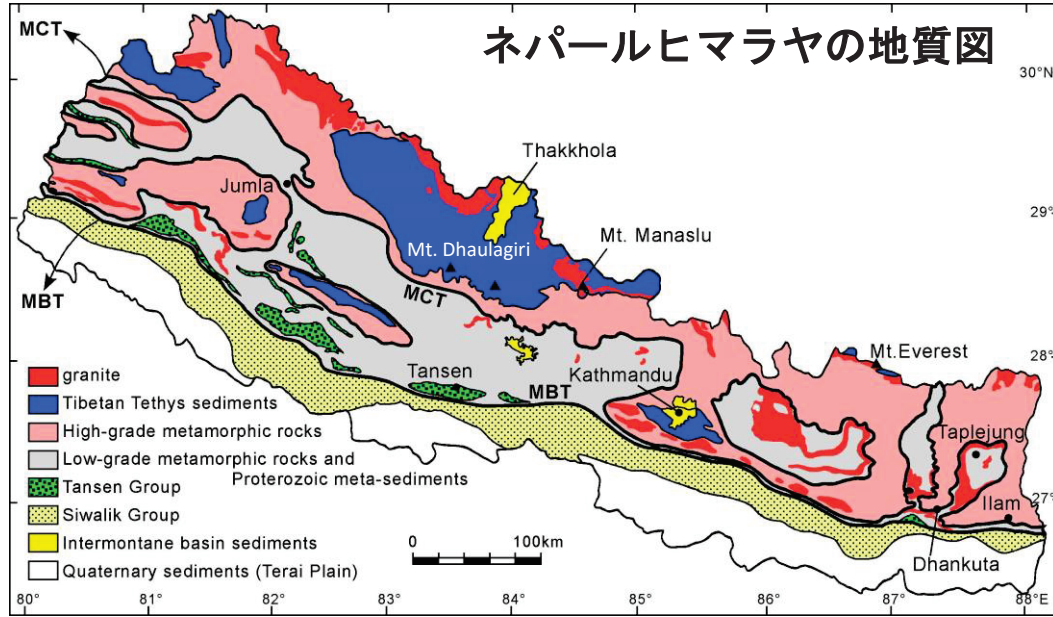
高校時代：**地球科学の研究者、あるいは国連職員を志す**

大学院時代：青年海外協力隊員としてネパールの国立トリブバン大学地質学教室  
に派遣され（1980～1983）、講師として教育と地質調査に従事



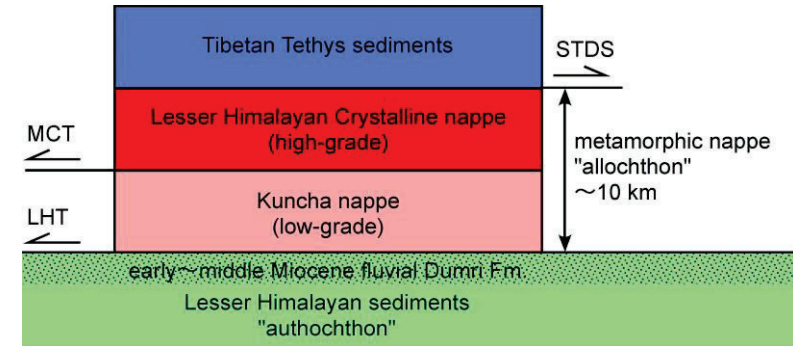
1954年イタリア隊の初登頂  
2012年に公開された映画

# エベレストの地質と構造

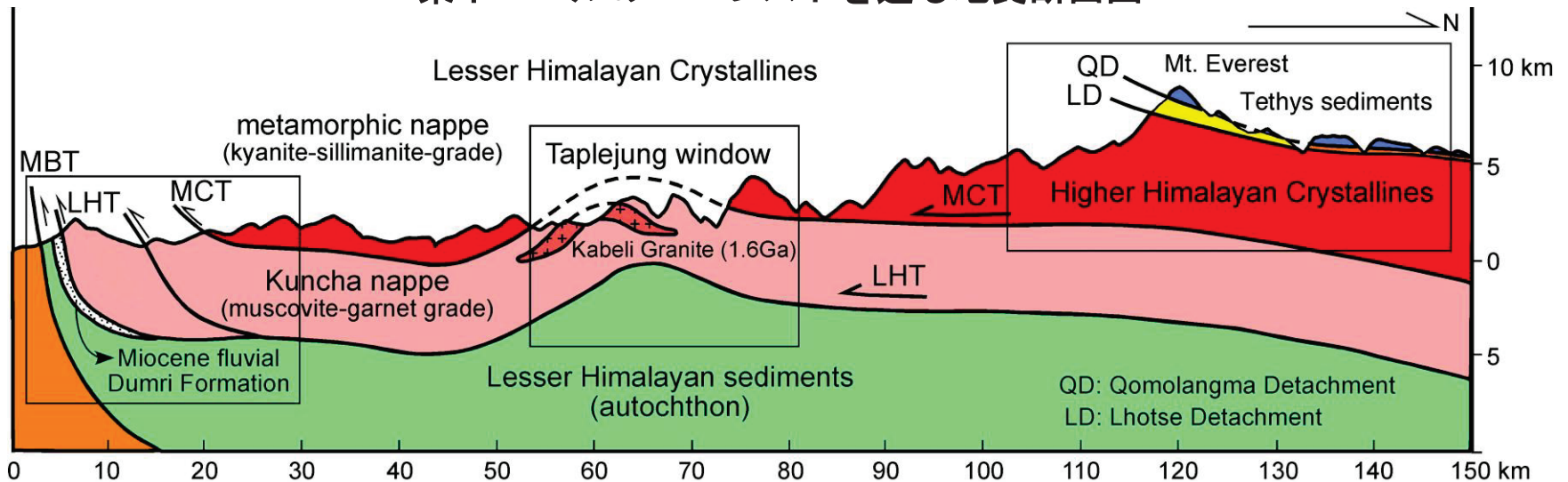


## ヒマラヤ山脈を構成する3つの地質帯

: テチス堆積帯, 高ヒマラヤ変成帯,  
 レッサーヒマラヤ堆積帯



## 東ネパールのエベレストを通る地質断面図



# エベレスト山頂部の構成：変成帯とテチス堆積帯を画すデタッチメント

北方に滑り落ちた  
チョモランマ石灰岩  
(5~4.6億年前)

**デタッチメント**  
(低角正断層：滑動面)

変成帯の最上部を  
成すイエローバンド  
(弱変成した石灰岩)

変成岩類

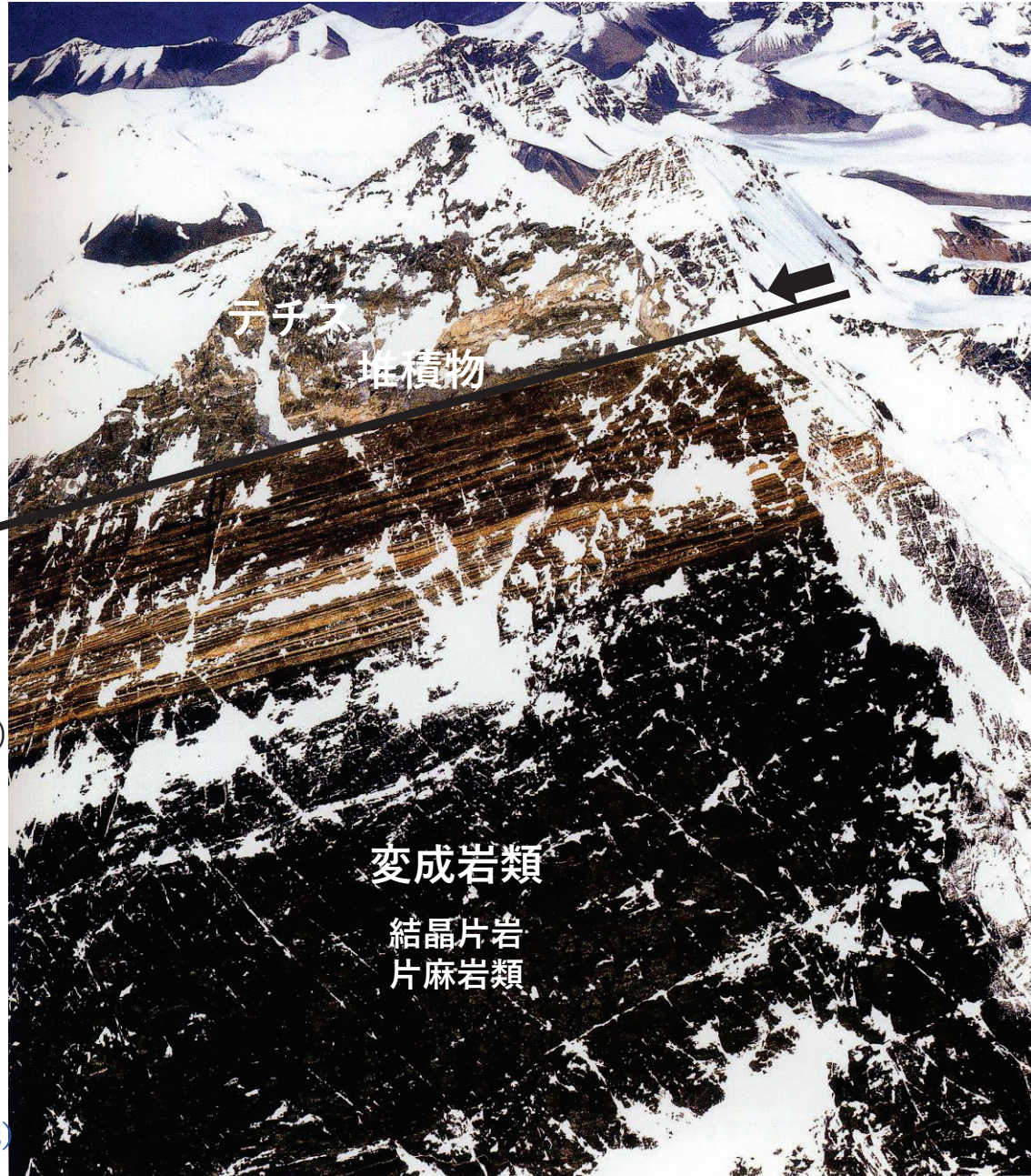
結晶片岩  
片麻岩類

テチス  
堆積物

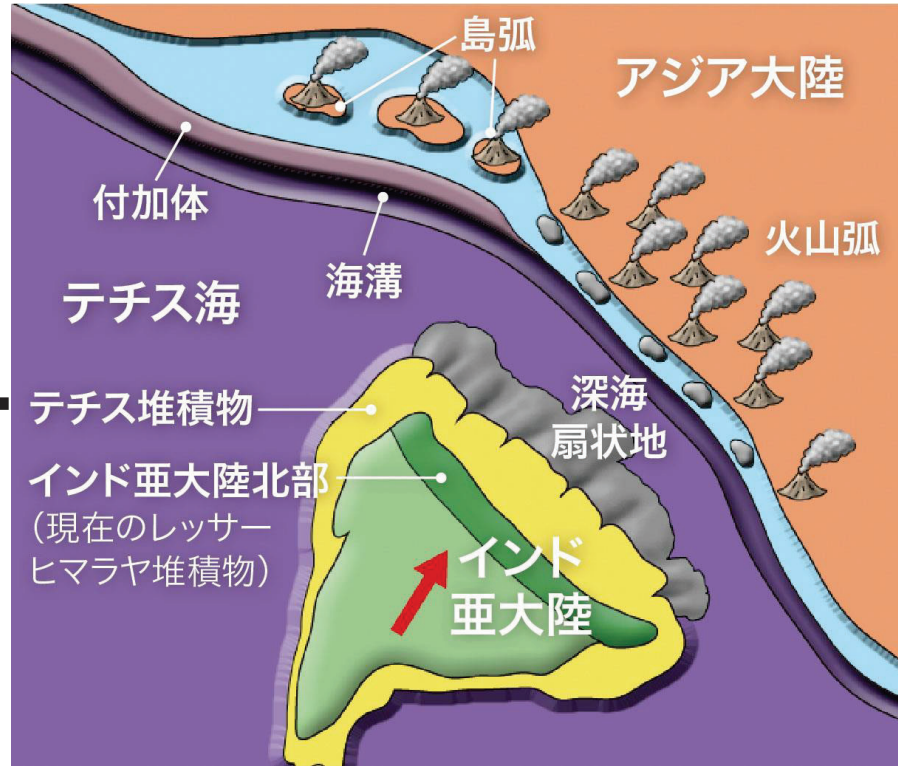
エベレスト南西壁  
8530mより撮影  
大森弘一郎  
(1976-11-11)

酒井 (2023)

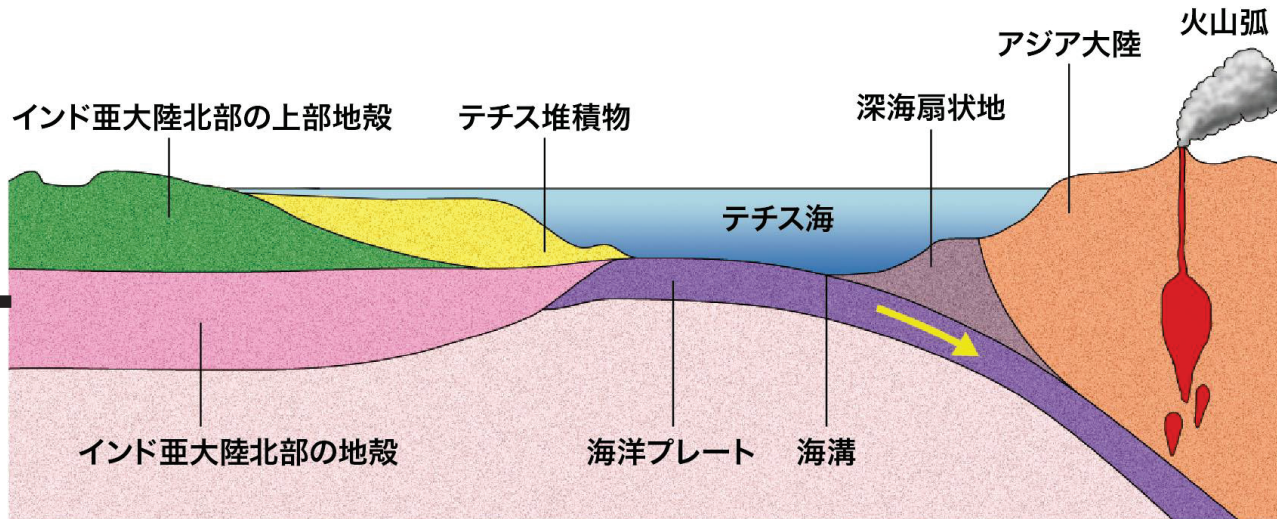
拙著「ヒマラヤの渚」から  
生まれたTV朝日の番組、  
「チョモランマの渚」の取材で  
エベレスト頂上一帯の調査 (1998)



# 大陸衝突以前（1億年前）の北上するインド亜大陸とアジア大陸の関係



エベレストを初めとするヒマラヤの山頂部をなすテチス堆積物は、インド亜大陸上の浅海に堆積



高ヒマラヤ変成岩の原岩は？



地下30~40 kmに沈み込んだインド亜大陸の12-5億年前の地層

# 1万mに達するテチス堆積物の地層の積み重なり

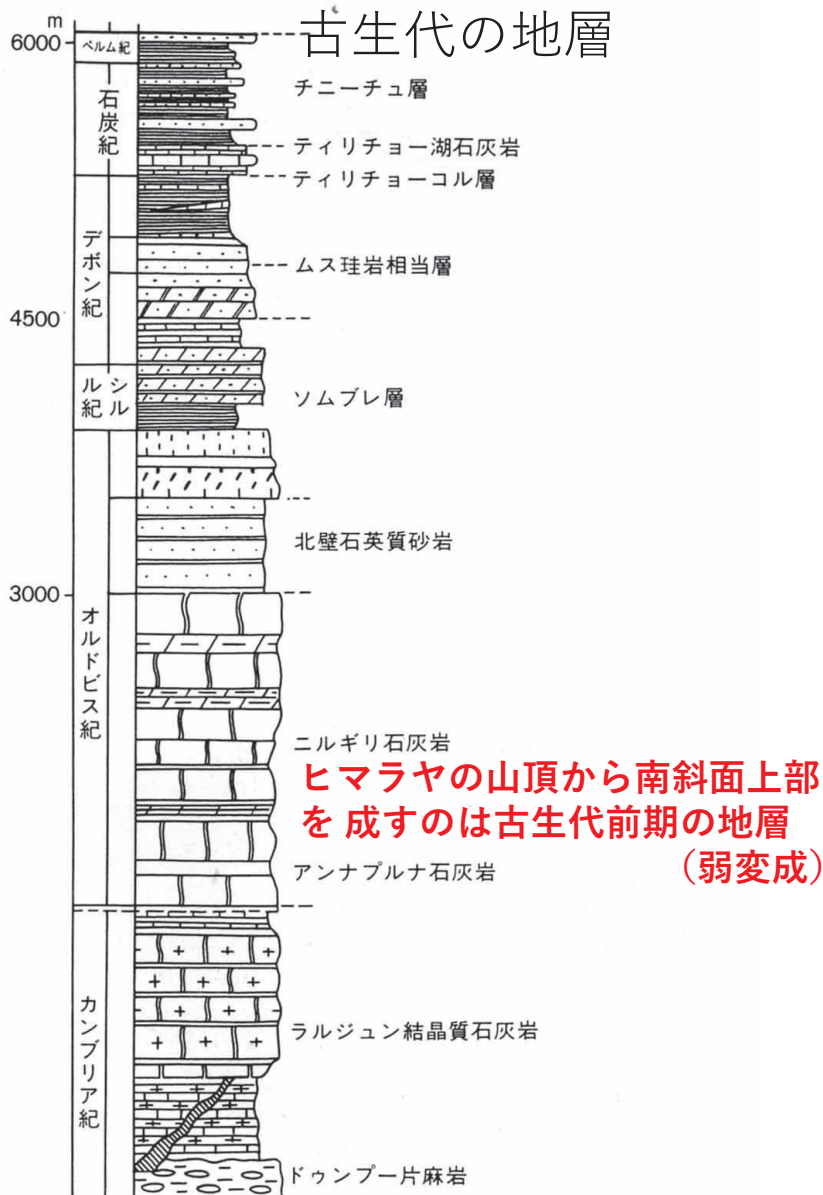


図 2-4  
アンナプルナーダウラギリ地域(タコーラ地方)のテチス堆積物の古生界層序柱状図(BORDET 他, 1971 より)

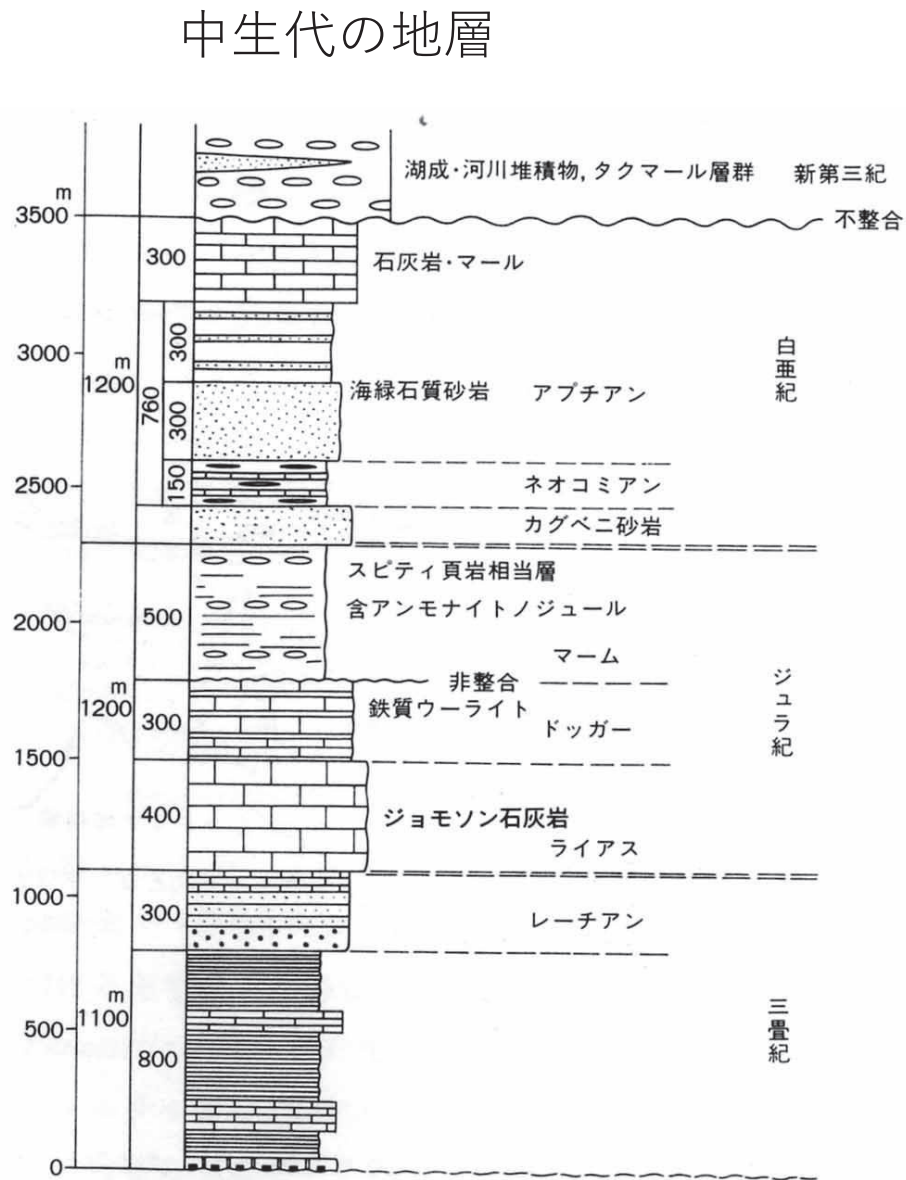


図 2-7  
アンナプルナーダウラギリ地域(タコーラ地方)のテチス堆積物の中生界層序柱状図(BORDET 他, 1971 より)

# テチス堆積物から産出した化石



ペルム紀の腕足貝、エベレストの北25km地点



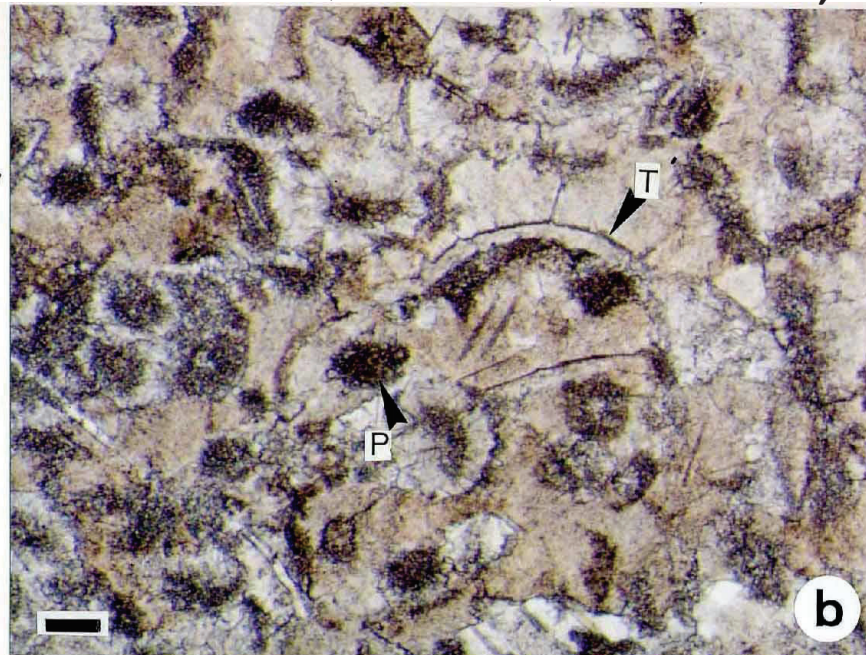
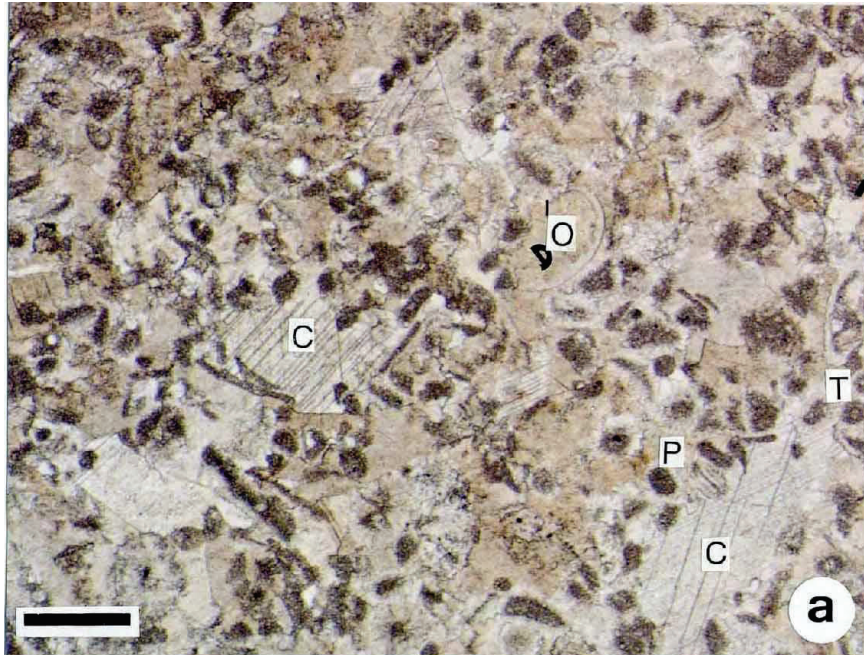
ジュラ紀後期のアンモナイト



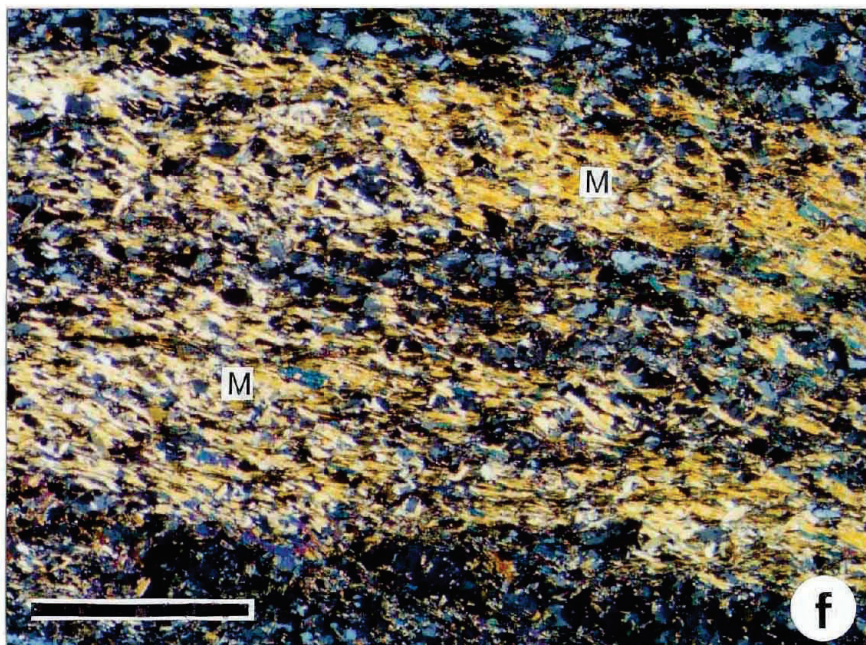
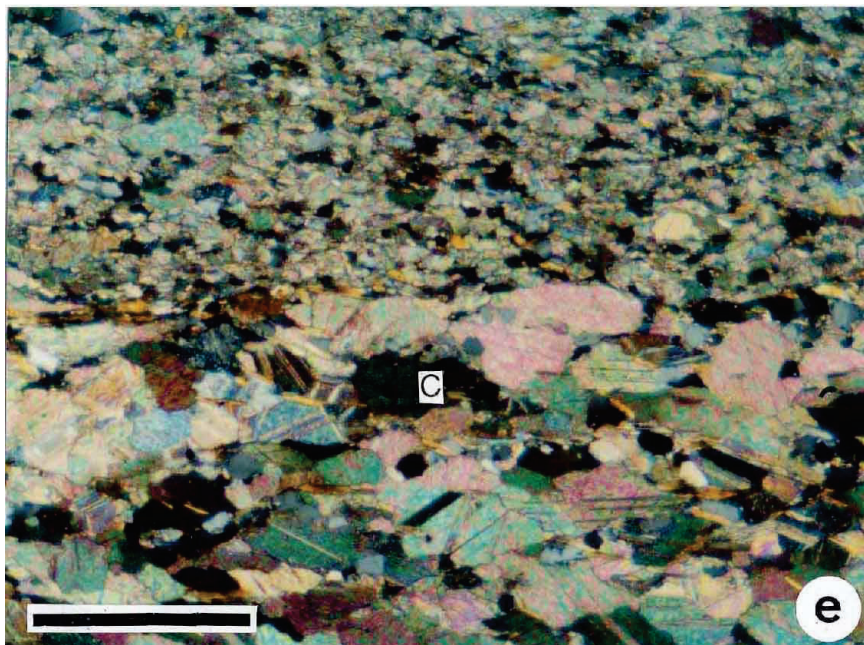
サンゴ化石を含む古生代の石灰岩



嵐によって掃き寄せられた三畳紀の貝化石層



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（黄色の葉片状鉱物）

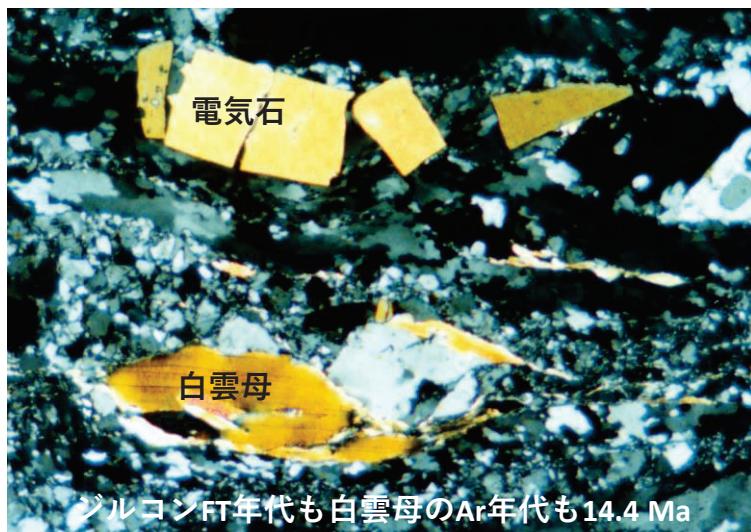




# エベレストの頂上直下8512m地点（1stステップ基部）でデタッチメント発見！



## 山頂のチョモランマ石灰岩と変成岩の最上部のイエローバンドを画するデタッチメント



← デタッチメント直下の延性変形した花崗岩

年代測定の結果、1500~1400万年前に急冷

Fission-track age of zircon:  $13.9 \pm 0.7$  Ma

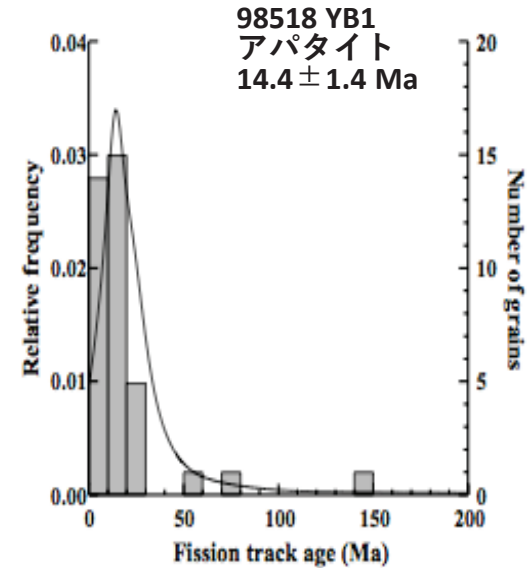
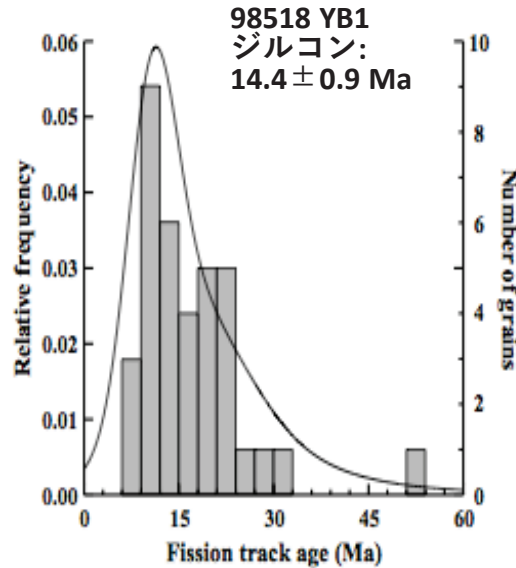
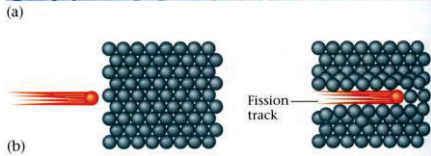
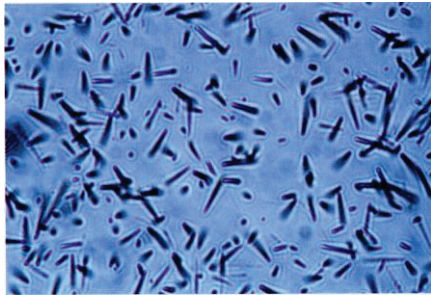
Ar-Ar age of muscovite:  $14.48 \pm 0.13$  Ma

Th-Pb age of monazite:  $16.2 \pm 0.2$  Ma

Ma : 100万年前

# イエローバンドのジルコンとアパタイトのフィッシュョントラック年代

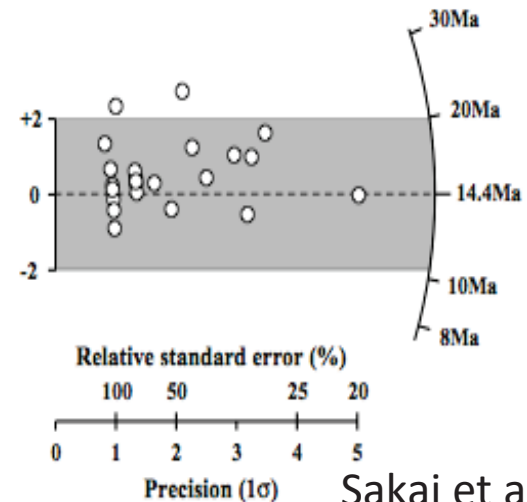
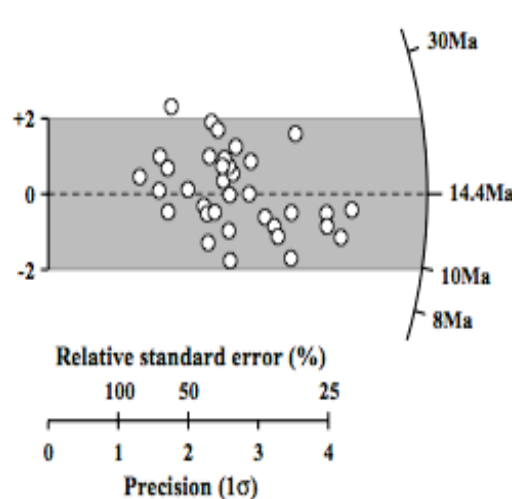
1500~1400 万年前に変成岩が急冷→ 地表に露出したことを示す



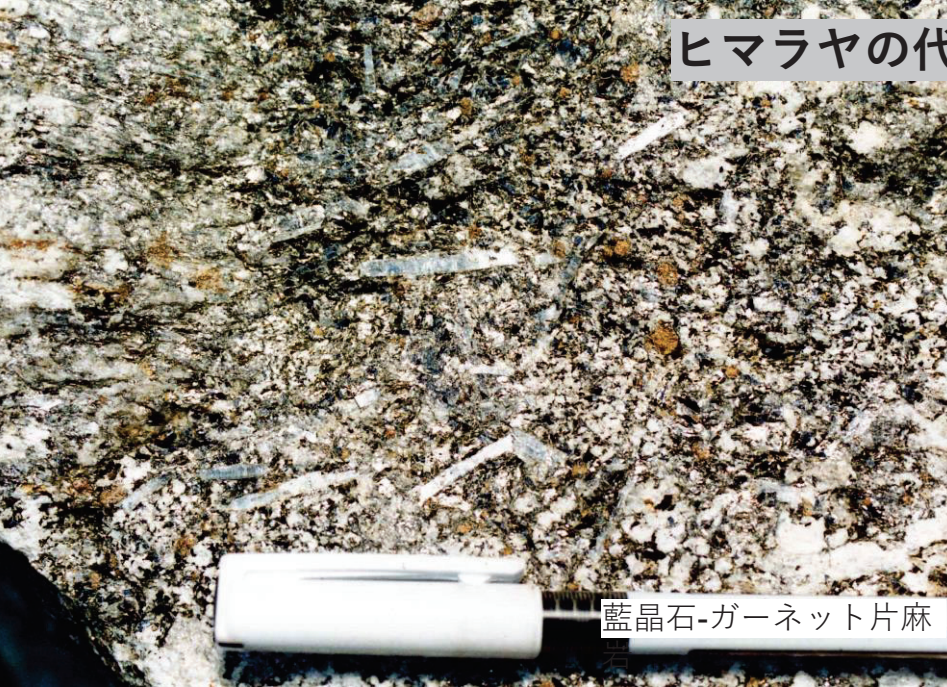
放射性壊変によって飛び出した素粒子の痕跡  
→フィッシュョン・トラック

変成岩のFTは閉鎖温度以下になった時を示す

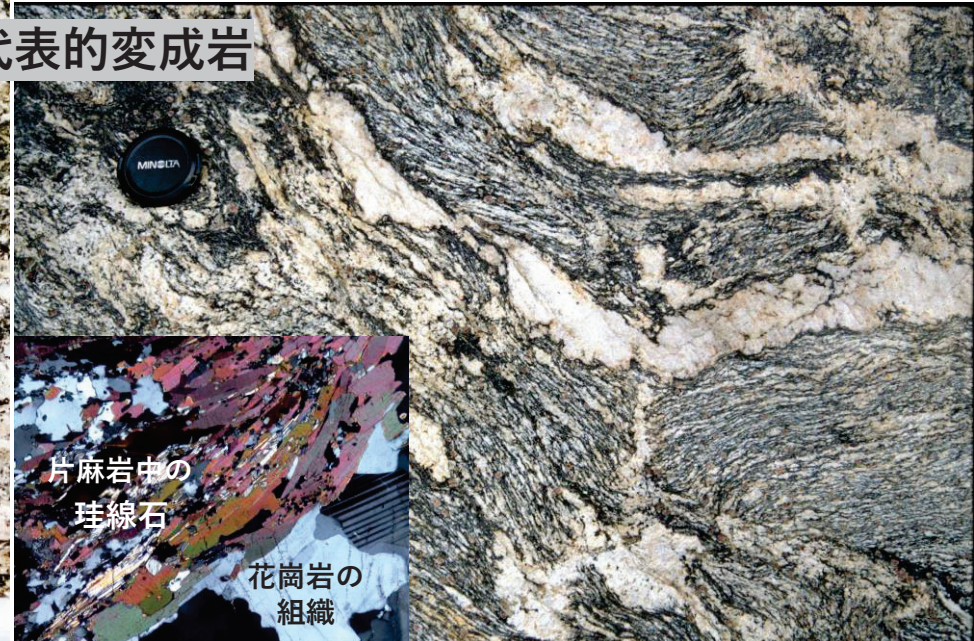
ジルコン：約250°C  
アパタイト：約120°C



# ヒマラヤの代表的変成岩



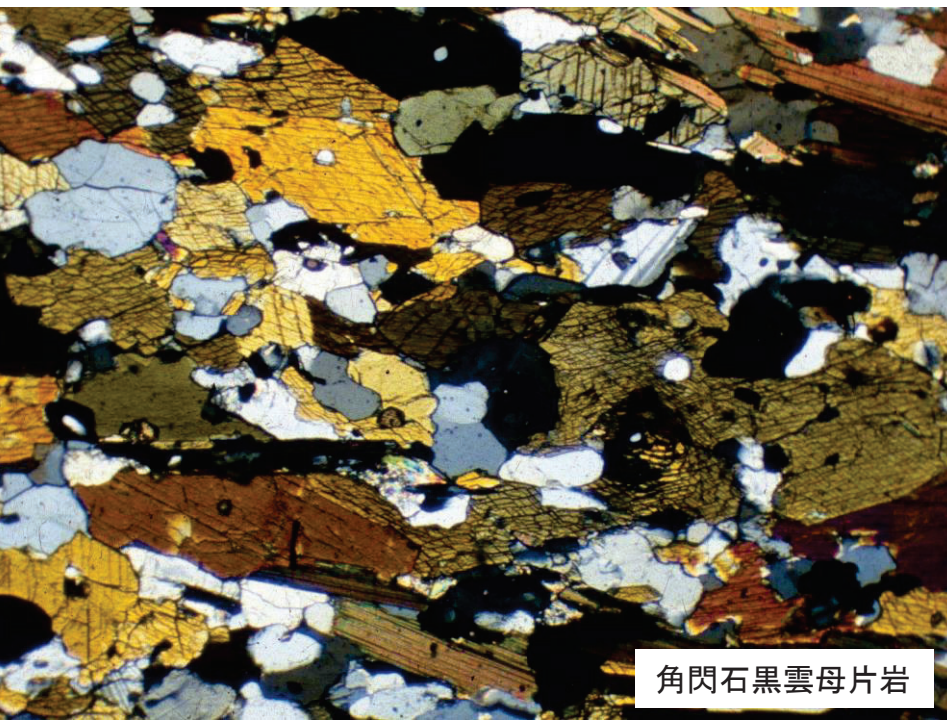
藍晶石-ガーネット片麻



片麻岩中の  
珪線石

花崗岩の  
組織

高温下で融け始めたミグマタイト質片麻岩



角閃石黒雲母片岩

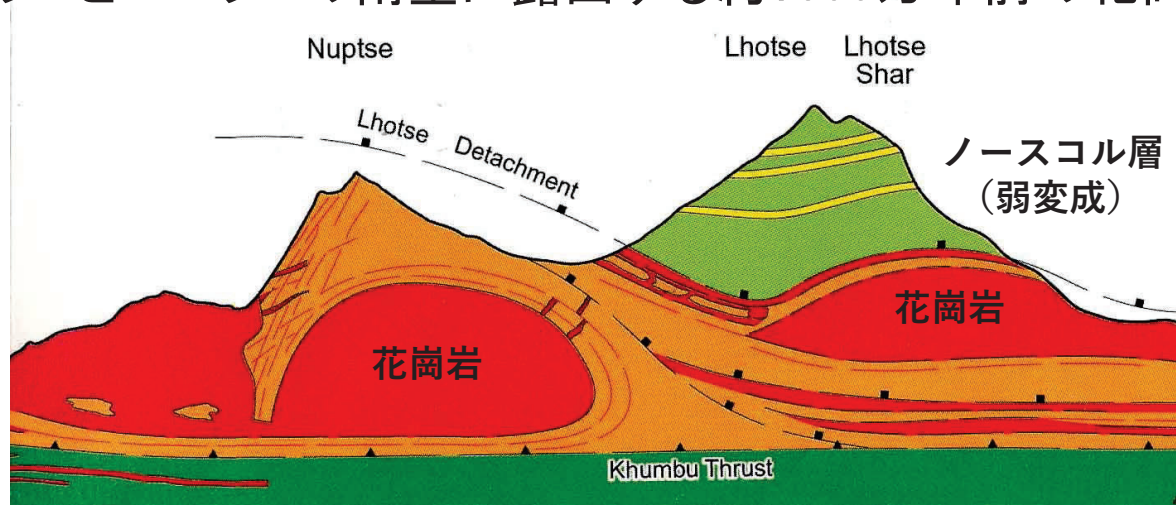


MCT zone中のs-cマイロナイト化した黒雲母片岩  
剪断変形したガーネットを含む(チョモロン村)



花崗岩

ヌプツェとローツェの南壁に露出する約1600万年前の花崗岩体



高ヒマラヤ変成岩帯



黒雲母片麻岩に貫入した1600万年前の優白色花崗岩の岩株と岩脈（蜘蛛の巣状）

ヌポツ（7970 m）とロツツ（9511 m）の東壁

## エベレスト山頂部の構造

エベレストの南西壁に露出した、オルドビス紀の石灰岩と変成したイエローバンド、および  
ヌプツェ・ローツェの南壁に露出した変成岩とそれに貫入した1600万年前の優白色花崗岩



チョモランマ石灰岩(テチス堆積物)

デタッチメント ←

イエローバンド(弱変成したテチス堆積物  
(変成帯の最上部))

ノースコル層

片麻岩

優白色花崗岩

片麻岩

# 横臥褶曲したダウラギリ

ダウラギリ (8167m)

横臥褶曲した古生代前期のテチス堆積物

アンナプルナ・デタッチメント

高ヒマラヤ変成岩



# タコラ地域のデタッチメントとダウラギリ山塊をつくるテチス堆積物



アンナプルナ・デタッチメント (AD) が造る斜面  
左側の森林部分は高ヒマラヤ変成岩類, 右側の草本部分はテチス堆積物



# ダウラギリ山麓のテチス帯基底部と高ヒマラヤ変成岩帯最上部



オルドビス紀の浅海で堆積した石灰岩、斜交成層している、干潟の泥底？



←削り込み (斜交成層)

# 貝殻片を含むオルドビス紀の石灰岩



アンナプルナデタッチメント直上のテチス堆積物は巨大な横臥褶曲を成す  
マチャプチャレ (6993 m)

→N

南傾斜

水平な褶曲軸

北緩傾斜

デタッチメント

変成岩



ニルギリの北西壁を造る横臥褶曲したオルドビス紀の地層、標高差約4000 m

ニルギリ (7061 m)



デタッチメントに沿ってテチス堆積物が北方に滑り落ちて横臥褶曲形成

テチス堆積物が北方にデタッチメントに沿って重力滑動した結果形成された、  
巨大な横臥褶曲群：ジュラ紀のジョムソン石灰岩の例



スケール：丸印の中の馬に乗った人

硬い岩石でできた地層が、何故曲がって褶曲するのか？

温度が250-300°C以下では脆性破壊、それ以上では塑性流動して褶曲形成

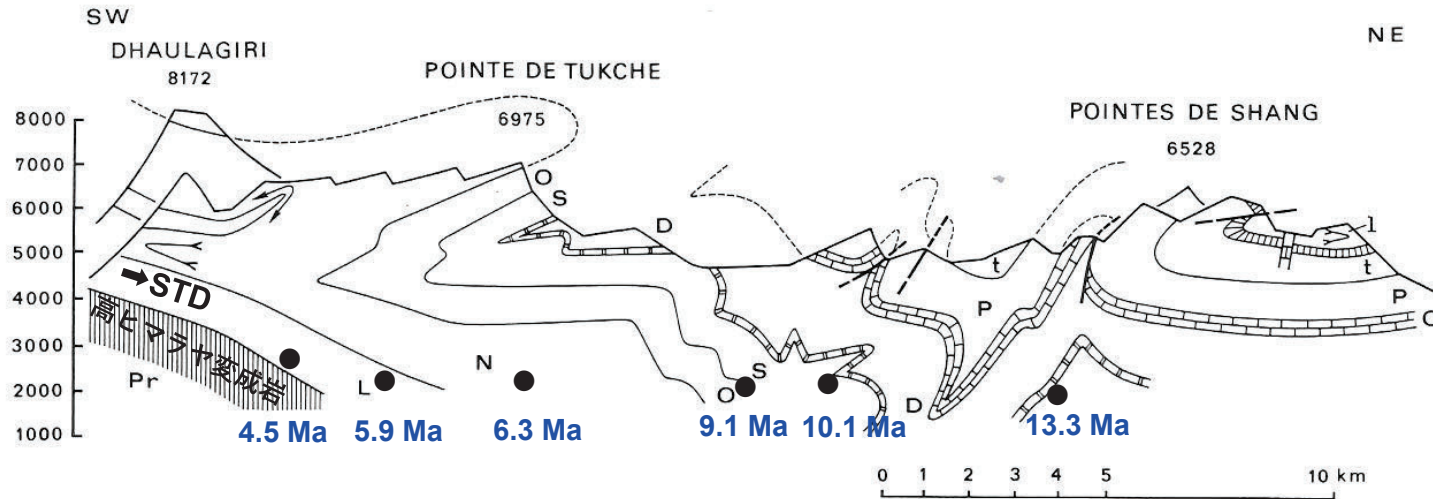


## ダウラギリ北方のタコーラ地溝西側の地質断面図

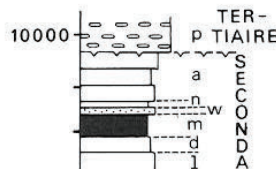
オルドビス紀からジュラ紀までの地層が南北30 kmに亘って横臥褶曲している (Bordet et al., 1971) . 碎屑性ジルコンのFT年代 (Ma:100) を併せて示す。

Le cœur de cet anticlinal est rempli d'un bourrage de flysch dévonien, dont le déblayage à permis le creusement de cette grande vallée.

Les Trois Pointes de Shang correspondent à l'affleurement du bord sud du nouveau synclinal. Les dalles subverticales de quartzite forment la Pointe Sud. La Pointe Nord est faite par le Trias, mais celui-ci se renverse vers le NE et chevauche, par une faille plate, le bord sud du cœur liasique du synclinal.



ジルコンのFT年代は、地層が褶曲した時には250°C以上で流動変形したこと、  
また、北方（地層の上位）ほど早く冷却したことを示す





# 日本隊が初登頂したマナスル三山

優白色花崗岩が貫入したマナスル

マナスル (8156m)

Peak 29 (7835m)

ヒマルチュリ  
(7893m)



# 中央ヒマラヤ・アンナプルナ-マナスル地域の地質図 <変成岩とテチス堆積物の境界部に貫入したマナスル花崗岩>

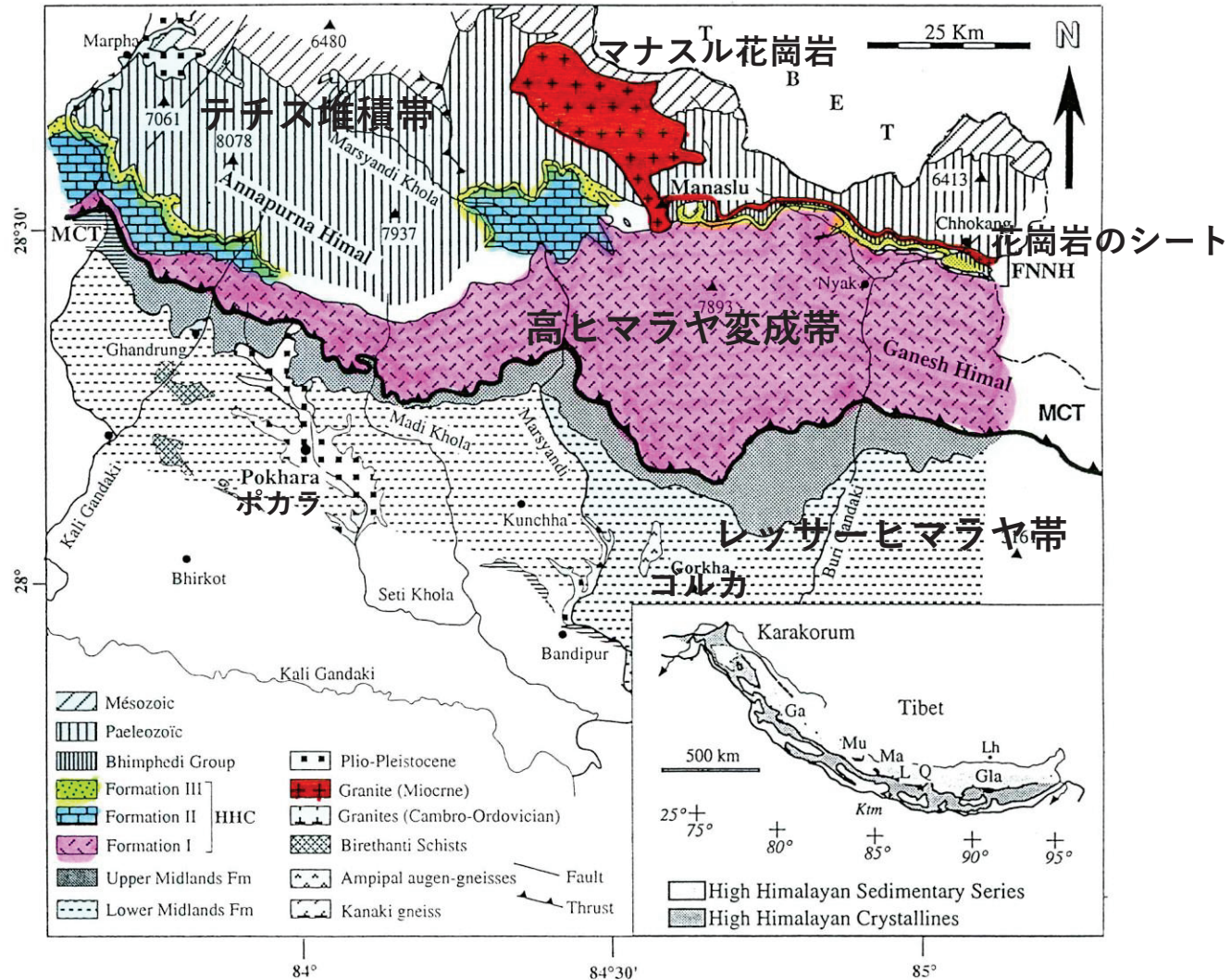
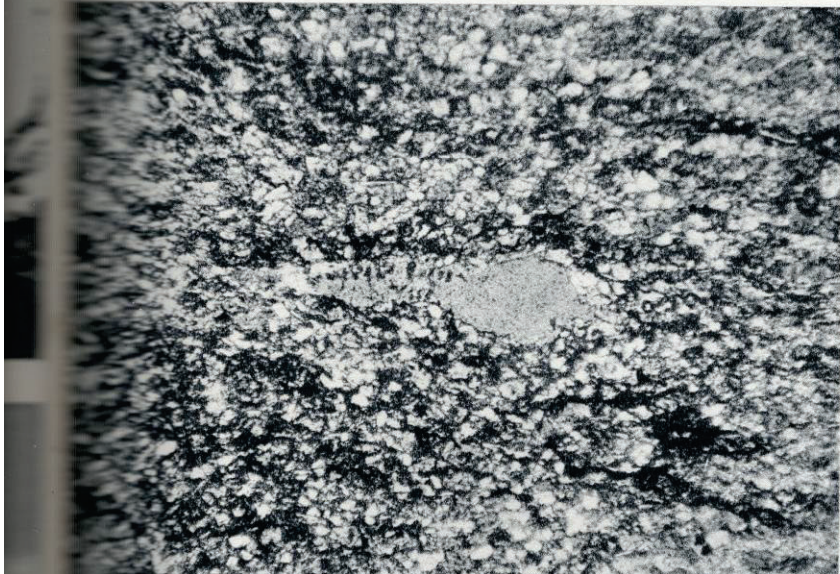


Fig. 1. Geological sketch map of Central Nepal showing location of the Manaslu granite and the lateral equivalent of its source zone: the Formation I of the High Himalayan Crystallines (HHC). Compiled and redrawn by Raï (1993) after Stöcklin and Bhattacharai (1977); Stöcklin (1980); Colchen et al. (1980). Shown in inset is the location of the main High Himalayan leucogranites discussed in the text, Ga: Gangotri-Badrinath; Mu: Mugu-Mustang; Ma: Manaslu; L: Langtang; Q: Quomolumgma; Gla: Gophu-La. Km: Kathmandu; Lh: Lhasa.

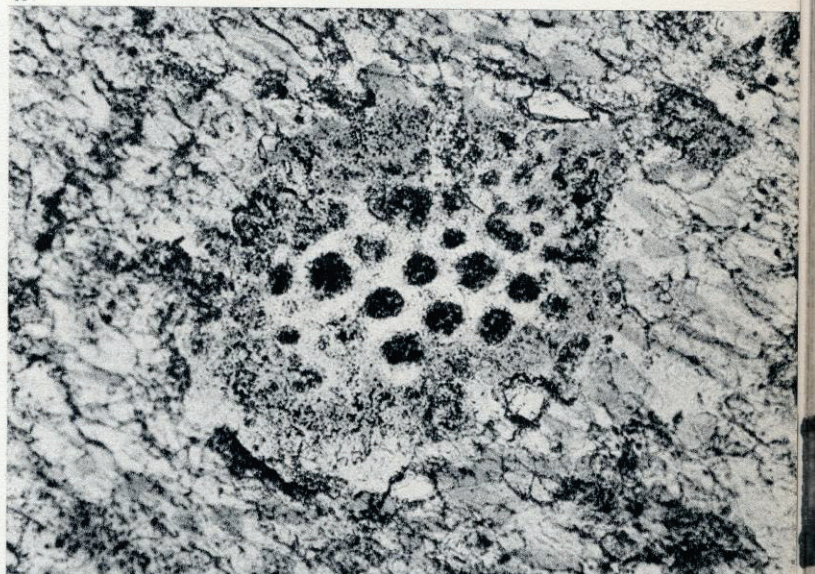
マナスの頂上部のテチス堆積物（左）に貫入した優白色花崗岩（右）。南東方向を望む。  
（Gansser, 1964に掲載された日本隊の写真）



46



47



48

# 変成帯最上部の片麻岩に貫入した優白色電気石花崗岩



片麻岩

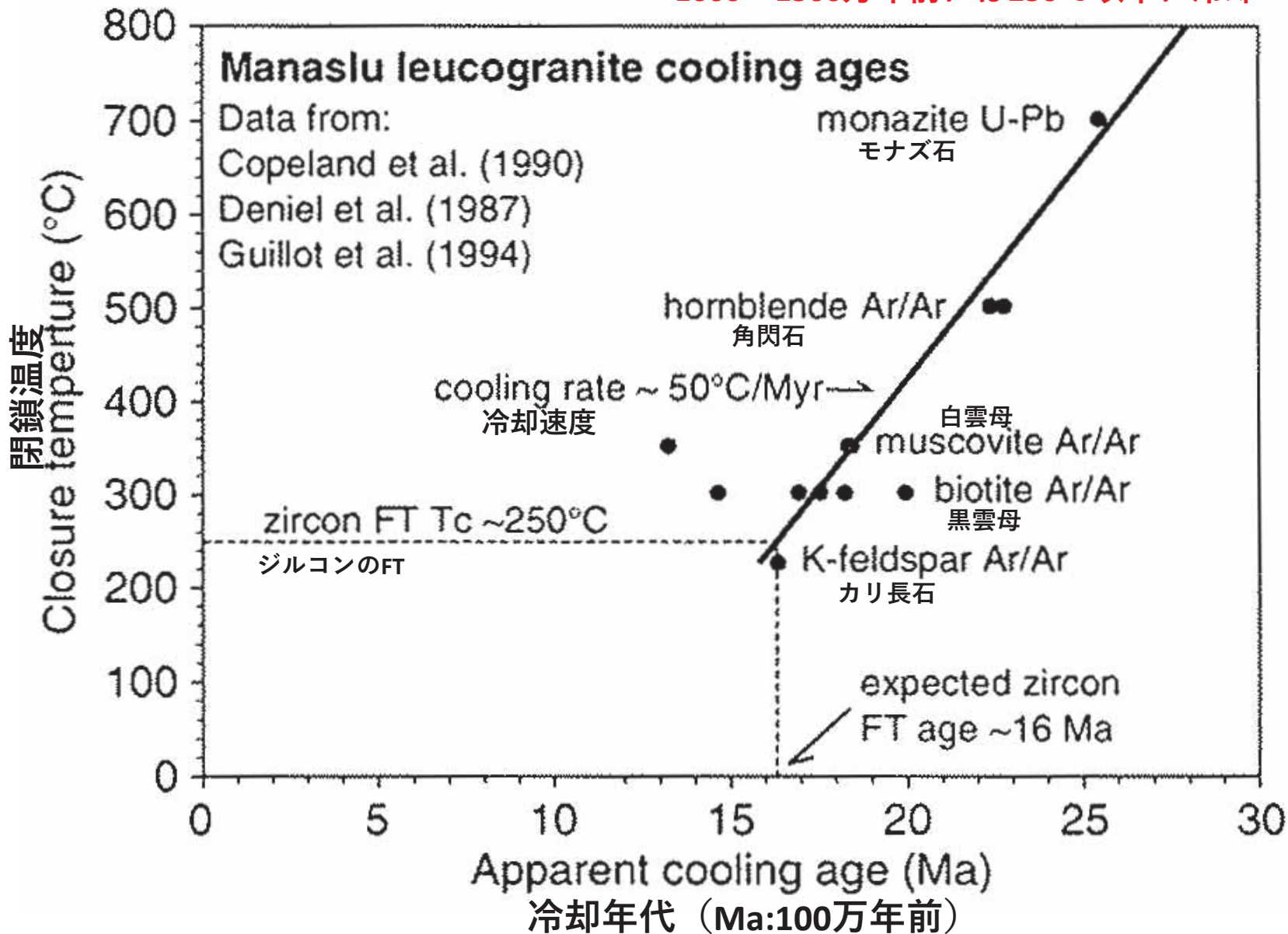
電気石花崗岩

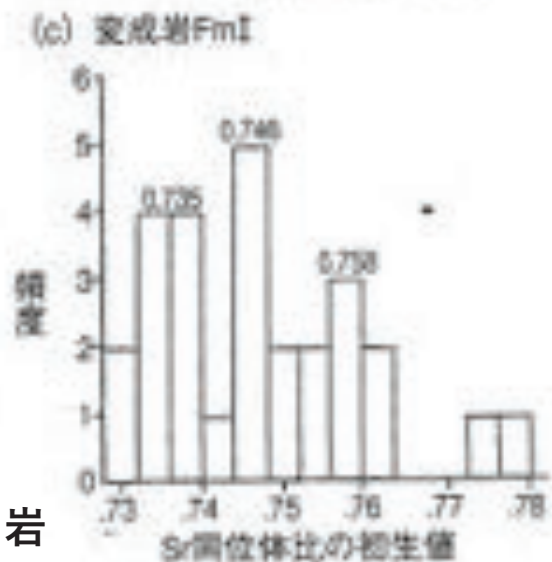
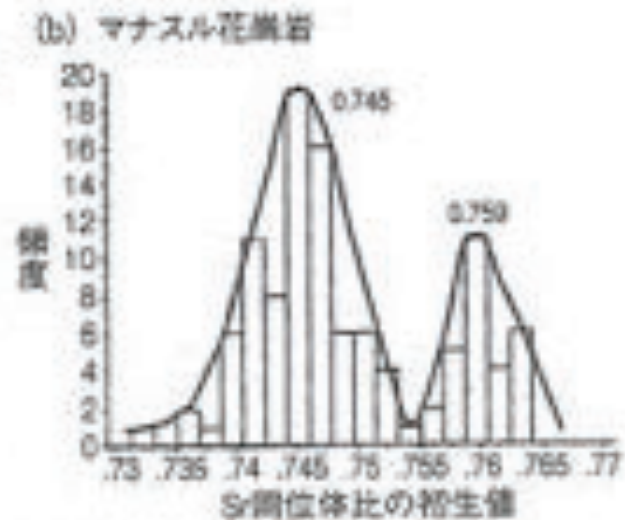
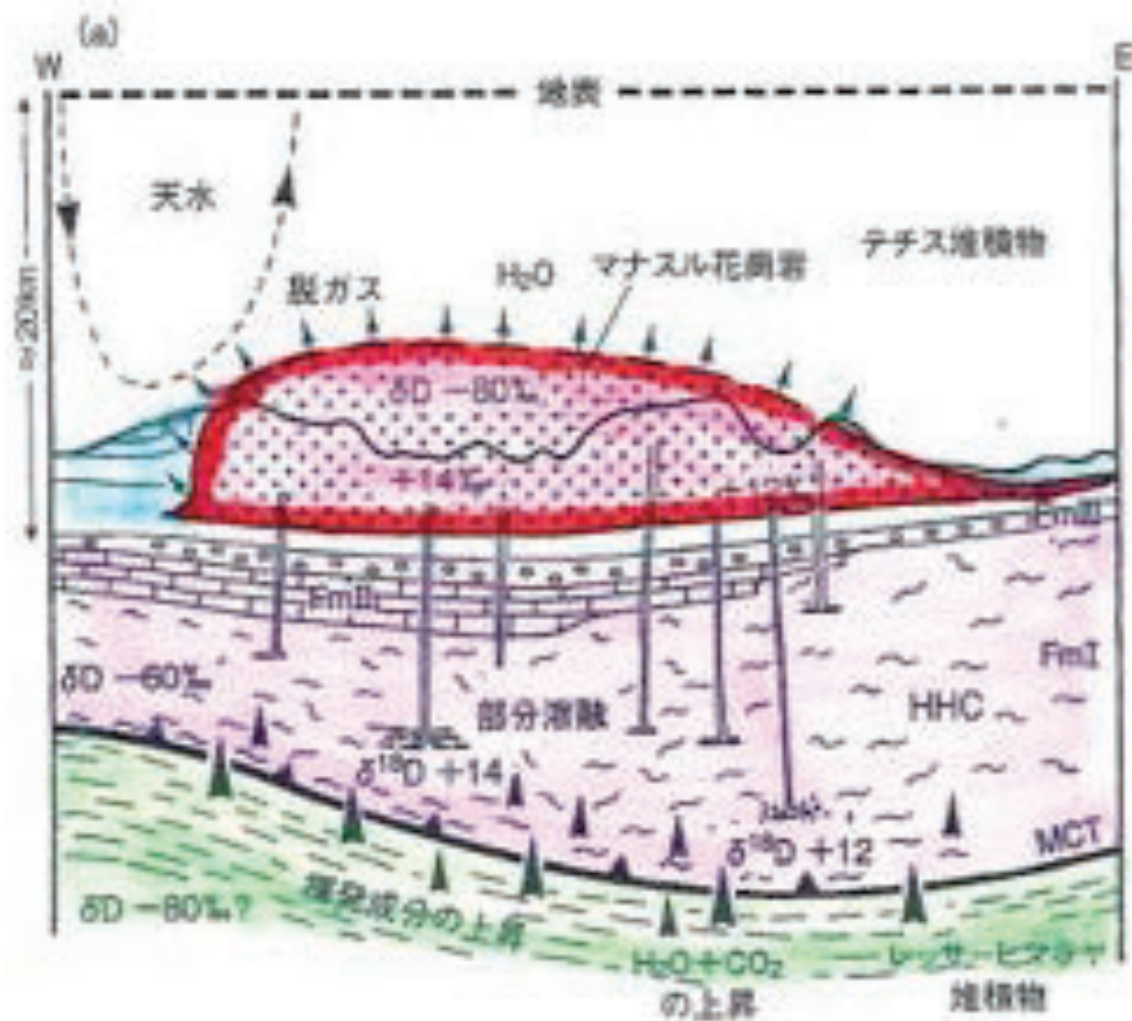
アンナプルナ・デタッチメントの直下に貫入した電気石花崗岩



# マナスル花崗岩の冷却史

2500万年前には700°C（部分溶融状態）  
1600～1500万年前には250°C以下に冷却





高ヒマラヤ変成岩下部の部分溶融によって生まれた優白色花崗岩

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 (Guillot & Le Fort, 1985)

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。

## ヒマラヤの3つの高峰の地質と構造の違い

エベレスト	ダウラギリ	マナスル
8848 m	8167 m	8156 m
山頂：古生代前期石灰岩 北斜面：北に緩斜/横臥褶曲 デタッチメント：8512 m	古生代前期石灰岩 横臥褶曲 約2500 m	古生代前期の石灰岩+ 優白色花崗岩 横臥褶曲 約7000 m
DM直下：弱変成のテチス堆積物	弱変成のテチス堆積物	弱変成のテチス堆積物
南斜面：高ヒマラヤ変成岩 + 大量の花崗岩 約2650m以下は レッサーヒマラヤ堆積物	2500m以上は石灰岩・石英砂岩 2500m以下は高ヒマラヤ変成岩 + 極少量の花崗岩	高ヒマラヤ変成岩+花崗岩 (DM直下とテチス堆積物に 貫入)

## ヒマラヤ形成のプロセス

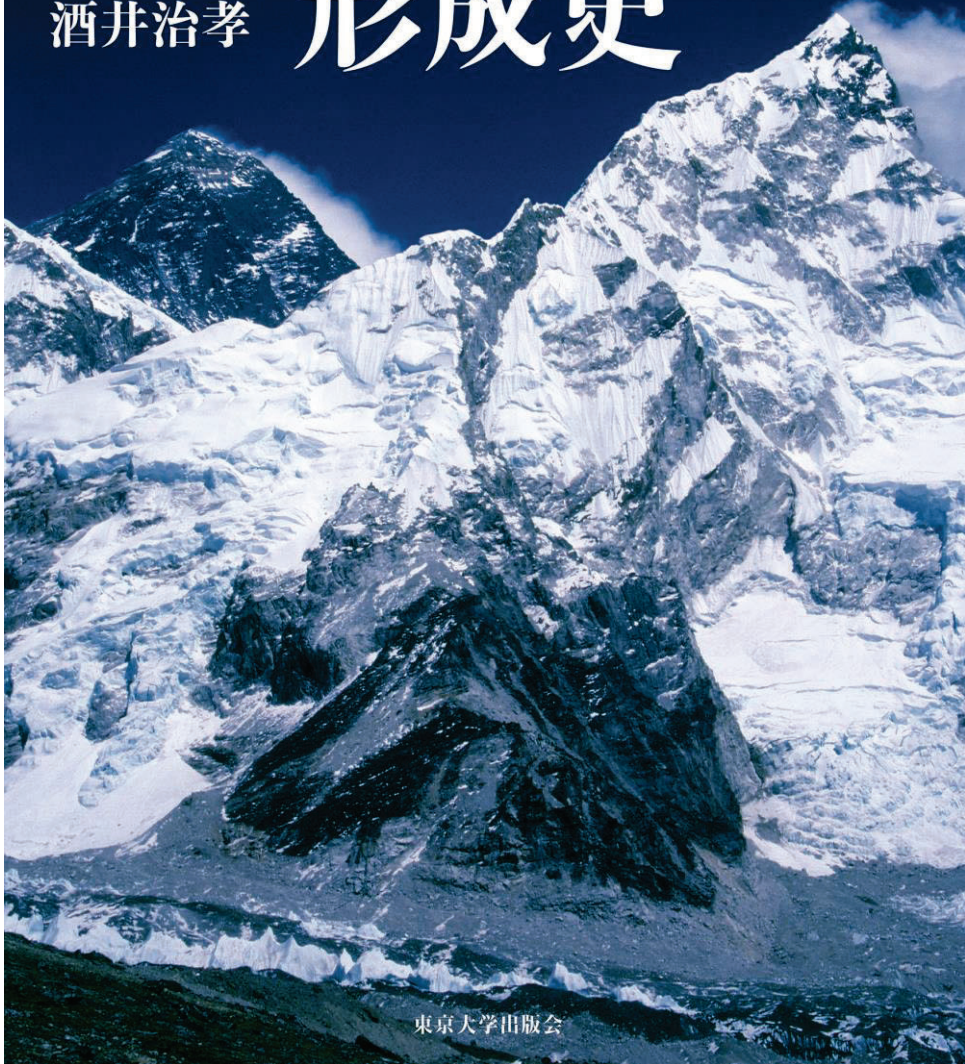
1. 高ヒマラヤ変成岩の原岩がアジア大陸下の30~40 kmに沈み込み、**変成岩が形成**
2. 約2500万年前に変成岩は上昇を開始、2200~1600万年前には**急激に上昇**
3. 上昇の過程で変成帯下部の部分溶融により、**優白色花崗岩メルトが形成される**
4. 変成帯上部、テチス堆積帯、両者の境界部に**花崗岩メルトが貫入**
5. その結果、異常間隙水圧帯が形成され、**テチス堆積物は滑り落ち横臥褶曲形成**
6. 1500~1400万年前までには、**変成帯は地表に到達・露出**



Mountain Building of the Himalayas

# ヒマラヤ山脈 形成史

Harutaka Sakai  
酒井治孝



東京大学出版会

東京大学出版会 3月新刊 著者割引販売のご案内

## ヒマラヤ山脈 形成史

酒井 治孝 — [著]

京都大学 名誉教授

ISBN978-4-13-060768-1 / B5判 / 234頁 / 7,920円 (税込)

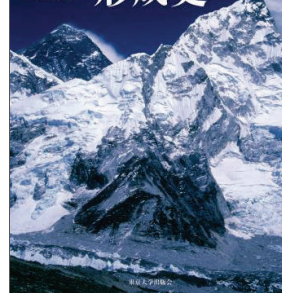
現在も上昇を続けている世界の屋根、ヒマラヤ山脈の誕生と成長のプロセスとメカニズムの謎は、どこまで解明されたのだろうか？ 大陸衝突型造山帯ヒマラヤの最新の地球科学的研究の成果を、現地調査1000日を超えるヒマラヤ研究の第一人者が紹介する。カラー口絵14頁入り。

NEW!  
3月新刊

Mountain Building of the Himalayas

### ヒマラヤ山脈 形成史

Harutaka Sakai  
酒井治孝



### 主要目次

はじめに

- 1章 ヒマラヤ山脈の地形と地質の概観
- 2章 大陸衝突とその証拠
- 3章 レッサーヒマラヤに記録された19-16億年前の地球史
- 4章 レッサーヒマラヤに残る超大陸パンゲアの痕跡とテチス海の消滅
- 5章 沈み込み、変成したインド亜大陸とその再溶融
- 6章 ヒマラヤの誕生——1500万年前の変成帯の地表露出
- 7章 テチス海に5億年にわたって堆積した1万メートルの地層
- 8章 北方にすべり落ち、横臥褶曲したテチス堆積物
- 9章 レッサーヒマラヤに押し被さった巨大な変成岩ナップ
- 10章 変成岩ナップの運動史を探る

- 11章 変成岩ナップ、レッサーヒマラヤ、高ヒマラヤの熱履歴を探る
- 12章 前縁盆地と深海扇状地の堆積物からヒマラヤの謎を解く
- 13章 前縁山地マハバールトの上昇
- 14章 現在の地殻変動——地震・活断層・温泉
- 15章 ヒマラヤ山脈形成のメカニズムを探る  
おわりに

### 注文書

この注文書で東京大学出版会に直接お申込の場合に限り特価扱いとなります。必要事項をご記入のうえ、ファックスでお申込下さい。メールでのお申込も可能ですが、必ず「『ヒマラヤ山脈形成史』著者割引」とご明記ください。この注文書では書店への注文はできません。くれぐれもご注意ください。

FAX: 03-6407-1991 e-mail: [order@utp.or.jp](mailto:order@utp.or.jp) 申込み期限: 2023年5月26日 (金)

ヒマラヤ山脈形成史 (60768)

### 特別価格

7,920円(税込) → 特価6,336円(税込)

〔ご注文数 冊〕

### 【お客様のご住所・ご連絡先】

〔ご住所〕 〒

〔お名前〕

〔電話番号〕

〔お支払い方法〕 後払い(振替用紙同封)  
送料は1冊の場合は600円、2冊以上は800円を申し受けます。

東京大学出版会

〒153-0041 東京都目黒区駒場4-5-29 電話: 03-6407-1069 FAX: 03-6407-1991  
e-mail: [order@utp.or.jp](mailto:order@utp.or.jp) URL: <https://www.utp.or.jp/>

# ネパールでの43年間の教育支援活動



## ネパールに学校をつくる

協力隊OBの教育支援35年

酒井治孝著



## 青年海外協力隊OBの アイデアから 教育支援活動は始まった

ネパールに高校の校舎を建てよう。  
冬休みには大学の野外地質学実習の宿舎として利用しよう。

東海大学出版部

地震により倒壊した  
ジュンベシ学校再建  
基金を集めるために  
2015年12月出版

ジュンベシの中・高等  
学校校舎の再建工事  
2017年3月に開始、  
2018年3月完成

# ネパールでの教育支援活動43年

1. 1980～1983年(3年間)：青年海外協力隊員として国立トリブバン大学  
工学部地質学科で講師として勤務
2. 除隊後、日本での大学院留学・研修のお手伝い  
10人以上のネパールからの留学生が、理学・工学・農学博士号取得
3. 学校校舎の建設(マレクー2校とマッシュラム、ドゥムレ2校、ジュンベシ1校)  
(1)トリブバン大学地質学科の学生野外実習の宿泊施設・教室として利用  
(2)地方の学校教育の底辺を上げる(平時は学校校舎として利用)  
地質学野外実習での校舎利用：マレクー1498名+ $\alpha$ 、ドゥムレ878名+ $\alpha$
4. 奨学金の支給  
2001年以來、大学生140名、中高生約217名に支給(～2014)  
＜私的な奨学金の支給10名以上：進路の例＞  
英語の教育学修士を取得⇒ブトワールの電電公社勤務、教育学部分校長  
保健婦と学校教師の免許取得⇒小学校教師と保健婦兼務  
看護師の免許を取得⇒大学病院勤務、ルンビニ工科大学土木工学科卒業  
ルンビニ医科大学看護学部卒業、経済学修士号を取得⇒ネパールの国連機関勤務

# 協力隊後の教育支援活動

## (2) 応用地質学の技術研修と留学の支援



ダム開発のための横坑で土木地質の研修中のB.N.Upretiさんと西日本技術開発の技術者  
技術研修により応用地質学の重要性を知り、現在は応用地質学が最も人気のコース

### (3) 学校建設

1つの小学校校舎と大学教育学部分校校舎

4つの中・高校校舎, 1つの10+2の学校校舎と増設

- ◆10+2理科コース3つの実験室の設置
- ◆女性福祉グループのホーム(保育所を兼ねる)
- ◆地質学野外実習で校舎に宿泊利用: マレクー1498名、ドウムレ878名



ドウムレ10+2と小学校校舎



ドウムレ10+2校舎



マッシュラム中・高校校舎



マレクー中・高校第1校舎

2014/11/09



マレクー中・高校第2校舎

2014/11/09

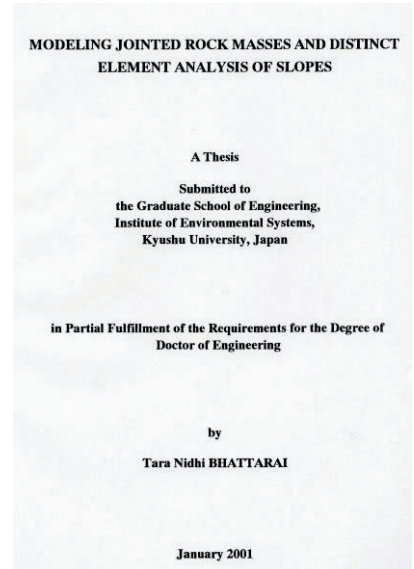
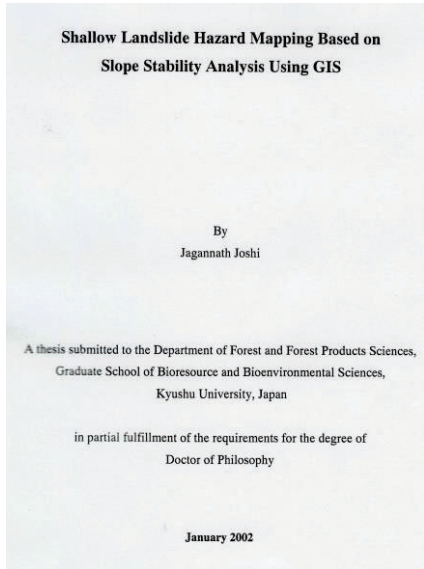


女性社会福祉協議会ホーム屋上にて



タンセンの私の調査地域に建設された学校校舎に宿泊し、  
野外実習中の地質学科の学生（ヘルメット）と教員

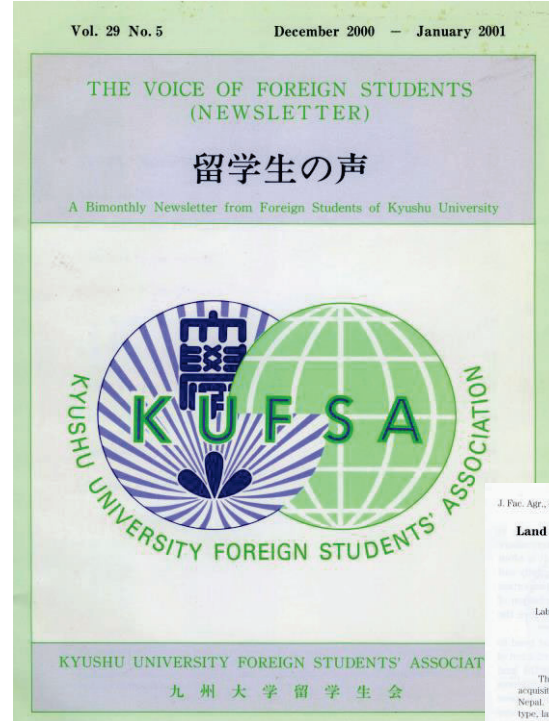
# 10人以上のネパールからの留学生が日本で博士号取得



ジョシーさんの農学博士論文 バッターライさんの工学博士論文



留学生の娘さんも加わりタケノコ掘りの春のリクレーション



シェルパのニマ君は九州大学留学生会の会長をやりながら研究を続け、農政経済の博士号取得 (シェルパで初の博士)

J. Fac. Agr., Kyushu Univ., 45 (1), 349-364 (2000)

**Land Holding Pattern and Efficiency of Agricultural Production in Nepal - A case study in the eastern hill of Nepal -**

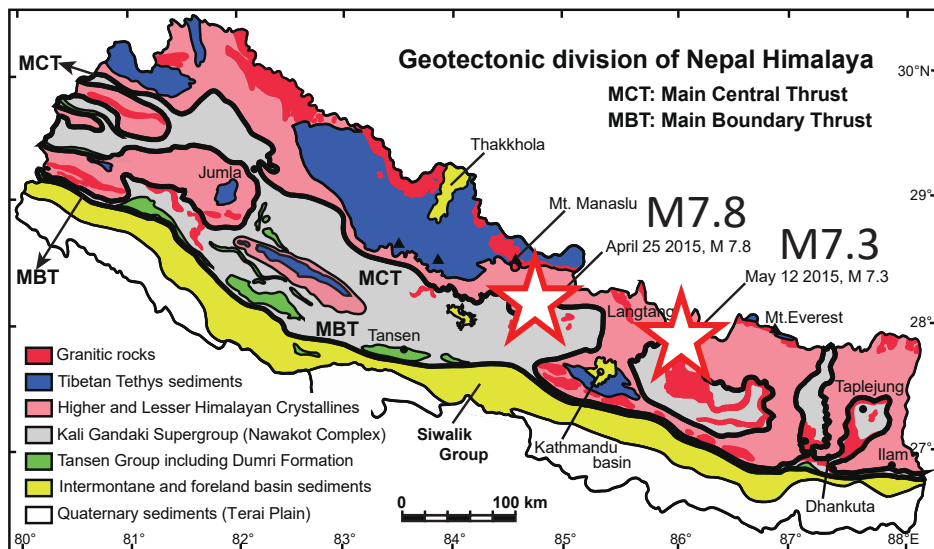
Ngima Gyalgen Lama\* and Tsuji Masao

Laboratory of Farm Management, Department of Agricultural and Resource Economics, Graduate School of Bioresources and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan  
(Received July 31, 2000 and accepted August 18, 2000)

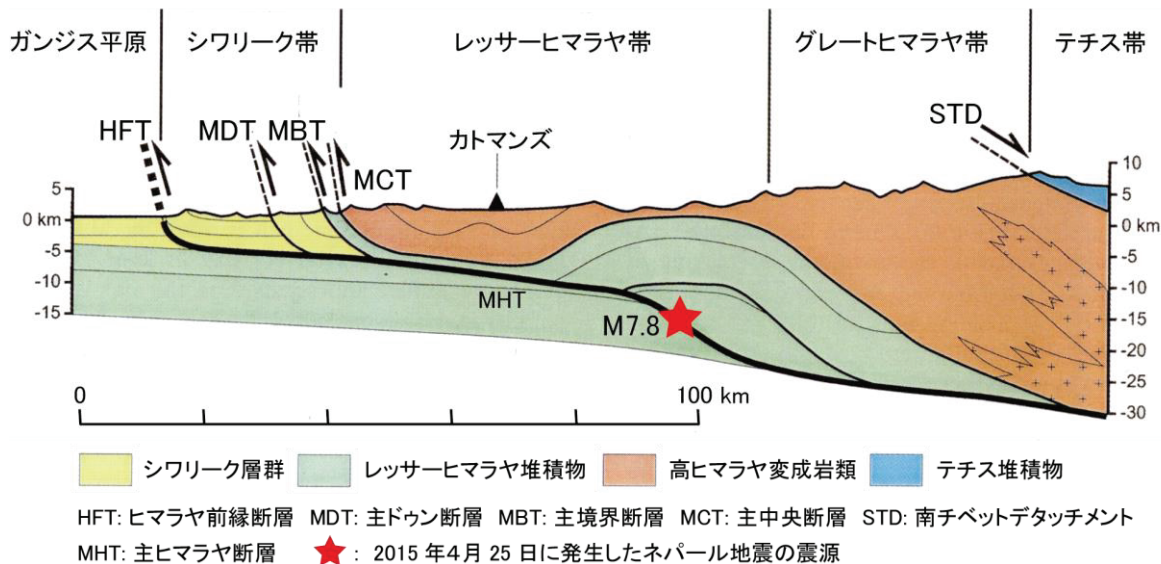
This study was carried out to identify the land holding pattern and process of land acquisition among the farm households of different food availability status in the eastern hill of Nepal. Analysis on the relationship between the land size and agricultural production, land type, land use ratio, fertilizer use, productivity, family size, employment pattern and cash from non-farm source are made and discussed. In depth analysis of the production environment of households with different land size but obtaining similar cash value of production are carried out and associated factors are presented. The survey result shows an extremely unequal distribution of land among the household categories, indicating a declining trend of land holding from the food surplus to the food deficit households. Positive relation was found between the land size and the annual gross cash value of agricultural production. However, negative relation found between the land size and productivity of maize and millet; both upland and major hill crops, provides a critical issues to be face in terms of productivity and maintaining food security in the hill of Nepal. Interestingly, positive relation was found between the fertilizer use and productivity of maize and wheat.

# 2015年ゴルカ地震とその余震

〈死者9000人以上，負傷者2万人，被災者800万人〉



→ N





Numbur (6959m)

←倒壊したジュンベシの  
学校校舎@ 2800 m



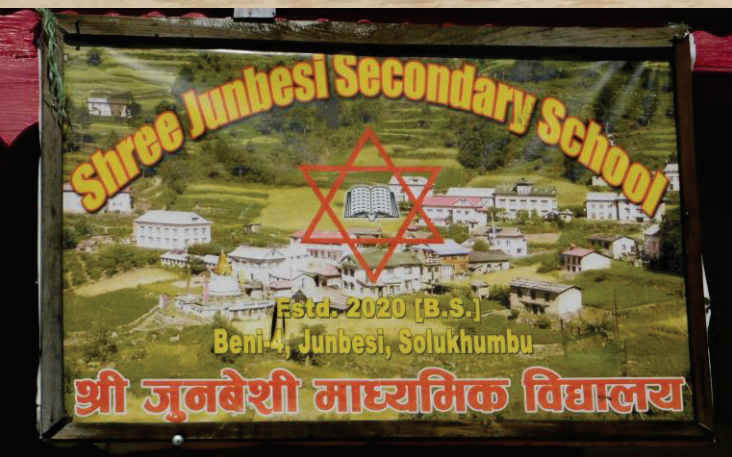
サレリー

Numbur(6959m)、Khatang(6853m)、Karyokung(6511m)の南麓に広がるソルー (Solu) 地方の山々と郡庁所在地のサレリー (Salleri)、および学校再建中のジュンベシ村 (Junbesi: 矢印の奥)を望む

# 完成したジュンベシ中・高等学校校舎と2018年3月18日の開校式の様子



2018年3月18日に開校したジュンベシの中・高等学校校舎の8教室と背後の教師・学生用ホステル



ネパールでの教育支援活動に関心がある方、ご協力頂ける方へ

酒井の連絡先メールアドレス：[himalsakai@gmail.com](mailto:himalsakai@gmail.com)

ご清聴、ありがとうございました！



ネパールの国花：ラリーグラス（石楠花）