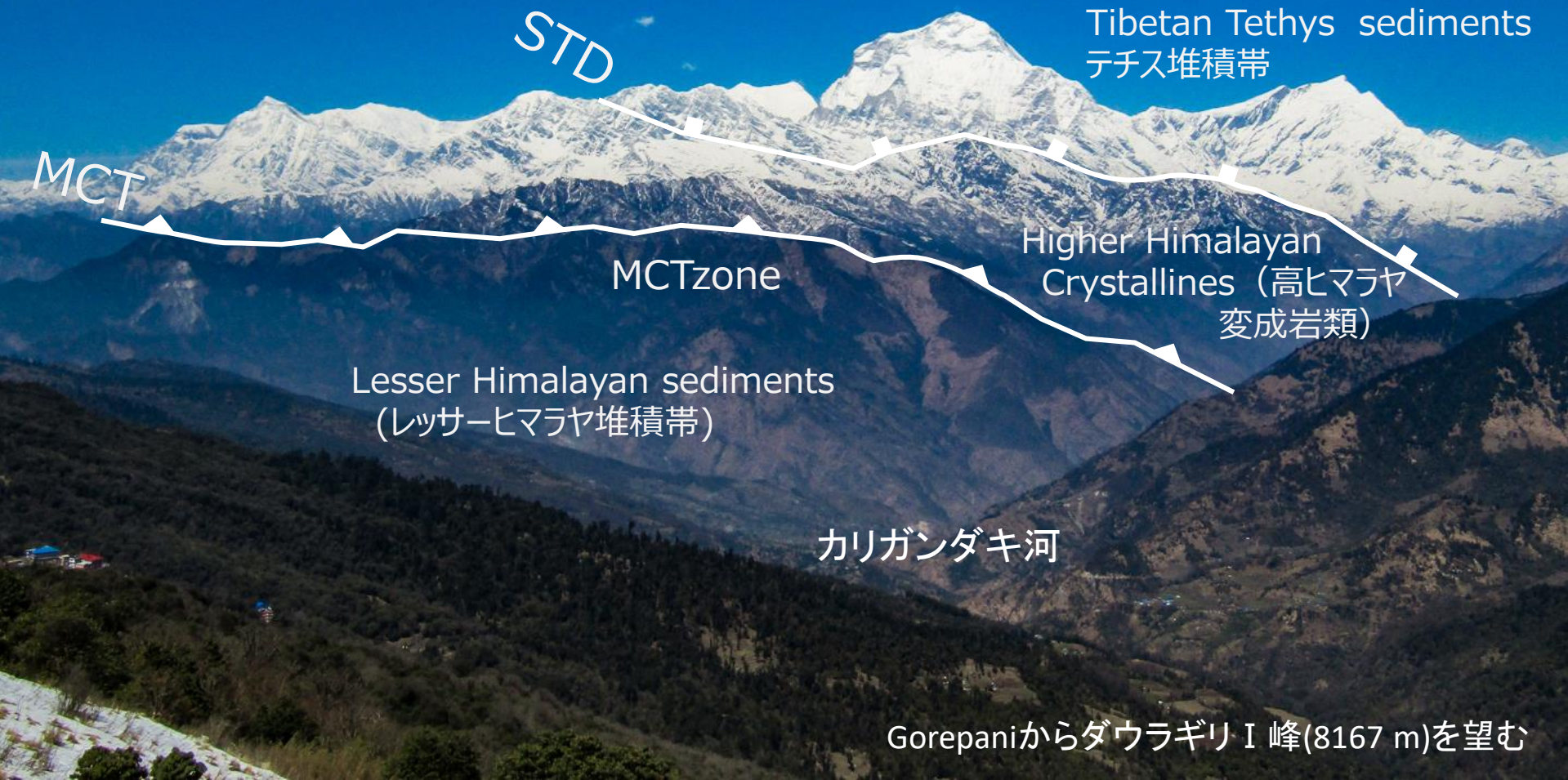
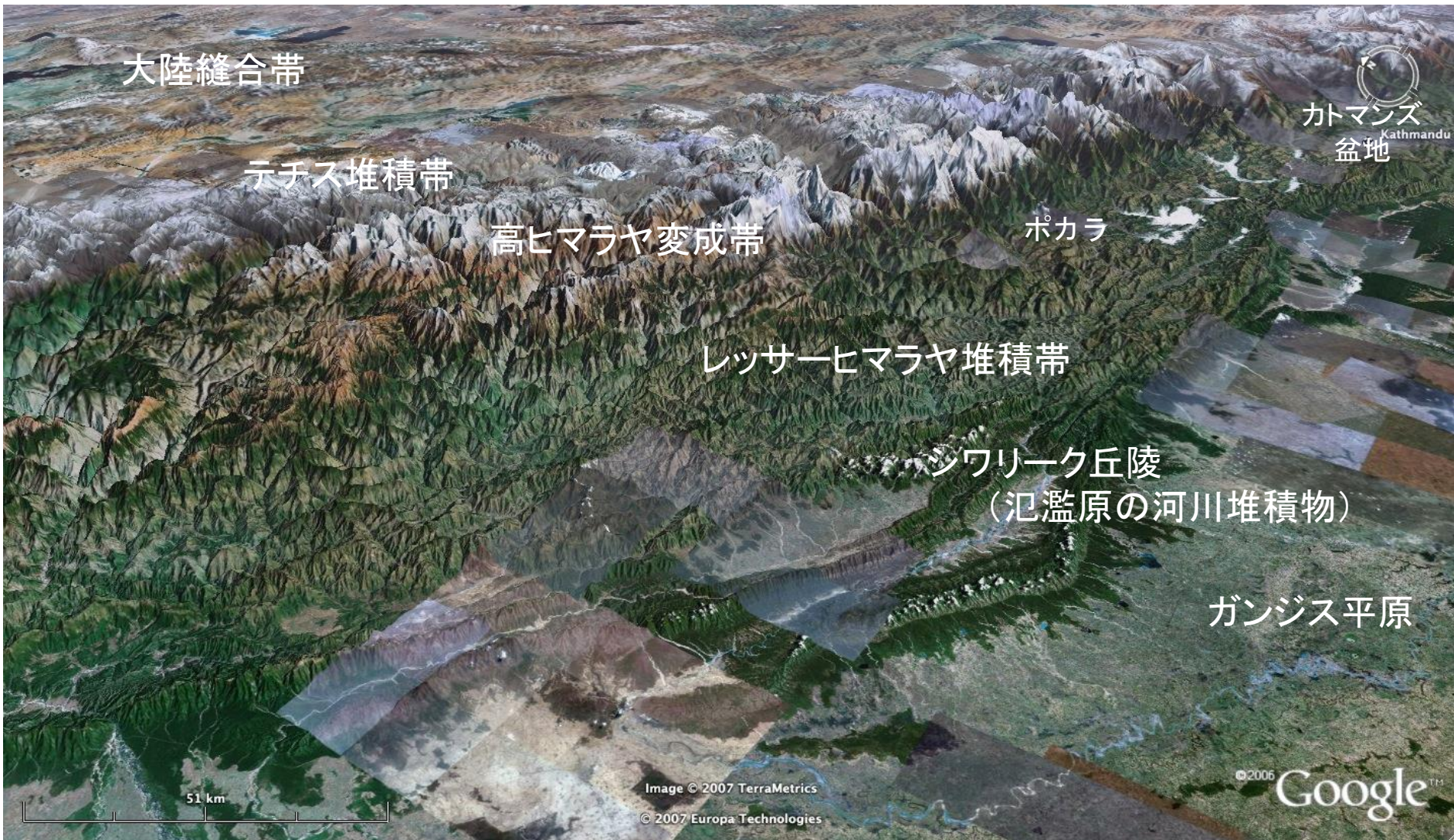


ネパール、カリガンダキ河流域の地形と地質から見た ヒマラヤ山脈形成史

京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
名誉教授 酒井 治孝

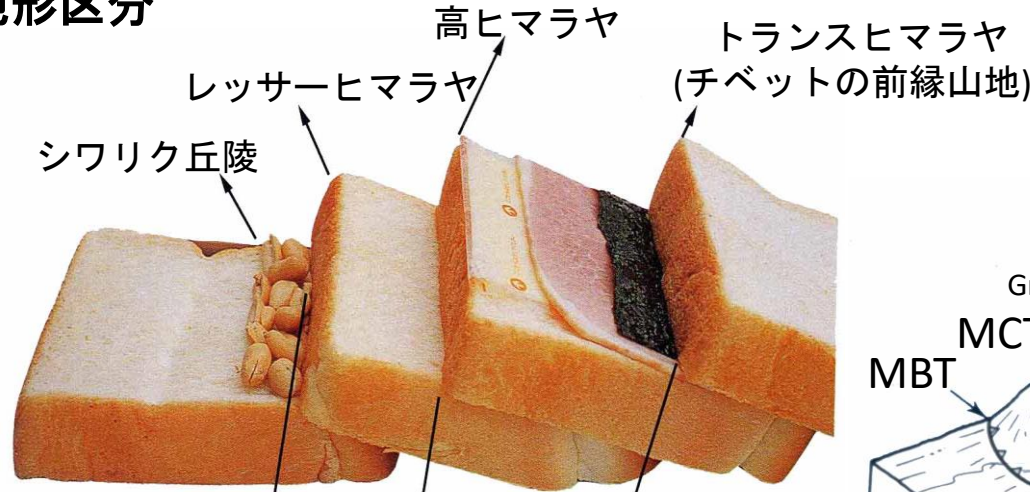


中央～西ネパールの衛星画像



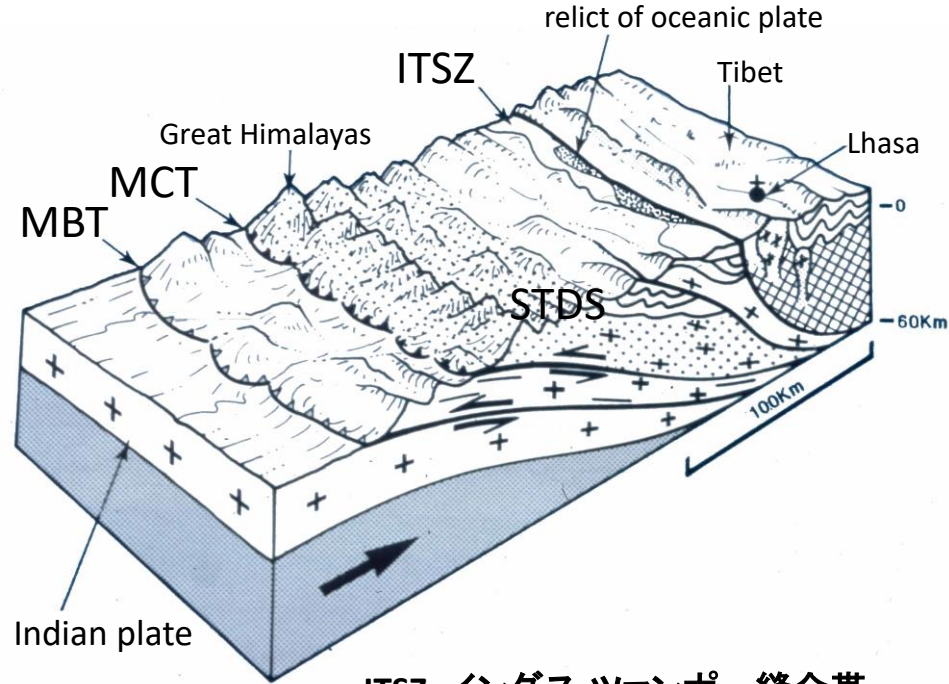
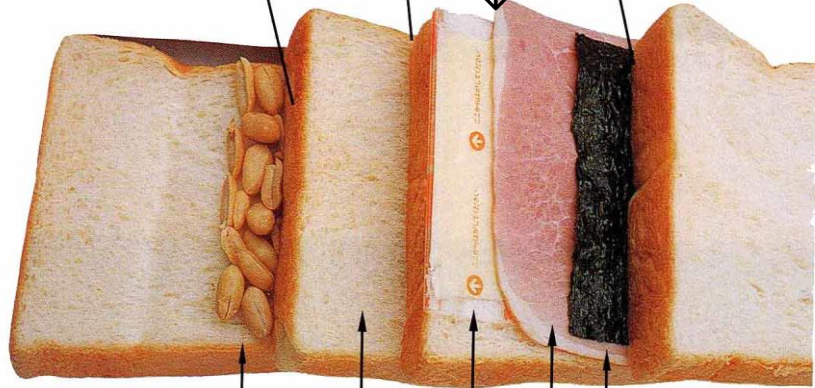
ヒマラヤ山脈の地形・地質区分

地形区分



地質区分

MBT MCT STDS ITSZ

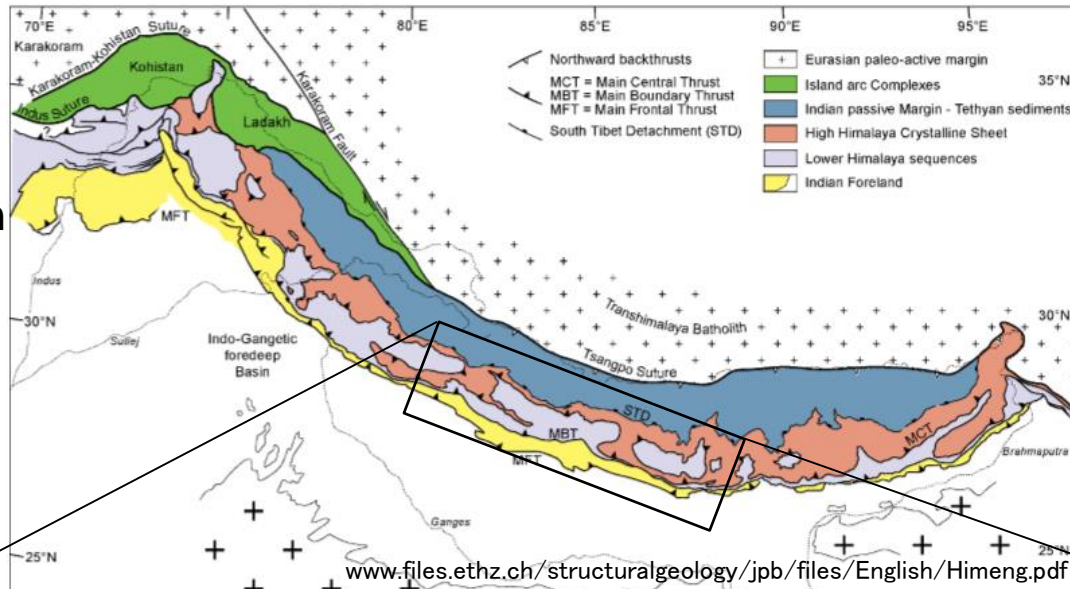


ITSZ: インダス-ツアンポー縫合帯
 STD: 南チベットデタッチメント
 MCT: 主中央衝上断層
 MBT: 主境界衝上断層

「ヒマラヤの自然誌」より

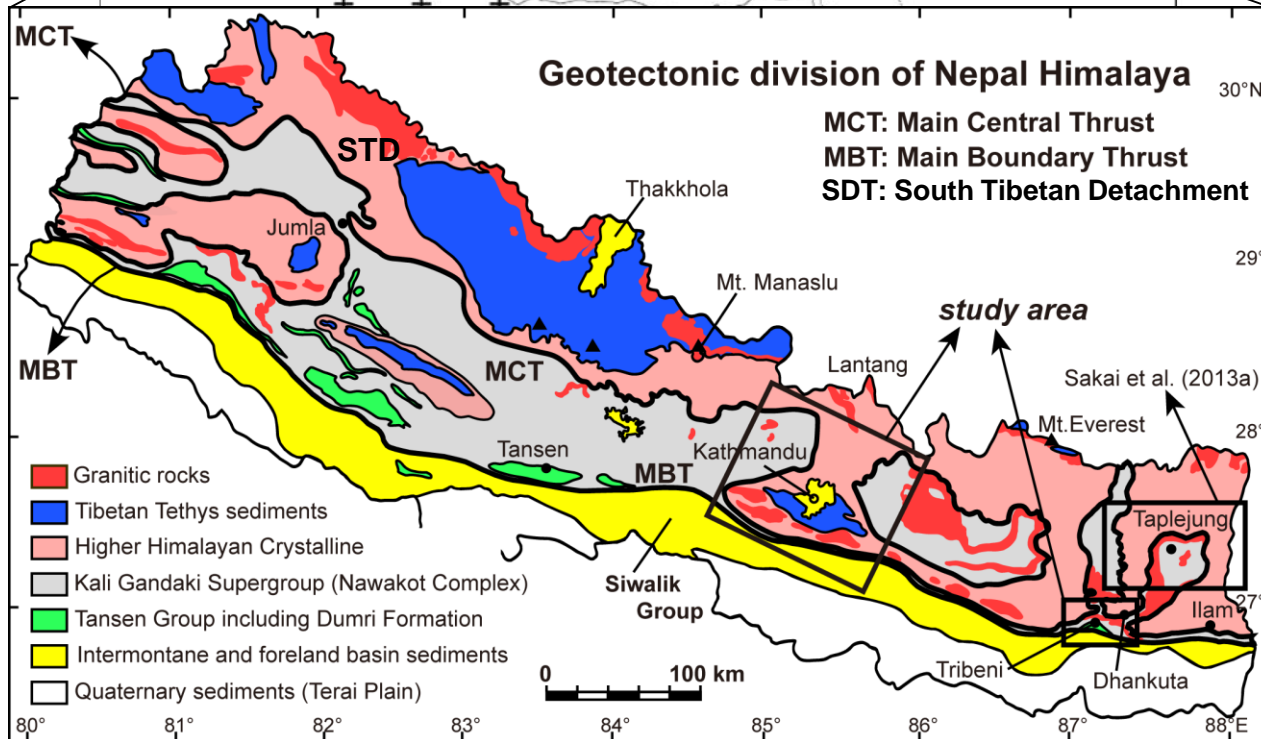
ヒマラヤ山脈（上）とネパール（下）の地質概略と地質構造区分

ヒマラヤ弧：
東西 2400 km
南北幅150~250 km



インドモンスーン
亜熱帯～暖温帯の気候帯

北緯30°
屋久島と奄美大島の間



4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

シワリーク堆積帯
(Sakai, 2013a)

1万mに達するテチス堆積物の地層の積み重なり

(酒井, 1988より)

古生代の地層

中生代の地層

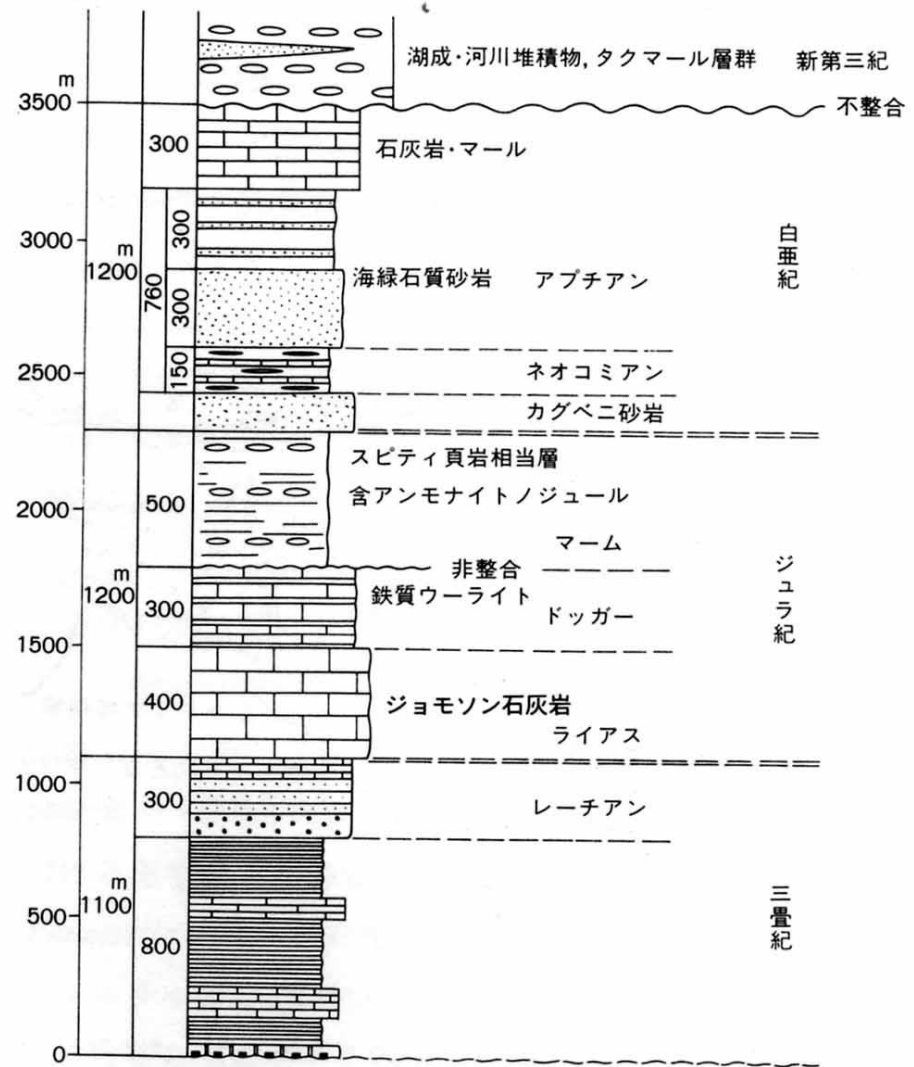
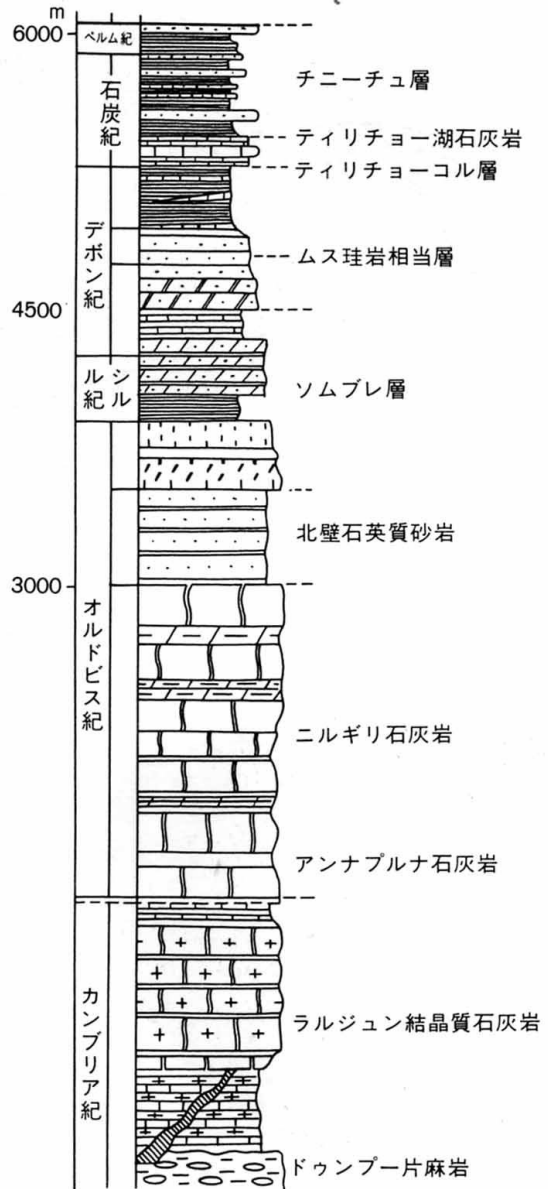


図 2-4
アンナプルナーダウラギリ地域(タコーラ地方)のテチス堆積物の古生界層序柱状図(BORDET 他, 1971 より)

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)

北方に20～30° 単調に緩傾斜した高ヒマラヤ変成岩類のスラブ



2016年11月22日撮影
アンナプルナ西壁 6

高ヒマラヤ変成岩類



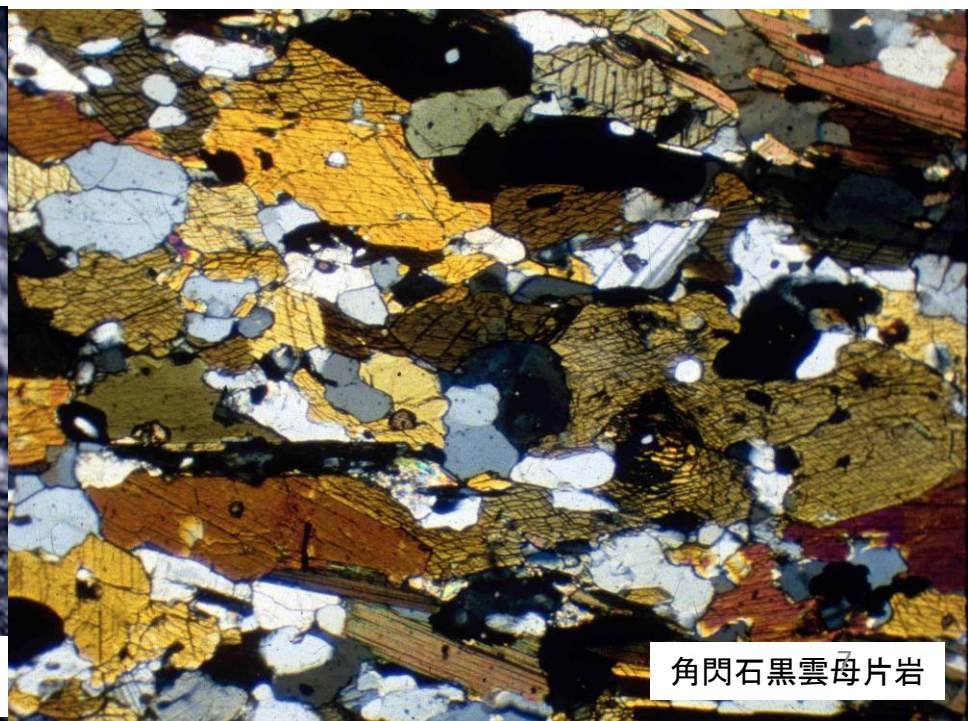
藍晶石-ガーネット片麻



高温下で融け始めたミグマタイト質片麻岩



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)



角閃石黒雲母片岩

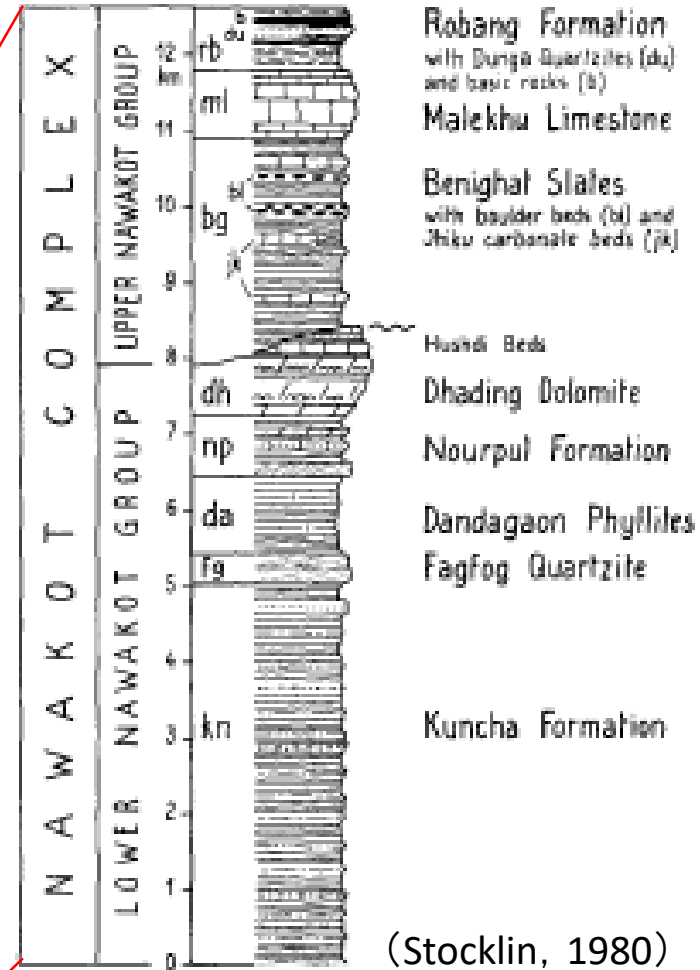
レッサーヒマラヤの原生界(19~16億年前の地層)の層序

Kali Gandaki 累層群...非変成
(中央ネパール西部, タンセン地域)

Nawakot Complex...弱変成
(中央ネパール, カトマンズ地域)

		Formation	Thick-ness	Lithofacies	Geologic Age
TANSEN GROUP	POST GONDWANAS	Dumri	10km 725m	thick, massive fluvial ss with green & red sh, intraformational cgl and fossils of trunk and vertebrate	Oligocene ~ early Miocene
		Bhainskati	160	black sh with oolitic hematite, foraminifer, mollusc, vertebrate fossils	Eocene
	GONDWANAS	Amile	9 280	white & ferruginous quartzite, fossiliferous silty ls	late Cret. ~ Palaeocene?
		Taltung Aulis Basalt	300	fluvial cgl, ss, sh with Upper Gondwana plant fossils & basaltic lava	late Jura. ~ early Cret.
		Sisne	8 1000m	glacial diamictite with fluvial ss, bioturbated rhythmite of ss & sh, Fenestella sh	late Carboniferous ~ Permian
		UPPER GROUP	KERABARI	2000m	upper; bedded gray dolomicrite with red-purple sh, thin ss, oolitic dolomite, chert beds
middle; bedded gray dolomicrite with chert beds and lenses					
lower; sheet-form algal ls, intraformational dolomicrite pebble cgl, bedded dolomicrite with ripple mark and flute cast					
Riri Memb	150		black laminated ls-limy slate		
Ramdighat	5 750		light brown laminated slate		
MIDDLE GROUP	Saidi Khola		180	black & green slate	
	Khoraidi		350	bioturbated rhythmite of ss & sh	
	Chappani		4 400	dolomitic stromatolite of various types, oolite, quartzite, rhythmite quartzite with sun cracks, gray clay slate with stromatolite	
	Virkot		510	white pink quartzite and red-purple sh with ripple mark, sun crack and stromatolite	
LOWER GROUP	Heklang		3 800+	green-light brown phyllitic slate with fine laminae and marl bed	late Precambrian
	Thrust Naudanda	2 400m	strongly rippled white quartzite with metabasite		
	Andhi (Kuncha)	1 2000+	gray-light green phyllite with fine laminae and gritty phyllite		

(Sakai, 1985)



(Stocklin, 1980)

レッサーヒマラヤを流れる穿入蛇行河川、
カリガンダキ河。 遠くアンアプルナを望む

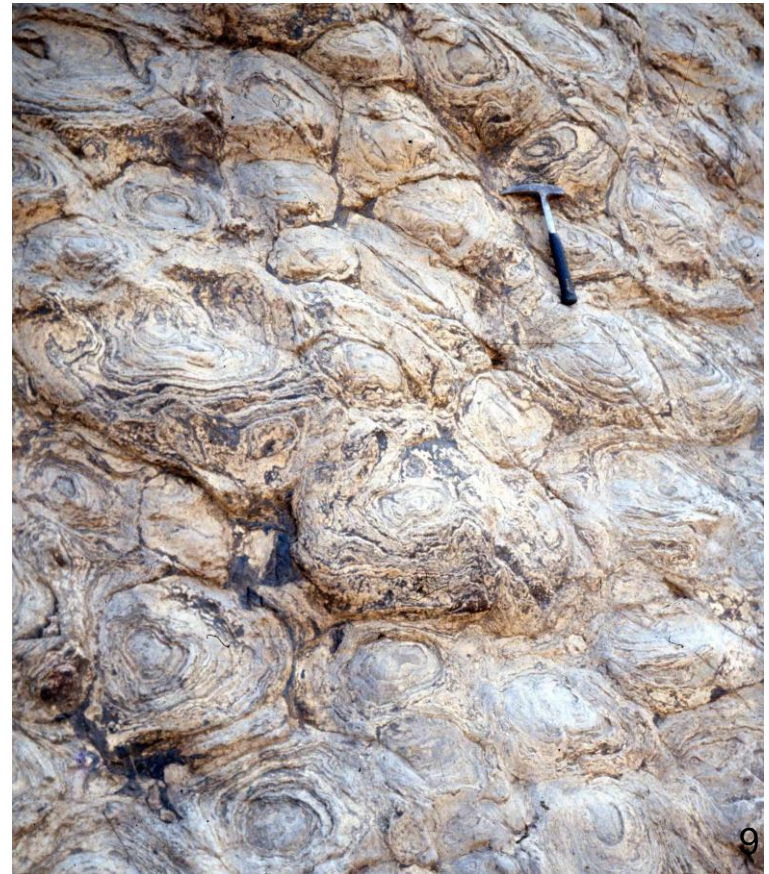


レッサーヒマラヤはインド亜大陸の延長

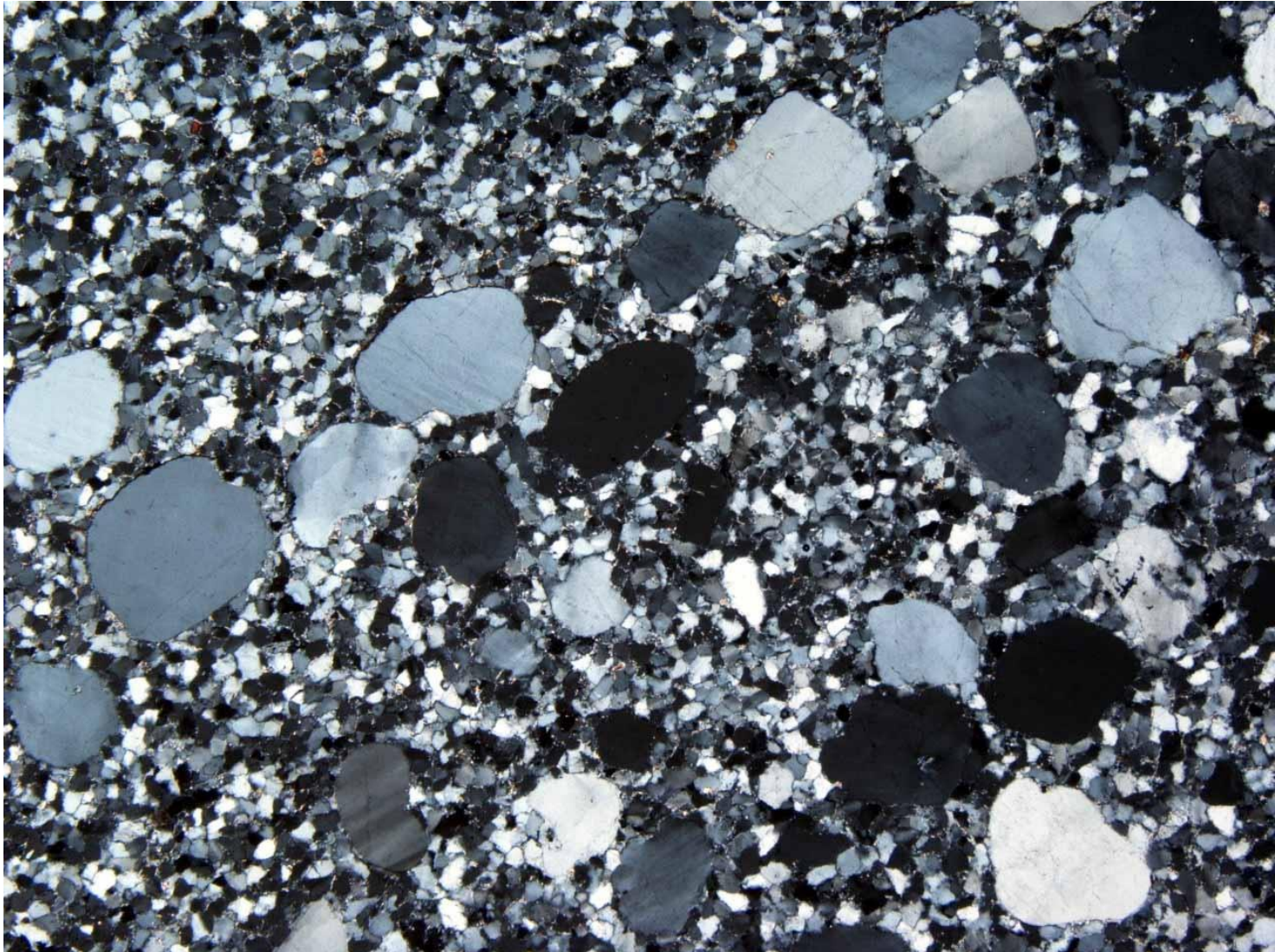


砂漠の砂を同心円
状に囲んだ魚卵石
(約17億年前)

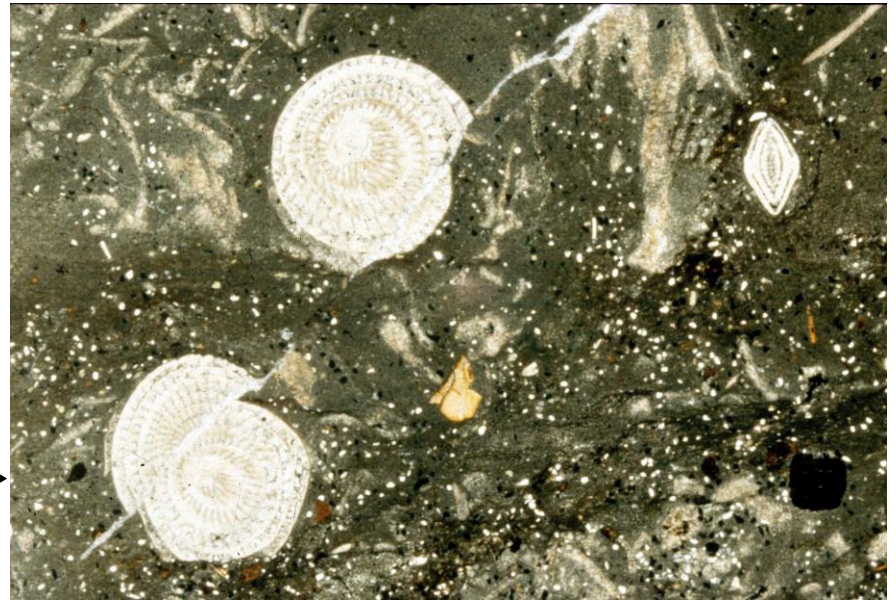
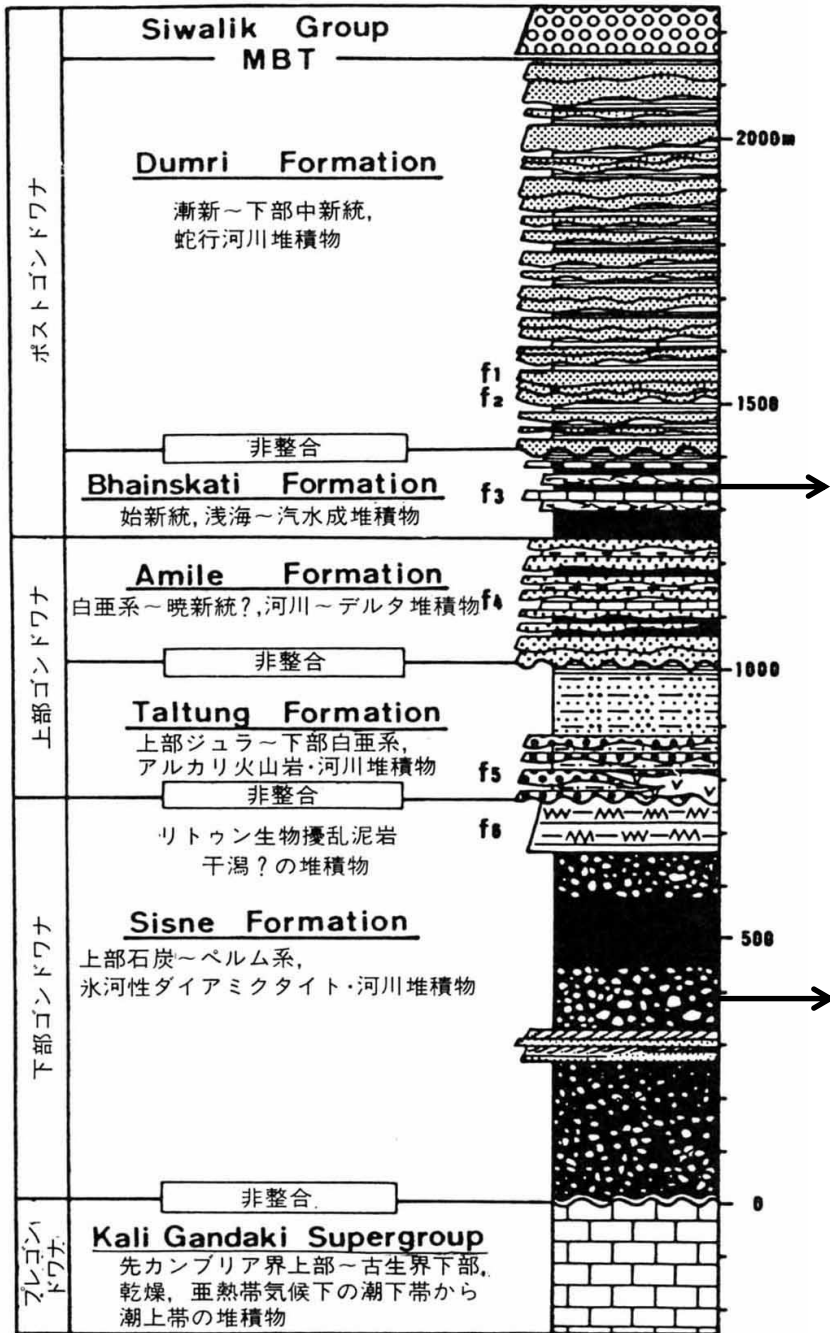
ドロマイト質
ストロマトライト



バイモーダルな粒径分布を示す原生代の砂漠起源の砂岩
orthoquartzite (正珪岩)



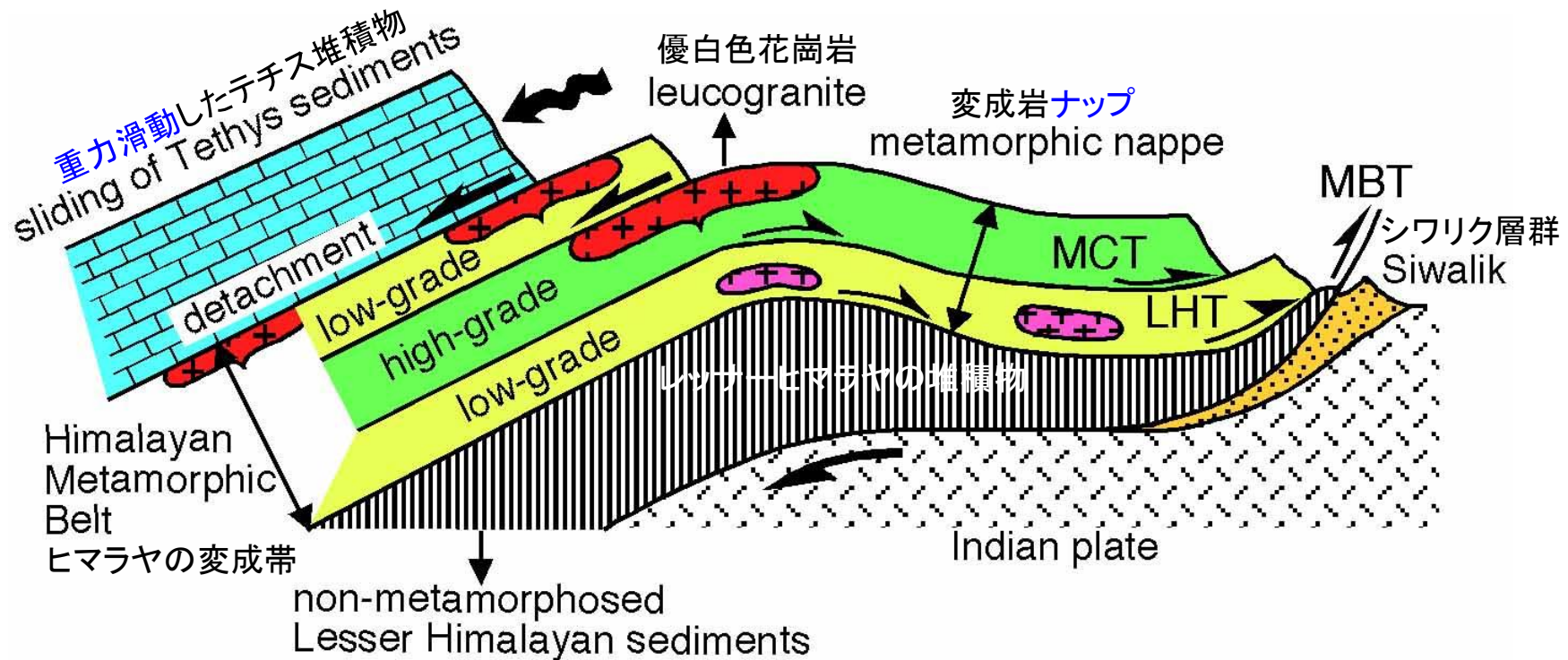
レッサーヒマラヤ上半部のタンセン層群の層序と岩相 (Sakai, 1983)



高ヒマラヤの誕生：MCTに沿う変成帯の上昇による

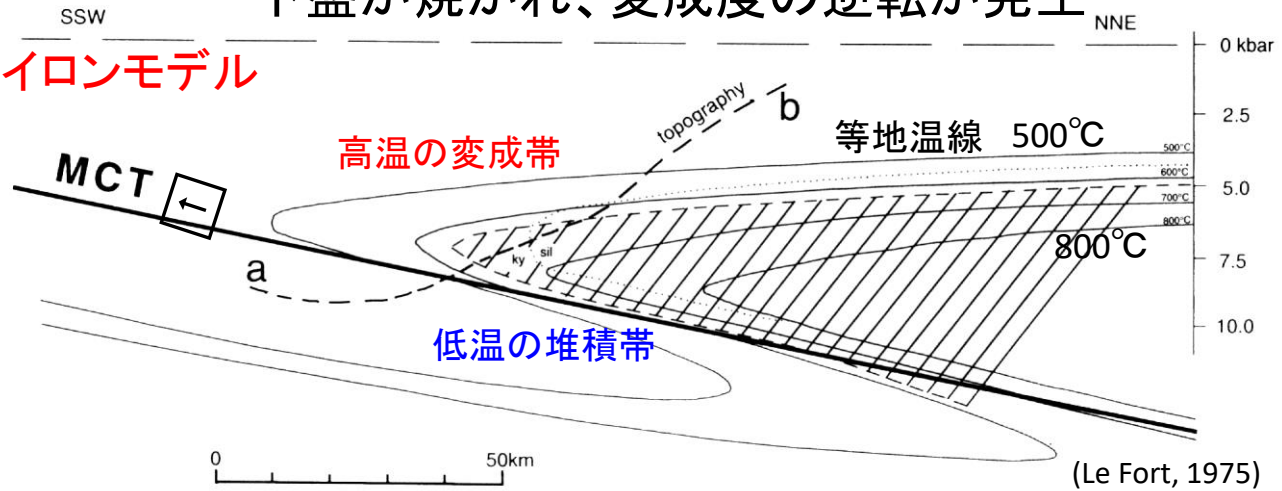
2200～1600万年前に急激な上昇(地下約40 kmから数 kmへ)

- 急激な上昇によって、変成帯の上に載っていたテチス堆積物は北方に重力滑動
- 変成帯は地表に露出後も上昇を続け、レッサーヒマラヤを被覆し、ナップを形成



逆転変成作用の原因: 中圧型変成岩の急激な上昇(22~16Ma)により
下盤が焼かれ、変成度の逆転が発生

ホットアイロンモデル



Thermal structure of the Modi Khola section in the Annapurna region

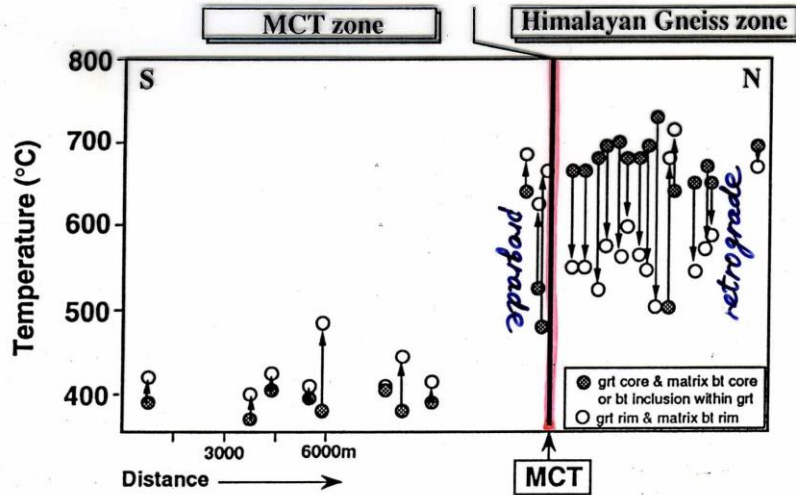
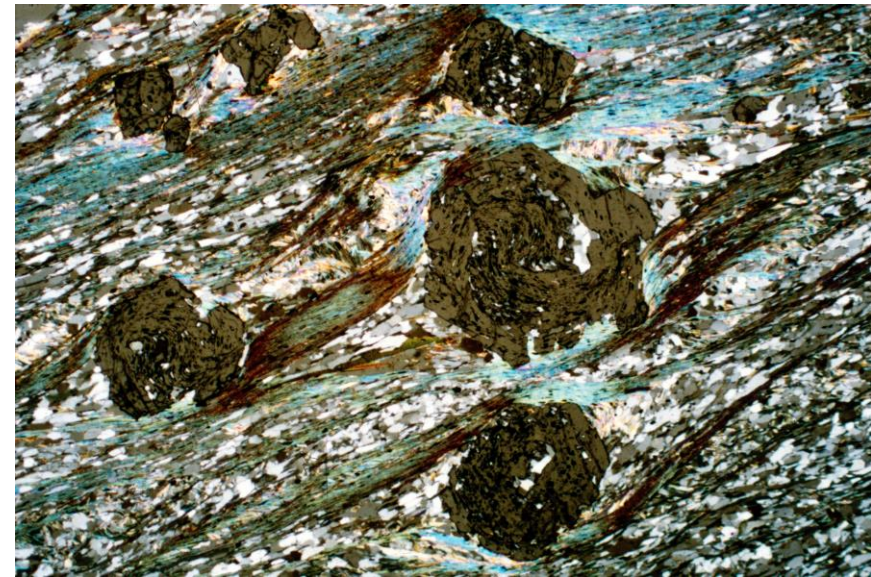


Fig. 6. Thermal structure of the Modi Khola section in the Annapurna region

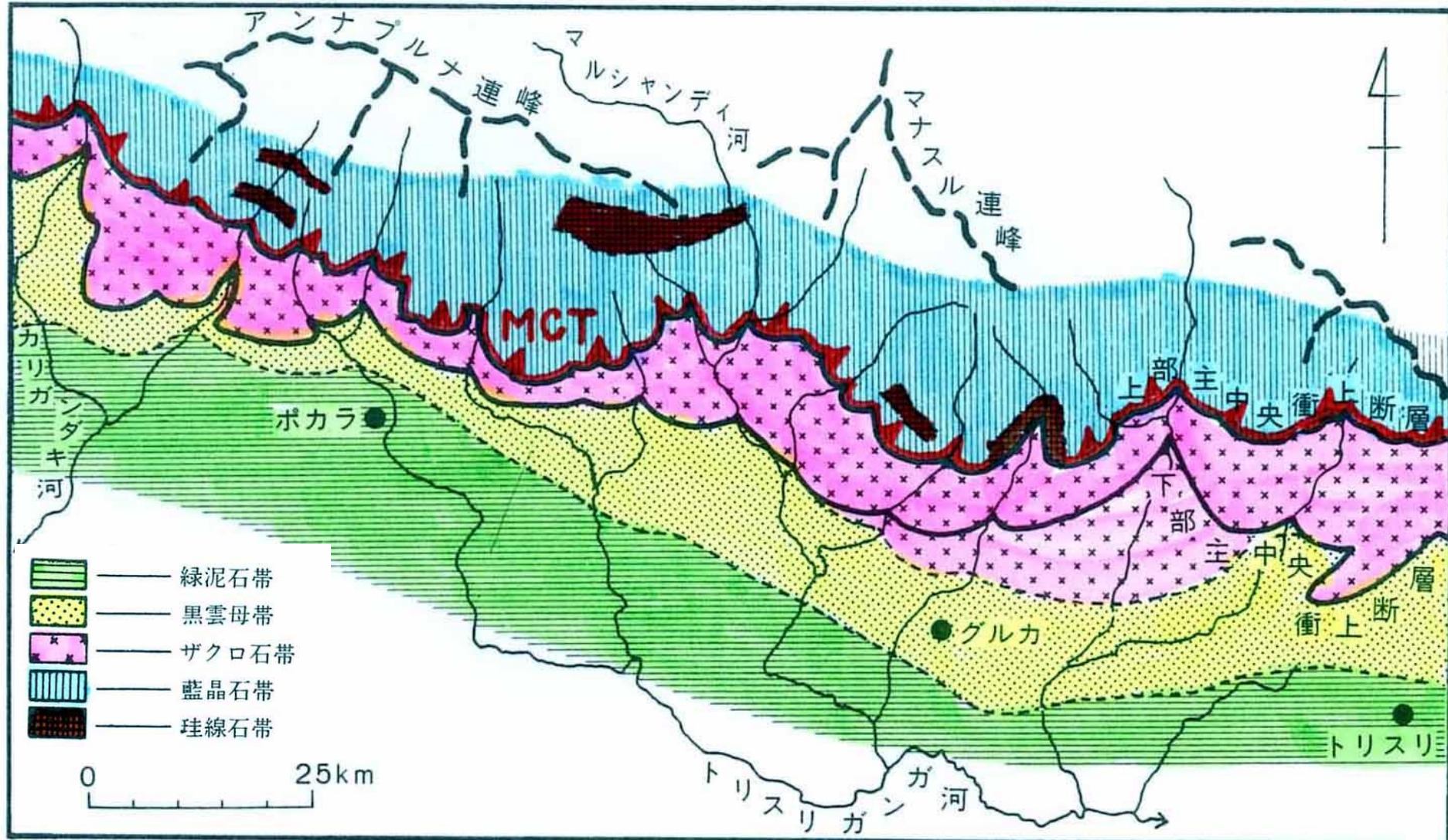
MCTの直上では温度**低下**、
直下では温度が急激に**上昇**



ガーネットの雪だるま組織, MCTzone(高温剪断帯)

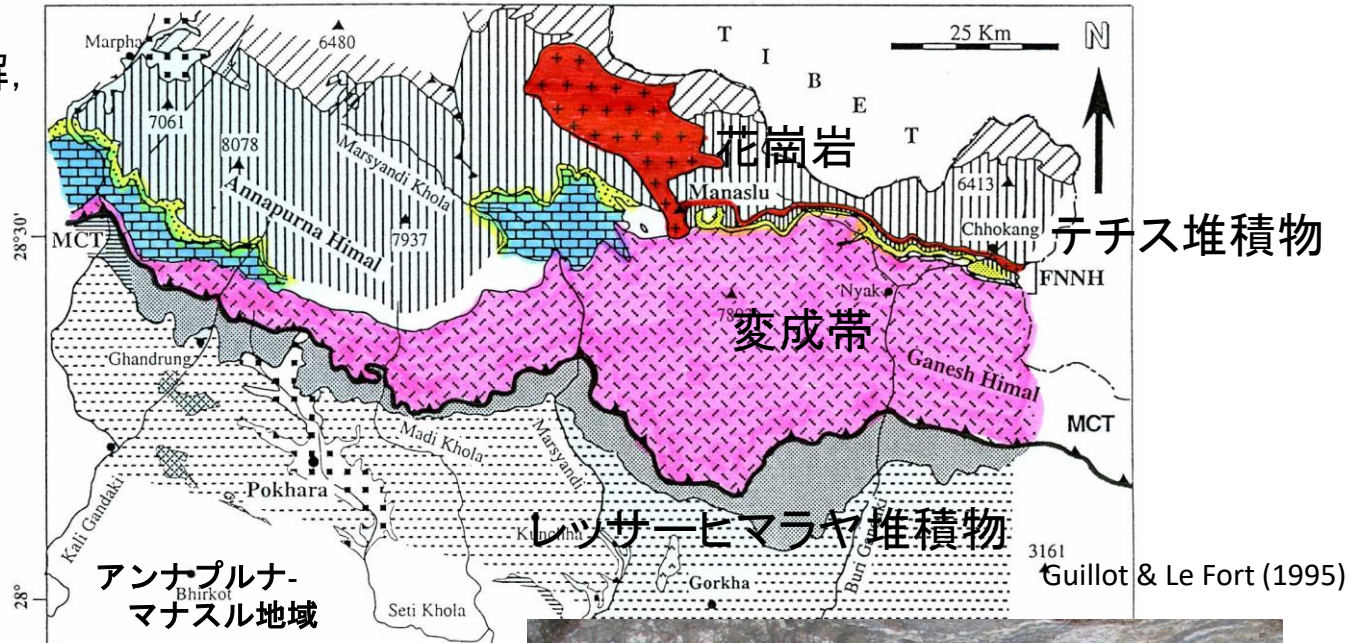
急激に上昇した証拠: アンナプルナ-マナスル南斜面に記録された

逆転変成作用: 標高の低いところが温度・圧力が低く、
標高の高いところが温度・圧力が高く、変成度が逆転

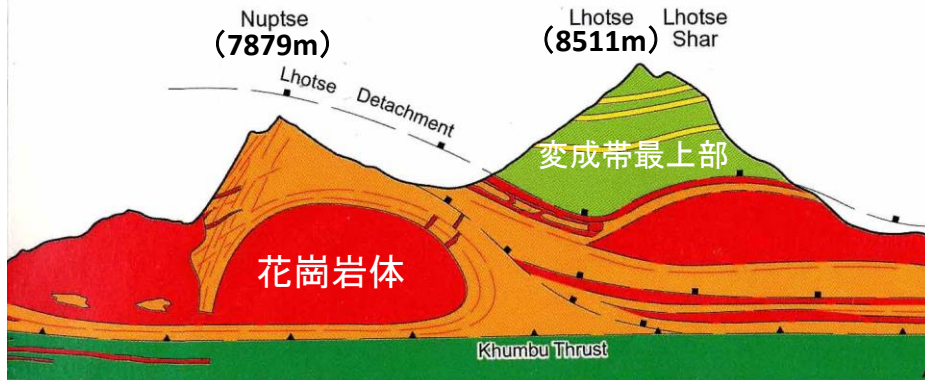


花崗岩が変成帯とテチス堆積物の境界に沿ってへい入 (側方に延長約90km)

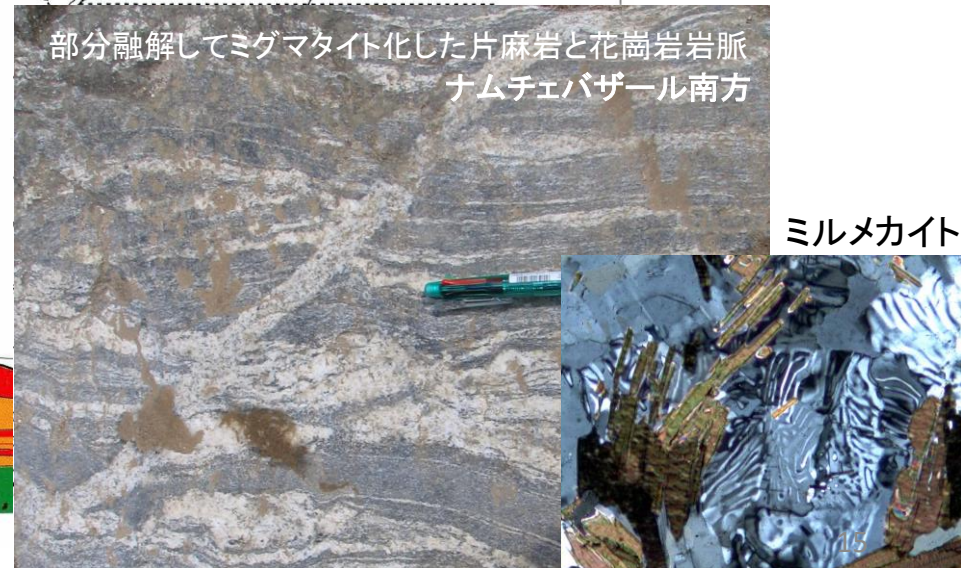
変成岩の一部が融解、
上昇・集積して
花崗岩体を形成
(25~16Ma)



ヌプツェとローツェの南壁に露出した花崗岩体



部分融解してミグマタイト化した片麻岩と花崗岩岩脈
ナムチェバザール南方





ヒマラヤの急激な上昇に伴い
変成岩の上に載っていたテチス堆積物は、
滑り落ち、巨大な横臥褶曲群が形成された

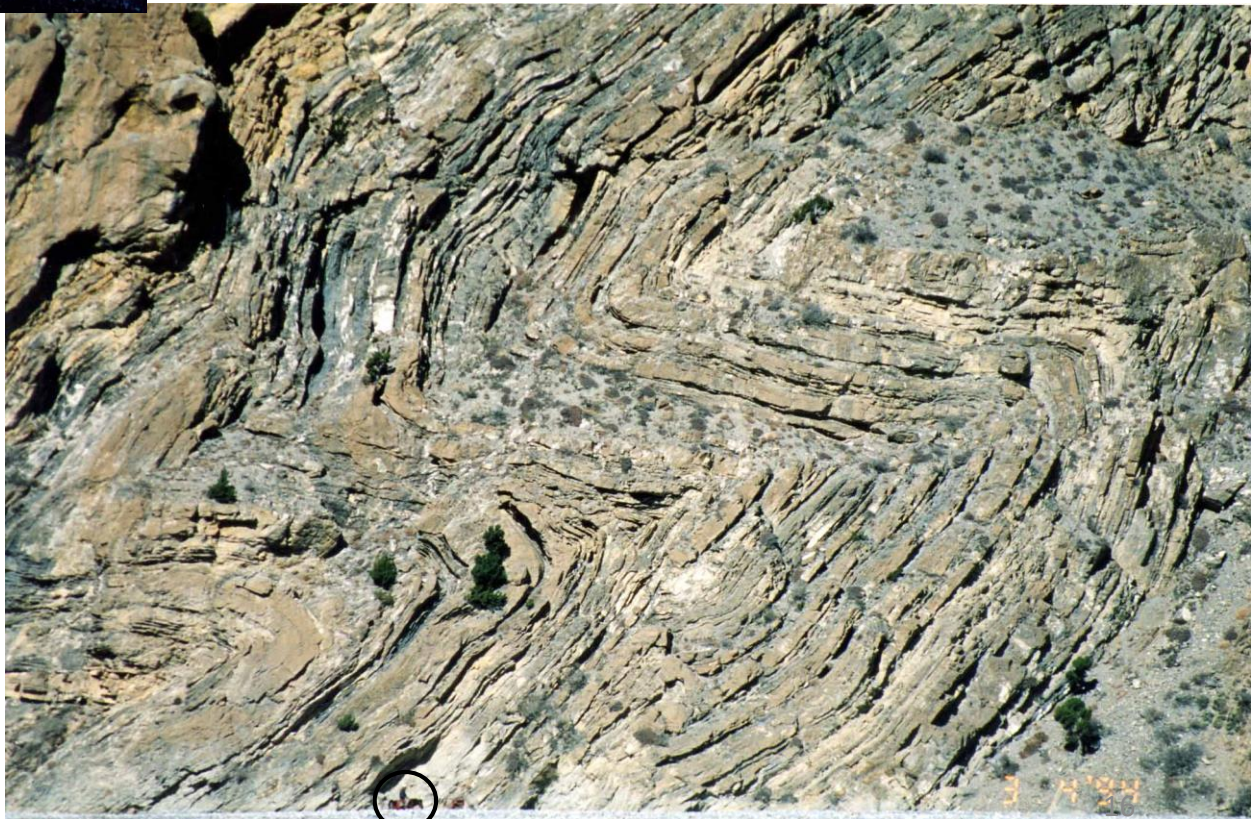
花崗岩メルトと揮発性のガスが摩擦抵抗を減少
➡ テーブルクロスが滑り落ちるように北方に滑動

巨大な横臥褶曲軸が横たわる
ニルギリ (7061 m)の西壁



食材で造ったヒマラヤの横臥褶曲
(「ヒマラヤの自然誌」より)

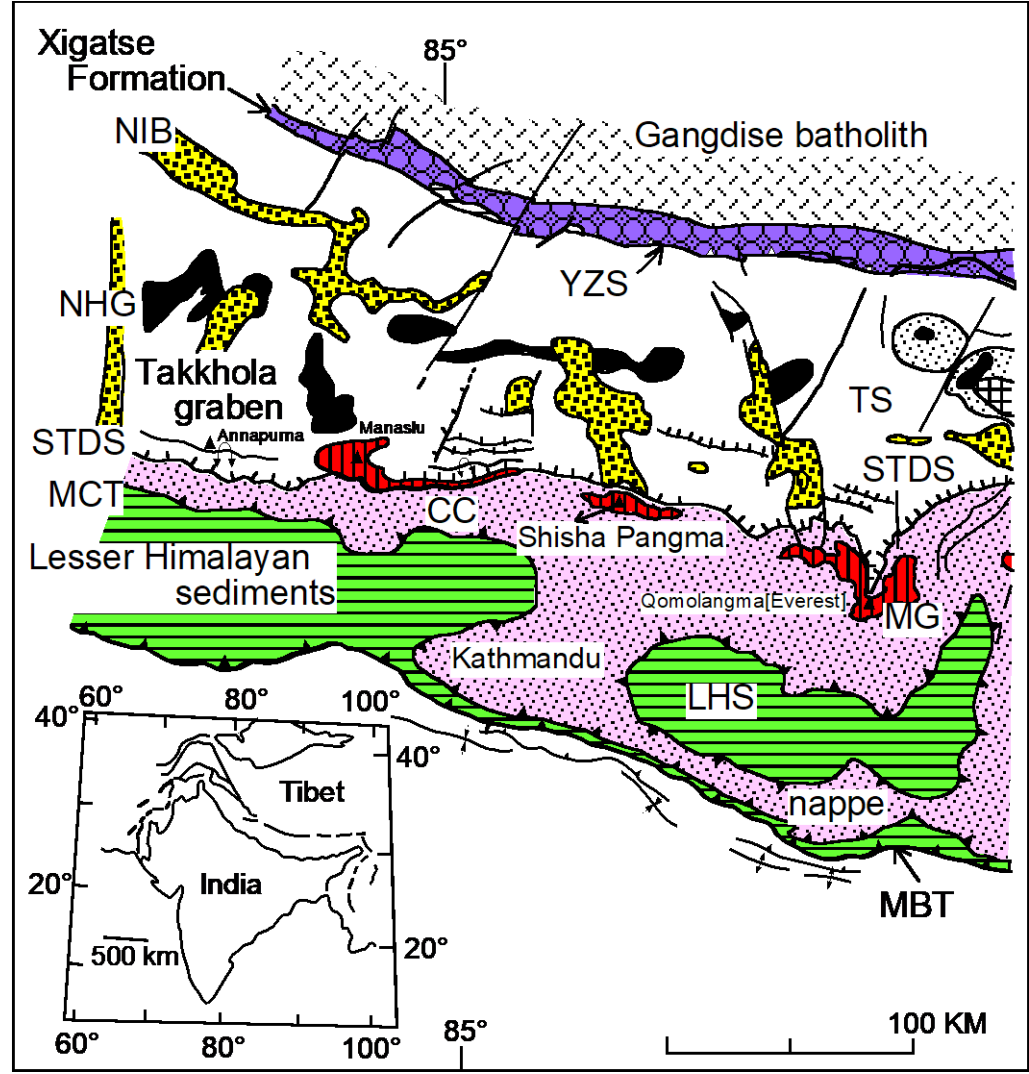
右:横臥褶曲した化石に富む
ジュラ紀の石灰岩層, 馬に注意
(ジヨムソン)



標高5400~5900mから植物化石を産するシシャパンマ
 前衛峰との間の急崖はデタッチメントによる
 Mt. Shisha Pangma (8012 m)

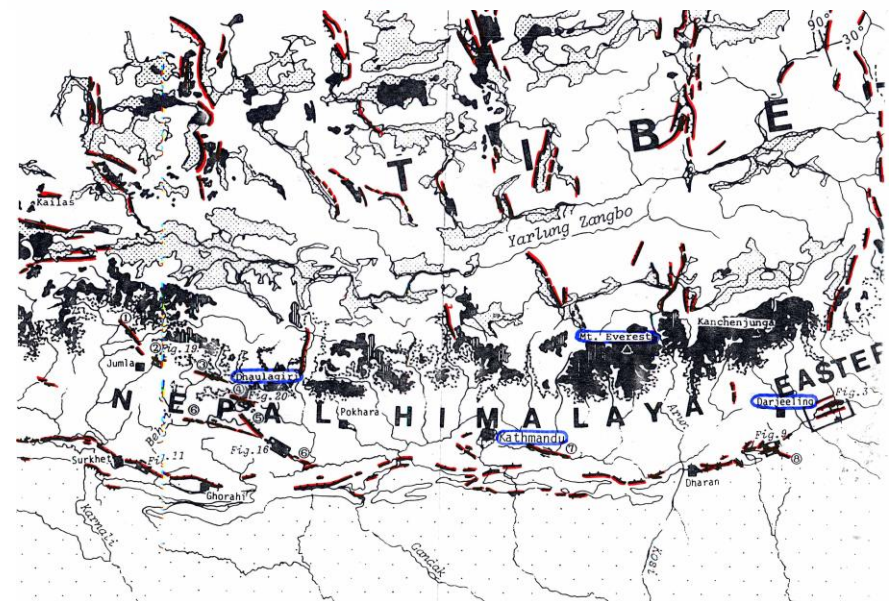
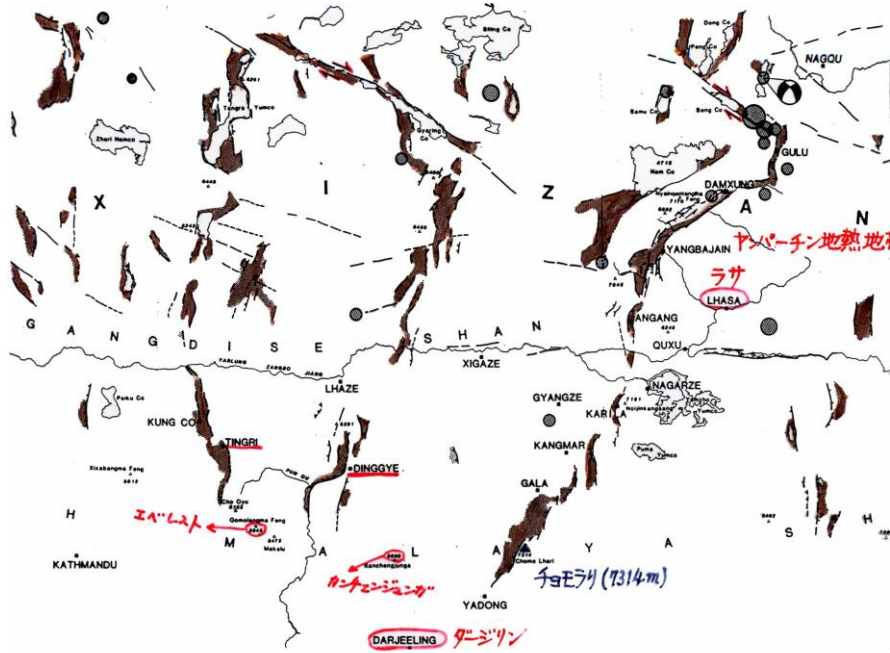


中央ヒマラヤと南チベットの地質構造区分



Geotectonic outline of Central Himalayas and South Tibet
 レッサーヒマラヤは広く変成岩ナップに覆われている

中央ヒマラヤからチベット高原の活断層

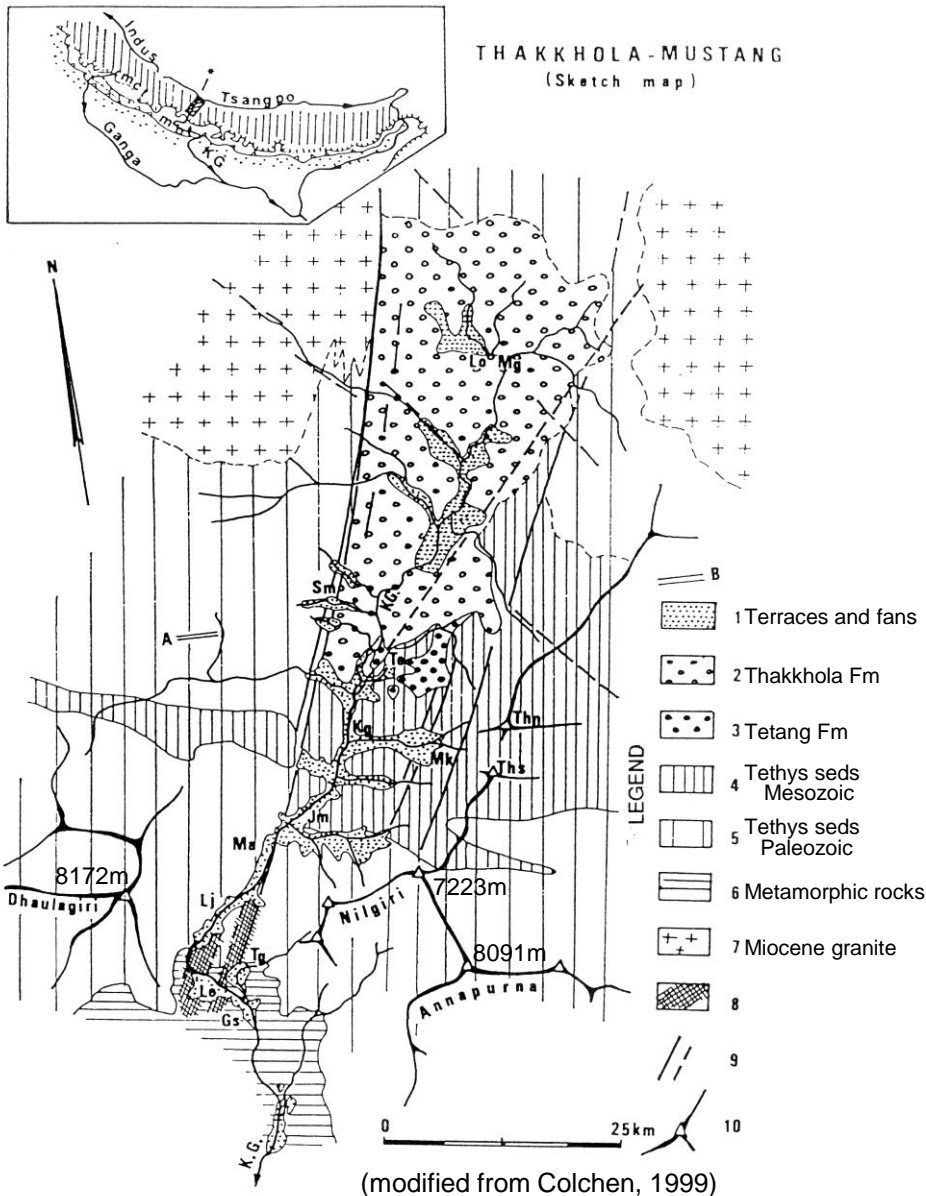


(Nakata, 1989)

西ネパールを南北に走るタコーラ地溝 チベットとインドを結ぶ塩の道



ヒマラヤの8000m峰を切るタコーラ地溝を充填する堆積物

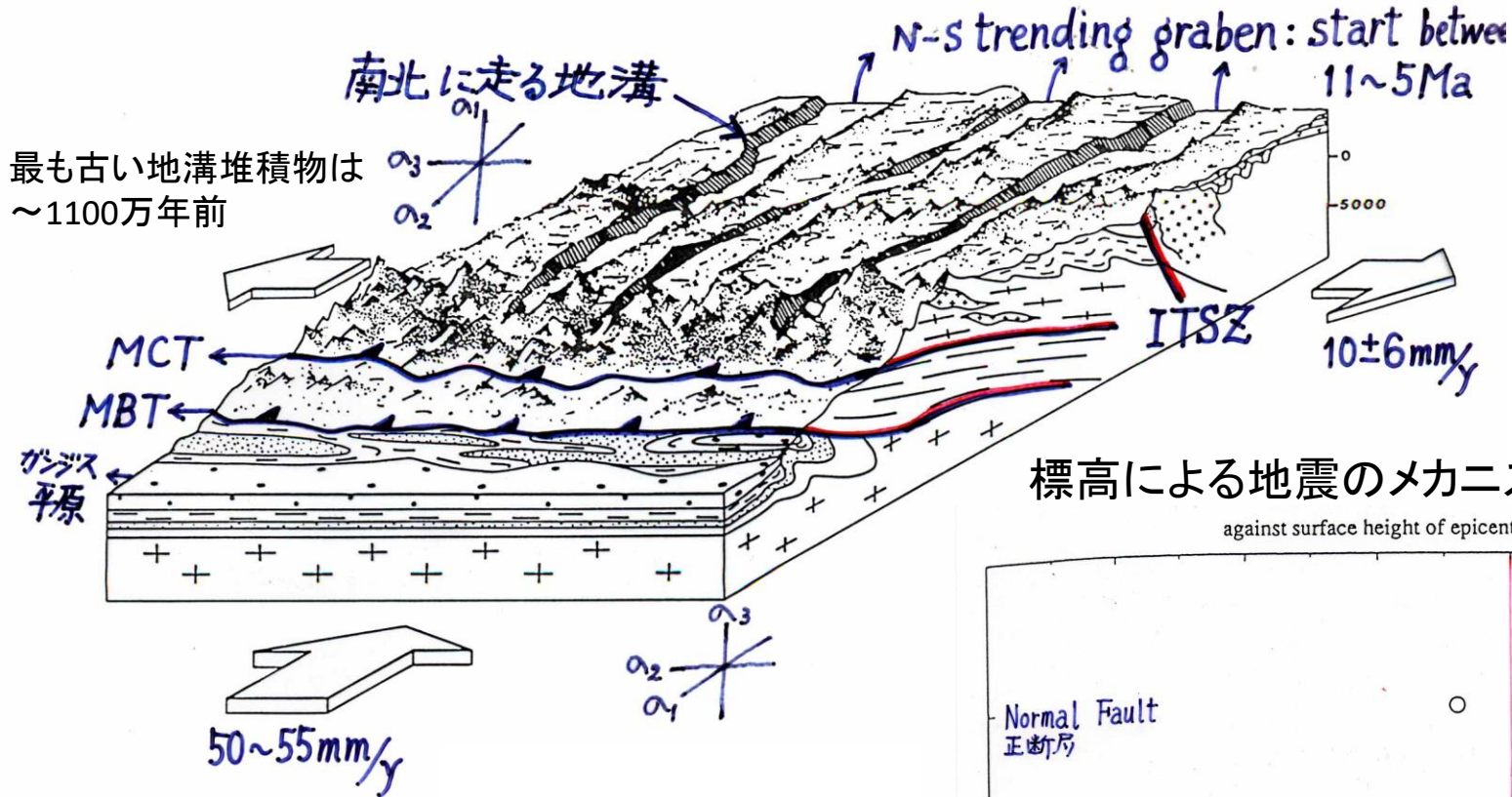


Tetang 層 河川・湖成堆積物 11~9.6Ma

Thakkhola 層 扇状地~河川堆積物
<7Ma
Ma:100万年前

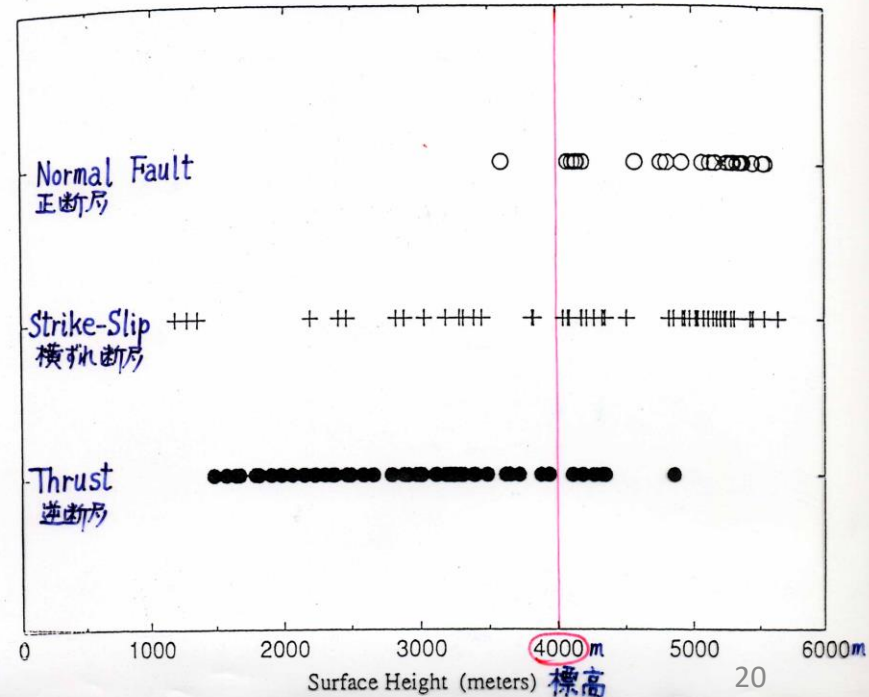


ヒマラヤを南北に切る地溝形成のメカニズム



標高による地震のメカニズムの違い

against surface height of epicenter Molnar et al, 1993



標高4000mを超えるヒマラヤでは、その自重による鉛直応力が水平圧縮応力より大きくなり、東西引っ張りの場となり地溝が形成されている。



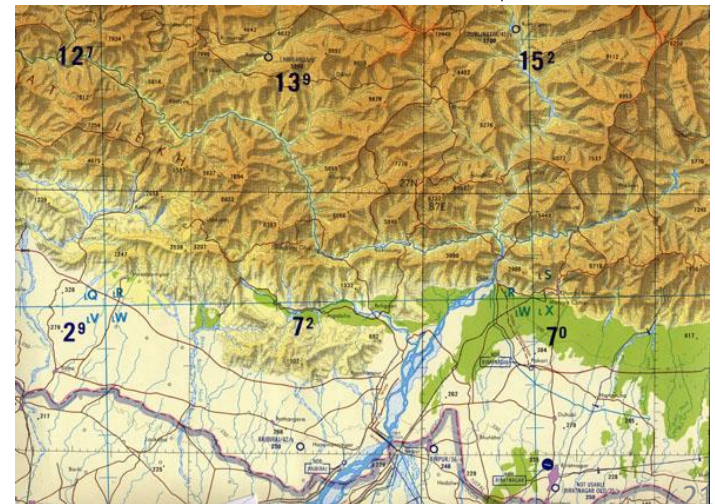
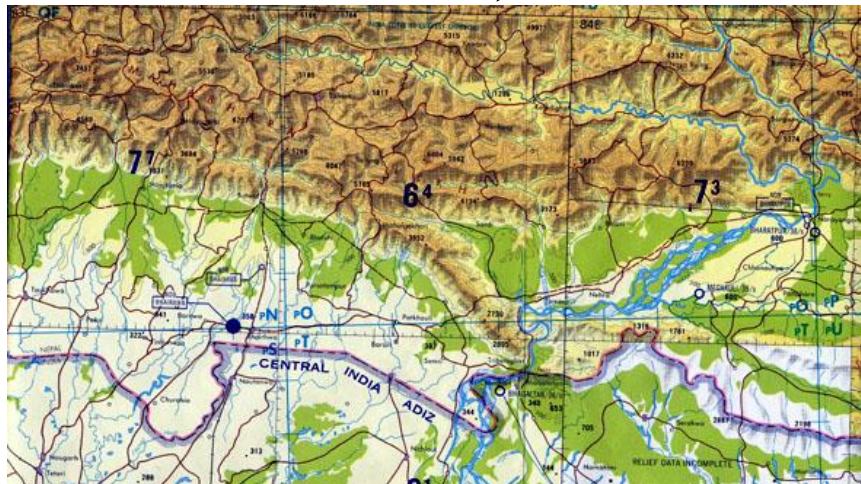
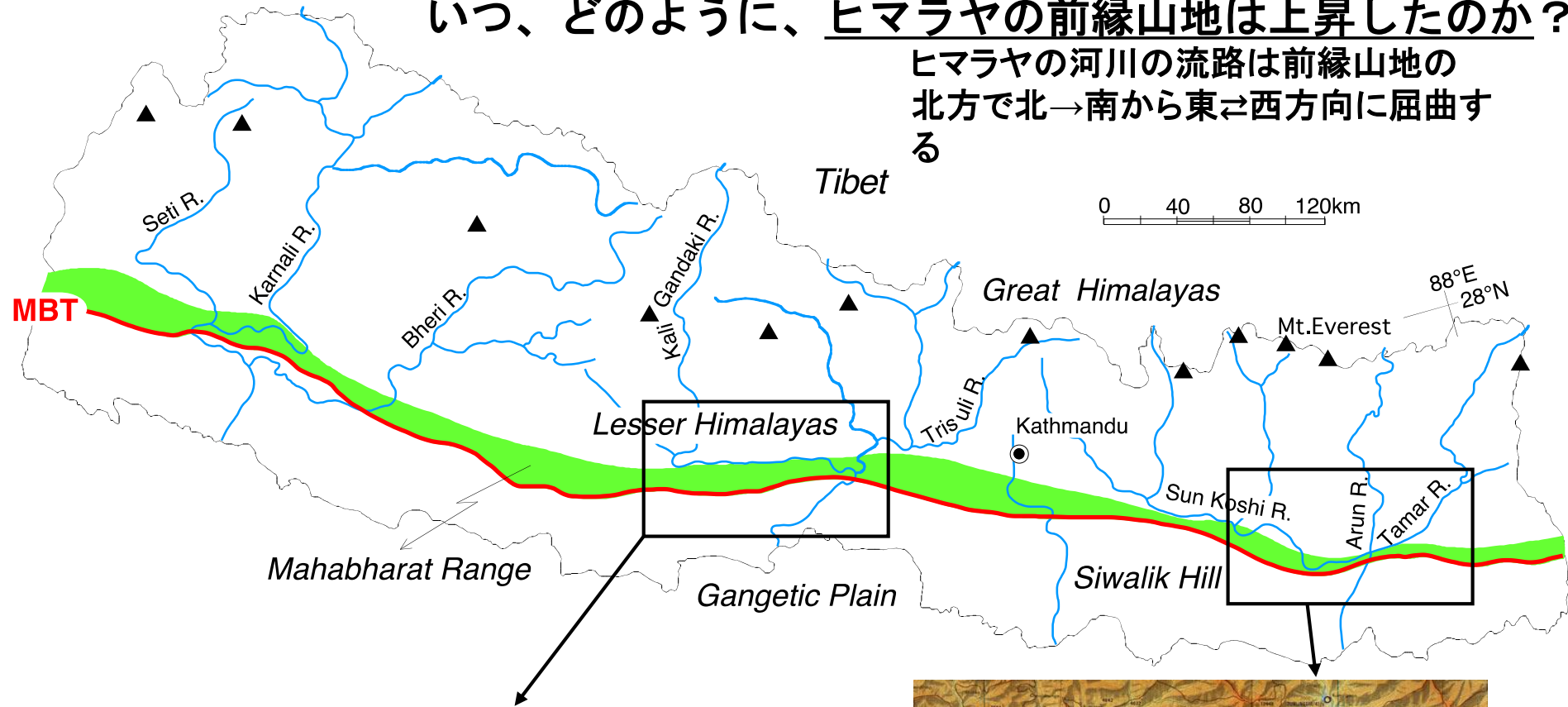
最も古い地溝充填堆積物は、約1100万年前



その頃、ヒマラヤは少なくとも4000~6000mの標高に達していた

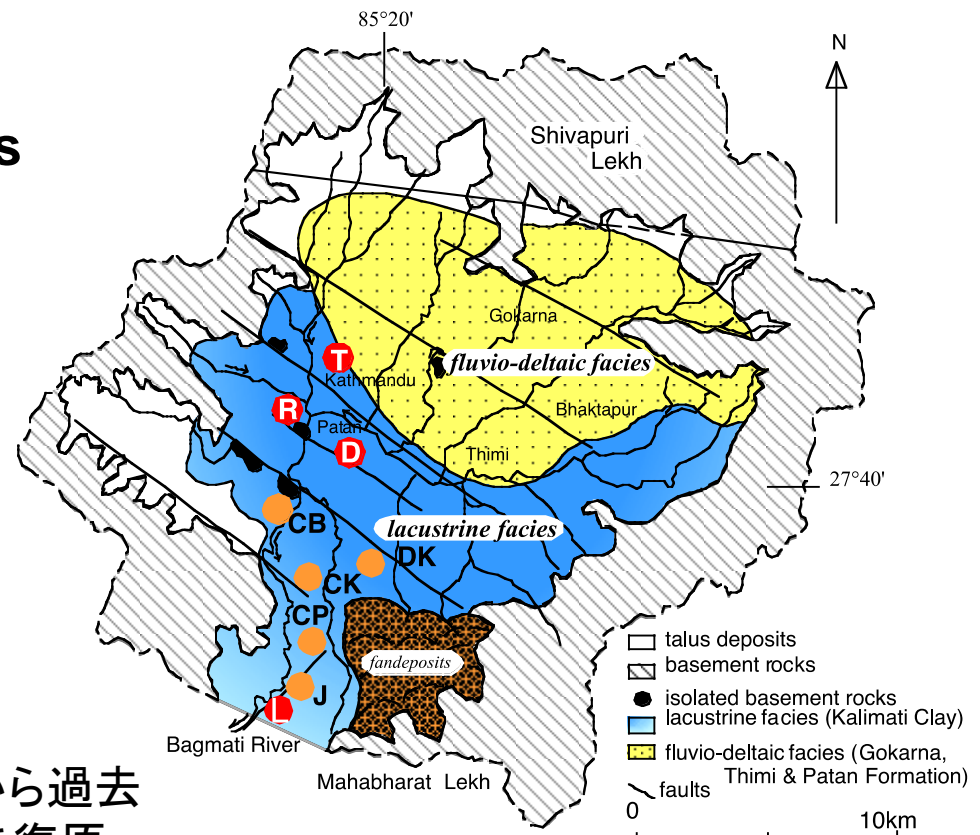
いつ、どのように、ヒマラヤの前縁山地は上昇したのか？

ヒマラヤの河川の流路は前縁山地の北方で北→南から東⇄西方向に屈曲する



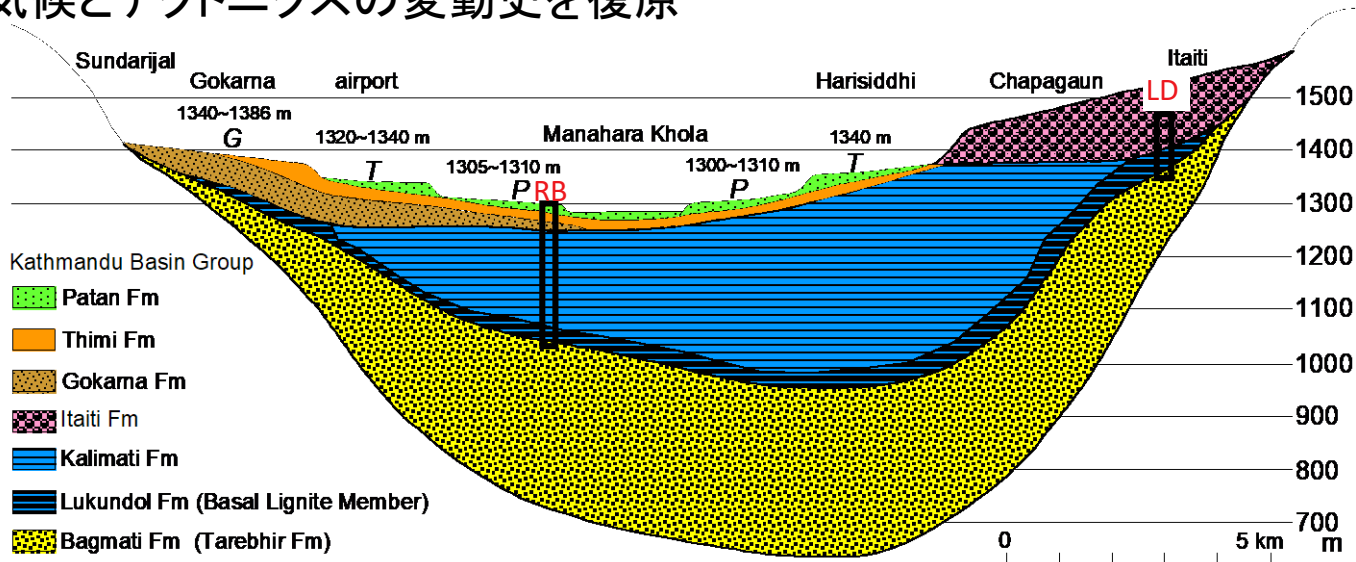
Geology of basin-fill sediments in Kathmandu Valley

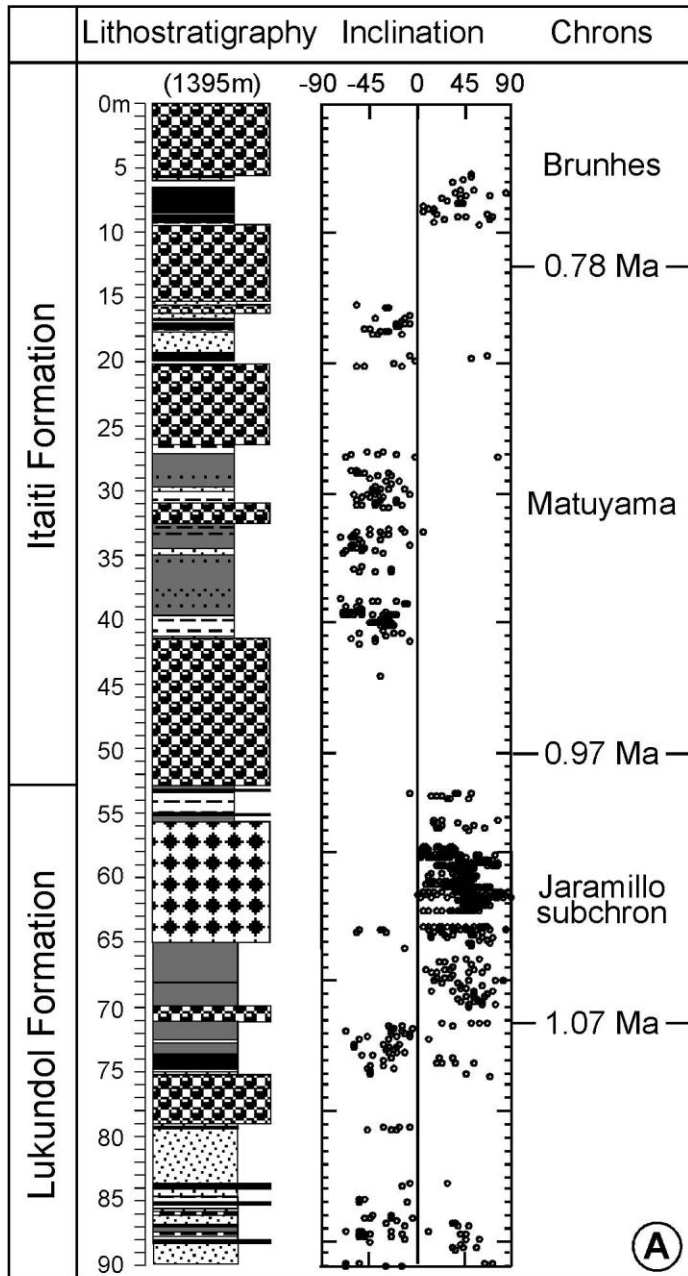
カトマンズ盆地：琵琶湖の2/3
 北部は湖成デルタ
 中央部は湖成粘土層
 南部は扇状地礫・デルタ



Paleo-Kathmandu Lake drilling project (2000~)

層厚200mの湖成粘土層のコアの分析から過去100万年の気候とテクトニクスの変動史を復原



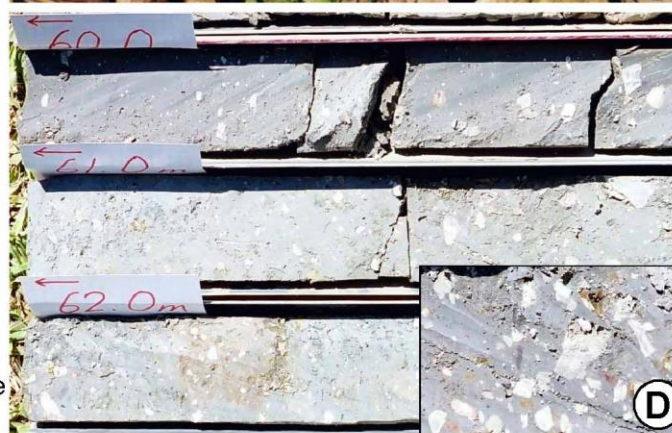


南側の山地から網状
河川によって供給された
礫層が急崖を構成する

→ダムの成長
厚い湖成層の堆積



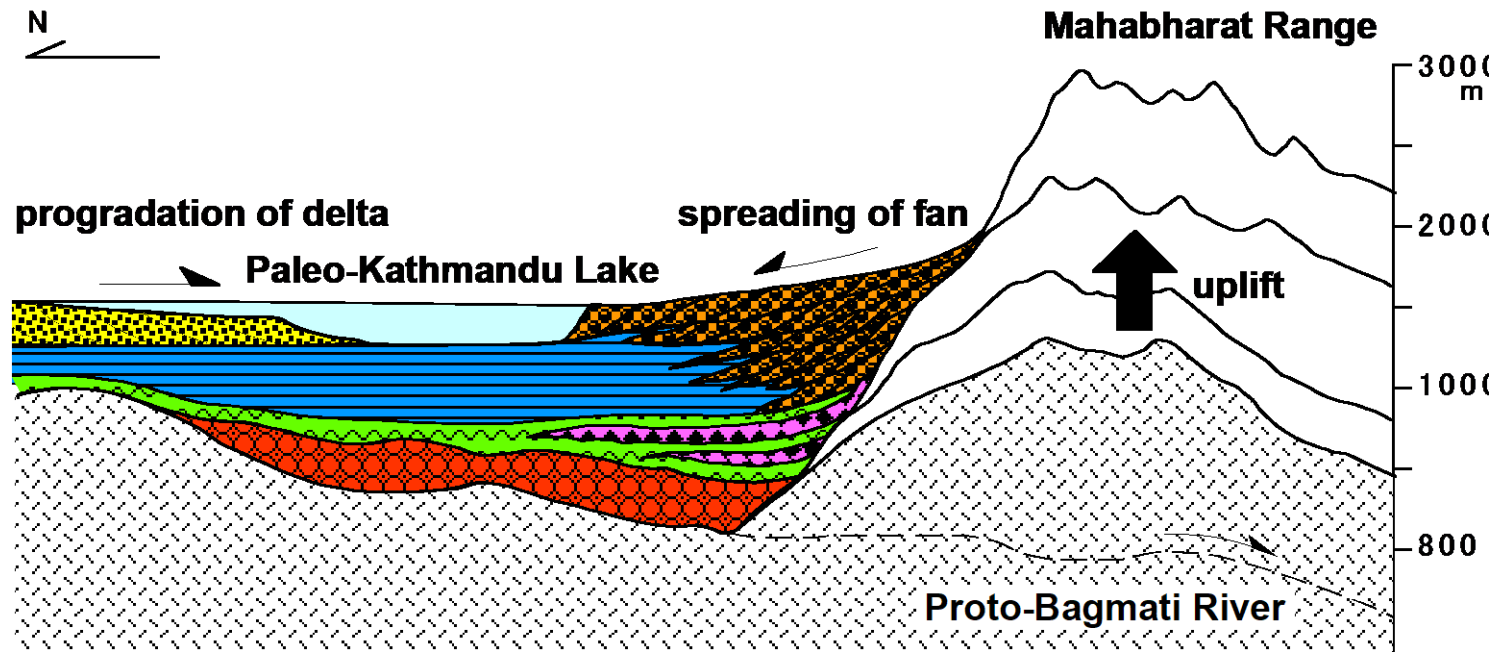
カトマンズに出現した
約100万年前の湖成層



堰き止め湖を形成した
南からの地滑り堆積物

conglomerate
 sand bed
 silty bed
 lignite
 gray muddy bed
 black muddy bed
 diamictite

ヒマラヤの前縁山地マハバーラトが100万年前以降急激に上昇、 北方に供給された土砂により堰止湖、古カトマンズ湖が誕生



- ① Before the uplift: Deposition by braided Proto-Bagmati River
- ② 1.6~1.0 Ma : Deposition in swamp and marsh environments with fluvial influence
- ③ 1.0 Ma : Inflow of debris flow deposits from the uplifting Mahabharat Range
- ④ 0.99 Ma : Initiation of deposition of fan deposits derived from the uplifting range
- ⑤ 0.75 Ma : Initiation of deposition of the lacustrine Kalimati Formation
- ⑥ 0.75~0.22 Ma : Deepening of the lake-water
- ⑦ 0.22 Ma : Inflow of an event sand bed
- ⑧ 12 Ka : Drainage of the lake-water triggered by active faulting

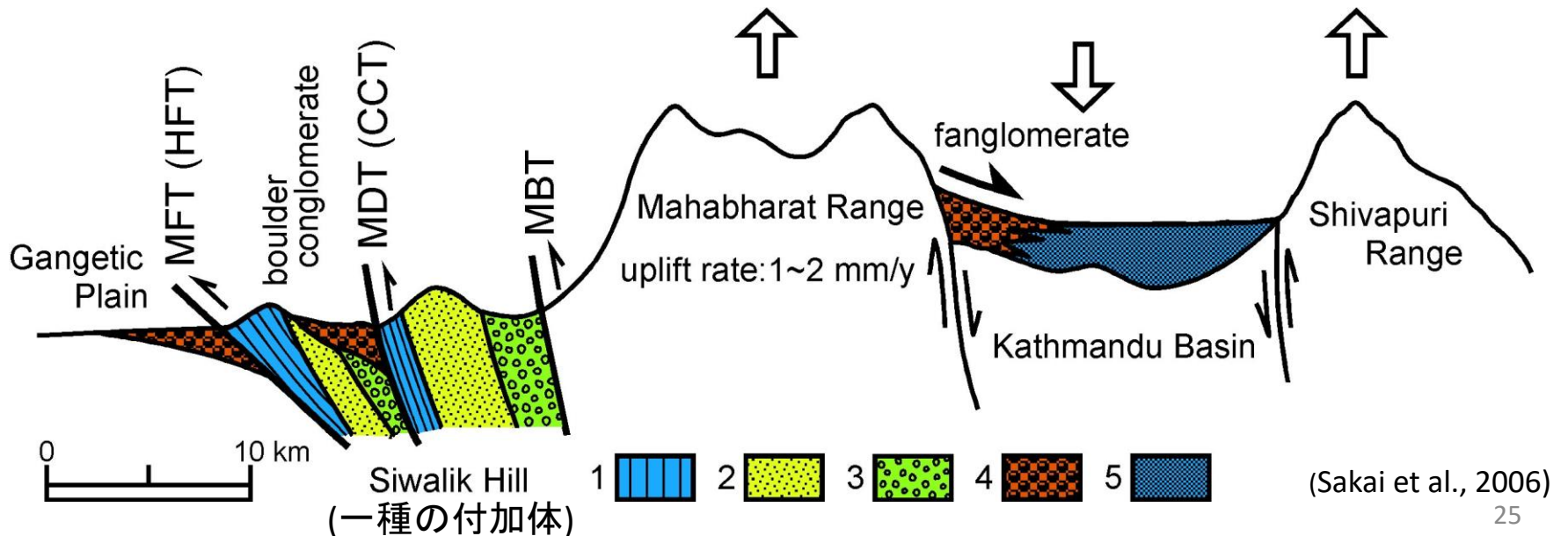
約100万年前に前縁山地の北斜面で扇状地礫層が堆積開始、
それと同時に、シワリーク盆地の巨礫層が堆積開始



約250万年前にプレート境界断層がMBTからMDTにジャンプ、
さらに約100万年前にMDTから MFT(HFT)にジャンプ



新たなプレート境界断層に沿う沈み込みによるクサビ効果で隆起開始



参考となる総説

「ヒマラヤのテクトニクス」

地質学雑誌 123巻、6号、酒井治孝ほか(2017)

「衝突山脈ヒマラヤのテクトニクス： 最近の進歩と新しいシナリオ」

岩波科学、85巻、10号、956-962、酒井治孝(2015)

「ヒマラヤ山脈とチベット高原の上昇プロセス---モンスーンシステムの誕生と変動 という視点から---」 地質学雑誌 111巻、11号、701-716、酒井治孝(2005)

「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巻、3号、240-252、酒井治孝(1997)

「モンスーン気候はいつ始まったのか？ ---その地質学的証拠---」 地学雑誌、106巻、2号、131-144、酒井治孝(1997)

「ヒマラヤ山脈の形成 I---大陸衝突型造山帯のテクトニクス---」 岩波科学、58巻、8号、494-508、酒井治孝・本多了(1988)

「ヒマラヤ山脈の形成 II---大陸衝突型造山運動のメカニズム---」 岩波科学、58巻、9号、570-583、本多了・酒井治孝(1988)

ネパールでの教育支援活動



奨学金の授与

トリブバン大学地質学教室(上)
マッシュム10+2の卒業生で大学
在籍中の女子学生に授与(下)

地震により倒壊した学校再建
基金を集めるために2015年
12月本を出版(東海大学出版会)



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



内装が未完成の校舎で真剣
に授業を受けている高校生(上)

校舎で宿泊しながら地質学の
野外実習中の学生達(下)