

# 地球科学

## 【第11問】

I ある岩石は、主に鉱物 A および B からなる。これらの鉱物に注目して、以下の実験を行った。次の文章を読んで (1) から (3) の問いに答えよ。

- (1) 岩石から鉱物 A のみを抽出し、それを粉末にしたものに対して X 線回折実験を行った (図 1)。実験には、波長  $\lambda$  の X 線を用いた。半径  $R$  の円筒状にしたフィルムの中心に粉末試料を置き、図のようにその試料に X 線ビームを照射した。後にフィルムを現像したところ、リング状の回折パターンの一部が写っていた。フィルム上の X 線出口穴に最も近接したリングの直径は  $s$  であった。このリングに対応する格子面間隔  $d$  を  $\lambda$ ,  $R$ ,  $s$  を用いて示せ。

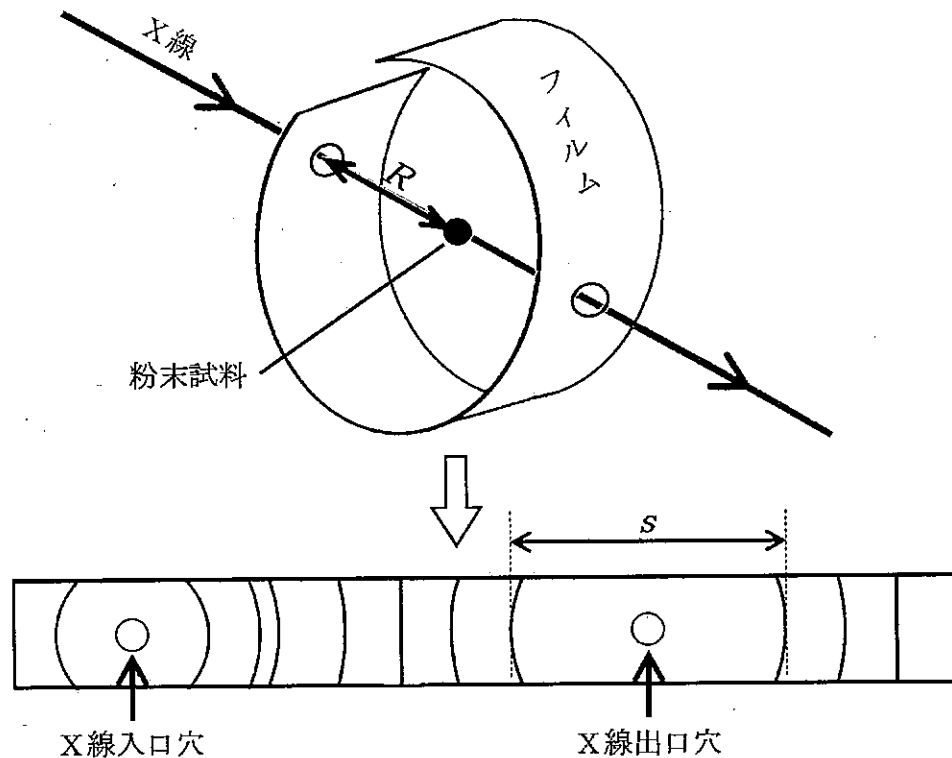


図 1 X 線回折実験の模式図

- (2) 試料の位置を固定したまま、試料をあらゆる角度に回転させても、得られる回折パターンには変化が見られない。その理由を 100 字程度で説明せよ。
- (3) 電子線プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いて、鉱物 A および B の化学組成を定量分析した結果、次のような分析値を得た。いずれの数字も重量%である。

	鉱物 A	鉱物 B
SiO <sub>2</sub>	40.9	55.7
FeO	9.8	13.6
MgO	49.3	30.7
合計	100.0	100.0

この分析結果と (1) の X 線回折実験結果を組み合わせることで、鉱物 A および B ともに、地球上部マントルの主要構成鉱物であることが判明した。EPMA の分析結果から、それぞれの鉱物の組成式を求めよ。原子量は Si = 28.1, Fe = 55.9, Mg = 24.3, O = 16.0 とする。また、それぞれの鉱物の名前も記せ。

## II 次の文章を読み、(1) から (4) の問いに答えよ。

地球は、主に固体金属鉄からなる内核、液体金属鉄の外核、シリケイトのマントルと地殻で構成される。内核と外核を合わせた地球核の半径は (ア) km 程度、地球核とマントルを合わせた半径は (イ) km 程度である。金属鉄とシリケイトの分離 (核形成) は、地球がその形成時に原始惑星との超巨大衝突を経験し、地球の大部分が融解した際に進んだと考えられる。シリケイト部分 (地殻+マントル) は、未分化隕石である (ウ) と比較し、イリジウム、白金、タングステンなどの元素に枯渇している。これは、それらの元素が地球核形成の際、核に濃集したことによると考えられる。このような元素を (エ) と呼ぶ。また、それとは対照的に、地球核形成の際、シリケイト (マントル) 側に濃集した元素 (ハフニウムなど) を (オ) と呼ぶ。

- (1) 空欄 (ア) から (オ) に入る語句を記せ.
- (2) 地球核形成時の地球核内のハフニウムおよびタングステン濃度を求めよ. ここで, 地球のシリケイト部分 (地殻+マントル) のハフニウムおよびタングステン濃度は, それぞれ 300 ppb および 15 ppb とする. また, 地球核形成時の温度圧力条件下における金属鉄とシリケイトの間の分配係数は, ハフニウムおよびタングステンについて, それぞれ 0.001 及び 40 とする. 分配係数は (金属鉄中の重量濃度) ÷ (シリケイト中の重量濃度) である.
- (3) ハフニウムの同位体  $^{182}\text{Hf}$  は, タングステンの安定同位体  $^{182}\text{W}$  に放射壊変する消滅核種である. この核種が存在する時期に, 地球の核形成が終了していたとすると, 現在の地球核とシリケイト部分 (地殻+マントル) では  $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$  比にどのような違いが見られるか. 100 文字程度でその理由とともに答えよ. ただし,  $^{184}\text{W}$  の存在量は太陽系史を通して一定とする.
- (4) 地球の冷却とともに, 熔融金属鉄がある時期から結晶化することにより内核は現在の大きさまで成長してきたと考えられる. 核とマントルの分離後, 核全体は化学的に閉鎖系で, 現在の内核の質量は核全体の質量の 5% とする. 結晶化がバッチ過程により進んだ場合, 現在の外核中のある微量元素  $i$  の濃度は, 内核形成前の濃度の何倍になっているか. 計算過程を示した上で答えよ. ここで, 微量元素  $i$  の固体金属鉄と液体金属鉄の間の分配係数は 10 とし, 分配係数は (固体金属鉄中の重量濃度) ÷ (液体金属鉄中の重量濃度) である.

# 地球科学

## 【第12問】

I 次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。

厚い堆積層の中に発達する短波長の褶曲は、その (A) 地下に伏在する逆断層によって生じることがしばしばある。また特殊な場合として、(B) 密度の小さい地層の上に、密度が相対的に大きな地層が厚く重なっている場合にも起こる。褶曲が成長しつつあるときに堆積した地層は、褶曲の成長によって生じる海底の起伏を埋めるようにして堆積するので、背斜部で薄く、向斜部で厚くなる。このような原因で水平方向に厚さが変化する地層を「成長層」(growth strata) と呼ぶ。極端な場合として、背斜頂部が海面に達すると、そこでは逆に浸食が起こる。このような地層の厚さ変化を注意深く観察すれば、褶曲の成長過程を復元することができる。

- (1) 下線部 (A) の原因でできた褶曲の名称を答えよ。
- (2) 下線部 (B) の密度逆転は、地下に蒸発岩 (たとえば岩塩) 層が存在し、その上に厚い砂泥層が堆積している場所で起こることが知られている。なぜこうした場で密度逆転が起き褶曲変形が生じるのかを 150 字程度で説明せよ。
- (3) 図 1 は、ペルシャ湾北西部の海底に発達する背斜構造の断面の例と、この地域の層序に関するまとめである。上の記述を参考にして、この背斜の成長・衰退の歴史を図 1 から読み解き 200 字程度で説明せよ。

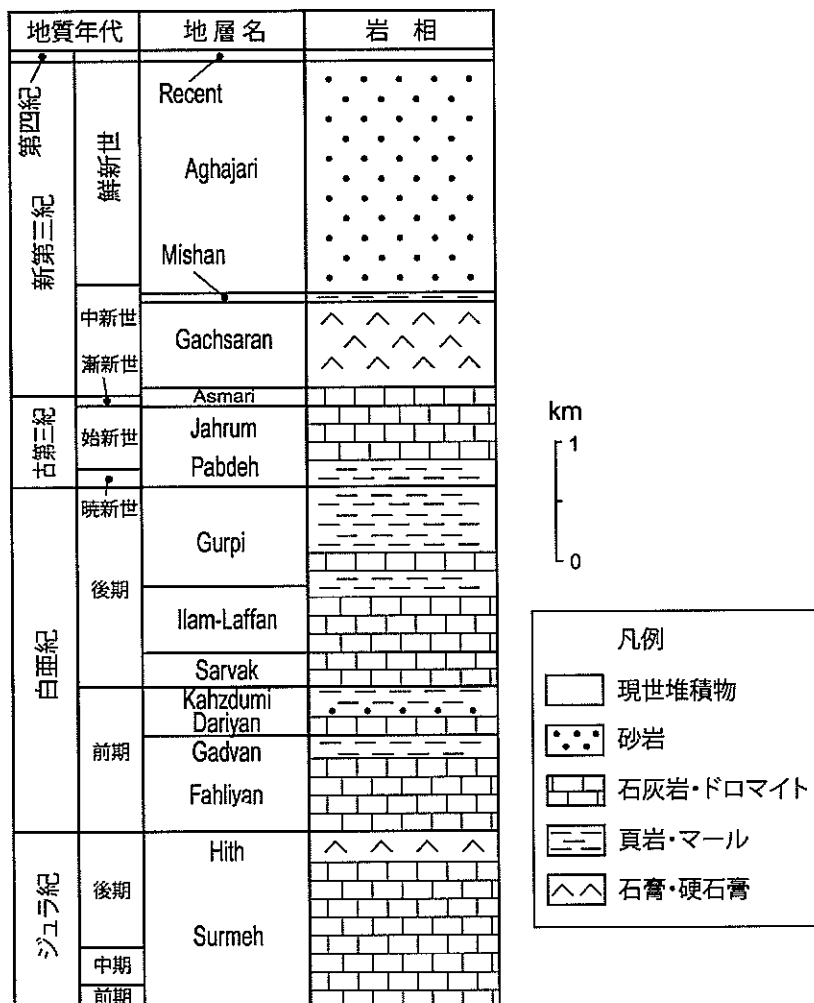
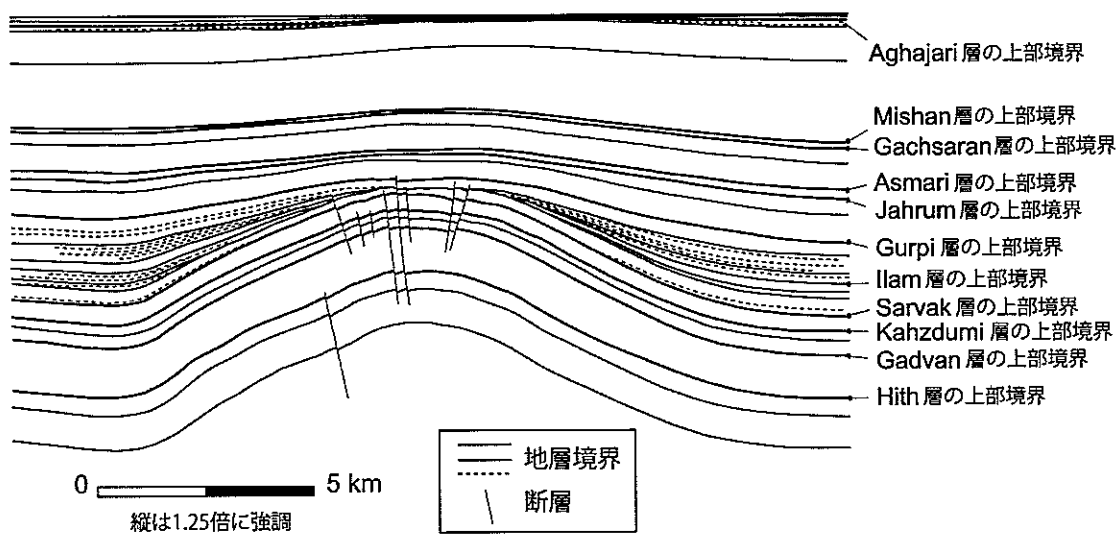


図1 ペルシャ湾北西部の海底に発達する褶曲構造の断面（上）とその周辺の層序（下）。（Soleimany *et al.*, 2011 を改変）

II 化石および堆積物に関する以下の問いに答えよ.

- (1) 多くの堆積相には, 特徴的な堆積物の上下方向の積み重なり (シークエンス) が発達する. 以下の図2の (A) と (B) はそのようなシークエンスの例である. これらについて以下の問いに答えよ.

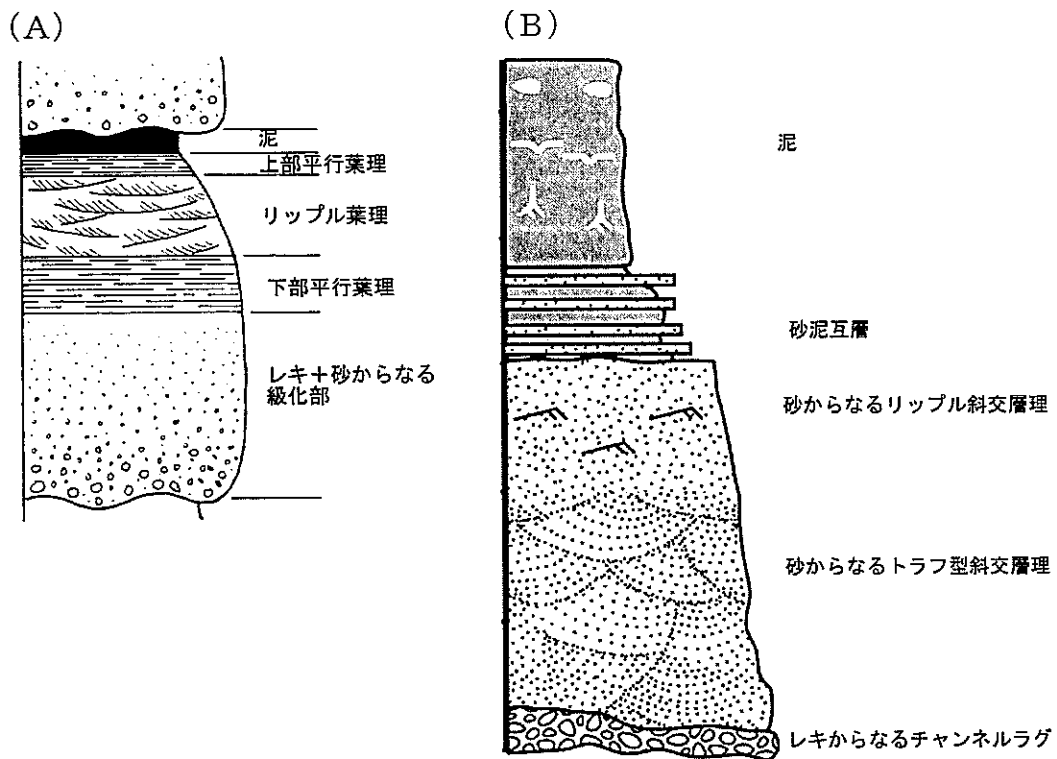


図2 シークエンスの例 (Boggs, 1995 を改変)

- (1-1) シークエンス (A) と (B) の名称をそれぞれ答えよ.
- (1-2) これらのシークエンスは通常どのような環境で堆積するか. シークエンス (A) と (B) について, それぞれ 20 字程度で説明せよ.
- (1-3) これらのシークエンスの最上部はいずれも泥の層であるが, その堆積した条件は (A) と (B) で大きく異なる. これらの泥の層の成因を比較し, その差異を 50 字程度で説明せよ.

(2) 化石や堆積物から、地質時代の気温や湿度など古気候に関する情報が得られることがある。次に挙げる化石または堆積物から、どのような理由で、どのような古気候の情報が得られるかを、それぞれ指定した文字数で説明せよ。

(2-1) 有孔虫 *Globigerina* (*Neogloboquadrina*) *pachyderma* の形態  
[60 字程度]

(2-2) 化石被子植物の葉の気孔密度 [100 字程度]

(2-3) 赤色砂岩などのレッドベッド (red beds) [60 字程度]

(2-4) ドロップストーン (dropstones) やダイアミクタイト  
(diamictites) [30 字程度]

## 地球科学

### 【第13問】

I 気候変動について、次の文章を読んで以下の問いに答えよ。

地球の公転軌道は、真円（離心率0）に近い状態から離心率約0.05の楕円軌道の間を約10万年の周期で変動している。一方、地球の自転軸（地軸）は、公転軌道面に対して約2万年の周期で歳差運動をしている。更に、地球の自転軸は、地球の公転軌道面の法線に対して約24度の角度で傾斜しているが、この傾斜角度は、22度から24.5度の間をおよそ4万年の周期で変動している。こうした地球軌道要素の周期的な変動は地表に到達する日射量の緯度分布や季節分布の周期的な変動を引き起こすが、それは（ア）サイクルと呼ばれ、第四紀を特徴づける（イ）を引き起こした原因となったと考えられている。（ア）は、北半球高緯度の夏の日射量の変動が、北半球氷床の消長に大きく影響していると考えた。この仮説は、のちに海洋堆積物に含まれる浮遊性有孔虫殻の（ウ）の研究から強く支持されるようになった。

また、(A) 最終の氷期中において急激な気候変動が数100から数1000年スケールで繰り返したことが、グリーンランド氷床コアの分析から明らかにされた。この変動は、発見者にちなんで、ダンスガードーオシュガーサイクルと呼ばれる。その後の研究から、この急激な気候変動は、グリーンランドのみならず、北半球のほぼ全域に及んでいること、(B) 南半球では、変動の位相がおおむね逆転していることが明らかにされた。

- (1) 文中の（ ）内のア、イ、ウの中に入る適切な言葉をそれぞれ述べよ。
- (2) 文中に述べられたような地球の公転軌道の離心率が大きな楕円軌道のとき、自転軸の歳差運動は、南北半球の高緯度の気温の季節変化にどう影響すると考えられるか、100字程度で記述せよ。
- (3) 文中に述べられたような自転軸の傾斜角度の変動は、南北半球の高緯度の気温の季節変化にどう影響すると考えられるか、50字程度で記述せよ。



- (4) 下線部 (A) に関連して、最終氷期極相期 (最盛期) に赤道域の地表面温度がどのくらい下がったかについては、ながら議論が続いている。特に陸域において地表面温度が  $5^{\circ}\text{C}$  前後低下したとする主張の根拠の一つが、山岳氷河の挙動である。最終氷期に山岳氷河の挙動から地表面の温度低下量をどのように推定したのかを答えよ。また、その推定の根拠となる重要な仮定について答えよ。以上あわせて 50 字程度で述べよ。
- (5) ダンスガードーオシュガーサイクルに伴った下線部 (B) が、なぜ生じたのかを 50 字程度で説明せよ。
- (6) 下線部 (B) に関連して、地表面温度の変動の位相が南北半球で逆転していたことは、グリーンランド氷床コアと南極の氷床コアから推定された地表面温度の指標を対比することによって明らかにされた。両半球の 2 つのコアの記録をどのようにして対比したのかについて、50 字程度で説明せよ。

## II 大地形の形成について、図 1 を参考として以下の問いに答えよ。

- (1) ヒマラヤからチベット高原にかけては大陸地殻の厚さが平均的大陸地殻の 2 倍程度であることが知られており、それはインド亜大陸プレートの地殻がユーラシア大陸地殻の下にもぐりこんでいるためであると考えられている。
- (1-1) インド亜大陸とチベット高原下の大陸地殻の厚さをそれぞれ 25 km, 50 km とし、アイソスタシーが成立していると仮定して、インド側とチベット高原側の標高差を求めよ。ただし、大陸地殻とマンツルの密度はそれぞれ  $2700\text{ kg/m}^3$ ,  $3400\text{ kg/m}^3$  とする。
- (1-2) (1-1) の結果と図 1 から読み取れるチベット高原の現在の標高分布の比較を 30 字程度で述べよ。

(2) ヒマラヤ・チベット山塊では浸食が進み深い谷が刻まれている。図2(a)で示すように、山頂は浸食されず深い谷が刻まれることによって削剥が進行し、結果として平均厚さ $h$ に相当する地殻物質が失われて大陸地殻が薄くなったとする。削剥によって大陸地殻が薄くなったことに伴いアイソスタティックな隆起が起こると、山頂高度 $h'$ は逆に高くなるはずである。この山頂高度 $h'$ について、以下の問いに答えよ。

(2-1) 山頂高度 $h'$ を厚さ $h$ で表せ。地殻とマンツルの密度は(1)で与えたものを利用すること。

(2-2) (2-1)の厚さ $h$ がチベット高原の高度と同じと仮定して、図1を参考にヒマラヤの山頂高度 $h'$ を求め、ヒマラヤの地形と降水の関係がヒマラヤ山頂高度 $h'$ に与える影響について70字程度で述べよ。

(3) 図3に示すように、ヒマラヤの南側には盆地地形が存在し、そこには削剥によって生産された碎屑物が厚く堆積している。このヒマラヤの南側の盆地がどのようにしてできたか、50字程度で説明せよ。

(4) 図3を参考に、ヒマラヤ・チベット山塊で削剥された物質の運搬・堆積のプロセスを次の語句を用いて100字程度で説明せよ。

語句： ガンジス川とブラマプトラ川 ベンガル湾 深海底

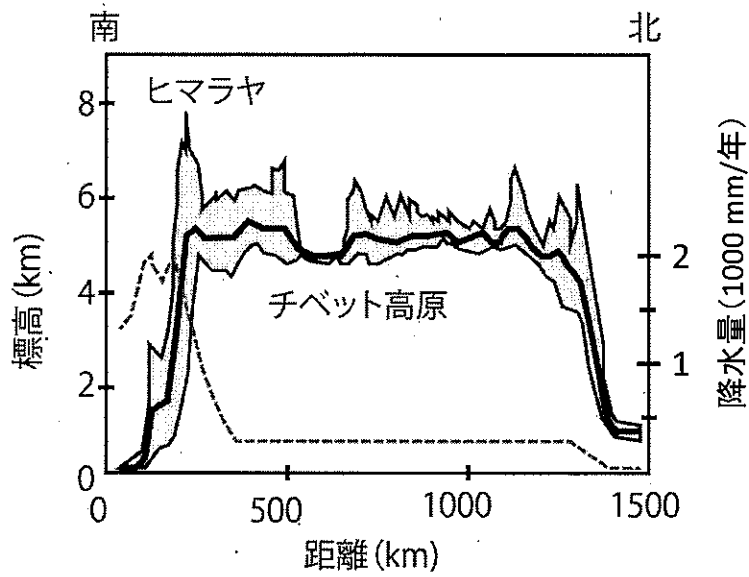


図1 チベット高原の南北地形断面図。灰色の部分には東西 100 km の幅に含まれる地形をすべて含み、太線が平均プロファイルである。破線は年間降水量の分布を示す。

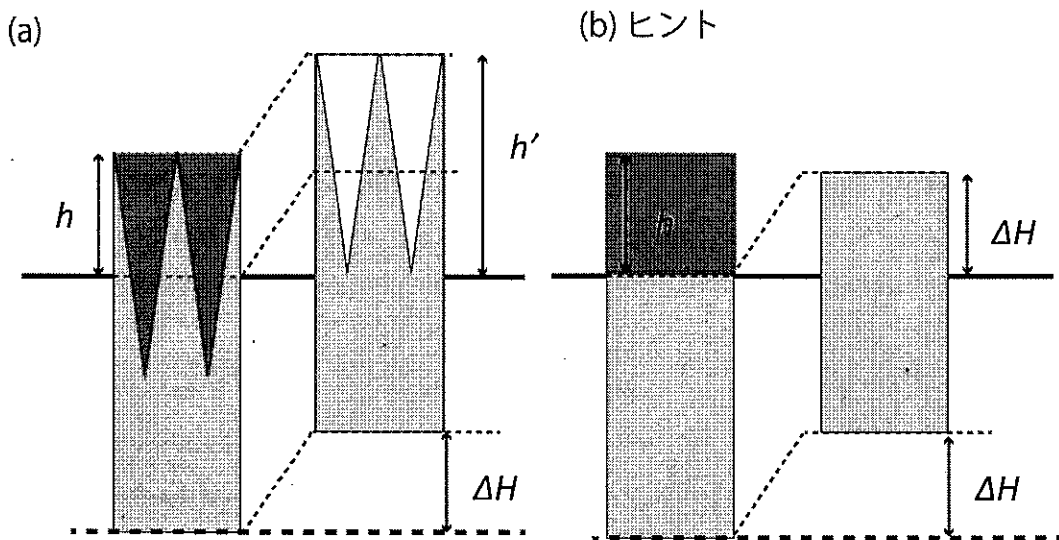


図2 削剥によるアイソスタティックな隆起。(a) 谷により不均質な削剥が起こり、実質的には厚さ $h$ の地殻物質が失われる場合。(b) 均質に厚さ $h$ の地殻物質が削剥されると仮定して隆起した場合。(Molnar and England, 1990を改変)

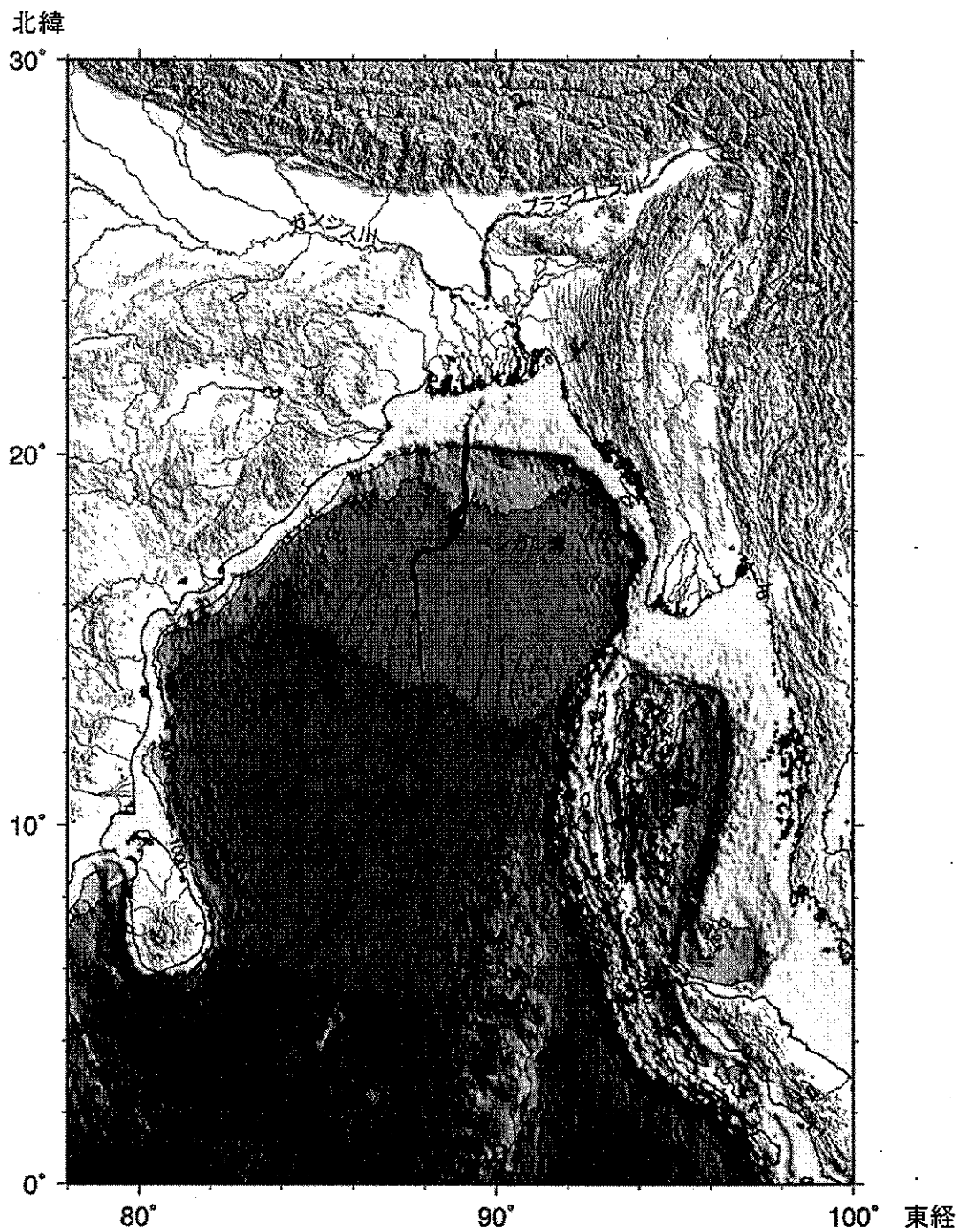


図3 ヒマラヤからインド洋北部に至る地形陰影図。海底部は水深 1000 m ほどの等深線が描かれている。ベンガル湾中央部に描かれた黒塗り線は深海長谷、鎖線は地震波探査等から推定されるかつての海底谷である。