

# 地球科学

## 【注意事項】

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはならない。
2. 解答には、必ず黒色鉛筆（または黒色シャープペンシル）を使用すること。
3. 問題は全部で8問ある。任意の3問を選び解答せよ。
4. 答案用紙は、各問につき1枚、合計3枚であるから、確実に配布されていることを確かめること。
5. 各答案用紙の所定欄に、科目名・問題番号・受験番号および氏名を必ず記入すること。
6. 解答は、各問ごとに所定の答案用紙を使用すること。
7. 答案用紙は点線より切り取られるから、裏面も使用する場合には、点線の上部を使用しないこと。
8. 答案用紙には、解答に関係ない文字、記号、符号などを記入してはならない。
9. 解答できない場合でも、答案用紙に科目名・問題番号・受験番号および氏名を記入して提出すること。
10. 答案用紙を草稿用紙に絶対使用しないこと（草稿用紙は問題より後のページにある。）

## 地球科学

### [第1問]

- (1) 熱力学第一法則は(式1)で表される。また、大気の大規模場は静水圧近似(式2)が成り立つことが知られている。

$$dQ = C_p dT - \alpha dp \quad (\text{式 1})$$

$$dp = -\rho g dz \quad (\text{式 2})$$

ここで、 $p$  と  $T$  はそれぞれ気圧と気温、 $dQ$  は単位質量の空気に与えられる熱量、 $C_p$  は乾燥空気の定圧比熱、 $\alpha$  は比容、 $\rho$  は密度を表し、 $g$  は重力加速度、 $z$  は高度である。以下の設問に答えよ。

- (a) (式1)と(式2)を用いて、大気の乾燥断熱減率を式で示せ。ただし、乾燥断熱減率とは、乾燥空気塊が断熱的に上昇する際に、その空気塊の気温が高度とともに下がる割合である。
- (b) 空気が水蒸気で飽和している場合の断熱減率を湿潤断熱減率と呼ぶが、これは乾燥断熱減率に比べて大きいか小さいかを理由を含めて50字程度で答えよ。
- (2) 図1は、大気の鉛直成層状態を示す熱力学図のひとつである。縦軸に気圧、斜め方向に温度軸がとられている(左下から右上に向かう実線が等温線)。太い折れ線は、高層ゾンデ観測による気温の鉛直分布であり、A点は地上の気温、B点は地上の露点温度を示している。ここで露点温度とは、その高度の空気塊を等圧で冷やしていったときに湿度が100%になり凝結が始まる温度である。空気の水蒸気混合比は、その露点温度を通る水蒸気の等混合比線(図中のB、C点を通る太い点線)の値で求められる。以下の設問に答えよ。
- (a) 熱力学図上の補助線ア(細破線)とイ(細実線)とは、どちらが乾燥断熱線、どちらが湿潤断熱線か。また、そう考えた理由を50字程度で述べよ。
- (b) 典型的な熱帯域の大気では、地表面付近の湿潤な空気塊を仮想的に持ち上げていくとある高度で空気塊の水蒸気は凝結を始める。さらに持ち上げると、ある高度( $Z_1$ )で空気塊の温度が周囲の気温より高くなり、浮力を得て自ら上昇し、高度 $Z_2$ で再び浮力を失う。ここで湿潤空気塊の上昇中に周囲の空気との混合はないとして、図1の例で $Z_1$ と $Z_2$ の気圧がおよそいくらか答えよ。なお、実線ACおよび実線CDEは、いずれか一方が乾燥断熱線、もう一方が湿潤断熱線をあらわす。

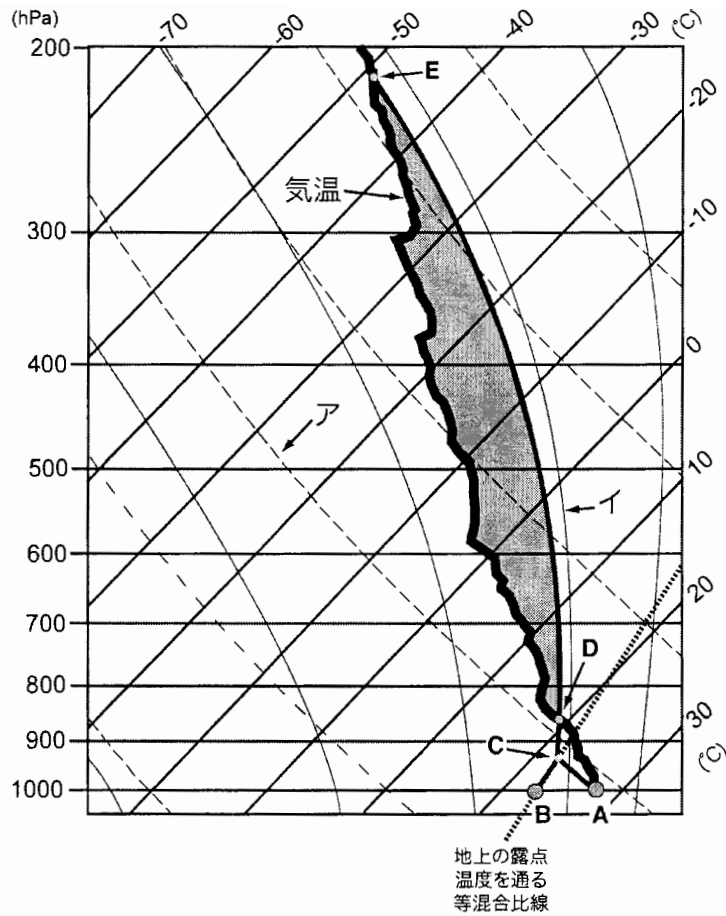


図 1

(3)  $Z_1$  から  $Z_2$  までの間に浮力のする仕事によって空気塊が獲得できる単位質量当たりのエネルギーを CAPE (Convective Available Potential Energy) と呼ぶ。以下の設問に答えよ。

(a) 空気塊の温度を  $T'$  (K)、周囲の気温を  $T$  (K)、重力加速度を  $g$  ( $\text{ms}^{-2}$ ) とする。摩擦を無視した場合、単位質量の空気塊についての鉛直方向の運動方程式を示せ。

(b) CAPE を式で表せ。また、大気が表 1 のような値を持っていた時、CAPE の値を計算せよ。有効数字 2 桁で求め、途中の計算も示すこと。

表 1

高度(km)	1.0	4.0	10.0	14.0
$T$ (K)	294	270	210	206
$T'-T$ (K)	0.0	4.8	4.4	0.0

- (c) 表 1 のような大気で、浮力のした仕事が全て空気塊の運動エネルギーに変換されるとした場合、浮力を失う高度 14km での空気塊の上昇速度はいくらか答えよ。有効数字 2 桁で求め、途中の計算も示すこと。
- (d) 実際には、飽和した空気塊は周囲の空気を取り込みながら上昇すると考えられる。周囲の空気を取り込むことは、CAPE の値をどのように変化させるか。また、水の相変化に気相・液相のみを考える場合と固相も考慮に入れる場合とでは CAPE の値はどのように異なってくるか。それぞれ 50 字程度で記述せよ。なお、水の蒸発の潜熱は  $2501 \text{ Jg}^{-1}$ 、昇華の潜熱は  $2834 \text{ Jg}^{-1}$  である。

## 地球科学

### [第2問]

海底の年代と水深に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 右図は、世界の海底の水深（観測値）とその形成年代の関係をプロットしたものである。一般に、比較的若い海底では以下の関係が成り立つことが知られている。

$$D = D_0 + c\sqrt{t} \quad \text{①}$$

ただし

$D$ : 水深 (m)

$D_0$ : 中央海嶺における  
水深 (m)

$t$ : 海底年代 (百万年)

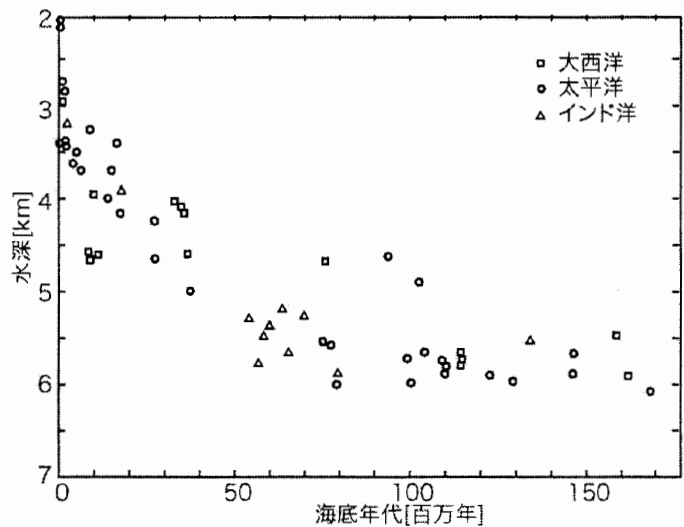
$c$ : 定数

である。

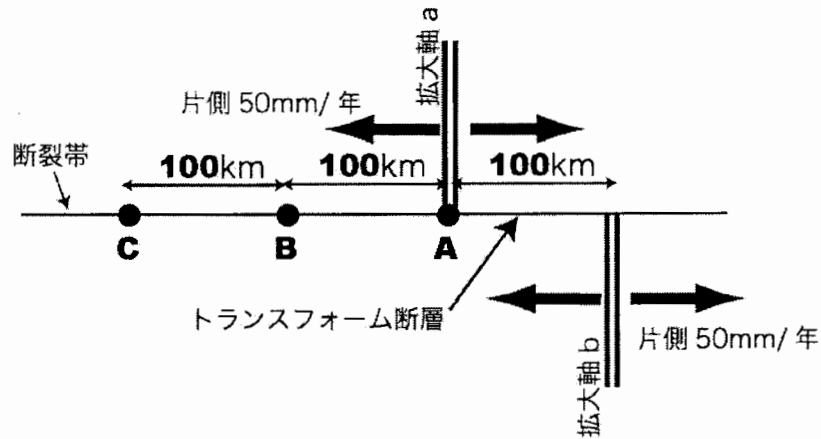
ここで  $D_0 = 2500$  [m],

$c = 354$  [m/(百万年)<sup>1/2</sup>] とし

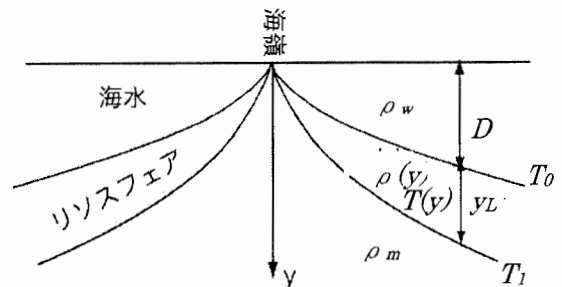
ていくつかの海底年代（例えば 49, 100, 144 百万年前）における水深を①式から計算し、図の観測値と比較した結果を 100 字以内で記述せよ。



- (2) 次ページ上図は、中央海嶺から海底が拡大していく様子を上からみたところを模式的に示している。海嶺はトランスフォーム断層と断裂帯によって分断され、断裂帯では年齢の異なる海底が接している。次ページ上図のように、お互いに 100km ずれた拡大軸 a と拡大軸 b がともに片側拡大速度 50mm/年で拡大している系を考えた時、それぞれの拡大軸で生産された海底の A, B, C 点における水深を①式を利用して求めよ。また、断裂帯に沿った地形の変化を 50 字程度で述べよ。ただし、拡大軸における水深は、a, b と同じであり、 $D_0$  および  $c$  は問 (1) で使用した値を用いよ。必要であれば  $\sqrt{2} = 1.41, \sqrt{6} = 2.45$  を使ってよい。



(3) 前出の①式が何故成立するのか考えてみよう。水深  $D$  はリソスフェアの冷却とアイソスタシーによって決まると考えられる。右図は海嶺で新しい海底が生まれ、拡大していく様子を模式的に示したものである。ここで海水の密度と温度、マンツルの密度と温度



をそれぞれ  $\rho_w$ ,  $T_0$ ,  $\rho_m$ ,  $T_1$  とし、リソスフェアの密度と温度は深さ  $y$  の関数  $\rho(y), T(y)$  で表されるとする。ただし  $y = 0$  をリソスフェア上面に置く。また、簡単にするため海嶺における水深  $D_0 = 0$  とする。ある点で水深を  $D$ 、リソスフェアの厚さを  $y_L$  としてアイソスタシーが成り立っているとしたとき、

$$D(\rho_w - \rho_m) + \int_0^{y_L} \rho_m \alpha (T_1 - T) dy = 0 \quad (2)$$

となることを示せ。ただし、温度変化と密度変化の関係は

$$\Delta \rho = -\rho_m \alpha \Delta T \quad (3)$$

となることを利用してよい。ここで  $\alpha$  は熱膨張係数である。

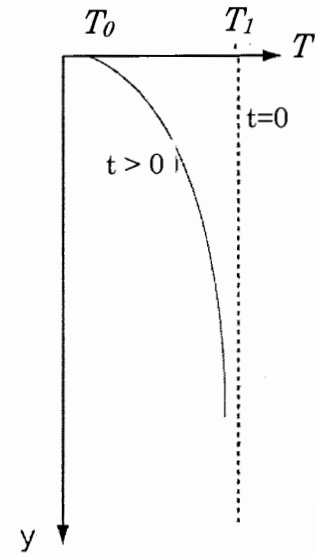
(4) 次にリソスフェアの温度構造を単純な1次元の熱伝導による冷却でモデル化する。ある温度  $T_1$  であった半無限体(右図点線)の表面を  $T_0$  に冷却するとき、ある時間  $t > 0$  における温度構造は右図の実線のようなになる。ここで  $y \rightarrow \infty$  で  $T \rightarrow T_1$  である。一般にこのような冷却モデルにおいては、温度構造は相補誤差関数 *erfc* を用いて④式で表される。

$$(T - T_1) / (T_0 - T_1) = \text{erfc}(\eta) \quad \text{④}$$

ここで無次元量  $\eta$  は  $\eta = \frac{y}{2\sqrt{\kappa t}}$ 、 $\kappa$  は熱拡散率、また

$$\int_0^\infty \text{erfc}(x) dx = 1/\sqrt{\pi} \text{ である。}$$

②式と④式を利用し、①式にあるように水深が海底年代の平方根に比例することを示せ。ただし、④式より  $y > y_L$  においては *erfc* の積分の寄与が僅かであることを利用してよい。また、問(1)において観測値と計算値との差が生まれた理由を考察し、50字程度で述べよ。



## 地球科学

### [第3問]

地質時代の区分は産出化石に基づく生層序および岩相層序をもとに構築されてきた。地質時代区分について以下の問いに答えよ。

- (1) 古生代について、(A) その定義、(B) 数値年代、および (C) 代表的化石グループ (2つ) をそれぞれ 50 字程度で記せ。さらに (D) 古生代の紀までの時代区分を書け。
- (2) 古生代の細分において、最近もっともよく用いられる化石グループを記せ。またそれが用いられる理由を 50 字程度で説明せよ。
- (3) 生層序および岩相層序以外の層序区分方法を 3つ挙げ、各々の利点について 50 字程度で記せ。
- (4) 冥王代はどのように定義されるか、100 字程度で記せ。



## 地球科学

### [第4問]

図1は、斜長石(アノーサイト[An]-アルバイト[Ab])とメルトの1気圧下での相平衡図を示す(横軸は各相中のAn成分のモル分率[An/(An+Ab)比]、縦軸は温度を示す)。

図2は、横軸にAn/(An+Ab)比、縦軸に斜長石とメルトの1モルあたりのギブスの自由エネルギー(G)を示す。

- (1) 斜長石のように、その構造を大きく変化させることなく複数の成分(斜長石の場合はAn成分とAb成分)を幅広い割合で含み得る固相を何と呼ぶか答えなさい。
- (2) 図1・図2と同様の固相とメルトの相平衡を示す鉱物一つを、その端成分の名前(斜長石の場合は「アノーサイト」と「アルバイト」)とともに挙げなさい。
- (3) 図2にみられるように、ギブスの自由エネルギー曲線は、斜長石、メルトのいずれも下に凸である。この主な原因を50~100字で説明しなさい。

図1 斜長石の相平衡図

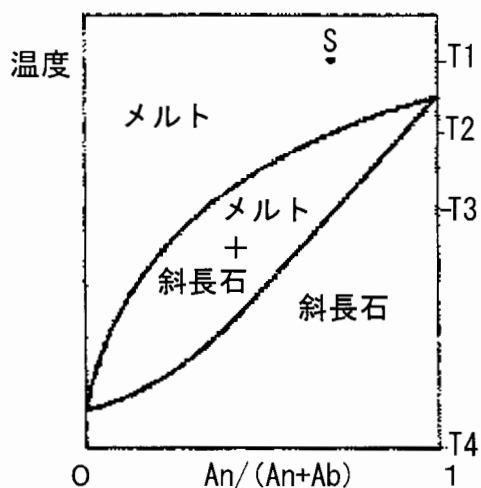
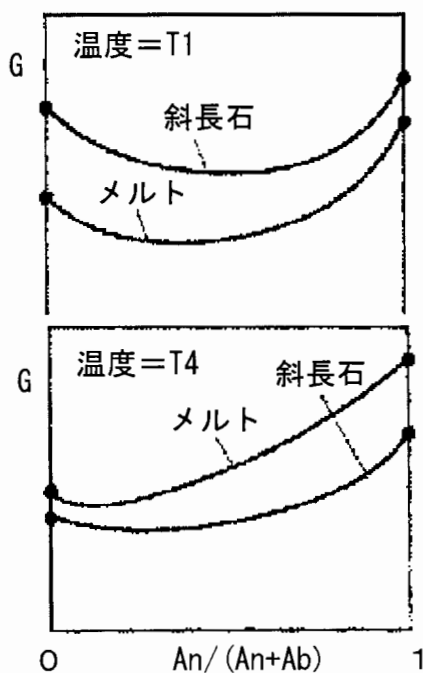


図2 化学組成とギブスの自由エネルギー(G)



- (4) 温度 $T_3$  (図1参照)での斜長石とメルトのギブスの自由エネルギー曲線を解答用紙に図示しなさい (横軸に $An/(An+Ab)$ 比、縦軸にギブスの自由エネルギーをとること。手書きの定性的な図で良い)。また、その図を用いて、温度が $T_3$ の時に共存する斜長石とメルトの化学組成がどのようにして決まるかを100字程度で説明しなさい。
- (5) 図1中の点S(温度 $T_1$ )から、系内部の平衡を保ったまま系の温度が $T_3$ まで低下するときの、メルトと固相の化学組成の変化経路を、解答用紙に図示しなさい (横軸に $An/(An+Ab)$ 比、縦軸に温度をとること)。また温度 $T_3$ の時の固相とメルトの量比はいくらになるかを答えなさい。
- (6) (5)のように、温度とともにメルトと固相の組成が化学平衡を反映しながら変化することは、天然ではどのような現象にみられると予想されるか。一つの例を、50~100字で説明しなさい。

## 地球科学

### [第5問]

結晶中の構成原子は規則正しく配列しており、その繰り返しの単位は格子定数 ( $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$ ) で表される。また結晶の対称性をより明確に示すため複合格子が用いられることもある。

- (1) 結晶の格子定数の値を求める最も一般的な手法を述べよ。
- (2) 単斜晶系 ( $\beta \neq 90^\circ$ ) および六方晶系の単位格子の体積を、格子定数を用いて表現せよ。
- (3) 複合格子のうち、体心格子と面心格子とはどのようなものか図示せよ。
- (4) 立方晶系の面心格子を単純格子で表現すると、その格子定数はどのような特徴をもつか 80 字以内で述べよ。
- (5) 複合格子で結晶を表現したとき、その回折パターンでは特定の指数  $hkl$  の回折強度がゼロになる (複合格子による消滅則)。一方回折強度は  $|F(hkl)|^2$  に比例し、 $F(hkl)$  は次式で表現される。この式を用いて C 底心格子による消滅則を導け。

$$F(hkl) = \sum_{\text{単位格子}} f_i \exp\{2\pi i(hx_i + ky_i + lz_i)\}$$

$f_i$  : 原子  $i$  の原子散乱因子

$(x_i, y_i, z_i)$  : 原子  $i$  の座標

## 地球科学

### [第6問]

- (1) 隕石中のある鉱物の化学分析値は、Si = 18.8 wt. %、Mg = 28.6 wt. %、Fe = 9.8 wt. %、O = 43.1 wt. %であった。
- (a) この鉱物の化学式を求め、鉱物名を記せ。ただし、原子量は、Si = 28.1、Mg = 24.3、Fe = 55.8、O = 16.0 とする。
- (b) 上記鉱物の結晶構造の特徴を 80 字以内で述べよ。
- (2) 地球上の火成岩をアルカリ岩系列と非アルカリ岩系列に分けると、後者の岩石中に普通にみられる輝石の化学成分は、輝石台形 (pyroxene quadrilateral) を用いて表示 (モル表示) される。
- (a) 輝石台形の 4 種類の端成分に関して、鉱物名および化学式を併記せよ。
- (b) 輝石に含有される陽イオン種の変化が結晶構造に与える影響を 100 字以内で述べよ。
- (c) 除冷をうけた天然産の輝石には、しばしば多様な離溶組織が観察される。輝石台形内の輝石にみられる離溶組織の種類と成因を、鉱物の安定領域に着目し、150 字以内で述べよ。

## 地球科学

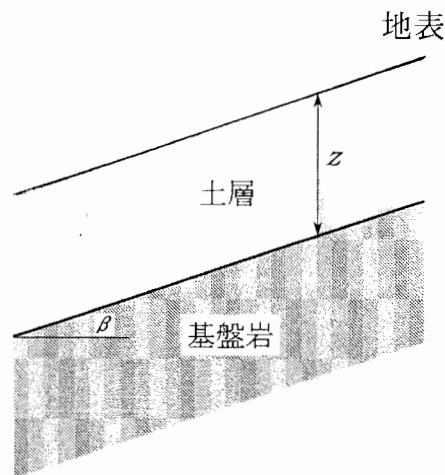
[第7問]

日本の山地では、斜面の上にある土（砂礫を含む、以下同様）の層（土層）が崩落して生じる斜面崩壊が頻発している。これに関連して、次の設問に答えよ。

- (1) 傾斜が  $\beta$  ( $^\circ$ ) の無限長直線斜面において、鉛直方向の厚さ  $z$  (m) の土層が固結した基盤岩の上に乗っているとす (下図参照)。土層の崩落しやすさは下記の式で判定可能であり、 $F$  が 1 より小さくなれば土層が崩落するとみなされる。

$$F = \frac{c' + (\gamma - n\gamma_w)z \cos^2 \beta \tan \phi'}{\gamma z \sin \beta \cos \beta} \quad (1)$$

ただし  $c'$  は土層を構成する土の粘着力 ( $\text{kN/m}^2$ )、 $\phi'$  は土の内部摩擦角 ( $^\circ$ )、 $\gamma$  は土の単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ )、 $\gamma_w$  は水の単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ )、 $n$  は土層厚  $z$  に対する地下水面の高さの比 (地下水面が地表に達していれば 1、地下水面が土層と基盤岩の境界よりも低ければ 0) である。式 (1) の分母と分子がそれぞれ何を表しているのかを、各 30 字以内で簡潔に説明せよ。



- (2) 式 (1) の  $c'$  と  $\phi'$  は土の力学的性質を表すパラメータであり、その値は土を構成する粒子の形態や大きさに応じて変化する。どのように変化するかを、50～100 字で記述せよ。

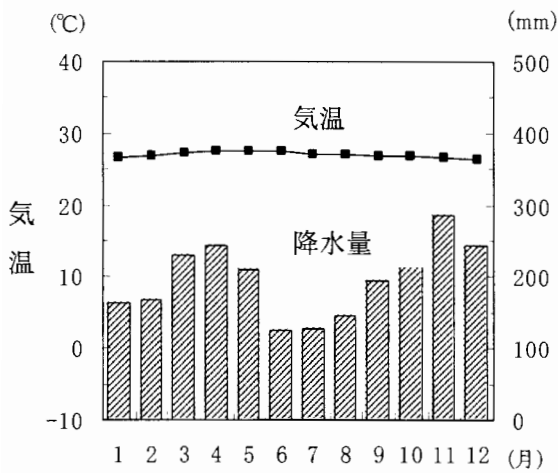
- (3) 土質以外に、日本の山地斜面で崩壊が発生しやすい理由として考えられる要因を、式(1)を踏まえて50字程度で記述せよ。
- (4) 斜面崩壊が頻発すると谷底に多量の土砂が供給される。日本の山地でこの種の土砂が下流側に運ばれることによって流域内に形成される地形の特徴と堆積物の特徴を、あわせて100字程度で述べよ。
- (5) 中国・黄土高原と北極圏のスヴァールバル諸島では、崩壊とは異なる種類の斜面侵食プロセスが卓越している。両地域における斜面侵食の特徴を、気候条件を踏まえつつ、それぞれ50字程度で述べよ。

## 地球科学

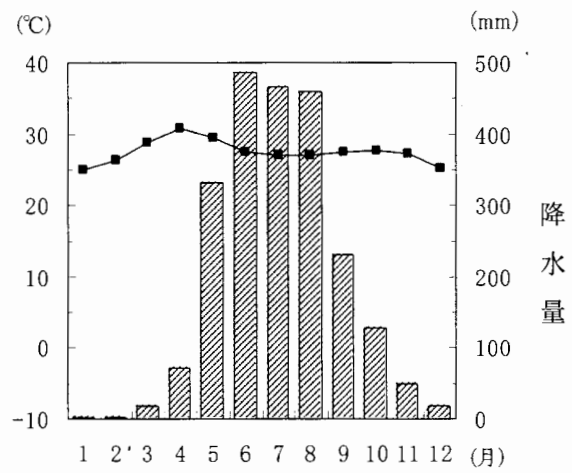
### [第8問]

東南アジアにおける自然環境と人間活動に関する以下の設問に答えよ。

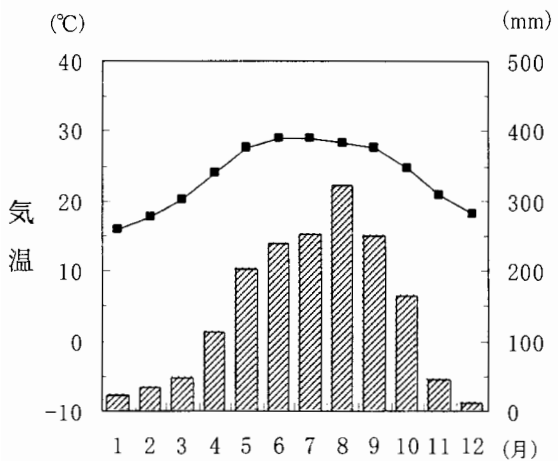
- (1) 下の(a)～(d)の図は、次ページの地図上に示した、クアラルンプール（マレーシア）、ジャカルタ（インドネシア）、ハノイ（ベトナム）、ヤンゴン（ミャンマー）における、気温と降水量の月平均値の年変化を示したものである。(a)～(d)の地点名を答えよ。また、そのように判断した理由を、あわせて200字程度で述べよ。



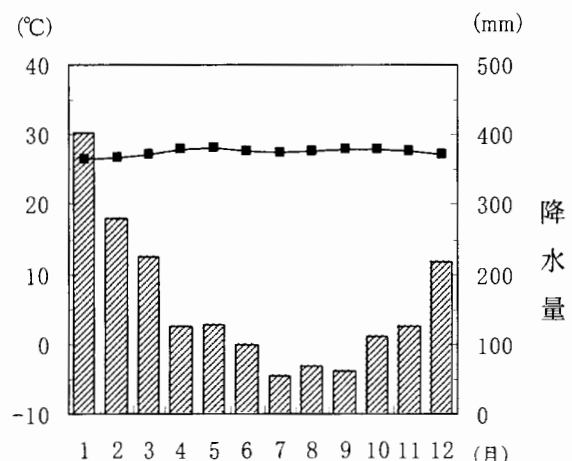
(a)



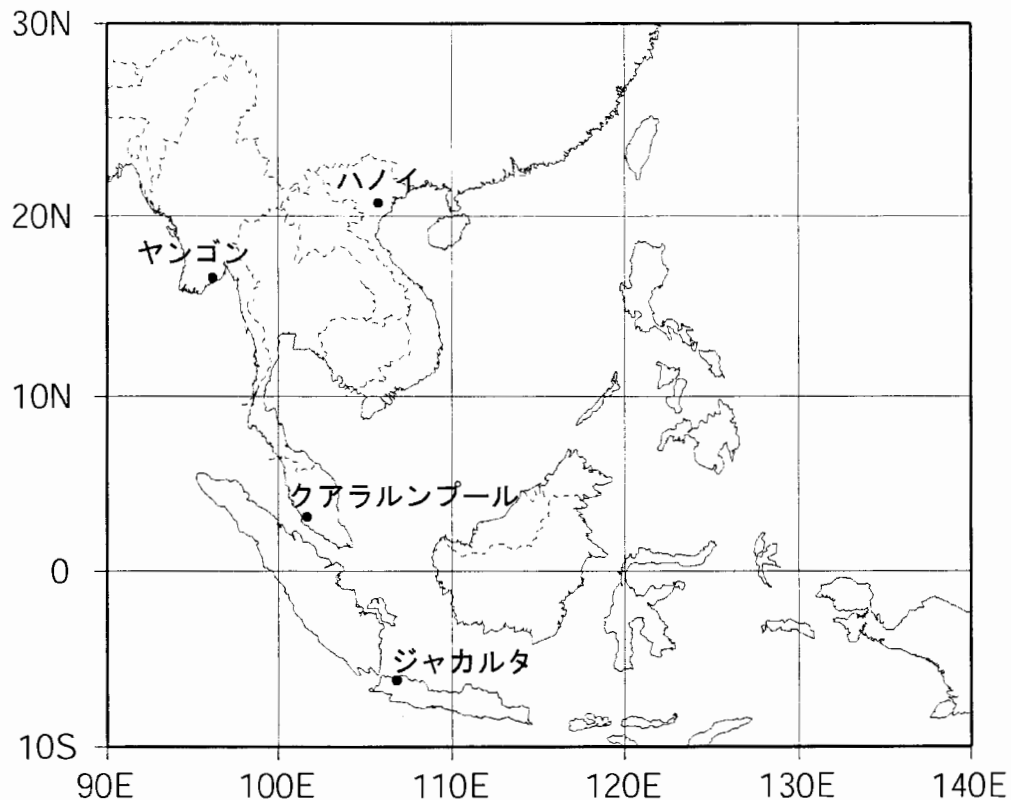
(b)



(c)



(d)



- (2) 東南アジアでは、近年急速な経済発展をしている国が多く、それとともに、様々な環境問題が生じている。現在東南アジアで広域的に生じている環境問題を2つあげ、それぞれの問題について、問題が深刻である代表的な地域と、問題が生じる原因を、あわせて100字程度で答えよ。
- (3) 東南アジアではまた、様々な自然災害が発生している。東南アジアでしばしば発生する自然災害を2つあげ、それらの災害について、災害が発生する主要な地域と、災害が発生する背景となっている自然のおよび人文的環境要因を、あわせて100字程度で答えよ。
- (4) インドシナ半島で国境を接しているタイとマレーシアとでは、隣国であるにもかかわらず主要な農作物が大きく異なっている。両国での主要な農作物とそれらが生産されている農業景観の相違について、あわせて100字程度で答えよ。