

# 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。第3問を選択した場合は、答案の一部が問題冊子にあるため、切り離して解答の後、他の答案用紙とともに提出すること。
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]

太平洋や大西洋の大規模な循環系には、図1に模式的に示されているような亜熱帯循環や亜寒帯循環がある。このような循環系の力学的特徴を理解するために、渦度方程式を用いた考察が良く行われる。ここでは、コリオリパラメータ ( $f$ ) の緯度変化を  $\beta$  面 ( $f = f_0 + \beta_0 y$ ) で近似した矩形の海洋内の定常な循環系を考えよう。海底が平坦で海底での摩擦がなく、かつ海水の密度が一様だとすると、海面から海底まで積分した渦度方程式は、

$$\bar{u} \cdot \nabla \zeta + \nu \beta_0 - A_H \nabla^2 \zeta = \frac{1}{\rho H} \text{curl} \bar{\tau} \quad \text{①}$$

と表される。ここで  $\bar{u} = (u, v)$  は鉛直積分した水平流速、 $A_H$  は水平渦粘性係数、 $\bar{\tau}$  は海面での風応力、 $\rho$  は海水の密度、 $H$  は水深、 $\zeta$  は渦度 ( $\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ ) である。以下の設問に答えよ。

(1) 渦度方程式 (①式) の各項の寄与を見積もる場合、方程式を無次元化すると考えやすい。流速、水平距離、風応力の代表値をそれぞれ  $U$ 、 $L$ 、 $\tau_0$  とすると、無次元化された方程式

$$\bar{u}' \cdot \nabla' \zeta' + A' \nu' - B' \nabla'^2 \zeta' = C' \text{curl}' \bar{\tau}' \quad \text{②}$$

の  $A$ 、 $B$ 、 $C$  は各々どのように表されるか記せ。ただし、②式の空間微分オペレータおよびダッシュのついた量は無次元化されている。

(2) 図1のb領域では、 $U = 10^{-2}$  [m/s]、 $\tau_0 = 10^{-1}$  [kg/m/s<sup>2</sup>] であるとする。 $\beta_0 = 10^{-11}$  [1/m/s]、 $A_H = 10^2$  [m<sup>2</sup>/s]、 $H = 10^3$  [m]、 $\rho = 10^3$  [kg/m<sup>3</sup>] とした場合、①式はどのように単純化されるか。また、そのような力学バランスは何と呼ばれているか記せ。

(3) 東西一様で、南北方向にのみ変化する東西方向の風応力 ( $\tau^x$ ) により図1のような循環系が駆動されているとした場合、その風応力の南北分布がどのようになっているかを図示せよ。その際、海洋の循環系との関係が分かるように、図1の(ア)～(オ)の緯度がどこに対応するかも示せ。

(4) 図1の(イ)の緯度における東西方向の風応力 ( $\tau^x$ ) の南北変化率が  $-4 \times 10^{-8} \text{ [kg/m}^2/\text{s}^2]$  であったとすると、この緯度での亜熱帯循環系によるおよその流量を求めよ。

(5) 渦度の収支という視点から亜熱帯循環系を見た場合、図1の a で示される西岸境界流域の役割を述べよ。

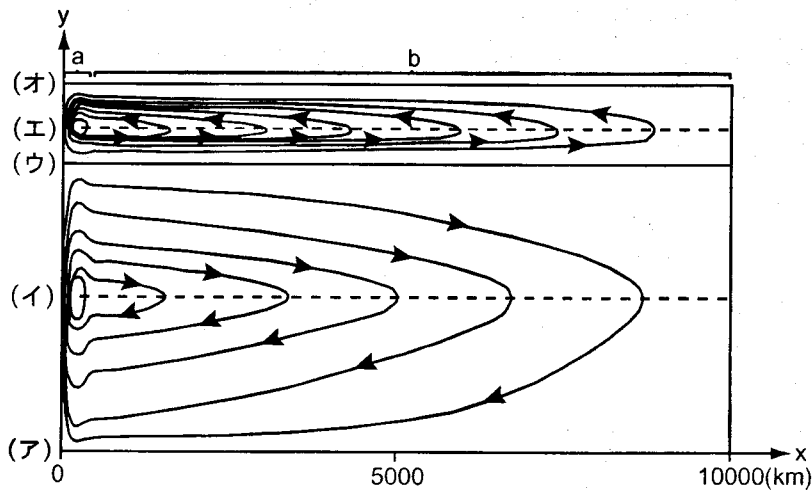


図1：北半球の亜熱帯循環および亜寒帯循環の模式図。等値線は流線関数を表し、流れは矢印の向きに流れている。x, y 方向はそれぞれ東向き、北向きとする。

## 地球科学

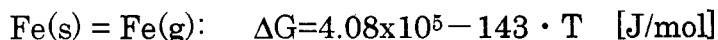
### [第2問]

以下の文章を読み問いに答えよ。

地球型惑星（月を含む）の形成を知る一つの手がかりはその表面から岩石を採取してその組成を分析することによって得られる。多くの小惑星については隕石の分析によって同様の情報を得ることができる。最も始原的な天体はその元素存在度が（いくつかの例外的元素を除くと）太陽系元素存在度と似ていると考えられる。分化した天体ではその表面の岩石の組成は始原的な天体の組成とは異なっている。この異なった組成を元にしてその天体の形成進化を考えることができる。

La は親石元素である。W は珪酸塩にも少し取り込まれるがほぼ親鉄元素と考えられる元素である。またこれらの元素はいずれも難揮発性で、液層濃集元素である。月は (A) 高温凝縮物（難揮発性元素）を主成分として集積し、(B) 何らかの熱源により溶けてコア・マントルが分離し、(C) マントルの部分熔融、分別結晶化作用によって月表面に種々の火成岩を形成したと考えられる。初期太陽系では、現在では消滅している同位体  $^{182}\text{Hf}$  があったと考えられている。これは半減期 900 万年で  $^{182}\text{W}$  に崩壊する。Hf は La と同様な親石元素である。この Hf-W 系をつかうと惑星のコアの形成時期が推定できる。

- (1) 地球型惑星や小惑星（隕石）中の存在度が多い元素名を 4 つ挙げよ。
- (2) 元素をその地球（宇宙）化学的性質によって色々なグループに分けることができる。揮発性元素、難揮発性元素、親鉄元素、親石元素、液層濃集元素などのグループ名が良く使われる。これらのグループに属する元素をそれぞれ 1 つ挙げよ。ただし本問中に出ている元素は使わないこと。
- (3) 上文中 (A) のステージでの月全体の W、La の濃度、(B) のステージでのマントル全体の W、La の濃度、(C) のステージでの種々の火成岩の中の W、La の濃度を始原的隕石と比較して、縦軸に W 濃度、横軸に La 濃度をプロットした図に模式的に示せ。（始原的隕石（コンドライト）、(A)、(B) は点で、(C) はトレンド（線）として示すこと。）
- (4) 始原的隕石の組成は主に高温の太陽系元素存在度を持った太陽系星雲からの固相の凝縮によって決まると考えられる。このような考えに基づき冷却中の太陽系星雲での金属鉄の平衡凝縮温度（ $T$ ：絶対温度）を求めよ。ただし太陽系星雲の全圧を  $1.25 \times 10^{-4}$  気圧（12.7Pa）、水素および鉄の太陽系元素存在度をそれぞれ  $2.20 \times 10^{10}$ 、 $8.80 \times 10^5$  とし、鉄の蒸発に伴うギブスの自由エネルギー変化を  $4.08 \times 10^5 - 143 \cdot T$  [J/mol] とする。すなわち、



ここで  $s$  および  $g$  はそれぞれ固相, 気相を表す。気体定数  $R$  は  $8.31 \text{ [J/mol/K]}$  とする。また他の元素の影響は無視してよい。必要ならば  $\log_e 10 = 2.30$  を用いること。(ヒント: 高温の太陽系星雲では水素は2原子分子として存在し、鉄は単原子分子として存在すると考えてよい。また凝縮温度では鉄の星雲中の分圧は飽和蒸気圧と等しくなる。)

(5) 早い時期 ( $^{182}\text{Hf}$  がたくさん存在している時) にコアを形成した天体と遅い時期 ( $^{182}\text{Hf}$  がほとんど消滅したあと) にコアを形成した天体を考え、それぞれのコア、マントル中の  $^{182}\text{W}$  の過剰 (安定同位体  $^{183}\text{W}$  に対して相対的に) が現在どの様になっているかを説明せよ。また、これら2つの天体のマントル中の  $^{182}\text{W}$  の過剰を比較せよ。

[第3問]

問題1. 図1は3成分系の液の組成変化を示した相平衡図である。この系に存在する固相はA, B, C, D (白丸)で、 $\overline{os}$ ,  $\overline{ps}$ ,  $\overline{st}$ ,  $\overline{rt}$ ,  $\overline{qt}$ は、cotectic curve (共晶線)、矢印は温度降下方向を示している。平衡晶出を仮定して、以下の問いに答えよ。

(1) 組成 X (白四角) の液は結晶化によってどのように変化するか? 液組成のたどる経路を解答用紙の図に記入するとともに、共存する固相の種類を各段階毎に経路沿いに記載せよ。

(2) 組成 Y (黒丸) の液が結晶化していく場合を考える。3番目に出現する固相が初めて現れた時点で、液と共存している1番目と2番目に出現した固相の量比を図から求めよ。

(3) 点 s と点 t を岩石学的に何と呼ぶか? 日本語名もしくは英語名で答えよ。

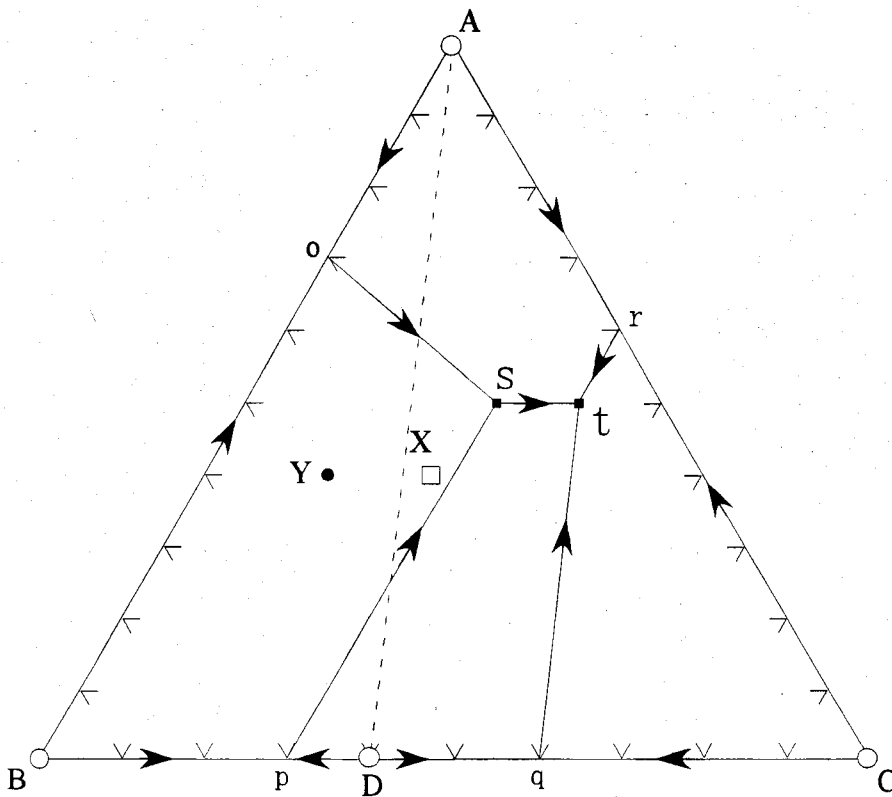


図1

問題2. 図2は純物質Zの相図である。点Nにおける相境界の傾きを、表1の値を用いて計算せよ。

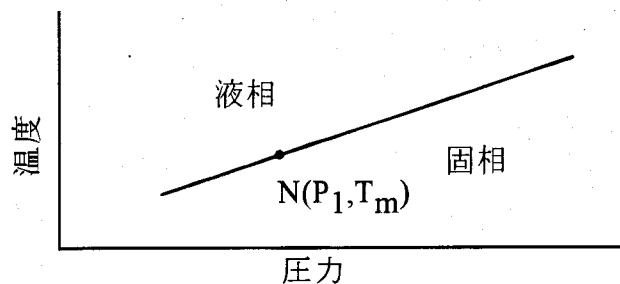


図2

表1 物質Zの熱力学諸量

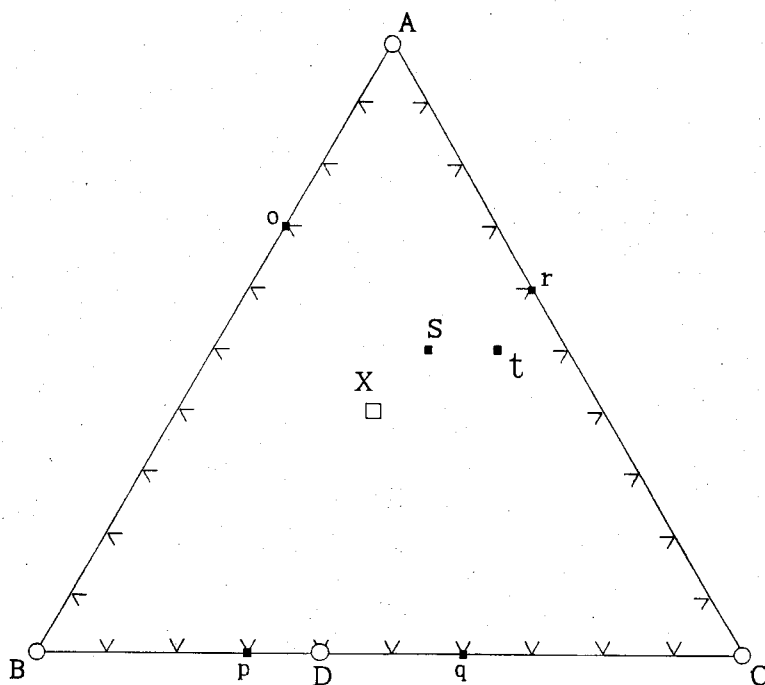
熱力学諸量	記号	値
圧力 $P_1$ における融点	$T_m$	$1.818 \times 10^3 \text{ K}$
N点における固相の定圧モル比熱	$C_p$	$4.18 \times 10^1 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
圧力 $P_1$ における融解の潜熱	$L$	$1.38 \times 10^4 \text{ J mol}^{-1}$
N点における固相の密度	$d_s$	$7.28 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
N点における液相の密度	$d_l$	$7.03 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
Zのモル重量	$M$	$5.58 \times 10^{-2} \text{ kg mol}^{-1}$

問題3. 現在の地球においてマグマが生産されるメカニズムを3つ挙げるとともに、それらが起こっているテクトニックな場の例を300字程度で述べよ。必要ならば、温度-圧力を軸にとった図などを用いてもよい。

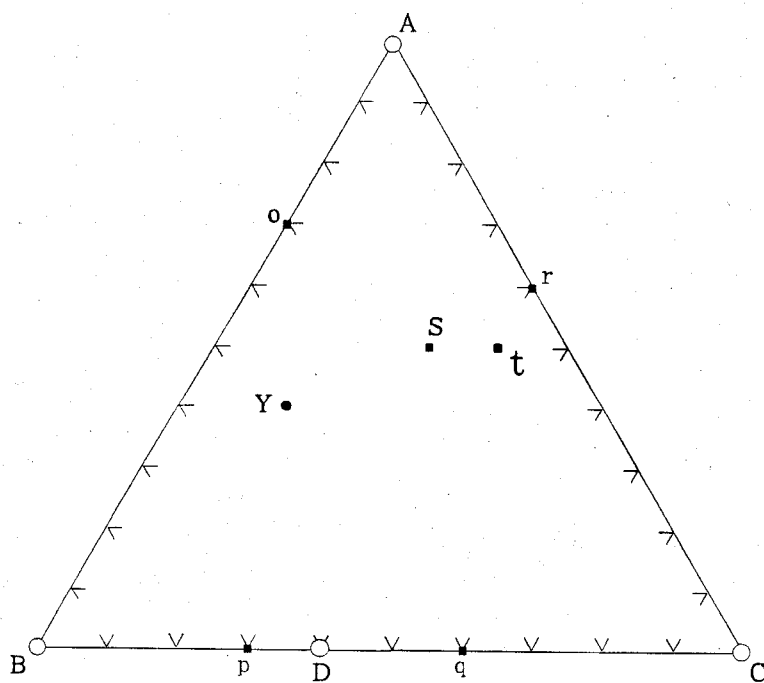
第3問を解答する場合は、このページに問題1の(1)、(2)の解答を記入して切り離して、受験番号を書き答案用紙とともに提出すること。問題1の(1)、(2)を解答しない場合でも、第3問を選択した場合は、提出すること。

受験番号 \_\_\_\_\_

問題1 (1)



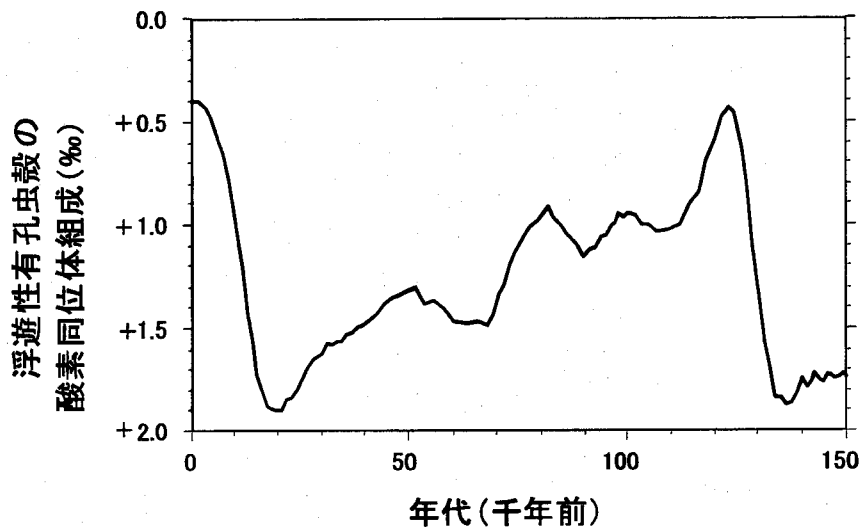
問題1 (2)





[第4問]

下の図は、海洋のある地点において、過去15万年間に渡り浮遊性有孔虫殻の酸素同位体組成がどう変動したかを示した図である。



浮遊性有孔虫殻の酸素同位体組成は、その殻を作った有孔虫が棲んでいた海水の温度と海水の酸素同位体組成により決まり、それらの関係は、経験的に以下の式で表す事が出来る。

$$T = 16.9 - 4.2(\delta_c - \delta_w) + 0.13(\delta_c - \delta_w)^2$$

ここで、 $T$ は水温(°C)、 $\delta_c$ 、 $\delta_w$ は各々、有孔虫殻の酸素同位体組成、海水の酸素同位体組成(‰)である。

注) 物質Aの酸素同位体組成  $\delta A$ は、

$$\delta A (\text{‰}) = \left\{ \left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_A - \left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{std}} \right\} / \left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{std}} \times 1000$$

で定義される。ここで、 $\left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_A$ 、 $\left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{std}}$ は、物質Aおよび標準物質の酸素同位体比である。

- 1) この地点における現在の表層水(浮遊性有孔虫が棲んでいる水)の酸素同位体組成を0‰とした場合、現在の表層水温は何度か?(途中の計算式も示すこと)
- 2) 今から2万年前の最終氷期極相期に、この地点の表層水温が現在より2.0°C低かったとした場合、その時のこの地点の表層水の酸素同位体組成は何‰か?(途中の計算式も示すこと)
- 3) 2)で示されたと同様な2万年前の海水の酸素同位体組成の変化は、汎世界的に起こった事が知られている。このような海水の酸素同位体組成の変化は、大陸氷床の拡大と関係している。大陸氷床の拡大、縮小と海水の酸素同位体組成の変化は、具体的にどのような過程を通じて関係しているのか、300字程度で説明せよ。
- 4) 2万年前には、大陸氷床の拡大により海水準が現在より約130m低下したと言われている。現在の世界全海洋の平均水深を3700mとし、海水準低下に伴う海洋面積の変化を無視した場合、2万年前に拡大していた大陸氷床を構成する氷の平均酸素同位体組成は何‰か?

## 地球科学

[第5問]

Olivine (カンラン石) について以下の問いに答えよ。

- 1, Olivine の結晶構造について、Si イオンとその他の陽イオンに着目して、50字以内で述べよ。
- 2, Forsterite ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ )の単位胞の体積は、 $2.9 \times 10^{-22} \text{ cm}^3$ 、密度は  $3.2 \text{ g/cm}^3$  である。 $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  を1分子とすると、単位胞に含まれる  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  分子の個数(整数)はいくつか。計算の途中経過も記すこと。原子量は、 $\text{Mg}=24.3$ 、 $\text{Si}=28.1$ 、 $\text{O}=16.0$ 、アボガドロ数は、 $6.0 \times 10^{23}$  とせよ。
- 3, Fayalite の単位胞の体積は、 $3.1 \times 10^{-22} \text{ cm}^3$  で forsterite より大きい。これはどのような理由によるか。50字以内で述べよ。
- 4, Olivine の色について簡略化して考えてみる。forsterite は一般的には無色であるが、オリーブ緑色の olivine がよく知られている。なぜこのような色を示すのか。150字以内で述べよ。

## 地球科学

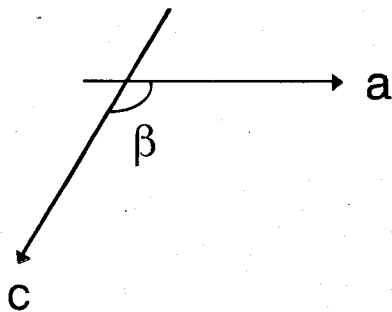
### [第 6 問]

鉱物学、結晶学について次の質問に答えなさい。

(1) 実格子の格子定数を  $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$  で表した時、単斜晶系は一般に  $a \neq b \neq c \neq a, \alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$  である。下図はそれを示したものであり、 $b$  軸の正の方向が紙面上側になる。この実格子に対する逆格子について以下の問いに答えなさい。ただし、実格子  $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$  に対し、逆格子はそれぞれ  $a^*, b^*, c^*, \alpha^*, \beta^*, \gamma^*$  とする。

1-1. 下図と類似の図を簡単に書き、 $a^*, c^*$  の方向を書き入れ、この逆格子の軸が実格子の軸とどのような関係になっているか説明しなさい (100 字程度)。

1-2.  $\beta^*$  を実格子の格子定数を使って表現しなさい。ただし、導いた経過を説明すること。図を用いると解きやすい。

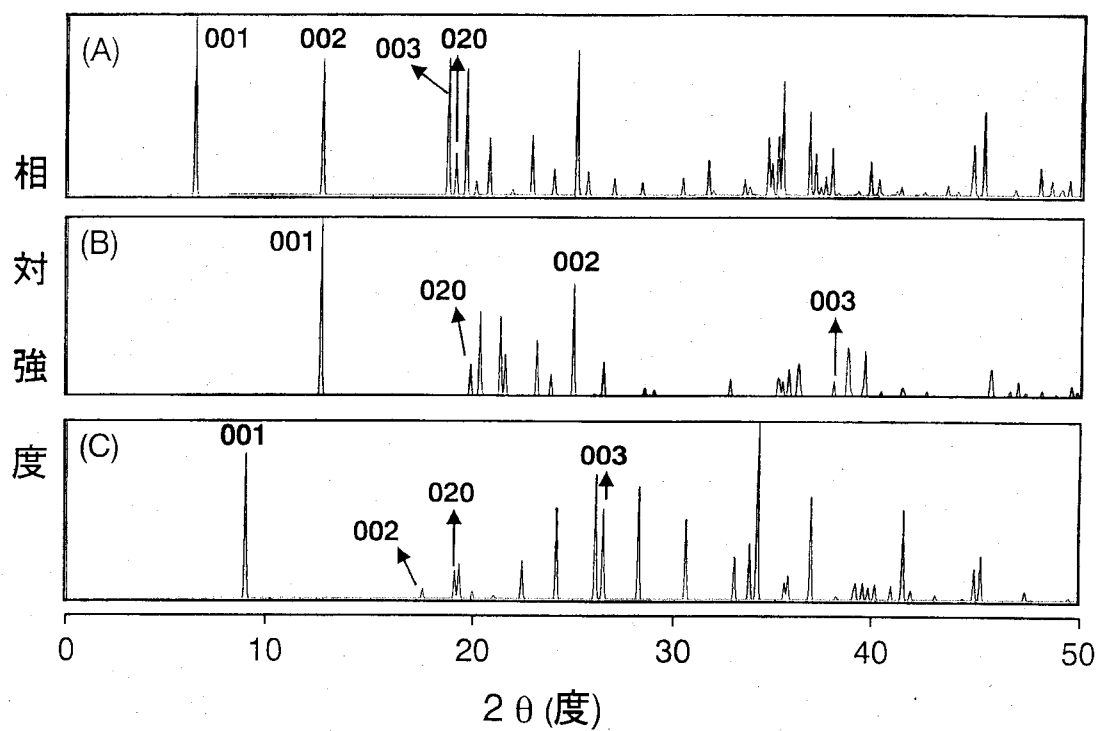


(2) カオリナイト、黒雲母、緑泥石は代表的な層状ケイ酸塩鉱物であり、ケイ酸塩層に垂直な方向の周期、即ち  $c^*$  に平行な方向の周期はそれぞれほぼ 0.7、1.0、1.4 nm である。図は、粉末試料がランダムな方位を向いていると仮定した、カオリナイト、黒雲母、緑泥石の粉末 X 線回折パターンである。X 線は Cu の  $K\alpha$  線を用いた。図中の数字は反射指数である。この粉末 X 線回折パターンについて以下の問いに答えなさい。

2-1. カオリナイト、黒雲母、緑泥石の粉末 X 線回折パターンは、(A)、(B)、(C) のどれにそれぞれ対応するか、そう判定した理由とともに書きなさい (200 字程度)。

2-2. カオリナイト、黒雲母、緑泥石はともに  $b$  軸をユニークな軸とする単斜晶系に属する鉱物である。(A)、(B)、(C) で 020 の指数を持つピークの位置は、 $2\theta$

換算でそれぞれ  $19.14^\circ$ 、 $19.88^\circ$ 、 $19.17^\circ$ である。このことから格子定数に関してどのような情報が得られるか (200字程度)。

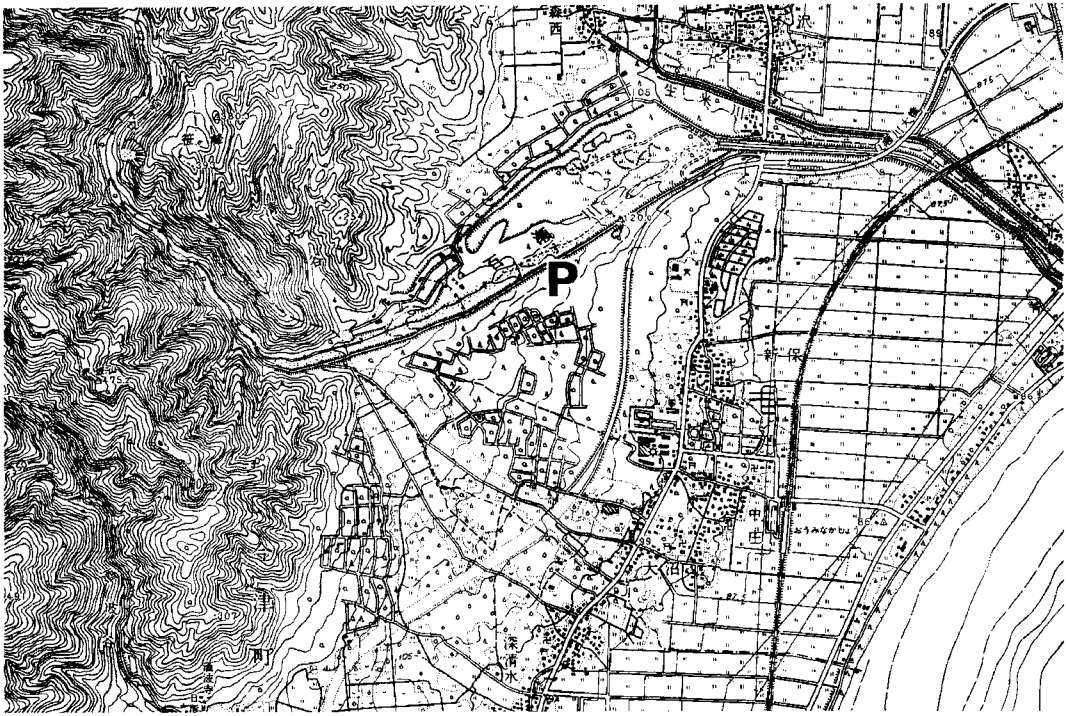


[第 7 問]

扇状地に関する以下の設問に答えよ。

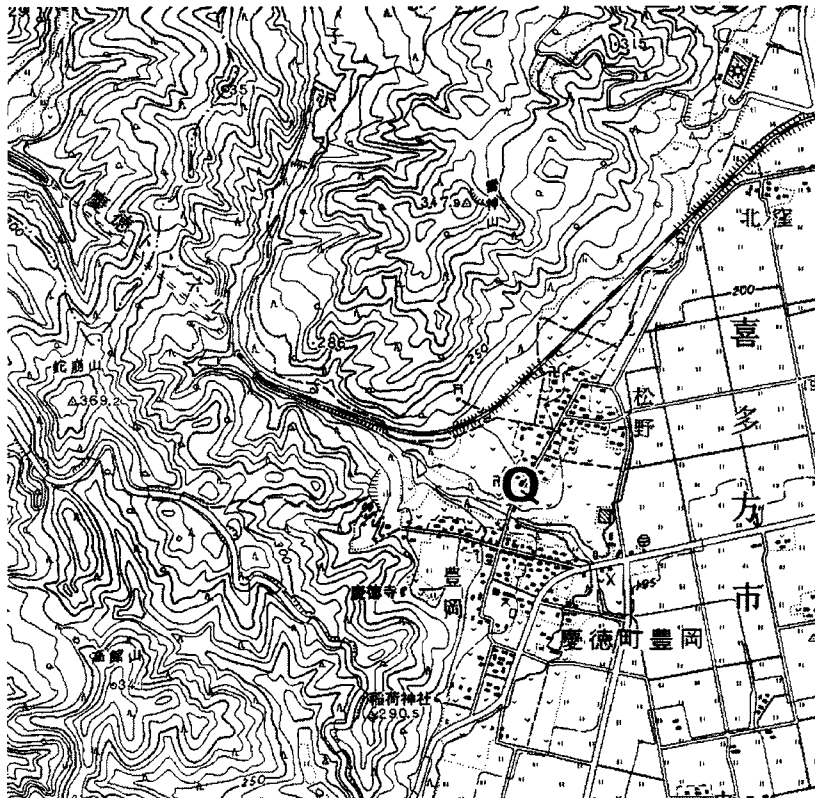
1. 日本列島には多数の扇状地がみられ、面積  $2 \text{ km}^2$  以上の大規模なものだけでも約 500 個存在する。日本列島に扇状地が多く形成されている理由を 150 字程度で述べよ。
2. 扇状地の勾配は、すぐ上流側の山地基部における河川の勾配とほぼ等しいことが多い。勾配が大きく変化しないのに河川の運搬土砂が堆積に転じて扇状地が形成される理由を 100 字程度で述べよ。
3. 図 A と図 B は日本列島における扇状地の例を示した地形図である(等高線間隔は 10 m)。扇状地の勾配や表面の微地形、および上流域の地形に注目し、2 つの扇状地を形成したプロセスの違いを 150 字程度で述べよ。
4. 図 A では扇状地の上を流れる河川 P の河床が周囲の扇状地面よりも高く、図 B では逆に河川 Q の河床が扇状地面よりも低い。それぞれの現象が生じた原因を推定し、各 50～100 字程度で述べよ。

A



1 km

B



1 km

[第 8 問]

世界と日本の森林と環境に関する以下の設問に答えよ。

1. 解答用紙にユーラシア大陸の略図を描き、広域にわたって森林が成立しておらず、その背景となっている自然環境が大きく異なる地域を3ヶ所図示し、そこに示した各地域において、森林が成立していない背景となっている自然環境の特徴を、あわせて200字程度で述べよ。
2. 第四紀における氷期・間氷期の周期的な変動は、森林の分布にも大きな影響を与えた。最終氷期の最寒冷期およびそれ以降の気候変化が日本列島にもたらした森林分布の変化について、200字程度で述べよ。
3. 近年、急速な森林伐採が世界各地で進行し、環境にさまざまな影響を与えることが懸念されている。大規模な森林伐採がもたらすと考えられるグローバル・スケールでの気候環境の変化とローカル・スケールでの気候・水・地形環境の変化について、あわせて200字程度で述べよ。