

2019年8月7日

令和2年度(令和元年10月入学を含む)
北海道大学大学院理学院自然史科学専攻
(地球惑星ダイナミクス講座, 地球惑星システム科学講座,
および地震学火山学講座)
博士前期(修士)課程入学試験

専門科目試験問題
試験時間 13:00 ~ 16:00

以下の注意事項をよく読むこと。

1. 問題冊子1冊(この冊子), 解答用紙7枚, 草案紙2枚を配布する。
2. 専門科目試験の問題は, I 数学, II 物理学, III 化学, IV 地球科学I (地球史・テクトニクス・堆積学), および V 地球科学II (岩石学・鉱物学・資源地質学) の5分野から出題される。このうち, 2分野を選択して解答せよ。
3. 各分野の出題は, 例えば II-1, II-2 のように, いくつかの問題からなる。解答の方法については, 各分野の問題に与えられている指示をよく読むこと。
4. 解答は, II-1, II-2 などの問題ごとに別々の解答用紙(1枚)を用い, 指定された欄に, 数学などの科目名, II-1 のように問題番号, そして受験番号を記入すること。氏名は記入しないこと。
5. 解答は解答用紙の裏面に及んでもよい。
6. 解答用紙, 草案紙が足りないときは, 試験監督者に申し出ること。
7. 解答用紙は選択した分野ごとに回収する。回収する解答用紙の枚数は, V 地球科学II は4枚, その他の分野は3枚ずつである。解答の如何に関わらず受験番号を記入し, これらの枚数の解答用紙を必ず提出すること。なお, 3分野以上にわたって提出しないこと。
8. 問題冊子と草案紙, および余った解答用紙は持ち帰ってもよい。

I 数学

以下の4問 (I-1, I-2, I-3, I-4) から3問を選択して解答せよ. 解答にあたっては, 結果だけでなく導出過程も記せ.

I-1 (選択)

関数 $u = u(x, t)$ に関する次の偏微分方程式について考える.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + U_0 \frac{\partial u}{\partial x} = \kappa \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (t > 0)$$

U_0 は正の定数である. 以下の問題に解答せよ.

問題1 κ がゼロのとき, 以下の問いに答えよ.

問1 新たな独立変数 $\alpha = x - U_0 t$, $\beta = t$ を導入し, $\frac{\partial}{\partial t} = -U_0 \frac{\partial}{\partial \alpha} + \frac{\partial}{\partial \beta}$ と, $\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \alpha}$ を示せ.

問2 問1の結果を用いて, $\frac{\partial u}{\partial \beta} = 0$ を示せ.

問3 初期条件が $u(x, 0) = \cos(2\pi x)$ のとき, 偏微分方程式の解を求めよ.

問題2 κ を正の定数とする. 以下の問いに答えよ.

問1 新たな独立変数 $\alpha = x - U_0 t$, $\beta = t$ を導入し, $u(\alpha, \beta) = X(\alpha) \cdot T(\beta)$ と変数分離し, 関数 $X(\alpha)$ および $T(\beta)$ についての常微分方程式をそれぞれ導出せよ.

問2 初期条件が $u(x, 0) = \sin(2\pi x)$ のときの偏微分方程式の解 $u(x, t)$ を求めよ. また $t=0$ と $t=0.5/U_0$ のときの, $0 < x < 1$ における解の概略をグラフに示せ.

I - 2 (選択)

次の行列 \mathbf{A} について以下の問題に答えよ.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 3 & -1 \\ 4 & -1 \end{bmatrix}$$

問題 1 行列 \mathbf{A} の固有値と規格化した固有ベクトルを求めよ.

問題 2 問題 1 で求めた固有値を λ とするとき, 行列 $\mathbf{B} = \mathbf{A} - \lambda \mathbf{I}$ の階数(rank)を求めよ. なお \mathbf{I} は単位行列である.

問題 3 次の行列 \mathbf{P} を用いて以下の問いに答えよ.

$$\mathbf{P} = \frac{1}{\sqrt{5}} \begin{bmatrix} 1 & -2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$$

問 1 行列 \mathbf{P} が直交行列であることを示せ.

問 2 $\mathbf{P}^{-1} \mathbf{A} \mathbf{P}$ を求めよ.

問 3 行列 \mathbf{A}^n を求めよ. ここで n は正の整数とする.

問 4 $\mathbf{A} = \mathbf{C}^2$ を満たす正方行列 \mathbf{C} を 1 つ求めよ.

I - 3 (選択)

関数 $f(t)$ に対するラプラス変換を以下のように定義する.

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

ただし, s は複素数で $\operatorname{Re} s > 0$ である. 以下の問題に答えよ.

問題1 以下の問いに答えよ.

問1 $f(t) = 1$ であるとき, $F(s)$ を求めよ.

問2 $f(t) = e^{at}$ であるとき, $F(s) = \frac{1}{s-a}$ となることを示せ. ただし, a は実数で
 $a < \operatorname{Re} s$ を満たす.

問3 $f(t) = \sin \omega t$ であるとき, $F(s)$ を求めよ. ただし, ω は実数とする.

問題2 次の微分方程式について以下の問いに答えよ.

$$\frac{d^2 f}{dt^2} - 3 \frac{df}{dt} - 4f = e^{3t}$$

ただし, f の初期条件を次のように与える. $f(0) = f'(0) = 1$
また, 次の公式を用いて良い.

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} f'(t)e^{-st} dt = sF(s) - f(0) \\ \int_0^{\infty} f''(t)e^{-st} dt = s^2F(s) - sf(0) - f'(0) \end{cases}$$

問 1 この方程式の両辺にラプラス変換を作用させて、 $F(s)$ を求めよ.

問 2 問 1 で求めた $F(s)$ を以下のとおり部分分数分解する. A, B, C にあてはまる数式を求めよ.

$$F(s) = \frac{A}{s+1} + \frac{B}{s-3} + \frac{C}{s-4}$$

問 3 この微分方程式の初期値問題の解を求めよ.

I - 4 (選択)

複素数 z の関数 $f(z)$ を次のように定義する.

$$f(z) = \frac{ze^{iz}}{z^2 + 1}$$

以下の問題に答えよ.

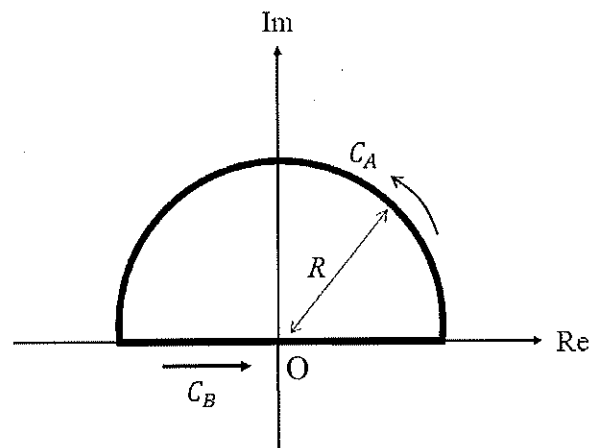
問題1 $z = \frac{1}{3}$ のとき, $|f(z)|$ を計算せよ.

問題2 関数 $f(z)$ の特異点を全て求めよ. またそれぞれの特異点における留数を求めよ.

問題3 複素平面において, 半円上の積分路 C_A および実軸上の積分路 C_B からなる周回積分路 C を下図のように定義する. ただし, 半円の半径 R は1より大きいとする. このとき, 以下の問いに答えよ.

問1 次の周回積分を計算せよ.

$$\oint_C f(z) dz$$



問2 次の積分を求めよ.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{x \sin x}{x^2 + 1} dx$$

なお, 以下を用いて良い.

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \int_{C_A} f(z) dz = 0$$

II 物理学

以下の4問(II-1, II-2, II-3, II-4)から3問選択して解答せよ. 解答にあたっては, 結果だけでなく導出過程も記せ.

II-1 (選択)

図1のように, 支点を軸に長さ l のひもの先に質点を付けた単振り子(ブランコ)を考える. 質点の質量を m , 振り子の鉛直方向からなす角を θ , 軌道と接線方向の速度を v , ひもの張力を T , 重力加速度を g とする. 空気抵抗やひもの質量は無視できるとする. 以下の問題に解答せよ.

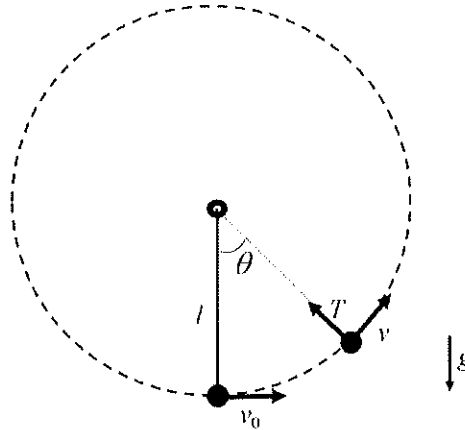


図1

- 問題1 最下点で初速 v_0 を水平に質点へ与えた時, 初速 v_0 の大きさによりブランコの挙動が変わることを考える. 以下の問いに答えよ.
- 問1 質点が鉛直方向となす角 θ にある時, ひものに働く張力 T を接線方向の速度 v と θ の関数として表す式を求めよ.
- 問2 エネルギー保存則より, ある地点での速度 v を θ の関数で表す式を求めよ.
- 問3 ひもの張力 T を初速 v_0 と θ の関数で表す式を求めよ.
- 問4 初速 v_0 を徐々に大きくしていくと, θ が $\pi/2$ を超えひもがたるむことがある. ひもがたるむ現象が起こりはじめる初速 v_0 の条件を求めよ.

問5 さらに初速 v_0 を大きくしていくと、ひもはたるまなくなる。その時の初速 v_0 を示せ。また、それよりも初速が大きくなるとどのような運動になるか説明せよ。

問題2 図2のように質点を鉛直方向となす角 θ_0 まで引き上げ、静かに手を離す。ただし $\theta_0 \leq \pi/2$ 。また、ひもはたるんでいない。以下の問いに答えよ。

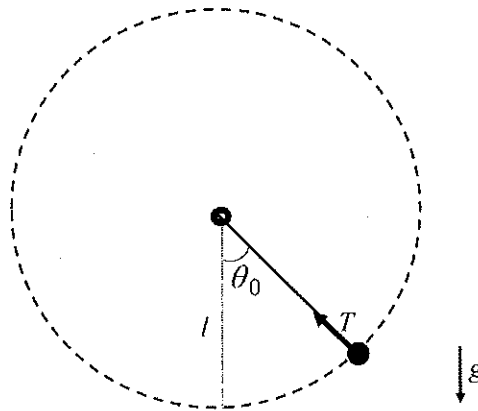


図2

問1 鉛直方向となす角 θ の位置でひもにはたらく張力 T を θ の関数として表す式を求めよ。

問2 ひもにかかる張力が大きくなると強度を超え、ひもが切れる。その張力の限界はブランコに質量 m_0 を静かに吊るした時の重力に等しいとする。ここで、 θ_0 の角度が $\pi/4$ となる位置にあるブランコから、静かに手を離した瞬間に、ひもが切れるための質量 m の条件を求めよ。

問3 問2とおなじ強度のひもでできたブランコを考える。 θ_0 の角度が $\pi/4$ となる位置までブランコを引き上げ、静かに手を離し、質点が振動する時、ひもが切れずに振動を継続することのできる質量 m の条件を求めよ。

II-2 (選択)

図1に示すように、真空中で、単位長さ当たりの巻き数 n 、半径 a で x 軸方向に無限に長いソレノイドコイルに定常電流 I が流れているとする。磁束密度を B 、真空の透磁率を μ_0 とする。以下の問題に解答せよ。

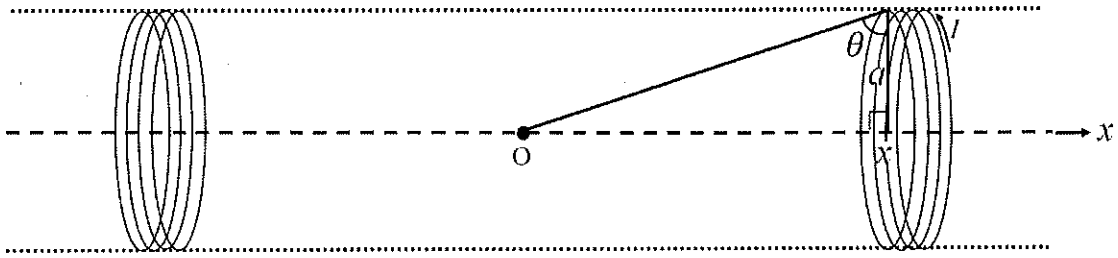


図1

問題1 ソレノイドコイルの中心線上の磁束密度 B を求めるため、以下の問いに答えよ。

問1 まず、図2に示すように位置 x にあるひと巻きのコイルに流れる円電流 I について考える。中心線上の原点 O における x 軸方向の磁束密度 B を x の関数として表す式を求めよ。ただし、電流素片 $I ds$ の作る原点 O での磁束密度の大きさは $dB = \mu_0 I ds / (4\pi(a^2 + x^2))$ となることを用いる。

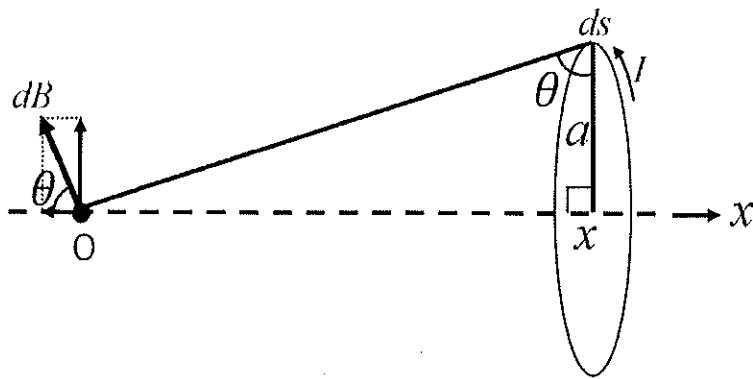


図2

問2 図1のソレノイドコイルの中心線上では $B = n\mu_0 I$ となることを示せ。積分に際し、変数変換 ($x = a \tan \theta$, $dx = \frac{a}{\cos^2 \theta} d\theta$) を用いることができる。

問題2 ソレノイドコイルの磁束密度 B を求めるため、以下の問いに答えよ。

問1 図3に示すようにソレノイドコイル内部に中心線を含む長方形の閉曲線 C_1 をつくり、その閉曲線にアンペールの法則($\oint_{C_1} \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu_0 I_c$, $d\vec{r}$ は閉曲線に対して接線方向のベクトル, I_c は閉曲線内を通る総電流)を適用し、ソレノイドコイルの内側では、どこでも $B = n\mu_0 I$ になることを示せ。

問2 図3に示すようにソレノイドコイルの内部と外側を含む長方形の閉曲線 C_2 をつくり、その閉曲線にアンペールの法則を適用し、ソレノイドコイルの外側では $B = 0$ となることを示せ。

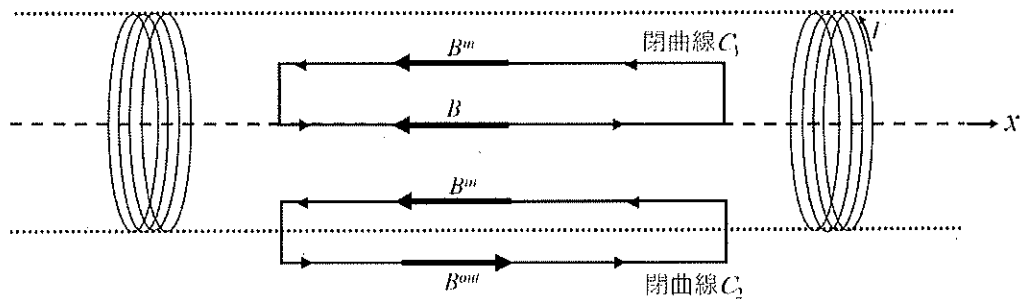


図3

問題3 図4のように半径 l の円形コイルの中心線上に、半径 a , 長さ $2l$, 単位長さ当たりの巻き数 n のソレノイドを置いた。ソレノイドの重心は円形コイルの重心と一致しているとする。ただし $a \ll l$ とする。ここで、円形コイルに定常電流 I を流した時、中心線上に作る磁場がソレノイドを貫く磁束は $\Phi = LI$ と表せる。ここで L は円形コイルとソレノイド間の相互誘導係数である。この相互誘導係数 L を求めよ。

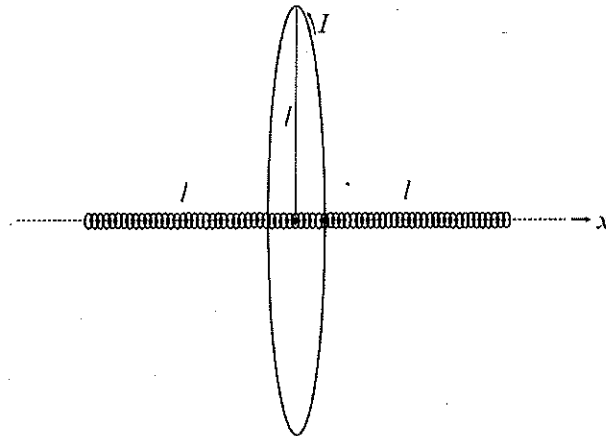
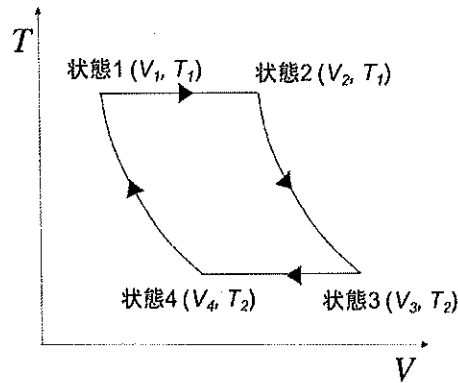


図4

II-3 (選択)

黒体の熱放射（黒体放射）による内部エネルギー密度 u [J/m^3] は、ステファン・ボルツマンの法則から絶対温度 T を用いて $u = \sigma T^4$ ($\sigma > 0$ は定数) と表される。また、圧力 p は状態方程式 $p = u/3$ で与えられ、体積 V には依らない。この体積 V の真空の空洞内での熱放射によるカルノーサイクル (図) を考える。すなわち、状態 1 から 2 は温度 T_1 での等温膨張、状態 2 から 3 は断熱膨張、状態 3 から 4 は温度 T_2 での等温圧縮、状態 4 から 1 の断熱圧縮で元に戻る。ただし、すべての過程は準静的であるとする。以下の問題に解答せよ。



- 問題 1 熱力学第一法則から、この系の内部エネルギーの変化 dU は、その系に外部から与えられる熱量 dQ と外部からなされる仕事 $-pdV (=dW)$ を用いて $dU = dQ - pdV$ と表される。体積 V の空洞における熱放射の内部エネルギーは $U = Vu$ である。この系に与えられる熱量 dQ を体積変化 dV と温度変化 dT を用いて表せ。
- 問題 2 問題 1 の結果を用いて、この系の断熱過程における体積 V と温度 T の関係が $VT^3 = \text{一定}$ (あるいは $TV^{1/3} = \text{一定}$) となることを示せ。
- 問題 3 この系のエントロピーが $S = (4/3)\sigma T^3 V + \text{定数}$ と表せることを示せ。
- 問題 4 熱放射する体積 V の空洞の定積熱容量が $C_v = 4\sigma T^3 V$ と表せることを示せ。
- 問題 5 状態 1 から 2 は、一定温度 T_1 で、体積が V_1 から V_2 に増加する。このとき空洞が受ける仕事 dW と吸収する熱量 dQ を求めよ。
- 問題 6 状態 2 から 3 は、断熱過程で、温度は T_1 から T_2 、体積は V_2 から V_3 に変化する。このとき空洞が受ける仕事 dW を求めよ。

II-4 (選択)

地球表面外での地球による万有引力ポテンシャルが

$$V(r) = -\frac{GM}{r} \left\{ 1 - \left(\frac{a}{r}\right)^2 J_2 P_2(\sin \phi) \right\} \quad (1)$$

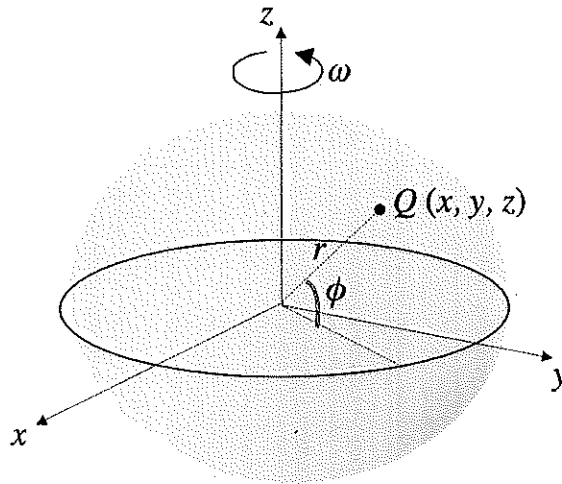
で与えられるとする。ただし、 G は万有引力定数、 M は地球の全質量、 a は地球の平均半径、 r は位置 r の地球重心からの距離、 ϕ は緯度である。また P_2 は2次のルジャンドル多項式 $P_2(\sin \phi) = (3\sin^2 \phi - 1)/2$ で、 J_2 はその係数である。さらに地球は赤道方向に膨らんだ回転楕円体に近いとする。以下の問題に解答せよ。

問題1 係数 J_2 は、図のような x 軸、 y 軸、 z 軸それぞれの周りの慣性モーメント A, B, C を用いて、次式のように表せる。以下の問いに答えよ。

$$J_2 = \frac{1}{Ma^2} [C - (A + B)/2] \quad (2)$$

問1 慣性モーメント A, B, C の定義を、 (x, y, z) での微小質量 dM と積分記号を用いて記せ。

問2 係数 J_2 の符号はどうなるか。慣性モーメント A, B, C の大小関係を述べて20字程度で説明せよ。



問題2 自転する地球に固定した座標系では、地球の自転角速度 ω による遠心力も考慮する必要がある。以下の問いに答えよ。

問1 自転する地球表面に固定した座標系での点 $Q(x, y, z)$ における単位質量にかかる遠心力の大きさを r, ϕ, ω を用いて記せ。

問2 前問の座標系での点 $Q(x, y, z)$ における遠心力の x, y, z 方向の3成分を記せ.

問3 遠心力ポテンシャル U を r, ϕ, ω を用いて記せ.

問題3 地球が平衡状態にある流体であるとすれば、地球表面では一定の等ポテンシャル面 $V = -V_0$ でなければならない. 問題2の U を用いると,

$$-\frac{GM}{r} \left\{ 1 - \left(\frac{a}{r}\right)^2 J_2 P_2(\sin \phi) \right\} + U = -V_0 \quad (3)$$

となる. ここで式(3)を

$$r(\phi) = \frac{GM}{V_0} \left\{ 1 - \left(\frac{a}{r}\right)^2 J_2 P_2(\sin \phi) - \frac{rU}{GM} \right\} \quad (4)$$

と変形する. 式(4)の右辺{ }内の第2, 3項は1に比べて十分小さいことから, 右辺{ }内では $r = a$ で近似できることを用いて, 地球表面の形状 r を緯度 ϕ の関数 $r(\phi)$ として示せ.

問題4 回転楕円体の幾何学的扁平率 f の定義を $r(0)$ と $r(\pi/2)$ を用いて示せ.

問題5 問題3の結果に基づいて, 幾何学的扁平率 f を J_2, a, ω, G, M を用いて表せ.

Ⅲ 化学

以下の3問(Ⅲ-1, Ⅲ-2, Ⅲ-3)すべてに解答せよ。解答にあたっては、結果だけではなく導出過程も記せ。

Ⅲ-1 (必須) 以下の問題に解答せよ。

問題1 ヘリウムは原子番号 の元素で、安定同位体は 個ある。宇宙では 番目に多い元素であり、乾燥した地球の空気中においてはネオンに次ぎ 番目に多い成分である。ヘリウムは化学的に不活性であるため工業的にも多用されている。寒剤としても用いられ、元素の中で 番目に沸点が低い。

問1 空欄 ~ にあてはまる適切な整数を答えよ。

問2 ヘリウムが下線部に記されている特徴を持つ理由を50字以内で記せ。

問3 ヘリウムとネオン以外の不活性ガスを1つ記せ。

問題2 ${}^4\text{He}$ はウラン (U) などの原子核がアルファ崩壊を起こすことによって増える。天然におけるウランの中には、半減期 7.1×10^8 年の ${}^{235}\text{U}$ (壊変定数を λ_5 [1/年] とする) と、半減期 4.5×10^9 年の ${}^{238}\text{U}$ (壊変定数を λ_8 [1/年] とする) が主に存在し、崩壊系列に沿ってそれぞれ ${}^{207}\text{Pb}$ と ${}^{206}\text{Pb}$ の安定同位体になる。 $\exp(\lambda_8 \times 10^6) - 1 = 1.5 \times 10^{-4}$, $\exp(\lambda_5 \times 10^6) - 1 = 1 \times 10^{-3}$ として、以下の問いに答えよ。

問1 初期に存在する ${}^{238}\text{U}$ と ${}^4\text{He}$ の量をそれぞれ $[{}^{238}\text{U}]_0$ と $[{}^4\text{He}]_0$ として、 t 年後の ${}^4\text{He}$ 量 ($[{}^4\text{He}]_t$) を表す式を答えよ。

問2 1 mol の ${}^{238}\text{U}$ の中で100万年間に生成する ${}^4\text{He}$ の mol 数を有効数字2桁で答えよ。

問3 1 mol の ${}^{235}\text{U}$ から100万年間に生成される ${}^4\text{He}$ の数と、1 mol の ${}^{238}\text{U}$ から100万年間に生成される ${}^4\text{He}$ の数の比 (${}^{235}\text{U}$ 由来の $[{}^4\text{He}]$ / ${}^{238}\text{U}$ 由来の $[{}^4\text{He}]$) を有効数字1桁で答えよ。

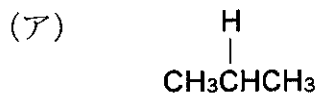
問4 ^{238}U と ^{235}U , ^4He のみが存在する系において, 初期に原子比として $^{235}\text{U}/^{238}\text{U} = 1$, $^4\text{He}/^{238}\text{U} = 1.8 \times 10^{-3}$ の時, 100 万年後の ^4He と ^{238}U の原子比 $^4\text{He}/^{238}\text{U}$ を有効数字 1 桁で答えよ.

Ⅲ-2 (必須) 以下の問題に解答せよ。

問題1 次の2つの電子配置で示されるイオンの化学式を答えよ。

(ア) $1s^2 2s^2 2p^6$ の二価陽イオン。 (イ) $1s^2 2s^2 2p^6$ の一価陰イオン。

問題2 次の2つの分子を表す式に、一で示した結合の極性を記号で書き込め。



問題3 以下の各有機溶媒から極性の最も高い分子と最も低い分子を答えよ。

アセトン(プロパノン)、ベンゼン、クロロホルム(トリクロロメタン)、ジエチルエーテル(エトキシエタン)、エタノール、メタノール、ヘキサン

問題4 油脂とは (1) という物質に3つの (2) が結合した有機化合物のことである。(2) の骨格は長い炭素鎖からなり、その末端についている (3) が (2) と結合する。(2) を構成する炭素間の結合に二重結合がないものを (4) , あるものを (5) という。バターには (4) が比較的多く含まれているが、オリーブ油には (5) が多く含まれている。

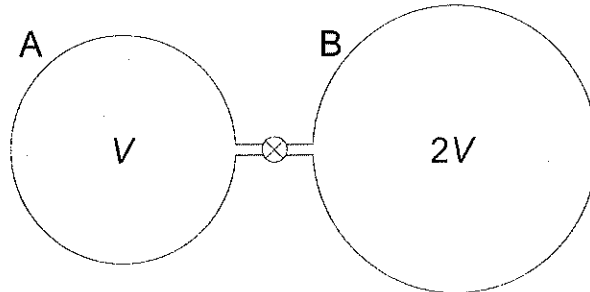
問1 空欄 (1) ~ (5) にあてはまる適切な語句を答えよ。

問2 空欄 (1) の物質の構造式を答えよ。

問3 バターは常温で固体であるが、オリーブ油は液体である。この理由を200字程度で答えよ。

III-3 (必須)

容積 $V[\text{m}^3]$ と $2V[\text{m}^3]$ の2つの容器 A と B が、中央にバルブのある細い管で連結されている。以下の問題に解答せよ。



- 問題 1 バルブが開放されており、恒温槽によって、容器 A 内と容器 B 内は、それぞれある一定の温度に保たれている。容器 A に n mol, 容器 B に $4n$ mol 単原子分子の理想気体が入っているとき、容器 A 内の温度を T [K] としたときの容器 B 内の温度を答えよ。
- 問題 2 次に、バルブを開いたまま、恒温槽を用い、容器 A 内の温度を T [K] に保ち、容器 B 内の温度を $2T$ [K] にする。十分時間がたち定常状態に達したときの圧力は、はじめの何倍となるか答えよ。
- 問題 3 続いて、バルブを閉じた後、容器 A 内の温度を $3/2 T$ [K] にした (容器 B 内は $2T$ [K] のまま)。そして、容器 A と B を恒温槽から取り出し、全体を速やかに断熱材で囲んだ後、バルブを開いた。この直後、容器内の気体はどのように流れるか、以下のうちから選べ。
(a) A から B へ流れる。 (b) 流れない。 (c) B から A へ流れる。
- 問題 4 問題 3 の操作後、十分時間がたった後の、容器内の気体の温度と圧力を答えよ。もし解答に気体定数が必要な場合は、記号 R [$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$] を用いよ。
- 問題 5 バルブが閉じられた状態で、恒温槽で一定温度に保たれた容器 A と B に、それぞれ、3 mol の理想気体 A と 5 mol の理想気体 B が入っている。バルブを開放し、気体 A と B を等温で混合させたときのエントロピー変化 [J K^{-1}] を有効数字 2 桁で答えよ。ここで、気体定数 $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $\ln 1.5 = 0.41$, $\ln 3 = 1.10$ とする。

IV 地球科学 I

以下の3問 (IV-1, IV-2, IV-3) すべてに解答せよ。

IV-1 (必須) 図は顕生代における大気中の酸素濃度と二酸化炭素濃度の変動および海棲生物の多様性変動を示している。以下の問題に解答せよ。

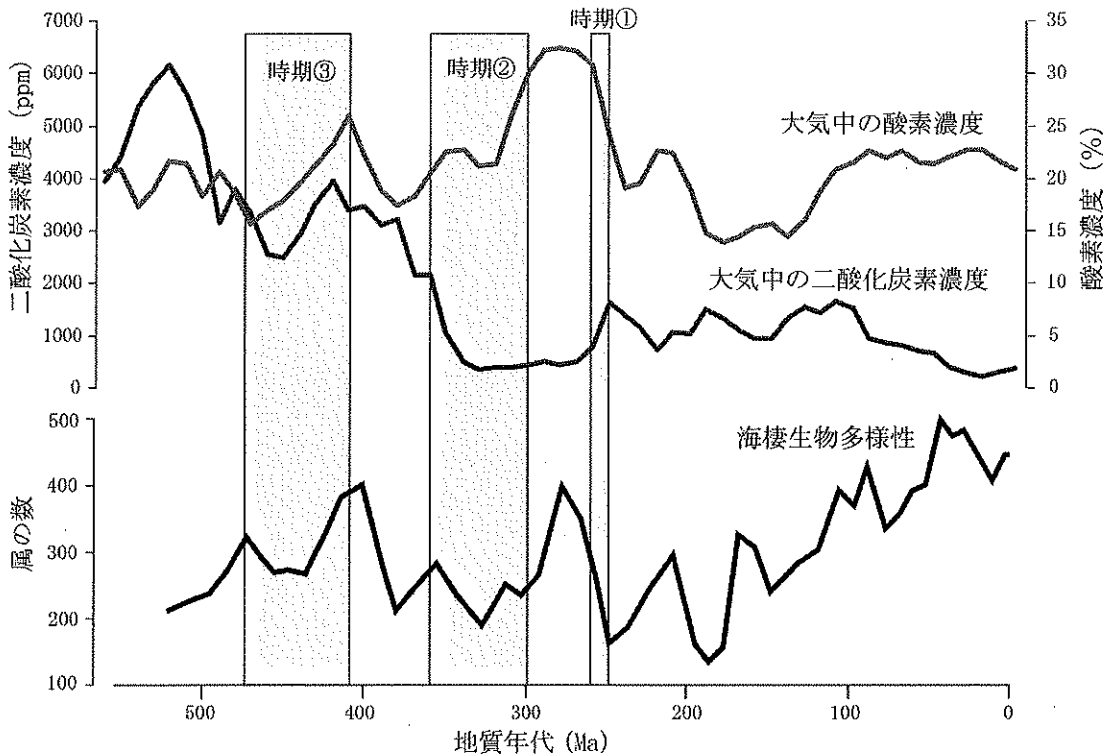


図 顕生代における酸素濃度と二酸化炭素濃度の変動および海棲生物多様性変動 (Alroy, 2010 と Haworth et al., 2011 を改変).

問題1 図に示したような長時間軸上での生物多様性変動を復元する場合、陸棲生物ではなくて、海棲生物の化石記録が用いられることが多い。この理由を陸成層と海成層を堆積学的・層序学的な視点で比較しながら、50字程度で述べよ。

問題2 図には生物多様性の大幅な減少が複数回認められる。この現象は何と呼ばれているか答えよ。また、この現象が生命進化に与えた影響について以下の語句を全て用いて50字程度で述べよ。

ニッチ 形態 生態

- 問題 3 問題 2 の現象は、1970 年代から認識されてきた。その多くが代や紀または期の境界と一致することが知られている。この理由を 30 字程度で答えよ。
- 問題 4 図中の時期①には汎世界的に有機炭素量が多い黒色頁岩が堆積したことが知られている。この黒色頁岩を堆積させた現象は何と呼ばれているか答えよ。また、この現象の要因について 100 字程度で述べよ。
- 問題 5 図中の時期②には顕著な酸素濃度の上昇と二酸化炭素濃度の低下がみられる。これには 2 つの要因が考えられる。あわせて 40 字程度で述べよ。
- 問題 6 図中の時期③には、大規模な生物の生息場の拡大が起こったことが知られている。具体的にどのような拡大が起こったか答えよ。

IV-2 (必須) 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

図1に示す地域は、一つの残丘を除き標高100~200 mのなだらかな地形より構成される。本地域のほとんどは風化土壌に覆われているが、図1に示す2つのルートで地層の欠如がないルートマップが得られた。これらの地層は、地質時代に形成された花こう岩と海成の堆積岩層である。花こう岩と堆積岩層の境界は不整合で、堆積岩層は下位より礫岩層(ユニットA)、流紋岩質凝灰岩と泥岩が繰り返す層(ユニットB)および安山岩質凝灰岩を含む砂岩優勢砂岩泥岩互層(ユニットC)が重なる。また、本地域の中央部に走向傾斜がEW30°Nの断層が存在する。さらに、本地域では堆積岩層の走向傾斜はNS35°Eで一定である。

- 問題1 地質調査において、礫岩の観察から何が推定出来るのか、2つの観察事項をあげ、それぞれから得られる情報を答えよ。
- 問題2 安山岩質凝灰岩層と下位の砂岩優勢砂岩泥岩互層との境界は、標高110 mの地点Xから地点Yまで地質図学を用いてどのように追跡されるか、図2のa~dから正しいものを選び答えよ。なお、 $\tan 35^\circ = 0.7$ とする。
- 問題3 図1の断層は断層面上の条線方位から、純粋な縦ずれ断層であることが明らかとなった。さらに、図1に示すように、この断層に沿って鍵層である安山岩質凝灰岩層は見かけ上500 m水平方向に変位している。この断層は正断層か、逆断層かを答えよ。また、この断層の条線方向に沿う真の変位量(ネットスリップ)を答えよ。
- 問題4 ユニットBでは泥岩の層厚に対する流紋岩質凝灰岩の層厚の比は、ルートIIよりルートIで高くなっているが、この事実から推定される泥岩層と流紋岩質凝灰岩層の堆積関係を答えよ。
- 問題5 ユニットBの泥岩は示相化石より深海成層と推測された。ユニットAからユニットBへの堆積相の変化はどのような堆積環境の変化を示すのか答えよ。また、このような急激な堆積環境の変化をもたらした構造運動を答えよ。

問題6 ユニットBおよびユニットCの絶対年代は、それぞれ約18 Maおよび約15 Maであると推定された。ユニットA, BおよびCから構成される層序は、西南日本のある地域に実際に存在するが、この層序はどのような事変で形成されたか、下記の語群から1つ選んで記号で答えよ。

- (a) 秋吉台海山の衝突, (b) 中央構造線の形成, (c) 日本海の拡大,
 (d) 瀬戸内海の形成, (e) フィリピン海プレートの沈み込み

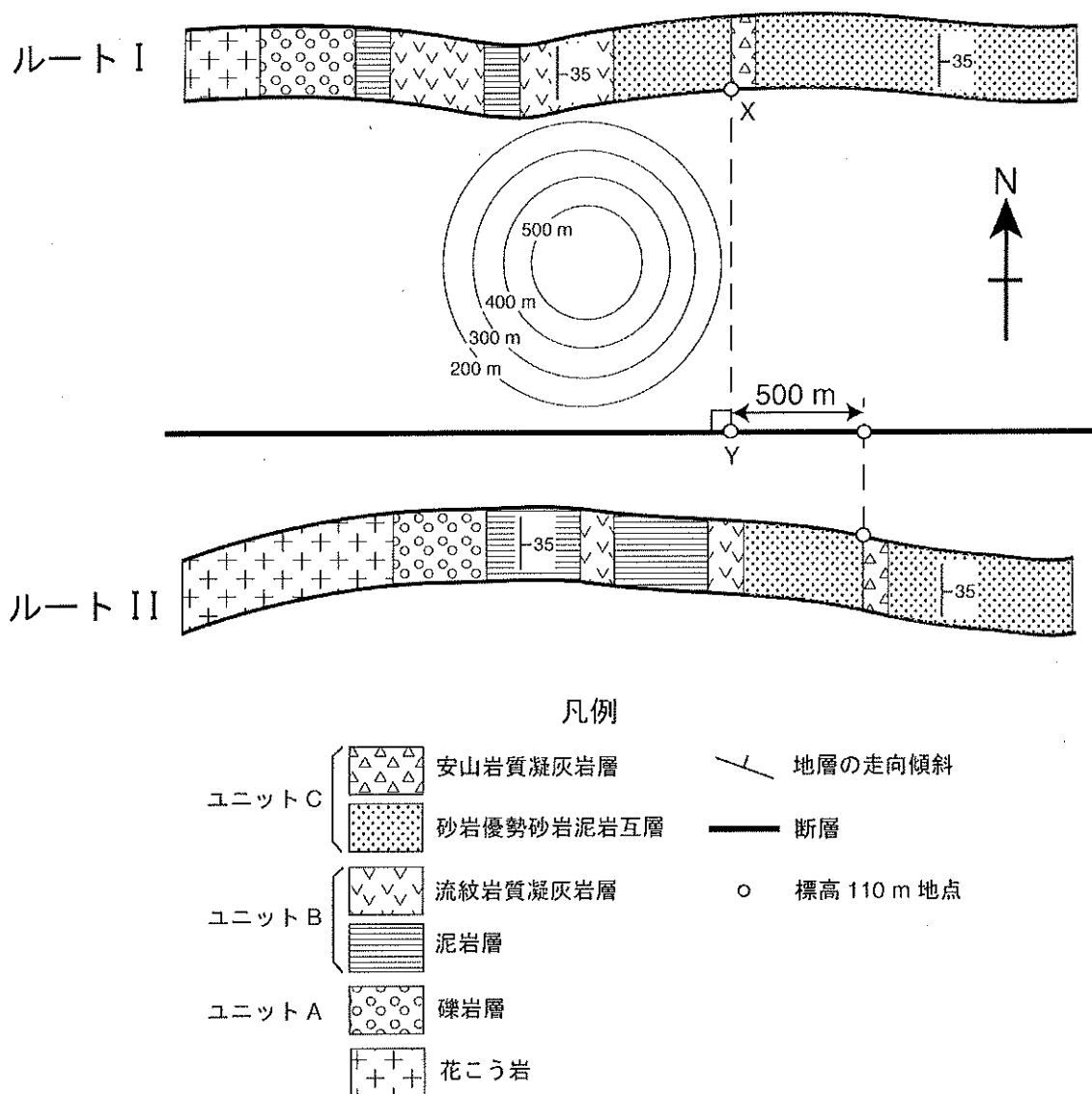


図1 ある地域のルートマップ

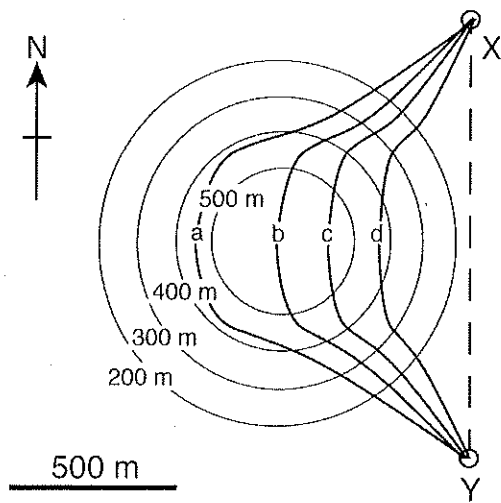


図2 地質図学を用いた地層境界のマッピング

IV-3 (必須) 図を参考にして、以下の問題に解答せよ。

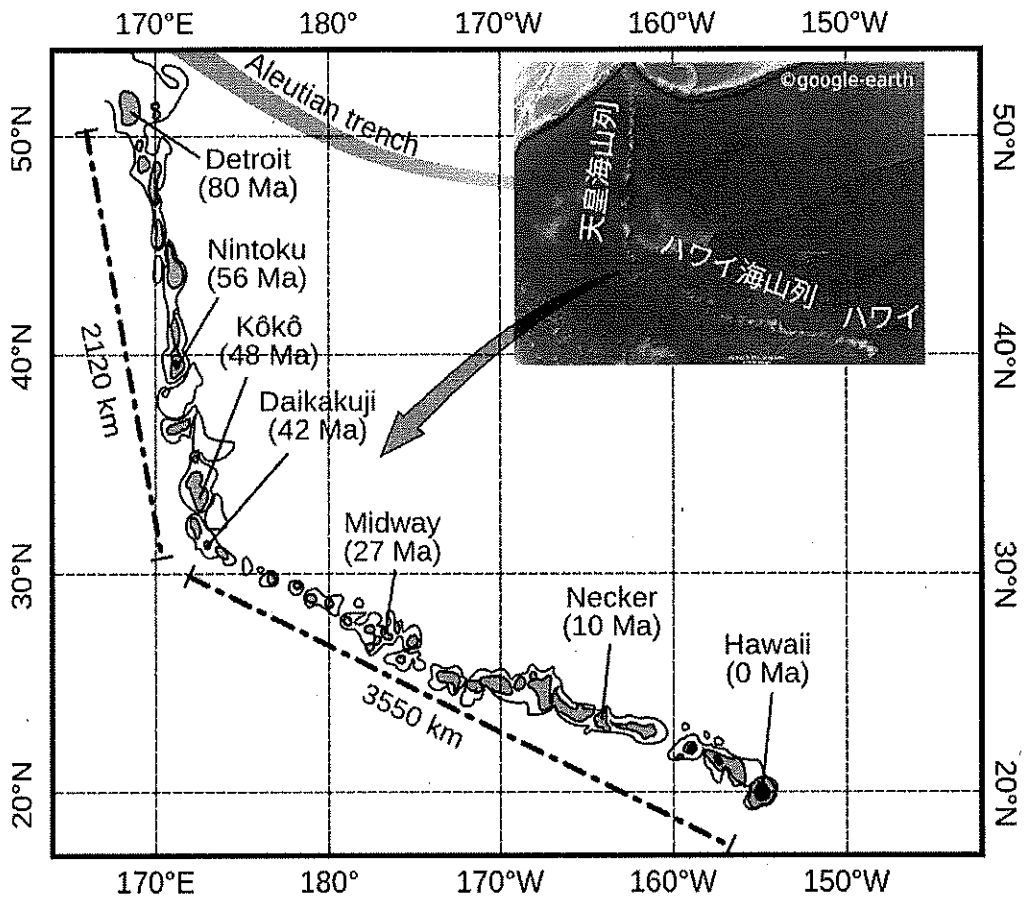


図 ハワイ海山列と天皇海山列 (Martin, 2005 と Google Earth を改変)

- 問題1 ハワイ海山列と天皇海山列は共通起源をもつと考えられている。それぞれの海山列が直線的に並んでいること、および2つの海山列の方向が異なっている理由について合わせて100字程度で述べよ。
- 問題2 ハワイ海山列と天皇海山列の海底火山は火山島として成長し、活動が終了すると海面下に没する。水没する理由を40字程度で述べよ。
- 問題3 問題2で述べた火山の成長過程でマグマの特徴はどのように変化するか、80字程度で述べよ。
- 問題4 図を用いて、2つの海山列が形成された時のそれぞれのプレート移動速度 (cm/yr)を有効数字1桁で答えよ。ただし、それぞれの時期のプレート移動速度は一定であったとする。

V 地球科学 II

以下の4問 (V-1, V-2, V-3, V-4) すべてに解答せよ。

V-1 (必須) 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

1980年5月18日、米国ワシントン州のセントヘレンズ火山は20世紀を代表する大噴火を起こした。図1は噴火までの活動推移をまとめたものである。1980年3月20日午後、山体浅部を震源とする火山性地震が活発化しはじめた。地震の規模を表す(ア)は2~5であり、一日あたり数10回の頻度で発生するようになった。3月27日午後からは、山頂付近で (a)水蒸気爆発が頻発するようになり、複数の爆裂火口が形成された。 また、山体の北側斜面は1日あたり1~3m隆起し、多数の断層が形成された。以上のことから、山体内部に高温のマグマが貫入し、(イ)ドームを形成していたと考えられている(図1A)。

5月18日8時32分、連日の隆起により不安定になっていた北側斜面はついに崩壊し、山体を構成する岩石が大規模に流れ下る現象である(ウ)が発生した(図1B)。 (b)その直後、崩れた山体内部から高温の火砕物とガスの混合物が爆発的に噴出し、希薄な状態で横方向に流れる(エ)が発生した(図1C)。 その平均速度は230 km/hと推定され、付近15 kmの範囲まで大木をなぎ倒し、より遠方では樹木表面を立木のまま焦がした。さらに、山体の破壊により開いた火道からマグマが勢いよく噴出し、噴煙柱を空高く立ち上げる(オ)式噴火が発生した(図1D)。 (c)噴煙柱はわずか10分間で高度20 kmに到達し、水平方向に広がった。 噴火はその後9時間にわたり継続し、同日17時30分ごろから弱まりはじめ、翌朝にはおおむね停止した。

この噴火ではデイサイト質マグマが噴出した。 (d)斑晶鉱物は斜長石、直方輝石、単斜輝石、角閃石、鉄チタン酸化鉱物であった。 噴出物の解析により、噴火前のマグマの状態や性質が詳しく推定されている。

問題1 空欄(ア)~(オ)にあてはまる適切な語句を以下の語群から選び答えよ。

震度 マグネタイト マグニチュード 岩塩 潜在 石灰華
洪水 火映現象 岩屑なだれ 火道流 火砕サージ ハワイ
ストロンボリ プリニー カルデラ 火山弾 水冷破碎 間欠泉

問題2 下線部(a)について、水蒸気爆発が発生する仕組みを50字以内で説明せよ。

問題3 下線部(b)について、(エ)は(ウ)によって山体の一部が失われ、マグマおよび熱水系にかかる圧力が急低下したことにより誘発されたと考えられている。圧力の急低下がマグマおよび熱水系にどのような影響を与え(エ)を誘発したのか、100字以内で説明せよ。

問題4 下線部(c)について、噴煙柱が立ち上がり、ある高度で上昇を停止するまでの過程を、噴煙の密度と大気を取り込み過程に着目して150字以内で説明せよ。

問題5 この噴火のマグマ溜まりの圧力は220 MPaであることが判明した。そこで、噴出物を粉末にし、全圧220 MPaを維持しながら様々な温度、H₂O分圧条件で保持する実験を行ったところ、図2の相平衡図が得られた。図2と下線部(d)の情報をもとに噴火前のマグマの上限温度を推定し、大まかな値を答えよ。

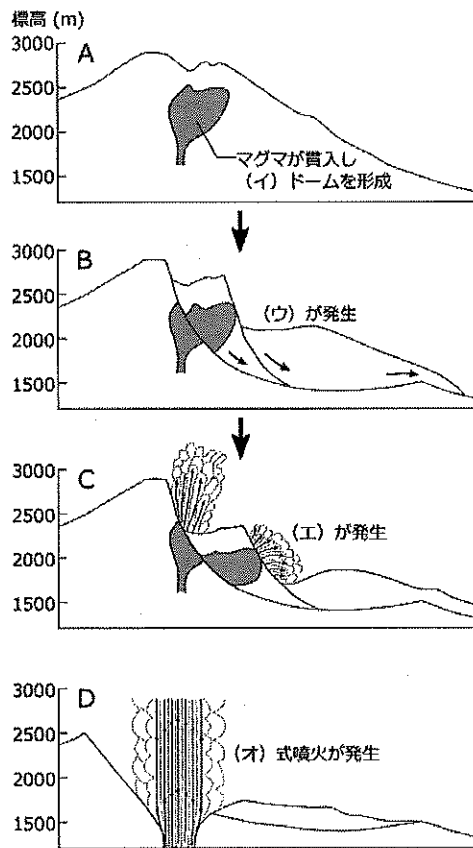


図1 噴火活動の推移 (Moore & Albee, 1980 を改変).

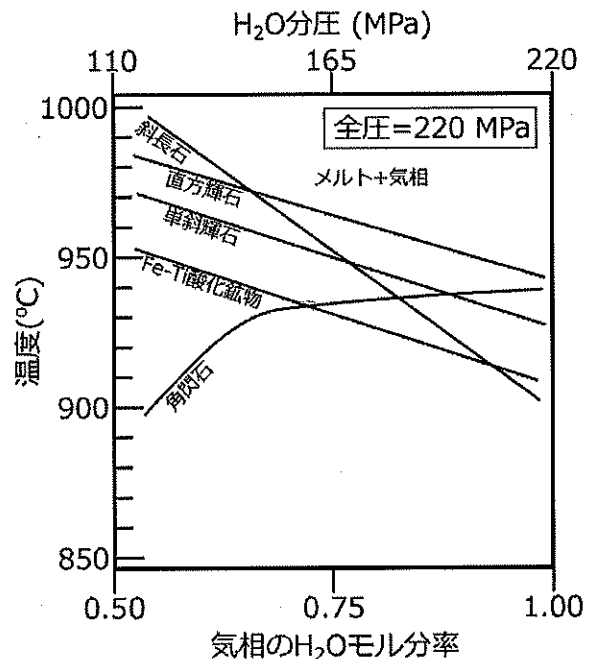


図2 圧力220 MPaにおけるセントヘレンズマグマの相平衡図 (Rutherford & Devine, 1988 を改変).

V-2 (必須) 以下の文章を読み, 問題に解答せよ。

地球上に産する火山岩の化学組成は非常に多様である (図 1)。このような多様性の一部は, (a)上部マントルの融解によって生成したばかりの (ア) マグマ (一般に玄武岩質) の段階で生じている。図 2 は主要なマグマ生成の場である (b) 中央海嶺, 沈み込み帯, ホットスポットの代表的な玄武岩, および上部マントルの代表的なカンラン岩の微量元素濃度を, 始原的マントルの濃度で規格化して示したものである。横軸の元素は全て, マントルの融解時にメルト側に入りやすい (イ) 元素であり, より右側のものほど全岩分配係数 (マントル/メルト) が大きくなるように配列している。これらの元素の中で, Zr や Nb などは (c) HFS 元素, Rb や Ba などは (ウ) 元素とよばれる。また (エ) などは軽希土類元素, (オ) などは重希土類元素に分類される。この図から, 中央海嶺, 沈み込み帯, ホットスポットの玄武岩は, 微量元素の規格化濃度のパターンの特徴が異なっていることが分かる。

マントルから上昇した (ア) マグマは, マントル-地殻の境界である (カ) 面や地殻内に定置して, マグマ溜まりを形成することがある。マグマ溜まり内では (d) 結晶分化作用, (e) 地殻物質の同化作用, (キ) などが起こることがあり, それらのプロセスによって, マグマの化学組成はさらに多様化する。

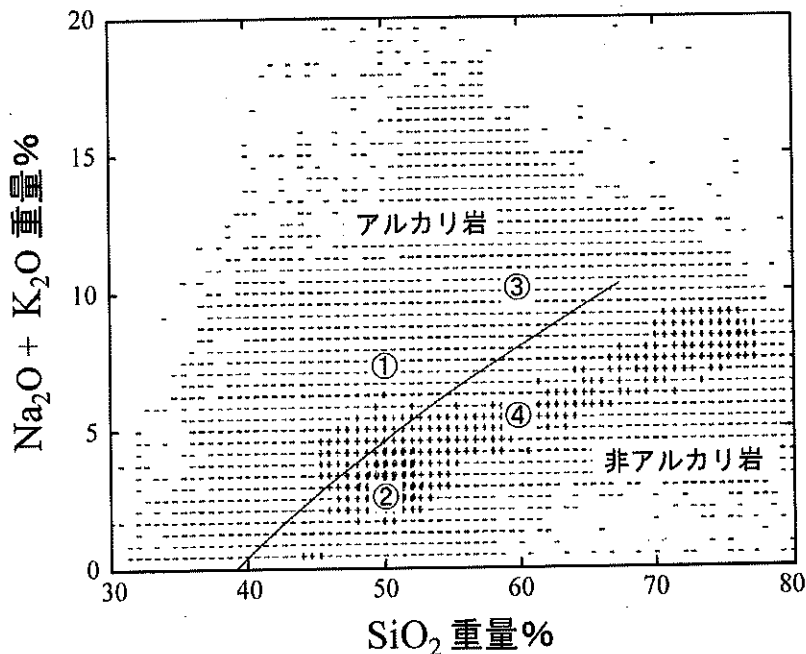


図 1 地球上における火山岩の化学組成の分布図 (Best, 2003, *Igneous and Metamorphic Petrology* より, 一部改変)

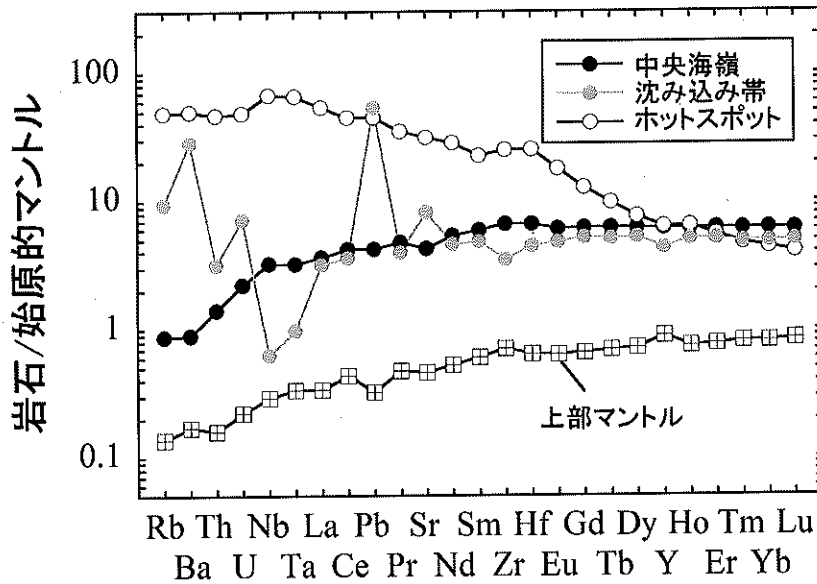


図2 中央海嶺，沈み込み帯，ホットスポットの代表的な玄武岩，および上部マントルの代表的なカンラン岩についての微量元素の規格化濃度 (Sun & McDonough, 1989 ほか)。

問題1 空欄 (ア), (カ), (キ) にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

問題2 空欄 (イ) にあてはまる適切な語を，以下から1つ選べ。

適合 不適合

問題3 空欄 (ウ) にあてはまる最も適切な語を，以下から1つ選べ。

CCD DCM GNP LIL TTG

問題4 空欄 (エ)・(オ) にあてはまる適切な元素を，図2の横軸の元素からそれぞれ1つずつ選び，元素記号で答えよ。

問題5 下線部(a)について，上部マントルの主要な構成鉱物を3つ挙げよ。

問題6 下線部(b)について，中央海嶺の玄武岩の化学組成として最も適当なものを，図1の①～④から1つ選べ。

- 問題 7 下線部(c)の HFS 元素とはどのような特徴をもつ元素のことか、20 字程度で答えよ。
- 問題 8 下線部(d)に関連して、 SiO_2 含有量が 51 重量%のマグマ A から、 SiO_2 含有量が 45 重量%の結晶が取り除かれることにより、 SiO_2 含有量が 60 重量%のマグマ B ができたとする。この場合、取り除かれた結晶の質量は、マグマ A の質量の何%かを答えよ。
- 問題 9 下線部(e)について、マグマ溜まり内で地殻物質の同化作用がどのように起こるのかを 50~100 字で説明せよ。
- 問題 10 図 2 の沈み込み帯と中央海嶺の玄武岩の元素濃度パターンを比較することにより、沈み込み帯のマントルでマグマの生成を引き起こす流体に特に含まれやすい元素を横軸から 1 つ選び、元素記号で答えよ。
- 問題 11 図 2 のホットスポットと中央海嶺の玄武岩マグマが同じマントル物質から生成されたものであるとすると、マントルの部分融解度はホットスポットと中央海嶺のどちらが高かったと考えられるか、理由とともに 50 字程度で答えよ。
- 問題 12 図 2 の上部マントルの規格化濃度は全般的に 1 より小さく、左下がりの元素濃度パターンを示している。このような特徴から、マントルの進化においてどのようなプロセスが起きていたことが分かるか、20 字程度で答えよ。

V-3 (必須) 鉱物の多形について、以下の問題に解答せよ。

問題1 多形とはどのようなものか、30字程度で説明せよ。

問題2 多形の関係にある鉱物Aと鉱物Bのギブスの自由エネルギー G_A および G_B の圧力一定における温度変化が図1の通りであるとき、以下の問いに答えよ。

問1 圧力一定のとき、鉱物のギブスの自由エネルギー G は、一般的に温度が上昇するとともに単調に減少する。それはなぜか、説明せよ。

ただし、可逆過程におけるギブスの自由エネルギー G の変化は、体積を V 、圧力を P 、エントロピーを S 、温度を T とすると、

$$dG = V dP - S dT$$

と表せる。

問2 図1より、圧力を一定に保ったまま高温から温度を低下させていくと、鉱物Aから鉱物Bへ相転移することが考えられる。両相のギブスの自由エネルギーが等しくなる温度 T_m における鉱物A,Bのエントロピーは、鉱物Aと鉱物Bのどちらが大きいのか、または同じか、理由をつけて答えよ。

問3 実際の系においては、温度が T_m より低下しても、相転移を起こさずに鉱物Aのまま存在することがある。それはなぜか、50字程度で説明せよ。また、そのときの鉱物Aの状態を何というか、答えよ。

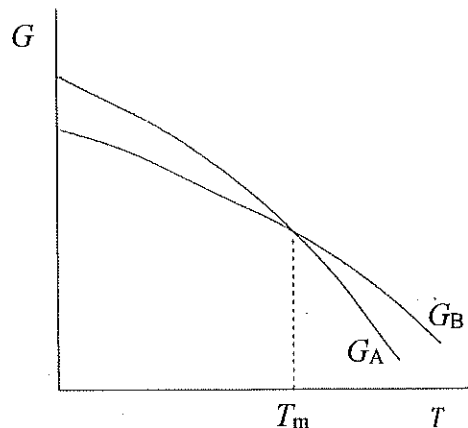


図1 鉱物AとBのギブスの自由エネルギーの温度変化

問題3 Al_2SiO_5 には3つの多形が存在し、それらの相関係は図2のようになることが知られている。これらについて、以下の問いに答えよ。ただし、鉱物名は、和名で答えても、英語名で答えてもよい。

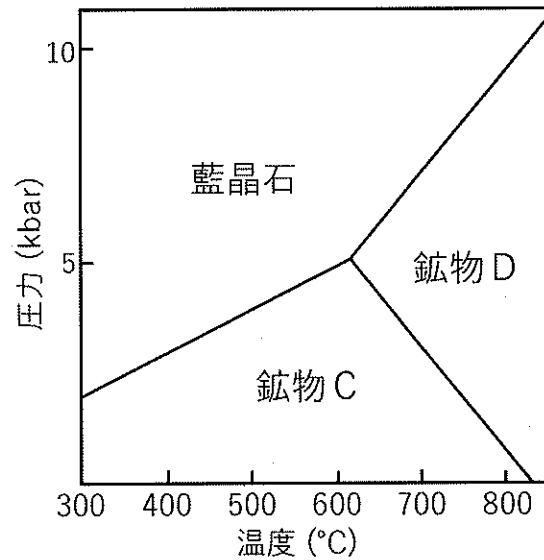


図2 Al_2SiO_5 多形の相関係

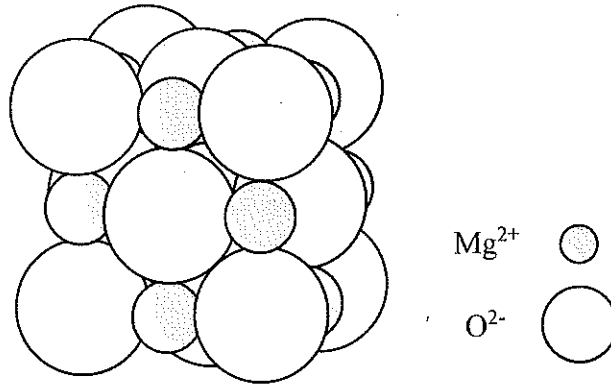
問1 鉍物CおよびDの鉱物名を、答えよ。

問2 藍晶石は SiO_4 四面体の結合様式に基づく分類によれば、ネソケイ酸塩鉱物に分類される。ネソケイ酸塩鉱物とはどのようなものか、50字程度で説明せよ。また、ネソケイ酸塩鉱物に分類される鉱物を、 Al_2SiO_5 鉱物以外に1つ、鉱物名で答えよ。

問3 図2において、3相が平衡に共存する温度、圧力条件が1点に決まってしまうことを、ギブスの相律 ($[\text{自由度}] = [\text{成分の数}] + 2 - [\text{相の数}]$) の観点から説明せよ。

V-4 (必須) 図は立方晶系に属するイオン結晶であるペリクレース(MgO)の結晶構造モデルである。イオンを剛体球と仮定して、以下の問題に解答せよ。計算問題は小数点第2位まで求め、必要に応じて以下の数値を用いよ。

$$\sqrt{2} = 1.41, \sqrt{3} = 1.73, \sqrt{5} = 2.24$$



問題1 Mg²⁺の配位数を答えよ。また、陽イオンがペリクレースと同じ配位数をとる結晶を下から1つ選べ。

螢石, 閃亜鉛鉱, 塩化ナトリウム, 塩化セシウム

問題2 Mg²⁺とO²⁻のイオン半径がそれぞれ0.72 Å, 1.40 Åである。ペリクレースの格子定数 a [Å]を求めよ。

問題3 問題2で求めた格子定数から、結晶格子面(200), (111)の面間隔 d_{200}, d_{111} [Å]を求めよ。

問題4 イオン結晶において、陽イオンの半径と、それに配位する陰イオンの半径をそれぞれ r_A, r_B とすると、陽イオンの配位数は r_A/r_B から予測できる。 r_A/r_B がどのような範囲である時、ペリクレースの場合と同じ配位数をとるか、答えよ。計算の過程も示すこと。

問題5 ペリクレースは、下部マントルの主要構成鉱物の1つとされるが、純粋なMgOでなく固溶体であると考えられている。以下の問いに答えよ。

問1 固溶体とはどのようなものか、50字程度で説明せよ。

問2 下部マントルにおいて、ペリクレースに最も多く固溶すると考えられている成分は何か、答えよ。