

2022（令和 4）年度 地球惑星科学専攻 大学院修士課程入学試験

試 験 問 題

基 礎 科 目

- * 試験時間は2時間.
- * 試験終了時刻前の退出は不可.
- * 問題冊子は、表紙を含めて15頁.
- * 問題1～7の7題のうちから2題を選択して解答すること.
- * 解答は、問題毎にそれぞれ別の解答用紙に記入すること.
それぞれの解答用紙の上部の所定欄に、受験番号、氏名、問題番号（1～7）を記入すること.
- * 解答用紙が不足する場合には、解答用紙裏面に解答を続けて記入してよい。その場合は解答が続くことを明示すること。追加の解答用紙を希望する場合は、試験時間中に挙手し、監督者に申し出ること.
- * 解答用紙は、白紙の場合も、すべてを提出すること.
- * 黒鉛筆または黒い芯のシャープペンシルを使用すること.
- * 時計類、定規類、電卓類の持ち込みは禁止.
- * 解答は日本語で行うこと.

基礎科目 (問題 1)

以下の問 [1] ~ [5] に答えよ. 導出過程も示すこと.

- [1] xyz 直交座標系における位置ベクトル $\mathbf{r} = (x, y, z)$ とスカラー関数

$$\phi = \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2}y^2 + \frac{1}{2}z^2 - xy$$

について, $\nabla \cdot (\phi \mathbf{r})$ および $\nabla \times (\phi \mathbf{r})$ をそれぞれ求めよ.

- [2] 媒介変数 t により $(x, y) = (t - \sin t, 1 - \cos t)$ と表示される曲線の, $t = 2\pi/3$ における接線の式を, x, y を用いて表せ.

- [3] xyz 直交座標系において, 平面 $2x - 5y + 4z - 3 = 0$ に関して, 原点 $O(0, 0, 0)$ と対称な点 P の座標を求めよ.

- [4] 次の連立微分方程式

$$\begin{cases} 3 \frac{dx_1(t)}{dt} + 2 \frac{dx_2(t)}{dt} + x_1(t) + x_2(t) = 0 \\ \frac{dx_1(t)}{dt} + \frac{dx_2(t)}{dt} + 7x_1(t) + 5x_2(t) = 0 \end{cases}$$

を, 条件 $x_1(0) = 3, x_2(0) = -3$ のもとで解け.

- [5] 次の微分方程式

$$\frac{dy}{dx} + y = \cos x$$

の一般解を求めよ.

(問題 1 終わり)

基礎科目（問題 2）

以下の問 [1] ~ [3] に答えよ。導出過程も示すこと。

- [1] 地上で停止中の飛行機内でおもりを吊したバネばかりが 9.80 N を指している。この飛行機が水平に加速度 4.90 ms^{-2} で地上で加速中のとき、このバネばかりは何 N を指すか。地上での重力加速度 g を 9.80 ms^{-2} とし、有効数字 2 桁で求めよ。必要であれば、 $\sqrt{2} \approx 1.41$, $\sqrt{3} \approx 1.73$, $\sqrt{5} \approx 2.24$ を使用せよ。
- [2] 小球が時刻 $t = 0$ で水平な地表 $z = 0$ から鉛直上向きにはね上がり、高さ $z = H$ に達した後、自由落下した。その後、小球は地表ではね返りと自由落下とを繰り返すが、地表ではね返る際に運動エネルギーを $\gamma (\ll 1)$ の割合で少しずつ失っている。このとき時刻 $t = 0$ から計って小球が弾み続ける時間を、近似を用いて求めよ。ただし重力加速度を g とする。必要であれば近似式 $(1 - x)^\alpha \approx 1 - \alpha x$ (ただし、 $|x| \ll 1$) を使用せよ。

(問題 2 次ページに続く)

[3] 次の文章を読み、以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ.

図1のような、質量 m_1 、半径 r_1 の球 A と、質量 m_2 、半径 r_2 の球 B からなる系を考える. 球 A と球 B は、均質で、かつ同じ密度をもつ剛体であり、初期状態では充分大きな距離 R を隔てて静止しているものとする. 球 A と球 B の中心を結ぶ直線と球 B の表面が交わる点を図1のように点 N および点 F とする. なお、球 B から球 A に向かう方向を正の向きとし、万有引力定数を G とせよ.

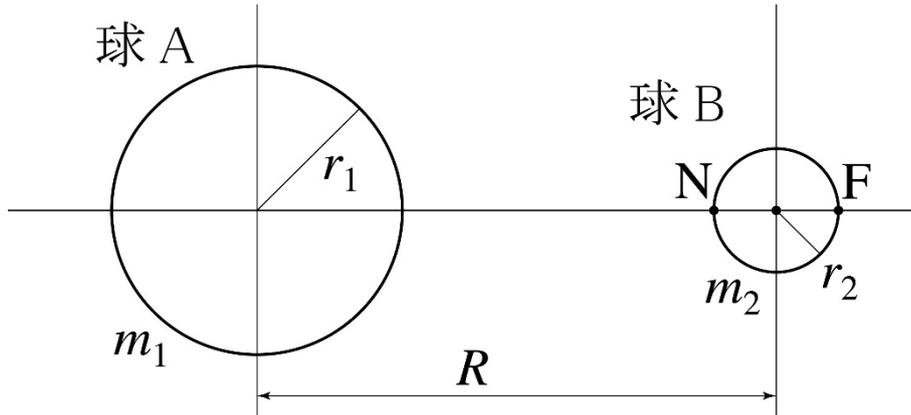


図1

- (1) 球 A の引力によって点 N および点 F に置かれた質点に生じる加速度を、それぞれ式で表わせ.
- (2) 球 A の引力によって、点 N および点 F の質点に加速度が生じるとともに、球 B にもまた加速度が生じる. このとき、球 B の中心から見た、点 N および点 F に置かれた質点の相対加速度を表す式を、 $R \gg r_2$ の条件下で求めよ. その際、近似式 $(1+x)^{-2} \approx 1-2x$ (ただし、 $|x| \ll 1$) を使用せよ.
- (3) 球 A と球 B がある距離以下に接近すると、点 N に置かれた質点が球 B から分離する. このときの、球 A, B の中心間の距離 R_c を表す式を、小問 (2) の結果を用いて求めよ.

(問題 2 終わり)

基礎科目（問題 3）

以下の問 [1] ~ [4] に答えよ．すべての問では真空中を考え，誘電率および透磁率はそれぞれ定数 ϵ_0 , μ_0 とする．また，導出過程も示すこと．単位系は SI 単位系とする．

- [1] 電気量がそれぞれ Q_1 , Q_2 , Q_3 の 3 つの点電荷を，図 1 のように一直線上に a の間隔で配置する．重力の影響は無視できるものとして，配置した瞬間にそれぞれの電荷に働く力を求めよ．また，この 3 つの電荷の位置が変わらないためには，各電気量をどのように選ばばよいか答えよ．

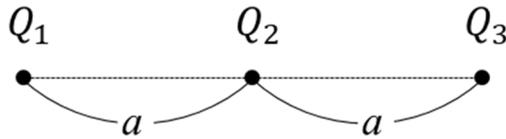


図 1

- [2] 図 2 のように厚さが無視できる半径 r_1 , r_2 , r_3 ($r_1 < r_2 < r_3$) の 3 つの同心導体球殻を配置し，それぞれ Q_1 , Q_2 , Q_3 の電気量が与えてある．各導体球殻の電位 V_1 , V_2 , V_3 を求めよ．また，一番内側の導体球殻を接地したときのエネルギー損失が

$$\frac{r_1}{8\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} + \frac{Q_3}{r_3} \right)^2$$

となることを示せ．

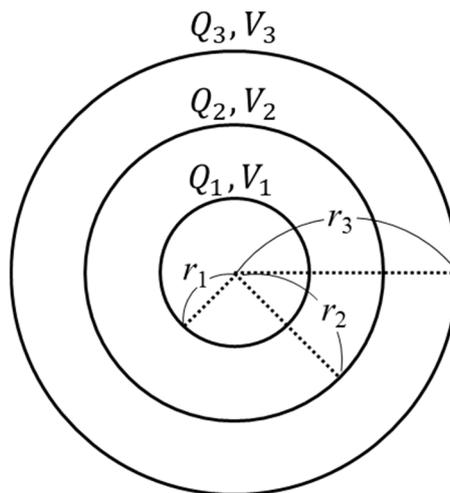


図 2

(問題 3 次ページに続く)

- [3] 太さが無視できる無限に長い2本の平行導線 A, B を, ある平面 α 上に間隔 d で配置する. 図3のように, 両導線から等距離となる平面 α 上の点 C から, 平面 α に対して垂直方向に距離 x だけ離れた点 P をとる. 平行導線に定常電流 I を互いに反対向きに流したとき, 点 P での磁場の強さを求めよ. また, この平行導線にはたらく単位長さあたりの力を求めよ.

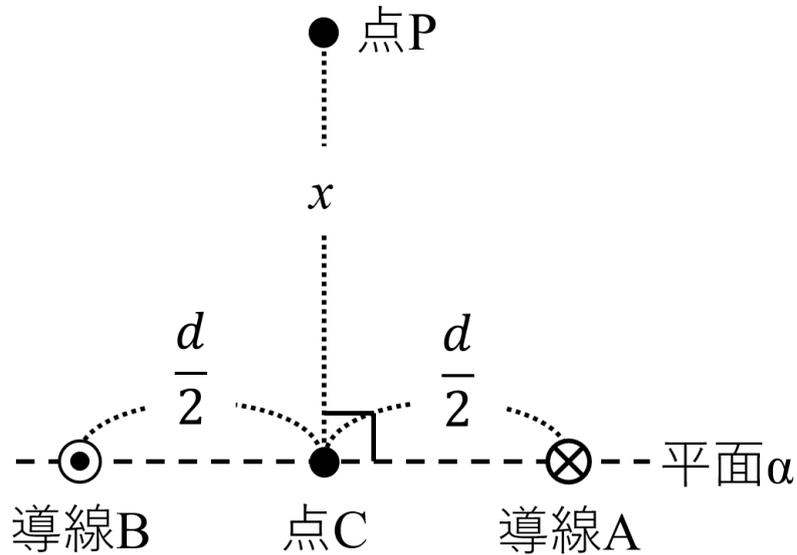


図3

- [4] xyz 直交座標系において, 強さ E の電場が y 軸の正の向きに, 強さ B の磁束密度が z 軸の正の向きに, それぞれ時間変化せず一様に存在する空間を考える. 質点とみなせる電気量 q , 質量 m の粒子が xy 平面内に描く軌跡を求めよ. また, その概略を図示せよ. ただし, 初期状態 (時刻 $t = 0$) では, 荷電粒子は原点に静止していたとし, 重力の影響は無視する.

(問題3 終わり)

基礎科目 (問題 4)

以下の問 [1] ~ [4] に答えよ。

[1] 次の文章を読み、下の小問 (1) ~ (4) に答えよ。

物質の状態は、一般に圧力、体積、温度の 3 つの変数で表すことができる。図 1 に示す実線は、1 mol の二酸化炭素の等温線を示したもので、点 A、点 B、点 C、点 D は 20 °C の等温線上にある。点 A の状態から、この等温線に沿って可逆的に圧縮させたとき、はじめは の法則に従って圧力が上昇するが、徐々に の法則からのずれが大きくなる。さらに圧縮させると、点 C で が起こり始め、圧力が一定となる水平部分 C-D 上では、 と が共存する。点 D では、 が消滅して、すべて となる。図中の破線部分の幅は温度が高くなると狭くなり、点 E で 1 つの点となる。点 E のことを 点といい、これより高温では しない。

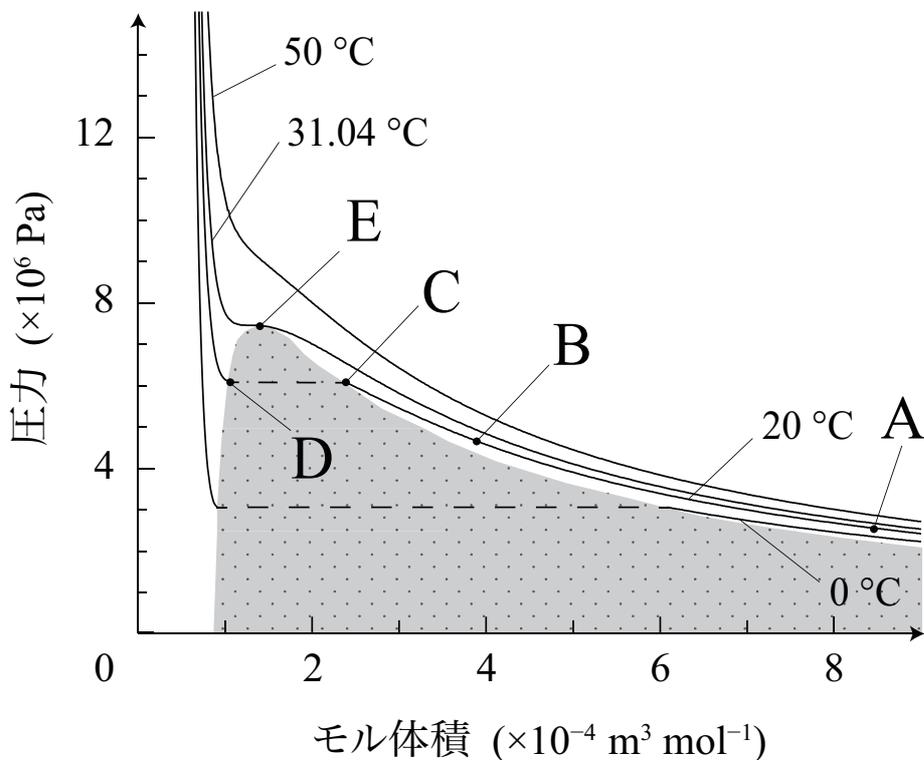


図 1

(問題 4 次ページに続く)

- (1) 文中の ア ~ オ にあてはまる適切な語を、以下の語群からそれぞれ選べ。

【語群】 固体, 液体, 気体, 凝固, 液化, 気化,
ボイル, ネルンスト, ヘンリー, 三重, 臨界

- (2) 文中の下線部を考慮し、物質の状態を近似的に示す式の1つに、次の①式がある。

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad \text{①}$$

ここで P , V , T , R はそれぞれ圧力, モル体積, 温度, 気体定数であり, a と b は組成によって異なる正の定数である。①式に基づいて点Eにおける圧力 P_E , 温度 T_E , モル体積 V_E を, a , b , R のうち必要なものを用いて式で表せ。

- (3) 点Bと点Cのモル体積をそれぞれ V_B , V_C とした場合, ①式に従い点Bから点Cに圧縮するときに必要な仕事 W を, V_B , V_C , a , b , R , T を用いて表せ。
- (4) ①式に従う気体の内部エネルギーを U とする。温度を一定に保った時の U の体積微分 $(\partial U/\partial V)_T$ を, V , a , b , R , T のうち必要なものを用いて表し, 理想気体の場合との違いを簡潔に説明せよ。

[2] 周期表において, 1つの周期内の原子の第一イオン化エネルギーは, 原子番号が大きいほど増加する傾向がある。この理由を簡潔に述べよ。

[3] 炭素粉末を濃硫酸に入れて加熱したところ気体が発生した。このときの反応式を記せ。

[4] 25 °Cにおいて, $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ の CH_3COOH の水溶液の pH は 3.22 であった。この水溶液中における CH_3COOH の電離度を有効数字 1 桁で求めよ。ただし, 必要であれば $\log_{10} 6 \approx 0.78$ を用いよ。

(問題4 終わり)

基礎科目（問題 5）

以下の問 [1], [2] に答えよ.

[1] 次の文章を読み, 下の小問 (1) ~ (6) に答えよ.

地球表面は 10 数枚のプレートに覆われており, それらが剛体として運動することが知られている. プレートとして振る舞う低温で硬い層をリソスフェアと呼ぶ. その下には, より温度が高く軟らかい層であるアセノスフェアが存在する. プレートとプレートが互いに遠ざかっていく発散型境界においては, 海嶺と呼ばれる地形的高まりが形成される. 海嶺軸付近では, アセノスフェアが浅い所まで上昇してきており, 地殻熱流量が く, 重力の 異常が周囲に比べて小さくなる.

一方, プレートの沈み込み型境界では, 海洋プレートが海溝において沈み込む際に, 深海底の堆積物や海山などが沈み込まずに上盤側プレートの縁に残されることで, が形成されることがある. また沈み込んだ海洋プレート (スラブ) に沿って, 深発地震が深さ km 付近まで発生する. プレートの沈み込みに伴い, 上盤側プレートの縁には火山帯が形成される. この火山帯の海溝側の縁を と呼び, 多くの沈み込み型境界において, その直下ではスラブ上面の深さがおよそ km に達する. したがって, スラブの傾斜角が相対的に大きい沈み込み帯においては, から海溝までの距離が相対的に い.

個々のプレートが球殻の一部を成しているとみなせるため, プレート間の相対運動は球面上の回転運動となり, その運動の極 (オイラー極) の位置と, その周りの角速度によって記述される. 隣接する 2 つのプレート間の境界が海嶺系とトランスフォーム断層群よりなる場合, トランスフォーム断層の走向を用いて オイラー極の位置を求めることができる.

(1) 空欄 ~ に入る適切な語を, 以下の語群からそれぞれ選べ.

【語群】 太, 細, 長, 短, 高, 低, 地形, 高度, 海台, 付加体, 前弧, 背弧, 火山フロント, ホットスポット, クラトン, ブーゲー, フリーエア

(2) 空欄 , に入る適切な数値を, 以下の数値群からそれぞれ選べ.

【数値群】 1, 6, 10, 30, 100, 400, 700, 2900, 5100

(問題 5 次ページに続く)

- (3) 文中の下線部に関連して、複数のトランスフォーム断層の走向からどのようにオイラー極の位置を求められるか、50字程度で説明せよ。
- (4) 2つのプレート間の相対運動のオイラー極が北極点にあり、角速度が 0.20° /百万年であることがわかった。地球を半径 6400 km の球とすると、北極点と赤道におけるこれらのプレート間の相対運動の速さをそれぞれ求めよ。有効数字は1桁とし、単位は mm/年 で算出し、その導出過程も記述せよ。
- (5) 海嶺軸から遠ざかるにつれて、リソスフェアは次第に厚みを増していき、また、海洋底も深くなっていく。アイソスタシーが成り立っているとして、海洋底が海嶺よりも 1 km 深くなる地点での、リソスフェアの厚みを求めよ。ただし、海水の密度を $1.03 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ 、リソスフェアの密度を $3.37 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ 、アセノスフェアの密度を $3.30 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ とし、海嶺軸でのリソスフェアの厚みはゼロとする。有効数字は2桁とし、単位は km で算出し、その導出過程も記述せよ。
- (6) 大陸地殻の最も古い部分の年代は40億年程度であることが知られているが、海洋底の最も古い部分の年代は2億年程度である。なぜ大陸地殻より海洋底は若いのか、50字程度で説明せよ。

[2] 以下の地球科学用語の中から2つ選択し、それぞれ50字程度で説明せよ。

- (1) パンゲア
- (2) 地震波トモグラフィー
- (3) 三重会合点
- (4) シュードタキライト
- (5) カリウム-アルゴン法

(問題5 終わり)

基礎科目（問題 6）

以下の問 [1] ~ [3] に答えよ。

[1] 次の文章を読み、下の小問 (1) ~ (4) に答えよ。

ケイ酸塩鉱物は、酸素原子 (O) が形成する四面体中に主としてケイ素原子 (Si) が入り、これらが形成する SiO_4 四面体の縮合 (結合) 状態によって分類することができる。

石英 (quartz) は、 SiO_4 四面体の頂点の 個の酸素原子が 酸素となって、 SiO_4 四面体が三次元的に繋がったフレームワーク構造を作っている。石英は高圧になるにしたがい、まず 、さらにスティショバイト (stishovite) へと相転移することが知られている。それぞれの相について X 線回折実験を行い、対称性および構造を調べた結果、石英、、スティショバイトの空間群はそれぞれ、 $P3_221$ 、 $C2/c$ 、 $P4/mmm$ であることが分かった。さらに、 のケイ素原子の配位数は 4 であり、スティショバイトのケイ素原子の配位数は であることが分かった。

(1) 文中の ~ にあてはまる適切な語または数字を、以下の語群・数字群からそれぞれ選べ。

【語群】 コーサイト (coesite), クリストバライト (cristobalite),

トリディマイト (tridymite), 架橋, 非架橋, 活性

【数字群】 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

(2) 文中の下線部に関連して、フィロケイ酸塩鉱物の構造の特徴を、1 つの SiO_4 四面体あたりの 酸素の数に注目して簡潔に説明せよ。必要なら図を用いてもよい。

(3) 文中の下線部に関連して、フィロケイ酸塩の代表的な鉱物を 1 つ答えよ。

(4) 空間群 $P3_221$ を示した石英の晶系 (結晶系) として適切なものを、以下から選べ。

三斜晶系, 単斜晶系, 直方 (斜方) 晶系, 正方晶系,

三方晶系, 六方晶系, 立方 (等軸) 晶系

(問題 6 次ページに続く)

[2] ある一種類の元素から構成される直方(斜方)晶系の結晶について X 線回折実験を行ったところ, 以下の指数で表される回折ピークのみが観測された. 下の小問(1), (2)に答えよ.

【回折ピーク】 200, 020, 101, 011, 220, 211, 031, 002, 112,
400, 231, 040, 202, 022, 420, 411, 240, 222,
312, 132, 431, 402, 051, 042, 103, 332, 440

(1) この結晶の格子型として適切なものを以下から選べ. また, その理由を述べよ.

A, C, I, F

(2) この結晶は, 以下の(あ), (い)の対称要素を持っていると考えられるかどうか, それぞれその理由とともに答えよ.

(あ) b 軸に垂直な c 映進面

(い) c 軸に垂直な a 映進面

(問題6 次ページに続く)

[3] 下の図1に示される A-B 2成分系に鉱物 α , β と液相 L が存在する場合の圧力一定の相図について、下の小問 (1) ~ (3) に答えよ。ただし $T_1 < T_2 < T_3 < T_4 < T_5 < T_6 < T_7 < T_8 < T_9$ とする。

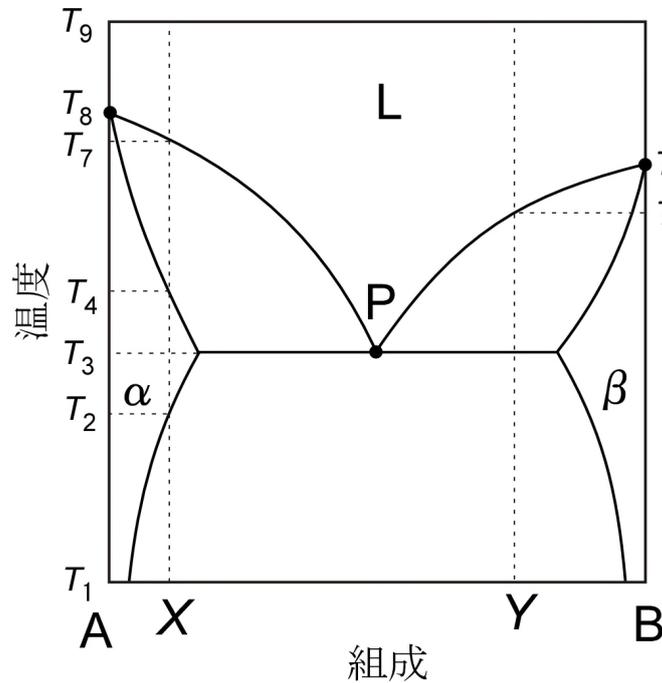


図1

- (1) 図1の点Pから、温度 T_8 , 組成 A の点にのびる曲線、および、点Pから、温度 T_6 , 組成 B の点にのびる曲線をさす術語を答えよ。
- (2) 温度 T_1 で組成 X の物質が温度 T_9 まで相平衡を保ちながら温度上昇する場合を考える。このとき組成 X の物質はどのように相変化するか、説明せよ。ただし鉱物の固溶体組成や液相組成の変化についても記述すること。図1を解答用紙に描き写し、説明に使用しても良い。
- (3) 温度 T_9 で組成 Y の液相が温度 T_3 まで分別結晶作用により結晶化する場合を考える。このとき以下の問 (i), (ii) に答えよ。
 - (i) 液相はどのような結晶化プロセスをたどるか、説明せよ。ただし、結晶化する鉱物の種類や固溶体組成の変化、および液相組成の変化がわかるように記述すること。図1を解答用紙に描き写し、説明に使用しても良い。
 - (ii) 系の自由度が 0 になるのはどの温度でどのような状態が達成されたときか答えよ。また、そのときの系の自由度の求め方についても、相律に基づき簡潔に説明せよ。

(問題6 終わり)

基礎科目（問題 7）

以下の問 [1], [2] に答えよ。

[1] 次の文章を読み、下の小問 (1) ~ (7) に答えよ。

第四紀は約 260 万年前から現在までを指す地質時代で、大きく更新世と に二分される。更新世はさらに前期、中期、後期に三分される。このうちの中期（約 77 万年前～約 13 万年前）の始まりの「国際標準模式層断面及び地点」(GSSP) に千葉県市原市の養老川岸に露出する「千葉セクション」が認定され、中期更新世は と呼ばれることが決定した。

第四紀の時代区分に重要なのが古地磁気層序である。地球磁場は磁気双極子がつくる磁場で近似でき、それを棒磁石がつくる磁場に見立てると、現在は北磁極が棒磁石の 極側、南磁極が 極側に相当する。ある地点において水平面と地磁気のベクトルとがなす角を という。地層などに記録された古地磁気の によって、過去の地磁気の状態（現在と同じであるか、逆転しているか）を知ることができる。現在を含む時代は 正磁極期、その前の逆転期は 逆磁極期、さらにその前の正磁極期は 正磁極期とそれぞれ名付けられている。

「千葉セクション」には、①約 77 万年前に古期御嶽山から噴出した火山灰層が古地磁気層序境界の直下に挟在する。これは本セクションが ②GSSP として地質学的に優れている点の一つである。 ③このような火山砕屑物の層は、層序の把握や地質構造の解析のために鍵層として用いられる。火山砕屑物のうち、粒径が mm より小さい粒子を火山灰、 ~64 mm の粒子を , 64 mm 以上の粒子を火山岩塊と呼ぶ。特に多孔質な火山砕屑物のうち、珪長質で白色～灰色のものを , 苦鉄質で暗色のものを と呼ぶ。

(1) 空欄 ~ に当てはまる適切な語、記号または数値を答えよ。

(2) 第四紀の始まりと中期更新世の始まりは、 正磁極期、 逆磁極期、 正磁極期のうち、どの時代の始まりに一致するか、それぞれカ～クの記号を用いて答えよ。

(問題 7 次ページに続く)

(3) 下線部①の火山灰層の名称を答えよ.

(4) 下線部②に関連して, 一般に **GSSP** として優れていると考えられる地層の特徴を, 火山碎屑物の層が挟在していること以外に2つ挙げよ.

(5) 下線部③に関連して, 火山碎屑物の層が鍵層として用いられる理由を簡潔に説明せよ.

(6) 中期更新世の事象と考えられているものを, 以下の a~e からすべて選べ. また, 選ばなかった項目 (事象) の正しい地質時代 (世または期) を答えよ.

- a 地球上にホモ・サピエンス (*Homo sapiens*) が出現した
- b 日本列島にビカリア属の巻貝 (*Vicarya spp.*) が生息した
- c 日本列島にトウヨウゾウ (*Stegodon orientalis*) が渡来した
- d 日本列島にナウマンゾウ (*Palaeoloxodon naumanni*) が渡来した
- e 地球上に齧歯類^{げっし}が出現した

(7) 日本列島の沿岸域や沖積平野の周囲には, 中期更新世末から後期更新世の始めにかけて形成された海岸段丘が発達する地域がある. この段丘はどのようなプロセスで形成されたものか, 300字程度で説明せよ.

[2] 火山の地下には岩脈群が形成されることがある. 岩脈群と造構応力との対応関係を考えてみよう. ある地域において, 最大圧縮主応力 $\sigma_1 = 150 \text{ MPa}$, 中間圧縮主応力 $\sigma_2 = 140 \text{ MPa}$, 最小圧縮主応力 $\sigma_3 = 100 \text{ MPa}$ であり, σ_3 軸が鉛直であるときに, 一定のマグマ圧 (流体圧) のもとで岩脈群が形成されたとする. 岩脈の貫入面の傾斜角が $0^\circ \sim 60^\circ$ の範囲にばらつくとき, マグマ圧を求めよ. ただし, 岩脈は平板状であるとし, 有効法線応力がゼロ以下の場合に形成されたとする. 算出の根拠を図または数式を用いて示すこと.

(問題 7 終わり)