

2025年度
九州大学大学院理学府
修士課程地球惑星科学専攻
入学試験問題

(全16ページ)
(200点)

注意事項

- (1) 次の配布物が正しく配られていることを確認すること。
問題冊子 1冊
解答用紙 2枚
- (2) この問題冊子には、合計8題が出題されている。
問題1 地質学 問題2 古環境学・古生物学 問題3 岩石学・鉱物学
問題4 化学 問題5 熱力学 問題6 力学
問題7 電磁気学 問題8 物理数学
- (3) 第1志望・第2志望ともに、岩石循環科学，地球進化史，古環境学，火山科学，惑星系形成進化学，有機宇宙地球化学，地球システム化学，地球内部物質学，地球惑星博物学の各研究グループを志望する受験生は，8問題のなかから任意に2問題を選択すること。
- (4) 第1志望または第2志望で，太陽地球系物理学，宇宙地球電磁気学，大気流体力学，大気流体モデリング，気象学・気候力学，大気圏電離圏融合宇宙天気科学，地球深部物理学，地球内部ダイナミクス，観測地震・火山学，地震火山減災科学の各研究グループを志望する受験生は，問題5～問題8（上記の下線を引いた問題）のなかから少なくとも1問題を含む，合計2問題を選択すること。下線を引いた問題以外から2問題を選択した場合は，無効（0点）とするので注意すること。
- (5) 解答は，問題毎に別の解答用紙を用い，枠内に記入すること（裏面使用可）。
- (6) 二枚の解答用紙にそれぞれ，受験番号，氏名，選択した問題の番号を記入すること。
- (7) この問題冊子は持ち帰ってよい。

問題1 地質学 (100点)

以下の問い(問1, 問2)に答えよ。

問1 次の文章を読んで, 設問(1)～(4)に答えよ。

近年, 各地で線状降水帯や台風により大洪水が発生し, 河川システムの理解が重要視されている。(A)河川は, 一般に水量変化が大きく, 河川勾配も大きい地域や岩砂漠地域に発達する。その地形的要素は複雑で, 植生をもつ中洲, バーやバー複合体, 分流・合流を繰り返す浅いチャネルとからなる。一方, 広大な平野部を流れる(B)河川は, 曲がりくねった流路をもつ。河川勾配は緩く, 洪水時は曲がった河道外側のループでは侵食が進み, 内側のループでは(ア) ポイントバーが側方移動しながら成長する。河川の周辺には(イ) 氾濫原が広がり, 薄層砂層や泥質物が堆積している。

また, 河川が平野から海洋に流出する時に, (ウ) 河川の営力と波浪や潮流の営力のバランスにより独特な海岸地形を形成する。

(1) 文中の空欄(A)と(B)にあてはまる語句をそれぞれ記せ。

(2) 下線部(ア)の堆積相の特徴を, 柱状図やモデル図を使って説明せよ。

(3) 下線部(イ)について, 地層に残されやすい痕跡を下記の語群より3つ選択し, それらの語句を記せ。

mud crack, caliche, herringbone structure, coal bed, rudstone, ooid

(4) 下線部(ウ)について, 大陸地域の海岸線には長大な砂州の島列(バリア島)が形成している。バリア島周辺部の地形について図1の□1～□5に最もよくあてはまる語句を, 下記の語群よりそれぞれ選択し, 記せ。

sabkha, natural levee, washover, fan delta, tidal flat, alluvial fan, lagoon, deep sea fan, eolian dune, flood-tidal delta

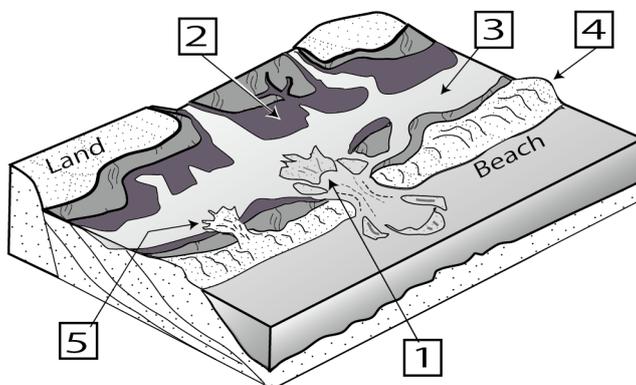


図1 バリア島の海岸地形
(Reinson, 1992 をもとに加筆)。

(次ページに続く)

(問題 1 の続き)

問 2 次の文章を読んで、設問 (1) ~ (6) に答えよ。

台湾中央部の中軸渓谷では、西側の (A) とフィリピン海側の (B) が (C) している場所であり、図 2 中の Central range には南北に標高 3000m を越える山脈が続く。図 2 は台湾中央部における地質構造の東西断面を示している。

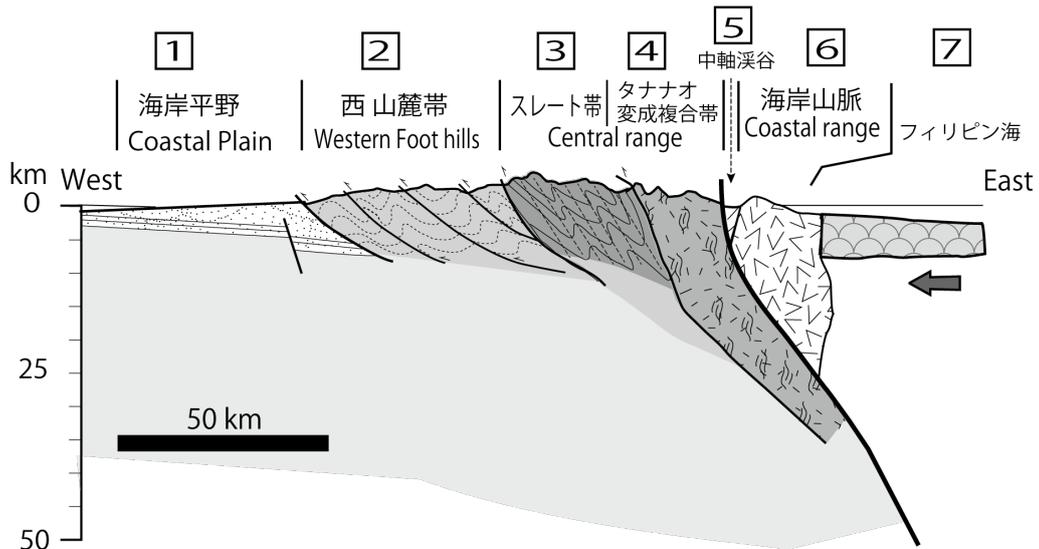


図 2 台湾中央部の地質構造東西断面図 (平, 2004 をもとに作成)。

- (1) 文中の空欄 (A) ~ (C) に最もよくあてはまる語句を下記の語群よりそれぞれ選択し、記せ。
大陸地殻, 陸弧, 海洋性島弧, 背弧海盆, 衝突, 分裂, 右横ずれ, 崩壊, 沈み込み, 拡張
- (2) 図 2 の 2 の西山麓帯のような、衝突帯の構造的前面で逆断層が発達する地帯の一般的な名称を述べよ。
- (3) 断層の運動センスの決定に役立つ地質学的な証拠を、図を使って説明せよ。

(次ページに続く)

(問題 1 の続き)

- (4) 西山麓帯で発達する東傾斜した逆断層面上には多くの条痕 (スリッケンライン) がみられた。その条痕のデータを示すステレオ投影図を **図 3** の **a** ~ **e** から一つ選択し、その記号を答えよ。

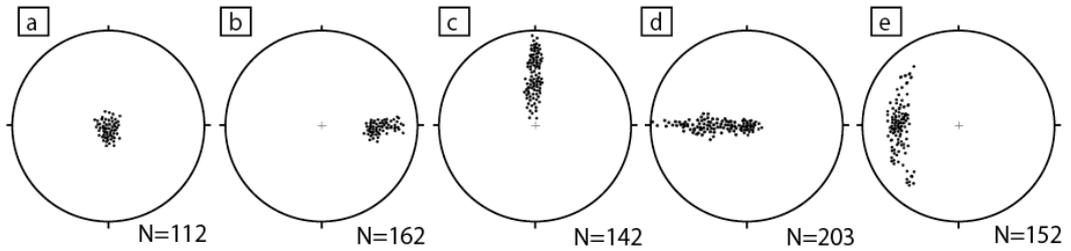


図 3 ステレオ投影図：逆断層面上のスリッケンライン (下半球投影)。

- (5) 西山麓帯のような圧縮場の表層露頭には、脆性的破壊によりできた断層が広くみられる。このような場の断層は、活動時に降伏強度を超えて変形し、破壊強度に達して破壊することが多い。このような断層の変形様式を示す応力-歪曲線で最も適当なものを、**図 4** の **a** ~ **d** から一つ選択し、その記号を答えよ。なお全グラフの縦軸・横軸は同じスケールとする。

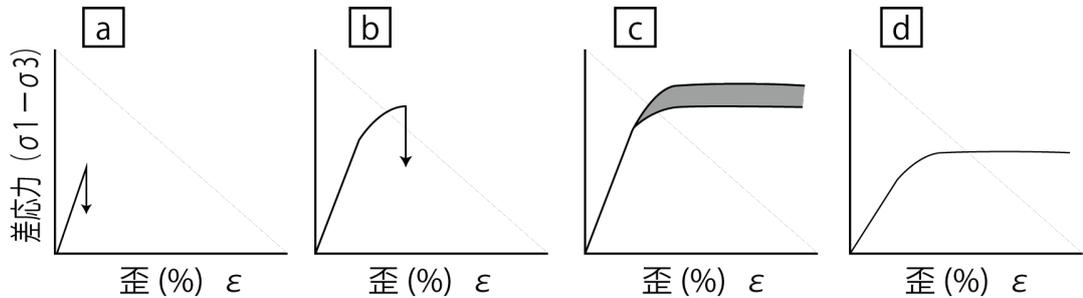


図 4 差応力-歪曲線図 (グレー部分は破壊が分散的に起こる部分)。

- (6) タナナオ変成複合帯に露出する可能性のある岩石を、下記の語群から 3 つ選択し、その理由を簡潔に述べよ。

サンゴ石灰岩、大理石、放散虫層状チャート、片麻岩、岩塩、
集塊岩、珪藻土、青色片岩、石炭、マッドダイアピア

問題2 古環境学・古生物学 (100点)

以下の問い(問1～問3)に答えよ。

問1 次の文を読んで、以下の設問(1)～(5)に答えよ。

海底に生息する底生有孔虫の炭酸カルシウム殻の酸素同位体比から過去の気候変動が復元されている。図1は、新生代における深海掘削試料中の底生有孔虫殻の酸素同位体比記録をまとめたものである。

- (1) 新生代(Cenozoic Era)は、3つの地質年代区分「紀(Period)」に分けられる。新生代の3つの「紀(Period)」を日本語と英語でそれぞれ記せ。
- (2) 図1中の $\delta^{18}\text{O}$ 値の定義を記せ。
- (3) 図1中のPDBとは何か簡潔に述べよ。
- (4) PDBスケールで0‰から1‰の $\delta^{18}\text{O}$ 上昇は、何℃から何℃の水温変化に相当するか、下記のEpstein et al. (1953)の式を用いて求めよ(小数第二位を四捨五入した値を記せ)。ただし、塩分や氷床量変化の影響は無視できるものとする。

$$T = 16.5 - 4.3\delta + 0.14\delta^2$$

ここで、 T は水温(℃)、 δ は炭酸カルシウムの $\delta^{18}\text{O}$ 値である。

- (5) 新生代の長期的な気候変動傾向を、「ヒマラヤ山脈」「モンスーン」という言葉を含めて説明せよ。

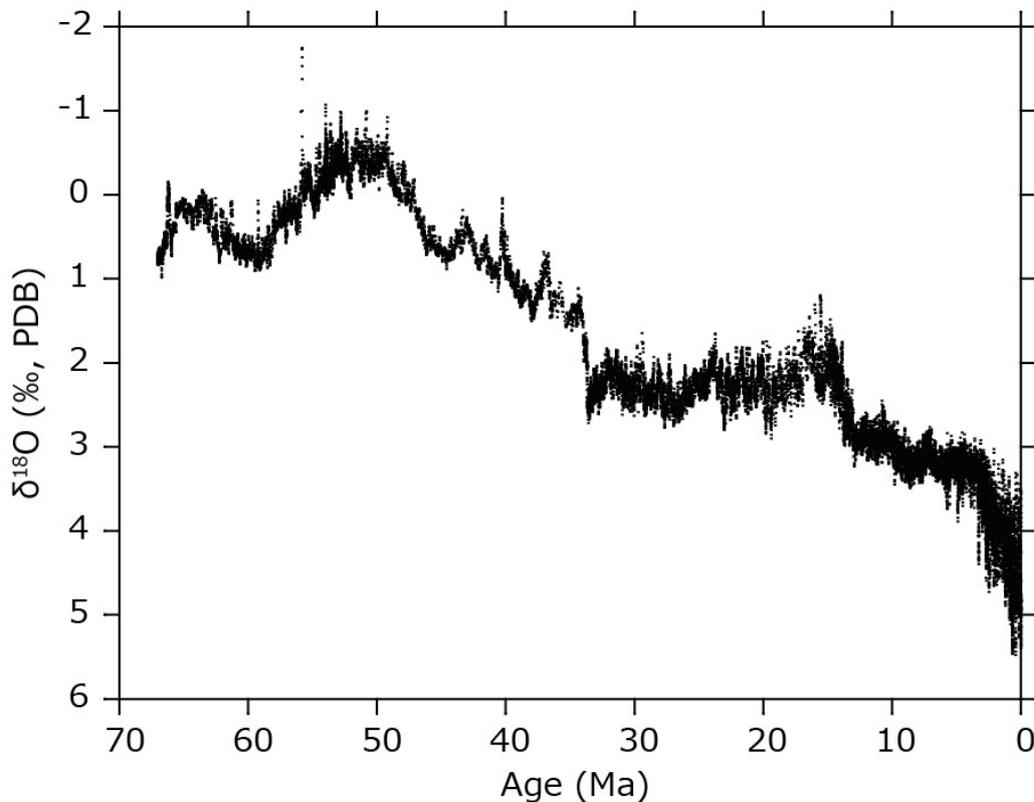


図1 新生代における深海堆積物試料に含まれる底生有孔虫殻の酸素同位体比変化(Westerhold et al., 2020を改変)。

(次ページに続く)

(問題 2 の続き)

問 2 次の文を読んで、以下の設問 (1) ~ (3) に答えよ。

(A)化石記録にみられる生物の形態進化について、1972年にエルドリッジとグールドは、従来の漸進的進化観と対立する断続平衡説を提唱した。一方で断続平衡は、(B)化石記録の不完全性の産物であるとの批判も受けている。

- (1) 下線部(A)について、生物の形態変化のパターンから断続平衡説について 100 字以内で説明せよ。
- (2) 下線部(B)について、化石記録の不完全性の内容を 100 字以内で説明せよ。
- (3) 化石記録の不完全性が、断続平衡説を批判する際に挙げられるのはなぜか、理由を説明せよ。

問 3 下記の古生物から 2 つ選び、その特徴 (分類・時代・生息環境など) をそれぞれ 100 字以内で説明せよ。

モノチス (*Monotis*)

層孔虫 (*Stromatoporoids*)

クックソニア (*Cooksonia*)

ケイロレピス (*Cheirolepis*)

貨幣石 (*Nummulites*)

イクチオステガ (*Ichthyostega*)

問題3 岩石学・鉱物学 (100点)

以下の問い (問1, 問2) に答えよ。

問1 以下の説明文および表1に基づき, 設問 (1) ~ (4) に答えよ。

鉱物の結晶構造の基本単位である単位格子(単位胞)の形は, 結晶軸の長さ (a, b, c) と軸角 (α , β , γ) によって定義され, 表1のように7つの晶系に区分される。

表1 7つの晶系とその代表的鉱物

晶系名	結晶軸の長さ	軸角	代表的な鉱物
三斜晶系	(①)	(④)	(⑧)
単斜晶系	(①)	(⑤)	普通輝石
直方(斜方)晶系	(①)	(⑥)	直方輝石
正方晶系	(②)	(⑥)	ジルコン
三方晶系	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$	低温型石英 (α 石英)
六方晶系	(②)	(⑦)	(⑨)
立方晶系	(③)	(⑥)	(⑩)

(1) 表中の①から③に当てはまる結晶軸の長さの組み合わせを, 次の中から選びそれぞれ A~C の記号で答えよ。

A : $a=b=c$, B : $a=b\neq c$, C : $a\neq b\neq c$

(2) 表中の④から⑦に当てはまる軸角を, 次の中から選びそれぞれ D~G の記号で答えよ。

D : $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$, E : $\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90^\circ$,
F : $\alpha=\gamma=90^\circ$ かつ $\beta\neq 90^\circ$, G : $\alpha=\beta=90^\circ$ かつ $\gamma=120^\circ$

(3) 表中の⑧から⑩に当てはまる鉱物を, 次の中から選びそれぞれ H~J の記号で答えよ。

H : ザクロ石, I : 斜長石, J : 高温型石英 (β 石英)

(4) 輝石の劈開面が顕著に発達する理由を以下の用語をすべて用いて説明せよ。

SiO₄ 四面体, イオン結合, 共有結合, 単鎖

(次ページに続く)

(問題3の続き)

問2 以下の説明文および図1に基づき、設問(1)～(3)に答えよ。

図1は、端成分をA, B, Cとする3成分共融系の相平衡図を組成平面に投影した図である。各端成分組成の鉱物の融点はいずれも1550°Cである。また3成分系の共融点はいずれも1150°Cである。

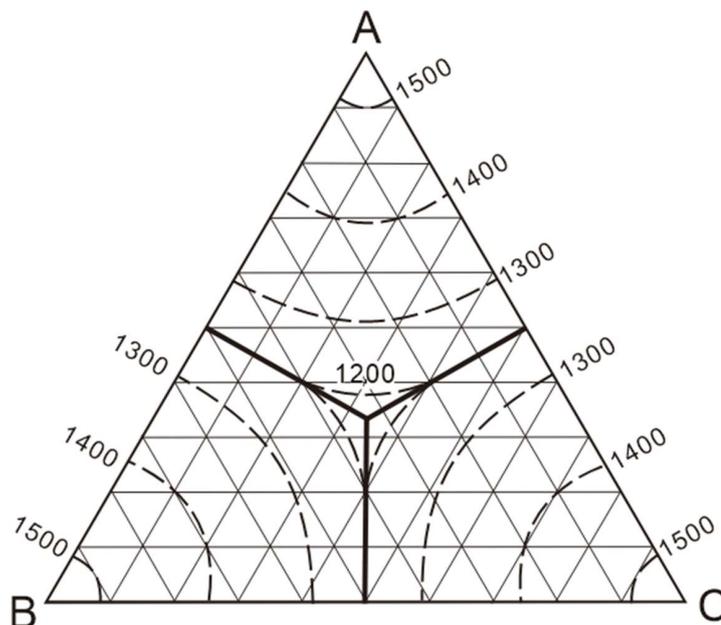


図1 3成分ABC共融系の相平衡図。太線は共融線を示す。破線はリキダス面上の等温線で数字はその温度(単位は°C)を示す。図中の三角形の各辺に平行な細線は、10質量%(wt%)毎の等値線である。

- (1) 縦軸に温度、横軸をABとする2成分共融系の相平衡図を描き、端成分および共融点の温度、および共融点の組成の値を図中に記せ。温度は図1から読み取り有効数字3桁で示せ。
- (2) 全岩化学組成がA=70wt%, B=20wt%, C=10wt%組成の岩石を加熱したとき、最初に生成する液の組成比(A:B:C)を答えよ。
- (3) A=70wt%, B=20wt%, C=10wt%の組成の液を1550°C以上の温度から冷却し完全に結晶化させるとき、A, B, C組成の各鉱物が結晶化を開始・終了する温度をそれぞれ記せ。温度は図1から読み取り有効数字3桁で示せ。

問題4 化学 (100点)

以下の問い(問1～問3)に答えよ。

問1 次の文を読んで、設問(1)～(4)に答えよ。

天然に存在する安定同位体の数を表に示す。

表 安定同位体の数

陽子数	中性子数	同位体の数
偶数	偶数	152
偶数	奇数	51
奇数	偶数	49
奇数	奇数	4

原子核は陽子が偶数であるものの方が安定であり、陽子数、中性子数とも奇数のものは極端に少ない。核種の安定度は元素の太陽系存在度の特徴にも影響を与える。

- (1) 陽子、中性子ともに奇数である安定同位体を4つすべて示せ。
- (2) (1)の4つの安定同位体を含む元素のうち2つは、元素の太陽系存在度が極めて小さい。その元素を1つ示せ。
- (3) 元素の太陽系存在度は、原子番号の隣りあった元素間で特徴的な変化をする。その変化の特徴を説明せよ。
- (4) アルゴンの安定同位体は ^{36}Ar , ^{38}Ar , ^{40}Ar であり、地球大気では ^{40}Ar が最も多い(99.6%)。一方、太陽大気は ^{36}Ar が最も多い(84.2%)。現在の地球のカリウムには ^{40}K が0.012%含まれる。その半減期は 1.3×10^9 (年)である。39億年前の地球のカリウムには ^{40}K が何%含まれていたか求めよ。

問2 次の文を読んで、設問(1)、設問(2)に答えよ。問題を解くにあたり、計算過程も示すこと。必要ならば次の値を用いてもよい。

$$\sqrt{2} = 1.4, \sqrt{3} = 1.7, \sqrt{5} = 2.2, \sqrt[3]{2} = 1.3, \sqrt[3]{3} = 1.4, \sqrt[3]{4} = 1.6, \sqrt[3]{5} = 1.7$$

難溶解性塩の溶解度は溶解度積という値で示される。 SrF_2 は難溶解性塩であり溶解度積は $4.0 \times 10^{-9} (\text{mol dm}^{-3})^3$ である。

- (1) SrF_2 の純水に対する溶解度を求めよ。
- (2) 0.1 mol dm^{-3} の NaF 溶液中の SrF_2 の溶解度を求めよ。

(次ページに続く)

(問題4の続き)

問3 次の文を読んで、設問(1)～(4)に答えよ。

炭素の同位体は、安定同位体として ^{12}C と ^{13}C が存在する。

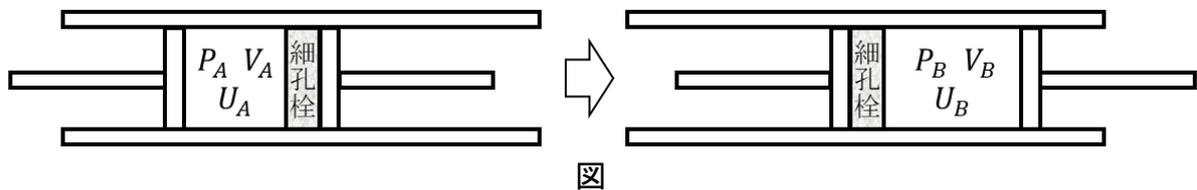
^{12}C と ^{13}C 同位体を異なる比率で含む分子間では物理的、化学的性質がわずかに異なるため、同位体分別が起こり、その同位体比が変化する。同位体比($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)は、炭素循環の追跡の指標として用いられている。この変化はわずかであり、測定試料の同位体比 R_x の、標準試料の同位体比 R_s からの相対的なずれを千分率(パーミル)で表す $\delta^{13}\text{C}$ 値が使われている。

- (1) $\delta^{13}\text{C}$ 値を求める式を R_x と R_s を用いて示せ。
- (2) 石油は化石燃料の1つであり、過去の生物の作った有機物が原料となっていると考えられている。この説を裏付ける根拠を、①石油の $\delta^{13}\text{C}$ 値の特徴と、②それ以外の特徴について1つずつ示せ。
- (3) 天然ガスは化石燃料由来の有機物の熱分解で生じるものと、微生物の働きで生成するものがある。微生物の働きで生成する天然ガスについて、① $\delta^{13}\text{C}$ 値の特徴と、②それ以外の特徴について1つずつ示せ。
- (4) 化石燃料の大量消費は、大気中の二酸化炭素の $\delta^{13}\text{C}$ 値にどのような影響を与えるか説明せよ。

問題5 熱力学 (100 点)

以下の問い (問1～問3) に答えよ。ただし、圧力を P 、温度を T 、体積を V 、内部エネルギーを U 、エントロピーを S 、エンタルピーを H 、ギブズの自由エネルギーを G とする。必要に応じて熱膨張率 $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$ 、等温圧縮率 $\kappa_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$ を用いよ。

問1 図のように断熱壁で囲まれたシリンダーに細孔栓を入れ、右側のピストンを栓に接触させながら左側の領域に圧力 P_A 、体積 V_A 、内部エネルギー U_A の気体を入れた。ピストンの圧力を左側を P_A 、右側を P_B ($P_A > P_B$) で一定に保ちつつピストンを押し、栓の左側の気体を全て右側の領域へ移動させると、右側の領域は体積 V_B 、内部エネルギー U_B となった。以下の設問 (1)～(6) に答えよ。



- (1) 気体の移動の前後でエンタルピーは変化しないことを示せ。
 (2) エンタルピーを温度、圧力の関数とするとき以下の式 (i) が成り立つことを示せ。

$$\left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_H \left(\frac{\partial T}{\partial H} \right)_P = -1 \quad (\text{i})$$

- (3) ギブズの自由エネルギーの全微分の式から以下の式 (ii) を導け。

$$\left(\frac{\partial S}{\partial P} \right)_T = - \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad (\text{ii})$$

- (4) ジュールトムソン係数 μ_{JT} を以下のように定義する。

$$\mu_{JT} = \lim_{\Delta P \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta P} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H$$

式 (i) と (ii) を用いて μ_{JT} が以下の式 (iii) のように表されることを示せ。ただし、 $C_p (> 0)$ は定圧熱容量である。

$$\mu_{JT} = - \frac{V(1 - \alpha T)}{C_p} \quad (\text{iii})$$

(次ページに続く)

(問題5の続き)

(5) 気体が理想気体のとき、実験の結果移動した気体の温度はどのようになるか。式 (iii) に基づき理由とともに説明せよ。

(6) 気体が実在気体で初期温度が低く、圧力変化が小さいとき、実験の結果移動した気体の温度が下がった。このとき、熱膨張率 α が満たしている条件を求めよ。

問2 以下の設問 (1), 設問 (2) に答えよ。

(1) エントロピーを温度と圧力の関数、圧力を温度と体積の関数と考えることで、以下の式 (a) が導かれることを示せ。

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P + \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \quad (a)$$

(2) 式 (a) を用いて、1 モルの物質の定圧モル比熱 c_P と定積モル比熱 c_V の差を $\alpha, \kappa_T, P, V, T$ を用いて表せ (この中に使わない記号があってもよい)。必要ならば、式 $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ を用いてよい。

問3 温度 T_e , 圧力 P_e で一定の環境下で、一様な閉じた系の平衡状態 (S_0, U_0, V_0) が安定であるためには、この状態からのわずかなずれ $\delta S, \delta U, \delta V$ に対して、以下の関係式が成り立つ必要がある。

$$\delta U > T_e \delta S - P_e \delta V \quad (b)$$

平衡からのずれは平衡状態での関係 $U = U(S, V)$ を保つと考え、平衡状態 (S_0, U_0, V_0) の周りで $U(S, V)$ をテイラー展開することによって、式 (b) から導かれる結論に関する以下の設問 (1), 設問 (2) に答えよ。

(1) 系の平衡条件が $T = T_e, P = P_e$ であることを示せ。

(2) 系が平衡状態にあるとき、式 (b) を用いて以下が成り立つことを示せ。また、これらが意味する系の性質について説明せよ。

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V > 0, \quad \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S < 0$$

問題6 力学 (100 点)

以下の問い (問1, 問2) に答えよ。

問1 次の文を読んで, 設問 (1) ~ (4) に答えよ。

質量 m の質点1が点Pにおいて速度 \vec{V}_P で運動している(図1)。一方, 点Oには質量 M の質点2が固定されており, 質点1は質点2から万有引力のみを受けて図1の2次元平面内を運動するものとする。また万有引力定数を G とする。

- (1) 点Pにおける質点1の, 点O回りの角運動量ベクトルの大きさを答えよ。ただし図1に示すように, 点Oから \vec{V}_P に並行な直線を引き, Pからその直線までの距離を b_P と定義する。また, $|\vec{V}_P| = V_P$ と表す。
- (2) 点Oに固定された質点2が, 点Oを始点とする位置ベクトル \vec{r} で表される点において質点1に及ぼす万有引力ベクトル \vec{F} を答えよ。位置ベクトル \vec{r} の長さは $|\vec{r}| = r$ を用いること。
- (3) 質点1は運動を続けた後に, 図1のように点Qにおいて速度 \vec{V}_Q で移動しているとする。点Pと点Qの点Oからの距離を図1のようにそれぞれ R_P, R_Q とする。また設問(1)と同様に, 点Qに対して長さ b_Q を定義し, $|\vec{V}_Q| = V_Q$ と表す。 V_Q を $G, R_P, m, M, V_P, b_P, b_Q$ の内で必要なものを用いて表せ。理由も述べよ。
- (4) 距離 R_Q の逆数 $1/R_Q$ を $G, R_P, m, M, V_P, b_P, b_Q$ の内で必要なものを用いて表せ。

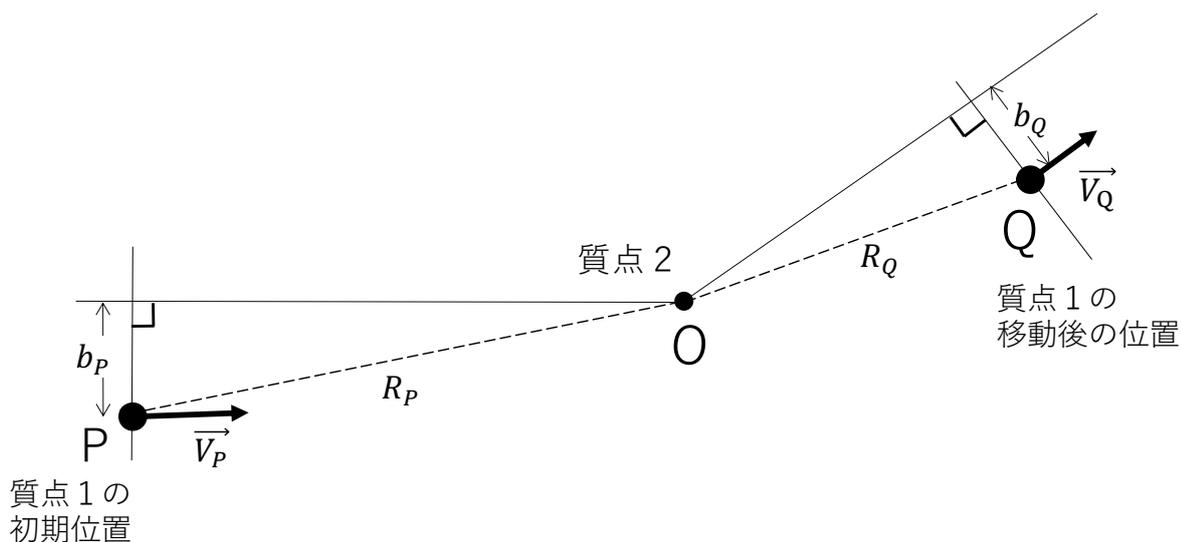


図1 質点1と質点2の位置関係と質点1の速度ベクトル。

(次ページに続く)

(問題 6 の続き)

問 2 次の文を読んで、設問 (1) ~ (5) に答えよ。

半径が R の摩擦の無い半円筒面が、円筒軸が水平になるように固定されて置かれている。この半円筒面上を質量 m の質点が円筒軸と垂直な平面内で 2 次元運動をする (図 2)。この平面上に、円筒軸を原点としたデカルト座標 (x, y 軸はそれぞれ鉛直下向きと水平右向きとする) と 2 次元極座標 (角度座標 $\varphi = 0$ の向きは鉛直下向き) をとる。質点の運動を 2 次元極座標 (r, φ) を用いて考えよう。

(1) 2 次元極座標の r 座標と φ 座標の基本ベクトルをそれぞれ \vec{e}_r と \vec{e}_φ とする。これらはデカルト座標系の基本ベクトル \vec{e}_x と \vec{e}_y を用いて

$$\vec{e}_r = (\text{ア}) \vec{e}_x + \sin\varphi \vec{e}_y \quad \vec{e}_\varphi = (\text{イ}) \vec{e}_x + \cos\varphi \vec{e}_y$$

と表される。(ア) と (イ) に適切な表現を答えよ。

(2) この平面上を運動する質点の速度ベクトル \vec{v} の 2 次元極座標における表現を書け。

(3) 半円筒面上の任意の点 (R, φ) において質点が面から受ける抗力ベクトルを 2 次元極座標を用いて表せ。重力加速度を \vec{g} とする。この平面上の運動の加速度ベクトル \vec{a} が以下の式で表されることに留意すること。

$$\vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2)\vec{e}_r + (2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi})\vec{e}_\varphi$$

(4) この質点を、半円筒面上の $\varphi = \varphi_0$ ($\varphi_0 < \pi/2$) の位置に置いて時刻 $t = 0$ に静かに手を離した。この質点が、半円筒面の最低点 B に達したときに面から受ける抗力ベクトルの大きさを m, g, R, φ_0 の内で必要なものを用いて表せ。

(5) $\varphi_0 \ll 1$ のとき、この質点が最初に最低点 B に達する時刻を求めよ。

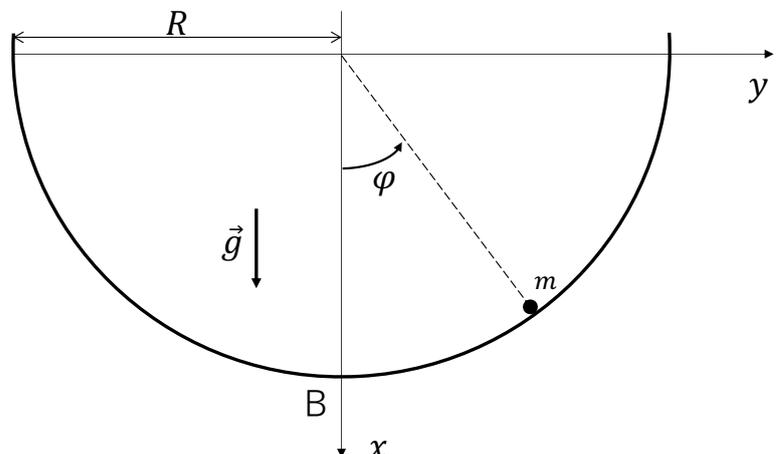


図 2 軸方向から見た半円筒の断面図。

問題7 電磁気学 (100点)

以下の問い (問1～問4) に答えよ。

問1 一様な電場 \mathbf{E} と一様な磁場 \mathbf{B} の中で、電荷 q の荷電粒子が速度 \mathbf{v} で等速運動をしている。この時、 \mathbf{E} と \mathbf{B} にはどのような関係があるか。

問2 中心を共有する2つの導体球殻 (半径 a および半径 b , $a < b$) 上に、それぞれ正負の電荷が一様に分布しており、その総電荷が $+Q$ と $-Q$ である (図1)。中心からの距離を r で表し、真空の誘電率を ϵ_0 とする。電荷は球対称な電場 $\mathbf{E}(r)$ を作る。設問 (1)～(6) に答えよ。

- (1) $0 < r < a$ における電場の大きさ $E(r)$ を求めよ。
- (2) $a < r < b$ における電場の大きさ $E(r)$ を求めよ。
- (3) $b < r < \infty$ における電場の大きさ $E(r)$ を求めよ。
- (4) $0 \leq r < \infty$ における静電ポテンシャル $\phi(r)$ を求め、グラフに図示せよ。ただし $\phi(\infty) = 0$ とする。
- (5) 2つの導体球殻間の電位差 V はいくらか。また、同心導体球殻の電気容量 (キャパシタンス) C はどう表されるか。
- (6) 電場のエネルギー U_e を計算せよ。

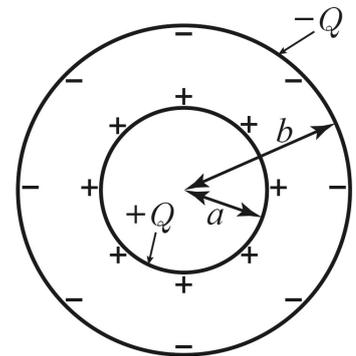


図1

問3 半径 a および半径 b ($a < b$) の十分に長い導体円筒を、その中心軸をそろえて並べ、反対向きに軸方向の一様な電流 I を流す (図2)。中心軸からの距離を r で表し、真空の透磁率を μ_0 とする。電流は軸対称な磁場 $\mathbf{B}(r)$ を作る。設問 (1)～(5) に答えよ。

- (1) $0 < r < a$ における磁場の大きさ $B(r)$ を求めよ。
- (2) $a < r < b$ における磁場の大きさ $B(r)$ を求めよ。
- (3) $b < r < \infty$ における磁場の大きさ $B(r)$ を求めよ。

以下の設問では、軸方向の単位長さの部分について考える。

- (4) 単位長さ当たりの磁束 Φ (Wb/m) を計算せよ。また、同軸導体円筒の、単位長さ当たりの自己インダクタンス L (H/m) はどう表されるか。
- (5) 単位長さ当たりの磁場のエネルギー U_m (J/m) を計算せよ。

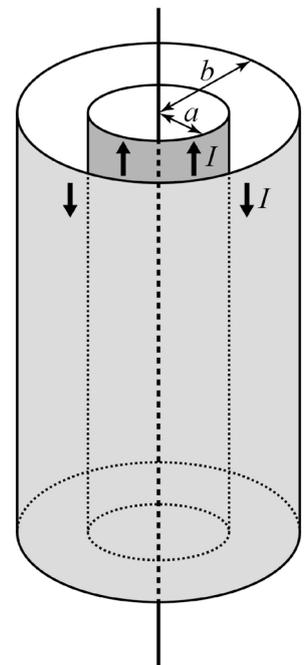


図2

(次ページに続く)

(問題7の続き)

問4 図3(a)のように、 z 方向の一様な磁場 $\mathbf{B} = B_0 \hat{\mathbf{z}}$ ($\hat{\mathbf{z}}$ は z 方向の単位ベクトル)の中に、 x - y 平面上で、間隔 l の x 軸に平行な導体レールを設置する。その上に導体棒をレールと垂直(y 軸に平行)に渡して、一定の速度 \mathbf{v} で右(+ x 方向)に動かす場合を考える。左側には電気抵抗を導線でつなぐ。以下の設問では過渡現象は考えず、十分時間が経ったときの準定常状態について考察する。設問(1)～(3)に答えよ。

- (1) 導体棒中の導体棒に沿う方向の電場(E_y)に関して、最も適切な記述を以下の(ア)～(エ)から選び記号で答えよ。ただし、ここで言う電場は、実験室で静止している人が観る電場(実験室系での電場)である。
- (ア) 有限の大きさの $+y$ 方向の電場がある($E_y > 0$)。
 - (イ) 有限の大きさの $-y$ 方向の電場がある($E_y < 0$)。
 - (ウ) 理想的には0である($E_y = 0$)。
 - (エ) E_y は0を中心として規則的に振動している。
- (2) 国際単位系における誘導起電力の次元(単位)は何か。以下の(ア)～(ク)から正しいものを全て選び記号で答えよ。
- (ア) newton (イ) joule/coulomb (ウ) watt (エ) volt
 - (オ) volt·second (カ) weber/ampere (キ) volt/meter (ク) ampere/meter
- (3) 図3(a)の回路PQRSPに発生する誘導起電力 \mathcal{E} を求めよ。ただし図3(a)の矢印のように、 z 軸が右ねじの向きになるまわり方を正とする。

今度は、図3(a)の導体レールと導線、電気抵抗を取り除く。導体棒を y 軸に平行に保ったまま、図3(a)と同様に一定の速度 \mathbf{v} で $+x$ 方向に動かす場合を考えて、十分時間が経った後の準定常状態を考察する。設問(4)～(6)に答えよ。

- (4) 導体棒中の導体棒に沿う方向の電場(E_y)に関して、最も適切な記述を設問(1)の選択肢(ア)～(エ)から選び記号で答えよ。ただし、ここで言う電場は、実験室で静止している人が観る電場(実験室系での電場)である。
- (5) 図3(b)のように、もともとあった導体レールと導線に沿って、仮想的な閉曲線PQRSPを考える。閉曲線PQRSPに発生する誘導起電力 \mathcal{E} を求めよ。ただし図3(b)の矢印のように、 z 軸が右ねじの向きになるまわり方を正とする。
- (6) 導体棒を右(+ x 方向)に動かす際、力が小さくてすむのは図3(a)の場合と図3(b)の場合のどちらか。理由とともに答えよ。

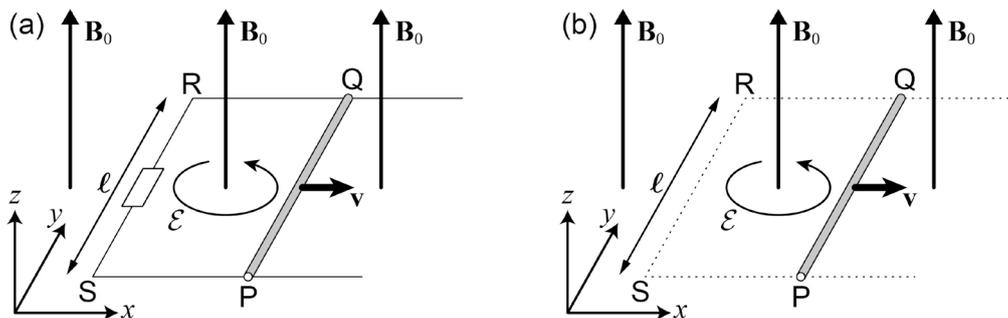


図3

問題8 物理数学 (100点)

以下の問い(問1～問5)に答えよ。解答用紙には計算の途中経過も書くこと。

問1 i を虚数単位としたとき、 $\frac{1}{i}\log(i)$ は実数となる。その実数をすべて求めよ。

問2 3次元直交直線座標系 (x, y, z) を考える。 x, y, z の関数であるスカラー関数 ϕ, ψ , およびベクトル関数 $\mathbf{A} = (A_x, A_y, A_z)$ に関して、以下の(1), (2)の関係式が成立することを証明せよ。

$$(1) \nabla \times (\phi \mathbf{A}) = (\nabla \phi) \times \mathbf{A} + \phi (\nabla \times \mathbf{A})$$

$$(2) \nabla \times (\phi \nabla \psi) = (\nabla \phi) \times (\nabla \psi)$$

問3 2×2 の行列 $A = \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 4 \end{pmatrix}$ に関して、設問(1), 設問(2)に答えよ。

(1) 行列 A を対角化せよ。

(2) 行列 A の n 乗である A^n を求めよ。

問4 次の常微分方程式の一般解を求めよ。

$$\frac{d^2y}{dx^2} + 15\frac{dy}{dx} + 8y = 8x$$

問5 次の周期 4π の関数 $f(x)$ をフーリエ級数で表せ。

$$f(x) = \begin{cases} 0, & (-2\pi < x < 0) \\ \sin \frac{x}{2}, & (0 < x < 2\pi) \end{cases}$$