2024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１４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，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，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　陸棚斜面の堆積システムに関する次の記述を読み，以下の設問（１）～（５）に答えよ。

陸棚斜面では，海底地滑りに起因する堆積物の移動が起こる。斜面にある未固結から半固結の堆積物が，その連続性をある程度保持しながら，重力的に滑り落ちると，流動変形により内部に複雑な褶曲を持った（　ア　）堆積物が形成される。水と砕屑粒子の混合流体が陸棚斜面を流れ下る堆積物重力流には，(a)粒子流，混濁流，(b)水中土石流，液状化流などがある。このうち（　イ　）により堆積した地層を(c)タービダイトとよぶ。堆積物重力流により運搬された堆積物は，陸棚斜面から深海平原にかけて，大規模な(d)海底扇状地を形成する。

（１）文中の空欄（　ア　），（　イ　）に入る語句を答えよ。

（２）下線部（a）に関して，次の①～④の記述の中から粒子流の特徴として正しいものを一つ選び，番号で答えよ。

① 流動化による液体の上昇が，主に粒子を支持している。
② 粒子同士の衝突による分散圧が，主に粒子を支持している。
③ 流れ内部に発生した乱流が，主に粒子を支持している。
④ 堆積物の底面には，フルートマークがみられることがある。

（３）下線部（b）に関して，水中土石流堆積物の特徴を簡潔に説明せよ。

（４）下線部（c）に関して，以下の用語を用いて堆積物の特徴を簡潔に説明せよ。ただし，同じ用語を複数回使ってもよい。また，説明には図を用いてよい。
級化，　リップル葉理，　平行葉理，　泥岩，　バウマシーケンス

（５）下線部（d）に関して，海底扇状地の末端部（扇端）まで堆積物を供給する堆積物重力流として最も適当なものを一つ選び，番号で答えよ。
①　粒子流　②　混濁流　③　水中土石流　④　液状化流

（　次ページに続く　）

問２　**図１**は，現世海底堆積物の分布を示した図である。海底堆積物に関する以下の設問（1）〜（4）に答えよ。

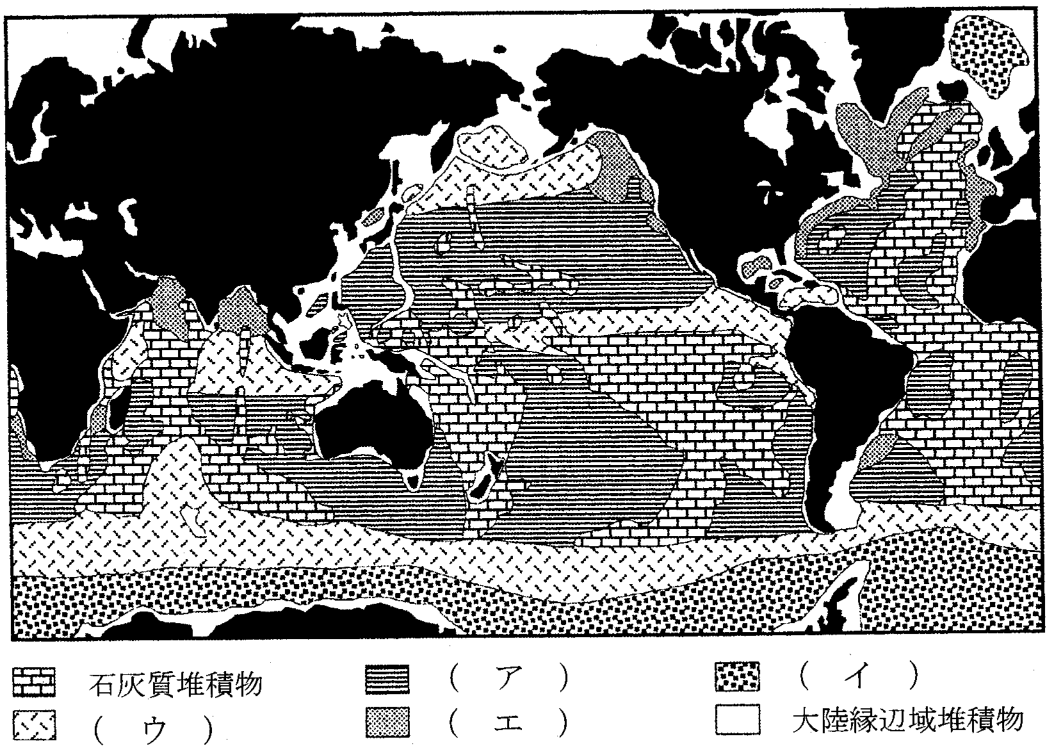

図１　現世海底堆積物の分布（日本地質学会編，2004 を改変）

（1）**図１**中の空欄（　ア　）〜（　エ　）に入る語句を，以下の語群より選択せよ。
珪質堆積物，　遠洋性粘土，　降下火山灰，　氷河性堆積物，
ドロマイト，　チャネル堆積物，　陸源性堆積物，　層状チャート

（2）**図１**中の石灰質堆積物は，主に微小な浮遊性生物の生物遺骸粒子から構成される。この浮遊性生物として適当なものを２つ答えよ。

（3）遠洋性石灰質堆積物が十分に固結して石灰岩となった場合，堆積組織に基づく石灰岩の分類名として最も適当なものを一つ選び，番号で答えよ。
①　バッフルストーン　②　グレインストーン　③　フレームストーン
④　マッドストーン

（4）現世の大洋底において遠洋性石灰質堆積物が形成されるか否かは，炭酸塩補償深度と関わりがある。炭酸塩補償深度について簡潔に説明せよ。

問題２　古環境学・古生物学（100 点）

以下の問い（問１，問２）に答えよ。

問１　図１は過去６億年間の海生無脊椎動物の科数の変化を示している。この図から顕生代に５回の大量絶滅事変が起こったことがわかる。以下の設問（１）～（５）に答えよ。

（１）分類階級「種」「科」および「門」に対応する英単語を記せ。

（２）図 1 中の大量絶滅事変①～⑤について，それぞれの時代を下記の選択肢（ア）～（キ）から選べ。

（ア）ジュラ紀末，（イ）デボン紀後期，（ウ）オルドビス紀末，（エ）白亜紀末，（オ）ペルム紀末，（カ）カンブリア紀末，（キ）三畳紀末

（３）下記 (A) ～ (C) の生物が完全に絶滅したのは，どの大量絶滅事変か。(A) ～ (C) の絶滅生物に対応するものを，図１中の①～⑤からそれぞれ選べ。

(A) 三葉虫，フズリナ

(B) コノドント，セラタイト類アンモナイト

(C) アンモナイト，ベレムナイト

（４）大量絶滅事変①，②，③のいずれか１つについて，大量絶滅を引き起こした環境変動を説明せよ。

（５）斉一説（uniformitarianism）と激変説（catastrophism）について，それぞれの考え方を合計２００字以内で説明せよ。

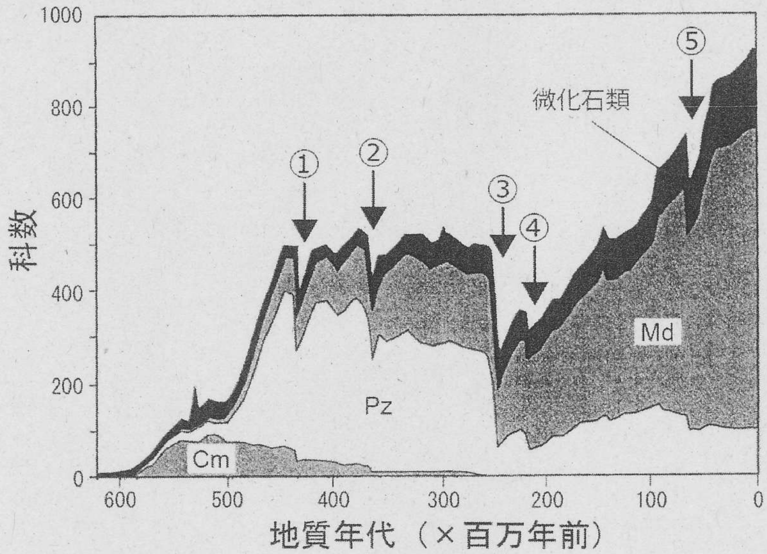

図１　顕生代における海生無脊椎動物の科数の時代変化（Sepkoski, 1981 を改変）。Cm：カンブリア紀型動物群，Pz：古生代型動物群，Md：現代型（中生代～新生代型）動物群。①～⑤は５回の大量絶滅事変を示す。

（ 次ページに続く ）

問２　次の８つの用語から４つを選び，それぞれ５０字程度で説明せよ。

（１）ストロマトライト（stromatolite）

（２）スース効果（Suess effect）

（３）澄江化石群（Chengjiang fossils）

（４）氷河擦痕（glacier striae）

（５）印象化石（impression fossil）

（６）ウミユリ類（crinoids）

（７）硬組織（hard tissue）

（８）メッシニアン塩分危機（Messinian salinity crisis）

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　以下の設問（１）～（３）に答えよ。

（１）　一般にケイ酸塩鉱物では，SiO_4 四面体が結晶の基本的な骨組みをつくっており，この配列の仕方によって結晶構造の分類がなされている。その分類のうち，３種類の名称を挙げて構造の特徴を説明し，それぞれの構造を持つ鉱物名を１つずつ記せ。

（２）　高圧になると，Si の配位数および配位多面体の形はどのように変化するか，陽イオンと陰イオンの半径（それぞれ Rc，Ra とする）比の圧力変化に基づいて説明せよ。また，その変化が起こる半径比 Rc/Ra の最小値を，計算過程も含めて有効数字２桁で解答せよ。

（３）　あるカンラン石の分析値と格子定数を下の表にまとめる。このカンラン石の密度はいくらになるか，計算過程も含めて有効数字２桁で解答せよ。ただし，カンラン石の単位格子には酸素を４としたときの化学式の４倍の原子が含まれている。SiO_2，MgO，FeO の分子量はそれぞれ 60.1，40.3，71.9 とする。アボガドロ定数は $6.02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$ とする。

表　カンラン石の分析値と格子定数

成分	重量%	結晶軸	軸長(nm)
SiO_2	41.2	a	0.48
MgO	50.9	b	1.02
FeO	7.9	c	0.60

（ 次ページに続く ）

問２　以下の設問（１）～（３）に答えよ。

（１）　１気圧下におけるフォルステライト（化学式 Mg_2SiO_4）とファイアライト（化学式 Fe_2SiO_4）の融点はそれぞれ 1890 ℃と 1205 ℃であり，両者の間は完全固溶体を形成する。この２成分系において，部分融解により生じるメルトの Fe/Mg 比がもとの固相の Fe/Mg 比よりも大きくなるか小さくなるか，融解関係の概略を図示して説明せよ。

（２）　１気圧下におけるディオプサイド（化学式 $CaMgSi_2O_6$）とアノーサイト（化学式 $CaAl_2Si_2O_8$）の融点はそれぞれ 1392 ℃と 1553 ℃であり，両者の間は固溶体を形成せず２成分共融系を形成する。その共融点は 1274 ℃で，共融点における液相の組成はアノーサイト成分 42 重量%である。この２成分系において，アノーサイト成分 71 重量%の岩石がサブソリダス温度より加熱されてリキダス温度に到達するまでの各相の量比と化学組成の変化を，融解関係の概略を図示して定量的に説明せよ。ただし反応は平衡に起こり，生じたメルトは系から取り除かれないものとする。

（３）　超苦鉄質岩は，カンラン石，直方輝石（斜方輝石），単斜輝石のモードに基づいて分類される。その中で，マントル捕獲岩として産出する頻度が多く，上部マントルの主要な岩石と考えられるものを２つ挙げよ。また，この２つの岩石名を用いて，中央海嶺直下の火成活動による上部マントルの化学分化について簡単に説明せよ。

問題4　化学（100 点）

以下の問い（**問1**，**問2**）に答えよ。

問1　図1を参考にして，以下の設問（1）～（5）に答えよ。

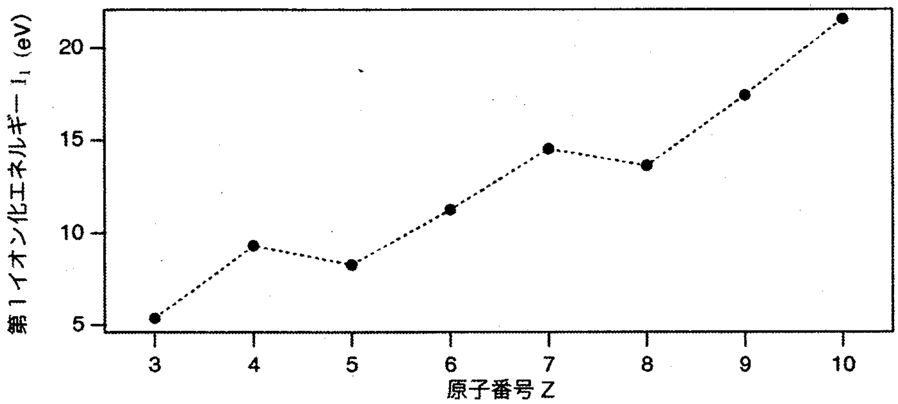

図1　元素周期表における第2周期の元素群の第1イオン化エネルギー I_1

（1）イオン化エネルギーとは何か，50 字程度で説明せよ。

（2）Z = 10 の元素の電子配置を $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^2\ 2p_y^2\ 2p_z^2$ とする時，Z = 7 の元素の電子配置を記せ。

（3）Z = 7 の元素が等核二原子分子の形態になっている時，その化学結合を表す適切な語句を以下より全て選び，その記号を答えよ。
(a) イオン結合　(b) 共有結合　(c) 単結合　(d) 二重結合　(e) 三重結合

（4）Z = 7 の元素は，隣接する元素より I_1 が大きい。その理由を 50 字以内で説明せよ。

（5）**図1**と同様に，元素周期表における第 3 周期の元素群のみの I_1 を原子番号順に並べた場合，隣接する元素より I_1 が大きい元素が二つ見られる。それらの原子番号と元素記号をそれぞれ記せ。

（　次ページに続く　）

問２ 以下の設問（１）～（６）に答えよ。

（１）炭素（C）の同位体の存在割合（原子数）は，^{12}C が 99%，^{13}C が 1%で，その他の同位体はごく微量しか存在しない。この時，炭素の原子量を計算し，有効数字 4 桁で答えよ。なお，^{12}C と ^{13}C の原子質量はそれぞれ 12.00 と 13.00 とする。

（２）設問（１）に記されている炭素（C）の同位体の存在割合を基に，^{12}C と ^{13}C の存在割合を重量比（$^{12}C/^{13}C$）で計算し，有効数字 2 桁で答えよ。

（３）天然における ^{14}C の主な生成過程を 50 字以内で説明せよ。

（４）ある放射性核種の量 P の放射壊変による減少率は，時間を t，壊変定数をλとすると，$dP/dt = -\lambda\ t$で表される。この微分方程式を解け。なお，Pの初期値を P_0とする。

（５）設問（４）で求めた任意の時間 tにおける Pを表す式を，λの代わりに半減期 Tを用いて記せ。

（６）ある地層から採取した植物の $^{14}C/^{12}C$ は 7.5×10^{-14}（モル比）であった。大気中の CO_2 の $^{14}C/^{12}C$ は現在 1.2×10^{-12}（モル比）であり，地球史を通して一定であったと仮定する。この植物が死んだ年代（年）を有効数字 2 桁で答えよ。なお，^{14}C の半減期は 5700 年とする。

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 とおく。

問1　内部エネルギーとエントロピーについて，以下の設問（1）～（4）に答えよ。必要なら次の関係を用いてもよい。

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

（1）等温変化での内部エネルギーと体積の関係 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$ を，p，T，Vを用いて表せ。

（2）理想気体の場合の設問（1）の値を求め，理想気体の性質について述べよ。

（3）エントロピーを温度と圧力の関数とし，その全微分を示せ。

（4）等エントロピー変化での圧力と温度の関係 $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S$ を，定圧モル比熱 C_p およびモル数 n，T，V，次式で定義される熱膨張率 α を用いて表せ。

$$\alpha = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

問2　閉鎖系の状態は2つの状態量を指定すると一義的に決まる。そのため，体積と圧力のグラフ上に，特定の状態量の等値線を描くことができる。**図1**の曲線A-B，A-C，A-D，A-Eはそれぞれ，エントロピー，内部エネルギー，エンタルピー，温度の等値線を示す。以下の設問（1）～（4）に答えよ。

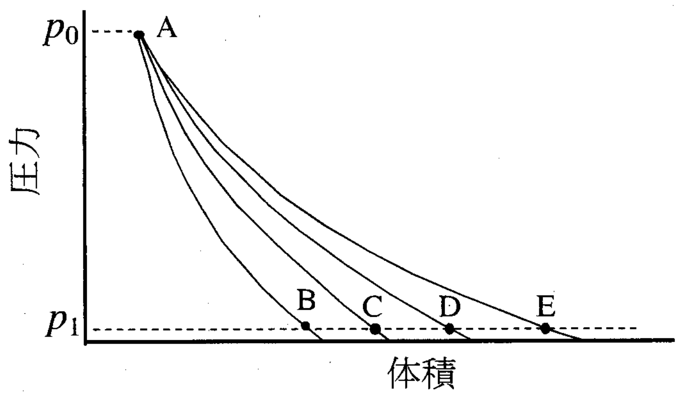

図1　実在気体の4種の状態量の等値線

（1）状態B，C，D，E をエントロピーの高い順に答えよ。また，その理由を述べよ。ただし，この物質の熱膨張率は正であるものとする。

（次ページに続く）

（2）**図２**のように２つの空間に仕切られた断熱容器の一方に実在気体を入れ，他方を真空にする。その時の実在気体の状態は**図１**のＡに一致する。仕切りの栓をはずすと気体は両空間を満たして，圧力は p_1 になった。この時の実在気体の状態はＢ～Ｅのいずれか。理由と共に答えよ。

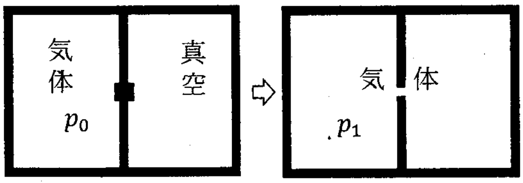

図２　気体の自由膨張実験

（3）**図２**の状態変化は不可逆過程である。この変化が不可逆過程であることは，どのような条件下でどの状態量がどのように変化したと表現できるか答えよ。

（4）**図２**の状態変化を理想気体に対して行なった場合，変化の前後が同じ値となる状態量をエントロピー，内部エネルギー，エンタルピー，温度の中からすべて挙げ，その理由を説明せよ。

問３　**図３**は実在気体の状態図である。臨界圧力 p_c 以下の状態Ｂの実在気体は定圧（圧力 p_0）で冷却すると温度 T_1 で液化し，さらに冷却すると状態Ａ（温度 T_A，圧力 p_0）の液体になる。実在気体について，以下の設問（1），（2）に答えよ。

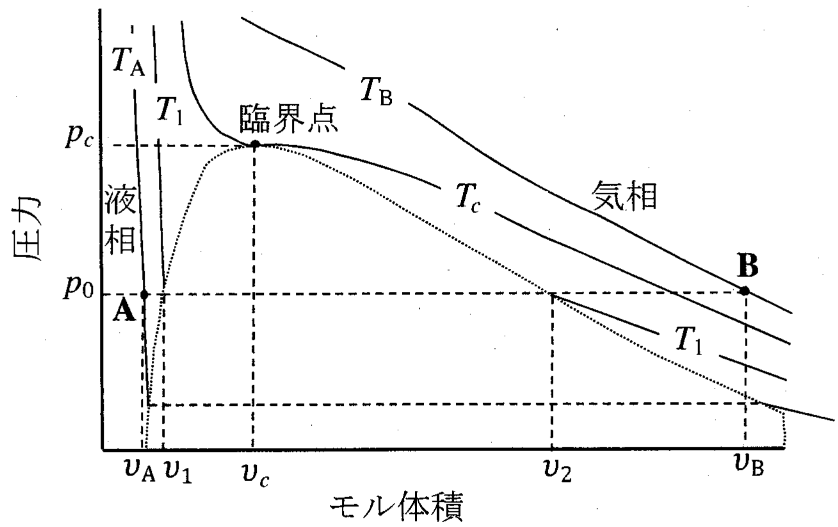

図３　実在気体１モルの状態図。曲線は等温線，灰色は気相と液相の共存する領域を示す。

（1）**図３**中の状態Ａのエントロピー S_A と状態Ｂのエントロピー S_B の差 $S_B - S_A$ を求めよ。ただし，**図３**中の記号と，液相から気相への転移の潜熱 L，液相の定圧モル比熱 C_L，気相の定圧モル比熱 C_G（いずれも定数とする）を用いて表せ。

（2）沸騰曲線の温度 T_1 での dp/dT を**図３**中の記号と潜熱 L を用いて表せ。途中の計算過程も記すこと。

問題6　力学（100 点）

以下の問い（問 1～問 3）に答えよ。途中の式変形や論理の流れも書くこと。

問 1　次の文を読んで，設問(1)～(2)に答えよ。

伸縮せず，自由に折れ曲がり，質量が無視できる一本のひもを摩擦の無い水平に固定された丸棒に架け，その一方の端に質量 m_A の物体 A を，他の端に質量 m_B の物体 B をつける（図 1）。物体 A，B には鉛直下向きの重力（重力加速度の大きさはg）が作用する。丸棒は物体 A と物体 B が接触しないほど太く，またひもと二つの物体は丸棒の中心軸に垂直な一つの平面内で運動するものとする。

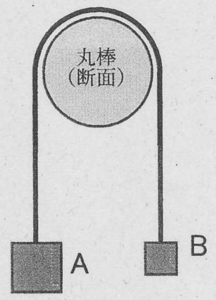

図 1

(1) 物体 A の運動方程式と，物体 B の運動方程式を書け。

(2) $m_A = M + \Delta m,\ m_B = M - \Delta m$（ただし，$0 < \Delta m < M$）の場合について，ひもから物体 A に働く力の大きさと向き，ひもから物体 B に働く力の大きさと向きを求めよ。

問 2　次の文を読んで，設問(1)～(2)に答えよ。

摩擦の無い水平な床の上に質量 Mの物体 A を置く。物体 A の上面は水平であり，その上に質量 m の物体 B を置く。物体 A と物体 B の間には摩擦力が働く。両物体は回転せずに水平に運動するものとする。時刻 $t = 0$ に物体 A に速度 $\vec{v}$ を，物体 B に速度 $\vec{u}$ を与えて運動させた（図 2a）ところ，時刻$t = t_f$ に両者の速度がともに $\vec{V}$となった（図 2b）。

(1) $t = 0$から$t = t_f$の間に物体 A および物体 B に作用した摩擦力の力積をそれぞれ $\vec{I_A}, \vec{I_B}$ とする。$\vec{I_A}$ および $\vec{I_B}$ を求めよ。さらに，物体 A から物体 B に作用する摩擦力と物体 B から物体 A に作用する摩擦力が作用反作用の関係にあることを用いて$\vec{I_A}$ と$\vec{I_B}$ の関係を述べ，これに基づいて $\vec{V}$ を求めよ。

(2) $t = 0$ から $t = t_f$ の間に摩擦力が物体 A および物体 B にした仕事をそれぞれ W_A, W_Bとする。$\vec{v}, \vec{u}$をいろいろに変えても，$|\vec{v} - \vec{u}|$ が不変であれば $W_A + W_B$ が不変であることを示せ。

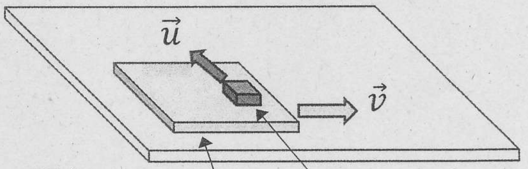

図 2a

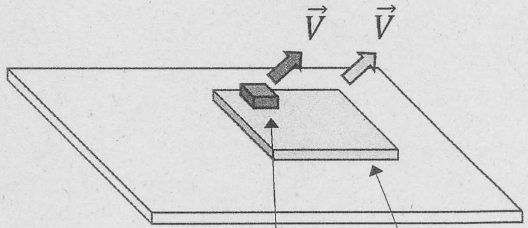

図 2b

（次ページに続く）

問 3　次の文を読んで，設問(1)～(4)に答えよ。

自然長が l_0 でバネ定数が k のバネが 2 本あり，各々の一端を，質量が m で大きさが無視できる物体 A に結びつけ，他端を固定点 P と Q に接続する。PQ 間の距離は $2L$ とする。P と Q の中点 O を原点として，Q に向かう向きに x 軸を，これと垂直に y 軸を設定する（図 3a）。物体 A は xy 平面内で運動するものとし，重力は無視せよ。なお，必要に応じて微小な θ についての近似式，たとえば

$$\sin\theta \cong \tan\theta \cong \theta,$$
$$\cos\theta \cong 1-\theta^2/2 \cong 1,$$
$$(1+\theta)^\gamma \cong 1+\gamma\theta$$

を用いてよい（γ は実数）。

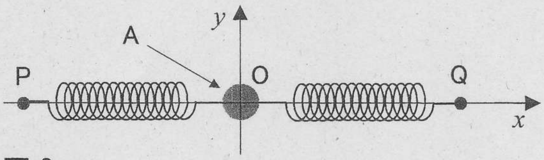

図 3a

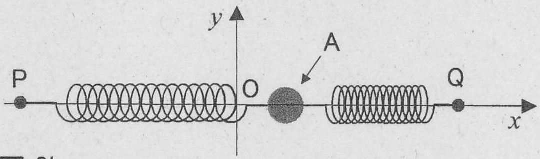

図 3b

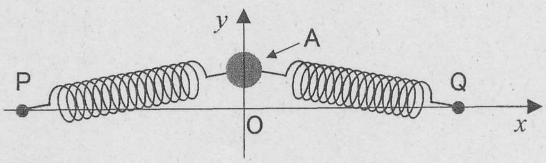

図 3c

(1) $L > l_0$ とする。このとき物体 A を手で点 O から x 軸に沿って a (>0) だけ変位させ静かに手を離すと（図 3b），物体 A は x 軸に沿って振動する。この振動の角振動数を求めよ。ただし，$a \ll L$ とする。

(2) $L > l_0$ とする。このとき物体 A を手で点 O から y 軸に沿って b (>0) だけ変位させ静かに手を離すと（図 3c），物体 A は y 軸に沿って振動する。この振動の角振動数を求めよ。ただし，$b \ll L$ とする。

(3) $L < l_0$ とする。このとき物体 A を手で点 O から y 軸に沿ってある距離 s (>0) だけ変位させて静かに手を離すと，物体 A はそのまま静止する。s を求めよ。

(4) $L < l_0$ とする。このとき物体 A を手で点 O から y 軸に沿って c (>0) だけ変位させて静かに手を離すと，物体 A は y 軸に沿って点 O から離れていく。その理由を説明せよ。ただし，$c \ll s$ かつ $c \ll L$ とする。

問題7　電磁気学（100 点）

以下の問い（問１～問４）に答えよ。真空の誘電率にはε_0, 真空の透磁率にはμ_0を用いよ。解答用紙には計算の過程も記せ。

問１　図１のように，電荷面密度σで一様に帯電した半径 R の円板がある。円板の中心から垂直方向に距離 x 離れた点Ｐでの電場の大きさを求めよ。

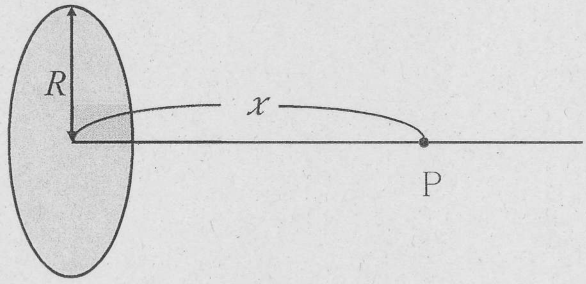

図１

問２　半径 R で，電荷 Q を持つ導体球がある。以下の設問(1)～(2)に答えよ。

(1)　導体球の電気容量 C を求めよ。

(2)　この場合の静電エネルギーを計算せよ。

問３　図２のように，半径 1cm で巻数 400 のコイルと 100 Ω の抵抗を繋いだ回路がある。このコイルを軸方向に貫いている一様な磁場$\vec{B}$があり，その磁場は 1 秒あたり 0.2 T の割合で減少している。このとき回路に流れる電流の大きさを求めよ。円周率πを 3.14 として計算せよ。

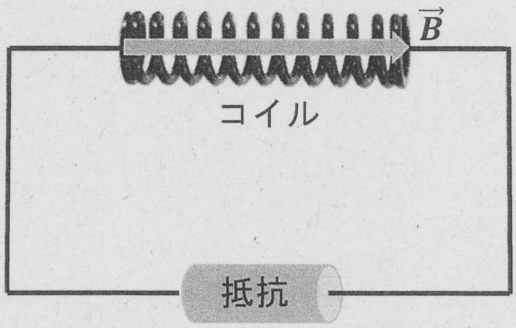

図２

問４　質量 m, 電荷 q を持つ荷電粒子が一様な磁場$\vec{B}$の中を運動している。この荷電粒子の運動エネルギーは一定であることを証明せよ。

問題８　物理数学（100 点）

以下の問い（**問１〜問４**）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を虚数単位とするとき，$z^2 - iz - 1 = 0$ を満たす複素数 zを極形式で表わせ。ただし，zの偏角 θの値の範囲を $0 \leq \theta < 2\pi$とする。

問２　正の整数 nに対して，(j, k)成分 a_{jk}が

$$a_{jk} = \begin{cases} 1 & (j + k = 2n + 1) \\ 0 & (j + k \neq 2n + 1) \end{cases}$$

で表わされる $2n \times 2n$行列（$2n$次の正方行列）

$$A = \begin{pmatrix} 0 & \cdots & 0 & 1 \\ 0 & \cdots & 1 & 0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ 1 & \cdots & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

を定義する。設問（１），設問（２）に答えよ。

（１）$n = 1$のとき，Aは 2×2行列で $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ である。Aの固有値を求めよ。

（２）$2n \times 2n$行列 Aの固有値を求めよ。

問３　$\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{k}$を x, y, z方向の単位ベクトルとする３次元直交座標系 (x, y, z)において，tをパラメタとして曲線 Cを $\boldsymbol{r}(t) = x(t)\,\boldsymbol{i} + y(t)\,\boldsymbol{j} + z(t)\,\boldsymbol{k}$で表わす。$x(t), y(t), z(t)$は実関数で，以下の連立微分方程式にしたがう。設問（１），設問（２）に答えよ。

$$\begin{cases} \dfrac{dx(t)}{dt} = 4x(t) + y(t) & (1) \\[2ex] \dfrac{dy(t)}{dt} = -2x(t) + 2y(t) & (2) \\[2ex] \dfrac{dz(t)}{dt} = -z(t) & (3) \end{cases}$$

（１）$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{i} - \boldsymbol{j} + \boldsymbol{k}$で表わされる点が曲線 C上にあるとき，この点における曲線 Cの接線ベクトルを求めよ。

（２）条件 $x(0) = 1$, $y(0) = -1$のもとで，式(1)と式(2)で構成されるような $x(t)$と $y(t)$に関する連立微分方程式を解け。

問４　次の周期 2πの関数 $f(x)$をフーリエ級数で表わせ。

$$f(x) = -x \quad (-\pi < x < \pi)$$