2020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　　**<u>問題５　熱力学</u>**　　**<u>問題６ 力学</u>**
<u>問題７　電磁気学</u>　　**<u>問題８　物理数学</u>**

(3) **<u>第１志望・第２志望ともに</u>**，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, 無機生物圏地球化学，地球惑星物質科学，地球外物質学，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) **<u>第１志望または第２志望で</u>**，太陽地球系物理学，宇宙地球電磁気学，大気流体力学，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・火山学の各研究グループを志望する受験生は，**<u>問題５～問題８</u>**（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３）に答えよ。

問１　次の文章を読み，以下の設問（１）～（４）に答えよ。

地球表層付近の環境下では，岩石は水・大気・生物などの関与により風化作用を受ける。岩石に力が加わり，より小さな破片へと粒径を減少させるような作用を (a)（　ア　）的風化という。また，大気や，雨水などの地表水と岩石・鉱物が化学反応し，岩石を構成する鉱物組成や化学組成を変化させる作用を (b)（　イ　）的風化という。これら２つの風化作用は地球表層で一様に進むわけではなく，(c) 地理的・気候的条件により規制されている。

（１）文中の空欄（　ア　），（　イ　）に入る語句を答えよ。

（２）下線部（a）について，主要な岩石破壊のメカニズムを二つ挙げ，それぞれ 100 字以内で説明せよ。

（３）下線部（b）について，熱帯～亜熱帯気候のように雨量が多く，水が活発に循環する地形条件では，鉄やアルミニウムといった溶脱されにくい元素だけが表層部に濃集し，生成された二次鉱物によって新たに鉱石（岩石）が形成される。上記の条件下で生じた鉱石のうち，代表的なものを二つ挙げよ。

（４）下線部（c）について，次の（A）～（C）の気候下では，上の文章中の空欄（　ア　）と（　イ　）のどちらの風化作用が進みやすいか。（　ア　），（　イ　）のどちらかで答えよ。

（A）寒冷気候　　（B）乾燥気候　　（C）温暖湿潤気候

（次ページに続く）

問２　図１は，砕屑粒子の堆積・運搬・侵食に関して粒径と流速の関係を，水路実験によって調べて示したものである。曲線**A**は，運動している粒子の堆積（運動停止）に関する粒径と流速の関係を，曲線**B**は停止（堆積）中の粒子の始動に必要な流速と粒径の関係を示している。この図について，以下の設問（１）～（４）に答えよ。

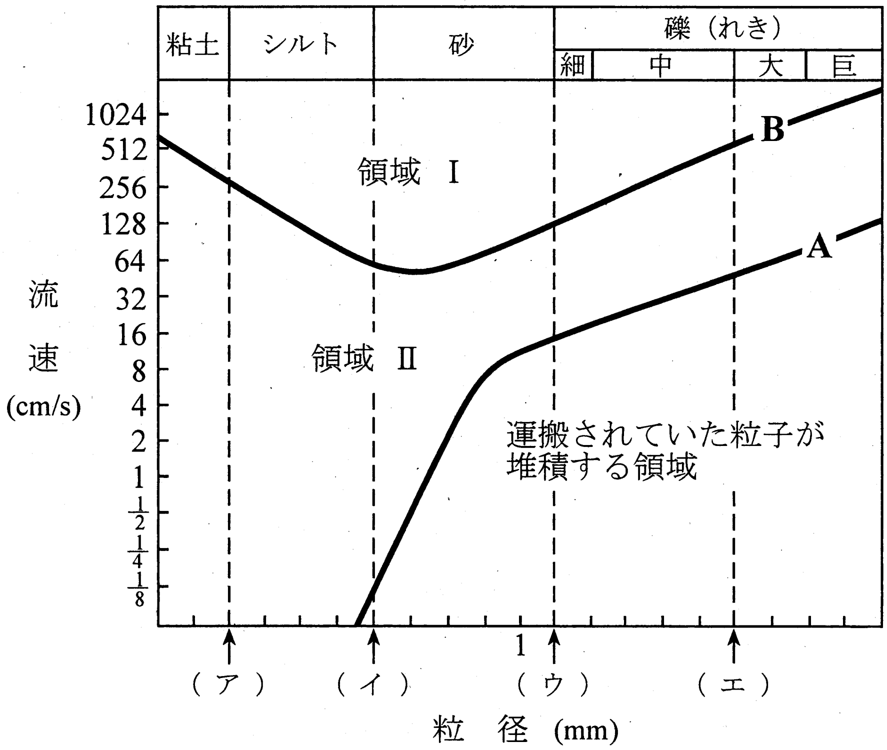

図１　粒子の移動開始および流動粒子の堆積を示す粒径と流速の関係
（勘米良ほか，1970 を改変）

（１）図中の空欄（ ア ）～（ エ ）に入る適切な数値を答えよ。

（２）図中の領域 I，II について，次の用語を用いてそれぞれ簡潔に説明せよ。ただし，同じ用語を複数回使ってもよい。
粒子，　運搬，　堆積，　侵食，　領域

（次ページに続く）

（３）水底に分布する砕屑粒子のうち，流れのない状態から徐々に流速を増していったとき，最初に動き出すものはどれか。最も適当なものを，次の（A）～（D）から選び，記号で答えなさい。

（A） 粘土　　（B） シルト　　（C） 砂　　（D） 礫（れき）

（４）流速を 1024 cm/s から徐々に下げて 16 cm/s に小さくしたときの粘土粒子および粒径 1 mm の砂粒子の運動様式について，次の用語を用いて 50 字程度で説明せよ。ただし，同じ用語を複数回使ってもよい。

懸濁，　転動，　跳躍，　浮遊，　運搬

問３　次の堆積組織・構造に関する用語から２つ選び，その用語が示す堆積環境や水理条件について，それぞれ 100 字以内で説明せよ。

（１）リップルマーク

（２）ハンモック状斜交層理

（３）フルートキャスト

（４）ストロマトライト

（５）ウーライト

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　次の文を読んで設問（１）～（５）に答えよ。

（a）白亜紀と白亜系の名称は，英仏海峡の沿岸部に分布する（b）チョーク（Chalk）層に由来する。（c）白亜紀の気候は温暖で，両極に氷床が存在しなかったため，海水準は現在よりも高かった。（d）陸上では植物相に顕著な変化があり，（e）海洋では海洋無酸素事変（Oceanic Anoxic Event, OAE）が複数回起こった。

（１）下線部（a）について，白亜紀と白亜系の違いを 50 字程度で示せ。

（２）下線部（b）について，チョーク層を構成する主要な生物遺骸を１つ挙げよ。

（３）下線部（c）について，白亜紀の気候が温暖であった原因を１つ挙げ，100 字程度で説明せよ。

（４）下線部（d）について，白亜紀の陸上植物に起こった変化の概要を 50 字程度で述べよ。

（５）下線部（e）について，白亜紀に起こった海洋無酸素事変の概要を 100 字程度で述べよ。

問２　次の３つの用語について，それぞれ 50 字程度で説明せよ。

（１）マリンスノー（marine snow）

（２）収斂（convergence）

（３）示相化石（facies fossil）

問３　次の設問（１），（２）に答えよ。

（１）カンブリア紀爆発の前後で生物はどう変化したか，最もよくあてはまるものを選び記号で答えよ。

（ア）単細胞から多細胞になった。　（イ）硬い甲殻を持つようになった。

（ウ）陸上へ進出した。　（エ）真核生物が出現した。

（２）造礁生物に関する記述で，正しくないものを１つ選び記号で答えよ。

（ア）カンブリア紀初期に古杯類（アーケオシアタス）が礁を形成した。

（イ）オルドビス紀には，層孔虫や床板サンゴ・四射サンゴ・ウミユリが礁を形成し，古生代末まで繁栄した。

（ウ）筆石はシルル紀の遠洋域で群生し礁を形成した。

（エ）六射サンゴは，新生代における礁の主要な構成要素である。

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) 天然で産する鉱物は様々な形態や組織を示す。以下の形態や組織を説明し，事例を1つずつ挙げよ。

(a) 双晶

(b) 劈開

(c) 組成累帯構造

(d) 離溶組織

(2) 鉱物は基本となる構造単位が3次元的に繰り返して形成されている。この繰り返しの基本単位が単位格子（単位胞）であり，単位格子の対称性と大きさは，格子定数（結晶軸の長さ (a, b, c) と軸角 (α, β, γ)）によって定義される。鉱物は，格子定数によって，その結晶系が分類される。以下の (a)〜(e) の場合の結晶系名を答え，相当する鉱物の例を1つずつ挙げよ。

(a) $(a=b=c)$，$(\alpha=\beta=\gamma=90°)$

(b) $(a=b\neq c)$，$(\alpha=\beta=\gamma=90°)$

(c) $(a\neq b\neq c)$，$(\alpha=\beta=\gamma=90°)$

(d) $(a\neq b\neq c)$，$(\alpha=\gamma=90°, \beta\neq 90°)$

(e) $(a\neq b\neq c)$，$(\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90°)$

(3) ケイ酸塩鉱物は，SiO_4 四面体が結晶の基本的な骨組みを作っており，その配列の仕方によって6つのグループに分類される。次の鉱物が，どのグループに属するか答えよ。

(a) 石英

(b) 斜長石

(c) カンラン石

(d) 雲母

(次ページに続く)

問2 **図1**は，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。**A**と**B**，**B**と**C**，**C**と**A**の共融線は，各辺の中点から垂直に伸びているとする。数字は液相面上の等温線(K)である。点**E**は共融点で，1100 Kである。以下の設問(1)〜(4)に答えよ。

ただし，温度や組成の値は，図から読み取ること。解答では，図中の記号を用いてよい。また，次の2点に注意すること。1. 問題の図を簡略化したものを描くなど，説明に工夫する。2. 出来るだけ定量的な記述をする。

(1) 点**P**(**A**=10%, **B**=20%, **C**=70%)で示される組成の固相の集合体が，加熱されて最初にできる液の組成を答えよ。

(2) 点**P**で示される液が冷却して，最初に晶出する固相とその時の温度を答えよ。

(3) 点**P**で示される組成の液が冷却し，平衡状態を保って固化する場合を考える。液が完全に結晶化するまでの，結晶化過程を説明せよ。その際，おおよその温度と存在する相の種類を記述すること。

(4) 点**P**で示される組成の液が冷却し，分別結晶作用によって固化する場合を考える。晶出した結晶は，直ちに系から取り去られ下部に沈降し液を含まない沈積層を随時形成していくとする。液が，完全に結晶化した後に形成される沈積層の層構造について，液の組成の変化に触れながら、できるだけ詳細に議論せよ。ただし，各固相の密度は等しいとする。

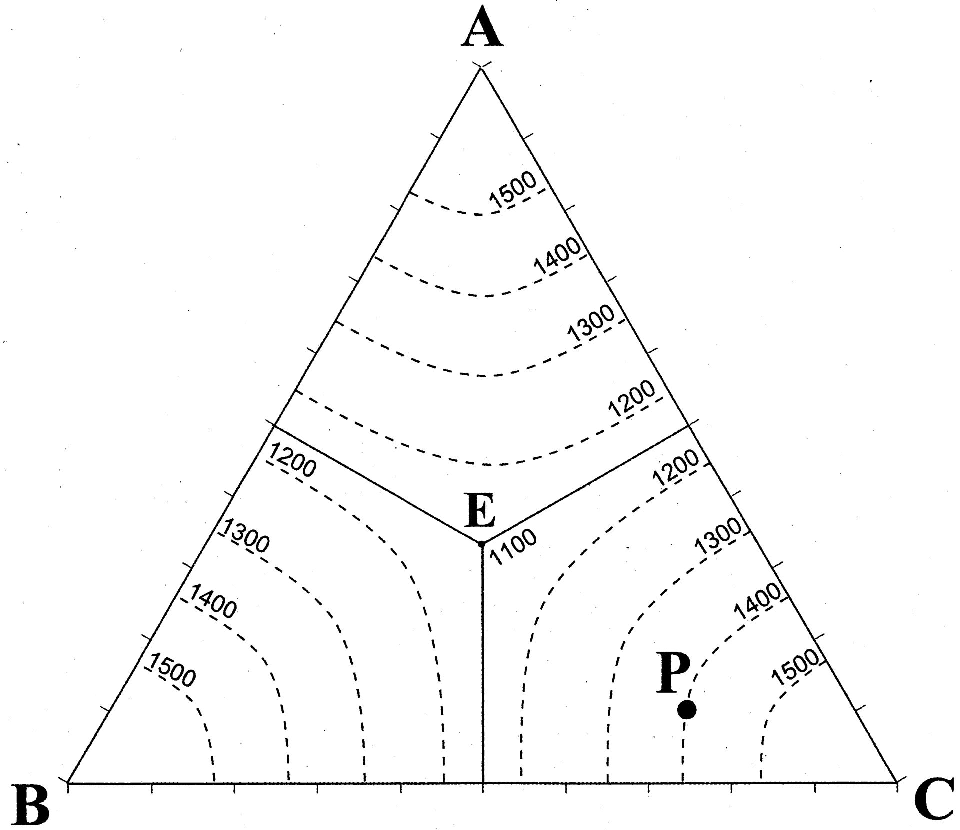

図1

問題4　化学（100 点）

以下の問い(**問1**，**問2**)に答えよ。

問1　フッ化水素(HF)の化学結合について，以下に示した説明文および**図1**を参考にして設問(1)～(3)に答えよ。

フッ素(F)原子の 2p 軌道のうちの1つの軌道と水素(H)原子の 1s 軌道の相互作用でフッ化水素(HF)の分子軌道が導かれる。この結合は結合軸上に電子が集中するσ結合である。**図1**は，H 原子，F 原子，HF 分子の軌道エネルギー準位の関係を示したものである。図中に Φ1 で示した HF 分子の(　**ア**　)軌道のエネルギー準位は(　**イ**　)原子の(　**ウ**　)軌道のエネルギー準位に近い。このことから，HF 分子の結合は(　**エ**　)原子の影響を大きく受けていることが示唆される。一方，電気陰性度を比べると，この結合に関与する電子は，(　**オ**　)原子のほうに強く引きつけられている。このために(　**カ**　)原子は部分的に正の電荷，(　**キ**　)原子は部分的に負の電荷を帯びることになる。すなわち，(a)<u>H－F 結合はイオン性を持った共有結合である</u>。

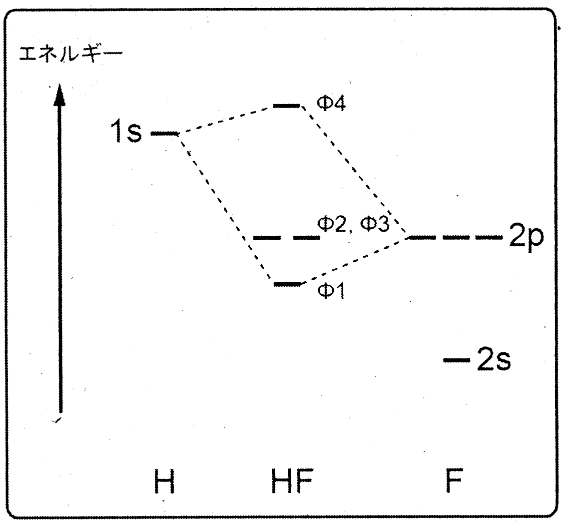

図1　フッ化水素（HF）の分子軌道の一部

(1)　(　**ア**　)～(　**キ**　)に入る適切な記号を以下から選んで記せ。同じ記号を複数回選んで良い。

H　F　HF　1s　2s　2p　σ　σ^*　π　π^*

(2)　下線部(a)のような結合を持つ分子の例を1つあげ，部分的に負の電荷を帯びている原子を示せ。

(3)　HF分子に他のHF分子が接近してくると，どのような分子間力が働くと考えられるか。簡単に説明せよ。

（次のページに続く）

問２　地下水は、河川水などの表面水より下に存在し，土壌や地層中に存在する水をいう。地下水と土壌に関する以下の設問(1)～(5)に答えよ。

(1)　土壌に特有な有機成分として腐植物質がある。腐植物質にはどのようなものがあるか。例を一つあげよ。

(2)　土壌中に見られる植物の遺骸に由来する有機物の炭素安定同位体比（$^{13}C/^{12}C$）を，大気の二酸化炭素（CO_2）の炭素安定同位体比と比べると，どちらが ^{13}Cに富んでいるか。そのような相違が見られる理由とともに述べよ。

(3)　**表１**は，日本の地下水と河川水の平均的な化学組成を比較したものである。地下水も河川水も，水の起源は雨や雪としてもたらされた水（天水）である。それにもかかわらず，陽イオンの濃度に大きな違いが生じるのはなぜか。

表１　日本の地下水と河川水の平均的な化学組成（濃度の単位は mg･L^{-1}）

成分	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^{-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	SiO_2
地下水	50	7.0	30	3.0	200	20	30	16
河川水	8.8	1.9	6.7	1.2	31	5.8	10	19

(4)　地下水と河川水の化学組成の違いをもたらすもう一つの要因として，地下水では大気との接触が断たれることがある。その結果，地下水は河川水に比べて酸化的になるか，それとも還元的になるか。そのように考えた理由と合わせて述べよ。

(5)　設問(4)で述べた酸化還元状態の違いを反映して，一部の地下水で高い濃度が見られるが一般的な河川水では濃度がきわめて低い陽イオンがある。**表１**に示されてないイオンからその例を一つあげよ。Ca^{2+}のように元素記号と価数で示すこと。

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　任意の3つの状態量 A, B, C の間に次式が成り立つことを示せ。

$$\left(\frac{\partial A}{\partial B}\right)_C \left(\frac{\partial B}{\partial C}\right)_A \left(\frac{\partial C}{\partial A}\right)_B = -1 \qquad ①$$

問2　系が準静的に微小変化したときの内部エネルギーの変化は，得た熱量を $d'Q$ とすると次のように表される。

$$dU = d'Q - pdV \qquad ②$$

熱容量と圧縮率について，以下の設問（1）～（4）に答えよ。ただし，対象とする系は理想気体に限らないことに注意すること。

（1）②式より定積熱容量 C_V が次式で表現されることを示せ。

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \qquad ③$$

（2）②式を p, T を独立変数として書きかえることで，定圧熱容量 C_p が次式で表現されることを示せ。

$$C_p = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_p + p\right]\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \qquad ④$$

（3）②式を p, V を独立変数として書きかえることで，断熱過程における次式を導け。ただし，左辺の下つき添字 ad は断熱過程であることを意味する。

$$\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_{\mathrm{ad}} = \frac{-\left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_p + p\right]}{\left(\frac{\partial U}{\partial p}\right)_V} \qquad ⑤$$

（次ページに続く）

（４）断熱圧縮率 $\beta_{\rm ad}$ と等温圧縮率 β_T はそれぞれ次のように定義される。

$$\beta_{\rm ad} = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_{\rm ad}, \quad \beta_T = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \qquad ⑥$$

この２種の圧縮率の比 $\beta_{\rm ad}/\beta_T$ を，C_p と C_V を用いて表現せよ。途中の過程も記述すること。必要なら，p, V, T について①式の関係を用いよ。

問３　ギブスの自由エネルギー $G(=U+pV-TS)$ について，以下の設問（１）～（４）に答えよ。

（１）G の微小変量 dG が次のように表されることを示せ。

$$dG = -SdT + Vdp \qquad ⑦$$

（２）T を一定にしたとき，G の p についての１次と２次の導関数の符号を説明せよ。それに基づき，縦軸 G，横軸 p の定性的な図を描け。ただし，等温圧縮率 β_T の符号は正である。

（３）一定圧力のもと，１成分からなる固相と液相は，それぞれ融点（T_m）以下と融点以上の温度で安定である。固相と液相の G を T の関数として定性的に図示し，融解熱 L に関連づけてこの事実を説明せよ。ただし，図中に融点 T_m を明示すること。

（４）設問（３）の融点は，圧力を変えると変化し，温度 － 圧力のグラフ上で曲線となる。この曲線の傾き dp/dT が次のように表されることを示せ。ただし，V_s と V_ℓ はそれぞれ融点における固相と液相の体積である。

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T_m(V_\ell - V_s)} \qquad ⑧$$

問題6　力学　(100点)

以下の文章を読んで問い（**問1，問2**）に答えよ。計算の途中過程も書くこと。

問1　位置座標 (x, y) は２次元極座標において r と φ (単位はラジアン) を用いて

$$x = r\cos\varphi, \quad y = r\sin\varphi$$

と表される。

（1）　質点 (質量 m) の r 方向と φ 方向の運動方程式は，r 方向の外力 F_r，φ 方向の外力 F_φ を用いて

$$m(\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2) = F_r$$
$$m(2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi}) = F_\varphi$$

と，それぞれ表せることを示せ。

（2）　設問（１）の２次元極座標表示の運動方程式を，次ページ**図１**左のように質量 m のおもりを支点 **A** より一定の長さ l のひもでつるした単振子に適用し，振動の周期を求めよ。重力加速度の大きさは g とし，摩擦や抵抗は無視できるとする。この設問に関しては単振子の最大振れ角 θ_0 は，$\sin\theta_0 = \theta_0$ の近似が成立するほど小さいとする。

（3）　ひもにかかる張力を l, m, g, θ_0，振り子の振れ角 θ を用いて表せ。また，張力が最大となるのはどのようなときか答えよ。

（4）　振り子の１周期の間に，ひもにかかる張力が成す仕事を求めよ。

（5）　次に，次ページ**図１**右のように，質量 m のおもりを支点 **B** より一定の長さ l のひもでつるし，鉛直方向との間の角度を θ_0 に保ちながら等速で円運動をしている状況を考える (円錐振り子)。この円運動の周期と，ひもにかかる張力を求めよ。

（6）　円軌道の中心点 **O**，および支点 **B** のまわりのおもりの角運動量の大きさを，それぞれ求めよ。また，それぞれの角運動量の向きが時間的に一定であるかどうか答えよ。

（7）　設問（５）の円錐振り子と，設問（２）の単振子では，どちらの力学的エネルギーがどれだけ大きいか式を用いて答えよ。

（次ページに続く）

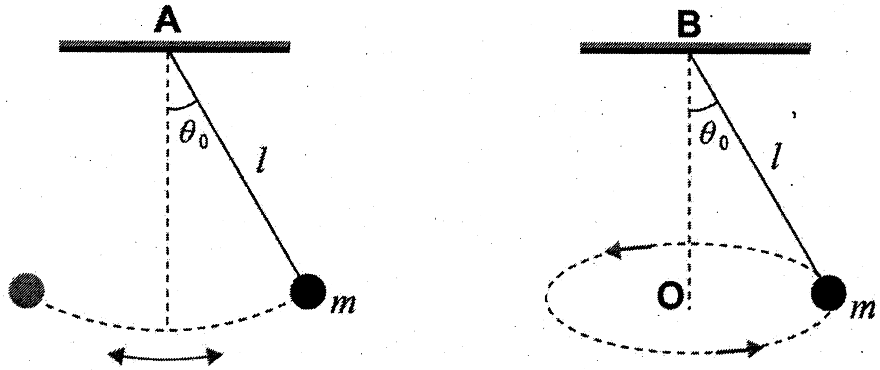

図 1

問 2　**図 2** のような固定された台の斜面の中点に質量 m のおもりが置かれ，手で静止させている 2 つの状況を考える。**図 2** 左は，質量 m のおもり **A** が 1 つだけ台に乗っている。**図 2** 右は質量 m のおもり **A´** の前後に，おもり **B** と，質量 m のおもり **C** が摩擦や抵抗の無視できる滑車と糸で結ばれている。台とおもり間の摩擦は無視できるとする。静かにおもり **A** と **A´** から手を離すと，それらはまったく同じ加速度で運動した。重力加速度の大きさを g として，おもりの大きさは無視できるとする。

（1）　手を離してから，おもり **A** が斜面の下端 **X** に達するまでの時間を求めよ。

（2）　おもり **B** の質量を求めよ。

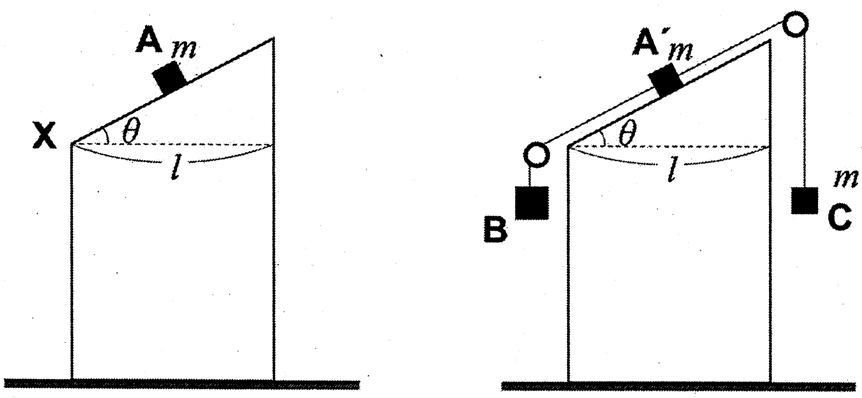

図 2

問題７　電磁気学（100 点）

以下の問い（問１〜問３）に答えよ。真空の誘電率はε_0，真空の透磁率はμ_0とする。計算の途中過程も書くこと。

問１　半径 R の無限の長さの円柱の導体に電流 I が流れている。電流密度は導体内で一様とする。円柱の中心軸からの距離 r の関数として，磁束密度の大きさを求めよ。

問２　図１に示すように，距離 $3a$ 離れた場所に電荷 q と$-2q$ を配置する。点 **A** と点 **B** の電位差$\phi(\mathbf{A})-\phi(\mathbf{B})$を求めよ。

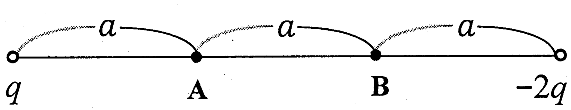

図１

問３　三次元直交座標系（x，y，z）において，真空中を伝播する電磁波の磁束密度ベクトルが以下のような平面波で与えられているとする。

$$\vec{B} = B_0 \sin\,(x + 3.00 \times 10^8 t)\vec{k}$$

ここで，x の単位はメートル，t の単位は秒であり，$\vec{i}$，$\vec{j}$，$\vec{k}$ をそれぞれ x 軸，y 軸，z 軸方向の単位ベクトルとする。以下の設問（1）〜（4）に答えよ。

（1）この平面波の波長 λ を求めよ。
（2）この平面波の周期 T を求めよ。
（3）この平面波における電場ベクトルを求めよ。
（4）この平面波におけるポインティングベクトルの方向と大きさを求めよ。

問題８　物理数学（100 点）

以下の問い（**問１～問５**）に答えよ。

問１　次の周期2πの関数$f(x)$をフーリエ級数で表せ。

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

問２　以下の設問（１），（２）に答えよ。

（１）次の常微分方程式が完全微分形であることを示し，その一般解を求めよ。

$$y+\frac{2}{y^2}+\left(x+2y-\frac{4x}{y^3}\right)\frac{dy}{dx}=0$$

（２）次の連立常微分方程式の一般解を求めよ。

$$3\frac{du}{dx}+2\frac{dv}{dx}+u+v=0$$

$$\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dx}+7u+5v=0$$

問３　ベクトル演算子に関する以下の設問（１），（２）に答えよ。ただし，$\boldsymbol{i},\boldsymbol{j},\boldsymbol{k}$は直交座標系における$x,y,z$方向の単位ベクトルである。

（１）$\mathrm{rot}\boldsymbol{A}=\boldsymbol{0}$，$\mathrm{rot}\boldsymbol{B}=\boldsymbol{0}$ ならば，

$$\mathrm{div}(\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B})=0$$

が成り立つことを証明せよ。ここで，$\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}$は$x,y,z$の関数であり，$\boldsymbol{A}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k}$，$\boldsymbol{B}=B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k}$ である。

（２）次の式を証明せよ。ただし，$\boldsymbol{C}$は一定のベクトルである。

$$\mathrm{div}\big((\boldsymbol{C}\cdot\boldsymbol{r})\boldsymbol{C}\big)=|\boldsymbol{C}|^2$$

ここで，$\boldsymbol{C}=C_x\boldsymbol{i}+C_y\boldsymbol{j}+C_z\boldsymbol{k}$，$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}+z\boldsymbol{k}$である。

問４　以下の関係を証明せよ。ただし，iは虚数単位である。

$$\cosh(iy)=\cos y,\quad \sinh(iy)=i\sin y$$

問５　次の行列Aの固有値と規格化した固有ベクトルを求めよ。

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