令和７年４月入学　総合研究大学院大学先端学術院先端学術専攻

極域科学コース入学者選抜試験 専門科目 ５年一貫制博士課程

＜注意事項＞

・ 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
・ 試験時間は 120 分です。
・ 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
・ 問題及びページ番号は次のとおりです。計２問を選択して解答しなさい。２問は同一の分野から選択しても、別々の分野から選択しても構いません。

数　学 p. 1	力　学 p. 2	電磁気学 p. 3-5
熱 力 学 p. 6-7	無機化学 p. 8-9	
地球科学１ p. 10-11	地球科学２ p. 12-13	地球科学３ p. 14-17
生 物 学１ p. 18-20	生 物 学２ p. 21-22	

・ 解答用紙には罫線のものと、白紙のもの、マス目のもの３種類がありますが、どれを使用しても構いません。
・ 解答用紙がさらに必要な場合には、手を挙げて監督者に知らせなさい。
・ 試験開始の合図後に、解答用紙の指定の欄に受験番号、氏名及び選択した問題を記入しなさい。解答用紙は１問ごとに別に作成しなさい。
・ １問につき解答用紙が複数枚にわたる場合には、すべての解答用紙に受験番号、氏名及び選択した問題を記入し、さらに、解答用紙右下の所定の欄に、ページ数を記入しなさい（２枚の場合には、１／２、２／２、３枚の場合には１／３、２／３、３／３）。
・ 試験中は机の上の見やすい場所に受験票をおきなさい。
・ 試験中に机の上におけるのは、受験票の他、黒鉛筆、シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り（手動式のもの）、時計（計時機能だけのもの）です。
・ 耳栓は使用できません。
・ ハンカチ、ティッシュペーパー、目薬等の使用を希望する者は、監督者に申し出て許可を受けてから使用しなさい。
・ 試験時間中は、監督者の指示に従って下さい。従わない場合は退室させることがあります。
・ 不正行為と認められた場合は、受験自体を無効とします。
・ 試験室に入室してから試験終了までは、試験中の発病又はトイレ等やむを得ない場合を除いて原則として一時退室を認めません。やむを得ない場合には、手を挙げて監督者の指示に従いなさい。一時退室が認められた場合でも、原則として試験時間の延長は認めません。
・ 試験終了時間前に解答を終了した場合には退室を認めます。その場合には、手を挙げて監督者の指示に従いなさい。ただし、試験終了 15 分前以降試験終了までの間は、退室を認めません。
・ 試験終了５分前になったら、終了５分前の合図をします。
・ 試験終了後、問題冊子、解答用紙を持ち帰ってはいけません。

＜数学＞

問題：以下の問１～問５に答えよ。

問１．x,y,z 軸で定義される直交座標系において、スカラー関数$\emptyset$を

$$\emptyset = (y - \pi t)\sin(x - \pi t) - tz$$

とする。ただし、πは円周率、tは定数とする。

（1）$z = 0,\ t = 1$ のとき、 $0 \leq x \leq 2\pi,\ 0 \leq y \leq 2\pi$ の範囲で $\emptyset = 0$ を満たす場所を x, y の条件として示し、x, y 面に図示せよ。

（2）$\mathrm{grad}\,\emptyset$ を求めよ。

（3）$t = 0$ のとき、 $0 \leq x \leq 2\pi,\ 0 \leq y \leq 2\pi$ の範囲で $|\mathrm{grad}\,\emptyset|$ が最大になる場所を x, y, zの条件として示し、その時の$\mathrm{grad}\,\emptyset$ 及び $|\mathrm{grad}\,\emptyset|$ を求めよ。

問２．行列 $A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 4 \\ 2 & -3 & 1 \\ 3 & -5 & -1 \end{pmatrix}$ について、

（1）行列式　$\det A$ を求めよ。

（2）A の余因子行列を求めよ。

（3）逆行列 A^{-1} を求めよ。

問３．行列 $\begin{pmatrix} 3 & 0 \\ 8 & -1 \end{pmatrix}$ の固有値と固有ベクトルを求めよ。固有ベクトルは長さ 1 とする。

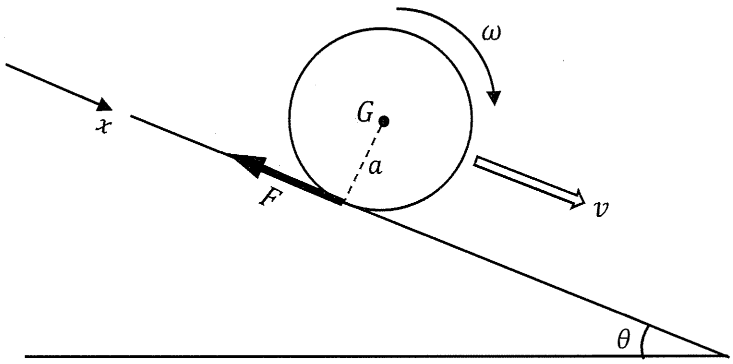
問４．以下の微分方程式の一般解を求めよ。

$$\frac{dy}{dx} = 3xy$$

問５．原点からの距離 r と x 軸から反時計回りの角度 θ を用いた極座標系で表示した $r(\sin\theta - \cos\theta) = 0$ の関係を、x,y 軸で定義される直交座標系で示せ。

＜力学＞

問題：下図に示すように、鉛直下向きの一様な重力場（重力加速度の大きさg）の下で、水平面とθの角をなす斜面上を、質量M、半径aの一様な円柱が転がっていくものとする。斜面と円柱の間には摩擦があり、円柱が斜面を滑ることなく回転するものとする。円柱の角速度をω、円柱の重心Gの斜面に沿ったx軸方向の速度をv、円柱と斜面の間に働く摩擦力をFとする。下記の問（１）～（７）に答えよ。解答に至るまでの過程も記せ。



（１） この円柱の重心Gを通り、円に垂直な中心軸まわりの慣性モーメントIは $I = \frac{Ma^2}{2}$であることを示せ。

（２） 円柱の重心Gの、斜面に沿ったx軸方向の運動方程式をM、v、F、θ、gを用いて書け。

（３） 円柱の回転の運動方程式をI、ω、F、aを用いて書け。

（４） 円柱の重心Gの加速度と円柱に働く摩擦力FをM、θ、gを用いて求めよ。ただし、円柱の慣性モーメントIは $I = \frac{Ma^2}{2}$ である。

（５） 円柱を斜面に置き、静かに離した。時刻 $t = 0$ の時、$v = 0$、$\omega = 0$の状態から、斜面に沿って円柱が転がった距離をxとして、時刻tでの距離xを求めよ。

（６） 円柱がこの斜面を落差Hだけ転がった時の速度vを求めよ。

（７） 円柱と斜面の間の静止摩擦係数をμとし、円柱が滑ることなく転がるための θ の条件を求めよ。

＜電磁気学＞

電磁気学の解答にはM.K.S.A.有理単位系（国際（SI）単位系）を用いることとする。

問題１：図１に示すようなＯを中心とする球状コンデンサを考える。内球と外球殻はどちらも完全導体であり、その間は真空であるとする。内球の半径は a、外球殻の内径は b、外径は c（$c>b>a$）であるとし、内球に Q_1（$Q_1>0$）、外球殻に Q_2（$Q_2>0$）の電荷を与える。真空の誘電率を ε_0 とし、Ｏからの距離を r として、次の問（１）～（５）に答えよ。

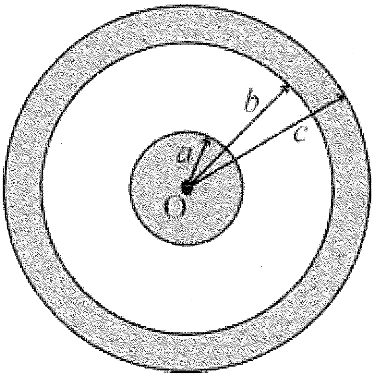


図１

（１）外球殻の内面における電荷を求めたい。次の空欄（あ）～（え）を埋めよ。

Ｏを中心とし、外球殻内の点を通る球面 S を考える。外球殻の内面の電荷を Q' とすると、$\boxed{\text{（あ）}}$ の法則（積分形）により、

$$\int_S \boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{n}dS = \boxed{\text{（い）}}$$

ここで、$\boldsymbol{E}$ は球面 S における電場、$\boldsymbol{n}$ は球面 S の外向き単位法線ベクトルであり、積分は球面Ｓに関して行われる。外球殻は導体であり、導体の内部で電場の大きさは、$E=\boxed{\text{（う）}}$ となるので、外球殻の内面の電荷は、$Q'=\boxed{\text{（え）}}$ となる。

（２）外球殻の外部、及び、内外両球間における電場をそれぞれ求めよ。

（３）内球と外球殻の間の電位差を求めよ。

（４）外球殻を接地した場合、外球殻の外部、及び、内外両球間における電場をそれぞれ求めよ。

（５）内外両球間に蓄積される静電エネルギーを求めよ。

(次ページに続く)

問題２：誘電率と透磁率が、それぞれ ε_1、μ_1 及び ε_2、μ_2の異なる媒質１と媒質2 が接しているとする。媒質１から、境界面に向かって電場の振幅が$\boldsymbol{E}_0$の電磁波が入射するとき、その一部は振幅 $\boldsymbol{F}_0$ で反射し、他の一部は振幅 $\boldsymbol{R}_0$ で屈折して媒質２に入っていく。図２は、それぞれの波の電場の振幅のxz平面内の成分をE_p、F_p、R_p、y軸方向の成分をE_s、F_s、R_s とした場合を示している。ここで、入射する電磁波が平面波かつ直線偏波である場合、この反射および屈折について、以下の空欄（あ）～（つ）に当てはまる数式や値を答えよ。

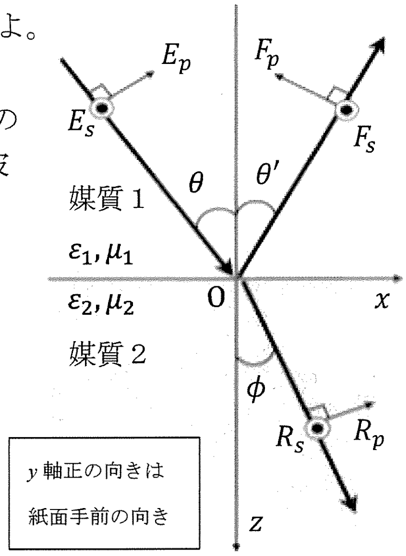


図 2

角振動数ω、 波数 $\boldsymbol{k} = (k_x, k_y, k_z)$とし（ただし以降の波数ベクトルの成分は全て実数とする）、入射平面波を与えるベクトル・ポテンシャルを

$\boldsymbol{A}(\boldsymbol{x}, t) = \frac{1}{i\omega}\boldsymbol{E}_0 \mathrm{e}^{i(\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{x} - \omega t)}$ （iは虚数単位）

としたとき、

電場 $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{x}, t) = -\frac{\partial \boldsymbol{A}(\boldsymbol{x},t)}{\partial t} =$ （あ）

磁場 $\boldsymbol{B}(\boldsymbol{x}, t) = rot\, \boldsymbol{A}(\boldsymbol{x}, t) =$ （い）

と書ける。

ここで、 $\boldsymbol{x} = (x, y, z)$、$\boldsymbol{E}_0 = (E_{0x}, E_{0y}, E_{0z})$とする。

反射波および屈折波についてもベクトル・ポテンシャルを

$$\boldsymbol{A}'(\boldsymbol{x}, t) = \frac{1}{i\omega}\boldsymbol{F}_0 \mathrm{e}^{i(\boldsymbol{k}'\cdot\boldsymbol{x} - \omega' t)},\qquad \boldsymbol{A}''(\boldsymbol{x}, t) = \frac{1}{i\omega}\boldsymbol{R}_0 \mathrm{e}^{i(\boldsymbol{k}''\cdot\boldsymbol{x} - \omega'' t)}$$

とする。$\boldsymbol{k}' = (k'_x, k'_y, k'_z)$, $\boldsymbol{F}_0 = (F_{0x}, F_{0y}, F_{0z})$ および $\boldsymbol{k}'' = (k''_x, k''_y, k''_z)$, $\boldsymbol{R}_0 = (R_{0x}, R_{0y}, R_{0z})$ である。このとき、$z = 0$ の xy 平面上での、それぞれの電磁波の電場のx成分 E_x、 F_x、 R_xは

$E_x =$ （う） 、$F_x =$ （え） 、$R_x =$ （お）

と書け、x成分の連続性の条件は $E_x + F_x = R_x$ である。

上記の連続性が任意の時刻 t について成り立つには、角振動数について $\omega = \omega' = \omega''$ 、x 方向における波数 k_x、 k'_x、k''_x と y 方向における波数 k_y、k'_y、k''_y について、$k_x = k'_x = k''_x$ および $k_y = k'_y = k''_y$ が成り立つ。3 つの波数ベクトルは同一平面内に存在しなくてはならないため、xz 平面内に波数ベクトルが存在すると考える。このとき $k_y = 0$ である。

（次ページに続く）

図２のように振幅$\boldsymbol{E}_0$ の xz 平面内の成分をE_p、y軸方向の成分をE_sとした際に、それぞれ振幅$\boldsymbol{E}_0$ と波数$\boldsymbol{k}$ は E_s、E_p、ω、媒質１での速度v_1と入射角θを使って、

$$\boldsymbol{E_0} = (E_{0x}, E_{0y}, E_{0z}) = (\boxed{\text{（か）}}, \boxed{\text{（き）}}, \boxed{\text{（く）}})$$

$$\boldsymbol{k} = (k_x, k_y, k_z) = (\boxed{\text{（け）}}, 0, \boxed{\text{（こ）}})$$

と書ける。振幅$\boldsymbol{F}_0$ 、$\boldsymbol{R}_0$ についても、図２のようにxz平面内の成分をF_p、R_p、y軸方向の成分をF_s、R_sとする。同様に、振幅$\boldsymbol{F}_0$と波数$\boldsymbol{k}'$を、F_s、F_p、R_s、R_p、ω、v_1と媒質２での速度v_2、反射角θ'、屈折角ϕのうち必要なものを使って示すと、

$$\boldsymbol{F_0} = (F_{0x}, F_{0y}, F_{0z}) = (\boxed{\text{（さ）}}, \boxed{\text{（し）}}, \boxed{\text{（す）}})$$

$$\boldsymbol{k}' = (k'_x, k'_y, k'_z) = (\boxed{\text{（せ）}}, 0, \boxed{\text{（そ）}})$$

と書ける。

電場のx成分の連続性の条件 $E_x + F_x = R_x$ より、

$$\boxed{\text{（た）}} = R_p \cos\phi \, \mathrm{e}^{i\omega x \sin\phi / v_2}$$

が成り立つ。この式が任意のxで成り立つためには、

$$\frac{\sin\theta}{v_1} = \frac{\sin\theta'}{v_1} = \boxed{\text{（ち）}}$$

となる。したがって、入射角θと反射角θ'について、

$$\theta = \boxed{\text{（つ）}}$$

の関係が成り立つ。

<熱力学>

問題１：1 mol の理想気体を考える。以下の文章の空欄［ ① ］～［ ⑧ ］を適切な語句または数式で埋めよ。

温度を一定にした状態で、圧力を加えた時の気体の体積を測定すると、圧力と気体の体積が反比例することを確かめることができる。圧力を P、気体の体積を Vとすると、［ ① ］＝ 一定という式で表現できる。これを［ ② ］の法則と言う。

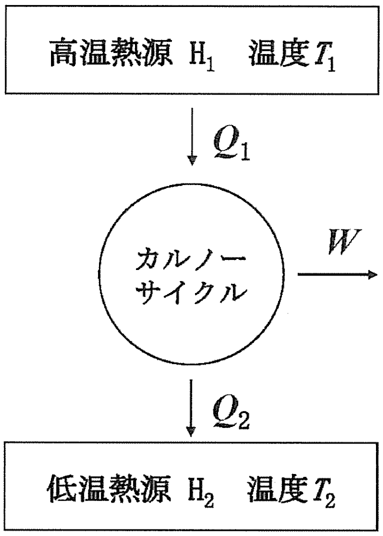
圧力を一定にした時、気体の温度による膨張率は気体によらず［ ③ ］である。気体の体積を 0 ℃の時 V_0とし、t ℃の時 Vとすると、膨張率は
$(V-V_0)/V_0 = t/273.15$（但し圧力は一定）である。この式を書き直すと、$V =$［ ④ ］となる。これを［ ⑤ ］の法則と言う。

t ℃を、$T = 273.15+t$ と表現する場合、この時の Tを［ ⑥ ］と言う。これを用いると、$V =$［ ④ ］の式は、$V =$［ ⑦ ］の式で表すことができる。

［ ② ］の法則と［ ⑤ ］の法則を組み合わせると、気体の圧力と体積と温度の間に成り立つ［ ⑧ ］＝ 一定という式を得ることができる。

（次ページに続く）

問題２：等温過程と断熱過程からなり、理想的な可逆熱機関であるカルノーサイクルを考える。これを使い、温度 T_1 の高温熱源 H_1 から熱 Q_1 を受け取り、W の仕事をして、温度 T_2 の低温熱源 H_2 に熱 Q_2 を放出するサイクル ABCD を運転する。以下、作業物質として 1 mol の理想気体を考えることとし、各問に答えよ。ただし、気体定数を R、定積比熱を C_V とし、P、V および T の定義は問題１と同じとする。



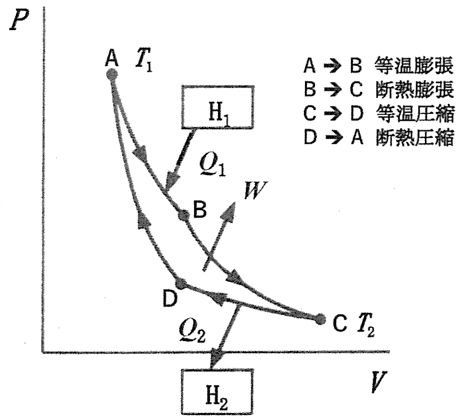


図１ カルノーサイクルと各熱源の関係　　図２ カルノーサイクルの P-V 図

（１）熱力学第一法則を念頭に、断熱過程における内部エネルギー変化と仕事について考え、温度変化 dT と体積変化 dV の関係を式で示せ。

（２）断熱過程のもとでは、P、V、T には、TV^a = 一定の関係（ここで a は定数）があることを、（１）の結果をもとに導け。その結果を用いて、4 つの状態 A、B、C、D における 4 つの体積 V_A、V_B、V_C、V_D の間に成り立つ関係を式で示せ。

（３）2 つの等温過程（A→B および C→D）において理想気体がする仕事（それぞれ W_{AB} および W_{CD} とする）を、各経路（A→B および C→D）に沿って積分して求めよ。

（４）（２）および（３）の結果を元に、W_{AB}、W_{CD}、T_1、T_2 の間に成り立つ関係を求めよ。さらに、経路 A→B（および C→D）が等温過程であることから成り立つ W_{AB} と Q_1 の間の関係（および W_{CD} と Q_2 の間の関係）を考え、Q_1、Q_2、T_1、T_2 の間に成り立つ関係を導け。

（５）（４）で得られた Q_1、Q_2、T_1、T_2 の間の関係式は、熱力学における重要概念であるエントロピーと深い関係がある。この式の意味について説明せよ。

＜無機化学＞

問題１：メタン CH_4 が燃焼すると二酸化炭素と水を生じる。以下の問いに答えよ。ただし、原子量を C=12、O=16、H=1.0 とする。

（１）この反応の化学反応式を記せ。

（２）メタン 48 g が燃焼するとき、生じる水は何 g か？

（３）0℃、1013 hPa (= 1 atm) で 3.0 L のメタンが燃焼するとき、必要な酸素の体積は何 L か？　また空気なら何 L 必要か？　ただし、空気中には体積で 20% の酸素が含まれているものとする。

問題２：以下の用語について、それぞれ 100 字以内で説明せよ。

（１）共有結合

（２）半導体

（３）温室効果

問題３：以下の問いに、それぞれ 100 字～200 字の範囲で説明せよ。

（１）凝固点降下と過冷却の違いについて説明せよ。

（２）海洋酸性化のメカニズムとその化学的影響について説明せよ。

（３）質量分析法などで化学組成を定量分析する際、検出限界をバックグラウンドノイズの標準偏差の 3 倍とすることが多い。その理由について説明せよ。

（次のページへ続く）

問題４：降水試料中のイオンの分析をおこなったところ、表１の結果を得た。この分析結果について、以下の問いに答えよ。ただし、海水 1 kg 中の各イオンの重量は、Na^+ : 10.56 g、SO_4^{2-} : 2.65 g、K^+ : 0.38 g、Ca^{2+} : 0.40 g とする。また、原子量を O=16.00、Na=22.99、S=32.07、K=39.10、Ca=40.08 とする。

表１　降水試料中の各イオン成分の濃度

	Na^+	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}
μg/mL	2.42	2.77	0.35	0.68

（１）降水試料中のイオンの成分について、海塩由来成分と非海塩由来成分を区別するのが重要とされているが、その理由について、100〜200 字の範囲で説明せよ。ただし、「雨の酸性化」の用語を含めること。

（２）この降水試料における非海塩由来の SO_4^{2-}、K^+、Ca^{2+} の濃度を Na^+ 基準で（Na^+ が全て海塩由来成分として）それぞれについて求めて、表２を完成させよ（値は有効数字 2 桁で、単位は μ mol/mL とする）。なお、解答用紙には、計算過程も記すこと。

表２　降水試料中の非海塩由来の各イオン成分の濃度

μ mol/mL	非海塩由来 SO_4^{2-}	非海塩由来 K^+	非海塩由来 Ca^{2+}
Na^+ 基準			

＜地球科学1＞

問題1：ある地震について、震源断層の長さ 1,000 [km]、幅 250 [km]、平均変位は 10 [m]であった。以下の問い（1）～（3）に答えよ。

(1) 剛性率 40 [GPa]の場合、この地震の地震モーメント(Mo)を単位と共に答えよ。

(2) モーメントマグニチュード（Mw）と Mo には、

$$Mw = (\mathit{log}\ Mo - 9.1)\ /\ 1.5$$

の関係がある。この地震の Mw を有効数字2桁で答えよ。

(3) Mw 6 の地震と Mw 8 の地震では、地震のエネルギーはどの程度異なるか、計算せよ。尚、途中の式についても記述すること。

問題2：地磁気に関して、以下の問い（1）～（3）に答えよ。

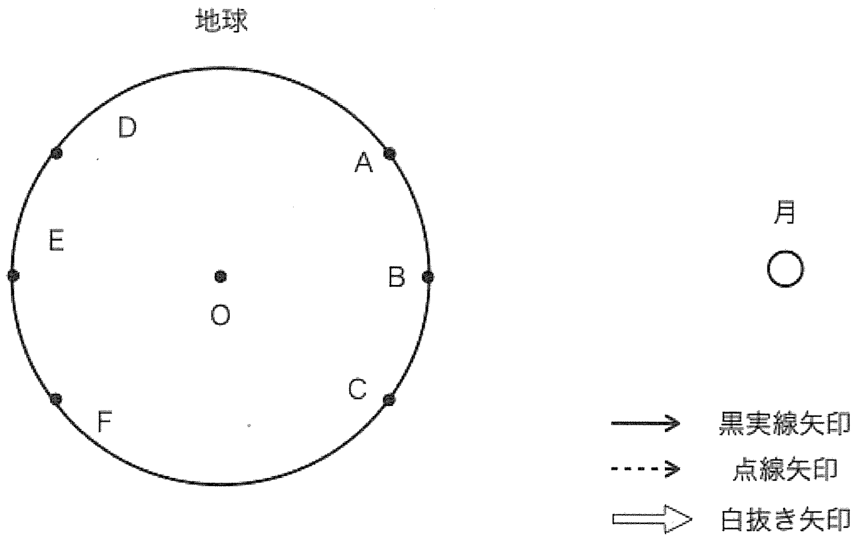
(1) 磁極と地磁気極（磁軸極）という 2 種類の極を、あわせて 200 字以内で簡潔に説明せよ。

(2) 磁極と地磁気極は時間とともにその位置が変化する。2022 年の地磁気北極、磁北極（北磁極）、地磁気南極、磁南極（南磁極）はそれぞれ、陸域か海域のいずれにあるかを答えよ。

(3) 地磁気は過去において逆転することもあったが、逆転期間を除き、地理的な極から大きく離れない位置に磁極があったと考えられる。これに関与していると考えられる現象を答えよ。

（次ページに続く）

問題 3：地球を横 (赤道方向) から見ると、月による潮汐力は、地球を横に引っ張るように働く。この潮汐力により、海洋は月側と月と反対側で同時に満潮となる。このような海洋潮汐を生ずる潮汐力について、下図（矢印の凡例を除く）を解答用紙に写した上で、以下の(1)～(4)の手順に従い、図示せよ。力の大きさと向きの正確さは問わないが、現象を説明できる向きであること、また力を合成したときにお互いの力が矛盾しないことに留意して図示すること。なお地球は変形しない剛体として扱う。



図：赤道面から見た地球—月系。

(1) 地球と月が地球-月系の共通重心周りを約 27 日周期で公転（円運動）する。この円運動の向心力となる、地球の中心に働く月の万有引力を点 O に黒実線矢印で記載する。
(2) 地球を剛体として考えるため、地球表面の点 A～F は、約 27 日周期で、すべて同じ円運動(並進円運動)をする。このとき、点 A～F が円運動する力を黒実線矢印で記載する。
(3) 点 A～F に月が及ぼす万有引力を点線矢印で記載する。
(4) 潮汐力は(3)の力と(2)の力の差である。点 A～F に働く潮汐力を白抜き矢印で記載する。

＜地球科学２＞

問題１：以下の文章の空欄に入る言葉を記入せよ。

放射性炭素年代測定法は、炭素の【　①　】である ^{14}C を利用する年代測定法である。^{14}C は大気中の【　②　】と宇宙線が反応して生成され、生物の体内等に取り込まれる。^{14}C は約 5730 年の【　③　】を持ち指数関数的に減少するため、生物遺骸中に残存する ^{14}C の量から生物の死亡年代を推定できる。ただし、大気中での ^{14}C の生成率は時間とともに変化するため、年代値は【　④　】に較正する必要がある。また、放射性炭素年代測定法の適用限界は、【　⑤　】年前程度とされる。

問題２：図 1 のような氷床量相当の海水準変動が起きるメカニズムと図中の期間における変動の特徴について、以下の用語を使って 200 字程度で答えよ。

<大陸氷床、最終氷期最盛期、融氷水パルス>。

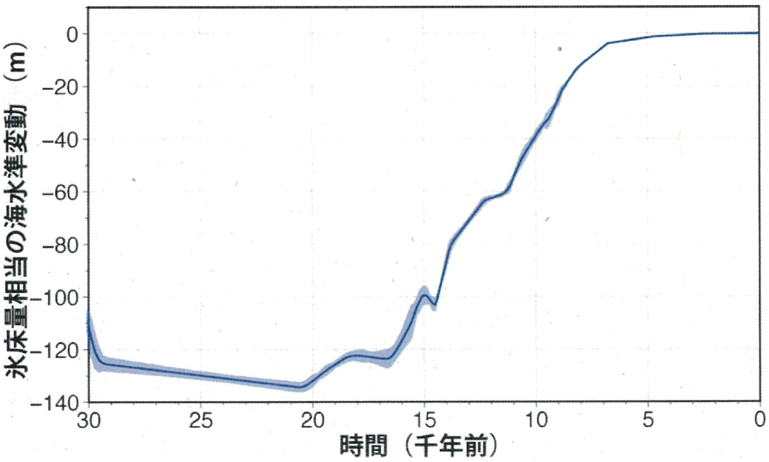


図１：過去３万年間における氷床量相当の海水準変動曲線
（Lambeck et al., 2014 より作図）

（次ページに続く）

問題３：図 1 は氷床量相当の海水準変動であり、実際の海水準変動は地域によって異なる。例えば、図 2A と B のように完新世の海水準変動においても地域的に大きな違いが観測されている。この理由を 200-300 字程度で答えよ。

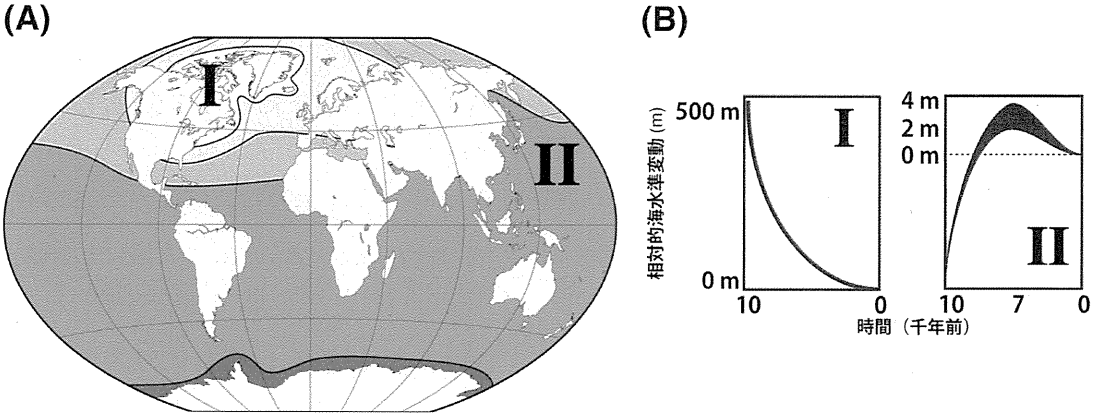


図２：(A) 海水準変動の地域的区分と、(B) 完新世の相対的海水準変動曲線

＜地球科学３＞

問題１：

表はイトカワ粒子*の主要構成鉱物であるかんらん石と輝石の代表的な化学組成の定量分析値を示す。それぞれの鉱物の組成式を計算により求めよ。計算の過程も記すこと。また、この結果から以下の図を参考にして、対応する隕石種を答えよ。

ただし表の１重量パーセント以下の組成は無視せよ。必要なら次の原子量を用いること。Si=28, Mg=24, Fe=56, Ca=40, Al=27, Cr=52, Na=23, K=39, Ti=48, Mn=55, O=16.

*イトカワ粒子とは、はやぶさ探査機が持ち帰った小惑星イトカワの表層粒子を意味する。

表　イトカワ粒子の鉱物の化学組成

（単位は重量パーセント）

	イトカワ粒子	
	かんらん石	輝石
SiO_2	38.0	54.9
TiO_2	bd	0.2
Al_2O_3	bd	0.2
FeO	26.2	15.8
MnO	0.5	0.5
MgO	36.0	27.6
CaO	bd	0.7
Na_2O	bd	0.0
K_2O	bd	bd
Cr_2O_3	bd	0.1
Total	100.6	99.8

bd は検出限界以下を示す。

分析は Nakamura ら(2011)に基づくエレクトロン・プローブ・マイクロアナライザーによるデータである。

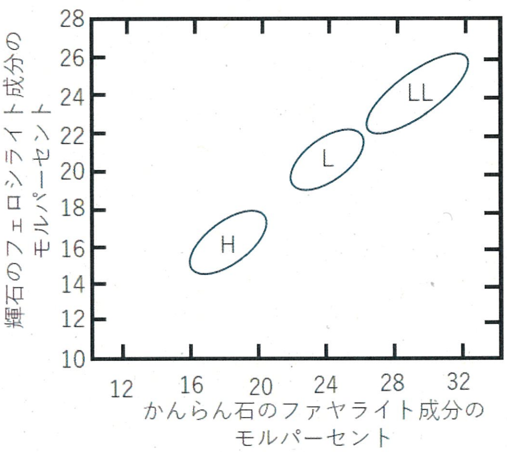


図　平衡普通コンドライトの分類図。楕円は H, L, および LL の各化学グループの化学組成の領域をあらわす。Brearley と Jones (1998)に基づく。

（次ページに続く）

問題２：次ページの図は、定低圧条件下における３成分系の相図を組成平面に投影したものである。この図をもとに以下の問いに答えよ。

（１）次の文章の（ア）から（エ）に入る語句または図中の文字を答えよ。
固相Ａ、Ｂ、Ｃが（　ア　）をつくらないとき、この系を（　イ　）系といい、点（　ウ　）を３成分系の（　イ　）点、曲線ＥＸ、ＥＹ、ＥＺを（　イ　）線という。破線で描かれた曲線群を（　エ　）といい、数字はその温度（℃）を示す。

（２）組成が点Ｐで表される液相を考える。相図から点Ｐの液相の組成を求めよ。解答は、5 wt%単位（例えば、35 wt%, 50 wt%, 75 wt%など）とし、*a* wt%Ａ-*b* wt%Ｂ-*c* wt%Ｃのような形で記せ。

（３）点Ｐの液相を平衡状態で冷却するとき、(a) 点Ｐ、(b) 点Ｅを除く曲線ＥＹ上、(c) 点Ｅのそれぞれにおいて存在しうる相を次のうちからすべて選べ。

固相Ａ、固相Ｂ、固相Ｃ、液相

（４）上記（３）の冷却過程において、最終的に固相Ａ、Ｂ、Ｃの集合体ができる。(a) この集合体をつくる固相Ａ、Ｂ、Ｃの量比を（２）と同様の形で記せ。(b) この冷却過程で起こる変化を定性的に説明せよ。必要に応じて解答用紙に相図を書き写し、その図を用いて説明してもよい。ただし、破線の曲線群をすべて書き写す必要はない。

（次ページに続く）

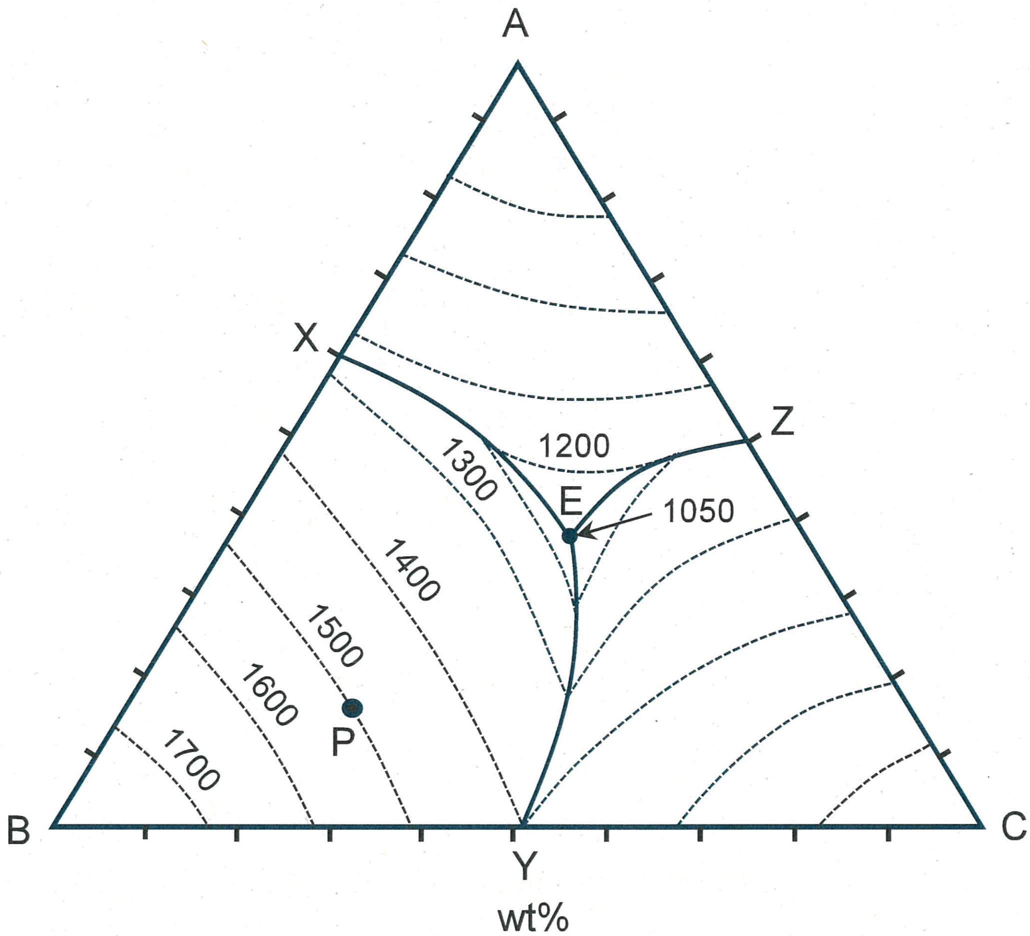


図　A-B-C ３成分系相図

（次ページに続く）

問題３：以下に挙げた語句の中から２つを選択し、それぞれについて１５０字程度で簡潔に地球惑星科学的説明を与えよ。

・高温型石英と低温型石英

・エンスタタイトコンドライト

・超高温変成作用

・Great Oxidation Event

＜生物学１＞

問題１：以下の４つの語句から２つの語句を選択し、それぞれについて 150 字程度で生物学的な説明を与えよ。

・mRNA ワクチン　　・セントラルドグマ　　・水温成層　　・休眠胞子

問題２：次の文章を読み、問（１）～（３）に答えよ。

生物に共通してみられる大きな特徴の一つは、（　a　）と呼ばれる様々な物質を分解したり、合成したりする化学反応を行うことである。（　a　）には、多くの場合、生体エネルギーの消費と獲得が伴うので、エネルギーの生成・消費を中心に考える時にはエネルギー（　a　）とも呼ばれる。

化学反応は通常、高温になるほど速やかに進行する。生物体内や生物周囲の決して高温とは言えない環境温度で化学反応が速やかに進行するのは（　b　）と呼ばれる一群のタンパク質が（　c　）として機能し、反応速度を上げているからである。

（　a　）反応は材料となる基質の量に応じて反応速度が大きくなる。また、温度や pH などの条件でも反応速度が異なる。ある種の（　b　）は、機能するためにミネラルや金属イオン、ビタミンなどの非タンパク質成分（NAD や FAD などのビタミン誘導体）を必要とするものがある。これら非タンパク質成分を（　d　）と呼ぶ。

（１）文中の（ a ）、（ b ）、（ c ）、（ d ）に当てはまる適切な用語を答えよ。なお、次の下記（２）、（３）の文中の（ a ）、（ b ）、（ c ）にも共通した用語が当てはまる。

（次ページに続く）

（2）生物細胞が共通して持つ化学反応として解糖系がある。この反応の初期において、

（グルコース）＋（ATP）→（グルコース 6-リン酸）＋（ADP）

という合成反応に（　c　）として機能する（　b　）は、ヘキソキナーゼであるが、この（　b　）活性は産物の量に応じて調節される事が知られている。このような産物による活性の変化を示す（　b　）を何と呼ぶか、名称を答えよ。また、産物によって活性が低下する理由について 100 字程度で説明せよ。

（3）下線部「<u>（　a　）反応は材料となる基質の量に応じて反応速度が大きくなる。</u>」の反応を調べるため、2 種のアミラーゼ A、B を用いてデンプンの分解速度を測定し、表 1 の結果が得られた。それぞれの基質に対する活性比較を行いたい。反応速度は、濃度が低い領域では基質濃度に従って直線的に上昇し、基質濃度が高い領域では飽和してほぼ一定の値を取っていたことから、ミカエリス－メンテン式（英: Michaelis–Menten equation）に従っていると考え、

$$（速度）= V_{max}・（基質濃度）/（K_m +（基質濃度））$$

の式にあてはめ、比較を行いたい。ミカエリス－メンテン式中の V_{max} は反応速度の最大値であるが、ミカエリス－メンテン定数と呼ばれる K_m は何を意味する定数か、100 字以内で簡潔に答えよ。また、アミラーゼ A、B のそれぞれの K_m 値を推定せよ。

表 1　同一量のアミラーゼ 2 種（A と B）を用いた際のデンプンの分解速度測定（相対値*）

基質濃度	0	2	5	10	30	100	1000	10000
A の分解速度	0	0.63	1.43	2.50	5.00	7.69	9.71	9.97
B の分解速度	0	1.67	3.33	5.00	7.50	9.09	9.90	9.99

*基質濃度の単位は mg/L、分解速度は mg/s など、任意に考えてよい。

（次ページに続く）

問題３：遺伝子解析などで、DNA を増幅させる方法として、サーマルサイクラーを使って熱変性・アニーリング・伸長を繰り返させる PCR 法が用いられている。この方法で用いられる DNA ポリメラーゼの特徴について 200 字程度で説明せよ。

＜生物学２＞

問題１：以下の４つの語句から２つの語句を選択し、それぞれについて１５０字程度で生物学的な説明を与えよ。

・性選択　　　・競争排除則　　　・生態系サービス　　　・概日リズム

問題２：次の文章を読み、問（1）～（4）に答えよ。

個体数の変動において、個体群の密度の上昇にともなって増加率が減少するという密度依存性を反映した代表的な理論モデルの一つがロジスティック的成長モデルである。ここでは、個体数の時間変化について、ロジスティック式と呼ばれる、以下の関係が成り立つ。

$$\frac{dN}{dt} = r\left(\frac{K-N}{K}\right)N$$

ただし、この式において t は時間であり、N は個体数である。

一方で、ロジスティック的成長モデルによって、自然環境下での野外個体群の個体数変動を説明することは難しい。以下の図 1 は、アラスカ沖の無人島に、人によって放たれたトナカイの個体数の変化を示している。

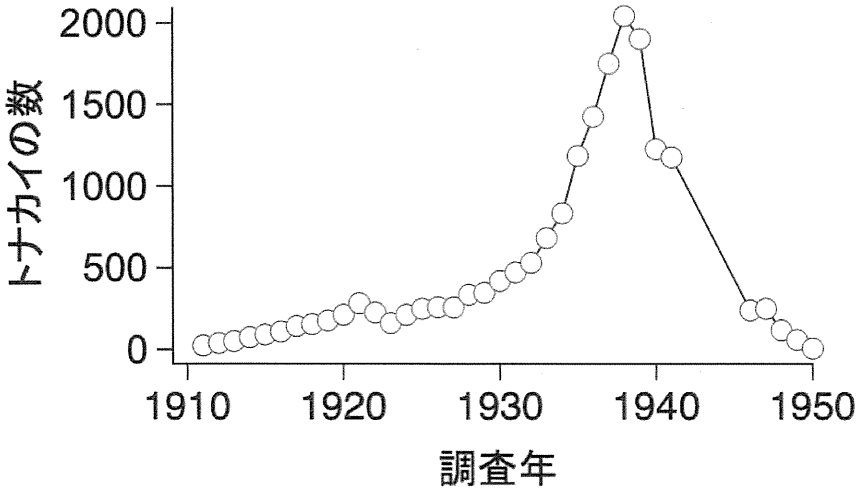


図１. アラスカ沖の無人島（セントポール島）に 1911 年に放されたトナカイの個体数の変化 (Scheffer 1951 Sci. Mon. より作図)。

（１）ロジスティック式の r と K は、それぞれ何と呼ばれるか答えよ。

（２）ロジスティック的成長においては、時間とともに個体数 N はどのように変化するか、縦軸に N、横軸に t をとり、グラフの概形を記せ。ただし、$r > 0$ とし、$t = 0$ では $N = 0.01\,K$ とする。

（３）ロジスティック式において仮定されている、個体群の密度と１個体当たりの増加率の関係をグラフで示せ。その際、縦軸に１個体当たりの増加率、横軸に個体群の密度をとり、グラフ中に r と K の位置を入れること。

（４）セントポール島のトナカイの個体数が、図１のように増減した理由について生態学的な説明を試みよ。ただし、この島にはトナカイの競争者となるシカ類はおらず、トナカイを食べる捕食者もいなかったことを前提とし、「繁殖抑制」、「資源量」、「密度効果」、「ロジスティック式」という４つの言葉をすべて用いて、３００字程度で記述すること。