

## A (地球環境学)

以下の問題 1 と問題 2 を全て解答しなさい。

**問題 1** 図 1 は、1850 年以降における地球全体の年平均気温偏差の経年変化を示す。ここで、気温偏差とは、1961～1990 年の平均気温からの差 (°C) である。この図を見ながら、次の問 1～問 3 に解答しなさい。

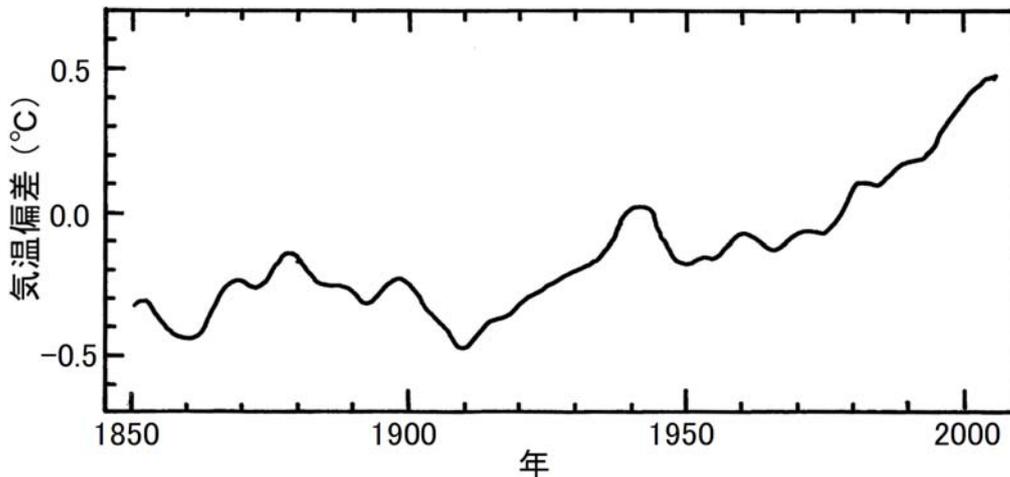


図 1 地球全体の年平均気温偏差の経年変化 (IPCC 第 4 次報告書より作図)。気温偏差の曲線は、10 年間の移動平均に相当する。

問 1 1850 年以降の全般的な傾向として、気温は緩やかに上昇しており、いわゆる地球温暖化を示している。この原因として、産業革命以降の人類による二酸化炭素等の温室効果ガスの排出により、大気中の温室効果ガスの濃度が上昇し、それが地球温暖化に寄与しているとの説が有力である。この説に基づいた場合、代表的な温室効果ガスである二酸化炭素の濃度上昇が、どのようにして地球温暖化を引き起こすと考えられるか、300 字程度で説明しなさい。

問 2 1940～1970 年代にかけて、気温の低下または停滞の傾向がみられる。この原因の一つとして、大気中のエアロゾルの増加が指摘されている。この説に基づいた場合、エアロゾルが、どのようにして気温の低下または停滞を引き起こしたと考えられるか。重要と考えられる効果を 2 つ挙げて、それぞれ 80 字程度で説明しなさい。

問 3 1940～1970 年代にかけての気温の低下または停滞の時期を経て、1980 年代から気温の上昇傾向が顕著になった。この理由として考えられることを 200 字程度

で説明しなさい。

**問題 2** 図2は、水戸と東京でのおよそ 1900 年から 2000 年までの年平均気温の経年変化を示す。東京の気温上昇が水戸よりも大きい理由として、考えられることを2つ挙げて、それぞれ 200 字程度で説明しなさい。

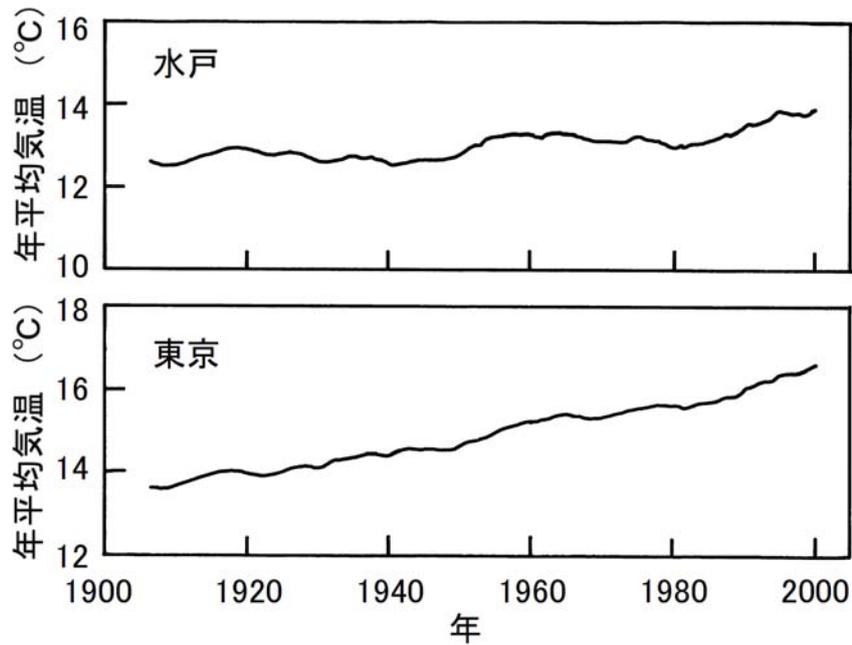


図2 水戸と東京でのおよそ 1900 年から 2000 年までの年平均気温の経年変化(気象庁:「異常気象レポート 2005」より作図)。年平均気温の曲線は、11 年間の移動平均である。

## B (地球科学 I)

以下の問題 1～問題 3 を、それぞれ別の解答用紙に分けて、全て解答しなさい。

**問題 1** 図 1 は、海洋コンベアベルトとして知られる Broecker (1991) が示した現在の海洋における海流を南極側から見た概略図である。この図を踏まえて、以下の問 1～3 に答えなさい。

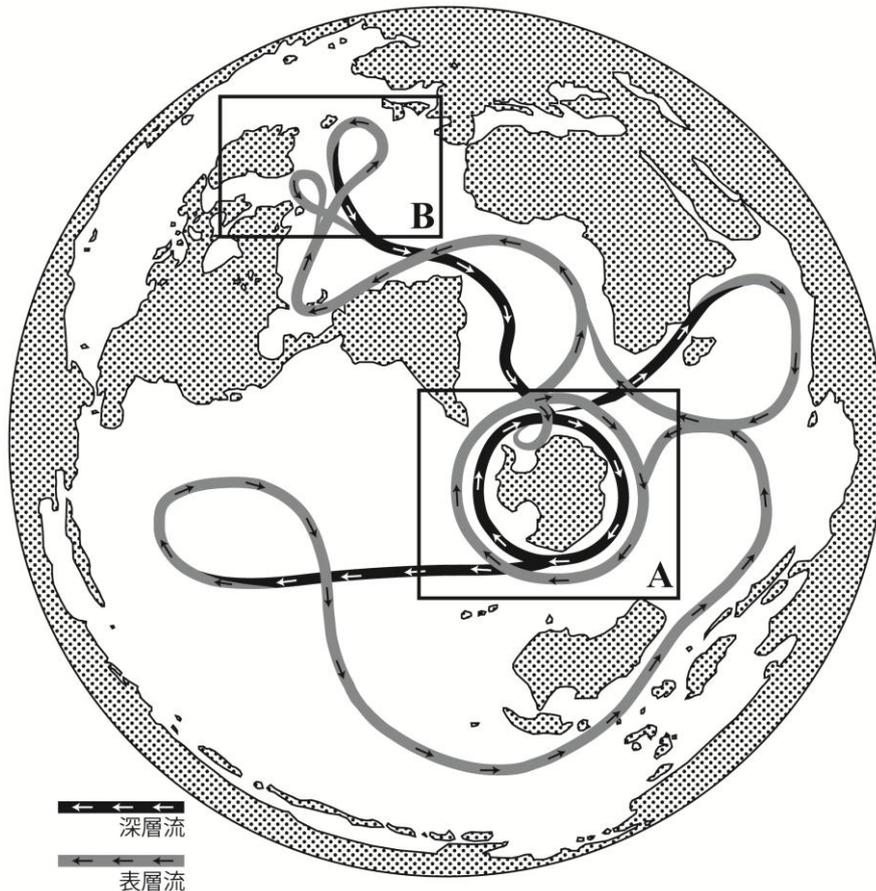


図 1. Broecker の海洋コンベアベルト

問 1 図 1 の A 域を見ると、南極大陸の周りを表層流と深層流が回っていることが分かる。これらの海流を併せて何と呼ぶか答えなさい。

問 2 図 1 の A と B 域では、表層流が沈み込んでいる。どのような原因で、これらの海域で表層から海水が沈み込むのかを 5 行程度で述べなさい。

問 3 問 1 の海流が形成されたきっかけと考えられている地質学的な事象を述べ、その後どのような地球科学的変動が起きたかを 5 行程度で述べなさい。

問題2 図2は、深海掘削計画 (Deep Sea Drilling Project: DSDP) により太平洋シャツキー海台で掘削された C-Pg 境界 (白亜紀・古第三紀境界) をまたぐコア試料の炭素同位体比プロファイルである。このプロファイルに関して以下の問1～3に答えなさい。

問1 海洋表層に生息する生物の炭酸塩殻の炭素同位体比を変化させる要因がいくつかある。その一つを挙げて、4行程度で説明しなさい。

問2 生物源細粒碎屑物を構成する炭酸塩鉱物の炭素同位体比プロファイル (図2の○) を古い方より時代順に見ていくと、C-Pg 境界を境に小さい方向にシフトしている。一方、底生有孔虫の炭素同位体比 (図2の△および◆) は、C-Pg 境界直上で大きくなっている。これらの理由を10行以内で述べなさい。

問3 C-Pg 境界において起きた大量絶滅に関して、知るところを3行程度で述べなさい。

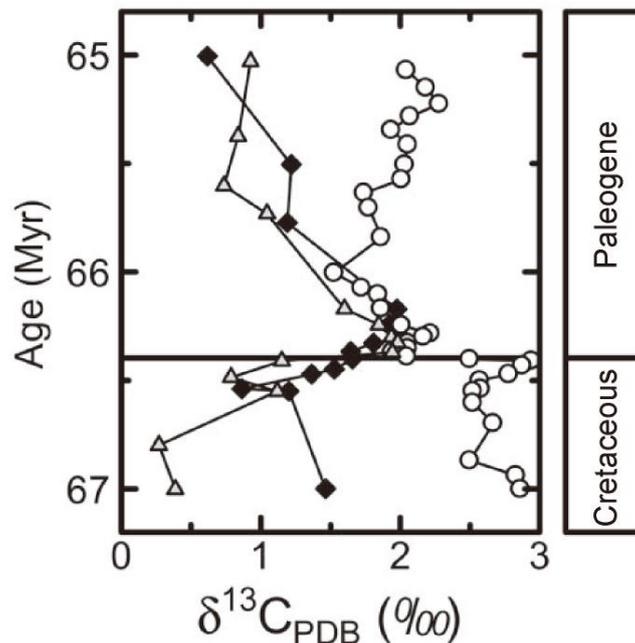


図2. Deep Sea Drilling Project (DSDP) Site 577 (太平洋シャツキー海台) より採取されたコア試料中における C-Pg 境界 (白亜紀・古第三紀境界) 付近の炭酸塩生物殻の炭素同位体比。○は生物源細粒碎屑物 (粒径が 63 $\mu$ m 未満の生物源碎屑物) の炭素同位体比、△および◆は底生有孔虫の炭素同位体比を表す。Zachos *et al.* (1989) を一部改変。

**問題3** 図3はある地域の地質図である。A～Fは地層または岩石、Gは断層である。Bは珪質泥岩、Fは礫岩である。また、図4のa～dは、この地域の露頭写真、図4のe～hはa～dの露頭からそれぞれ一つずつ採取した岩石試料の薄片の偏光顕微鏡写真（クロスポーラー）である。表1はこれらの試料の全岩化学組成である。これらを見て以下の問1～7に答えなさい。

問1 下表はA、C、D、Eの露頭写真、偏光顕微鏡写真及び化学組成を対応づけたものである。解答用紙に下記の様な表を書き、空欄に当てはまるものを記号で埋めなさい。なお、A、C、D、Eはそれぞれ異なる種類の岩石である。

地質図	露頭写真	顕微鏡写真	化学組成
A			$\gamma$
C	b		
D			
E		f	

問2 Aからは本地域どこからも三畳紀後期を示す同じ放散虫化石群集を産する。またB及びCも同様に全域からそれぞれジュラ紀前期及びジュラ紀中期を示す放散虫群集を産する。AとB、BとCはともに整合関係である場合、隣接するAとCはどのような関係と考えられるか。

問3 問2の様な化石を産するA、B、Cから構成される地質は、日本の場合何帯に分布するか。2つの地質帯名を答えなさい。

問4 図3に見られる褶曲はどのような褶曲か。その特徴を述べなさい。

問5 断層Gの活動時期を推定したい。断層岩の年代測定以外にどのような方法があるか。5行程度で説明しなさい。

問6 Eの形成環境についてわかることを3行程度で述べなさい。

問7 断層Gは正断層で、断層面はN45°W、80°Sである。またDは板状で、周囲の地質との接触面はN-S、60°Eである。地表面は水平・平坦とする。図3のX-X'における断面図をフリーハンドでかきなさい。

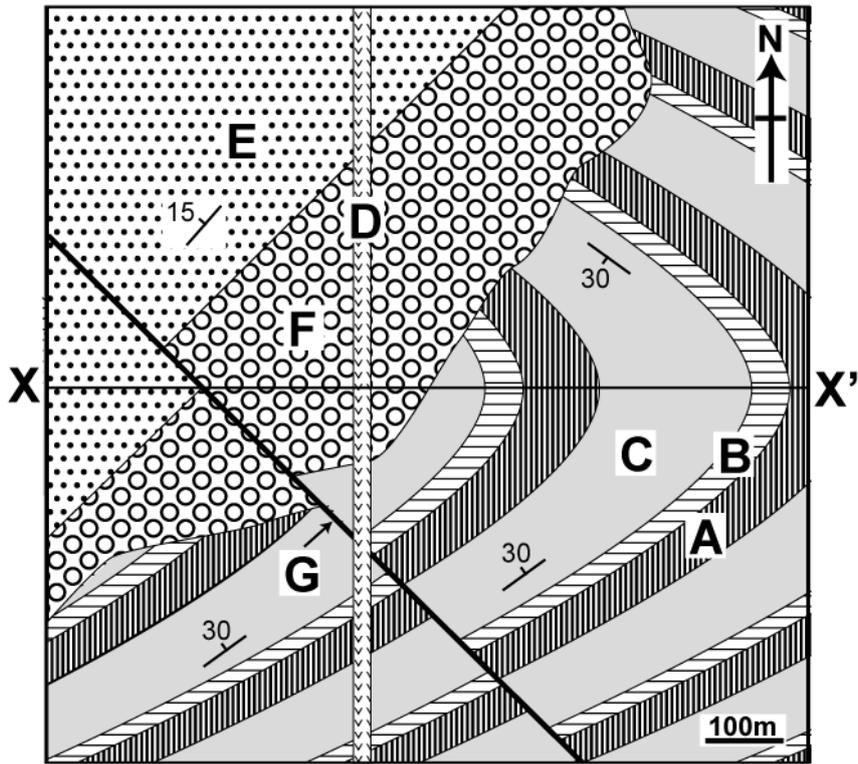


図3. 地質図

表1. 化学組成 (wt. %)

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
SiO <sub>2</sub>	52.15	68.84	93.54	99.54
TiO <sub>2</sub>	1.39	0.25	-	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.59	14.54	2.26	0.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.13	0.62	0.48	0.09
FeO	7.02	2.47	-	-
MnO	0.17	-	0.79	-
MgO	7.12	1.94	0.23	0.06
CaO	8.98	2.23	0.66	0.19
Na <sub>2</sub> O	2.88	3.88	0.37	-
K <sub>2</sub> O	0.68	2.68	0.51	-
H <sub>2</sub> O+	0.31	1.60	0.72	0.25
H <sub>2</sub> O-	0.25	0.35	0.21	-
Total	99.67	99.40	99.77	100.51

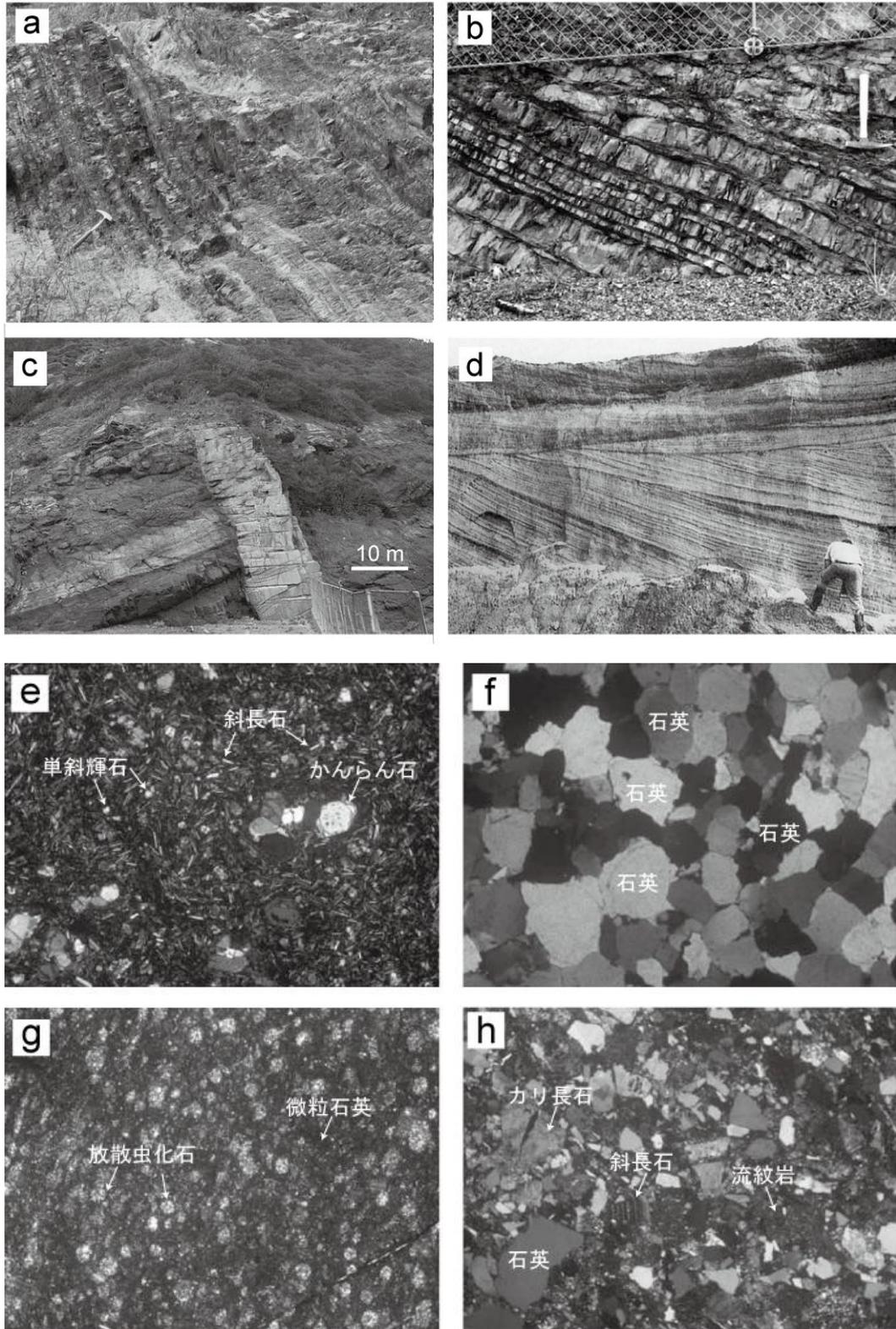


図 4. 露頭及び偏光顕微鏡写真. e~h は横幅が 4 mm.

## C (地球科学 II)

以下の問題1と問題2を全て解答しなさい。

**問題1** 活発な火成活動は、海嶺(プレート発散境界)、島弧-海溝系(プレート収束境界)、プレート境界からはるかに離れたプレート内で起こっている。以下の問1~3に答えなさい。

問1 図1は、マントル物質の固相線と主な地域の温度構造の関係を示している。

(1) 海嶺直下の地温勾配は極めて高いため、比較的浅部でマントルが部分熔融し、マグマが形成される。この高い地温勾配の原因はどのように考えられているか。簡潔に述べなさい。

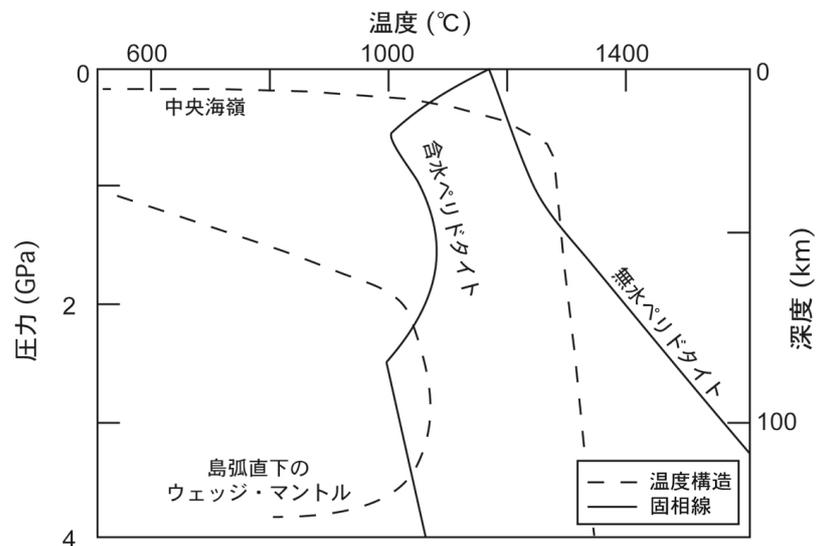


図1 : Wilson (1989)の図を一部簡略化

(2) 島弧-海溝系直下は、冷たいスラブが沈み込んでいるためその周囲は低い地温勾配となっている。それにもかかわらず、ウェッジマントルは部分熔融してマグマを供給している。この理由は、どのように考えられているかを、以下の6つの語句を全て用いて説明しなさい。

【語句】スラブ、 $H_2O$ 、マントル、融点、沈み込み、部分熔融

問2 図2は、ネフェリン ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) - かんらん石 ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) - 石英 ( $\text{SiO}_2$ ) 系の液相境界線に対する圧力の影響を示す相平衡図である。この図を参考にして、日本列島周辺において、初生マグマの化学組成が、海溝側から大陸側に向かってつれて、石英玄武岩、かんらん石玄武岩、アルカリ玄武岩と系統的に変化する理由を考察しなさい。なお、 $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ 、 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  と  $\text{MgSiO}_3$  は、それぞれ、ヒスイ輝石、曹長石および斜方輝石を示す。

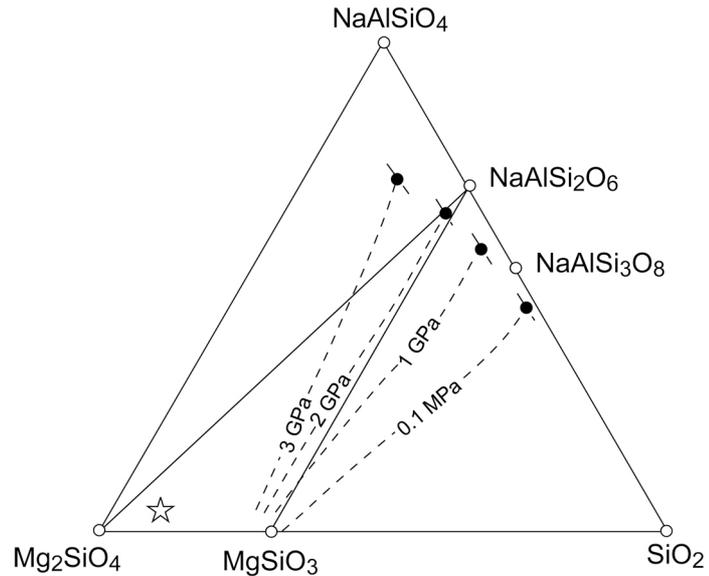


図2 : Kushiro (1968)の図を一部簡略化。黒丸印は、星印で示した組成のペリドタイトが溶融して最初に行けるメルトの組成を示す。また、破線は液相境界線を示す。

問3 図3は、ハワイ諸島とその北西側に続く海山列の位置とそれらを構成する火山岩類の放射年代を示している。

(1) 火山および海山の配列は、太平洋プレートの運動を記録していると考えられる。その根拠を、以下の4つの語句を全て用いて説明しなさい。

【語句】ホットスポット、年代、リソスフェア、マントル

(2) 桓武海山から明治海山まで北北西-南南東に連なる

海山を天皇海山群と呼ぶ。これらの海山がほぼ経線に平行に並んでいると見なして、天皇海山群が形成された当時の太平洋プレートの平均移動速度を有効数字一桁で求めなさい。なお、答えを求めた方法も記すこと。また、地球の外周は、4万 km としなさい。

(3) 火山および海山の配列からわかる、過去の太平洋プレートの運動の変化を簡潔に述べなさい。

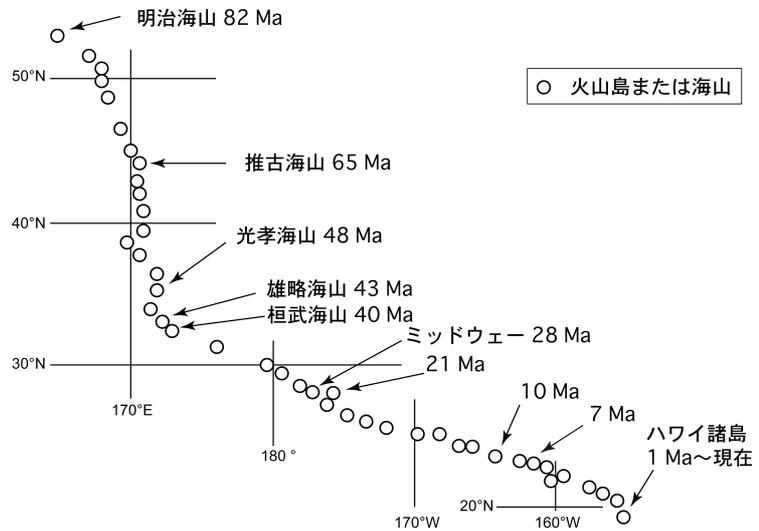


図3 : ハワイ-天皇海山列の分布と形成年代。

**問題2** 温度-圧力図上における反応曲線の傾きは、Clapeyronの式  $dP/dT = \Delta S/\Delta V$  で与えられる。ただし、 $P, T, S$  および  $V$  は、それぞれ圧力、温度、エントロピー および体積であり、 $\Delta$  は反応に伴う変化量を示す。互いに同質異像の関係にある3種類の鉱物 (A, B, C) の標準状態におけるエントロピーと体積の大きさは、 $S_C > S_B > S_A$  および  $V_A > V_C > V_B$  とする。なお、 $S_i$  および  $V_i$  は、それぞれ鉱物  $i$  のエントロピーと体積を示し、 $P$  と  $T$  が変化しても一定であると仮定する。以下の問1～4に答えなさい。

問1 同質異像とは何か。簡潔に述べなさい。

問2 Gibbs の相律によれば、この系において、divariant field (双変領域) , univariant line (単変曲線) および invariant point (不変点) は、それぞれいくつ存在するか。答えなさい。

問3 3種類の鉱物のうち、最も高圧で安定な鉱物と最も高温で安定な鉱物は何か。A, B, C の記号で答えなさい。

問4 Invariant point が出現する温度-圧力範囲において、3種類の鉱物 (A, B, C) の安定領域の関係を定性的に描きなさい。なお、その様に判断した理由も記すこと。

## D (地球科学 III)

以下の問題 1 と問題 2 を全て解答しなさい。

**問題 1** 海水は、地球上の水の約 97%を占める。海水に含まれる主要溶存イオンの平均濃度は、下の表に示した通りである。海水の溶存イオンに関する以下の間に答えなさい。

表：主要溶存イオンの平均濃度

陽イオン	濃度 (g/kg)	陰イオン	濃度 (g/kg)
Na <sup>+</sup>	10.556	Cl <sup>-</sup>	18.980
Mg <sup>2+</sup>	1.272	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.649
Ca <sup>2+</sup>	0.400	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.140
K <sup>+</sup>	0.380	Br <sup>-</sup>	0.065

問 1 塩化物イオンに関する以下の設問に答えなさい。

- (1) 表に与えられた塩化物イオン濃度を mmol/L に換算しなさい。ただし、海水の比重は 1.024、塩素の原子量は 35.5 を使いなさい。
- (2) 海水の塩分を示す時、塩化物イオン濃度で代用することがある。その塩化物イオン濃度の決定には Mohr 法を利用できる。Mohr 法とは、試料水にクロム酸カリウム水溶液を指示薬として加え、硝酸銀水溶液により滴定して塩化物イオン濃度を求める方法である。硝酸銀水溶液の滴下に伴って起こる変化を、反応式を示しながら説明しなさい。塩化銀は白色、クロム酸銀は赤褐色を呈する。必要であれば、塩化銀とクロム酸銀 (Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) の溶解度積として、それぞれ  $1.7 \times 10^{-10}$  と  $1.1 \times 10^{-12}$  を使いなさい。
- (3) Mohr 法で塩化物イオンの定量をする時、試料溶液の pH を約 7~10 に調整してから行う。酸性条件下ではなぜ好ましくないのか、説明しなさい。

問 2 カリウムイオンに関する以下の設問に答えなさい。

- (1) 天然のカリウムには三種類の同位体が存在する。そのうち、<sup>40</sup>K は放射性核種であり、 $\beta$  壊変と電子捕獲により、それぞれ異なった核種へと変化する。それぞれの核反応によって生ずる核種を答えなさい。
- (2) 海水 1 kg に含まれるカリウムのうち、一年間に壊変を起こすカリウム原子数を計算しなさい。ただし、カリウムの原子量は 39.10、カリウム中の <sup>40</sup>K の存在比 (原子数の比) は  $1.2 \times 10^{-4}$ 、アボガドロ定数は  $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  とする。また、 $\beta$  壊変

の壊変定数は  $4.962 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ 、電子捕獲の壊変定数は  $0.581 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$  とする。

問3 海水が示す pH に対する緩衝作用に関する以下の設問に答えなさい。

- (1) 緩衝作用とはどのような作用のことか、説明しなさい。
- (2) 表に示した各イオンのうち、海水の緩衝作用に最も大きく関与していると考えられるイオンを示し、その理由について反応式を用いて説明しなさい。

問題2 以下の文を読み、問1～問4に答えなさい。

試料中の元素のわずかな同位体組成の変動を表わすため、以下のような千分率偏差(‰)を用いた表記が使われる。

$$\delta_j = \left[ \left( \frac{R_j}{R_{\text{std}}} \right) - 1 \right] \times 1000 \quad (\text{a})$$

ここで、 $R_j$ と $R_{\text{std}}$ はそれぞれ物質 $j$ と標準試料 $\text{std}$ における元素の同位体比である。例えば、炭素安定同位体比は、標準試料PDBにおける $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ を用いて $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 、酸素安定同位体比は標準試料SMOWにおける $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ を用いて $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ などと表わされる。

問1 炭素と硫黄の同位体比をあらわす際に、それぞれPDBとCDTと標記される標準試料が使われる。これら試料の名称、ならびに、どんな試料であるかを答えなさい。

問2 物質AとB中のある同位体が同位体平衡にあるとき、AとBの間の同位体分別係数 $\alpha_{\text{A-B}}$ は $\alpha_{\text{A-B}} = R_{\text{A}}/R_{\text{B}}$ と表すことができる。ここで、 $R_{\text{A}}$ と $R_{\text{B}}$ は物質AとBの同位体比である。同位体分別係数は一般に1に近い数値である。

- (1) この $\alpha_{\text{A-B}}$ を式(a)の $\delta$ を用いて表すと、式(b)のようになる。

$$1000 \cdot \ln \alpha_{\text{A-B}} = \delta_{\text{A}} - \delta_{\text{B}} \quad (\text{b})$$

この式(b)を導く過程を記しなさい。ただし、 $\delta_{\text{A}}$ 、 $\delta_{\text{B}}$ は1000に比べて十分に小さい数値とする。

- (2) 海水に大気中の $\text{CO}_2(\text{g})$ が溶け込んで平衡状態になった時、生成する溶存炭酸(DIC)の $\delta^{13}\text{C}$ を求めなさい。ただし、大気中 $\text{CO}_2$ の $\delta^{13}\text{C}$ は $-7.0\text{‰}$ 、溶解平衡時の分別係数は $\alpha_{\text{DIC-CO}_2(\text{g})} = 1.00809$ とする。

問3 炭酸塩試料の炭素・酸素同位体分析の場合、一定温度でリン酸と反応させ、発生した  $\text{CO}_2$  を質量分析計に導入して測定を行う。

- (1) 炭酸カルシウムとリン酸を反応させるとリン酸水素カルシウムが生成する。この反応式を書きなさい。
- (2) 測定で得られた同位体比データが炭酸塩試料中の  $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  値とみなせるか否かを、問3(1)で解答した反応式を参考にしながら、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  それぞれについて理由とともに答えなさい。

問4 炭酸塩鉱物の酸素同位体比は、過去の地球環境を復元するために広く用いられている。Epstein *et al.* (1953) は、海生二枚貝をある温度  $T$  °Cの海水の入った水槽で飼育し、新たに成長した炭酸カルシウム組織の酸素同位体比  $\delta_{\text{C}}$  と飼育海水の酸素同位体比  $\delta_{\text{w}}$  の間に、式(c) のような関係があることを示した。

$$T = 16.5 - 4.3 (\delta_{\text{C}} - \delta_{\text{w}}) + 0.14 (\delta_{\text{C}} - \delta_{\text{w}})^2 \quad (\text{c})$$

ある貝化石試料の  $\delta_{\text{C}}$  を測定して、その貝が生息していた当時の海水温度を推定しようと思う。この時、式(c) を適用するためには、どのような条件が満たされている必要があるか。考えられることを2つ挙げなさい。

## E (物理学)

以下の問題 1～問題 3 を全て解答しなさい。

**問題 1** 鉛直下向きの一様な重力場のもとで、2 点をつなぐ曲線に沿って滑らかに(摩擦なしで) ずべる質点の運動を考える。以下の問 1～問 3 に答えなさい。

問 1 図 1 のように、鉛直下向きに  $y$  軸を、水平右向きに  $x$  軸を取り、質点の位置座標を  $(x, y)$  とする。速さ  $v=0$  の初期状態で、座標  $(0, 0)$  の点  $O$  から下降する方向に運動を開始した質点が、座標  $(x, y)$  の位置にあるときの速さ  $v$  を求めなさい。ただし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

さらに、質点の運動経路となる曲線を表すために、 $y$  を  $x$  の関数  $y(x)$  とみなす。ここで、速さ  $v=0$  の初期状態で、座標  $(0, 0)$  の点  $O$  から下降する方向に運動を開始した質点が、座標  $(x_1, y_1)$  の点  $A$  に到達するまでにかかる時間を  $T$  とすると、

$$T = \int_0^{x_1} \sqrt{\frac{1+y'^2}{2gy}} dx \quad (1)$$

と表わされることを示しなさい。ただし、 $y'$  は  $y(x)$  の一階導関数  $\frac{dy}{dx}$  を表わす。

問 2 式 (1) で表わされる時間  $T$  は、一般的に、速さ  $v=0$  の初期状態で運動を開始する点  $O$  と到達点  $A$  をつなぐ曲線の形状に依存する。この時間  $T$  が最短になる曲線は、 $\theta$  ( $\theta \geq -\pi$ ) をパラメーターとして、

$$\begin{cases} x = C(\pi + \theta + \sin \theta) \\ y = C(1 + \cos \theta) \end{cases} \quad (2)$$

と表わされることが知られている。ただし、運動を開始する点  $O$  は  $\theta = -\pi$  に対応し、 $C$  は到達点  $A$  の座標によって決まる定数を表わす。

ここで、到達点の座標が  $(\frac{\pi}{2}a, 0)$  ( $\theta = \pi$  に対応する) である場合を考える (図 2 参照)。このとき、式 (2) の定数は  $C = \frac{a}{4}$  となる。このときの時間  $T$  を求めなさい。

問3 式(2)で表わされる曲線には、また、次の特性があることが知られている。

質点が速さ $v=0$ の初期状態で運動を開始したとき、運動の開始点が最下点以外のどこにあっても、最下点を通過して、反対側の同じ高さの点に到達するまでにかかる時間は変わらない。

この特性を確認するために、初期状態を速さ $v=0$ として、質点が、式(2)のパラメーター $\theta$ について $-\pi \leq \theta < 0$ の範囲の任意の点( $\theta = -\theta_0$ に対応させる)から、最下点( $\theta = 0$ に対応する)を通過して、反対側( $0 < \theta \leq \pi$ )の同じ高さの点( $\theta = \theta_0$ に対応する)に到達するまでにかかる時間を求め、これが $\theta_0$ に依存しないことを示しなさい。ただし、式(2)の定数を $C = \frac{a}{4}$ としなさい。

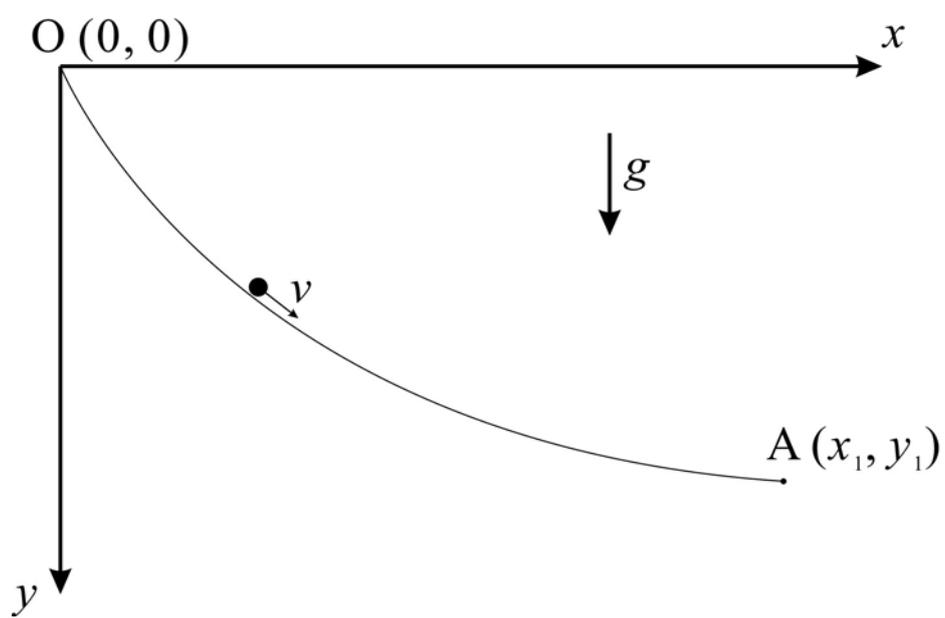


图 1

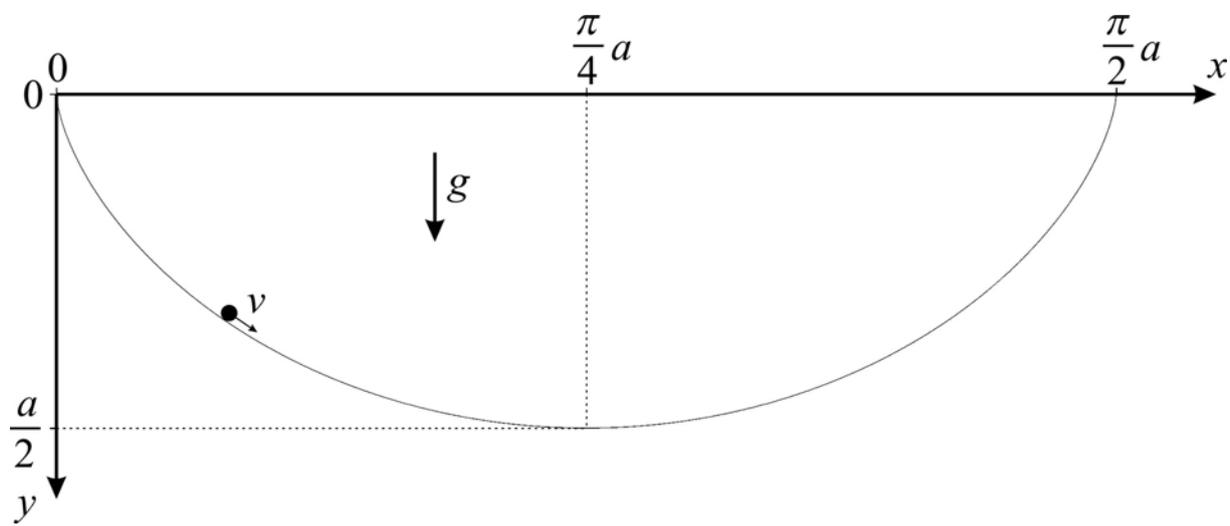


图 2

**問題 2** 以下の文章を読み、問 1～問 4 に答えなさい。図 3 のように、一様な重力場のもとで、固定点から糸につるされた円板が落下する運動を考える。剛体の円板は、半径が  $a$  であり、密度が一様で質量が  $M$  である。円板のまわりに糸が巻かれている。糸は、十分な長さがあるため伸縮せず、その質量は無視できる。重力加速度の大きさは  $g$  である。円板に働く力は、重力  $Mg$  と糸の張力  $T$  の 2 つの力のみである。鉛直上向きに  $z$  軸、水平右向きに  $x$  軸をとる。円板の回転（円板の重心を通り円板に垂直な軸のまわりの回転）の角度  $\theta$  を  $x$  軸の向きから反時計回りに測る。

時刻  $t = 0$  での初期状態は以下のとおりとする：(1) 円板は静止している；(2) 糸が固定点からたるまずに直線になっており、その糸のなす直線が鉛直方向を向いている。時刻  $t = 0$  において、円板の重心の座標を  $(x_0, z_0)$ 、 $\theta = 0$  とする。

円板が落下する際、「糸が円板からほどけるときの、円板は糸に対して滑ることなく、回転する」という条件が成り立つとする。

問 1 円板の重心の運動を支配する方程式を立てなさい。また、時刻  $t = 0$  における初期条件を表す式を示しなさい。

問 2 円板の重心を通り円板に垂直な軸のまわりの慣性モーメントは、 $M(a^2/2)$  であることを証明しなさい。その結果を利用し、円板の回転の運動を支配する方程式を立てなさい。また、時刻  $t = 0$  における初期条件を表す式を示しなさい。

問 3 「糸が円板からほどけるときの、円板は糸に対して滑ることなく、回転する」条件を表す式を示しなさい。

問 4 問 1～問 3 で得られた結果を利用して、円板の重心の速度・位置および円板の回転運動の角速度・角度を、 $t$ 、 $g$ 、 $a$ 、 $x_0$ 、 $z_0$  を使って表しなさい。

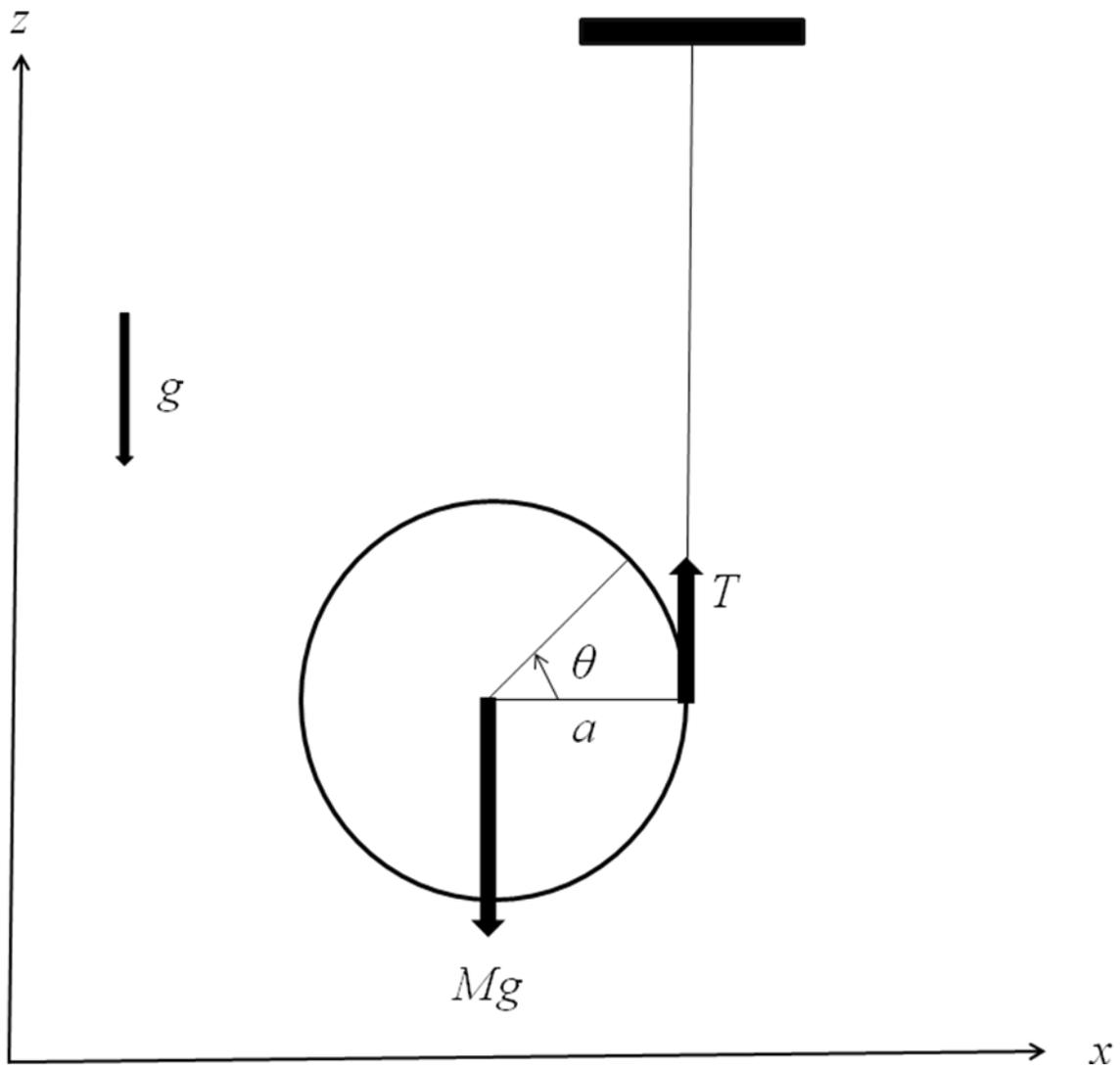


图 3

問題3 1 mol の理想気体において成り立つ関係 (3), (4), (5) を用いて以下の問 1 ~ 問 5 に答えなさい。ただし, 状態量  $p, V, T, U$  はそれぞれ圧力, 体積, 温度, 内部エネルギーであり,  $R$  は気体定数,  $Q$  は熱量,  $C_v$  は定積モル比熱を表す。また,  $d$  は状態量の微少量,  $d'$  は状態量でないものの微少量を表す。

$$- - - pV = RT \quad \text{-- (3)}$$

$$- - - dU = d'Q - pdV \quad \text{-- (4)}$$

$$- - - C_v = dU/dT \quad \text{-- (5)}$$

問 1- 定圧モル比熱を  $C_p$  とすると,  $C_p = C_v + R$  となることを示しなさい。

問 2- 断熱過程 ( $d'Q = 0$ ) において, 比熱比  $\gamma = C_p / C_v$  を用いて温度と体積の間に  $TV^{\gamma-1} = \text{const.}$  (定数) が成り立つことを示しなさい。

- 次に, 熱浴との接触部以外は完全に断熱された壁および断熱ピストンで拘束された 1 mol の理想気体から成る系 (図 4) において以下の状態と準静的過程によるサイクル (図 5) を考える。

状態 0 :  $\{p_0, V_0, T_A\}$  で表される平衡状態

状態 1 :  $\{p_1, V_1, T_A\}$  で表される平衡状態

状態 2 :  $\{p_2, V_2, T_C\}$  で表される平衡状態

状態 3 :  $\{p_3, V_3, T_C\}$  で表される平衡状態

過程 A : 系を温度  $T_A$  の熱浴に接触させ熱量  $Q_A$  を与える等温膨張過程

過程 B : 系を断熱壁に接触させ温度  $T_C (< T_A)$  となるまで断熱膨張させる過程

過程 C : 系を温度  $T_C$  の熱浴に接触させ熱量  $Q_C$  を奪う等温圧縮過程

過程 D : 系を断熱壁に接触させ温度  $T_A$  となるまで断熱圧縮させ状態 0 に戻す過程

問 3- 過程 A において熱浴が系に与える熱量  $Q_A$ , および過程 C において熱浴が系から奪う熱量  $Q_C$  を求めなさい。

問 4- サイクルの各状態での体積  $V_0, V_1, V_2, V_3$  が満たす関係を問 2 の結果を用いて求めなさい。

問 5- 以上の結果をもとに,  $Q_A/T_A = Q_C/T_C$  という関係が成り立つことを示し, その熱力学的な意味を説明しなさい。

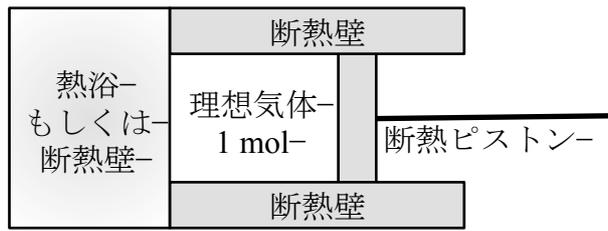


図 4

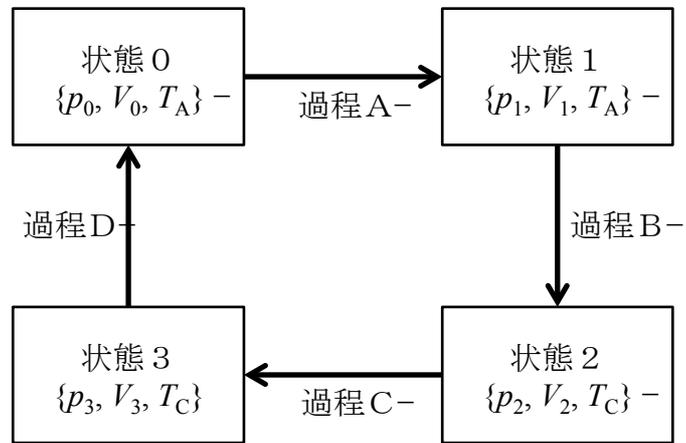


図 5

## F (化学)

以下の問題 1 と問題 2 を全て解答しなさい。

問題 1 以下の問 1～問 3 に答えなさい。

問 1 アンモニア分子( $\text{NH}_3$ )は、窒素原子(N)を頂点とし、3個の水素原子(H)を底面とする三角錐の形をしている。アンモニア分子がこのような形をとる理由を、窒素原子(N)の電子配置:  $(1s)^2 (2s)^2 (2p_x)^1 (2p_y)^1 (2p_z)^1$  と、水素原子(H)の電子配置:  $(1s)^1$  に基づいて、100 字から 200 字程度で説明しなさい。その際、図を付け加えてもかまわない。

問 2 いす型の構造を持つブromクロシクロヘキサン( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{BrCl}$ )の異性体を全て記し、その中で互いに鏡像異性体の関係にあるものを示しなさい。

問 3 以下に示す物質(1)～(5)には、2種類以上の、性質を異にする単体や化合物が存在する。それぞれの物質に関して、具体的な性質の違いについて述べなさい。その際、図を付け加えてもかまわない。

- (1) 水素分子 ( $\text{H}_2$ )
- (2) ヘリウム ( $\text{He}$ )
- (3) 炭素 ( $\text{C}$ )
- (4) 二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ )
- (5) 炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ )

問題2 地球上にはさまざまな核種が存在し、年代測定に、また化学トレーサーとして環境動態研究に利用されている。以下の問1～問4に答えなさい。

問1 放射性核種のうち、半減期が12.8億年の $^{40}\text{K}$ のように太陽系生成時から現在まで残存している核種を一次放射性核種という。 $^{40}\text{K}$ 以外の一次放射性核種を3種あげ、それらの原子記号と質量数を記しなさい。

問2 宇宙線による核反応で生成した核種を宇宙線生成核種という。このうち放射性核種に注目した時、時間 $t$ における核種の数 $n(t)$ 、生成率 $p(t)$ 、壊変定数を $\lambda$ とすると、単位時間あたりの壊変数は式(a)で与えられる。

$$-\frac{dn(t)}{dt} = \lambda n(t) - p(t) \quad (\text{a})$$

この式において、 $p(t)$ が時間によらず一定 $p_0$ であると仮定して、以下の(1)～(3)に答えよ。

- (1)  $n(t)$ を求めなさい。ただし、 $t=0$ のとき $n(t)=0$ とする。
- (2) (1)の解 $n(t)$ において、 $t \rightarrow \infty$ における $n(t)$ を求め、これがどのような状況を示すかを説明しなさい。
- (3)  $\lambda=0$ の場合の $n(t)$ を求め、これがどのような状況を示すかを説明しなさい。

問3 放射性炭素 $^{14}\text{C}$ は宇宙線生成核種の一つであり、天然の $^{14}\text{C}$ のほとんどは宇宙線により大気中で生成する。 $^{14}\text{C}$ は、平均すると地球全体で毎秒 $1.03 \times 10^{19}$ 個生成され、地球表層を循環している。 $^{14}\text{C}$ の半減期を5730年、地球表層における $^{14}\text{C}$ の個数は平衡状態にあるとし、問2(2)の結果を利用して地球表層における $^{14}\text{C}$ の総数を3桁の有効数字で計算しなさい。

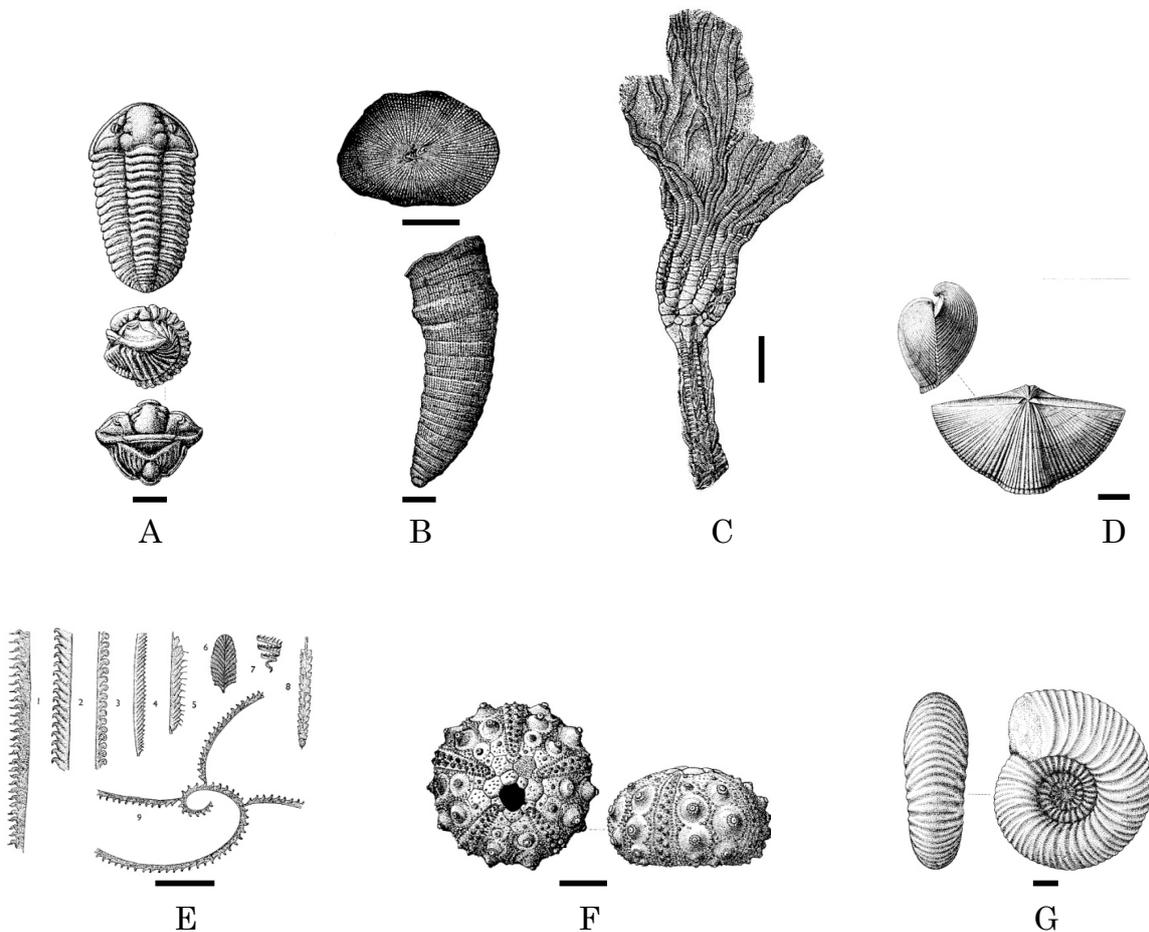
問4 地球表層に存在する炭素の総量は $4.20 \times 10^{16}$  kgと見積もられている。地球表層における $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  (個数比)を3桁の有効数字で計算しなさい。ただし、地球表層における炭素の同位体比は一定、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  (個数比)は $1.11 \times 10^{-2}$ とし、問3の結果を考慮しなさい。また、炭素の原子量は12.01、アボガドロ定数は $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ とする。

## G (生物学)

以下の問題 1～問題 3 のうちから 2 問を選択して，解答しなさい。

問題 1 以下の問 1～問 5 に答えなさい。

問 1 下の図に示す A～G の各動物の名称（一般的な名称でよい）をそれぞれ答えなさい。また A～G の各動物の生存期間を下の選択肢 1～8 から選んで番号で答えなさい。なお、同じ選択肢を重複して選んでもよい。



(図は “British Fossils”, British Museum (Natural History), 4th ed. 1975 より，各スケールは 1 cm)

(選択肢)

- |                |                |
|----------------|----------------|
| 1. カンブリア紀～現在   | 5. オルドビス紀～ペルム紀 |
| 2. カンブリア紀～石炭紀  | 6. シルル紀～現在     |
| 3. カンブリア紀～ペルム紀 | 7. シルル紀～ペルム紀   |
| 4. オルドビス紀～現在   | 8. シルル紀～白亜紀    |

問2 Eを除くA~Gの各動物が有する硬組織の化学成分をそれぞれ答えなさい。

問3 下の表を解答欄に写し、空欄の部分に、その形質の有無を○（有するもの）、×（欠くもの）で答えなさい。

	ナメクジウオ	カエル	マグロ	サメ	トカゲ	ヒト
硬骨の骨格	×					○
顎						
恒温性						
肺呼吸						
体表の毛						
乾燥に耐える皮膚						

問4 これらの動物の分岐図を最節約法に基づいて求めなさい。ただしここでは上記の形質が派生的であると仮定する。

問5 もし形態形質や遺伝子解析などの分岐図に基づく系統推定の結果と、化石記録に基づく出現順序から推定される系統関係が矛盾する場合、どのようなことが推定されるか。5行程度で述べなさい。

問題2 以下の問1～問3に答えなさい。

問1 DNA と RNA の化学的構造について，共通点と相違点を挙げながら，5行程度で説明しなさい。

問2 AaBb という遺伝子型を持つ植物の個体に対し検定交雑を行ったところ，得られた個体の表現型の分離比は[AB]:[Ab]:[aB]:[ab]=1:5:5:1 となった (A は a に対し，B は b に対し優性とする)。

- (1) 検定交雑とはどのような実験であるか，2行程度で説明しなさい。
- (2) 検定交雑の結果，このような表現型の分離比になる原因について，2行程度で説明しなさい。
- (3) この個体が自家受精した場合に得られる次世代の表現型の分離比を求めなさい。

問3 以下の文章は好氣的細胞呼吸の代謝系について，概略的に述べたものである。空欄 (ア) ～ (ク) に当てはまる語句を語群より選択し，文章を完成させなさい (解答用紙には，(ア) = ○○，(イ) = △△のように列記すること)。

好氣的解糖系の最終産物である (ア) は脱炭酸と補酵素 A の結合により (イ) となったのち，(ウ) 回路に入り，段階的に酸化される。解糖系や (ウ) 回路で生じた (エ) や  $\text{FADH}_2$  は，電子伝達系に水素を供給し，酸化される。電子伝達系において，電子の授受によって生じるエネルギーは (オ) 内膜を介した (カ) の濃度勾配としていったん蓄えられ，その電気化学的エネルギーを用いて ADP から (キ) が合成される。最終的に電子は (ク) に渡り，(カ) と反応して水ができる。

(語群)

ピルビン酸，コハク酸，ギ酸，クエン酸，アセチル CoA，カルビン-ベンソン，ミトコンドリア，ゴルジ体，酸素， $\text{H}^+$ ，ATP，GDP，NADH

**問題3** 以下の文を読んで、問1～問4に答えなさい。

生物は、他の生物とさまざまな相互関係を持ちながら生きている。ある種がもう一つの種と相互関係を持ちながら共に生きているとき、その両方の種が利益を得る場合を相利共生と呼ぶ。一方、片方が利益を得るが、もう片方は害を被る場合を寄生と呼ぶ。寄生では、寄生によって利益を得る側を寄生者、害を被る側を宿主と呼ぶ。寄生者の中には、宿主の体内で生活する種（内部寄生者）や、体外で生活する種（外部寄生者）がいる。寄生者は、宿主の行動や性質を変えてしまうことがある。

問1 相利共生の例を、海の生物と陸上の生物について1例ずつ挙げ、それぞれ2行程度で説明しなさい。挙げる際には、具体的な生物の名前（「テントウムシ」程度の具体名でよい）と、それらがお互いにどんな利益を得ているのかを説明すること。

問2 真核生物の起源に関して、「細胞内共生説」と呼ばれる仮説がある。この「細胞内共生説」とはどのような仮説か、5行程度で説明しなさい。

問3 条虫（いわゆるサナダ虫）は内部寄生者で、成虫は宿主の腸管内に寄生し、長いものは体長10mになるが、足や消化管を持たない。条虫が足や消化管を持たない理由として妥当だと考えられる説を、2行程度で書きなさい。

問4 カタツムリの内部に棲む吸虫の中には、カタツムリの殻を厚く変化させるものがある。殻が厚くなると鳥などに襲われても捕食されにくくなるので、カタツムリにも短期的には利益があるように考えられる。しかし、この関係は相利共生ではなく、寄生であると主張する研究者がいる。寄生であると主張する根拠としてどのようなことが考えられるか、生態学のトレードオフの考え方に基づいて、5行程度で述べなさい。

## H (数学)

以下の問題 1 ~ 問題 5 を全て解答しなさい。答案には計算過程も書きなさい。

問題 1 次の 2 つの行列について、それぞれ、正則ならば逆行列を求め、正則でなければ階数を求めなさい。ただし、 $a$  は実数の定数とし、必要ならば  $a$  の値について場合分けをして解答しなさい。

$$\begin{pmatrix} a & 1 & 0 \\ 1 & a & 1 \\ 0 & 1 & a \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 \\ 3 & 4 & 3 & 4 \\ 0 & 0 & 5 & 6 \\ 0 & 0 & 7 & 8 \end{pmatrix}$$

問題 2 次の連立線形常微分方程式の一般解  $u(t), v(t)$  を求めなさい。

$$\frac{d^2}{dt^2} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$$

問題 3 次の定積分の値を計算しなさい。ただし、 $n$  は 0 以上の整数定数とする。

問 1  $\int_0^1 x^n \log x \, dx$  (ここで、 $\log$  は自然対数を表すものとする)

問 2  $\int_{-1}^1 \sqrt{1-x^2} \, dx$

問題 4 次の  $u(t)$  に関する常微分方程式について以下の問 1 ~ 問 3 に答えなさい。ただし、 $\omega$  と  $\epsilon$  は  $t$  に依存しない正の実数とする。

$$\frac{d^2 u}{dt^2} + 2\epsilon \frac{du}{dt} + \omega^2 u = 0$$

問 1 一般解を求めなさい。ただし、 $\epsilon$  の大きさに応じて、場合分けをしなさい。

問 2 問 1 の場合分けのそれぞれの場合について、 $t = 0$  で  $u = 1$  かつ  $du/dt = 0$  を満たす解を求めなさい。

問 3 問 2 のそれぞれの解  $u(t)$  について、 $t$  を横軸にとり、図示しなさい。ただし、解の曲線は、特徴さえ捉えていれば、フリーハンドで概形を示せば十分である。

問題 5 範囲  $(-\infty, +\infty)$  の実数値をとる確率変数  $x$  に対して、平均が 0、分散が  $\sigma^2$  の正規分布 (ガウス分布) に従う確率密度関数  $f(x)$  は

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

と与えられる。また、誤差関数  $\operatorname{erf}(\xi)$  は

$$\operatorname{erf}(\xi) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\xi e^{-t^2} dt$$

と定義される。このとき確率密度関数  $f(x)$  に従う確率変数  $x$  が 95% の確率で含まれる範囲が  $|x| \leq X$  であるとして、 $X$  の値を定める方程式を、誤差関数  $\operatorname{erf}$  を用いて表しなさい。ただし、方程式を  $X$  について陽に解く必要はない。