

## A（地球環境学）

以下の問題 1 ～問題 2 を全て解答しなさい。

問題 1 以下の問 1 ～問 3 を全て解答しなさい。

問 1 図 1 (a) は大気がないとした場合の地表面における放射量の収支, (b) は温室効果ガスを含む大気がある場合の放射量の収支を示した模式図である。ここで  $I_E$  は地球に入射する太陽放射エネルギー,  $T_e$  は地球の放射平衡温度,  $T_s$  は大気がある場合の地表面温度,  $T_a$  は大気層の平均温度,  $\sigma$  はステファンボルツマン定数である。  $T_e < T_s$  となることを大気の温室効果という。この図を用いて大気の温室効果のメカニズムを 200 字程度で説明しなさい。

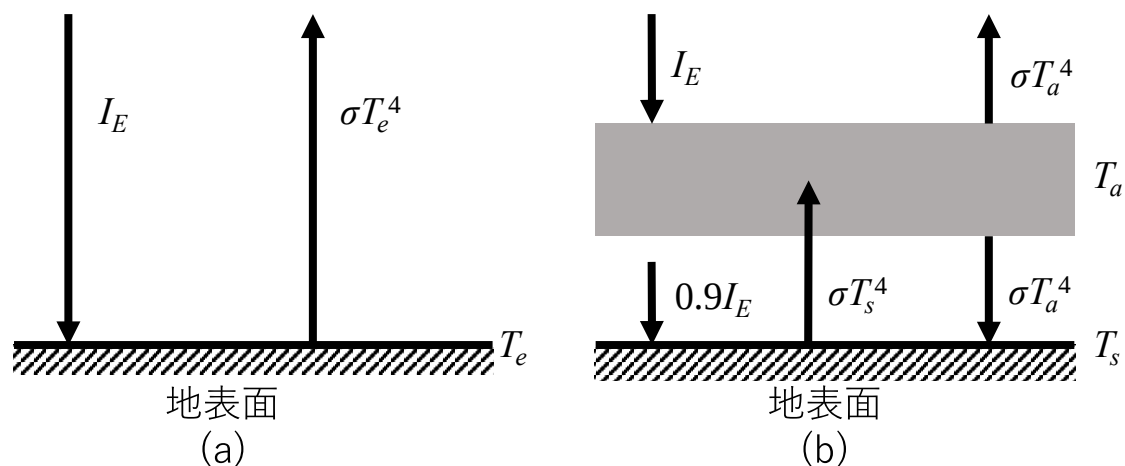


図 1

出典 安成哲三『地球気候学』東京大学出版会 2018 年

問2 何らかの要因により地球気候系に変化が起こったときに、その要因が引き起こす放射エネルギーの収支の変化量を放射強制力と言う。表1は人為的にもたらされた放射強制力の要因とその大きさを、1750年を基準として示している。正の放射強制力是对流圏の温度を上昇させ、負の放射強制力は下降させる効果を持つ。この中で大気への一酸化二窒素（ $\text{N}_2\text{O}$ ）放出の大部分は農業活動によって土壌から放出されるものである。気候変動を緩和するために一酸化二窒素放出を抑制するにはどのような農法上の工夫をすれば良いと考えられるか、その理由も含めて100字程度で答えなさい。

表1 1750年を基準とした2011年における放射強制力の推定値

|               | $\text{Wm}^{-2}$ |
|---------------|------------------|
| 二酸化炭素         | 1.68             |
| メタン           | 0.97             |
| ハロカーボン類       | 0.18             |
| 一酸化二窒素        | 0.17             |
| 一酸化炭素         | 0.23             |
| 非メタン揮発性有機化合物  | 0.10             |
| 窒素酸化物         | -0.15            |
| エアロゾルと前駆物質    | -0.27            |
| エアロゾルによる雲調整   | -0.55            |
| 土地利用によるアルベド変化 | -0.15            |

出典 IPCC 第5次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約

問3 地球大気で温室効果が大きい大気成分は水蒸気と二酸化炭素である。化石燃料を燃焼させると、二酸化炭素と同時に水蒸気が排出される。現在の気候変動対策においては、化石燃料を燃焼させた時に排出される二酸化炭素に起因する放射強制力が問題視される。しかし、同時に排出される水蒸気は放射強制力をもたらすとは考えられていない。その理由として考えられることを二酸化炭素の場合と比較して100字程度で述べなさい。

**問題 2** 森林は温室効果ガスの吸収源として、その役割を果たしている。 国内の森林面積はおよそ 2500 万 ha であるが、過去 100 年間に増減はほとんど見られない。一方で、過去 50 年間の国内の森林蓄積量は、主に広葉樹で構成される天然林で 1.5 倍、スギ・ヒノキなど人工林で 6 倍に増加した。図 2 は国内の人工林における齢級（林齢を 5 年の幅でくくった単位、1 齢級は 1 年生から 5 年生）別の面積である。以下の問 1 ～問 3 を全て解答しなさい。

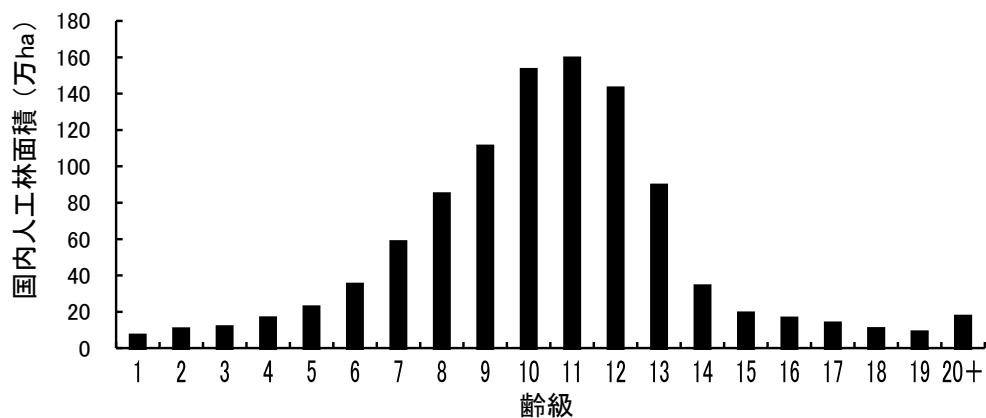


図 2. 国内人工林の齢級（5 年単位の林齢）別面積。

林野庁「森林資源の現況」（平成 29 年 3 月 31 日現在）より作成。

- 問 1 下線部について、森林はどのように温室効果ガスの吸収源として役割を果たしているか。200 字程度で答えなさい。
- 問 2 国内人工林の齢級別面積について、図 2 のような分布を示す理由を、社会的背景を考慮して、200 字程度で答えなさい。
- 問 3 気候変動枠組条約における国内の温室効果ガス削減目標量において、森林の吸収量は吸収源として総排出量から差し引くことができる。ただし、削減目標に利用できる吸収源の対象の多くは、適切に整備された森林に限定されている。この適切に整備された森林面積は、年々増加しつつあるものの、その吸収量は、2014 年における 5680 万トン（CO<sub>2</sub> 換算）から 2020 年の 4310 万トン（CO<sub>2</sub> 換算）へと減少傾向にある。この減少要因として、適切に整備された森林の伐採量が増加したほかに、考えられる理由を 100 字程度で答えなさい。

## B（地球科学Ⅰ）

以下の問題 1～問題 5 を全て解答しなさい。

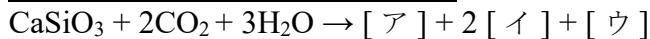
問題 1 以下の文章を読んで、問 1～問 4 を全て解答しなさい。

風化とは、岩石が地表からの影響により、破壊や変質を被ることである。風化は物理的風化と化学的風化に分けられるが、多くの場合、両者は複合的に働く。風化過程の理解は物質循環、防災、資源探査の観点からも非常に重要である。

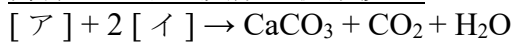
問 1 地表に露出した節理構造のある岩石に作用する物理的風化の例を 60 字程度で説明しなさい。

問 2 以下は地球システムにおける炭素循環のプロセスを、珪酸塩鉱物の化学的風化を起点とする一連の化学式で示したものである。

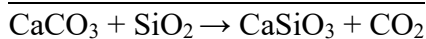
陸上における珪酸塩鉱物の風化



海洋における炭酸塩沈殿反応



沈み込み帯における変成作用



(1) [ア]～[ウ]のカッコの中を埋めて、化学式を完成させなさい。ただし、[ア]、[イ]はイオン、[ウ]は分子とする。

(2) 岩石（珪酸塩鉱物）の化学的風化には、二酸化炭素濃度の変化を抑制する「負のフィードバック機構」があるとされている。その機構について、150 字程度で説明しなさい。

問 3 風化残留鉱床の例を一つあげ、その形成機構について 80 字程度で説明しなさい。

問 4 花こう岩地帯における土砂災害のメカニズムについて、風化プロセスの観点から 80 字程度で述べなさい。

**問題 2** 砂岩組成は、石英 (Q) , 長石 (F) および岩石片 (Rx) の 3 成分で記載されることが多い。碎屑物の性質について以下の問 1 ～問 3 を全て解答しなさい。

問 1 ある場所で採取した砂岩試料の砂岩組成は  $Q : F : Rx = 93 : 6 : 1$  であった。この砂岩の分類上の名称は何か。

問 2  $Q/(Q+F+Rx)$  の値は砂岩の成熟度と関係があり、この値が 1 に近づくほど成熟度が高い。砂岩の成熟度は地質学的にどのような作用と関係があるか。100 字程度で説明しなさい。

問 3  $F/(F+Rx)$  の値は後背地の源岩の種類と関係して変動する。この値はどのような源岩の情報を反映しているか。100 字程度で説明しなさい。

**問題 3** 図 1 の (A) と (B) はそれぞれ、ある地域における地質柱状図を簡略化したものである。以下の文章を読み、問 1 ～問 6 を全て解答しなさい。なお、Ma は 100 万年前を表す。

#### 柱状図 (A)

ある地域の付加体で見られる、海洋プレート層序である。下位より、海嶺玄武岩、放散虫チャート、珪長質凝灰岩、泥岩・砂岩・礫岩からなり、各層は整合関係にある。玄武岩とチャートの境界は 250 Ma であり、珪長質凝灰岩の最下部には 210 Ma の同時性ジルコンが含まれる。泥岩・砂岩・礫岩からは、ジュラ紀のアンモナイト化石が得られている。

#### 柱状図 (B)

下位より、枕状玄武岩、石灰岩、珪長質凝灰岩、泥質石灰岩、砂岩からなり、それぞれ上位層は下位層を被覆する。枕状玄武岩はカルクアルカリ岩質で、石灰岩にはテチス型紡錘虫化石が密集する。珪長質凝灰岩上部からは 220 Ma の同時性ジルコンが得られており、また放散虫化石を含む。枕状玄武岩、石灰岩、珪長質凝灰岩は、整合関係にある。泥質石灰岩はコノドント化石を産出し、砂岩からは 15 Ma の碎屑性ジルコンが得られている。

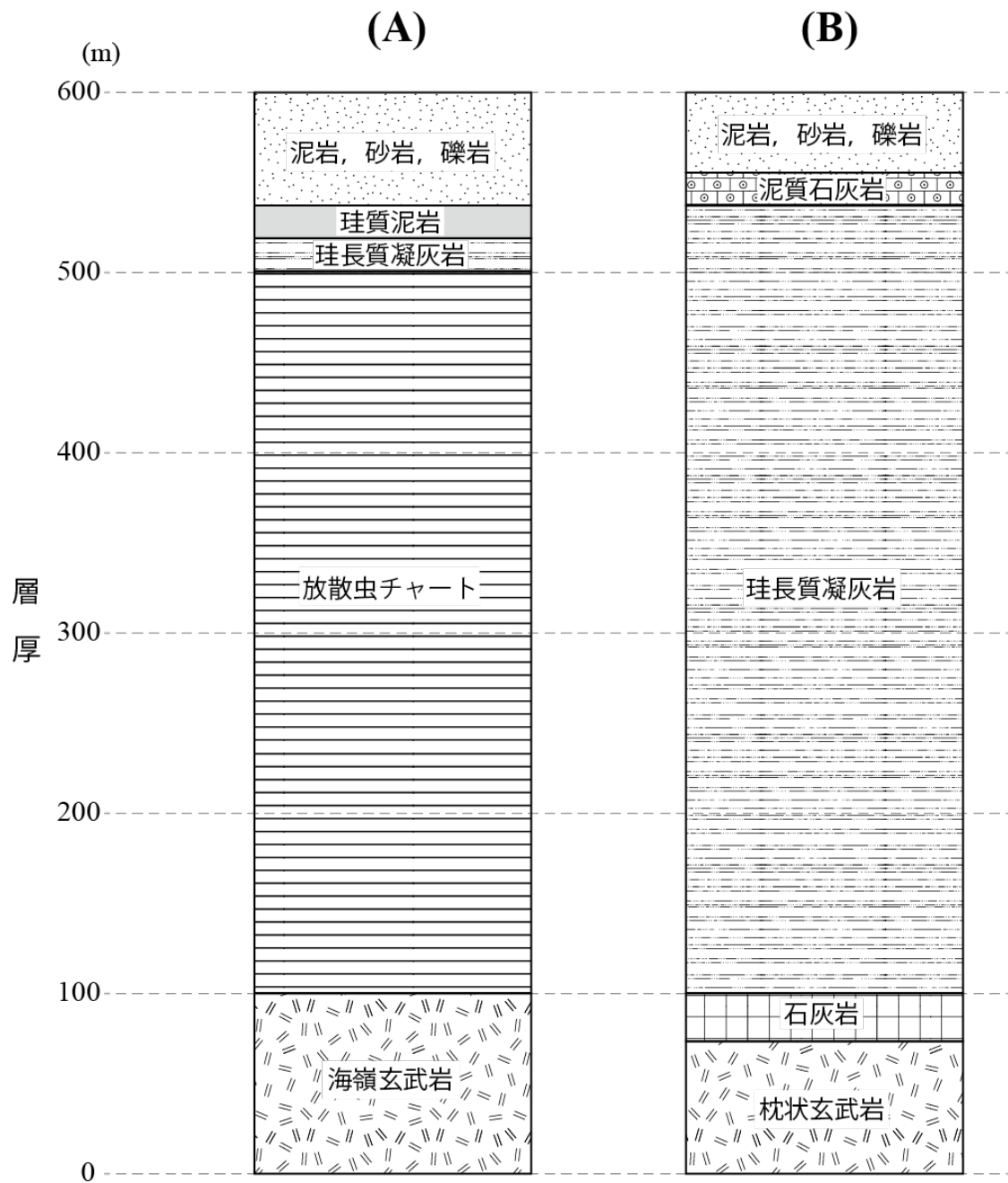


図1. ある地域における地質柱状図

- 問1 (A) の海嶺玄武岩に含まれる一的な斑晶鉱物を3つ答えなさい.
- 問2 当時の海洋プレートの移動速度が5 cm/年だとした場合, (A) の海嶺玄武岩が形成された場所から海溝までの, おおよその移動距離 (km) を求めなさい.
- 問3 (B) の枕状溶岩～泥質石灰岩は, どのような場所で形成されたと考えられるか. 以下の(1)～(8)より, 最も適切なものを一つ選べ. また, その理由を100字程度で述べなさい.

- (1) 大陸から遠く離れた遠洋
- (2) 大陸内リフト帯の淡水湖
- (3) 熱帯乾燥地域のサブカ（干潟）
- (4) 高緯度寒冷地域の火山弧近傍の海洋
- (5) 中・低緯度温暖地域の火山弧近傍の海洋
- (6) 遠洋の火山島近傍
- (7) 受動的大陸縁近傍の海洋
- (8) (1) ～ (7) のどれも当てはまらない

問 4 (B) の珪長質凝灰岩の時代として、以下の (1) ～ (7) より、地質情報からとりうる年代範囲として適切なものをひとつ選びなさい。また、その理由を 200 字程度で述べなさい。

- (1) シルル紀～デボン紀
- (2) シルル紀～石炭紀
- (3) 石炭紀
- (4) 石炭紀～ペルム紀
- (5) 石炭紀～三畳紀
- (6) 三畳紀～ジュラ紀
- (7) ジュラ紀～白亜紀

問 5 (B) の珪長質凝灰岩と泥岩・砂岩・礫岩の関係を答えなさい。また、その理由を 50 字程度で述べなさい。

問 6 (A) と (B) の珪長質凝灰岩は、同じ地域の火山活動によって同時期に形成されたとすると、両者の層厚が異なる理由について、考えられることを 300 字程度で述べなさい。

**問題 4** 以下の問 1 ～問 2 を全て解答しなさい。

問 1 現地性化石とは、生物の遺骸が、生息していた場所から水流等によって運搬されることなく、その場で化石化したものを指す。二枚貝の場合、どのような保存状態であれば、現地性化石と判断できるか、30 字程度で説明しなさい。

問 2 二次化石とは、化石を含む地層が削剥を受け、そこから分離された化石が、運搬作用によって運ばれた後、より新しい時代の堆積場に取り込まれ、地層中に保

存されたものを指す．二次化石であると明確に判断できるのは，どのような分析結果が得られた場合であるか，80 字程度で説明しなさい．

**問題 5** 図 2 は生物擾乱によって，海底堆積物の層理が乱されていく様子を，概念的に示したものである．以下の問 1 ～問 3 を全て解答しなさい．

問 1 層理が形成される原因を 1 つ挙げなさい．

問 2 図 2 のような生物擾乱は生物のどのような行動によって，形成されるかを答えなさい．

問 3 図 2 の④の状態より更に擾乱が進むとどのような状態になると考えられるか，30 字程度で答えなさい．

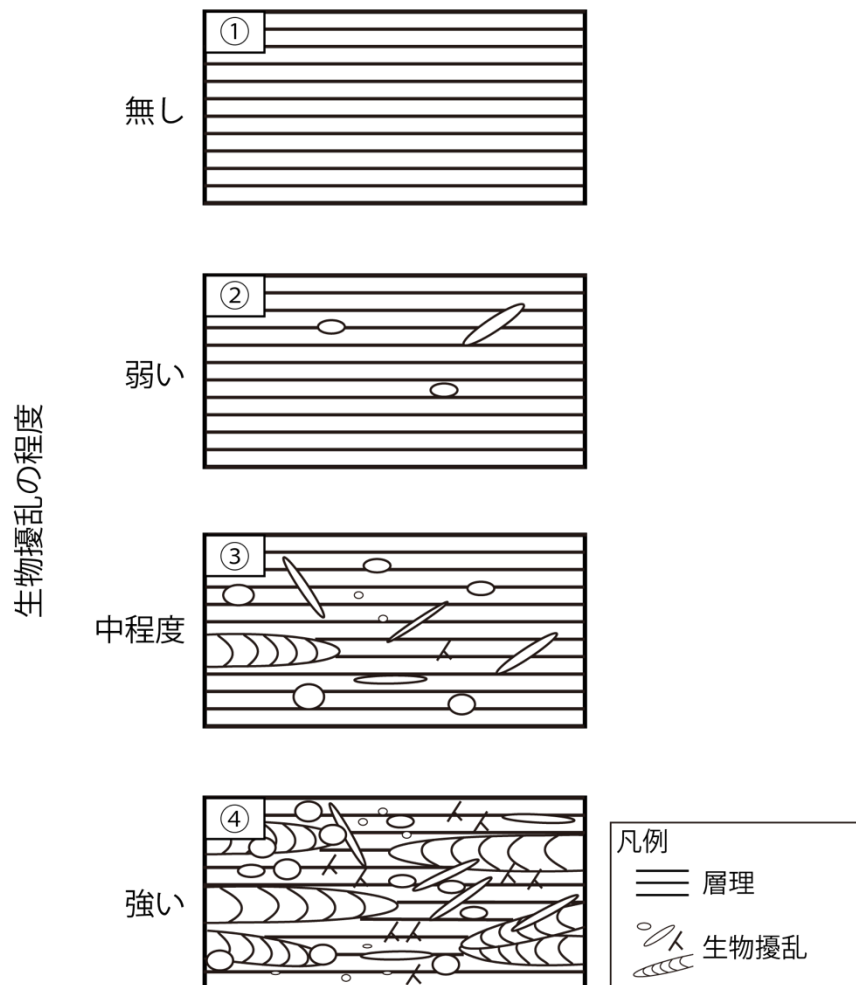


図 2．生物擾乱の程度を示す概念図（東海大学出版会「生痕化石」より改変）

## C (地球科学 II)

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 花こう岩質岩石に関する次の問 1 ～問 6 を全て解答しなさい。

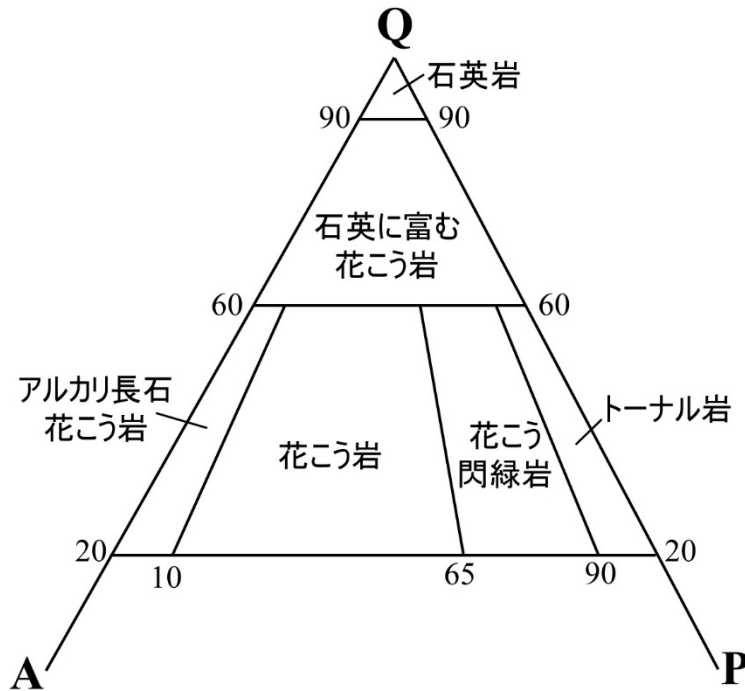


図 1. 花こう岩質岩石の分類図. Q, A, P はそれぞれ石英, アルカリ長石, 斜長石で, 数値は体積分率 (vol.%) を表す. 新版地学教育講座④「岩石と地下資源」国際地質科学連合火成岩分類委員会案を参照

問 1 ある花こう岩質岩石に含まれる石英 (Q) , アルカリ長石 (A) , 斜長石 (P) の 3 相の体積分率を計測したところ,  $Q = 30 \text{ vol.}\%$ ,  $A = 10 \text{ vol.}\%$ ,  $P = 60 \text{ vol.}\%$  であった. 図 1 の分類図に基づいて, この花こう岩質岩石の名称を答えなさい.

問 2 花こう岩質岩石に含まれうる有色鉱物を 2 つ答えなさい.

問 3 花こう岩質岩石に含まれる石英は他形であることが多い. この理由を 2 行程度で述べなさい.

問4 花こう岩質岩石中の副成分鉱物に関する下記の説明文を読み、以下の（１）～（２）を全て解答しなさい。

花こう岩質岩石は、液相濃集元素に富むため、 $\text{SiO}_2$  含有量の少ない他の深成岩と比較して、ウランやトリウムなどの放射性元素に富む副成分鉱物を含むことが多い。

（１）下線部の説明に該当する代表的な鉱物名を一つ答えなさい。

（２）偏光顕微鏡下でウランやトリウムに富む鉱物を判定する手がかりとなる特徴的な組織を答えなさい。

問5 アルカリ長石と斜長石を偏光顕微鏡下で区別する際、ベッケ線を観察することで判別が可能である。以下の（１）～（２）を全て解答しなさい。

（１）ベッケ線は隣り合う２つの鉱物のどのような光学的性質の違いによってみられる線であるかを答えなさい。

（２）長石類である鉱物Xが石英と接している場合、偏光顕微鏡下でベッケ線は図2のように観察された。この場合、鉱物Xはアルカリ長石と斜長石のどちらであると考えられるか。また、そのように考えた理由を２行程度で説明しなさい。

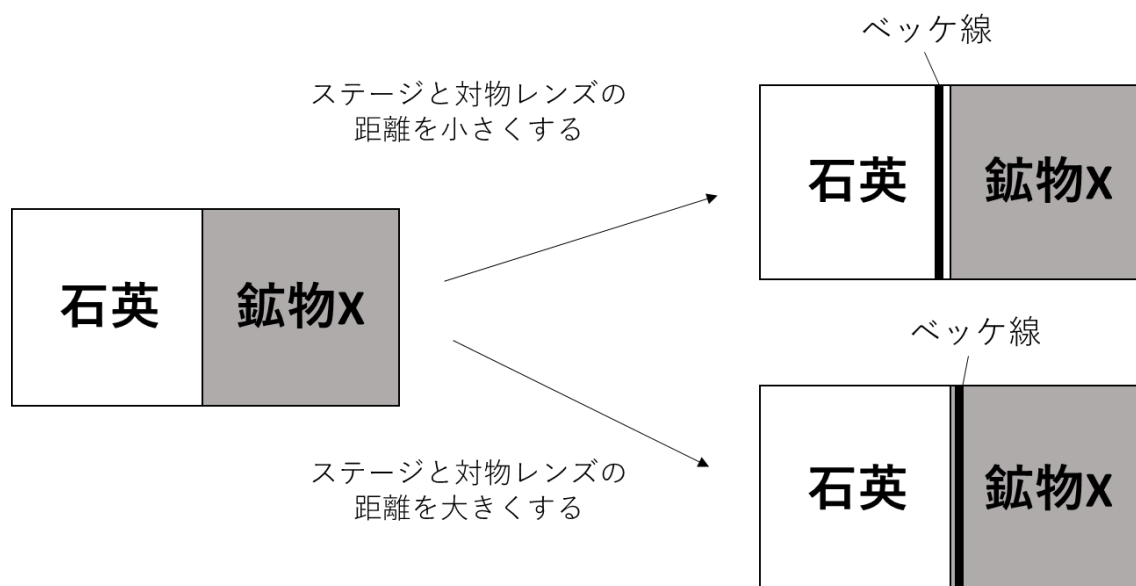


図2. 偏光顕微鏡下で石英と隣り合う長石類（鉱物X）を観察した際のベッケ線の位置。  
なお、図中に示されている黒い太線のベッケ線は、実際には明るい輝線として観察される。

問6 様々な花こう岩質岩石中に含まれる斜長石を観察した際、図3のように2種類の特徴的な組織が観察された。以下の(1)～(4)を全て解答しなさい。

(1) 図3のような組織が観察される場合、マグマ内ではメルトと固相の平衡が保持されずに結晶化作用が進行したと考えられる。このような結晶化作用の名称を答えなさい。

(2) 図3(a)と図3(b)のような組織が形成されるための条件をそれぞれ説明しなさい。なお、下記の語句群から適切な用語を選んで説明すること。

語句群：結晶沈降、原子拡散、重力、化学反応

(3) 図3(b)のような組織は何と呼ばれるか。名称を答えなさい。

(4) 図3(a)のような組織を持つ斜長石の単結晶を分離し、熔融炉に入れてゆっくりと平衡を保ったまま加熱した。An<sub>20</sub>、An<sub>35</sub>、An<sub>75</sub>の斜長石はそれぞれ何℃程度で熔融を開始するかを、図4を参考にして答えなさい。ただし、図3において同じ色の部分の斜長石の組成は均質であるものとする。

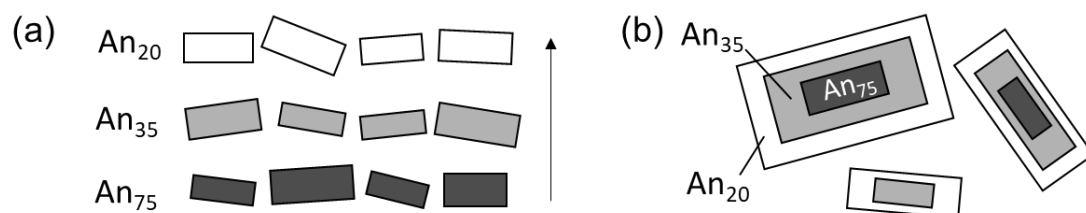


図3. 花こう岩質岩石中に含まれる斜長石の特徴的な組織。(a)の矢印は斜長石が晶出した際の上方を表す。Anとは灰長石(Anorthite)を意味し、下付きの添え字はAnorthite成分値 $[=\{Ca/(Ca+Na)\} \times 100]$ を表す。-

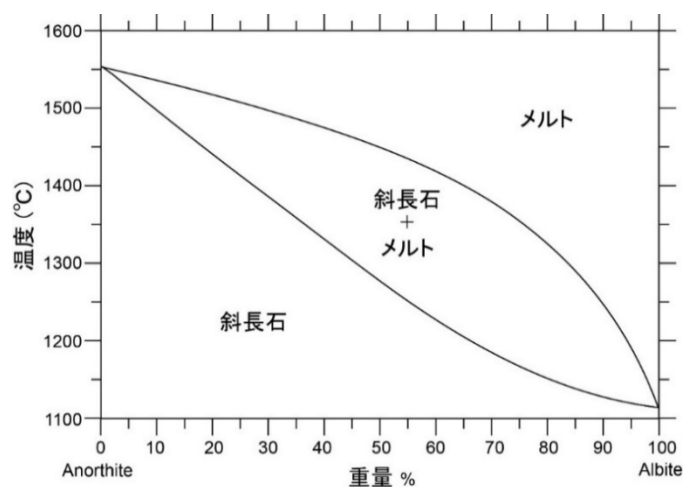


図4. 灰長石( $CaAl_2Si_2O_8$ )—曹長石( $NaAlSi_3O_8$ )系の1気圧での相平衡図

問題2 図5に示した地溝帯周辺においてアイソスタシーが成り立っているとす  
る．このとき，以下の問1～問3を全て解答しなさい．

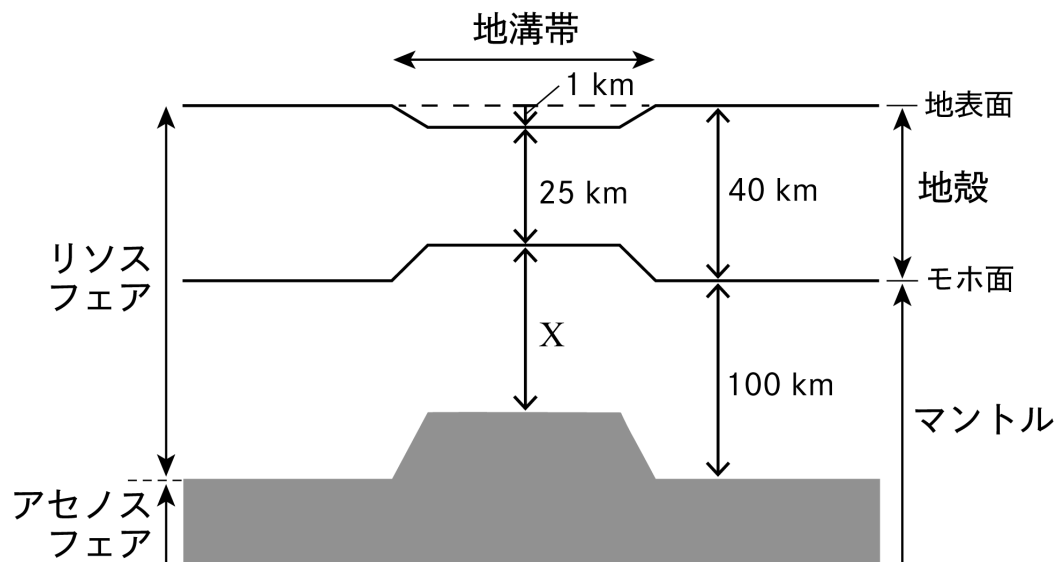


図5．地溝帯の模式断面図

問1 地溝帯下のマンツルのリソスフェア領域の厚さ  $X$  を求めなさい．ただし，地  
殻，マンツルのリソスフェア領域，およびマンツルのアセノスフェア領域の密度  
をそれぞれ  $2800 \text{ kg/m}^3$ ， $3370 \text{ kg/m}^3$ ，および  $3300 \text{ kg/m}^3$  とする．解答用紙には計  
算式も記入すること．

問2 図6について、ポテンシャルマントル温度とは何か、答えなさい。

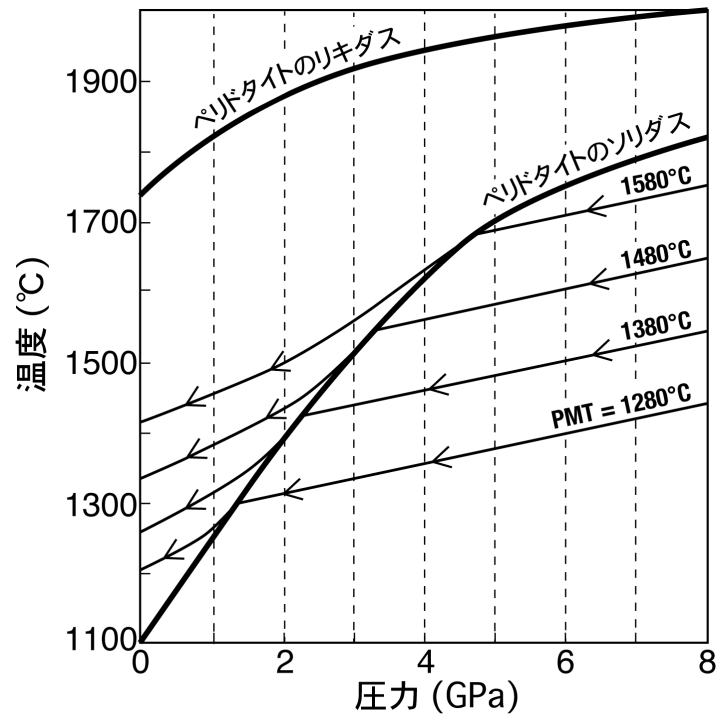


図6．未分化なマントルペリドタイトの断熱上昇による融解モデル  
PMT: ポテンシャルマントル温度 (高橋, 1996 を基に作成)

問3 図5の地溝帯のリソスフェア底部で部分溶融がはじまった．この場合，妥当なポテンシャルマントル温度を図6で示された温度から一つ選択し，その理由を答えなさい．

**問題 3** 地表で観測される重力値は，地下の岩石や堆積物による密度分布が不均質であることから，複雑な分布を示す．本問題では，均質な地下に異なる密度をもつ領域（以下，「密度異常体」とよぶ）がある場合に，その密度差によって生じる引力の鉛直成分を「重力異常」とよぶ．図 7 は，地下の密度異常体による重力異常分布の例である．図 7 を参考に，以下の問 1 ～問 3 を全て解答しなさい．

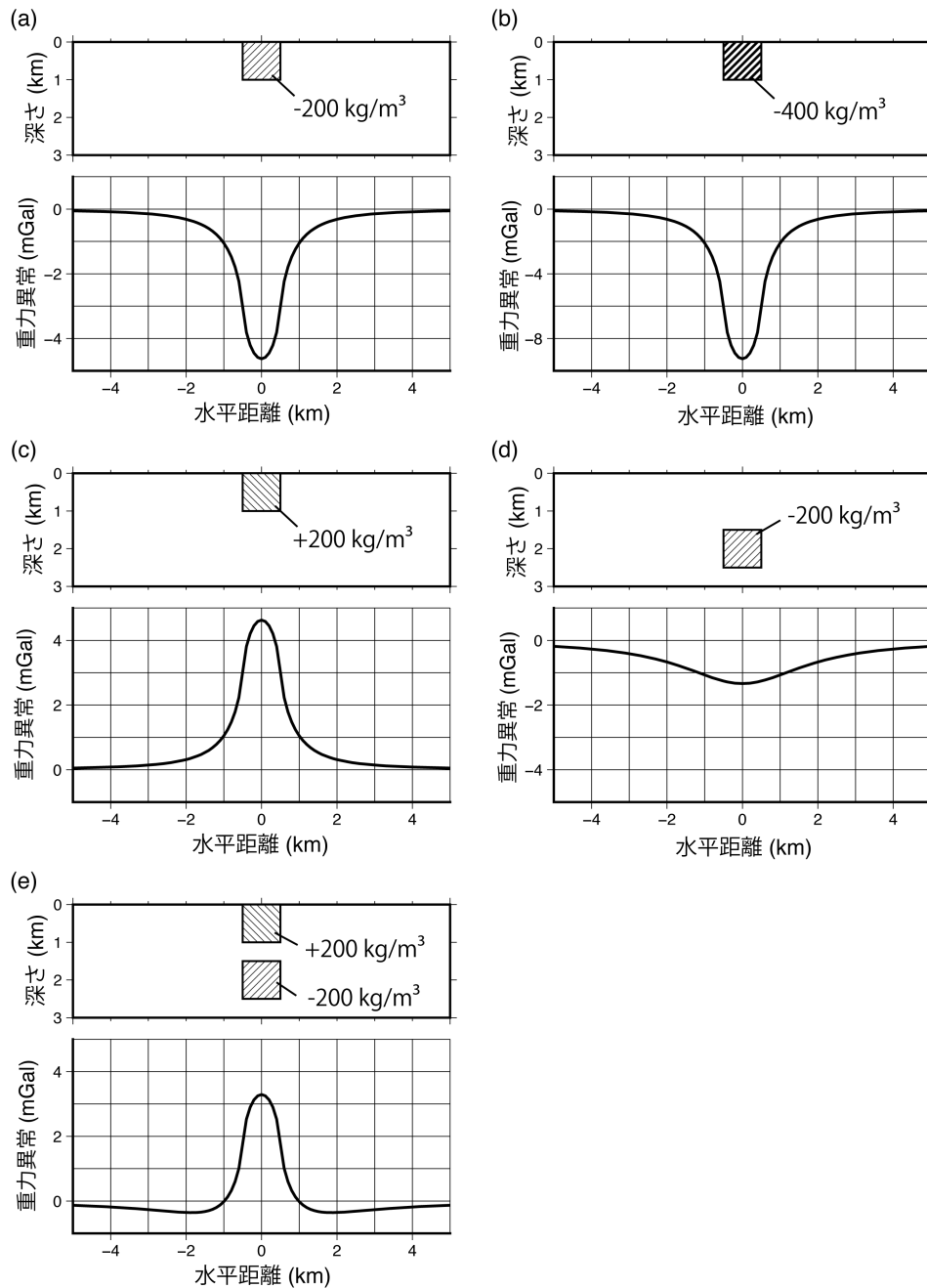


図 7．密度異常体（斜線部）を含む領域の垂直断面図とその結果として地表面（深さ 0 km）に生じる重力異常分布．本図および図 8，図 9 では密度異常体は紙面に対して垂直方向に無限に広がっているものとする．

問1 図8に示した密度異常体分布によって生じる重力異常分布は、図7(c)の重力異常分布と比べてどのような分布となるか、3行以内で説明しなさい。

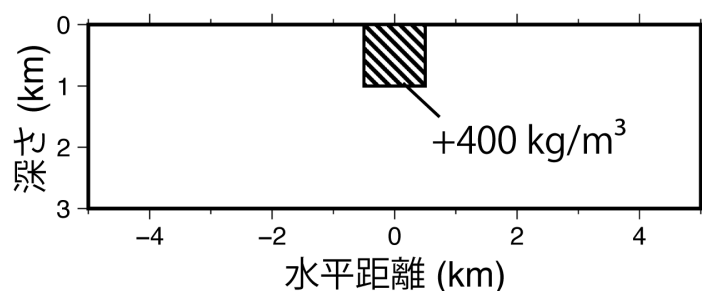


図8．密度異常体（斜線部）を含む領域の垂直断面図

問2 同じ密度異常体が、地表付近に存在する場合と、地下深部に存在する場合とで、重力異常分布はどのように異なるか、4行以内で答えなさい。

問3 図9に示した密度異常体分布によって生じる重力異常分布は、図7を用いて求めることができる。どのようにして求められるか、5行以内で説明しなさい。また、その重力異常分布のグラフを問3の専用解答紙に描きなさい。グラフの縦軸には目盛の数値も記入しなさい。

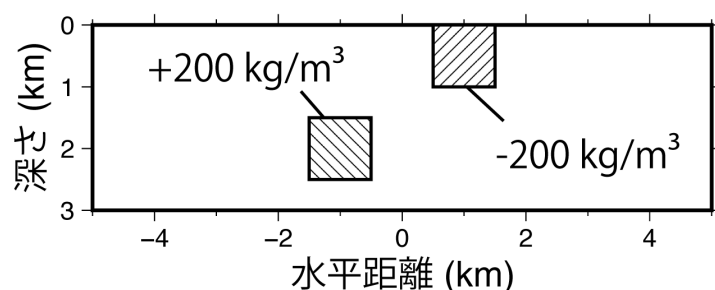


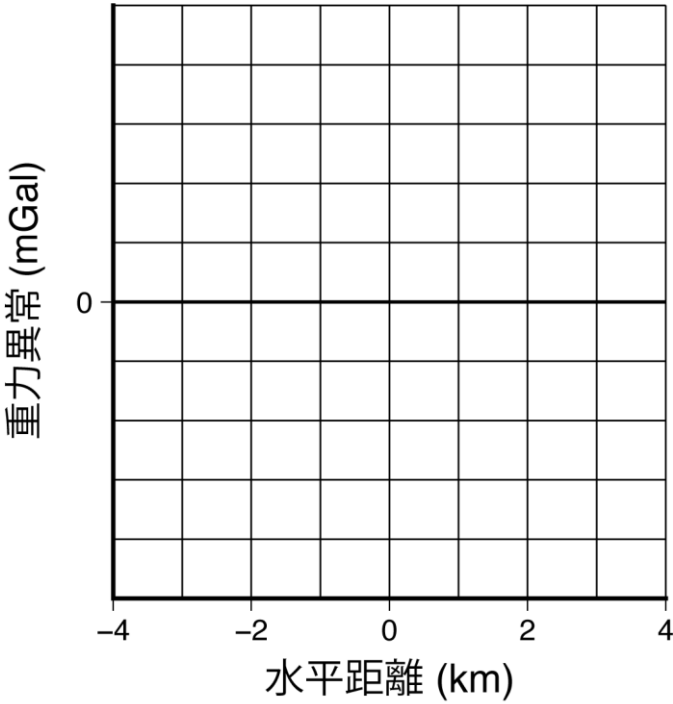
図9．密度異常体（斜線部）を含む領域の垂直断面図

解答用紙

|     |            |      |  |
|-----|------------|------|--|
| 科目名 | C（地球科学 II） | 受験番号 |  |
|-----|------------|------|--|

問題 3

問 3 専用解答紙



## D (地球科学 III)

以下の問題 1 ～問題 4 を全て解答しなさい。

**問題 1** 以下の(a)~(d)について，地球科学的または宇宙科学的な観点から，それぞれ 100 字程度で説明しなさい。

- (a) Oddo-Harkins 則
- (b) 鉄隕石
- (c) 地球大気の  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  比の変化
- (d) 大気中の  $^{14}\text{C}$  に見られる bomb 効果

**問題 2** 海水中の溶存成分の鉛直分布には，保存成分型，栄養塩型，スキャベンジ型の 3 つのタイプがある．以下の問 1 ～問 3 を全て解答しなさい。

問 1 3 つのタイプのうち，表層水より深層水の方が溶存成分の濃度が低い鉛直分布を示すのはいずれか，答えなさい。

問 2 栄養塩型の鉛直分布の特徴とその原因を 100 字程度で説明しなさい。

問 3 栄養塩型の鉛直分布を示す溶存成分を次の 8 つの中からすべて選びなさい。  
 $\text{NO}_3^-$ , Na, Si, Cl, Mn, Fe, Zn, Br

**問題 3** 炭素の安定同位体について，以下の問 1 ～問 7 を全て解答しなさい。

問 1 分析試料の炭素同位体組成の  $\delta^{13}\text{C}$  値 (‰, パーミル) を定義する式を，炭素同位体比  $R$  ( $=^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) を用いて表しなさい．ただし，未知試料の炭素同位体比を  $R_{\text{sample}}$ ，標準物質の炭素同位体比を  $R_{\text{standard}}$  としなさい。

問 2  $\delta^{13}\text{C}$  値の国際標準物質には V-PDB が使用されている．PDB は何の略称か，答えなさい．またどのような化合物であるか，答えなさい．なお，V-は国際原子力機関 IAEA 本部のある Vienna (ウィーン) の略称である。

問 3 炭素を含む物質の A 相と B 相の炭素同位体組成に差があるとき，A 相と B 相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

$R_B$ はそれぞれ A 相と B 相中の炭素同位体比である．この分別係数 $\alpha_{A-B}$ を問 1 で表した $\delta^{13}C$ を用いて表すと，次の式になる．

$$1000 \cdot \log_e \alpha_{A-B} = \delta^{13}C_A - \delta^{13}C_B \quad \dots\dots\dots (i)$$

この式(i)を導きなさい．ただし， $\delta^{13}C_A$ ， $\delta^{13}C_B$ はそれぞれ A 相と B 相中の $\delta^{13}C$ 値であり， $\delta^{13}C_A$ と $\delta^{13}C_B$ は 1000 に比べて十分に小さい数値とする．

問 4 大気  $CO_2$  が海水に溶解して平衡状態になったとき，溶存無機炭素（Dissolved Inorganic Carbon, DIC）の $\delta^{13}C$  値（ $\delta^{13}C_d$ ）を求めなさい．ただし，大気  $CO_2$  の $\delta^{13}C$  値（ $\delta^{13}C_a$ ）は $-8.2\text{‰}$ ， $CO_2$  の溶解時の分別係数 $\alpha_{d-a} = 1.00809$  としなさい．

問 5 海水の DIC から炭酸カルシウムが無機的に晶出するときの同位体分別の程度は，温度や pH などによって変化するが，通常，炭酸カルシウムの $\delta^{13}C$  値（ $\delta^{13}C_c$ ）は DIC の $\delta^{13}C_d$  より大きい． $\delta^{13}C_c$ が $\delta^{13}C_d$  より  $2.0\text{‰}$ 大きい場合，同位体分別係数 $\alpha_{c-d}$ を求めなさい．

問 6 植物が光合成によって二酸化炭素から有機物を合成する際，主に，大気  $CO_2$  の取り込みと細胞内の拡散による分別と， $CO_2$  を固定する酵素による分別が起こるとされており，その結果大きな同位体分別が生じる．大気  $CO_2$  を光合成して形成される植物の $\delta^{13}C$  値（ $\delta^{13}C_p$ ）が $-27.0\text{‰}$ であったとき，同位体分別係数 $\alpha_{p-a}$ を求めなさい．ただし，大気  $CO_2$  の $\delta^{13}C_a$ は $-8.2\text{‰}$ としなさい．

問 7 一般に，深層水の DIC の $\delta^{13}C$  値は表層水の値より低い．海洋の DIC 濃度の鉛直分布は，大気  $CO_2$  との溶解平衡，炭酸カルシウムの溶解，有機物の分解の 3 つの要因に支配されていると考えられている．深層水の DIC の $\delta^{13}C$  値が表層水の値より低い理由を 100～200 字で説明しなさい．

**問題 4** 岩石試料の化学分析では，フッ化水素酸による酸分解と，炭酸ナトリウムによるアルカリ融解がよく用いられる．フッ化水素酸分解とアルカリ融解は，分析試料の鉱物組成や分析元素を考慮して，これらの方法を選択したり組み合わせたりして，定量分析を行う．以下の問 1 ～問 2 を全て解答しなさい．

問 1 フォルステライト（ $Mg_2SiO_4$ ）とフッ化水素，フォルステライトと炭酸ナトリウムの化学反応式をそれぞれ示しなさい．

問 2 フッ化水素酸分解の利点と欠点を，アルカリ融解と対比しながら，それぞれ挙げなさい．

## E (物理学)

以下の問題 1 ～問題 2 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** 一様な重力場（重力加速度  $g$ ， $g \equiv |g|$ ）のもとで，質量の無視できる長さ  $a$  の棒の両端の点  $P_1$  および点  $P_2$  に，それぞれ，質点 1（質量  $m_1$ ）および質点 2（質量  $m_2$ ）を固定した物体の振り子運動を考える．ただし， $m_1 > m_2$  とする．図 1 のように，物体は，質量中心（点  $C$ ）から端点  $P_2$  までの区間の一点  $O$  で棒と直交する水平固定軸のまわりに，自由に回転するものとする．点  $C$  から点  $O$  までの距離を  $b$ ，鉛直軸から反時計回りの回転角を  $\varphi$  とする．以下の問 1 ～問 7 を全て解答しなさい．

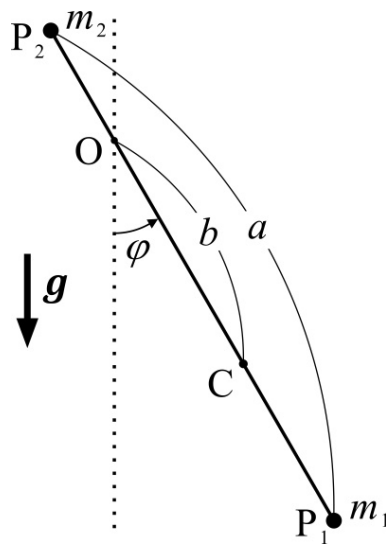


図 1

- 問 1 物体の質量中心の位置を端点  $P_2$  からの距離で示しなさい．
- 問 2 点  $O$  で棒に直交する軸のまわりの慣性モーメント  $I$  を求めなさい．
- 問 3 点  $O$  を通る回転軸（水平固定軸）のまわりの力のモーメントの大きさを求めなさい．
- 問 4 物体の回転角  $\varphi$  に関する運動方程式を示しなさい．

問5 回転角  $\varphi$  が十分に小さい範囲で微小振動するとき, 単振動として近似できる.

この微小振動の周期を, 長さの次元を持つ量  $L \equiv \frac{I}{Mb}$  ( $M \equiv m_1 + m_2$  は物体の全質量) を用いて表しなさい.

問6 微小振動の周期が最小となる  $b$  を求めなさい. また, このときの  $L$  を示しなさい.

問7 長さ  $a$  の単振り子と同じ振動周期となる  $b$  を求めなさい.

問題2 以下の問1～問5を全て解答しなさい。

問1 熱平衡状態にある粒子数一定の系の内部エネルギー $U$ を温度 $T$ ，体積 $V$ の関数として表したときの全微分は

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV$$

と書ける．同様にエントロピー $S$ を $T$ ， $V$ の関数として表したときの全微分を書き下し，その結果を熱力学第一法則と組み合わせることにより

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

が成り立つことを示しなさい．ここで $P$ は圧力とする．

問2 ヘルムホルツの自由エネルギー $F$ の全微分を考えることにより，マクスウェルの関係式

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

が成り立つことを示しなさい．

問3 理想気体中に微小な液滴が均一に分布した流体A（体積 $V$ ）を考える．流体Aは状態方程式

$$V = \frac{mRT}{P} + V_l$$

に従うものとする．ここで $m$ は理想気体の質量， $R$ は単位質量あたりの気体定数， $V_l$ は流体Aのうち液滴部分が占める総体積である． $m$ ， $V_l$ は変化せず，液滴が理想気体中に均一に分布した状態が維持され，理想気体と液滴の間の相互作用は起きないものとする．問1，問2の結果を用いて，流体Aについて

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0$$

が成り立つことを示しなさい．

問4 問3の結果より、流体Aの内部エネルギー $U$ は温度 $T$ のみの関数となり、定積熱容量 $C_v = (\partial U / \partial T)_v$ を用いて $dU = C_v dT$ と書ける。このことと流体Aの状態方程式を用いて、エントロピー一定 ( $dS = 0$ ) の条件下で流体Aが

$$P(V - V_l)^\gamma = \text{一定}$$

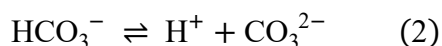
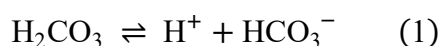
を満たすことを示し、このときの $\gamma$ を $m$ ,  $R$ ,  $C_v$ を用いて表しなさい。ただし $C_v$ は変化しないものとする。

問5 流体Aの総質量が $M$ であるとき、流体Aの密度は $\rho = M/V$ と表される。また、流体Aにおける気相の体積分率は $\phi = (V - V_l)/V$ 、流体Aの音速は $a = \sqrt{(\partial P / \partial \rho)_s}$ と表される。問4までの結果を利用し、 $a$ を $\gamma$ ,  $m$ ,  $M$ ,  $R$ ,  $T$ ,  $\phi$ を用いて表しなさい。

## F (化学)

以下の問題 1 ～問題 3 を全て解答しなさい。

**問題1** 二酸化炭素は水に溶解して、A オキソ酸の一種である炭酸となり酸性を示す。炭酸は水溶液中で次に示した反応(1)と反応(2)のように逐次酸解離し、 $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ という 3 つの化学種に変化する。なお、反応(1)と反応(2)の解離定数は、それぞれ  $K_1 = 4.47 \times 10^{-7}$  と  $K_2 = 4.68 \times 10^{-11}$  である。



このように酸解離する性質を利用して、炭酸ナトリウムと炭酸水素ナトリウムの混合溶液は B 緩衝溶液として用いられる。また、上に示す 2 つの反応式は、C 水溶液に存在する化学種と水素イオン濃度が密接に関係することを示している。

以下の問 1 ～問 4 に全て解答しなさい。計算結果は有効数字 2 桁で表すこと。

問 1 下線部 A についてオキソ酸の化学的な定義を簡潔に説明しなさい。さらに、炭酸以外のオキソ酸を 1 つ、化学式で書きなさい。

問 2 下線部 B の緩衝溶液とは、どのような性質を示す溶液であるかを簡潔に説明しなさい。

問 3 下線部 C を明確にするため、水溶液中に存在する  $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ の合計濃度を全炭酸濃度 ( $C$ ) として、これら化学種の濃度を、水素イオン濃度 ( $[\text{H}^+]$  と表記すること)、 $C$ 、 $K_1$ 、 $K_2$  を使ってそれぞれ表しなさい。

問 4 問 3 の結果を使い、現在の平均的な表面海水中で最も多く存在する化学種を  $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ の中から選びなさい。さらに、その化学種の全炭酸濃度に占める割合も答えなさい。

**問題2** 反応速度が 1 種類の反応物の濃度によりのみ比例する反応を一次反応という。一次反応を考えたとき、反応物の濃度がはじめ  $a$  であり、時間  $t$  後に  $a - x$  に変わったとすれば、ある時刻の濃度の変化速度は、

$$d(a - x)/dt = -k(a - x) \quad (1)$$

となる．式(1)の  $k$  は速度定数である．

また，速度定数  $k$  の温度変化は，

$$k = A \exp(-E_a/RT) \quad (2)$$

と表せることがわかっている．式(2)で， $A$  は頻度因子， $E_a$  は見かけの活性化エネルギー， $R$  は気体定数， $T$  は絶対温度である．式(2)より，ある一次反応の  $A$  と  $E_a$  がわかれば，任意の温度についてその反応の速度定数を予測することができる．

以下の問 1 ～問 4 に全て解答しなさい．計算結果は有効数字 3 桁で表すこと．

問 1 式(1)を時間  $t$  で積分し， $k$  を  $a$  と  $x$  と  $t$  を使って表しなさい．

問 2 ある一次反応において  $375^\circ\text{C}$  と  $425^\circ\text{C}$  のとき，反応物の濃度がはじめの半分になるまでにそれぞれ  $1.50 \times 10^5 \text{ s}$  と  $3.50 \times 10^3 \text{ s}$  を要した． $375^\circ\text{C}$  と  $425^\circ\text{C}$  における速度定数をそれぞれ求めなさい．

問 3 問 2 の反応の  $E_a$  を求めなさい．ただし， $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  とする．

問 4 問 2 の反応の  $400^\circ\text{C}$  における速度定数を求めなさい．

**問題3** アミノ酸は生体にとって重要な化学物質であり，1 の構成成分になっている．1 は，A アミノ酸のカルボキシ基とアミノ基が2 して B ペプチド結合を形成することで生成される．多くのアミノ酸はキラリティー，すなわち，分子構造の3 が元の構造と重ね合わせることができない性質を示す．3 は互いに多くの物理的性質において全く同じであるが，光学的特性は大きく異なる．3 の片方からなる媒質は旋光性を示し，直線偏光状態の光が通過する時，透過距離に比例してその偏光面が4 する．興味深いことに，生体に含まれるアミノ酸のほとんどが L 型の  $\alpha$ -アミノ酸である．このように3 のうち片方のみが偏って存在する現象は5 と呼ばれ，生体が示す5 の起源はいまだ明らかにされていない．

以下の問 1 ～問 5 に全て解答しなさい．

問 1 1 ～5 に入る適当な語句を答えなさい．

問 2 下線部 A にあるように，アミノ酸は分子内に酸性基と塩基性基の双方を含むため両性電解質の性質を示す．グリシン水溶液の pH を 1，7，12 とした時，それぞれの溶液中で最も多く存在するグリシンイオンの化学式を書きなさい．

問3 アミド結合と下線部 B のペプチド結合との違いを説明しなさい。

問4 下線部 C にあるように、アミノ酸には $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -アミノ酪酸のように、アミノ基が結合している炭素の位置による分類法がある。 $\alpha$ -アラニンと $\beta$ -アラニンの構造式を書きなさい。

問5 以下に示す化合物の中で、キラリティーを示すものを全て選び答えなさい。  
酢酸，2-ブロモブタン，2-メチルヘプタン，グリシン，2,3-ジメチルヘプタン，  
3-メチルヘプタン酸

## G (生物学)

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** 遺伝子の発現制御について書かれた以下の文章を読み、以下の問 1 ～問 4 を全て解答しなさい。

多細胞生物の 1 個体におけるすべての体細胞は通常、同じ遺伝子を保有している。多細胞生物の体細胞が構造や機能において個別に専門化した細胞へと発生するためには、遺伝子発現制御が行われる必要がある。真核生物で行われる遺伝子発現制御のうち、細胞の核内で行われるものの中には、DNA ( ① ) の制御、遺伝子の ( ② ) , RNA のプロセッシングなどがある。細胞質内で行われるものの中には、mRNA の ( ③ ) , ( ④ ) の修飾などがある。

問 1 ①～④のカッコ内に入る言葉を、以下の中からそれぞれ選びなさい。

分解 生産 凝縮 拡散 転写 翻訳 ポリペプチド ポリメラーゼ

問 2 RNA のプロセッシングではイントロンを切除しエキソンを連結するが、イントロンとは何か。20 字程度で説明しなさい。

問 3 1 個の遺伝子の突然変異でも、頭部から脚が伸びるような、劇的な体の変化が起きることがある。このような変化は遺伝子の発現制御のどのような仕組みで起こるのか、100 字程度で説明しなさい。

問 4 遺伝子の発現制御は、クローニングや発がんなどにも重要な影響を与える。以下の ( 1 ) ～ ( 2 ) を全て解答しなさい。

( 1 ) クローニングには個体クローニング (生殖型クローニング) と治療型クローニングがあるが、両者のクローニングで生じるものは何が異なるのか。50 字程度で説明しなさい。

( 2 ) 「がん原遺伝子」と「がん遺伝子」と呼ばれる遺伝子がある。両者の定義を、両者の違いがわかるように、それぞれ 50 字程度で説明しなさい。

問題2 以下の文章を読んで、以下の問1～問3に全て解答しなさい。

ハーディ・ワインベルグの法則とは、ある有性生殖生物の集団において、「任意交配をする」、「突然変異が生じない」、「①遺伝的浮動の影響が無視できるほど集団サイズが十分に大きい」、「他集団との間で個体の流出、流入がない」、「遺伝子型に対する自然選択が働かない」という条件が満たされる場合、対立遺伝子の遺伝子頻度は世代を経ても一定に保たれるという法則である。また、この法則が成立している状態をハーディ・ワインベルグ平衡という。

問1 図1はハーディ・ワインベルグ平衡が成立している集団の、ある遺伝子座（対立遺伝子：A, a）における、親世代の「遺伝子頻度」（枠外）と次世代の「遺伝子型頻度」（枠内）の関係を示したものである。本図において、 $p$ は親世代のAの遺伝子頻度、 $q$ は親世代のaの遺伝子頻度であり、枠内の各セルには、任意交配によって生じる次世代の遺伝子型とその頻度を示してある。

この図を参考にして、次世代の「遺伝子頻度」が親世代の「遺伝子頻度」と等しくなることを、 $p, q$ を用いて示しなさい。

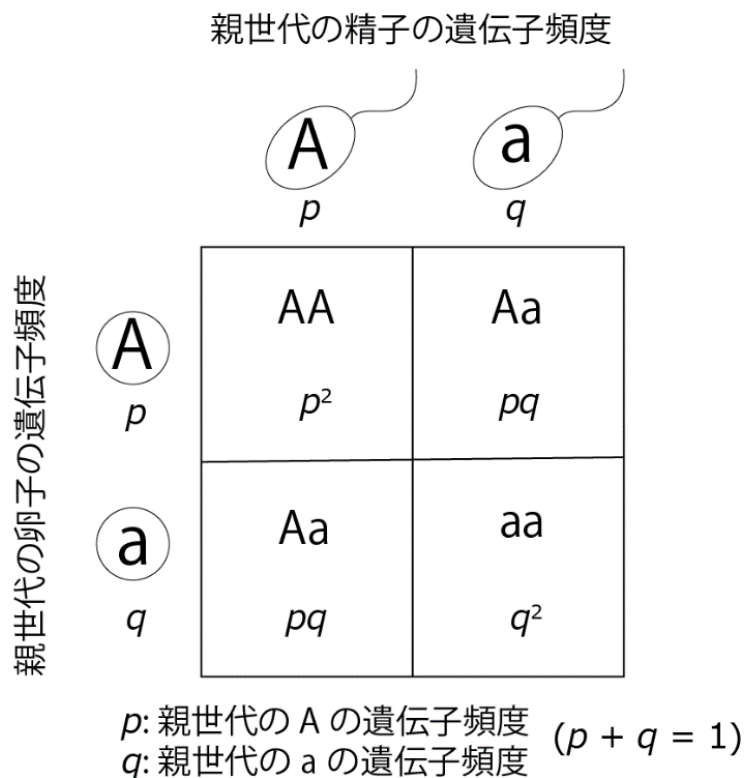


図1. ハーディ・ワインベルグ平衡における遺伝子頻度と遺伝子型頻度の関係

問2 ①遺伝的浮動とはなにか説明しなさい。また、その具体例を一つあげなさい。

問3 あるネズミの種では、体色が単一の遺伝子座によって決定されているとし、遺伝子型が BB, Bb の個体は褐色となり、bb の個体は白色になるものとする。

このネズミの K 島の集団における白色個体の割合は 1.0%, L 島の集団における白色個体の割合は 9.0% である。両島のネズミの集団の大きさは等しく、それぞれ、ハーディ・ワインベルグ平衡にあると仮定し、以下の (1) ~ (3) を全て解答しなさい。途中の計算過程も示しなさい。

(1) K 島, L 島の B, b の遺伝子頻度をそれぞれ求めなさい。

(2) 海水準変動により, K 島, L 島が地続きとなり, N 島を形成した。2 つの島の集団が N 島において単一の集団となり, ハーディ・ワインベルグ平衡に達したとき, N 島における白色個体の割合が何%になるかを求めなさい。ただし, 単一集団の形成時における個体の死亡はないものとする。

(3) その後, N 島において, ある年に感染症が流行し, 白色個体はすべて死亡してしまった。褐色個体の死亡はないものとして, 白色個体全滅後の B の遺伝子頻度を小数点以下第 2 位まで求めなさい。

問題3 以下の問1～問2を全て解答しなさい。

問1 以下の文章を読み、以下の(1)～(4)を全て解答しなさい。

自然選択が生じるには3つの条件が満たされる必要がある。第一に、集団内で形質に[(ア)]が存在すること、第二に、その形質が[(イ)]すること、そして第三に [(A)]ことである。自然選択を通じて、集団に生息環境と適合した形質が広まる[(ウ)]進化が進む。ただし、生物を取り巻く環境は[(ウ)]進化が進むよりも短い時間スケールでも変化するため、個体が経験する環境は、集団が[(ウ)]している環境からずれる場合がある。このような環境のずれに対して個体が示す可逆な生理的反応は[(エ)]と呼ばれる。[(エ)]の例として、生物がある温度にさらされることによってその温度での生存に適したように性質を変化させる温度[(エ)]が挙げられる。温度[(エ)]の能力は生物によって大きく異なり、(B)鳥類や哺乳類に比べ爬虫類は限定的な温度の範囲にしか耐性がない。例えば、米国に分布するトカゲの種数は北の地域ほど(C)(多くなる/少なくなる)ことが知られており、これはトカゲの温度[(エ)]の能力から説明できると考えられている。

- (1) (ア), (イ), (ウ), (エ)に入る単語を答えなさい。
- (2) (A)に入る適切な文を30字程度で答えなさい。
- (3) 下線部(B)の理由を80字程度で答えなさい。
- (4) 下線部(C)について、「多くなる」と「少なくなる」のどちらが適切か答えなさい。

問2 以下にあげた2つの単語の組み合わせのうち1組を選び、100字程度でその内容を説明しなさい。

相同形質と相似形質, 個体群と群集, 方向性選択と分断化選択

## 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。

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

**問題 2** 次の問 1 ～問 2 の定積分の値を全て計算しなさい。

問 1  $\int_0^1 x \log \sqrt{1+x^2} dx$  (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 3** 次の実数値関数  $u(t)$  に関する常微分方程式について、以下の問 1 ～問 3 を全て解答しなさい。ただし、 $t$  は実数とし、 $\omega$  と  $\varepsilon$  は  $t$  に依存しない正の実数とする。

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

問 1 一般解を求めなさい。ただし、 $\varepsilon$  の値に応じて、場合分けしなさい。

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

問 3  $\varepsilon = \sqrt{2}\omega$ ,  $\varepsilon = \omega$ ,  $\varepsilon = \omega/\sqrt{2}$  のそれぞれの場合について、 $\omega t$  を横軸にとり、解  $u(t)$  を図示しなさい。ただし、解の曲線は、特徴を捉えていれば、フリーハンドで概形を示せばよい。

問題4 実数値関数  $f(x)$  のフーリエ変換を

$$F(k) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \exp(-ikx) dx$$

と定義する．ここで， $i$  は虚数単位， $k$  は任意の実数とする．また， $\exp(s) = e^s$  は指数関数である．以下の問1～問2を全て解答しなさい．

問1  $f(x)$  が次式で与えられるとき，そのフーリエ変換  $F(k)$  を求めなさい．

$$f(x) = \begin{cases} 1 & |x| < a \\ 0 & |x| \geq a \end{cases} \quad (\text{ここで, } a \text{ は正の実数})$$

問2 問1において  $a=1$  と  $a=2$  のそれぞれの場合について， $k$  を横軸にして  $F(k)$  を図示しなさい．ただし，グラフは特徴を捉えていれば，フリーハンドで概形を示せばよい．さらに  $a \rightarrow +\infty$  の極限を考えることによって， $f(x)=1$  のフーリエ変換がどのようなものになると推定されるか答えなさい．

問題5  $n$  個の実数値のデータ  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  があって，その平均値が  $\mu_X$ ，分散が  $\sigma_X^2 (> 0)$  であるとする．このとき，以下の問1～問3を全て解答しなさい．

問1 データ  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  の平均値  $\mu_X$  と分散  $\sigma_X^2$  の定義を和の記号  $\sum$  を用いて表しなさい．

問2 各データを2乗したものの平均値  $m_X$  を  $\mu_X$  と  $\sigma_X$  を用いて表しなさい．

問3  $X$  とは別の  $n$  個の実数値のデータ  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  があって，その平均値が  $\mu_Y$ ，分散が  $\sigma_Y^2 (> 0)$  であるとする．このとき  $X$  と  $Y$  との相関係数の定義を式で表しなさい．