

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 国土のほとんどが牧草地として利用されているモンゴルでは、牧草を求めて牧民が家畜と共に広範囲を移動しながら放牧を行う土地利用様式が長年維持されている。以下の問1～問2に全て解答しなさい。

問1 図1はモンゴルの植生(放牧資源)分布の時空間変動を表している。モンゴルの土地利用様式が生まれた理由としてこの図から読み取れることを150字程度で説明しなさい。

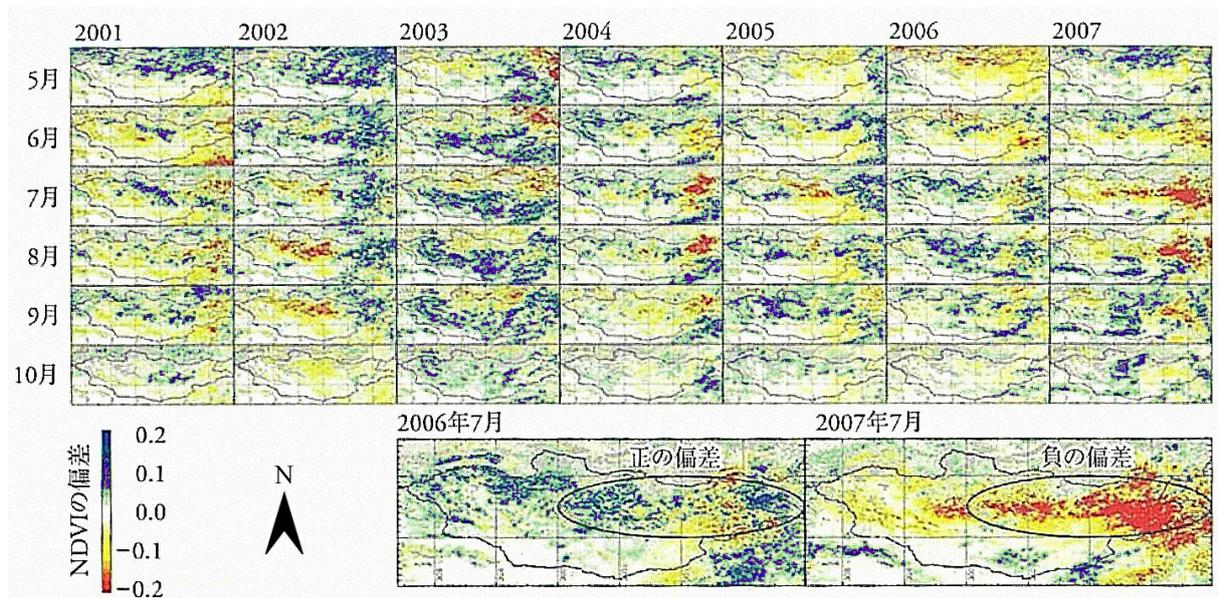


図1. モンゴル全土(東西距離 2392 km, 南北距離 1259 km)の着葉期間における正規化植生指数(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)の月最大値の時空間分布. 経年変化を明確に示すため, 各地図は2001年から2010年の同一月の平均値に対する偏差で表されている. なお, NDVIは植生の活性度を示す指標であり, この図における0.1以上もしくは-0.1以下の偏差は十分大きいと考えて良い. 永井信(2013)生態系の変動を測る—衛星リモートセンシング, 藤田昇ほか(編)モンゴル 草原生態系ネットワークの崩壊と再生をもとに作成。

問2 モンゴルでは1990年代に計画経済から市場経済へ移行した結果、家畜の数が急増し、牧草地不足が問題となっている。

個々の牧民の牧草消費量は総牧草量に対して小さいため、各牧民は牧草地全体への影響を正確には認識できず家畜を増やしてしまう。このような状況で、結果的に資源が枯渇してしまう現象をコモンズ(共有地)の悲劇と呼ぶ。一般的に、コモンズの悲劇を回避するには個々の利用者が責任を持って資源を管理することが重要であり、そのためには共有資源を分割して私有化することが必要である、との考え方がある。

しかし、この考えに基づきモンゴルで牧草地の私有化が実施されると、逆に資源の枯渇が助長されると言われている。その理由について、問1で解答したモンゴルの放牧資源と土地利用様式との関係の観点から、150字程度で説明しなさい。

問題2 以下の文章を読んで、問1～問3を全て解答しなさい。

干潮時の干潟に入りその表面に生息する微生物を観察したところ、ケイソウが多数確認された。また周囲にはカニ類が多数生息していた。干潟の断面の構造を観察したところ、表面は普通の砂の色だったのに対して、その数 mm より下の層は色が真っ黒だった。スコップで深く掘ってみると、卵が腐ったような臭気がした。黒色層の間隙水中の酸素濃度を測定したところ、酸素濃度は周囲の海水に比べて非常に低かった。

問1 干潟の表面直下の黒色層では間隙水の酸素濃度が非常に低く、卵が腐ったような臭気がある理由を、干潟における物質循環の観点から 200 字程度で説明しなさい。

問2 大気中の二酸化炭素が海洋生態系の生物を通じて吸収固定される有機炭素をブルーカーボンと呼び、各国の二酸化炭素吸収量の報告値として計上する取り組みが進んでいる。干潟はブルーカーボンに関連した大気二酸化炭素の吸収源の一つとして期待されている。なぜ干潟が吸収源となりうるのか 150 字程度で説明しなさい。

問3 干潟以外にもブルーカーボンに関連した吸収源として期待されている海洋生態系がある。以下の中から、吸収源として期待されている生態系を二つ選び、なぜ吸収源として期待できるのか、その理由をそれぞれ 100 字程度で説明しなさい。

- ① マングローブ林 ② サンゴ礁 ③ 海草藻場

B (地球科学 I)

以下の問題 1 と問題 2 を、それぞれ別の解答用紙に分けてすべて解答しなさい。

問題 1 図 1 は、ある地域の地質図である。チャートと砂岩・泥岩は整合関係にある。

チャートには下部から上部に向かって、ペルム紀、三畳紀、ジュラ紀の放射虫化石が大量に含まれ、砂岩・泥岩はジュラ紀の有孔虫化石を含む。火山岩（熔岩）は、砂岩、泥岩、チャートなどの外来岩石片を多く含み、砂岩・泥岩やチャートとの境界付近ではほぼ水平な板状節理が発達する。流紋岩には、周囲の地層との境界に沿って急冷周縁相がみられる。以上をもとに、以下の問 1～7 に全て答えなさい。

問 1 砂岩・泥岩とチャートの境界面の、傾斜の向きと角度を答えなさい。また、砂岩・泥岩とチャートとで上位層はどちらか。

問 2 地質図の A-B に沿った断面図を、専用の解答用紙に描きなさい。なお、岩相境界の傾斜は、大まかでも良い。

問 3 砂岩・泥岩と火山岩（熔岩）、および火山岩（熔岩）と流紋岩の地質学的関係についてそれぞれ答えなさい。またそう考えた理由についても答えなさい。

問 4 火山岩（熔岩）は、カンラン石、輝石、斜長石を多く含む。火山岩（熔岩）の具体的な岩石名を答えなさい。

問5 チャート，火山岩（熔岩），流紋岩の全岩主要元素組成として，それぞれ適切なものを以下のA～Dから選びなさい。また，そう考えた理由を述べなさい。

	A	B	C	D
SiO ₂	51.1	75.6	0.120	97.9
TiO ₂	1.44	0.110	0.00200	0.0316
Al ₂ O ₃	17.2	12.8	0.0207	0.734
Fe ₂ O ₃	3.20	0.350	0.0178	0.272
FeO	7.85	0.490	不検出	0.0867
MnO	0.177	0.0990	0.00209	0.0173
MgO	5.19	0.120	0.606	0.0754
CaO	9.79	0.670	55.2	0.0449
Na ₂ O	2.73	4.02	0.00194	0.0305
K ₂ O	0.780	4.41	0.00297	0.221
P ₂ O ₅	0.294	0.0210	0.0295	0.0167
CO ₂	不検出	不検出	43.6	不検出
Total	99.7	99.4	99.6	99.4

（単位は wt%）

問6 流紋岩に含まれる黒雲母とジルコンについて，放射性同位体年代を測定した。黒雲母を K-Ar 法で測定したところ 80 Ma の年代が，ジルコンを U-Pb 法で測定したところ 100 Ma の年代が得られた。二つの方法での年代が異なることについて，その理由として考えられることを3つ述べなさい。

問7 この地域の地史について，そのように考えた理由とともに，できるだけ詳細に述べなさい。

問題2 図2は、代表的な示準化石分類群の産出レンジを示したものである。以下の問1～問4に全て解答しなさい。

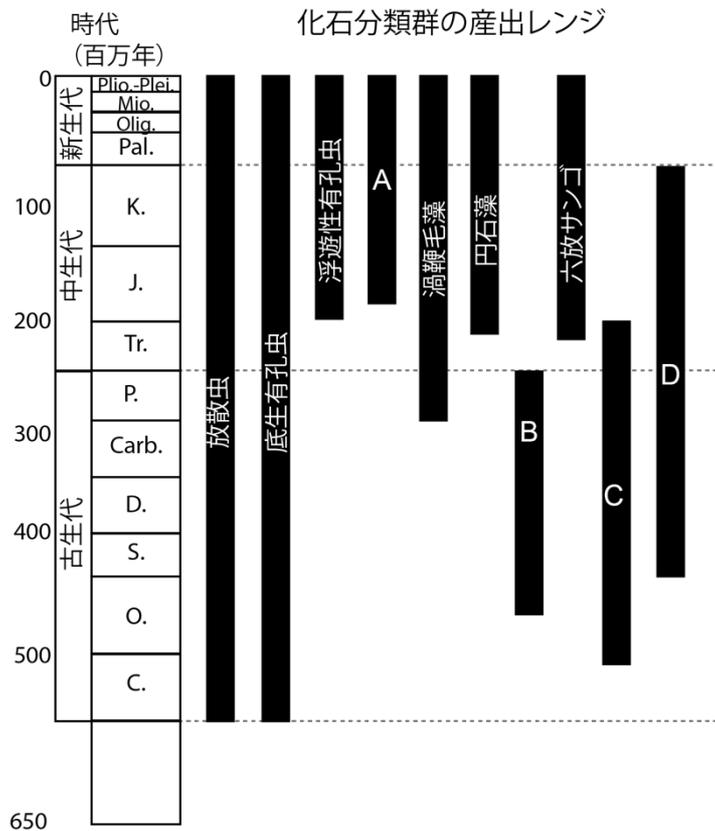


図2. 顕生代の化石分類群の産出レンジ。 Martin (2001)より改変

問1 図2に示されたA, B, C, Dの化石分類群として適当な名称を次の選択肢から選び、解答用紙に記述しなさい。

選択肢 [アンモノイド, 珪藻, コノドント, 四放サンゴ]

問2 Dの化石分類群の産出が途絶えたほぼ同時期に、地球表層において大規模な環境イベントがいくつか起きたことが地質学的な証拠(10^4 km^2 以上)により示されている。そのイベントについてひとつ選んで解答用紙に20字以内で書きなさい。そのイベントの起きた場所(大陸名あるいは現在の国名や地域名)と地質学的証拠(10^4 km^2 以上)についてもそれぞれ20字以内で書きなさい。解答には下の【】内の番号を文頭に付けなさい。

【問2-1】 起きたイベント

【問2-2】 起きた場所(大陸名あるいは現在の国名や地域名)

【問2-3】 地質学的証拠(10^4 km^2 以上)

問3 図3は異なる地域 α と β で得られた地質層序における化石産出層準を示したものである。産出した化石の分類群名をF~Jとした。同図3の分類名IとJの化石は、異なる地域 α と β の層序のなかで出現が途絶えた。両者の最終産出層準が同時であるかどうか前後関係を調べるためにはどのような調査や分析を行ったらよいか50字程度で解答用紙に記述しなさい。

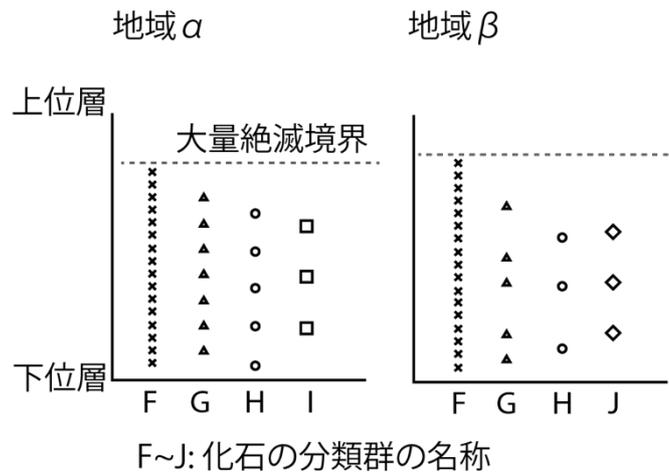


図3. 地域 α と地域 β における化石の産出チャート。
各化石が産した層準を×△などの記号で表している。

問4 図3中に示されている各化石分類群F~Jの産出頻度はそれぞれ異なっている。このような化石の産出頻度の相違がみられた場合に各化石分類群に対応する過去の生物の絶滅のタイミングを解読する上でどのような問題が生じ得るか100字程度で記述しなさい。

C (地球科学 II)

以下の問題 1～問題 3 を全て解答しなさい。

問題 1 火成岩に関して、以下の問 1～問 3 に全て解答しなさい。

問 1 火山岩と深成岩の組織の違いについて 2 行程度で説明しなさい。

問 2 地表に噴出した玄武岩の化学組成は初生マグマの化学組成とは異なっている可能性がある。そのような玄武岩の化学組成が初生マグマと異なるものになる要因について、2 行程度で答えなさい。

問 3 ある玄武岩のもととなったマグマについて、固相から分離し始めた場所が、上部マントルである可能性を示す根拠となり得るものを一つ答えなさい。

問題 2 アメリカ・サウスカロライナ州 Liberty Hill 地域では、Liberty Hill Pluton の貫入によって、周囲の泥質片岩が接触変成作用を被っている。以下の問 1～問 4 に全て解答しなさい。

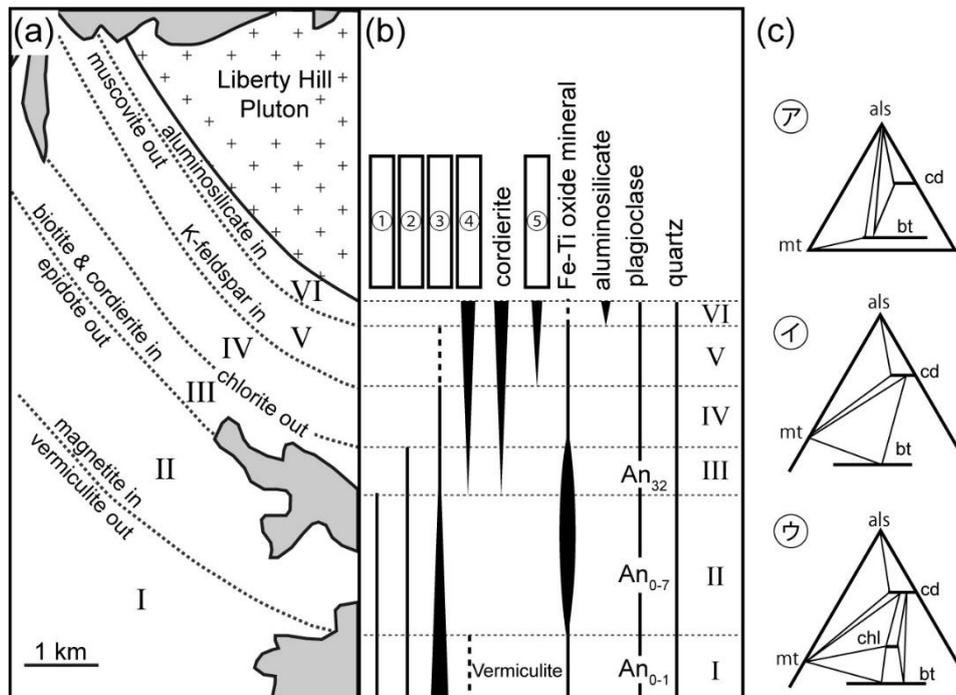


図 1. アメリカ・サウスカロライナ州 Liberty Hill 地域における地質図と鉱物組合せの変化をまとめた図と表 (Speer, 1981 を改変)

略語 : als, aluminosilicate; bt, biotite; cd, cordierite; chl, chlorite; mt, magnetite

問1 図1(a)の点線のように、ある変成帯において泥質片岩中に含まれる特定の鉱物(指標鉱物)が出現、または消滅する地点を結んだ境界線の名称を答えなさい。

問2 図1(b)の空欄①～⑤に当てはまる鉱物名を下記から選択してそれぞれ答えなさい。

鉱物名：[石英, 方解石, 斜長石, カリ長石, 黒雲母, 白雲母, 緑泥石, 緑簾石]

問3 泥質片岩中の安定な鉱物組合せの変化は、図1(c)のようにAFMダイアグラムを用いて表すことができる。以下の(1)～(4)に全て解答しなさい。

(1) AFMダイアグラムとは、多成分系の共生・反応関係を3成分で表現した図である。A, F, Mのうち、FとMはそれぞれ何の成分を表しているか答えなさい。

(2) AFMダイアグラムでは、低温領域と高温領域においてAの成分が次のように変化する。

低温領域： $[Al_2O_3] - 3[K_2O]$

高温領域： $[Al_2O_3] - [K_2O]$

これは、 K_2O を第4成分とする $Al_2O_3-F-M-K_2O$ 四面体ダイアグラム中に表現される泥質片岩中の鉱物を、 Al_2O_3 と K_2O を含むある鉱物からAFMダイアグラム上へ投影する際の起点となる鉱物が増えるためである。低温領域と高温領域においてAFMダイアグラム上への投影の起点となる鉱物名を、問2の鉱物名リストから選んでそれぞれ答えなさい。ただし、FとMの成分は問3(1)と同じであるものとする。

(3) 図1(c)㉞はVI帯のAFMダイアグラムである。Liberty Hill地域における泥質片岩の全岩化学組成について、適切な領域を表した図を下記の図2(a)～(d)から1つ選びなさい。また、選んだ理由を2行程度で答えなさい。

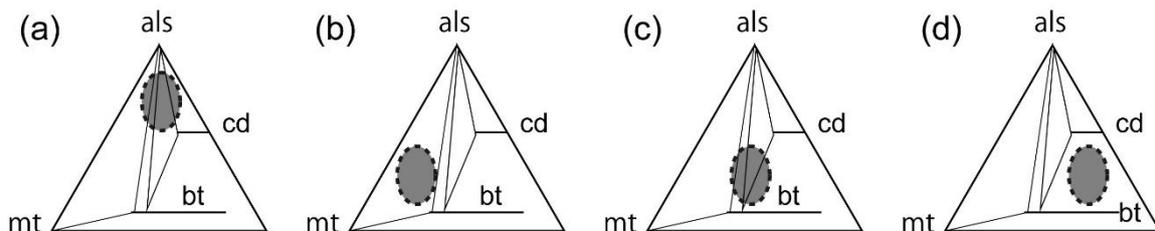


図2. AFMダイアグラムにLiberty Hill地域における泥質片岩の全岩化学組成領域を投影した図。(a)から(d)のAFMダイアグラム中に示される鉱物は図1(c)㉞の位置関係と同じである。楕円で示された灰色の領域が全岩化学組成領域を表すものとする。

(4) 図1(c) ㊶, ㊷の AFM ダイアグラムはそれぞれ I 帯から V 帯のどれに相当するか. 選んだ理由も含めてそれぞれ 2 行程度で答えなさい.

問4 VI 帯ではアルミノケイ酸塩鉱物が出現する. 図3を参考にして, 出現するアルミノケイ酸塩鉱物の名称を答えなさい. また, そのように考えた理由を 3 行程度で説明しなさい. ただし, 同地域における変成圧力は 0.35 GPa で一定であるとする.

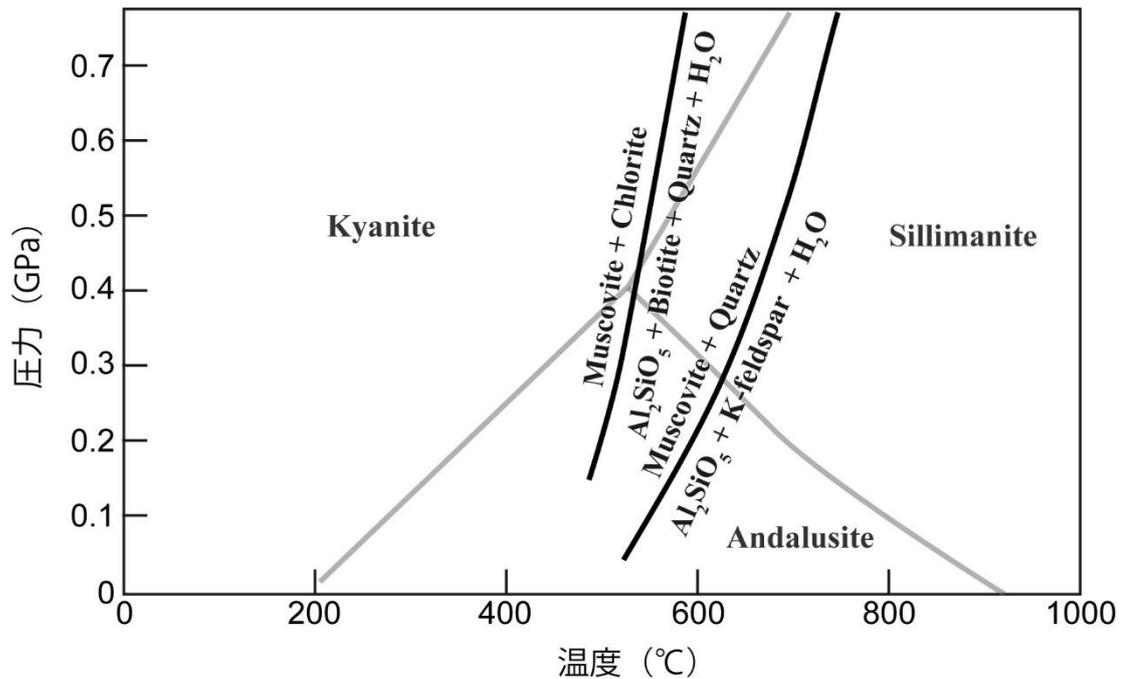
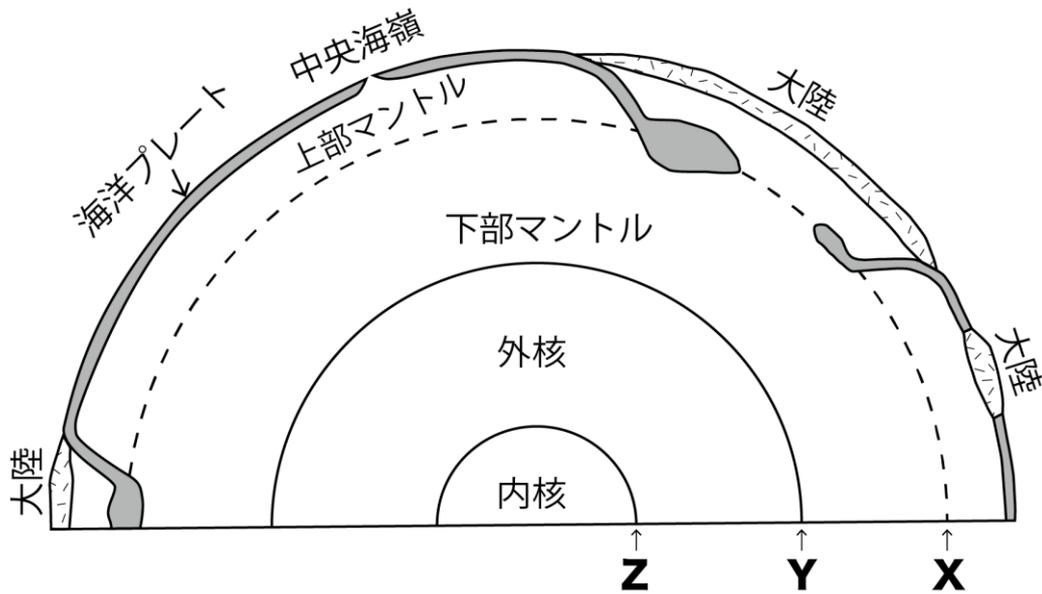


図3. 泥質片岩における代表的な鉱物反応曲線とアルミノケイ酸塩鉱物の相図 (Adachi and Wallis, 2008 を参照)

問題3 図4は、地球内部の層構造の模式図とマントルを構成する鉱物とその比率を表したものである。この図について、次頁の問1～問6に全て解答しなさい。

(a)



(b)

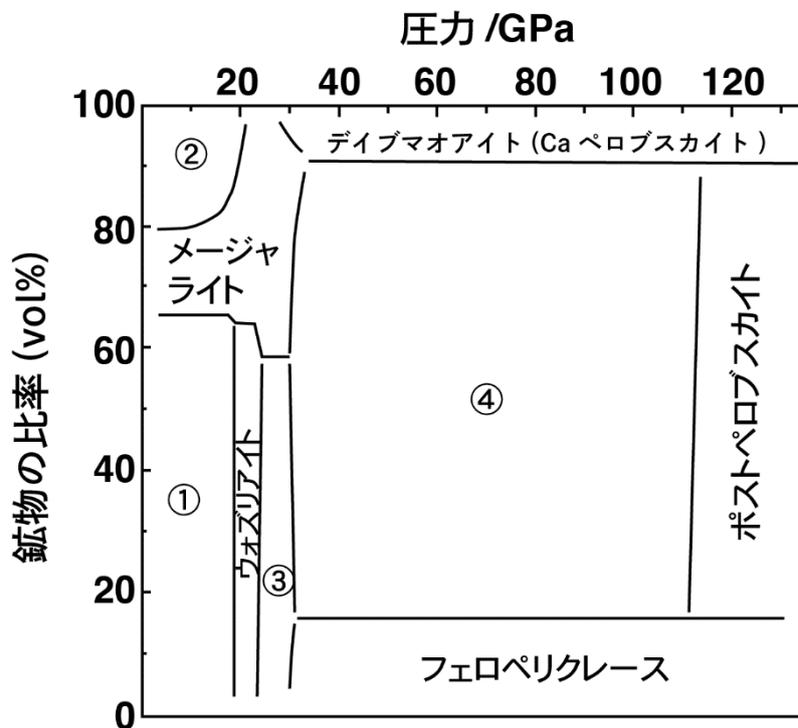


図4. (a) 地球内部の層構造の模式図 (丸山, 2002 を基に作成)

(b) カンラン岩における構成鉱物の圧力変化 (Ohtani and Sakai, 2008 を基に作成)

問1 図4(a)における海洋プレートは、中央海嶺から離れるに従って厚くなる。その主な理由を2～3行程度で答えなさい。

問2 中央海嶺の水深を2 kmとして、中央海嶺から離れた海洋プレートの厚さが100 kmの海底の水深を答えなさい。ただし、海水と海洋プレートと上部マントルの密度をそれぞれ 1000 kg/m^3 , 3370 kg/m^3 , 3300 kg/m^3 とし、海洋地殻の厚さは変わらないものとする。計算式も解答用紙に記入しておくこと。

問3 図4(b)における①～④の鉱物は何か、それぞれ答えなさい。

問4 図4(a)における3つの層の平均的な境界深度 (X, Y, Z) を、有効数字2桁でそれぞれ答えなさい。

問5 図4(a)において、沈み込んだ海洋プレートはXの境界付近で横たわった構造をしている。この構造は何とよばれているか答えなさい。

問6 問5の構造が形成される理由を2～3行程度で答えなさい。

D (地球科学 III)

以下の問題 1～問題 3 を全て解答しなさい。

問題 1 放射性核種の放射壊変を利用した年代測定法の原理について考える。
放射性核種の個数と時間の関係は、式 1 によって表される。

$$\frac{dP}{dt} = -\lambda P \quad (\text{式 1})$$

ここで、 P は時間 t における親核種の個数、 λ は壊変定数である。
時間 t における娘核種全体の個数を D 、放射壊変で生じた娘核種の個数を D^* 、
時間 $t=0$ において存在していた D の値を D_0 とすると、 D は式 2 で表される。

$$D = D_0 + D^* \quad (\text{式 2})$$

$t=0$ における P の値を P_0 とするとき、式 1 を用いると、 $P_0 = P \exp(\lambda t)$ の関係式が導かれる。 D^* は $P_0 - P$ と等しいので、式 3 が得られる。

$$D = D_0 + P [\exp(\lambda t) - 1] \quad (\text{式 3})$$

P と D はそれぞれ、現在の試料中に存在する親核種と娘核種の個数なのでその測定が可能である。このとき、次の問 1～問 3 について答えなさい。

問 1 P/P_0 が $1/2$ になるまでの時間を半減期 ($T_{1/2}$) とする。 ^{14}C 、 ^{87}Rb の半減期を求めなさい。ただし、 ^{14}C と ^{87}Rb の壊変定数 λ はそれぞれ $1.21 \times 10^{-4}/\text{年}$ 、 $1.42 \times 10^{-11}/\text{年}$ である。

問 2 式 3 について ^{87}Rb – ^{87}Sr 年代測定を例として考える。精度の良い年代測定を行うため、現在の親核種 ^{87}Rb の個数と娘核種 ^{87}Sr の個数は、それぞれ絶対量でなく相対値を測定する。どの核種の個数との相対値を利用するか、表 1 を参考に答えなさい。また、その理由を 150 字程度で説明しなさい。

表 1. Rb, Sr の標準同位体存在度

同位体	同位体存在度 (%)	同位体	同位体存在度 (%)
^{85}Rb	72.17	^{84}Sr	0.56
^{87}Rb	27.83	^{86}Sr	9.86
		^{87}Sr	7.00
		^{88}Sr	82.58

問 3 放射年代測定において、正しい値が求められるためには、試料がいくつかの条件(仮定)を満たすことが必要である。 ^{14}C 年代測定法、 ^{87}Rb - ^{87}Sr 年代測定法のどちらかについて、その条件を 2 つ挙げなさい。

問題 2 図 1 は海水・水蒸気・雨滴の酸素同位体組成の関係を模式的に表した図である。次の問 1 ~ 問 2 に答えなさい。

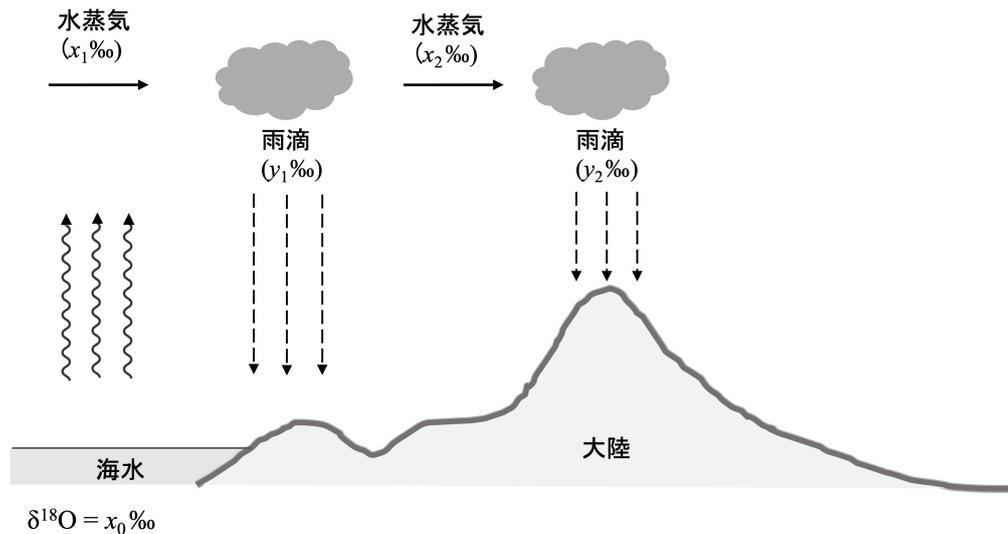


図 1. 大気中における水の酸素同位体組成の変化 (Siegenthaler, 1979 を改変).

問 1 大気中の水の酸素同位体組成について、次の(1), (2)に答えなさい。ただし、 $\delta^{18}\text{O}$ は、

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{VSMOW}}} - 1 \right] \times 1000 \quad (\text{VSMOW: Vienna Standard Mean Ocean Water})$$

とする。

(1) 図1において、海水の $\delta^{18}\text{O}$ 値を 0‰、温度を 25 °Cとし、その海水から平衡を保ったまま蒸発が起こる場合、形成される気団の水蒸気の $\delta^{18}\text{O}$ 値 (x_1 ‰)を計算過程を含めて答えなさい。ただし、25 °Cにおける水-水蒸気同位体分別係数は $\alpha_{\text{水-水蒸気}}=1.0093$ とする。ここで、 α_{A-B} は $(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_A/(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_B$ である。

(2) 陸上の雨滴の $\delta^{18}\text{O}$ 値は標高と相関がある。この理由について、図1中の水蒸気および雨滴の $\delta^{18}\text{O}$ 値を用いながら考える。次の文章の空欄 (ア) ~ (カ) を埋めなさい。ただし、(イ), (エ), (オ), (カ) は、「小さく」または「大きく」のどちらかから選択しなさい。

海洋から水が蒸発する時、(ア) 効果によって水蒸気の $\delta^{18}\text{O}$ 値 (x_1 ‰)は海水の値 (x_0 ‰)より(イ)なる。水蒸気は上昇しながら冷却され、(ウ) 温度に達すると雨滴を形成する。このとき、雨滴の $\delta^{18}\text{O}$ 値 (y_1 ‰)は、気団中の水蒸気よりも(エ)なる。このように海洋から大陸へ気団が移動する場合、水蒸気の $\delta^{18}\text{O}$ 値が連続的に(オ)なることで、標高が高い所では、 $\delta^{18}\text{O}$ 値 (y_2 ‰)が(カ)なる。

問2 図2は三酸素同位体組成図である。

コンドライトという隕石には、傾き約1の直線Aの上にプロットされる酸素同位体組成を示す物質が存在する。これに対し、問1の水蒸気や雨滴など、地球の天然試料の酸素同位体組成は、直線Aとは傾きの異なる直線B上にプロットされる。

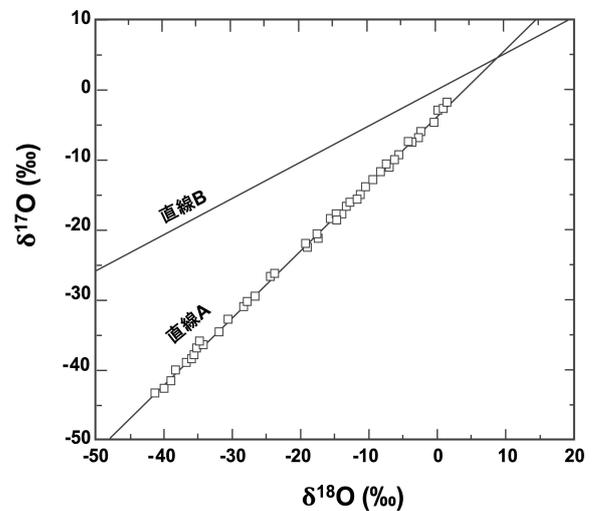


図2. コンドライト中の物質が示す酸素同位体組成 (Clayton, 1993 を改変).

(1) 地球の天然試料が直線B上の酸素同位体組成を示す理由について、想定されるメカニズムを直線の傾きに注目して100~150字程度で説明しなさい。

(2) コンドライトに含まれる物質が直線A上の酸素同位体組成を示す理由について、想定されるメカニズムを直線の傾きに注目して100~150字程度で説明しなさい。

問題3 CaCO_3 , MgO , Fe_2O_3 , SiO_2 のみから構成される岩石試料を粉末にして、炭酸ナトリウム熔融を行った。融成物から SiO_2 を沈殿・分離し、定量すると、 SiO_2 は元の岩石試料の 5.35 wt%であった。その後、濾液中の Fe^{3+} を水酸化物として沈殿・分離した後にキレート滴定を行ったところ、Fe は元の試料の 2.13 wt%という定量値を得た。さらに、残りの濾液について、シュウ酸を用いて Ca^{2+} を沈殿・分離させた後、その沈殿物を強熱し、 CaO に変化させて重量を測定すると Ca は元の試料の 33.9 wt%であった。このとき、次の問1～問3に答えなさい。必要に応じて、原子量 H: 1.008, C: 12.01, O: 16.00, Mg: 24.31, Ca: 40.08, Fe: 55.85 の値を用いなさい。

問1 岩石試料の MgO の重量パーセント濃度を計算しなさい。

問2 この岩石試料 1.599 g を用いて同様の実験を行った場合、 CaO は何 g 得られるかを計算しなさい。

問3 この実験では、 SiO_2 や $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、シュウ酸カルシウムを、沈殿法で分離して回収する。沈殿法を用いて溶液から成分を分離する場合、精確な定量値を得るためには、沈殿物の純度をできる限り高める必要がある。溶液中に共存する他のイオンが回収した沈殿物に混入しないようにするためには、どのような操作を行う必要があるか。2つ答えなさい。

E (物理学)

以下の問題 1 と問題 2 を別の解答用紙に分けて、全て解答しなさい。

問題 1 図 1 のように地上から、質量 m の衛星を打ち上げて軌道に乗せることを考える。以下の問 1 ～問 5 に全て解答しなさい。ただし、地球は点 O を中心とする密度一様な球体とし、地球の半径を R 、地球の質量を M 、万有引力定数を G とする。また、地球の自転による効果については考慮しない。

問 1 地上での重力加速度の大きさを R 、 M 、 G を用いて表しなさい。

問 2 衛星を地上より鉛直上向きに速さ V_0 で打ち上げて、地球の中心から $2R$ の点 A に達した時に速さが 0 になった。この時の速さ V_0 を求めなさい。

問 3 衛星が点 A に速さ 0 で達した直後、 OA に垂直な方向に速さ V_A に加速して、点 A から地球の中心を通る延長線上の $OB = 6R$ となる点 B に到着した。この時の速さ V_A 、及び、点 B に到着した時の速さ V_B を求めなさい。

問 4 衛星が点 B に達した直後、速さ V_C に加速して地球に対し半径 $6R$ の等速円運動をさせる。その時の速さ V_C と公転周期 T_C を求めなさい。

問 5 地球に対し半径 $6R$ の等速円運動をしている衛星の運動エネルギー K を用いて、この衛星がもつ力学的エネルギーを表しなさい。ただし、万有引力による位置エネルギーの基準点は無限遠とする。

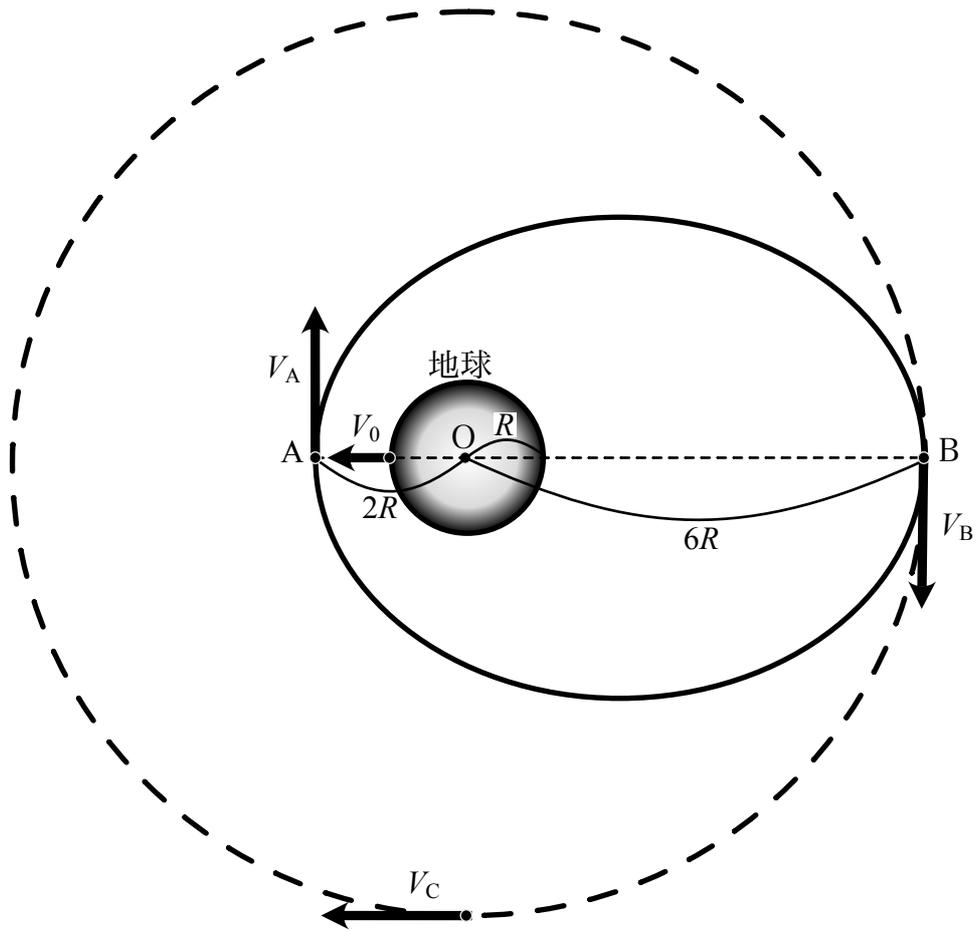


图 1

問題2 以下の問1～問3に全て解答しなさい。変数に使用する文字は以下の問題の中で共通とする。

問1 準静的過程において、系に流入する微小な熱量を $d'Q$ とするとき、熱力学の第一法則は系の圧力 P 、内部エネルギー U 、体積 V を用いて $d'Q = dU + PdV$ と書ける。以下の(1)～(3)に従って、定圧熱容量 C_p とエンタルピー H の関係を導出しなさい。

- (1) 圧力 P 、内部エネルギー U 、体積 V を用いてエンタルピー H を式で書きなさい。
- (2) (1)を全微分形式で書きなさい。
- (3) (2)に定圧の条件を代入し、エンタルピーを使って定圧熱容量を書きなさい。温度は T で書くこと。

問2 ギブスの自由エネルギーは $G = H - TS$ で表される。ここで S はエントロピーである。以下の(1)～(4)に全て解答しなさい。

- (1) ギブスの自由エネルギーの全微分 dG を S, P, V, T 、またはその全微分を用いて書きなさい。
- (2) 体積とエントロピーの変化を伴う相転移を1次相転移という。ある物質が相1から相2に1次相転移する相境界で両相のギブスの自由エネルギー G_1, G_2 は等しくなり、また2つの相が共存する場合その微小変化 dG_1, dG_2 も等しくなる。この条件を用いて、温度圧力平面における相境界の勾配 dP/dT をエントロピーと体積の変化で書きなさい。相1, 相2は添え字で S_1, S_2 のように表すこと。
- (3) 相変化に必要な潜熱を、エントロピーの変化を用いて式で書きなさい。
- (4) 横軸に温度、縦軸に圧力をとった水の相図を書いた時、液体の水と氷の境界の勾配 dP/dT が負である事を(2)の結果得られた式を用いて説明しなさい。

問3 単位質量あたりのエンタルピーとエントロピーの単位を、それぞれ $\text{kg}, \text{m}, \text{s}, \text{K}$ の各単位を用いて書きなさい。なお、全ての記号を使うとは限らない。

F (化学)

以下の問題 1～問題 3 の全てに解答しなさい。

問題 1 酢酸、酢酸ナトリウムそれぞれの濃度がともに $0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ の緩衝溶液がある。この溶液に対する以下の問 1～問 2 に答えなさい。ただし、水の自己解離定数 (イオン積) : $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$, 酢酸の解離定数 : $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ とする。

問 1 この緩衝溶液の pH を、有効数字 2 桁で求めなさい。

問 2 この緩衝溶液 1.0 L に、濃度 $1.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ の水酸化ナトリウム水溶液 10 mL を加えたときの pH を、有効数字 2 桁で求めなさい。

問題 2 以下の文章を読み、問 1～問 4 に答えなさい。

原子が電子を引きつける強さの度合いは電気陰性度と呼ばれる。原子の最外殻電子は、原子核の陽電荷と相互作用しているが、すべての (A)陽電荷数 Z に相当する引力が働くのではなく、内殻電子による遮蔽効果で相殺された残りの電荷が、最外殻電子に作用していると考えられる。一方、最外殻電子が複数存在する場合、互いの反発力も働く。したがって、一般に、1つの最外殻電子が原子核からどの程度の陽電荷の引力を受けているかは、それが属する電子軌道によって異なっている。

原子内における、最外殻電子が感じる中心原子核の電荷を有効核電荷と呼び、 Z^* であらわす。また、内殻電子による遮蔽の度合いを、遮蔽定数 σ であらわすと、

$$Z^* = Z - \sigma \quad (1)$$

である。 σ は下記(i), (ii), (iii)の規則を原子内の全ての電子に適用し、それらの寄与の総和として求められる。

(i) その電子より外側の電子の寄与は 0 とする。

(ii) 同じ軌道群に属する他の電子からの寄与は 1 個当たり 0.35, ただし, $1s$ のときは 0.30 とする。軌道群は典型的な軌道半径 r に応じて次のように分類する。

$$1s; 2s, 2p; 3s, 3p; 3d; 4s, 4d; 4f; 5s, 5p; \dots$$

(iii) その電子が s または p 軌道電子ならば、すぐ内側の軌道群について 1 個あたりの寄与は 0.85, さらにその内側については 1.0, その電子が d または f 軌道に属している場合は、その内側についてはすべて 1.0 とする。

そして、分子を構成する原子の電気陰性度は、分子の結合エネルギー、(B)第 1 イオン化エネルギー、電子親和力と関連するが、多くの場合、 Z^* と、その元素の単体

における共有結合半径 r によって定まる。

現在最も広く用いられている、 Z^* と r によって求められた電気陰性度を、周期表の第3周期までの元素について下記の表1に示す。

表1. 電気陰性度

H						
2.2						
Li	Be	B	C	N	O	F
1.0	1.6	2.0	2.6	3.0	3.4	4.0
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
0.9	1.3	1.6	1.9	2.2	2.6	3.2

- 問1 下線部(A)について、原子内の陽電荷数(陽子数)は何と呼ばれるか答えなさい。
問2 下線部(B)に示す語句を、100字程度で説明しなさい。
問3 リン(P)原子の Z^* を求めなさい。計算の過程も示すこと。
問4 表1を用いて、窒素(N)と硫黄(S)、および、リン(P)と硫黄(S)との化合物における結合の極性を推定し、それぞれ、 $X^{\delta+}-Y^{\delta-}$ の形式で答えなさい。

問題3 $\text{CH}_3-\overset{[1]}{\text{C}}=\overset{[2]}{\text{C}}-\overset{[3]}{\text{H}_2}$ という有機化合物について、以下の問1～問4に答えなさい。

- 問1 この有機化合物の名称を答えなさい。
問2 炭素原子[1]、[2]、[3]に形成されている混成軌道の名前をそれぞれ答えなさい。
問3 この化合物に臭化水素(HBr)を反応させると、2種類の化合物が生成する。この2つの化合物の構造式を答えなさい。
問4 問3における2種類の生成物の量の違いについて、反応機構を踏まえて答えなさい。

G (生物学)

以下の問題 1, 問題 2, 問題 3 の中から 2つを選択し, それぞれ別の解答用紙に解答しなさい。

問題 1 遺伝に関する問 1 ~ 問 4 に全て解答しなさい。

問 1 エンドウのうち, しわがなく (丸型) かつ黄色の種子を作る 1 個体と, しわがあり (シワ型) かつ緑色の種子を作る 1 個体を交配させたところ, これらの子 (F_1 世代) はすべて丸型で黄色の種子をもっていた。そこで F_1 世代の 2 個体を交配させたところ, 80 個体の子 (F_2 世代) ができた。種子の丸型またはシワ型の形質と, 黄色または緑色の形質は, どちらもメンデルの独立の法則に従って遺伝し, 丸型と黄色の形質が顕性 (優性) であるとする。 F_2 世代では, (1)丸型で黄色の種子を作る個体, (2)丸型で緑色の種子を作る個体, (3)シワ型で黄色の種子を作る個体, (4)シワ型で緑色の種子を作る個体, 以上がそれぞれ何個体できたと考えられるかを答えなさい。

問 2 キンギョソウのうち, 赤花をつける個体と白花をつける個体を交配させたところ, 子の世代はすべてピンク色の花をつける個体だった。このような対立遺伝子の効果をなんというか。

問 3 ショウジョウバエのうち, 灰色の体色で長い翅を持つ雌個体と黒色の体色で短い翅を持つ雄個体を交配させた。これら体色と翅の形質の遺伝子を, 雌はヘテロ接合で, 雄はホモ接合で持っており, 灰色および長い翅が顕性 (優性) であることがわかっている。交配でできた子は全部で 2300 個体で, 体色および翅の表現型の内訳は, 灰色で長翅のものが 965 個体, 黒色で短翅のものが 944 個体, 灰色で短翅のものが 206 個体, 黒色で長翅のものが 185 個体だった。この内訳になったのは, 体色と翅の形質の遺伝子が連鎖しているのに, 交差によって遺伝的組換えが起こったためだと考えられる。ここで起こった組換え頻度を求めなさい。

問 4 遺伝子の情報がタンパク質に反映される過程を, 以下の 10 の用語を全て使って 150 字程度で記述しなさい。

DNA mRNA tRNA リボゾーム 転写 翻訳 コドン アミノ酸
遺伝子 ペプチド結合

問題 2 化石記録によると、緑藻類を起源とする陸上植物は、に水中から陸上への進出を果たし、コケ類、タイ類、ツノゴケ類を含む非維管束植物の初期段階の多様化が起こった。その後、地上で高く成長してそびえ立つことが可能になった維管束植物が登場し、には広大な湿地の熱帯雨林を形成して、この時代に登場した有羊膜類を含む陸上生態系を支えた。緑藻類は、ほぼ体全体で③光合成、及び、水分や二酸化炭素、無機塩類の吸収を行っている。しかし、維管束植物は空気中で光と二酸化炭素の吸収を行うシュート（茎と葉）と、主に土壤中で水と無機塩類の吸収を行う根に機能を分化させた。一方で、④陸上で生活することによって生じる様々な問題に対処していかなければならなくなった。この植物の陸上進出について、以下の問1～問6に全て解答しなさい。

問 1 空欄①と②に入る最も適切な地質時代区分を下記から選び、記入しなさい。参考のため、それぞれの時代区分の期間を付記する。ただし、「Ma」は「×100 万年前」を意味する。

カンブリア紀（538.8–485.4 Ma）；オルドビス紀（485.4–443.8 Ma）；
シルル紀（443.8–419.2 Ma）；デボン紀（419.2–358.9 Ma）；
石炭紀（358.9–298.9 Ma）；ペルム紀（298.9–251.9 Ma）

問 2 下線部③について、光合成の反応式を書きなさい。

問 3 下線部④について、陸上の植物は、乾燥から身を守るために、葉の表面をで覆いつつ、葉に開いたから空気と植物体内の二酸化炭素、酸素、水の交換をするようになった。空欄、に入る用語を記入しなさい。

問 4 下線部④について、シュートや根に分化した体を持つ植物は、物質輸送において大きな問題が生じる。維管束植物は、維管束という管状構造を発達させ、輸送路とした。物質輸送のうち、根から吸収された水が植物体上部へ運ばれる仕組みを 50 字程度で説明しなさい。

問 5 下線部④について、陸上でシュートを起立させた状態で支持するためにどのような適応をしたか、50 字程度で説明しなさい。

問 6 下線部④について、陸上植物は、タンパク質や核酸の構成要素として重要な窒素を、空気中から吸収し、同化することができない。特にマメ科の植物は、窒素をどのような方法で手に入れているか、50 字程度で説明しなさい。

問題3 以下の問1～問3に全て解答しなさい。

問1 以下の6つの語句から3つを選び、それぞれ100字程度で説明しなさい。

ビン首効果, 性選択, 異所的種分化, 生命表, 脊索動物, 生物学的種概念

問2 森林Aと森林Bはともに、4種の樹木種a, b, c, dで構成されている。森林Aでは樹木種a, b, c, dがそれぞれ80本, 10本, 5本, 5本あり、森林Bではそれぞれ25本, 25本, 25本, 25本ある。森林Aと森林Bのどちらの種多様性が高いと考えられるか、その理由とともに答えなさい。

問3 自然選択は、適応度と表現型の関係で3つに分類される。極端な表現型ほど適応度が高いのが「(ア) 選択」である。中間の表現型の適応度が最も高い場合を「(イ) 選択」、逆に中間の表現型の適応度が最も低い場合を「(ウ) 選択」と呼ぶ。以下の(1)～(2)に全て解答しなさい。

(1) (ア), (イ), (ウ) にあてはまる語句を答えなさい。

(2) 「(ウ) 選択」だと考えられる具体的な例を一つ挙げなさい。

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 x, y, z に関する線形連立方程式が自明でない解を持つ時の a の値を求めなさい。

$$\begin{aligned}(1+a)x + ay - z &= 0 \\ (a-1)x + (a+1)z &= 0 \\ 2ax + ay + (2a+1)z &= 0\end{aligned}$$

問題 2 次の定積分の値を求めなさい。

問 1 $\int_0^1 x \log_e x dx$

問 2 $\int_0^1 \frac{x^2}{\sqrt{1-x^2}} dx$

問題 3 次の常微分方程式の一般解を求めなさい。ただし u と t は実数とする。

問 1 $\frac{du}{dt} = \frac{u^2}{t}$

問 2 $\frac{d^2u}{dt^2} + u = t$

問題 4 関数 $f(t)$ のフーリエ変換を $F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-i\omega t) dt$ と定義する。ここで

i は虚数単位, ω は任意の実数, \exp は指数関数をあらわす。以下の問 1 と問 2 を解答しなさい。

問 1 $F(\omega)$ のフーリエ逆変換を $f(t)$ とするとき, 次の関数のフーリエ逆変換を求めなさい。

(1) $F(2\omega)$

(2) $F(\omega-1)$

問2 次の関数のフーリエ変換を求めなさい.

$$f(t) = \begin{cases} \sin \omega_0 t & (-T \leq t \leq T) \\ 0 & (t < -T, t > T) \end{cases}$$

ただし ω_0 と T は正の実数である.

問題5 ランダムに発生する現象が平均時間間隔 μ で起こるとき, 発生時間間隔 τ ($\tau \geq 0$) は以下の指数分布の確率密度関数 $\phi(\tau)$ に従う.

$$\phi(\tau) = \frac{1}{\mu} \exp(-\tau / \mu)$$

以下の問1～問3を解答しなさい.

問1 $\phi(\tau)$ のすべての時間間隔 τ についての積分の値が1となっていることを示しなさい.

問2 τ の平均値 (期待値) が μ であることを示しなさい.

問3 上記の確率密度関数に従って地震が2週間の平均時間間隔で発生するとき, ある地震が起こってから1週間以内に次の地震が発生する確率を求めなさい.