

A（地球環境学）

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 図 1 は国内農地における温室効果ガスに関連する炭素及び窒素循環を示している。以下の問 1～問 5 を全て解答しなさい。

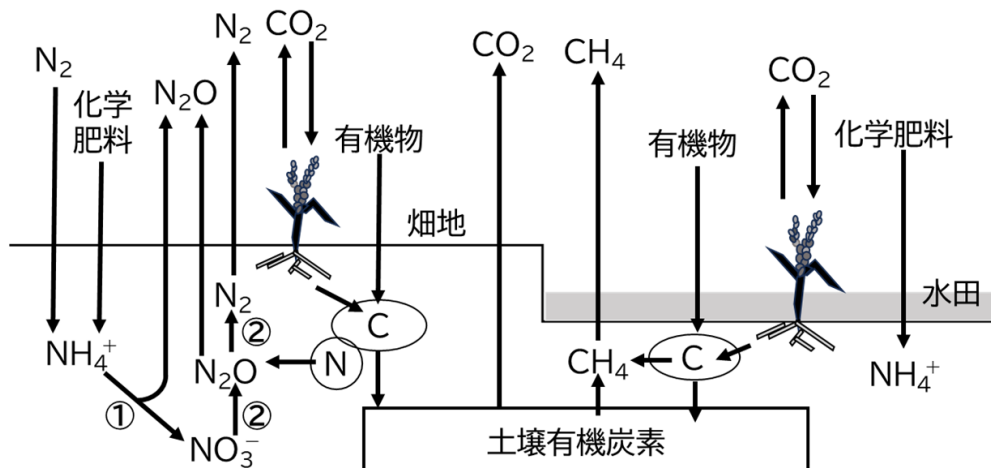


図 1. 国内農地における温室効果ガスに関連した炭素及び窒素循環。

- 問 1 温室効果ガスの地球温暖化係数とは何か。40 字程度で説明しなさい。
- 問 2 農地から排出される温室効果ガスである二酸化炭素 (CO_2)，一酸化二窒素 (N_2O)，メタン (CH_4) について、地球温暖化係数の高い順に並べなさい。
- 問 3 一酸化二窒素 (N_2O) は農地土壌から図 1 の①と②のプロセスにより生じる。
①と②にあてはまる窒素動態に特異的なプロセス名をそれぞれ漢字 2 字で答えなさい。
- 問 4 2021 年度のメタン (CH_4) の国内排出量のうち 44% が稲作由来であった。水田で行われる稲作からメタン排出を抑制する方法として、稲にとって水の必要程度が最も少ない時期に水田から水を抜く中干しの期間を延長することが有効である。中干し期間の延長によりメタン排出が抑制される理由を 100 字程度で説明しなさい。
- 問 5 近年、温室効果ガスの排出を抑制したり、その吸収を促進する有効な農業手法の一つとして、土壌中に有機物を増やすことで炭素貯留量を増加させるリジ

ジェネラティブ（環境再生型）農業が注目されている。リジェネラティブ農業において、表 1 の方法を用いることで土壌炭素貯留量が増加する理由を、表 2 の用語を用いて、表 1 の方法それぞれについて 70 字程度で説明しなさい。なお、表 2 の用語は重複して用いても良いが、3 つの方法いずれかに 1 度は用いること。

表 1. リジェネラティブ農業に用いられる方法.

方法名	方法の説明
輪作	同じ場所に異なる時期に異なる植物を周期的に育てること
不耕起栽培	土壌を耕さずに植物を栽培すること
被覆植物の活用	土壌表面を露出させないために植物を育てること

表 2. 用語.

土壌侵食	土壌構造	土壌酸素	根	土壌微生物
------	------	------	---	-------

問題 2 生物多様性の損失を防止するため、保護地域を拡大させる国際的な取り組みが進められている（図 2）。2010年に愛知で開催された生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）では、2020年までに少なくとも陸域の17%、海域の10%を保護地域等で効果的に保全するという愛知ターゲットが設定された。また、一般的に、①保護地域は自然の保護だけでなく観光や伝統生業による自然の利用の場でもあり、それらのバランスをいかに取るかが重要な管理課題となっている。以下の問 1 ～問 2 を全て解答しなさい。

問 1 2022年のCOP15において、愛知ターゲットの後継となる昆明・モントリオール生物多様性枠組が採択された。その中で、2030年までに少なくとも陸域及び海域の30%を保護地域等で効果的に保全するという目標「30by30」が立てられた。図 2 から読み取れる愛知ターゲットへの取り組み結果を説明した上で、「30by30」の達成に向け危惧されることを200字程度で説明しなさい。その際、名ばかりの保護地域を指す「ペーパーパーク」という言葉を用いなさい。

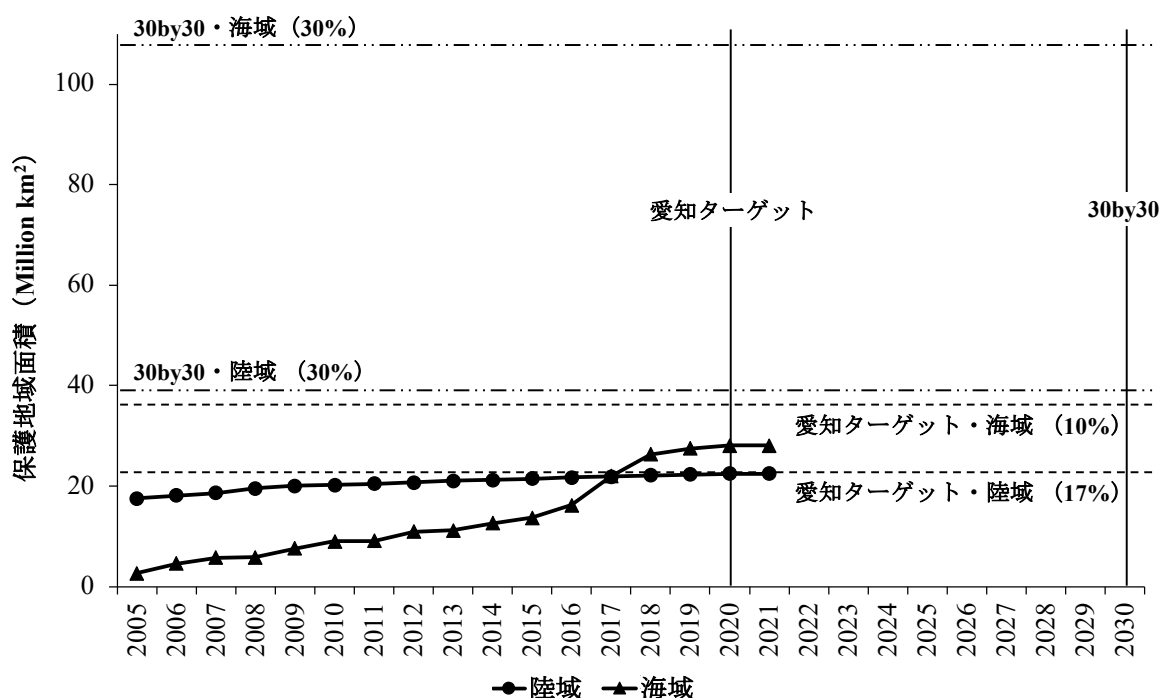


図 2. 世界の陸域及び海域の保護地域の面積推移と愛知ターゲット及び 30by30 の目標値。

UNEP-WCMC and IUCN (2021) Protected Planet Report 2020 を基に作成。

問2 中国の臥龍自然保護区はジャイアントパンダの保護を主な目的の一つとして設置された。1975年に保護区の範囲を拡大したことで、より広く知られるようになった一方で、ジャイアントパンダの個体数は減少した。図3は保護区拡大前後の森林（ジャイアントパンダの生息地）被覆の変化を表したものである。この図から読み取れる保護区拡大後に起こったことを説明した上で、問題文の下線部①を参考にして考えられる原因と対策について200字程度で述べなさい。

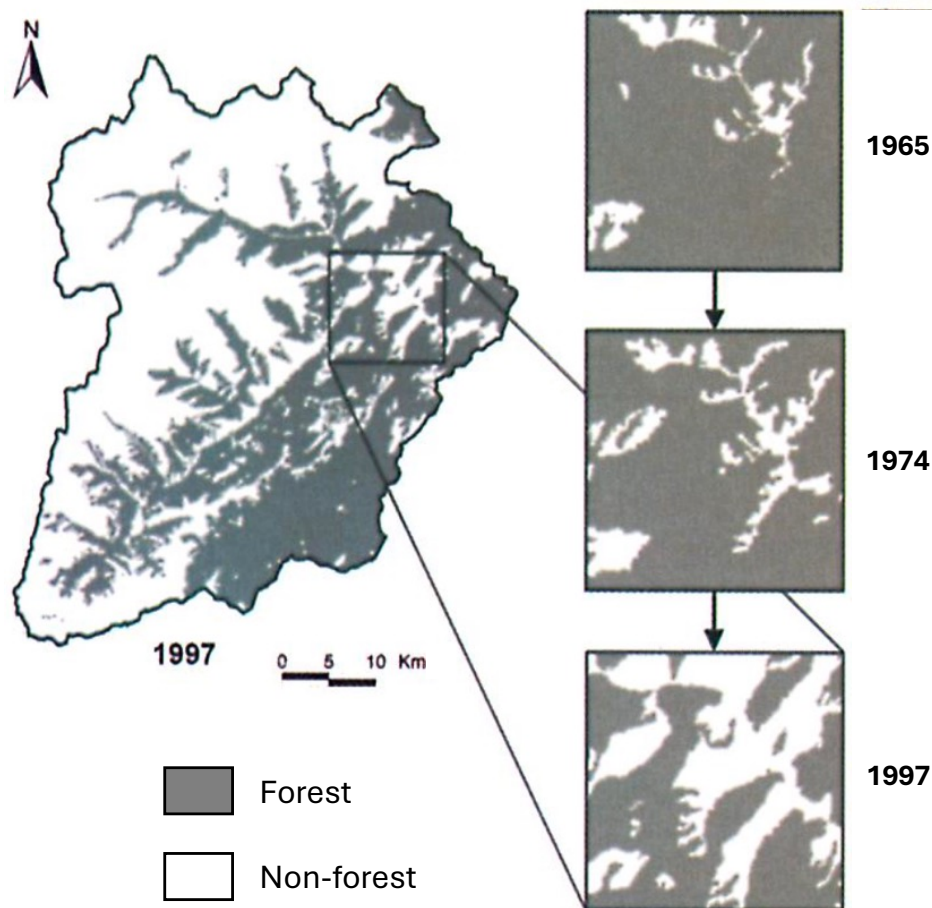


図3. 臥龍自然保護区内の森林被覆の変化。左図は保護区の全体図。

Liu et al. (2001) Ecological degradation in protected areas: The case of Wolong Nature Reserve for giant pandas, Science を基に作成。

B（地球科学 I）

以下の問題 1～問題 3 を全て解答しなさい。解答は問題ごとに別の解答用紙を使用しなさい。

問題 1 図 1 はある地域の地質図である。B層は砂岩泥岩互層、C層は石灰岩、D層は泥岩、E層は砂岩、F層は凝灰岩を挟む泥岩からなる。B層には恐竜の足跡化石がみられ、C層には図 2 の化石、E層には三葉虫化石、F層には現地性の植物根化石が含まれていた。また、岩脈 A 中から得られたジルコンの U-Pb 年代は 15 ± 1 Ma, F層の凝灰岩に含まれるジルコンのフィッシュン・トラック年代は 5.0 ± 0.5 Ma だった。以下の問 1～問 8 を全て解答しなさい。

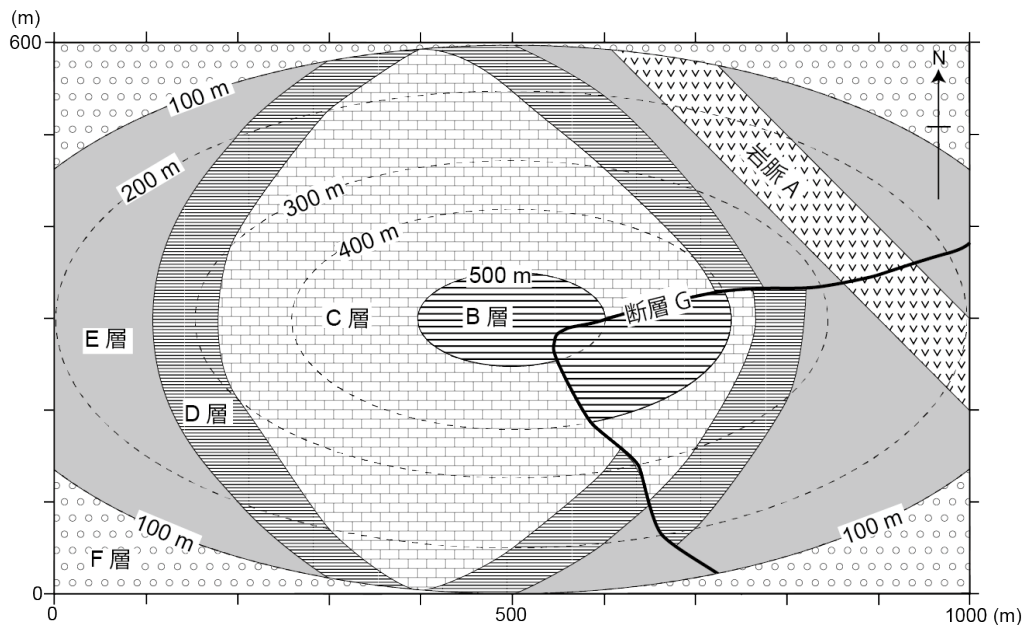


図 1. ある地域の地質図。
破線は等高線である。

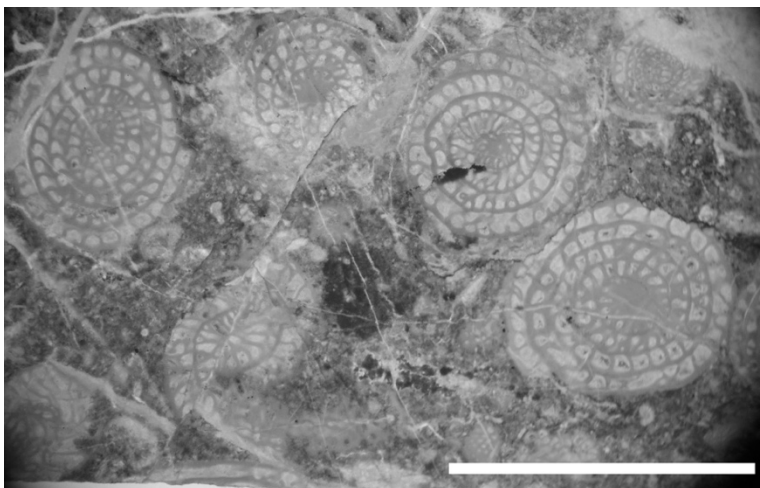


図 2. C 層中に産する化石の顕微鏡写真。スケールは 5 mm.

問1 本地質図地域の西端から東へ 400 m 付近までに分布する C 層・D 層・E 層からなる西部の地層と、400 m から 700 m 付近までに分布する C 層・D 層・E 層からなる東部の地層の層理面の走向・傾斜をそれぞれ答えなさい。

問2 C 層・D 層・E 層がなしている地質構造名を答えなさい。また、その地質構造の姿勢を 2 行程度で答えなさい。

問3 岩脈 A の貫入面の走向・傾斜を答えなさい。

問4 断層 G の鉛直方向の変位量（落差）(m) と断層面の走向方向の変位量 (m) を答え、さらに運動方向からみた断層の種類を答えなさい。

問5 断層 G の活動時期はどのように制約できるか、その根拠も述べ、3 行程度で答えなさい。

問6 B 層と C 層の層序学的関係を答えなさい。また、B 層と C 層のそれぞれの堆積環境をそれぞれ 1 行程度で答えなさい。

問7 E 層の砂岩組成は、石英 25%、長石 25%および珪長質火山岩や深成岩片 50% だった。また、碎屑性重鉱物として、円磨されたジルコンと自形ジルコンが含まれ、円磨されたジルコンは約 2000 Ma、自形ジルコンは約 300 Ma の U-Pb 年代を示す。また、珪長質火山岩や深成岩片中にはしばしばジルコンを含んでいる。E 層中に産する三葉虫化石は 300 Ma 頃の種であることがわかった。以下の（1）～（2）をすべて解答しなさい。

（1）円磨された2000 Maのジルコンの起源として考えられることを2つ答えなさい。

（2）この砂岩の後背地について考えられることを5行程度で答えなさい。

問8 この地域に生じた地質現象を生じた順に箇条書きで答えなさい。

問題2 図3は現世の海洋堆積物の分布を概略的に示したものである。以下の問1～問5を全て解答しなさい。

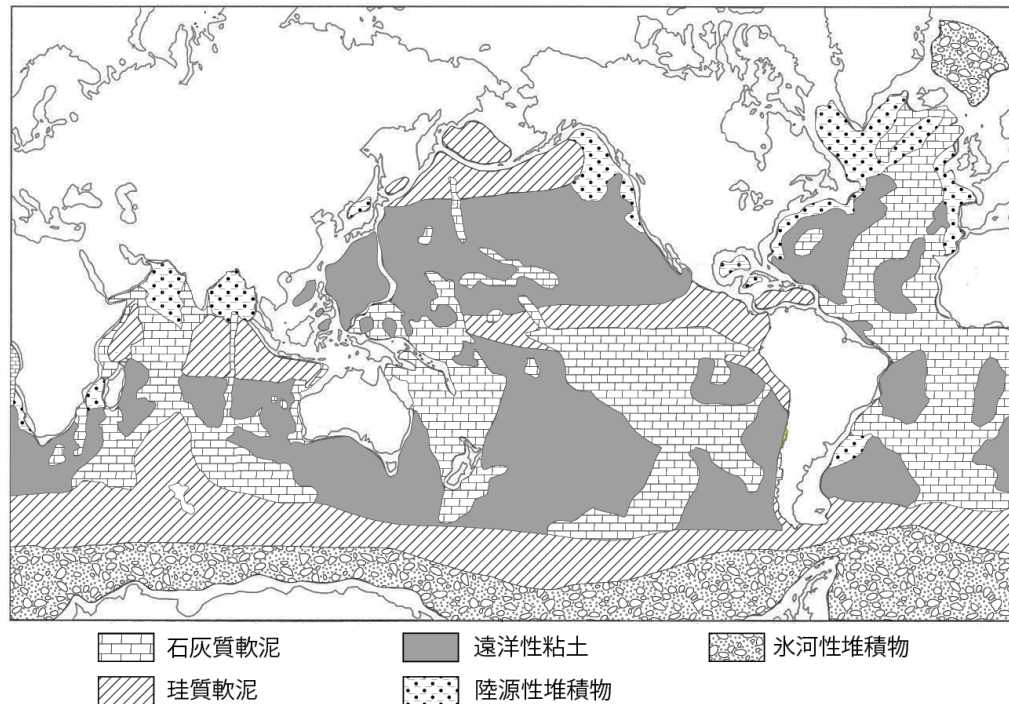


図3. 現世の海洋堆積物の分布概略図. 日本地質学会「海洋底科学の基礎」編集委員会編(2016), 中西・沖野(2016)をもとに作成.

- 問1 石灰質軟泥, 珪質軟泥に主要な要素として含まれる微化石をそれぞれ2つずつ挙げなさい.
- 問2 古環境を推定する研究において, 微化石が大型化石より優れている点を2行程度で述べなさい.
- 問3 石灰質軟泥が遠洋の海底に堆積する条件を, 2行程度で答えなさい.
- 問4 氷河性堆積物が南極大陸周辺の遠洋の海底にまで分布している理由を, 4行程度で答えなさい.
- 問5 遠洋性粘土の起源となる粒子の例を, 2つ挙げなさい.

問題 3 以下の問 1 ～問 3 を全て解答しなさい。

問 1 移動痕（足跡，這い跡）がそれらを作った生物個体の体化石とともに保存されることは少ない．どのような場合に両者がともに保存されと考えられるか，3行程度で述べなさい．

問 2 脊椎動物の足跡化石からわかることを，個体の特徴と集団の特徴に分けて，あわせて3行程度で述べなさい．

問 3 カンブリア紀以降，それまではほとんどみられなかった海底面に垂直方向に発達する生痕化石が多くなった．これは，海底面下で活動する生物の増加を意味するが，そのことが海洋の底質環境に及ぼした影響を2行程度で説明しなさい．

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 図 1 は，圧力を一定とした場合における， A と B を端成分とする 2 成分系で全率固溶型の相平衡図である．曲線 1 の高温側では液のみが安定で，曲線 2 の低温側では固相のみが安定である．曲線 1 と曲線 2 に囲まれた範囲では，固相と液の 2 相が安定である．常に平衡が成立しているものとして以下の問 1 ～問 4 を全て解答しなさい．ただし， $T_1 < Tm_B < T_2 < T_3 < T_4 < Tm_A < T_5$ とする．

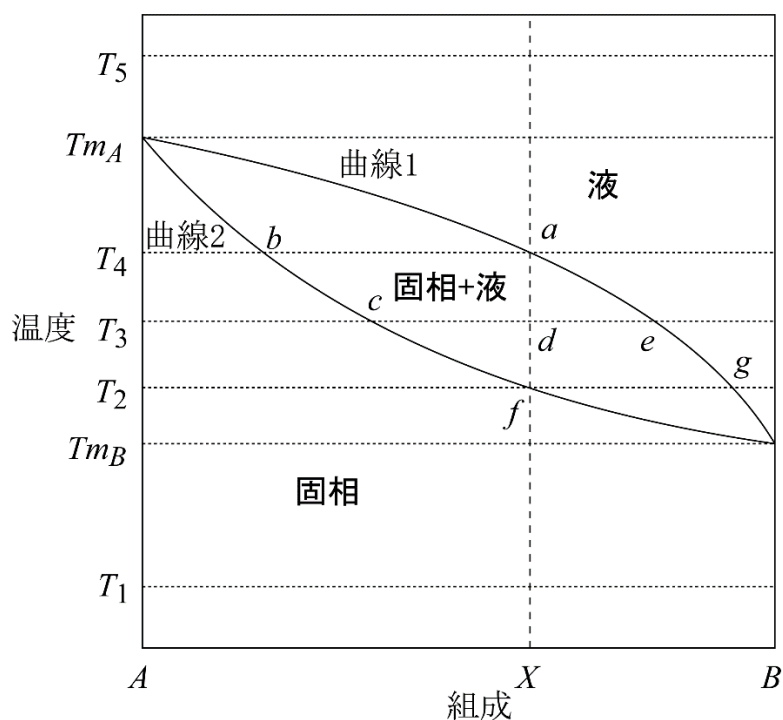


図 1. 2 成分系における全率固溶型の相平衡図.

問 1 組成 A の結晶を温度 T_1 から T_5 まで加熱した場合，固相，液，および温度はどのように変化するか 4 行程度で説明しなさい．

問 2 組成 X の液を T_5 から T_1 まで冷却した場合について考える．次の (1) ～ (2) を全て解答しなさい．

- (1) 固相と液の組成の変化，固相と液の量比の変化を 5 行程度で説明しなさい．
 なお，図 1 に記されている記号を用いて説明してもよい．同じ記号を複数回使用してもよい．

(2) 温度 T_3 における固相と液の組成，および，固相と液の量比を図中の a から g のうち必要な記号を用いて答えなさい．同じ記号を複数回使用してもよい．

問 3 温度 T_3 において，固相と液が平衡共存する場合，系の自由度を求め方とともに答えなさい．

問 4 図 1 のような相平衡図に従う鉱物の例を一つ挙げなさい．

問題 2 高温変成帯で採取した泥質片岩に，石英，ざくろ石，直方輝石，黒雲母，堇青石，珪線石が含まれていた．次の問 1 ～問 4 を全て解答しなさい．

問 1 泥質片岩中に含まれる鉱物の固溶体組成を決定し，カリ長石から投影した $A(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}) - F(\text{FeO}) - M(\text{MgO})$ 図 (AFM 図) 上に，ざくろ石，直方輝石，黒雲母，堇青石，珪線石をプロットした (図 2) ．ざくろ石，直方輝石，黒雲母，堇青石の X_{Mg} 値をそれぞれ答えなさい．ただし， $X_{\text{Mg}} = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ とする．

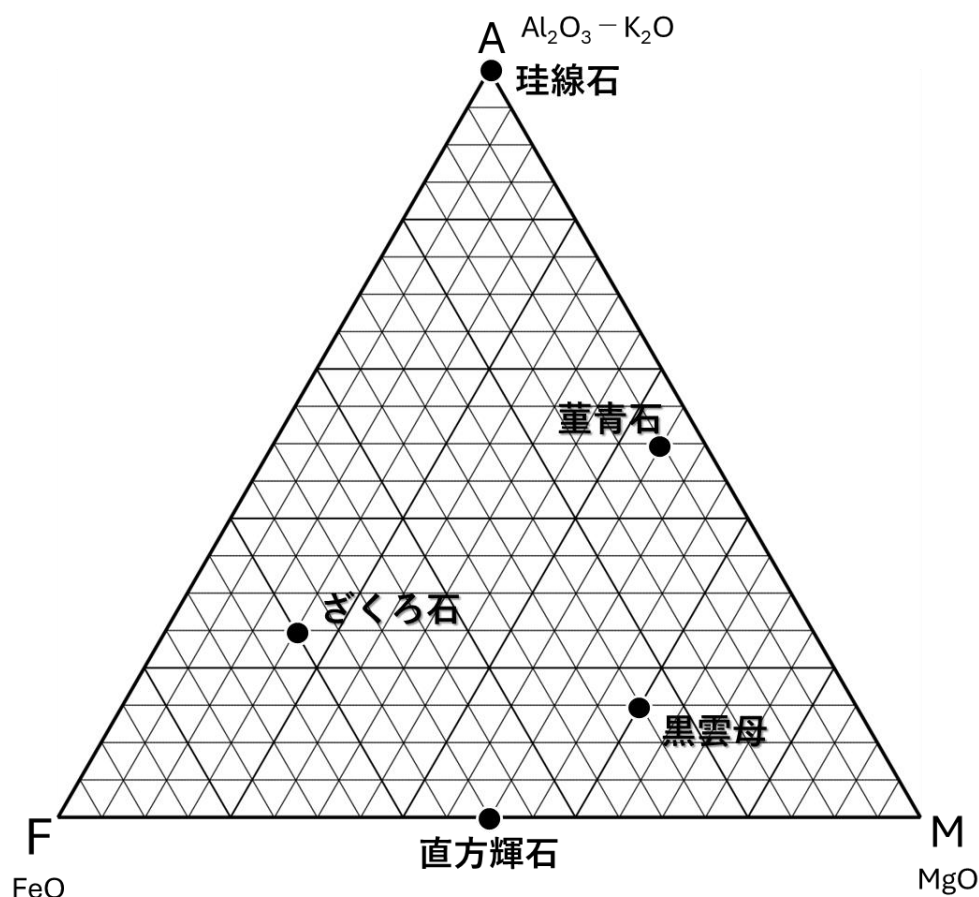


図 2．泥質片岩中に含まれる鉱物組成のモル分率をプロットした AFM 図．
石英，カリ長石， H_2O は過剰成分とする．

問2 鉱物同士の反応を考えるため、図2のAFM図において珪線石から残り4つの鉱物をF(FeO)–M(MgO)線 (FM線) 上に投影した2成分4相系 (図3) について考える。次の(1)～(2)を全て解答しなさい。

(1) 図3において、岩石の化学組成が C_1 である場合、2相が共生する場合の鉱物組合せをすべて答えなさい。

(2) 図3において、岩石の化学組成が C_2 である場合、2相が共生する場合の鉱物組合せをすべて答えなさい。



図3. 珪線石から投影したFM線.

問3 図3において、岩石の化学組成が C_2 である場合、シュライネマーカースの束を使って鉱物反応について考える。この時、考えられる反応は下記の4つである。ただし[]内の相は反応に関与しない鉱物であり、反応の係数は省略する。次の(1)～(3)を全て解答しなさい。

反応1：直方輝石＋堇青石＝黒雲母 [ざくろ石]

反応2：ざくろ石＋堇青石＝直方輝石 [黒雲母]

反応3：ざくろ石＋堇青石＝黒雲母 [直方輝石]

反応4：ざくろ石＋黒雲母＝直方輝石 [堇青石]

(1) 反応1の曲線が図4のように温度圧力図上に引ける場合、反応2は低温側の①と高温側の②のどちらが安定であるか。専用の解答用紙に安定である側の線をなぞり実線にしなさい。そして、反応2の高圧側と低圧側において安定な鉱物名を専用の解答用紙に書き込みなさい。

(2) 反応3は③と④のどちらが安定であるか。専用の解答用紙に安定である側の線をなぞり、線の両側に安定な鉱物名を書き込みなさい。

(3) 反応4は⑤と⑥のどちらが安定であるか。専用の解答用紙に安定である側の線をなぞり、線の両側に安定な鉱物名を書き込みなさい。

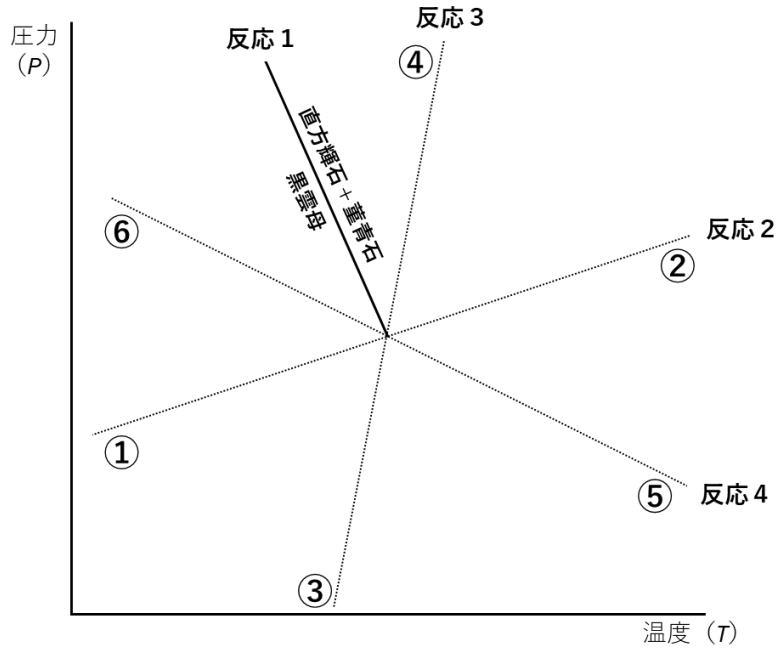


図4．高温変成帯における泥質片岩の反応曲線．

問4 問3に示す鉱物同士の反応が見られる高温変成帯XおよびYにおいて，泥質片岩中の指標鉱物の組合せを観察した．ただし，指標鉱物とは問3の反応に参与する鉱物を指す．次の（1）～（2）を全て解答しなさい．

- （1）変成帯Xにおいて，泥質片岩中の指標鉱物の組合せが，北側ではざくろ石＋黒雲母，南側ではざくろ石＋堇青石であった．この時，北側と南側ではどちらの温度が高いと予想されるかを答えなさい．また，その理由を2行程度で説明しなさい．
- （2）変成帯Yは，変成帯Xよりも温度（ T ）に対する圧力（ P ）の勾配（ dP/dT ）が大きい．この時，変成度が低い方から高い方に向かって泥質片岩中の指標鉱物の組合せはどのように変化することが予想されるかを3行程度で説明しなさい．ただし，最も低い変成度の鉱物組合せは変成帯Xの北側か南側と同じであり，温度圧力の変化は図4の範囲内であるものとする．

問題 3 次の問 1 ～問 2 を全て解答しなさい。解答用紙には計算式も記入すること。

- 問 1 図 5 に示した模式断面図においてアイソスタシーが成り立っているとする。
ただし、温度 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ における地殻の密度を 2700 kg/m^3 、地殻の熱膨張率を $3.3 \times 10^{-5}/\text{K}$ 、マントルの密度を 3300 kg/m^3 とする。また、地殻の密度は温度のみで決まり、地殻内部の温度は、氷との接触面で $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、マントルと接する地殻底部では $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ とし、深さに対して線形に増加するものとする。次の (1) ～ (2) を全て解答しなさい。

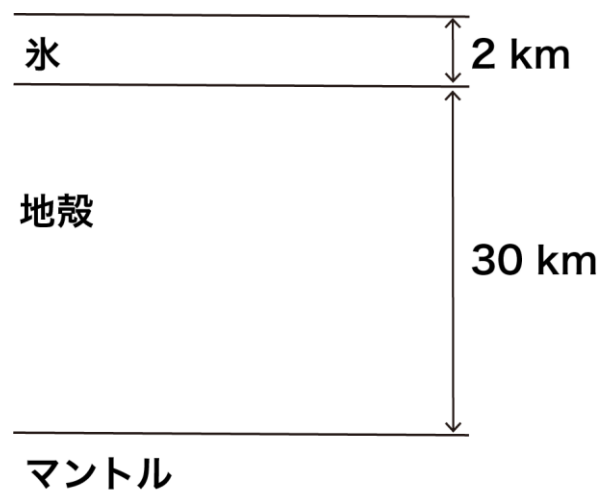


図 5. 氷に覆われた地殻の模式断面図。

- (1) 地殻の平均密度を求めなさい。
- (2) 氷が完全に溶けて失われた後の地表の隆起量を求めなさい。ただし、氷の密度を 900 kg/m^3 とし、地殻内部の温度構造は変化しないものとする。

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 図 1 は、原子番号59から63までの各元素について自然界に現存する同位体のみを記した核図表である。□の中の下段には各々の標準的な同位体存在度を%表示（原子百分率）で示してある。以下の問 1 ～問 8 を全て解答しなさい。なお、計算問題については答えのみでなく、その導出過程も記しなさい。

						^{151}Eu 47.81	^{153}Eu 52.19	
^{144}Sm 3.07		^{147}Sm 14.99	^{148}Sm 11.24	^{149}Sm 13.82	^{150}Sm 7.38		^{152}Sm 26.75	^{154}Sm 22.75
^{142}Nd 27.20	^{143}Nd 12.20	^{144}Nd 23.80	^{145}Nd 8.30	^{146}Nd 17.20		^{148}Nd 5.70	^{150}Nd 5.60	
^{141}Pr 100								

図 1. 核図表の一部.

問 1 原子番号59の ^{141}Pr の原子核に含まれる陽子数と中性子数を各々答えなさい。

問 2 原子番号61の元素は安定同位体をもたないため、上の核図表には記されていない。このような元素を一般的に何と呼ぶか、答えなさい。また、原子番号61の元素を元素記号で答えなさい。

問 3 次に示した(a)～(d)の核種が、s過程、r過程、p過程のどの過程で原子核合成されたものか記しなさい。なお、原子番号が59より小さい元素においては質量数が142より大きい安定同位体は存在しない。

(a) ^{142}Nd (b) ^{150}Nd (c) ^{144}Sm (d) ^{151}Eu

問 4 ^{147}Sm は ^{143}Nd に放射壊変する。この壊変形式の名称を答えなさい。

問 5 半減期が 1.06×10^{11} 年である ^{147}Sm の壊変定数を有効数字3桁で求めなさい。

問 6 惑星物質中に現存する ^{143}Nd 同位体には、その物質が形成した際にすでに存在していた初期成分と、物質形成後に ^{147}Sm から生成された放射壊変起源成分の2種類がある。現在の ^{147}Sm の同位体の原子数を $(^{147}\text{Sm})_p$ で表すとき、この物質中に蓄積している放射壊変起源の ^{143}Nd の同位体の原子数 $(^{143}\text{Nd})^*$ を、 $(^{147}\text{Sm})_p$ を用いた時間 t の関数で表しなさい。なお、この惑星物質が形成した時点をも $t=0$ とする。

問 7 ある惑星物質に $^{147}\text{Sm}-^{143}\text{Nd}$ 年代測定法を適用することを考え、この物質中の2つの鉱物A、Bに着目し、それらの $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比、およびNdとSmの元素濃度について測定した結果を表1に示す。表1の値をもとに、この物質の形成年代を有効数字3桁で、物質が形成した時点での $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比の初期値を有効数字6桁でそれぞれ求めなさい。なお、表1では分析による測定誤差は省略してあり、ここでは考慮しなくてよいものとする。計算にあたって必要であれば、以下の値を用いなさい。原子量：Nd=144.24, Sm=150.40。また、 ^{144}Nd と ^{147}Sm の各同位体存在度については図1の核図表内にある標準値を用いなさい。

表 1. 測定結果.

	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Nd 濃度(ppm)	Sm 濃度(ppm)
鉱物 A	0.512365	20.0	5.72
鉱物 B	0.513861	10.0	4.03

問 8 上記の惑星物質は、45.0億年の形成年代と $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.506609$ の初期値を持つ原岩から一度の化学分別を経て形成されたと考えるとき、この原岩のSm/Nd元素濃度比を有効数字3桁で求めなさい。

問題 2 以下の(a)～(d)の全てについて、地球科学的な観点から、それぞれ100字程度で説明しなさい。

- (a) 同位体分別
- (b) ランキン・デュプレの蒸気圧式
- (c) シュース (Suess) 効果
- (d) バイオマーカー

問題 3 あるケイ酸塩岩石試料をフッ化水素酸で分解し、原子吸光分析にてNaを定量分析することを考える。以下の問1～問4を全て解答しなさい。なお、計算問題については答えのみでなく、その導出過程も記しなさい。計算にあたって必要であれば以下の値を用いなさい。原子量：O=16.0, Na=23.0, Cl=35.5

問1 二酸化ケイ素 (SiO_2) をフッ化水素酸 (HF) で分解させたときの化学反応式を示しなさい。

問2 原子吸光分析法の原理について100字程度で説明しなさい。

問3 NaClを用いて1000 ppmのNa標準溶液を250 mLのメスフラスコにて作成するにあたり、NaClは何gが必要か、有効数字3桁で答えなさい。

問4 上記で準備したNa標準溶液をさらに希釈し、濃度の異なる0.5, 1, 2, 3, 5 ppmの5種類の標準溶液を原子吸光分析のために準備した。次いで、ケイ酸塩岩石0.2000 gを電子天秤で正確に分取し、フッ化水素酸分解した後、メスフラスコにて100 mLに定容した。この岩石試料の Na_2O 含有量は4.30 重量%であることが予想される場合、100 mLに定容した試料溶液をさらに何倍に希釈すれば原子吸光分析による正確な定量分析が可能と考えられるか、適切な希釈の範囲を求めなさい。

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 図 1 のように，質量 M の台の上に横幅 w ，高さ h ，奥行き 1 (単位長さ)，質量 m で一様な密度を持つ剛体のブロックが載っている．ブロックの底と台の静止摩擦係数は μ である．台につながれた弾性的なばね (ばね定数 k) は左端が固定され，右端が台に繋がれている．時刻 $t = 0$ に，ばねが自然の長さから L だけ伸びた状態で静かに手を離すと台はばねに引かれて左向きに動き始めた．このとき，以下の問 1 ～問 8 を全て解答しなさい．ただし，重力加速度を g とする．図 1 のように，右向きを x の正方向，鉛直上向きを z の正方向とし，ばねが自然の長さとなる時の台の位置を $x = 0$ とする．ばねの質量および台と床の間の摩擦は無視でき，水平運動は x 方向のみに生じるものとする．

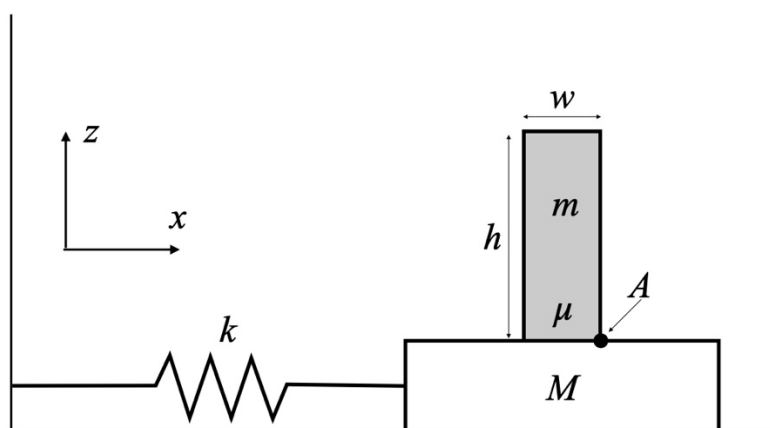


図 1.

- 問 1 台とブロックが一体となって動く場合の x 方向の運動方程式を書きなさい．
- 問 2 問 1 の運動方程式を解いて，台の位置 x を時刻 t の関数として表しなさい．
- 問 3 台の加速度を時刻 t の関数として表しなさい．
- 問 4 台が動き出す時 ($t = 0$) にブロックにはたらく慣性力の大きさと向きを答えなさい．

問5 問4で台が動き出す時に、ブロックが台の上ですべらないために静止摩擦係数 μ が満たすべき条件を求めなさい。

問6 問4で台が動き出す時に、ブロックが台の上をすべらずに底面の角（図1のA）を支点として回転し始めた。回転し始めた直後にブロックにはたらく力のモーメントを求めなさい。ただし、時計回りのモーメントを正とする。

問7 ブロックの底面の角（図1のA）を支点とするブロックの慣性モーメント I を求めなさい。

問8 最初に与えるばねの伸びを少しずつ増やして実験した。ばねを $L_0 = \frac{wg(M+m)}{hk}$

だけ伸ばして手を離したところ、ブロックはすべらずに底面の角（図1のA）を支点として回転し始めた。この時、手を離した時刻を $t = 0$ として、回転開始直後（ $t \ll \sqrt{\frac{M+m}{k}}$ ）におけるブロックの回転角 θ （時計回りの回転を正とする）の時間変化を表す方程式を、 $\theta \ll 1$ の近似を用いて求めなさい。

問題 2 断熱された容器に封入されたガスの圧力を P , 体積を V , 内部エネルギーを E , エントロピーを S , 温度を T , モル数を n , 気体定数を R とする. 以下の問 1 ～ 問 5 を全て解答しなさい.

問 1 準静的過程における熱力学の第一法則

$$dE = TdS - PdV \quad (1)$$

とマックスウェルの関係式

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \quad (2)$$

を用いることで, 理想気体の状態方程式 $PV = nRT$ に従うガスの内部エネルギー $E(T, V)$ は体積 V に依存しないことを示しなさい.

問 2 このガスが体積 V_1 の容器1に n_1 モル封入されている(ガス1). 容器1は体積 V_2 で真空の容器2と隔壁を介して接続されている(図 2). この隔壁が抜き取られるとガス1が膨張する. ガス1は外部に仕事をせず断熱されているため内部エネルギーは変化しない. また膨張後に十分時間が経過した終状態は準静的な等温膨張をした場合と同一であることから, 膨張によるガス1のエントロピーの増加量 S_1 を前問の結果(理想気体の内部エネルギーは体積に依存しない)と式(1)から求めなさい.

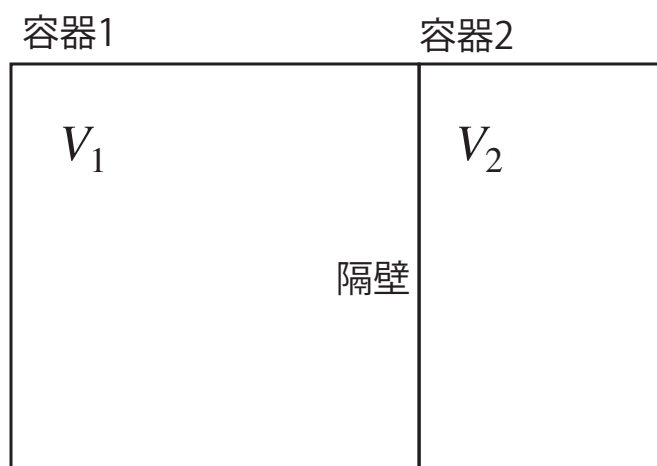


図 2. 体積 V_1 の容器 1 と体積 V_2 の容器 2 の接続.

問3 容器1のガス1とは別の組成の理想気体であるガス2が容器2に n_2 モル封入されていた場合、隔壁を取り除いた後のガス1とガス2のエントロピーの増加量の和 $S_1 + S_2$ （混合エントロピー）を求めなさい。隔壁を取り除く前のガス1とガス2の温度と圧力は同一とする。また、ガス1とガス2の間の相互作用は無視できるものとする。

問4 モル数の和を $n_t = n_1 + n_2$ とする。問3において、規格化された混合エントロピー $(S_1 + S_2)/(Rn_t)$ が最大となる $x = n_1/n_t$ を求めなさい。

問5 x の関数としての $(S_1 + S_2)/(Rn_t)$ のグラフの概形を描きなさい。

F（化学）

以下の問題 1 ～問題 4 を全て解答しなさい。

問題 1 周期表を参考にして，以下の問 1 ～問 4 を全て解答しなさい。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	...	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	...															

問 1 次の元素の電子配置を例にならって示しなさい。例：Liは[He] 2s¹

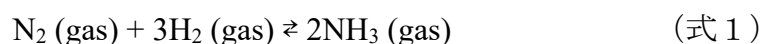
- (a) Mg
- (b) Al
- (c) S

問 2 [Ar]4s²及び[Kr]5s²4d¹⁰5p⁴の元素名と元素記号を答えなさい。

問 3 原子番号と原子半径の関係について，電子配置を考慮して100字程度で説明し，Cl, Se, Br, Rb, Sr, Csを原子半径の大きい順に並べなさい。

問 4 原子番号と第一イオン化エネルギーの関係について電子配置を考慮して100字程度で説明し，K, Na, Mgを第一イオン化エネルギーの大きい順に並べなさい。

問題 2 アンモニア（NH₃）は，四酸化三鉄（Fe₃O₄）を主成分とする触媒を使い，窒素と水素を高圧下で合成することで製造されている（式1）．この製法は，ハーバー・ボッシュ法と呼ばれている．この反応に関する以下の問 1 ～問 3 を全て解答しなさい。



問 1 温度と体積が一定の条件の下で N_2 と H_2 を反応させ、次の平衡濃度の混合物が生じた。この時の平衡定数 K_c を求めなさい。なお、各成分の濃度は[]で示す。

$$[\text{N}_2] = 2.05 \text{ mol/L}, [\text{H}_2] = 1.56 \text{ mol/L}, [\text{NH}_3] = 1.52 \text{ mol/L}$$

問 2 問 1 の混合物に、 N_2 を追加して $[\text{N}_2]$ を 3.51 mol/L とした。その直後には平衡が崩れたが、反応が進み再び平衡状態となった。その途上で $[\text{N}_2]$ が 3.07 mol/L となったときの $[\text{NH}_3]$ を求めなさい。

問 3 ハーバー・ボッシュ法で用いられている反応は発熱反応であり、低温で行うと熱力学的には有利と考えられる。しかし、実際の工業プロセスでは高温で行われている。その理由を100字程度で説明しなさい。

問題 3 有機化合物の大部分は官能基と残基からなる。官能基は分子の一部分で反応性が[イ]。分子の残りは反応性が[ロ]、化学変化の影響を受けにくい。これを残基と呼んでいる。残基はアルカン（またはアルキル）部分や芳香族炭化水素部分、またはその両方からなる。以下の問 1 ～問 2 を全て解答しなさい。

問 1 [イ]及び[ロ]に適した語句を答えなさい。

問 2 アルキル基をR-、芳香族炭化水素基をAr-として、次の(a)～(e)の有機物の一般式を答えなさい。例えば、アルコールの一般式は R-OH である。

- (a) フェノール
- (b) アルキル基だけが結合した第三級アミン
- (c) ジアルキルケトン
- (d) 芳香族アルデヒド
- (e) 臭化アルキル

問題 4 下記の(a)～(e)の機器分析法から 1つ選択して、その原理と特徴を150字程度で説明しなさい。

- (a) 質量分析法
- (b) ラマンスペクトル分析法
- (c) 核磁気共鳴法
- (d) 蛍光X線分析法
- (e) クロマトグラフィ

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 次の文章を読み、問 1 ～問 4 を全て解答しなさい。

(a)動物や菌類，緑色植物は，真核細胞をもつ真核生物であり，古細菌やシアノバクテリアを含む真正細菌などの原核細胞をもつ原核生物とは区別される．真核細胞には様々な細胞小器官が含まれる．中でも，(b)ゴルジ装置は，細胞のさまざまな合成産物の受け取り，精製，保管，配送に関与する．また，真核細胞がもつさまざまな細胞小器官のうち，核やミトコンドリア，葉緑体は二重の膜で包まれ，それぞれ独自のゲノム（核ゲノム，ミトコンドリアゲノム，葉緑体ゲノム）をもつ．この真核細胞の特異な構造は，複数種の原核生物が，(c)二段階のプロセスを通して細胞内共生することによって進化してきたとする，Margulisが1967年に提唱した細胞内共生モデルが広く支持されている．化石記録からは，(d)およそ20億年前に真核細胞が登場したという説がある．そして真核細胞の誕生によって，より複雑な生物の出現が可能になっていったと考えられている．

問 1 下線部(a)の動物，菌類，緑色植物それぞれがもつ細胞について，核以外で独自のゲノムをもつ細胞小器官が最大で何種類あるか答えなさい。

問 2 下線部(b)について，ゴルジ装置からタンパク質が細胞外へ輸送されるまでの過程を80字程度で説明しなさい。

問 3 下線部(c)のMargulisが1967年に提唱した細胞内共生モデルでは，真核生物の各細胞小器官の二重の膜構造がどのようにできたと解釈しているか，動物の細胞を例に，二段階のプロセスがわかるよう，図示して説明しなさい．描いた各構造の名称も記入すること。

問 4 下線部(d)について，葉緑体は原核生物のシアノバクテリアの一種を，ミトコンドリアは原核生物の好気性細菌の一種をそれぞれ起源とするという説がある．およそ20億年前にこれらが宿主細胞と共生し，真核生物が誕生したとしたら，宿主細胞にとってどのような利益があったか，当時の環境の変化も考慮して120字程度で説明しなさい。

問題2 植物に関する次の文章を読み、問1～問3を全て解答しなさい。

植物は緑藻から進化し、現存するものは〔ア〕植物、シダ植物（シダ類）、〔イ〕植物、〔ウ〕植物という4つのグループに分類されている。

このグループのうち、最も初期の多様化によって生まれたのが〔ア〕植物である。〔ア〕植物は他の3つのグループと異なり、〔エ〕を持たないため体の支持力が弱い。また、土壌から地上部へ水を運ぶための〔オ〕が発達せず、湿った場所に生育する必要がある。生活環の中では、〔カ〕の配偶体の方が孢子体よりも〔キ〕であることも他のグループと異なる。

シダ植物は〔ア〕植物と異なり〔ク〕の孢子体が配偶体より〔キ〕であり、〔イ〕植物や〔ウ〕植物とは異なり配偶体が孢子体に〔ケ〕して存在する。

残りの2グループはともに種子を作る。〔イ〕植物には球果類が含まれる。

〔ウ〕植物は現在最も種の多様性が高い植物グループである。〔ウ〕植物は〔イ〕植物と違い、〔コ〕が子房に包まれている。〔ウ〕植物の(a)花粉は様々な手段で雌ずいに運ばれる。〔ウ〕植物は(b)果実や種子も様々な手段で運ばれる。

問1 〔ア〕～〔コ〕に入る語を下の語群から選びなさい（〔カ〕と〔ク〕には「単相」「複相」のいずれかが入る）。

単相 複相 独立 従属 被子 無種子 シャジクモ 裸子 花 孢子 花柱
胚珠 リグニン クチクラ 細胞壁 維管束 花粉管 コケ 大型 小型

問2 下線部(a)について、他花受粉する植物で花粉が風に運ばれる花と昆虫に運ばれる花ではそれぞれ、花の色や花粉の量にどのような傾向があるか。理由とともに150字程度で書きなさい。

問3 下線部(b)について、動物被食散布植物と動物付着散布植物ではそれぞれ、果実や種子の特徴にどのような傾向があるか。理由とともに150字程度で書きなさい。

問題3 次の文章を読み、問1～問4を全て解答しなさい。

群集における種間の摂食関係は栄養構造と呼ばれる。群集の栄養構造は、植物や藻類などの光合成生物から植食者や捕食者に至る、[ア]や[イ]の経路を決定する。生物群集内での生物の捕食者と被食者の「食う・食われる」の関係が一連のつながりとなっている(a) 栄養段階の間の食物移行の系列は[ウ]と呼ばれる。[ウ]において、例えば光エネルギーを化学的エネルギーに転換し有機物を合成する植物は[エ]と呼ばれ、[ウ]において下位に置かれることが通常である。また、このうち[エ]より上位の生物は[オ]である。

有毒化学物質の多くは、生物の体内に取り込まれると、生物はこれらを代謝できず、体内に保持される。これらの有毒物質は、それらが[ウ]を通じて受け渡されるにつれて、生物体内に濃縮されていく。例えば、水中に溶け込んだポリ塩化ビフェニル(PCB)に汚染された植物プランクトンでは同じ生息地に棲む小魚のワカサギよりもPCBの濃度は(b) (高く/低く)なる。また、[ウ]を通じて濃縮されたPCBは最上位の捕食者で最も濃度が高くなり、(c) 環境中の有害物質によって深刻な害を受ける生物となる。

注釈：ポリ塩化ビフェニル(PCB)は無色透明な油状の物質である。不燃性などの特性により電気機器をはじめとして幅広い用途で利用されてきたが、慢性的な摂取により体内に徐々に蓄積し、健康状態の悪化を引き起こす。

問1 [ア]，[イ]，[ウ]，[エ]，[オ]に適切な語を下の語群から選んで記しなさい。ただし[ア]と[イ]の順は問わない。また、同じ語は1回のみ使用できる。

呼吸量 エネルギー 分解者 排出量 現存量 物質収支 栄養塩濃度
外洋域 生態効率 同化量 栄養素 食物連鎖 生産者 消費者 日射量

問2 下線部(a)の例として、(1)～(4)を下位から上位の順番となるよう並びかえなさい。

(1) シャチ，(2) ラッコ，(3) コンプ，(4) ウニ

問3 下線部(b)について、「高く」「低く」のどちらかを選びなさい。

問4 下線部(c)について、鳥類の繁殖成績にどのような害があるのか、生物名とともに例を1つあげて50字程度で説明しなさい。

H (数学)

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

問題 1 以下の行列について行列式を求め、正則か正則でないか判定しなさい。また、正則な場合は逆行列を求めなさい。ただし、 a は実数の定数とする。

$$\text{問 1} \quad \begin{bmatrix} -1 & 3 & 1 \\ 2 & -4 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{問 2} \quad \begin{bmatrix} a & 1 & 1 \\ 1 & a & 1 \\ 1 & 1 & a \end{bmatrix}$$

問題 2 以下の問 1 ～問 2 を全て解答しなさい。

問 1 次の定積分の値を求めなさい。

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

問 2 $I_n = \int \frac{dx}{(1+x^2)^{n/2}}$ とおくとき、 I_n は以下の漸化式 (1) を満たすことを示し、

これを用いて式 (2) の定積分を計算しなさい。ただし n は自然数とする。

$$I_{n+2} = \frac{x}{n(1+x^2)^{n/2}} + \frac{n-1}{n} I_n \quad (n \geq 1) \quad (1)$$

$$\int_0^1 \frac{dx}{(1+x^2)^{5/2}} \quad (2)$$

問題 3 以下の常微分方程式の一般解を求めなさい。

$$\text{問 1} \quad (x+y) \frac{dy}{dx} = 4x-y \quad \text{問 2} \quad \frac{d^2 y}{dx^2} + 2 \frac{dy}{dx} = \sin x$$

問題 4 区間 $-\pi \leq x < \pi$ における区分的に連続な周期関数 $f(x)$ のフーリエ級数展開は以下のように与えられる．ここで n は自然数である．以下の問 1 ～問 2 を全て解答しなさい．

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

問 1 次の関数のフーリエ級数展開を求めなさい．

$$f(x) = x^2 \quad (-\pi \leq x < \pi)$$

問 2 以下の無限級数の和 S を求めなさい．

$$S = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n^2}$$

問題 5 2次元確率変数 (X, Y) の N 組の観測データ $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \cdots, (x_N, y_N)$ がある．いま， X と Y の一次結合で表される新たな確率変数 $Z = aX + bY$ を導入し，この確率変数 Z に着目して観測データを調べたい．ただし， a と b は定数で， $a^2 + b^2 = 1$ を満たすとする．このとき，以下の問 1 ～問 4 を全て解答しなさい．

問 1 Z の期待値 $E(Z)$ 及び分散 $V(Z)$ を， X の期待値 $E(X)$ と分散 $V(X)$ ， Y の期待値 $E(Y)$ と分散 $V(Y)$ ， X と Y の共分散 $Cov(X, Y)$ を用いて表しなさい．

問 2 問 1 で求めた分散 $V(Z)$ を， 2×2 の対称行列 $\mathbf{G}$ を用いて，以下のような a と b の二次形式で表したときの $\mathbf{G}$ を書き下しなさい．

$$V(Z) = [a \quad b] \mathbf{G} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

問 3 問 2 の $\mathbf{G}$ が以下のように与えられたとき， $\mathbf{G}$ の固有値と単位固有ベクトルを求めなさい．

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 7 & 2 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}$$

問 4 問 3 の $\mathbf{G}$ の場合，分散 $V(Z)$ が最大となる a と b を求めなさい．