

平成 31 年度名古屋大学大学院環境学研究科
地球環境科学専攻（地球惑星科学系）
博士前期課程 普通入試・筆記試験問題

【専門科目】

(注意事項)

- (1)この問題冊子は、専門科目に関するものである。問題部分は 28 頁ある。
- (2)問題は科目 A～H まで全部で 8 科目あるので、ここから 2 科目を選んで解答しなさい。
- A(地球環境学), B(地球科学 I), C(地球科学 II), D(地球科学 III), E(物理学),
F(化学), G(生物学), H(数学)
- (3)解答用紙は問題冊子とは別に配布する。
- (4)解答用紙には各科目共通解答用紙(10 枚)と科目B(地球科学 I)専用の解答用紙(1枚)の合計 11 枚が綴じられている。
- (5)解答用紙は選択した科目についてそれぞれ別の用紙を使用すること。1つの問題の解答が複数枚に渡ってもかまわない(ただし、指示のある場合は問題ごとに別の用紙を使用すること)。配布された用紙で不足する場合は監督者に申し出ること。
- (6)提出する全ての解答用紙に受験番号と、科目名(アルファベット)を記入すること。ただし、専用の解答用紙については、受験番号のみ記入すれば良い。
- (7)解答には黒の鉛筆かシャープペンシルを使用すること。
- (8)試験に際して、関数電卓または定規を使用したい場合は、挙手をして監督者に申し出ること。
- (9)試験中は時計や提供された関数電卓以外の携帯電話や電子機器の電源を切り、カバン等にしまつておくこと。身につけていてはいけない。
- (10)試験時間は 13 時 30 分から 16 時 30 分までである(開始後 30 分まで入室可)。
- (11)試験中に気分が悪くなるなど、必要のある場合は監督者に申し出ること。
- (12)試験問題の内容に関わる質問は一切受け付けない。
- (13)試験終了後、問題冊子は持ち帰ってよい。

・選択した2科目を○で囲みなさい。

A	B	C	D	E	F	G	H
---	---	---	---	---	---	---	---

・下欄に受験番号と提出する解答用紙の枚数を記入し、この表紙を問題冊子から切り離して、解答用紙の上に重ねて提出しなさい。

受験番号		提出する解答用紙の枚数	枚
------	--	-------------	---

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 生態系が人間にもたらす様々な便益、いわゆる自然の恵みを「生態系サービス」と呼ぶ。生態系サービスには、調整サービス、供給サービス、文化的サービスが含まれる。図1は、生態系サービスの提供レベルと生物多様性および土地利用の関係性を例示した模式図である。この図を見て以下の問1～問3に答えなさい。

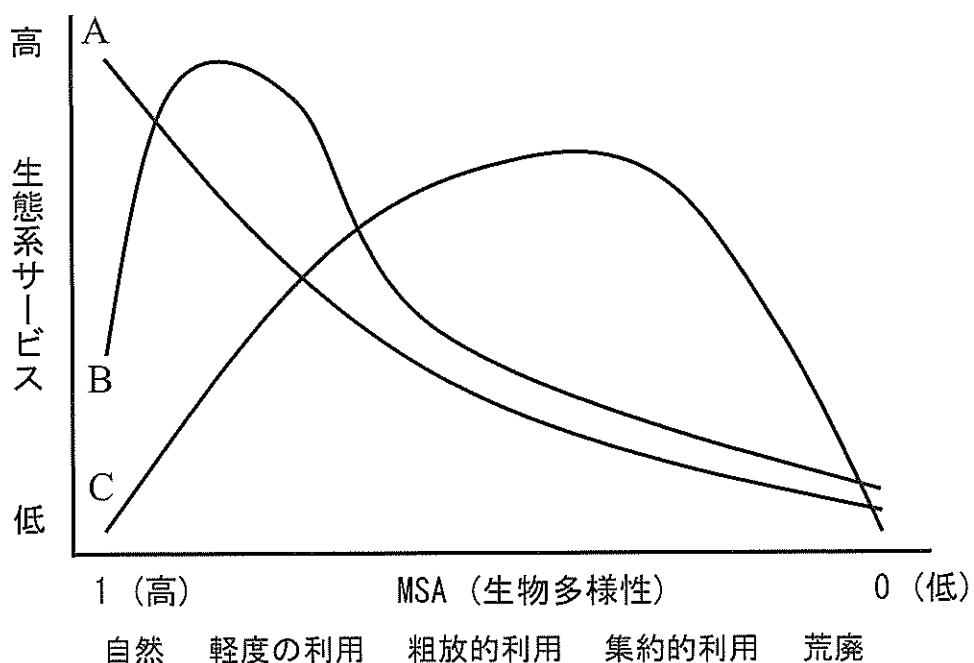


図1. 生態系サービスの提供レベルと生物多様性、土地利用の関係性

MSA (Mean Species Abundance) は生物多様性指標の一つで、手つかずの自然状態を1とした相対値で表される。出典：Braat, L. and ten Brink, P. (Eds.) (2008): Alterra report を元に作成。

問1 図1のパターンA, B, Cのうちの二つは、調整サービスの一つである土壤侵食の抑制と、文化的サービスの一つであるレクリエーションの提供について、それぞれ表している。それら二つのサービスがどのパターンに当てはまるかを、理由とともに述べなさい。(それぞれ100字以内)

問2 図1のパターンA, B, Cのいずれかに当てはまる供給サービスの具体例を一つ挙げ、そのようなパターンになる理由を述べなさい。(100字以内)

問3 中国では、1998年に長江流域等で発生した大洪水を契機に、急傾斜地にある耕作地を植林地に転換する政策が広く実施されている。この政策により、調整サービスおよび供給サービスがどのように変化すると考えられるか、具体的なサービスの例を挙げ、両サービスの変化の連動性にも言及しながら説明しなさい。（150字以内）

問題2 $PM_{2.5}$ とは、直径 $2.5 \mu m$ 以下の微小粒子状物質のことである。地表面付近の大気中における $PM_{2.5}$ について、以下の問1～問3を全て解答しなさい。

問1 $PM_{2.5}$ の濃度について、世界のさまざまな国で大気環境基準が設けられている。

この環境基準が必要とされている理由について述べなさい。（100字以内）

問2 図2は、全世界の陸上における大気中の $PM_{2.5}$ 濃度の分布を示している。高濃度地域がa地域とb地域にみられるが、両地域における $PM_{2.5}$ の主要な発生原因について述べなさい。（各地域につき100字以内）

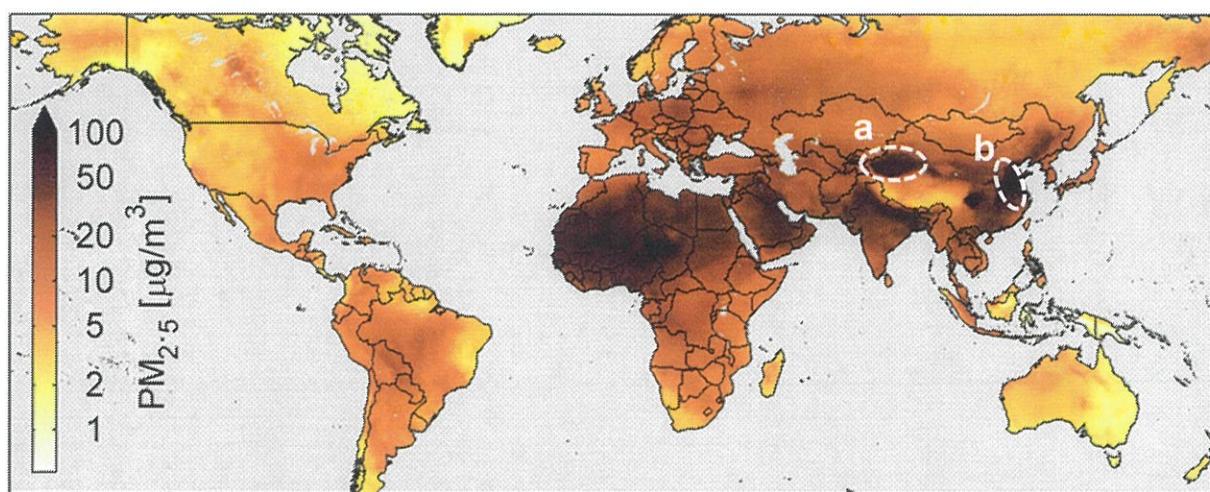


図2. 地表面付近の大気中における $PM_{2.5}$ 濃度の分布（2001-2010年の平均値）

衛星観測、地上観測、数値シミュレーションを利用して作成。白い破線で囲まれた地域はa、b地域を示す。出典：van Donkelaar et al. (2016)：Environmental Science & Technology を元に作成。

問3 図3は、北アフリカ・中東とヨーロッパ西部における、人口密度とPM_{2.5}濃度の関係を示している。

- (1) 北アフリカ・中東では、人口密度の低いところにPM_{2.5}濃度の極大がある。このような分布になる理由を述べなさい。(100字以内)
- (2) ヨーロッパ西部では、人口密度とPM_{2.5}濃度が正の相関になる理由を述べなさい。(100字以内)

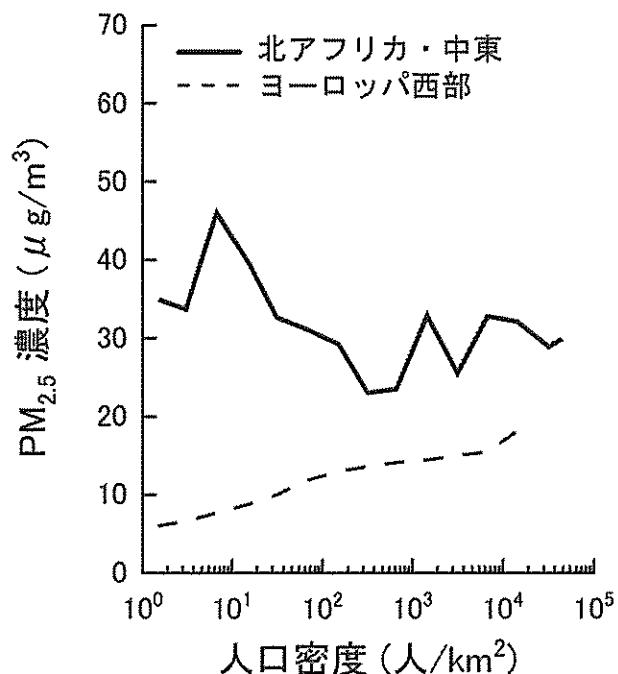


図3. 北アフリカ・中東とヨーロッパ西部における、人口密度(2010年)とPM_{2.5}濃度(2010年)の関係

人口密度とPM_{2.5}濃度のメッシュデータから作成。出典：van Donkelaar et al. (2016): Environmental Science & Technologyを元に作成。

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を用いて、全て解答しなさい。

問題 1 図 1 はある地域の地質図である。この地域の地質に関して、以下の問 1 ~ 問 5 に全て答えなさい。なお、問 1 については専用の解答用紙を使用しなさい。

問 1 本地域には河岸段丘が発達している。またこの河岸段丘を断層 F が切っている。各段丘面は水平・平坦である。表 1 は各段丘面に関して、断層 F の西側の段丘面の標高を X、断層 F の東側の段丘面の標高を Y、各段丘面の水平変位量を Z としてまとめたものである。なお、各段丘面と一段高い位置の段丘面との間にある段丘崖の断層 F に沿った水平変位量を Z とした。また、M1 面の水平変位量は M1 面を構成する段丘堆積物の分布の水平変位量から求めた。ただし断層 F の運動方向は常に一定とする。

- (1) 表 1 のデータを使用し、Z と X、および Z と Y のそれぞれの関係を 1 つのグラフに描きなさい。
- (2) (1)のグラフを参考にして、各段丘面の水平変位量と鉛直変位量の関係を示すグラフを作成しなさい。

問 2 M1 面の最も上位の地層は約 80,000 年前に堆積しており、L1 面の最も上位の地層は 40,000 年前に堆積している。断層の活動はクリープとして一定速度で変位していると仮定して、M1 面形成以降の断層 F の平均水平変位速度 (m/年) と平均鉛直変位速度 (m/年) を求めなさい。

問 3 図 2 は、本地域の砂岩の薄片の偏光顕微鏡写真である。この砂岩の構成粒子はほとんど石英である。このような砂岩を何と呼ぶか、答えなさい。また、その成因についてわかることを書きなさい。

問 4 この砂岩に含まれる可能性が最も高い碎屑性重鉱物を以下から 2 つ選び、番号で答えなさい。また、この砂岩に含まれる可能性が高い理由も書きなさい。

- ① 黒雲母、② かんらん石、③ ジルコン、④ 斜方輝石、⑤ 電気石、
⑥ 白雲母、⑦ 紅柱石

問5 図1の地域に生じた地質現象を、形成の古い順に以下に示した番号で答えなさい。ただし、1つだけ不要なものがある。なお、断層Fは他の地域の研究により、第四紀初期以降活動していたことがわかっている。

- ①安山岩の噴出
- ②河岸段丘M1面からA2面の形成
- ③花崗岩上への砂岩・泥岩の不整合
- ④砂岩・泥岩の褶曲
- ⑤花崗岩の貫入
- ⑥断層Fの活動開始
- ⑦砂岩・泥岩の堆積

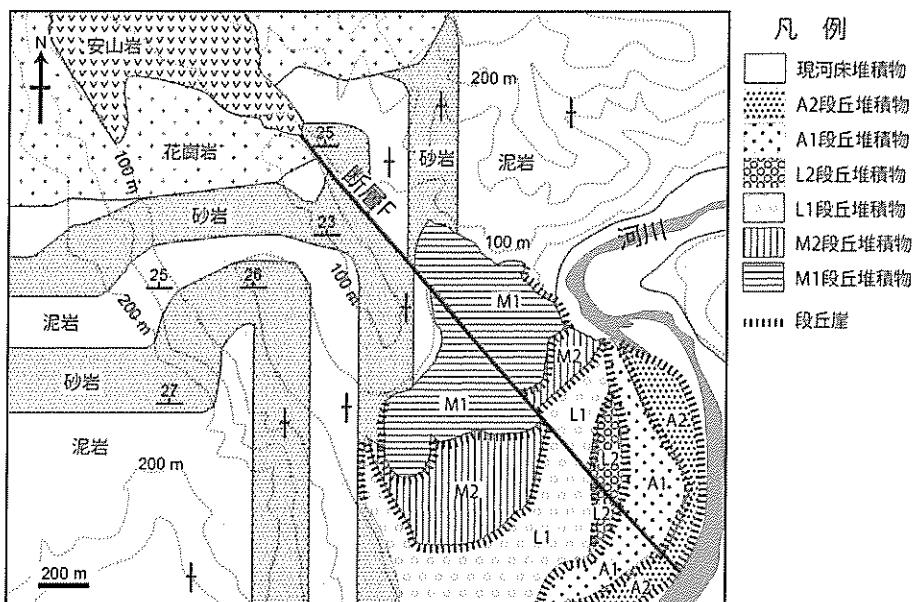


図1 ある地域の地質図

表1 断層F沿いの段丘面の標高と水平変位量

段丘面	X 断層西側標高(m)	Y 断層東側標高(m)	Z 水平変位量(m)
M1	未測定	85	140
M2	40	未測定	120
L1	28	48	70
L2	未測定	38	53
A1	未測定	21	20
A2	14	未測定	15

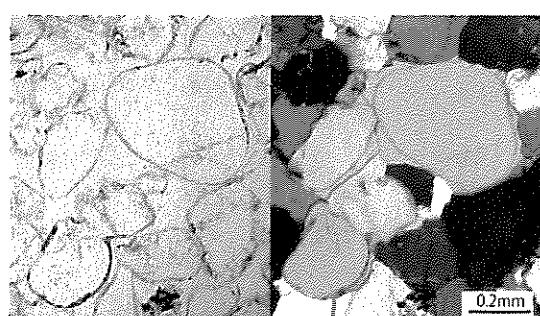


図2 砂岩薄片の偏光顕微鏡写真
左：単ポーラー、右：直交ポーラー

地球科学 |

受験番号

THE JOURNAL OF CLIMATE

問題 1 の問 1 解答用紙

(1)

(2)

問題2 以下の問1～問5に全て答えなさい。

問1 一般に動物の表皮や筋肉などの軟組織が化石として保存されるのは稀であるが、特定の条件下においては、軟組織またはその形の痕跡が保存されうる。このような状態の化石にはどのようなものがあるか、2つの例を挙げなさい。また、それらの化石化のプロセスについて、あわせて4行程度で説明しなさい。

問2 二次化石（誘導化石）とは何か、2行程度で説明しなさい。

問3 分子化石とは何か、古生物学上の意義に言及しつつ、3行程度で説明しなさい。

問4 人類遺跡である貝塚と自然貝層を識別したい。どのような判断基準が考えられるか、3行程度で答えなさい。

問5 炭酸塩補償深度の定義について、2行程度で説明しなさい。また、現在の海洋の遠洋域において、炭酸塩補償深度以深で見られる堆積物の例を2つ挙げなさい。

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を用いて、全て解答しなさい。

問題 1 ある地域には、泥質変成岩と花崗岩が広く分布している。また、泥質変成岩が分布する地域は、代表的な変成鉱物である珪線石 (Sil), 藍晶石 (Ky) と紅柱石 (And) の分布によって、図 1 に示すように 3 つの鉱物帯に分けられる。以下の問 1～問 5 に全て答えなさい。

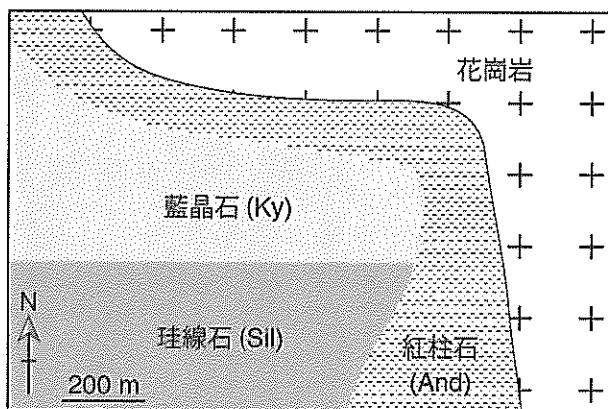


図 1 花崗岩、泥質変成岩と鉱物の分布

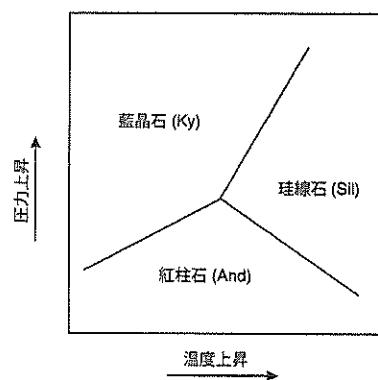


図 2 珪線石 (Sil), 藍晶石 (Ky) および紅柱石 (And) の安定関係を示す模式図

問 1 珪線石 (Sil), 藍晶石 (Ky) と紅柱石 (And) は互いに同質異像の関係にある。同質異像とは何か。この組合せ以外の具体例を 1 つあげて、説明しなさい。

問 2 図 2 を参考にして、珪線石 (Sil), 藍晶石 (Ky) と紅柱石 (And) の標準状態におけるエントロピー ($S_{\text{Sil}}, S_{\text{Ky}}, S_{\text{And}}$) と体積 ($V_{\text{Sil}}, V_{\text{Ky}}, V_{\text{And}}$) を、それぞれ大きい順に左から右に並べて答えなさい。

問 3 図 1 に見られる鉱物の分布の特徴と図 2 の珪線石 (Sil), 藍晶石 (Ky) と紅柱石 (And) の安定関係を考慮して、この地域が経験した変成作用と火成作用の履歴を古い順に簡潔に述べなさい。なお、その様に判断した理由もあわせて述べること。

問4 紅柱石(And)の産する範囲が、この地域の南部では広くなっている。このようになる原因としていくつかの可能性が考えられる。そのうちの1つを答えなさい。

問5 この地域の泥質変成岩で観察される紅柱石(And)の結晶と面構造がつくる微細組織は、図3の(a)と(b)のどちらに近いと推定されるか、理由も添えて答えなさい。

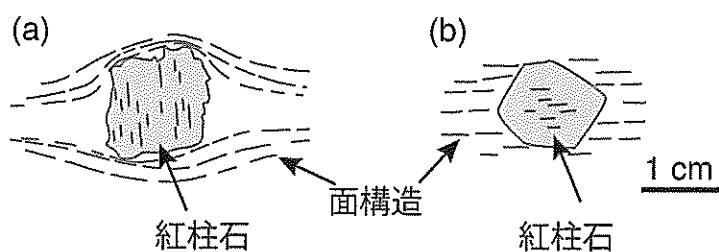


図3 紅柱石の薄片スケッチの例

問題2 表1のaからeは、火成岩を構成する鉱物の化学組成（重量パーセント）である。また、mは、重量比でc, d, eがそれぞれ35%, 30%及び35%含まれる混合物の化学組成である。以下の問1～問4に全て答えなさい。

問1 表1のaからeの鉱物名として最も適切なものを、それぞれ以下の選択肢から選んで答えなさい。

磁鉄鉱 (magnetite)	方解石 (calcite)	カンラン石 (olivine)
斜長石 (plagioclase)	石英 (quartz)	普通輝石 (augite)
チタン鉄鉱 (ilmenite)		

問2 図4は、マグマの化学組成の変化を、横軸に SiO_2 の濃度、縦軸に他の酸化物の濃度をとったものである。図4の(1)から(5)におけるマグマの化学組成を表2に示した。また、図4のmは、混合物の化学組成を示している。この混合物が順次晶出して、(1)の組成のマグマから取り除かれると、マグマの組成はmにおける濃度と(1)における濃度を結ぶ線分(図4の点線)の延長に沿って変化する。(1)のマグマの重量の35%が固結すると、マグマの組成は(2)となる。

(2)のマグマから(3)のマグマへの分化が生じるためには、c, d, eに加え、aまたはbのどちらの鉱物が晶出する必要があるか、理由とともに答えなさい。

問3 マグマの組成が(3)となった時点である鉱物の晶出が終わり、別の鉱物の晶出が始まる。晶出が終わる鉱物と晶出が始まる鉱物がそれぞれ何であるか、aからeの記号で答えなさい。

問4 非アルカリ玄武岩質マグマの分化では、図4および表2に示されるように分化の途中で鉄の濃集が生じるものと、生じないものがある。それぞれ一般に何系列と呼ばれているか答えなさい。また、これら2つの系列の違いが生じる原因はどうのように考えられているか、2行以内で簡潔に答えなさい。

表1 鉱物 a から e および混合物 m の化学組成（重量パーセント）

	鉱物					混合物 m
	a	b	c	d	e	
SiO ₂	0.00	0.00	38.40	54.78	50.50	47.30
TiO ₂	52.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	31.67	11.08
Fe ₂ O ₃	0.00	68.97	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	47.35	31.03	22.96	6.37	0.00	9.95
MgO	0.00	0.00	38.64	18.65	0.00	17.88
CaO	0.00	0.00	0.00	20.20	14.35	12.57
Na ₂ O+K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	3.48	1.22
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表2 マグマの化学組成（重量パーセント）

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
相対的なマグマの重量	100	65	48	35	19
SiO ₂	49.75	50.94	53.23	57.72	70.66
TiO ₂	1.85	2.85	1.80	1.30	0.18
Al ₂ O ₃	13.97	15.52	15.41	14.84	12.84
FeO+0.9Fe ₂ O ₃	11.21	11.89	12.61	10.08	3.43
MgO	9.80	4.78	2.98	2.34	0.25
CaO	10.84	10.71	10.10	9.12	5.82
Na ₂ O+K ₂ O	2.58	3.31	3.87	4.60	6.82
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

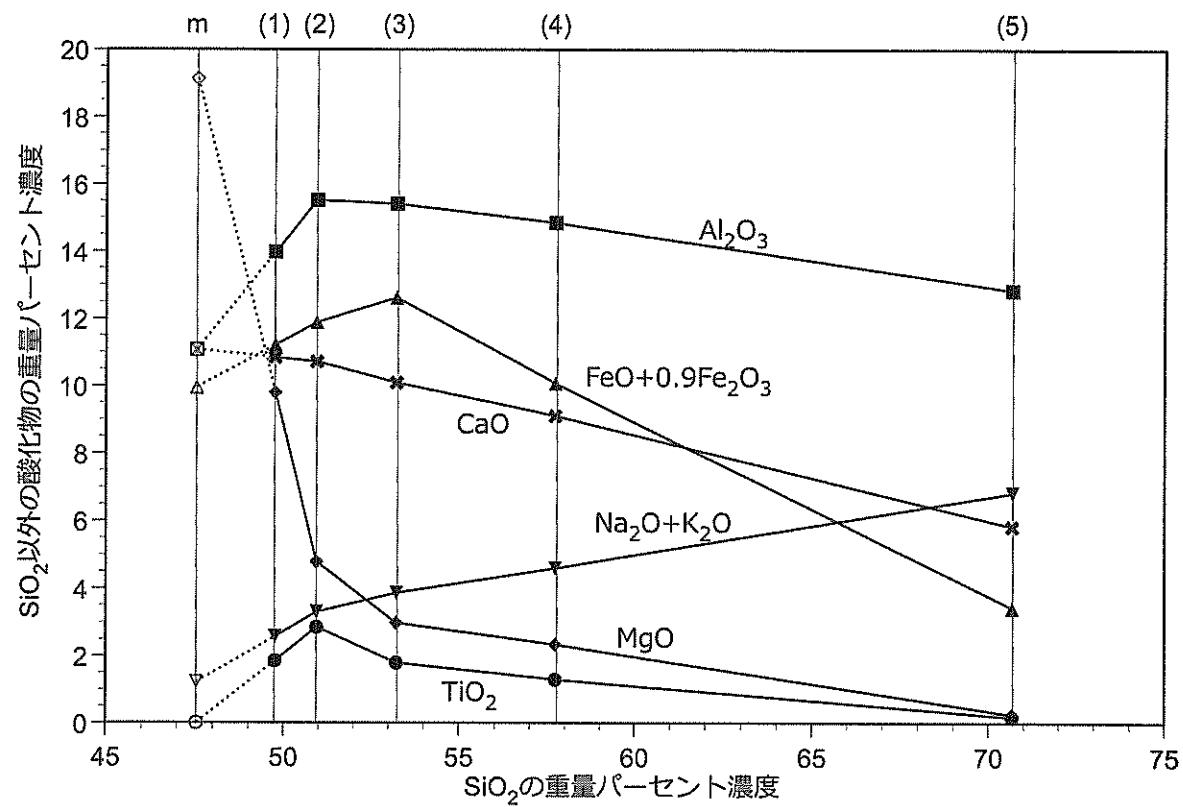


図4 マグマの化学組成の変化

問題3 地球の内部構造は主に地球内部を伝播する地震波の観測データから推定されている。以下の問1～問3に全て答えなさい。

問1 図5は内陸浅部で発生した地震の地点(A)から(D)で観測された波形記録である。以下の(1)～(2)に答えなさい。

- (1) 図5の地震波形記録データから、震源の深さを0km、速度構造を均一と仮定した場合の、P波の伝播速度を求めなさい。なお、解答用紙には計算過程も示すこと。
- (2) この地震の地震波が伝播した震源から観測地点(A)～(D)の範囲内に分布する岩石が同一のものであると仮定した場合、その岩石の薄片写真としてより適切なものは、図6に示された(a), (b)のうち、どちらであると考えられるか、理由を含めて3行程度で答えなさい。

問2 地球内部を伝播する地震波は速度の異方性が生じることが知られている。地震波速度異方性を生じさせると考えられている原因を1つ挙げ、2行程度で説明しなさい。

問3 地球の半径は約6400kmであるが、人類が掘削できる深度はせいぜい数km程度であり、稀な例を除いて地球深部の物質を直接手にすることはできない。掘削不可能な地球深部の構造や構成物質に関する情報を得る研究手法にはどのようなものがあるか、地震波を用いた手法以外で1つ挙げ、その研究手法の内容と、どのような情報が得られるかについて2行程度で説明しなさい。

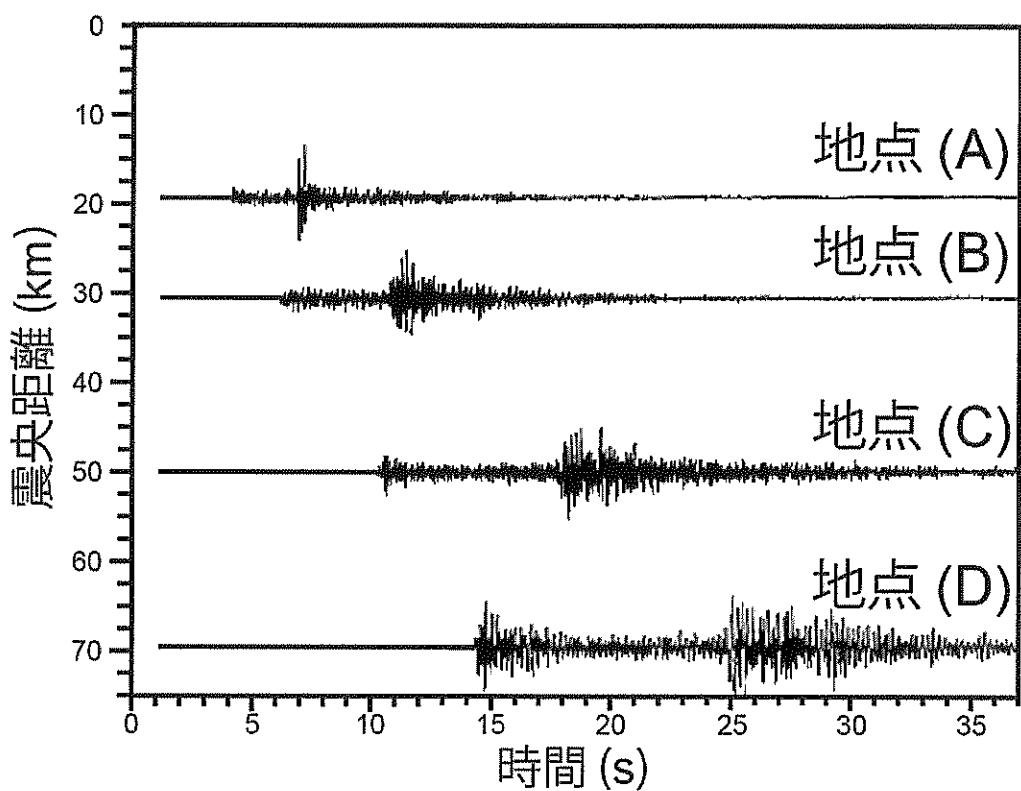


図5 地点 (A) ~ (D)において観測された地震波形

横軸の0は地震が発生した時刻とする。

(現代地球科学入門シリーズ6「地震学」 第3章 図3.1を元に作図)

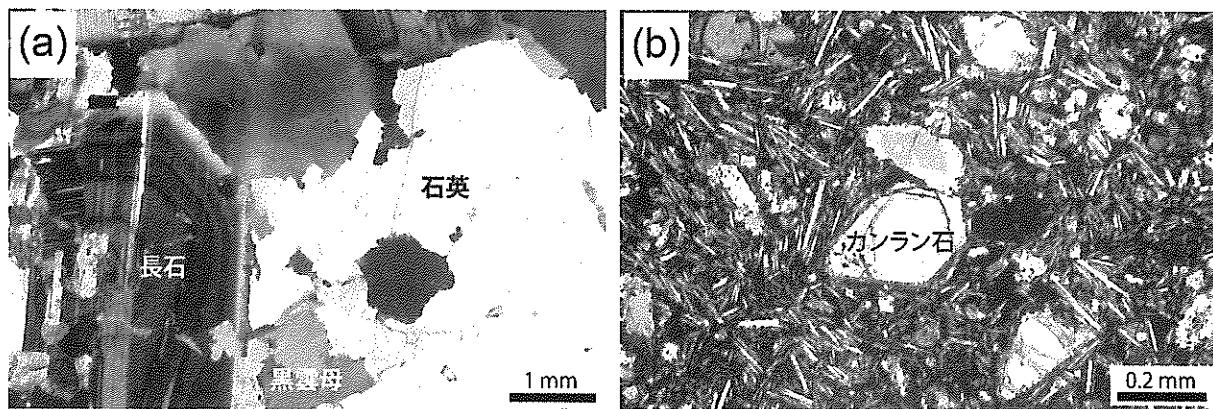


図6 岩石の薄片写真

D (地球科学Ⅲ)

以下の問題1～問題3の全てに解答しなさい。

問題1 下の周期表に示した元素群ならびに元素群に含まれる元素に関する問1～問5に答えなさい。ただし、元素群とは、太い線で囲った範囲に含まれる元素の集まりを示す。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H																	He
Li	Be																
Na	Mg	(4)															
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	*1	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	*2															
(2)										(3)							
(1) (5)																	
*1 La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu																	
*2 Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr																	

問1 (1) 群、(2) 群、(3) 群、(4) と (5) を合わせた元素群は、それぞれどのような名称で呼ばれるか答えなさい。

問2 (1) 群に属する元素は、核やマントルに比べて地殻に濃集している。この元素群が地殻に富むようになったプロセスを 200 字程度で答えなさい。

問3 (2) 群に属する Ir が白亜紀—古第三紀 (K-Pg) 境界層に濃集していることが証拠となり、「巨大隕石の衝突」が恐竜絶滅の引き金になったと言われている。なぜ Ir の濃集がその証拠となるのか？地球の物質分化に伴う Ir の挙動を含めて 200 字程度で説明しなさい。

問4 (3) 群に属する Ar は、地球大気では窒素、酸素に次いで存在度が高く体積比で 0.934% をしめる。この存在度は、同じ (3) 群に含まれる He (体積比で 5.24 ppm) に比べて 3 衍以上高い。この事実をふまえて、現在の大気中の Ar および He の存在度の大きな違いを決定している地球進化におけるメカニズムについて 200 字程度で説明しなさい。

問5 Ca 原子の電子配置が $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^6(4s)^2$ で表されるとし、(4) と (5) を合わせた元素群のうち Y 原子と Eu 原子の電子配置を書きなさい。

問題2 火成岩の年代測定には、Rb-Sr 年代測定法がよく用いられ、その基本式は以下のように示される。Rb-Sr 年代測定法に関する以下の問1～問5に答えなさい。この基本式において、添字 p は現在、添字 0 は岩石形成時を示す。また、 λ は ^{87}Rb の壊変定数、 t は岩石の年代である。

$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_p = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0 + \left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}\right)_p \times (e^{\lambda t} - 1)$$

問1 上記基本式は、 ^{87}Rb の放射壊変から導かれる式を ^{86}Sr で割ることにより求められる。年代測定に当たって、なぜ ^{86}Sr で割る必要があるのか、200字程度で説明しなさい。

問2 Rb-Sr 年代測定法では、同時に生成した複数試料の分析が必要である。年代の求め方には、「鉱物年代」と「全岩年代」がある。一般的に、どちらの年代がより精度が高いと言えるか、理由とともに200字程度で答えなさい。

問3 同じ火成岩について問2の「鉱物年代」と「全岩年代」を求めるとき、「鉱物年代」の方が若くなる場合がある。なぜこのようなことが起きるのか、考えられる地質現象を含めて200字程度で説明しなさい。

問4 ある岩石から分離した黒雲母の $\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)$ 原子数比を測定したところ 1.5250 が得られた。この黒雲母に含まれる Sr の原子量を求めなさい。ただし、Sr には4つの同位体があり、各同位体の原子質量は $^{84}\text{Sr} = 83.9134\text{ u}$, $^{86}\text{Sr} = 85.9092\text{ u}$, $^{87}\text{Sr} = 86.9089\text{ u}$, $^{88}\text{Sr} = 87.9056\text{ u}$ である。 ^{87}Sr 以外の Sr 同位体は、放射壊変に関係しないため、 $\left(\frac{^{84}\text{Sr}}{^{88}\text{Sr}}\right)$ 原子数比と $\left(\frac{^{86}\text{Sr}}{^{88}\text{Sr}}\right)$ 原子数比は、それぞれ 0.0068, 0.1194 で一定とみなせる。

問5 問4の黒雲母の Sr 含有量が 30 ppm, Rb 含有量が 465 ppm であった。Rb の原子量を 85.4677 u , ^{87}Rb の存在比を 72.17%とした時、 $\left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}\right)$ 原子数比の値を求めなさい。

問題3 火山ガスを凝縮し、凝縮水として研究室に持ち帰って pH を測定したところ 5.3 であった。以下の問 1 と問 2 に答えなさい。

問 1 この凝縮水に含まれる硫酸イオン SO_4^{2-} と硫酸水素イオン HSO_4^- の濃度比 $\frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{HSO}_4^-]}$ を有効数字 2 柱で答えなさい。ただし、硫酸の第 2 解離定数 K_2 は 1.2×10^{-2} である。

問 2 この凝縮水に含まれる炭酸分子 H_2CO_3 ならびに重炭酸イオン HCO_3^- 、炭酸イオン CO_3^{2-} のうち、重炭酸イオンは全炭酸の何パーセントをしめるか。小数点以下第一位まで求めなさい。ただし、炭酸の第 1 解離定数 K_1 は 4.6×10^{-7} 、第 2 解離定数 K_2 は 4.4×10^{-11} とする。

E (物理学)

以下の問題1, 問題2, 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 空欄 から にはあてはまる式を, にはあてはまる文を入れて, 惯性モーメントに関する下の文章を完成させなさい。

「質量 M の剛体の, 質量中心 G を通るある軸のまわりの慣性モーメント I_G が知られているとき, この軸と平行で距離 d 離れた軸のまわりの慣性モーメントを I とすると, $I = I_G + Md^2$, が成り立つ。」

この定理は以下のように証明することができる。

図1のように, Z 軸が質量中心 G を通る XYZ 直交座標系, およびこれを平行移動した xyz 直交座標系をとる。 Z 軸と z 軸の距離を d とし, それぞれの軸のまわりの慣性モーメント I_G と I を考える。剛体内の任意の点 P について, それぞれの座標系での座標を, (X_P, Y_P, Z_P) , (x_P, y_P, z_P) とする。また, xyz 座標系における質量中心 G の座標を (x_G, y_G, z_G) とする。点 P と Z 軸および z 軸との距離をそれぞれ R , r とし, 点 P 近傍の微小部分の体積を dv , 密度を ρ とすると, これらの量を用いてそれぞれの軸のまわりの慣性モーメントは, 定義によって,

$$I_G = \int \boxed{\text{ア}} dv, \quad I = \int \boxed{\text{イ}} dv,$$

と表される。ただし積分は剛体の全体積に関する積分である。 R^2 と r^2 をそれぞれ XYZ 座標系と xyz 座標系における点 P の座標を用いて表すと

$$R^2 = \boxed{\text{ウ}}, \quad r^2 = \boxed{\text{エ}}.$$

ここで x_P, y_P, x_G, y_G を用いて, X_P, Y_P は $X_P = \boxed{\text{オ}}$, $Y_P = \boxed{\text{カ}}$ と表される。

よって $r^2 = \boxed{\text{エ}}$ の右辺を X_P, Y_P, x_G, y_G を用いて表すと,

$$r^2 = \boxed{\text{キ}}.$$

これを $I = \int \boxed{\text{イ}} dv$ に代入すると,

$$I = \boxed{\text{ク}},$$

と表される。ここで, $M = \int \rho dv$, $x_G^2 + y_G^2 = \boxed{\text{ケ}}$ であり, $\int X_P \rho dv$, $\int Y_P \rho dv$ は $\boxed{\text{コ}}$ という理由でゼロであることから,

$$I = I_G + Md^2,$$

が求まる。

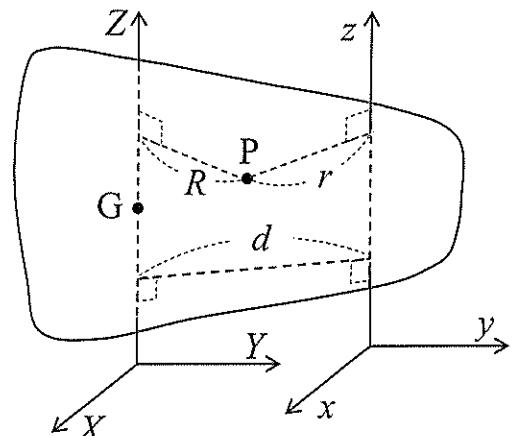


図1

問題2 質点の運動に関する以下の問1～問2に答えなさい。

問1 一様重力場（重力加速度 \mathbf{g} の大きさ g ）のもとで、摩擦の無い下に凸な曲面に沿って滑る質点（質量 m ）の運動を考える。図2に示す通り、点Oを原点とし、 x 軸を水平方向、 y 軸を鉛直方向とする座標系において、曲面の形状が $y = \frac{x^2}{2l}$ (l は定数) と表されるとする。質点の運動は、 xy 平面内に限られるとする。以下の(1)～(3)の問い合わせに答えなさい。

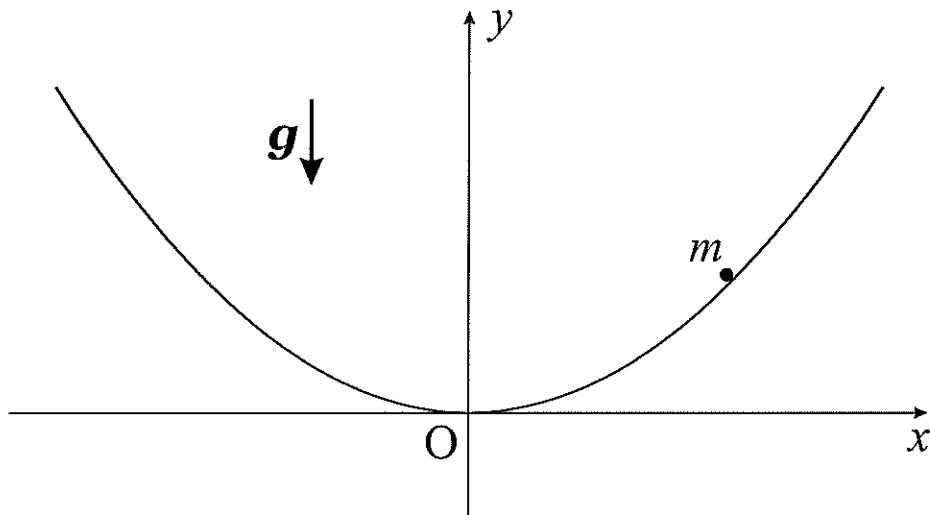


図2

(1) 質点についての運動方程式を示しなさい。ただし、質点が曲面から受ける垂直抗力の大きさを N とする。

(2) 質点の力学的エネルギーが保存されることを示しなさい。

(3) 質点が $x=0$ 付近で微小振動するときの周期を求めなさい。このとき、微小振動は単振動として近似できるものとする。

問2 問1において、曲面の形状が一般的に $y = u(x)$ と表される場合を考える。ただし、 $u(x)$ は $x=0$ で極小値 $u(0)=0$ をとり、かつ二階導関数が $u''(0) \neq 0$ である滑らかな関数とする。質点が $x=0$ 付近で微小振動するときの周期を求めなさい。このとき、微小振動は単振動として近似できるものとする。

問題3 気体の準静的断熱過程に関する以下の問1～問4に答えなさい。ただし、次の二つの熱力学関係式

$$TdS = dU + pdV$$

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

を用いてよい。ここで、 V 、 p 、 T 、 U 、 S はそれぞれ、体積、圧力、温度、内部エネルギー、エントロピーとする。また、気体定数を R とし、理想気体およびvan der Waals気体における1 molあたりの定積熱容量 $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ は定数とみなしてよい。

問1 状態方程式 $pV = RT$ に従う 1 mol の理想気体では、 $dU = C_V dT$ となることを示しなさい。

問2 1 mol の理想気体の準静的断熱過程 ($dS = 0$) において、 $TV^{\frac{R}{C_V}} = \text{const.}$ (定数) の関係が成り立つことを示しなさい。

問3 状態方程式 $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$ (a 、 b は定数) に従う 1 mol の van der Waals 気体の準静的断熱過程 ($dS = 0$) において、 $T(V - b)^{\frac{R}{C_V}} = \text{const.}$ (定数) の関係が成り立つことを示しなさい。

問4 次に、光子の集団により熱放射場を表現する光子気体の準静的断熱過程について考える。状態方程式 $pV = \frac{U}{3}$ に従い、内部エネルギーが $U = \alpha T^4 V$ (α は定数) となる光子気体の準静的断熱過程 ($dS = 0$) において、 $T^3 V = \text{const.}$ (定数) の関係が成り立つことを示しなさい。

F (化学)

以下の問題1～問題3を全て解答しなさい。解答用紙には導出過程も書きなさい。解答にあたり、必要ならば次の値を用いなさい。原子量：H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Si = 28.0, S = 32.0, Ca = 40.0, Ge = 72.6, Se = 79.0, Sn = 118.7, Te = 127.6。

問題1 炭酸カルシウムを密閉容器に入れ、容器内を真空にした後で高温になると、熱分解反応が起こり、気体Aと白色固体Bが生成される。十分多量の炭酸カルシウムを密閉容器に入れて温度を変化させながら熱分解実験を行い、反応が平衡に達したときの気体Aの圧力を測定したところ、800 K, 1000 K, 1200 K, 1300 Kの場合で、それぞれ 4×10^1 Pa, 3×10^3 Pa, 1×10^5 Pa, 4×10^5 Pa であった。以下の問1～問3に答えなさい。

問1 下線部の気体Aおよび白色固体Bの化学式を答えなさい。

問2 (a) 0.02 mol L⁻¹ の水酸化カルシウム飽和水溶液に気体Aを反応させると、(b) 水溶液は白濁した。この白濁した水溶液に、さらに気体Aを吹き込み反応させると、(c) 水溶液は透明になった。水のイオン積を 1×10^{-14} mol² L⁻², $\log_{10} 2 = 0.3$ として、以下の(1)～(3)に答えなさい。

(1) 下線部(a)のpHを求めなさい。

(2) 下線部(b)の反応式を書きなさい。

(3) 下線部(c)の反応式を書きなさい。

問3 炭酸カルシウム1 gを容積2 Lの密閉容器に入れ、容器内を真空にした後、800 K, 1000 K, 1200 K, 1300 Kにした時のそれぞれの密閉容器内の圧力(Pa)を有効数字一桁で答えなさい。ただし、気体は全て理想気体として取り扱えるものとし、1 molの気体の圧力p, 体積V, および絶対温度Tの間には $pV = RT$ という関係が成り立つものとする。また、気体定数Rは8.3 JK⁻¹mol⁻¹とする。

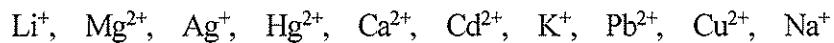
問題2 次の表は、周期表 14 族元素および 16 族元素の水素化合物と、1013 hPa におけるその化合物の沸点を示している。これに関する以下の問1～問6に答えなさい。

14 族元素の水素化合物		16 族元素の水素化合物	
分子式	沸点 (°C)	分子式	沸点 (°C)
CH ₄	-162	H ₂ O	100
SiH ₄	-112	H ₂ S	-61
GeH ₄	-90	H ₂ Se	-41
SnH ₄	-52	H ₂ Te	-2

問1 太枠で囲った四つの分子のうち、臭気のある分子を二つ挙げ、分子式で答えなさい。

問2 CH₄ と H₂O の分子構造について、それぞれ説明しなさい。図を用いてもよい。

問3 水溶液中で H₂S と反応して沈殿物を生成し得るイオンを以下より五つ選び、それらの沈殿物の化学式を答えなさい。



問4 CH₄ を標準温度(25 °C)で燃焼させたときのエンタルピーの変化(ΔH°)が -891 kJ mol⁻¹, CH₄ および H₂O の標準温度における標準生成エンタルピー($\Delta H_{m\circ}^\circ$)が、それぞれ -75 kJ mol⁻¹ および -286 kJ mol⁻¹ であるとき、CO₂ の標準温度における標準生成エンタルピー($\Delta H_{m\circ}^\circ$)を求めなさい。

問5 14 族元素の水素化合物について、CH₄, SiH₄, GeH₄, SnH₄ の順に沸点が高くなる理由を 100 字程度で説明しなさい。

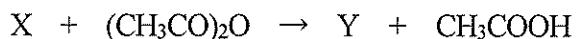
問6 同周期の 16 族元素の水素化合物と 14 族元素の水素化合物を比較した場合、前者が後者に比べて沸点が高い理由を 200 字程度で説明しなさい。

問題3 カルボキシル基1個を有し、炭素、水素、酸素、窒素から成る中性アミノ酸Xがある。Xを使って次の三つの実験を行った。これに関する以下の問1～問5に答えなさい。

【実験1】 15.0 mg のXを十分多量の酸化銅(II)CuOと混ぜて加熱燃焼させたところ、水が9.0 mg、二酸化炭素が17.6 mg 得られた。

【実験2】 15.0 mg のXに、硫酸、硫酸カリウム及び硫酸銅を加えて加熱して分解したところ、含まれていた窒素は全て硫酸アンモニウムとなった。続いて、水酸化ナトリウム水溶液を加えてアルカリ性にして蒸留し、発生した全てのアンモニアを25 mmol L⁻¹の塩酸50 mL中に吸収させた。その溶液全てを、50 mmol L⁻¹の水酸化ナトリウム溶液で滴定したところ、21.0 mLを要した。

【実験3】 1.00 g のXを無水酢酸と反応させたところ、以下の反応が完全に進行し、Xの窒素原子に結合している水素原子がアセチル基で置換された化合物Yが1.56 g生成された。



酸性物質である化合物Yを1.00 gとて水に溶かし、0.50 mol L⁻¹の水酸化ナトリウム溶液で滴定したところ、17.1 mLを要した。

問1 実験1の結果を用いて、Xの水素および炭素含有率(重量%)を求めなさい。

問2 実験2の結果を用いて、Xの窒素含有率(重量%)を求めなさい。

問3 Xの組成式を求めなさい。

問4 実験3の結果を用いて、Xの分子量を求めなさい。

問5 Xの分子式と構造式および名前を答えなさい。

G (生物学)

以下の問題1と問題2を、それぞれ別の解答用紙を用いて、全て解答しなさい。

問題1 生物多様性や生態系に関する問1～問4を解答しなさい。

問1 生物多様性ホットスポットとは何かを説明し(100字以内)、具体的な地域名あるいは国名を2つあげなさい。

問2 遺伝的多様性が個体群の維持にとって有利な理由を説明しなさい (100字以内)。

問3 図1は陸域生態系の食物連鎖における各栄養段階のバイオマスを模式化したものである。この図で表したように、陸域生態系における栄養段階の数は3～4段になることが多い。そのように栄養段階の数が制限される理由についてはいくつかの仮説が提案されている。そのうちの一つを説明しなさい (150字以内)。

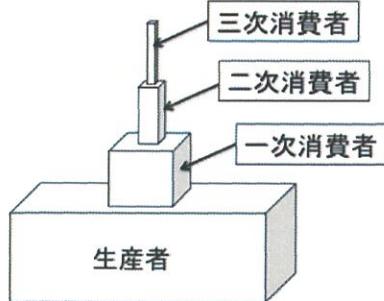


図1. 陸域生態系の食物連鎖におけるバイオマスの模式図。

(ボックスの大きさはバイオマスのサイズを表す)

問4 分解者に関する以下の問(1), (2)を解答しなさい。

(1) 分解者とされる生物群を下記から2つ選びなさい。

[菌類, 独立栄養細菌, 従属栄養細菌, 鳥類, 両生類, 褐藻類]

(2) 物質循環の観点から、生態系における分解者の役割について説明しなさい(150字以内)。

問題2 タンパク質に関する次の文章を読み、問1～問5を解答しなさい。解答にあたり必要ならば次の値を用いなさい。

原子量: H=1.0, C=12.0, N=14.0, O=16.0

タンパク質はペプチド鎖をもつ高分子化合物であり、多数のアミノ酸残基を含んでいる。そして、ポリペプチド鎖のみから成り立つタンパク質は単純タンパク質と呼ばれている。

生体内で生成される単純タンパク質は、20種類のアミノ酸を基本的な構成単位としている。そして、構成するアミノ酸の数や結合する順序の違いによって種類が異なるため、単純タンパク質は非常に多くの種類がある。例えば、10個のアミノ酸が結合した単純タンパク質は、計算上10兆を超える種類が考えられる。

また、20種類のアミノ酸はそれぞれ特有の側鎖をもち、化学的に異なる性質をもっている。これら側鎖の性質によってアミノ酸が互いにひきつけあったり反発したりするため、単純タンパク質は固有の3次元構造をもつ。そして、タンパク質の機能は、その構造と密接に関係している。

問1 図2は、生体と原形質(細胞質と核)の構成成分の割合をA～Eとして示す。成分A～Eの中からタンパク質を選び、その理由を100字以上200字以内で説明しなさい。

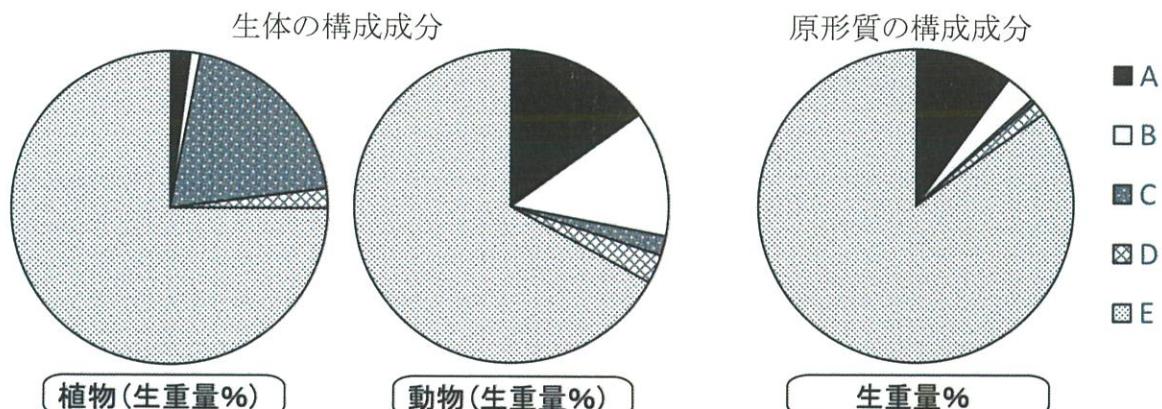


図2. 生体と原形質の構成成分。

問2 分子量51018の単純タンパク質に含まれるアミノ酸残基数を計算しなさい。ただし、このタンパク質を構成するアミノ酸の側鎖の平均分子量は64とする。

問3 20個のアミノ酸が結合した単純タンパク質は計算上何種類あるか答えなさい。ただし、計算過程も示し、その結果は有効数字3桁で表すこと。

問4 タンパク質は生物学的機能に応じて、(1)構造タンパク質、(2)貯蔵タンパク質、(3)

収縮タンパク質, (4)輸送タンパク質などに分類することができる。(1)～(4)の中から2種類を選び, それらの機能をそれぞれ30字以内で説明しなさい.

問5 タンパク質は, DNA の遺伝情報をもとに細胞内で合成される. 細胞内でのタンパク質合成の過程を記述, または図示しなさい. ただし, 以下の用語を全て使用して記述, または図を作成すること.

[tRNA, アミノ酸, コドン, 転写, mRNA, リボソーム, 核,
RNA ポリメラーゼ, 翻訳, 細胞質, アンチコドン, DNA]

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 次の行列の行列式の値と逆行列を求めなさい。

問1
$$\begin{pmatrix} 2 & 3 & -1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 1 & -2 & 5 \end{pmatrix}$$

問2
$$\begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 4 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

問題2 次の定積分の値を求めなさい。

問1
$$\int_1^e (\log_e x)^2 dx$$

問2
$$\int_0^2 \frac{2}{\sqrt{4-x^2}} dx$$

問題3 次の常微分方程式を解きなさい。

問1
$$\frac{dy}{dx} - 2y = \cos x$$

問2
$$(x+y) \frac{dy}{dx} = (x-y)$$

問題4 関数 $f(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ を次のように定義する。

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

ここで i は虚数単位、 t と ω は実数である。以下の問い合わせに答えなさい。

問1 $f(t), g(t)$ のフーリエ変換をそれぞれ $F(\omega), G(\omega)$ とするとき、
 $f(t), g(t)$ の線形結合 $\alpha f(t) + \beta g(t)$ のフーリエ変換は、それぞれのフーリエ変換の線形結合 $\alpha F(\omega) + \beta G(\omega)$ となることを示しなさい。なお、 α, β は定数である。

問 2 $f(t), g(t)$ のフーリエ変換をそれぞれ $F(\omega), G(\omega)$ とするとき, $f(t), g(t)$ のたたみ込み積分 $(f * g)(t)$ のフーリエ変換は, それぞれのフーリエ変換の積 $F(\omega)G(\omega)$ となることを示しなさい. なお, たたみ込み積分は次の式で定義される.

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(s)g(t-s)ds$$

問題 5 ある事象 A が起きる確率を p とし, 事象 A が起きたかどうかに着目して試行を繰り返す. その試行が独立試行である場合には, 確率関数 W_x は以下の二項分布で表現される.

$$W_x = {}_nC_x p^x(1-p)^{n-x} \quad (1)$$

ここで, n は試行の回数, x は事象 A が起きる回数である. 以下の問い合わせに答えなさい.

問 1 二項分布において, $np \equiv \mu$ と定義し, μ を有限のまま p を小さく (n を大きく) した極限の確率関数は, 以下の式で示されるポアソン分布となる.

$$W_x = \frac{\mu^x}{x!} e^{-\mu} \quad (2)$$

式(1)から式(2)を導きなさい. なお, 実数 λ に対し指数関数 e^λ は自然数 n の極限を用いて次の式で定義される.

$$e^\lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{\lambda}{n}\right)^n$$

問 2 容積 V の容器内に M 個の気体分子がランダムに存在するとき, 容器内の体積 v の領域 ($v < V$) に m 個の気体分子が存在する確率を求めなさい.