

早稲田大学 教育学部
2024年度 入試問題の訂正内容

<一般選抜<C方式>>

【理科（地球科学専修）】

●問題冊子5ページ：問7 5行目

(誤)その到達日時は.

(正)その到達日時は

※「.」をトル

以上

理 科 (地)

(問 題)

2024年度

〈2024 R06180015 (理科 (地))〉

注 意 事 項

1. 試験開始の指示があるまで、問題冊子および解答用紙には手を触れないこと。
2. 問題は2～12ページに記載されている。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせること。
3. 解答はすべて、HBの黒鉛筆またはHBのシャープペンシルで記入すること。
4. 記述解答用紙記入上の注意
 - (1) 記述解答用紙の所定欄（2カ所）に、氏名および受験番号を正確に丁寧に記入すること。
 - (2) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
 - (3) 受験番号の記入にあたっては、次の数字見本にしたがい、読みやすいように、正確に丁寧に記入すること。

数 字 見 本	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

5. 解答はすべて所定の解答欄に記入すること。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
6. 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離さないこと。
7. 試験終了の指示が出たら、すぐに解答をやめ、筆記用具を置き解答用紙を裏返しにすること。
8. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。
9. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

I トンガ噴火と潮位変動に関する次の文章を読んで、問1～問8に答えよ。

2022年1月15日13時ごろ（日本時間）、南太平洋のトンガ諸島のフンガ・トンガ＝フンガ・ハアパイ火山で大規模な海底噴火が発生した。気象庁は即時に日本への影響を解析し、早ければ15日21時ごろに多少の潮位変化があるかもしれないが、被害の心配はないと発表した。

ところが、想定より1時間以上早い時期に小笠原諸島で潮位の変動が観測され、その後、鹿児島や岩手でも1メートルを超える潮位変化が観測された。また、この現象は、奇妙なことに、日本における2hPa程度の気圧の一時的な変化を伴っていた（図1）。

何が起きているのかが不明のまま、気象庁は、地震に伴う津波警報という既存の仕組みを使って、翌16日0時に日本全国に「津波警報・注意報」を発表した。各報道機関も15日19時ごろ「被害の心配はない」という一報を報道した後、16日0時ごろには「津波警報が出たので避難」を呼びかける報道に切り替え、原因についても、「トンガで起きた火山が関連している可能性があるが原因は不明」だとするやや混乱した報道が出された。今回の事変では、実際の被害は少なかったものの、今後の安全確保のためにも、何が起きたのかその原因の究明が必要であり、正確な情報伝達も必須となる。

その後、専門家による解析が進み、今回の潮位変動は津波ではなく、トンガの火山噴火による「大気波動の一種であるラム波の伝播によるもの」だという指摘が数多く報告された。台風による「うねり」や地震による「津波」ではない、想定外の原因による潮位変動が発生したことになる。

ここでは、最初に海面上を伝播する一般的な波の性質を確認して、今回の火山噴火による大気波動によって引き起こされた波との違いを考察していく。

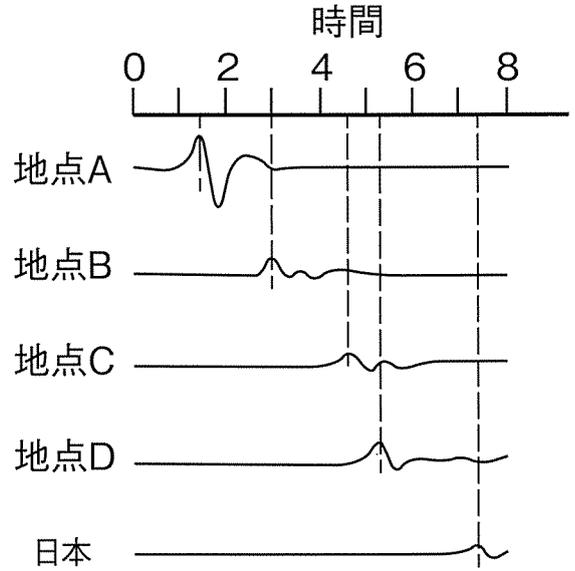


図1 噴火後、太平洋の各地点、および、日本における気圧変動の様子 (Kubota et al., 2022, Science, 377, 91-94 より引用)。

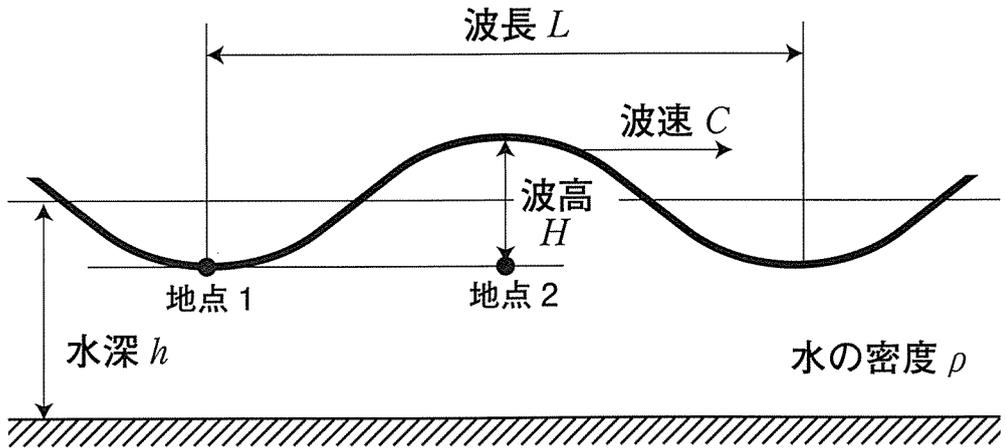


図2 波の各要素。

図2では、水面に発生した波（三角関数に近似）の各要素が示されている。このうち、波高（ H ）と波長（ L ）が波の大きさを示す要素になる。また、波の伝播を示す要素としては、波速（ C ）と周期（ T ）がある。周期とは、波の峰から峰（もしくは波の谷から谷）が通過に要する時間である。

波が振幅・伝播する原動力は、重力（あるいは表面張力）による復元力であり、これは波による盛り上がった部分や、

へこんだ部分が平らな安定した状態に復元しようとする力である。例えば、図2の地点1は波のない平坦な状態より水圧が低くなっている、地点2は平坦な状態より水圧が高くなっている。したがって、地点2上部の水粒子は水圧によって下方向（ないしは谷方向）に移動し、地点1の水粒子は上方向（ないしは峰方向）に移動することになる。この連動によって波が振幅・伝播するのである。この水粒子の振動を波の通過とともに追跡すると、図3Aのように、その場で円運動をしていることになり、波の伝播とともに水粒子も移動しているわけではない。

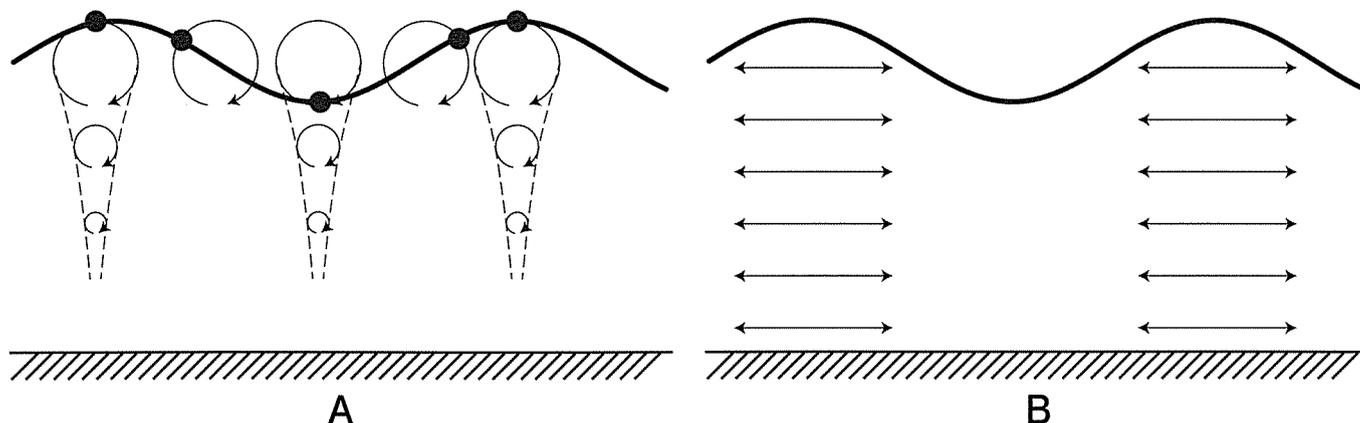


図3 深水波 (A) と長波 (B) のイメージ。

さて、今まで言及してきた図3Aの波は「深水波^{注1}」とよばれる波である。深水波では、水面に発生した円運動が、直径が小さくなりつつ円運動のまま水中に伝播する。 $h = L/2$ の水深では、水粒子の円運動は4%まで減衰するので、これ以深の水深ではほぼ波の影響が海底に及ばないと考えて良い。風が原因で沖合に発生・発達する「風波」や「うねり」が深水波の代表例である。風波やうねりの波長は、 $L = 10^1 \sim 10^2$ m のオーダーになる。

一方で、図3Bのように波の影響が海底面にまで及ぶことがあり（水深が波長の1/25より浅い波）、このような波を「長波^{注2}」とよぶ。この場合、海底面では水粒子が上下方向に動くことができないので、水平方向の往復運動になる。長波では、この海底面の水平な往復運動がそのまま水面まで波及する。「津波」は長波の代表例である。津波の波長は、 $L = 10^4 \sim 10^5$ m のオーダーになる。

深水波と長波の波長は、それぞれ式1と式2になる（ただし、重力加速度を g とする）。ここから深水波と長波の、単一波の波速も求める。

$$\text{深水波： } L = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (\text{式1})$$

$$\text{長波： } L = T \sqrt{gh} \quad (\text{式2})$$

しかしながら、深水波は周期（波長）が微妙に異なる多数の波の群からなっており、このような波の群が全体として進行する速度を群速度といい、群速度は、上記の単一波の波速の1/2になる。

注1 深水波は深海波と称することもある。

注2 長波は浅水波と称することもある。

問1 下線部aに関して、周期 (T) を図2の波の各要素の記号を使って答えよ。

問2 下線部bに関して、地点1と地点2が平坦な状態よりどれだけ水圧が変化しているのかその絶対値を図2の波の各要素の記号を使って答えよ。

問3 下線部cに関して、深水波と長波の波速を求めよ。

問4 以下の文章ア～カから、深水波と長波に関する記述として、それぞれに対してふさわしいものを全て選べ。

- ア $L/h = 25$ 程度の時に発生する波である。
- イ $L/h = 1$ 程度の時に発生する波である。
- ウ 水深が深いほど、伝播速度が速くなる波である。
- エ 水深が浅いほど、伝播速度が速くなる波である。
- オ 波長が長いほど、伝播速度が速くなる波である。
- カ 波長が短いほど、伝播速度が速くなる波である。

問5 ある一地点にて複数の波長（周期）の波が発生したとする。それらが深水波であった場合と、長波であった場合、その合成された波形は、それぞれ伝播とともにどうなるのか答えよ。

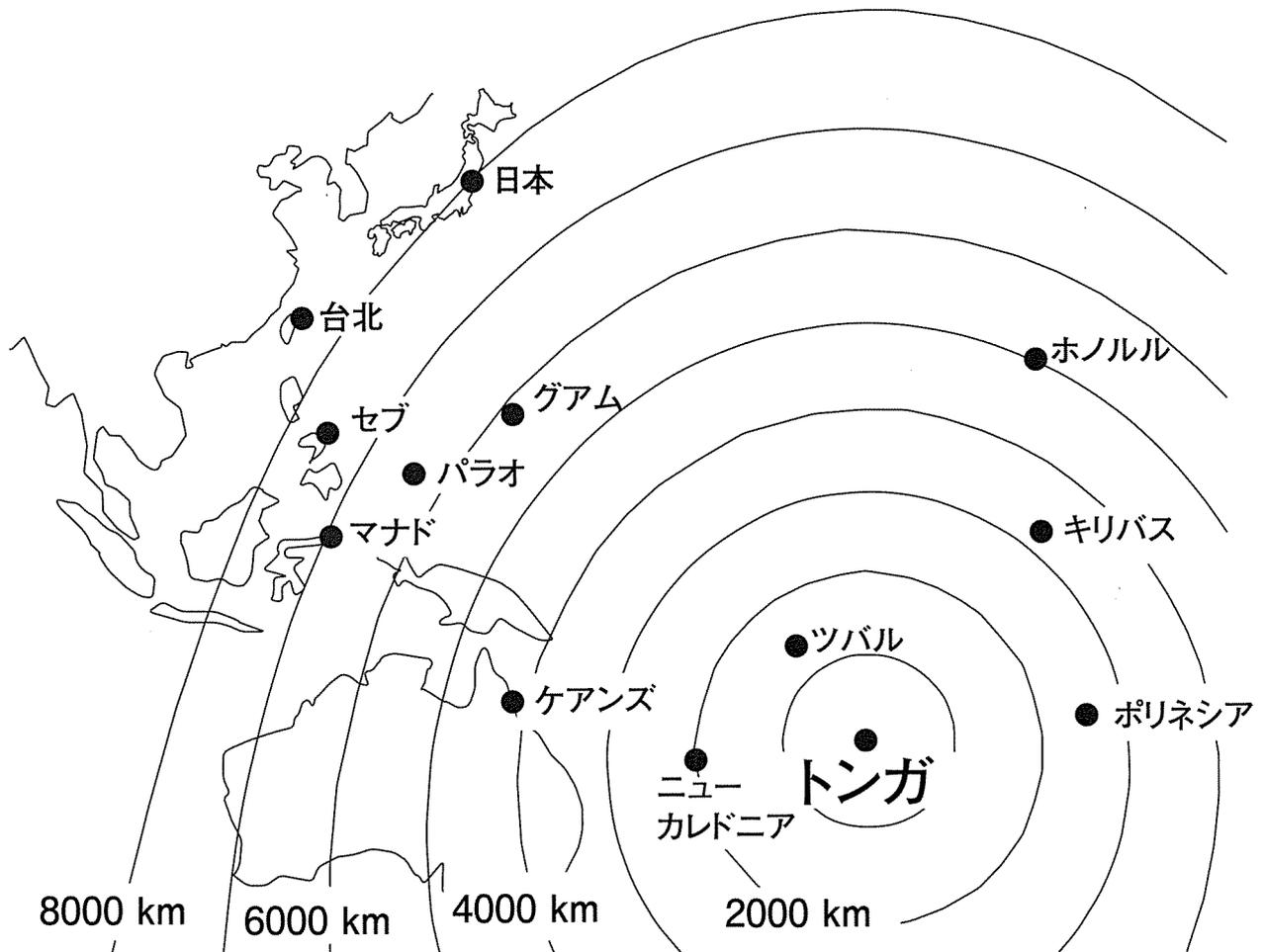


図4 トンガからの距離を示した地図。

問6 1月15日13時ごろにトンガ諸島の火山噴火で発生した海面の潮位変化は、うねりによる深水波でもなく、津波による長波でもなかったと考えられている。図4のトンガの位置にてうねりと津波が発生したとすると、日本に到達するのは何時間後になるのか、小数点第一位を四捨五入した値を答えよ。ただし、うねりは下線部dで示した群速度で伝播するとし、かつ、その周期は12秒だったとする。また、太平洋の水深は一律4500mだったと仮定し、重力加速度は 9.8 m/s^2 、円周率は3.1、44100の平方根は210とする。

問7 トンガ諸島の火山噴火で発生した波は、実際には「大気波動の一種であるラム波」に起因するものであったと考えられている。図4を参考にして、このことを考察した以下の文章の空欄を埋めよ。

1月15日13時ごろにトンガ諸島でうねりが発生し、減衰することなく日本に到達した場合、その到達日時は 日 時ごろになる。また、同様にトンガ諸島で津波が発生した場合、減衰することなく日本に到達した場合、その到達日時は、 日 時ごろになる。一方で、ラム波の速度は300 m/s程度であり、1月15日13時ごろにトンガ諸島でラム波が発生した場合、日本に到達する日時は 日 時30分程度になり、これは、図1の気圧変動の実測値と一致している。したがって、今回の潮位変化は、火山噴火に起因するラム波が第一波として日本に到達し、その後、ラム波と海の波が共鳴（プライドマン共鳴）した第二波以降が1 mを超える潮位変化をもたらしたのだと考えられている。

問8 ラム波は大気と海洋の境界面にて二次元的に伝播される波である。このため、上空にエネルギーが拡散することがなく、遠方まで伝播しやすい。事実、このラム波による気圧変動は、図1に示したように太平洋の各地で観測された。図1の地点A～Dに該当する地域名を図4から選び答えよ。

マントルと地殻における火成作用と元素の挙動に関する次の文章を読んで、問1～問4に答えよ。

地球は表層部から順に、地殻、マントル、コアで構成される。地殻とマントルでは、火成作用、堆積作用、変成作用^aといった現象が発生している。地球化学的な観点からすると、3つの現象の各々が、固体地球の構成物の化学組成の多様性を生み出している。火成作用は「岩石溶融によるマグマの発生」と「発生したマグマの分化」を通じて、多様性の生成に貢献している。マグマの分化とは、最初に存在するマグマから別の化学組成のマグマが作られる現象であり、最も代表的なのは結晶分化作用である。

岩石溶融によるマグマの発生過程では、鉱物集合体である岩石が部分溶融する（図1 AおよびAの拡大図）。天然に産する結晶を鉱物という。部分溶融とは全体が溶融せずの一部が溶融することである。岩石は複数の鉱物から構成されるため、溶融開始の温度と全体が溶融する温度の差が数100℃もある。地下で岩石の温度を数100℃上げることは難しいため、部分溶融によるマグマ発生が一般的である。部分溶融した岩石内では、「固相である鉱物」と「液相であるメルト（溶融体）」が共存する。とけ残った鉱物の集合体からメルトが分離し、ある離れた場所に集まってたまと（図1 B）、新たなマグマが発生したという。結晶分化作用が起きるとき、マグマはメルトの他に鉱物を含むようになっている（図2 A）。鉱物は温度低下によりマグマのメルト部分から晶出したものである。つまりメルトを構成していた元素が析出したものである。マグマは多くの元素から構成されるため、複数の種類の鉱物が同時に晶出することも多い。ある種の鉱物がマグマから晶出した瞬間、それはマグマ全体に均等に存在しているはずである（図2 A）。その鉱物がメルトに対し相対運動をする場合、時間の経過と共に、マグマの中には、その鉱物に富む部分と乏しい部分が発生する（図2 B）。このように鉱物とメルトが分離して、最初に存在するマグマとは異なる化学組成のマグマが作り出される過程のことを結晶分化作用という。岩石溶融によるマグマの発生と結晶分化作用の両方に共通するのは、鉱物とメルトの分離である（図1、2）。鉱物とメルトは互いに異なる化学組成をもつため、それらの分離により、最初に存在する物質（岩石およびマグマ）とは異なる化学組成をもつマグマが作られる。

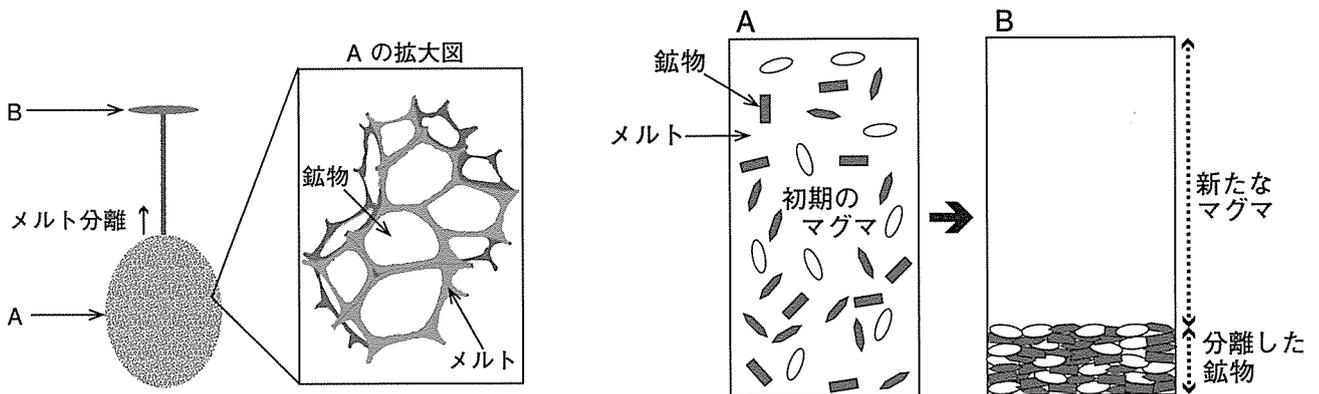


図1 部分溶融した岩石 (A) と発生したマグマ (B) の模式図。

図2 結晶分化作用の模式図。Aは初期状態を、Bは鉱物とメルトの分離後（全ての鉱物種が沈降する場合）を描いている。

岩石溶融によるマグマ発生や、結晶分化作用の実態を探る上で、物質収支計算を用いることがある。ここでの物質収支^bとは、新たなマグマが生み出される前後で、個々の元素の質量が保存されることを前提とする。最初に存在する物質（岩石およびマグマ）、そこから分離する鉱物、新たに生み出されるマグマの間には、構成元素の濃度を示した図において一定の関係がある（図3）。マグマや火成岩に含まれる元素は、それらのバルク^cでの濃度に応じて、主成分元素と微量成分元素に分けて扱われる。一般的なマグマや火成岩において、主成分元素の酸化物の各々は、およそ0.1重量%以上を占める（表1）。また主成分元素の酸化物は、マグマや火成岩の質量の100%近くを占める。火成岩の主要な鉱物、具体的には体積比の大きい鉱物の化学組成も、主成分元素の酸化物によって100重量%近くが表現される（表1）。一方で微量成分元素は、マグマおよび火成岩においておよそ0.1重量%未満であるものである。

上述の物質収支計算において、主成分元素と微量成分元素の取り扱い方は異なる。主成分元素については、鉱物、メルト、ならびに、それらの集合体（マグマおよび岩石）の主成分元素の組成を、そのまま計算に使用する。一方、微量成分元素では分配係数（ D ）を用いて計算する。メルトと鉱物の平衡が成立していれば、以下の式が成立する。

$$D = \text{鉱物中の元素 E の濃度 } (C_s) / \text{メルト中の元素 E の濃度 } (C_l) \quad (\text{式 1})$$

同じ元素の分配係数も鉱物の種類ごとに異なる値をもち、また厳密には鉱物やメルトの化学組成により値が変化する。メルトと共存する鉱物が複数 (n 種類) ある場合、固相全体の分配係数 (バルクの分配係数; D^{bulk}) は、個々の鉱物の分配係数 (D_i) と、個々の鉱物の鉱物集合体全体における重量比 (W_i) により算出できる。

$$D^{\text{bulk}} = \sum_{i=1}^n W_i D_i \quad (\text{式 2})$$

マグマ生成時の条件を探る上で、物質収支計算の結果と火成岩のバルク組成の分析値の比較が行われる。求める条件では、主成分元素と微量元素のどちらにおいても、計算結果と分析値が合うはずである。

- 注1 火成岩や堆積岩が生成時とは異なる温度条件と圧力条件に置かれて、固体の状態のまま、構成鉱物種を変化させる現象のこと。
- 注2 バルクとは、場所により化学組成が異なる物体の全体という意味。複数の鉱物やメルトの集合体である火成岩とマグマ、ならびに、それらの中の鉱物集合体に対して用いる。バルクの組成やバルクの分配係数 (式 2) など。火成岩やマグマの化学組成といった場合、特に断りがなければ、それらのバルク組成のこと。

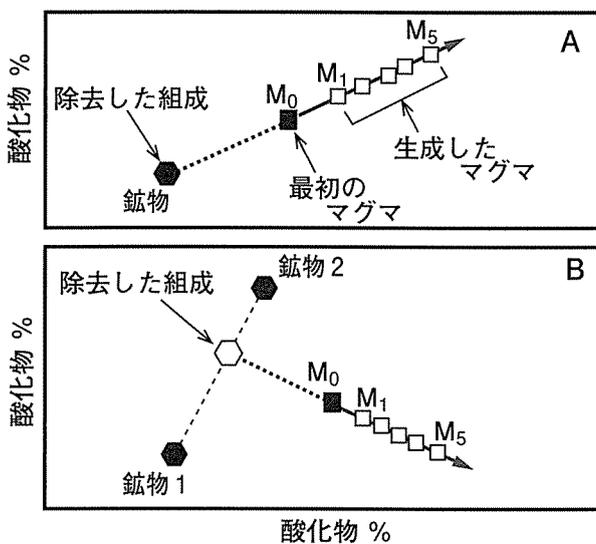


図3 マグマ (M_0) から鉱物を取り去って生成するマグマの組成 ($M_1 \sim M_5$)。2元素の酸化物の重量比を縦軸と横軸にとった図への表示。Aは取り去る鉱物が1種類の、Bは取り去る鉱物が2種類の場合。除去した鉱物の M_0 に対する重量比の違いが $M_1 \sim M_5$ を生む。

問1 冒頭文の下線部 a と関連し、静止状態のマグマ内における単一の鉱物の運動を考える。鉱物の形態は球で近似でき、鉱物とマグマ中のメルトは各々が均質である (空隙や気泡を含まない)。またマグマ内での鉱物の体積比は低く、鉱物同士が衝突等の干渉をしない。次の文章の **ア** から **エ** に入る最も適切な語句または数式を記せ。**ウ** には語句を、その他の全てに数式を記せ。数式は、 g (重力加速度, m/s^2), r (球状鉱物の半径, m), ρ_c (鉱物の密度, kg/m^3), ρ_m (メルトの密度, kg/m^3), η (メルトの粘性率, $\text{Pa}\cdot\text{s}$) および、すぐ下の文章に出現する記号を用いるものとする (ただし R と k は除外する)。

鉱物が動き始める前は、鉱物に対し浮力と重力がかかっている。鉛直方向下向きを正にとったとき、2つの力の合力は **ア** である。**ア** の数式より、鉱物がマグマ内で沈降するか上昇するかは、**イ** の値の正負で決まることがわかる。鉱物が動き始めると、鉱物はメルトから抵抗力 R [N] も受ける。抵抗力 R は物体の運動速度 v [m/s] と比例した大きさをもち、 $R = kv$ (k は比例定数) と表現される。マグマ中で運動する鉱物については、 $k = 6\pi\eta r$ である。抵抗力と残りの力がつり合ったときの物体の運動速度を **ウ** 速度という。鉱物がマグマ内で沈降するとき、鉛直方向下向きの **ウ** 速度の大きさ v [m/s] は **エ** と書き表せる。マグマがマグマだまりのような限られた空間にある場合、上昇した鉱物はマグマだまりの最上部 (天井部) に集まり、沈降した鉱物はマグマだまりの底に集まる。

問2 問1で出現した粘性率は流体の粘り気を表す数値であり、メルトの化学組成や温度と相関をもつ。メルトの粘性率は玄武岩質マグマ^{注3}で $10^2 \sim 10^4$ [Pa·s]、安山岩質マグマ^{注3}で $10^4 \sim 10^7$ [Pa·s]である。問1で扱った、鉱物の ウ 速度は、これら2つのマグマの間で最大でどの程度の差があるか。玄武岩質マグマを1とした場合の安山岩質マグマでの値を、有効数字2桁で求めよ。比較にあたり、鉱物の密度および鉱物のサイズは同じであるものとする。またメルト密度は2つのマグマで同じであるものとする。

^{注3} マグマを化学組成や温度で区別するのに、そのマグマが冷却され最終的に固結して生成する火山岩の名称をつける。

問3 問1におけるメルトに対する鉱物の相対運動の考察と、冒頭文で扱った岩石ならびにマグマに関する主成分元素濃度の表示法や図示法の説明を踏まえ、次の(i)~(iv)の問いに答えよ。

ある火山の一回の噴火で生成した複数の火山岩試料を解析し、結果1から結果3を得た。火山岩を生成したマグマは、その全てが同一のマグマだまり(図1Bのこと)に由来した。異なる場所にあったマグマが、個々の試料を作り出した。マグマだまりは、マグマだまりの形成から上述の噴火が発生するまでの間、物質の出入りのない閉鎖的な系^{注4}にあった。

^{注4} 観察や解析において、周囲とは切り離して考える部分のこと。

結果1：個々のマグマのバルクの主成分元素濃度を2元素の濃度を縦軸と横軸にとった変化図に示した(図4)。

全体として直線的な変化傾向を示す。マグマ α とマグマ β のデータを表1に示す。

結果2：マグマだまりにおいて、全てのマグマは鉱物Aから鉱物Dの4種類の鉱物を含有していた。鉱物の化学組成にはマグマ間での差異はなく同一とみなせる(表1が代表的なデータ)。

結果3：マグマだまりにおけるマグマのメルト部分の化学組成は、異なるマグマ間で同一とみなせる。

以上より、図4のバルク組成の多様性は、マグマが含有していた鉱物の体積比の違いによるものと考えられる。鉱物の体積比の違いが発生する前に、マグマだまりのマグマでの鉱物の晶出は停止していた。

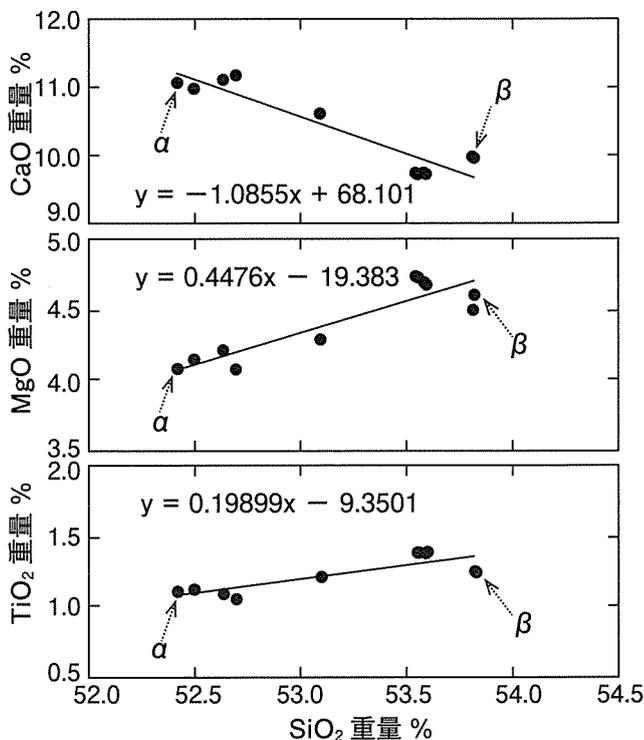


図4 ある噴火で生成した火山岩の主成分元素のデータ。黒丸が個々の試料に対応。 α と β は表1にもデータを示す。直線はデータ全体の変化傾向を示す。

表1 個々のマグマのバルク組成と、マグマだまりに含まれていた鉱物の組成。

	バルク組成		鉱物組成			
	マグマ α	マグマ β	鉱物A	鉱物B	鉱物C	鉱物D
主成分元素の重量比 (%)						
SiO ₂	52.42	53.82	52.56	46.94	54.58	0.13
TiO ₂	1.10	1.24	0.37	0.00	0.19	10.46
Al ₂ O ₃	17.29	14.79	2.13	33.61	1.16	3.24
FeO	11.59	13.03	9.86	1.04	16.05	84.06
MnO	0.18	0.22	0.26	0.00	0.37	0.35
MgO	4.08	4.60	16.15	0.12	25.54	1.67
CaO	11.07	9.96	18.49	16.92	2.08	0.09
Na ₂ O	1.82	1.83	0.18	1.34	0.03	0.00
K ₂ O	0.37	0.42	0.00	0.03	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.08	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
合計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
密度 (kg/m ³)						
	なし	なし	3300	2650	3400	5200

主成分元素の合計値が100重量%になるよう再計算してある。

(i) 図4の直線的な変化傾向が単一鉱物種のマグマに占める体積比の変化で制御されている場合、その鉱物種として最も適切なものをAからDより一つ選び答えよ。

(ii) (i)で選択した鉱物種のマグマにおける重量比は、マグマ β を基準(0%)にした場合、マグマ α でどの程度変化しているか。その数値を重量パーセントの単位で、有効数字3桁で答えよ。マグマ α の方で重量比が高い場合は数値の前に「+」を、低い場合は「-」をつけること。計算は表1のSiO₂の重量%データを使用して行うこと。

(iii) マグマだまりの天井部にマグマ α 、天井部よりも深いところにマグマ β が存在し、マグマ α とマグマ β の間には2つの間の化学組成をもつマグマが存在した。この成層構造の発生に問1のメカニズムが関わっており、マグマのSiO₂濃度と鉱物量が(i)と(ii)の設定通りに変化していた。このとき、マグマ中のメルトの密度として適切な領域を、解答欄にて斜線で塗りつぶせ。なおマグマの温度(1150℃)は既知であったが、マグマだまりの存在した深度(圧力)やメルトの含水量は分からないため、図5ではメルトのもちうる密度の全範囲を大気圧(1.0×10⁵ Pa)から4.0×10⁸ Paの範囲で示している。一方、マグマ中の鉱物の密度は、表1に示す値をもつものとする(上述の温度と圧力の範囲では一定値とみなせる)。

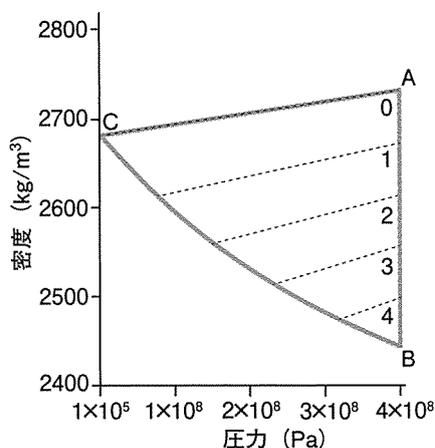


図5 マグマを構成していたメルトの密度。A-B-Cで囲まれた範囲が4.0×10⁸ Paまでの範囲でメルトがもちうる密度の全範囲。密度は圧力とメルト中の含水量により変化する。個々の点線はメルトに含まれる水の重量%の等値線。

(iv) 一連の検討により、マグマだまりの中のさらに深い場所に存在していたマグマは地表に出現していないと推定された。マグマだまり全体で、マグマ中のメルトと全ての鉱物に(iii)で決定したような、密度上の大小関係があるものとする。噴火発生時にマグマだまりのさらに深い場所に存在していたマグマは、噴出したマグマに比べ、含有鉱物の種類や量において、どのような特徴をもっている可能性があるかを述べよ。

問4 冒頭文の3段落目以降と関連し、岩石溶融によるマグマの発生と結晶分化作用における微量成分元素の挙動を考える。以下の(i)~(v)の問いに答えよ。

(i) 冒頭文の下線部bの物質収支計算と関連し、微量成分元素についての物質収支を考える。冒頭文の式1も使用する。ここでは最も単純なモデルを考える。下記の「オ」と「カ」にあてはまる、最も適切な数式を、すぐ下の文章に出現する記号と、式1の記号を使用して示せ。

微量成分元素Eについて、初期状態のバルクでの濃度を C_0 とする。部分溶融やマグマの結晶化が進行し、ある瞬間に、系全体に占めるメルトの比率が F になったとする ($0 < F < 1$)。その瞬間の元素Eの濃度がメルトにおいて C_L 、鉱物全体（鉱物集合体のバルク）で C_S であれば、 $C_0 = [\text{オ}] \times C_S + F \times C_L$ である。メルトと固相全体の分配係数 (D^{bulk}) を用いると、この式を C_S を使わずに表現でき、 $C_L/C_0 = 1/[\text{カ}]$ と書き表せる。この式は、岩石の溶融過程とマグマの結晶化の両方に使用することができる。ただし溶融の進行過程では F の値が増加し、結晶化の進行過程では F の値が減少していくため、メルト中の微量成分元素の時間変化に関しては、2つの過程で真逆になる。なお F の実際の値は、主成分元素の物質収支計算から制約を置くことが多い。

(ii) (i)と関連し、図6に F と C_L/C_0 の関係を示した。そこには D^{bulk} が10, 5, 2, 1, 0.1, 0.01の場合のデータが曲線および直線で示されている。直線Aと曲線Dの D^{bulk} 値を解答欄に記せ。

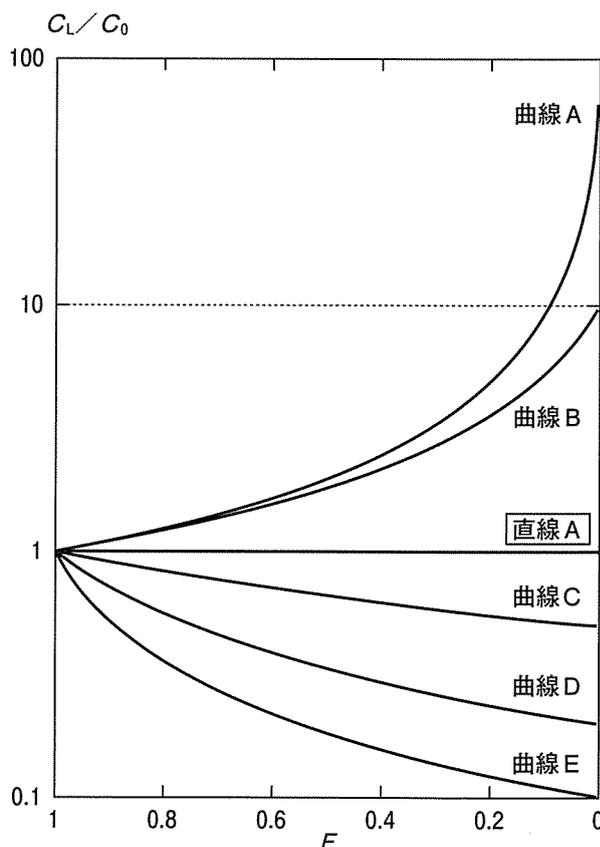


図6 微量成分元素の物質収支計算で決定される、 F と C_L/C_0 の関係図。

(iii) バルクの分配係数 D^{bulk} の値が全く同じ2元素XとYがある場合、任意の F における両元素の濃度の比は、初期状態での比と等しいはずである。そのことを証明せよ。

(iv) (iii)の原理を用いて、①～④の4種類のマグマの中から、結晶分化作用による親子関係にないものを一つ選び、番号で答えよ。親マグマとは最初に存在したマグマ(図3の M_0)を、子マグマとは親マグマから発生したいくつかのマグマ(図3の $M_1 \sim M_5$)である。結晶分化作用の発生過程において、微量元素XとYのバルクでの分配係数の値は常に等しく、また変化しなかったものとする。ppmとは百万分率のことである。

- ① 元素X 40 ppm, 元素Y 62 ppm
- ② 元素X 65 ppm, 元素Y 198 ppm
- ③ 元素X 94 ppm, 元素Y 285 ppm
- ④ 元素X 140 ppm, 元素Y 422 ppm

(v) 海洋島で発生する玄武岩質マグマは、マントルの岩石の部分溶融により発生したものである。様々な微量元素のうち、原子番号が57~71の希土類元素に着目しマグマの発生過程を検討する。海洋島における代表的な玄武岩質マグマの希土類元素についてのスパイダー図^{注5}を図7に示す。部分溶融においてメルトと共存する鉱物の組み合わせは、かんらん石+直方(斜方)輝石+単斜輝石+ざくろ石である。これらの鉱物とメルトの間の希土類元素の分配係数データを図8に示す。図6も利用して、次の文章の **キ** から **コ** に入る最も適切な語句または数値を記せ。**キ** には数値を、その他の全てに語句を記せ。**キ** については図8の縦軸に表示されている数値から選択すること。**ク** と **ケ** については、図8内から適切な用語を選んで使用すること。

^{注5} 横軸に元素をとることで、元素間の濃度の高低を示した図。

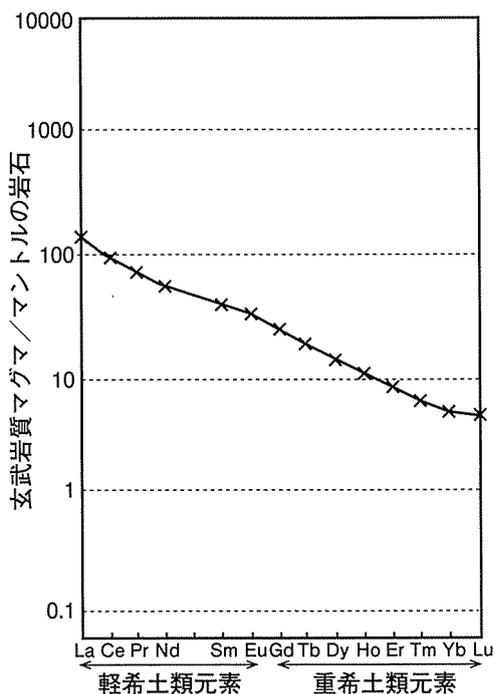


図7 海洋島の玄武岩質マグマの希土類元素のスパイダー図。マントルの岩石での濃度に対し、個々の元素が何倍の濃度をもつかを示した図。横軸の左から右に向けて原子番号が大きくなる順番で元素を並べている。原子番号57~63(La~Eu)を軽希土類元素、64~71(Gd~Lu)を重希土類元素とよぶ。

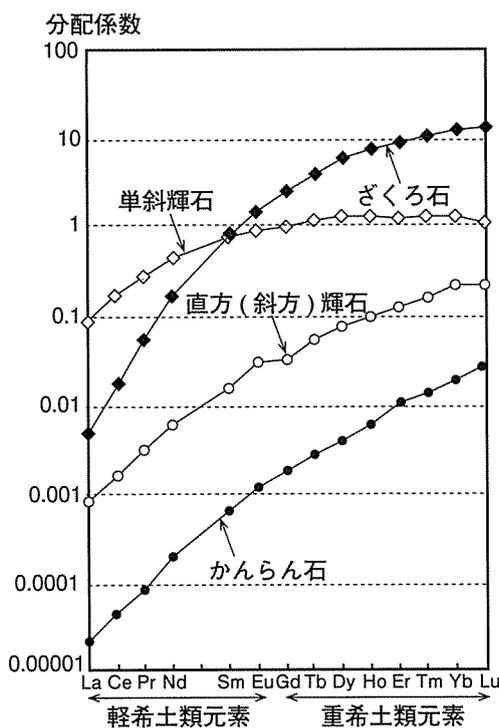


図8 玄武岩質メルトー鉱物間の希土類元素の分配係数。元素による分配係数の変化を鉱物ごとの折線グラフで示す。

マンツルの岩石と玄武岩質マグマの希土類元素濃度を比較すると、図7の全ての元素について、マグマで高い。これは、マグマ発生時の固相全体の分配係数（バルクの分配係数、 D^{bulk} ）が、全ての元素で「キ」未満であったことを示す。「ク」と「ケ」の2つの鉱物では重希土類元素の分配係数が高く「キ」を上回るのに対し、残りの鉱物では「キ」未満である。岩石とマグマの間に見られる元素濃度の関係が発生するには、とけ残り鉱物に占める「ク」と「ケ」の体積比は「コ」必要がある。マンツルの岩石に比べ、マグマでの濃度上昇が顕著であるのは軽希土類元素である。このことは、鉱物単体の分配係数が、図8の全ての鉱物について軽希土類元素よりも重希土類元素で大きいことと調和的である。

[以下余白]

〈2024 R 06180015 (理科(地))〉

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 所定の欄以外に番号・氏名を書いてはならない。

問	I				II			
	a	b	c	d	e	f	g	h
採点欄								

〈2024 R 06180015 (理科(地))〉

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 所定の欄以外に番号・氏名を書いてはならない。

注 意

1. 受験番号(算用数字)・氏名は指示に従ってただちに所定欄に記入し、それ以外に記入してはならない。
2. 解答はすべて下の解答欄に記入すること。欄外の余白には何も記入しないこと。欄外に何かを記入した解答用紙は無効となる場合がある。
3. 解答はHBの黒鉛筆またはHBのシャープペンシルで書くこと。
4. 試験終了時にこの解答用紙を裏返して机の上に置き、指示を待つこと。
5. 計算器は一切使用してはならない。

理 科 (地) (解 答 用 紙)

I

問1		問2		問3	深水波	長波
問4	深水波	長波				

a

問5						
----	--	--	--	--	--	--

問6	うねり	津波				
	時間	時間				

b

問7	ア	イ	ウ	エ	オ
	カ				

c

問8	A	B	C	D
----	---	---	---	---

d

II

問1	ア	イ	ウ	エ
問2				

e

問3	(i)	(ii)	重量%	(iii)
	(iv)			

f

問4	(i)	オ	カ	(ii)	直線A	曲線D
	(iii)					

g

問4	(iv)	(v)	キ	ク	ケ	コ
----	------	-----	---	---	---	---

h