

2023 年度 地球進化学コース

大学院試験問題

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. この問題冊子（8問）の中から4問を選択して解答しなさい。
3. 決められた番号の解答用紙に解答し、4枚を提出のこと。
4. 提出するすべての解答用紙に受験番号を記入しなさい。

1

地質に関する以下の問 1～問 5 について答えよ。

問 1 次の文章を読み、文中の [ア]～[コ] に入る適切な語句を入れよ。

地球は、約 [ア] 億年前に誕生したと言われる。その後、地球誕生から 40 億年前までの [イ] 代を経て、太古代、原生代、顕生（累）代と区分されている。太古代と原生代との境界は、約 [ウ] 億年前とされ、①地球環境に著しい変化が起きたと言われている。顕生（累）代は、さらに古生代、中生代、新生代に三分されている。地球上に海洋が出現したのは、[イ] 代と言われているが、②現在の海洋底には [エ] 代までの岩石しか残っていない。③東太平洋海膨には、非常に若い時代の海洋底が、西太平洋には、海洋で一番古い海洋底があることが知られている。太平洋の海洋底には様々な海洋堆積物が分布しているが、海洋堆積物の種類としては東太平洋海膨や海洋島付近には [オ] が④CCD 以深の海洋底には、[カ] や [キ] が分布し、南極大陸周辺やグリーンランド周辺の海洋底には、[ク] がみられる。この [ク] は陸上にもみられ、北アメリカ北部における分布は新生代の地球環境（気候）変動の証拠ともなっている。日本列島にはそのような大規模な [ク] の分布はない。日本列島の基盤岩は、主に、大陸周辺の海洋プレートが沈み込むことによって形成された [ケ] によって構成されている。四国には、西南日本の基盤岩を構成する主要な [ケ] が分布しており、中央構造線のすぐ南には、変成した [ケ] である [コ] 帯が分布する。

問 2 ①の変化について説明せよ。

問 3 ②の理由を説明せよ。

問 4 ③の理由を説明せよ。

問 5 ④の CCD の定義と CCD が海洋によって変化する要因を説明せよ。

問1 次の文章を読み、文章中のア～ソに適切な語句を入れよ。

地層の層理面と水平面との交線の方向を地層の ア といい、層理面と水平面とのなす角を地層の イ という。これらは、通常 ウ を用いて測定する。地層が連続して堆積していることを エ といい、地層と地層との間に時間的・堆積環境的な不連続性があり、堆積作用の中断や構造運動などを意味する場合を オ という。

地層は、堆積したままの状態ならば、下位のものほど古く、上位のものほど新しい。これを カ の法則という。地層の上下判定には、キ や斜交層理などの堆積構造がよく使われる。

離れた地域にある地層が同時代のものであるということは、どのようにしてわかるだろうか。ある時期にある現象が広範囲で起き、それが地層に記録されていると、その記録は同時間面を示すことに利用できる。その記録の代表が、火山灰などの特徴的で地質学的に短時間で広範囲に堆積した地層である。このような地層を ク という。ク などから、離れた地域にある地層の同時代性を決めることを地層の ケ という。

地層中に残された生物の体の全体や、骨・殻などの体の一部、または生物の コ やすみかななどの痕跡を化石という。化石を調べることで、地質時代の生物の変遷がわかる。地質時代を通じて、生物の種類は時間とともに徐々に増えてきたわけではなく、顕生累代（顕生代）には少なくとも5回、生物の種類が激減した時期があった。このように多くの生物が短期間に絶滅する現象を サ という。サ のうち、顕生累代で最大規模のものは シ 紀末に起こり、古代型サンゴ類、紡錘虫、ス などが姿を消した。また、中生代の白亜紀末には、海にすむ セ や陸上の ソ などが絶滅した。

問2 次の(1)～(10)の語句の中から5つを選んで、その5つの語句をそれぞれ概ね100字以内でできるだけ詳しく説明せよ。

- | | |
|---------------------|------------------|
| (1) テチス海 | (2) 相同 |
| (3) ヘテロクロニー | (4) 構形成態学 |
| (5) タフォノミー | (6) 単系統群 |
| (7) マイヤーの「生物学的種」の概念 | (8) 斉一説 |
| (9) 化石帯 | (10) ミランコビッチサイクル |

問3 古生物の分類学において、ホロタイプ（完模式標本）とは何か、またなぜホロタイプが必要なのか説明せよ。

3

以下の文章を読んで、問いに答えよ。

鉱物は天然に産する固体物質であり、一定の **ア** と **イ** を有する。現在報告されている鉱物種はおよそ **ウ** 種であり、Nickel-Strunz の分類に従うと 10 の分類群にわけることができる。珪酸塩鉱物はさらに **イ** に基づいて ① 6 つのグループにわけることができる。鉱物の種に着目すると、様々な固溶体や置換体が存在しており、原子やイオンの性質について理解することが重要である。例えば、苦土かんらん石と鉄かんらん石は② 連続固溶体 をなすが、これは Fe^{2+} と Mg^{2+} の **エ** が近いためである。ただし、席を占有する Fe^{2+} の量が大きくなるほど格子定数は **オ** なる。かんらん石の例では価数の同じ陽イオン同士での置換であったが、角閃石でよく知られているチェルマック置換のように、チャージバランスを整えるため 2 元素がセットになって生じる置換もある。例えば、蛇紋石 $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ についてチェルマック置換をしたものが ③ アメス石 である。

問 1 **ア** から **オ** に入る適切な語句又は数字を次の中から選択し、記号で答えよ。

(a) 色, (b) イオン半径, (c) エネルギー, (d) 粒径, (e) 化学組成, (f) 電気陰性度, (g) 結晶構造, (h) 1000, (i) 3000, (j) 6000, (k) 12000, (l) 大きく, (m) 小さく, (n) 1 に近く

問 2 下線部①について、グループ名と鉱物種の正しい組み合わせを次の中からすべて選択し、記号で答えよ。

(a) ネソ珪酸塩鉱物・透輝石, (b) ソロケイ酸塩鉱物・緑簾石, (c) イノ珪酸塩鉱物・普通角閃石, (d) フィロ珪酸塩鉱物・石英, (e) テクト珪酸塩鉱物・曹長石

問 3 下線部②について、長石グループにおける KAlSi_3O_8 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 間の固溶関係について説明せよ。

問 4 下線部③について、アメス石の化学組成を答えよ。

問 5 下線部③について、アメス石を試料として粉末 X 線回折実験を行うと b 軸方向の周期性を反映した $d = 0.154 \text{ nm}$ となる反射が生じることが予想される。実験に用いた X 線の波長を 0.154 nm としたとき、この反射が生じる角度 2θ ($^\circ$) の値を求めよ。

4

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

地質サイクルにおいて火成岩、堆積岩、変成岩は互いに姿を変えながら循環している。

マグマが固結する際、(A)作用により多様な全岩化学組成を持つ火成岩が形成される、それらの火成岩等の岩石が侵食・風化を受け運搬されたのち堆積し、(B)作用を受け固まることで堆積岩が形成される。これらの岩石が①形成時と異なる環境(温度圧力条件)に置かれることで鉱物組み合わせや組織が変化し変成岩が形成される。またそれらの過程で流体との反応により変質が起こる場合も多い。

問1 A, Bに入る語句を答え、それぞれの作用について説明せよ。

問2 下線部①に関して以下の組織及び鉱物組み合わせからなる変成岩の岩石名と形成時の変成作用及び温度圧力条件、考えられる原岩についてのべよ。

- (1) 主に粗粒なオンファス輝石、柘榴石により構成される
- (2) 細粒な石英、黒雲母による均質な組織中に粗粒な紅柱石がみられる
- (3) 均質で黒色～緑色の珪長質ガラス

問3 四国では三波川帯と領家帯と呼ばれる平行に東西にのびた地質構造帯が見られる。それぞれの変成条件および形成場について説明せよ。必要であれば図を用いても構わない。

5

以下の問1～問2に答えよ。

問1 下記の文章を読み、かつ図を参照して以下の文章中の「ア」から「エ」に適切な数式または語句を記入せよ。

ここで、図1のように格子面間隔 d をもつ単結晶に対して、波長 λ をもつ単色 X 線が格子面に対して角度 θ をなして入射してくる場合を考える。ここで、簡単のために反射する X 線と格子面のなす角も θ であるとする。また、 n は自然数とする。

まずは、1 番目と 2 番目の格子面での X 線の入射と反射について考える。結晶内における X 線の経路差 (図1の $l_1 + l_2$) を d と θ からなる式で表すと「ア」となる。単色 X 線は波長 λ をもつ波であるため、「ア」が波長 λ の整数倍であるときに、それぞれの経路の反射 X 線を合成した波の振幅は最も「イ」くなる。

同様のことを、1 番目と n 番目の格子面での X 線の入射と反射について考える。この場合、結晶内における X 線の経路差は「ア」の「ウ」倍となる。そのため、「ア」に「ウ」を乗じた値が波長 λ の整数倍であるときに、それぞれの経路の反射 X 線の合成波の振幅は最も「イ」くなる。以上を式として一般化すると、「ア」=「エ」となる。この式は、ブラッグの式と呼ばれる。

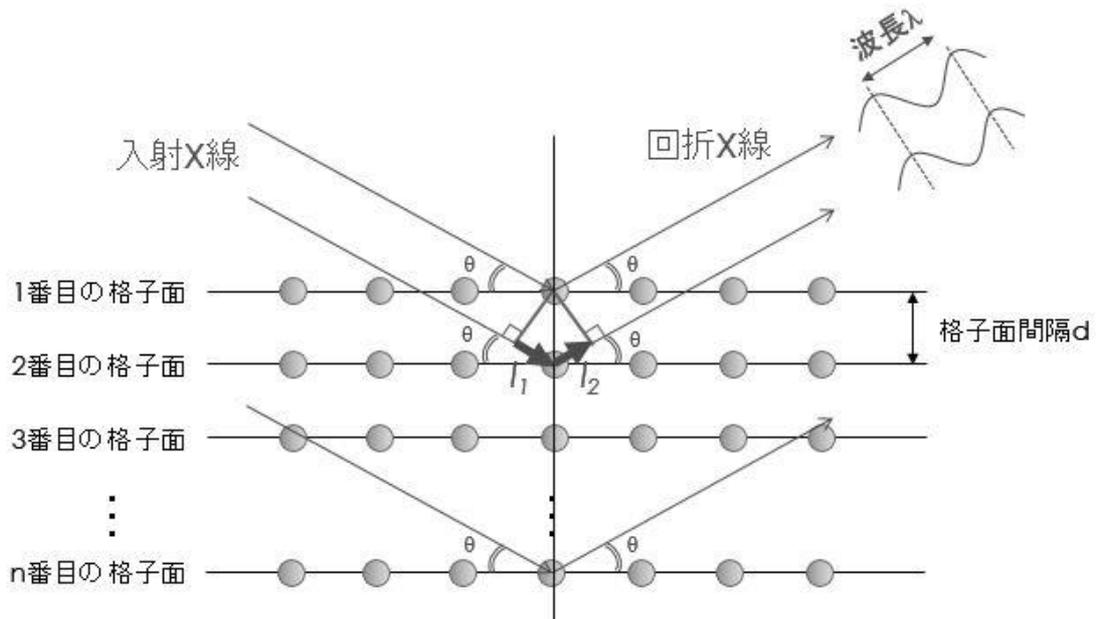


図1：結晶面における X 線の反射

問2 常温常圧下において、ガラス製キャピラリーに封入した粉末セリア (CeO_2) 試料に単色 X を入射させ、図2右側に示すような2次元 X 線回折パターンを得た場合を考える。試料と検出器の距離が十分離れている場合、光学系では図2左側に示すような幾何学関係が成り立つことが知られる。以下の小問①-④に答えよ。

① ここで、カメラ長 $L=620\text{mm}$ で単色 X 線 (波長 $\lambda=0.02\text{nm}$) の回折パターンを撮影した場合に、結晶面 (111) での回折円の半径 R_{111} が 40mm にて得られたとする。この場合での、 (111) の格子面間隔 d を求めよ。単位は \AA で答えること。答えは小数点第1位までを有効とする。計算経過も併記すること。

② セリアは立方晶系に属するため、格子定数は a の一種のみであり、それと結晶面 $(h k l)$ の d 値の関係は以下の通りとなる。

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

①で示した撮影条件の場合でのセリアの格子定数 a を計算し答えよ (単位は \AA で)。計算結果は、小数点第3位を四捨五入し、小数点第2位までを有効とする。計算経過も併記すること。

③ フォルステライトは斜方晶系に属するため、3種 (a, b, c) の格子定数をもつ。粉末セリアの撮影に引き続いて、室温・高圧力下 (圧力値は不明とする) において粉末フォルステライト (Mg_2SiO_4) の格子定数を求める場合を考える。用いた単色 X 線や検出器は①の場合と同じとする。しかし実験の都合上のため、カメラ長は当初の 620mm よりもかなり長くせざるを得なかった。その結果、2次元 X 線検出器を用いた撮影においてフォルステライトの回折パターンは $(h k l) = (0 2 l)$ と $(1 0 l)$ の2つしか得ることが出来なかった。この測定条件では、フォルステライトの格子定数 a, b, c を全て決定することは不可能である。なぜ不可能なのか、その根拠を具体的に答えよ。

④ ③における測定条件にどのような改良を加えれば、フォルステライトの格子定数 a, b, c を全て決定できるようになるだろうか? その改良案を1つ答えよ。

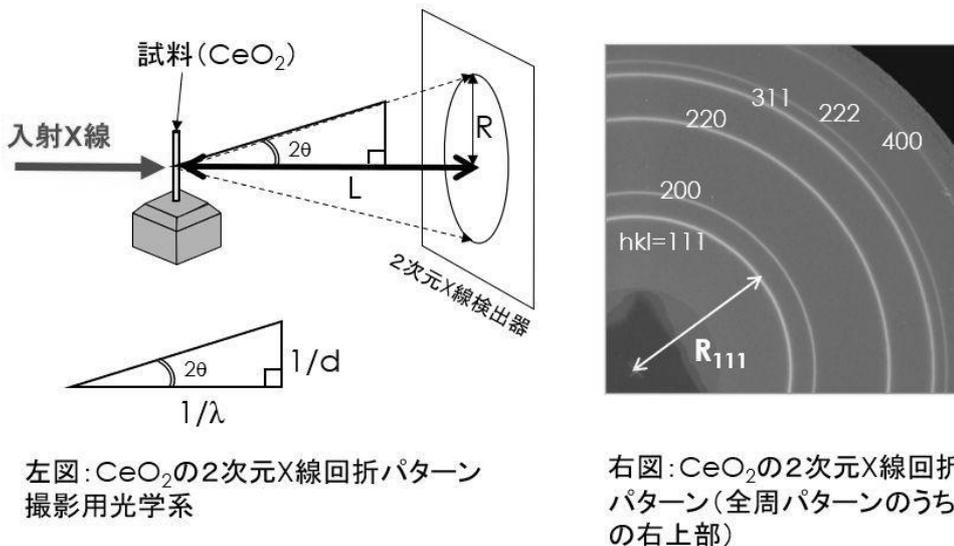


図2: 粉末セリア試料の2次元 X 線回折パターン撮影

6

地球の重力などに関して、以下の問いに答えよ。ただし簡単のため、地球は質量 M かつ半径 R の完全な球であると仮定する。さらにヒントとして、「半径 r の円周上を角速度 ω （あるいは速度 $v = r\omega$ ）で等速円運動する質量 m の物体にはたらく向心力（および遠心力）の大きさは $mr\omega^2$ である」ことを用いてよい。

問1 地球が自転していないものと仮定して、以下の問いに答えよ。

- (1) 地球の中心から r の距離（ただし $r \geq R$ とする）に置かれた質量 m の物体が地球から受ける引力 F は、万有引力定数を G として

$$F(r) = G \frac{Mm}{r^2}$$

で与えられる。地球の表面（ $r = R$ ）における重力加速度 g を G, M, m, R を用いて表わせ。

- (2) 「第一宇宙速度」 v_1 とは、地球から受ける引力を向心力として、地表面すれすれの円軌道で地球を周回する物体の速度である。 v_1 を g, G, M, m, R を用いて表わせ。

- (3) 地球の中心から a の距離（ただし $a \geq R$ とする）に置かれた質量 m の物体がもつ、地球の引力によるポテンシャル U は

$$U(r = a) = \int_{\infty}^a F(r) dr = \int_{\infty}^a G \frac{Mm}{r^2} dr$$

で与えられる。この定積分の計算により、 $U(r = a)$ の表式を求めよ。

- (4) 「第二宇宙速度」 v_{II} とは「地球脱出速度」とも呼ばれるものである。物体が地表面（地球の中心からの距離 $r = R$ ）で v_{II} より大きな速度をもてば、その物体のもつ力学的エネルギー（運動エネルギーと引力のポテンシャルの和）が0を超え、地球の引力を振り切ることができる。 v_{II} を g, G, M, m, R を用いて表わせ。

問2 地球が一定の角速度 Ω で自転しているものとして、以下の問いに答えよ。

- (1) 地表の緯度 ϕ の地点に置かれた質量 m の物体にはたらく、地球の自転による遠心力の大きさ h を $g, G, M, m, R, \Omega, \phi$ を用いて表わせ。
- (2) 前問の遠心力 h のうち、地球の引力とは反対の向きにはたらく分力の大きさを $g, G, M, m, R, \Omega, \phi$ を用いて表わせ。
- (3) 地球上からロケットなどを東向きに打ち上げる場合、赤道に近い低緯度の地域（日本では鹿児島県の種子島や内之浦）から発射するほうが好ましいとされている。地球の自転という観点から、その理由を考察せよ。

問1 下記の文章で（ア）から（コ）に入る適切な語句を答えよ。

明るさを徐々に増す太陽系で、なぜ地球は38億年間もの間、一時期以外を除き、海が凍結も蒸発もせずに存続できたのだろうか。その理由は、現在の約一万倍もあった大気中の（ア）が暗い太陽系下の地球を温室に保っていたことと、その後高い（ア）が現在にかけて徐々に減少し（イ）が緩和されることによって、次第に明るくなる太陽から受け取る熱の増加分を打ち消し、水が液体の状態で維持できる温度に保つことができたからである。一方、大気中の（ア）を減少させた原因は、光合成で合成された（ウ）と化学風化による岩石の溶解成分と重炭酸で生成する（エ）の海底への（オ）過程である。こうした炭素は、（カ）によって地球深部へ沈み込み、変成作用によって火山から再び大気に戻る。これは、炭素を大気－海洋－固体地球間で循環させるように働くので、長期的に見れば大気中の（ア）は減少しないはずである。したがって、炭素の究極の隔離場所が地球上のどこかにあったはずである。それは、（キ）での（ク）にあったと考えられる。そこでは、低圧のため変成作用は起こりえない。地球は、一定の温度を保ちながら、大気中の（ア）が徐々に減少したように見える。気候を擾乱する要因は幾つも考えられるが、なぜ地球は一定の温度を保つことができたのか。それは、（ケ）作用の温度変化に対する応答とそれに続く（イ）による大気の応答が、気温変動を安定化させる（コ）の役割を果たし、地球が適度な気温を保つことができたからであると考えられる。

問2 下記の文章は、自然変動と人為由来温室効果ガス濃度の増加のうち、どちらが20世紀の気温変動に大きく寄与したか、さらに過去千年間の気候変動に影響を与えてきた自然要因が今後の気候に与える影響について述べたものである。（ア）から（コ）に入る適切な語句を答えよ。

過去250年間で地表面を温めるエネルギーを増加させているのは人為由来のCO₂等の温室効果ガス濃度の変化に伴う（ア）であり、（イ）等の自然変動に由来する（ア）は、近年に向かって（ウ）する傾向はない。温室効果ガスと自然変動の両者の（ア）を与えた（エ）実験と、自然変動のみの（ア）を与えた実験を行った結果、20世紀の温度上昇を再現できたのは温室効果を与えた実験であった。自然変動のみの（ア）では、20世紀の温度上昇を再現することはできなかった。したがって、20世紀の（オ）℃/100年の気温上昇は、そのほとんどが大気CO₂等の人為由来温室効果ガス濃度の増加に起因していると考えられる。また、19世紀以前では中世温暖期から（カ）にかけての自然変動による（キ）℃の低下には地球の（ク）による（ケ）変動の寄与が大きい。現在の北半球の（ケ）はむしろ（コ）傾向にあるので、自然変動によって（キ）℃も低下することはない。以上のことは、地球温暖化が真実であること示唆している。

<大問7の問いは次ページに続く>

<大問7の続き>

問3 1998年以降，地球温暖化は停滞している．その原因について，太平洋の気候変動に関連させて300字程度で解説せよ．

8

以下の問 1～問 4 に答えよ。

- 問 1 海洋における深層循環の起点の北大西洋と終点の北太平洋では深層水中の栄養塩濃度が異なるが、起点から終点までの移動に何年程度かかるのか、なぜそのような栄養塩濃度の差異が生じるのか、北大西洋と北太平洋ではどちらが高濃度かについて 150-200 字程度で解説せよ。
- 問 2 海洋の亜表層以深の海水に含まれる高濃度の栄養塩が、植物プランクトンが利用可能な海洋表層へともたらされる過程として、次の 3 つの物理過程、鉛直混合、湧昇、乱流混合が重要であるが、それぞれのメカニズムと代表的な海域に触れながら 200-250 字程度で解説せよ。
- 問 3 大気圏に放出された人為起源 CO₂ のかなりの部分が海洋へ吸収されている。21 世紀初頭(2000-2009 年)の 1 年間あたりの人為起源 CO₂ 放出量および海洋による CO₂ 吸収量(GtC/yr)を具体的に示し、それらの相対的な関係について述べよ。また、大気海洋間の気体交換の基本的なメカニズムと、海洋表層の CO₂ 濃度が大気中の CO₂ 濃度よりも低い理由について 200-250 字程度で解説せよ。
- 問 4 生物圏を介した海洋表層から深層への炭素の輸送メカニズムと、これまでの気候変動との関連性について 200-250 字程度で解説せよ。