

[地球科学]

以下の問(1), (2)に答えよ。

(1) 地球の内部構造に関する以下の文章を読み、以下の問(a)~(h)に答えよ。

地球は、地殻、マントル、核で構成されている。地殻はさらに、大陸を形成する大陸地殻と、海洋底を形成する海洋地殻に分けられるが、①両者では厚さや岩石の種類に大きな違いがある。大陸地殻の②貴ガス同位体比をマントル起源物質のそれと比べると、大陸地殻に特有の特徴を見出すことができる。また、大陸地殻の花崗岩の希土類元素存在度を隕石の元素存在度で規格化すると、③Euは他の希土類元素に比べて低い値を示す。マントルには、およそ410 km, 520 km, 660 kmの深さにそれぞれ地震波の不連続面がある。これらの不連続面は④主要構成鉱物が相変化する深さに対応する。660 kmの不連続面は、⑤プレートが沈み込んでいる場所ではその深さが周囲と異なっている。また、マントルと核との境界の直上には、厚さ200 km程度の薄い層(D"層)がある。⑥D"層の主要構成鉱物はポストペロプスカイトと考えられている。核は、深さ5100 kmを境に、FeとNiを主成分とする液体金属からなる外核と固体金属からなる内核に分けられる。初期地球において、核がいつマグマオーシャンから分離したかについては、⑦Hf-W年代測定法を用いて推定されている。Hf-W年代測定の結果は、核とマントルの分離が地球史の最初の3000万年に起こったことを示唆している。しかし、この分離に要した時間は、月や火星のそれに比べてはるかに長く、⑧Hf-W年代が地球の核とマントルの分離年代を反映していない可能性も指摘されている。

- (a) 下線①に関して、大陸地殻と海洋地殻の厚さの違いの原因を、それぞれの岩石の種類に着目して簡潔に答えよ。
- (b) 下線②に関して、大陸地殻を構成する岩石の $^3\text{He}/^4\text{He}$ および $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ はマントル起源の物質に比べて高いか低いか、理由とともにそれぞれ答えよ。
- (c) 下線③に関して、この理由を「結晶分化作用」という語句を用いて、100字程度で説明せよ。
- (d) 下線④に関して、410 km, 520 km, 660 kmの三つの不連続面に対応する鉱物の相変化について、それぞれ鉱物の名称と化学式を示せ。
- (e) 下線⑤に関して、660 km不連続面の深さは周囲に比べてどのように変化するか答えよ。また、この理由を「吸熱反応」という語句を用いて、150字程度で説明せよ。

(f) 下線⑦の根拠として、地震波の観測から得られた D''層の密度が高温高圧実験から得られたポストペロブスカイトの密度($d = 5.4 \text{ g cm}^{-3}$)とよく一致することが挙げられる。ポストペロブスカイトの化学式は MgSiO_3 で、直方晶系の結晶系を持ち、D''層に相当する温度圧力下での単位胞の各辺の長さは、それぞれ $a = 0.25 \text{ nm}$, $b = 0.80 \text{ nm}$, $c = 0.61 \text{ nm}$ である。ポストペロブスカイトの単位胞中の酸素原子の数はいくつか、計算過程とともに示せ。ただし、各元素の原子量は $\text{Mg} = 24$, $\text{Si} = 28$, $\text{O} = 16$, アボガドロ定数は $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ とする。

(g) 下線⑧に関して、Hf-W 年代測定法とは、 ^{182}Hf が β 壊変することによる ^{182}W 同位体存在度の変動を利用した年代測定法である。W はやや親鉄性であるため核に入りやすいのに対し、Hf は親石性であるためマントルに入りやすい。ここで、 ^{182}Hf の壊変定数を λ 、コンドライトが形成されたときの ^{182}Hf および ^{182}W の量をそれぞれ $^{182}\text{Hf}_0$ と $^{182}\text{W}_0$ とし、コンドライトの形成から地球の核とマントルの分離が起きるまでの時間を t としたとき、核-マントル分離時の ^{182}W の量を λ , $^{182}\text{Hf}_0$, $^{182}\text{W}_0$, t を用いて表せ。

(h) 下線⑨に関して、どのような可能性が考えられるか 50 字程度で説明せよ。

(2) 地球科学に関連した用語について、次の①～④から二つを選択し、それぞれ 100 字程度で説明せよ。その際、二つの用語の違いがわかるように説明すること。

① MORB と OIB

② コンドライトとエイコンドライト

③ ネソケイ酸塩とフィロケイ酸塩

④ 広域変成作用と接触変成作用

Answer the following problems (1) and (2).

- (1) Read the following sentences on the internal structure of the Earth, and answer the following problems (a) – (h).

The Earth consists of a crust, mantle and core. The crust is further classified into continental crust, which forms the continents, and oceanic crust, which forms the ocean floor, with significant differences in thickness and rock types. Comparing the isotope ratios of the continental crust with those of mantle-derived materials, a characteristic feature of the continental crust can be identified. When the abundance of rare earth elements in granites of the continental crust is normalized by the abundance of elements in meteorites, only Eu shows significantly lower values than the other rare earth elements. There are seismic discontinuities in the mantle at depths of approximately 410 km, 520 km and 660 km, respectively. These discontinuities are corresponding to the depths at which the phase transformation of the major constituent minerals occur. The depth of the 660 km discontinuity locally differs from the surrounding area where the plate is subducting. There is a thin layer about 200 km thick called the D" layer above the boundary between the mantle and the core. The main constituent mineral of the D" layer is considered to be post-perovskite. The core is classified into an outer core composed of liquid metal mainly iron and nickel and an inner core composed of solid metal at a depth of 5100 km. The time when the Earth's core separated from the magma ocean in the early Earth has been estimated using Hf–W methods. Hf–W methods suggest that the core-mantle separation occurred in the first 30 million years of Earth's history. However, the time duration of the core-mantle separation on Earth estimated from the Hf-W methods is much longer than that of the Moon or Mars, implying the possibility that the estimated time duration from the Hf-W methods does not reflect the time duration of core-mantle separation.

- (a) Regarding the underlined part (a), briefly explain the cause of the difference in thickness between the continental and oceanic crusts, focusing on the different types of rocks.
- (b) Regarding the underlined part (b), indicate whether the $^3\text{He}/^4\text{He}$ and $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ values of the rocks comprising the continental crust are higher or lower than those of mantle-derived materials, and briefly explain the respective reasons.
- (c) Regarding the underlined part (c), explain this reason in about 50 words, using the term "crystal differentiation effect".
- (d) Regarding the underlined part (d), list the mineral names and chemical formulas for the phase transformations that correspond to the 410 km, 520 km, and 660 km discontinuities, respectively.

- (e) Regarding the underlined part ⑤, show how the depth of the 660 km discontinuity changes compared to its surroundings, and explain the reason for this in about 80 words, using the term "endothermic reaction".
- (f) Regarding the underlined part ⑥, this is based on the fact that the density of the D" layer obtained from seismic wave observations agrees well with the density of the post-perovskite ($d = 5.4 \text{ g cm}^{-3}$) obtained from high-temperature and high-pressure experiments. The chemical formula of the post-perovskite is MgSiO_3 , which has orthorhombic crystal system, and the unit cell parameters are $a = 0.25 \text{ nm}$, $b = 0.80 \text{ nm}$, $c = 0.61 \text{ nm}$ under temperature and pressure corresponding to the D" layer. Show how many oxygen atoms are in the unit cell of the post-perovskite, together with the calculation process. The atomic weight of each element is $\text{Mg} = 24$, $\text{Si} = 28$, $\text{O} = 16$, and the Avogadro constant is $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- (g) Regarding the underlined part ⑦, Hf–W method is a dating method based on the variation of ^{182}W isotopic abundance due to β decay of ^{182}Hf . W is a somewhat siderophile element and thus preferably incorporates into the materials in the Earth's core, while Hf is a lithophilic element and thus preferably incorporates into the mantle materials. If the decay constant of ^{182}Hf is λ , the amounts of ^{182}Hf and ^{182}W at the time of chondrite formation are $^{182}\text{Hf}_0$ and $^{182}\text{W}_0$, respectively, and the time from chondrite formation until the separation of the Earth's core and mantle occurs is t , give the equation for the amount of ^{182}W at the time of core-mantle separation using λ , $^{182}\text{Hf}_0$, $^{182}\text{W}_0$, and t .
- (h) Regarding the underlined part ⑧, provide a possible explanation in 50 words.
- (2) Select two of the following pairs of terms regarding Earth science from ① through ④, and explain the content of each term in about 50 words, to clarify the difference between each term.
- ① MORB and OIB
 - ② Chondrite and achondrite
 - ③ Nesosilicate and phyllosilicate
 - ④ Regional metamorphism and contact metamorphism