

令和2年度(2020年度)  
東北大学大学院理学研究科 地学専攻  
博士課程前期2年の課程 入試問題

専門科目

- A 分野(地圏進化学・自然史科学・環境動態論・自然災害学)
- B 分野(環境地理学・環境動態論・自然災害学)
- C 分野(地球惑星物質科学・岩石地質学・自然史科学・比較固体惑星学)

令和元年8月1日 13:00～14:30 実施

注意事項

1. 机の上には受験票、筆記用具、時計以外は置かないこと。
2. 携帯電話や音の出る機器などは、電源を切ってかばんの中に入れること。
3. 合図があるまで問題冊子を開かないこと。
4. 試験時間は13:00から14:30までである。
5. 問題はA分野2問(問題A1、A2)、B分野2問(問題B1、B2)、C分野3問(問題C1～C3)の計7問が出題される。このうちから2問を選択して解答すること。選択にあたっては、志望分野から少なくとも1問を選択し、残り1問は志望分野を含むいずれの問題群から選択しても構わない。
6. 解答はすべて解答用紙に記入すること。解答は大問1題ごとに1枚の解答用紙を使うこと。オモテ面に書ききれないときはウラ面も使うこと。解答用紙の所定の欄に受験番号・氏名・志望分野および問題記号番号を記入すること。
7. 試験終了後、受験生には入学後の抱負などについて20分間の作文を課す。なお、これらの作文の際には、参照物などの持ち込みはできない。C分野を志望する受験生には、志望研究室の調査を行う。





**問題 A1 次の文を読み、以下の問1～問4に答えよ。**

地球の表層をおおうプレートには様々な力が働き、プレートテクトニクスの原動力となっている。たとえば、海嶺では、(あ) 海嶺押し (リッジプッシュ) 力が働き、沈み込み帯ではスラブ引っ張り (スラブプル) 力が働く。このようなプレートに働く力や応力は、地震の  から知ることができる。断層運動は、震源を中心とする球 (震源球) で表され (図 1 (A))、震源から押し出される領域の中心を結ぶ軸を T 軸、震源へ引き込まれる領域の中心を結ぶ軸を P 軸と呼び、これらの領域は2つの節面によって分けられている。

図 1 (B) は岩手県北部へ沈み込む太平洋プレート内部で起こっている地震の分布を示す。この図を見ると、海溝から距離 100 km 程度離れた沈み込む太平洋プレートの表面付近では、主に  型の地震が卓越し、東北地方内陸部で卓越していた  型の地震とは (い) 応力場が異なっている。

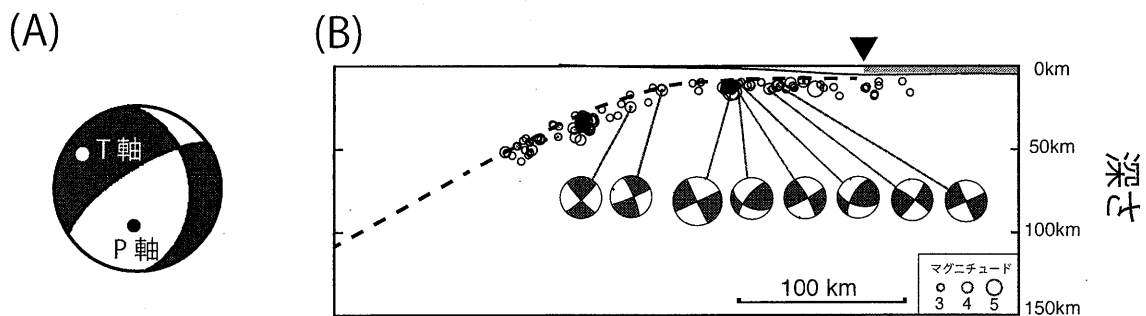


図 1 (A) 震源球、(B) 東北日本弧の地震活動 (北緯 40 度付近、Gamage et al., 2009 を改変)。下向きの黒三角は海溝位置を、点線は太平洋プレート上面位置を示す。震源球は鉛直断面における投影である。ここではプレート境界で発生する地震は含まれていない。

問 1  ～  に適する語句を下から選んで記入せよ。

{ 初動継続時間、P 波速度、S 波速度、発震機構解、正断層、横ずれ断層、逆断層 }

問 2 下線部 (あ) に関して、海嶺押し力とスラブ引っ張り力とはどのような力かをその原因とともに、4 行以内で説明せよ。

問3 図2に関して、地下で3つの主応力が与えられたとき、最大圧縮応力 ( $\sigma_1$ 、 $x_1$ 軸に平行) と最小圧縮応力 ( $\sigma_3$ 、 $x_3$ 軸に平行) のなす面内に法線をもつ断層面  $L$  を考える。法線が  $x_1$  軸から反時計回りに角度  $\theta$  傾いた断層面上での垂直応力  $\sigma_n$  と剪断応力  $\tau$  は以下の式 (a)、(b) で与えられる。これらを用いて以下の小問 (1) および (2) に答えよ。なおここでは、中間圧縮応力 ( $\sigma_2$ ) は紙面に直交方向に存在するとする。

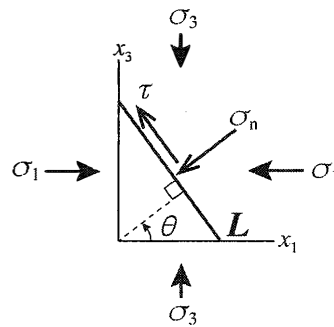


図2 断層面  $L$  上で応力状態

$$\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\cos 2\theta \quad \dots (a)$$

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\sin 2\theta \quad \dots (b)$$

(1) 式 (a)、(b) から断層面  $L$  上での応力状態を表すモール円の式を導出し、横軸を垂直応力、縦軸を剪断応力とした空間に図示せよ。その際には、以下の語句も全て図中にも書き示すこと。なお主応力はすべて正の値とする。

{ $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ 、 $\theta$ 、差応力}

(2) 図1 (A) で見たように、発震機構解は等価な断層面が2つ存在することを予測する。その理由を、式 (a)、(b) を用いて3行以内で説明せよ。

問4 下線部 (い) に関して、なぜ海溝から距離 100 km 程度離れた沈み込む太平洋プレートの表面付近と東北地方内陸部では応力場が異なっているか、両者の応力場とそれぞれの応力が発生する原因を3行以内で述べよ。

**問題 A2 炭素・酸素同位体比に関する以下の問1～問3に答えよ。**

問1 海水中の溶存無機炭素の炭素同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ) を測定する際には、リン酸を海水試料に滴下し、発生した気体を質量分析計に導入し、その炭素同位体比を測定する。その気体名を答え、何故、このような手法がとられるのかを説明せよ。必要なら、図を書いてもよい。

問2 海棲生物が形成する炭酸塩殻の炭素同位体比は、地球表層の炭素循環を知るために重要な情報源とされている。しかし、どのような炭酸塩生物殻の炭素同位体比でもよい訳ではなく、いくつかの条件を満たす生物殻が用いられる。その条件を4つ記せ。

問3 図1は、ニウエ島のサンゴ礁堆積物の炭素・酸素同位体プロファイルである。不整合面の直下で炭素・酸素同位体比が負のスパイクを呈している(図1の網がけの区間)。この理由を、炭素・酸素同位体比のそれぞれについて、7行以内で説明せよ。

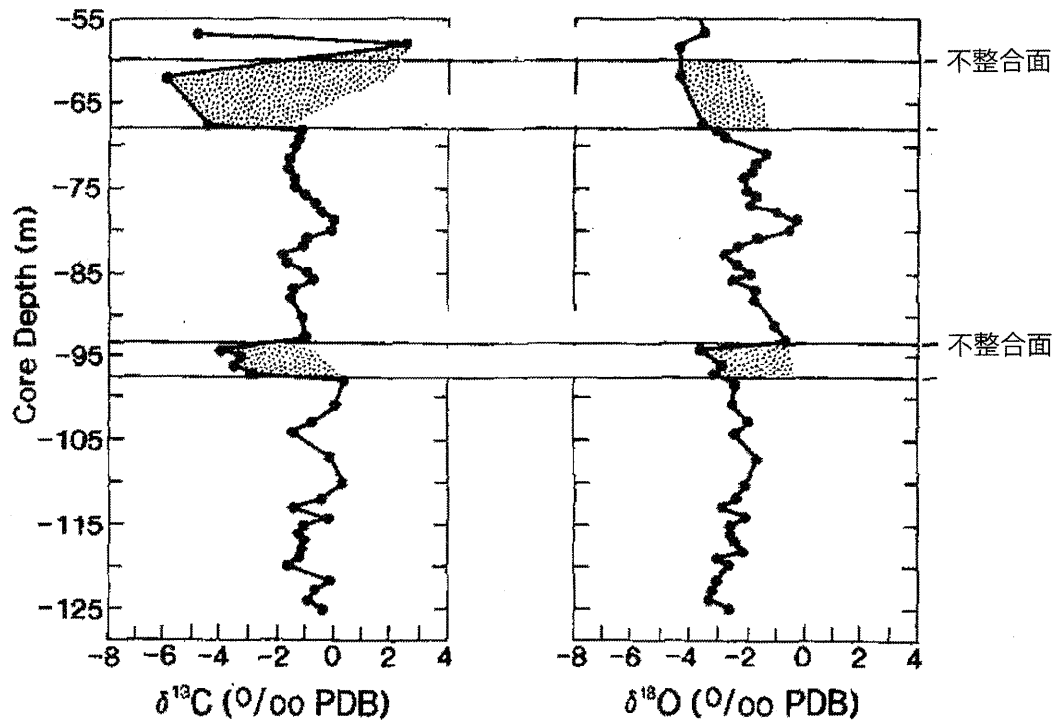


図1 ニウエ島の炭酸塩岩の炭素・酸素同位体比プロファイル。Wheeler and Aharon (1991, Coral Reefs, vol. 10, p. 101-114)より引用。

余白

**問題 B1 氷河と平野、海岸の地形発達に関する以下の問1～問5に答えよ。**

問1 チリとニュージーランド南島はいずれも変動帯に位置している。それらの変動帯の特徴を両者の違いを含めて4行以内で説明せよ。

問2 図に示されるニュージーランドやチリでの現在および氷期の氷河の分布は、同緯度（北緯、南緯の違いを別にして）の日本に比べはるかに大きい。このような氷河の規模の差異を引き起こす要因を4行以内で説明せよ。

問3 図中の①や②の地域において、氷期以降現在にいたる期間で下刻が進んだ要因を5行以内で説明せよ。



問4 図中の②の断面で示されるAの地形面および、この前面（下流側）に発達するBの地形面の名称、堆積物の層相、形成過程について、あわせて5行以内で説明せよ。

問5 日本の氷河について、最終氷期の分布と現在の氷河について得られている知見を5行以内で説明せよ。

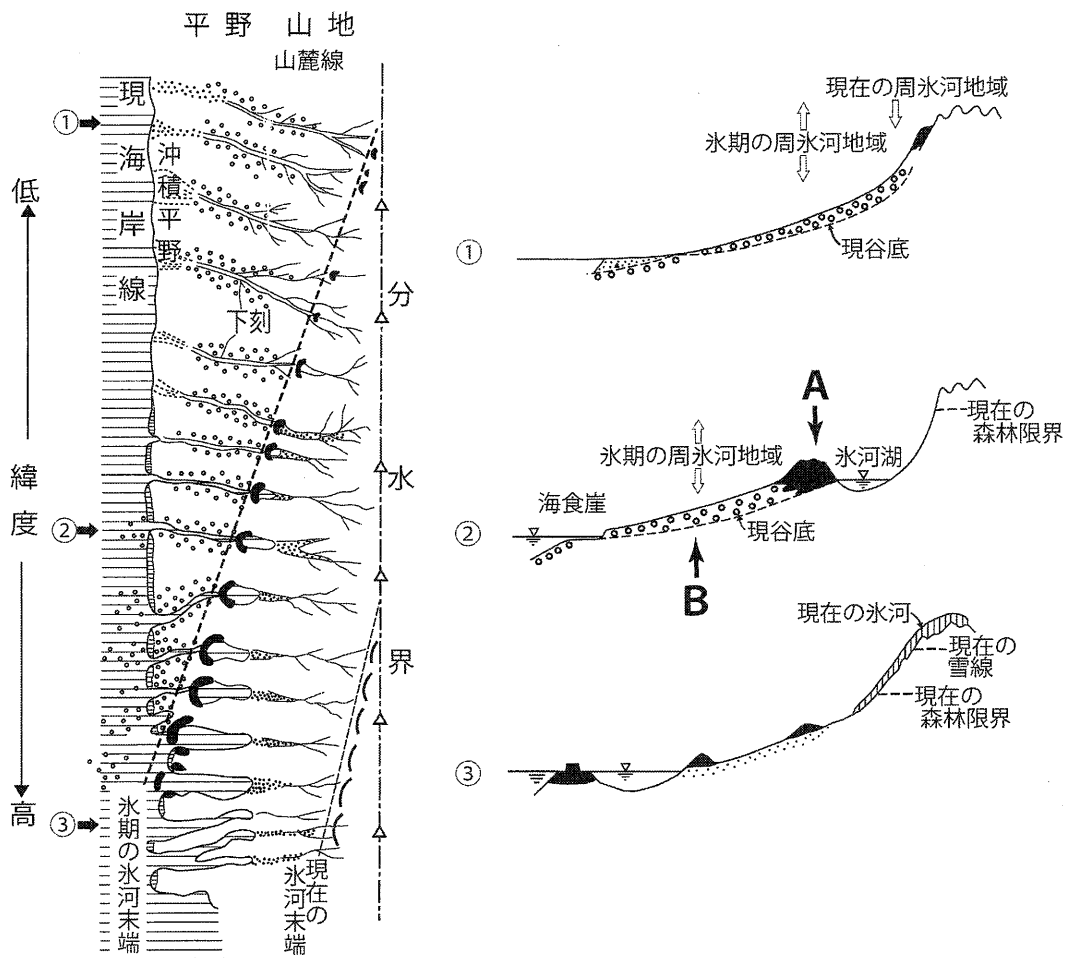


図 チリとニュージーランド南島から模式化された地形分類図と断面図（町田、1977を改変）

左の断面図①②③はそれぞれ、右の平面図の①②③の付近の河川の縦断面図である。

## 問題 B2 次の文を読み、問1～3に答えよ。

地理情報システム (GIS) は、従来は紙地図で示されてきた地理情報を電子化することによって可能となる様々な分析を実現している。GIS は地物を (a) ベクターデータとラスターデータ で電子化する。地理情報を電子化する利点の例として、投影変換により異なる (b) 投影法 で作成された地理情報を重ね合わせて検討することができる、(c) 長さや面積 を簡単に求めることができる、グラフ理論を用いて最短経路検索ができる、などを挙げるができる。GIS によって、これまで現実的ではなかった分析や応用ができるようになり、これを探求する学際的な学問分野として地理情報科学が成立している。

問1 下線部 (a) のベクターデータとラスターデータとは何か。両者の説明と適した地物について、それぞれ3行以内で述べよ。

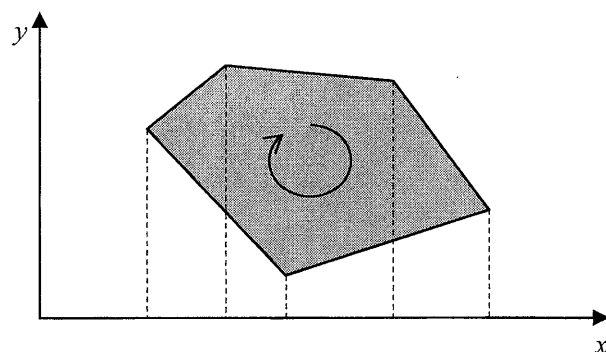
問2 下線部 (b) の投影法について、日本で用いられる代表的な地理座標系と投影座標系を1つずつ挙げよ。

問3 下線部 (c) について、下図を参考にして次の (1)、(2) を求める方法をそれぞれ2行以内で説明し、計算式を示せ。

(1) ポリゴンの周囲長

(2) ポリゴンの面積

ただし、ポリゴンは  $N$  個の頂点からなり、 $N+1$  番目の頂点は1番目の頂点と同一地点、 $i$  番目の座標値は  $(x_i, y_i)$ 、座標値は距離と面積が正しく計算される投影法によるものとする。また、頂点は時計回りの順番で番号が振られているものとする。



余白

## 問題 C1 以下の問1～問2に答えよ。

問1 以下の文章を読み、(1)～(3)に答えよ。

海洋プレート上の火山は、主に海洋地殻を作る (a) 中央海嶺の火山と、マントル深部からマグマが上昇する (b) ホットスポットの火山がある。両者とも、溶岩の大部分はマントル中の岩石が溶融したものであるが、一般に (c) 前者のマグマ化学組成は、後者のそれよりも Rb、Ba、U、Th、La、Ce、K、Sr、Nb、Hf 等の元素に乏しい。

(1) 下線部 (a) で形成される海洋地殻の構成岩石の特徴を、以下の語句を用いて3行以内で説明せよ。

{ 岩脈群、 枕状玄武岩、 マグマの供給、 はんれい岩 }

(2) 下線部 (b) の場所を起点に形成される火山列の特徴を、以下の語句を用いて2行以内で説明せよ。

{ サンゴ礁、 年代、 プレート運動、 平頂海山 }

(3) 下線部 (c) のようなマグマ化学組成の違いは、下線部 (a) と (b) の違い以外に、同じ岩石の溶融でも生じる場合がある。この原因として考えられることを3行以内で述べよ。

問2 岩石や鉱物の年代測定について、以下の(1)～(4)に答えよ。

(1) 陸上に流出し、若干変質した無斑晶質玄武岩について、 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年代測定を行ったところ、より高温部で抽出した Ar 同位体比による年代値が、複数の温度段階において誤差範囲で一致し、玄武岩の噴出年代として決定することができた。一方、同じ試料の K-Ar 年代測定を行ったところ、 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年代値よりも若い年代値が得られた。この原因として考えられることを以下の語句を全て用いて6行以内で説明せよ。なお、 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年代測定法は、試料に中性子照射を施し、親核種の指標である  $^{39}\text{K}$  を  $^{39}\text{Ar}$  に人工壊変させた試料を分析する手法である。

{ K の測定、 段階加熱法、 質量分析計、 変質 }

(2)  $^{238}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}$  崩壊系列および  $^{235}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}$  崩壊系列のアイソクロンは、それぞれ方程式 (A) および (B) のように表される。 $t$  は時間、 $\lambda$  は崩壊定数、 $0$  が付いている同位体比は  $t=0$  の時の同位体比を示す。

$$\left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right) = \left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0 + \left(\frac{^{238}\text{U}}{^{204}\text{Pb}}\right) (e^{\lambda^{238}t} - 1) \quad (\text{A})$$

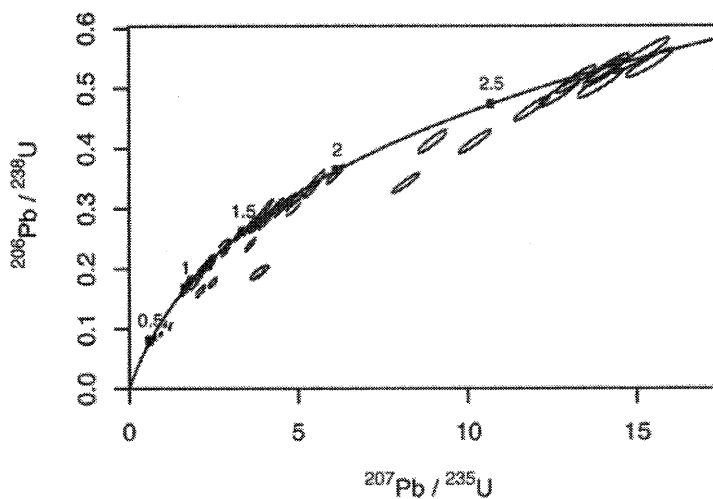
$$\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right) = \left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0 + \left(\frac{^{235}\text{U}}{^{204}\text{Pb}}\right) (e^{\lambda^{235}t} - 1) \quad (\text{B})$$

ジルコン粒子を用いたこれら 2 系列の年代測定の場合、 $t$  の時点でジルコン粒子内の U および Pb について閉鎖系が保たれていれば、以下に示す一つの式 (C) に簡略化できる。その理由を 3 行以内で説明せよ。ここで\*は放射壊変起源の同位体を示す。

$$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}} = \left( \frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}} + 1 \right)^{\frac{\lambda^{238}}{\lambda^{235}}} - 1 \quad (\text{C})$$

(3) 式 (C) の名称を答えよ。

(4) 下の図は、地球上で得られた砂岩中のジルコン粒子の年代測定結果を示している。実線で示された曲線は、式 (C) であり、それに沿った数字は年代 (Ga) である。すべての粒子において測定が成功しているにも関わらず、式 (C) から大きく外れたものがあるが、この理由としてジルコン粒子内で何が起こったのか、考えられることを 2 行以内で答えよ。



Reimink et al. (2016)を改変

**問題 C2 次の文を読み、以下の問1～問5に答えよ。**

太古代の地層ではマグネシウムに富んだコマチアイトやナトリウムに富んだ(1) トロ  
ンジェマイトなどの火成岩や、(2) 縞状鉄鉱層、グラファイトを含んだ岩石が見られる。  
グラファイトの起源として、変成作用時に無機的に生成される場合と、生物由来の有機  
物の場合とがある。

問1 図1において文中(1)のトロ  
ンジェマイトはA から E のどれに該当するか、適切  
な記号を選べ。

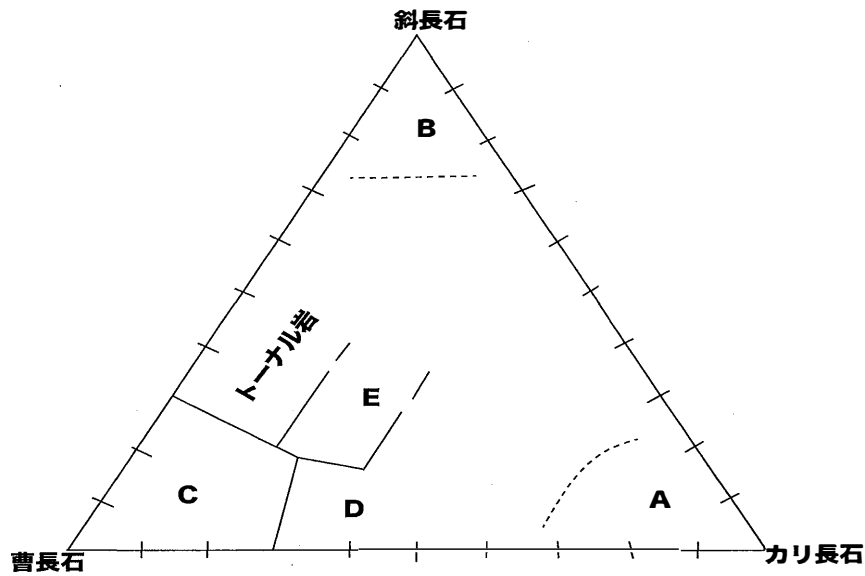


図1 長石のノルム組成による花崗岩類の分類図 (Barker, 1979 を改変)

問2 文中(2)の太古代の縞状鉄鉱層の形成プロセスに関して、一般的にどのように説  
明されているか。以下の語句を用いて7行以内で答えよ。

{ 無酸素、石英、赤鉄鉱、海底熱水、シアノバクテリア }

問3 縞状鉄鉱層にはシデライト( $\text{FeCO}_3$ )が含まれることがあり、角閃岩相以上の温度の  
変成作用を被ったシデライトは分解し、グラファイトを生成することがある。この際  
に、石英—磁鉄鉱—ファヤライト(QMF)バッファー付近の条件でグラファイトが生成  
されるとすると、その化学反応式を示せ。

問4 問3の条件でグラファイトが 600°Cの変成作用時に生成されたとする。変成流体に十分な量の二酸化炭素ガスが含まれ、二酸化炭素ガスと未反応シデライトの $\delta^{13}\text{C}$ 値が変成作用後も-6‰であったとすると、この時生成したグラファイトの $\delta^{13}\text{C}$ 値はどのような値になるか、図2が成り立つとして答えよ。ただし、全ての含炭素物質の間で同位体平衡が成り立つと仮定する。

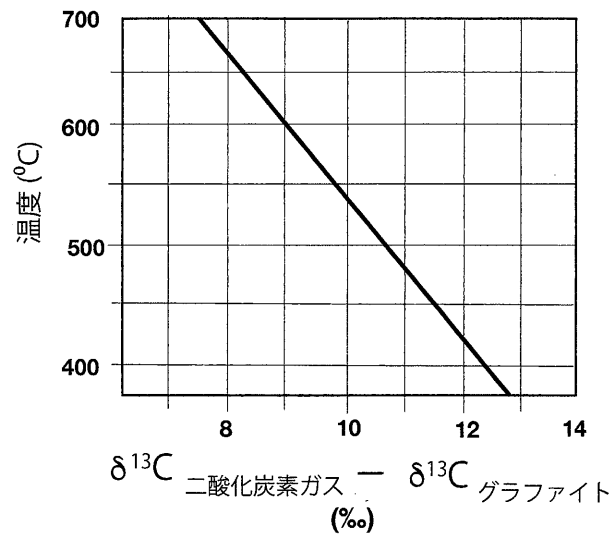


図2 炭素同位体分別効果と温度の関係

問5 問3のようにして生成するグラファイトと、生物由来有機物から形成されるグラファイトの間では $\delta^{13}\text{C}$ 値に差が生じることが報告されている。これらグラファイト間で、 $\delta^{13}\text{C}$ 値に違いが生じる理由は何か、4行以内で述べよ。

**問題 C3 次の文を読み、以下の問1～問5に答えよ。**

図1は地球のマントルを構成すると考えられている主要な鉱物の体積割合が深さによってどのように変化していくのかを模式的に示したものである。上部マントルは、主に **A**、**B**、**C** から構成されると考えられている。**A** は上部マントルで約60%の存在度を占めており、深さ410 km付近で **D** へ相転移し、**D** は深さ520 km付近で **E** に相転移し、さらに **E** は約660 kmの深さで **F** と **G** に分解すると考えられている。**A**、**D**、**G** は **X** 晶系であり、**E** と **F** は **Y** 晶系である。また、**B** と **C** は、上部マントルにおいて合わせて40%程度の存在度を占めている。深くなると **B** 中に **C** の鉱物が固溶するようになり、マントル遷移層付近では **B** のみが存在するようになる。この **C** の成分に富む **B** はメージャライト(majorite)と呼ばれている。

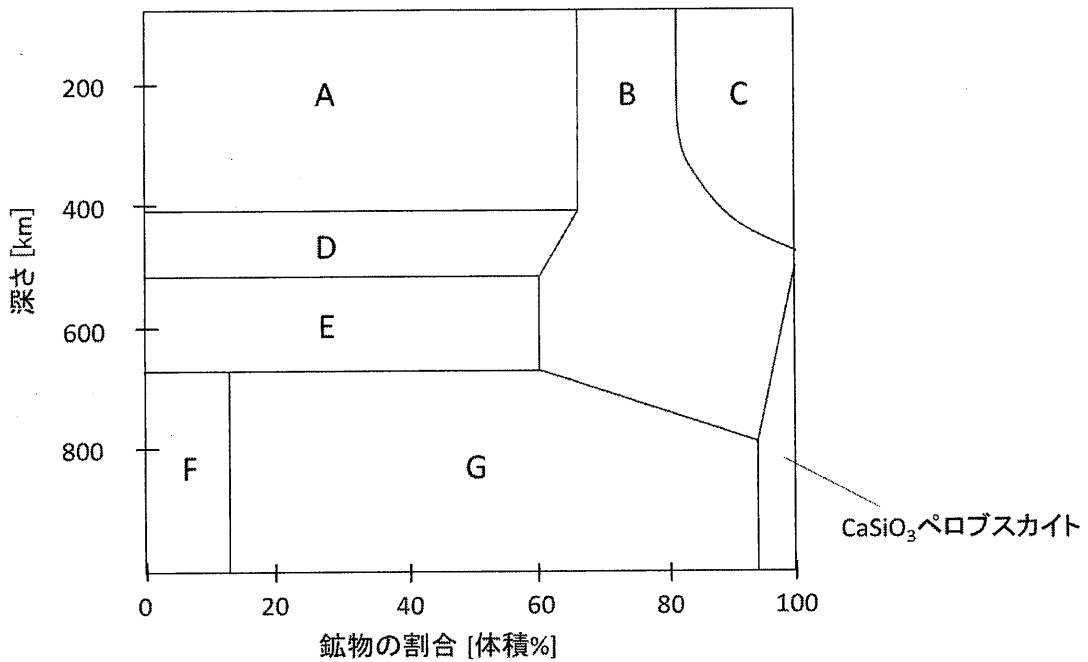


図1

Irifune (1993)のデータを参考に模式的に作成

問1 文中と図1中の **A** ~ **G** に入る鉱物名を答えよ。また、本文の **X** と **Y** に入る晶系を答えよ。

問2 A、D、E、Gの鉱物に関して、ケイ素 (Si) 周りの酸素 (O) の配位数を答えよ。



問3 鉱物 E の化学組成を  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ 、鉱物 F の化学組成を  $\text{MgO}$ 、鉱物 G の化学組成を  $\text{MgSiO}_3$  とした場合、それぞれの鉱物の密度を算出せよ。ただし、原子量は  $\text{Mg} = 24$ 、 $\text{Si} = 28$ 、 $\text{O} = 16$  とし、アボガドロ定数として  $6 \times 10^{23}$  を使用せよ。また、それぞれの鉱物の単位格子の各稜の長さ ( $a$ 、 $b$ 、 $c$ ) と単位格子中の原子数 ( $Z$ ) は下の値を用い、密度は  $\text{g/cm}^3$  の単位を用い、答えは小数第二位まで示すこと。

E
---

 の鉱物:  $a = 8.07 \text{ \AA}$ ,  $Z = 8$

F
---

 の鉱物:  $a = 4.21 \text{ \AA}$ ,  $Z = 4$

G
---

 の鉱物:  $a = 4.78 \text{ \AA}$ ,  $b = 4.93 \text{ \AA}$ ,  $c = 6.90 \text{ \AA}$ ,  $Z = 4$

問4 クラペイロン-クラウジウスの式を示せ。

また、 $A \rightarrow D$  の相転移と  $E \rightarrow F+G$  の分解におけるクラペイロン勾配の傾きが正か負かをそれぞれ答えよ。ただし、 $A \rightarrow D$  の相転移におけるエントロピー変化は負、 $E \rightarrow F+G$  の分解反応におけるエントロピーの変化は正である。

問5 海溝から沈み込むプレートがマントル遷移層底部で停滞する様子が地震学的に観測されている。そこで  $E \rightarrow F+G$  の分解反応に着目し、プレートがマントル遷移層底部で停滞する 1 つの理由を記述せよ。ただし、沈み込むプレートは周囲のマントルより温度が低いものとする。

