

# 地球科学

## 【第10問】

I 上部マントルでの部分熔融や地殻内での結晶分別作用により、多様な化学組成をもつ火山岩が生じる。火山岩の微量元素組成は、このようなプロセスや、起源となるマントル物質の組成を推定する上で有用な情報源となる。以下の問いに答えよ。

- (1) 鉱物とメルトが平衡共存するとき、鉱物に濃集する元素を（ア）元素、メルトに濃集する元素を（イ）元素という。（ア）および（イ）に当てはまる語句を答えよ。
- (2) ある元素について、ある鉱物中の濃度を $C_S$ 、平衡共存するメルト中の濃度を $C_L$ とすると、分配係数はどのように示されるか、答えよ。
- (3) 微量元素1、微量元素2について、各鉱物と平衡共存するメルトの間の分配係数が表1の通りであったとする。

表1

	微量元素1	微量元素2
カンラン石	0.0010	0.0010
単斜輝石	0.0030	0.12
直方（斜方）輝石	0.0030	0.020
斜長石	0.050	1.5

- (3-1) 表1の微量元素1と考えられるものを Co, Cr, Ni, Rb の中から一つ選び、元素記号を答えよ。
- (3-2) 表1の微量元素2の同位体比は、Pb, Nd 等と共に、火山岩の起源となるマントル物質等の推定に広く用いられている。元素記号を答えよ。

(3-3) メルトと平衡共存するカンラン石, 単斜輝石, 直方 (斜方) 輝石, 斜長石の重量比が 1:2:2:5 であった時, 微量元素 1, 微量元素 2 それぞれのバルク分配係数を有効数字 2 桁で求めよ.

(4) 部分熔融や結晶分別作用と微量元素濃度の関係について, 考えてみよう.

(4-1) 上部マントルを構成する岩石において, 各鉱物とメルトが平衡を保ちつつ部分熔融した場合 (バッチ式熔融), ある微量元素について, 熔融前の固相中の濃度を  $C_0$ , 生成したメルト中の濃度を  $C_L$ , メルトの質量分率を  $F$ , バルク分配係数を  $D$  とする.  $C_L/C_0$  を  $F$  と  $D$  を用いて表せ.

(4-2) 上部マントルを構成する岩石の部分熔融 (バッチ式熔融とする) によりメルトが生じるとき, 仮に全く同じ起源物質であっても, バルク分配係数が小さい元素のメルト中の濃度に顕著な違いが生じる可能性がある. この違いは, どのような原因により生じ得るか, 上記 (4-1) の式を参考に 15 字程度で簡潔に答えよ.

(4-3) 地殻内のマグマ溜りにおいて, メルトから晶出した斑晶鉱物が, 残液と再平衡に達することなく晶出と同時に系から直ちに取り去られる (レイリー分別) とき, ある微量元素について, 晶出開始直前のメルト中の濃度を  $C_0'$ , 残液中の濃度を  $C_L$ , 元のメルト量に対しての残液の質量分率を  $F$ , バルク分配係数を  $D$  とする. ここで, この微量元素のバルク分配係数  $D$  が 0 と見なされる場合,  $C_L/C_0'$  を  $F$  を用いて表せ.

II 海底の構造に関する以下の文を読み, 問いに答えよ.

岩石の全体積に対する間隙の体積の割合を間隙率  $\phi$  という. 海底面における間隙率  $\phi_0$  が 75% のとき, 海底面から採取される堆積岩試料  $20 \text{ cm}^3$  中の間隙の体積は ( ① ) である. 間隙率が大きいほど堆積岩の密度が ( ② ) という関係がある.

海底下にある堆積岩の間隙率  $\phi$  を求めるには, 掘削などで採取した試料を

実験室で直接測定するか、地震波速度や電気伝導度などの観測値との経験的な関係から推定する。定性的には、 $\phi$  が大きいと、固体部分の占める割合が ( ③ ) なることから、地震波速度が ( ④ ) なる。また間隙が海水で飽和している海底下の堆積岩の場合、 $\phi$  が大きいと海水の割合が ( ⑤ ) くなり、電気伝導度が ( ⑥ ) なる。なお、堆積岩中の間隙を占める水の圧力を間隙水圧  $P_p$  といい、深度によって変化する。

以下の問いで用いられる記号・値は表2の通りである。

表 2

$\rho_w$	海水の密度 (定数)	$z$	海底面からの深度
$g$	重力加速度 (定数)	$P_0$	海底面における圧力
$\phi$	間隙率	$P_p$	間隙水圧
$\phi_0$	海底面における間隙率 ここでは 75%	$\beta$	物質定数 ここでは $2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$

※海底面を  $z = 0$ ,  $z$  は深さ方向を正, 圧力は圧縮方向を正とする。

- (1) 問題文の ①～⑥ に入る最も適切な数値または語句を記入せよ。
- (2) 海底で様々な粒子が堆積して徐々に圧密する過程では、自重により徐々に間隙がつぶれてゆく。このことは近似的に式 (1) のように表される。

$$\phi = \phi_0 \exp(-\beta \cdot z) \quad \text{式 (1)}$$

式 (1) および表 2 で示された記号・値を用いて、以下の問いに答えよ。

- (2-1) 間隙率が  $\phi_0$  の  $1/e$  になる深度、およびその時の間隙率の値を有効数字 2 桁で求めよ。  $e$  は自然対数の底で、2.7 とする。
- (2-2) 解答用紙に図 1 を描き写し (問題文の最後参照)、 $\phi$  の  $z$  に対する変化を図示せよ。図には、 $z = 0$  および (2-1) で求めた深度での間隙率も書き加えよ。

(2-3) 式(1)が成立するのは、堆積岩に自重以外の力がかかっておらず、間隙水圧  $P_p$  が静水圧に等しい場合である。その場合の  $P_p$  の深度に対する変化を、表2の記号から必要なもの ( $\phi$  を除く) を用いて式で表せ。

(2-4) 南海トラフ沿いの付加体中の断層付近で、式(1)で予測される値に比べて高い  $\phi$  が地震波速度異常等から推定された。断層付近の高い  $\phi$  が断層すべりにどのような影響を及ぼすと考えられるか。以下の語句全てを用いて、100字程度で説明せよ。

せん断強度                  間隙水圧                  有効法線応力

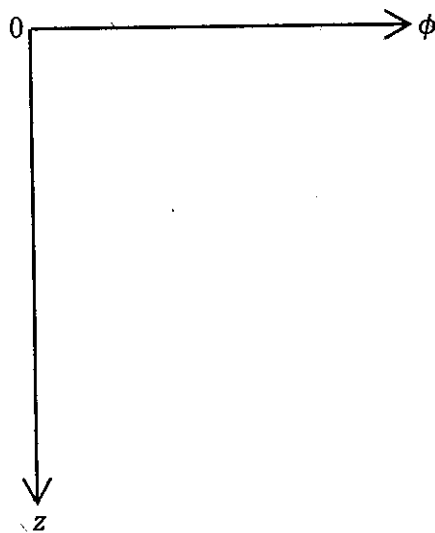


図1

# 地球科学

## 【第11問】

I テクトニクスに関する以下の問いに答えよ。

図1は、3種類のプレート境界が1点で会合するプレート三重点の模式図である。プレートAとBの境界はすれ違い型、プレートBとCとの間は収束型、プレートAとCとの間は発散型の境界である。A-B境界とB-C境界は一直線で南北方向である。A-B境界では、プレートBに対してプレートAが北向き（ $0^\circ$ 方向）に50 mm/年で運動している。A-C境界は北から時計回りに $210^\circ$ の方向である。A-C境界では、両プレートは相対速度40 mm/年で境界に直交する方向に離れていっている。B-C境界では、プレートCがプレートBの下に沈み込んでいる。プレートAとCは海洋プレートであり、プレートBはその大半を大陸が占めている。

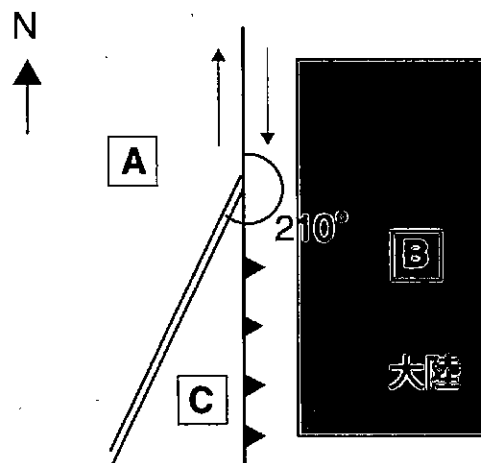


図1 プレート三重点模式図

- (1) A-B, B-C, A-C境界のそれぞれでみられる特徴的な大地形（構造）の名称を答えよ。
- (2) 図1において、火成活動が見られる場所はどこかを答えよ。文章で説明してもよいし、解答用紙に図で示してもよい。

- (3) B-C境界において、一般的にプレートCが沈み込む側になる理由について、海洋プレートと大陸プレートの違いにふれつつ、80字程度で説明せよ。
- (4) プレートが変形しない剛体であるとする、プレート三重点が安定して存在するためには、それぞれのプレート間の相対運動速度ベクトル( $c_{UB}$ : プレートBに対するプレートCの速度,  $a_{UC}$ : プレートCに対するプレートAの速度,  $b_{UA}$ : プレートAに対するプレートBの速度)が、閉じた三角形となる必要がある。図1の模式図で、プレートBに対するプレートCの相対運動速度  $c_{UB}$  の大きさと方向を求めよ。方向は北から時計回りに測った角度とし、いずれの値も計算過程を示し、単位をつけて答えること。必要であれば次ページの三角関数表を使ってよい。有効数字は2ケタとする。
- (5) A-C境界では新しい海洋地殻が生産され、海底拡大が起こっている。このような発散境界での両プレートの相対運動速度を求める場合、数10万年スケールの平均値として推定する一般的な手法を50字程度で説明せよ。
- (6) 日本周辺に目を向けると、房総半島の沖合にプレート三重点が存在する。房総沖三重点の型を○-○-○の形式(○に、「すれ違い」、「収束」、「発散」のいずれかが入る)として答えよ。

### 三角関数表

角度	正弦 (sin)	余弦 (cos)	正接 (tan)	角度	正弦 (sin)	余弦 (cos)	正接 (tan)
0	0.0000	1.0000	0.0000	45	0.7071	0.7071	1.0000
1	0.0175	0.9998	0.0175	46	0.7193	0.6947	1.0355
2	0.0349	0.9994	0.0349	47	0.7314	0.6820	1.0724
3	0.0523	0.9986	0.0524	48	0.7431	0.6691	1.1106
4	0.0698	0.9976	0.0699	49	0.7547	0.6561	1.1504
5	0.0872	0.9962	0.0875	50	0.7660	0.6428	1.1918
6	0.1045	0.9945	0.1051	51	0.7771	0.6293	1.2349
7	0.1219	0.9925	0.1228	52	0.7880	0.6157	1.2799
8	0.1392	0.9903	0.1405	53	0.7986	0.6018	1.3270
9	0.1564	0.9877	0.1584	54	0.8090	0.5878	1.3764
10	0.1736	0.9848	0.1763	55	0.8192	0.5736	1.4281
11	0.1908	0.9816	0.1944	56	0.8290	0.5592	1.4826
12	0.2079	0.9781	0.2126	57	0.8387	0.5446	1.5399
13	0.2250	0.9744	0.2309	58	0.8480	0.5299	1.6003
14	0.2419	0.9703	0.2493	59	0.8572	0.5150	1.6643
15	0.2588	0.9659	0.2679	60	0.8660	0.5000	1.7321
16	0.2756	0.9613	0.2867	61	0.8746	0.4848	1.8040
17	0.2924	0.9563	0.3057	62	0.8829	0.4695	1.8807
18	0.3090	0.9511	0.3249	63	0.8910	0.4540	1.9626
19	0.3256	0.9455	0.3443	64	0.8988	0.4384	2.0503
20	0.3420	0.9397	0.3640	65	0.9063	0.4226	2.1445
21	0.3584	0.9336	0.3839	66	0.9135	0.4067	2.2460
22	0.3746	0.9272	0.4040	67	0.9205	0.3907	2.3559
23	0.3907	0.9205	0.4245	68	0.9272	0.3746	2.4751
24	0.4067	0.9135	0.4452	69	0.9336	0.3584	2.6051
25	0.4226	0.9063	0.4663	70	0.9397	0.3420	2.7475
26	0.4384	0.8988	0.4877	71	0.9455	0.3256	2.9042
27	0.4540	0.8910	0.5095	72	0.9511	0.3090	3.0777
28	0.4695	0.8829	0.5317	73	0.9563	0.2924	3.2709
29	0.4848	0.8746	0.5543	74	0.9613	0.2756	3.4874
30	0.5000	0.8660	0.5774	75	0.9659	0.2588	3.7321
31	0.5150	0.8572	0.6009	76	0.9703	0.2419	4.0108
32	0.5299	0.8480	0.6249	77	0.9744	0.2250	4.3315
33	0.5446	0.8387	0.6494	78	0.9781	0.2079	4.7046
34	0.5592	0.8290	0.6745	79	0.9816	0.1908	5.1446
35	0.5736	0.8192	0.7002	80	0.9848	0.1736	5.6713
36	0.5878	0.8090	0.7265	81	0.9877	0.1564	6.3138
37	0.6018	0.7986	0.7536	82	0.9903	0.1392	7.1154
38	0.6157	0.7880	0.7813	83	0.9925	0.1219	8.1443
39	0.6293	0.7771	0.8098	84	0.9945	0.1045	9.5144
40	0.6428	0.7660	0.8391	85	0.9962	0.0872	11.4301
41	0.6561	0.7547	0.8693	86	0.9976	0.0698	14.3007
42	0.6691	0.7431	0.9004	87	0.9986	0.0523	19.0811
43	0.6820	0.7314	0.9325	88	0.9994	0.0349	28.6363
44	0.6947	0.7193	0.9657	89	0.9998	0.0175	57.2900
45	0.7071	0.7071	1.0000	90	1.0000	0.0000	— — —

II 温室効果と気候変化に関する次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。

大気の温室効果とは、太陽放射をよく透過し、赤外放射をよく吸収する性質の気体を含む大気がある場合に、その大気がない場合に比べて地表面温度を高くする効果である。現在の地球には二酸化炭素・(A) 水蒸気・(B) メタンなどの温室効果気体を含む大気が存在するため、大気のない場合に比べて地表面平均温度が高くなっている。産業革命以来、大気中で着実に増加してきた二酸化炭素の濃度がさらに高くなると、気温がさらに上昇することが懸念されており、地球温暖化問題として知られている。

また、(C) 地球の表面温度は太陽放射エネルギー（太陽定数）の影響も受ける。太陽定数は数万年程度の短い時間スケールでは大きく変動しないが、地球史を通じた長い時間スケールで見ると徐々に増加してきたとされる。例えば、(D) 約 30 億年前の太陽定数は現在の約 8 割しかなかったと考えられている。

- (1) 下線部 (A) について、水蒸気の温室効果は温暖化が進むとさらに強まると考えられている。その理由について 50 字程度で答えよ。
- (2) 下線部 (B) について、メタンは農業や畜産業などの人間活動によって放出されるが、その濃度上昇はメタンの放出量の増加から積算されるよりも小さく、産業革命前の約 0.7 ppm から 1 ppm ほどしか増加していない。濃度上昇が小さい理由について 30 字程度で答えよ。
- (3) 下線部 (C) について、図 2 はシュテファン・ボルツマンの法則にもとづく、地表面平均温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) と放射エネルギー量 ( $\text{Wm}^{-2}$ ) の関係である。この関係を用いて以下の設問に図 2 から読み取れる精度で答えよ。計算過程も示すこと。
  - (3-1) 太陽定数を  $1360 \text{ Wm}^{-2}$ 、太陽からの放射エネルギーの地表面の反射率を 0.3 としたとき、地表面の温度は約何  $^{\circ}\text{C}$  になるか答えよ。ただし、地球は大気がない温度一様の球体であると仮定する。



(3-2) (3-1) の状態から太陽定数が 10% 増加した場合、温度は何°C上昇するか答えよ。

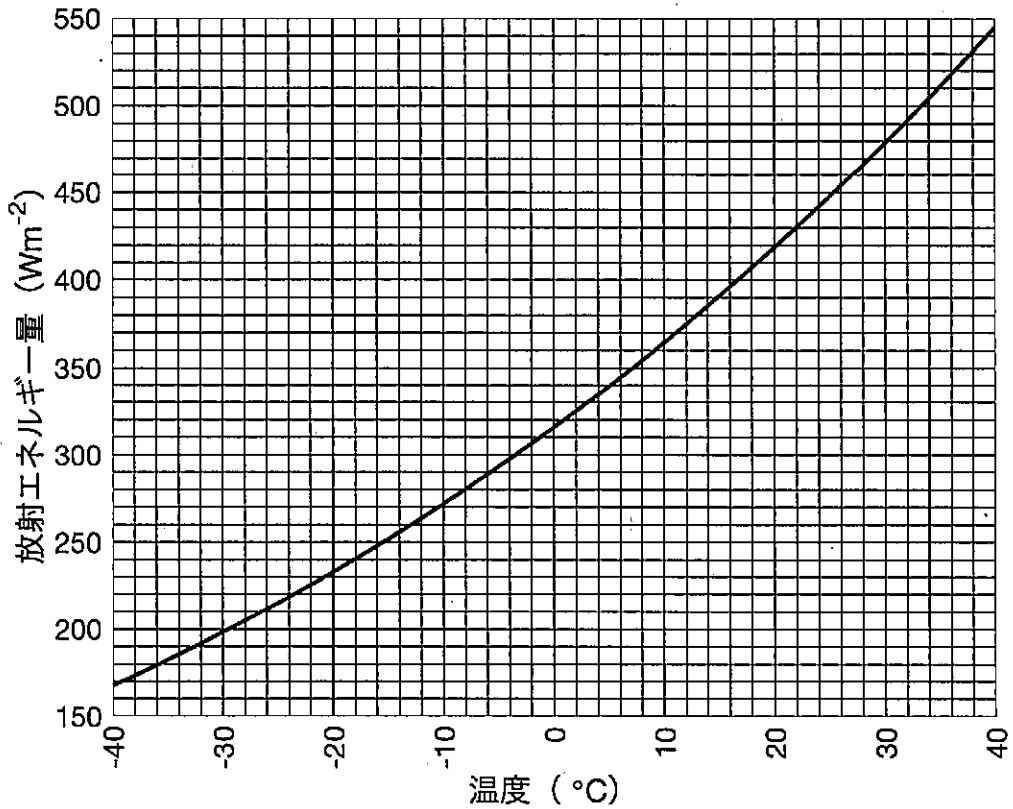


図2 シュテファン・ボルツマンの法則に基づく地表面平均温度と放射エネルギー量の関係

(4) 下線部 (D) について、太陽定数が現在の 8 割だったにもかかわらず、30 億年前の地球は温暖だったとされる。この時代の地球を温暖にした要因についてどのように考えられているかを温室効果気体以外に 1 つ挙げ、40 字程度で答えよ。