

令和3年度（2021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2年8月27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) 試験開始の合図があるまで、この冊子を開かないこと。
- (4) 試験中大きな地震が発生した場合、試験監督の指示に従うこと。
- (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。解答用紙は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。なお、問題A1を選択する際は、A1と書かれた解答用紙を使うこと。
- (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 以下の問1～問2に答えよ。

問1 地球の内部構造探査に関する次の文章を読み、小問（1）～（3）に答えよ。

地表付近に震源を持つ人工地震について、さまざまな震央距離 (km) に対する地震波の到達所要時間 (秒) を観測した結果、表1の観測結果を得た。観測点付近の地下は地表面に平行な1つの速度不連続面で二つの層（第1層、第2層）に分けられることがわかった（図1）。直接波と屈折波が同時に到達する震央距離 K は、浅い層の地震波速度 V_1 、深い層の地震波速度 V_2 、浅い層の厚さ D 、第1層から第2層への入射角 ϕ を用いると、次式 (a) で表すことができる。

$$D = \frac{K}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} \quad \dots (a)$$

表1 震央距離と地震波が到達するまでの所要時間

震央距離 (km)	36	75	114	150	180	220	244	280	300
所要時間 (秒)	6.0	12.5	19	25	30	35	38	42.5	45

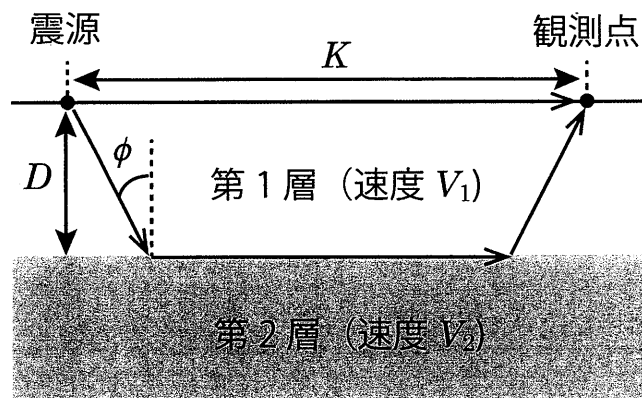


図1 地下を通る地震波の経路

- (1) 図1を参考に、式(a)をスネルの法則 $V_1/V_2 = \sin\phi$ から導け。
- (2) 表1から走時曲線を描き、 V_1 , V_2 , D を有効数字2桁で求めよ。計算の過程を示すとともに、単位も明記せよ。なお、 $\sqrt{7} = 2.646$ とする。
- (3) 上記の結果から判断すると、第1層、第2層とその境界の速度不連続面は、地球内部構造のそれぞれ何に対応すると考えられるか、その名称を答えよ。

問2 地球内部の熱とプレートテクトニクスに関する次の文章を読み、小問(1)～(3)に答えよ。

地球内部は高温であり、温度の低い地表に向かって定常的に流れる熱が地殻熱流量である。地殻熱流量は、地球全体で平均すると $8.7 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ であり、(ア)この熱の移動によって、地球は誕生以来冷え続け、この冷却過程でマントルが対流し、プレートが移動している。大陸地域の地殻熱流量の熱源は、地殻内に含まれる放射性元素の自然崩壊による熱でほぼ説明できる。しかしながら、(イ)海洋地域の地殻熱流量は大陸地域と同程度であるものの、海洋地殻内の放射性元素が自然崩壊するときの熱だけでは説明できない。

- (1) 下線部(ア)について、地球表面から1年間に放出される熱エネルギーを有効数字1桁で求めよ。解答には計算の過程も示すこと。ただし、地球の半径を $6.4 \times 10^6 \text{ (m)}$ 、1年を $3.2 \times 10^7 \text{ (秒)}$ とする。
- (2) 下線部(イ)について、放射性元素の自然崩壊による熱以外の、海洋地域の地殻熱流量を説明する要因について2行以内で説明せよ。
- (3) 太古代のマントルの温度は現在よりも高かったと考えられている。この時代の海洋プレートは、現在に比べて、どのような厚さだったと予想できるか、その理由も含めて、5行以内で記述せよ。以下の語句を全て用いること。

(マントル対流、海嶺、粘性、海洋プレートの生成速度)

問題A2 以下の問1～問2に答えよ。

問1 津波の主な発生原因とその最近の実例に関して、以下のキーワードリストから用語を4つ選び、3行以内で説明せよ。なお、選んだ用語はそれぞれ1回だけ使用すること。

{ 日本海／日本海溝／日本列島／南海トラフ巨大地震／東北地方太平洋沖地震／プレート内地震／プレート境界型地震／首都直下地震／海底地殻変動／海水準変動／環境変動 }

問2 堆積物の運搬に関する次の文章を読み、以下の問に答えよ。

波長 L [m]が水深 h [m]に比べて十分に長い波（おおむね $L > 20h$ ）を長波という。津波は長波の一種である。長波が海洋を伝播する速度（波の位相速度） C [m/s]は海の水深 h のみに依存し、式 (a)で表される。

$$C = \sqrt{gh} \quad \dots(a)$$

ただし、 g は重力加速度 (9.8 m/s^2) である。水深 h が浅くなることによる長波の振幅 A [m]の増大は、Green の定理により、式 (b)のように表される。

$$Ah^{1/4} = \text{一定} \quad \dots(b)$$

なお、長波の伝播速度は水粒子の移動速度（水深平均流速）とは異なる。水深 h で振幅 A のとき、水粒子は底面から水表面まで、式 (c)で表される水深方向に一様な速度 U [m/s]で水平方向に移動（振動）する。

$$U = A\sqrt{g/h} \quad \dots(c)$$

底面が流れに及ぼす摩擦の大きさを表した摩擦速度 U_* [m/s]とは、流れが底面に及ぼす剪断応力と流れの密度から定義される。流れの水深平均流速 U と摩擦速度 U_* の比 U/U_* は、おおむね16～20程度であることが知られている。底面にある粘着性を有しない堆積物粒子が、水流によって移動を開始するときの摩擦速度を限界摩擦速度 $U_{*,cr}$ [m/s]という。図1は、堆積物の粒径 d [m]と $U_{*,cr}$ の関係を示している。

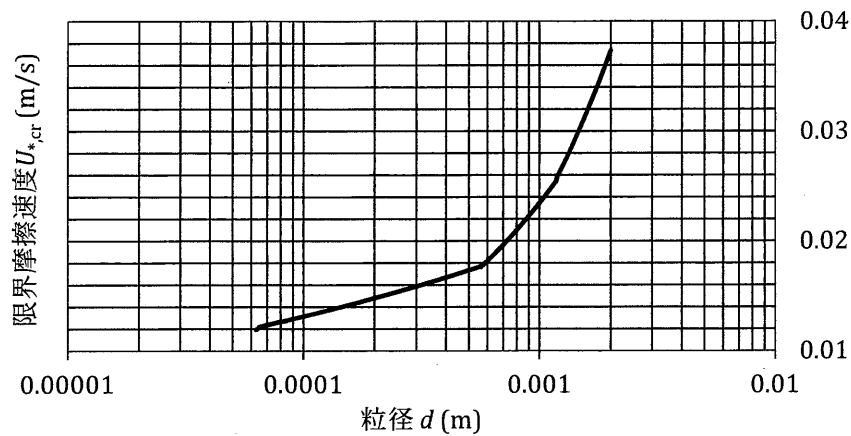


図1 堆積物の粒径 d と限界摩擦速度 $U_{*,cr}$ の関係 (岩垣, 1956)。

水深 4050 m の地点 P_0 での長波の伝播速度を C_0 、波の振幅を A_0 、水深平均流速を U_0 とする。また、水深 50 m の地点 P_1 での長波の伝播速度を C_1 、波の振幅を A_1 、水深平均流速を U_1 とする。 $A_0 = 1$ m とするとき、以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ。

$\sqrt{2/5} = 0.63$ とする。

- (1) 2 つの地点での伝播速度の比 C_1/C_0 、波の振幅の比 A_1/A_0 、水深平均流速の比 U_1/U_0 を整数または分数を用いて表示せよ。解答には導出過程も示すこと。
- (2) 地点 P_0 および P_1 での水深平均流速を小数第二位まで求めよ。解答には導出過程も示すこと。
- (3) 地点 P_0 の海底に存在する粒径 $d = 0.1$ mm の堆積物粒子および地点 P_1 の海底に存在する粒径 $d = 1$ mm の堆積物粒子が津波によって移動するかどうか評価せよ。なお、 $\sqrt{2/5} = 0.63$ とし、堆積物の粘着性は考慮しないものとする。解答には導出過程も示すこと。

問題 B1 次の文章を読み、以下の問1～問3に答えよ。

仙台市街地付近を流下する広瀬川の、現在および最終氷期（とくに中町（なかまち）段丘面（中町面）形成期）における水理状況を比較検討する。現河床において区間 A：牛越橋付近（標高 32.9 m）－川内川前丁（同 26.0 m）、中町面上において区間 B：大崎八幡宮前（同 59.5 m）－支倉町（同 48.0 m）をそれぞれ設定する。区間水平距離は、A: 1890 m および B: 1615 m であり、それぞれ河道に沿っているものとする。現在および中町面形成期における区間 A, B それぞれの河床勾配を、分子を 1 とする分数で求めると、区間 A は、 $1/\square{\text{ア}}$ 、区間 B は、 $1/\square{\text{イ}}$ である。

また河川の流速に関する Manning 式は以下のとおりである。

$$v = n^{-1} R^{0.667} I^{0.5}$$

ただし、 v は流速(m/s)、 n は粗度係数(次元あり)、 R は径深(m)、 I は河床勾配とする。

問 1 文中の $\square{\text{ア}}$ 、 $\square{\text{イ}}$ に入る数値を、式を示し有効数字 2 桁の整数で答えよ。

問 2 径深の定義と平均水深との関係を 2 行程度で記せ（簡単な図を併用してもよい）。

問 3 (1) 日本列島の最終氷期における平均的な年降水量は、地域により異なるが、現在のおおよそ 5～8 割程度の量と見積もられることが多い。そこで、広瀬川流域における最終氷期、中町面形成期の年降水量が、現在の 70% の量であると仮定した場合、最終氷期における区間 B での平均的な河道幅ほどの程度であるか。現在の平均的河道幅（区間 A）に対する割合を算定し、その百分率（100 以上の値であれば有効数字 2 桁、100 以下の値の場合有効数字 1 桁の整数）を、計算および思考過程を示しながら答えよ。

ただし、両時期とも河川は定常等流な流れであったこと、水理状況に応じた河道幅を持つことに制約がないことを前提とする。また、区間 A、B における現河床堆積物および中町段丘堆積物の代表粒径と各河床勾配より、現在および中町面形成期における河道の平均水深は、それぞれ 2 m および 1 m と見積もられるものとする。上記区間 A、B から起算される流域面積、および Manning 式の粗度係数について、いずれも現在と中町面形成期とで差がないものとする。計算に際して、表 1 と $2^{0.667}=1.588$ の値を用いよ。

(2) (1)の結果が、区間 A, B を超え河成段丘発達地域（広瀬川以北、長町－利府線以西）のほぼ全域で成立する場合、その結果と、河道・現河床付近の沖積面および中町面の分布面積（図 1 参照）との関係を、下記{ }内の語句を用い 5 行程度で説明せよ。

{ 侵食基準面、側方侵食 }

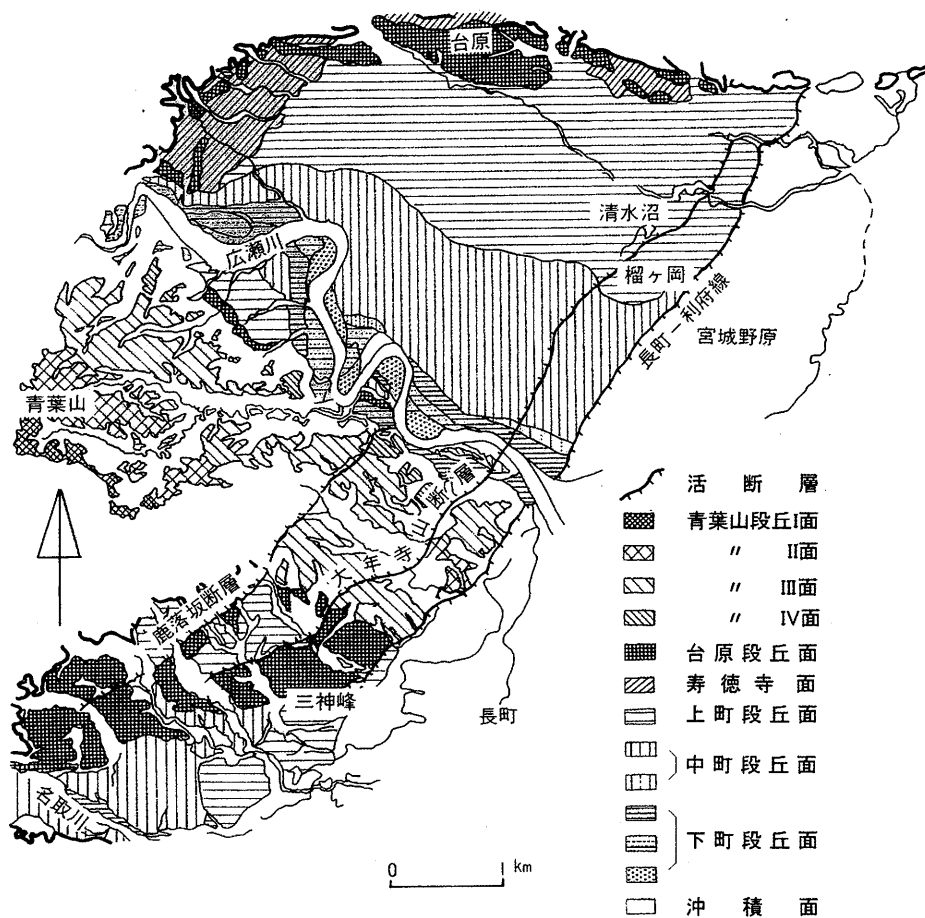


図1 仙台市街地の河成段丘面分布 [中田ほか (1976) を改変]

表1 平方根表

n	\sqrt{n}	$\sqrt{10n}$	n	\sqrt{n}	$\sqrt{10n}$	n	\sqrt{n}	$\sqrt{10n}$	n	\sqrt{n}	$\sqrt{10n}$
1	1.000	3.162	26	5.099	16.125	51	7.141	22.583	76	8.718	27.568
2	1.414	4.472	27	5.196	16.432	52	7.211	22.804	77	8.775	27.749
3	1.732	5.477	28	5.292	16.733	53	7.280	23.022	78	8.832	27.928
4	2.000	6.325	29	5.385	17.029	54	7.348	23.238	79	8.888	28.107
5	2.236	7.071	30	5.477	17.321	55	7.416	23.452	80	8.944	28.284
6	2.449	7.746	31	5.568	17.607	56	7.483	23.664	81	9.000	28.460
7	2.646	8.367	32	5.657	17.889	57	7.550	23.875	82	9.055	28.636
8	2.828	8.944	33	5.745	18.166	58	7.616	24.083	83	9.110	28.810
9	3.000	9.487	34	5.831	18.439	59	7.681	24.290	84	9.165	28.983
10	3.162	10.000	35	5.916	18.708	60	7.746	24.495	85	9.220	29.155
11	3.317	10.488	36	6.000	18.974	61	7.810	24.698	86	9.274	29.326
12	3.464	10.954	37	6.083	19.235	62	7.874	24.900	87	9.327	29.496
13	3.606	11.402	38	6.164	19.494	63	7.937	25.100	88	9.381	29.665
14	3.742	11.832	39	6.245	19.748	64	8.000	25.298	89	9.434	29.833
15	3.873	12.247	40	6.325	20.000	65	8.062	25.495	90	9.487	30.000
16	4.000	12.649	41	6.403	20.248	66	8.124	25.690	91	9.539	30.166
17	4.123	13.038	42	6.481	20.494	67	8.185	25.884	92	9.592	30.332
18	4.243	13.416	43	6.557	20.736	68	8.246	26.077	93	9.644	30.496
19	4.359	13.784	44	6.633	20.976	69	8.307	26.268	94	9.695	30.659
20	4.472	14.142	45	6.708	21.213	70	8.367	26.458	95	9.747	30.822
21	4.583	14.491	46	6.782	21.448	71	8.426	26.646	96	9.798	30.984
22	4.690	14.832	47	6.856	21.679	72	8.485	26.833	97	9.849	31.145
23	4.796	15.166	48	6.928	21.909	73	8.544	27.019	98	9.899	31.305
24	4.899	15.492	49	7.000	22.136	74	8.602	27.203	99	9.950	31.464
25	5.000	15.811	50	7.071	22.361	75	8.660	27.386	100	10.000	31.623

問題 B2 以下の問1、問2に答えよ。

問1 次の(1)、(2)の研究目的を達成するための方法について答えよ。ただし必要に応じて地理情報システム (GIS) を用いることとする。

(1) 新型コロナウイルスによる死亡と喫煙との因果関係を調べる。

(a) どのようなデータに対し、どの統計的手法を用いるか、4行以内で答えよ。

(b) この因果を明らかにするためには、年齢について調整が必要な場合がある。その場合と、年齢について調整する方法を、4行以内で答えよ。

(2) 日本のある都市の小地域を分類した地図を作成する。

(a) 因子生態分析を行う場合、どのようなデータに対し、どの統計的手法を用いるか、4行以内で答えよ。

(b) 因子生態に地形を加味した地域分類を行う。どのようなデータを用いて、どのような手順で、どのような変数を加えるか、4行以内で答えよ。

問2 地価が最寄駅からの距離によって決まることを回帰モデルで検証するために、次の予測式を使用する。なお、 y_{ij} は最寄駅が j である地点 i の地価、 x_{ij} は地点 i の最寄駅 j までの距離、 α 、 β 、 γ_j は推定する定数とする。

$$\log_e y_{ij} = \alpha + \beta x_{ij} + \gamma_j$$

(1) 定数 β は何を計測するか、4行以内で答えよ。

(2) 定数 γ_j の役割についても言及し、この予測式の仮定を4行以内で答えよ。

余白

問題 C1 次の文章を読み、以下の問1～問5に答えよ。

図1は MgSiO_3 系の相平衡状態図である。図中の Ilmenite はイルメナイト構造の MgSiO_3 、Perovskite はペロブスカイト構造の MgSiO_3 、Modified Spinel は変型スピネル構造の Mg_2SiO_4 、Spinel はスピネル構造の Mg_2SiO_4 を指す。

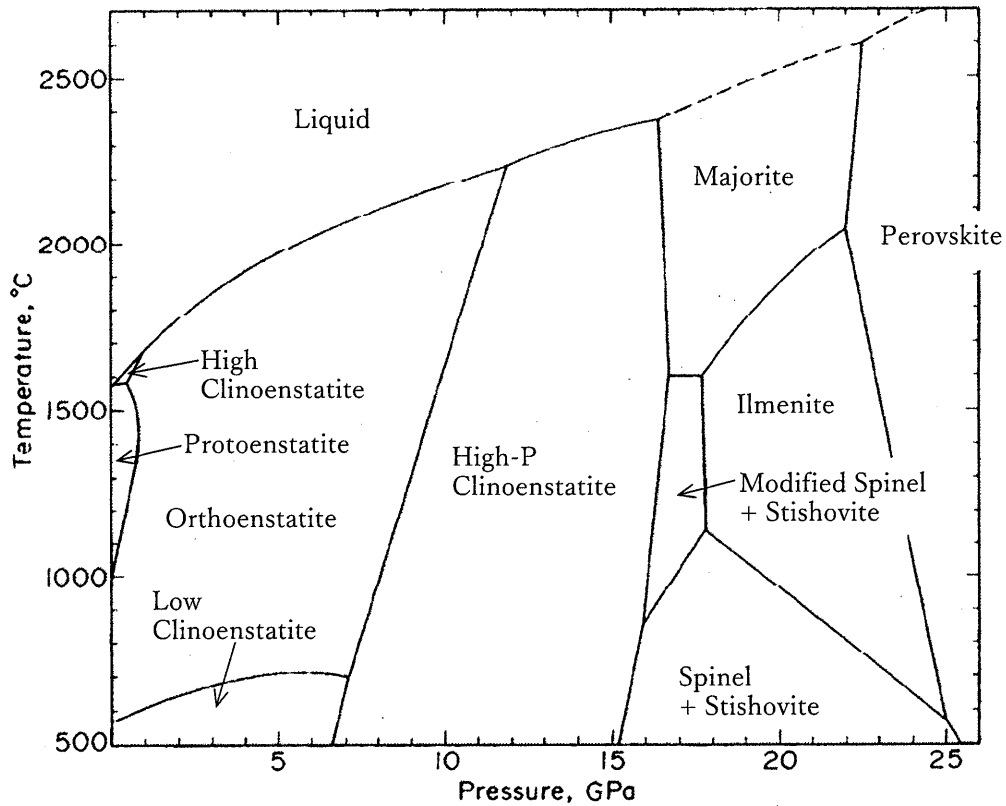


図1 (Presnall, 1995 を改変)

問1 スピネル構造の Mg_2SiO_4 は天然で発見されたことにより Ringwoodite という鉱物名が付いた。スピネルおよび Ringwoodite 以外のスピネル構造の鉱物を2つ挙げ、それぞれの鉱物名と化学式を記せ。

問2 イルメナイト構造の MgSiO_3 は天然で発見されたことにより、Akimotoite という鉱物名が付いた。Akimotoite の結晶構造について4行程度で説明せよ。ただし、Mg および Si のそれぞれについて、配位数を述べること。

問3 ペロブスカイト構造の MgSiO_3 は天然で発見されたことにより、Bridgmanite という鉱物名が付いた。Bridgmanite は直方晶系であるが、 SrTiO_3 は立方晶系のペロブスカイト構造である。立方晶系ペロブスカイト構造である SrTiO_3 の構造について4行程度で説明せよ。ただし、Sr および Ti のそれぞれについて、配位数を述べること。

問4 図1で Ilmenite と Perovskite の相境界が負の勾配になる理由について、クラウジウス-クラペイロンの式を用いて熱力学的に3行程度で説明せよ。

問5 マントルゼノリスの研究などから、上部マントルはカンラン岩でできていると考えられている。一方、隕石の研究などから地球全体の Mg/Si 比は1に近いと考えられ、カンラン岩の Mg/Si 比と異なる。上部マントルと隕石の Mg/Si 比が異なる理由を3行程度で説明せよ。

問題 C2 以下の問1～問4に答えよ。

問1 始原的な隕石のうちで、炭素質物質を多く含む隕石にはどのようなものがあるか、その隕石の特徴とともに2行程度で答えよ。

問2 問1の隕石に含まれる有機物に関する以下の文章を読み、～に入る語句を答えよ。

問1の隕石に含まれる有機物の大部分はと呼ばれる物質で、これらは分子量が大きく複雑な構造を持っている。一方、で主要なものはカルボン酸である。また主要な成分ではないが、などの生命のタンパク質を構成する分子も含まれる。

問3 彗星、エンセラダス、タイタンなどの天体では、有機物が確認されている。これらの天体に有機物が存在する理由を、鉱物と有機物の凝縮温度に着目して5行以内で述べよ。

問4 地球の堆積岩に含まれる有機物の成因について、下記の文中の「ア」の作用と「イ」～「オ」に入る物質名を以下の選択肢から1つずつ選べ。また、「A」に入る主要元素を3つ挙げよ。

堆積した有機物は、地層中の深度が増すに従って、温度と圧力の上昇を伴う「ア」によって変化していく。この際に有機物の組成は炭素(C)に対して「A」が減少する。その結果として、変質した有機物からは有機溶媒不溶性成分である「イ」と、有機溶媒に可溶性成分である「ウ」が生じる。さらに温度圧力が地中深部で上昇すると、有機分子がクラッキング等を起こし、低分子量の「エ」を生成する。さらに地中深部に埋没すると、有機物からは炭素以外の元素がさらに減少して、その組成と構造が「オ」に近づく変化を起こす。

選択肢

「ア」	: 破碎作用	侵食作用	結晶分化作用	続成作用
「イ」	: ビチュメン	ケロジェン	石油	天然ガス
「ウ」	: ビチュメン	ケロジェン	石油	天然ガス
「エ」	: 粘土鉱物	脂質	石炭	天然ガス
「オ」	: 石英	グラファイト	石炭	カルボン酸

問題 C3 以下の問1～問4に答えよ。

問1 次の①～⑦のうち、(1) 火成岩の組織、(2) 変成岩の組織、それぞれに当てはまるものを全て数字で答えよ。

- ①ハイアロピリティック ②ポイキリティック ③ポイキロプラスティック
④ポーフィロプラスティック ⑤片麻状 ⑥ピロタキシティック ⑦斑状

問2 次の文章を読み、小問(1)～(2)の問いに答えよ。

今、完晶質無水の岩石の閉じた系を考える。系の自由エネルギーが最小の時、状態にあるという。この系の成分が c 個あり、 p 個の鉱物(相)から構成される場合の自由度(f)は、 $f = c + 2 - p$ となる。ここで、

$p = c$ のとき、.

$p = c + 1$ のとき、.

$p = c + 2$ のとき、.

(1) 上記文章のに当てはまる適切な語句を記せ。

(2) 上記文章の, , に当てはまる適切な文を次から選べ。

- ①温度、圧力のいずれかが変化する ②温度、圧力は不変で発熱する
③温度、圧力は変化しない ④温度と圧力が変化しうる

問3 ある一つの深成岩を対象に放射年代測定を行ったとする。ジルコン中のウラン-238 (^{238}U) と鉛-206 (^{206}Pb) の濃度の比を測定したところ、その値 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) が 0.083 であった。深成岩形成時にジルコンに鉛は含まれなかった(つまり $^{206}\text{Pb}_i$ を初期鉛濃度として、 $^{206}\text{Pb}_i = 0$) として、このジルコンのウラン-鉛年代を計算過程とともに答えよ。年代値の単位は Ma とする。壊変定数 λ と自然対数は、それぞれ次の値を使用すること。

$$\lambda = 1.6 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1} \quad \ln(1.083) = 0.08$$

問4 沈み込み帯の温度構造の一例を図1に示す。この図から深さ80 km付近でスラブ上面の温度が急変することが分かる。この理由について正しいものを次から選べ。

- ①スラブの脱水
- ②スラブのエクロジャイト化
- ③スラブの部分熔融
- ④スラブとマントルウェッジ間の力学的結合
- ⑤マントルかんらん岩の相転移

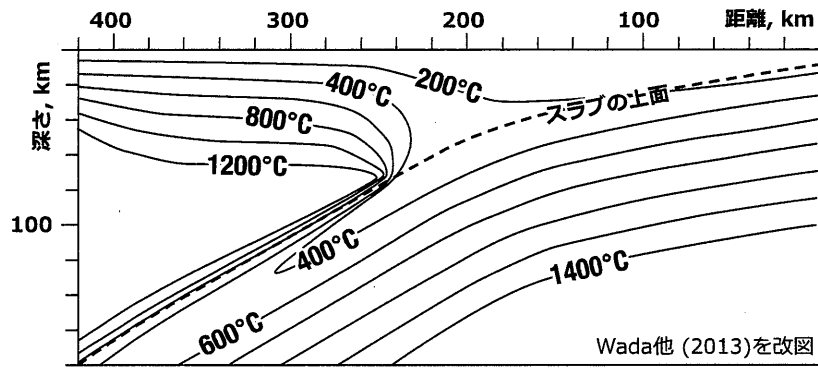


図1 沈み込み帯の温度構造の一例

