

平成19年度大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
修士課程入学試験問題（一般教育科目）

地球科学

【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ならない。
2. 解答には、必ず黒色鉛筆（または黒色シャープペンシル）を使用すること。
3. 問題は全部で8問ある。任意の3問を選び解答せよ。
4. 答案用紙は、各問につき1枚、合計3枚であるから、確実に配布されていることを確かめること。
5. 各答案用紙の所定欄に、科目名・問題番号・受験番号および氏名を必ず記入すること。
6. 解答は、各問ごとに所定の答案用紙を使用すること。
7. 答案用紙は点線より切り取られるから、裏面も使用する場合には、点線の上部を使用しないこと。
8. 答案用紙には、解答に関係ない文字、記号、符号などを記入してはならない。
9. 解答できない場合でも、答案用紙に科目名・問題番号・受験番号および氏名を記入して提出すること。
10. 答案用紙を草稿用紙として使用してはならない。草稿用紙は問題より後のページにある。

地球科学

【第1問】

赤道付近を除くと，地球大気における大規模な流れは地衡風である．たとえば，図1-1に示されるような，北半球中緯度上空で冬季に観測される強い西風ジェット気流では，地球の自転によるコリオリ力と南北気圧傾度力とがつり合っている．この力のバランスは，ある気圧面上において，

$$fU = -\partial\Phi/\partial y \quad (\text{A})$$

と表される．ここで， f はコリオリ因子 (y のみの関数で北半球では正)， U は西風風速 (負号は東風)， y は赤道から北向きの距離， Φ はその気圧面のジオポテンシャルで，気圧面高度 z と重力加速度 g を用いて $\Phi = gz$ と精度よく近似できる．

また，大規模流に伴う鉛直加速度は極めて小さく，静力学平衡が成り立つ．すなわち，空気塊に働く重力は，上向き気圧傾度力とつり合い，気圧 p の高さ z 方向の変化は

$$\partial p / \partial z = -\rho g \quad (\text{B})$$

と表される．なお，大気は理想気体と近似でき，密度 ρ と気圧 p ，気温 T (絶対温度) の関係は，状態方程式

$$p = \rho R T \quad (\text{C})$$

に従う．ここで， R は気体定数であり，水蒸気の効果は無視できるものとする．

ジェット気流の軸 (ジェット軸：図1-1の J) 付近における風速および気温の鉛直・緯度分布について，以下の設問に答えよ．

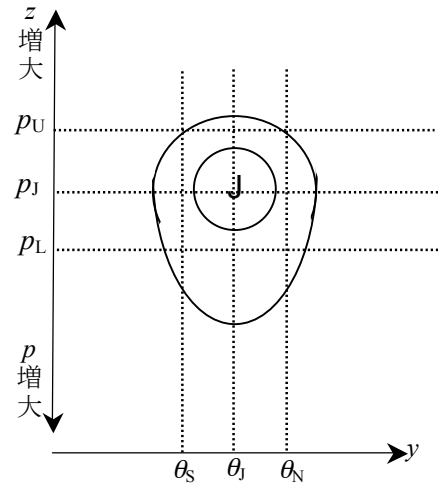


図1-1．西風ジェット軸 (J) の付近における風速の鉛直・緯度分布 (対流圏中層から成層圏下層のみを図示)．内側が 50 m/s，外側が 30 m/s の等風速線．

(1) 式 (B) と式 (C) から, Φ を用いて静力学平衡が

$$-\partial\Phi/\partial p = R T/p \quad (D)$$

と表せることを示せ.

(2) 式 (A) を p で微分し, 式 (D) と組み合わせることにより, 温度風平衡の式

$$p \partial U/\partial p = (R/f) \partial T/\partial y \quad (E)$$

を導け. ただし, 等圧面上での水平微分をとる際には, p は定数とする.

(3) 式 (E) から, 図 1-1 の西風ジェット軸を横切る気圧面 ($p = p_J$) 上では, ジェット軸の南北で気温は一樣なことを示せ. また, ジェット軸のすぐ上方の気圧面 p_U (ただし, $p_U < p_J$) と, すぐ下方にある別の気圧面 p_L (ただし, $p_L > p_J$) において, ジェット軸の緯度 ($\theta = \theta_J$) 付近での $\partial T/\partial y$ の符号を式 (E) に基づいて特定せよ.

(4) 図 1-1 において, ジェット軸の緯度 ($\theta = \theta_J$) では, ジェット軸は対流圏と成層圏の圏界面に位置し, 図 1-2 に示すように, 気圧面 $p = p_J$ で気温 T は極小 ($\partial T/\partial p = 0$) となっていることが知られている. 静力学平衡が成り立つ時, 式 (B) と式 (C) から, 気圧の高度変化は

$$H^{-1} dz = -p^{-1} dp, \quad \text{ただし, } H = R T/g \quad (F)$$

と表される. ジェット軸を横切る気圧面で気温 T が極小であり, またジェット軸の南北で一樣であるので, ジェット軸付近では, パラメータ H は y および z に依存せず, ほぼ定数とみなすことができる.

式 (E) と式 (F) から, ジェット軸を横切る気圧面で気温減率 $\Gamma (= -\partial T/\partial z)$ の緯度分布が

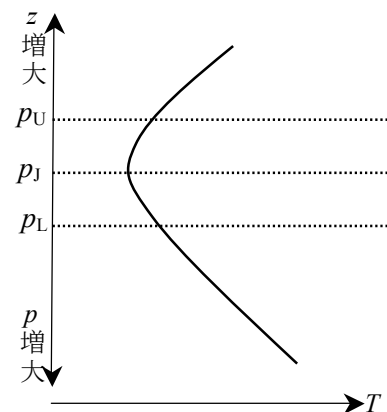
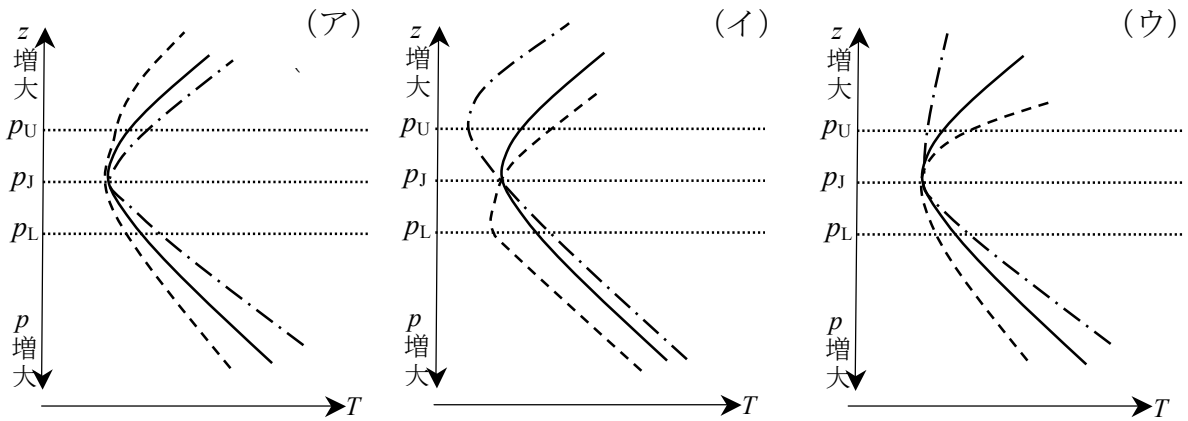


図 1-2. 図 1-1 に示されたジェット軸の緯度における気温の高度分布 (対流圏中層から成層圏下層のみを図示). 気温が極小となる高度が圏界面に相当.

$$\partial^2 U / \partial z^2 = R / (fH) \cdot \partial \Gamma / \partial y \quad (G)$$

のように、 U の鉛直構造に関係づけられることを示せ。また、これに基づき、ジェット軸付近における Γ の南北勾配 ($\partial \Gamma / \partial y$) の符号を特定せよ。

- (5) 以上の情報に基づき、図 1-1 のジェット軸のすぐ南側の緯度 ($\theta = \theta_S$) およびすぐ北側の緯度 ($\theta = \theta_N$) における気温の鉛直分布を、図 1-2 に重ねて描いた図として最も適当なものを、次の (ア)、(イ)、(ウ) のうちから 1 つ選び、その理由を 100 字程度で述べよ。なお、実線はジェット軸の緯度 ($\theta = \theta_J$)、一点鎖線は南側 ($\theta = \theta_S$)、破線は北側 ($\theta = \theta_N$) における分布を示す。



地球科学

【第2問】

図2-1のように、地震波速度が水平2層成層構造をしているとわかっている地域で、地震観測点を直線上に短い間隔で多数設置し、人工震源によりP波を発生させた。震源で発生し、下方に伝播するP波は、上層と下層の境界で、反射や屈折を起こす。図2-1には、これらのP波の伝播経路が示されている。発震時刻を基準として、地震観測点で記録されたP波の到着時刻を、震源と地震観測点の水平距離の関数（走時曲線）として表すと、図2-2のように2つの直線A、Cと1つの曲線Bになった。ここで、上層の厚さは h 、上層のP波速度は V_1 、下層のP波速度は V_2 ($V_1 < V_2$) である。

- (1) 図2-2の直線AとCの勾配を求めよ。
- (2) 図2-1の伝播経路②の走時 T を、震源と観測点の水平距離 X の関数として表せ。
- (3) 震源から伝播するP波は、上層と下層の境界で屈折する。屈折角が 90° の場合の入射角 θ_c を、 V_1 と V_2 を用いて表せ。
- (4) 図2-2において、直線Cは、ある距離よりも小さい距離では点線となっている。これは、図2-1の経路③を通ってくるP波が観測されないことを示している。その理由を50字程度で答えよ。また、曲線Bは、非常に大きい距離では直線Aに漸近する。その理由を100字程度で述べよ。
- (5) 図2-2中の直線Cの点線が縦軸と交わる点（距離0）での走時 T_c は、下記の式で表せることを示せ。

$$T_c = (2h/V_1) \cos\theta_c$$

- (6) 走時曲線（図2-2）から、 V_1 、 V_2 、 h を求める方法を150字程度で述べよ。

べよ.

(7) この観測を大陸域で行った. このとき, $V_1=6.0$ km/s, $V_2=8.0$ km/s, $h=30$ km
 として, 直線Aと直線Cの交点の距離 X_c を求めよ. ただし, $\sqrt{7} = 2.6$ とす
 る.

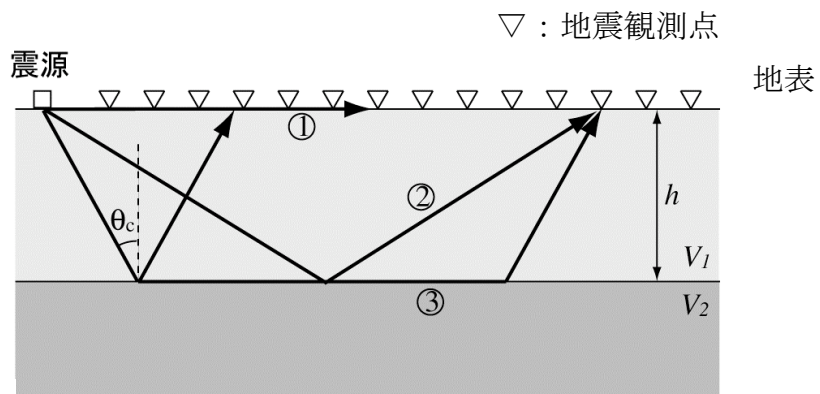


図 2-1

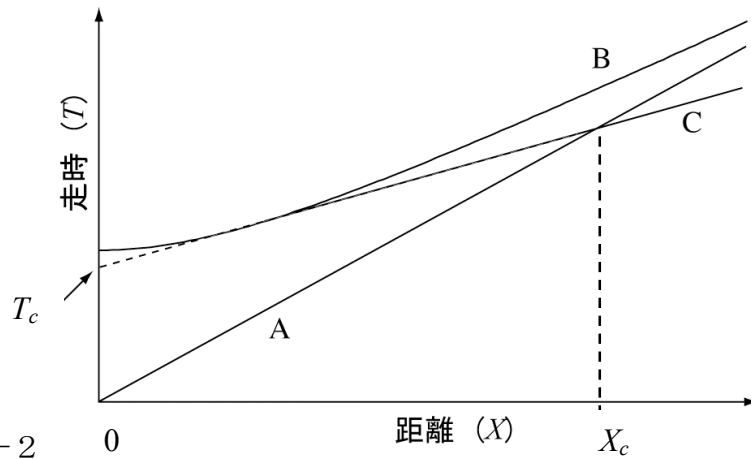


図 2-2

地球科学

【第3問】

(1) 日本列島のような島弧を構成する主要な地質体の1つに(a)がある。これは、プレート沈み込み帯において、沈み込む海洋プレートの上部地殻を構成していた(b)や、その上にたまっていた、チャートなどの原岩となる(c)、および海溝付近で堆積した(d)が、陸側に押し付けられて形成されたと考えられている。(a)の中には、露頭規模から5万分の1地質図以上の規模にいたるさまざまなスケールで、固いブロックを柔らかい基質が取り囲んだ、メランジュと呼ばれる構造がしばしば観察される。メランジュは、その成因により以下の3種類に大きく分類される。

- (ア) 構造的メランジュ(ないしはテクトニックメランジュ)
- (イ) ダイアピルメランジュ
- (ウ) 堆積性メランジュ

(1・1) 上の文章中の(a)～(d)内に入る語句を答えよ。

(1・2) (ア)～(ウ)のメランジュのうち、発生する深さの最も浅いものはどれか答えよ。

(1・3) (ア)～(ウ)のメランジュの形成プロセスを、それぞれ40字程度で説明せよ。ただし、以下の語句を、いずれかの説明に最低1回は使用すること。

オリストストローム プレート境界 間隙水 断層帯 海溝 脱水

(2) 地質調査をしていると、均質な砂岩から構成される鉛直な崖の露頭があり、断層が観察された。それをスケッチしたのが図3・1である。主断層Yの走向は崖に直交しており、Yを含め、スケッチの線R、P、およびT(短い太線)は変形によって形成された面のトレースを表している。また、スケッチ中の矢印は、観察から推定されたRのズレの方向である。なお、2本の平行な断層Yのせん断面に、滑った跡を示す条線が見られた。この条線は互いに平行であり、断層の走向に直交していることが分かった。

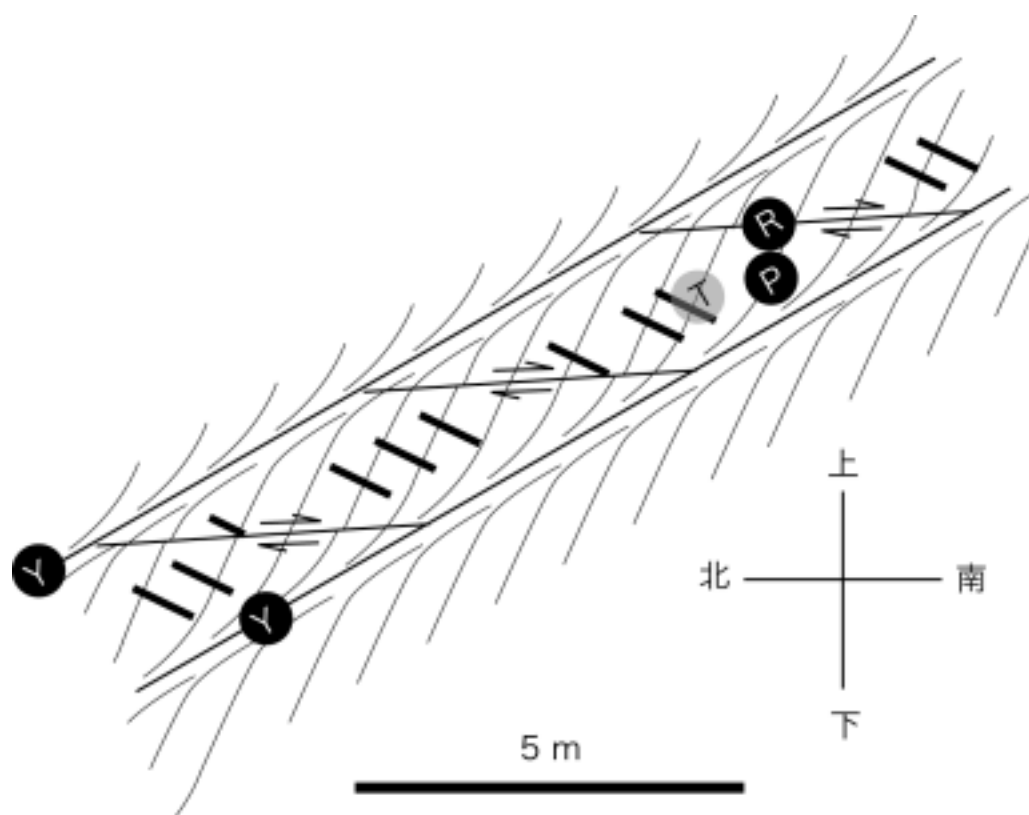


図3・1

(2・1) この断層Yはどのような断層と推定されるか。根拠もあわせて、40字程度で説明せよ。

(2・2) R、P、およびTについて、それらを特徴づける変形および考えられる形成プロセスを、それぞれ20字程度で説明せよ。

地球科学

【第4問】

図4・1は水に飽和したFo(Mg_2SiO_4)-Di($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$)-Qz(SiO_2)3成分系の高圧下での相図(重量%)である。圧力を一定とすると、含水マントルからのマグマの生成は、近似的にこの相図を用いて考えることができる。

この図では液相境界線を太い実線で示しており、矢印は温度降下の方向、線上の点に添えた数字は温度()である。破線はサブソリダスでの固相境界線である。簡単のため固相については、Fo, Di, Qz, En(MgSiO_3)の4つのみが存在しうるとして、固溶体は考えない。また、解答の便宜のため各辺を20等分して補助線を入れてある。この相図を用いて、以下の設問に答えよ。

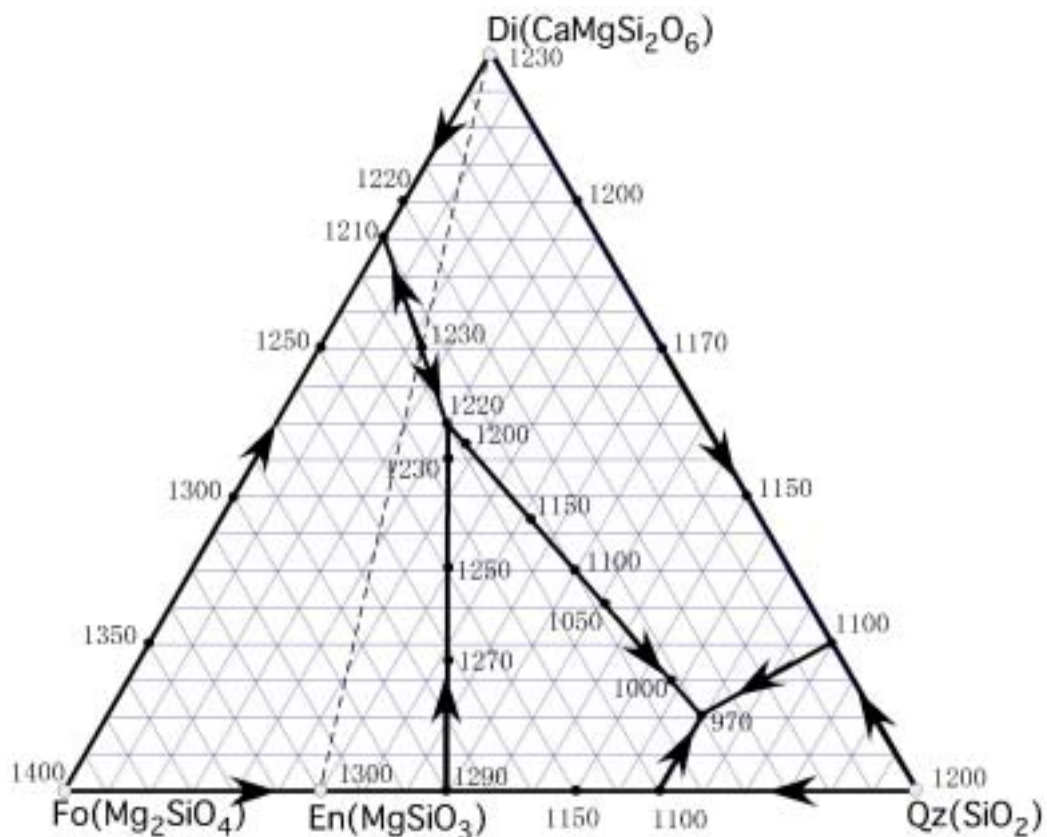


図4 - 1

- (1) マグマ源である上部マントルの組成が $Fo:Di:Qz = 7:2:1$ (重量比) で与えられるとき 部分融解で生じる最初の液の組成を $Fo:Di:Qz=$ の形で示せ。ただし、液中の水については無視するものとする。
- (2) 部分融解で生じた液と融け残りの固相部分が、完全に平衡を保ちつつ融解が進行する場合をバッチ融解(batch melting)と呼ぶ。このバッチ融解で生じた液の量が 10 重量%に達したときの液の組成を $Fo:Di:Qz=$ の形で示せ。ただし、液中の水については無視するものとする。
- (3) さらにバッチ融解が進行し、生じた液の量が 50 重量%に達したときの液の組成を $Fo:Di:Qz=$ の形で示せ。ただし、液中の水については無視するものとする。
- (4) (2) の組成の液が、共存している固相部分を伴わずにマグマ源から分離したとする。この分離したマグマが、温度低下とともに固液平衡を保ちながら結晶化していく場合に、系に Qz が出現する温度()を答えよ。ただし、マグマと外界との物質のやりとりは考えない。
- (5) 実際の上部マントルは、図 4・1 に含まれる 4 元素 (Si, Mg, Ca, O) および水素(H)だけで構成されているわけではない。これらの 5 元素以外で上部マントルでの存在量(重量%) が大きな元素を、大きい方から 2 つ答えよ。
- (6) (2) で説明したバッチ融解と異なる概念として、生じた液が次々と系から取り去られつつ進行する融解がある。この融解を何と呼ぶか答えよ。

地球科学

【第5問】

A君は、試薬1と試薬2を高温で反応させて試料を合成し、得られた試料が希望する物質になったかどうかを、偏光顕微鏡とX線回折装置を使って調べた。まず試料を偏光顕微鏡下でオープンニコルにして観察したら、直径10 μm 程度の無色透明の粒子がたくさん見えた。そこでクロスニコルにして試料台を回転させながら見たところ、すべての粒子が常に消光していた。次に試料粉末を固めてラウエカメラの試料台に載せ、試料から x mm のところに平板状のフィルムを置いて粉末X線回折写真を撮ったところ、一番内側に直径20.0 mmの円形の回折線が明瞭に観察された。それより外側にも多数の明瞭な回折線が観察されたが、それより内側にはまったく回折線がなかった。次にフィルムを試料からさらに50.0 mm遠ざけて測定したら、一番内側の回折線の直径が30.0 mmになった。測定に使ったX線は、エネルギーが35.0 keVの単色光である。以下の設問に答えよ。また数値は有効数字2桁で答えること。

(1) 偏光顕微鏡観察の結果から、試料は次のいずれの可能性を持つと考えられるか。可能なものをすべて選べ。

- 立方晶系
- 正方晶系
- 斜方晶系
- 六方晶系
- 非晶質

(2) 最初に測定したときの、試料とフィルムの距離 x を求めよ。

(3) 一番内側に観測された回折線に対応する格子面間隔を求めよ。

なお、計算に必要なとなる場合、以下の定数の値を用いよ。

$$\text{プランク定数 } h = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$$

$$\text{光の速度 } c = 3.00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

また、本問に現れるような小さい角度 θ では、以下の近似が成り立つものと

する.

$$\tan \theta \cong \sin \theta, \quad \sin \frac{\theta}{2} \cong \frac{1}{2} \sin \theta$$

- (4) 消滅則から許されるすべての回折線が見えていたと仮定すると, 試料が P 格子を持つと考えたときと, F 格子を持つと考えたときで, それぞれの単位格子体積を求めよ. なお, ここでは複合格子に由来するもの以外の消滅則は考えないものとする.

地球科学

【第6問】

6種類の鉱物の特徴を述べた(ア)～(カ)の文を読み、設問に答えよ。

- (ア) Fe と O を主成分とする鉱物で、2 価と 3 価の Fe を含み、磁石につくことが最大の特徴である。
- (イ) 花こう岩などに見られ、K, Al, Si, O を主成分とする。へき開が顕著に見られる板状結晶として観察される。
- (ウ) 花こう岩などに見られ、K, Al, Si, O を主成分とする。しかし、顕著なへき開は見られず、Al/Si の比は(イ)の鉱物に比べかなり小さい。
- (エ) Na, Al, Si, O を主成分とし、Al/Si 比(原子比)は約 0.5 である。低温高圧型の変成岩によく見られる鉱物である。
- (オ) 風化や熱水変質などにより形成される粘土鉱物で、その組成式は $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ である。
- (カ) 主に変成岩に産出し、Al, Si, O を主成分とする。その Al/Si 比(原子比)は約 2 である。天然では 3 つの多形が知られているが、その中でこの鉱物は低温高圧領域において安定である。
- (1) (ア)～(カ)の鉱物として適当な名前(英語名、和名どちらでもよい)を 1 つずつ答えよ。
- (2) (イ)の鉱物でへき開が顕著に見られる理由を 100 字程度で説明せよ。
- (3) これらの鉱物の中には 5 つの珪酸塩が含まれる。その中で SiO_4 四面体の重合度が同じものは、どれとどれか。また、その重合度が珪灰石(wollastonite)と同じものはどれか。(ア)～(カ)の記号で答えよ。
- (4) (ア)～(カ)の鉱物で、酸素に 4 配位された Al が確実に含まれるものをすべて選び、(ア)～(カ)の記号で答えよ。

- (5) 鉱物の組成を決定する方法として，EPMA (電子プローブ X 線マイクロアナライザー，あるいは XMA と呼ぶ) がよく用いられる．その原理を 100 字程度で説明せよ．
- (6) EPMA を用いて (オ) の鉱物を，酸化物を標準試料として定量分析した場合，その総重量%は 100% にならない．期待される総重量%を求めよ．ここで Al, Si, O, H の原子量を 27, 28, 16, 1.0 とする (解答には計算過程も記すこと) ．

地球科学

【第7問】

図7-1は、深海堆積物を掘削し、その柱状試料から抽出した、海底近くに棲息する有孔虫（底生有孔虫）の殻の酸素同位体比変動記録である。この図に関連する以下の設問に答えよ。

- (1) 深海堆積物に含まれる底生有孔虫殻の酸素同位体比は、大陸氷床の大規模な拡大および縮小に伴って変動している。その理由を200-400字で説明せよ。
- (2) 図7-1に示されるようなデータによって、氷床の拡大・縮小を伴う全球的な気候変動が、約2万年、4万年、および10万年の3つの周期で繰り返し起きていることが明らかになった。この様な周期的な気候変動を引き起こす主な原因について200-400字で議論せよ。必要なら解答用紙に図を描いて説明してもよい。
- (3) 最終氷期における個々の氷床の拡大範囲を明らかにするには、どのような方法を用いればよいか。氷床拡大期の年代を決定する方法も含めて100-200字で述べよ。

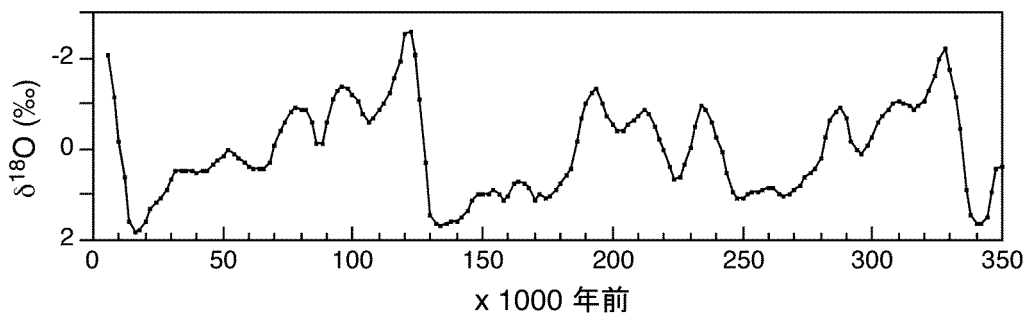


図7-1. 深海堆積物に含まれる底生有孔虫殻の酸素同位体比。

地球科学

【第8問】

図8-1には、地球の大気上端における放射のつりあい（年平均）を観測した結果が示されている。以下の設問に答えよ。

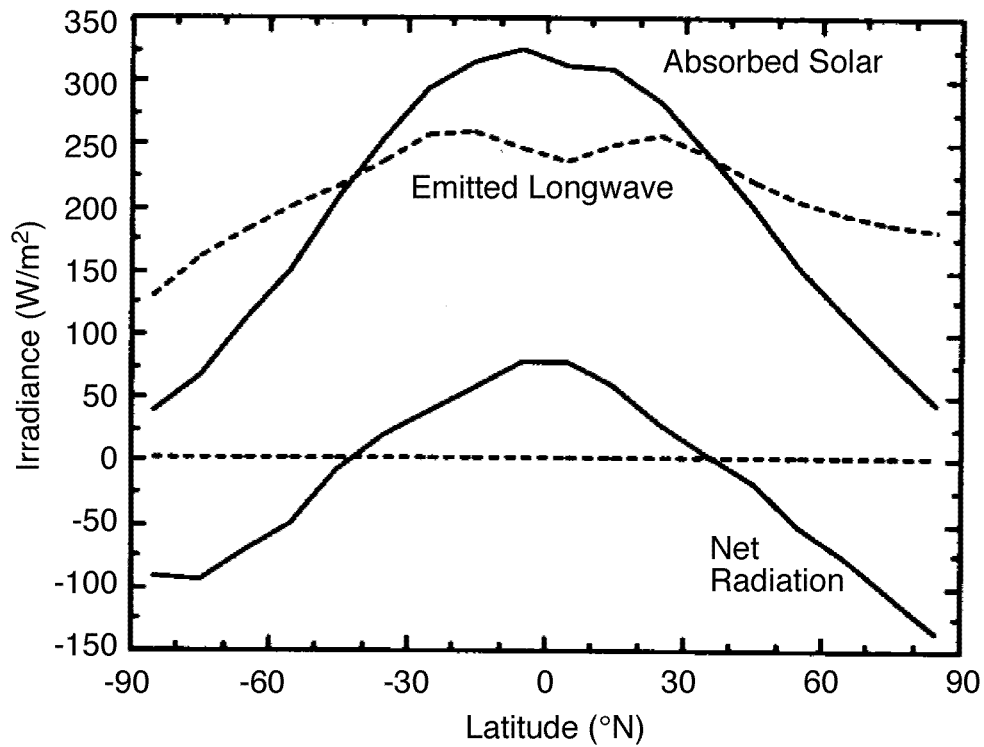


図8-1. 地球の大気上端における放射のつりあい(年平均).
3本のグラフは、大気上端において大気-地球系に吸収される太陽放射量 (Absorbed Solar), 大気上端から射出する長波長放射量 (Emitted Longwave), および大気上端において大気-地球系に吸収される正味の放射量 (Net Radiation) を示す. 縦軸は放射量, 横軸は緯度を表す.

(1) 大気上端において地球に吸収される日射量が、すべてその緯度の地表気温を上げることに使われたら、気温は何度になるか。赤道と北緯 40° において計算せよ。必要ならば図 8-2 を用いよ。これはシュテファン・ボルツマンの法則に基づく放射量と温度との関係を示したものである。

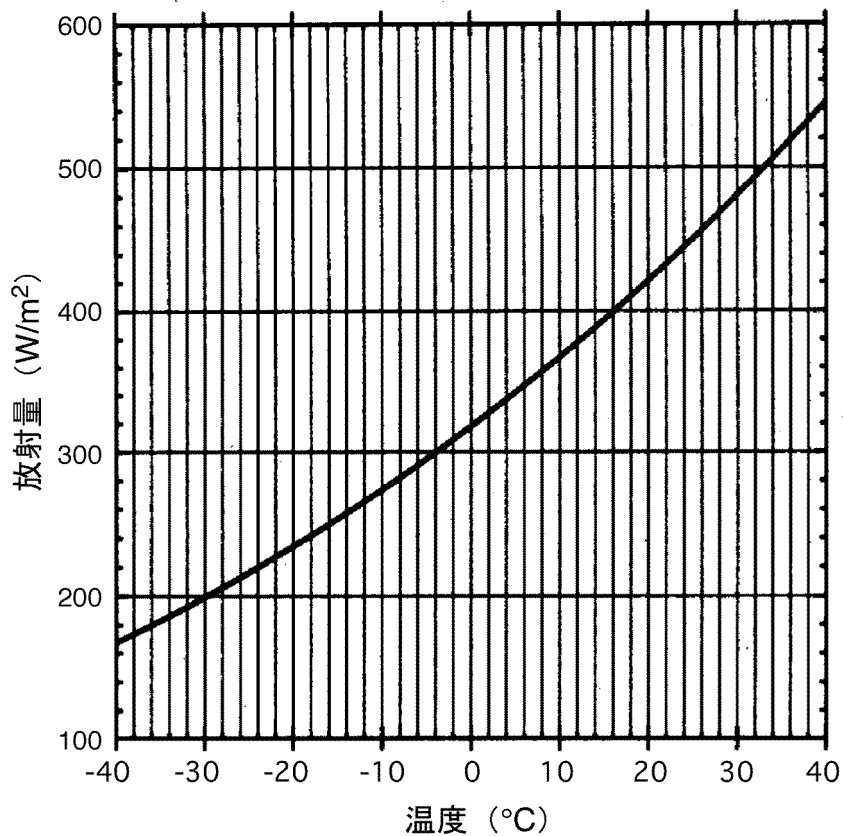


図 8-2. シュテファン・ボルツマンの法則による温度と放射量の関係。

(2) 実際の年平均地表気温は赤道では約 25°C、緯度 40°では約 12°C と観測されている。問 (1) の結果が観測値と異なるのはなぜか。2つの理由を挙げ、150 字程度で説明せよ。

- (3) 大気-地球系に吸収される正味の放射量を，北緯 40°より高緯度の領域全体にわたって積分せよ．その際，図 8-1 のグラフの北緯 40°から北緯 90°の間における正味の放射量 R は，緯度 x の正弦の一次関数： $R = -400 \sin x + 250$ として近似せよ．また， $\sin 40^\circ = 0.64$ ，地球の半径を 6400 km とせよ．
- (4) 地球表層では，大気と海洋を媒介として，低緯度から高緯度へと熱が輸送されている．この熱輸送の具体的なメカニズムを，低緯度域と中高緯度域との違いに留意して 200 字程度で説明せよ．図を使ってもよい．
- (5) 図 8-3 は大気上端での正味の放射量の年平均の分布であり，これを経度平均したものが図 8-1 の正味の放射量 (Net Radiation) である．西太平洋やアフリカなど，経度平均値から大きくはずれて，東西方向に地域性がでてくるのはどういう理由によるものか．降水量分布や気候帯などに関連づけながら 200 字程度で説明せよ．

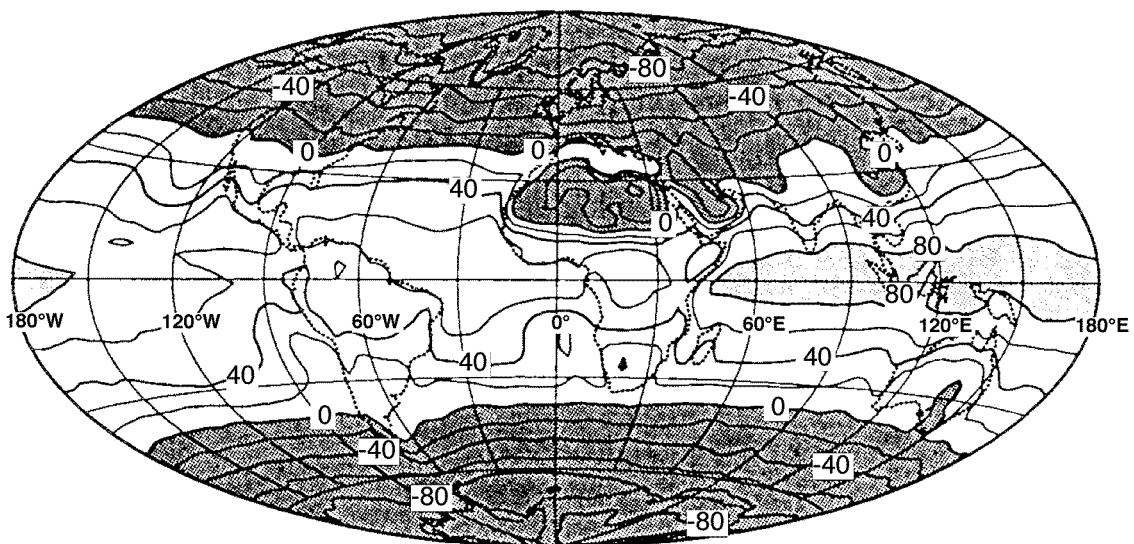


図 8-3. 大気上端において大気-地球系が吸収する正味の放射量. 放射量の単位は W/m^2 .