

# 入学試験問題

## 理科



(配点 120 点)

平成 28 年 2 月 26 日 9 時 30 分—12 時

### 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いけません。
- 2 この問題冊子は全部で 91 ページあります(本文は物理 4～21 ページ, 化学 22～45 ページ, 生物 46～71 ページ, 地学 72～91 ページ)。落丁, 乱丁または印刷不鮮明の箇所があったら, 手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 3 解答には, 必ず黒色鉛筆(または黒色シャープペンシル)を使用しなさい。
- 4 解答は, 1 科目につき 1 枚の解答用紙を使用しなさい。
- 5 物理, 化学, 生物, 地学のうちから, あらかじめ届け出た 2 科目について解答しなさい。
- 6 解答用紙の指定欄に, 受験番号(表面 2 箇所, 裏面 1 箇所), 科類, 氏名を記入しなさい。指定欄以外にこれらを記入してはいけません。
- 7 解答は, 必ず解答用紙の指定された箇所に記入しなさい。
- 8 解答用紙表面上方の指定された( )内に, その用紙で解答する科目名を記入しなさい。
- 9 解答用紙表面の上部にある切り取り欄のうち, その用紙で解答する科目の分のみ 1 箇所をミシン目に沿って正しく切り取りなさい。
- 10 解答用紙の解答欄に, 関係のない文字, 記号, 符号などを記入してはいけません。また, 解答用紙の欄外の余白には, 何も書いてはいけません。
- 11 この問題冊子の余白は, 草稿用に使用してもよいが, どのページも切り離してはいけません。
- 12 解答用紙は, 持ち帰ってはいけません。
- 13 試験終了後, 問題冊子は持ち帰りなさい。

# 地 学

第1問 宇宙に関する以下の問Ⅰ～Ⅱに答えよ。数値での解答には有効数字2桁で答え、計算の過程も示せ。

問Ⅰ 恒星の質量分布に関する以下の問いに答えよ。なお近似的に、質量  $M$  が  $M \geq 10 M_{\odot}$  ( $M_{\odot}$  は太陽質量) の大質量星の寿命は質量に反比例して減少するとしてよい。また、 $M = 10 M_{\odot}$  (B1型) の恒星の寿命を 2000 万年とする。

(1) ある星団では、観測される最も重い星の質量が  $M = 40 M_{\odot}$  (O5型) であった。この星団では全ての恒星は同時に形成されたとして、この星団の年齢を求めよ。

(2) 恒星が誕生する際は、その質量はある質量分布に従う。質量範囲  $M \geq 10 M_{\odot}$  で誕生した恒星の総数を  $N_{10}$  とするとき、質量  $M$  が  $10 M_{\odot}$  と  $m M_{\odot}$  の間である恒星の誕生時の個数  $N(m)$  は、近似的に

$$N(m) = N_{10} (1 - 10/m)$$

と表される(ただし  $m > 10$  とする)。(1)とは別の星団を観測すると、質量範囲  $10 M_{\odot} \sim 20 M_{\odot}$  の恒星が 60 個観測され、 $20 M_{\odot}$  より重い星は 20 個観測された。この星団でも全ての恒星が同時に形成されたとして、この星団の年齢を求めよ。

(3) 銀河系は大質量星の年齢よりはるかに長い間、一定の割合で恒星を生み出し続けているとする。恒星が誕生するときの質量分布は(2)の式と変わらない場合、現在の銀河系内に存在する質量範囲  $10 M_{\odot} \sim 11 M_{\odot}$  の恒星の数と、 $20 M_{\odot} \sim 21 M_{\odot}$  の恒星の数の比はどうか。恒星の寿命はそれぞれ  $10 M_{\odot}$ 、 $20 M_{\odot}$  のもので代表されるとして答えよ。

# 計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

問Ⅱ 宇宙の膨張に関する以下の問いに答えよ。なお、天体からの光はどの方向にも同じように放射され、伝搬の途中でエネルギーが失われることはないものとする。

- (1) 宇宙膨張はハッブルによって発見されたが、ハッブルが最初に求めたハッブル定数は、様々な誤差のため現在知られている値よりかなり大きく、 $6.0 \times 10^2$  (km/s)/Mpc 程度であった。ここで Mpc (メガパーセク) =  $10^6$  pc (パーセク) である。銀河間の相対速度は変わらないとして、過去にさかのぼると全てが一点に集中してしまうのは現在より何年前になるか、求めよ。必要であれば、 $1 \text{ pc} = 3.1 \times 10^{16} \text{ m}$  を用いてよい。
- (2) (1)で求めたものが宇宙の年齢だとすると様々な矛盾が生じるが、その例を一つ挙げよ。

ハッブルの法則は後退速度と距離の間の比例関係である。しかし、現実の宇宙では様々な効果によって単純な比例関係からずれる可能性がある。その一例として、空間が曲がっている場合が考えられる。例えば、我々が住んでいる地球の表面は、我々の近傍では平面に見えるが、実は大きな球面という曲がった二次元空間である。三次元空間でも同様の可能性が考えられる。簡単のため、我々の住む空間が三次元ではなく平面や曲面などの二次元空間であるとしてこの効果を考察しよう。

ケフェウス座  $\delta$  型変光星など、光度が知られている天体を使って求めた距離を光度距離  $d_L$  という。ある天体の光度  $L$  (単位時間あたりに放出されるエネルギー) が知られており、観測されたみかけの明るさが  $F$  であった。通常の三次元空間では、みかけの明るさは天体からのエネルギーが半径  $d_L$  の球面に広がった結果なので、 $F = L / (4\pi d_L^2)$  である。我々が二次元の平面の中に住んでいて、放射された光のエネルギーも二次元平面上のみに伝搬する場合は、 $F$  は球面を円周に置き換えて  $F = L / (2\pi d_L)$  となる。すなわち、 $L$  と  $F$  から見

積もられる光度距離は

$$d_L = L / (2\pi F) \quad (a)$$

となる。

以下では我々は半径  $R$  の球(中心を  $O$  とする)の球面上に住んでいるものとする。球面上のある 1 点  $P$  から別の点までの球面上の距離  $d_T$  は、2 点を球面上で結んだ最短経路の長さである(ただし  $d_T < \pi R/2$  とする)。  $P$  点からの距離が  $d_T$  であるような球面上の点の集合は円となり、その中心は球内部の直線  $OP$  上にある。

(3) この円の半径を  $R$ ,  $d_T$  で表せ。

(4) 天体からの光は球面上のみを、常に最短経路をとるように伝搬する。  $P$  点にある光度  $L$  の天体を、  $P$  点からの球面上の距離  $d_T$  において観測した場合のこの天体の明るさ  $F$  を  $L$ ,  $R$ ,  $d_T$  で表せ。

(5) 宇宙が曲面であることを知らない観測者は、宇宙が平面であると仮定し、式(a)によって距離  $d_L$  を見積もる。一方、球面全体が風船のように一様に膨張している場合、観測される後退速度  $v$  は  $d_T$  に比例し、ハッブル定数  $H$  を用いて  $v = Hd_T$  となる。  $d_T$  は観測できないので、観測されるハッブルの法則は  $d_L$  と  $v$  の関係となるが、これは比例関係にはならない。  $d_L$  を  $v$ ,  $H$ ,  $R$  で表せ。

# 計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

# 計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第2問 大気と海洋に関する以下の問Ⅰ～Ⅱに答えよ。

問Ⅰ 地面の影響を強く受ける対流圏の最下層は大気境界層とよばれる。大気境界層と地面は顕熱(熱伝導)によって直接に熱エネルギーを交換するだけでなく、水の蒸発と水蒸気の凝結により潜熱を交換している。

- (1)  $1\text{ m}^2$ の地面が1秒間に太陽放射により受け取るエネルギーを  $S_0[\text{W}/\text{m}^2]$ 、大気から赤外放射により受け取るエネルギーを  $F_a[\text{W}/\text{m}^2]$ 、赤外放射により失うエネルギーを  $F_s[\text{W}/\text{m}^2]$ 、顕熱として失うエネルギーを  $H[\text{W}/\text{m}^2]$ 、潜熱として失うエネルギーを  $E[\text{W}/\text{m}^2]$ とする。また、広さ  $1\text{ m}^2$ 、厚さ  $1\text{ m}$ の土壌の平均の熱容量を  $C_g[\text{J}/\text{K}]$ とする。この土壌の平均温度の1秒間の変化を式で表せ。ただし、 $1\text{ m}$ より深い地中との熱の交換は無視できるとする。
- (2) 太陽活動の変動や火山の噴火、人間活動による大気中へのエアロゾルの放出などにより、地面の受ける太陽放射  $S_0$ が変化する場合がある。太陽放射  $S_0$ で地面温度  $T_s[\text{K}]$ の平衡状態から、太陽放射  $S_0 + \Delta S_0$ で地面温度  $T_s + \Delta T_s$ の平衡状態に変化したとき、 $\Delta S_0$ と  $\Delta T_s$ の関係を式で表せ。ここで、平衡状態とは土壌の平均温度が変化しない状態のことである。簡単のため、次の(a)~(e)の仮定を用いる。
- (a) 気温  $T_a[\text{K}]$ と  $F_a$ は変化しない。
- (b) 地面温度  $T_s$ のとき  $F_s = \sigma T_s^4$ である。 $\sigma[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)]$ はシュテファン・ボルツマン定数。
- (c)  $H$ 、 $E$ は地面と大気の温度差  $T_s - T_a$ に比例し、 $H = C_H(T_s - T_a)$ 、 $E = C_E(T_s - T_a)$ と表せる。 $C_H[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ と  $C_E[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ はそれぞれ顕熱と潜熱の交換効率を表す定数。
- (d)  $|\Delta T_s|$ は  $T_s$ に比べて十分に小さい。
- (e)  $|x|$ が1よりも十分に小さいとき、 $(1 + x)^4 = 1 + 4x$ と近似する。

次に、太陽放射  $S_0$ の日変化を考える。この場合、土壌の温度変化は無視できず、地面温度が日変化する。また、地面との熱交換のため大気境界層の気温



も日変化する。雲が無く風の弱い晴天時を考えると、日中に  $S_0$  が大きくなる  
と地面が温められ、地面からの熱エネルギーで暖められた空気塊は軽くなって  
上昇する。夜間は  $S_0 = 0$  となり、赤外放射により地面から熱エネルギーが失  
われ、地面に接した大気は効率的に冷やされる。

(3) 図 2—1 は、雲が無く風の弱い晴天時における、大気境界層の気温と地表  
付近の気温の差の高度変化を描いた模式図である。図の(A), (B), (C)から現地  
時間の 8 時, 15 時, 22 時に相当するものを選び、選んだ理由を 2 ~ 3 行で  
説明せよ。

(4) 気温差の高度変化が図 2—1 の(B)であるとき、高度  $z_c$  で煙が放出された  
とすると煙は高さ方向にどのように広がるか、高度  $z_a$  と高度  $z_b$  に挟まれた  
層の名称を含めて 1 ~ 2 行で説明せよ。ただし、放出された煙の温度は同一  
高度の気温と等しいとする。

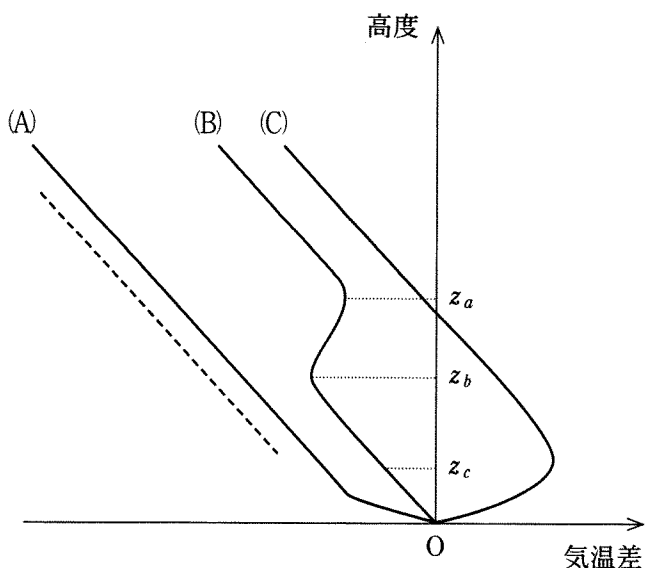


図 2—1 大気境界層の気温と地表付近の気温の差の高度変化の模式図。 $z_c$   
は煙の放出される高度を表す。破線の傾きは乾燥断熱減率を示す。

# 計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

# 計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

問Ⅱ 大規模な海流は、赤道域以外では地衡流で近似できる。また、海洋表層の地衡流では、海面の勾配による圧力傾度力とコリオリの力がつり合い、コリオリの力は流速と緯度の正弦( $\sin$ )に比例する。これらのことを考慮して、以下の問いに答えよ。

(1) 図2—2の地点A、Bにおける矢印は、それぞれ大規模な環流の西側に位置する2つの海流の方向を模式的に示している。地点A、Bにおいて、海面勾配の大きさがそれぞれ0.30 cm/km、0.85 cm/kmであった。地点Aにおける表層の地衡流の速さが0.31 m/sであるとき、地点Bにおける表層の地衡流の速さ(単位：m/s)を求めよ。ただし、地点A、Bにおける緯度 $\phi$ の正弦 $\sin \phi$ の値はそれぞれ0.66、0.56とし、地衡流の速さの計算において海水の密度の違いは無視できるものとする。有効数字2桁で解答し、計算過程も示すこと。

(2) 地点A、Bの海流はそれぞれの環流の東側の海域に比べて流速が大きい。このように環流の西側に強い流れが生じることを何と呼ぶか。

(3) 海洋には、環流よりも規模は小さいが、コリオリの力の影響を強く受けている渦が多数存在することが知られている。図2—2に灰色の陰影で示したEはそのような渦の1つを示したものである(以下渦Eとする)。渦Eにおいて遠心力は無視でき、表層の流速は円形の等高線に沿った地衡流で近似できるとする。渦Eの表層における回転方向は、上から見て時計回り、反時計回りのどちらであるか。理由とともに2～3行で答えよ。

(4) 渦Eのような渦の内部では、緯度によるコリオリの力の違いは小さい。しかし、長い時間をかけてみたときには、緯度によるコリオリの力の違いは、渦の構造や移動に影響を及ぼす。

渦Eの流れに直交する方向の海面勾配が、場所によらず一定であったとする。このとき、表層の地衡流の速さは緯度によって決まり、流速が増加す

る場所では海面が下降し、減少する場所では海面が上昇していく。渦 E の東側と西側のそれぞれで、海面は上昇するか、下降するか、理由とともに 2～3 行で答えよ。

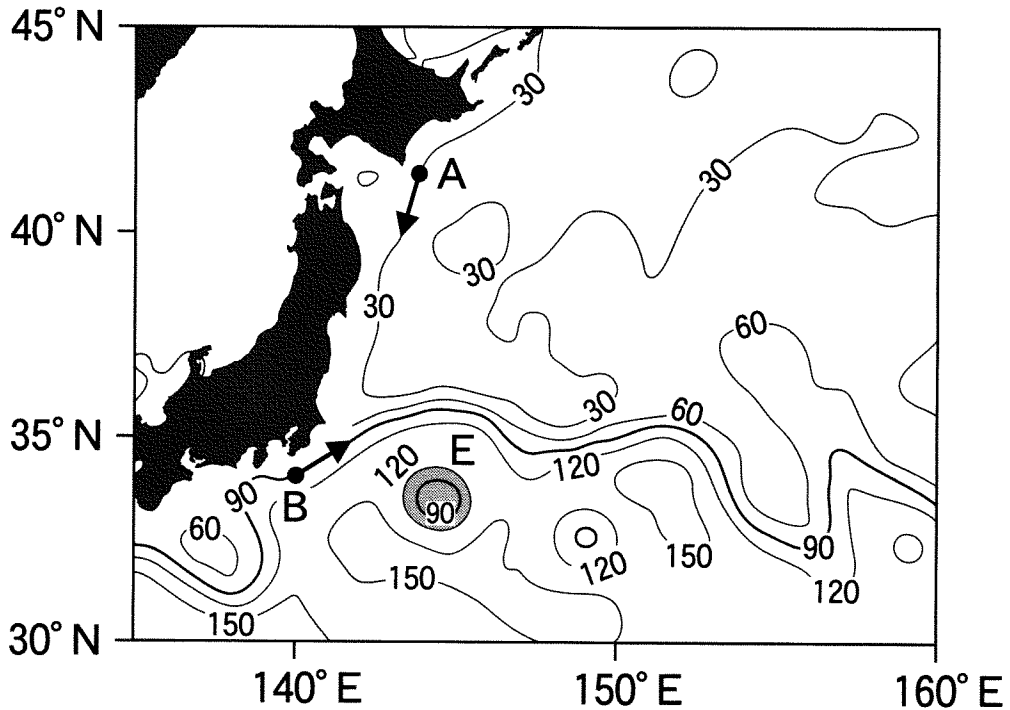


図 2—2 ある年の冬における海面の高さ(単位: cm)の分布。見やすさのため、90 cm の等高線を太線にしてある。2 つの矢印は地点 A、B における海流の向き、灰色の陰影で示した E は渦を表す。

# 計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

# 計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第3問 以下の問Ⅰ～Ⅱに答えよ。

問Ⅰ プレーートの拡大境界である中央海嶺では、新しい海洋底が形成され、海嶺軸から離れる方向に移動していく。この海洋底の水深はアイソスタシーによって決まると考えられるが、岩盤上には堆積物が積もっており、その堆積物の荷重も水深に影響している。このため、観測される水深(海面から堆積物の上面までの深さ)は、仮に堆積物が全く積もらなかったとした場合の水深とは異なる。図3—1は、観測値に基づいて求められた、堆積物が積もらなかった場合の水深と、海洋底の年齢(形成されてからの経過時間)との関係を示したものである。

- (1) 図3—1に見られるように、水深が海洋底の年齢とともに深くなっていく理由を、以下の3つの言葉を用いて2行程度で説明せよ。

リソスフェア、アセノスフェア、密度

- (2) 堆積物が水深に及ぼす影響について考えてみる。水深が $d$ 、堆積物の厚さが $D$ である地点について、堆積物が積もらなかった場合の水深を $d_0$ とする。また、海水の密度を $\rho_w$ 、堆積物の密度を $\rho_s$ 、アセノスフェアの密度を $\rho_A$ とする。

- (a)  $d_0$ を $d$ 、 $D$ 、 $\rho_w$ 、 $\rho_s$ 、 $\rho_A$ を用いた式で表せ。

- (b) ある地点で観測された水深は4800 m、堆積物の厚さは370 mであった。堆積物が積もらなかったとした場合、この地点の水深は観測値とどれだけ異なるかを、有効数字2桁で求めよ。ただし、 $\rho_w = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、 $\rho_s = 2.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、 $\rho_A = 3.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ とする。



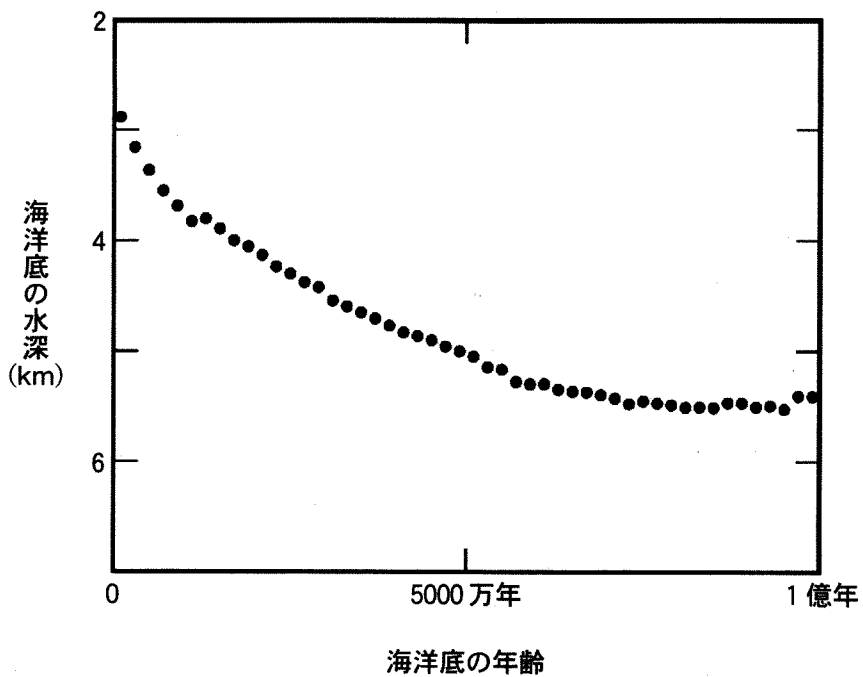


図 3—1 海洋底の水深と年齢の関係

問Ⅱ 深海底堆積物について述べた次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

海洋底は、海嶺から離れるにつれ、堆積物に厚く覆われるようになる。陸から遠く離れた深海底の堆積物は、有孔虫や円石藻のような石灰質の生物遺骸を多く含む石灰質堆積物、珪藻や放射虫のような珪酸質の生物遺骸を多く含む珪質堆積物、これらの生物遺骸をほとんど含まずほぼ粘土<sup>(ア)</sup>だけからなる遠洋性粘土に大別できる。炭酸カルシウムの殻を作る有孔虫や円石藻は世界の海洋に広く生息し、遺骸が海底に沈積する。しかし、温度・圧力条件などから、ある水深を越えると海水は炭酸カルシウムに対して不飽和になり、炭酸カルシウムは徐々に溶解しはじめる。この水深は、現在の太平洋では1500 m程度である。水深の増加とともにさらに溶解しやすくなり、炭酸カルシウムの沈積と溶解がつり合う水深に達する。この水深を炭酸塩補償深度<sup>(イ)</sup>と言ひ、現在の太平洋では4500 m程度である。それ以深の深海底堆積物は、炭酸カルシウムをほとんど含まない。

深海底堆積物の年代を知るためには、様々な方法が用いられる。有孔虫や珪藻などの生物遺骸を含む堆積物では、示準化石を用いて年代を推定することが可能である。有孔虫の遺骸は、放射性炭素年代法により年代測定をすることができる。大気中の二酸化炭素は、主として質量数12の炭素( $^{12}\text{C}$ )からなるが、一定の割合で質量数14の放射性炭素( $^{14}\text{C}$ )がわずかに含まれている。生きている有孔虫が作る炭酸カルシウム殻には、大気中の二酸化炭素と同じ割合で $^{14}\text{C}$ が含まれるが、その死後は放射壊変により減少する。このことを利用し、過去の<sup>(イ)</sup>大気中の $^{14}\text{C}$ 濃度は現在と同じであったと仮定して年代を計算する。 $^{14}\text{C}$ は、地球の上層大気中で高エネルギーの宇宙線が窒素原子と衝突することにより生成する。宇宙線の<sup>(ウ)</sup>大気への入射量は変化するため、大気中の $^{14}\text{C}$ 濃度は、実際は過去から現在まで一定ではなく変化してきた。そのため、正確な年代を求めるためには、この影響を補正しなければならない。

- (1) 下線(ア)の粘土は、主としてどのように陸から運ばれるか。
- (2) 太平洋における、石灰質堆積物、珪質堆積物、遠洋性粘土の分布を図3—2に示す。凡例A, B, Cのうち、石灰質堆積物を表すものはどれか。そのように判断する理由とともに、2行程度で述べよ。
- (3) 下線(イ)の仮定のもと、放射性炭素年代法で年代を求める。 $^{14}\text{C}$ 濃度の測定限界が現在の大気中の濃度の1000分の1である場合、求めることができる最も古い年代は何年前か、計算式を示し、有効数字2桁で答えよ。ここで、 $^{14}\text{C}$ の半減期は5700年とし、必要であれば $\log_{10} 2 = 0.30$ を用いてよい。
- (4) 下線(ウ)のように、地球大気への宇宙線の入射量に変化してきた原因を2行程度で述べよ。
- (5) 遠洋性粘土は、石灰質および珪酸質の生物遺骸を含まないため、年代を知るために示準化石や放射性炭素年代法を用いることはできない。この場合にも用いることができる他の方法を一つ挙げよ。

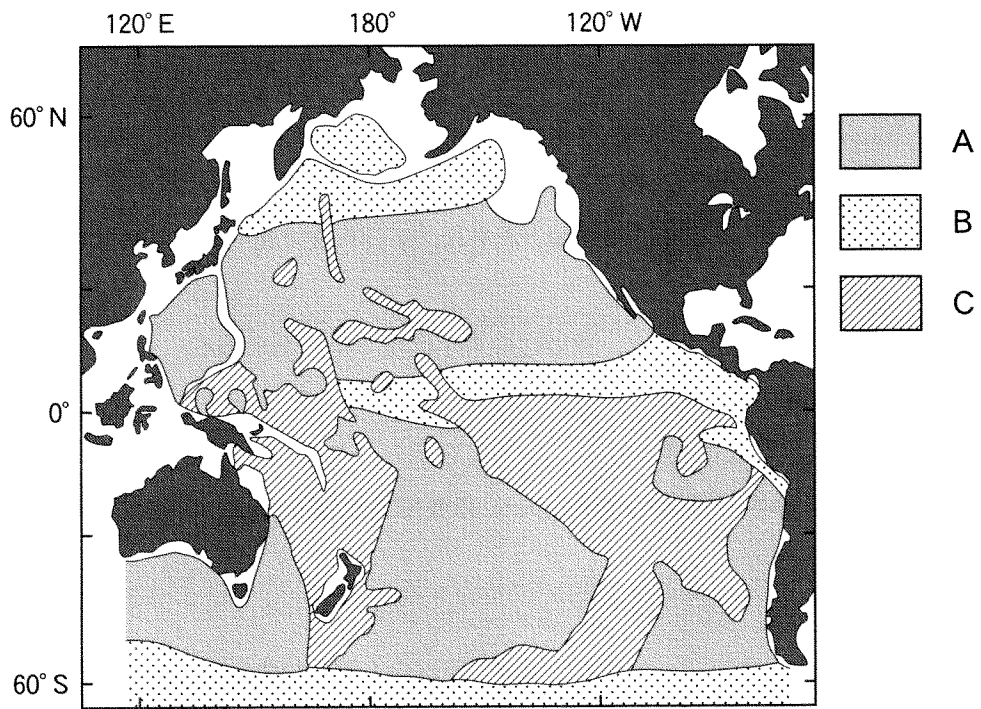


図 3—2 太平洋における深海底堆積物の分布

# 計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)