

# 地 学

第1問 宇宙に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 近年、銀河系内にある星ならばその年周視差が測定できるようになってきた。その結果によると、星団Aにある星の年周視差は $0.0025''$ 、星団Bにある星の年周視差は $0.00078''$ であった。図1—1に各星団の星のHR図を示す。以下の問いに答えよ。数値での解答には計算の過程も示せ。なお、太陽の質量と光度はそれぞれ $M_s = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$ 、 $L_s = 4 \times 10^{26} \text{ W}$ とし、1パーセク $= 3.1 \times 10^{16} \text{ m}$ とする。また、計算に必要ななら $\log_{10} 2 = 0.30$ および $\log_{10} 3 = 0.48$ を用いよ。

- (1) 各星団の距離(単位：パーセク)をそれぞれ有効数字2桁で求めよ。
- (2) 各星団で最も明るい主系列星の見かけの明るさ(単位： $\text{W}/\text{m}^2$ )はおよそいくらか。以下のうちから一つずつ選び、それぞれ答えよ。

星団A： $1 \times 10^{-8}$ 、 $1 \times 10^{-12}$ 、 $1 \times 10^{-14}$

星団B： $2 \times 10^{-12}$ 、 $2 \times 10^{-14}$ 、 $2 \times 10^{-17}$

- (3) 星団Bで最も明るい主系列星の光度(単位： $\text{W}$ )を有効数字1桁で求めよ。ただし、星の見かけの明るさは視線に垂直な面が単位時間、単位面積あたりに受けるエネルギーとし、その値には設問(2)で答えた値を用いよ。

- (4) 主系列星の質量 $M$ と光度 $L$ の関係は

$$\frac{M}{M_s} = \begin{cases} \left(\frac{L}{L_s}\right)^{\frac{1}{4}} & (0.43 M_s < M \leq 2 M_s) \\ 0.9 \left(\frac{L}{L_s}\right)^{\frac{2}{7}} & (2 M_s < M < 30 M_s) \end{cases}$$

で表されるとする。これを用いて、星団Bの最も明るい主系列星の質量が太陽質量の何倍になるか、有効数字1桁で求めよ。

(5) 星団 B の年齢は最も明るい主系列星の寿命から推定できる。その理由を 2 行程度で答えよ。

(6) 星団 A, B のうちどちらかは散開星団である。どちらが散開星団か、理由とともに 1 ~ 2 行で答えよ。

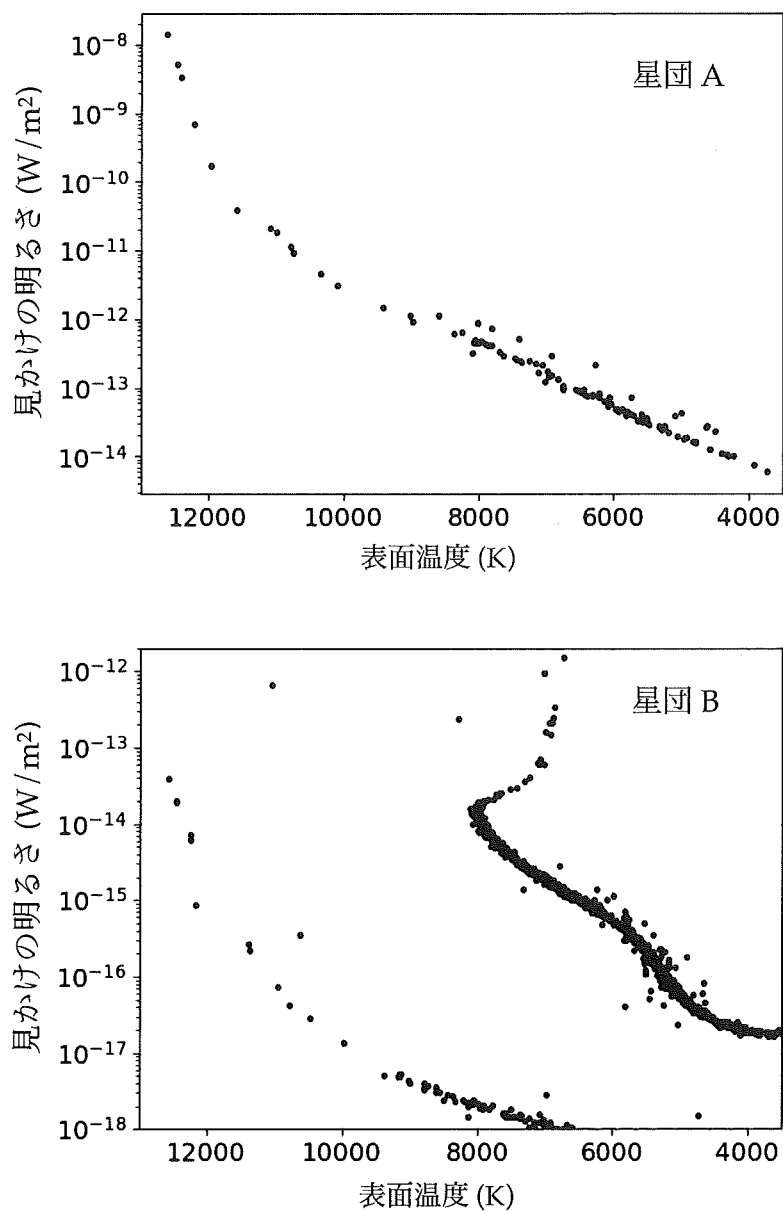


図 1—1 二つの星団 A, B の星の HR 図

問 2 次の文章を読んで以下の問いに答えよ。数値での解答には計算の過程も示せ。

太陽のエネルギー源は中心部で起こっている核融合反応である。核融合反応で発生したエネルギーは太陽内部においては、中心側では放射によって、光球面側では  によって、光球面まで運ばれる。光球面からは、エネルギーは放射によって宇宙空間に放出される。この放射エネルギーのピーク波長は  $5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$  であり、これは  に対応する。光球面の平均温度は  $5.8 \times 10^3 \text{ K}$  であるが、太陽内部で起こっている  の影響によって光球面の温度には非一様性がある。また、黒点では強い  の影響によって、周囲よりも温度が低くなっている。一方で、太陽の上層大気であるコロナは光球面よりも高温になっており、 を放射している。また、コロナからは高速の太陽風が周囲に吹き出し、地球軌道よりも遙か遠方まで到達している。短時間のうちに様々な波長の光が急激に強くなるフレアや、より高密度・高速の太陽風が周囲に放出されるコロナ質量放出は、黒点数の多い太陽極大期に頻繁に発生する。このことは、太陽の活動現象に  が重要な役割を果たしていることを示唆する。

地球は光球面から放射される  だけでなく、コロナから放射される  や、太陽風の影響も受けている。地球の上層大気には、太陽放射によって一部の分子や原子が電離した電離層と呼ばれる層が形成されている。地球の高緯度地方で見られる  は、宇宙空間から高エネルギーの荷電粒子が高層大気に流入し、原子や分子と衝突することによって、大気が発光する現象である。太陽風はこのような  の活動に大きな影響を与えている。太陽におけるフレアやコロナ質量放出などの突発的な爆発現象は、地球ではデリンジャー現象や磁気嵐などを引き起こしたり、人工衛星や宇宙ステーションに影響を与えたりすることがある。

(1) 空欄  ~  に当てはまる適切な語句をそれぞれ答えよ。

(2) コロナの典型的な温度は  $2.0 \times 10^6 \text{ K}$  であることが知られている。ウィーンの変位則が成り立つと仮定したとき、この温度に対応する放射エネルギーのピーク波長を有効数字 2 桁で求めよ。

(3) 空欄  および  に当てはまる最も適切な語を以下の選択肢からそれぞれ一つ選び、その番号を答えよ。

- ① 電波                                      ② 赤外線                                      ③ 可視光線  
④ 紫外線・X線                              ⑤ ガンマ線

(4) 地球軌道(太陽からの距離が1天文単位的位置)における太陽風の質量密度  $\rho$  および速度  $V$  は、それぞれ  $\rho = 1.6 \times 10^{-20} \text{ kg/m}^3$ ,  $V = 4.0 \times 10^5 \text{ m/s}$  程度である。以下では地球軌道での値としてこれらを用い、球対称かつ定常な太陽風を考える。なお、1年は  $3.2 \times 10^7 \text{ s}$ , 1天文単位は  $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$  とし、数値は有効数字 1 桁で求めよ。

(a) 太陽風によって、単位時間、単位面積あたりに外向きに運ばれる質量は、質量密度と速度の積で与えられる。これを用いて、太陽の寿命  $1.0 \times 10^{10}$  年の間に太陽が失う質量は太陽質量  $2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$  の何 % にあたるか求めよ。

(b) 太陽風が持つ圧力は質量密度と速度の 2 乗との積で与えられる。また、太陽風の圧力は太陽からの距離の 2 乗に反比例して遠方に向かって減少する。太陽風は周囲の星間物質を押しよけ、太陽圏と呼ばれる太陽の勢力圏を形成している。太陽風の圧力と星間物質の圧力が等しくなる距離を太陽圏の大きさと定義するとき、太陽圏の大きさを天文単位で求めよ。ただし、星間物質の圧力として  $P = 1.0 \times 10^{-13} \text{ Pa} = 1.0 \times 10^{-13} \text{ kg/(m}\cdot\text{s}^2)$  を用いること。

(5) あるときフレアとコロナ質量放出がほぼ同時刻に太陽で発生した。これらによって、地球ではデリンジャー現象および磁気嵐が時間差をもって引き起こされた。デリンジャー現象と磁気嵐が発生した順番を答えよ。また、両者の時間差が生じた理由を 1 ~ 2 行程度で述べよ。

第2問 大気と海洋に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 降雪や降雨について、以下の問いに答えよ。数値での解答には有効数字2桁で単位とともに答え、計算の過程も示せ。

(1) 以下の文章の空欄  ～  に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。

大気中の雲の水滴は、微粒子(エアロゾル)の一部が  核として働くことにより生成される。水滴は、周囲の気温が氷点下に下がっても容易には凍結しない。氷点下の状態にある水滴を  水滴と呼ぶ。やがてこれらの水滴のごく一部が、氷晶核と呼ばれる微粒子の作用により凍結して氷晶を形成すると、雲は水滴と氷晶とが共存した状態になる。降雪はこの氷晶が大きく成長し氷粒子のまま地表面まで落下することによりもたらされる。落下途中で、氷粒子が融解して生成する雨を  雨という。

(2) 水滴と氷晶とが共存した雲内において、水蒸気が液体の水に対して常に飽和した状態を考える。氷の飽和水蒸気圧  $p_i$  は水の飽和水蒸気圧  $p_w$  よりも低いから、この雲内の水蒸気は氷に対しては過飽和となる。このため氷晶は昇華により成長する。氷晶はさまざまな形状をもつが、図2—1に模式的に示したように、その大きさ(長さ)を  $L$  としよう。また空気と水滴と氷晶の温度  $T$  は 260 K で一定とし、この温度において  $p_w = 2.25 \text{ hPa}$ ,  $p_i = 1.99 \text{ hPa}$  とする。なお、 $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$  である。

(a) 単位時間あたりの  $L$  の変化量が、定数  $a$  を用いて  $a(p_w - p_i)/T$  と書けるものとする。 $t = 0$  において  $L = 0 \mu\text{m}$  とみなせる小さな氷晶が、時刻  $t$  においてもつ大きさ  $L$  を、 $p_w$ ,  $p_i$ ,  $a$ ,  $T$ ,  $t$  を用いた式で表せ。またこの式を用いて、 $L = 800 \mu\text{m}$  まで成長するのに要する時間を求めよ。ただし、 $a = 400 \mu\text{m} \cdot \text{K} / (\text{s} \cdot \text{hPa})$  とする。

(b) 氷晶は成長しながら、その  $L$  に応じた空気の抵抗を受けつつ落下する。設問(a)の氷晶の落下速度  $U$  が定数  $k$  を用いて  $U = k \cdot L$  と書けるとする。この氷晶が  $t = 0$  から  $t_1$  まで成長しながら落下するとき、この間の氷晶の平均の落下速度  $\langle U \rangle$  を、 $p_w$ ,  $p_i$ ,  $k$ ,  $a$ ,  $T$ ,  $t_1$  を用いて表せ。またこの氷晶が  $L = 800 \mu\text{m}$  まで成長する間に落下する距離を求めよ。ただし、 $k = 1.2 \times 10^3/\text{s}$  とし、雲内での上昇流などの空気自体の運動は無視する。

(c) 設問(a)の氷晶の成長で使用される水蒸気は、周囲の複数の水滴の蒸発によりまかなわれているとする。これらの水滴は全て同じ半径  $r$  をもつ球形とし、水の質量密度を  $\rho_w$  とする。また氷晶の質量  $M$  は、定数  $b$  を用いて  $M = b \cdot L^2$  と書けるとする。この氷晶が  $L = 0$  から  $800 \mu\text{m}$  まで成長するのに水滴何個分の蒸発が必要か求めよ。ただし、 $r = 4.0 \mu\text{m}$ ,  $b = 2.3 \times 10^{-14} \text{kg}/\mu\text{m}^2$ ,  $\rho_w = 1.0 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$  とする。

(3) 降雪や氷晶由来の降雨には、落下するのに十分な大きさの氷晶の形成が必要となる。通常、空気中の氷晶核の数は、水滴を形成する微粒子と比較して非常に少ない。このため一般に水滴と氷晶が共存した雲内では、水滴の数と比較して氷晶の数は非常に少ない。いま、空気中の氷晶核の数のみが増加して、水滴を形成する微粒子と同程度となった仮想的な状況を考えてみよう。この状況では、氷晶核が少ない通常の場合と比較して、氷晶の大きさにはどのような違いが生じるか、その理由とともに 2 行程度で答えよ。

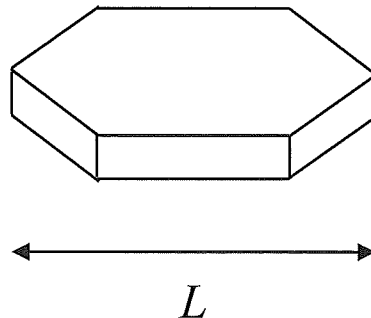


図 2—1 氷晶の大きさ(長さ) $L$ を示した模式図

問 2 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

図 2—2 は北太平洋の海面ならびに深さ 300, 600 m における水温の平均的な分布である。水温は海面では、太平洋西部の赤道付近で 29℃ 以上と最も高いが、深さ 300 m と 600 m では、北緯 15 度から北緯 35 度までの間で最も高い。このような、北緯 15 度から北緯 35 度までの間で水温が最も高いという構造は、深さ 200 m から 1 km まで見られる。深さ 1 km より下では、水温の水平方向の変化は小さい。

- (1) 下線部に関連して、赤道付近の海面の水温分布について説明した次の文章の空欄  ~  に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。

赤道上ではコリオリの力が働かないため、海上を吹く  と呼ばれる東風により、海面付近の暖かい水が吹き寄せられ、太平洋西部の海面の水温は高くなる。一方、 により、赤道より少し北では  向き、少し南では  向きのエクマン輸送が生じるため、太平洋東部の赤道上ではそれを補うように下層から冷たい水が湧き上がり、海面の水温は低くなる。この湧き上がりによる水温低下が太平洋東部で生じやすいのは、 が浅いためである。

- (2) 深さ 200 m から 1 km では北緯 15 度と北緯 35 度の間で水温が高いという構造は、北太平洋を巡る海洋の大きな流れと対応している。どのように対応しているのかを 2 ~ 3 行程度で説明せよ。ただし、以下の語句をすべて用いること。なお、塩分の効果は無視してよい。

語句群：海水密度，海面高度，コリオリの力

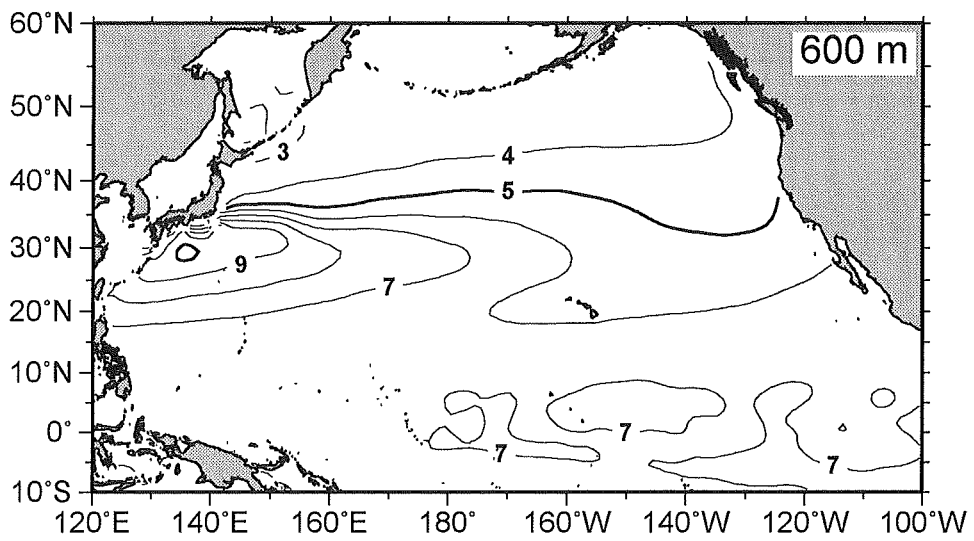
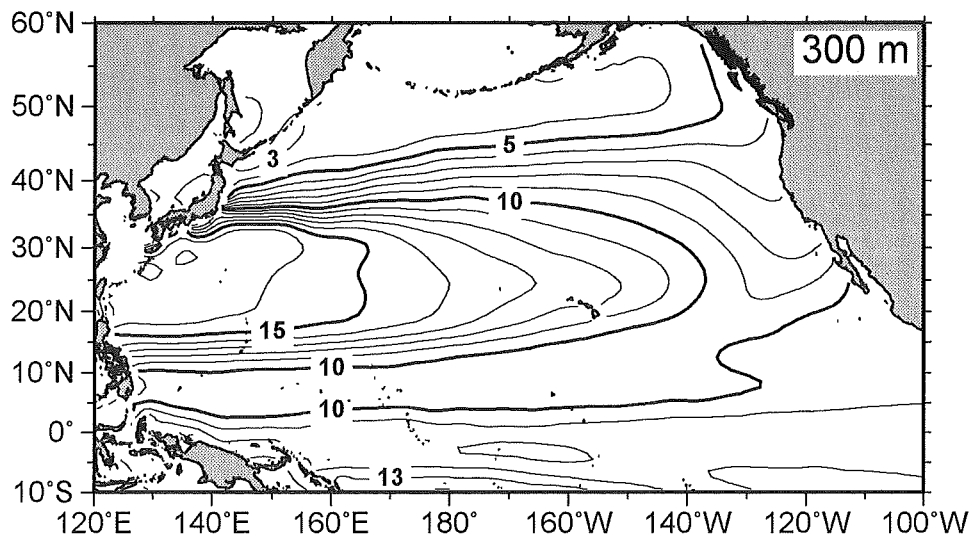
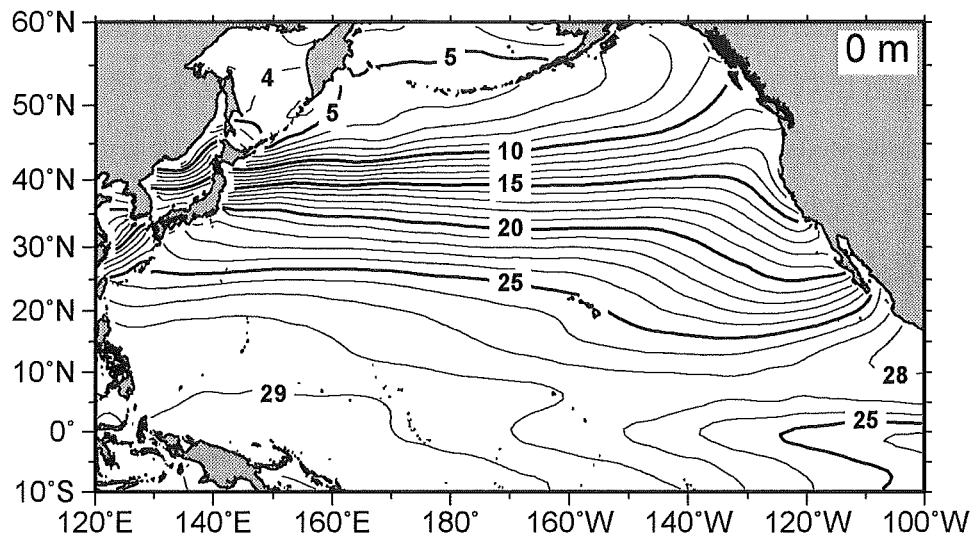


図 2—2 海面ならびに深さ 300, 600 m における海水温の平均的な分布(単位: °C)



- (3) 海面の水温は北緯 15 度より北では北に行くほど低くなるが、同じ緯度の水温は必ずしも等しくはない。すなわち、水温の等値線は必ずしも東西方向に伸びてはいない。北緯 15 度と北緯 35 度の間では、水温の等値線が西北西—東南東方向に傾いている。設問(2)で述べた海洋の大きな流れが、どのようにしてこのような傾いた等値線分布をつくるのかを、1～2 行程度で説明せよ。
- (4) 北緯 40 度より北では、海面の水温の等値線は、北緯 15 度から北緯 35 度までの海域とは反対に、西南西—東北東方向に傾いている。このことから、北緯 40 度より北の海面付近における海洋の大きな流れが、熱を正味で北向きと南向き、どちらに輸送していると考えられるのかを、理由とともに 2～3 行程度で説明せよ。

第3問 地震と地質に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 図3—1は、ある沈み込み帯でのプレートが沈み込む方向(東西方向)に沿った鉛直断面と、太黒線で示された幅220kmの陸域下におけるP波速度を表したものである。陸の東端を原点とし、水平西向きに $x$ 軸、鉛直下向きに $z$ 軸をとる。多数の灰色点および黒点L~Nは断面上にある地震の震源を、線影(A)~(C)は地震のグループを示す。陸上には、①~⑫で示された地震観測点が $x$ 軸上に20kmの等間隔で配置されている。陸域下におけるP波速度は深さのみで決まり、 $z < 40$  kmで6.0 km/s、 $z \geq 40$  kmで8.5 km/sとする。この断面に見られる地震について、以下の問いに答えよ。簡単のため、地球の曲率、断層の大きさ、および地震観測点の標高は無視できるものとする。なお、計算には以下の関係を使用してもよい。

$$\tan 15^\circ = 0.27 \quad \tan 30^\circ = 0.58$$

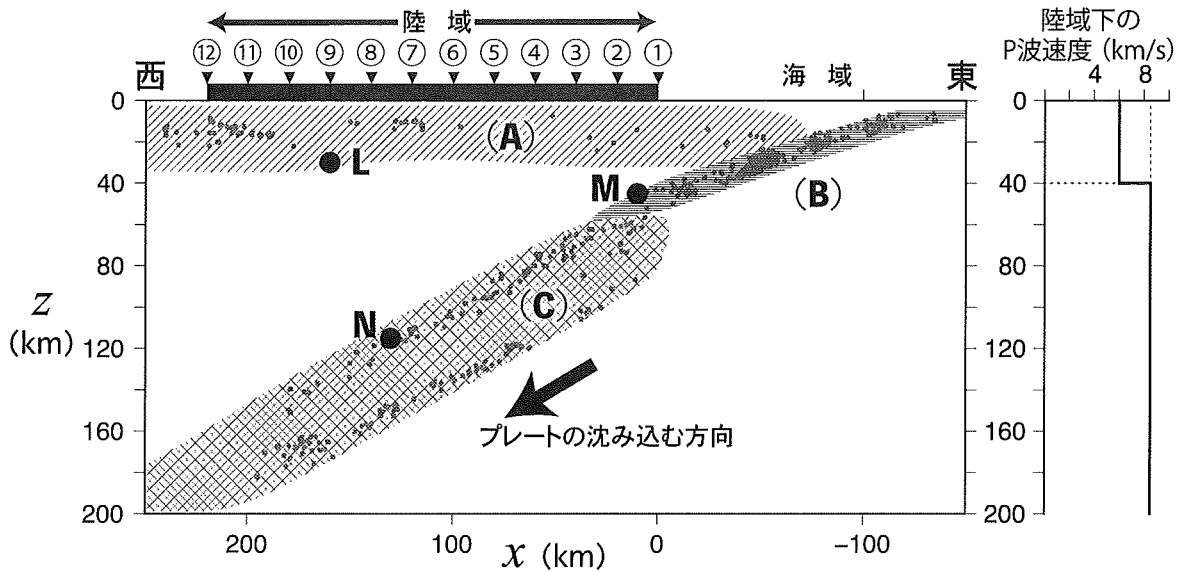


図3—1 左：沈み込み帯の断面における震源分布および地震のグループ。  
右：陸域下のP波速度の鉛直分布(実線)。

- (1) 以下の文の空欄  ~  に入る適切な語句を、それぞれ答えよ。

沈み込み帯で発生する地震は、その発生する場所によって大きく3つのグループ(A)~(C)に分けることができる。グループ(A)は陸のプレート内で発生する浅い地震で、グループ(B)はプレート  で発生する  断層型の地震である。グループ(C)は沈み込むプレート内で発生し、その分布は深さ700 km程度の地下深部にまで及ぶ。このような深部で発生する地震は  と呼ばれ、これらの震源が分布する面は、その存在を明らかにした2人の地震学者の名前にちなんで  と呼ばれる。

- (2) 図3—1中のグループ(A)に属する点Lを震源とする地震は、 $x = 160$  km,  $z = 30$  kmの、紙面に垂直な傾斜 $60^\circ$ Wの断層面で発生した正断層型の地震であった。図3—2の黒丸は、観測点①~⑫で観測された、この地震のP波初動の走時 $t$ を示す。走時曲線は、直接波の走時(曲線1)と、 $z = 40$  kmのP波速度の境界に $45^\circ$ で入射する屈折波の走時(直線2)で表すことができる。以下の問いに答えよ。

- (a) 曲線1および直線2で示された走時 $t$ (単位:s)を $x$ (単位:km)で表す式をそれぞれ答えよ。直線2については導出の過程を示すとともに、傾きと切片を有効数字2桁の値で表せ。
- (b) 曲線1で示されるP波初動(観測点④~⑫)のうち、引き波が観測される観測点と、そのように考えられる根拠を説明せよ。図を用いて説明してもよい。

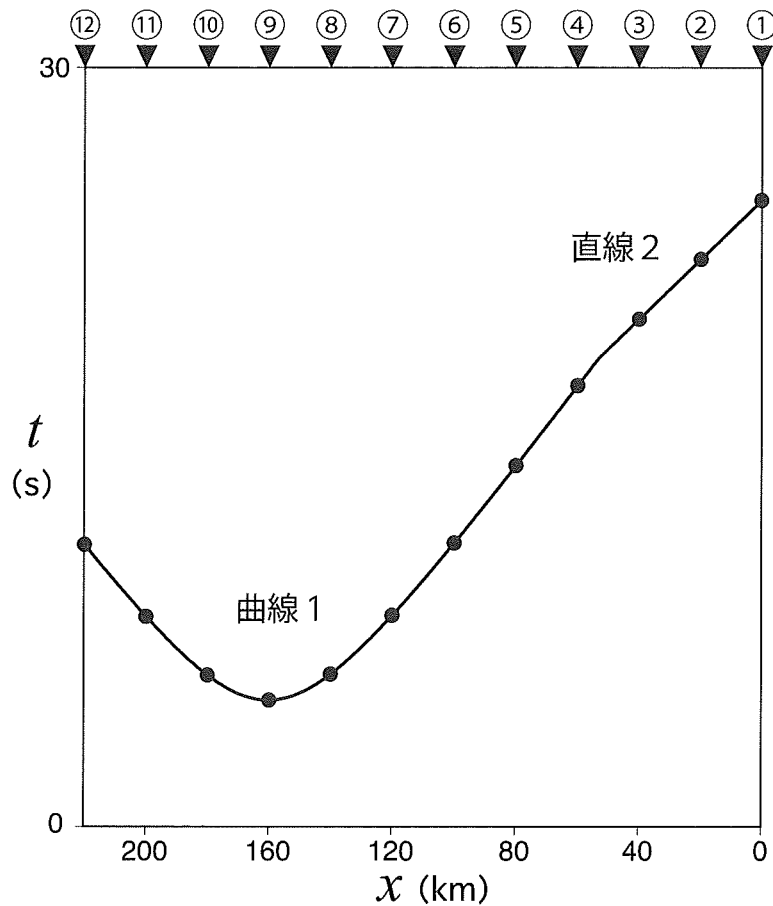
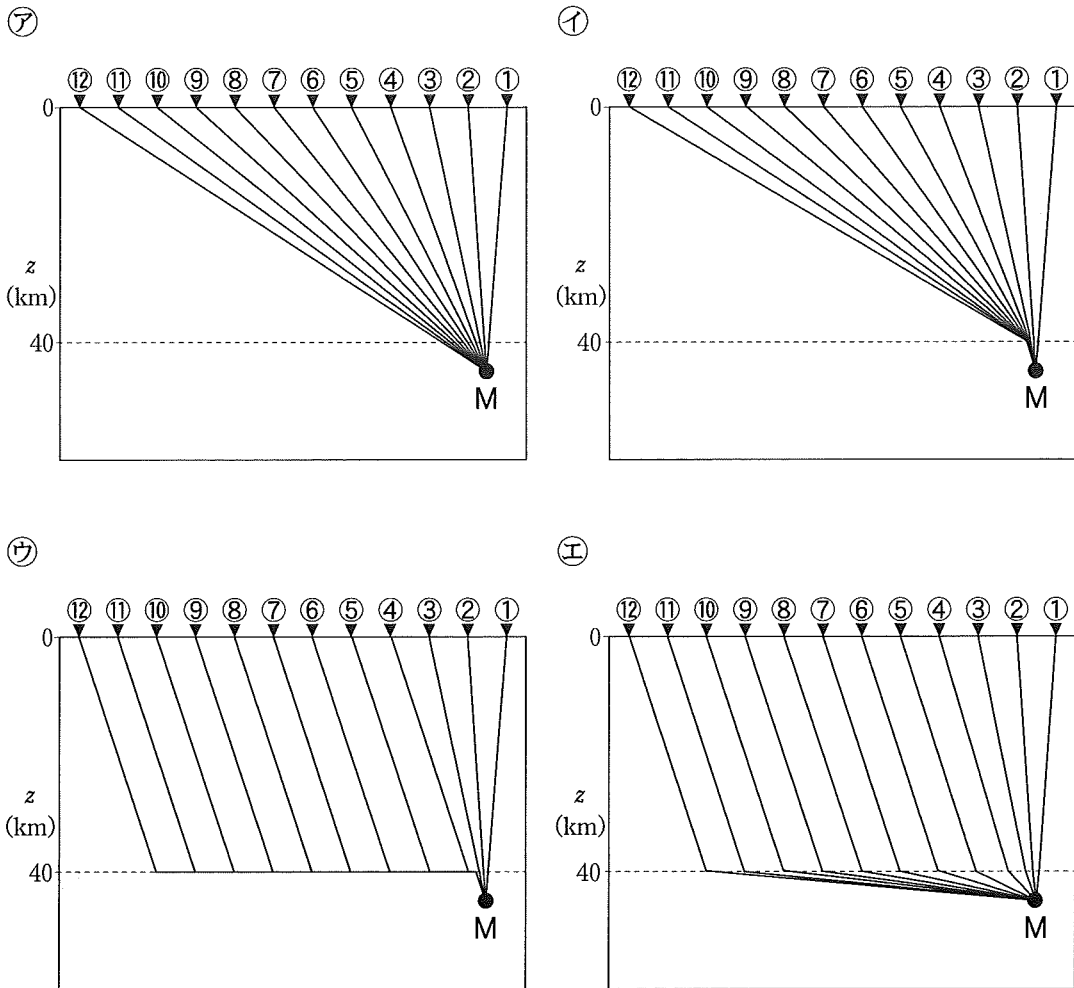


図3—2 点Lで発生した地震の、陸上地震観測点におけるP波初動の走時(黒丸)と計算された走時曲線

- (3) 図3—1中の点MおよびNを震源とする地震について、観測点①~⑫で観測されるP波初動の押し引き分布について考える。グループ(B)に属する点Mの地震は、震源が $x = 10 \text{ km}$ ,  $z = 45 \text{ km}$ , 紙面に垂直な傾斜 $15^\circ\text{W}$ の断層面で発生し、グループ(C)に属する点Nの地震は、 $x = 130 \text{ km}$ ,  $z = 115 \text{ km}$ , 紙面に垂直な傾斜 $75^\circ\text{W}$ の断層面で発生した。また点Mで示される地震のP波初動は、観測点①と②~⑫とで押し引きが異なっていた。以下の問いに答えよ。

(a) 点 M の地震の P 波初動にあたる地震波は、観測点①～⑫までどのように伝わるか、その伝播経路について最も適切に示しているものを以下の図㉖～㉙から選べ。また、観測点①では P 波初動が押し波か引き波のどちらであるか答えよ。なお、図㉖～㉙は水平方向に対して深さ方向を 3 倍に拡大してあることに注意せよ。



(b) 点 N の地震は、プレートの沈み込み方向に押される力により発生した。この地震の P 波初動が押し波である観測点を①～⑫から全て選んで答えよ。

問 2 図 3—3 は、ある地域の地質図である。破線は 20 m ごとの等高線である。  
 この地質図について、以下の問いに答えよ。なお、地層の逆転や褶曲はないものとする。

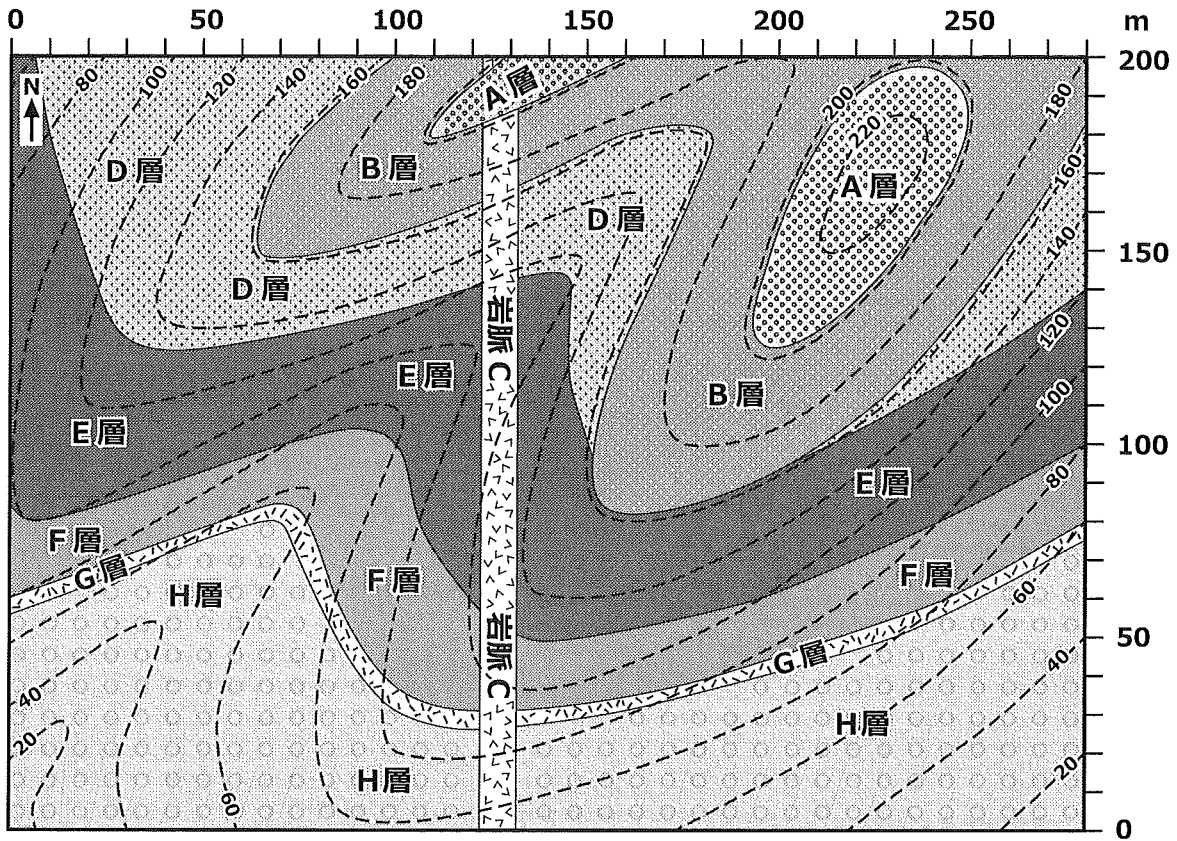


図 3—3 ある地域の地質図

(1) 以下の文中の  ~  について、それぞれ適切な語句や数字を選んで答えよ。

F 層は走向が  で、傾斜が  に  
 約  度であり、厚さが約  m である。

- (2) G層は凝灰岩であり、地域間の地層の対比に利用できることが判明した。  
このような対比に利用できる地層を何というか答えよ。また、そのような地層として望ましい条件を2つ挙げ、それぞれ1行程度で説明せよ。
- (3) E層は、碎屑粒子からなる堆積岩である。その碎屑粒子の粒径を測定したところ、0.002~0.05 mmであった。この堆積岩の名称を答えよ。
- (4) 図3—3の地質図から、この地域の地史について考える。岩脈CとG層の年代測定を行ったところ、それぞれ260万年前、6600万年前の年代値を得た。
- (a) F層に含まれる化石として、適当なものを以下の選択肢から選んで答えよ。
- 選択肢：アンモナイト、イノセラムス、コノドント、三葉虫、  
トリゴニア、ヌムリテス(カハイ石)、フズリナ(紡錘虫)
- (b) 図3—3の地質図から読み取ることができるA~Hの地層や岩脈の形成順序を、以下の語群に含まれる語を全て用いて3行程度で説明せよ。
- 語群：中生代、新生代、第四紀、傾斜、貫入
- (5) H層に含まれる礫からある鉱物を取り出し、その鉱物について半減期  $7.0 \times 10^8$  年の放射性同位体 X を用いて放射年代を測定した。分析の結果、この鉱物の形成時に含まれていた放射性同位体 X の40%が放射壊変して別の安定同位体に変っていたことが判明した。この鉱物の形成年代を、有効数字1桁で答えよ。計算過程も示すこと。必要であれば  $\log_{10} 2 = 0.30$ ,  $\log_{10} 3 = 0.48$  を使用してよい。