（注）ウェブサイト掲載に際し、文章を一部修正しています。

第８回日本地学オリンピック本選

（第 10 回国際地学オリンピック二次選抜）

固体地球分野　問題

◆　試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。

◆　試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。

◆　解答はすべて解答用紙に記入して下さい。

◆　問題冊子の余白等は適宜利用してください。

◆　解答時間は 30 分です。

◆　試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。

◆　解答用紙は試験監督が回収します。

◆　この問題冊子は持ち帰って構いません。

番号		氏名	

問題

　海洋における地学的な調査が進むことで、海洋底拡大説という考え方が提唱され、プレートテクトニクス理論の理解が進んだ。**図１**の地図は太平洋周辺における海洋底の年代（年齢）分布である。この図を見て、以下の各問いに答えなさい。

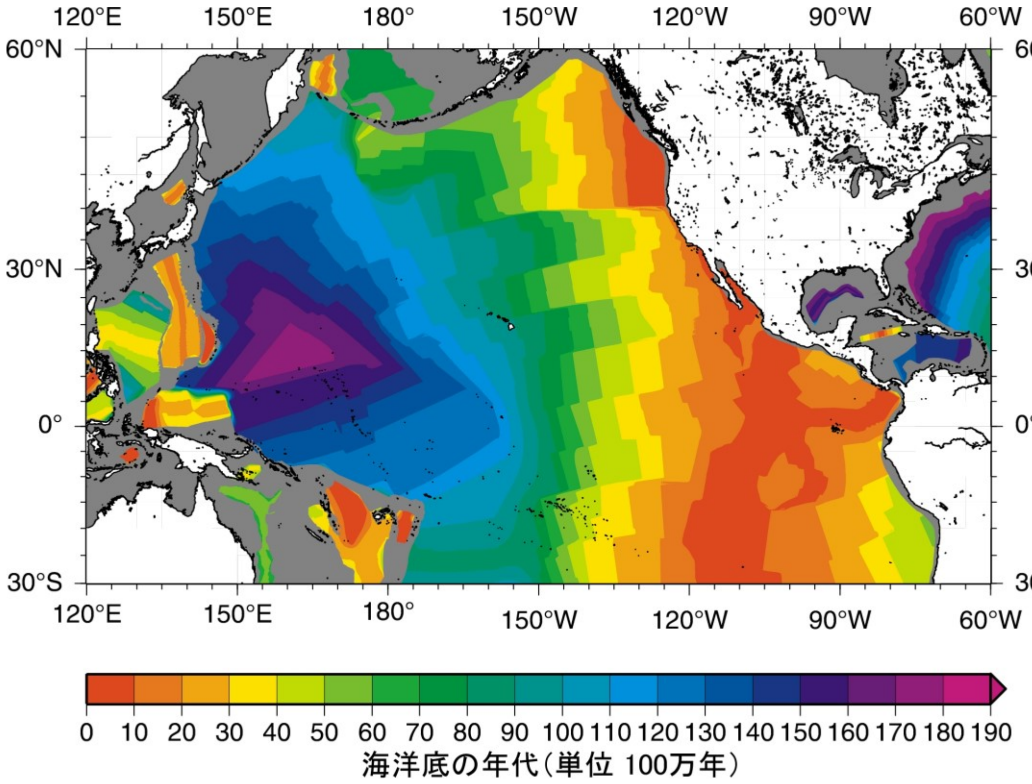


図１　海洋底の年代分布（Müller *et al.* (2008)のデータによる）。灰色はデータがないところを示す

問１　以下の文章の**空欄ア～イ**にあてはまる最適な語句を答えなさい。

海洋底の岩石中に残されている（　　**ア**　　）のパターンを調べると、中央海嶺を軸に対称な縞模様をなしていることが明らかとなった。（　　**ア**　　）の年代情報をもとに、海洋底の年代分布を推定した結果が**図１**である。海嶺軸から遠くなるにつれて、海洋底の年代が古い。また、これにより海洋底の移動速度を知る手がかりとなる。太平洋における最も古い海洋底でも（　　**イ**　　）紀に形成されたものであり、大陸地殻に比べると新しいことから、海洋底が地球深部に沈み込んでいることが示された。

問２　日本列島周辺では、２つの異なる海洋プレートが日本列島の下に沈み込んでいる。２つのプレートの特徴の違いについて述べた以下の文の**空欄ア～イ**にあてはまる最適な語句を答えなさい。

日本列島の下に沈み込んでいる 2 つの海洋プレートのうち、（　　**ア**　　）プレートの年代は約 1 億年以上であるのに対し、（　　**イ**　　）プレートの年代は 1000～3000 万年程度と比較的新しい。

問３　太平洋の水深を調べると、海嶺軸から離れた古い海洋底ほど深いことがわかった。その原因を簡潔に説明しなさい。

問４　**図１**に描かれている海洋底の年代分布の等年代線をよく見ると、なめらかな線ではなく、ところどころに不連続のあるギザギザとした分布になっている（例えば、2000 万年前～１億年前付近の 1000 万年毎の等年代線に注目しなさい)。等年代線の形状がこのようになる理由を簡潔に説明しなさい。

問５　**図２**はハワイ諸島～天皇海山列の火山･海山の位置と海洋底の年代分布を示す地図である。**表１**は主要な海山の形成年代とキラウェア火山から海山列に沿って測った距離をまとめたものである。これらの図および表から情報を読み取り、ハワイ諸島～天皇海山列がのっているプレートの運動方向が大きく変化した時期はいつ頃か、次の選択肢から最適なものを１つ選び、その番号を答えなさい。ただし、ホットスポットの位置は変わらないものとする。

① 3500 万年前　　② 4300 万年前　　③ 6000 万年前　　④ １億 2500 万年前

問６　ハワイ諸島～天皇海山列がのっているプレートの運動方向が大きく変化してから現在までのプレートの移動速度を計算しなさい。単位は cm/年とし、小数点以下は切り捨てること。

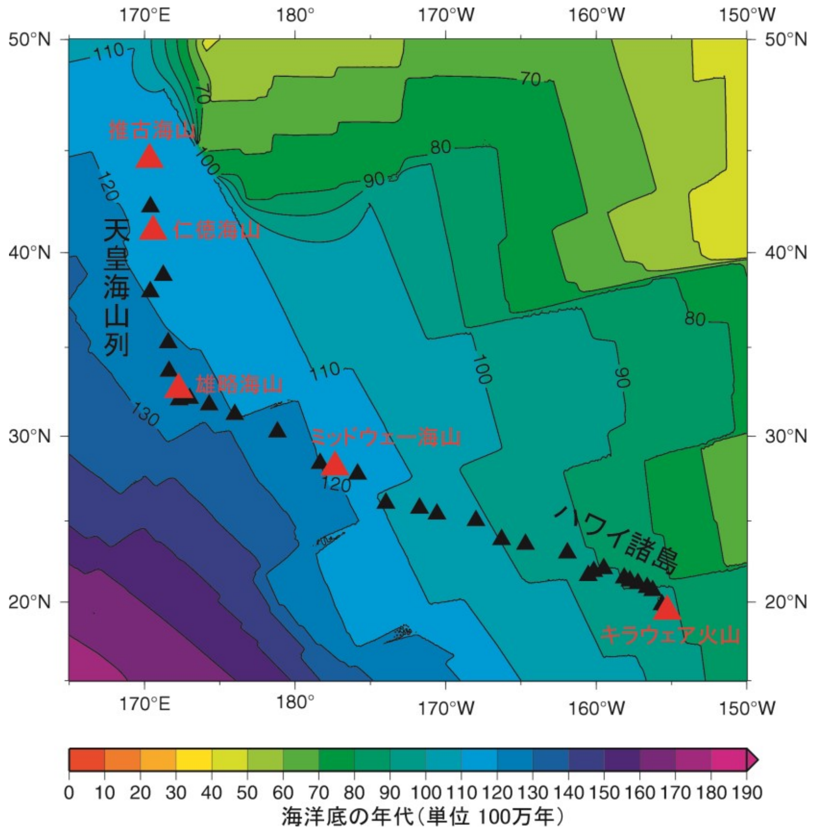


図２　ハワイ諸島－天皇海山列の火山、海山（三角印）及び海洋底年代分布

表１　**図２**中の主要な海山の形成時期及びキラウェア火山から海山列に沿って測った距離

海山名	形成年代（×100 万年前）	キラウェア火山からの距離（km）
ミッドウェー海山	27.7	2432
雄略海山	43.4	3520
仁徳海山	56.2	4452
推古海山	59.6	4860

問７　プレートテクトニクスは地震の発生とも密接に関係している。**図３**は同じ日（2007 年 7 月 16 日）に発生した 2 つの地震の震度分布を地図に示したものである。これらの 2 つの地震のマグニチュードはほぼ同じであった。左図の地震（10 時 13 分、M6.8、深さ 17km）は地殻内で発生した地震であり、右図の地震（23 時 17 分、M6.7、深さ 374km）は典型的な深発地震の例である。**図３**の震度分布の特徴について述べた以下の文章の**空欄**にあてはまる最適な語句を以下の語群から１つ選びなさい。

10 時 13 分に発生した地震では、震度の等しい地域が震央を中心にほぼ同心円状に分布しており、震央から遠くなるほど震度が小さい。23 時 17 分の地震では、（　　　　　）に沿って地震波があまり減衰せずに伝わるため、太平洋沿岸に震度の大きな地域が帯状に広がっている。このような地域を異常震域という。

語群：　火山フロント　　海洋プレート　　マントル
　　　　大陸地殻　　モホロビチッチ不連続面

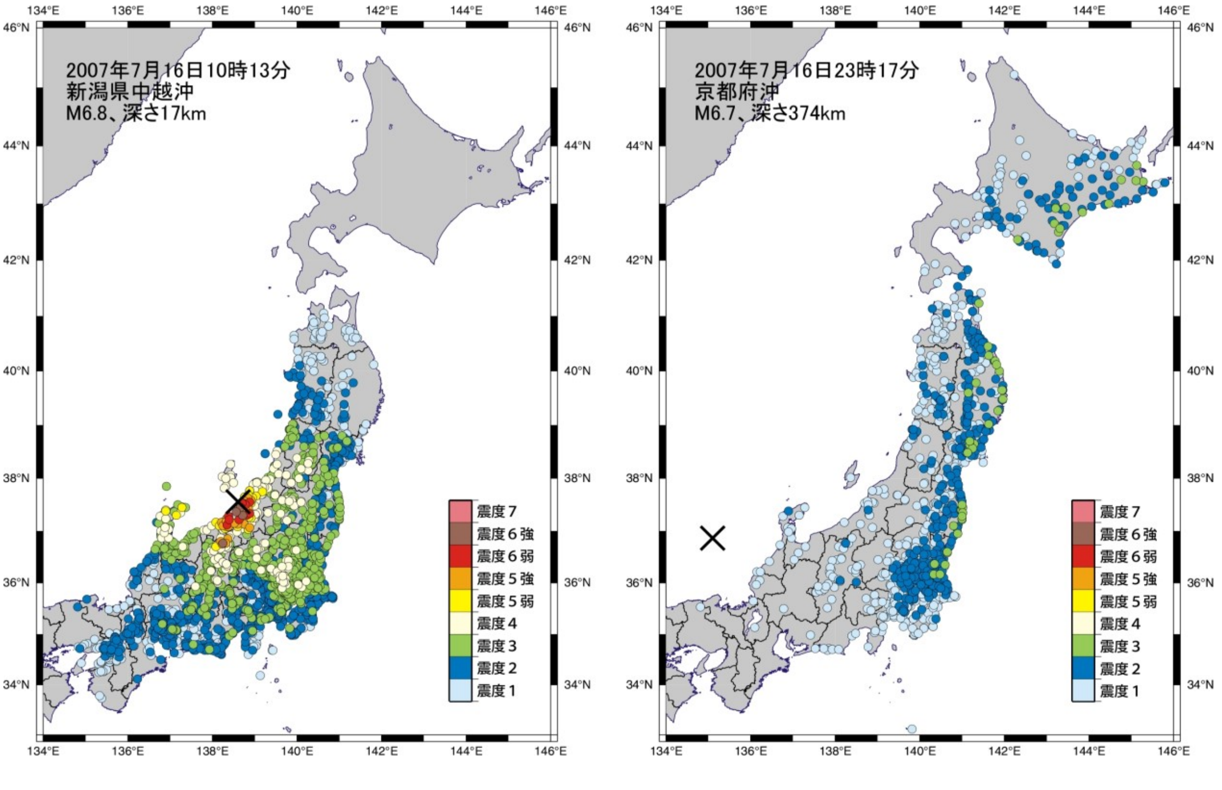


図３　（左）2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分の地震の震度分布、（右）2007 年 7 月 16 日 23 時 17 分の地震の震度分布（×印は震央を表す）

問８　**図３**（左）の地震で震度６強の激しい揺れに見舞われた地域の一部には、比較的新しい時代に形成された軟弱な地盤が分布している。そのような地域では、激しい揺れが地盤の砂粒子同士の構造を壊すことによって、砂や水が地面に噴出したり、地中のマンホールが浮き上がったりするような現象が多数見られた。このような現象を何というか。

問９　**図４**は北緯 37 度付近における地球内部構造の東西方向の模式断面図である。**図３**（右）に示されている 23 時 17 分の深発地震はどのような場所で発生したか。解答用紙の模式断面図に×印で記すとともに、そのような場所で地震が発生する理由を簡潔に説明しなさい。

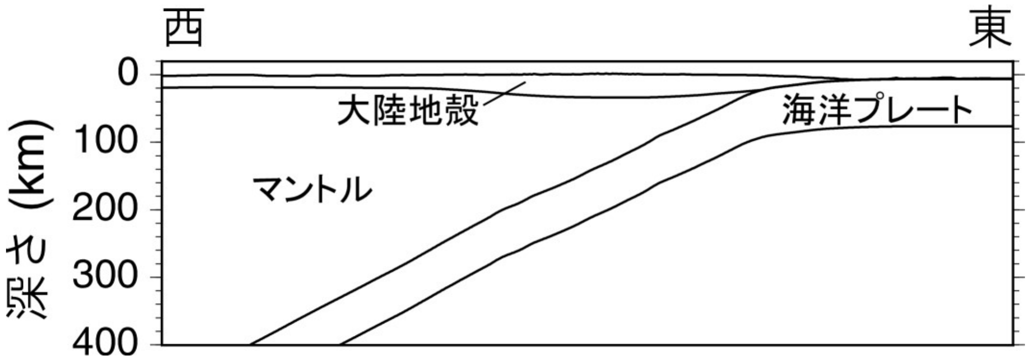


図４　北緯 37 度付近における地球内部構造の東西方向の模式断面図

ー問題以上ー

第８回日本地学オリンピック本選

（第 10 回国際地学オリンピック二次選抜）

地質分野　問題

◆　試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。

◆　試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。

◆　解答はすべて解答用紙に記入して下さい。

◆　問題冊子の余白等は適宜利用してください。

◆　解答時間は 30 分です。

◆　試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。

◆　解答用紙は試験監督が回収します。

◆　この問題冊子は持ち帰って構いません。

番号		氏名	

問題１　**図１**はあるトンネル工事の現場周辺の地形図(平面図)と断面図です。トンネル工事は滝上山の東の標高 150m から西に水平に掘削され､工事はすでに 15m ほど掘り進められています。この図に基づいて、以下の各問いに答えなさい。

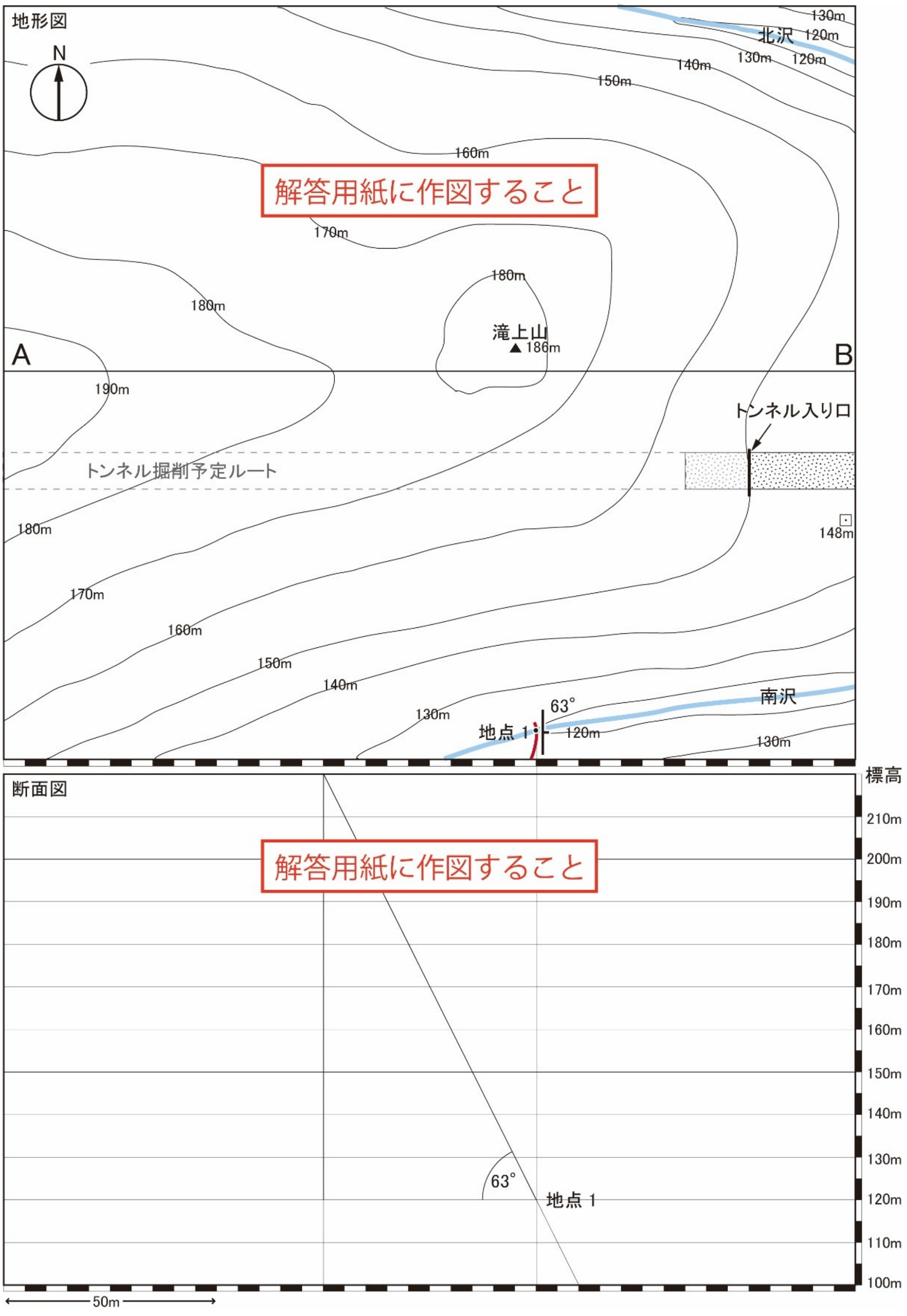


図１　滝上山周辺の地形図（上）と断面図（下）

問１　**図１**の地形図に示された A-B の東西測線に沿う地形断面を、解答用紙の断面図に描きなさい。なお、作図に使用した補助線等は消しゴムで消さないこと。

問２　南沢を調査したところ、標高 120m の河床に断層が確認されました。断層面は南北走向で東に 63° 傾斜していました。この断層面がこの地域を通じて平面であり、走向・傾斜が変わらないと仮定して、解答用紙の地形図に断層面と地形面との交線(露頭線)を作図しなさい。なお、作図した交線は赤鉛筆でなぞり、作図に使用した補助線等は消しゴムで消さないこと。

問３　このままトンネル掘削ルートに沿ってトンネル工事を進めていった場合、トンネル入り口から何メートル先で断層に到達するでしょうか。解答用紙の図に補助線を描いて計測して求めなさい。

問４　滝上山の山頂から鉛直にボーリング調査を行った場合、何メートル掘削したら断層に到達するでしょうか。解答用紙の図に補助線を描いて計測して求めなさい。

問５　滝上山とその西側の尾根の間に鞍部(あんぶ)があります。鞍部(あんぶ)が形成された原因としてどのようなことが考えられますか。以下の語句をすべて用いて 100～200 字で考察しなさい。

[断層、破砕、侵食]

問題２　**図２**はある地域の地質断面の模式図です。図中の情報に基づいて、以下の各問いに答えなさい．なお、地層を指定する場合は、番号で表記して構わない(例：③の地層が…)。

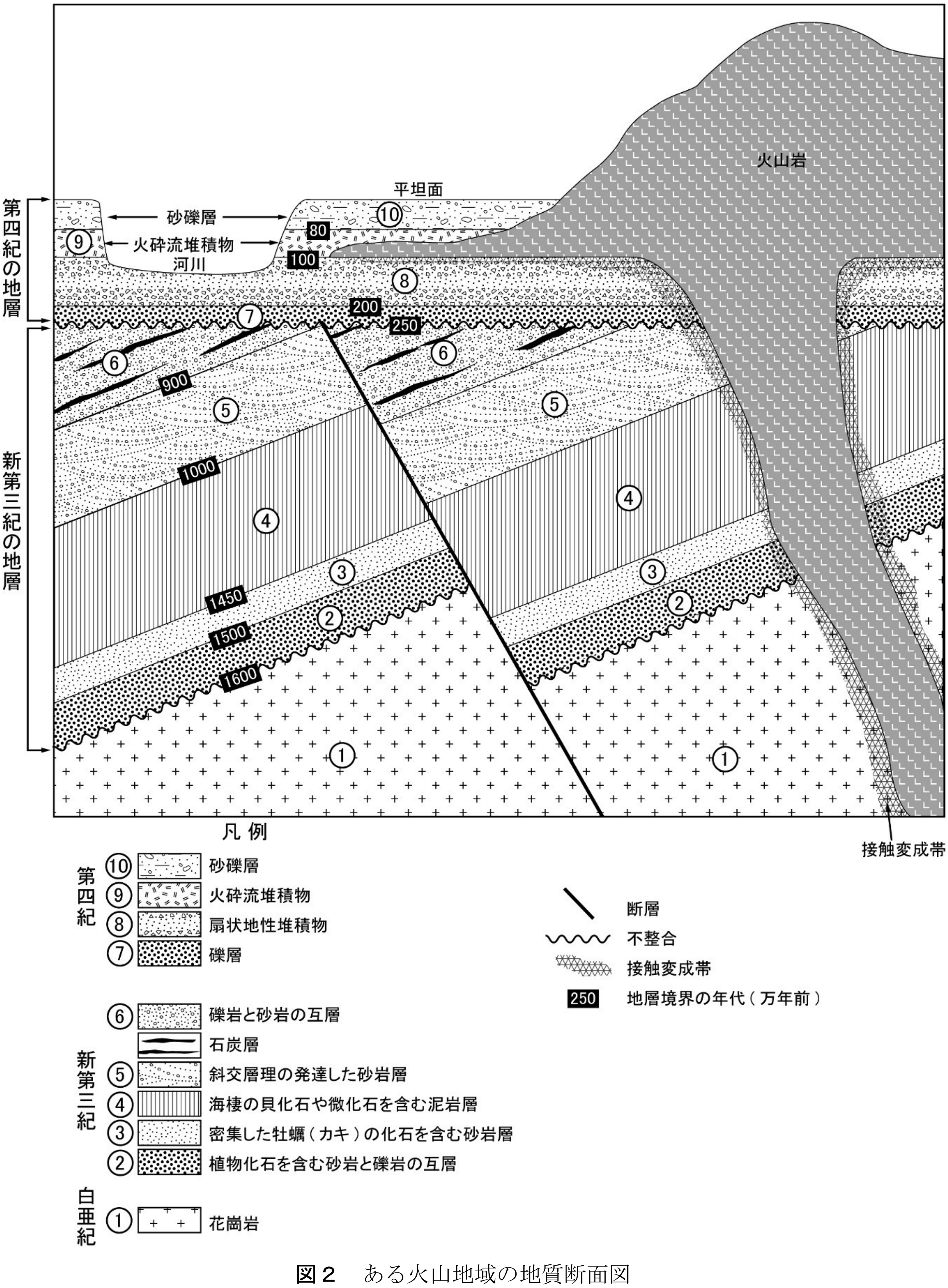


図２　ある火山地域の地質断面図

問１　**図２**の火山岩は、何万年前から何万年前の間に噴出したと考えられますか。その根拠も答えなさい。

問２　**図２**の火山は富士山のような成層火山と異なり、ほとんどが溶岩からなるドーム状の地形的高まりをなしています。この火山を構成する岩石は、玄武岩と流紋岩のいずれの可能性が高いと考えられますか。以下の語句をすべて用いて考察しなさい。

[玄武岩、流紋岩、粘性(粘る性質)]

問３　この地域で断層運動が一回であったと仮定すると、断層が活動したのは少なくとも何万年前から何万年前の間でしょうか。その根拠も答えなさい。

問４　海水準が一定であったと仮定して、この地域に分布する②から⑥までの地層から読み取れる堆積環境をそれぞれ考察しなさい。

ー問題以上ー

第８回日本地学オリンピック本選

（第 10 回国際地学オリンピック二次選抜）

気象分野　問題

◆　試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。

◆　試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。

◆　解答はすべて解答用紙に記入して下さい。

◆　問題冊子の余白等は適宜利用してください。

◆　解答時間は 30 分です。

◆　試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。

◆　解答用紙は試験監督が回収します。

◆　この問題冊子は持ち帰って構いません。

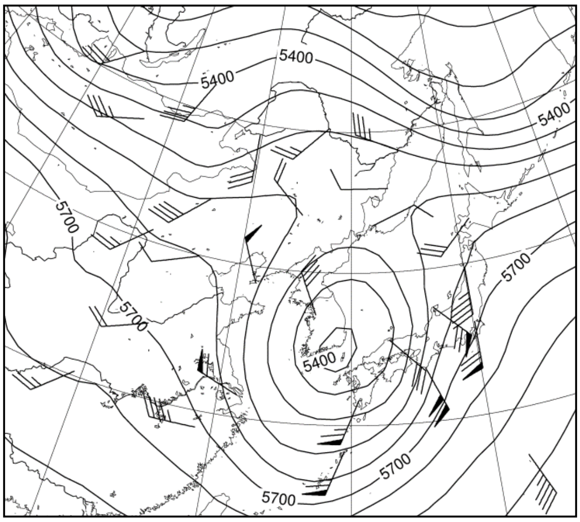
番号		氏名	

問題

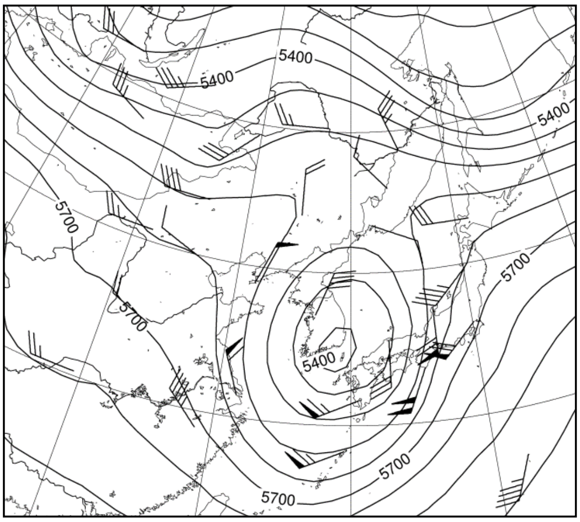
日々の天気の変化は、温帯低気圧によってもたらされることが多く、天気図を活用して温帯低気圧を把握することは、天気を予想する上でも重要である。ここでは、各種天気図を用いて温帯低気圧について考えながら、大気に関する理解を深めていこう。

問１　次のア～エの各図は、等高度線が正しく引かれたある日時の 500hPa 天気図に、各観測点の風向・風速を描き加えたものである。正しい図を１つ選び、その記号を答えなさい。

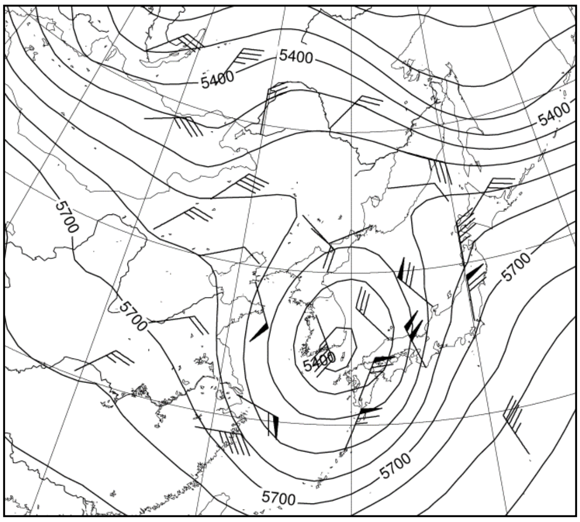
ア



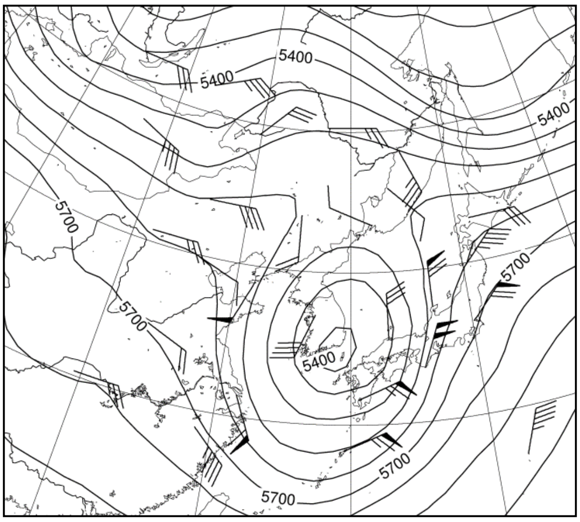
イ



ウ



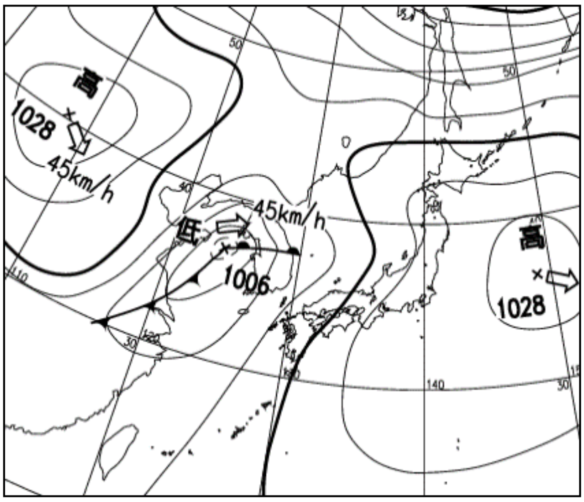
エ



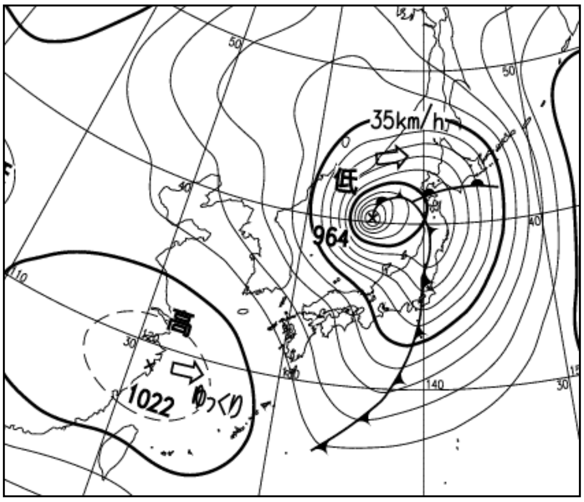
（気象庁によるデータを使用）

問２　次の図はある年の４月２日と３日の地上天気図である。２日の天気図では黄海に低気圧がみられるが、一見するとそれほど強くないように思える。しかし、３日の天気図をみると、この低気圧はたった１日で急速に発達しながら日本に向かってきたことがわかる。このような温帯低気圧の急速な発達を予想することは防災上も非常に重要である。一般に、急速に発達する温帯低気圧の周囲では寒気や暖気の流入が顕著にみられるので、気温の分布やそれに伴う上空の等圧面高度の分布の特徴に注目することが、温帯低気圧の発達を事前に予想するためには重要である。

４月２日２１時の地上天気図



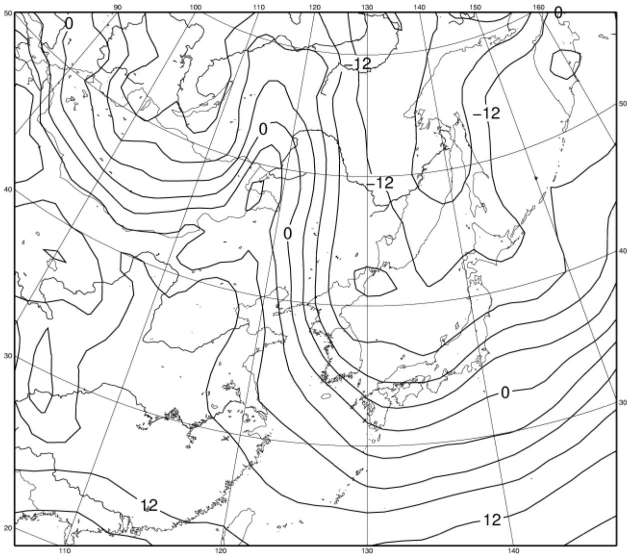
４月３日２１時の地上天気図



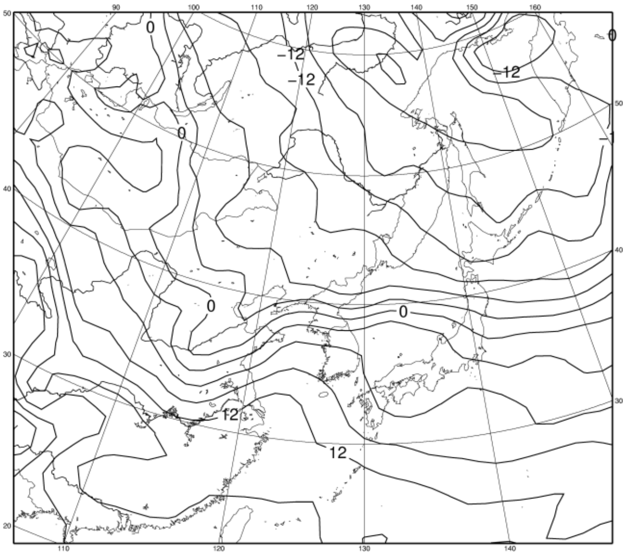
（気象庁のウェブページより入手）

(1) 低気圧のまわりの風に伴う暖気や寒気の流入を考慮して、4月2日21時の850hPa面での等温線として正しいものを以下のア～エから1つ選び、その記号を答えなさい。また、選んだ根拠を簡潔に述べなさい。

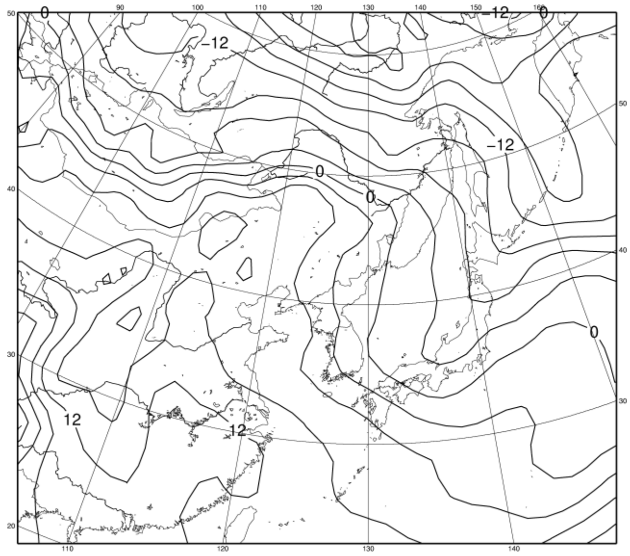
ア



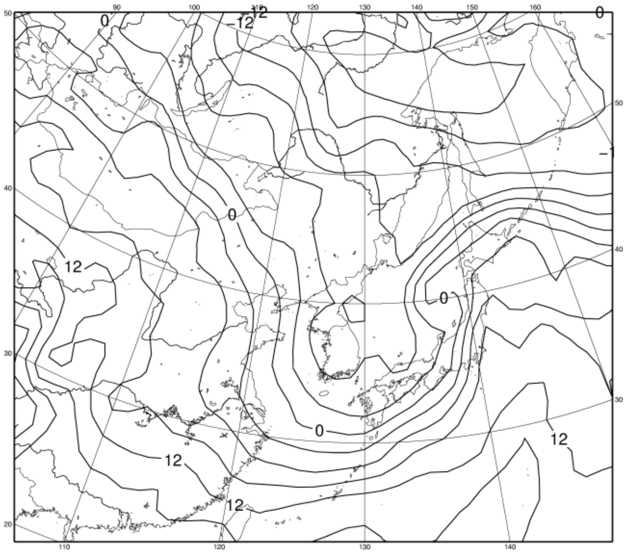
イ



ウ



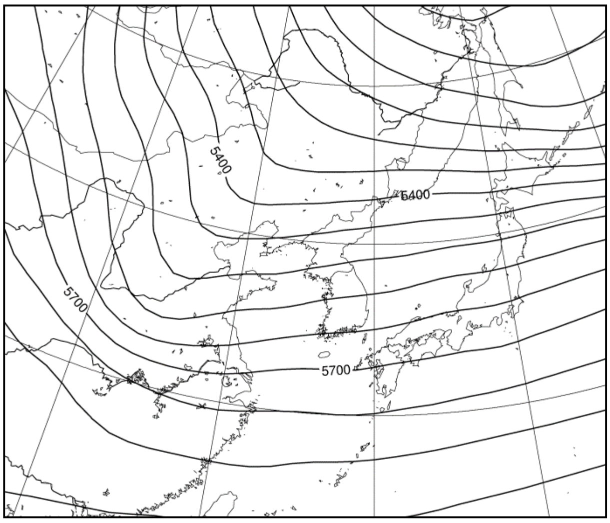
エ



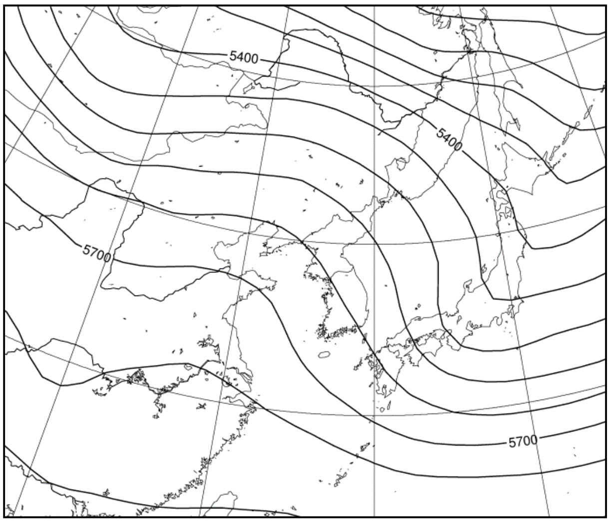
(気象庁のウェブページより入手)

(2)　一般に気圧は、その場所よりも上にある大気の重さにほぼ等しい。このため、上空に行くほど気圧は低くなる。地上での気圧が等しくても、気温が低い領域では、空気の密度が高いので、500hPa 面高度は低くなる。このことに注意して、4 月 2 日 21 時の 500hPa 面での等高度線として正しいものを以下のア～エから 1 つ選び、その記号を答えなさい。また、選んだ根拠を簡潔に述べなさい。

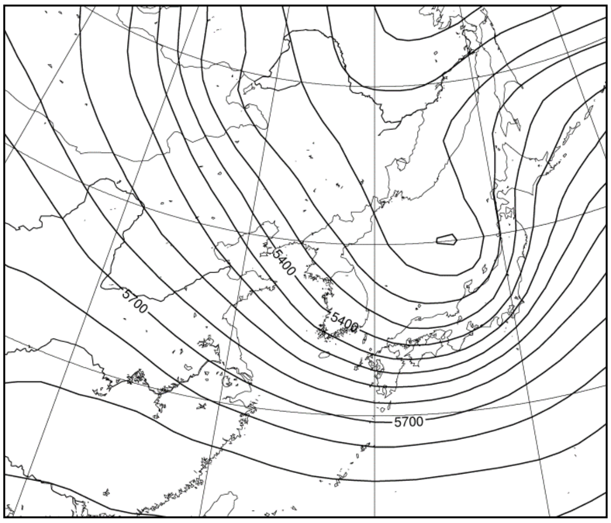
ア



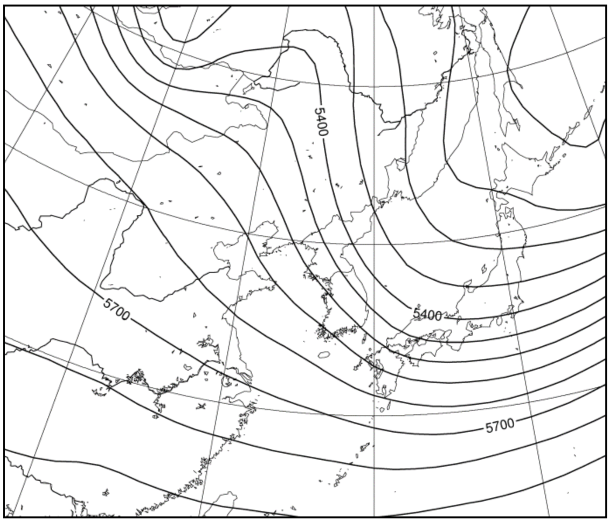
イ



ウ



エ



（気象庁のウェブページより入手）

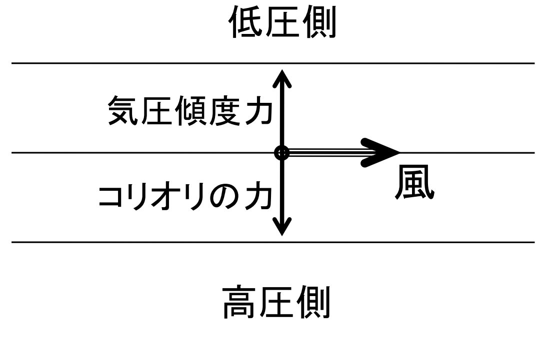
問３　発達した温帯低気圧のまわりでは等圧線の間隔が狭く、高気圧と比べて気圧の勾配が大きいことが多い。実は、中緯度域においては、風速が同じでも低気圧のまわりでは遠心力の効果によって気圧勾配が大きくなることが知られている。このことを計算によって確かめてみよう。

(1)　北緯 45°の地点の上空において、20 m/s の西風がまっすぐに吹いているとする。このとき、コリオリの力は南向きにはたらく。1 m^3 の空気にはたらくコリオリの力の大きさは、コリオリ係数とよばれる係数と風速との積に、空気の密度をかけた値に等しくなる。北緯 45°の地点ではコリオリ係数の値は 1×10^{-4} /s とする。1 m^3 の空気にはたらくコリオリの力の大きさは何 N かを求めなさい。ただし、空気の密度は 1 kg/m^3 とする。

(2)　地面との摩擦がはたらかない上空では、コリオリの力と気圧傾度力がつりあっている。したがって、気圧傾度力の大きさは、(1)で求めたコリオリの力の大きさと等しいはずである。ところで、1 m^3 の空気にはたらく気圧傾度力の大きさは、気圧勾配の大きさに等しい。つまり、1 m^3 の空気にはたらく気圧傾度力 G 〔N〕は

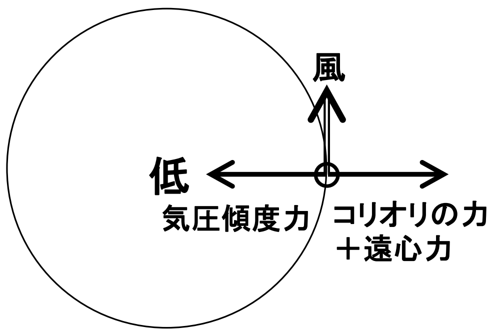
$$G = \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

と表すことができる。ただし、距離 Δx 〔m〕における気圧の差を Δp 〔Pa〕とおいている。(1)で求めた条件のもとでは、気圧勾配は 100 km（＝10^5m）あたり何 hPa かを求めなさい。その際、1 hPa は 100 Pa であることに注意しなさい。

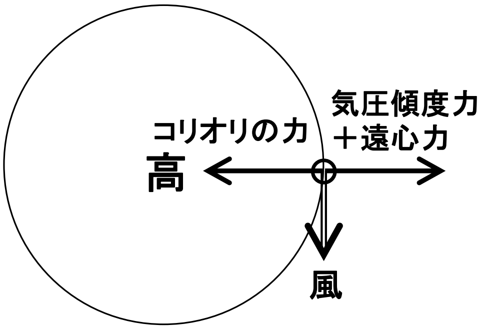


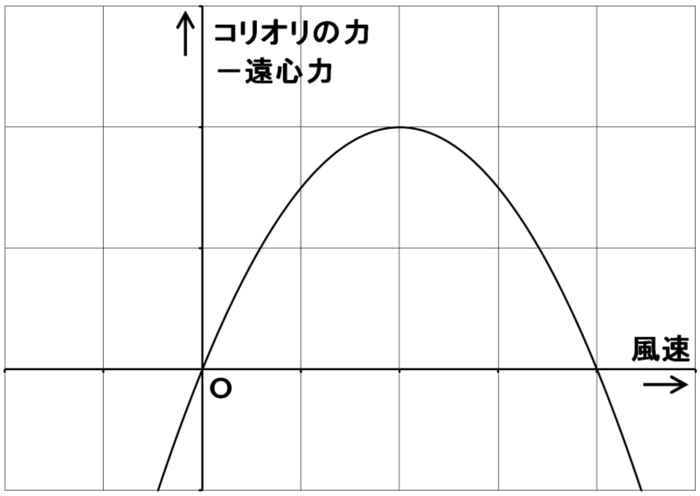
(3)　北緯 45°の地点の上空において、軸対称な構造を持つ低気圧の中心からの距離が 200 km（＝2×10^5m）の地点で、20 m/s の風が吹いているとする。この場合、コリオリの力の大きさと遠心力の大きさとの和が気圧傾度力の大きさに等しくなると考えられる。1 m^3 の空気にはたらく遠心力の大きさは、風速の２乗を中心からの距離で割ったものに、空気の密度をかけた値に等しくなる。このとき、1 m^3 の空気にはたらく遠心力の力の大きさは何 N かを求めなさい。ただし、空気の密度は 1 kg/m^3 とする。

(4)　コリオリの力の大きさと遠心力の大きさとの和が気圧傾度力の大きさに等しいという条件を用いて、(3)の場合の気圧勾配を計算し、100 km あたり何 hPa かを求めなさい。



(5)　逆に、高気圧のまわりの風を考えてみよう。低気圧のまわりの風と同じような考え方を用いると、高気圧のまわりでは、コリオリの力の大きさと遠心力の大きさとの差（〔コリオリの力の大きさ〕―〔遠心力の大きさ〕）が気圧傾度力の大きさに等しくなっていると考えられる。高気圧の中心に向かって働くコリオリの力の大きさは風速に比例するのに対して、中心から遠ざかる方向に働く遠心力の大きさは風速の２乗に比例する。このため、〔コリオリの力の大きさ〕―〔遠心力の大きさ〕の値はいくらでも大きくなれるわけではなく、上限がある。このため、気圧傾度力、つまり気圧勾配の大きさにも上限が生じる。軸対称な構造を持つ高気圧の中心からの距離が 200 km（$=2\times10^5$m）の地点での気圧勾配の上限を計算し、100 km あたり何 hPa かを求めなさい。



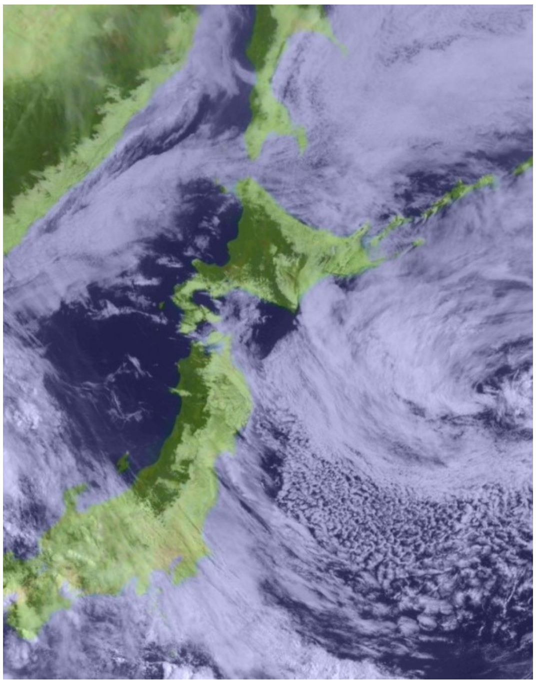


問４　問３では低気圧のまわりの風に注目したが、低気圧の周囲では雲が発生し降水がもたらされることが多い。ここでは、雲の発生に関連して、空気が持ち上げられたときの変化を考えよう。大気中で空気塊が持ち上げられると、圧力の低下によって断熱膨張し、温度が下がることが知られている。この変化を実験室で再現するために、シリンダの中に空気を閉じ込め断熱的に膨張させた。このとき変化しない物理量を以下の語群からすべて選びなさい。ただし、空気は水蒸気を含むが未飽和であるとする。なお、比湿とは、空気の密度（＝乾燥空気の密度＋水蒸気の密度）に対する水蒸気の密度の比であり、混合比とは、乾燥空気の密度に対する水蒸気の密度の比である。

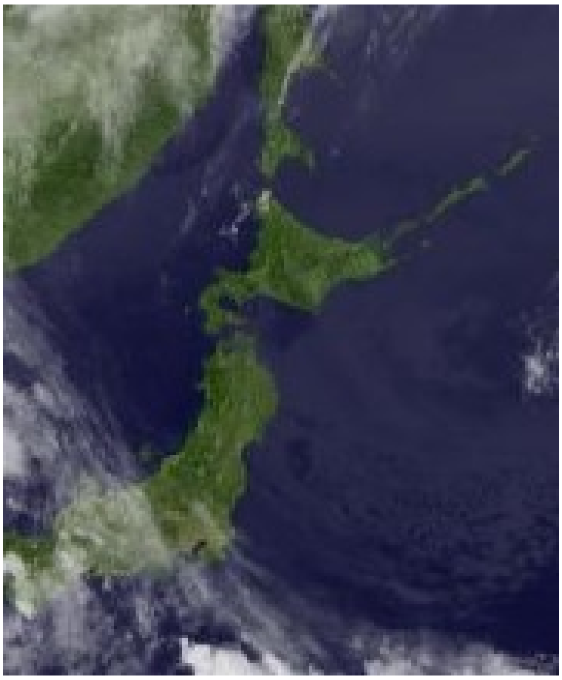
［語群］　　相対湿度　　水蒸気圧　　比湿　　混合比

問５　雲の分布を把握するために気象衛星による雲画像を用いることが多い。次の図は、7 月のある日の可視画像と赤外画像である。オホーツク海は、可視画像では明るく映っているにもかかわらず、赤外画像では暗くなっている。このような雲画像上での見え方から判断できる、この領域の雲の特徴を簡潔に述べなさい。

可視画像



赤外画像



（高知大学・東京大学・気象庁提供）

問６　近年では地球温暖化による気候変化が話題になることが多い。地球温暖化は単なる平均気温の上昇だけでなく、温帯低気圧や台風などさまざまな大気現象に変化をもたらす可能性がある。地球温暖化を理解するためには、温室効果そのものを知ることが重要である。

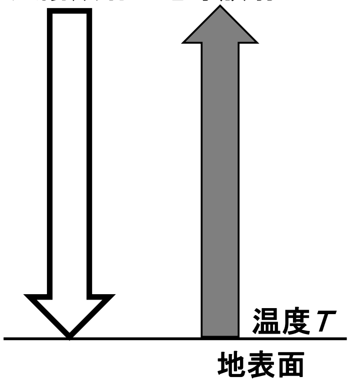
はじめに、温室効果を考慮しないで地表面温度を考えよう。地表面が受ける正味の太陽放射をS_0、地表面温度をTとする。シュテファン・ボルツマンの法則によると、地表面から射出される地球放射（おもに赤外放射）はσT^4である（σはシュテファン・ボルツマン定数)。このとき、太陽放射と地球放射とのつりあいは、

$$\sigma T^4 = S_0$$

と書ける。この関係式から、地表面温度Tを求めると、

$$T = \sqrt[4]{\frac{S_0}{\sigma}}$$

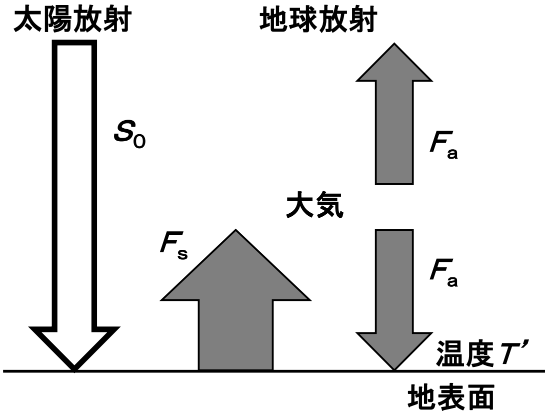
となる。この温度を有効放射温度（放射平衡温度）といい、温室効果がないと仮定した場合の地表面温度に対応する。地球の場合、有効放射温度は、実際の平均地表面気温よりもかなり低い値になる。



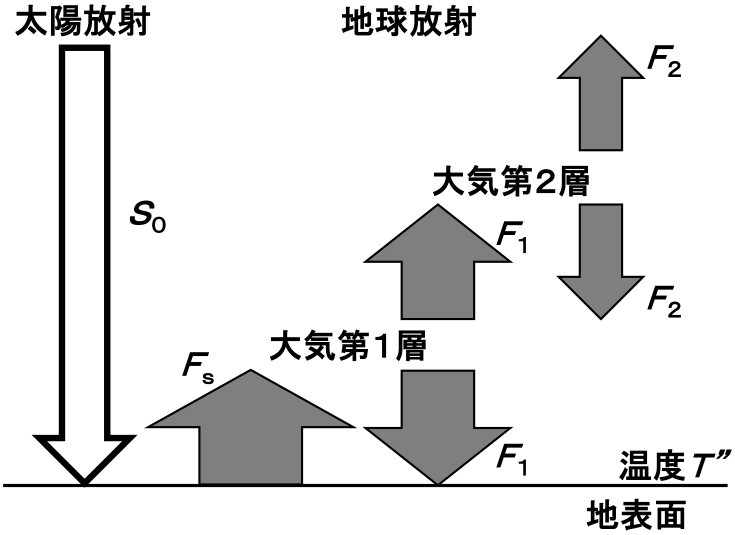
(1)　次に、温室効果を考慮して地表面温度T'を計算してみよう。簡単のため、１層の等温な大気を仮定しよう。大気は太陽放射に対しては透明だが、地表面からの放射を完全に吸収するものとする。また、大気もシュテファン・ボルツマンの法則にしたがって上方と下方に放射を射出している。このとき、次の図を用いて熱収支を考えると、

$$地表面：S_0 + F_a = F_s, \qquad 大気：F_s = 2F_a$$

と書ける。これら２つの方程式を解くと、$F_s = 2S_0$であることがわかる。このとき、地表面温度T'を求めなさい。ただし、有効放射温度Tは 250 K、$\sqrt[4]{2} = 1.2$とする。



(2) さらに、大気が２層になったらどうなるか考えてみよう。次の図のように大気第１層と大気第２層を考え、それぞれの層の中では温度は一様と仮定する。大気は太陽放射に対しては透明である。地表面からの放射は大気第１層で完全に吸収されるものとする。また、大気第１層からの下方への放射は地表面によって吸収され、上方への放射は大気第２層によって吸収されるものとする。大気第２層からの下方への放射は大気第１層によって吸収され、上方への放射は宇宙に射出されるものとする。このとき、図を用いて、地表面、大気第１層、大気第２層の熱収支を考え、地表面温度 T'' を求めなさい。ただし、有効放射温度 T は 250 K、$\sqrt[4]{3}=1.3$、$\sqrt[4]{4}=\sqrt{2}=1.4$ とする。



－問題以上－

第８回日本地学オリンピック本選

（第 10 回国際地学オリンピック二次選抜）

海洋分野　問題

◆　試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。

◆　試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。

◆　解答はすべて解答用紙に記入して下さい。

◆　問題冊子の余白等は適宜利用してください。

◆　解答時間は 30 分です。

◆　試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。

◆　解答用紙は試験監督が回収します。

◆　この問題冊子は持ち帰って構いません。

番号		氏名	

問題１

図１および**図３**は、北太平洋における年平均海面水温と平均的な海面高度の分布図であり、ともに赤色部分が最も高く、黄色から緑・青・紫色へと低くなるよう色分けされている。**図２**は北緯 30 度における海面から深度 800m までの水温の鉛直断面図、**図４**は北緯 30 度における海面の高さの変化を表わした図である。また、**表１**は、北緯 30 度における海面高度、海面水温、深度 400m 水温および水温が 10℃となる深度の値をそれぞれ示した表である。これらの図を参考にして、以下の各問いに答えなさい。

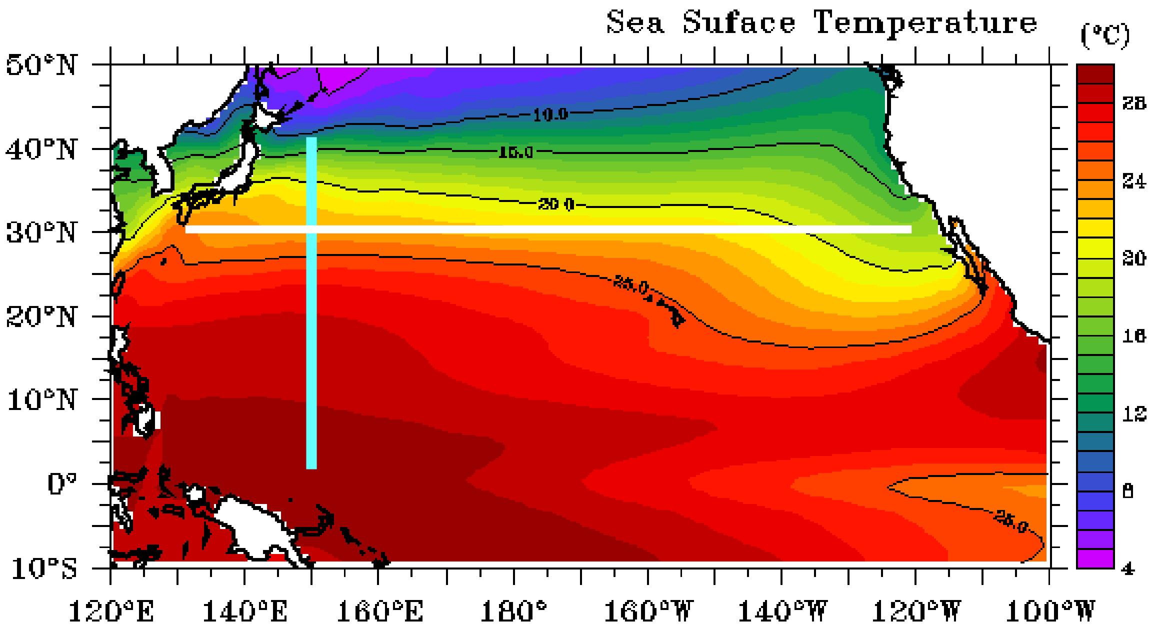


図１　北太平洋における年平均海面水温の分布

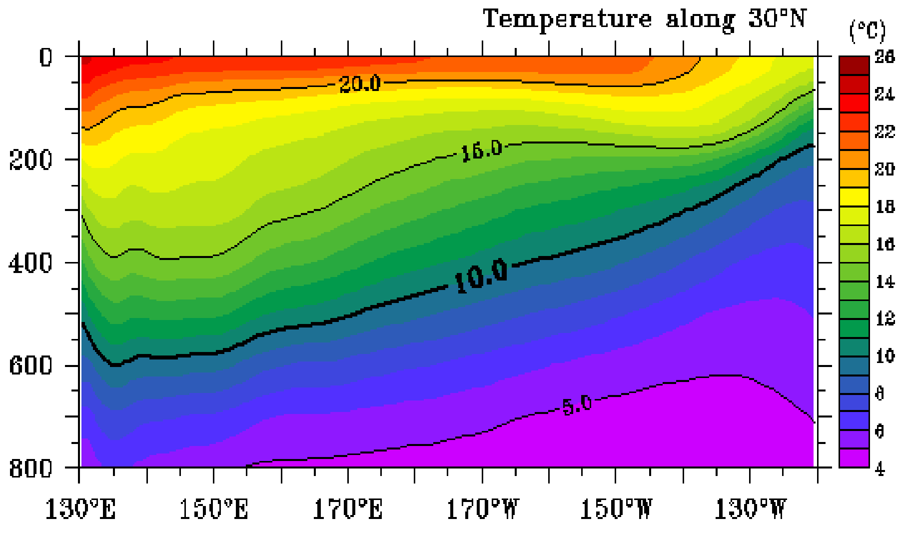


図２　北緯 30 度（**図１**の白線）における海面から深度 800m までの水温の鉛直断面図

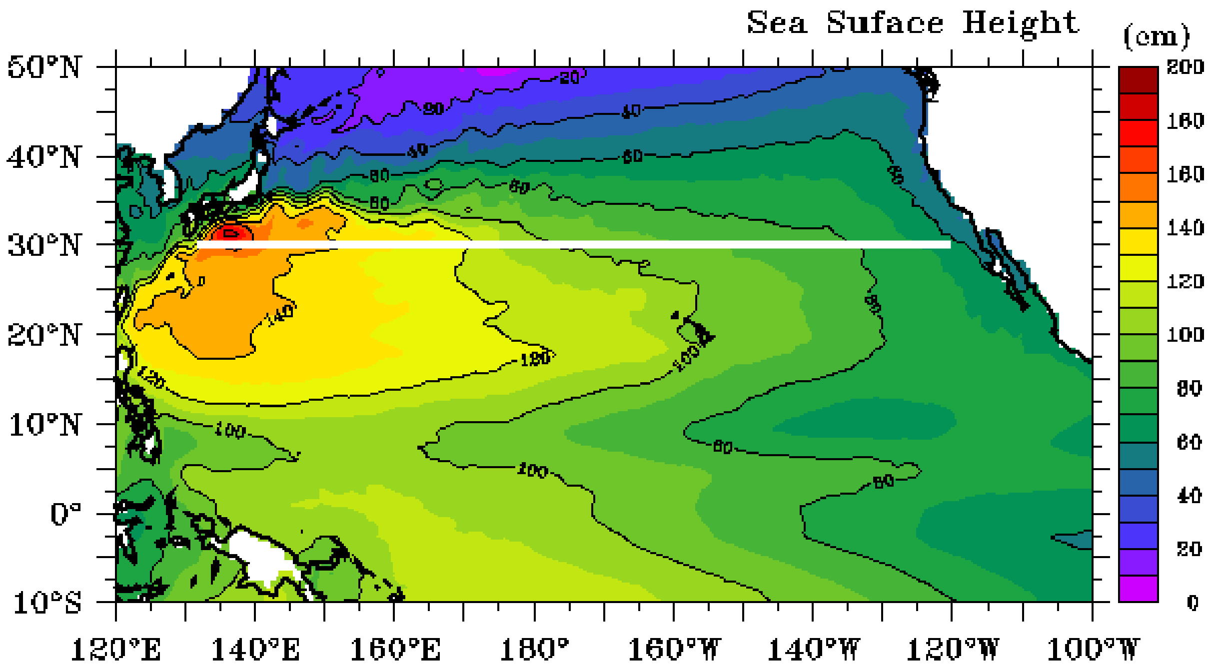


図３　北太平洋における平均的な海面高度の分布

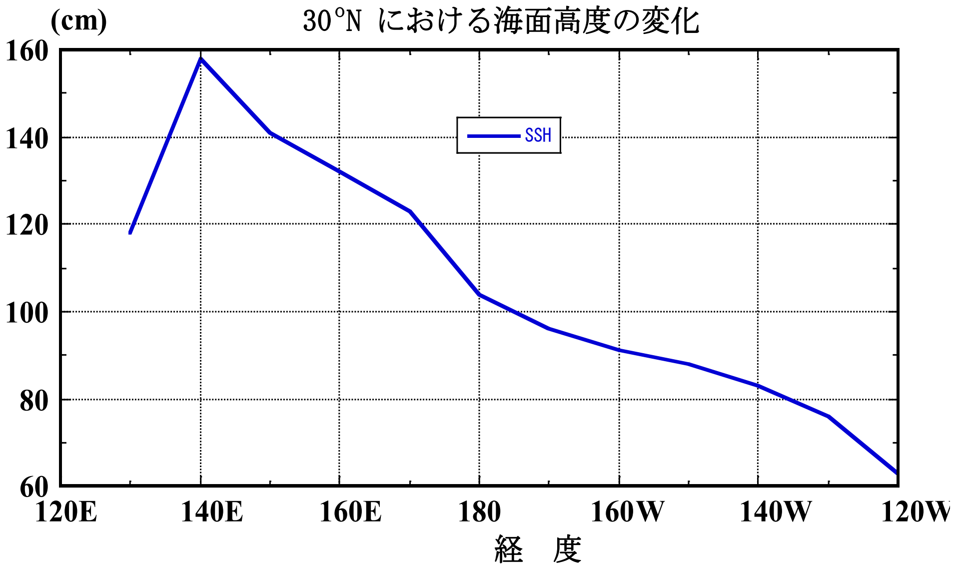


図４　北緯 30 度（図３の白線）における海面高度の変化

表１　北緯 30 度における海面高度・海面水温・深度 400m水温および水温が 10℃となる深度

経　度	130E	140E	150E	160E	170E	180	170W	160W	150W	140W	130W	120W
海面高度 (cm)	118	158	141	132	123	104	96	91	88	83	76	63
海面水温(℃)	24.1	23.4	23.1	23.1	22.8	22.5	22.3	22.3	21.9	20.6	18.9	17.6
400m水温(℃)	12.6	15.0	14.7	13.5	12.5	11.5	10.7	9.9	9.2	8.1	6.9	6.9
水温10℃となる深度(m)	503	592	575	537	509	470	432	395	360	306	242	174

問１　以下の文章中の空欄①～⑥にあてはまる最適な語句を下の語群から選び、その記号を答えなさい。

北太平洋の海面における水温分布（**図１**）は東西方向に比べて南北方向の変化が大きく、赤道付近で最高となり緯度が高くなるほど水温は低下する。これは主に海面を通した（ ① ）による加熱の違いによると考えられる。北緯 30 度（**図１**の白線）における水温（**図２**）は、海面付近では東西方向の変化は小さいが、深くなると東へ行くほど水温が（ ② ）くなる傾向にある。言い換えれば、北緯 30 度における海水温が同じになる深さは、東へいくほど（ ③ ）くなる。

海面の高さは海水中の圧力とほぼ比例関係にあるので、**図３**および**図４**は海水中の圧力の変化を表している。北太平洋では、海水中の圧力は日本南方の北緯 30 度、東経 140 度付近で最大となり、これより東へ行くほど圧力は次第に（ ④ ）くなる。<u>北半球では、海水は圧力の高い方を（ ⑤ ）側にして運動する性質がある</u>ので、北緯 30 度、西経 120 度より東側の海域における海流は（ ⑥ ）向きに流れる傾向となる。一方、東経 140 度より西方の海域では圧力変化の向きが反対となるため、海流の向きも反対方向となる。

［語群］	ア：蒸発	イ：日射	ウ：南	エ：北	オ：高	カ：低
	キ：右	ク：左	ケ：遠心力	コ：転向力	サ：浅	シ：深

問２　**表１**について、経度ごとの海面水温、深度400ｍ水温および水温が10℃となる深度のグラフをそれぞれ作図しなさい。また、それらのグラフの形状と**図４**のそれとを比較してわかることを簡潔に答えなさい。

問３　問１の文章中の下線部について、北半球と南半球では下線部の性質が正反対となる理由を簡潔に答えなさい。

問４　問１の文章中の波線部について、この海流の名称を答えなさい。

問５　**図５**は東経 150 度（**図１**の水色線）における海面から深度 800m までの水温の鉛直断面図、**表２**は東経 150 度における海面高度、海面水温、深度 400ｍ水温および水温が 10℃となる深度の値を示している。東経 150 度付近での海流の流れる向きを、問２の結果を参考にしてグラフを作成して推測しなさい。なお、解答するときには緯度の範囲を記し、グラフには縦軸のタイトルと目盛りを記すこと。

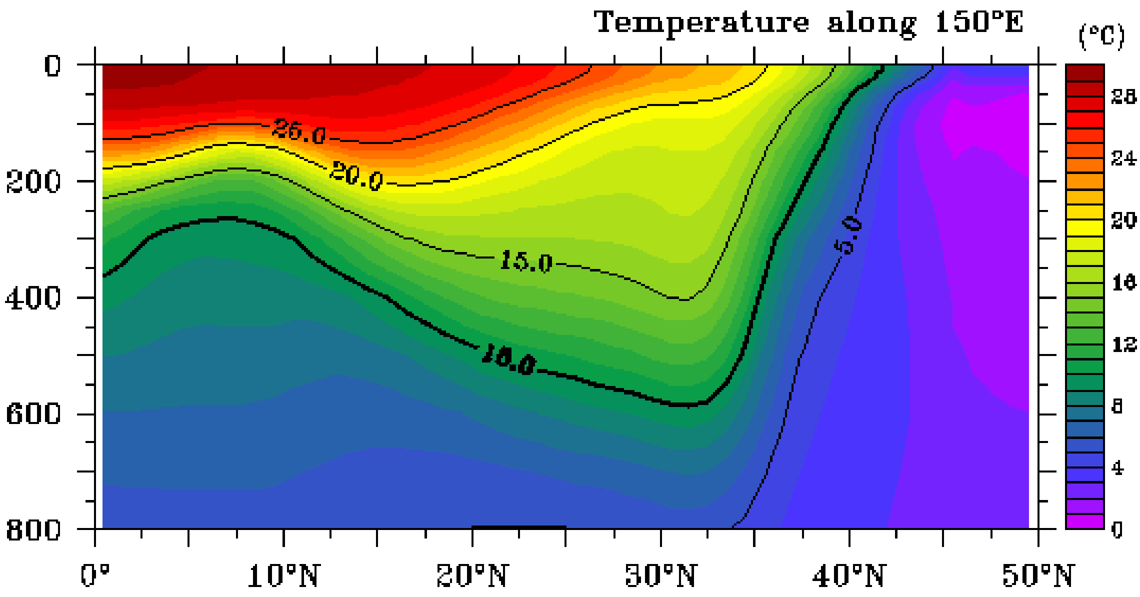


図５　東経 150 度（**図１**の水色線）における海面水温の南北方向の鉛直断面図

表２　東経 150 度における海面高度・海面水温・深 400m水温および水温が 10℃となる深度

緯度	海面高度 (cm)	海面水温 (℃)	400m水温 (℃)	水温10℃となる深度(m)
40N	47	13.6	4.2	57
35N	129	20.5	10.4	423
30N	141	22.9	14.9	580
25N	136	25.8	13.8	537
20N	134	27.7	12.7	484
15N	130	28.2	9.7	393
10N	107	28.6	8.4	293
5N	104	29.1	8.4	272
0	108	29.4	9.4	372

問題２

図６は 1997 年１月および 1998 年１月における太平洋赤道海域における海面高度の分布図、**図７**は同時期の赤道における海面から深度 400m までの水温の鉛直断面図である。また、**表３**、**表４**、**表５**はこれらの時期における海面高度、海面水温および水温が 20℃となる深度の値をそれぞれ示した表である。これらの図表を参考にして、以下の各問いに答えなさい。

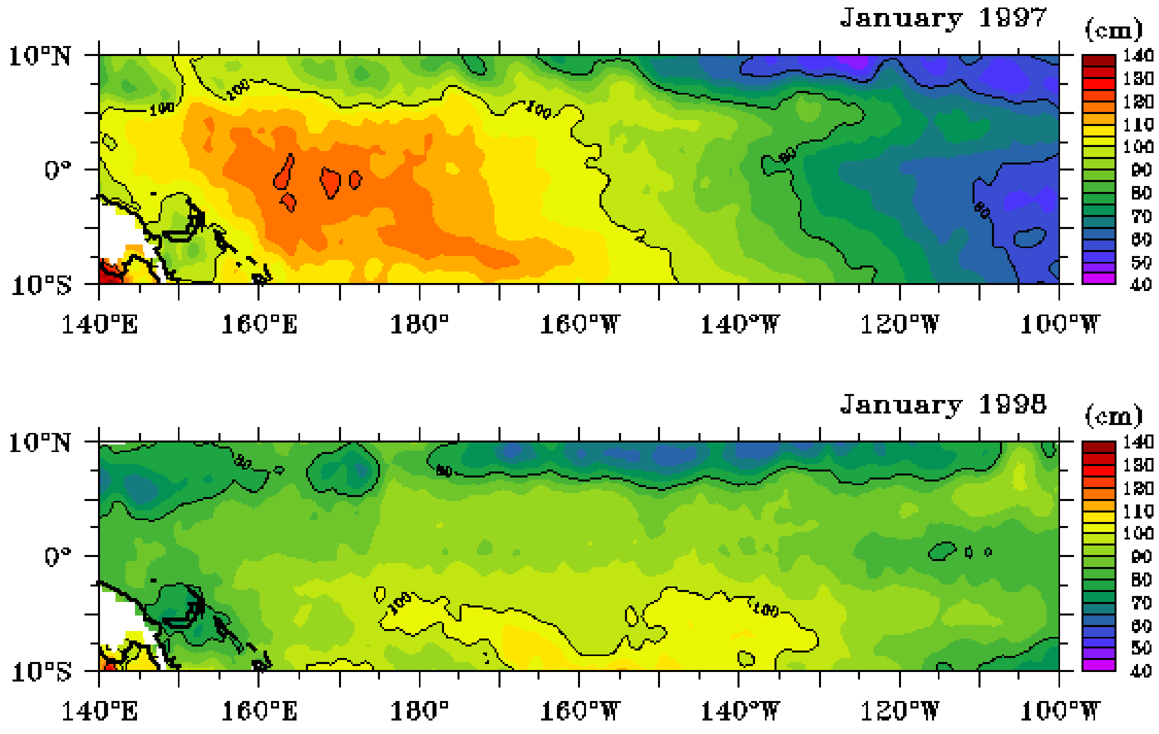


図６　1997 年１月（上）および 1998 年１月（下）の太平洋赤道域における海面高度の分布

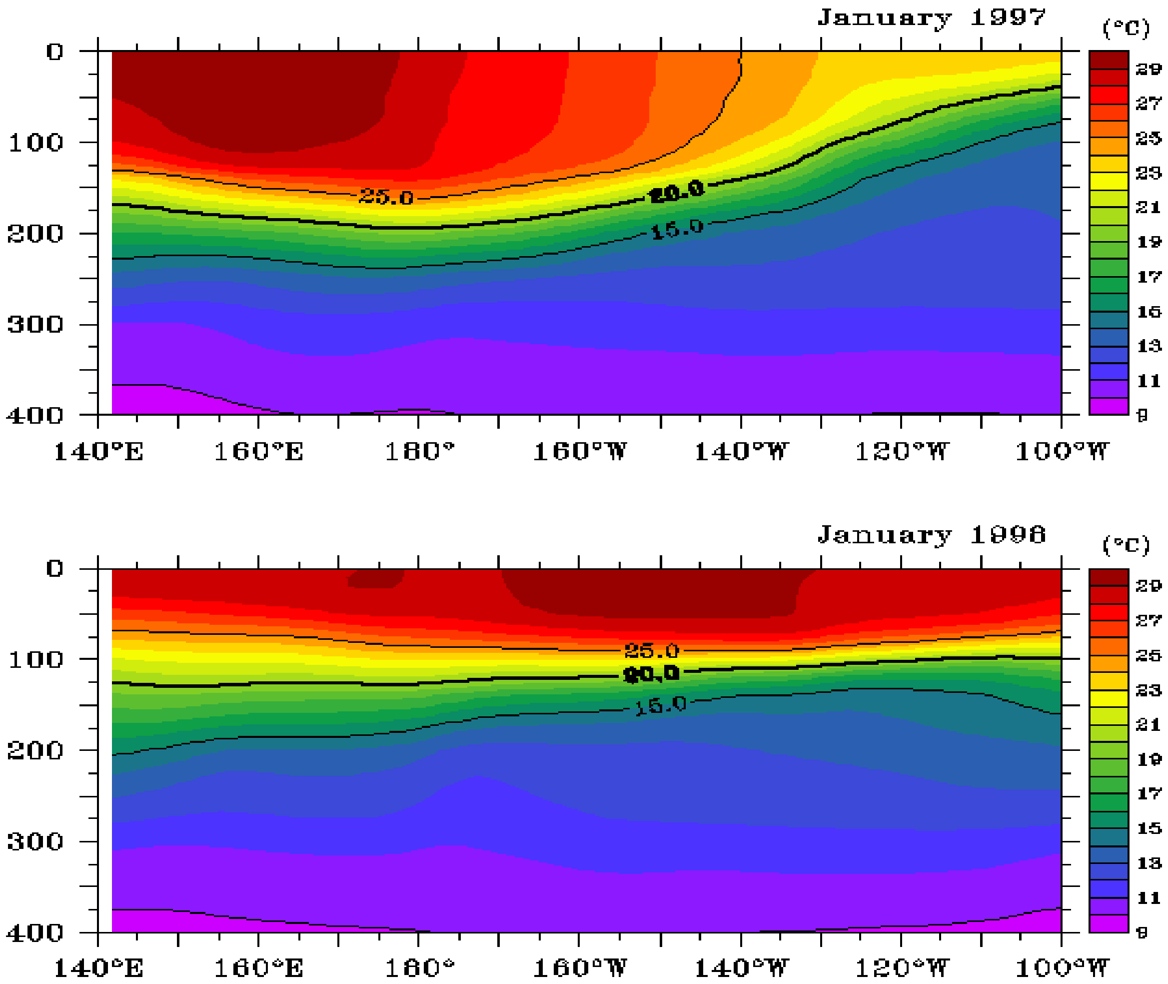


図７　1997 年 1 月（上）および 1998 年 1 月（下）の赤道における水温の鉛直断面図

表３　1997 年 1 月および 1998 年 1 月の赤道における海面高度（単位：cm）

経　度	140E	160E	180E	160W	140W	120W	100W
1997年1月	103	117	112	98	83	66	59
1998年1月	83	89	92	93	92	85	84

表４　1997 年 1 月および 1998 年 1 月の赤道における海面水温（単位：℃）

経　度	140E	160E	180E	160W	140W	120W	100W
1997年1月	29.1	29.7	28.7	26.7	25.2	23.2	22.7
1998年1月	29.1	28.9	29.0	29.3	29.3	28.8	28.9

表５　1997 年 1 月および 1998 年 1 月の赤道における水温が 20℃となる深度（単位：m）

経　度	160E	180E	160W	140W	120W	100W
1997年1月	184	195	175	140	77	39
1998年1月	127	127	120	111	102	99

問１　赤道付近の表層海流は、通常、どちらの向きになっているか。

問２　２つの年における特徴の比較から、太平洋赤道海域においてどのような現象がおきていると考えられるか。

問３　問２で答えた現象について、それが起きていることを示すのは、1997 年１月および 1998 年１月のいずれのグラフか。また、そう判断した理由を簡単に述べなさい。

問４　問２で答えた現象の説明として正しいものを下のア～エから１つ選び、その記号を答えなさい。

ア　毎年１回規則的に発生する現象である。
イ　この現象が１度発生すると、同様な状態が数年は持続する傾向にある。
ウ　この現象の発生時には、しばしば中・高緯度の海や大気においても異常な状態が観測され、地球規模の異常気象との関係が深いと考えられる。
エ　この現象が発生する最も重要な要因は、海面を通して海に入る熱エネルギーの変化である。

ー問題以上ー

第８回日本地学オリンピック本選

（第 10 回国際地学オリンピック二次選抜）

天文分野　問題

- ◆ 試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。
- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 30 分です。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。

番号		氏名	

問題

天体までの距離に関して、以下の各問いに答えなさい。なお、全ての問題で光速は $c = 3\times10^5$ [km/s]、円周率は $\pi = 3.14$ とし、答は有効数字 2 桁で表すこと。

天体を研究する上で、様々な天体が地球からどれだけの距離にあるかは非常に重要な問題であり、古くから多くの研究者の頭を悩ませてきた。当然のことながら、近傍の天体までの距離は比較的調べやすいが、遠方の天体までの距離を決めることは極めて難しい。そこで、ある方法で距離のわかっている天体を基準とし、別の手法を用いてさらに遠い天体までの距離を決めていくことになる。このような手法を「宇宙の距離はしご」と呼ぶ。ここでは、様々な天体までの距離の測り方を考えてみよう。

まず、地球に近い月や惑星の場合、地球からレーザー光を照射し、反射したレーザーが地球に戻ってくるまでの時間を測定することで、正確に距離を測定することができる。

問１　地球表面から月にレーザー光を照射してから、反射光が帰ってくるまでの時間が 2.6 秒であるとき、地球表面から月までの距離は km か。

次に、惑星までの距離を考える。現在までに惑星までの距離を測る様々な方法が考案・実施されているが、ここではケプラーの第三法則を用いた測定方法を考えよう。ケプラーの第三法則とは、惑星の軌道長半径 a （楕円の長軸の半径）の 3 乗が軌道周期 T の 2 乗に比例する。つまり

$$\frac{a^3}{T^2} = （一定）$$

というものである。ここでは金星を例に挙げよう。ケプラーの第三法則を使うと、地球の軌道長半径 a_E、地球および金星の軌道周期 T_E と T_V から、次式を用いて金星の軌道長半径 a_V を求めることができる。

$$\frac{a_V^3}{T_V^2} = \frac{a_E^3}{T_E^2}$$

金星の軌道長半径がわかれば、幾何学の問題として、金星までの距離も求められる。

問２　地球の軌道長半径を 1.5×10^8 km、金星の軌道周期が 225 日であるとき、金星の軌道長半径は何 km か。

比較的太陽に近い恒星までの距離は、三角測量の原理を応用して求めることができる。すなわち、**図１**のように地球の太陽に対する位置がちょうど逆転する半年間隔で恒星のみかけの位置を測定し、その角度の違い（年周視差）から恒星までの距離を算出するのである。年周視差（図中の角度α）が丁度1'（1 秒 ; 1°の 1/3600）となる星までの距離を 1pc（パーセク）と定義する。

問３　$\sin 1' = 4.8 \times 10^{-6}$ であることを用いて、1pc の長さを km で表しなさい。ただし、地球と太陽間との距離を 1.5×10^{8} km とする。

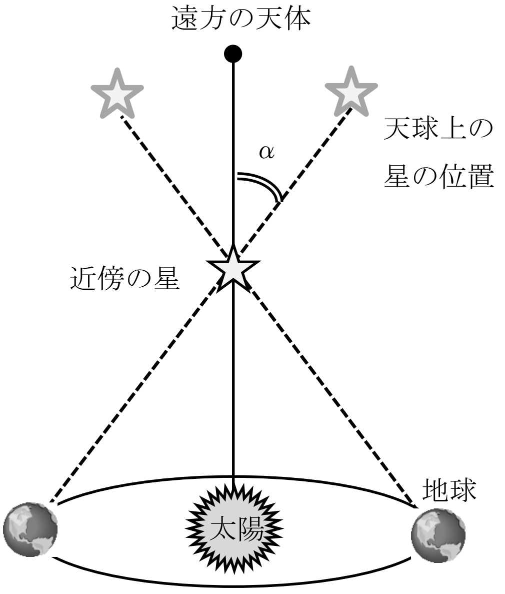


図１　年周視差の模式図

年周視差が測れないくらい遠方の恒星の場合、ヘルツシュプルング＝ラッセル図（HR 図）を用いて恒星までのおおよその距離を求めることもできる。HR 図は横軸に星の色指数（星の色の「赤さ」を数値化したもの）または温度、縦軸に絶対等級をとったものである。**図２**は太陽近傍の星を用いて描いた HR 図である。一般に図中で左に行くほど星の色は青く、右に行くほど色が赤くなるように軸を決めている。太陽のように水素の核燃焼のエネルギーで輝いている星は主系列星と呼ばれ、HR 図中の細い帯状の領域に存在する。従って、星の色指数がわかれば、HR 図を比べることにより、その星の大まかな絶対等級（10pc の距離から見た時の光度）M を見積もることができる。絶対等級がわかれば、その星を地球から見たときの見かけの等級 m と関係

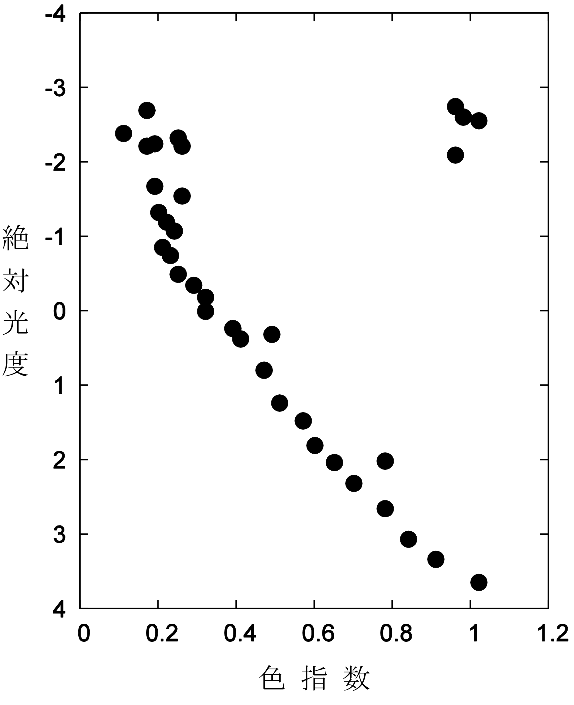


図２　HR 図

$$m - M = 5\log r - 5$$

を用いて、その星までの距離 r を推定することができる。ただし、この式で、星の明るさは等級, 距離は pc で表されていることに注意すること。

問４　色指数が 0.6 である主系列星が、見かけの等級 7 等として観測されたとする。このとき、この星までの距離は何 pc か。この際、太陽近傍の星を用いて描いた**図２**の HR 図を参照しなさい。

比較的近傍の恒星までの距離が測れるようになると、それらの中からセファイド型変光星（ケファイドともいう）を探し出すことで、さらに距離はしごを伸ばすことができる。セファイド型変光星は周期的に膨張収縮を繰り返すことで、明るさを増減させるような恒星である。そして、セファイド型変光星の絶対等級は、その光度変動の周期と密接な関係があることがわかっているので、その変光周期から距離を推測することができる。

セファイド型変光星は明るいので、この手法により比較的近くの系外銀河までの距離を測定することができる。ハッブルは 1920 年代に M31（アンドロメダ星雲）中にセファイド型変光星を発見し、距離を測定することで、アンドロメダ銀河が銀河系のはるか外側の天体であることをはじめて明らかにした。

問５　太陽の近くにあるセファイド型変光星の変光周期 P（の対数：単位は【日】）と絶対等級 M の間には**表１**のような関係がある。また、銀河系外の銀河である大マゼラン雲にあるセファイド型変光星を観測したところ、**表２**のように変光周期と見かけの等級が求められた。表に示した値は星間空間での光の吸収を考慮し、補正済みのものである。これらの周期光度関係をグラフに描きなさい。また、絶対等級と見かけの等級の関係式を用いて、大マゼラン雲までの距離が何 pc かを推定しなさい。

表１　太陽近傍にあるセファイド型変光星の周期と絶対等級

	log$P$	M
1	0.49	−2.8
2	0.65	−3.2
3	0.69	−3.2
4	0.71	−3.3
5	0.73	−3.6
6	0.73	−3.4
7	0.80	−3.8
8	0.83	−3.7
9	0.90	−3.9
10	1.14	−4.7
11	1.31	−5.0
12	1.43	−5.4
13	1.62	−5.8
14	1.65	−6.1
15	1.71	−6.2

表２　大マゼラン雲にあるセファイド型変光星の周期と見かけの等級

	log$P$	m
1	1.04	14.2
2	1.38	13.3
3	1.39	13.3
4	1.42	13.2
5	1.45	13.1
6	1.48	12.9
7	1.56	12.7
8	1.58	12.7
9	1.68	12.3
10	1.68	12.6

星を分離して観測することのできない遠方の銀河までの距離は、ハッブルの法則を用いて測定する。ハッブルの法則によれば、全ての銀河は地球から遠ざかりつつあり、その速度は地球からの距離に比例する。つまり、遠い銀河ほど高速で地球から離れつつある。このことから、銀河の遠ざかる速度を観測できれば、その銀河までの距離を推定することができる。

一方、地球から遠ざかりつつある銀河から放出された光は、ドップラー効果により波長が長くなる。いま、波長λの光が、ドップラー効果により波長$\lambda+\Delta\lambda$に引き伸ばされたとする。このとき、赤方偏移の量は次のように定義できる。

$$z=\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

赤方偏移は銀河の遠ざかる速度が速いほど大きいはずなので、

$$v=cz$$

を銀河の後退速度と定義する。cは光速である。ハッブルによれば、銀河の遠ざかる速度は銀河までの距離Dに比例するので、比例定数をHとすると

$$v=HD$$

と表すことができる。この最後の式をハッブルの法則と呼び、比例定数Hをハッブル定数という。

問６　ある銀河を観測したところ、水素から出る波長 120nm の光が、126nm に伸びていたとする。また、別の観測からハッブル定数が$H=60$ km/s/Mpc と求まっていたとするとき、この銀河までの距離は何 Mpc か。

後退速度を観測できないほど遠方の銀河までの距離を測定するのに、Ia 型超新星を用いることができる。Ia 型超新星は白色矮星を起源とする爆発現象で、非常に明るいために遠方で発生しても観測することができる（**図３**）。その絶対光度は−19 等と決まっている（注：若干のばらつきはあるが、減光の仕方から補正することができる）。これを見かけの明るさと比較することで、その超新星爆発までの距離を推定できるのである。

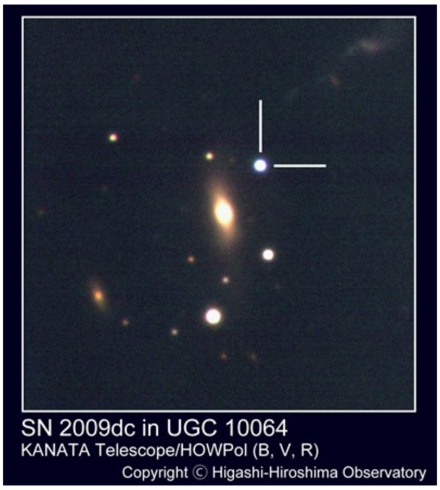


図３　Ia 型超新星 SN2009dc
周辺の銀河と同程度の明るさで輝いている
（画像は広島大学宇宙科学センター）

白色矮星は太陽のような星が進化の最期にたどり着く「燃えカス」のようなもので、非常に高温で白く輝く天体である。すでに核燃焼のエネルギーを使い果たしているため、新たなエネルギーを作りだすことができないので、強力な自分自身の重力により、非常に小さい体積に押しつぶされた天体である。Ia 型超新星は、白色矮星が何らかの理由により支え得る限界質量を超えたときに起こると考えられている。この限界質量はノーベル賞受賞学者のチャンドラセカールにより理論的に求められており、2.8×10^{30} kg であることが知られている。このように爆発を起こす条件が一意に決まっているため、Ia 型超新星爆発の絶対光度も一定値となるのである。

問７　白色矮星の典型的な半径はおよそ 10000km である。このことを用いて、爆発寸前の白色矮星の平均密度を求めなさい。また、この密度は地球の平均密度 5500kg/m^3 の何倍か。

Ia 型超新星の観測により、宇宙の遠方まで距離を推定できるようになったため、現代では宇宙のサイズそのものも詳しく推定できるようになっている。特に、2011 年にノーベル物理学賞を受賞したパールムッター、シュミット、リースらの研究グループは、Ia 型超新星を使った銀河の後退速度の測定から、宇宙の膨張する速度が加速しつつあることを明らかにしている。2016 年現在、正しいと考えられている宇宙進化のシナリオによれば、宇宙のサイズは次のように変化してきたとされている：

・およそ 140 億年前に宇宙が誕生し、はじめ急激に膨張した
・その後、宇宙の膨張速度はだんだんと減速していった
・しかし、およそ 70 億年前から宇宙膨張の速度は加速に転じた

問８　横軸に宇宙誕生からの時間、縦軸に宇宙のサイズをとったグラフの概形を描きなさい。

ー問題以上ー

第８回日本地学オリンピック本選

（第 10 回国際地学オリンピック二次選抜）

岩石・鉱物鑑定　問題

◆　試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。

◆　試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。

◆　解答はすべて解答用紙に記入して下さい。

◆　問題冊子の余白等は適宜利用してください。

◆　解答時間は 15 分です。

◆　標本はこわさないように丁寧に取り扱ってください。

◆　試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。

◆　解答用紙は試験監督が回収します。

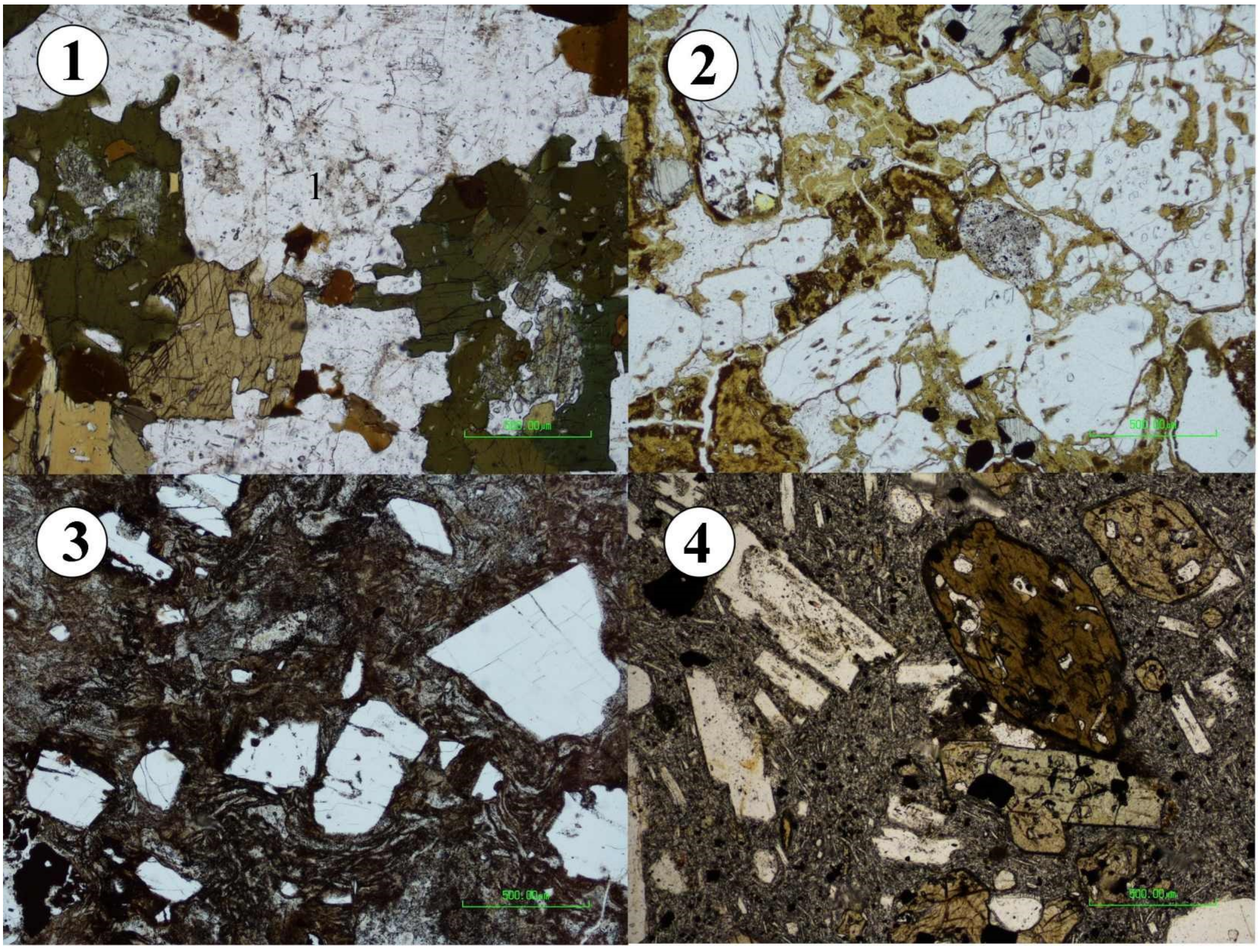
◆　この問題冊子は持ち帰って構いません。

番号		氏名	

問題　机の上には番号 1〜10 の 10 種類の鉱物標本が入った箱と、A〜E の 5 種類の岩石標本がある。これらの標本について、以下の各問いに答えなさい。

問 1　岩石標本 A について、以下の各問いに答えなさい。

(1)　次の①〜④の写真は岩石薄片の顕微鏡写真（オープン(開放)ニコル）である。岩石標本 A に最も近い岩石の写真を①〜④の中から選び、その番号と岩石名を答えなさい。



(2)　次の⑤～⑧の写真のうち、岩石標本Ａと同じ種類の岩石を産する場所を示したものはどれか。その番号を答えるとともに、その理由も述べなさい。

問２　岩石標本Ｂについて、以下の各問いに答えなさい。

(1)　この岩石名を答えなさい。

(2)　問１で答えた種類の岩石にはあまり含まれない鉱物を、下の鉱物名リストの中から１つ選びなさい。

石英　　角閃石　　ミョウバン石　　アルカリ長石　　燐灰石　　黒雲母　　ジルコン

問３　C～Eの３種類の岩石標本について、以下の各問いに答えなさい。

(1)　下の文にあてはまる岩石標本をC～Eの中から選び、その記号と岩石名を答えなさい。

「この岩石は、主にシルトよりも粗い砕屑性粒子の間に新しい鉱物ができて固化したものである。」

(2)　(1)の文中にある、新しい鉱物が出来て固化してゆく作用を何と呼ぶか。

問４　岩石標本Ａと鉱物標本について以下の各問いに答えなさい。

(1)　岩石標本Ａ中で白っぽいやや大きく目立つ鉱物と同じ鉱物が、鉱物標本 1～10 の中にもある。その番号と鉱物名を答えなさい。

(2)　(1)で答えた鉱物の結晶構造を説明した文として最適なものを、下の①～④の中から選び、その番号を答えなさい。

①　SiO_4 四面体が立体構造を成し、四面体の中心元素は全てケイ素である。全ての酸素が隣り合う SiO_4 四面体と共有されるので、組成式は SiO_2 になる。

②　SiO_4 四面体が立体構造を成し、四面体の中心元素はケイ素の他にアルミニウムが含まれる。四面体立体構造の間にはナトリウムやカルシウムが含まれる。

③　SiO_4 四面体が鎖状構造を成し、その鎖の間にはマグネシウムや鉄が含まれる。

④　SiO_4 四面体がシート状構造を成し、その鎖の間にはカリウム、マグネシウム、鉄などが含まれる。

問５　鉱物標本 1～10 のうち、第 2 族元素（アルカリ土類元素）と、その 2 倍の数の第 17 族元素（ハロゲン元素）からなり、紫外線照射により蛍光する鉱物はどれか。その番号と鉱物名を答えなさい。

問６　鉱物標本 1～10 のうちの一つを粉砕し、150g をとって化学分析すると、ほぼ以下のような値が得られる。この鉱物を選び、その番号と鉱物名を答えなさい。

ケイ素	1.0 mol
酸素	4.0 mol
マグネシウム	1.7 mol
鉄	0.3 mol

－問題以上－

第８回日本地学オリンピック本選

（第 10 回国際地学オリンピック二次選抜）

化石鑑定　問題

◆　試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。

◆　試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。

◆　解答はすべて解答用紙に記入して下さい。

◆　問題冊子の余白等は適宜利用してください。

◆　解答時間は 15 分です。

◆　標本はこわさないように丁寧に取り扱ってください。

◆　試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。

◆　解答用紙は試験監督が回収します。

◆　この問題冊子は持ち帰って構いません。

番号		氏名	

問題１　標本Ａと標本Ｂはどちらも動物の歯の化石である。これについて、以下の各問いに答えなさい。

標本Ａ：第四紀、陸生動物　　　標本Ｂ：新第三紀、水生動物

問１　標本Ａとその動物の摂食方法について、最適な説明を下の a～e から１つ選び、その記号を答えなさい。

a.　歯の化石は切歯で、肉に咬みついた後、引きちぎって食べる。

b.　歯の化石は切歯で、肉や植物などを反芻（はんすう）して食べる。

c.　歯の化石は臼歯で、植物をすり潰して咀嚼（そしゃく）する。

d.　歯の化石は臼歯で、肉や植物などを反芻（はんすう）して食べる。

e.　歯の化石は退化した犬歯で、食物をとる際に使われることはない。

問２　標本Ｂにはギザギザの構造が認められるが、これとは異なる時代（ジュラ紀）に栄えたある恐竜の歯にも同様の構造が認められる（**写真１**）。両者の類縁関係は遠いものの、ある共通した食性を持つためにそれぞれ独自に鋸歯を獲得していったと考えられる。両者に共通する食性とは何か。また、このような現象を具体的に何と呼ぶかを答えなさい。

問３　問２で述べた構造以外に、標本Ｂを観察して分かる形態的な特徴を記述しなさい。なお、観察に際してはルーペを用いてもよい。

問４　標本Ａおよび標本Ｂの名称について最適な組み合わせを下の a～e から１つ選び、その記号を答えなさい。

	標本Ａ	標本Ｂ
a.	デスモスチルス	イルカ
b.	キリン	サメ
c.	サイ	イルカ
d.	ウマ	ワニ
e.	ゾウ	サメ

写真１　恐竜の歯化石

問題２　国内のある場所からイタヤガイの仲間（*Chlamys* 属）の未定種（標本 C）が発見された。この化石産地では、二枚貝化石の合弁の殻はほとんど見つからない。地層は全体的に丸みをおびた砂礫で構成されており、多くの貝殻片やフジツボ片を含んでいる。これまでにイルカやクジラ、アシカ、ホタテガイの化石も発見されている。これらのことをふまえて、以下の各問いに答えなさい。

問１　**写真２**は、本種と近縁な現生種のヒオウギ（*Chlamys* 属）について、各部位の用語を示したものである。これらの用語を用いて標本 C の形態的な特徴を述べなさい。また、標本 C は左右どちらの殻なのか、殻の内面に書かれた番号とともに答えなさい。

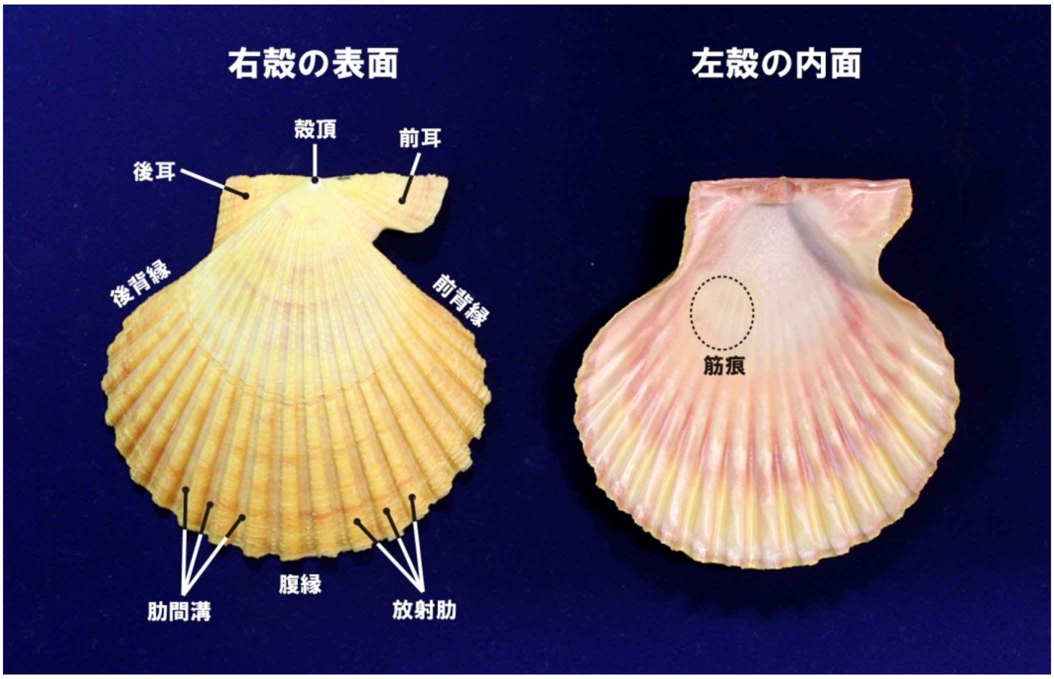


写真２　ヒオウギの殻の各部の名称

問２　この地層の地質時代として最適なものを下の a～e から１つ選び、その記号を答えなさい。

a.　先カンブリア時代　　b.　古生代　　c.　中生代　　d.　新生代　　e.　時代不明

問３　この地層が堆積した環境として最適なものを下の a～e から１つ選び、その記号を答えなさい。

a.　水深は数 m 程度の沿岸で、すぐ沖合の底層を温暖な海流が流れていた。
b.　水深は数十 m 程度、沿岸から堆積物が運ばれる寒冷な環境であった。
c.　水深は数百 m 程度、沿岸からの堆積物の運搬がほとんど無い環境であった。
d.　水深は数千 m 程度、ホタテガイが生息できる寒冷な環境であった。
e.　水深は不明だが、オウムガイが生息できる温暖な環境であった。

ー問題以上ー