

第 10 回日本地学オリンピック本選（天文問題） 解答時間は 30 分

番号

氏名

太陽には幾つかの大気の層がある。太陽表面である光球、そのすぐ上層の彩層、さらに上空のコロナである。この問題では、太陽からの光はすべて光球から放射線状に均一に放射され、太陽と地球との距離はそれぞれの天体の大きさに比べて十分に遠いと仮定する。

なお、地球の公転軌道は太陽を中心にした円軌道とみなし、天体の半径や地球・太陽間の距離などの必要な値は下記の値を用いなさい。また、解答だけでなく、計算過程と計算過程が何を表しているかわかるように解答欄に記入して以下の問いに答えなさい。

- ・ 地球の半径： 6,000 km
- ・ 太陽の半径： 700,000 km
- ・ 太陽と地球（観測場所）間の距離： 1 億 4000 万 km
- ・ 地球の大気圏外で 1 秒間に 1 m^2 あたりに受け取る太陽からの放射エネルギー： 1.4 kW/m^2
- ・ ステファン・ボルツマン定数： $5.6 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$
- ・ 円周率 $\pi=3$
- ・ 10 の 4 乗根： 1.8
- ・ 100 の 4 乗根： 3.2
- ・ 1000 の 4 乗根： 5.6

問 1 我々は太陽に行き、その放射エネルギーを直接測定することはできない。しかしながら、地球の大気圏外で 1 秒間に 1 m^2 あたりに受け取る太陽からの放射エネルギーを測定することで太陽全体が 1 秒間に放射する総放射エネルギーを見積もることができる。その値は何 W か。

問 2 どんな物体でも、その温度に応じて電磁波を放射するという性質を持っている（黒体放射という）。太陽を黒体と仮定する。ステファン・ボルツマンの法則によると、太陽の単位面積あたりの 1 秒間の放射エネルギー F はその表面温度 T [K] の 4 乗に比例し、次の式で表される。

$$F = \sigma T^4 \quad (\sigma \text{ はステファン・ボルツマン定数})$$

太陽の表面温度を求めなさい。

問3 黒点での放射エネルギーFが光球面のおよそ16%という観測結果がある。このことをもとに黒点の温度を求めなさい。

問4 太陽の光球が球面に見えていることについて、大気の見通しの悪い状態から類推して考えよう。地球上では濃霧が発生すると、霧によって見通せる場所が限られてくる。別の言い方をすると、見通せる限界の位置よりも遠くの場所から放たれる光は届かないと言える。これを太陽に当てはめて考えてみよう。

図1は可視光線で観測した太陽の全面像であり光球を見ている。光球は、球殻状に広がっている大気の層で、その厚みは約500kmである。図1を上記の霧にたとえて説明すると、図1に写っている光球よりも奥深くの太陽内部の光は地球には届かないことを示している。そして、我々が見通すことができる太陽の限界の位置が表現されたものが、図1であると言える。

さて、この画像をよく見ると、太陽像の中央(A点)ほど明るく、A点からB,C点と縁にいくほど暗くなっていることに気づく。このことから光球の層内における温度の高度変化を読み取ることができる。光球では、密度は一定、同じ高度では同じ温度の黒体と仮定すると、光球内の高度変化に伴う温度変化をもっともよく表しているものはどれか、(ア)～(オ)の中からもっとも適切なグラフを1つ選び記号で答えなさい。また、解答を導くにあたって、以下の①～④についてわかることを記入しなさい。

- ①A点、B点、C点の3点について地球から観察する際の視線の幾何学的特徴。
- ②A点、B点、C点を見る際に通過する光球の層の厚さ。
- ③A～C各点で観察される光の放出された高度(太陽表面からの深度)の推論。
- ④A～C各点での温度の推定。

なお、グラフ横軸は、光球の最下部を高度0 kmとしている。

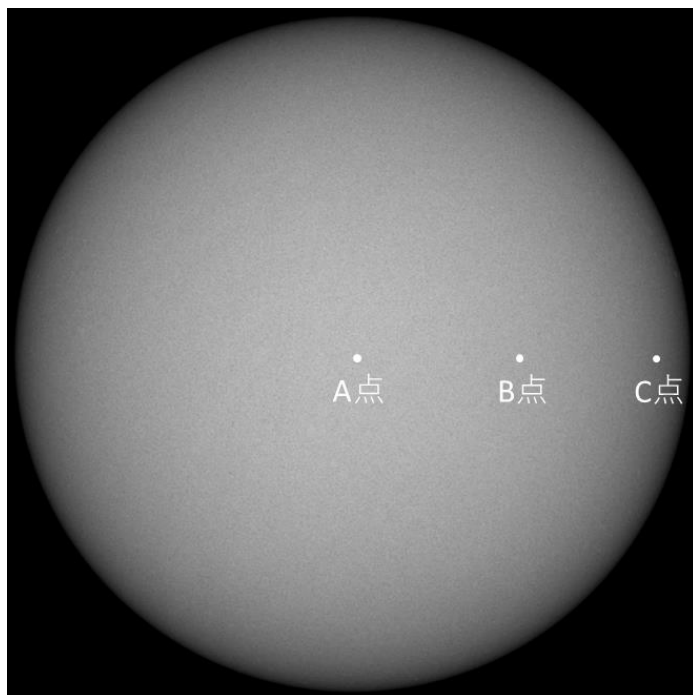
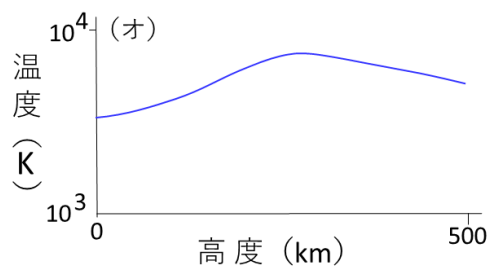
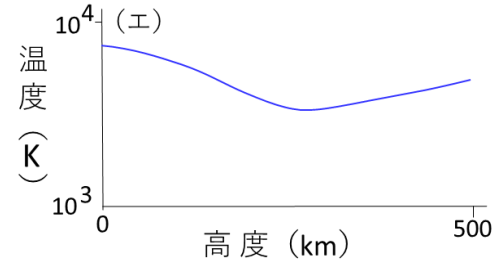
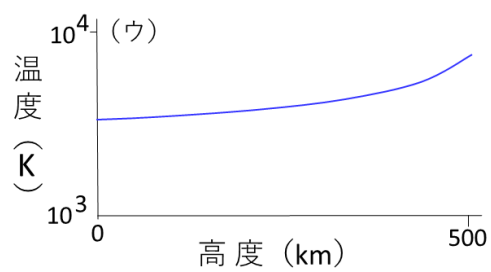
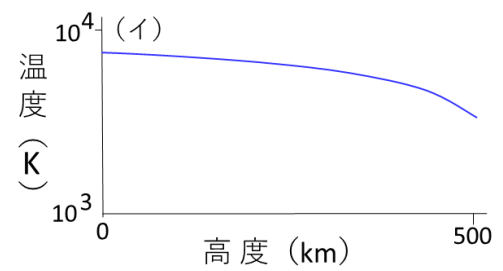
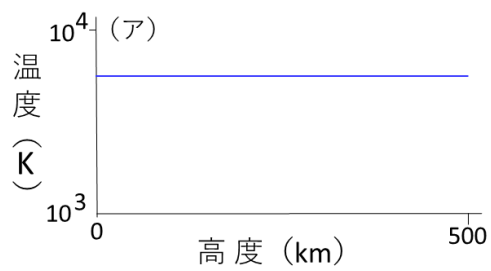


図1. 可視光線で見た太陽。
A点は太陽像中央、
C点は縁近傍、
B点はA点とC点の間の点とする。



問5 黒点を太陽の縁で観察すると、図2のように本暗部が偏って見える。これをウィルソン効果と呼ぶ。これは、黒点がへこんでいるためにこのように見えると解釈できる。このことから、黒点内部のガスの密度は周辺の光球に比べてどうなっていると言えるか、説明しなさい。

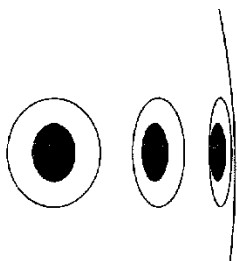


図2：ウィルソン効果の模式図。

問6 表面に目印の乏しい太陽の自転を求めるために黒点の移動を観測するという手法があり、赤道付近における平均角速度は1日あたり 14.4 度というデータがある(図3)。一方、まわりの光球のガスの平均角速度は別の観測(光球ガスのドップラー観測)により異なることが判っている。このグラフから、

- ①周りの光球のガスに対する黒点の相対速度は赤道付近で1秒あたり何mか、小数点第2位を四捨五入し、小数点第1位まで求めなさい。なお、黒点の自転速度が、周りのガスより速い場合は符号をプラスで、遅い場合は符号をマイナスにして速度を表しなさい。
- ②また、このような自転の特徴(差動自転という)から判ることを簡潔に述べなさい。

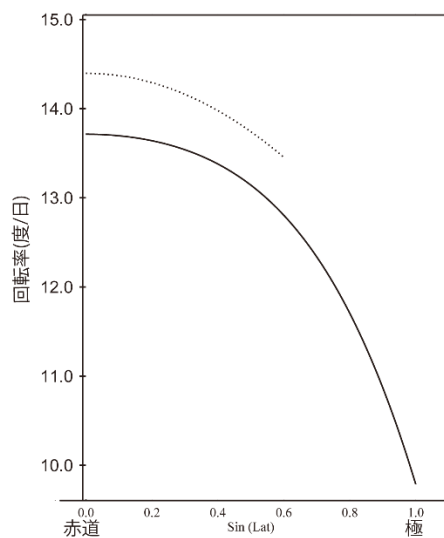


図3：太陽の差動自転

出典

図1 SDO衛星(NASA)の画像。

図2 桜井ほか編「現代の天文学10・太陽」(日本評論社, 2009)

図3 Beck(1999)に基づき作図(Stanford大学のweb site 閲覧2018/03/03)。

第 10 回日本地学オリンピック本選（地質問題） 解答時間は 30 分

番号 _____ 氏名 _____

1. 図 1 はある地域の地質図である。この地域には、堆積岩 A 層, B 層, C 層, D 層と、火成岩 E, F が図 1 のように分布している。この地域の堆積岩に上下の逆転は見られていない。

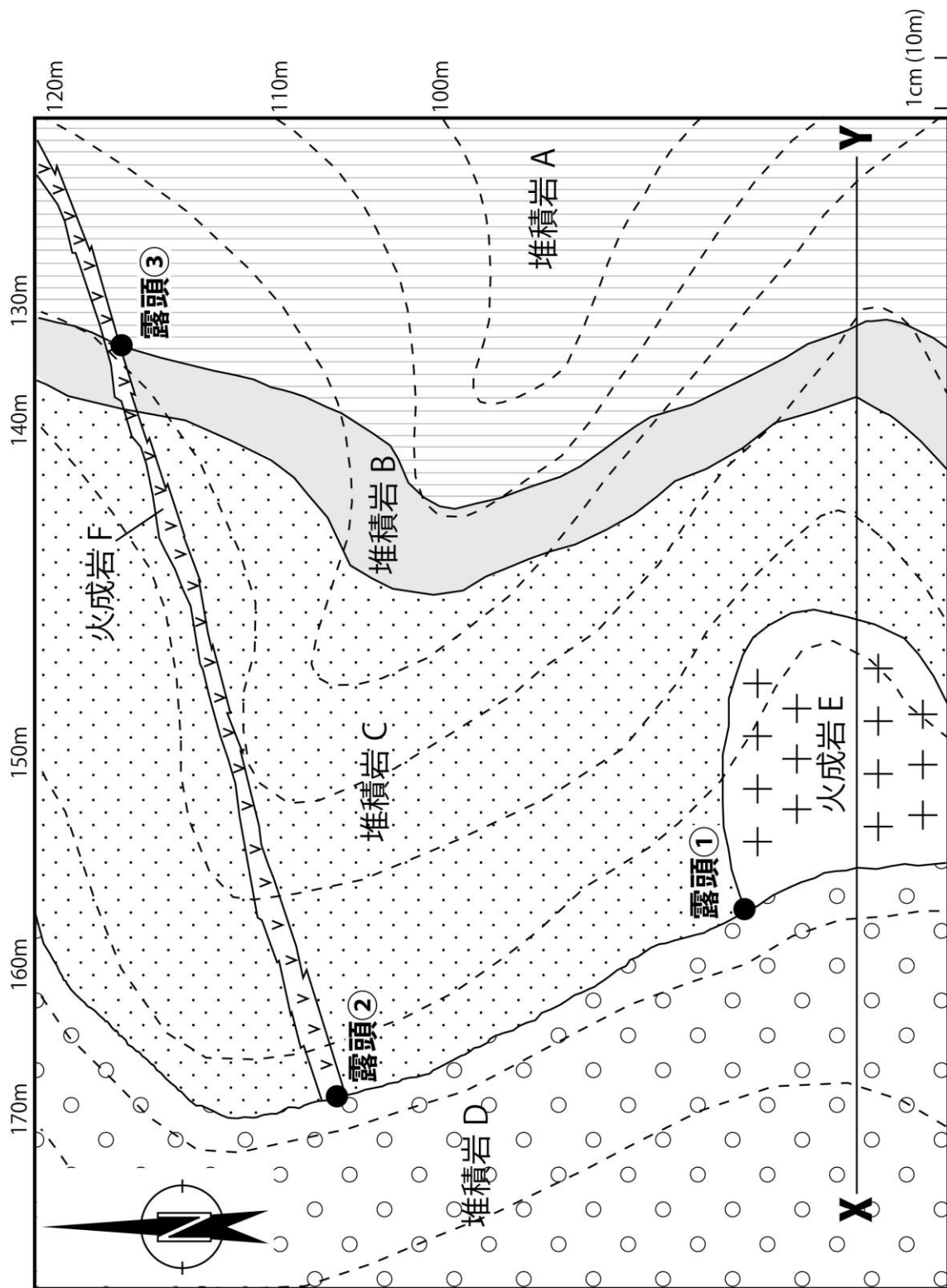
問1 堆積岩 A 層と B 層の境界面の走向と傾斜を求めなさい。

問2 露頭②では C 層の泥質の岩石が硬く緻密でやや紫色を帯びていた。このような硬く緻密な岩石を何というか。またこの硬く緻密な部分を薄片観察した場合、特徴的に含まれる鉱物を一つ挙げなさい。

問3 図 2 は 調査で描いた露頭スケッチである。露頭①, 露頭②, 露頭③のスケッチとして適当なものをそれぞれ選びなさい。

問4 堆積岩 A 層, B 層, C 層, D 層, 火成岩 E, F の形成順序を古いものから順に並べ、そのように考えた理由も記しなさい。もし、この地質図からはその前後関係の不明なものがある場合、それらを別に列挙し、その理由を述べるとともに、解決できると考えられる調査方法などがあれば、それを記しなさい。

問5 図 1 の X-Y の断面線に沿った地質断面図を作成しなさい。



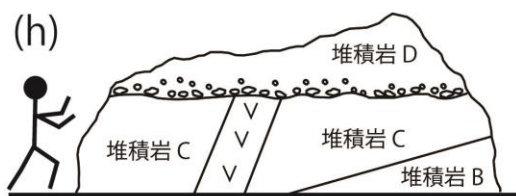
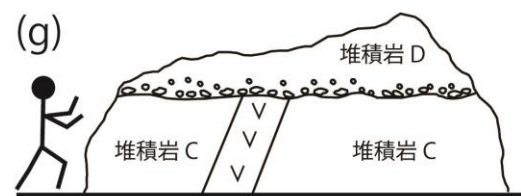
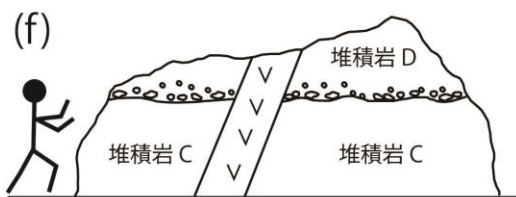
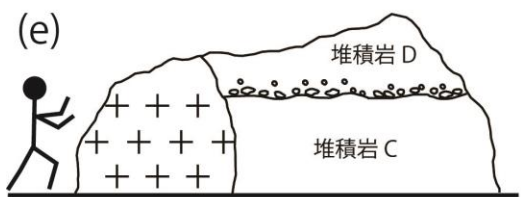
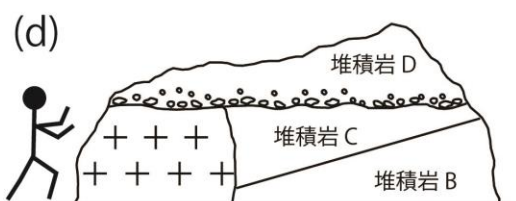
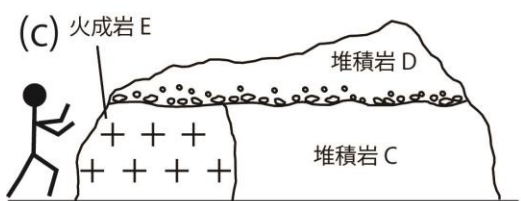
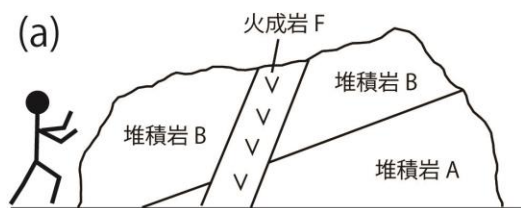


图2

第 10 回日本地学オリンピック本選（固体地球問題） 解答時間は 30 分

番号

氏名

1924 年に書かれた寺田寅彦の随筆「地震雑感」（寺田寅彦全集 第六巻 岩波書店、1997）から抜粋した以下の文章を読んで、問題に答えなさい。なお、計算問題については単位が必要な場合は必ず明記すること。

今回のごとき大地震（注）の震源はおそらく時間と空間のある有限な範囲に不規則に分布された「震源群」であるかもしれない。そう思わせるだけの根拠は相当にある。そうだとすると、震源の位置を一小区域に限定する事はおそらく絶望でありまた無意味であろう。観測材料の選び方によって色々の震源に到達するはむしろ当然の事ではあるまいか。

（注：1923 年の関東大震災の本震を指す）

問 1：下線部アについて。図 1 には、A、B、C 地点において観測されたある地震（1923 年のものとは別の地震）の地震波形を示している。波形には、P 波の到達時刻（青矢印）と S 波の最大振幅の到達時刻（赤矢印）を示している。P 波速度が 6.7km/s で一定と仮定した場合、この地震の震央の位置を解答欄の図中に作図して示しなさい。ただし、震源の深さは簡単のため 0km と仮定する。

問 2：S 波速度が 3.8km/s で一定と仮定した場合、この地震による A、B、C 地点での S 波の予想到達時刻を地震波形中に矢印で示しなさい。

問 3：寺田の随筆で指摘されているように、大きな地震では断層の破壊が時間をかけて広範囲に広がるため、地震波を強く放出した位置と震源の位置とが必ずしも一致するとは限らない。問 2 で求めた S 波の予想到達時刻と S 波の最大振幅到達時刻との時間差をもとに、地震波を強く放出した場所が震源から見てどの方角に位置するかを、北東、北西、南東、南西のいずれかで答えなさい。また、そのように考えた理由を簡潔に述べなさい。

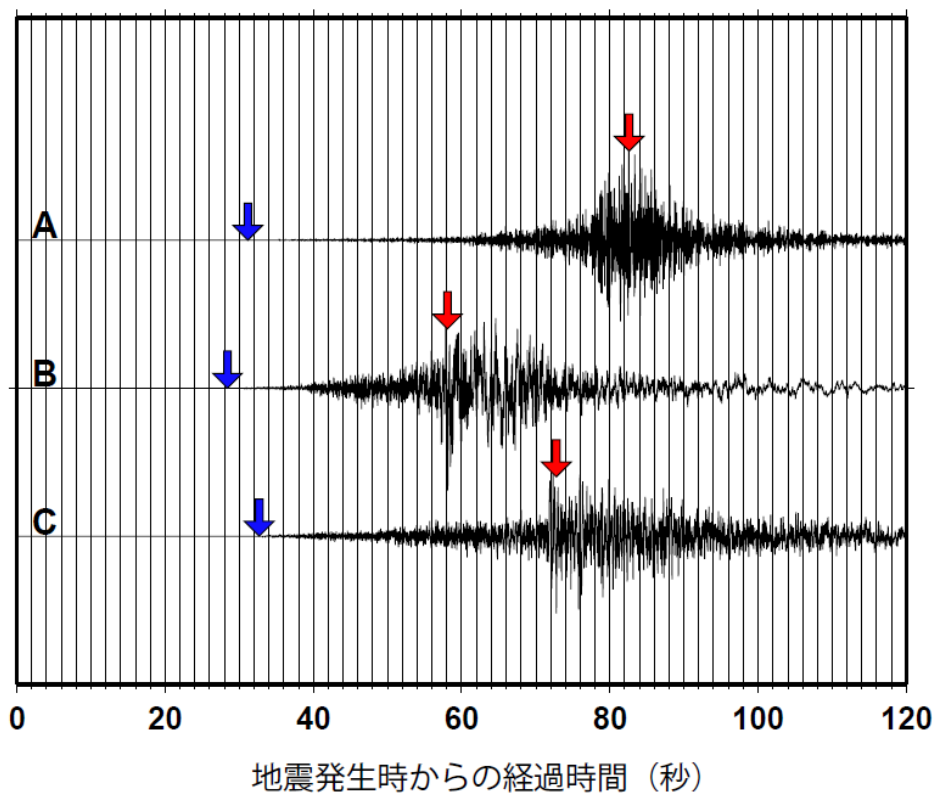
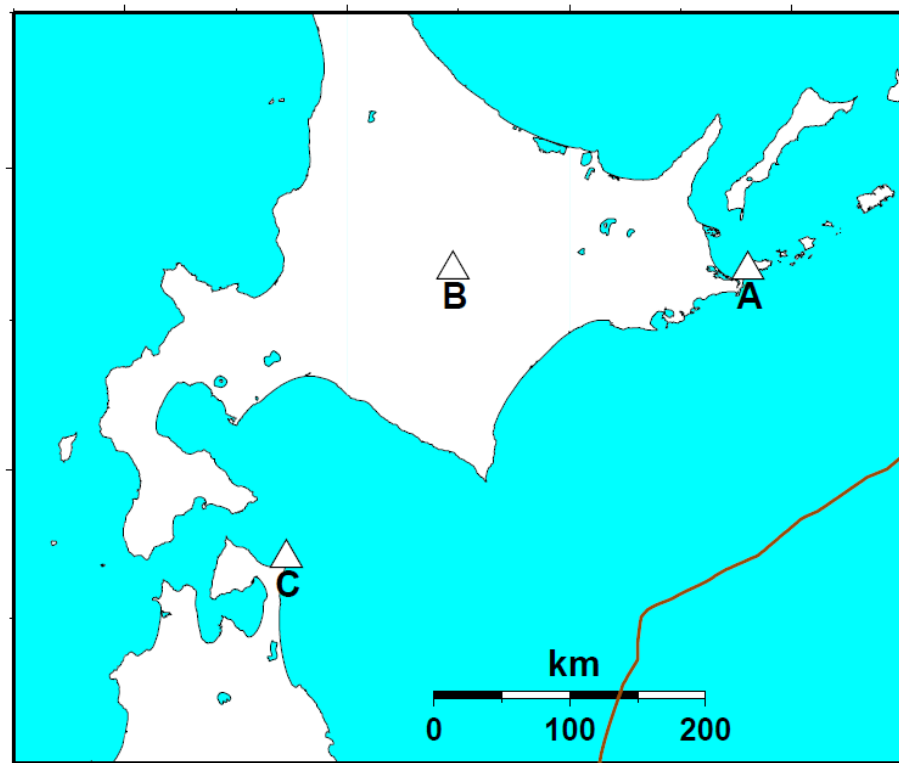


図1．A、B、C地点で観測された地震波形（防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET のデータを使用）。A、B、Cの波形はそれぞれ異なる倍率で拡大・縮小している。

地殻の構造について吾人の既に知り得たところは甚だ少ない。イ重力分布や垂直線偏差から推測さるるアイソスタシーの状態、地殻潮汐や地震伝播の状況から推定さるる弾性分布などがわずかにやや信すべき条項を与えているに過ぎない。かくのごとく直接観測し得らるべき与件の僅少な問題にたいしては種々の学説や仮説が可能であり、また必要でもある。エウエーゲナーの大陸漂移説（注）や、最近ジョリーの提出した、放射能性物質の熱によって地質学的輪廻変化を説明する仮説のごときも、あながち単なる科学的ロマンスとして捨つべきものでないと思われる。

（注：大陸移動説）

問4：下線部イについて。図2は大陸地殻—マンツルの模式断面を表す。X—Y—Zの青線部が地表面である。大陸地殻下面の形状がAやBの破線で表される場合に、地表で観測される重力の大きさはX—Y—Zと移動するにつれてどのように変化するか、およそのイメージを解答欄のグラフ中にそれぞれ描きなさい。ただし図2のXとZ地点における重力の大きさはA、Bの場合とも共通の値（解答欄グラフ中の黒丸）を持つとする。

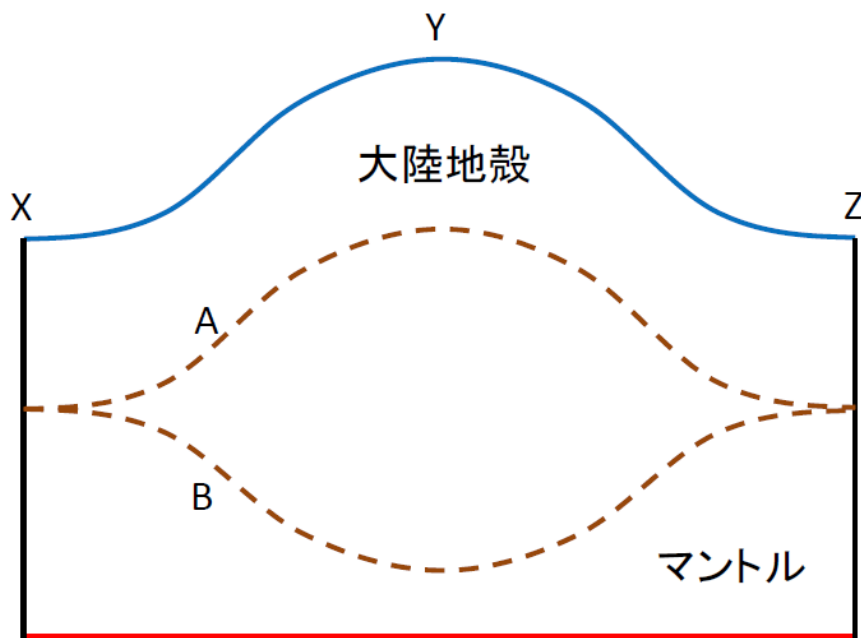


図2．大陸地殻—マンツルの断面

問5：実際の大陸地殻下面の形状はAとBのどちらに近いかを解答し、その理由をアイソスタシーの考え方をもとに説明しなさい。

問6：下線部ウについて。図3のようにA地点で発生した地震波が地中を伝わりB、C地点で観測された場合を考える。震源から観測点までの地震波の伝播時間を計測したところ、表のような記録を得た。この記録をもとに、地殻の厚さHとマンツルでの地震波速度 V_2 を求め、有効数字2桁で答えなさい。ただし、地殻の地震波速度 V_1 は 6.0km/s とする。また、地殻—マンツル境界での入射角 θ はスネルの法則にしたがい、 $\sin \theta = V_1/V_2$ という関係がある。

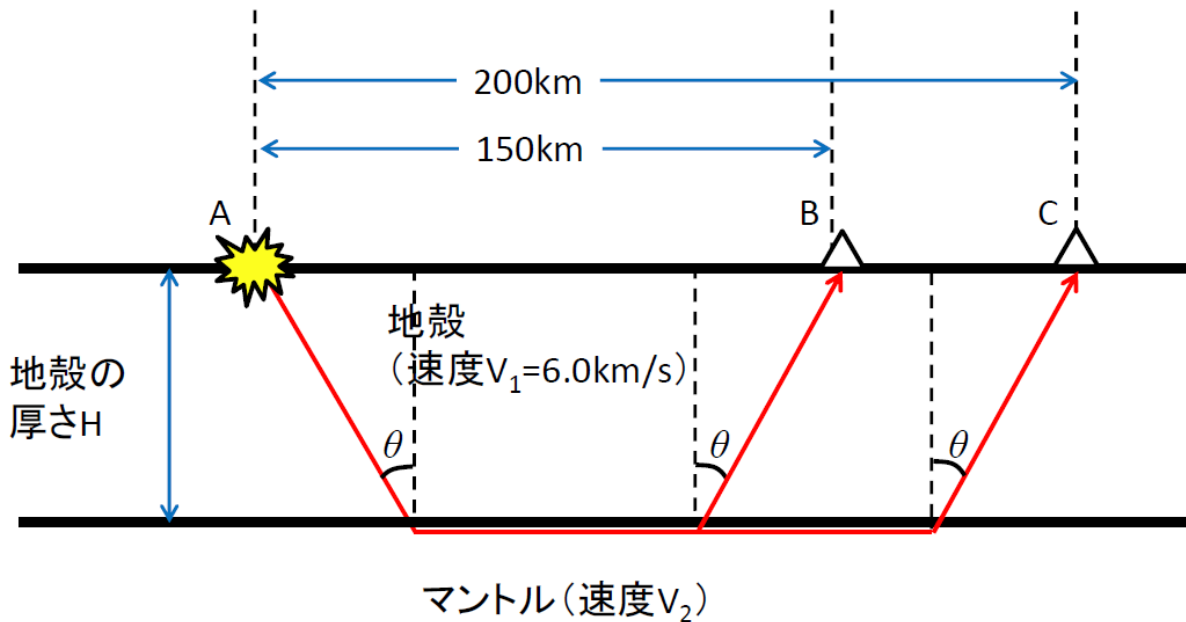


図 3．地殻－マントル境界を伝わる地震波

	B	C
伝播時間	24.0秒	30.7秒

表．A 地点から B、C 地点までの地震波の伝播時間

問 7：下線部エについて。現在では、大陸移動説はプレートテクトニクス理論で説明できることが知られている。しかし寺田の随筆が書かれた当時は、大陸移動説は必ずしも広く受け入れられた考え方ではなかった。その理由の一つに、当時はプレートを動かす原動力が知られていなかったことが挙げられる。プレートを動かす原動力として現在考えられているメカニズムについて説明しなさい。

思うに、少なくともある地質学的時代においては、起り得べき地震の強さには自ずからな最大限が存在するだろう。これは地殻そのものの構造から期待すべき根拠がある。そうだとすれば、この最大限の地震に対して安全なべき施設をさえしておけば地震というものはあっても恐ろしいものではなくなるはずである。

問 8：下線部オについて。現在では、内陸地震が発生する領域はおおむね地殻内部に限られることが分かっている。また、地表に現れる部分の断層の形状もある程度分かっている。今、地表で長さ 80km、傾斜角 30° の断層が確認され、この断層が深さ 25km にある地殻の下面まで続いている場合を考える。この断層が一気にずれ動いた場合に予想される地震のマグニチュードはどれくらいか計算しなさい。

ただし、断層面積 $S(\text{km}^2)$ とマグニチュード M との間の経験式 $\log S = M - 4.0$ を用いること。 $\log$ は常用対数を表す。また、地表に現れた断層の長さをそのまま地中にも延長できるものとする。

第 10 回日本地学オリンピック本選（気象問題） 解答時間は 30 分

番号

氏名

問 1

地球大気に働く基本的な力として、重力がある。重力はふたつの質点間に働く万有引力と地球の自転による遠心力の合力である。

(1) 地球の自転の角速度(Ω)をラジアン/秒の単位で計算せよ。

(注：ラジアンとは弧度法の単位で、ラジアン = 角度(度) $\times$ 円周率(π) / 180 で変換できる。)

(2) 地球の半径を $a=6370$ km, 物体の質量を m (一定)とすると、赤道での遠心力は $ma\Omega^2$ となる。北極での地表の重力を mg とすると、遠心力により赤道での重力はそれより小さくなる。赤道での重力が北極での値と比べ何パーセント小さくなるか計算せよ。なお、重力加速度を $g=9.8\text{m/s}^2$ とする。

(3) 赤道上を質量 m の物体が高速で周回すると、ある角速度 ω (速度 $V=a\omega$) で遠心力が万有引力と等しくなり無重力となる。この時の絶対速度 V を計算せよ。

(4) 速度 V で質量 m の人工衛星が赤道に沿って周回すると無重力となるが、この状況は北極と南極の間を速度 V で周回する極軌道衛星についても同様である。図 1 左は自転する地球を周回する極軌道衛星の軌道を地表に投影したものである。図 1 右は北半球から見た地球で、中央が北極、周囲が赤道で上が 0 度経線(本初子午線)、下が 180 度経線とする。地球が自転していない場合、東経 0 度から北極点を経由し東経 180 度に直線的な軌道が描けるが、地球が自転していると、地表に投影された軌道は進行方向に対して右に曲がる。人工衛星の周回周期を 12 時間とした場合の地表に投影した軌道を図 1 右に描け。ただし、始点は東経 0 度とし、24 時間分の軌道を描け。

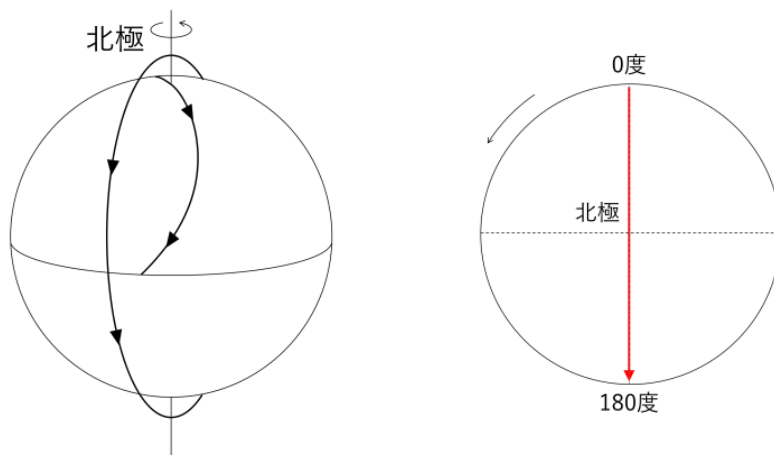


図 1：(左図)自転する地球を周回する極軌道衛星の軌道の模式図。(右図)北極上空から見た北半球の図。中央が北極で周囲が赤道。地球が自転していない場合の極軌道衛星の軌道が描かれている。

問 2

円柱のシリンダーに空気が詰まっていて、それを無重力の宇宙ステーションに置いた場合と、重力のある地上に置いた場合の空気の密度分布を、粒子で模式的に示したのが図 2 である。

(1) 気圧とは何か、無重力場でのシリンダーの中の空気粒子の運動を想像し、気圧の単位 (Pa) が $\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$ であることと関連させて説明せよ。

(2) 重力場での気圧の分布の特徴を記述し、シリンダー中の空気塊に働く力がどのようなバランスになっているのかを説明せよ。

(3) 地表気圧 (P_s) は、単位面積 (1m^2) 当たりのシリンダーにある全空気質量の重さのことである。ここで、シリンダーの上限の気圧は 0 とする。単位面積あたりのシリンダーの全空気質量を m 、重力加速度を $g=9.8\text{m}/\text{s}^2$ とすると、 $P_s = mg$ が成り立つ。地表気圧が $P_s=1000\text{ hPa}$ であるとき、質量 m は何 kg になるか計算せよ。

(4) 地表気圧を P_s とすると、気圧は高さとともに減少する。高度 Z 以上にある空気の総重量がその高度での気圧である。a) 空気密度が一定 ($1.0\text{ kg}/\text{m}^3$) とした場合と、b) 空気密度が 16km ごとに $1/10$ になる場合の気圧の鉛直変化をグラフに描け。ただし、気温は一定とする。また、グラフは横軸を気圧、縦軸を高さとする。

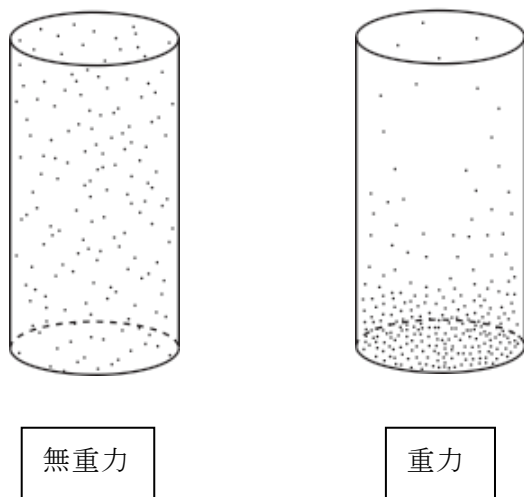


図 2 : (左) 無重力場と (右) 重力場での円柱形のシリンダー内の空気粒子の分布の模式図

問 3

中緯度偏西風帯では温帯低気圧の渦が発達し、熱と水蒸気を高緯度に輸送している。この温帯低気圧のエネルギー源は、太陽放射によってもたらされる南北の温度勾配である。低緯度の大気の温度は高くて大きな熱エネルギーがあり、高緯度の温度は低くて熱エネルギーが小さい。すると、その不均衡を解消するような運動が起こり、両者が混合により均一化される。

(1) 図 3 はひまわり衛星がとらえたある日の水蒸気画像である。ハドレー循環、フェレル循環、偏西風、偏東風、温帯低気圧の用語を用いて、このひまわり画像の特徴を説明せよ。

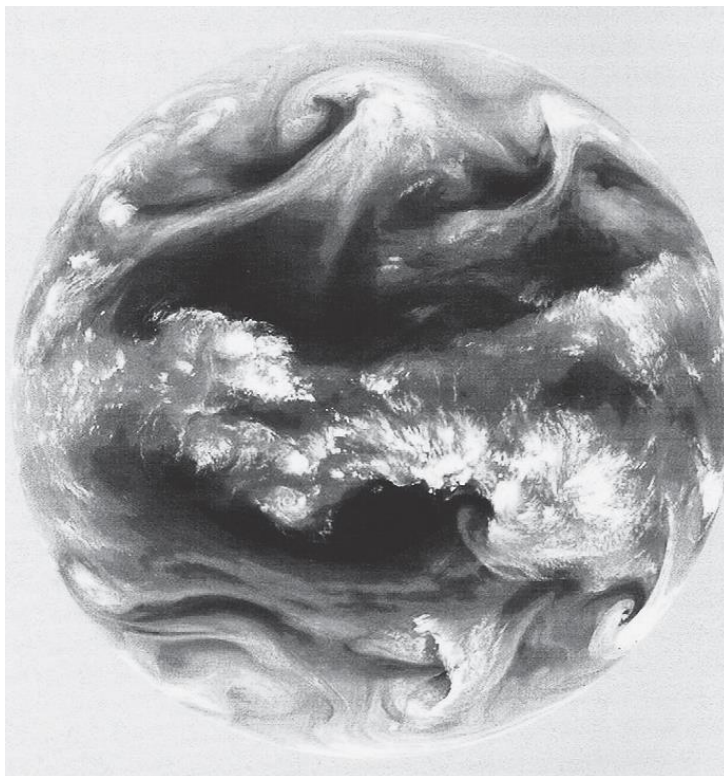
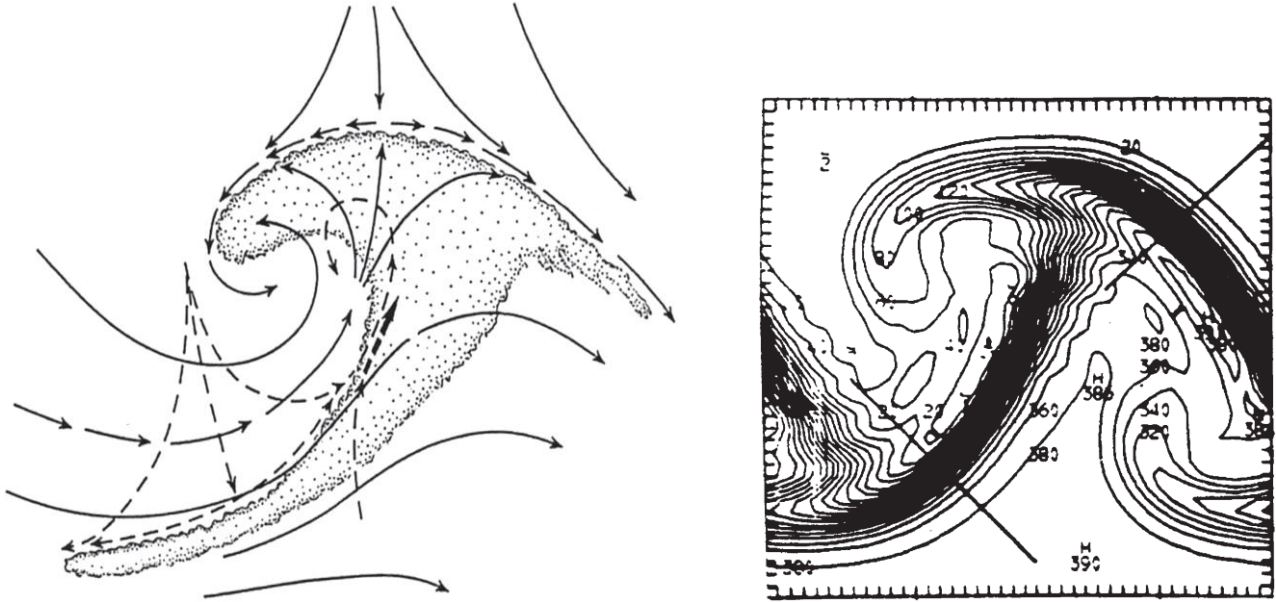


図 3 : ひまわり衛星がとらえたある日の水蒸気画像。
白い領域で水蒸気が豊富にある。(気象庁提供)

(2) 図4（左）は温帯低気圧周辺の雲の分布と、気流の特徴を矢印で表している。（右）は温帯低気圧周辺の温度の等値線の特徴を表している。寒冷前線、温暖前線、上昇流、雲域の用語を用いて図4の温帯低気圧の特徴を説明せよ。



(3) 図5は北半球における温帯低気圧の反時計回りの循環と地表での寒冷前線，温暖前線を模式的に示している。図5と同様の温帯低気圧の構造と循環の様子を南半球について描け。その際，北の方位も記せ。

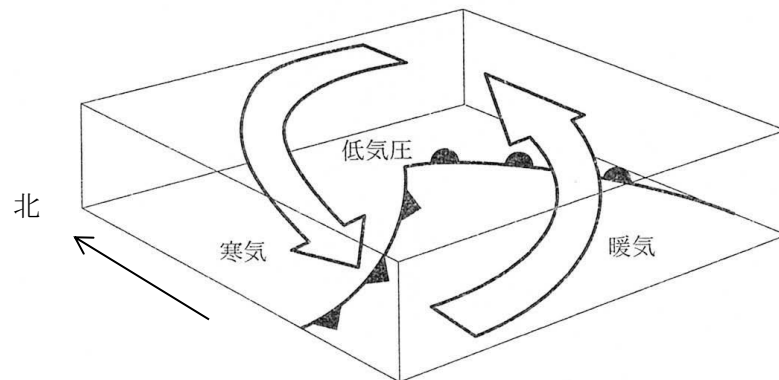


図5：北半球における温帯低気圧の反時計回りの循環と地表での寒冷前線，温暖前線の模式図

(4) 図6は北半球における大気大循環の特徴をまとめた模式図である。
図5および図6を参考に，温帯低気圧とフェレル循環の関係について説明せよ。

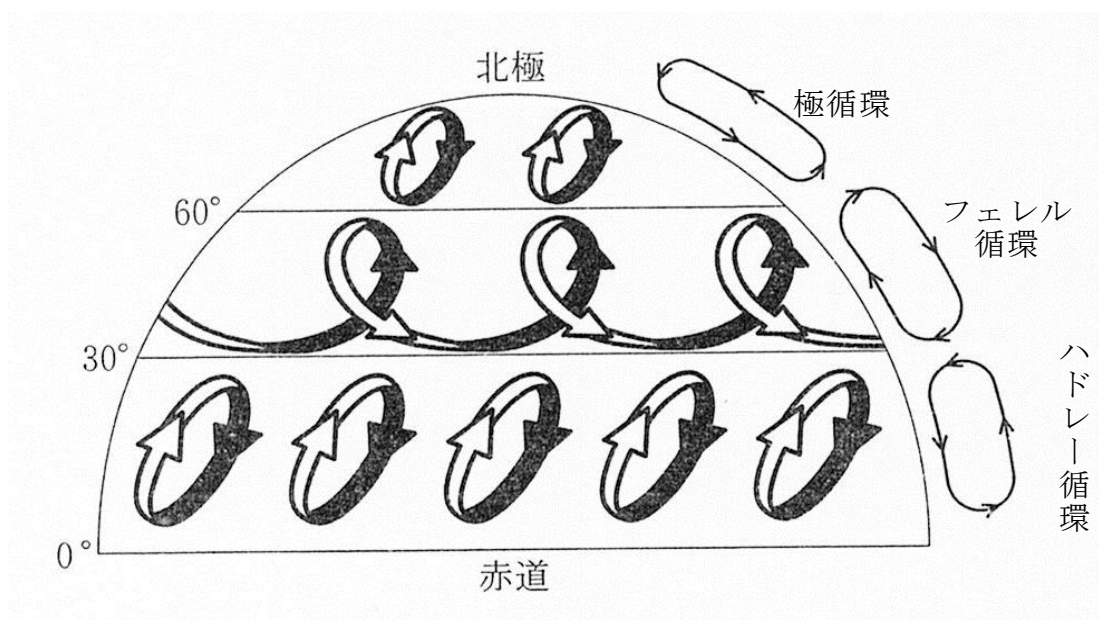


図6：北半球における大気大循環の模式図

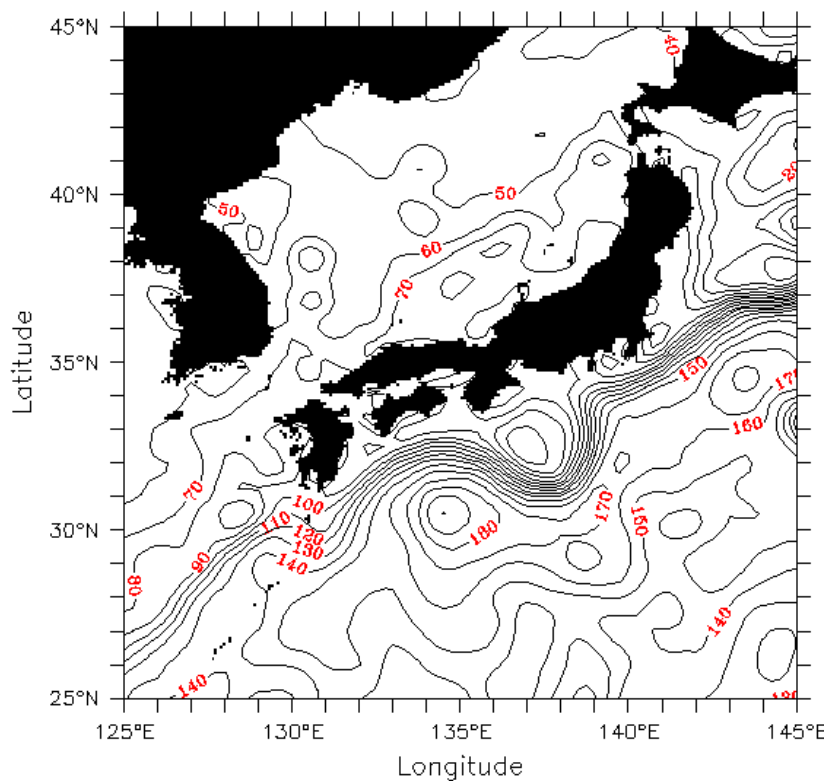
第 10 回日本地学オリンピック本選（海洋問題） 解答時間は 30 分

番号

氏名

第 1 問 図 1 は 2005 年 1 月と 2012 年 1 月における日本近海の海面高度の分布図である。この図を参考にして、以下の問いに答えなさい。

January 2005



January 2012

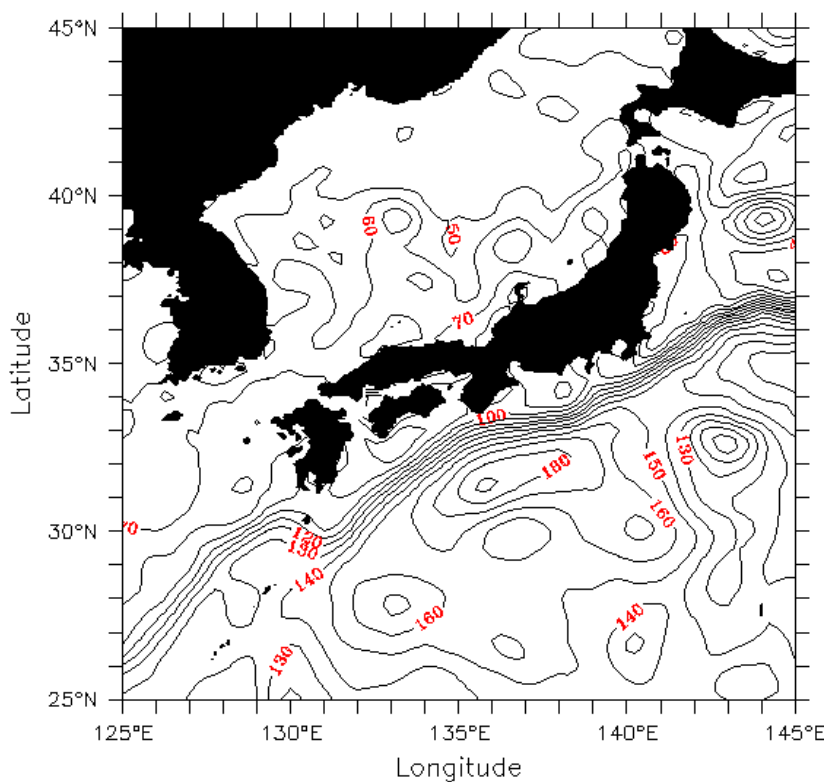


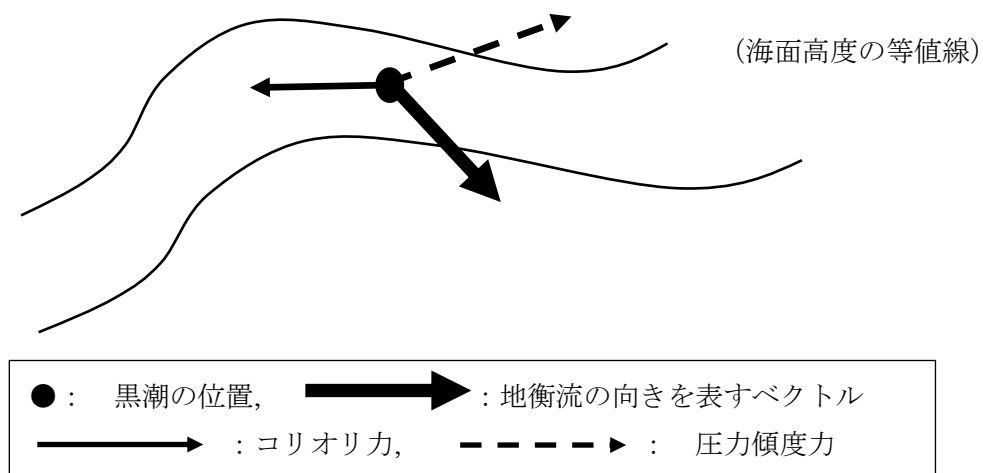
図 1. 2005 年 1 月（上）と 2012 年 1 月（下）における、日本近海の海面高度分布。単位は cm。

問 1. 2005 年 1 月と 2012 年 1 月の両方について、東経 137 度の子午線上において黒潮はどこを流れているか、緯度を度単位で答えなさい。また、そう判断した理由を記しなさい。

問 2. この緯度の違いは、黒潮にある現象が 2005 年 1 月に発生していたため生じている。その現象とは何かその名称を答えなさい。

問 3. 黒潮の流れにおいては、ほぼ地衡流バランスが成り立っている。そのバランスを成り立たせる力（コリオリ力と圧力傾度力）および地衡流の向きを表すベクトルを、解答用紙の図の東経 137 度の子午線上の黒潮の位置に、以下の凡例にならって記しなさい。

(凡例)



問 4. 2005 年 1 月には問 2 の現象に伴い、東海地方の南方に渦が発生している。この渦の性質とその影響について、次の文章の空欄 1 ～ 5 を選択肢の中から選んで埋めなさい。

この渦では温度が周りに比べて温度が（１），流れが（２）周りとなっている。この渦に伴う流れにより、渦の（３）側から温度が高い海水が沖から東海地方沿岸に流れ込むため、東海地方の潮位が通常より（４）なる。また、この渦が発生すると日本沿岸のカツオの漁場が通常より（５）に移動するなど、水産業に大きな影響が生じる。

選択肢

ア：高く イ：低く ウ：時計 エ：反時計
オ：東 カ：西 キ：南 ケ：北

第2問

海洋の波は、波長と水深の相対的な大きさにより、波長が水深に比べ十分長い長波、水深に比べ十分短い表面波、その中間的な性質を持つ浅海波に便宜的に分類される。これらの波の性質について次の問いに答えなさい。

問1. 外洋で通常見られる波は上の3つの種類のどの波か。また、この波は何によって生じるか。

問2. 問1の波に分類されない波として、地震によって発生する津波や、潮汐に伴う潮汐波がある。これらの波の水深 2000m における波の進む速さを計算しなさい。ただし、重力加速度を 9.8m/s^2 として計算すること。なお、単位も忘れずに記すこと。

問3. 問1の波は、沿岸近くに伝わると水深が浅くなるため性質が変わる。具体的にはどのように変わるかについて、次の選択肢の中で正しいものをすべて選びなさい。

ア： 波の進む速度が速くなる。

イ： 波長が短くなる

ウ： 波高が小さくなる。

エ： 波が崩れる（砕波する）。

オ： 波の進行方向が屈折し、波の峰線が海岸線と平行になる。

問4. 東北の三陸海岸では東日本大震災をはじめ何度も津波に襲われ大きな被害がでている。その理由は主に三陸海岸特有の地形によるものであるが、その三陸海岸特有の地形とは何と呼ばれる地形か。また、なぜ三陸海岸のその地形は津波によって被害を受けやすいのか答えなさい。