

第 10 回日本地学オリンピック本選（天文 解答例と解説）

（問 1）

【採点基準】

- ① 太陽-地球間と等距離の点で観測した太陽の放射エネルギーはどこも等しい。

または

総放射エネルギーは太陽-地球間を半径とする球面全体で受けているから。

（同趣旨の説明を行っていること）

太陽からは放射線状に均一に光が放射されているため、単位面積あたりに 1 秒間に受け取る太陽の放射エネルギーは、太陽から等距離の地点ではすべて同じになることを利用する。

- ② 「太陽-地球間の距離を半径とする球の表面積」を正しく導いている。

ある点から同距離の点を集めると、それは球の表面を表す。そのため、太陽から観測した大気圏外までの距離を半径とする球の表面積を考えると、その表面積 S_E は次のように表せる。

$$S_E = 4 \times 3 \times (1.4 \times 10^{11})^2 = 2.7 \times 10^{23}$$

- ③ 「地球軌道距離で単位面積あたりに 1 秒間に受け取る太陽の放射エネルギー」に「太陽-地球間の距離を半径とする球の表面積」をかけると、太陽の 1 秒間あたりの総放射エネルギーになる。

（※計算間違い(指数部等)： 減点）

表面積 S_E で 1 秒間に受け取るエネルギーが、太陽が 1 秒間に放射する総放射エネルギー E になる。

$$E = 1.4 \times 10^3 \times 4 \times 3 \times (1.4 \times 10^{11})^2 = 3.78 \times 10^{26} \quad [\text{W}]$$

もちろん、②式と③式を乗じて 1 本の式で計算している場合も可とし、仮数部表記が正規化されていない場合などは減点している。

（問 2）

【採点基準】 太陽の表面積を正しく求め、放射エネルギー F を求めている。

（※最後の答えの間違い： 減点）

（※説明文なし、不十分、減点）

（※計算式なし 減点）

太陽が 1 秒間に総放射するエネルギー E を、太陽の表面積で割ると、太陽の単位面積あたりの 1 秒間の放射エネルギー F になる。（あるいは地球軌道距離を半径とする球面と太陽を球とみなした球面との面積の比を利用して求めても良い）

$$\begin{aligned}
F &= 1.4 \times 10^3 \times 4 \times 3 \times (1.4 \times 10^{11})^2 / (4 \times 3 \times (7 \times 10^8)^2) \\
&= 1.4 \times 10^3 \times (1.4 \times 10^3)^2 / 7^2 \\
&= 5.6 \times 10^7
\end{aligned}$$

ステファン・ボルツマンの法則より

$$F = \sigma T^4 \quad \text{より} \quad T = (F/\sigma)^{1/4}$$

$$T = \{5.6 \times 10^7 / (5.6 \times 10^{-8})\}^{1/4}$$

$$= (10^{15})^{1/4} = 5.6 \times 10^3 \text{ [K]} \quad (\text{または、} = 5,600 \text{ [K]})$$

(問3) 答え：(イ)

問2と同様に計算して3500Kないし3600K。

問2の結果よりエネルギーが16%=0.16であることから、

$$(0.16)^{1/4} = 2/(100)^{1/4} \text{ を用いてもよい}$$

(問4)

【採点基準】

①地球からA, B, C点を結ぶと、平行と近似してよい。

太陽像中央部A点と太陽の縁近傍C点、その中間点であるB点の3点を地球からそれぞれ見るとする。太陽と地球の距離は、太陽半径に比べ約200倍遠いため、地球とA点、地球とB点、地球とC点をそれぞれ結んだ時にできる3つの線は平行とみなすことができる。

②A, B, C点を見る際に通過する光球の層の厚さが、「A点」<「B点」<「C点」

次に、A点、B点、C点の3点は光球の同じ高度、例えば、最下層部にあるとする。最下層部に位置する3点を地球から見通すときに通過する光球の層の距離は、中央部のA点を見るときが一番短く、次にB点、そして、縁近傍のC点を見るときが一番長くなるのが分かる。

③見通せる限界の地点の高度が、A点、B点、C点で異なり、C点に行くほど高くなる。

光球では、見通すときに霧のように見通せる限界の距離があり、それより遠くを見通すことができない。仮に光球の層を通過する距離が一番短いA点における見通せる限界の地点を

光球の最下層部とすると、それよりも光球を通過する距離の長いB点、C点では最下層部まで見通すことはできず、途中で見通せる限界の地点が現れる。言い換えると、B、C点では、A点よりも高度の高い地点に見通せる限界がある。同様に考えると、最下層部まで見通すときに光球を通過する距離が一番長いC点が、高度の一番高いところに限界の地点があると言える。

④A点、B点、C点の画像の輝度と、黒体放射より輝度が明るい点の方が温度が高く、輝度が暗い点の方が温度が低い。

図1を見ると、A点が一番明るく、次にB点、そしてC点が一番暗い。明るさの違いは、そこから届く光量の違いを意味している。この問題では、光球では密度を一定と仮定しているため、黒体放射から温度によるものと読み取ることができ、温度が低いと光量が弱くなることが分かる。よって、一番明るいA点の温度が一番高く、次の明るさであるB点の温度が次に高く、一番暗いC点の温度が一番低いことになる。

⑤正しい解答の選択

よって、この傾向を示している図(イ)が正解であることが分かる。

(問5)

凹んでいるということは深くまで見通せている、ということなので、密度は低い。

(問6)

①

【採点基準】

ア) 周りとのガスとの角速度の差

黒点の角速度を14.4度/日光球ガスの角速度を13.8度/日と読み取ると

$$14.4 - 13.8 = 0.6 \text{ より}$$

黒点は、周りのガスよりも1日あたり0.6度早く進む。

(グラフの読み取りによって0.5度~0.8度/日の範囲があり得るので、対応する数値も可とする)

イ) 相対速度の導出

(※式なし 2点減点)

(※符号間違いは1点減点)

太陽の円周は、 $2 \times 3 \times 700,000 \text{ km}$ より $4.2 \times 10^6 \text{ km} = 4.2 \times 10^9 \text{ m}$

光球の周囲のガスに対する黒点の相対速度は、

$$4.2 * 10^9 * 0.6/360 / 24 / 60 / 60 = 81.00$$

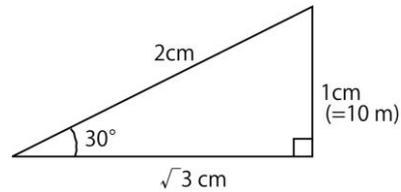
答え +81.0 m/s

②

(答え) 太陽の主要部／光球面は固体でなく流体(気体)であること

第 10 回日本地学オリンピック本選（地質解答例）

1. N-S, 30° W



2. 岩石名：ホルンフェルス

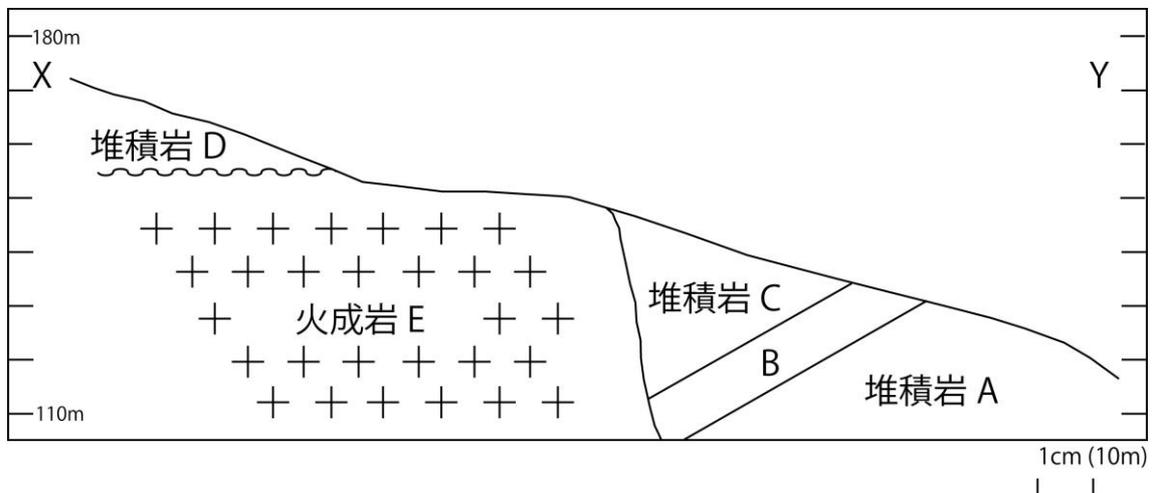
鉱物名：黒雲母，キンセイ石，モナザイトなど

3 露頭①：(c)

露頭②：(g)

露頭③：(a)

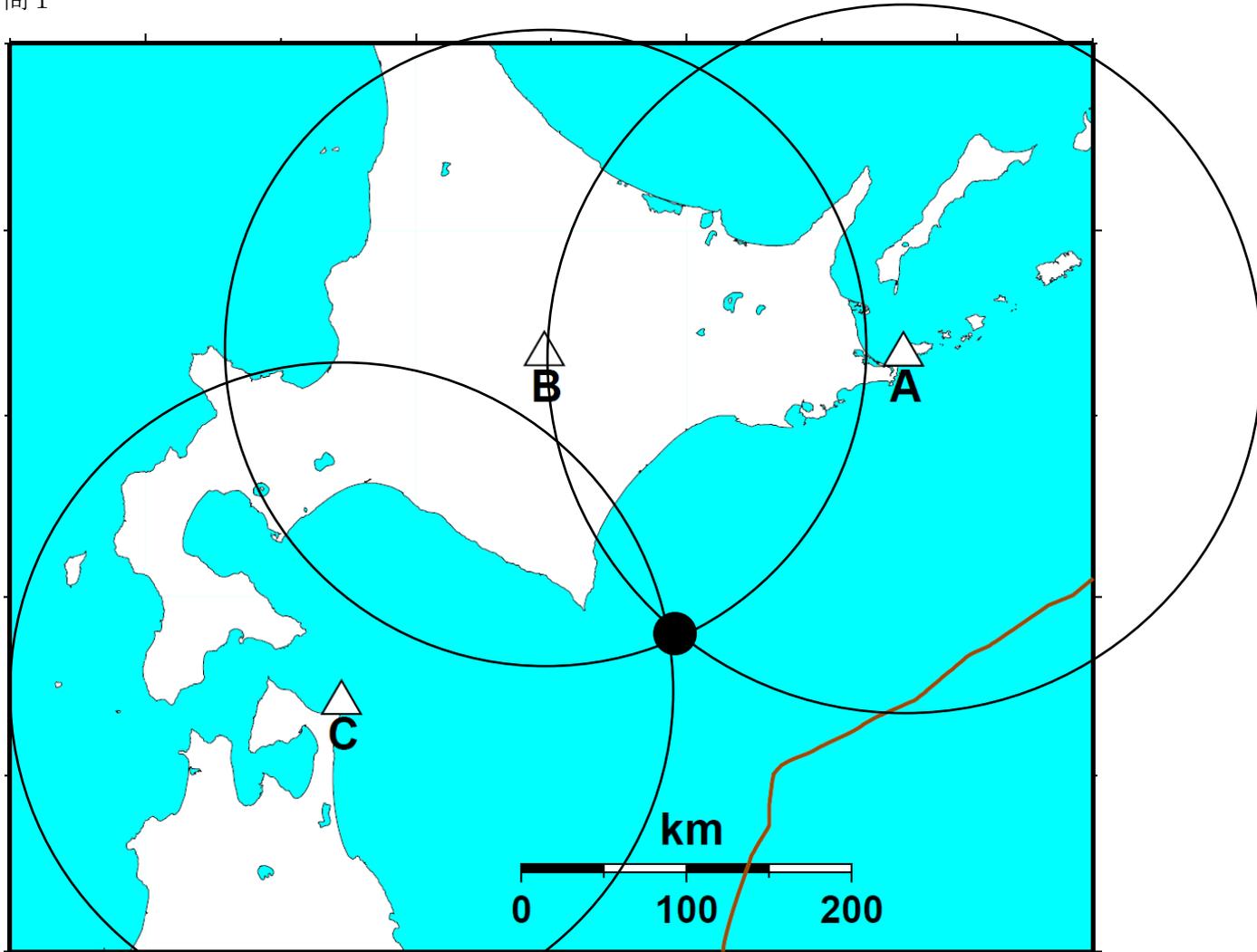
4. 古い順に，堆積岩A→堆積岩B→堆積岩C→(火成岩 F, 火成岩E)→堆積岩Dと形成した。堆積岩の上下逆転が確認されていないので，層序的下位から堆積岩A→B→Cと累重している。火成岩Fは，堆積岩A, B, C 全てに貫入している事から，堆積岩Cの後に貫入した。火成岩E は堆積岩Cに観入していることから，堆積岩Cの後に貫入した。この地質図だけでは，火成岩 F とEの前後関係は不明である。その前後関係を検証する方法として，それぞれの放射性年代を検討する事が考えられる。堆積岩Dは，火成岩EとFを覆っているので，2 つの火成岩の形成後に堆積した事から最も新しい地質体である。



第10回日本地学オリンピック本選（固体地球）解答例

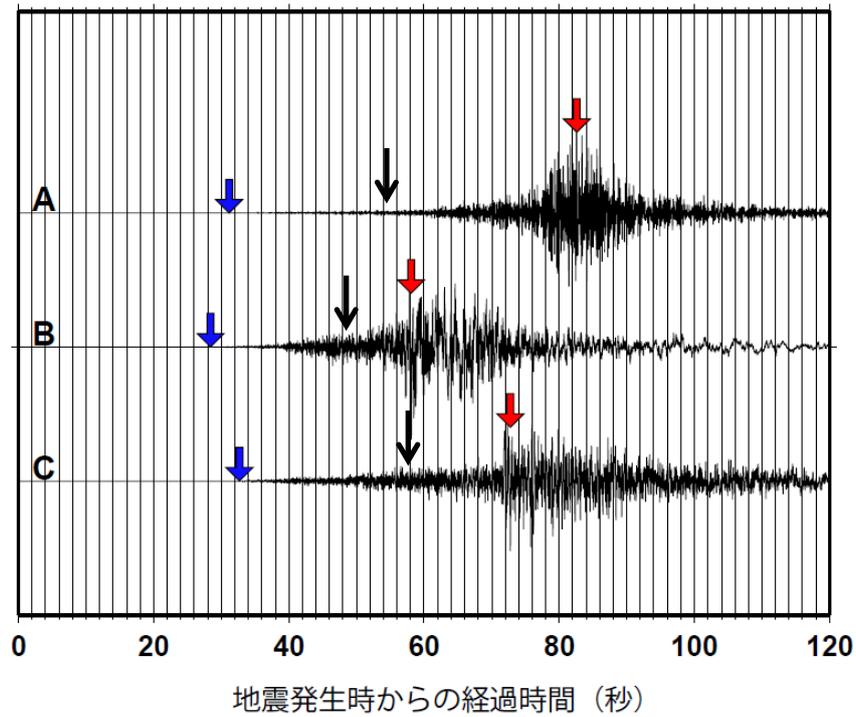
*計算問題と作図問題については、導出の考え方が正しければ、数値等が多少異なっても正解とする。計算問題では単位を正確に書いた場合のみ得点を与える。

問1



解き方解説：A、B、C地点でのP波走時はそれぞれ約31秒、28秒、33秒であるから、各地点の震源距離はこれに 6.7km/s をかけてそれぞれ 208km 、 188km 、 221km となる。各地点を中心に震源距離を半径とする円を描き、その円が交差する地点が求める震央となる。

問2



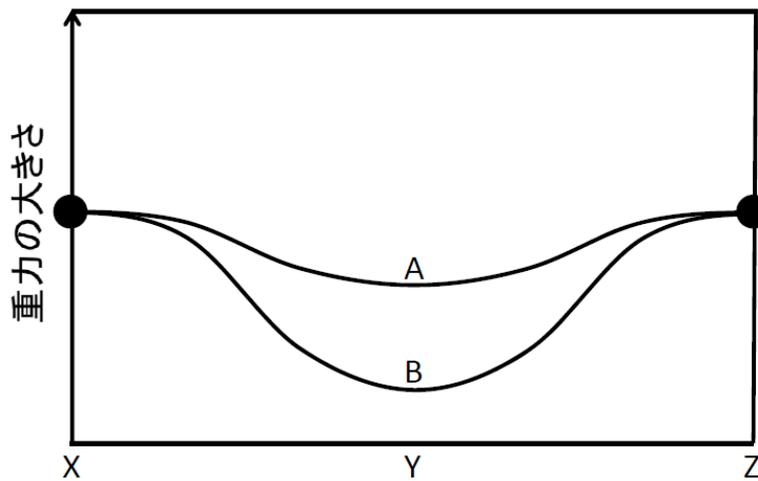
解き方解説：S波速度とP波速度の比から、S波走時はP波走時の $6.7/3.8=1.76$ 倍となる。これにA、B、C地点でのP波走時をかけるとS波走時はそれぞれ55秒、49秒、58秒となる。

問3

方角：北西

理由：S波の予想到達時刻と最大振幅との時間差はA-C-B観測点の順に長い。したがって、地震波を強く放出した位置は震源から見てA、C点よりはB点により近づく方向に、A点よりはC点により近づく方向にあるはずである。この条件を満たす方角は北西である。

問4



解き方解説：A では標高が高いほど地球の中心から遠ざかるため、重力が小さくなる。B では、それに加えて標高が高いほど密度の低い大陸地殻がより深部まで存在するため、A の場合よりもさらに重力が小さくなる。

問5

解答：B

理由：アイソスタシーが成り立つためには、流動するマントル中の同じ深さにおいて単位面積あたりにかかる重さが同じでなければならない。そのためには、マントルよりも軽い大陸地殻が、標高の高い場所ではより厚く、標高の低い場所ではより薄くなければならないため。

問6

解答：A から B、C までの伝播時間 T_B 、 T_C はそれぞれ

$$T_B = \frac{2H}{V_1 \cos \theta} + \frac{L_B - 2H \tan \theta}{V_2} \quad (1)$$

$$T_C = \frac{2H}{V_1 \cos \theta} + \frac{L_C - 2H \tan \theta}{V_2} \quad (2)$$

と表される。ここで L_B 、 L_C はそれぞれ A から B、C までの距離である。(2)式から(1)式を引いて変形すると

$$V_2 = \frac{L_C - L_B}{T_C - T_B} = \frac{200\text{km} - 150\text{km}}{30.7\text{s} - 24.0\text{s}} = 7.46\text{km/s} \approx 7.5\text{km/s}$$

を得る。

次に(1)式と(2)式を足して変形すると

$$H = \frac{V_1 V_2}{4\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \left(T_B + T_C - \frac{L_B + L_C}{V_2} \right)$$

を得る。ここで $\sin \theta = V_1/V_2$ 、 $\cos \theta = \sqrt{1 - V_1^2/V_2^2}$ を用いている。既に求めた V_2 を代入すると、

$$H = \frac{6.0\text{km/s} \times 7.46\text{km/s}}{4\sqrt{(7.46\text{km/s})^2 - (6.0\text{km/s})^2}} \left(24.0\text{s} + 30.7\text{s} - \frac{150\text{km} + 200\text{km}}{7.46\text{km/s}} \right) = 19.7\text{km} \approx 20\text{km}$$

となる。

問7

解答例：マントルは長い時間スケールで見ると流体のように振る舞い、高温で密度の低い領域は上昇し、低温で密度の高い領域は下降する対流を起こしている。プレートはこの対流の流れに沿って動いており、対流がプレート運動の原動力となっている。

問8

解答：この断層の傾斜角が 30° なので、断層端の深さが地殻の下端 25km に達する場合の断層の幅は $25/\sin 30^\circ = 50\text{km}$ となる。したがって断層面積は $80\text{km} \times 50\text{km} = 4000\text{km}^2$ となる。これを経験式に代入すると、 $\log 4000 = 3.6$ であるから、 M は 7.6 となる。

第 10 回日本地学オリンピック本選（気象解答）

問 1

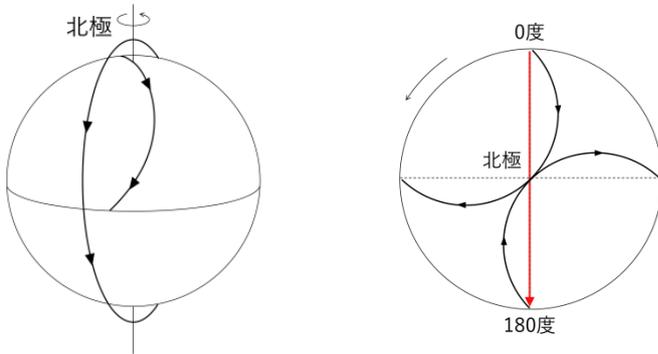
(1) 地球の自転の角速度(Ω)は、 2π ラジアンを1日の $24 \times 60 \times 60$ 秒で割って

7.292×10^{-5} (ラジアン/秒)となる。1日を23時間56分4秒とするとなお良い。

(2) 赤道での重力は $mg - ma\Omega^2$ となる。両辺を mg で割ると $1 - a\Omega^2/g$ で、この第2項の大きさを計算すると 0.00345 となることから、0.345%が正解となる。

(3) 無重力の条件から、万有引力と遠心力を等しいとおいて、 $mg = ma\omega^2$ から、角速度 ω が求まり、速度 $V = a\omega = (ga)^{1/2} = 7900$ m/s となる。

(4) 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は以下となる。始点は東経0度とし、北極点を通過して6時間後に東経180度の方向で赤道に達するが、この時、地球は90度回転しているので、東経90度を通過して南半球に行く。よって軌道は常に右に曲がる。12時間後、人工衛星は南半球から北半球に戻ってくるが、この時、地球は180度回転しているので、東経180度の点から現れる。以下同様に右に曲がりながら北極点を通過し、西経90度の地点で南半球へ行く。



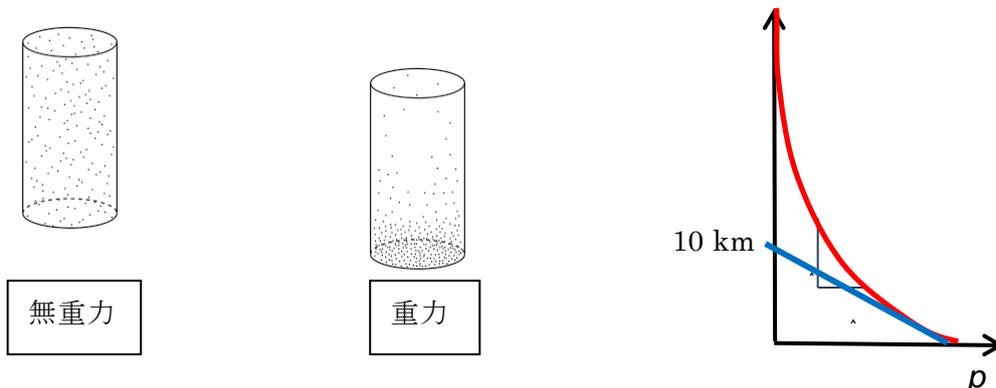
問 2

(1) 気圧とは、空気粒子がシリンダーを内部から押す力のことで、激しく運動する粒子がシリンダー表面ではね返ることで生じる力積の総和である。気圧は単位面積あたりの力なので、力 N を面積 m^2 で割ることから N/m^2 が気圧の単位となり、これを $Pa = N/m^2$ と定義する。

(2) 空気粒子には下向きに重力が働き、それとバランスするように上向きに気圧傾度力が生じている。上空に行くほど気圧は下がるので、一定の重力とバランスする気圧の分布は、高さとともに指数関数的に減少する。

(3) 地表気圧 $P_s = 1000$ hPa を重力加速度 $g = 9.8 m/s^2$ で割ると、質量 m は 10204 kg になる。単位面積あたり 10 トンの質量の空気がある。

(4) 地表気圧を P_s とすると、空気密度が一定 (1.0 kg/m^3) の時、高度 1m で減少する気圧の割合は $\Delta P=9.8 \text{ Pa/m}$ となる。等密度大気では気圧は高さに比例して減少し、約 10 km で 0 となる。空気密度が 16km で $1/10$ になる場合、気圧もほぼ同様に变化するので、 16km で $1/10$ になる気圧の鉛直変化をグラフに書く。

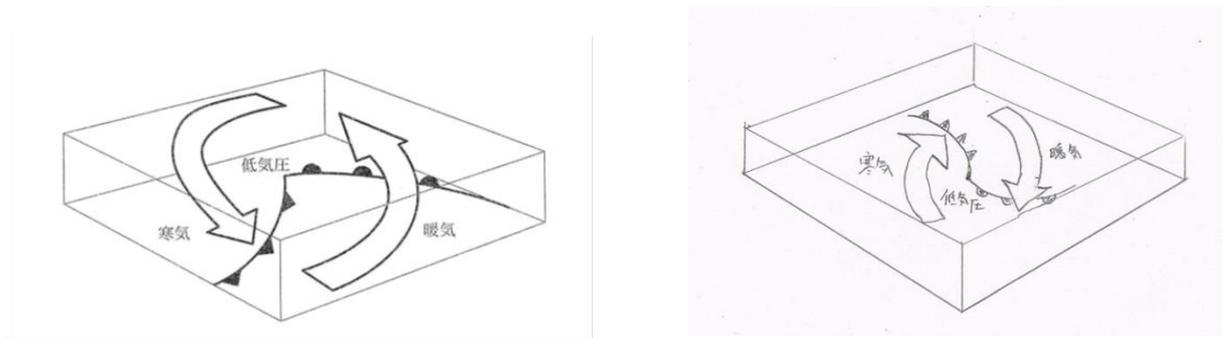


問 3

(1) ひまわり衛星がとらえた水蒸気画像 (図 3) を見ると、ハドレー循環に伴い赤道沿いに上昇気流の帯 (熱帯収束帯) があり、下降流域には乾燥域が見られる。赤道付近の大気下層には偏東風が吹くが、中緯度高圧帯の乾燥域を挟んで高緯度側には偏西風が吹く。偏西風に流されるように東西に並んだ温帯低気圧の渦が見られる。この温帯低気圧の構造がハドレー循環とは逆向きのフェレル循環に反映されている。

(2) 温帯低気圧の構造 (図 4) を見ると、中心部を取り巻く反時計回りの循環に伴い、寒気が西側から南下する前面で寒冷前線、暖気が東側から北上する前面で温暖前線が形成され、前線に沿った上昇気流の領域でコンマ型またはλ型に分布する雲が形成されている。

(3) 下の図で循環の向きを逆にした図を作図します (フリーハンドの図)。



(4) 北半球における大気大循環の特徴をまとめた図 6 を見ると、中緯度の温帯低気圧が反時計回りの螺旋となっている。渦の中心の東側で暖気が北上しつつ上昇し、西側で寒気が南下しつつ下降している。この螺旋の特徴を東西で平均するとフェレル循環の構造となり、高緯度で暖気が上昇し、低緯度で寒気が下降する循環となる。フェレル循環はこのような温帯低気圧の構造を反映したものであることが解る。

配点 計 50 点

- | | | |
|-----|----------------------------------|--------|
| 問 1 | (1) 2 点、(2) 3 点、(3) 3 点、(4) 5 点、 | 計 13 点 |
| 問 2 | (1) 3 点、(2) 3 点、(3) 2 点、(4) 5 点、 | 計 13 点 |
| 問 3 | (1) 2 点、(2) 5 点、(3) 3 点 | 計 10 点 |
| 問 4 | (1) 3 点、(2) 3 点、(3) 3 点、(4) 5 点、 | 計 14 点 |

第 10 回日本地学オリンピック本選（海洋 解答例）

第 1 問

問 1.

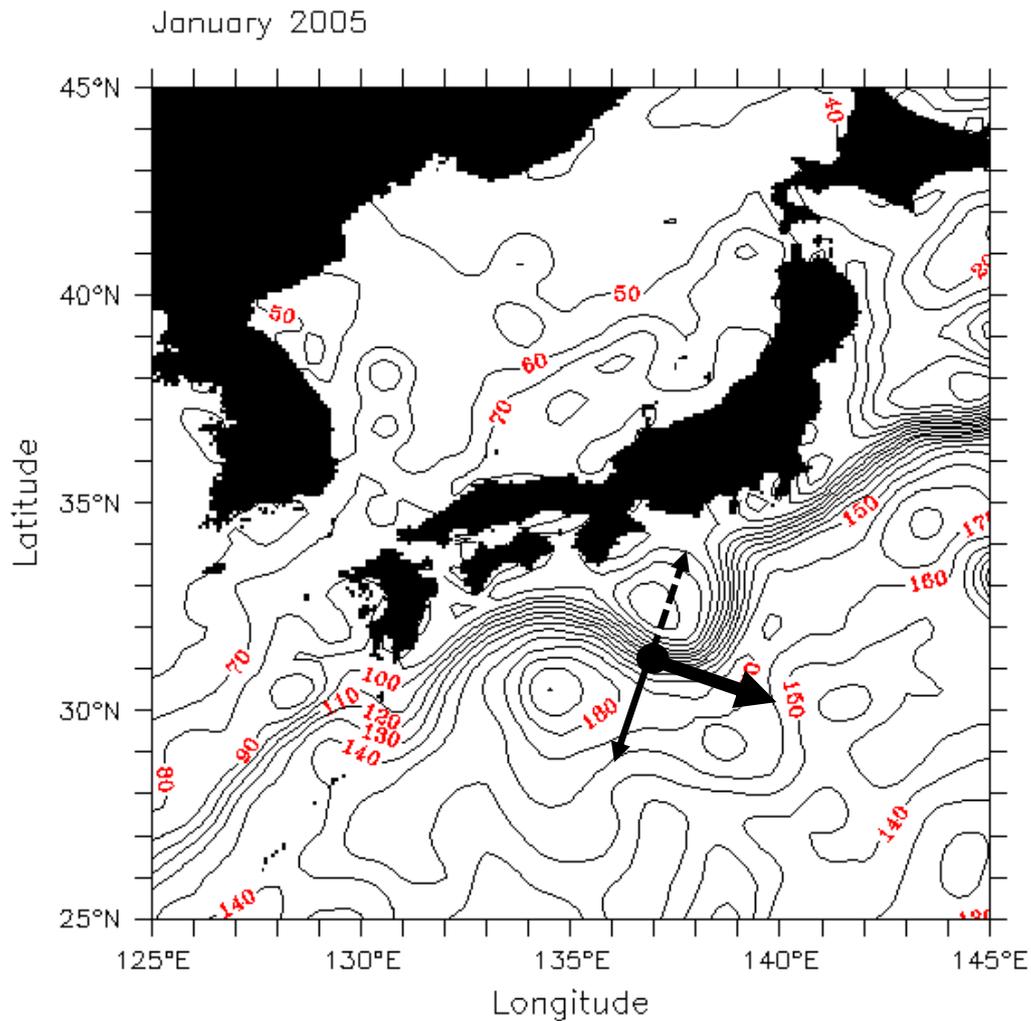
時期	黒潮の位置（緯度）
2005 年 1 月	北緯 31 度
2012 年 1 月	北緯 33 度

判断した理由： 海面高度の等値線間隔が密になっている。

問 2.

発生した現象： 黒潮大蛇行

問 3.



問4.

1 : イ	2 : エ	3 : オ
4 : ア	5 : キ	

第2問

問1.

波の種類： 深海波（表面波）	何によって生じるか： 風（風の応力）
----------------	--------------------

問2.

(計算) $\sqrt{9.8 \times 2000} = 140$

140 (m/s)

問3.

イ、エ、オ

問4.

地形の名前： リアス海岸（リアス式海岸）
津波に被害を受けやすい理由： 津波では一般にリアス海岸の湾の長さより波長が長いことから、波に伴って動く海水が湾奥に集中するため。 (湾奥に海水が集中する旨が記されていれば可とする。)