



第 16 回日本地学オリンピック本選

(第 17 回国際地学オリンピック三次選抜)

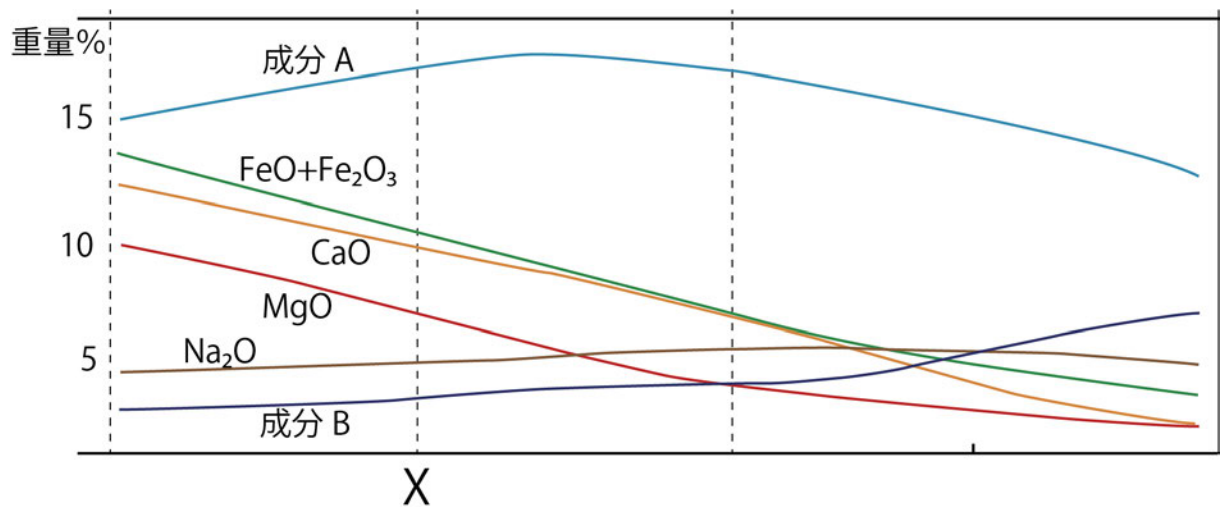
地質分野 問題

- ◆ 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 地質・固体地球・海洋・気象・天文・鑑定試験を合わせて 3 時間です。どの順で解き始めても構いません。
- ◆ 試験時間途中に、別室で鑑定試験があります(岩石5分、鉱物5分、化石5分)。受験番号を呼ばれたら、他の受験生の迷惑にならないよう、静かに一時退室してください。その際、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験中にトイレに行きたい受験生は、試験監督に申し出てください。その際も、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 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。
- ◆ 貸与物:電卓、定規、分度器

番号		氏名	
----	--	----	--

問1 福岡県の H 山は主に新第三紀に活動した火山である。この火山の基盤岩は結晶片岩と白亜紀の花こう岩からできている。また、県内の別の地域では同様の結晶片岩とかこう岩類との接触部で結晶片岩が熱変成を受けているとも報告されている。白亜紀のかこう岩マグマが貫入するところから H 山が噴火して現状に至るまでの地質学的な出来事の順序関係を明らかにしつつ説明せよ。

問2 次の図は様々な火成岩の SiO_2 の含有量を横軸に、 SiO_2 以外の主成分の含有量を縦軸に示したものである。単位は重量%とする。これについて以下の問いに答えよ。



- (1) 成分 A と成分 B を化学式で解答せよ。但し、成分 A の金属単体を得るための原料は熱帯性土壌のラテライトがさらに風化することにより生じると考えられているものである。また成分 B の陽イオンとなる方の元素は植物の成長に欠かせない成分であるとともに、その放射性同位体は年代測定にも頻繁に利用されているものである。
- (2) X の SiO_2 含有量の値を解答せよ。この値は塩基性（苦鉄質）岩と中性岩の境目となっている。
- (3) 成分 A・成分 B・ Na_2O を除く他の成分は右下がりのグラフとなっている。前者と後者どちらが一般的と言えるか、理由をつけて述べよ。

問3 地球の固体部分における岩石の割合を百分率で求めよ。地球は真球とし、その半径は6,371km、核とマントルの境界面は地表面下2,900kmにあるとする。

問4 地球が温暖化すると陸上の氷河の融解した水が海洋に流入することで海水面は上昇する。海水量が13.51億 km^3 、陸氷の総量は0.24億 km^3 、海洋の平均水深3,800mであるとする。陸氷の何%が流入すれば海水面は3m上昇するか（小数第一位まで）求めよ。但し、凍結融解並びに温度変化による水の体積変化と、海面上昇による海域拡大は無視すること。また、融解した水は全て海洋へ流入するものとし、陸氷の減少と海水の増加によるアイソスタシー均衡への影響も考慮しなくて良い。





第 16 回日本地学オリンピック本選

(第 17 回国際地学オリンピック三次選抜)

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 地質・固体地球・海洋・気象・天文・鑑定試験を合わせて 3 時間です。どの順で解き始めても構いません。
- ◆ 試験時間途中で、別室で鑑定試験があります(岩石5分、鉱物5分、化石5分)。受験番号を呼ばれたら、他の受験生の迷惑にならないよう、静かに一時退室してください。その際、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験中にトイレに行きたい受験生は、試験監督に申し出てください。その際も、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 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。
- ◆ 貸与物:電卓、定規、分度器

番号		氏名	
----	--	----	--

地震は断層運動であり、断層上の拡がりを持った範囲ですべりが生じる現象である。いま、図 1 に示す既知の断層上（傾斜角 30° ）で地震が発生する場合に関する以下の問題に答えよ。

- (1) 図 1 に示す星印の点で地震が生じた場合を考える。その震央より 1 km 北側に位置する観測点（三角印）で図 2 に示すような変位が観測された。この断層は逆断層か正断層か。

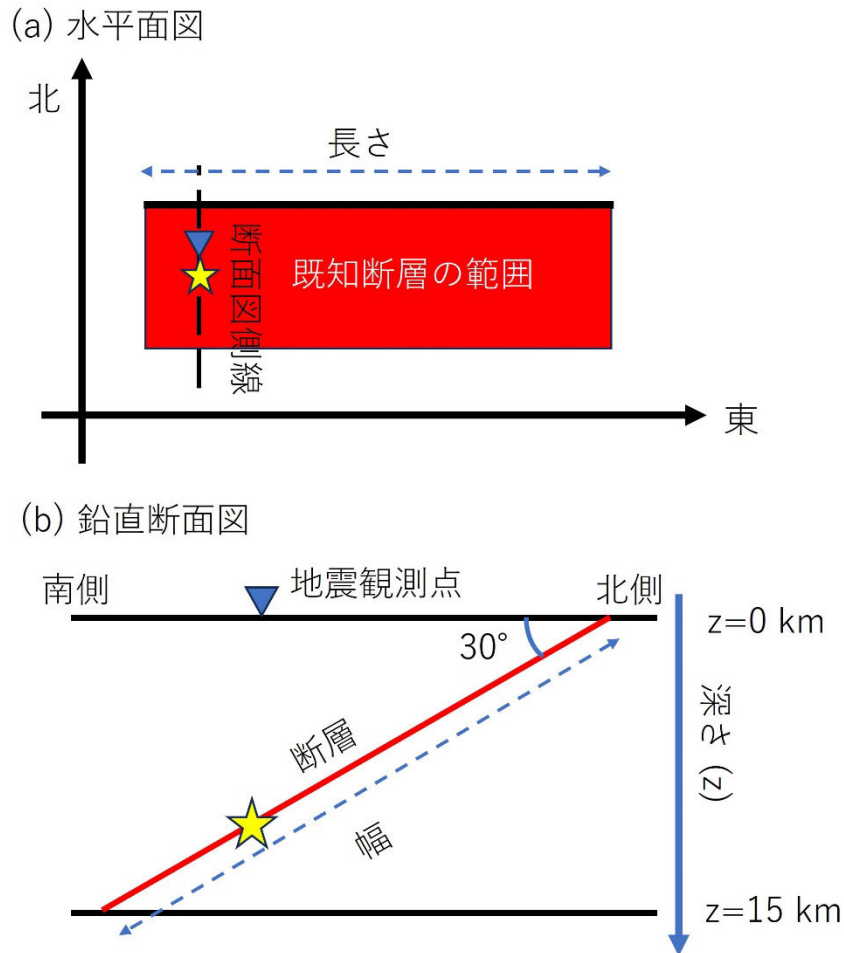


図 1. 地震断層と観測点. 星は観測点, 三角は地震観測点を表す. (a) 平面図, (b) 断面図.

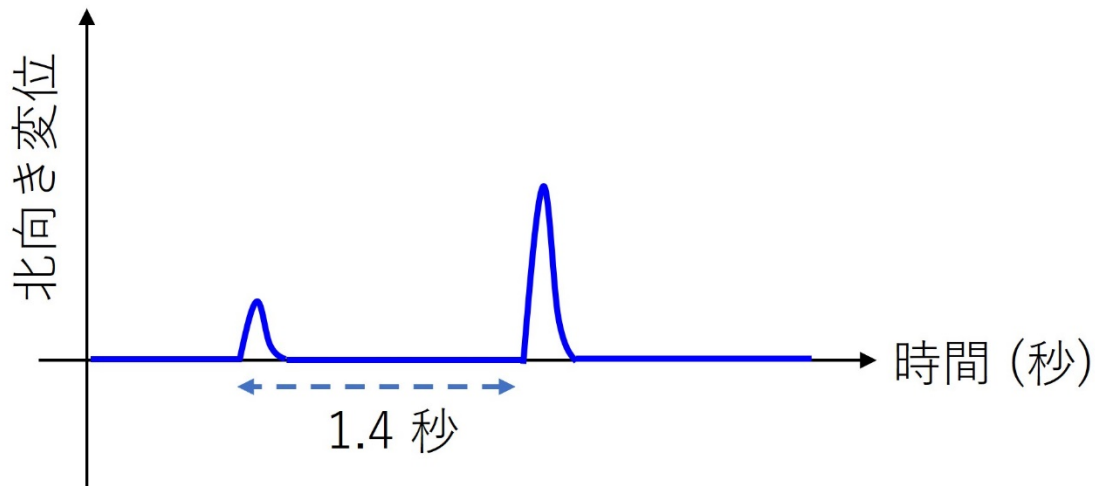


図 2. 観測された地震波形. 青線で北向きを正とした変位の時系列を表す.

(2) この岩盤を押す力のうち、最も力の強かった方向は次のどれであると考えられるか？

(ア) 南北方向, (イ) 東西方向, (ウ) 鉛直方向

(3) この地域の P 波速度は 5.1 km/s 、S 波速度は 3.0 km/s であるとする。この地震の震源深さは以下のどれに最も近いのか？

(ア) 8 km , (イ) 10 km , (ウ) 12 km

(4) あるマグニチュード範囲では、異なるマグニチュードを持つ地震間でも、「すべり域の幅と長さの比」と「すべり域の幅とすべり量の比」が各々一定に保たれる傾向がみられる（ここで、「すべり域」は、断層上ですべりが発生した範囲を指す）。この地域で発生した $M5.5$ の地震のすべり域の幅は 4.0 km であった。上記の傾向がそのまま成り立つとき、 $M7.5$ の地震のすべり域の幅は何 km になるか。

(5) 実際には、すべり域の長さや幅には、その環境により上限が存在している場合がある。この断層上では、断層すべりが発生することが可能な深さ範囲が、深さ 0 から 15 km に限定されているとする。この時、すべり域の幅の上限は何 km になるか？

(6) (5) の状況下で $M7.5$ の地震が発生するためには、そのすべり域の長さとしべり量の積は (4) で想定した場合に比べてどう異なる必要があるか？





第 16 回日本地学オリンピック本選

(第 17 回国際地学オリンピック三次選抜)

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 地質・固体地球・海洋・気象・天文・鑑定試験を合わせて 3 時間です。どの順で解き始めても構いません。
- ◆ 試験時間途中に、別室で鑑定試験があります(岩石5分、鉱物5分、化石5分)。受験番号を呼ばれたら、他の受験生の迷惑にならないよう、静かに一時退室してください。その際、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験中にトイレに行きたい受験生は、試験監督に申し出てください。その際も、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 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。
- ◆ 貸与物:電卓、定規、分度器

番号		氏名	
----	--	----	--

大気の安定・不安定について以下の問1及び2に答えよ。

問1 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

天気予報において「大気の状態が不安定となっている」という言葉がよく使われる。そこで、温度減率（温度が高度とともに減少する割合） Γ （ガンマ）の大気の安定性を定量的に考えてみる。簡単化のために、まず、水蒸気を含まない乾燥空気を考える。地表面で 20°C であった空気塊を断熱的に持ち上げると、その空気塊の温度は乾燥断熱減率 $\Gamma_d (>0)$ で低下し、高さ100mで 19°C となる。もしまわりの大気の温度減率 Γ が図1で安定と記した線のように乾燥断熱減率 Γ_d よりも小さければ($\Gamma < \Gamma_d$)、高度100mまで持ち上げた空気塊の温度は同じ高さにおける周囲の温度より低い。このため空気塊には下向きの浮力がはたらく、空気塊は元の位置に戻ろうとする。このように乾燥大気において $\Gamma < \Gamma_d$ のとき、大気の成層は安定であるという。逆に、 $\Gamma > \Gamma_d$ のとき、空気塊は上向きの浮力を受けてさらに上昇しようとするため、大気の成層は不安定である。

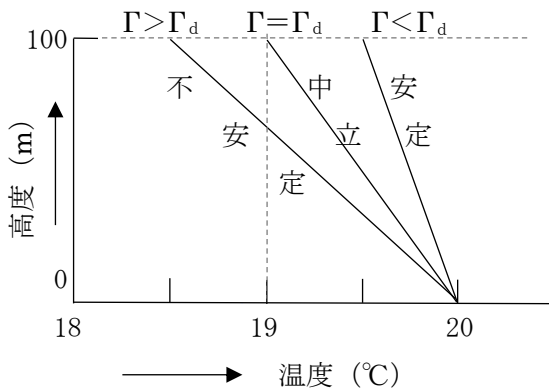


図1 乾燥大気の安定性

次に水蒸気を含む湿潤大気において、持ち上げる空気塊が水蒸気で飽和している場合を考えよう。このとき空気塊の温度は湿潤断熱減率 Γ_m で低下する。 $\Gamma > \Gamma_m$ ならば空気塊はますます上昇するから、そのような大気は飽和している空気塊に対して不安定である。一般に $\Gamma_d > \Gamma_m$ なので、 Γ が Γ_d より小さく Γ_m より大きい場合($\Gamma_m < \Gamma < \Gamma_d$)がある。この場合には、空気塊が飽和していれば不安定であるが、不飽和ならば安定である。

図2は、 $\Gamma_m < \Gamma < \Gamma_d$ である大気において、地表面で不飽和の空気塊を上空まで大きく移動させた状況を示す。観測された気温の高度分布を状態曲線として記している。空気塊を持ち上げると、乾燥断熱減率 Γ_d で温度が低下し、やがて飽和に達する。この高度は持ち上げ凝結高度と呼ばれ、ほぼ雲低高度に相当する。この高度では空気塊の温度は周囲の温度より低い。さらに空気塊を持ち上げると湿潤断熱減率 Γ_m で温度が低下する。大気の成層を $\Gamma_m < \Gamma < \Gamma_d$ としているから、やがてある高度で空気塊の温度は周囲の温度と等しくなる。この高度は自由対流高度と呼ばれる。空気塊がこの高度まで達すると、それより上では空気塊の温度は Γ_m で下がっていき、周囲の大気の温度減率はそれよりも大きいから、空気塊の温度はいつも周囲の大気の温度より

(ア) く、空気塊は水の中のコルク栓のように浮力によって自力で上昇できる。大気の下層が湿っているほど自由対流高度は(イ)いので、対流雲が発生しやすい。

対流圏の上層では一般に気温減率が Γ_m より小さいため、やがてある高度で空気塊の温度は周囲の温度と等しくなる。この高度から上では浮力は下を向き、空気塊の上昇は止む。この高度がほぼ雲頂高度に相当する。

ここまでの説明では、空気塊を持ち上げると述べたが、実際には人間が手で持ち上げるのではなく低気圧や前線に伴う上昇流のように、ある程度の広がりをもった上昇流によって空気塊が上昇することを想定している。

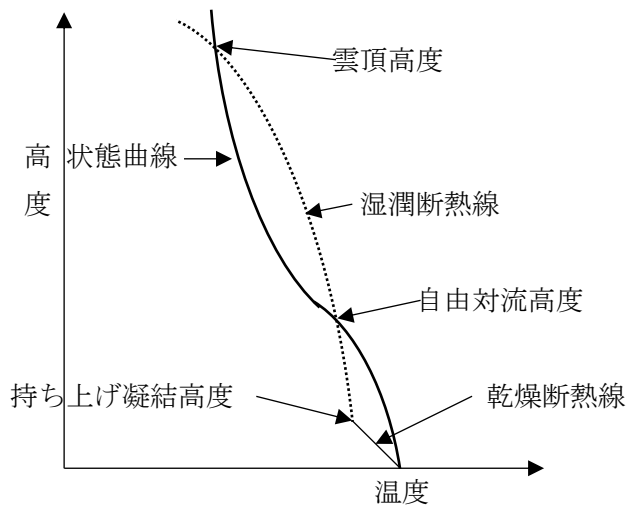


図2 自由対流高度の説明図

使用した文章及び図は、「一般気象学 第2版」小倉義光著(2008) pp71-72より引用し、一部改訂したものである。

- (1) $\Gamma_m < \Gamma < \Gamma_d$ のような大気の成層状態を何というか。
- (2) 文中(ア)(イ)に適切な語句を記入せよ。
- (3) 乾燥断熱減率 Γ_d より 湿潤断熱減率 Γ_m の方が小さい理由を説明せよ。
- (4) 実際には空気塊は周囲の空気を取り込みながら上昇する。この効果を考えると、雲頂高度は図2よりも [A: 高く ・ 低く] なり、この効果は周囲の大気が [B: 乾いて ・ 湿って] いるほど強くはたらく傾向にある。AとBに入る語句のそれぞれ正しい方を丸で囲みなさい。

問2 次の図は20XX年9月4日15時の天気図、および同日の京都（京都府）における気象庁の気象観測データをグラフ化したものである。この日の午後、京都では大気の状態が不安定となり、激しい気象現象が発生した。なお、天気図及びデータは、気象庁の資料から引用したものである。

以下の問いに答えよ。

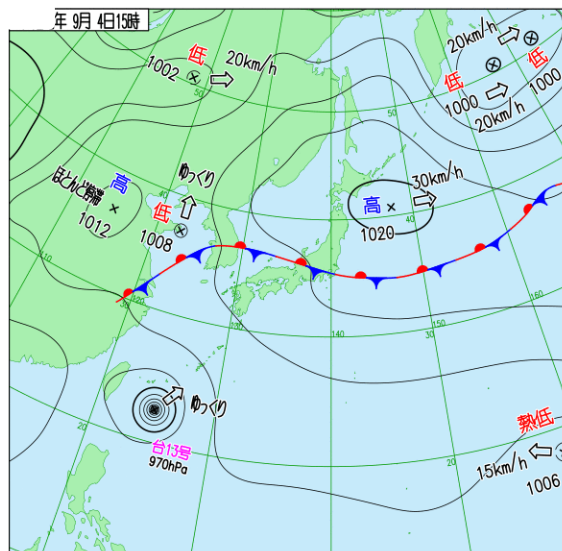


図1 20XX年9月4日15時の天気図

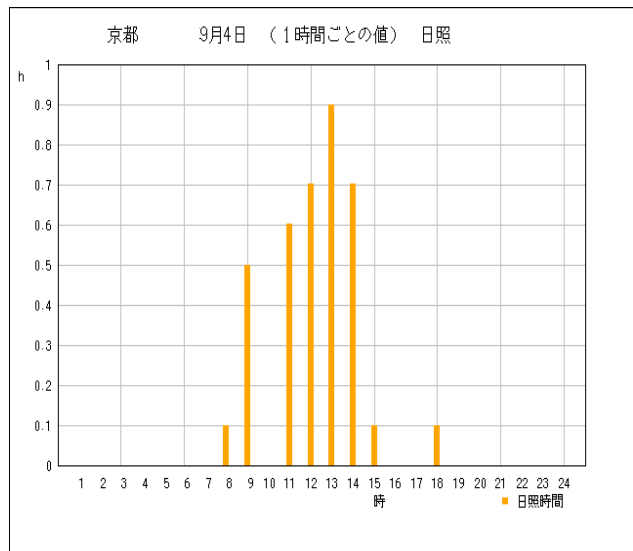


図2 20XX年9月4日京都における日照時間

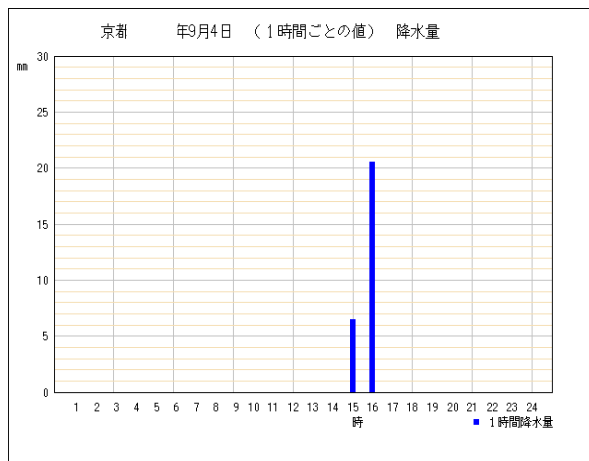


図3 20XX年9月4日京都における降水量

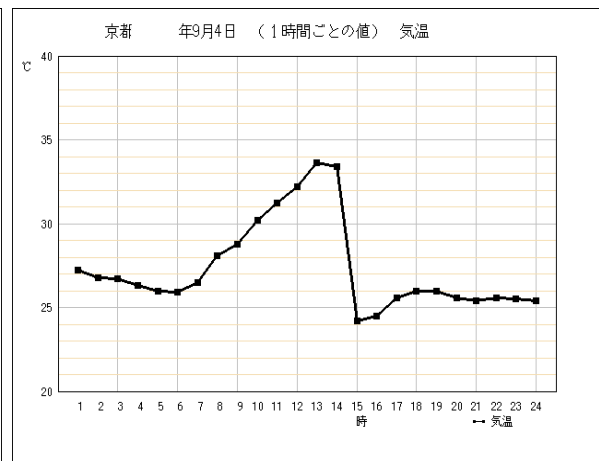


図4 20XX年9月4日京都における気温

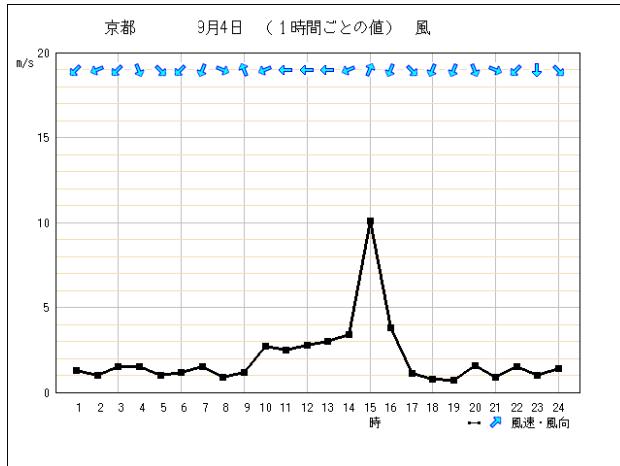


図5 20XX年9月4日京都における風速（折れ線）・風向（矢印）

- (1) この日の午後に京都において大気の状態が不安定になり、激しい気象現象が発生しやすい状況となった理由を、図1の天気図及び図2の日照時間のグラフをもとに簡潔に説明せよ。
- (2) 図3のように、この日の15時～16時にかけて短時間に強い降水が観測された。この降水をもたらした雲の名称を10種雲形のなかから1つ答えよ。
- (3) 図4および図5のように、14時から15時の間に気温が10℃近く低下し、15時頃には風速の急な強まりと風向の変化がみられた。この気温の急激な低下及び風速・風向の変化が起こった理由について説明せよ。
- (4) この日の午後に京都で観測された可能性がある、大気の状態が不安定となって生じた気象現象を、日照、降水、気温、風の変化以外に一つ答えよ。





第 16 回日本地学オリンピック本選

(第 17 回国際地学オリンピック三次選抜)

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 地質・固体地球・海洋・気象・天文・鑑定試験を合わせて 3 時間です。どの順で解き始めても構いません。
- ◆ 試験時間途中で、別室で鑑定試験があります(岩石5分、鉱物5分、化石5分)。受験番号を呼ばれたら、他の受験生の迷惑にならないよう、静かに一時退室してください。その際、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験中にトイレに行きたい受験生は、試験監督に申し出てください。その際も、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 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。
- ◆ 貸与物:電卓、定規、分度器

番号		氏名	
----	--	----	--

海流の流量など、時空間スケールが大きくて直接観測することが難しい量は、自然法則を利用して間接的に推定することがある。間接推定に関する以下の2つの設問に答えなさい。

問題1 陸に囲まれ狭い海峡で外洋につながっている海のことを地中海という。ヨーロッパの地中海は、ジブラルタル海峡で大西洋につながっている。この問題では、塩分の分布(図1)に基づいて、ジブラルタル海峡を通して大西洋と地中海の間で起こる海水交換の量を推定してみる。

(ア) 図1より、地中海は大西洋より塩分が濃いことがわかる。(イ) この塩分差によって、図2のような鉛直2次元の海水循環が形成されると推測される。図2を基に、ジブラルタル海峡の上層における流入量 VT_1 (m^3/s) と下層における流出量 VT_2 (m^3/s) を以下の方法で計算してみる。長期的にみると地中海の海水量は一定と仮定できるので、地中海の海水量に関する保存式(式1)が成り立つはずである。同様に、地中海の塩分も一定と仮定できるので、地中海の塩量の保存式(式2)も成り立つはずである。(式1)と(式2)を連立させて解けば、上層における流入量(VT_1)と下層における流出量(VT_2)が求められる。

- 1) 下線(ア)に関連して、地中海の塩分は大西洋の塩分より濃い理由を推測しなさい。
- 2) 下線(イ)に関連して、図2のような鉛直2次元の海水循環が形成される理由を推測しなさい。
- 3) 地中海は大西洋より塩分が濃い、両者の塩分組成はほとんど変わらない。その理由を説明しなさい。
- 4) (式1)と(式2)を示し、それらを連立させて VT_1 (m^3/s) と VT_2 (m^3/s) を求めなさい。

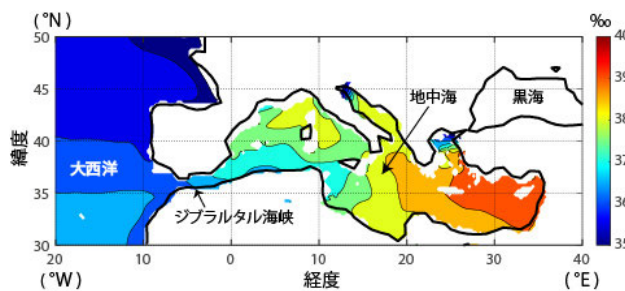


図1 大西洋と地中海の海面塩分分布

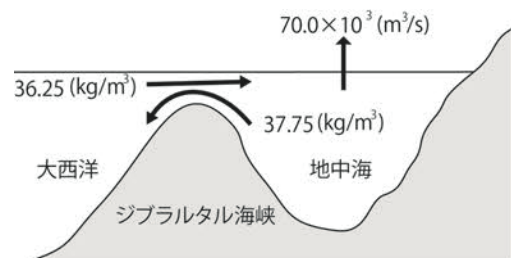


図2 大西洋と地中海の鉛直2次元海水循環

ただし、大西洋から地中海に流入する塩量を $36.25 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ 、地中海から大西洋に流出する塩量を $37.75 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ 、地中海全体の蒸発量と淡水流入量の差を $70.0 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{/s)}$ (正:蒸発過多)とする。ここでは、塩分(‰)に海水密度(kg/m^3)を掛けた値を、塩量(kg/m^3)と表記している。

問題2 強風域で発生した風浪は、うねりとなって発生域から遠く数百 km も伝搬することがある。(ア) 表面波の波の速度と周期の関係式を利用すると、海岸に打ち寄せるうねりの発生域を推測することができる。この問題では、サーフィンに最適なハワイのうねりについて、うねりの発生域を推定してみる。

1) 下線 (ア) に関連して、表面波に関する説明として適切なものを次の①から④から選びなさい (複数回答可)。

- ① 振幅が大きく波長が長い風浪が発達するには、強い風が長時間吹くことが必要だが、長距離に渡って吹くことはさほど重要ではない。
- ② 波長 100m の波浪は、水深が 10m でも 1000m でも同様に、波長が長くなるほど波の速度が大きくなる特徴を持つ。
- ③ 潮汐による波も表面波に分類されるので、外洋では潮汐の水位が最大になるとき同じ場所で潮流も最大になるが、沿岸付近では両者の間に時間差ができるのが通常である。
- ④ 台風のうねりが海岸に打ち寄せるとき、岬のように海に突き出た地形をもつ場所に波が集中するのは、うねりの入射波と反射波の干渉が起こるからである。

2) 8月にハワイで観測されたうねりの周期 (T) は、時刻 t_1 では 20 秒であったが、40 時間後の時刻 t_2 では 14 秒に変わっていた。うねりの速度 (v) は以下の式で表されるとして、うねりの発生域までの距離をキロメートルで求めよ。ただし、伝搬中のうねりの速度は変わらないとする。さらに、太平洋を中心とした世界地図 (図 3) を参考にしてうねりの発生海域を推測し、その海域で巨大なうねりが発生する原因を考察せよ。

$$v = \frac{gT}{2\pi} \approx 1.6 \times T \text{ (m/s)}$$

ここで、 g は重力加速度である。

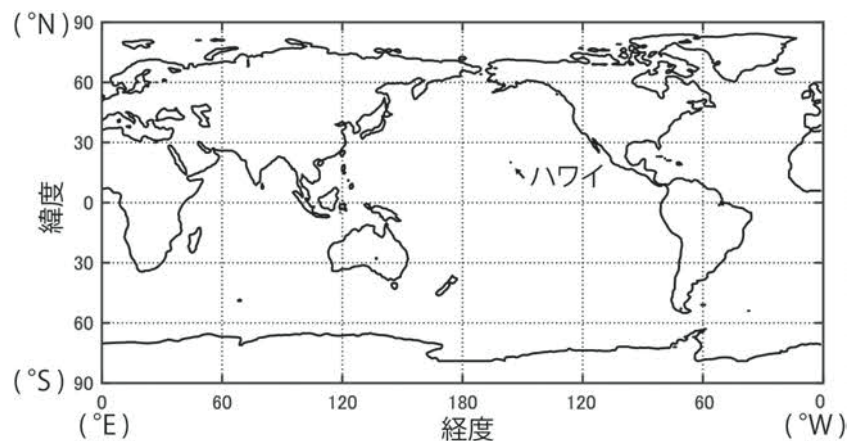


図 3. 太平洋を中心とした世界地図





第 16 回日本地学オリンピック本選

(第 17 回国際地学オリンピック三次選抜)

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 地質・固体地球・海洋・気象・天文・鑑定試験を合わせて 3 時間です。どの順で解き始めても構いません。
- ◆ 試験時間途中に、別室で鑑定試験があります(岩石5分、鉱物5分、化石5分)。受験番号を呼ばれたら、他の受験生の迷惑にならないよう、静かに一時退室してください。その際、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験中にトイレに行きたい受験生は、試験監督に申し出てください。その際も、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 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。
- ◆ 貸与物:電卓、定規、分度器

番号		氏名	
----	--	----	--

以下の問いに答えなさい。計算問題の場合は、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、最後に算出した結果を有効数字2桁で示すこと。太陽や水素原子核の質量、光速度などの計算に必要な値は下記の値を用いなさい。

太陽の質量	2.0×10^{30} [kg]	太陽の光度(1秒あたりの放射エネルギー)	3.9×10^{26} [W] (ただし $W=J/\text{秒}$)
光速度	3.0×10^8 [m/秒]、	水素原子核の質量	1.7×10^{-27} [kg]
1天文単位(AU)	1.5×10^{11} [m]	1年	3.2×10^7 [秒]

問1：オリオン座の方向には星が多く誕生している領域があることが知られている。しかし、オリオン座には散光星雲を背景とする星間雲が少しは見られるが、図1のように星の分布を背景とする暗黒星雲はほとんど見られない。それはどうしてなのか、考えられる理由を簡潔に記述しなさい。

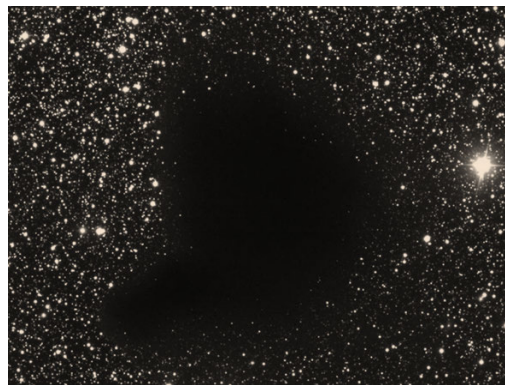


図1 へびつかい座の暗黒星雲

(出典：ESO <https://www.eso.org/public/images/eso9924a/>)

問2：星は濃い星間雲の中でできた円盤状の天体の中心で形成されるが、その様子は光では観測することができないため、代わりに電波を用いる。この円盤状の天体を波長1mmの電波で観測したところ、円盤両端からの電波の波長の差が $0.01 \mu\text{m}$ あったという。この波長差は円盤両端での運動(図2の矢印)による波のドップラー効果の結果、生じたものだとすると、この円盤は何km/秒で回転していることになるかを求めなさい。ただし、この円盤は図のように観測者に対して 45° 傾いているものとし、円盤内部の運動は無視する。

なお、ドップラー効果では、観測に用いた波長 λ_0 、観測された波長 λ 、光速度 c 、物体が観測者の視線方向に遠ざかる速度 v との間で $(\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = v/c$ という関係が成り立つ。

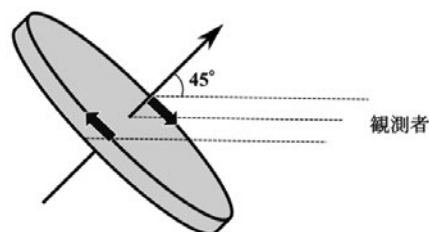


図2 回転円盤

問3：このような円盤の中心で誕生した太陽も核反応をエネルギー源として輝き始め、残された円盤中で惑星が成長する。この核反応では、その質量を徐々にエネルギーに変換している。この変換では、総放射エネルギーを E [J]、質量を m [kg]、光速度を c [m/秒]として、 $E=mc^2$ という式が用いられる。太陽での核反応に主に寄与する元素は太陽の質量の 75 %を占める水素である。また質量からエネルギーへの変換効率は 100 %ではない。結果的に4つの水素原子核から1つのヘリウム原子核を作り出す図3のような1組の核融合反応によって、水素原子核の 0.029 倍の質量が失われ、この質量がエネルギーに変換されるのである。この反応は太陽の中心部だけで進行するので、太陽全体の 10 %の水素だけが使用されると仮定してみよう。現在の太陽の光度（1秒あたりの放射エネルギー）がそのまま維持される場合、その持続時間は何年かを求めなさい。

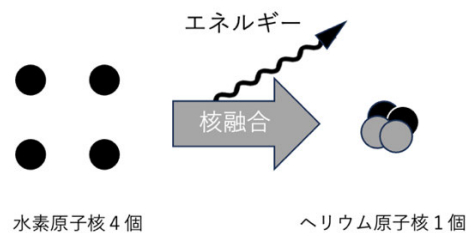


図3 核融合反応

問4：以下の文章中の空欄(a)～(c)を適切な語句で埋めなさい。

太陽のように核融合反応で長期間安定して輝いている時期の星のことを という。そして、太陽はその進化の終末期には という天体を形成し、芯に相当する部分は という星になると考えられている。

問5：こと座にあるベガは明るくみえる星の1つではあるが、同じ星である太陽と比べると非常に暗くみえる。ベガは地球から 25 光年 ($= 1.6 \times 10^6$ AU) の距離にあるために、光はその距離の2乗に反比例して暗くなり、みかけは太陽の 2.0×10^{-11} 倍という暗さになってしまうのである。ベガの質量は太陽の 2.0 倍あるとして、現在のベガの光度が維持できる期間は太陽の何倍あるかを求めなさい。

