

第 1 問 天体に関する次の問い(A・B)に答えよ。

(解答番号 ~) (配点 20)

A 地球の運動と天体までの距離に関する次の文章を読み、下の問い(問 1 ~ 3)に答えよ。

地球が自転していることは、 の振り子の実験によって確かめられる。これは、振り子の振動面が地面に対して回転する現象である。ただし、 では振り子の振動面が回転しない。

一方、地球が公転すると、地球から見た星の方向が 1 年周期で変化することが予想される。そのため、地動説の証拠として の検出が試みられた。しかし、星までの距離が地球の公転軌道の大きさに比べて非常に大きいため、なかなか成功しなかった。その過程で偶然に発見された も地球が公転していることの証拠である。これは星の見かけの方向が公転運動の向きに少し傾いて見える現象である。

の検出によって距離が求められる天体は、近距離の恒星のみである。そこで、(a)より遠い恒星や星団については、他の方法を用いて距離が推定されている。

問 1 前ページの文章中の空欄 ・ に入れる人名と語の組合せとして最も適当なものを、次の①~⑥のうちから一つ選べ。

- | | ア | イ | | ア | イ |
|---|-------|----|---|-------|----|
| ① | ケプラー | 両極 | ② | ケプラー | 赤道 |
| ③ | ニュートン | 両極 | ④ | ニュートン | 赤道 |
| ⑤ | フーコー | 両極 | ⑥ | フーコー | 赤道 |

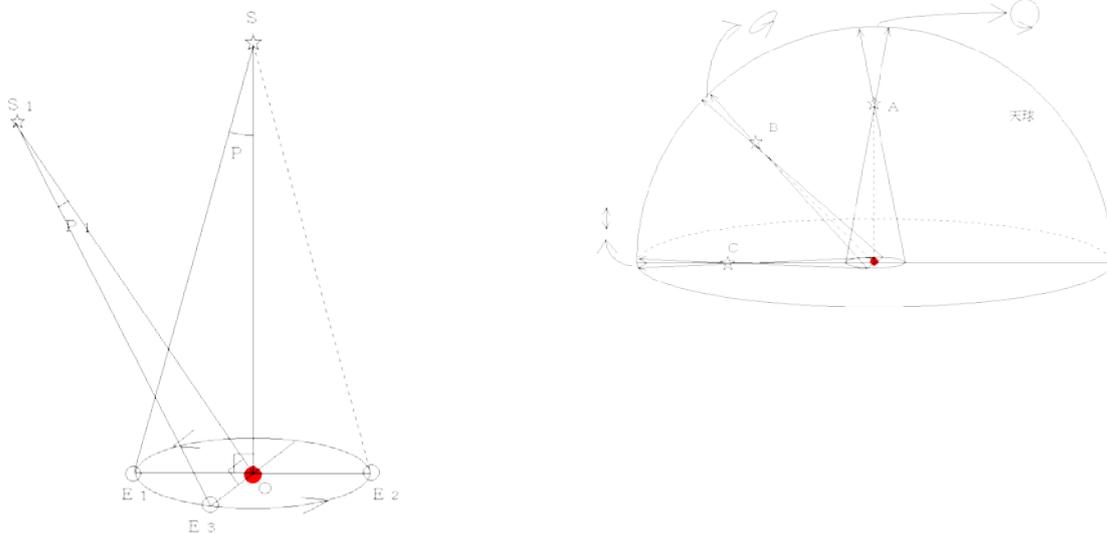
問 1 : 地球の自転の証拠をしめすものにフーコーの振り子。緯度が高いほど 1 日の回転角は大きく (360° に近く) なり、緯度が低いほど 1 日の回転角は小さくなる。赤道上ではまったく回転しない。よって 6。

問 2 前ページの文章中の空欄 **ウ** ・ **エ** に入れる語の組合せとして最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 **2**

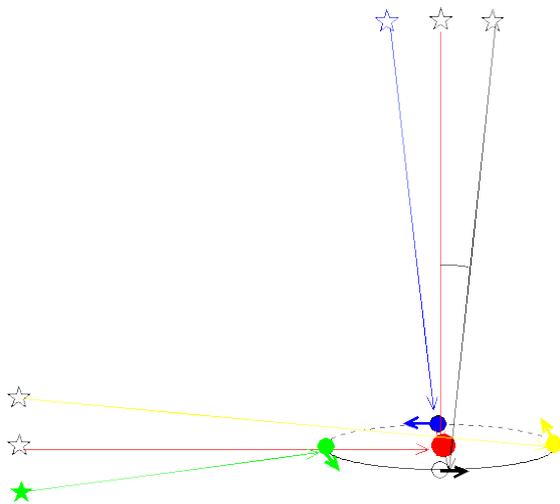
- | | ウ | エ | | ウ | エ |
|---|-------|-------|---|-------|------|
| ① | 年周光行差 | 分光視差 | ② | 年周光行差 | 年周視差 |
| ③ | 分光視差 | 年周光行差 | ④ | 分光視差 | 年周視差 |
| ⑤ | 年周視差 | 年周光行差 | ⑥ | 年周視差 | 分光視差 |

問 2：地動説の証拠は年周視差と年周光行差。角度が大きくてわかりやすいのが年周光行差の方。よって答えは5。

年周視差：地球の公転運動による視差のために天体の天球上の位置が公転周期と同じ周期で変化して見える現象のこと。地球-太陽の距離が $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ なので、地球は半年後には $3.0 \times 10^8 \text{ km}$ 離れた地点に位置することになる。だからこのときに視差を生ずる。この視差の $1/2$ を年周視差という。図では、 $\angle E_1 S_0$ や $\angle E_3 S_1 O$ などがそれである。 S_1 のように公転面に対し太陽の真上（ S の位置）に位置しない恒星でも、その恒星（ S_1 ）と太陽（ O ）結んだ線に対して垂直な地球の軌道の直径（半径 $E_3 O$ ）を考えて、その端の地球を考えればよい。恒星の見え方は天頂付近は軌跡が丸く、地平線に近づくにつれつぶれた軌跡になる。



年周光行差：年周光行差による、天空上の恒星の動きも年周視差と同じように、その恒星の位置により円-だ円-直線となる。だがその大きさは年周視差と異なり、その恒星までの距離によらず、ただ太陽系に対する位置だけで決まる。黒い地球の位置では、太陽の真上の恒星から光が黒い線の向きからやってくるように見える。青い地球の位置では青い線の向きになる。以下、黄色は黄色、緑色は緑色に対応している。



<http://www.s-yamaga.jp/nanimono/uchu/tentaitoshitenochikyu.htm>

問 3 前ページの文章中の下線部(a)に関連して、より遠い恒星や星団までの距離を求める方法として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

3

- ① スペクトルの吸収線(暗線)の違いをもとに恒星の絶対等級を推定し、見かけの等級との差から距離が求められる。
- ② スペクトルの吸収線(暗線)の違いをもとに白色矮星びやくせいいせいの半径を推定し、見かけの大きさの観測値との比較から距離が求められる。
- ③ レーダーエコーが返ってくる時間から距離が求められる。
- ④ セファイド(ケフェウス型変光星)の変光周期をもとに、ケプラーの第三法則から距離が求められる。

問 3 : 星までの距離の求め方は、近いもの→年周視差、遠いもの→星の明るさと色の関係から求める。よって 1.

もう少し詳しく見ると、<http://www.nao.ac.jp/faq/a0601.html> より、

1. 銀河系の中の近くの星までの距離は、三角測量の原理を使って測定することができます。
2. 距離が分かれば、その星の本当の明るさが分かりますので、星の本当の明るさと色の関係を使うことによって、銀河系の中のもう少し遠い星までの距離が推定できます。

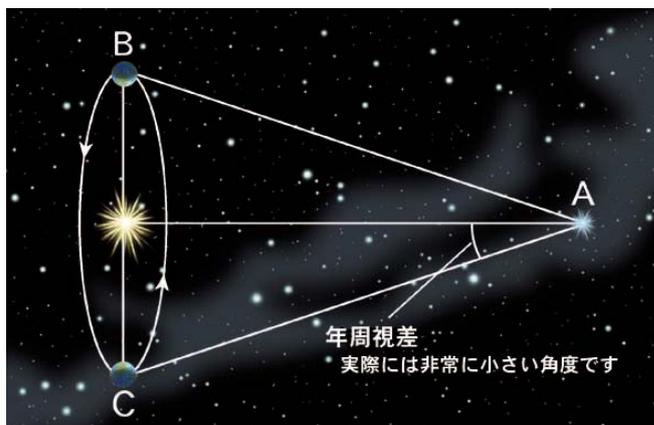
3. 近くの銀河などの場合には、星の本当の明るさと色の関係に加えて、その銀河の中にある脈動変光星という星を使うことによって距離を推定します。
4. 遠くの銀河などの場合には、銀河の中にあられる超新星を基準の明るさとして使うことで距離を推定することができます。
5. 非常に遠くの銀河までの距離は、その銀河が遠ざかる速度を使って推定します。

具体的には、以下の方法によって距離を推定することができます。

1. 近くの星までの距離であれば、三角測量の原理を使って測定することができます。

「三角測量」というのは、例えば、渡ることのできない川の向こうにある建物（A とします）までの距離を、こちら側から測定する方法です。川のこちら側の離れた2点（B, C とします）から建物の方向を測定すると、角 CBA と角 BCA の角度がわかりますね。また、BC 間の距離はわかるので、建物と測定地点2点の合計3点で三角形の図を描くことができます。正確な縮尺で図を描けば、例えば、図上の AB 間の長さから縮尺から、実際の AB 間の距離を求めることができます。

太陽系から比較的近い（100 光年程度まで）星の場合、三角測量の原理を使って距離を測定することができます。この場合、「川のこちら側の離れた2点」は、夏と冬の地球です。地球は、半径約1億5000万キロメートルの軌道を公転しているので、例えば夏と冬に測定をおこなえば、最大3億キロメートル離れた場所から星の方向を測定することができます。実際に測定するのは「年周視差」とよばれる角度で、これが測定できれば、その星までの距離がわかります。年周視差が小さいほどその恒星が遠くにあることがわかります。



2. 銀河系の中のもっと遠いところにある星までの距離は、星の本当の明るさと色の関係を使って推定します。例えば、太陽のように黄色っぽくて、太陽よりずっと遠くにあるために見かけが暗い星があるとします。色が同じ星は、星の本当の明るさも同じだとすると、

この黄色っぽい星も、本当は太陽と同じ明るさということが分かります。つまり、星の見かけの明るさから、どれだけ遠くにあるのかを推定するのです。

具体的には、HR図を用いて距離を推定することができます。HR図というのは、横軸に星の表面温度（色）、縦軸に絶対等級をとったものです。絶対等級というのは、星を32.6光年（光が32.6年間で進むことのできる距離。1光年＝約9兆キロメートル）の距離に置いたときの等級に換算したものです。例えば、その星が主系列星（※）の場合、表面温度が分かっている星であれば、HR図から絶対等級を推定することができます。また、観測からは星の見かけの等級が分かります。例えば、太陽の見かけの等級はマイナス27等級ですが、明るさは距離の2乗に反比例するので、32.6光年離れた場所に置いたと仮定すると5等級となり、夜空ではあまり目立たない暗い星となります。つまり、

- 明るさは距離の2乗に反比例する
- 明るさと等級の関係を表した式（ポグソンの式）

以上の2つの関係を使うことによって、距離を推定することができます。

※1 主系列星とは、星は星間ガスから生まれ、主系列星として星の一生の大部分のときを過ごします。星全体のおよそ9割以上を占めるのが主系列星ですが、主系列星はその表面温度（色）と明るさの間に一定の関係があります。この関係を図に表したものがHR図（Hertzsprung-Russell diagram）といいます。

3. 銀河系の外にある他の銀河などの距離を推定するには、脈動変光星という星を使います。脈動変光星は、規則正しく膨らんだり縮んだりしながら明るさを変えている星で、周期が長いものほど明るく、短いものほど暗いという関係があります。変光の周期は観測からすぐにわかりますので、周期と明るさの関係から、その星の絶対等級が分かります。すると上記と同様に、絶対等級と地球からの見かけの明るさの違いから、距離を推定できます。球状星団や銀河の中の脈動変光星を観測すれば、その変光星が属している星団や銀河の距離がわかります。

4. ある種の星は、その一生の最期に大爆発を起こします。その現象は非常に明るい星がとつぜん出現したように見えるので、超新星と呼ばれています。超新星は銀河1個並みの明るさで輝きますので、遠方にある銀河の距離を推定する方法に使われています。

超新星にはいろいろな特徴をもったものがありますが、Ia型と呼ばれる超新星は最も明るくなった時の絶対等級がだいたい同じであるということが観測で分かっています。また、だんだんに暗くなっていく際の光度変化も分かっています。したがって、Ia型超新星爆発

の見かけの明るさや光度変化を観測すれば、絶対等級との関係から距離が分かります。つまり、見かけの明るさが暗いほど遠くにある、というわけです。そして、その超新星があらわれた銀河の距離がわかるのです。

B 恒星の性質に関する次の文章を読み、下の問い(問4～6)に答えよ。

太陽の中心部の温度は1000万度(K)を超え、核融合反応が起きている。この核融合反応では、相対性理論による公式 $E = \Delta m \cdot c^2$ に従って、反応前後の原子核の質量の差 Δm (kg) に対応したエネルギー E (J) が放出される。ここで、 $c (= 3 \times 10^8 \text{ m/s})$ は光速である。このエネルギーは太陽の表面から主に電磁波として放射される。したがって、(b)太陽から放射されるエネルギーの量を求めると、太陽の中心部で失われている質量が計算できる。

太陽以外の恒星についても、(c)さまざまな法則や関係を適用することにより、直接には測定できない量を求めることができる。 その結果、(d)質量の大きな恒星ほど寿命が短いことがわかってきた。

問4 上の文章中の下線部(b)に関連して、太陽から放射されるエネルギーを $4 \times 10^{26} \text{ J/s}$ とするとき、太陽の中心部で毎秒失われている質量として最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。毎秒 kg

- ① 1×10^4 ② 3×10^5 ③ 4×10^9 ④ 1×10^{18}

問4：問題文に従って、 $E = \Delta m \cdot c^2$ から Δm を見積もると、 $E = 4 \times 10^{26} \text{ J/s}$ で $c = 3 \times 10^8$ より、3になる。

問5 上の文章中の下線部(c)に関連して、恒星の性質を求める方法に関する説明として誤っているものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 恒星の質量は、連星の観測により、ケプラーの法則を用いて求められる。
- ② 恒星の絶対等級は、食変光星の観測により、周期光度関係を用いて求められる。
- ③ 恒星の表面温度は、放射エネルギー分布の観測により、ウィーンの変位法則を用いて求められる。
- ④ 恒星の半径は、絶対等級と表面温度から、ステファン・ボルツマンの法則を用いて求められる。

問5：誤っているものを選ぶ。答えは2.

・恒星の質量は連星の観測によりケプラーの法則を用いて求められる。1は○。

連星はケプラーの第三法則に従う。連星の質量を m_1 と m_2 とすると G を万有引力定数として一般式は以下。ここでその連星の公転周期を P （年）、公転の平均距離 a （天文単位）が測定できれば質量の和（太陽の質量を1として）が計算できる。 m_1 と m_2 の質量比は軌道半径の比から求めることができる。

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2} (m_1 + m_2)$$

・恒星の絶対等級は、その星を距離32.6光年（10パーセク、1パーセクは年周視差が1"になる距離）においたときの等級で表す。実視等級(m)から絶対等級(M)を求めるには p は年周視差として、 $m-M=5-5\log(p)$ 。よって2は×。

・恒星の表面温度は放射エネルギー分布の観測によって求める。3は○。

・恒星の半径は絶対等級と表面温度からステファン・ボルツマンの法則を用いて求める。4も○。

問6 前ページの文章中の下線部(d)に関連して、ほぼ同時に誕生した恒星の集団では、HR図をもとに星団の年齢を求めることができる。次の図1はそれぞれ、三つの星団X、Y、Zに含まれる恒星を観測して得られたHR図である。三つの星団を若い順に正しく並べたものを、下の①～⑥のうちから一つ選べ。

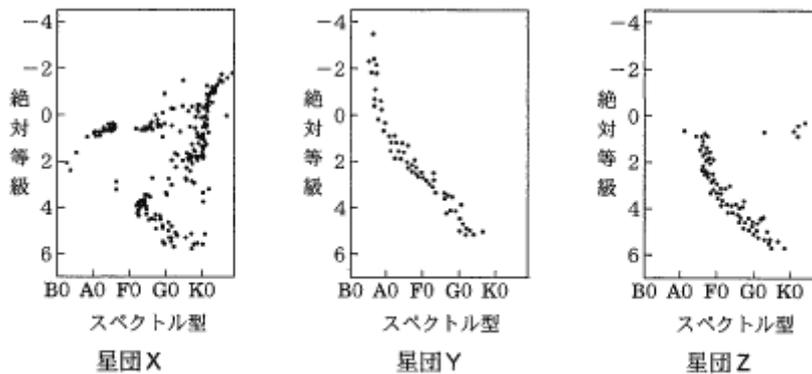
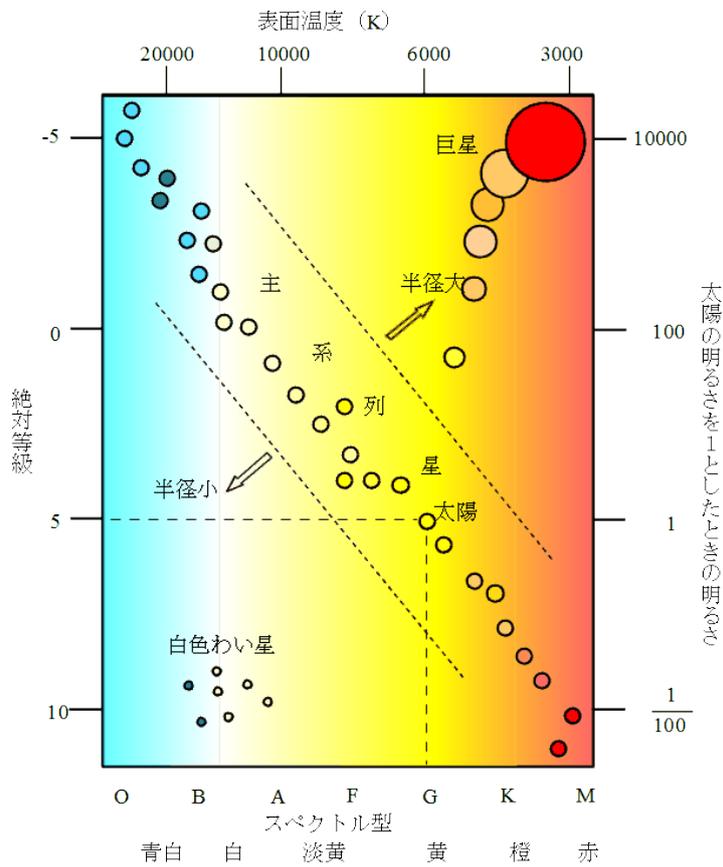


図 1

	若い	→	年老いた
①	X	Y	Z
②	X	Z	Y
③	Y	X	Z
④	Y	Z	X
⑤	Z	X	Y
⑥	Z	Y	X

問6：赤い星が多いと年老いた星団。その中でも赤色巨星が多いものは最も年寄り。赤色巨星が多いのはX。よって4か6を選ぶ。YとZではYのほうが青くて若い星が多い。よって答えは4。



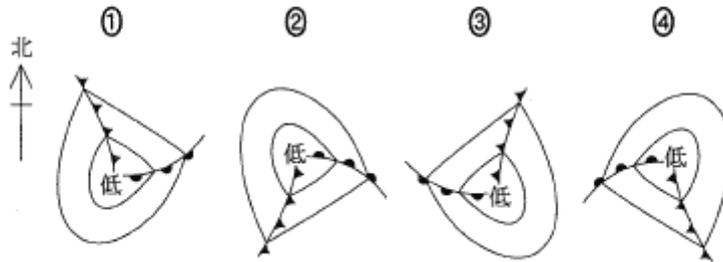
第2問

第2問 大気と海洋に関する次の問い(A・B)に答えよ。

[解答番号 ~] (配点 20)

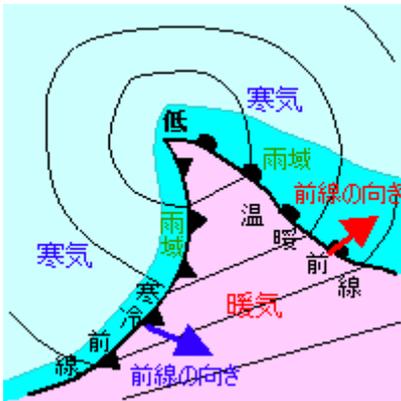
A 高気圧・低気圧と転向力(コリオリの力)に関する次の問い(問1~3)に答えよ。

問1 南半球の温帯低気圧付近の等圧線と前線を模式的に示した図として正しいものを、次の①~④のうちから一つ選べ。

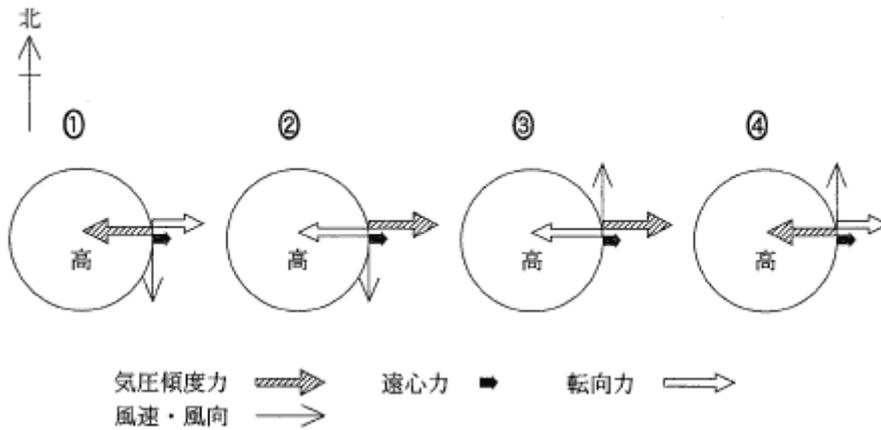


問1：南半球の低気圧は北半球の形と逆。数はいずれも北半球での例。

北半球の温帯低気圧はふつう西側に寒冷前線、東側に温暖前線をもっている。北半球は2だから、南半球は1。

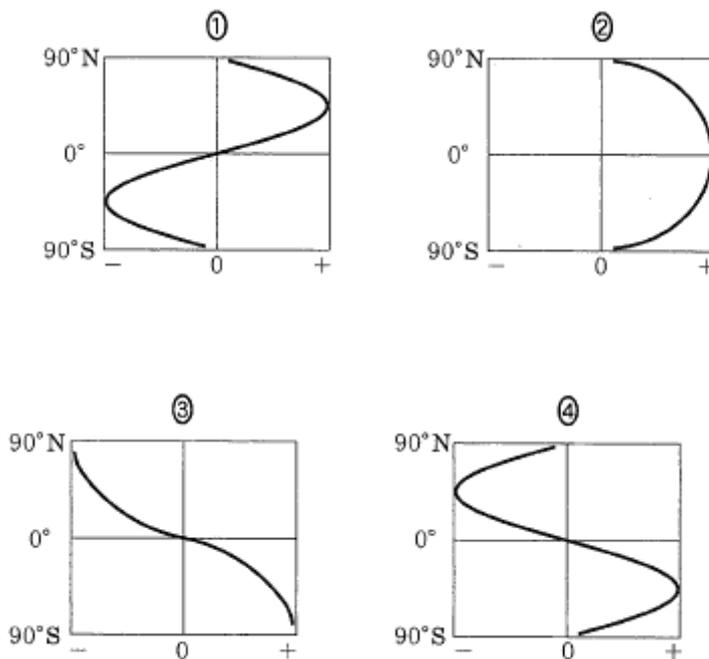


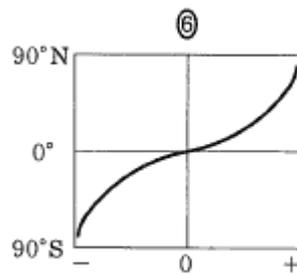
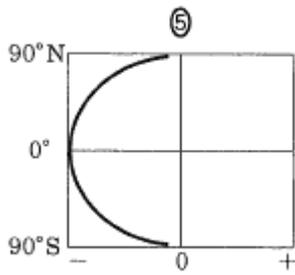
問2 南半球の中緯度における高気圧のまわりの風に関する力(気圧傾度力・遠心力・転向力)のつり合いを模式的に示した図として正しいものを、次の①~④のうちから一つ選べ。ただし、地表摩擦の影響はないものとする。



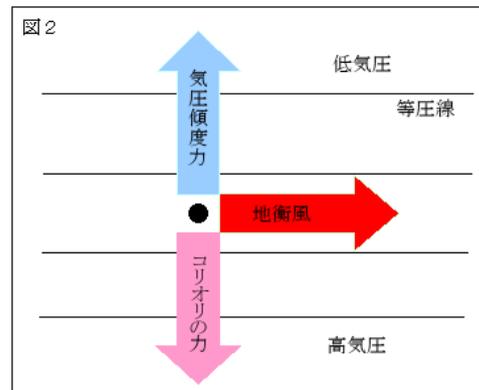
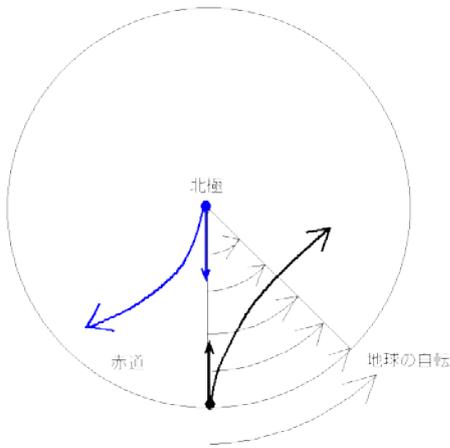
問 2 : 気圧傾度力は高いほうから低い方へ働く。ゆえに 2 か 3 . 北半球では気圧傾度力から時計回り 90 度が風。南半球では北半球と逆のはず。よって 3。

問 3 北半球・南半球のどの緯度においても同じ風速の西風が吹いていると仮定する。ただし、両極付近については考えない。このとき西風にはたらく転向力の大きさとその向きは、緯度によってどのように変化するか。緯度ごとの大きさおよび向きを示した図として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、横軸は転向力の大きさを示し、北向きを正符号(+)とする。 3





問3：北半球でコリオリ力は以下。地球を下の図のような円盤として考える。地球の自転による回転の距離の大きさ（つまり速さ）は赤道で最大、北極に向かってだんだん小さくなり、北極で最小（0）になる。だから上の図のように、赤道から北極向かってボールを投げようが、北極から赤道に向かってボールを投げようが、いずれにしても目標に向かってまっすぐには飛んでいかず、なぜか右へ右へと曲がっていってしまうことになる。赤道で大きく曲で小さい。南半球は逆になる。よって、3または6。ここで西風だから、西から東へ吹く。北半球では東から西へ吹く風に対してコリオリ力は北から南向きに働く。よって3。



B 赤道太平洋の海流とエルニーニョ現象に関する次の文章を読み、下の問い(問4～6)に答えよ。

赤道太平洋や南太平洋の低緯度域では、南東貿易風によって海洋表層を西向きに流れる **ア** が生じている。表層の暖かい水は、この海流によって西方に運ばれ、海岸にせき止められて、西部太平洋の熱帯域に溜められる。そのため海面は赤道域の西方で高くなり、この海面勾配によって生じる東向きの **イ** が、南東貿易風から受ける西向きの力とつり合う。あるとき貿易風が弱まると、このつり合いがくずれて海洋表層の暖水が東向きに移動し、赤道太平洋東部でエルニーニョが発生する。

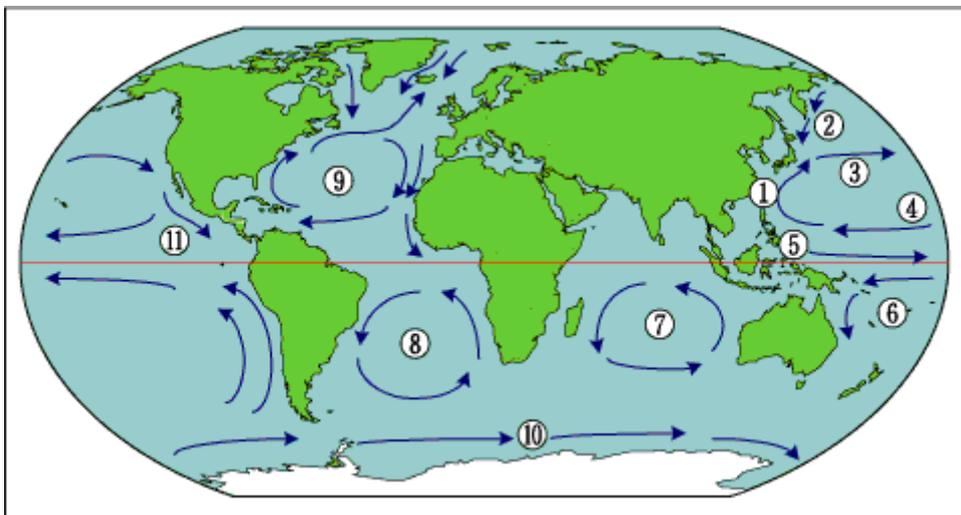
問 4 上の文章中の空欄 **ア** に入れる語として最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 **4**

- | | | |
|---------|----------|--------|
| ① 北赤道海流 | ② 黒潮 | ③ 赤道反流 |
| ④ 南赤道海流 | ⑤ 北太平洋海流 | |

問 4：太平洋の海流（気象庁より）

<http://www.data.kishou.go.jp/db/kaikyo/knowledge/kairyu.html>

この図を見て南東貿易風によって西向きに流れているのは図の⑥の南赤道海流。よって答えは4.



1. 黒潮
2. 親潮
3. 北太平洋海流
4. 北赤道海流
5. 赤道反流

6. 南赤道海流
7. 南インド海流
8. 南大西洋海流
9. 北大西洋海流
10. 南極海流
11. カリフォルニア海流

問 5 上の文章中の空欄 **イ** に入れる語として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 **5**

- | | |
|-------------------------|--------|
| ① 偏向力(コリオリの力) | ② 摩擦力 |
| ③ 圧力傾度力(大気の場合の気圧傾度力に相当) | ④ 表面張力 |

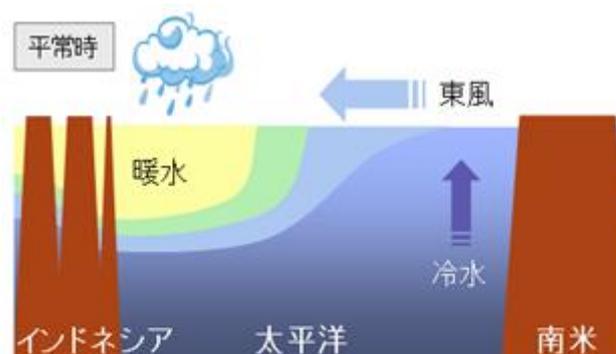
問 5: 海面勾配によって生じる力を選ぶ。偏向力と摩擦力は違う。表面張力も違うので、答えは圧力傾度力の 3。

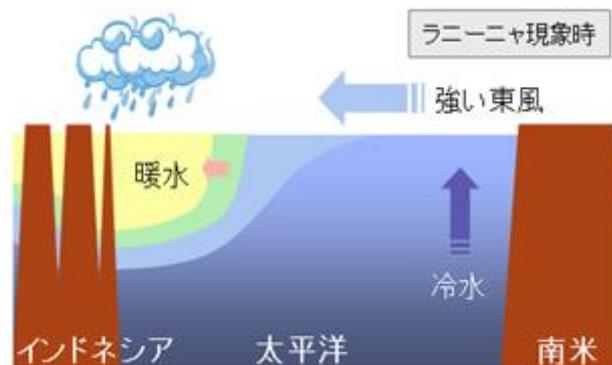
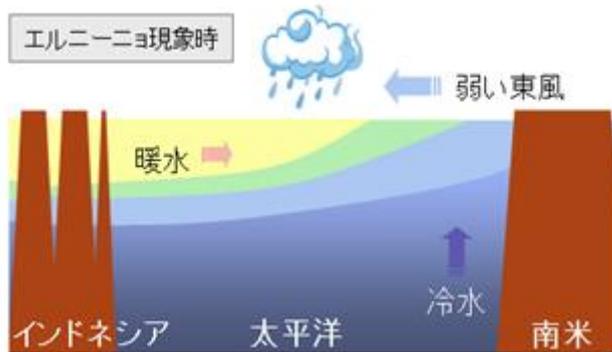
問 6 エルニーニョ、あるいはそれに伴う現象について述べた文として誤っているものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 **6**

- ① 赤道太平洋東部で、カタクチイワシの漁獲量が大きく減少する。
- ② 赤道太平洋の大気と海洋が、風や水温を通して影響しあうことで生じる。
- ③ 南米のペルー沖で、深い層から海水が活発に湧き上がる。
- ④ 普段は雨がほとんど降らないペルーの海岸砂漠でも雨が降る。
- ⑤ 低緯度域だけでなく、世界の気象に影響を及ぼす。

問 6: エルニーニョで間違っているものを選ぶ。答えは 3

エルニーニョは貿易風が弱くて暖かい海水が南米に残る現象。よってペルー沖で冷たい海水のわき上がりが弱い。ラニーニャは逆。





第3問

第3問 地球の形や内部構造に関する次の問い(A・B)に答えよ。

[解答番号 ~] (配点 20)

A 地球の形や重力に関する次の文章を読み、下の問い(問1・問2)に答えよ。

地上の物体にはたらく重力は、地球の引力と地球自転による遠心力との合力である。平均海面を陸地内部にも延長した面をジオイドといい、ジオイドに最も近い回転楕円体^(a)を地球楕円体と呼ぶ。地球楕円体の偏平率は約300分の1である。地球に限らず、ある程度の大きさの天体では、(a)赤道での引力に対する遠心力の割合が大きくなると偏平率は大きくなる。

問 1 ジオイドや地球楕円体について説明した文として最も適当なものを、次の

①～④のうちから一つ選べ。

- ① ジオイド上の重力の大きさは、どこでも同じである。
- ② ジオイドは、重力の方向に垂直である。
- ③ 地球楕円体の表面は、重力の方向に垂直である。
- ④ 山の高さ(標高)や海の深さは、地球楕円体を基準として表される。

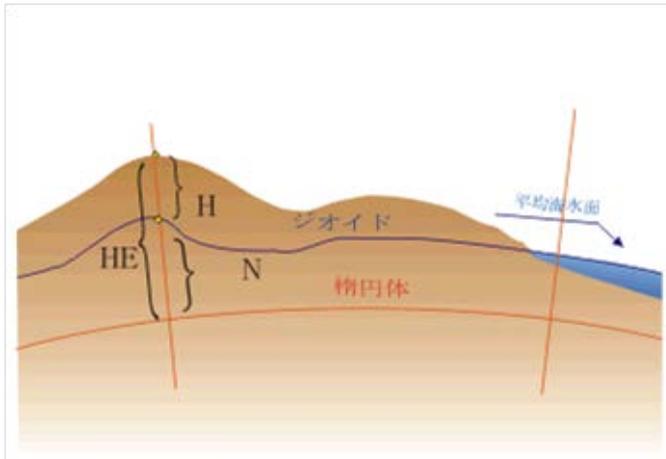
問 1：ジオイドは重力に垂直。よって答えは 2.

- ・ジオイド上の重力の大きさはそれぞれ違う。1は×。
- ・重力は引力と遠心力の合力で、地球楕円体の方向は重力に垂直ではない。3は×。
- ・標高はジオイド面を0にして決められることが多い。4は×。

ジオイドとは（国土地理院の解説）

<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geoid/geoid/geoid.html>

地球は、自転による遠心力の影響を受けて、極（南北）方向に比べて赤道方向が少し膨らんだ回転楕円体（半径比で約 1/300）に近い形状をしています。地球の表面上にあるものには、地球の引力と自転による遠心力の二つの力を合わせた重力が働いています。水などの流体は、重力によって移動し、重力とのバランスがとれた場所に落ち着きます。水が重力だけの力を受けていると仮定すると、その水が落ち着いてつくる地球の表面形状を、測地学や地球物理学においては、「重力の等ポテンシャル面」、測量分野では「水準面」と呼んでいます。この「水準面」は、すべての場所で重力の方向と直交します。川の水は重力の影響を受けて水準面の高い方から低い方へ流れます。このように、「水準面」が高さの高低を決めています。地球表面の 7 割は海洋で覆われており、測地学では世界の海面の平均位置にもっとも近い「重力の等ポテンシャル面」を「ジオイド」と定め、これを地球の形状としています。日本では、東京湾平均海面を「ジオイド」と定め、標高の基準としています（離島を除く）。したがって、標高は「ジオイド」から測った高さになります。地球には、8,000m を超える山や、10,000m よりも深い海溝といった大きな地形起伏があります。また、地球の地殻構造は不均質であり、そのため地球の引力（ひいては重力）は地球の表面でいろいろな変化があります。「ジオイド」もこれにより起伏があり、「ジオイド」の起伏にもっとも良く適合した回転楕円体と比べたとき、「ジオイド」の凹凸（回転楕円体から測った垂直高）は最大約±100m に達しています。日本では、「GRS80 楕円体」を回転楕円体として採用しており、この楕円体からの「ジオイド」までの高さを「ジオイド高」といいます。この高さは基準となる楕円体によって変わります（図）。現在、測量やナビゲーションに活用されている GPS では、幾何学的な位置（緯度、経度、楕円体高）を求めることができますが、標高を直接求めることはできません。GPS を用いて標高を求めるには、「ジオイド高」が必要になります。



H：標高、HE：楕円体高、N：ジオイド高

問 2 上の文章中の下線部(a)に関連して述べた文として最も適当なものを、次の

①～④のうちから一つ選べ。

- ① 地球自転による遠心力は、大きいところでは引力の10分の1程度になる。
- ② 地球自転による遠心力の引力に対する割合は、赤道より中緯度の方が大きい。
- ③ 地球型惑星より木星型惑星の方が平均密度が小さく自転周期が短いので、より扁平である。
- ④ パルサーは、たいへん高速で自転しているので、赤道での自転の遠心力の方が引力より大きい。

問 2：答えは 3.

地球の自転による遠心力は引力に比べて大変小さく、遠心力が最大の赤道付近でも引力の0.3%程度になる（以下の記述を参照）。よって1は×。また、地球が回転楕円体であることから、遠心力は極で最小、赤道で最大になる。よって2は×。遠心力は質量 m の物体が、半径 r の円周上を角速度 ω で回転していると、 $F = m r \omega^2$ となる。よって、 r が大きく、 ω が大きいほど、 F は大きくなる。3は○。遠心力が引力よりも大きいと星の中身が外へ飛び出してしまうので、星としての形を保っているものは重力のほうが大きい。おそらく4は×であろう。

遠心力（測地学会基礎講座より）

<http://www.geod.jp/web-text/part2/2-2/2-2-1-1.html>

質量 m_1 と m_2 の 2 つの物体が距離 r だけ離れてあるとき、これらの物体の間に次の式で表されるニュートンの万有引力（以下、単に引力と呼ぶ） F が働く。

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

ここで G は万有引力定数で、 $(6.673 \pm 0.010) \times 10^{-11} [\text{m}^3 \text{s}^{-2} \text{kg}^{-1}]$ である。地球上にある質量を持つすべての物体と地球との間に引力が働いている。

質量 m の物体が、半径 r の円周上を角速度 ω で回転していると、 $F = m r \omega^2$ の遠心力が働く。地球は自転軸のまわりに自転しているため、地球上にある物体はすべて、自転軸から遠ざかる方向に自転軸からの距離に比例した遠心力が働くことになる。

次に、地球の引力と遠心力の大きさを見積もってみよう。1kg の物体に働く地球の引力は、地球半径が約 $6.4 \times 10^6 \text{m}$ 、地球の質量が約 $6.0 \times 10^{24} \text{kg}$ で、全質量が地球中心にある質点と仮定すると、 $(6.7 \times 10^{-11}) \times (6.0 \times 10^{24}) / (6.4 \times 10^6)^2 = 9.8 [\text{N}]$ となる。1kg の物体に働く遠心力は、遠心力が最も大きい赤道上で $1 \times (6.4 \times 10^6) \times (7.3 \times 10^{-5})^2 = 3.4 \times 10^{-2} [\text{N}]$ となる。つまり赤道上では地球自転の遠心力の大きさは地球の引力の 0.3% 強となる。先に、極と赤道での重力の差は、約 0.5% であると述べたが、遠心力の影響だけではその差は生じない。この違いは、実際の地球の形がほぼ回転楕円体であるのに、上の計算では、それを無視したことによる。

B 地震波の伝わり方と地球内部構造に関する次の文章を読み、下の問い(問 3 ~ 6)に答えよ。

地球深部の構造は、地震波の伝わり方を調べることによって明らかにされてきた。**ア** と **イ** との境界は、震源の浅い地震の走時曲線が震央距離 150~200 km で折れ曲がることから見いだされた。また、観測される地震波を地球全域で調べると、(b)震央距離が角距離で 103~143° の範囲は P 波が直接伝わらない「影の部分(シャドウゾーン)」になることがわかった。このような観測から地球全体の構造が知られるようになった。さらに、詳細な観測からは大陸域と海洋域の地下構造の違いも明らかにされ、アイソスタシーと関連づけられている。

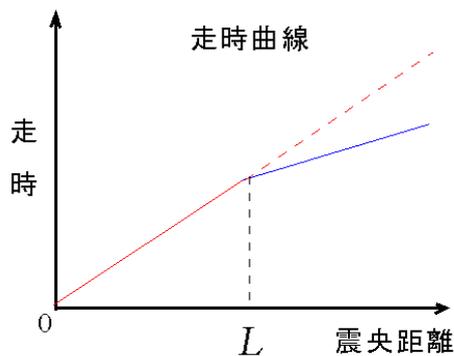
問 3 上の文章中の空欄 **ア** ・ **イ** に入れる語の組合せとして最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 **3**

- | ア | イ |
|----------|---------|
| ① リソスフェア | アセノスフェア |
| ② リソスフェア | マントル |
| ③ 地 殻 | アセノスフェア |
| ④ 地 殻 | マントル |

問 3: 組合せとして、地殻とマントル、リソスフェアとアセノスフェアでなくてはいけない。よって 2 と 3 は×。本文中の層字曲線の折れ曲がりとは下図。これによって、地殻—マントル境界が発見された。解答は 4。

これは、震央から遠い観測点での走時は、地震波が観測点までやってくるのにかかる時間が距離に比例するものとして期待される時間（図の赤い破線部分）より短いことを意味する。何らかの経路で先回りしてくる地震波がある。1909 年、ユーゴスラビアの地震学者モホロビッチは、は次のように推理した。

すなわち、地震波速度の比較的遅い上部層（今では地殻と呼ばれている）の下に、地震波速度がより速い下部層（今ではマントルと呼ばれている）があり、遠隔地では後者を通った地震波が距離的には遠回りでも時間的には早く到達する、というもの。この発見により、地殻・マントル境界面はモホロビッチ不連続面（略してモホ面）と呼ばれる。



問 4 上の文章中の下線部(b)に関連して述べた文として最も適当なものを、次の

①～④のうちから一つ選べ。 4

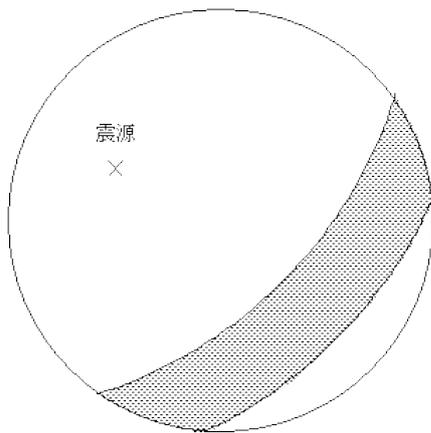
- ① S波は地球全体に伝わり、影の部分はない。
- ② 103° からP波の影の部分が始まるのは、マントルから外核に入ると^{でんぱ}伝播速度が急激に大きくなるためである。
- ③ 103° から影の部分が始まることを用いて、マントルと核の境界の深さがおよそ 2900 km と見積もられた。
- ④ 影の部分があるのは、内核が存在するためである。

問 4: 震源から角距離 103° 以降にはS波が伝わらない。一方P波も 103° ～143° まで伝わらない。結局、震源 103° ～143° の帯状の範囲にはP波もS波も伝わらないことになる(表面波は伝わる)。この帯状の地帯を地震波の影(シャドーズーン)という。

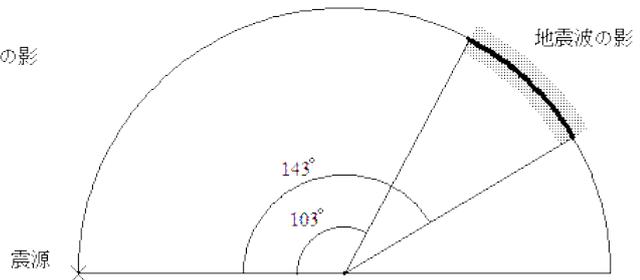
地震学者ゲーテンベルグは、地球の深いところにも不連続面があり、そこを境にして地震波の伝わる速さが急に遅くなると考えた。この不連続面の内側の方が地震波の伝わる速さが遅いとすれば、地震波はここで内側に屈折して、まったく別の所に行ってしまう。下図の震源から出た地震波のうち、青い経路より少しだけ内側に出た赤い経路の地震波(ピンク色の部分は遅く伝わる)は、その最初の少しだけの違いが、再び地表に出たときには大きな違いとなってしまふことになる。こうして、地震波の影(シャドーズーン)ができる。このように地震波の影の存在から、地球は内部に不連続面があることがわかる。その不連続面を、その深さを正確に求めたゲーテンベルグの名をとって、ゲーテンベルグ不連続面ということがある。ゲーテンベルグ不連続面は地表から 2900km の深さにあり、そこを境にして外側をマントル、内側を核という。

地震の観測網が整備されていくと、これまでは地震波(P波、S波)はまったく届かないと思われていた地震波の影(シャドーズーン)にも、弱い地震が観測されるようになった。そこで、デンマークの地震学者レーマンは、核の内部にも不連続面があり、そこを境にして急に地震波の伝わる速さが速くなると考えた。この地表からの深さ 5100km に存在する不連続面をレーマン面ということがある。このレーマン面で地震波は、ゲーテンベルグ面と逆の屈折をして、地震波の影(シャドーズーン)に出る経路をとるのである(下の緑色の経路)。

この知識を踏まえて、S波は流体である外核を伝わらないから1は×。流体を伝わるP波速度は遅くなる。よって2も×。シャドウゾーンの存在から、マントルと核の境界をもとめて、ここはゲーテンベルグの不連続面で深さ 2900km。よって3は○。143度からまたP波が伝わるのは固体の内核があるから。この境界をレーマン不連続面といい深さ 5100km。よって4は×。

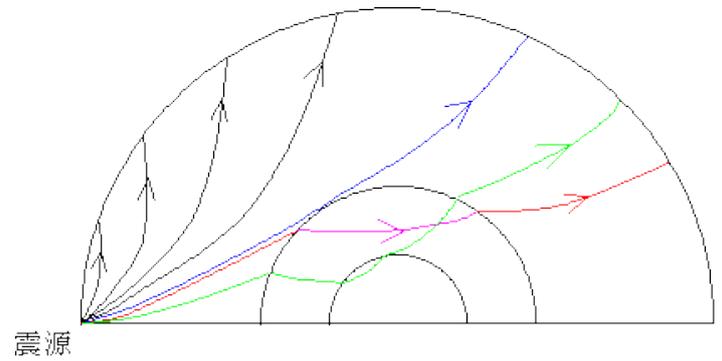
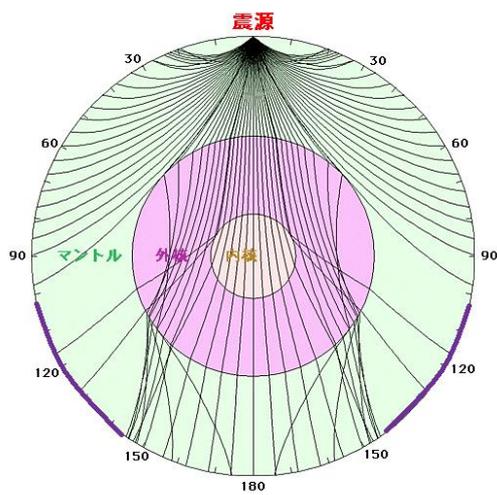


地震波の影



地震波の影

震源

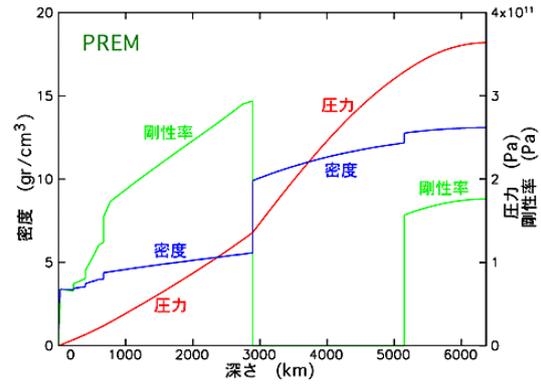
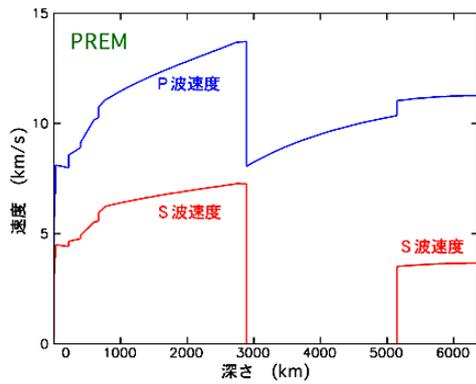


震源

問 5 外核の密度と温度をマントルと比較したときの語の組合せとして最も適切なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- | 密度 | 温度 |
|-------|----|
| ① 大きい | 高い |
| ② 大きい | 低い |
| ③ 小さい | 高い |
| ④ 小さい | 低い |

問 5: 外核の密度と温度はマントルと比べてどうか。下図を見ると S 波が通っていないところが外核なので、マントルに比べて密度も温度も高い。よって答えは 1.



問 6 次の図1のように、大陸域では40 km、海洋域では7 kmの厚さの地殻をもつモデルを考える。ただし、海水の質量は考慮しない。地殻の密度は 2.7 g/cm^3 、マンツルの密度は 3.3 g/cm^3 とする。アイソスタシーが成り立っている場合、大陸域の地殻の底面に相当する深さ(図中の点線)ではどこでも圧力が等しいので、底面積が同じである二つの角柱 a, b を考えると、その質量は等しい。この場合、海底より上に出ている部分の高さ h は何 km か。最も適当な数値を、下の①~④のうちから一つ選べ。 km

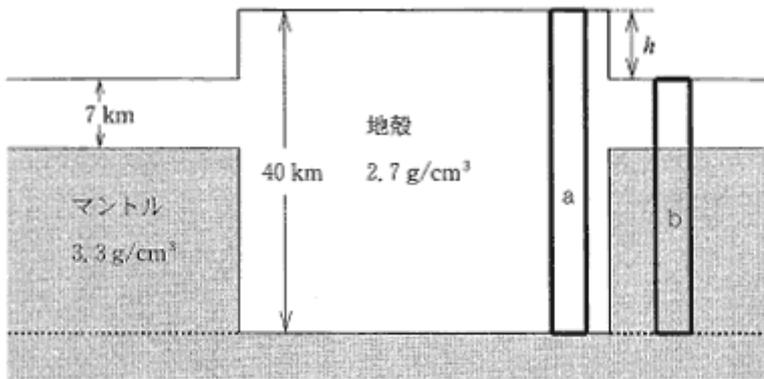


図 1

- ① 1 ② 2 ③ 4 ④ 6

問 6 : 4

アイソスタシーの問題。(2009年にも出た)

アイソスタシーが成り立つとは密度の小さい地殻が、密度の大きいマンツルの浮力で支えられている状態。マンツル内のある面にかかる圧力はどの場所でも同じ。マンツルの密度を 3.3 g/cm^3 、地殻の密度を 2.7 g/cm^3 とする。

a と b の底面積が同じで質量も等しいから

$$2.7 \times 40 = 3.3 \times (40 - h - 7) + 2.7 \times 7$$

ここから $h=6$ が求められる。

第4問

第4問 地質断面図に関する次の文章を読み、下の問い(問1～5)に答えよ。

[解答番号 ～] (配点 20)

地下の様子を調べると、その地域における地質時代の歴史を知ることができる。図1に示すのは、ある地域の地表および地下の様子である。地層Xからは三角貝(トリゴニア)の化石が、地層Yからは三葉虫の化石が産出した。また、地層Zからは、デスモチルスの化石が産出した。地表近くにある水平な地層Zは、傾いた地層を不整合におおっている。また、直立した横ずれ断層が、傾いた地層と岩体①を切っている。それらのずれの様子から、この断層は 横ずれ断層と判断される。岩体②、③、④は、マグマが地下で冷えて固まったものである。岩体②と④のように地層を切って貫入した板状の岩体を と呼ぶ。

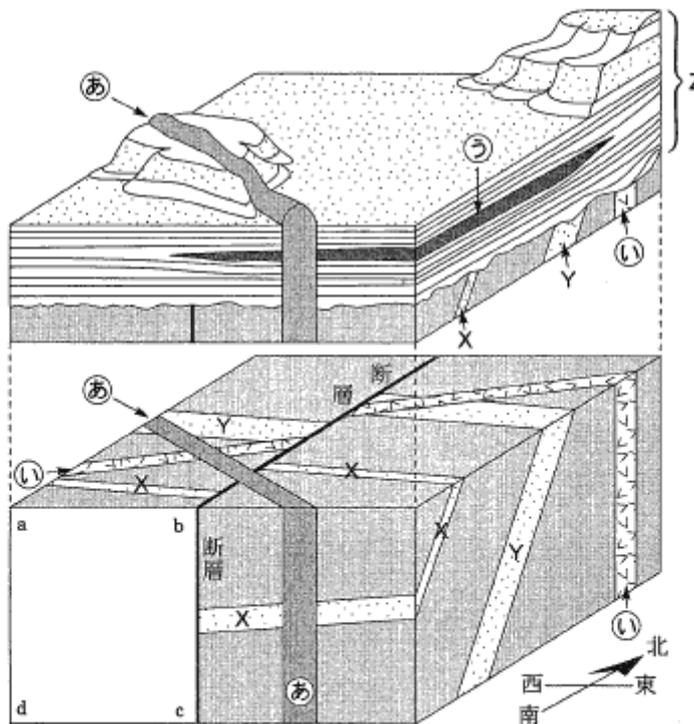


図1 南北方向と東西方向の鉛直断面図および水平断面図。ただし、鉛直断面図は、水平断面図を境に上下に切り離されて描かれている。東西断面図の四角形abcdの部分は描かれていない。

問 1 前ページの文章中の空欄 **ア** ・ **イ** に入れる語の組合せとして最も
 適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 **1**

	ア	イ
①	右	岩脈
②	右	岩床
③	左	岩脈
④	左	岩床

問 1 :

横ずれ断層の区別は断層面に向いて奥がどちらにずれたか、で見る。断層の東側から断層面に向いて西側のブロックにある (い) の層は東側のブロックの (い) の層に対して左にある。よって左横ずれ断層。(い) のような層は岩脈という。ゆえに答えは 3。

問 2 前ページの図 1 中の地層 X、Y、Z が堆積した時代の組合せとして最も適当
 なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 **2**

	地層 X	地層 Y	地層 Z
①	新生代	古生代	中生代
②	古生代	中生代	新生代
③	中生代	古生代	新生代
④	中生代	新生代	古生代

問 2 : X は三角貝、Y は三葉虫、Z はデスマスチルス。Z は哺乳類で新生代、Y は古生代。
 よって X は中生代で、答えは 3。

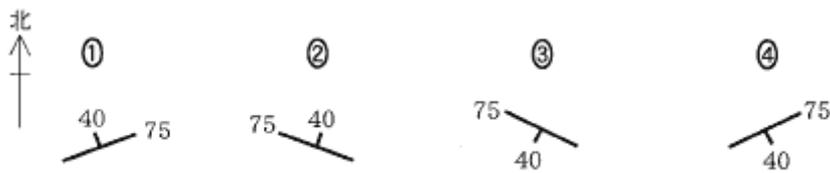
問 3 前ページの図 1 に示された事象の前後関係について述べた文として正しいも
 のを、次の①～⑥のうちから二つ選べ。ただし、解答の順序は問わない。

3 **4**

- ① 断層が動いた後、地層 X が堆積した。
- ② 地層 Y が堆積した後、火成岩①が貫入した。
- ③ 火成岩②が貫入した後、火成岩④が貫入した。
- ④ 火成岩②が貫入した後、火成岩⑥が貫入した。
- ⑤ 火成岩⑥が貫入した後、断層が動いた。
- ⑥ 火成岩②が貫入した後、地層 Z が堆積した。

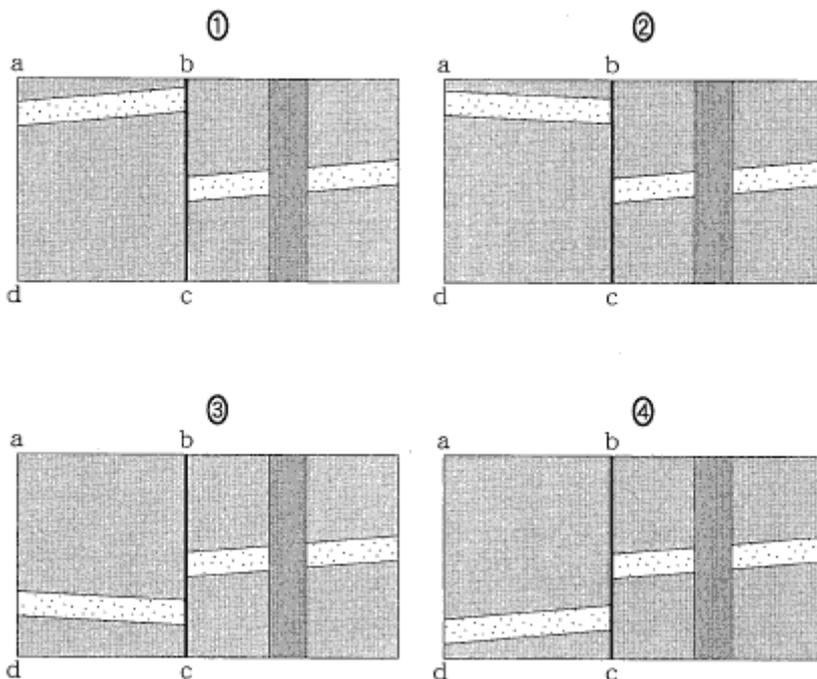
問3: 断層と X は断層が新しい。よって1は×。Y と (い) は (い) 新しい。よって2は○。
 (う) が貫入した後 (い) が堆積したというのは (い) と Z が不整合でそこに (う) が貫入しているから3は×。(あ) は (う) を切っている。よって4は○。断層と (あ) は (あ) が新しい。よって5は×。(う) と Z は (う) が新しい。よって6は×。
 答えは2と4。

問4 90ページの図1に示された地層Xの走向傾斜を表す記号として最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。



問4: Xは南側に傾いているので3か4。走向を見ると3が正しい。

問5 90ページの図1の地層Xは、四角形abcdの範囲にも存在する。断層の両側で地層の傾斜が変わらないとして、手前側の鉛直断面図として最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。



問 5 : まず、X 層は断層の東側に比べて手前にずれている。ということは、abcd 面で切られた時に上の方に出てくるはず。よって1か2になる。X の走向が N75W であるから、断層に近いほうが上がって見えるはず。よって1。

第 5 問

第 5 問 火成岩や変成岩に関する次の問い(A・B)に答えよ。

(解答番号 ~)(配点 20)

A 中央海嶺^{かいせうりやう}のマグマ活動に関する次の文章を読み、下の問い(問1~3)に答えよ。

プレートの生成境界にあたる中央海嶺では、地下深部から温度の高い の物質が上昇し、その過程で の物質の一部が溶け、玄武岩質マグマが発生すると考えられている。こうして発生したマグマは周囲の母岩から分離・上昇し、海嶺軸部で固結して、新しい海洋地殻が形成される。拡大速度の速い中央海嶺の海底下約 2 km の深さには、マグマ溜り^{たまり}が定常的に存在することが知られている。上昇してきたマグマはこのようなマグマ溜りに蓄えられ、主な結晶作用はここで進行する。また、深部からの新たなマグマの供給などにより、(a)マグマの一部が海底にあふれ出し、海底噴火が起こる。

問 1 上の文章中の空欄 に入れる語として最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。

- | | |
|-----------|-----------|
| ① リソスフェア | ② ホットスポット |
| ③ アセノスフェア | ④ 外核 |

問 1 : 中央海嶺のマグマの元はアセノスフェアが上昇してくる。よって3。

問 2 玄武岩質マグマがマグマ溜りにおいて固化する場合の一般的な特徴について述べた文として誤っているものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

2

- ① 晶出する鉱物の化学組成は周りのマグマとは異なるので、結晶作用の進行とともに、残った熔融液における Na や K の濃度が次第に増加する。
- ② ゆっくり冷却するので、鉱物は十分に成長し、大きさのほぼ等しい粗粒の鉱物からなる深成岩ができる。
- ③ ゆっくり冷却するので、マグマより密度の大きい鉱物が順次マグマ溜りの底に沈積し、層状構造をもつ岩体ができる。
- ④ 斜長石は固結過程の初期から末期まで連続して晶出し、その化学組成は Na に富むものから Ca に富むものへと次第に変化する。

問 2 : 誤っているものを選ぶ。

マグマだまりで晶出する鉱物は以下。かんらん石は Mg、Fe を使い、白っぽい岩石は K の含有量が増えているので、1 は○。ゆっくり冷却すると等粒状の岩石になる。2 も○。固まったものがそこに沈んでいくから 3 も○。よって残りは 4。白っぽい岩石になるにつれ CaO がだんだん減っているから、4 は×。

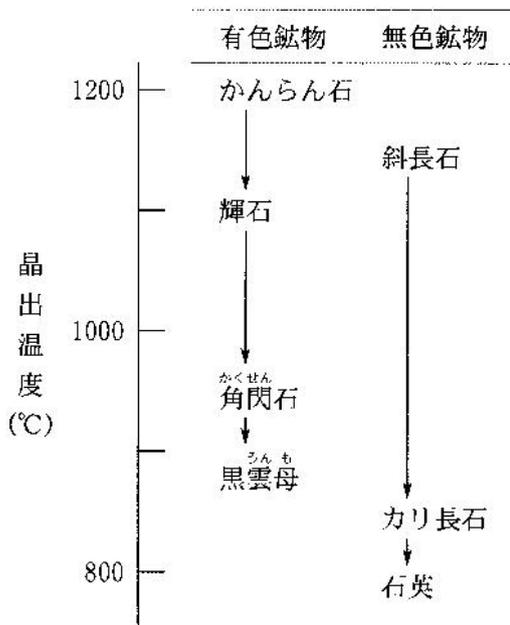
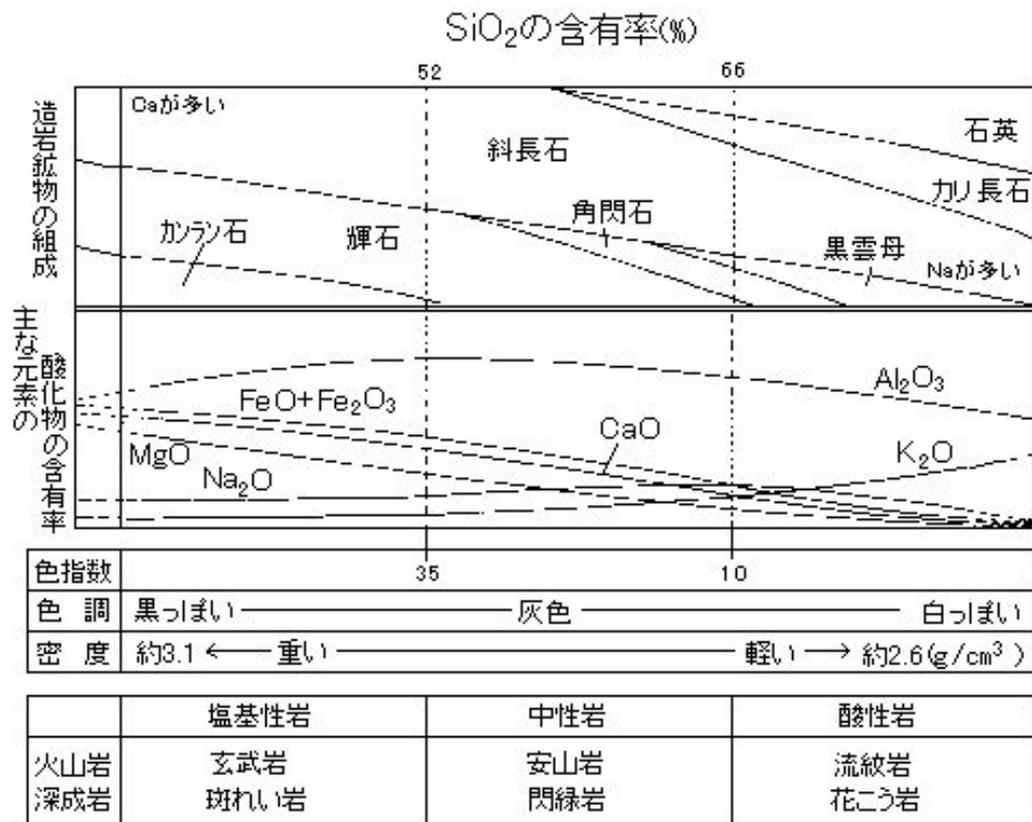


表 1 花こう岩と斑れい岩に含まれる鉱物の割合(体積%)

鉱物	花こう岩	斑れい岩
石英	30	—
カリ長石	35	—
斜長石	30	55
かんらん石	—	15
輝石	—	30
角閃石	—	—
黒雲母	5	—

図 1 鉱物のおおよその晶出温度と晶出順序を示す模式図



問 3 前ページの文章中の下線部(a)に関連して、玄武岩質マグマの海底噴火活動について述べた文として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 3

- ① 海水で表面が急冷され、火山ガラスに覆われた溶岩が形成される。
- ② 海水と激しく反応し、多量の含水鉱物を含む溶岩が形成される。
- ③ 海水を取り込んで激しく発泡し、軽石が形成される。
- ④ マグマから海水に Fe や Mg が溶け出し、有色鉱物をほとんど含まない溶岩が形成される。

問 3: 海底火山の特徴は噴出した溶岩が、海水で急冷される。枕状溶岩などができる。このことを踏まえて、1が正しい。

2は海水中では温度と圧力が低すぎるので反応しないから×。

3は軽石はガスが抜けて発砲するから×。

4はマグマから Fe や Mg は海水中に溶け出さないから×。

B 造山帯の岩石に関する次の文章を読み、下の問い(問4～6)に答えよ。

アルプス山脈などの造山帯には、地下深部で形成された結晶片岩や片麻岩などの変成岩類が産する。最近これらの変成岩中から、(b)石英と多形の関係にある高圧で安定な鉱物(高圧鉱物)を含む変成岩が見つかり、注目されている。変成岩がどのような温度・圧力条件で形成されたかは、含まれる変成鉱物の種類とそれらが安定に存在する温度・圧力領域(安定領域)から推定することができる。次の図1にはこの高圧鉱物の安定領域が示されている。ただし、縦軸の圧力の単位は記されていない。

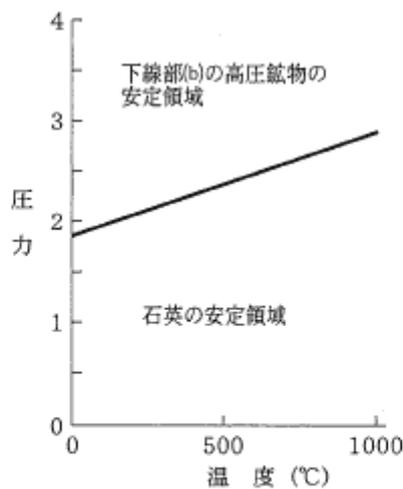


図1 石英および高圧鉱物の安定領域

問4 片麻岩の特徴を述べた文として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 砂岩および泥質岩が高温で変成し、石英に富む白色部と黒雲母に富む暗色部からなる縞状の組織がみられる。
- ② 変成作用で形成された、粗粒の長石、石英、黒雲母などが等粒状の組織をつくり、縞状の組織はみられない。
- ③ 石灰岩が高温の変成を受けたため、方解石が再結晶し、より大きな結晶に成長して、等粒状の組織を示す。
- ④ 泥岩起源の高温の変成岩で、方向性はほとんどみられず、細かい結晶の間にきんせい石、黒雲母などが比較的大きく成長している。

問4：片麻岩の特徴：広域変成岩。高温高圧でできた。縞状の組織が見られる。これらのことより、1は高温、縞状組織で○。2は縞ではないので×。3も等粒状組織では無いので×。方向性はあるので4も×。

問 5 前ページの文章中の下線部(b)に関する高圧鉱物の説明として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

5

- ① 石灰岩中に普遍的に含まれている。
- ② 石英よりも密度が小さい。
- ③ 玄武岩の構成鉱物である。
- ④ 石英と同じ SiO_2 という化学組成をもつ。

問 5：石英と多形ということは、化学成分が同じで結晶構造が違うものを言う。よって 4 が正しい。

問 6 前ページの図 1 の高圧鉱物を含む変成岩は、80 km 以深で形成したものと考えられている。この深度から圧力を求め、図 1 の縦軸の単位として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、地下深部のある点の圧力は、その上に乗っている岩石の単位面積あたりの重さと考えてよい。また、岩石の平均密度を 3 g/cm^3 、1 atm は 1 kg 重/cm^2 とする。

6 atm

- ① 10^2
- ② 10^3
- ③ 10^4
- ④ 10^5

問 6：地下 80km ということは、 $3 \text{ g/cm}^3 \times 8 \times 10^6 \text{ cm} = 24 \times 10^6 \text{ g/cm}^2$ 、ここで 1atm が 1 kg 重/cm^2 だから、 $2.4 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、となる。よって答えは 3。

地 学 I B (100 点満点)

問題 番号 (配点)	設 問	解答番号	正 解	配 点	問題 番号 (配点)	設 問	解答番号	正 解	配 点		
第1問 (20)	A	1	1	6	第4問 (20)	1	1	3	3		
		2	2	5		3	3	3	3		
		3	3	1		4	3	3-4	2-4	6 (各3)	
	B	4	4	3		3	4	5	3	4	
		5	5	2		4	5	6	1	4	
		6	6	4		3					
第2問 (20)	A	1	1	1	3	第5問 (20)	A	1	1	3	3
		2	2	3	3			2	2	4	4
		3	3	3	4			3	3	1	3
	B	4	4	4	4		4	4	1	3	
		5	5	3	3		5	5	4	3	
		6	6	3	3		6	6	3	4	
第3問 (20)	A	1	1	2	3	(注) - (ハイフン) でつながれた正解は、順序を 問わない。					
		2	2	3	4						
		3	3	4	3						
	B	4	4	3	4						
		5	5	1	3						
		6	6	4	3						