



第9回日本地学オリンピック本選

(第11回国際地学オリンピック二次選抜)

問 題

- I 地質分野
- II 固体地球分野
- III 気象分野
- IV 海洋分野
- V 天文分野
- VI 標本鑑定（鉱物・化石）

第9回日本地学オリンピック本選（地質分野問題） 解答時間は 30 分

図は、ある地域の地質図である。下位から、A 層（泥岩）、B 層（砂岩）、C 層（砂岩泥岩互層）が成層しており、これらの地層を断層が切っている。全ての地層および断層面の走向・傾斜や地層の厚さは地域内で一定であり、褶曲構造は見られない。次の各問いに答えなさい。なお、作図や導出に使用した補助線等は消しゴムで消さないこと。計算に際しては、下に示す三角関数表を用いてもよい。

問 1 これらの地層の走向・傾斜を求めよ。計算過程も記述すること。

問 2 断層面の走向・傾斜を求めよ。

問 3 この地域の地質構造が最もよく分かる位置で断面図を作成し、地層と断層を書き入れなさい。測線（断面図を作成した位置を表す線）は、地図上に赤線で示しなさい。地層は色ぬりせずに、A 層、B 層、C 層、を記入すること。

問 4 この断層 F は、次のうちどれか？

【 正断層、 逆断層、 右横ずれ断層、 左横ずれ断層 】

問 5 この断層の活動は、どのような力が働いて形成されたと考えられるか。問 4 で回答した語句および、以下の語句のうち、必要なもののみを使って説明しなさい。

【方向、 圧縮、 引っ張り、 南北、 東西、 北東-南西、 北西-南東】

問 6 この断層 F の断層面に沿った変位量（ずれ）を求めなさい。

問 7 B 層（砂岩）の層厚を求めなさい。

問 8 図中の点 P で鉛直にボーリングを掘った場合、深さ何メートルまで掘れば B 層（砂岩）の上面に到達するか。

問 9 一般に、地層の上下判定に用いることのできる地質構造を 3 つ挙げなさい。

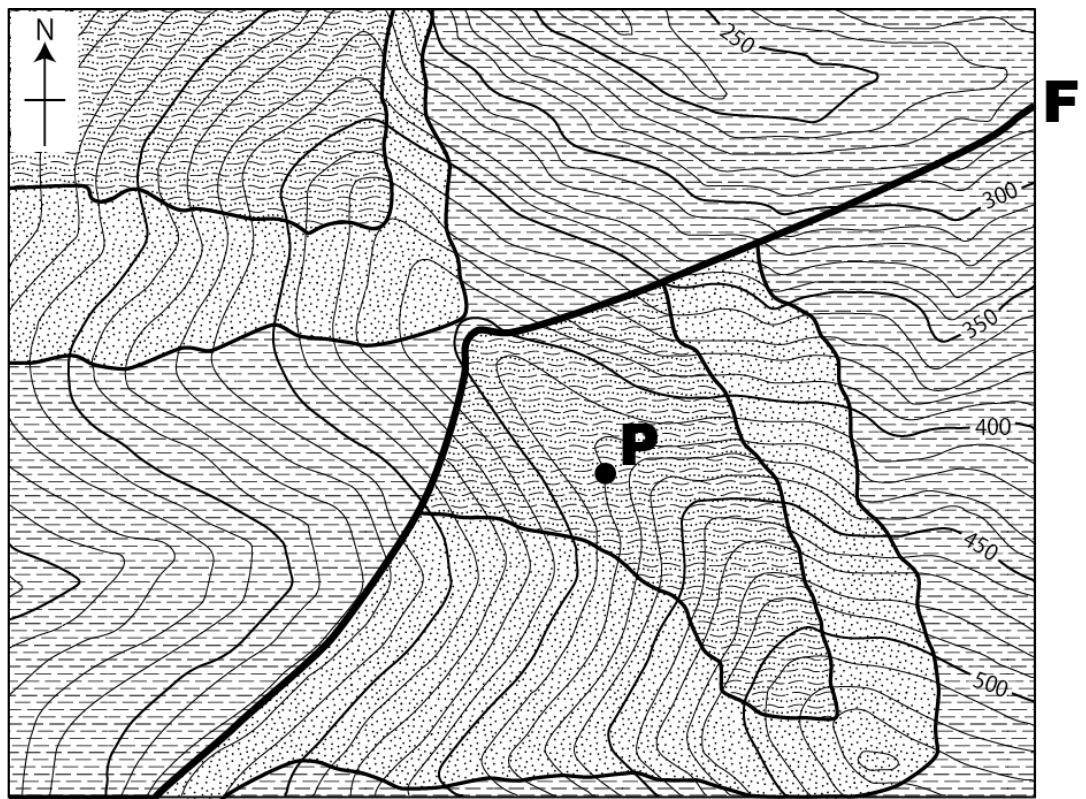
問 10 一般に、断層が活動した年代を知るには、どのような調査または分析を行うか。知っている手法を 1 つ挙げて簡単に説明しなさい。

三角関数表

度	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
sin	0.0000	0.0872	0.1736	0.2588	0.3420	0.4226	0.5000	0.5736	0.6428	0.7071
cos	1.0000	0.9962	0.9848	0.9659	0.9397	0.9063	0.8660	0.8192	0.7660	0.7071
tan	0.0000	0.0875	0.1763	0.2679	0.3640	0.4663	0.5774	0.7002	0.8391	1.0000

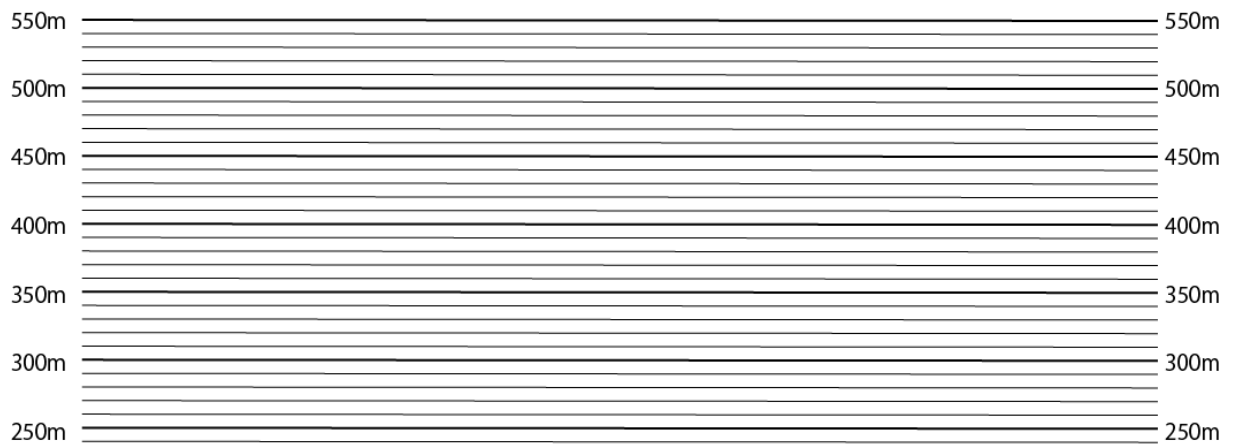
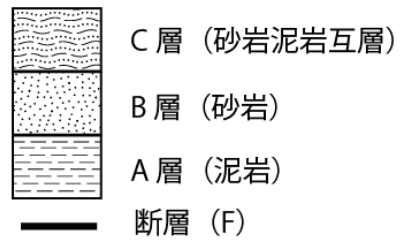
度	50	55	60	65	70	75	80	85	90
sin	0.7660	0.8192	0.8660	0.9063	0.9397	0.9659	0.9848	0.9962	1.0000
cos	0.6428	0.5736	0.5000	0.4226	0.3420	0.2588	0.1736	0.0872	0.0000
tan	1.1918	1.4281	1.7321	2.1445	2.7475	3.7321	5.6713	11.4301	∞

<問題以上>



100m

凡例



第9回日本地学オリンピック本選（固体地球分野問題） 解答時間は 30 分

以下の文章は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下、東北地震）の際に、仙台、名古屋、宮城県の沖合で航行していた船の上にいる3名の証言である（それぞれの位置は図1中の赤丸参照）。

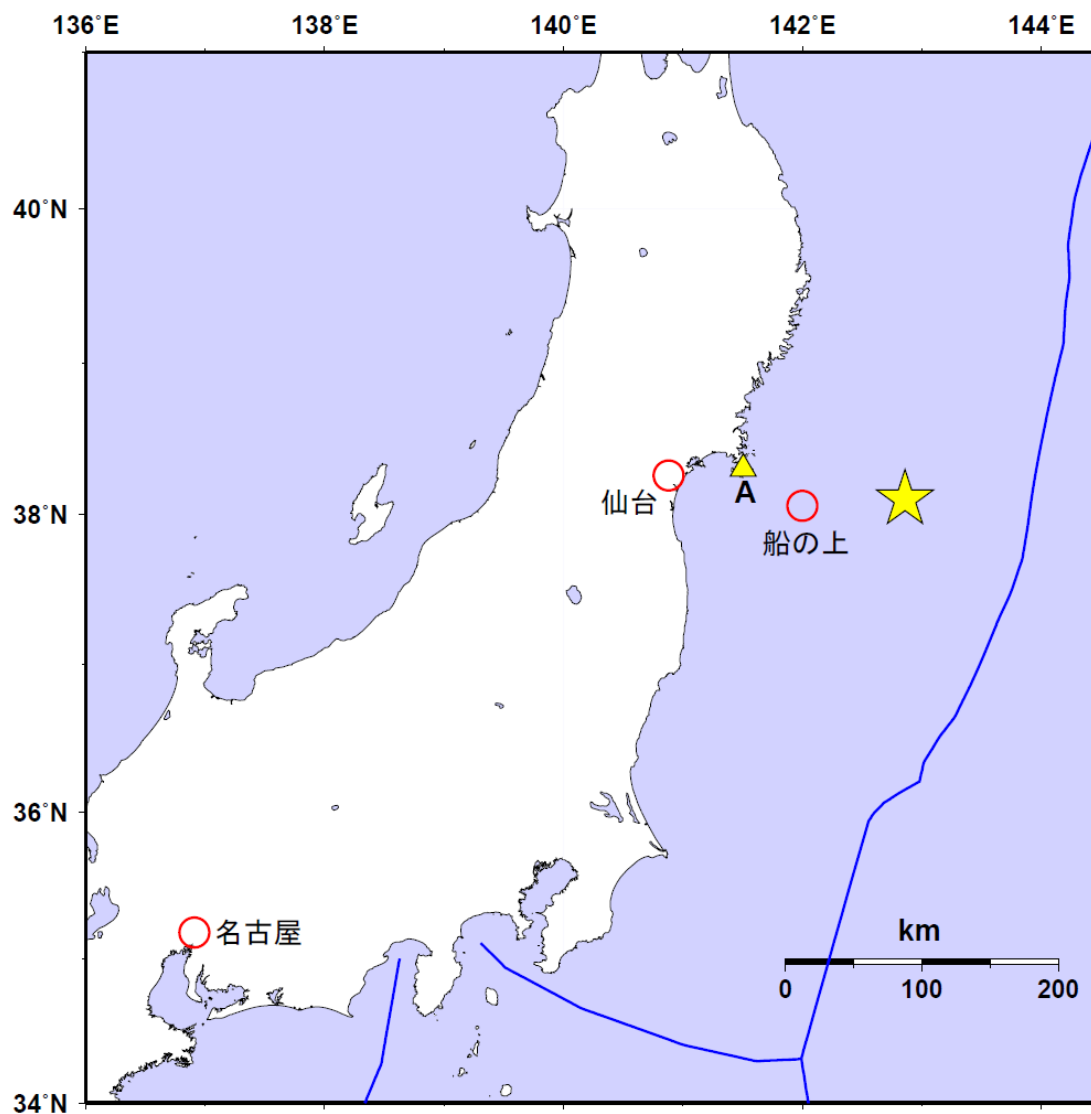


図1 青線はプレート境界、星印は東北地震の震央を表す。

仙台：始め小さかった揺れはしだいに大きくなって、そのうち身動きが取れなくなり、部屋の本棚が全部倒れた。幸い、揺れが大きくなる前に緊急地震速報のアラームが鳴り、身構えていたため、けがをせずに済んだ。その後本棚を立て直したものの、ひと月後にまた大きな地震が起こり、直した本棚がまた倒れてしまった。このときは緊急地震速報とほぼ同時に強い揺れがきたので、身構える余裕がなく、危うくけがをすることになった。

グランプリ地球にわくわく 2017

名古屋：そのときは高層ビルの20階にいたが、ゆっくりとした大きな揺れが数分間は続いた。階段を使って急いでビルの外に逃げたが、地上にいた人は大きな揺れとは感じなかったようだ。

船の上：突然ドスンという強い衝撃が襲った。そのあと急いで船を陸から離れる方向に進ませた。途中で大きな波に遭遇したが、無事乗り越えることができた。

問1 緊急地震速報は、震源に近い地震観測点で検知したP波の情報をもとに、予想される揺れの大きさと到達時刻を知らせるシステムである。東北地震時において、緊急地震速報が届いてからS波の到達までに20秒以上の余裕があったのはどの領域か、図1中にその境界となる円を作図し、導出の過程を解答用紙に記述しなさい。ただし、以下の条件を考慮すること。

1. 計算の都合上、震源の深さは0kmと仮定し、震源からP波、S波共に放出されるものとする（震源の広がりとは考慮しない）。
2. P波とS波の伝播速度はそれぞれ7.0km/sおよび4.0km/sとする。
3. 緊急地震速報は、P波が最も近い陸上の観測点（図中A地点）に到達してから、計算やデータ伝送などに要する8秒間を経た後に、全国各地に配信されたとする。

問2 ひと月後に発生した地震では、緊急地震速報とほぼ同時にS波によると思われる強い揺れが仙台を襲ったと考えられる。この地震による震源の深さは60kmであり、仙台におけるP-S時間は10秒であった。これらの情報をもとに、この地震の震央位置の候補を全て図中に示し、導出の過程を解答用紙に記述しなさい。ただし、問1と同様に、P波がA地点に達してから8秒後に緊急地震速報が配信されたとする。また、P波速度とS波速度も問1と同様とする。

問3 名古屋で感じた高層ビル内でのゆっくりとした大きな揺れがどのようなメカニズムで発生したかを、以下の語句を用いて説明しなさい。

語句： 表面波、堆積層、固有周期

問4 船中で感じたドスンという揺れは、P波とS波のどちらによるものと考えられるか、理由を添えて答えなさい。

問5 地震後すぐに船舶を陸から離れる方向に向かわせたのは、津波による被害を避けるうえで重要な行動であった。津波の伝播メカニズムに言及しながら、なぜその行動が適切だったか理由を述べなさい。

図2は、東北地震発生後に沖縄県・与那国島で観測された地震波形を1日間示したものである。図中に繰り返し現れる地震波は地球表面を伝わる表面波と呼ばれる波であり、大規模な地震が発生すると、表面波が地球を何周もする様子が観測される。この図を見て以下の問いに答えなさい。

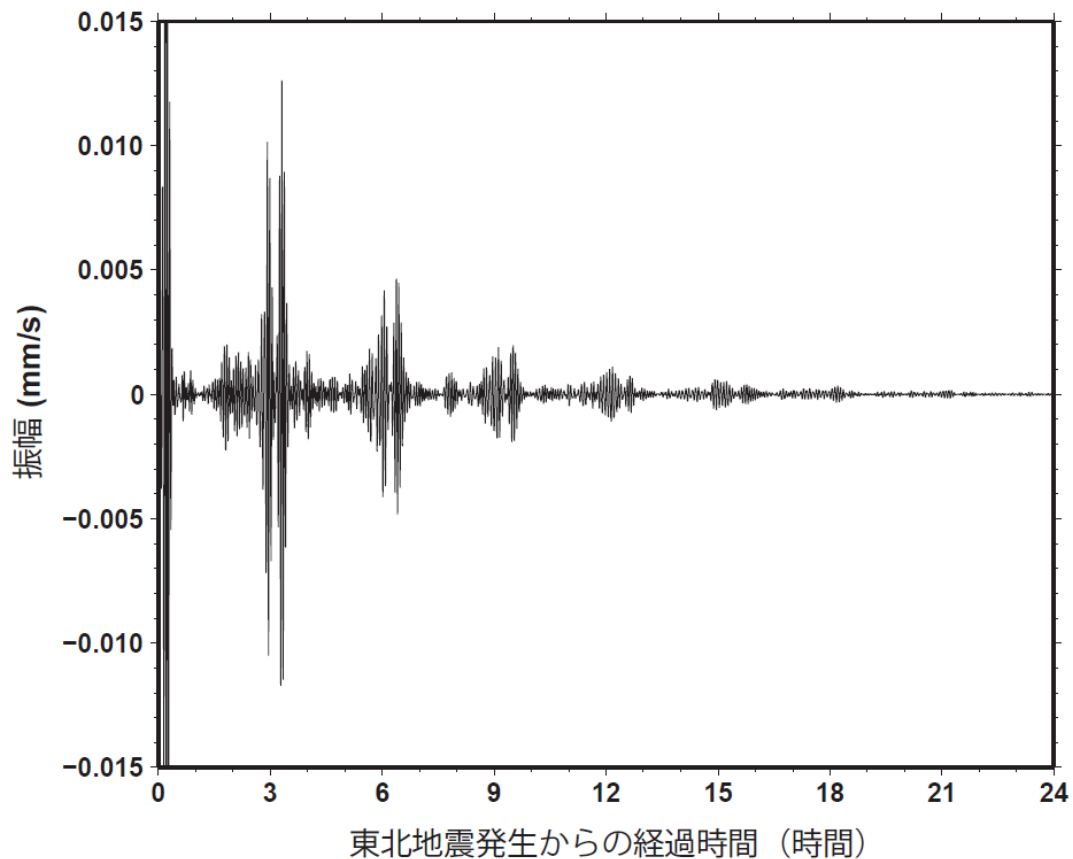


図2 沖縄県・与那国島で観測された東北地震後1日間の地震波形記録（防災科学技術研究所の広帯域地震観測網 F-net のデータを使用）

問6 図2から、表面波のおおよその伝播速度を求めなさい。

問7 図2に見られるように、表面波の振幅は地球を周回するごとに減衰し、やがて検知できなくなる。この減衰は波動のエネルギーが伝播途中で地球内部に熱エネルギーとして吸収されることによる。この図から、表面波が地球を一周する間におおよそ何%の波動エネルギーが熱に変換されるかを計算しなさい。ただし、波動のエネルギーは波の振幅の2乗に比例することに留意しなさい。

図3aは東北地震前の2010年3月1日から2011年3月1日までの1年間、bは東北地震に伴い発生した地殻変動の様子である。

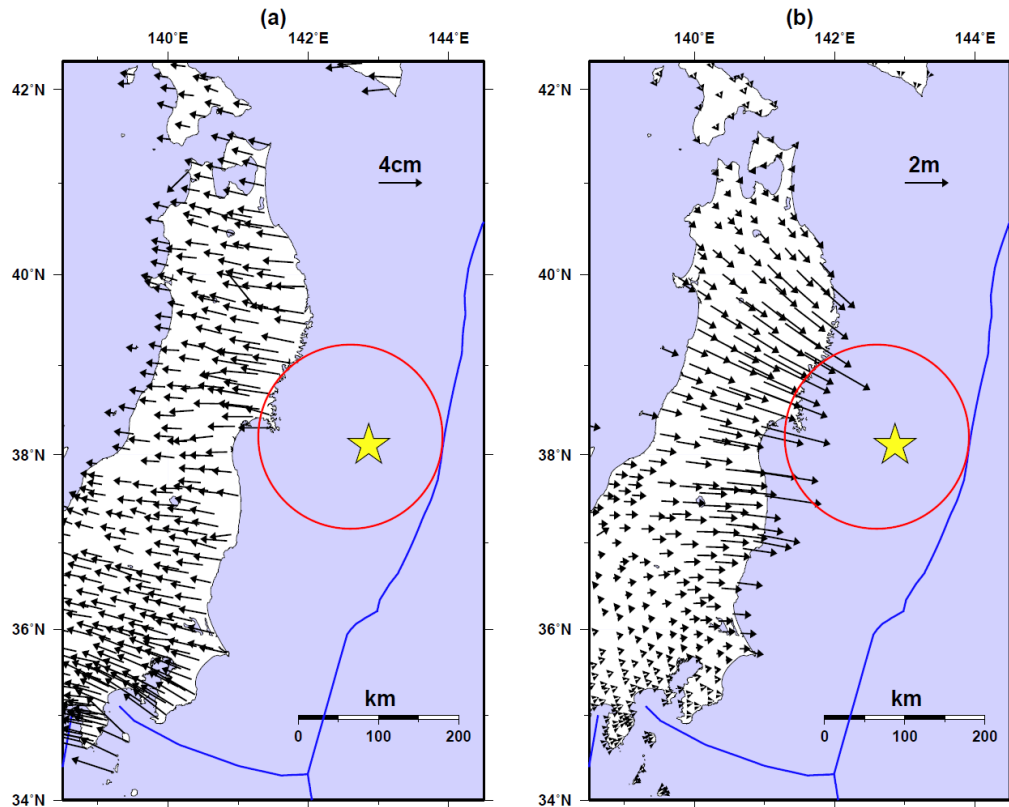
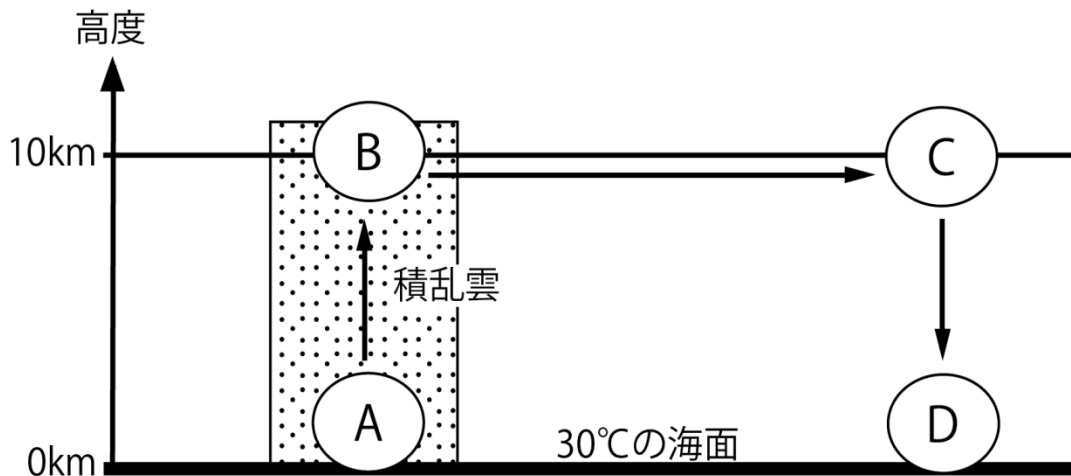


図3 東北地震の前1年間(a)と東北地震時(b)における地殻変動の様子(国土地理院のGNSS観測網GEONETのデータを使用)。島根県三隅を固定とした相対変位を表す。青線はプレート境界、星印は東北地震の震央を表す。

問8 図中の赤で囲った領域の北米プレート内部では、東北地震以前には見られなかったタイプの地震が東北地震後に活発に起こるようになった。その理由について説明した以下の文章の空欄に適切な語句を記述しなさい。

日本海溝では、(ア)が北米プレートの下に沈み込んでいる。そのため、東北地方やその沖合では、普段は東西に圧縮される向きに力が働いており、(イ)型の地震が主に発生する。しかし、東北地震によりプレート境界面に沿って大きなすべりが生じたことにより、圧縮されていた北米プレートが東に大きく動いた。そのため、東西方向に引張力が働き、結果として(ウ)型の地震が多く発生するようになった。

第9回日本地学オリンピック本選（気象分野問題） 解答時間は 30 分



対流圏の空気は、加熱・冷却を繰り返しながら、対流圏を巡っている。その様子をひとつの空気塊の運動を通して考察してみよう。

図は水温 30℃の海面に接触した質量 1kg の空気塊が積乱雲内部を上昇して高度 10 kmに達し、しばらく同じ高度に留まった後に再び対流圏を下降して海面高度まで戻ってくる様子を表したものである。

図中の A、B、C、D は、空気塊の位置を表す。A と D の空気塊は海面高度にあり、温度は海面水温と同じであるとする。B と C は高度 10 km の空気塊を表す。空気塊は、周囲の空気と混合することなく、A → B → C → D → A のルートをたどって循環している。B は積乱雲の内部で、空気塊は湿潤断熱減率に従って A から B まで上昇する。C は積乱雲の外側で、雲頂からの放射冷却のために、B と C の温度は異なる。C は 6.5℃/km の気温減率に従って D に至る。

なお、以下の計算では、0℃=273K、乾燥断熱減率=10℃/km、湿潤断熱減率=5℃/km、空気の比熱=1000 J/kg・K とせよ。また、簡単のために、積乱雲の雲底は海面高度とする。すなわち、A は水蒸気で飽和している。

- 問1 B と C の温度を求めよ。
また、空気塊の温度変化を示す横軸が温度、縦軸が高度の図を作成し、A～D を入れなさい。
- 問2 空気塊は、積乱雲の内部を上昇する過程で、潜熱の放出によって加熱される。A から B までの潜熱による加熱量は何ジュール（J）か。
- 問3 空気塊 B は、高度 10 km に留まっている間に、雲の上面からの黒体放射によって次第に温度が下がり、雲の外側の高度 10 km の気温に馴染んでいく。上から見たときの空気塊の表面積（雲の面積）を 1 m² とするとき、空気塊が雲の外の温度（=C の温度）に馴染むのに何秒かかるか。ただし、エネルギー放出に関わる温度を B の状態の温度で近似してよい。シュテファンボルツマンの定数は 5.67×10⁻⁸ W/m²・K⁴ とする。雲は完全黒体として扱ってよい。
- 問4 空気塊 C が熱エネルギーを保ったまま、断熱変化で D まで下降したと仮定したときの温度を求めよ。

グランプリ地球にわくわく 2017

問5 実際は、Dの温度は 30℃である。Cから下降している間に、放射冷却で空気塊の温度が下がったからである。放射冷却とは、空気塊から赤外線が放出され、それに伴って熱エネルギーが失われる現象である。放射冷却の原因になる物質はどれか。

以下の中から選べ。ひとつとは限らない。

窒素、酸素、アルゴン、二酸化炭素、水蒸気、エアロゾル

問6 仮に、放射冷却の大きさを高度によらず 1 日に 1℃の温度低下とすると、CからDまで降下するのに何日かかるか。

問7 仮に高度 10 k mにおける飽和水蒸気量が 0 g/m^3 とする。すなわち、Dに達した直後の空気塊は水蒸気を含んでいない。その後、水面から水蒸気が供給され、Aにもどるときは水蒸気で飽和している。1 グラムの水が蒸発するとき、 $2.5 \times 10^3 \text{ J}$ のエネルギーが潜熱として空気塊に与えられる。

もしも、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の循環が正味のエネルギー増減を伴わず繰り返される場合（＝熱収支がなりたっている場合）、Aにおいて空気塊が含む水蒸気量は何グラムか。

第9回日本地学オリンピック本選（海洋分野問題） 解答時間は 30 分

海洋にはたらく様々な力の中で特に重要な役割を担うものとして、「圧力傾度力」、「コリオリ力（転向力）」、「風応力」がある。これらの力やその影響を受けてできる海洋中の流れについて以下の問に答えよ。なお、作図の全ての解答は解答用紙または半透明グラフ用紙に書くこと。

問題 1

「圧力傾度力」は海洋内部の水圧の差によって生じる力である。図 1 のように海面の水位に凹凸がある場合を考える。海水の密度は一定と仮定する。このとき海洋内部の黒丸●で示した点での圧力傾度力の方向と大きさを矢印（→）で書き加えよ。圧力傾度力の大きさの違いがわかるよう矢印の長さを適当に調整すること。解答は解答用紙に記入。

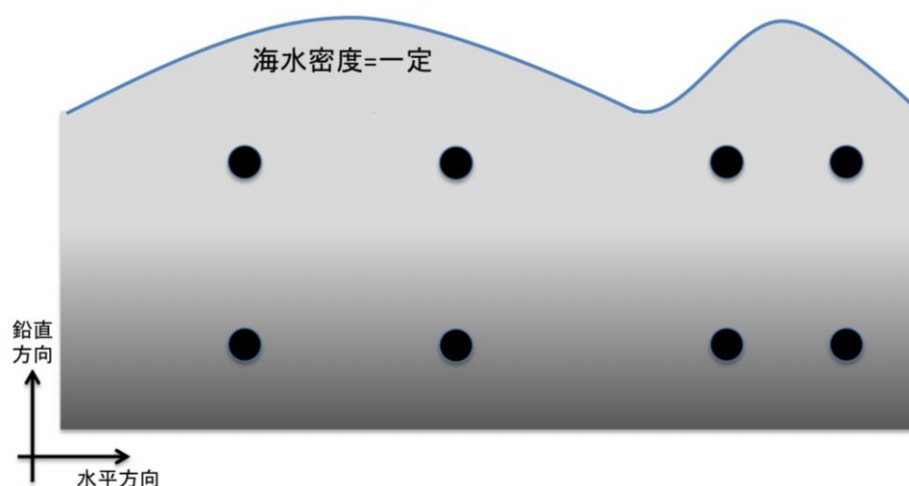


図 1：海洋内部の鉛直断面の水平分布の模式図。海面水位の水平変化の凹凸を誇張して描いてある。

問題 2

「コリオリ力（転向力）」の性質を説明した以下の文章の空白部分に適切な文字・数字を入れよ。解答は解答用紙に記入。

コリオリ力は自転する地球上にいる観測者から見て運動する物体にはたらく見かけの力である。コリオリ力の方向は運動の進行方向に対して [] 度の角度をなし、北半球では進行方向の [] 側に、南半球では [] 側にはたらく。コリオリ力の大きさは速度に比例する。速度が同じ場合には、緯度が高くなるほどコリオリ力は大きくなり、緯度 45 度では緯度 30 度に比べて [] 倍になる。[] ではコリオリ力のはたらかない。

問題 3

海洋の内部には圧力傾度力とコリオリ力が釣り合っている大規模な流れがある。この流れを「地衡流^{ちこうりゅう}」と呼ぶ。地衡流について、以下の問に答えよ。

図2は太平洋の海面水位の水平分布を模式的に示したものである（「高」と記した領域が盛り上がった領域、「低」が盛り下がった領域を示している）。

この図の黒丸●で示した地点の海洋内部の圧力傾度力、コリオリ力および地衡流を矢印で書き加えよ。圧力傾度力の矢印に“P”、コリオリ力の矢印に“C”、地衡流の矢印に“V”を付けること。各地点の圧力傾度力、コリオリ力、地衡流の大きさの違いがわかるように矢印の長さを適当に調節すること。解答は解答用紙に記入。

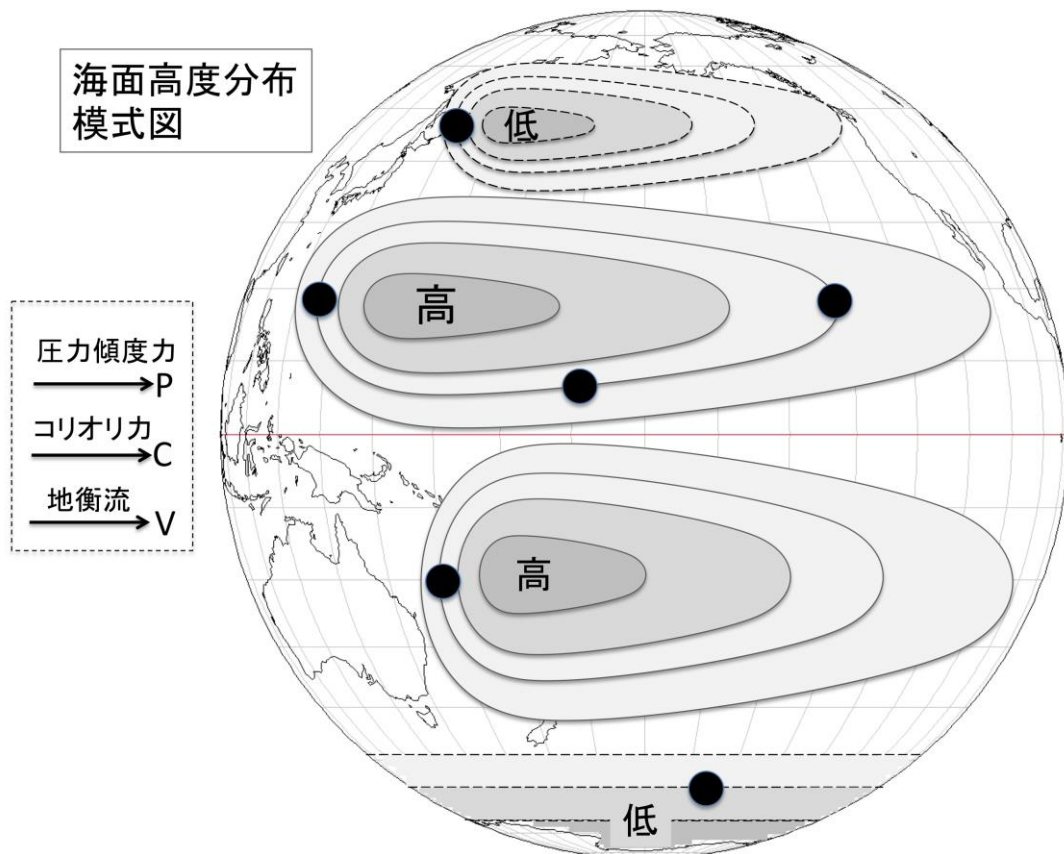


図2：太平洋の海面水位の分布の模式図

問題 4

海洋上を風が吹くと海面には風下方向に「風応力」と呼ばれる力がはたらく。この風応力により海面から深さ数十メートルの表層部分に「エクマン流」と呼ばれる流れができる。

一般にエクマン流が流れる方向とその大きさは水深によって変化する。その流れ方がどのように決まるかを、図3のように海洋表層を2つの層（第1層、第2層）に分けて単純化して考える。ここで、第1層と第2層は同じ厚さを持ち、各層の中でエクマン流は一様に流れるとする。第1層と第2層の境界では、上下の層の流れの違いによって摩擦力が生じる。

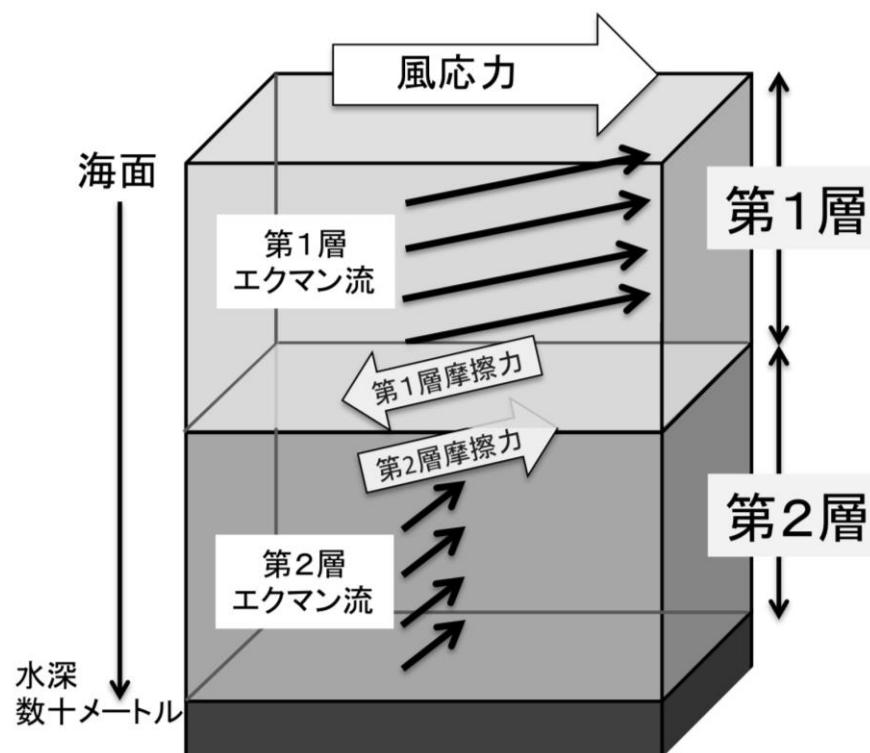


図3：エクマン流の模式図。エクマン流の流れ方を単純化して調べるために、海洋表層を第1層と第2層に分ける。

問題 4-1]

第1層のエクマン流は、風応力、コリオリ力、摩擦力がバランスした状態にある。図4は北半球における第1層の力のバランスを示している。図4の中に第1層のエクマン流の方向を示す矢印を書き加えよ。書き加える矢印の長さは、図4に記したスケールに合わせる。なお、ここで第2層のエクマン流は十分に弱く、第1層から見て第2層は静止していると見なせるとする。

〔問題 4-2〕

第2層にはその上部に第1層の流れによる摩擦力がはたらく。第2層のエクマン流はこの摩擦力とコリオリ力がバランスした状態にある。図4の下枠内に北半球の第2層の力のバランスとエクマン流を図示せよ。ここで、第2層にはたらく力やエクマン流の大きさと方向は、第1層のものに合わせるように描くこと。解答は解答用紙に記入。

北半球の第1層のエクマン流の力のバランス

図4：図3の第1層目のエクマン流の力のバランス。北半球における力のバランスを示す。

北半球の第2層のエクマン流の力のバランス

[問題 4-3]

問題 4-1 と問題 4-2 の第 1 層と第 2 層のエクマン流を合成すると層全体でエクマン流はどちらの方向に流れるか。第 1 層と第 2 層にはたらく力の合力のバランスとエクマン流を作図して、説明せよ。解答は解答用紙に記入。なお、半透明グラフ用紙に記入しても良い。ただし、その時はグラフ用紙に番号・名前の記入を忘れないように。

北半球の第1層と第2層を合成したエクマン流の力のバランス

問題 5

図 5 は太平洋上を吹く風応力の分布を模式的に示したものである。

【問題 5-1】

図 5 に示した風応力に海洋表層全体でエクマン流の流れる方向を矢印で書き加えよ。

解答は解答用紙の図に記入。

【問題 5-2】

図 5 と図 2 に基づいて、風応力によって北太平洋の中・低緯度域（図 2 の北半球の海面水位が盛り上がった部分）の海洋内部を流れる地衡流がどのように形成されるのかを説明せよ。

風応力分布
模式図

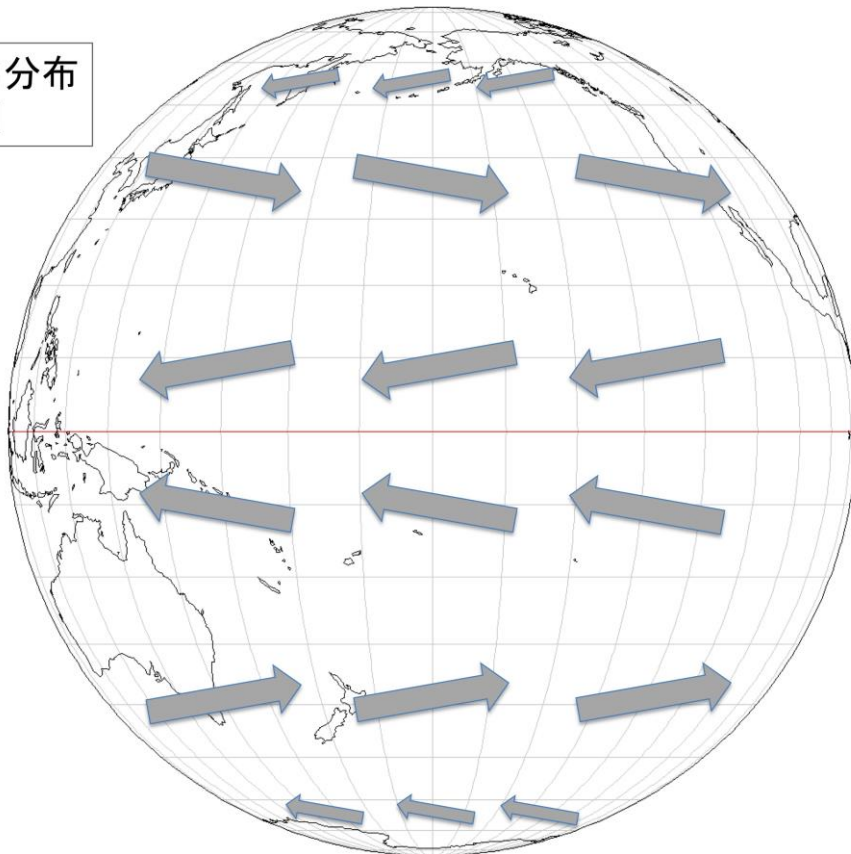
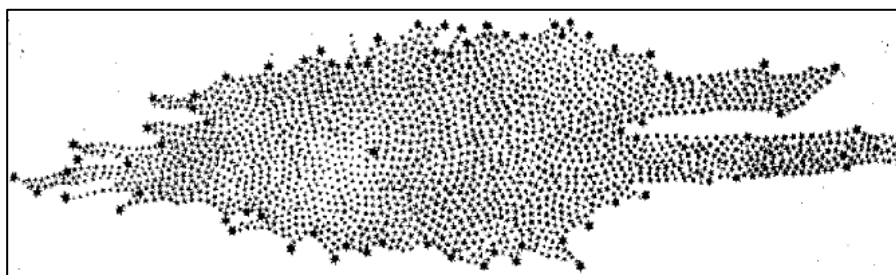


図 5： 太平洋上を吹く風応力の分布の模式図

第9回日本地学オリンピック本選（天文分野問題） 解答時間は 30 分

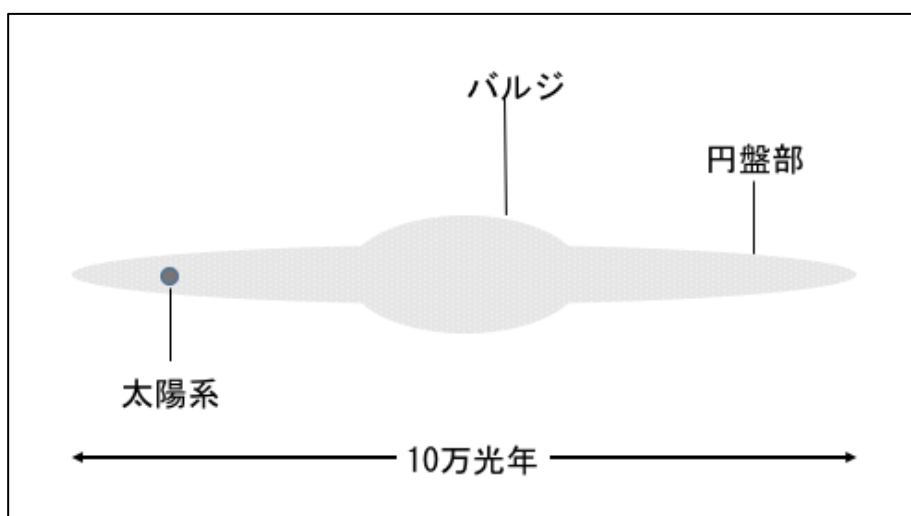
銀河系について、以下の設問に答えよ。

問1 （図1）はイギリスの天文学者ウィリアム・ハーシェル(1738-1822)が恒星の観測から見出した銀河系の姿である。（図2）は現在の銀河系の模式図である。（図1）では太陽が銀河系の中心にあるが、現在では（図2）のように、銀河系の中心から離れたところに位置することがわかっている。ハーシェルの観測方法には、どんな問題があったか？その問題点を2つあげよ。



（図1） ウィリアム・ハーシェルが描いた銀河系の姿

Herschel 1785, Philosophical Transaction of the Royal Society of London
(<https://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Herschel-Galaxy.png>)



（図2） 現在の銀河系の模式図

問2 フランスの天文学者シャルル・メシエ(1730-1817)は小型望遠鏡を使って、様々な星雲・星団・銀河を観測した。

(表1) はメシエが観測した代表的な球状星団・散開星団・銀河の銀河座標と距離をまとめたものである。

(1) 球状星団と散開星団の特徴の違いを3点述べよ

(2) 球状星団・散開星団・銀河のうち、銀河系の大きさ(直径)を推測するのはどれが適しているか?その理由も含めて述べよ。(1)の解答を使ってもよい。

代表的な球状星団			
名称 (メシエ番号)	銀経	銀緯	距離 (千光年)
M53	333.0	+79.8	58.0
M3	42.2	+78.7	33.9
M5	3.9	+46.8	24.5
M4	351	+16.0	7.2
M13	59.0	+40.9	25.1
M92	68.3	+34.9	26.7
M22	9.9	-7.6	10.4
M56	62.7	+8.3	32.9
M15	65.0	-27.3	33.6
M2	53.4	-35.8	37.5
代表的な散開星団			
名称 (メシエ番号)	銀経	銀緯	距離 (千光年)
M103	128.8	+22.4	8.8
M34	143.7	-15.6	1.4
M37	177.6	+3.1	4.4
M44	205.5	+32.5	0.6
M45	166.6	-23.5	0.4
M67	215.7	+31.9	2.4
M21	7.7	-0.4	4.2
M16	17	+0.8	8.2

グランプリ地球にわくわく 2017

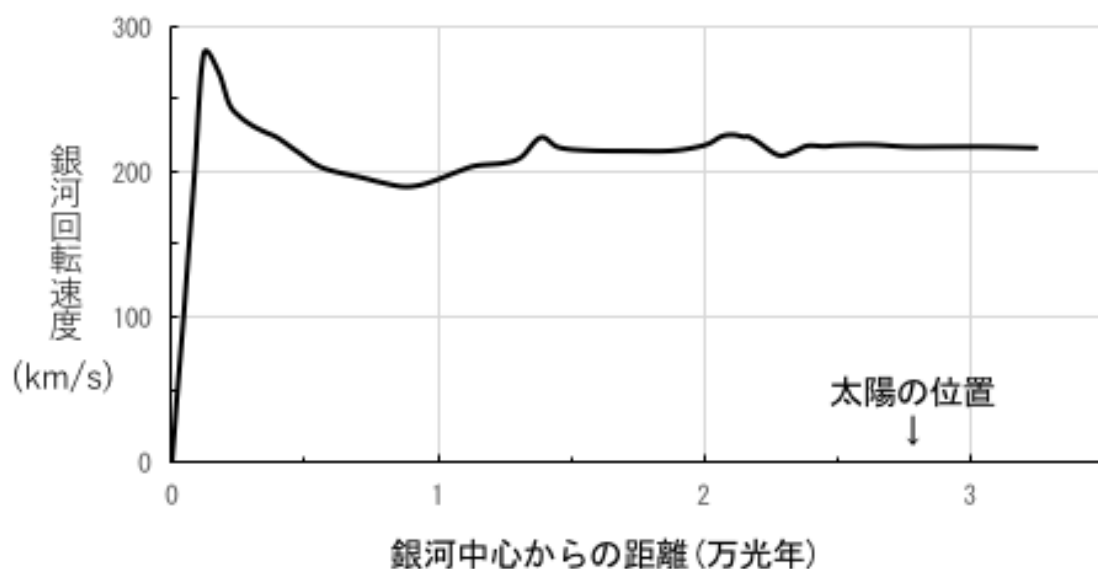
M11	27.3	-2.8	5.6
M39	92.4	-2.2	0.9
代表的な銀河			
名称 (メシエ番号)	銀経	銀緯	距離 (万光年)
M31	121.2	-21.6	230
M33	133.6	-31.3	250
M74	139	-46	3700
M77	172	-52	4700
M81	142	+41	1200
M106	138	+69	2100
M87	287	+74	5900
M104	298	+51	4600
M51	105	+69	2100
M101	102	+60	1900

(表 1) (理科年表)

注) 銀経・銀緯…銀河系の中心方向を原点とした天球座標、銀緯の絶対値が大きいほど、見かけ上、銀河面から離れていることを表している。

問3 (図3)は銀河系の銀河回転曲線を模式的に示したものである。銀河回転曲線とは、銀河系の中心からの距離と銀河の回転速度の関係を表している。

- (1) 太陽が銀河系の回りを1周するのに何年かかるか計算せよ？有効数字は2桁でよい。
1光年= 9.5×10^{12} km とする。1年= 3.2×10^7 秒とする。
- (2) (図3)から銀河系の恒星の数は約何個になるか計算せよ。有効数字は2桁でよい。
なお、銀河系を構成する各恒星の質量は太陽と同じと仮定してよい。
また、銀河系全体の質量を M 、太陽の質量を m 、太陽と銀河中心までの距離を R 、
太陽の銀河系中心に対する公転周期を T 、重力定数を G とすると、
銀河系全体と太陽の間にかかる万有引力 F は、 $F = GMm/R^2$
太陽にかかる遠心力 f は、 $f = mR \cdot 4\pi^2/T^2$
で表される。

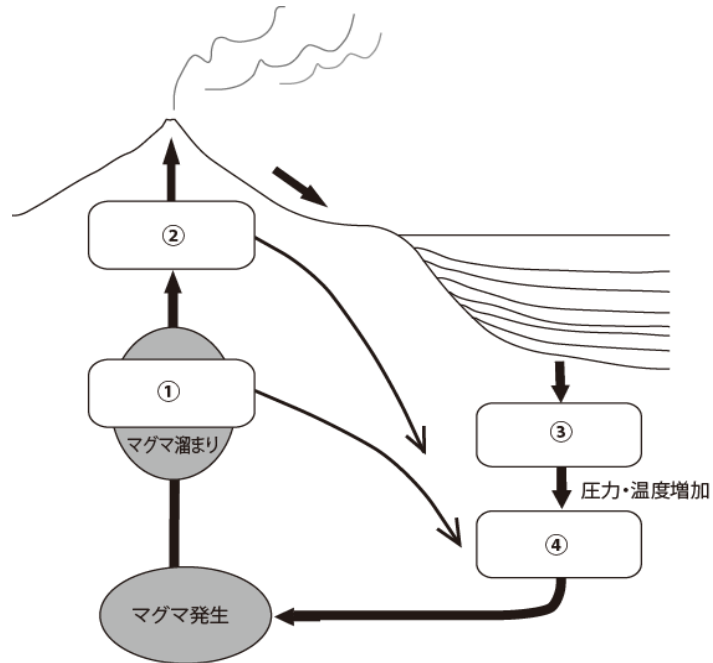


(図3) 銀河回転曲線

問4 銀河系の中心には太陽質量の200万倍以上の巨大ブラックホールがあることがわかっている。これは観測的に存在が証明されているが、通常の可視光の観測ではわからない。どのような観測を行ったと考えられるか、記述せよ。

第9回日本地学オリンピック本選（標本鑑定問題） 解答時間は 30 分

問題 1 机上の 15 種類の岩石標本（標本番号 **ア** ～ **ソ**）および、岩石サイクルに関する以下の図について、各問いに答えなさい。



問 1 岩石標本 15 個を図中の①～④のいずれかに分類し、分類した岩石の標本番号 **ア** ～ **ソ** を解答欄の①～④にそれぞれ書き入れなさい。

問 2 問 1 で①～④に分類した岩石について、各形成場所につきそれぞれ二つずつ、岩石名とその標本番号を答えなさい。

グランプリ地球にわくわく 2017

問題 2 机上の 5 種類の化石標本（標本番号 **A** ～ **E**）を観察し、以下の各問いに答えなさい。

問 1 標本 **A** ～ **E** の化石の一般的な名称（解答例. 直角貝、ピカリア）をそれぞれ答えなさい。
また、標本 **A**、**B**、**C** についてはそのように判断した根拠や特徴を答えなさい。

問 2 標本 **A** ～ **E** について、化石となった生物が繁栄した時代はそれぞれいつか。最適な時代と紀を以下の語群からそれぞれ選び、答えなさい（解答例. ○○代△△紀）。なお、語群の語句は複数回用いても構わない。

【時代の語群】先カンブリア時代 古生代 中生代 新生代

【紀の語群】カンブリア紀 デボン紀 ペルム紀 三畳紀 白亜紀 古第三紀 新第三紀

問 3 標本 **A** ～ **E** の化石の分類として最適な分類群を以下の語群からそれぞれ選び、答えなさい。なお、語群の語句は複数回用いても構わない。

【語群】原生生物 刺胞動物 腕足動物 節足動物 軟体動物 棘皮動物 脊索動物

－問題以上－