

2014年度 センター試験 本試験 地学 I

第1問 地球の内部構造

出題範囲	地球の形・重力，地球の内部構造，プレートテクトニクス
難易度	★★★★☆☆
所要時間	8分
傾向と対策	固体地球に関する問題で，Aではおもに地球内部について問われ，Bでは地球の大きさや重力について出題された。問題の難易度としては標準レベルであったが，Aでは少し細かい知識も必要で，問1では地殻熱流量と太陽の放射エネルギーの大小について知っておく必要があった。教科書等に載っている数値については単位や大体の桁を把握しておいてもらいたい。また，Bではエラトステネスの井戸が扱われているが，頻出の題材であるから必ず教科書等で確認しておくこと。

A

問1 正解は⑧

難易度 ★★★★★☆☆

解説

ア 密度が入る。

イ 核が入る。

密度の大きい物体ほどより強い重力がはたらき下方に移動する。初期の地球は微惑星などの衝突のエネルギーと大気の強い温室効果のため表面の岩石が融けてマグマに覆われており（**マグマオーシャン**という），マグマ内の鉄やニッケルといった密度の大きい金属は沈んで核を形成し，金属と比べて軽い岩石が表面側に残ってマントルを形成した。

ウ **小さい**が入る。地球が大気圏最上部で受け取る太陽の放射エネルギーは約 $1.37 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ であり，この値は太陽定数と呼ばれている。一方，地球内部から対流や伝導を通して地表に運ばれる熱（地殻熱流量）は大陸地域で約 $65 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$ ，海洋地域で約 $101 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$ であり，太陽の放射エネルギーと比較してずっと小さい。

問2 正解は③

難易度 ★★★★★☆☆

解説

① 誤 アセノスフェアとは別名低速度層と言われ，地震波速度が下がる部分である。以下にアセノスフェアとリソスフェアについてまとめておく。

◆ check!! アセノスフェアとリソスフェア

モホロビッチ不連続面（地殻とマンツルの境界。深さ数十 km）より深い、マンツル上部の深さおよそ 100 km から 250 km までに、地震波の速度が少し小さくなる部分があり、それを低速度層と呼ぶ。地震波の伝わる速さは体積弾性率や剛性率が上がるほど大きく、密度が上がるほど小さくなる。つまり。密度が同じであれば、固い岩石の方が伝わる地震波は速いということである。このことから、低速度層は、それより上の層よりやわらかい岩石から構成されることがわかる。マンツル上部の低速度層のことを **アセノスフェア**、それより上の固い岩石の層（マンツル上部と地殻）を **リソスフェア（プレート）** と呼ぶ。アセノスフェアが柔らかく流動性が高い理由は、岩石が部分溶融しているからだと考えられている。

- ② 誤 ホットスポットはプレートの動きとは関係なく固定しているので、プレートの運動速度はホットスポットと火山島の年齢から求めることができる。例えば、1,000 万年前にできた火山島がホットスポットの位置（現在火山が生成している位置）から 1000 km 離れていたとすると、1,000 万年前にはその火山はホットスポットの位置にあったはずなので 1,000 万年で 1000 km 動いたということになる。これから運動速度を求めると、 $1000 \text{ km} \div 1000 \text{ 万年} = 10 \text{ cm/年}$ という値が得られる。現在は VLBI（超長基線電波干渉法）を用いて日本列島とハワイとの距離などを正確に計測することで移動速度の計測が行われている。よって、GPS で初めて観測されたのではない。
- ③ 正 海洋プレートは海嶺で生成されたときは非常に薄く、10 km に満たないほどの厚さである。しかし、海洋プレートが移動してマグマの湧き出る海嶺部分から離れると海洋プレートやその下部のアセノスフェアは冷やされ、アセノスフェアの物質がプレート下部に付加して厚く重くなっていく。
- ④ 誤 大陸地殻は花崗岩から構成されており、玄武岩で構成された海洋地殻よりも密度が小さい（比重は花崗岩：約 2.7、玄武岩：約 3.2）。海洋地殻が大陸地殻に沈み込むのはこの密度の差によるもので、密度の小さい大陸地殻が沈み込み運動をすることはなく地球内部に降下しない。

問 3 正解は①

難易度 ★★★☆☆

解説

圧力はその深さでのそれより浅い場所の分の重さがかかって生じているのだから、地球内部に近づくほど大きくなり、不連続に変化したり減少したりすることはない。温度についても同様で、熱は温度が高い方から低い方へ流れて温度差を小さくしようとするのだから不連続な分布にはならないはずである。

問 4 正解は②

難易度 ★★★☆☆

解説

- a 正 プルームとは地球深部を鉛直方向に移動する塊状のマントル物質のことで、プルームの上昇流（ホットプルーム）がある場所では海嶺や地溝帯が形成されており、海洋プレートが沈み込む海溝地下にはコールドプルームと呼ばれるプルームの下降流が存在している。このように地球の変動をプルームで説明する考え方を**プルームテクトニクス**と呼ぶ。
- b 正 地球内部の熱源は、蓄えられた熱とウランやトリウム、カリウム等の放射性元素が崩壊して別の元素に変わるときに放出される熱である。この熱が地表まで伝導してきたものを地殻熱流量といい、大陸で小さく海洋で大きい。これは大陸の方が放射性同位体の崩壊熱が大きい、海洋プレートは薄いので、マントルからの熱供給が大きいことが要因である。あわせて覚えておこう。
- c 誤 火星には**オリンポス火山**と呼ばれる太陽系最大級の火山が存在する。高さが約 25 km、すそ野の直径は約 600 km にもおよぶ巨大な火山で、火星にはほかにも多様な火山地形がみられる。また、木星の衛星である**イオ**にも活火山があることが観測されており、火山活動は地球だけで起きていることではない。

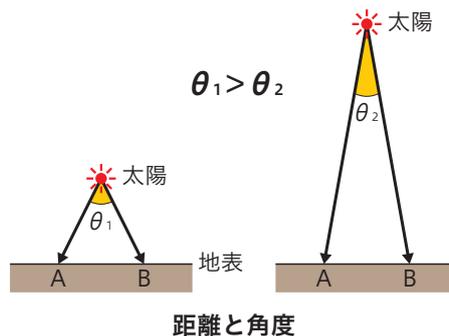
B

問 5 5 正解は④

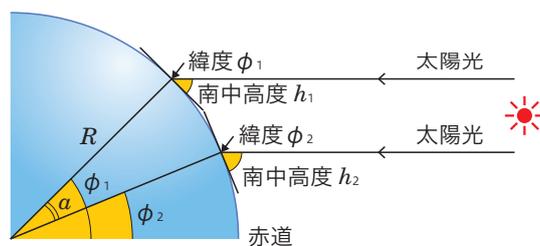
難易度 ★★★★★

解説

- エ **地球からはるかに離れている**が入る。下図において 2 地点 AB 間距離は一定だが、太陽が離れているほうが太陽の見える角度の変化は小さくなっている。さらに太陽が離れると角度はどんどん小さくなり 0 に近づく。こうして、2 地点に到達する太陽光線は限りなく平行になる。また、地球と太陽の大きさの違いには関係なく、これは地球から太陽を見るとほとんど点光源だからである。



- オ **経度**が入る。太陽高度は春分・秋分の南中時に $90^\circ - (\text{その地点の緯度})$ で表され、下図から $h_1 = 90^\circ - \phi_1$, $h_2 = 90^\circ - \phi_2$ である。角距離（中心角） a は $a = \phi_1 - \phi_2$ だから、 $a = (90^\circ - h_1) - (90^\circ - h_2) = h_2 - h_1$ となる。これは下図のように経線に沿った地球の断面図を考えると、つまり 2 つの地点が同じ経線上にある場合を考えている。



緯度と南中高度

力 $\frac{360s}{a}$ が入る。地球はほとんど球形だから 2 地点間の距離は弧とみなせる。よって、中心角 a と地球の半径

R を用いて、 $s = 2\pi R \times \frac{a}{360}$ で表される。これを变形して $2\pi R = \frac{360s}{a}$ が得られ、これは地球の周囲の長

さを表す。また、この両辺を π で割れば $2R = \frac{360s}{\pi a}$ となり、地球の直径も求まる。

問 6 6 正解は④

難易度 ★★★☆☆

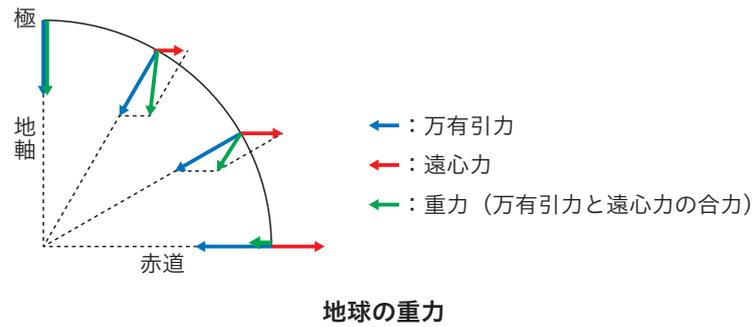
解説

- ① 誤 地球は自転のために赤道方向に遠心力がはたらき、それによって赤道方向が膨らんだ回転楕円体になっている。つまり、赤道半径 > 極半径である。
 - ② 正 極では遠心力がはたらかず、重力と引力は等しくなっている。極で遠心力がはたらかないのは極と地軸の距離がゼロ、つまり遠心力の式 $F_2 = mr\omega^2$ の r が 0 になるからである。
- 以下に重力についてまとめておく。

◆ check!! 重力

万有引力 地球の中心からの距離を R 、万有引力定数を G 、地球質量を M 、引力がはたらく物体の質量を m とすると、引力 F_1 は $F_1 = \frac{GMm}{R^2}$ で表される。また引力のはたらく方向は地球中心の方向である。

遠心力 地球の自転角速度（1 秒間に回転する角度）を ω とし、地軸から物体までの距離を r とすると、物体にはたらく遠心力の大きさ F_2 は $F_2 = mr\omega^2$ と表せる。遠心力は地軸に垂直外向きにはたらく。重力とは上記の万有引力と遠心力の合力である。力の大きさは遠心力 \gg 万有引力であるため重力の大部分は引力に依存するが、方向は必ずしも引力と一定ではない（下図参照）。また、重力の方向を鉛直方向という。



- ③ 正 おもりが受けるのは万有引力と遠心力だが、この合力が重力であるからおもりが垂れた糸は重力のはたらく方向、つまりは鉛直方向を示す。
- ④ 正 地球の半径は約 **6400 km**、海洋地殻の厚さは約 5 ~ 10 km である。地球半径の 0.5% は、 $6400 \times 0.005 =$ 約 32 km であるから、海洋地殻の厚さは地球半径の 0.5% 以下である。

2014年度 センター試験 本試験 地学 I

第2問 変成作用・マグマの発生

出題範囲	鉱物, 変成作用, 火山
難易度	★★★★☆
所要時間	10分
傾向と対策	多形や火山についての知識とそれを用いて地質学的・岩石学的考察を行う必要があり, 思考力が必要なやや難しい問題である。特にAの問2や問4のように, 時系列を考える必要のある問題は地学では毎年必ずと言ってよいほど出題されている。これらの問題に正解できるように練習を積み重ねれば地学での高得点が視野に入ってくるだろう。またそのためにも, Aで用いられている同質異像の相図やBのかんらん岩の融解曲線のような基礎的なグラフは必ず読めるようにしておくこと。

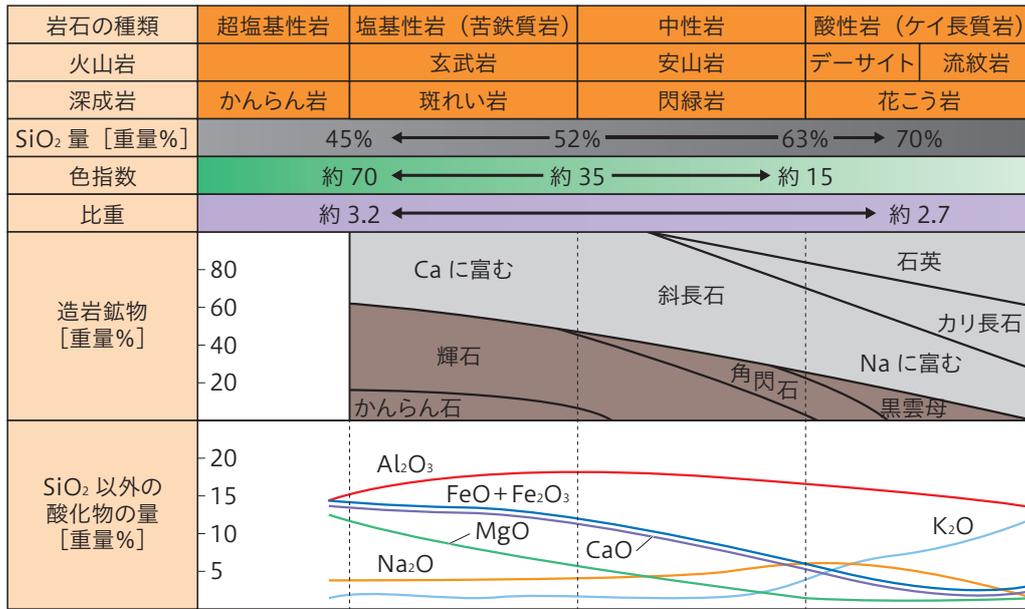
A

問1 正解は②

難易度 ★★★★★

解説

- a 正 花崗岩は、大陸地殻を構成する主要な岩石である。一方、海洋地殻は玄武岩が主な構成岩石であることも覚えておこう。
- b 正 次ページの表を覚えておきたい。花崗岩のほうが玄武岩より軽いので、花崗岩を主成分とする大陸地殻のほうが玄武岩でできた海洋地殻よりも軽く、このためにプレートの収束境界では重い海洋プレートが軽い大陸プレートの下に沈み込んでいる。
- c 誤 Mg は有色鉱物に多く含まれるが、花崗岩は有色鉱物が少ないので、花崗岩は MgO の含有量が少ない。



火成岩分類表

問 2 8 正解は①

難易度 ★★★★★

解説

あとから受けた変成作用は熱が伝わる鉱物外側から進行していく。問題の鉱物の場合は広域変成作用を受けたあとに接触変成作用を受けたので、外側が接触変成作用、内側が広域変成作用でできた鉱物になっているはずである。Al₂SiO₅ が接触変成作用を受けると図 1 の X 帯から分かるように紅柱石になるので、図 3 では外側が紅柱石の a と b が適する。X 帯はもともと Y・Z 帯の岩石が接触変成作用を受けてできたものなので、鉱物の内側は Y 帯を形成するらん晶石もしくは Z 帯の珪線石であることも整合的である。また、このように化学組成が同じでも結晶構造が異なる鉱物間の関係を多形（同質異像）という。

問 3 9 正解は①

難易度 ★★★★★

解説

- ① 正 放射性同位体の崩壊する割合は、温度や圧力等の外界の影響は受けず一定である。この性質を生かしたのが放射年代測定で、場所や岩石に関わらず同じように調べることができる。よって、半減期も一定である。
- ② 誤 広域変成岩の放射年代は、問題文より約 1 億年前で放射性炭素の半減期約 20 回分であるから、測定できる放射性炭素の量は元々の量の約 $(\frac{1}{2})^{20}$ で大体 100 万分の 1 程度である。これでは量が少なすぎて測定には向かない。変成岩の放射年代を測定する際は、より半減期の長い核種を用いた年代測定法を用いる。例えば、U-Pb 法（半減期約 4.5×10^9 年）や、Rb-Sr 法（半減期約 4.9×10^{10} 年）を用いる。

- ③ 誤 X帯は花崗岩の貫入が原因でできた変成岩なので、X帯の生成と花崗岩の形成は同時であり放射年代は等しい。
- ④ 誤 広域変成岩の形成は約1億年前で、地球の中生代白亜紀にあたる。一方ビカリア（ビカリヤ）は、新生代新第三紀に生息した巻貝なので時期が一致しない。以下に、覚えておきたい重要な古生物についてまとめておくので確認しておこう。

◆ check!! 重要な古生物

シアノバクテリア（ラン藻類）

先カンブリア時代～現在。光合成によって大気中の二酸化炭素量を減らし、酸素量を増やした。ストロマトライトという生痕化石をつくる。

エディアカラ生物群

先カンブリア時代末。多細胞の無脊椎動物群。

バージェス動物群（アノマロカリス・ピカイア・オットイア・オパビニア等）

カンブリア紀。硬組織をもつ生物群。

三葉虫

古生代（主に前半）。海生の節足動物。

筆石

古生代（主にカンブリア紀中期～石炭紀前期）。海生。

ウミサソリ

古生代（主にシルル紀～デボン紀）。海生の節足動物。

クックソニア

シルル紀。化石が残っている中では最初に陸上に進出した植物。

サンゴ類（ハチノスサンゴ・クサリサンゴ等）

古生代（ハチノスサンゴ：オルドビス紀～ペルム紀，クサリサンゴ：オルドビス紀～シルル紀）。浅い海に生息。

ウミユリ

古生代の地層から化石が多く見つかる。現生のものは深海底に生息する。

直角貝

オルドビス紀～三畳紀（最盛期はオルドビス紀中期～シルル紀中期）。オウムガイの近縁種で海生の頭足類。

イクチオステガ

デボン紀。両生類であり、最初の陸上脊椎動物といわれる。

ロボク・リンボク・フウインボク

石炭紀に栄えた巨大シダ植物。森林を形成し、石炭のもとになった。

フズリナ（紡錘虫）

おもにペルム紀に栄えた有孔虫の一種。形態が細分化しており、重要な示準化石として用いられる。
ペルム紀末に絶滅。

トリゴニア（三角貝）

ジュラ紀～白亜紀に栄えた二枚貝。浅海を好む。

恐竜・始祖鳥

中生代に栄えたが白亜紀末に絶滅。恐竜から派生した鳥類が新生代以降発展した。始祖鳥は恐竜と鳥類の中間型化石である。

アンモナイト

デボン紀に出現し、中生代に栄える。進化とともに外形は複雑化したが、白亜紀末に絶滅。

ヌムリテス（カヘイ石）

新生代古第三紀。海生の大型有孔虫で暖かい海に生息。

ビカリア

新生代新第三紀。マングローブなどの汽水域に生息したとされる巻貝。

デスモチルス

新生代新第三紀。北太平洋沿岸に生息していた。臼歯が円柱を束ねたような形状であるのが特徴の哺乳類。

ナウマンゾウ

第四紀に日本に生息したゾウ。数万年前に絶滅。

マンモス

第四紀に世界中に生息していたゾウ。数種存在したが、氷河期の終わりとともにすべて絶滅。

問 4 10 正解は④

難易度 ★★★☆☆

解説

- ① 誤 X帯の受けた接触変成作用は広域変成作用を受けたあとなので、花崗岩の貫入は広域変成岩ができた1億年前（中生代白亜紀）よりも新しい時代であるから、古生代に貫入したという記述は適当でない。
- ② 誤 問題中の図2を見ると、変成岩は温度が800℃以上になると必ず珪線石に変成してしまう。できた接触変成岩は紅柱石であるので、温度が800℃以上になることはなかったと考えられる。
- ③ 誤 らん晶石と珪線石を比べると、図2より温度が同じ場合、らん晶石ができるのは珪線石よりも高圧な条

件下でなくてはならないことがわかる。深い場所ほど圧力は高いので珪線石は地中の浅い場所で、らん晶石は地中の深い場所でできたことになり、らん晶石でできた Y 帯のほうが珪線石でできた Z 帯よりも深い場所でできたはずである。

- ④ **正** 花崗岩の貫入を受けたのは紅柱石が安定的に生成される場所、つまり圧力が 4.0×10^8 Pa 以下のとき。一方、Y 帯と Z 帯は隣り合っているため温度の差がないと考えられ。図 2 を見ると、温度が $500^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ では珪線石とらん晶石が両方生成される。らん晶石ができるのは少なくとも 4.0×10^8 Pa 以上の圧力がかかっている場合なので、Y 帯は X 帯よりも深い場所でできたはずである。Z 帯は Y 帯と接しているのだから、Z 帯ももともとはもっと深い場所で生成されたと考えられる。

B

問 5 11 **正解は③**

難易度 ★★★★★

解説

かんらん岩が融解するのは、かんらん岩の融解曲線に温度と圧力が達したときである。P の状態にいるかんらん岩が上昇したときを考えるが、上昇すると圧力が下がる。かんらん岩の状態は問題中の図 4 において左側に動いていく。P から左側に動くとき融解曲線上の R に達するのでマグマの発生位置は **R** とわかる。

また、かんらん岩が融解すると**玄武岩質マグマ**ができる。安山岩質マグマや流紋岩質のマグマはこの玄武岩質マグマ内の鉱物が晶出してマグマの組成が変化すること（結晶分化作用）等によってできる。

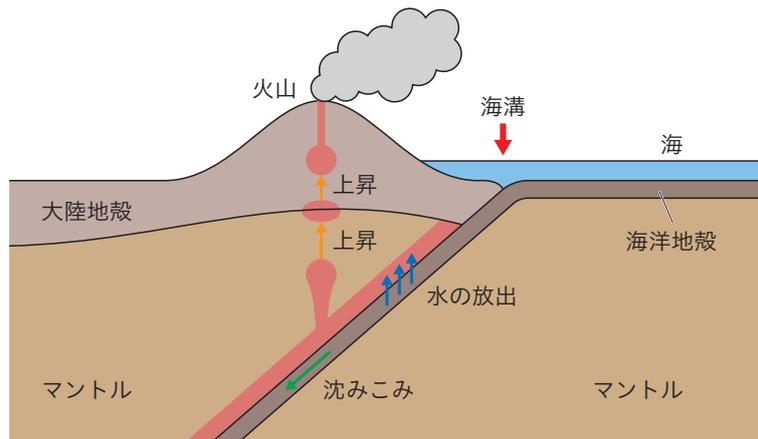
問 6 12 **正解は③**

難易度 ★★★★★

解説

- ① **誤** ホットスポットとは、プレート境界とは関係なく火山ができる場所のことで、プレートが運動してもホットスポットの位置は変化しないと見なせる。ホットスポットから離れた場所にある火山島はもともとホットスポット上であって、それがプレートの移動に伴ってホットスポットから離れていった火山である。ハワイの北西には天皇海山列をはじめ火山島・海山が多数分布しているが、これらももともと現在のハワイのホットスポットで形成されたもので、プレートの運動に伴って北西に移動したのである。よって、遠くのものほど昔に形成されてプレートの移動により移動した火山である。
- ② **誤** 海嶺では溶岩が流出し火山が形成されているが、火山活動が起きるのは海嶺においてなので、火山は海嶺と平行になるように位置する。したがって、同時期の火山は海嶺に平行には存在するが直行することはない。
- ③ **正** 島弧においては、海洋プレートが沈み込む際に海洋地殻内の水が放出される。マントルに水が供給されると融点下がるために岩石が融解してマグマが発生し（部分溶融）、このマグマが大陸地殻まで浮上して火山の形成を担う。マグマが発生するのは海溝から水平距離で $300 \sim 400$ km 離れた場所であり、その上に火山が多く形成される。そのため、海溝から $300 \sim 400$ km 離れた場所に火山帯が形成され、このうち最も海

溝側の火山の位置を連ねた線を火山前線という。日本は 110 の活火山をもつ世界有数の火山大国でもある。



島弧の火山

- ④ 誤 沈み込み帯近くの大陸上には多数の火山が存在しており、北アメリカ大陸にはセントヘレンズなどの活火山、南アメリカ大陸にも多数の火山が存在している。
- ⑤ 誤 地溝帯とはプレート同士の裂け目であり、将来的には海嶺を形成する場所である。地下からはプルームが上昇しているため火山活動が活発であり、アイスランドでは 2010 年に噴火が起きて、噴火による煙と火山灰がヨーロッパの空路に大きな影響を与えた。アフリカの地溝帯付近にも火山は多数存在している。

2014年度 センター試験 本試験 地学 I

第3問 地質図・示準化石と地層の対比

出題範囲	地質図・地質断面図, 古生物
難易度	★★★★☆
所要時間	10分
傾向と対策	Aでは地質図に関する問題が問われたが, 例年と比べて思考力はあまり必要ではなく, 代わりに解くための作業が多い問題である。補助線を引くといった地質図の問題を解くにあたって必要な作業はパターン化されており, 過去問などで何度も練習し, 数をこなしておいてほしい。Bは地層の対比が題材となっており, 思考力を鍛えるには適当な良問である。2010年にも類題が出題されているので, そちらも解いてみてほしい。

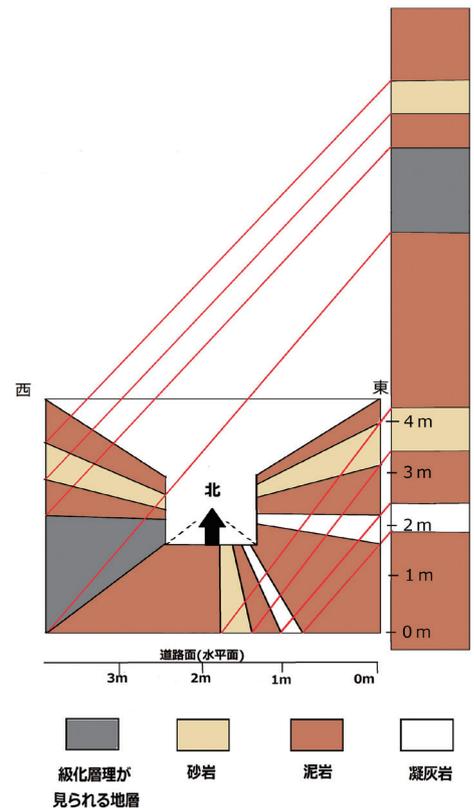
A

問1 13 正解は③

難易度 ★★★★★

解説

まず, 地点Pは道路が南北に伸びており, 地層境界は道路の方向と平行なので走向は南北方向である。次に傾斜を考える。図1中の凝灰岩に注目すると, 凝灰岩は鍵層として用いることができ, 道路面に見える凝灰岩層と東側の崖に見える凝灰岩層は同一のものである。道路の断面において凝灰岩と泥岩の地層境界同士を結ぶ補助線(右図赤線)を引くと, 西方向の傾斜であり傾斜角 θ は $\tan \theta = 2$ で表されることがわかる。ここの地層は褶曲も不整合も存在しないので, 他の地層も同じような傾斜・走向を持っているはずであり, 他の地層境界についても緑線と平行な補助線が引ける(右図赤線)。これに基づいて東側に柱状図を書き入れると右図のようになる。



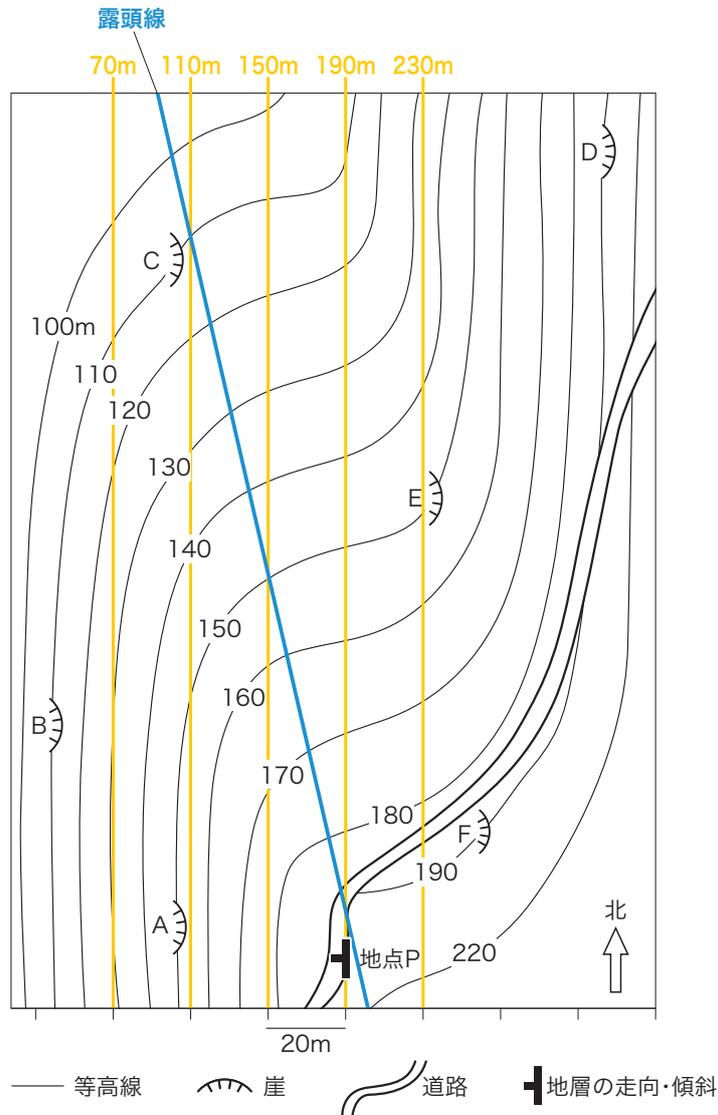
問2 14 正解は③

難易度 ★★★★★

解説

図2において級化層理を含む地層と, その下の泥岩層の地層境界を考える。まず走向は南北方向なので, 地点Pを通るように標高190mの走向線が引ける。次に問1で地層は西に傾斜しており, その傾斜角 θ は $\tan \theta = 2$

を満たしていることがわかっているので、西に水平に 20 m 離れた走向線の標高は 40 m 下がっていることになる。これにしたがって、図 2 の目盛を用いて走向線を引くと下図の黄色い線のようなになる。同じ高さの等高線と走向線の交点を結んでいくと地層境界線が現れ、級化層理を含む地層とその下の泥岩層の地層境界線は下図上で青線で示される。この青線近くだと露頭に級化層理の地層が見えるはずで、これに該当するのは崖 C とわかる。



問 3 15 正解は⑤

難易度 ★★★☆☆

解説

- ① 誤 凝灰岩は火山灰からできた堆積岩なので、凝灰岩に含まれているものを調べるとその火山の性質がわかる。軽石が含まれている場合、噴火が爆発的でマグマが火山ガスで発泡しながら放出されたことがうかがえる。よって、水の流れには関係ない。
- ② 誤 地層表面の風化はその地層が一時期陸地にあり、その間に化学反応や気温差、水流等によって削られて

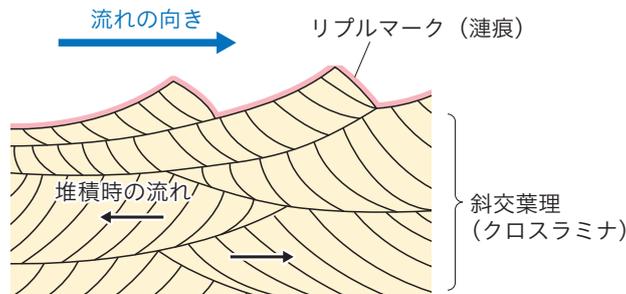
できるものなので、水の流れの影響下で形成したものではない。

- ③ 誤 砂岩は、おもに長石や石英と言った無色鉱物から形成される岩石であり、水流の如何に関わらない。
- ④ 誤 **ヌムリテス**は新生代古第三紀に栄えた海洋性の大型有孔虫であり、暖かい海に生息していた。確かに水のある場所で堆積した地層だとはわかるが、水流の有無は確認できない。
- ⑤ **正** 水の流れが存在する部分に堆積した地層には斜交葉理（クロスラミナ）や漣痕（リップルマーク）といった堆積構造がみられる。以下に、主要な堆積構造とその特徴についてまとめておくので確認しておくこと。

◆ check!! 主要な堆積構造

斜交葉理（クロスラミナ）

水流や風の向きと速さが変化する環境では層理面と斜めに交った縞模様ができることがある。縞模様を切っているほうが**上位**の地層である。



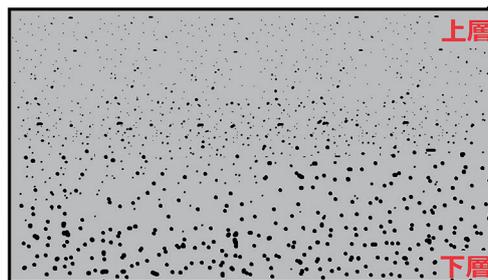
斜交葉理（クロスラミナ）と漣痕（リップルマーク）

漣痕（リップルマーク）

底に水流や風によって波状の模様ができ、**上部**にとがった形である。上流側は傾斜が緩く下流側は急なので水流の向きを推定することができ、上図において水流は左から右の向きだと読み取れる。

級化層理

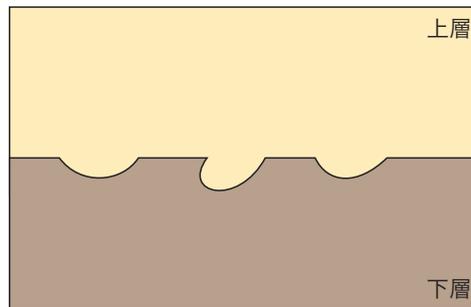
下部ほど粗粒な粒子、上部ほど細粒な粒子が連続的に存在している地層のこと。水流の強さが徐々に弱くなった時や乱泥流などで混濁した場合にできる。粒子が細かい方が**上**。



級化層理

底痕（ソールマーク）

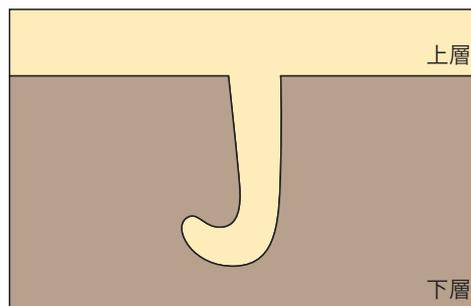
礫などが転がったり引きずられたりして水底にくぼみや溝ができ、その上に新たな地層が堆積することでできる。くぼんでいる向きが**下**向き。



ソールマーク

サンドパイプ

かつて海底に生息していた生物の巣穴の跡である。巣が掘られている向きが**下**。



サンドパイプ

問 4 16 正解は①

難易度 ★★★☆☆

解説

凝灰岩は火山碎屑物からなる堆積岩である。また、**級化層理**が見られる層も**礫・砂・泥**からなる堆積岩である。

- a **正** これは**続成作用**の説明で、**続成作用**とは堆積物が堆積岩になる過程のことである。堆積物は圧縮されて互にくっつき、堆積物間の隙間には CaCO_3 や SiO_2 などが沈殿して堆積物同士を結びつけている。
- b **誤** 堆積物はマグマの高熱でとけると、そのままマグマになるので、それが冷えて固まると火成岩ができる。また、貫入したマグマの高熱でも堆積物がとけずに鉱物の変質した岩石が**接触変成岩**といい、砂岩や泥岩が変成した**ホルンフェルス**、石灰岩が変成した**結晶質石灰岩（大理石）**などがおもな接触変成岩である。
- c **正** **チャート**は放散虫や珪藻などの SiO_2 を含む生物の死骸が海底に堆積し、それが**続成作用**を受けてでき

る岩石である。海洋で物質が堆積するスピードは、陸地から運ばれてきた物質が堆積する場合よりもずっと遅い。

- d 誤 石灰岩やチャート、岩塩、石膏^{こう}といった岩石は海水中に溶けている物質の沈殿によるものではない。しかし、凝灰岩のもととなる火山砕屑物や級化層理を作る礫などは、海水中に溶けている物質の沈殿によるものではない。
- e 誤 級化層理を含む地層を形成した砂・礫・泥は、河川によって侵食され海まで運搬されたものである。しかし、凝灰岩のもとである火山砕屑物は噴火の際に風で運ばれてきたものである。

B

問 5 17 正解は②

難易度 ★★★☆☆

解説

この問題はア・イ両地点に分布する凝灰岩層を**鍵層**（その地域に広く分布しており、化石や岩質などにより他の地層と区別できる地層で地層の対比に用いる）として、地層を対比して解く。

- ① 誤 まず生物 4 に注目すると、イ地点において生物 4 の化石が Z 層に分布している。t 層は Z 層よりも新しいので、t 層の堆積は生物 4 が誕生して以降、つまり地質時代 IV～V である。よって t 層よりあとに堆積した X 層は、地質時代 IV～V の堆積岩である。一方、生物 1 の生存期間は地質時代 I～III 初期である。よって、X 層の堆積と生物 1 の生存期間は異なる。
- ② 正 Y 層は Z 層よりも下層にあるので古く、Z 層には生物 3・4 が産出するので Z 層の地質時代は IV である。よって、Z 層より下の Y 層は地質時代 IV 以前のはずであるから、地質時代 II の可能性がある。Y 層の下の地層には生物 1 が含まれた地層があるが、生物 1 は地質時代 I～III 初期に生息していたので Y 層が地質時代 II であることを否定する証拠にはならない。
- ③ 誤 Z 層には地質時代 III～IV に生息した生物 3 と、地質時代 IV～V に生息した生物 4 が産出するので、Z 層の地質時代は IV である。一方、W 層の上の層には地質時代 I～III 初頭に生息した生物 1 と地質時代 II に生息した生物 2 の化石が産出するので、この層は地質時代 II の層である。となると、W 層はそれより古いはずなので W 層の地質年代は II 以前である。したがって、W 層と Z 層は同時に堆積した可能性はない。
- ④ 誤 Z 層には地質時代 III～IV に生息した生物 3 と地質時代 IV～V に生息した生物 4 が産出するので、Z 層の地質時代は IV である。地層 t は Z 層の上にあるから Z 層より新しく、地層の地質時代は IV 以降である。

問 6 18 正解は⑤

難易度 ★★★☆☆

解説

- a 誤 約 27 億年前に**シアノバクテリア**（**ラン藻類**）が誕生すると、地球の大気中の二酸化炭素が消費され酸素が生成されるようになり大気の組成が変化していった。光合成によって発生した酸素は海中に溶け込み、

当時の海中に存在していた鉄イオンと結びついて酸化鉄を形成し、沈殿して海底に酸化鉄層ができた。これが**縞状鉄鉱層**で 25 ～ 20 億年前に最も大規模な層ができた。よって火山活動とは関係性がない。

- b **正** 造礁サンゴは暖かく浅い水の澄んだ海に生息していた生物で、造礁サンゴの化石が産出する地層が堆積したのはサンゴの住めるような暖かく浅い水の澄んだ海であったと推定できる。このように地層の堆積した環境を推測するのに役立つ化石を**示相化石**といい、類似の現生生物などから推定できるものが用いられる。示相化石のおもな例としては以下が挙げられる。

アサリ・カキ：浅い海

サンゴ：暖かく浅い水の澄んだ海

シジミ：河口付近や湖沼（淡水）

シュロ・ソテツ：暖かい気候の陸地

マンモス：寒い気候の陸地

- c **正** 水中で堆積した地層が隆起や海面低下によって地上に露出すると、堆積が止まり風化・浸食作用を受ける。この状態で再度沈降して上部に新たな地層が堆積すると、下の地層と上の地層との間に時間的な隔たりができる。このような層理面を**不整合面**といい、不整合面のすぐ上の地層は礫岩層になることが多い。この礫岩を基底礫岩という。また、不整合面を挟んだ 2 つの地層が平行のときは**平行不整合**、傾斜しているときは**傾斜不整合**という。

2014年度 センター試験 本試験 地学 I

第4問 山岳波・ENSO

出題範囲	大気の運動, 海水の運動, 地球のエネルギー収支, 地球環境の変化
難易度	★★★★☆
所要時間	10分
傾向と対策	BはENSOなどについての標準的な知識問題であったのに対し, Aは山岳波などの目新しい現象が題材にされた問題で, 必要な知識が細かく思考力もかなり必要な問題であった。まず問2であるが, 大気の安定度についてしっかり理解しておくことが肝要な問題である。大気の安定度は基礎事項ではあるが理解しにくい事柄でもあるので, この機会に完璧に把握してもらいたい。また, 問3についてだが, 天気図はTVの天気予報や新聞などで見る機会が多い。普段の生活から意識し, 天気図を読めるようにしておいてほしい。

A

問1 19 正解は③

難易度 ★★★★★☆

解説

ア **0.01** が入る。雲粒とは上昇気流によって運ばれた水蒸気が凝結・凝固することでできる水や氷の粒で, 直径は **0.01 mm** ほどしかない。一方, 雨粒は数 mm 程度の大きさがあり, 小さな雲粒が多数集まってできる。雨粒の大きさと雲粒の大きさを混同しないように注意。

イ **湿潤断熱減率** が入る。風下の区間 AB においては雲がかかっているため, この場所での空気中の水蒸気量は飽和水蒸気量に達している。よって, 気温の変化は湿潤断熱減率に従って変化していく。このとき空気はまだ乾燥していないことに注意。

ウ **上がる** が入る。気温の減率とは高度が上がるにつれて気温が下がる割合を示す。したがって, 高度が下がるときはその逆で気温は上昇する。

問2 20 正解は③

難易度 ★★★★★☆

解説

① 誤 最初に空気塊が上昇するのは, 風が山にぶつかり斜面に沿って強制的に上昇させられたからである。絶対不安定ならずと上昇を続けるが, 山を越えた途端下降を始めていることから大気が絶対不安定だとは言えない。

② 誤 飽和空気塊が山頂上空まで上昇するのも, ①と同様に山が存在するからである。条件付き不安定の場合

は、飽和空気塊はずっと上昇を続けるので、雲は山を越えても上昇し続けるはずだが、図1では山を越えたあと雲の高度が下がっている。

- ③ 正 山を越えたあと雲は下降しつつある。つまり飽和空気塊が上昇をやめているので、大気は絶対安定である。
- ④ 誤 このように空気塊が上下に振動する現象は、山岳波と呼ばれ、強い風が山にぶつかって生じる大気重力波（内部重力波）の1種である。大気重力波は大気が安定（絶対安定）なときに起きる。山にぶつかるなどして強制的に上昇させられた空気塊は安定な大気では周囲より重くなり、上向きの浮力に下向きの重力が打ち勝つため下降する。下向きの速度をもった空気塊は浮力と重力のつり合う点で静止できず通り過ぎるため、今度は周囲より軽く上昇に転じる。これを繰り返して空気塊は振動する。

以下に、大気の安定度の分類を解説しておくので確認しておこう。

◆ check!! 大気の安定度

同じ圧力下では、暖かい空気塊ほど軽く、冷たいものほど重い。重さの違いにより、空気塊が大気中において下降するか上昇するかを気温減率に関して3つの場合に分けて考える。

絶対安定

上昇した空気塊が湿潤であっても乾燥していても周囲の気温より低ければ、空気塊は周囲の大気より重いので上昇しないで元の位置に戻る。この状態を絶対安定という。このとき $\text{気温減率} < \text{湿潤断熱減率}$ である。

絶対不安定

上昇した空気塊が湿潤であろうと乾燥していようと周囲の空気より気温が高ければ、空気塊は周囲の大気より軽いので上昇し続ける。この状態を絶対不安定という。このとき $\text{気温減率} > \text{乾燥断熱減率}$ である。

条件付き不安定

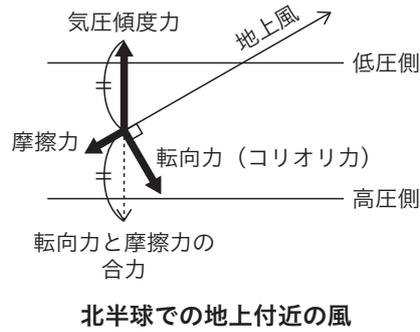
乾燥空気塊であれば安定、湿潤空気塊であれば不安定になるとき、この状態を条件つき不安定という。このとき $\text{湿潤断熱減率} < \text{気温減率} < \text{乾燥断熱減率}$ である。

問3 21 正解は⑤

難易度 ★★★★★☆

解説

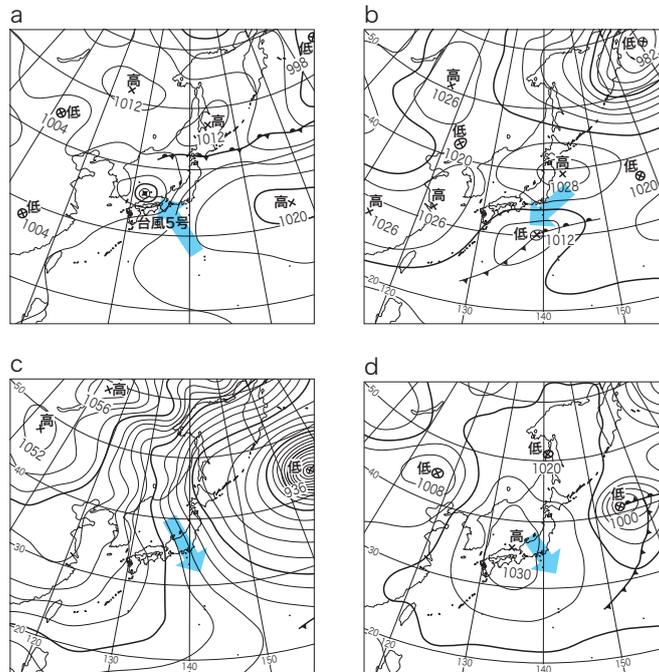
地上付近においては気圧傾度力と、摩擦力と転向力の合力が釣り合うように風が吹いている。摩擦力は進行方向の逆向き、気圧傾度力は高圧部から低圧部の方へ、転向力は北半球において進行方向右向きに働くので、下図のようにつり合いが取れるように風は吹く。



これを a・b・c・d, 4つの天気図に適用し, 日本列島中央部での風の方向を書き込むと下の図のようになる。aにおいては太平洋側から日本海側に向けての風, bにおいては北東からの風, cにおいては日本海側から太平洋側に向けての風がそれぞれ吹く。dはcと同じ方向の風が吹くが, 等高線の間隔が広いので気圧傾度力が小さく, 風力は弱くなっている。

「日本列島の中央部の山脈を越えて太平洋側に冷たく乾いた風が吹き下りるときの例」は, 太平洋側から強い風が吹き込むときに当たり, これに該当するのはcである。日本海側から吹き込んだ風は脊梁山脈に当たって雪を降らせて水分を落とし, 山脈を越えてからは乾いた風となって吹き下ろす。フェーン現象によって山脈を越えることで温度は上がるが, もともと低温な北風なので風の温度は冷たいままである。

「フェーン現象により日本海側のある地域で高温になるときの例」は, 太平洋側から日本海側に向けて風が吹くときに当たるので, 該当するのはa。山脈を越えて行く際にフェーン現象で気温は上がり, もともと南風であるために温度が高いため, 山から吹き下ろす風は高温になる。



本州付近での風向

問 4 22 正解は⑤

難易度 ★★★★★☆

解説

- ① 誤 **過冷却**とは水が凝固点（0℃）より冷やされても水が氷にならない場合のことで、ゆっくりと冷やされたときに過冷却状態になりやすい。雲の中の過冷却水滴は、 -40°C ぐらいまで存在することもあり、氷晶の成長に役立っている（②の解説参照）。露点は空気中の水蒸気量が飽和する温度のことである。水蒸気は塵などの粒子を核（凝結核）として水となるが、空気が清浄で凝結核が存在しないときは、露点でも凝結しないことがあり、これは**過飽和**と呼ぶ。
- ② **正** 水蒸気の飽和状態にある空気塊（雲）における過冷却水滴と氷晶の振る舞いを飽和水蒸気圧に注目して考える。飽和水蒸気圧は氷晶周辺よりも水滴の近くの方が大きいので、水蒸気は氷晶周辺では飽和していたとしても、過冷却水滴近くでは不飽和になることが起き得る。すると、氷晶と過冷却水滴が共存している場合は、過冷却水滴近くでは水蒸気は不飽和であるため水滴は蒸発し、水滴が蒸発した分の水蒸気圧は上がる。しかし、氷晶周辺は飽和しているので増えた分の水蒸気は氷晶に昇華してくっつく。こうして、水滴が蒸発することで氷晶は成長していく。また、こうして成長した氷晶が落下して降る雨を**冷たい雨（氷晶雨）**という。
- ③ 誤 落下速度は空気抵抗と重力の大きさで決まってくる。重力は雲粒の体積に比例し、空気抵抗は断面積に比例する。雲粒が球であるとして、その半径を r とすると、断面積は r^2 に比例し体積は r^3 に比例する。つまり、雲粒が大きいほど体積が大きくなり、結果として重力が空気抵抗よりも影響力をもつようになる。重力が支配的であるほど、下向きに加速するので落下速度が大きくなるから、大きな雲粒のほうが落下速度が大きくなる。ちなみに、雨粒が急速に成長するのは大きな雨粒の方が落下速度が速く、次々と小さな粒に追いついて取り込むからである。
- ④ 誤 あらゆる物体は可視光をはじめ電磁波を吸収して熱エネルギーを得る。しかし、エネルギーを得るばかりではなく電磁波を用いて放出もっており、その電磁波の種類はその物体の温度に依存する。恒星のように温度が高いものは**可視光**や**紫外線**を放出し、地表や人体程度の温度のものは**赤外線**を放出している。また、温度が高いものほど放出する電磁波のエネルギーは高い（シュテファン・ボルツマンの法則）。この性質を応用したのが、気象衛星による赤外面像である。高度が高い雲ほど低温なため赤外線が弱く、白く映るのでこれを利用して雲の高さを調べる。よって、反射した赤外線を観測しているわけではない。

◆ check!! シュテファン・ボルツマンの法則

シュテファン・ボルツマンの法則は以下の式で表される。

$$E = \sigma T^4 \quad (\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) : \text{シュテファン・ボルツマン定数})$$

$E [\text{W}/\text{m}^2]$ は単位面積から毎秒放射されるエネルギー、 $T [\text{K}]$ は表面温度である。

また、恒星の半径をとすると、恒星から毎秒放射される全エネルギー = 恒星の光度 $L [\text{W}]$ は

$$L = 4\pi\sigma R^2 T^2$$

で表される。このように、温度が高い物体ほど放出する電磁波のエネルギーは高い。

B

問 5 23 正解は⑦

難易度 ★★★★★☆

解説

エ **低く**が入る。赤道付近は最も太陽からの放射エネルギーを受け取る場所であるため温度が高く、上昇気流が発生する低圧帯となる。赤道で上昇した空気は上空で南北に流れ、緯度 20° 付近で下降流となり高圧帯を形成する。これが亜熱帯高圧帯で、下降した空気は地表付近で赤道向きの風を形成する。この風が貿易風で、コリオリの力（転向力）によって東寄りの風となっている。

オ **小さく**が入る。

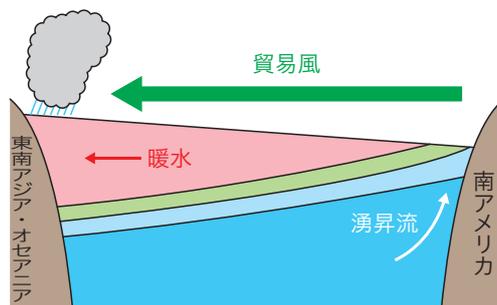
カ **数年**が入る。

以下のエルニーニョ・ラニーニャ現象についての check!! を参考にしてもらいたい。

◆ check!! エルニーニョ・南方振動 (ENSO, El Niño-Southern Oscillation)

平常

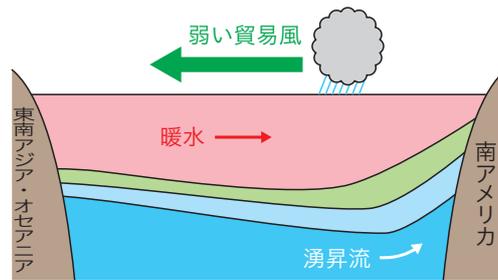
太平洋赤道付近では東風の貿易風が表層の暖水を西側へと吹き寄せ、西側の方が東側よりも水温が高くなり、東側では海底からの冷たい湧昇流が発生する。これによって西部では海水の蒸発が盛んとなり、水蒸気の供給が活発になり積乱雲が発生する。また、海面の高さも西の方が吹き寄せられる分、高い。



平常時の海水温断面図

エルニーニョ現象

貿易風が弱まると暖水の吹き寄せが弱まり暖水が東側へと広がる。このため東側では湧昇流が暖水の層に阻まれて弱まり、漁業などに大きな影響が出る。また、暖水域が東部に広がることで積乱雲の発生地帯は東側に移り、海水面の高さの東西差は小さくなる

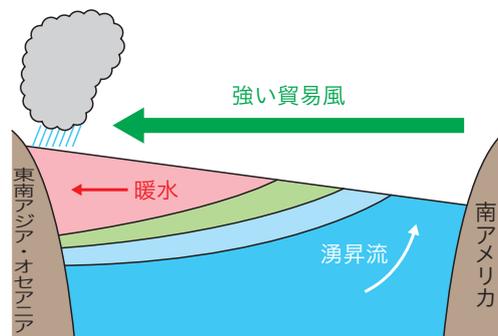


エルニーニョ時の海水温断面図

ラニーニャ現象

貿易風が強まると暖水の吹き寄せが強まり暖水が西部に集中する。これにより東側では冷たい湧昇流が強まり水温の東西差は大きくなる。これにより積乱雲の発生は西側に集中し、平年よりも活発に発生する。また、海水面の高さの東西差は大きくなる。

エルニーニョとラニーニャは数年単位で周期的に繰り返されており、貿易風が密接に絡むことから大気との関連性が高いとされている。特に南太平洋の海面気圧は東部が高いときに西部は低く、東部が低いときは西部が高くなっているが（これを南方振動という）、南方振動は貿易風の強弱と密接にかかわっており、これらの大気と海洋の一種の連動をエルニーニョ・南方振動（**ENSO**, El Niño-Southern Oscillation）と呼んでいる。



ラニーニャ時の海水温断面図

問 6 24 正解は⑤

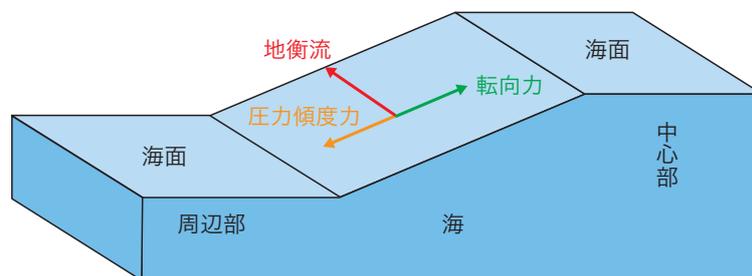
難易度 ★★★★★☆

解説

- a 誤 コリオリの力とは、回転する物体上で運動する際にかかる見かけの力で、地球表面という回転座標系において移動する空気塊にも生じる。北半球では進行方向に対して右に、南半球では左に生じている。単位体積当たりにはたらく転向力の大きさ f は $f = 2\rho\omega v \sin\varphi$ と表される。ここで ρ は空気の密度、 ω は自転角速度、 v は風速、 φ は緯度である。よって、緯度が 0° である赤道上では転向力はなくなる。熱帯低気圧ができ

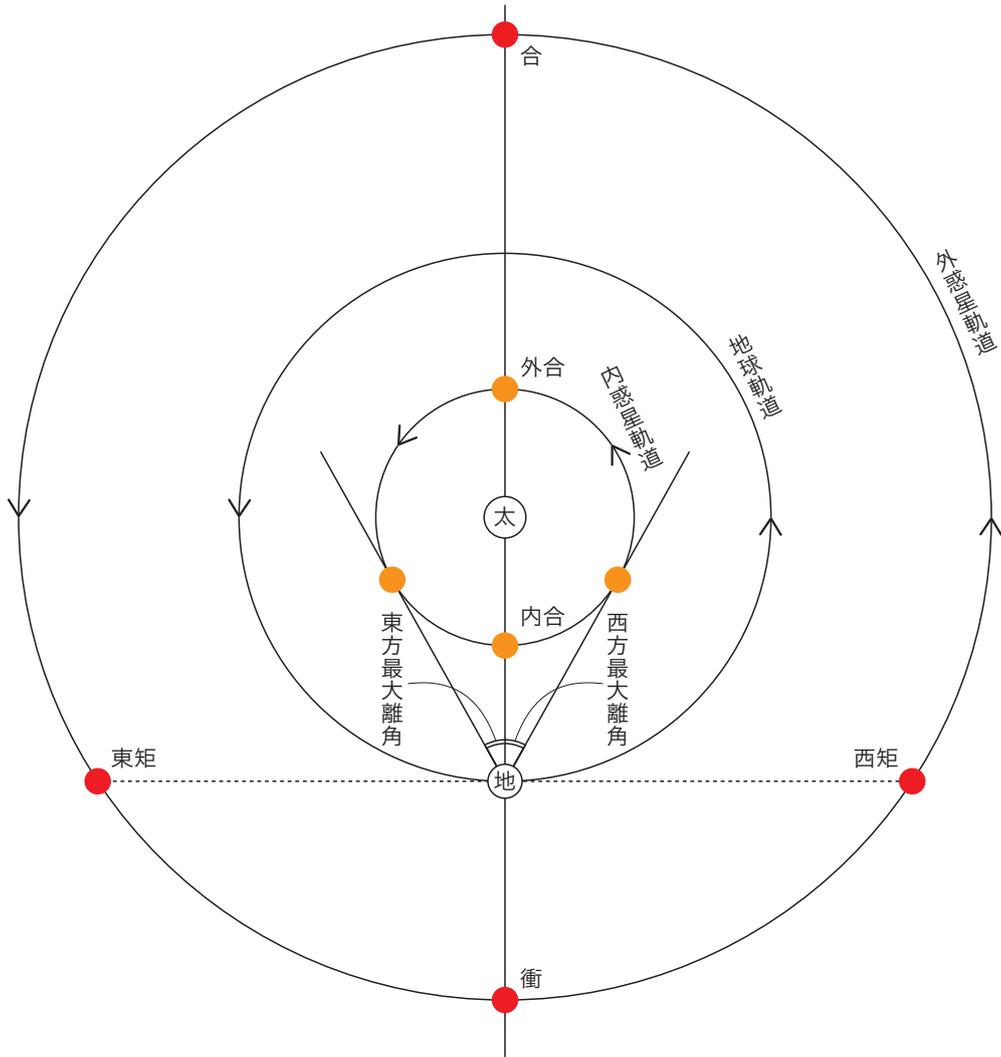
るのは上昇気流が盛んに発生する海水温の高い地域で、風を曲げて渦を巻くためにコリオリの力が必要になる。そのため赤道付近から少し離れた、緯度 5～20°の地域で誕生することがほとんどである。

- b 正 環流の生成には風と転向力が大きく関係している。北半球では転向力は進行方向に対して**右**方向にはたらくので、海洋表層の海水はその上を通る風に引きずられて動いているが、それに転向力がかかって進行方向から右方向に曲げられる。偏西風は西から東へと吹く風なので、風下の東に対して右側、つまり南側に海洋表層の水は運ばれる。一方、貿易風は東から西へと吹く風であるので、西に対して右側の北側に運ばれる。こうして、北側の偏西風帯では南向きに、南側の貿易風帯では北側に海水が運ばれ、中心方向に海水が集められる。中心部分の海面は高くなり、周辺部が低くなる。海面が高い中心部の方が周辺部より水圧が高いため、水圧が高い方から低い方へ、つまり中心部から周辺部へと**圧力傾度力**が働く。すると、下の図のように圧力傾度力と転向力が釣り合うように流れが生じる。この流れのことを地衡流という。地衡流は海面が低い方に対して右側に流れる。このため北半球においては中心部から見て周辺部に対して右方向、つまり**時計**回りの環流ができる。一方、南半球では転向力が進行方向**左**向きにはたらくので北半球の逆になると考えればよい。南側に位置する偏西風帯では北向きの力がはたらし、北側の貿易風帯では南向きに力が加わり、南太平洋の中心部に海水が集められる。中心部から周辺部へと圧力傾度力が働き、圧力傾度力と転向力が釣り合うように流れが生じる。南半球においては中心部から見て周辺部に対して左方向、つまり**反時計**回りの環流ができる。



北半球における地衡流

- c 正 水蒸気は海から蒸発する際に蒸発熱として海から熱を奪い、大気中で凝結する際には凝結熱として熱を放出する。これにより、結果として海から大気に熱が移動したことになり大気が暖められる。このような相転移（例えば液体から気体への変化）に伴う熱を**潜熱**といい、地球上での熱の輸送に大きな役割を果たす。また、水蒸気は**温室効果**のある気体である。温室効果ガスとして二酸化炭素が注目されがちであるが、水蒸気の方が大気中に含まれる量が多く、実際に地球の温室効果に最も寄与しているのは水蒸気であることを覚えておこう。



地球と惑星の位置関係と名称

内惑星	外合	太陽に隠れて見えにくい
	内合	見えにくいですが、日面通過が起きることがある
	東方最大離角	太陽より東にあるので太陽が沈んだ後に西の空に見える
	西方最大離角	太陽より西にあるので太陽が昇る前に東の空に見える
外惑星	合	太陽に隠れて見えない
	衝	一晩中よく観測できる
	西矩	夜半から日の出前まで東の空で観測可能
	東矩	日没後から夜半まで西の空で観測可能

惑星の位置と見え方

問 2 26 正解は③

難易度 ★★★★★☆

解説

まず、ケプラーの第3法則より公転周期 T の単位が年、軌道長半径 a の単位が AU なら、太陽系においては

$\frac{a^3}{T^2} = 1$ が成立している。近日点距離と遠日点距離の平均は軌道長半径に等しいので、 $a = \frac{1.0 + 3.0}{2} = 2.0$ AU

と計算でき、 $T^2 = a^3 = 8$ であるから、求める T は $T = \sqrt{8} = 2\sqrt{2} \approx 2.8$ 年となる。

さらに、ケプラーの第 2 法則より、太陽からの距離と公転速度は逆相関の関係なので、公転速度が最も速くなるのは太陽から最も近い点、つまり近日点である。

◆ check!! ケプラーの三つの法則

第 1 法則

惑星の軌道は太陽を焦点の一つとする楕円軌道である

楕円軌道の長軸方向の半径を軌道長半径といい、地球における軌道長半径の値を 1 天文単位 (AU) と定義している。また、離心率 = $\frac{\text{焦点と楕円中心間の距離}}{\text{軌道長半径}}$ である。離心率が 0 に近づくほど軌道は円に近づき、地球の場合は離心率 ≈ 0.01 なのでほぼ円軌道になる。加えて、軌道上で太陽から最も遠ざかる点と最も近づく点をそれぞれ遠日点、近日点という。

第 2 法則

惑星と太陽を結んだ直線は単位時間に等しい面積を描く (面積速度一定)

惑星と太陽を結ぶ線分が一定時間に通過する面積はすべて同じとなる。特に、遠日点と近日点においては、それぞれでの公転速度と太陽までの距離を $V_1 \cdot V_2$, $R_1 \cdot R_2$ とすると、面積速度一定より以下の式が成立する。

$$\frac{1}{2} V_1 R_1 = \frac{1}{2} V_2 R_2$$

第 3 法則

惑星—太陽間の平均距離の 3 乗と惑星の公転周期の 2 乗の比は同じ惑星系の中ならどの惑星でも一定

第 3 の法則は万有引力と遠心力のつり合いから導出できるので、それを示しておく。太陽と惑星間距離を r 、惑星の公転角速度を ω 、公転周期を T 、重力定数を G 、太陽質量を M 、惑星の質量を m とする。

太陽と惑星の共通重心を考えると、共通重心までの距離の比は質量の逆比となる。惑星—共通重心間、

太陽—共通重心間の距離をそれぞれ a , b とすると $a : b = M : m$ となり、 $a = \frac{M}{M+m} r$ となる。

ここで、万有引力と遠心力のつり合いを考えると、

$$m a \omega^2 = \frac{G M m}{r^2}$$

が成立しており、ここに $a = \frac{M}{M+m} r$ を代入し、また、 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ であるから、

$$\frac{4\pi^2 Mmr}{(M+m)T^2} = \frac{GMm}{r^2}$$

両辺を Mm で割って整理すると、

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{G(M+m)}{4\pi^2}$$

となる。ここまでの導出は連星系を考えるとときもまったく同じなので覚えておくこと。

太陽系においては、太陽の質量は惑星の質量より非常に大きいので、 $M+m$ は M で近似できるので、同じ惑星系ならどの惑星でも右辺は一定となる。こうして第3法則は導かれた。

また、太陽系においては、 r の単位を AU, T の単位を年にしたら、右辺の値は 1 となる。なぜなら、地球での値が 1 になるので、他の惑星でも 1 になるはずだからである。

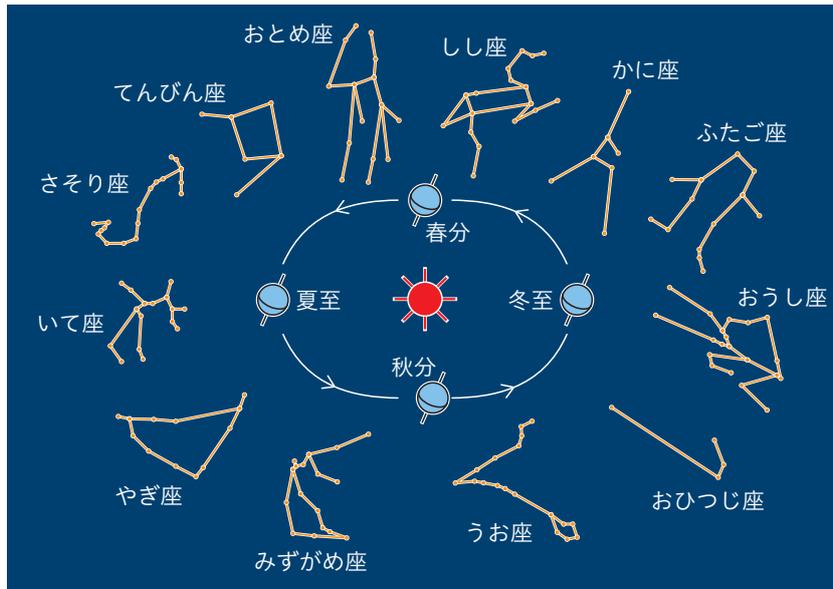
$$\frac{r^3}{T^2} = 1$$

問 3 27 正解は①

難易度 ★★★★★☆

解説

- ① **正** 太陽が天球上を年周運動するのは、地球が1年かけて太陽の周囲を公転するからである。地球と太陽の位置関係を考えると、太陽と同じ方向にある星は見えないが、太陽の逆側にある星は見えることになる。地球の公転に合わせて見えない星は変化し、見える星も変化する。例えば、冬至には太陽の方向にあるさそり座は見えず、ふたご座やおうし座といった太陽とは逆側の星が見える。しかし、夏至には太陽の方向にあるふたご座やおうし座は見えないが、太陽とは逆側にあるさそり座は見えるのである（次ページの図参照）。こうして季節によって見える星座は変わっていく。

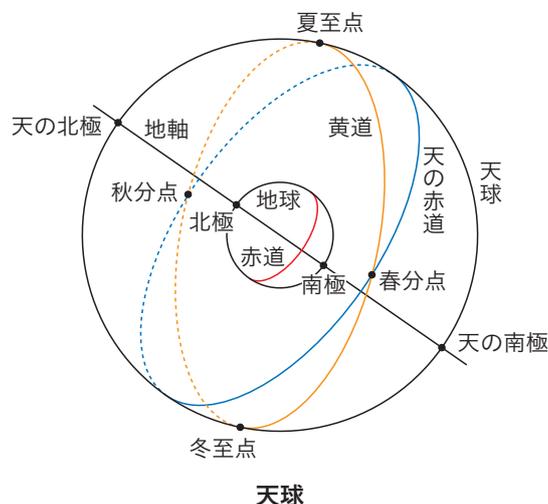


黄道 12 星座

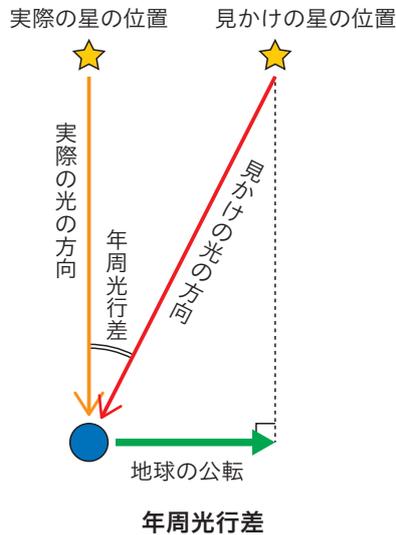
② 誤 **黄道**とは地球から見た太陽の方向を天球上に置き、それをつないだ線のことである。太陽と地球を結んだ線は公転面に接しており、結局のところ太陽の向きを観測してできた黄道は地球の公転面と本質的には変わらないとわかる。ほかの惑星や多くの小惑星の公転面も地球の公転面とほとんど変わらないので、天球上で見ると惑星や小惑星の公転面も黄道に一致するはずで、天球上における惑星や小惑星の動きは、黄道上に一致するはずである。また、地球の回転軸である地軸は公転面の垂直方向に対して 23.4° 傾いているので、赤道と公転面は 23.4° 傾いている。天球上においては、公転面は黄道に対応し、天の赤道は地球の赤道が天球上に拡張されたもので、天の赤道と黄道は 23.4° 傾いている（次ページの図）。

よって、黄道上を通る惑星や小惑星が天の赤道上を通ることはない。

③ 誤 恒星の日周運動は地球の自転による。天球は動かないが地球は1日1回自転するので、地球の観測者から見ると天球が相対的に回って見え、星が1日で1周する日周運動が起きるのである。また、地球の公転によって起きるのは年周運動であり、①のように1年かけて見える星が変化していく。



- ④ 誤 **年周光行差**とは、地球が公転して動いているために実際の星の方向と見かけの星の方向の間に生じる差のことである。風がなく雨がまっすぐ降っている中を自転車で走るとい状況を考えてみよう。雨の方向は鉛直方向だが、自転車で走っている間は斜め上から雨が降っているように感じる。雨を光に、自転車を地球に置き換えてみればよくわかるはずだ。



B

問 4 28 正解は④

難易度 ★★★★★

解説

ア **長い**が入る。銀河のスペクトルを観測してみると、吸収線が波長の長いほう、つまり赤色光寄りにずれて現れることがわかっている。この現象を赤方偏移といい、光のドップラー効果が原因である。赤方偏移の値 z は、波長 λ の吸収線が $\Delta\lambda$ だけ波長がずれていたとすると、 $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ で表される。

イ **140** が入る。ドップラー効果の式を考えると、赤方偏移から銀河の後退速度が求まる。後退速度の大きさを v_0 、光速を c 、赤方偏移を受ける前と受けたあとの光の周波数をそれぞれ f 、 f' とし、これらをドップラー効果の式に当てはめると（ドップラー効果の公式においては光源から観測者への方向を正としているので後退速度は負となることに注意）、以下になる。

$$f' = f \frac{c}{c + v_0}$$

周波数 = $\frac{\text{光速}}{\text{波長}}$ であり、赤方偏移を受ける前の波長が λ であることから赤方偏移後の波長は $\lambda + \Delta\lambda$ となる

ので、 $f = \frac{c}{\lambda}$ $f' = \frac{c}{\lambda + \Delta\lambda}$ であり、代入すると以下になる。

$$\frac{c}{\lambda + \Delta\lambda} = \frac{c}{\lambda} \times \frac{c}{c + v_0}$$

両辺を c で割って、両辺に $(\lambda + \Delta\lambda)\lambda(c + v_0)$ を掛けると以下になる。

$$c(\lambda + \Delta\lambda) = \lambda(c + v_0)$$

さらに、これを展開して整理すると、 $c\Delta\lambda = v_0\lambda$ となり、両辺を λ で割ると以下の式が導かれる。

$$c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = cz = v_0$$

という式が導かれた。こうして後退速度は求まる。

次に色々な銀河までの距離と後退速度の関係について調べたところ、両者は比例していることがわかっていく。この比例定数を H (ハッブル定数) として、銀河までの距離を r とすると、 $v_0 = Hr$ となることがわかっており、これをハッブルの法則という。ハッブル定数の具体的な数値は 70 km/s/Mpc 前後とされているが、正確な値はわかっていない。もともと 1 つの点から始まった宇宙が一定の速度で膨張し続けているとすると、現在の銀河との距離を後退速度で割ると、膨張が継続している時間が求まる。つまりは、

$$\frac{r}{v_0} = \frac{1}{H}$$

であり、 H の逆数が宇宙の膨張している時間、つまり宇宙年齢である。仮に $H = 70 \text{ km/s/Mpc}$ として計算すると、 $1 \text{ pc} = 3.09 \times 10^{13} \text{ km}$ であるから、 $H = \frac{70}{3.09 \times 10^{13} \times 10^6} / \text{s}$ であるので、 $\frac{1}{H} = 4.41 \times 10^{17} \text{ s}$ となる。

単位を年に直すと、1 年 $\doteq 3.2 \times 10^7 \text{ s}$ だから、 $\frac{1}{H} = \frac{4.41}{3.2} \times 10^{10} \doteq 1.38 \times 10^{10} = 138 \text{ 億年}$ となる。この値は頻出なので覚えておこう。

ウ **ビッグバン**が入る。宇宙は誕生直後に大爆発 (**ビッグバン**) を起こし急激な膨張を起こした。誕生時の宇宙は超高温・超高密度の**火の玉宇宙**であったが、現在まで膨張を続けているため現在の宇宙は冷たく空疎なものとなっている。一方、**超新星爆発**とは重い恒星が一生を終えるときに起こす大爆発で、宇宙の誕生とは無関係である。

問5 29 正解は③

難易度 ★★★★★☆

解説

ハッブルの法則より、後退速度は銀河までの距離に比例するので、銀河 A までの距離を r とすると、銀河 B までの距離は $3r$ となる (\because 銀河 B の後退速度は銀河 A の 3 倍)。また、銀河 B の見かけの明るさを L とすると、銀河 A の見かけの明るさは $3L$ である。この 2 つの銀河の明るさを比較するために銀河 B が銀河 A と等距離にある時を考える。受け取る光のエネルギー (明るさ) は、光源までの距離の 2 乗に反比例することを利用する。銀河 B までの距離が $3r$ から r になる、つまり距離が $\frac{1}{3}$ 倍になるので光の明るさは $3^2 = 9$ 倍になる。よって、銀河

B を A と等距離に置いた時の明るさは $9L$ となる。銀河 A の明るさは $3L$ だから、銀河 A の明るさは B の $\frac{1}{3}$ 倍になる。

問 6 30 正解は④

難易度 ★★★★★☆

解説

- ① 誤 宇宙の誕生の際にできた元素のほとんどは**水素**と**ヘリウム**であった。それより重い元素は、恒星の内部での核融合反応等のできる。惑星は水素を燃やし尽くしたあとは、ヘリウムを用いて重元素の核融合を始め、鉄までの重元素を作り出し、それらの重元素は超新星爆発やガスの放出に伴って宇宙空間にばらまかれる。
- ② 誤 宇宙の誕生時は超高密度・超高温の火の玉宇宙であったため、物質は原子核と電子が分離したプラズマ状態であった。しかし、宇宙誕生から約 40 万年後、膨張によって温度と密度の低下が起き、原子核と電子が結びつくようになった。これによって、プラズマに散乱されてまっすぐ進めなかった光は直進できるようになった。これを宇宙の晴れ上がりという。その後も宇宙は急激ではないものの宇宙膨張は続いており、現在のような冷たく空疎な宇宙ができた。
- ③ 誤 宇宙において銀河は一様に分布するのではなく、集団を形成している。われわれの銀河は大マゼラン雲や小マゼラン雲、アンドロメダ銀河、おおくま座銀河などと大小 50 個以上の銀河とともに**局部銀河群**を形成している。銀河群よりもさらに大規模の銀河集団は**銀河団**と呼ばれ、銀河群や銀河団は集まって**超銀河団**ができる。また、宇宙において銀河は、**泡構造**を形成する。銀河が膜のように分布し、内側が空洞（**ボイド**）の泡が連なったような構造である。泡の直径は約 1 億光年といわれる。
- ④ **正** 光の速さは 30 万 km/s であり有限である。そのため地球に光が届くには時間がかかり、遠い場所から来る光ほど時間をかけてやってくる光、つまりより過去に生じた光であるといえる。