

第 III 部

2011 年

- 第 5 回国際地学オリンピック・イタリア大会

北イタリアのモデナにて開催 2011 年 9 月 5 日 - 14 日 / "Earth Science Renaissance: science, environment and art" (自然科学のルネッサンス: 科学、環境と芸術) というテーマが掲げられた。

参加国・地域 カンボジア、フランス、ハンガリー、ホンジュラス、インド、インドネシア、イスラエル、イタリア、キルギス共和国、マラウイー、ネパール、フィリピン、オーストラリア、クウェート、ベラルーシ、ルーマニア、ロシア、シンガポール、大韓民国、スペイン、スリランカ、台湾、タイ、ウクライナ、アメリカ、日本の 26 개국・104 名が参加。

筆記試験講評 出題内容や難易度は日本の高校地学 I・II 程度であるが、年々、知識を問う問題が占める割合が減り、計算問題や読図などの思考力を問う問題の割合が増加傾向にある。今回は、地質・固体地球科学部門では海水準変動や酸素同位体比に関する出題が、気象・海洋科学部門では大気中の二酸化炭素量の変動や炭素の大循環に関する出題がなされるなど、開催地域の研究状況を反映するような内容も盛り込まれていた。

実技試験講評 (未掲載) 実技試験は、前回と同様、4 種類の実技試験が行われた。大会三日目にベニスで海洋科学部門が、大会五日目にモデナで地質・固体地球科学部門、気象科学部門、天文・惑星科学部門の実技試験がそれぞれ実施された。筆記試験は同一会場での一斉試験だが、実技試験では、選手を複数のグループに分けて実技試験を行う。ベニスではグループごとに試験時間を変えて、モデナでは市街地に設けられたポイントを異なるルートで巡って実技試験が実施された。今回の実技試験の特徴は地質・固体地球科学部門の試験で、前回までとは大きな違いが見られた。これまでは海岸や山地などでの露頭観察 (地質調査) が主であったが、今回は市街地の建造物や博物館を利用して出題がなされ、配点比率の割には出題分野・分量ともに多かった。

イタリア大会・海洋分野

問題 1 解答: a

解説: 潮汐は有限物体にかかる天体重力の差分で起こる力であり、その大きさは天体の位置関係に依存する。天体重力の差分なので、距離 ΔR における重力の式の差分を微分で近似すれば、

$$\frac{\Delta F}{\Delta R} \Delta R \sim \frac{dF}{dR} \Delta R = \frac{2GMm\Delta R}{R^3}$$

これが潮汐力を表し、 ΔR を具体的にすれば、潮汐力を受ける物体の重心からの距離、地球・月系では地球重心からの距離である*1。

この問題では、太陽による潮汐も考慮しなければならない。実際問題としては、太陽の起潮力は月のその半分の大きさで、太陽なしでは潮汐を忠実に再現できない。この場合、太陽と月の視線方向がどれだけ近いかを表す「位相」が重要となってくる。これを考慮してみると、図 1 のようになる。

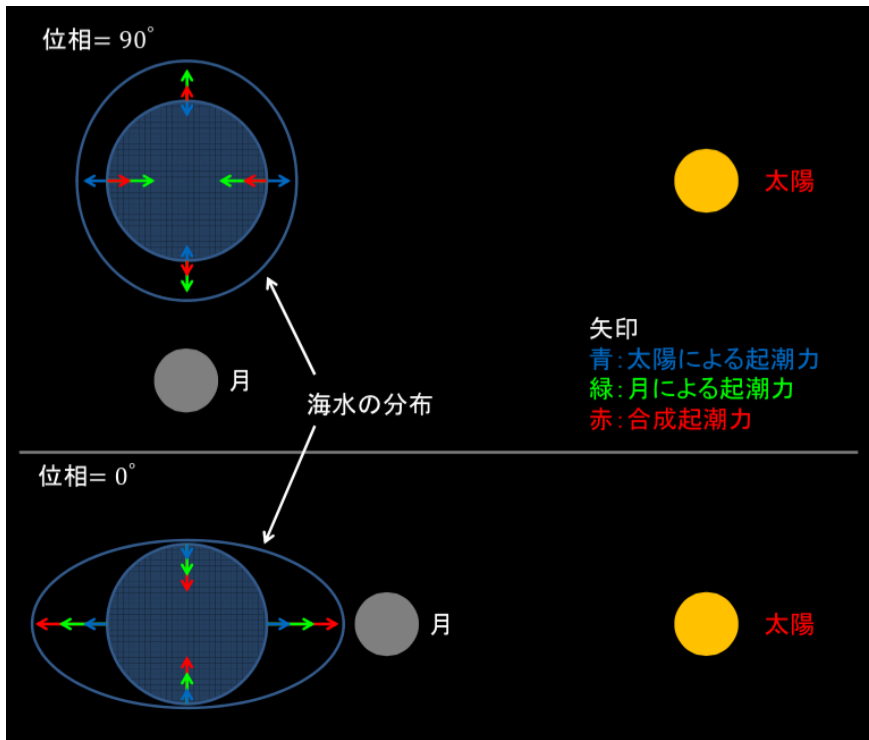


図 1 太陽も考慮した場合の潮汐

この図を見てみると、位相が 90° のときは太陽と月の起潮力が打ち消しあうことによって干満の差は緩やかになり、位相が 0° のときは太陽と月の起潮力が重なり合って干満の差は大きくなるということがわかる。この事から位相が 90° となる場合を小潮、位相が 0° となる時を大潮と呼んでいる。

*1 ここでは、地球重心と系の重心が同じであると仮定している。冥王星 - カロン系のように、母天体重心と系の重心が大きくずれている場合は遠心力も考慮しなければならない

問題 2 解答: i) a-yellow, b-white, c-red, d-orange, e-blue ii) A-左側の○, B-右側の○

解説: 大西洋の水塊の分布についての問題である。それぞれの特徴について解説したい。北大西洋深層水と南極底層水は深層水と呼ばれ、海氷形成に伴って生成した密度の大きい高塩分水を起源としている。南極中間水は南極中層水とも呼ばれ、低温ではあるが、低塩分であるため、底層水よりも上にある。

問題 3 解答: 1) \nwarrow , \swarrow , \rightarrow 2) a

地球上でアルベド（反射能）が高い物体は雪である。故に、アルベドは地球の気温を決める要素であると同時に気温に左右されることになり、答のようなフィードバックループを形成するのである。なお、氷によるフィードバックは結果が原因を加速させる正のフィードバックである。

問題 4 解答: 1) e 2) 左から \uparrow , \downarrow , \uparrow , \downarrow 3) 左から f, b, c, a 4) 4 倍

解説: 1) について、二酸化炭素の量を表すのに a, c はオーダーが小さいのでこれらは答ではないということがわかる。P(ペタ) という接頭句は 10^{15} を意味し、G(ギガ) という接頭句は 10^9 を意味している。さらに、 $1 \text{ t} = 10^6 \text{ g}$ なので、Gt と Pg は同じ単位であることがわかる。故に、e が正答となる。

2) についてだが、選択肢を考慮しながら図を見ていくと、左から、風化、地球上の純生産量、人為的排出、海洋への蓄積を表していることがわかる。

風化と言っているのは主に炭酸岩の風化で、二酸化炭素が放出される。また、純生産量とは、実質的な二酸化炭素の生産量の事で、呼吸による二酸化炭素排出量から光合成による固定量を差し引いたものである。また、海洋はその水量の多さから溶解度が比較的小さい二酸化炭素でもたくさんの量を溶かすことができ、海洋生物もそれらを固定して骨格などを形作っている。

3) 4) については、放出される炭素量の半分が大気に残るので、実質的に $2100 \dots \text{C}$ の炭素が新たに大気中に残ることになる。もともとの炭素量をこれに足し合わせると大気全体の炭素量が求められるが、その値は $2800 \dots \text{C}$ である。この値は元の 4 倍となっていて、答が求められる。

問題 5 解答: b

解説: 湧出量が m^3/s となっていることに注意する。このことから、湧出量の 86400 倍がその日の総湧出量となることがわかる。つまり、求めるべき値は、日にちが n の日の湧出量を D_n とすると、

$$\begin{aligned} 86400D_{12} + 86400D_{13} + \dots + 86400D_{17} &= 86400 \sum_{n=12}^{17} D_n \\ &= 86400 \cdot 0.564 \\ &= 48729.6 \end{aligned}$$

となり、この値に最も近い b が正答となる。

イタリア大会・気象分野

問題 1 解答: A-外気圏, B-熱圏, C-中間圏, D-成層圏, E-対流圏, F-電離圏, G-異質圏, H-等質圏

解説: 大気の鉛直構造を気温別に分ける方法 (A~E) はおなじみだが、大気組成で分ける方法もある。重力によって、比重が小さい気体は上へ、比重が大きい気体は下へ移動する。よって、高度 80km まで組成が一定だった大気は、高度を上げるにつれて主成分が酸素、ヘリウム、水素と軽い気体へと変わっていく。

問題 2 解答: 1)-a 2)-b 3)-d

解説: 顕熱は与えられた熱のうち、温度変化に使われた熱の事である。これに対して、潜熱とは与えられた熱のうち相転移に使われた熱の事で、温度変化に影響しない。気化熱もその一種である。潜熱の存在は水の存在を暗示しているといつてよい。また、正味の放射量は昼間に正、夜間に負となるので、そこからどのような時間帯なのかを推測できる。

問題 3 解答: 1, 2

解説: 大気の紫外光吸収はオゾン層の生成と関係がある。選択肢の分子の中で紫外光を吸収するのは酸素分子とオゾン分子で、オゾンの方は地球に容赦なく降り注ぐ紫外光を遮断するというので非常に有名だが、酸素分子の紫外光吸収能についてはあまり有名ではないだろう。しかし、その性質は図 2 を見てもわかる通り、オゾンの生成に深くかかわっている。酸素分子は紫外光によって光解離をおこし、酸素原子を生成する。この酸素原子が酸素分子と化合してオゾン分子となる。一方、オゾンは紫外光による光解離で酸素分子と酸素原子に分かれる。このような平衡反応がオゾン層で起こっている。

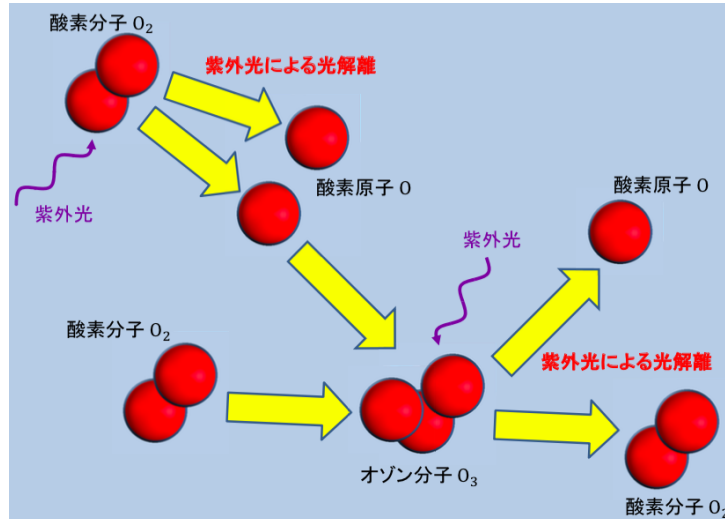


図 2 大気中でのオゾンの生成・分解反応

問題 4 解答: 新鮮な雪-80~90%, 土壌-22~35%, 水面-0~10%, 作物-18~23%

解説: アルベドは入射に対する反射の割合である。吸収が強いほど値は低く、反射が強いほど値は高い。新鮮な雪は白いので反射が強く、アルベドは高い。土壌は湿っているか乾燥しているかでアルベドの値は大きく変化する。水面は低い太陽高度に対しては高いアルベドを示すが、太陽高度が高いときは水が光を透過するのでアルベドは低くなる。作物を作るための土地利用の変化によるアルベドの低下は環境問題の議論でしばしば

取り上げられている。

問題 5 解答: A-積雲 B-層雲 C-巻雲 D-積乱雲

解説: 形で雲の種類を見てみると、層雲は霧のようなぼんやりした雲、積雲は綿菓子のような形、積乱雲は発達した積雲、巻雲は繊維のような形である。

積雲と積乱雲は似ているが、写真をよく見てみると、Dの雲の上部が平らになっていることがわかる。これは雲が圏界面まで達し、それより上に行くことが出来ないためである。これは、いわゆる“かなとこ雲”と呼ばれているものであり、よく発達した積乱雲である証拠だ。ちなみに、“かなとこ”は漢字で書くと“金床”である。これは金属を鍛えるための作業台で、上部分が平らになっている。

問題 6 解答: B

解説: 低圧側から高圧側に風は吹かないということはほとんどの場合において自明である。厳密には温度風などの影響も考えなければならないが、今回はその影響は取り除かれている。このことが念頭にあれば選択肢は一つに絞られるだろう。実際には摩擦力を考えなければ、風はやがて地衡風平衡に陥って等圧線と平行になってしまう。摩擦による損失が、低圧側への風の流れを生み出すのだ。

問題 7 解答: C

解説: B地点でのQFE(航空機の気圧高度計原点を飛行場高度(+3m)に合わせるために用いる気圧値)を求めると、27ft当たりの気圧差が1hPaであることに注目して、

$$\begin{aligned} 1005 \text{ hPa} - \frac{2700 \text{ ft}}{27 \text{ ft/hPa}} &= 1005 \text{ hPa} - 100 \text{ hPa} \\ &= 905 \text{ hPa} \end{aligned}$$

これを踏まえて、気圧差から高度を計算すると、

$$\begin{aligned} (960 \text{ hPa} - 905 \text{ hPa}) \cdot 27 \text{ ft/hPa} &= 55 \text{ hPa} \cdot 27 \text{ ft/hPa} \\ &= 1485 \text{ ft} \end{aligned}$$

となり、Cが正答となる。

問題 8 解答: D

解説: 温暖前線の前線面には積雲や積乱雲がみられないため、Bが除外される。また、弱い降水を伴うので、AとCは除外され、Dが正答となる。温暖前線とよく対比される寒冷前線は積雲や積乱雲が前線面付近に発達し、激しい降水を伴う。

問題 9 解答: D

解説: 赤道(熱帯収束帯)まわりの大気の大循環をハドレー循環という。ハドレー循環は直接的な循環で、北半球側では右から左へ右ねじを回すように循環する。つまり、北半球の地上では北東からの風(北東貿易風)が吹き、上空では南東からの風が吹くこととなる。

問題 10 解答: B

解説: 他の天体での大循環を考えてみる。例えば、自転周期が10時間ほどしかない木星は、独特の縞模様を見て分かる通り、大循環の数が非常に多い。つまり、大循環は自転の速さが早くなればなるほど多くなる傾向があるということがわかる。実は、複数の循環が生じるのは、自転によってコリオリの力が働いて対流が複数のセルに分かれてしまうことが原因となっている。

問題 11 解答: e

解説: ここ 100 年の二酸化炭素濃度の増加は人為的活動が原因だとされている。キーリング曲線とも呼ばれるこの右上がりの曲線はそのことを明瞭に示している。

問題 12 解答: d

解説: 二酸化炭素濃度には季節変化がある事がわかっている。グラフを見てみると、極大が 5 月、極小が 9 月で、植物の活動量が小さい冬季や活動量が大きき夏季と一致していない。これは、観測所が低緯度にあるため、植物の活動量による二酸化炭素濃度への効果が遅れて伝わるからである。

問題 13 解答: a-lower, b-increase, c-decrease, d-decrease, e-decrease, f-true, g-reduce, h-false, i-decrease, j-decrease

解説: 二酸化炭素濃度増加が海洋に及ぼす影響についての問題である。水圏への影響については解説は不要であろう。生物圏・地圏についてであるが、まず、二酸化炭素が水に溶けるときの 3 つの式を考える。



海中二酸化炭素濃度が上がるということは (1) の反応が進むため、(2) の反応も右側へ平衡が傾く。また、(2) の反応で生じた水素イオンが (3) の反応を左側に傾け、結局、炭酸イオン濃度が減少し、炭酸水素イオン濃度が上昇する。このことは、炭酸カルシウムの溶解度があがるということを意味している。よって、炭酸カルシウム骨格の生物は減少させ、炭酸岩の堆積速度を減少させるのである。

イタリア大会・固体地球分野

問題 1 解答: B

解説: 一つ以上の間氷期サイクル (interglacial phase) が表れているものは B なので、正答は B となる。この気温変化の最初の数十万年のものは南極氷床コアの記録でわかるものである。

問題 2 解答: B

解説: これは「メッシニアン危機」と呼ばれているもので、今から 500~600 万年前にはジブラルタル海峡が閉じ、地中海は湖のようになって、完全に干上がってしまったというものである。問題文中の岩盤層はその時生じた蒸発岩の層で、硬石膏を主体としている。ちなみに、メッシニアンとは時代の名称で、シチリア島の北東端に位置する市のメッシーナを由来とする。

問題 3 解答: C

解説: 火成岩の層が地層中に見られるとき、溶岩流と貫入の両方の可能性が考えられる。これらの時間的順序を考えると、

溶岩流の場合: ドロマイト層 → 溶岩流 → 石灰岩層

貫入の場合: ドロマイト層 → 石灰岩層 → 玄武岩の貫入

となる。これを見て分かる通り、溶岩流の場合はドロマイト層の上部にのみ変成を起こす。

問題 4 解答: B

解説: 石灰岩の主成分は炭酸カルシウム: CaCO_3 であるので、リンや窒素、硫黄のサイクルとは関わりがない。

問題 5 解答: A

解説: 地磁気の縞模様は、地磁気はその時に生成した海洋地殻を磁化させることで、地磁気が記録されるために生じるものである。つまり、一つの縞の太さは海嶺での海洋地殻の生成速度に依存する。つまり、生成速度が速ければ、縞模様は太くなり、生成速度が遅ければ、縞模様は細くなる。

問題 6 解答: C

解説: 地球の内部エネルギーは地球が形成された時の小天体の衝突エネルギーと放射性核種の崩壊熱に由来している。しかし、前者は太陽系形成時の 46 億年前に蓄えられたエネルギーであるため、過去 3 億年という条件に一致するのは後者の方である。

問題 7 解答: A

解説: これはいわゆる、K-T 境界層と呼ばれているもので、恐竜が小天体の衝突によって絶滅したことを示す証拠の一つとなっている。イリジウムは白金族の金属元素で、小惑星に多く含まれているが、地球の地殻では存在量が極めて少ない元素である。

ちなみに、K-T の K は Kreide (白亜紀)、T は Tertialy (第三紀) の頭文字である。

問題 8 解答: A

解説: 層の境界線 l 上に、ある高さごとに打点していくと、層の傾斜・厚さが一定であれば、同じ高さの点どうしを結んだ直線は互いに距離が一定の平行線となる。(図 3)

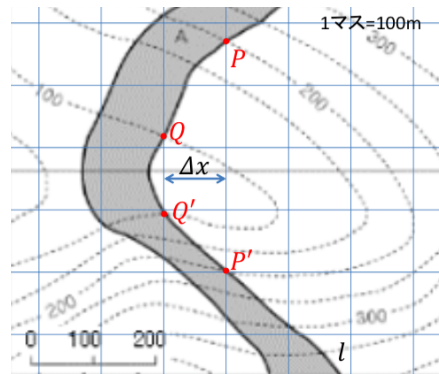


図 3 傾斜した層における平行線 (IESO2011 問題より一部改変)

ここで、層の傾斜角の正接を求める。正接の定義より、

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{\Delta y}{\Delta x} \\ &= \frac{P, Q \text{ の高度差}}{\Delta x} \\ &= \frac{100 \text{ m}}{100 \text{ m}} \\ &= 1 \end{aligned}$$

となり、 $\theta = 45^\circ$ と求められる。

また、走向は NS なので、選択肢は A に絞ることが出来る。

この場合、層の厚さを求められることなく解答を得ることが出来るが、もし、層の厚さを求めたい場合、問題の断面図に層を書き入れたり、傾斜方向の直線と二つの境界線の交点間で、平均傾斜を使って三角法で求めたりする必要がある。

問題 9 解答: E

解説: 選択肢のなかで宝石として使われるのが石英、ざくろ石、緑柱石、ダイヤモンドで、その中で工業用研磨剤となるのは、石英、ざくろ石、ダイヤモンド。ケイ酸を主成分とするものは石英、ざくろ石。結晶系が等軸晶系なのがざくろ石となり、一つに絞ることが出来る。

紙やすり(サンドペーパー)の赤褐色の砂はざくろ石が使われていて、顕微鏡で見るとよくわかる。また、緑柱石という名にはあまりなじみがないかもしれないが、緑色となったものをエメラルド、水色となったものをアクアマリンと呼ばれていて、こちらの方はよく知られている。

問題 10 解答: a

解説: この地層の形成をたどってみると、堆積岩 b に火成岩 a が取り込まれていることから、a の貫入後に b が堆積していることがわかる。一方、堆積岩 b が火成岩 a' に取り込まれていることから、b の堆積後に a' が貫入したことがわかる。よって、aの方が古い岩石となる。

ちなみに、a' 中に取り込まれた b のような岩石を捕獲岩と呼んでいる。

問題 11 解答: D

解説: 答は方解石であることは自明。成分を比べてみると

鉱物名	化学組成
岩塩	NaCl
石膏	CaSO ₄ · 2H ₂ O
アパタイト	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F, Cl, OH)
方解石	CaCO ₃
オパール	SiO ₂ · nH ₂ O
重晶石	BaSO ₄

となり、炭酸塩鉱物は方解石しかないことがわかる。

問題 12 解答: 4

解説: それぞれの岩石で間違っている点を挙げると、

石灰岩	地殻の地下数 km の深度
花崗岩	細粒、葉状構造
玄武岩	粗粒極粗粒
片麻岩	地表付近のマグマと周辺の岩石が接触する場所でできた

となる。玄武岩については石基部分の結晶が大きく、全体的に粗粒なものを粗粒玄武岩と呼んでいるが、玄武岩とは別種という扱いになっている。

問題 13 解答: (1) 頁岩-B, 砂岩-A (2) 左から頁岩, 砂岩 (3) yes

解説: 写真を見てみると、薄くはがれたような割れ方をするような層とそうならない層があることがわかる。薄くはがれるというのは頁岩の大きな特徴の一つであるため、見分けるのは容易である。

堆積過程についてだが、頁岩は泥が堆積してできた堆積岩である。ここで注目したいのが、“懸濁液からの堆積 (settling from suspension)” とあることである。懸濁液の明確な定義はないが、ここでは懸濁液は泥水とみなしてもよい。なぜなら、砂が水中で分散している系は非常に寿命が短いからである。

以上より、堆積環境は、通常、懸濁液から泥が堆積するような場所に、砂を主とするタービダイト流（混濁流／乱泥流とも）が周期的に流れ込む環境であったと推測できる。

(3) については、この地層が堆積した時期と三葉虫の生息時期が重なっているため、この地層には三葉虫の化石が発見される可能性がある。

問題 14 解答: B 解説: 伏角の移動は、 $|-60^\circ - 20^\circ| = 80^\circ$ であり、極の移動角は $\frac{80^\circ}{2} = 40^\circ$ である。つまり、移動速度 v は、

$$\begin{aligned} v &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ &= \frac{11000000 \text{ cm/deg} \cdot 40 \text{ deg}}{100000000 \text{ yr}} \\ &= 4.4 \text{ cm/yr} \end{aligned}$$

となり、答が 4.4 cm/yr と求められる。

問題 15 解答: D 解説: 土壌の性質についての問題である。粒径の大きさを考えると、

$$\text{Sand} > \text{Silt} > \text{Clay}$$

となる。一般に、粒径が大きいと、粒子間の隙間が広がるので水が入り込みやすくなり、透水性が増す。故に、粒径の大きい砂が主となっている土壌の D が答となる。

問題 16 解答: a 解説: 問題の図を見て分かる通り、地層は東から西への傾斜となっている。このことより、断層の南側は北側に対して下がっていることがわかる。また、断層線と等高線の交点をプロットして結ぶと、図 4 の赤線のような定幅の平行線が得られる。

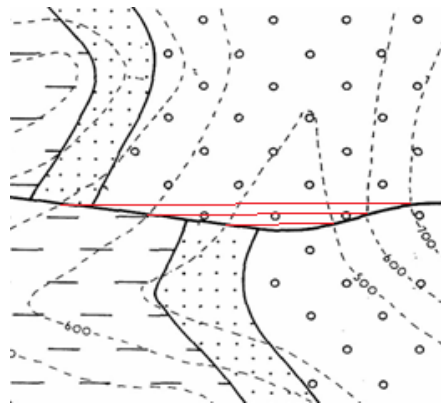


図 4 断層における傾斜を表す平行線 (IESO2011 問題より一部改変)

この平行線は走向を表していて、傾斜は北から南となっていることがわかる。つまり、上盤が南側となり、ずり下がっているので、断層は正断層となる。

問題 17 解答: a)-a b)-c

解説: 地質図をみると、右下と左上に層が山に、その間が谷になっていることが分かる。故に正答は a となる。これをみると、層序は c となることが分かる。

問題 18 解答: B

解説: この化石には六角形の模様が見えている。この模様はフウインボクに特徴的なもので、フウインボクの生活環境から、答は B となる。フウインボクは石炭紀の植物で、ロボク、リンボクなどととも水際で大森林を形成し、石炭の鉱床を形成したと考えられている。

問題 19 解答: D

解説: 電離層の影響や建物の影の影響で精度が落ちているならば、相対的な位置も違ってくるはずである。実は、GPS を使っているものの中には測地系が違っているものがあり、これも同様のものと考えられる。故に、正答は D である。

問題 20 解答: B

解説: これは、永久凍土の中で氷漬けになったマンモスで、軟組織が残っていることで有名である。近年、気温の上昇で永久凍土が溶け出し、このようなマンモスが見つかってきている。

問題 21 解答: D

解説: この化石は海生爬虫類のイクチオサウルスである。現生のイルカやサメと同じニッチ（生物学的地位）だったと推測されている。姿かたちがよく似ているのはそのためではないかと考えられている。

問題 22 解答: 1-c, 2-f, 3-e, 4-a, 5-d, 6-b

解説: マッドクラックは水たまりなどが乾燥した時にできる泥のひび割れのこと、氷縞粘土は氷河が滑るときに岩石を削り取ってできる粘土のことである。それ以外は説明は不要だろう。

問題 23 解答: a)-b b)-h および i

解説: 波に関する物理的な知識も要求される問題である。a) について、波の速さを v 、波長を λ 、周期を T とすると、

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

が成り立つ。ここに、各々の値を代入すれば、選択肢の中で b が正答だとわかるはずだ。また、b) については、周期 T と周波数 f の間に成り立つ関係式：

$$T = \frac{1}{f}$$

を使って、先ほどと同様にして求めた周期から周波数を求めることができる。

問題 24 解答: a)-3920km b)-2h:51min:20sec c)-3h:08min:20sec.

解説: a) について。初期微動継続時間 T_δ は P 波到達時刻と S 波到達時刻の時間差なので、P 波速度を v_P 、S 波速度を v_S 、震源からの距離を D とすると、

$$T_\delta = \frac{D}{v_S} - \frac{D}{v_P}$$

が成立する。これに値を代入して解くと、

$$D = 3920 \text{ km}$$

となり、震源までの距離が求められる。

b) について。先ほど求めた震源までの距離と地震波の速度から、地震波到達の何分前に地震が発生したかを求める。

P波が震源までの距離を通過する時間 t_D は

$$\begin{aligned} t_D &= \frac{D}{v_P} \\ &= \frac{3920 \text{ km}}{7 \text{ km/s}} \\ &= 560 \text{ s} \end{aligned}$$

と求められる。つまり、P波到達 (3h:01min:00sec) の 560 秒前に地震が発生したことになるので、地震発生時刻は 2h:51min:20sec と求められる。今回は P 波を用いて地震発生時刻を求めたが、S 波を使っても求めることが出来る。

c) について。まず、S 波が 4000km の距離を通過する時間を求める。

S 波の通過時間 t_S は、

$$\begin{aligned} t_S &= \frac{D}{v_S} \\ &= \frac{4000 \text{ km}}{4 \text{ km/s}} \\ &= 1000 \text{ s} \end{aligned}$$

と求められ、地震発生時刻 (2h:51min:20sec) の 1000 秒後に 4000km 先に到達したことが分かる。

よって、到達時刻は 3h:08min:20sec と求められる。

問題 25 解答: c

解説: 中央海嶺で海底火山が噴火したとき、地圏のエネルギーは海中へもたらされるが、同時に硫化水素などを使ってエネルギーを得ている熱水性の細菌などへの養分の供給にもなりうる。

問題 26 解答: 島弧-Andesite 中央海嶺-Basalt ホットスポット-Basalt

解説: あらゆるマグマはかんらん岩質のマントルの部分溶融で生じるので、最初に生じるマグマ (初生マグマ) は玄武岩質マグマである。このため、初生マグマが直接湧き出すホットスポットや中央海嶺では玄武岩質マグマが特徴的だが、マグマの分化を伴う島弧-海溝系では安山岩質マグマも多く見られるようになる。

問題 27 解答: b, d および f

解説: 火山噴火の兆候は様々であるが、今回は選択肢にある 3 つについて解説したいと思う。異常な地震活動は、地下のマグマの流動によって引き起こされる。有名なのが 2000 年 3 月 31 日の有珠山噴火で、同月 27 日より観測されていた地震 (火山性地震) の分析をもとに緊急火山情報が出され、適切に避難が行われた事例である。火山ガスの変化はマグマの変化と捉える事が出来る。これも噴火の兆候となる。また、地盤の隆起は地下のマグマの内圧によって引き起こされる。

問題 28 解答: 図 A-b 図 B-a 図 C-c 図 D-d

解説: ここで、マグマの液性は粘度に関係している。酸性のマグマと呼ばれているものはケイ酸分が多く、低温で粘度が高い。また、塩基性のマグマと呼ばれているものは、マグネシウムや鉄が多く、高温で粘度が低い。

また、ガスが多いマグマの火山はその内圧の大きさから爆発的な噴火となる。一方、脱ガスしたマグマの火山は比較的穏やかな噴火となる。以上のことと、図に示されている火山の形状を踏まえれば、正答が導かれるだろう。

問題 29 解答: a および b

解説: 大理石 (結晶質石灰岩) はほとんどが方解石 (硬度 3、化学組成 CaCO_3) などからなる変成岩である。このことを知っていれば、長石から生成する、硬度が 6-7 であるということが間違っているとすぐわかるだろう。

問題 30 解答: d

解説: ドリーネは氷河地形で名前が知られているが、地下空洞による陥没もドリーネと呼ばれている。陥没した時に見られる段のようにになっているひび割れがみられることから、この写真はドリーネだと推測できるだろう。

問題 31 解答: D

解説: リフトとは地面が水平に伸長されるような力を受けてできた地形である。この力はマントル対流によるもので、中央部には隆起がみられる。海成段丘はこのような隆起が原因でできたと推測できる。

問題 32 解答: 3 (表は以下に示す)

解答 (表部分)

	A	B	C
平均深度	2000	2500	3000
平均速度 (m/s)	140.0	156.6	171.5
平均速度 (km/s)	504.2	563.7	617.5
所要時間 (h)	1.43	1.31	1.28
到達時刻 (UTC)	7h5m48s	7h48m36s	7h46m48s

この問題は、 $v = \sqrt{gh}$ に深さを代入すれば、解答が得られるので、説明は省略する。ちなみに、地球上での重力加速度 g の値は約 9.8m/s^2 である。

イタリア大会・天文分野

問題 1 解答: c

解説: ケプラーの第 3 法則より、太陽系の惑星について、軌道長半径を a 、公転周期を P として、 a^3/P^2 は一定となる。ピッポは、軌道が円であるから、(軌道長半径) = (太陽からの平均距離) としてよい。この距離を x 天文単位とする。地球の軌道長半径は 1 天文単位 (厳密には異なるが、計算問題では通常、この値で計算するので、覚えておく)、公転周期は 1 年であるので、ピッポと地球について、ケプラーの第三法則を用いると、

$$\frac{X^3}{320^2} = \frac{1^3}{1^2}$$

これを解いて、 $x = 46.78\dots$

問題 2 解答: b

解説: 体重計を押す力を F 、人間の質量を m 、観測場所での重力加速度を g とすると、運動の第 2 法則より、

$$F = mg$$

m は一定なので、 F は g に比例する。重力 (重力加速度) は、質量の順、すなわち月、地球、木星の順に大きくなるから、 F もこの順に大きくなる。

問題 3 解答: a

解説: 一日の長さの考え方は、大きく分けて、太陽日と恒星日の二つある。前者は、太陽が南中してから次に南中するまでの時間、後者は、ある恒星が南中してから次に南中するまでの時間である。日常生活で用いられているのは、太陽日である。地球は、一日に約 1° 、自転と同じ方向に公転しているから、太陽が再び南中するまでには、恒星日での一日が過ぎた後、さらに約 1° 自転する必要がある。つまり、恒星日である時間が経過したとき、太陽日では、まだその時間は経っていないのである。さて、この問題では、恒星日で 22 時間経っているが、恒星日で 22 時間経ったとき、太陽日では、まだ 22 時間経っていないから、実際の時刻は、まだ 8 時になっていないとわかる。よって、数分待てば 8 時になり、列車が来るのである。

問題 4 解答: c

解説: 1 秒 = 60 分 = 3600° より、1 秒は円弧の $\frac{1}{3600} \times 360 = \frac{1}{1296000}$ である。よって、

$$2\pi \times 6000000 \times \frac{1}{1296000} = 290.88\dots$$

となり、c とわかる。

問題 5 解答: a

解説: シリウス、太陽を結ぶ直線上の、シリウスに対し太陽側にある星座と同じ方向に見えると予想できる。つまり、太陽から見て、おおいぬ座と同じ方向に別の星座が重なってはいないから、おおいぬ座と反対方向に見えるとわかる。

問題 6 解答: c

解説: 現在、月と太陽の見かけの大きさはほぼ同じである。これは、現在、月と太陽の実際の直径の比と、地球からの、月までの距離と太陽までの距離の比がほぼ同じであることを意味する。皆既日食が起こるためには、この状態が維持されていけばよい。月の直径が今より 20 % 小さい時、月と地球との距離も 20 % 小さければ、両者は等しいままである。

問題 7 解答: (i) c

(ii) 太陽が A にあるときの半径を 1 とした時の、B にあるときの半径を x とおく。また、太陽が A にあるときの光度を L_A 、単位時間・単位面積あたりの放射エネルギーを I_A 、表面温度を T_A とする。B にあるときについても同様に、 L_B 、 I_B 、 T_B とする。このとき、シュテファン=ボルツマンの法則より、 $I_A = \sigma T_A^4$ 、 $I_B = \sigma T_B^4$ よって、 $\frac{L_A}{L_B} = \frac{T_A^4}{T_B^4}$ また、光度とは、単位時間あたりの全放射エネルギー量だから、

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{4\pi 1^2 \times I_A}{4\pi x^2 \times I_B} = \frac{I_A}{x^2} \times I_B = \frac{T_A^4}{x^2 \times T_B^4}$$

ここで、グラフより、 $L_A/L_B = 1/1000$ 、 $T_A/T_B = 6000/3000 = 2$ 。よって、

$$\frac{1}{1000} = \frac{2^4}{x^2} x^2 = 16000x = 40 \times \sqrt{10}$$

$\sqrt{10} \simeq 3.2$ より、 $x \simeq 128$ よって、c が正解とわかる

解説: 太陽を黒体とすることから、シュテファン=ボルツマンの法則を用いることができる。

問題 8 解答: (i) 8, (ii) 4, (iii) 60

解説: (i) 会合周期が 1 年より長いので、地球より外側の小惑星だとわかる。この天体の公転周期を S 年とすると、地球の公転周期は 1 年だから、

$$\frac{1}{8} = \frac{1}{1} - \frac{1}{S}$$

よって $S=8$

(ii) 小惑星の公転半径を x 天文単位とおくと、ケプラーの第 3 法則より、

$$\frac{1^3}{1^2} = \frac{x^3}{8^2}$$

よって、 $x=4$

(iii) y km 毎秒とおくと、地球、小惑星の速さの比は、 $30 : y$

また、地球、小惑星の公転距離の比は、半径の比に等しく、 $1 : 4$ で、公転周期の比は、 $1 : 8$

よって、

$$30 \times \frac{1}{y} \times 4 = \frac{1}{8} \quad \therefore y = 60$$