

## 第Ⅴ部

2013年

# - 第7回国際地学オリンピック・インド大会

インドのマイソールにて開催 2013年9月11日 - 19日

**参加国・地域** アメリカ、インド、オーストリア、スペイン、大韓民国、ナイジェリア、ブラジル、ルーマニア、イスラエル、インドネシア、カンボジア、スリランカ、台湾、フランス、ロシア、イタリア、ウクライナ、クウェート、タイ、ドイツ、バングラディシュ、ベラルーシ、日本の23か国・90名が参加。

**筆記試験講評** 出題の程度は、昨年同様、高等学校の地学基礎ならびに地学程度の内容で、出題傾向も例年と比べて大きな違いはなかった。インド開催にちなんだ問題としては、Astronomyではマイソールでの夏至と冬至の太陽高度からマイソールの緯度を求める問題が、Atmosphere&Hydrosphereでは北緯30°から南緯30°の熱帯地方における地球温暖化の影響を問う問題が出題された。また、今大会では分野やシラバスの出題部門にとらわれない総合的な問題がAtmosphere&Hydrosphereの試験にて若干出題された。具体的には、アフリカの水不足の原因を問う問題や原生代後期の全球凍結の理由を問う問題などである。

## インド大会・地質分野

問題 1 解答: A

解説: F, G, H 層は沖積層であり、他の層より後に河川の影響で堆積した。

問題 2 解答: B

解説: E 層の下にみられる石灰岩層が A 層と対応しており、断層によって上盤側がずり落ちている。よって、この図の中にみられるものは正断層であると考えられる。

問題 3 解答: A

解説: 引張応力による正断層が生じ、この地点は沈降したと考えられる。

問題 4 解答: B

解説: 化石木は主に湖沼で堆積した層に産出し、石灰岩とともにみられることはない。他の選択肢は浅海性であり石灰岩とともにみられる。

問題 5 解答: D

解説: 沖積層の堆積物としては、d の粘土が最もふさわしい。

問題 6 解答: D

解説: 赤色砂岩の赤色は酸化鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) に由来し、酸素に富んだ環境で堆積する。

問題 7 解答: B

解説: 斜交層理は砂岩等の堆積岩中にみられる構造であり、砂粒が水流によって運搬・堆積される際に形成される。斜交層理の堆積の形状から堆積当時の古流向や流れの強さを復元することができる。

問題 8 解答: C

解説: 石灰岩は炭酸塩でできた骨格をもつ海中の生物が堆積したものであり、水圏と生物圏の両方が関係している。

問題 9 解答: B

解説: 花崗岩、流紋岩等の火成岩を除き、ほとんどの岩石は水圏の影響（河川による堆積、運搬過程など）を受けている。

問題 10 解答: B

解説: 岩塩は、降雨が少なく蒸発が卓越した地域で、海が干上がって形成される。このため地圏、水圏、大気圏が関係する。

問題 11 解答: C

解説: A: 中央海嶺, B: 島弧, C: 海溝, D: 海洋底 E: 大陸斜面. A, C がプレート境界であり、図中には 3 枚のプレートが示されている。

問題 12 解答: D

解説: 中央海嶺からは海洋プレートの拡大に伴って中央海嶺玄武岩が噴出する。

問題 13 解答: D

解説: A の中央海嶺の下では、中央海嶺玄武岩の噴出がみられ、B の島弧の下では海洋プレートの沈み込みに伴って水が供給され、融点が降下することでマグマが生成される。

問題 14 解答: C

解説: D と P には同じ Ec の化石が産出するため同時代であると考えられる。

問題 15 解答: A

解説: O は P より時代が新しく、D と P は同じ時代に堆積したことから A が正解。

**問題 16** 解答: B

解説: 生層序から、選択肢の動物群は生息時代の新しいほうから (Ac,Mc) < An < Tr の順である。

**問題 17** 解答: D

解説: 陸生の生物が海によって隔てられた二つの大陸で見られるとき、大陸が分裂したもしくは生物が遊泳能を失ったと考えられる。

**問題 18** 解答: B

解説: 放射性同位体は半減期:  $T_{\frac{1}{2}} = 100Ma$  ごとに含有量が半減するため、同位体比が  $1/8$  となったとき、求める値は

$$T_{\frac{1}{2}} \times \log_{\frac{1}{2}} \frac{1}{8} = 300Ma$$

**問題 19** 解答: B

解説: 化石記録から D, N, L の順に堆積した時代が新しくなると考えられ、古い地層ほど絶対年代が大きいため、正解は B。

**問題 20** 解答: D

解説: 生息域が広く、生息期間が短い化石ほど示準化石として適しているため、選択肢中では Q が最適である。

**問題 21** 解答: D

解説: 省略

**問題 22** 解答: A

解説: 三葉虫はカンブリア紀に出現しペルム紀末に絶滅した生物であり、古生代の示準化石としてよく用いられる。

**問題 23** 解答: A

解説: 海洋が定常状態にあると仮定すると、河川から海洋への栄養塩が流入する量と海洋から堆積して取り除かれる量は等しい。海洋の年齢  $T_{ocean}$  は、現在海洋にある栄養塩がすべて取り除かれるのに要する時間であり、 $T_{ocean} = (V_{ocean} \times C_{salt}) / R_{salt}$  として概算することができる。

**問題 24** 解答: B

解説: 氷床の融解によって海水準は上昇するが、氷山の融解によって海水準が変動することはない。

**問題 25** 解答: C

解説: 中央海嶺で生成された海洋地殻は、時間が経過し海嶺から離れるにつれ海底面から冷却され、密度が大きくなる。

**問題 26** 解答: B

解説: 鉱物とは、一定の化学組成と結晶構造を持つものであり、化学組成が一定でない B が不適。

**問題 27** 解答: A

解説: 沈み込み帯では、水の供給によって融点が下がり生成された玄武岩質マグマが花崗岩質の大陸地殻を溶融するため、安山岩質マグマが多くみられる。

**問題 28** 解答: G

解説:  $SiO_2$  含有量が多い流紋岩質マグマは粘性が高く、噴火の際に、圧力の低下に伴って発泡した揮発性ガスがマグマから抜けにくいために爆発的な噴火をする。

**問題 29** 解答: D

解説: ホットスポットの下に位置するホットプルームの位置は動かずに、海洋プレートのみが動く。このため、プレート上の海山列の配列はプレートの動いた向きを反映する。

**問題 30** 解答: B

解説: B の粒子は淘汰がよく円磨度も高いため、河川によって長く運搬をされたと考えられる。

**問題 31** 解答: B

解説: ウェゲナーの大陸移動説では、大陸の移動を駆動する要因が説明されていなかったため、当初受け入れられなかった。のちに古地磁気から海洋底拡大説と統合され、マントル対流が原動力であると考えられるようになった。

**問題 32** 解答: A

解説: 地球内部から外部へと流出する熱量を地殻熱流量と言ひ、全球平均で  $84 \times 10^{-3} \text{W/m}^2$  である。一般に古い地殻ほど低く、新しい地殻ほど高い。地殻熱流量は海洋では中央海嶺で大きく、大陸では造山帯の火山地域で大きい。地殻熱流量が最大となるのは中央海嶺においてである。

**問題 33** 解答: C

解説: 地球内部から流出する熱量の多くは海洋プレートの形成によって放熱され、火山や地震の形で放熱されるものは一部である。

**問題 34** 解答: B

解説: 長石、石英、黒雲母が含まれる岩石なので酸性岩であり、また粗粒なので深成岩である。以上から、正解は花崗岩。

**問題 35** 解答: C

解説: 黒曜石は貝殻状断面という特徴的な断面をとるガラスである。その他の選択肢、玄武岩・パミス・チャートはこれらの特徴を示さない。

**問題 36** 解答: A

解説: 地殻と上部マントルをあわせてリソスフェアといい、地震波速度の変化によって、その下に位置するアセノスフェアと分けられている。メソスフェアはアセノスフェアのさらに下の下部マントルに位置する。

**問題 37** 解答: A

解説: リソスフェアは弾性体としてふるまう。

**問題 38** 解答: 1: I, 2: C 3: D, 4: B, 5: A, 6: G

解説: 省略

**問題 39** 解答: 1.C 2.F 3.A 4.D 5.B 6.E

解説: 省略

**問題 40** 解答: A

解説: 火成岩は融解と結晶化によって形成され、堆積岩は風化、侵食、運搬、堆積、石化過程によって形成され、変成岩は温度、圧力、流体によって形成される。

**問題 41** 解答: 1. I 2. H 3. C 4. A 5. B 6. D 7. J 8. E 9. F 10. G (4と5は順不同)

解説: 6, 8, 9 については地球の内部から密度が大きい順に解答する。

**問題 42** 解答: B

解説: 重力は万有引力と遠心力の合力であり、低緯度では遠心力が最大となるために重力が最小である。磁場もまた、磁極に近い高緯度ほど強くなる。

**問題 43** 解答: D

解説: 水中に含まれる電解質の濃度が大きいほど水の電気伝導度は大きくなり、また電解質の種類ごとに伝導度に対する寄与が異なるため、電気伝導度を測定することで電解質がどの程度あるか推測することができる。雨水は溶存物質が少なく、地表に降下し地下へ浸透するにつれ電解質を溶かしこみ、地下水となる。地下水はさらに長い年月をかけて溶質と反応して海へと流入する。

**問題 44** 解答: A

解説: 地球の中心から遠く、高度が高いほど重力の大きさは小さく、標高による影響を取り除き、重力加速度の測定値をジオイド面における値に補正することをフリーエア補正といい、測定値にフリーエア補正を行った値と標準重力の大きさの差をフリーエア異常という。フリーエア異常は標高の高いところほど大きく、ジオイド面上の質量を反映している。ブーゲー異常はフリーエア異常からさらにジオイド面上の岩盤の質量を取り除いた部分であり、ジオイド面より下の地質構造を反映する。ブーゲー異常は標高が高いほど小さいために、答えは A。

**問題 45** 解答: C

解説: マグニチュードはある地震に対して固有の値なので、観測地に関係なく等しい。一方震度は一般に距離に伴い減衰する。

**問題 46** 解答: C

解説: 面にかかる静水圧は面の上部に存在する質量に比例するため、深度が 10km における圧力は深度 1km における圧力の 10 倍である。

**問題 47** 解答: A

解説: I: 「地球は完全な球体ではない」、II: 「地球上で重力加速度は一定ではない」は両方とも正しい。地球が完全な球体でないとき、地球の形の歪みから生じる引力の不均衡と遠心力の影響によって、地球上の重力加速度は変化する。

**問題 48** 解答: C

解説: 潮汐は天体の引力と地球が天体との重心の周りを回転することによる遠心力の合力 (=起潮力) によって潮位が変動する現象であり、月の引力の影響が大きいが、太陽の引力の影響もあり、大潮・小潮は太陽と月の位置関係によっておきる。潮汐に伴って生じる摩擦で地球は熱を損失し、自転速度が遅くなる。地球の自転軸は遠心力と月の引力が釣り合うことで安定しており、月が太陽光を反射することで地球の夜側の面を照らしている。

以上のことから、月がなければ、a) 一日の長さはより短くなり、b) 自転軸はより不安定になり、d) 夜はより暗くなるが、潮汐が完全になくなるわけではない。

**問題 49** 解答: C

解説: 北半球は南半球と比較して、大陸面積が多く海洋面積が少ないために熱容量が小さく、また、北半球が夏のとき地球は近日点付近をゆっくり移動しているため、北半球の夏は南半球より暑い。

**問題 50** 解答: A

## インド大会・大気海洋分野

### 問題 1

i 解答: A

解説: 選択肢中ではエジプトのみが、水ストレスが1995年と2025年とともに40%以上で変化していない。

ii 解答: B

解説: エジプトはそもそもわずかな水資源しか持っておらず、水ストレスが高いために、影響を受けづらいと考えられる。

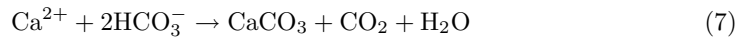
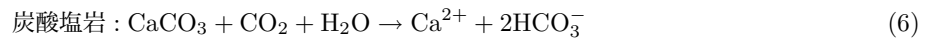
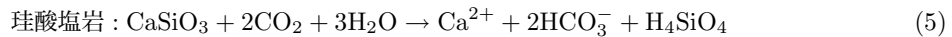
iii 解答: C

解説: 人口の爆発的な増加によってアフリカの水ストレスは増加する。A,B,Dの選択肢は、水ストレスが高いことの説明としては適切だが、変化量の大きさを説明するには不適切である。

### 問題 2

i 解答: B

解説:



岩石が風化する時、岩石中で(1)、(2)の反応が起き、空気中の二酸化炭素は固定され重炭酸イオンが生成される。河川によって海洋に流入した重炭酸イオンは、海洋生物が(3)の反応によって $\text{CaCO}_3$ の殻を形成する過程で、 $\text{CO}_2$ として大気中に再度放出されるため、長期間では炭酸塩岩の風化は大気中の $\text{CO}_2$ に影響を及ぼさない。以上より、珪酸塩岩の風化が増加すると、大気中の二酸化炭素濃度は減少し、地球は寒冷化すると考えられる。

ii 解答: D

解説: A・・・水の融解と凝固に伴う体積変化が物理風化に関係する。 B・・・不適 C・・・ケイ酸塩は難溶性のため不適 D・・・水は極性をもち、しばし酸性である。これが化学風化と関係している。問題の文脈は化学風化について述べているため、答えはD。

iii 解答: D

解説: A. 日食によって太陽放射量は変化するが、全球凍結を説明できるほどの変化ではない。 B. 火山噴火によって放出したエアロゾルが地球を取り巻いて太陽放射を遮ることは考えられるが、これは短期的な時間スケールで効果的であり、長期的には、火山噴火によって大気中に供給された温室効果気体が影響してくる。 C. 地球の軌道要素の変化は数十万年の氷期 - 間氷期周期に影響を与えるが、影響は小さく周期的であるために全球凍結を説明することはできない。

問題 3 解答: (i)T, (ii)F, (iii)T, (iv)F

解説:

(i), (ii)・・・海風、陸風は海洋と大陸の熱容量の差から生じる風であり、地球の表面すべてが海洋で覆われているとき海風も陸風も起きない。そもそも海しか存在しないため定義できない。

(iii)・・・熱帯域（特に北半球の大陸南岸、南半球の大陸北岸）では、海陸分布によって季節性の卓越風（モンスーン）が発生し、降雨の季節変化に影響する。

(iv) … 季節の存在は地軸の傾きに由来し、海陸分布とは関係ない。

**問題 4** 解答: B

解説: 風力、摩擦力、転向力がつりあっている。A,C,D は解答として不適である。

**問題 5** 解答:

I	II	III
A	電離圏	オーロラ
B	中間圏	夜光雲
C	成層圏界面	
D	成層圏	オゾンによる UV 吸収
E	対流圏界面	積乱雲上部
F	対流圏	積雲, 巻雲

解説: 大気圏は下部から、対流圏、成層圏、中間圏、電離圏の順に成層している。基本的に大気は地表面からの放射で暖められており、対流圏・中間圏については上層ほど気温が低下する。成層圏界面付近では、オゾンが太陽放射中の紫外線と光化学反応をおこし発熱するため温度が高く、成層圏は上層ほど気温が上昇する傾向がある。電離圏では、大気中の窒素や酸素が太陽放射中の紫外線や X 線を吸収し発熱するために、上層ほど気温が上昇する。

**問題 6**

i 解答: A: N<sub>2</sub>, B: CO<sub>2</sub>, C: H<sub>2</sub>, D: O<sub>2</sub>

解説: N<sub>2</sub> は地球形成初期に脱ガスによって大気中濃度が増加し、反応性が低いために現在まで残っている。現在の大气中濃度は 78 % であり最多成分である。CO<sub>2</sub> は地球形成時は現在より多く存在したが、海洋の形成に伴って溶解し、また埋没作用を経て減少した。H<sub>2</sub> は地球形成時の脱ガスで大気中へと放出されたが、軽いので大部分が宇宙空間へと散逸した。O<sub>2</sub> は地球形成初期には少なかったが、光合成生物が登場することで増加し、現在では大気の 21 % を占める。

ii 解答: 20 億年前

解説: O<sub>2</sub> 濃度が上昇することで、還元環境で海中に溶解していた Fe<sup>2+</sup> が酸化され Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> として堆積し、縞状鉄鉱層が形成されたと考えられる。

**問題 7** 解答: D

解説: 地球に入射する太陽放射エネルギーは、単位面積当たり太陽定数  $S_0$  に吸収率  $1 - \alpha$  をかけたものであり、これが  $\pi R^2$  の面積に入射している。また、地球から放射されるエネルギーは、単位面積当たり  $\sigma T^4$  (シュテファン・ボルツマンの法則) であり、地表面  $4\pi R^2$  の面積から放射している。地球全体の熱収支を考えると、両者が平衡しているため、以下の式が得られる。

$$\pi R^2 \times (1 - a) S_0 = 4\pi R^2 \times \sigma T^4$$

**問題 8** 解答: B, D

解説: 降水量の月変化は P 地点では大きく、Q 地点では小さいが、P,Q 両地点について年降水量を計算すると、どちらも 1220mm であり、月平均降水量は 102mm である。

**問題 9** 解答: D

解説: 成層圏ではオゾンによる赤外線の吸収に伴った加熱と赤外放射による冷却が平衡している。また成層

圏は下層の対流圏からの赤外放射を一部吸収し、吸収した量と同量を成層圏の上下両方向にそれぞれ放出している。成層圏の二酸化炭素濃度が増加すると、赤外放射の吸収量と上下への放出量は増加するが、吸収より放射の増加の寄与が大きいため、結果的に成層圏は寒冷化する。

**問題 10** 解答: A. 積雲 B. 積乱雲 C. 巻雲 D. 高積雲

解説:

- A … 雲形は塊状であり、下層～中層にみられる。
- B … 垂直方向に発達し、雲頂部がかなとこ状をしていることから判断する。
- C … 高層で筋状に伸びている。
- D … 高層で列状に並んでいる雲として、高積雲か巻積雲が考えられるが、巻積雲の場合、筋がのびたような痕がみられる。

**問題 11** 解答: 図 (2013<sub>a</sub>11.eps)

解説: 地衡風は気圧傾度力と転向力が平衡しているため、北半球では高圧部を右手にみる方向に風が吹き、南半球では高圧部を左手にみるように風が吹く。

**問題 12** 解答:  $2.2 \times 10^7 \text{ km}^3$

解説: 地球表面の 70 % が海面であると考え、南極の水が融解することで生成された氷の体積は、地球全体の海の面積 ( $4\pi R^2 \times 0.7$ ) に海水準上昇量 55m をかけて求められる。

$$4\pi \times 6720^2 \times 0.7 \times 0.055 = 2.18 \dots \times 10^7 \quad (\text{km}^3)$$

**問題 13** 解答:  $0.004 \text{ }^\circ\text{C}$

解説:  $W = J/s$ .  $1\text{cal} = 4.184\text{J}$ . 単位面積に 10 時間 (=  $10 \times 60 \times 60$  秒) 太陽放射が入射するとき、入射エネルギーは  $50 \times 10 \times 60 \times 60 \text{ (J)}$

求める値は、

$$\frac{50 \times 10 \times 60 \times 60}{4.184 \times 100 \times 10^6} = 0.004302$$

**問題 14** 解答: B

解説: 赤道から中緯度へと流れる海流は転向力がかかる時間が長い、すなわち力積が大きいため運動方向が変化する。

**問題 15** 解答: B

解説: 海面からの水蒸気の供給が減少すると台風は弱まる。陸地は海洋と比較して摩擦力が大きいため、摩擦の影響も考えられるが、台風に影響を与えるのは山などであり、木やビルの関与は僅かである。

**問題 16** 解答:  $1.3 \times 10^6 \text{ km}^3$

解説: 流量は流域断面と流速の積で表せられる。また、1 年 =  $365 \times 24 \times 60 \times 60 = 3.1536 \times 10^7$  秒である。求める値は、

$$200 \times 0.2 \times 0.001 \times 3.1536 \times 10^7 = 1.26 \dots \times 10^6 \text{ km}^3$$

**問題 17** 解答: 左: エルニーニョの年 右: エルニーニョでない年

解説: エルニーニョ現象とは、東部太平洋において貿易風が弱まることで深層からの湧昇流が弱まり、付近の海面温度が上昇することである。



**問題 18**

i 解答: +

解説: 大気中の水蒸気量が増加すると、水蒸気は強力な温室効果気体として働き、地球を温暖化させるので、これは正のフィードバックである。

ii 解答: +

解説: 地球のアルベドが増加すると地球が吸収するエネルギーは減少し、地球を寒冷化させるので、これは正のフィードバックである。この効果はアイス-アルベド・フィードバックとよばれる。

iii 解答: -

解説: 岩石の風化速度が上昇すると風化にともなう二酸化炭素の固定が増加するので、これは正のフィードバックである。この効果はウォーカー・フィードバックといわれる

**問題 19 解答: D**

解説: 海洋の深層循環は 1000 年スケールで時間がかかるため、二酸化炭素のリザーバーとしての海洋の影響が重要である。

## インド大会・天文分野

A2 解答: 自転軸の傾きは  $23^{\circ}26'$ 、緯度は北緯  $12^{\circ}17'$

解説: ある地点での夏至、冬至の太陽の最大高度を  $\theta_s, \theta_w$  とすると、北半球についてこれらはその地点の緯度  $\phi$  と自転軸の傾き  $\epsilon$  を用いて以下のように書かれる。 $\phi > \epsilon$  の時は、

$$\theta_s = 90^{\circ} - (\phi - \epsilon), \theta_w = 90^{\circ} - (\phi + \epsilon) \quad (8)$$

となる。 $\phi < \epsilon$  の時は、

$$\theta_s = 90^{\circ} - (\epsilon - \phi), \theta_w = 90^{\circ} - (\phi + \epsilon) \quad (9)$$

となる。インドの都市マイソールは地理的に  $\phi < \epsilon$  であるので、後者の式を逆に解いて、

$$\epsilon = \frac{180^{\circ} - (\theta_s + \theta_w)}{2} = 23^{\circ}26', \phi = \frac{\theta_s - \theta_w}{2} = 12^{\circ}17' \quad (10)$$

となる。

A3

(a) 解答:  $1.965 \times 10^4 \text{ km}$

解説: 簡単のため、衛星が冥王星の周りを半径  $r$  の円軌道をする場合を仮定する。中心星の質量  $M$ 、その周りを公転する天体の質量  $m$  とすると、両者はともに重心の周りを円軌道で動くため、回転角速度  $\omega$  として運動方程式は以下ようになる。

$$m \frac{Mr}{m+M} \omega^2 = G \frac{Mm}{r^2} \quad (11)$$

この式を変形して、 $\omega = \frac{2\pi}{T}$  として周期  $T$  を導入すると、

$$r^3 \omega^2 = G(M+m) \quad (12)$$

$$r = \left( \frac{G(M+m)T^2}{4\pi^2} \right)^{1/3} = 1.965 \times 10^4 \text{ km} \quad (13)$$

となる。この  $r$  が軌道長半径である。

(b) 解答:  $a : R_{\text{Pluto}} = 1.195 : 2.183$

解説: まずは、冥王星から冥王星-シャロン系の重心までの距離  $a$  は、

$$a = \frac{m}{m+M}r = \frac{1}{9}r = 2.183 \times 10^3 \text{km} \quad (14)$$

なので、 $a : R_{\text{Pluto}} = 1.195 : 2.183$  となる。

(c) 解答: 13cm

解説: 光学望遠鏡の空間分解能  $\Theta$  は口径  $D$  として観測波長  $\lambda$  として、

$$\Theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (15)$$

となる。ここで地球が最も冥王星に接近したときに観測するとし、観測波長を可視光の 500nm に設定すると、

$$\frac{1.965 \times 10^4}{4.285 \times 10^9} = 1.22 \frac{5 \times 10^{-5}}{D(\text{cm})} \rightarrow D = 13\text{cm} \quad (16)$$

となる。波長を別の値に設定すれば必要な口径は変わってくる。

A4 解答: (a) 大きな半径: B, 小さな半径: C (b)D と F

(c)A と E と F (d)C

解説:

(a)  $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$  より、 $R \propto L^{1/2} T^{-2}$  から各天体の半径を見積もる。

(b) 同じスペクトル型=同じ温度という意味である。

(c) 水素核燃焼が星のコアで起こっているのは主系列星である。赤色巨星では水素の燃焼は周囲の殻に移りコアではさらに重いヘリウムや炭素などが燃焼する。

(d) 白色矮星は温度は高いが高密度で半径が小さく暗い天体である。