



第 15 回日本地学オリンピック本選

(第 16 回国際地学オリンピック三次選抜)

地質分野 問題

- ◆ 試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。
- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 地質・固体地球・海洋・気象・天文・鑑定試験を合わせて 3 時間です。どの順で解き始めても構いません。
- ◆ 試験時間途中に、別室で鑑定試験があります(岩石5分、鉱物5分、化石5分)。受験番号を呼ばれたら、他の受験生の迷惑にならないよう、静かに一時退室してください。その際、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験中にトイレに行きたい受験生は、試験監督に申し出てください。その際も、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。
- ◆ 貸与物:電卓、定規、分度器

番号		氏名	
----	--	----	--

次の文章を読み、問いに答えなさい。

ある地域で地質調査を行ったところ、図1の地質図を得た。図中の破線は等高線(m)を示す。岩石の年代を測定したところ、凝灰岩層アは250 Ma、凝灰岩層イは200 Ma、凝灰岩層ウは140 Ma、岩脈Eは70 Maであった(1Maは100 万年前)。必要に応じて、定規、分度器、後ろの三角関数表を用いること。

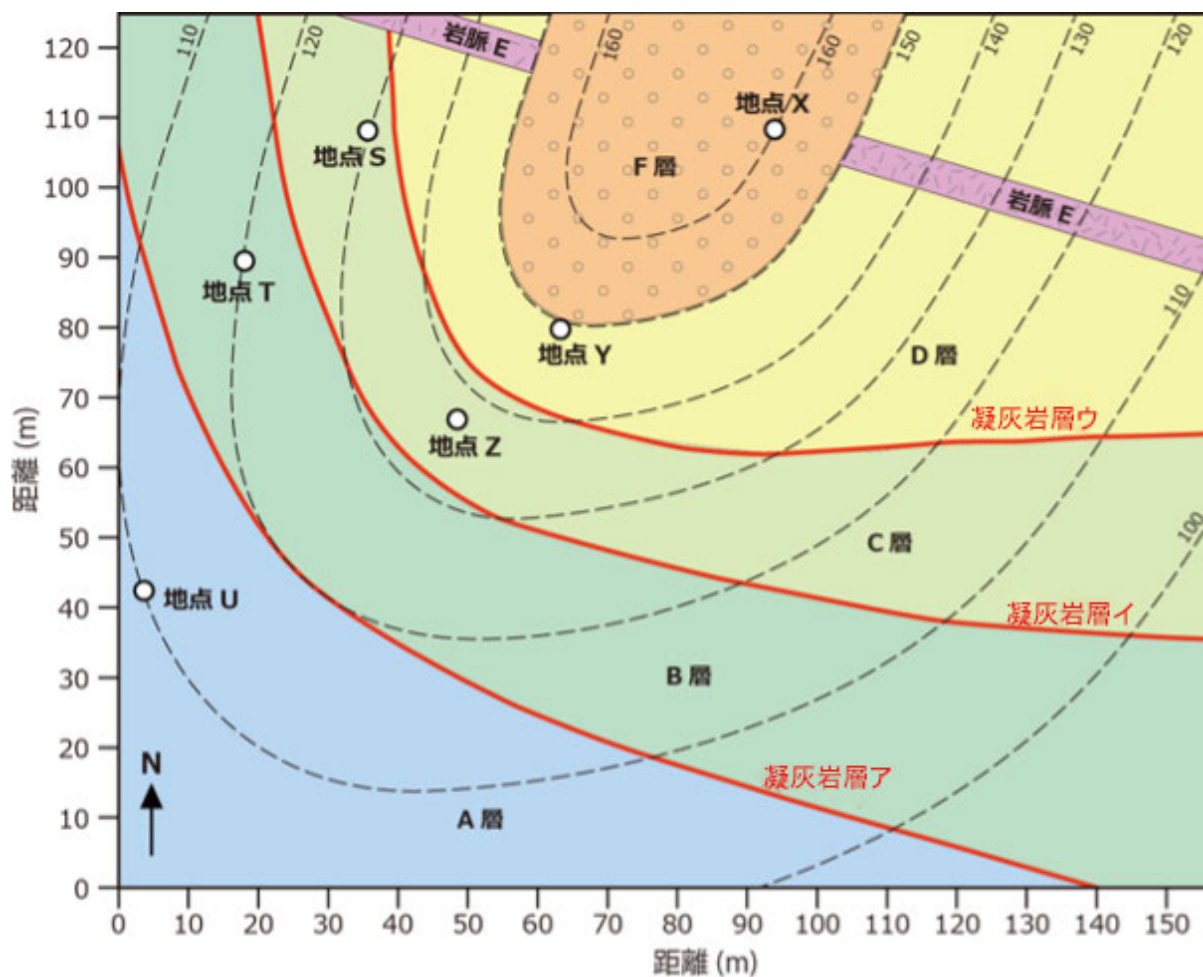


図1 地質図

(1) 凝灰岩層ア、イ、ウはいずれも同じ走向・傾斜であった。走向・傾斜を答えよ。

(2) C層の厚さを有効数字2桁で答えよ。

(3) 凝灰岩層ア, イ, ウは, 約 5 km 離れた地域の地層との対比に適していることが判明した. そのような対比の目印となる地層を何というか, 漢字二文字で答えよ. また, そのような地層に必要な条件を 3 つ挙げよ.

(4) F 層から産出した植物片の ^{14}C と ^{12}C の割合を測定したところ, 植物が遺骸となった時の ^{14}C の 6.25%が残っていることが判明した. ^{14}C の半減期を 5700 年として, この植物片の年代を有効数字 2 桁で求めよ.

(5) A 層から採取した試料の鉱物組成を調べたところ, 方解石 20%, 石英 35%, 斜長石 15%, イライト 10%, モンモリロナイト 10%, 緑泥石 5%, 磁鉄鉱 5%であった. また, この試料の構成粒子を調べたところ, 256 分の 1 mm 以下の粒径の粒子が 25%, 256 分の 1 mm から 16 分の 1 mm の粒径の粒子が 75%であった. この試料について適切な記述を, 以下のあ〜おから全て選択せよ.

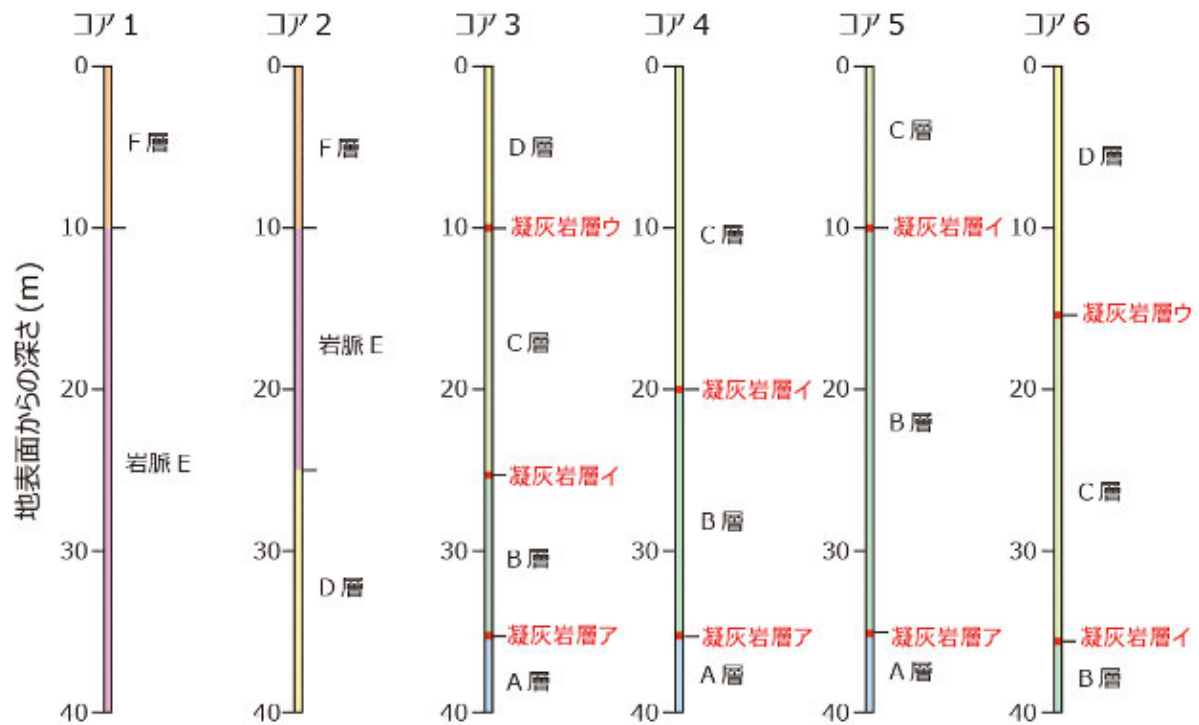
- あ. この試料はチャートである.
- い. この試料は塩酸に反応し, 発泡する.
- う. この試料は古地磁気測定に適していない.
- え. この試料は砂岩である.
- お. この試料は泥岩である.

(6) D 層の年代を, 紀で答えよ.

(7) 地点 U からは, アンモナイトの化石が産出した. 以下の 6 種類の化石のうち, 地点 S, T, U から産出する可能性のある化石をすべて記入しなさい. なお, 下位の地層に含まれる化石が侵食されて上位の地層に混入 (再堆積) はしないものとする. 化石名は全てを使用しなくてもよい.

ビカリア, フズリナ, メタセコイア, コノドント, 三葉虫, トリゴニア

(8) 地点 X, Y, Z の 3 カ所でそれぞれ鉛直方向に深さ 40 m の掘削を行った。各地点で得られたコアの柱状図として適切なものを、下図のコア 1～コア 6 からそれぞれ選択せよ。なお、下図のコア岩相図の縦横比は実際の縦横比ではない。このため、実際の地層の傾斜は反映されておらず、岩相境界や凝灰岩層は全て水平線で表現している。



三角関数表

角度	sin	cos	tan
0	0.00	1.00	0.00
5	0.09	1.00	0.09
10	0.17	0.98	0.18
15	0.26	0.97	0.27
20	0.34	0.94	0.36
25	0.42	0.91	0.47
30	0.50	0.87	0.58
35	0.57	0.82	0.70
40	0.64	0.77	0.84
45	0.71	0.71	1.00
50	0.77	0.64	1.19
55	0.82	0.57	1.43
60	0.87	0.50	1.73
65	0.91	0.42	2.14
70	0.94	0.34	2.75
75	0.97	0.26	3.73
80	0.98	0.17	5.67
85	1.00	0.09	11.43
90	1.00	0.00	-





第 15 回日本地学オリンピック本選

(第 16 回国際地学オリンピック三次選抜)

固体地球分野 問題

- ◆ 試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。
- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 地質・固体地球・海洋・気象・天文・鑑定試験を合わせて 3 時間です。どの順で解き始めても構いません。
- ◆ 試験時間途中に、別室で鑑定試験があります(岩石5分、鉱物5分、化石5分)。受験番号を呼ばれたら、他の受験生の迷惑にならないよう、静かに一時退室してください。その際、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験中にトイレに行きたい受験生は、試験監督に申し出てください。その際も、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。
- ◆ 貸与物:電卓、定規、分度器

番号		氏名	
----	--	----	--

地震の正体は多くの場合に断層運動である。地表付近の揺れを用いて、地下で発生した断層運動の詳細の情報を得る手段に関する以下の問題に答えよ。

- (1) 図 1 に示すような南北に延びる断層で横ずれ断層型の地震が生じた場合を考える。地震波の初動として、北東と南西側の領域では、断層から遠ざかる方向の運動（押し波）が、北西と南東側の領域では、断層に近づく方向の運動（引き波）が観測された。この地震は、右横ずれ断層型の地震であったか、それとも左横ずれ断層型の地震であったか。

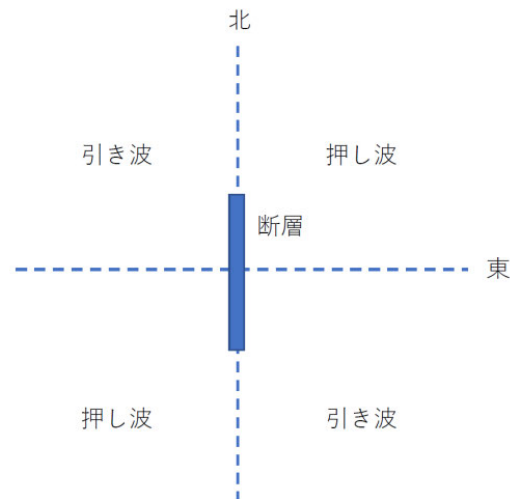


図 1. 断層と観測された地震波初動

- (2) 断層運動は、断層上のある 1 点で発生するというよりも、広がりを持った面積で時間ずれを伴いながら発生する。いま、図 2 に示すように、断層の上端において（深さ 0 km）、最初に点 A で断層運動が発生し、それが水平線上を点 B まで移動していった場合を考える。点 A・点 B のそれぞれで発生した断層運動に起因する S 波が真北の観測点（あ）に最初に到着する時刻は、各々の地点で断層運動が生じた何秒後になるか。ただし、S 波速度は媒質全体で一定で、3 km/s であるとする。

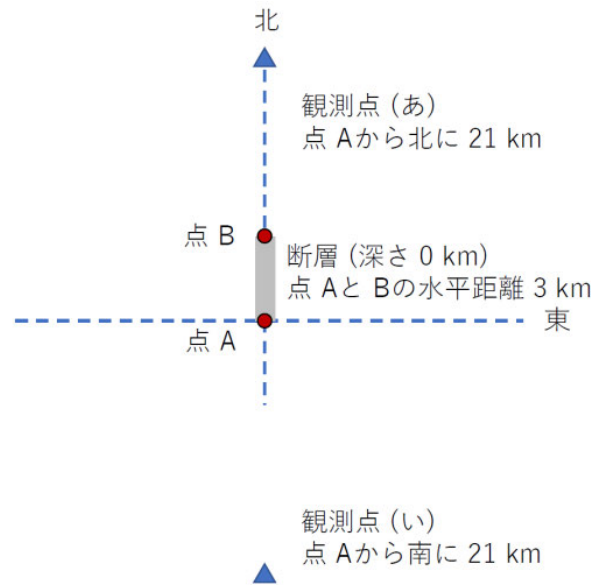


図 2. 断層運動と観測点

- (3) 断層運動が 点 A から点 B まで 2 km/s の速度で移動したとする。各点での断層運動の継続時間が、断層運動の移動に要した時間に比べて十分短かったことを仮定すると、点 A・点 B の断層運動で生じた地震波が観測点 (あ) に到着する時刻の時間差が、S 波直達部の継続時間となる。この継続時間は何秒になるか。
- (4) 南側に離れた観測点 (い) では、この時間差は何秒になるか。
- (5) (3), (4) の結果に基づき、観測点 (あ) と観測点 (い) で記録された地震波形にはどのような違いが表れると考えられるか、説明せよ。
- (6) (3), (4) の結果に基づき、図 2 のように線的に移動する断層運動について、その移動の向きを推定する方法を考え、説明せよ。
- (7) 一般に、規模の大きい地震ほど、地震波直達部の継続時間が長くなる傾向がある。図 2 に基づいて考えると、規模の異なる地震の断層運動の間にどのような違いがあるためと考えられるか。





第 15 回日本地学オリンピック本選

(第 16 回国際地学オリンピック三次選抜)

気象分野 問題

試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。

- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 地質・固体地球・海洋・気象・天文・鑑定試験を合わせて 3 時間です。どの順で解き始めても構いません。
- ◆ 試験時間途中に、別室で鑑定試験があります(岩石5分、鉱物5分、化石5分)。受験番号を呼ばれたら、他の受験生の迷惑にならないよう、静かに一時退室してください。その際、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験中にトイレに行きたい受験生は、試験監督に申し出てください。その際も、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。
- ◆ 貸与物:電卓、定規、分度器

番号		氏名	
----	--	----	--

2021 年にノーベル物理学賞を受賞した気候科学者、真鍋淑郎（まなべしゅくろう）氏の業績に関する以下の問 1～3 に答えよ。

問 1 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

地球は太陽放射を吸収して温められる一方で、地球放射を射出することで冷やされ、長い時間スケールで見れば温度がほぼ一定に保たれた平衡（定常）状態にある。地球大気の大部分を構成する ア や イ はこれらの放射に対してほとんど透明であるが、水蒸気・オゾン・二酸化炭素はこれらの放射を吸収あるいは射出する性質をもつ。

Manabe & Strickler (1964) は鉛直 1 次元の大気モデルを構築し、これらの気体の濃度の現実的な鉛直分布を与えて放射の計算を行うことで、地表面温度や大気の鉛直温度分布の再現を試みた。再現された放射平衡にある大気の鉛直温度分布が図 1-1 の実線であるが、地表気温は約 60 °C に達し、高度 0～10 km の平均的な温度減率も ウ °C/km という非常に大きな値を示す。実際にはこのような大気は不安定で、対流が生じることで鉛直温度分布も変化するが、1 次元モデルでは対流のような空気の運動を直接的に表現することができない。

そこで彼らは、温度減率が対流圏での現実的な値である 6.5 °C/km を超えた場合、強制的に熱を上向きに運び、温度減率を 6.5 °C/km 以下に保つ対流調節スキームを組み込んだ。こうして得られた放射対流平衡にある大気の鉛直温度分布が図 1-1 の破線である。地表気温は約 25 °C であり、現実の値に比較的近い。このモデルは地表面温度や大気の鉛直温度分布を再現するために必要な物理過程をおおむね現実的に表現していると考えられる。

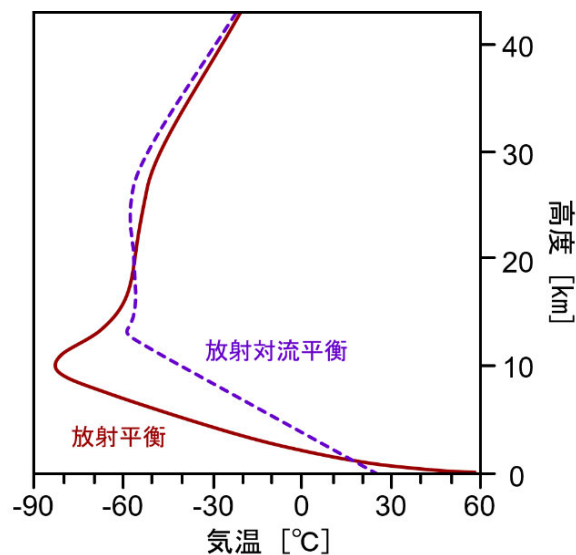


図 1-1：1 次元モデルが再現した鉛直温度分布（実線：放射平衡，破線：放射対流平衡）

Manabe & Strickler (1964) より引用，作問の都合により一部改訂

(1) 前ページの文章中の空欄ア・イに入る気体は、それぞれ体積比で大気の約 8 割と約 2 割を占める。これらの気体の名称を漢字で答えよ。

(2) 前ページの文章中の空欄ウに入る値を求め、整数で答えよ。

(3) 前ページの下線部に関連して、放射対流平衡にある大気における気体ごとの放射による温度変化率の鉛直分布を図 1-2 に示す (P～R はそれぞれ水蒸気・オゾン・二酸化炭素のいずれかを示す)。高度約 10km より上空の成層圏では、Q による太陽放射の吸収による加熱と、P や R による地球放射の正味の射出による冷却とが釣り合っている。一方、その下の対流圏では、R や P による地球放射の正味の射出による冷却が支配的である。

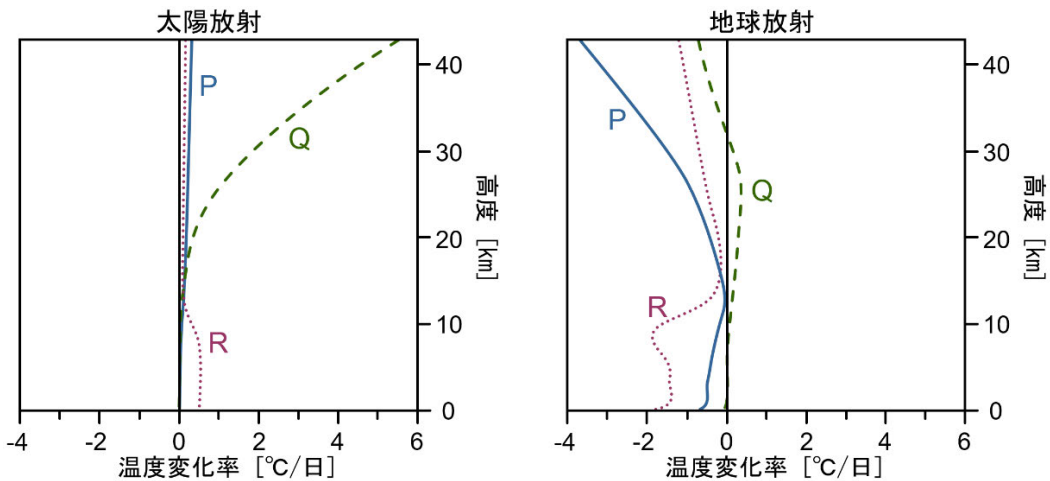


図 1-2：放射対流平衡にある大気における気体ごとの放射による温度変化率
 左：太陽放射，右：地球放射（実線：気体 P，破線：気体 Q，点線：気体 R）
 正（負）の温度変化率は放射の正味の吸収（射出）による加熱（冷却）を意味する。

Manabe & Strickler (1964) より引用，作問の都合により一部改訂

(i) P～R が示す気体の組み合わせとして最も適切なものを，次の①～⑥から 1 つ選びなさい。

	P	Q	R
①	水蒸気	オゾン	二酸化炭素
②	水蒸気	二酸化炭素	オゾン
③	オゾン	水蒸気	二酸化炭素
④	オゾン	二酸化炭素	水蒸気
⑤	二酸化炭素	水蒸気	オゾン
⑥	二酸化炭素	オゾン	水蒸気

- (ii) 対流圏では放射は正味で大気を冷却し，放射だけでは平衡状態が達成されていない。対流にともなう地表面からの熱輸送による加熱があることで平衡状態（放射対流平衡）が達成されている。対流圏での放射による正味の冷却を $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{日}$ とするとき，これとつり合うために必要な加熱率から日降水量を見積もり， mm の単位で有効数字 2 桁で答えよ。ただし，地表面からの熱輸送のうち 8 割が潜熱輸送によると仮定する。計算にあたり，以下の値を用いよ。

地表面の気圧： 1000 hPa	対流圏界面の気圧： 200 hPa	[$\text{hPa} = 10^2\text{ kg/(m s}^2\text{) }$]
重力加速度： 9.8 m/s^2	空気の比熱： $1.0 \times 10^3\text{ J/(kg }^{\circ}\text{C)}$	
水の蒸発熱： $2.5 \times 10^6\text{ J/kg}$	水の密度： $1.0 \times 10^3\text{ kg/m}^3$	

- 問 2 Manabe & Wetherald (1967) は，問 1 と同様の 1 次元放射対流平衡モデルを用いて，大気中の二酸化炭素濃度を 150 ppm ， 300 ppm ， 600 ppm に変化させた実験を行った。平衡状態として得られた大気鉛直温度分布を図 2-1 に示す。以下の問いに答えよ。

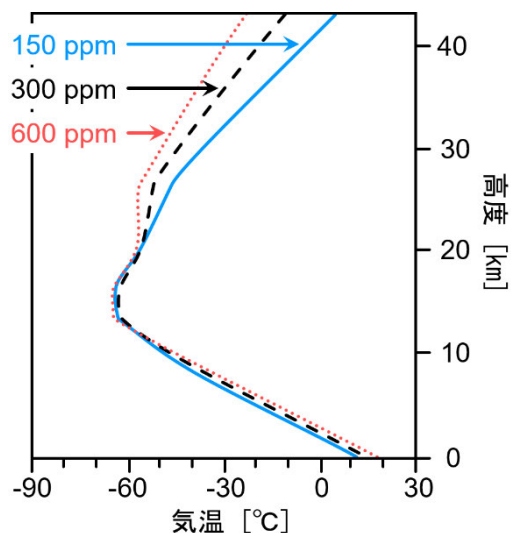


図 2-1：異なる二酸化炭素濃度に対する平衡状態での大気鉛直温度分布
 実線： 150 ppm ，破線： 300 ppm ，点線： 600 ppm

Manabe & Wetherald (1967) より引用，作問の都合により一部改訂

(1) 図 2-1 から、二酸化炭素濃度が高いほど対流圏の温度は高くなるが、成層圏の温度は低くなることが読み取れる。この温度低下は、成層圏では問 1 (3) で述べた放射平衡が常に成り立つことから理解できる。地球放射の射出が、各気体の濃度が高いほど、また気温が高いほど増加することをふまえ、二酸化炭素濃度が高いほど成層圏の温度が低くなる理由を 4 行以内で説明せよ。ただし、二酸化炭素以外の気体の濃度や、太陽放射の強さは変化しないものとする。

(2) 二酸化炭素濃度の増加とともに対流圏の温度が上昇すると、大気中の水蒸気量が増加し、温室効果がさらに強まるという正のフィードバックが存在することが知られている。彼らはこの水蒸気フィードバックの寄与を評価するために、二酸化炭素濃度を変える実験を「絶対湿度を一定のまま相対湿度を可変とした実験設定 A」と「相対湿度を一定のまま絶対湿度を可変とした実験設定 B」とで二通り行った。次の表 2-1 は、二つの実験設定における二酸化炭素濃度の変化に対する地表温度の変化をまとめたものである。表 2-1 の実験設定 $x \cdot y$ のうち実験設定 A はどちらか。 $x \cdot y$ のいずれかで答えよ。

表 2-1：二酸化炭素濃度の変化に対応する平衡状態での地表温度の変化

Manabe & Wetherald (1967) より引用、作問の都合により一部改訂

二酸化炭素濃度の変化	実験設定 x	実験設定 y
300 → 150ppm	- 1.3 °C	- 2.3 °C
300 → 600ppm	+ 1.3 °C	+ 2.4 °C

問 3 真鍋氏らは 1 次元大気モデルの拡張として、より現実的な 3 次元大気モデルの開発を進めた。これにより、緯度による様々な違いや海陸分布の影響などを評価することができる。さらに、大気に大きな影響を与える海洋や陸面、雪氷のモデルの開発も進め、これらを大気モデルと結合させた結合モデルへと発展させた。

Manabe et al. (1991) は、結合モデルを用いて、二酸化炭素濃度の倍増に対する平衡状態における地表気温の変化（平衡応答）と、1 年あたり 1 % の割合で増加する二酸化炭素濃度がほぼ倍増した時点での地表気温の変化（過渡応答）とを比較した（図 3-1）。気候システムは熱慣性をもつため、徐々に増える二酸化炭素濃度に対して瞬時に平衡状態に達するとは限らない。したがって、温暖化が徐々に進行する途中を見ている過渡応答は、平衡応答よりも小さくなる。以下の問いに答えよ。

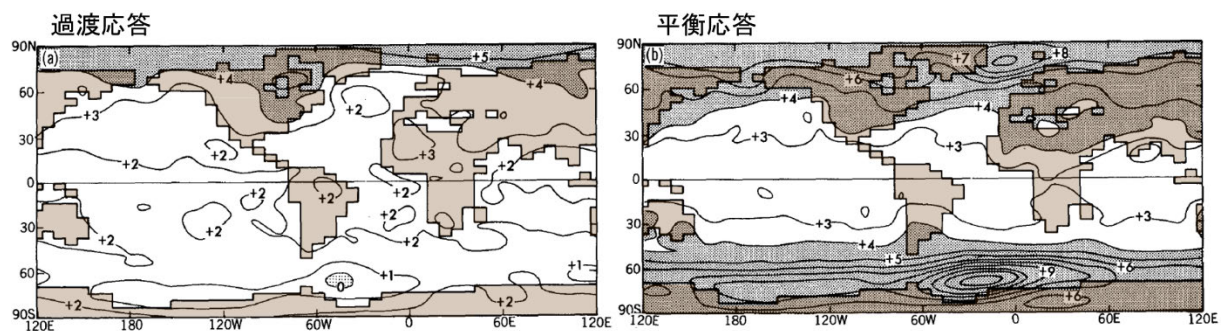


図 3-1：300 ppm から 600 ppm への二酸化炭素濃度の増加に対する地表気温の変化
(左：過渡応答，右：平衡応答)

Manabe et al. (1991) より引用，作問の都合により一部改訂

- (1) 北大西洋や南大洋（南極海）では過渡応答が平衡応答と比べて特に小さく，温暖化の進行が比較的遅い領域となっている。この主要因を 3 行以内で説明せよ。
- (2) 陸上では海上と比べて地表気温の上昇が大きい傾向にある。図 3-1 は，この地表気温の上昇の大きさの違いが，陸と海の熱慣性の違い（陸が海より温まりやすく冷めやすいこと）だけでは説明できないことを示唆する。そのように言える理由を 3 行以内で説明せよ。

（問題はここまで）

参考文献

Manabe, S., and R. F. Strickler, 1964: Thermal equilibrium of the atmosphere with a convective adjustment, *J. Atmos. Sci.*, **21**(4), 361–385.

[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1964\)021<0361:TEOTAW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1964)021<0361:TEOTAW>2.0.CO;2)

Manabe, S., and R. T. Wetherald, 1967: Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity, *J. Atmos. Sci.*, **24**(3), 241–259.

[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1967\)024<0241:TEOTAW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1967)024<0241:TEOTAW>2.0.CO;2)

Manabe, S., R. J. Stouffer, M. J. Spelman, and K. Bryan, 1991: Transient responses of a coupled ocean–atmosphere model to gradual changes of atmospheric CO₂. Part I. Annual mean response, *J. Climate*, **4**(8), 785–818.

[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1991\)004<0785:TROACO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1991)004<0785:TROACO>2.0.CO;2)

また、真鍋氏の業績や地球温暖化に関してさらに興味をもった方に、次の書籍をおすすめする。

真鍋淑郎, アンソニー・J・ブロッコリー, 2022: 地球温暖化はなぜ起こるのか 気候モデルで探る過去・現在・未来の地球 (増田耕一, 阿部彩子監訳, 宮本寿代訳). 講談社ブルーバックス. ISBN: 978-4-06-528081-2





第 15 回日本地学オリンピック本選

(第 16 回国際地学オリンピック三次選抜)

海洋分野 問題

試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。

- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 地質・固体地球・海洋・気象・天文・鑑定試験を合わせて 3 時間です。どの順で解き始めても構いません。
- ◆ 試験時間途中に、別室で鑑定試験があります(岩石5分、鉱物5分、化石5分)。受験番号を呼ばれたら、他の受験生の迷惑にならないよう、静かに一時退室してください。その際、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験中にトイレに行きたい受験生は、試験監督に申し出てください。その際も、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。
- ◆ 貸与物:電卓、定規、分度器

番号		氏名	
----	--	----	--

海水の運動は、天体の運行に関わる潮汐力や、海面を通して運動量、熱や塩分による密度の相違が加わることなどによって引き起こされる。海水の運動に関する以下の問いに答えなさい。

海面高度の空間分布や時間変動に関する以下の設問に答えなさい。

問 1 図 1 は、北太平洋の中緯度帯における海面高度の水平分布を模式的に示したものである。図 1 に示される海面の高低差は、北緯 30 度付近より高緯度側で吹く（ ア ）と低緯度側で吹く（ イ ）によって生じている。図 1 から、北太平洋の中緯度帯には時計回りの環流があり、その中心より西側に強流帯があることがわかる。

- （1）文中の（ア）と（イ）に該当する風の名称を答えなさい。
- （2）文中の下線の強流帯に対応する海流の名称を答えなさい。

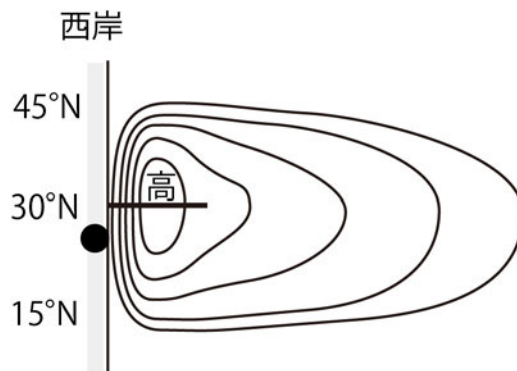


図 1 北太平洋中緯度帯における海面高度の水平分布の模式図。北緯 30 度の東西方向の線は、図 2 の断面の位置を示す。また、西岸上の黒丸は、図 3 の検潮所の位置を示す。

問2 図2は、北緯30度における西岸付近の海面高度と密度の東西分布を模式的に示したものである（断面の位置は図1を参照）。密度分布は、低密度の上層と高密度の下層の2層で表されている。上層と下層の密度は、それぞれ一定である。図2から、上層と下層の境界面は海面高度が高いところほど深いことがわかる。この状態は、山脈の下で地殻がマントルの中に沈み込んで平衡を保っているアイソスタシーの状態と同じである。ここで、図2に基づき、西岸付近の上層の流速と境界面の深さを計算してみる。

（3）流れが地衡流であると仮定すると、北緯30度では、海面高度の水平勾配と上層の流速に対して、以下の関係式が成り立つ。図2より計算に必要な数値を読み取り、海面高度が最も高い位置より西側に位置する強流带上層のおおよその流速を求めよ。

$$[\text{上層の流速}] \text{ (m/s)} = (1.4 \times 10^5) \times [\text{海面高度の水平勾配}] \quad (1)$$

（4）海面高度が最も高い位置における、上層と下層の境界面のおおよその深度を、アイソスタシーの成立により下層の圧力の水平勾配はゼロであることを利用して求めよ。

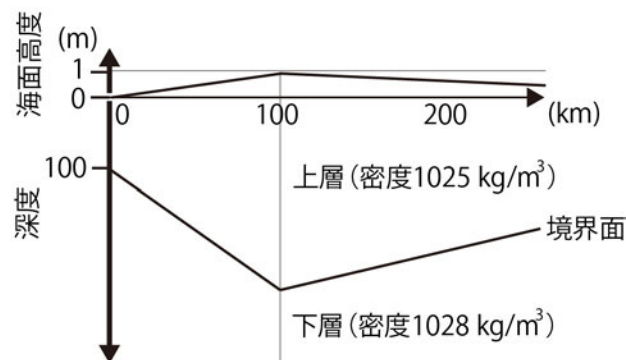


図2 北緯30度における西岸付近の海面高度、および上層と下層の境界面深度の東西分布。断面の位置は図1を参照。

問3 水位の変動には、図1に示すような風成循環による持続的変動の他に、潮汐に由来する短周期の変動がある。図3は、北緯26度付近に位置する那覇における潮位記録を示したものである。この記録には、約1日に2回起こる潮位変動（半日周潮と呼ぶ）と、半日周潮の振幅が変調して起こる約1日周期の変動（日潮不等と呼ばれる現象）が認められる。さらに、約14日周期で起こる半日周潮の振幅の変調（振幅の最大期を大潮、最小期を小潮と呼ぶ）が認められる。

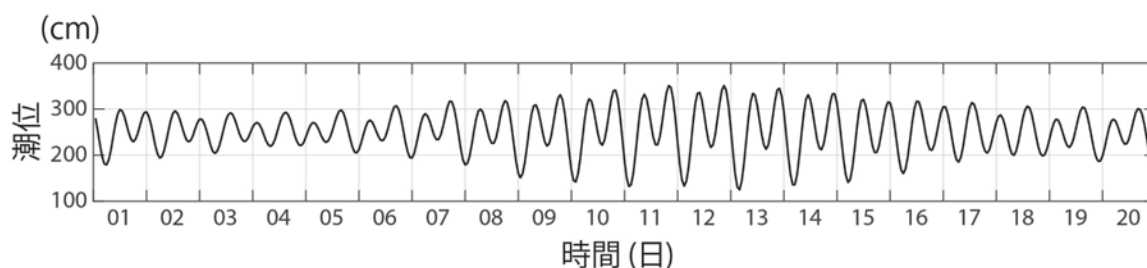
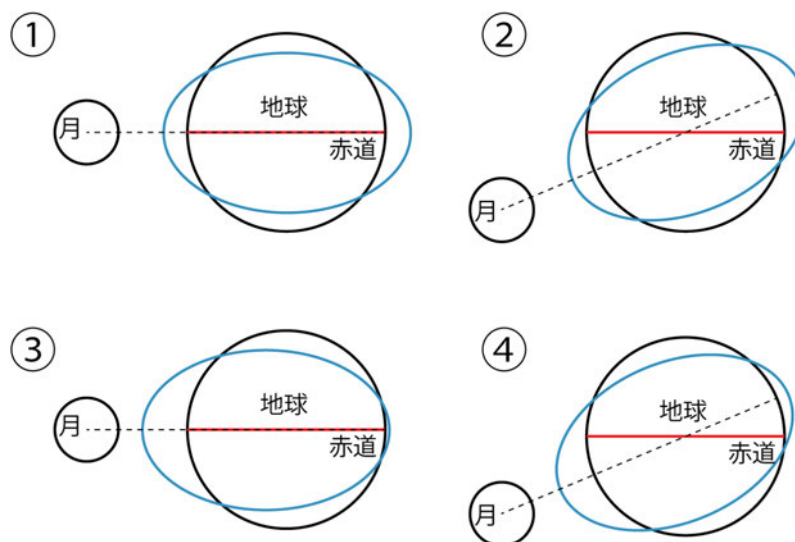
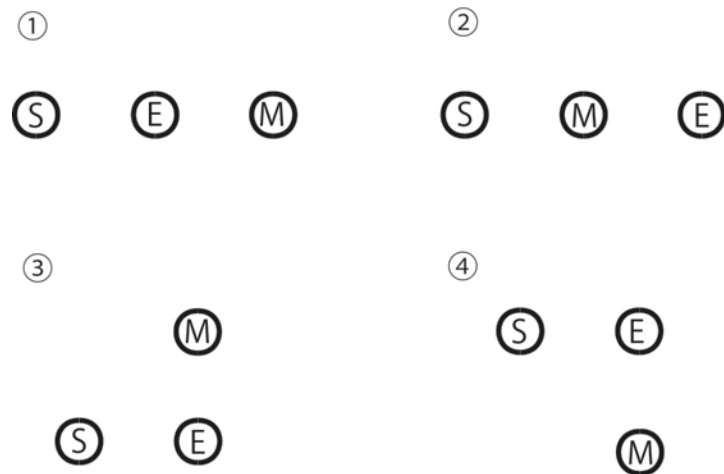


図3 北緯26度付近の那覇における潮位記録（2020年1月1日～20日）

（5）半日周潮は、月と地球の位置関係によって水位変動の時間経過が説明できる。その関係を示す模式図として最も適切なものを次の①から④から選びなさい（複数回答可）。ここで、図は地球を赤道面から見て描かれている。また、地球の平均海面は球形として、潮汐による変位は楕円形として表されている。



(6) 大潮・小潮は、月と地球と太陽の位置関係によって水位変動の時間経過が説明できる。大潮の時の模式図として最も適切なものを次の①から④から選びなさい(複数回答可)。ここで、月はM、地球はE、太陽はSとして表されている。図は3者の位置関係のみを示しており、距離は考慮されていない。



(7) 月の公転のため、半日周潮の周期は12時間よりやや長い。また、月の公転によって大潮・小潮は起きている。ここで、月の公転周期に基づいて、半日周潮と大潮・小潮の周期を計算してみる。月の公転周期を、近似的に27.3日とする。そうすると、1日あたりの月の公転角度は(ウ)度となる。したがって、地球上で月が南中してから次に南中するまでにかかる時間は(エ)時間となるため、半日周潮の周期は(オ)となる。また、月の公転のみから考えると、大潮から次の大潮が来るまでの時間は(カ)日となる。

文中の(ウ)～(カ)にあてはまる数値を、小数第1位まで計算して求めなさい。簡単に計算過程を示すこと。





第 15 回日本地学オリンピック本選

(第 16 回国際地学オリンピック三次選抜)

天文分野 問題

- ◆ 試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。
- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 地質・固体地球・海洋・気象・天文・鑑定試験を合わせて 3 時間です。どの順で解き始めても構いません。
- ◆ 試験時間途中に、別室で鑑定試験があります(岩石5分、鉱物5分、化石5分)。受験番号を呼ばれたら、他の受験生の迷惑にならないよう、静かに一時退室してください。その際、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験中にトイレに行きたい受験生は、試験監督に申し出てください。その際も、問題と解答用紙は伏せてください。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。
- ◆ 貸与物:電卓、定規、分度器 ※必要があれば以下の平方根表を使用してもよい

平方根表					
n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$
1	1.000	8	2.828	15	3.873
2	1.414	9	3.000	16	4.000
3	1.732	10	3.162	17	4.123
4	2.000	11	3.317	18	4.243
5	2.236	12	3.464	19	4.359
6	2.449	13	3.606	20	4.472
7	2.646	14	3.742		

番号		氏名	
----	--	----	--

現在、太陽以外の恒星の周囲にある系外惑星は5 0 0 0個以上発見されている。太陽系外惑星に関連する以下の問いに答えよ。なお、解答については最後に算出した結果の有効数字2桁で示すこと。

例1 : $3.14159 \times 12345 = 38763.3$ 有効数字2桁 $\rightarrow 39000$ もしくは 3.9×10^4

例2 : $3.14159 \times 0.0159 = 0.04995128$ 有効数字2桁 $\rightarrow 0.050$ もしくは 5.0×10^{-2}

問1 : 以下の文章において、単位に留意しつつ[A]～[D]を埋めよ。なお、太陽の半径は695,700km、1光年は 9.46×10^{12} km、地球と太陽の平均距離である1天文単位は 1.5×10^8 kmとする。また、太陽半径の大きさは地球半径の約109倍である。

太陽から最も近い恒星として知られるプロキシマ・ケンタウリは、太陽からおよそ4.2光年の距離にある太陽のおよそ0.15倍の半径を持つ赤色矮星である。また、プロキシマ・ケンタウリから0.05天文単位に地球の1.1倍以上の半径を持つ系外惑星プロキシマ・ケンタウリ bが存在することがわかっている。

簡単のため系外惑星の半径を地球の1.1倍とし、太陽の大きさを直径10cmの球と仮定した時、プロキシマ・ケンタウリは10cmの太陽からおよそ[A]km離れたところに[B]cmのプロキシマ・ケンタウリが存在し、そこから[C]cmのところに[D]mmの系外惑星（プロキシマ・ケンタウリ b）が存在することになる。

問2 : 系外惑星の探査方法のうち、地球からみて系外惑星が図のように主星の前を横切るような軌道を持っている場合、「トランジット法」という方法で検出することができる(図1)。主星の前を系外惑星が通過(トランジット)する際、主星からの光を遮ることで生じるわずかな減光を捉える方法である。主星の大きさがわかっていれば、減光量から系外惑星の直径における断面積がわかり、そこから系外惑星の大きさを見積もることができる。

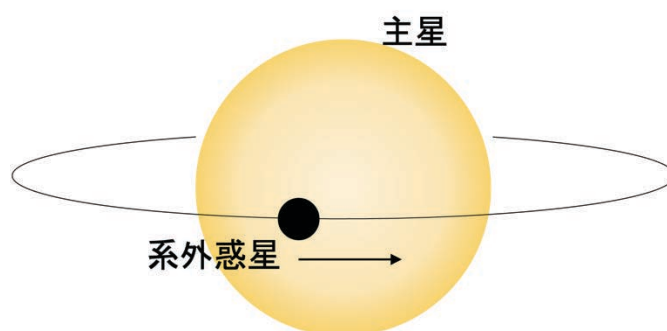


図1 トランジット法

図2は、2000年に始めてトランジットが観測された、系外惑星HD 209458 bの観測データである。このグラフから、発見された系外惑星の断面積は地球の直径における断面積の何倍か求めよ。

なお、主星(HD 209458)の半径は太陽の1.16倍であり、太陽の半径は地球の109倍である。減光量としては、グラフ内でフィットされた実線から読み取ること。

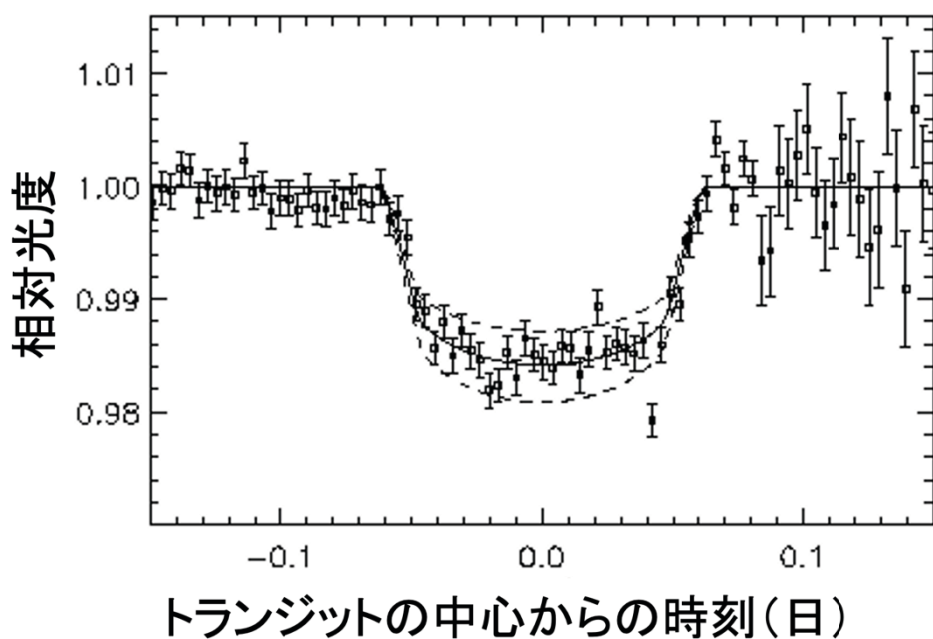


図2 主星(HD 209458)のライトカーブ。縦軸は主星の相対光度であり、縦軸の 1.00 は惑星がトランジットしていない時の主星の明るさ。横軸はトランジットの中心時刻をゼロとした時刻を示す。

(Charbonneau 2000 より引用)

問3：太陽と同じ大きさの恒星の周りに地球と同じ大きさの系外惑星を探すためには、わずか0.0084%程度の減光を捉える必要がある。我々の住んでいる天の川銀河の中には、太陽のような大きさ・明るさの恒星より、もっと小さく・暗い「赤色矮星」という恒星の方が数多く存在すし、このような恒星の周りでも多くの系外惑星が発見されている。太陽の20%ほどの半径を持つ赤色矮星の周囲で、トランジットを起こす地球と同じ半径の系外惑星を見つけるには、何%の減光が捉えられればよいか答えよ。太陽の半径は地球の109倍として計算すること。

問4：赤色矮星の周りに地球のような惑星があれば、生命は存在できるのであろうか。光のスペクトルが太陽と異なるため、見える景色は異なりそうだが、少なくとも光のエネルギーで液体の水が存在できるハビタブルゾーンにある地球型惑星には期待できそうである。ただし、赤色矮星の光度は太陽より暗く、光は距離の二乗に反比例して暗くなるため、1天文単位の距離では恒星からの光が弱く、光のエネルギーだけでは惑星表面の水は凍ってしまう。放射エネルギーが太陽の0.0016倍の赤色矮星の場合、地球と同じ放射エネルギーを主星から受けるためには、主星から何天文単位の位置にあればよいか答えよ。

