

# 第3回天文学オリンピック 予選問題

試験時間：120分

## 注意事項

問題は全部で50問である。まずはじめにすべての問題に目を通すことを推奨する。

以下の問題では、断りの無い限り以下の記号はそれぞれ次の単位を表すものとする。

pc パーセク  
au 天文単位  
ly 光年  
 $M_{\odot}$  太陽質量  
 $R_{\odot}$  太陽半径

問 1. 恒星が主系列星として輝き出したときを「誕生」と呼ぶ。図 1 は、恒星の質量と光度の、現在の観測値を両対数グラフにプロットしたものである。図 1 に示されている恒星 A が主系列星として誕生したときの太陽について述べた文として最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。

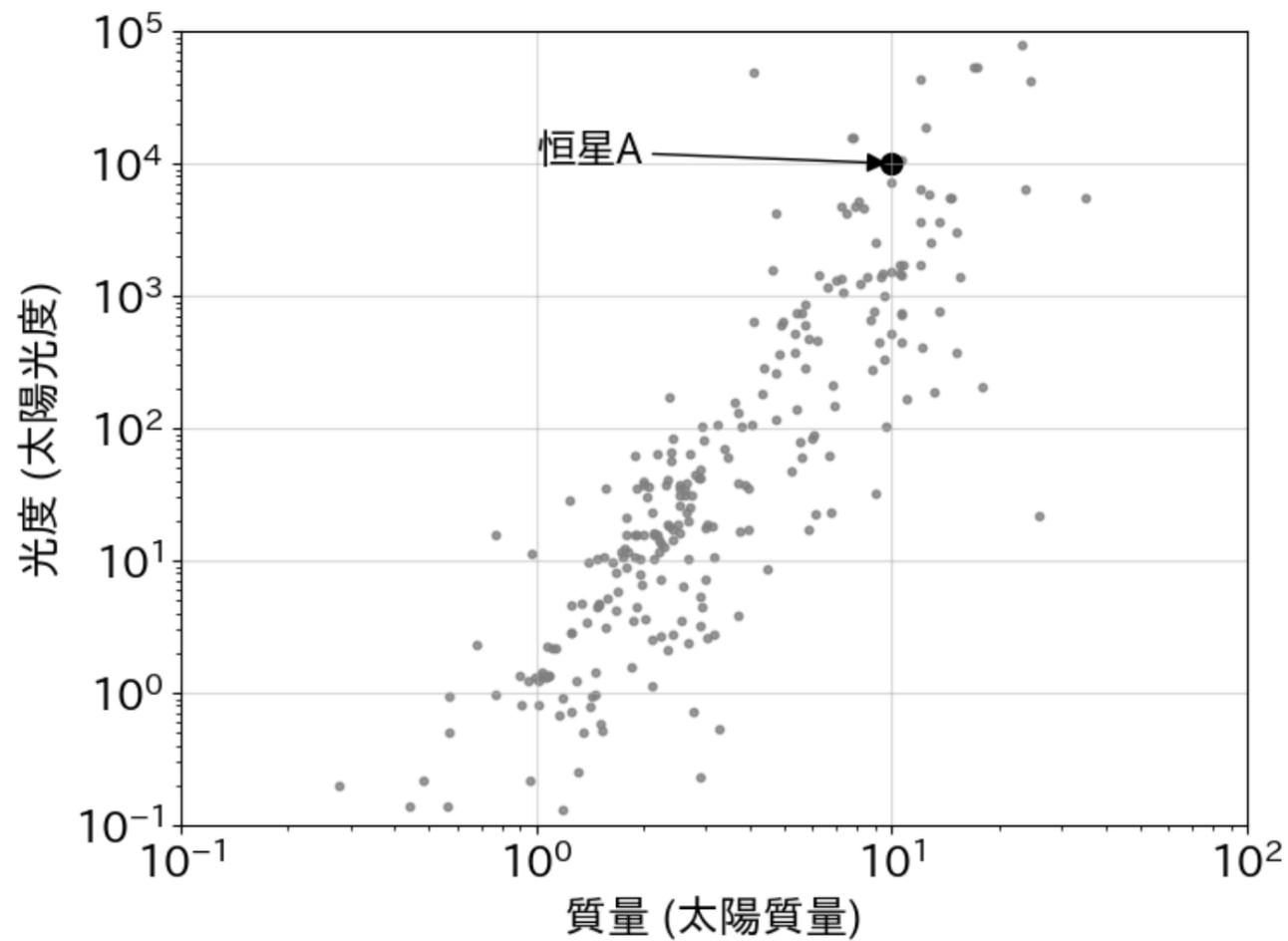


図 1: 恒星の質量と光度の観測値をプロットしたもの

- ① 主系列星である。
- ② 赤色巨星である。
- ③ 白色矮星である。
- ④ 誕生していない。

問 2. 図 2 のように、観測位置  $O$  からの距離が  $D_Q$  のクェーサー  $Q$  と重い天体  $F$  があり、 $F$  は  $Q$  と  $O$  の間に位置する状況を考える。 $F$  による重力レンズ効果によって、図 2 のようにクェーサーの像  $Q'$  が生じる。 $Q$  から直進して  $O$  に到達する光と、重力レンズ効果により図 2 の点  $P$  を通るよう迂回して  $O$  に到達する光の、 $O$  への到達時間差  $\Delta t$  が測定できる。 $OF$  間の距離  $D_F$  を、光速  $c$ ,  $D_Q$ ,  $\theta$ ,  $\phi$  を用いて表した式として最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。ただし、 $|\theta| \ll 1$ ,  $|\phi| \ll 1$  としてよく、必要ならば微小角  $x$  について  $\frac{1}{\cos x} = 1 + \frac{x^2}{2}$  とできることを用いてもよい。

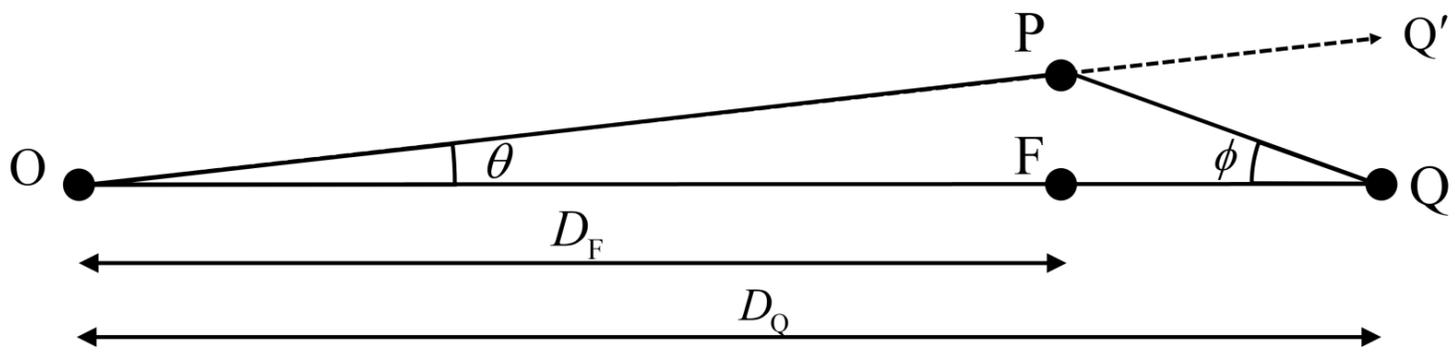
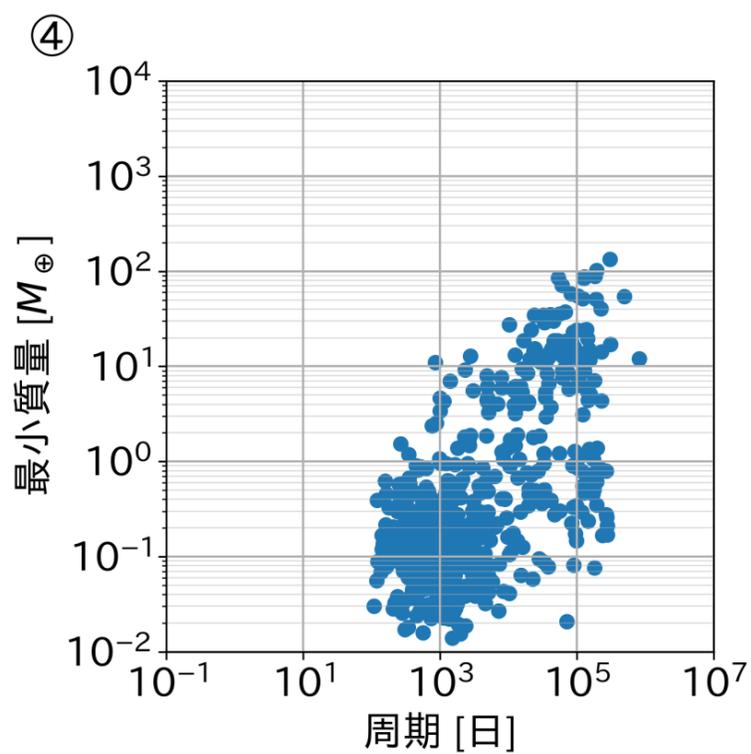
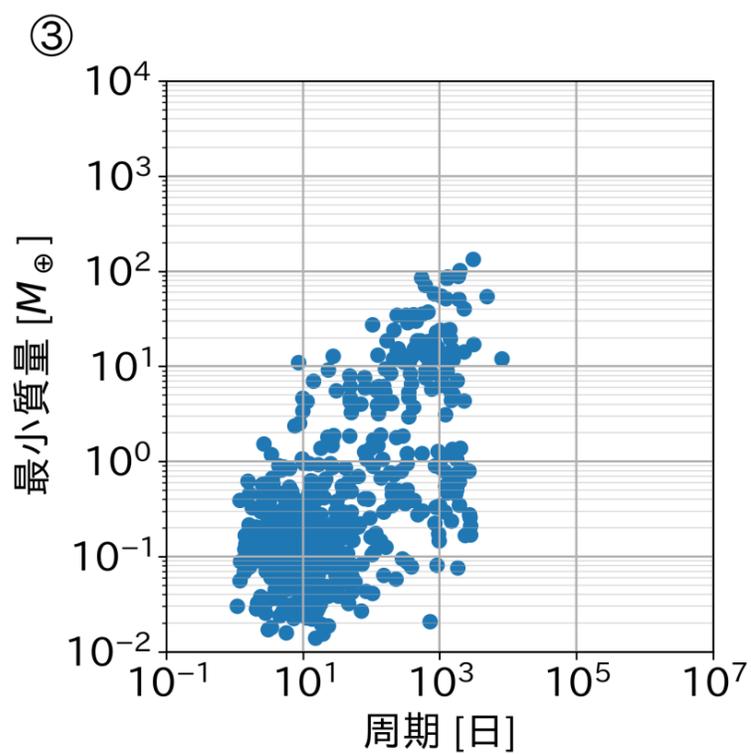
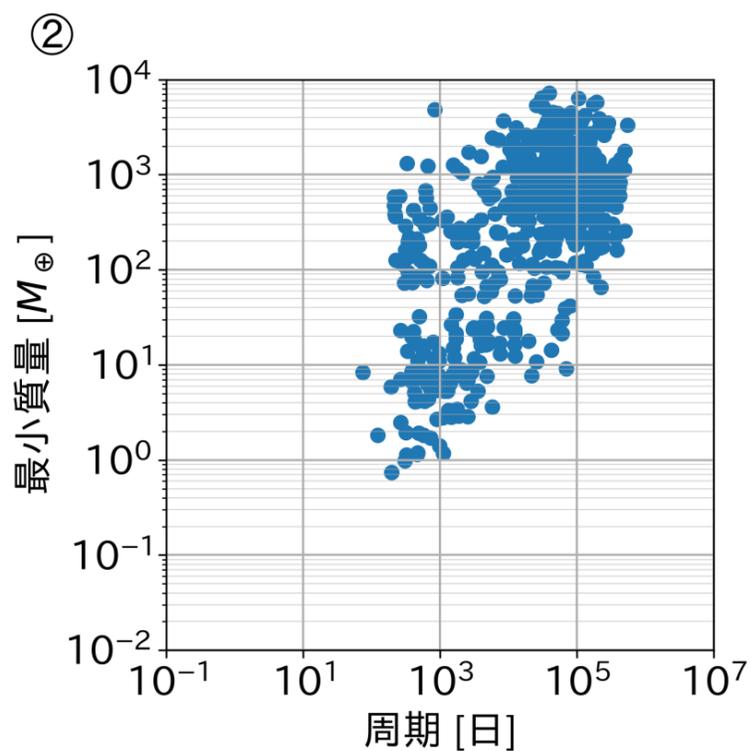
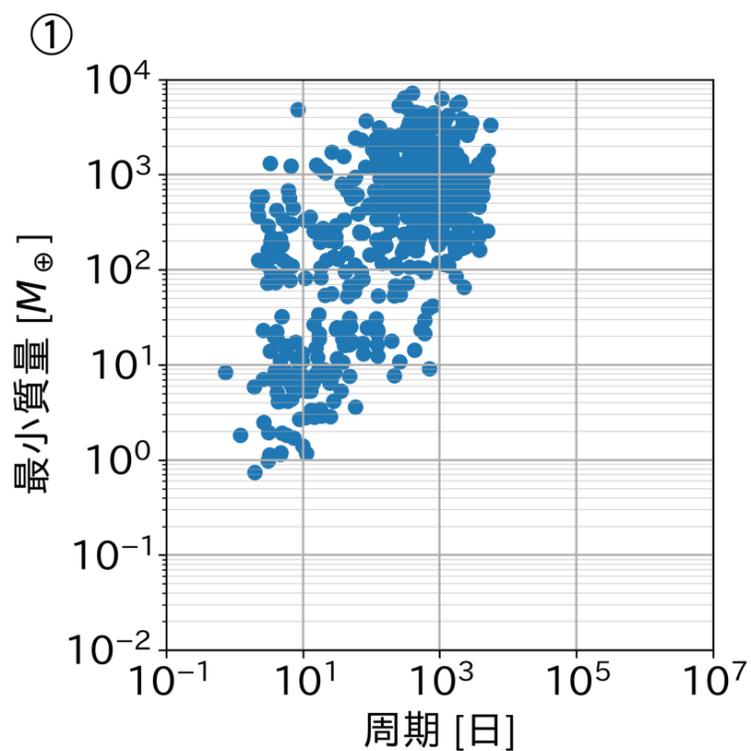


図 2: 各点の位置関係

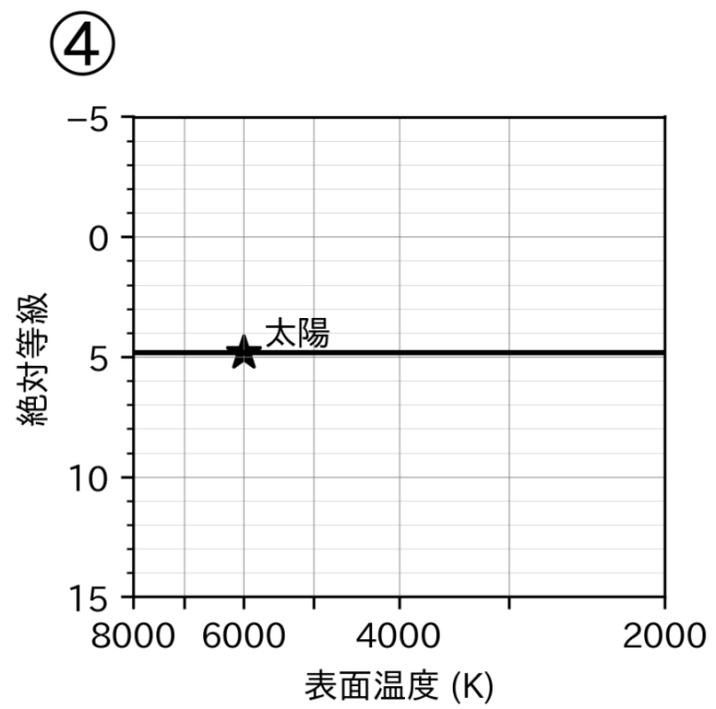
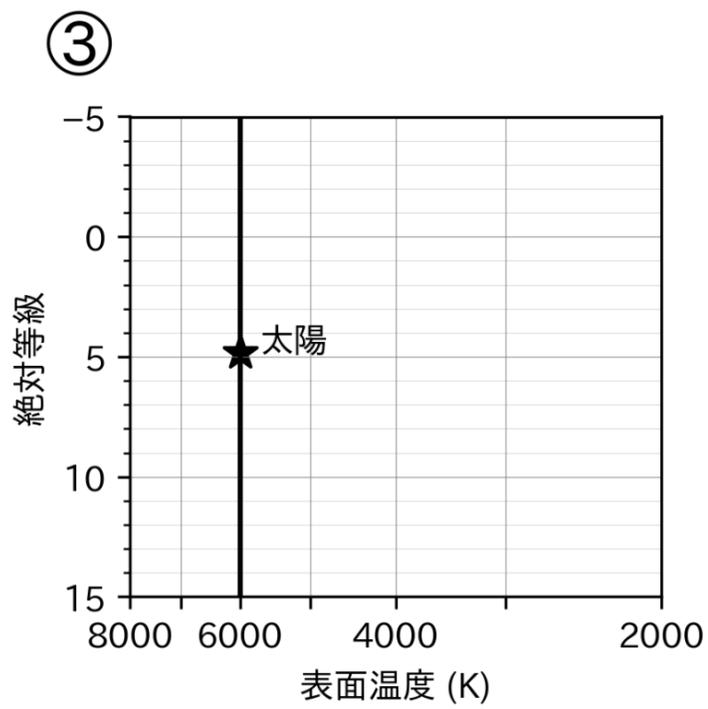
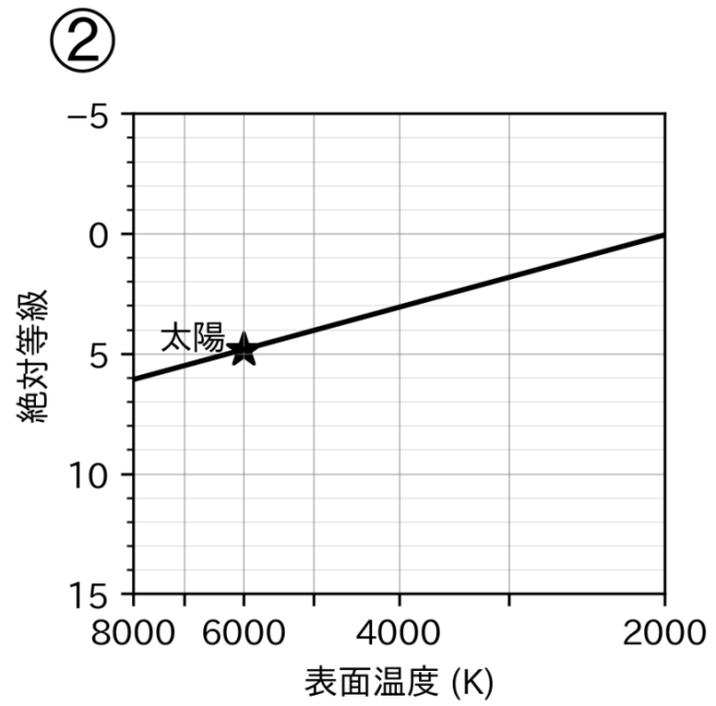
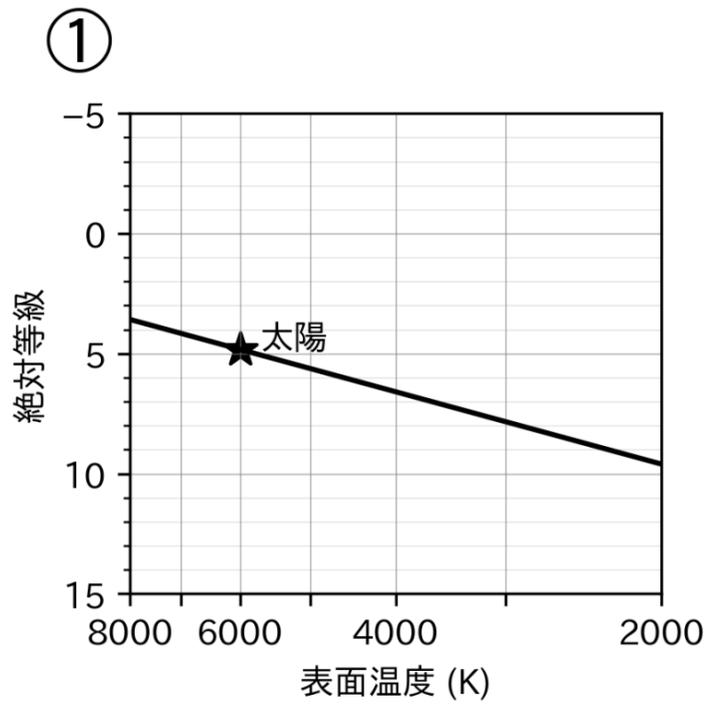
- ①  $\frac{2c\Delta t + D_Q\phi^2}{\theta^2 + \phi^2}$   
 ②  $\frac{2c\Delta t + D_Q\phi^2}{\theta^2 - \phi^2}$   
 ③  $\frac{2c\Delta t - D_Q\phi^2}{\theta^2 + \phi^2}$   
 ④  $\frac{2c\Delta t - D_Q\phi^2}{\theta^2 - \phi^2}$

問 3. 視線速度法によって発見された系外惑星の、最小質量と公転周期をプロットした図として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、最小質量は惑星の質量  $m$  に軌道傾斜角  $i$  の正弦をかけた値  $m \sin i$  であり、グラフの縦軸はいずれもこれを地球質量で規格化した値である。





問 7. HR 図上で太陽と同じ半径の恒星が乗る直線を表した図として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。



問 8. 図 3 は 2024 年の明石 (東経 135°00′) での均時差の年変化を示したグラフである。この図について述べた文として最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。

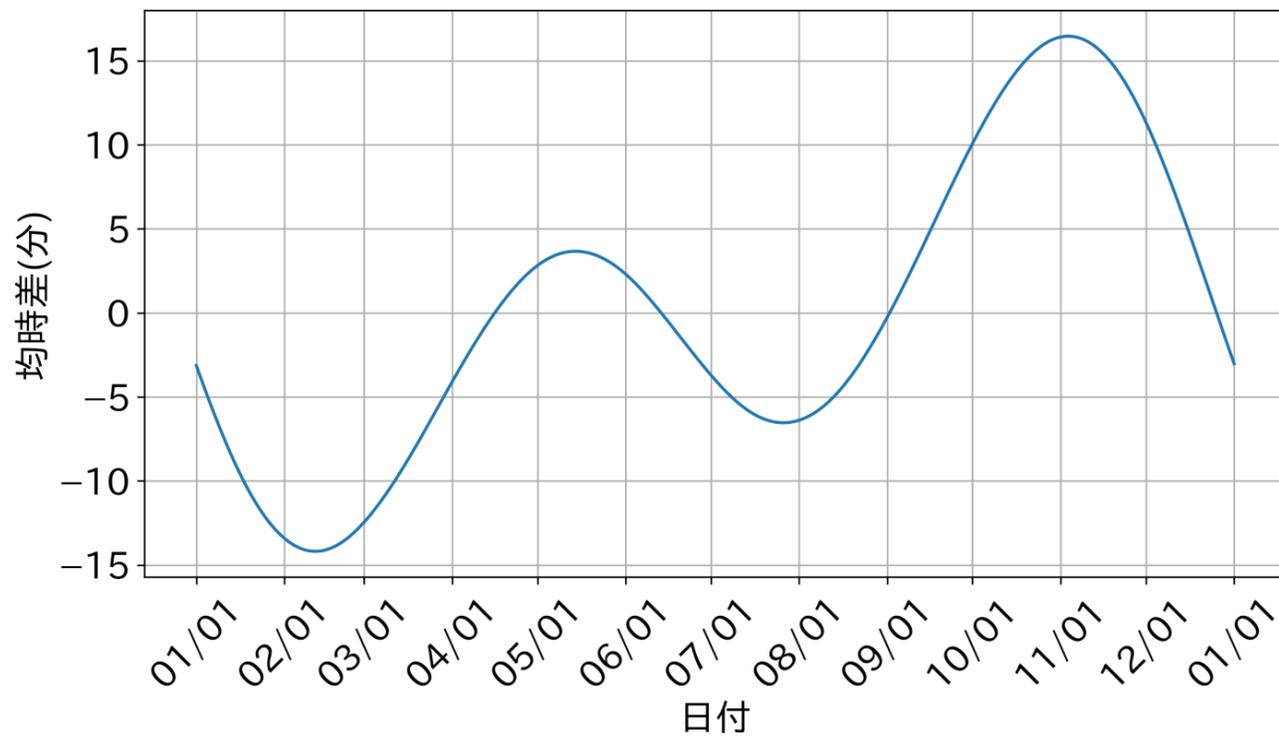


図 3: 2024 年の明石での均時差の年変化

- ① 明石では、春分の日と秋分の日に実際の太陽が日本標準時の正午に南中する。
- ② 明石では、夏至を過ぎた後の約 2 か月間は実際の太陽が日本標準時の正午を越えてから南中する。
- ③ 地球が遠日点に位置するときには、実際の太陽が南中する時刻が最も遅い。
- ④ 均時差は、およそ半年ごとに最大値を取る。

問 9. 天文学は慣例的に, cm, g, s を用いて表示される CGS 単位系が用いられることが多い。CGS 単位系で光度は,  $\text{erg s}^{-1}$  という単位で表される。1  $\text{erg s}^{-1}$  と等しいものを, 次の①～⑧のうちから一つ選べ。

- ①  $10^{-7} \text{ J}$
- ②  $10^7 \text{ J}$
- ③  $10^{-9} \text{ J}$
- ④  $10^9 \text{ J}$
- ⑤  $10^{-7} \text{ W}$
- ⑥  $10^7 \text{ W}$
- ⑦  $10^{-9} \text{ W}$
- ⑧  $10^9 \text{ W}$

問 10. ある時刻に空を眺めると、アルデバランと月の位置関係が図 4 のようであった。また、アルデバランが月に隠れ始めてから完全に隠れるまでの明るさの変化を観測したところ、図 5 のようになった。月の公転周期を 27 日として、アルデバランの視直径として最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。ただし、アルデバランの視直径は月に対して十分に小さいものとする。必要に応じて以下の値を用いてよい。

円周率： $\pi = 3.1$

$\sqrt{2} = 1.4$

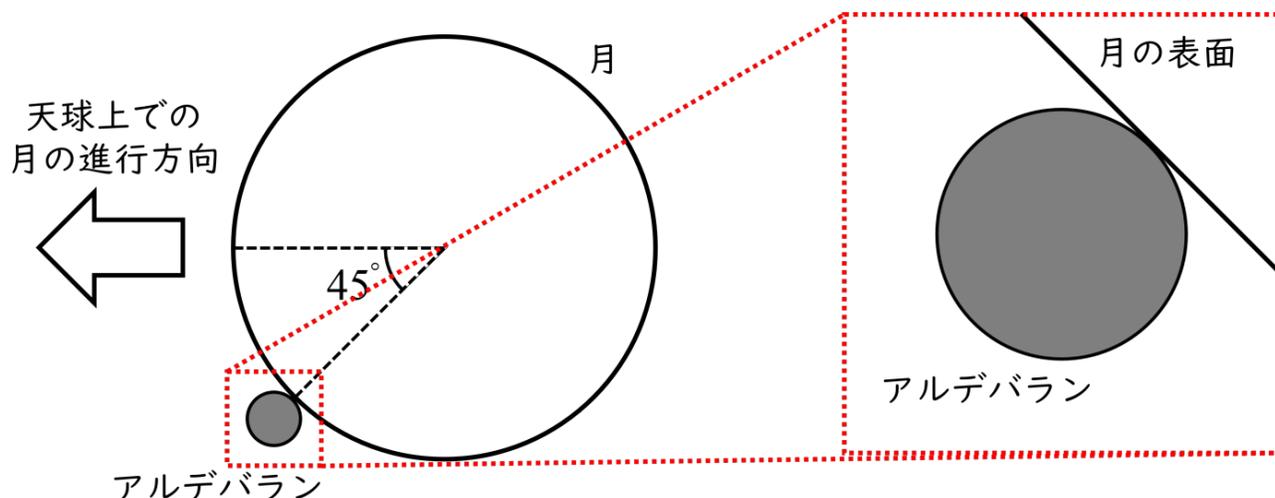


図 4: アルデバランと月の位置関係とその拡大図

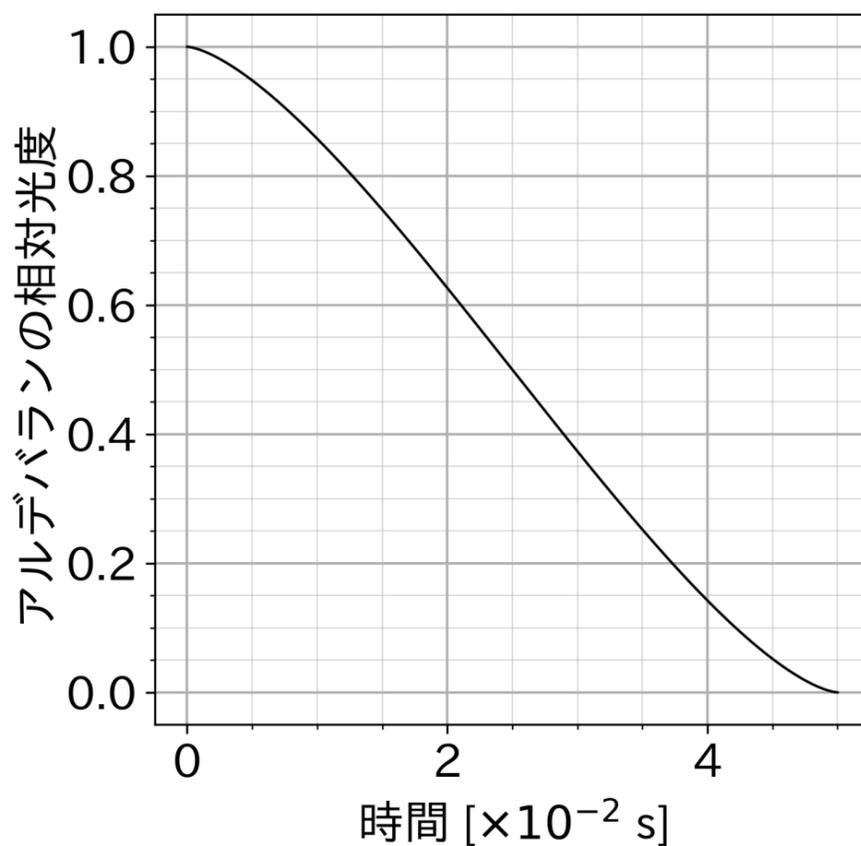
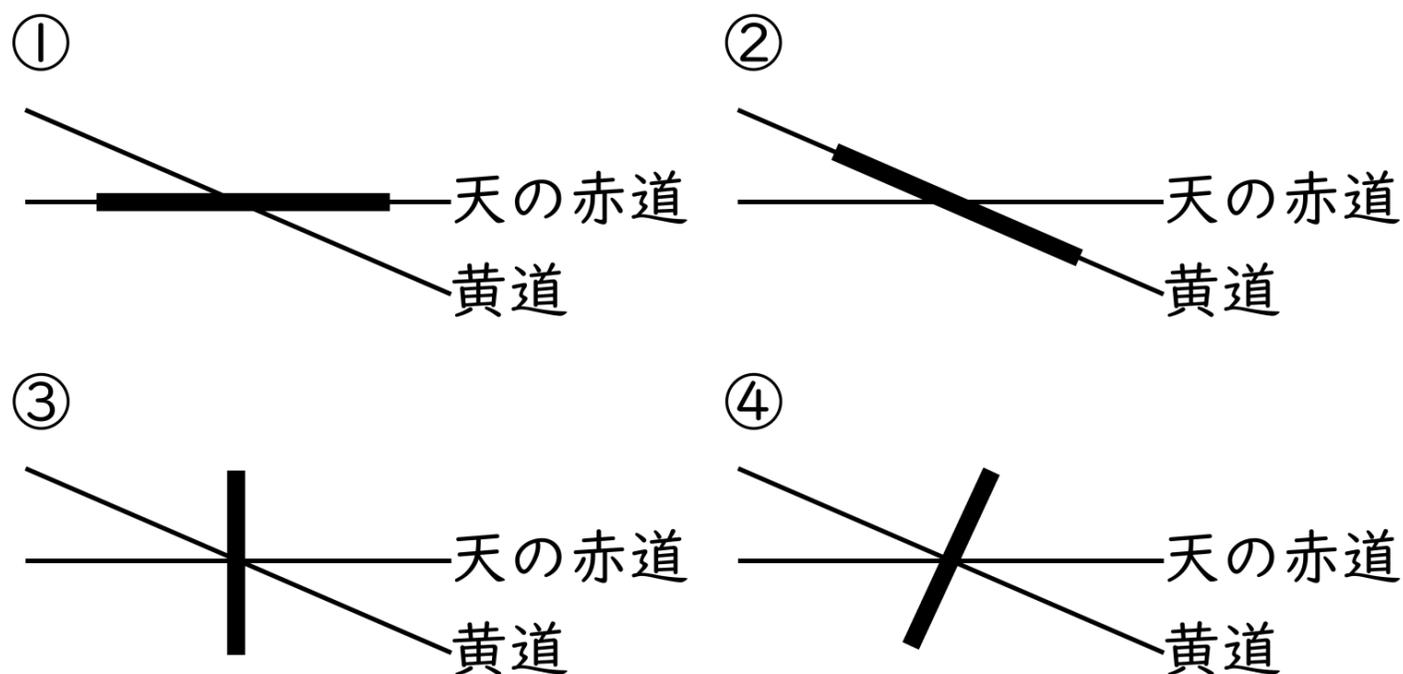


図 5: アルデバランの相対光度の時間変化

- ① 0.014''
- ② 0.020''
- ③ 0.028''
- ④ 0.039''

問 11. 春分点の方向に恒星があるとする。この恒星の年周視差による天球上での見かけの動きの軌跡を太線で示した図として最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。



問 12. 地球の自転・公転に伴って起きる現象について述べた次の文 a・b・c の正誤の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。

- a 人工衛星を利用することで、年周視差の測定限界は約  $0.001^\circ$  にまで向上した。
- b 年周光行差の最大値は、すべての恒星で同じである。
- c 南半球では、フーコーの振り子の振動面は反時計回りに回転する。

	a	b	c
①	正	正	正
②	正	正	誤
③	正	誤	正
④	正	誤	誤
⑤	誤	正	正
⑥	誤	正	誤
⑦	誤	誤	正
⑧	誤	誤	誤

問 13. ハッブル・ルメートルの法則に関して述べた次の文章の空欄  ～  に入る語句の組合せとして最も適当なものを、次ページの①～⑧のうちから一つ選べ。

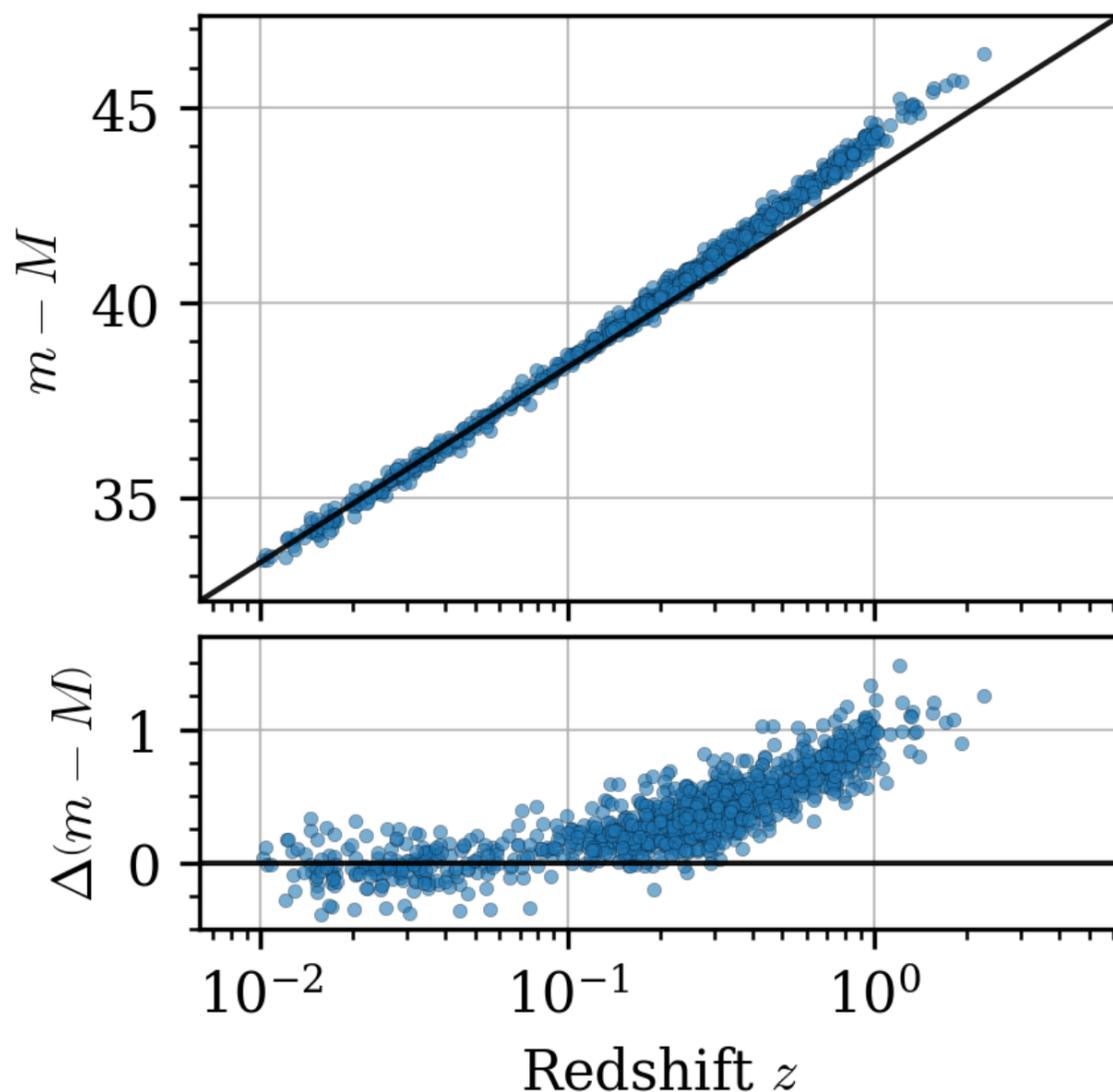


図 6: (上部) 複数の Ia 型超新星での距離指数  $m - M$  と赤方偏移  $z$  の関係。黒色の直線は、ハッブル・ルメートルの法則を仮定した場合の近似直線を示している。(下部) 上部における距離指数の近似直線からのずれ。横軸は上部と同一の範囲・縮尺である。

ハッブル・ルメートルの法則より、十分近傍の銀河においては、距離指数  $m - M$  ( $m, M$  はそれぞれ Ia 型超新星の見かけの等級と絶対等級を表す) と赤方偏移  $z$  との間に図 6 中の黒色の直線のような関係が成り立つ。一方で図 6 中の青色の点は観測より求めた Ia 型超新星の  $z$  と  $m - M$  を示しており、 $z \approx 0.5$  以上では、ハッブル・ルメートルの法則を仮定した場合の直線よりも観測された距離指数が  方にずれていく様子がみられる。 $m - M$  のずれが距離のずれで説明できると仮定すると、このずれは、赤方偏移が高いほど、ハッブル・ルメートルの法則を仮定して求めた距離よりも、銀河までの距離が  ことを示している。このことから、宇宙の膨張速度の変化は単調であると仮定すると、宇宙の膨張速度は  $z = 0.5$  付近から現在にかけて  していることになる。

	ア	イ	ウ
①	小さい	近い	加速
②	小さい	近い	減速
③	小さい	遠い	加速
④	小さい	遠い	減速
⑤	大きい	近い	加速
⑥	大きい	近い	減速
⑦	大きい	遠い	加速
⑧	大きい	遠い	減速

問 14. 広がりを持つ天体の明るさを表すときには、天球面上での単位面積から単位時間あたりに観測されるエネルギー（表面輝度）を用いる。ここでは、ある天体を観測したときの表面輝度を考える。観測者からこの天体を本来の2倍の距離に置いたと仮定したとき、この天体の表面輝度は本来の表面輝度の何倍になるか、最も適当なものを次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし、宇宙論的な影響は無視できるものとする。

- ① 0.25 倍
- ② 0.5 倍
- ③ 1 倍
- ④ 2 倍
- ⑤ 4 倍

問 15. 天文学で用いられる金属量の指標として、天体内部の水素原子に対する鉄原子の個数比  $N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}}$  があげられる。このようにして評価される金属量は一般に太陽における  $N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}}$  の値  $(N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}})_{\odot}$  で規格化した値の常用対数をとって評価することが多く、このようにして表される金属量指標を

$$[\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10} \left( \frac{N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}}}{(N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}})_{\odot}} \right)$$

と表す。 $[\text{Fe}/\text{H}]$  が  $-1.0$  のとき、 $N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}}$  の値として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし  $\log_{10} (N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}})_{\odot} = -4.4$  とする。

- ①  $1 \times 10^{-6}$
- ②  $4 \times 10^{-6}$
- ③  $1 \times 10^{-5}$
- ④  $4 \times 10^{-5}$

問 16. 現在の天文学では、種族 I, 種族 II に次いで、種族 III という恒星の分類が考えられている。水素とヘリウム以外の元素がほとんど含まれていない、ビッグバン直後の宇宙に存在していたような原始的なガスから形成された恒星のことを、種族 III の恒星と呼ぶ。種族 III の恒星について述べた次の文 a・b の正誤の組合せとして最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。

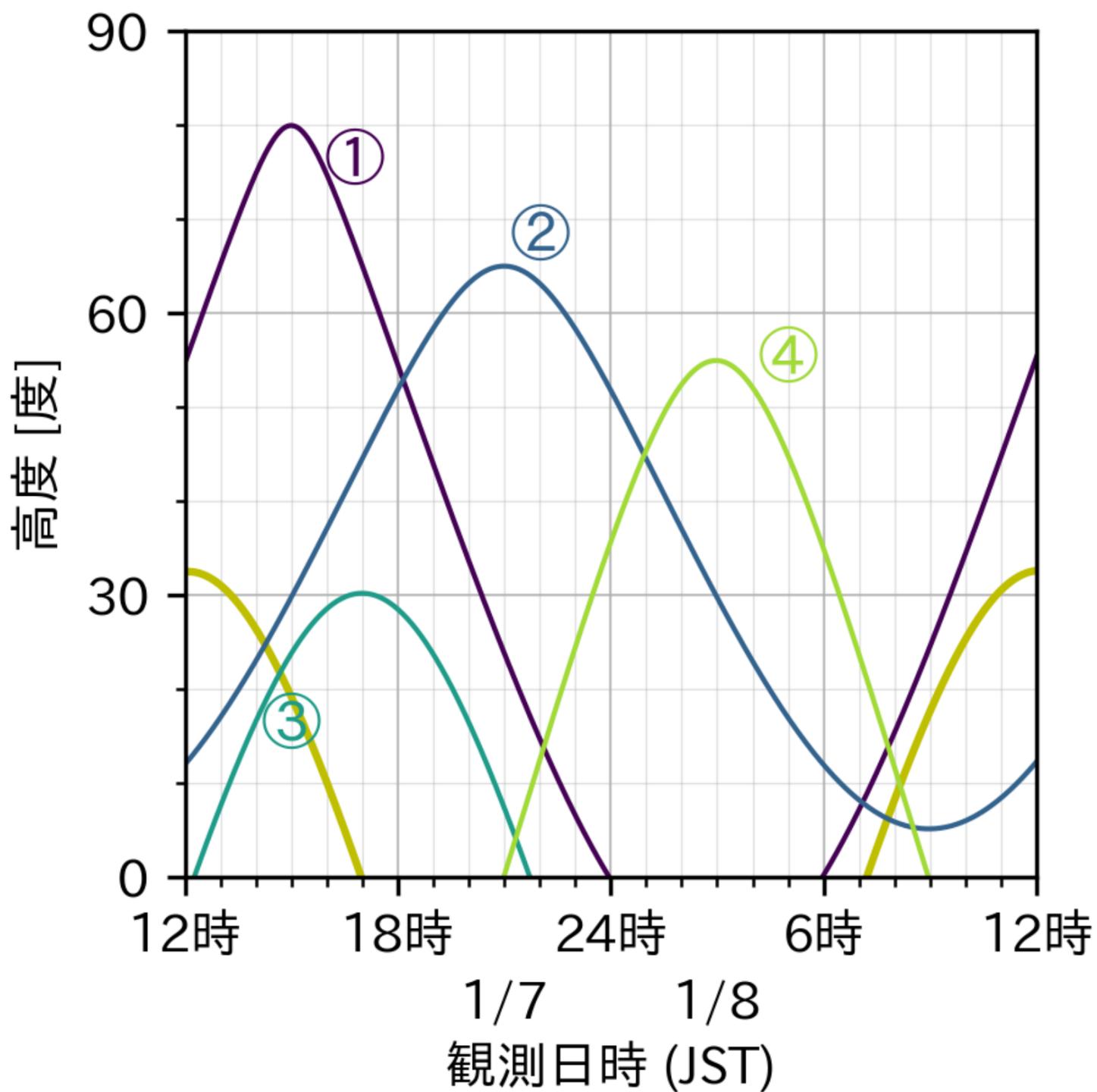
- a 種族 III の恒星は銀河系内の散開星団で多く発見されている。
- b 星形成領域として知られるオリオン大星雲では、形成されたばかりの種族 III の恒星が発見されている。

	a	b
①	正	正
②	正	誤
③	誤	正
④	誤	誤

問 17. 天文学の観測においては、微弱な天体からの光を検出するため、検出器を用いて長時間の観測を行うことが多い。観測データには様々な要因でノイズが加わるが、天体からの信号がノイズに埋もれているかどうかを判別する指標として、天体からの信号の強度  $S$  とノイズの強度  $N$  の比である  $S/N$  が用いられる。ここでは簡単のため、 $S$  は観測時間  $t$  に比例し、 $N$  は  $\sqrt{S}$  に比例するとする。 $t = 60$  秒で観測を行ったときに  $S/N = 5$  で結果が得られたとき、 $S/N = 10$  を達成するために必要な  $t$  の最小値として最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。

- ① 15 秒
- ② 30 秒
- ③ 42 秒
- ④ 85 秒
- ⑤ 120 秒
- ⑥ 240 秒

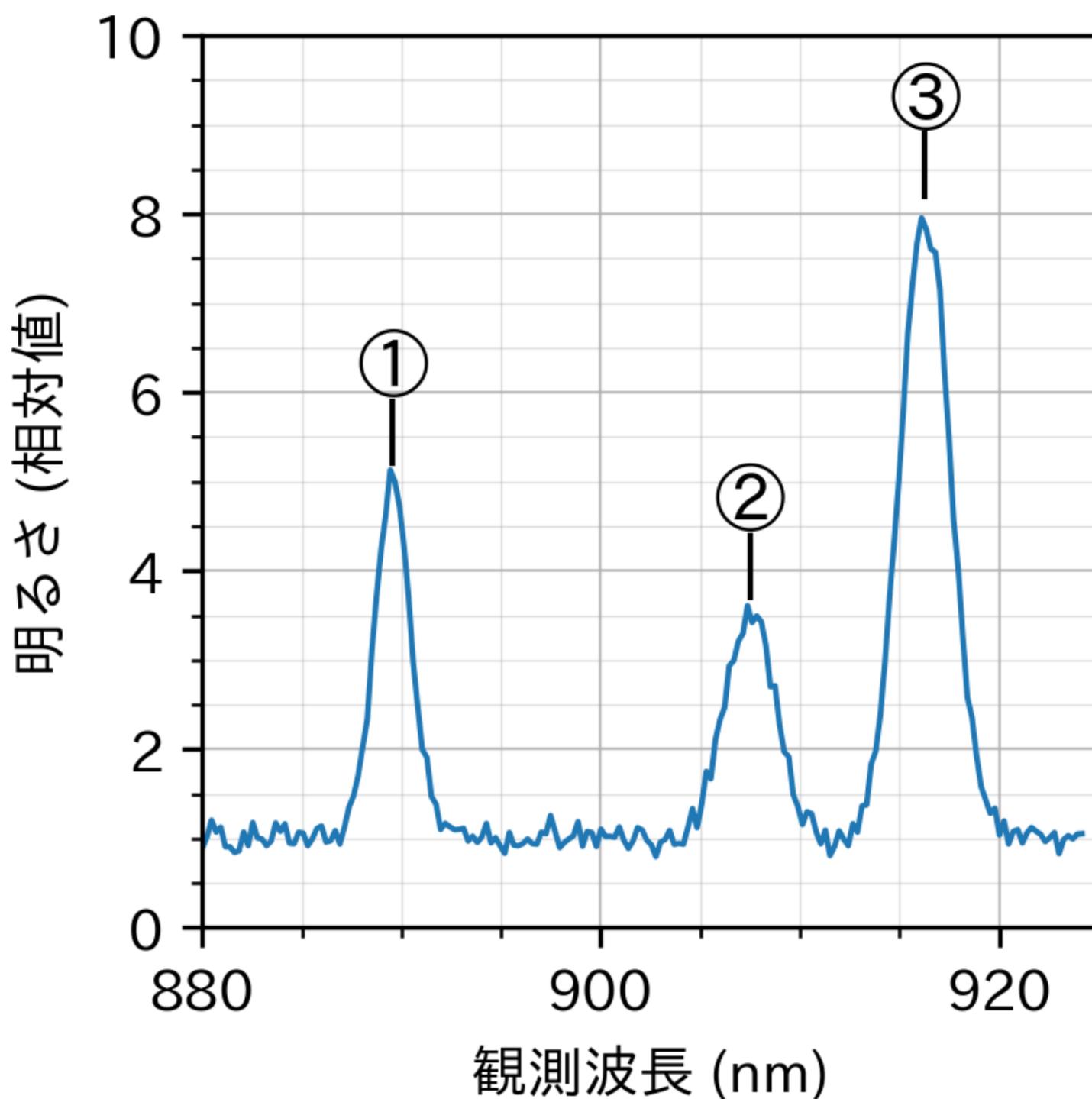
問 18. 次の図は、①～④の 4 つの天体を北緯 35 度, 東経 135 度の地点から, 2023 年 1 月 7 日から 1 月 8 日にかけて観測した際の各天体の高度の時間変化を示したものである。赤緯 60 度, 赤経 60 度の天体の高度変化として最も適当なものを, 図中の①～④のうちから一つ選べ。ただし観測日時は日本標準時 (JST=UTC+9 時間) で示されている。



問 19. 水素の再結合線 (電子とイオンが結合する際に放射されるスペクトル線) の波長  $\lambda$  は,  $R$  を定数,  $m, n$  をそれぞれ正の整数としたとき, 次の式に従うことが知られている。

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

バルマー系列とは,  $m = 2$  の場合の再結合線の系列のことを指し, バルマー系列の中でも  $H\alpha$  線と  $H\beta$  線はそれぞれ  $n = 3, n = 4$  の場合の再結合線である。ある銀河を観測したとき,  $H\alpha$  輝線が波長  $1.20 \mu\text{m}$  の位置に観測された。同じ銀河を  $H\alpha$  輝線とは別の波長域で観測した下のスペクトルの中で,  $H\beta$  線に該当する輝線として最も適当なものを, 下図の①～③のうちから一つ選べ。下図で示した波長域で  $H\beta$  線が観測されないと考えられる場合には, ④を選択すること。ただし, 観測波長域に含まれていれば  $H\beta$  線は十分検出できるものとし, スペクトル内に別の赤方偏移にある天体が紛れ込んでいることはないものとする。



問 20. 1970 年代, 高い空間分解能でクェーサーから放出されるジェットを観測したところ, ジェットが光速を超えた速度で運動しているように観測された。この現象についてはその後, ジェットが光速未満の高い速度で観測者に向かって小さな角度で運動する場合に引き起こされる見かけ上の現象であり, 実際に光速を超えた速度で運動しているわけではないと解釈された。この解釈について説明した次の文章中の空欄 **ア** ~ **ウ** に当てはまる文字式の組合せとして最も適切なものを, 次ページの①~⑧の中から一つ選べ。

図 7 のように, ジェット中のガスは観測者の視線方向から  $\theta$  の角度の方向に速度  $v$  で運動しているものとする。時刻  $t = 0$  でジェット中のガスと観測者との距離が  $d$  であったとすると,  $t = 0$  でガスより放射された電波は,  $c$  を光速とすると時刻  $t = \frac{d}{c}$  に観測者に到達する。一方で, 時刻  $t = \Delta t$  でガスから放射された電波を考えよう。時刻  $t = \Delta t$  におけるガスと観測者間の距離は **ア** となるため, このとき放射された電波は時刻  $t = \Delta t + \frac{\text{ア}}{c}$  に観測者に到達する。よって, 実際には  $\Delta t$  の時間をおいて放射された 2 つの電波放射は, 観測者から見たときにはあたかも **イ** の時間間隔で放射されたように観測されてしまう。一方で, ガスは  $\Delta t$  の間に視線方向と垂直な方向には  $v \sin \theta \Delta t$  だけ移動して観測される。よって, このガスは視線方向と垂直な方向にあたかも **ウ** の速度で移動しているように観測されるのである。

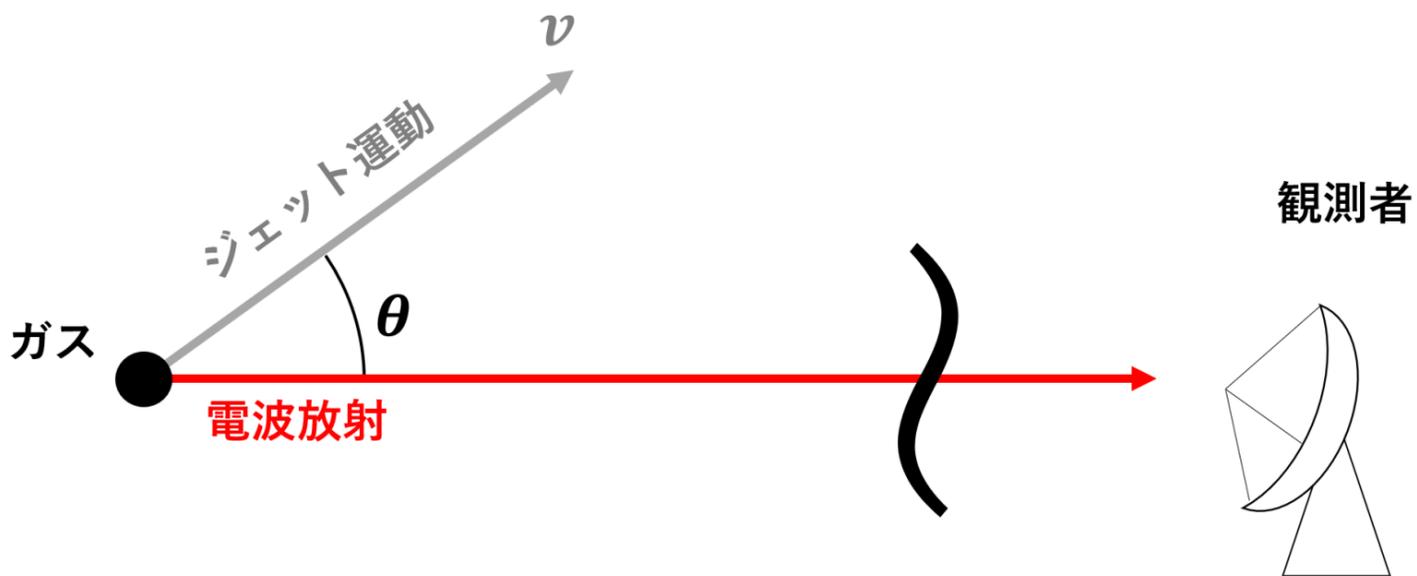


図 7: ジェット中のガスの様子

	ア	イ	ウ
①	$d - v \cos \theta \Delta t$	$\frac{c}{c - v \cos \theta} \Delta t$	$c \frac{\frac{v}{c} \sin \theta}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}$
②	$d - v \cos \theta \Delta t$	$\frac{c}{c - v \cos \theta} \Delta t$	$c \frac{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}{\frac{v}{c} \sin \theta}$
③	$d - v \cos \theta \Delta t$	$\frac{c - v \cos \theta}{c} \Delta t$	$c \frac{\frac{v}{c} \sin \theta}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}$
④	$d - v \cos \theta \Delta t$	$\frac{c - v \cos \theta}{c} \Delta t$	$c \frac{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}{\frac{v}{c} \sin \theta}$
⑤	$d - v \sin \theta \Delta t$	$\frac{c}{c - v \sin \theta} \Delta t$	$c \frac{\frac{v}{c} \cos \theta}{1 - \frac{v}{c} \sin \theta}$
⑥	$d - v \sin \theta \Delta t$	$\frac{c}{c - v \sin \theta} \Delta t$	$c \frac{1 - \frac{v}{c} \sin \theta}{\frac{v}{c} \cos \theta}$
⑦	$d - v \sin \theta \Delta t$	$\frac{c - v \cos \theta}{c} \Delta t$	$c \frac{\frac{v}{c} \cos \theta}{1 - \frac{v}{c} \sin \theta}$
⑧	$d - v \sin \theta \Delta t$	$\frac{c - v \cos \theta}{c} \Delta t$	$c \frac{1 - \frac{v}{c} \sin \theta}{\frac{v}{c} \cos \theta}$

問 21. 真空中において 2 つの電子が相互作用するときのクーロン力の大きさ  $F_C$  と万有引力の大きさ  $F_g$  の比  $F_C/F_g$  の値として最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし必要に応じて以下の値を用いてよい。また、2 つの電子以外の質量や電荷の影響は無視できるものとする。

万有引力定数： $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

電子の質量： $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

電子 1 個が持つ電荷： $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

真空の誘電率： $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$

- ①  $4 \times 10^{36}$
- ②  $4 \times 10^{38}$
- ③  $4 \times 10^{40}$
- ④  $4 \times 10^{42}$
- ⑤  $4 \times 10^{44}$
- ⑥  $4 \times 10^{46}$

問 22. ブラックホールについて述べた次の文章中の空欄 ア ～ ウ に当てはまる語句や数字の組合せとして最も適切なものを、後の①～⑧の中から一つ選べ。

ブラックホールにおいて、その内側からはいかなる光も脱出できなくなる半径のことを ア と呼ぶ。ア はブラックホール質量の イ 乗に比例するため、もしブラックホールの質量が ア 内にすべて分布しているとしたとき、ア 内の平均密度はブラックホール質量の ウ 乗に比例する。

	ア	イ	ウ
①	シュバルツシルト半径	1	-1
②	シュバルツシルト半径	1	-2
③	シュバルツシルト半径	2	-3
④	シュバルツシルト半径	2	-5
⑤	ヒル半径	1	-1
⑥	ヒル半径	1	-2
⑦	ヒル半径	2	-3
⑧	ヒル半径	2	-5

問 23. 一般的に視力は角分解能  $\Delta\theta$  [分角] の逆数として定義される。人類の視力検査においては、ランドルト環と呼ばれるアルファベットの C のようなマークを、距離 5 m 離れた地点から観測し、ランドルト環の向き (上下左右) を特定できるかどうかを判別することで行われる。このとき、 $\Delta\theta$  はちょうどランドルト環から 5 m 離れた場合の穴の大きさを見込む角度に対応している。

以下の図 8 は 1.0 以上の視力を持つときに向きを判定できるランドルト環の寸法を示している。仮にこのランドルト環を、 $0.05''$  の角分解能で観測したとすると、ランドルト環の向きを認識できる距離の上限値として最も適当なものを後の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、ランドルト環は十分明るく、どれだけ遠くに存在しても検出できるものとする。

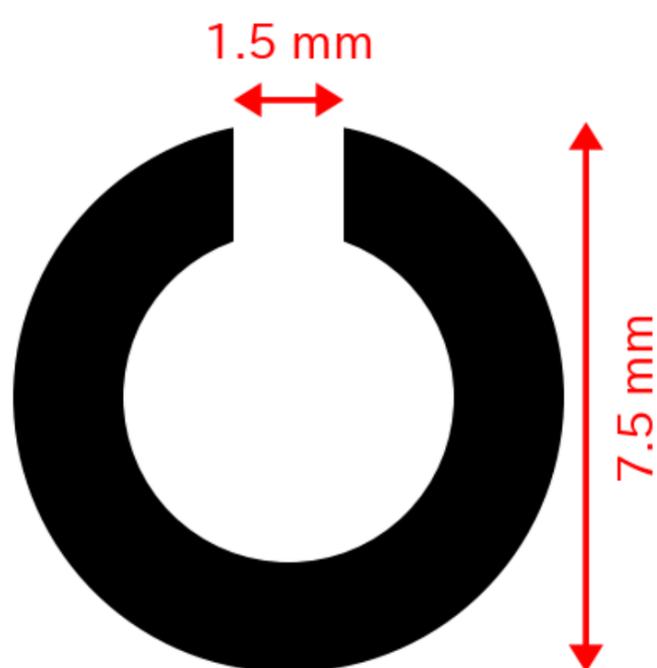


図 8: 1.0 以上の視力を持つときに判定できるランドルト環の寸法

- ① 200 m
- ② 600 m
- ③ 2 km
- ④ 6 km
- ⑤ 20 km
- ⑥ 60 km

問 24. 星間物質は温度や密度によっていくつかの相に分類されている。星間物質について述べた文として最も適当でないものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 星間ガスはその大半を水素が占めている。
- ② 大質量星の周囲では電離した星間ガスからなる HII 領域が見られる。
- ③ 恒星は星間ガスの中でも低温・低密度な分子雲にて形成される。
- ④ 星間ダストは電磁波の吸収・散乱を通して星間減光を引き起こす。

問 25. ある映画では、竜巻により巻き上げられたサメが宇宙空間のスペースシャトルまで到達するという描写が描かれていた。仮に地表からサメに鉛直方向の初速を与えて打ち上げ、高度 400 km を周回するスペースシャトルに到達させることを考える。このとき必要な初速として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし自転の影響や空気抵抗は考えなくてよいものとし、サメは質点とする。必要に応じて以下の値を用いてよい。

万有引力定数： $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

地球の質量： $M_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$

地球の赤道半径： $R_E = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$

- ①  $0.3 \text{ km s}^{-1}$
- ②  $1 \text{ km s}^{-1}$
- ③  $3 \text{ km s}^{-1}$
- ④  $10 \text{ km s}^{-1}$

問 26. 国際天文学連合 (IAU) が定めた星座の略符と、日本における一般的な星座の名前の組合せとして適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① CMa - おおぐま座
- ② PsA - うお座
- ③ Vul - こぎつね座
- ④ UMi - こじし座

問 27. 図 9 中の赤丸で示したさそり座のメシエ天体と、そのメシエ番号の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。

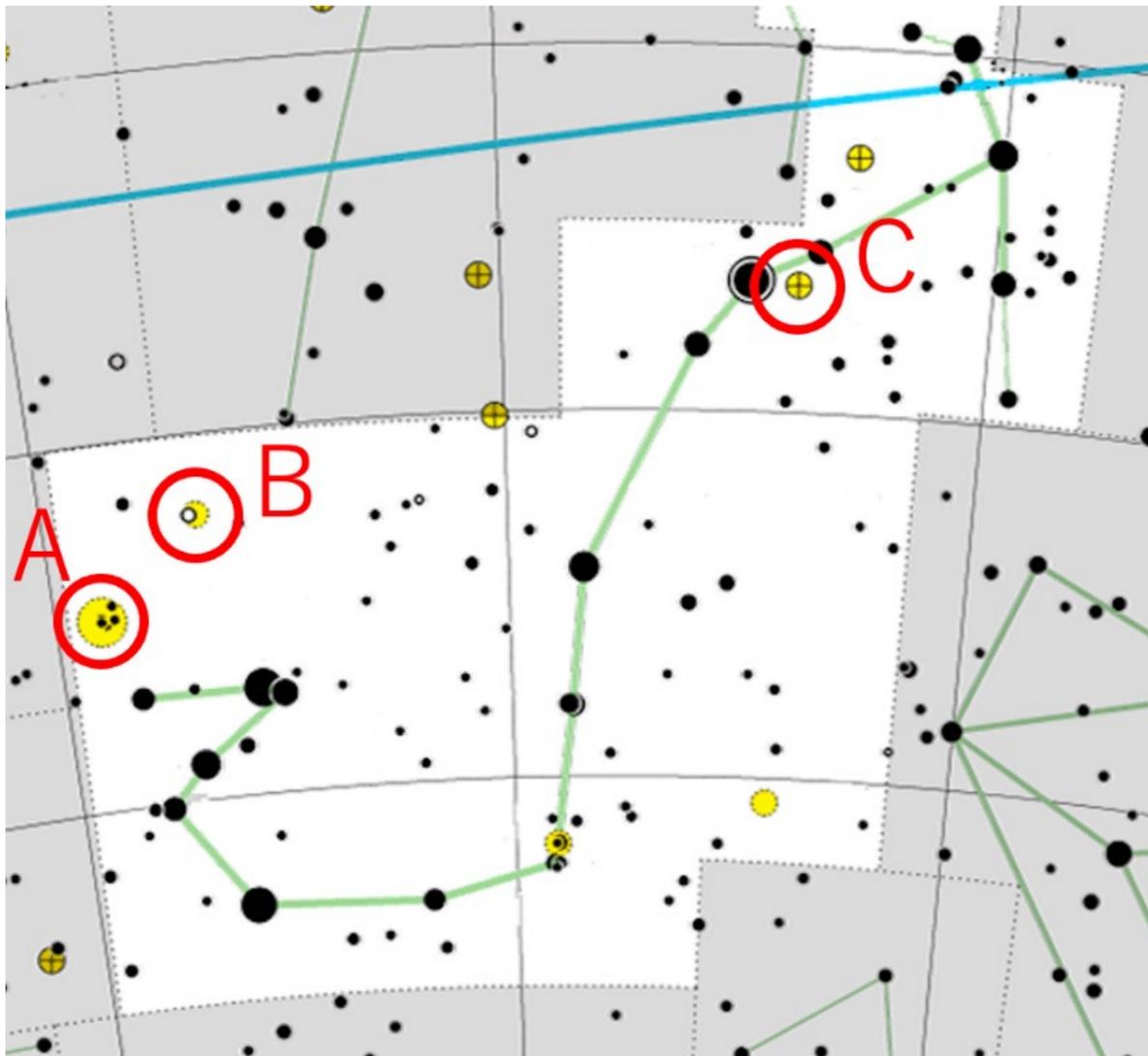


図 9: さそり座のメシエ天体。IAU 公式星図 <https://www.iau.org/public/themes/constellations/> より作成

	A	B	C
①	M 4	M 6	M 7
②	M 4	M 7	M 6
③	M 6	M 4	M 7
④	M 6	M 7	M 4
⑤	M 7	M 4	M 6
⑥	M 7	M 6	M 4

問 28. 今日 (1 月 7 日), 夜 19 時頃の東京の星空について述べた文として最も適当でないものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 南東の空には、おおいぬ座のシリウスを見ることができる。
- ② 北西の空には、はくちょう座のデネブを見ることができる。
- ③ 南の空には、火星を見ることができる。
- ④ カシオペヤ座は北極星よりも高度の高い位置で見ることができる。

問 29. 一般的な、自動追尾のない屈折望遠鏡における、望遠鏡の視野について述べた次の文章中の空欄 **ア** ・ **イ** に当てはまる数字の組合せとして最も適切なものを、後の①～④の中から一つ選べ。必要に応じて以下の値を用いてよい。

$\sin 35^\circ = 0.57$   
 $\cos 35^\circ = 0.82$

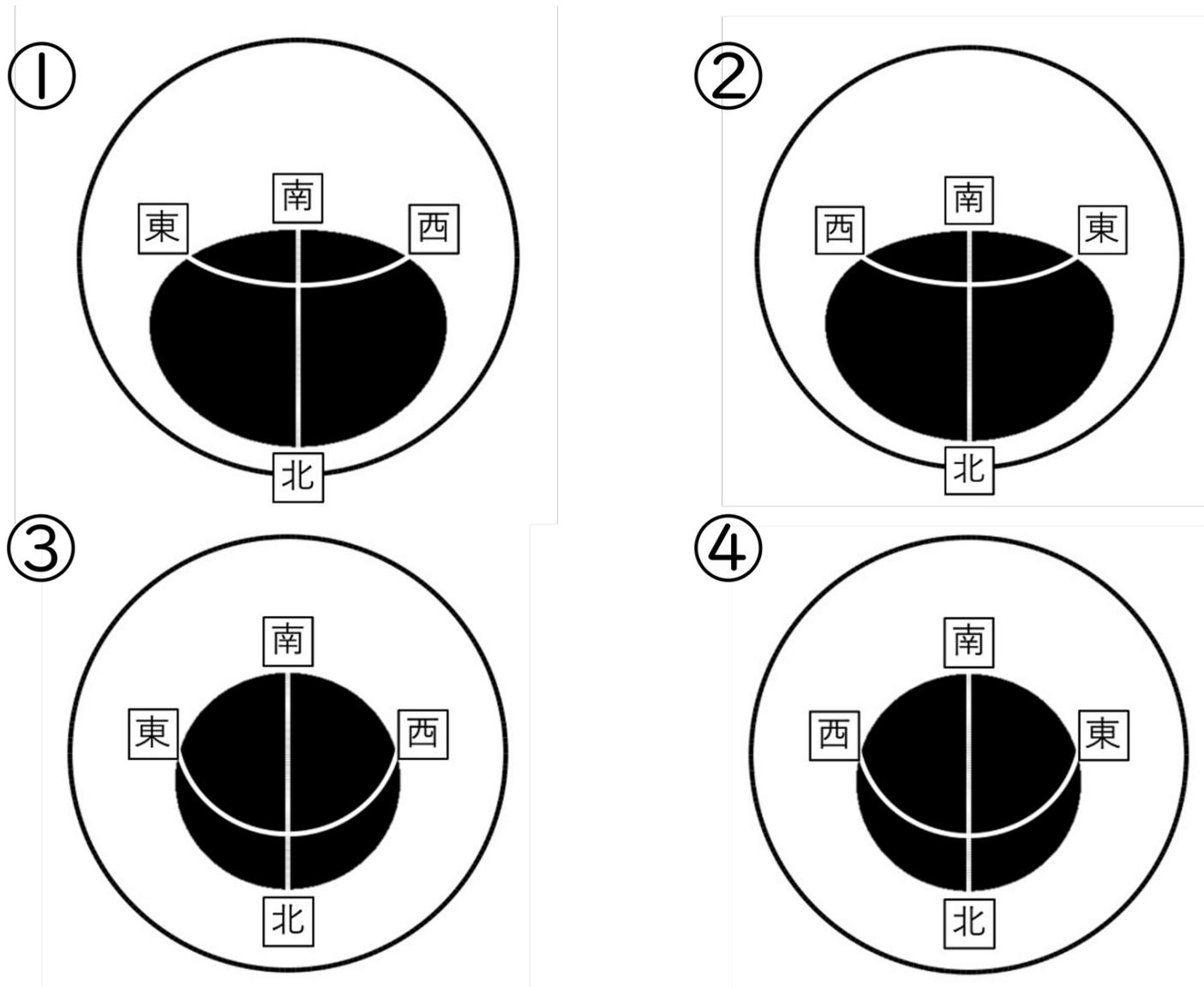
二重星であるミザール (2.3 等級) とアルコル (4.0 等級) を望遠鏡で同一視野に導入したところ、図 10 のような視野を得た。ミザールとアルコルの離角は  $12'$  であるため、この望遠鏡の視野角はおよそ **ア** 分角であると考えられる。また、ミザールの赤緯は  $55^\circ$  であるため、ミザールはその後、約 **イ** 秒で望遠鏡の視野から外れてしまう。



図 10: 望遠鏡の視野。Stellarium にて作成

	ア	イ
①	23	150
②	23	300
③	45	150
④	45	300

問 30. リオ・デ・ジャネイロ (南緯  $23^\circ$ ) で用いられる星座早見盤を考えよう。一方の円盤には、赤緯  $-90^\circ \sim 90^\circ$  の範囲の天球が天の南極を中心とした正距方位図法で表されている。このとき、もう一方の円盤を図示したものとして最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。



問 31. 日の出, 日の入りについて述べた以下の文のうち最も適当なものを, 下線部に注意して, 次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 夏至の日は 1 年で最も 日の出の時刻が早く, 冬至の日は 1 年で最も 日の入りの時刻が早い。
- ② 地球上の海拔 0 m のある地点で, 皆既月食と, 日の入り直後あるいは日の入り直前の太陽の中心部を 同時に観測できることがある。
- ③ 大気の影響により, 地平線付近の恒星は高度にして, おおよそ 35 分角浮き上がって見える。そのため, 日の出の瞬間に見える太陽の中心は実際には地平線のおおよそ 35 分角下に存在する。
- ④ 春分の日, 秋分の日において, 日の出の方角は真東であり, 日の入りの方角は真西である。

問 32. 図 11 は、ブラジル連邦共和国の国旗であり、中心部には天球が描かれている。「ORDEM E PROGRESSO」と書かれている白い帯は黄道を示しており、緑丸で示した星は南極星とも呼ばれるはちぶんぎ座  $\sigma$  星である。図中の赤丸および数字は、いくつかの主要な 1 等星 (1.5 等級より明るい星) を表している (なお、国旗中の恒星は、観測可能な全ての 1 等星が示されているわけではない)。数字と恒星名の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。

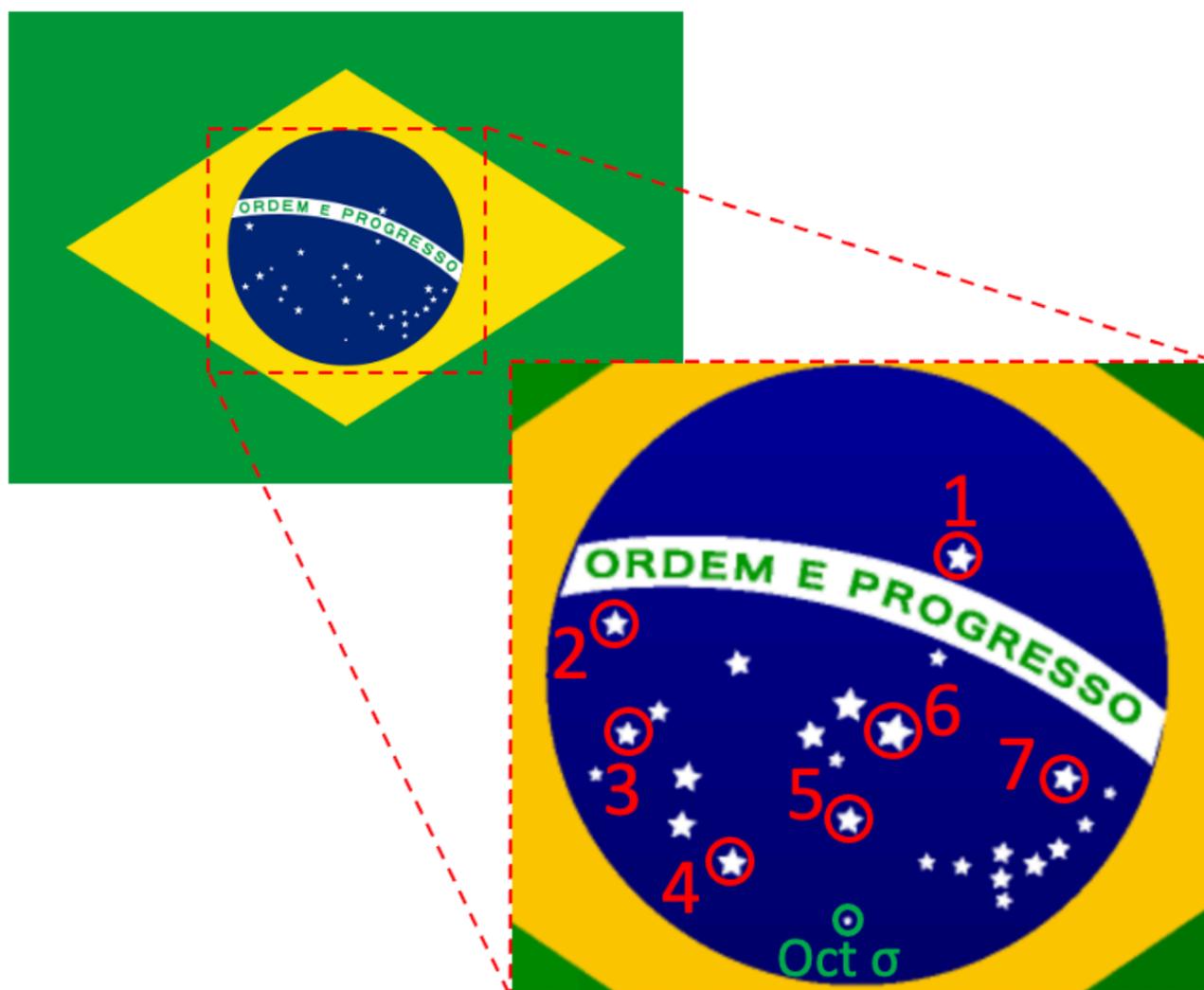


図 11: ブラジル国旗

	2	4	5
①	プロキオン	カノープス	アクルックス
②	プロキオン	カノープス	ミモザ
③	プロキオン	アンタレス	アクルックス
④	プロキオン	アンタレス	ミモザ
⑤	シリウス	カノープス	アクルックス
⑥	シリウス	カノープス	ミモザ
⑦	シリウス	アンタレス	アクルックス
⑧	シリウス	アンタレス	ミモザ

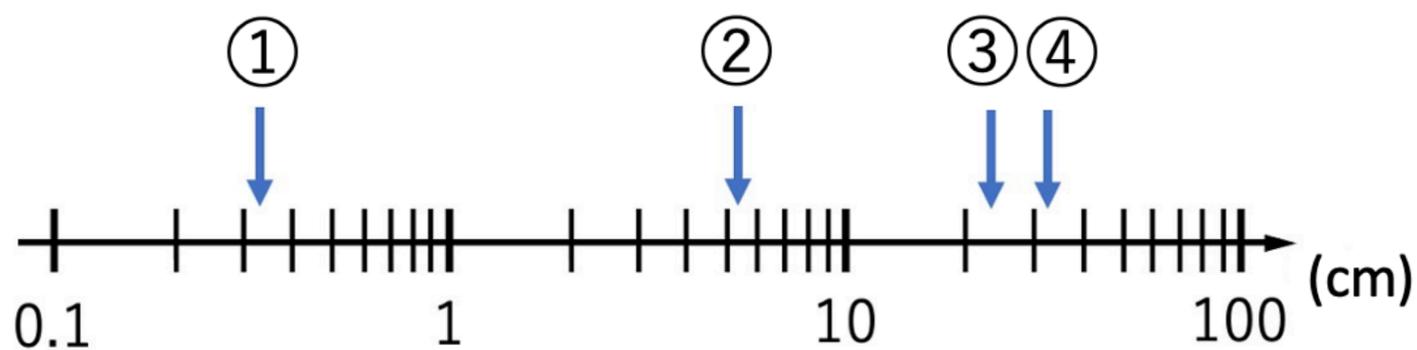
問 33. 一般に、原子内で電子がとりうる軌道は複数存在し、それぞれの軌道には固有のエネルギーが存在する。ある原子の、2つの軌道のエネルギー差  $\Delta E$  は  $\Delta E = 9.4 \times 10^{-25} \text{ J}$  であった。電子がこの軌道間を、エネルギーの高い軌道からエネルギーの低い軌道へと遷移したとき、 $\Delta E$  が1個の光子として放出された。この電磁波の波長として最も適当なものを、後の図に示した①～④のうちから一つ選べ。なお、以下の式を用いても良い。

プランク定数： $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$

光速： $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

$\Delta E = h\nu$  ( $\nu$ : 周波数)

$c = \lambda\nu$  ( $\lambda$ : 波長)



問 34. X 線は波長が大変短いため, X 線を反射させることは難しく, X 線観測衛星に用いられる鏡には様々な工夫が見られる。一般的には結晶等の層構造をもつ物質では, 波長を  $\lambda$ , 層の厚さを  $d$ , 入射角を  $\theta$  として, 自然数  $n$  を用いて

$$2d \cos \theta = n\lambda$$

と表される条件を満たすとき, 反射した X 線が強めあい, 反射率は高くなることが知られている。図 12 に示した 3 種類の鏡について, 入射角  $\theta = 89.7^\circ$  で様々な波長の X 線を当てて測定したところ, 各波長における反射率が次ページの図 13 のように得られた。各鏡と, その反射率を表すグラフの組合せとして最も適当なものを, 次ページの①~⑥のうちから一つ選べ。必要に応じて以下の値を用いてよい。

$\cos 89.7^\circ = 5.2 \times 10^{-3}$   
 $1 \text{ nm} = 1000 \text{ pm}$

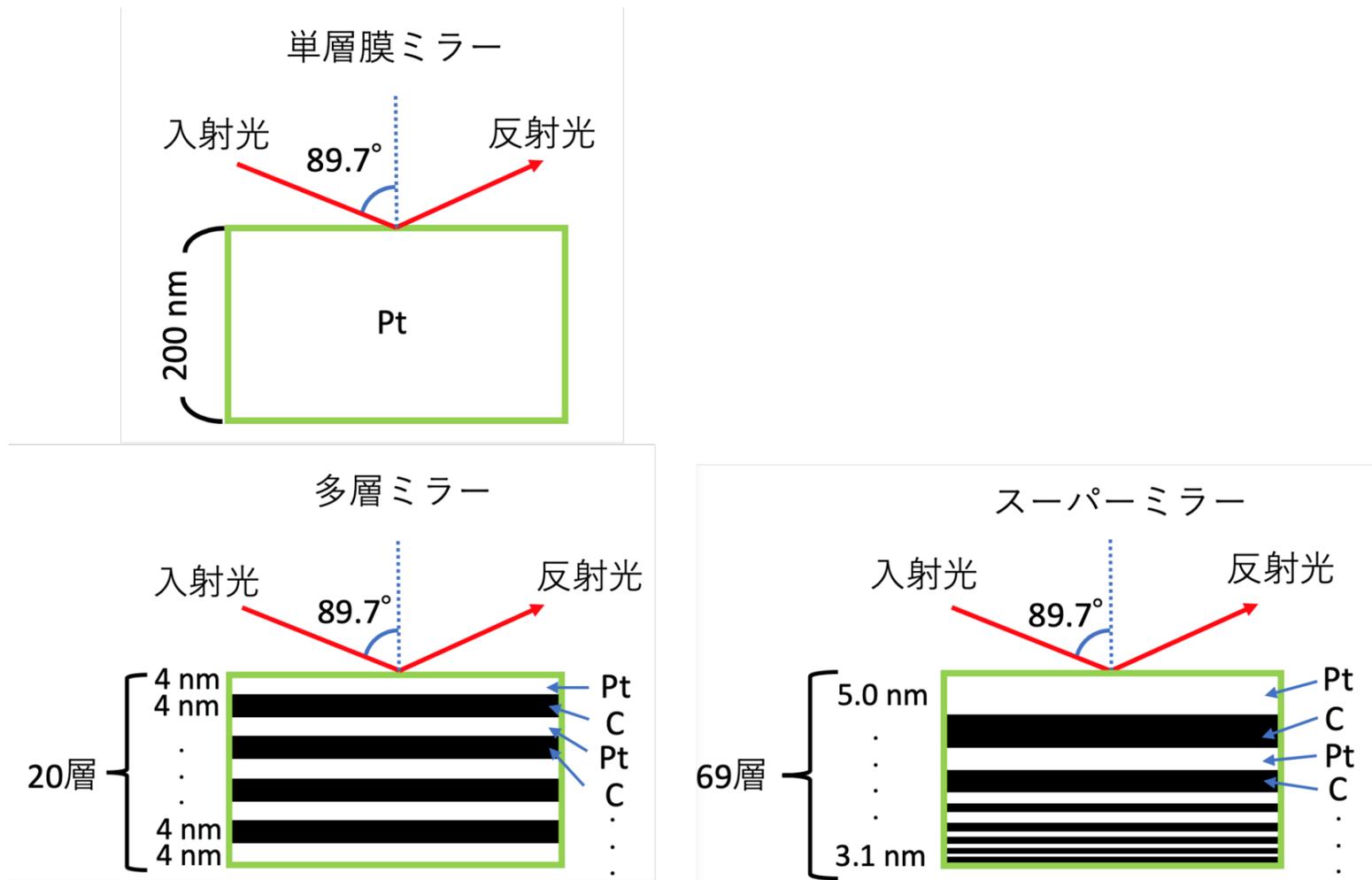


図 12: 3 種類のミラー。3 種類のミラーの層構造を示した。ただし, Pt は白金を, C は炭素を表す。

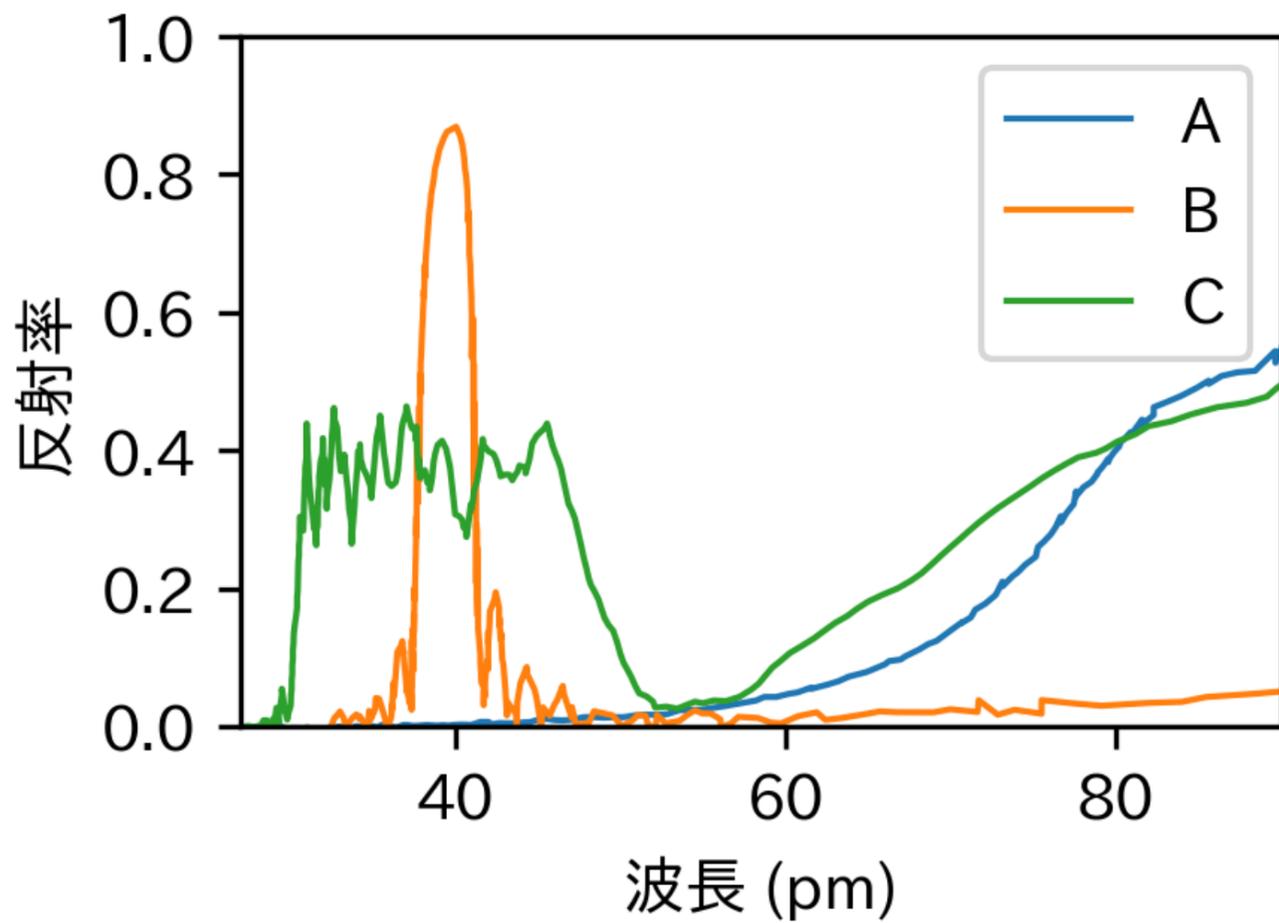


図 13: 反射率のグラフ。K. Yamashita, et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A 529 (2004) 59-62 より作成。

	単層膜ミラー	多層膜ミラー	スーパーミラー
①	A	B	C
②	A	C	B
③	B	A	C
④	B	C	A
⑤	C	A	B
⑥	C	B	A

問 35. 屈折望遠鏡で地平線付近の対象物 (図 14) を観察したところ, 図 15 のように見えた。その後, 望遠鏡の対物レンズの目の前に人が立ってしまい, 対物レンズの左半分が隠れてしまった。このときの望遠鏡の視野の形として最も適当なものを, 後の①~④のうちから一つ選べ。

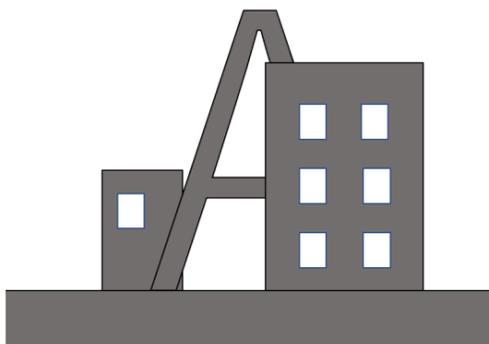


図 14: 対象物

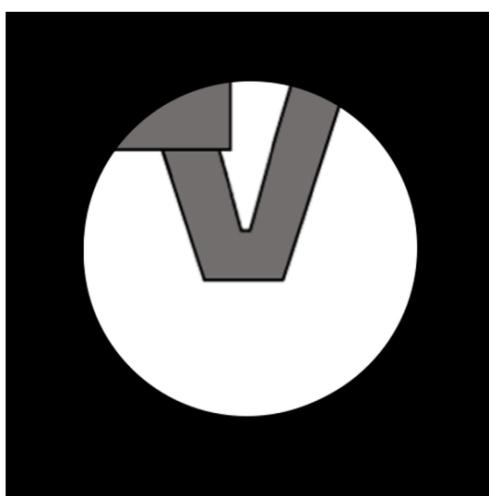
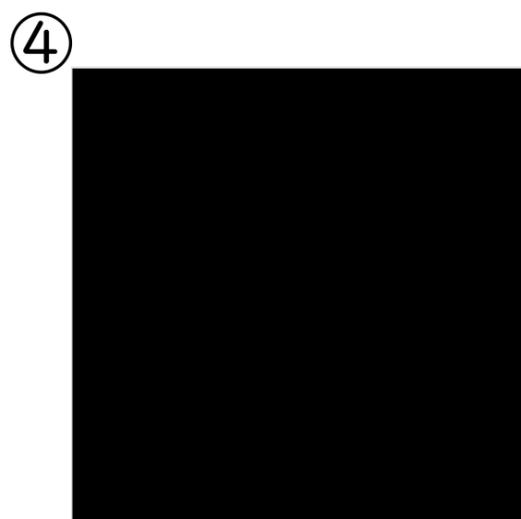
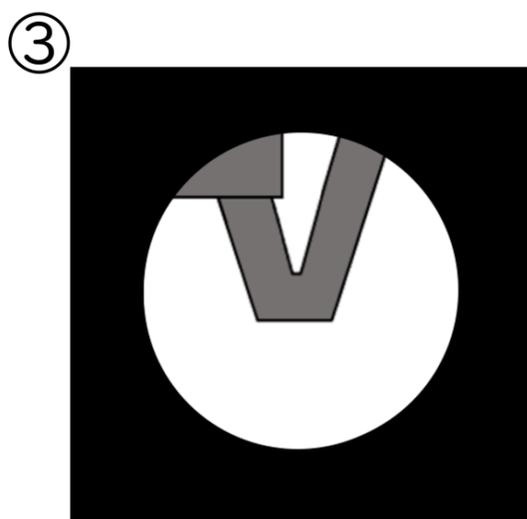
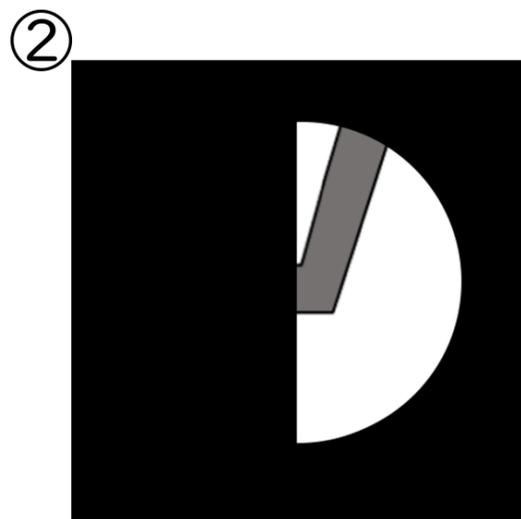
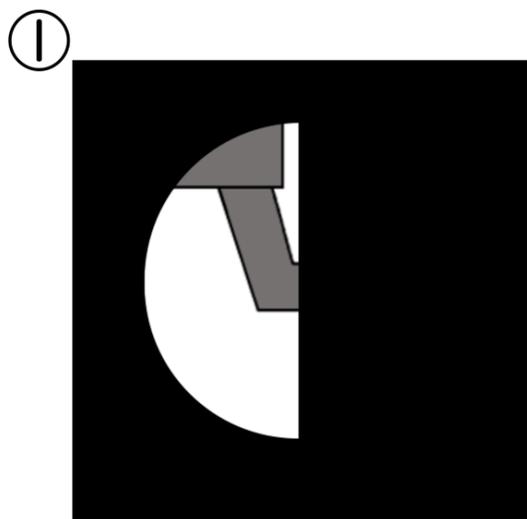


図 15: 隠されていないときの望遠鏡の視野



問 36. サン＝テグジュペリの小説『星の王子さま』に登場する「点灯夫の星」は 1 分間に 1 回自転する星である。高速な自転によって星が崩壊しない条件は赤道上の物質にはたらく万有引力が遠心力よりも大きい条件と等しいとするときに、星が崩壊しない条件として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、この星は球対称に質量が分布しているとする。必要に応じて以下の値を用いてよい。

円周率： $\pi = 3.14$

万有引力定数： $G = 2.40 \times 10^{-4} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ min}^{-2}$

- ① 星の密度が  $6.2 \times 10^3 \text{ g cm}^{-3}$  以下
- ② 星の密度が  $6.2 \times 10^3 \text{ g cm}^{-3}$  以上
- ③ 星の密度が  $3.9 \times 10^4 \text{ g cm}^{-3}$  以下
- ④ 星の密度が  $3.9 \times 10^4 \text{ g cm}^{-3}$  以上

問 37. とある大型反射望遠鏡の性能を表した写真 (図 16) について述べた文として最も適当でないものを、後の①～④のうちから一つ選べ。

主鏡:口径 2.0m/F 1.5  
カセグレン焦点:F 1 2  
ナスミス焦点 1:F 1 2  
ナスミス焦点 2:F 5

図 16: ある望遠鏡の性能

- ① この主鏡の焦点距離は 3.0 m である。
- ② カセグレン焦点とは、反射望遠鏡において主鏡の後ろに存在する焦点のことである。
- ③ ナスミス焦点には、大型の観測機器が設置されることが多い。
- ④ この望遠鏡は赤道儀式望遠鏡であると考えられる。

問 38. 図 17 のように太陽近辺を彗星が通過した。彗星のコマが図の点 A に存在するとき、イオンの尾とダストの尾がのびる方向を示した記号の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑨のうちから一つ選べ。

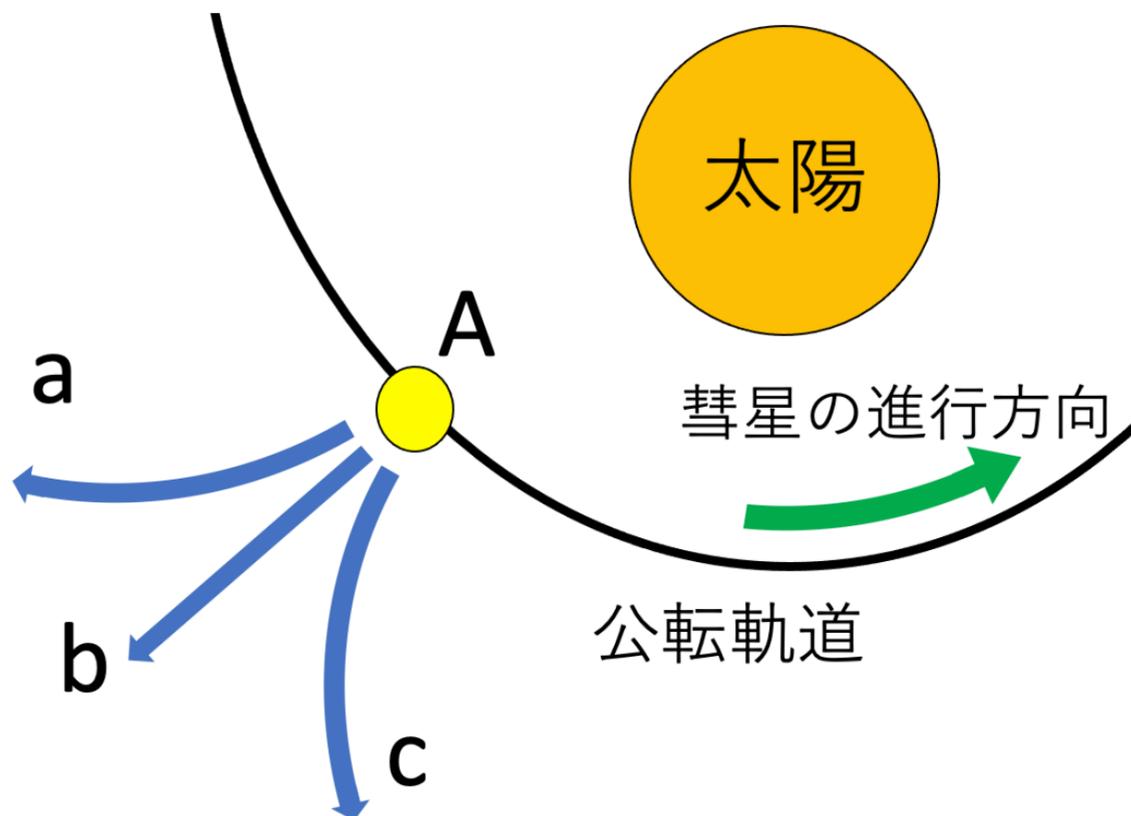


図 17: 彗星と太陽の位置関係

	イオンの尾	ダストの尾
①	a	a
②	a	b
③	a	c
④	b	a
⑤	b	b
⑥	b	c
⑦	c	a
⑧	c	b
⑨	c	c

問 39. 地球の自転軸は図 18 に示した通りこまの首振りのような動きをしており、これを歳差運動と呼ぶ。地球における歳差運動の周期は約  $2.6 \times 10^4$  年である。天の北極の位置が天球上を 1 年間に動く量として最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。必要に応じて以下の値を用いてよい。

$\cos 23.4^\circ = 0.918$   
 $\sin 23.4^\circ = 0.397$

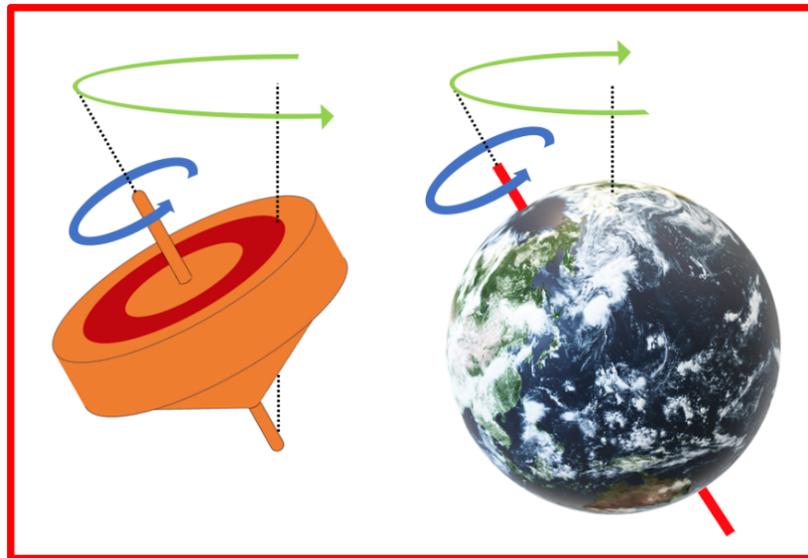


図 18: 歳差運動の模式図

- ①  $16''$
- ②  $20''$
- ③  $46''$
- ④  $50''$

問 40. 図 19 は天球の一部における星座の領域線 (赤線) を表しており, 黒線は赤緯・赤経の線を, 橙線は黄道を表している。A 及び B の領域で表されている星座の組合せとして最も適当なものを, 後の①～④のうちから一つ選べ。

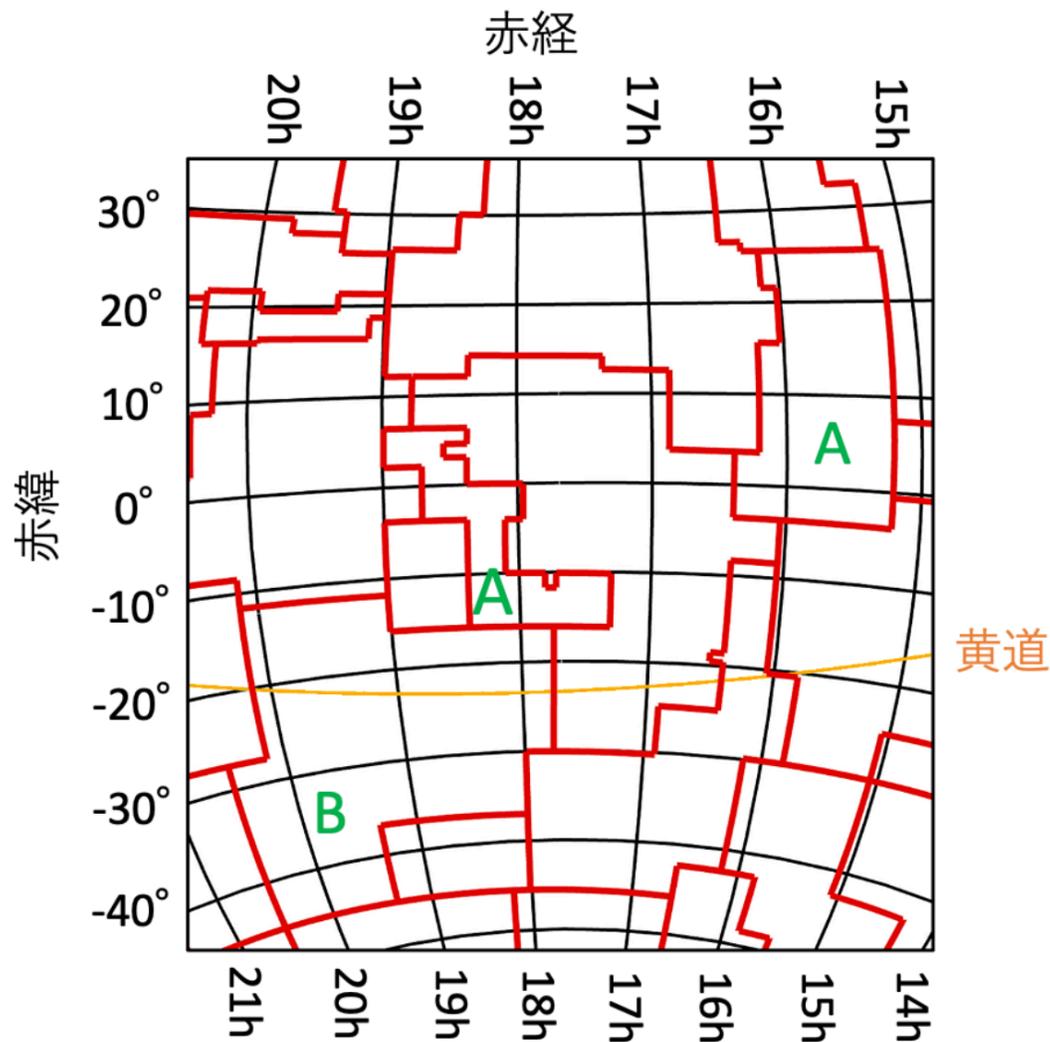


図 19: 星座の領域線。Stellarium より作成。

	A	B
①	Sct	Scp
②	Sct	Sgr
③	Ser	Scp
④	Ser	Sgr

問 41. 太陽と地球の公転運動について述べた次の文 a・b・c の正誤の組合せとして最も適当なものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。なお、他の惑星による影響はないものとし、この問題では、二至二分及び近日点・遠日点とは太陽の周りを回る楕円軌道上の以下の図 20 に示した位置のことを指す。

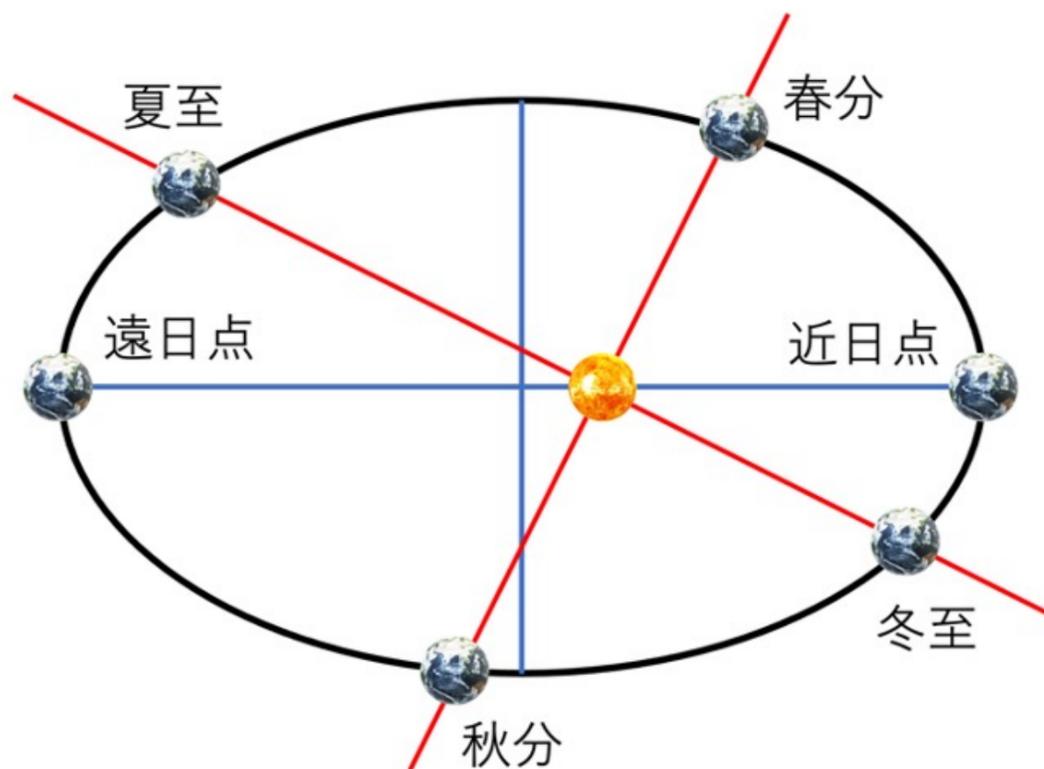


図 20: 二至二分及び近日点・遠日点の位置

- a 近日点通過から次の遠日点通過までの時間と遠日点通過から次の近日点通過までの時間は等しい。
- b 夏至から次の遠日点通過までの時間は冬至から次の近日点通過までの時間よりも長い。
- c 春分から次の秋分までの時間は秋分から次の春分までの時間よりも長い。

	a	b	c
①	正	正	正
②	正	正	誤
③	正	誤	正
④	正	誤	誤
⑤	誤	正	正
⑥	誤	正	誤
⑦	誤	誤	正
⑧	誤	誤	誤

問 42. ネーニータール (インド) にある ILMT と呼ばれる反射望遠鏡は、主鏡部分に回転台に乗せられた円柱形容器があり、円柱形容器の中は水銀が入っている。この回転台を回すと、液面付近の仮想的な水銀の微小小片にはたらく遠心力と重力の合力の向きが水銀液面と直交するように、水銀液面は回転放物面 ( $y = ax^2$  のグラフを  $y$  軸を回転軸として回転させたときにできる立体的な面) を形成する。このとき、水銀がこぼれたり、容器の底が見えたりすることはなかった。この水銀液面は反射望遠鏡における主鏡の役目を果たす。円柱形容器が乗っている回転台を 1 分あたり 33 回回転させたときに得られる主鏡の焦点距離として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。必要に応じて以下の値を用いてよい。

重力加速度： $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$

円周率の乗数： $\pi^2 = 9.8$

二次関数  $y = ax^2$  上の点  $(r, ar^2)$  での接線の傾き： $2ar$

二次関数  $y = ax^2$  の焦点： $\left(0, \frac{1}{4a}\right)$

- ① 41 cm
- ② 61 cm
- ③ 165 cm
- ④ 242 cm

問 43. 屈折望遠鏡について述べた次の文について、**ア** ~ **カ** にあてはまる語句の組合せとして最も適当なものを、後の①~⑧のうちから一つ選べ。

対物レンズに凸レンズ、接眼レンズに **ア** レンズを用いた望遠鏡はガリレオ式望遠鏡と呼ばれる。天体を観測すると、一般的に視野は **イ** が、得られる像は **ウ** 像である。一方で、対物レンズに凸レンズ、接眼レンズに **エ** レンズを用いた望遠鏡はケプラー式望遠鏡と呼ばれる。天体を観測すると、一般的に視野は **オ** が、得られる像は **カ** 像である。

	ア	イ	ウ	エ	オ	カ
①	凹	広い	正立	凸	狭い	倒立
②	凹	広い	倒立	凸	狭い	正立
③	凹	狭い	正立	凸	広い	倒立
④	凹	狭い	倒立	凸	広い	正立
⑤	凸	広い	正立	凹	狭い	倒立
⑥	凸	広い	倒立	凹	狭い	正立
⑦	凸	狭い	正立	凹	広い	倒立
⑧	凸	狭い	倒立	凹	広い	正立

問 44. 2023 年 1 月 1 日、明石 (東経 135°00′) での太陽の南中時刻は 12:03 であった。この日の那覇 (東経 127°41′) での太陽の南中時刻として最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。

- ① 11:31
- ② 11:34
- ③ 12:27
- ④ 12:32

問 45. 以下の I ~ III の出来事について、古いものから新しいものへ年代順に正しく配列したものを、後の①~⑥のうちから一つ選べ。

- I ドイツ博物館で、世界で初めての光学式プラネタリウムが公開された。
- II ティコ・ブラーエが、在命中に発生した超新星に関して記録を残した。
- III シャルル・メシエが、彗星と紛らわしい天体をリスト化し、発表した。

- ① I → II → III
- ② I → III → II
- ③ II → I → III
- ④ II → III → I
- ⑤ III → I → II
- ⑥ III → II → I

問 46. 5000 個の人工衛星が打ち上げられたとする。20 平方度を同時に観測したときに、これらの人工衛星のうち、ある一瞬に同時に視野に入る人工衛星の数の期待値として最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。ただし、人工衛星の分布は地球中心に対し等方的であるものとする。

- ① 2.4 個
- ② 4.1 個
- ③ 4.8 個
- ④ 8.2 個

問 47.  $\alpha$  星がない星座として最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。

- ① CMa
- ② Pup
- ③ Gem
- ④ Car

問 48. 消費電力 60 W のある白熱電球では、消費電力の 80% のエネルギーが電磁波として放射される。この電球が、地球から見た太陽と同等の明るさで観測されるとき、電球から観測者までの距離として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし電球も太陽も等方的な放射を行っているものとし、電球の大きさは考えなくてよい。必要に応じて以下の値を用いてよい。

天文単位： $1 \text{ au} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$

太陽光度： $L_{\odot} = 3.8 \times 10^{26} \text{ W}$

- ①  $5 \times 10^{-3} \text{ m}$
- ②  $5 \times 10^{-2} \text{ m}$
- ③  $5 \times 10^{-1} \text{ m}$
- ④  $5 \text{ m}$

問 49. 連星 A, B を観測したところ、図 21 のような光度曲線のグラフが得られた。この連星の軌道は、地球からの視線方向と平行な円軌道であることがわかっている。また連星間の平均距離は  $0.10 \text{ au}$  であり A, B から共通重心までの距離の比は  $1:9$  であった。このとき A の質量として最も適当なものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。

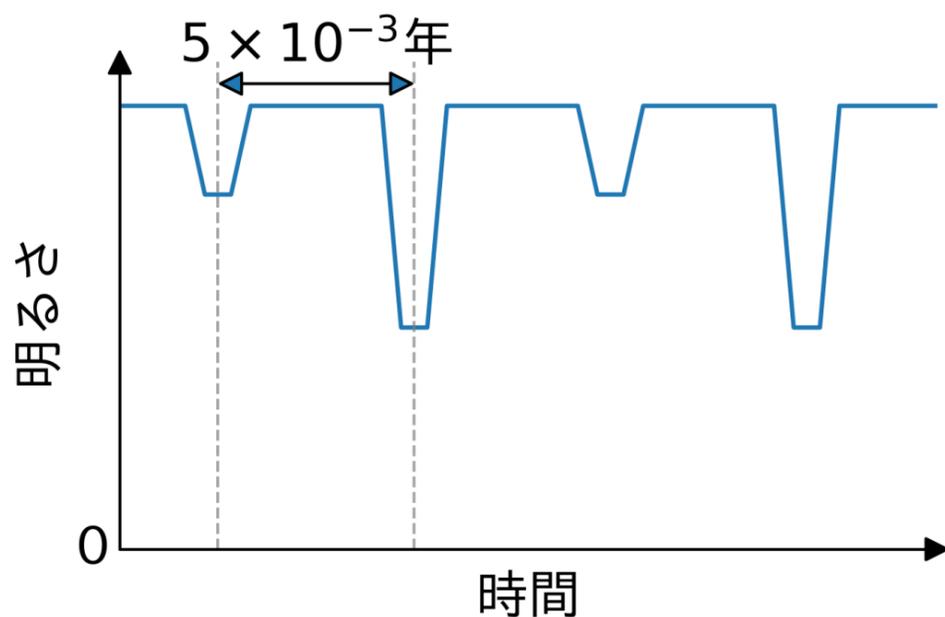
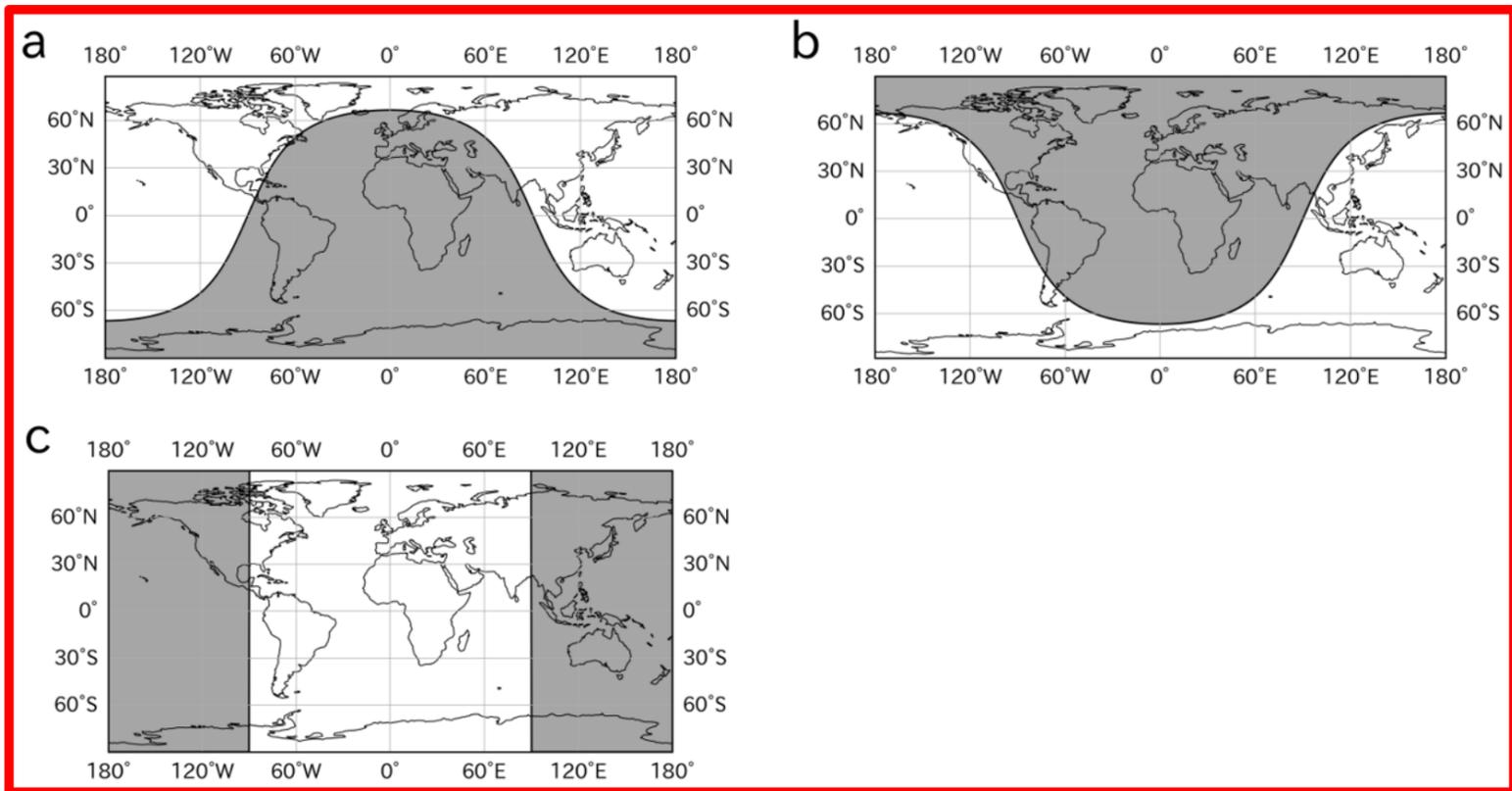


図 21: 連星の光度曲線

- ①  $1 M_{\odot}$
- ②  $4 M_{\odot}$
- ③  $9 M_{\odot}$
- ④  $10 M_{\odot}$
- ⑤  $36 M_{\odot}$
- ⑥  $40 M_{\odot}$

問 50. 次の a, b, c の 3 つの図はそれぞれ夏至, 冬至, 春分・秋分の日  
の昼と夜の分布を示したものである (影部分を夜とする)。夏至, 冬至, 春分及び秋分の日  
と a, b, c の組合せとして最も適当なものを, 後の①～⑥のうちから一つ選べ。



	夏至	冬至	春分・秋分
①	a	b	c
②	a	c	b
③	b	a	c
④	b	c	a
⑤	c	a	b
⑥	c	b	a