

第4回天文学オリンピック 予選問題

試験時間：120分

注意事項

問題は問1～問37まであり、小問は全部で50問ある。試験開始後、まずはじめにすべての問題に目を通すことを推奨する。

すべての小問には、解答番号が振られている(例: 99)。解答番号を参考に、解答フォームの対応する欄を確認して解答すること。

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

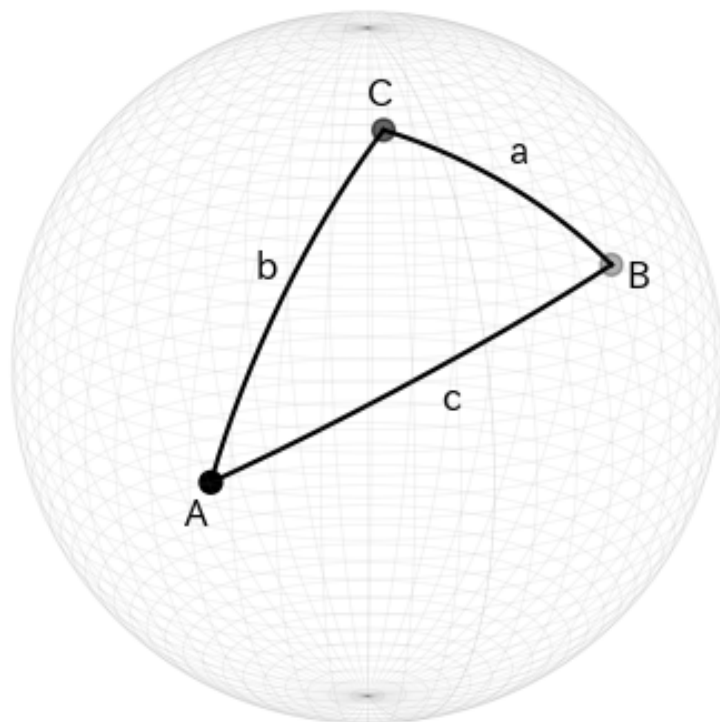
球面三角法の公式集

下図に示した球面上の三角形 ABC について、以下の式が成立する:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A$$



問 1. 国際天文学連合 (IAU) によって定められた星座の略符と, 日本における一般的な星座の名前の組合せとして最も適当なものを, 次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① Sna - へび座
- ② Hyd - うみへび座
- ③ Hya - みずへび座
- ④ Oph - へびつかい座

問 2. 表面温度が 10^6 K の中性子星による黒体放射のピーク波長と, それに対応する波長帯を観測するのに適した望遠鏡・観測衛星の組合せ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, 名称は適宜略称を用いている。

- ① 3 nm, XRISM
- ② 3 nm, ALMA
- ③ 3 μ m, Chandra
- ④ 3 μ m, JWST

問 3. 系外惑星 TRAPPIST-1 b, c, d は同じ方向に公転しており, その公転周期は軌道共鳴によって簡単な整数比になっていることが知られている。ここで, 惑星 b と惑星 c の周期の比は 5 : 8, 惑星 c と惑星 d の周期の比は 3 : 5 である。主星から見て 3 惑星が一直線上に並んでから, 次に主星と惑星 b, c がこの順に一直線上に並んだとき, 惑星 d は惑星 b, c に対してその公転方向に何度進んだ位置にいるか, 最も適当なものを次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 0°
- ② 120°
- ③ 180°
- ④ 240°

問 4. 図 1 は, HR 図上に, ある 4 つの恒星ア～エをプロットしたものである。この図から分かること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。 4

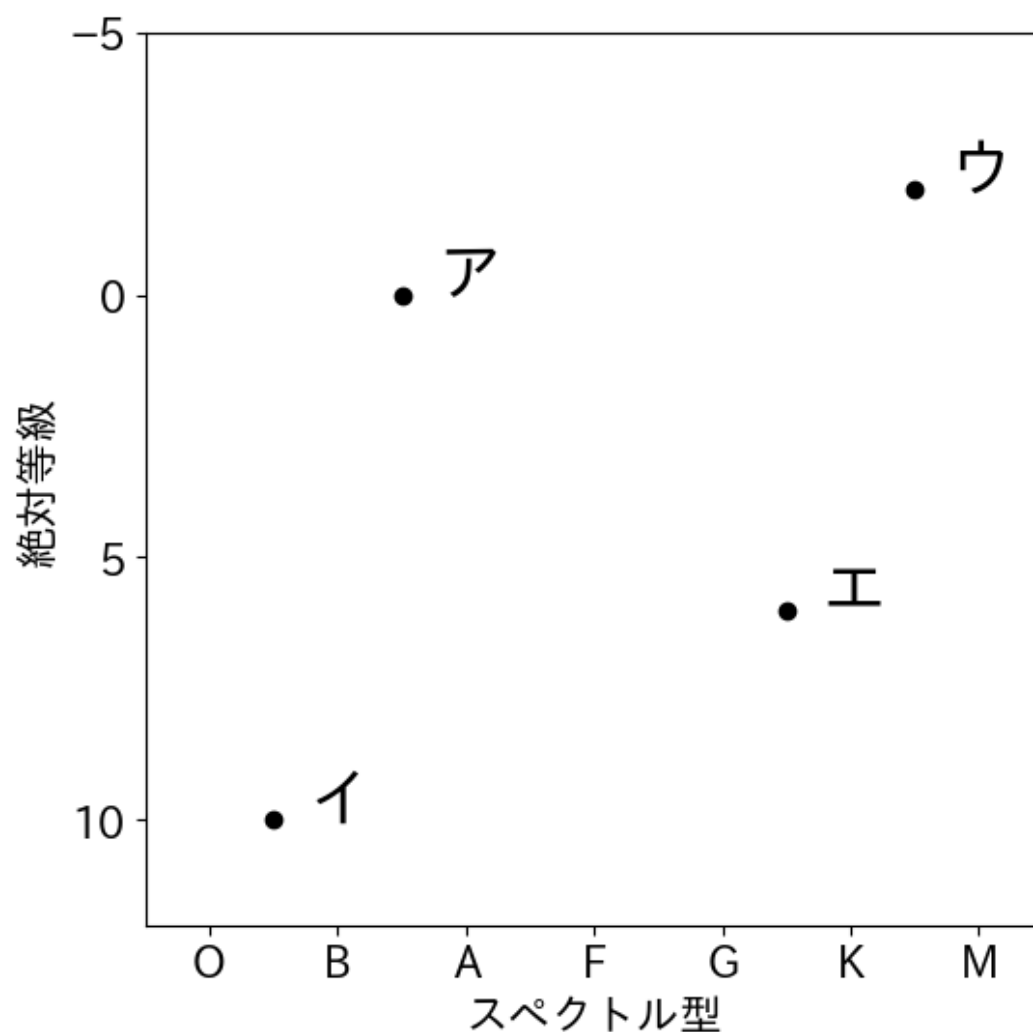


図 1: 恒星ア～エの HR 図上の位置

- ① 恒星アは, 4 つの恒星の中で光度が最も高い。
- ② 恒星イは, 4 つの恒星の中で表面温度が最も低い。
- ③ 恒星ウは, 4 つの恒星の中で密度が最も小さい。
- ④ 恒星エは, 4 つの恒星の中で質量が最も大きい。

問 5. ある超新星 A は, 最も光度が大きくなってから, 20 日あたり 1 等級ずつのペースで暗くなっていった。ある観測者が, 超新星 A を最後に肉眼で観測できたのは 4 月 4 日であった。このとき, 同じ観測者が口径 35 cm の望遠鏡で超新星 A を最後に観測できる日付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, 観測者の瞳孔の直径は 7 mm であるとする。また, 限界等級は集光力のみ依存するものとする。必要ならば $\log 2 = 0.3010$ を用いてもよい。 5

- ① 4 月 6 日 ② 6 月 28 日 ③ 7 月 10 日 ④ 9 月 21 日

問 6. 密度が ρ で一様なガス球が重力によって一点に収縮するのにかかる時間を自由落下時間 t_{ff} と呼び、これは万有引力定数 G と密度 ρ のみに依存することが知られている。次元解析によって推測される t_{ff} の表式における無次元係数を 1 とみなす場合、 $\rho = 10^{-20} \text{ g/cm}^3$ の分子雲における t_{ff} のスケール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、 $G = 6.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg/s}^2$ とする。 6

- ① 100 年 ② 1 万年 ③ 100 万年 ④ 1 億年

問 7. 各メシエ天体が位置する星座、および分類の組合せとして適当でないものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 7

- ① M 1, おうし座, 超新星残骸
 ② M 27, こぎつね座, 惑星状星雲
 ③ M 71, や座, 球状星団
 ④ M 101, おおいぬ座, 渦巻銀河

問 8. 天文学では、1931 年に宇宙電波を初めて発見した研究者の名前にちなみ、単位振動数あたりのエネルギー流束密度の単位としてジャンスキー (Jy) が用いられることがある。ここで、 $1 \text{ Jy} = 10^{-23} \text{ erg/s/cm}^2/\text{Hz}$ であり、erg は CGS 単位系におけるエネルギーの単位である。1 Jy と等しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。 8

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| ① $10^{-34} \text{ J/m}^2/\text{Hz}$ | ② $10^{-34} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$ |
| ③ $10^{-26} \text{ J/m}^2/\text{Hz}$ | ④ $10^{-26} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$ |
| ⑤ $10^{-20} \text{ J/m}^2/\text{Hz}$ | ⑥ $10^{-20} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$ |
| ⑦ $10^{-12} \text{ J/m}^2/\text{Hz}$ | ⑧ $10^{-12} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$ |

問 9. 天文学では、時間を測るためにさまざまな単位が登場する。以下の式によって x, y を定義する:

$$x = \frac{1 \text{ 恒星年の長さ}}{1 \text{ 太陽年の長さ}}, \quad y = \frac{1 \text{ 平均恒星日の長さ}}{1 \text{ 平均太陽日の長さ}}$$

x, y の大小関係として最も適当なものを、次の ①～⑥のうちから一つ選べ。

9

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| ① $x = y < 1$ | ② $x < y < 1$ | ③ $y < 1 < x$ |
| ④ $1 < x = y$ | ⑤ $1 < y < x$ | ⑥ $x < 1 < y$ |

問 10. 恒星は、自転によって生じる遠心力で扁平な形状をとる。しかし、自転が速すぎて遠心力が重力を上回ると、恒星はその形を保てなくなる。恒星の赤道半径 R_{eq} と極半径 R_{p} の比 $\frac{R_{\text{eq}}}{R_{\text{p}}}$ の最大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。ただし簡単のために、質量 M の恒星の中心から距離 r にある、恒星表面上の点における単位質量あたりの重力ポテンシャルエネルギーは

$$U_{\text{g}} = -\frac{GM}{r}$$

で与えられるものとしてよい。また、角速度 Ω の回転軸から距離 d の点での単位質量あたりの遠心力のポテンシャルエネルギーは

$$U_{\text{c}} = -\frac{1}{2}d^2\Omega^2$$

で与えられることを用いてもよい。 10

- | | | | |
|--------|-------|-----|-------|
| ① 1.25 | ② 1.5 | ③ 2 | ④ 2.5 |
|--------|-------|-----|-------|

問 11. 地球から見た他の惑星の明るさは太陽との位置関係によって変化し、特に衝の位置にあるときに最も明るくなることが知られている。天王星と海王星の公転半径はそれぞれ 20 au, 30 au であり、衝の位置での見かけの大きさ(視直径)は海王星が天王星の 0.6 倍である。また、天王星が衝の位置にあるときの実視等級は 5.6 である。海王星が衝の位置にあるときの実視等級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、天王星と海王星のアルベド(反射率)は等しいとみなせ、さらに地球を含むこれらの惑星の軌道は真円で、かつ軌道面は一致しているとみなせるものとする。ただし、必要ならば $\log 2 = 0.3010$ を用いてもよい。 11

- ① 6.7 ② 7.2 ③ 7.6 ④ 8.2

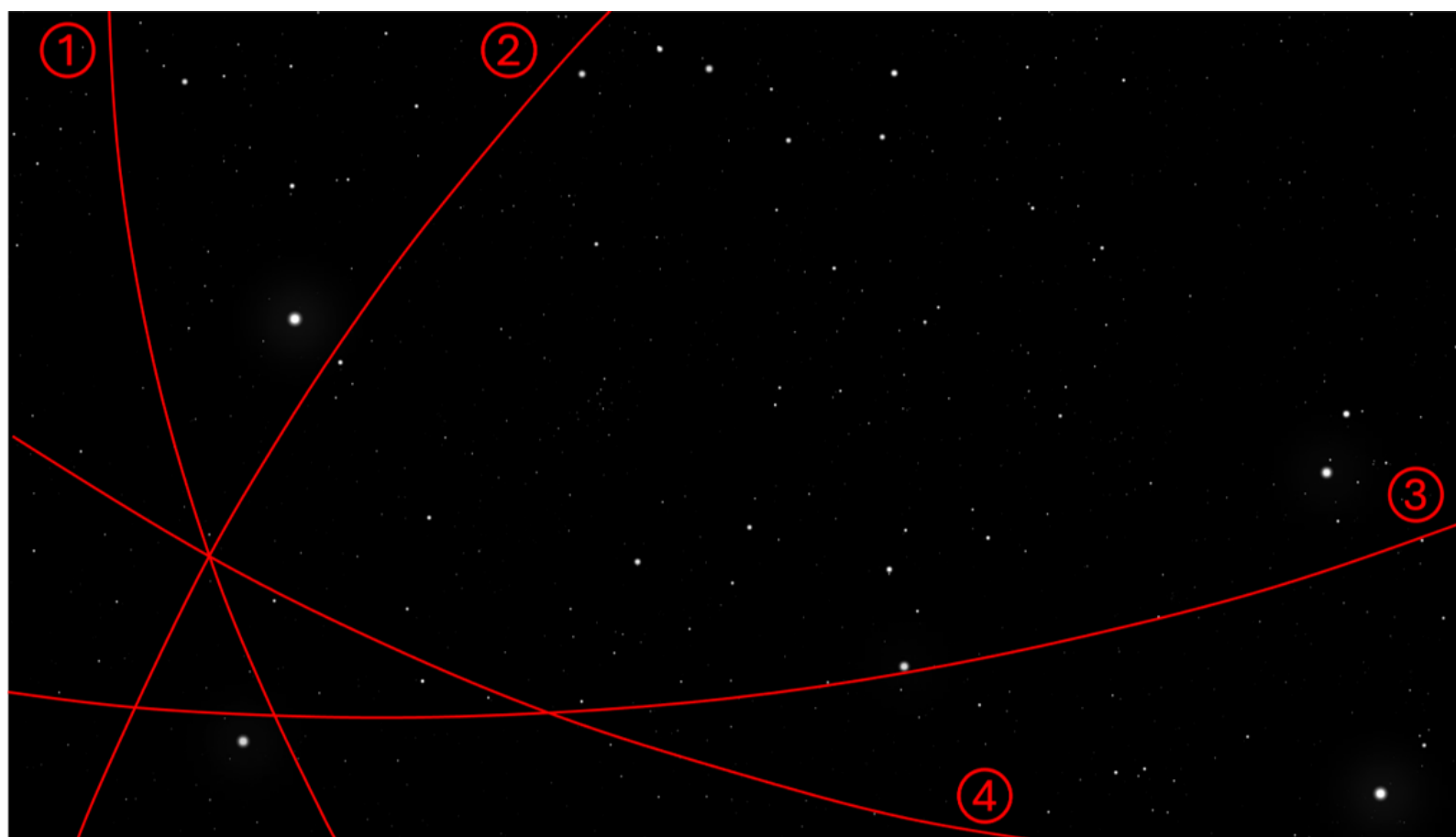
問 12. 以下の I～III の出来事について、古いものから新しいものへ時系列で正しく配列したものとして最も適当なものを、後の①～⑥から一つ選べ。

12

- I ハッブルがセファイドまでの距離測定を行い、宇宙が膨張していることを発見した。
- II ガモフらによって、ビッグバン宇宙論が提唱された。
- III シャプレーとカーチスの「大論争」によって、渦巻星雲(現在の渦巻銀河)が銀河系の内外どちらにあるか議論された。

- 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 13. 下図の星空に引かれた4本の赤い曲線のうち、天の赤道を示しているものとして最も適当なものを、①～④のうちから一つ選べ。 13



問 14. ある銀河 A は地球から 10 Mpc の距離に位置し、視直径は 5.0×10^2 秒角であった。また、星間減光の影響を補正した見かけの等級は 10 等である。銀河 A について、以下の問いに答えよ。

- (1) 銀河 A は、太陽と同じ明るさ・質量の恒星のみから構成されていると仮定する。このとき、銀河 A に含まれる恒星の総質量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、太陽の絶対等級は 5 等級であることを用いてよい。 14

- ① $1.0 \times 10^{10} M_{\odot}$ ② $2.5 \times 10^{10} M_{\odot}$ ③ $5.0 \times 10^{10} M_{\odot}$
 ④ $1.0 \times 10^{11} M_{\odot}$ ⑤ $2.5 \times 10^{11} M_{\odot}$ ⑥ $5.0 \times 10^{11} M_{\odot}$

- (2) 銀河 A のスペクトルの観測から、この銀河の回転速度が中心から離れた領域では 300 km/s で一定であることが判明した。これは地球の公転速度の 10 倍である。このとき、銀河 A の総質量として最も適当なものを、前問 (1) の選択肢①～⑥のうちから一つ選べ。 15

問 15. 表 1 は、太陽および木星型惑星の赤道半径が、木星の赤道半径の何倍かを示したものである。太陽および木星型惑星の密度がすべて等しいと仮定するとき、太陽質量が、太陽系における全質量に対して占める割合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、表 1 に示されている天体以外の質量は、太陽及び木星型惑星の質量に比べ微小であり、無視できるとしてよい。 16

表 1: 太陽および木星型惑星の赤道半径

天体名	赤道半径 (木星=1)
太陽	9.753
木星	1
土星	0.840
天王星	0.356
海王星	0.340

- ① 77.8% ② 84.1% ③ 91.2% ④ 99.8%

問 16. 電離した水素の出す $H\alpha$ 輝線は、観測領域における星形成の強さの指標として用いられている。一方で、可視光線の $H\alpha$ 輝線は星間物質による吸収・減光の影響を強く受けるため、密度の高い分子雲領域などの星形成率を推定する際には、より長波長側にある水素の輝線が用いられている。そのような輝線の例として $H40\alpha$ 輝線があげられる。 $H40\alpha$ 輝線は、水素原子内の電子が主量子数 41 から 40 に落ちる際に放出される輝線である。 $H40\alpha$ 輝線の波長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、水素原子の電子が主量子数 m から n に落ちる際に生じる輝線の波長 λ について、リュードベリ定数 $R_\infty = 1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ を用いて、次のような式が成り立つ:

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left| \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right|$$

17

- ① 3 nm ② 3 μm ③ 3 mm ④ 3 m

問 17. CCD や CMOS を用いた観測では、検出器に入った光子を電子に変換することで、天体からの光をデジタル信号 (シグナル) として記録する。その際、様々な要因でノイズが発生する。ノイズの強度に対するシグナルの強度の比 (S/N) が、天体がどのくらい有意に検出されているかを表す指標としてよく用いられる。 S/N が低いと、シグナルがノイズに埋もれてしまい、天体を検出することができない。ここでは、 S/N を改善するため、複数のピクセルでのシグナルの値を合計することを考える。このときの複数のピクセルで積算したノイズは、各ピクセルのノイズの二乗和の平方根になる。1 ピクセルあたりのシグナル強度、ノイズ強度はそれぞれ 50, 10 で一定とするとき、 $S/N = 50$ を達成するには何ピクセルのシグナルの値を合計すればよいか、最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 18

- ① 5 ピクセル
② 25 ピクセル
③ 100 ピクセル
④ 500 ピクセル

問 18. 歳差とは、月や太陽の重力の影響によって、地球の自転軸が黄道の極に対して傾いたまま自転と逆向きに回転する現象のことである。歳差に伴って、地球から見た天体の位置は長い時間スケールで変化する。歳差に伴う天体の見え方の変化に関する文として適当でないものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、天体の固有運動による影響は無視するものとし、地球の自転軸の傾き（赤道傾斜角）は 23.4° で一定であるとみなしてよい。 19

- ① 春分点は黄道上を移動する。
- ② 天球上での天の北極は、黄道の北極を中心とした円の周上を移動する。
- ③ デネボラ（黄緯 $12^\circ 16'$ ）は、東京（北緯 $35^\circ 41'$ ）において周極星となるときがある。
- ④ アケルナル（黄緯 $-59^\circ 23'$ ）は、東京（北緯 $35^\circ 41'$ ）において観測できるときがある。

問 19. 軌道長半径 1.42 au の小惑星 X に送った探査機を地球に帰還させることを考える。地球と小惑星 X は、太陽を中心とする同一平面上の円軌道を同じ方向に運動している。また、図 2 に示すように、太陽と小惑星 X を結ぶ線から公転方向に測った際の、地球と太陽と小惑星 X のなす角を θ とする。図 3 に示すように、探査機が地球に帰還する際、探査機は、地点 A にて小惑星 X を離れ、太陽を 1 つの焦点とした、近日点距離が 1.00 au、遠日点距離が 1.42 au の楕円軌道を描く。探査機が小惑星 X を出発して、楕円軌道を描きながら、最短で地球と地点 P で合流するためには、地球と太陽と小惑星 X のなす角度 θ が何度のときに探査機は小惑星 X を出発すればよいか、最も適当なものを後の ①～④のうちから一つ選べ。 20

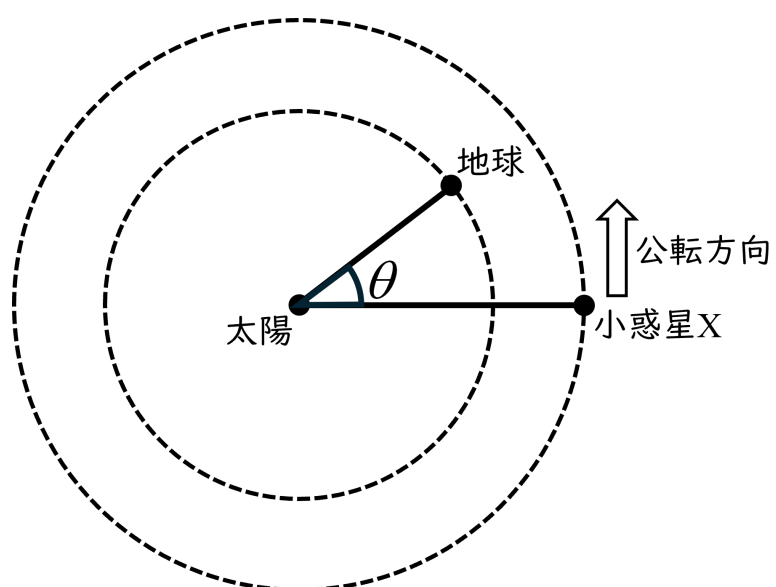


図 2: θ の定義

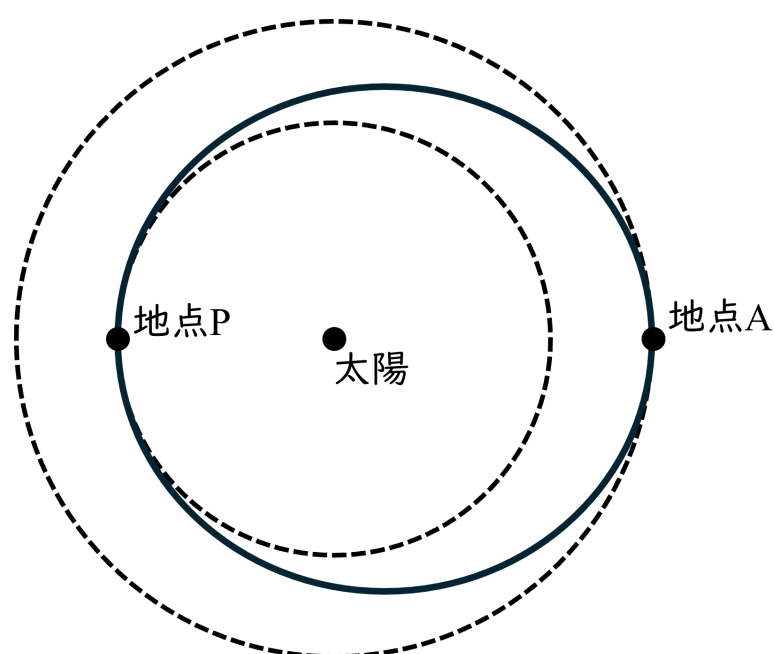
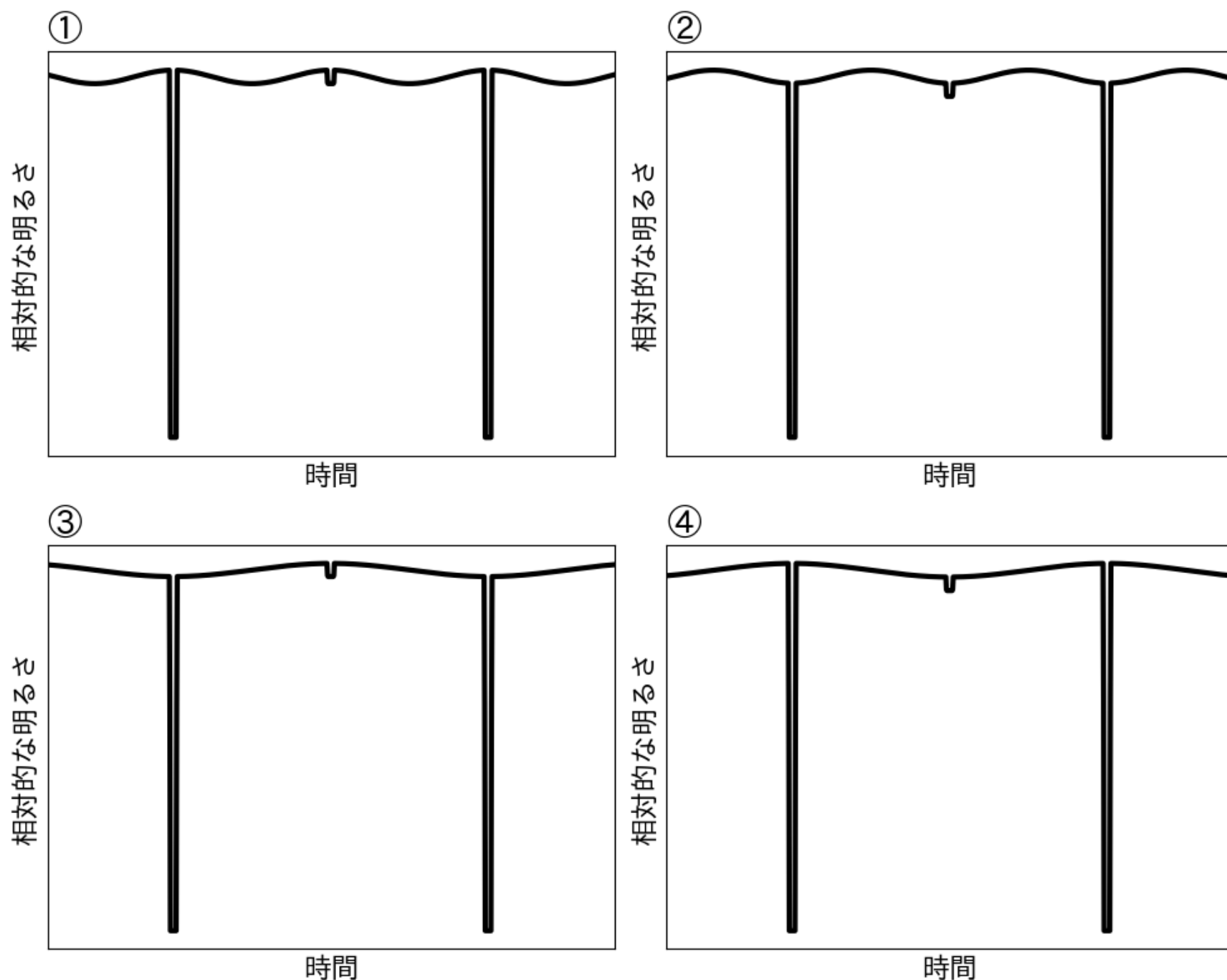


図 3: 探査機の軌道

- ① 30° ② 120° ③ 210° ④ 300°

問 20. 系外惑星のトランジット観測では、観測される明るさは恒星の光のみでなく、惑星が恒星の光を反射した光の寄与も含まれる。惑星からの反射光も考慮したトランジットの光度曲線の概形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、観測する波長帯において、惑星からの光は反射以外に考えなくてよいものとする。 21



問 21. 地球上からある恒星の動きを観察したところ, 1 年で図 4 のような天球上での動きを示した。この恒星までの距離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, 図 4 において年周視差以外の影響は差し引かれているものとする。 22

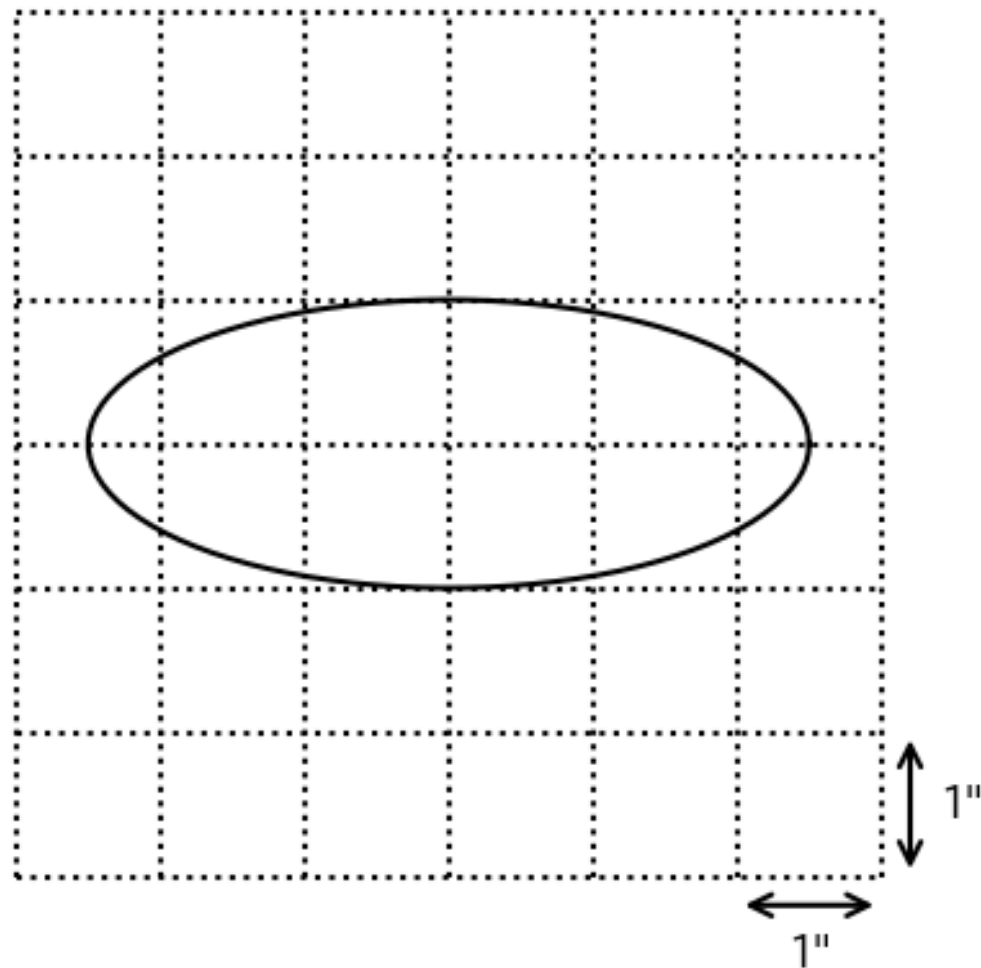


図 4: ある恒星の天球上での動き

- ① 0.2 pc ② 0.4 pc ③ 0.5 pc ④ 1.0 pc

問 22. 図 5 は, 太陽系の惑星について, 横軸に軌道長半径, 縦軸に物理量 I, II を取ってプロットした散布図である。ただし, 物理量 I, II はともに地球の値を 1 として規格化してある。以下の問いに答えよ。

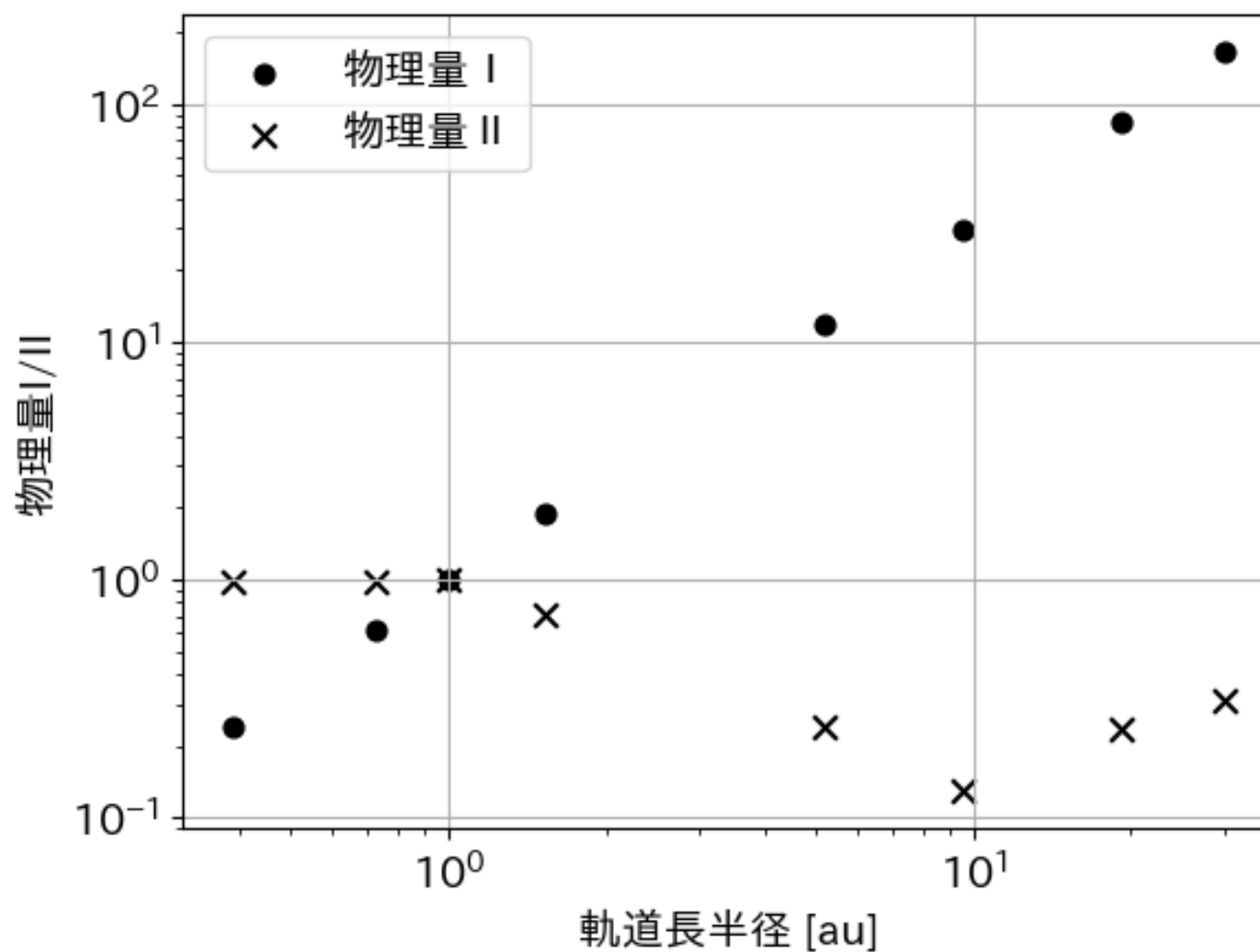


図 5: 太陽系の惑星の物理量と軌道長半径の関係

(1) 物理量 I として最も適当なものを, 次の①～⑥のうちから一つ選べ。

23

- | | | |
|--------|----------|--------|
| ① 赤道半径 | ② 質量 | ③ 公転周期 |
| ④ 公転速度 | ⑤ 平均表面温度 | ⑥ 平均密度 |

(2) 物理量 II として最も適当なものを, 前問 (1) の選択肢①～⑥のうちから一つ選べ。 **24**

問 23. 図 6 は, 赤経 120° – 240° , 赤緯 27.5° – 37.5° の範囲にある銀河を, 赤緯方向に押しつぶしてプロットしたものである (原点は銀河系であり, 図中の角度は赤経を表している)。ただし, 図 6 に記載されている銀河 A, B の赤緯は等しいものとする。図 6 について述べた文として適当でないものを, 後の①～④のうちから一つ選べ。ただし, 必要ならば光速が $3.0 \times 10^5 \text{ km/s}$, ハッブル定数が 70 km/s/Mpc , $1 \text{ pc} = 3.26 \text{ ly}$ であることを用いてよい。 25

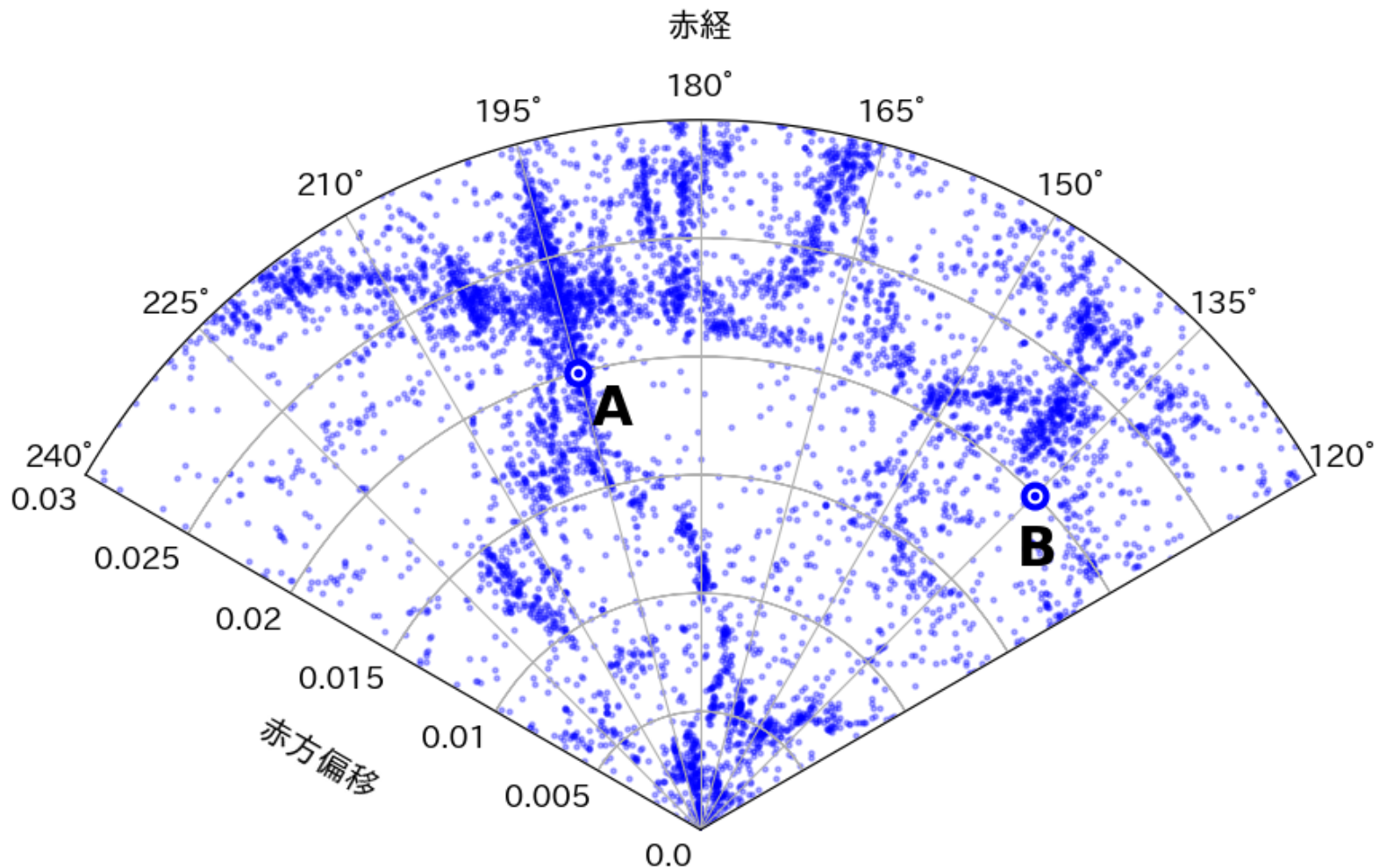


図 6: 銀河系近傍の銀河の分布を表した図

- ① 銀河 A から見たとき, 銀河 B の後退速度はおよそ $6 \times 10^3 \text{ km/s}$ である。
- ② 銀河 A を観測することは, およそ 3000 万年前の光を見ることを意味する。
- ③ 銀河 A のスペクトルを観測したとき, 静止波長が 656 nm の輝線は, およそ 669 nm に見られる。
- ④ ボイドのスケールは, およそ数 10 Mpc ほどである。

問 24. 遠方天体の分光観測を行うと, Ly α 輝線よりも短い波長帯に, 前景の中性水素雲による吸収によって生じた Ly α 吸収線が見られることがある。ある赤方偏移のクェーサーを分光観測したところ, 図 7 のように前景の中性水素雲による Ly α 吸収線が観測された。このクェーサーと中性水素雲の赤方偏移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。ただし, Ly α 輝線はクェーサー起源のものであるとする。また静止系での Ly α 輝線の波長は 1216 Å である。 26

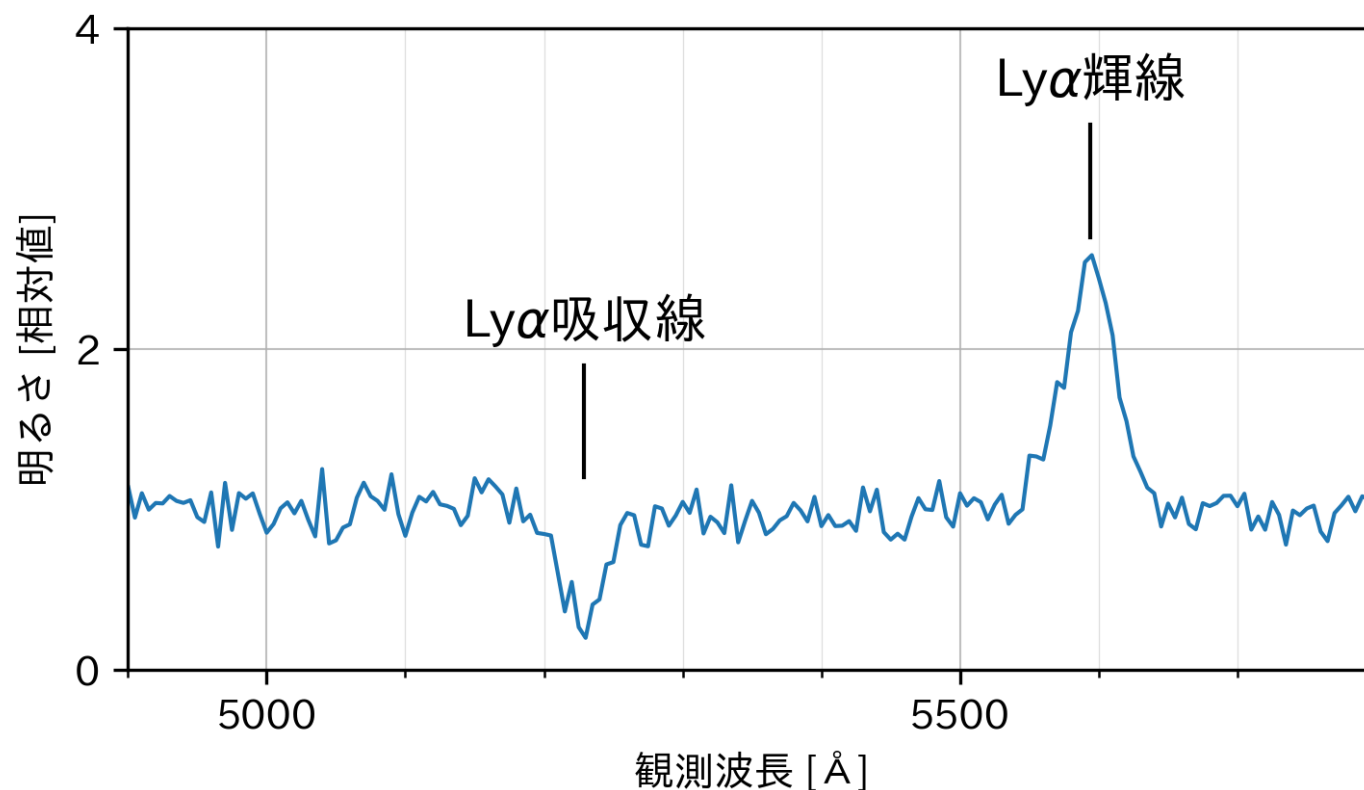


図 7: あるクェーサーの静止系紫外線域のスペクトル

	クェーサー	中性水素雲
①	3.6	3.3
②	3.6	4.3
③	3.6	5.3
④	4.6	3.3
⑤	4.6	4.3
⑥	4.6	5.3
⑦	5.6	3.3
⑧	5.6	4.3
⑨	5.6	5.3

問 25. 天球上のある領域を網羅的に観測するサーベイ観測 (掃天観測) を行い, 赤方偏移 1-2 のクェーサーを探索する。このプロジェクトについて, 以下の問いに答えよ。

- (1) 天球上の領域の大きさ (立体角) を表す単位としてステラジアン (sr) が挙げられる。sr は, その領域を観測者を中心とする半径 1 の球面上に投影した領域の面積として定義される。全天の大きさを sr 単位で表したとき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。

27

- ① π ② 2π ③ 3π ④ 4π

- (2) 立体角を表す単位として sr の他にも平方度 (deg^2) が挙げられる。1 deg^2 は, 一辺を 1° (1 deg) とする正方形と同じ面積を持つ球面を切り取る立体角として定義される。1 deg^2 を sr 単位で表したとき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。

28

- ① 7.62×10^{-5} ② 8.73×10^{-5} ③ 2.36×10^{-4} ④ 3.05×10^{-4}

- (3) 10 deg^2 の領域のサーベイ観測を行う。この領域内で観測される赤方偏移 1 から 2 のクェーサーの個数として最も適切なものを, 次の①～④のうちから一つ選べ。ただし, 赤方偏移 1 から 2 における, 今回のサーベイ観測で検出可能なクェーサーの数密度は $1.6 \times 10^{-5} \text{Mpc}^{-3}$ であり, 宇宙論的效果を含めた際の観測者から赤方偏移 1, 2 の天体までの距離は, それぞれ $3.3 \times 10^3 \text{Mpc}$, $5.2 \times 10^3 \text{Mpc}$ として計算すること。

29

- ① 2 ② 2×10 ③ 2×10^2 ④ 2×10^3

問 26. X線は物質を透過しやすいため、可視光や赤外線・電波の観測で用いられるような、面にほぼ垂直に入射するタイプの「鏡」で集光することはできない。その代わりに、X線望遠鏡では、図8のように面に対して 1° 程度の小さな角度で入射したときに全反射が起こることを利用して集光を行う。

図9のように、直径80 cmの筒状の反射面を配置することでX線を集光させることを考える。このとき、X線の入射角を 1° として設計する場合、反射面から焦点までの距離(X線望遠鏡における焦点距離)として最も適切なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。ただし、 $\tan(1^\circ) = 0.018$ とする。 30

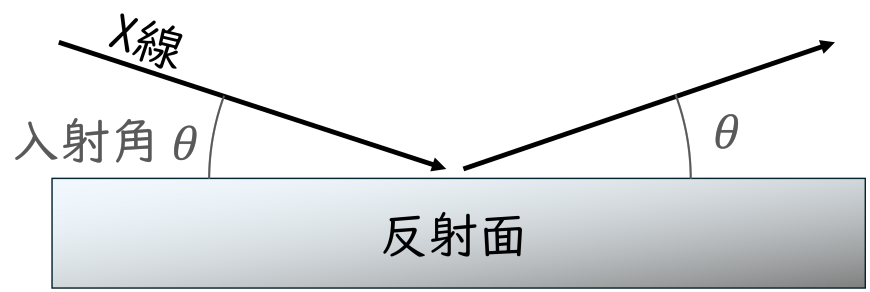


図8: 鏡に小さな角度で光を入射させる様子

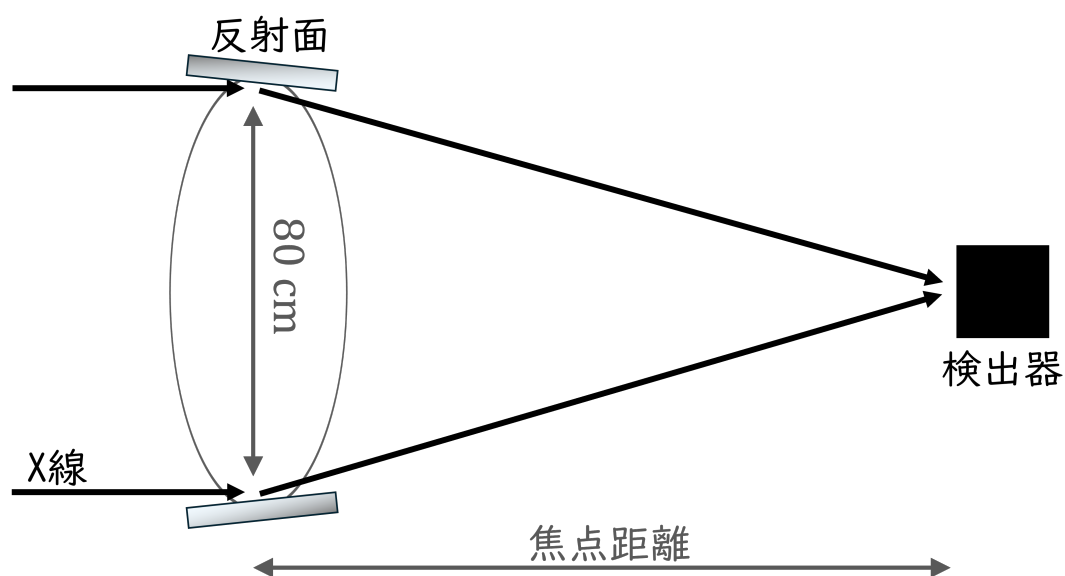


図9: X線望遠鏡の構造

- ① 5.5 m ② 11 m ③ 22 m ④ 44 m

問 27. 一般に星座早見盤は, 図 10 のように星図のかかれた円盤 A と, 窓がある円盤 B の 2 枚の円盤からなる。いま日本で使われる星座早見盤を用いて, 現在から 2 時間後と, 1 ヶ月後の同時刻に見える星空をそれぞれ調べたい。現在の星空を表示した星座早見盤において円盤 A を固定したとき, 円盤 B に行うべき操作の組合せとして正しいものを, 後の①～④のうちから一つ選べ。

31

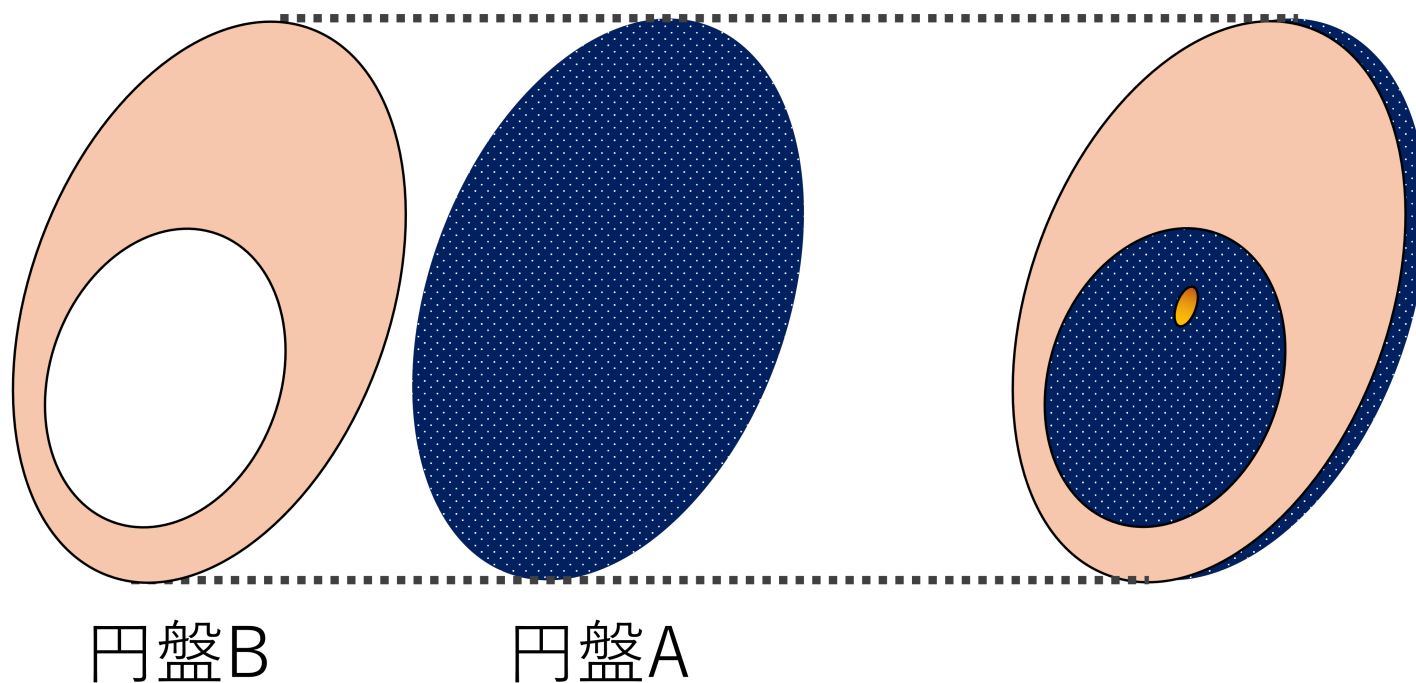


図 10: 星座早見盤の構造

	2 時間後	1 か月後
①	時計回りに 30° 回す	時計回りに 30° 回す
②	時計回りに 30° 回す	反時計回りに 30° 回す
③	反時計回りに 30° 回す	時計回りに 30° 回す
④	反時計回りに 30° 回す	反時計回りに 30° 回す

問 28. 恒星の出没に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 緯度 ϕ の地点において、赤緯 δ の恒星 X の出没を観測することを考える ($\phi - 90^\circ < \delta < 90^\circ - \phi$)。恒星 X が地平線から昇るときの、この恒星の時角 H と方位角 A について成り立つ関係式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、大気中の光の屈折による影響は無視し、方位角 A は北から東に向かって測るものとする。 32

① $\cos H = -\sin \phi \tan \delta, \quad \cos A = \frac{\sin \delta}{\cos \phi}$

② $\cos H = -\sin \phi \tan \delta, \quad \cos A = \frac{\sin \delta}{\sin \phi}$

③ $\cos H = -\tan \phi \tan \delta, \quad \cos A = \frac{\sin \delta}{\cos \phi}$

④ $\cos H = -\tan \phi \tan \delta, \quad \cos A = \frac{\sin \delta}{\sin \phi}$

- (2) 前問 (1) で導いた関係式を参考にして、恒星の出没に関して述べた文として適当でないものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 33

- ① 赤道上の地点では、すべての恒星が地平線上にちょうど 12 時間観測される。
- ② 北半球の地点では、天の北極に近い恒星ほど地平線上に見える時間が長い。
- ③ 真東 ($A = 90^\circ$) から昇る恒星は必ず天の赤道上に位置している。
- ④ 北緯 30 度の地点で赤緯 45 度の恒星が地平線上に観測できる時間は約 8 時間である。

問 29. 黄道上を速度を変えて動く実際の太陽 (視太陽) に対して, 天の赤道を等速で動く仮想的な太陽を平均太陽と呼ぶ。視太陽が南中する時刻を 12 時とした時間を視太陽時, 平均太陽が南中する時刻を 12 時とした時間を平均太陽時という。そして, これらの差を均時差と呼ぶ。ここでは, 視太陽時が平均太陽時より進んでいるときに均時差を正, 遅れているときに負と定める。均時差は, 地球の公転軌道の離心率に起因する成分と, 地球の赤道面と黄道面との傾き (赤道傾斜角) に起因する成分の和として表せる。次の図 11 は, 均時差と, これら 2 成分による寄与の, 一年を通じた変化を示している。図の凡例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。 34

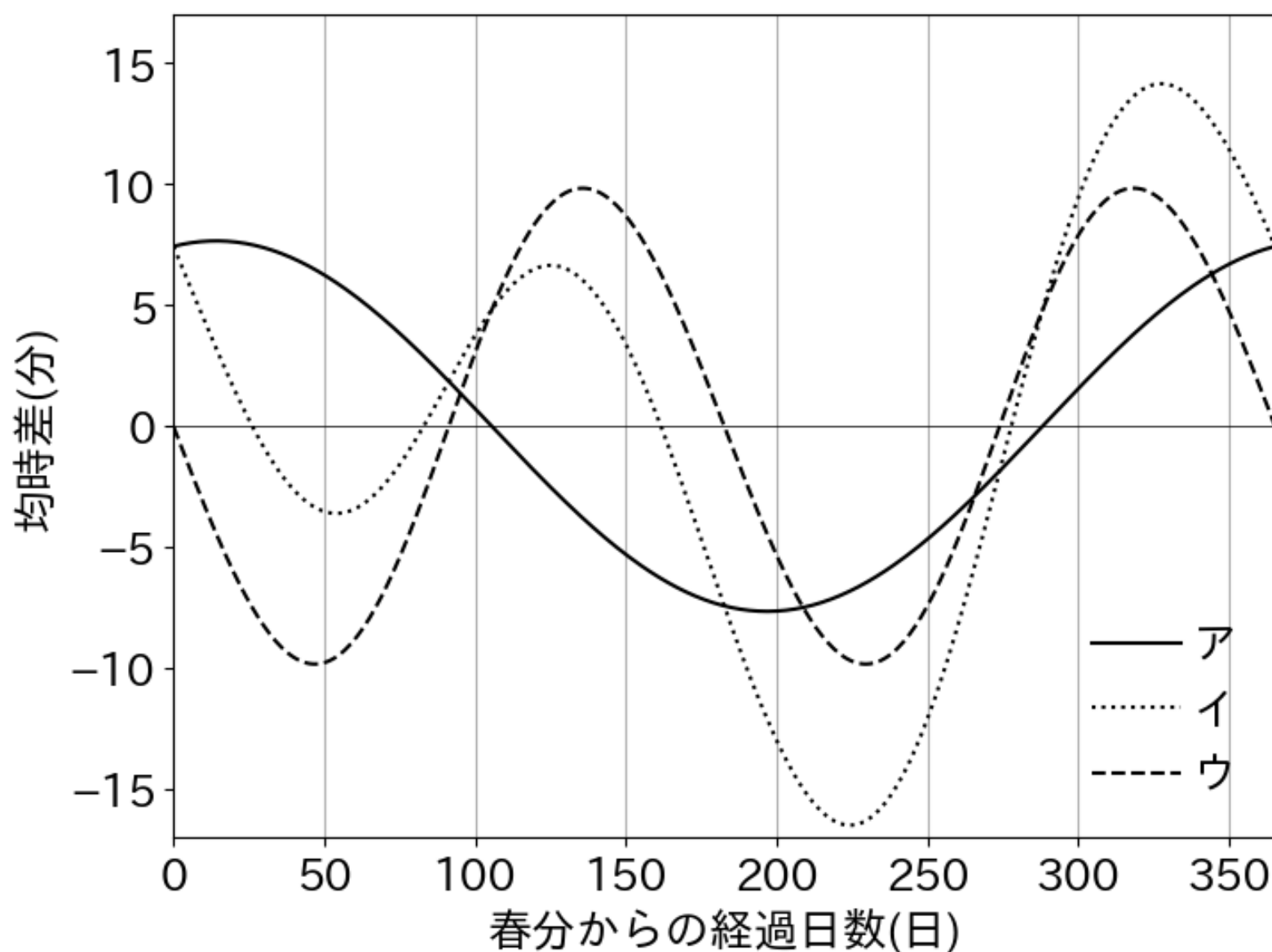


図 11: 均時差と, 均時差に寄与する影響の時間変化

	ア	イ	ウ
①	均時差	離心率による成分	赤道傾斜角による成分
②	均時差	赤道傾斜角による成分	離心率による成分
③	離心率による成分	均時差	赤道傾斜角による成分
④	赤道傾斜角による成分	均時差	離心率による成分

問 30. 図 12, 図 13 はそれぞれ, 地球と太陽系内のある惑星 X について, 大気上端における日平均の太陽入射量の緯度・季節分布を示したものである。これらの図について述べた文として適当でないものを, 後の①～④のうちから一つ選べ。ただし, 図中の等値線の単位は W/m^2 であり, また, 横軸は各惑星における 1 年を 1 としている。 35

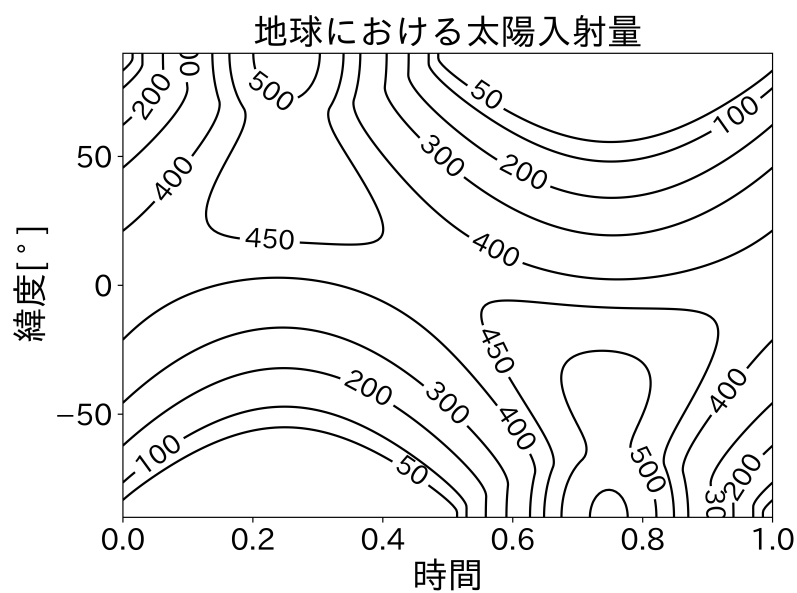


図 12: 地球における分布

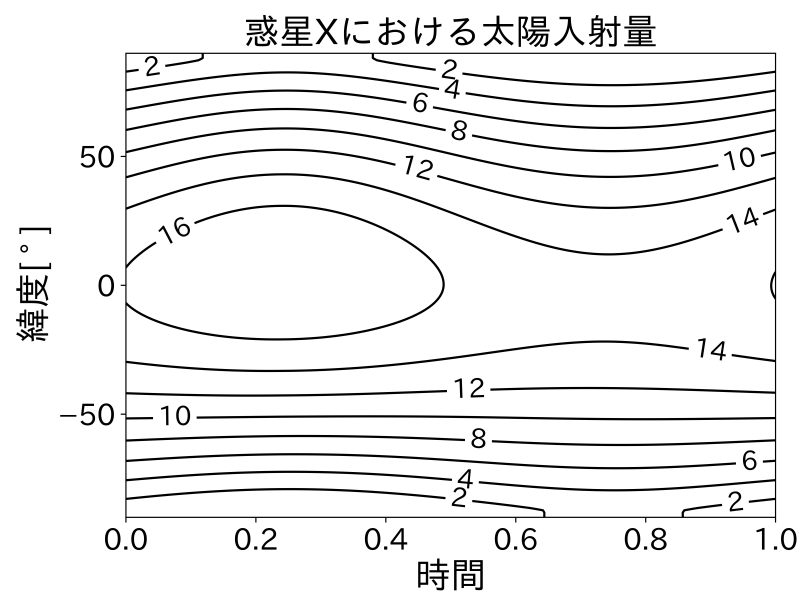


図 13: 惑星 X における分布

- ① 地球より惑星 X の方が公転軌道面に対する自転軸の傾きは小さいと推測される。
- ② 惑星 X の公転半径は 5 au 程度であると推測される。
- ③ 地球, 惑星 X とともに分布が南北対称でないのは, 惑星が真球でないためであると考えられる。
- ④ 大気による温室効果はこの分布には影響しない。

問 31. 図 14 は, 土星を自転軸に垂直な細いスリットを通して観測し, スリット上の各点で得られたスペクトルを上下に並べたものであり, 図中右側が長波長の成分に対応する。この図から読み取れることとして適当でないものを, 後の①～④のうちから一つ選べ。 36

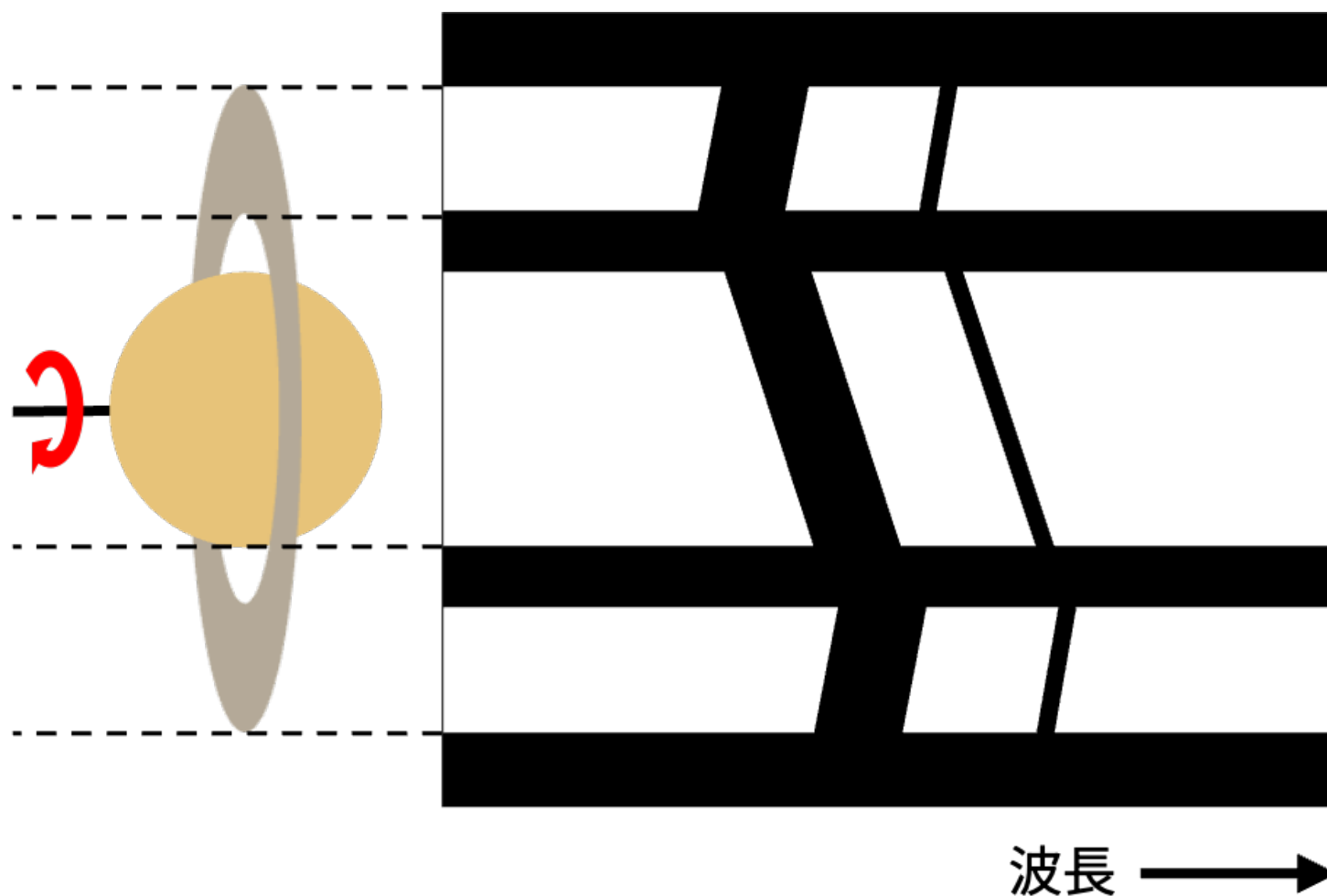


図 14: 土星の各領域でのスペクトル線

- ① 波長のずれはドップラー効果によるものである。
- ② 土星本体は赤矢印の向きに自転していると考えられる。
- ③ 土星の輪は内側と外側で異なる速度で回転していると考えられる。
- ④ 土星本体と輪は異なる向きに回転していると考えられる。

問 32. 北緯 40 度のある地点での、ある日の太陽高度が図 15 のように変化した。
 これを参考にし、
 ア: 同じ日の赤道上的のある地点での太陽高度の日変化
 イ: 4 ヶ月後の同じ地点での太陽高度の日変化
 を示したグラフの組合せとして最も適当なものを、次ページの①～④のうち
 から一つ選べ。ただし、各グラフ中の破線は図 15 に示した太陽高度の変化を
 表している。 37

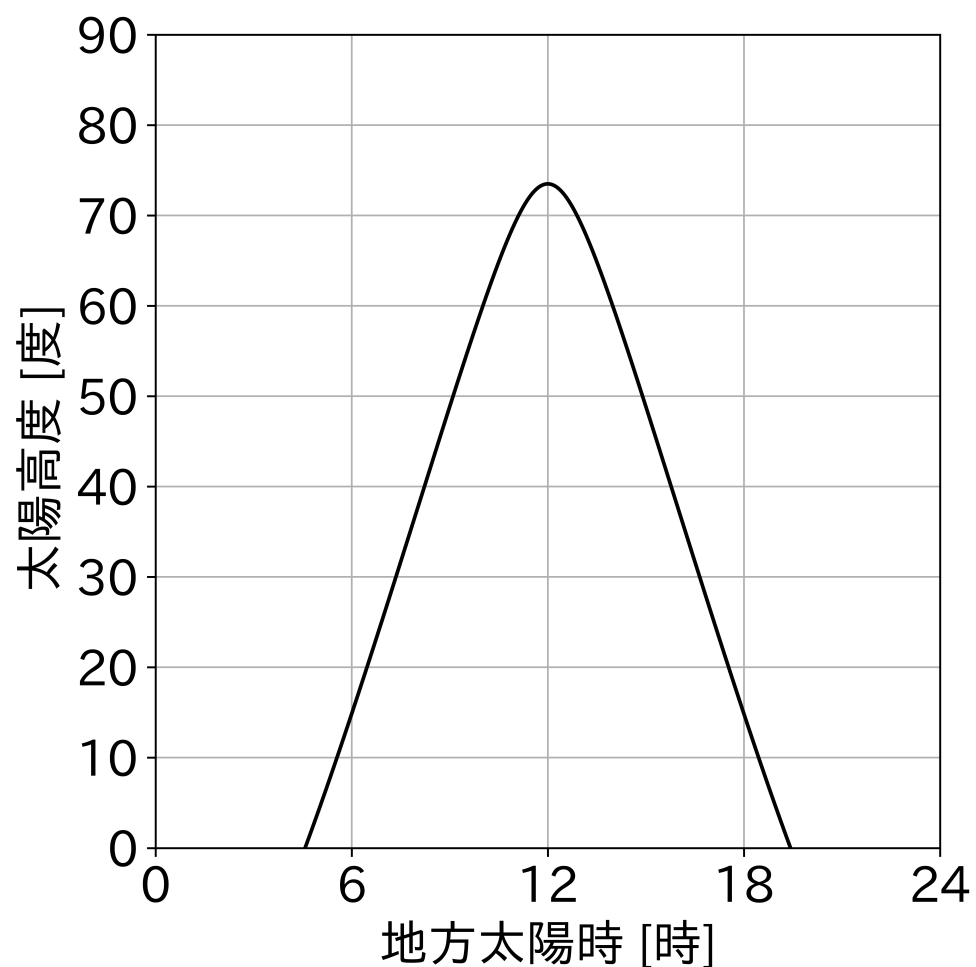
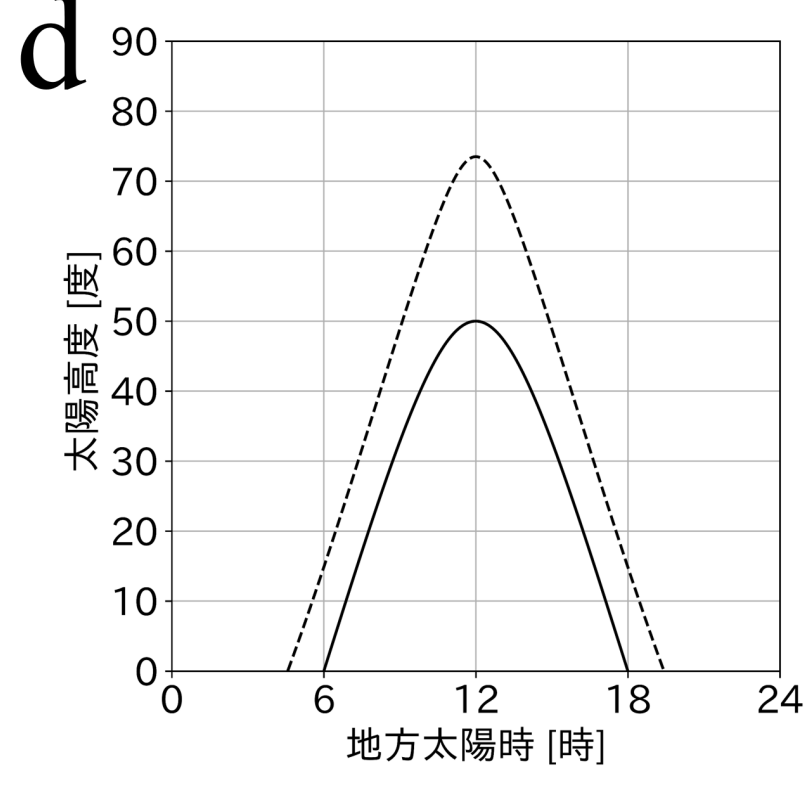
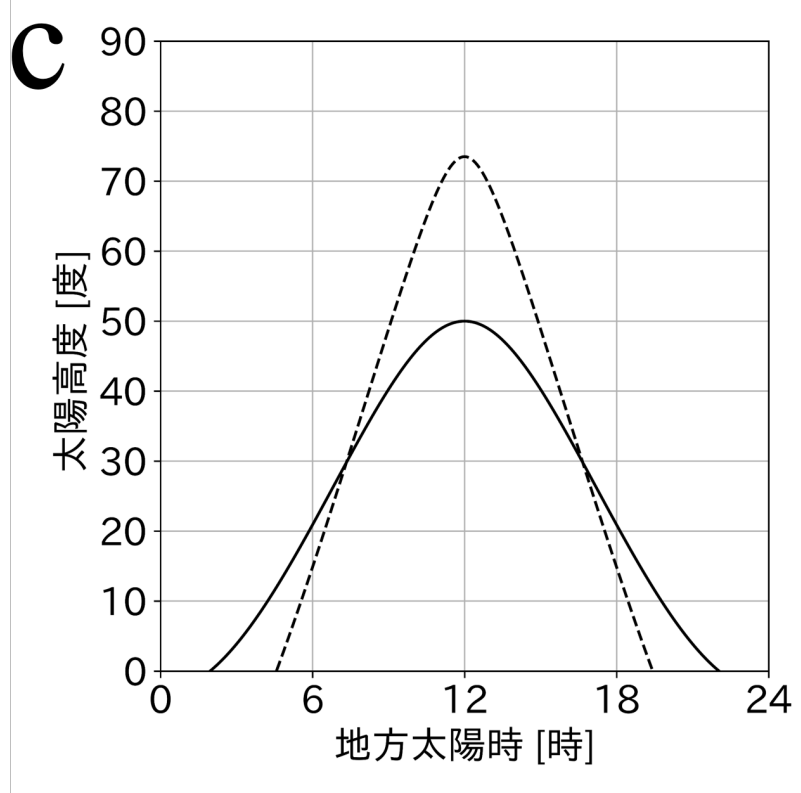
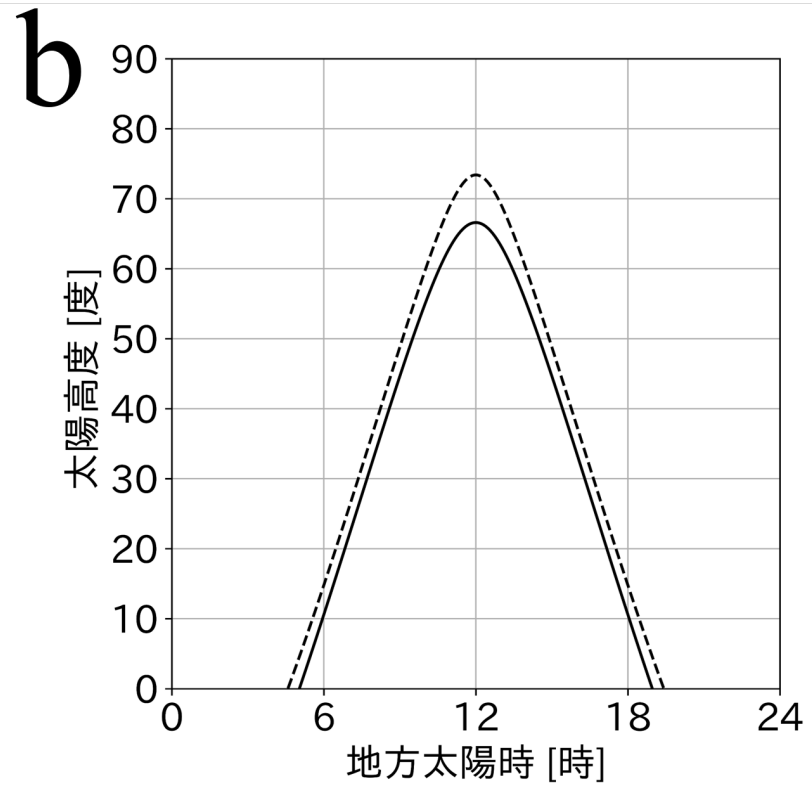
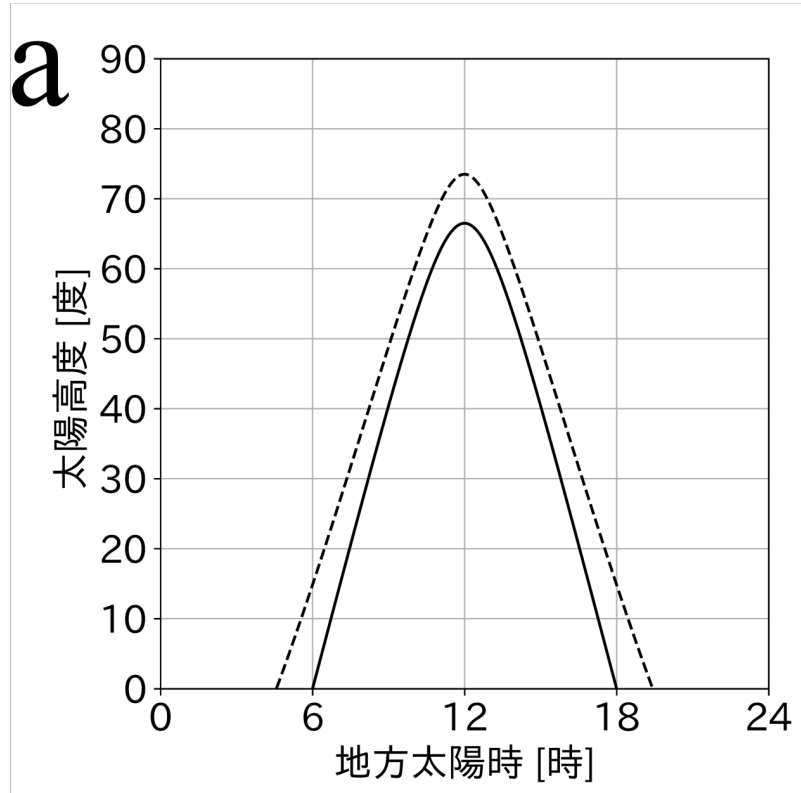


図 15: ある日の太陽高度の変化



	ア	イ
①	a	c
②	a	d
③	b	c
④	b	d

問 33. ある質量 M の恒星の周りを質量 m の惑星が、図 16 に示した、近点距離 R 、遠点距離 $3R$ の楕円軌道を描きながら反時計回りに公転している。なお、図 16 において、P, X, A は楕円の頂点であり、S は恒星の位置を表す。この恒星-惑星系について、以下の問いに答えよ。必要ならば、長半径 a 、短半径 b の楕円の面積は、 $ab\pi$ で求められることを用いてよい。また、万有引力定数を G とする。

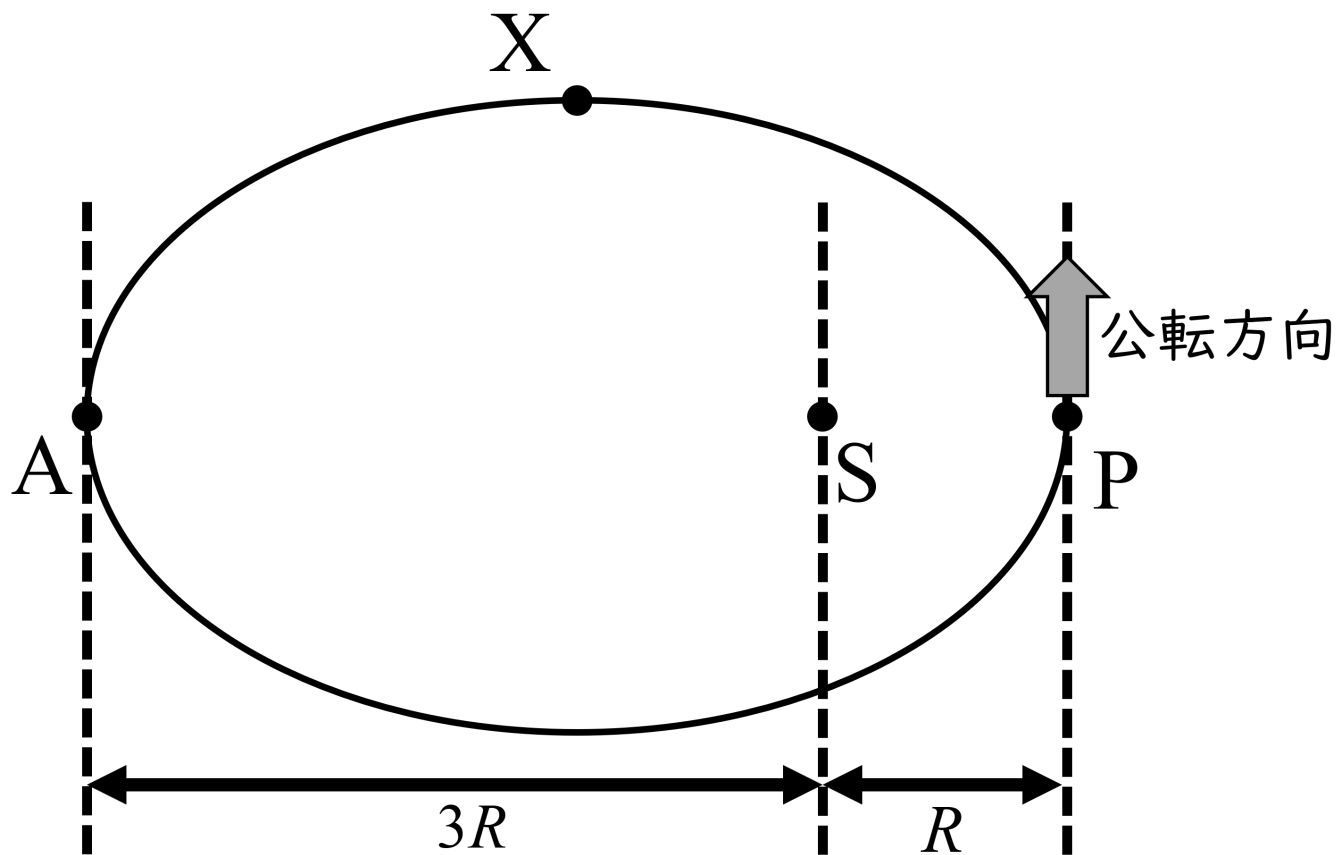


図 16: 公転軌道の模式図

(1) 近点での惑星の公転速度 v_P を求めよ。 38

- | | | |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| ① $\sqrt{\frac{GM}{6R}}$ | ② $\sqrt{\frac{GM}{3R}}$ | ③ $\sqrt{\frac{2GM}{3R}}$ |
| ④ $\sqrt{\frac{3GM}{2R}}$ | ⑤ $\sqrt{\frac{3GM}{R}}$ | ⑥ $\sqrt{\frac{6GM}{R}}$ |

(2) この公転軌道の短半径を求めよ。 39

- | | | | |
|-------|---------------|---------------|--------|
| ① R | ② $\sqrt{2}R$ | ③ $\sqrt{3}R$ | ④ $2R$ |
|-------|---------------|---------------|--------|

(3) 惑星が P を通過してから最初に X を通過するまでにかかる時間を求めよ。 40

① $(\pi - 1)\sqrt{\frac{R^3}{6GM}}$

② $(\pi - 1)\sqrt{\frac{R^3}{3GM}}$

③ $(\pi - 1)\sqrt{\frac{R^3}{2GM}}$

④ $(\pi - 1)\sqrt{\frac{2R^3}{GM}}$

⑤ $(\pi - 1)\sqrt{\frac{3R^3}{GM}}$

⑥ $(\pi - 1)\sqrt{\frac{6R^3}{GM}}$

問 34. オリオン座のミンタカ (赤経 $05^{\text{h}} 32^{\text{m}}$, 赤緯 $-0^{\circ}17'$) は, ほぼ天の赤道上に位置する恒星である。2024 年のある日の日本標準時 20 時に, 地点 A (北緯 45° , 東経 135°) において南東の空を眺めると, ミンタカが高度 30° に観測された。以下の問いに答えよ。

(1) このときのミンタカの時角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 3^{h} ② 4^{h} ③ 20^{h} ④ 21^{h}

(2) 観測を行った日付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 12月13日 ② 12月29日 ③ 1月13日 ④ 1月29日

問 35. 惑星 S の周りを質量 5.0×10^{17} kg の衛星 E と質量 2.0×10^{18} kg の衛星 J が、相互に影響を及ぼしあいながら公転している。これらの衛星の運動について、以下の問いに答えよ。ただし、衛星の質量は、惑星の質量に比べて十分に小さいものとしてよい。

(1) 衛星 E と衛星 J が相互に影響を与えないとき、それぞれの衛星は、惑星 S を中心とする円軌道を描いている。衛星 E の軌道半径は 1.5×10^5 km であり、衛星 J の軌道半径は衛星 E より 50 km 大きい。このとき、衛星 E が惑星 S の周りを一日あたりに動く角度は、衛星 J が惑星 S の周りを一日あたりに動く角度よりも何度大きいか、最も適当なものを、次の ①～④のうちから一つ選べ。ただし、衛星 E が円運動をすると仮定した場合の公転周期はおよそ 0.69 日である。必要ならば、 $|x| \ll 1$ に対して成り立つ近似式 $(1+x)^\alpha \simeq 1+\alpha x$ を用いてよい。 43

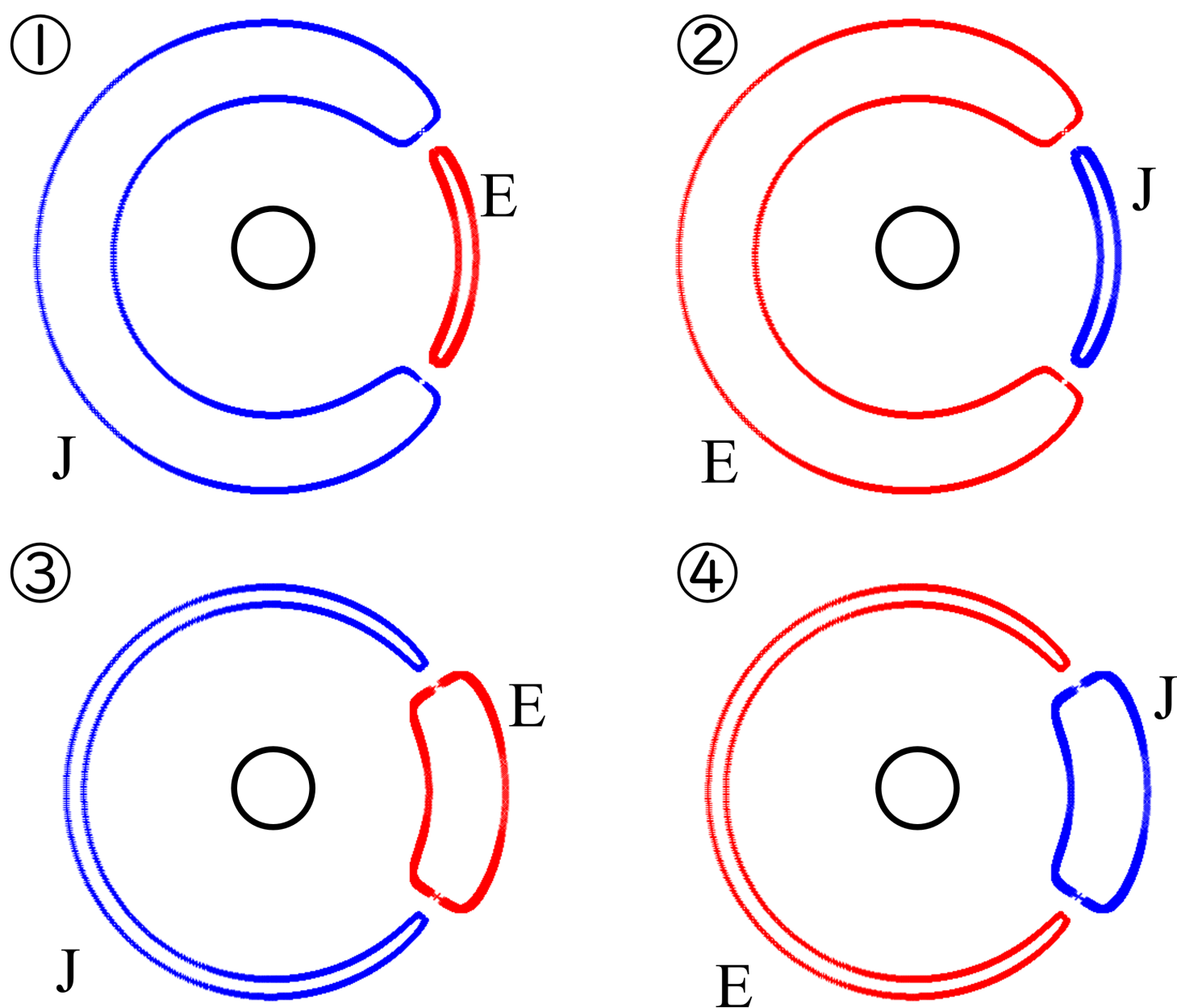
- ① -0.52° ② -0.26° ③ 0.26° ④ 0.52°

(2) 次の文章中の ア ・ イ に入れる語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。ただし、角運動量は回転運動の勢いを表す物理量で、速度 v で半径 r の円運動をしている質量 m の物体の角運動量は $mr v$ で表される。また、外力のない系について角運動量の合計は一定に保たれる。 44

前問 (1) の状況からしばらく時間が経ち、衛星 E と衛星 J が軌道上で接近すると、互いの重力の影響で、衛星 E の角運動量が増加した。このとき、中心天体の周りを半径 R の円軌道に沿って運動する質量 m の天体の角運動量は ア に比例するので、角運動量の増加に伴って衛星 E の公転半径は イ なる。また、衛星 J は衛星 E と逆の効果を受ける。

	ア	イ
①	$mR^{1/2}$	小さく
②	$mR^{1/2}$	大きく
③	$mR^{-1/2}$	小さく
④	$mR^{-1/2}$	大きく

- (3) 衛星 E と衛星 J の軌道を、適切な一定の角速度で回転している座標系 (回転座標系) から見ると、①～④のいずれかになることが知られている。最も適当だと考えられるものを、次の①～④のうちから一つ選べ。なお、衛星 E の軌道は赤、衛星 J の軌道は青で示されており、衛星の軌道半径や、衛星 E、衛星 J の軌道半径の差は実際よりも強調されている。また、各選択肢中央の黒丸は惑星 S を表す。 45



問 36. 望遠鏡の構造について、以下の問いに答えよ。

- (1) 2枚の凸レンズを図 17 のように並べ、光軸に平行な光を左から入射させたところ、赤い破線で示した光路を通り、光軸に平行な光が出てきた。同じ2枚の凸レンズに、図 17 中の青い矢印で示した方向から入射する光線が通る光路の概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。ただし、選択肢中の赤い破線は、図 17 中の赤い破線と同じ光路を示している。 46

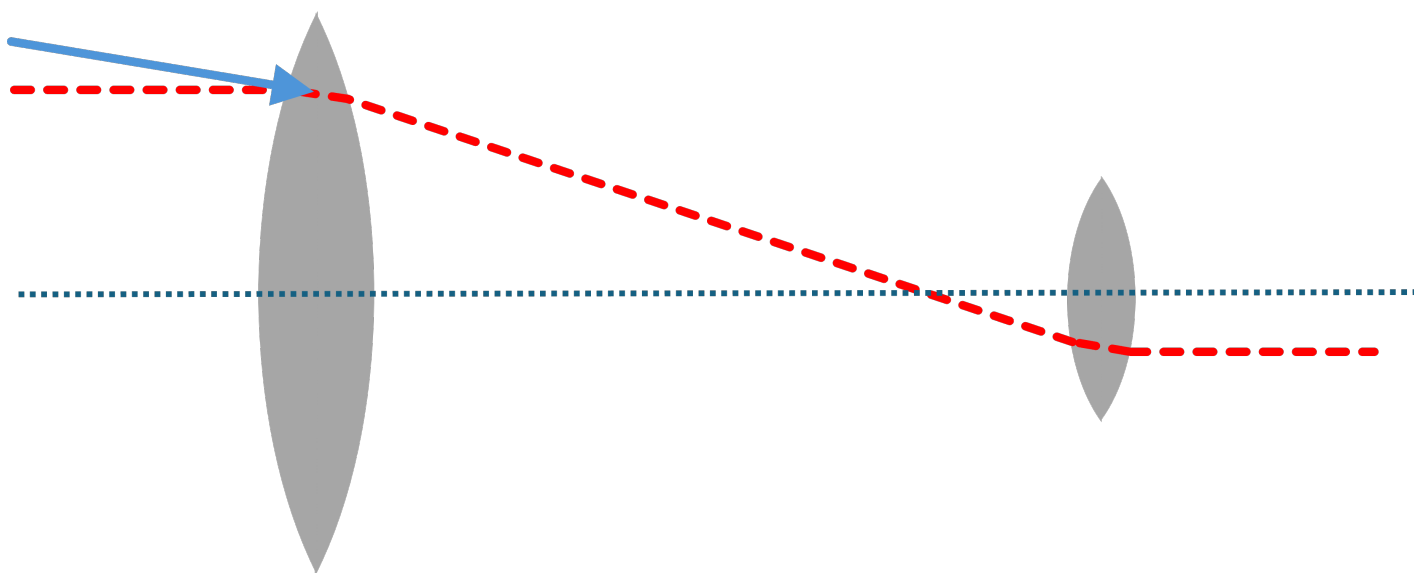
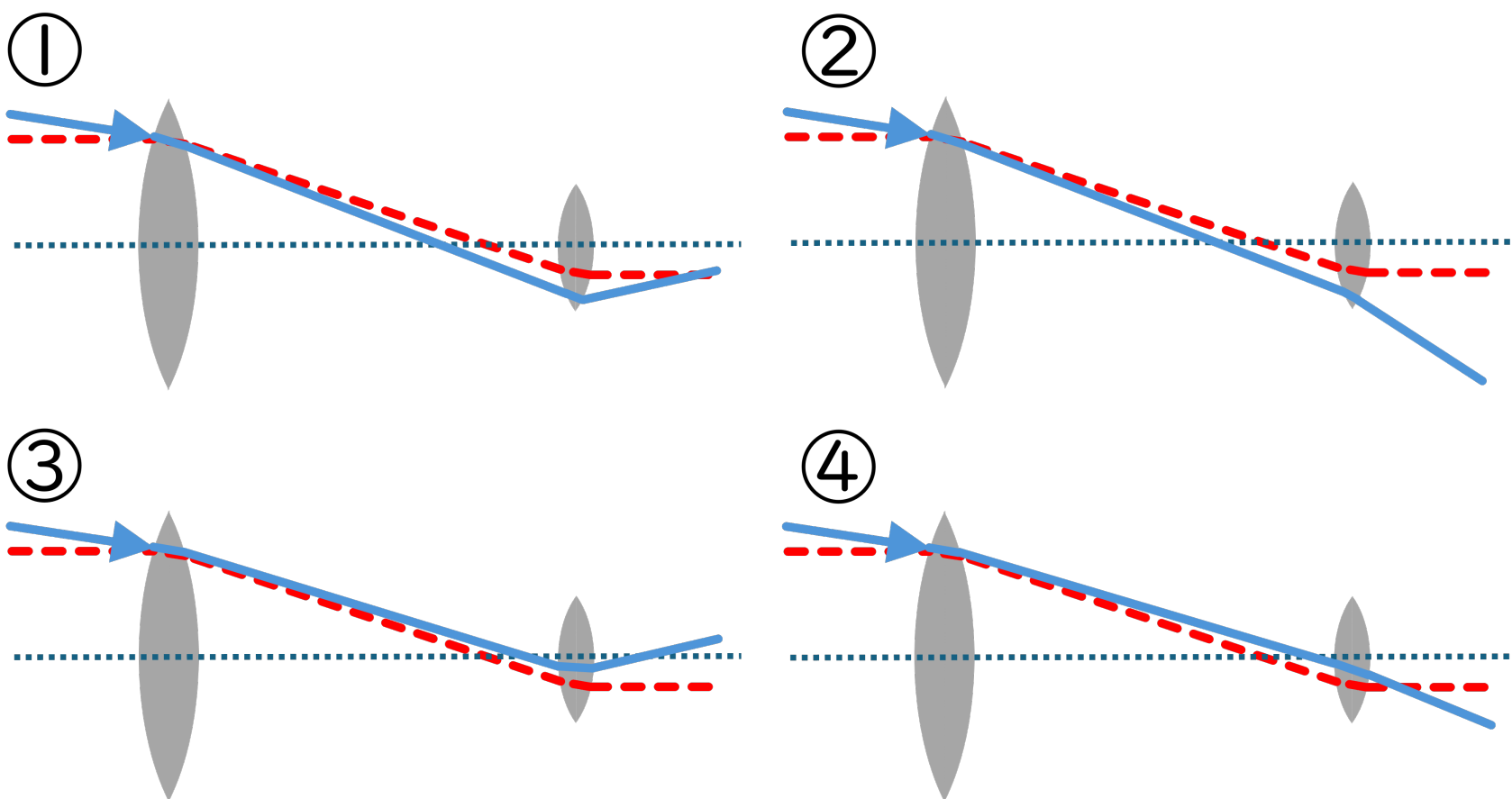


図 17: 2枚の凸レンズを通る光路



- (2) 2024年3月20日の午前9時ごろに東京で、太陽が東の空から南の空へ昇っていく様子が観られた。これをケプラー式望遠鏡と太陽投影板を用いて観察した。太陽を背にして板を覗くと、太陽は図18のように投影されていた。このあとに投影された太陽が動く方向として最も適切なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。 47

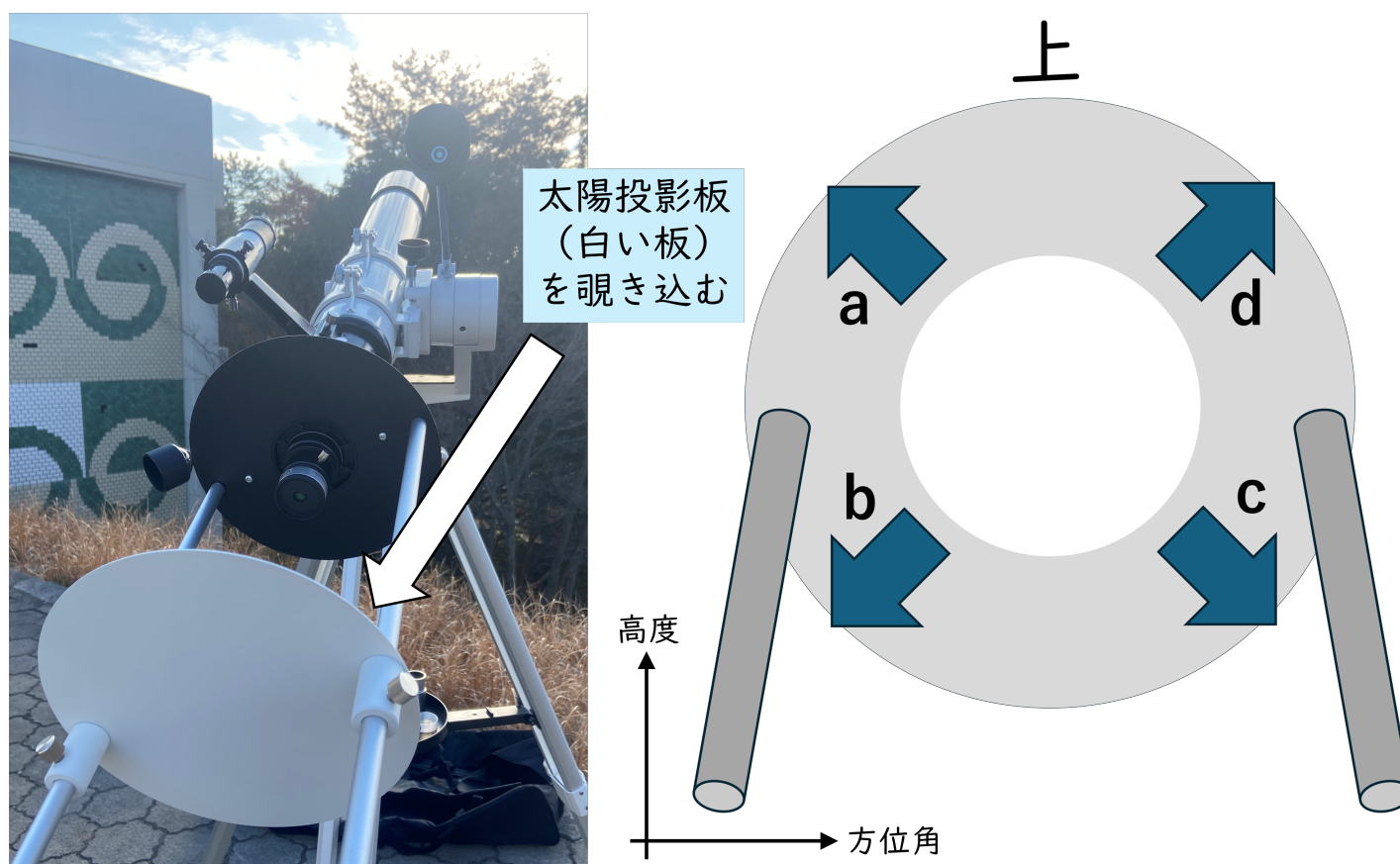


図18: ケプラー式望遠鏡と太陽投影板, および投影された太陽

- ① a ② b ③ c ④ d

問 37. 恒星 S と惑星 X からなる系外惑星系を考える。地球からこの系外惑星系のトランジットを観測できた。光度曲線を図 19 に示す。図 19 に描かれている通り、惑星面の中心が恒星面に入ってから出るまでにかかった時間は 1.15×10^4 s であった。また、惑星 X の公転周期は 0.125 年であった。なお、別の観測から、恒星 S は太陽と質量、半径が同じであることが分かっている。以下の問いに答えよ。ただし、太陽の半径は 6.9×10^5 km, 地球の公転速度は 30 km/s であることを用いてもよい。

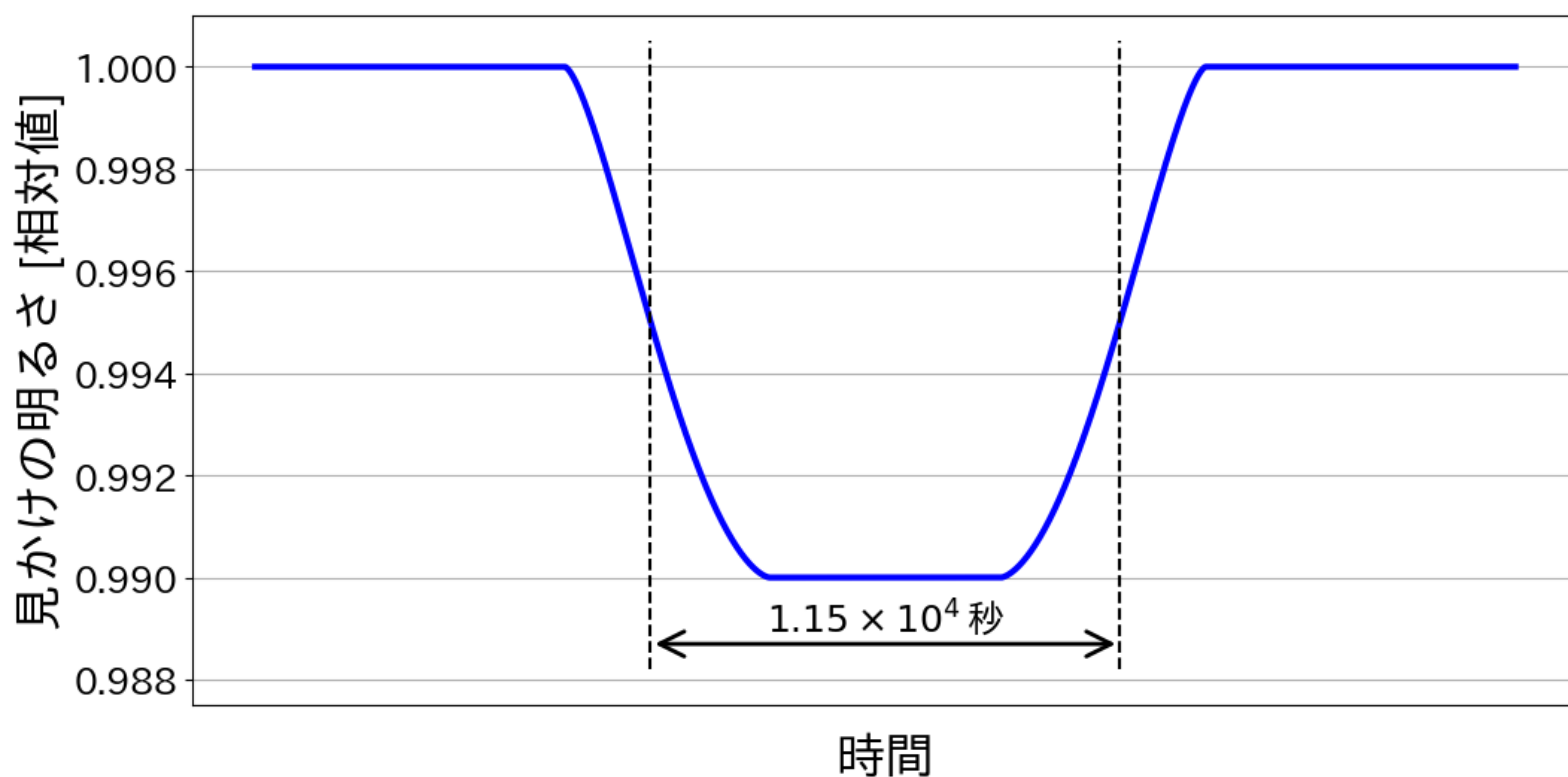


図 19: 光度曲線

- (1) 惑星 X と最も半径に近いものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

48

- ① 水星 ② 地球 ③ 木星 ④ 天王星

- (2) 惑星 X の公転速度として最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

49

- ① 10 km/s
 ② 15 km/s
 ③ 30 km/s
 ④ 60 km/s
 ⑤ 90 km/s

- (3) 惑星 X が恒星 S の恒星面のどこを通過したと考えられるか, 選択肢の中で最も適当なものを, 次の①～④のうちから1つ選べ。 50

