

ISS の観測と高度測定

田所 怜奈 (高3)

【群馬県立前橋女子高等学校】

1 目的

ISS (国際宇宙ステーション) の一地点写真観測を行い、高度と速度の相関関係から ISS の高度を間接的に求める。

2 理論

ほぼ円運動で地球を周回する飛翔体 (ISS 等) の速度 v と地表からの高度 h には、次の関係が成り立つ。

①万有引力と遠心力のつり合いより $v^2 = gR^2 / (R+h)$ g : 重力加速度 R : 地球半径

②飛翔体が地表の観測者に最も近づいた瞬間、速度と角速度の関係式より $v = x\omega$

x : 観測者からの距離 (h の関数) ω : 見かけの角速度 (観測可能)

ω を観測し、①と②を連立すれば、飛翔体の速度 v と高度 h を導くことができると考えた。

3 観測

2011年1月13日17時35分~17時41分、前橋女子高校屋上にて、露出時間を5秒に設定しISSの軌跡を34枚撮影した。同日18時5分に同条件でオリオン座周辺の星を撮影した。

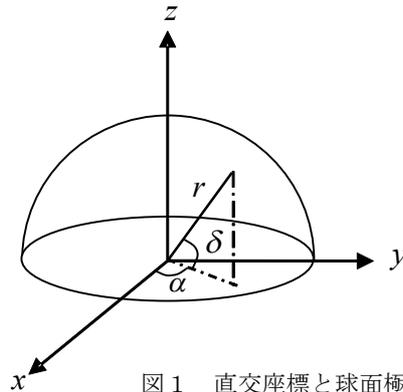


図1 直交座標と球面極座標

4 計算過程

(1)写真の画素数から角度への変換

ベテルギウス、リゲル、アルデバラン、カペラの四恒星間の離角を、次の方法で求めた。恒星の位置を球面極座標 (r, δ, α) から直交座標 (x, y, z) に変換すると、

$x = r \cos \delta \cos \alpha$ 、 $y = r \cos \delta \sin \alpha$ 、 $z = r \sin \delta$ と表すことが

できる。(r は天球面の半径、 δ 、 α はそれぞれ赤緯、赤経を示す。)

恒星 a $(x_a, y_a, z_a) = (r \cos \delta_a \cos \alpha_a, r \cos \delta_a \sin \alpha_a, r \sin \delta_a)$ 、恒星 b $(x_b, y_b, z_b) = (r \cos \delta_b \cos \alpha_b, r \cos \delta_b \sin \alpha_b, r \sin \delta_b)$ として、各恒星間の直線距離 C を次の式で求めた。

$C^2 = (\cos \delta_a \cos \alpha_a - \cos \delta_b \cos \alpha_b)^2 + (\cos \delta_a \sin \alpha_a - \cos \delta_b \sin \alpha_b)^2 + (\sin \delta_a - \sin \delta_b)^2$

$$+ (\sin \delta_a - \sin \delta_b)^2$$

ここから、余弦定理より各恒星間の離角 θ を次の式で求めた。

$$\theta = \arccos (1 - C^2/2)$$

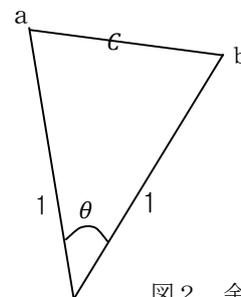
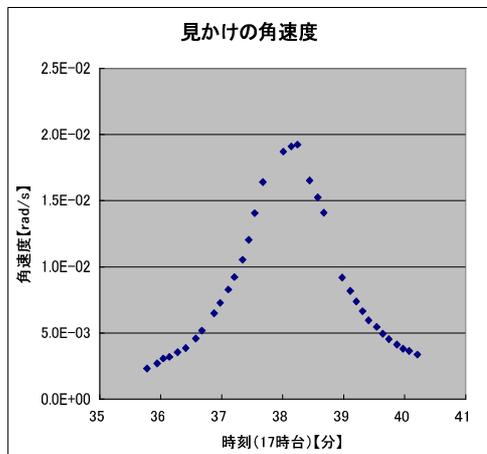


図2 余弦定理

次に、すばる画像処理ソフト・マカリを用いて、各恒星間の写真上での距離を pix 単位で求めた。その結果とさきほど求めた離角 θ から、1pix あたりの角度を求めたところ、最大値は 3.237×10^{-4} 【rad/pix】、最小値は 2.997×10^{-4} 【rad/pix】 となった。平均値を計算したところ、 3.104×10^{-4} 【rad/pix】 となった。



(2)ISS の見かけの角速度の最大値を求める

マカリを使って、ISS の軌跡の始点座標と終点座標を pix 単位で算出し、軌跡の画素数を計算した。次の式で各時刻での ISS の角速度を求めたところ、左のグラフのようになった。

軌跡の画素数 \times 1pix あたりの角度 / 露出時間(5 秒)

最大角速度 ω は 1.92×10^{-2} 【rad/s】 と推定された。

(3)ISS の速度と高度を求める

観測された ISS の最大仰角を β とする。今回、 β の値は JAXA のウェブサイト参照したが、本来は観測可能な数値である。図 3 より余弦定理を用いて $x = -R \sin \beta + \sqrt{R^2 \sin^2 \beta + h(2R + h)}$ と算出した。観測速度 $v = x\omega$ と計算速度 $v = R\sqrt{g/(R + h)}$ に組み込まれている h の値を $0\text{m} \sim 5.2 \times 10^5\text{m}$ まで $1.0 \times 10^4\text{m}$ 刻みで当てはめ、2つの速度の速度差が最小となる h を求めたところ、 $3.7 \times 10^5\text{m} \sim 3.8 \times 10^5\text{m}$ となった。同じ方法でさらに細かく調べ、 $h = 3.765 \times 10^5\text{m}$ となった。

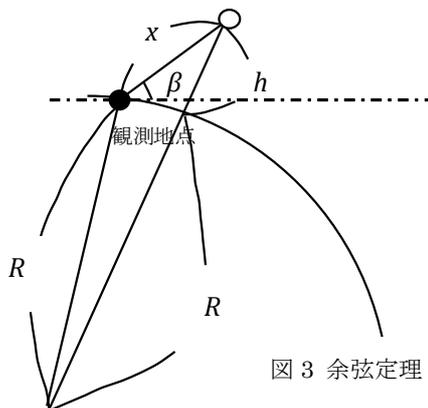


図 3 余弦定理

5 結果と考察

求めた値 $x = 3.99 \times 10^5\text{m}$ と、JAXA のウェブサイトに記載されていた $x = 3.72 \times 10^5\text{m}$ の値を比べると、+7.31%の誤差があることが分かった。今回誤差が生じた原因は、次のような事が挙げられる。

- ・求めた 1pix あたりの角度にばらつきが生じた事。撮影に使用したカメラのレンズが 18mm であり、写真の歪みが大きくなり、離角に誤差が生じたためと思われる。
- ・見かけの角速度のグラフを見ると、角速度が大きい時の値が、滑らかな曲線から下にずれていると思われる。

今回の反省点を生かし、これからも観測を続け、ジュニアセッションでは今後の研究についても発表したいと思う。

<参考文献>

DIMM のピクセルサイズ測定(Web) / <http://www.astr.tohoku.ac.jp/~ichikawa/antarctic/report/Pixelsize.pdf>

宇宙航空研究開発機構 JAXA (Web) / <http://www.jaxa.jp/>

天文年鑑 2011 年版 (書籍) / 誠文堂新光社