

ISSの観測と高度測定 第二報

松本有理佳、只木莉緒奈、吉村まな美 (高1)

【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】

1. 目的

第一報では、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た。第二報では前回の反省を踏まえ、より正確な値を求めることを目的とする。

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 , 地表からの高度 h , 最高高度における観測者からの直距離 x 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

$$v = R \sqrt{g/(R+h)} \quad g: \text{重力加速度} \quad R: \text{地球半径}$$

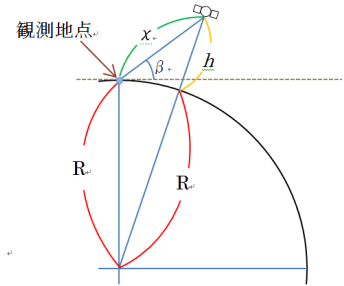
② 飛翔体が地表の観測者に最も近づいた瞬間、速度と角速度の関係式より

$$v = x\omega \quad \omega: \text{見かけの角速度の最大値 (観測可能)}$$

③ 右図の余弦定理より

$$x = -R\sin\beta + \sqrt{R^2 \sin^2 \beta + h(2R+h)} \quad \beta: \text{ISSの最大仰角 (観測可能)}$$

以上3式を連立すれば、飛翔体の速度 v , 高度 h , 直距離 x を導けるという仮説 (第一報) に基づく。



3. 観測

第一報で行った観測と処理を方法1、それを元に改善した観測と処理を方法2とする。

(方法1) Nikon D60を使用し、露出時間を2.0秒にして、前橋女子高校にてISSの軌跡の撮影を試みた。

(方法2) Nikon D7000を使用し、方法1と同じように撮影した。

※方法2の改善点の詳細

- ・カメラ…Nikon D60 (リモコン手動撮影) からD7000 (インターバル自動撮影) に換えた。
- ・レンズ…ズームレンズから単焦点レンズに換え、撮影日ごとの視野角のばらつきをなくした。
- ・解析…線形解析に非線形解析を追加し、視野内の画角補正をした。※詳細は項目4参照

観測の詳細は以下の通りである。

観測日	時刻	方法	処理枚数	最大仰角	方位角	成否
2011.11.16	5:46	方法1	24枚	37度	127度	○
2011.11.18	5:27	方法1	15枚	80度	60度	○
2011.12.05	5:34	方法1	25枚	47度	55度	○
2011.12.07	5:17	方法1	0枚	70度	227度	撮影失敗
2011.12.16	18:16	方法1	32枚	56度	277度	○
2011.12.17	17:20	方法1	26枚	52度	132度	○
2011.12.18	18:00	方法1	0枚	31度	323度	撮影失敗
2011.12.19	17:04	方法1	21枚	66度	330度	○
2012.01.15	6:02	方法2	10枚	65度	147度	○
2012.01.17	5:46	方法2	0枚	53度	329度	天候不良

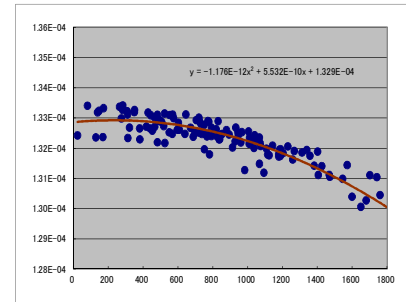
4. 計算過程

(1) 写真の画素数から角度への変換

北斗七星を日時、向きを変えて6枚撮影し、すばる画像処理ソフト・マカリを用いて北斗七星を構成する七星間の写真上での距離 (pix単位) を求めた。次に、各恒星間の離角を下記ウェブサイトにより調べた。これらの比較から、1pixあたりの角度 [rad] は右図のように写真中心からの距離 r [pix] の関数となり、D7000 においては次のように表すことができる。

(線形) 平均値 1.321×10^{-4} [rad/pix]

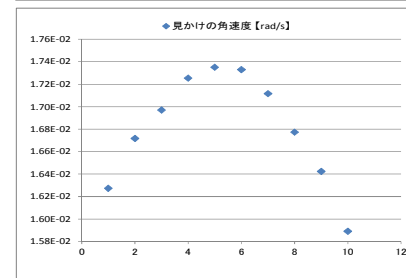
(非線形) 関数 $y = -1.176 \times 10^{-12} r^2 + 5.532 \times 10^{-10} r + 1.329 \times 10^{-4}$



(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の見かけの角速度を求めたところ、右図のようになった。2012年1月15日の角速度の最大値は 1.74×10^{-2} [rad/s] となった。

$$\text{見かけの角速度} = \frac{\text{軌跡の画素数} \times 1\text{pixあたりの角度}}{\text{露出時間 (2.0s)}}$$



観測結果	露出開始時刻		露出時間		代表時刻		始点座標		終点座標		軌跡画素数		【線形変換】		【非線形変換】	
	[min]	[sec]	[min+sec]	[s]	[min+sec]	x	y	x	y	(pix)	瞬間回転角 [rad]	瞬間角速度 [rad/s]	離心距離 (pix)	面差角変換 [rad]	瞬間回転角 [rad]	瞬間角速度 [rad/s]
2854	2	44	2.733	2	2.717	4805.21	325.45	4548.87	304.00	257.24	3.40E-02	1.70E-02	2575.41	1.27E-04	3.25E-02	1.63E-02
2855	2	48	2.800	2	2.783	4312.39	283.45	4052.93	263.12	260.26	3.44E-02	1.72E-02	2191.24	1.28E-04	3.34E-02	1.67E-02
2856	2	52	2.867	2	2.850	3813.47	243.53	3552.86	224.34	261.32	3.45E-02	1.73E-02	1895.88	1.30E-04	3.39E-02	1.70E-02
2857	2	56	2.933	2	2.917	3311.26	206.45	3047.92	189.12	263.91	3.49E-02	1.74E-02	1604.39	1.31E-04	3.45E-02	1.73E-02

(3) ISSの速度と角度を求める

①理論式、②③観測式に組み込まれている h の値を $0 \text{ m} \sim 5.0 \times 10^5 \text{ m}$ 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。2012年1月15日のデータでは $4.0 \times 10^5 \text{ m} \sim 4.1 \times 10^5 \text{ m}$ となった。同じ方法でさらに細かく調べ、 $h = 4.03 \times 10^5 \text{ m}$ となった。以上の値は非線形の関数で算出した値である。

観測結果	計算速度 [m/s]	観測速度 [m/s]	【線形】		【非線形】	
			速度差 [m/s]	観測速度(非) [m/s]	速度差 [m/s]	
260000	7.75E+03	4.99E+03	2.75E+03	4.96E+03	2.79E+03	
270000	7.74E+03	5.18E+03	2.56E+03	5.15E+03	2.60E+03	
280000	7.74E+03	5.38E+03	2.36E+03	5.34E+03	2.40E+03	
290000	7.73E+03	5.57E+03	2.16E+03	5.53E+03	2.20E+03	
300000	7.72E+03	5.76E+03	1.97E+03	5.72E+03	2.01E+03	
310000	7.72E+03	5.95E+03	1.77E+03	5.91E+03	1.81E+03	
320000	7.71E+03	6.14E+03	1.57E+03	6.09E+03	1.62E+03	
330000	7.71E+03	6.33E+03	1.38E+03	6.28E+03	1.42E+03	
340000	7.70E+03	6.52E+03	1.18E+03	6.47E+03	1.23E+03	
350000	7.70E+03	6.71E+03	9.83E+02	6.66E+03	1.03E+03	
360000	7.69E+03	6.90E+03	7.86E+02	6.85E+03	8.37E+02	
370000	7.68E+03	7.09E+03	5.90E+02	7.04E+03	6.42E+02	
380000	7.68E+03	7.28E+03	3.93E+02	7.23E+03	4.47E+02	
390000	7.67E+03	7.46E+03	1.97E+02	7.42E+03	2.52E+02	
400000	7.67E+03	7.67E+03	1.00E+00	7.61E+03	5.78E+01	
410000	7.66E+03	7.86E+03	-1.95E+02	7.80E+03	-1.37E+02	
420000	7.66E+03	8.05E+03	-3.91E+02	7.99E+03	-3.32E+02	

5. 結果と考察

観測日	2011.11.16	2011.11.18	2011.12.05	2011.12.16	2011.12.17	2011.12.19	2012.01.15
高度 h [m]	3.78×10^5	3.95×10^5	3.84×10^5	4.56×10^5	4.02×10^5	4.39×10^5	4.03×10^5
(誤差)	(+1.5%)	(+5.3%)	(+2.4%)	(+13.0%)	(-0.9%)	(+8.0%)	(+0.4%)

方法2で求めた値 $h = 4.03 \times 10^5 \text{ m}$ と、JAXAのウェブサイトに記載されていた直距離より算出した $h_J = 4.01 \times 10^5 \text{ m}$ の値を比べると、+0.4%の誤差が生じた。方法1での解析結果の誤差と比較すると、方法2では誤差の値が小さくなり、精度が上がったことがわかる。今回は方法2の観測を一度しか行えなかったが、これから観測を重ね、観測と解析の精度をあげてジュニアセッションではより正確な値を発表したい。また、地球の自転とISSの運動は同じ方向であるため、自転の影響でISSの見かけの運動は遅くなる。よって、現在観測しているISSの高度は、本来の値より+3%ほどの誤差が生じるはずである。更なる改善点として、地球の自転の影響を考慮すれば、JAXAの提示する高度により近づくとと思われる。

<参考> JAXA(Web) <http://www.jaxa.jp/> SIMBAD Astronomical Database(Web) <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>