

## 国際宇宙ステーションの観測と高度測定

松本有理佳<sup>1\*</sup>, 只木莉緒奈<sup>1\*</sup>, 吉村まな美<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>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  $v$ , 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

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

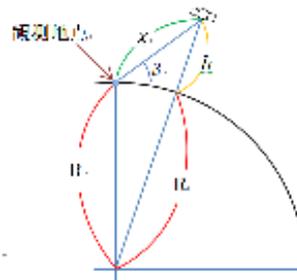
② 飛翔体が地表の観測者に最も近づいた瞬間、速度と角速度の関係式より

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

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  $x$  を導けるといふ仮説に基づく。



### 3. 観測

**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、同様に撮影した。

※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
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
2011.12.16	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
2011.12.19	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
2012.02.03	5:50	方法 2	10 枚	77 度	10 度
2012.0205	5:33	方法 2	11 枚	43 度	213 度
2012.02.12	18:45	方法 2	9 枚	73 度	85 度
2012.04.06	4:26	方法 2	12 枚	58 度	19 度
2012.04.08	4:11	方法 2	11 枚	56 度	237 度
2012.04.28	19:47	方法 2	9 枚	70 度	245 度

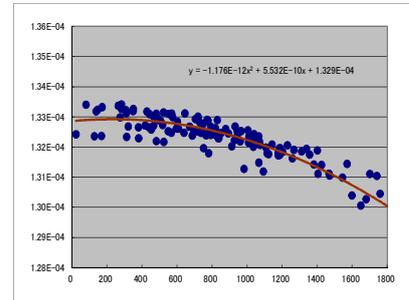
## 4. 計算過程

### (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の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  $r$  の関数となり、NikonD7000 においては、次のように表すことができる。

(線形) 平均値  $1.321 \times 10^{-4}$  [rad/pix]

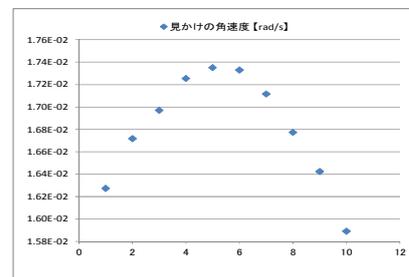
(非線形) 関数  $y = -1.176 \times 10^{-12} r^2 + 5.532 \times 10^{-10} r + 1.329 \times 10^{-4}$



### (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、右のグラフのようになる。

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



観測結果						【線形変換】		【非線形変換】							
観測時刻	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	観測回角	観測回角	観測回角						
[min]	[min]	[sec]	[min/1000]	x	y	[pix]	[rad]	[rad]	[rad]						
2854	2	44	2.733	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	2.783	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	2.850	3813.47	243.53	3552.96	224.34	261.32	3.45E-02	1.73E-02	1855.88	1.30E-04	3.39E-02	1.70E-02
2857	2	56	2.933	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。同じ方法で  $100\text{m}$  刻みまで調べ、 $h$  の値を求める。

観測時刻	【線形】		【非線形】	
	計算速度	観測速度	速度差	観測速度(非)
h [m]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
280000	7.75E+03	4.99E+03	2.75E+03	4.96E+03
270000	7.74E+03	5.18E+03	2.56E+03	5.15E+03
280000	7.74E+03	5.38E+03	2.36E+03	5.34E+03
290000	7.72E+03	5.57E+03	2.18E+03	5.53E+03
300000	7.72E+03	5.76E+03	1.97E+03	5.72E+03
310000	7.72E+03	5.95E+03	1.77E+03	5.91E+03
320000	7.71E+03	6.14E+03	1.57E+03	6.09E+03
330000	7.71E+03	6.33E+03	1.38E+03	6.28E+03
340000	7.70E+03	6.52E+03	1.18E+03	6.47E+03
350000	7.70E+03	6.71E+03	9.83E+02	6.66E+03
360000	7.69E+03	6.90E+03	7.82E+02	6.85E+03
370000	7.68E+03	7.09E+03	5.90E+02	7.04E+03
380000	7.68E+03	7.28E+03	3.98E+02	7.23E+03
390000	7.67E+03	7.48E+03	1.97E+02	7.42E+03
400000	7.67E+03	7.67E+03	1.00E+00	7.61E+03
410000	7.66E+03	7.86E+03	-1.95E+02	7.80E+03
420000	7.66E+03	8.05E+03	-3.91E+02	7.99E+03

## 5. 結果と考察

方法1での結果

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

方法2での結果

観測日	2012.01.15	2012.02.03	2012.02.05	2012.02.12	2012.04.06	2012.04.08	2012.04.28
高度 $h$ [m]	$4.03 \times 10^5$	$4.09 \times 10^5$	$3.94 \times 10^5$	$3.88 \times 10^5$	$4.03 \times 10^5$	$3.97 \times 10^5$	$4.15 \times 10^5$
(誤差)	(+0.4%)	(+1.5%)	(-2.1%)	(+2.1%)	(+0.6%)	(-0.2%)	(+2.9%)

## Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



方法2で求めた値と方法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。これから観測を重ね、観測と解析の精度をあげて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。

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