

眼視観測による国際宇宙ステーションの軌道速度の測定

北川翔太 新井雄太（高2）【東京工業大学附属科学技術高等学校 科学部】

国際宇宙ステーション(ISS)は上空約400kmを周回する有人人工衛星で、肉眼で観測することが可能である。このISSの軌道速度を全国の眼視観測者からの目撃報告を元に求めた。

1. 国際宇宙ステーション(ISS)観測イベント『きぼう、みつけた！』

科学部では、イベント“きぼう、みつけた！”を主催していて、全国の観測者からISSの目撃報告(都道府県・時刻等)を集め対地軌道を描き出す試みを行っている。

“きぼう、みつけた！” http://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci_club/event.html

今回、専門報告として、有志の方々から通常の報告に加え、観測点の緯度・経度、及びISSの子午線通過時刻(秒単位)の報告をしていただいた。

2. 作図法による軌道速度の算出

観測点とISSの位置関係は図1の通りである。ISSが観測者の子午線を通る位置の直下点をP,Qとし、この2点に北極Nを加え球面三角を構成する。ここに球面三角法の余弦法則を適用すると次の通りである。

$\cos \theta = \cos \{ \cos(90^\circ - \phi_1) \times \cos(90^\circ - \phi_2) + \sin(90^\circ - \phi_1) \times \sin(90^\circ - \phi_2) \times \cos(\Delta \lambda) \}$ 式1
P,Qの経度は観測点A,Bの経度 λ と同じであるが、緯度 ϕ は観測日のGround Track^[1](対地軌道図)から作図により求めた。ISSの軌道速度Vは、P,Q間の距離Lと移動にかかった時間 Δt から計算する(式2)。ここで、軌道半径(R+h)は、地球の半径R=6356 [km]とし、hには観測日のISSの高度351 [km/s]^[2]を代入する。

$$V = \frac{L}{\Delta t} = \frac{\{ 2\pi(R+h) \times (\frac{\theta^\circ}{360^\circ}) \}}{t_2 - t_1} \quad \text{式2}$$

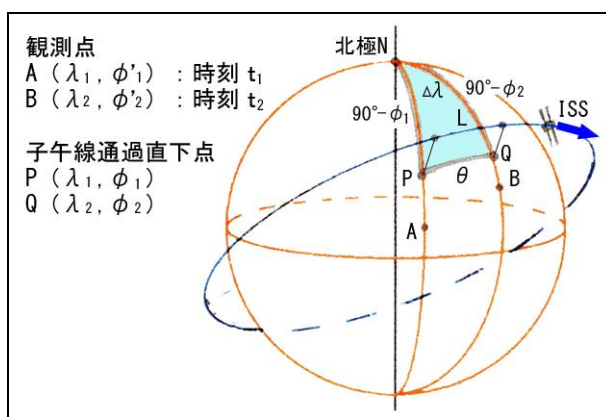


図1 ISSの軌道と観測点

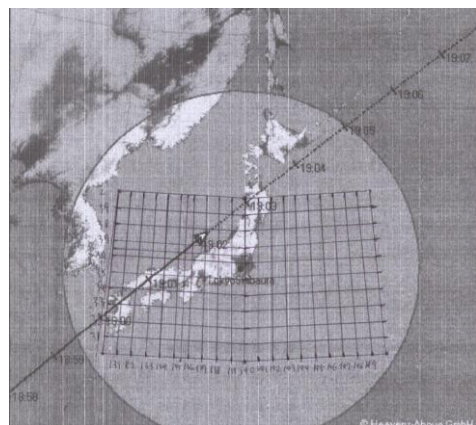


図2 2011年2月22日のISS対地軌道図
(1目盛り1°)

3. 結果とまとめ

今まで、観測は2010年3月3日、12月26日、2011年2月20、22日の4回行った。最初3回の結果から、図2の目盛りの精度により、軌道速度に±1.0 [km/s]の誤差が生じるとわかった。また作図法では、経度差Δλを広くとる必要があるとわかった。以上をふまえて、2011年2月22日の観測について検討する。

表1 2011年2月22日の報告一覧 (写真観測報告は除く)

記号	都道府県	子午線通過時刻 t	観測点		ISS 軌道直下点 の緯度 φ
			経度 λ (東経)	緯度 φ' (北緯)	
A1	大阪府	18時18分29秒	135.734°	34度47分57.08秒	37.5°
A2	兵庫県	18時18分38秒	135.465°	34°44'41.4691	37.5°
A3	兵庫県	18時18分35秒	135.213°	34度54分36秒	37.5°
A4	和歌山県	18時18分48秒	135.18°	34.219度	37.5°
B1	群馬県	18時19分41秒	139.06°	36.39度	40.0°
B2	埼玉県	18時19分51秒	139.712°	35度49分58秒	40.0°
B3	東京都	18時19分44秒	139.817°	35度38分40秒	40.0°
B4	東京都	18時19分31秒	139.598°	35度43分5秒	40.0°

表2 観測点の組み合わせと軌道速度

	B1	B2	B3	B4
A1	5.85	5.69	6.31	7.39
A2	6.98	6.65	7.47	9.00
A3	6.92	6.63	7.42	8.85
A4	8.66	8.04	9.18	11.6

[km/s]

★参照値

ISSに働く万有引力が向心力であることより、

$$\text{参照値 } V' = \sqrt{\frac{GM}{(R+h)}} = 7.70 \text{ [km/s]}$$

(G=6.67 × 10⁻¹¹ [N・m²・kg⁻²], 地球の質量M=5.974 × 10²⁴ [kg])

経度差を長くとれる関東組(A1～A4)と近畿組(B1～B4)にわけそれぞれ組み合わせで計算した(表2)。A2とB3の組み合わせが最もよく7.47 [km/s]で、参照値に対し3%の誤差であり良好な結果が得られた。A4とB4の値が群の中で離れた値を示しているが、A4は時刻測定、B4は子午線設定の誤差によるものと確認している。

誤差の原因は、時刻測定誤差・子午線の設定精度・作図による子午線直下点緯度の読み取り誤差が考えられる。時刻測定では、1秒で結果に約0.1 [km/s]の違いが表れる。眼視観測では秒単位の測定が限界で、それがこの方法の精度であると考ええる。また、子午線は目に見えず通過の瞬間がはっきりしない。時刻に誤差を生じさせるため、現在子午線の可視化を含む観測方法の改良を行っている。また、子午線通過直下点の緯度を作図でなく計算により求め精度を向上させたいと考えている。発表では、計算法についてとりあげる。

[謝辞]

イベントにご参加、ご協力の皆様、私たちに長年助言下さっている加茂昭さんに感謝致します

[参考]

ドイツ航空宇宙センター(DLR). Heavens- Above!. <http://www.heavens-above.com/>

[1] "Ground Track". 2011-2-22

[2] "Height of the ISS". 2011-2-22