

# 眼視観測による国際宇宙ステーションの軌道速度の手法による比較

東京工業大学附属科学技術高等学校 科学部：

小林 宇宙、深堀 貴雄（高2）、宮崎 珠実、日下部 秀太（高1）、久保 公貴（高3）

【東京工業大学附属科学技術高等学校】

国際宇宙ステーション(ISS)は、地球を周回する有人人工衛星である。2020年11月から約半年間の野口聡一宇宙飛行士のISS搭乗中、ISSが日本列島を夕方に縦断通過するときに、ISS眼視観測イベント『アストロ・ノグチ目撃ミーティング』[1]を主催している。誰でも、どこからでも、皆でISSを観測して、その対地軌道を描き出すイベントである。全国から『いつもの観測』(ISSの目撃)、『精密観測』(子午線通過時刻の眼視観測)の二種類の観測について報告があった。さらに、「肉眼」による観測のみでISSの軌道速度がわかれば面白いと考え、『いつもの観測』のデータを活用し、さらに、子午線通過時刻の観測で精度向上を図った『精密観測』により、速度を求め、比較を行った。

## 軌道速度の計算方法

2012年に科学部が行った眼視観測[2]の計算方法を改良した。観測点A, BとISSの位置関係は図1の通りである。A, Bの子午線通過直下点をP, Qとおき、その緯度 $\Phi^\circ$ を、A, Bの子午線通過時刻とTwo-Line Elements(TLE)[3]より求めた。P, Qの経度 $\lambda^\circ$ はA, Bの経度と等しい。球面三角の球形に対して、回転楕円体の地球が持つ高緯度地域での誤差を小さくするため、P, Qに、赤道とBの子午線が交わる点Zを加えて球面三角を構成し、P, Q間のISSの移動角 $\theta^\circ$ を式1より計算した。観測時のTLEによる軌道長半径6798 kmを用いて求めた軌道周長L kmから、 $\theta$ を距離に換算し、軌道速度 $v$  km/sを式2より計算した。また、TLEより単位時間当たりの $\theta^\circ$ を計算し、軌道速度7.66 km/sを参照値とした。

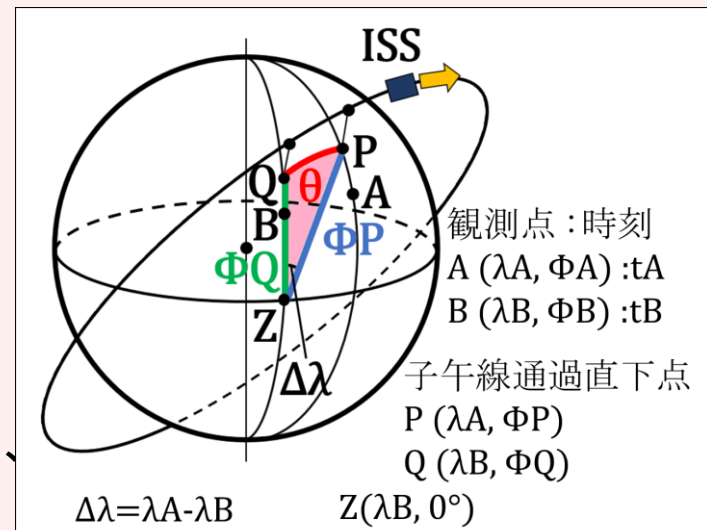


図1 ISSの軌道と観測点

$$\cos\theta = \cos(90 - \Phi_P) * \cos(90 - \Phi_Q) + \sin(90 - \Phi_P) * \sin(90 - \Phi_Q) * \cos(\Delta\lambda) \quad (\text{式1})$$

$$v = ((\theta^\circ / 360^\circ) * L) / (t_A - t_B) \quad (\text{式2})$$

## 観測方法及び結果

第1回観測を2020年11月21日17時34分頃(いつもの観測:30件、精密観測:2件)に、第2回観測を2021年1月19日18時9分頃(いつもの観測:15件、精密観測:4件)に実施した。両日のTLEは【資料1】に記載した。

### 1. いつもの観測

観測者は、目撃の方角(四方位, 天頂)、時刻(分単位)、都道府県、都市(任意)を報告する。観測報告は、イベントサイト(図2)に掲載している。

### 2. 精密観測

観測者は、ISSの子午線通過時刻(秒単位, GPSまたは電波時計による)、観測点の経緯度(GPSまたは地理院地図による)を報告する。

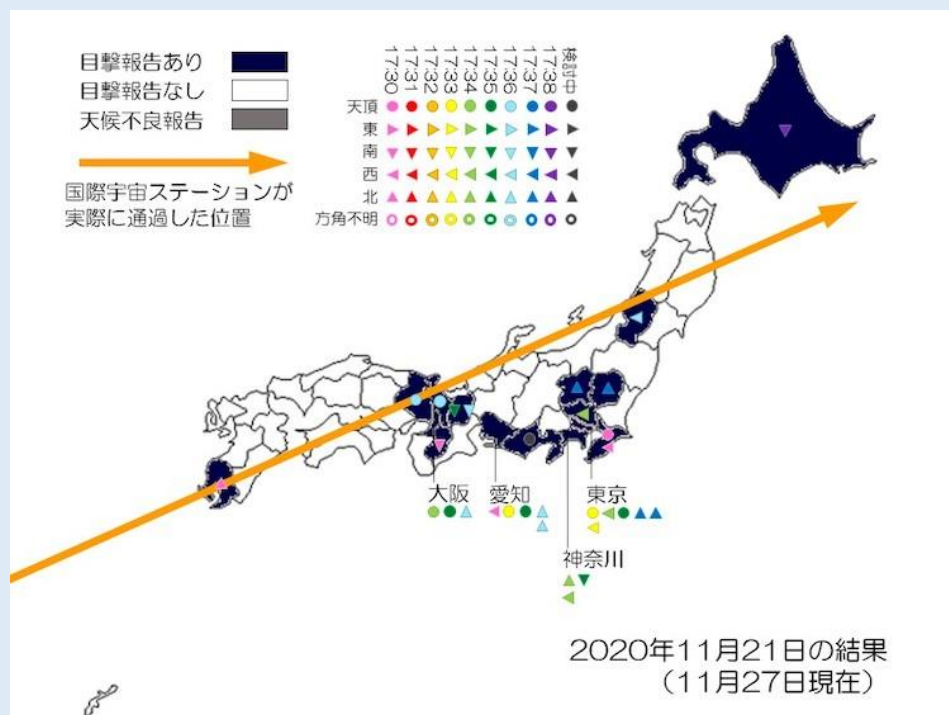


図2 観測第1回のISSの対地軌道と観測報告の地図、イベントサイトQRコード



[https://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci\\_club/astromy/ISSP/result/kek\\_kamap.html](https://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci_club/astromy/ISSP/result/kek_kamap.html)

『いつもの観測』データを活用することにより、ISSの軌道速度を計算できることに気づいた。報告がより多くあった観測第1回の日撃報告のうち、子午線に沿った「南」「北」「天頂」の報告を抽出した。さらに、日本を七地方区分に分け、もっとも多い観測時刻をその地方の観測時刻として、軌道計算を行った。観測点の経緯度はその地方の中心地点の値を採用した。

報告がより多くあった観測第1回の観測報告を採用し、軌道速度の計算をした。子午線の設定は、観測者の任意の方法で行い、観測報告時に申告を受けた。科学部では、スマートフォンのコンパスを使用し、子午線に沿うように空中に細い糸を張った。このとき、既に張った糸と平行な糸をもう1本張ることで、視差をなくした。これを見下ろし、ISSの光が糸によって遮られた時刻を観測した（科学部方式と呼ぶ）。

それぞれの観測点の観測報告の内容は、【資料3】に記載した。観測点P, Qの全ての組み合わせにおいて軌道速度を計算し(表1, 2)、参照値に最も近い値をその観測種別の軌道速度とした。

表1 『いつもの観測』によるISSの軌道速度

観測点(地方)		ISSの軌道速度 $v_1$ [km/s]
B	A	
九州	近畿	5.7
九州	中部	5.8
九州	関東	5.8
九州	北海道	5.9
近畿	中部	-
近畿	関東	7.5
近畿	北海道	7.1
中部	関東	6.0
中部	北海道	6.3
関東	北海道	6.7

**軌道速度 $v_1 = 7.5$  km/s**

表2 『精密観測』によるISSの軌道速度

観測点		ISSの軌道速度 $v_2$ [km/s]
B	A	
福岡1	東京1	7.61
福岡1	東京2	7.61
福岡1	東京3	7.49
東京1	東京2	7.72
東京1	東京3	5.07
東京2	東京3	5.06

**軌道速度 $v_2 = 7.61$  km/s**

## まとめ

観測の誤差範囲は、『いつもの観測』は  $\pm 0.3$  km/s (3 %、分単位での計測による)、『精密観測』は、 $\pm 0.08$  km/s (1.05 %、秒単位での計測による) と考えられ、どちらの観測種別で得られた軌道速度も誤差範囲内に入った。『いつもの観測』の方が、軌道速度を求められたものの、分単位での測定のため誤差範囲が大きくなる。一方、『精密観測』では、(東京1, 東京3)と(東京2, 東京3)の組み合わせにおいて、他の組み合わせよりも軌道速度が遅かった。東京3の観測地点が、磁性のある鉄製のベランダだったため、子午線の設定時にズレが生じた可能性がある。次回の観測では、子午線の設定に工夫を取り入れたい。

## 参照

- [1] 東京工業大学附属科学技術高等学校 科学部. “野口宇宙飛行士応援：きぼう、みつけた！”, [https://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci\\_club/ISS-WatchNet2020.html](https://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci_club/ISS-WatchNet2020.html).
- [2] 北川翔太, 新井雄太. “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”, 第14回 ジュニアセッション 講演予稿集, 2012, p. 136-137.
- [3] NASA. “Human Space Flight (HSF) - Realtime Data”. <https://spaceflight.nasa.gov/realdata/sightings/SSapplications/Post/JavaSSOP/orbit/ISS/SVPOST.html>. (参照 2020-11-21, 2021-01-19).

## 謝辞

以下の方の日撃報告を使用しました。「福岡工業大学附属城東高校様(福岡)、高橋誠様(鹿児島)、グレ大好き様(兵庫)、つばさ様(大阪)、ミカ様(大阪)、こけちゃん様(奈良)、匿名希望(京都)、mako様(滋賀)、そたた様(滋賀)、salsa picada様(愛知)、まさまさ様(愛知)、永谷 縁様(愛知)、gutti様(愛知)、いしじゅん様(神奈川)、長津田 ジイジ様(神奈川)、かじかわ様(東京)、ましゅまる様(東京)、小林ファミリー様(東京)、大樹パパ様(千葉)、うさぼん様(群馬)」 ご参加とご協力に感謝しています。

## 【資料1】

ISSの軌道速度計算に用いたTwo-Line Elements (TLE) は以下の通りである。

観測第1回：2020年11月21日17時34分頃

```
1 25544U 98067A 20325.96286668 .00016717 00000-0 10270-3 0 9022
2 25544 51.6414 292.7278 0001625 62.4493 297.6822 15.49036388 16316
```

観測第2回：2021年1月19日18時9分頃

```
1 25544U 98067A 21018.53529845 .00016717 00000-0 10270-3 0 9033
2 25544 51.6428 2.9257 0000416 319.8333 40.2787 15.49317629 25398
```

## 【資料2】

観測第2回：2021年1月19日18時9分頃の『虹色の通り道』は、図3の通りである。北海道・日本海側で悪天候だったこと、観測日が平日だったことにより、報告数が減少したと考えられる。

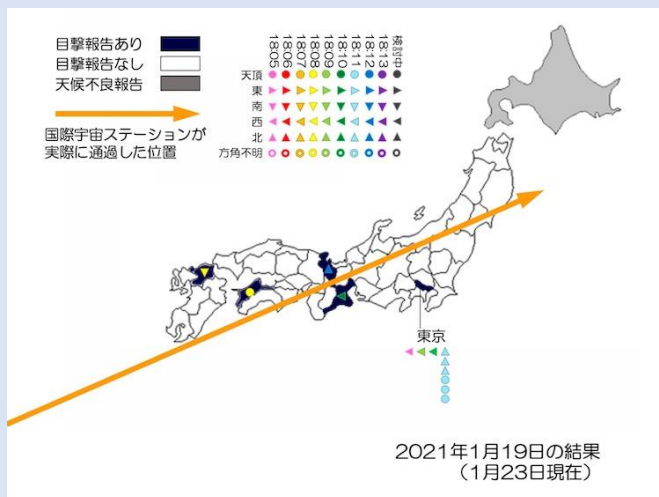


図3 観測第2回のISSの対地軌道と観測報告の地図

## 【資料3】 - 『精密観測』

ISSの軌道速度計算に用いた『精密観測』の報告内容は、表3の通りである。

表3 観測第2回の『精密観測』の報告

記号	名前	子午線通過時刻	観測点		子午線設定方法
			経度[°]	緯度[°]	
福岡1	福岡工業大学附属城東高校	18時08分44秒	130.44	33.696	heavensatで月の子午線通過時刻に月を見てその地点を子午線として決定した。
東京1	FT	18時11分28秒	139.324684	35.455483	科学部方式
東京2	宮崎珠実	18時11分30秒	139.669778	35.797778	科学部方式
東京3	小林ファミリー	18時11分34秒	139.621414	35.622659	科学部方式

## 【資料3】 - 『いつもの観測』

ISSの軌道速度計算に用いた『いつもの観測』の報告のうち、目撃した方角が、「南」「北」「天頂」の報告内容は、表4の通りである。

表4 観測第1回の『いつもの観測』のうちISSを目撃した方角が「南」「北」「天頂」の報告

名前	都道府県	観測時刻	方角
高橋誠	鹿児島	17時30分	北
グレ大好き	兵庫	17時36分	天頂
つばさ	大阪	17時34分	天頂
ミカ	大阪	17時35分	天頂
こけちゃん	奈良	17時30分	南
匿名希望	京都	17時36分	天頂
mako	滋賀	17時35分	南
そたた	滋賀	17時36分	南
salsa picada	愛知	17時33分	天頂
まさまさ	愛知	17時35分	天頂
永谷 縁	愛知	17時36分	北
gutti	愛知	17時36分	北
いしじゅん	神奈川	17時34分	北
長津田 ジイジ	神奈川	17時35分	南
かじかわ	東京	17時33分	天頂
ましゅまろ	東京	17時35分	天頂
小林ファミリー	東京	17時37分	北
TM	東京	17時37分	北
大樹パパ	千葉	17時30分	天頂
うさぼん	群馬	17時37分	北
ひろはる	栃木	17時37分	北
うしやま	北海道	17時38分	南