

IGS最終暦において 軌道暦が決まらないGPS衛星数の曜日依存性

株式会社 日豊
島田誠一

2025年10月30日
日本測地学会第144 回講演会

はじめに

- IGS最終暦は、世界各国の10カ所程度に置かれているIGS解析局で計算されたGNSS軌道暦を用いて、観測から3週間程度遅れて最終的に発表される、もっとも信頼性の高い精密暦である。GNSS衛星のうち、現在はGPS衛星とGLONASS衛星についてのみ公表されている。
- このなかで、GPS衛星について、毎日の各衛星軌道暦の決定精度は、毎週発表されているsummary ファイルのTable 1にmm単位のrms値で示されている。
- Table 1では、これらの軌道暦のうち、座標値計算に用いるのが適当ではないと考えられる3つのカテゴリーの結果も示されている。
 - ① unhealthyの衛星。
 - ② rms値が0となっている衛星。
 - ③ rms値が他の衛星と比べて非常に大きな値となっている衛星。
- このなかで、rms値が0となる衛星の発生頻度を調べてみると、顕著な曜日依存性が見られることがわかったので、報告する。

座標値計算に用いるのが不適当な3つのカテゴリー

- unhealthyの衛星：放送暦でunhealthyのフラッグが立っている衛星で、何らかの突発的な事象や衛星軌道修正などにより、米国運用当局がユーザによる使用が不適当と判断した衛星である。
- rms値が0となっている衛星：Bern大学が運営しているCODE解析局以外のほとんどの解析局で軌道の計算ができなかった衛星であり、ユーザによる使用は不適当と考えられる。
- rms値が他の衛星と比べて非常に大きな値となっている衛星：例えば1週間のrms値のばらつきの 3σ を超える値となっている場合は、すべての解析局ではなくても多くの解析局で精密暦が計算できているが、その値が結果として非常に大きな値となったものである。この場合も、rms値が0となっている衛星に次いで、ユーザによる使用が適当ではないと考えられる。

IGS衛星のsummaryファイルのTable 1の例

2292GPS週(2023年12月10日～)のsummaryファイル

Table 1.2292.b GPS week : 2292 MJD: 60288.000-60294.000

Satellite position sigmas for the combined orbits
(coded in the IGS SP3 orbit files).
"E" flags eclipsing satellites.
Units: mm.

PRN		0	1	2	3	4	5	6	Remarks
1		5	4	4	5	5	4	4	
2		4	4	4	4	4	4	4	
3		5	4	6	6	15	9	7	
4		3	3	3	4	4	4	4	
5		5	5	5	6	5	4	4	
6		3	4	3	3	3	4	3	
7		3	3	3	3	3	3	3	
8		3	3	3	4	3	4	4	
9		3	3	3	3	4	4	4	
10		4	5	5	6	7	8	6	
11		4	4	4	4	4	4	4	
16		5	5	4	5	4	4	4	
18		4	4	4	4	4	4	4	
19		4	4	4	3	4	4	4	
20		4	4	4	4	4	4	4	
21		3	4	4	4	4	3	3	
22		3	4	3	4	3	4	3	
23		5	6	6	9	9	8	7	
24		3	3	3	4	4	3	3	
25		4	4	4	4	4	5	4	
26		3	3	3	4	0	5	3	

rmsが極端に大きい

unhealthyの衛星

rmsが0

2336GPS週(2024年10月13日～)のsummaryファイル

Table 1.2336.b GPS week : 2336 MJD: 60596.000-60602.000

Satellite position sigmas for the combined orbits
(coded in the IGS SP3 orbit files).
"E" flags eclipsing satellites.
Units: mm.

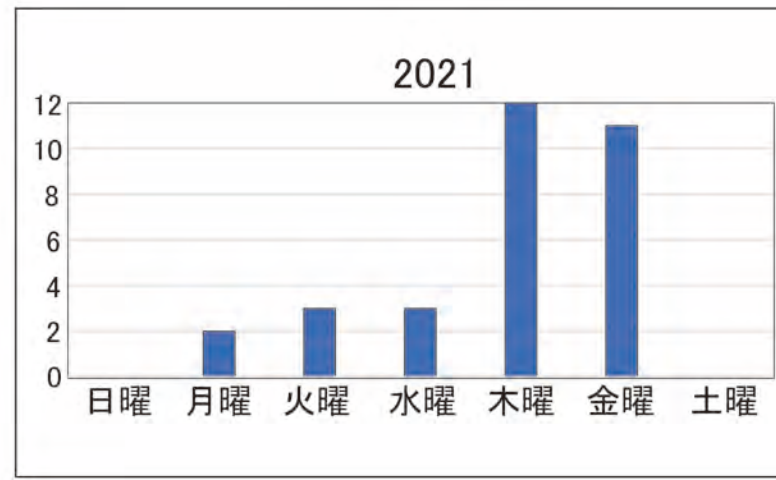
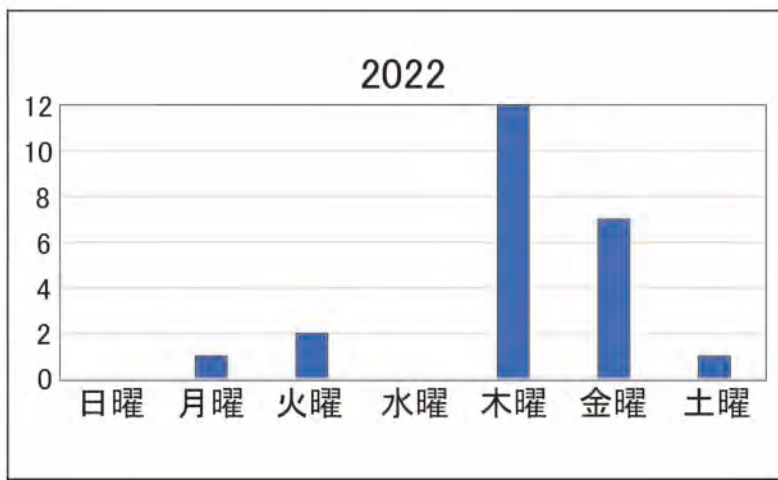
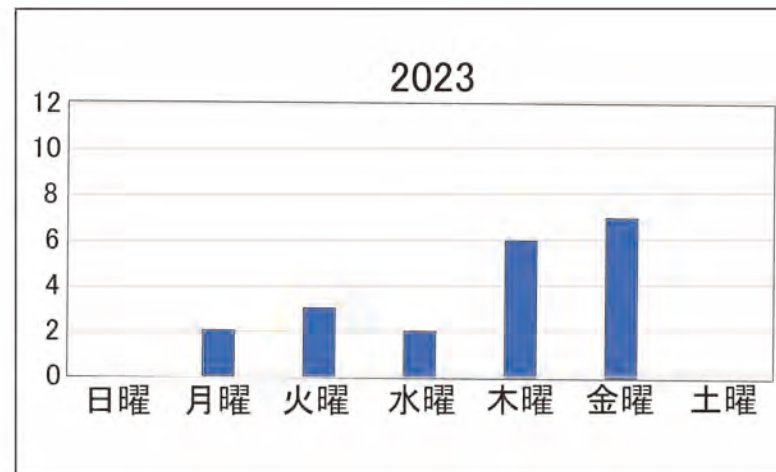
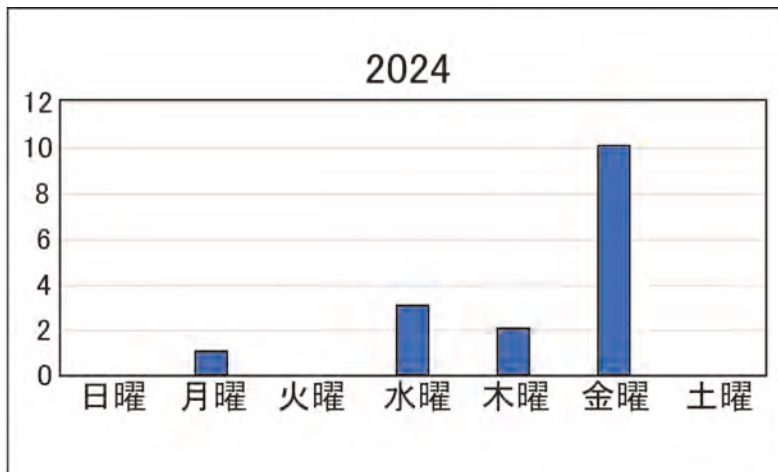
PRN	Day of GPS week							Remarks
	0	1	2	3	4	5	6	
2	4	4	3	3	3	4	3	
3	3	3	3	3	3	3	3	
4	4	3	3	3	3	4	4	
5	3	4	3	3	3	3	3	
6	4	3	3	3	3	3	3	
7	3	3	3	3	3	3	3	
8	3	3	3	3	3	3	3	
9	3	3	3	3	3	3	3	
10	3	3	3	3	3	3	3	
11	4	4	4	4	4	4	4	
12	3	3	3	3	3	3	3	
13	3	3	3	3	3	3	3	
14	3	3	3	3	4	4	4	
15	3	3	3	3	3	3	3	
16	3	3	3	4	3	4	4	
25	3	3	3	3	3	3	3	
26	3	3	3	4	4	3	3	
27	3	3	3	3	3	3	3	
28	3	3	3	3	3	3	3	
29	3	3	3	3	3	3	3	
30	3	3	4	---	3	3	3	

データ・方法

- ITRF2020座標系を用いた最近のIGS最終暦の毎週のsummaryファイル, あるいはそれ以前については, repro3解析によるIGS最終暦の毎日のsummaryファイルに, それぞれ示されているrms値を用いて, IGS最終暦のrms値が0となる衛星の発生頻度を2021年から2024年の4年間について調べた.
- また, rms値が非常に大きくなる場合の発生頻度も2021年から2024年の4年間について調べた.

結果

図に上記の方法で得られた年ごとの曜日別にrms値が0となる発生頻度を示す。図からわかるように、木曜日と金曜日に突出して発生頻度が多いことがわかる。



考察

- GPS衛星については、週1度衛星機器の不具合修正や放送暦の更新等が行われるといわれている。
- おそらく週末の金曜日夜から土曜日にかけて、修正・更新が行われているのであろう。
- 週一度のメンテナンス直後となる土曜日・日曜日には衛星の状態等が更新され、精密暦の計算を困難にするような不具合もほとんど発生しなくなると考えられる。
- その後、週末に向かって、衛星の状態は徐々に悪くなっていき、衛星軌道計算を困難にするような不具合も木曜日と金曜日に増加して、精密暦の計算ができない衛星が増加するのではないかと考えられる。

rmsがゼロになる衛星のPRN番号

年毎のrmsがゼロになるGPS衛星のPRN番号のリストは下記の通り(発生日順)

2024年		2023年		2022年		2021年	
SVS	曜日	SVS	曜日	SVS	曜日	SVS	曜日
G24	4	G22	3	G22	1	G15	4
G01	3	G25	4	G32	4	G08	5
G05	5	G28	2	G02	5	G04	2
G27	1	G28	3	G30	4	G20	5
G02	5	G31	2	G21	5	G24	4
G04	5	G02	4	G17	4	G24	5
G01	3	G31	5	G18	4	G09	4
G01	4	G11	5	G18	5	G28	4
G25	3	G30	5	G12	4	G07	4
G16	5	G22	1	G12	5	G26	4
G23	4	G28	1	G15	2	G28	4
G01	5	G32	5	G09	5	G22	5
G13	4	G12	5	G08	4	G31	5
G18	5	G09	5	G02	4	G11	2
G11	5	G21	5	G04	5	G11	3
G19	5	G22	4	G31	5	G06	5
G07	5	G02	2	G23	4	G20	4
		G28	4	G26	4	G05	4
		G26	4	G06	4	G14	5
		G06	4	G03	4	G11	3
				G28	6	G11	4
				G02	4	G03	5
				G19	2	G11	5
						G27	4
						G11	3
						G25	5
						G11	1
						G16	1
						G16	2
						G29	5
						G02	4

- 0: 日曜

1: 月曜

2: 火曜

3: 水曜

4: 木曜

5: 金曜

6: 土曜

PRN番号にはあまり依存せず、ほとんどランダムに発生しているように見える

確率計算

- 1週間の分布のうち連続した2日の発生個数が異常に大きい確率を計算した
- 1日に発生する事象の数がポアソン分布に従う場合を考える.
- 1日あたりの平均発生回数 μ と標準偏差 σ を計算し、1日あたりの発生回数が、 $\mu+\sigma$ 回以上(小数点以下切り上げ)になる場合を「異常」とする.

	2024年	2023年	2022年	2021年
μ	2.29	2.86	3.23	4.43
σ	3.33	2.53	4.20	4.62

- 発生回数がこの回数(小数点以下切り捨て)になる確率をポアソン分布の累積確率から計算する.

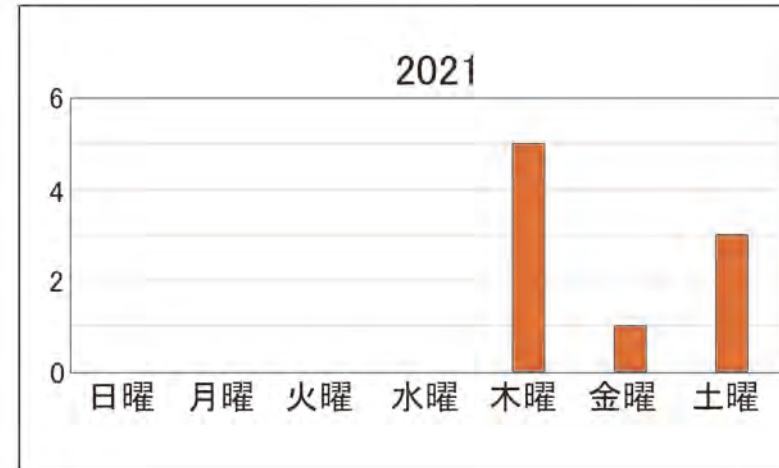
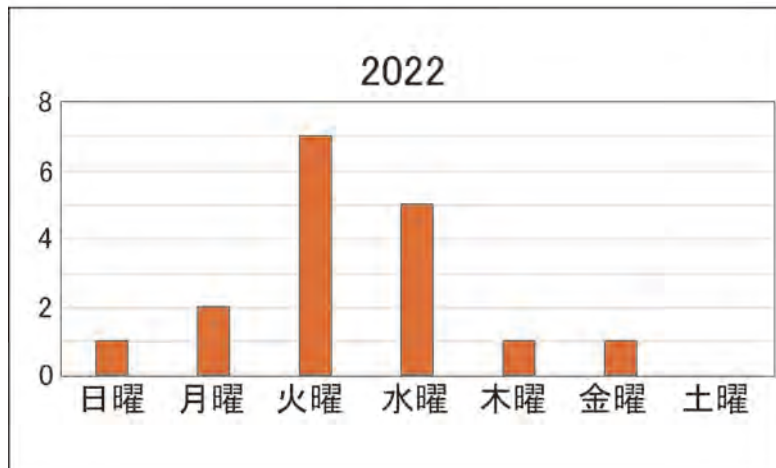
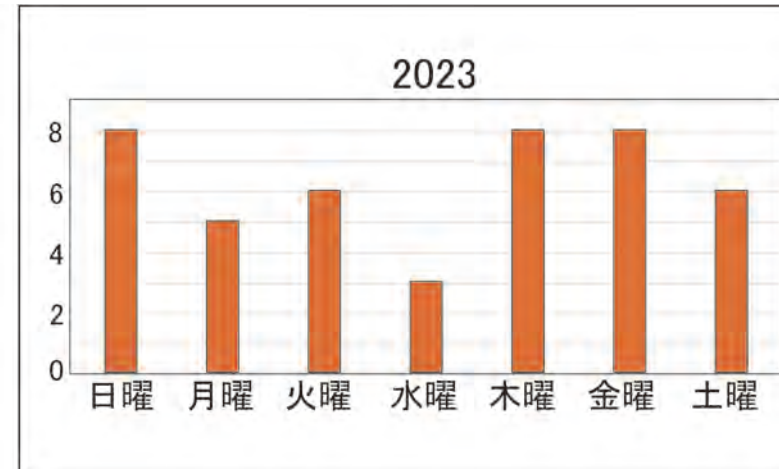
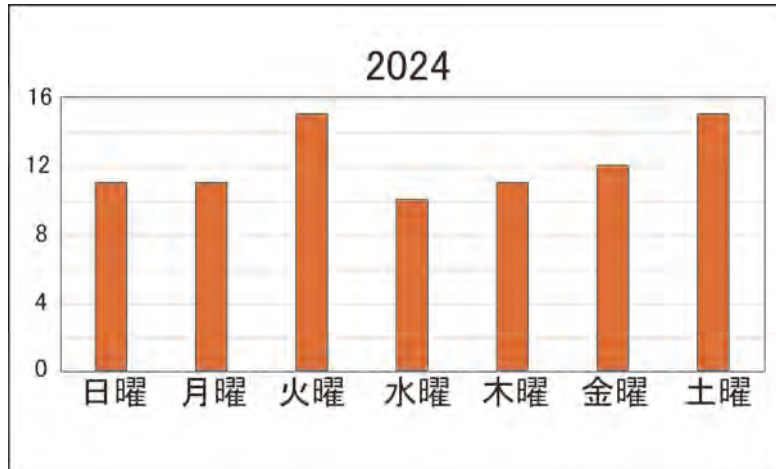
	2024年	2023年	2022年	2021年
p	0.029	0.070	0.019	0.015

- 連続する2日間が「異常」となる確率は $p \times p$. 1週間には7つの連続する2日間の組み合わせがあるので7倍する.

	2023年	2022年	2021年	2024年は木曜日の発生頻度が多くないので省略
λ	0.034	0.003	0.002	

rmsが非常に大きな値となっている衛星の曜日別頻度分布¹⁰

図に1週間のrms値のばらつきの 3σ を超える値となっている衛星の曜日別発生頻度を示す．年によって異なるが特に発生頻度が突出して多い曜日は見られない．



まとめと参考文献

- IGS最終暦のGPS衛星の毎週のsummaryファイルに示されている決定精度のrms分布において、rms値が0となっている衛星の曜日別発生頻度を、2021年～2024について調べた
- その結果、毎年木曜日と金曜日の発生頻度が顕著に多いことがわかった
- これらの衛星のPRN番号を調べても、特定の衛星に集中している傾向はあまりみられなかった
- 1週間の分布のうち連続した2日の発生個数が異常に大きい確率を計算して、1日に発生する事象の数がポアソン分布に従うと仮定すると、連続する2日間が「異常」となる確率は、2023年・2022年・2021年について、それぞれ0.034, 0.003, 0.002となった
- 1週間のrms値のばらつきの 3σ を超える値となっている衛星の曜日別発生頻度には特に突出して多い曜日は見られない

参考文献: IGS暦summaryファイルは、NASAのCDDIS等、世界各地のIGSデータセンターからダウンロードできる.