

IV-64

地表面からのGPS衛星の観測数

茨城大学大学院工学研究科 正会員 堀 勝也
 日本ユニシステム（株） 下荒地勝治
 茨城大学工学部情報工学科 正会員 星 仰

1. まえがき

GPSは、何時いかなる場所でも最低4個の衛星が観測されれば、その衛星時刻から観測位置を計算するという計画で推進されているが、実際には、5～6個以上の衛星データが現在使用できることが市販受信機に示されている衛星捕捉番号表示から判明している。しかし、地表上の任意の時間、任意の観測地点でGPS衛星が何個観測できるかという資料が公開されていないので、これをまず明らかにする目的で、GPS衛星の位置座標の入手を考え調査をすすめた。こうして得たデータを用いて、地表上の任意の地点で観測できる衛星を特定する幾何的な計算式を求め、その場所で、その時刻に観測できる衛星個数を計算した。以下では 観測地点で観測されるGPS衛星の位置、GPS衛星の特定計算および特定計算結果を報告し、考察を述べる。

2. GPS衛星の位置

測定位置で観測できるGPS衛星を特定するためには、観測点の位置座標と観測時刻におけるGPS衛星の位置座標が判っていないてはならない。この位置座標はGPS測位の前提でもあるので研究が進められ、50cmの誤差で決定されると報告されている¹⁾。さらに、正確な値は全世界の地震学者を中心として構成されるISG (International Service for Geodynamics) を通して2～3週間遅れではあるが入手が可能である²⁻⁴⁾。この値は各GPS衛星ごとに15分間隔で地球固定座標系の数値として得ることができる。その数値例が表1である。

表1 GPS衛星の3次元地球固定座標値

PRN No	1995. 7. 20. 世界時 (UT) 00:00		
	x	y	z
1	-15266.055383	-20139.756482	-7996.568092
2	18355.529399	12077.585969	15584.641310
4	14358.781555	5425.592170	-21580.523129
5	15473.363884	-11834.946118	-18017.655439
6	-3395.853384	-24326.127625	-9668.857643
7	15530.531336	20445.867243	-7238.461582
9	15910.897665	-21094.679717	1494.094473
12	22924.003411	-8471.400318	9428.273282
14	-12370.715551	12500.387550	-19941.132035
15	-16794.762601	20551.415227	1391.385253
16	25741.515956	-1341.004367	6507.557627
17	1719.316362	-20194.526856	16828.369264
18	4315.553320	24363.251753	-9893.967608
19	-1523.127747	22189.018479	14480.566426
20	-270.534476	-15420.988582	-21783.622903
21	-21240.020160	-10574.945637	12448.875772
22	-26731.421791	-855.462645	1235.168315
23	-9590.076201	-15157.244056	19922.764398
24	18654.441971	-5835.175964	-17739.469155
25	-15517.050691	-4328.830616	-21069.120156
26	12038.740618	-10100.296769	21582.747785
27	6921.576769	15644.933508	20019.872829
28	-16706.900732	-2780.846086	20390.804962
29	-2194.944831	20934.433690	-15997.254577
31	-10450.156192	12050.110247	21080.539362

3. 観測地点で観測されるGPS衛星の特定計算

地表の観測地点 P_i から観測できるGPS衛星 S^j は P_i における水平面 HH' を考えた時、極く一部のケースを除いて水平面 HH' より上に存在しなくてはならない。観測地点 P_i の座標を $P_i(x_i, y_i, z_i)$ 、GPS衛星 j の座標を $S^j(x^j, y^j, z^j)$ 、地球中心の座標を原点 $O(0, 0, 0)$ とし、 P_i 、 S^j 、 O を結び、 S^j から OP_i へ下ろした垂線との交点を Q とすると QS はピタゴラスの定理から

$$\begin{aligned}(QS^j)^2 &= (P_i S^j)^2 - (P_i Q)^2 \\ &= (OS^j)^2 - (OP_i + P_i Q)^2 \\ &= (OS^j)^2 - (OP_i)^2 - 2 \cdot OP_i \cdot P_i Q - (P_i Q)^2\end{aligned}$$

したがって

$$P_i Q = \{ (OS^j)^2 - (OP_i)^2 - (P_i S^j)^2 \} / 2 \cdot OP_i$$

この式が成り立つためには $OS^2 \geq OP^2 - PS^2$ であり、これは数値計算できる。こうして観測地点で観測できる

GPS衛星の特定計算を行った。

4. 特定計算結果

(1) 北野三角点で観測されるGPS衛星の数

著者らが以前簡易GPS受信機で実験を行ったとき⁵⁾選定した北野三角点（東京都三鷹市中原1-6-13、東経139°34'48.544"、北緯35°39'36.784"、高さ49.6m）で観測されるGPS衛星を1995.8.18.世界時(UT)00:00～23:45の間について上記の方法により計算した。その結果、表2に示すように、15分間隔トータル96回での結果ではあるが、この間常に6個以上GPS衛星が観測され、8個以上観測できる頻度が91回あることが判明した。

(2) 北野三角点を通る子午線上にある地表上の点で観測されるGPS衛星の数

上記に加え、地表上の他の地域で観測されるGPS衛星の状況を求めるために、北野三角点の地球中心に対する対称点を考え、これを反東京と称し、さらに北極・南極および北野三角点を通る子午線と赤道の交点を考え、それらの地点で観測されるGPS衛星を同様に計算した。その結果を表2にまとめて示したが、いずれの地点でも6個以上GPS衛星が観測され、極点、赤道面上では平均して10個以上観測されることが判明した。なお、この計算の過程で同一衛星は、地球上の片方で1回観測されるときは、その反対側で2回観測され、2回のときは1回というように、合計で3回観測されることも分かっている。

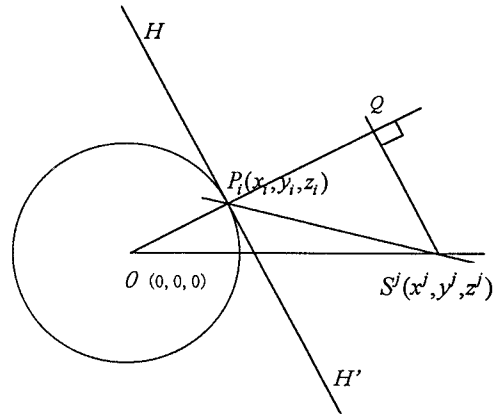


図1 観測地点 P_i で観測できるGPS衛星 S^j

表2 地域別の衛星の観測回数

衛星個数	北野	反東京	北極	南極	赤道
6	1	1			
7	4	5			
8	28	33	1		1
9	44	37	17	23	25
10	12	16	49	40	37
11	6	2	33	26	30
12	1	2	6	7	3
平均	8.88	8.79	10.17	10.18	10.09

5. まとめ

(1)平成7年(1995年)7月20日の15分間隔でトータル24時間、96回での計算結果であるが、この間地表上で常に6個以上GPS衛星が観測されると推定される。

(2)東京では、この間8個以上観測される頻度が91回あり、このことはGPS衛星が常に少なくとも6個、大半の時刻において8個以上GPS衛星が利用できることを意味し、最小二乗法による測定値の近似ができることを示唆している。このため著者らはこの近似法について、さらに研究する予定である。

参考文献

- 1) Hiromiti Tsuji, Masaaki Murata: Evolution of GPS Orbit Accuracy from 10m to 50cm in 7 years, Journal of the Geodetic Society of Japan, vol.38, No.4, pp. 349-366, 1992.
- 2) Teruyuki Kato: Recent Global and Regional Studies Using GPS-A Brief Overview-, 測地学会誌, 第38巻, 第4号, pp.329-348, 1992.
- 3) International GPS Service For Geodynamics: Resource Information, 1995.
- 4) Teruyuki Kato: On the Recent Activity of the International GPS Service for Geodynamics, GPS研究会(GPSシンポジウム1994)集録, pp.1-5, 日本学術会議測地学研究連絡委員会, 1995.
- 5) 堀 勝也、星 仰、下荒地勝治、佟 国祥: 簡易GPS装置による平面座標の偏位測定, 第21回土木学会関東支部技術発表講演概要集, pp.422-423, 1994.