

GPS+GLONASSハイブリッド 受信機 (1)

DX アンテナ(株)

GPS 事業部 リーダー 茶塚 俊一

はじめに

近年、GPS 衛星と併用して GLONASS 衛星を用いた、ディファレンシャル測位および RTK (Real Time Kinematic) 測位がいろいろな意味で注目されている。その長所としては、まず測位に必要な衛星数を確保できる可能性が、GPS 衛星のみで測位を行うよりも高いことが挙げられる。また、GLONASS 衛星には、GPS に見られる SA (Selective Availability: 衛星選択利用性) といった精度劣化方策、および AS (Anti-Spoofing) といった P コードの秘匿操作が施行されていないことも、測位精度を向上させる長所である。

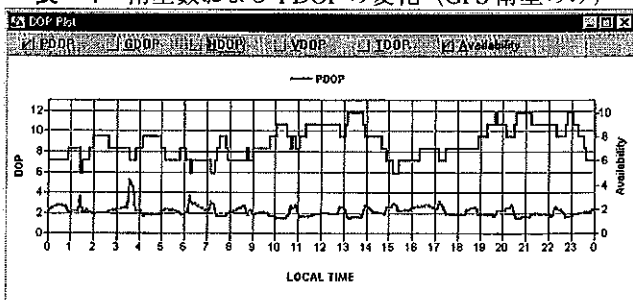
GLONASS は、当初の計画では 3 軌道にそれぞれ衛星が 8 機配備され、合計 24 機のシステムとして維持される予定であったが、ロシアの国内経済の低迷

と約 3 年間という衛星本体の寿命の短さから、使用可能な衛星数は減少してきている。

表-1~3 は、3 月 24 日における GPS 衛星および GLONASS 衛星のアルマナック情報から計算された 24 時間の衛星数の変化と PDOP (Position Dilution of Precision: 位置精度低下率) の変化をグラフ化したものである。GPS 衛星のみを利用した場合と比較して、GLONASS 衛星を加えることにより各時間帯で衛星数が増加し、また衛星配置に基づく測位精度の劣化を示す PDOP が安定して低い値を示していることがわかる。つまり GLONASS 衛星を利用することで、より多くの時間帯において測位に必要な衛星数を確保可能であること、それに伴い測位精度の向上が見込まれることが理解できるであろう。その一方で、ある時間帯においては GLONASS 衛星が全く利用できなくなることもわかる。

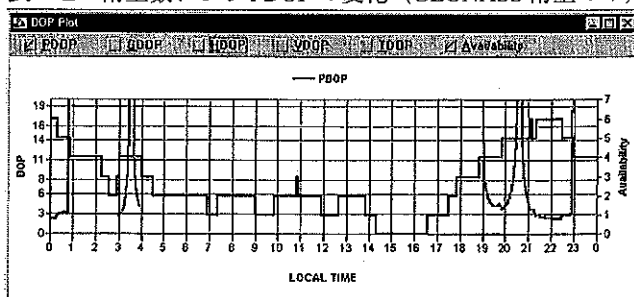
通常のディファレンシャル測位においては、基地局と移動局との共通衛星数が最低 4 衛星であれば、補正情報を受信することで即座に測位が行える。しかし、RTK 測位の場合、共通衛星数を 8 衛星以上受信してはじめて、測位計算 (アンビギュイティの収束演算) を開始する受信機もある。このため、GLONASS 衛星が減少している昨今、やはり測位の

表-1 衛星数および PDOP の変化 (GPS 衛星のみ)



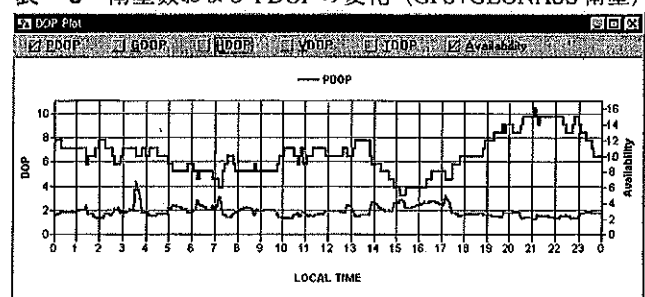
(2000年3月24日、仰角マスク=10、某所)

表-2 衛星数および PDOP の変化 (GLONASS 衛星のみ)



(2000年3月24日、仰角マスク=10、某所)

表-3 衛星数および PDOP の変化 (GPS+GLONASS 衛星)



(2000年3月24日、仰角マスク=10、某所)

大半をGPS衛星に頼らざるを得ないというのが現状である。

しかしながら、2001年以降GLONASS-M衛星（衛星寿命7年または15年）の打ち上げ計画があることから、GLONASSのシステム自体が消滅することはなく、今後のGPS+GLONASSハイブリッド受信機の効力が期待される場所である。

今回はまず、GPSとGLONASSのシステムの違いに焦点を当てて、次にGPS+GLONASSハイブリッド受信機を利用して得られた測位結果を紹介する。

1.GPSとGLONASSにおけるシステムの概観

この章では“GPSとGLONASSにおけるシステムの違い”にターゲットを絞ってまとめてみたい。GPSは、ここ2～3年の間にあまりにも有名になった。GPSのアプリケーションとして、そのブームに一役買ったのは、やはりカーナビゲーションであろう。もともと軍用利用として1970年代の初頭から米国にて開発がスタートしたGPSは、1993年の終わり

に完全なシステムとして立ち上がり、現在に至る。

現在のGPS衛星の状態は、米国海軍天文台（USNO: United States Naval Observatory）が提供する“GPS CONSTELLATION STATUS（GPS衛星の配備状況: <ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpstd.txt> 参照）”から情報を得ることができる（表-4）。

表-4は、2000年3月27日現在のGPS衛星の稼動状況を示したもので、現時点では28個の衛星を利用できることがわかる。

GPS衛星の番号付けには2通りあるが、通常はPRN（Pseudo Random Noise: 擬似雑音符号）番号を用いて、衛星番号を識別する。PRN番号とはGPS衛星を識別するためのC/Aコード・パターン（符号配列）の番号を意味している。

また、この表の中で特に注意したいのが、NANU（Notice Advisory (Advisories) to NAVSTAR Users）と呼ばれる情報である。これは、言わば“GPS衛星通報”なるもので、衛星測位を利用するユーザーに対する注意情報である。

例えば、PRN番号13番の衛星に関して見ると、2つのNANU情報がある。つまり13番衛星は稼動中であるが、3月29日に2度にわたる衛星のメンテナンス作業が行われるため、測位に使用できないことを示唆している。

一方、GLONASSシステムは、1982年の国際電気通信連合（ITU: International Telecommunication Union）および国際周波数登録委員会（IFRB: International Frequency Registration Board）への申請から、GPSと類似するシステムとされてきた。例えば、送信周波数が1.6GHz帯および1.2GHz帯の2つの周波数帯を使用している点、また、2つのコードを使用したスペクトル拡散変調の信号を使用していること、などが類似点である。

しかし、大きな相違点もある。

GPSの場合、衛星からの送信はすべて同じ周波数であり、受信機において衛星毎の識別はC/AコードとPコードによるCDMA（Code Division Multiple Access: コード分割多重接続）方式であるのに対して、GLONASSの場合は、同じコードを使用して衛星毎にその送信周波数を変えるFDMA（Frequency Division Multiple Access: 周波数分割接続）方式を採用している点である。

表-4 GPSの状況（2000年3月27日現在）

衛星番号	PRN番号	打上日 (dd.mm.yy)	稼働日 (dd.mm.yy)	状況	備考
13	02	10.06.89	10.08.89	Operational	
14	14	14.02.89	15.04.89	Operational	26.03.00の23:48 (UTC) から 使用不可(NANU 2000037)
15	15	01.10.90	15.10.90	Operational	
16	16	18.08.89	14.10.90	Operational	04.03.00の09:55 (UTC) から 使用不可(NANU 2000031)
17	17	18.08.89	14.10.89	Operational	
18	18	24.01.90	14.02.90	Operational	
19	19	21.10.89	23.11.89	Operational	
20	20	26.03.90	--	Unusable	
21	21	02.08.90	22.08.90	Operational	
22	22	03.02.93	04.04.93	Operational	
23	23	26.11.90	10.12.90	Operational	
24	24	04.07.91	30.08.91	Operational	
25	25	23.02.92	24.03.92	Operational	
26	26	07.07.92	23.07.92	Operational	
27	27	09.09.92	30.09.92	Operational	
28	28	10.04.92	--	Unusable	
29	29	18.12.92	05.01.93	Operational	
30	30	12.09.96	01.10.96	Operational	
31	31	30.03.93	13.04.93	Operational	
32	01	22.11.92	11.12.92	Operational	
33	03	28.03.96	09.04.96	Operational	
34	04	26.10.93	22.11.93	Operational	
35	05	30.08.93	28.09.93	Operational	
36	06	10.03.94	28.03.94	Operational	
37	07	13.05.93	12.06.93	Operational	
38	08	06.11.97	18.12.97	Operational	
39	09	26.06.93	20.07.93	Operational	26.03.00 15:42(UTC)から27.03.00 06:34(UTC)までの間、 メンテナンスのため使用不可 (NANUs 2000034, 2000038/27 MAR)
40	10	16.07.96	15.08.96	Operational	
43	13	23.07.97	31.08.98	Operational	
46	11	07.10.99	03.01.00	Operational	28.03.00 12:00(UTC)から30.03.00 00:00(UTC)までの間、 メンテナンスのため使用不可 (NANU 2000035) 30.03.00 12:00(UTC)から31.03.00 00:00(UTC)までの間、 メンテナンスのため使用不可 (NANU 2000036)

表-5 GPSおよびGLONASSのシステムの比較

	GPS	GLONASS
信号の構造		
C/Aコード(L1)		
ビット率	1.023MHz	0.511MHz
チップ長	293m	587m
SAの有無	○	×
Pコード		
ビット率	10.23MHz	5.11MHz
チップ長	29.3m	58.7m
SAの有無	○	×
ASの有無	○	×
信号の分離方式	CDMA	FDMA
搬送波のL1帯	1575.42 (MHz)	1602.0+9/16 x K (MHz)
周波数帯域L2帯	1227.60 (MHz)	1246.0+7/16 x K (MHz)
衛星		
衛星数	24	24
軌道面	6面(1面あたり4衛星)	3面(1面あたり8衛星)
軌道傾斜角	55°	64.8°
軌道半径	26560 km	25510 km
周回周期	11時間58分	11時間15分
アルファナックの更新間隔	12.5分	2.5分
基準の時刻系	UTC (U.S. Naval Observatory)	UTC (SU, Russia)
基準の楕円体	WGS-84系	PE-90系

GPSおよびGLONASSのシステムの違いをまとめると、表-5のようになる。

表-5の中で、GLONASSのL1帯およびL2帯の周波数を見ると、

$$L1 \text{ 帯} : 1602.0 + \frac{9}{16} \times K \text{ (MHz)}$$

$$L2 \text{ 帯} : 1246.0 + \frac{7}{16} \times K \text{ (MHz)}$$

表-6 GLONASSの搬送波周波数の定義 (L1帯/L2帯) (GLONASS ICD Revision4)

周波数番号 (= K)	L1帯 (MHz)	L2帯 (MHz)
13	1609.3125	1251.6875
12	1608.75	1251.25
11	1608.1875	1250.8125
10	1607.625	1250.375
09	1607.0625	1249.9375
08	1606.5	1249.5
07	1605.9375	1249.0625
06	1605.375	1248.625
05	1604.8125	1248.1875
04	1604.25	1247.75
03	1603.6875	1247.3125
02	1603.125	1246.875
01	1602.5625	1246.4375
00	1602.0	1246.0
-01	1601.4375	1245.5625
-02	1600.8750	1245.1250
-03	1600.3125	1244.6875
-04	1599.7500	1244.2500
-05	1599.1875	1243.8125
-06	1598.6250	1243.3750
-07	1598.0625	1242.9375

と定義されている。

KはFrequency Number (周波数番号:チャンネルとも呼ばれ、各GLONASS衛星に割り当てられる番号)と呼ばれるパラメータであり、GLONASS Interface Control Document (GLONASS ICD, Revision 4.0, 1998) (<http://www.rssi.ru/SFCSIC/english.html> 参照)において、-7~13までの値で定義されている。表-6は、GLONASS ICDで計画されているシステムの構想をまとめたもので、Kの値を上式に代入することで各々のGLONASS衛星の周波数は決定される。では、現状はどうであろうか。

実際、表-6で定義されている周波数番号はあくまでも計画であるため、現在の衛星の状況とは異なっている。

ここで、最も新しい状況を見ていただきたい(表-7および表-8)。

表-7は2000年3月27日現在における、GLONASS衛星の稼動状況を示したものである。

実際に稼動しているGLONASS衛星は、1766番(22/10)、785番(11/04)、776番(09/06)、778番(15/11)、782番(13/06)、779番(01/02)、784番(08/08)、786番(07/07)の8衛星であることがわかる(括弧内は、前がスロット番号、後半が周波数番号を示す)。

また、表-8は、同じ3月27日現在における、GLONASS衛星の稼動状況を、軌道番号およびスロット番号毎に示したものである(1軌道につき、8個のスロット番号が割り与えられている)。

現在稼動している8衛星の配備状況は、これらの表から見る事ができる。

2.GPS衛星時とGPS衛星+GLONASS衛星ハイブリッド時の測位比較(単独測位)

衛星からの電波の受信環境によるため、一概には言えないが、表-1および表-2で示したようにGPS

表-7 GLONASSの状況 (2000年3月27日現在)

ブロック番号	GLONASS 番号 (スロット/周波数番号)	コスモス番号	打上日	稼働日	状況
22	758 (18/10)	2275	11.04.94	04.09.94	Unusable
23	770 (14/09)	2288	11.08.94	04.09.94	Unusable
23	775 (16/22)	2289	11.08.94	07.09.94	Unusable
25	766 (22/10)	2308	07.03.95	05.04.95	Operational
26	781 (10/09)	2317	24.07.95	22.08.95	Unusable
26	785 (11/04)	2318	24.07.95	22.08.95	Operational
27	776 (09/06)	2323	14.12.95	07.01.96	Operational
27	778 (15/11)	2324	14.12.95	26.04.99	Operational
27	782 (13/06)	2325	14.12.95	18.01.96	Operational
28	779 (01/02)	2364	30.12.98	18.02.99	Operational
28	784 (08/08)	2363	30.12.98	29.01.99	Operational
28	786 (07/07)	2362	30.12.98	29.01.99	Operational

※ グレーの網掛け部が現在稼動しているGLONASS衛星

表-8 現在移動している GLONASS 衛星の配備状況

軌道1	スロット番号	01	02	03	04	05	06	07	08
	周波数番号	02	--	--	--	--	--	07	08
軌道2	スロット番号	09	10	11	12	13	14	15	16
	周波数番号	06	--	04	--	06	--	11	--
軌道3	スロット番号	17	18	19	20	21	22	23	24
	周波数番号	--	--	--	--	--	10	--	--

(2000年3月27日現在)

衛星だけで受信するよりも、GLONASS 衛星のサポートを得ることによって衛星数が確保できることがわかった。

実際に GPS+GLONASS 受信機を用いて測位した結果を紹介する。

ここでは、代表的な1周波 GPS+GLONASS 受信機である Magellan 社 GG24 受信機 (図-1) で取得したデータを以下 (表-9,10) に示す。

実際、この GG24 受信機の単独測位の精度スペックでは、GPS のみの場合には 50m ~ 100m、

表-9 単独測位 (GPS 衛星のみ) の測位誤差の分布 (例) (95%の確率で、半径42yard (約38.4m) の円内にデータが入る)

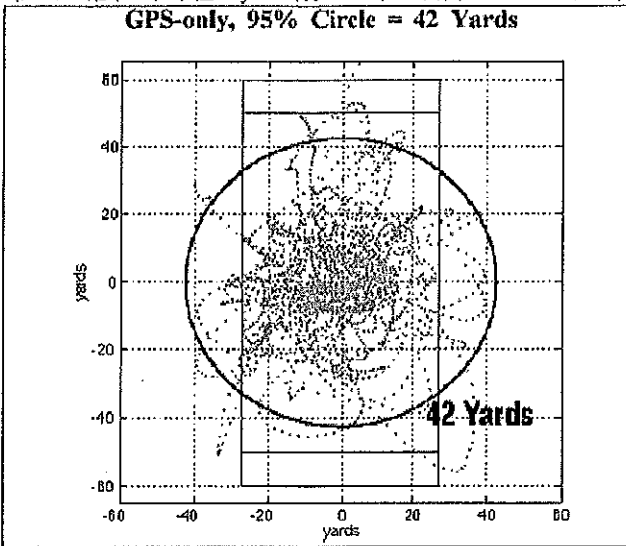


表-10 単独測位 (GPS+GLONASS 衛星) の測位誤差の分布 (例) (95%の確率で、半径13yard (約11.9m) の円内にデータが入る)

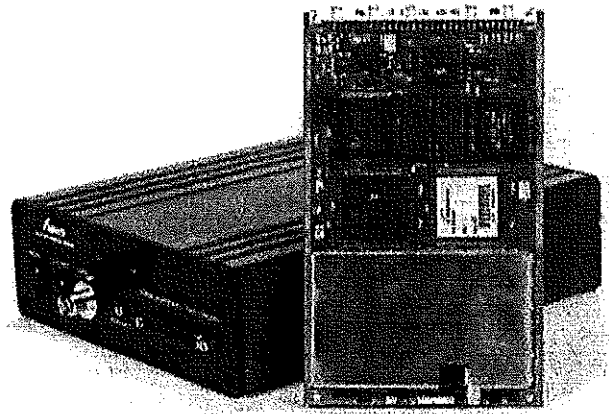
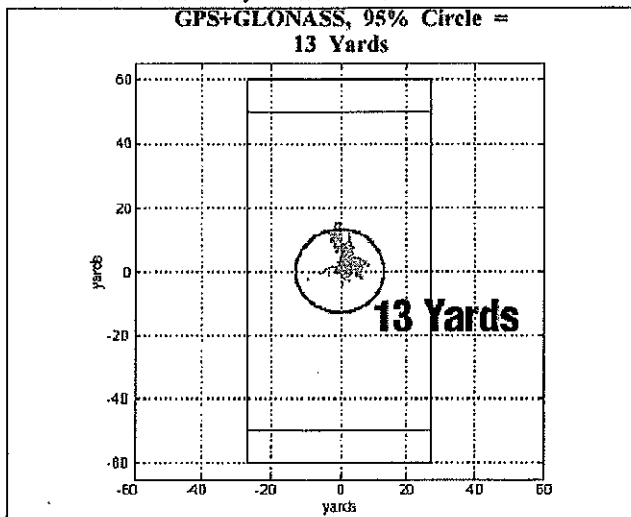


図-1 Magellan 社 GG24 受信機

表-11 GPS および GLONASS の衛星数配分による単独測位の精度指標 (Magellan 社 GG24 GPS+GLONASS 受信機の場合)

GPS衛星数	GLONASS衛星数	50%	95%
≥ 0	≥ 5	~7m	~16m
≥ 1	4	~10m	~20m
≥ 2	3	~15m	~30m
≥ 3	2	~20m	~40m
≥ 4	1	~25m	~100m

GPS+GLONASS 時には 10~20m であるため、表-9 および表-10 の結果は十分に受信機のスペックを満たしており、GPS に特有な SA による測位誤差が、GLONASS の測位結果によって軽減されていることがわかる。

言い換えれば、GPS 衛星と GLONASS 衛星の数の配分によってその精度は変化する。

表-11 は、同じく GG24 受信機の GPS および GLONASS 衛星の数による測位誤差を表したものである。これを見るとわかるように、GPS 衛星数が 0 個以上、GLONASS 衛星数が 5 個以上あれば、測位精度 (95%) は 16m 以内に収まる。また、GPS 衛星数が 3 個以上あったとしても、GLONASS 衛星の数が 2 個よりも少なければ、その精度は 40~100m を超えてしまう。

日本では、通常 2~3 個しか GLONASS 衛星が見られないため、衛星からの電波受信環境が整い、GLONASS 衛星を 5 衛星以上捕捉できるようになれば、単独測位でうたわれている 16m 程度の精度が期待できるであろう。

GLONASS 衛星の打ち上げ計画が一刻も早く進行することを願うばかりである。

今回は、GPS+GLONASS 受信機のディファレンシャル測位と、RTK 測位について詳しく見ていきたいと思う。