

## I-16 GPS と GLONASS を用いた RTK 測位の初期化時間に関する研究

## Study on the Initialization Time of RTK Positioning using GPS and GLONASS

池田隆博<sup>1</sup>・佐田達典<sup>2</sup>

Ikeda Takahiro, Sada Tatsunori

**抄録:** 現在運用中の衛星測位システムとして GPS の他に GLONASS がある。GLONASS とは、ロシアが運用する衛星測位システムである。衛星数は、GPS の次に多く GPS と GLONASS を併用することで RTK 測位の初期化時間の短縮効果が期待できる。本研究では、GPS のみと GPS と GLONASS 併用の測位を実施し、初期化時間の比較を行った。解析は初期化時間を単独測位解時間と Float 解時間に分割して行い、それぞれの測位解が開始した時の衛星数と DOP 値を比較対象とした。その結果、初期化時間は衛星数に依存する傾向が見られ、また、Float 解開始時の GPS 衛星の数によって GLONASS 併用の有効性を判断できることが確認された。

**Abstract:** There are two operational satellite systems, GPS and GLONASS. GLONASS is a satellite positioning system operated by Russia. The improvement of shortening initialization time of RTK by using GPS and GLONASS is expected because GLONASS has a lot of satellite next to GPS. The authors executed the experiment on RTK initialization time in the case of GPS only and combine of GPS+GLONASS. Initialization time which consisted of standalone solution time and floating solution time was analyzed with number of satellites observed and DOP values. As a result, it was demonstrated that the initialization time depended on number of satellites. In addition, it was confirmed that the combination usage of GLONASS with GPS had effectiveness to short the initialization time in the case of specified satellite numbers of GPS when the RTK floating solution had started.

**キーワード:** GPS, GLONASS, GNSS, RTK, 初期化, DOP

**Keywords:** GPS, GLONASS, GNSS, RTK, Initialization, DOP

## 1. はじめに

現在運用中の衛星測位システムとして、アメリカが運用する GPS (Global Positioning System: 全地球測位システム) と、ロシアが運用する GLONASS (Global Navigation Satellite System) がある。GPS については、システムの運用に必要な衛星数 24 機に達しており、基本的に 24 時間天候に関係なくサービスが提供される。一方、GLONASS については、単独運用に必要な衛星数には達していないが、2008 年 12 月に新たな衛星を 3 機打ち上げて現在 20 機体制で運用しており、今後の打ち上げによっては全世界での測位が可能となる 24 機体制での運用が期待できる。

GPS と GLONASS を併用した測位については、双方の電波が受信可能な GNSS (Global Navigation Satellite System) 受信機が必要となる。現在では、複数のメーカーから開発・販売が行われており、GPS と GLONASS の併用測位によって、従来の GPS 測位よりも観測衛星数が増大し、リアルタイムに高精度測位が可能な RTK (Real-time Kinematic) 測位における初期化時間の短縮が見込まれる。

初期化時間の決定要因については、各種の実験結果

により、観測衛星数および DOP (Dilution of Precision: 衛星配置による精度劣化度) によって影響することが報告されている。しかしながら、これらの報告は GPS 測位によるものが主であり、GLONASS 併用による初期化時間と衛星数及び DOP との関連性に関する研究はほとんど行われていない。そこで本研究では、静止状態による RTK 測位を「GPS のみ」の場合と「GPS+GLONASS 併用」の場合とで行い、測位モード別に解析を行うことで初期化の特性を明らかにすることを目的とする。

## 2. GPS と GLONASS の概要

### (1) 測位衛星の構成

衛星測位システムは、地球を周回する測位衛星から送信される電波を地上の受信機で受信することにより、衛星から受信機までの距離を算出し、同時に送信される衛星の位置情報をもとに受信機の 3 次元位置を求めるシステムである。

GPS 衛星は、6 つの軌道面毎に 4 機以上の衛星が配備されており、高度 20,200km の位置を 55° の軌道傾斜角 (軌道面と赤道面との角度) で地球を周回している。

1 : 学生会員 日本大学大学院 理工学研究科 社会交通工学専攻  
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1, Tel :047-469-8147, E-mail : tranquilize@live.jp)

2 : 正会員 博士(工) 日本大学教授 理工学部社会交通工学科 (E-mail : sada@trpt.cst.nihon-u.ac.jp)

表-1 GPS と GLONASS の主な仕様<sup>1)</sup>

衛星	GPS	GLONASS
運用国	アメリカ	ロシア
設計衛星数(運用数)	24機(31機*)	24機(20機*)
軌道面	6面	3面
軌道半径	26,560km	25,510km
軌道高度	約20,200km	約19,100km
軌道傾斜角	55°	64.8°

\*2009年6月現在

表-2 GPS と GLONASS の電波比較<sup>2)</sup>

衛星	GPS	GLONASS
信号方式	CDMA	FDMA
搬送波	L1搬送波: 1575.42MHz L2搬送波: 1227.60MHz	L1搬送波: 1602.0+(K×0.5625)MHz L2搬送波: 1246.0+(K×0.4375)MHz K=チャンネル番号
測位符号	C/Aコード: 1.023Mbps P(Y)コード: 10.23Mbps	C/Aコード: 0.51Mbps Pコード: 5.11Mbps

2009年現在、GPS衛星は24機以上で運用されており、11時間58分02秒の周期で地球を周回している。そのため、1日毎に約4分の衛星配置のズレが生じる。

一方、GLONASS衛星は、3つの軌道面毎に8機の衛星が配備され、高度19,100kmの位置を64.8°軌道傾斜角で地球を周回する設計である。2009年現在、GLONASS衛星は20機で運用されており、11時間15分40秒で地球を周回しているため、1日毎に約1時間30分の衛星配置のズレが生じる。

双方の衛星を比較した場合、GLONASS衛星の軌道傾斜角がGPS衛星よりも急勾配であることが分かる。これにより、北半球における極方向の衛星数増加が見込まれ、併用測位における有効性の1つとなっている。

表-1にGPSとGLONASSの仕様比較を示す。

### (2) 電波と初期化

GPS衛星は、全ての衛星に対して波長が同一の方式(CDMA: Code Division Multiple Access)を採用しており、送信される電波はL1とL2の2種類の搬送波である。搬送波には、C/AコードとP(Y)コードの2種類の測位符号が載せられており衛星毎に異なるパターンで送信されている。GPS測位では、単独測位と相対測位の2つに分けられ、単独測位では測位符号を使用して衛星から受信機までの距離を算出するが、相対測位の1つである干渉測位では、搬送波を使用する。衛星から受信機までの距離は波数に波長を乗じて算出するが、受信機が最初に電波を受信した際、波数の小数部は分かるが、波数の整数部は不明である<sup>3)</sup>。この未知数を整数値バイアスと呼び、バイアス値が確定することを初期化という。

一方、GLONASS衛星は、全ての衛星に対して波長が異なる方式(FDMA: Frequency Division Multiple Access)を採用しており、送信される電波はGPS衛星

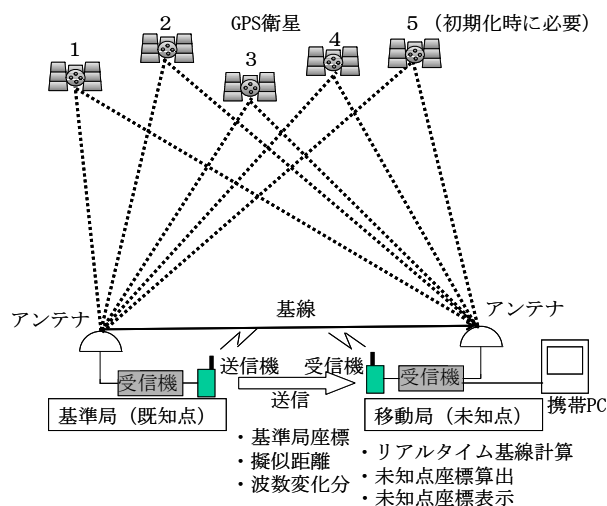


図-1 RTK測位のシステム構成<sup>4)</sup>

と同様にL1とL2の2種類の搬送波である。測位符号についてもGPS衛星と同様にC/AコードとPコードの2種類があるが、こちらは全衛星に対して同一である<sup>5)</sup>。表-2にGPSとGLONASSの搬送波と測位符号の比較を示す。

### 3. GPSとGLONASS併用によるRTK測位

RTK測位とは、実時間で干渉測位を行う方式であり、この測位方式の特長は、移動中であってもリアルタイムに約20mmの精度で正確な測位が可能となる点である。

RTK測位では、図-1で示すように基準局の座標データや搬送波位相積算値データを特定小電力無線等の通信システムに介してリアルタイムに移動局へ送信し、移動局側の未知点座標を瞬時に算出する。

RTK測位における整数値バイアスの決定については、オンザフライ(OTF: on the fly)を用いる。オンザフライでは、GPS測位の場合、初期化時に最低でも5衛星以上観測する必要があるが、GLONASS併用測位の場合6衛星以上必要であり、その内最低2衛星以上GLONASS衛星を観測する必要がある。これは、GPS衛星の原子時計がGPS時間に準拠しGLONASS衛星の原子時計がUTC(世界標準時)に準拠しているためである。この2つのシステム間の時計時刻差をクロックオフセットといい、GPSとGLONASSを併用して測位を行う場合求める必要がある。これには、最低2機のGLONASS衛星から電波を受信する必要があるが、1機目はクロックオフセットを求めるために、2機目はGPSと同様に測位衛星として使用する<sup>6)</sup>。

なお、RTK測位で出力される測位解については、バイアス値が整数値として確定した解をFix(フィックス)解と呼び、正確なバイアス値が決定するまでの解

表－3 RTK 測位で出力される測位解

測位解	内容	概略精度
Fix解	バイアスが整数値として確定した解	5mm～20mm
Float解	バイアスが実数値のままの解	10cm～数m
DGPS解	ディファレンシャル測位による解	0.5m～2.0m
単独測位解	単独測位による解	10m

を Float(フロート) 解と呼ぶ。Float 解では、バイアスが整数値として求められておらず、実数値のままの解であるため、測位精度は Fix 解に比べて大きく劣る。また、無線が途絶した場合は単独測位解、受信機の設定によっては DGPS (Differential GPS) 解となる。各測位解の内容の精度について表－3に示す。

#### 4. 既存の研究

RTK 測位における GLONASS 併用効果<sup>7)</sup>において、初期化時間比較実験が行われている。この比較実験では、「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」についての RTK 測位を同時時間帯に実施し、同時時間帯比較、HDOP 別比較の2つの評価が実施されている。結果は、GPS のみでは受信衛星数が少ない、あるいは HDOP の値が大きいほど GLONASS 併用により初期化時間が短縮および安定する傾向が確認された。

また、「GNSS 測量システム」に関する測量技術・建設技術審査証明<sup>8)</sup>において、RTK 測量に関する初期化時間の比較試験が実施されている。この比較試験では、GLONASS の有効性を確認するため、GPS だけでは観測が困難な上空視界の悪い場所で観測が行われている。移動局では、GLONASS 利用の有無を設定した GNSS 受信機を1台ずつ用意し、単体の GNSS アンテナから受信電波や補正情報をそれぞれの GNSS 受信機へ分配して同一条件で同時観測が行われている。結果は、GPS のみでは初期化が困難な時間帯においても GLONASS 併用により初期化が安定して行われ、RTK 測位における初期化時間短縮の有効性が示された。

#### 5. 初期化時間に関する実験

##### (1) 実験目的

GLONASS 併用による初期化時間の特性と、初期化時間に対する衛星数、DOP との関連性を明らかにするために、「GPS のみ」による測位と「GPS+GLONASS 併用」による測位を行い、初期化時間計測実験を実施した。なお DOP については、PDOP (Position DOP : 位置精度低下率)、HDOP (Horizontal DOP : 水平精度低下率)、VDOP (Vertical DOP : 垂直精度低下率) の3種類を対象とし、どの DOP が初期化時間に対して有効に評価できるか比較を行った。



図－2 実験機器設置状況



図－3 GNSS 受信機と特定小電力無線

##### (2) 実験日時・場所

実験日時は、2008年10月3日13:00～16:30、2008年10月11日14:30～17:30、2008年10月18日9:30～15:30の3回に分けて実施し、実験場所は、日本大学理工学部船橋キャンパス7号館屋上である。

##### (3) 実験方法

実験は、図－2に示すように基準局と移動局を約10mの間隔で設置して行った。実験で使用した GNSS 受信機は、トプコン社製 LEGACY-E+ (図－3) である。本機は、GPS と GLONASS の L1 波、L2 波を受信できる2周波受信機であり、「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」の測位モードの切り替えが可能である。なお、基準局から移動局へのデータ送信は、特定小電力無線 (図－3) を使用し、データの収集は、GNSS 受信機をノートパソコンに接続して行った。受信機から出力されるデータについては NMEA-0183 の GGA、GSV、GSA の3種類であり、出力間隔を 1Hz に設定して、連続したデータの記録を行った。

実験方法は、次の手順で行った。まず、測位状態が Fix になっているのを確認し、移動局側のアンテナコードを手動で受信機から抜き、衛星信号を切断して受信不能の状態にする。次に、アンテナコードを受信機に再接続し、再度測位状態を Fix にする。この再接続後 Fix になるまでに要した時間を初期化時間とする。

実験時の測位条件としては、衛星配置の変化による観測条件が大きく変わらないように「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」の測位モードを10分間隔で切り替えて、それぞれの測位モードで初期化時間の計測を約440回行った。

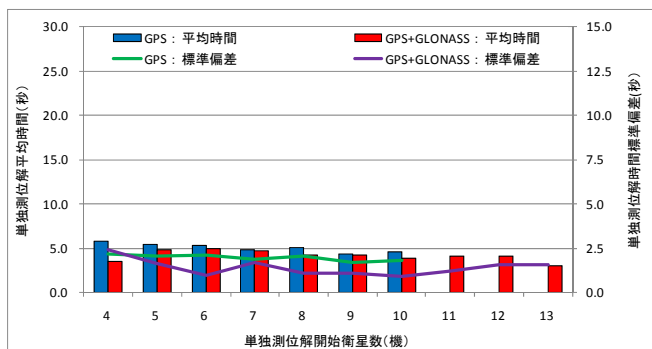


図-4 単独測位解開始衛星数と単独測位解平均時間

表-4 単独測位解開始衛星数と平均単独測位解時間

衛星数 (機)	単独測位解平均時間(秒)			単独測位解時間標準偏差(秒)		
	GPS	GPS+GLONASS	併用効果	GPS	GPS+GLONASS	併用効果
4	5.8	3.5	2.3	2.2	2.4	-0.2
5	5.4	4.9	0.6	2.0	1.6	0.4
6	5.3	4.9	0.4	2.1	1.0	1.1
7	4.8	4.7	0.0	1.9	1.7	0.2
8	5.1	4.3	0.8	2.1	1.1	1.0
9	4.3	4.3	0.1	1.7	1.1	0.6
10	4.6	3.9	0.7	1.8	0.9	0.9
11		4.1				1.2
12		4.1				1.5
13		3.0				1.6

## 6. 実験結果と解析

### (1) 実験結果の解析方法

本実験の測位状態については、NMEA-0183 の GGA の解のフラグにより解釈を行った。各受信機メーカーでは、一般的に独自のフォーマットを持っており NMEA-0183 よりも情報量の多いデータが得られる。しかし、独自フォーマットによって出力されるデータの分析では、特定の受信機によらない汎用的な研究には適さないため、本研究では共通して出力できる NMEA-0183 によって測位状態の解釈を行った。

初期化時間は、単独測位解の時間と Float 解の時間の和で表わされるので、GGA のフラグに従い初期化時間の算出を行った。なお、本受信機の GGA フラグの解釈については、単独測位解は「1」、Float 解は「5」、Fix 解は「4」と表示されるのでそれを元に測位状態の判断を行った。解析方法については、初期化時間を GGA のフラグに従い「単独測位解時間」と「Float 解時間」を分けて行う。単独測位解および Float 解が得られた時点の観測衛星数、さらに、PDOP, HDOP, VDOP の各 DOP 値を対象に解析を行い、「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」の測位モード別に平均時間および時間分布の比較を行った。

### (2) 単独測位解時間と衛星数, DOP との関連性

単独測位解開始衛星数と単独測位解平均時間の関係を図-4および表-4に示す。衛星数別に「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」の平均時間の比較を行うと、どの衛星数においても平均時間に明確な差が無いことがわかる。また、単独測位解開始時の衛星数と単独測

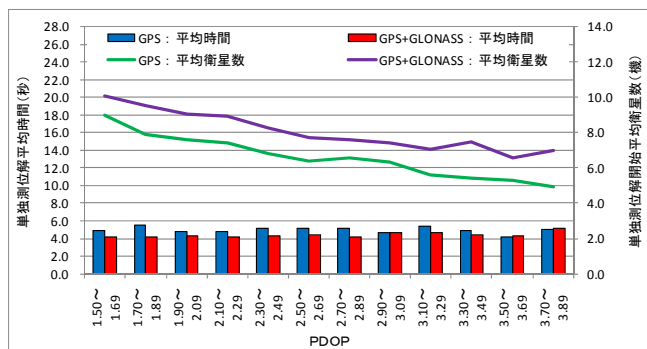


図-5 単独測位解開始 PDOP と単独測位解平均時間

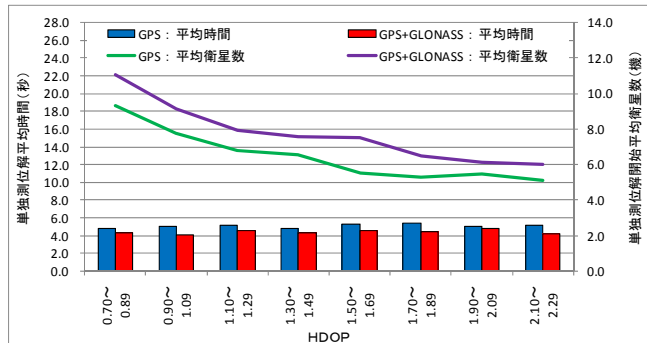


図-6 単独測位解開始 HDOP と単独測位解平均時間

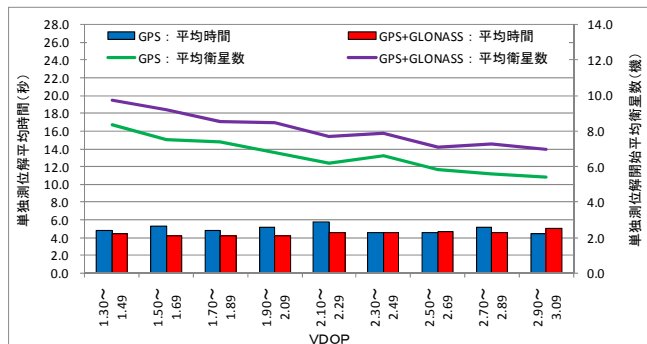


図-7 単独測位解開始 VDOP と単独測位解平均時間

位解平均時間の関連性を見ても、衛星数が多いほど平均時間が短くなるような傾向は見られず衛星数によって差はほとんど生じないことがわかる。

標準偏差についても同様の比較を行う。衛星数4機の場合に限り、「GPS のみ」の方が値は小さいが、それ以外の衛星数の場合においては「GPS+GLONASS 併用」の方が値は小さく全体的に変動が小さいことがわかる。

単独測位解開始時の各 DOP 値と単独測位解平均時間の関係を図-5, 6, 7および表-5, 6, 7に示す。測位モード別における衛星数の差については、「GPS+GLONASS 併用」の方が、「GPS のみ」の測位条件よりも1~2機程度多いことがわかる。これは、同時間帯の測位ではGPSのみよりもGLONASS併用の方が測位に利用できる衛星が多いためといえる。

測位モード別における単独測位解平均時間の比較に

表-5 単独測位解開始 PDOP と単独測位解平均時間

PDOP	単独測位解平均時間(秒)			単独測位解開始平均衛星数(機)		
	GPS	GPS+GLONASS	併用効果	GPS	GPS+GLONASS	併用効果
1.50~1.69	4.9	4.2	0.7	9.0	10.1	1.1
1.70~1.89	5.6	4.2	1.4	7.9	9.5	1.6
1.90~2.09	4.8	4.3	0.5	7.6	9.1	1.5
2.10~2.29	4.8	4.2	0.6	7.4	8.9	1.5
2.30~2.49	5.2	4.3	0.9	6.8	8.2	1.4
2.50~2.69	5.2	4.5	0.7	6.4	7.7	1.3
2.70~2.89	5.1	4.2	0.9	6.6	7.6	1.0
2.90~3.09	4.7	4.7	0.0	6.3	7.4	1.1
3.10~3.29	5.4	4.7	0.7	5.6	7.1	1.5
3.30~3.49	4.9	4.4	0.5	5.4	7.5	2.1
3.50~3.69	4.2	4.3	-0.1	5.3	6.6	1.3
3.70~3.89	5.0	5.1	-0.1	4.9	7.0	2.1

表-6 単独測位解開始 HDOP と単独測位解平均時間

HDOP	単独測位解平均時間(秒)			単独測位解開始平均衛星数(機)		
	GPS	GPS+GLONASS	併用効果	GPS	GPS+GLONASS	併用効果
0.70~0.89	4.8	4.4	0.4	9.3	11.1	1.8
0.90~1.09	5.0	4.1	0.9	7.8	9.1	1.3
1.10~1.29	5.2	4.5	0.7	6.8	7.9	1.2
1.30~1.49	4.8	4.3	0.5	6.6	7.6	1.0
1.50~1.69	5.3	4.6	0.7	5.5	7.5	2.0
1.70~1.89	5.4	4.5	0.9	5.3	6.5	1.3
1.90~2.09	5.0	4.9	0.1	5.5	6.1	0.7
2.10~2.29	5.2	4.2	1.0	5.1	6.0	0.9

表-7 単独測位解開始 VDOP と単独測位解平均時間

VDOP	単独測位解平均時間(秒)			単独測位解開始平均衛星数(機)		
	GPS	GPS+GLONASS	併用効果	GPS	GPS+GLONASS	併用効果
1.30~1.49	4.8	4.4	0.4	8.3	9.7	1.4
1.50~1.69	5.3	4.2	1.1	7.5	9.2	1.7
1.70~1.89	4.8	4.2	0.6	7.4	8.5	1.2
1.90~2.09	5.2	4.2	1.0	6.8	8.5	1.7
2.10~2.29	5.8	4.5	1.3	6.2	7.7	1.5
2.30~2.49	4.5	4.5	0.0	6.6	7.9	1.3
2.50~2.69	4.5	4.7	-0.2	5.9	7.1	1.2
2.70~2.89	5.1	4.6	0.5	5.6	7.3	1.7
2.90~3.09	4.4	5.1	-0.7	5.4	6.9	1.5

については、各 DOP 値の範囲毎の比較において「GPS のみ」よりも「GPS+GLONASS 併用」の単独測位解平均時間が短縮した場合について調べた。その結果、PDOP, HDOP, VDOP に共通して「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」の平均時間に明確な差が無いことが確認された。

これらの傾向は、図-8, 9, 10 の単独測位解開始時の DOP 値に対する単独測位解時間の分布からでも確認できる。単独測位解時間の分布に対して近似曲線を描くと、DOP の種類に関わらず単独測位解時間が5秒弱の位置でほぼ一直線となり、単独測位解時間がDOP 値に関連するような傾向は見られなかった。また、各 DOP の単独測位解時間の分布を見ると「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」共にほぼ同じ時間帯で分布していることがわかる。

単独測位解時間の累積度数について図-11 に示す。測位モード別に累積度数の比較を行うと、10~30%では、測位モード別による差は見られないが、40%以降から「GPS+GLONASS 併用」のデータ数が「GPS のみ」のデータ数を上回る傾向にあるため、全体的に「GPS のみ」よりも「GPS+GLONASS 併用」の方が単独測位解時間は短くなる傾向にあることがわかる。

以上により、単独測位解時間は単独測位解開始時の

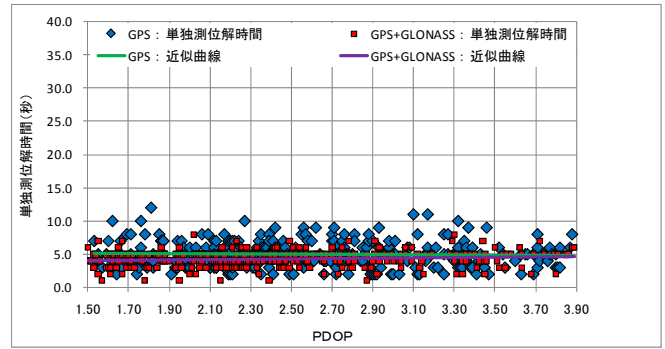


図-8 単独測位解開始 PDOP と単独測位解時間分布

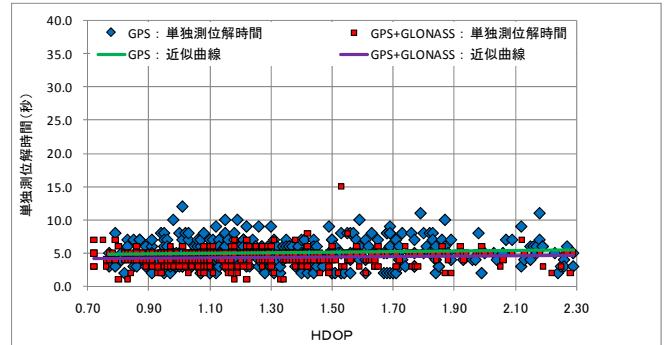


図-9 単独測位解開始 HDOP と単独測位解時間分布

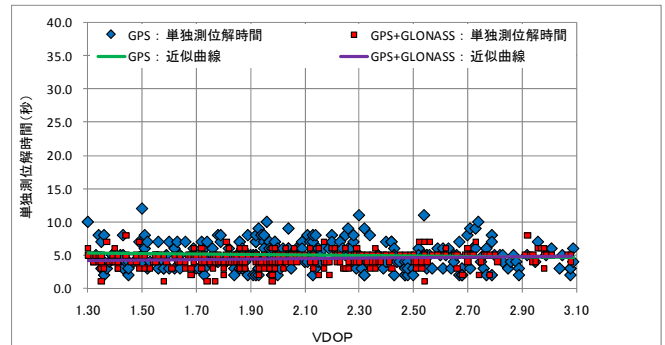


図-10 単独測位解開始 VDOP と単独測位解時間分布

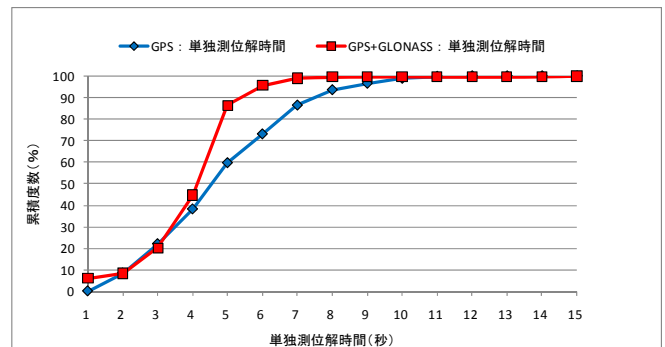


図-11 単独測位解時間累積度数

衛星数に依存するが、「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」の平均時間において明確な差は確認出来なかった。また、各 DOP 値においても「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」の平均時間に明確な差は確認出来ず、DOP 値との関連性は無いことが分かった。

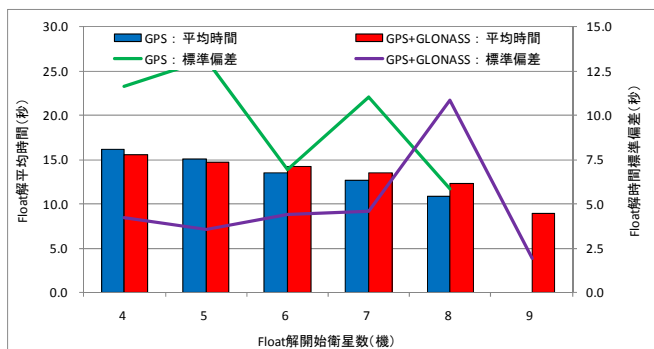


図-12 Float 解開始衛星数と Float 解平均時間

表-8 Float 解開始衛星数と平均 Float 解時間

衛星数 (機)	Float解平均時間(秒)			Float解時間標準偏差(秒)		
	GPS	GPS+GLONASS	併用効果	GPS	GPS+GLONASS	併用効果
4	16.1	15.5	0.6	11.6	4.2	7.5
5	15.1	14.7	0.4	13.1	3.5	9.6
6	13.5	14.3	-0.8	6.9	4.4	2.6
7	12.6	13.5	-0.9	11.0	4.6	6.4
8	10.8	12.3	-1.5	5.8	10.8	-5.0
9		8.9			1.9	

### (3) Float 解時間と衛星数, DOP との関連性

Float 解開始衛星数と Float 解平均時間の関係を図-12 および表-8 に示す。衛星数別に「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」の平均時間の比較を行うと、5 衛星以下の場合「GPS+GLONASS 併用」の方が平均時間は短く、6 衛星以上の場合「GPS のみ」の方が平均時間は短いと僅差であるので、明確な差は無いものと考えられる。また、Float 解開始時の衛星数と平均 Float 解時間の関連性を見ると、単独測位解時間と同様に測位モードの違いに関係なく衛星数が多いほど Float 解平均時間が短くなる傾向にあることがわかる。

標準偏差について測位モード別による比較を行う。衛星数 8 機の場合に限り「GPS のみ」の方が値は小さいが、その他の衛星数については「GPS+GLONASS 併用」の方が値は小さく、単独測位解時間と同様に変動が小さいことがわかる。

Float 解開始時の各 DOP 値と Float 解平均時間の関係を図-13, 14, 15 および表-9, 10, 11 に示す。測位モード別による衛星数の差については、原則「GPS+GLONASS 併用」の方が取得衛星数は多いため単独測位解の場合と同様に 1~2 機程度生じる。これは、同時間帯・場所において「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」で測位を行えば必ず GLONASS を併用したほうが衛星数は多くなるためである。

測位モード別による Float 解平均時間の比較については、各 DOP 値の範囲毎の比較において「GPS のみ」よりも「GPS+GLONASS 併用」の Float 解平均時間が短縮した場合について調べた。なお、Float 解の評価に使用した DOP 値は GSA の値を用いたが、RTK で使用している衛星の組合せによる DOP 値であることを確

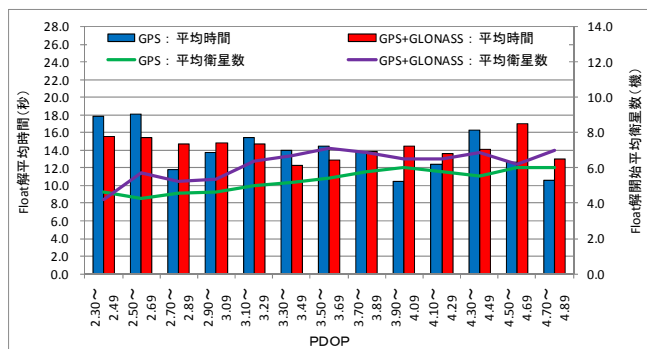


図-13 Float 解開始 PDOP と Float 解平均時間

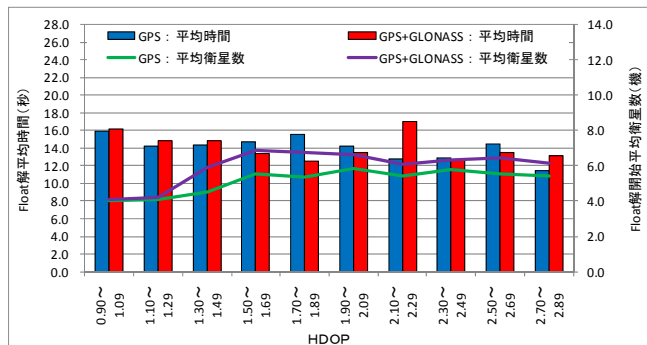


図-14 Float 解開始 HDOP と Float 解平均時間

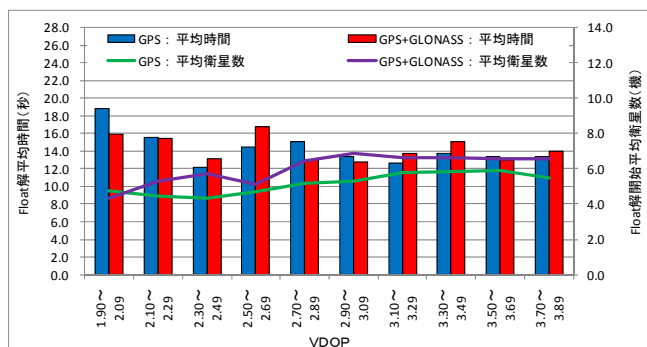


図-15 Float 解開始 VDOP と Float 解平均時間

認している。その結果、PDOP については 2.30~4.89 までを同間隔に分割した 13 個の比較対象の内 6 個、HDOP については 0.90~2.89 までを同間隔に分割した 10 個の比較対象の内 5 個、VDOP については 1.90~3.89 までを同間隔に分割した 10 個の比較対象の内 5 個について Float 解平均時間の短縮が確認できた。しかし、DOP 値に関連して Float 解平均時間が短縮するような傾向は見られなかった。したがって、「GPS+GLONASS 併用」による Float 解平均時間の短縮は、PDOP, HDOP, VDOP に関わらず半数程度であり、DOP 値による影響も見られなかったことから、「GPS+GLONASS 併用」によって Float 解平均時間が短縮したという明確な傾向は見られなかった。

Float 解開始時の DOP 値に対する Float 解時間の分布を図-16, 17, 18 に示す。分布図より、「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」の分布について明確な違い

表-9 Float 解開始 PDOP と Float 解平均時間

PDOP	Float解平均時間(秒)			Float解開始平均衛星数(機)		
	GPS	GPS+GLONASS	併用効果	GPS	GPS+GLONASS	併用効果
2.30~2.49	17.9	15.6	2.3	4.6	4.2	-0.4
2.50~2.69	18.0	15.4	2.6	4.3	5.7	1.4
2.70~2.89	11.8	14.7	-2.9	4.6	5.2	0.6
2.90~3.09	13.7	14.8	-1.1	4.6	5.4	0.8
3.10~3.29	15.4	14.7	0.7	5.0	6.4	1.4
3.30~3.49	14.0	12.3	1.7	5.2	6.7	1.5
3.50~3.69	14.4	12.9	1.5	5.4	7.1	1.7
3.70~3.89	13.8	13.9	-0.1	5.8	6.9	1.1
3.90~4.09	10.5	14.4	-3.9	6.0	6.5	0.5
4.10~4.29	12.4	13.6	-1.2	5.8	6.5	0.7
4.30~4.49	16.3	14.1	2.2	5.5	6.9	1.4
4.50~4.69	12.7	17.0	-4.3	6.0	6.2	0.2
4.70~4.89	10.6	13.0	-2.4	6.0	7.0	1.0

表-10 Float 解開始 HDOP と Float 解平均時間

HDOP	Float解平均時間(秒)			Float解開始平均衛星数(機)		
	GPS	GPS+GLONASS	併用効果	GPS	GPS+GLONASS	併用効果
0.90~1.09	15.9	16.1	-0.2	4.0	4.1	0.1
1.10~1.29	14.2	14.8	-0.6	4.1	4.2	0.1
1.30~1.49	14.3	14.9	-0.6	4.5	5.9	1.4
1.50~1.69	14.7	13.3	1.4	5.6	6.9	1.3
1.70~1.89	15.5	12.6	2.9	5.4	6.7	1.3
1.90~2.09	14.2	13.5	0.7	5.8	6.6	0.8
2.10~2.29	12.8	16.9	-4.1	5.4	6.1	0.7
2.30~2.49	12.9	12.6	0.3	5.8	6.3	0.5
2.50~2.69	14.5	13.5	1.0	5.6	6.4	0.8
2.70~2.89	11.5	13.2	-1.7	5.4	6.2	0.8

表-11 Float 解開始 VDOP と Float 解平均時間

VDOP	Float解平均時間(秒)			Float解開始平均衛星数(機)		
	GPS	GPS+GLONASS	併用効果	GPS	GPS+GLONASS	併用効果
1.90~2.09	18.8	15.9	2.9	4.7	4.3	-0.4
2.10~2.29	15.6	15.5	0.1	4.4	5.3	0.9
2.30~2.49	12.2	13.2	-1.0	4.3	5.8	1.5
2.50~2.69	14.5	16.8	-2.3	4.7	5.1	0.4
2.70~2.89	15.1	13.0	2.1	5.2	6.5	1.3
2.90~3.09	13.4	12.8	0.6	5.3	6.9	1.6
3.10~3.29	12.6	13.7	-1.1	5.8	6.6	0.8
3.30~3.49	13.7	15.0	-1.3	5.8	6.6	0.8
3.50~3.69	13.3	13.0	0.3	5.9	6.6	0.7
3.70~3.89	13.4	14.0	-0.6	5.5	6.5	1.0

は無く同程度であることがわかる。したがって、Float 開始時の DOP 値が同程度であれば、「GPS のみ」と「GPS+GLONASS 併用」による Float 解時間も同程度の長さになるといえる。なお、測位モード別の Float 解時間の分布に対して近似曲線を描くと、DOP 値が高いほど Float 解時間が短くなる傾向が見られた。しかしながら、傾斜自体は緩やかであり DOP の範囲毎のデータ数にも差があるため DOP 値が高いほど整数値バイアスの決定を容易にしているとは考えにくい。したがって、Float 解時間も単独測位解時間と同様に DOP 値に関連するような傾向は無いものと考えられる。

Float 解時間の累積度数を図-19 に示す。測位モード別に累積度数で比較を行うと、50%までは「GPS のみ」のデータ数が多く、50%以降では「GPS+GLONASS 併用」のデータ数が多く若干「GPS のみ」のデータ数を上回る。なお、累積度数が 50%を超えるときの Float 解時間は 12~13 秒であった。

したがって、Float 解時間が 12 秒以下、すなわち表-8 より「GPS のみ」の場合で Float 解開始衛星数が 8 機以上であれば「GPS のみ」の方が Float 解時間は短くなり、Float 解時間が 13 秒以上、すなわち「GPS のみ」の Float 解開始衛星数が 7 機以下であれば

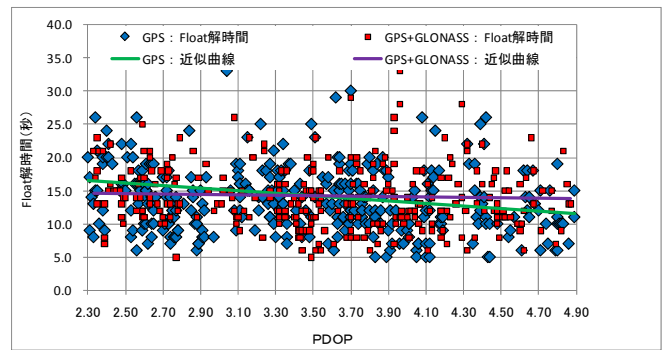


図-16 Float 解開始 PDOP と Float 解時間分布

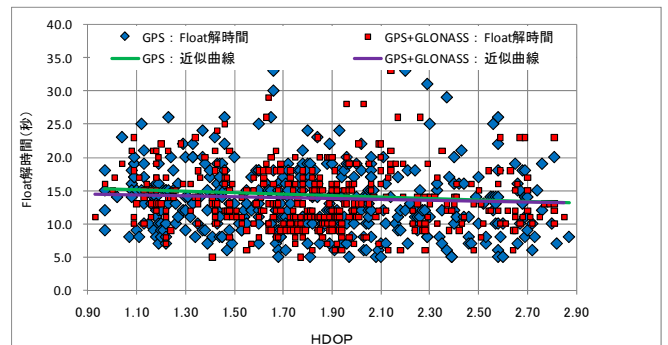


図-17 Float 解開始 HDOP と Float 解時間分布

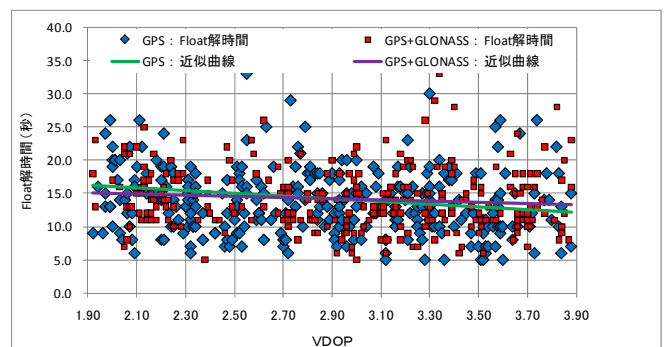


図-18 Float 解開始 VDOP と Float 解時間分布

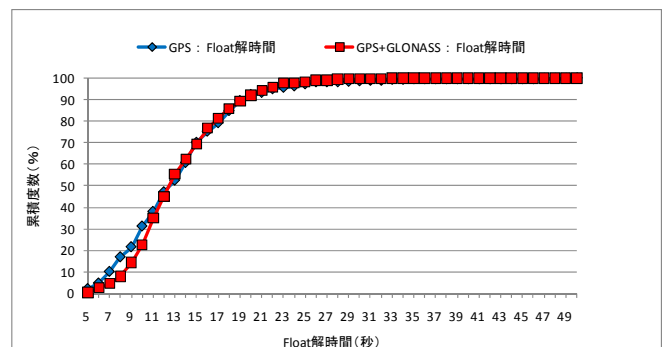


図-19 Float 解時間累積度数

「GPS+GLONASS 併用」の方が Float 時間は短くなる傾向にあることがわかる。

以上により、Float 解時間は Float 解開始時の衛星数に依存し、DOP 値については値が高いほど Float 解時間が短くなる傾向が見られたが、明確な理由は特定で

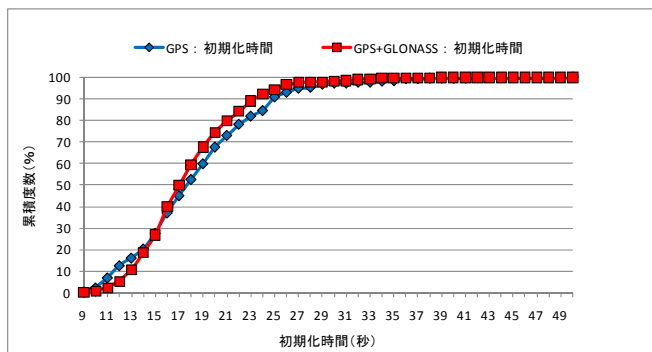


図-20 初期化時間累積度数

きなかった。また、「GPSのみ」と「GPS+GLONASS併用」のFloat解時間の短縮効果について、衛星数別による比較では関連性が見られたが、DOP値別による比較では関連性が見られなかった。

#### (4) 初期化時間の傾向

初期化時間の累積度数について図-20に示す。測位モード別に累積度数で比較を行うと、30%までは「GPSのみ」のデータ数が、30%以降では「GPS+GLONASS併用」のデータ数が多い。なお、累積度数が30%を超えときの初期化時間は15~16秒であった。

累積度数の傾向を見てもわかるように、本実験で算出した初期化時間の30%は「GPSのみ」の方が短く、残りの70%は「GPS+GLONASS併用」の方が短いことがわかる。また、「GPS+GLONASS併用」のデータ数が「GPSのみ」のデータ数を上回るのが16秒以降である。表-4より単独測位解時間が4~5秒程度で「GPSのみ」よりも「GPS+GLONASS併用」の方が短いことを考慮すると、図-19において「GPSのみ」のFloat解時間が12秒以下にならない限り、GLONASSを併用した方が初期化時間は早いといえる。

## 7. 結論

### (1) 本研究の成果

本研究では、GPSとGLONASSを用いたRTK測位の初期化時間について検証を行った。「GPSのみ」と「GPS+GLONASS併用」による測位において初期化時間の算出を行い、初期化開始時の衛星数とPDOP、HDOP、VDOP値を対象に解析を行った。

同観測衛星数に対する初期化時間の比較については、「単独測位解時間」では平均時間に明確な差が無いという結果が得られ、「Float解時間」においても同様の結果が得られている。したがって、測位モードが異なっても、衛星数に対する初期化時間は変わらないといえる。しかし、同じ場所・時間帯において「GPSのみ」と「GPS+GLONASS併用」で測位を行えば、必ずGLONASS併用のほうが衛星数は多くなるので、GLONASS併用による初期化時間の短縮効果はあるも

のといえる。

一方、DOP値に対する初期化時間の比較については、測位モードに関係なく「単独測位解時間」、「Float解時間」共にDOP値に依存しないという結果が得られている。同じ場所・時間帯において「GPSのみ」と「GPS+GLONASS併用」で測位を行えば、GLONASS併用のほうが衛星数は多くなるのでDOP値も低くなるが、DOP値に初期化時間が関連するような傾向は見られないため初期化時間の決定要因は、DOPよりも衛星数の影響が大きいものと考えられる。

### (2) 今後の課題

「GPSのみ」と「GPS+GLONASS併用」の初期化時間の特性について、どちらも衛星数に依存し、Float解開始時のGPS衛星の数によってはGLONASSを併用した方が「GPSのみ」の初期化時間よりも早くなる傾向となりえる。しかし、今回の実験では、衛星からの電波を遮断するような障害物のない場所で実施したため、異なる測位条件では、違う結果が得られると考えられる。そこで、天空上の取得衛星の範囲を限定すれば、GLONASS併用による衛星数増加の効果について大きく影響すると考えられるので今後検証を進めていきたい。

**謝辞：**本研究にあたり株式会社トプコンの坂本和幸氏、赤井洋満氏にご協力いただいた。また、本研究は平成20年度科学研究費補助金基盤研究C(20560495)の助成を受けた。ここに記して謝意を申し上げる。

### 参考文献

- 1) 安田明生：月刊「測量」別冊GPSフロンティア，日本測量協会，p.178，2004年2月
- 2) 土屋 淳，辻 宏道：GNSS測量の基礎，日本測量協会，p.18，pp.37-38，pp.262-263，2008年3月
- 3) 近津博文，熊谷樹一郎，佐田達典，鹿田正明，淵本正隆：空間情報工学概論，日本測量協会，p.91，2005年8月
- 4) 近津博文，熊谷樹一郎，佐田達典，鹿田正明，淵本正隆：空間情報工学概論，日本測量協会，p.95，2005年8月
- 5) 土屋 淳，辻 宏道：GNSS測量の基礎，日本測量協会，p.262，2008年3月
- 6) Leica Geosystems：System 1200 Newsletter - No.36 GLONASS，<http://www.leica-geosystems.com.cn/newsletter/System1200\_36\_GLONASS.pdf>，（入手2008年2月）
- 7) 沖田孝介，佐田達典，川口拓哉：RTK測位におけるGLONASS併用効果，土木情報利用技術論文集，vol.17，pp.207-209，2008年11月
- 8) 社団法人日本測量協会：測量技術・建設技術審査証明報告書「GNSS測量システム」，pp.33-34，2005年6月