

I-15 RTK-GPS の初期化時間の決定要因に関する研究

Study on the Decision Factors of Initialization Time of RTK-GPS

佐田達典¹・池田隆博²・会田亮介³

Sada Tatsunori, Ikeda Takahiro, and Aita Ryosuke

抄録：RTK-GPS は実時間でセンチメートル精度の測位ができるため、測量や建設機械制御などに用いられているが、常に高精度を保持できるわけではない。衛星電波受信が中断すると精度が劣化し再び高精度に復帰するには初期化と呼ばれる処理によるタイムラグが生じるため、衛星電波受信中断が頻繁に発生する環境では安定的な運用が難しい。しかし、RTK-GPS の初期化時間については、どのような受信環境でどの程度の時間となるのか、その時間を決定する要因に関して定量的な研究はほとんどなされていない。そこで本研究では、初期化時間を決定する要因を実証的に検討した結果、初期化開始時の受信衛星数が影響すること、HDOP 値はほとんど影響しないこと、加速・減速の移動が影響する可能性があることが示された。

Abstract: RTK-GPS is one of the GPS positioning methods which enables real-time positioning with cm level accuracy and is applied in surveying, machine control and so on. But the accuracy of RTK-GPS declines when enough number of satellites signals cannot be received due to obstacles. Initialization process is required to return to the high accurate status with time lag. Therefore, it is very difficult to apply RTK-GPS system in the circumstances surrounded by high obstacles. The authors have inspected the decision factors of initialization time of RTK, and showed that the initialization time depends on the number of satellites observed but not on the values of HDOP. Also there is the possibility that acceleration and deceleration affect the initialization time.

キーワード：GPS, RTK-GPS, 初期化時間, DOP, 衛星数

Keywords：GPS, RTK-GPS, Initialization time, DOP, Number of satellites

1. はじめに

RTK-GPS (Real-time Kinematic GPS) は、実時間で高精度 (20mm) の測位結果が得られる GPS 測位の一種である。基準点測量や地形測量、路線測量など、測量分野で使用されている¹⁾他、転圧回数の管理や撒出し厚、法切りの制御用として建設機械の制御などにも適用され、土工事における情報化施工を実現する上での主要な技術となっている²⁾。一方、海洋工事では RTK-GPS を基幹技術として通信ネットワークと GIS を活用して施工情報を共有する情報化施工システムが確立している。いまや RTK-GPS 技術を抜きにしての海洋工事の施工は考えられないほど浸透している³⁾。

今後、RTK-GPS の技術は測量、建設、農業の分野に留まらず、カーナビゲーションの高度化、自動運転など交通分野への応用も期待されている。

しかしながら、RTK-GPS は常に 20mm 程度の高精度を保持できるわけではなく、観測衛星数の減少やデータ通信の途絶によって 1m から 10m 程度まで精度が劣化する。衛星数が増加しても直ちに高精度測位に復帰でき

るわけではなく、初期化と呼ばれる処理時間が生じる。すなわち、受信中断から初期化が完了するまで数秒から数十秒の間、メートルオーダーの誤差を持つ測位解となる。そのため、衛星電波受信中断が頻繁に発生する環境では安定的な運用が難しい。土工事においては天空方向に開けた大規模な工事での利用はされているものの、市街地や山間部での利用は少ない。海洋工事で本格的に運用されているのは衛星観測環境に恵まれているという側面がある。

したがって、RTK-GPS を組み込んだシステムを安定的に運用していくためには、初期化の特性を把握し、運用の可能性を事前に検討することが求められている。しかし、RTK-GPS の初期化時間については、どのような受信環境でどの程度の時間となるのか、その時間を決定する要因に関して定量的な研究はほとんどなされていない。

著者らは既往研究⁴⁾で、移動観測時における測位精度と初期化の特性に関する基礎的な検討を行ったが、本研究ではさらに進めて初期化時間を決定する要因を実証的に検討したのでその結果について報告する。

1：正会員 博士(工) 日本大学 教授 理工学部社会交通工学科

(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1, Tel :047-469-8147, E-mail : sada@trpt.cst.nihon-u.ac.jp)

2：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

3：非会員 トーテックアメニティ(株)

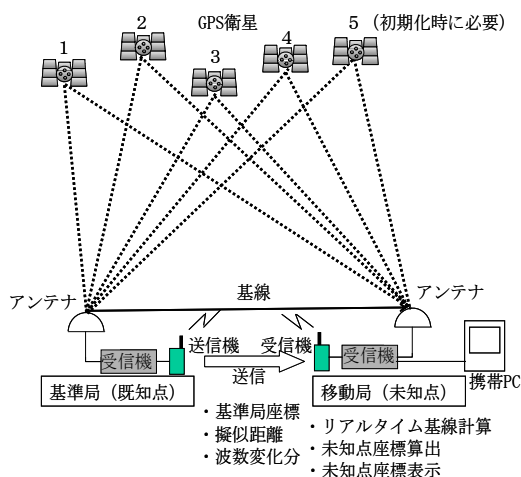


図-1 RTK-GPS のシステム構成⁵⁾

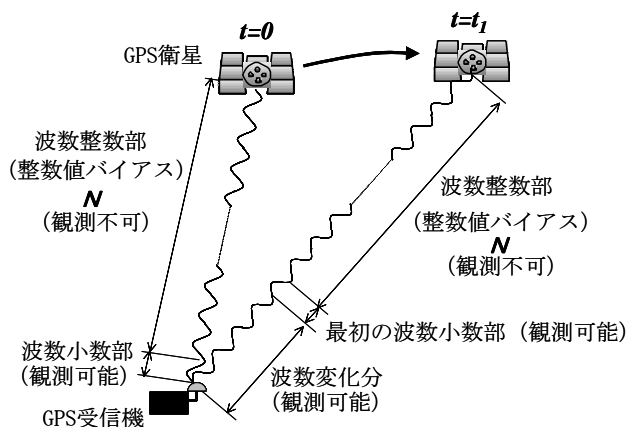


図-2 干渉測位における波数観測⁷⁾

2. RTK-GPS の初期化と OTF

(1) RTK-GPS

RTK-GPS は搬送波位相による測位（干渉測位）であり、基準点上の受信機は固定し、もう一方の受信機は移動しながら、順次に未知点の位置決定をリアルタイムに精度約 20mm で行うことができる。RTK-GPS では、**図-1**に示すように移動局に基準局の座標データや衛星観測データ（擬似距離、位相データ等）を伝送するため無線データリンクと組み合わせて使用される。

(2) 整数値バイアス

干渉測位では、衛星から受信機までの距離は波数に波長を乗じて求める。**図-2**に示すように受信機が最初に波を受信したとき ($t=0$)、それが連続波のどの部分であるか波数の小数部はわかるが、この瞬間に衛星から受信機までの全体の波のうち観測した波数小数部を除いた整数部の波数は不明である。この未知の整数を整数値バイアスと呼び、これを確定することを整数値バイアスの決定という。衛星と受信機間の観測距離は式(1)で表される⁶⁾。式(1)の衛星と受信機の時計誤差を消去するとともにバイアスを整数値で決定できれば、高精度の測位が可能となる。

$$R(t) = N\lambda + [\Phi(t) + \phi_0]\lambda + cdT + cdt \quad (1)$$

ただし、

$R(t)$: 時刻 t での衛星と受信機間の距離

N : 整数値バイアス

λ : 波長

$\Phi(t)$: 時刻 $t=0$ から $t=t$ までの波数変化分

ϕ_0 : $t=0$ での波数小数部

c : 電波伝搬速度

dT : 衛星の時計誤差

dt : 受信機の時計誤差

(3) 整数値バイアスの決定プロセス

整数値バイアスは測位解（未知点座標）と連動して推定、確定される。その概略の決定プロセスは次のとおりである。

① データ取得と近似解

コード測定による擬似距離から未知点座標の近似解を計算する。このとき、整数値バイアスの値は全くの未知というわけではなく、観測距離からその値の範囲がある程度絞り込まれる。

② 探索領域の絞り込み

位相データ（波数データ）を用いて最小二乗法により未知点座標と整数値バイアスの初期推定値を計算する。このとき、バイアス値は実数であり、未知点座標の解は Float 解である。このとき生じる共分散行列から整数値バイアス候補の探索範囲を設定する。

③ 整数値バイアスの選定

整数値バイアスの全候補について最小二乗法により解を求め、解の残差の二乗和が最小となる整数値バイアスの組合せを選ぶ。LAMBDA (Least Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment) が非常に効率的な探索方法として知られている⁸⁾。

④ 検証

選定した整数値バイアスの組合せが妥当であるかを検証する。検証方法には ADOP-Test, Ratio-Test, Fisher-Test などがあるが、Ratio test (レシオテスト) では、解に選定した残差の二乗和と二番目に小さい残差の二乗和の比をとる。この値が規定値よりも大きければ解として確定する（整数値バイアスも確定する）。この時の解が Fix 解である。

(4) RTK-GPS と初期化

整数値バイアスを決定するには、スタティック観測（固定観測）では衛星の移動を利用する方法が用いら

表-1 RTK-GPS で出力される測位解

種類	内容	概略精度
Fix 解	バイアスが整数値で求められた解	20mm
Float 解	バイアスが実数値のままの解	数十 cm～数 m
DGPS 解	ディファレンシャル測位の解	2～3m
単独測位解	コード測位解	10m

れる。また、移動を伴うキネマティック観測では①既知点で観測して整数値バイアスを決定する方法、②移動しながらオンザフライ(OTF : on the fly)法によって決定する方法、などがある。特に、RTK-GPS で整数値バイアスを決定する過程を初期化(Initialization)と呼ぶ。主に OTF 法が用いられる。

なお、RTK-GPS でバイアスを整数値で求めることができた解は Fix 解と呼ばれ、精度は約 20mm である。電波受信が途切れない限り整数値バイアスは保持され Fix 解が続くが、一旦、電波受信が中断しサイクルスリップが発生するとバイアス値が失われ、再び初期化が必要となる。初期化するまでの解を Float 解と呼び、精度は数十 cm～数 m とされる。Float 解はバイアス値が整数値として決定されず実数のままの場合の測位解である。また、RTK-GPS では、無線が途絶した場合には単独測位解、あるいは GPS 受信機の設定によっては、DGPS 解(ディファレンシャル GPS 解)等となる。表-1 に RTK-GPS で出力される測位解を示す。

(5) OTF

OTF (on the fly) は移動局が移動中であっても任意の場所で初期化を極めて短時間(数秒～数分)で実行できる技法である。OTF による整数値バイアスの決定は、基本的には最小二乗法による最適の組合せ推定と検証によるが、「短時間に」「移動しながら」という条件でバイアスを決定するために、①初期化には5機以上の衛星観測が必要であり、②整数値バイアスの組合せを探索する空間をなるべく小さく絞り込むため、二周波 GPS 受信機が必要である。二周波 GPS 受信機が受信する L1 帯と L2 帯の電波を合成したワイドレーンを用いてバイアスの探索時間を短縮できる。

(6) RTK-GPS の初期化過程と測位解

次に RTK-GPS の初期化の過程と測位解の関係を示す。GPS 受信機の種類や設定によって異なるが、以下に示すのは一般的なプロセスである。

RTK-GPS の移動局は、衛星電波の受信を開始し、基準局からのデータの伝送を受けると、まず、コード測

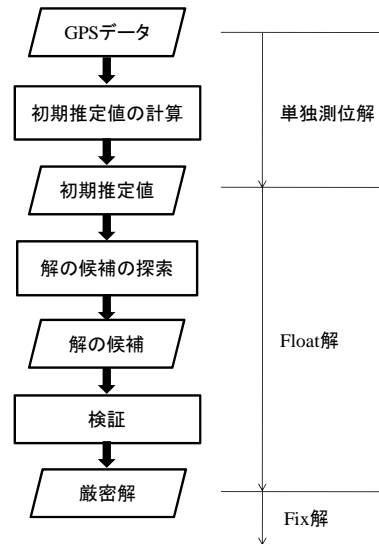


図-3 RTK-GPS の初期化過程と測位解

定による擬似距離を用いて近似解(精度数 m)として「単独測位解」を出力する。次に位相データ(波数データ)を用いて最小二乗法により未知点座標と整数値バイアスの初期推定値を計算する。この間は「単独測位解」のみである。初期推定値が計算されると「Float 解」となる。そして、整数値バイアスの選定、検証の過程に入る。この間は「Float 解」が続く。そして、検証が終了すると「Fix 解」が出力される。このように初期化の過程に応じて測位解の種類が変化する。図-3 に RTK-GPS の初期化過程と測位解の関係を示す。

3. RTK-GPS の初期化時間に関する既往の研究

初期化時間に関する観測結果は従来から報告されている。例えば、著者らは、RTK-GPS の一方式である仮想基準点(VRS : Virtual Reference Stations)方式を用いた実験で初期化時間観測を行っている⁹⁾¹⁰⁾。初期化時間の実験回数約 2000 回の内、「約 65%が 20 秒以内、約 80%が 30 秒以内、約 90%が 1 分以内」となった結果を報告しているが、衛星の配置が変わって衛星数や DOP (Dilution of Precision : 衛星の幾何的配置に伴う精度劣化率)が変わることによって初期化時間にどのような影響がでるかを定量的には把握していない。

また、従来の実験は固定観測の場合が多く、高速移動時や変速時における初期化時間についてはほとんど実施されていない。久保(2007)¹¹⁾は都市部を移動体で走行して RTK 測位を行い、都市部における初期化の課題を指摘しているが、初期化時間の評価までは行っていない。

このように、RTK-GPS の初期化時間を定量的に分析する研究はまだなされていないといえる。

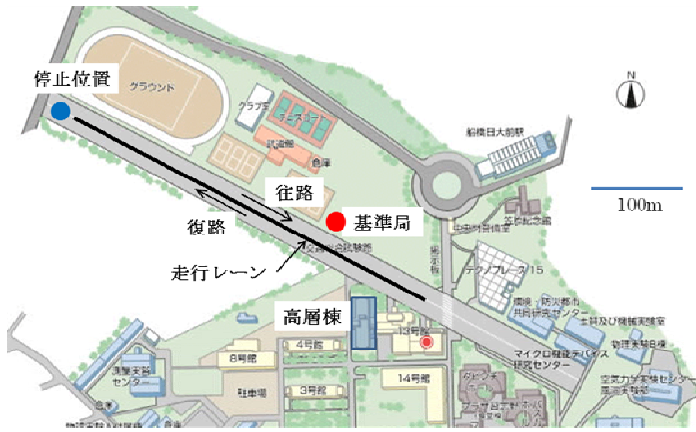


図-4 実験位置図



図-5 実験状況

4. RTK-GPS の初期化時間に関する実験

(1) 実験目的

静止時と移動時の RTK-GPS の初期化時間を決定する要因を検討するために、自動車にシステムを搭載して初期化時間計測実験を実施した。

(2) 実験日時・場所

実験日時は 2008 年 10 月 26 日 9:00~13:30 であり、実験場所は日本大学理工学部船橋キャンパス交通総合試験路である。図-4 に示すように本試験路は全般に上空視界が開けており、衛星観測条件は良好であるが、試験路東端の南側に高層校舎があるため、衛星観測に影響を及ぼす可能性がある。

(3) 実験方法

実験は図-4 に示す交通総合試験路の約 400m の直線区間を自動車で行った。実験で使った GPS 受信機は Trimble5700 (二周波型) である。実験に係わる本受信機の主な仕様を次に示す。

① 単独測位の開始条件 (電源投入後)

コールドスタート (最新の軌道情報がない場合)
: 60 秒以内

ウォームスタート (最新の衛星軌道情報がある場合)
: 30 秒以内

② RTK 測位時の初期化時間

最短で 10 秒 + 基線長 (km) × 0.5 秒
(ただし、基線長は 30km まで)

なお、ここでの初期化時間は Float 解開始から Fix 解になるまでの時間である。

RTK-GPS 用の基準局受信機を交通総合試験路の脇に設置した (図-4)。また、移動局受信機を自動車に搭載し (アンテナをルーフに、受信機を車室内に設置)、基準局から移動局へのデータ通信は特定小電力無線を用いた (図-5)。データ収集はノートパソコンを GPS

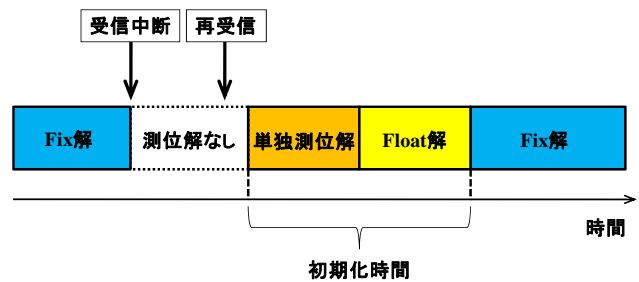


図-6 初期化時間の算出方法

受信機に接続して行った。

受信機から出力される測位データは NMEA-0183 の GGA メッセージの様式でノートパソコンに連続して記録した。測位データについては、受信機メーカーが用意する独自のフォーマットで、より詳細なログを記録して検討すべきであるが、本研究では、特定の受信機によらない汎用的な研究を行うために共通フォーマットである NMEA-0183 を用いた。なお、GGA メッセージの測位解の種類と対応するフラグについては受信機メーカーに確認をした。ちなみに、GGA のフラグでは単独測位解は「1」、Float 解は「5」、Fix 解は「4」である。

実験方法としては、まず、車室内で GPS 受信機からアンテナコードを抜いて、パソコン画面で受信衛星数がゼロとなったことを確認する。次にアンテナコードを受信機に再接続し、「単独測位解」になった時刻から「Float 解 (非厳密解)」を経て「Fix 解 (厳密解)」になるまでに要した時間を初期化時間として算出した (図-6)。

自動車の速度条件として「停止」→「低速 5km/h」→「等速度 20km/h」→「等速度 40km/h」→「変速 10~50km/h」の 5 つのモードで順に初期化時間を計測し、このサイクルを 20 回繰り返した。図-4 に停止位置と往路、復路を示す。「低速 5km/h」と「等速度 40km/h」は往路であり、「等速度 20km/h」と「変速 10~50km/h」は復路である。

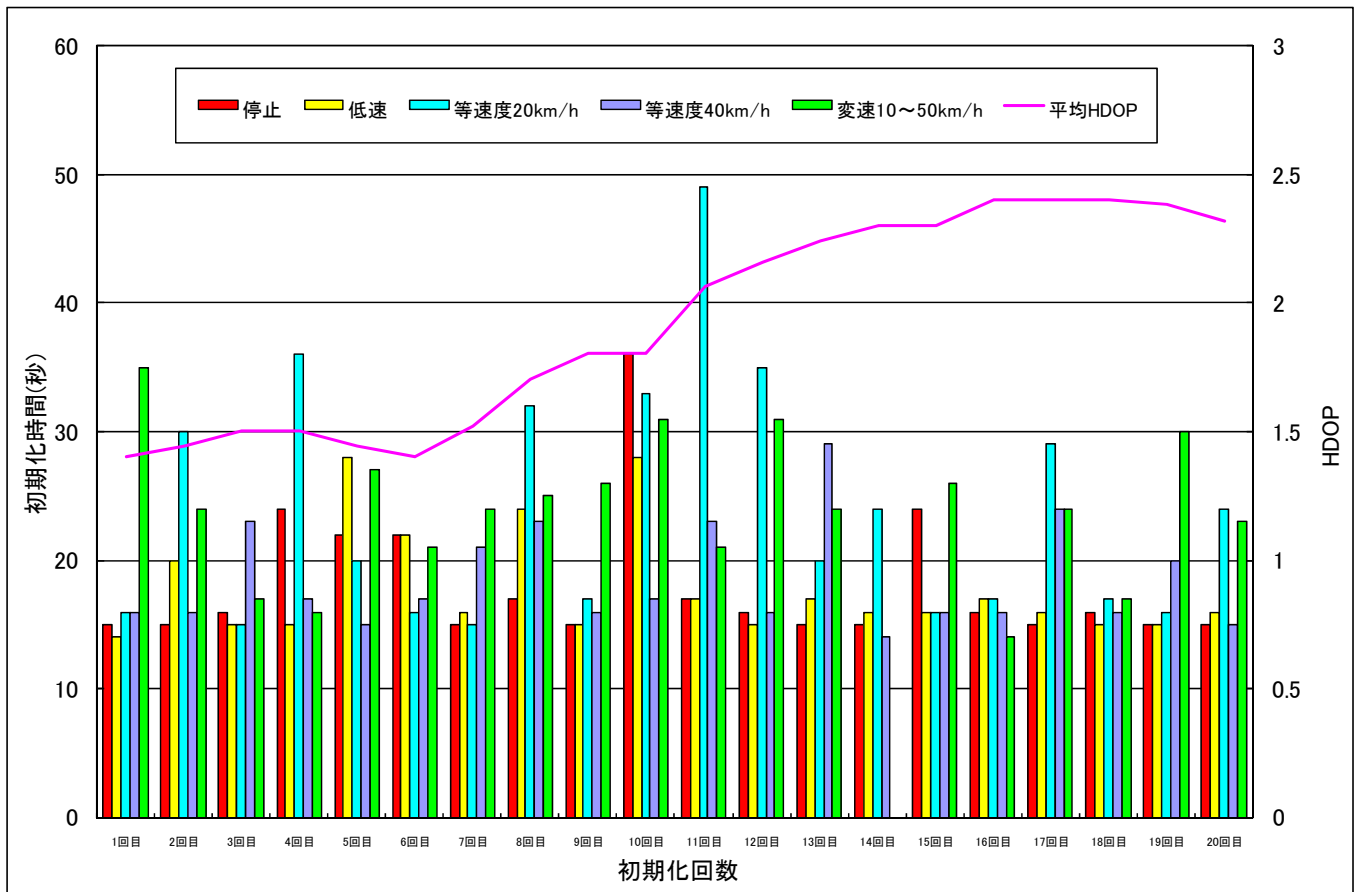


図-7 初期化時間と HDOP 値

5. 実験結果

図-7に各回の初期化時間とHDOP値の関係を示す。HDOP (Horizontal Dilution of Precision) とは衛星配置による水平方向の測位精度劣化度を表す指標であり、値が大きいほど測位精度の劣化度が大きくなる。今回はGGAの平均HDOP値を用いた。図-7からは初期化時間と平均HDOP値との間に明確な関係はみられない。表-2に速度ごとの初期化時間実験の結果を示す。移動時の初期化時間は「低速」と「等速度40km/h」の走行時は「停止」の場合とほとんど差がなく、平均で約18秒であったが、「等速度20km/h」と「変速10~50km/h」では平均で約24秒と長くなった。

図-8から、同じ回の実験でも「低速」と「等速度40km/h」に比較して「等速度20km/h」と「変速10~50km/h」の初期化時間が長い場合が多いことがわかる。「低速」と「等速度40km/h」の走行は往路であり、「等速度20km/h」と「変速10~50km/h」の走行は復路であることが影響していると推察される。特に、復路ではアンテナコードの抜き差しによる再初期化過程を高層棟により衛星電波が遮蔽されるエリアで実施している可能性があり、その影響を受けているものと考えられる。

表-2 初期化時間の統計値 (単位: 秒)

項目	停止	低速	等速度20km/h	等速度40km/h	変速10~50km/h
最大値	36	28	49	29	35
最小値	15	14	15	14	14
平均値	18.05	17.85	23.85	18.50	24.00
標準偏差	5.27	4.28	9.44	4.01	5.55

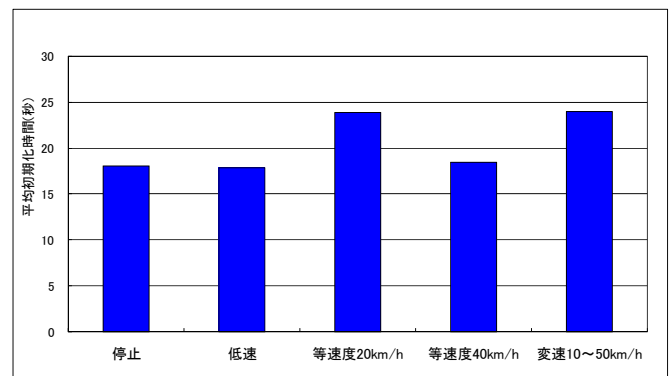


図-8 平均初期化時間

「等速度20km/h」は表-2から見てとれるように、初期化時間の最大値(49秒)が全体での最大値となっている上に、初期化時間の標準偏差も他の2倍程度の大きな値を示している。

表-3 初期化時間の内訳 (単独測位解時間, Float 解時間)

実験回	停止			低速			等速度20km/h			等速度40km/h			変速10~50km/h		
	初期化時間(秒)	単独測位時間(秒)	Float解時間(秒)	初期化時間(秒)	単独測位時間(秒)	Float解時間(秒)	初期化時間(秒)	単独測位時間(秒)	Float解時間(秒)	初期化時間(秒)	単独測位時間(秒)	Float解時間(秒)	初期化時間(秒)	単独測位時間(秒)	Float解時間(秒)
1回目	15	7	8	14	5	9	16	6	10	16	6	10	35	7	28
2回目	15	6	9	20	10	10	30	6	24	16	6	10	24	7	17
3回目	16	6	10	15	6	9	15	5	10	23	12	11	17	7	10
4回目	24	6	18	15	5	10	36	11	25	17	7	10	16	6	10
5回目	22	5	17	28	10	18	20	7	13	15	5	10	27	9	18
6回目	22	6	16	22	12	10	16	7	9	17	7	10	21	7	14
7回目	15	6	9	16	7	9	15	7	8	21	5	16	24	7	17
8回目	17	8	9	24	7	17	32	7	25	23	7	16	25	6	19
9回目	15	6	9	15	5	10	17	7	10	16	7	9	26	7	19
10回目	36	6	30	28	11	17	33	6	27	17	7	10	31	7	24
11回目	17	6	11	17	7	10	49	7	42	23	7	16	21	6	15
12回目	16	6	10	15	5	10	35	13	22	16	7	9	31	7	24
13回目	15	5	10	17	7	10	20	10	10	29	6	23	24	6	18
14回目	15	5	10	16	7	9	24	7	17	14	5	9			
15回目	24	7	17	16	6	10	16	7	9	16	6	10	26	5	21
16回目	16	6	10	17	8	9	17	7	10	16	6	10	14	5	9
17回目	15	5	10	16	6	10	29	5	24	24	7	17	24	7	17
18回目	16	7	9	15	5	10	17	7	10	16	7	9	17	7	10
19回目	15	6	9	15	5	10	16	7	9	20	10	10	30	6	24
20回目	15	5	10	16	6	10	24	6	18	15	6	9	23	5	18
平均値	18.05	6.00	12.05	17.85	7.00	10.85	23.85	7.25	16.60	18.50	6.80	11.70	24.00	6.53	17.47
最大値	36.00	8.00	30.00	28.00	12.00	18.00	49.00	13.00	42.00	29.00	12.00	23.00	35.00	9.00	28.00
最小値	15.00	5.00	8.00	14.00	5.00	9.00	15.00	5.00	8.00	14.00	5.00	9.00	14.00	5.00	9.00
標準偏差	5.27	0.79	5.26	4.28	2.15	2.83	9.44	1.94	9.05	4.01	1.64	3.80	5.55	0.96	5.35

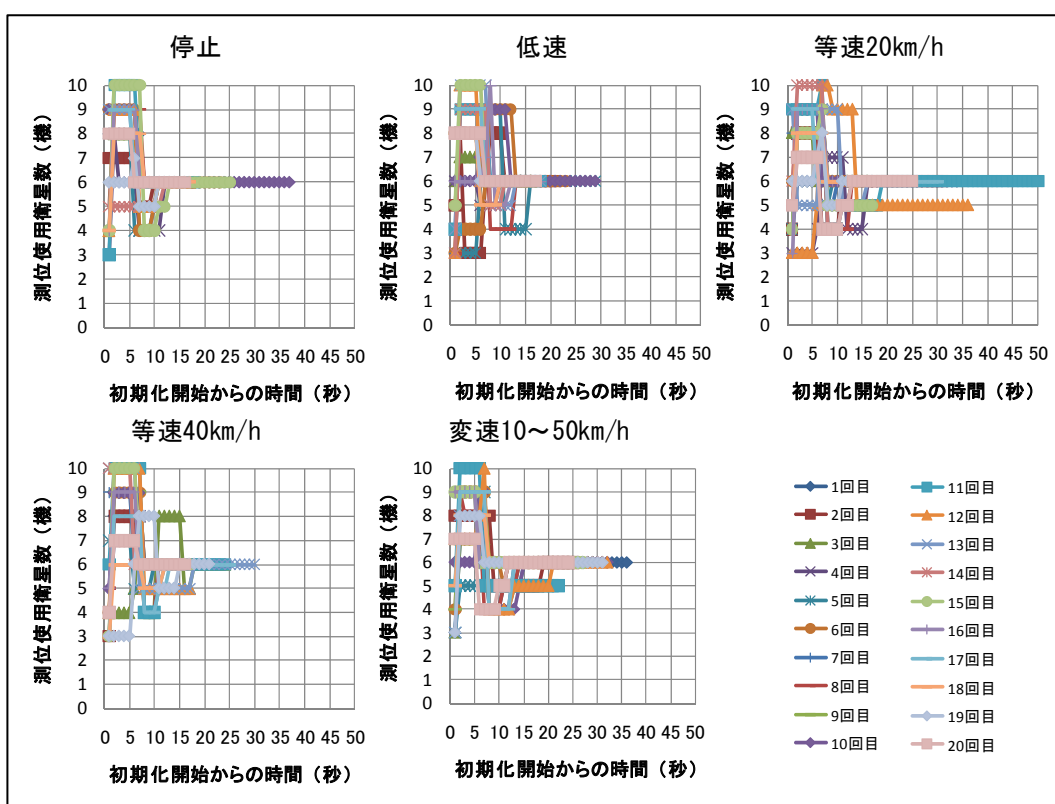


図-9 初期化過程における測位に使用した衛星数の推移

6. 実験結果の分析と考察

(1) 初期化時間の内訳分析

初期化時間は「単独測位解」の時間と「Float 解」の時間の和で表される。「単独測位解時間」は概略の基線解を計算している時間であり、「Float 解時間」はOTFにより整数値バイアスを推定し厳密解を求める時間である。そこで、5章で観測された各回における初期化時間を「単独測位解時間」と「Float 解時間」に分解した。「停止」、「低速」、「等速度 20km/h」、「等速度 40km/h」、「変速 10~50km/h」について表-3に示す。なお、「変速 10~50km/h」の14回目は

走行中に初期化が完了しなかったため、データが得られなかった。

全体についてみると、表-3から「単独測位解時間」は最小値が5秒、最大値が13秒であり、速度別の平均値は6.00秒から7.25秒とほぼ一定である。一方、「Float 解時間」は最小値が8秒、最大値が42秒であり、速度別の平均値は10.85秒から17.47秒と大きくばらついている。次に標準偏差で検討する。「単独測位解時間」の標準偏差は最小が0.79秒(停止)、最大が2.15秒(低速)と差が小さいのに対し、「Float 解時間」の標準偏差は最小が2.83秒(低速)、最大が9.05秒(等速 20km/h)と差が大きい。

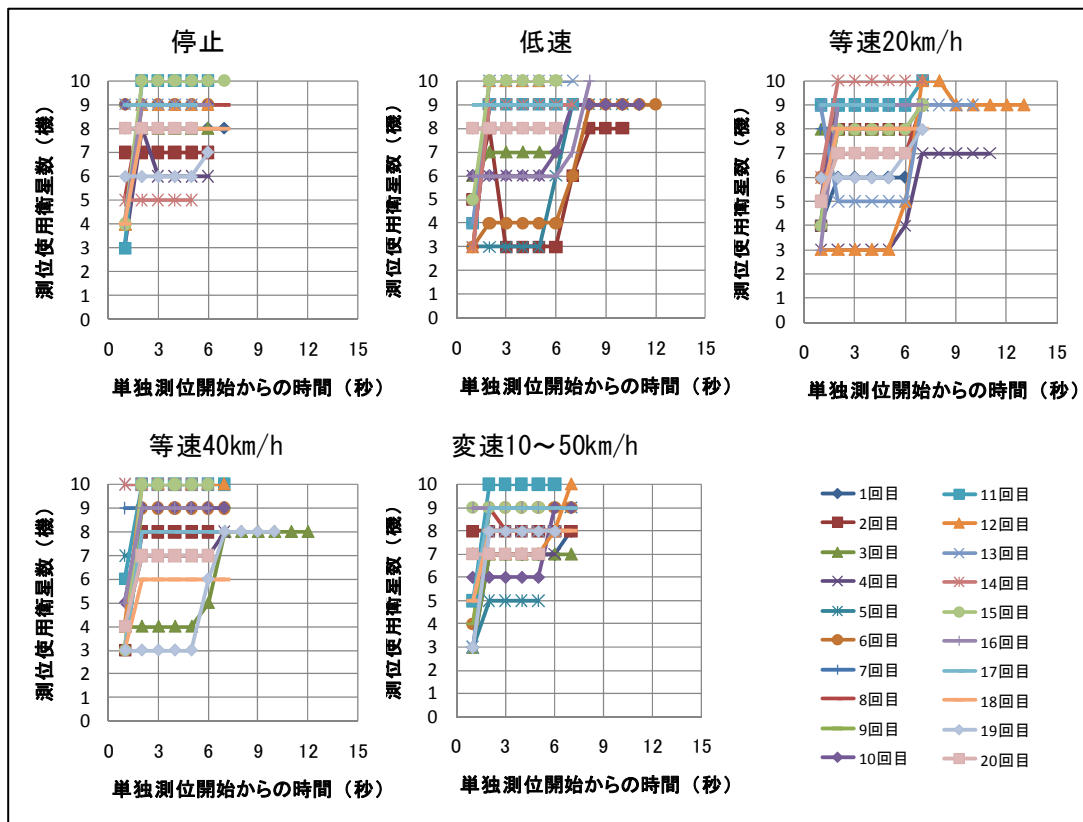


図-10 単独測位に使用した衛星数の推移

表-4 速度別の単独測位開始時衛星数 (機)

実験回	停止	低速	等速度 20km/h	等速度 40km/h	変速10~ 50km/h
1回目	8	8	4	4	3
2回目	7	5	4	8	8
3回目	4	6	8	4	3
4回目	3	6	3	4	7
5回目	8	3	4	7	3
6回目	9	3	6	4	4
7回目	9	3	8	9	3
8回目	5	3	6	5	9
9回目	9	8	8	3	4
10回目	9	6	5	5	6
11回目	3	4	9	6	5
12回目	5	3	3	3	7
13回目	9	4	9	10	3
14回目	5	3	6	10	9
15回目	4	5	4	3	9
16回目	4	6	3	5	9
17回目	9	9	9	3	6
18回目	4	8	5	3	5
19回目	6	8	6	3	3
20回目	8	8	5	4	7
平均	6.40	5.45	5.75	5.15	5.47

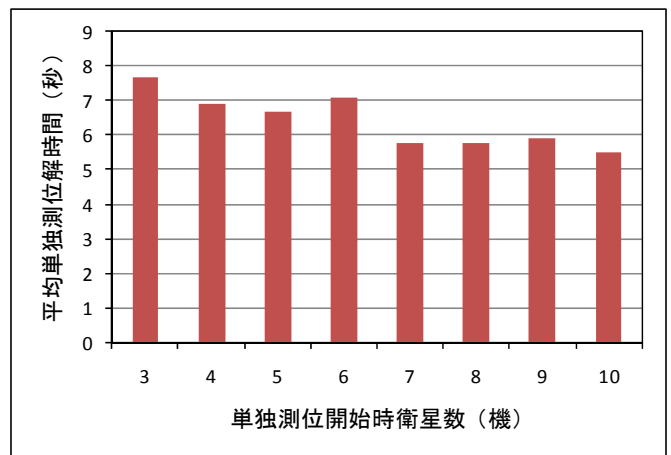


図-11 単独測位開始時衛星数と平均単独測位解時間

単独測位解時間」と「Float 解時間」とでは異なるため、以下は「単独測位解時間」と「Float 解時間」に分けて検討を行った。

(2) 単独測位解時間と衛星数、HDOP との関係

図-10 は単独測位時間における測位に使用した衛星数の推移を示している。衛星数は単独測位開始時に3機、4機等少ない値をとる場合でも、多くがすぐに5機以上の数となり安定することがわかる。表-4に速度別の単独測位開始時衛星数を示す。「停止」に比較して移動時には1機程度少なくなっているが、速度別の差は小さい。

以上の検討から「単独測位解時間」は変動が少ないが、「Float 解時間」は変動が大きいことが示された。

一方、図-9は初期化過程における測位に使用した衛星数(NMEA-0183のGGAメッセージでの値)の推移を示している。「単独測位解時間」では使用した衛星数は3機~10機と大きくばらつくが、「Float 解時間」では4機、5機または6機であり、RTK-GPSで使用する衛星のみが示されている。

このように、測位に使用する衛星数に関しても「単

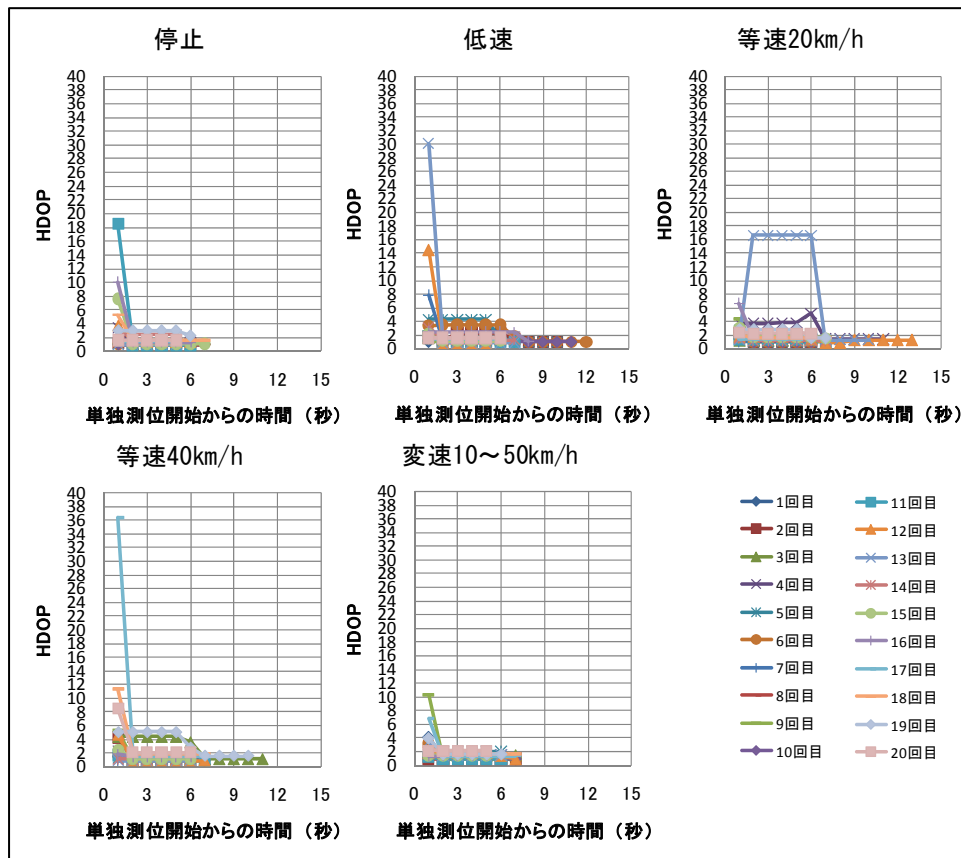


図-12 単独測位時のHDOP値の推移

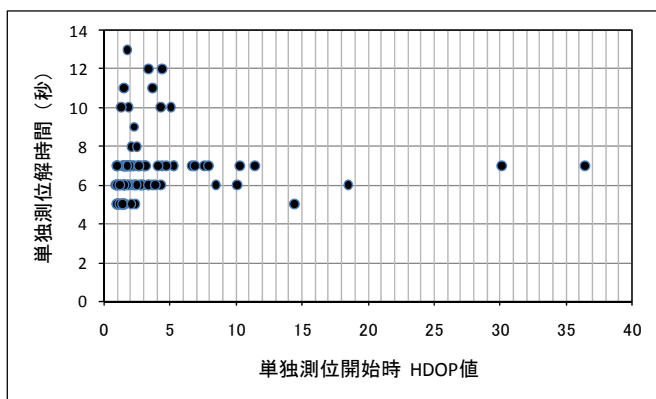


図-13 単独測位開始時 HDOP 値と単独測位時間

図-11 に単独測位開始時衛星数と平均単独測位解時間との関係を示す。衛星数が多くなると単独測位解時間が短くなることがわかる。開始時に3衛星しか受信できなかった場合は平均で7.6秒の単独測位解時間となるのに対し、10衛星受信できた場合は平均で5.5秒となり、約2秒短縮される。

次に単独測位解時間とHDOP値との関係を調べた。図-12に単独測位時のHDOP値の推移について示す。HDOP値は単独測位開始時には大きな値を示す場合があるが、すぐに安定した値をとることがわかる。そこで、単独測位開始時HDOP値と単独測位解時間の関係を調べた(図-13)。HDOPの値が5以上の場合は単独測位解時

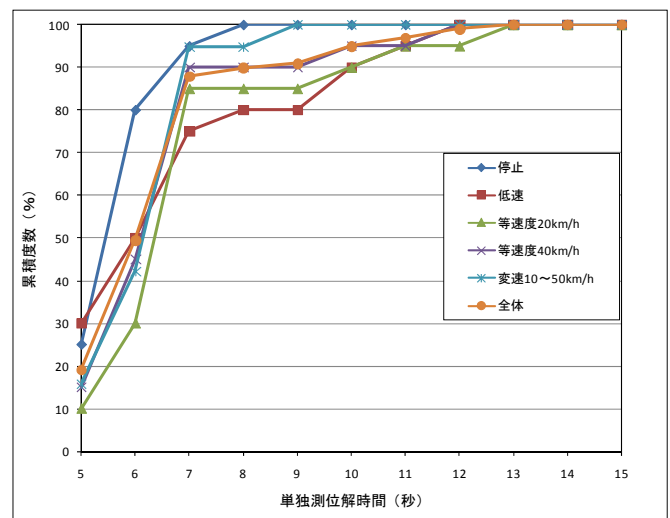


図-14 速度別単独測位解時間累積度数
間が5秒~7秒の値をとるが、HDOP値が5未満では8秒~13秒の値をとる場合がある。しかし、HDOP値が単独測位時間に関連するような傾向は見られない。

一方、図-14は速度別の単独測位解時間累積度数である。累積度数が80%を超えるのは、「停止」の場合が6秒、「等速度20km/h」、「等速度40km/h」、「変速10~50km/h」の場合が7秒、「低速」では8秒である。単独測位解時間の累積度数分布は速度別には大きな差はなく、移動速度の影響を受けているとは考えられない。

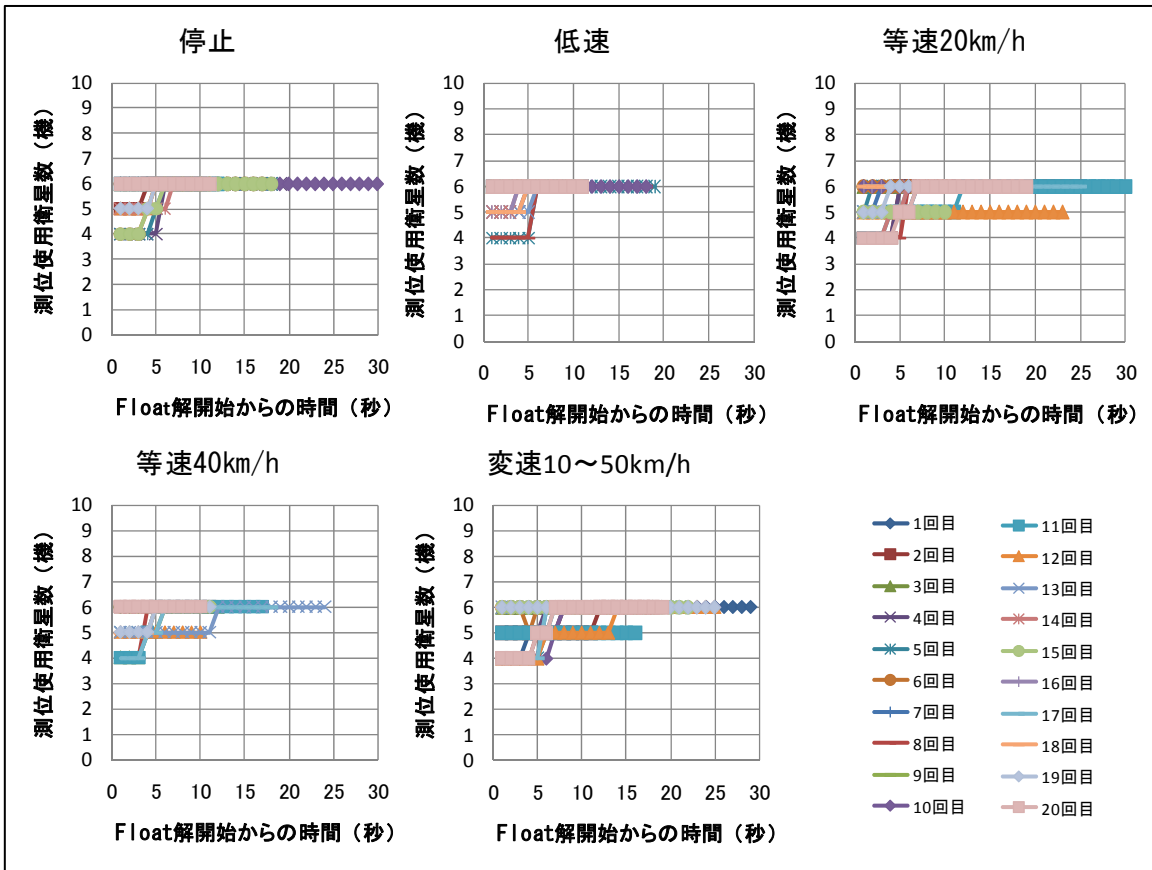


図-15 Float 解に使用した衛星数の推移

表-5 Float 解開始時の受信衛星数 (機)

実験回	停止	低速	等速度 20km/h	等速度 40km/h	変速10~ 50km/h
1回目	6	6	5	6	4
2回目	5	6	4	6	5
3回目	6	6	6	4	6
4回目	4	5	4	6	5
5回目	4	4	5	5	4
6回目	4	6	6	6	6
7回目	6	6	5	6	4
8回目	6	4	4	4	4
9回目	6	6	6	6	6
10回目	6	6	6	6	4
11回目	6	6	4	4	5
12回目	5	6	5	5	4
13回目	6	5	5	5	6
14回目	5	5	4	6	6
15回目	4	6	5	6	6
16回目	6	5	6	6	6
17回目	6	6	6	4	4
18回目	6	5	6	5	6
19回目	5	6	5	5	6
20回目	6	6	4	6	4
平均	5.40	5.55	5.05	5.35	5.00

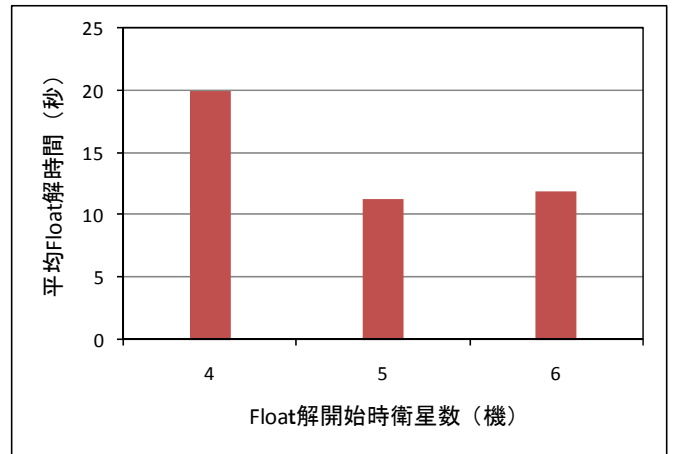


図-16 Float 解開始時衛星数と平均 Float 解時間

(3) Float 解時間と衛星数, HDOP との関係

「Float 解時間」の分析を進めるにあたり、受信衛星数と HDOP との関係を調べた。まず、図-15 に Float 解時間で使った衛星数の推移を示す。使用衛星数は Float 解開始時に 4機, 5機と少ない値をとる場合でも、最終的には 6機, 少なくとも 5機の値をとることがわかった。Float 解開始時の衛星数について表-5 に示す。「停止」, 「低速」, 「等速度 40km/h」に比較して、「等速度 20km/h」, 「変速 10~50km/h」は明らかに受信衛星数が少ない。

以上の検討から、単独測位解時間の決定要因として次の点が明らかになった。

- ① 単独測位開始時の測位使用衛星数は決定要因と考えられる。
- ② 単独測位開始時の HDOP 値はほとんど影響しない。
- ③ 移動速度による影響はほとんどない。

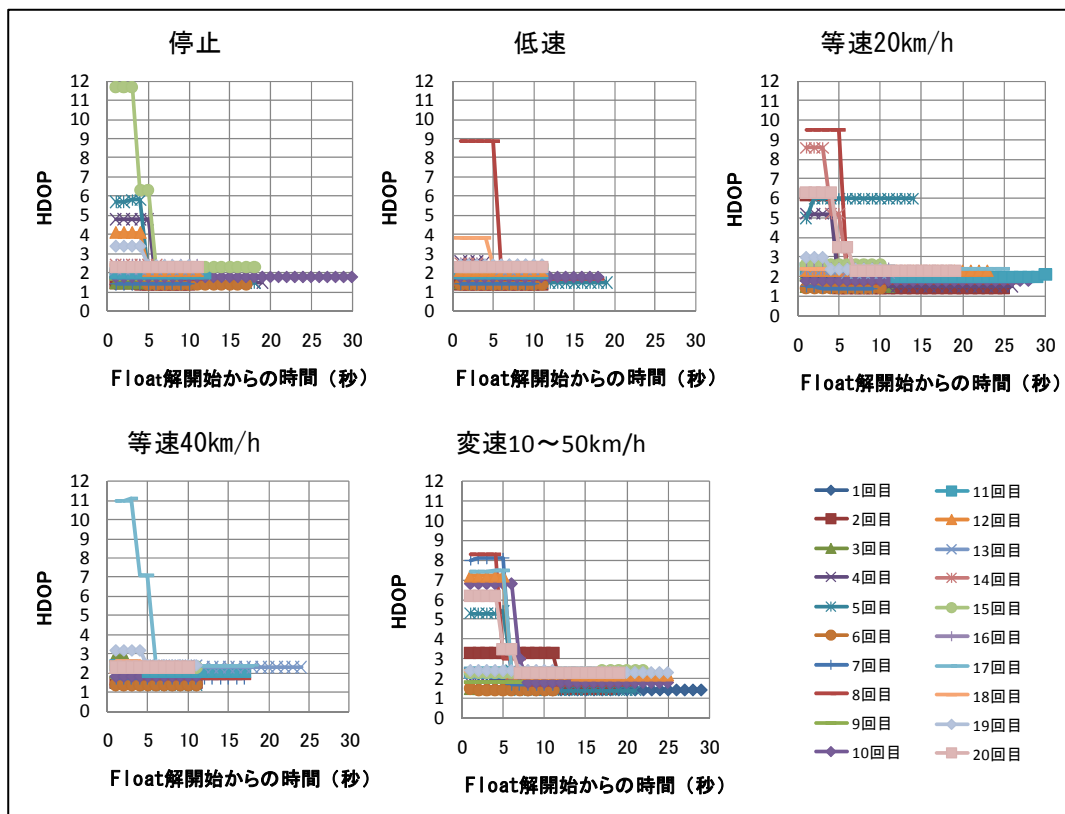


図-17 Float 解時の HDOP 値の推移

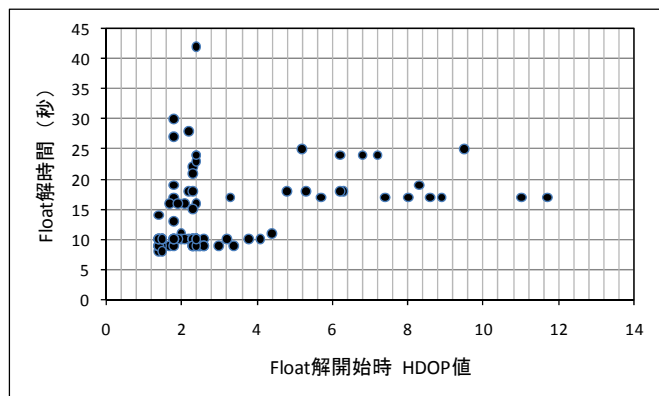


図-18 Float 解開始時 HDOP 値と Float 解時間

往路走行の「低速」，「等速度 40km/h」では平均で 5.40 機であるのに対して復路走行の「等速度 20km/h」，「変速 10~50km/h」では平均で 5.03 機であり，0.37 機の差が生じている。往路の走行よりも復路の走行の方が衛星観測条件が厳しかったことを示している。

次に Float 解開始時の衛星数毎の平均 Float 解時間を図-16 に示す。4 衛星では 19.95 秒，5 衛星では 11.25 秒，6 衛星では 11.90 秒であり，5 衛星と 6 衛星ではほぼ同じ時間となったが，4 衛星では 5 衛星，6 衛星に比べて約 8 秒長くなった。4 衛星では OTF の機能が働かず，整数値バイアス推定ができないため，その分，Float 解の時間が長くなったものと推察される。

次に Float 解時間と HDOP 値との関係を調べた。図-17 に Float 解測位時の HDOP 値の推移について示す。

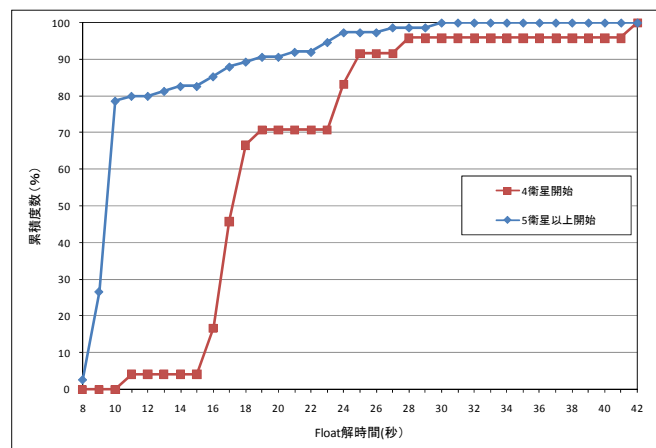


図-19 衛星数別 Float 解時間累積度数

HDOP 値は Float 解開始時から 5 秒前後，5 以上の大きな値を示す場合があるが，多くがすぐに 3 以下の安定した値をとることがわかる。そこで，Float 解開始時 HDOP 値と Float 解時間の関係を調べた。図-18 に Float 解開始時の HDOP 値と Float 解時間との関係を示す。HDOP の値が 5 以上の場合には Float 解時間が 17 秒前後と 25 秒前後の 2 つの帯域の値をとることが見てとれる。また，HDOP 値が 5 未満では多くが 10 秒前後の値をとるが，15 秒~30 秒の値をとる場合も少なくないことを示している。なお，HDOP が 5 以上の値をとるのはすべて Float 解開始時の受信衛星数が 4 個の場合であった。

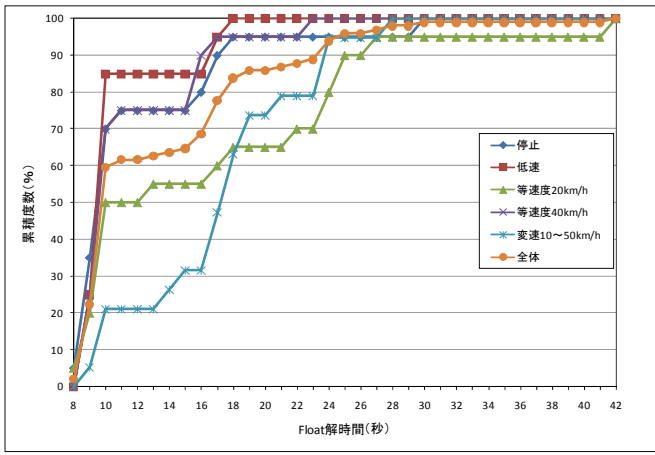


図-20 速度別 Float 解時間累積度数

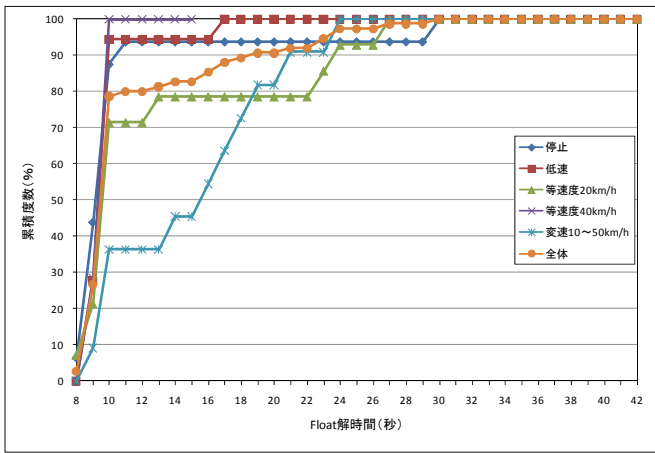


図-21 速度別 Float 解時間累積度数
(Float 解開始時衛星数が5機以上の場合)

そこで、Float 解開始時の衛星数別に Float 解時間累積度数分布を調べた。図-19 は4衛星の場合と5衛星以上の場合とに分けて示している。累積度数が80%を超えるのは「5衛星以上」の場合は10秒であるのに対し、「4衛星」の場合は24秒と長時間になっている。また、「5衛星以上」では累積度数曲線が一気に80%まで立ち上がるが、その後は漸増するのに対し、「4衛星」の累積度数曲線は15秒～19秒で立ち上がった後、23秒～25秒で再び増加している。

一方、図-20 は速度別の Float 解時間累積度数である。累積度数が80%を超えるのは、「低速」の場合が10秒、「停止」と「等速度40km/h」が16秒、「等速度20km/h」と「変速10～50km/h」の場合が24秒となった。「停止」、「低速」と「等速度40km/h」はほぼ同じ累積度数曲線を示すが、「等速度20km/h」と「変速10～50km/h」は別の曲線となっている。これは「低速」と「等速度40km/h」の走行は往路であり、「等速度20km/h」と「変速10～50km/h」の走行は復路であることが影響していると推察される。

したがって、「往路」「復路」の衛星観測条件差を緩和するために、Float 解開始時の受信衛星数が4個の場合を除いて5個以上の場合で速度別 Float 解時間累積度数を作成した(図-21)。累積度数が80%を超えるのは、「停止」、「低速」と「等速度40km/h」が10秒、「等速度20km/h」が13秒(正確には80%弱である)、「変速10～50km/h」の場合が19秒となった。

図-21 から「等速度20km/h」も「停止」、「低速」、「等速度40km/h」とほぼ同じ累積度数曲線となっていることがわかる。しかし、「変速10～50km/h」は累積度数曲線の形が大きく異なっていることから、衛星観測条件差以外の要因が影響しているものと推測される。すなわち、変速の場合(加速度がかかる場合)に何らかの影響要因がある可能性がある。しかし、現段階では明確な理由は特定できなかった。

以上の検討から、Float 解時間の決定要因としての点が明らかになった。

- ①Float 解開始時の受信衛星数は決定要因と考えられる。
- ②Float 解開始時の HDOP 値はほとんど影響しない。
- ③移動速度による影響はほとんどないが、変速の場合は影響する可能性がある。

7. 結論

(1) 本研究の成果

本研究では、RTK-GPS における初期化時間の決定要因について検証を行った。既存の研究成果から決定要因として想定される「受信衛星数」と「HDOP 値」に加え、情報化施工、自動車の高精度ナビゲーションへの応用を考慮して、「走行速度」を検討対象とした。

また、初期化時間として概略の測位解を推定するまでの時間である「単独測位解時間」と整数値バイアスを推定し検証が終了するまでの時間である「Float 解時間」とに分けて分析した。

なお、検証実験は基本的には良好な衛星観測条件が維持される中で実施した。検証実験結果を分析した結果、まず「単独測位解時間」の決定要因として次の点が明らかになった。

- ①単独測位開始時の受信衛星数は決定要因と考えられる。
- ②単独測位開始時の HDOP 値はほとんど影響しない。
- ③移動速度による影響はほとんどない。

次に、Float 解時間の決定要因として次の点が明らかになった。

- ①Float 解開始時の受信衛星数は決定要因と考えられる。
- ②Float 解開始時の HDOP 値はほとんど影響しない。

表-6 実験結果の分析のまとめ

項目	単独測位解時間	Float 解時間
開始時の衛星数	○	○
開始時のHDOP値	×	×
走行速度	×	×
加速・減速	×	△

○：影響を与える
 ×：影響を与えない
 △：影響を与えている可能性がある

③移動速度による影響はほとんどないが、変速の場合は影響する可能性がある。

以上を表-6にまとめた。初期化時間は受信衛星数に影響を受けるが、HDOP値にはほとんど影響を受けない。また、移動形態として停止、等速度走行の場合は影響を受けないが、加速、減速の場合は影響を受けている可能性がある（特に、整数値バイアスを推定し検証が終了するまでの時間）。

(2) 今後の課題

初期化時間を決定する要因として、受信衛星数の影響は明らかになったが、HDOP値については今回の実験ではほとんど影響を及ぼさない結果となった。しかし、これは衛星観測条件が良好な場所での検証であったのでこのような結果となったと考えられる。観測条件が厳しい場所ではHDOP値が大きく影響する可能性があるため、今後検証を進めていきたい。

一方、移動体の速度の影響については、今回の実験では往路、復路で衛星観測条件が異なったため、厳密な比較ができなかった。今後、条件を同じにして再度検証実験を行いたい。また、加速、減速の場合は影響を受けている可能性があるため、この点はさらに検証を進めていきたい。

さらに、今回の実験ではGPSアンテナケーブルの遮断、再接続という方法で初期化時間を計測した。しかし、実際の走行計測ではこのような全面的な衛星電波受信中断ではなく、遮断物による部分的な受信中断となる。したがって、今後は実際の測位環境の下で測位初期化時間の検証をしていく予定である。

謝辞：本研究は平成20年度科学研費補助金基盤研究C(20560495)の助成を受けた。また、本研究の実施に際しては、株式会社タクモ清水哲也氏からご協力いただいた。ここに記して厚く謝意を表す。

参考文献

- 1) 佐田達典, 高田知典: GPS誘導型測量システム, 応用測量論文集, Vol.5, 日本測量協会, pp.13-18, 1994年6月
- 2) 古屋 弘: Web-GISを用いた土工事の施工管理システム, 土木情報システム論文集, Vol.11, pp.67-76, 2002年10月
- 3) 重松文治: GPSと情報化施工—海工事における情報化施工—, 土と基礎, Vol.54, No.1, pp.51~57, 2006年1月
- 4) 佐田達典・江上翔悟・村山盛行: RTK-GPSによる移動体測位に関する基礎的研究, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.195-202, 2008.11.
- 5) 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
- 6) 安田明生: 月刊「測量」別冊GPSフロンティア, 日本測量協会, pp.12-20, 2004年2月
- 7) 佐田達典, 重松文治: GPSの基礎—干渉測位と測量—, 土と基礎, 地盤工学会, pp.45-51, 2005年11月
- 8) Teunissen, P.J.G.: The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: a method for fast GPS integer ambiguity estimation, Journal of Geodesy, 1-2, pp.65-82, 1995.
- 9) 伊沢光磨・五百竹義勝・佐田達典・高橋徳雄・岩田好正: Trmble Virtual Station (VRS)についての近況報告, リアルタイム測位技術研究発表会資料集, 日本測量協会, pp.29-67, 2002年7月
- 10) 佐田達典・高橋徳雄・岩田好正・永井知子・五百竹義勝: VRS網の中心・境界・外部での同時連続観測実験, リアルタイム測位技術研究発表会資料集, 日本測量協会, pp.193-204, 2002年7月
- 11) 久保信明: 都市部移動体におけるGNSS技術の測位精度と課題, GPS/GNSS SYMPOSIUM 2007, 日本航海学会GPS研究会, pp.219-226, 2007年