2001年　3月
APA No. 78-5
財団法人 日本測量調査技術協会

一周波RTKの効率と問題点について

石井　洋

1．はじめに

一周波によるRTKは、安価な一周波受信機を使用できる反面、二周波RTKに比べ測位に用いられる情報量が少ないため、初期化や電離層補正などの面で制約も多い。そこで、電離層などの影響が比較的小さい近距離（～10km）で一周波RTKを用いる場合を想定して、初期化のプロセスに関わる諸条件を考慮しながら、一周波でのRTKの有効性と問題点を検討する。

2．解析方法

RTK解法の手法として、Ron Hatchによるアンビギュイティ決定法[1]を採用した。採用理由は、他のRTK解法に比べて計算量が少なくて済む事が期待できるからである。これをプログラム化し、あらかじめ観測したデータを後処理によってRTKの初期化計算を行った。図１は、RTK初期化のフローである。

3．初期化条件

初期化条件とその理由は、以下の通りである。

①搬送波によるスムージングを施したコードによるDGPS解（座標）をサーチ範囲の中心とする。
（スムージング時間30秒）
今回の決定法は、初期化開始時のDGPS解の精度に依存する。このためCAコードのノイズ改善方法としては一般的である搬送波を用いたスムージングを行うが、スムージング時間は電離層の影響を考慮し、短めに設定した。

②サーチ範囲を±７波長
サーチ範囲は、初期化開始時のDGPS解の精度を

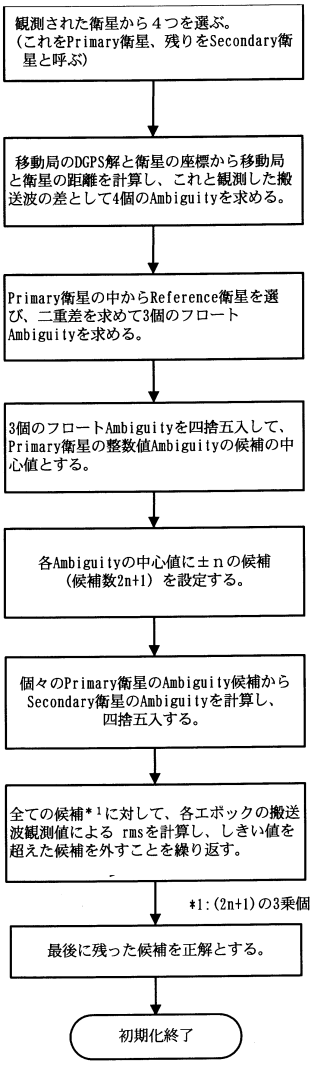


図１　初期化の処理フロー

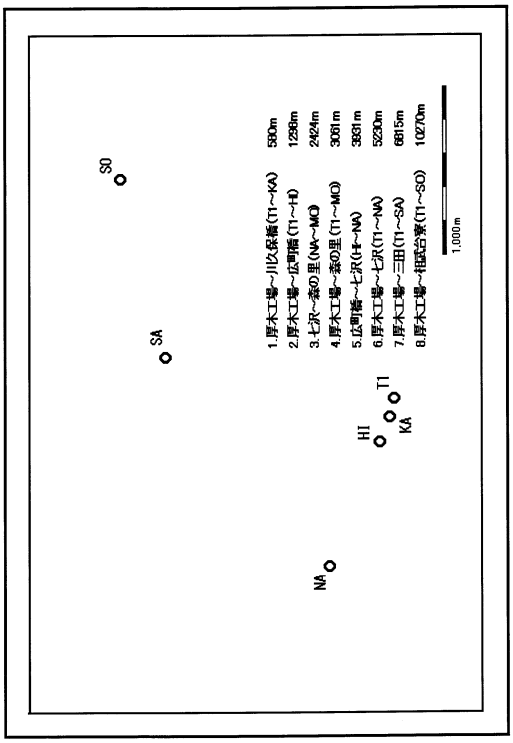


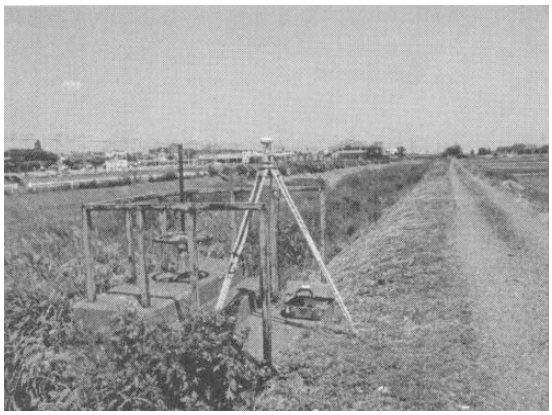
図２　観測図

表１　基線名と基線長、観測日時

基線名	略号	基線長 [m]	観測日時(JST)
厚木工場屋上点～川久保橋	T1～KA	580	2000年6月6日　13:30～15:00 16:00～17:30
厚木工場屋上点～広町橋	T1～HI	1,298	2000年6月6日　13:30～15:00 16:00～17:30
七沢～森の里	NA～MO	2,424	2000年6月6日　13:30～15:00 16:00～17:30
厚木工場屋上点～森の里	T1～MO	3,061	2000年6月6日　13:30～15:00 16:00～17:30
広町橋～七沢	HI～NA	3,931	2000年6月6日　13:30～15:00 16:00～17:30
厚木工場屋上点～七沢	T1～NA	5,230	2000年6月6日　13:30～15:00 16:00～17:30
厚木工場屋上点～三田	T1～SA	6,815	2000年6月7日　13:26～14:56 15:56～17:26
厚木工場屋上点～相武台寮	T1～SO	10,270	2000年6月7日　13:26～14:56 15:56～17:26

約１ｍと見積もって、±７波長とした。

③RTK解のrmsが0.02[m]を越えた候補は棄却する



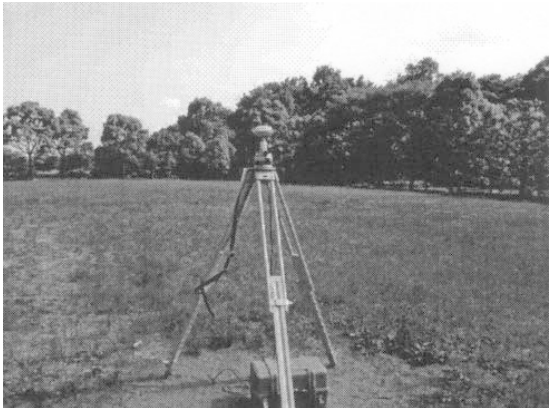


図３　観測点の様子
左：広町橋(HI)
右上：三田(SA)
右下：森の里(MO)

この値を実際にあり得る数値以下に設定すると、サーチの途中で正解の候補を棄却してしまい、結果として誤った候補が正解になってしまう。また大きめな値にすると、候補の数が増えてしまい、サーチ時間が実用的でないものとなる。今回は、初期化時間よりもなるべく失敗しないような設定とした。

4．試験データと使用機器

観測点７点で２セッションのスタティック測量（２周波、１秒インターバル）し、表１に示す８基線のデータを用意した。各セッションとも、観測時間は90分である。図２に観測図を、図３に観測点の様子を示す。

また使用機器は、以下の通りである。

GPS受信機、アンテナ	(株) ソキア　PowerGPS R310
スタティック基線解析プログラム	(株) ソキア　SpectrumSurvey Ver.3.10
使用計算機	日本IBM ThinkPad 570E
RTK基線解析プログラム	自製
開発言語	Borland C++ Ver. 5.02J

5．RTK解析結果

表２に、８基線２セッションのデータをRTK基線解析プログラムで初期化した結果を示す。

5.1　初期化時間

初期化開始時刻を５分ずつずらして初期化させたとき、初期化に成功した数、成功率、初期化に要した最短時間と最長時間を表２に示す。最短ではほぼ10分で初期化が終わるのに対し、最長では30分以上（平均20分）かかり、また初期化に失敗する場合もあった。

表３は、比較のため同じ解法で二周波のデータを使って初期化したものである。全ての初期化に成功しており、初期化時間も41秒から260秒であった。

表２　一周波による初期化時間と成功率

初期化条件：スムージング時間30秒、サーチ範囲±７波長、rms<0.02m以下

基線名	試行数	衛星数	PDOP	成功数	成功率[%]	初期化時間[sec.] min	max	平均	rmsの標準偏差
T1～KA	13	8～9	1.88～2.32	13	100	417	1774	1123	0.002
	15	8	2.05～2.57	15	100	550	1879	1189	0.003
T1～HI	13	8～9	1.89～2.40	13	100	299	1683	1036	0.001
	13	8	2.05～2.48	13	100	908	1874	1273	0.003
NA～MO	14	8～9	1.94～2.38	14	100	390	1793	1053	0.002
	13	6～8	2.06～3.92	12	92	993	1806	1285	0.003
T1～MO	13	8～9	1.93～2.31	13	100	573	2044	1218	0.003
	17	6～8	2.05～2.81	15	88	619	1755	1130	0.004
HI～NA	14	8～9	1.87～2.38	14	100	404	1721	972	0.002
	12	7～8	2.05～3.90	10	83	860	1630	1187	0.003
T1～NA	13	8～9	1.87～2.31	13	100	400	2044	1104	0.004
	15	5～8	2.1～3.82	13	86	812	1490	1212	0.020
T1～SA	16	8～9	1.90～2.38	12	75	490	2156	1218	0.003
	16	8	2.03～2.62	15	94	530	1729	1265	0.004
T1～SO	17	8～9	1.86～2.12	17	100	230	2459	1298	0.002
	16	8	2.03～2.50	16	100	396	1979	1220	0.006

（注）各基線の上段は１セッション目、下段は２セッション目（以下同様）

表3　二周波による初期化時間と成功率

基線名	試行数	衛星数	PDOP	成功数	成功率 [%]	初期化時間[sec.]			rmsの標準偏差
						min	max	平均	
T1～KA	13	7～9	1.88～2.57	13	100	63	113	68	0.002
	18	7～9	1.63～2.82	18	100	63	64	63	0.002
T1～HI	14	7～9	1.88～2.83	14	100	63	65	65	0.003
	17	7～9	1.63～2.82	17	100	63	66	63	0.002
NA～MO	17	7～9	1.93～2.7	17	100	63	90	65	0.020
	18	6～8	1.88～3.91	18	100	63	225	74	0.002
T1～MO	14	7～8	1.96～2.83	14	100	63	81	66	0.002
	18	7～8	1.88～2.82	18	100	41	157	67	0.002
HI～NA	16	7～9	1.88～2.70	16	100	51	96	65	0.004
	17	6～8	1.88～3.92	17	100	63	92	68	0.003
T1～NA	14	7～9	1.88～2.83	14	100	63	94	66	0.004
	18	7～8	1.88～3.92	18	100	63	171	72	0.002
T1～SA	18	8～9	1.91～2.40	18	100	63	110	70	0.004
	18	7～9	1.65～2.81	18	100	63	75	64	0.003
T1～SO	18	7～9	1.94～2.57	18	100	63	259	90	0.004
	18	7～9	1.63～2.81	18	100	63	92	65	0.003

表4　RTK解の精度

基線名	エポック数	較差（最大値）[m]			標準偏差		
		△NS	△EW	△H	△NS	△EW	△H
T1～KA	3050	0.028	-0.035	-0.058	0.008	0.008	0.018
	4464	0.039	-0.026	0.061	0.008	0.006	0.018
T1～HI	3222	-0.029	0.033	0.078	0.008	0.008	0.020
	4141	0.039	0.031	0.051	0.009	0.007	0.018
HI～NA	3876	0.038	-0.035	0.105	0.010	0.010	0.021
	3682	-0.044	0.074	0.273	0.009	0.010	0.025
T1～MO	2210	0.026	-0.038	0.090	0.008	0.009	0.021
	4348	0.045	0.029	-0.079	0.009	0.007	0.020
NA～MO	4463	-0.033	0.037	-0.092	0.004	0.010	0.028
	3834	0.043	0.041	-0.110	0.010	0.010	0.028
T1～NA	2209	0.034	-0.036	0.112	0.010	0.009	0.020
	3922	-0.274	0.340	0.196	0.032	0.052	0.033
T1～SA	4680	0.062	-0.056	0.106	0.010	0.011	0.028
	3673	-0.037	0.037	-0.116	0.107	0.009	0.027
T1～SO	2641	-0.073	-0.046	0.142	0.012	0.010	0.022
	4567	0.040	-0.046	0.097	0.011	0.013	0.027

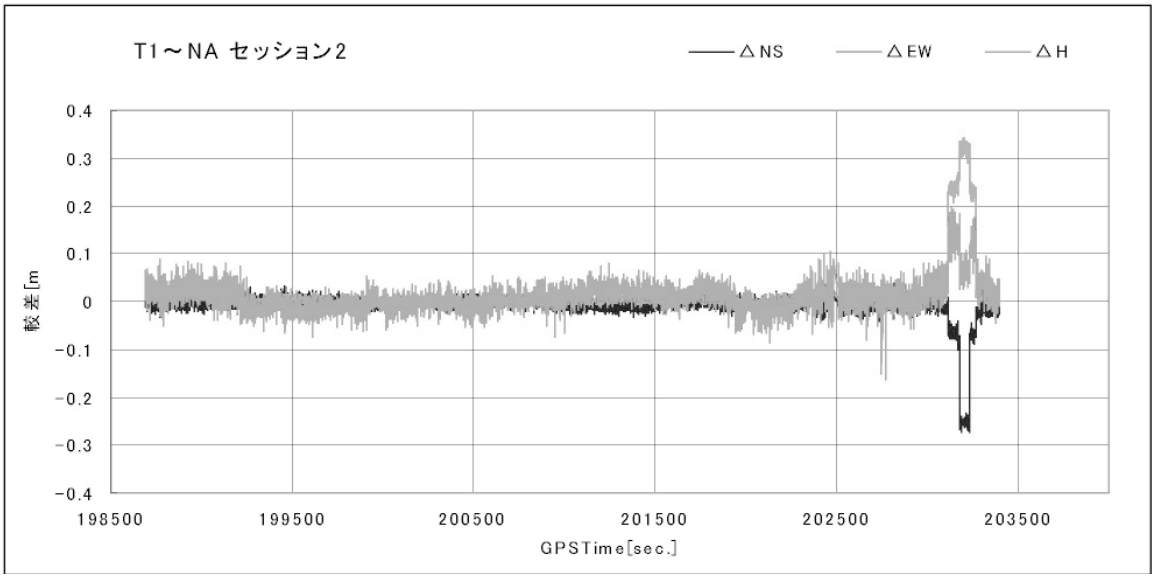


図４　T1～NA(2)の較差グラフ

5.2　RTKの精度

観測開始から初期化させた場合、初期化後のRTK解の結果を表４に示した。表中の較差（最大値）はエポック毎のRTK解でスタティック解との差が最大のもの、標準偏差はエポック毎の成分差の標準偏差である。

HI～NA(2)とT1～NA(2)を除けば５kmまでは、平面距離で５cm、高さ方向で10cm程度に収まっている。

ここでHI～NA(2)は、サーチ範囲が±７波長で初期化に失敗したため、±８波長で初期化した。また△EW=0.074m、△H=0.273mと悪いのは、203101秒（GPSTime、以下同様）のRTK解によるもので、この解を除けば、それぞれ△NS=0.026m、△EW=0.049m、△H=0.107mとなる。

T1～NA(2)の場合は、観測終了時前の203119秒から203266秒の間、衛星選択によりPDOPが悪化し、誤ったアンビギュイティが選択されたためであった。（図４）

なお、実際のRTK測位に用いる固定局データは、データ通信などによって移動局データの観測時刻よりも多少古いものになるのが普通である。ここでのRTK解は、2秒前の固定局データを外挿して、移動局データの観測時刻の値に合わせたものを使っている。

5.3　初期化条件について

初期化の失敗原因の究明や成功率を上げるため、また初期化時間を短縮するために、試験データの初期化中の振る舞いを調べた。

①サーチ範囲

表５は、観測開始から初期化を始めた場合のDGPS解とスタティック解との差を表したものである。この差がサーチ範囲内に無いと正解のものが破棄されてしまい、初期化が失敗してしまうことになる。今回は±7波長内に入っている。

②rmsしきい値

初期化中、正解候補のrmsの最大値を表６に示す。これよりどのセッションも0.02m以下であった。

③アンビギュイティの小数部

初期化中、正解候補のエポック毎のアンビギュイティ小数部の内、最大値と最小値を取り出したのが表５のアンビギュイティ小数部である。５kmまでの基線ではアンビギュイティの小数部は0.3台であったが、それ以上の基線では0.4台のものがあり、整数に丸めにくくなっている。

表５　DGPS解とSTATIC解との差（WGS84）

	STATIC解との差[m]			
	△X	△Y	△Z	Dist
T1～KA	0.490	-0.521	-0.331	0.788
	-0.271	0.302	0.286	0.496
T1～HI	0.302	0.187	0.258	0.439
	-0.738	0.171	0.509	0.913
HI～NA	0.134	-0.253	-0.458	0.541
	0.873	-0.079	-0.596	1.060
T1～MO	-0.403	0.347	0.733	0.906
	0.064	0.135	0.085	0.173
NA～MO	-0.642	0.253	0.856	1.100
	0.091	0.111	0.243	0.282
T1～NA	0.287	-0.006	-0.065	0.295
	0.085	0.045	-0.109	0.145
T1～SA	-0.296	0.634	0.488	0.853
	-0.535	0.346	0.165	0.658
T1～SO	0.291	0.315	0.402	0.588
	-0.154	-0.078	0.102	0.201

表６　初期化中の正解候補の最大rmsとアンビギュイティの小数部

基線名	rms	アンビギュイティの小数部	
	[m]	max	min
T1～KA	0.011	0.262	-0.190
	0.007	0.211	-0.178
T1～HI	0.013	0.260	-0.205
	0.008	0.269	-0.150
NA～MO	0.013	0.338	-0.152
	0.010	0.220	-0.217
T1～MO	0.011	0.321	-0.356
	0.008	0.271	-0.194
HI～NA	0.013	0.170	-0.374
	0.011	0.246	-0.245
T1～NA	0.013	0.313	-0.368
	0.010	0.245	-0.196
T1～SA	0.012	0.349	-0.164
	0.018	0.424	-0.367
T1～SO	0.014	0.485	-0.245
	0.017	0.256	-0.387

表７　新初期化条件による初期化結果

基線名	試行数	衛星数	PDOP	成功数	成功率[%]	初期化時間[sec.]			rmsの標準偏差
						min	max	平均	
T1～KA	13	8～9	1.88～2.32	13	100	282	1710	773	0.002
	16	8	1.98～2.79	16	100	354	926	587	0.001
T1～HI	14	8～9	1.91～2.32	14	100	221	1757	682	0.002
	16	8	1.98～2.62	16	100	347	794	565	0.002
NA～MO	16	8～9	1.93～2.75	16	100	209	1388	700	0.004
	15	6～8	1.98～3.81	13	87	344	792	583	0.002
T1～MO	14	8～9	1.93～2.38	14	100	265	1444	753	0.003
	17	7～8	1.98～2.77	16	94	276	802	536	0.002
HI～NA	14	7～9	1.91～2.73	14	100	317	1359	601	0.003
	12	7～8	2.03～3.85	10	83	395	774	572	0.002
T1～NA	13	7～9	1.91～2.72	13	100	298	1144	569	0.003
	18	6～8	1.99～3.81	14	78	412	1012	624	0.020
T1～SA	18	8～9	1.86～2.37	13	72	177	1702	802	0.003
	17	8	1.65～2.80	16	94	372	770	578	0.002
T1～SO	18	8～9	1.87～2.40	11	61	231	1387	676	0.004
	17	8	2.01～2.82	14	82	302	934	596	0.003
世田谷～TMC	16	7～8	1.90～2.78	13	81	463	1375	773	0.002
	16	8	1.96～2.97	16	100	237	1494	702	0.002

世田谷～TMC

観測日時　1998年10月23日 13:00～14:30(JST), 15:30～17:00(JST)

観測機材　GPS受信機・アンテナ　（株）ソキア　GSS2

その他は「４．試験データと使用機器」と同じ。

６．初期化条件の見直しとその結果

以上の結果より、

①5kmまでの短基線では、候補の絞り込みにrmsと小数部の丸め易さが効果がありそう。

②DGPS解は、HI～NA(2)を除いて±７波長に収まっており、サーチ範囲は成功している。

とのことから、初期化条件をrms<0.015[m],サーチ範囲を±８波長、小数部の丸め易さ<0.45として、電子基準点を含む基線も加えて処理し直した。この電子基準点のRTKデータは、1998年10月23日に950228世田谷とソキア(TMC)の屋上点の間、約1kmの基線で観測したものを使用した。これらの結果を表７に示す。

これより、初期化時間は最短３分半、最長30分、平均11分となり、５km以下での初期化成功率は95%、７kmまでででは90%であった。初期化失敗は24例あったが、そのうちDGPS解がサーチ範囲外のものが４例、rmsが大きかったものが14例、小数部の丸め易さによる棄却が１例、rmsと小数部の丸め易さの両方による棄却が５例だった。

７．まとめ

今回の初期化失敗の原因として

①初期化開始時のサーチ範囲内に正解が含まれていない。

②rmsしきい値が小さ過ぎて、正解の候補がサーチ過程で棄却される。

③正解の候補に対するSecondary衛星のアンビギュイティが誤まって決定され（整数化し損ねた）、サーチ過程でrmsが大きくなり棄却される。

であった。DGPS解のサーチ範囲外を除いて、全て正解を棄却したことによるが、特にrms>0.015による棄却が多かった。rmsを小さく設定したのは、初期化時間を実用な範囲になるになるようにしたためであり、これを大きくすると初期化時間が長くなってしまう。

またDGPS解の精度はコードのノイズレベルに依存するが、短い基線の場合はマルチパスの影響が大きい。しかしこれを改善する事は、現在のところ難しい。

プログラムの処理上の改善点としては、Secondary衛星のアンビギュイティを整数へ丸める際、丸めにくい場合は、切り上げと切り捨ての２候補を立てるなどが考えられるが、これが頻繁だと候補数が増えてしまい、初期化時間が延びてしまう。PDOPが低下すると、このような問題が多発することが予想される。

今回の結果から、５km以下の基線において平均10分の初期化時間で95%の成功率は、実用化にとっては決して十分だとは言い難い。何より、誤った初期化を防ぐ事が重要だと言える。このためには、基線長の距離を限定した上で、精度管理方法（初期化ミスの防止）、下限衛星数（あるいは下限PDOP）の設定などさらに検討する必要がある。また初期化時間や成功率を上げるために、静止スタートの方法は、大変有効だと思われる。

謝辞

本研究にあたり、建設省国土地理院測地第二課　堀課長をはじめ、秋山係長、課員のみなさまには業務多忙中にも関わらず、貴重な指導、助言、資料を提供していただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

また部外研究員の受け入れに際し、ご尽力いただいた企画部企画調整課ならびに（財）日本測量調査技術協会のみなさまに心より感謝申し上げます。

参考文献

1) Ron Hatch(1990)," Instantaneous Ambiguity Resolution"
KIS symposium, Banff, Alberta, Canada, Sept.11.

2) Leick A.(1995),"GPS Satellite Surveying SECOND EDITION" ,John Wiley&Sons Inc.

（（株）ソキア　技術研究室）