

長基線KGPS測位精度の機種（アンテナ）依存性について

河合晃司, 成田誉孝, 藤田雅之, 石川直史, 淵之上紘和：航法測地室

長岡 継：第五管区海上保安本部下里水路観測所

Machine (Antenna)-dependency of long baseline KGPS positioning accuracy

Koji Kawai, Yoshitaka Narita, Masayuki Fujita, Tadashi Ishikawa, Hirokazu Fuchinoue : Geodesy and Geophysics Office

Mitsugu Nagaoka : Shimosato Hydrographic Observatory, 5th R.C.G. Hqs.

1 はじめに

海洋情報部では、GPS衛星を用いた長基線キネマティック測位（以下KGPS）技術と音響測距技術を組み合わせた海底地殻変動観測を行っており（海上保安庁海洋情報部・東京大学生産技術研究所, 2002）、海底に設置した基準局の位置をセンチメートルレベルで決定することを目標に技術開発を続けている（矢吹, 2002）。

このうちKGPS技術は、位置が正確にわかっている陸上基準点から船上GPSアンテナの位置を精密に決定するものである。ここに生じた誤差は、最終的な海底局位置決定精度を低下させる原因となるため、できる限り高精度かつ安定した測位結果を得る必要がある。

我々の海底地殻変動観測におけるKGPS解析では、測量船で取得した海上データに対し、複数の陸上基準点を用いて測位結果を求めている。これら複数の異なる陸上基準点それぞれから求めたKGPS測位解を評価し、結果を互いに比較すると、その測位精度の違いが、陸上基準点の位置や基線長よりもむしろ、用いているGPS受信機・アンテナの機種に依存すると思われる場合がある。本稿では、その実例を示すとともに、測位精度の機種依存性について詳しく調べるため下里水路観測所で行った試験観測結果について報告する。

2 長基線KGPS解析及びその評価手法

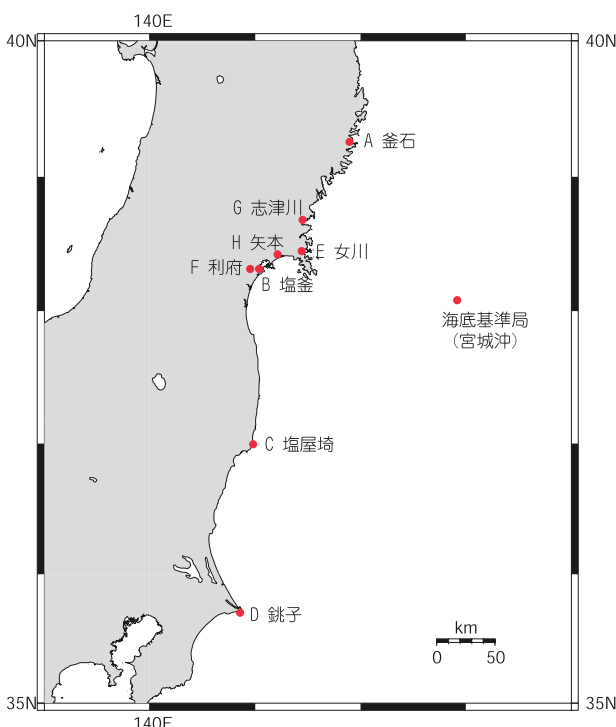
我々の海底地殻変動観測におけるKGPS測位では、測位海域が陸から遠く離れていることがほとんどであることから、通常近傍に基準点を設けることができず、長距離基線の解析が必要となる。

そのため、現在我々は、長基線解析を高精度に行うためにNASA/GSFCで開発されたソフトウェア“IT”（Interferometry Trajectory）を利用している（Colombo, 1998）。“IT”は、長基線解析を10cm以下の精度で行うことを目指して開発されたものであり、長基線で顕在化する誤差要因を取り除くための技術が取り入れられている。既に、“IT”を用いた様々な長距離測位試験によって、その有用性が実証されている（Colombo et al., 2000）。なお、本稿で示す測位解析には、“IT”のVer3.2を使用している。

また我々の観測においては、“IT”により求めたKGPS測位解の精度を評価するため、測位解の高さの1分平均値に潮汐補正およびジオイド高補正を施し、その時間的安定性をみることにより、測位精度の指標としている（藤田, 矢吹, 2003）。

3 海底地殻変動観測における実例

我々の海底地殻変動観測から実際に得られたKGPS測位解の評価結果を、陸上基準点の異なるGPS受信機・アンテナ機種について比較した実例を示す。ここでは、宮城県沖海底基準点で行った2004



第1図
Fig. 1

年 8月22日及び10月14日の例を示す。

第1図は、宮城県沖海底基準点及び上の観測日で、KGPS測位のために用いた陸上基準点の位置を図示したものである。また第1表は、図中のそれぞれの陸上基準点のGPS受信機及びアンテナの機種をまとめたものである。表中のアンテナ機種名について、“Micro Centered”は、Trimble Micro Centered Geodetic with Ground Plane (TRM33429.00+GP)、“Choke Ring”は、Trimble Choke Ring (TRM 29659.00)を指す。Choke Ringアンテナは、Micro Centeredに比べ、マルチパスの影響が小さいとされている高性能タイプである。用いた陸上基準点デー

タは全て1秒サンプリング、船上データは0.5秒サンプリングである。

第2図は8月22日の、それぞれ異なる陸上基準点から求めた船上GPSアンテナの解析結果の精度評価図である。本報告中で使用している精度評価図においては、横軸は1目盛り1時間、縦軸は1目盛り0.1mである。船上のGPSデータは全て同一のものを使用している。

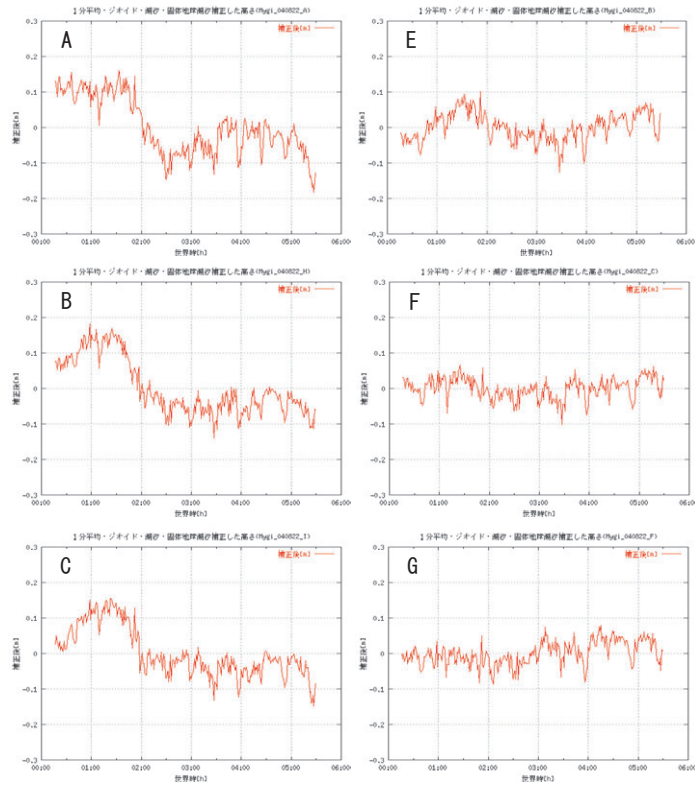
この図に示されている陸上基準点は、すべて数10km～数100km離れた地理的に全く異なった点であり、KGPS解析の基線長や方位、GPS電波の受信環境やマルチパスの状況等も全く異なっている。しかしながら、精度評価図を比べてみると、細かい差異はあるもののアンテナのタイプ別に測位解のパターンが似ていることがわかる。また、AとB、Cは異なる受信機と同タイプのアンテナの組み合わせであるが、精度評価図の時間変化パターンは似ている。このことから、測位結果は、受信機よりもむしろ、アンテナ機種に依存していると思われる。

10月14日の解析結果についても同様に第3図に示す。これを見ても、アンテナの種類により、明確にパターンが異なっている。

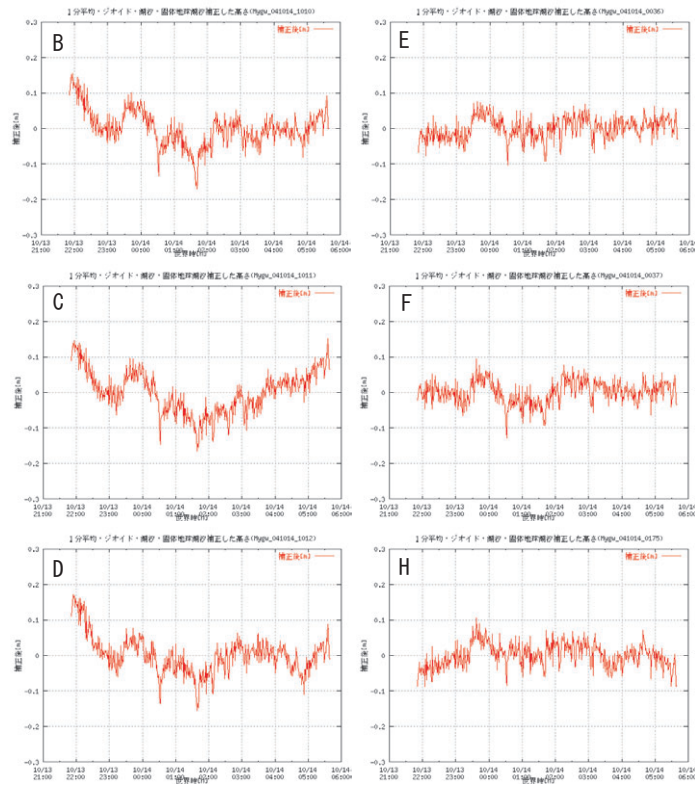
第2図及び第3図の2例とも、Choke Ringを使用した結果は時間的に安定しており、Micro Centeredを使用した結果には、エラーと考えられる大きなドリフトが含まれていることがわかる。ここでは顕著な2例を示したが、他の観測においても、概ね同様の傾向を示している。これらのことから、Micro Centeredの結果に見られる測位誤差は、マルチパスの影響によるものが大きく、Choke Ringを用いることにより、この影響が抑えられ、よい結果が得られ

第1表
Table. 1

	観測点	受信機	アンテナ	備考
A	釜石	Trimble 4000SSi	Micro Centered	海上保安庁陸上基準点
B	塩釜	Trimble 5700RC	Micro Centered	海上保安庁陸上基準点
C	塩屋崎	Trimble 5700RC	Micro Centered	海上保安庁陸上基準点
D	銚子	Trimble 5700RC	Micro Centered	海上保安庁陸上基準点
E	女川	Trimble 5700RC	Choke Ring	国土地理院電子基準点
F	利府	Trimble 5700RC	Choke Ring	国土地理院電子基準点
G	志津川	Trimble 5700RC	Choke Ring	国土地理院電子基準点
H	矢本	Trimble 5700RC	Choke Ring	国土地理院電子基準点



第2図
Fig. 2



第3図
Fig. 3

ていると判断される。

なお、精度評価図中に、数分～十数分にわたる高さの不連続部分が見られるが、これは測量船の走行による沈み込みの影響によるもので(寺井, 2003), エラーデータではないと考えられる。

4 下里水路観測所における精度評価試験について

前節の宮城県沖における事例は、それぞれ地理的に大きく離れた基準点について比較したものであり、それぞれの場合について、周辺の観測環境や海上移動観測海域からの位置関係、基線長が大きく異なっている。そこで次に、できるだけ機種の違いに絞って比較するため、第五管区海上保安本部下里水路観測所構内で、異なる受信機・アンテナを用いた比較試験観測を実施したので、その結果について示す。さらに同様の観点から、アンテナ機種の異なる下里連続観測点と最も近傍の電子基準点那智勝浦からの測位解を比較した結果についても示す。

下里水路観測所では、本土基準点標石の直上においてGPSの連続観測を実施しており(淵之上他, 2005), 当庁におけるGPS解析の基準としての役割を担うほか、海底地殻変動観測においては、近傍海

域のKGPS陸上基準点としても利用している。下里連続観測点で用いているアンテナは、Trimble Zephyr Geodetic with Ground Plane (TRM 41249.00; 以下Zephyrと表記)である。Zephyrは、位相中心再現性とマルチパス抵抗性能において、Choke Ringとほぼ同等の高い性能を示すことがメーカーより示されている(Krantz他, 2001)。

以下の比較に使用したGPS受信機及びアンテナの機種を第2表にまとめた。なお、用いた陸上基準点データは全て1秒サンプリング、船上データは0.5秒サンプリングである。

(1) 観測所構内における試験観測

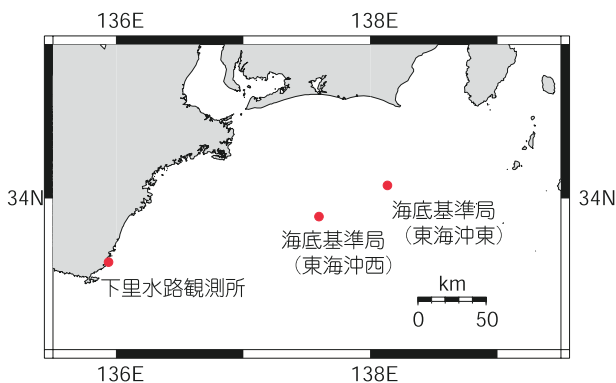
下里水路観測所では、「東海沖」海底地殻変動の観測実施期間である2004年8月3日～9日の7日間、観測所屋上に臨時観測点を設置して、連続観測点との同時観測を実施した。同時観測は、各日とも00時00分～09時00分(UTC)に行った。なお、8月3日～6日は「東海沖西」海底基準点、8月7日～9日は「東海沖東」海底基準点の観測期間中である。

第4図及び第5図に、下里と海底基準点との位置関係及び構内の観測点配置を示す。構内の観測点2点においては、マルチパスの条件は厳密には異なるが、GPSの同時視認衛星状況や大気や電離層による伝搬遅延等の環境はほぼ同一と考えられる。

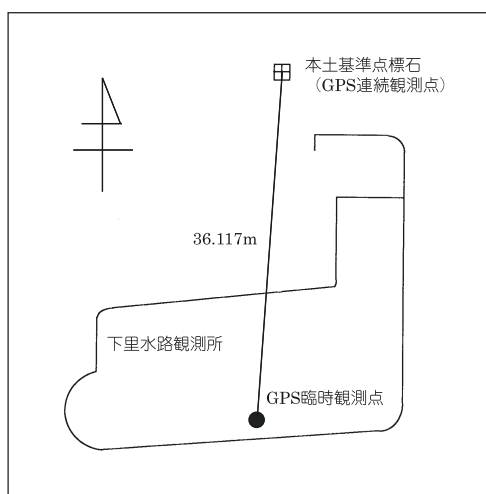
上記観測から得られたデータのKGPS解析結果の評価図を第6図に示す。なお図中の日付の後の括弧

第2表
Table. 2

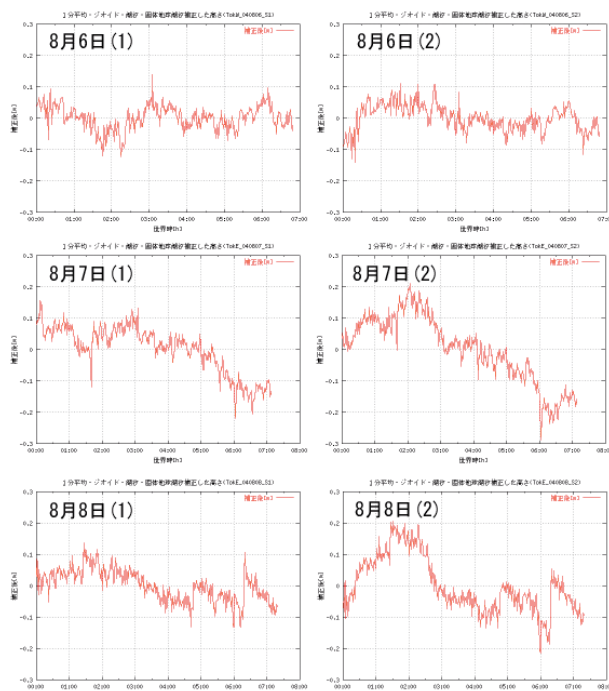
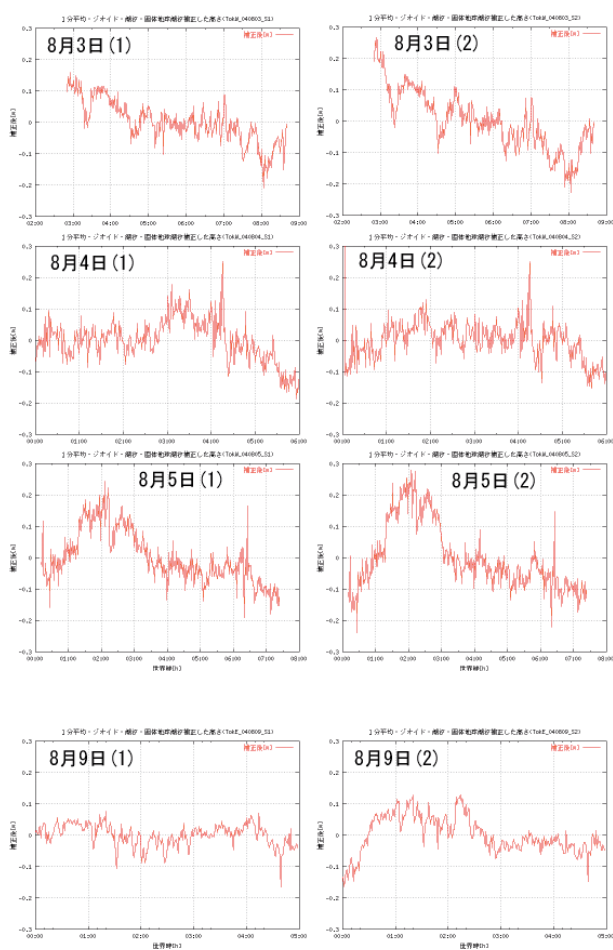
観測点	受信機	アンテナ
下里本土基準点	Trimble 5700RC	Zephyr
下里臨時観測点	Trimble 4000SSi	Micro Centered
那智勝浦電子基準点	Trimble 5700RC	Choke Ring



第4図
Fig. 4



第5図
Fig. 5



第 6 図
Fig. 6

については、(1)は下里連続観測点、(2)は下里臨時観測点を表している。

まず東海沖西の観測期間についてみると、8月3日及び8月5日は、時間変化のパターンは似ているが、両日とも(2)に見られるドリフトがより大きい。8月4日は、(1)の方がわずかにドリフトが大きいくように見える。またこの日の(2)には、解析時間の最初に、(1)には見られない大きなエラーが生じている。8月6日は(1)(2)ともに比較的安定した結果が得られているが、1時～3時におけるわずかな時間変化が、(1)は凹型、(2)は凸型となっている。

東海沖東の観測期間である8月7日～9日においては、1時～3時において(2)には(1)には見られない顕著な凸型の時間変化が生じており、明らかに(1)の方が安定した結果を与えている。

以上の評価結果をまとめると、8月4日を例外として、明らかに(2)に比べて(1)の測位結果が

安定している。すなわち、5700 RC + Zephyrの方が、4000SSi + Micro Centeredよりもよい結果を与える。この実験では、受信機も異なっているため、これらの差が、純粋にアンテナの相違のみによるものとは言えないが、前節の結果も考慮すると、アンテナ機種による差が大きいと考えるのが妥当であろう。したがって、本試験観測結果からも、マルチパスの影響を抑えたアンテナを使用することにより、よりよい測位結果が得られると言ってよい。

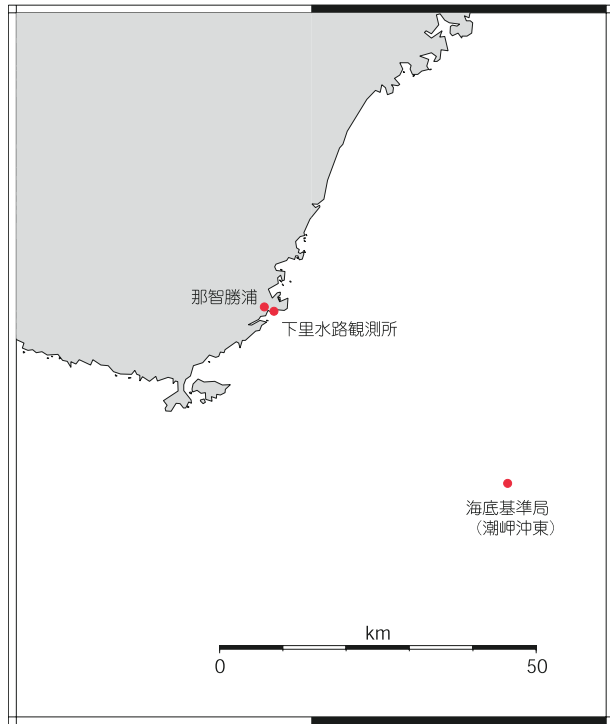
(2) 近傍の電子基準点との比較

次に、下里連続観測点と電子基準点那智勝浦点からのKGPS測位解を比較した。第2表に示したように、これらの点では、アンテナ機種のみが異なっており、ZephyrとChoke Ringの比較となる。

比較に用いたデータは、2004年9月20日～25日の6日間に実施した「潮岬沖東」海底地殻変動観測期間のものである。測点図を第7図に示す。電子基準点那智勝浦と下里連続観測点のアンテナ間の斜距離

は約1,652mである。

第8図に、同様の評価図を示す。図の日付の後の括弧については、(1)は下里連続観測点、(2)は



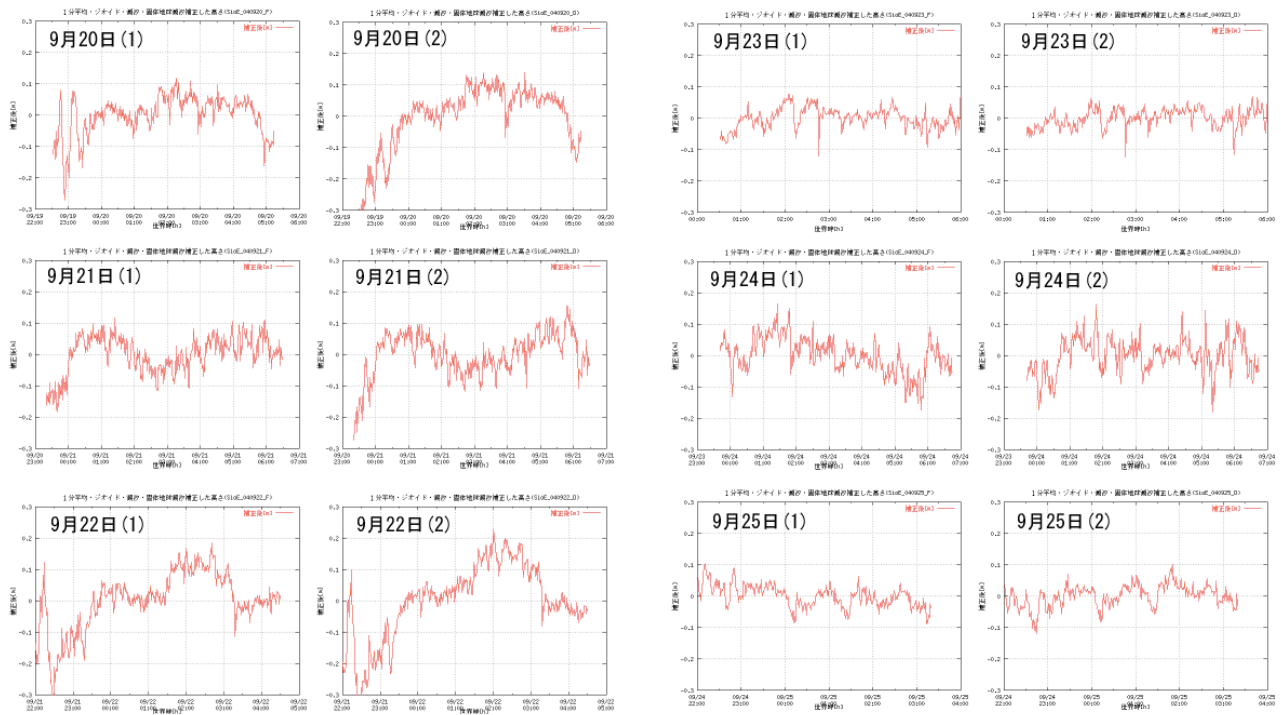
第7図
Fig. 7

電子基準点那智勝浦を表している。第8図の結果は、例えば第6図の比較結果に比べると、(1)と(2)の精度評価図のパターンは、6日間を通じてよく似ている。このことから、ZephyrとChoke Ringとの測位結果の差は、さほど顕著ではないと判断される。

5 まとめ

ここまで示してきたとおり、地理的に大きく離れている陸上基準点間の比較においても、近傍の観測点間の比較においても、長基線KGPSの測位結果には、アンテナ機種に依存した違いがあることがわかった。そして、その測位精度は、旧タイプのアンテナであるMicro Centeredよりも、マルチパス抵抗性能の高い新タイプであるChoke RingやZephyrを使用した場合の方が、明らかによいと判断される。

従って、海底地殻変動観測における長基線KGPS観測の陸上基準点では、アンテナとしてChoke RingやZephyrを使用することが望ましい。



第8図
Fig. 8

謝辞

解析の多くに、国土地理院電子基準点のデータを使用した。この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- Colombo, O. L.: Long-Distance Kinematic GPS, in "GPS for Geodesy 2nd Edition", edited by P. J. E. Teunissen and A. Kleusberg, Springer, 537-568, (1998).
- Colombo, O. L., A. G. Evans, M. I. Vigo-Auuiar, J. J. Benjamin: Long-Baseline (>1000km), Sub-Decimeter Kinematic Positioning of Buoys at Sea, with Potential Application to Deep-Sea Studies, *Proceedings ION GPS 2000*, Salt Lake City, (2000).
- 淵之上紘和：海上保安庁のGPS連続観測～データ収録・解析システムの更新とその評価～，海洋情報部技報，**23**，61-65，(2005)。
- 藤田雅之，矢吹哲一郎：海底地殻変動観測におけるK-GPS解析結果の評価手法について，海洋情報部技報，**21**，62-66，(2003)。
- 海上保安庁海洋情報部・東京大学生産技術研究所：海上保安庁海洋情報部の海底地殻変動観測，地震予知連絡会会報，**68**，557-565，(2002)。
- Krantz, E., Riley, S., Large, P.: GPSアンテナ設計と性能の進歩：Trimble Zephyr，トリンブル技術資料，(2001)。
- 寺井孝二：船舶におけるキネマティックGPS観測による高さ方向の精度評価と船体運動把握の試み，海洋情報部技報，**21**，51-61，(2003)。
- 矢吹哲一郎：海底地殻変動観測を目指した音響技術開発，水路部研究報告，**38**，47-58，(2002)。