

長基線KGPSの精度評価について

河合晃司, 藤田雅之, 石川直史, 松本良浩: 航法測地室
望月将志: 東京大学生産技術研究所

Accuracy evaluation of the long baseline KGPS

Koji Kawai, Masayuki Fujita, Tadashi Ishikawa, Yoshihiro Matsumoto :
Geodesy and Geophysics Office.
Masashi Mochizuki : Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo.

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（藤田，2003）

GPS衛星を用いた一般のキネマティック測位は基線長が長いほど精度が劣化するため、通常20km以下の基線長で実施されている。海洋情報部で実施している海底地殻変動観測では陸上の基準局から海底の基準局までの基線長は概ね50～150km程度であり、この一般のキネマティック測位は基線長の問題から適用が難しく、長基線解析の精度向上を目指し開発されたキネマティック測位解析ソフトウェアを使用している。このKGPS解析ソフトウェアの基線長に対する精度を評価することにより、海底基準局の選点に関して、KGPSの側からの基線長の条件を明確にすることが出来る。また、仮に数100kmから500kmを超える基線長のKGPS解析が十分な精度で行えるとすると、海溝軸の外側においても海底地殻変動実施できるなど、今後の新しい展開が可能となってくる。

本稿では、宮城沖海底地殻変動観測に併せ、基線長が100kmから1,500kmとなる基準点のデータを取得し、海底地殻変動観測で使用しているKGPS解

析を試み、精度の評価を行った結果について報告する。

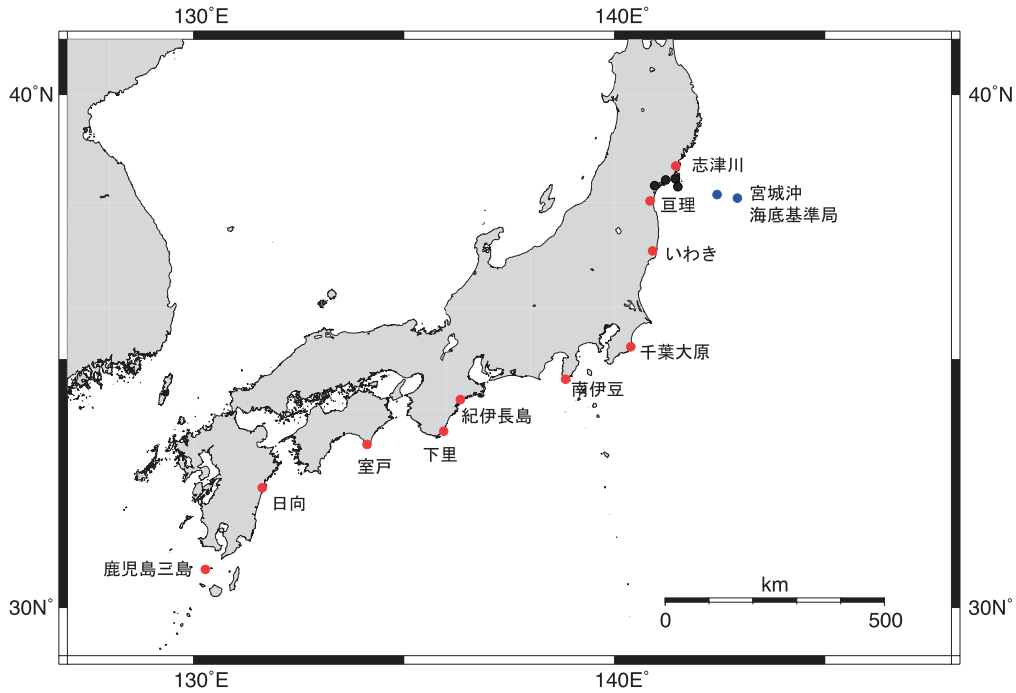
2 長基線KGPS解析及びその評価手法

KGPSの解析ソフトウェアは“IT”（Interferometric Translocation）を使用した（Colombo, 1998）。解析に使用したデータは、2005年4月～5月に行われた宮城沖海底地殻変動観測に併せて取得した。第1表に今回使用した基準点及び移動点（船上局）とその機材および、基準点から船上局までのおよその距離を示す。

第1表 使用したGPS局
Table 1 List of the GPS stations

	測点名	受信機	アンテナ	船上局からのおよその距離
移動局	船上局	Trimble5700	Zephyr Geodetic	—
固定局 (基準局)	志津川	Trimble5700	Choke Rings	140km
	亘理	Trimble5700	Choke Rings	180km
	いわき	Trimble5700	Choke Rings	210km
	千葉大原	Trimble5700	Choke Rings	410km
	南伊豆	Trimble5700	Choke Rings	550km
	紀伊長島	Trimble5700	Choke Rings	750km
	下里	Trimble5700	Zephyr Geodetic	850km
	室戸	Trimble5700	Choke Rings	1,000km
	日向	Trimble5700	Choke Rings	1,250km
鹿児島三島	Trimble5700	Choke Rings	1,500km	

また、第1図に測点図を示した。船尾に設置した船上局では0.5秒間隔でデータを収録した。また基準点のデータは1秒間隔で収録したデータである。データはすべてRINEX形式に変換したものを使用した。暦はIGSの精密暦（IGS Final Orbit）を使用した。“IT”により求めたKGPS測位解の精度を評価す



第1図 GPS局の配置図
Fig. 1 Location of the GPS stations

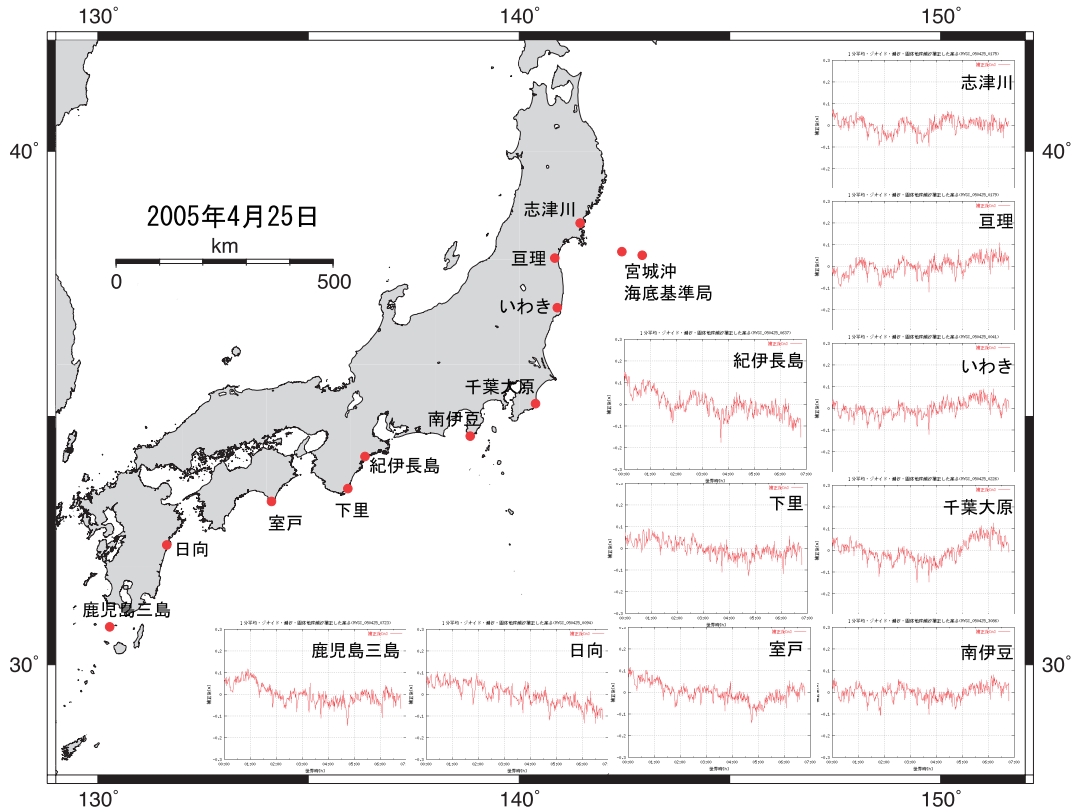
るため、測位解の高さの1分平均値に潮汐補正およびジオイド高補正を施し、その時間的安全性をみることにより、測位精度の指標とした(藤田, 矢吹, 2003)。また、宮城沖海底地殻変動観測の解析で使用するKGPS解は志津川、巨理及び第1図中黒点で示したGPS局のうち良好な3点を用いて最終解を求めているが、この3点の基準点を使用した解析結果と今回選定した各基準点1点を使用した結果の差をみることにより、水平方向の精度を検討した。高さ方向の時間的安全性は絶対評価となるが、差を見る場合は、どちらの解が正しいとは言えないため、相対的な比較となる。なお、高さの時間的安全性をみる精度評価図及び緯度、経度及び高さの差の精度評価図ともに横軸は時間を表している。また縦軸はフルスケールで60cmである。

3 長基線KGPS解析結果

第2図に2005年4月25日の高さ方向の時間的安全性をみる精度評価図の一覧を示す。これを見ると、どの基線の解析結果も、概ね±10cm以内に収まっており、極端なドリフトも生じていない。この結果を見る限りにおいて、基線長数百キロの結果も

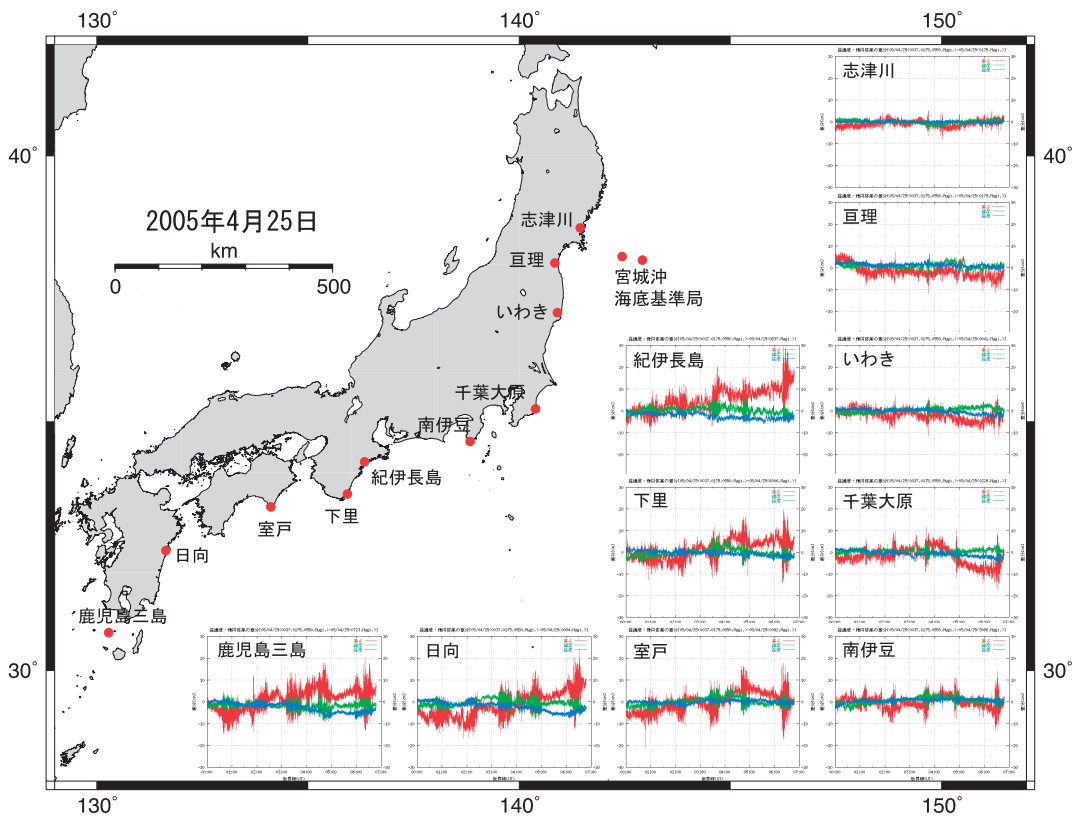
1,000kmを超える基線の結果も顕著な差は見られず、ほぼ同様の精度で求まっていると考えることができる。また、第3図に同日の緯度、経度及び高さの差をみる精度評価図の一覧を示す。緑色が緯度、青色が経度、赤色が高さのそれぞれの差を示している。この精度評価図では基線長にかかわらず緯度の差、経度の差ともに±数cm程度であり、水平方向についても長基線において良い結果が得られていると考えられる。このことは、他の観測日の結果についても概ね同様のことが言える。

また、差の精度評価図において、基線長が長くなるにつれて、所々差のばらつきの増減が見受けられる。第4図に3点を用いた最終解、日向及び鹿児島三島の3つのKGPS解の経度の差をそれぞれ表示した。これを見ると、日向と鹿児島三島の差のような、近傍の基準点同士から得られた結果の差には、差のばらつきの増減が現れていない、このことより、この差のばらつきは精度の劣化を示すものではなく、視認出来る衛星が異なることにより、解析に使用されるGPS衛星の組が異なるために現れる差であると考えられる。



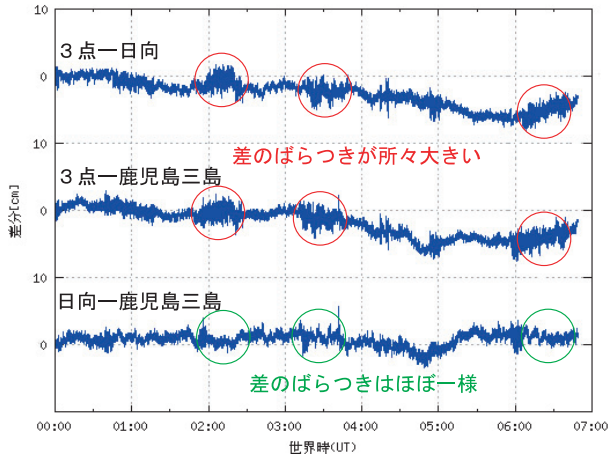
第 2 図 2005年 4 月25日のKGPSの精度評価図 (高さの時間的安定性)

Fig. 2 Accuracy estimation figure of KGPS on April 25, 2005 (time stability of height)



第 3 図 2005年 4 月25日のKGPSの精度評価図 (緯度, 経度及び高さの差)

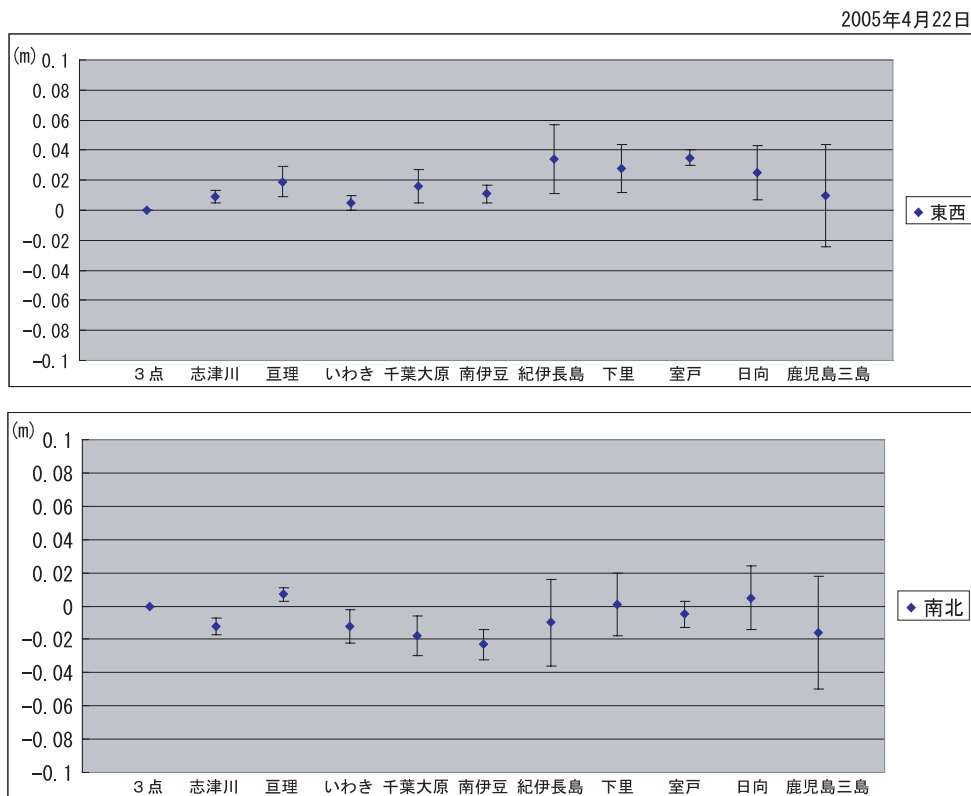
Fig. 3 Accuracy estimation figure by the difference of KGPS on April 25, 2005 (difference of latitude, longitude and height)



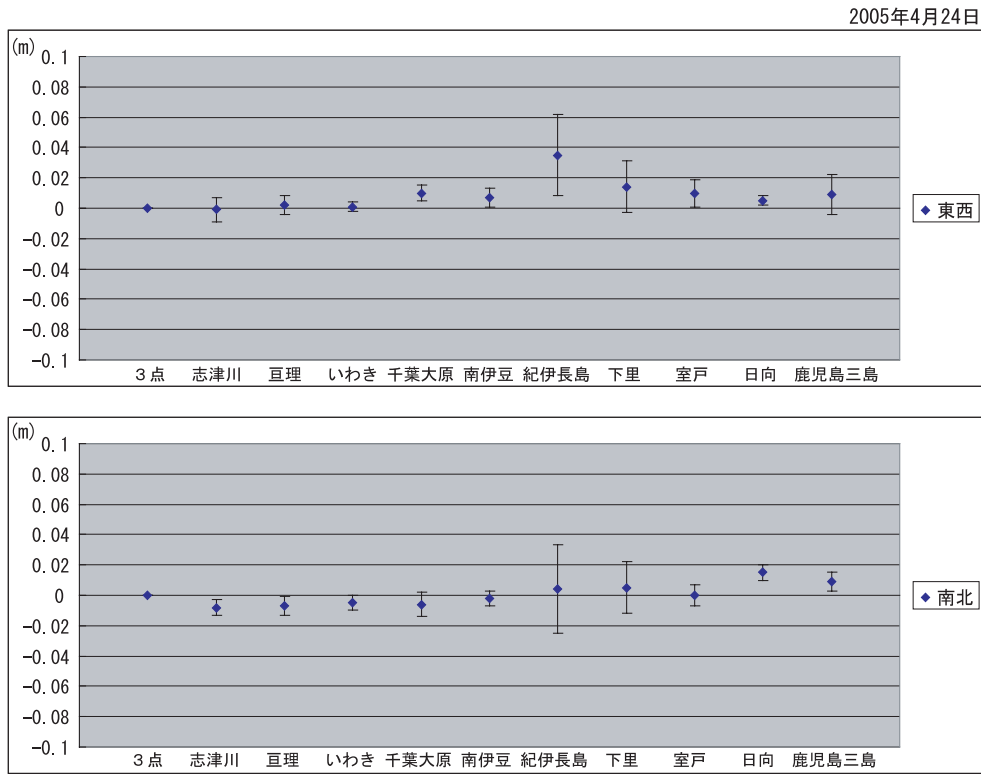
第4図 宮城県の3点、日向及び鹿児島三島のそれぞれの経度の差 (2005年4月25日)
 Fig. 4 The difference of each longitude of Hyuga, Kagoshimamishima, and Miyagi Prefecture (April 25, 2005)

次に、志津川から鹿児島三島までの基準点を使用したKGPS解析の結果を使用し、海底地殻変動観測の海底基準局の局位置を求めてみた。局位置は海底基準局の高さを固定する手法を用いて計算した(石川他, 2005)局位置は、2005年4月22日、24日、25日及び5月9日の4日分に関して求めた。この結果について、第5図(1)～(4)に示す。図には宮城沖近傍電子基準点3点を基準点とした結果を基準とし、各基線については、基準からの東西方向及び南北方向の差を順にプロットした。図中のエラーバーは、個々の音響基準局について、それぞれの基準位置からの差を求め、そのばらつきのRMSを図示したもので、音響基準局間の相対位置関係の決定精度を示す指標である(Fujita et al., 2006)。

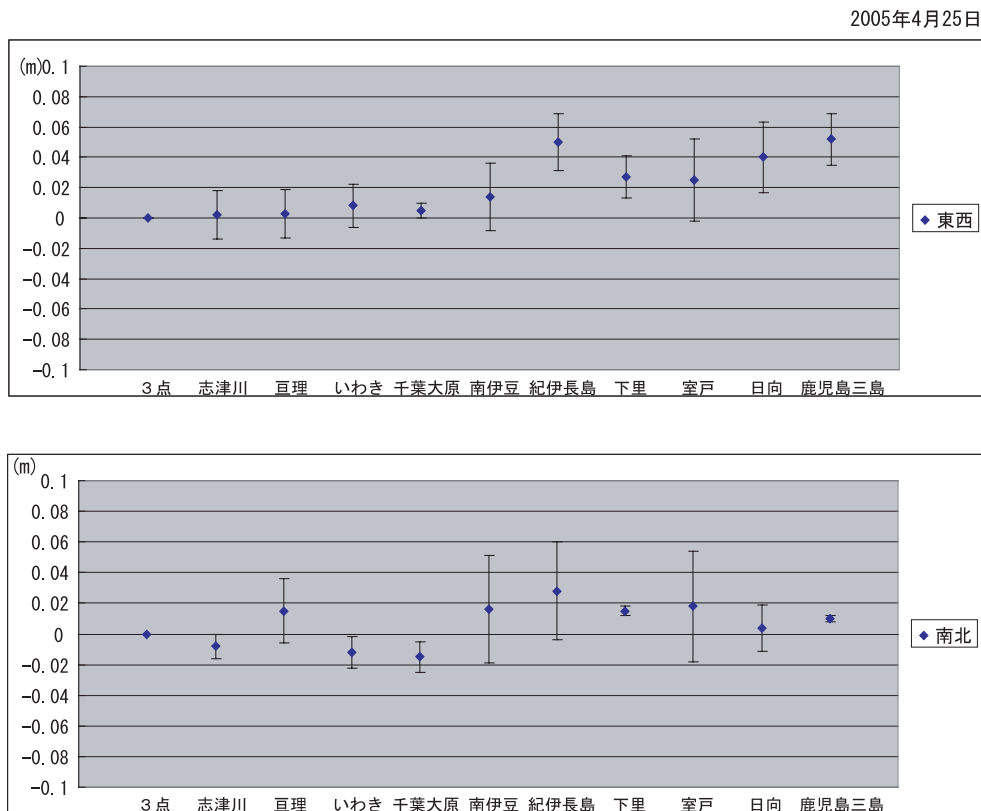
この4日のそれぞれの結果をみると、南伊豆までの基線では、東西、南北ともに差は小さく、概ね2cm以内に収まっている。また、4月24日は紀伊長島を除いて、全ての基線で2cm以内である。他の日



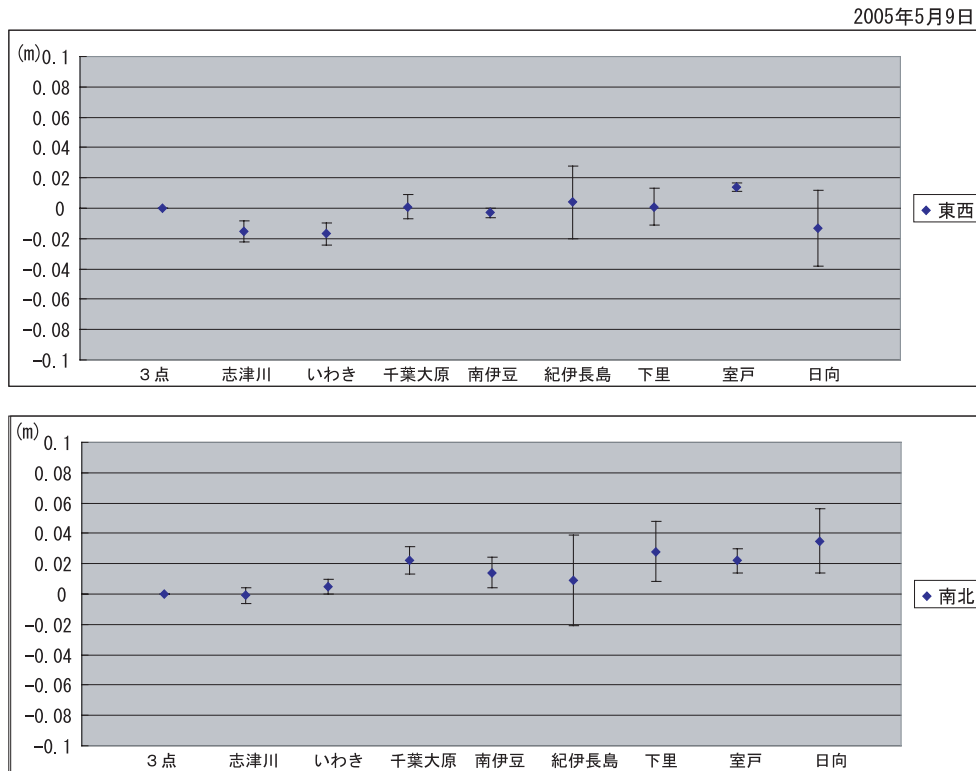
第5図(1) 海底基準局計算結果 (2005年4月22日)
 Fig. 5-(1) Result of seafloor positioning (April 22, 2005)



第5図(2) 海底基準局計算結果 (2005年4月24日)
 Fig. 5-(2) Result of seafloor positioning (April 24, 2005)



第5図(3) 海底基準局計算結果 (2005年4月25日)
 Fig. 5-(3) Result of seafloor positioning (April 25, 2005)



第5図(4) 海底基準局計算結果 (2005年5月9日)
 Fig. 5-(4) Result of seafloor positioning (May 9, 2005)

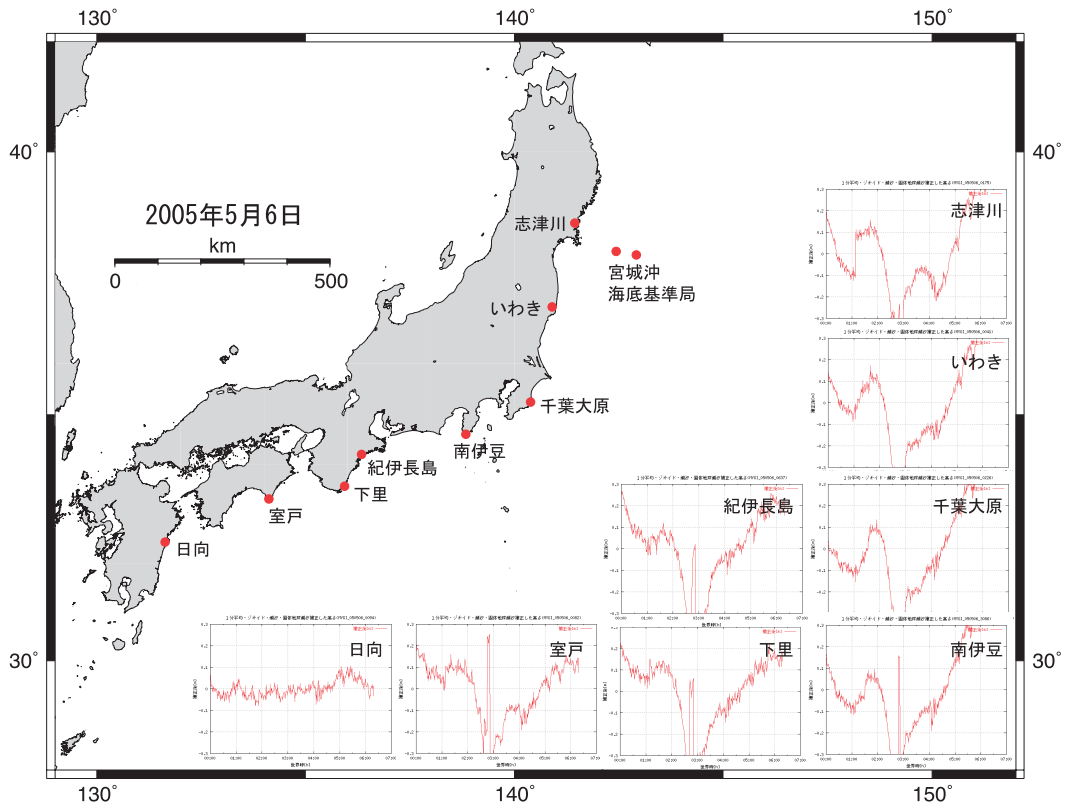
についても500kmを超えて基線が長くなると差やエラーバーが大きくなる傾向が見られるものの、最長の1,500kmの基線であっても、差は、基線長の±0.1ppmを下回っており、概ね数cm以内である。この結果をみると現在の海底地殻変動の精度としては十分に適用可能であると考えられる。

しかしながら、観測日によっては例外的に精度が劣化している場合があり、次にこれについて述べる。

2005年5月6日の高さ方向の時間的安定性をみる精度評価図を第6図に示す。この日は宮城沖海底基準局2局のうち東側（以下、宮城沖東）の観測を実施したが、KGPS解析においては、宮城沖近傍の基準点及び今回使用した長基線の基準点においても、ほぼ全ての基線で良好な結果が得られておらず、精度評価図で大きなドリフトが見られている。唯一、日向においてのみ、精度評価図に大きなドリフトが見られず、良好な結果が得られている。この日についても海底基準局の局位置を求めてみた。この結果

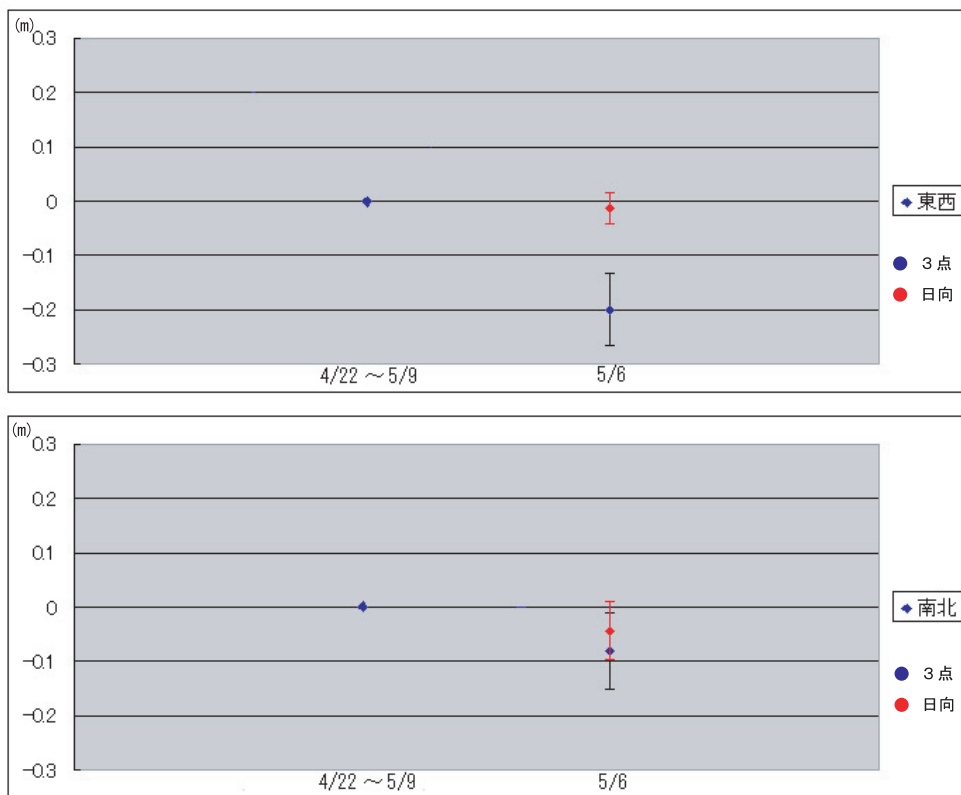
を第7図に示す。この時の宮城沖東の観測は4月22日、23日、24日、25日、5月6日及び9日の全6日間の観測を実施しているが、第7図は左に全6日間のデータを全て使用して求めた局位置を基準として表示し、右に5月6日の1日分のデータを使用して求めた局位置を表示した。また5月6日の結果は宮城沖近傍の電子基準点3点を基準局に使用した結果を青で、日向を基準局にした結果を赤でプロットしてある。エラーバーについては第5図と同様である。これを見ると、日向を基準局とした使用した場合、東西及び南北ともに全6日間のデータを使用した結果に近くなり、エラーバーも小さくなっている。特に東西においては格段に良い結果が得られている。今回の5月6日の例は、今までほとんど現れたことのないような希な例であるが、基準局までの距離にかかわらず、高さ方向の時間的安定性をみる精度で良好なデータを使用した方が良い結果が得られると言える。

次は、5月8日の例であるが、緯度、経度及び高さの差の精度評価図を見てみると、いくつかの基線



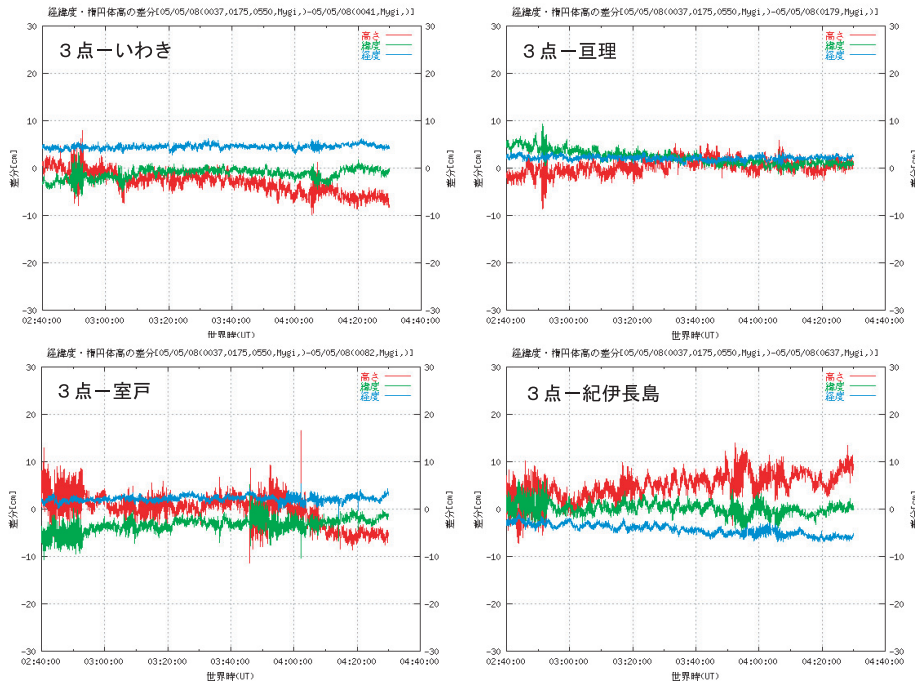
第 6 図 2005年 5 月 6 日の KGPS の精度評価図 (高さの時間的安定性)

Fig. 6 Accuracy estimation figure of KGPS on May 6, 2005 (time stability of height)



第 7 図 海底基準局計算結果 (2005年 5 月 6 日)

Fig. 7 Result of seafloor positioning (May 6, 2005)



第 8 図 2005年 5 月 8 日の KGPS の差を使用した精度評価図 (緯度, 経度及び高さの差)
 Fig. 8 Accuracy estimation figure by the difference of KGPS on May 8, 2005 (difference of latitude, longitude and height)

において緯度経度それぞれに系統差 (バイアス) が生じている場合があることがわかる。バイアスの出たいくつかの例を第 8 図に示す。通常, KGPS 解析は, 6 時間以上の長さのデータを利用しているが, 5 月 8 日は約 2 時間のデータしか得られていない。このことより, 他のデータでさらに時間を切りつめて解析を試みたところ, やはりバイアスが発生した。このバイアスは, 解析時間が短いほど大きくなる傾向がある。しかし, バイアスの出方にパターンは無く, その量を推測することは今のところ不可能である。このバイアスは 4~5 時間以上の十分な長さのデータであればほとんど発生しない。KGPS 測位解のバイアスは海底基準局の位置の誤差に直接響いて来るものであるから, 良好な結果を得るためには, 十分な長さの GPS データを取得することが必要となる。

4 まとめ

KGPS 解析ソフトウェア “IT” は十分な長さの良質なデータを利用した場合, 1,000km を超える基線長においても, 数 cm の精度での位置決定が可能

である。この結果は, 海底地殻変動観測においては, 陸上基準点の選択肢を大きく広げることが可能になるほか, 新たに海底基準局を設置する場合の離岸距離の条件を大きく広げるものである。

また, 後処理という条件はあるものの, 海底地殻変動観測以外においても, 移動体の長基線の高精度位置測定が必要な場合は “IT” を利用することにより, 効率アップと精度の向上が期待出来る。

5 謝辞

KGPS 解析ソフトウェア “IT” を提供いただいた NASA/GSFC の Colombo 博士, KGPS 解析の精度評価のための図化ソフトウェア等を作成した国立天文台の片山真人氏, 解析の基準点データとして電子基準点の 1 秒データを提供いただいた国土地理院に感謝いたします。また, 多くの図の作成に GMT を使用致しました。

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).

藤田雅之：海上保安庁の海底地殻変動観測，季刊「水路」，127，2-6，(2003)．

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)．

M. Fujita et al. : GPS/Acoustic seafloor geodetic observation : method of data analysis and its application, *Earth Planets and Space* (in printing), (2005)

石川直史，藤田雅之：海底地殻変動観測における局位置解析手法と精度の向上について，海洋情報部研究報告，41，27-34，(2005)．