

GPS データ収録・解析システム「測地基線測定装置」の導入

大市一芳^{*1}, 大橋美紗子^{*1}, 奥村雅之^{*1}, 大門 肇^{*1}, 池田信広^{*2}

Hardware replacement and analysis engine update on the automatic data acquisition and baseline analysis system for continuous GPS observations of Japan Coast Guard

Kazuyoshi OICHI^{*1}, Fusako OHASHI^{*1}, Masayuki OKUMURA^{*1},
Hajime DAIMON^{*1}, and Nobuhiro IKEDA^{*2}

Abstract

Japan Coast Guard has been carrying out continuous GPS observations at 35 stations in the coastal area of Japan. An integrated system for automatic data acquisition and baseline analysis is applied to continuous service on the crustal movement monitoring with GPS. In January 2011, major hardware components of the system were replaced and also the baseline analysis program was updated. This report presents outline of the updated system and evaluation of the new analysis engine.

1 はじめに

海洋情報部では、文部省測地学審議会が平成 5 (1993) 年に建議した第 7 次地震予知計画に基づき、平成 6 (1994) 年度から GPS による観測を開始し、現在は全国 35 地点において GPS 連続観測を実施し、海域における広域の地殻変動監視を行っている (例えば、河合・他, 2002)。

これらの GPS 連続観測データを処理するため、データの自動収録・解析システムとして (株) 日立造船情報システムのソフトウェア (New GARD) を導入し、保有するハードウェア上において運用してきたが (淵之上・他, 2005), 海底地殻変動観測の陸上 GPS 基準点の解析に要する処理能力の確保を図るため、2011 年 1 月に測地基線測定装置の導入によりハードウェアを更新した。また、これに併せて長基線解析ソフトウェア

BERNESE をバージョンアップした。

本稿では、今般更新した測地基線測定装置の概要とその評価について報告する。

2 海上保安庁の GPS 連続観測

海上保安庁が保有する 35 ヶ所の GPS 連続観測点は大きく 2 つに分けられる。1 つは、海洋情報部が地殻変動監視のために伊豆諸島を含む南関東の沿岸部 7 ヶ所および和歌山県の下里水路観測所で直接運用している GPS 固定局のデータを使用している。もう 1 つは、交通部ディファレンシャル GPS センターを通じて得られる全国 27 箇所の GPS データを有効活用している。

Fig. 1 に、観測点の配置を示す。これらの観測点で取得したデータは、電話回線等を介し航法測地室の測地基線測定装置へ自動集約のうえ基線解

*1 海洋調査課 航法測地室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division

*2 航海情報課 Chart and Navigational Information Division

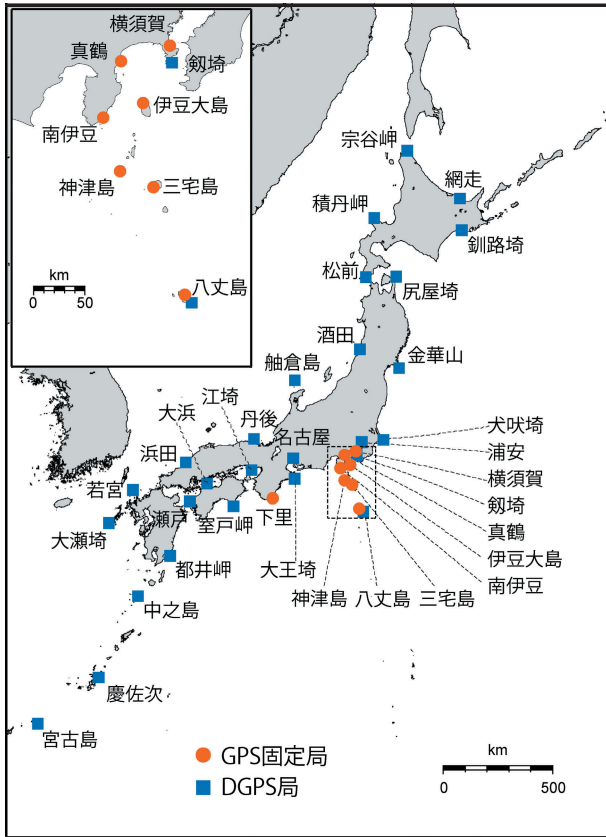


図1 GPS 固定局配置図

Fig. 1 Location of the GPS and DGPS stations.

析ソフトウェアにより自動的に処理しており、その成果については地震調査委員会や地震予知連絡会、火山噴火予知連絡会等に報告している。

3 測地基線測定装置の概要

航法測地室では、従来からGPS連続観測データの収録・解析にはNewGARDを導入して処理の自動化を図っている。

NewGARDの基本的な機能は以下のとおりである。

- ① 海洋情報部のGPS固定観測点で取得されたGPS連続観測データの自動収録及び管理
- ② 交通部のDGPS局において取得されたGPS連続観測データの自動収録及び管理
- ③ 上記観測データの自動基線解析
- ④ 上記観測データの手動基線解析（事後解析）
- ⑤ 解析結果の可視化等の事後処理

上記のうち基線解析については、ベルン大学天文研究所の長基線解析ソフトウェアBERNESE

(Dach et al., 2007)を解析エンジンとして使用しており、NewGARDは解析処理のスケジュールを管理し、観測データ等のBERNESEが解析処理に必要なファイルの準備や解析結果の管理を自動的に実行可能なシステムとして構築されている。

BERNESEは、大量の観測データを一括して解析処理する能力を備えており、大規模観測網の定常的な解析に適している。また、観測地点ごとの大気による信号遅延の補正等により長距離の精密基線長解析に対応しており、さらに観測事実間の統合処理の改善によって2000 km以上に及ぶ長距離の基線長解析においても高い精度を実現しているため、国土全域にわたる観測点間の基線長解析を行うことが可能である。

今回、BERNESEのバージョンを4.2から5.0に更新した。これにより、大気遅延の推定に使用されるモデルが精密化されるとともに、バージョン4.2に含まれていた固体地球潮汐モデルのバグ修正等プログラム全般にわたる改善が行われた。観測データに対して従来よりもきめ細かな補正処理が適用され、幅広い観測条件への対応と解析精度の向上が可能となった。

Fig. 2にシステムの構成を示す。NewGARDの運用に使用するハードウェア測地基線測定装置は、GPS連続観測解析管理装置（管理サーバ）とGPS連続観測解析装置（解析サーバ）の2台のサーバを中心として、DGPSセンターに設置されたGPSデータ転送装置や地殻変動監視固定局への接続を行う通信機器などによって構成されている。

4 更新による主な改善点

今回の更新における新旧ハードウェアの仕様比較をTable 1に、また、基線解析処理設定の変更点をTable 2に示す。

4.1 記憶容量の拡大

NewGARDは海上保安庁のGPS連続観測点35ヶ所について観測データを定期的に自動収集する

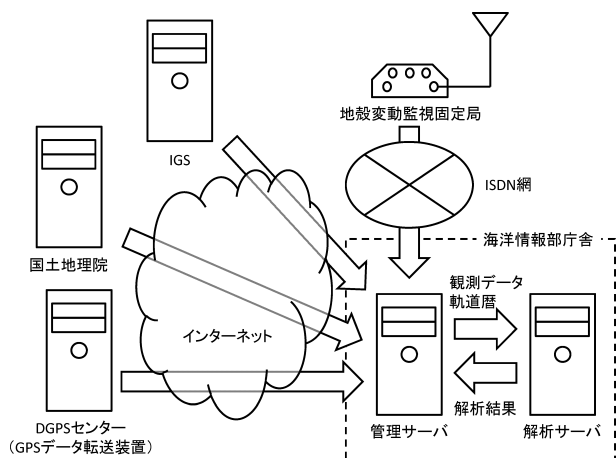


図 2 測地基線測定装置の構成

Fig. 2 The system of updated NewGARD.

	旧 GPS連続解析装置	新 測地基線測定装置
サーバ数	2台	2台
CPU	Intel Xeon 2.80GHz 1コア 2.80GHz	Intel Xeon E5520 4コア 2.26GHz
主記憶装置	PC2100 SDRAM 1GiB	PC3-10600 SDRAM 4GiB
固定ディスク装置	Wide Ultra3 SCSI 70GB 合計容量 70GB	SAS 300GB × 2 RAID1 SATA 1TB × 3 RAID5 合計容量 2.3TB
通信ポート	1000Base-T	1000Base-T

表 1 新旧ハードウェアの仕様

Table 1 Specifications comparison of the replaced hardware.

	更新前	現行
長基線解析ソフトウェア	BERNESE 4.2	BERNESE 5.0
対流圏遅延勾配	非対応	対応
固体地球潮汐モデル	バグあり	修正済み
精密衛星軌道暦	伊豆諸島6時間速報解析	CODE24時間予報層 (COP層)
	全国6時間速報解析	
	全国24時間速報解析	IGS速報層 (IGU層)
	全国24時間精密解析	IGS最終層

表 2 基線解析処理設定の変更点

Table 2 Major changes on the baseline analysis settings.

ほか、国土地理院の電子基準点のうち、海底地殻変動観測の陸上基準点として使用している 63ヶ所、国際 GNSS 事業 (IGS) の観測点 2ヶ所の観測データを収集し、他に解析に必要な精密衛星軌道暦なども収録している。

このため、解析結果や作図データとあわせて一日あたり最大で数百メガバイト程度のデータ容量を要する。過去 10 年以上にわたる GPS 観測データを管理し、今後のデータ量増加に対応するためにはテラバイト単位の容量を確保する必要がある。

旧装置においては、本体の内蔵ハードディスク容量は 70 ギガバイトであり、一年分少々のデータしか収録することができないため、必要に応じて外付けのハードディスク等を利用していた。今回、作業の効率化およびデータの保全の観点から測地基線測定装置では各サーバ内にミラーリング構成の 300 ギガバイト 2 基と RAID 5 構成の 1 テラバイト 3 基のハードディスクを搭載することで、一貫したデータ管理を可能とする 2.3 テラバイトの容量の確保とデータ保持の確実性向上を図った。

4.2 解析速度の向上

海底地殻変動観測の基準点 (沿岸部の電子基準点) など基線長解析の対象となる観測点数に応じて計算量が増大し定常解析の予定時間内に処理を完了することが困難となることが予想された。

このため、測地基線測定装置では CPU を従来の 1 コア 2 スレッド (Intel Xeon 2.8 GHz) から 4 コア 8 スレッド (Intel Xeon 2.26 GHz) へと強化し、メモリ容量も 1 ギガバイトから 4 ギガバイトへと拡大するとともにより高速にアクセスできる規格に更新することでベクトル演算能力の向上が図られており、解析処理の所要時間が大幅に短縮されている。

4.3 長基線解析ソフトウェアのアップデート

長基線解析ソフトウェア BERNESE がバージョン 4.2 から 5.0 に更新された。これにより、遅延量の推定に傾斜の項を含めた対流圏モデルの改善を始めとした誤差除去機能の向上が実現されている。

4.4 精密衛星軌道暦の変更

自動解析のスケジュールを見直し、速報解析に使用する精密衛星軌道暦を CODE 24 時間予報暦 (COP 暦) から IGS 速報暦 (IGR 暦) および IGS 超速報暦 (IGU 暦) に変更した。衛星の位置パラメータを外挿による予報値から実測値に基づく速報値に変更したことにより、精度と信頼性の向上が見込まれる。

5 BERNESE バージョン 5.0 による解析の評価

Table 3 に、BERNESE バージョン 4.2 および 5.0 による 2009 年 12 月一ヶ月間における 24 時間解析の結果について、それぞれの平均位置からの標準偏差およびバージョン間における平均位置の差を示す。

標準偏差については、系統的には顕著な差は見られず妥当な範囲に収まっていると考えられるが、犬吠埼 DGPS 局についてのみ大幅な減少が見られる。

また、平均位置については、各局ともに 1 cm 程度の差が見られるが、これはバージョン 5.0 において改善された対流圏モデルの影響であろうと考えられる。特に、犬吠埼 DGPS 局については位置の変化量が斜距離で 7.5 cm と他局に比して大きく、突出している。

Fig. 3 に、同期間の犬吠埼 DGPS 局と最も近くに位置する浦安 DGPS 局について解析結果の水平方向の分布を示す。丸は 24 時間毎の解析結果であり、菱形は一ヶ月間の平均位置を示す。

犬吠埼 DGPS 局の BERNESE バージョン 4.2 による解析結果は東西方向に大きく分散しており、基線長解析において計算が十分に収束していない可能性が高い。また、全般的な傾向として平均位置に差が現れる点に関しては対流圏モデルの変更に伴うものと考えることが可能だが、1ヶ所のみにおける標準偏差の減少に対流圏モデルが影響しているとは考えにくく、犬吠埼 DGPS 局については、観測データの不良など個別の事情によるものと考えられる。犬吠埼 DGPS 局は、以前から他の観測点に比べサイクルスリップの頻度が

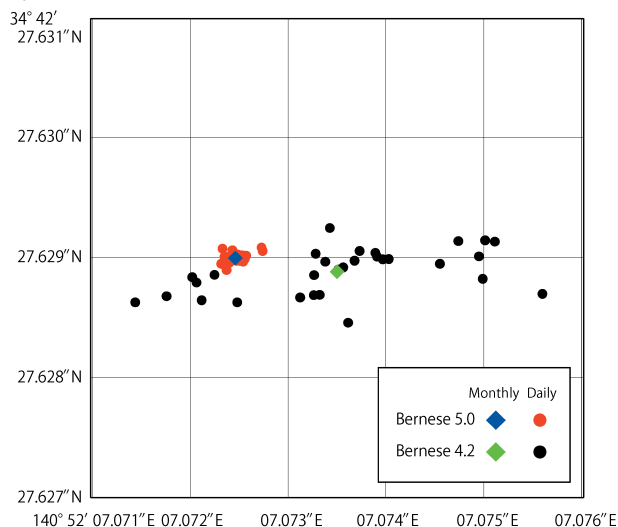
表 3 バージョンアップによる標準偏差および平均位置の変化

Table 3 Variation of standard deviation and mean position of the GPS stations by updated BERNESE.

		平均位置からの標準偏差 σR / mm		平均位置間の距離 / mm (Ver. 5.0) - (Ver. 4.2)			
		Ver. 4.2	Ver. 5.0	ΔX	ΔY	ΔZ	R
		GPS 固定局	伊豆大島	16.2	11.6	-6.2	3.3
真鶴	5.6		6.5	-5.9	1.8	3.7	7.2
横須賀	4.9		5.5	-1.6	-0.1	2.5	3.0
三宅島	8.7		6.9	9.9	-13.9	-5.6	18.0
神津島	8.3		6.8	-2.6	-1.9	1.7	3.6
八丈島	10.9		10.5	0.7	0.3	3.9	4.0
南伊豆	6.5		6.4	2.8	-3.6	2.4	5.2
DGPS 局	釧路埼	5.0	5.4	-0.4	-1.2	5.2	5.4
	網走	7.0	7.0	-2.3	-0.4	6.7	7.1
	宗谷岬	5.4	6.1	-8.0	3.6	9.5	12.9
	積丹岬	6.0	5.7	1.9	-1.8	4.0	4.8
	松前	6.3	6.2	3.1	-2.1	1.6	4.1
	浜田	6.5	5.1	-1.6	-5.4	2.0	6.0
	丹後	5.7	3.8	-4.0	2.7	6.0	7.7
	舭倉島	5.7	7.5	-7.2	4.1	7.9	11.4
	酒田	6.4	8.4	8.0	-6.0	-1.0	10.0
	尻屋埼	6.0	5.6	1.2	-2.5	1.5	3.2
	金華山	5.9	4.4	11.8	-7.8	-9.0	16.8
	犬吠埼	35.7	5.1	-26.3	55.2	44.0	75.3
	浦安	5.8	5.3	-0.6	-1.0	5.4	5.5
	剣埼	6.0	6.1	5.9	-7.2	2.2	9.6
	八丈島	11.1	10.5	-3.6	3.0	5.6	7.3
	名古屋	7.8	7.2	-6.3	1.0	6.4	9.0
	大王埼	4.8	4.7	12.3	-18.4	-4.4	22.6
	室戸岬	6.1	5.1	-10.7	5.3	6.5	13.6
	江埼	7.0	6.0	-8.3	4.4	5.9	11.1
	大浜	6.7	5.2	-13.6	11.0	10.0	20.1
	瀬戸	5.3	4.8	-8.3	3.3	7.1	11.4
	若宮	6.4	5.9	16.9	-21.1	-8.6	28.4
	大瀬埼	5.1	7.9	-4.3	-2.6	1.2	5.2
都井岬	7.5	7.5	1.8	-9.5	-3.7	10.4	
中之島	10.6	9.2	5.8	-11.3	-2.8	13.0	
慶佐次	8.3	7.3	-7.8	4.3	9.1	12.7	
宮古島	6.3	6.1	-6.9	1.7	8.0	10.7	

高く、比較的厳しい観測環境下にあることが分かっているので、この分散の減少は BERNESE のバージョンアップに伴うデータの下処理部分の改善により不良データの影響が除去された結果ではないかと推測される。

a) 犬吠埼DGPS局



b) 浦安DGPS局

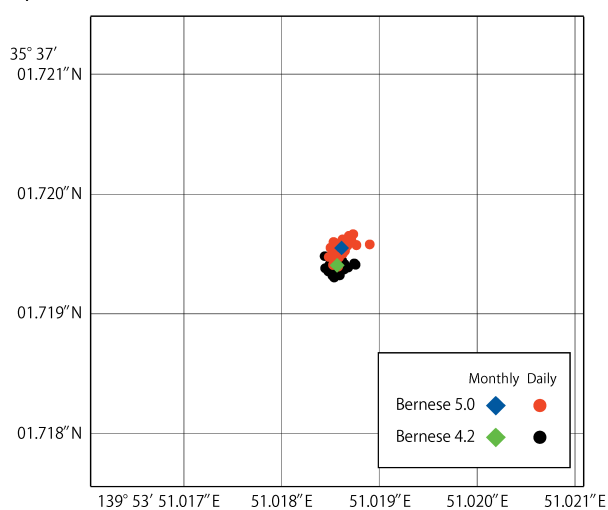


図3 解析結果の水平分布： a) 犬吠埼 DGPS 局
b) 浦安 DGPS 局

Fig. 3 Horizontal scattering of estimated position by two versions of BERNESE: a) Inubou-saki DGPS station, b) Urayasu DGPS station.

こうした解析結果の安定性向上からバージョン5.0は従来よりも幅広い観測条件に対応可能になったものと期待できる。

6 航法測地室において付加した機能

測地基線測定装置は、海上保安庁海洋情報部向けにカスタマイズされており、定常業務を遂行するための十分な機能を備えているが、所定の様式に整えることが要求される提出資料等を作成するにあたっては、なお多くの作業を要する。

このため、航法測地室では定期的な作成を要する提出資料について可能な限り提出様式に近く、他のプログラムでも容易に利用できる形式の図を簡便な操作で生成することが可能なプログラム群を作成し、測地基線測定装置上で運用することで、作業の効率化を図っている。Fig.4にベクトル図作成スクリプト VGrapherS の出力例を、また Fig.5に基線長変化グラフ作成スクリプト BGrapherSG の出力例を示す。

このプログラム群は、NewGARD のシステムを構成する個々のプログラム間においてデータの共有がデータベースソフトを介していることを利用している。NewGARD 上では基線長解析の結果などもデータベース上に登録されているため、標準的なデータベース言語である SQL の問い合わせを発行することにより、必要な解析結果だけを一括して取得することが可能である。また、同様の

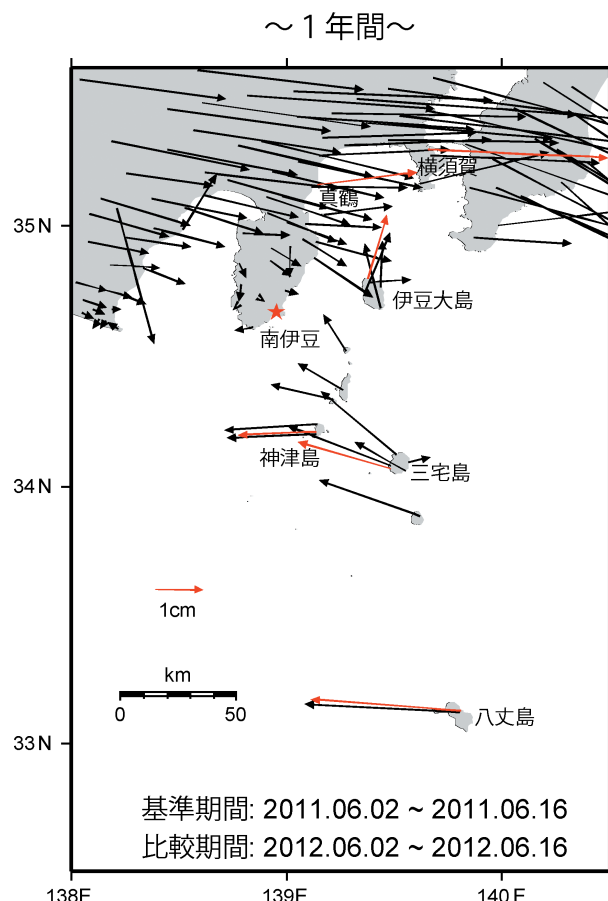
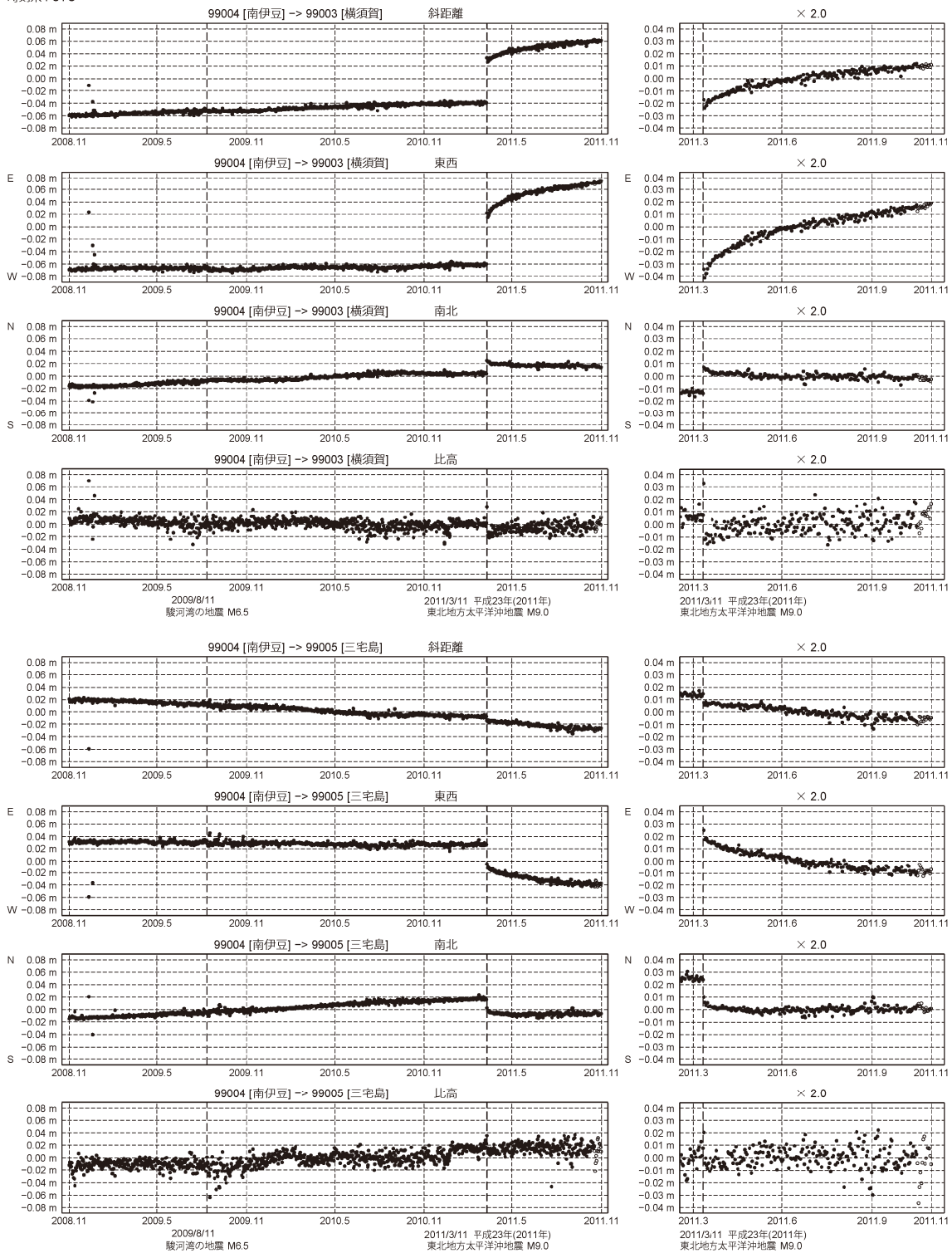


図4 ベクトル図作成スクリプトの出力例
Fig.4 Sample output of the vector drawing script, VGrapherS.

期 間: 2008年11月1日 ~ 2011年10月31日
 座標系: WGS-84
 時刻系: UTC

基線長変化グラフ



●: Bernese [IGS暦] (2008年11月1日~2011年10月16日) ○: Bernese [COP暦] (2011年10月17日~2011年10月31日)

横須賀および三宅島のGPS連続観測結果 (2008/11/1 ~ 2011/10/31)

海上保安庁

図5 基線長変化グラフ作成スクリプトの出力例
 Fig. 5 Sample output of the baseline plotting script, BGrapherSG.

手段によりシステム上の解析条件を設定し、解析処理を連続的に実行することも可能である。

これにより、デスクトップ上での簡単な操作で、SQLサーバから取得した解析結果を基に基線長の変化や観測局位置の変動ベクトルを算出し、汎用の地図描画ソフトウェア GMT を利用してポストスクリプト形式のファイルが生成される仕組みになっている。なお、ベクトル図上の地名表記や基線長変化グラフにおける地震等イベント表記は、予めテキストファイルに記述して設定しておくことで図中の適切な位置に表示される。

プログラムは SQL 文の発行のほか、観測点数と観測日数に応じた多数の観測データファイルや中間出力ファイルを扱うため、ファイル名参照や外部コマンド実行に優れたシェルスクリプトを主体として記述されている。そのなかでも配列変数の扱いに利点が多く、簡単な実数演算も可能な zsh を採用した。

7 今後の改善予定

現状の定常解析スケジュールでは精密衛星軌道暦として IGS 最終暦を使用する精密解析を一日一回の頻度で 24 時間分ずつ実行している。しかしながら、IGS 最終暦は一週間ごとに公開されており、曜日によっては暦の入手から解析の実行までのタイムラグが大きいので、スケジュールの見直しによる効率化を図る予定である。

8 おわりに

地殻変動観測は、長期間に渡って精密な解析結果を蓄積することにより定常的な変動を検出することと地震発生に際して正確な情報を迅速に提供することという二つの異なる要請に応える必要がある。

新しい測地基線測定装置は、そのデータ容量の大きさとデータ保持の確実性により長期にわたる観測の継続性を支えるとともに、向上した演算能力と改善されたソフトウェアにより精密かつ迅速な解析処理を可能とすると考える。

謝 辞

交通部 DGPS センター職員の方々には、日頃から DGPS 局データの提供に関して多大な便宜を図っていただいている。記して感謝します。

参考文献

- Dach, R., U. Hugentobler, P. Fridez, and M. Meindl (2007), BERNESE GPS Software Version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern.
- 淵之上紘和・河合晃司・藤田雅之 (2005), 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.
- 河合晃司・小山薫・笹原昇・深野慶太・佐藤まりこ・川田光男・佐久間和人・福良博子・畑上高広 (2002), 三宅島及び神津島における GPS を利用した地殻変動監視観測, *海洋情報部技報*, 20, 11-13.