

## 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～

淵之上紘和, 河合晃司, 藤田雅之: 航法測地室

### Continuous GPS observations by Japan Coast Guard — A new system for automatic data download and analysis —

Hirokazu Fuchinoue, Koji Kawai, Masayuki Fujita : Geodesy and Geophysics Office

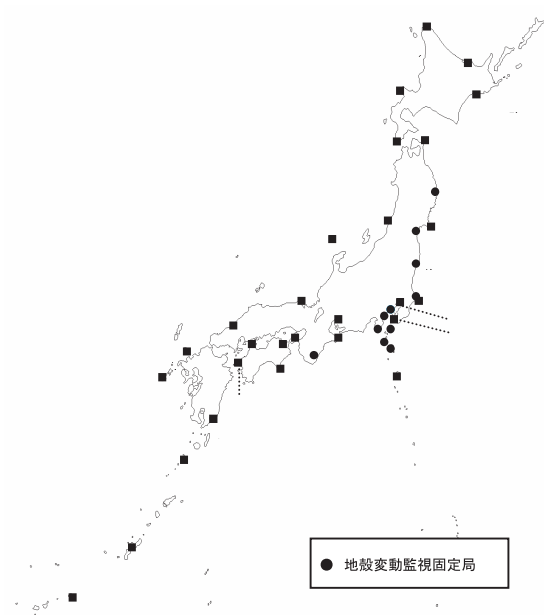
#### 1 はじめに

我が国は、しばしば大地震や火山噴火が発生し大きな被害を受けている。海洋情報部では、地震予知のための新たな観測研究計画、火山噴火予知計画の一環として、海上保安庁が所有する全国39地点においてGPS連続観測を実施し、海域における広域な地殻変動を監視している。

これらのGPS連続観測網を運用するため、従来からデータの自動収録・解析システムを導入・利用してきたが、平成15年度末にシステムの更新を行い、併せてデータ通信方法や解析ストラテジーを含め総合的に運用体制を更新した。本稿では、現在海上保安庁が実施しているGPS連続観測について紹介すると共に、今般更新したデータ収録・解析システム及び新しい運用体制の概要と従来からの改善点等について報告する。

#### 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、海洋情報部が伊豆諸島を含む関東地方から東北地方に至る太平洋側の沿岸部12ヶ所で運用している観測点、もう1つは、交通部が航行サービスの目的で全国27ヶ所に整備したディファレンシャルGPS (DGPS) 基準局である。第1図に、観測点の配置を示す。これらの観測点で取得されたデータは、電話回線等によって海洋情報部庁舎に集約され、定期的に基線解析が行われ、その



第1図 GPS固定局配置図  
Fig.1 Location of the GPS and DGPS stations.

成果は地震調査委員会や地震・火山噴火予知連絡会等に報告されている。

#### 3 データ収録・解析システムの基本機能

当庁では、GPS連続観測データ収録・解析システムとして、従来から(株)日立造船情報システムが開発したGARD-IIと呼ばれるシステムを運用していたが、平成15年度末に、その後継システムであるNewGARDに更新した。

新旧システム共に、基本的な機能は以下のとおりである。

- ① 海洋情報部が所有する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 交通部が所有する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

以上が、連続観測網の運用に関する機能であるが、別途取得したデータを解析する必要性から、

- ⑥ その他のキャンペーン観測データの手動基線解析

も加えておかなければならない。これについては後で触れる。

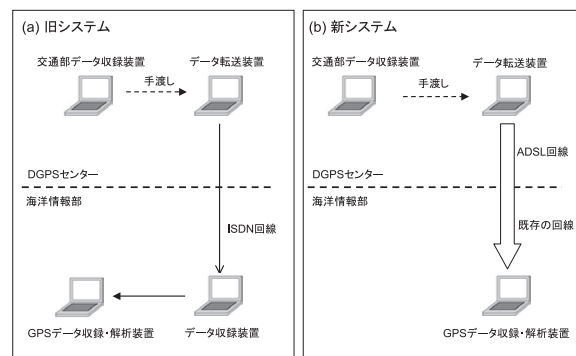
また、我々の解析に用いている基線解析ソフトウェアは、ベルン大学で学術用に開発された長距離基線対応のBERNESE (Hugentobler et al., 2001) であり、上記システムはBERNESE運用のためのインターフェイスとしてカスタマイズされている。なお、今回の更新に伴い、BERNESEのバージョンを4.1から4.2に上げた。我々のこれまでの基線解析結果については、ほとんど影響がない。これについては7. に後述する。

#### 4 新しい運用体制における主な改善点

##### 4.1 DGPS局データ収録の効率化

旧システムにおけるDGPS局データ収録方法は次のとおりである。まず、交通部DGPSセンターに集約された全国27局の1日分のデータが、同センター内に設置した転送用パソコンに格納される。これを、毎日1回ISDN回線を介して、海洋情報部に設置したDGPSデータ専用の収録用パソコンへダウンロードされ、さらにこれがデータ収録・解析システムへと転送される（第2図 (a)）。

このようにDGPS局データは、1日分の膨大なデータを一括して電話回線によりダウンロードしていたため、多大な時間を要したほか、数台のパソコンを経由するため、パソコンのハングアップ等によるデータ収録の失敗等のトラブルがたびたび発生し、円滑な運用に支障をきたすことが多かった。



第2図 DGPSデータ収録の効率化

fig.2 The system of downloading DGPS Data. (a) old system, (b) new system

この問題点を改善するため、DGPS局データ収録においては、近年の通信インフラの整備に伴い、より安価で高速なADSL回線を採用し、DGPSセンターに設置した転送用パソコンから直接データ収録装置へダウンロードすることにより、通信コストの削減とデータ収録の効率化を行った（第2図 (b)）。ちなみに海洋情報部の観測点で取得されたデータは、新旧システム共にISDN回線を使用し、3時間毎にデータ収録・解析システムへとダウンロードされている。

##### 4.2 データ収録装置と解析装置の分離

旧システムにおいては、1台の装置でデータ収録と解析を実行していた。そのため、データ収録と解析の重畳による処理遅延や処理エラー等の障害がたびたび発生した。

新システムにおいては、データ収録と解析を、それぞれ別々の装置で処理するシステムとした。これにより、上記処理の重畳が回避され、処理エラーがほとんど発生しなくなったほか、近年のコンピュータ処理能力の向上もあいまって、解析時間が大幅に短縮された。

##### 4.3 新たなユーティリティ機能の追加

GARD-IIからNewGardへの更新に伴い、いくつかのユーティリティ機能が新たに追加された。主なものを挙げると以下のとおり。

- ・データ取得サンプリング切換方法の簡素化
- ・データ品質管理機能の強化
- ・解析結果のoutlierの除去

- ・ 回帰直線の計算
- ・ キャンペーン解析機能 (8. で詳述)

### 5 新しい解析ストラテジー

システムの更新による処理能力の向上に伴い、一時的な試験運用も含め、これまで解析時間の不足により行えなかった新しい解析ストラテジーを追加することが可能となった。表1に、新旧システムにおける解析ストラテジーを対比して示す。表のように、当庁で行っている定常解析は、大きく3つに分類される。まず1つは、伊豆諸島の速報解析、あとの2つは全国の24時間データを解析するもので、データ取得直後に速報の軌道暦(IGU,COP)を用いて行う速報解析と約3週間後に精密な軌道暦(IGS)を用いて行う最終解析がある。

旧システムにおける伊豆速報解析は、南伊豆を座標基準とした三宅島、神津島の各観測点の6時間データの解析を行っていた。これは、2000年6月に発生した三宅島の火山活動に伴う地殻変動の検出を目的として開始されたものである。今回の更新で

は、新たに銚子を座標基準とし、観測点を増やした。さらに6時間データを3時間毎にスライドさせることにより、時間的な密度を上げた。

旧システムにおける全国解析は、当庁の海洋測地本土基準点である和歌山県下里(例えば本号別稿;松下他,2005)を座標基準として、全国の観測点を東西2つのブロックに分割して解析するストラテジーをとっていた。理由は、装置の処理能力の不足によるものである。

新システムでは、この2分割方式を解消し、全国のデータを一括して解析する方法としている。加えて、時間的により密な地殻変動を把握するため、速報、最終解析共に、6時間データを3時間毎にスライドさせて行う解析を追加した。

### 6 システム更新に伴う解析結果への影響評価

今回のシステム更新に伴い、基線解析結果に影響を与える可能性がある要素として、BERNESEのバージョンアップ(4.1から4.2へ)と解析ストラテジーの変更の2点が挙げられる。ここでは、新旧の

表1 解析ストラテジーの新旧比較  
Table 1 The comparison of new and old analysis strategies.

解析名称		旧	新	
伊豆速報解析	固定点	南伊豆	南伊豆	銚子
	観測局	南伊豆, 神津島, 三宅島	南伊豆, 神津島, 三宅島	銚子, 南伊豆, 三宅島, 神津島, 大島, 横須賀, 真鶴
	解析データ	6時間データ	6時間データ	6時間データ(3時間スライド)
	軌道暦	COP	COP	IGU
全国速報解析	固定点	下里	下里	下里
	解析観測局	全国2分割	全国一括	全国一括
	解析データ	24時間データ	24時間データ	6時間データ(3時間スライド)
	軌道暦	COP	COP	IGU
全国最終解析	固定点	下里	下里	下里
	解析観測局	全国2分割	全国一括	全国一括
	解析データ	24時間データ	24時間データ	6時間データ(3時間スライド)
	軌道暦	IGS	IGS	IGS

※ COP: ベルン大学の速報暦

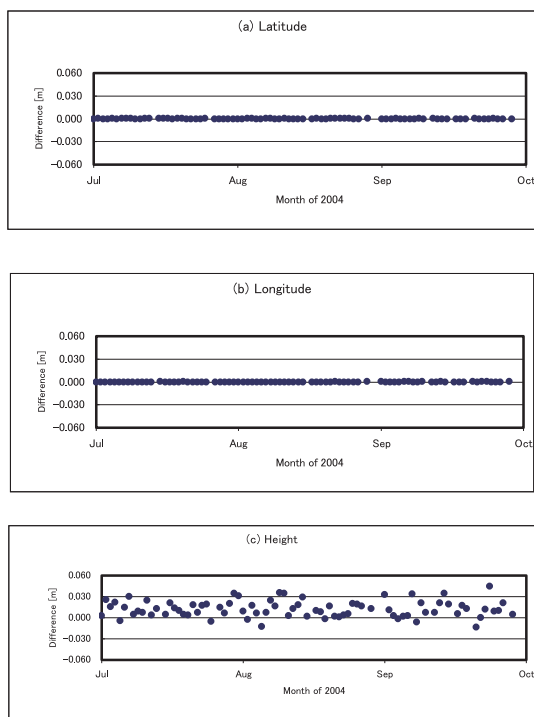
※ IGU: IGS(International GPS Service)の超高速暦(ultra rapid orbit)

※ IGS: IGS(International GPS Service)の精密暦(final orbit)

解析結果の比較を行い、これらの更新に伴う解析結果への影響を評価した。

まず、BERNESEのバージョンの違いによる影響を評価するため、解析ストラテジーを同一として、新旧システムの結果を比較した。比較には、両システムを併行運用した2004年1月1日から2月20日のデータを使用した。その結果、両システムから求められた座標差は、全観測点とも、水平成分、高さ成分とも1mm以下であった。したがって、BERNESEのバージョンの違いによる差は無視できると判断される。

次に、解析ストラテジー変更に伴う差の評価を行った。そのため、2004年7月1日から9月30日の期間、新旧両ストラテジーで全観測点の座標を求め、新旧ストラテジーの座標差及びそのRMSを求めた。第3図に、一例として、銚子局の結果を示す。図を見ると、水平成分については座標差が1mm以下であるが、高さ成分には3cm程度のばらつきがみられる。他の観測点においても、ほぼ同様の傾向



第3図 銚子局の新旧ストラテジーで得た座標差。緯度 (a)、経度 (b)、高さ (c)  
 Fig.3 Result of comparison between new and old strategies in Choshi station. (a) Latitude, (b) Longitude, (c) Height.

を示している。

表2に、両ストラテジー間の座標差について、全観測点におけるバイアス及びバイアスからのばらつきのRMSを、高さ成分のみ示す。まずバイアスについては、大部分が1.8cm以内であるが、都井岬及び中之島では2cm以上となっている。一方RMSは、ほとんどの観測局において1cm程度であった。以上の結果から、解析ストラテジーの変更に伴う水平成分の差はほとんどないが、高さについては有意なバイアスが認められるため、高さを議論する場合にはその連続性に留意する必要がある。しかしながら、それぞれのストラテジー内での時間変化を見る限りは、特に更新前後の差を問題にする必要はない。

### 7 キャンペーン解析への対応

本稿で紹介している新旧のデータ取得・解析システムGARD-II及びNewGardは、共に定常観測点網の自動運用を目的として設計されたものであり、当庁でもこれを主たる目的として運用している。

しかしながら当庁業務には、定常観測以外に島嶼等に一定期間出張して行う移動観測データの解析もある。また、最近では海底地殻変動観測業務の開始に伴い、キネマティックGPS陸上基準点の位置を決定するための解析も必要となっている（本号別項；河合他, 2005）。これらのキャンペーン解析（ここでは定常解析以外の不定期の解析を総称してこう呼ぶ）の大部分についても、100km以上の長距離基線について行う必要があるため、一般測量等に用いる商用ソフトウェアでは対応できず、このシステムに組み込まれている基線解析ソフトウェアBERNESEを利用している。

BERNESEは、これらのインターフェイスシステムを介さず利用することも、もちろん可能であるが、元々学術用ソフトウェアであるため、アルゴリズムに対する一定の理解と煩雑な設定操作への習熟が必要であり、業務的に利用するには不向きである。そのため、キャンペーン解析についても、上記システムを利用することにより行っている。

しかしながら旧GARD-IIでは、特にキャンペーン

解析機能をもっていたわけではなく、実際にはキャンペーンデータに、定常運用データを「偽装させる」ことによって行っていたため、かなりの余計な操作と時間が必要であった。

これに対して、新システムであるNewGardでは、キャンペーン解析機能を追加したことにより、各解析のための設定作業が容易になり、作業効率が格段に向上した。

8 おわりに

地殻変動観測は、長期間解析結果を蓄積することにより、初めて変動を検出することが可能となる。したがって、安定したデータ収録・解析を運用することが必要不可欠である。

新しいシステムは、処理装置の能力向上に伴う処

表2 新旧ストラテジーの座標差のバイアスとそのRMS (高さ成分, 単位cm)

Table 2 Result of comparison between new and old strategies for height component.

観測点	bias	rms	観測点	bias	rms
釜石	1.8	1.3	酒田	0.2	1.2
銚子	1.2	1.2	尻屋崎	0.7	1.2
塩屋崎	1.5	1.3	金華山	0.9	1.1
塩釜	1.7	1.0	犬吠崎	-0.3	0.6
大島	1.2	1.4	浦安	0.6	0.7
真鶴	1.1	1.0	剣崎	0.5	0.7
横須賀	1.0	1.2	八丈島	1.7	1.4
南伊豆	1.2	1.4	名古屋	1.2	0.7
三宅島	1.6	1.4	大王崎	0.6	0.8
神津島	0.9	1.2	室戸岬	1.3	0.6
八丈島	1.1	1.3	江崎	1.0	0.7
釧路崎	0.6	1.1	大浜	1.6	0.6
網走	1.2	1.1	瀬戸	1.6	0.6
宗谷岬	1.2	1.1	若宮	0.3	1.0
積丹岬	0.6	1.0	大瀬崎	0.3	0.7
松前	0.5	1.3	都井岬	-2.3	1.3
浜田	0.2	0.7	中之島	-2.1	1.1
丹後	0.6	0.6	慶佐次	0.4	1.4
舳倉島	0.3	0.8	宮古島	0.6	1.1

理時間短縮とソフトウェアのバージョンアップによる解析処理安定性の向上により、地震発生時等の迅速な地殻変動検知を容易にすると考える。

謝辞

本システム更新にあたり、(株)日立造船情報システム担当者の方々には、解析手法、解析精度評価等に多大なご支援を頂いた。また交通部DGPSセンター職員の方々には、日頃からDGPS局データ収録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

Hugentobler, U., S. Schafer, and P. Fridez, BERNSE GPS Software Version 4.2, Astronomical Institute, University of Berne, 515 pp. (2001).

河合晃司, 成田誉孝, 藤田雅之, 石川直史, 淵之上 紘和, 長岡継; 長基線KGPS測位精度の機種(アンテナ)依存性について, 海洋情報部技報, 23, 66-72 (2005).

松下優, 藤田雅之, 佐藤まりこ; SLRデータ解析におけるモデルの更新とその評価, 海洋情報部技報, 23, 73-77 (2005).