

特別講演寄稿

宇宙技術を利用した地殻監視システム ～ GPS 連続観測システム (GEONET) とリアルタイム減災システムとしての応用～

山際敦史*

Crust monitoring system utilizing space technology - GPS Earth Observation Network System (GEONET) and its application to real-time disaster mitigation -

Atsushi Yamagiwa*

* 国土地理院測地観測センター地殻監視課, Geodetic Observation Center, Geographical Survey Institute

1. はじめに

国土地理院が導入した GPS 連続観測システム (通称 GEONET) は, 宇宙技術を利用した地殻監視システムとして平成8年から運用を開始した. 全国に1200点を超える観測局がほぼ均等に配備され, 全ての点において24時間絶え間なく連続観測が行われている. データの取得間隔も大部分の観測局において毎秒ごとのリアルタイムデータ取得を行っており, 公共測量やナビゲーション分野等での利活用の可能性も大幅に増大している.

本発表では, 世界で最も稠密な GPS 観測ネットワーク GEONET の今の姿を概観し, そのリアルタイム性を活かした地殻監視分野への応用について紹介する.

2. GEONET の現状

GEONET は, 約1200点のGPS観測局 (電子基準点) と, 観測データを集約し, 解析処理を経て座標値を算出・表示するデータ処理装置から成る.

電子基準点の外観は高さ約5mのステンレス製ピラーである. GPSアンテナは頂上のレドーム内にあり, ピラー内部の収納箱に受信機・通信機器等が格納されている. 解析誤差軽減のため, アンテナタイプはDorne Margolin T Chorkering Antenna というアンテナに統一されており, ピラー形状ごとに独自のアンテナ位相特性テーブルを作成し, 解析に用いている (Hatanaka et al., 2001a および Hatanaka et al., 2001b).

表1. 新GEONETで実施されている解析の種類. 測地観測センター (2004) に基づき編集.

解析の種類	ID	暦	セッション	頻度
最終解析	F2	IGS 最終暦	24 時間	1 週間を 1 週間毎
速報解析	R2	IGS 超高速暦	24 時間	1 日毎
迅速解析	Q2	IGS 超高速暦	6 時間	3 時間毎
緊急解析	S2	IGS 超高速暦	1 時間単位で任意	1 時間単位で任意
リアルタイム解析	—	IGS 超高速暦	1 秒	任意

電子基準点とデータ処理装置とを結ぶ通信回線には IP-VPN 回線を用いており、全国の電子基準点の観測データをリアルタイムに国土地理院内のデータ処理装置に集約しているほか、配信機関を通じリアルタイムデータを位置情報サービス事業者に向けて開放している。

データ処理システムでは、リアルタイムに送られてきた生データを共通形式（RINEX）に変換・保存し、定常解析処理を行うとともに、必要に応じ生データから直接 RTCM 形式の標準ストリーミングデータを生成し、リアルタイム解析を実施する。この部分の構成についての詳細は測地観測センター（2004）に詳しく述べられているが、特に解析部分では、表 1 に示すように、多様化する GEONET 解析への需要に応じて、多種多彩な解析を実施している。

3. GEONET による長期地殻変動監視の例

GEONET は、主に 2 つの大きな役割を果たしている。

一つは国家基準点としての役割であり、2002 年 4 月の改正測量法施行以後、従来の三角点同様に公共測量の基準点として利用することができるほか、配信機関より提供しているリアルタイムデータは位置情報サービス事業者への基準点データとしても活用されている。

そして、もう一つの重要な役割は、地殻監視分野における情報の提供である。各観測局の座標値の時系列は、プレート運動のような定常変動のみならず、地震や火山活動に伴う非定常変動も捉えており、こうした地殻活動のメカニズム解明にも重要な情報を提供している。例として、図 1 に 2003 年十勝沖地震時の座標変化後に現れた余効変動の様子を示す。

4. GEONET の新たな可能性ーリアルタイム減災システムとしての活用

前述の通り、現在の GEONET の解析処理には、緊急解析用にリアルタイム解析が組み込まれている。一般的に、リアルタイム解析では解析時間上

の制約から一度に解析を行える点数が非常に限られており、全国分の解析を一度に行うことは不可能である。とは言っても、事前に変動地域を予測できるケースは限られており、また、大規模地震のように広範囲に変動を生じるような地殻変動では、固定局そのものが動いてしまい、絶対的な変動量を把握することができないといった問題も他方で存在する。

このため、次のような boot-strapping 法により、GEONET の定常解析に整合する座標系で全国の地殻変動を毎秒ごとに掌握する方法を、米国カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所の協力を得て開発した。

日本全国の電子基準点（一部の離島を除く）を 119 個の小さなクラスタに分割し、隣接するクラスタ間で 1 つの観測局を共有する。これらの各クラスタに対して、各エポックにおける基線成分を計算した後、ある一つのクラスタでの固定局にお

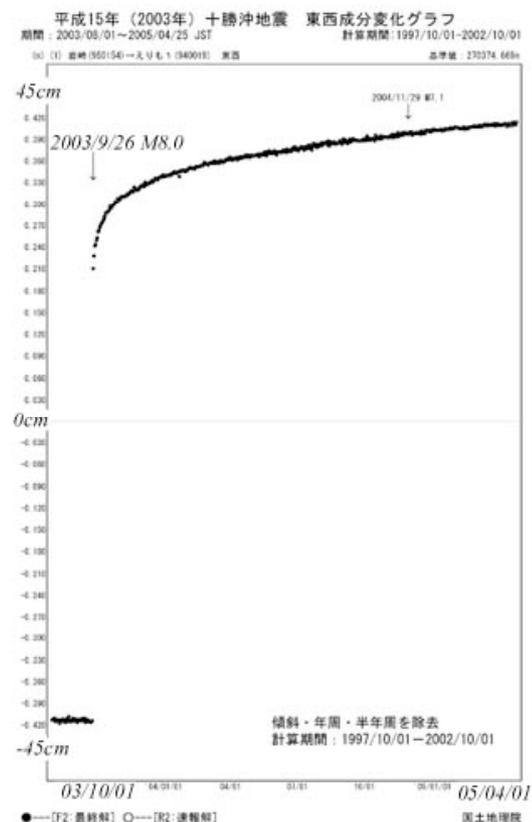


図 1 2003 年十勝沖地震における観測局「えりも 1」の変動（固定局「岩崎」）

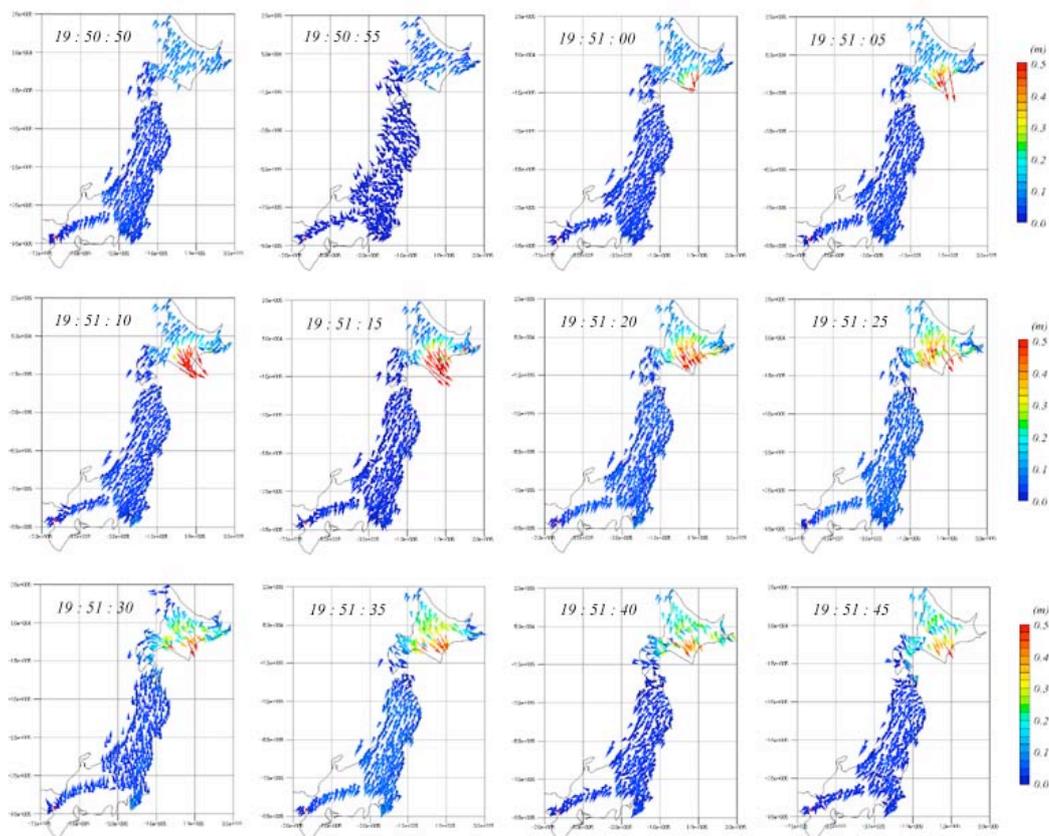


図2 2003年十勝沖地震発生時の観測局の変動。地震発生前30秒間の平均値からの変位を5秒ごとにベクトル図にプロットした。大阪付近の赤丸はこのネットワーク全体の固定点（箕面, 940067）。

ける（ITRF系）座標値を基準として、共有観測局の座標値がともに整合するよう、先に計算された基線成分を用いて順次隣接クラスタの座標値を平行移動させる。この方法を用いることで、震源近傍における地点での地震に伴う変動を、地震による変動を受けていない地域からリアルタイムに捉えることができる。

この手法における誤差（RMSにより評価）は、幅1300kmのネットワークにおいて水平方向で最大約4cm、鉛直方向で最大約25cmとなり、少なくとも水平成分に関しては、被害をもたらすほどの大きな揺れの検出を行う上で十分実用に値するといえる。

上記誤差の見積もりを念頭に置いて、2003年十勝沖地震における東北日本の動きを同様にして

毎秒ごとに求めた結果が図2である。この図から、世界標準時（GPS時刻）の19時50分55秒に地震波が観測局に到達し、30秒以上かけて北海道全体に伝播したことが読み取れる。また、定常解析から得られた地震前後における観測局の変位も、定性的にはこの時点で捉えられたこともわかる。

現在のところ、本結合システムは後処理でのみ結合可能な状態となっており、リアルタイム入力には対応していない。これについては、データの入出力インターフェイスを改造すれば、リアルタイム入力にも対応でき、地震発生直後にはその変動を監視することが技術的に可能となる。図2および先に述べた地震波の伝播時間からも、この早期変動把握は広域の減災に多大な効果を発揮するものと期待される。

5. 参考文献

Hatanaka, Y., M. Sawada, A. Horita, and M.

Kusaka (2001a): Calibration of antenna-radome and monument-multipath effect of GEONET - Part 1: Measurement of phase characteristics, Earth Planets Space, 53, 13-21

Hatanaka, Y., M. Sawada, A. Horita, M. Kusaka, J.

M. Johnson, and C. Rocken (2001b): Calibration of antenna-radome and

monument-multipath effect of GEONET -

Part 2: Evaluation of the phase map by

GEONET data, Earth Planets Space, 53, 23-30

Hatanaka, Y., T. Iizuka, M. Sawada, A. Yamagiwa,

Y. Kikuta, J. M. Johnson, and C. Rocken

(2003): Improvement of the Analysis Strategy of GEONET, Bulletin of Geographical Survey Institute, 49, 11-34

測地観測センター（2004）「小特集 電子基準点

1,200点の全国整備について」 国土地理院時報 No.103, 2-51