

GEONET 解析戦略の高度化に関する研究（第1年次）

実施期間	平成19年度～平成20年度		
地理地殻活動研究センター			
宇宙測地研究室	畑中 雄樹	宗包 浩志	
測地観測センター	湯通堂 亨	岩下 知真子	
	豊福 隆史	小谷 京湖	
	石本 正芳	川元 智司	

1. はじめに

GEONET のルーチン解析システムは、日本列島の地殻変動の監視や種々の応用に欠かせない基礎データを生み出している。現行の解析システム（以下、「F2 解析システム」という。）は、1996年に初代のシステムが運用を開始して以来2回の主要な改良を経た、第3版にあたるものである。F2 解析システムの運用開始から4年が経過し、その問題点や課題が明らかになってきた。例えば、解析における大気遅延勾配の無視および固体地球潮汐のバグは、現行のルーチン解に見られる振幅約 6.5ppb のスケール年周変化の原因のかなりの部分を占めていると考えられる（畑中他, 2005）。また、この間に GPS 解析技術の進歩やソフトウェアの性能向上があり、ルーチン解析の更なる精度・性能向上を実現できる可能性が見えてきた。これらを踏まえて、本研究では第4版のルーチン解析システム構築に向けた新たな解析戦略を確立する。

2. 研究内容

現行のルーチン解析の問題点および最新の技術動向を踏まえ、問題点の解決、解析戦略の高度化を図り、新たな解析戦略を確立する。最新の解析ソフトウェアと解析戦略に基づき、ルーチン解析（最終解析、速報解析、迅速解析）を対象とする解析システムのプロトタイプを構築し、改良効果を評価する。本年度は、解析戦略を策定し解析システムのプロトタイプを構築する。

3. 得られた成果

現行の F2 解析システムには、Bern 大学（スイス）で開発された解析ソフトウェア BERNESE ver 4.2 が解析エンジンとして用いられている。今回、より機能が拡張された最新の BERNESE ver 5.0 を解析エンジンに採用し、全解析スクリプトを新たに perl 言語で書き直して新たな試験版解析システムを構築した。これにより、F2 解析戦略の構築において対応できなかった大気遅延勾配パラメータの推定および結合が可能となった。同時に固体地球潮汐補正ルーチンの誤り（F2 解析システムでは未修正）を修正した。これらの効果を考慮した解析と F2 解析システムによる解の比較を、約 2000km の南北基線（猿払→母島基線）の基線長時系列について行った。その結果、全国規模のスケールの年周変化が大きく低減することが確認された（図-1）。また、西日本の太平洋沖合に台風が接近した際に広域的にノイズが見られた事例において、大気遅延勾配の推定を行うことがノイズの低減に大きな効果があることが確認された（図-2）。

2周波の線形結合によっては補正されない電離層遅延の高次項が、地心位置や基線解にサブ cm レベルで影響することが知られている（Keder et al., 2003; Munekane, 2005）。電離層活動期にある 2001-2002 年の2年分のデータを、電離層遅延の2次項を補正した場合としない場合について解析を行い、補正効果を評価した。両者の差は基線の南北成分に最大 1 ppb 程度であり、データに見られる季節変動成分とほぼ同

じ位相をもつが、振幅は観測されたものに比べ $1/2 \sim 1/3$ 程度と小さく、その理由は不明である。この高次項補正は部分的ではあるにせよ精度の改善が認められるので、ルーチン解析において適用することは妥当と考えられる。

F2 解析システムで採用している網の結合手法は、大気遅延解が部分的に重複解となり、クラスター間の整合性が近似的にしかとれないという欠点がある。これを解消するため、網を骨格網、地域網、追加網に分け、骨格網で推定されたパラメータを固定して地域網を、地域網で推定されたパラメータを固定して追加網を解く、という階層的な結合戦略を考案した。ここで、推定あるいは固定するパラメータは、座標値のみではなく大気遅延パラメータを含む。この戦略によって、両パラメータは厳密な意味で整合性を保ちながら最終的な値に順次決定され、大気遅延解の一意性も確保できる。

ルーチン解析ではつくばの観測点 1 点を固定して解析が行われる。F2 解析システムでは、固定点の座標値が nominal なモデル (1996~2001 年について ITRF 座標値の与えられている IGS 点 TSKB から取り付けを行い、得られた座標時系列をもとに作られた区分直線モデル) で与えられる。そのため、地下水くみ上げに伴うつくばの上下年周変動 (Munekane, 2004) のようなモデル化されていない変動によって、網全体の系統的な変動が見かけ上生じる。この問題を避ける方法として、解析時に固定点を日本周辺の IGS 点から取り付ける方法を検討した。この方法によって、つくばの上下動に起因すると見られる座標上下成分の年周変化が現行のルーチン解に比べ改善することが確認された (図-3)。

以上で検討した補正・改良、および、近年 IGS でも採用されている衛星送信アンテナの位相特性モデルおよび絶対位相特性モデル (GEONET 観測点のタイプ毎に検定されたもの; 測地観測センター「GEONET 解析システムの高度化に関する研究」の頁参照) を取り入れ、GEONET の新たな解析戦略として策定し、これを取り入れた解析システムのプロトタイプが構築された。ただし、電離層遅延高次項の補正および IGS 点からの固定点座標の取り付けの 2 点に関しては、その適用は高い精度が求められる最終解析のみとし、精度よりも迅速性・安定性が優先される速報解析と迅速解析については従来の手法を適用するのが適切と考えられる。その理由は、電離層遅延高次項の補正に必要なグローバル電離層モデルのタイムリーな入手が困難であり、また、周囲の IGS 点のデータへの依存度が高まることにより脆弱性を増大させるからである。

4. まとめ

これまでの GEONET ルーチン解析戦略の課題および GPS 解析技術の最新動向をベースに、主として大気遅延勾配推定、固体地球潮汐のバグ修正、新たな位相特性モデル、電離層遅延量高次項の補正、階層的な網結戦略、固定点座標値の取り付け、等を取り入れて新たな解析戦略を策定し、BERNESE ver. 5.0 をベースに新たな解析システムのプロトタイプを構築した。これによって、特に広域的なスケールの年周変化やノイズを大幅に低減できる見込みが得られるとともに、座標解および大気遅延解の厳密な整合性と解の一意性が確保され、地殻変動の監視業務および GEONET のルーチン解を用いた種々の研究へのインパクトが期待される。

来年度は新たな解析戦略によって過去の GEONET のデータの再解析を行い、長期の解によって定量的な精度評価を行う予定である。

参考文献

畑中雄樹・山際敦史・湯通堂亨・宮原伐折羅 (2005): GEONET のルーチン解の精度評価, 国土地理院時報, 108, 49-56.

Munekane, H., M. Tobita, and K. Takashima (2004): Groundwater-induced vertical movements observed

in Tsukuba, Japan, Geophys. Res. Lett., 31, L12608.

Munekane, H. (2005) : A semi-analytical estimation of the effect of second-order ionospheric correction on the GPS positioning, Geophys. J. Int., 163, 10-17.

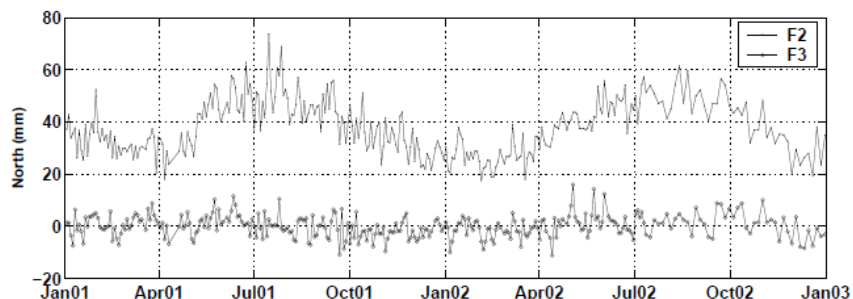


図-1 現行のルーチン解（上のプロット）と改良途上の解析システムによる解（下のプロット）の比較（母島→猿払基線の南北成分，トレンドを除去した1日おきのデータ時系列）．後者では，潮汐補正のバグ修正，大気遅延勾配推定，電離層遅延の二次項の補正が施されている．前者の縦軸には4cmのオフセットを与えてプロットしている．

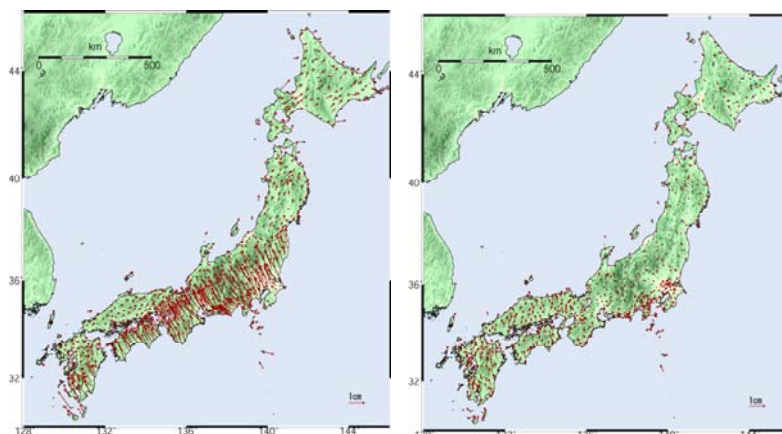


図-2 台風接近時の変動ベクトル図（2006/10/16，基準期間 10/12-15）の比較．F2 解（左図）およびプロトタイプシステムで大気遅延勾配を推定した場合の解によるもの（右図）．

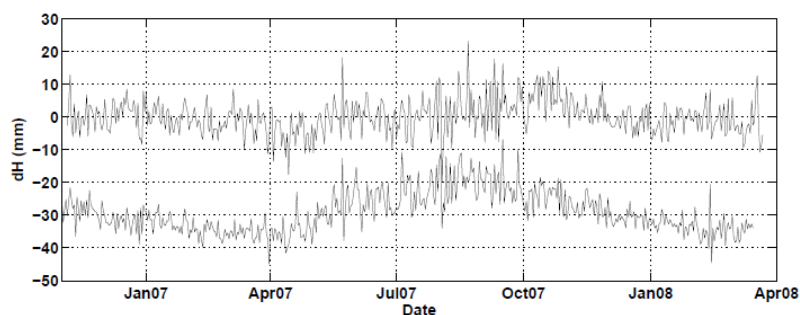


図-3 八郷(93002)の楕円体高の時系列(2006/11/5-2008/3/22)．F2 解（下）と固定点座標をIGS点から取り付けた解（上）