GPS 連続観測システム（GEONET）の新しい解析戦略（第４版）による ルーチン解析システムの構築について
Development and Validation of GEONET New Analysis Strategy (Version 4)

測地観測センター　中川弘之[1]・豊福隆史・小谷京湖[2]・宮原伐折羅[3]・岩下知真子・川元智司
Geodetic Observation Center
Hiroyuki NAKAGAWA, Takashi TOYOFUKU, Kyoko KOTANI, Basara MIYAHARA, Chimako IWASHITA and Satoshi KAWAMOTO
地理地殻活動研究センター　畑中雄樹・宗包浩志・石本正芳
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Yuki HATANAKA, Hiroshi MUNEKANE and Masayoshi ISHIMOTO
国土交通省大臣官房　湯通堂　亨
Minister's Secretariat, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
Toru YUTSUDO
測地部　石倉信広・菅原安宏
Geodetic Department　Nobuhiro ISHIKURA and Yasuhiro SUGAWARA

要　旨

国土地理院が運用する GPS 連続観測システム（GEONET）は，我が国の地殻変動監視の基盤的な観測網として平成８年の運用開始以来，地殻変動の検出において大きな成果を上げてきた．これまでの成果から，GEONET の解析結果は地殻変動の監視に必要となる精度を満たしていることが示されてきたが，一方で，平成 16 年から運用が開始された第３版の解析戦略には，いくつかの課題があることも明らかになってきた．

一つ目の課題は，大気に大きな不均質がある場合，これに起因した系統的な誤差が測位解に生じることである．このような誤差は，解析の際に大気遅延の勾配を推定することで大きく軽減されることが指摘されているが，第３版の解析戦略では，解析ソフトウエア（Bernese Ver4.2）の機能による制約もあって，大気遅延勾配の推定は行っていない．

大きな課題の二つ目としては，準拠座標系の不整合が上げられる．国際 GNSS 事業（IGS）は，ITRF2005 の公開に合わせて，2006 年 11 月より GPS 衛星の軌道暦を初めとする IGS の成果を ITRF2005（IGS05）に準拠したものに切り替えた．IGS05 は，衛星と観測局のアンテナ位相特性モデルに絶対モデルを用いて構築された座標系であるため，同時に相対モデルから絶対モデルへの切り替えも行われた．しかし，第３版の GEONET では，ITRF2000 と相対モデルを採用しているため，使用するモデルとの間で不整合が生じている．

上記の課題を初めとした諸課題を解決し，さらに安定した地殻変動監視を行うために，国土地理院では，平成 18 年より GEONET の新しい解析戦略（第４版）の開発を行ってきた（畑中ほか，2007；畑中ほか，2008）．

解析戦略第４版では，これまでの解析方針の基本的な考え方を継承しつつ，諸課題を解決するために，解析ソフトウエア Bernese をバージョン 5.0 に更新するとともに，①大気遅延勾配の推定，②アンテナの絶対位相特性モデルの採用，③座標系の ITRF2005 への変更，④解析固定点（電子基準点「つくば１」）における座標の取り扱いの変更，⑤電離層遅延高次項の補正等の導入を行った．

1996 年４月以降の過去の GPS 観測データを再解析した結果から，新しい解析戦略では，大気遅延勾配の推定により，停滞前線・台風等の大規模な大気の不均質に起因する座標値の系統的な誤差が大きく軽減されること，解析ソフトウエアの更新やアンテナ位相モデルの変更により，年周変動やばらつきが軽減されることなどが確認され，従来の解析戦略よりも安定した解が得られることが確認された．

これらの結果を踏まえ，平成 21 年４月１日より GEONET の定常解析を解析戦略第４版による解析に切り替え，正式に運用を開始した．

１．はじめに

平成８年の運用開始以来，GPS 連続観測システム（GEONET）は日本列島の地殻変動を監視する基盤的な観測網として位置づけられている．全国の電子基準点の座標値は最新の衛星軌道暦の公開に合わせて定常的に解析され，その結果により捉えられた最新の地殻変動情報は，地震調査研究推進本部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の関係機関に報告されることにより，我が国の地震，火山防災に大きく貢献している．また，これらの地殻変動情報はインターネットにより一般に広く公開

現所属：[1] 国土交通省国土交通大学校　[2] 企画部　[3] 国土交通省総合政策局

されており，研究機関，大学等において研究活動に活用されることで，地球科学分野においても欠かすことのできない基礎的なデータとなっている．

GEONET の解析戦略は，観測網の拡充，GPS 解析技術の高度化に合わせて段階的に改良を重ねられており，平成 16 年からは第３版の解析戦略による定常解析が運用されている（Hatanaka et al.，2003；測地観測センター，2004）．この解析戦略のもと，平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震や平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動を捉えるなど，地殻変動の検出に大きな成果を上げてきた．

一方，解析戦略第３版の運用開始から４年が経過し，いくつかの課題が明らかになってきた．中でも，大気の不均質に起因して測位解に生じる系統的な誤差は，地殻変動の検出に大きな妨げとなる可能性が高い．雨貝・石本（2007）では，2005 年の８月と 10 月に GEONET の結果に広範囲にわたって系統的に見られる変動が，停滞前線の時空間的な分布と一致しており，前線による大気中の水蒸気の不均質に起因する可能性が高いこと，また，その系統的な変動が大気遅延勾配を推定することによって顕著に減少することを報告している．しかし，これまでのルーチン解析システムで使用している解析ソフトウエアでは，分散・統合処理に必要な正規方程式処理機能で大気遅延勾配パラメータを扱うことができないため，大気遅延勾配の推定を行っていなかった．

もう一つ重要な課題として，軌道暦をはじめとする IGS の成果との間で生じる整合性がある．平成 16 年に第３版の解析戦略が開始した当時は，軌道暦等の IGS の成果は ITRF2000（実際はその IGS による実現系）に準拠しており，解析戦略第３版でも準拠する座標系，アンテナ位相特性モデル等は，IGS に整合するものを採用していた．2006 年 11 月５日（GPS1400 週）より，IGS 成果物の座標系が ITRF2005（実際は ITRF2005 の IGS による実現である IGS05）に変更されたが，解析戦略第３版で用いられる固定点の座標値は変更せずに用いているため，準拠する座標系に不整合が生じている．またこれと同時に，IGS は観測局の受信アンテナの位相特性モデルを相対モデルから絶対モデルに変更し，GPS 衛星の送信アンテナについても，地上の観測網と整合するように求められた絶対位相特性モデルを採用している．Ge et al.（2005）は，全球的な観測網の解析において，衛星の送信アンテナ位相特性に，上記のモデルを用いた場合と，従来の位相中心オフセットの公称値を用いた場合とで，解に１ppb 以上のスケール差が生じることを報告している．

一方，解析戦略第３版では，観測局には GEONET の各架台の形状ごとに，独自に検定のための観測を行って構築した相対位相特性モデル（宮原ほか，2003）を，GPS 衛星には位相中心オフセットの公称値を用いて解析を実施している．そのため，衛星軌道暦と観測局・GPS 衛星の位相特性モデルの間で不整合が生じている． IGS は，一般的には相対モデルと絶対モデルを複合した解析は行うべきでないとし，軌道暦に絶対モデルに基づいて作成された暦を，観測局に相対モデルを適用して解析を行った場合には，観測網の大きさに依存した系統差が生じるとしている（IGS Mail-5189，2005）．畑中ほか（2008）は，GEONET の網のスケールの年周変化に，近年は増大傾向が見られることを指摘しており，考えられる原因の一つとして，GPS 衛星の入れ替わりに伴って，実際の衛星の位相中心オフセットと解析で用いる位相中心モデルの間で乖離が大きくなっている可能性を示唆している．

さらに，解析の際に固定点としている電子基準点「つくば１」が，田植え時の農業用水のくみ上げにより上下方向に季節変動をしていることが明らかになった（Munekane et al.，2004）．解析戦略第３版では，「つくば１」の座標値は約 55m離れた IGS 点“TSKB”から取り付けた座標値と速度から求めた区分直線による座標に固定されている．この固定値と「つくば１」の実際の上下動との差が，その他のすべての電子基準点に押し付けられるため，全国の電子基準点の座標解の上下成分は，見かけ上，年周変動を生じてしまっている．

これらの課題を解決し，地殻変動監視のさらなる高度化，高精度化を目指して，国土地理院では平成 18 年より GEONET の新しい解析戦略の開発を行ってきた．このほど新しい解析戦略（第４版）の開発・検証が終了し，平成 21 年４月１日よりこれによる定常解析の正式運用を開始した．本稿では，解析戦略第４版に基づくルーチン解析システムの構築と解析結果の精度検証について，その概要を述べる．

２．新解析戦略

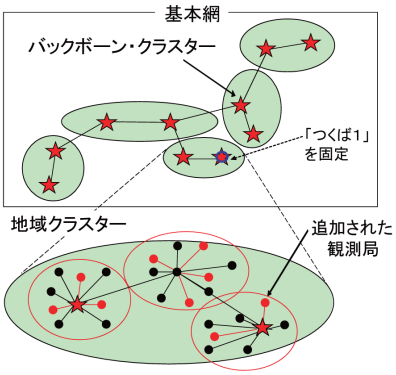
解析戦略第３版と第４版との比較を表－１に示す．主な変更点は以下の通りである．また，詳細については，本小特集の他の論文も参照されたい．

２．１　基本方針

解析の基本的な処理の流れは，第３版を踏襲した．また，観測網の構成についても第３版を踏襲している．すなわち，観測網全体を平成 13 年以前に設置された観測点からなる基本網と，それ以降に設置された観測点からなる追加網に分け，それぞれを５つの地域クラスターに分割する．これは，歴史が長い観測点から網をつくることで，基本とする観測網の形状の変化を最小限にとどめ，安定した観測点座標を得るためである．さらに，基本網の各地域クラスタ

ーから数点ずつ選んだ観測点からなるバックボーン・クラスターにより各地域クラスターを結合する（測地観測センター，2004；図－１）．ただし，第４版では，より安定した解を得るために，バックボーン・クラスターに含まれる観測点を変更し基線を短くするなど，微修正や整理を行った．

一方，解析ソフトウエア Bernese の改良，バグの修正，必要な機能の追加については第４版に取り入れることとした．



図－１　観測網の構成の概念図

２．２　精密基線解析ソフトウエア Bernese のバージョンアップ

精密基線解析ソフトウエア Bernese のバージョンを 4.2 から 5.0 へ更新した．これにより，正規方程式ファイルに大気遅延パラメータを含むことが可能となり，より簡潔なクラスター結合が可能になった．

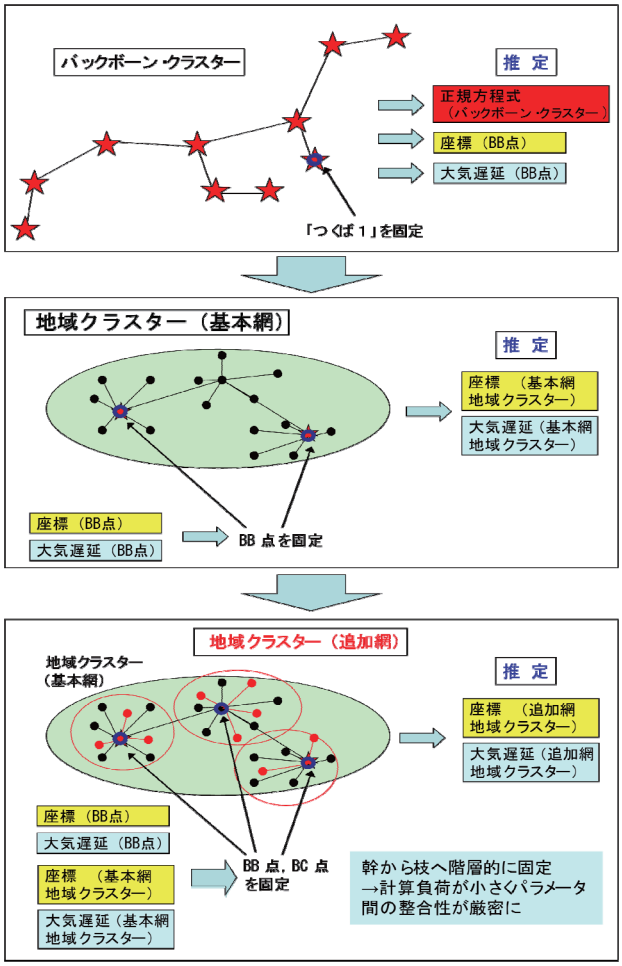
また，平成 16 年にバージョン 4.2 の固体地球潮汐の補正モジュールにバグがあることが，開発元の Bern 大学から報告されていた．このバグにより，解析戦略第３版では解のスケールに４ppb 程度の年周変動が生じることが報告されている（畑中ほか，2005）．しかし，地殻変動監視に通常用いる短基線ではこの程度のスケール変化は影響がほとんどないこと，解から年周変化分を除去することで補正できるとみられたことから，国土地理院ではこのバグの修正はあえて行わなかった．今回のシステム更新においては，このバグの修正も行った．

なお，Bernese の自動処理で，バージョン 5.0 からは Bash に加えて Perl スクリプトが使用できるようになった．そこで，スクリプトの今後の保守性，可読性の向上を考慮し，今回の解析戦略の変更に合わせて，Perl による自動処理スクリプトの再構築を行った．

２．３　クラスターの結合方法の改良

解析戦略第４版では，観測網の構成については変更を行っていないが，クラスターを結合する方法については変更が行われた（畑中ほか，2007）．

解析戦略第３版では，基本網と追加網の各地域クラスターとバックボーン・クラスターの正規方程式をそれぞれ個別に結合し，最後にこれらの正規方程式を結合した上で，「つくば１」の座標を固定して各観測点の座標値を評価していた（測地観測センター，2004）．その際，大気遅延量の絶対量の推定を安定させるため，大気遅延パラメータはバックボーン・クラスターと地域クラスターとの結合時に評価していた．しかし，この方法では大気遅延量は中間出力として地域クラスター毎に出力されるため，最終的な座標値とは厳密には整合しておらず，また，バックボーン観測点のように複数のクラスターとの結合に用いられる観測点では大気遅延量が重複して解を持つことになり，解の一意性も確保されていなかった．



図－２　クラスターの結合方法の模式図（第４版）

そこで第４版では，網のクラスターを，(1)バックボーン・クラスター，(2)基本クラスターの地域クラスター，(3)追加クラスターの地域クラスターの順に階層化し，上位階層から順に座標解と大気遅延パラメータを決定し，上位階層の解を固定して下位の階層の解を求めるという結合方法に変更した（図－２）．これによって，各パラメータが整合性を保ちながら

表－１　解析戦略第３版と第４版の比較

	第３版	第４版
精密基線解析 ソフトウエア	Bernese Ver.4.2 （固体地球潮汐補正のバグを修正せずに使用）	Bernese Ver.5.0
観測網の構成	バックボーン・クラスター，基本網，追加網の３種類の観測網により構成 ・基本網：平成 13 年以前に設置された約 950 点の観測点により構成．５つの地域クラスターに分割 ・追加網：それ以降に設置された観測点により構成．５つの地域クラスターに分割 ・バックボーン・クラスター：基本網の各地域クラスターから数点ずつ選ばれた観測点により構成．	第３版と同様，３種類の観測網により構成
クラスター結合戦略	クラスター毎に正規方程式を出力し，これを段階的に結合．大気遅延パラメータは，バックボーン・クラスターと地域クラスターとの結合時に評価され，中間出力として地域クラスター毎に出力．	(1)バックボーン・クラスター，(2)基本クラスターの地域クラスター，(3)追加クラスターの地域クラスターの順に階層化し，上位階層から順に座標解と大気遅延解を決定，上位階層の解を固定して下位の階層の解を算出．
大気遅延推定	・天頂遅延：観測局毎に３時間に１回，定数として推定 ・大気遅延勾配：推定せず	・天頂遅延：観測局毎に３時間に１回，区分的線形関数として推定 ・大気遅延勾配：各セッションに１回，線形関数として推定
電離層遅延の高次項	補正せず	最終解析：電離層遅延の２次の項を補正 迅速解析，速報解析：補正せず
座標系	ITRF2000（IGS00）	ITRF2005（IGS05）
固定点座標値の扱い	IGS 点“TSKB”から取り付けた座標値と速度から求めた区分直線による座標値	最終解析： IGS 地域解析結果より日々計算 迅速解析，速報解析： IGS 点“TSKB”から取り付けた座標値と速度から求めた区分直線による座標値
地上受信アンテナ 位相特性モデル	相対検定により国土地理院が作成したモデル	絶対検定により国土地理院が作成したモデル
衛星送信アンテナ 位相特性モデル	位相中心の公称値（1999 年 12 月時点の値を更新せずに使用）	IGS05 モデル

最終的な値に順次決定され，また，大気遅延解の一意性も確保される（畑中ほか，2007）．

２．４　大気遅延補正の改良

解析戦略第４版では大気遅延勾配が推定パラメータとして導入された（畑中ほか，2007）．大気遅延勾配パラメータはセッション毎に１セットの線型関数として推定する．

また，天頂遅延量の推定についても，第３版での３時間毎に定数として推定する方式から，３時間間隔の区分的線型関数によりモデル化する．

２．５　座標系および固定点座標値の与え方の変更

解析戦略第４版では，固定点の座標値を IGS05 座標系で与えることにより，解析が準拠する座標系を，ITRF2005（IGS05）とした（畑中ほか，2008）．

固定点は，「つくば１」を第一候補とし，「つくば１」が欠測等により使用できない場合には，使用できる観測点のうち「つくば１」からの距離が最も短いものを代替として選択する．この方法は，解析戦略第３版と同じである．

固定点座標値の与え方については，解析戦略第３版では，あらかじめ IGS 点（TSKB）から取り付け解析によって期間毎に区分的に算出された座標値と速

度に基づいて，観測当日の座標値を算出して用いていた（Hatanaka et al.，2003）．この方法は「つくば１」の上下方向の年周変動やモデルが構築された以後に発生した変動等は考慮されない．そこで，解析戦略第４版では，最終解では「つくば１」の日々の座標値を，日本と周辺の IGS 観測点に基づいて求めることとした．まず，日本周辺の IGS 観測点と「つくば１」を IGS 最終暦を用いて解析し，IGS 点を IGS05 系に固定して「つくば１」の座標を推定する．次に，推定された「つくば１」の座標を固定して，GEONET の各観測点の座標値を算出するという戦略をとった．GPS1399 週以前の固定点座標の算出には，GEONET 点と全世界の IGS 観測点を併せてグローバル解析を行い，暦と座標を同時に推定している．なお，固定点座標算出の詳細については，本小特集の小谷ほか（2009）を参照のこと．

速報解と迅速解については，衛星軌道暦の取得が間に合わないため，迅速性・安定性を重視して「つくば１」の座標はこれまで通り，あらかじめ与えた座標と速度から求めた値を用いて解析を実施することとした．

２．６　アンテナ位相特性モデルの変更

地上受信アンテナの位相特性モデルには絶対モデルを採用した．GEONET の解析では，アンテナ架台の形状毎に独自に検定を行い作成した位相特性モデルを用いている．そこで，過去に国土地理院が実施した位相特性検定の観測データを，基準アンテナの位相特性モデルに絶対モデルを用いて再解析することにより，第４版で用いるアンテナ架台の形状に応じた絶対位相特性モデルを構築した．また，GPS 衛星の送信アンテナの位相特性については，地上の観測網と整合するように求められた絶対位相特性モデルを Bern 大学から入手して用いる．

モデル構築の詳細とその評価については，本小特集の豊福ほか（2009）を参照されたい．

２．７　電離層遅延の高次補正項の導入

第３版までの GEONET の解析戦略では，電離層による遅延の項は，L1 帯と L2 帯の線形結合をとることによって消去されるとしてきた．しかし，線形結合によって消去されるのは，１次の項のみで，実際には高次の項は消えないため，測位解に cm に満たない程度の影響を及ぼす．この高次の項を補正することで，解に見られる季節変動の一部が解消されることが指摘されている（Keder et al.，2003；Munekane，2005）．そこで，解析戦略の第４版では，電離層遅延の２次の項について補正することとした．補正値の算出は，IGS のグローバル電離層モデルを用いて行う．畑中ほか（2007）は，太陽活動が活発だった 2001 年から 2002 年までの２年分のデータについて電離層遅延の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，両者の解を比較した．その結果，この期間の両者の差は基線の南北成分に最大１ppb 程度と振幅は小さいものの，補正は季節変動を縮小するセンスに働くことを確認した．

なお，電離層遅延高次項の補正の導入は，現在のところ，これを導入していない IGS における軌道暦等の解析とは，解析仕様上異なる点の一つであることを補足しておく．

２．８　その他

GEONET の定常解析は，これまで，24 時間の観測データと IGS 最終暦を用いて高精度な解を求める最終解の他，地震や火山の活動に伴う地殻変動の検出など迅速性が必要となる場合に用いる，24 時間の観測データと IGS 超速報暦を用いて毎日解析を行う速報解，６時間の観測データと IGS 超速報暦を用いて３時間毎に解を算出する迅速解の３つのスケジュールで運用してきた．

今回，解析戦略第４版への切り替えに合わせて，速報解に用いる暦を，IGS 超速報暦から IGS 速報暦に変更することにした．超速報暦は，６時間毎に更新される最速の暦である反面，後半部分は予測暦であるため観測部分から離れるにしたがって精度が低下する．そのため，特に長い基線において系統的な誤差を生じる可能性がある．速報暦は，観測暦であるため，基線で見た場合，最終暦に遜色の無い結果が期待される．その反面，速報暦は観測日の翌日に提供されるため，速報解の算出も従来より約１日遅れることになる．そこで，この１日間については，迅速性が重要となる地殻変動の監視を，従来の速報解に代わって迅速解８セッションの移動平均を用いて行うこととした．迅速解の移動平均は超速報暦を用いた速報解とほぼ同じ精度を持つことが畑中ほか（2005）により示されている．解析戦略第４版で行う定常解析の種類を表－２にまとめる．

表－２　定常解析の種類（解析戦略第４版）

	最終解 (F3)	速報解 (R3)	迅速解 (Q3)
暦	IGS 最終暦	**IGS 速報暦**	IGS 超速報暦
セッション	24 時間	24 時間	６時間
頻度	１週間分を１週間毎	**翌々日** １日毎	３時間毎
固定点座標	**周辺の IGS 点より解析毎に取付**	あらかじめ与えられた値	あらかじめ与えられた値
電離層高次項の補正	２次の項を補正	行わない	行わない

＊ 太字は，解析戦略第３版からの変更点

３．GEONET データの再解析

２．に記載した解析戦略を用い，GEONET の運用が開始された 1996 年春以降を対象に，GEONET の観測データの再解析を行った．解析対象とした期間は

1996 年３月 21 日以降である．また，以下の点については，２．に記載した解析戦略に部分的な変更を加えている．

1996 年 11 月４日以前のデータの再解析に使用する衛星軌道情報は，それ以後の IGS 暦にできるだけ整合していることが望ましいので，GFZ Potsdam と Dresden 大学によって最新の解析戦略で IGS 観測網のデータを用いて再解析された衛星軌道暦（Steigenberger et al.，2006）を，座標系を IGS05 に変換して用いる．

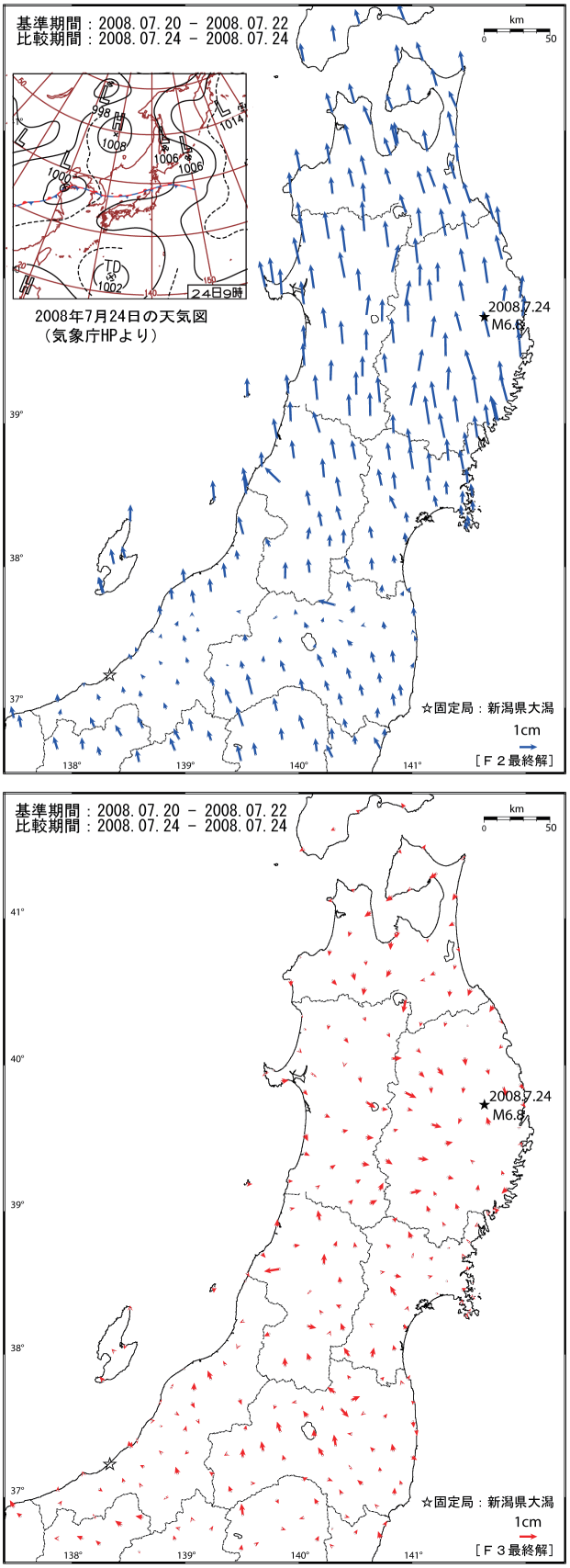
電離層遅延の２次項の算出に用いる IGS グローバル電離層モデルは，再解析を実施した時点において，2002 年 12 月 15 日以降の分のみが入手可能であるため，それ以前については，1995 年１月１日以降の期間は Bern 大学によって推定されたグローバル電離層モデルを適用する．1994 年 12 月 31 日以前の期間については，入手可能なグローバル電離層モデルが存在しなかったため，補正は行わない．

４．解析戦略第３版との解の比較

解析戦略第４版で GEONET データを再解析した解を第３版による解と比較し，新たな解析戦略の改良効果を検証した．その結果，顕著な効果として，大気の不均質に起因した誤差や，年周変動，座標値のばらつきの軽減がみられた．主な解析例について以下に示す．なお，地殻変動監視における解析戦略第４版と従来の解析戦略の比較検討の詳細については，本小特集の宮原ほか（2009）を参照のこと．

４．１　大気の不均質に起因した誤差の軽減

解析戦略第４版では，大気遅延勾配を推定することにより，停滞前線・台風等の，大規模な大気の不均質に起因した座標値の誤差が大きく軽減されることが確認された．その一例を，図－３に示す．この図は，2008 年７月 24 日に発生した岩手県中部の地震で地震発生前の７月 22 日～23 日と，地震発生後の７月 24 日を比較した水平変動ベクトル図である．図－３の上の図は解析戦略第３版によるベクトル図である．この図では，東北地方に２cm 程度の北向きのベクトルがみられる．しかし，このようなパターンの地殻変動は不自然である．７月 24 日の天気図では，この日には東北地方に停滞前線がかかっており，その位置は北向きのベクトルが顕著な地域とそうでない地域のまさに境界付近である．したがって，この系統的なベクトルは，この停滞前線による大気の不均質に起因していると考えられる．

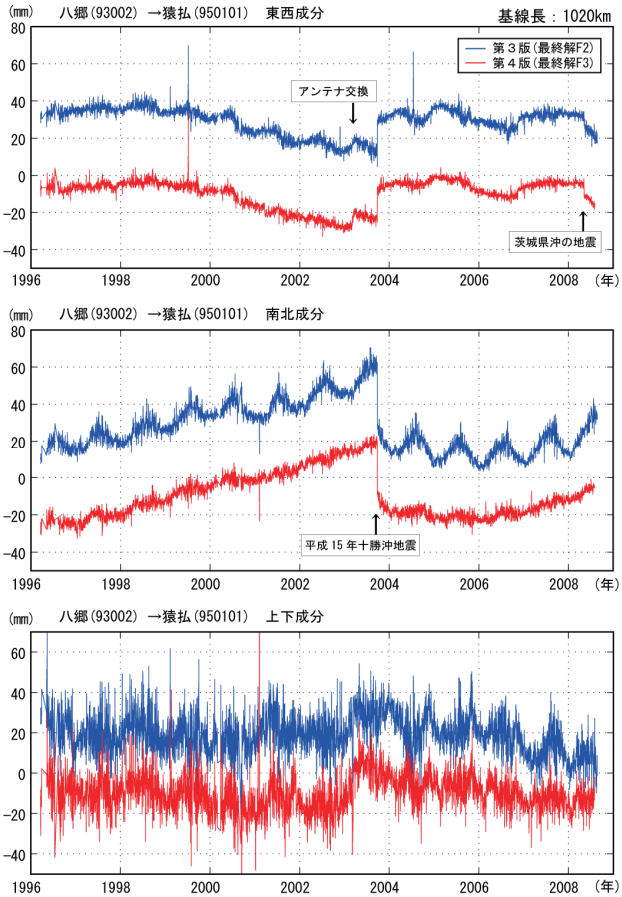


図－３　岩手県中部の地震（2008 年７月 24 日）を挟む期間の変動ベクトル図の比較（上：解析戦略第３版，下：同第４版）

図－３の下の図は，解析戦略第４版により地震前後の同じデータを用いた再解析により作成した水平変動ベクトル図である．この図では，停滞前線の北側にみられた北向きのベクトルは見られず，第３版の解析では消去できなかった大気の不均質に起因する系統的な誤差が，第４版の解析では大気遅延勾配の推定により除去されたことがわかる．

４．２　年周変動および座標値のばらつきの軽減

図－４に，基線「八郷」－「猿払」の，1996 年以降の東西，南北，上下三成分の時系列を示す．この基線はほぼ南北方向で，約 1,020km の長基線である．青が解析戦略第３版による基線成分の時系列，赤が第４版による基線成分の時系列である．差を強調するために，両者から一次トレンドを除去し，第３版の解に＋30mm のオフセットを与えて表示している．



図－４　長距離基線における基線３成分の時系列を比較した例（青：第３版，赤：第４版）

解析戦略第３版の解には，特に南北方向に顕著な年周変動がみられる．一方，第４版の解では，年周変動はほとんど見られない．年周変動が軽減した理由としては，固体地球潮汐の補正モジュールのバグ修正，アンテナへの絶対位相特性モデルの採用による整合性の向上などが考えられる．

電子基準点「猿払」は北海道にあり，2003 年 10 月には，十勝沖地震による地殻変動を示すギャップが，第３版と第４版の双方の時系列の，すべての成分で確認できる．一方，十勝沖地震の後には長期間にわたり余効変動が観測されているが，第３版の時系列では地震後まもなく年周変化に埋もれてしまうため，それを詳細に捉えることは困難である．一方，第４版の時系列では，余効変動が減衰する様子がより明瞭に捉えられている．図－４の基線は，通常地殻変動監視に用いる基線と比べて非常に長いため，この基線のみから地殻変動監視における検出力の向上を議論することは難しいが，年周変動によって把握できなかった変動をより詳細に把握できる可能性が示唆されている．

５．まとめ

国土地理院は，GEONET の新たな解析戦略（第４版）を構築した．以前の解析戦略の基本的な処理の流れや観測網の構成を踏襲しつつ，解析ソフトウエアの改良，バグの修正，必要な機能の追加については積極的に導入した．解析戦略第４版においては，解析ソフトウエアを Bernese Ver.5.0 にバージョンアップし，①大気遅延勾配の推定，②アンテナの絶対位相特性モデルの採用，③座標系の ITRF2005 への変更，④解析固定点（電子基準点「つくば１」）の座標の取り扱いの変更，⑤電離層遅延高次項の補正等の導入を行った．

1996 年４月以降の過去の GPS 観測データの再解析によって得られた解析戦略第４版による解を，第３版のルーチン解と比較した結果，大気遅延勾配の推定により，停滞前線や台風等の大規模な大気の不均質に起因する座標値の系統的な誤差が顕著に減少することが確認された．また，解析ソフトウエアの固体地球潮汐補正ルーチンの不具合の解消やアンテナ位相特性モデルの変更等により，年周変動や座標値のばらつきが軽減されることが確かめられた．これらの結果から，解析戦略第４版による解は従来の解析よりも安定した結果が得られることが確認されたことにもとづき，平成 21 年４月１日より，解析戦略第４版による GEONET 定常解析の正式運用を開始した．

解析戦略第４版によって，これまで年周変動や解のばらつきに隠れて検出の困難だった微少な地殻変動や，ゆっくりした地殻変動などを，より明瞭に捉えることが可能となった．GEONET が，これまで以上に我が国の地震・火山防災や地球科学等，多くの分野で力を発揮することが予想される．

参 考 文 献

雨貝知美，石本正芳（2007）：GEONET にみられる大気擾乱の広域的な影響について，国土地理院時報，112，41-49.

Ge, M., G. Gendt, G. Dick, F. P. Zhang and C. Reigber (2005): Impact of GPS satellite antenna offsets on scale changes in global network solutions, Geophysical Research Letters, 32, L06310, doi:10.1029/2004GL022224.

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 the Geographical Survey Institute, 49, 11-34.

畑中雄樹，宗包浩志，古屋智秋，豊福隆史，小谷京湖（2008）：GEONET の新しい解析戦略（第４版），日本測地学会第 110 回講演会予稿集，95-96.

畑中雄樹，宗包浩志，岩下知真子，湯通堂亨，小谷京湖，石本正芳，川元智司（2007）：GEONET ルーチン解析戦略第４版の構築に向けて，日本測地学会第 108 回講演会予稿集，17-18.

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.

IGS Mail-5189 (2005): Planned changes to IGS antenna calibrations, http://igscb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2005/msg00111.html (accessed 27 Mar. 2009).

岩下知真子，梅沢武，川元智司，野神憩，畑中雄樹，石倉信広（2009）：GPS 連続観測システム（GEONET）解析結果に生じる人為的要因によるオフセットの補正手法について，国土地理院時報，118，23-30.

Kedar S., G. A. Hajj, B. D. Wilson, M. B. Heflin (2003): The effect of the second order GPS ionospheric correction on receiver positions, Geophysical Research Letters, 30, No.16, 1829, doi:10.1029/2003GL017639.

小谷京湖，吉田賢司，畑中雄樹，宗包浩志（2009）：GPS 連続観測システム（GEONET）解析固定点座標算出手法について，国土地理院時報，118，17-21.

宮原伐折羅，畑中雄樹，湯通堂亨，千田進一，雨貝知美，岩田昭雄，石本正芳（2003）：新 GEONET で使用するアンテナ位相特性モデルについて，日本測地学会第 100 回講演会要旨，43-44.

宮原伐折羅，野神憩，梅沢武，岩下知真子，川元智司（2009）：GPS 連続観測システム（GEONET）の解析戦略（第４版）から見た地殻変動について，国土地理院時報，118，31-36.

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

Munekane, H., M. Tobita and K. Takashima (2004): Groundwater-induced vertical movements observed in Tsukuba, Japan, Geophysical Research Letters, 31, L12608, doi:10.1029/2004GL020158.

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，103，1-51.

Steigenberger, P., M. Rothacher, R. Dietrich, M. Fritsche, A. Rülke and S. Vey (2006): Reprocessing of a global GPS network, Journal of Geophysical Research, 111 (B05402), doi:10.1029/2005JB003747.

豊福隆史，岩下知真子，畑中雄樹，湯通堂亨（2009）：電子基準点のアンテナ絶対位相特性モデルの構築と評価，国土地理院時報，118，9-15.