

高度な国土管理のための複数の衛星測位システム（マルチ GNSS） による高精度測位技術の開発（第 4 年次）

実施期間	平成 23 年度～平成 26 年度
測地観測センター衛星測地課	古屋 智秋 鎌苅 裕紀 万所 求 辻 宏道

1. はじめに

国土地理院では、国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な国土管理のための複数の衛星測位システム（マルチ GNSS）による高精度測位技術の開発」（平成 23～26 年度）を実施し、米国の GPS をはじめ、日本の準天頂衛星（QZSS）、ロシアの GLONASS、EU の Galileo といった各国の衛星測位システムのデータを統合的に利用したマルチ GNSS 高精度測位技術の開発及び標準化を進めている。

マルチ GNSS による高精度測位が可能となった場合、都市部のビル街や山間部等の、GPS のみでは測位が困難な地域でも測位が可能になると期待され、さらには、新たな周波数帯のデータが追加されることから、より短時間で高精度測位が可能になると期待されている。

2. 研究内容

平成 26 年度に行った主な業務は次の 5 つである。①衛星系の組み合わせに関する技術改良、②地殻変動緊急解析プログラムプロトタイプの開発、③シミュレーションデータによるマルチ GNSS 解析の検証、④現地試験観測によるマルチ GNSS 解析の検証、⑤マルチ GNSS による高精度測位技術を用いた測量作業マニュアル案作成。

3. 得られた成果

ここでは、上記の研究内容のうち、①衛星系の組み合わせに関する技術改良について報告する。

平成 23～25 年度では、衛星系の違いにより発生する誤差要因（GPS、QZSS、GLONASS、Galileo 間で発生する擬似距離・搬送波位相 ISB（Inter System Bias）、L2P(Y)-L2C の 1/4 サイクルシフト等）について調査し、それらの補正方法を検討した。また、この間、急速に整備が進められている中国の「BDS」（以下、「BeiDou」という。）についても予備的な試験観測のデータから BeiDou の利用可能性を確認した。それら成果を踏まえ、平成 26 年度は、BeiDou を含む様々な衛星系を組み合わせ、より迅速かつ安定的に位置情報を得ることが可能な計算手法を検討した。

その結果、BeiDou には衛星軌道の種類が異なる GEO（静止軌道）、MEO（中軌道）、IGSO（傾斜対地同期軌道）の 3 種類があるが、GEO とその他（MEO、IGSO）の間に ISTB（Inter System Type Bias）と呼ばれる 1/2 サイクルのバイアスが存在することが確認された。ISTB は受信機機種によって符号の向きが異なり、GEO と MEO 又は GEO と IGSO を混在して解析に使用し、受信機機種の組み合わせで ISTB の符号の向きが異なる場合には、補正する必要がある。

また、BeiDou と他の衛星系間の搬送波位相 ISB は、GLONASS と他の衛星系間の搬送波位相 ISB と同様に変動がみられ、特に受信機再起動や受信機ファームウェア変更により大きく変動し、測位に大きく影響を与えることが確認された。そのため、BeiDou と他の衛星系間で位相差をとる解析は一般的には困難であることが明らかとなった。なお、BeiDou は、異なる衛星系間で位相差をとらない解析においては、ISTB を補正することで基線解析が可能である。

これらの調査結果を踏まえ、GPS、QZSS、GLONASS、Galileo、BeiDou の組み合わせで基線解析を行い、測位解の精度及び安定性に与える影響について調査した。座標の精度は GPS のみと比較し、他の衛星系と組み合わせることで向上し、特に上下方向が改善した。また、上空視界が悪い場合を想定した仰角マスク 30 度の解析で改善の効果が大きかった。なお、東西方向が BeiDou を加えることで RMS が大きくなっているが、これは BeiDou の衛星配置（西側に集中）に起因するものと考えられる。

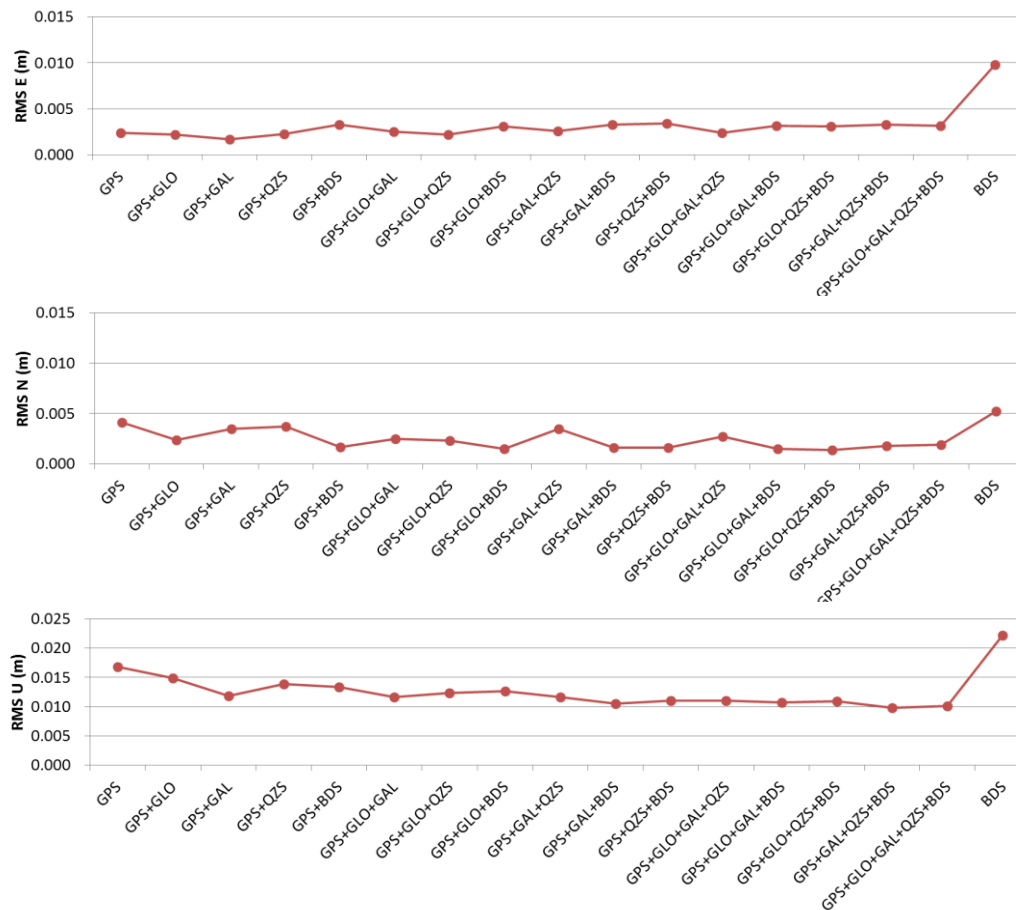


図-1 衛星系の組み合わせによる RMS の変化（上：東西，中：南北，下：上下）

基線長:1m 解析時間:3時間 仰角:30度 GLO:GLONASS GAL:Galileo QZS:QZSS BDS:BeiDou

4. 結論

異なる衛星系間で位相差をとる解析を行う際に補正が必要となる搬送波位相 ISB の安定性について評価を行った。その結果、BeiDou と他の衛星系間の搬送波位相 ISB が観測条件により変化するため、一般的に BeiDou の統合解析が難しいことが明らかとなった。他にも、平成 26 年度には、平成 25 年度に開発した GSILIB（第 1 版）に、平成 26 年度の技術開発の成果を反映させた GSILIB（第 2 版）の開発を行った。また、現地試験観測での検証結果を基に、マルチ GNSS を各種測量作業に適用する際の最適な観測・解析手法等を取りまとめ、公共測量の作業規程の準則第 17 条 3 項に適用する測量作業マニュアル案を作成した。

参考文献

国土地理院：高度な国土管理のための複数の衛星測位システム（マルチ GNSS）による高精度測位技術の開発，http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/gnss_main.html（accessed 6 Mar. 2015）

次世代 GEONET の構築（第 1 年次）

実施期間	平成 26 年度～平成 27 年度
測地観測センター地殻監視課	大島 健一 犬飼 孝明 村松 弘規 富山 顕

1. はじめに

測地観測センターでは平成 18 年度から GEONET の GPS 近代化計画への対応を計画的に進めてきた。当初計画では、平成 32 年度末までに電子基準点の受信機とアンテナを GPS 近代化に対応できるよう更新する計画であった。しかし、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震を契機に電子基準点データを用いた地殻変動監視の重要性が再認識された結果、平成 24 年度末までにほぼ全ての電子基準点で GPS 近代化計画への対応及びマルチ GNSS 化が完了した。これに伴い、今後は解析系の高度化を進める。

2. 研究内容

GEONET における定常解析（F3）では、日本周辺の IGS 局を拘束点として国土地理院構内に設置されている「つくば 1」の座標値を算出し、その「つくば 1」を固定点として全国の電子基準点等の日々の座標値（F3 解）を計算している。一方で、近年、IGS 局に登録されている電子基準点の F3 解と IGS によって解析された IGS 解の間に東西方向で 1～2cm 程度の乖離が見られている。その要因として、固定点である「つくば 1」の推定座標値にずれが生じていることが考えられるため、本調査研究では、「つくば 1」の座標値推定時に次の 3 点について調査を行っているところである。①東北地方太平洋沖地震による余効変動が大きい IGS 局の採用の有無。②拘束点の拘束条件変更及び拘束点数増加による影響。③F3 解析では測地基準系としてやや古い ITRF2005 を採用していることから比較的新しい座標系（ITRF2008）に変更した場合の影響。ここでは検証を行った③について報告する。

3. 得られた成果

「つくば 1」の座標値推定の際、拘束点の初期座標値は ITRF2005 を用いている。この ITRF2005 と ITRF2008 について、拘束点の座標値を IGS 解と比較したところ、ITRF2005 の場合に IGS 解と顕著な乖離が確認された（図－1）。そのため、「つくば 1」の座標値推定の際の拘束点の初期座標値に ITRF2008 を用い、得られた解を IGS 解と比較した結果、IGS 解との乖離は 1cm 未満に改善された（図－2）。なお、「つくば 1」は IGS 解が存在しないため、比較には「つくば 1」の座標値推定時に同時に推定される国土地理院構内の IGS 局「TSKB」を用いた。

4. 結論

今回の検証により、F3 解と IGS 解の間に 1～2cm 程度の乖離が発生していることについては、F3 解で採用している座標系が ITRF2005 であることから生じているものであると推測された。そのため、次期解析戦略では最新の ITRF を採用することが望ましい。

また、東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を受けていると思われる拘束点を除外するなど取捨選択を行うことについては、今後も検討を続けていく予定である。

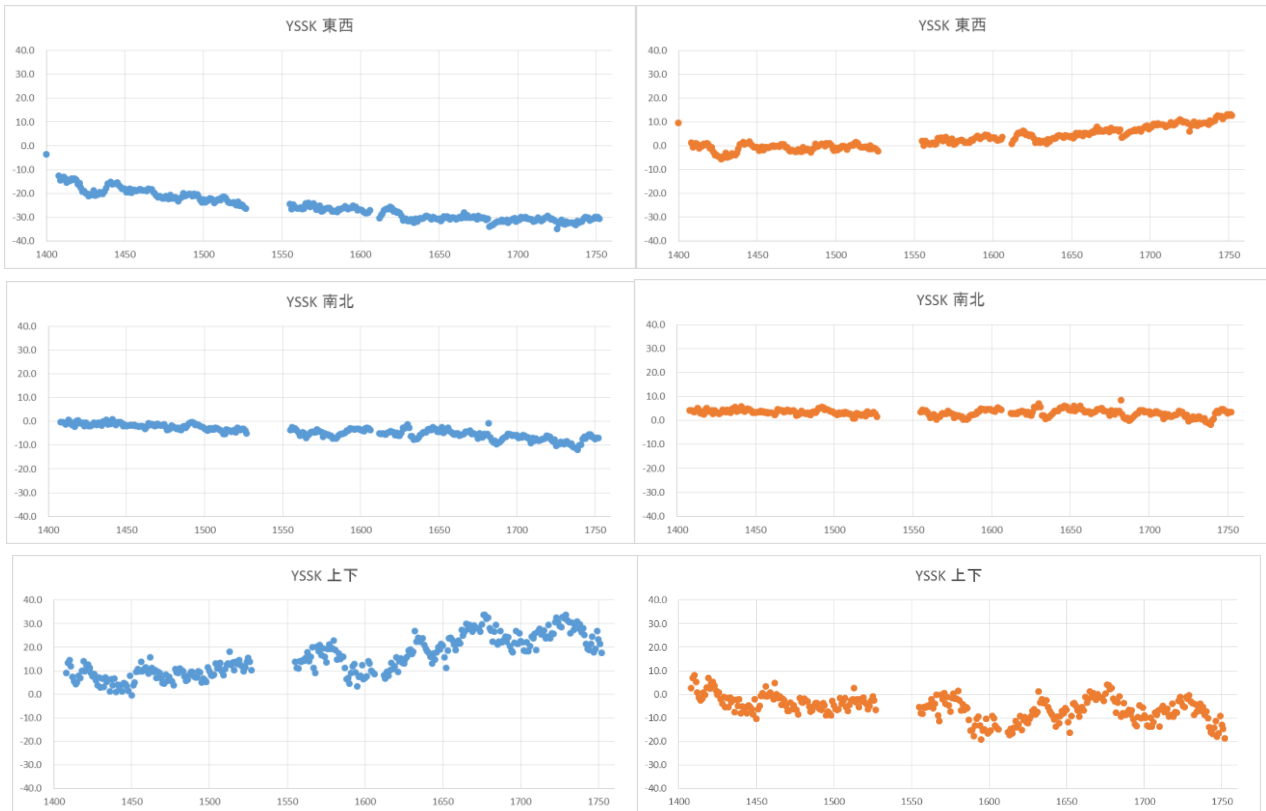


図-1 拘束点「YSSK」の ITRF 座標値の IGS 解との差（左：ITRF2005，右：ITRF2008）

横軸：GPS 週，縦軸：mm

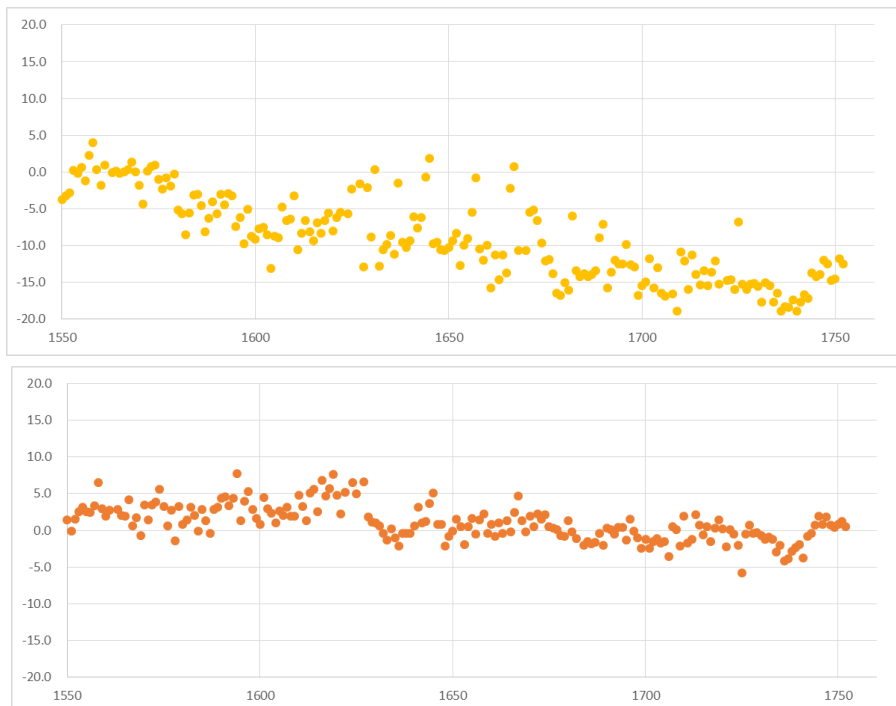


図-2 「TSKB」の推定座標値の IGS 解との差_東西方向

（上：拘束点の初期座標値 ITRF2005，下：拘束点の初期座標値 ITRF2008）

横軸：GPS 週，縦軸：mm

津波予測支援のための GEONET リアルタイム解析システムの GNSS 対応等（第 4 年次）

実施期間	平成 23 年度～平成 26 年度
測地観測センター地殻監視課	佐藤 雄大 大島 健一 犬飼 孝明 村松 弘規
測地観測センター	宮川 康平
地理地殻活動研究センター	
宇宙測地研究室	川元 智司

1. はじめに

GEONET は、全国約 1,300 箇所に設置された GNSS 連続観測点（以下、「電子基準点」という.），電子基準点で観測されたデータを収集・解析・配信する役割を担う GEONET 中央局及びこれらをつなぐ専用回線から構成される GNSS 連続観測網であり、地殻変動の監視、各種測量の基準、位置情報サービス等の分野でそのデータが広く利用されている。特に地殻変動の監視では、地震や噴火に伴う地殻変動の検出によりそのメカニズムの解明等に大きく貢献してきた。これまで GEONET では、このような災害に伴う地殻変動の検出には少なくとも 1 日程度の時間を要してその変動量を計算、提供してきた。一方で、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後に、短周期地震計等により推定された地震発生直後の地震規模が過小評価だったことを踏まえ、より信頼度の高い津波警報初期値への利用を視野に GEONET のリアルタイムデータを用いて解析される電子基準点の変位量を使用した地震規模の即時推定技術について大きな期待が寄せられることとなった。このような背景を踏まえ、国土地理院では、平成 23 年度から東北大学大学院理学研究科との協同研究の下、新たな GEONET のリアルタイム解析システム（以下、「REGARD」という.）の開発を平成 23 年度から進めている。

2. 研究内容

REGARD（REal-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation monitoring）は主として解析部、変動検知部並びに矩形断層モデル及びすべり分布モデル即時推定部の 3 つのサブシステムより構成される。解析部ではリアルタイム（1 秒毎）で各電子基準点の測位を行い、変動検知部において地震に伴う変動を検知・計算し、その変動量を入力値としてモデル即時推定部により地震規模が計算・出力される。平成 25 年度の REGARD の改造では、全国の電子基準点のリアルタイム処理を可能とするとともに、解析の固定点に「稚内」、「小松」、「福江」の 3 点を設定して同時に処理させることで、地震の変動域から離れた固定点の解析結果を得られるようにした。また、独立した同システムを GEONET 中央局の 1 階と 3 階に設置することでシステムを二重化した。その他にも解析結果のブラウザ閲覧機能の実装等が施された。

このようにシステム及び解析に冗長性が確保された REGARD であるが、平成 26 年度の改造では、実運用へ向けて解析の安定性及び信頼性の向上を目的として①解析の GNSS 対応（準天頂衛星及び GLONASS）、②PPP（精密単独測位）の導入の検討、③解析結果閲覧ツールの改造、④すべり分布モデル推定機能の追加等を行った。

3. 得られた成果

① 解析の GNSS 対応

REGARD はこれまで GPS のみに対応したシステムであったが、上空視界が限られるような電子基準点等においても測位精度の向上を図るため、準天頂衛星及び GLONASS を用いた解析を設定可能とした。測位精度の向上により、地震による変位の誤検知数の削減や震源断層モデルの推定精度の向上等の効果が期待される。

② PPP (精密単独測位) の導入の検討

固定点の変位の影響を受けない PPP 測位による変動監視手法の導入を検討するため、IGS のリアルタイムパイロットプロジェクト (RTPP) によって配信されるリアルタイム精密暦を使用した PPP 測位機能を実装させた。

③ 解析結果閲覧ツールの改造

REGARD の解析結果をより便利に閲覧できるように閲覧ツールを改造した。従来は測位結果の時系列グラフは一定期間 (最大 3 時間) を超えると閲覧ができなかったが、今回の改造では過去の解析結果もグラフに表示できるようにするとともに、時間幅もより細かく設定ができるようにした。また、迅速に解析結果が確認できることが重要なシステムであるため、必要な情報はすぐに確認できるよう表示の構成を調整した。

④ すべり分布モデル推定機能の追加

単一矩形断層で近似することが難しい複雑な断層破壊についても安定したモデル化が可能となるよう、あらかじめ断層破壊が発生する位置をプレート境界面に固定し、その分布を推定するすべり分布モデル推定機能を新たにシステムに実装した。

4. 結論

測地観測センター及び地理地殻活動研究センターでは、津波予測支援のための GEONET リアルタイム解析システムの開発を平成 23 年度から行ってきた。平成 25 年度では日本全国に対応したシステムが完成したが、今年度ではシステムの信頼性及び安定性の向上を目指した改造を行った。本改造の実力を最大限に発揮し信頼度の高い結果を得るためには、細かな設定を行う必要があるため、今後その調整を進めていく予定である。

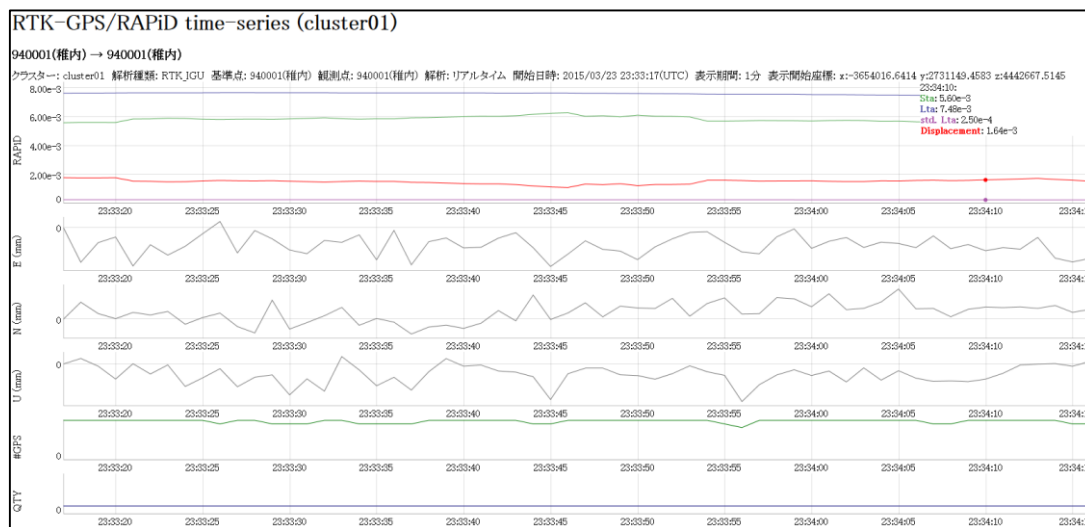


図-1 解析結果閲覧ツールの表示例 (地殻変動検知状況, neu 各成分の変位量, 衛星数, 解の fix 状況等が表示され, 過去の解析結果についても閲覧できる)