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 3 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　　酒井　和紀
	万所　求　　辻　宏道
測地観測センター地殻監視課	矢萩　智裕
測地観測センター	山口　和典

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，より短時間での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 25 年度に行った業務は次の 5 つである．①衛星系の組み合わせに関する技術開発，②地殻変動解析に関する技術開発，③マルチ GNSS 解析システムの開発，④シミュレーションデータによる L5 信号を用いた解析の検証，⑤現地試験観測によるマルチ GNSS 解析の検証.

3. 得られた成果

ここでは，上記の研究内容のうち，①・③について報告する．

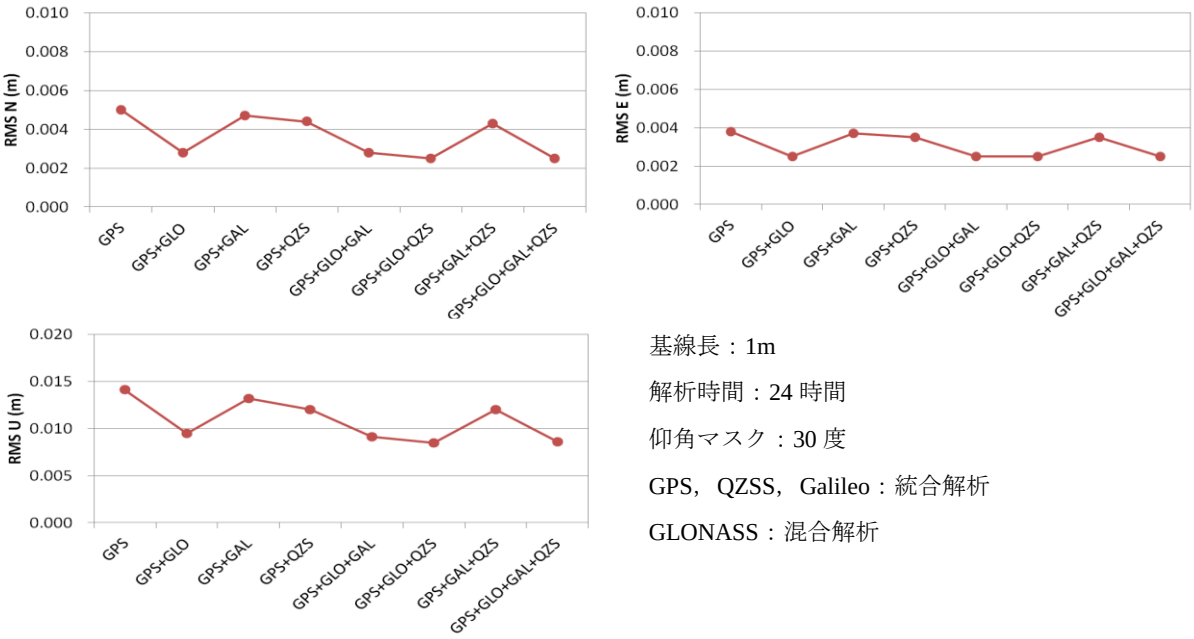
（1）衛星系の組み合わせに関する技術開発

平成 23～24 年度の調査検討業務の結果を踏まえ，異なる衛星系間で位相差をとる“統合解析”を行う際に補正が必要となる擬似距離・搬送波位相 ISB（Inter System Bias）の安定性評価，複数の衛星系の組み合わせによる測位解への影響評価等を行った．

その結果，擬似距離 ISB は，全ての衛星系の組み合わせで変動がみられ，アンテナ機種の違いや受信機の温度変化で変動することが確認された．これに対して，搬送波位相 ISB は，GLONASS と他の衛星系間で変動がみられ，特に受信機再起動や受信機の温度変化により大きく変動した．そこで，擬似距離・搬送波位相 ISB をそれぞれ事前に推定した値で補正し基線解析した結果，GLONASS と他の衛星系間の搬送波位相 ISB の受信機再起動及び受信機の温度変化による変動は，測位に大きく影響を与えることが確認され，一般的には GLONASS の統合解析は困難であることが明らかとなった．なお，GLONASS は，異なる衛星系間で位相差をとらない“混合解析”においては，IFB（Inter Frequency Bias）を事前に推定した値で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，全ての衛星系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．オープンスカイ環境では，GPS に GLONASS を組み合わせることでよ

り安定した解が得られた．また，上空視界の悪い環境を想定し，仰角マスクを 30 度に絞って解析を実施した結果，GPS のみと比較し，GPS に他の衛星系を組み合わせることで，測位可能な時間が増加し，特に上下方向において，より安定した解が得られることが確認できた．



基線長：1m

解析時間：24 時間

仰角マスク：30 度

GPS，QZSS，Galileo：統合解析

GLONASS：混合解析

図-1　衛星系の組み合わせによる RMS の変化

（2）マルチ GNSS 解析システムの開発

平成 24 年度に作成したマルチ GNSS 解析システムの詳細設計書に基づき，GSILIB（プロトタイプ）に，L5 信号を使用してアンビギュイティを決定する方式，PPP-AR（Ambiguity Resolution）の際に必要となる FCB（Fractional Cycle Bias）を推定する機能，L2P(Y)-L2C 擬似距離受信機バイアスを推定・補正する機能，統合解析を行う際に必要となる ISB を推定・補正する機能等を追加した GSILIB（第 1 版）を開発した．なお，ベースとなるソフトウェアは，東京海洋大学の高須氏が開発したオープンソースソフトウェアである RTKLIB（v.2.4.1）から RTKLIB（v.2.4.2）に変更している．GSILIB（第 1 版）については，ソフトウェアの検証後，公開予定である．

4. 結論と今後の予定

異なる衛星系間で位相差をとる統合解析を行う際に補正が必要となる擬似距離・搬送波位相 ISB の安定性について評価を行った．その結果，GLONASS 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 GLONASS の統合解析が難しいことが明らかとなった．平成 26 年度には，平成 25 年度に開発した GSILIB（第 1 版）に，平成 25 年度の技術開発の成果を反映させた GSILIB（第 2 版）の開発を行う．また，シミュレーションデータや現地試験観測での検証結果を基に，新たな衛星系や信号の測量への適用条件を整理し，準則改正案を作成する．

参考文献

T. Takasu：RTKLIB:An Open Source Program Package for GNSS positioning.
http://www.rtklib.com/（参照日：2014 年 3 月 7 日）
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（参照日：2014 年 3 月 7 日）

電子基準点の GPS 近代化計画への対応に関する研究（第 10 年次）

実施期間　平成 16 年度～平成 25 年度
測地観測センター地殻監視課　山尾　裕美　大島　健一
鎌苅　裕紀　村松　弘規

1. はじめに

測地観測センターでは，平成 18 年度から GPS 近代化計画への対応を計画的に進めてきた．受信機については，P(Y)コードの保証がなくなる 2020 年（平成 32 年）末までに電子基準点全点で GPS 近代化に対応できるよう，更新する計画であった．また，GPS 近代化計画の一部である第 3 の周波数帯 L5 を採用するためにはアンテナを L5 対応型に更新する必要があるが，地殻変動の連続監視への影響があることが懸念されたため，新しい L5 対応型のチョークリングアンテナや受信機を用いて試験観測を実施し，GPS 近代化に対する GEONET の更新・改良の進め方を検討してきた．

これまでの研究により，L5 対応型のアンテナを用いることで現行のアンテナと同程度の品質・安定性で従来の信号（L1，L2）を得られること，地殻変動監視においても現行のアンテナと比較して水平方向ではより安定した値が得られ,鉛直方向では同程度の精度が得られることが確認された.さらに，電子基準点に導入する予定の L5 対応型アンテナを用いて観測した L1 帯，L2 帯及び L5 帯の信号についてデータ品質を比較した結果，L5 帯の搬送波電力雑音比（C/NO）における優位性が確認された．また，擬似距離マルチパスについても他の周波数帯と同程度の品質が得られることが確認された．

平成 23 年度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受信機とアンテナの GPS 近代化計画への対応及びマルチ GNSS 化が完了した．

2. 研究内容

電子基準点の受信機及びアンテナの更新を受けて，全国の電子基準点から送られてくる観測データの処理を行う GEONET 中央局の GPS 近代化計画対応及びマルチ GNSS 化を進めてきた．平成 24 年度には，GPS 近代化計画に対応した新しい周波数及びコードに加えて複数の衛星系からの信号にも対応したデータ収集・配信系（以下，GATE という.）の整備に着手した．また，平成 25 年度には GATE のリアルタイムデータ配信機能の頑健性を高めるためにサーバと通信回線の二重化を行った．また，GPS 近代化計画への対応及びマルチ GNSS 化に伴うデータ量の増加に備えてバックアップサーバを更新するとともに，データ提供システムを刷新した．さらに，新しい周波数及びコードに対応したデータ品質チェック機能を整備した．

3. 得られた成果

図-1 に GATE の構成概略図を示す．GATE の整備により，GPS 近代化計画及びマルチ GNSS 化に対応した新しい周波数及び信号の収集，配信，変換処理及び品質チェックが可能となった．GATE で対応した周波数及び信号の一覧を表-1 に示す．

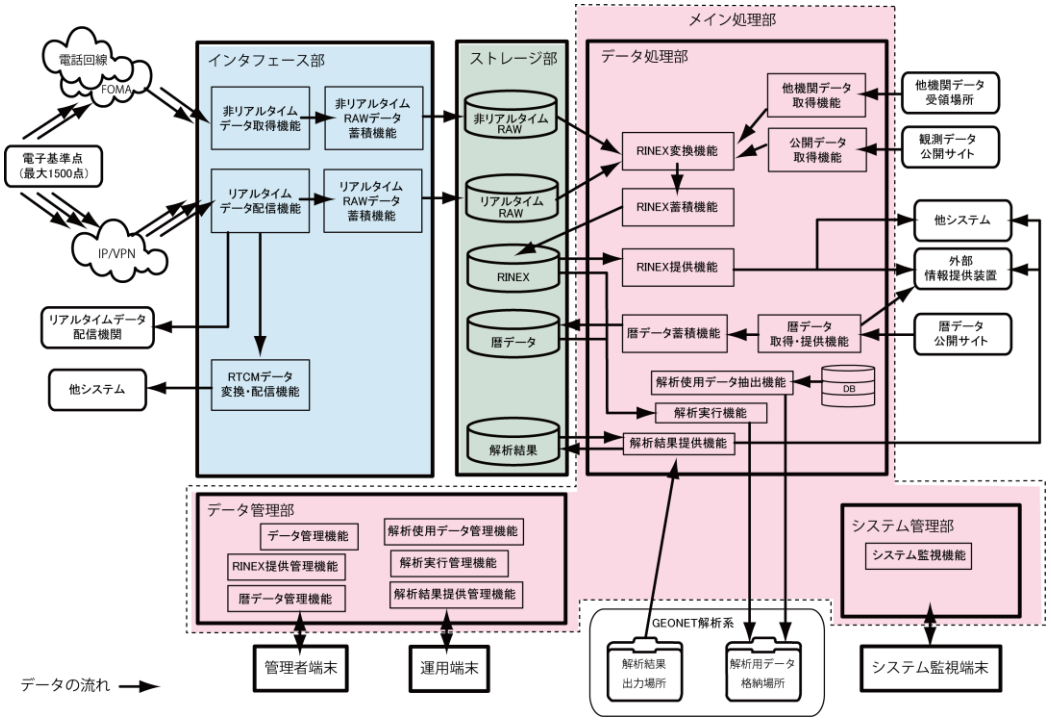


図-1　GATE の構成概略図

表-1　GATE で処理する測位衛星の周波数帯及び信号名

測位衛星	周波数帯	信号名
GPS	L1、L2、L5	L1、L2、L5 搬送波位相 L1C/A、L1C、L2P、L2C コード疑似距離 航法メッセージ 単独測位による観測点座標値 L1、L2、L5 搬送波の信号強度及びドップラーシフト量
GLONASS	L1、L2	L1、L2 搬送波位相 L1C/A、L2P コード疑似距離 航法メッセージ 単独測位による観測点座標値 L1、L2 搬送波の信号強度及びドップラーシフト量
QZSS	L1、L2、L5	L1、L2、L5 搬送波位相 L1C/A、L1C、L2C コード疑似距離 航法メッセージ L1、L2、L5 搬送波の信号強度及びドップラーシフト量

4. 結論

電子基準点の GPS 近代化計画への対応の一環として，GEONET 中央局において新しい周波数及びコードの収集，配信，変換処理及び品質チェックに対応したデータ収集・配信系の整備を行った．これにより，周波数の線形結合の種類が増え，長い基線ではアンビギュイティの決定率向上が期待され，Galileo との相互運用性など測位分野での活用が見込まれる．今後は GEONET の解析戦略を検討する際にどの周波数帯と信号を取り込むことが有効となるのか検証を行う必要がある．

参考文献

国土地理院(2011):平成 23 年度マルチ GNSS 解析技術等の開発にむけた衛星系の組合せに関する調査検討業務報告書，http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/gnss_main.html (accessed 20 Dec. 2012).

津波予測支援のための GEONET リアルタイム解析システムの全国対応等（第 3 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　矢萩　智裕　大島　健一
測地観測センター　宮川　康平　山口　和典
地理地殻活動研究センター
研究管理課　川元　智司

1. はじめに

国土地理院では，全国に約1,300点のGNSS連続観測施設（電子基準点）を設置し，リアルタイムに毎秒のGNSSデータを観測している．データ取得及び解析系まで含めた一連のシステムはGEONET（GNSS連続観測システム）と呼ばれ，GEONETで得られた観測データや解析結果等は，我が国の位置の基準を定める測量や地殻変動監視，高精度測位サービス等の幅広い分野で利用されており，現代社会を支えるインフラの一つとしての役割を担っている．防災面においても，これまでGEONETは地震や火山活動に伴う地殻変動の検出等で大きな貢献を果たしてきたが，平成23年東日本大震災後には，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た地殻変動結果による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（REGARD）の開発を進めている．

2. 研究内容

REGARDでは，GEONETで収集されたデータをRTKLIB 2.4.1（Takasu, 2011）をベースとした解析エンジンで処理し，”RAPiD”アルゴリズム（Ohta et al., 2012）又は緊急地震速報（Kamigaichi et al., 2009）をトリガーとして検知された地震発生に伴う各電子基準点の変位量を入力値として矩形断層モデルの即時自動計算（西村, 2010）を実行することで，地震規模を推定している．なお，RAPiDアルゴリズムには小林他（2012）による隣接観測点を用いて変動の有無を相互チェックするアルゴリズムを簡略化したものを組み合わせて実装している．平成24年度からは東北地方を中心とした143観測点によるプロトタイプ版を開発して連続稼動の試験運用を実施するとともに，過去の大規模地震時の観測データを利用したシステムの能力評価を行ってきた．平成25年度には解析範囲を全国の電子基準点に拡大するための改造を実施するとともに，解析システムを二重化する等により，冗長性の高いシステムを構築し，平成26年4月から本格運用に向けた試験を開始する予定としている．

3. 得られた成果

平成 25 年度の改造により，GEONET 中央局の 1 階及び 3 階にそれぞれ独立なシステムを構築することで二重化をはかり，冗長性の高い運用が可能となった．また，各システム内では,全国の電子基準点データをリアルタイムに処理できるようサーバを整備し，固定点をそれぞれ「稚内」,「小松」及び「福江」に取った３つのクラスターを並行で稼動させることにより，地震時の変動域にある固定点が含まれたとしても，別の固定点を基準として適切な変動量が算出できる仕様となっている．さらに，

各固定点についてそれぞれ予備固定点を登録し，なんらかの理由により固定点データが停止した場合でも自動に予備固定点に切り替わる仕様とすることで，観測の継続性を確保している．なお，これらの固定点及び予備固定点は任意に設定可能である．

同システムを地殻監視ツールとして本格運用する場合，特に地震発生直後に，担当職員以外でも容易に結果を閲覧・利用できる機能が重要となる．そこで，東北大学大学院理学研究科で開発中の可視化ツール（出町他，2013）を活用したリアルタイムでの解析結果表示機能及び過去の計算結果のブラウザでの閲覧機能を新たに追加した．これにより，院内からであれば，いつでも誰でも解析結果を閲覧することが可能となる．また，システムの起動や調整に係る運用面での負担を軽減するため，解析条件等の設定支援機能も追加されている．

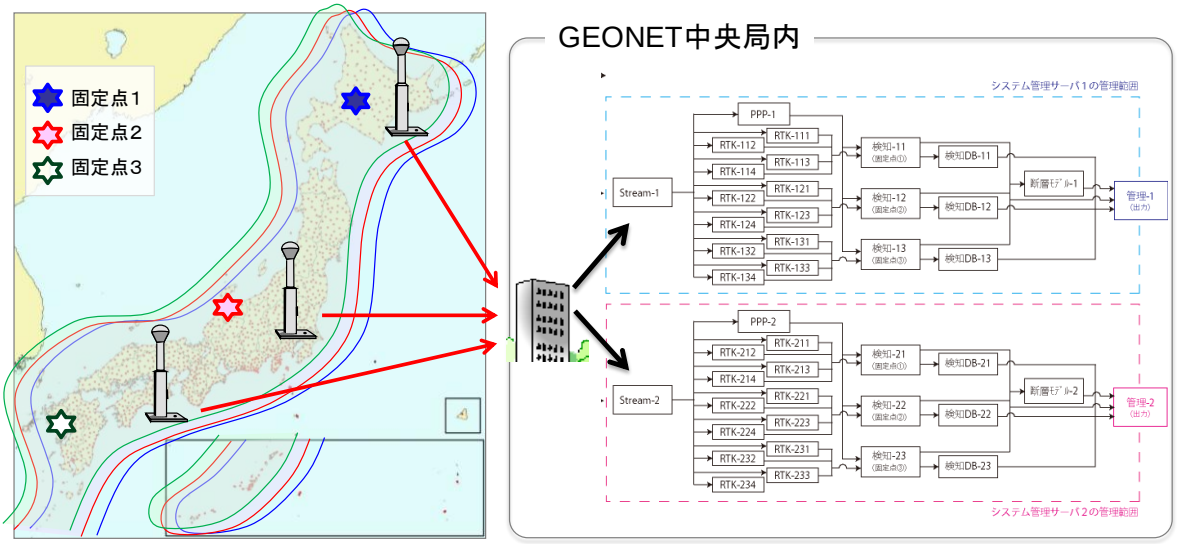


図-1　GEONET リアルタイム解析システムの全国対応及び冗長性増強後のシステムイメージ

4. 結論

平成 23 年度から開発を進めている GEONET のリアルタイム解析システムについて，全国の電子基準点を対象とした冗長性の高いシステムを構築した．また，実運用に向けて，誰でも解析結果に容易にアクセスするための閲覧支援機能，運用面での負担軽減のための設定条件支援機能等が追加された．

参考文献

Kamigaichi, O., M. Saito, K. Doi, T. Matsumori, S. Tsukada, K. Takeda, T. Shimoyama, K. Nakamura, M. Kiyomoto, and Y. Watanabe (2009) : Earthquake Early Warning in Japan: Warning the General Public and Future Prospects, Seis. Res. Lett., 80, 5, 713-722.

Takasu, T. (2011): http://www.rtklib.com/　（参照日：2013 年 3 月 11 日）

Ohta, Y., T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Miura, R. Hino, T. Takasu, H. Fujimoto, T. Iinuma, K. Tachibana, T. Demachi, T. Sato, M. Ohzono, and N. Umino: Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0), J. Geophys. Res., 117, B02311, doi:10.1029/2011JB008750.

小林竜也，太田雄策，三浦哲，日野亮太，藤本博己，出町知嗣，立花憲司（2012）：隣接観測点の情報を用いた RTK-GPS による地震時永久変位自動検知アルゴリズムの改良，測地学会誌，58，2，77-87.

西村卓也，今給黎哲郎，飛田幹男 (2010)：GPS リアルタイム 1 秒データを用いた震源断層即時推定手法の開発，国土地理院時報, 120, 63-73.
出町知嗣，太田雄策，三浦哲，立花憲司，佐藤俊也（2013）：リアルタイム GPS 解析結果可視化ツールの開発（序報），日本測地学会第 120 回講演会ポスター.