

# 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 2 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	川元 智司
測地観測センター	平井 英明

## 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 24 年度に行った業務は次の 5 つである。①複数周波数信号及び衛星系の組合せに関する技術開発、②マルチ GNSS 解析システムの詳細設計及びプロトタイプ開発、③衛星系及び受信機の技術仕様調査（衛星系、信号、受信機の最新情報の収集）、④ソフトウェアシミュレータの改良、⑤マルチ GNSS 解析に関する技術指針検討資料作成。

## 3. 得られた成果

ここでは、上記の研究内容のうち、①・②・⑤を報告する。

### (1) 複数周波数信号及び衛星系の組合せに関する技術開発

複数周波数の組み合わせに関しては、平成 23 年度の結果を踏まえ、L5 信号を含む解析の手法の検討を行った。その結果、解析手法の一つである「電離層推定+ILS (Integer Least Square)」において、3 周波解析では 2 周波解析と比較して測位性能は若干向上したが、大きな差異は見られなかった。

衛星系の組み合わせに関しては、GPS、GLONASS の衛星系間で位相差をとる“統合解析”を行う際に課題となる IFB (Inter Frequency Bias)、擬似距離・搬送波位相 ISB (Inter System Bias) について補正の必要性を確認し、その補正方法の検討を行った。その結果、IFB 及び擬似距離 ISB の安定性が確認され、これらのバイアスを受信機の組み合わせ毎に事前に推定した値で補正することにより“統合解析”が可能となり、安定した解が得られることが分かった。また、GPS と QZSS を併用した解析においては、擬似距離 ISB、L2C 搬送波位相 1/4 サイクルシフトについて補正の必要性を確認し、補正して解析を行った結果、Fix 率が大幅に上昇することが分かった。

### (2) マルチ GNSS 解析システムの詳細設計及びプロトタイプ開発

平成 23 年度に作成した基本設計書に基づき、平成 25 年度に開発予定であるマルチ GNSS 解析システ

ム（第1版）に向けた詳細設計書を作成中である。また、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) をベースとして、IFB, L2C 搬送波位相 1/4 サイクルシフト等の補正をして解析を行うことのできるマルチ GNSS 解析システムのプロトタイプを開発中である。

(3) マルチ GNSS 解析に関する技術指針検討資料作成

国土地理院短距離・長距離基線場において、GPS, QZSS, GLONASS のデータを取得し、RTKLIB (v.2.4.1) を用いて基線解析を行った。短距離基線については、衛星系の組み合わせ、受信機の組み合わせにおける解析結果に有意な差はなく、いずれの解析結果も測量機器検定基準で定められている許容範囲（水平：15mm, 高さ：50mm）内に収まった。長距離基線については、同機種受信機間では、全ての衛星系の組み合わせで Fix 解が得られたが、異機種受信機間では、GLONASS を含めた解析では Fix 解が得られなかった（表-1）。これは、RTKLIB (v.2.4.1) では GLONASS の IFB の補正ができないため、平成 23 年度に報告された IFB が原因であると考えられる。また、TOPCON-JAVAD 受信機間では、GPS の L2C 信号を含めると Fix 解を得ることができなかったが、GPS の L2C 信号を使用しない場合や GPS の L2P 信号を使用しない場合では Fix 解を得ることができたため、L2P(Y)信号と L2C 信号の搬送波位相間の 1/4 サイクルのずれが原因であると考えられる。この 2 点の問題については、平成 24 年度技術開発業務において補正方法の検討を行った。

表-1 長距離基線場における同機種/異機種受信機間の基線解析結果

受信機の組み合わせ	衛星	GPSのL2P(Y)とL2Cを併用			GPSのL2Cを使用しない			GPSのL2P(Y)を使用しない		
		dN(m)	dE(m)	dU(m)	dN(m)	dE(m)	dU(m)	dN(m)	dE(m)	dU(m)
JAVAD-JAVAD (No.13-No.1)	GPS	-0.007	-0.003	0.001	-0.007	-0.002	0.000	-	-	-
	GPS+QZSS	-0.007	-0.002	0.002	-0.007	-0.003	0.001	-	-	-
	GPS+QZSS +GLONASS	-0.007	-0.002	0.000	-0.006	-0.002	-0.001	-	-	-
TOPCON-JAVAD (No.13-No.2)	GPS	/	/	/	-0.003	-0.005	-0.001	/	/	/
	GPS+QZSS	/	/	/	/	/	/	0.009	0.005	0.008
	GPS+QZSS +GLONASS	/	/	/	/	/	/	/	/	/

測位方式：スタティック 基線長：11km エポック間隔：30 秒 観測時間：3 時間

表内の数字は公称成果値からのずれを、斜線は Fix 解が得られなかったことを、

「-」は解析を行わなかったことをそれぞれ示している。

4. 結論と今後の予定

GPS と GLONASS 及び GPS と QZSS の統合解析における課題を確認し、その解決方法の検討を行った。その結果、IFB, 疑似距離 ISB, L2C 搬送波位相 1/4 サイクルシフトを事前に推定した値で補正することにより、安定した解が得られることが分かった。平成 25 年度には、引き続き、残された課題である搬送波位相 ISB の安定性の確認・IFB 及び ISB の補正手法の確立等の技術開発、GLONASS を含めた統合解析・ISB の補正・L5 信号への対応等の機能を追加したマルチ GNSS 解析システム（第1版）の開発等を行う。

参考文献

T. Takasu : <http://www.rtklib.com/> (参照日：2013 年 3 月 15 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](http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/gnss_main.html) (参照日：2013 年 3 月 15 日)

# 電子基準点の GPS 近代化計画への対応に関する研究（第 9 年次）

実施期間	平成 16 年度～平成 24 年度		
測地観測センター地殻監視課	山尾 裕美	大島 健一	
	上野 智史	鎌苅 裕紀	

## 1. はじめに

測地観測センターでは GPS 近代化計画へ対応するために、平成 18 年度より電子基準点の受信機更新を計画的に進めており、P(Y)コードの保証がなくなる 2020 年（平成 32 年）末までには全点で GPS 近代化に対応させる予定である。また、GPS 近代化計画の一部である第 3 の周波数帯 L5 を採用することにより、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。一方、アンテナを L5 対応型に交換する必要があるため、地殻変動の連続監視への影響があることが懸念される。このため新しい L5 対応型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。昨年度までの研究により、L5 対応型チョークリングアンテナ（トプコン社製 TPSCR.G5、トリンブル社製 TRM59800.80）を用いて受信した L1 帯及び L2 帯のデータ品質は現行のアンテナで得られるデータ品質と同等であること、さらに現行のアンテナと比較し水平方向では解析結果がより安定し、鉛直方向についてはほぼ同程度の安定性が得られることが確認されてきた。

## 2. 研究内容

L5 対応型チョークリングアンテナ（トプコン社製 TPSCR.G5、トリンブル社製 TRM59800.80）を使用して既存の L1 帯、L2 帯と新たな L5 帯を受信し、各周波数帯における信号強度と擬似距離マルチパスの比較を行った。なお、GEONET（平成 24 年度時点）は L5 信号に未対応であったため、評価にあたっては実際の電子基準点で受信した信号ではなく、電子基準点に導入されているのと同じ機種を受信機とアンテナの組合せを用いて受信した信号で比較を行った。

## 3. 得られた成果

図-1 に同一の GPS 衛星から受信した L1, L2 (C・P), L5 の各搬送波電力雑音比 (C/NO) の仰角依存性を示す。L2 帯については L2C と L2P に分けて評価した。L5 帯では送信電力が大きいことから搬送波電力雑音比 (C/NO) が他の周波数帯より高い値が得られることが確認できた。なお、L2P が L2C より低くなるのは、AS (Anti Spoofing) による受信感度低下であると考えられる。

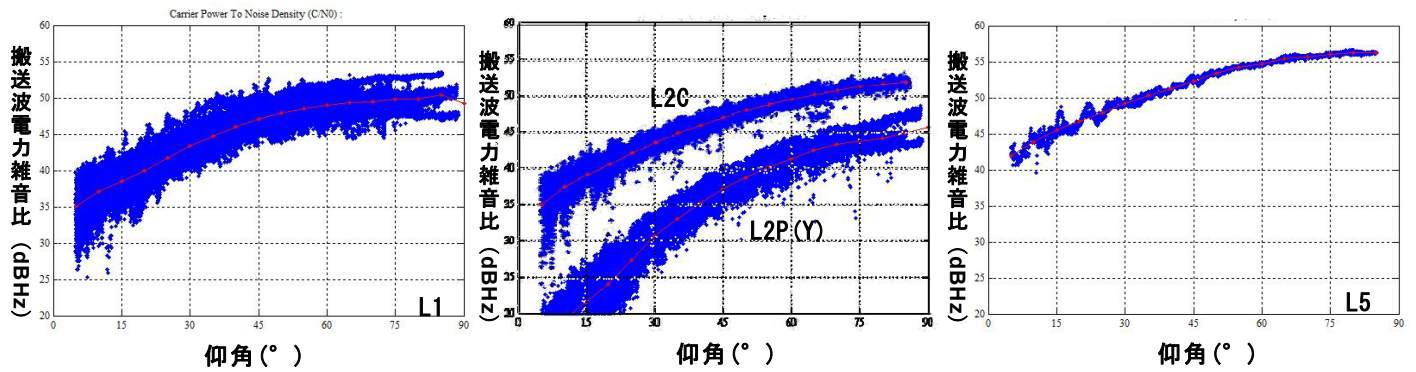


図-1 搬送波電力雑音比(C/NO)

図-2 に同一の GPS 衛星から受信した L1, L2 (C・P), L5 の擬似距離マルチパスを示す。マルチパスでは、搬送波電力雑音比 (C/NO) ほどの大きな改善は見られないが、L2P (Y) との比較では若干の改善が確認できた。

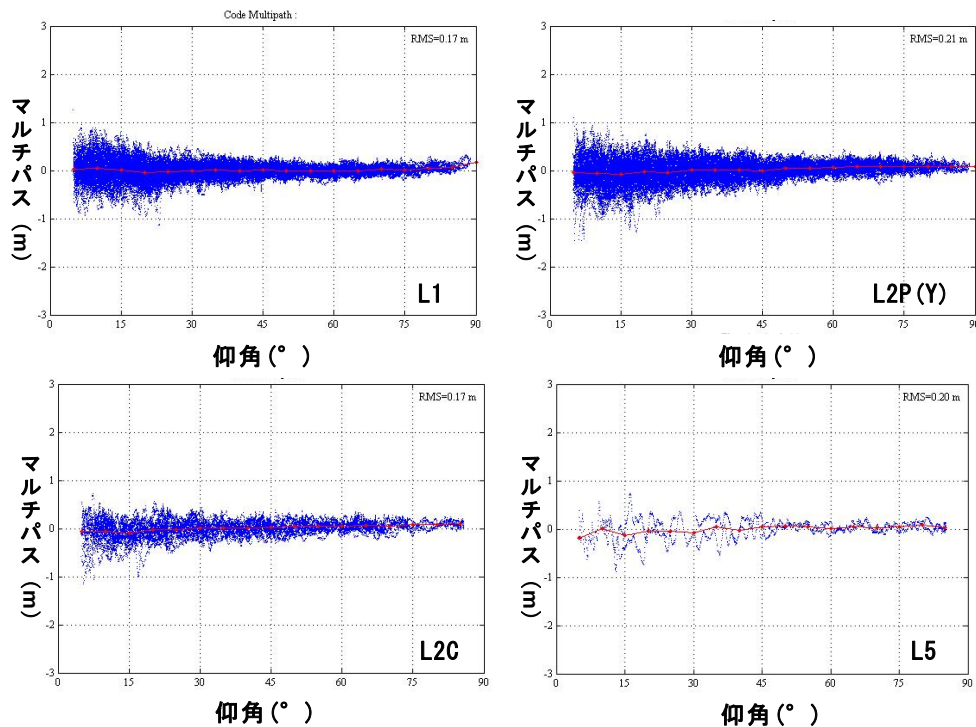


図-2 擬似距離マルチパス

#### 4. 結論

L5 帯が搬送波電力雑音比 (C/NO) において現在の L2P より優位であることが実際の電子基準点と同様の受信装置において確認できた。また、L5 帯が L2C と同等の性能であることも確認できた。

平成 24 年度に実施された電子基準点等の受信装置等の更新作業において、ほぼ全点で L5 対応型チョークリングアンテナ (トプコン社製 TPSCR.G5, トリンブル社製 TRM59800.80) への更新が完了した。今後 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組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](http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/gnss_main.html) (accessed 20 Dec. 2012).



# 津波予測支援のための GNSS リアルタイム解析に関する研究（第 2 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	川元	智司	
測地観測センター	宮川	康平	宮原伐折羅
測地観測センター衛星測地課	辻	宏道	山口 和典
	根本	悟	古屋 智秋
	酒井	和紀	

## 1. はじめに

国土地理院が運用している GEONET は、1240 点の電子基準点からなる GNSS 連続観測網である。電子基準点からはリアルタイムでのデータ取得が行われ、GEONET 中央局において処理が行われている。GNSS リアルタイム解析の防災利用については、短周期地震計では即時計測が不可能な巨大地震のマグニチュード算出に寄与することが指摘されている。例えば、2004 年スマトラ島沖地震の場合、GPS 解析を用いて地震発生から 15 分以内に正確な（モーメントマグニチュード ( $M_w$ ) 決定が可能で、津波警報初期値として利用可能であることが分かっている (Blewitt et al., 2006)。特に平成 23 年東北地方太平洋沖地震後には地震調査推進本部調査観測計画部会においても指摘を受け、大きくその期待が高まることとなった。

国土地理院では、GEONET 観測網データのリアルタイム解析（以下「GEONET リアルタイム解析」）を平成 14 年度に導入し、その後、細かな改造を実施してきた。しかし、解析可能な観測点数の制限、100km を超える長基線における解の不安定、地殻変動の自動検知機能の欠如などの欠点があり、地殻変動を日本全国広域にわたってリアルタイムで監視をするためには、解決すべき課題が多く残されていた。

これらの課題の解決を目指し、東北大学と東京海洋大学で開発された解析手法を用いて、平成 23 年度から国土地理院は東北大学との連携の下、津波予測支援のための GNSS リアルタイム解析のプロトタイプを開発している。

## 2. 研究内容

津波予測支援のための GNSS リアルタイム解析は、地震等により発生した変位場を即時に得るとともに、可能な限り早く地震の  $M_w$  を求め、情報発信することを主眼としている。現在実装されている主な機能を挙げる。解析エンジンには RTKLIB 2.4.1 (Takasu, 2011) を組み込み、これまでの GEONET リアルタイム解析の解析戦略を抜本的に変更した。さらに、地震発生に伴う変位は「RAPiD」アルゴリズム (Ohta et al., 2012) 又は緊急地震速報 (Kamigaichi et al., 2009) により検知され、矩形断層モデルの即時自動計算が実行される。RAPiD アルゴリズムは、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。このようにして得られた変位場は、西村他 (2010) の手法を用いて一枚の矩形断層で近似され、得られた  $M_w$  推定結果等は職員にメールで通知される。

## 3. 得られた成果

津波予測支援のための GNSS リアルタイム解析のプロトタイプを開発し、平成 24 年 4 月 6 日から東北地方の 143 観測点において試験運用を開始した。これは GNSS リアルタイム解析機能と RAPiD による変動検知機能のみが実装されたものであったが、平成 24 年度に実施した改造作業では、さらに断層モデルの即時推定機能と隣接観測点による相互チェック機能 (小林他 (2012) を単純化したもの) を追加した。

システムの地震規模即時推定機能の性能を評価するために、平成 23 年東北地方太平洋沖地震のデータを用いてシミュレーションを行った結果を図-1に示す。地震発生から約 3 分後で Mw 9.1 を算出していることが分かる。しかし、断層形状の推定結果は安定性が低く、今後これを改善することでさらなる Mw 推定結果の信頼性向上が見込まれる。

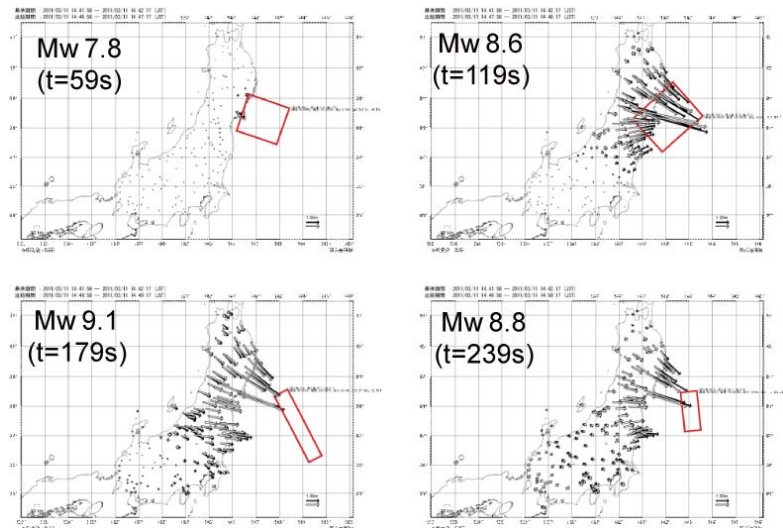


図-1 平成 23 年東北地方太平洋沖地震のデータを用いたシミュレーション結果。黒い矢印が観測値、白い矢印は推定した断層モデルによる計算値を示す。四角く囲ったのは推定された断層の位置。

#### 4. 結論

超巨大地震の規模推定に有効な GNSS 観測を用いた津波予測支援のための GNSS リアルタイム解析のプロトタイプを開発した。これを用いて平成 23 年東北地方太平洋沖地震の規模を推定したところ、おおよそ 3 分で Mw9.1 を推定することができた。

#### 参考文献

- Blewitt, G., C. Kreemer, W. C. Hammond, H. Plag, S. Stein, and E. Okal (2006) : Rapid determination of earthquake magnitude using GPS for tsunami warning systems, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L11309, doi:10.1029/2006GL026145.
- 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.
- 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.