

電子基準点のGNSS対応 Modernization of GEONET from GPS to GNSS

測地観測センター

辻宏道・宮川康平・山口和典・矢萩智裕・大島健一・山尾裕美・古屋智秋

Geodetic Observation Center

Hirofumi TSUJI, Kohei MIYAGAWA, Kazunori YAMAGUCHI, Toshihiro YAHAGI,
Kenichi OSHIMA, Hiromi YAMAOKA and Tomoaki FURUYA

要 旨

国土地理院は、全国でGPS衛星の連続観測を行う電子基準点を平成6年から運用している。平成25年5月10日、従来のGPS衛星に加え、電子基準点で観測した準天頂衛星及びGLONASS衛星のデータ提供を全国で開始し、我が国でも本格的なGNSS時代が始まった。本稿では、電子基準点のGNSS対応の背景や経緯、現在までに得られたGNSS利用の効果、今後の計画等について述べる。

1. はじめに

国土地理院では、現在、全国約1,300箇所に「電子基準点」と呼ばれる測位衛星の観測施設を設けて、連続観測を行い、我が国の位置の基準を定める測量や地殻変動観測を実施するとともに、一般の測量や高精度測位サービスのために観測データや解析結果を公表している。

平成25年5月10日、従来のGPS衛星に加え、電子基準点で取得した準天頂衛星及びGLONASS衛星の観測データの提供を全国で開始し、我が国でも本格的なGNSS (Global Navigation Satellite System) 時代が始まった。GNSSとは、GPSやGLONASSなどの各国の衛星測位システムを総称する用語である。

国内の電子基準点のネットワークと、そのデータを収集・解析・配信する中央局から構成されるシステム全体をGEONETと呼んでいる。従来のGEONETはGPSだけに対応したGPS Earth Observation Network systemであったが、一連のGNSS対応の進展により、GNSS Earth Observation Network systemに進化している。

本稿では、電子基準点のGNSS対応に至る背景や経緯について述べる。もちろん、これでGEONETのGNSS対応が完成したわけではなく、今後も解析システムの改良や新たなGNSSへの対応が続くため、最後の章は今後の計画となる。

2. 背景

2.1 インフラとしての電子基準点

GPS衛星の連続観測を行う電子基準点の本格的な整備は、平成5年に始まり、平成6年には約200点

から構成される初期の観測網の運用が始まった。当時の測量の基準座標系は日本測地系であり、衛星測位で得られる世界測地系の座標値は公的な測量には利用できなかったものの、日々の座標値の差から得られる地殻変動情報は、平成6年北海道東方沖地震、平成7年兵庫県南部地震をはじめとする大地震のメカニズム解明に貢献した。その後、電子基準点の増設、解析システムの統合・改良が行われ、平成15年には観測点数が1,200点となった(国土地理院測地観測センター, 2004)。この間、様々な地震や火山活動に伴う地殻変動を検出し防災情報として活用されるとともに、地震波の放出を伴わないスロースリップ現象の発見等により学術的にも貢献している(例えばSagiya, 2004; Nishimura et al., 2013)。

平成14年の改正測量法の施行により我が国でも世界測地系が採用され、電子基準点の測量成果(座標値)が利用できるようになった。30秒毎の観測データは、受信機に依存しない標準形式で公開され、広くGPS測量(相対測位)の基準データとして利用されるようになった。あわせて平成14年には1秒毎のリアルタイムデータも民間に開放され、位置情報サービス事業者がネットワーク型RTK測位のサービスを開始した。この方式は、後述の通り、利用者(移動局)のcm級の位置を、移動局で取得したGPSデータと周辺電子基準点データから計算した補正情報とを用いてリアルタイムで決定するもので、公共測量や工事測量、土地登記等に活用されるようになっている。

GPSデータは、衛星と受信機の間には存在する大気の影響を受けるため、逆に大気中の水蒸気量の分析にも役立つ。このような「GPS気象学」の研究成果を生かし、気象庁は平成21年10月からGEONETデータから求めた水蒸気量(可降水量)の天気予報業務への利用を開始した(気象庁・国土地理院, 2009)。また、GPSのL1(1575.42MHz)及びL2(1227.60MHz)信号を組み合わせると電離層の状態を調べることもできるので、GEONETは電離層研究のツールとしても活用されている(例えばSaito et al., 2002)。

このようにGPS連続観測を行う電子基準点は、今では我が国の測量、地殻変動観測、位置情報サービ

ス、天気予報、学術研究等を支えるインフラとして不可欠なものになったと言って過言ではない。

今まで電子基準点として設置した点数は 1,240 点であるが (図-1)、近年は測量利用者のニーズを踏まえ、地殻変動観測等のために設置した連続観測点も測量に利用できるよう測量成果 (座標値) の公開を行っている。このような点を含む広義の電子基準点は、平成 25 年 4 月 1 日現在、1,273 点ある。駿潮場等に設けた連続観測点 (40 点) についても測量に利用できないものがないか検討しており、広義の電子基準点の数は若干増える見込みである。



図-1 電子基準点の配置図。

2.2 GNSS への期待

GPS は米国の開発した衛星測位システムだが、旧ソ連は 1980 年代から米国に追随して GLONASS を開発してきた。また GPS の成功で衛星測位が社会的に重要なインフラであることが認識されると、2000 年頃から欧州が Galileo という独自の衛星測位システムの開発を始め、これに次いで我が国も GPS 補完機能を持つ「準天頂衛星システム」(QZSS) の開発を開始した。こうした各国の努力により、多数の衛星測位システムが利用できる GNSS 時代の到来が期待されていた (辻, 2010)。

従来の GPS に加え、これらの GNSS を利用すると、同時に観測できる衛星数が増えるため、ビルや樹木等の障害物によって衛星信号が受信しにくい都市部や山間部でも測量できる場所が広がる。また新たな

周波数帯 L5 (1176.45MHz) の信号が増えることにより、より短い時間での測量が可能となることも期待される。このため利用者からは測量のインフラである電子基準点において早く GPS 以外の GNSS にも対応してほしい、との要望が寄せられていた。

電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会 (以下、「協議会」という.) は、電子基準点リアルタイムデータの利活用と普及推進を目的に、平成 13 年に設立された民間団体であり、測量会社、受信機メーカー、位置情報サービス事業者、通信事業者、大学等から構成される。同協議会が、平成 22 年 6 月に国土地理院に提出した要望書では、電子基準点の GNSS 化により、以下のようなことが期待されている (電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会, 2010)。

- 1) 衛星測位による利用エリアが広がり、利用可能時間もふえる。
- 2) GNSS 受信機購入意欲が増し、市場の活性化が図れる。
- 3) 建設 ICT での利用促進が見込まれる。(特に山間部の現場において)
- 4) 都市部での移動体の高精度測位が可能となり、モバイルマッピングシステム等による 3D 地図が容易に作成でき、3D 地図利活用も促進される。
- 5) 独自の GNSS 局を設置することなく、国内広域で GNSS 測位が可能となり、GNSS 測位の利活用が促進される。

ここでの衛星測位は、電子基準点データを活用して行うものなので、カーナビ等で用いられる単独測位というよりも、cm 級の精度を持つキネマティック測位を主に指している。このキネマティック測位をリアルタイムで行うのが RTK (Realtime Kinematic) 測位である。RTK には、1) 利用者が現場に自分で基準局を置き、そこから移動局にデータを無線伝送する方式と、2) 周辺の電子基準点データから生成された補正情報を移動局において携帯電話等で受信して測位するネットワーク型 RTK がある (図-2)。

リアルタイムで cm 級の精度を得るためには、同時に観測できる衛星数が 5 機以上必要とされる。このため、工事現場でブルドーザー等の建設機械のコントロールやガイダンスを行う情報化施工 (建設 ICT) では、山間部など観測条件が悪い場所でも困らないよう、GPS と GLONASS データを併用する RTK が先行的に普及していた。もし電子基準点でも GLONASS データが利用できれば、利用者が自分で基準局を設置する必要がなくなるため、情報化施工関係者から電子基準点の GNSS 対応について強い要望があり、要望書に反映されたものである。

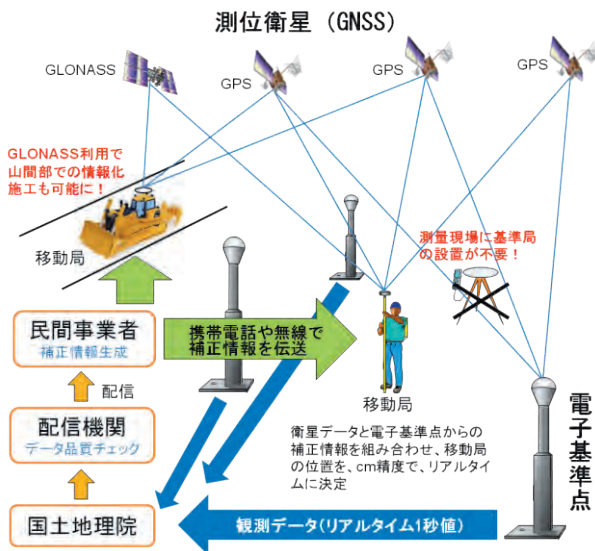


図-2 ネットワーク型 RTK 測位の仕組み。

3. 電子基準点のGNSS対応

3.1 当初計画

国土地理院の平成21年頃の更新計画では、米国の進めるGPS近代化計画により現行のGPS受信機ではL2P信号が受信できなくなる平成32年までに、全点で次世代GPSに対応した受信機を導入することを目標とした(辻, 2009)。幸い、平成20年度補正予算と平成21年度予算により、老朽化した受信機(450点)の更新が可能となり、その後は毎年80点の更新を10年間継続し、平成31年までに全点でGNSS対応を完了させる長期計画とした。GPS近代化で追加されるL5信号の受信にはアンテナ更新も必要だったが、その更新時期は未定であった。

平成22年9月には我が国の準天頂衛星初号機「みちびき」が無事打ち上げられ、またロシアのGLONASSについても衛星配備が完了し、利用者ニーズも確認された。このため電子基準点では、近代化GPS、Galileoに加え、準天頂衛星、GLONASSについても対応することとしたが、全点でGNSS対応できるのは、やはり平成31年の予定であった。

3.2 東日本大震災を踏まえた更新の前倒し

平成23年東北地方太平洋沖地震の発生は、この状況を一変させた。M9.0という未曾有の巨大地震がもたらした地殻変動をGEONETは詳細に記録し、防災や地震調査、測量成果改定に貢献した(Nishimura et al., 2011; 水藤ほか, 2011; Yamagiwa et al., 2012)。

携帯電話網による通信二重化や無停電装置の強化により、東北地方の電子基準点網の運用停止は防災直後に限られたが、それでも停電や通信遮断により地震前後の貴重なデータの一部が失われる事態となった(大島ほか, 2011)。

このため、東日本大震災で被害を受けた電子基準点を復旧するとともに、防災上重要な地殻変動観測を継続的に実施するため、平成23年度補正予算により電子基準点の受信機・アンテナの更新等が認められた。この結果、ほぼ全ての電子基準点の機器更新が平成24年度末までに実施できることになった。ただし、GNSSデータの収集・配信を行うシステムの開発には一定期間を要するため、平成24~25年度に行うこととした。この段階で、電子基準点のGNSS対応は平成26年に前倒しされたことになる。

その後、さらに震災復興を支援するため、機器更新が完了した地域から準天頂衛星及びGLONASSデータの提供を順次行うこととした。この結果、平成24年7月から東北地方を中心とする電子基準点187点、平成25年4月から東日本全域を含む541点、そして同年5月から全国の電子基準点について、準天頂衛星及びGLONASSデータの提供を開始し(図-3)、予定通り電子基準点の高度化が進んだ(図-4)。

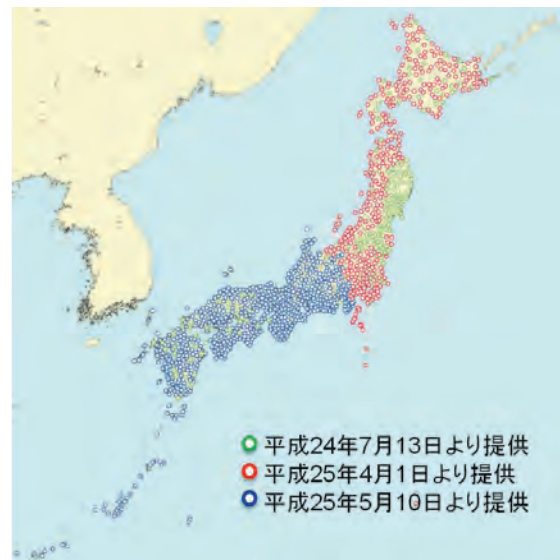


図-3 GNSSデータの提供開始状況。東日本大震災を踏まえ、東北地方の電子基準点の更新及びGNSSデータ提供を先行させた。

3.3 更新後の観測機器

平成25年4月の時点で、広義の電子基準点で利用している受信機・アンテナは表-1の通りである。諸般の事情で沖ノ島及び福島第一原子力発電所周辺では更新が完了できず、点数の合計は前出の数値と若干異なる。いずれの受信機も、近代化GPS(L2C含む)、準天頂衛星(L2C, L5含む)、GLONASS, Galileoの信号に対応している。アンテナTRM59800.80は、従来利用していた2周波チョークリングアンテナTRM29569.00の増幅器を3周波対応に換装したもので(図-5)、L5対応型チョークリングアンテナTRM59800.00と同等な特性を持つ。

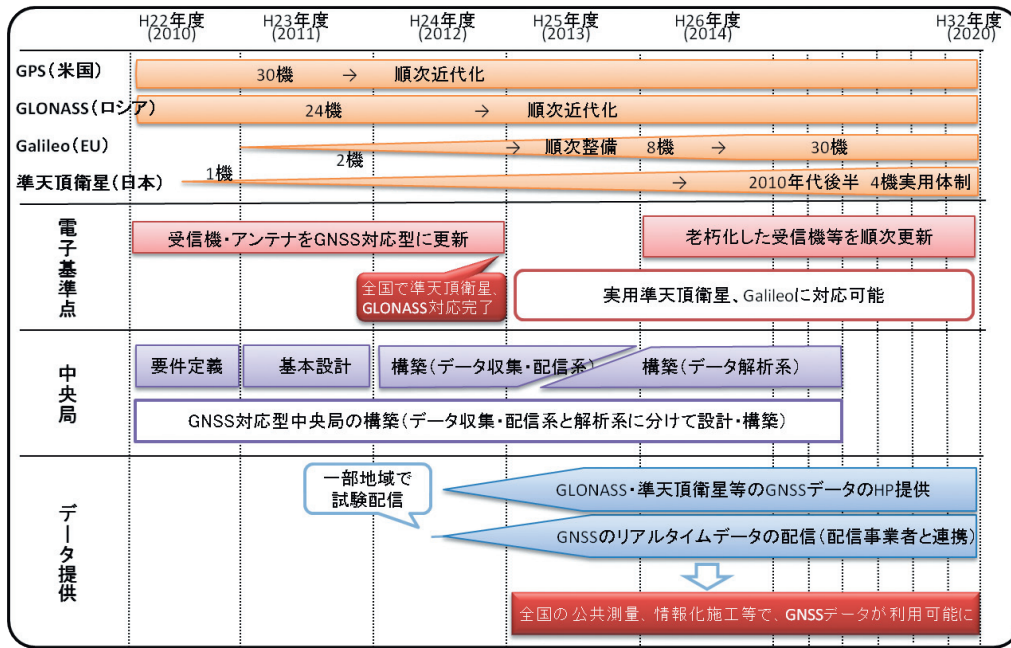


図-4 電子基準点の高度化に関する工程.

表-1 更新後の GNSS 観測機器 (平成 25 年 4 月現在).

GNSS 受信機	3 周波アンテナ	点数
Trimble NetR9	Trimble TRM59800.80	800
Trimble NetR9	Trimble TRM59800.00	3
Topcon NET-G3A	Trimble TRM59800.80	19
Topcon NET-G3	Topcon TPSCR.G5	448

表-2 国土地理院 HP で提供する 3 種類のファイル.

衛星系	フォーマット	周波数
GPS	RINEX ver.2.10	L1, L2
GPS+GLONASS	RINEX ver.2.10	L1, L2
GPS+GLONASS +準天頂衛星	RINEX ver.2.12 準天頂衛星拡張版	L1, L2, L5



図-5 更新作業中のアンテナ (左) と GNSS 受信機 (右).

3.4 提供データ

平成 25 年 4 月 1 日から施行された公共測量の「作業規程の準則」では、GLONASS や準天頂衛星を GPS と併用する方式が可能である (国土地理院企画部技術管理課, 2013). これらの公共測量に使用できる電子基準点の観測データは、国土地理院 HP からダウンロードできる (<http://terras.gsi.go.jp/ja/index.html>).

様々な利用者を想定し、表-2 に示す 3 種類のデータファイルを提供している. いずれも 30 秒毎の観測データと放送暦を標準フォーマット (RINEX) に収納したものである. 最近、準天頂衛星に正式対応した RINEX ver.3.02 が公開されており、平成 26 年度から対応する予定である.

これらの RINEX データの平成 25 年 6~9 月における利用状況を調べたところ、主として測量技術者が利用する HP 画面からは毎月平均 2 万 3,000 のファイルがダウンロードされていたが、このうち GLONASS を含むものは 3,000、準天頂衛星を含むものは 300 と、利用はまだ少なかった. 一方、主として研究者が利用する FTP からは毎月平均 785 万のファイルがダウンロードされ、GLONASS を含むものは 4 万、準天頂衛星も含むものは 8 万となっている. GNSS データは、まだ提供が始まったばかりで、今後の利用の普及が期待される.

3.5 リアルタイムデータ

平成 14 年 5 月から電子基準点 200 点において 1 秒毎のリアルタイムデータの取得を開始し、同年 6 月には 645 点に、10 月には 931 点に順次拡大した. 現在では離島や山間部を除く 1,220 点の電子基準点について、1 秒毎の観測データをリアルタイムで収集している. このデータは地震や火山活動が発生した場合の緊急解析に利用される他、30 秒値に間引かれて前述の RINEX データの源泉となっている. また、配信機関を通して、ネットワーク型 RTK の補正

情報を生成する民間事業者にリアルタイムで提供され、位置情報サービスにも活用されている。なお、上記以外の観測点では、ISDN、携帯電話、衛星携帯電話回線等により、30秒毎の観測データを定時に収集している。

当初リアルタイムデータのフォーマットは受信機メーカー固有の形式(RT17, JPS)を利用していたが、平成21年度、米国のGPS大学連合が開発したメーカーに依存しない標準フォーマットBinexに移行した(UNAVCO, 2011)。航法分野の標準としてはRTCM SC104の方が普及しているが、まだ準天頂衛星システムに対応していないこと、Binexの方が観測値の有効桁数が大きいこと等から、Binexでの提供を続ける予定である。

さて、データ提供前倒しの最後の障害となったのは、リアルタイムデータの遅延現象であった。リアルタイムデータは、Binexのストリームで配信機関を通して民間事業者に提供される(図-6)。各電子基準点との通信は64kbpsのIP-VPN(広域IP網を経由する仮想私設通信網)を利用している。GPSの観測データ量は3kbps以下であり、これに準天頂衛星やGLONASSを加えても7kbps程度なので、当初は特段の問題はないと考えていた。しかし、受信機更新が進んでGNSSの試験配信を進めるにつれ、リアルタイムデータの遅延時間の増加が問題となった。

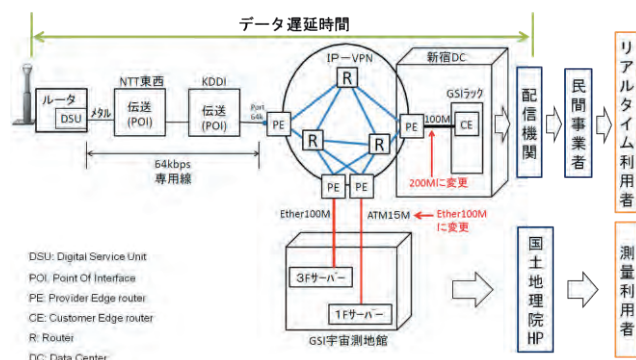


図-6 電子基準点の観測データが利用者へ届くまで。

各電子基準点で毎正秒に観測された信号(パケット)には正確な時刻情報があるので、配信機関のサーバーに到着した時刻と比較することにより、データを提供するまでに要した遅延時間を測定できる。配信機関ではサーバーの時刻を専用のタイムサーバーで校正しており、遅延時間の精度は0.1秒よりも良いと考えられる。

GPSだけの時代、遅延時間は0.3秒程度であったが、GNSS対応によりデータ量や試験配信する観測点が増えるにつれ、数時間の周期で遅延時間が1秒

近くまで徐々に増大する現象や、データ再送のため1秒を超える遅延が生じる観測点が発生するに至った。このためデータ伝送の経路を点検し、通信サーバーの転送プログラムに潜んでいたバグを修正するとともに、毎正秒時に集中するデータを分散させるソフトウェア的な対策を施した。この結果、平均的な遅延時間は0.2~0.3秒程度となり、平成25年5月までに全点での配信が可能となった。

ただし、まだ一部の観測点で1秒を超える遅延が時折発生することがある(図-7)。この程度の遅延でネットワーク型RTKのサービスに影響が出ることはないが、原因を調査中である。興味深いことに、異常がない時の遅延時間は各電子基準点と配信機関サーバー(新宿)との距離に余り依存しない。これはIP-VPN内での遅延時間が十分に小さいからであろう。

電子基準点のリアルタイムデータは、今後ネットワーク型RTK-GNSSだけでなく、実用準天頂衛星システムから配信される測位用補強信号の生成にも利用される予定であり(内閣府, 2012)、データの遅延時間も重要な品質項目となる。平成25年度には全国の電子基準点データが集まるKDDI新宿データセンター内の通信サーバーや回線を増強し、より信頼性の高いリアルタイムデータの提供を目指すこととしている。

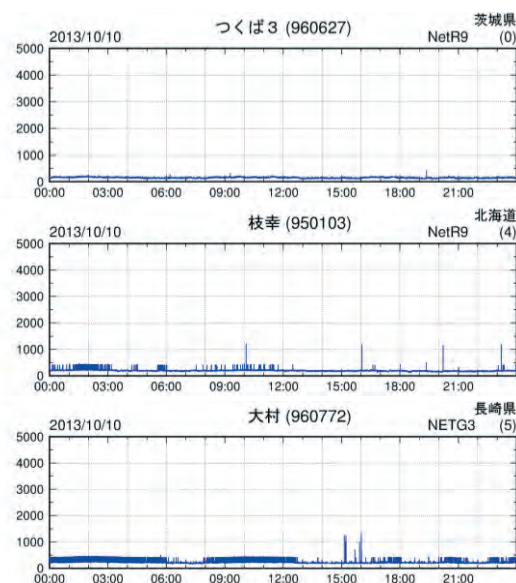


図-7 リアルタイムデータの遅延の例(平成25年10月10日)。横軸は世界時、縦軸は遅延時間(ms)。通常は「つくば3」のように遅延時間は0.2秒程度だが、観測点によって1秒を超える遅延が時折発生することがある(中段、下段)。

4. GNSS 対応の効果

4.1 基線解析による精度検証

GPS に準天頂衛星や GLONASS を併用した場合の測量の精度について、電子基準点等のデータを用いて簡単な分析を行った。

まず平成 24 年 9 月 20 日に取得した東北地方の電子基準点データと放送暦を用いて、10~30km の同一機種間の基線 16 本について、解析ソフトウェア RTKLIB ver.2.4.1 (Takasu, 2011) による 30 秒間隔のキネマティック解析を行った (古屋ほか, 2012)。GLONASS を併用した場合、GPS だけに比べ座標値の 1 日分の標準偏差は 1~3 割減少した (表-3)。これは衛星数の少ない時間帯における測位のばらつきが改善されることの効果と考えられる (図-8)。準天頂衛星の併用効果は、衛星数が 1 つしかないため、それほど顕著ではないが、解析に用いる衛星の最低仰角を上げる、つまり観測条件を悪くするにつれ、併用の効果は大きくなった (図-9)。

さらに準天頂衛星の併用効果について、平成 24 年 11 月 26 日に長距離 GNSS 比較基線場で取得した観測データ及び平成 25 年 5 月 10 日に取得した電子基準点データを用いて行った。解析ソフトウェアには、RTKLIB ver.2.4.1 をベースに国土地理院で改良を加えた GSILIB プロトタイプを利用した (古屋ほか, 2013a)。図-10 は、比較基線場 (距離 11km) において異機種間で 3 時間分のキネマティック解析を行った事例である。表-4 は、稚内、秋田、つくば、大阪、高知周辺の電子基準点 (同一機種) 間の 36 基線 (10~70km) において、キネマティック基線解析を行った際の標準偏差を示したものである。準天頂衛星を GPS と併用しても系統的な誤差は生じな

いこと、最低仰角を 30° に設定した場合は、準天頂衛星の利用により整数値バイアスのフィックス率が向上したり、上下方向のばらつきが改善されていることがわかる (古屋ほか, 2013b)。

観測条件の良い場所では GPS だけでも十分な精度が得られるが、GNSS の併用により観測条件の悪い場所でも同等以上の精度が確保できることがポイントと考えられる。スタティック測位における観測時間の短縮効果については、今後検討を深めたい。

表-3 電子基準点間のキネマティック基線解析の結果。平成 24 年 9 月 20 日に東北地方の 16 基線で求めた各成分の標準偏差の平均。最低仰角は 15°。

基線成分	GPS だけ	GPS+GLONASS	GPS+準天頂衛星
東西	8.6 mm	7.7 mm	8.6 mm
南北	12.2 mm	8.7 mm	11.4 mm
上下	30.3 mm	25.7 mm	31.2 mm

表-4 電子基準点間のキネマティック基線解析の結果。平成 25 年 5 月 10 日 (14:00~20:00 UT) に全国の 36 基線で求めた各成分の標準偏差の平均。

最低仰角	基線成分	GPS だけ	GPS+準天頂衛星
15°	東西	6.8 mm	6.7 mm
	南北	8.8 mm	9.2 mm
	上下	24.5 mm	25.4 mm
30°	東西	7.8 mm	7.0 mm
	南北	11.9 mm	11.5 mm
	上下	45.6 mm	42.5 mm

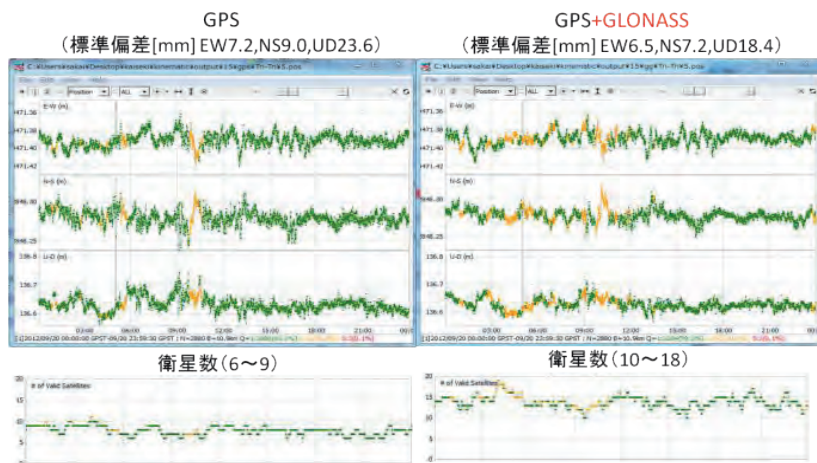


図-8 電子基準点間 (小野田~色麻, 距離 11km) のキネマティック基線解析の時系列 (1 日分)。左: GPS だけ。右: GLONASS を併用。最低仰角は 15°。

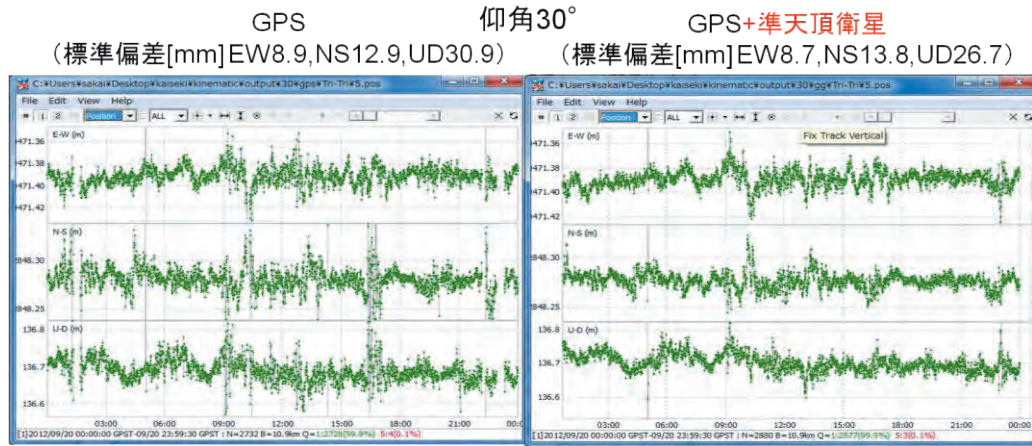
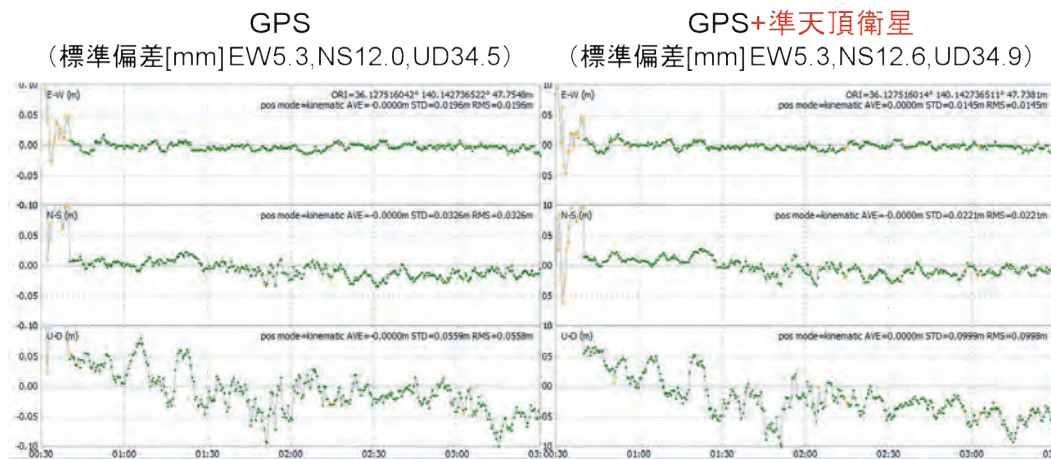
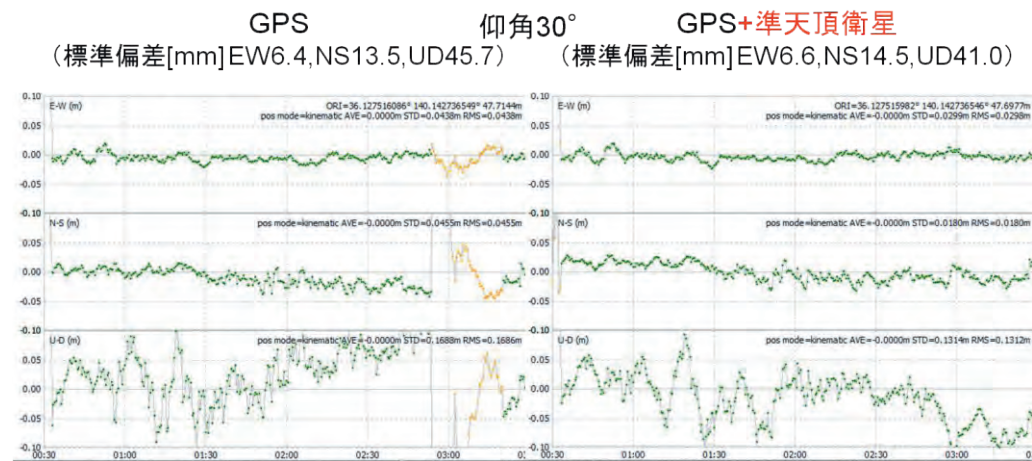


図-9 電子基準点間（小野田～色麻）のキネマティック基線解析の時系列（1日分）。左：GPS だけ。右：準天頂衛星を併用。最低仰角は 30° に変更。



Fix率 93.6%

Fix率 92.2%



Fix率 83.7%

Float解

Fix率 98.1%

図-10 比較基線場（距離 11km）におけるキネマティック基線解析の時系列（3時間分）。左：GPS だけ。右：準天頂衛星を併用。上：最低仰角 15°。下：最低仰角 30°。

4.2 マルチ GNSS 実証実験

前出の協議会では、平成 23～24 年度に試験配信された電子基準点の GLONASS データを用いて、北海道・東北・関西地方で、ネットワーク型 RTK-GNSS の実証実験を行った。GLONASS を用いると同時に観測できる衛星数が増え、24 時間安定して測位できることが確認された（電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会, 2013）。実際のネットワーク型 RTK においても GLONASS の併用により、高さ方向の安定性が向上している点が注目される。

4.3 情報化施工での活用

平成 24 年 10 月、試験配信中の電子基準点 GLONASS データを利用したネットワーク型 RTK が、東日本大震災復興のための三陸縦貫自動車道の工事現場で、情報化施工に活用され、「GNSS 対応の電子基準点のおかげで衛星からの受信制約も大幅に改善された。」と評価された（福川, 2012）。

国土交通省が平成 25 年 3 月にとりまとめた情報化施工推進戦略でも、「電子基準点を利用したネットワーク型 RTK 法による衛星測位技術は、今後 GPS 衛星以外の測位衛星の併用により、測位可能な時間と場所の増大と安定性の向上が期待されている。ネットワーク型 RTK 法では、施工現場毎に設置している基準局が不要となるなどのメリットがあるため、情報化施工での活用の拡大が期待されている技術である。」としている（情報化施工推進会議, 2013）。

現在、ネットワーク型 RTK 測位のサービスを行っている事業者は、株式会社ジェノバと日本 GPS データサービス株式会社の 2 社である。いずれも平成 25 年 5 月から GLONASS も用いるネットワーク型 RTK のサービスを開始している。既に 3 分の 1 程度の利用者が GLONASS データを試用したとの報告もあり、今後情報化施工分野での利用拡大が期待される。サービスの内容や連絡先は、前出の協議会 HP を参照されたい（<http://www.jsurvey.jp/pcrg/kyougikai.htm>）。

5. 今後の計画

電子基準点の受信機については、現在利用できる GNSS への対応は完了したものの、今後登場する新たな GNSS への対応が必要となる。Galileo の複数の信号や、近代化 GLONASS の CDMA 信号等については利用者ニーズをよく調べて検討する必要がある。アンテナについては既に L5 帯の周波数に対応済みのため、当面更新の必要はない。

データ収集・配信については、平成 24 年度からマルチ GNSS に対応した新たなシステムを開発しており、GATE (Gather and Transfer Engine) と呼んでいる。平成 25 年度も回線等の増強に努め、将来的に実用準天頂衛星システムの補強データ生成の源泉とし

ても利用できるような高い信頼性を確保していく。

データ解析については、まず東日本大震災を契機に津波予測支援のために開発中の電子基準点の常時リアルタイム解析 (Ohta et al., 2013) において、準天頂衛星や GLONASS の利用を検討する。また、最高精度を追求する地殻変動監視のための定常解析についても、別途進めている国土交通省総合技術開発プロジェクト (国土地理院, 2013) によるマルチ GNSS 解析技術を活用しつつ、精度向上等を図る。

利用できる測位衛星が GPS だけに限られていた時代は、受信機・アンテナや解析ソフトウェア、そして GEONET のシステムも今から思えば実にシンプルであった。GPS 以外の GNSS が増えることで、取り扱うデータの量や種類、それらの組み合わせが複雑多岐に渡るようになり、利用者側の使いこなしは以前よりも難しくなると思われる。しかし 100 機以上の測位衛星データが利用できる GNSS 時代ならではの新たな利用の展開が期待される。国土地理院は、今後も電子基準点の高度化をはじめ、GNSS を賢く測量や測位に使うことができる環境の整備に努めていく。

謝辞

GNSS データの早期提供には、電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会、日本測量協会、日立造船株式会社の協力が不可欠であった。GSILIB プロトタイプの解析では、国土地理院部外研究員の阿部直宏氏の協力を得た。ここに記して感謝する。

(公開日：平成 25 年 11 月 5 日)

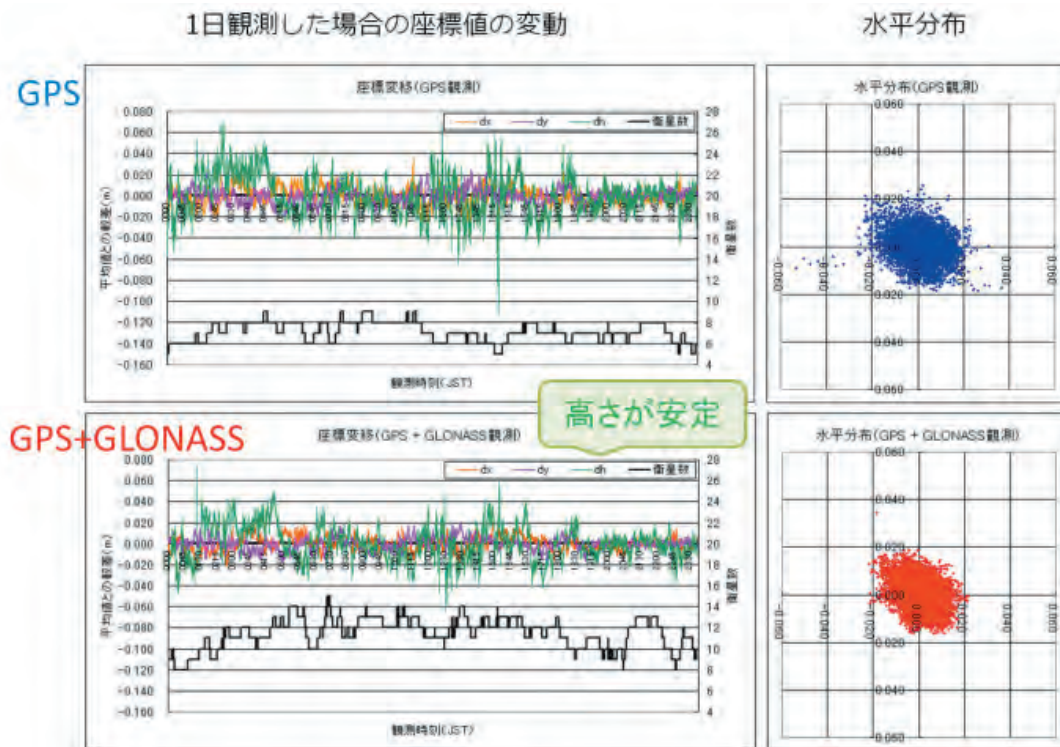


図-11 実証実験結果の事例。ジェノバの仮想基準点方式（VRS）による1日分の時系列（最低仰角 15° ）。グリッドは2cm間隔（電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会，2013，p.24に加筆）。

参考文献

- Nishimura, T., H. Munekane, and H. Yarai (2011) : The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks observed by GEONET, Earth Planets Space, 63, 631-636.
- Nishimura, T., T. Matsuzawa, and K. Obara (2013) : Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough, southwest Japan, using GNSS data, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 118, 6, 3112-3125.
- Ohta, Y., S. Miura, R. Hino, T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Kawamoto, K. Miyagawa, T. Yahagi, K. Yamaguchi, H. Tsuji, and T. Nishimura (2013) : Real-time crustal deformation monitoring based on RTK-GPS: Application to 2011 Tohoku earthquake and its improvement for implementation to actual GPS network, IAG Scientific Assembly 2013, Potsdam, Dorint Hotel, September, 2013.
- Sagiya, T. (2004) : A decade of GEONET: 1994-2003 -The continuous GPS observation in Japan and its impact on earthquake studies-, Earth, Planets and Space, 56, 29-41.
- Saito, A., M. Nishimura, M. Yamamoto, S. Fukao, T. Tsugawa, Y. Otsuka, S. Miyazaki, and M.C. Kelly (2002), Observations of traveling ionospheric disturbances and 3-m scale irregularities in the nighttime F-region ionosphere with the MU radar and a GPS network, Earth, Planets and Space, 54, 31-44.
- Takasu, T. (2011) : RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, <http://www.rtklib.com/rtklib.htm> (accessed 11 Oct. 2013).
- UNAVCO (2011) : BINEX: Binary Exchange Format, <http://binex.unavco.org/binex.html> (accessed 11 Oct. 2013).
- Yamagiwa, A., Y. Hiyama, T. Yahagi, H. Yarai, T. Imakiire, and Y. Kuroishi (2012) : Revision of the results of control points after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, FIG Working Week 2012, May 7, 2012, Rome.
- 大島健一，三浦優司，影山勇雄，古屋有希子，矢萩智裕，丸山一司（2011）：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震によるGPS観測施設・験潮場の被災状況及び復旧対応，国土地理院時報，122，113-125.
- 気象庁・国土地理院（2009）：国土地理院電子基準点観測データ（GPSデータ）の活用による気象庁メソ数値予報の改善について～水蒸気データを取りこむことにより，予報精度が向上します～，報道発表資料，

- http://www.jma.go.jp/jma/press/0910/27a/MSM_GPS.pdf (accessed 11 Oct. 2013).
- 国土地理院 (2013) : 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 11 Oct. 2013).
- 国土地理院企画部技術管理課 (2013) : 公共測量作業規程準則における公共測量での GNSS の利用方法とその技術的背景, 写真測量とリモートセンシング, 52, 3, 110-113.
- 国土地理院測地観測センター (2004) : 電子基準点 1200 点の全国整備について, 国土地理院時報, 103, 1-51.
- 情報化施工推進会議 (2013), 情報化施工推進戦略 ~「使う」から「活かす」へ, 新たな建設生産の段階へ挑む!!~, 平成 25 年 3 月 29 日, <http://www.mlit.go.jp/common/000993270.pdf> (accessed 11 Oct. 2013).
- 水藤 尚, 西村卓也, 小沢慎三郎, 小林知勝, 飛田幹男, 今給黎哲郎, 原慎一郎, 矢来博司, 矢萩智裕, 木村久夫, 川元智司 (2011) : GEONET による平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地震時の地殻変動と震源断層モデル, 国土地理院時報, 122, 29-37.
- 辻宏道 (2009) : 国土を支える位置情報の基盤—電子基準点の現在と未来—, 第 38 回国土地理院報告会資料, 11-16, <http://www.gsi.go.jp/common/000048811.pdf> (accessed 11 Oct. 2013) .
- 辻宏道 (2010) : GPS/GNSS の歴史と社会的背景, GPS ハンドブック, 付録 A1, 朝倉書店, 400-413.
- 電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会 (2010), 電子基準点の GNSS 化について (ご要望), http://www.jsurvey.jp/pcrg/kyougikai.files/youbou_01.pdf (accessed 11 Oct. 2013) .
- 電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会 (2013) : マルチ GNSS 実証実験結果報告書, 平成 25 年 1 月, 172pp.
- 内閣府 (2012) : 準天頂衛星システムの運用等事業業務要求水準書 (案), http://www.cao.go.jp/chotatsu/eisei/hoshin/1209_shiryo1.pdf (accessed 11 Oct. 2013).
- 福川光男 (2012) : 第 11 回国土交通省情報化施工推進会議, 資料 4, 平成 24 年 10 月 19 日, <http://www.mlit.go.jp/common/000227614.pdf> (accessed 11 Oct. 2013).
- 古屋智秋, 酒井和紀, 辻 宏道, 川元智司, 豊田友夫, 森下 一, 矢萩智裕, 平井英明, 石川典彦, 根本 悟, 宮川康平, 宮原伐折羅, 畑中雄樹, 宗包浩志 (2012), マルチ GNSS による高精度測位技術の開発, 日本測地学会第 118 回講演会要旨集, 53-54.
- 古屋智秋, 酒井和紀, 万所求, 辻宏道, 宮川康平, 畑中雄樹, 宗包浩志, 川元智司 (2013a) : GNSS 解析ソフトウェアのマルチ GNSS 対応, 写真測量とリモートセンシング, 52, 4, 159-164.
- 古屋智秋, 酒井 和紀, 万所求, 辻 宏道, 山口 和典, 川元 智司, 宮川 康平, 矢萩 智裕, 畑中 雄樹, 宗包浩志 (2013b) : 準天頂衛星の測量利用に向けた取り組み, 第 57 回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2013-4496.