3. 電子基準点のGNSS対応の現状と計画

Status of Modernization of GEONET from GPS to GNSS

辻 宏道*・山口 和典*

Hiromichi TSUJI and Kazunori YAMAGUCHI

Abstract: The Geospatial Information Authority of Japan (GSI) has operated the GPS Earth Observation Network system (GEONET) since 1996, as an indispensable national infrastructure for GPS surveying, crustal deformation monitoring and precise Location Based Services. With the advent of multi GNSS environment, advanced users require GNSS data other than GPS, such as GLONASS, Quasi Zenith Satellite System (QZSS), Galileo, and so on. In response to these demands, GSI updated all receivers and antennas of about 1,300 GEONET stations, and started to provide QZSS and GLONASS data from May 10, 2013, yielding a network-based RTK-GNSS positioning service for all over Japan by the private sector. GEONET is now literally a GNSS Earth Observation Network system.

1. はじめに

国土地理院では、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（2013年）5月10日、従来のGPSに加え、電子基準点で観測した準天頂衛星及びGLONASS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はGPSやGLONASSなど各国の衛星測位システムを総称する一般的な用語である。本稿では、電子基準点のGNSS対応に至る背景や経緯、インパクトについて述べる。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への対応等が続くため、最後の節は今後の計画となる。

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と呼ぶ。従来のGEONETは、GPS Earth Observation Network systemの略だったが、本稿に述べるGNSS対応の進展を踏まえ、平成24年度からはGNSS Earth Observation Network systemと呼んでいる。

2. 背景

2.1 インフラとしての電子基準点

GPS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点からな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、GPSで得られる世界測地系の座標値は直接公的な測量に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。

平成14年の測量法改正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）が直接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

*国土地理院測地観測センター

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 52, NO. 3, 2013

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。また、GPS の L 1 (1575.42MHz) 及び L 2 (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。

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、軌道追跡や地殻変動観測専用として設置した GPS 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の数は、平成25年4月1日現在、1,273点となる。

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年代から米国に追隨して 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年頃から欧州や中国も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の開発を開始した。こうした各国の努力により、近い将来、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る（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 L 5 (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、ネットワーク型 RTK 配信事業者、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・GNSS 測位とは、電子基準点のデータを活用して行うものなので、単独測位ではなく、主

図-2 ネットワーク型 RTK 測位の仕組み

として cm 級の精度を持つキネマティック測位を指している。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実線伝送する方式と、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を行うネットワーク型 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 衛星以上必要とされる。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 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、協議会の要望書に反映されたものである。

3. 電子基準点の GNSS 対応

3.1 当初計画

平成21年度の電子基準点更新計画では、米国の進める GPS 近代化政策により現行の GPS 受信機では L2 P 信号が受信できなくなる平成32年 (2020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、老朽化していた450点の受信機更新が可能となり、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が確認された。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 にも対応することとしたが、全点で GNSS に対応できるのは、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、防災や地震評価・研究に貢献した。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。

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、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については開発に一定期間を要するため、平成24~25年度に行うこととした。つまり、この段階で、全点からの GNSS データの提供は平成26年に前倒しされたことになる。

その後、効率的な GNSS 測量が実現できる環境を早期に実現して震災復興を支援するため、機器更新が完了した地域から、準天頂衛星や GLONASS データの提供を順次行うこととした (図-3)。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、そして平成25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することができた。

データ提供前倒しの最後の障害となったのは、リア

図-3 電子基準点の高度化に関する工程表

リアルタイムデータの遅延現象であった。ネットワーク型RTKのサービス実現に必要な1秒毎のリアルタイムデータは、バイナリー形式(Binexフォーマット)のストリームで配信機関を通して事業者提供される。各電子基準点との通信は64kbpsのIP-VPN(通信事業者の広域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、当初は特に問題ないと考えていた。しかし、受信機更新が進み、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が問題となった。

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で、データ伝送に要した遅延時間を測定できる。GPSだけの古き良き時代、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結果、平均的な遅延時間は0.2秒程度となり、平成25年5月までに全点の配信が可能となった。ただし、一部の観測点で1秒を超える遅延がまれに発生すること等もあり、さらに原因を追及している。

電子基準点のリアルタイムデータは、準天頂衛星初号機「みちびき」から試験配信される測位用補強信号の生成に利用されるようになり、遅延時間も重要な品

質項目となっている。平成25年度には全国の電子基準点データが集まる通信事業者データセンター内の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。

3.3 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、GPSと併用する測量方式が可能である(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-1に示す3種類の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(衛星の位置情報)を標準のRINEXフォーマットで収録したものである。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、今後対応の予定である。なお、データ容量の制約から1秒毎の観測データは国土地理院HPでは公開していない。

表-1 国土地理院HPから入手できる観測データ(GLO: GLONASS, QZS: 準天頂衛星)

種別	フォーマット	周波数帯	備考
GPS	RINEX ver. 2.10	L1, L2	従来通り
GPS+GLO	RINEX ver. 2.11	L1, L2	新規
GPS+GLO+QZS	RINEX ver. 2.12 準天頂衛星拡張版	L1, L2, L5 (GPS, QZS)	新規

図-4 電子基準点間の基線解析で GLONASS の効果を検証した事例 (古屋他, 2012)

4. GNSS 対応のインパクト

4.1 電子基準点での精度検証

GPS に準天頂衛星や GLONASS を併用した場合の測定の精度について、電子基準点のデータを用いて簡単な分析を行った。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 の基線16本について RTKLIB ver. 2.4.1 (Takasu, 2011) で30秒間隔のキネマティック解析を行ったところ、GLONASS を併用した場合、GPS だけに比べ座標値の1日平均のRMSは2～3割減少した。準天頂衛星はまだ1衛星しかないので常時観測できないことも

あり、併用の効果は限定的だが、それでも RMS は若干改善された。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。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、GNSS 併用の効果は大きくなった (古屋他, 2012)。

測量において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。

1日観測した場合の座標値の変動

水平分布

図-5 マルチ GNSS 実証実験結果の事例。ジェノバによる1日分のVRS測位結果 (仰角15°以上のデータを利用)。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)

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が、今後登場する GNSS への対応を検討する必要がある。Galileo の複数の信号や、近代化 GLONASS の CDMA 信号、中国の Beidou については利用者ニーズをよく調べて対応する必要が

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。

平成24年度から整備中のデータ収集・配信系については、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高い信頼性を確保していく。

データ解析系については、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によるマルチ GNSS 解析技術も活用しつつ、改善を図っていく。この技術開発については本小特集の次回で紹介される予定である。

利用できる測位衛星が GPS だけに限られていた古き良き時代は、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言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。

参考文献

- 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、写真測量とりモートセンシング、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>
- 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>
- 辻 宏道、2010、GPS/GNSS の歴史と社会的背景、

GPS ハンドブック, 付録 A 1, 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](http://www.jsurvey.jp/pcrg/kyougikai.files/youbou_01.pdf)
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.

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>
古屋智秋他, 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回講演会予稿, 53-54.
Takasu, T, 2011, RTKLIB: An Open Source Pro-
gram Package for GNSS Positioning.
<http://www.rtklib.com/rtklib.htm>