

## GEONET の次世代化（第 1 年次）

|               |                                     |
|---------------|-------------------------------------|
| 実施期間          | 令和元年度～                              |
| 測地観測センター電子基準課 | 古屋 智秋 檜山 洋平<br>若杉 貴浩 村松 弘規<br>影山 勇雄 |
| 測地観測センター衛星測地課 | 齋田 宏明                               |
| 測地観測センター地殻監視課 | 都筑 三千夫                              |

### 1. はじめに

測地観測センターでは、高密度かつ高精度な測量網の構築、広域の地殻変動の監視、高精度な位置情報サービスの支援を目的として、全国約 1,300 か所に設置された電子基準点と GEONET 中央局からなる GNSS 連続観測システム（GEONET）を運用している。GEONET では、GPS を始めとする複数の衛星測位システムに対応しているが、近年、GPS の次世代衛星の打上げ開始や準天頂衛星システムの運用開始等、衛星測位システムを巡る環境は急速に変化している。それに伴い、新たな信号が測位衛星から提供され、GEONET もこれに対応させる必要がある。また、GEONET は防災・減災並びに国民経済・生活を支える重要インフラとして位置づけられており、災害時等のために電子基準点の機能を強化する必要があるほか、GEONET は運用コストが大きく、持続的に運用していくために維持管理の効率化を図っていく必要もある。さらに、高精度な衛星測位に向けて高品質のデータを取得する観測点をさらに高い密度で配置することを目的とした、民間等の GNSS 連続観測局のデータを取り入れる仕組みの検討もまた課題である。

これらの課題を解決し、GEONET を持続的に運用しつつ効率化し高精度測位を広げるため、「新たな衛星系、測位信号に対応するための研究開発」、「設置・運用・監視業務を効率化するための研究開発」、「民間基準点を GEONET に取り込むための研究開発」を実施している。

### 2. 新たな衛星系、測位信号に対応するための研究開発

#### 2.1 電子基準点観測データの拡充

GEONET では、平成 28 年 4 月 1 日以降、電子基準点で受信した Galileo の観測データを公開してきたが、その中に含まれる信号は GPS の L1 及び L5 と同じ周波数である Galileo の E1 及び E5a であり、E5b や E5AltBOC は含まれていなかった。そこで、関係団体からの E5b 及び E5AltBOC に対する要望等を踏まえ、これらの信号を電子基準点で試験的に受信し、データ配信の遅延への影響を調査した。

その結果、若干の遅延量の増加がみられたが、リアルタイムデータの配信に支障をきたすものではなかったため、令和 2 年度中に E5b 及び E5AltBOC を含めた観測データを公開できるよう調整を進めている。

#### 2.2 マルチ GNSS 測定の普及

2.1 のとおり電子基準点で観測した E5b 及び E5AltBOC の公開に向けた調整を進める一方で、公共測量における Galileo の活用を記載した「マルチ GNSS 測量マニュアル（案）－近代化 GPS、Galileo 等の活用－」では、その解説において「Galileo の E1、E5a は、GPS の L1、L5 と同じ周波数帯のため「L1」、「L5」と表記しています」と記載されており、E5b 及び E5AltBOC の利用について言及してい

ない。そこで、E5b 及び E5AltBOC を利用した場合の測位への影響を検証する（以下「E5 検証」という。）とともに、マルチ GNSS 測量の普及の課題の一つである、L5 のアンテナ位相特性モデルが未公表である点について、L5 のアンテナ位相特性モデルとして比較的周波数帯の近い L2 のアンテナ位相特性モデルを代用できないか検証した（以下「PCV 検証」という。）。

両検証は、国土地理院のアンテナ検定架台にて実施した。E5 検証は、解析において Galileo の E5 帯だけを用い、E5a による測位結果と比較して、E5b 及び E5AltBOC による測位結果がどうなるかを、PCV 検証は、解析において GPS 及び準天頂衛星の L5 だけを用い、ANTTOOL（東京海洋大学の高須知二氏が開発した GNSS 解析ツール）を用いて推定した L5 のアンテナ位相特性モデルで補正した測位結果と比較して、L2 のアンテナ位相特性モデルで代用して補正した測位結果がどうなるかをそれぞれ検証した。両検証とも、すべての測位結果で作業規程の準則に定める、点検計算における重複する基線ベクトルの較差の許容範囲と比較して十分に小さく、E5b 及び E5AltBOC の測量への利用の可能性と、L5 のアンテナ位相特性モデルを L2 のアンテナ位相特性モデルで代用できる可能性をそれぞれ確認した（表-1）。

表-1 E5a による測位結果との差（左）、L5 のアンテナ位相特性モデルで補正した測位結果との差（右）

| 基線長    | 信号       | dN(mm) | dE(mm) | dU(mm) | アンテナ位相特性モデル       | dN(mm) | dE(mm) | dU(mm) |
|--------|----------|--------|--------|--------|-------------------|--------|--------|--------|
| 0.06km | E5b      | -1     | 0      | 1      | ANTTOOLで推定したL2モデル | 1      | -1     | 0      |
|        | E5AltBOC | 0      | 0      | 0      | IGSで公開しているL2モデル   | -4     | -1     | 5      |
| 14km   | E5b      | 0      | 0      | 1      | ANTTOOLで推定したL2モデル | -3     | 1      | 1      |
|        | E5AltBOC | 0      | 0      | 1      | IGSで公開しているL2モデル   | 0      | 3      | -3     |
|        |          |        |        |        | ANTTOOLで推定したL2モデル | -1     | -1     | -2     |
|        |          |        |        |        | IGSで公開しているL2モデル   | -1     | 0      | -2     |

### 2.3 新しい解析ストラテジの開発

GEONET では、電子基準点の観測データを解析し、その位置を「日々の座標値」としてホームページから公開している。「日々の座標値」の解析ストラテジは、平成 8 年に第 1 版が考案されて以降 3 回の改修を経て、令和 2 年 3 月現在は第 4 版となっているが、解析ストラテジ第 5 版の開発を進め、令和 2 年 3 月 24 日に第 5 版による最終解（以下「F5 解」という。）を試験公開した。第 4 版から第 5 版への主な更新点は、以下の 3 点である。

- 第 5 版では令和 2 年 1 月 13 日に運用を開始した GPS の次世代衛星にも対応した。
- 第 4 版では準拠座標系として ITRF2005 (IGS05) を採用してきたが、第 5 版では最新の ITRF2014 (IGS14) に準拠した。
- 「日々の座標値」の解析ストラテジは、電子基準点「つくば 1」を固定点としており、この固定点の座標値の解析手法について、第 4 版では日本周辺のみ IGS 点を拘束点とする計算だったが、第 5 版ではグローバルな IGS 点を拘束点として計算するものに変更した。

試験公開中の F5 解及び第 4 版の最終解（以下「F3 解」という。）を用いた、IGS 点「TSKB」における時系列グラフを図-1 に示す。全期間にわたって、F5 解が IGS 解とほぼ整合していること、並びに F3 解で発生していた上下方向の外れ値の発生頻度が F5 解では軽減していることがわかる。一方、東西方向では平成 31 年（2019 年）後半に F5 解が不安定となっており、その原因について引き続き調査を進めることとしている。

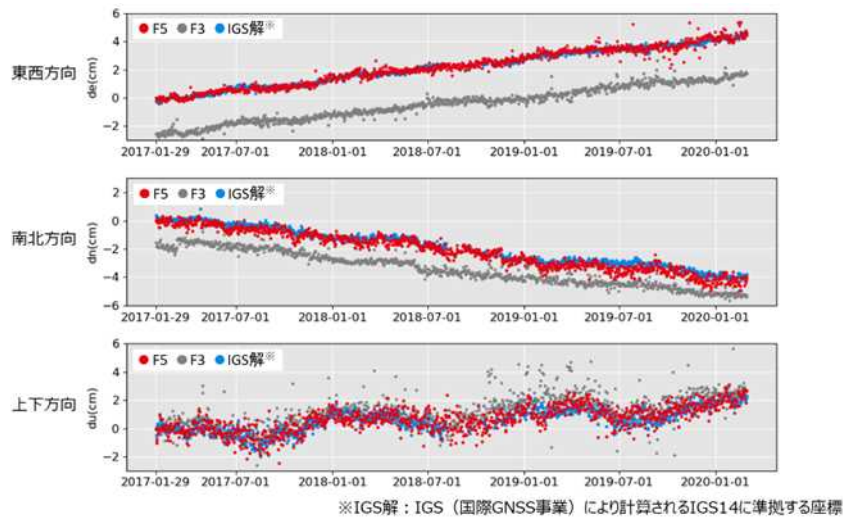


図-1 IGS点「TSKB」における時系列グラフ

### 3. 設置・運用・監視業務を効率化するための研究開発

#### 3.1. 電子基準点の電源の高度化を図る技術

電子基準点にはバッテリーが搭載されており、災害時等に商用電源が停止した際も 72 時間以上機能を維持できるようになっている。しかし、バッテリーの経年劣化によって、所定の性能を発揮できない場合もあり、そのようなバッテリーは交換が必要となる。そこで、交換すべきバッテリーを適切に把握できるよう、バッテリーの劣化状況や停電時の推定稼働時間を遠隔で監視できる機器を検討し、その試験を実施した。

バッテリーの劣化状況の監視は、内部抵抗や電圧、温度を計測することが可能な PowerShield 社製 m-Sensor を用いて、電子基準点「つくば3」に試験導入したところ、GEONET 中央局において計測値を監視できることを確認した。また、停電時の推定稼働時間の監視については、 $-15^{\circ}\text{C}$ 、 $0^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $40^{\circ}\text{C}$ の恒温槽において、バッテリーの稼働時間と電圧の関係を調査し、定格電圧以下になると以降 1 日程度で必要とする電気量を供給できなくなることが判明した。

今後、実際に電子基準点に導入する場合、バッテリーの内部抵抗等を指標として、バッテリーの性能及び特性の経年変化の調査を実施するとともに、様々な稼働温度帯や機器構成における稼働時間の推定が必要である。

#### 3.2 電子基準点の障害物対策の高度化を図る技術

GNSS による測位結果は、アンテナ周辺の環境に大きく影響を受ける。特に電子基準点は、周辺樹木の生長や、降雪によるレドームへの着雪等のため、衛星からの測位信号の遮蔽や遅延が発生する観測点があり、地殻変動監視等へ影響を与えるため、それらの障害物への対策を講じる必要がある。そこで、周辺樹木の生長等を常時監視するためのカメラの設置試験及びレドームに付着した雪を溶かすためのヒータによるレドームの加温試験を実施した。

カメラの設置試験は、電子基準点のレドームを設置するためのネジの位置に東西南北それぞれの方向にカメラを設置し、撮影した画像を電子基準点のリアルタイムデータに遅延を与えないよう分割し、GEONET 中央局で取得することで実施した。また、レドームの加温試験は、電子基準点「旭川2」のアンテナ下部にヒータを設置して実施したところ、ヒータによる加温のためレドームの温度は 2 時間程度で  $-11.1^{\circ}\text{C}$  から  $8.3^{\circ}\text{C}$  まで上昇し、レドームに付着した雪を溶かすことができた (図-2)。

今後、実際に電子基準点に導入する場合、カメラの設置位置の調整やヒータの自動 ON/OFF の仕組みの検討等が必要である。

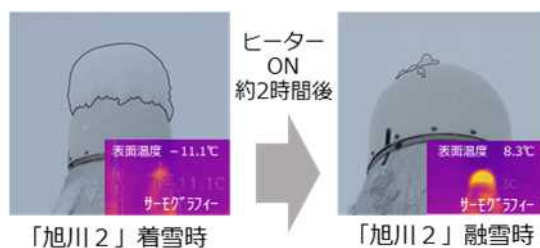


図-2 電子基準点「旭川2」におけるヒータによる融雪の様子

#### 4. 民間基準点を GEONET に取り込むための研究開発

昨今、スマート農業等で民間等による GNSS 連続観測局が設置され、位置情報サービスに利用され始めている。そこで、国土地理院が民間等の GNSS 連続観測局の性能を評価し、級別に登録する制度として、令和元年 10 月に「民間等電子基準点の性能基準及び登録要領」を制定した。級別の評価基準の一つである GNSS 観測データ品質は、電子基準点のマルチパス、測位性能等のデータ品質に基づき統計的に決定した(表-2)。具体的には、夏期(2018/7/23~25)と冬期(2019/1/12~14)の電子基準点の観測データから、マルチパス、サイクルスリップ、取得率の計算、並びに基線長 30km 以下のキネマティック解析を実施し、A 級は 95%信頼区間、B 級は 99%信頼区間を基に決定した。なお、電子基準点のアンテナはマルチパスの発生を抑制するチョークリングアンテナであり、電子基準点のデータ品質を基に B 級の基準を決定すると基準が厳しくなり過ぎるため、B 級の評価に当たってはキネマティック解析等で精度確認をすることとし、マルチパス L1 及びマルチパス L2 の基準を定めていない。また、スタティック解析における基準は、作業規程の準則における許容範囲から決定している。

表-2 民間等電子基準点の評価の基準

|          | 指標         | A 級                  | B 級     | 備考                                 |
|----------|------------|----------------------|---------|------------------------------------|
| 観測データ品質  | マルチパスL1    | 0.45m以内              | -       | 24時間30秒間隔のデータ<br>マルチパスに関してB級は設定しない |
|          | マルチパスL2    | 0.5m以内               | -       |                                    |
|          | o/slips    | 300以上                | 100以上   |                                    |
|          | 取得率        | 90%以上                | 85%以上   |                                    |
| 閉合差      | 水平(ΔN, ΔE) | 60mm+20mm√N以内(Nは辺数)  |         | 24時間3日分の30秒間隔データの<br>スタティック解析      |
|          | 高さ(ΔU)     | 150mm+30mm√N以内(Nは辺数) |         |                                    |
| 三次元網平均計算 | 水平位置の標準偏差  | 100mm以内              |         |                                    |
|          | 標高の標準偏差    | 200mm以内              |         |                                    |
| 座標時系列安定性 | 水平(ΔN, ΔE) | 30mm以内               | 40mm以内  | 24時間3日分の30秒間隔データの<br>キネマティック解析     |
|          | 高さ(ΔU)     | 90mm以内               | 120mm以内 |                                    |
|          | FIX率       | 90%以上                | 85%以上   |                                    |
| 観測点変位    | 水平(ΔN, ΔE) | 30mm以内               | 40mm以内  |                                    |
|          | 高さ(ΔU)     | 90mm以内               | 120mm以内 |                                    |

#### 5. 今後

本報告では割愛したが、上記のほかにも、電子基準点から GEONET 中央局に至るまでの新たな通信方法の検討や災害時等のために電子基準点浸水対策の検討等、GEONET に関して様々な調査・研究を実施してきている。今後、GEONET を持続的に運用しつつ効率化し高精度測位を発展させるために、引き続き調査・研究を進めていくとともに、実際に GEONET の運用に実装する際のニーズ等を踏まえた優先順位や課題等も整理していく必要がある。