

R010-13
B 会場 : 11/25 AM1 (9:15-10:45)
10:30~10:45:00

太陽活動の極大期における電離圏擾乱による高精度 GNSS 測位への影響

#藤原 智¹⁾, 細谷 素之¹⁾, 来田 倍周¹⁾

(¹⁾ ジェノバ

Impacts of Large-Scale Ionospheric Disturbances on High-Precision GNSS Positioning During Solar Maximum

#Satoshi Fujiwara¹⁾, Motoyuki Hosoya¹⁾, Masunori Kitada¹⁾

(¹⁾JENOB CO., LTD.

1. Introduction

GNSS radio waves, such as those from GPS, pass through the ionosphere and are therefore affected by ionospheric disturbances. We are currently near the peak of the solar cycle, during which such disturbances are becoming increasingly significant. This presentation describes large-scale ionospheric disturbances that occurred over the past year and a half during periods of high solar activity, focusing on their impact on precise GNSS positioning.

2. Overview of the Impact on GNSS Positioning

Using Japan's continuously operating reference station network (GEONET) operated by GSI, we provide a network-based RTK service that enables position measurements with centimeter-level accuracy every second anywhere in the country. High-precision positioning is classified into two categories: fixed solutions (integer ambiguity resolved, centimeter-level accuracy) and float solutions (ambiguity unresolved, decimeter- to meter-level accuracy).

From October 2024 to April 2025, increased solar activity led to frequent positioning failures caused by medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs) and other factors. However, the impact of these small- to medium-scale disturbances is more pronounced when the baseline positioning accuracy is already degraded due to multipath effects, radio interference, or other environmental factors affecting the receiver. Typically, the periods without fixed solutions are short, and the spatial extent of such disturbances is limited.

3. Large-Scale GNSS Positioning Disturbances over the Past 1.5 Years

Significant large-scale ionospheric disturbances affecting GNSS positioning occurred three times between February 2024 and July 2025.

Two of these events occurred from approximately 22:00 JST on May 11, 2024, to 08:00 on May 12, and from approximately 21:00 on June 2, 2025, to 06:00 on June 3, 2025. Both events shared the following features:

- (1) occurrence from night to morning,
- (2) movement of the affected area from northeast to southwest, and
- (3) several hours of impact at each station.

Although similar in appearance to MSTID events, these disturbances lasted longer, covered a wider area, and had a greater impact.

The third event occurred from approximately 13:00 on January 1, 2025, to 14:00 on January 2. A disturbance first appeared near Kyushu, expanded to the Tohoku region, then returned southward within a few hours before dissipating. This cycle repeated several times with varying intensities, resulting in an overall duration of about 24 hours. The fluctuation pattern resembled that of plasma bubble phenomena, though the largest disturbance occurred around 06:00.

All three events shared the following characteristics:

- (1) long duration of impact,
- (2) wide geographic extent,
- (3) large variability in positioning values even with fixed solutions,
- (4) occurrence during geomagnetic storms, and
- (5) simultaneous observation of low-latitude auroras in Japan (e.g., in the second case, an aurora was observed on the day before, June 3, 2025, whereas in the other events the aurora was observed on the same day).

4. Implications for Space Weather Forecasting

Since ionospheric disturbances are neither visible nor directly perceptible, space weather forecasting—capable of predicting such disturbances in advance—is highly valuable. Among the three cases reported here, NICT issued a prior warning for the May 2024 event due to a large solar flare, but the other two events occurred without any special warnings. Additionally, a large solar flare warning issued in October 2024 turned out to be a false alarm in terms of GNSS impact.

Nevertheless, all large-scale GNSS disturbances coincided with geomagnetic storms and observations of low-latitude auroras, indicating that there were at least indirect precursors. We therefore anticipate advances in forecasting capabilities that can more reliably predict ionospheric disturbances affecting GNSS positioning.

1. はじめに

GPS に代表される GNSS の電波は電離圏を通過するため、電離圏擾乱の影響を受ける。現在、太陽活動の極大期であり、その影響も大きくなっている。昨年の SGEPS で報告したように、2024 年 5 月に発生した大規模太陽フレアに起因する電離圏擾乱によって日本全国にわたって GNSS 測位が大きな影響を受けた。本報告では、太陽活動の活発なここ 1 年半ほどに発生した電離圏擾乱による大規模な GNSS 測位への影響について紹介する。

2. GNSS 測位への影響 概況

当社は国土地理院の電子基準点網（GEONET）を用いて、毎秒ごとに数 cm 精度の位置測定が全国どこでもできるサービス（ネットワーク型 RTK）を提供しており、このサービスの精度等を全国各地で常にモニタリングしている。高精度測位においては、測位精度の目安として FIX 解（精度数 cm）と FLOAT 解（精度数 10cm～数 m）に区別する。電離圏擾乱のみならず、利用衛星数減少、マルチパス、電波障害等の影響で十分な測位性能が得られているかどうかを判断する基準が、FIX 解が得られているかどうかである。

太陽活動の活発化に伴い、MSTID（中規模伝搬性電離圏擾乱）等によって、FIX 解が得られない測位は 2024 年 10 月から 2025 年 4 月にかけて頻発した。しかし、これらの中小規模の電離圏擾乱の影響は、受信機の設置環境によってマルチパス、電波障害等の影響でももとの測位精度が劣化している場合に発生しやすい。また FIX 解が得られない時間は短時間であり、さらに擾乱の空間分布も限られるのが通常である。

3. 1 年半に 3 回発生した GNSS 測位への大規模な擾乱現象

GNSS 測位へ大きな影響を及ぼす大規模な電離圏擾乱は、2024 年 2 月から 2025 年 7 月の 1 年半の期間に 3 回発生した。

これらのうち、2024 年 5 月 11 日 22 時頃～12 日 8 時頃（日本時間 JST。以下同じ）及び 2025 年 6 月 2 日 21 時頃～3 日 6 時頃の 2 回は、(1) 夜間から朝に発生、(2) 北東から南西方向に影響域が移動、(3) 一観測局ごとの影響が数時間継続、という共通した特徴があった。現象が MSTID によるものに似ているが、それよりも長時間継続し、空間的に大規模で影響の度合いも甚大になったものである。

もう一つは、2025 年 1 月 1 日 13 時頃～2 日 14 時頃に発生した。九州付近で擾乱が発生し、その影響域が東北地方程度まで広がり、数時間程度でまた南側に戻って消えていくというパターンが強さを変えつつ複数回繰り返され、全体として 24 時間ほどの影響があった。この変動パターンはプラズマバブル現象によるものに類似しているが、最大規模のものは朝 6 時ごろに発生している。

これら 3 例に共通するのは、(1) 影響時間が長い、(2) 範囲が広い、(3) FIX しても値が大きくばらつく、(4) 磁気嵐の最中に発生、(4) 日本で低緯度オーロラが観測されている（2025 年 6 月の現象だけは前日にオーロラ観測）があげられる。

4. 宇宙天気予報への期待

GNSS 信号は、電離圏だけではなく対流圏の影響を受け、線状降水帯発生のような気象状況では測位精度が低下する。しかし、高精度 GNSS 測位を利用するような測量、ICT 施工や精密農業であれば、あらかじめ天気予報を元に、そのような気象状況では作業自体を行わないため、影響は小さい。

電離圏擾乱は目に見えず、体感することもできないため、あらかじめ擾乱を予測する宇宙天気予報の効果は大きい。本報告の 3 例では、2024 年 5 月の擾乱は、あらかじめ NICT から、大規模太陽フレア発生に伴う注意喚起が発表されていたが、他の 2 回は特別な注意喚起はなく「見逃し」といえ、2024 年 10 月の大規模太陽フレアに伴う注意喚起は GNSS 測位にとって「空振り」といえる。

しかしながら、GNSS への大規模影響現象は磁気嵐や低緯度オーロラの発生と同時期であり、全く手掛かりがなかったわけではなく、GNSS 測位に影響を与える電離圏擾乱の発生予測へ期待したい。

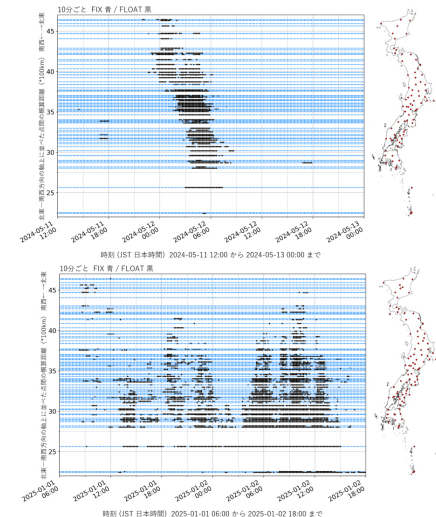


Figure GNSS kinematic positioning fix status due to large-scale ionospheric disturbances
-- Top: May 11-12, 2024 Bottom: January 1-2, 2025
-- Fixed solutions (blue) and float solutions (black) every 10 minutes
-- GEONET stations are arranged from northeast to southwest on the Japanese archipelago tilted at a 45-degree angle.