

電離圏擾乱の多点 GPS-TEC 観測及び航空航法支援システムに対する影響評価

大松 直貴 [1]; 大塚 雄一 [1]; 斎藤 享 [2]; 塩川 和夫 [1]
[1] 名大 STE 研; [2] 電子航法研・航法システム

Evaluation of the impact of ionospheric disturbances on air navigation augmentation system using multi-point GPS receivers

Naoki Omatsu[1]; Yuichi Otsuka[1]; Susumu Saito[2]; Kazuo Shiokawa[1]
[1] STEL, Nagoya Univ.; [2] NAV Department, ENRI

In recent years, GPS has been utilized for navigation system for airplanes. Propagation delays in the ionosphere due to total electron content (TEC) between GPS satellite and receiver cause large positioning errors. In precision measurement using GPS, the ionospheric delay correction is generally conducted using both GPS L1 and L2 frequencies. However, L2 frequency is not internationally accepted as air navigation band, so it is not available for positioning directly in air navigation. In air navigation, not only positioning accuracy but safety is important, so augmentation systems are required to ensure the safety. Augmentation systems such as the satellite-based augmentation system (SBAS) or the ground-based augmentation system (GBAS) are being developed and some of them are already in operation.

GBAS is available in a relatively narrow area around airports. In general, it corrects for the combined effects of multiple sources of positioning errors simultaneously, including satellite clock and orbital information errors, ionospheric delay errors, and tropospheric delay errors, using the differential corrections broadcast by GBAS ground station. However, if the spatial ionospheric delay gradient exists in the area, correction errors remain even after correction by GBAS. It must be a threat to GBAS.

In this study, we use the GPS data provided by the Geographical Survey Institute in Japan. From the GPS data, TEC is obtained every 30 seconds. We select 4 observation points from 26.4 to 35.6 degrees north latitude in Japan, and analyze TEC data of these points from 2001 to 2011. Then we reveal dependences of Rate of TEC change Index (ROTI) on latitude, season, and solar activity statistically. ROTI is the root-mean-square deviation of time subtraction of TEC within 5 minutes. In the result, it is the midnight of the spring and the summer of the solar maximum in the point of 26.4 degrees north latitude that the value of ROTI becomes the largest. We think it is caused by plasma bubbles, and the maximum value of ROTI is about 6 TECU/min. Since it is thought that ROTI is an index representing the spatial ionospheric delay gradient, we can evaluate the effect of spatial ionospheric delay gradient to GBAS. In addition, we will discuss azimuth angle dependence of ROTI. We have found that ROTI tends to be high when the GPS satellites are seen westward. This feature could arise from the westward tilt of the plasma bubbles with altitude. More detailed results will be reported in this presentation.

近年、航空航法において、GPS を利用した衛星航法の導入が進められている。GPS において、GPS 衛星と受信機間の全電子量 (TEC) に起因する電離圏遅延は、大きな測位誤差の要因となる。電波の伝搬経路に存在するプラズマにより 1TECU (1TECU=10¹⁶ el/m²) 当たり、L1 帯では 0.16m、L2 帯では 0.27m の遅延が発生する。GPS を用いた精密測量では、L1 帯及び L2 帯の 2 周波を用いて電離圏遅延補正を行うのが一般的である。しかし、航空航法では、L2 帯は航法バンドとして国際的に保護されていないことから直接測位には利用できない。航空航法においては、測位精度だけでなく安全性が重要であり、安全性を確保するための補強システムが必要となる。補強システムには、静止衛星を介して補強情報を放送する広域で有効な静止衛星型衛星航法補強システム (SBAS)、地上設備から VHF 波で補強情報を放送する空港周辺の比較的狭い範囲で有効な地上型衛星航法補強システム (GBAS) などがあり、一部で実利用が始まっている。

GBAS とは、航空機が着陸経路に進入してから用いられるシステムであり、狭い範囲に限定して情報を提供するため、SBAS と比較して高い精度を得ることができる。GBAS では通常、衛星のクロック誤差や衛星の軌道情報の誤差、対流圏遅延誤差、電離圏遅延誤差などの大部分を取り除くことが可能である。しかし、GBAS の利用エリア内に電離圏遅延量の空間勾配が存在する場合には、GBAS による補正を行った後でも補正誤差が生じてしまい、安全性の脅威となることが分かっている。

今回の研究では、国土地理院が提供する国内地上 GPS 受信機観測網データを活用した。日本国内で北緯 26.4 度から 35.6 度までの観測点から 4 地点を選び、2001 年から 2011 年までの 11 年分のデータ解析を行うことで、ROTI の緯度、季節、太陽活動度依存性を統計的に明らかにした。今回利用した TEC のデータは 30 秒間毎に記録されたものだが、ROTI とは、TEC の時間差分の 5 分間内の標準偏差をとったものであり、TEC の変動性を表す指標である。その結果、ROTI の値が最も大きくなるのは、磁気緯度的に低緯度である北緯 26.4 度の観測点における太陽活動極大期の春季・夏季の夜間であることが分かった。これはプラズマバブルが原因であると考えられ、ROTI の値は最大 6TECU/min 程度であった。ROTI は、電離圏遅延量の空間勾配を表す指標であるとも考えられるため、これにより GBAS に対する電離圏遅延量の空間勾配の影響を評価した。また ROTI の方位角依存性を調べた結果、低緯度帯に位置する観測点では、GPS 衛星が西向きに見られる場合に ROTI の値が大きくなる傾向があることが分かった。この傾向は、高高度ほどプラズマバブルが西向きに傾くという性質に起因するものだと考えられる。本講演では、より詳細な研究結果について報告する予定である。