

## 9. アジア太平洋地域電離圏脅威モデルの開発

航法システム領域 ※齋藤 享, 吉原 貴之, 坂井 丈泰

### 1 はじめに

国際民間航空機関(ICAO)においては、航空航法を衛星航法(Global Navigation Satellite System: GNSS)ベースに切り替えていくことを大きな方針としている。GNSS を航空航法に用いるにあたっては、電離圏の影響を回避することが大きな課題である。電離圏の影響を回避するためには、対象とするシステムについて問題となりうる電離圏の振舞いについて特徴を定量的に明らかにする必要がある。これを電離圏脅威モデルと呼ぶ [1]。

電離圏の性質は磁気緯度によって大きく異なり、緯度領域ごとに特徴的な現象が存在する。図1に示すように、日本付近では磁気赤道が地理赤道に比べて北に位置しており、磁気緯度としては低緯度に位置する。反対に、米国では磁気赤道が地理赤道の南側に位置しており、地理緯度に対して磁気緯度が高い。欧州では、磁気赤道が地理赤道に比べて北に位置しているが、地理緯度が高いために磁気緯度も中高緯度となる。

これまでに GNSS を用いた航空システムは欧米を中心として開発されてきており、電離圏脅威モデルも主に磁気中緯度を対象として開発されてきている [2]。磁気低緯度地域における GNSS の航空利用を進めるためには、磁気低緯

度地域の電離圏の特徴を電離圏脅威モデルの形式に沿って評価し、これまでに磁気中緯度地域において開発されてきた電離圏脅威モデルの値を超えるものであれば、これを新たに磁気低緯度地域の電離圏脅威モデルとして定義する必要がある。

極めて高い安全性が要求される航空航法においては、ごく稀にしか発生しない現象についても考慮する必要があるため、様々な条件下において収集された多量のデータを用いて解析を行い、その中で最も厳しい値を用いて電離圏脅威モデルとしなければならない。しかしながら、日本を含む磁気低緯度地域は細かな国に分かれており、電離圏脅威モデルの構築に必要なデータを収集することは容易ではない。そのために、当所が主導して磁気低緯度地域が多くを占めるアジア太平洋地域において ICAO の枠組みを通して電離圏データの収集を協調して行い、データの共有、共同解析を行うことを提案した [3]。その結果、アジア太平洋地域における GNSS の航空利用の推進のために必要な電離圏脅威モデルの構築を目的として、電離圏データの収集・共有・解析を行う「アジア太平洋地域電離圏問題検討タスクフォース(Ionospheric Studies Task Force: ISTF)」が設立された [4]。

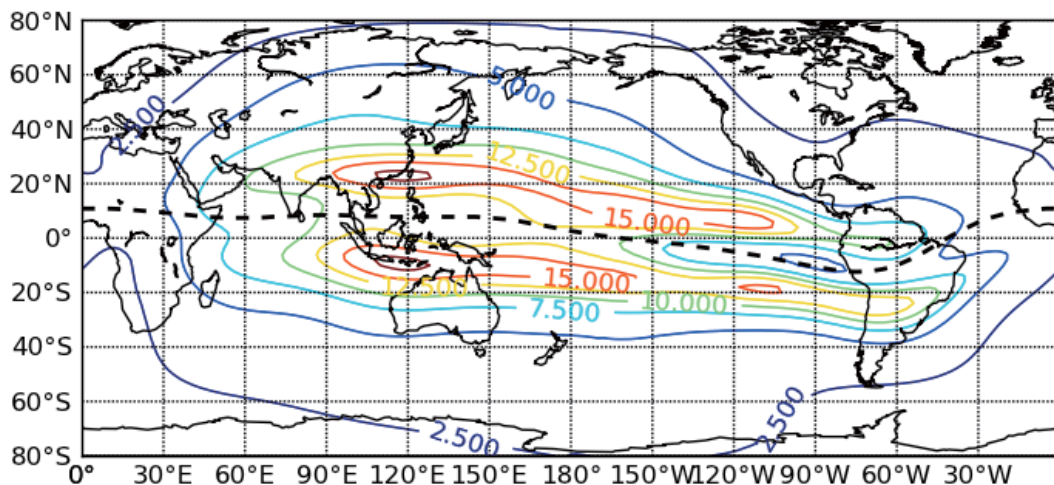


図1. 日本時間12時の電離圏遅延量分布の例。破線は磁気赤道を表す。

表 1. ISTF のタスク一覧

タスク	タスク名	内容
1	Data collection	観測データの収集・管理
2	Iono Analysis	ISTF におけるデータ解析手法の確立
3	TEC Generation	確立された手法による電離圏遅延量勾配解析
4	Scintillation Data	確立された手法によるシンチレーション解析
5	Iono Model	既存の電離圏脅威モデルの適合性評価と域内共通の電離圏脅威モデル(SBAS 及び GBAS それぞれ)の構築
6	Space Weather	宇宙天気現象の CNS システムに対する影響の検討

## 2 アジア太平洋地域電離圏問題検討タスクフォース(Ionospheric Studies Task Force: ISTF)

ISTF は、2011 年の CAO アジア太平洋航空航法計画実施地域グループ(APANPIRG)通信・航法・監視及び気象サブグループ(CNS/MET SG)会議において設立された。なお、現在は組織再編により通信・航法・監視サブグループ(CNS SG)の元で活動を行っている。

ISTF の最終目的は、多くが磁気低緯度地域に属するアジア太平洋地域内で協調して電離圏データの収集・共有・解析を進め、既存の SBAS, GBAS 電離圏脅威モデルの磁気低緯度電離圏への適合性を評価し、必要とされれば地域内共通の電離圏脅威モデルを構築することである。さらに、後の APANPIRG CNS SG 会議において、アジア太平洋地域における航空用 CNS システムに対する宇宙天気(Space Weather)現象の影響について検討することが活動内容に追加された。

これらの目的を達成するために、6 つの Task が設定された。表 1 は、設定された 6 つの Task とその内容をまとめたものである。

## 3. ISTF の活動とこれまでの結果

これまでに、2012 年 2 月の第 1 回 ISTF 会議以降 6 回の会議と、10 回の電話会議を重ねてきた。表 2 は、これまでに開催された ISTF 会議の開催時期と場所をまとめたものである。

これらの会議を通して行ってきた各活動タスクに対応する活動内容を以下にまとめる。

表 2. ISTF 会議の開催履歴

会議	開催時期	開催場所
ISTF/1	2012 年 2 月	東京
ISTF/2	2012 年 10 月	バンコク
ISTF/3	2013 年 10 月	ソウル
ISTF/4	2014 年 2 月	ニューデリー
ISTF/5	2015 年 2 月	石垣
ISTF/6	2016 年 1 月	バンコク

### 3.1 データ収集

データは参加各国の航空当局が独自に収集したものの他、各国内の電子基準点データなどを各管理機関と調整した上で提供されたものであり、一部を除いて電子航法研究所に設置された共通データサーバーに保管されている。

これまでに、香港、インド、フィリピン、シンガポール、タイ、及び APEC GIT (GNSS Implementation Team) GNSS テストベッドのデータが提供されている。加えて、米国及び豪州の電子基準点データが公開サーバーを通じて利用可能となっている。

これらのデータを取り扱うために共通のデータフォーマットを定義した。電離圏遅延量に対応する全電子数(Total Electron Content: TEC)のための GTEX (GNSS TEC EXchange)フォーマット、シンチレーションデータを取り扱うための SCINTEX (SCINTillation EXchange)フォーマットの 2 種類が定義されている。

### 3.2 データ解析

データ解析においては、共通のデータ解析ツールを定義し、共通のツールを用いて解析作

業を分担して解析を行っている。

まず、解析対象とすべき電離圏擾乱を検出するために、Along-Arc TEC Rate (AATR)指数 [5] を用いることとし、そのための AATR 解析ツールを電子航法研究所で開発し、ISTF に提供した。

電離圏遅延量勾配の解析ツールとしては、米国 FAA によって開発された LTIAM (Long-term Ionosphere Anomaly Monitoring) ツールを FAA の許可を得て使用することとするとともに、相互検証のために電子航法研究所で開発された SF-CBCA (Single-frequency carrier-based and code-aided) 解析ツールを用いることとした。

現在解析は豪州、インド、韓国、日本の参加者を中心に作業を分担して行われている。

これまでの解析によって得られた結果の一部を表3に示す。この結果、米国で開発された米国本土(CONUS)において有効な中緯度電離圏脅威モデル(表4)の範囲を超える電離圏遅延量勾配が得られており、アジア太平洋地域に対応した地域モデルの必要性が確認された。

表3. これまでに得られた電離圏遅延量勾配値。赤字は CONUS 電離圏脅威モデルを超える値を示す。

観測場所	最大電離圏遅延量勾配 (mm/km)
インド	350
香港	477
日本	515
タイ	140

表4. CONUS 電離圏脅威モデルにおける電離圏勾配値

衛星仰角 (EL)	最大電離圏遅延量勾配 (mm/km)
EL < 15°	375
15° ≤ EL < 65°	375 + (EL-15)

### 3.3 脅威モデル

#### 3.3.1 GBAS

上記の通り、GBAS についてアジア太平洋地域に対応した電離圏脅威モデルの開発の必要性が確認されたので、更なるデータ解析を進め、

電離圏脅威モデルを策定する予定である。

加えて、各国における電離圏脅威に対する安全生評価の参考のため、GBAS の電離圏脅威モデルについて解説したガイダンス文書を作成することとした。ガイダンス文書は現在作成中であり、主に以下の項目を含む予定である。

- GBAS の安全生評価において考慮すべき電離圏現象
- 電離圏脅威モデルの構築と検証法
- GBAS 設置後の検証

#### 3.3.2 SBAS

SBAS については、電離圏脅威モデルが電離圏補正值生成アルゴリズムと密接に関連しており、そのアルゴリズムは非公開であってシステムごとに異なる可能性があるため、SBAS 用の共通の電離圏脅威モデルは構築しないこととした。

代わりに、各国における SBAS に対する電離圏脅威の安全生評価の参考のため、電離圏に関して SBAS の安全性に影響を与えうる事項をまとめたガイダンス文書を作成することとした。ガイダンス文書は現在作成中であり、主に以下の項目を含む予定である。

- 電離圏脅威の回避方針
- 基本的な考え方
- SBAS における電離圏補正
- 電離圏脅威モデルの必要性
- 電離圏脅威モデルの生成
- SBAS の導入
- 認証
- 電離圏環境の評価法
- SBAS 導入後の検証

### 3.4 宇宙天気

これまでに、CNS システムに対して影響を与えうる宇宙天気現象について、アジア太平洋地域が属する中低緯度地域に焦点を当てて検討を行ってきた。その結果、宇宙天気現象と懸念される影響を表5のようにまとめた。

表 5. 宇宙天気現象と CNS システムに対する影響

現象	影響を受ける CNS システム
プラズマバブル	衛星航法(GNSS), 衛星通信, ADS-B (GNSS を通じた影響)
太陽 X 線フレア	HF 通信
太陽電波バースト	GNSS, ADS-B (GNSS を通じた影響)
スプラディック E 層	VHF 通信, VHF 航法

これらは、宇宙天気現象の性質から予測される影響をまとめたものであり、実際のシステムに対する影響を評価する必要がある。電子航法研究所では、これまでにプラズマバブルの GNSS に対する影響について調査・研究を継続的に行ってきたが、加えて ADS-B への影響の調査、スプラディック E 層の VHF 通信・航法に対する影響の調査を開始する予定である。

宇宙天気現象の影響回避に関しては、グローバルレベルでも ICAO 気象パネル(METP)を中心に検討が進められている。ISTF では、ICAO METP 傘下の WG-MISD (MET Information and Service Development) に対して、ISTF と共通の参加者を通じて情報提供と共有を行い、協調を計っている。

#### 4. まとめと今後の展望

電離圏問題検討タスクフォース (ISTF) は、アジア太平洋地域における電離圏環境について、GBAS 及び SBAS に対する影響に注目してデータ収集・解析・検討を行ってきた。さらに CNS システムに影響しうる宇宙天気現象についても、アジア太平洋地域の地域性に関連する部分に注目した検討を行っている。

GBAS については、これまでに存在する電離圏脅威モデル(CONUS モデル)の範囲を超える電離圏勾配が見つかっており、更なるデータ解析を元にアジア太平洋地域に対応した電離圏脅

威モデルを開発している。また、各国における電離圏脅威に対する安全生評価の参考のため、GBAS の電離圏脅威モデルについて解説したガイダンス文書を作成している。

SBAS については、電離圏脅威モデルのシステム固有のアルゴリズム（通常非公開）との密接な関連性のため、SBAS 用の共通の電離圏脅威モデルは構築しないこととし、代わりに、各国における SBAS に対する電離圏脅威の安全生評価の参考のため、電離圏に関して SBAS の安全性に影響を与えうる事項をまとめたガイダンス文書を作成している。

ISTF の活動は大詰めを迎えており、2016 年 7 月開催予定の APANPIRG CNS サブグループ会議及び 2016 年 9 月開催予定の APANPIRG 会議への最終報告を目標として、作業を鋭意進めているところである。

#### 参考文献

- [1] 齋藤他, アジア太平洋域衛星航法電離圏脅威モデルの構築, 電子航法研究所研究発表会, 2013 年 6 月.
- [2] Pullen, S., Y. S. Park, and P. Enge (2009), Impact and mitigation of ionospheric anomalies on ground-based augmentation of GNSS, *Radio Sci.*, 44, RS0A21, doi:10.1029/2008RS004084.
- [3] Resolution for ionosphere issues in implementing GNSS, WP43, 14th meeting of APANPIRG CNS/MET sub-group, 2010.
- [4] Report of the fifteenth meeting of communications, navigation and surveillance/meteorology sub-group (CNS/MET SG/15) of APANPIRG, 2011.
- [5] J. Sanz, J. M. Juan, G. González-Casado, R. Prieto-Cerdeira, S. Schlüter and R. Orús, Novel Ionospheric Activity Indicator Specifically Tailored for GNSS Users, Proc. ION GNSS+ 2014, 2014.