

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	Kornyanat Watthanasangmechai
論文題目	Ionospheric study based on total electron content observations in Southeast Asia (東南アジアにおける全電子数観測に基づく電離圏研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>低緯度域の電離圏では電子密度に強い乱れが頻発し、衛星通信やGPS測位に悪影響を与える可能性が高い。最近ではGPS測位が航空ナビゲーションなどの高い信頼性が重要な分野に応用され始めていることから、研究の重要性が増している。本論文は、東南アジア域で得られた電離圏全電子数 (Total Electron Content; TEC) の観測をもとに、低緯度電離圏の研究を行っている。</p> <p>第1章の序論においては、地球大気の構造を示した後、電離圏の生成と大規模な緯度構造などについて概説している。さらに電離圏に現れる波動現象から、低緯度電離圏に特有のプラズマバブルと中緯度域を中心に発生する中規模伝搬性電離圏擾乱 (Medium Scale Traveling Ionospheric Disturbance; MSTID) について先行研究の成果を紹介している。続いてTEC観測について、まず低高度衛星から地上までの区間で行われる2周波ビーコン観測によるTEC測定法について示し、次にGPS衛星を用いたTEC測定方法を示している。さらに、イオノゾンデと赤道大気レーダーによる電離圏観測を概観している。なお以降の本文では、GPS受信機とビーコン観測によって得られるTEC値を、それぞれGPS-TECおよびGRBR-TECと表記する。</p> <p>第2章はGRBR-TEC観測におけるTEC絶対値の推定手法についての研究である。観測されるGRBR-TECは相対値であり絶対値の推定が必要である。従来は、2地点で観測される共通地点のTEC値が一致すると仮定して求める2地点法によって「バイアス値」を定めてきた。本研究では、タイからインドネシアに設置された5地点の観測データに関して最小2乗法を適用したところ、地点間距離が大きいため収束が極めて悪かった。そこで付近のGPS受信機からのGPS-TEC値を用いてバイアス値の初期値を定め、それを中心に初めは大きく、次に細かく、2段階にわけて候補値を振って逐一探索することによって、5地点からのGRBR-TECが最も合理的に決まる組合せを探した。結果として、北緯25度から南緯10度の広い緯度範囲のTEC値を連続的に決めることに成功した。推定結果とイオノゾンデと衛星観測から独立に求めたTEC値との比較は良好であり、提案手法の有効性が確認された。</p> <p>第3章は、上記の解析手法を発展させた電離圏の緯度構造の研究である。2012年3月に極軌道衛星からのビーコン電波を南北に位置するタイ国内の4地点とインドネシアの1地点で捉えた観測データから、最大では北緯30度から南緯20度にわたる電離圏構造を一気に捉えている。本研究のデータは、各回の観測が約20分と高速で東西幅が約100kmと狭い範囲という特徴を有している。低緯度電離圏では、東向き電場によるEXBドリフトによって磁気赤道付近のプラズマが上昇し磁力線にそって下降するため、電子密度の緯度分布が磁気緯度で±5~10度を中心とする2山構造を示す。いわゆる赤道異常 (Equatorial Ionosphere Anomaly; EIA) と呼ばれる現象である。このEIAの南北半球の非対称性に注目して調べ、24時間にわたる変化を明らかにし、非対称性のパターンが3日間で変動を繰り返すこと等を明らかにした。</p> <p>第4章では、2012年3月の観測データのうち、未明に得られた特異的なGRBR-TECの</p>			

変動に注目して電離圏小規模構造との関連を詳細に調べた。5地点から得られたGRBR-TECから、電離圏電子密度に強い空間変動が存在することが明らかにした。続いてGPS受信機で同時観測されたGPS-TEC値の時空間変動を解析し、北西から南東に延びる複数の波面から構成されていることを見出した。

第5章では、長期間にわたるGPS-TECデータからTECのモデル化を研究している。日付・時刻・太陽黒点数（日平均）を入力としGPS-TEC値を出力とするニューラルネットワークを設計し、2005年から2009年の期間に磁気赤道付近で得られたGPS-TEC値をトレーニングデータとしてモデルを作成した。

第6章は、2008年から2011年にタイ国内の15地点において得られたGPS-TECデータを用いてプラズマバブルの発生頻度の統計解析を行っている。GPS-TEC値の時間変動分散によるインデックスROTI (Rate of TEC change Index) を用いてプラズマバブル発生頻度の地方時変化と季節変化を求め、ROTIの水平分布との関係を調べた。さらに赤道大気レーダー観測からプラズマバブルの時間・高度分布についても検討した。

第7章では、以上の研究から得られた知見をとりまとめ、本論文の結論を述べている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、東南アジア域で得られたTEC観測をもとに、低緯度電離圏の構造の解明を目的として研究を進めた。観測手法としてGPS衛星から地上までの電波伝搬ならびに低軌道衛星(高度約1000km)から地上までの2周波ビーコン観測を用い、データ解析手法を開発すると共に、電離圏の大規模な緯度構造と、そのうえに重畳される小規模構造について調べた。得られた主な成果は以下の通りである。

(1) 低緯度衛星からの2周波ビーコン観測から、TEC絶対値の緯度分布を推定する手法を開発した。提案手法は、最適化が局所解に陥ることを防ぎつつ、広い緯度範囲のTEC値推定を可能にした。新しい解析手法の成果として高く評価できる。

(2) 上記の手法を2012年3月に適用して、広範囲の電離圏構造を捉え、赤道異常の時間・空間変動を明らかにした。太陽起源の磁気擾乱時に対して、日中のEIAは大きく反応してTECが増大する。一方、夜間のEIAは磁気擾乱に対する反応が弱い。下層大気起源と考えられる南北風速によって南北非対称性が生じることを見出した。地上観測網から数千kmにわたる電離圏構造を解明したもので、重要な成果である。

(3) 特異的なGRBR-TECの変動に注目し、GPS-TECおよび衛星観測データを併用することで電離圏の小規模構造を明らかにした。GPS-TEC観測とGRBR-TEC観測の組み合わせによって、数十kmスケールの電離圏変動が検出可能であると示した点が注目される。

(4) 磁気赤道付近の長期間のGPS-TEC観測から、ニューラルネットワークを用いてTECをモデル化した。モデル出力とGPS-TEC観測値およびIRI-2007モデル(国際標準電離圏経験モデル)との比較を行って、IRI-2007モデルの問題点を見出した。初めて東南アジア域の大量のGPS-TECデータの解析結果として評価できる。

(5) タイ国内の15地点のGPS-TECデータを用いてプラズマバブルの統計解析を行い、磁気赤道から離れた地点における発生頻度が太陽活動度と相関を持つことを見出した。今後のモデル改良に向けた研究成果として評価できる。

以上要するに本論文は、電離圏TEC観測について、新しい解析手法を提案し、それを用いて新規性の高いEIA緯度構造の研究を達成した。またGPS-TECの統計解析によるTEC値のモデル化にも成功した。本研究の成果は、信頼度の高いGPS測位システムの開発につながる可能性があるなど、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年2月24日に実施した論文内容とそれに関連した口頭試問の結果合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨(例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」)を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。
要旨公開可能日： 年 月 日以降