

氏名	津 川 卓 也
学位の種類	博士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2759 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	Observational Studies on Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances Using GPS Receiver Networks (GPS受信機網を利用した大規模伝搬性電離圏擾乱の観測的研究)
論文調査委員	(主 査) 教授 町 田 忍 教授 深尾昌一郎 教授 竹本修三

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、GPS受信機網から得られる電離圏全電子数(TEC)データを用いて、中低緯度域における大規模伝搬性電離圏擾乱(LSTID)の性質とその伝搬機構に関する研究を行った。LSTIDの2次元構造を初めて捉えたことにより、従来の観測では出来なかった時間変化と空間構造の分離を行った。

具体的には、まず、日本の約1,000点からなるGPS受信機網GEONETに加えて、世界に広く分布する約250点からなるGPS受信機網IGS、アメリカ合衆国の約200点からなるGPS受信機網CORSから得られたTECデータを用い、1999年9月22日の地磁気擾乱時に中低緯度域で観測されたLSTIDの伝搬特性について全地球的な解析を実施した。朝側、昼側、夜側領域で観測されたLSTIDについて、振幅の減衰率を計算したところ、昼側が最も大きく、最大で1.04/1000kmであった。この値は従来考えられていたものよりも非常に大きい。逆に夜側では減衰率は最も小さい値を示した。太陽放射依存性の大きい背景のTECを調べた結果、LSTIDの減衰率と良い相関があることがわかった。そこで、イオンドラッグ効果による減衰を含めた大気重力波モデルを用いて、背景のTECに対する大気重力波の減衰率を求めたところ、モデルから得られた減衰率と、観測から得られた減衰率が良い一致を示すことがわかった。この研究により、イオンドラッグ効果がLSTIDを減衰させる主要な物理過程であることが解明された。また、広領域のTEC観測によって、朝側で観測されたLSTIDの経度幅は北緯55°において2,900km以下であり、必ずしも過去の研究で仮定されてきたような全球的に広がるものではないことを明らかにした。

次に、1999年4月から2002年12月の期間のGEONETデータを用いて、日本上空を赤道方向に伝搬する154例のLSTIDを同定し、統計解析を実施した。その結果、LSTIDは振幅が減衰するもの(減衰率=0~3)が多数であるが、振幅が増大するもの(減衰率=-2~0)も無視できないほど多いことがわかった。伝搬に伴う振幅の増大は、イオンドラッグ効果による大気重力波の減衰だけでは説明できない。LSTIDの正負、いずれの場合の減衰率も、背景のTECよりもLSTIDの水平伝搬速度および周期と良い相関が見られた。そこで、大気重力波の分散関係式を用い、LSTIDの水平伝搬速度と周期から推定される大気重力波の鉛直伝搬角 $\theta$ と、LSTIDの減衰率の関係を調べたところ、正の減衰率は $\theta$ と正の相関を、負の減衰率は負の相関を持つことがわかった。イオンドラッグ効果が磁場と鉛直伝搬方向のなす角度に依存することと、地磁気の伏角は南ほど小さいことを考慮すると、振幅が増大するLSTIDは位相伝搬が鉛直下向きの、振幅が減衰するLSTIDは鉛直上向きの大気重力波に引き起こされたと考えられることがわかった。地磁気の活動度を示すKp指数との関係を調べると、Kp $\geq$ 4の場合、日本上空におけるLSTIDの出現率は、Kp指数と良い相関があった。地磁気擾乱時のLSTIDの出現数は春と秋に多く、地磁気擾乱日の季節依存性とも一致している。しかし、これまでLSTIDが発生するとは考えられていなかった地磁気静穏時(Kp<3)の場合でも、LSTID出現数が無視できないほど大きいことがわかった。また、静穏時のLSTIDはすべて減衰率が正であったが、擾乱時のLSTIDは減衰率が正のものと負のものがあることが明らかになった。減衰率と地磁気擾乱度から、LSTIDを以下の3つのタイプに分類できる。

- ・地磁気擾乱時の減衰するLSTID (Disturbed-time Damping LSTID: DD-LSTID)
- ・地磁気擾乱時の増大するLSTID (Disturbed-time Growing LSTID: DG-LSTID)
- ・地磁気静穏時の減衰するLSTID (Quiet-time Damping LSTID: QD-LSTID)

DD-LSTID, DG-LSTID, QD-LSTIDの出現率はそれぞれ60%, 19%, 21%であった。DD-LSTIDに比べて, DG-LSTIDは速い伝搬速度, 短い周期を持ち, QD-LSTIDは遅い伝搬速度, 長い周期を持つことが明らかになった。

### 論文審査の結果の要旨

地磁気擾乱に伴って高緯度から中低緯度に伝搬する大規模伝搬性電離圏擾乱 (LSTID: 周期30-120分, 水平波長1,000km以上) は, 磁気圏からのエネルギー流入により発生する大気重力波を反映した現象と考えられており, 磁気圏からの直接的なエネルギー流入がない中低緯度電離圏でのエネルギー収支を考える上で, 重要である。しかし, これまでの研究はイオノゾンデやISレーダーなどを用いた数地点における観測を主としたものであるため, 波面の一様性や伝搬方向を仮定した低定性的な議論しかされず, LSTIDの生成・伝搬機構, 例えば伝搬距離と経度幅がいかほどであるかといった基本的な問題は, 未解決のままであった。そこで申請者は, 日本国内に稠密に分布した約1,000点のGPS受信点で構成されるGEONETや汎世界的に観測点が分布するIGSや米国のCORSなどのGPS観測網のデータを用いて, 電離圏全電子数(TEC)を算出し, 1999年9月22日の地磁気擾乱時に観測されたLSTIDについて, 研究を実施した。LSTIDの伝搬に伴う振幅の空間減衰率を求めたところ, 昼側が最も大きく, 最大で1.04/1000kmであったが, この値は従来考えられていた値よりも非常に大きかった。逆に夜側においては小さな値を示した。さらに, LSTIDの振幅は背景のTECの値と正の相関のあることを見いだしたが, この原因を探るために申請者は, イオンドラッグ効果を取り入れた大気重力波の伝搬を記述する式を用いて, 背景TECに対する大気重力波の空間減衰率の変動を求めた。そして, それがLSTIDの減衰率の変動と一致することを見いだした。

この結果は, 近年, 密なGPS観測網が置かれ, 電離圏の水平2次元の詳細な構造が得られるようになった点を生かして, LSTIDの伝搬性を初めて定量的に求めた仕事として高く評価される。また, LSTIDの経度幅は緯度方向に伝搬する距離に比べて非常に小さいという興味深い事実を見いだして, 新しい問題の提議を行った。

申請者は, 次に, 約45か月間のGEONETデータから154例のLSTIDを抽出して統計解析を行った。その結果, 先の事例解析では1例のみであった負の減衰率, すなわち低緯度に伝搬するにつれて振幅が増大するLSTIDも, 実は頻繁に出現することを見いだした。その原因は鉛直下向きの大気重力波が低緯度に伝搬する際に, 中性大気運動の速度ベクトルが地球磁場となす角度が小さくなってゆくために, イオンドラッグの効果が減少して, 中性大気がプラズマを磁力線方向に変位させることによって発生・成長するLSTIDがTEC変動の発達として検出されるという仮説を提唱した。

また, 低緯度に伝搬するに従って成長するLSTIDは地磁気の活動度をあらかずKp指数が4以上の時にのみ見られる現象であるのに対し, 減衰傾向を示すLSTIDはKp指数の大小に関わらず出現することが, 今回の研究によって初めて明らかにされた。

これら一連の研究は, GPS観測網の特徴と利点を生かし, 今まで未解明であった, LSTIDの発達・伝搬過程を定量的に捉え, それが大気重力波の発達・伝搬過程と密接に関連していることを明確にした点で, 電離圏・超高層大気科学の分野において大きな貢献をしたものとして評価される。よって, 本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また, 論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果, 合格と認めた。