

氏 名 新 海 雄 一

学位（専攻分野） 博士（理学）

学 位 記 番 号 総研大甲第761号

学位授与の日付 平成16年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 極域科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 SuperDARN HFレーダーによる高緯度電離圏

Pc 3-4脈動現象に関する研究

論 文 審 査 委 員	主 査 教授	江尻 全機
	教授	麻生 武彦
	教授	佐藤 夏雄
	助教授	宮岡 宏
	教授	利根川 豊（東海大学）
	教授	湯元 清文（九州大学）

論文内容の要旨

地球磁気圏では様々な電磁流体波が存在する。この中で、周期が 10 秒～150 秒 (6.6mHz～100mHz) の脈動は Pc3-4 地磁気脈動に分類され、昼側の磁気圏および地上で頻繁に観測される現象である。頻繁に観測されるこの脈動を本論文では古典的 Pc3-4 脈動と呼ぶ。古典的 Pc3-4 脈動は地球磁気圏前面の Bowshock 上流のイオンサイクロトロン不安定性によって発生し、それが磁気圏シース領域を経て、地球磁気圏内に伝播してきていると考えられている。しかし、磁気圏シース領域内での Pc3-4 脈動の特性はあまり明らかになっていない。また、地上の磁力計や電離圏の観測から、Pc3-4 脈動の強度が磁気圏シース領域とつながっていると考えられる高緯度カスプ域で最大となることが報告されているが、その伝播機構についてもあまり明らかにされていない。本研究では、磁気圏シース領域と電離圏カスプ域を含む高緯度電離圏での Pc3-4 脈動を同時に観測し、その現象の特性を詳しく解析・研究することにより、Pc3-4 脈動の発生・伝播機構を明らかにすることを目的としている。

この目的の為に、南北両極域の広域電離圏を観測する SuperDARN HF レーダーと磁気圏シース領域を観測する GEOTAIL 衛星との同時特別観測を企画・実施した。この特別観測では、SuperDARN HF レーダーは Pc3-4 脈動を検出するために特定のビームのみを高時間分解能モードで観測した。特別観測は 2002 年 1 月から 2003 年 3 月までの間、GEOTAIL 衛星が SuperDARN HF レーダーの視野下を通過する軌道に合わせて 7 回実施した。また、2003 年からは、CUTLASS レーダーではステレオモードを用い、グローバルスキャン観測も同時に実施している。その結果、2002 年 2 月 12 日と 2003 年 2 月 17 日に明瞭な Pc3-4 脈動を観測することができ、その詳細な解析・研究を行った。

2002 年 2 月 12 日の観測では、これまでの HF レーダー観測では報告されていない Pc3-4 脈動現象が CUTLASS Iceland East レーダーで観測された。この脈動の周波数は 16.4mHz～19.7mHz (約 50 秒～60 秒) であり、波数は 5～9 と小さかった。波数が小さい脈動は地上でも同様な地磁気脈動が観測されることが知られている。しかし、地上に存在する地磁気観測点では同じ周期の磁場変動は観測されなかった。また、エコーパワーがドップラー速度と同様に周期的に変動し、相互の位相差が 90° であった。この脈動現象に、過去の研究で Pc3-4 脈動の発生・伝播機構であると考えられている磁力線共鳴を適用した場合には、本観測で得られている脈動の特徴を十分に説明することはできなかった。そのため、エコーパワーが周期的な変動をしていることと、1keV 以下の電子のフラックスがエコー領域内で増加したことから、本観測で得られた電離圏電場脈動は、Pc3-4 脈動によって modulate された電子フラックスの振込みによって励起された電離圏電場の変動であると考えた。その結果、地上磁場との相関や、エコーパワーとドップラー速度の位相差、および脈動の伝播方向について説明することができた。このため、観測された電離圏電場脈動は、古典的な Pc3-4 脈動ではなく、電子の振込みによって発生した電場変動であると結論した。

2003 年 2 月 17 日に行われた観測では、より明瞭なエコーを得るために、CUTLASS HF レーダーの視野内にある EISCAT ヒーターによる電離圏加熱実験も合わせて行った。その結果、地磁気の南北方向を視野とする CUTLASS Finland レーダーにおいては周波数が

13.1mHz～16.4mHz（約 60 秒～75 秒）の明瞭な Pc3-4 脈動が観測された。一方、地磁気の東西方向を視野とする CUTLASS Iceland East レーダーでは、同じ加熱領域から周波数が～4.7mHz（約 212 秒）の Pc5 脈動が同時に観測された。この特性は、Pc3-4 脈動は南北方向に偏った振動を、Pc5 脈動は東西方向に偏った振動をしていることを示唆している。この Pc3-4 脈動は波数が 50～100 と大きく、この電離圏脈動に対応する地磁気脈動は地上の地磁気観測点で観測されていなかった。一方、Pc5 脈動は波数が～10 であり、多くの地磁気観測点で観測されていた。また、この二つの脈動の開始時刻にはずれがあり、異なる発生機構による脈動が同一磁力線上に存在していたことを示唆している。この Pc3-4 脈動の発生機構は、脈動の特性が Giant Pulsation (Pg) とよく似ていることから、Pg と同じドリフト共鳴が候補にあげられる。この脈動は、位相の空間的変動が、ある時間を境に、位相遅れが低緯度側方向から高緯度側方向へと変化が逆転する特徴を持っていた。この位相変化の特性に関しては、同時に観測された Pc5 脈動の位相変化から、プラズマ圏境界付近における急激なプラズマ密度の増加による Alfvén 速度の減少によって説明できる。

以上のことから、本研究によって観測された 2 例の高緯度電離圏電場 Pc3-4 脈動は、これまでに地上や衛星で多くの観測・研究が行われてきている発生頻度の高い古典的な Pc3-4 脈動とは異なった特徴を持つ別なタイプの脈動であることが、電離圏での HF レーダーの観測によって初めて明らかになった。

以下、本論文の構成について述べる。論文は 5 章から構成されている。第 1 章では、地球磁気圏における脈動現象、および、これまでの Pc3-4 脈動に関する研究結果について概説し、本論文の目的と意義を述べた。第 2 章では、本研究に使用した観測機器について述べた。本論文で使用している極域電離圏の電場データは、CUTLASS レーダー、SENSU Syowa East レーダー、Kerguelen レーダーによって観測されたものである。さらに、宇宙空間でのデータとして GEOTAIL 衛星を使用し、地上磁場データとして IMAGE 磁場観測チェーン、SAMNET 磁場観測チェーン、Iceland Tjornes 観測点、Jan Mayen 観測点、南極 Davis 基地観測点を使用した。第 3 章では、観測の詳細と得られたデータの解析結果、および、観測された脈動現象の特徴について述べた。第 4 章では、本観測で得られた Pc3-4 脈動の考察を行った。第 5 章は、本研究のまとめである。

論文の審査結果の要旨

本学位論文は、極域の電磁圏で観測される電磁流体波動現象の中で周期が 10 秒～150 秒の Pc3-4 脈動現象に注目し、その発生と伝播特性に関し、主に SuperDARN レーダーを用いて研究した。

研究目的と手法は、新たな観測手法である電離圏の電場が観測できる HF レーダー（短波レーダー）を用いて、Pc3-4 脈動現象の発生と伝播機構を探るものである。この目的の為に、発生領域と考えられている磁気圏シース領域を通過する Geotail 衛星の軌道に合わせて SuperDARN レーダーの特別観測を立案・実施した。得られた観測結果は地上磁場観測データとも比較・参照した。この研究の為に、合わせて 7 回の SuperDARN レーダー特別観測を学位申請者が自ら立案・実施した積極的な姿勢は高く評価できる。

本論文では、これらの特別観測で得られたデータの中から特に興味深い 2 イベントについて詳しい解析を行った。一つのイベントは、2002 年 2 月 12 日観測結果であり、周期が 50 秒～60 秒の強いエコー強度変動とドプラー速度変動（電場変動）が北半球の Iceland East レーダーで観測された。興味深い観測結果として、北半球で観測された電離圏 Pc3-4 脈動に対応する変動が Geotail 衛星や南半球の共役点 HF レーダーで観測されなかったことと、南北両半球の地上磁場変動としても全く観測されなかったことである。この特性は、従来から言われている、磁気圏磁場の共鳴(field line resonance)モデルでは説明できないことが解った。そこで、新たなモデルを提案した。そこでは、Pc3-4 脈動に対応する高エネルギー粒子の周期的な降り込みが電離圏にあり、それにより引き起こされた電気伝導度の周期的変動、つまり、電場変動を HF レーダーが観測している、とした。このモデルにより、上記の HF レーダーの非共役性と地上磁場における変動が検知できなかった観測事実を説明することができた。このモデルが正しいか否かの検証は今後の衛星などとの同時観測が必要となるが、学位申請者の独創的な提案・提起は高く評価できる。

もう一つのイベントは、2003 年 2 月 17 日に実施した特別観測の結果である。この観測では、Geotail が通過する時刻に合わせ、ノルウエーのトロムソにある EISCAT ヒーター実験装置を用いて電離圏を人工的に加熱し、強いエコーをもたらす加熱領域を互いの視野が直交する Finland HF レーダーと Iceland East レーダーとで同時に観測した。南北方向を視野とする Finland HF レーダーの電場変動では周期が 60 秒～70 秒の Pc3-4 脈動が観測された。一方、東西方向を視野とする Iceland East レーダーでは Pc3-4 脈動よりも長周期である約 200 秒周期の Pc5 脈動現象が観測された。Geotail 衛星の観測では、HF レーダーで観測された Pc5 脈動現象と似た現象は観測されたが、Pc3-4 脈動現象は観測されなかった。また、地上磁場変動との比較においては、HF レーダーの長周期 Pc5 脈動現象に対応する変動は観測されたが、Pc3-4 脈動現象は、2002 年 2 月 12 日イベントと同様に、HF レーダーに対応する地上磁場変動が全く観測されなかった。これらの観測結果から、Pc5 と Pc3-4 の両者の脈動現象の発生・伝播機構が全く異なることが確認できた。本論文では、HF レーダーで観測された電離圏 Pc3-4 脈動に対応する地上磁場変動が全く観測されない原因として、レーダーで観測された

脈動の波数が 50~100 と大きいことから、積分効果により、地上では観測されなかったと結論した。また、この電離圏 Pc3-4 脈動現象の発生機構として、過去の類似現象を精査することにより、プラズマポーズ付近における Drift bounce resonance により説明できることを提唱した。

上記の 2 イベントは、本研究の出発時点で想定していた従来の Pc3-4 脈動現象とは全く異なる特徴・特性を持つ現象であることが明らかにされた。この事実は、新たな観測手法を用いた電離圏で観測される Pc3-4 脈動には、過去に多くの報告がある、地上磁場観測や衛星観測で得られている Pc3-4 脈動現象とは全く異なるタイプ・特性を有する脈動現象が存在することを示唆しており、この分野の研究の発展に新たな一石を投じる、重要でユニークな研究成果である。

まとめとして、本申請の学位論文は、研究目的に焦点を絞った特別観測の立案・企画から実施までを本人が直接携わり、得られた観測データの詳しい解析とその現象の物理的解釈を行い、現象モデルの提案にまで及んだ。得られた結果は、ユニークで重要な知見でありこの分野の新たな展開を促すものと言える。以上の理由により、本審査委員会では、本論文が学位授与に相応しい十分な内容を持っていると認めるものである。