

|         |                                                                                                                                                                            |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名     | よこ 横 やま 山 たつ 電 ひろ 宏                                                                                                                                                        |
| 学位の種類   | 博 士 (情 報 学)                                                                                                                                                                |
| 学位記番号   | 情 博 第 108 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  | 情 報 学 研 究 科 通 信 情 報 シ ス テ ム 専 攻                                                                                                                                            |
| 学位論文題目  | A study of midlatitude ionospheric E-region irregularities with<br>rocket/radar experiment and numerical simulation<br>(ロケット/レーダー観測と数値シミュレーションによる中緯度電離圏E領域<br>不規則構造に関する研究) |
| 論文調査委員  | (主 査)<br>教 授 深 尾 昌 一 郎    教 授 津 田 敏 隆    教 授 佐 藤    亨                                                                                                                      |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、中緯度電離圏E領域（高度90～150km）に発生する電子密度の不規則構造（Field-Aligned Irregularities; FAI）の生成機構を、レーダー観測、ロケット観測、数値シミュレーションを用いて総合的に論じたもので、以下の7章から成っている。

第1章は序論であって、地球大気構造の概略を述べた後、高度100km付近に出現するスボラディックE層（Es層）について述べている。

第2章では、電離圏E領域の力学過程とそこで生じるプラズマ不安定に関して述べている。まずFAIの歴史的な研究背景について述べ、次いで中緯度域においてFAIの原因となるプラズマ不安定の機構について概説している。さらに、Es層に付随して発生する準周期（Quasi-Periodic; QP）エコーと呼ばれる特徴的なレーダーエコーに着目し、現在までに提唱されている生成機構について詳述している。

第3章では、QPエコーとそれに伴う物理量の特徴をレーダー、及びロケット観測に基づいて論じている。過去のレーダー、ロケット観測結果から、QPエコーの空間構造、出現特性について概説し、Es層に付随する分極電界の重要性について述べている。また、2002年8月に実施されたロケット観測キャンペーンSEEK-2（Sporadic-E Experiment over Kyushu）で得られた分極電界の解析を行い、電界は波長10km程度の周期的な鉛直構造を持ち、同時に観測されたレーダーエコーや電子密度などとの間に良い対応が見られることを示している。さらに、E領域下部におけるEs層の水平構造との対応について示唆している。

第4章では、中緯度電離圏E領域のシミュレーションモデルを開発し、Es層に伴う分極電界の生成について論じている。まず2次元シミュレーションにより、Es層内で電子密度の水平方向の不均一構造が存在する場合に強い分極電界が生じることを示し、この分極電界が地球磁場に沿って写像（マッピング）されることにより磁力線に沿った電子密度構造が形成されることを示している。さらに、3次元に拡張したシミュレーションを用いて、Es層の構造により生成される分極電界の様子が大きく異なること、F領域（高度150km以上）の導電率がE領域の分極電界の生成に強い影響を持つことを示し、E-F領域間の電磁力的結合がこれらの電離圏の物理過程に重要であることを示唆している。

第5章では、第4章で開発した中緯度電離圏E領域のシミュレーションモデルと中性大気のシミュレーションモデルを組み合わせ、大気重力波が電離圏E領域に与える影響について論じている。地表付近において発生した大気重力波は高高度に伝搬するにつれて振幅が増大し、電離圏高度では背景風に対して無視できない振幅を持つ。この大気重力波が、Es層を形成する東西風シアが存在する高度に到達した場合、クリティカルレベルでEs層を強く変形させ、同時に強い分極電界が生成されることを示している。また、レーダー観測から得られるQPエコーの典型的な空間構造は電離圏高度における大気重力波の波面構造により説明可能であることを示している。

第6章では、観測と数値シミュレーションの結果を総合的に検討し、電離圏E領域の力学過程とQPエコーの生成機構に

ついて議論している。まず、ロケット観測結果を数値シミュレーションにより検証し、観測結果を定量的に論じている。また、中性大気及びF領域における現象とQPエコーとの関連性を議論し、それぞれの現象間に対応関係が見られることから、中性大気、F領域共にE領域の物理現象に強い影響を与え、それぞれ相互に強く結合していることを示唆している。最後に、本論文で示された観測結果とシミュレーション結果を総合的に解釈し、QPエコーの準周期的構造、高度方向の広がり、付随する分極電界の生成等の生成機構を提示している。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果をまとめている。

## 論文審査の結果の要旨

電離圏E領域は下層の中性大気と宇宙空間をつなぐ遷移領域であり、中性大気と電離大気の両者の影響を強く受けるため、現在も未解明な現象が多く残されている。特に、スボラディックE層（Es層）に付随して頻繁に発生する電子密度の不規則構造は、衛星電波等の通信障害の原因となるため、その生成原因の解明が待たれていた。これに対して本論文は、中緯度電離圏E領域を観測、数値シミュレーションの両面から考察し、電子密度不規則構造の生成機構について総合的に論じている。得られた主な成果は次の通りである。

(1) 1996年と2002年に実施されたロケット観測実験の結果、電離圏E領域内の電界が高度方向に波長10～15km程度の構造を持つことが示された。この構造は同時に観測されたレーダーエコー、電子密度とも良い対応を示し、準周期的構造がE領域上部においても実際に存在することが確認された。

(2) ロケット観測で得られた強い分極電界は、Es層の水平不均一構造がその原因であることが数値シミュレーションにより示された。さらに、F領域の導電率がE領域の分極電界の生成に強い影響を持ち、Es層の構造自体もE-F領域間の結合過程（カップリング）に影響を与えることが示された。

(3) 下層大気で生成され電離圏高度まで伝搬してきた大気重力波の波面構造が、磁力線に沿った電界写像（マッピング）により電子密度不規則構造の典型的な空間構造を形成することが数値シミュレーションにより再現された。同時に、大気重力波により分極電界の原因となるEs層の水平不均一構造も形成された。不規則構造の多くの特徴が大気重力波により説明可能であることが示された。

本論文により、Es層に伴う電子密度不規則構造の生成機構が提示された。この結果は、Es層による通信障害の予測等に寄与することが期待される。一方、現在までの超高層大気の研究は領域毎に独立した研究が主であり、領域間の相互作用に関する研究は未だ不十分なままである。本論文は中性大気と電離圏E領域間、並びにE領域とF領域間の相互作用に関して初めて定量的な解釈を与えたものであり、学術上寄与するところが大きい。

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16年1月26日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。