

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	安藤 慧
論文題目	Numerical studies of sporadic E layer dynamics at geomagnetic mid-latitudes (磁気中緯度域におけるスポラディックE層の動態に関する数値的研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、地磁気的中緯度域において発生する突発的な高プラズマ密度層であるスポラディックE層(以下Es層と呼ぶ)について、その生成・発達・消滅の動態を、3次元数値モデルを用いて解明した研究である。平均的な挙動ではなく、個々の日の振る舞いの再現を目指した点が従来の研究と大きく異なる点である。</p> <p>まず、第1章ではEs層についての観測例、生成の物理過程、従来のEs層数値モデルについて紹介し、それらを踏まえて本研究の目的を述べている。</p> <p>第2章では、本研究で開発した3次元電離圏地域モデルについて、その支配方程式、化学過程、計算領域、初期状態などを記述している。Es層の核となる金属イオンとしてはカルシウム、マグネシウム、鉄を用いている。</p> <p>第3章では、3次元電離圏地域モデルを用いて東京周辺におけるEs層の日々変動の再現を行った。この結果と、夜間の東京上空においてライダーで観測されたカルシウム・イオンの高度分布の時間変化と比較したところ、Es層の層の数、下降速度などの日々の変動について高い一致を示した。これにより、Es層の日々変動は中性大気の半日潮汐、一日潮汐の日々変動が支配的であることが示された。</p> <p>第4章では、地磁気的には東京周辺と同緯度であるが、地理的にはより低緯度であるプエルトリコのアレシボ周辺におけるEs層の日々変動の数値モデルによる再現を行い、その結果をアレシボISレーダーによる電子密度高度分布の時間変化と比較して検証した。地理緯度の違いにより東京周辺よりもより一日潮汐の影響が大きくなり、Es層の変動の様子は異なるが、この地域においても、開発した数値モデルによってEs層の日々変動の基本的な性質が再現されることが示された。</p> <p>第5章では、Es層の形成・発達・消滅における電場の寄与についての数値計算が行われた。その結果、電場は高度110km以上のEs層のダイナミクスに影響を与えることが示され、特に昼間のEs層の密度の増加と、夕方のEs層の降下について電場の寄与が大きく、電場を考慮した数値モデルは電場を考慮しない数値モデルよりも、アレシボISレーダーによるEs層の観測について、高い再現性を持つことが示された。</p> <p>第6章では、Es層の3次元構造の時間変動の解析がされ、Es層が下降するとともに中性大気とプラズマとの衝突の増大によりEs層の振る舞いは変化し、その変化は4つの段階に分けられることが示された。</p> <p>第7章では、Es層の水平移動の解析がされ、高度110km以上では主に東西風の速度が0となる領域にEs層が捕らわれているが、高度110km以下では主に中性風によって流されるため、Es層の水平移動は高度と地方時に依存して変動することが示された。</p> <p>第8章では、通常はEs層の発生が少ない冬期に20日程度の間、Es層が活発になる現象の数値モデルによる再現が行われ、この活発な期間は、高度100-120kmの中性風によってイオンの鉛直輸送が強化されることで生じていることが示された。</p> <p>最後の第9章では、この研究から得られた結果がまとめられ、全体的な結論と今後の展望が述べられている。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

スプラディックE層 (Es層) は、突発的に発生する高プラズマ密度層であり、科学的にはその突発的な振る舞いを起こす過程が興味を集めており、工学的には通信・放送・測位・航空機管制などの電波の異常散乱や伝搬障害への影響が興味を集めている。従来のEs層の数値モデルによる研究では、Es層発生 of 季節変化、緯度・経度変化の再現に重点が置かれており、Es層の日々変動やその突発性の再現は試みられていなかった。本論文は、高時間・空間分解能をもつ3次元電離圏数値モデルを開発し、それを用いて、ある日・ある時のEs層の3次元構造の再現を行う挑戦的な研究であり、その再現に一定の範囲で成功していることがライダーとレーダーによる観測との比較によって示されている。平均的描像ではなく、個々のEs層の再現の可能性を示した本論文の学術的価値は高く、Es層のみならず幅広い電離圏現象の将来の予測・予報への可能性を示すものである。

本論文では、全大気モデルGAIAによる風と電場を用いて、電離圏モデルを駆動している。GAIAモデルは、地表から熱圏までの中性大気とプラズマ大気を含む全球数値モデルであり、対流圏と成層圏には観測データに基づく客観解析データを用いているため、ある日・ある時の地球全大気の再現を目指しているものである。しかし、Es層形成の核となる金属イオンはGAIAモデルには含まれていないため、その中ではEs層は再現されない。そこで本研究では、そのGAIAモデルから得られる大規模な風と電場の構造を高分解能な3次元電離圏地域モデルに組み入れることで、時々刻々のEs層の再現に成功している。

観測では得ることができないEs層の3次元構造の時間発展を再現したことにより、突発的として観測されるEs層の振る舞いは4段階に分けて理解できること、激しい突発性は時間変化ではなく、水平に移動する空間構造によって起こされていること、地理的緯度に応じて異なる半日潮汐、一日潮汐の振る舞いの違いから、同じ地磁気的緯度によっても地理的経度による地域的な違いが生じること、Es層の水平方向の移動は高度によってその物理過程が異なり、地方時依存性を示すこと、などの性質が明らかにされた。これらはEs層の観測事実を理解する上で指針となるEs層の性質であり、今後のEs層の観測的研究に本論文が与える影響は大きい。

また、過去の研究で見解が分かれている電場のEs層への寄与についても、本論文で示されている結果は説得力があり、その検証のためには観測ロケットによるEs層内外での電場、風、プラズマ密度などの直接観測を必要とするが、まだ観測では捉えられていないEs層の特性の予測として学術的意義が高い。さらに、従来は例外的な現象として十分な議論がされていなかった冬期におけるEs層の一時的な活発化についても、開発された数値モデルで再現可能なことを示している。

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、令和5年1月16日、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。

要旨公表可能日： 年 月 日以降