

論文審査の結果の要旨

氏名 滝澤慶之

「宇宙プラズマ観測のための次世代極端紫外線分光撮像技術の開発」と題する本論文は7章からなり、第1章では観測対象である地球プラズマ圏・磁気圏・極風におけるプラズマ撮像に関して、本研究の背景をまとめている。本論文の主部である第2-6章では、まず第2章で要素技術のひとつである極端紫外域に高反射率を持つ多層膜鏡の開発を記述している。第3章は最重要要素技術であるSTJ(superconducting tunnel junctions detector: 超伝導トンネル結合光検出素子)の開発・製作・性能テストの記述であり、さらに将来を見越しての大規模2次元化、およびそれに伴う増幅・読み出し回路の開発にも及んでいる。第4章ではSTJを使った地球周辺でのプラズマ撮像システムを構想し、第5章ではさらにそれを発展させた「超広帯域スペース望遠鏡」や「スペース昴」の性能を検討している。第6章は本研究の端緒となったロケットによる地球プラズマ圏撮像観測の記述であり、第7章がまとめとなっている。

磁気圏物理学はこれまで主に人工飛翔体による局所的直接観測によって研究が進められてきた。しかし、広大な領域の全体像をつかむには統計的な手法が必要であり、時間分解能を犠牲にしなければならなかった。光学遠隔測定は大局的な観測に適しており、直接観測と相補的な特徴を持つ。ただし欠点としては、(1)直接得られる量は視線方向積分量であるため、局所量を知るには数学的処理を必要とする、(2)高速イオンによる共鳴散乱光測定の場合は、ドップラー効果の影響を複雑に受ける、などが挙げられる。ところが、惑星プラズマ大気観測に適した輝線は $\text{He}^+30.4\text{nm}$ 、 $\text{He} 58.4\text{nm}$ 、 $\text{O}^+83.4\text{nm}$ など極端紫外域のものが多く、透過・反射ともに適当な光学材料に乏しいため、それらを測定できる高効率の光学系がなかなか実現しなかった。論文提出者は1990年代はじめより、軟X線・極端紫外域で高反射率を得られる多層膜鏡の開発に携わり、1998年には実際にその多層膜鏡を用いた広角撮像装置をロケットに搭載して大気圏外に打ち上げ、プラズマ圏を $\text{He}^+30.4\text{nm}$ 輝線で撮像することに成功した。その結果、その大局構造に電離圏構造が反映されていること、夕方側プラズマ圏でプラズマ柱密度が減少していることを始めて見出した。論文提出者は観測に関っただけではなく、多層膜鏡製作は勿論のこと、さらに高精度多層膜の形成に必要な多自由度蒸着装置の設計・製作も主導している。

しかし、論文提出者はこれに止まることなく、さらに高性能なX線・極端紫外線撮像システム実現を目指した。そのために行ってきたのが本論文の主要部をなすSTJの開発である。この素子は、(1)光子カウンタと同時にエネルギースペクトルが得られる、(2)X線から赤外線まで感度域が極めて広い、(3)熱雑音が原理的にない、(4)10kHz以上の応答速度が得られる、などの優れた特徴をもつ。これらの特徴の多くは0.0002 eVという小さなエネルギーギャップにより実現されている。論文提出者はその開発作業の各所に主体的に関わり、素子の製作そのものをはじめ、X線・極端紫外域での性能テスト、読み出し回路の開発も行っている。この結果、極端紫外域における分解能15(回路系雑音除去後)とほぼ世界先端レベルを達成している。論文提出者はこれを用いた磁気圏 $\text{O}^+83.4\text{nm}$ および極風 $\text{O}^+83.4\text{nm}$ の撮像システムを構想し、その性能を評価している。さらに、STJの大規模2次元アレイが開発できれば、X線用の斜入射結像系と組み合わせることにより、硬X線から遠赤外線にいたる極めて広い波長域で、波長情報を取得しつつ撮像できるシステムが実現可能なことを示した。光学遠隔測定はこれまで、エネルギー情報か明るさかのいずれかを犠牲にしてきたが、STJはその両方を同時に得られる夢のような検出素子であり、将来の惑星プラズマ大気観測をはじめ、多くの理学分野での貢献が期待できる。そのような広大な可能性の端緒を開いたという点で、本研究の意義は大きい。

本論文の第2-6章は東京大学・中村正人博士など多くの人々との共同研究であるが、いずれの場合においても、その多くの部分が論文提出者の創意・工夫と努力によるものと判定する。

以上に示したように、本研究は地球惑星科学、特に惑星プラズマ大気物理学の進展に輝ける貢献を為しており、提出論文は博士(理学)の学位請求論文として合格と認める。