

## 論文審査の結果の要旨

氏名 藤川 暢子

地球、金星、火星の上層大気の組成、温度は高度と共に変わり、また、太陽活動に大きく影響されているが、熱圏～外圏大気の主成分は酸素原子、その温度は 500~1000K である。熱圏大気の構造とダイナミクスは酸素原子の生成・消滅、輸送過程に大きく支配されており、これらの物理過程の研究において酸素原子の速度分布の情報が重要なのは当然であるが、これまでの中性ガス質量分析器ではそのようなデータを得ることができなかつたため、定性的な議論に留まっている。従来、ロケット／衛星に搭載された中性ガス質量分析器では、中性ガスを電子銃で電離して生成されたイオンを加速、すなわち、初期エネルギーの広がりを見捨てたエネルギーに揃え、特殊な形状の電磁場を通してイオンの速度選別をすることにより質量を求めるという原理に基づいていたので、元の中性ガスの速度分布を測定することが原理的に不可能である。また、上層大気の主成分である酸素原子に関わる測定データの信頼性にも疑義がある。すなわち、酸素原子は反応性が強いので、測定器内の壁に吸着している酸素原子が他の原子、分子と反応して新たな分子（例えば、NO、O<sub>2</sub>）を生成する。そのため、得られた質量スペクトルに現れる原子・分子ピークだけでなく、壁との反応で生成される分子成分も含めて解析する必要があるが、それらの分子成分は自然にも存在するので、そう簡単なことではない。地上の実験室におけるデータと経験則を用いて自然に存在する原子・分子密度を求めているのが実態である。本論文の目的は、測定器に入射してくる中性ガスの速度分布を種別毎に測定するための新しいタイプの質量分析器を開発することである。このことにより、測定器内の壁の影響を必然的に無くすることができるのもメリットになる（壁に吸着した成分と反応して生成された分子の速度は入射してきた粒子速度の半分程度に落ちる）。

本論文は全 5 章から構成されており、まず第 1 章で研究の動機と目的について述べている。上層大気の中性ガスを種別毎に速度分布を測定することの意義を総括すると共に、過去のロケット・衛星搭載用質量分析器、中性ガス温度・測定技術をレビューし、新しいタイプの質量分析器開発の必要性を述べている。第 2 章で、種別毎に速度分布関数を測定することのできる新しいタイプの中性ガス質量分析器を考案し、その設計原理から具体的な設計、期待される性能と誤差評価を数値的に議論している。第 3 章では、前章で設計された分析器を試作し、その特性を実験的に調べている。新しいタイプの測定器を開発する場合、当初の予想にない技術的な問題が生じることはしばしばあるが、今の場合も例外ではなかった。第 4 章ではそれらの問題を詳細に検討している。最後に第 5 章で、本論文で得られた成果と今後の課題をまとめている。

第 2 章で述べている設計原理は単純ではあるが、これまでにない新しいアイデアに基づくも

のである。すなわち、測定器に入射している中性粒子をパルスの電子ビームで電離した後、(1) 入射速度に垂直な方向に一様電場を印加することにより生成されたイオンを加速し、(2) 一定の距離の所に置かれた検出器により飛行時間を測定しようとするものである。(1)により入射方向の速度は保存されるので、電子ビームの場所から検出位置までの距離は入射速度と飛行時間から求めることができる。また、その飛行時間はイオンの質量と電荷量及び飛行距離の関数となる。従って、粒子種別で決まる飛行時間窓の間に検出された位置を知ることにより、粒子の質量弁別と速度分布関数を独立に求めることができるというのが原理である。実際の分析器では、円筒上の形状の中心に電子銃を配置し、軸対称な  $360^\circ$  のディスク状の視野を有する分析器を考案している。本章では、その設計パラメータを数値的に求め、予想される性能と誤差評価を行っている。

第3章では、前章の設計に基づいて試作した分析器の性能を実験的に調べている。具体的には、電子銃によるパルスの電子ビームの特性、飛行時間法による中性ガスの質量分析性能、及び、飛行時間窓の間に検出された位置分布から粒子の速度分布、温度測定に関する実験を行い、その結果を議論している。その結果、この新しいタイプの中性ガス質量分析器が所定の目的を達成可能であるという結論が得られたが、検出された位置分布のイメージは粒子の速度分布関数、温度で単純に決まるものにならないという予想外の問題が判明した。それは、飛行時間計測のために印加される電場がイオン源の領域にわずかな空間的非一様性を形成していることによるもので、実験室の残留ガスを用いて試作した分析器の試験を行わざるをえないため、電離されたイオンが室温 ( $300\text{K} \sim 0.03\text{eV}$ ) という超低エネルギーイオンであり、その初期運動が微小電場に大きく影響された結果であることが判明した。この問題を数値実験により評価した結果に基づいてその対策法を議論したのが第4章である。

第5章では、新規開発の中性ガス質量分析器が当初の目的である粒子種別毎に速度分布を測定できるという結論をまとめ、今後の展望を述べている。

以上、本論文では、惑星の上層大気の構造とダイナミックスの研究のために新たなタイプの中性ガス質量・速度分析器を考案、試作実験した結果がまとめられている。この分析器は今後、惑星の上層大気の研究に大きく貢献することが期待され、本論文の成果は博士(理学)を与えるに十分な内容であると認められる。なお、本論文の内容は、鶴田浩一郎氏、早川基氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断される。

したがって、博士(理学)を授与できると認める。