

論文審査の結果の要旨

氏名 栗原純一

「ロケット実験で観測された下部熱圏の構造とエネルギー収支」と題するこの論文は 6 章より成り、これまで下部熱圏で用いられてきた経験モデルが重大な誤りを含んでいることを明らかにした。第 1 章では、この研究の背景としての熱圏構造・エネルギー収支およびそれらに対する窒素分子振動温度の役割がまとめられている。第 2 章では、電子線蛍光法による窒素分子密度・振動温度・回転温度の測定原理・測器開発・較正が記述され、第 3 章では 2002 年 2 月に行なわれたロケット実験と、得られたデータの解析が詳述されている。第 4 章では、ロケット飛翔に伴う衝撃波に起因する測定誤差を、モンテカルロ法に基づくシミュレーションによって補正している。第 5 章では得られた大気密度・温度分布を吟味した結果、現在広く用いられている経験モデルに修正を迫り、第 6 章でまとめかつ将来を展望している。

下部熱圏の温度分布・エネルギー収支は測定が困難なこともあり、不明の点が多い。1970 年代に高度 100km 付近の電子温度が中性大気温度に比べ数 100K 高いことが指摘され、その加熱源として振動励起した窒素分子が考えられた。この振動温度を測定して高い電子温度の謎を解こうとしたのが、この研究の当初の動機だった。電子線蛍光法に基づくプロトタイプによるロケット実験は 1996 年に行なわれて成功したが、データの S/N 比が足らなかったため、有意な振動温度の上昇を捕らえることはできず、電子温度の謎に答えをだすことはできなかった。論文提出者は装置の S/N 比を 5 倍改良して再実験にのぞみ、窒素分子振動温度に関しても 100-150km で中性大気温度よりも数 100K 有意に高いという結果を得た。これは中低緯度において窒素分子振動温度の有意な上昇を示した初めての観測である。しかし、別の研究者によるシミュレーションとの比較から、数 100K の電子温度上昇を結果するには不足と著者は結論している。

当初の目的は否定的な結果となったが、同時に得られた窒素分子密度・回転温度に重要な情報が含まれていることを論文提出者は見逃さなかった。両者は標準大気モデルから著しくはずれた波状構造を示していたため、初めは衝撃波の影響を受けた質の悪いデータと思われた。しかし、著者はモンテカルロ法に基づくシミュレーションにより衝撃波の影響を除いてデータの信頼性を向上させかつ両者間に静水圧平衡の関係が成り立つことを示して、その波状構造が測定誤差ではなく、実在することを示した。現在の標準的経験モデルである MSIS からの偏差は、115km において温度については 150K にも達し、密度については 50% にもなった。このような大きな偏差は大気波動による変調では説明しきれず、経験モデルそのものが誤っている可能性が高いことを著者は指摘した。この高度域のモデルは 150km 以上での質量分析結果と 90km 以下のレーダー観測結果などより補間により決定されたものであり、積極的な根拠がないものであった。同様の指摘は極域・中緯度域両方においてなされた例がある。

このように、本研究は窒素分子振動温度の有意な測定に初めて成功して、その大気圏物理における役割を見極めた点に意義がある。さらに、同時に得られた密度・温度結果から、経験モデルが下部熱圏で誤っている可能性を指摘した意義は大きい。

本論文の 2-3 章は小山孝一郎博士などとの共同研究であるが、いずれの場合でもその多くが論文提出者の創意・工夫と努力によるものと判断する。

以上に示したように、本研究は地球惑星科学とくに大気圏物理学の進展に輝ける貢献を成しており、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。