

# 論文審査の結果の要旨

氏名 空華 智子

本論文は、赤外線天文衛星「あかり」のデータによる褐色矮星の研究である。近赤外線(波長  $1\text{-}5\ \mu\text{m}$ )は、褐色矮星のスペクトルがピークとなる重要な波長帯である。地上観測が中心だったこれまでは、主として  $1\text{-}2.5\ \mu\text{m}$  のデータに基づいた研究が行われてきた。しかし、この波長では星の大気中に存在する主要分子のバンドが重なって、スペクトルの解析が困難である。一方  $2.5\text{-}5\ \mu\text{m}$  では、主要分子の基底バンドはスペクトル上で分離して存在するが、地上観測では良質のデータが得られない。本研究は、広いスペクトル型の範囲にわたる褐色矮星 18 個について、宇宙空間からの観測の特徴を生かして  $2.5\text{-}5\ \mu\text{m}$  のスペクトルを取得・解析し、褐色矮星の大気構造を研究したものである。

論文の第 1 章では、褐色矮星の定義、研究の歴史、スペクトル型の分類と特徴、未解決の問題などが、専門外の研究者でも理解できるように丁寧に解説されている。

第 2 章では、「あかり」衛星と観測装置の説明があり、続いて観測とデータ処理について解説されている。

第 3 章は、観測から直接導くことができる結果の記述である。本研究では、11 個の L 型星と 7 個の T 型星について、 $2.5\text{-}5\ \mu\text{m}$  にわたる連続した良質のスペクトルを得ることに初めて成功した。続いて、スペクトルに見られる吸収バンド( $\text{H}_2\text{O}$   $2.5\ \mu\text{m}$  と  $4.7\ \mu\text{m}$  より長波長、 $\text{CO}$   $4.6\ \mu\text{m}$ 、 $\text{CO}_2$   $4.2\ \mu\text{m}$ 、 $\text{CH}_4$   $3.3\ \mu\text{m}$ )が説明され、定量化のため各種指数が導入される。 $\text{CO}$  はすべてのスペクトル型で検出されているが、特に T 型晩期星からの検出は熱化学平衡モデルでは説明できないことが言及される。

第 4 章では、論文提出者が得た「あかり」衛星による  $2.5\text{-}5\ \mu\text{m}$  のデータに、これまで地上観測で得られていた  $1\text{-}2.5\ \mu\text{m}$  のデータを付加して、統一ダスト雲モデル(UCM)を適用した結果が記述されている。スペクトルフィットにおいては、有効温度( $T_{\text{eff}}$ )、表面重力加速度( $\log g$ )、ダストが消失する臨界温度( $T_{\text{cr}}$ )を自由パラメータとし、他に元素組成などは太陽組成を仮定するなどした。フィットの結果、L 型晩期(L6-T0)の星では有効温度に 100 K 以上の変化は見られず、スペクトル型の違いは臨界温度の違いを反映している可能性があることを指摘した。また、観測した 4 個の L5 型星において、2 個からは  $\text{CH}_4$  が検出され、残りでは検出されていないが、この違いが表面重力の違い、すなわち質量の違いによる可能性があることを示唆した。さらに、求めた有効温度とフラックスから半径を計算し、T 型褐色矮星の半径が、晩期になるに連れて木星の 0.7 倍から 1.1 倍程度まで増加することを見出した。これは、質量が小さいほど半径が大きいことを意味し、縮退圧で支えられた星で理論的に予想される性質と定性的に合致する。

第 4 章では、「あかり」衛星のデータ( $2.5\text{-}5\ \mu\text{m}$ )と地上観測( $1\text{-}2.5\ \mu\text{m}$ )のデータを、

UCM を用いて同時にフィットするには困難があることが述べられるが、第 5 章はその原因について考察がなされている。そのため、 $2.5\text{-}5\mu\text{m}$  のデータと、 $1\text{-}2.5\mu\text{m}$  のデータに独立に UCM を適用し、 $2.5\text{-}5\mu\text{m}$  のスペクトルは有効温度に敏感であるのに対し、 $1\text{-}2.5\mu\text{m}$  のスペクトルは褐色矮星大気中のダスト吸収に敏感であることが帰結される。そこから、 $1\text{-}5\mu\text{m}$  にわたるスペクトルをモデルで統一的に説明するためには、現在のモデルよりダストの影響を大きくする必要があることを指摘している。

第 6 章では、前章までフィッティングの対象から除外してきた波長  $4.2\mu\text{m}$  にある  $\text{CO}_2$  の吸収バンドの強さを説明することを試みている。そのために、前章までのモデルでは太陽組成に固定してきた元素組成を、特に C、O、Fe に注目して変化させている。その結果、Fe を太陽組成として C と O の組成比を変化させることで、 $\text{CO}_2$  の吸収バンドもフィットできることを示している。

以上の結果は、「あかり」衛星の特徴を最大限に生かした研究によって、以下の 6 点について重要かつ新たな知見を与えたものである。(1) スペクトル型 L1-T8 の広い有効温度範囲 ( $2, 200\text{-}600\text{ K}$ ) にある 18 個の褐色矮星について、波長  $2.5\mu\text{m}$  から  $5\mu\text{m}$  までの完全なスペクトルを初めて取得したこと。(2) 大部分の炭素原子が  $\text{CH}_4$  として存在すると考えられていた T 型晩期星の大気からも明確に CO を検出し、T 型褐色矮星大気中の分子組成が熱化学平衡からずれていることを示したこと。(3) 4 個の L5 型星で見られた  $\text{CH}_4$  の吸収バンドの有無が、これらの褐色矮星の質量の違いに起因する可能性を指摘したこと。(4) 古い褐色矮星は質量が大きいほど半径が小さいという、縮退星に特有の傾向を初めて観測的に示したこと。(5) 現状の褐色矮星大気モデルでは、 $2.5\text{-}5\mu\text{m}$  のスペクトルと、これまで得られていた  $1\text{-}2.5\mu\text{m}$  のスペクトルを矛盾なく説明することは困難であり、この矛盾を解決するひとつの可能性として、大気中のダストの影響をより大きくする必要があることを指摘したこと。(6) 褐色矮星大気中の  $\text{CO}_2$  の検出に初めて成功し、その吸収強度を理解するためには、C と O の組成が太陽組成と異なる必要があると示したこと。

なお、本論文は辻隆氏、山村一誠氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって観測、解析、考察に重要な役割を果たしており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。