

論文審査の結果の要旨

氏名 上塚貴文

本論文は、低中質量星の進化の最終段階であるミラ型変光星の中間赤外線スペクトルに見られるシリケートフィーチャーの時間変動から、その星周エンベロープ中での固体微粒子（ダスト）形成の証拠を初めて捉え、ダスト形成の統合的なモデルを提唱したものである。

本論文は5章からなる。第1章はイントロダクションであり、ミラ型星に至る終末期の星の内部構造とその進化、分子層やダスト層といった星周環境や質量放出現象についてのこれまでの理解を要約し、本研究がターゲットとするシリケートフィーチャーの時間変動は1990年代から認識されているが、体系的なモニタリングの先行研究は1例しか存在しないことが紹介されている。

第2章では、観測に用いたスピッツァー宇宙望遠鏡とその観測装置の一つである赤外線分光装置(IRS)の紹介の後、衛星の運用上の制約からマゼラン雲の天体が長期のモニタリング観測に最適であり、その中でシリケートフィーチャーの強いHV2446とIRAS04544-6849を選択したことが述べられている。そして、変光周期における位相に基づいた観測時期の選定やデータ解析の詳細について述べ、観測結果のスペクトルを提示している。

第3章では、ダストの空間分布モデル（ダストシェルモデル）の定式化の解説の後、ダスト吸収率の波長プロファイルを典型的観測スペクトルのモデルフィッティングから求める手法とその結果が述べられている。まず、スペクトルの短波長端である5-8ミクロン帯で黒体放射フィットして連続光の見積もりを行い、これをスペクトル全体から差し引いてシリケートのスペクトル形状を導出する。吸収スペクトルはダスト吸収率と黒体放射の積で表されることから、仮定するダストシェルの温度に対応してダスト吸収率の波長プロファイル（オパシティモデル）が求まる。以降では複数のオパシティモデルを用いて議論を行う。

変光の各位相で取得されたスペクトル形状をこのオパシティモデルを用いてフィッティングし、ダストシェル内端の温度とフラックスレベルに相当するパラメーター α を得る。両方の天体に対して、ダストシェルの内端温度は変光の最大光度時に高く最小光度時に低くなり、先行研究と整合的である。一方、 α は最大光度時にのみ他の周期の値と有意に異なることが示され、これまで考えられてきたスペクトル形状の変化を温度の変化のみで説明することはできず、ダスト粒子の形成などによる追加的な放射を伴うものであることを確認した。

第4章では、まず第3章の結論の信頼性についての議論を行っている。最も重要となるのは連続光成分の差し引きである。第3章では黒体放射でフィットを行ったが、連続光は星光球からではなく星の周りに広がる分子層から出ている可能性が高い。そこで、2層平板モデルを用い分子層の主成分である水蒸気の放射スペクトルをシミュレートして差し引きし、その結果は黒体放射による連続光の差し引きの結果と区別できないほどにしか変わらないことを示している。

この確認の後、ダストの主成分であるシリケート粒子の形成モデルについての考察を行っている。まず、シリケートダストが安定に存在できる温度・圧力範囲と、結晶成長の核形成率・成長率の見積もりを行い、星からの流出ガス中では、観測結果を説明するのに必要な量のシリケートダスト粒子の形成は不可能であることを示した。この問題の解決策として、2層のダストシェルモデル、すなわち、「内側シェルには近赤外線吸収率の低い粒子、外側シェルには鉄などを含むことにより近赤外線吸収率の大きい粒子からなるモデル」を提案している。近赤外線吸収率が低いダスト粒子は星からの放射エネルギーの吸収率が低いため、星のより近く（内側シェル）に存在することができる。星の近くでは密度が高く、星の脈動ショックによる高密度化などの効果を合わせて考えると、内側シェル内端では短時間に必要な量のシリケート粒子を形成可能であることを示した。

第5章はまとめである。

星の進化の最終段階にあたるミラ型星は、星間空間ダストの形成場所として重要な場所であると認識されているが、具体的ダスト形成プロセスは未同定のままである。一つの説として、不定期に大量のガスが星から放出されその際にダスト粒子が形成されるというシナリオがあるが、今回の結果は定常的なガス放出においてもシリケートダストが形成されていることを強く示唆するものである。また、定常的なガス放出においてはシリケートダスト粒子の成長速度が不十分であるとの定説に対し、通常のダストシェルに加えて近赤外線吸収率の低い粒子からなるダストシェルを持つモデルを提案して粒子成長速度の問題を解決しており、観測データのみならず考察に置いてもオリジナリティの高い研究である。

本研究は、村上 浩、尾中 敬、田邊俊彦、宮田隆志、山村一誠との共同研究であるが、論文提出者が主体となってデータ解析、分析、検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。