

論文内容の要旨

論文題目: Mid-infrared Spectroscopic Monitoring of M-type
Mira Variables: HV2446 and IRAS04544-6849
–When and Where is Silicate Dust Born?–

(M型ミラ型変光星 HV2446 および IRAS04544-6849 の中間
赤外線分光モニター観測 –いつどこでシリケートダストは
生まれるのか?–)

氏 名 上 塚 貴 史

本研究では M 型ミラ型変光星 HV2446 および IRAS04544-6849 に対する中間赤外線分光モニター観測を実施した。結果、中心星の変光に伴って変化する非晶質シリケートフィーチャーの変動が観測された。この変動をモデル解析したところ、新規のシリケートダストの形成の影響とみられる変化が可視光極大期に存在することを発見した。この変動と観測スペクトルは、恒星近傍で効率的なダスト形成を可能とするフォルステライトの内殻と放射強度を稼げる近赤外線を吸収するシリケートの外殻からなる二層のダストシェルモデルで説明できることがわかった。恒星近傍におけるフォルステライトの存在は星風駆動の観点から観測的な調査が求められている。またシリケートダストの形成過程の理解は古くからの研究課題である。本観測の結果はこれらに対し重要な示唆を与えるものであり、中間赤外線分光モニター観測が新たな切り口を与える可能性を示した。

ミラ型変光星は小・中質量星の進化の最終段階である漸近赤色巨星の一種であり、脈動変光や星風による質量放出の存在が特徴である。漸近赤色巨星の質量放出は恒星から宇宙空間への重要な物質還元機構の一種であるが、星風の駆動機構の解明は現在も天文学の課題である。ミラ型変光星の星周には固体微粒子(ダスト)が存在している事が知られており、ダストにかかる輻射圧は星風駆動源の有力な候補である。ミラ型変光星は恒星の化学組成の違いから、炭素過多の C 型・酸素過多の M 型・中間の S 型に分類される。このうち C 型ミラ型変光星については、脈動により浮き上がった物質から炭素質のダストが生まれ、ダストにかかる輻射圧で星風が駆動されるというシナリオが理論的にも検証され、観測データとの直接比較もなされるようになってきた。一方で M 型ミラ型変光星の星風

駆動の理解は遅れている。M型変光星の星周に形成されるダスト(星周ダスト)の主成分に珪酸塩鉱物(シリケート)の存在が知られている。シリケートダストにかかる輻射圧は有力な星風駆動源として挙げられるが、輻射圧を受けやすい近赤外線を吸収するシリケートは恒星付近では温度が高くなりすぎ存在できず、星風の有効な駆動源になりえないと指摘され、近年問題となっている。一方、恒星付近でも温度が高くなり過ぎないシリケートであるフォーステライトを用いた星風駆動が問題解決の糸口となると指摘されている。この点からシリケートダストの存在領域・形成過程を観測的に探る事は星風駆動機構の解明に有効である。

シリケートダストの分布や形成を探る一つ的手段に、シリケートダストが中間赤外線領域で放つシリケートフィーチャー(10ミクロンフィーチャー・18ミクロンフィーチャー)のモニター観測がある。シリケートフィーチャーが中心星の変光に伴って変動する事は古くから知られており、その要因としてダストの温度変化・形成・破壊が挙げられていた。この現象の詳細な調査は先行研究の Onaka et al. (2002) による M 型ミラ型変光星 Z Cyg の観測で進められた。この研究では二変光周期の間に七回の観測が行われ、シリケートフィーチャーの変動が観測された。モデル解析の結果、その変動は中心星の光度変化に伴うダストの温度変化でよく説明される事が確認され、顕著なダストの形成・破壊などは見られないという結果が得られている。また、この解析を通してダストの温度環境の調査も可能であり、分布領域の調査としても有効な手段である事が示された。そこで本研究では、さらなる中間赤外線分光モニター観測として大マゼラン雲に存在する M 型ミラ型変光星 HV2446・IRAS04544-6849 を観測し、シリケートダストの分布や形成・破壊の有無を調査した。

観測には米国の打ち上げた赤外線天文衛星スピッツァー宇宙望遠鏡に搭載されている中間赤外線分光装置 Infrared Spectrograph (IRS) を用いた。観測は低分散分光モードを用い、波長 5-38 ミクロンにおける分解能率 60-127 の分光データを取得した。両天体とも一変光周期の間に六回の観測が実施された。観測されたスペクトルから、中心星の可視光極大期に向けてシリケートフィーチャーが顕著になる事や、10 ミクロンフィーチャーが 18 ミクロンフィーチャーに対して相対的に強くなり、温度の高いシリケートの増加を表す形状に変化するという先行研究の観測結果と同傾向の変化が観測された。

観測データを先行研究と同様に、光学的に薄い一成分球対称ダストシェルモデルで解析した。その結果、両天体とも可視光極大期を除く五つの観測のスペクトル変動はダストシェルの温度変化で説明できるが、可視光極大期の観測についてはそれだけで説明できない事が確認された。ダストシェルが温かくなると 10 ミクロンフィーチャーが 18 ミクロンフィーチャーに対して相対的に強くなるという形状の変化と、放射強度の絶対値の増加という変化が現れる。しかし可視光極大期の観測スペクトルの形状は 10 ミクロンフィーチャーが強く温かいダストの存在を示す一方、これに見合う放射強度の増加が見られないという様子が観測された。

この現象を解釈すべく、観測天体の Spectral Energy Distribution (SED) からダストに入射する放射強度を予想しその温度分布を推定したところ、シリケートフィーチャーの形状から予想される高温にダストシェルが加熱されている可能性は否定され、既存のダストシェルの放射に超過した成分が加わる事で放射形状に異常が現れたと解釈できる結果を得た。この超過は新規のシリケートダストの放射であると解釈される。この超過は可視光極大期前の観測では見る事が出来ず、可視光極大期後の観測でも見られない。これらから新規ダストの形成は二観測間の約 100 日程度の短期間に行われ、次の 100 日間の間に既存の

ダストシェルへの拡散もしくは破壊が起きて見えなくなっているものと考えられる。本モデル解析の結果、ダストシェルの内径はおよそ 13–20 恒星半径と求められた。このような恒星から遠い領域で急速なダストの形成が可能かどうかをモデル解析の結果を利用して推定したところ、ダストシェルの内壁近傍でも大きく見積もって 100 日間に 1nm 前後のダストしか形成できない事が分かった。これは通常考えられている星周ダストより小さい。このため放射への寄与は小さく超過の放射を説明できない。また、このように恒星から離れた領域でシリケートダストが形成されるとすれば星風を用いた物質の輸送が必要になるが、シリケートダストが形成される前に星風が駆動される事は現状では不自然である。以上の点から、一成分ダストシェルモデルでは観測結果を上手く説明できないと結論した。

より自然な解釈として、本研究では近赤外線を吸収するシリケートでできたシェルの内側にフォスファイトのシェルが存在し、恒星近辺までシリケートが存在しているような描像を提案した。恒星付近のフォスファイトの存在は星風駆動やダスト形成の観点から支持を得られる。一方、近赤外線を吸収するシリケートダストの存在は観測的な指摘があり、本研究でもモデル解析の際にその存在なしには観測スペクトルを説明できなかった。これらの事から二種類のシリケートダストが存在する描像は自然なものと考えられる。この二成分ダストシェルモデルを用い、改めて観測スペクトルの解析を行った。その結果、可視光極大期以外のスペクトルは再びダストシェルの温度変化でよく説明でき、可視光極大期のスペクトルだけが再現されないという結果を得た。このことから、二層のシェルを用いたモデルでも超過のシリケート放射の存在が必要であることがわかった。これを新規に形成されたシリケートダストの放射と考えると、本モデルにおいても観測事実を説明するには急速なダスト形成が起きる必要がある。その実現性を調べる為、再びシリケートダストの成長速度を見積もった。本モデルではダストシェルが恒星近傍まで存在するため、脈動に伴う高密度領域の出現が期待される。この中であれば観測結果を説明できる十分な速度のダスト成長が実現することがわかった。このことから可視光極大期におけるスペクトル形状の異常は高密度領域の出現に伴う新規ダストの形成が原因であると結論付けた。超過成分の消滅については、既存のダストシェルへの拡散の可能性と輻射場の変化に起因する温度上昇や拡散した際の圧力降下に伴う昇華温度の低下による昇華の二つの可能性が考えられる。超過の放射強度から見積もられた新規ダストの質量は一周期に放出が期待されるダストの質量より多いものだった事から、一部のダストは昇華し、残りのダストは既存のダストシェルに供給され、超過成分の消失につながったものと考えられる。

以上から、二天体の中間赤外線スペクトルの変動は従来の研究で良く用いられてきた一成分のダストシェルモデルでは理解できず、放射の強度を稼ぐ外側の層と急速な新規ダスト形成を可能とする内側の層の存在を示しており、後者の存在は恒星付近に存在可能なフォスファイトの存在を示唆するものと解釈される。この結果は急速なダスト形成の兆候をとらえた事が鍵となっており、中間赤外線分光モニター観測がシリケートダストの形成過程の研究・および星風駆動機構の研究に対して重要な手法になりうる事が明らかとなった。