

宇宙赤外線天文台 ISO による星周ダストの観測

Circumstellar dusts as seen by ISO

山村 一誠[1]

Issei Yamamura[1]

[1] 宇宙研

[1] ISAS

<http://www.ir.isas.ac.jp/~yamamura/>

宇宙赤外線天文台 ISO による観測で、太陽系外の様々な天体、例えば質量放出星や若い星の周囲の星周円盤などから結晶質シリケートが検出された。これまでの研究から、これらの結晶質シリケートが全シリケートの 20~70% を占めること、またほぼ完全に Mg-rich であることが分かっている。結晶質シリケートは、太陽系内天体を含めた宇宙空間でのダストの循環を考える上で非常に重要な意味を持つと考えられる。本講演では、これまでの ISO の観測結果をレビューし、今後解決されるべき問題を提示する。

赤外線宇宙天文台 ISO は 1995 年 11 月に打ち上げられ、1998 年 4 月まで観測を行った。ISO には短波長分光器 SWS と長波長分光器 LWS の 2 台の分光装置が搭載され、合わせて波長 2.4 から 200 micron までの極めて幅広い波長範囲を切れ目無くカバーした。この波長域ではこれまでにない高い波長分解能(200~2000 程度)と合わせ、ISO/SWS, LWS による様々な天体の分光観測は数々の成果をあげたが、その中でも太陽系外天体における結晶質シリケートの検出は、特筆されるものの一つであろう。

これまで、結晶質シリケートは彗星のスペクトルや、地球の高層大気中で採取された惑星間塵のなかから検出されていたが、太陽系外の宇宙空間に存在するシリケートダストは非晶質(アモルファス)であると漠然と考えられていた。ところが、ISO/SWS, LWS によって得られたこれまでにない高い分解能のスペクトルは、AGB 星や post-AGB 星、惑星状星雲などの恒星進化末期の天体(Waters et al. 1996, A&A 315, L361)、あるいは Herbig Ae/Be 星のような若い恒星の星周ディスク(Waelkens et al. 1996, A&A 314, L17)の両方に著しい結晶質シリケートのスペクトル成分を見いだしたのである。これらのスペクトル成分は主に 15 micron より長い波長に現れるため、これまでの観測では見つからなかった。

宇宙空間で見つかった結晶化シリケートには、いくつかの特徴がある。まず、星から観測される結晶質シリケートのスペクトルは、一般に実験室で測定されるものに比べてずっとシャープであり、これらの天体での物理的・化学的環境が実験室よりも整った結晶の成長を促していることが予想される。また、シリケートは $Mg_2xFe_2(1-x)SiO_4$ (Olivine) あるいは $Mg_xFe_{(1-x)}SiO_3$ (Pyroxene) のような組成を持つが、Mg と Fe の組成比によってスペクトル成分のピーク位置や幅が変化することが知られている。このことから、観測されたスペクトルに見えている結晶質シリケートの組成を調べると、すべての天体においてほぼ完全に Mg-rich であることが分かった(Jager C. et al. 1998, A&A 339, 904; Molster et al. 1999, A&A 350, 163)。これらの天体中の金属元素の組成比が太陽系近傍とさほど変わらないとすると、ダスト形成過程で Mg を含むシリケートの選択的な結晶化が行われたと考えられ、その過程や、残りの鉄がどのような状態で存在しているのかが、興味深い問題となっている。

天体中でのシリケートダストの結晶化プロセスについては、まだ良く分かっていない。Hallénbeck et al. (2000, ApJ 535, 247)は、実験室中で非晶質のシリケートを高温焼鈍し、結晶化が進むことを確認した。彼女らの結果では結晶化の速度は温度に激しく依存するので、実際の天体の環境との関連付けは簡単ではない。質量放出時の結晶化プロセスについては、Sogawa & Kozasa (1999, ApJ 516, L33)などの考察があるが、上記の観測的事実を全て説明できるものではない。

質量放出を行っている晩期型星の星周エンベロープ中には、高々20%程度の結晶質が存在することが示されている(Kemper et al. 2001 A&A in press; astro-ph/0101256)。一方、星周ディスクを持つ天体、例えば The Red-Rectangle のような post-AGB 星や、Herbig Ae/Be 星のような若い星では、著しく強い結晶質シリケートのスペクトル成分が観測されており、これらの天体では最大で 70% を超えるシリケートダストが結晶化していると考えられる。ディスク中での結晶化は単純な熱的焼鈍で説明するのは難しく、恐らく星自身の進化と関連した複合過程、あるいは非熱的焼鈍(Molster et al. 1999, Nature 401, 563)が関与しているのだろう。

結晶化シリケートが様々な進化段階にある天体から検出されたことは、彗星など太陽系天体中に存在する結晶質シリケートの起源について、様々な可能性を提示する。今後の ISO スペクトルの詳細な検討による成分・環境の決定、SIRTF・ASTRO-F 等による更に多くの天体の観測によって、宇宙空間におけるダストの循環が明らかになることが期待される。

講演では、結晶化シリケート以外の ISO による星周ダスト成分についても紹介する。