

分子雲における星間物質の進化

Evolution of interstellar matter in molecular clouds

相川 祐理[1]

Yuri Aikawa[1]

[1] 神戸大・理・地球惑星科学

[1] Dept. of Earth and Planetary Sci., Kobe Univ.

<http://nova.planet.sci.kobe-u.ac.jp/members/aikawa-j.html>

分子雲を構成するガスやダストは星や惑星系を形成する材料物質である。よってこれら星間物質の化学組成に関する知見は、惑星系形成を物質科学的な側面から研究する際に重要な初期条件を与える。分子雲の化学組成は、電波や赤外での分光観測によって調べられている。また、最近では星を形成しつつある分子雲コアの詳細な観測が行われており、コアの物理進化に伴う星間物質の組成進化も明らかになりつつある。本講演では、これら分子雲観測の結果をレビューするとともに、分子雲での物質進化的理論、特に固相 - 気相相互作用の理論について議論する。

分子雲を構成するガスやダストは星や惑星系を形成する材料物質である。よってこれら星間物質の化学組成に関する知見は、惑星系形成を物質科学的な側面から研究する際に初期条件を与える。また、星間物質の研究で得られた物質進化の素過程に関する知見は、惑星系形成過程の研究にも役立てることができる。

本講演では、まず電波や赤外での分光観測によって明らかにされてきた分子雲中の星間物質の組成についてレビューする。分子雲のガスの分子組成については野辺山電波観測所の4.5 m鏡をはじめとした電波望遠鏡での分光観測によって主に調べられ、すでに100種程度の星間分子が検出されている。この中には水やアンモニアといったわれわれになじみ深い分子も存在するが、化学的な反応性の高いラジカルやイオン分子、また炭素鎖分子のような変わった分子種も多く存在する。これら特異な分子の存在は分子雲が極低温、低密度であることに起因する。分子雲内でのガスの組成進化は、主に宇宙線によるガスのイオン化によって駆動されたイオン - 分子反応によって進むと考えられている。イオン - 分子反応を主体とした化学反応ネットワークモデルでは、いままでに観測されている分子種の8割程度について、その平均的な存在度を説明することに成功している。一方、ダストおよびダスト表面の氷マンツルの組成については、主に赤外での分光観測で明らかになってきた。いままでに水、一酸化炭素、メタノールなどの氷が検出されている。近年の飛翔体による観測では、二酸化炭素の氷も分子雲の広い領域で豊富に存在することが確かめられた。水、二酸化炭素やメタノールの存在度は、上記の気相の化学反応モデルで説明できないほどに大きい。これら分子の生成には、ダストに吸着された分子同士のダスト表面での反応が重要な役割を果たすと考えられている。

上記では分子雲の平均的な化学組成について述べたが、実は分子雲の内部は、非常に非一様な構造をしている。フィラメントと呼ばれる筋状の構造や、クランプやコアと呼ばれる塊状の構造が見られる。このうち乱流や磁場の減衰によってガスの内圧よりも重力が強くなったコアが収縮することで星が生まれるのである。最近では星を形成しつつある分子雲コアの詳細な観測が電波干渉計によって行われており、コアの物理進化（重力収縮）に伴う星間物質の組成の変化も明らかになりつつある。星を形成する直前の状態にあると考えられる高密度コアの中心部では、一酸化炭素の存在度が低くなっている。これは低温高密度のコア中心で、多くのガス分子がダスト表面に吸着したためと考えられる。さらに、気相分子の減少は気相の化学反応ネットワークにも影響を及ぼす。例えば、 N_2H^+ など一部の分子の存在度は、一酸化炭素とは逆に高密度コアの中心で一時的に高くなるのである。一方すでに中心に星が生まれたコア（原始星エンベロープ）では、今まで氷マンツルに溜め込まれていた物質が温度上昇によって短時間に気相に放出される。このような領域の観測では、分子雲で氷マンツルに取り込まれていた物質の組成がわかるだけでなく、蒸発した分子を出発物質とした新たな化学反応ネットワークが観察できる。

以上で述べたように、星間物質の進化には気相での化学反応だけでなく、ダスト表面での化学反応、気相と固相（ダスト）の相互作用が大きな役割を果たしていると考えられている。すでにいままでに、気相での化学反応とダスト表面反応を組み合わせた理論モデルが構築され、観測事実の説明に一定の成功をおさめている。しかしダスト表面での化学反応モデルは、分子のダスト表面での拡散速度や蒸発速度等、未だに多くの不定性を含んでいる。さらに、多くの理論計算ではダスト上での反応を気相での反応ネットワークと同じように rate equation を用いて記述しているが、これでは実際の現象を正しくあらわせないという批判もある。講演ではこの問題点とそれに対する理論モデルの改善についても述べる。