

## 論文審査の結果の要旨

氏名 水谷 昌彦

本論文は、原子あるいはイオンの微細構造線を用いて星間ガスや固体微粒子の物理的状況を明らかにするため行われた、赤外線宇宙天文台 (ISO) の長波長分光器 (LWS) と短波長分光器 (SWS) による遠赤外線分光観測を解析し考察したものである。観測対象は、Carina (竜骨座) 領域と呼ばれる活発な星形成領域の中心部  $40' \times 20'$  である。ここには、多数の大質量星を中心とした水素電離 (HII) 領域と、それを取り巻くように中性水素や分子などから構成される光解離領域 (PDR) が存在している。分光観測は、この領域をほぼ等間隔でサンプルするように配置された 132 点について行われた。観測波長領域は、 $34.8\text{--}35.2\mu\text{m}$  (SWS) および  $45\text{--}170\mu\text{m}$  (LWS) で、微細構造線の [OIII]52、 $88\mu\text{m}$ 、[NIII]57 $\mu\text{m}$ 、[NII]122 $\mu\text{m}$ 、[CII]158 $\mu\text{m}$ 、[SiII]35 $\mu\text{m}$ 、[OI]63、 $145\mu\text{m}$  がすべての点で検出された。これだけの広い領域をこれだけの広い波長域にわたって観測した例は他にない。

本論文は 4 章からなり、第 1 章では星間物質と星形成との関連、星間物質の様々な分布状態、星間物質からの赤外線放射などの概要と本研究の動機が述べられている。第 2 章では、[OIII]52、 $88\mu\text{m}$ 、[NIII]57 $\mu\text{m}$ 、[NII]122 $\mu\text{m}$  の観測から示唆される HII 領域における電離ガスの分布状態を論じている。第 3 章では、[CII]158 $\mu\text{m}$ 、[SiII]35 $\mu\text{m}$ 、[OI]63、 $145\mu\text{m}$  の観測に基づいて低密度の PDR からの遠赤外線放射を論じるとともに、[SiII]35 $\mu\text{m}$  の強度が異常に強いことを指摘している。本研究の要約と結論は、第 4 章で述べられている。

本論文の主要な結果は以下の 3 点にまとめられる。

- HII 領域から放射される [OIII]52、 $88\mu\text{m}$ 、[NIII]57 $\mu\text{m}$ 、[NII]122 $\mu\text{m}$  の強度分布を調べた。これら輝線 (禁制線) は電子との衝突による励起によって放射されるものである。[OIII]52、 $88\mu\text{m}$  の強度比は、電子温度にはよらず、電子の密度に依存する。導かれた電子密度は大質量星の集団の近くで高く ( $100\text{--}300\text{cm}^{-3}$ )、その周囲に低い電子密度 (約  $10\text{cm}^{-3}$ ) の領域が広がっていることが明らかになった。広がった低密度の HII 領域 (ELD HII 領域) の存在は電波連続波の観測から提唱されたものである。光学領域の観測から低励起の ELD HII 領域の存在は確認されていたが、高励起の ELD HII 領域の存在については否定的な結果が導かれていた。本研究は、[OIII] の輝線を

検出することで、高励起の ELD HII 領域が存在することを観測的に初めて明らかにした。

- PDR の物理状態を調べるために [CII]158 $\mu\text{m}$ 、[OI]63、145 $\mu\text{m}$  の強度分布を解析した。[CII]158 $\mu\text{m}$  は HII 領域と PDR の両方から放射され、[OI] は PDR のみから放射される輝線である。[OI]63 $\mu\text{m}$  との相関から、[CII] 輝線強度の 70% が PDR からの寄与であることを導いた。次に、輝線強度比 [OI]63 $\mu\text{m}$ /[CII]158 $\mu\text{m}$  および [OI]145 $\mu\text{m}$ /[OI]63 $\mu\text{m}$  を解析し、PDR の理論モデルでは説明できないことを明らかにした。これらの輝線は水素原子との衝突で励起されると考えられてきたが、[OI]145 $\mu\text{m}$ /[OI]63 $\mu\text{m}$  を説明するにはガスの温度が高くなり過ぎる。本論文では、紫外線蛍光励起を導入することで、[OI]145 $\mu\text{m}$ /[OI]63 $\mu\text{m}$  の値を説明しうる可能性を指摘し、PDR 理論モデルの発展に重要な示唆を与えた。
- 主として PDR から放射されると信じられている [SiII]35 $\mu\text{m}$  の強度分布を解析した。PDR からの放射と考えると [OI]63 $\mu\text{m}$  との間に強い相関があるはずである。しかし、[OI]63 $\mu\text{m}$  との相関は弱く、HII 領域から放射される [NII]122 $\mu\text{m}$  との間に強い相関がある。観測は、[SiII]35 $\mu\text{m}$  強度の 90% 以上が HII 領域からの寄与であることを示している。通常の星間空間においては、珪素の 97.5% は固体微粒子として固定されており、ガスとしてはほとんど観測されない。観測された [SiII]35 $\mu\text{m}$  を説明するには、太陽組成の珪素の 45% 以上がイオンとして HII 領域に存在しなければならない。この結果は、HII 領域において固体微粒子が破壊されていることを初めて明らかにしたものであり、極めて重要な発見である。

本論文は、遠赤外線観測を行うことで、高励起の ELD HII 領域の存在を示し、従来の PDR 理論モデルでは観測値を説明できないことを示し、HII 領域における固体微粒子の破壊に関する証拠を [SiII]35 $\mu\text{m}$  の強度分布として示した。本論文の天文学特に星間物理学に対する貢献は大きなものがあり、その水準は国際的に見ても高い。本論文は、尾中敬、芝井広との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析および検証を行ったものであり、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。