

氏 名 池 田 美 穂

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第386号

学位授与の日付 平成11年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 天文科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 An Observational Study of the Chemical Composition in
Massive Star-Forming Regions

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 観山 正見
助 教 授 浮田 信治
助 教 授 川口 建太郎
助 教 授 山本 智（東京大学）
助 教 授 田中 培生（東京大学）

論文内容の要旨

現在星間空間には100種以上もの分子種が発見されているが、分子雲中の化学組成は領域によって大きく異なっている。極低温の暗黒星雲では地球上では存在しない炭素鎖分子が多く存在し、これらの分子は気相中のイオン・分子反応で生成されていると考えられている、実際にこれらの反応のモデル計算が行われており、観測量から得られた存在量をほぼ説明できることがわかってきた。一方大質量星形成領域では地球上でも見られる大型の有機分子が多数検出されている。しかしこれらの分子の存在量を同様にイオン・分子反応のモデル計算で説明しようとする、それらの計算では説明できない観測結果が次々と得られてきた。観測から得られる存在量が計算による予測より数桁高いのである。そこで星間ダストを触媒とする固体上の反応が考えられるようになってきた。2つの粒子が結合するときに発生する余計なエネルギーをこのダストが吸収してくれる為、非常に効率よく反応が進むのである。しかしこの反応で生成された分子はダスト上に凍り付いている為、電波領域で観測されるためには気相中に蒸発してこなくてはならない。大質量星形成領域では、HII領域に埋もれた若いO、B型星からの輻射でダストが暖められ、そこから分子が蒸発してきていると考えられている。だとすると若い星の周りにこれらの分子が分布し、お互いに生成に関連ある分子同士であれば分布も類似したものになることが予想される。今までの観測は分子雲の中心1点のみというものがほとんどであったため、大型有機分子の分布はほとんど知られていない。そこで大型有機分子の生成過程を分布からも明らかにする為、もっとも多くの分子が検出されており、我々の銀河中心方向に存在するSgrB2分子雲においてさまざまな大型有機分子のマッピング観測を行った。

まず酸素を含む分子(CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, HCOOCH_3 , $(\text{CH}_3)_2\text{O}$)について分布を調べた。その結果これらの分子は若い星が埋もれているH II領域の周りに集中しており、観測から求められた存在量はイオン・分子反応とダスト上での反応とを組み合わせた反応でほぼ説明できることがわかった。つまり星形成領域では酸素を含む大型有機分子は、暗黒星雲で進んでいるようなイオン・分子反応に加えてダストという固体上での反応が重要な役割を果たしているわけである。またこれらの分子の中で $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ は直接ダスト上で生成されるのではなく、ダスト上で生成された CH_3OH から気相中で生成されると考えられている。実際その分布を比較してみると、両分子ともHII領域の周りに非常にコンパクトに分布している。この分布の類似性はお互いに生成過程が関連していることを表している。

次に窒素を含む分子(CH_3NH_2 , CH_2NH , NH_2CHO , NH_2CN)についても同様なマッピング観測を行ったところ、酸素を含む分子より広がって存在する、つまり若い星から離れたところにも存在することがわかった。もし窒素を含む分子もダスト上で生成されているとしたら、若い星以外にダストを暖める熱源が必要になってくるが、今のところそういったものは検出されていない。しかもモデル計算との比較を行うと、観測から得られる存在量がイオン・分子反応のみのモデル計算の予想値と近いことがわかった。さらにこれらの分子の広がった構造は、 HC_3N のような高密度をトレースする分子の分布とよく似ていることもわかった。つまり窒素を含む分子はHII領域に付随した分布というよりもむしろ、高密度なガス全体に分布しているといえるだろう。酸素を含む分子と窒素を含む分子の分布の違いは、大型有機分子でもそれを構成している元素によって主な生成メカニズムが違っていると

いうことを示している。

大質量星形成領域でも進化の段階はさまざまであり、したがって化学組成も微妙に違ってくるはずである。そこで私は最後に大型有機分子をさまざまな星形成領域で探査し、その存在量がその領域のどんな物理量を反映しているのかを調べた。もともとはSgrB2分子雲で新しい星間分子エチレンオキサイド(cyclic-C₂H₄O)を発見したことから、この分子の構造異性体のホルムアルデヒド(CH₃CHO)とともにこれらの分子の生成過程を明らかにする為、2つの分子をさまざまな領域で探査した観測である。20あまりの分子雲で探査を行い、cyclic-C₂H₄O・CH₃CHOの他に大型有機分子7種類を検出した。その存在量は分子雲によってさまざまであったが、ほとんどの分子が分子雲そのものの温度に比例して存在量が増えることがわかった。一方ダストの温度と分子の存在量の関係を調べると、cyclic-C₂H₄O・CH₃CHOはダストの温度と存在量の間に関連が見られなかったが、それ以外の分子に関しては関連が見られた。これはcyclic-C₂H₄O・CH₃CHO以外の分子に関しては、分子雲の進化とともにダストの温度が上昇し、従ってダスト上で作られたこれらの分子の蒸発してくる量が増加して存在量が増えていると考えることが出来る。一方cyclic-C₂H₄O・CH₃CHOはダスト上での反応より、むしろ気相中の反応が主に効いていると考えられる。大型有機分子と言えばダスト上の反応が重要だと考えられてきたが、今回の観測により大型有機分子の中でもダスト上の反応の重要性はさまざまであるということがわかってきた。また分子の存在量と同時に励起温度も求められるが、これももさまざまであり大きく3段階に分類出来ることがわかった。低温(10-40K)のcyclic-C₂H₄O, CH₃CHO, HCOOH、高温(70-250K)のCH₃OH, (CH₃)₂O, C₂H₃CN, C₂H₅CN、その中間のC₂H₅OH, HCOOCH₃である。これらの分子のA係数がそれほど違わないことから、それぞれの分子が物理条件の異なる場所から出てきている可能性がある。ただしこれを確かめる為には、さらにマッピング観測が不可欠である。

論文の審査結果の要旨

星を生み出す母胎である星間分子雲の物理を理解するために用いられる星間分子は、これまで主として気相における反応によって生成されると考えられていたが、最近の観測により星間塵も大きく関わっていることが示唆されている。しかしながら、星間塵と関連した星間分子—飽和度の高い分子や有機分子—はその強度が弱いこともあって観測例が少なく、重要性が指摘されていながらその宇宙における振る舞いや位置づけがはっきりしていなかった。

本申請者は、星間分子生成機構の詳細な理解のために必須な観測的研究を系統的に推進し、その結果、星間塵上で生成される分子種と気相中で生成される分子種とを明確な形で分類した。本研究により今後の星間分子研究にとって重要な進展がもたらされたと言える。本研究の独創性並びに得られた成果は、以下の通りである。

(1) 日本が初めて発見した星間分子であるメチラミン (CH_3NH_2) をはじめとする含 NH_2 基および含 NH 基分子 (メチラミン、メチレンイミン、ホルムアミド、シアナミド) は、その発見以来ほとんど観測例がなかった。これらの分子について銀河中心 (Sgr B2) においてマッピング観測を行い、その分布が Sgr B2 の高密度領域に一致すること、また、必ずしも H I I 領域周辺にその分布が集中していないことを見いだした。特にシアナミドの分布のピークが、遠赤外線励起と言われている HNCO や原始星周辺で相対存在量が増加しているメタノールのメザピークと一致していることを初めて見いだした。シアナミドは低エネルギーの遠赤外線で励起される振動励起状態を持つことから、本申請者はこのピークに埋もれた原始星が存在することを示唆した。

(2) これまでも観測例がある含酸素有機化合物 (CH_3OH 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 HCOOCH_3 、 $(\text{CH}_3)_2\text{O}$) の広域マッピングを Sgr B2 でを行い、連続波源である Sgr B2 (N) に分布の強いピークがあると同時に観測領域全体に分布する広がった成分が存在することを初めて見いだした。この広がった分布は Sgr B2 内に広く衝撃波によって誘起された星間塵同士の衝突など星間塵マントルを蒸発させる現象が存在することを意味している。

(3) 最も新しい星間分子であるエチレンオキシド ($\text{c-C}_2\text{H}_4\text{O}$: 円環分子) 及びその安定構造異性体であるアセトアルデヒド (CH_3CHO) を全天の大質量生成領域でサーベイし、エチレンオキシドを約 10 天体で、また、アセトアルデヒドを約 20 天体で検出した。これらの分子の励起温度と天体のダスト温度との間に明らかな相関が見えないこと、また、これらの分子の柱密度とエタノールの柱密度の間に正の相関が見えることから、本申請者は大質量生成領域におけるエチレンオキシドとアセトアルデヒドがダストから蒸発したエタノールを材料として気相で生成されることを結論した。

(4) これらの観測事実を総合して本申請者は CH_3OH と $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ は星間塵マントルの成分、 HCOOCH_3 、 $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ は CH_3OH を材料とした気相反応、 $\text{c-C}_2\text{H}_4\text{O}$ と CH_3CHO は $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ を材料とした気相反応、また、含 NH_2 基・含 NH 基分子は星間塵から蒸発した NH_3 を材料とした気相反応で生成されると分類した。また、これらの分子の H I I 領域周辺における空間分布構造を初めて提案した。

本申請者の以上の成果は、星間化学研究にとって極めて重要な新知見あるいは独創的提案を含んでおり、当該分野における今後の研究を大きく進める原動力となるものと評価される。

以上を勘案して本審査委員会は、全員一致により、本論文が博士（理学）の学位を受けるにふさわしい内容をもつものと判定した。