

氏名・(本籍)	うめ 梅	もと 本	とも 智	ふみ 文
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理博第	1158	号	
学位授与年月日	平成2年3月28日			
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当			
研究科専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程)天文学専攻			
学位論文題目	A Millimeter-wave Study of Molecular Outflows in Three Dark Clouds L 1221, L1157, and L810-interaction between molecular outflows and ambient molecular clouds- (3つの暗黒雲 L1221, L1157, L810 における, 分子流のミ リ波による研究—分子流と周りの分子雲との相互作用—)			
論文審査委員	(主査) 教授 竹内 峯 教授 須田 和男 教授 河 鱈 公 昭			

論 文 目 次

Abstract

Chapter 1 Introduction

Chapter 2 Review of the Star Formation in Dark Clouds

2.1 Internal structure of dark clouds

2.2 Dense cores in dark clouds

2.3 Properties of infrared sources

2.4 Molecular outflows associated with young stellar objects

Chapter 3 Observations

3.1 Observations with the 4m telescope

3.2 Observations with the 45m telescope

Chapter 4 U-shaped Outflow in the L1221 Dark clouds : An Example of Interaction of Outflows with Ambient Molecular Clouds

4.1 Introduction

4.2 Observational results

4.2.1 Results of the observations with the 4m telescope

4.2.2 Results of the observations with the 45m telescope

4.3 Discussions

4.4 Summary

Chapter 5 Dynamical Interaction of the Outflow with the Ambient Dense Core in L1157

5.1 Introduction

5.2 Observational results

5.2.1 Results of the observations with the 4m telescope

5.2.2 Results of the observations with the 45m telescope

5.3 Discussions

5.4 Summary

Chapter 6 A Cluster Formation in the Isolated Cometary Globule L810

6.1 Introduction

6.2 Observational results

6.2.1 Results of the observations with the 4m telescope

6.2.2 Results of the observations with the 45m telescope

6.3 Discussions

6.4 Summary

Chapter 7 Concluding Discussions

7.1 Comparison of the observations for interaction

7.2 Contribution of the outflow to the turbulence

7.3 Transfer rate

Chapter 8 Summary

Acknowledgements

References

論文内容要旨

分子流は星生成過程の初期段階にみられる現象で、その運動量や力学的エネルギーが大変大きく、その母体となっている分子雲に大変大きな影響を及ぼすと考えられている。これまで、分子流のエネルギーによって散逸する乱流エネルギーをまかない、巨大分子雲の重力的収縮を妨げることができる、ということが指摘されているが、実際にどのように作用しているか、また、分子流の運動量やエネルギーの中どれ位が母体の分子雲に渡されるのかについては定かではなかった。

本研究は実際に分子流のみならず母体の分子雲についてその構造や速度場を調べ、分子流が母体の分子雲とどのように相互作用し、母体の雲にどのような影響を与えるのかを明らかにしようとして試みたものである。本論文で取り上げる天体 L1221, L1157, 及び L810 はいずれも暗黒雲で、H II 領域など周りからの影響が少なく、ライン幅も比較的狭いので、分子流との相互作用による分子雲ガスの速度変化を調べる上で大変都合がよい。本研究によって実際に相互作用している現場が捕えられ、分子流から分子雲へ渡される運動量やエネルギーの割合を求めることができた。

第 2 章では、暗黒雲における星生成に関して、これまでに観測的に明らかにされてきた事実について述べる。ここでは、暗黒雲の内部構造、暗黒雲内の高密度コア、暗黒雲に埋もれている赤外線源の性質、及びその赤外線源に付随する分子流についてとりあげる。

第 3 章では、本研究のために行った観測について述べる。観測は、名古屋大学 4m 短ミリ波望遠鏡と、国立天文台野辺山宇宙電波観測所 (NRO) の 45m 望遠鏡を用いて行われた。用いた分子輝線は、一酸化炭素 CO とその同位体 ^{13}CO , C^{18}O , ホルミルイオン HCO^+ , シアン化水素 HCN, 及び一硫化炭素 CS の各 $J=1-0$ 遷移の輝線で、その測定には音響光学型分光計が用いられた。4m 鏡には 4K 冷却 SIS 受信機が搭載され、極めて効率良くデータが取得できるようになっている。110GHz での 4m, 45m 望遠鏡の空間分解能は各々 $2.7'$, $17''$ で、速度分解能はどちらも $\sim 0.1\text{kms}^{-1}$ である。

第 4 章では、L1221 暗黒雲の分子輝線観測の結果及び考察を述べる。名古屋大学 4 m 鏡で広範囲に観測した結果、この暗黒雲は南東側では密度の急激な勾配を示し北東方向にはのびた彗星状をしており、その総質量は ^{13}CO の観測から 45 倍の太陽質量、雲の高密度コアの質量は C^{18}O の観測から 6 倍の太陽質量であることがわかった。また、この雲の高密度部には低光度赤外線源 (約 2.7 倍の太陽光度) が位置しており、CO の観測からこの赤外線源を中心とする双極分子流の存在が示された。従ってこの暗黒雲では低質量の星が生まれていることが明らかとなった。

さらにこの分子流領域を NRO45m 鏡で詳細に観測した。その主な結果をまとめると、

- (1) 双極分子流は北西方向に開いた U 字形をしている。
- (2) 分子流の blue lobe は CS や C^{18}O でみられる高密度ガスのリッジに沿って曲がっている。

(3) 分子流の周りの母体の分子雲のガスの分布は、ちょうど分子流の blue lobe の分布とは相反しており、blue lobe では分子雲のガスが減少している。

(4) 分子流の blue lobe の位置で母体の分布雲ガスが blue shift している。

(3)(4)の結果は、分子流が周りのガスと力学的に相互作用している明らかな証拠である。blue shift したガスの運動量とエネルギーは分子流の blue lobe のそれぞれ20-50%、及び3-10%である。従って、分子雲のガスは分子流との相互作用によって加速され、その結果分子雲に穴が開けられたと考えられる。一方、(2)の結果は分子流が周りのガスの分布によって影響を受ける事を表しているのかも知れない。分子流の特異な形態は、磁場が大きな役割を果たしている可能性は否定できないが、おそらく周りのガスとの相互作用によって生じたと考えられる。

第5章では、L1157 暗黒雲の分子輝線観測の結果及び考察を述べる。4m 鏡での主に¹³CO による観測から、この暗黒雲は、質量が1300倍の太陽質量であるフィラメント状の雲の一部をなしており、L1157 自体は質量が90倍の太陽質量で南北に延びた雲であることが判った。この雲の北端には、その光度が約11倍の太陽光度で非常に低温度の遠赤外スペクトルを示す赤外線源が位置している。この赤外線源の周りを NRO45m 鏡で観測した結果、

(1) 赤外線源を中心とする大変はっきりとした双極分子流が存在する。この分子流はだいたい南北に延びており、blue lobe の広がりには red lobe よりも小さい。

(2) HCO⁺ や HCN で見られる高密度ガスの分布が分子流の blue lobe の分布と類似している。また、そこではこれらの分子輝線のライン幅が大変広がっている (4km s⁻¹ 以上)。

(3) 分子流の blue lobe の内部では CO の励起温度が周りの分子雲よりも高くなっており、温度が高くなっている領域の広がりには分子流の blue lobe と大変良くにている。

ということが明らかになった。結果の(2)(3)は、分子流が周り的高密度ガスと力学的に激しく相互作用している明らかな証拠を表している。分子流の blue lobe 側には分子雲が広がっているが red lobe 側はすでに雲の境界となっていることから、分子流の blue lobe で激しい相互作用が見られるのは、その分子流がせき止められているためで、一方 red lobe では明らかな相互作用の兆候は見られないのは、すでにガス雲の外に吹き飛ばしてしまったためではないかと考えられる。

第6章では、L810 暗黒雲の分子輝線観測の結果及び考察を述べる。4m 鏡での観測から、この雲は彗星状をしており、総質量は810倍の太陽質量であることが判った。NRO45m 鏡での観測から、この雲の内部に HCO⁺ や HCN で見られる高密度のコアが存在し、その内部に埋もれている赤外線源に双極分子流が付随していることが明らかになった。この分子流は力学的エネルギーがかなり大きく、分子流のガスはこの雲に重力的に束縛されておらず、最終的には雲の外に飛び出してしまうことが示される。また、これまでの観測からコアの領域には12-15個の星が埋もれていることが示されており、分子輝線の観測結果を合わせると、コア領域での星生成率は約15%と求められる。もし1千万年以上かけてゆっくりとガスが抜かれるならば、現在の星生成率でも将来には重力的に束縛された cluster が形成されるだろう。つまり L810 は

bound cluster を形成しつつある雲である可能性が高い。分子流は雲からガスを抜く源として重要な役割を果たしていると考えられる。

第7章では4-6章での結果をあわせた考察を述べる。L1221 と L1157 の二つの領域で相互作用の仕方が異なる (L1157 の方が激しい) のは、周りのガスの分布、天体の年齢や質量の違いによるのではないかと考えられる。L1157 分子流の力学的な年齢は L1221 よりも比較的若く (2-3万年)、赤外線源の性質もこの天体が L1221 よりも比較的若い進化段階にあることを表している。また、L1221 において分子流と相互作用を受けているガスの運動量やエネルギーの比較から、分子流から分子雲に輸送される割合がそれぞれ20-50%、及び3-10%と求められたが、もし乱流が散逸する時間がこの雲の自由落下時間の数倍であれば、分子流によって乱流の散逸を補う事ができるということが判明した。求められた輸送効率が比較的低いのは、分子流は一般に非等方的なため分子流のエネルギーが狭い領域に集中し、雲全体には渡されないで、ガスが雲の外に飛び出してしまったためである。もし雲の重力的エネルギーよりも分子流のエネルギーがはるかに小さいと、分子流は雲の外にでて行くことができなく、結果として輸送効率は上がるだろう。

第8章では以上の事項をまとめる。本研究によって、分子流が周りの分子雲ガスと相互作用して、そのガスを加速し、雲の外に吹き飛ばして雲に穴を開けたり、また周りのガスを加熱したりすることが明らかになった。さらに、雲からガスを抜く源として bound cluster の形成に大きな役割を果たしているようである。つまり、新しく生まれた星に伴われる分子流はその母体の分子雲の構造や運動、エネルギー、更にはその進化に大きな影響を与えているといえる。また、分子流と分子雲の詳細な観測から、分子流から分子雲への運動量やエネルギーの輸送効率を求めることができた。このことによって分子流と分子雲の相互作用を定量的に議論できる道を開いた。

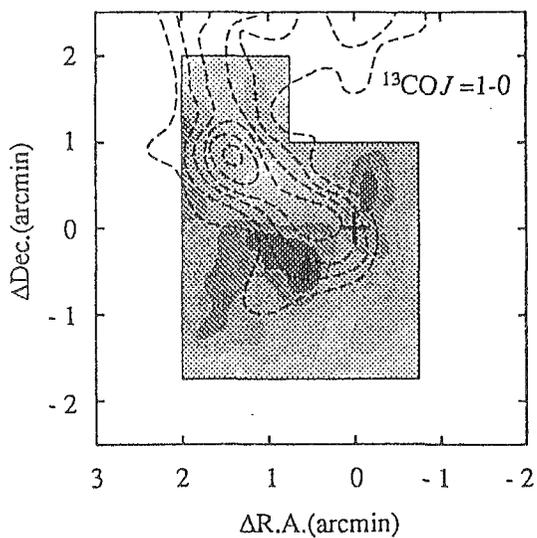
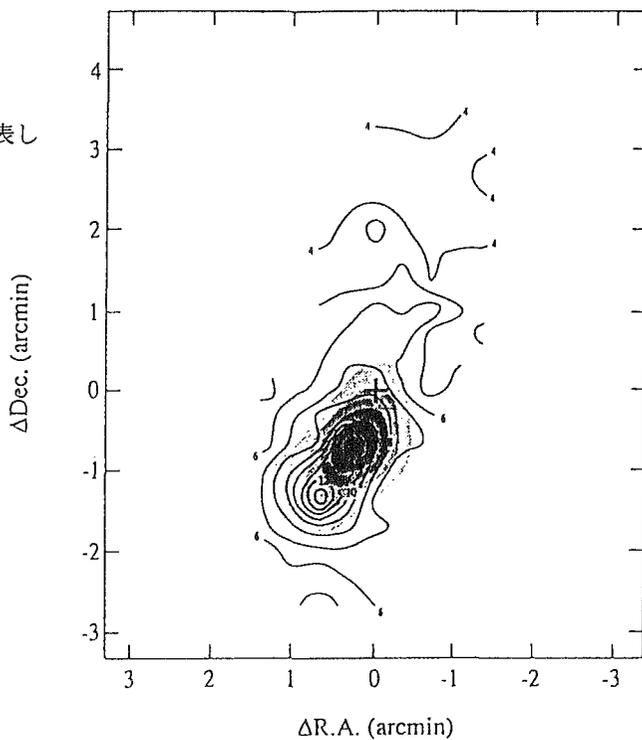


図1 L1221
 分子流と分子雲ガスの分布
 点線が分子流の blue lobe を表し
 影が分子雲ガスの分布を表す
 + は赤外線源

図2 L1157
 分布流とガス温度の分布
 影が分子流の blue lobe を表し
 実線が温度分布を表す
 + は赤外線源



論文審査の結果の要旨

本論文は、星間空間の分子雲ならびに分子流についての観測結果に基づき、これらの間の相互作用の定量的研究のひとつの方法を確立したものである。

星間空間で観測される双極分子流は、恒星形成の直前段階の現象として注目されており、星間雲から分子雲・分子流の段階を経て最終的に恒星の形成に至る過程の研究が近年急速に進展しつつある。

申請者は、L1221 および L1157, L810 の 3 個の暗黒雲について、一酸化炭素 (CO) とその同位体 (^{13}CO , C^{18}O), ホルミルイオン (HCO^+), シアン化水素 (HCN), 一硫化炭素 (CS) の諸分子の $J=1-0$ の遷移の発する輝線を、名古屋大学の 4 メートル短ミリ波望遠鏡ならびに国立天文台野辺山宇宙電波観測所の 45 メートル電波望遠鏡で観測し、そこでの分子雲および分子流の空間的構造と速度場の特徴とを調べた。これらの暗黒雲は、いずれも周囲の電離水素領域などからの影響が少なく、かつ観測されるスペクトル線の幅が狭いことから、母体分子雲と双極分子流の相互作用の解明に適したものである。

申請者は、これらの観測結果から、分子雲の質量や、分子流から分子雲に輸送されるエネルギー・運動量などを推定し、分子流が分子雲の一部を吹き払ったり、加熱している様子を明らかにすることに成功した。また、分子流によって分子雲の乱流のエネルギー散逸が補われている可能性や分子雲の急速な質量減少の可能性を示すなどの成果を得た。この成果は、分子流と分子雲の相互作用の定量的研究のひとつの道を開いたものとして高く評価される。

以上のように、本論文は著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって、梅本智文提出の論文は、理学博士の学位論文として合格と認める。