

# 1.5 m 短ミリ波望遠鏡

福井康雄\*・小川英夫\*・河鱒公昭\*・藤本光昭\*

## 1. はじめに

名古屋大学理学部の 1.5 m 短ミリ波望遠鏡は、1982 年 1 月から、星間分子スペクトルの観測を始めた。この望遠鏡は、名大としては初めての太陽系外からの電波の観測装置である。名大理学部電波天文グループは、1969 年、世界初のミリ波帯太陽電波干渉計の建設を始め、以来、35 GHz で高空間分解能の太陽バースト観測を行ってきた。そこで得られたミリ波帯の技術を生かして、学問的に日まじに重要度を増す星間分子線による宇宙の研究をスタートさせようという狙いでこの望遠鏡の建設が計画されたのである。

今年の 1 月から 6 月にかけて行った観測によって、オリオン領域でこれまで知られていなかった星の形成領域を発見し、銀河系中心部では分子雲の大局的分布を解明するなど、いくつかの成果がまとまり、装置の特質、性能もはっきりしてきた。この時点で、装置の概要と観測結果のハイライトを紹介することにしたい。

## 2. 3 台目の 1 m 級ミリ波望遠鏡

1 m 級のミリ波望遠鏡として、この望遠鏡は世界で 3 台目である。既設の 1 台は、コロンビア大学の 1.2 m 鏡であり、小口径 CO 望遠鏡の発想者であるパトリック・サディウス (P. Thaddeus) らによって作られた。OB アソシエーションと分子雲の関係、銀河系内分子雲の大局的な分布などで独創的な成果をあげてきたことで知られている。もう 1 台は、木更津工専の 1.5 m 鏡であり、最近では、H II 領域の W51 附近の広範なサーベイ観測などに用いられている。

これらの 1 m 級望遠鏡の狙いとする星間分子スペクトルは、周波数 115 GHz (波長 2.6 mm) の一酸化炭素分子 (CO) の回転スペクトルである。1970 年代前半の観測で、CO が銀河系内に多く分布し、その電波が大変強いことがわかった。CO スペクトルは、ミリ波帯での中性水素 21 cm 線に例えられるように分子ガスのよいプローブである。既存の 5~10 m 級のパラボラアンテナは、波長 2.6 mm でのビームサイズが 1~2 分角と小さく、数度以上に広がる天の川の分子雲の分布図を作るのに膨大な時間を要してしまう。1 m 鏡は、10 分角近い大きなビームサイズを生かして、広がり大きな分子雲の速いサーベイにむいている、というのがサディウス

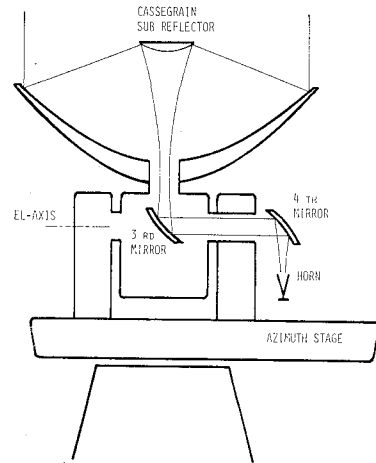


図 2 1.5 m 鏡のナスミス光学系の概念図

の発想であり、それが実証されてきたといえる。

3 台目の 1 m 級鏡である名大の 1.5 m 鏡 (図 1 = 表紙) は、コロンビア鏡に遅れること約 10 年だが、光学系と分光系に他の 2 台にはない特徴をそなえている。一つは、光学系として、ミリ波望遠鏡としては初めてのナスミス系を採用したことである (図 2)。これによって、受信器のための空間を広く、かつ調整しやすいように設けることができた。このことは、あとで述べるようにヘリウムガス冷凍機による 15K 冷却ミクサーの塔載が可能になるなど、受信器の低雑音化のために重要な点である。一方、分光系の特色は、高い速度分解能 (0.1 km/s) と広い帯域巾 (730 km/s) である。これらの性能は、各々、高分解能と広帯域の 2 台の音響光学型電波分光計で実現されている。特に、0.1 km/s という速度分解能は、コロンビアサーベイよりも 25 倍高い。広がり大きな分子雲である暗黒星雲や銀河系中心部などが、小口径鏡の威力の最もよく発揮される対象である。それぞれが、スペクトル幅の狭い極端と広い極端の天体であり、上の数字は、これらの多様なスペクトルを研究する上で十分な性能であると考えられる。

## 3. オリオン領域の観測——もう一つの星の形成領域

オリオン領域は、活発な星形成の場としてよく知られている。特に、トラペジウム星を中心とするオリオン星雲周辺は有名である。すでにコロンビアサーベイによって、この領域の広範な CO 観測は行われているが、その速度分解能は 2.6 km/s という低いものである。CO のスペクトル幅は 5 km/s 前後であるから、2~3 チャンネ

\* 名大理 Yasuo Fukui, Hideo Ogawa, Kin-aki Kawabata, and Mitsuaki Fujimoto: The 1.5 m mm-Wave Telescope at Nagoya University.

ル分しか信号が入ってきていない。このため、雲の運動についての大局的な情報は、ごく限られた部分しか分かっていなかった。0.1 km/s の高い速度分解能で新しい観測をすることには、十分意味があると考えられた。

今年の 1 月から 5 月にかけて 200 点近くを観測し、図 3(a) の強度分布図が得られた。2 つの強度のピークが

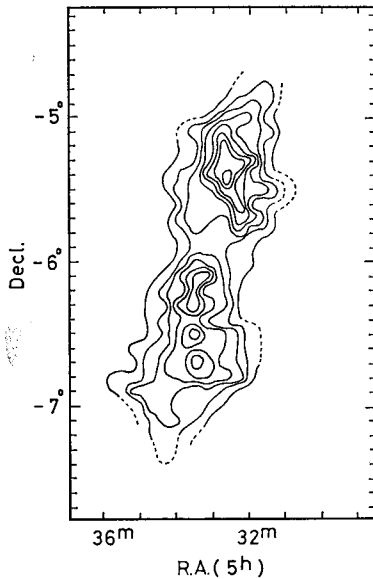


図 3(a) 名古屋大学 1.5m 鏡で得られたオリオン分子雲の CO 分子線の強度分布。コントラストはアンテナ温度で 1K おき。

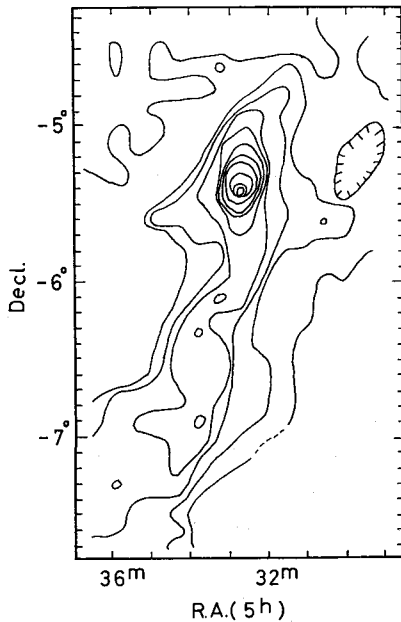


図 3(b) 同じ領域のコロンビア 1.2m 鏡による CO 分子線の強度分布。コントラストはアンテナ温度で 1K。

認められる。北側の成分は、オリオン星雲に付随した成分であり、コロンビアの地図 (図 3(b)) では、この成分のみが著しい。以下では、これを第 I 成分、南側のピークを第 II 成分と呼ぶことにしよう。コントラストの凸凹の様子は、名大の観測がコロンビアよりも良質であることを示唆している。実際、この成分について米国の 5 大学電波天文台 (FCRAO) の 14m 鏡でえられた  $^{13}\text{CO}$  の地図をみると、大変よく一致していることがわかる。コロンビアサーベイではほとんど強度のもり上がりの見られないあたりに第 II 成分がある。名大の地図では、ピーク強度でみて、両成分にほとんど差はない。この違いの原因は両成分のプロファイルを比べると明らかである。第 I 成分のプロファイルは半値巾 6 km/s に対して、第 II 成分のプロファイルは半値巾 3 km/s である。しかも、第 II 成分のプロファイルの多くは、先端が鋭く上がっている。コロンビアの 2.6 km/s の分解能では、とてもピーク強度を分解して測定することはできない。高速度分解能によって、この第 II 成分の検出が初めて可能になったのである。他の波長域のデータと比較すると、この第 II 成分は、もう一つの星形成領域であることがわかる。O 型よりも質量の小さい若い恒星の存在を示す反射星雲 NGC 1999 と 6 個のハービック・ハロー天体が、このピークのごく近くに分布している (図 4)。

さらに詳しく図 3, 4 をみると、第 II 成分のピークが

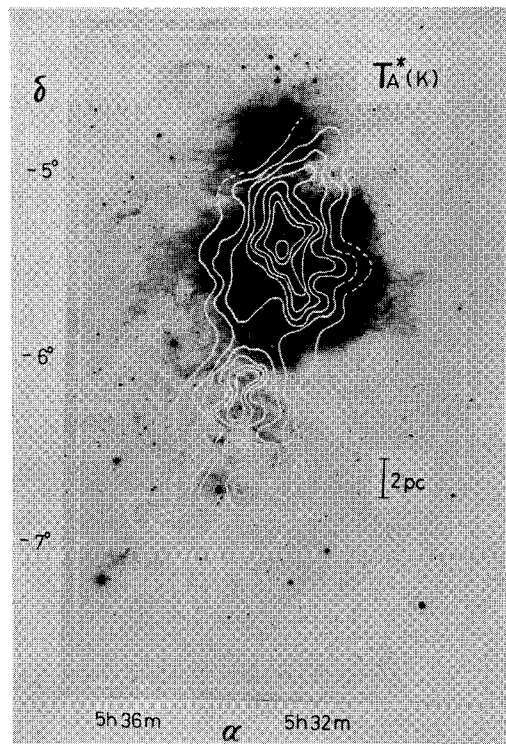


図 4 パロマー写真星図に重ねた CO の強度分布。

ほぼ南北に一直線に並び、その中で、4つのピークに分かれていることがわかる。観測グリッド（6分角）を考慮しても、4つのピークの間隔には、ほぼ1.6 pcの「波長」の周期性が見られる。この「波長」は、自己重力で雲が収縮を始めるのに必要な長さ（＝ジーンズ波長）にほぼ等しく、4つのピークへの分裂が重力不安定性によるものであることを示唆している。ジーンズ不安定性は、星間雲の分裂の最も基本的なメカニズムだが、観測的にこのように整った周期性が見出された例は恐らくこれが初めてだろう。

第II成分のもう一つの特徴は、ガスの運動に見られる。10 pc 平方の領域で、特に、強度の大きい部分に注目すると、速度は8 km/s でほとんど一様である。しかし、やや南東にずれて、2 km/s 程度速度の遅い低密度ガスが重なっている。これは、図5の長軸にそった位置-速度図でもわかるように、ピークの近くでは、プロフィールの非対称性となってあらわれ、ピークの南東部では、強い速度勾配となってあらわれている。この振る舞いを説明するのに、私たちは、一つのモデルを考えた。もともとコアとハローからなる分子雲があったとしよう。HI ガスの大規模な一様流（例えば銀河密度波のような）の中にこれをおいたとする。2×10<sup>7</sup> 年もたつとハローはHI ガスから運動量ももらって徐々に加速され、空間的にも「川下」に流れていくであろう。このような状況を見ているのではないか、というのが私たちの解釈である。もしそうだとすると、分子雲のHI 流に面する部分では強いガスの圧縮がおきているはずであり、上に示唆されたジーンズ不安定性の引き金にもなりうる。

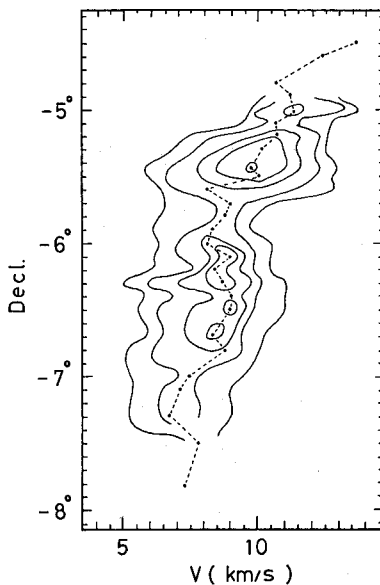


図5 オリオン分子雲の長軸に沿った位置-速度図。

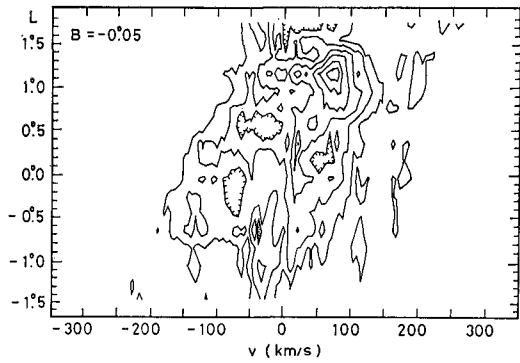
小口径鏡と高速度分解能という初めての試みは、このように、重力収縮期にある分子雲の検出に有効であることが分った。線プロフィールの鋭いピークの存在は、密度が高く、しかも乱流などの収縮を妨げる力が働いていないことを意味するわけだから、これはむしろ当然のことかも知れない。力学的に速度分散から求められた第II成分の質量は、分子線強度比から求められた質量よりも一桁近く少ない。第II成分全体が収縮期にあると考えてよいようだ。

オリオン領域は犬質量星がHII領域による圧縮作用によって連鎖反応的に形成されている典型と考えられてきたが、一方で、中小質量の星はそれとは独立に2千万年前から生まれている証拠がある（天文月報8月号 磯部氏の解説記事参照）。第II成分は、HII領域による圧縮をうけずに、自分自身の重力によって分裂収縮し、中小質量を生み出している一例である。

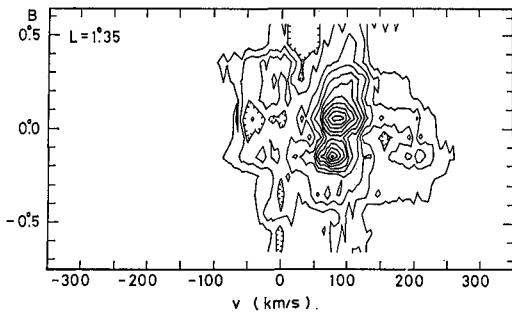
#### 4. 銀河系中心部のCO分子

銀河系中心部の観測は、広帯域分光計を用いて行われた。図6に、代表的な位置速度図を示した。これまでに行われたもっとも広範なCOサーベイは、米国立電波天文台(NRAO)の36フィート鏡によるハーベイ・リスト(H. S. Liszt)らによるものである。36フィート鏡のビームサイズは1分角であり、1.5 m 鏡の1/8である。このビームサイズではとても数平方度を完全にサンプルすることはできない。特定のストリップ（例えば銀河面等）に観測点を集中することになる。これまでにカバーされた領域は $|l| \leq 2^\circ$ の範囲で $0.05^\circ$ と恐しく小さい。1.5 m 鏡の一点の観測で36フィート鏡の64点分の立体角がカバーできる。観測時間が短い銀河系中心部( $\delta = -30^\circ$ )に関しては、この大きなサンプリング力は大変有効である。

2月から4月にかけて行った観測で50点近くを観測し、立体角で最大の領域( $0.6^\circ$ )をカバーすることができた。図6にはいくつか新しい特徴が見られるが、特に注目されるのは、 $l = 1.1^\circ - 1.5^\circ$ で $v = 80$  km/sにピークを持つ成分がもっとも著しいことである。この成分は、リストらのデータでも見えてはいるが相対的に強度は大変弱い。この成分を中心にして、私たちは、観測グリッドを面外に拡げた。こうして得られたのが図7の+80 km/s 雲の地図である。100 pc 以上にわたる大きなZ方向の拡がりをもっていることがわかる。この厚みは、よく知られるSgr B2, Sgr Aなどの分子雲に比べると2~3倍以上である。面白いことに $b = -0.05$ （銀河面）でそのピーク強度が著しく減少しており、ピーク強度の分布が“>”型になっている（図7）。 $l = 1.5$ 附近は、NRAOサーベイで**b**分布がはかられていない箇所であり、この巨大分子雲の存在は、リストらによって



(a)  $b = -0^{\circ}05$  の銀経-速度図.



(b)  $l = 1^{\circ}35$  の銀緯-速度図.

図6 名大1.5m鏡で得られた銀河系中心部のCO分子線による位置-速度図.

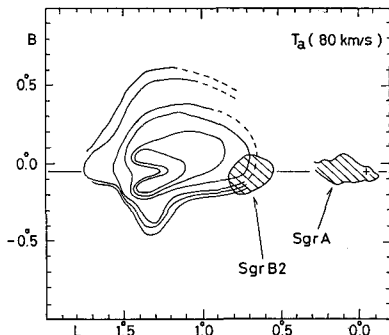


図7 +80 km/s 雲の空間分布.

全く注意が払われていない。以前、木更津のサーベイでもこの成分の観測がなされたが、分光計の帯域巾がせまく(160 MHz (当時)), 十分ベースラインがとれていなかったために確かなことは分からなかった。

さて、CO分子線の励起条件から平均密度を  $300 \text{ cm}^{-3}$  と仮定すると、この雲(これから +80 km/s 雲と呼ぼう)の全質量は、 $5 \times 10^5 M_{\odot}$  となる。各種のエネルギーを表1に示した。Z方向の重力エネルギーが異常に大きいことが注目される。内部エネルギーはこれよりかなり小さく、Z方向では重力平衡にない。何がこの膨大な重力エネルギーを供給したのが問題となる。エネルギー

表1

重心の運動エネルギー	$\frac{1}{2} M V_{LSR}^2$	$\geq 4 \times 10^{53} \text{ erg}$
内部エネルギー	$\frac{1}{2} M \bar{V}^2$	$\sim 4 \times 10^{52} \text{ erg}$
自己重力エネルギー	$\frac{3}{5} \frac{GM^2}{r_0}$	$\sim 3 \times 10^{52} \text{ erg}$
Z方向重力エネルギー	$\sum_i M_i g_i Z_i$	$\sim 5 \times 10^{53} \text{ erg}$

が10の53乗エルグをこえているので超新星爆発などがこのエネルギーを供給したとはとても思われぬ。系外から降りそそいだのではないかと可能性もあるが、雲の重心のもつ角運動量が少ないことは、この説明では理解しにくい。私たちは、約  $10^6$  年前の中心核活動が、そのエネルギー源だったのではないかと考えている。図7の>型分布は、この場合、中性水素円盤(HI nuclear disk)との相互作用の結果えぐられたと解釈できる。以前から  $0^{\circ} \leq l \leq 1^{\circ}5$  でHIガスが少なくなっていることが指摘されていたが、この+80 km/s雲の存在は、それに対する一つの説明を与えることができる。

### 5. これからの展望

#### 5.1 4m鏡の建設

以上のような1.5m鏡の成果をさらに発展させるために、現在私たちは4m短ミリ波望遠鏡の建設をすすめている。1981年6月から製作が始められ、1982年11月にテスト観測が開始されている(図8)。この望遠鏡は、周波数80 GHz~300 GHzの星間分子スペクトルの観測を目的として作られたものであり、1.5m鏡のCO観測で見つかった興味ある領域を、さらに高い空間分解能と、CO以外の種々の分子線で調べることによって、星間雲の物理・化学状態を明らかにすることを目ざしている。50  $\mu\text{m}$  r.m.s. という高い主鏡面精度が達成され、周波数300 GHz(波長1 mm)までの使用が可能である。4m鏡のビームサイズは、上の周波数帯で3~1分角であり、1分角以下の程度に天体の位置をおさえることができる。その結果をもとに、45m鏡などを用いたさら

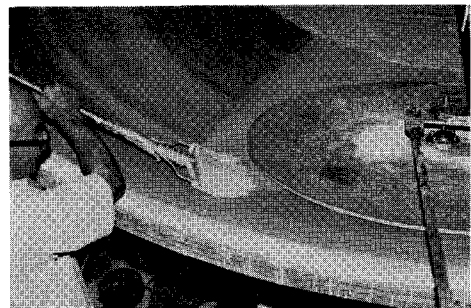


図8 研磨工程の名古屋大学理学部4m短ミリ波望遠鏡(法月技研にて)。

に高い空間分解能観測を効率よくすすめていこう、というのが私たちの戦略である、当初オリオンの第Ⅱ成分、銀河系中心の  $+80 \text{ km/s}$  雲 etc. の CO 観測を計画している。

今後の課題は、次にのべる受信器フロントエンドの低雑音化とともに計算機の能力を上げて分光データの処理スピードを高めることである。

## 5.2 受信器の開発と今後の観測

1.5 m 鏡の特徴の一つは、小口径鏡でありながら、小口径鏡におとらない広い受信器用スペースを確保できる点にある。例えば、コロンビアの 1.2 m 鏡は、主にスペースの制約から、依然として常温受信器にたよっている。1.5 m と 4 m 両鏡のために、現在私たちは、独自に 15K 冷凍器を用いた冷却ミクサー受信器を開発中である。1.5 m 鏡の試験観測に用いられたのは常温で雑音温度 3000 K、本観測に使ったのは液体窒素冷却の雑音温度 1500 K の受信器であった。今年の 10 月に完成した 15K 冷却受信器は、雑音温度 462 K (SSB) を達成し、世界のトップクラスにひけをとらないものとなった。コロンビア鏡では 800 K 程度であるから、1 m 級としては、分光計も含めて最も高感度の装置となることが期待される。

この新システムによって、オリオン領域の完全なサー

ベイをはじめ、巨大分子雲の周波数分解能のよい観測を広範に行っていきたいと考えている。未知の高密度領域の検出、とりわけ、重力分裂収縮期にある分子雲をとらえることが期待される。そのような領域は、恐らく OB 型星の形成領域とは別の、中小質量星の形成の場である。また、分子雲とその環境との相互作用も興味深い課題である。

なおこの装置を建設するにあたっては当初、祖父江義明氏(現野辺山宇宙電波観測所)・加藤龍司氏(現宇都宮大学)・面高俊宏氏(現杏林大学)の参加があり、現在、名大理の林良一氏、及び学振奨励研究員鷹野敏明、名大大学院の川辺良平、藤本泰弘、杉谷光司、高羽浩各氏の参加のもとに、望遠鏡、受信器等の開発が進められている。

また、1.5 m 主鏡は空電研鰐目信三氏の好意で理学部に移管されたものである。架台の製作については法月鉄工所の方々に御苦勞をかけ、また観測装置などの製作については名古屋大学物理・金属工作室と同理学部金属工作室の方々に御世話になりました。本研究は文部省科研費一般研究(A)(課題番号 542003)の援助のもとに行われた。

## 日本天文学会昭和 57 年度秋季年会記事

昭和 57 年度秋季年会は熊本市内の熊本県福祉会館に於て、A, B の 2 会場で 10 月 13 日(水)~15 日(金)の 3 日間にわたって開催された。講演数は会場 A 85、会場 B 88、計 173、出席者数約 300 名、各セッションの座長は次の方々をお願いした。

	会場 A	会場 B
13 日 午前	川口市郎	古在由秀
	西 恵三	関口直甫
午後	日江井栄二郎	角田忠一
	小尾信彌	堀 源一郎

14 日 午前	加藤正二	石田五郎
	藤本光昭	高倉達雄
午後	海野和三郎	河鱈公昭
	成相秀一	赤羽賢司
15 日 午前	森本雅樹	竹内 峯
	寿岳 潤	浜田哲夫
午後	奥田治之	上西啓祐
	会津 晃	北村正利

会期中、13 日の昼に内地留学奨学会選考委員会、14 日夜に懇親会、15 日の昼に理事会が開かれた。

## 学会だより

### 内地留学奨学金

年会中に開かれた内地留学奨学金選考委員会に於て、申請のあった 2 名の候補について選考を行った結果次のように決定した。

◎小島信治	愛知教育大 教育学部学生
留学先	東京天文台子午線部
奨学金	30 万円

### 昭和 58 年度科学研究費補助金配分審査委員候補者

日本学術会議研究費委員会より標記の件について推薦の依頼がありましたので、本学会として評議員の書面投票により下記の方々を推薦いたしました。

第 1 段審査委員候補者: 杉本大一郎  
小暮智一

なお、現在の第 1 段審査委員は、小平桂一、藤本光昭、奥田治之の 3 氏で、昭和 57 年度で小平桂一氏が任期満了となります。又、現在の第 2 段審査委員は、古在由秀氏です。