

# 暗黒星雲の大規模構造

## —数千万個の星たちとの対面調査—

富田 良 雄\*

### 1. スターカウント事始

昨年6月をもって京大天文学部観測所のシュミット望遠鏡(主鏡径70cm, 補正板口径40cm, 焦点距離120cm)がその使命を終えた。10年余の寿命であったが、宇宙物理学の研究者にとって製作、機器開発、観測にと自分たちの手を汚して取組んだ日々を経験は残したものが大きい。20cmクラスのシュミットカメラがアマチュア天文家用に安価に市販されている現在では70cm級のものではたいしたことはない。しかし、日本で学問用に使用できる4台のシュミットカメラのうちこの時期に研究用として稼動していたのが2台であったこともあり、それなりの役割を果たしたと思われる。

大宇陀シュミット望遠鏡を用いて行われた研究の一つとして、私が1979年以来8年を要してようやく完了したスターカウントの事業についてここでは紹介しよう。

本来、スターカウント法は多数の天体の物理的特性を統計的に処理して、その天体の集団としての情報を引き出す方法の一種であるが、私が採用したのはゼネラルカウントという最も単純な方法だった。とにかく格子枠内の星像をすべて数え上げるだけで良いのである。個々の星の明るさ、スペクトル型、位置などを一切問題にしないので、忍耐さえあればどんな素人にもできる方法である。暗黒星雲の研究のために何故このようなたあいもない方法を採用したのかと言えば、それには次のような理由があった。(1)シュミット望遠鏡の広視野を生かして広い領域の暗黒星雲を楽に探索することができる。(2)銀河面に近いところでは高い空間分解能が得られる(約1', これは10m口径のCO電波望遠鏡のビーム幅に匹敵する)。(3)強い輝線を避けた波長帯で撮影すればHII領域や超新星残骸などをほとんど透かして見ることができる。(4)高速2次元マイクロフォトメータや画像処理システムを組み合わせれば測定時間、精度の点で格段に向上し研究の質的進歩ができる。(これについては、大谷(1984)が「南の石炭袋」暗黒星雲について行っている)

これまで個々の雲の吸収値の見当をつけるためのみに用いられていた手法を、こうした利点を最大限いかして星間雲の分布を大規模に研究するための強力な方法として復活させつつある状況である。また、研究している本

人自身多少時代錯誤の感じを抱いていたテーマが一昨年来IRAS衛星のもたらした遠赤外線による星間塵の研究という最先端の分野と切結んでいたこともあって「やられた」という気持ちの一方で内心安堵の気持ちの両方を抱いたことは確かである。いずれにしても、多数の星像をひとつひとつ肉眼で見ながらカウントするような作業は、コンピュータの発達した現在もはや人類最後の試みであった。

### 2. 至極簡便強力星数計測法のすすめ

ここで私が用いた方法について要領のみを説明する。まず、撮影した乾板又はフィルムに格子を重ねる。格子はフィルムに焼きつけて作製し面積が倍々のものを何種か用意した。また星野写真を印画紙に引き伸ばしてその上に直接格子を描いてしまっても良い。これを投影器で拡大し数取器(交通調査などに使用しているあれ)でカチャカチャとマス目内の星像を数えて記録する。このとき星像以外の銀河、ゴミ、傷などは自動的(?)に排除する。慣れてくれば1マスの星数が50個の場合±1個の誤差で計数できるようになる。測定はルーペや低倍率の顕微鏡を用いても行うことができる。

得られた星数から吸収値  $A$  を求めるには次の近似式を用いる。

$$\frac{N(m_i - A)}{N(m_i)} = \frac{n}{n_0}$$

これは一様に分布している背景の星の前に吸収雲がある場合限界等級より明るい星の数が減少するということを表す式である。ここで  $n$  は1マス内の星数、 $n_0$  は吸収がほとんどない比較領域での星数、 $N(m)$  は  $m$  等級よ

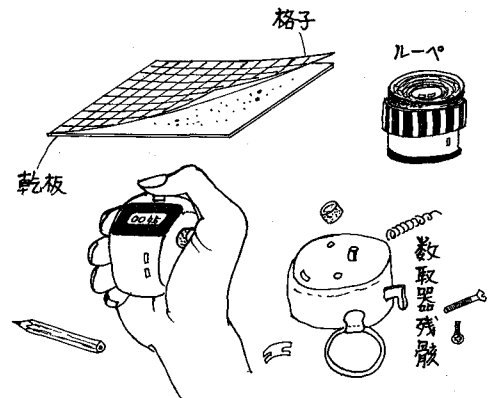


図1 スターカウント用小道具

\* 京大理 Yoshio Tomita: The Large Scale Structure of Dark Clouds

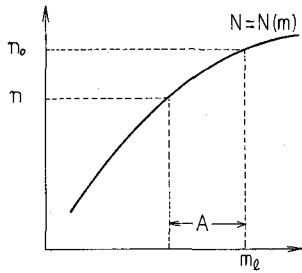


図 2 星数と吸収値との関係

り明るい単位面積当りの星数で、例えばアレン (1973) のデータを用いれば良い。  $m_i$  は撮影した写真の限界等級である。この式では吸収雲より手前にある星の数は無視しているので約 1 kpc より遠方の雲を対象とする場合にはその補正をしないと吸収値が実際より小さく求まる。

昨今市販されている天文雑誌を眺めていると読者の撮影した写真の中に素晴らしい星野写真が何枚もあってスターカウントに用いたら良いだろうなと思うことが多い。そんなこともあって、くどくどと書いたわけだが興味を持たれた人があったら、これを機会に挑戦してみてください。

以上で 1 枚の乾板に対応する吸収分布図が得られたことになる。しかしいくらシュミット望遠鏡の写野が広いと言っても千平方度を超える領域のマップを描こうとすれば、数十枚の乾板が必要になり断片の吸収図を張り合わせる必要が生じてくる。私が採用したのは数学の関数論にでてくる解析接続のように、吸収の少ない比較領域から出発して 2 枚の乾板の重なり合った部分毎に吸収の残差が最小になるよう反復計算を行いながら全体がうまくつながるように一枚の吸収全図に合成するやり方である。これは京大の大型計算機センターの計算機を用いて行い、結果の出力もセンターの様々な出力装置を用いた。

次に、こうして得られた吸収地図を見ながらスターカウントが明らかにした暗黒星雲の描像について述べて見よう。

### 3. 暗黒星雲の形態と分布

大宇陀シュミット望遠鏡の限界等級が用いた V 波長帯で約 16 等であることから対象となる暗黒星雲は 1 kpc より距離が近いものが中心となった。したがって観測領域は銀河面よりもむしろグールドベルトに沿っている。

#### (1) オリオン・一角獣領域

この領域はマッドレナたち (1986) がコロンビア大学

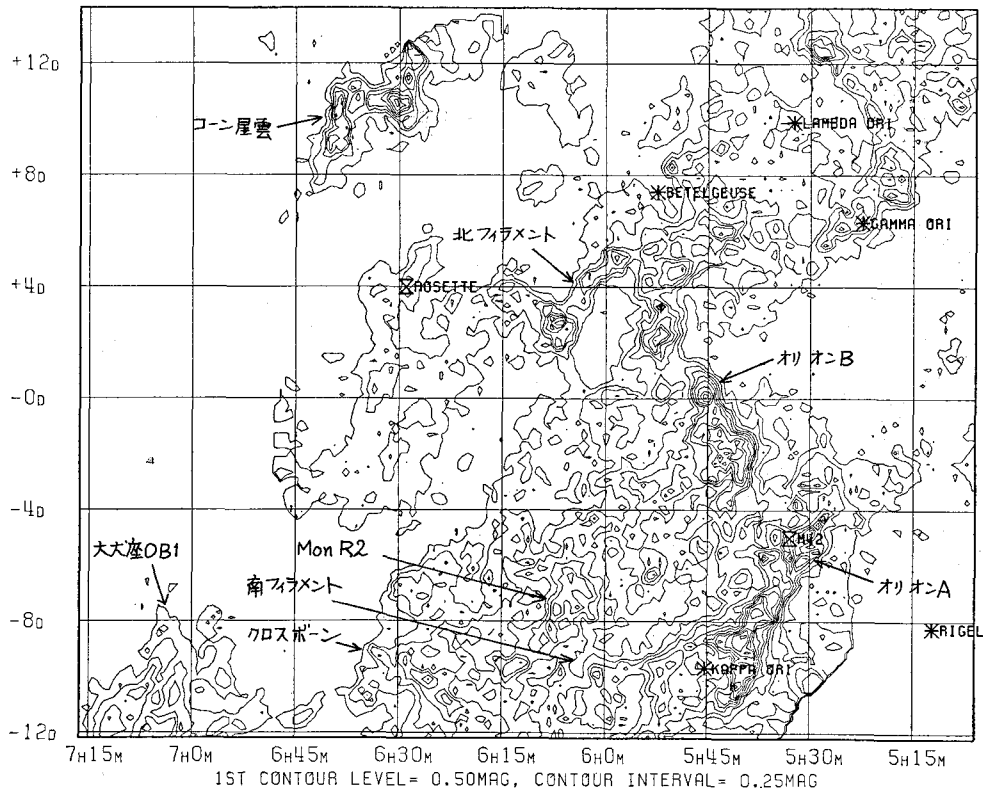


図 3 オリオン・一角獣領域の吸収分布図

1.2 m CO の望遠鏡を用いて行った遠大な分子雲探索の領域とほとんど同じで彼らの得た CO 分子の分布と私の吸収分布とは良い一致を示している。

オリオンの頭に相当するところに  $\lambda$  Ori の周りを取りまくシェルが見られる。また彼らが名付けた北フィラメント、南フィラメント、クロスボーン（海賊の旗に見られる頭骸骨の下の2つの大腿骨）、Mon R2 雲、オリオン A 雲、オリオン B 雲がくっきりと見えている。また銀河面に近いところにはコーン星雲、バラ星雲、大犬座 OB1 アソシエーションに伴う暗黒星雲が見えている。私の吸収分布図ではカウントは領域全体にわたって行ったのでデータが抜け落ちていることはないが、マッダレナたちは約 9' のビームで、1/2°, 1/4° などの領域を望遠鏡を動かしながら観測するスーパービーム法を用い何とかデータが抜け落ちるのを防ごうとしているが、それでも物質のないところでは観測点の分布は非常にまばらである。その影響もあってか、北フィラメントが東西 2 つの部分に分れておりそれぞれが別々のシェルの一部分をなしていることに気づいてはいない。

この領域は太陽近傍では星形成が最も激しく起っているところで、全体的に見ていくつものシェル構造が複雑に重なり合い相互作用しているように考えられる。吸収図から識別できるだけのものでも少くとも 8 個のシェルが数えられる。

(2) 白鳥座——グレートリフトと北の石炭袋——

銀経がちょうど 90° の方向にあたり渦状腕を接線方向に見ることになり、グレートリフトは星間密度波による

ダストレーンを見ていると考えられている。さらに反銀河中心よりに大きな暗黒星雲「北の石炭袋」（カフタシ 141）が位置している。全体を一見してわかるのは、かなり太いフィラメントが何条もたなびいていることである。そのうちのいくつかは並行している。

ほかにこの領域で目につくのは北アメリカ星雲とペリカン星雲の前面を横切り H II 領域 IC 1318 を真二つに切り裂いてつながる不規則な形状のダストリングの存在である。見かけ上白鳥座 X 領域と呼ばれる強い電波源の集中している領域をとり囲んでいるが、リングは北アメリカ星雲より手前があるので電波源とは直接的関係はない。このリング（ひょっとしたらシェルかも知れない）は、H II 領域を背景にシルエットになっているところでは軸方向に非常に細い繊維状の構造がパロマーアトラスで見られリングに沿った磁場がその形成、維持に重要な役割を果たしていると思われる。

(3) 蛇つかい座暗黒星雲

最近注目を集めている  $\rho$  Oph に伴う雲を頭部に見たてた 2 本の長い尾を持つ大きな彗星状の暗黒星雲である。その北方には  $\zeta$  Oph (O 型星) に伴う H II 領域の周囲にフィラメント状の暗黒星雲が散在する。私が求めた吸収図に IRAS 衛星の点源を重ねて描いたものを図 5 に示す。この領域は名大の 4 m 電波望遠鏡により CO 分子雲サーベイ（天文月報 1986 年 2 月号）が行われたところでその分布は吸収分布とほぼ一致する。3-4 条の東西に並行に存在するフィラメント又は分裂片のいずれも西端において低質量星が形成されており、それらのうちで

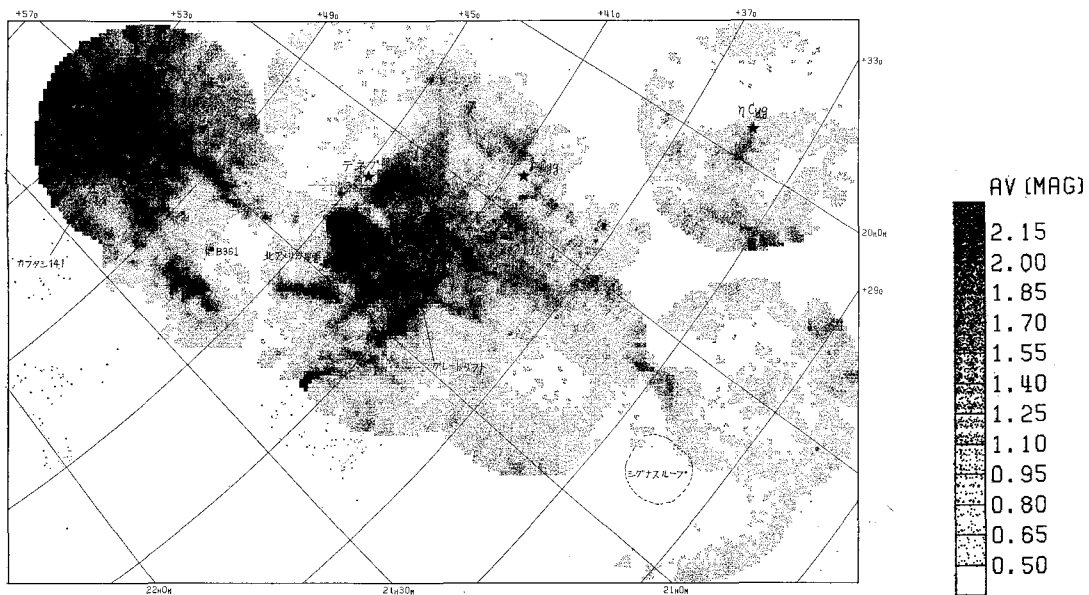


図 4 白鳥座の暗黒星雲

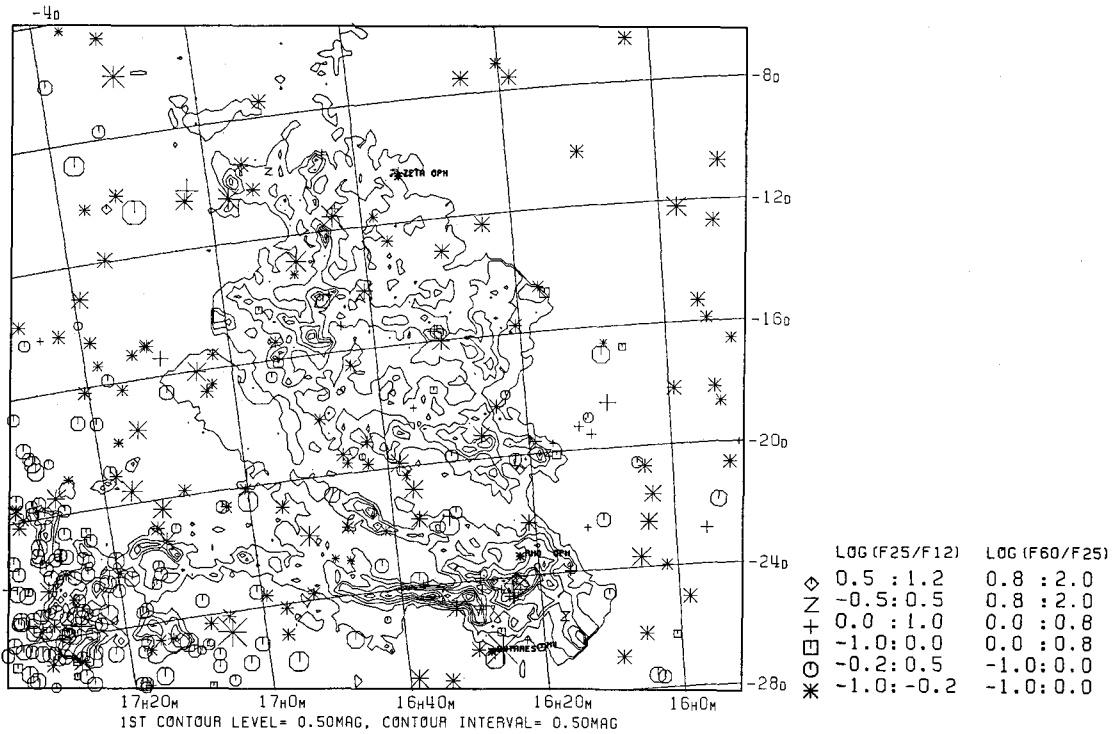


図5 蛇つかい座暗黒星雲と IRAS 点源

一番密度が高く若い星が密集しているのが  $\rho$  Oph 雲である。星形成領域のこうした特徴は彗星状の形態となんらかの関連があると思われる。

(4) エリダヌスのフィラメント

図6に示すのは、著名なバーナードループの銀河面から離れた西端あたりと考えられる位置に存在するフィラメント状の吸収雲でミーバーン (1967) やサイヴァン (1974) が干渉フィルターを用いて検出している  $H\alpha$  フィラメントの位置と一致している。また中性水素 21 cm 線でもその位置に対応する嶺が存在することが示されている。可視光の吸収の形でその存在が確認されたのは今回が初めてである。吸収はピークのところで約 0.8 等である。これはオリオン OB アソシエーションの紫外光や恒星風等による衝撃波で掃かれてできたものと考えられる。銀河面に近い東端ではバーナードループに対応するシェル状の構造は吸収では見えていない、最大でも 1 等以下という吸収量ではまわりの雲が多数存在するところではゆらぎの中にうずもれて見えないのだろうと思われる。

これと同じようなフィラメント状の雲が、連続波電波で発見されたノースポーラスパールの嶺の一部に沿って存在することも今回の観測で確認された。

(5) 干潟星雲 M8 をとりまく奇妙なフィラメント

一番解能の高い吸収分布図をお目につけよう。これ

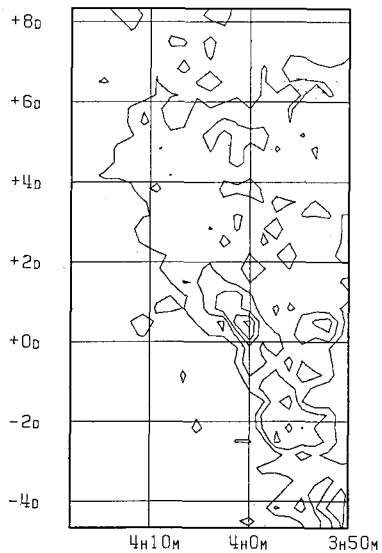


図6 エリダヌスフィラメント。等高線は 0.15 等から 0.15 等きざみ。

は  $HII$  領域 M8 を含む星野をサイディングスプリングの大型シュミット望遠鏡を用い写真赤外波長帯で撮影された乾板のフィルムコピーをカウントしたものである。分解能は約 1 分角で細いフィラメントが良く分解されており、可視吸収に換算して約 10 等級に相当するところ

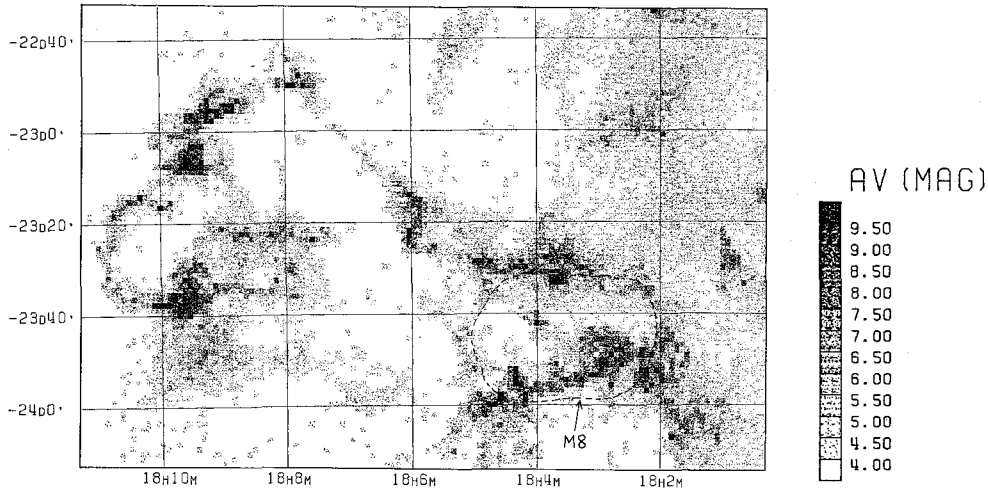


図 7 干潟星雲領域の吸収分布図

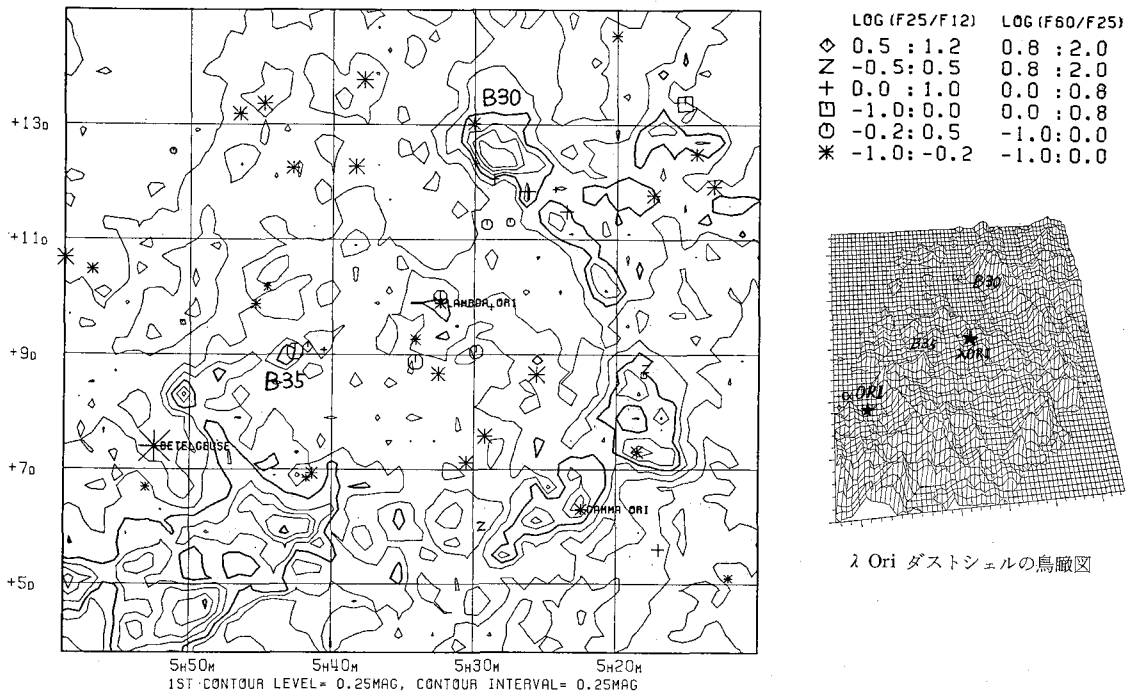


図 8 λ Ori 領域のダストシェルと IRAS 点源の分布。

まで見通していることになる。

この複雑な構造物は単一の起源では説明が付きそうにないが、よく見ると M8 の周囲をとりまく不規則な形のシェルといくつかのアーチ状のフィラメントが重なり合っているようである。このリングには、M8、NGC 6559、IC 1274-5 等の星形成領域が囲まれており、これらのフィラメントがこれに伴っているものとすればたび

重なる超新星爆発によって掃かれて形成されたものである。

そのほか牡牛・ペルセウス領域、北極星領域等の吸収全図を完成させたが、紙面の制限があるので別の機会にご覧いただくことにする。

以上見てきたことから、暗黒星雲は従来考えられてきたグロビュール、大グロビュール、複合雲という分類

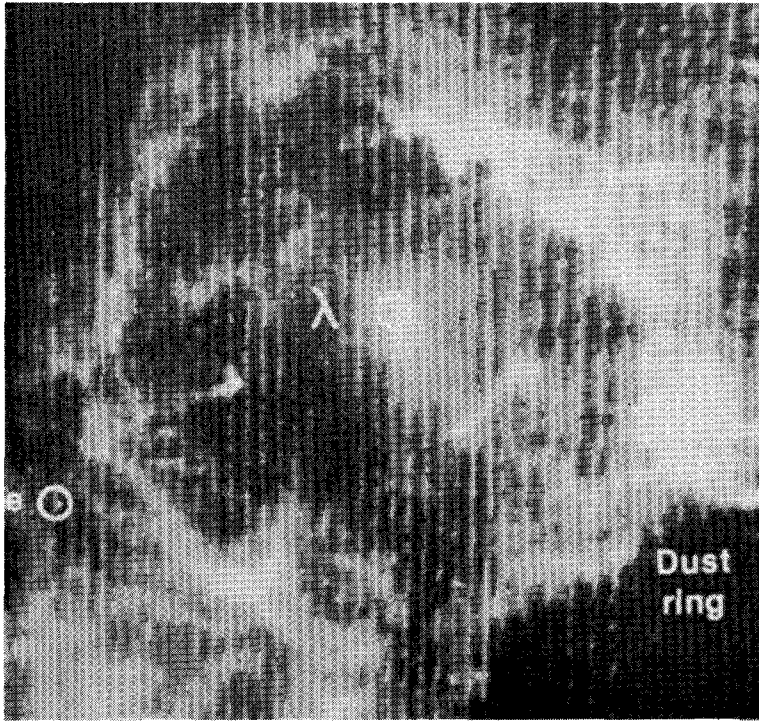


図 9  $\lambda$  Ori ダストシェルの IRAS による遠赤外線画像。スケールは図 8 とほぼ同じ。

(ボック 1974) のほかにシェルやフィラメントとして存在しており空間的にはそれらが占める体積の方が大きいことは確かである。そしてこうした新事実は可視光以外の電磁波の波長帯で最近明らかにされつつある星間物質のダイナミックな諸現象を反映したものである。

ここでは特別に興味深い構造として  $\lambda$  Ori シェルに注目してみる。図 8 は図 3 の一部を拡大したものであるが、シェルはアルファベットの D を逆さにした形をしている。IRAS 衛星のイメージでも同じ形に見える。ところがコロンビア大の CO サーベイの結果では円形と解釈されている。このちがいについては、シェルの北西の部分 H II 領域の手前側にはりついて可視光の吸収や遠赤外放射で強調されているのではないかと考えられる。このシェルは直径約 70 pc (距離 400 pc)、厚さ約 1 pc、平均の吸収  $A_0 \sim 1$  mag、ダスト質量約  $250 M_{\odot}$ 、総質量約  $2.5 \times 10^4 M_{\odot}$  (ガス・ダスト比を 100 と仮定) である。これは  $\lambda$  Ori (O8 III) による膨脹 H II 領域のショックフロントがかき集めたものと考えて値はほぼ一致する。図 8 には IRAS 点源を遠赤外の色で分類し重ねてプロットしてあるが、シェルに沿って存在するピークや H II 領域内のグロビュールに付随して点源が分布しているのに気がつく。シェルの北西縁に位置する B30 では多数の原始星が発見されており名大 4m 鏡による観測(藤本)でもそのいくつかについて双極分子流を伴っていることが新たに確認された。またシェル内の東寄りに位

置するグロビュール B35 にも FU Ori という今世紀に入ってフレアアップした原始星が付随しており、衝撃波により 2 次的な星形成が起ったことを生々しく示している現場として重要であろう。

#### 4. スターカウントとともに

今後このテーマをどう発展させてゆくのか、考えている途中であるが、観測装置、測定装置等の面で不備などところがあるのですぐ次の観測にとりかかるというわけにはゆかない。当面他の波長域での観測と比較してみることが重要だと考えている。とりわけ IRAS 衛星のイメージデータとの比較が、同じ星間塵からの放射を直接見ているということで大切であるが、現在写真版のものしか手元にないので定性的な比較ができるだけである。IRAS 点源の分布との比較は進行中である。また分子の電波観測とりわけ CO の分布との比較は名大に大量のデータの蓄積があるので協力してやっていきたいと考えている。

一段落ついたところで、焦点距離の長い望遠鏡を用いて  $1 \mu\text{m}$  近くの波長帯で銀河面近くの雲の高空間分解能のカウントを行うことを考えている。画像処理を上手に行えば 10 秒角の空間分解能の吸収マップも得られることになる。また近傍銀河内の暗黒星雲のスターカウントも行う予定にしている。もちろんこうした仕事はもはや肉眼でやろうとは考えていない。