

暗黒星雲のかたちと星間磁場

—赤外星間偏光観測—

田村元秀*

1. はじめに

暗黒星雲のそもそもの名は“光で、何も見えない区域”ということであろう。その存在は初めに光で気付かれながら、観測は大きさや形の分類やスターカウントにとどまった。現在では、分子線スペクトル観測が主役に代わっている。この原因は、光の波長による到達距離の違いである。星間空間では、可視光は1キロパーセク進んでもわずかに数等しか減光されないのに、暗黒星雲では、たった数パーセクの中に10等を越える吸収を受けてしまう。10等の吸収といえば、光子の数にして一万分の一になり、結局、口径が百分の一の望遠鏡で見ることになってしまって、現在の大望遠鏡といえども、中まで覗き込むことはできなくなる。シュミット乾板によるスターカウントでも、吸収量 (A_V) が7.5等までがヤットコサ限界である。これが電波や赤外線になると、すっかり事情が異なる。例えば、近赤外波長の $2.2 \mu\text{m}$ (K -バンド) では、減光のされ方は可視光の1/10程度にまで小さくなる。へびつかい座の極めて濃密な暗黒星雲では、 $A_V \sim 50$ 等であるから、 $A_K \sim 5$ 等、現在の大口径赤外線望遠鏡ならば射程圏内に入るだろう。おうし座の暗黒星雲だと、 A_V にして10-30等ぐらいなので、中・小望遠鏡でも覗き込むことができる。

我々、京大宇宙線の地上赤外のグループは、1982年の上松における近赤外サーベイを手始めに、

- i) 暗黒星雲 (おうし座暗黒星雲全域, 南オリオン,

- ii) 暗黒星雲の近赤外偏光サーベイ
- iii) 原始星の偏光マッピング
- iv) 偏光スペクトル観測 (偏光の波長依存性)

の4項目を、AIRO (上松), UH 88" (ハワイ大学), および UKIRT (英国) を使って、行なっている。限られた人数と予算で、徐々にではあるが、一歩ずつ進んでいる。i) の近赤外サーベイについては名大理A研との、ii) と iii) については野辺山との議論を通じて、批判や助言をいただいて指針としている。

本稿では、いわゆる星間偏光に関係した ii) と iv) についてとり上げたい。なお iii) については、天文月報3月号の山下氏の稿を参照されたい。

2. 星間磁場と星形成

星間雲が収縮し、星が形成される過程には、さまざまな内的・外的要因が影響を及ぼす。星間雲の自己重力や外圧は収縮を促進する。一方、星間雲のガス圧、乱流、回転による遠心力、そして磁場は収縮を妨げる。近年の電波観測の進歩は、これらの要因の理解のために多くの情報を与えてくれるようになったが、磁場が星形成にどのような役割を果たしているかを観測的に調べる試みは、観測手段の乏しさのために、これまで不十分であった。

可視域での星間偏光観測は、星間磁場を調べる手段の1つである。星間偏光は、星からの光が星間空間や暗黒星雲内の整列した非球形ダストによって選択的な吸収を

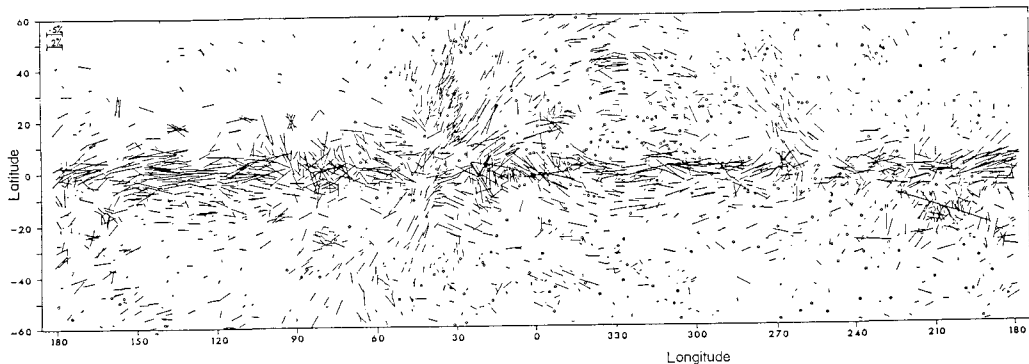


図1 可視域での偏光の電場ベクトルを銀河座標面上に示したもの (マシューソンとフォード)。大局的な銀河磁場の様子がよくわかる。

* 京大理 Motohide Tamura: Morphology and Magnetic Fields in Dark Clouds
—Infrared Interstellar Polarimetry—

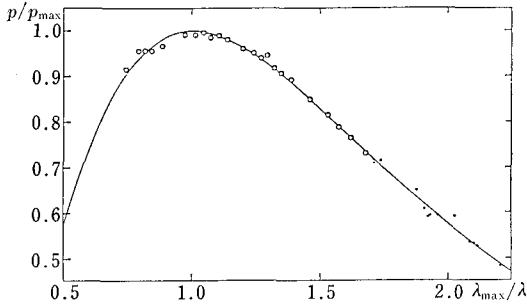


図 2 星間偏光の波長依存性 (サーコフスキー, マシューソン, フォード). 偏光の大きさはその最大値 P_{\max} で, 波長は偏光最大のときの波長 λ_{\max} で, それぞれ規格化してある. $P/P_{\max} = \exp[-1.15 \ln^2(\lambda_{\max}/\lambda)]$ でよく表わされる. ふうつ星間空間では, $\lambda_{\max} \approx 0.6 \mu\text{m}$ である.

受けたために生じると考えられている (デイビス-グリーンシュタイン機構). この場合, ダストはその長軸を磁力線に保つ方がエネルギー的に安定になり, 観測される偏光ベクトルは, 磁場に平行になる. 従って, 星間偏光観測によって, その星から我々までの空間の磁場の方向がわかる. この方法によって, これまで主に, i) 銀河磁場の分布の研究や, ii) 星形成領域の周辺部の磁場の探査 (たとえば, ヴァーバ) が行なわれてきた. i) の代表としては, マシューソンとフォードによる 1800 個の星の偏光を測り, それまでの偏光観測の結果と合わせて, 銀河磁場を明らかにした仕事がある (図 1). これは星間偏光観測の有効さを示すものである. しかし, 星形成領域は, 最初に述べたように, 吸収が深いために, その領域の磁場構造を可視光で探るのには難しい.

3. 赤外波長域での星間偏光

星間偏光は波長依存性を持つことが知られている. 図 2 に示したように, 偏光の大きさは可視域で最大で, 波長の増大と共に小さくなり, 観測するのが難しくなる. しかし, 吸収が深い所でも見透せる有利さを考慮すると, 星形成領域の磁場構造を探るには, 近赤外波長域での星間偏光観測が最適である.

我々は, いくつかの暗黒星雲の最も吸収の深い領域や暗黒星雲に埋れた星形成領域を選んで, K -バンド ($2.2 \mu\text{m}$) での星間偏光観測を行った. ここでは 3 つの代表的な領域を紹介する. 我々が解明すべき点は次のようなものである.

- ① 暗黒星雲内の磁場は, 周辺部の磁場とどのような関係があるか.
- ② その磁場は暗黒星雲の形状とどのような関係があるか.
- ③ また, その磁場と暗黒星雲中の微細構造との関係

はどうか.

- ④ 暗黒星雲内の磁場と, その暗黒星雲内の原始星に向かったの偏光との関係はどうなっているのか.
- ⑤ 磁場と原始星に伴う現象 (特に, 双極分子流) とはどう関連しているのか.

これらは, 星形成における磁場の役割の解明のための, 大きな手掛りとなるだろう.

4. 暗黒星雲内の磁場構造

4-a. Heiles Cloud 2 (おうし座)

おうし座には, 10° 以上に広がる巨大なおうし座暗黒星雲複合体がある. この複合体はいくつかの濃い暗黒星雲から成る. その中で最も吸収の深い領域が Heiles Cloud 2 である. 距離は約 140 pc で, 北西から南東の方向に長軸を持つ偏平形状に可視減光の広がりがある. この輪郭は, ^{13}CO や H_2CO (ホルムアルデヒド) で描かれる輪郭とよく一致していて, 約 $4 \text{pc} \times 2.5 \text{pc}$ の大きさがある. 上松でのサーベイやエアリアスのサーベイによって, Heiles Cloud 2 の領域に 40 個ほどの赤外線源が見つかった. これらの多くは背後の星だと考えられる. このうちの 18 個の星に向かって, $2.2 \mu\text{m}$ での偏光を上松で測った結果が図 3 である. 偏光ベクトルは方位角約 50° の方向によく揃っており, 偏光の大きさは, 下絵にした吸収の大きさと相関していることがわかる. また, Heiles Cloud 2 の前後には吸収の大きな暗黒星雲は他に無い事が知られているので, これらの偏光は Heiles Cloud 2 内のダストによる“星間”偏光である. つまり, Heiles Cloud 2 内には, 天球上に射影して方位角約 50° の方向に磁場が走っていることがわかった.

この暗黒星雲の周辺部の偏光観測は, 主に可視域で, モネティらによって行なわれている. 彼らの結果によれば, おうし座の暗黒星雲全域にわたって, ほぼ北東から南西に, 銀河面に垂直方向に走る磁場がある. 従って, 我々の結果は, この大局的な磁場が Heiles Cloud 2 を貫いて走っていることを示している.

次に, 形状との関係に注目してみる. 偏平形状をした Heiles Cloud 2 の長軸方向と磁場の方向とは互いに垂直をなしている. この事は, 暗黒星雲が磁場に沿って収縮したことを示唆させる. ということは, Heiles Cloud 2 の収縮過程では, 磁場が中心的な役割を果しているということになる. これを確かめるために, 暗黒星雲の進化に影響を及ぼす要因のエネルギーの大きさを比べてある. まず, 重力エネルギーは, 暗黒星雲を半径 2pc , 質量 $10^3 M_\odot$ の球として, $\Omega = (3/5)(GM^2/R) \approx 2.6 \times 10^{46}$ エルグ. また, 乱流あるいは回転エネルギーと内部エネルギーは, それぞれ, $K = (1/2)MV^2 \approx 1.0 \times 10^{46}$ エルグ, $U = 3\tilde{R}MT_{\text{gas}} \approx 5.0 \times 10^{45}$ エルグである (た

だし、速度幅 $V=1 \text{ km s}^{-1}$, ガス温度 $T_{\text{gas}}=10 \text{ K}$.
 一方、磁場のエネルギーは、 $E_{\text{mag}}=(1/6)B^2R^3 \approx 2.7 \times 10^{46} (B/26 \mu\text{G})^2$ エルグなので、磁場の大きさが 30μ ガウスがあれば、磁場の効果が支配的である。偏光観測から、デビス-グリーンシュタイン機構を用いて磁場の大きさを計算することは、ダストに未知のパラメータが多すぎて、現在の所できない。しかし、この磁場は 3μ ガウスの星間磁場がガス密度の増大に伴ってスケールリングされたもの ($B \propto n^{\kappa}$) だと考えると、偏光観測の結果から κ を決めてやることのできる。その結果 ($\kappa=1/4$) を用いて磁場を求めてやると、約 $30 \mu\text{G}$ となる。

よって、Heiles Cloud 2 の進化としては、強い磁場の存在のために、磁場に垂直な方向の収縮が妨げられ、平行な方向への収縮が進んだ結果偏平な形状を持つに至ったものと考えられる。

Heiles Cloud 2 の中には、より密度の大きい領域 (Subcondensation) が少なくとも5つ存在する。図4は C^{18}O による Heiles Cloud 2 の一部のマップである。その1つの TMC 1 と呼ばれる部分は、密度が 10^5 cm^{-3} 近くあり、CS や NH_3 による電波観測によってその構造が詳しく調べられている。図3に重ねた CS による TMC 1 のマップからわかるように、TMC 1 も、Heiles Cloud 2 と同じく、北西から南東にかけて著しく偏平になっている。これは、TMC 1 も Heiles Cloud 2 の中の磁場に沿って収縮したことによるものかもしれない。

このように、可視や赤外波長での偏光観測によって観測される磁場と、おうし座の暗黒星雲の階層構造 (おうし座暗黒星雲複合体 > Heiles Cloud 2 > TMC 1) との間に見られる“偏平の長軸と磁場とが互いに垂直をなす”という関係から、この階層構造は、磁場の影響の下に生じたものではないかと、我々は考えている。

4-b. ρ Oph core (へびつかい座)

ρ Oph 暗黒星雲は、距離がおうし座暗黒星雲とほぼ同じぐらいにある、やはり大きな暗黒星雲である。図5にそのスケッチを示した。この暗黒星雲の中で最も密度の大きい領域は南西の部分にある。ここをウィルキングとラダが C^{18}O でマップすると、北西から南東に伸びた偏平な構造が現れた。この領域を ρ Oph コアと呼ぶ。

この暗黒星雲に対しては、近赤外のサーベイが何度も行なわれていて、多数の赤外線源が見つかった。しかし、50等以上にもなる A_V のために、 ρ Oph コアの

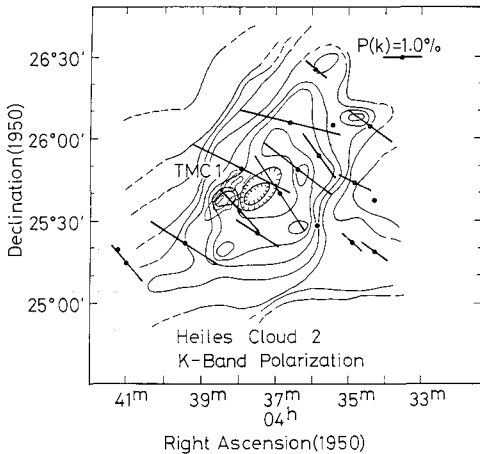


図3 Heiles Cloud 2 の $2.2 \mu\text{m}$ での偏光マップ、下絵はシャードとウィルソンによる可視減光の図である。北東-南西方向によく揃った偏光ベクトルと、それらが雲の偏平の長軸に垂直になっていることが見てわかる。スネルらによる TMC 1 の CS マップも重ねてある。

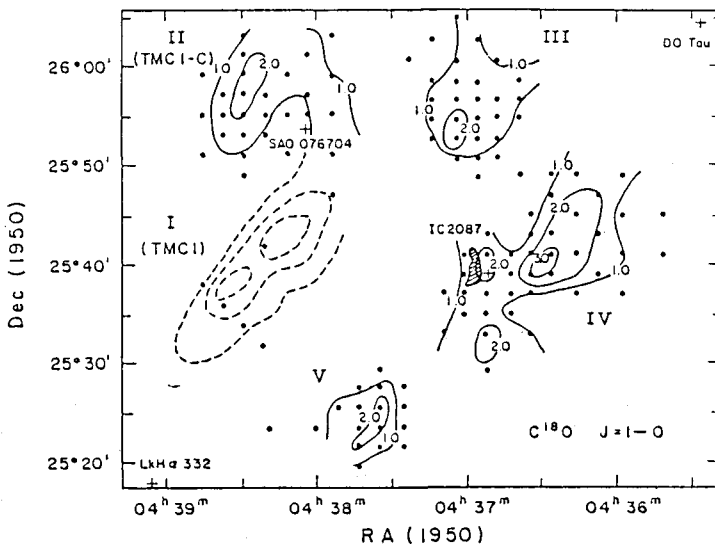


図4 C^{18}O で描いた Heiles Cloud 2 中の subcondensation のマップ (シェロップとスネル)。

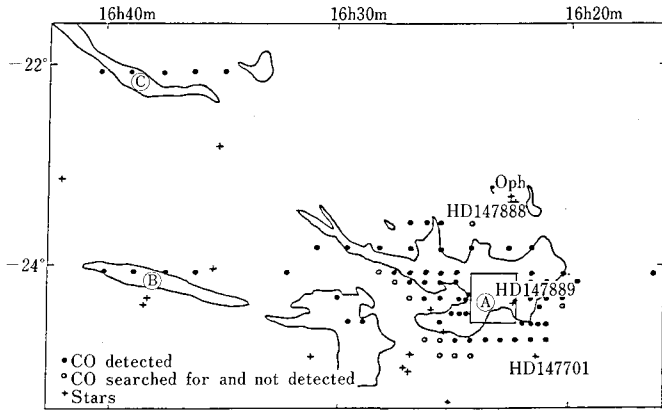


図 5 ρ Oph 暗黒星雲のスケッチ (エンクレナツほか).
 ④ の領域が ρ Oph コアである.

南東部に向かって、は星が見つかっていなかったが、1983年にウィルキングとラダが深く埋もれた20個の星を検出した中間赤外も含めた測光観測によって、 ρ Oph コアにある32個の赤外線源のうち、16%が原始星で、66%がTタウリ星であろうと結論している。

我々が、ウィルキングとラダが検出した暗い赤外線源(2.2 μm で7~12等)に向かって、UKIRTで偏光を測った結果が図6である。この図に見られる偏光ベクトルは、方位角によって3種類に大別できる。

- ① 40°成分: 数で54%を占め、コアの南西部と周辺部に見られる。
- ② 150°成分: 数で16%を占め、コアの北東部(ρ Oph Bと呼ばれる領域)に集中している。
- ③ 0°成分: 数で30%を占め、コアの北西部とその西側にある。

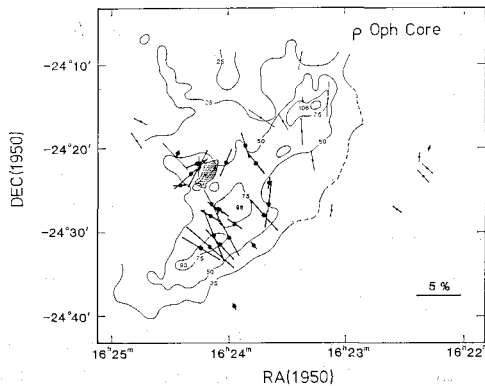


図 6 ρ Oph コアの 2.2 μm 偏光マップ。太い線が我々の結果。細い線がウィルキングらによる観測。下絵は C^{18}O より求めた A_V の図(ウィルキングとラダ)。 ρ Oph B の H_2CO コントワーも重ねた(マートン・ピンタドほか)。

ヴァーバの可視での偏光観測によると、 ρ Oph 暗黒星雲全域の磁場は、北東から南西に走る成分が主である。このことを頭におくと、上の3成分は次のように解釈できる。

①の40°成分は、 ρ Oph 暗黒星雲の北東-南西方向の大局的磁場が、 ρ Oph コアを貫いていることによるものであろう。従って、 ρ Oph コアでも磁場 \perp 偏平という関係になっている。また、 ρ Oph Bの領域は、 H_2CO の観測などから、コアと同様に北西から南東に伸びた構造が明らかにされているので、おうし座の場合と同様に、磁場 \perp Subcondensation

の偏平という状況が見られる。このことから ρ Oph コアも磁場の影響を強く受けて収縮したと考えられる。

③の0°成分は、ウィルキングらによれば、別の暗黒星雲が重なっているために生じたものらしい。

②の140°成分は、我々の観測で初めて示された成分である。①の成分に直交する点がおもしろい。原因として、④これらの星固有の偏光が現れている可能性がある。というのは、150°成分のうち、素性が知れている星は全て、原始星かTタウリ星であって、星の周りの非球対称な赤外反射星雲による散乱のための偏光が現れることが多いからである。⑥ ρ Oph B 領域の回転のために磁力線が引きずられて磁場が乱れているのかもしれない。事実、ワディアクは ρ Oph B に回転の存在を示唆している。あるいは単に別の暗黒星雲があるだけかもしれない。残念ながら、今の所結論を下すまでには至らない。今後、 ρ Oph B のさらに高分解の電波観測が必要である。

4-c. L 1450 - NGC 1333 (ペルセウス座)

リズ 1450 は、おうし座から約14°北西に見られるペルセウス暗黒星雲の1つである。距離は今だによく分っていないが、約400pcと言われている。この領域をパロマー写真で見ると、ほぼ北から南に伸びた吸収領域と反射星雲 NGC 1333 の対比が美しい。この領域の A_V マップを図7に示す。

ストロームらが発見した赤外線源の偏光を、ハワイ大学の88インチ望遠鏡で測った結果を図8に示す。点線で描いた2つのベクトルと南東の1つを除くと、方位角120°-140°ぐらいの偏光が中心を占め、やはりこの領域でも A_V マップや CO で描かれる暗黒星雲の長軸と磁場は垂直になっている。

この領域で最も興味深いのは、この磁場の方向と、暗黒星雲中にある原始星の赤外偏光との関係である。図8に点線で示したのは、実は、ハービックハロー天体 HH 7-11 の赤外線源(南側)と、HH 12 の近くの赤外線源(北側)の赤外偏光である。これら2つの原始星の偏光

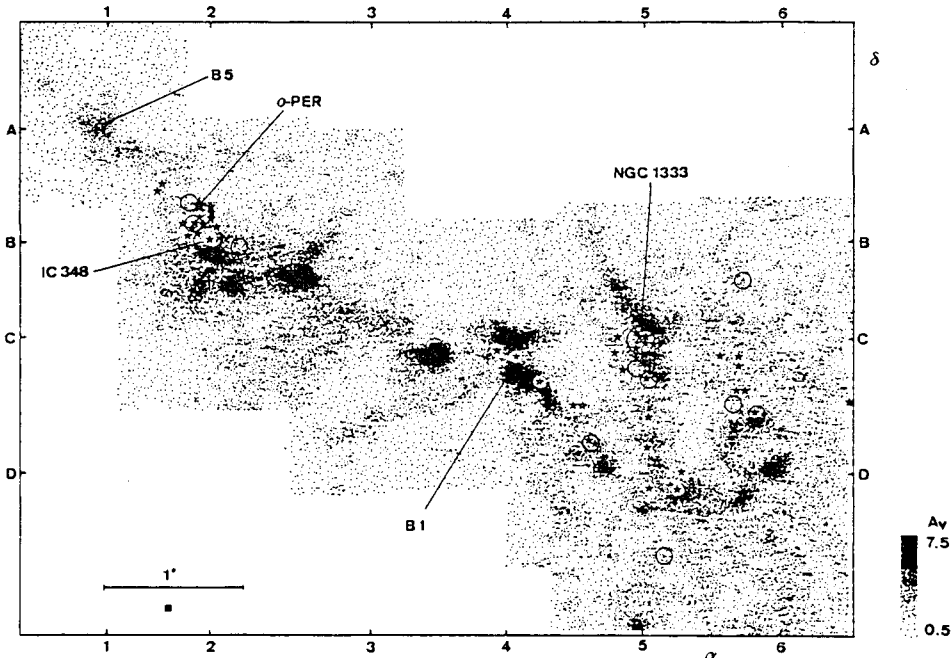


図 7 スターカウントから求めた、ペルセウス (NGC 1333 を含む) の吸収の様子 (サーニチャロほか).

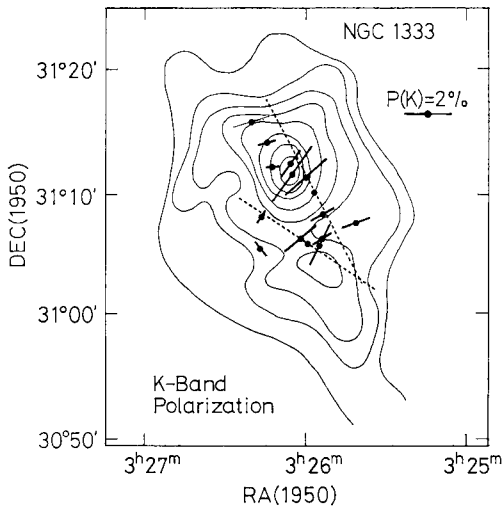


図 8 L 1450 (NGC 1333) の $2.2\mu\text{m}$ 偏光マップ. 下絵は ^{13}CO のアンテナ過剰のコンタワー (モレン).

は、大きくかつその方向が周りの磁場に対して垂直に近い。

原始星の赤外偏光は、星間偏光とは異なった情報を持っている。前者は原始星のまわりのディスクのために非対称に分布したダスト (赤外反射星雲) による散乱の結果生じる偏光である。従って、専らディスクやそれに伴う現象、すなわち、分子双極流と関係している。これらの間に期待される幾何学的関係は、“原始星の赤外偏光の方向 \perp 双極分子流の方向” であって、これは観測的にも、佐藤やホダップによって、かなり普遍的な関係であ

ることが確かめられている。

この原始星の赤外偏光が磁場に垂直になっているということは、原始星のディスクが磁場に垂直な方向に広がっていて、分子双極流が磁場に平行に伸びていることの間接的証拠である。HH 7-11 のディスクはまだ見つからないが、双極流は確かに磁場方向に沿っている (天文月報 1986 年 1 月号の鷹野さんの稿参照)。全く同様の例は、他にもおうし座やオリオン座でも見られる。おうし座の L 1551 の赤外線源はこの典型例であって、図 9 のようにはっきりと、

“(星間磁場の方向 \parallel CO 双極流の方向)

\perp (CS ディスクの長軸 \parallel 原始星の偏光)”

という関係になっている。オリオンでは、BN/KL 天体がこの例になっている。こうしてみると、原始星の周りにあるディスクもまた磁場に沿って収縮した結果生じたものかもしれない。

少し細かい話になってしまったが、これらの例から、3 節で述べた疑問に対して、次のような答が得られると思う。すなわち、

- ① 暗黒星雲の周辺部に見られる磁場は、その深部を貫いて走っている。
- ② 暗黒星雲内の磁場は、その暗黒星雲の扁平形状の長軸に垂直である。これは暗黒星雲が磁場に垂直な方向への収縮を妨げられたことを示唆する。
- ① と ② は、星形成の最初の段階、すなわち、暗黒星雲の収縮の段階で磁場が重要な役割を果していることを表している。

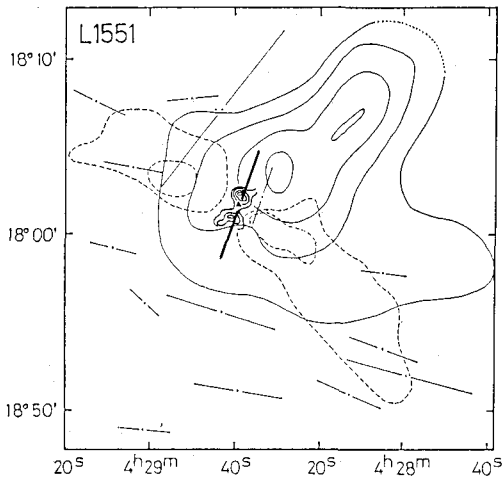


図 9 L 1551 の幾何。図中央の ▲ が赤外線源，点線が双極分子流，太い実線が CS ディスク，細い実線が H₂CO の吸収コントワー，細い直線が星間偏光を表す（海部ほか）。太い実線は原始星の赤外偏光（長田ほか）である。

- ③ 暗黒星雲中の subcondensation の形状に関しては，その扁平の長軸もやはり磁場に垂直になっている。これは，星形成の ① と ② よりさらに進んだ段階でも，磁場が重要であることを表している。
 - ④ 原始星の偏光とすぐ周りの磁場とは垂直になる例が多い。
 - ⑤ 双極分子流の方向と磁場とは平行になることが多い。
- ④ と ⑤ は，星のすぐ周りの現象なので，星形成の最後に近い段階でも磁場が影響を及ぼしている可能性を表している。このように，星形成の全ての段階において，磁場は無視できない効果を及ぼしているようである。

ここまでの話は専ら磁場の話であったが，次に，星間偏光観測から求まる別の重要な情報，つまりダスト（固体微粒子）の話に移る。

5. 暗黒星雲内の固体微粒子

よく知られているように，星間空間中の固体微粒子の物性（組成・サイズ）は，次の観測を通じて探られる。

- ① 減光 A_{λ} : スペクトルが既知の星の多波長測光
- ② 散乱 $S_{\lambda}(\theta)$: 反射強度の波長および動径依存性
- ③ 偏光 P_{λ} : 偏光の波長依存性
- ④ 熱輻射 ϵ_{λ} : 遠赤外域の放射スペクトル

これらは，波長 λ が可視 (0.3-1.0) μm の範囲ではサンザン調べられてきて，そのデータを基に，多くの計算が行なわれた。とくに ① と ③ の観測事実をどう再現するかに研究が集中した。しかし，いろいろなパラメータ（屈折率 n ，サイズ a ，組成）が再現できることになっ

てしまって，原子・分子に比べ，固体がいかにヤヤコシイかを味わうことになった。とくに，(0.3-1.0) μm では，波長依存性がゆっくりとしか変化せず，ノッペラボーなので，手掛りが少ない。

波長域を赤外の方に延ばすと，バンドスペクトルが見えてくる。ガスのような自由度はないが，不自由ながらも，固体の中での振動・回転が見えてくるので，どんな組成かが見えてくる。暗黒星雲・分子雲の中では，これまでに 10 ケほどのバンド吸収や輝線が見つかっている。星，とくに，若い天体 (H α 輝線天体，T タウリ星，ハービック Ae/Be 星，原始星) に伴う領域でない限り，暗黒星雲や分子雲中では，吸収としてのみ見つかる。これまでに，氷 (3.07 μm)，アンモニア (2.95 μm)，一酸化炭素 (4.6 μm)，メチルシアナイド (4.9 μm)，シリケート (9.7 μm) が同定されている。暗黒星雲・分子雲では分子が凝縮して（おそらく，core になる物質のまわりにマントルとして付着して）いることがわかる。以前，IUE (International Ultraviolet Explorer) のデータで，重元素がずいぶん少なくなっているという話があったが，そこは，吸収量はせいぜい， $A_V \sim 1$ 等ぐらいの希薄な領域であった。暗黒星雲の中ではどうなっているであろうか。微粒子は成長しているだろうか。重元素は普通の星間空間では，ほぼ凝固して固体になっている。従って，重元素では，固体はそんなに大きくなれない。一方，水素は分子として余っていて，H₂O や NH₃ や CH₄ だと固体微粒子の成長に役立つと考えられる。

我々は，前述のおうし座 Heiles Cloud 2 の背後にある著しく減光を受けた星（スペクトル型 K1 の巨星が $A_V 20$ 等の減光を受けている）の，近赤外偏光スペクトルを UKIRT で得た（図 10）。見てわかるように，波長と共に緩やかに減っていく偏光成分の上に，氷に伴う偏光超過（約 1%）がある。緩やかな成分は，これまで一般の星間偏光について知られている波長依存性（サーコフスキーあるいはウィルキングの経験式）とはずい分異なり，無理矢理フィッティングすると，偏光の大きさが

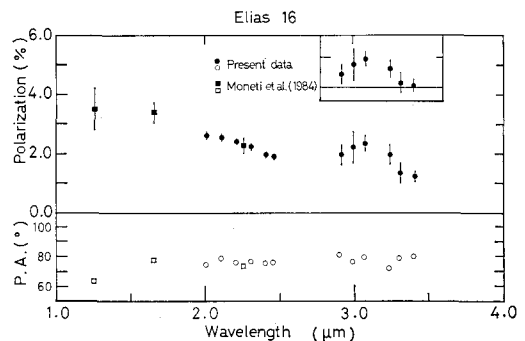


図 10 エライアス No. 16 の近赤外偏光分光。波長 3 μm 付近に，“氷”による偏光の超過が見られる。

最大になる波長は $\lambda_{\max} \sim 1.2 \mu\text{m}$ にもなる。これは星間空間の平均値 $0.6 \mu\text{m}$ の2倍である。ダストのサイズは $(n-1)\lambda_{\max}$ に比例するので、固体微粒子は一般の星間空間のものからぐんと成長していることになる。重元素の付着による増加は Cosmic abundance から考えて難点があることと、 $3 \mu\text{m}$ で吸収・偏光の振舞いが変わることから、 H_2O 、 NH_3 、 CH_4 のような分子で太ったのかもしれない。

6. おわりに

近赤外でのサーベイは、以前は原始星を発見するための有力な手段であった。赤外線衛星 IRAS の成果によってその地位は弱まったかも知れない。しかし、近赤外サーベイで見つかったフィールド星の多くは IRAS では見つからないが、今回の観測のような偏光サーベイには欠かせない。広い領域をサーベイするには広視野が望ましく、これは中・小口径の望遠鏡に最適である。我々はこのように思う。“中小口径望遠鏡による近赤外サーベイは、まだまだすてたものではない”，と。そして、もっと多くの領域のサーベイ、偏光サーベイ、さらには分光サーベイを行なってゆきたいと思う。

「この研究は、1982年以來上松で行なわれてきた暗黒星雲と原始星の研究の一環であり、1984年以後はイギリスと野辺山の人たちとの共同研究の成果である。」



写真は杉並区立科学教育センター

★営業 ASIB 品目★ 天体望遠鏡と双眼鏡 ドームの設計と施工

▶主なドーム納入先◀

東京大学宇宙航空研究所／東京大学教養学部／東京学芸大学／埼玉大学／福島大学／川崎市青少年科学館／杉並区立科学教育センター／駿台学園高校（北軽井沢）／船橋市立高校／高知学園／土佐市公民館／刈谷市中央児童館等の他、日本全国に100余基の実績。

ASTRO 光学工業株式会社

東京都豊島区池袋本町2-38-15 ☎03(985)1321

天体観測雑誌

天文ガイド

8月号 定価420円＋税 7月5日発売！

5月に行われた日本天文学会より
地上からのハレーの観測
探査機からの観測
探査機からの磁場の観測

8月の目玉／観測ガイド
火星とアンタレスの食

藤井旭さん、オーストラリアへ飛ぶ
みずがめ座の流星群の観測

サイパンで使われたモノを大公開
ハレー観測で活躍した機材たち

●コンピュータ・セミナー● 8月の星空
●とびくす● 質問ルーム…など情報満載！

天文ガイド8月号臨時増刊

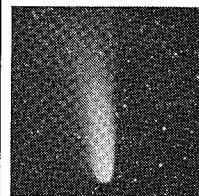
STAR WATCHING

7月7日発売！/ 予定価580円

●ハレー彗星の残したもの●

ハレー彗星ベストセレクト写真集
スケッチで追うハレー彗星の頭部
シュミットで見たハレー
オーストラリアでハレーを見てしまった
特集：ハレーを追って
ハレーツアーを楽しんだ人々

「ハレー彗星は一体なんだったのだろうか」



●この夏も星空と親しもう●
オーストラリア2.3m望遠鏡
星空の新しいメッカ 入笠山
この夏絶対に見てほしい天体
M天体Photo Album III
…などなど楽しい情報満載！

誠文堂新光社

東京都千代田区神田錦町1-5
電03(292)1221 振替東京7-128