

## 偏光——岡山，上松，マウナケア，そして「すばる」

佐藤 修 二

〈名古屋大学理学部宇宙理学 〒464-01 名古屋市千種区不老町〉

光は振動する横波の電磁波である。光の進む方向ベクトルに垂直に振動〈偏光〉面をもつ。その振動する面が、ある方向に偏って多いという〈偏光〉現象は自然界の多くの場面で見られる。偏光を通して見てきた。この25年間の天体偏光観測の歩みを顧み、今後への期待を考える。

### 偏光＝光の横波の偏り

アイスランドから持ち帰った、物の像が二重に見える不思議な石（方解石； $\text{CaCO}_3$ ）の研究から、光の偏りを通して、光の波動現象が明らかになったのは17世紀のことらしい。

偏光は横波である光の自由度であり、電気ベクトルが時間的、空間的に変動する様子によって、光の偏光状態が決まる（図1）。偏光はまた、ボーズ粒子としての光の内部スピン自由度（自由度は3だが、相対論効果のため、 $\pm 1$ ；円偏光のみ）で

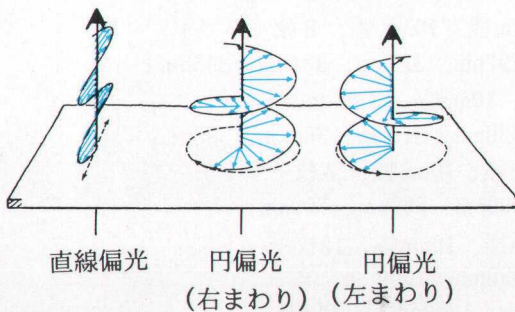


図1 偏光（電気ベクトル）の空間的変化の様子。黒の矢印（上向き）は光の進行方向。青の矢印（進行方向と直角の方向）はある時刻における電気ベクトルを表わす。電気ベクトルは面の上の点線（直線と円）の方向に時間的に振動している。

偏光素子（波長板や偏光子）を使えば、振動の、ある方向だけを選び出すことができる。これが偏光器である。あめんぼうや蜜蜂は偏光状態を見分けるといふ。人間の目も偏りを感じるらしい。一体、何の益になるのだろう。

ある。自然光はすべての偏光状態の光がランダムに混じり合った状態である。私たちのまわりに満ち満ちている光は自然光と呼ばれ（無偏光と言われ）る。

一般に、偏光という現象はどのようにして起きるのだろうか？

- 1) 上の2重像（＝複屈折現象）はその一つである。分れて見える2重の像の一方は正常光、他方は、異常光と呼ばれ、互いに直交しあう偏光面をもつ。
- 2) 電気石や紫水晶も偏光を生じさせる。これは一方の偏波（電気ベクトル）を吸収／反射、他を通過する現象で、ダイクロイズム（2色性）と呼ばれる（この命名は、物理的に考えておかしい。多分、電気石が強い色特性をもったことに起因すると考える）。電波領域の針金の柵の偏波器や赤外ワイヤーマッシュ、ポラロイドも同じ働きである（ポラロイドはある方向に引っ張った高分子シート上に硫酸ヨードキノン溶液を落すと、高分子が配列方向に並んで、その方向の光の振動を吸収する）。
- 3) 雪や氷、水面のような誘電体の反射散乱光も偏光する。したがって透過光もその直角に偏光する。この反射（透過）を繰り返して多重に使えば偏光を生じさせることができる。
- 4) 荷電粒子が磁場中で制動されるときに発生



する電磁波；シンクロトロン（サイクロトロン）放射も偏光する。

- 1) の**複屈折**①は光（＝電磁波）の速度が媒質中で偏り方向で異なるために生ずる。星間円偏光として実際に観測されている<sup>1)</sup>。
- 2) の**ダイクロイズム**②は光の減衰（吸収／散乱）が偏り方向で異なるために生ずる、いわゆる星間偏光がこれである。
- 3) の**反射偏光**③は誘起された2次的な双極子放射波の振幅が散乱角方向によって異なるために生ずるもので、星の誕生や進化の際に表現される。
- 4) は**磁気制動放射**④と呼ばれ、上の3つ—自然光を分離する—と異なり、生成されるフォトン自体が偏光している。かに星雲のような超新星残骸や銀河中心ジェットのような磁場中を高エネルギー粒子が走る場面で見られる。

### 岡山での偏光—夜明け前後

偏光  $P$  は光自身の縦と横の強度  $I$  の比、すなわち  $\{I_{\parallel} - I_{\perp}\} / \{I_{\parallel} + I_{\perp}\}$  で定義される。割り算になるために、 $P$  は強度  $I$  には依存しない。すなわち、大気屈折率の乱れや透過率の揺れで、強度が大きく変化したとしても、偏光度には関わりないのである。移ろいやすい我が国の天気、地上の赤外線天体観測を始めるには偏光が良かろうと考えられ、ここから、我が国の赤外線偏光観測が始まったとのことである。

私が偏光観測に接したのは、奥田先生や舞原さんに連れていってもらった岡山の91 cm 望遠鏡での観測が最初である。その前（私が大学院に入る前）には、奥田先生や杉本先生や松本さんらによって月の赤外線偏光が行われたらしい。

ミラ型変光星は赤外でも明るく、当時の PbS（硫化鉛）検出器でも受けることができたのだが、UBV 3色で偏光観測をやった人がいて、それを見ると偏光度は0.数%以下で、赤外線偏光の検出は

絶望的な感じであった。

おおいぬ座 VY 星（赤色超巨星）に可視域で大きな偏光が検出されたのを文献で知り、すぐに観測したところ、 $P_H=2.9\%$ 、 $P_K=5.1\%$ の赤外偏光を見つけた。これが偏光に関する初の論文である<sup>2)</sup>。

当時はポラロイドの偏光シートを、じかに検出器の前で回転させて、その回転に合わせた振幅のモジュレーションを、ペンレコの上で、直接見ていた。そのポラロイド（HR-38）といえは赤外用とはいえ、 $2.3\mu\text{m}$  から先は透過率がすっかりそげ落ちて、痛々しいものであった。

ともかく、これを使って、岡山 188 cm で銀河中心の偏光を試みた。なかなか受からなかった。そもそも銀河中心が視野ダイヤフラムに入らなかった。今でも、いて座  $\gamma$  星が昇ってくると、銀河中心を探し続けて、夏の一夜を明かしたことを思い出す。まだ、のんびりしていた赤外線天文学の夜明けの頃であった。

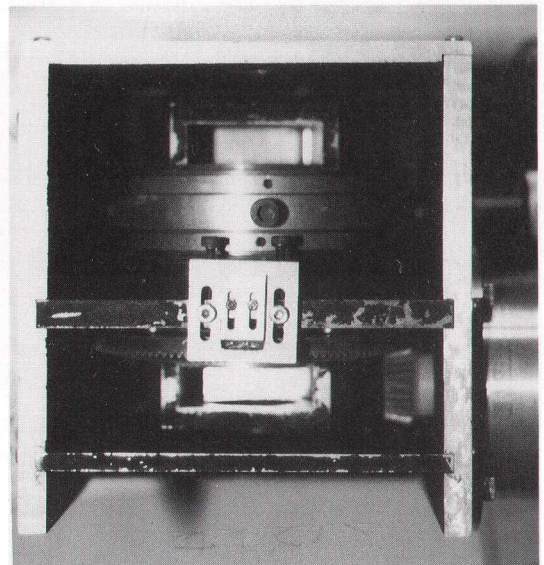


図2 上松偏光器：ビームは上から来る。最初のソケットは較正の際に偏光子を入れるもの、下のソケットは波長板を入れて回転させるためのもの。このさらに下に、検出器+偏光板が来る。(1978—1985)



## 上松での偏光—山籠千日行

岡山を使って偏光観測を続けながら、やがて木曾の山中で、上松1m望遠鏡の建設が始まり、1973年7月開所、年末にはPbSのフォトメータができて、オリオンBN天体も受かるようになった。1974年5月になって、上松で銀河中心を入れたところ、一瞬にして大きな偏光モジュレーションがチャート紙の上に踊り出て、びっくりした。焦点距離も短い、鏡筒も短いので、たわみも少なく入れやすかった上、副鏡チョッピングによって、スカイレベルのキャンセルがうまく行ったためだろう。

開所してまもない頃、続けて明るい彗星が2個上松の空を瑞光のごとくに駆けぬけた。位相角(太陽と彗星のなす角)による変化に応じて、偏光を測った<sup>3)</sup>。AFCRL 809-2992=AFGL 2591もまた忘れたくない偏光天体である。研究室の論文紹介でBN天体とそっくりのスペクトルを示すこの赤外線天体の発見を話したあと、すぐに上松で測定して、BN天体と同じように大きな偏光を示した<sup>4)</sup>。これが10年後のバイポーラ天体偏光の一連の研究の伏流水になったのだと思う。

その後、小林君が「波長板(偏光子)は回転するが、偏光板(検光子)は固定する」—光と同じ方式の偏光計—を製作し、コンピュータも入って、観測器らしくなった。波長板は応用光電で研磨してもらい、偏光子は東京教育大光学研の小川力先生に作ってもらった。これがその後ずっと続く上松ポラリメータである。これでBN天体やAFGL 2591の分光(CVF)偏光が行われた。しかし、PbSからInSb素子への切り替えが遅れて、感度が頭打ちになり、やがて、観測できる対象も少なくなり、清水幹夫先生のサジェスションで、ボロメータで金星の偏光観測したりして飢餓を凌いだ<sup>5)6)</sup>。

金星の偏光観測は、向井夫妻の理論計算の助けもあって、長田君のD論となった。この観測はお

もしろかった。波長 $2\mu\text{m}$ までは、偏光は0%か、ネガティブで、 $3\mu\text{m}$ を越えると、急に立ち上がり、 $4\mu\text{m}$ では30%にもなり、さらにこの様相は、金星と太陽の角度(位相)で日に日に変化してゆく。位相角 $18\sim 171^\circ$ をカバーした。金星上層大気に漂う濃硫酸の水滴による散乱偏光<sup>3)</sup>である。硫酸液は $3\mu\text{m}$ を境に、極端に吸収係数が変化する。短い側は透明なため、太陽光は大気中に進入し、多重散乱を引き起こして、デポラリゼーション(消偏光)する。一方、長い側は吸収が大きく大気表面付近での一回散乱が主となり、大きな偏光のまま残る。これは全く美しい結果であった。

上松の鏡の交換とギアの再研磨を行い、山下君や田村君が入ってきて、1983年から偏光観測を再開した。遅ればせながら上松でもInSb素子が入り、山下君の偏光天体サーベイと田村君の暗黒雲の磁場構造が行われた。山下君は68天体の偏光サーベイを行い、偏光率が1から15%の天体のごろごろ見つかった。この仕事は、英文論文になることなく、悔いが残る。)可視域ではP. Bastienがやはり同じようなことを試みて発表している。光の偏光度はほとんどが数%以下であるのに比べて、赤外になると増加するのである。星間偏光(ダイクロイズム<sup>2)</sup>)だと、可視域で大きく、波長が延びるにつれて小さくなるため、一般に赤外では偏光度は減るものとばかり思っていたから、当時は意外なことであった。後からダイクロイズム<sup>2)</sup>と、反射<sup>3)</sup>という現象の偏光波長依存性の違いであることが判った。

このサーベイの途中で、GGD-27 IRSという天体に遭遇し、20%の赤外偏光が見つかった<sup>7)</sup>。これは“原始”星=赤外線源がまわりの母雲(壁のように吹き抜けられた後)を赤々と照らして、その反射が我々の方に届いてくるからである。

暗黒星雲はおうし座の背後の星の偏光を測った。すでに、Vrbaたちが光で暗黒星雲の周りの星の偏光(ダイクロイズム<sup>2)</sup>)を測定していたので、オリジナルとは言いすが、暗黒星雲には光で



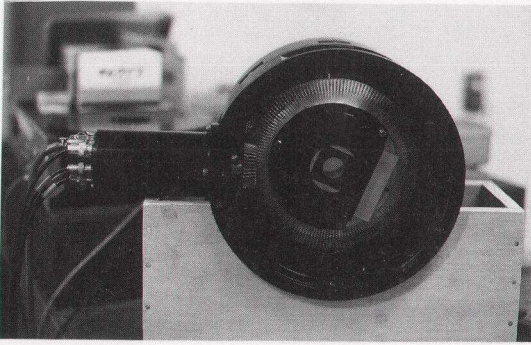


図3 京都ポラリメータ；この団扇みたいなものをカセグレンケージの中に置くだけ。その直後にダイクロイックビームスプリッターがあり、その後には検出器 (UKT-9) がある。まん中に波長板が見えている。(1984—1988)

は星が無いために、赤外線源のサーベイから始めた。4回生の課題研究S1で、松原、周藤、鹿島くんが2色(H+K同時)測光器を使って、おうし座の赤外線源を探索した。これら赤(外)化した背景の星を使って、暗黒星雲の真只中の偏光方向(=磁場方向)を検出した<sup>8)</sup>。これも細長の塵微粒子による偏り選択吸収(ダイクロイズム②)によるものである。ただ、結果は、すでに光によって求められていたような、まわりの磁場の方位と接続するというので、平凡な印象が否めないが、暗黒分子雲の深奥部を探る手段の可能性を示したといえる。

## マウナケア(UH)での偏光 —WE TRY HIGHER—

1979年から夏はハワイ、冬は上松の観測というスタイルになった。1980、81、82年の夏はハワイへ偏光観測に出かけた。太陽と銀河中心までの間には塵が拡がっていて吸収が激しく( $A_V \sim 30$ 等級 $\sim 1/10^{12}$ !), 可視光では一部分透けた方向(バーデの窓)しか見通せない。赤外線であれば、吸収量 $A_K$ は2.5等 $\sim 1/10$ に減って、ちょうど銀河中心付近の塵(とその磁場による整列)が適度!に見えるようになる。銀河中心付近にある赤(外)化した天体(大抵がバルジの巨星か超巨星)

の偏光を測定するのである(ダイクロイズム②)。しかし、どこに赤外線源が在るかわからないので、最初の晩をサーベイに費やす必要がある。さて、本来の研究目的である銀河中心拡散成分の偏光はハワイの口径60cm望遠鏡で行われた。この時、拡がった天体の偏光を測るのに、空間チョッピングに替わって、偏光チョッピングが考えられ、うまく働いた<sup>9)</sup>。迂闊にも、私はこの時始めてチョッピングの意味を理解できた。

1982年夏の偏光観測もやはり銀河中心部の赤外線源の偏光であった。最後の朝が白々と明けはじめた時に、東天に上がってきた冬の天体L1551-IRS5に望遠鏡を向けたところ、24%の大きな偏光を見つけた<sup>11)</sup>。偏光の方向は分子の双極流を真っ二つに断つもので、はじめ原始太陽系円盤の反射かと思ってびっくりした。その翌年、野辺山でこの天体にCS分子の円盤が発見され、この偏光方向と平行であった。そこで暗黒雲の光の偏光と円盤方向が垂直であることから、円盤と磁場方向と光キャビティとがお互いに直交関係を成していることがはっきりした。

他の星形成領域ではどうなっているだろうか? 上松で観測したところ、いつも!分子双極流と赤外偏光とは直交することがわかった<sup>12)</sup>。同じ頃、CCDによるハービッグハロー天体の大々的な探索も行われ、その固有運動が測定されて、元に戻した原点には赤外線源がかならず!埋もれているのが見いだされた。スッキリと星形成の際の“幾何学”が理解できた。

このような双極分子流と赤外偏光との関係は、ドイツでも、ハイデルベルグの大学院生クラウス-ホグアップ君がまったく同時に気付いていた<sup>13)</sup>。メル-ダイクさんがレフェリーになって、論文がA&ApとApJとに同時に出版するように取り計らってくれたのだが、ApJの方が図を紛失してしまい、もたもたしているうちに、掲載が1985年にずれ込んで、遅れたことになってしまい、残念なことである。



## マウナケア (UKIRT) での偏光一頂きにて

1984年からは野辺山—UKIRTラインによる日英協力ということで、赤外グループも乗せてもらって、経常的に旅費が出るようになった。UKIRTは当時世界最大の口径3.8m赤外線望遠鏡で、何だか夢のようで、大急ぎで、上松偏光計と同じような偏光器を作って持ちこんだ。ギャットレーもマクリーンもハフさんも信用していなかったが、やっと晴れた観測最初の夜、水素分子線の偏光を見つけて興奮していた<sup>17)</sup>。(この水素輝線 $\lambda=2.12\mu\text{m}$ の偏光機構は気取っている；偏光ベクトルパターンは2種類あって、一つ(中心部)は平行、もう一つは花卉状である。平行の偏光成分は、衝撃波で励起される輝線は偏光しないが、原始星の円盤の磁場整列した細長塵粒子によって選択吸収(ダイクロイズム②)を受けて偏光するもの、そのまわりの花びらの偏光成分は水素輝線が塵に反射されて偏光するもの③。)器械自体ははなはだ粗末なものであったが、すぐに英文のマニュアルを作られ、京都ポラリメータ(京都ポル)と呼ばれて、その後3年間UKIRTで様々な観測に使われた。放射散乱場の研究が主であったが、数10%の偏光度は普通で、ついには100%、完全偏光!の天体(NGC 6334)も現われた<sup>18)</sup>。

その頃、UKIRTの本拠地のエディンバラ天文台では2次元アレイの開発に数億円を投じて、赤外カメラの開発に力を注いだ。マルコム—ロンゲア台長の豪胆さにびっくりした。カメラは1986年に完成し、これに波長板を回したから、もう力の差は歴然として、京都ポルが出る幕はなくなった。やがて、UKIRTの地下の棚に眠るようになった。時折、起こしては使っていたが、1988年に観念して、引き取った。この3年間、京都ポルの関係する論文はUKIRTの生産する論文数の10%を越えたそうだ。もって瞑すべし。

赤外での星形成の幾何学に浮かれていたが、この頃の偏光のことで、言うておくことが三つある。

一つは、アントヌッチとミラーが光でAGN(Active Galactic Nuclei；活動銀河核)の偏光観測から、AGNでも同じ幾何学が成り立っていることを証明したこと<sup>14)</sup>、もう一つはドレーパー、スキャロット、ワレンスミス達(ダーラム大学)のCCD偏光の仕事で、美しい光の偏光イメージがMonthly Notices誌上をしばしば賑わしていたことである<sup>15)</sup>。前者の仕事は、その後のAGNの研究を大きく決定づけたものという評価であることを知ったのはずっと後のことである。SFR(Star Forming Region)とAGNとに共通した幾何学配置：降着円盤+中心天体→偏光が見られ、GUT；大統一理論!が成り立つ。ダーラム大学は可視域で、波長が異なるものの、基本的には上松—UKIRTの一連の仕事と同じサイエンス—星形成領域の放射散乱場—であるが、画像データだけあって、息を呑むような見事さであった。これは、上松と同じサイズの、イスラエル—ワイズ天文台口径1m望遠鏡で行なわれたものである。三つ目はブレーザーとかOVV天体といわれる銀河系外の天体で、強い偏光(5~20%)と激しい時間変動(~時間)を示す<sup>16)</sup>。シンクロトロン放射による偏光④である。

## 相模原/キットピーク/チリでの偏光

### —離散，流浪の旅

80年代前半にいた院生たちは、ハワイ、チリ、キットピーク、パサデナ、メリーランド、野辺山へと散っていき、京都の研究室は急に淋しくなった。単素子検出器では、当時、出現しつつあった2次元アレイ検出器とは勝負する気にもならず、思案していたところ、科研費Bが貰えることになり、スペクトル方向なら1次元アレイでも—と気を取り直して、高見君が中心となって浜松ホトニクスの1次元16素子InSbとプリズムを組み合わせたPASP(プリズムアレイ検出器スペクトロフォトメータ)を作った<sup>19)</sup>。多色偏光はVrbaたちが、波長 $0.8\mu\text{m}$ 位まで、光電管+広波長フィルタ



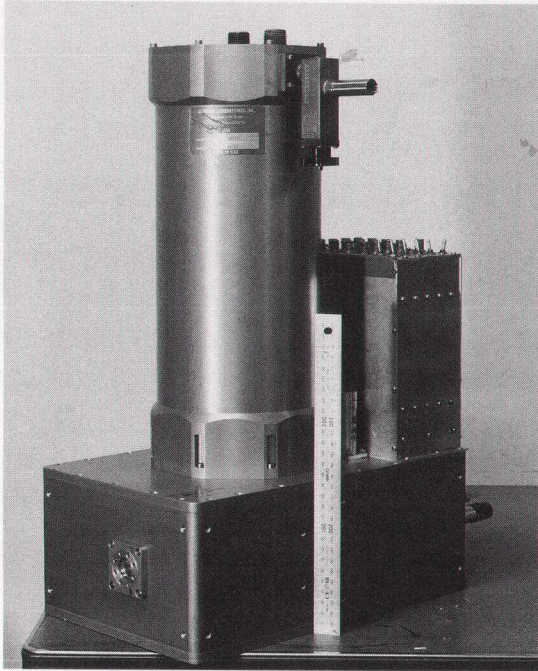


図4 PASP；上松の最後と宇宙研やハワイ (UKIRT/UH88/UH24) で使われた。(1990—現在)

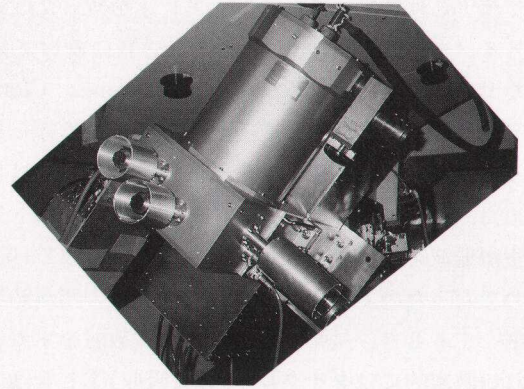


図5 PASP-2；セロトロロ1.5m 望遠鏡に取付けられたPAS-2。(1993—現在)

ー (UBVRI) で偏光の波長依存性を試みていた。特に、へびつかい座では、波長 6000 Å にあるはずの偏光  $P_{\max}$  のピーク波長が長いほうにずっと延びて、まだ 8000 Å でもピークが見えていない<sup>20)</sup>。その上、水素コラム密度と吸収との比:  $N(H)/A_V$  が異常に大きく、これら二つの事実は、暗黒星雲の中心へ向かって塵粒子のサイズが成長していることを暗示していた。

PASP は 0.9 から 2.5  $\mu\text{m}$  の領域をプリズムで、偏光と波長を一度にカバーする偏光器である。特に、副鏡瞳を分光して、測光の信頼性を上げる方式を編み出した。しかし、実際には、色収差のために、視野内で像が動くと、波長が微妙 (~1/10) にずれてしまい、大気吸収バンド付近の測光誤差に悩まされた。PASP を使った偏光観測は UKIRT や宇宙研でたくさん行われた。膨大、貴重なデータがまだファイルのなかで眠ったままなのは、次の PASP-2 の製作に入ったからである。

長田君と小林尚人君は PASP を使って星間スペクトル偏光の観測をしながら、1989 年から PASP-2 の製作をはじめた。今度のカバーする波長域は 1.4 から 4.2  $\mu\text{m}$  である。PASP に比べて、①色収差を無くすために反射系とするとか、②読み出し方式を積分型にするとかの工夫が施された。PASP-2 と呼ぶことにした。

PASP-2 はなかなか完成せず一完成したかと思うと、また“改良”と称して壊しては、また……、塞の河原に石を積むようであったが、昨年 1993 年、チリーセロトロロ天文台ではじめて学術的なデータを出した<sup>21)</sup>。着手以来 5 年目であった。銀河中心方向の偏光超過—すでに長田<sup>22)</sup> (独立にジョーンズ等も、またこの 2 年後にはマーティン等も<sup>23)</sup>) は京都ポルを使って L と M バンドで超過を見つけていた—の波長依存性を一晩で明らかにした<sup>24)</sup>。データの質も以前のデータに比べ、格段に良かった。これで銀河中心部の波長依存性問題はケリが付いた。ただ、暗黒分子雲毎や銀河内奥部等、塵微粒子はどこでも等質か?—もしそうなら、なぜか? という、銀河内の重元素と微粒子のふるまいに関する基本問題の核心にはまだ遠い。その効能書きが実際に威力を発揮するかはこれからが正念場であろう。

その後、田村君はポスドクでキットピークやパ



サデナと渡り歩いて、2次元アレイを使った近赤外イメージングポラリメトリを活発に続けていた<sup>25)</sup>が、放浪の果てに、JCMT (James Clerk Maxwell Telescope; 口径 15 m ミリサブミリ波望遠鏡) に流れ着き、ミリ波の偏波を測定はじめた。遠赤外ではシカゴ大学のヒルデブランド先生が偏波を行っていたが、ミリ波の熱電波では初めてだったのではないだろうか。細長の塵が熱放射をするとき、長軸方向により強く放射をするこれは基本的には**ダイクロイズム(吸収)②**と等価であろうが、興味あることがらである。吸収を生ずる細長の物質(塵)は熱放射のときにも、長軸の方向の偏波を強く、短軸の方向の偏波は弱く出す。無線のダイポール放射アンテナ線と同じように一。とはいえ、異方性微粒子からの熱放射の理論はあるのだろうか? L 1551-IRS 5 や他のいくつかの星形成領域で、可視や近赤外の偏光方向と直交する偏波を見つけたという<sup>25)</sup>。このポジティブな検出で、128 素子ボロメータアレイ(SCUBA)と組み合わせる JCMT-ミリ波-サブミリ波偏波器を作ろうという話が持ち上がっているようだ。

1991 年には、目も眩むような重点領域研究のお金が来て、噂の 2 次元アレイが買えることになった。通称 NICMOS という水銀カドミウムテルル 3 元合金の  $256 \times 256 = 6$  万素子で、これで世界トップに並ぶ可能性が出てくる。通総研の 2 次元アレイ (128  $\times$  128 素子; これは 1988 年当時世界最大) に遅れること 4 年であった。小林行泰君が天文台に移ってきて、若い技官や大学院生を率いて 2 年間で、PICNIC (Polarimetric Imaging Camera with NICmos) を完成させた。直ちに、宇宙研 1.3 m で、銀河や星形成領域の観測に使われ、赤外の空を広く深く覗けるようになった。房耕君はこれを使って早速オリオン領域の偏光地図を描いた<sup>26)</sup>。赤外線強度は野辺山の分子雲の地図とまったく相い補ないあうように弧を張り、大きな偏光ベクトルは花卉状になってその垂線は一斉に中

心の KL 星雲 IRc 2 に向いている。誕生しつつある原始星(KL 星雲)の塵を暖め、そこから熱放射された赤外線が、曙光のように KL/BN 赤外線源群を遍く照らして、反射されたものである。

## 「すばる」での偏光—乳と蜜の流れる地

こうした細々とした製作と観測を続けているうちに、「すばる」計画が実現する運びになった。「すばる」の集光力と解像力を活かし、かつ、到来するフォトン  $\Phi$  の偏波を完全に記述する測定は可能か?

時間変動  $A(t)$  と、偏光  $\sigma$  と、スペクトル  $\nu(\lambda)$  と、そして、空間マルチプリシティ (到来方向:  $k$ )、これらの情報を同時に分離、収集する装置を考え(あぐね)ている。

焦点面の前の光束中に回転する波長板を置く。焦点部にアレイレンズを置いて、瞳をたくさん ( $n \times n$ :  $n=1, 3, \dots$ ) 形成し、この瞳を“分光”して、検出器上に結像する方式はどうだろうか? これだと、いくつもの像点が原理的には(この言葉を常用する!) 不動点となり、きつと測光精度が上がるにちがいない。偏光精度も上がるであろう。これは PASP に空間マルチプリシティを付加したものと考えられる。

フォトン  $\Phi$  のもつ情報:  $\{A(t)/\sigma/\nu/k\}$  を同時に記述するような装置を実現したい、と夢想している。

## 今後の偏光のベクトル

岡山 91 cm での月の赤外偏光から始まって 25 年、ちょうど世界の赤外線天文の発展と歩みを共にして、一歩ずつ歩いてきた。長い道程の成果は、結局、磁場の大きさを決めることはできなかったし、また、散乱放射場の問題でも幾何学の証明問題の補助線を与えたに過ぎない。微粒子成長問題に関しても進展させることができなかった。多少のユニークさはあったものの、天文学全体の流れの中では偏っていて、天文学へのインパクトとし



ては希薄であったと思う。

素粒子や物性物理の世界では、偏極／分極がもてはやされるのに、偏光が、なぜ、天文学では不遇をかこってきたのであろうか？

まず第一は物理における偏極／分極現象のおもしろさであろう。ミクロな力が協力しあって、マクロに表現される。天文学では物質は高温であり、かつバラバラであるために、こんな協力現象は起こりえない。磁場／回転によって、天文学でもゆるやかな整列（幾何学配置）は起きる。しかし、物理では“実験”として、条件をピュアにする（できる）が、天文では“あるがまま”の姿を見る（見ざるを得ない）ために、全体を視野に収めてしまう。その“丸め”のせいで、平均—希釈されてしまうのではないか。そのような過程を、物理“実験”のように、分解—時間的にも、空間的にも—して、純粋に取り出しにくいのである。もう一つの理由として、天文観測パラメータとして見たとき、スペクトルが元素存在量、同位体比、励起状態、運動状態、果ては宇宙の膨張速度までを決定するが、偏光は単に幾何学（方向）を表示するに過ぎない。天文学において、“かたち”に比べて、“もの”や、“動き”の方がずっと重要だったのであろう。

今後、高分解観測—空間、スペクトルとも—の進展とともに、観測は純化され、少しずつではあるが、実験に漸近し、偏光は確かに顔をもたげてくるだろうと考える。銀河核や星形成領域では、回転／磁場のお蔭で、大きなスケールで異方性が発現された。金星の美しい偏光もまた空間分解して見たからである。惑星系が見えてくれば、偏光しているはずである。星表面もまた、分解さえすれば、偏光するだろう。銀河中心核のその奥もまた、分解すれば、“偏光”は際立つだろう。宇宙の—様等方は原理であらうか？

「すばる」では、はるか彼方から旅してきたフォトン、谷間の清水を手のひらで掬うように、その全ての情報を純化し、汲み尽くせないものか。

## 参考文献

- 1) Angel J. R., Stockman H. S., 1980, ARA & A 18, 321
- 2) Hashimoto J., et al., 1970, PASJ 22, 335
- 3) Noguchi K., et al., 1974, ICARUS, 23, 545  
Ohishi M., et al., 1978, PASJ 30, 149
- 4) Ohishi M., et al., 1976, PASJ 28, 175
- 5) Sato S, et al., 1980, ICARUS 43, 288
- 6) Nagata T., et al., 1984, ICARUS 57, 125
- 7) Yamashita T., et al., 1987, A & A 177, 258
- 8) Tamura M. et al., 1989, MNRAS 223, 7P
- 9) Kobayashi Y. et al., 1980, PASJ 32, 291
- 10) Kobayashi Y. et al., 1983, PASJ 35, 101
- 11) Nagata T., et al., 1983 A & A 119, L1
- 12) Sato S., et al., 1985 Ap J 291, 708
- 13) Hodapp K. W., 1984, A & A 141, 255
- 14) Antonucci, Miller 1985, Ap J 291, 708
- 15) Draper P. W., Warren-Smith R. F., Scarrott., 1985, MNRAS 212, 1P, 5P
- 16) Angel J. R., Stockman, H. S., 1980, ARA & A 18, 321
- 17) Hough J. H., et al., 1986, MNRAS 222, 692
- 18) Nakagawa T., et al., 1990, Ap J 351, 573
- 19) Takami H. et al., 1992, PASP 104, 949
- 20) Carrasco L., Strom S. E., Strom K. M., 1973, Ap J 182, 95
- 21) Nagata T., Kobayashi N., Sato S., 1994, Ap J 423, L113
- 22) Nagata T., 1990, Ap J 358, L13
- 23) Jones T. J., et al. 1990, AJ 99, 1894
- 24) Martin P. G., et al. 1992, Ap J 392, 691
- 25) 田村元秀, 1992, 天文月報 85, 238
- 26) 房耕, 国立天文台ニュース No. 31 表紙, 学位論文

## Polavization—from Okayama toward SUBARU

Shuji SATO

Nagoya University

Abstract: Natural “light” is thought to be unpolarized; however, polarization of light can be often seen in various aspects in the celestial phenomena as well as in the atmospheric/meteorologic ones. There are four mechanisms causing polarization in astronomy; 1) birefringence, 2) dichroism, 3) reflection/scattering, and 4) magneto-bremstrahlung (synchrotron/cyclotron emission). We review our polarimetric works so far done by the Japanese infrared group, referring to the polarization mechanisms, and discuss future prospects of polarization measurements.