

ポーラーリング銀河 MCG 5-29-86 の衝撃波

若松 謙 一*

1. 特異銀河 MCG 5-29-86

数年前「特異銀河 MCG 5-29-86 発見記」と題してその発見のいきさつや、パロマー、VLA 電波天文台での観測について報告した(天文月報 1982年5月号)。その後この銀河の詳細な観測がいくつかなされると同時にこの種の銀河が新たに十数個発見され、又理論的な考察も進んできているので、その後の状況を報告したい。(なお、谷口義明氏の記事「リング銀河」(天文月報 1984年3月号)、羽部・池内両氏の記事「ポーラーリング銀河のガス力学」(天文月報 1985年6月号)も参照)。

MCG 5-29-86 の特異な形態を写真1で確認いただきたい。edge-on SO 銀河のように見える明るい中心部と、それとほぼ直交して淡く長くのびている“ひげ”の部分とからなりたっている。この特異な形態の説明として次の事が考えられた。

- (1) 明るい方は edge-on SO 銀河、暗い方は edge-on の late-type 銀河で単に天球上で互いに直行して重なって見えている。
- (2) SO 銀河の中心核で爆発が起これ、その回転軸方向にジェットが飛び出している。
- (3) 明るい方は edge-on SO 銀河、“ひげ”はこの銀河の潮汐力で破壊されたサテライト銀河の残がい。その軌道面は SO の赤道面とほぼ直交している。
- (4) “ひげ”は late-type の edge-on 銀河で、明るい方は

この銀河の回転軸方向に伸びているプロレート型(偏長楕円体)のバルジである。

これらの諸説を検証する為パロマー 5m 鏡でのスペクトル観測、VLA での電波観測を行なったところ、中心核の活動を示す強い輝線や電波フラックスが検出されず(2)の可能性はすぐに否定された。又“ひげ”部分はあまりに偏平すぎて、edge-on spiral 銀河とは考えにくい事や、このように直交して重なって見える確率がきわめて小さい事などから(1)の可能性も否定された。しかし、銀河の回転曲線に関する観測が天候不順で行なえず、結局(3)と(4)の可能性が残されていた。

2. ポーラーリング銀河

その後の観測は残念ながらすべて外国の研究者によってなされてしまった。まず、パロマー天文台の J. モールドらはアレシボの 300m の電波望遠鏡で波長 21cm の輝線の検出を試みたところ、非常に多量の HI ガスを検出し、かつそのライン・プロファイルの幅からこのガスが 240 km/sec の速さで回転している事をつきとめた。この多量のガスははたして明るい中心部分にアソシエイトしているのだろうか、はたまた直交した“ひげ”部分にアソシエイトしているのだろうか? これはアレシボの望遠鏡では分からない。というのはこの望遠鏡の解像力は約 3' 程しかなく大きさ 1.5' のこの銀河のどこに分布しているかは分解できなかったからである。

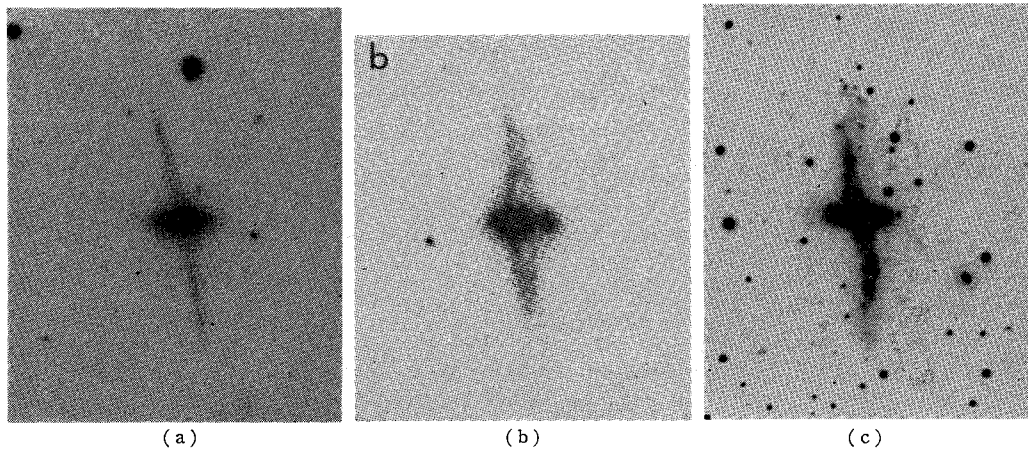


図1 ポーラーリング銀河。(a) MCG 5-29-86 (キット・ピーク 4m 鏡)、(b) A 0136-0801 (セロトロロ 4m 鏡; A.J., 88, 909, 1983)、(c) NGC 4650 A (セロトロロ 4m 鏡)

* 岐阜大・工短部 Ken-ichi Wakamatsu: Shock Waves in the Gas of the Polar Ring Galaxy MCG 5-29-86

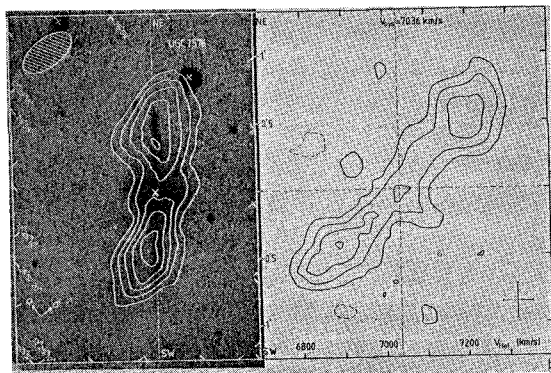


図 2 MCG 5-29-86=UGC 7576 の HI ガスの分布 (a) とガスの回転の様子 (b) (M.N., 208, 111, 1984)

モールドはこの結果をウイルソン山・ラスカンパナス天文台の P. シェクターへ連絡した。彼は以前に特異銀河 NGC 2685 の観測をやっている種の銀河には興味をいだいていたからである。彼はすぐにオランダのウェスターボーク電波天文台の H. ヴァン・ヴォルデンに連絡をとり、そこの電波干渉計を使って観測することとした。その結果が図 2 に示されている。HI ガスは SO 銀河にアソシエイトしているのではなく、淡く長い“ひげ”の部分にくっついており、それが 235 km/sec で回転している。しかも HI ガスの分布をくわしく調べてみると“ひげ”の部分に一様に分布しているのではなく、

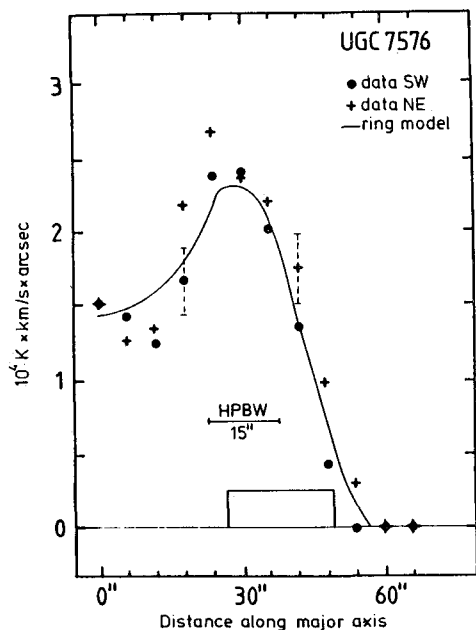


図 3 MCG 5-29-86 の HI ガスの分布。実線は内径と外径がそれぞれ 26", 49" の大きさをもつ一様なリングのガス分布モデル。

中心部分に穴があいており、ガスはリングを形成しているという (図 3)。

モールドはキットビークの CCD カメラで MCG 5-29-86 の色を測定してみた。銀河の色を測定すると、その銀河を構成している星の種類がおおよそ分かり、したがってそのシステムの年齢が推定できる訳だ。彼らの観測によると中心の明るい部分は赤く、標準的な楕円銀河や SO 銀河と変わらない。しかし“ひげ”の部分はそれにくらべかなり青味がかっていて、その年齢は約 20 億年と推定される。SO 銀河の年齢が 100~200 億年であることを考えると“ひげ”の部分はそれにくらべ非常に若いシステムなのだ。

3. 特異銀河 A0136-0801

同じ種類の天体の発見は時として全く同じ時期に全く別なグループが独立に発見する事が多いとはよく耳にする話である。米国ワシントンにあるカーネギー研究所・地磁気観測所の F. シュワイツァーと V. ルービンのグループは 1980 年銀河の回転曲線を研究するため、セロトロロ天文台 4m 鏡のプライムフォーカス・カメラで Sb 銀河の写真を撮っていた。ルービンは暗室で現像を終えて露出の具合を確かめるためまだぬれている乾板をながめていると、乾板の端近くにある異様な形をした銀河に気づいた (写真 1-b)。明るい SO 型の中心部とそれにほぼ直交する淡い“ひげ”がリングとして見えている。これらは MCG 5-29-86 の特徴と全く同じだ。もちろん暗い銀河なので名前はない。その天体の位置から A0136-0801 と仮の名をつけた。その後 2 年間にわたって彼らはセロトロロ 4m 鏡、ラスカンパナス 2.5m 鏡でスペクトルを撮り、この銀河の力学的構造を調べた。

その結果、中心部の明るい部分は最大 145 km/sec で短軸を回転軸として回転していることなどから edge-on SO 銀河と結論した。これに直交する淡いリング状の部分も最大 168 km/sec で SO 銀河と直交して回転していることがわかった。すなわち、この銀河は回転軸が互いに直交している 2 つのシステムが 1 つの銀河に同居しているというのである。これはわれわれの仮説 (3) に相当したわけで MCG 5-29-86 は A0136-0801 と同じカテゴリーの特異銀河ということになった。ただ、MCG 5-29-86 のリングはあまりにま横から見ていたケースだったわので、われわれは一時期ジェットと見間違えていたけど。

SO 銀河に直交して回転しているシステムが SO 銀河のちょうどポール (極) 方向に、しかもその中心部分に穴があいてリング状になっている事から彼らはこの種の銀河を“ポーラーリング銀河”と名づけた。その後、彼

らは銀河のカタログ中に“土星状”と書かれてある銀河についてパロマーや SERC の掃天写真を調べ、この種の天体を新たに十数個見つけ出した。われわれもラスカンパナス天文台 2.5 m 鏡で写した 10 個の銀河団の写真から新たに 4 個発見した (谷口氏の記事参照)。

4. 銀河の衝突

では何故このような奇妙な銀河が形成されたのだろうか？ 1つの銀河の中に互いに直交して回転する2つのシステムが同居するなどということは回転する原始銀河雲の収縮という通常のシナリオではとても説明できない。この種の特異銀河は銀河形成時に何か異常がおこって生まれた(先天的)とするよりは、むしろ銀河が形成された後(後天的)に何かがおこったとする説が自然である。(ちょうど、冥王星は公転軸と自転軸とがほぼ直交していることからその形成メカニズムとして、さまよっていた冥王星が太陽の重力圏につかまったとの説と類似している。)

シュワイツァーらのモデルは、SO 銀河(ターゲット)とガスを多く含む銀河(パーターパー)との衝突である。2つの銀河が接近するとパーターパーの星とガスが SO 銀河の潮汐力によってはぎとられ、それらが SO 銀河に降りそそぐ。この時、星のシステムはエネルギーを散逸することがない為、SO 銀河のまわりの大きなハローとなるであろう。(事実、MCG 5-29-86 には巨大なハローが写真で検出されている。)ガスのシステムはどうだろうか。ガスのかたまりは SO 銀河の周囲を回転し始めるが、その時ガス塊同志が互いに激しく衝突をくり返し、エネルギーを失ない、しだいに収縮してゆくと同時に薄い円盤を形成してゆくであろう。この円盤の向きは SO 銀河にふりそそぐとき、ガスが最初にもっていた角運動量と直交する向きであろう。

このモデルは実は**ポーラーリングが SO 銀河のみに発見される**という観測事実をごく自然に説明してくれる。というのは銀河同志の衝突はもちろんありとあらゆるタイプの銀河間で可能である。しかし、ガスのリングが形成される為にはパーターパーはガスを多量に含む銀河でなければならないし、一方、もしターゲット銀河がガスを多量に含んでいたならば、そのガスとパーターパーから降り注いで来たガスとが互いに衝突してしまい、アクリートしたガスはターゲット銀河のガスにのみこまれてしまうだろう。だから偏平で対称的な円盤が形成される為にはガスをほとんど含まない銀河(たとえば SO 銀河や楕円銀河)とガスを多量に含む銀河(たとえば不規則型銀河や渦状銀河)との衝突だけに限られてしまう。実際、ポーラーリング銀河はすべて SO 銀河だけで渦巻状銀河には1つも発見されていない。(Cen A=NGC 5128

などの楕円銀河に暗黒星雲の帯やガス円盤がある事はよく知られているところである。)

5. なぜリングはポーラーか？

このモデルでは SO 銀河の周辺部に形成されるガス円盤の向きは最初に降り注いだガスの角運動量の向きで決められてしまう。2つの銀河の衝突の向きはランダムであるとえられるから、形成されたリングの向きも当然 SO 銀河の赤道面に対してランダムになっているはずである。ところが**これまで発見された十数個の例はその名の通り全てポーラー、即ち赤道面に対してほぼ直交している**のである。この説明についてシュワイツァー等は2つの説を提出した。

A 選択効果説

オブレート型(偏平)楕円体の周辺を軌道運動するガス塊はその重力場が球対称からずれているために(四重極子モーメント)角運動量が保存せずプリセッションし始め、ガス同志が衝突して円盤の面が SO 銀河の赤道面へと次第に倒れて行くという。そのタイムスケールは最初の円盤面と銀河赤道面とのなす角 θ が小さいほど、軌道半径が小さいほど速く進む。だから最初にポーラー面から大きく傾いて形成されたガス円盤は SO 銀河の赤道面へ速く倒れてゆくのに対し、ポーラー面近くで形成されたガス円盤は倒れることなく長い間ポーラーディスクとして安定に存在する。その結果、発見されるリング銀河は“**ポーラーリング**”が圧倒的に多いという訳である。この説は**ポーラーリングがなぜ円盤ではなくて中心に“穴”が空いた“リング”**となるが自然に説明してくれる。円盤が赤道面に倒れてゆく速さはその内側ほど速いから(2×10^9 年)、円盤の外側が未だ倒れ始める前にその内側が SO 銀河の赤道面へ倒れてしまう。その結果、中心に穴があいてしまいリングになるというのである。

B ポーラー・アラインメント説

これとは逆に任意の角度で形成されたガス円盤では、SO 銀河の重力場の影響でその軌道面が次第にポーラー面へと立ち上がってゆくという説。楕円銀河の真の3次元形状がオブレート型、プロレート型または3軸不等の楕円体なのかを調べるため、M. シュワルツシルド等は 1979 年それらの回りの粒子の運動を計算した。粒子は時間とともにより安定な軌道面(プリファード・プレーン)へと次第に落ち着いてゆき、その軌道面は楕円銀河の形状によって一般に異なる。特に3軸不等のタンブリング(形状が回転している)楕円体では長軸に直交した面(ポーラー面)がプリファード・プレーンになるような銀河同志の衝突断面積が非常に大きいというのである(デーヴィスら 1984 年)。

6. 観測との比較

もし (A) の説とすれば SO 銀河の周辺部を回転しているガス円盤はその外側ではポーラー面内を、しかし内側に入るにつれて円盤面が赤道面へと寝てくる現象 (ウォーピング) が観測されるはずである。シェクターは MCG 5-29-86 ともう1つのポーラーリング銀河 II Zw-73 について HI ガスの分布を調べたところ、全くウォーピングを検出できなかった。A0136-0801 の例ではリングの外側の部分がわずかに寝てしまうという逆センスのウォーピングが検出されてしまった。

もっと本質的な問題点は SO 銀河の重力ポテンシャルの形のひずみ具合についてである。このメカニズムが有効に働くためにはポテンシャルが球対称からかなりずれている必要がある。ところが SO 銀河本体の赤道面上での回転曲線とポーラーリングの回転曲線とから推定されるポテンシャルのひずみは、ほとんどないことが分った。

もう1つの問題点はもしポーラーリング銀河が過去百億年に亘って一定の割合で形成されて来たたとすると、リング面が次第に寝てくる効果のために、リングの赤道面に対する角 θ が $45^\circ < \theta < 70^\circ$ にある銀河の個数の方が $70^\circ < \theta < 90^\circ$ にある個数の2倍程度発見されていなくてはならないことになり、観測事実と矛盾する。逆に観測と合わせるためにはポーラーリング銀河の形成は、宇宙の年齢 t とともに $t^{-5/8}$ で減少していなければならず、現在観測されるポーラーリング銀河の大部分は宇宙の比較的初期に作られていたことになる。しかし MCG 5-29-86 のモデルによる観測ではリングの年齢は20億年以下、他のポーラーリングに至っては HII 領域が存在することからもっと若いと考えられる。

また、このメカニズムではリングの穴の半径はリング形成以来の年齢とともに大きくなっていくはずである。ところが観測されるリングの半径は $\sim 4.5r_0$ (r_0 は SO 銀河の exponential ディスクのスケール・レングス; $\mu(r) \propto e^{-r/r_0}$) と比較的一定になっている。

これらの観測事実はどれもみな選択効果説を積極的にサポートとするものとは考えられない。

仮説 (B) はどうであろう。シェクターは A. ボクセンバーグと共に、ESO 3.6 m 鏡の IPCS を用いてポーラーリング銀河 NGC 4650 A (写真 1-c) の SO 本体の回転速度 V_m と星の速度分散 σ_v とを測定した。その結果、回転速度が σ_v に較べ大きすぎて、プロレート型の静止楕円体ではあり得ず、かなり速いスピードでタンプリングする楕円体という事になった。このようなとき、プリファード・プレーンがどこの面になるのかは、タンプリングの軸の位置とその速さに複雑に依存す

ることとなり、まだ結論が得られていない。このモデルでは、中心の“穴”をどのようなメカニズムであけるのだろうか? この点も不明のままである。

7. 衝撃波仮説

これまで、リングの軌道面の変化やリングの内側の“穴”の成因として、専ら SO 銀河の形状が球対称からずれていることによって生じるプリセッションとプリファード・プレーンについての理論と観測結果を紹介してきた。最後に私が考えている衝撃波仮説について簡単にふれておこう。

ポーラーリング銀河ではリングのガスが SO 銀河のステラー・ディスクへ超音速で突入する。この時リング内に衝撃波が発生してリングの構造に大きな影響を与えてしまうことが考えられる。衝撃波が発生するための必要条件として、(1) 多量のガスがリング内に存在すること、(2) このガスが超音速で SO 銀河のディスクへ突入すること、(3) このディスクのポテンシャルの深さ ($\Delta\phi$) が十分に深く、従ってガスに音速 (c) 以上のスピード変化を生じさせることができることである。(1) の条件は多量の HI ガスが観測されていることやリング上に HII 領域が多く存在することなどから満たされている。(2) の条件についてはこれまで回転が調べられている数個のポーラーリング銀河に関する限りすべて 100 km/sec 以上で回転をしており、音速 $c=10$ km/sec を大きく超えている (表 1)。

(3) の条件について調べてみよう。SO 銀河は、(1) ディスク、(2) バルジ、(3) マッスィブ・ハローの3成分から成るものとし、(2)、(3) は球対称であるとする。単純化のため、リングは SO ディスクの周りを速さ v で円運動しているものとする。従って、ガスは SO 銀河のディスクを横切るたびに、そのポテンシャルで加速・減速される事になる。その量 Δv は

$$\Delta v = \Delta\phi/v \quad (1)$$

で与えられる。SO 銀河の質量モデルを観測と合うように決めれば、 v 、 $\Delta\phi$ が円運動の半径 r の関数として求まり、従って Δv が音速 c より大きくなるか否かが分かる訳である。

表 1 ポーラーリングの最大回転速度

天 体	回転速度 (km/sec)	観 測 方 法
MCG 5-29-86	235	ウェスターボーク干渉計 21 cm
A 0136-0801	168	CTIO 4 m 鏡 H α 輝線
NGC 4650 A	180	ESO 3.6 m 鏡 H α 輝線
II Zw-73	175	ウェスターボーク干渉計 21 cm
NGC 2685	121	ウェスターボーク干渉計 21 cm

厚みを持った軸対称ディスクの質量分布 $\rho(r, z)$ は

$$\rho(r, z) = \rho_0 e^{-r/r_0} \operatorname{sech}^2(z/z_0) \quad (2)$$

とした。動径 (r) 方向には指数関数的に変化し、厚み (z) 方向上は等温的に、ローカルに自己重力的なディスクとした。SO 銀河の表面測光のデータから、 r_0, z_0, ρ_0 を決める事ができ、回転曲線からマッスィブ・ハローの質量と共に ρ_0 を決める事ができる。このようにして求められた質量モデルに対して、SO 銀河の回転軸上、銀河中心からの距離 r の点 A とディスク面上の点 B (図 4 参照) との位置エネルギー差 $\Delta\phi = |\phi(A) - \phi(B)|$ を計算する。この値とガス円盤の回転スピード v を式 (1) に代入すれば、 Δv を r の関数として求めることができる。

MCG 5-29-86 の場合について計算した結果を図 5 に示す。 $r/r_0 < 0.3$ の中心部分では点 A がディスク面の外にまで出ていないので $\Delta\phi$ が小さく、従って Δv も小さい。しかし、 $0.3 < r/r_0 \leq 4.5$ の領域では $\Delta\phi$ が非常に大きくなるので Δv がガスの音速 $c \approx 10$ km/sec を超えることになる。SO 銀河のディスク上には、一般にはガスがないのでガス同士が衝突して衝撃波を作ることはできない。しかし Δv が音速を超えるとガスの流れが SO ディスクのポテンシャルでよどんでしまい、ガス流中のガス同士が超音速で衝突してしまい衝撃波が発生すると考

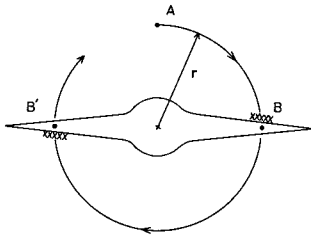


図 4 Edge-on SO 銀河のまわりを回転するガスの軌道。点 A から加速しながら円運動するガスは銀河円盤上の点 B, B' で衝撃波を発生させる。

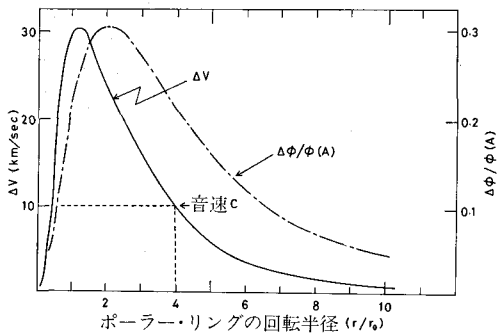


図 5 ガスが点 A から点 B へ向って回転運動する間にガスの加速される速度の大きさ Δv が回転半径 r の関数として示めされている。MCG 5-29-86 のケース。

えられる。これは丁度、渦巻銀河の円盤上を回転するガスが渦状腕に超音速でぶつかると衝撃波が発生するという銀河衝撃波理論とよく似た現象である。 $0.3 < r/r_0 \leq 4.5$ の領域で衝撃波が発生すれば、これらのガスは角運動量とエネルギーを失って次第に中心へ落ち込み、ポラー・ディスクの中心部に“穴”があいてしまうだろう。ちなみに MCG 5-29-86 のリングの年齢 (2×10^9 年) の間に、ガスは約 20 回転 SO 銀河の回りを回転し、40 回も衝撃波が発生していることになる。これだけ衝撃波が発生すれば、ポラー・ディスクに穴があいてしまうだろう。

$r/r_0 > 4.5$ の領域では SO ディスクの星の密度が低くなってディスクのポテンシャルが浅くなり、 Δv は音速より小さくなってしまい、そこでは衝撃波はもはや発生しないだろう。従って外側を回転するポラー・ディスクのガスはエネルギーの散逸を受けずいつまでも安定に存在できることになる。

この衝撃波仮説ではポラー・リングの内側のエッジは非常にシャープになるはずであり、写真 1 でみられるように観測とよく一致する。またその半径 $4.5r_0$ は MCG 5-29-86 の穴の半径の観測値 $5.0r_0$ とよく一致している。他のポラーリング銀河 A0136-0801 や NGC 4650A の穴の大きさも衝撃波仮説から計算される値とほぼ一致する。

8. おわりに

衝撃波仮説で他の現象も説明できるか、もう少し考えてみよう。

(1) SO 銀河の質量の影響

ホモロガスな SO 銀河のモデルでは $\Delta\phi$ の深さはディスクの質量 M に比例し、ガスの回転速度 v は $M^{1/2}$ に比例する。従って $\Delta v = \Delta\phi/v \propto M^{1/2}$ となり重い SO 銀河ほど衝撃波が発生し易く、ポラーリングがくずれ易くなる。観測的には SO 銀河のうちポラーリングを持っている割合は $-18 < M_B < -20$ の明るさについては 7%、 $-20 < M_B < -22$ では 0.7% と明るい銀河の方が少なくなっている。

(2) リングの傾きの影響

もしリングが SO 銀河の赤道面に対して角 θ だけ傾いて回転しているならば、ガスは銀河ディスクへ斜めに突入することとなる(オブリーク・ショック)。この時 r/r_0 が十分に大きいと $\Delta\phi$ は $\theta = 90^\circ$ の時とほとんど値が変らないのに対し、(1) 式の分母には $\sin\theta$ がかかってしまうため全体として Δv が大きくなり、衝撃波が発生し易くなるだろう。この事情がなぜポラー ($\theta \approx 90^\circ$) リングがかたむいたリングより多く観測されるかの自然な説明とはならないだろうか。

(3) SO 銀河の円盤の厚みの影響

同じ質量を持った厚みの薄い SO 銀河 (z_0 が小さい) と厚い銀河 (z_0 が大きい) とを比較すると、薄い方のディスクの方がポテンシャルが深くなり衝撃波が発生しやすくなるだろう。これまで発見されたポーラー銀河はどれも厚みが比較的厚いものばかりである (写真 1)。

(4) 銀河のディスクがない場合

星のディスクがない楕円銀河に他の銀河からガスが降り注いだらどうなるだろうか? ガス円盤はすぐに形成されるであろうが、星のディスクがないためにこのガス円盤には衝撃波が発生せず、銀河の内部でも安定に存在し得て、リングとはならずディスクのまま銀河中心近くにまで形成されるであろう。このガス円盤こそ、Cen A = NGC 5128 などで見られる楕円銀河の暗黒星雲のベルトではなからうか?

ポーラーリングの衝撃波仮説は流体の計算をきちんとした訳ではなく、単にアイデアのみを御紹介しただけである。はたして、衝撃波が SO 銀河のポーラーディスクにほんとうに形成されるのかは今後の研究に待たねばならない。ポーラーリング銀河は SO 銀河の回転軸 (z) 方向の重力場の様子を我々に教えてくれる、という点で大変重要な役割をしてくれる銀河である。マッスィブ・ハローや、楕円銀河の 3 次元の立体形状とも深くかかわっている。今後、ますます理論が進展する事を希望すると共に、我々の手でもっと観測を進めたいものである。

この研究をするに当って、土佐 誠・松田卓也・谷口義明・田中 豊氏から有益な助言をいただいた事に感謝する。

お知らせ

第 18 回日本アマチュア天文研究発表大会の開催について

日時 昭和 60 年 10 月 13 日 (日)

会場 福島県教育会館

Tel. 0245-23-0206

(国鉄福島駅より徒歩 25 分)

詳細につきましては下記へお問合せ下さい。

大野 裕明 (福島天文同好会々長)

Tel. 0425-53-3833

尚、10月12日(土)午後8時から磐梯吾妻スカイライン山頂の浄土平で、白河天体観測所が「ハレー彗星大歓迎会」を開く予定です。

日本アマチュア天文研究発表大会運営委員会



D. Reidel Publishing Company

新刊

DYNAMICS OF COMETS: THEIR ORIGIN AND EVOLUTION

Proceedings of the 83rd Colloquium of the International Astronomical Union held in Rome, Italy, 11-15 June 1984

edited by ANDREA CARUSI GIOVANNI B. VALSECCHI
Istituto di Astrofisica Spaziale - Consiglio Nazionale delle Ricerche Reparto Planetologia, Rome, Italy

ASTROPHYSICS AND SPACE SCIENCE LIBRARY 115
456 pp.

Cloth ¥16,500 ISBN 90-277-2047-9
1985, D. Reidel Publishing Company

There is growing interest within the international planetary science community in the origin and dynamics of comets. These bodies can be considered as remnants of the original population of planetesimals and the study of their origin and dynamical histories can provide insight into the accretion phenomena; the original mass, energy and angular momentum distribution across the Solar System; the collisional fragmentation of minor bodies; the impact rates on planets and the nature of impacting bodies. The interaction of comets with other solar system bodies certainly provides one of the best possibilities for a deeper understanding of the dynamics of the whole system, and a challenging test for all theories of celestial mechanics dealing with the gravitational behaviour of multiple-body systems. Comets could also be considered as the last footprints left by the interaction of the protosun and its original galactic environment.

STABILITY OF THE SOLAR SYSTEM AND ITS MINOR NATURAL AND ARTIFICIAL BODIES

Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Stability...Bodies, Cortina d'Ampezzo, Italy, August 6-18, 1984

edited by VICTOR G. SZEBEHELY
University of Texas, Austin, Texas, USA

NATO ADVANCED SCIENCE INSTITUTES SERIES C: MATHEMATICAL AND PHYSICAL SCIENCES 154
444 pp.

Cloth ¥16,000 ISBN 90-277-2046-0
1985, D. Reidel Publishing Company

The overlapping scientific areas that the concept of stability brings together are emphasized and the subjects discussed include, resonance properties, asteroid dynamics, satellite behavior, geodesy, non-linear oscillations, integrability, and the restricted problem of three and four bodies.

DYNAMICS OF STAR CLUSTERS

Proceedings of the 113th Symposium held in Princeton, New Jersey, U.S.A., 29 May-1 June 1984

edited by JEREMY GOODMAN IAUS 113
1985, D. Reidel Publishing Company

644 pp. ¥19,000 ISBN 90-277-1963-2
Cloth ¥19,000 ISBN 90-277-1963-2
Paper ¥8,500 ISBN 90-277-1965-9

The enigma of core collapse receives much attention in this volume. In addition, several observational papers summarize recent techniques and results and discuss the stellar dynamical implications of the enormous progress in the quality of surface photometry, proper motion studies, radial velocity determinations, as well as space-based measurements in a variety of wavelengths.

D. Reidel Pub. 日本総代理店



株式会社 ニュートリノ

港区赤坂 3-4-7 カームビル 107 TEL (03) 405-6137