

セイファート銀河 NGC 1068 と NGC 4151 の構造

兼 古 昇*

1. はじめに

1943年に発表した論文でセイファートは、「中心核から惑星状星雲に類似した輝線スペクトルを輻射する異常な銀河として、現在、12個が知られている。これらの大半は、はっきりしない無定形の渦状腕（以下アームと呼ぶ）を持つSb型の渦巻銀河である」と述べ、セイファート銀河は、中心核の分光学的性質のみでなく、外観上でも多少特異である可能性を示唆しています。このことに関連して、興味深い事実があります。

モルガン(1958)は、小さく明るい核と暗い周辺部を持つ銀河をN銀河と名付けましたが、面白いことに、大半のセイファート銀河はN銀河でもあります。モルガンがN銀河として分類しなかったNGC 1068は、通常の意味の渦状アームのほかに内部と外部にそれぞれ渦状アームを持ち、三重のアーム構造となっています。ホッジ(1968)は、NGC 1068に類似した最外部を持ち、長直径が2'以上の銀河を16個見つけ、それらをリング銀河と名付けました。これらのうち、5個がセイファート銀河と電波銀河であり、リング銀河に活動銀河の見出される確率は、N銀河の場合と同様、非常に高い様に思えます。

ここでは、最も代表的な2つのセイファート銀河NGC 1068とNGC 4151の構造を調べます。これらの銀河の持つ形態学的特異性と中心核のセイファートの活動現象との関連を論じる手始めとして、以下の考察は興味深い内容を持っているでしょう。

2. NGC 1068

NGC 1068はM77とも呼ばれるSb型のセイファート銀河で、電波銀河のカタログでは3C71です。距離は20 Mpc (1 pc=3.26 光年)で、天の川銀河の直径の700倍に相当します。はじめに述べたように、この銀河の形態学的特徴は多重構造にあります。

A. 最外部領域

最外部領域から調べて行きましょう。図1を御覧下さい。これから分かるように、最外部領域は円盤というよりも、むしろ、40×35 kpcの大きさを持つリング構造—ホッジがリング銀河と呼んだのはこのためです—をしており、細い2本のアームによって主要円盤部(図1の黒い中心部)と接線的に結びついています。

最外部領域は星からできているのでしょうか、それとも、ガスからできているのでしょうか。この間に答える

には、最外部領域の分光観測が必要ですが、表面輝度が月の無い夜空の明るさの数十分の一以下でしかありませんので、実行はほとんど不可能です。スミス達(1972)の測光観測によれば、中心から10 kpc離れた最外部領域の色指数は $B-V=0.8-0.9$ で、Sb型銀河の平均的な値と一致します。したがって、最外部領域は主に種族Iの普通の星からつくられていると考えられますが、2本のアームは主要円盤部から流出するガスによって作られている様にも見え、問題はそれほど単純ではなさそうです。

強力な電波源である楕円銀河M87にも直径200 kpcの巨大な最外部領域が存在します。ヴォクルール(1969)によれば、 $B-V \approx 0.6$ ですから、M87の最外部領域は主に球状星団と同じ種族IIの星から成ると考えられます。このように、同じ最外部領域でも、銀河ごとに種族を異にした星により作られているという事実は、今後、最外部領域の形成を研究する際、十分に注目すべきことでしょう。

B. 主要円盤領域

主要円盤領域は15×10 kpcの大きさを持ちます。天の川銀河の直径が30 kpcですから、NGC 1068の主要円盤領域は比較的小型の部類に属します。

すでにお気付きの読者もおられると思いますが、最外部領域と主要円盤領域とは、長軸が約90°ずれています。これは、銀河は軸対称的で2つの領域が同心円の構造をしているはずだという最も常識的な考えと矛盾します。これに対して、(i) 2つの領域は同一平面上にない、(ii) 同一平面上にあるが、少なくとも1つは円型ではな

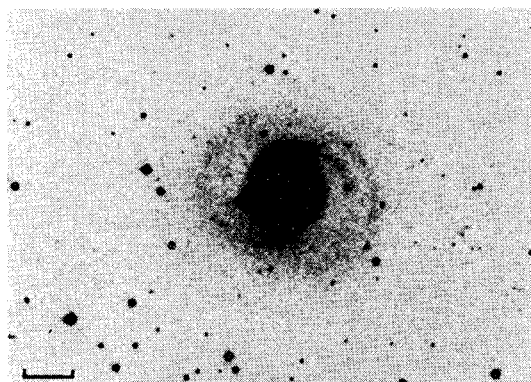


図1 NGC 1068の最外部領域と主要円盤領域。上が北で右が西。(Palomar Sky Survey Printより)

* 左下のスケールは10 kpc。

* 北海道大学理学部 N. Kaneko: Structure of the Seyfert Galaxies NGC 1068 and NGC 4151

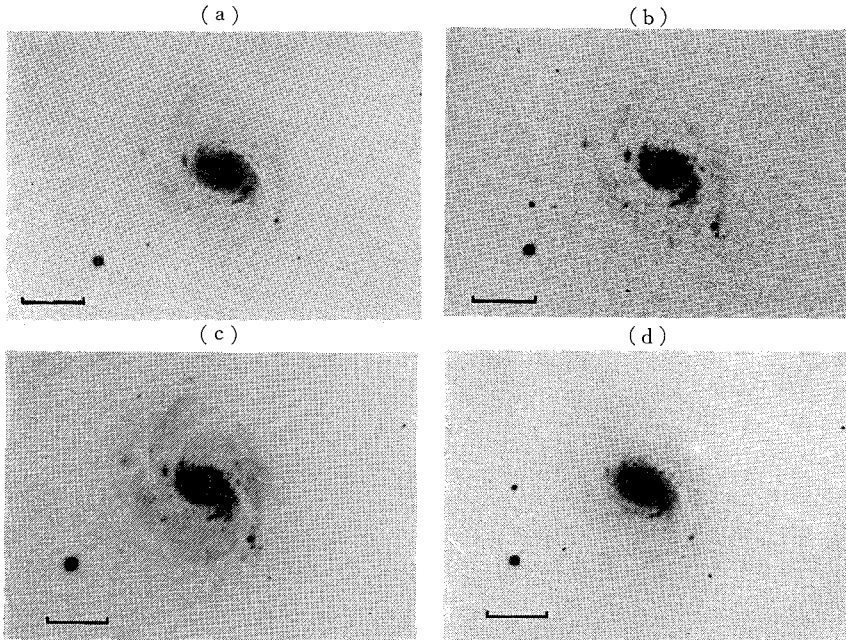


図 2 NGC 1068 の主要円盤領域と内部領域。上が北で右が西。(岡山 74 インチ鏡で撮影)。

(a) 紫外写真 (*U*)。

(b) 青色写真 (*B*)。

(c) 可視光写真 (*V*)。

(d) 赤外写真 (*I*)。

* 各図のスケールは 3 kpc。

い 2 つの性格を持っているのが、主要円盤領域の形態学的特異性なのです。これは通常の銀河よりも多くガスを含んでいることに起因すると思われる。

C. 内部領域

内部領域の特徴として、観測する色によって構造が著るしく変化することをあ

げることができます。図 2 の *U* と *I* の写真が、同一の天体のものであると見えるでしょうか。図 3 に、私達の作成した *U*, *B*, *V*, *I* の等輝度曲線図を示します。

これらの図を分析するには、紫外光写真では主にガスが放射する輝線スペクトルと連続スペクトルとが写り、赤外光写真では銀河を構成している星からの光が主であることに注意する必要があります。つまり、*U* の写真および等輝度曲線図はガスの分布を、*I* では星の分布を大ざっぱに表わしていると考えてよいのです。さて、こうして図 2 と図 3 を眺めてみますと、主要円盤領域と内部領域との境界で表面輝度が突然不連続的に変化している原因は、内部領域が極端に多量のガスを含んでいることにあると結論できそうです。この事実をより明確に示す

い、(iii) 最外部領域は円盤でなく、回転楕円体のような三次元的構造をしている、という 3 つの可能性が考えられますが、現在のところ、いずれの構造が正しいか判断できません。

図 2 は、私達が岡山 74 インチ鏡を使用して撮影した紫外 (*U*)、青 (*B*)、可視 (*V*)、赤外 (*I*) の 4 色のネガ焼き写真です。私達の *I* 写真は、恐らく、はじめて公表される赤外光で見た NGC 1068 の写真でしょう。

これらの写真には、セIFAートの指摘した主要円盤領域内の無定形の渦状アームと、次の節で調べる内部領域内の極めて明るいアームとが見えます。前者の主要アームは、*B* 写真で最もはっきりしており、アーム上にはたくさんの明るいコブ（電離水素領域）が散在しています。アープ (1966) はこれを特異と考へて、彼の特異銀河アトラスに NGC 1068 を加えました。これらのコブは、NGC 1068 の主要円盤領域が通常の Sb 型銀河に比べて、ガスをより多く含んでいることを示す証拠と解釈できるでしょう。*I* 写真では、主要アームは大変滑らかなになっていますが、東側の細く滑らかなアームは、内部領域内のアームの一端からのびているのが見られます。これは、また、内部領域からのガスの流出と無関係ではないように思えます。

NGC 1068 は主要円盤領域のアームの形態から Sb 型と分類されていますが、筆者にはむしろ Sc 型的に思えてなりません。事実、このことを裏付けるように、スミス達 (1972) の測定した主要円盤領域の色指数は $B-V \approx 0.7$ ですし、シルド (1972) は連続スペクトルが Sc 型の M51 と類似していることを示しています。相容れな

図 4 内部領域のガスの分布。リング的アームと、北東方向にのびた中心核ガス雲に注意。

図 3 に、私達の作成した *U*, *B*, *V*, *I* の等輝度曲線図を示します。

これら

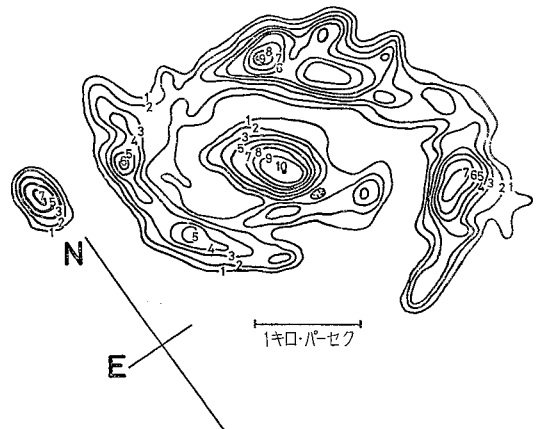


図 4 内部領域のガスの分布。リング的アームと、北東方向にのびた中心核ガス雲に注意。

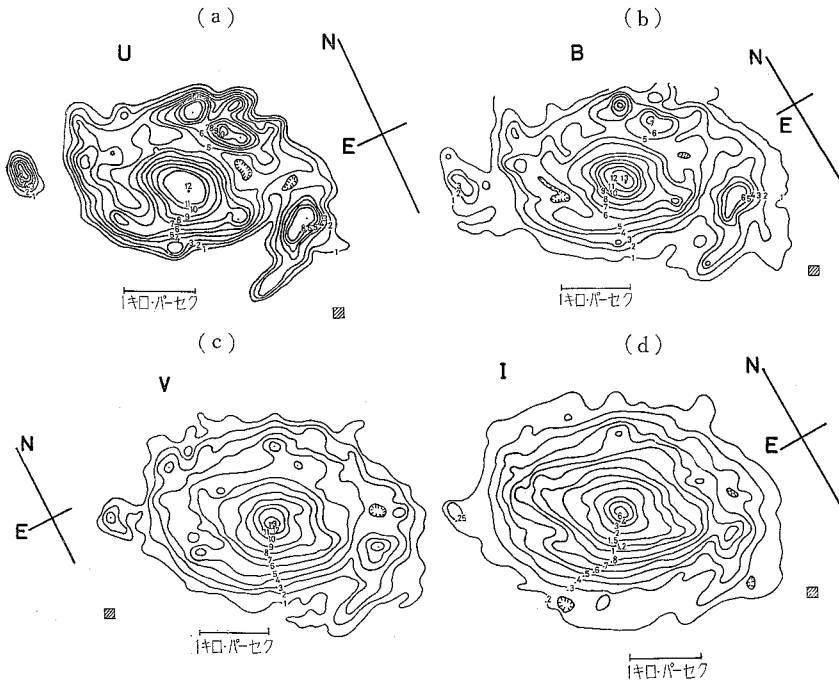


図3 NGC 1068 の内部領域。図2の写真より作製した等輝度曲線図。

(a) U, (b) B, (c) V, (d) I. す。かなり以前から、核領域の北東方向ののびはフレアと呼ばれ、中心核からのガスの流出を示すものと解釈されていましたし、分光学的にも約 100 km/sec の速度で膨張するガスが内部領域内に発見されていました。私達の発見した [OIII] ガス雲は、明らかに約 100 km/sec の速度で運動しています。活動銀河に見出されるガスの流出は特定の方向にのみ限られることが多く、NGC 1068 の場合、最

外部領域のアームの形成とも関連を持つように考えられます。

外部領域のアームの形成とも関連を持つように考えられます。

D. 中心核領域

中心核領域は銀河核活動のエネルギー源をとりかこむ直径約 1 kpc のガス雲と解釈され、多重構造の第四成分にあたります。その中心領域には、約 500 km/sec の内部運動を持つ 4 個のガス雲が、300~600 km/sec の高速で膨張運動していることが、ウォーカ (1968) の観測によって知られています (図 7)。これらの速度は脱出速度をはるかに越えていますので、ウォーカのガス雲は銀河核活動の結果として中心核から放出されたものであると考えなければなりません。ウォーカによれば、ガス雲の質量は太陽質量の 100~1000 万倍ありますので、私達の [OIII] ガス雲を加えれば、放出されたガスの質量はさらに 10 倍以上増加するはずで、このように多量のガスを放出し、しかも太陽光度の 5000 億倍という莫大な輻射エネルギーを放出する“本当”の中心核とは、いったい何物なのでしょう。

私達は、岡山 74 インチ鏡でスリットの位置を中心核を通して 15° おきに回転させて、多数のスペクトル写真を得ました。驚ろいたことに、2 回電離した酸素の波長 5007 Å のスペクトル線 [OIII] λ5007 は、上で述べた北東方向にのみ強く見え (図 5)、その軌跡をなぞってみたのが図 6 です。数枚のスペクトル写真には、中心核から

6 kpc まで達した [OIII] λ5007 が写っており、その先端は最外部領域の北側のアームの付根とほぼ一致します。

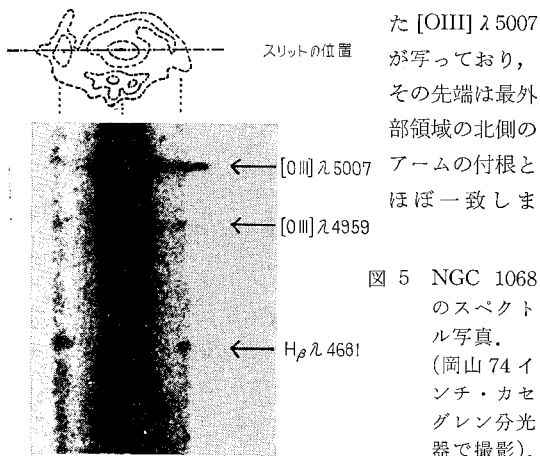


図5 NGC 1068 のスペクトル写真。(岡山 74 インチ・カセグレン分光器で撮影)。

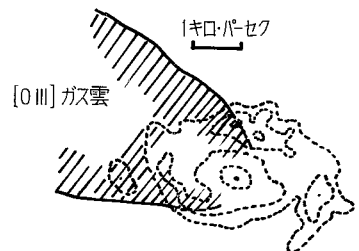


図6 NGC 1068 の [OIII] ガス雲。

波で NGC 1068 の構造を調べていますので、図 8 にそれを示します。電波構造が光学的構造とよく似ていますので、シンクロtron 輻射をする相対論的高エネルギー粒子は通常のガスとよく混り合っ

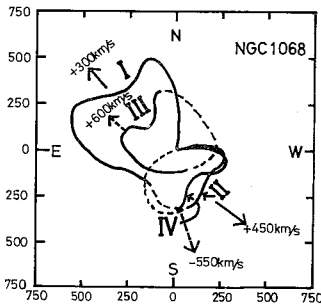


図 7 ウォーカのガス雲。

ていると考えられます。また、この拡がった直径 1 kpc の電波領域の中心にケラーマン達 (1970) は、波長 13 cm で、直径が 0.2 pc という極めて小さい点状電波源を発見しています。これは本当の中心核の電波かも知れません。

3. NGC 4151

NGC 4151 は外見上 NGC 1068 と同様、最外部領域、棒状領域、内部領域、中心核領域の四重構造をしていますが、よく調べてみますと、NGC 1068 とは大変異なった性質を持つことが分ります。いずれの文献も、この銀河を Sb 型と分類していますが、いったいどこに Sb 型を特徴づける性質を見出せばよいのでしょうか。

A. 最外部領域と棒状領域

NGC 4151 の距離は、NGC 1068 と同じく 20 Mpc ですから、両者の比較は容易です。図 9 は最外部領域 (40 × 30 kpc) と棒状領域 (15 × 10 kpc) を示す写真です。前者内には細い 2 本のアームがありますが、これらに沿って電離水素領域がいくつも見えますので、最外部領域のアームはガスによるものです。写真から受ける印象では、NGC 4151 の最外部領域は NGC 1068 のそれに比べてはるかに表面輝度が低いようです。中性水素に特有

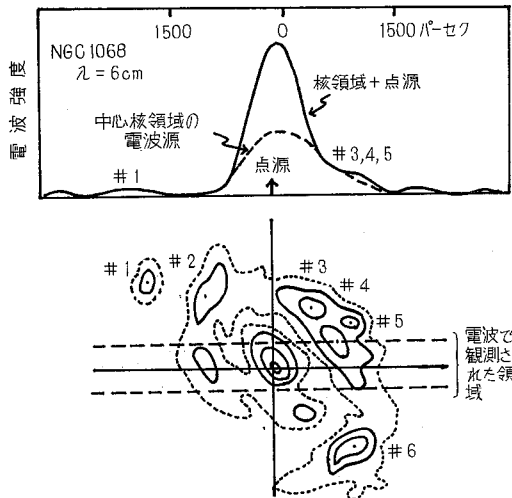


図 8 NGC 1068 の電波構造。

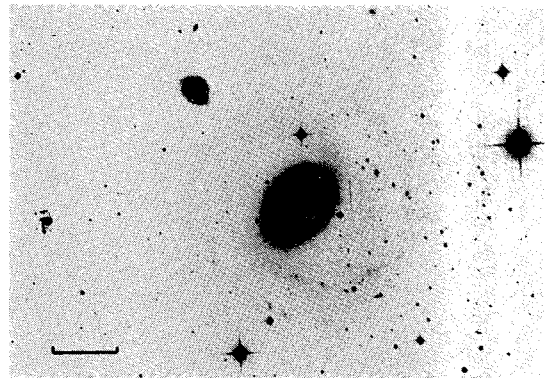


図 9 NGC 4151 の最外部領域と棒状領域。上が北で右が西。(S. van den Bergh (1969), Ap. L., 4, 117. より)。* 左下のスケールは 10 kpc.

な波長 21 cm の電波でディヴィス (1973) が観測したところ、最外部領域では中性水素ガスの面密度が通常の銀河の 2 倍以上もありました。したがって、NGC 4151 の最外部領域はガスを多く含むが、恒星系としては未発達の状態にあると考えられます。

一般に NGC 4151 として公表されている写真 (図 10) は、図 9 で黒くつぶれている棒状領域です。この中には、球状をした直径約 5 kpc の内部領域と、そのまわりに渦状アームらしいものが見えます。この構造から NGC 4151 を Sb 型に分類しているのですが、棒状領域を Sb 型銀河の円盤領域とみなすことができないことは、以下の 2 つの事実より明らかです。まず第 1 に、ディヴィスが決定した回転軸は最外部領域の短軸方向、つまり、棒状領域の長軸方向と一致し、棒状領域が回転円盤とは考えられないことです (図 11)。第 2 は棒状領域内には星の吸収線が観測されず、紫外光で異常に明るいことです。これはシムキン (1975) の観測によるものですが、NGC 4151 の棒状領域が恒星系でないことを示すので

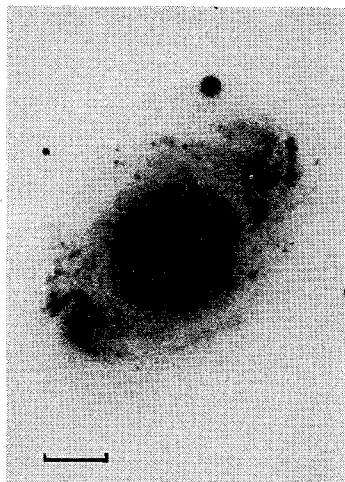


図 10 NGC 4151 の棒状領域内の構造。上が北で右が西。一見アームのように見えるが、Sb 型を特徴づけるアームではない。(G.R. Burbidge et al. (1963), Rev. Mod. Phys., 35, 947. より)。* 左下のスケールは 2 kpc.

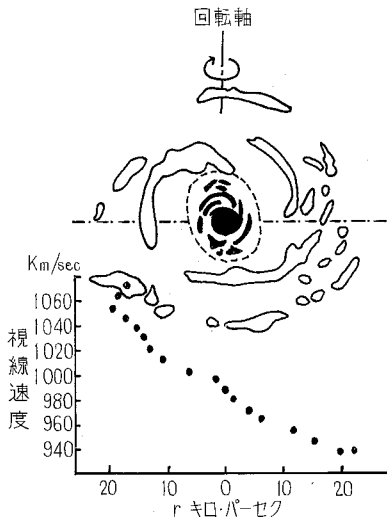


図 11 NGC 4151 の回転.

B. 内部領域と中心核領域

私達は 1970 年に岡山 74 インチ鏡で撮影した *UBVI* の 4 色の写真を使用して、内部領域の光度分布を測定しました。図 10 から分かるように、光度分布はほぼ完全な球対称をしています。図 12 には、横軸を $r^{1/4}$ にとって等級で表わした表面輝度 $\mu(r)$ をプロットしました。これより内部領域の表面輝度分布は、ヴォクールの提唱する「四分の一乗則」 $\mu(r) - \mu(0) \propto r^{1/4}$ に従うことが分ります。この法則は楕円銀河に特有なものです。渦巻銀河の中心領域も同様の法則で表現できることが知られていますが、NGC 4151 のような球対称のものは稀でしょう。NGC 4151 の内部領域は直径約 5 kpc の小型の E0 楕円銀河のように見えます。

NGC 4151 の中心核領域は、分光学的には大変はなやかですが、形態学的に興味を引く現象は多くありません。ウルリッヒ (1973) は、NGC 1068 のウォーカガスの雲に類似したガス雲を 4 個発見していますが、その規模

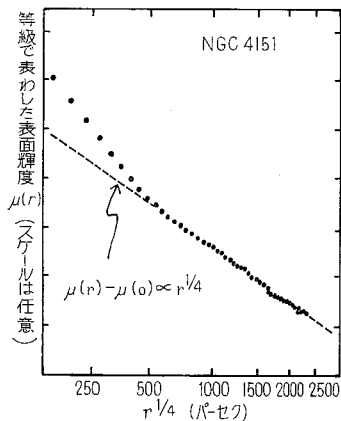


図 12 NGC 4151 の光度分布.

しょう。恐らくこの領域は、中心核活動によって極方向に放出されたガスを基にして作られた系であって、異常に青い連続スペクトルは中心核の光を散乱しているためだと考えることも十分可能です。

は NGC 1068 のものに比べ、はるかに小さいように見えます (図 13)。直径 200 pc の核領域から電波が輻射されていますが、問題にするほど強くありません。

NGC 4151 の中心核の分光学的性質は、発見されて 15 年たった現在

でも依然として謎に つつまれている準星と酷似しています。これらについては別の機会にお話したいと考えておりますので、ここでは、NGC 4151 の中心核の直径が 10 pc 以下で、銀河全体の数千分の

一以下であることを指摘するに止めます。

4. 考 察

以上の結果を、もう一度、簡単に振返ってみましょう。NGC 1068 と NGC 4151 には、ともに、多重構造が認められました。これに類似した構造は、ここでは触れることができなかったセイファート銀河の NGC 1566, 3227, 3516, 3783, 5548, 7469 にも存在します。例として図 14 に NGC 3783 の写真を示します。筆者にはこれらが銀河の年輪のように見えるのですが、いかがでしょうか。

外見上の類似性のほかに私達は、NGC 1068 と NGC 4151 とでは、多重構造の各領域にかなりの性格の違いがあることを見ました。NGC 1068 の最外部領域は恒星系と考えられるのに対して、NGC 4151 の場合はむしろガスが重要な役割を演じているように見えますし、NGC 1068 の主要円盤部は通常の意味で Sb/Sc 型の渦巻状領域ですが、NGC 4151 の棒状領域は、私達の判断が正しければ、ガスの無定形領域にすぎません。内部領域にも大きな違いが認められます。NGC 1068 のそれは多量のガスを内部に持つ直径 3 kpc のリング的アームによって特徴づけられますが、NGC 4151 では直径 5 kpc の E0 銀河のように見え、多量のガスの存在を示唆するような証拠は存在しません。中心核領域は、NGC 1068 では写真でも分かるように多量のガスを含み、かなり強力な電

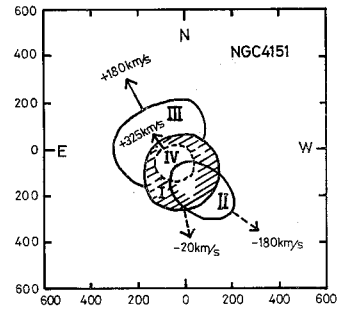


図 13 ウルリッヒのガス雲.

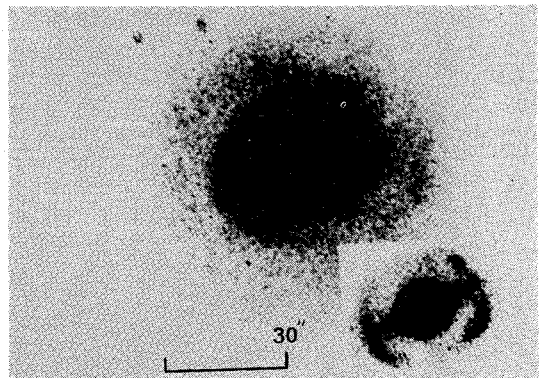


図 14 NGC 3783 の多重構造。右下は黒くつぶれている部分の構造。30''=9 kpc。(W. L. Martin (1974), M. N., 168, 109. より).

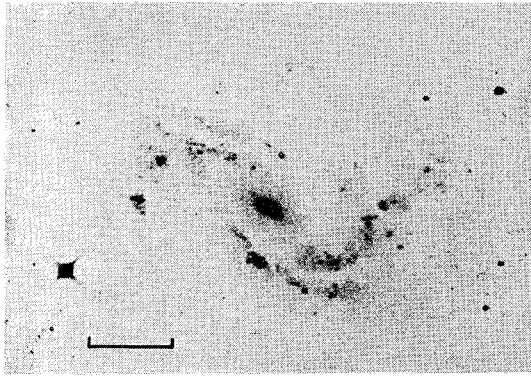


図 15 NGC 4051. これは典型的な N 銀河である。上が北で右が東。(E. M. Burbidge et al. (1959), Ap. J., 130, 26. より). * 左下のスケールは 4 kpc.

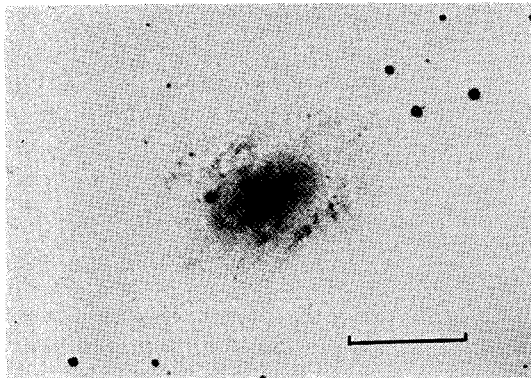


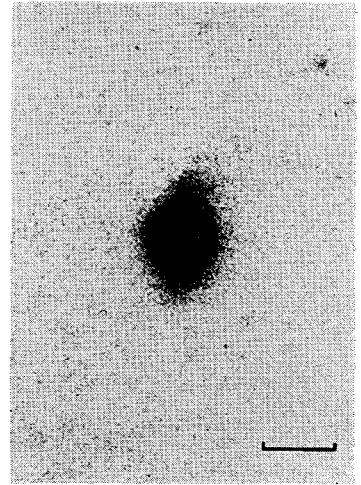
図 16 3C120. (H. Arp. (1975), Publ. ASP., 87, 545. より). * 右下のスケールは 50 kpc.

波を輻射していますが, NGC 4151 ではガスも電波もともに重要な意味を持ちません.

結局, NGC 1068 の特異な構造は, 中心核が放出したと推定される多量のガスによってもたらされたと考えられることができるでしょう. 主要円盤領域の青すぎる色と, アープの注目するコブは, NGC 1068 がガスを多く含むことを示していますし, アレン達 (1971) の電波観測でも太陽質量の 3 億倍の質量を持つ中性水素ガスが 150 km/sec の速度で膨張している可能性が示唆されています. 私達の発見した [OIII] ガス雲も同様です. 恐らく, 内部領域内のリングのアームは中心核が放出したガスによって作られたものでしょう.

NGC 4151 の基本的な領域は, ガスを多く含む恒星系としては未発達の大きな円盤領域と, 小型の楕円銀河的な中心領域です. これは正に N 銀河の定義そのものです. はじめにセイファート銀河の大半は N 銀河であると述べました. その典型的な例として図 15 に NGC 4051 の写真を示します. アープ (1975) はセイファート銀河

図 17 3C48. 図 16 の 3C120 と比較せよ. 上が北で右が西. (Ap. J., 144, 1238. より). * 右下のスケールは 50 kpc.



で強力な電波源の 3C120 も銀河と主張しています (図 16). この銀河は大変大きく直径は 100 kpc もあり

ますが, 中心核領域は 5 kpc 程度です. いくつかの準星には, 銀河を思わせるぼんやりした周辺部がみつかっています. 図 17 は準星の 3C48 で, 120×50 kpc の周辺部を持っています. 最近ワンプラー達 (1975) は 3C48 の周辺部の分光観測を行ない, [OIII] λ 5007, [Ne III] λ 3869, [OII] λ 3727 のスペクトル線を発見しましたが, 星の吸収線は見つかりませんでした. 点状源の直径は 10 kpc 以下ですから, 3C48 も 3C120 と同様, N 銀河的形態をしているのでしょう.

このように考えますと, モルガンの定義した N 銀河は, 銀河中心核の活動と密接な関連を持つと考えなければならなくなります. NGC 1068 の内部領域のリングのアームを除けば, この銀河も N 銀河として分類できるのではないのでしょうか.

最後に, 中心核活動と形態学的特異性との関連を考えてみましょう. 両者に密接な対応関係を認めるならば, (1) N 銀河的性質は, 中心核活動の結果としてつくられたものだ, (2) N 銀河的性質を持ったもののみが, 中心核活動を行ない得るのだ,

という 2 つの可能性が生じます. 前者が正しければ, すべての銀河が進化のある段階としてセイファートの現象を経験してもよいし, 限られた銀河のみがそれを経験すると考えてもよくなります. ところが, 後者が正しければ, 形成時に活動銀河となるよう運命づけられたのが N 銀河だと考えなければならなくなります. 銀河団の中心銀河には活動的なものが多いという事実は, 銀河核活動が先天的なものであることを暗示しているのではないのでしょうか. 筆者としては, 銀河核活動のタネを形成時にとりこんでしまうのだ, それが可能であった情況が形態に現われているのだ, と考えたいのですが, 読者はどの様にお考えでしょうか.