

早期型銀河の中心部ガス系

富田 晃彦

〈和歌山大学教育学部 〒640-8510 和歌山市栄谷 930〉

e-mail: atomita@center.wakayama-u.ac.jp

楕円銀河及び S0 銀河はガス欠と考えられていた。我々はハッブル宇宙望遠鏡のアーカイブからデータを取り寄せ、ガス系の有無やその性質について詳しく解析した。その結果、これらの銀河の約半数で中心部にガス系を持つことが分かった。またこのように見えているガス系は、銀河中心核活動とも強く関連していることも明らかになった。

1. 早期型銀河はのっぺらぼうか？

銀河形態分類のハッブルの図の左側、楕円銀河や S0 銀河は早期型銀河と呼ばれている。これらはガスのなくなった銀河だと考えられてきた。今はのっぺらぼうの写真が撮れるだけで、その点で均質な集合を作っている銀河であるという印象が永らく続いていた。しかし近年は、もっと多様なものであるという見方が出てきている。早期型銀河中心部にもガスの系がよく見られるということが確立されつつあるのである。銀河合体などで外部から得たであろうものも含め、ガス系が実際高い頻度で見えるのである。我々の研究グループは、ハッブル宇宙望遠鏡 (HST) のアーカイブ・データを用いて、この新しい見解の確立に貢献した¹⁾。以下にその概略を紹介しよう。

2. 黒船登場

早期型銀河がガスなしののっぺらぼうばかりでないことは、以前から知られていた (極端な例はケンタウルス座 A で知られる NGC 5128)。銀河の等輝度線が銀河中心部で歪んでいる例があること、力学的に運動状態の違う、輝線で見える系が内包されている例があることから、外部から降ってきて銀河中心部に降着しているガス系があることは示唆されていた。しかし何と言っても人々に強い印象

を与えたのは、ジャッフェらによる NGC 4261 の写真である²⁾。これは HST の WFPC という光学カメラによる、楕円銀河中心部の写真である。銀河中心部の降着ガス円盤が見事に写し出され、正に絵に描いたような美しい写真である。ガス系の中のダスト (固体微粒子; 塵) が背景となる星の光を吸収し、「黒い影」を作っているのである (船型でないで、黒船とは言い難いが)。この銀河は中心核活動とそれに伴うジェットが知られており、その電波ジェットの絵を重ねると、見事にこの円盤の垂直双方向になる。

中心部ガス系がこのように分かりやすく写し出されてきたのは、HST の高解像度の威力による所が大きい。この円盤直径 260 pc は、1.6 arcsec の角度に写っている。1 arcsec 程度のサイズのものでも十分内部構造が分解できる所が HST の特長である。ここでは 1 arcsec が 22 ピクセルに対応している。

3. 研究の狙い

早期型銀河には高い頻度で中心部ガス系が見つかるのではないだろうか。それは実際どのくらいの頻度なのだろうか。それらガス系の大きさや形態はどうなっているのだろうか。そして銀河中心核活動との関連はあるのだろうか。一つの例ではなく、数多くのサンプルを対象に統計的に研究することが必要である。データベース天文学の出番である。

HST は幸いデータ・アーカイブがよく整っている。

バン・ドックムとフランクス³⁾はこの点に注目し、HST アーカイブ・データの中から WFPC カメラで得られた早期型銀河の F555W バンド (V バンドに相当) 画像を集めた。その結果、NGC 4261 の場合に似たガス系が多く見つかり、集めたサンプルの 48% でガス系が認められることを示した。我々はこの研究を受け、以下の観点に重点を置いて追究することを目的とした。

- (A) バン・ドックムとフランクスの研究は、HST の光学収差補正前の WFPC カメラによるデータに基づいていた。中心部 1 arcsec という細かい構造も議論することから、収差補正後の WFPC2 カメラのデータを用いて改めて検討する必要がある。
- (B) バン・ドックムとフランクスの研究に限らず、ガス系はその中のダストによる、背景光の減光を手がかりに検出している例が多い。なめらかなモデル光度曲面をフィットして減光領域を割り出すのだが、銀河中心部は動径方向の光度曲線の傾きが非常に急で、この作業は容易ではない。一方、ダストがあれば減光に伴って赤化 (色超過) も起こる。したがって赤化量からダスト、そしてガスの存在と量を算出することもできる。光度と違い、色の場合は動径方向の勾配は緩やかであるため、フィットの残差をより正確に割り出すことができる。
- (C) 活動銀河中心核 (AGN) との関連を詳しく議論する。

HST WFPC2 のアーカイブ・データにはすでに 2 万の銀河画像がアーカイブされていた。まず以下の条件で 873 のフレームを取り寄せることにした。較正用のデータも含めると取り寄せたデータ・サイズは 22.6 GB になった。

- (a) NED で E (楕円) か S0 と形態分類された、NGC/IC カタログ記載の銀河。
- (b) 中心部 100 pc を十分分解するため (0.5 arcsec 以上で写す)、後退速度が 3000 km s^{-1} より小さいこと (ハッブル定数を $75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ とすると、

40 Mpc 相当)。

- (c) サンプル内での比較の都合上、局部銀河群銀河は距離が近過ぎるので除く。
- (d) 色超過を見るため、2 つのバンドで写っていることが必要。最も多い組み合わせが F555W バンド (V バンド相当) と F814W バンド (I バンド相当) であったので、この 2 バンドで銀河中心部が写っているものに限った。

銀河中心部が WFPC2 の PC チップに写っている条件などから、最終的に 25 銀河をサンプルに選び抜いた。

画像の処理は IRAF および STSDAS を用いて行なった。まず銀河中心部での V-I 色マップを作成した。この画像からガス系による「赤化の影」を注意して取り上げ、それ以外の領域で曲面をフィットして色超過マップを作成した。色超過マップで赤化の影をもう一度確認し、フィット前には見落としていたパターンが見つければまたフィットをやり直すなど、慎重にフィットを行なった。典型的な色超過は $\delta E(V-I) = 0.1 \text{ mag}$ 程度であった。0.03 mag 以上の色超過領域でガス系のサイズと形態を求めた。銀河系での吸収曲線とガス-ダスト比 100 を仮定して、赤化量の $E(V-I)$ から $E(B-V)$ への変換、そしてガスの柱密度の見積もりを行なった。最後に赤化している全領域にわたって柱密度を積分することで、ガス質量を求めた。

4. ガス系の存在頻度と特徴

サンプルの 25 銀河のうち 14 銀河、つまり 56% でガス系を認めることができ、バン・ドックムとフランクスの結論を確認することができた。バン・ドックムとフランクスのサンプルと重なっている銀河が 18 あった。バン・ドックムとフランク스가検出したガス系は全て我々の方でも検出でき、さらに我々は 2 銀河で新しくガス系を検出した。光学収差補正後のデータを用いたこと、減光でなく赤化でガス系を検出したことで、検出効率が上がったと考えている。約 50% というガス系検出頻度はか

表 1 早期型銀河のガス系の分類

形態	例	大きさ	質量[log M(solar)]
円盤型 (小型)	NGC 1439	100 pc スケール	4 – 6
円盤型 (大型)	NGC 4476	2 kpc 程度	7
不規則型	NGC 5813	100 pc – 1 kpc スケール	4 – 7

なり高いという印象であり、観測バイアスがかかっていないかより慎重に考える必要がある。ガス系の検出頻度は銀河までの距離による違いがなかったので、この点でのバイアスはない。集めたデータの銀河は完全サンプルを作るものではない。アーカイブ・データから得た結論はその点を注意する必要がある。力学的に多重のものとして知られているものが多く含まれていたが、そうであるものとそうでないものどちらでもガス系検出頻度到大差はなかった。なお、早期型銀河の約半数でガス系が見られることは、我々の研究の後にレストらによって補強されている⁴⁾。

検出されたガス系は、形態から円盤型と不規則型に大別できた。円盤型は 100 pc スケールの小型のものと 2 kpc 程度の大型のものにはっきりと分かれるようである。大きさや質量も含め、ガス系の分類を表 1 にまとめた。色超過で見たガス系の写真例を図 1 に示した。古典である NGC 4261 は我々

のサンプルに入らなかったが、これは小型の円盤型の部類に属することになる。

5. 銀河中心核活動との関連

ホーらは光学的に活動銀河中心核 (AGN) の探査及び分類を進めた⁵⁾。我々はこのうち、セイファート、ライナー、ライナーと HII 核の中間と分類されたものを AGN ありのグループ、その他を AGN なしのグループと大別した。我々のサンプル銀河 25 のうち 20 銀河でホーらの探査があった。そしてこの 20 銀河では、ガス系と AGN 存在に強い相関が見つかった (表 2 参照)。ガス系の見つからなかったものには AGN がなく、AGN を持つものは必ず HST WFPC2 に写るガス系があるのである。AGN は pc のスケールより細かい領域での、超巨大ブラックホールへの質量降着が原因と言われている。HST をもってしても超巨大ブラックホール直近の流入ガスは見えていない (本殿にはまだまだ遠い)。HST

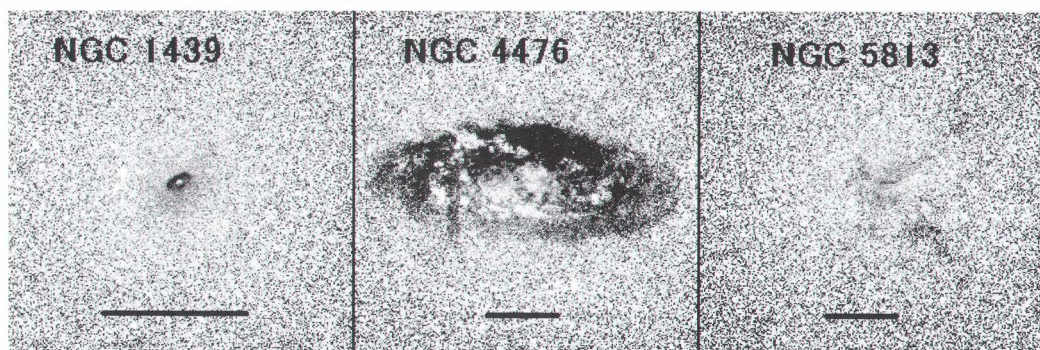


図 1 我々の画像解析によるガス系の例。NGC 1439 は小型の円盤型、NGC 4476 は大型の円盤型、NGC 5813 は不規則型の例である。V-I カラーでの色超過を示しており、白が色超過なし、黒が色超過 0.2 mag に相当させてある。図中の下の線分の長さは 5 arcsec の角度を示している。

表2 ガス系と中心核活動との相関

ガス系	AGN あり	AGN なし
なし	0	9
あり	5	6
円盤型 (小型)	1	3
円盤型 (大型)	0	1
不規則型	4	2

で見えているのは 100 pc 以上のスケールのガス系であり、この強い相関は驚きであった。なお、ガス系の質量と AGN の有無には相関がなかった。並行して注目すべきことは、力学的に落ち着いたものと見られる円盤型のものでなく、不規則型の形態のものに AGN 活動がよく見られるということである。不規則型形態のガス系では、銀河中心へのガス落下（直接には見えていない）が効果的に起こっていることを示唆している。

またサンプル 25 銀河のうち 6 銀河では 4.85 MHz の電波連続波で受かっている。これらは全てガス系ありの銀河である。またうち 5 つは不規則型のものである。この電波連続波が AGN 活動に関係していると考え、上記結果と合致する。なお、古典の NGC 4261 の場合は円盤型のガス系であった。AGN 活動との関連から考えると、これはよくある例ではなかったものであると言える。

6. まとめ

・早期型銀河中心部には、約 50% の確率で HST WFPC2 に写るガス系がある。

・サイズは 100 pc から 1 kpc スケール、質量は太陽質量の 10^4 から 10^7 倍。形態は円盤型のものと不規則型のものに大別できる。

・このガス系が見えないと、AGN 活動は出ていない。

・ガス系の形態が円盤型でなく不規則型なら、50% 以上の確率で AGN 活動が出ている。質量には依らない。

この研究は青木賢太郎（国立天文台ハワイ観測所）、渡邊 大（宇宙開発事業団）、高田唯史（国立天文台ハワイ観測所）、市川伸一（国立天文台天文学データ解析計算センター）の各氏との共同で行ないました（所属は現在のもの）。データ解析には天文学データ解析計算センターの共同利用計算機を利用しました。計算センターの皆様に感謝致します。

参考文献

- 1) Tomita A., Aoki K., Watanabe M., Takata T., Ichikawa S., 2000, AJ 120, 123
- 2) Jaffe W., Ford H.C., Ferrarese L., van den Bosch F., O'Connell R.W., 1993, Nature, 364, 213
- 3) van Dokkum P.G., Franx M., 1995, AJ 110, 2027
- 4) Rest A., van den Bosch F.C., Jaffe W., Tran H., Tsvetanov Z., Ford H.C., Davies J., Schafer J., 2001, AJ 121, 2431
- 5) Ho L.C., Filippenko A.V., Sargent W.L.W., 1997, ApJS 112, 315

Central Gas Systems in Early-Type Galaxies

Akihiko TOMITA

Wakayama University

Abstract: Elliptical and S0 galaxies, early-type galaxies, have been considered to be gas-poor systems. We collected data from the Hubble Space Telescope archive, and analyzed the frequency and the properties of gas systems in these galaxies in detail. We found that about a half of the early-type galaxies possess the central gas system. We also showed that the nuclear activity is tightly related to the existence of the gas system.