

# 表面測光から分かる銀河の統計的性質

渡 辺 正 明\*

## 1. はじめに

銀河構造を調べる手法に、表面測光がある。写真乾板や CCD 素子を使って、銀河の画像データを取得し、銀河の中の星の分布を直接求める方法である。

東京天文台木曾観測所の 105 cm シュミット望遠鏡による、261 個の銀河の表面測光の概要については、すでに天文月報 1983 年 10 月号で紹介した。今回は、そのときのデータを解析して分かった銀河の統計的性質について、報告したいと思う。

## 2. 銀河構造の多様性

銀河には、楕円銀河から渦巻き銀河まで、さまざまな形態がある。また、分光観測や電波観測などの新しい観測手法により、銀河を構成する物質の種類や銀河の力学的性質も分かってきた。これら多くの情報から、銀河という天体の構造や性質を一望のもとに把握するには、銀河の多様性の裏には一体何個の独立な決定要因が潜んでいるのかを知らねばならない。例えば、すべての銀河が相似な形をしていれば、大きささえ測れば質量や明るさも決まってしまうので、決定要因は 1 個だと言える。しかし、ひらべたい銀河や丸い銀河があれば、決定要因は 2 個以上必要になる。

このようなことを調べるための有力な方法に、主成分解析と言う数学的手法がある。ここでは、詳しい内容には立ち入らないことにするが、この方法によれば、多数の対象について多数の観測量があった場合、主成分（独立な要因）が何個あって、主成分とそれぞれの観測量との間にどのような関係があるかが、たちどころに分かってしまう。

銀河のさまざまな観測量に対する主成分解析は、今までも何人かの研究者により行なわれており、銀河の多様性は 2 個の独立量で記述出来ることが明らかになっている。

私たちのデータは測光観測だけではあるが、261 個と数が多く（従来の解析では、数十個）、また距離の分かっている銀河団中の銀河なので、距離の決定誤差の影響も少ないと言う利点もある。そこで、4 個の測光パラメータ（直径、全光度、平均表面輝度、平均中心集中度）に対して主成分解析を行ない、今までの結果と比べてみ

た。すると、従来通り主成分は 2 個で、主に大きさと密度が変わることにより、銀河の多様性が生じていることが分かった。また、2 個の主成分とさまざまな観測量との関係も、今までの結果と一致することが分かった。

従来の解析では、測光量だけではなく銀河を構成する物質の種類や力学量も含めていたことを考えると、今回の結果は、測光量だけで、銀河を構成する物質の性質や力学的性質までも表現できる可能性があることを示唆している。

## 3. 銀河のバルジとディスク

これまでの話は、銀河の直径や光度など全体としての性質に基づいていたが、銀河の多様性が 2 要因であることの意味を見極めるため、銀河構造を成分分離して、各成分の統計的性質を調べることにした。

銀河には、バルジと呼ばれる球状に星が分布した成分と、ディスクと呼ばれる円盤状の成分があることが知られている。この他にもバーやリング、レンズなどの成分もあるが、これらは 2 次的にできたもので、銀河形成時にできた基本成分は、バルジとディスクであると考えられる。

銀河のバルジの光度分布は、図 1 に示すように横軸に半径の  $1/4$  乗をとると直線に近くなることが知られている。一方、ディスクの光度分布は、横軸に半径そのものをとったときに直線に近くなる。このような光度分布は、中心の明るさと直線の傾きの、2 つの構造パラメータで表わすことができる。

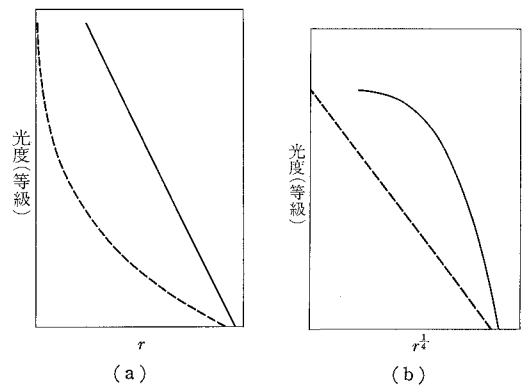


図 2 銀河の光度分布。(a)は横軸に半径そのものを、(b)は半径の  $1/4$  乗をとってある。ディスク(実線)は(a)で直線になり、バルジ(破線)は(b)で直線になる。

\* 東京天文台 Masaaki Watanabe: Statistical Properties of Galaxies

観測された銀河の光度分布から、バルジとディスクの構造パラメータを決める方法にも何通りかある。私たちは、あらかじめ色々な組み合わせで光度分布を計算しておき、これから算出される測光パラメータ（直径、表面輝度、中心集中度）が観測値に近いものを選ぶと言う方法をとった。このようにすると、バルジとディスクの明るさが接近していて、見かけ上分離の難しいような場合でも、構造パラメータを決めることが出来る。

261 個の銀河のうち、横向きで内部吸収の影響が大きい恐れのあるものを除いた、残り 167 個について成分分離を行なった。図 2 に成分分離の例を示す。167 個のうち 13 個はディスク 1 成分で良く表わされたが、楕円銀河も含めて残りはすべて 2 成分になった。楕円銀河の構造は、球状の単一成分だと考えられてきたが、ディスク的な光度分布に従う成分も加えた方が良く表わせるようである。但し、この場合のディスク的成分は、見かけの光度分布がディスク的であるだけで、立体構造としては球状の広がりを持っているものと思われる。

#### 4. 銀河の多様性の本質

成分分離によって決定された、バルジとディスクの構造パラメータの分布は図 3 のようになった。

バルジの分布を見ると、ややひらべったいが広い分布をしており、銀河の形態により分布の範囲が違うことも分かる。楕円銀河のバルジ（球状成分）は、全体の分布のうち大きさが大きく中心の輝度が明るい側の細長い範囲に分布している。S0 銀河は楕円銀河と重複しつつ暗い方向へ広がり、渦状銀河になると更に暗くなるが、大きさは小さくはならずむしろ大きくなる。但し、大きくなると言っても、中心の輝度は暗くなるので、実際に見える大きさはむしろ小さくなる。一方のディスクの方は、バルジに比べると狭い範囲に集中しており、形態による差もあまりない。

バルジとディスクの分布の広さの違いは、ディスクの場合には大きなものと小さなものとの比が 10 倍程度であるのに対し、バルジでは 100 倍にもなっている。従って、バルジの多様性に比べれば、ディスクはどの銀河でも同じ構造だと見なすこともでき、銀河の多様性のほとんどは、バルジが担っていると言えるであろう。銀河形成時には、原始銀河雲が収縮して、初めに球状のバルジが出来、少し遅れてディスクが出来たと思われるので、銀河形成のごく初期にそれぞれの銀河の大まかな構造が決定されたことになる。

バルジの構造には広い多様性がある反面、図 3 で分かる通りやや細長い分布をしている。楕円銀河よりも高密度のバルジはないし、逆にあまり低密度のバルジもないようである。なぜこのような分布になり、また広い多様

性を持つバルジの中で、なぜあまり個性のないディスクが作られたかを解明するのは、今後の課題であろう。

#### 5. 測光量と力学量との関連

主成分解析の結果から、測光量と力学量との間に関連があることが示唆されていた。そこで、今までに知られている銀河の力学的な性質を測光量によって解釈してみることにした。

銀河の力学的性質としては、渦状銀河の光度対水素ガスの回転速度の関係（Tully-Fisher 関係）と楕円銀河の光度対中心部の速度分散の関係（Faber-Jackson 関係）がある。いずれの場合も、光度の大きいものほど速度が大きいことが知られており、Tully-Fisher 関係は、銀河の距離決定に威力を発揮している。

測光量と回転速度や速度分散との関係は単純には表わせないが、銀河の大きさとその中に含まれる総質量が決まれば、その銀河が力学的に安定になるための、典型的な内部運動の速度が決まる。銀河内の星の速度がこの速度よりも速いと銀河は分解し、遅いとつぶれてしまう。測光量からは大きさと光度は分かるので、質量対光度の関係が分かれば、測光量と速度を結び付けることが出来るはずである。一方、主成分解析から測光量と力学量との関連が示唆されているから、質量対光度の関係も比較的単純なものであると予測される。

私たちは、まず質量対光度の比がすべての銀河で一定であると仮定したうえで、典型的な内部運動の速度を算出し、これを測光的速度パラメータと名づけた。測光的速度パラメータと光度の関係は図 4 のようになり、実際の速度での場合と同様な関係が得られた。

実際の速度での光度対速度の関係と、測光量による光度対速度の関係の食い違いから、銀河の質量対光度比に関する情報が得られる。観測誤差はないものとして、各銀河について質量対光度の比を計算し、光度との関係を見ると図 5 のようになる。渦状銀河も楕円銀河も、質量対光度の比は同じ程度の広がり分布するが、楕円銀河の場合明るい銀河の方が光度のわりに質量が大きい傾向がある。渦状銀河の場合はそのような傾向は見られない。

このような、質量対光度比の形態による振舞の違いも、結局はバルジの構造パラメータの、形態による分布の違いに帰着されるであろう。なぜバルジの構造が違っていると質量対光度比の振舞が変わるかということも、今後解明すべき課題である。

#### 6. まとめ

今までに述べたように、銀河の構造の統計的な性質を調べた結果、形態から力学的性質まで銀河の多様性のほ

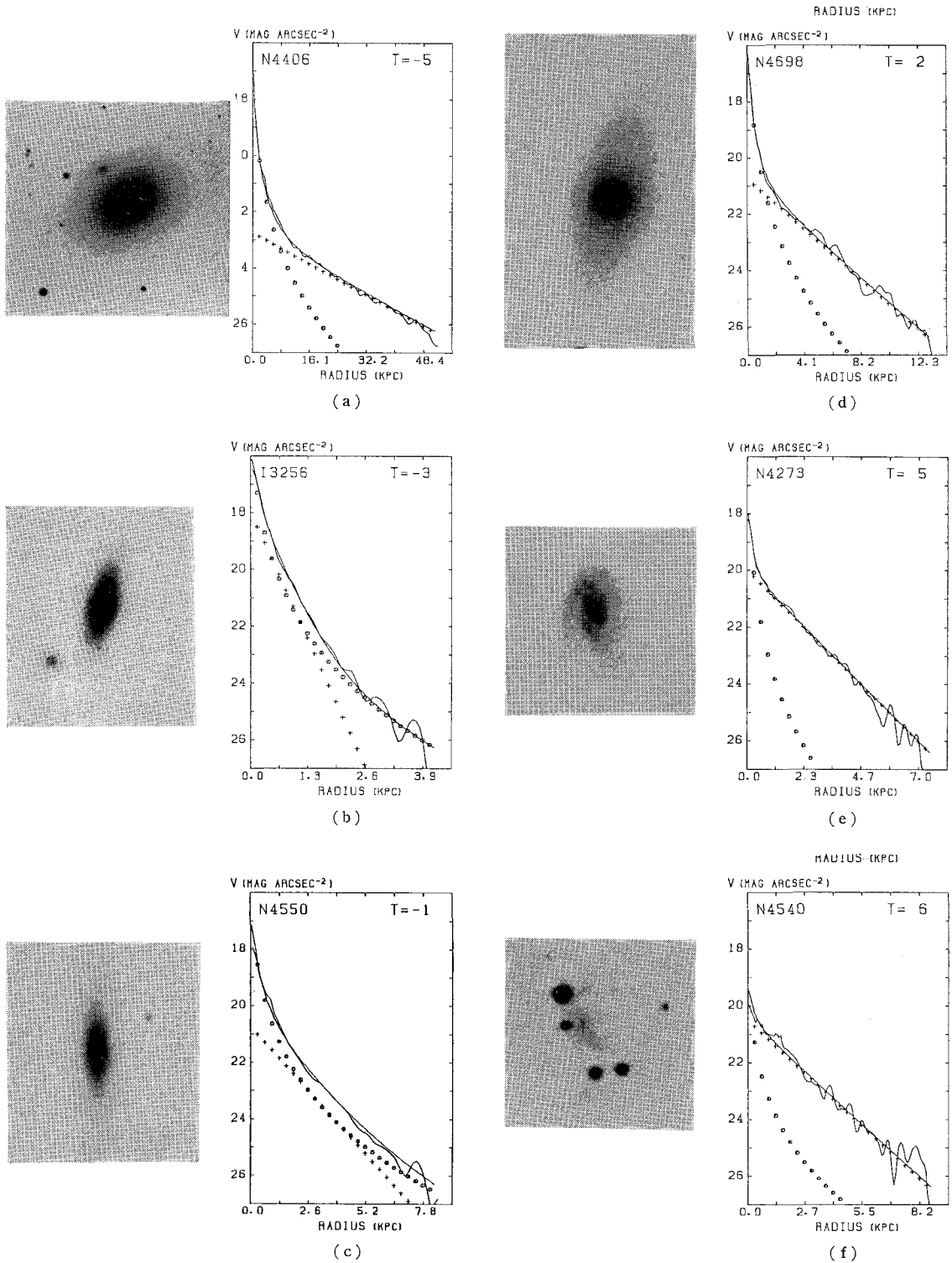


図 2 銀河の成分分離例。(a) NGC 4406: 楕円銀河の一例。多くの楕円銀河は、このようにバルジとディスクの2成分で良く表わされる。(b) IC 3256: ディスクが銀河の中心部でバルジに埋もれている。(c) NGC 4550: バルジとディスクの光度が接近している例。(d) NGC 4698: バルジがやや強い場合。(e) NGC 4273: ディスクがやや強い場合。(f) NGC 4540: バルジが、きわめて弱い場合。

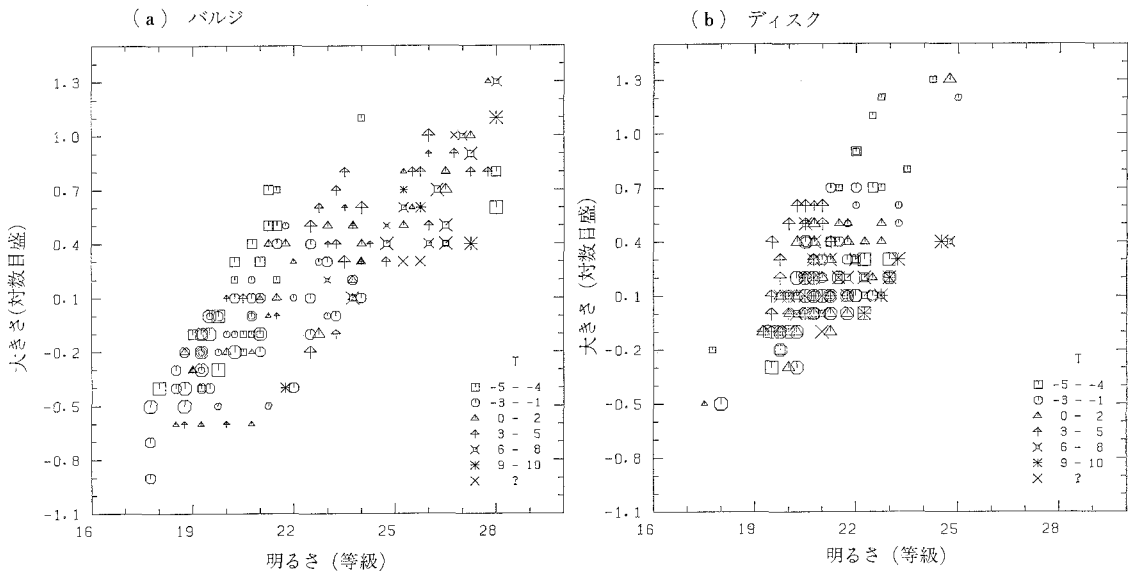


図 3 バルジとディスクの構造パラメーター分布. 形態によりシンボルを変えてある ( $T=-5$  が楕円銀河,  $T=0\sim 8$  が渦状銀河). また, 構造が精度良く決まるものほど, シンボルを大きくしてある.

とんどを, 銀河形成の初期に出来た球状成分である, バルジが担っていることが明らかになった. 一方では, バルジに比べればディスク成分は個性が乏しいことも明らかになった. このような事実は, 銀河の形成と進化を考える上での, 重要な情報を提供しているものと思われる. 今後も更に観測を行ない新たな情報を得ていく必要がある, 私たちのグループでも, 約 1000 個の近距離銀河の観測を行ない, 銀河の密集度による構造の違いを明らかにする計画を進めている.

銀河と言うと, きれいな渦巻き構造が目につきやすいが, 銀河の形成過程を解明していくためには, バルジ成分や楕円銀河の方に, もっと目を向けていかなければならないようである.

参考文献

Watanabe, M., Kodaira, K., and Okamura, S. 1985, Ap. J., 292, 72.  
 Kadaira, K., Watanabe, and Okamura, S. 1986, Ap. J. Suppl., 62, (印刷中).

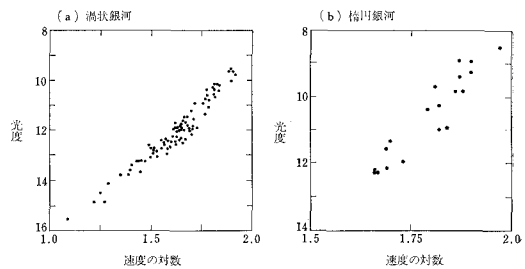


図 4 光度と測光的速度パラメーターの関係

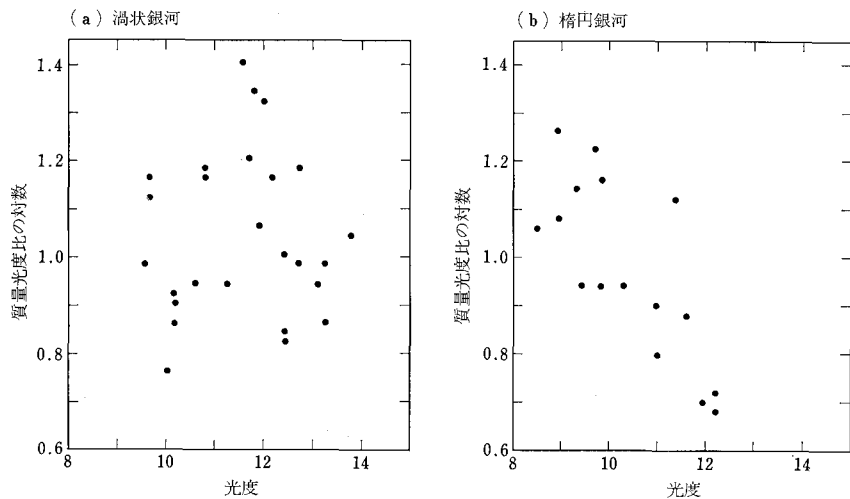


図 5 質量対光度比と光度の関係