

## 261 個の銀河の表面測光

渡 辺 正 明\*

### 1. はじめに

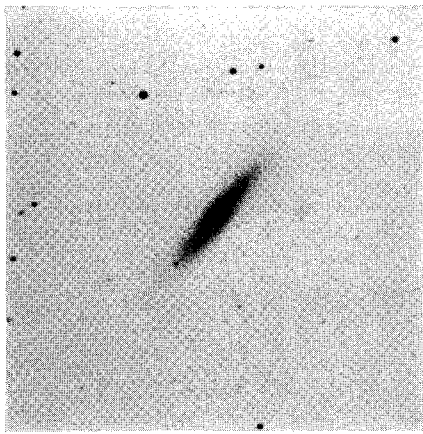
銀河とは、およそ 1000 億個の恒星と、ガスとダストから成る巨大な天体である。銀河の誕生と進化の有り様を明らかにする事は、現在の天文学の主な目的の一つであろう。

銀河研究の方法には様々な手法があるが、まずその構造を明らかにするのが基本である事は言うまでもない。銀河の中で、どのような星がどのように分布しているのだろうか。こうした銀河の構造を調べる手法の一つが表面測光である。銀河を写真乾板で撮影し、一連の画像処理を経て、見かけの光度分布を定量的に求める。銀河内

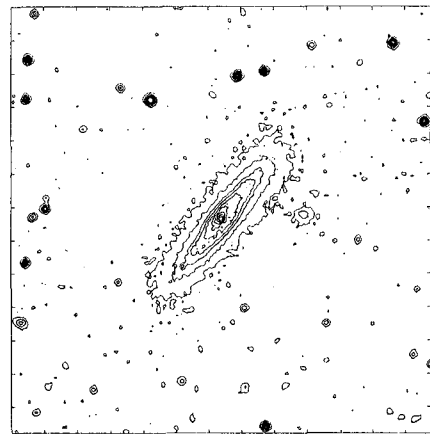
の光の吸収を無視すれば、この見かけの光度は、視線上に並んでいる星の数を表わすので、銀河の構造が定量的に表現される事になる。

多くの銀河の表面測光を行ない、構造を定量的に表わせば、今まで見かけの形態により人間の目で分類していたものが、定量的に分類されるようになる。そして、銀河の構造の一般的性質や多様性が明らかになれば、銀河の誕生の様子を解明するための有力な手がかりが得られるはずである。

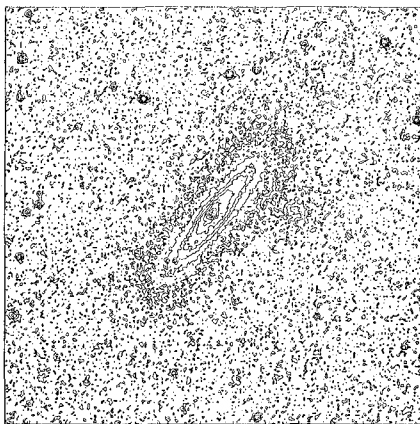
多数の銀河を同時に撮影できるという、シュミット望遠鏡の特性を利用し、多くの銀河の表面測光を行なおう



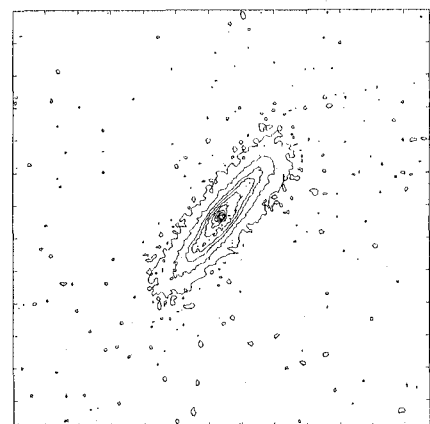
(a)



(c)



(b)



(d)

図 1 表面測光の画像処理: NGC4313 の場合.

\* 東京天文台 Masaaki Watanabe: Surface Photometry of 261 Galaxies

とするプロジェクトが、東大の銀河グループにより始められたのは、今から5年ほど前の事であった。そして、現在までに261個の銀河の表面測光が行なわれた。ここでは、表面測光の手法と我々の解析方法について解説し、主な成果を紹介したいと思う。

2. 銀河の表面測光

我々がほしいデータは、銀河の見かけの光度分布であるが、銀河を撮影すると、目的とする銀河の他に、我々の銀河系の星々や、遠方の銀河も重なって写ってしまう。また、主に地球大気発光による夜天光も一様に写ってしまう。従ってこれらを順次分離して行かねばならない。

まず、写真乾板(図1a)に写った銀河の像を黒みのデータ(濃度を表わす、縦横に並んだ10万~100万個の数字)として測定する。そして、乾板の特性曲線を用いて、黒みを光量に直す。こうして得られた画像データは、上に述べたものすべてからの光を含んでいる。そこでまず、一様な夜天光を差し引くが、これは、目的の銀河のまわりの空の部分で決定する。この時、近似式として傾いた平面を使う。夜天光を差し引いた段階での光度分布を等光度線として表わしたのが、図1bである。このままでは、銀河が乾板の粒状性の雑音に埋もれているので平滑化を行なう。これは、ある点のデータをその周辺の平均で置き換えて行く操作である。平滑化を行なうと図1cのようになる。そして、最後に前景の星や背景の銀河の像を取り去ったのが図1dで、これは目的とする銀河だけの光度分布になっている。

実際には、東京天文台木曾観測所の105cmシュミット望遠鏡で、おとめ座とおおぐま座の銀河団を観測した。そして、得られた多数の乾板の中から、可視光(V band)で撮影した良質なものを8枚を選び、この中に写っている261個の銀河を、東京天文台のPDSマイクロデンシトメーターで測定した。表面測光のデータ処理は東京大学の大型計算機で行ない、最終的な256×256点から成る二次元画像データは磁気テープに収められている。

3. 銀河の傾きによらない光度分布

銀河の構造を調べる場合、星の分布が立体的に明らかになるのが望ましいが、観測から得られるのは、天球上に投影された二次元の光度分布である。たいていの銀河は扁平な形をしていて回転していると考えられるので、この回転軸の視線に対する傾きにより、図2に示すように見え方が変わってくる。横向き(図2d)の場合は回転円盤に垂直な方向の構造が良くわかる。逆に正面向き(図2f)の場合は回転円盤内の物質分布の様子が良くわかる。これに対し、中間の場合(図2e)は両方の構造が混然となってしまうが、実際にはこの場合が最も多い。

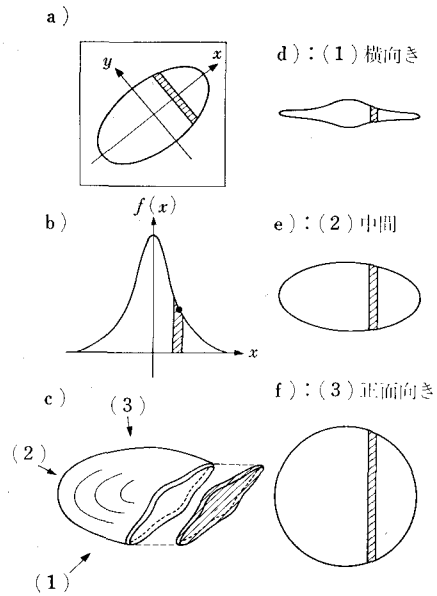


図2  $f(x)$  の定義と銀河の見え方.

我々は、多くの銀河を同じ基準で比較するために、銀河の見かけの傾きによらない光度分布関数として、射影光度分布  $f(x)$  を導入した。これは、図2に示すように、銀河の表面輝度(単位面積当りから出る光量)を、見かけの長軸上に積算する事により定義される。図2で、斜線部分がすべて対応している事に注目していただきたい。図2bで黒丸で表わされる値は、銀河の内部吸収がなければ、見かけの傾きにかかわらず、図2cの斜線部分で示される銀河の切片から出てくる全光量になっている。

射影光度分布が求まると、銀河が回転対称な形状をしているという仮定のもとで、銀河を正面から見た場合の半径方向光度分布  $\alpha(r)$  へ変換する事ができる。これは、 $f(x)$  を  $x$  の正負で平均したものの1/2(図3a)を図3bの対応する矩形に分配する問題である。この時、図3cで円によって区切られた、各環状帯内の表面輝度は一定であると言う条件が付く。 $f(x)$  の一番外側の値は図3dの斜線部分からの光であるから、 $f(x_{10})$  をこの面積  $S_{10}$  で割れば、一番外側の環状帯の表面輝度  $\alpha(r_{10})$  が求まる。これがわかれば、一番外側の環状帯(図3e)の  $f(x)$  への寄与(図3f)がわかりこれを  $f(x)$  から差し引くと図3gのようになる。新しい関数の一番外側の値は、図3hの斜線部分からの光であり、同様の事を繰り返していけば、半径方向光度分布  $\alpha(r)$  が求まるわけである。

4. 銀河を特徴付ける諸量

観測されたすべての銀河について、 $\alpha(r)$  が求まると、見かけの傾きにかかわらず、同じ基準での諸量が求められる。まず、銀河を正面から見た時の直径、全光度があ

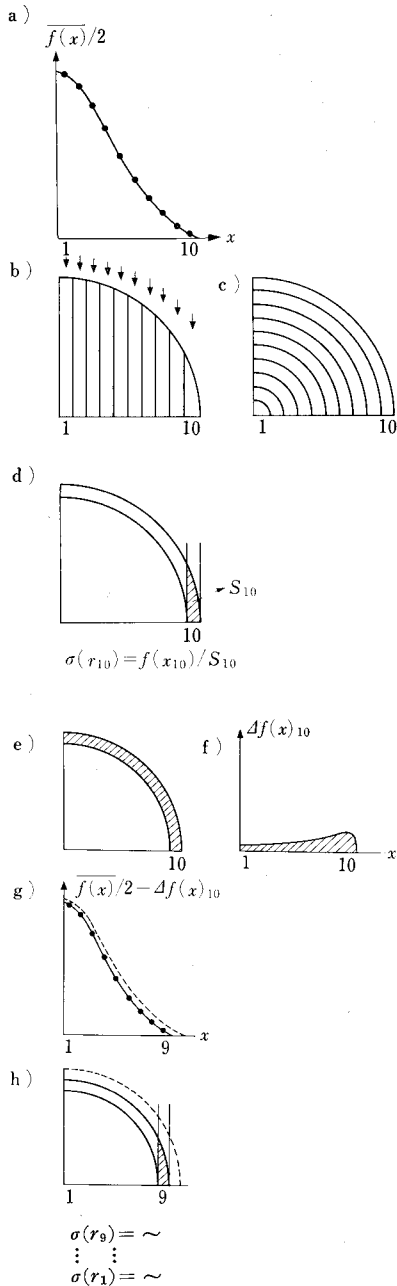


図3 半径方向光度分布への変換。簡単のため10点の場合を示すが、実際には128点で計算する。

り、この2つの量から、平均表面輝度も求まる。これらは、観測精度の限界である1平方秒当り26等級の半径までの所で算出する。また、構造を最も簡単に表わす量として、平均中心集中度も求める事ができる。これは、全直径の2分の1や4分の1などの直径内の光度の、全光度に対する割合を求め、いろいろな直径について平均した量である。平均中心集中度は、図4に示すように形

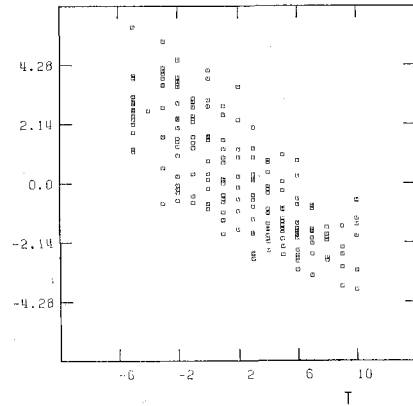


図4 形態指数(T)と平均中心集中度の関係。Tは、Second Reference Catalogue of Bright Galaxiesによる。

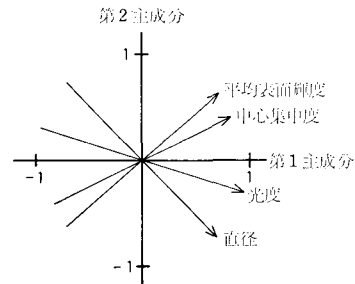


図5 2個の主成分と4個の観測量の関係。

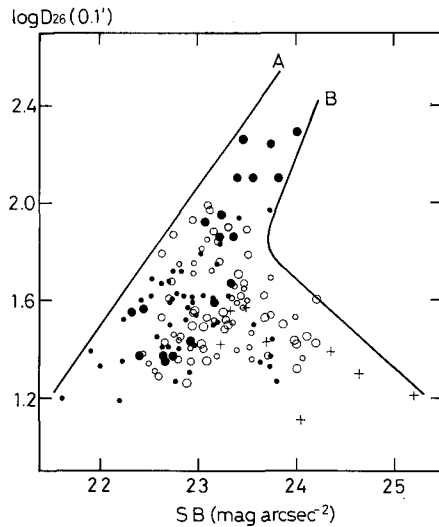
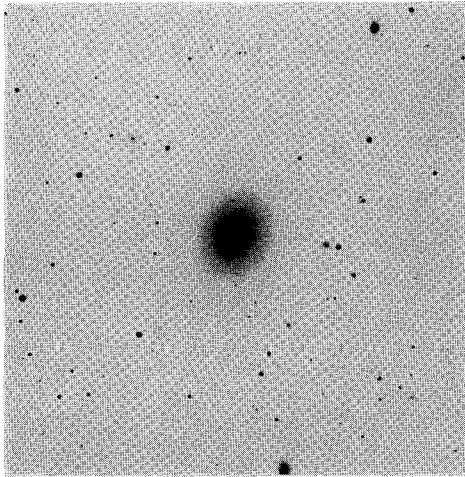


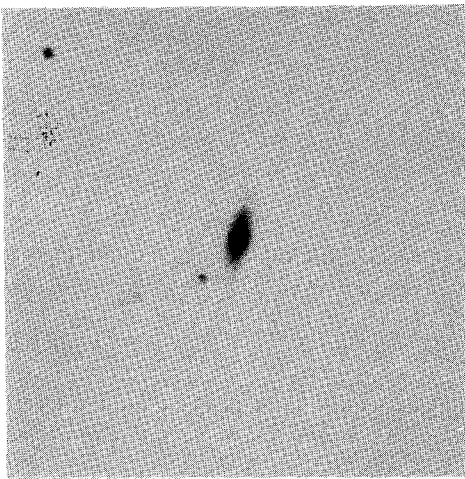
図6 銀河の直径対表面輝度図。大きな黒丸は楕円銀河、小さな黒丸はS0銀河、十字は不規則銀河、白丸は渦状銀河で大きいほど晩期型。

態分類と良い相関がある。

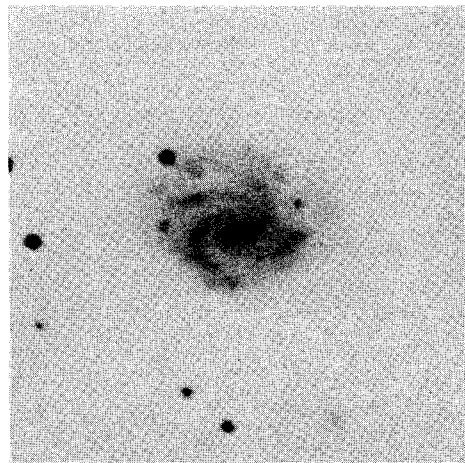
おとめ座とおおぐま座の銀河団は、ほぼ同じ距離にある事がわかっているので、直径や光度はそのまま比較する事ができる。表面輝度と中心集中度は、距離によらな



(a) 巨大楕円銀河 NGC4472 ( $\log D=2.26, SB=23.46$ )



(b) 密小銀河 IC3256 ( $\log D=1.20, SB=21.61$ )



(c) 中間銀河 NGC4189 ( $\log D=1.49, SB=23.06$ )

図 7 代表的な銀河.

い量である.

### 5. 銀河の定量分類

銀河を定量的に分類しようとする場合, なるべく少数の変量で表現できる事が望ましい. そこで, 直径, 光度, 表面輝度, 中心集中度の 4 個の観測量の間の関係を, 主成分解析という方法で調べてみると, 独立な変量 (主成分) は 2 個で, これによって 4 個の観測量がある程度まで記述できる事がわかる. この事は, 4 個の観測量で表わされる四次元空間内で, 銀河が二次元的に分布している事を示している. 図 5 は, 2 つの主成分と 4 個の観測量の, 変動する方向の関係を示したものである. 2 つの矢印が平行に近いほど関連があり, 逆に垂直に近いと独立である事を示している.

図 5 によれば, 銀河の一般的性質として, 光度の明るいものほど, 直径が大きく, 中心集中が強く, 表面輝度が明るい事がわかる. 一方, 直径と表面輝度は, 独立に変化している事もわかる.

2 つの主成分で, 銀河を分類する事もできるが, 主成分は意味が明解ではないので, もう一つの独立な変量の組である, 直径と表面輝度によって分類した方がわかりやすい. 表面輝度 ( $SB$ ) と直径の対数 ( $\log D$ ) で作られる平面に, 観測された銀河を分布させると, 図 6 のようになる. ここでは, 参考のため形態により記号を変え, また内部吸収の影響が考えられる, 横向きに近い渦状銀河は除いてある.

### 6. 銀河誕生の謎

図 6 を見てわかるのは, 銀河の分布が, 特定の領域に限られている事である. 下側の境界は, 直径が小さい事による観測限界であるが, A, B で示した, あと 2 つの境界は意味のある分布限界である.

楕円銀河 (大きな黒丸) は, 限界 A に沿って並んでいる. 一方, 渦状銀河 (白丸) と不規則銀河 (十字) は, これに垂直な方向に分布している. 渦状銀河の分布している方向は, 銀河の光度分布の形は変えずに, 全体的に表面輝度を変化させた時に変動する方向である. 限界 A の存在は, 銀河の表面輝度, 言い換えれば密度に飽和限界があるらしい事を示している. 図 6 で上の方にある 6 個の巨大楕円銀河は, 渦状銀河の分布の終端から大きくはずれており, これらの銀河のでき方は, 他の銀河と異なるらしい事を物語っている.

このように, 261 個の銀河の表面測光により, 銀河の飽和限界の存在や巨大楕円銀河の特殊性など, 銀河の誕生にまつわる新たな謎が, 浮き彫りになってきたと言える. 今後, これらの謎を解いて行く事により, 銀河の誕生と進化の有り様が明らかになる事が期待される.