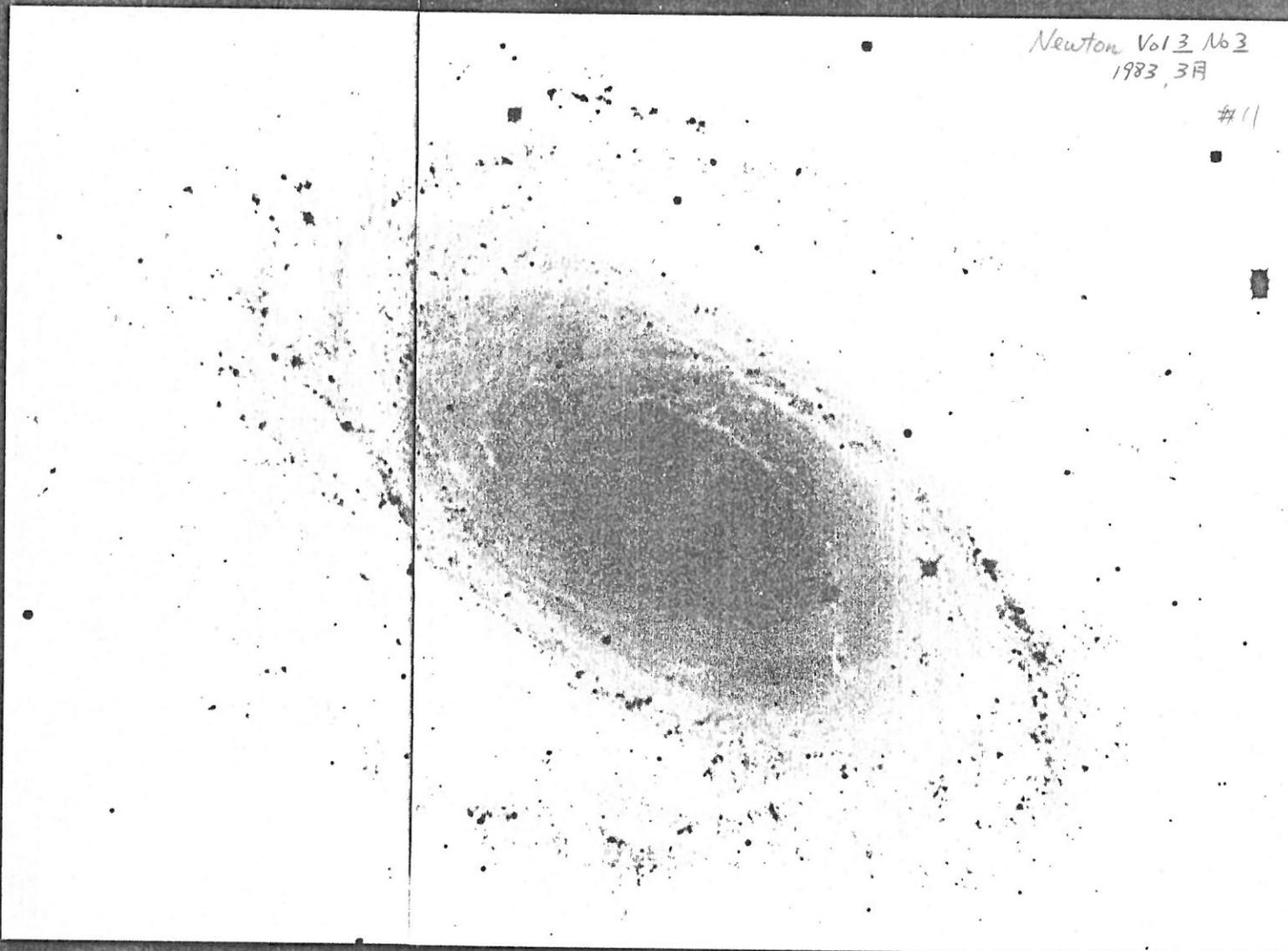


Newton Vol 3 No 3
1983, 3月

#11



星の集団による 銀河 壮大な造形

おびただしい星の集まりである銀河は、肉眼で見える
天の川やアンドロメダ大星雲のほかにも
ほとんど無数というてよいほどに存在している。
それらは、棒状銀河、渦巻銀河、不規則銀河などに
分類され、それぞれが過去の歴史をその姿にきざんでいる。

いつも静かで美しく見える銀河の世界にも実はさまざまな事件がおこっているようだ。
最近の天文学は銀河の表情を読みとって、これらの事件の真相をつぎつぎに明らかにしている。
宇宙の構造や進化のなぞの解明につながる星たちの壮大な造形——銀河、
その姿をみていくことにしよう。

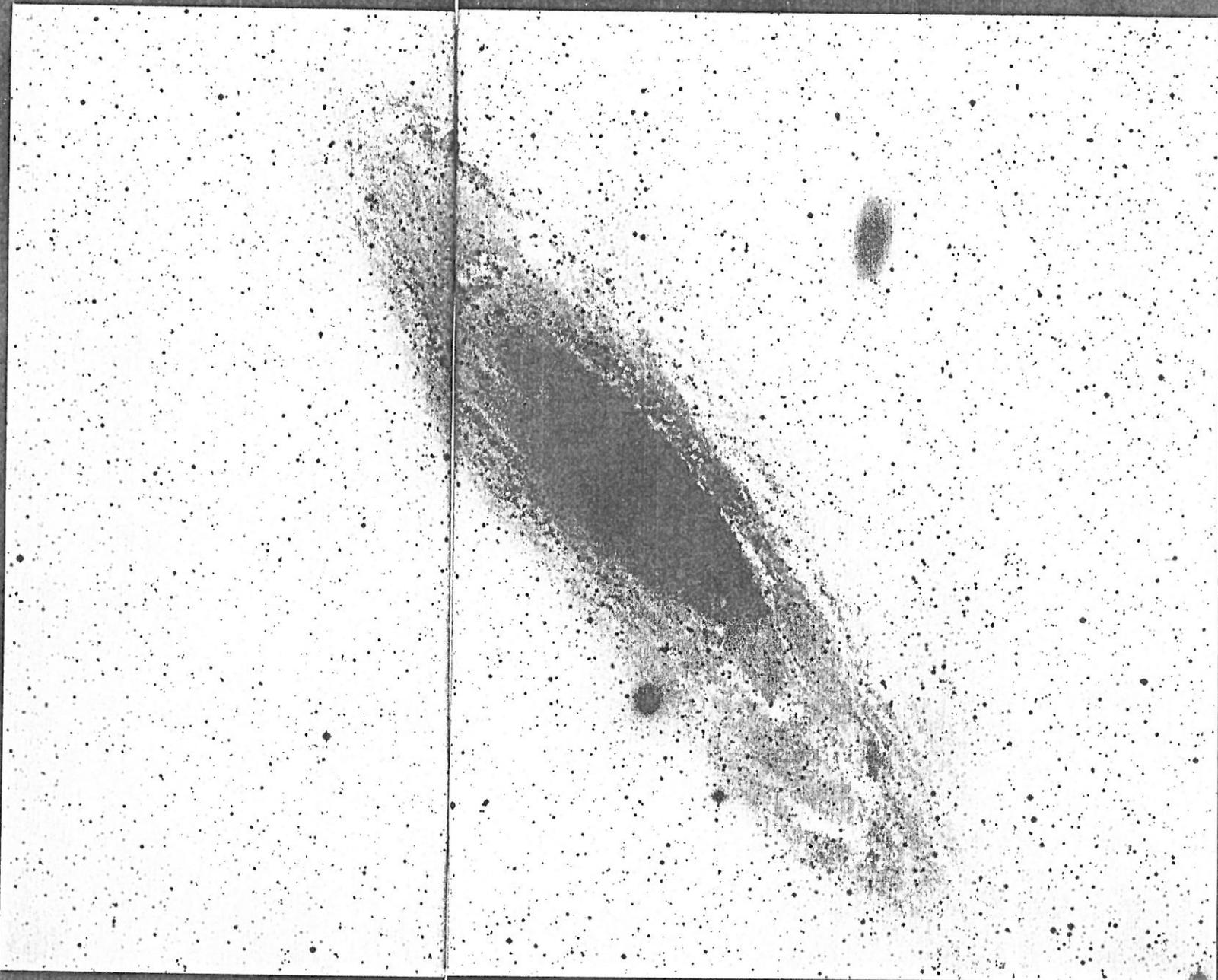
解説 家 正則

おおくま座の渦巻銀河M81(NGC3031) M81は、約1000万
光年のがなたにあり、対称な渦状の腕をもつ美しい銀河である。明るい
渦状の腕の部分には、高温の星やガス星雲が並んでいる。腕の内側は、
宇宙のちりが光を吸収するため、暗い筋になって見える。十字の回折
模様が見える明るい星々は、われわれの銀河系内にある星々である。

無数の星の集まり、それが銀河である。

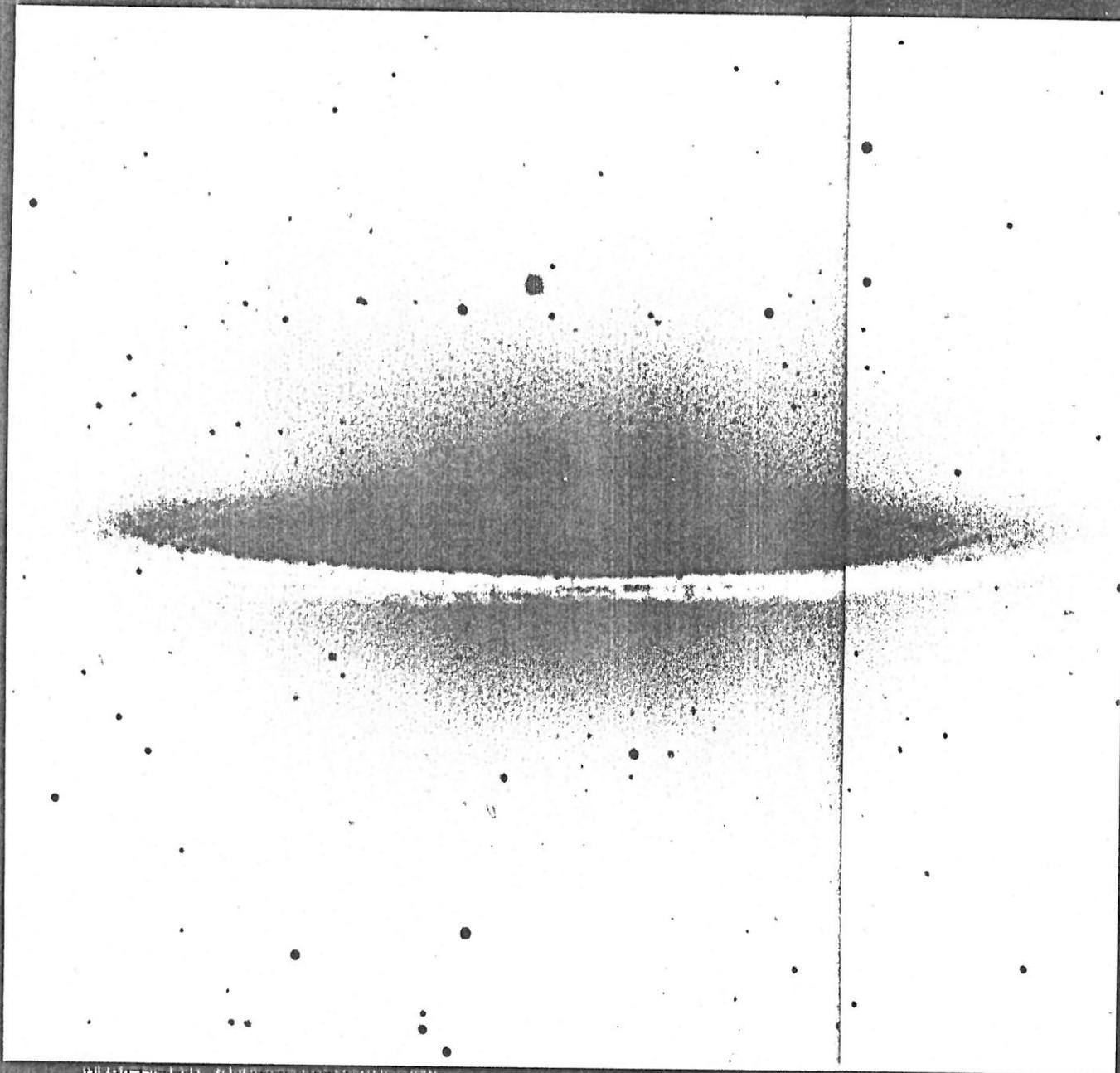
膨大な数の星の集団からなる銀河は、われわれの銀河系のほかにも、たくさん存在している。

われわれの銀河系に最も近い所にある銀河の一つであるアンドロメダ大星雲は、われわれの銀河系とよく似た大きな渦巻く天体である。そこには明るくよく目立つ青色高温星や赤色巨星をはじめとして、ケフェウス型変光星、惑星状星雲、散開星団、球状星団、散光星雲、新星、超新星などわれわれの銀河系でおなじみの顔ぶれが、ほとんどそろっている。遠すぎて直接みることはできないが、太陽によく似た星も数多くあるだろう。



アンドロメダ座の渦巻き銀河M31 (NGC224) アンドロメダ大星雲の名で親しまれて、秋から冬にかけて肉眼でもみることが出来る。約210万光年の距離にあり、われわれの銀河系によく似ているが、ひとまわり大きい、いわば姉銀河である。二つの小銀河をともなっており、M33などとともに局部銀河群をなしている。大きく傾いているため、渦状の腕のつながり方を見分けるのはむずかしく、主な腕がS字形に巻いているのが逆S字形なのかについてさえ論争がつづいている。

上の写真はカラーで撮影したために、コントラストが強く周辺の淡い部分がよく写っていない。右の東京天文台本館観測所のシュミット望遠鏡で撮影されたものは、このカラー写真にくらべると、淡い周辺部がよくわかる。

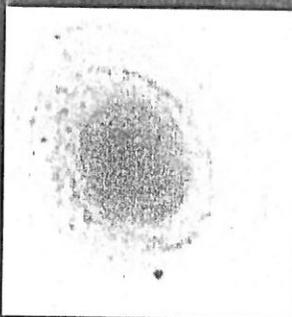


われわれの銀河系と大・小マゼラン雲には背番号がない。

全宇宙にはいったいどれくらいの数の銀河があるのだろうか。宇宙論からすると1000億以上もあるとする説もある。銀河の「人口」調査は容易なことではないが、1000方以上あることは確かめられている。そのうち銀河の最新の「戸籍台帳」に登録されているのは、現在のところ約2万個である。

比較的明るい銀河には初期の調査でメジエ(M)番号やNGC番号といった、カタログ番号がつけられている。これらの初期の台帳がつくられたころには、「銀河系外星雲」と「銀河系内星雲」の本質的なちがいが知られていなかったため、これらの台帳には両者がまぎって記載されている。

最近では、銀河系外星雲というかわりに、たんに銀河とよぶことが多い。なお、われわれの銀河系と大・小マゼラン雲はいつもこの名でよばれ、例外的に背番号づけをまぬがれている銀河である。

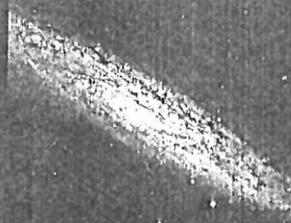


うみへび座の渦巻銀河NGC4676
渦状の腕が何重にも巻きついており、中心に近い部分ではなめらかだが、外側の部分ではつぶつぶのつらなりのようにみえる。1億光年のかなたにあって、毎秒2300キロメートルの速度でわれわれから遠ざかっている。

かみのけ座の渦巻銀河NGC4565
約2500万光年の距離にあつて、ほとんど真横に傾いてみえる。バルジの大きさはソンプレリ銀河のそれほどではない。短軸と長軸の長さの比は、約6対1であり、円盤部の一端は上に、他端は下に、それぞれ2度ほどの角度でそりかえっている。円盤部の星やガスは、毎秒約250キロメートルの速度で銀河中心をまわっている。

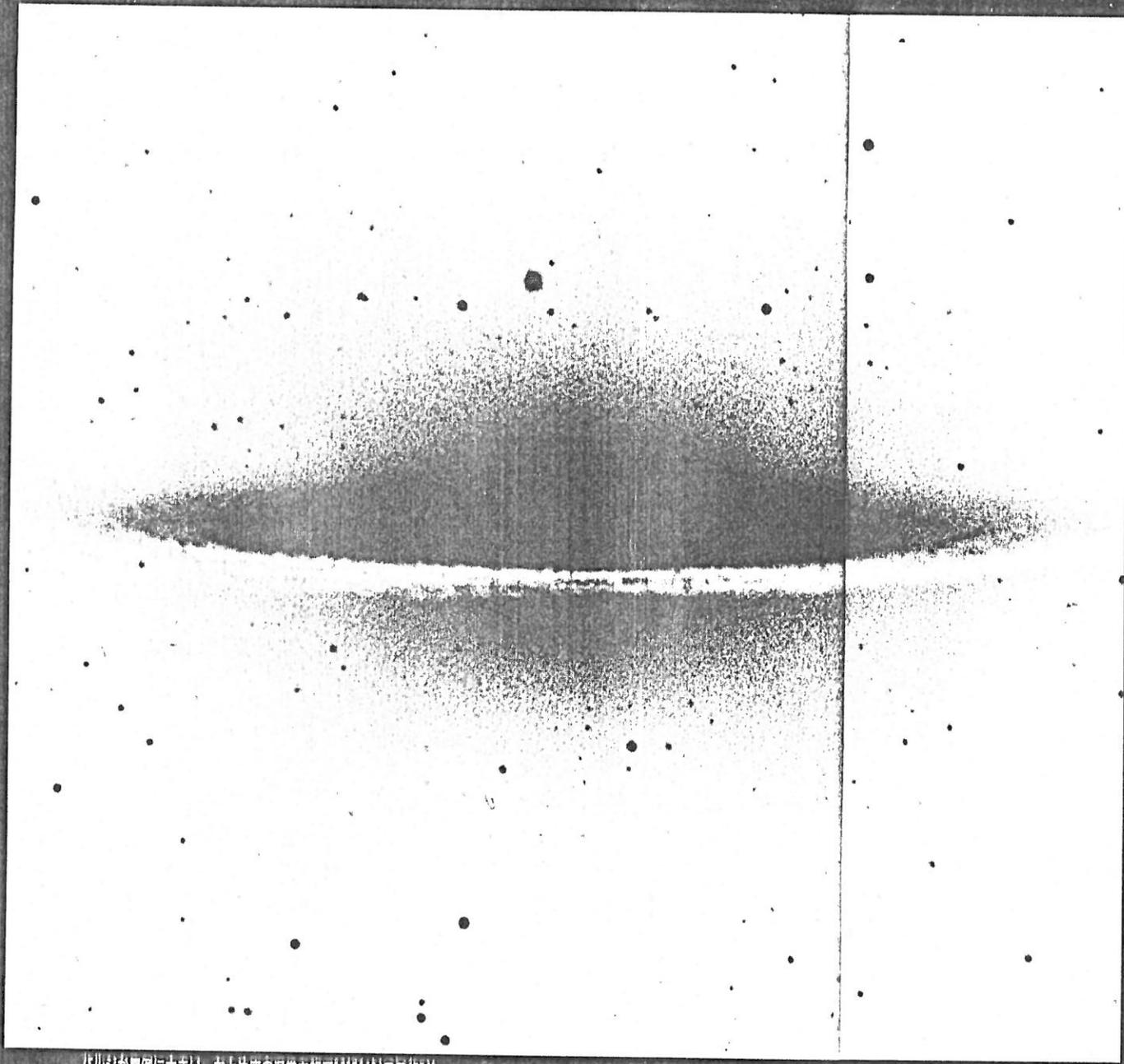


ちようこくしつ座の渦巻銀河NGC253
約820万光年の距離にあり、ちりが多く黒い吸収層が全体に散在している。中心の核からは強い電波と赤外線が放射されている。電波観測で、水酸基やホルムアルデヒドなどの分子による吸収線の存在が確認された最初の銀河である。これらの分子を含む星間分子雲は、中心の核に向かって落ちこんでいるようである。



バルジが異例に大きい、おとめ座の渦巻銀河M104(NGC4032)
約4400万光年の距離にあつて、その姿からソンプレリ銀河とよばれている。中央部の丸い光の広がりには古い星の集まりで、バルジとよ

はれる。銀河面に沈殿した、ちりによる光の吸収層が、バルジを二つに分けるように横切っている。M104のまわり全体に散在している点状の光源の多くは、老齢な球状星団である。



バルジが真例に大きい、おとめ座の渦巻き銀河M104(NGC4584)
約4400万光年の距離にあって、その姿からソープレロ銀河とよばれる。中央部の丸い光の広がり星の集まりで、バルジとよ

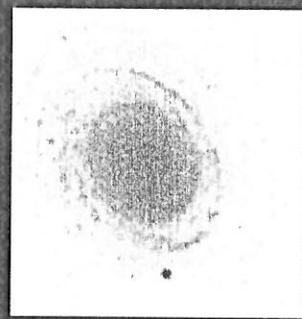
ばれる。銀河面に沈殿した、ちりによる光の吸収層が、バルジを二つに分けるように横切っている。M104のまわり全体に散在している点状の光源の多くは、老齢な球状星団である。

われわれの銀河系と大・小マゼラン雲には背番号がない。

全宇宙にはいったいどれくらいの数の銀河があるのだろうか。宇宙論からすると1000億以上もあるとする説もある。銀河の「人口」調査は容易なことではないが、1000万以上あることは確かめられている。そのうち銀河の最新の「戸籍台帳」に登録されているのは、現在のところ約2万個である。

比較的明るい銀河には初期の調査でメシエ(M)番号やNGC番号といった、カタログ番号がつけられている。これらの初期の台帳がつけられたころには、「銀河系外星雲」と「銀河系内星雲」の本質的なちがいが知られていなかったため、これらの台帳には両者がまざって記載されている。

最近では、銀河系外星雲というかわりに、たんに銀河とよぶことが多い。なお、われわれの銀河系と大・小マゼラン雲はいつもこの名でよばれ、例外的に背番号づけをまぬがれている銀河である。

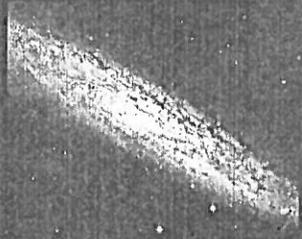


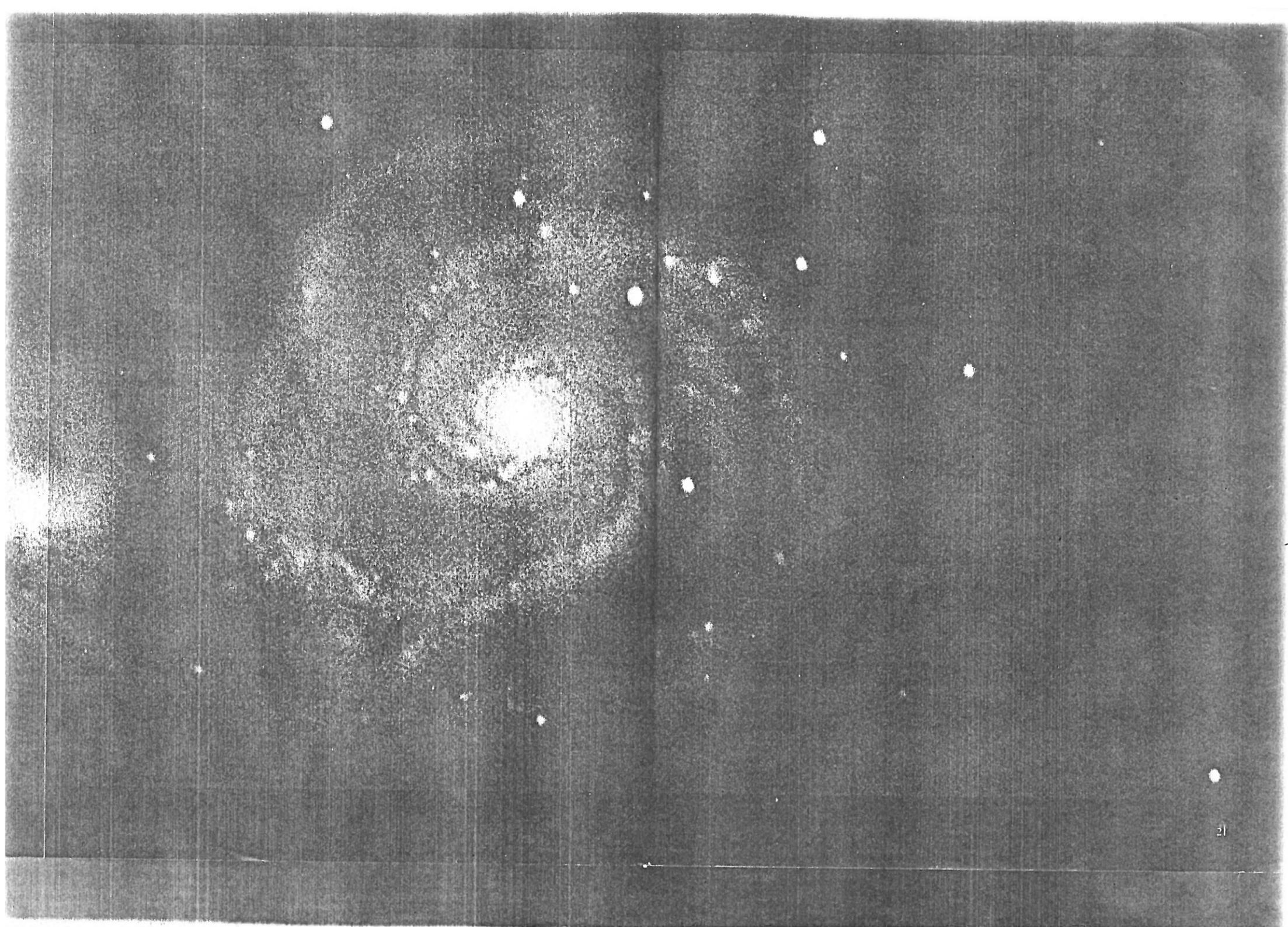
うお座の渦巻き銀河NGC488
渦状の腕が何重にも巻きついており、中心に近い部分ではなめらかだが、外側の部分ではつぶつぶのつらなりのようにみえる。1億光年のかたにあって、毎秒2300キロメートルの速度でわれわれから遠ざかっている。

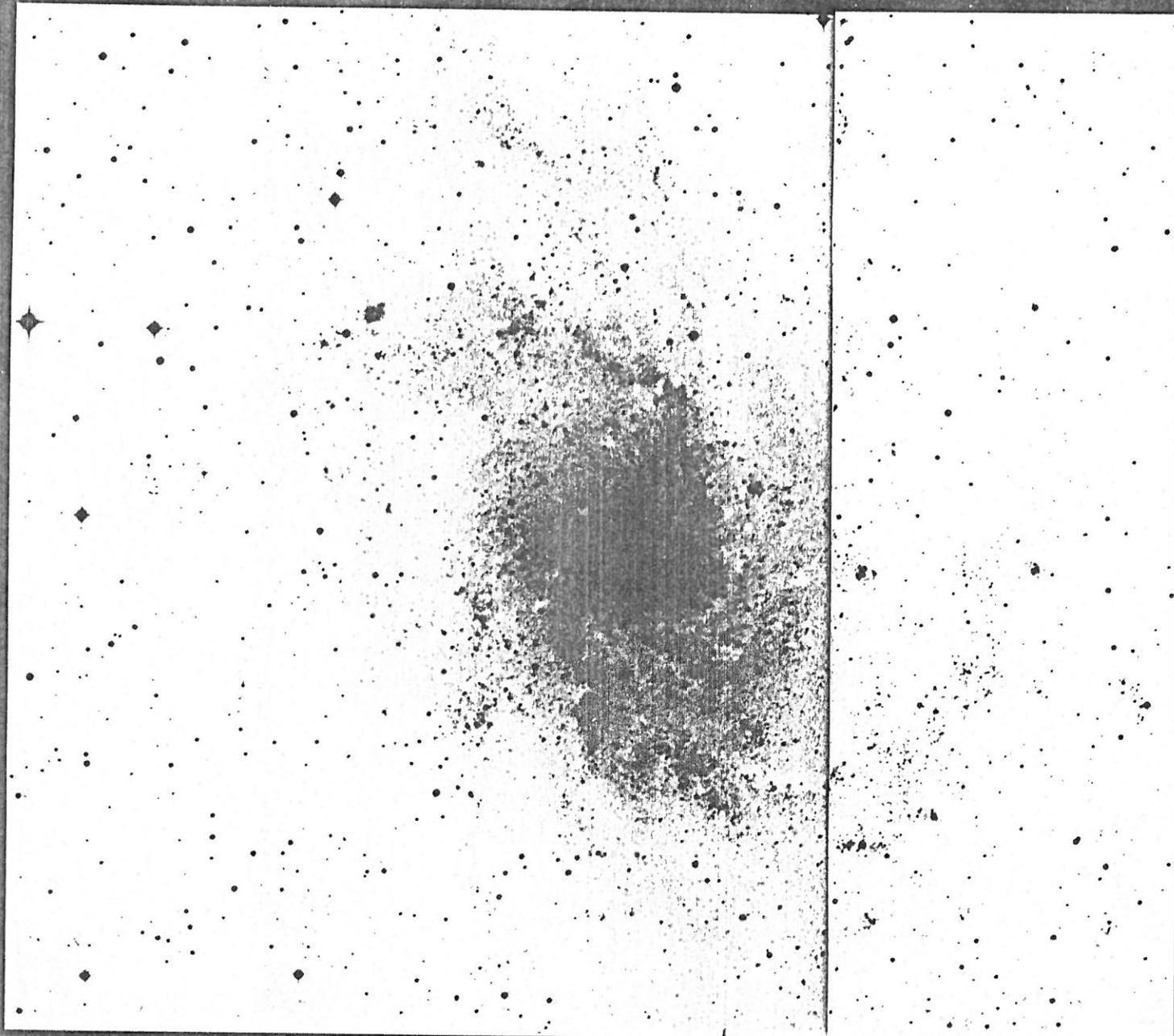
かみのけ座の渦巻き銀河NGC4585
約2500万光年の距離にあって、ほとんど真横に傾いてみえる。バルジの大きさはソープレロ銀河のそれほどではない。短軸と長軸の長さの比は、約6対1であり、円盤部の一端は上に、他端は下に、それぞれ2度ほどの角度でそりかえっている。円盤部の星やガスは、毎秒約250キロメートルの速度で銀河中心をまわっている。



ちょうこくしつ座の渦巻き銀河NGC253
約820万光年の距離にあり、ちりが多く黒い吸収層が全体に散在している。中心の核からは強い電波と赤外線が放射されている。電波観測で、水酸基やホルムアルデヒドなどの分子による吸収線の存在が確認された最初の銀河である。これらの分子を含む星間分子雲は、中心の核に向かって落ちこんでいるようである。







渦巻き銀河の腕の中で新しい星が誕生する。

円盤型の銀河には、渦巻き模様がみられるものが多い。よくみると、その渦巻きの構造は、銀河ごとに個性的である。対称な2本の渦状の腕をもつものから、ちぎれちぎれの腕が何本もあるようにみえるものまである。また、その腕の巻き方もぐるぐる巻きのものから、ゆるくほどけて開いたものまで実にさまざまである。

銀河の渦巻きは、みる人の目を楽しませてくれるだけではない。渦巻きの構造は、銀河が成長していくうえで、重要な役割を演じている。そこは星間ガスが集まる場所であり、その中からたえず新しい星が生まれている。生まれてまもない若い星のなかには、ひとときわ明るく輝く高温度の星がある。この高温度の星と、その放射エネルギーで輝く散光星雲が渦状の腕をさわたせている。星々は、ゆりかごのような渦状の腕からしだいに離れていく。高温度の星はゆりかごから離れるころには、はなはなしく爆発し、その輝きを失ってしまう。



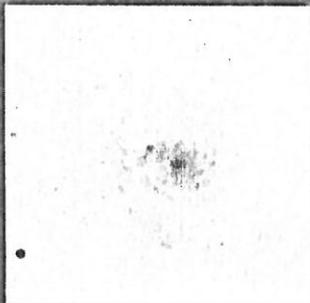
コンピュータで色のちがいを強調したM33のカラー画像 渦状の腕には青色で示される高温度の明るい星が多いことがわかる。これは生まれてまもない若い星である。

さんかく座の渦巻き銀河M33 (NGC 599) われわれの銀河系が属する局部銀河群のなかでは、M31とわれわれの銀河系に次いで大きい銀河である。約240万光年の距離にあり、全質量はわれわれの銀河系の約10分の1である。小さな中心核はあるが、M31のようなバルジはなく、渦状の腕はばらばらにほどけている。

「巻きこみのシレンマ」は、どのように解決されたか。

地球は火星より速く、金星は地球より速く太陽のまわりをまわる。同じように、銀河の星々も内側のもほど短い時間で銀河中心のまわりを公転している。それでは、銀河の渦状の腕は時間がたつと、ぐるぐると巻きついてしまうのだろうか？ 残念ながら、われわれが銀河の渦巻きをみはじめてから、銀河はまだ100万分の1回転しかしていないので、本当の答はわからない。しかし、さまざまな状況証拠から判断すると、渦巻き模様はあまりかわらないようである。なぜなのであろうか。これは「巻きこみのシレンマ」とよばれる難問であった。

ところが、この難問は渦巻きが一種の波模様であるという説明により解決された。渦巻きの腕の部分は、公転運動をする星やガスの流れが、一時的によどむためにできるさざ波の密度の濃い部分だという考えがそれである。これなら、内側と外側の流れがずれていっても、さざ波の形はかわらないですむ。いったんさざ波ができると、濃い部分は重力が強いため、星間ガスが集まってきてさらに濃くなり、やがてそこで新しい星が生まれてくる。しかし、さざ波がなせ渦状になるのかなど、まだ残されたなども多い。

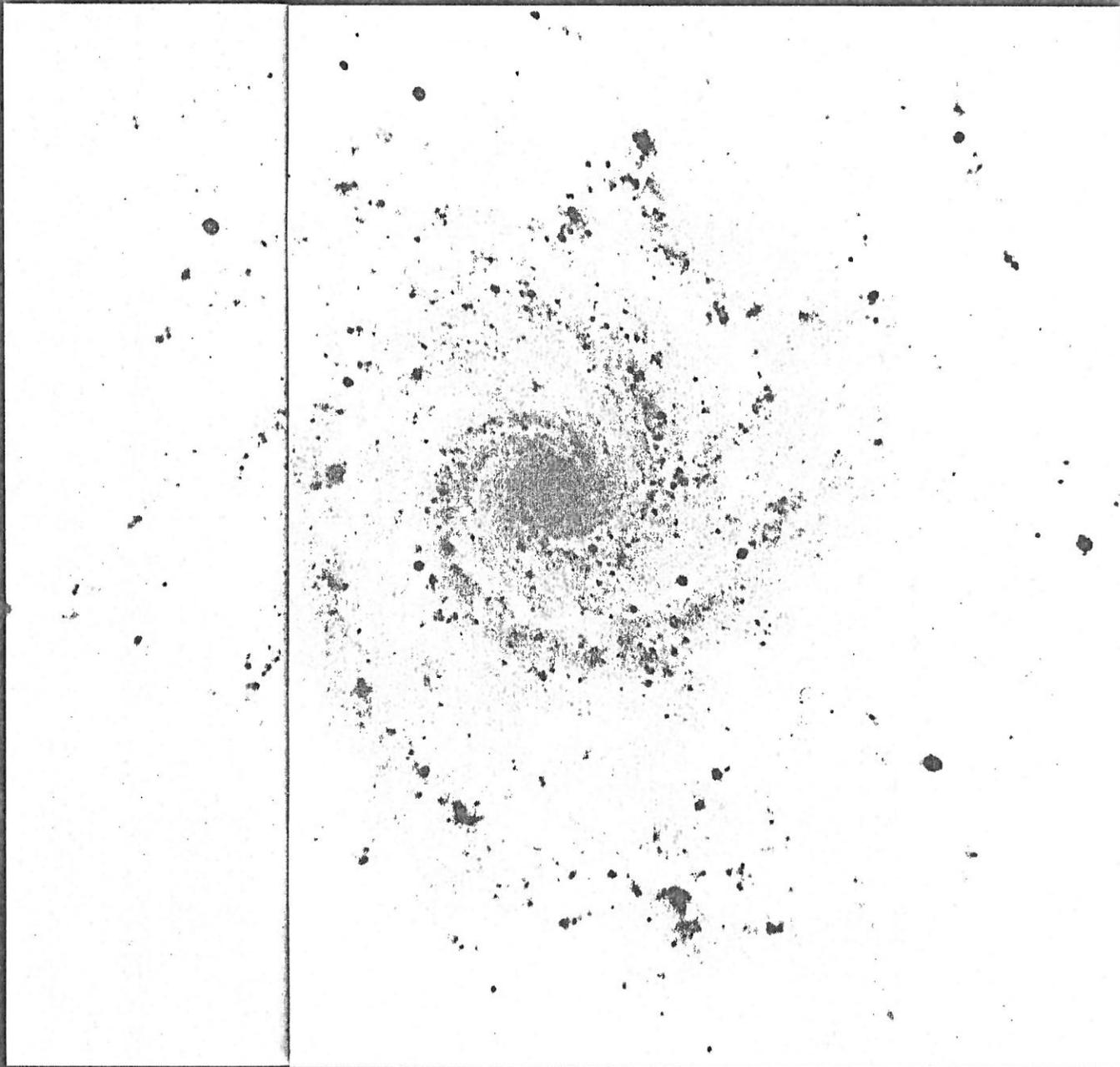


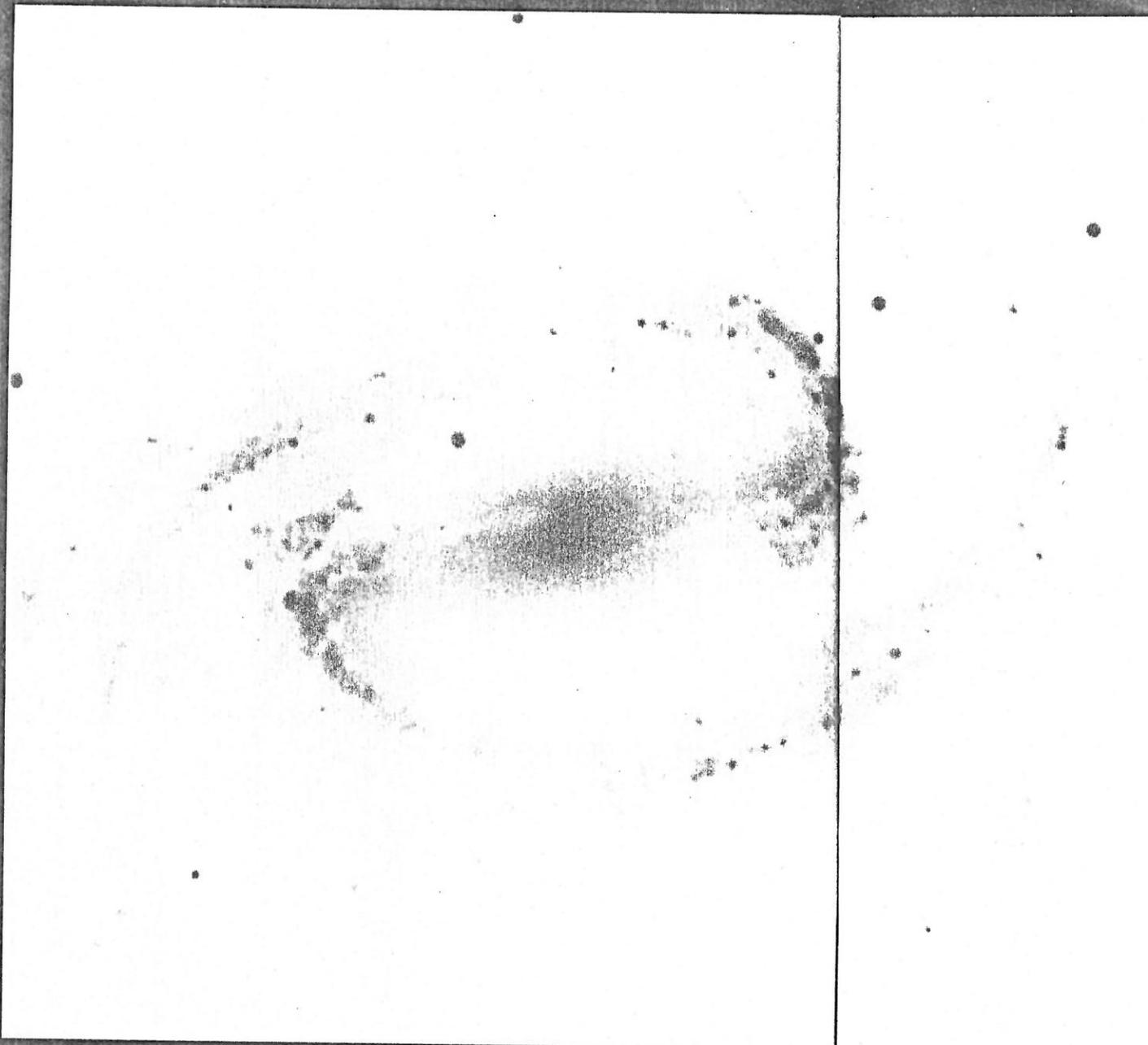
おとめ座の渦巻き銀河M99 (NGC4264)
渦状の腕が非対称の銀河である。片側の腕はくっきりとしていて、枝分かれはしていないが、反対側では、腕が何本かに枝分かれしている。M99は、約4400万光年の距離にあつて、おとめ座銀河団のメンバーであるが、すぐ近くに異常接近したような銀河は見当たらない。渦状の腕がなぜ非対称なのか、なぜである。おとめ座銀河団は、われわれの銀河系が属する局部銀河群に最も近い大規模な銀河集団であり、約2500個もの銀河を含んでいるのである。



おとめ座の渦巻き銀河NGC4535 おとめ座銀河団のメンバーの一つ。中心の核は小さく、2本の腕が、対称性のよい渦巻きのまわりに描いている。腕は太くなめらかで、枝分かれがない。中心近くでは、ちりの吸収層が腕をななめに横切っている。約4400万光年の距離にある。

うお座の渦巻き銀河M74 (NGC628) ハルツから2本の腕が対称に巻きでている。外縁部では腕の分岐がみられる。60個余りの電離水素ガス雲がみつがっているが、これらは渦状の腕に沿って、じはすのようにつらなっている。M99とくらべてみると、ハルツが大きく、中心部は赤い。渦状の腕はNGC4535のそれよりも少し細い。距離は約5000万光年である。





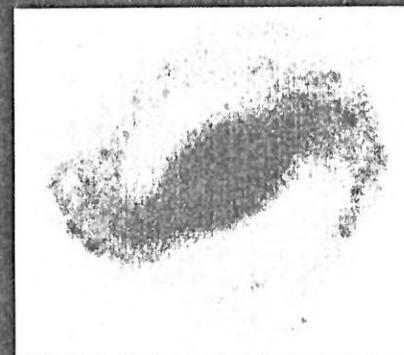
棒渦巻き銀河の棒状の構造は渦状の腕のそれと同じが。

円盤型の銀河のなかには、バルジから両側にのびる棒状の構造をもつものがある。棒の部分には、暗いちりの筋があるものが多いが、渦状の腕とはちがって、生まれたての星はない。棒のある銀河では、渦状の腕は棒の両端からでているが、棒を取り巻く環からでていることが多い。

この棒状の構造が、渦状の腕の構造と同じような波の現象なのかどうかについては、議論の分かれるところである。しかし、銀河の中に棒状の構造が発生しやすいということは、コンピュータを使った数値実験や理論的研究で確かめられている。



おおぐま座の棒渦巻き銀河 NGC2523 棒のまわりに細い環がある。南側の渦状の腕は、環と棒とのつなぎ目からはまっているようにみえるが、北側の渦状の腕はつなぎ目からかなり離れた環の部分から、急にしかも2本同時に分岐している。棒の方向は、環や銀河全体の長軸の方向と約80度ほど傾いている。



くしら座の棒渦巻き銀河 NGC175 NGC1300 にくらべると、バルジが大きく、棒も太い。渦状の腕はきつく巻きこんでいて、ぼやけてみえる。まだくわしい観測がなされていないため、この銀河がわれわれから遠ざかっていく速度をはじめ、わからない点が多い。

エリダヌス座の棒渦巻き銀河 NGC1300 棒状の部分はなめらかで、高温度の星のような若い目立つ星はない。ちりの吸収層は中心からななめに横切り、棒の両端で急に曲がって、渦状の腕の内側へつづいている。このような棒状の構造は、銀河自身の重力不安定性のために生じやすい形である。星の分布が棒状になると、星間ガスの流れが棒の部分で圧縮されて、このような少しなめのちりの吸収層ができると考えられている。

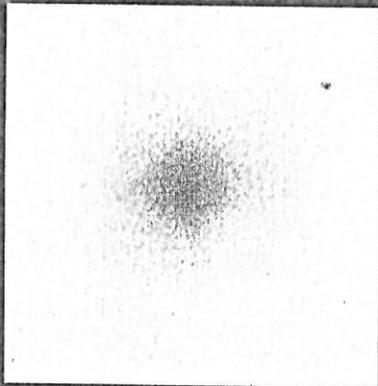
だ円銀河には星間ガスがなく、新しい星は誕生しない。

だ円銀河では、星々がてんでんばらばらに、かつてな方向に公転している。そのため渦巻き銀河のようなきざ波が立っても、すぐくずれてしまう。そのうえ星間ガスもないので、新しい星は生まれてこない。すなわち、だ円銀河の星々は年老いたものばかりということになる。

だ円銀河には渦巻き銀河とくらべて、非常に巨大なものから、きわめて小型でほとんど銀河系内の球状星団と大差のないようなものまで、いろいろなものが知られている。

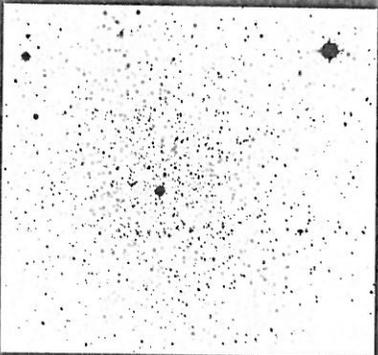
しし座のだ円銀河NGC3374

完全に球状に近い銀河である。われわれの銀河系内の星が重なって写ることはほとんどないので、明るさの分布の測定基準として、しばしば用いられる。星の公転運動の方向はばらばらで、速度のばらつきは毎秒約200キロメートルくらいである。約1000億個の星が、銀河の重力場の中で無秩序に運動しているが、星どうしが衝突することは実際にはほとんどない。

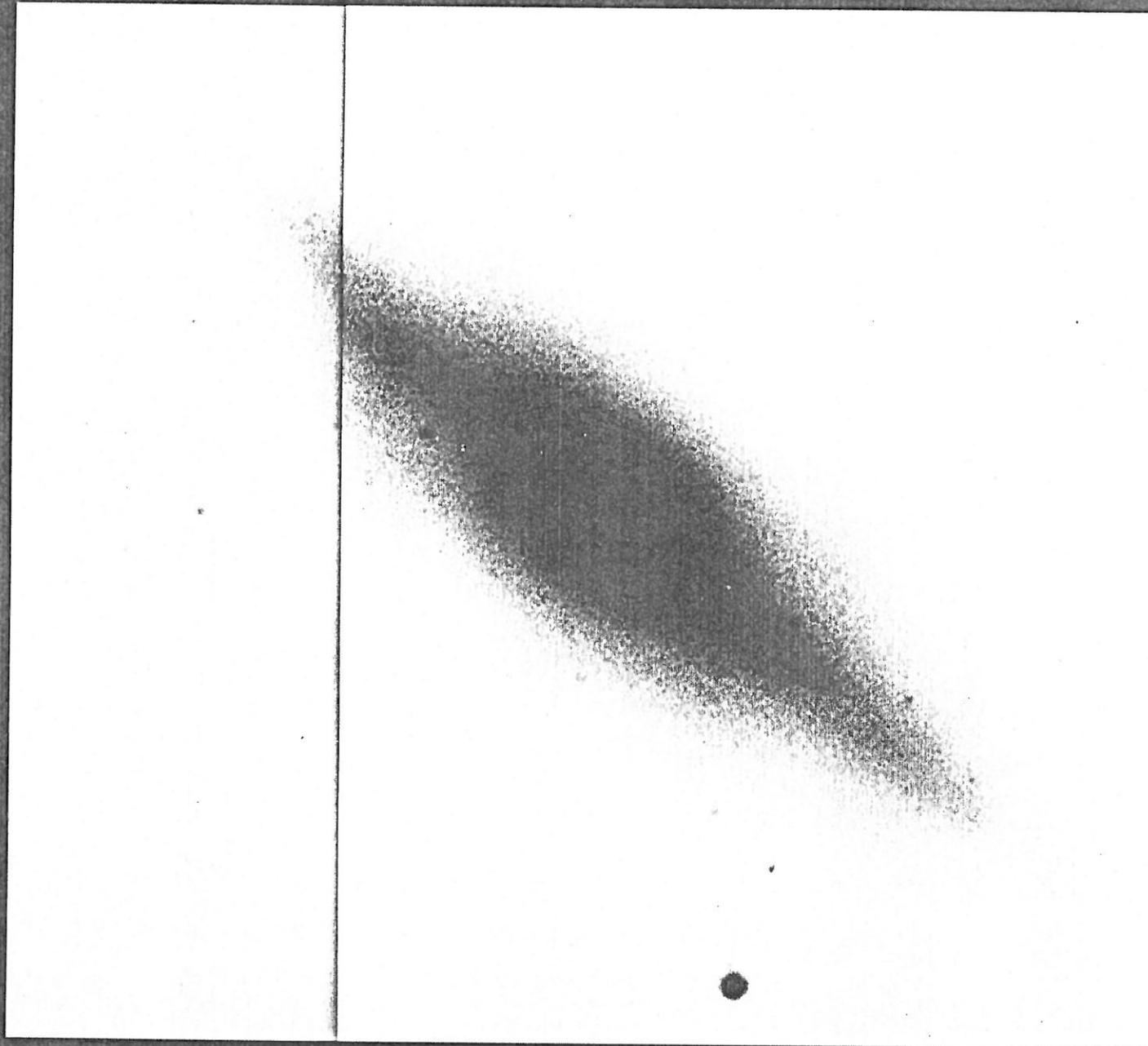


だ円状の矮小銀河しし座II

われわれの銀河系のまわりには、大・小マゼラン雲のほかにも、より小さな銀河が10個ほどある。しし座系IIはその一つで、約75万光年の距離にある。大型のだ円銀河にくらべると、星の数は少なく集まり方もまばらで、巨大な球状星団と考えてもよいくらいの規模である。



ろくぶんぎ座のだ円銀河NGC3115 だ円銀河としては最も扁平な部類に属する。最大回転速度毎秒約250キロメートルで全体が回転していて、円盤部が発達している。星々は、公転運動に加えて、かつてな方向に運動していることが、スペクトル線の観測からわかっている。その速度のばらつきは、毎秒約130キロメートルくらいであり、回転運動とばらつき運動の様子が最もくわしく調べられている銀河の一つである。中性水素ガスが、わずかながら存在することが確かめられている。



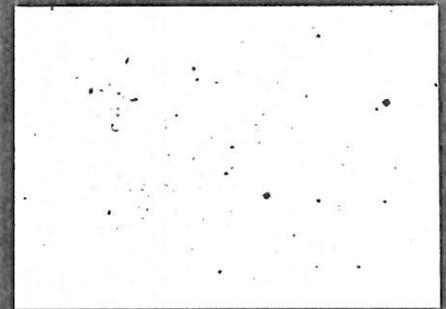
不規則銀河は若い銀河であるらしい。

小型の銀河のなかには、はっきりとした中心がなく、対称性もない不規則な形をした銀河がある。このような不規則な形をした銀河は、星間ガスが豊富で若い星を多く含んでいる。

不規則銀河は、大型の銀河の近くで見つかることが多い。大きな銀河が形成されたときに、取り残されたガスが、あとで集まってきて、このような形の不規則な銀河が生まれるのかもしれない。



きよしちょう座の不規則銀河、小マゼラン雲 約17万光年の距離にあり、大マゼラン雲よりも若い天体を多く含んでいる銀河である。大・小マゼラン雲、いくつかの矮小銀河は、マゼラン流とよばれる中性水素ガスの川にひたっている。マゼラン流は大・小マゼラン雲がわれわれの銀河系とすれちがったときに引きはがされたガスが、軌道上をたどっているものと考えられている。



くじら座の不規則銀河 | NGC 1614 距離210万光年。明るい星が片すみで群れをなしていて、はっきりした中心をもっていない銀河である。われわれの銀河系が属する局部銀河群の大小約30個の銀河のうちの一つである。

がしき座の不規則銀河、大マゼラン雲 マゼランの一行が、世界周航のおりに発見したのでマゼラン雲とよばれている。われわれの銀河系に最も近く、約15万光年の距離にある。全質量は銀河系の約40分の1で、全体が回転している。数多

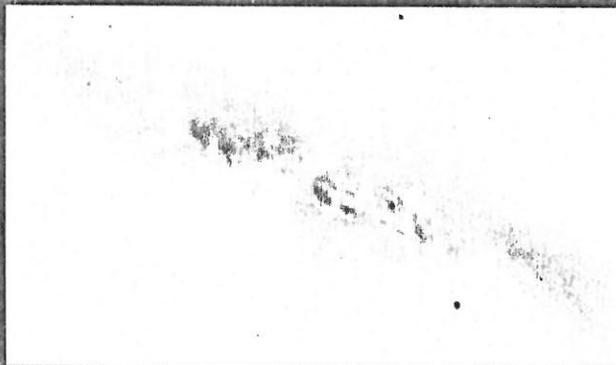
くの電離ガス雲、球状星団、散開星団などがある。とくに、写真の左上にみられる多くの星雲とよばれる電離ガス雲は、オリオン星雲よりもはるかに巨大で、直径が2000光年もある。

特別な事件があったことを想像させる特異銀河の形。

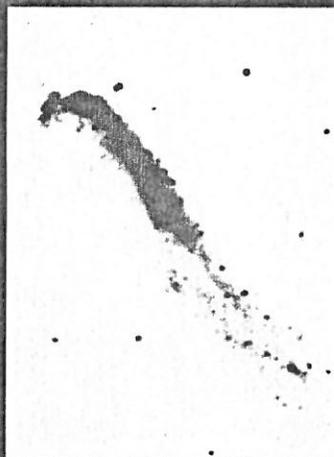
これまでみてきたように銀河の形は実にさまざまであるが、それでもその95%以上はハッブル分類という分類体系のうちにおさまる。けれども、残りの数%ほどの銀河はたいへん変わった形をしていて、何か特別な事件が過去におこったことを想像させる。

たとえば、銀河と銀河の異常接近や衝突が、その特異な形を生じさせる原因となった場合が多い。しかし、衝突相手がみつからない場合や、異常の原因がまったく不明であるということも少なくない。そんなわけで、これらの特異銀河に多くの天文学者は興味をそそられている。

光、電波、X線、紫外線、赤外線などあらゆる電磁波を使用して異常の原因究明が行われており、そのなぞもしたいに明らかにされつつある。

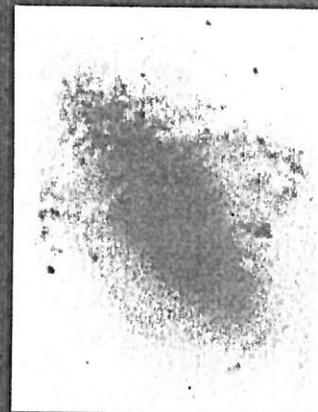


おおぐま座の特異銀河M82(NGC 3034) 銀河系が属する局部銀河群に最も近いM81銀河群に属し、M81と同じ距離にあるが、個々の星は判別できない。円盤部と垂直な方向にガスが飛び散っていて1.5万光年の高さまで達している。ガスの速度から逆算すると約200万年ほど前に、中心核から噴出したものらしい。中心部には若い星の大きなかたまりが10個ほどある。ちりが多く、一酸化炭素をはじめとして数種の星間分子の存在が、確認されている。

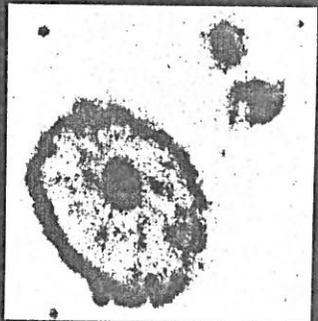


りょうけん座のNGC 4656 明るい星やガス雲が非対称な「へ」の字の形に分布している銀河である。この銀河から11万光年の距離にあるNGC 4631も、似たような非対称な形をしている。しかも二つの銀河の間は中性水素ガスのかけ橋によって結ばれている。このガスのかけ橋はマゼラン流と同様に、NGC 4656とNGC 4631のすれちがいで生じたものと考えられている。

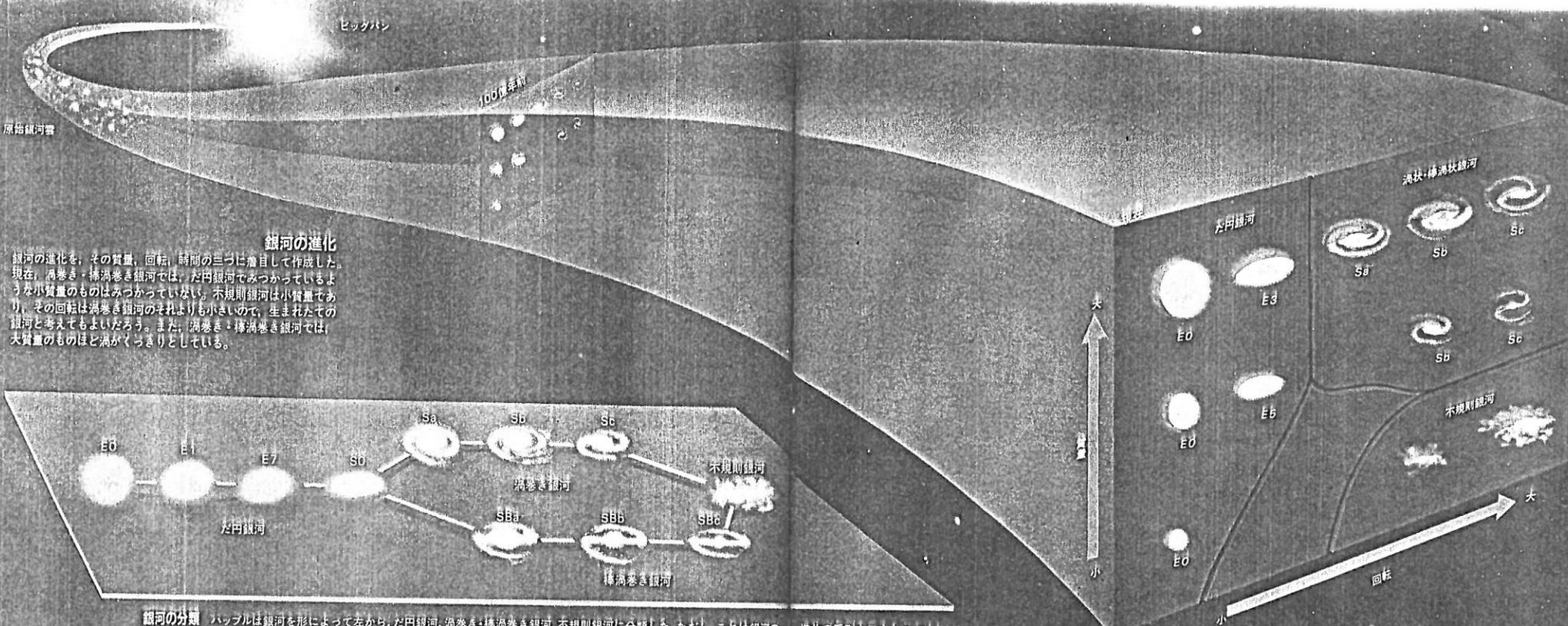
ケンタウルス座の特異銀河NGC 5128(Cen A) だ円銀河に、濃いちりと非常に若い星々が帯状に巻きついているようにみえる特異な銀河である。光だけではなく、X線、赤外線、電波でも強く光っている。数対の電波放射雲が帯と垂直な方向に飛びだしている。ちりの多い渦巻き銀河が、だ円銀河に取りこまれていた現場なのかもしれない。Cen Aという名は、ケンタウルス座で最強の電波源であることを示す。



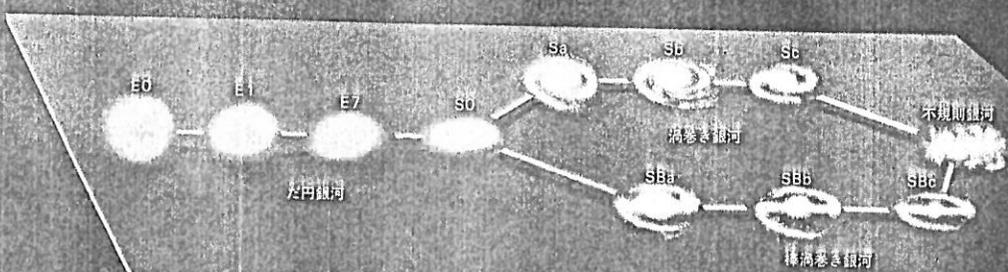
おおぐま座の特異銀河NGC 2685 葉巻型の縦長のだ円銀河に、糸状の環がいくつも巻きついているように見え、たいへん奇妙な形の銀河である。糸状の部分はだ円銀河の前では暗く、外側では明るい。さらに銀河全体をかすかな環が取り巻いている。縦長のだ円銀河は、ほかに倒れないため、扁平なだ円銀河を横からみているものなのかもしれない。しかし、もしそうだとすると糸状の環が、どのようにしてできたのか、たいへん不思議である。



A0035-34 車輪銀河とよばれている。明るい環をもつ特異銀河である。環には若い高温星が多い。近くにある二つの銀河のうち、渦巻きのない遠いほうの銀河が、約3億年前に銀河の中心近くを銀河面とはほぼ垂直に通り抜けたとすると、渦状銀河に強い津波が発生して、このような環ができることがコンピュータによって確かめられている。カタログ番号のない銀河は天球上の座標値で区別される。この銀河の位置は、赤経0度35分、赤緯マイナス34度。距離約6億光年。



銀河の進化
 銀河の進化を、その質量、回転、時間の三つに着目して作成した。現在、渦巻き・棒渦巻き銀河では、大円銀河でみつかっているような小質量のものはみつからない。不規則銀河は小質量であり、その回転は渦巻き銀河のそれよりも小さいので、生まれたての銀河と考えるとよいだろう。また、渦巻き・棒渦巻き銀河では、大質量のものほど渦がくっきりとしている。



銀河の分類 ハッブルは銀河を形によって左から、大円銀河、渦巻き・棒渦巻き銀河、不規則銀河に分類した。ただし、これは銀河の進化の系列を示すものではない。

また、なぜの多い銀河の成因と進化

形から銀河を分類する
 銀河の分類では、アメリカの天文学者のハッブルが1925年に発表した分類法が有名である。その分類は、銀河を形から、大円銀河、渦巻き銀河、棒渦巻き銀河に大別し、これらの銀河を球形からしだいに扁平なものへと系列化するというものである。
 大円銀河は、見かけの長軸と短軸の長さの比をはかり、ほとんど丸いものから順にE0型からE10型までに細分する。しかし実際には、いちはん扁平な大円銀河でもE7型程度であって、E8型以上に扁平なものはない。
 E7型よりも扁平な銀河になると、薄い円盤部が大円部の外側まで広がってくる。この円盤部に渦巻きの模様のあるものを渦巻き銀河(S型)とよび、そのなかでも中央部には

よりとした棒状の構造をもつものを棒渦巻き銀河(SB型)とよびて区別している。
 S型とSB型は、その中心にある大円部の星の集まり(バルジ)の大きさの順に、それぞれをSa, SBa型, Sb, SBb型, Sc, SBc型と細分する。この順に従い、渦の巻きこみ方はゆるくなる。渦巻きのない大円銀河と渦巻き銀河の間をつなぐものとしては、円盤はもつが渦巻きをもたないレンズ状のS0型がある。そして不規則銀河は、ScとSBc型の延長に位置づけられている。ただし、このハッブルの分類系列は、銀河の進化の系列をあらわすものではなく、むしろ銀河が誕生したときにもっていた銀河自身の自転の速さを、小さいものから大きいものへ、順序よくならべたものと考えたほうがよい。
 ハッブルの分類系列の左側(E0型のほう)

に位置する銀河ほど、種族IIとよばれる年老いた星が多く全体に赤い。それに対し、右側(Sc型のほう)に位置する銀河ほど、円盤部が種族Iとよばれる若い星や星間ガスに富んでおり、種族IIの星からなる中心の大円部が小さいという特徴がある。
銀河はどのように進化してきたのか
 銀河はいつ生まれ、どう進化して、現在みられるさまざまな形の銀河になったのであろうか。銀河の形成過程の考え方として、次のような説が現在一般的である。
 ビッグバンからおよそ10万年後、火の玉宇宙のほてりも薄らぎ、温度は約4000度Kくらいに下がった。すると、それまでプラズマ状態にあったイオンと電子が結合して、急激に中性の原子が形成された。プラズマ状態のときの宇宙は一様であるが、それでも中には密度や速度の微小なむらがあったはずである。プラズマが中性化すると、ガスの運動は乱流状態となり、密度の高い部分が発生しや

すくなる。平均密度の数倍以上の密度で、質量が100万太陽質量以上のむらができる。それは自分自身の重力で収縮をはじめ。こうして原始銀河雲が生まれてくる。原始銀河雲のガスは乱流状態にあり、ものによっては全体に回転している。生まれたときの状態に応じて、それぞれの型の銀河に進化していくと考えられる。原始銀河雲の収縮の途中で、数億年のうちにガスが小さく分裂し、それぞれが収縮をはじめて種族IIの星が生まれる。
 大円銀河は、ここでガスを使い切ってしまう。星だけの系となり、その後、形が変化しない。全体が速く自転していた原始銀河雲は、ガス雲の収縮がゆっくりして、種族IIの星々が生まれたあとも、ガスは回転のため円盤部にしだいに降り積もってくる。種族IIの星の中の核反応で合成された炭素、酸素、窒素などの重い元素の一部は、超新星爆発などで星間空間にまきちらされ、それをとりこんだガスから生まれる次世代の星は、重い元素の多い種族Iの星となる。また、ガスの粘

性のため、円盤部のガスや星の運動は、整った円運動になる。運動が整いすぎると、円盤内には重力的な不安定性が生じて、棒状の構造や渦巻きの模様が発生する。渦巻きの腕は、円盤部の星やガスをゆさぶって乱雑な運動を増す、いわば自動温度調節器の役目を果たしている、と考えられている。
銀河の構造と進化にまつわるなぜ
 銀河研究の速さは、銀河の進化の速さよりも遅い。全体が速く自転していた原始銀河雲は、ガス雲の収縮がゆっくりして、種族IIの星のなかの核反応で合成された炭素、酸素、窒素などの重い元素の一部は、超新星爆発などで星間空間にまきちらされ、それをとりこんだガスから生まれる次世代の星は、重い元素の多い種族Iの星となる。また、ガスの粘

性のため、円盤部のガスや星の運動は、整った円運動になる。運動が整いすぎると、円盤内には重力的な不安定性が生じて、棒状の構造や渦巻きの模様が発生する。渦巻きの腕は、円盤部の星やガスをゆさぶって乱雑な運動を増す、いわば自動温度調節器の役目を果たしている、と考えられている。
銀河の構造と進化にまつわるなぜ
 銀河研究の速さは、銀河の進化の速さよりも遅い。全体が速く自転していた原始銀河雲は、ガス雲の収縮がゆっくりして、種族IIの星のなかの核反応で合成された炭素、酸素、窒素などの重い元素の一部は、超新星爆発などで星間空間にまきちらされ、それをとりこんだガスから生まれる次世代の星は、重い元素の多い種族Iの星となる。また、ガスの粘