

2019年度(秋金4) ①

宇宙地球と生命



第10回目

「銀河～形態分類と諸性質～」
「銀河環境と宇宙の階層構造」

東京学芸大学 自然科学系
広域自然科学講座 宇宙地球科学分野
(教育学部・理科・地学教室)

講師・西浦 慎悟

1

8.1 銀河の形態と構造 ④

● **ハッブル形態とハッブル系列:**

1922～1926年: エドウィン・ハッブルが、銀河の形態分類を提案・改訂。

- ・楕円銀河 : En ; $n = (1-b/a) \times 10$, a=長軸長, b=短軸長
- ・渦巻銀河 : 腕の巻き付きがきついものから緩くなる順に Sa, Sb, Sc
- ・棒渦巻銀河 : 腕の巻き付きがきついものから緩くなる順に SBa, SBb, SBc



← 渦巻銀河M74
棒渦巻銀河M83 →

(銀河画像は全て
東大木曾観測所・西浦提供)

- ・不規則銀河: Irr ; 不定形、特異形態などを含む
- ・レンズ状銀河: S0 ; 当時はまだ存在が確認されていなかった

銀河の形態分類については、他にも幾つが提案されており、それぞれが改訂を繰り返しているが、ここでは、典型的な形態分類であるハッブル形態のみを紹介するにとどめる。

4

8.1 銀河の形態と構造 ②

8. 銀河と宇宙の階層構造

銀河系は典型的な渦巻銀河。ハロー 極めて物質が希薄な領域。球状星団(非常に高齢な恒星のみからなる星団)が存在している。

バルジ 渦巻銀河の中心部。ガスやチリ(恒星の材料)はほとんど存在せず、比較的年老いた恒星が分布している。速度分散(ランダム運動)で構造を支持している。

アーム(渦巻腕) ディスク上に形成される。ガスやチリが集中し、若い恒星が多く分布している。

ディスク(銀河円盤) 約10万年

ハロー 約1.5万年

球状星団 約5千年

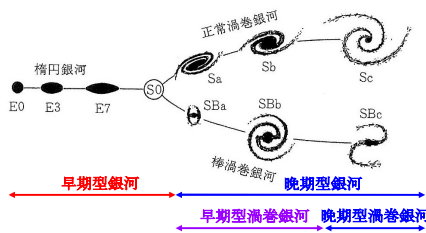
約3万年

ガスやチリ(恒星の材料)といった星間物質が豊富にあり、年老いた恒星から非常に若い恒星までが存在している。散光星雲や暗黒星雲、散開星団や惑星状星雲、超新星残骸などの恒星の一生に関わる天体が分布している。回転運動によって、構造を支持している。このような構造は、銀河全般に、ほぼ共通している。

2

8.1 銀河の形態と構造 ⑤

1936年: ハッブルは、銀河の形態分類と、楕円銀河から渦巻銀河への進化を意識した、銀河形態に基づく系列を提唱した。これらはハッブル系列、ハッブルの音叉図などと呼ばれる。ただし、楕円銀河から渦巻銀河への進化は、その後の研究によって否定されている。



全体として、左から右に向けて、渦巻腕の巻き付きが緩くなる系列となっている。

ハッブルが想定していた銀河進化の概念は、楕円銀河やS0銀河を早期型銀河、渦巻銀河や不規則銀河を晩期型銀河、などと呼ぶ慣習に残されている。

5

8.1 銀河の形態と構造 ③

- ・銀河は、可視光波長帯で観測される形態から、楕円銀河、レンズ状銀河、渦巻銀河、不規則銀河の4種に大別される。
- ・棒構造を持つ渦巻銀河は、棒構造がない渦巻銀河と区別して棒渦巻銀河と呼ばれることがある。
- ・レンズ状銀河はS0銀河と呼ばれることが多い。



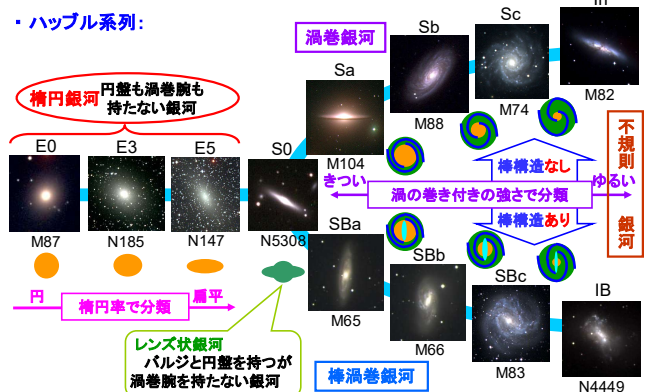
↑楕円銀河M87 ↑レンズ状銀河NGC5866 ↑渦巻銀河M100 ↑不規則銀河NGC4449
(銀河画像は全て東大木曾観測所・西浦提供)

- ・形態とは別に、実サイズが特に大きい銀河を巨大銀河、小さい銀河を矮小銀河と呼ぶことがある。

3

8.1 銀河の形態と構造 ⑥

● **ハッブル系列:**



楕円銀河: E0, E3, E5, S0

渦巻銀河: Sa, SBa, SBb, SBc

棒渦巻銀河: SBa, SBb, SBc

不規則銀河: Irr, IB

分類基準:

- 楕円率で分類 (E0-E5)
- 渦巻腕の巻き付きの強さで分類 (Sa-Sc)
- 棒構造なし (Sa, Sc)
- 棒構造あり (SBa-SBc)
- 渦巻腕も渦巻腕も持たない銀河 (S0, Irr)
- バルジと円盤を持つが渦巻腕を持たない銀河 (SBa-SBc)

6

8.2 銀河の諸性質

● 銀河の表面輝度分布 = 銀河の中心から外側に向けての明るさの分布。

・ 楕円銀河の表面輝度は、半径の $1/4$ 乗に比例する ($r^{1/4}$ 則、ドヴォークルール則)。

楕円銀河と渦巻銀河の構造は異なっている。

・ 渦巻銀河のバルジの表面輝度は半径の $1/4$ 乗、円盤(ディスク)の表面輝度は半径の指数に比例する(指数法則)。

楕円銀河と渦巻銀河のバルジは似ている。

7

8.2 銀河の諸性質

● 銀河の内部運動

・ 渦巻銀河 → 円盤部の恒星とガスは**回転運動**、バルジの恒星は**ランダム運動**。

全体では、**回転運動の方が支配的**。

可視光 → 散光星雲のH α 輝線
電波 → 水素原子の21cm線

楕円銀河 → 銀河内の恒星は**ランダム運動**。

速度分散 σ = 恒星のランダム運動の大きさを示す物理量で、この値が大きいくほど、銀河内部の恒星の平均的な運動は激しくなる。

楕円銀河と渦巻銀河は、異なる運動状態にあるが、楕円銀河とバルジの力学的性質は似ている。

10

8.2 銀河の諸性質

● SOおよび渦巻銀河のバルジとディスクの光度比:

→ SO銀河や早期型渦巻銀河の性質はバルジ的、晩期型渦巻銀河の性質はディスク的になる。

- ・ バルジ = 老熟な恒星が多く分布(赤い)
- ・ ディスク = 若い恒星も多く分布(青い)

左上) 銀河形態に対する、バルジ(B)とディスク(D)の絶対等級 (Simon & de Vaucouleurs, 1983, IAU Symp., 100, 375) と、[左下図]これをデジタル・スキャンして西浦が作成したもの。右上) 銀河形態に対するバルジとディスクの光度比、de Jong (1996, A&A, 313, 45) による同様の図。

8

8.2 銀河の諸性質

● 銀河の基本的な性質

赤っぽい → 青っぽい

少ない → 多い (恒星に対するガスの相対量)

大きい → 小さい (バルジ / 円盤の明るさの比)

無秩序運動が大きい → 内部運動 → 回転運動が大きい

高い銀河数密度 → 環境 → 低い銀河数密度

11

8.2 銀河の諸性質

● 銀河形態と可視光カラー/星間物質含有量

↑ 銀河形態 T に対する可視光カラー (B-V) [岡村(1999)より]。

↑ 銀河形態 T に対する中性ガス含有量。単位は太陽質量/太陽光度 [岡村(1999)より]。

- ・ 早期型銀河から晩期型銀河に向かって、可視光カラーは連続的に「赤」から「青」に遷移していく。可視光カラーは、恒星の種族を反映しているため、早期型銀河では赤色巨星や赤色矮星、晩期型銀河では青色巨星が卓越していると考えられる。
- ・ 可視光光度に対する中性水素ガスの量は、恒星に対するガス量を反映した値と解釈できる。この値は、早期型銀河から晩期型銀河に向けて、ほぼ単調に増加する。

9

8.3 銀河と銀河環境

・ 局所銀河群 = 局部銀河群ともいう。銀河系とアンドロメダ銀河(M31)を中心に大小マゼラン銀河など10個の銀河からなる銀河群。

LMC, SMCは銀河系の衛星(伴)銀河。

M31, 銀河系, M33, LMC, SMC以外の殆どは矮小銀河。

(アンソロ・オーストラリア天文台[AAO]提供) (須藤靖「宇宙の大構造—その起源と進化」、培風館)

12

8.3 銀河と銀河環境 (13)

近傍銀河の約7割は、何らかの銀河集団に属している。

- ・孤立銀河 = 孤立した環境に存在する銀河。ただし「孤立」の条件は未定義。
- ・ペア銀河、連銀河 = 二つの銀河が接近して存在している環境。ただし、両者の質量(または光度)差が大きい場合には、「銀河と衛星銀河」と認識されることになるが、その基準は決まっていない。

子連れ銀河(M51)

アンテナ銀河(NGC4038/39)

(東大木曾観測所)

13

8.3 銀河と銀河環境 (16)

↑ヒクソン・コンパクト銀河群40 (HCG40)
(国立天文台提供)

↑ステファンの五つ子 (HCG92)
(東京大学木曾観測所提供)

HCG40には、メンバー銀河全体を包むような、薄い可視光成分が存在している(Nishiura 2000, PhD thesis)。また、HCG92には、大量の超新星由来と思われる輝線成分が見つかっている(Ohyama et al. 1994)。どちらも銀河間相互作用の影響と考えられる。

16

8.3 銀河と銀河環境 (14)

- ・銀河群 = 3個から数十個程度の銀河集団。ただし、銀河団との明確な区別はない。

M81銀河群の可視光画像 (SkyView/DSSより)

M81銀河群のHI画像
(Yun et al. 1994)

銀河同士が接近すると、巨大な質量による重力で互いに引き合い、その構造に歪みを作ることがある。その歪みは、形態のみならず、星形成現象にも影響を与える。

14

8.3 銀河と銀河環境 (17)

- ・銀河団 = 数10個から数1000個以上の銀河が集まった大規模な銀河集団。重力的に結びついた天体としては、サイズ・質量ともに宇宙最大級である。

↑かみのけ座銀河団の中心部

↑おとめ座銀河団の一部
(東京大学木曾観測所提供)

17

8.3 銀河と銀河環境 (15)

車輪銀河 (VV784)

↑ストラック(1997年)のコンピュータ・シミュレーション

↑車輪銀河領域のHI(水素原子)ガス分布

ハッブル宇宙望遠鏡(可視光)

銀河の中心付近を、矮小銀河が通り抜けることで、車輪状形態が形成される。

15

8.3 銀河と銀河環境 (18)

- ・X線で見た銀河団

↑左)ペルセウス座銀河団 (Abell 426) の、左) 可視光カラー画像(木曾観測所/西浦[東京学芸大])と、右) 可視画像(グレー)とX線画像(等輝度線)(小山 1992)。

銀河団は巨大な重力ポテンシャルを有するため、数1000万～数億Kもの高温プラズマを捕えておくことが可能である。高温プラズマは熱制動放射によって強いX線を放射し、X線観測からその温度を推察することができる。より深い重力ポテンシャル(つまりより大きい質量)を持つ銀河団ほど、より高い温度のプラズマを閉じ込めることができる。

18

8.3 銀河と銀河環境 (19)

・ 銀河と環境

↑ 中性水素ガスで纏えおとめ銀河団の渦巻銀河(銀河サイズは拡大されている)

銀河団中心に近い渦巻銀河ほど中性水素ガスが少ない。→ 銀河と高温プラズマガス(銀河団ガス)、または、銀河どうしの相互作用でガスが剥ぎ取られる。

↑ 銀河団銀河の形態・密度関係

楕円・レンズ状銀河 → 銀河数密度高

渦巻/不規則銀河 → 銀河数密度低

銀河の形態・密度関係: 銀河の形成・進化と銀河環境の間に、何らかの物理的関係があることを示している。

19

8.4 宇宙の階層構造 (22)

↑ 局所超銀河団の構造

銀河群や銀河団は互いに結びついて、超銀河団を形成する。我々が住む局所銀河群は、局所超銀河団と呼ばれる超銀河団の一部である。

22

8.3 銀河と銀河環境 (20)

・ cD銀河と矮小銀河と銀河環境

おとめ銀河団のM87領域(東大木曾観測所)

超巨大銀河 > 巨大銀河 > 通常銀河 > 矮小銀河

区別は曖昧

銀河団中心には超巨大楕円銀河が存在していることが多く、その中には、cD銀河と呼ばれる、外縁部にエンベロープ構造を持つものが存在する。

↑ cD銀河の表面輝度プロファイル (Oemler 1976, ApJ, 209, 693)。

20

8.4 宇宙の階層構造 (23)

・ 銀河の空間分布

現在の宇宙は、銀河で満ち溢れている。

1981年: カーシュナー達は天球の狭い領域に存在する銀河の後退速度を深いところまで調べた(ペンシルベニア探査法)。その結果、銀河がほとんど存在しない巨大な領域(ボイド)を発見した。

↑ Kirshner et al. (1981, ApJ, 248, L57)より一部を改変(須藤, 1992, 「宇宙の大構造- その起源と進化」, 培風館)。

↑ Kirshner et al. (1987, ApJ, 314, 493)より一部を改変(須藤, 1992, 「宇宙の大構造- その起源と進化」, 培風館)。

このような構造は、宇宙において稀なのか? 一般的なのか?

23

8.3 銀河と銀河環境 (21)

・ cD銀河は、周辺の銀河を取り込むことで巨大な姿に成長したと考えられる。

・ 光度関数の明るい側を担う銀河は、孤立環境では渦巻銀河であるのに対して、銀河団環境では楕円銀河やS0銀河である。

・ 光度関数の暗い側を担う銀河は、孤立環境では不規則銀河であるのに対して、銀河団環境では矮小楕円銀河である。

「環境効果」

→ 銀河と銀河環境との関わり合いは、先天的に生じるのか? 後天的に生じるのか?

先天的 → 銀河環境で生まれる銀河が決まる。

後天的 → 生まれる銀河は同じだが、その後の進化が銀河環境で異なる。

現代の天文学の主要テーマの一つ

↑ フィールド(孤立)銀河とおとめ銀河団銀河の光度関数。

21

8.4 宇宙の階層構造 (24)

1981年: マーガレット・グラーとジョン・ハグラのグループは、CfA (= Center for Astrophysics, ハーバード大学) サーベイと呼ばれる、天球の広い領域に存在する銀河の後退速度を調べる観測を行った。そして、ボイドと銀河がフィラメント状に分布した構造が、宇宙において一般的であることを裏付けた。このような構造は、「ボイド・フィラメント構造」「宇宙の泡構造」などと呼ばれている。

↑ CfAサーベイによる銀河の空間分布図。黄色の点は全て銀河。扇形の中心が我々の銀河系。

↑ ペンシルベニア探査による銀河の空間分布 (Broadhurst et al. 1990, Nature, 343, 726より一部を改変[岡村1999, 銀河系と銀河宇宙, 東京大学出版会])。

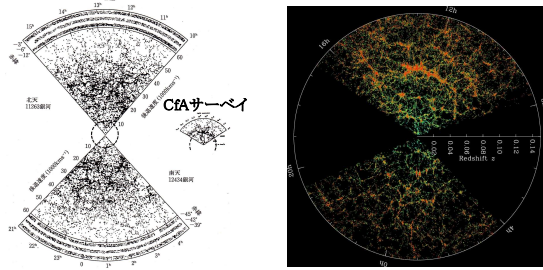
1990年: ブロードハースト達は、極めて深いペンシルベニア探査を行い、128Mpcの周期で、銀河が集中する領域が存在することを見出したが、これらは既知の銀河団・超銀河団であった。

24

8.4 宇宙の階層構造

(25)

・「ラス・カンパナス・サーベイ」と「SDSS」



↑ラス・カンパナス・サーベイ

↑SDSS = スローン・デジタル・スカイ・サーベイ

銀河団を超える空間スケールの構造は、まだ力学的平衡状態に達しておらず、大規模構造の形成過程や宇宙初期の密度ゆらぎの情報が保存されている。このような銀河から大規模構造に至る宇宙の階層構造の起源解明は、現代宇宙論の重要課題である。

25

(26)

【参考文献】

- 1) 岡村定矩 (1999), "銀河系と銀河宇宙", 東京大学出版会. (画像: 銀河形態と可視光カラー図, 銀河形態と水素原子ガス含有量, おとめ座銀河団のHIマップ, 銀河の形態・密度関係, フィールドと銀河団の銀河光度関数, フロード・ハーストのペンシル・ビーム探査, ラス・カンパナス・サーベイ)
- 2) Hubble (1936), "The Realm of the Nebulae" (改題後一訳[1999], "銀河の世界", 岩波文庫, 画像: ハッブル系列の概念図)
- 3) 大脇ほか (1989), "天文資料集", 東京大学出版会. (画像: バルジ・ディスク比)
- 4) de Jong (1998), A&A, 313, 45. (バルジ・ディスク比)
- 5) 西浦提供 (画像: HCG7aのスペクトル)
- 6) Nishiura et al. (2000), A.J, 120, 1891 (画像: HCG7aの回転曲線)
- 7) Sky View / Digitized Sky Survey (<http://skyview.gsfc.nasa.gov/>, 画像: HCG7, アンテナ銀河, M81銀河群)
- 8) アングロ・オーストラリア天文台 (AAO) (画像: LMC, SMC)
- 9) 須藤隆 (1992), "宇宙の大構造", 培風館. (画像: 局所銀河群の構造, 局所超銀河団の構造, ペンシル・ビーム探査の結果, うしかい座のポイド)
- 10) Yun et al. (1994), Nature, 372, 530. (画像: M81銀河群のHI分布)
- 11) 小山 (1992), "X線で探る宇宙", 培風館. (画像: ペルセウス座銀河団のX線画像)
- 12) Oemler 1978, Ap.J, 208, 693. (画像: oD銀河の表面輝度分布)
- 12) 東京大学木曾観測所HP (<http://www.ioa.s.u-Tokyo.ac.jp/kiseohp/>, 画像: M87, NGC5886, M100, NGC4449, M74, M83, NGC185, NGC147, NGC5308, M104, M88, M82, M65, M66, M31, M33, M51, HCG92, かみのけ座銀河団, おとめ座銀河団)
- 13) 国立天文台HP (<http://www.nao.ac.jp/>, 画像: HCG40)
- 14) NASA HST HP (画像: 車輪銀河のHST画像)
- 15) SDSS HP (画像: SDSSによる銀河マップ)

26