

天文入門

神戸大学天文研究会

2012/12/01

文字の少なさからも分かるかと思いますが, 教養程度の基礎的なことを広く浅くしか書いていません. 銀河および星雲星団の例にはなるべく **Messier** 天体を挙げるように配慮したので, 観測の際に実際に望遠鏡で探してみるのも良いかもしれません. なお図 6 以降の天体写真は全て写真研究班が実際に撮影したものを載せています. その他画像の引用元は最後のページにまとめて載せてあります. 内容に誤りを見つけた方は後でこっそり私に教えてください.

神戸大学天文研究会 2012 年度宇宙科学班班長

目次

1	銀河発見の歴史をざっくりと	2
1.1	誰がいつ何をしたか	2
2	銀河構造概略	3
2.1	渦巻銀河	3
2.2	楕円銀河	4
2.3	不規則銀河と相互作用銀河	5
2.4	ダークマターと宇宙の大規模構造	6
3	観測における基礎知識	7
3.1	等級について	7
3.2	銀河	8
3.3	散光星雲	9
3.4	惑星状星雲	10
3.5	散開星団	10
3.6	球状星団	11

1 銀河発見の歴史をざっくりと

1.1 誰がいつ何をしたか

人類史上初めて、

「天の川は星の集合体である」

ことを発見したのは、イタリアの科学者 **Galileo** であった。1610年のことである。彼は自作の望遠鏡を使って、月のクレータや木星の衛星^{*1}、太陽の黒点^{*2}を発見し、さらには天の川の観測によって人々の宇宙観を大きく変えた。宇宙、天文分野における科学の始まりである。

さらに 1785 年、ドイツの天文学者 **Herschel** は、**Newton** が発明した反射望遠鏡を使った観測によって、

「天の川は凸レンズのような構造をしている」

ということを発見した。全体の大きさや太陽系の位置に関しては的を外していたものの、天の川の姿を初めて定量的に描いた功績は大きい^{*3}。図 1 がそのスケッチである。

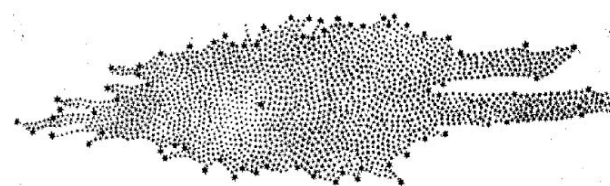


図 1 天の構造

20 世紀初頭、銀河の大きさをめぐって大論争が起きた。これにはフランスの天文学者 **Messier** が作った天体リストに掲載されていた渦巻星雲が天の川の内にあるのか外にあるのか、まだはっきりしていなかったという背景もある。以下は大論争の中心となった二人の内の一人、アメリカの天文学者 **Curtis** の主張である。

「天の川は宇宙全体ではない。大きさは約 10 万光年であり、宇宙に存在するいくつかの銀河の内の一つである。したがって渦巻星雲は天の川とは独立した一つの銀河、すなわち渦巻銀河である」

現在ではすっかりお馴染みとなったアンドロメダ銀河 **M31** も、当時はアンドロメダ星雲と呼ばれていた。なぜならそれが天の川の内か外か、独立した一つの銀河であるのかそうでないのかも分かっていなかったからである。

この大論争から 5 年後の 1925 年に **Curtis** の主張を裏付けたのがアメリカの天文学者 **Hubble** である。彼はアンドロメダ星雲の中にいくつかの変光星を見つけ、それによって天の川との距離は約 100 万光年であると評

^{*1} 1610 年 1 月 10 日発見。イオ、エウロパ、ガニメデ、カリスト。

^{*2} 第四回勉強会「太陽について」参照！

^{*3} 全天をいくつかの領域に分け、各天域ごとに星の数を数え上げた。

価した*4 *5. こうしてアンドロメダ星雲はアンドロメダ銀河に昇格(?) し, 天の川とは独立した一つの銀河であることが認識されるようになった.

こうした Hubble の発見からまだ百年も経っていないことに注目してほしい. 20 世紀初頭から現在までの短い間に, それまでの数千数百年間とは比べ物にならない飛躍的なペースで観測技術が進歩し, 日々の新たな発見によって宇宙への理解が急速に進みつつあるのである. 百年後, 千年後の人類は宇宙をどこまで認識できるようになっているだろうか...

2 銀河構造概略

銀河は大きく三種類 (渦巻銀河, 楕円銀河, 不規則銀河) に分類される.

2.1 渦巻銀河

”渦巻”銀河と聞いてまず誰もが思い浮かべるのは恐らく, 図 2 のような銀河であろう. これはおおぐま座の渦巻銀河 M101 で, 春に北の空で見ることができる (らしいです). 中央の分厚くなっている部分を**バルジ**, その周囲の円盤を**ディスク**と呼ぶ. 天の川銀河も渦巻銀河で直径約 10 万光年, バルジの厚さ約 1 万 5 千光年であり, めちゃめちゃでかい.

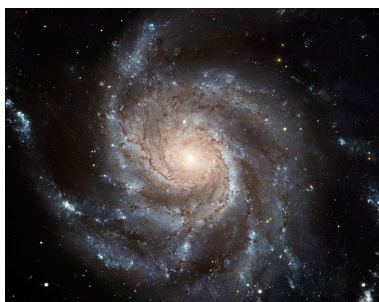


図 2 渦巻銀河 M101 - 春. 北の空

このように星々が渦を巻く理由はまだはっきりしていないが, 銀河の内にある星の軌道は完全な円軌道ではなく, 星同士が相互に影響を及ぼし合うことによって僅かに楕円軌道をとっているため, 図 3 のように螺旋状の密度波ができ, 渦を巻いているように見える, と考えられている*6.

また, 銀河の輝度 I は中心からの距離を r としたとき,

$$I \propto \exp[-r] \tag{1}$$

*4 1 光年とは光が一年で進む距離のこと. およそ 9 兆 5 千億 km.

*5 変更周期と明るさは比例の関係にあり, ある周期に対して唯一の明るさが対応する. 例えば既に年周視差等により距離 $R_{近}$ と明るさ $I_{近}$ が分かっている変光星 X があるとすると, この変光星 X と同じ周期を持つ遠くの変光星 Y の明るさが $I_{遠}$ ならば次の関係が成り立つ.

$$I_{近} : I_{遠} = R_{近}^{-2} : R_{遠}^{-2}$$

明るさは距離の二乗に反比例する

※この説明はあくまで距離測定のイメージを掴むのが目的なのでかなり大雑把です. 正確ではありません.

*6 1964 - C.C.Lim, F.Shu - 密度波理論

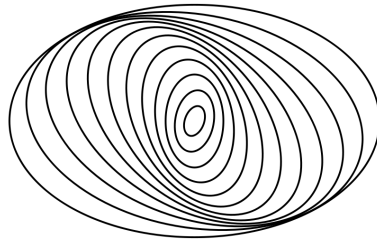


図3 密度波

と指数関数的に減衰することが分かっている.

2.2 楕円銀河

比較的短期間で形成されたため星間物質が少なく,新しい星が生まれることはあまりない.下の図4はおとめ座銀河団のほぼ中央部に位置する巨大楕円銀河 M87 であり,春に南の空で見ることができる(らしいです).

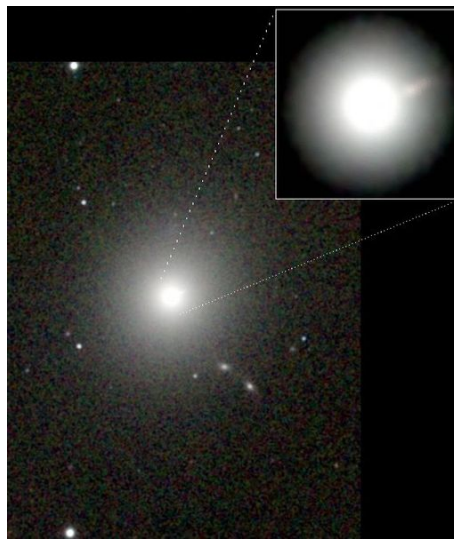


図4 楕円銀河 M87 - 春. 南の空

また, 銀河の輝度 I は中心からの距離を r としたとき,

$$I \propto \exp[-r^{1/4}] \quad (2)$$

と指数関数的に減衰することが経験的に分かっている.

2.3 不規則銀河と相互作用銀河

渦巻銀河や楕円銀河に比べて質量が軽い場合, 全体としての重力が弱く力学的に安定しないため規則的な構造が生まれず, 不規則銀河となることがある. 下の図 5(上) はおおぐま座の不規則銀河 M82 である.



図 5 不規則銀河 M82(上) と渦巻銀河 M81(下) - 春. 北の空

二つ以上の銀河が互いの重力圏内で影響を及ぼし合っているものを相互作用銀河という. 潮汐力によって複雑に形を変えガスやちりを撒き散らし, 新たな星を生成することもある. 下の図 6 はりょうけん座にある子持ち銀河 M51 である.

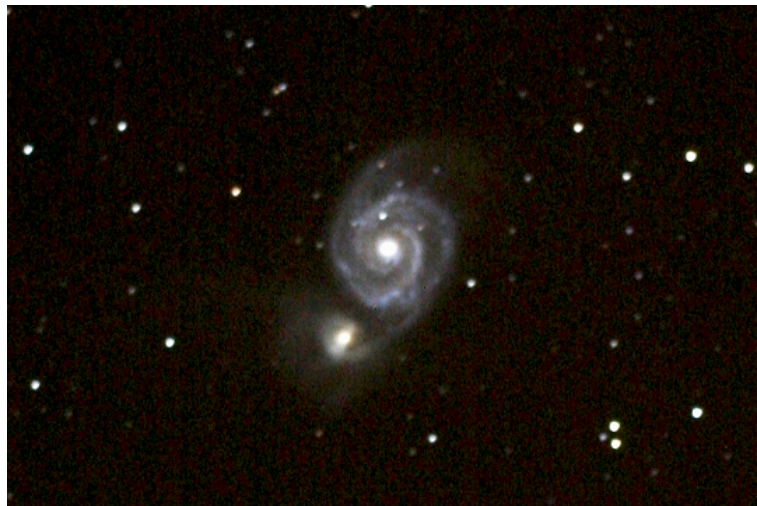


図 6 子持ち銀河 M51 - 春. 北の空

2.4 ダークマターと宇宙の大規模構造

銀河の質量 M が中心に集中していると仮定して、中心から距離 r の円周上を速さ v で円運動する質量 m の星の運動方程式を立て、速さについて解くと次のようになる。

$$m \frac{v^2}{r} = \frac{GMm}{r^2} \quad (3)$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (4)$$

したがって回転速度は半径の $-1/2$ 乗に比例するため、銀河中心から遠い星ほどゆっくりと回転するはずである。しかし実際、回転速度は中心からの距離に依らず一定であり、このままでは物理的に説明が出来ない^{*7}。この事実を合理的に説明するには、半径に比例して銀河の質量が増えていくと考えざるを得ないのだが、いくら観測してもそのような質量を持った物質は見当たらない... もしかしたらまだ我々の知らない、光学的に観測不可能な質量があるのではないか？そうして示唆されたのが**ダークマター**の存在である。

ダークマターという名前からしていかにも嘘っぽく SF 的なイメージを抱きがちであるが、銀河の回転速度に関する問題や宇宙の大規模構造を考える際には理論上必要不可欠である。日本では XMASS 実験などによってその観測が試みられている^{*8}。宇宙マイクロ波背景放射の全天観測により、我々の知る物質の総質量は全体の 4 パーセント程度であるらしいことが明らかになりつつある^{*9}。

図はダークマターが無い宇宙 (上) とある宇宙 (下) での質量分布の時間発展を表している。ダークマターがある宇宙では物質密度に偏りが生まれ実際の宇宙とよく似た構造になるが、もう一方ではその様な偏りが見られず、質量の濃い部分、すなわち銀河の集団が形成される様子はない。

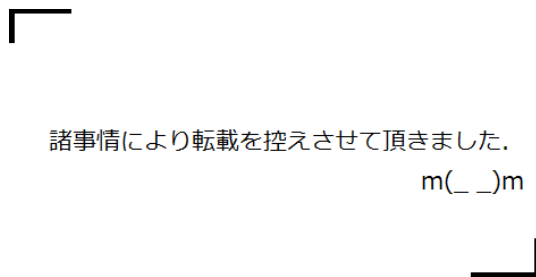


図7 宇宙の大規模構造 (質量分布の時間変化シミュレーション)

^{*7} 銀河の回転曲線問題で gg ってください。

^{*8} 液体キセノンを詰めた検出器でダークマターを直接捉える。ダークマターがキセノン原子核に衝突したときに放出されるエネルギーを利用して見つけるらしいです。神戸大学もこのプロジェクトに参加しているそうです！。

^{*9} 第二回勉強会「初期宇宙と宇宙マイクロ波背景放射」参照！

3 観測における基礎知識

3.1 等級について

等級とは、天体の明るさを表す尺度である。明るさが $10^{0.4}$ (およそ 2.51) 倍になる度に等級は -1 される。つまり 1 等級は 6 等級に比べて 100 倍明るい。たとえば 6 等級の明るさを 1.0 とすると

$$\text{明るさ} = 10^{2.4 - 0.4 \times \text{等級}} \quad (5)$$

となる。

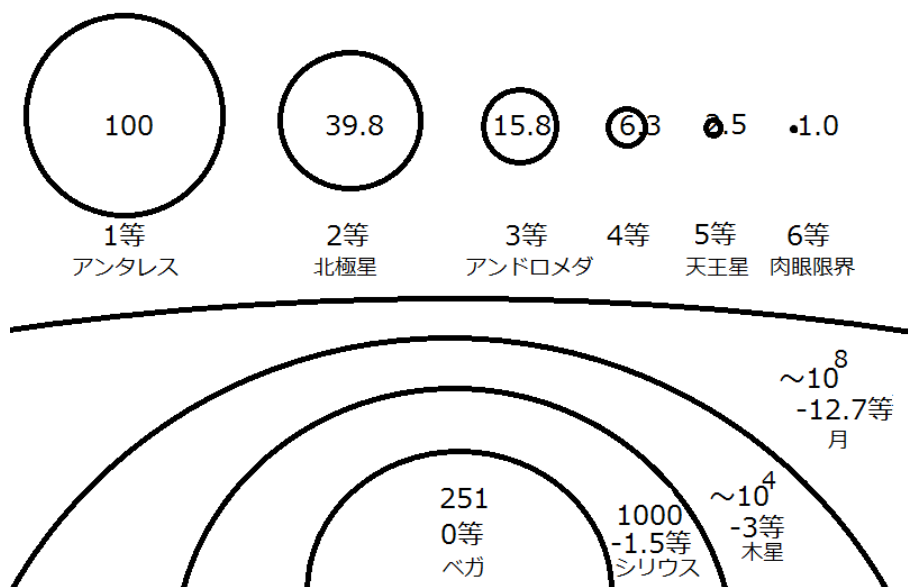


図8 各天体の等級

※円の大きさは天体の明るさを表しています（だいたいきと一ですが）。

3.2 銀河

正式には「天の川銀河と同様の形態をしている恒星の大集団」を指す. およそ 10^7 から 10^{14} 個の星々で構成され, 中心部にはたいてい超大質量のブラックホールが存在すると考えられている*¹⁰. 宇宙には銀河が密集して存在する領域と全く何も存在しない空洞の領域があり, 前者の銀河集団を特に「局所銀河群」と言う. ちなみにアンドロメダ銀河は天の川銀河と同じ局所銀河群に属している*¹¹.

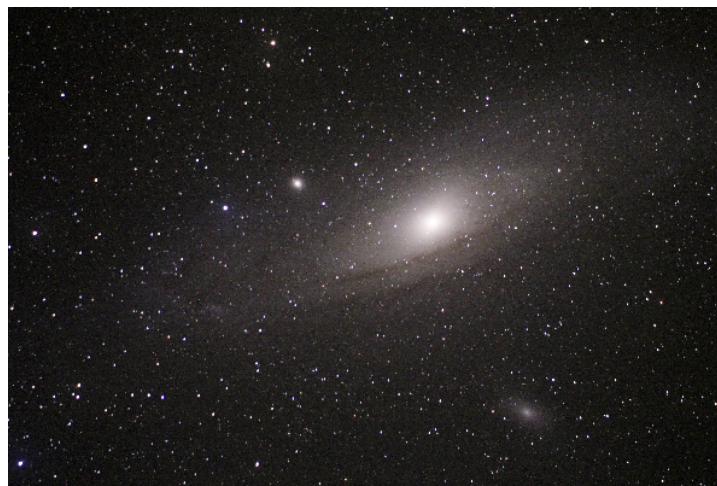


図9 アンドロメダ銀河 M31 - 秋. 天頂



諸事情により転載を控えさせて頂きました.

m(_ _)m



図10 局部銀河群銀河の三次元分布図 (Mpc は 326 万光年)

*¹⁰ プラネ交流会用資料「ブラックホール入門 (修正版)」参照!

*¹¹ 天の川銀河とアンドロメダ銀河は約 40 億年後に衝突するそうです. 全天にアンドロメダ銀河が光り輝く夜空はまさに圧巻でしょう. もはや夜は暗くありません. 今は桁違いに明るい満天の星空に遠い未来の人類はどんな星座を描くのでしょうか...

3.3 散光星雲

反射星雲と輝線星雲に大別される。いずれも分子雲^{*12}から成るが、”散光”の仕組みは全く違う。まず前者は単純に分子雲が近くの恒星の光をそのまま反射することによって輝く天体である。しかし後者は恒星からの紫外線を受けて電離させられた分子雲中の原子が電子と再結合することによって輝く。したがって輝線星雲の色はその化学組成や電離の度合によって変わる。ちなみに以下のオリオン大星雲 M42 とカルフォルニア星雲はどちらも Balmer 系列の H α 線 (656.28nm) を発して輝いている。



図 11 オリオン大星雲 M42 - 冬. 南の空



図 12 カルフォルニア星雲 NGC1499 - 秋. 天頂

^{*12} 超新星爆発等を起源とする星間ガスや宇宙塵が集まったもの。

3.4 惑星状星雲

燃え尽きて一生を終えた恒星の姿である。最期に宇宙空間へ放出されたガスが、中心にある白色矮星^{*13} から発せられる紫外線によって電離されて輝く。以下のこと座環状星雲 M57 において青色部分はヘリウム、緑色部分は酸素の輝線スペクトルである。



図 13 こと座リング M57 - 夏. 天頂

3.5 散開星団

同じ分子雲から生まれた恒星の集団である。そのため全ての恒星がほぼ同じ年齢で、同じ化学組成を持っている。下の写真はプレアデス星団 M45 であり^{*14}、星々が青白く輝いていることから表面温度は極めて高く、激しい燃焼のため寿命は短い。



図 14 プレアデス星団 M45 - 冬. 天頂

^{*13} 表面温度は数万度で非常に高いエネルギーを持つ電波を放っている。

^{*14} 平安時代には既に、清少納言の枕草子に「すばる」という名前で詠まれていたそうです。

3.6 球状星団

互いの重力で引き寄せ合った数百万個の恒星から成る。銀河と球状星団はいずれも恒星の大集合体であるが、二者の決定的な違いはその形態と大きさ、構成する星の数である。球状星団は銀河系形成の初期に生まれた古い天体であり、その年齢は 100 億年を超える。



図 15 ヘルクレス座球状星団 M13 - 夏、南の空

参考文献

- ・ 塩谷泰広 (2009) 「銀河進化論」 プレアデス出版
- ・ 数理科学 2011 年 12 月号 「物理と仮説」 サイエンス社
- ・ 観山正見 (2011) 「宇宙の地図」 朝日新聞出版
- ・ Wikipedia (たくさん), <http://ja.wikipedia.org/wiki/銀河> など...(2012.11.23 アクセス)

写真と画像の引用元↓

- ・ 天の構造 (P2) : <http://ja.wikipedia.org/wiki/ウィリアム・ハーシェル>
- ・ 渦巻銀河 M101 の写真 (P3) : <http://ja.wikipedia.org/wiki/M101>
- ・ 密度波 (P4) : <http://ja.wikipedia.org/wiki/密度波>
- ・ 楕円銀河 M87 の写真 (P4) : <http://ja.wikipedia.org/wiki/M87>
- ・ 不規則銀河 M82 の写真 (P5) : <http://ja.wikipedia.org/wiki/M82>

Special Thanks!

会長 (O 氏) , プラネ班長 (K 氏) , 写研班長 (D 氏)
各天体の方角その他の助言, 写真の提供などをしていただきました。