

銀河形成

Anatomy of elliptical galaxies

楕円銀河の解剖学

Luca Ciotti

Nature Vol.460(333-334)/16 July 2009

楕円銀河の間は、一定のルールに従った規則正しい構造をしている。この規則正しさの中に見られる「不規則性」を調べることによって、楕円銀河形成の謎を解明する糸口がつかめるかもしれない。

宇宙にはさまざまな天体が見られるが、最も古いものの1つが楕円銀河である。この「楕円銀河がどのようにして形成されたのか」というテーマは、現代の宇宙物理学でも最もよく議論されてきた。有望な形成メカニズムがいろいろ提案されている中で、いちばん人気の高いのが合体説である。この仮説によると、さまざまな形の親銀河どうしがいろいろな配置で衝突・合体して、多くの銀河ができたことになる。しかし、観測によれば、他のメカニズムでできた可能性も残っている。これまで、楕円銀河の構造に見られる規則性を理論モデルと調和させるべく、多大な努力が積み重ねられてきたが、楕円銀河がどのようにして形成されたかについては、なお合意は得られていない。テキサス大学オースチン校のKormendyらは、地球に最も近い銀河団の1つ「おとめ座銀河団」について、その中でわかっている楕円銀河すべてを詳細に調べ、研究結果を *Astrophysical Journal Supplement Series* に報告した¹。彼らは、観測で見つかった規則性からの「逸脱」をもとに、楕円銀河の形成を引き起こしたプロセスを知ることができるかどうか調べている（次ページの図1）。

楕円銀河の最大の特徴は、その明るさの分布にある。銀河を構成する星が放つ光の合計光度は、中心からの距離とともに変化していくが、その変化の仕方が、銀河全体の全光度に基づいた一定のルール従うのだ。このルールをセルシックの法則とよぶ。要するに、楕円銀河の中心から周辺部にいたる光度分布曲線は、セルシックの法則で決まっている。楕円銀河の場合、全光度と関係するのは、銀河の大きさ、星の平均速度、金属含有量などである。楕円銀河のもう1つの共通点は、中心部に超大質量のブラックホールがあることで、その質量は、その銀河に含まれる星の質量の1000分の1のオーダーにも達する²。

Kormendyらはおとめ座銀河団の研究の中で、楕円銀河の中心から遠い領域までの光度分布を報告し、楕円銀河は、全光度の違いに応じて性質が連続的に変化するような天体群とは見なせない、と主張している¹。そうではなく、楕円銀河は、全光度のある特定のしきい値によって、はっきりと2つのグループに分かれるようだ。銀河中心部に近い領域におけるセルシックの法則からの逸脱には、実は2種類あって、それが「明るい楕円銀河」と「暗い楕円銀河」という2つのグループに楕円銀河を分けている。第1の明るい楕円銀河では、光度分布曲線が銀河の中心部でとがった形（カスプ状）を示す。しかし、この中心部の光度は、中心から遠い部分ではよく合っているセルシック法則の光度分布曲線より低いのだ。この「法則よりも暗い中心部分」をコアとよぶ。つまり、この明るい楕円銀河は、中心に近いところで「光が少ない」のである。一方で、第2の暗い楕円銀河では、そうしたコアは見られない。コアなしなのだ。逆に、暗い銀河の中心部では、セルシック法則を上回る「余分な光」さえ見られるようだ（しかし、中心部の光度分布には別の解釈もある。Grahamらの論文³を参照）。

Kormendyらの研究結果により、楕円銀河が2種類に分かれることを暗示するその他の観測結果が、より重要性を増してきた。明るくてコアのある銀河は、ゆっくり回転し、どちらかといえば非等方的、つまり星の速度分布が方向に依存するなどの性質があり、三軸の形状（銀河の直径が三方向で異なっている）をもっている。さらに、かなり急峻なセルシック分布を示し、ほとんどの星がとても古く、星の形成にかかった時間も比較的短かったと考えられる。一方、暗くてコアのない楕円銀河の方は、速く回転し、より等方的で、大部分は扁球の形（楕円を短軸を軸に回転させた形）をしている。そ

して、かなりゆるやかなセルシック分布を示し、銀河を構成する星はもっと若く、星の形成にかかった時間はずっと長い。なお、コアのある楕円銀河は、X線を放出している高温ガスを含み、電波の放射が強い傾向があることもよく知られている。一方、コアのない銀河にはそうした傾向はみられない⁴。

これまでは、楕円銀河という銀河のグループが規則性をもつことから、その規則性をもとに有望な形成メカニズムが絞られてきた^{5,6}。しかし今回のKormendyらの分析は、規則性からの「逸脱」を調べる研究が、さらに魅力的な手がかりになるかもしれないことを示している。以前から、1つの可能性として、明るく大きな楕円銀河のコアは、自然なプロセスとして2個のブラックホールによって侵食されて作られた、というシナリオが考えられてきた⁷。それぞれが中心にブラックホールをもつ小さな楕円銀河が2つ合体すれば、新たな楕円銀河の中心には2個のブラックホールが位置することになる。そして、合体という仕組みが楕円銀河の仲間すべての主要形成メカニズムだとすれば、コアなしの楕円銀河にも2個のブラックホールが見つかっていいはずである。ではなぜ、コアなし楕円銀河では、2個のブラックホールによるコア形成が妨げられているのだろうか。

Kormendyらは、もしも合体中の相手から低温ガスが十分に供給され、それが形成中のコアなし銀河の中心部へと運ばれ、星が変わって余分な光を出すなら、2個のブラックホールによるコア形成の効果がき消されてしまう、と提案している¹。Kormendyらのこの新しい提案では、明るいコアあり楕円銀河は、多数の古い星をもち、低温ガスをほとんど、あるいはまったくもたない親どうしの合体（「乾いた」合体）の結果であり、一方、暗いコアなし銀河は、低温ガスに富んだ銀河どうしの合体（「湿った」合体）の結果だ、ということになる¹。湿った合体はスターバースト（爆発的星生成）を引き起こすであろう。2つの親のブラックホールが合体して最終的に1つのブラックホールができて、そこへのガス降着によって放出されるエネルギーは、このようなガスを熱し、星の形成を抑えるには十分ではないだろう。

Kormendyらが提案した仮説は魅力的だが、楕円銀河の形成メカニズムの決定版というわけではない。楕円銀河の中では、大規模な進化メカニズムが働いていると考えられている。例えば、楕円銀河の数十億年にわたる進化の中では、死んでいく星は、銀河の最初にあった星の質量の約20～30%に相当する量のガスを放出する。しかし、現在のブラックホールと銀河の質量比の観測結果によれば、経験則として、せいぜいこのガスの1%が中心のブラックホールへと降着するにすぎない。つまり、ガスのほとんどすべてはブラックホールへ降着するのではなく、何らかの方法で銀河の中でリサイ



図1：見た目は単純、中身は複雑な楕円銀河。ハッブル宇宙望遠鏡がとらえたAbell S0740銀河団の画像の中に、大型銀河ESO 325-G004（上左）などの楕円形をした銀河が写っている。これはかなり単純な天体に見える。Kormendyらは、こうした一見単純な銀河が思いがけない複雑さを備えていること、そして、その複雑さが楕円銀河の形成メカニズムを解明する糸口になりうることを示した¹。

クルされているのだ。ガスの一部が銀河の中心へ流れ、星に変わったのなら、暗い楕円銀河の中心部に見られる余分な光を生み出すのに十分かもしれない⁸。一方、銀河の合体がもたらす効果とは、単純に、明るい楕円銀河のコアを形成するだけなのかもしれない。

銀河形成にはさまざまな物理過程が関与しているが、それぞれがどの程度寄与しているのだろうか。この問題を解明するため、高度なコンピュータシミュレーションが次々と実行されている^{9,10}。Kormendyらの研究結果は、かつてはあまりおもしろくない天体と考えられていた楕円銀河の研究が、銀河形成の謎に迫る重要なカギを握っていることを教えてくれる。（新庄直樹 訳）

Luca Ciotti は、イタリアのポローニャ大学の天文学科に所属している。

1. Kormendy, J., Fisher, D. B., Cornell, M. E. & Bender, R. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **182**, 216–309 (2009).
2. Magorrian, J. *et al. Astron. J.* **115**, 2285–2305 (1998).
3. Graham, A. W., Erwin, P., Trujillo, I. & Asensio Ramos, A. *Astron. J.* **125**, 2951–2963 (2003).
4. Pellegrini, S. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **364**, 169–178 (2005).
5. Toomre, A. in *The Evolution of Galaxies and Stellar Populations* (eds Tinsley, B. M. & Larson, R. B.) 401–426 (New Haven Yale Univ. Observatory, 1977).
6. Ostriker, J. P. *Comments Astrophys.* **8**, 177–180 (1980).
7. Merritt, D. *Rep. Prog. Phys.* **69**, 2513–2579 (2006).
8. Ciotti, L. & Ostriker, J. P. *Astrophys. J.* **665**, 1038–1056 (2007).
9. Hopkins, P. F., Lauer, T. R., Cox, T. J., Hernquist, L. & Kormendy, J. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **181**, 486–532 (2009).
10. Naab, T., Johansson, P. H., Ostriker, J. P. & Efstathiou, G. *Astrophys. J.* **658**, 710–720 (2007).