



天文学最前線【7】

ブラックホールのミッシングリンク

福江 純 (大阪教育大学)

1. わかっていたこと

本稿では、ブラックホール天文学の最前線の話題として、最近のブラックホールの観測的状況、とくにブラックホールのミッシングリンク-失われた環-の発見について紹介したい。

まず最初に、ブラックホールに関して、【わかっていたこと】から述べよう。ブラックホール天文学に関して、わかっていたことを3つ挙げるとしたら、第一はブラックホールの実在、第二はブラックホールの種類とくに超巨大ブラックホールの存在、そして第三は(普通の)ブラックホールの成因だろう。

(1) ブラックホールの実在

ブラックホールについて“わかっていたこと”を並べようとして、真っ先に頭に浮かんだのは、ブラックホールの実在である。いまでこそブラックホールの存在は当たり前みたいに語られるから、何をイマサラ、と思うかもしれない。しかしぼくがこの業界に入った

1980年ごろは、研究者でさえ信じていない人や半信半疑の人の方が多かっただろう。観測的に実証されつつあったにもかかわらず、ブラックホールの実在を疑わなかったのは、一般相対論をきちんと学んだ一部の理論家だけだった。まだほんの(笑)20年ほど前に過ぎない。

理論的には、ブラックホールを表す、アインシュタイン方程式のもっとも簡単な解「シュバルツシルト解」を、ドイツの天文学者カール・シュバルツシルトが求めたのが、1916年のことである。さらに星が自分自身の重力のために無限小へ収縮し、重力崩壊を起こしてブラックホールになるのだ、と初めて指摘したのはオッペンハイマーとシュナイダーである(1939年)。ちなみにブラックホールという名前は1969年頃にアメリカのホイラーが名づけた。

一方、観測的には、最初のブラックホール天体<はくちょう座X-1>が発見されたのは、1970年代に入ってからだ。その経過を簡

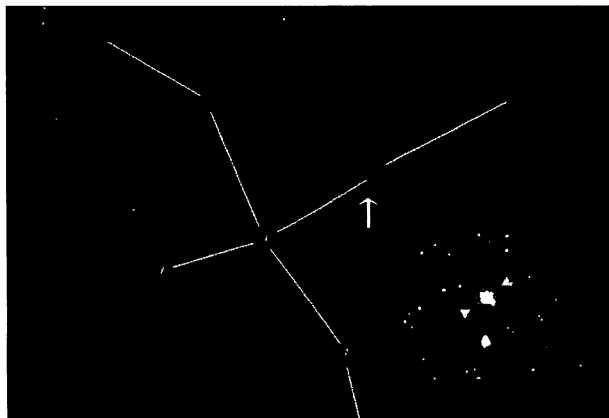


図1 ブラックホール天体<はくちょう座X-1>。夏の夜空に羽ばたくはくちょうの首の付け根(矢印)あたりにあるX-1(X線源No1)は、太陽の30倍程度の質量をもった青色超巨星と10太陽質量程度のブラックホールからなる近接連星系である。左の写真は筆者が撮影したときの悪い写真で、挿入された画像は大阪教育大学で撮影されたもの。挿入画像の三角記号で挟まれた星がHDE226868。

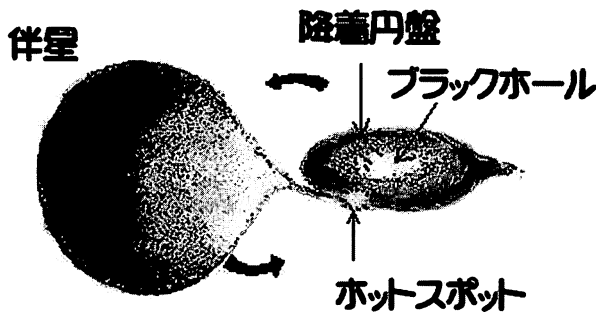


図2 ブラックホール天体<はくちょう座X-1>の描像。ブラックホールの重力圏に流れ込んだ伴星の大気が、公転運動のために円盤状に降り積もり、ブラックホールのまわりで降着円盤を作っている。ブラックホールの近傍では円盤ガスの温度は数千万度にもなっていて、X線を放射している。

単に述べておこう。

はくちょう座に強いX線源があるのは以前から知られていたのだが、その位置が突き止められ具体的な天体と同定されたのは1971年になってからである。世界初のX線衛星<ウフル>や日本の気球観測などによって、はくちょう座X-1の位置が、HDE226868という名前の9等星と同定されたのだ(図1)。

この星は、O9型の青い超巨星で、表面温度は比較的高いが、それでもX線を出すようなだいたいそれなりの天体ではない。同年、この星が公転周期5.6日の近接連星系をなしていることが明らかになるにいたり、光では見えないがその伴星こそX線を出している問題の天体、すなわちはくちょう座X-1の本体だということになった。

HDE226868の質量は(主系列星なら)太陽

の30倍程度であり、連星系の軌道周期の解析から、見えない伴星の質量は太陽質量の8倍以上11倍以下くらいと推定された。もし通常の恒星として存在しているのなら必ず見えるはずだ(現にHDE226868の方は見えている)。一方、中性子星などとしては、許される質量上限値を遥かに超えている。他にも、ミリ秒程度のX線時間変動や、X線スペクトルの性質などいろいろな状況証拠があるが、現在でははくちょう座X-1はまず間違いなくブラックホールだと信じられている。

図2に、現在のはくちょう座X-1の描像を示す。青い超巨星からブラックホールの重力圏に流れ込んだガスが、回転のために降着円盤となり、ブラックホールのそばで激しくぶつかり合い擦れあって、数千万度という超高温に熱せられた結果、強いX線を放射するよ

表1 恒星ブラックホール天体

名前	質量
Cyg X-1 (はくちょう座X-1)	9.5 太陽質量以上
LMC X-3 (大マゼラン雲X-3)	9.0 太陽質量以上
GS2023+338 (はくちょう座V404)	6.3 太陽質量以上
A0620-00 (いっかくじゅう座)	3.2 太陽質量以上
GS1124-683 (はえ座新星)	3.1 太陽質量以上
LMC X-1 (大マゼラン雲X-1)	2.5 太陽質量以上

うになったのである。

はくちょう座 X-1 のような、太陽の数倍から 10 倍程度の質量をもったブラックホール、いわば“普通の”ブラックホールを、つぎに述べるタイプと区別して、しばしば「恒星ブラックホール」などと呼ぶことがある。恒星ブラックホールは 10 個程度見つまっている (表 1)。

(2) ブラックホールの種類／超巨大ブラックホールの存在

恒星ブラックホールと並んで、その存在が立証された重要なタイプのブラックホールが、活動的な銀河の中心に鎮座している「超巨大ブラックホール」(または「超大質量ブラックホール」)である。恒星ブラックホールの典型的な質量が 10 太陽質量程度なのに対し、超巨大ブラックホールの質量は 1 億太陽質量にも及ぶ。

たとえば、おとめ座の方向で約 4400 光年の距離にある M87 と呼ばれる銀河は、多数の星がボール状に集まった楕円銀河の一種だが、かなり変わった特徴を持っているために、われわれの業界では有名な方である。どう変

わっているかということ、銀河から非常に強い電波が出ているのだ。なぜそれが不思議かというと、普通の銀河はたくさんの星からできているわけだが、普通の星は、あまり強い電波を出さないの、したがって普通の星からできている普通の銀河は、あまり強い電波を出さない。この M87 のように、普通の銀河に比べて非常に強い電波を出している銀河を、「電波銀河」と呼んでいる。くだんの M87 が、1990 年代半ばには、修理が済み復活したハッブル宇宙望遠鏡が、その M87 銀河の中心にモンスター太陽の 30 億倍もの質量を持った巨大なブラックホールがいるという新たな証拠を見つけた (図 3)。

以前からも M87 の中心には超大質量のブラックホールがあるだろうと推定されていたが、ハッブル宇宙望遠鏡は、搭載の広視野惑星カメラで M87 中心を撮像し、中心に渦巻くガス円盤の姿をはっきりと写しだしたのだ。もちろんこれだけではブラックホールの証拠にはならないが、さらに、搭載の微光天体スペクトログラフでガス雲からやってくる光のスペクトル分析を行い、ガス雲全体が中心のまわりを秒速 550km もの高速度で回転してい

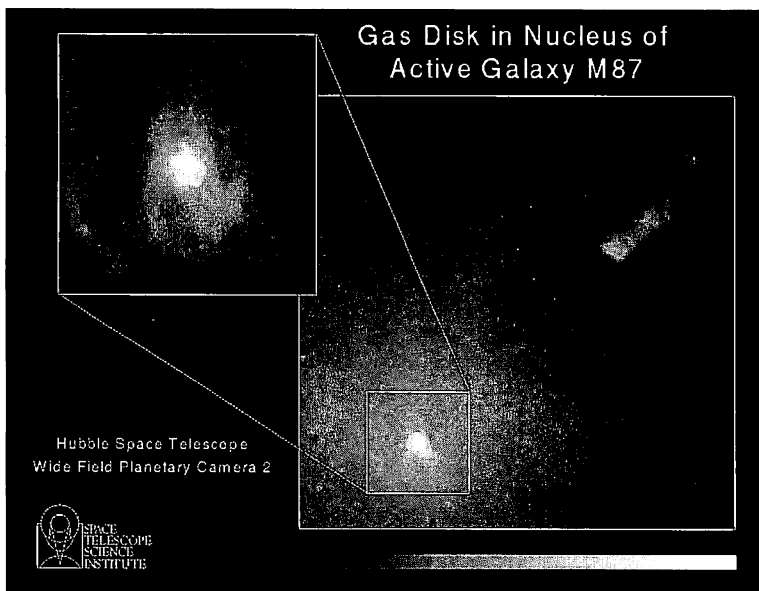


図 3 活動的な電波銀河 M87 (ハッブル宇宙望遠鏡のホームページ <http://www.stsci.edu/gallery/> より). 右側の広範囲の画像では、M87 の中心から吹き出す光学ジェットが写っている。左上の拡大画像では、M87 中心を渦巻くガス円盤が写っている。この M87 中心の撮像は、ハッブル宇宙望遠鏡の初期の大ヒットの一つ。

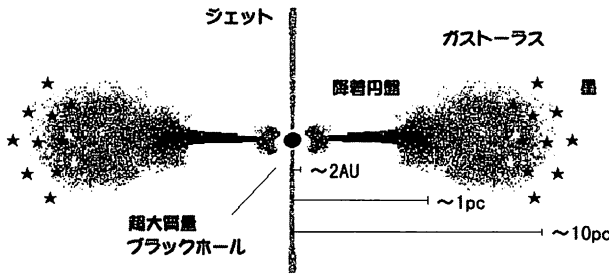


図4 活動的な銀河中心の描像。太陽の1億倍もの質量をもち半径が2天文単位もある超巨大なブラックホールのまわりに、半径数光年にもおよぶ降着円盤が渦巻いている。中心近傍からは亜光速のジェットが吹き出している。

ることを発見したのである。これだけ高速で回転しているガス雲が飛び散ってしまわないためには、強い重力によってガス雲を中心に引きつけるものが必要である。万有引力の法則を用いて中心の天体の質量を見積もるのはたやすい。その結果が、太陽の約30億倍の質量というわけだ。

普通の銀河に比べて、きわめて活発な活動を示している銀河を、ひとまとめにして「活動銀河」と呼んでいる。このような活動銀河の中心における活発な活動の原因として、現在、広く信じられ観測的にも支持されつつあるのは、「超大質量ブラックホール」とそのまわりの「降着円盤」という描像である(図4)。

現在信じられているところによれば、典型的な活動銀河の中心には、半径が地球と太陽の間の距離の2倍(2天文単位)、質量が太陽の1億倍もの超巨大なブラックホール—これ

が「超大質量ブラックホール」—が存在しており、その周囲に半径1光年にもおよぶガスの円盤—「降着円盤」—が渦巻いている(図4)。そしてこれらが、宇宙規模の発電所として働いて、銀河中心のさまざまな活動を引き起こしているらしいのだ。降着円盤はほとんど水素ガスからできていて、中心のブラックホールのまわりをぐるぐる渦巻いている。このような回転運動をしている降着円盤の中では、ガス同士が互いに接しているために、ガスの間で“摩擦”が働く。その結果、ガスは加熱され、ついには輝き始めるのである。この降着円盤からの電磁放射が活動銀河の明るさの根源(の一つ)なのである、と信じられている。

普通の銀河の数パーセント程度が活動銀河で、活動銀河の中心には超巨大ブラックホールがあるなら、超巨大ブラックホールの個数

表2 有名な超巨大ブラックホール活動銀河

名前	特徴
クェーサー 3C273	超遠方の活動銀河で光学ジェットをもつ
巨大楕円銀河 M87	電波銀河で光学ジェットをもち、ガス円盤も発見された
楕円銀河 NGC4261	電波ジェットをもち、ガス円盤も発見された
メガメーザー NGC4258/M106	強力なメーザー放射をしている 約4000万太陽質量
セイファート銀河 MCG-6-30-15	相対論的な効果を受けた非対称鉄輝線が発見された

は、数億個から10億個もあるかもしれない。その中の有名どころを表2に示す。

(3) 恒星ブラックホールの成因

恒星ブラックホール、すなわち太陽の10倍程度の質量をもった普通のブラックホールは、星の死によって生まれる(図5)。

太陽よりかなり重い星の最後は劇的で、星全体が砕け散る超新星爆発を起こして最期を迎える。細かい数値にはまだ不確定性があるのだが、太陽の4倍から8倍くらいの質量の星の場合、超新星爆発の後に何も残らないだろうと思われている。太陽の8倍から30倍くらいの質量の範囲では爆発後に中性子星が残る。もとの星の質量は太陽の何十倍もあっても、大部分は星間空間に飛び散ってしまい、残された中性子星の質量は太陽程度になるのだ。もっとも重い星の場合、おそらく太陽の30倍くらいよりも重い星の場合は、いかなる圧力によっても自分自身を支えることができなくなり、中心核は重力崩壊を起してとことん潰れ、光でさえ逃れられないブラックホールになってしまうのだ。

星の進化の果てに恒星規模のブラックホールが生まれることはまず間違いないのだが、問題は活動銀河の中心などにある超巨大ブラックホールの成因であった。

2. わからなかったこと

ブラックホールについて【わかっていたこと】以外は、当然わかっていなかったのだが、その【わからなかったこと】にもいろいろある。

恒星ブラックホールに関しては、たとえば、恒星ブラックホールは銀河系の中にくいつあるのか、それらは銀河系の中でどのように分布しているのか、またブラックホールの質量分布はどうなっているのか、恒星ブラックホールの質量に最小とか最大はあるのか、カーブラックホールの割合はどれくらいか、などなど、わからないことはまだ一杯ある。

超巨大ブラックホールについても同様な疑問があるのだが、超巨大ブラックホールに関しては、大いなる謎が、その成因である。超巨大ブラックホールがどのようにできたかについては、まだ定説がないのだ(図6、図7)。

曰く、銀河の形成と同時に中心部の高密度部分が重力崩壊して誕生した

曰く、銀河中心にできた超星や稠密星団が重力崩壊して誕生した

曰く、普通のブラックホールなどが合体集積して、次第に大きくなった

曰く、普通のブラックホールが星間ガスを食べて、次第に大きくなった

曰く、普通のブラックホールが星を破壊し食べて、次第に大きくなった

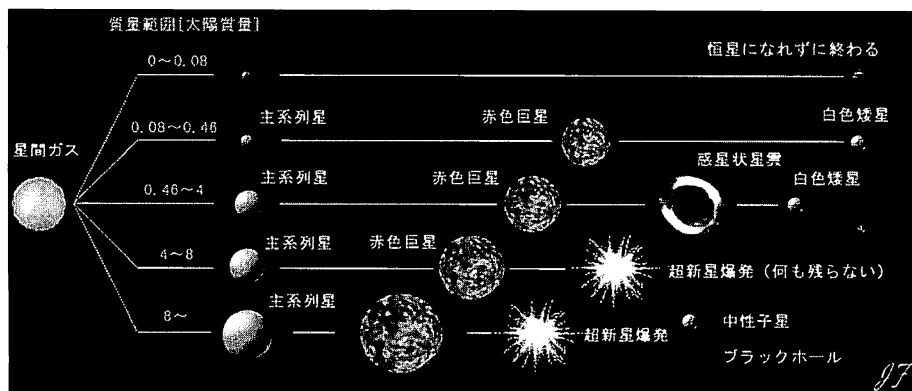


図5 恒星ブラックホールの成因。大質量の星が超新星爆発を起こした後にブラックホールが残される。

(0) 最初から

まず、最初に挙げるべき説としては、超巨大ブラックホールは、銀河（活動銀河）が生まれたときから中心にできていたという考え方もできる。初期条件に押し込めてしまうのは、あまり面白くないが。

(1) 星の潮汐破壊

銀河の中心では星が非常に密集しているため、しばしば中心のブラックホールの近傍に迷い込んでくる星も出てくる。もし運悪く近づき過ぎると、ブラックホールの重力圏に触れその潮汐力に引き裂かれて、星は粉々に破壊されてしまうのだ。これを「潮汐破壊」と呼んでいる。

たとえば、ブラックホールの質量を太陽の1億倍とし、恒星は太陽と同じ質量、半径をもつとすると、潮汐破壊の起こる距離は、太陽半径の約928倍（4.3天文単位）となる。太陽の1億倍の質量をもつブラックホールのシュバルツシルト半径は約2天文単位なので、そ

れより少し大きいくらいである。銀河中心核の星は、太陽のような矮星よりは巨星の方が多く、それらは星のガス密度が小さいため、太陽の場合よりも、もっと遠方で潮汐破壊される。ただしブラックホールの質量が太陽の数十億倍より大きくなると、潮汐破壊の半径よりブラックホールの半径の方が大きくなるため、もはや潮汐破壊は起きなくなる。というのは潮汐破壊されるような距離まで近づく前に、星は丸ごとブラックホールに飲み込まれてしまうからである。

さて星が潮汐破壊された結果、その運悪い犠牲星を作っていたガスがもとの軌道上にばらまかれて降着円盤を形成するだろう。超巨大ブラックホールは、誇張なしに言葉通りの意味でまさにスターデストロイヤー（星を壊すもの）なのである。

(2) 星の衝突破壊

またブラックホールによって潮汐破壊されなくても、星同士が“直接”衝突して壊れる場合もあるだろう。これはそのまま「衝突破

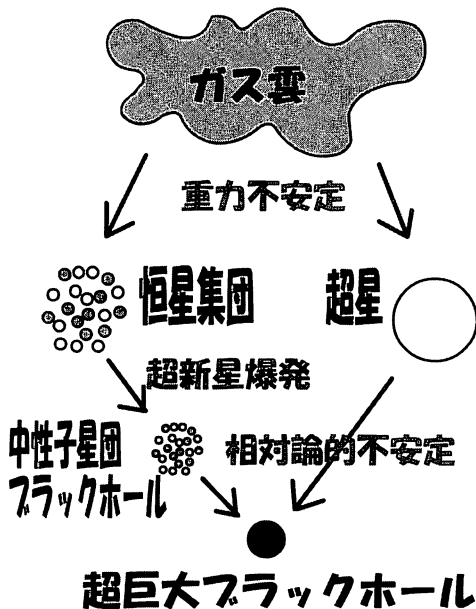


図6 超巨大ブラックホールの成因—すべての道は超巨大ブラックホールへ通じる。銀河中心のガス雲からは多数の恒星が生まれ、それらが超新星爆発を起こして中性子星+ブラックホール星団になり、最終的に超巨大ブラックホールになるかもしれない。あるいは、ガス雲からは超巨大な星(超星)が生まれ、一般相対論的な不安定で超巨大なブラックホールになるのかもしれない。いずれにせよ、すべての道は超巨大ブラックホールへ続いているのである。

壊」と呼ばれる。このようなことが起こるのも星の密集している銀河中心ならではである。さらに超巨大ブラックホール周辺に降着円盤ができれば、そこからの非常に強い輻射場によって星が”溶かされる”という考えすらある。ガスのもととなる恒星は、銀河中心核の密集した恒星集団（核恒星系）内で、中心のブラックホールの周りを回っているから、そのガスが角運動量は持っているのは自然なことであろう。

(3) 星間ガスの雨が降る

星をぶっこわすとか溶かすというのはかなり過激なアイデアだが、もうちょっとおだやかな方法としては、銀河内の星間ガスが中心核に降ってきてよい。

普通の恒星は、その進化の途上で、毎年平均して太陽質量の1千億分の1くらいの量のガスを、周囲の宇宙空間にまき散らしている。銀河全体では1千億個ほどの星があるから、結局1年間に銀河全体で太陽1個程度の量の星間ガスが新たに放出されていることに

なる。この通常の恒星から放出されたガスやもとからあった星間ガスの一部が中心へ降ってくるだろうという考えである。

(4) 巨大分子雲が突っ込む

星間ガスはしばしば太陽の1万倍くらいの質量をもつ、巨大な分子雲という形で存在している。巨大分子雲はわれわれの銀河系でも数多く発見されている。このような分子雲は銀河の中心のまわりを軌道運動しているが、別の分子雲との遭遇その他のいろいろな重力的摂動によって、銀河の中心へ落ち込んでいく場合もあるだろう。そのようなことを繰り返すうちに、巨大分子雲自体が銀河の中心核に突っ込んで、ブラックホールにガスを供給することも考えられる。

(5) 銀河相互作用

これらのガス供給プロセスを促進しさらには引金となるメカニズムもある。たとえば銀河同士の相互作用がそれである。

銀河団中においては銀河が集中しているた

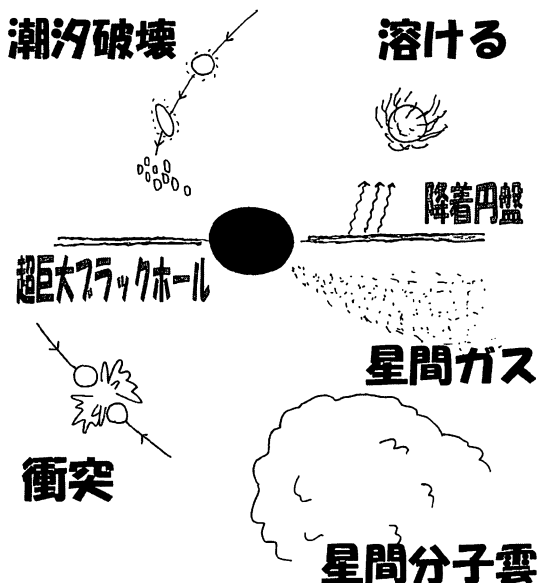


図7 超巨大ブラックホールの成長—超巨大ブラックホールは悪食である。超巨大ブラックホールへは、さまざまな過程によって、質量が供給される。たとえば、超巨大ブラックホールの近傍に近づいてしまった星は、ブラックホールの潮汐力で破壊されるだろう。銀河中心では星同士が衝突して壊れることもあるだろう。超巨大ブラックホールのまわりに形成された降着円盤の影響によって溶かされる星もあるかもしれない。ガスや塵が降ってくることや、さらには巨大な星間分子雲が落下することさえあるだろう。これらすべてを、好き嫌いなく、ブラックホールは食していくのである。

め、銀河同士が近接遭遇することも希ではない。極端な場合は直接に衝突し、さらに合体さえしてしまう。この現象は「銀河合体」と呼ばれている。

観測的にも銀河団中に、銀河合体を起こした銀河が数多く発見されている。銀河合体が起こると銀河の質量は大きくなる。合体銀河にさらに別の銀河が合体していけば、質量はどんどん大きくなる。大きな銀河団の中心付近にはしばしば巨大楕円銀河が存在しているが、おとめ座銀河団の中心にある M87 など、そのような度重なる銀河合体の結果できたものではないかと推測されている。

さてこのような銀河合体が起こると、銀河全体の構造が大きく変化するだけでなく、中

心核も激しい影響を受ける。ぐしゃぐしゃとなるわけである。その結果、超巨大ブラックホールには、合体直後から星がどかどか降ったり、星間ガスがドドット落ちてきて、非常に活発な活動を始めるのではないかと想像されている。M87などの活動もそれが一因かも知れない。

超巨大ブラックホールは、銀河の誕生と同時に一挙にできたのか、普通のサイズのブラックホールが次第に肥え太っていったのか、ブラックホールなどがときどき合体しながらできていったのか、超巨大ブラックホールの成因は30年来の疑問だった。

最近の観測によって、長年の謎を解明する

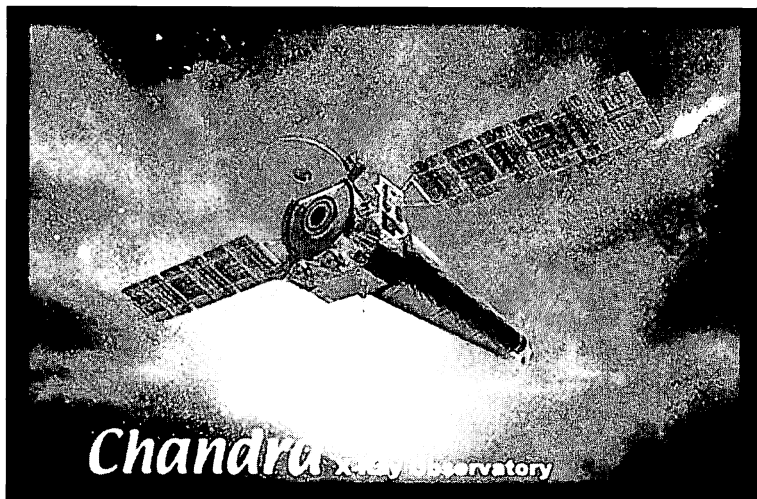


図8 チャンドラX線衛星
(チャンドラX線衛星のホームページ <http://chandra.harvard.edu/> より)。

チャンドラX線衛星は、1999年7月にスペースシャトルコロンビアで打ち上げられたX線衛星である。チャンドラX線衛星は、もともとはインシュタインX線衛星の後を継ぐものとして、10年以上も前から計画されていたAXAF (Advanced X-ray Astronomical Facility) と呼ばれる衛星だ。衛星など名前は、打ち上げの失敗などリスクも伴うので、最初は型番や略称で呼ばれることが多く、打ち上げが成功した後に、ニックネームがつけられるのが普通である。チャンドラ衛星の場合も、アメリカ全土と60もの国々から6千通もの応募が寄せられて、最終的に、白色矮星のチャンドラセカール質量などを導いた天体物理学者チャンドラセカール (Subrahmanyan Chandrasekhar) に因んで、チャンドラX線衛星 (the Chandra X-ray Observatory) と名づけられた (次ページの脚注)。

糸口が見えてきたのだ。以下で、簡単に紹介しよう。

3. わかったこと一失われた環

では、最近の新しい観測によって、ブラックホール天文学について何が新しく【わかったこと】となったのだろうか？

西暦2000年、京都大学の鶴剛、マサチューセッツ工科大学の松本浩典らを中心とした日本人グループが、チャンドラX線衛星（図8および脚注）を使ったX線観測によって、スターバースト銀河M82の中心付近に、恒星ブラックホールと超大質量ブラックホールの中間的な質量のブラックホール、いわば“ブラックホール種族のミッシングリンク”を発見したのである。この中間質量ブラックホールの質量は、太陽の1000倍から1万倍と見積もられている。

・・・

今回、新種のブラックホールが発見された銀河M82は、おおぐま座の方向で距離約1200万光年にある不規則銀河で、スターバースト銀河として知られている（図9）。スターバースト銀河とは、銀河の中心領域などで大量の星がどっと生まれている現象（スターバースト現象）を示す銀河だ。M82銀河ではガスや塵が非常に多いことなどのために、銀河系に比べて数千倍もの割合で星が大量に生まれ、

その結果、大量の超新星爆発を起こし、そして大量の中性子星やブラックホールも作られたことだろう。だから普通の恒星ブラックホールが存在すること自体は不思議ではないし、銀河系の中の恒星ブラックホールのように、周囲のガスを吸い込みながらX線で輝いているやつもいるだろう。

実際、スターバースト銀河M82の中心部（図9の四角枠の部分）をチャンドラX線衛星で撮像したところ、いくつかのX線源が発見された（図10）。小さ目のX線源はおそらくは星の死によって生じたタイプのブラックホールだが、注目すべきは画像右方の明るいX線源である。このX線源の明るさの時間変動などから考えると、この明るいX線源もまず間違いなくブラックホールである。しかし、X線の明るさやM82までの距離などから推定すると、このブラックホールの質量は、普通のブラックホールの質量よりはかなり大きい。かといって、M87銀河の中心などに存在する超巨大ブラックホールほどの質量はない。おそらく太陽質量の数千倍程度の質量だと推定されるのだ。すなわち、従来知られていた恒星ブラックホールと超巨大ブラックホールの間程度の質量をもつ、“新種”のブラックホールなのである。なお、この中間質量ブラックホールとM82銀河の中心（+印）は約500光年離れている。

チャンドラセカールは、1910年、インドのラホールに生まれ、1937年にアメリカに移住して、後に帰化した。星の内部構造（1939年に"Introduction to the Study of Stellar Structure"を出版）、恒星系力学（1942年に"Principles of Stellar Dynamics"を出版）、放射輸送（1950年に"Radiative Transfer"を出版）、流体力学・電磁流体力学（1961年に"Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability"を出版）、天体の平衡形状（1968年に"Ellipsoidal Figures of Equilibrium"を出版）、一般相対論的天体物理学（1983年に"The Mathematical Theory of Black Holes"を出版）などを研究して、研究分野に関するテキストを著してきた。1983年に星の内部構造に関する理論的な研究に対して、ファウラーと共にノーベル物理学賞を受賞した。1995年シカゴで没した。余談だが、チャンドラセカールのチャンドラとは、サンスクリット語で、“月”とか“明るい”という意味である。

その後の電波観測によって、この中間質量ブラックホールを取り囲むように、直径700光年にもおよぶ巨大なガスの泡が見つかった。このガスの泡は秒速約100kmで膨張していて、現在の観測時点より約100万年前に起こった超新星1万個分の大爆発によって生じたのではないかと推測されている。

M82銀河の中心付近では、現在の観測時点より数100万年前に大規模なスターバースト(爆発的星生成)が起こって、数十万年の間に1万個程度の超新星爆発を生じたのだろう。そしてその結果、大量のブラックホールができて、それらが合体して行って、今回発見された中間質量のブラックホールになったのではないかと想像される。

以上のようなシナリオが現実的に考えられるようになった点で、ブラックホールのミッシングリンクの発見は非常に高い意義があっ

たのである。

・・・

中間質量ブラックホールの発見は、一つの劇的な報告だったが、超巨大ブラックホールの観測に関しては、他にもいろいろ興味深い報告が相次いでいる。

その一つで、たとえばハッブル宇宙望遠鏡のホームページ (http://hubble.stsci.edu/news_and_views/) には、数十個の銀河の中心核を観測したところ、母銀河のサイズが大きいほど、中心核が明るく輝いているという現象が報告されている。このことは、母銀河のサイズが大きいほど、ブラックホールの燃料となる星やガスも多くて、ブラックホールがより大きく成長していることを意味するのかもしれない。

一方、スローンデジタルスカイサーベイによって、SDSS 1044-0125 と名づけられた、超

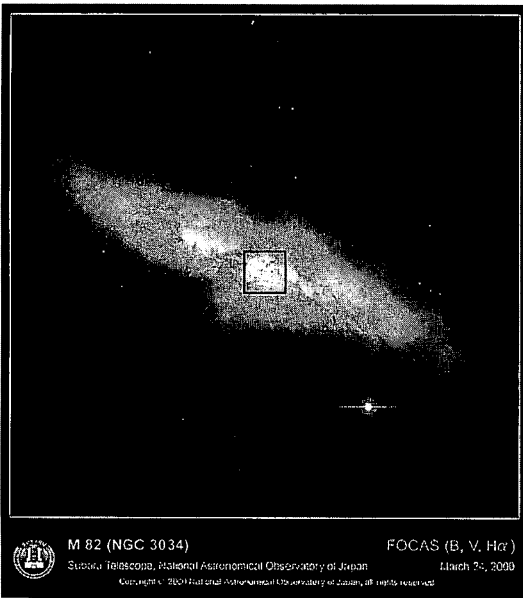


図9 スターバースト銀河M82の可視光画像(すばる望遠鏡のホームページ http://www.naoj.org/Gallery/j_pressrelease.html より、(C)NAOJ)。

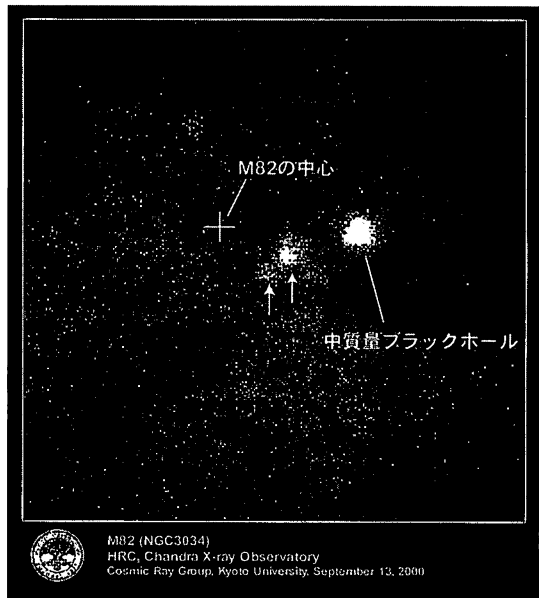


図10 スターバースト銀河M82の中心領域のX線画像(京都大学鶴剛さんのホームページ <http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/xray/press200010/>)。小さいX線源は普通のブラックホール、大きなX線源は新しく見つかった中間質量のブラックホール。M82銀河の中心(+印)と中間質量ブラックホールの距離は約500光年。

遠方のとてつもなく明るいクエーサーが発見された(see Haiman and Loeb, 2001, ApJ, 552, 459)。このクエーサーの赤方偏移は $z=5.8$ もあり、宇宙が誕生してからほんの10億年程度しか経過していない時代の天体だ。にもかかわらず、非常に明るく輝いていて、光度は 4.8×10^{47} erg/sにもものぼる値で、何と太陽の100兆倍、ふつうの銀河の1000倍も明るいのだ。仮にエディントン光度と呼ばれる極限光度で輝いているとしても、もし球対称なら、最低でも太陽の34億倍の質量をもった超巨大ブラックホールが必要なことになるのだ。

質量だけをみれば、巨大楕円銀河M87中心の超巨大ブラックホールの質量と同じくらいだが、問題はこのクエーサーの年齢である。M87は比較的近傍の銀河であり、年齢も宇宙

年齢と大差ないが、このSDSS 1044-0125 というクエーサーは上にも書いたように、まだほんの10億歳に過ぎない。そのため、クエーサーの誕生と共にブラックホールが生まれ、10太陽質量から成長をし始めたとしても、数十太陽質量まで成長できるかどうかは、かなりぎりぎりなのである。このクエーサーは、かなり特殊な例かもしれないが、超巨大ブラックホールの形成問題にとっては、一つの試金石だと考えられている。

4. わからなくなったこと—連続か断続か

科学研究においては、一つのことかわかると、新たに謎が生まれるのが常である。ブラックホール天文学においても例外ではない。ミッシングリンクが発見されたことに

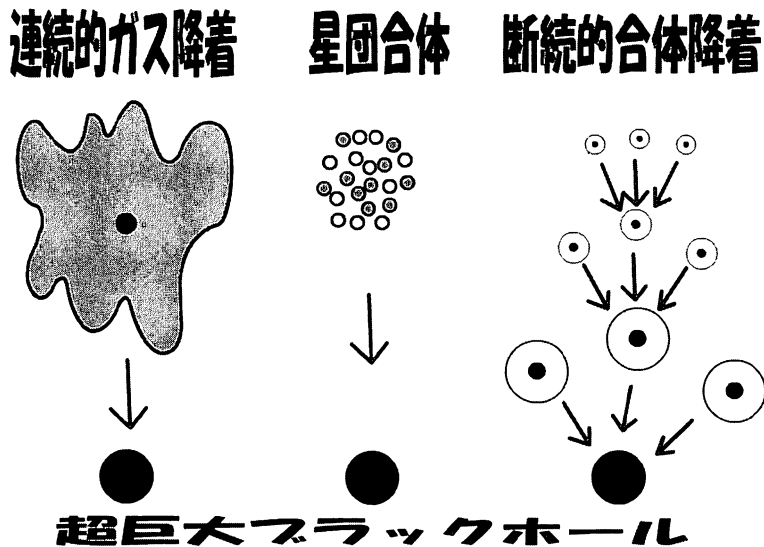


図11 超巨大ブラックホールの形成と成長 2002。

よって、こんどは何が【わからなくなった】の
だろうか？ 【まだわからない】の
だろうか？

超巨大なブラックホールの成因として、従
来いくつかの説があった。中間質量ブラック
ホールの発見によって、活動銀河の誕生当初
から超巨大ブラックホールはあったとか、誕
生前からあったとか、あるいは、誕生直後に
中心星団の崩壊によって一挙に生じたとい
うような可能性は低くなったといえる。超巨
大ブラックホールも、恒星ブラックホールが
何らかのプロセスによって合体成長してい
き形成されたのだろう。そう考えるのが自
然になってきた。

現在は、地質学で言えば、地層や大陸は神
が創ったのではなく、長年の間に形成され
てきたものであるということがわかった段
階、生物学で言えば、生物の進化がわか
った段階のような状態だ。ブラックホール
も合体成長して変化していくものらしい。

しかし、ものごとの変化には、小さな変
化が連続的に続いていく場合と、大きく
不連続な変化が断続的に起こる場合があ
る。たとえば、地質学における斉一説と
激変説、生物進化での連続的進化と断続
平衡説に対応して。ブラックホールの成
長は、連続的と断続的と、どちらなの
だろうか (図 11)。すなわち、
(a)連続的成長：10太陽質量程度の恒
星ブラックホールは、周囲からガスなど
を吸収しながら少しずつ大きくなって、
中間質量ブラックホールを経て、1億
太陽質量の超巨大ブラックホールまで、
連続的継続的に成長していく。ある
いは、10太陽質量程度の恒星ブラック
ホールがどんどん合体していき、次第に
超巨大なブラックホールになっていく。

(b)断続的成長：10太陽質量程度の恒
星ブラックホールが多数合体して、数千
質量程度の中間質量ブラックホールに
なり、さらに中間質量ブラックホール
が合体して超巨大ブラックホールにな
っていく、というように何段階か

で不連続・断続的に成長する。この断続
的な成長の描象には、銀河の合体に伴う
中心星団とブラックホールの合体や間
歇的なガス降着も含む。

のどちらなのだろう。

どっちでもいいような気がするかもしれ
ないが、恒星ブラックホールから超巨
大ブラックホールへの成長過程は、銀
河中心部の環境へ与える影響、宇宙
ジェット形成機構など、重要な問題に
関わるのだ。またカーブブラックホ
ールの形成など、ブラックホール物
理学にとっても大事な問題である。ど
んな成長の仕方をするかは、やはり
知りたいことなのである。今後の研
究が楽しい。