

# ブラックホールと宇宙の進化

京都大学大学院理学研究科教授 嶺重 慎

## 0. はじめに

「ブラックホールとは、多量のガスやエネルギーを放出する天体だ！」といえば、皆さんは驚かれるでしょうか。

ブラックホールは何もかも吸いこんでしまうというのが常識でしょう。しかしながら、最近のブラックホール研究は、ブラックホールこそは莫大なエネルギー源であり、宇宙が現在の姿になるために多大な貢献をしてきたらしいことを示しているのです。ブラックホールは、周りから奪いとるだけでなく、周りに与えることもできる。だから、ブラックホールは、ブラックホールそのものに関する興味からはもちろん、広く宇宙進化研究に携わる研究者に、今、一番とっていいほど興味を持たれています。キーワードは、「銀河とブラックホールの共進化」。ブラックホールは銀河と共に進化しているのです。

本講演では、宇宙最大の動力源、ブラックホールの、あまり知られていない意外な側面を、最新観測やシミュレーションをもとにあぶり出します。

## 1. ブラックホールとは

- それは 18 世紀に遡る (Michell)

ロケットで天体の外に飛び出すには、大きな運動エネルギー (初速度) が必要。

→ 光の速さでも外に飛び出せない天体 = ブラックホール!

- チャンドラセカール・エディントン論争 (白色矮星の上限質量について ~1930)

チャンドラセカール: 白色矮星の質量に上限質量がある。超すと崩壊してブラックホールが誕生。

エディントン: そんな馬鹿なことを防ぐ物理法則があるはずだ。

→ 中性子の発見 (チャドウィック 1932) → 中性子星の予言 (ツビッキー 1933)

- オッペンハイマー・ホーラー論争 (大質量星の最期について、1940~1960)

オッペンハイマー: 重い星が核燃料を使い果たすと、星は重力崩壊してブラックホールが誕生。

ホーラー: そんな馬鹿なことを防ぐ物理法則があるはずだ。

→ 衝撃波や電磁波放射が重力崩壊を阻む。それでも 20 太陽質量以上の星はブラックホールになる。

- 近接連星系ブラックホール

ふつうの星とブラックホールからなる連星系、お互いのまわりをくるくる回る。

周期 ~ 1 日程度、間隔 ~ 太陽半径の数倍、現在、数十個発見。



図 1 :  
ふつうの恒星 (左上) とブラックホール (右下のガス円盤の中心) からなる連星系の想像図 (イラスト: 落合隆夫)

- 銀河中心ブラックホール

(ほぼすべての) 銀河の中心には巨大ブラックホールがあるらしい。

ブラックホール質量は、太陽質量の百万倍 ~ 数十億倍!

## 2：ブラックホールの見え方

### ・電磁波で見る

ブラックホール近傍は極限世界、高温（一千万度以上）ガスが充満 → X線を放射。  
X線でよく見えるが、他の波長（赤外線や電波）でも観測されている。

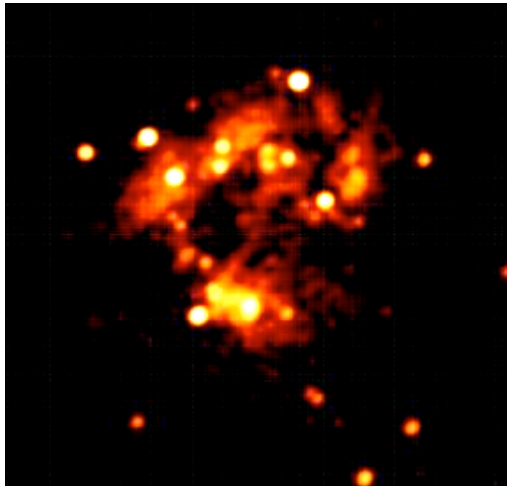


図2：近傍の銀河のX線画像。  
光っているのはほとんどブラックホール。  
典型的な明るさ～太陽光度の10万倍。

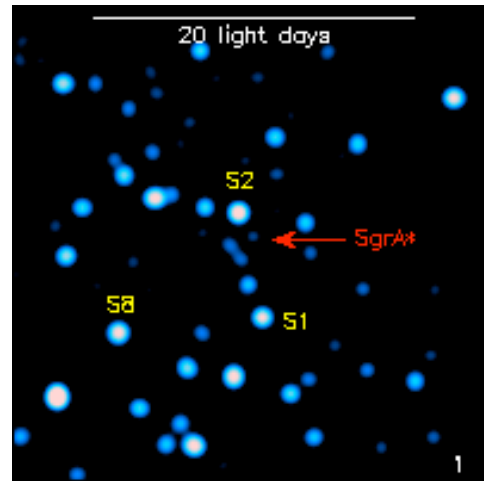


図3：天の川銀河の中心の赤外線画像。  
光っているのは、多くが星。中心の  
SgrA\*が銀河中心ブラックホール。

### ・飛び出すもの（ジェット）で見る

ブラックホールは、ものを吸い込むだけでなく、多量のガスやエネルギーを放出する！

### ・ブラックホールをとりまく天体の運動で見る

ブラックホールは強い重力源 → 天体の運動が影響される

### ・ブラックホールはなぜ光る？

光るのはブラックホールではなく、周りの落ち込むガス。

エネルギーの流れが大事：元は落ち込むガスのもつ重力エネルギー。

重力エネルギー → 運動エネルギー → 熱エネルギー → 放射エネルギー

### ・X線新星：突然明るく光るブラックホール。数日で数百万倍も明るくなる。

その原因は？ → 円盤不安定モデルで説明される

（ブラックホールをとりまく円盤は、ガスをためるフェーズと、ガスをブラックホールに落としこむフェーズとの間を往復する。）

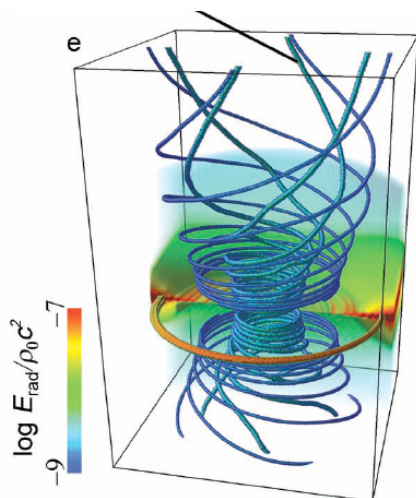


図4：ブラックホールに落ち込むガスと飛び出すガスのシミュレーション。

青い線は磁力線を表す。

（提供：大須賀健 国立天文台助教）

### 3 : ブラックホールのウソとホント

難しい話だけでは肩が凝るでしょうから、以下の問いについても共に考えてみたいと思います。

- ブラックホールは本当に「黒い穴」？
- ブラックホールの中はどうなっているの
- ブラックホールを実験で作るって聞いたけど大丈夫？
- ホワイトホールって何？
- 宇宙の最後はブラックホールになるって本当

### 4 . ブラックホールの形成と宇宙論的進化

ほぼのっぺらぼうの初期宇宙から、どうブラックホールをつくるか？

- 連星系にあるブラックホール → 超新星爆発でつくる  
銀河中心の大質量ブラックホール → 数十年にわたって謎

その基本シナリオ

- ① 大質量天体が重力崩壊してできる、
- ② 小さいブラックホールが合体してできる、
- ③ その中間（中位のブラックホールを合体）

- ブラックホールの宇宙論的進化

大きな（明るい）ブラックホールほど、宇宙の早い時期（今から 100 億年前）にできたらしい。

一見、宇宙構造形成のボトムアップシナリオ（小さいものからできた）に矛盾

- 最近の大発見：ブラックホールと銀河との共進化（互いにもちつもたれつの関係）

この原因も謎：大きさが 10 桁（質量でも 3 桁以上）も違う両者が、なぜ「共に進化」??

### 5 . 近未来のブラックホール観測プロジェクト

- VSOP 2 計画

人工衛星搭載の電波望遠鏡と地上の望遠鏡を組み合わせ、高角度分解能を得る。

ブラックホール近傍の拡大電波像が得られる（図 5 に理論による予想図）。

2012 年度打ち上げ予定。

- 京大の 3.8m 望遠鏡計画

1 8 枚の鏡を組み合わせ、日本で初の分割鏡方式の望遠鏡（図 6）。2012 年完成予定。  
ブラックホール等の突発天体現象の観測に威力を発揮する。

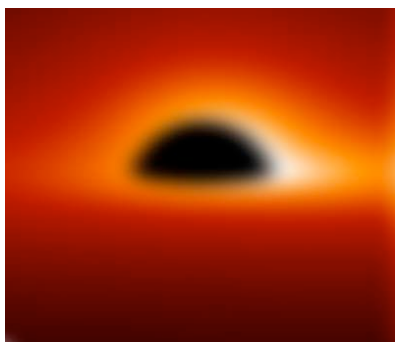


図 5 : ブラックホールの（予想される）拡大画像。中の黒い部分は、ブラックホール。まわりをとりまく円盤が明るく光っている。左右非対称であることに注意。

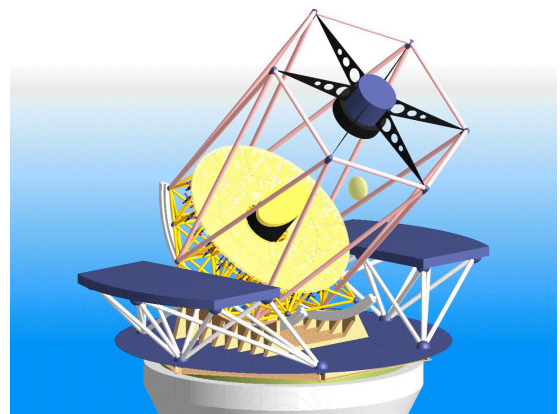


図 6 : 京大の新技术望遠鏡完成予想図。

## 講師略歴

嶺重 慎 京都大学大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 教授



1986年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了、マックスプランク天体物理学研究所ポスドク、テキサス大学オースティン校ポスドク、ケンブリッジ大学天文学研究所ポスドク、茨城大学助手等を経て、2001年京都大学基礎物理学研究所教授、2008年より現職。理学博士。井上學術賞(2007年)、日本天文学会林忠四郎賞(2008年)等を受賞。

専門はブラックホール天文学。観測データやシミュレーションデータをもとにしたブラックホール周囲の極限宇宙解明に興味をもっている。趣味は、週末のファゴット演奏。好きな作曲家はバッハ、モーツァルト、ベートーベン、マーラー、ショスタコービッチ。