

数値シミュレーションで迫る 超巨大ブラックホールの謎

野村真理子 (吳工業高等専門学校)

天文宇宙の七夕講演会 2022/7/9 筑波大学(オンライン)



自己紹介

野村 真理子(のむらまりこ)

- 吳工業高等専門学校 数学科教員
- 専門:ブラックホール宇宙物理(理論)
- ・ 筑波大との関わり
 - 2010~2014年度 受託院生・研究員として大須賀教授に師事
 - 2015年度 研究員として筑波大に在籍(梅村教授に師事)





七夕と天の川

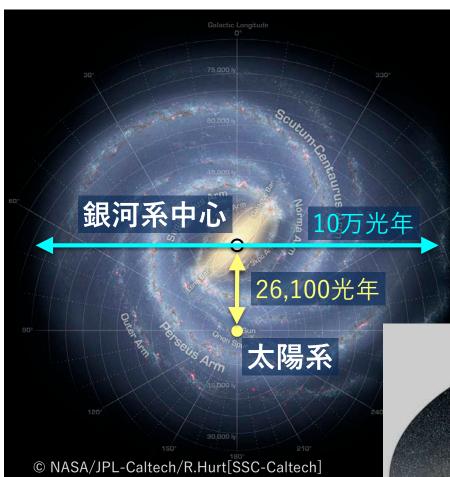
0



デネブ (はくちょう座) 彦星

アルタイル (わし座)

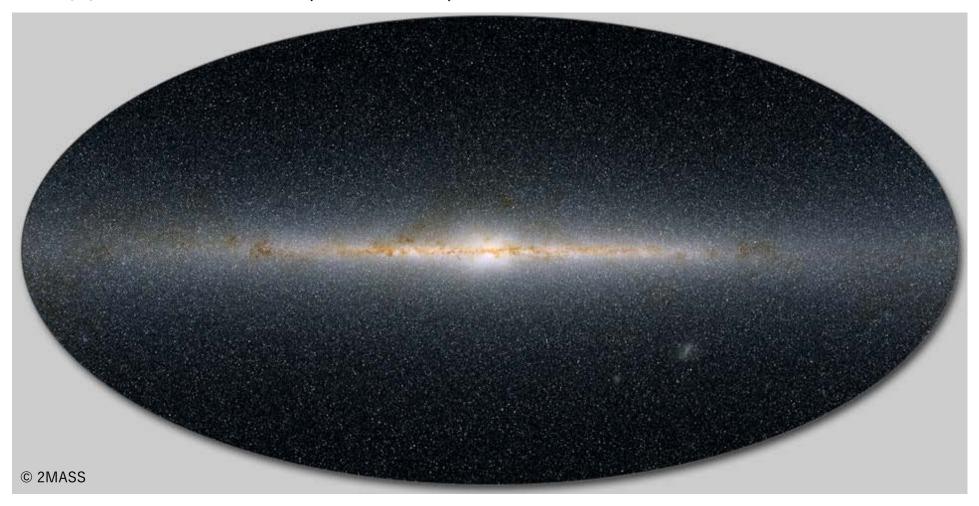
天の川銀河(銀河系)



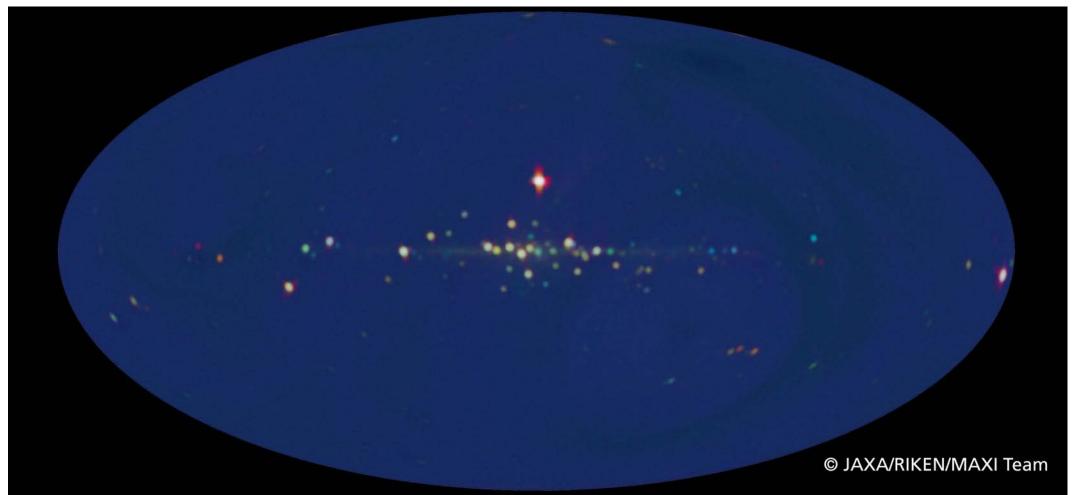
約1,000億個の星からなる 天の川銀河(銀河系)

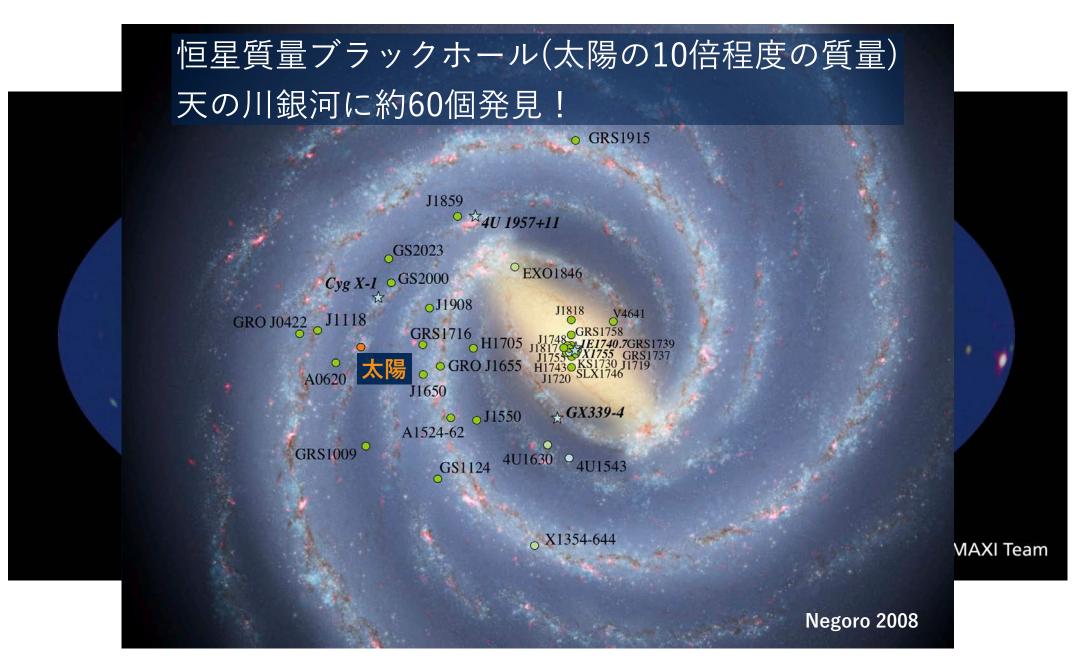
夜空に流れる「天の川」は 太陽系から天の川銀河を 真横に見た姿

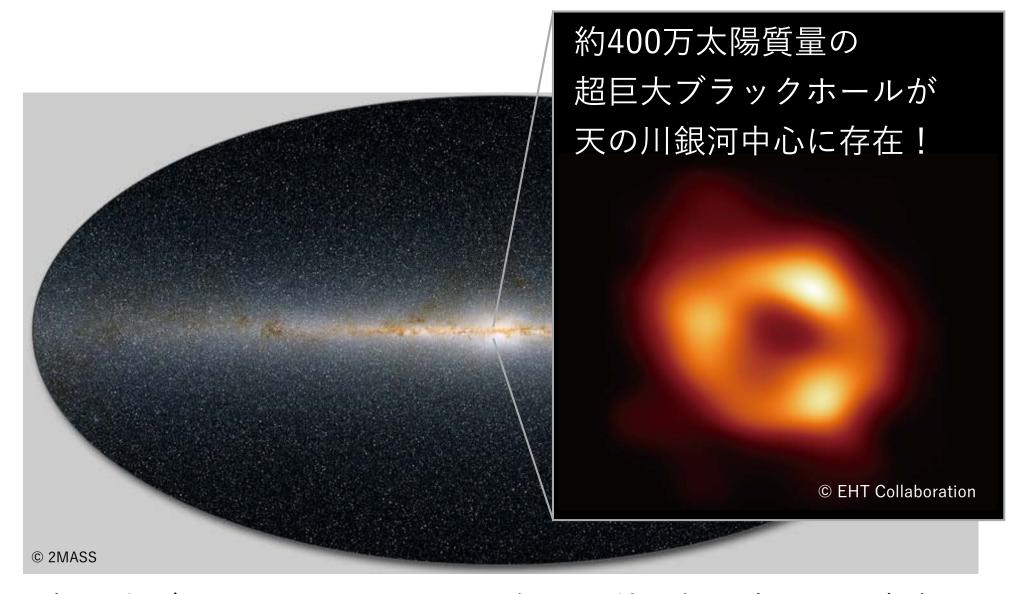
赤外線で見た宇宙 (星やガス)



X線で見た宇宙 (ブラックホールや中性子星など)



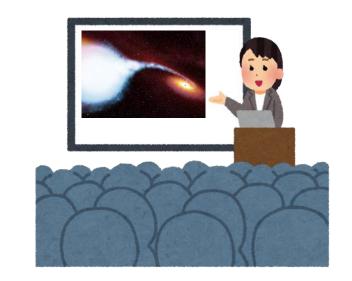




超巨大ブラックホールは天の川銀河以外の銀河中心にも存在

今日のお話

- ◆ ブラックホールとは何か?
- ◆ 恒星質量ブラックホール
- ◆ 超巨大ブラックホール



- ▶ 超巨大ブラックホールの探査(EHTの活躍)
- ・ 超巨大ブラックホールの謎
- ◆ 超巨大ブラックホールの数値シミュレーション

ブラックホールとは?



日常で出会う「黒」の話



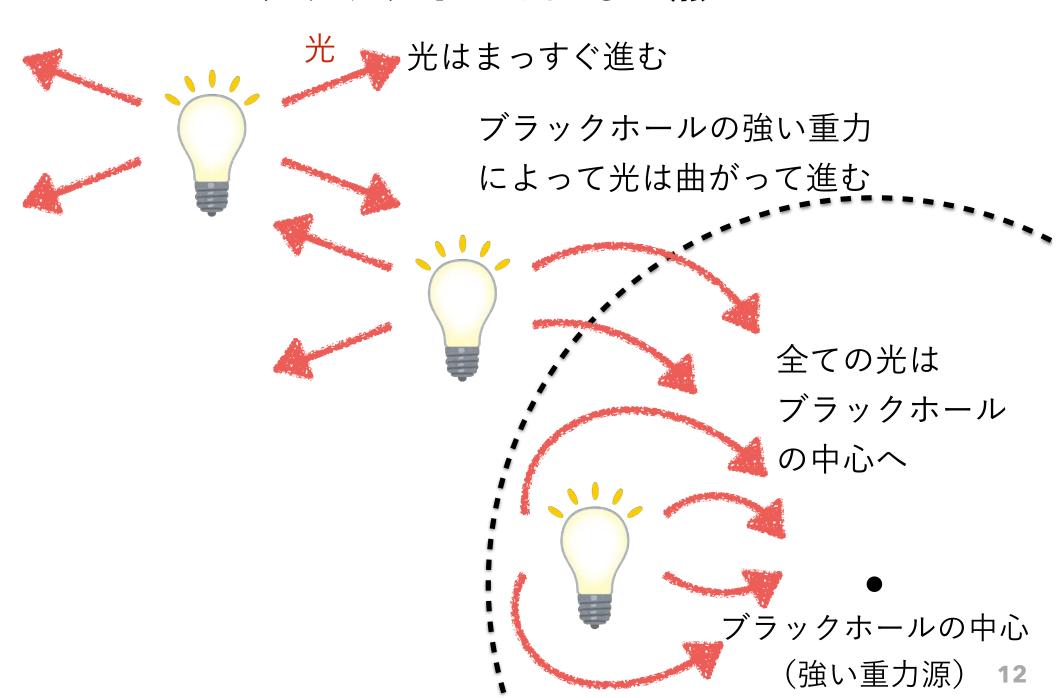


黒色

⇒ 可視光を吸収する物質の色 100%吸収するわけではない ので、目に見える 世界一黒い物質ベンタブラック

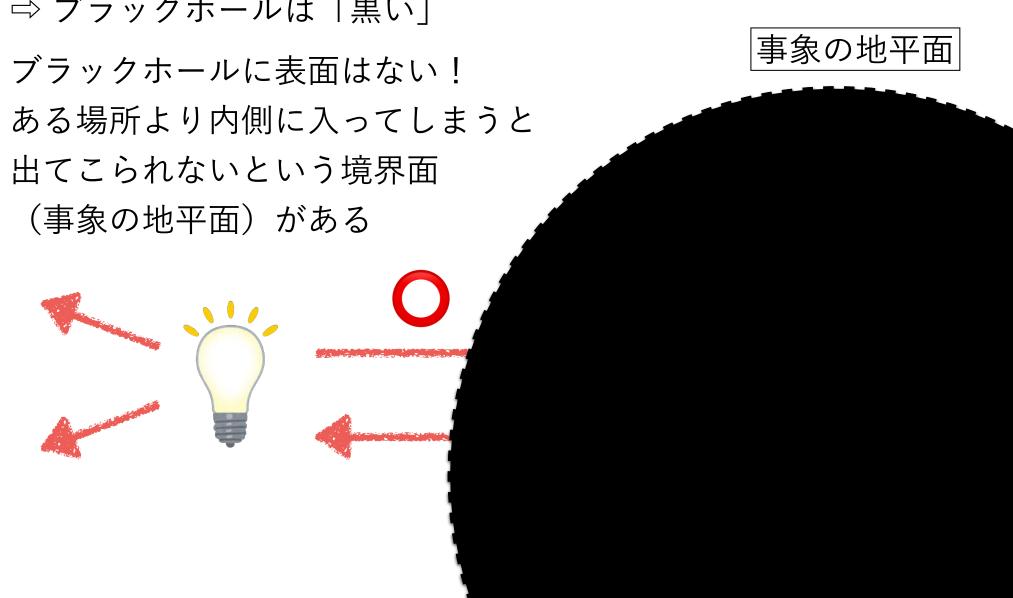
⇒ 可視光の99.96%を吸収
目で見えないくらい黒いが、
赤外線では見える

ブラックホールはなぜ黒い?



ブラックホールはなぜ黒い?

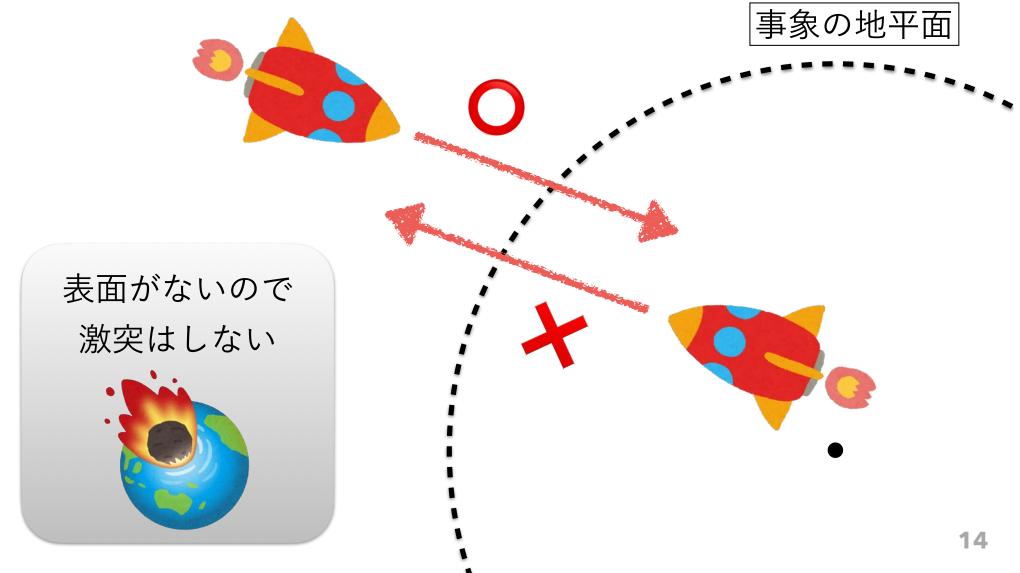
光はブラックホールから出てくることはできない ⇒ ブラックホールは「黒い|



あらゆる物質が脱出不可能

光の速さ(宇宙最高速度)でも脱出できない

⇒あらゆる物質が脱出不可能



ブラックホールの大きさ

事象の地平面の半径 = 3km ×

ブラックホールの質量

太陽の質量

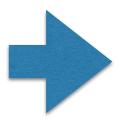
ブラックホールへ

太陽:

半径約70万km

質量約10³⁰kg







半径 3km

地球:

半径約6400km

太陽質量の

約30万分の1倍









半径 1cm

ブラックホールの大きさ

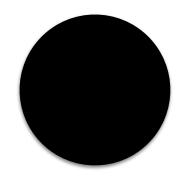
事象の地平面の半径 = 3km × ---

ブラックホールの質量

太陽の質量

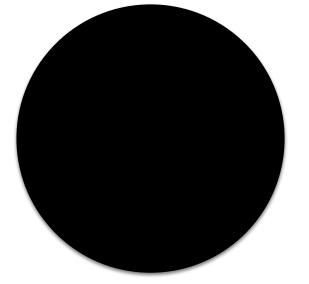
恒星質量ブラックホール 超巨大ブラックホール 太陽の約10倍の質量

⇒約30km



太陽の数100万倍~100億倍の質量

⇒ 数十億 km

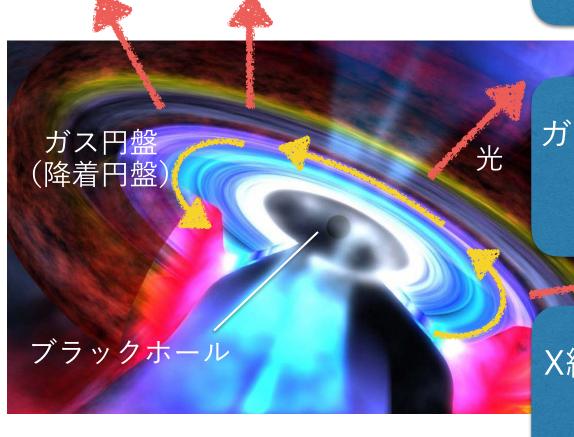


の全長60km

参考:つくばエクスプレス 参考:太陽から海王星までの距離 約45億km

明るく輝くブラックホール

ブラックホールそのものが 輝いているわけではない! ガスはブラックホールの周 りをぐるぐると高速回転 しながら落ちていく



ガス同士が擦れて高温になる (1万度以上!)

X線・紫外光をはじめとした 大量の光を放出

恒星質量ブラックホール

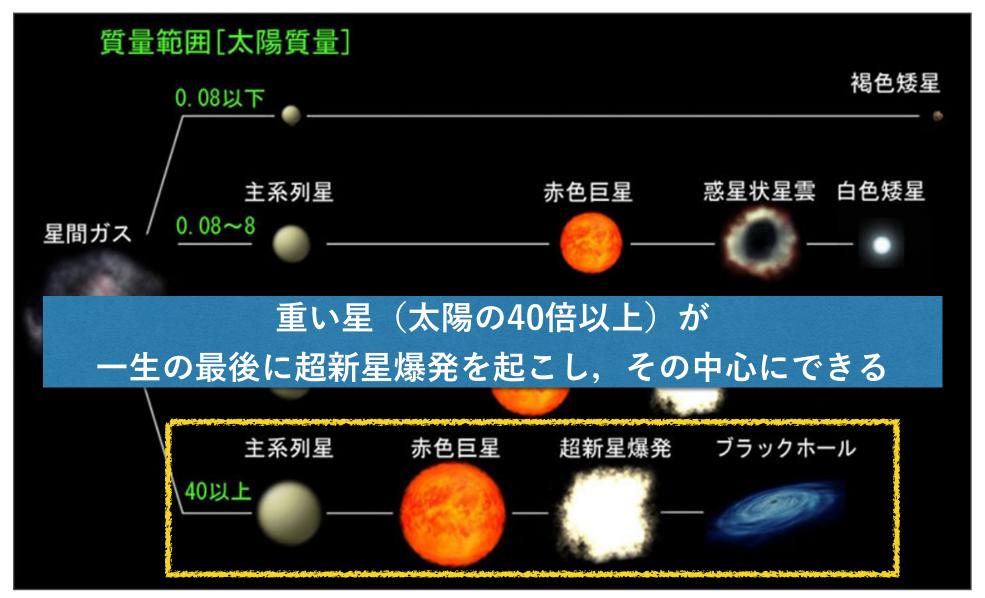
恒星質量ブラックホール: 太陽の10倍程度の質量





連星のガスがブラックホールに吸い込まれていく様子(想像図)。 ガスはX線を放出しながらブラックホールへと落下していく。

ブラックホールのでき方



ブラックホールはいくつある?

銀河系には1億~10億個のブラックホールがあるはずだが、見つかっているのはたったの約60個!



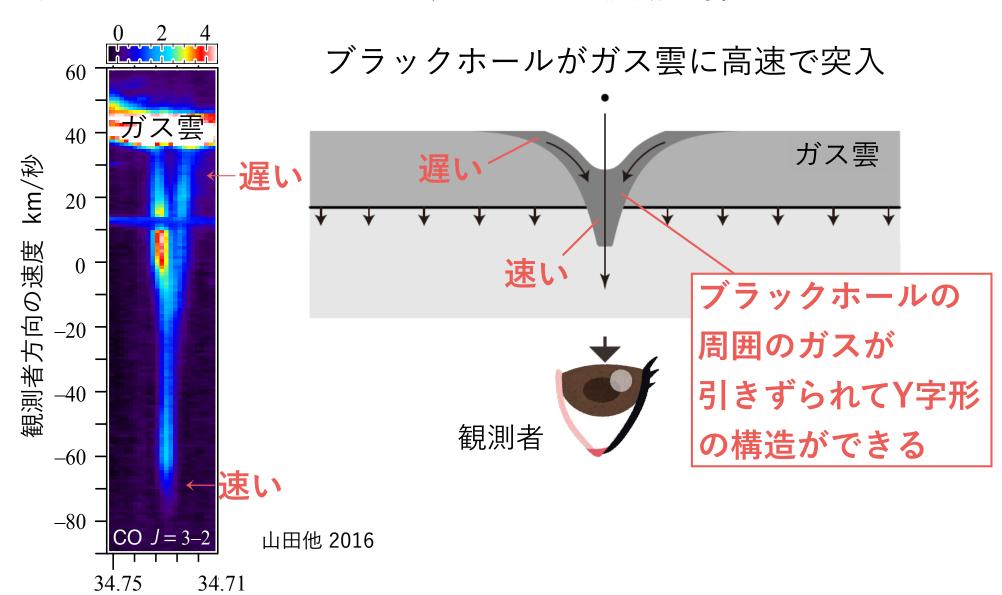
伴星からガスが大量に落下する ため輝く



周りのガスが少ないため, ブラックホールは輝かない ⇒ 発見が難しい!

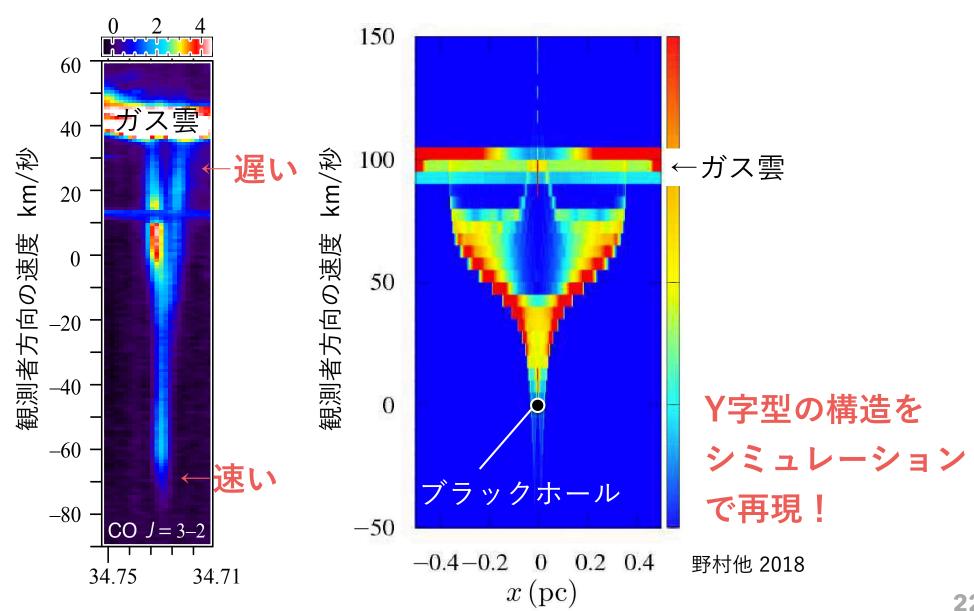
孤立ブラックホールを探す

孤立ブラックホールがガス雲に突入した痕跡を探査する



孤立ブラックホールを探す

孤立ブラックホールがガス雲に突入した痕跡を探査する

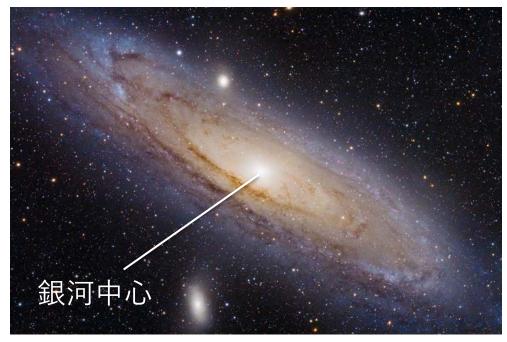


孤立ブラックホールはたくさんある



超巨大ブラックホール

超巨大ブラックホール:太陽の100万倍から100億倍もの質量



ほぼ全ての銀河中心に 超巨大ブラックホールが存在



超巨大ブラックホールの 最も直接的な証拠

ブラックホールの探査

超巨大ブラックホールを直接写す

イベント・ホライズン・テレスコープ (EHT)



© Kristy Johnson. Photo credits: ALMA -- ESO / C. Malin; SMA --

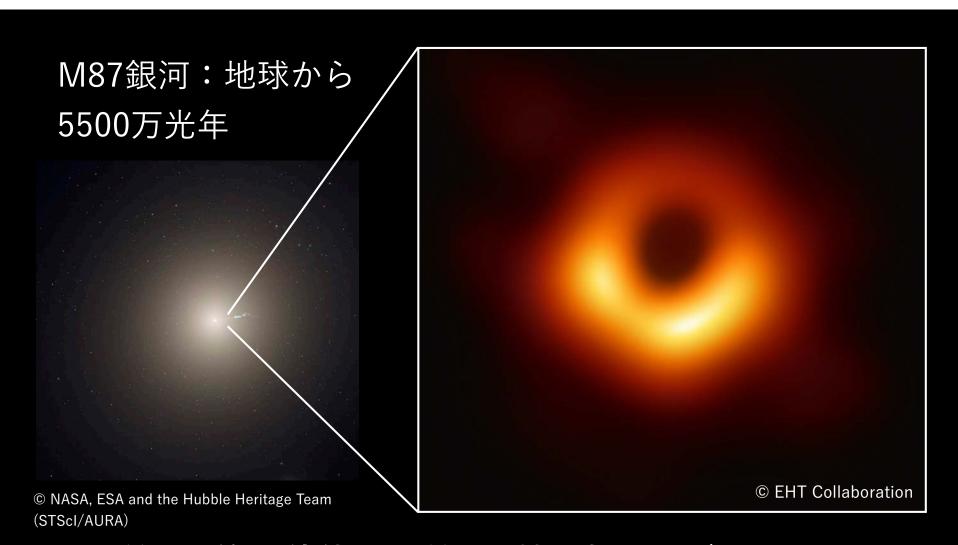
Shelbi Hostler McMahon; S PV -- IRAM; S LMT -- Gopa APEX.

地球サイズの望遠鏡の性能を実現 視力300万!

視力300万ってどのくらい?



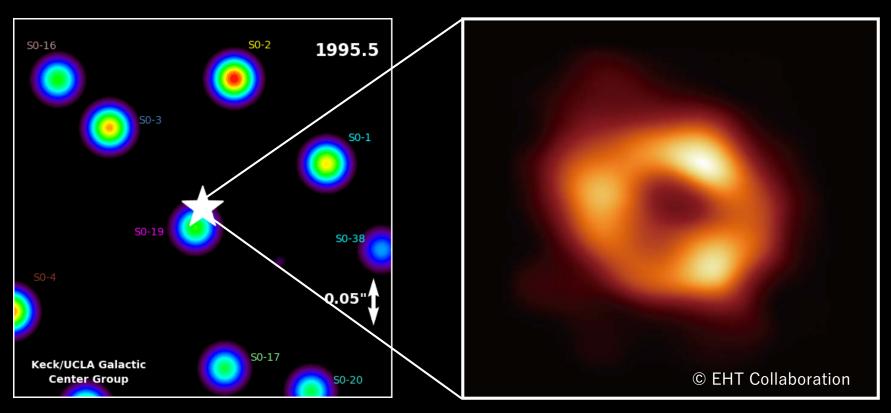
ブラックホールを捉えた!



太陽質量の約65億倍もの質量を持つ超巨大ブラックホール が作る影「ブラックホールシャドウ」を初めて捉えた!

天の川銀河の超巨大ブラックホール

我々の住む銀河系の中心にも約400万太陽質量のブラックホールが存在する



星の運動から超巨大ブラック ホールの存在を予言

⇒ 2020年ノーベル物理学賞 (2022年5月)

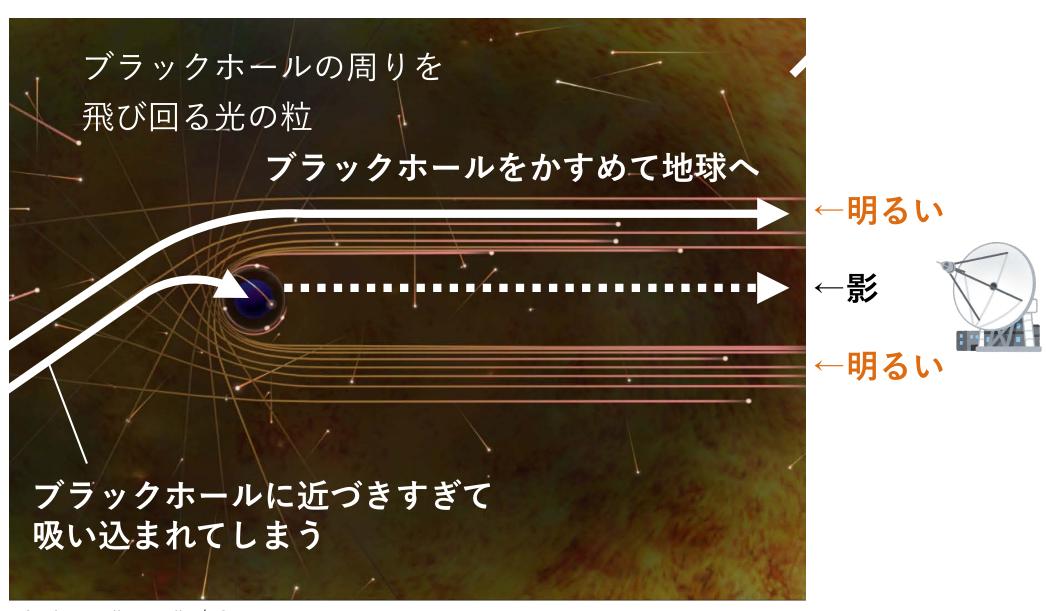
EHTによって超巨大ブラックホールの撮影に成功!(2022年5月)

光のリングのできかた



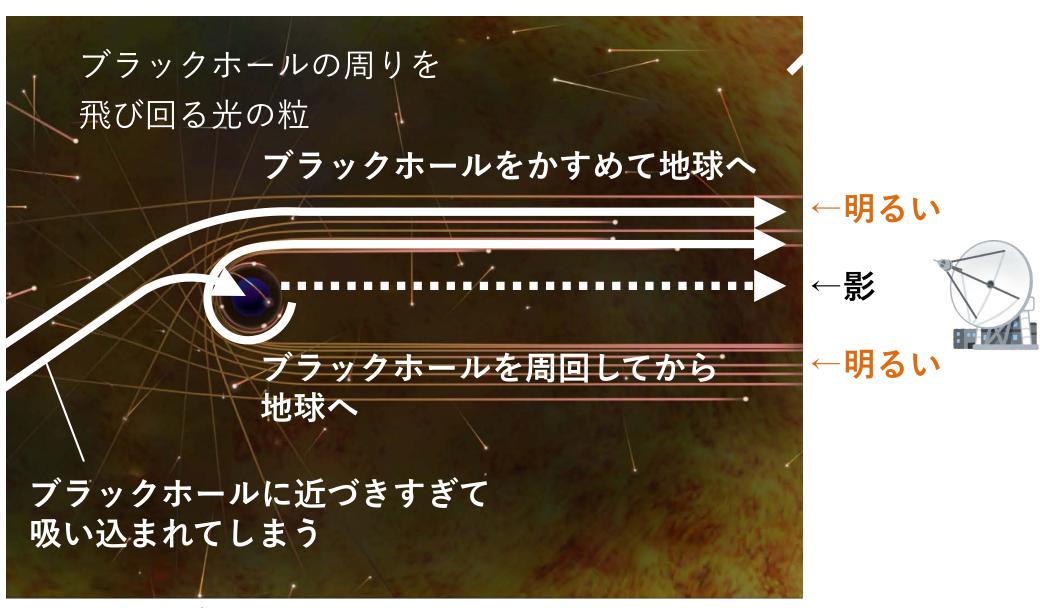
Credit: Nicolle R. Fuller/NSF

光のリングのできかた



Credit: Nicolle R. Fuller/NSF

光のリングのできかた



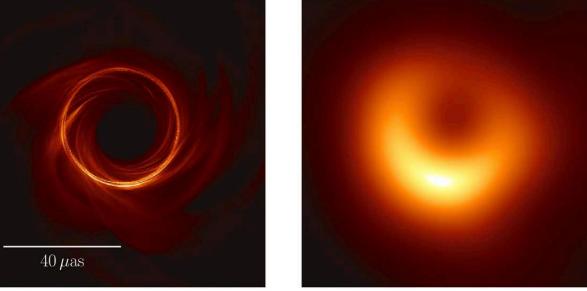
Credit: Nicolle R. Fuller/NSF

コンピュータシミュレーションの活躍

M87 (観測結果)







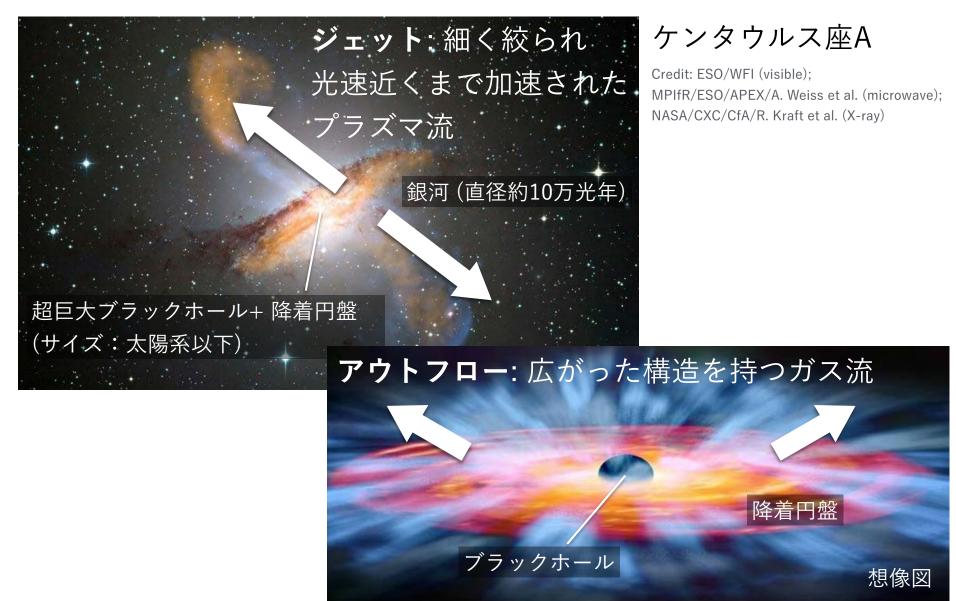
The EHT collaboration (2019)



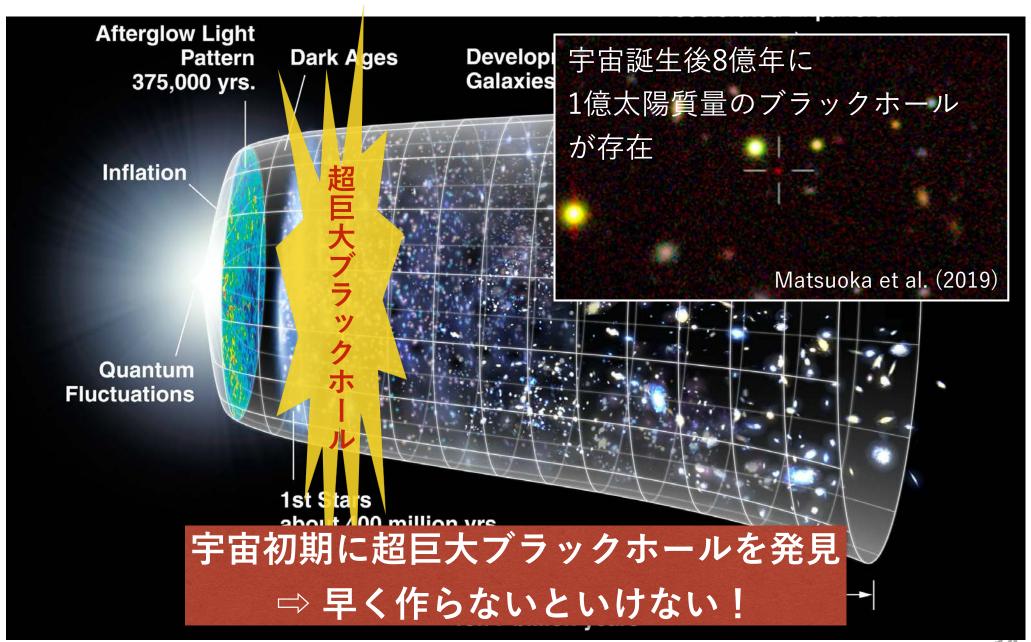
ブラックホールの周りを飛び回る光の 伝搬をスーパーコンピュータで計算

超巨大ブラックホールの謎 ① ガスの噴出

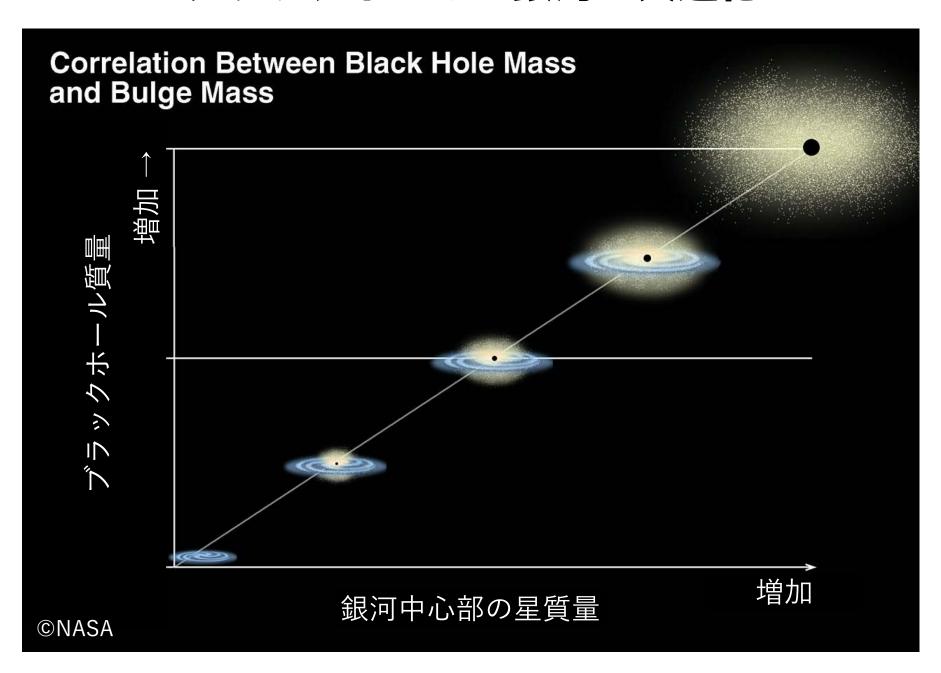
ブラックホール天体からは光だけでなくガスも噴き出ている.



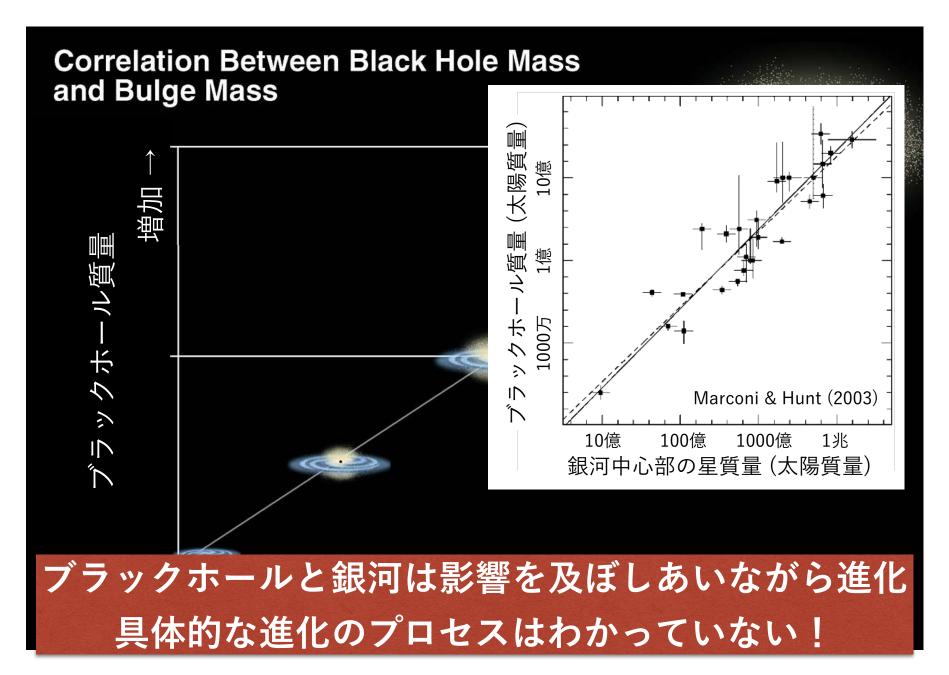
超巨大ブラックホールの謎 ② 進化の謎



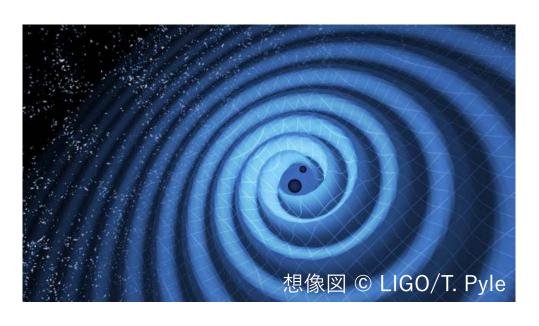
ブラックホールと銀河の共進化



ブラックホールと銀河の共進化

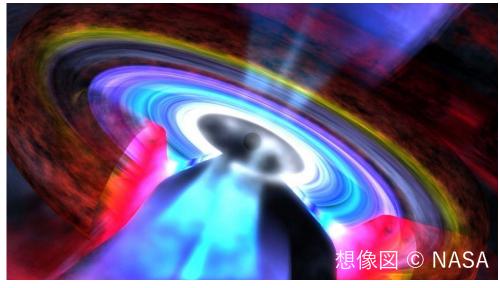


超巨大ブラックホールの作り方



合体成長

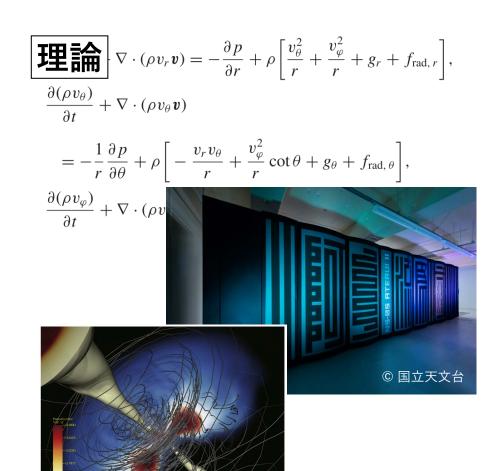
ブラックホール同士が 合体して成長?



ガス降着による成長

ガス円盤を通して大量の ガスを吸い込むことで 成長?

天文学の両輪:理論と観測



観測 © NAOJ © NASA and General Dynamics © NASA and the Hubble Heritage Team

計算・シミュレーションで 天体現象を研究・観測結果を予測

Takahashi et al. (2016)

望遠鏡や人工衛星で天体現象を実際に観測

スーパーコンピュータの活躍



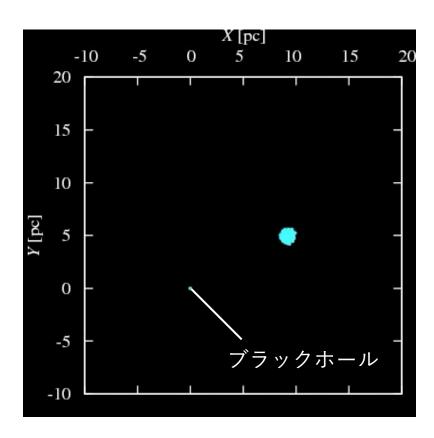




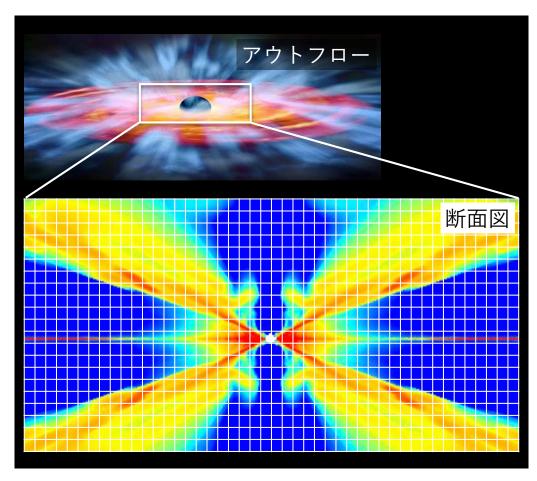


YUKAWA-21 (京都大学)

様々な計算手法



ガスや星の集まりを 粒子で表し, 粒子の運動を計算



空間を細かく分割

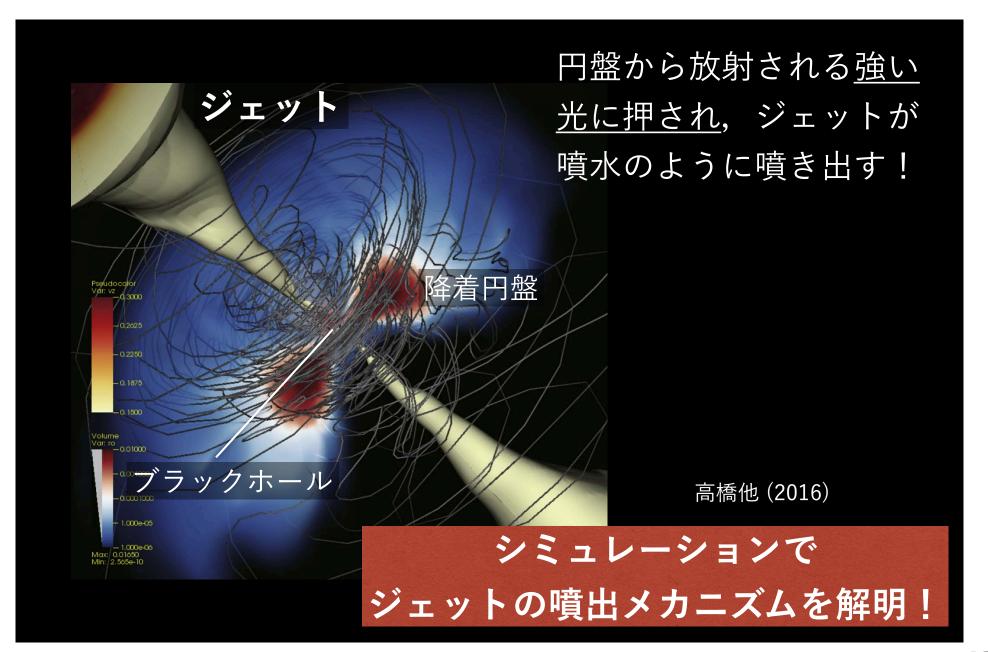
隣り合う部屋同士でのガスの やりとりを計算

シミュレーション:高橋博之,大須賀健

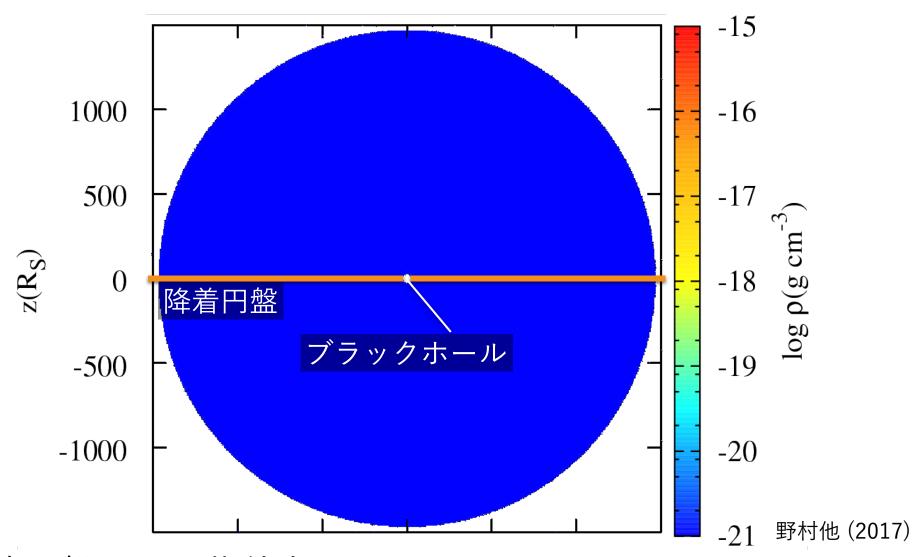
可視化:中山弘敬

国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト

ジェットのシミュレーション

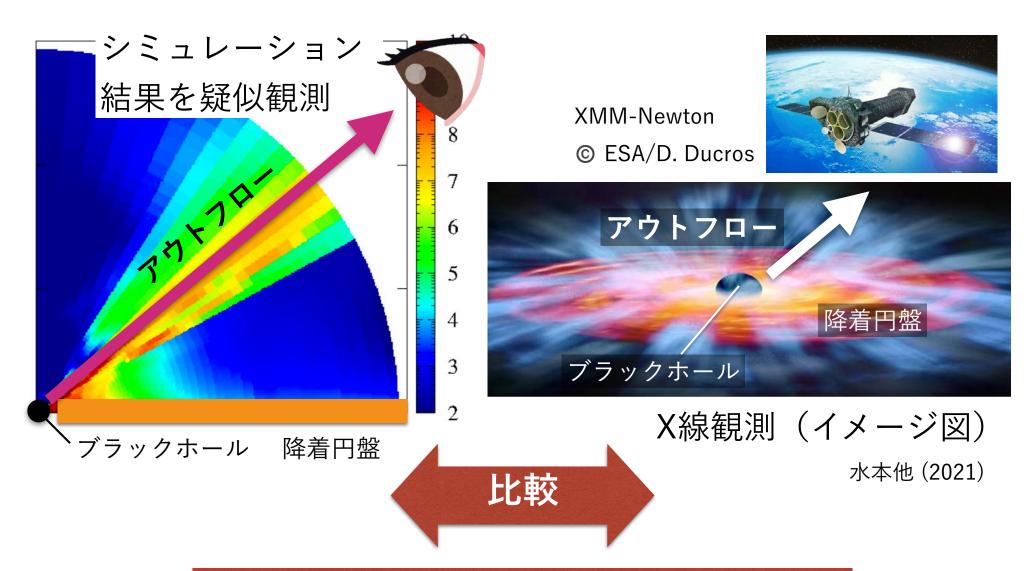


アウトフローのシミュレーション



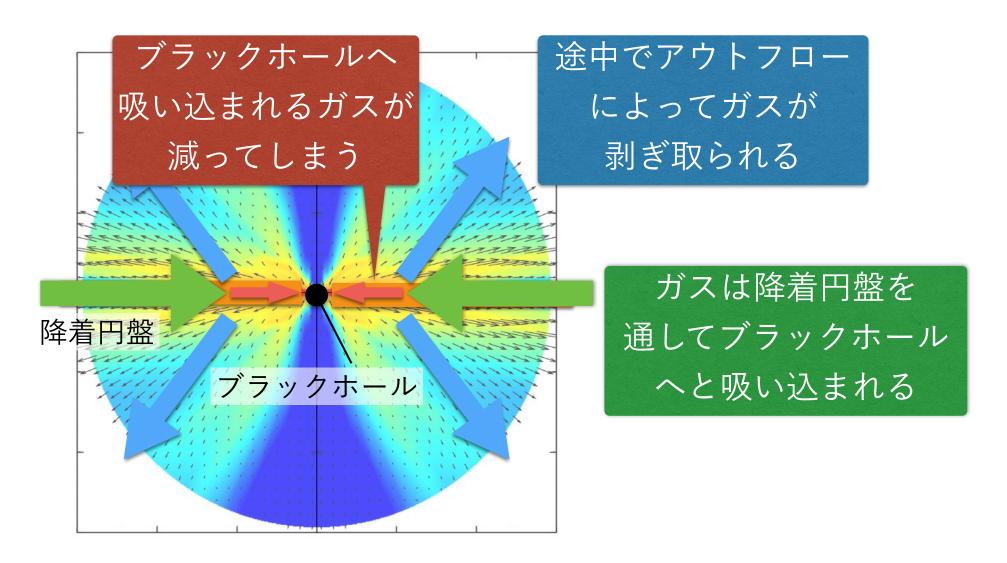
降着円盤からの紫外光によって 降着円盤表面のガスが剥ぎ取られ、吹き飛ばされる!

観測との比較でアウトフローの謎を解明



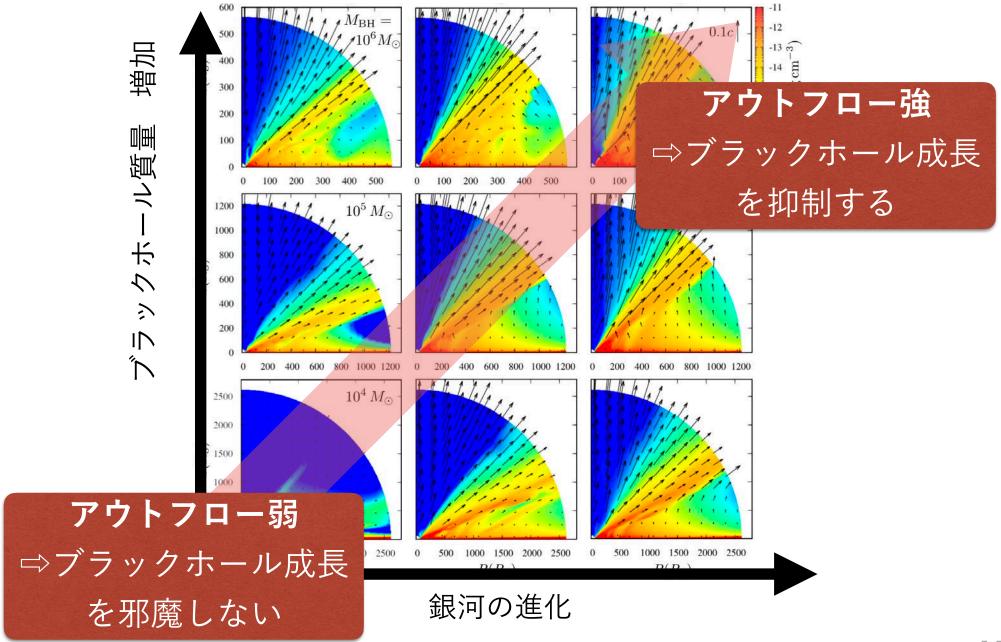
ガス円盤から放射される紫外光によって アウトフローが生じることを解明!

ブラックホール成長への影響



アウトフローはブラックホールの成長を邪魔するのか?

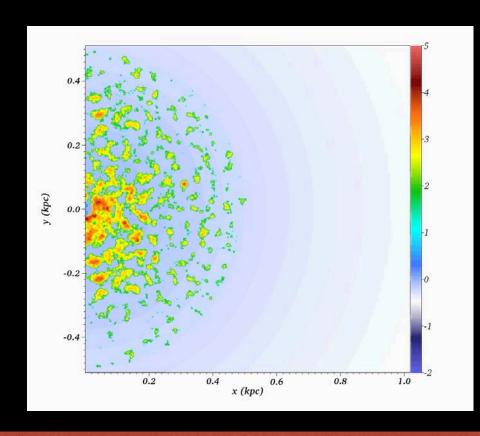
ブラックホール成長への影響



アウトフローが銀河に及ぼす影響

ジェットやアウトフローは大きなエネルギーや物質を運ぶ

- ⇒ 周辺のガス雲を加速・加熱
- ⇒ 銀河を構成する新しい星が作りにくくなる?



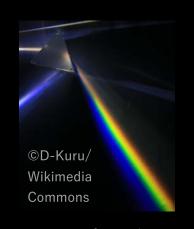
アウトフローの伝搬シミュレーション

ワグナー他 (2013)

ブラックホールと銀河の進化を解明する鍵になるかも!

アウトフロー研究の展望

X線天文衛星XRISM (2022年打ち上げ予定)



白色光がプリズムで虹色に 分かれるように, X線を エネルギー(色)ごとに分ける ことができる

XRISMはその性能が高い

シミュレーションとの比較でアウトフローによる エネルギー流出量などを解明 ⇒ 銀河への影響を解明

まとめ

- ◆ ブラックホール = 光さえも脱出できない天体(表面がない)
- ◆ 2種類のブラックホール:恒星質量 & 超巨大ブラックホール
- ◆ 超巨大ブラックホールの大きな謎
 - ガスの噴出メカニズム
 - 超巨大ブラックホールのでき方
- ◆ 謎を解明すべく、シミュレーションが活躍中!

引き続き、七夕講演会を お楽しみください!

