

ブラックホールの時空の歪みを観測する！

ブラックホールへのガス雲降着

高橋 真聡 愛知教育大学/宇宙・物質科学領域



ブラックホール・オーロラ

準備

- 天体を計る物差し
 - 太陽の質量 M_{\odot} を単位にする (1 太陽質量)
 - 地球-太陽の距離を単位にする (1 天文単位)
 - 光の速さで何年を要する距離か (1 光年)

- 指数 (天文学では桁数が重要となる)

$$10^2 = 100$$

$$10^0 = 1$$

$$10^{-2} = 0.01$$

10^a a の部分を指数という

$M = 10^8 M_{\odot}$ などを使う

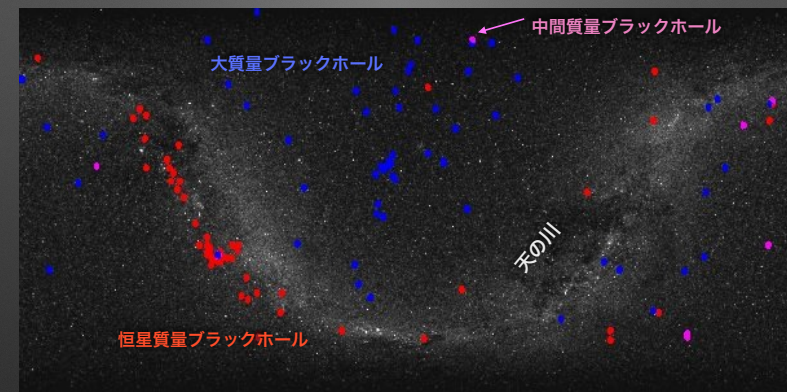
ブラックホールのタイプ

質量で分類

- 活動的銀河中心核: $M = (10^6 \sim 10^9) M_{\odot}$
- 恒星質量ブラックホール: $M = (3 \sim 20) M_{\odot}$
 - ブラックホール連星
 - ガンマ線バースト
- 中間質量ブラックホール: $10^2 M_{\odot} \ll M \ll 10^6 M_{\odot}$

どこにあるの？

ただし候補天体、じつは、、、
存在が証明されたブラックホールは無い！



Map of sky locations of black hole candidates: stellar-mass black holes in red, intermediate-mass black holes in purple, supermassive black holes in blue. Base image: Tycho sky map from JPL's Solar System Simulator.

ブラックホールいろいろ

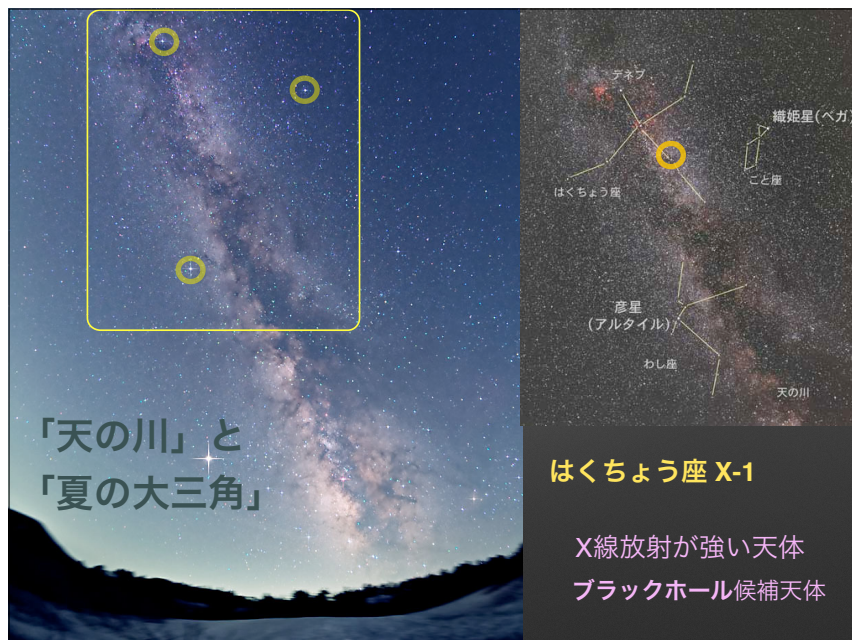
- 最も近いブラックホール候補 **3000光年** $M \sim 11M_{\odot}$
 いっかくじゅう座 X1
 0.5 M_{\odot} 赤色矮星との連星系
- 最も質量の小さな恒星ブラックホール候補 $M \sim 3M_{\odot}$
 IGR J17091-3624 (さそり座)
 太陽と似た恒星との連星系
- 最も質量の大きな恒星ブラックホール候補 $M \sim 16M_{\odot}$
 M33 X-7 (さんかく座)
 ~70 M_{\odot} 巨大な恒星との連星系
- 最も質量の大きなブラックホール $M \sim 2 \times 10^{10}M_{\odot}$
 NGC4889 かみのけ座 楕円銀河

5

最有力候補？

- 私たちの銀河系中心 (Sgr A*) **26000光年**
- 他の銀河の中心核領域 (M87、M106 など多数)
 VSOP 野辺山 45m
12万光年 **2200万光年**
- はくちょう座 X1 **6100光年**
- GRB： 他の銀河 (遠方)で星が死を迎えて超大爆発！

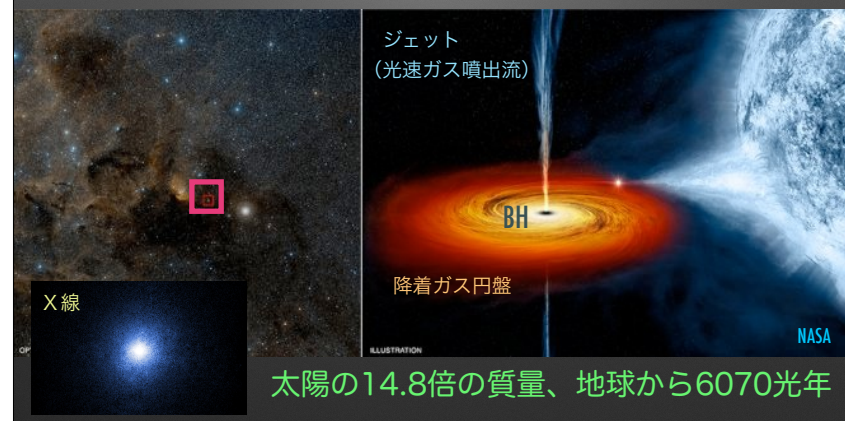
6



7

はくちょう座 X-1 (BH候補天体)

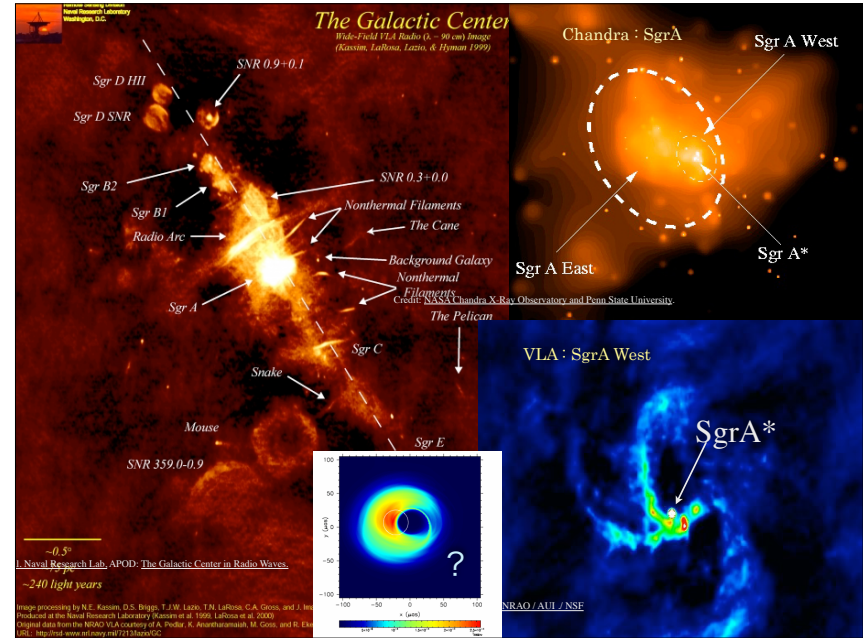
普通の恒星とブラックホールの近接連星系



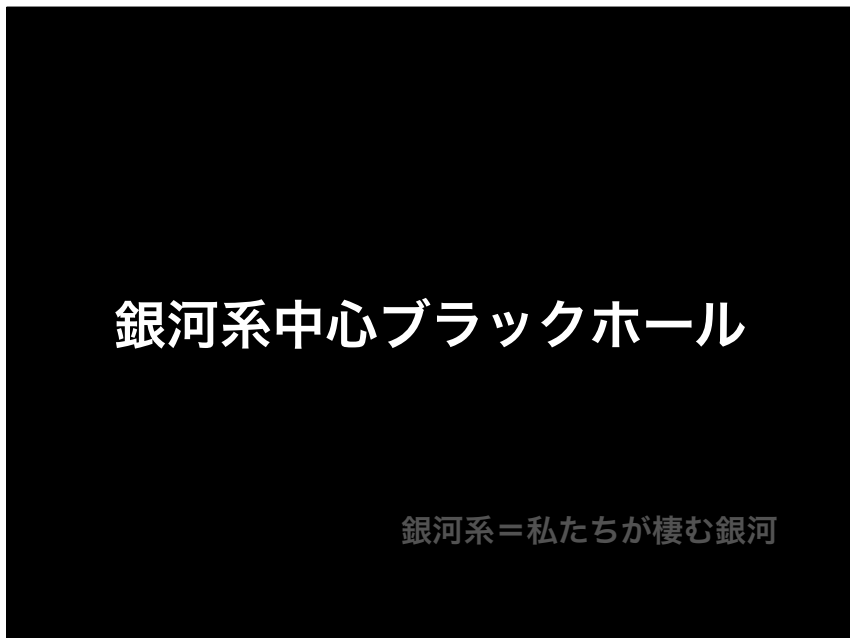
8



9



10



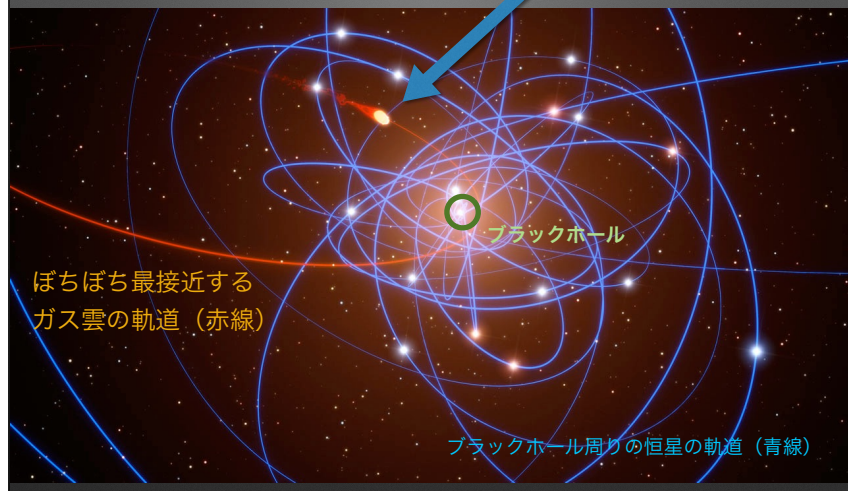
11



12

ガス雲接近！

2012の時点



13

ガス雲接近！

2013~2014 ?

地球質量の3~4倍のガス雲

光速度で36時間のところまで接近 (123天文単位)

ブラックホール半径は0.067天文単位

来年の夏に最接近 → そのとき何が起ころう？

14

銀河系中心へのガス雲降着

- X線や電波で明るく輝くはず！
その現場を捉えたい (観測したい)
- 輝くガスの固まりがブラックホールに向かって螺旋状に落下するだろう。明るさの時間変化が測定できるはず。

事前にシミュレーションで予測しておく

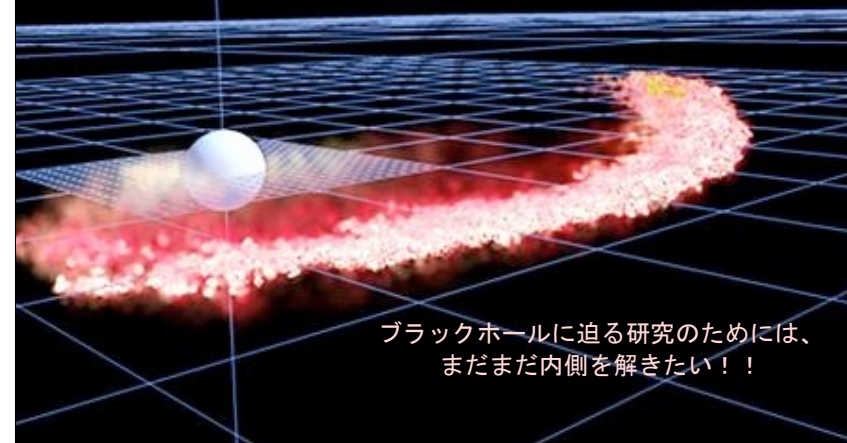
15

最接近のとき何が起ころう？

数値シミュレーションで研究

(齋藤ら2013)

明るく輝く？ ガスが噴出？ 地球への影響は？



16

降着円盤の理論モデル

質量降着率

- 輻射非優勢降着流 (RIAF) SgrA*
我々の銀河中心
- 移流優勢降着流 (ADAF) 低輝度活動銀河核
- 標準降着円盤 (Standard Disk) ブラックホール連星
活動銀河核
- 超臨界降着円盤 (Slim Disk) ブラックホール連星
活動銀河核
- ニュートリノ優勢降着流 (NDAF) ガンマ線バースト中心

大

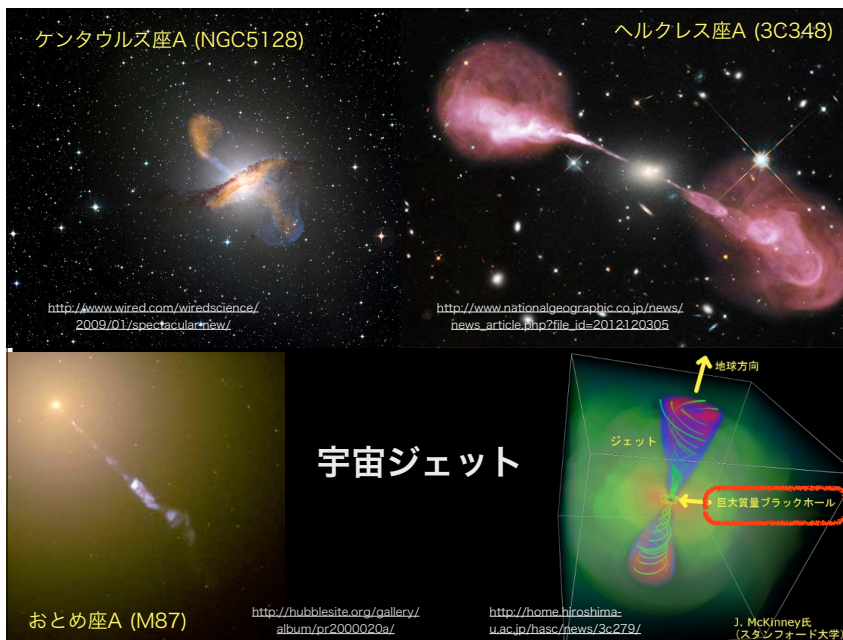
17

大量のガスがブラックホールに落下すると、、、

宇宙ジェット～ブラックホール

宇宙ジェット：
高速のプラズマ流が観測されるかもしれない

18



宇宙ジェット

19

ブラックホールの近傍から、、、

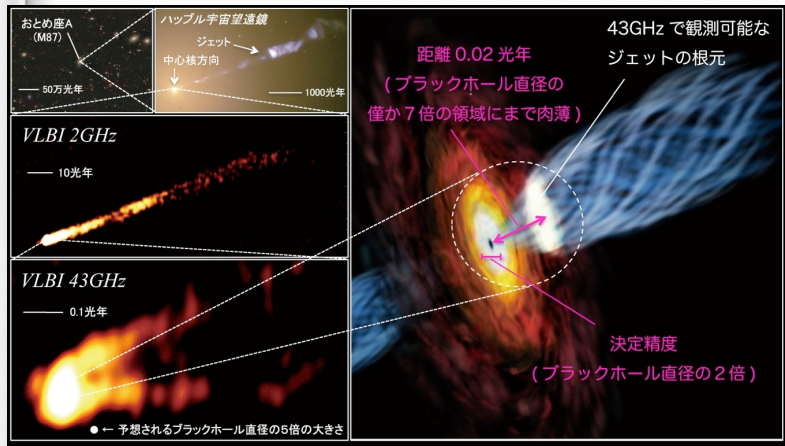
宇宙ジェットが吹き出る

- ブラックホールの自転や周辺のガスの公転によって、磁力線が回転する。磁力線に巻き付いたガスは、遠心力や磁気圧によって遠方に吹き飛ばされる（宇宙ジェット）。

20

Where is the black hole power transported to? Hada et al. (2011)

Relativistic Jet : Its origin is still unknown.



(左上段右) Sloan Digital Sky Survey, (左上段右) NASA and the Hubble Heritage Team, (右) 国立天文台/AND You Inc.

降着円盤の理論モデル

質量降着率

- 輻射非優勢降着流 (RIAF)
- 移流優勢降着流 (ADAF)
- 標準降着円盤 (Standard Disk)
- 超臨界降着円盤 (Slim Disk)
- ニュートリノ優勢降着流 (NDAF)

SgrA*
我々の銀河中心

低輝度活動銀河核

ブラックホール連星
活動銀河核

ブラックホール連星
活動銀河核

ガンマ線バースト中心

大

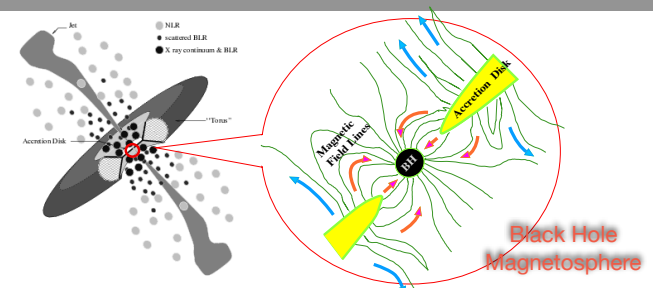
いろいろな形態の『ブラックホール候補天体』が存在している

ガスの落下の仕方や、
落下するガスの量が異なるため

地球や太陽などと同様に、、、

磁気圏の存在が重要かも？

ブラックホール磁気圏と宇宙ジェット



宇宙ジェット加速
宇宙線の起源
高エネルギー輻射

エネルギー源は？
BHの回転エネルギー引き抜き？
活動性のメカニズムは？

ブラックホールの存在を証明したい、、、

ブラックホール探査

25

ブラックホール周辺は？

- ガスが落下しているだろう、、、
- 落下していくガスは発光しだす（→観測できる）
- 磁場があると、ブラックホールから離れた場所にも影響が出る（磁場の力が作用する）
- ブラックホールの強重力は光線を曲げる

26

ブラックホールの見つけ方

闇夜のガラスは見つからない？

ブラックホール単体では発見できない！

→ ブラックホールの周辺環境を探ることになる

- ブラックホール背後の星像を探る： 可視光線など
- 「ブラックホール影」の直接撮像： 電波（サブミリ波）
- ブラックホール周りのガスの流れを調べる： X線など
- ブラックホール周りの恒星の運動を調べる： 近赤外線

27

ブラックホールなら

相対論の効果 があるはず！

光の速さは、光源の運動状態に依らずに一定である
= 誰にとっても一定の速さで見える（真空中）

ガラスや水など媒質中での光速度は遅くなる。
これと同様に、**重力場があると光速度は遅くなる。**

- ドップラー効果、ビーミング効果
- 光線の湾曲、重力赤方偏移

28

その姿を撮像したい、、、

ブラックホール影

29

闇夜のカラスは見つからないのか？

もしも見えたら、、、

- ・ ブラックホールの「影」なら見える！

周囲の輝くガス中に暗い領域として観測される

ブラックホールの証明になる

- ・ ブラックホールの周りの様子がわかる

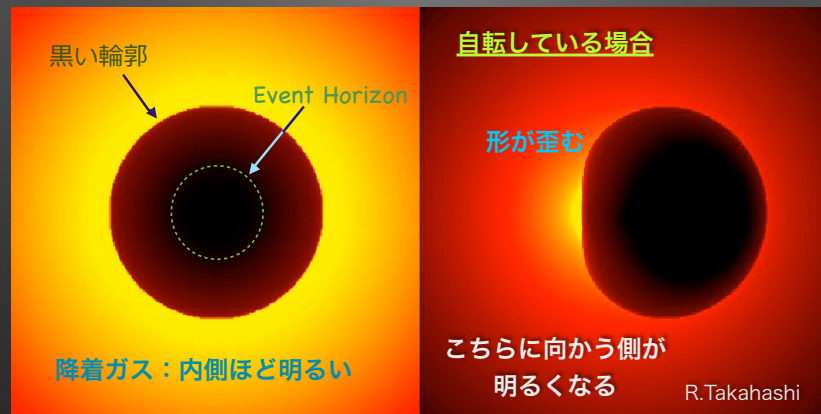
強い重力の極限の世界がわかる、宇宙の法則の理解へ

30

ブラックホール影

質量とスピンのみで
個性が決まる

周りのガスが輝くことで「影」が見えるはず！



31

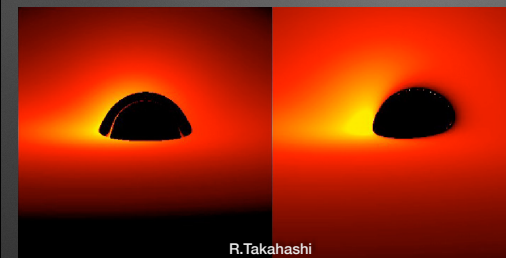
<理論計算による予想図>

R.Takahashi & M.Takahashi

銀河系の中心に何がみえるか？

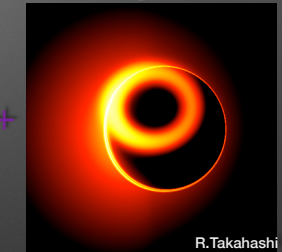
降着円盤がある時のブラックホール影

宇宙の蟹気楼



自転している場合

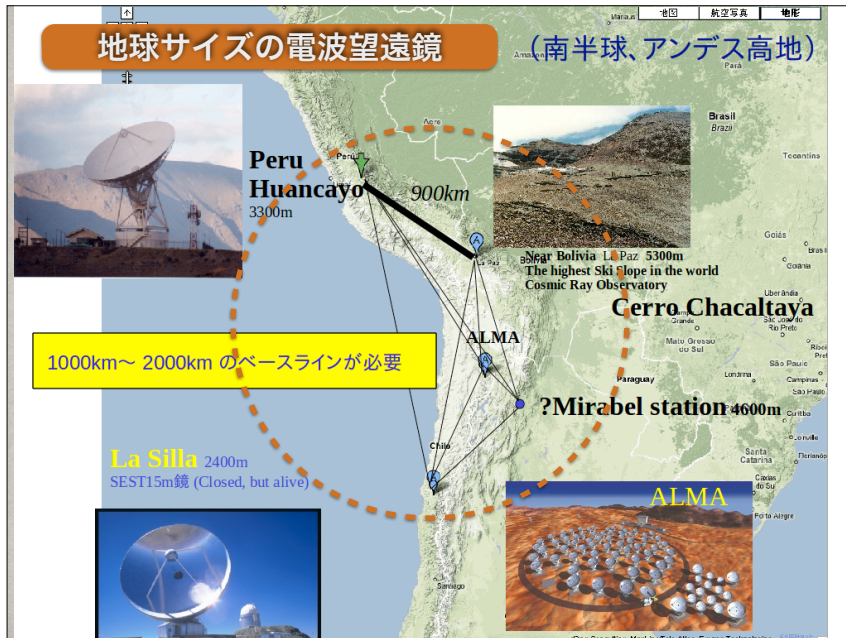
ブラックホール上空に
『オーロラ』が見える！？



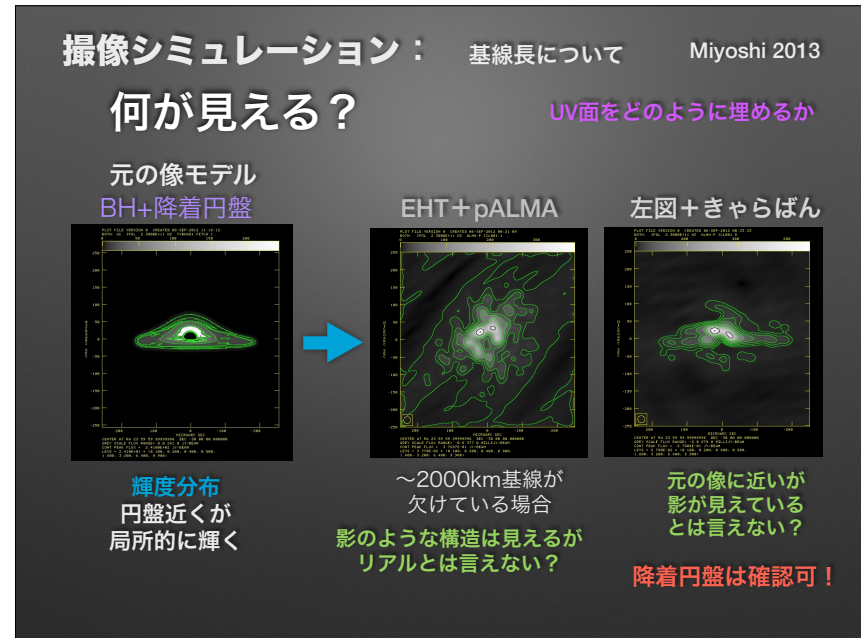
磁気圏がある場合

ブラックホールの重力で光線が曲がるため、
円盤の向こう側が浮いているように見える

32



33



34

今後のブラックホール研究

35

主人公は君たちだ！

- 天体観測装置の発展 (望遠鏡・受信機・観測衛星)
- データ解析の新技术 (コンピュータ・アルゴリズム)
- 数値実験 (コンピュータ・シミュレーション)
- 理論：ユニークアイデアと計算 (ひらめき☆)

取りあえずは、、、数学・英語・国語、そして物理 かな？

36

END