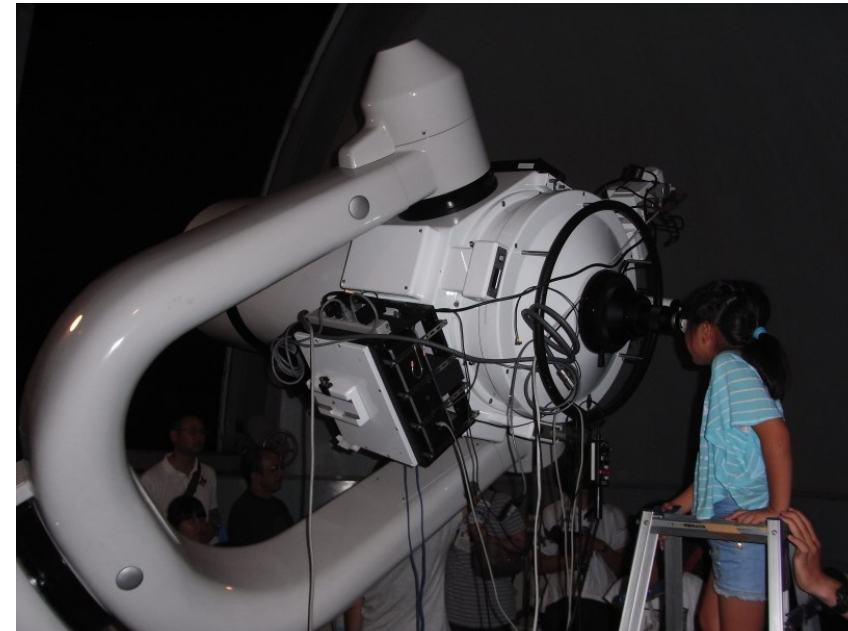
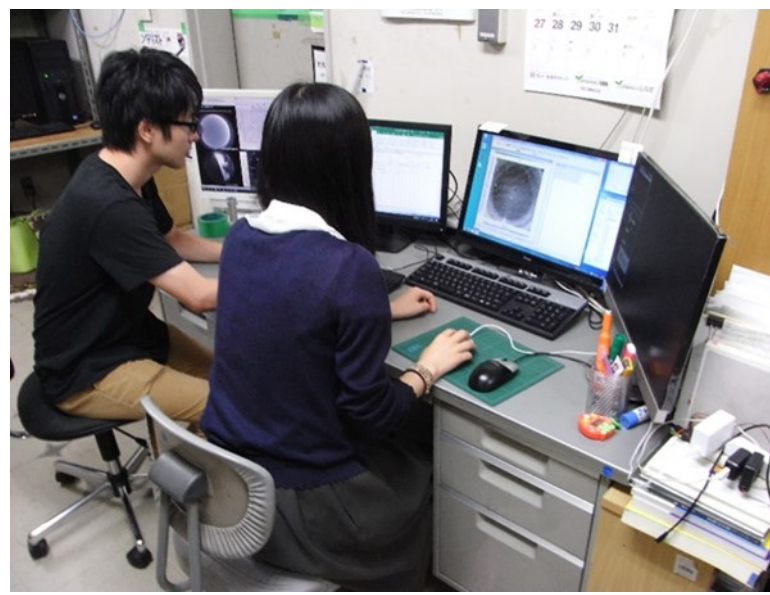


ブラックホール天体の観測天文学

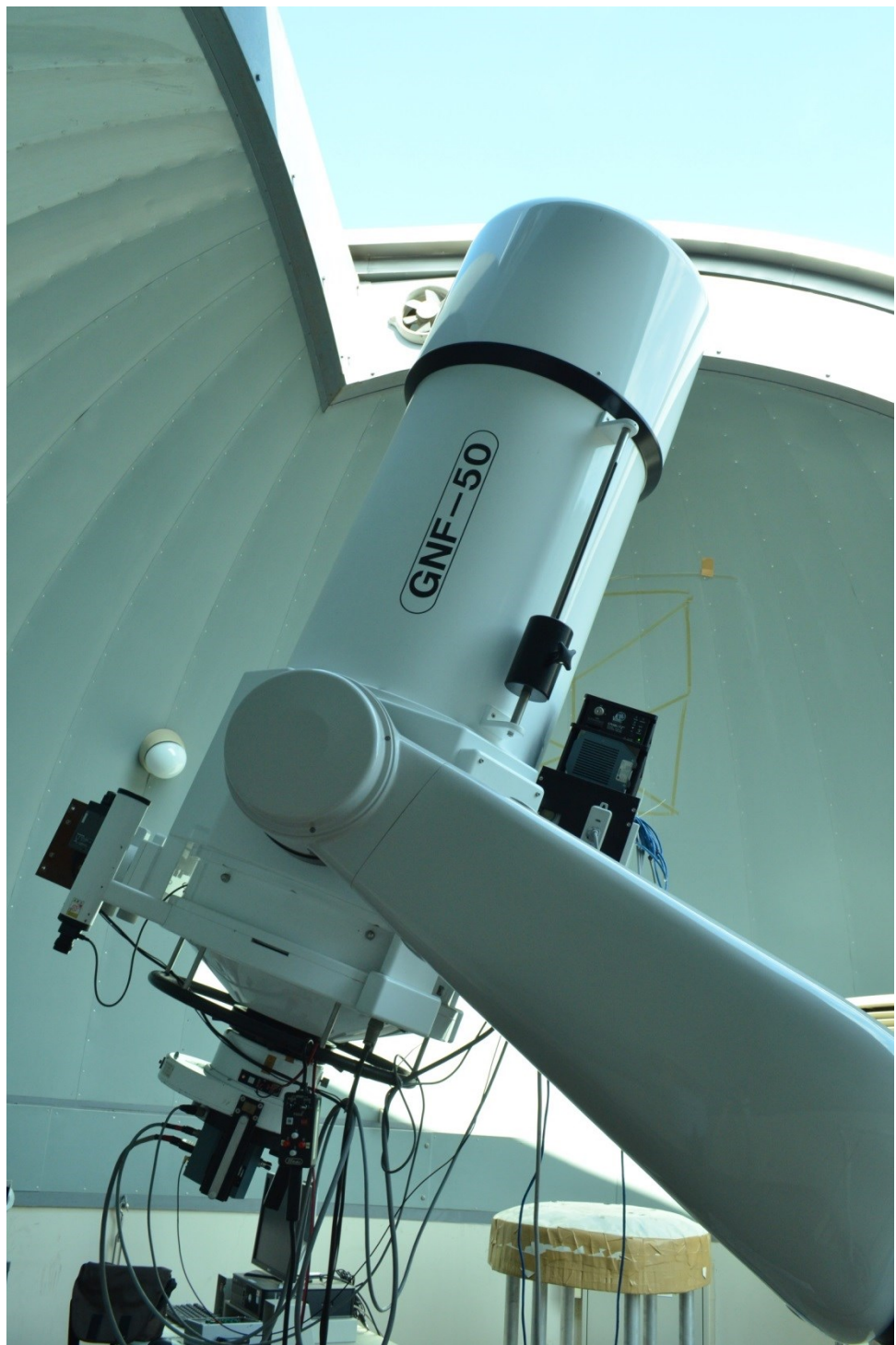
天文台と観測装置

柏原キャンパスC棟屋上の天文台には、口径51cm反射式望遠鏡と冷却CCDカメラからなる天体観測設備が整えられています。カメラには、特定の色（波長域）の光のみを通す複数の干渉フィルタが付随し、天体の明るさと共に温度に関する情報を得ることができます。観測システムの制御は、ドームに隣接する明るい室内から遠隔操作で行えます（右の写真）。学生実習や天体観察会などで使用する小型の望遠鏡も数台備えています。

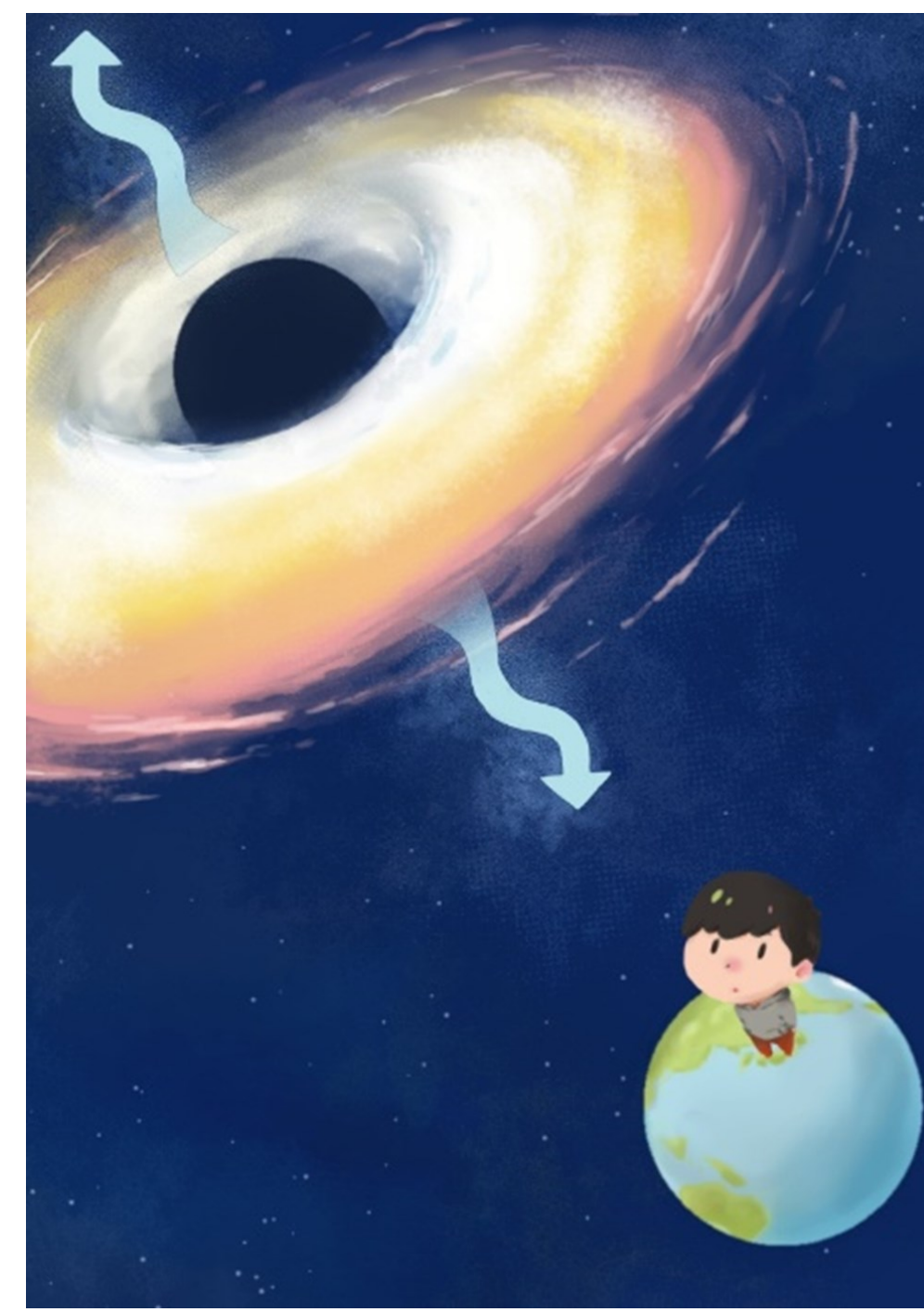
天文台では、柏原市の小・中学生を対象とした天体観察会を、年に数回実施しています（右の写真）。天文学研究室の学生も運営に参加します。また中・高校生の観測実習を受け入れることもあります。



柏原キャンパス天文台外観



51cm反射式望遠鏡とCCDカメラ

CTA 102 のイメージイラスト
(イラスト: 中西星子)

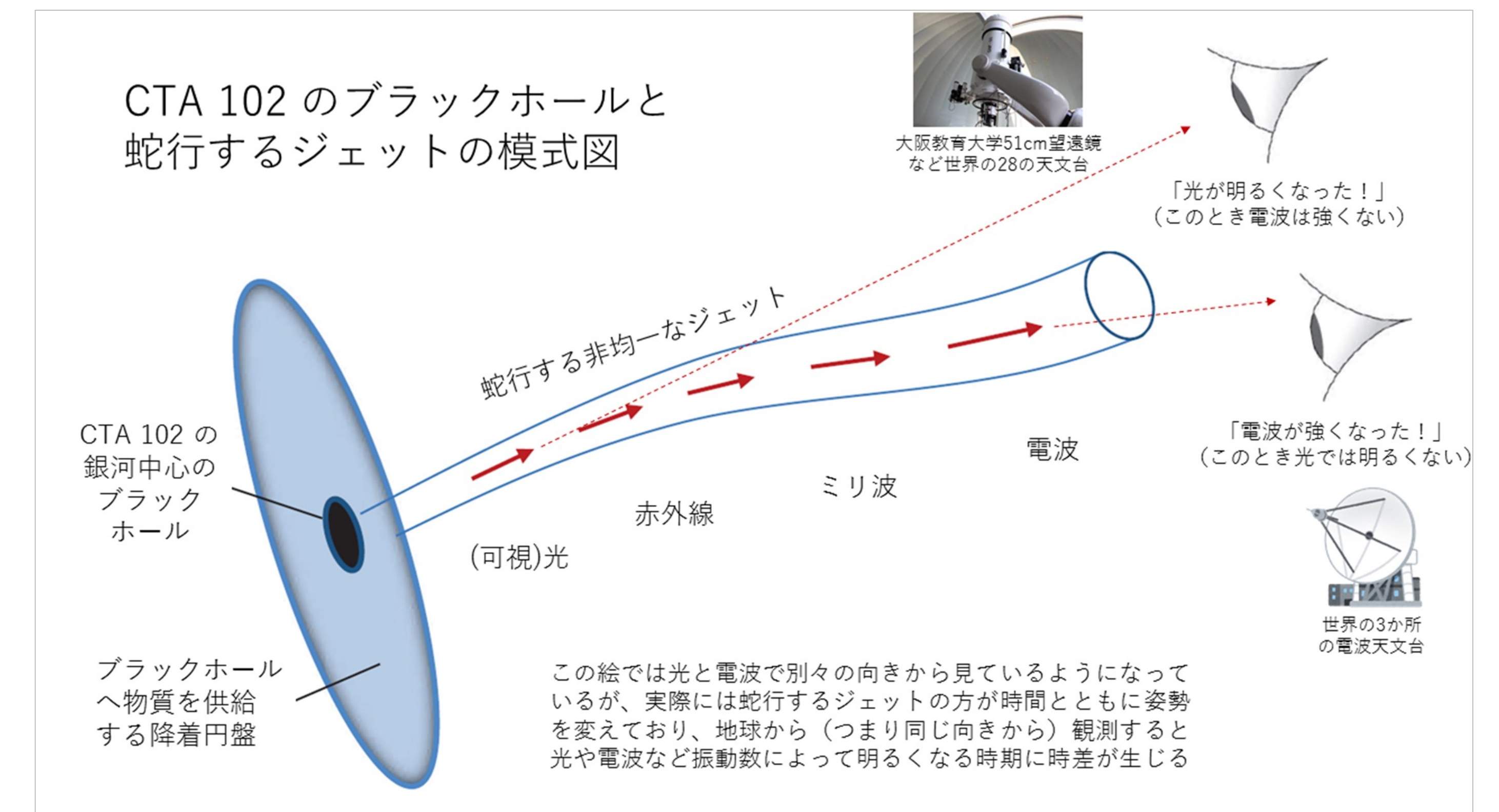
研究対象

天文学研究室では、様々な天体現象を研究対象としています。このポスターでは**ブラックホール天体**について紹介します。

ブラックホールとは一般相対性理論から予言された時空の領域で、内側へ入ると二度と外側へ戻れなくなる境界（事象の地平面）を持ちます。光すら出ることができないため、自身が光ることはありませんが、**周囲の物質と相互作用**することで様々な活動性を帯びます。質量と大きさに比例関係があり、大質量のブラックホールほど巨大といえます。重力崩壊型超新星爆発によって生成される太陽質量の数倍～数十倍程度の「**恒星質量ブラックホール**」と、星の大集団である銀河の中心核に存在する太陽質量の100万倍を超える「**超巨大ブラックホール**」の存在が知られています。

CTA 102 : 蛇行するジェットを吹き出す活動銀河核

CTA 102 は**活動銀河核**の一種で、約110億光年の距離にあります。活動銀河核は、中心部の (1) 超巨大ブラックホール、(2) 降着円盤、ならびに (3) 高速のガス噴流（ジェット）によって特徴付けられますが、その活動性のうち、規則性がない急激な明るさの変化がどのような原因で起こるのかは議論が続いていました。我々を含むイタリアのトリノ天文台を中心とする研究グループは、2016年末から2017年初頭にかけて、**この種の天体としては史上記録となる明るさで突如輝きだした CTA 102 を国際共同観測し、その中心部に存在する超巨大ブラックホールから噴き出すジェットがヘビのように蛇行しながら地球へ向いていることを、世界で初めて解明しました**（右上のイラスト）。ジェットからの放射は、根元からの距離によって波長が変化します。またジェットは光速に迫る速度を持つため、その進行方向において一般相対論の効果による増幅や時間の短縮の影響を受けます。すなわちジェットが蛇行することにより、電磁波の種類によって地球で強まる時期にずれが生じること、および物理的な常識を超えるような短時間変動を説明できます（下の模式図）。この研究成果は Nature 誌に発表されました。



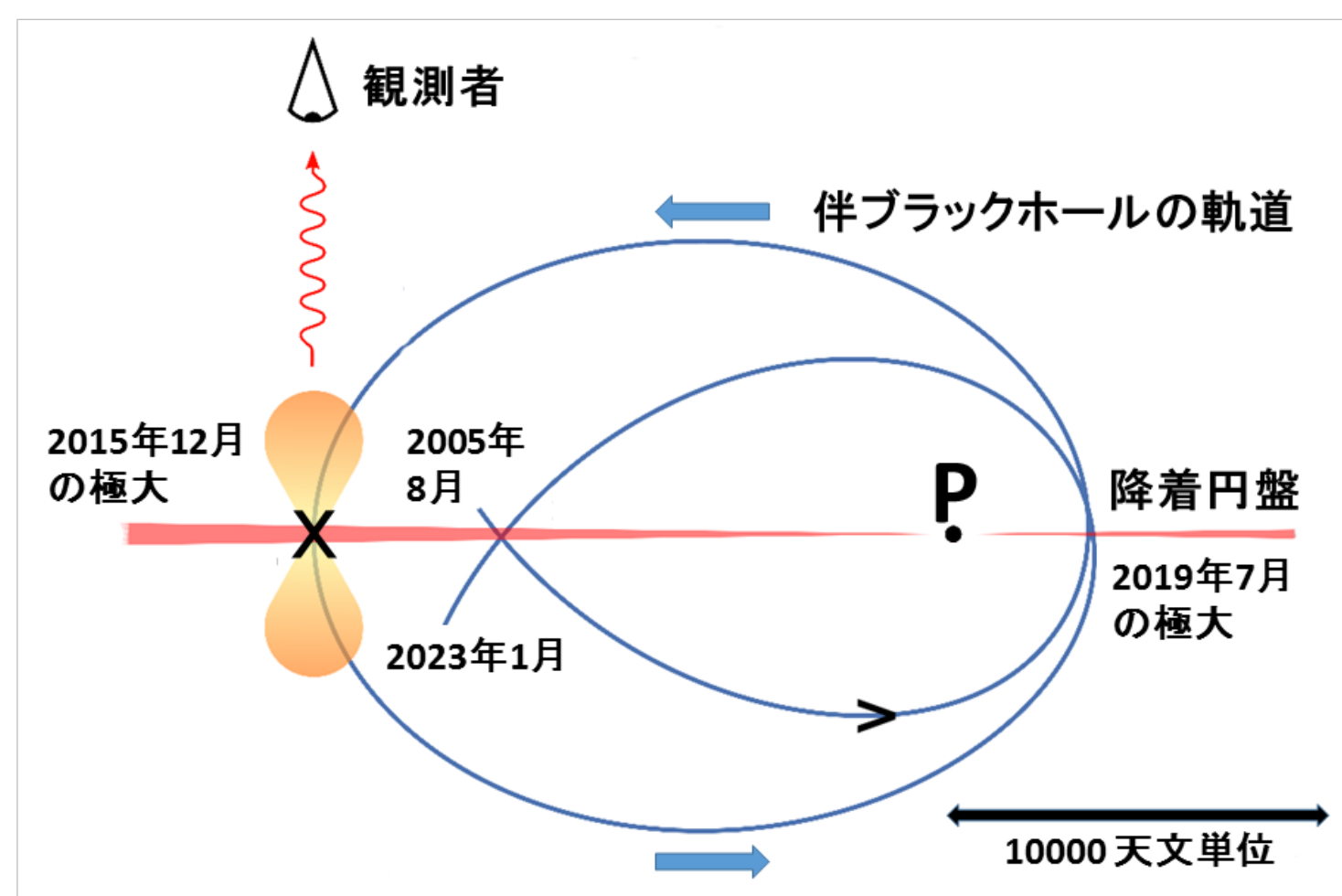
OJ 287 : 宇宙最大級の超巨大ブラックホールの連星系

OJ 287 は**活動銀河核**の一種で、地球から約35億光年の距離にあります。この天体の唯一無二の特徴は、少なくとも過去120年間、約12年ごとに大規模な増光を繰り返していることです。さらに、1回の大増光にはなぜか2つの極大（短い熱的フレア）が伴います。この謎を鮮やかに解決したのが、2つの超巨大ブラックホールが約12年周期で公転運動する「**歳差連星ブラックホールモデル**」（上のイラスト）です。2015年以降の国際共同研究によって、OJ 287 の中心部には、**太陽の約180億倍と1億5千万倍もの質量をもつ2つの超巨大ブラックホールが潜んでいることがわかりました**。また重い方のブラックホールの自転速度は、理論的に許される上限値の約4割弱と解明されました。OJ 287 の熱的フレアの時期を説明するには、**一般相対性理論の効果による極めて大きな公転軌道の歳差**（下図）、**連星系からの重力波放射**、ならびに適切な**ブラックホールのスピン値**が必要となります。重力波放射により公転軌道は徐々に縮小しており、1万年以内には OJ 287 の2つの超巨大ブラックホールは合体すると予測されます。その際には、それまでに人類が観測したものを遥かに上回る強大な重力波が放出されるはずですが、これらの研究成果は Astrophysical Journal 誌に発表されました。

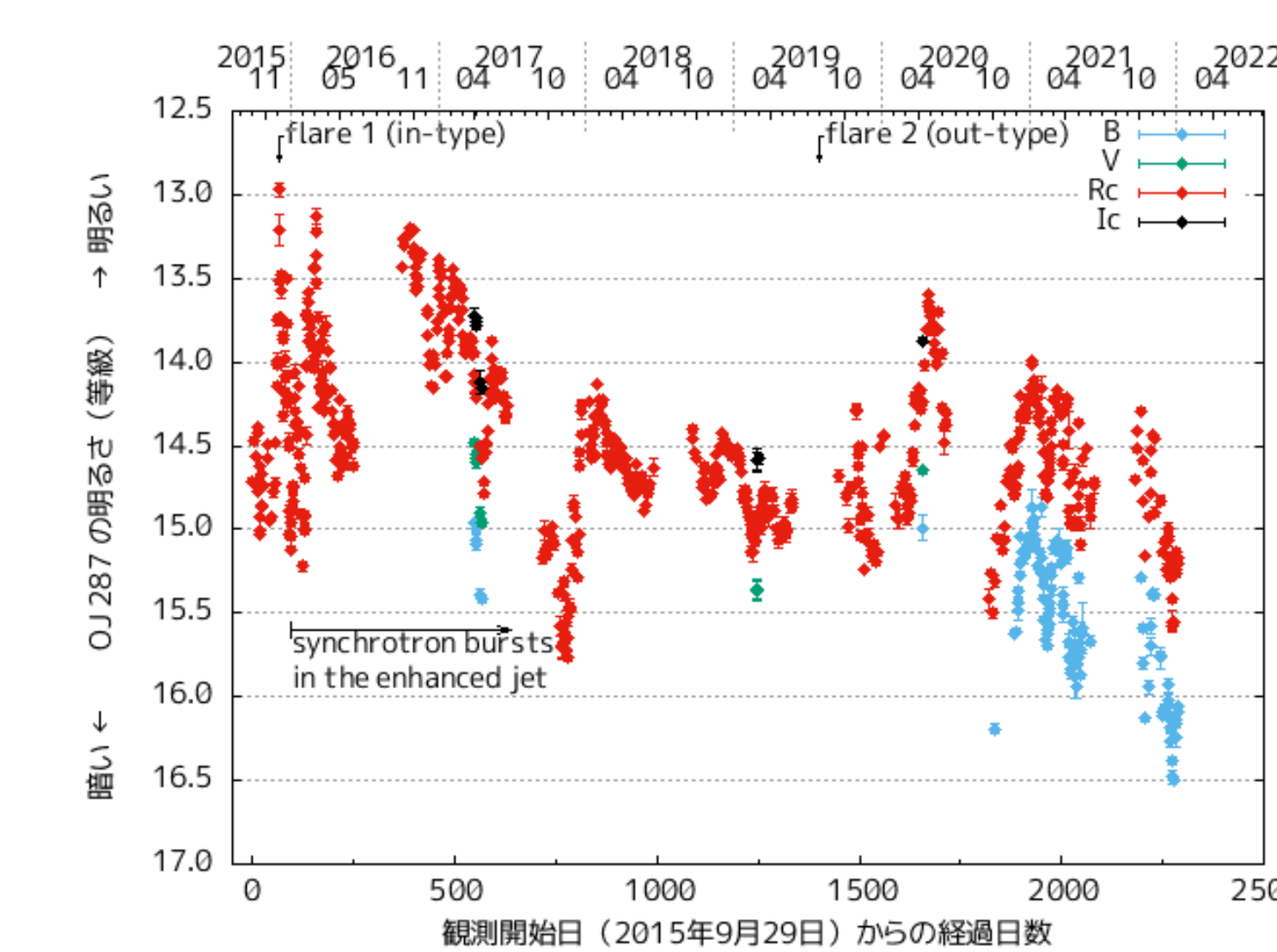
右下図は我々が観測している OJ 287 の明るさの変化の様子です。**歳差連星モデルの予測通り、2015年11月に熱的フレア (flare 1) が起きたことがわかります**。また、このフレアに誘発された相対論的ジェットの活動がしばらく続いたことがわかります。

今後の推移についても、右上図のように予測される**将来の熱的フレア**へ向け観測を続けており、フィンランドやポーランドなどの研究者達と共同研究を行っています。今後の OJ 287 の観測では、**ブラックホールの no-hair 定理の観測的検証**が期待されています。それらの解説などを掲載した下記ウェブサイトもご覧ください。

https://quasar.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/~katsura/OJ_287.html



主ブラックホールの降着円盤を真横から見た OJ 287 連星系の2005年から2023年までの公転軌道の予測図。P の位置に主ブラックホールがあり、観測者は図の上方から系を見えています。2015年のフレアは、伴ブラックホールがXの位置を通過することで起きました。Xの上下には、衝突で加熱された高温ガスが膨張し、熱制動放射で輝く様子を模式的に描いています。2019年7月に予想されるフレアは、主ブラックホールの反対側で起きます（2007年のフレアもほぼ同じ場所で起きました）。

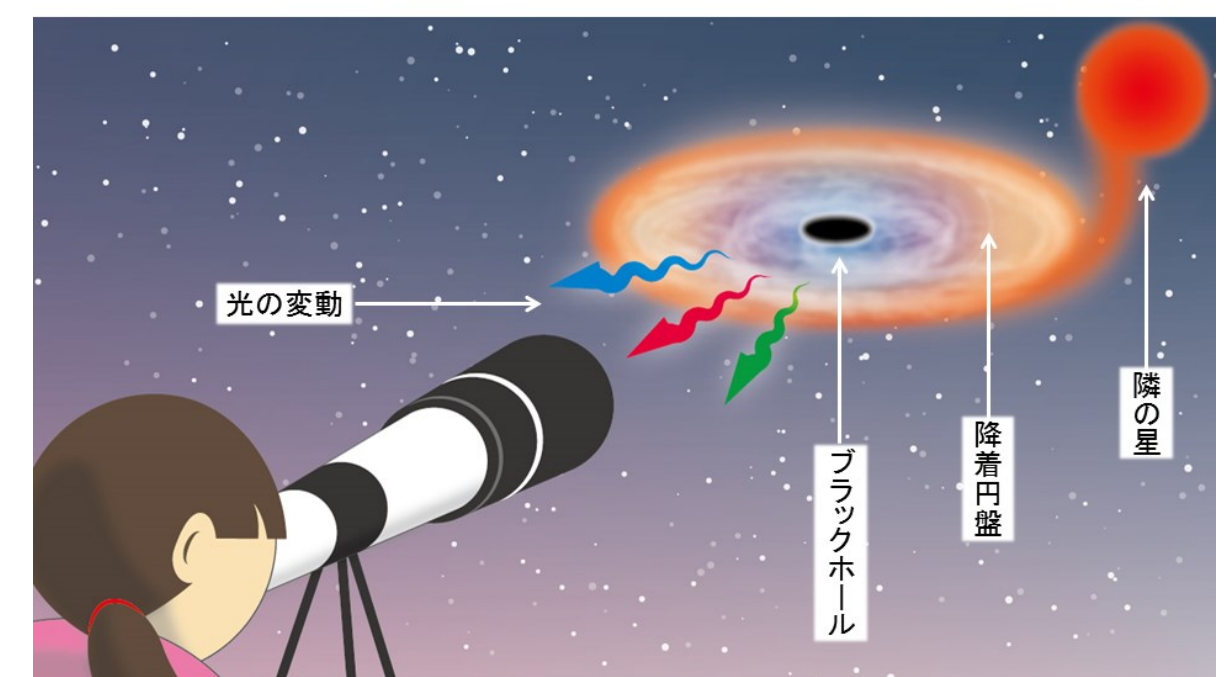


余談ながら、CTA 102 は1964年に（当時の知見に照らした）電波放射の不自然さから、高度な知的宇宙文明からの信号ではないかと提唱されたことがありました。研究室のウェブサイト（下記アドレス）からダウンロードできるプレスリリース資料では、この経緯についても併せて解説しています。ぜひご覧ください。

https://quasar.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/~katsura/CTA_102.html

X線新星 はくちょう座V404 X-ray nova, V404 Cygni

はくちょう座V404は地球から3番目に近い距離にある**恒星質量ブラックホール**として知られています（約8000光年）。ブラックホールの質量は太陽の9倍で、隣の恒星と互いに公転しあう連星系を形成しています（右図・上）。



はくちょう座V404の想像図 (©小野英理 / 京都大学)

この天体は過去に複数回のX線アウトバーストを起こしていましたが、可視光での詳しい観測はありませんでした。ところが、2015年6月に大規模な可視光アウトバーストを起こしました。その際に、ブラックホールが物質を吸い込む際のエネルギーの変化による**光の急激な短時間変動**を検出することに、本学天文台が成功しました（右図・下）。このアウトバーストの研究は京都大学のグループがとりまとめ、Nature 誌に発表されました。

