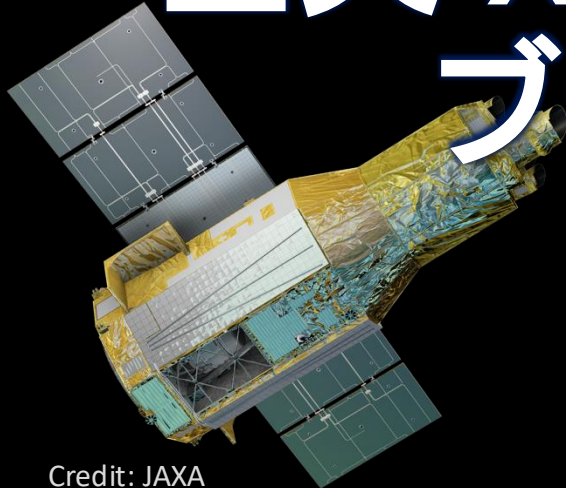


全天 X 線モニタと多波長観測による ブラックホール X 線連星の 多様な活動性の解明



Credit: JAXA



Credit: JAXA/NASA

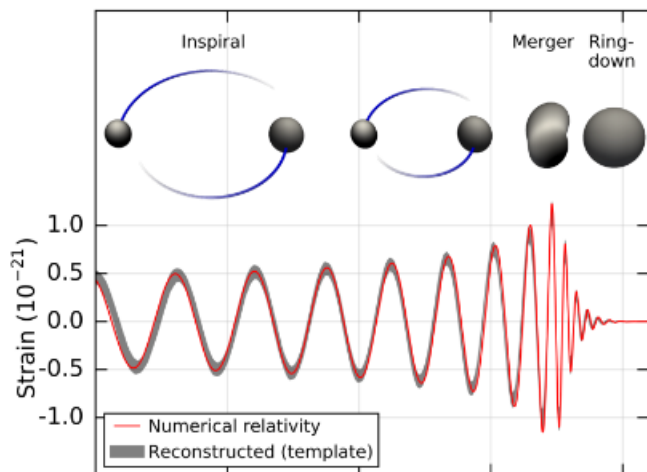
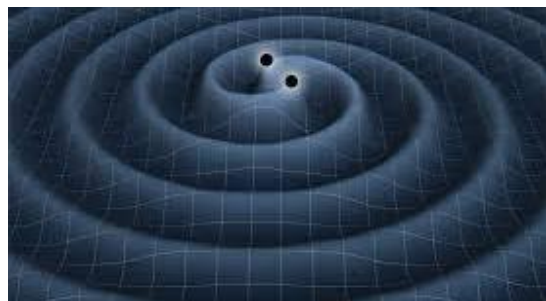
しだつ
志達 めぐみ

愛媛大学大学院理工学研究科

Credit: NASA/CXC/
Melissa Weiss

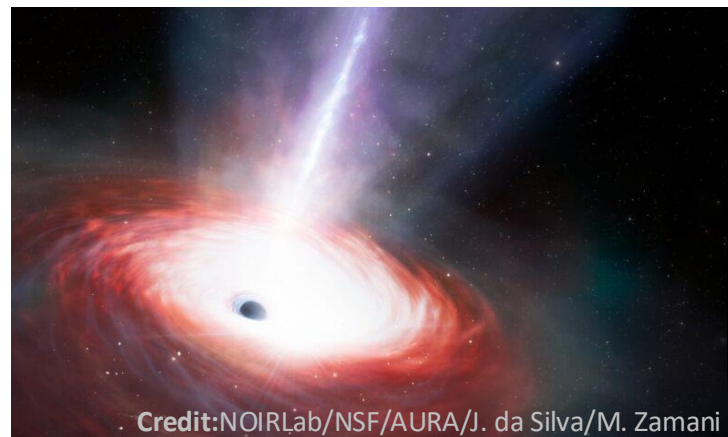
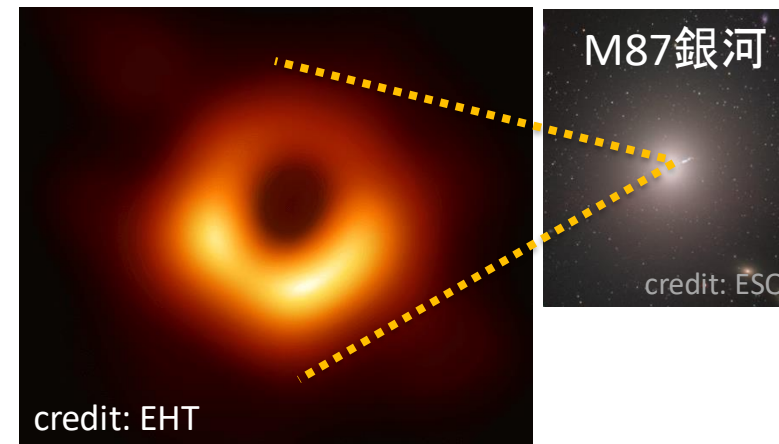
ブラックホール

= 一般相対論から導かれる、重力が極めて強く、光さえも脱出できない天体
近年の研究の進展により、その存在は確実に！



ブラックホール合体による
重力波 (2015年 初検出)

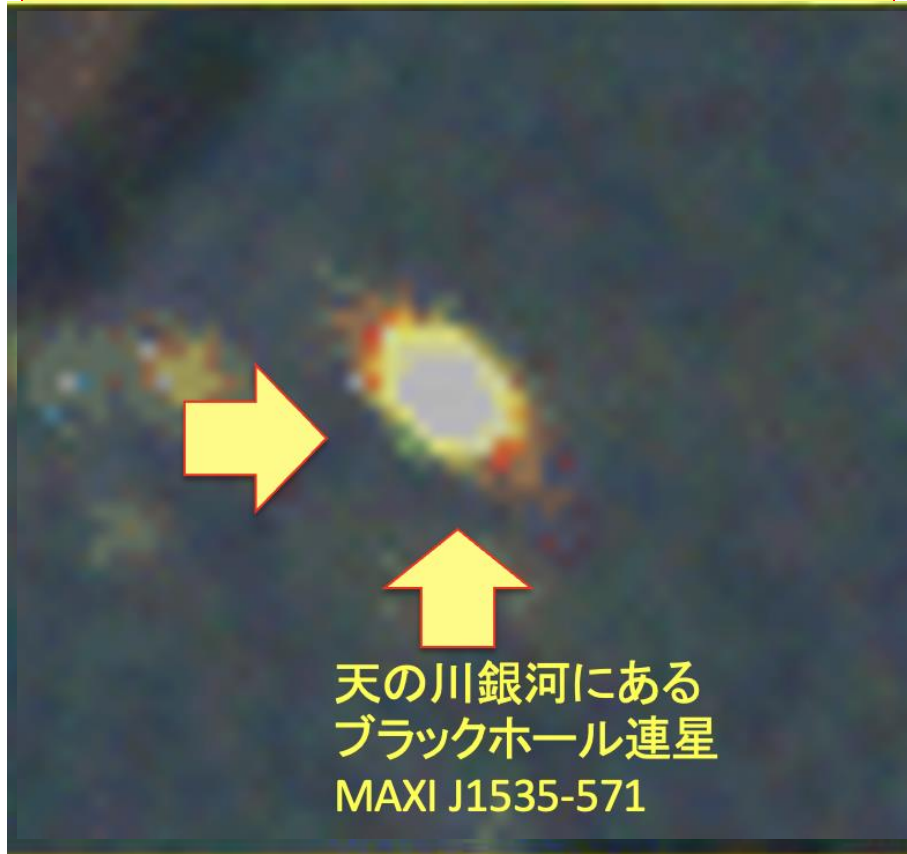
Event Horizon Telescope による
超巨大ブラックホール「直接撮像」(2019年 発表)



未解明の大きな謎:
ブラックホールは
宇宙にどのような影響を
及ぼしてきたのか??

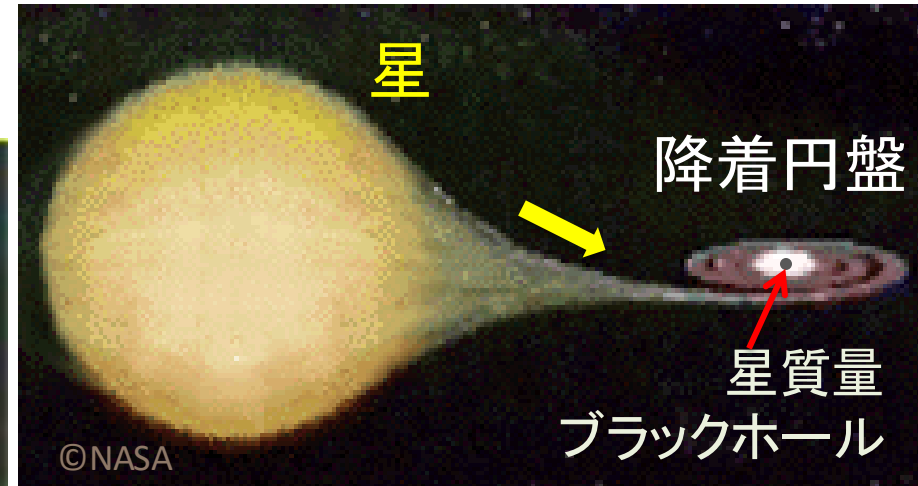
ブラックホール X 線連星

ブラックホールX線連星の X 線画像



天の川銀河にある
ブラックホール連星
MAXI J1535-571

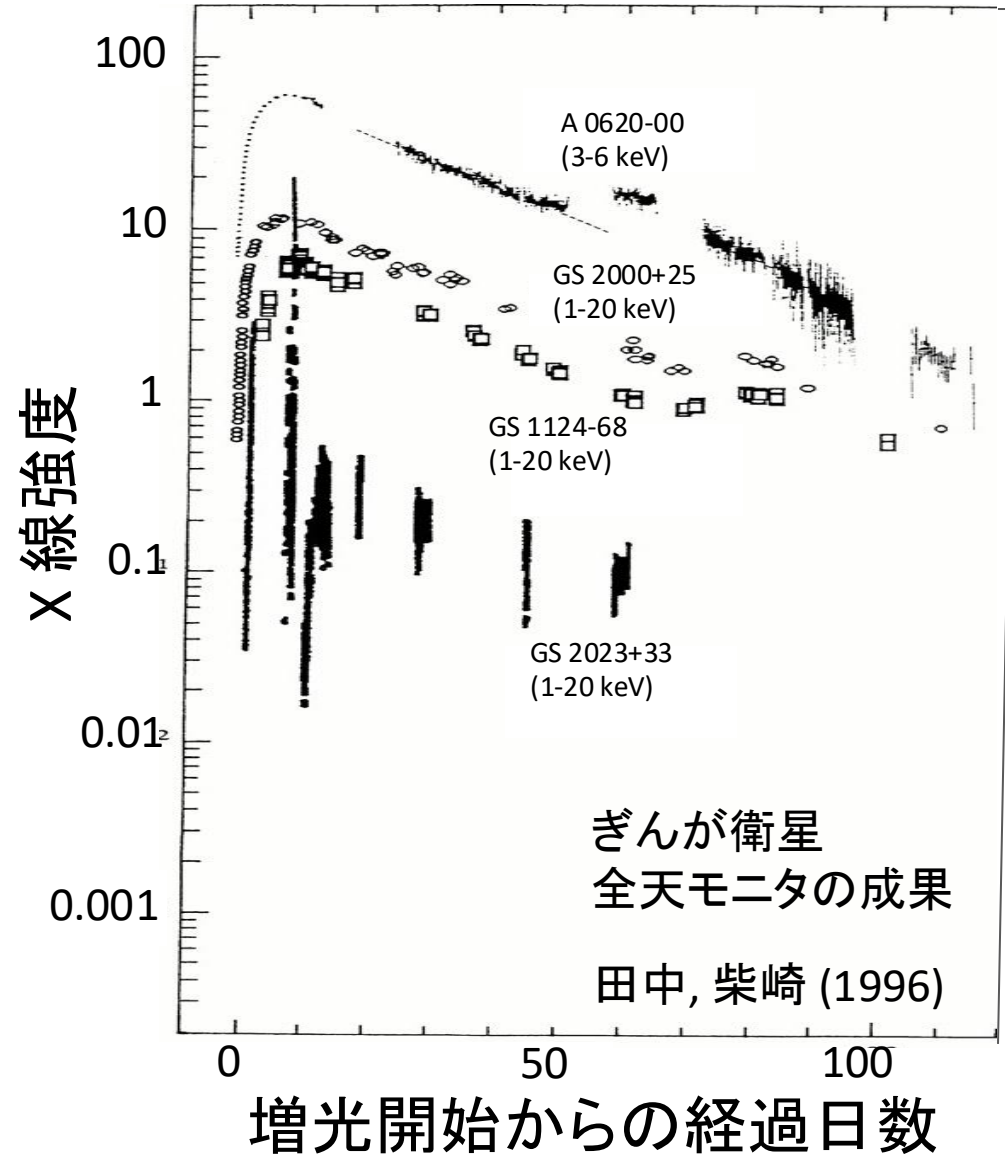
©JAXA/RIKEN/MAXI チーム



- 降着円盤の内側は
1000万度以上の高温！
-> X 線で輝く
- 天の川銀河の中に
数十個見つかっている

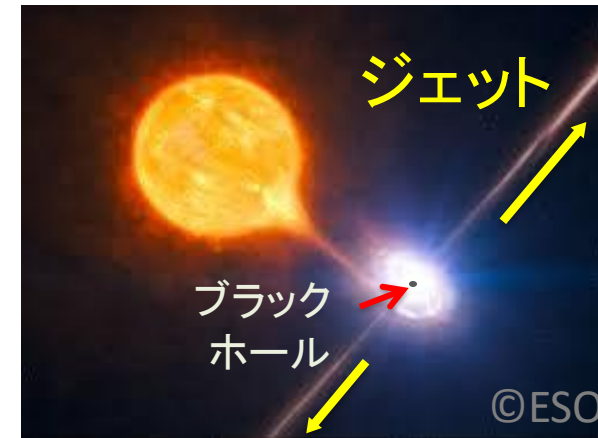
ブラックホール X 線連星は活動する！

ブラックホール X 線連星の明るさ変化



わずか数日程度で
X 線の明るさが
1 万倍以上も増加

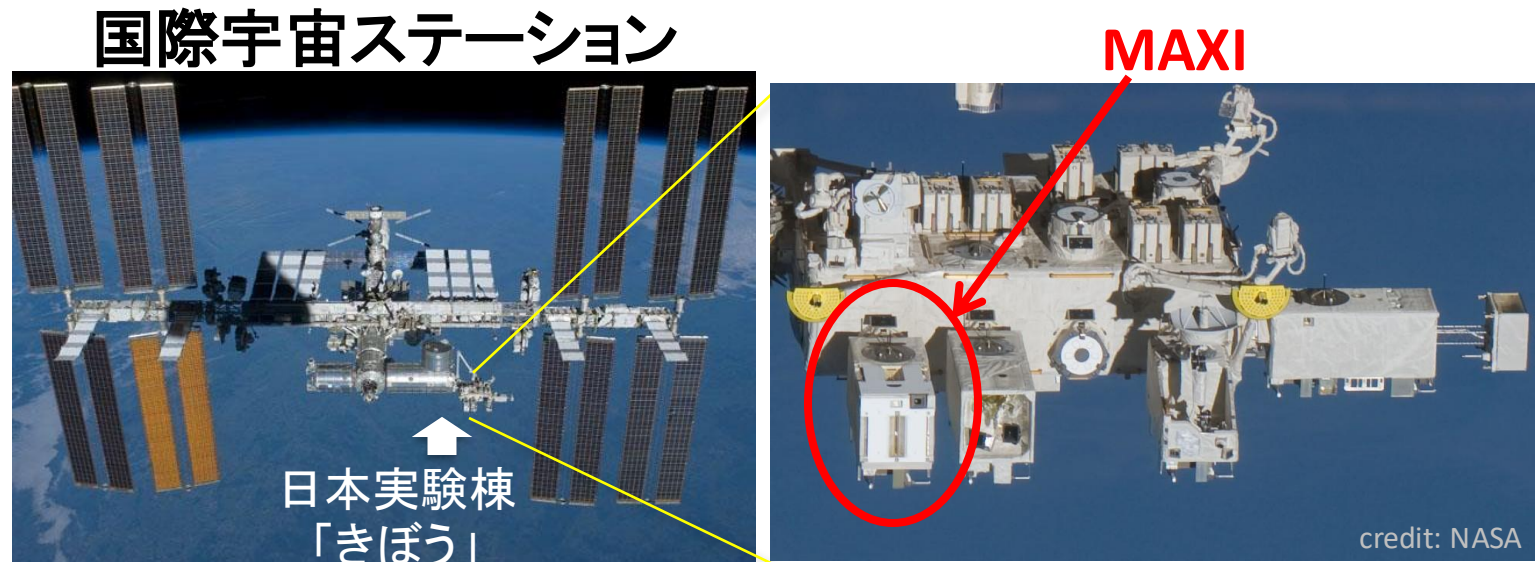
高速の**ジェット**も噴き出す



劇的な変化・ジェット噴出の謎を
解き明かしたい！

全天 X 線監視装置 MAXI

ブラックホールX線連星のほとんどは突発天体 増光時期は予測困難
→ X 線で空全体を常に監視することが必要

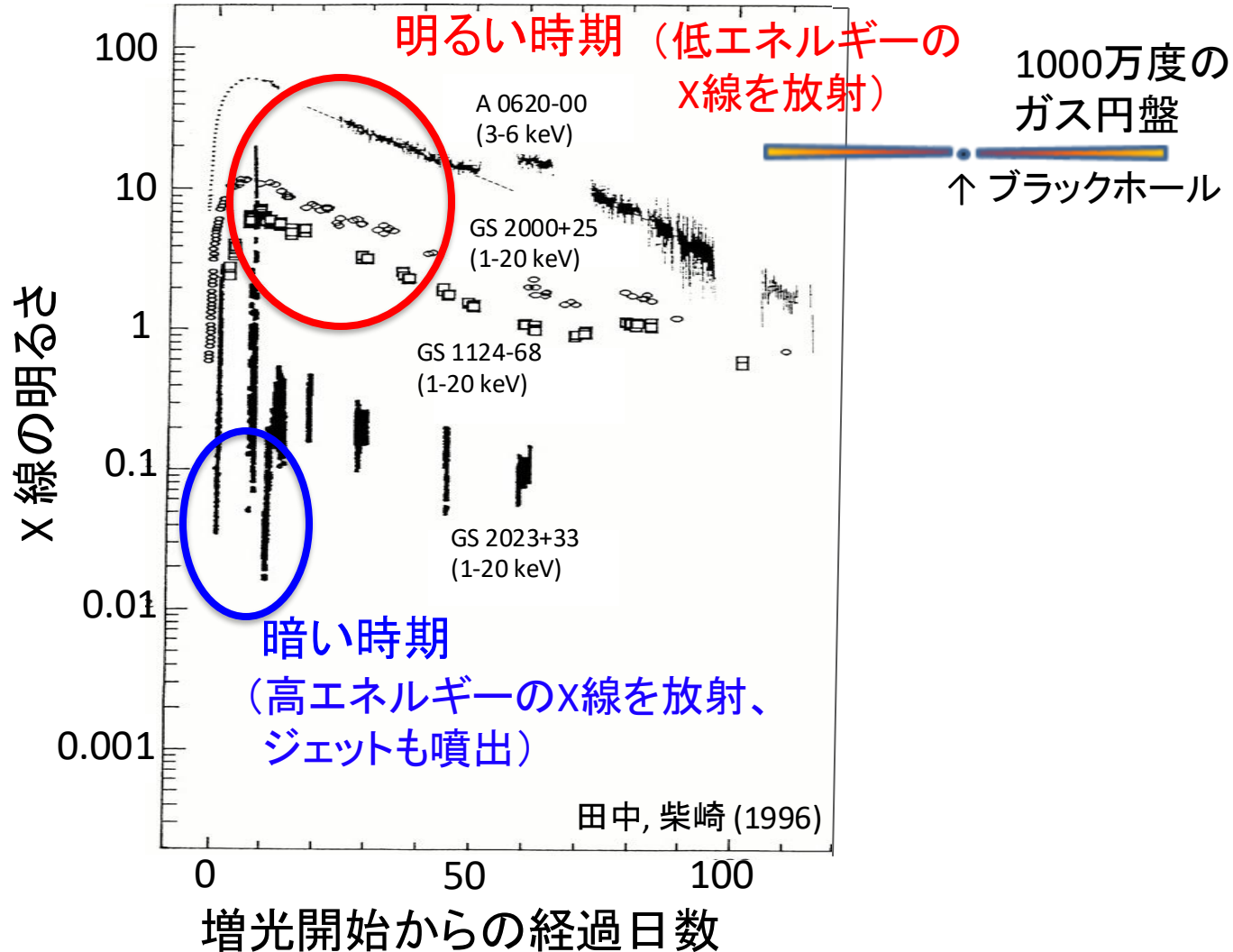


- 高感度の全天 X 線モニタ (2009年-)
 - 運用初期からミッションチームに参加
- ブラックホール X 線連星を含む X 線突発天体を監視・全世界へ速報
MAXI メーリングリストを通じた速報: 約 1200 件、ATel 381 件、GCN 221 件
→ X線 + 可視光・赤外線・電波による観測を実現

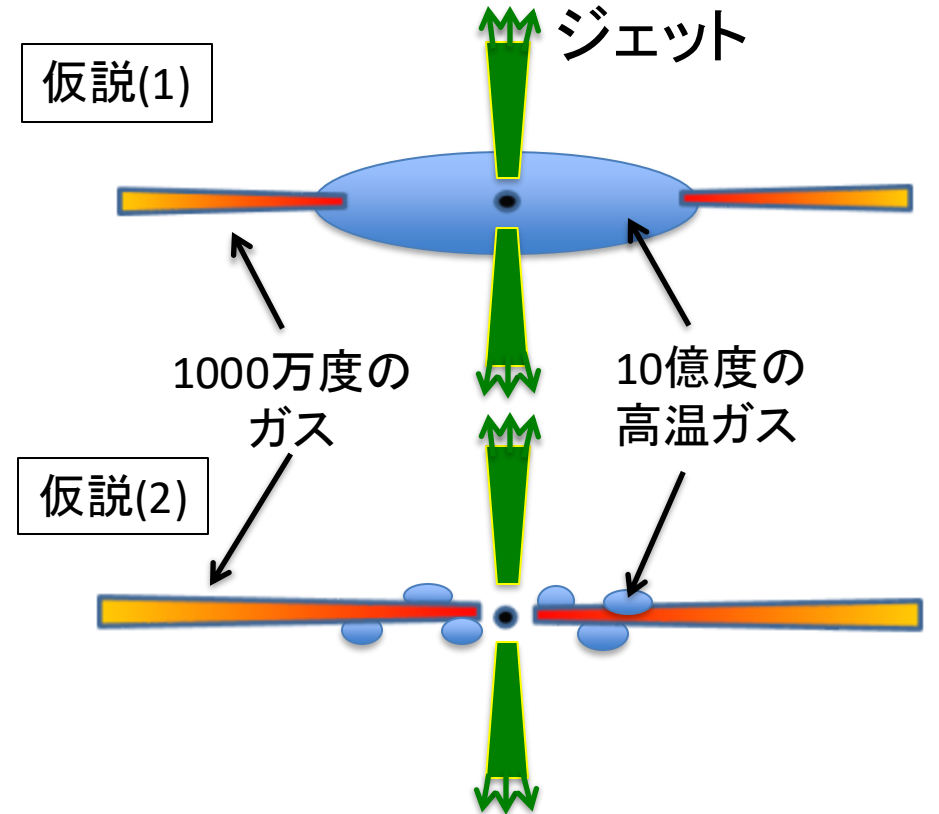
Shidatsu et al. 2013, 2014, 2017, 2018, 2019, 2021, 2023 他多数

ブラックホール降着円盤

ブラックホールX線連星の明るさ変化



暗い時期の降着円盤



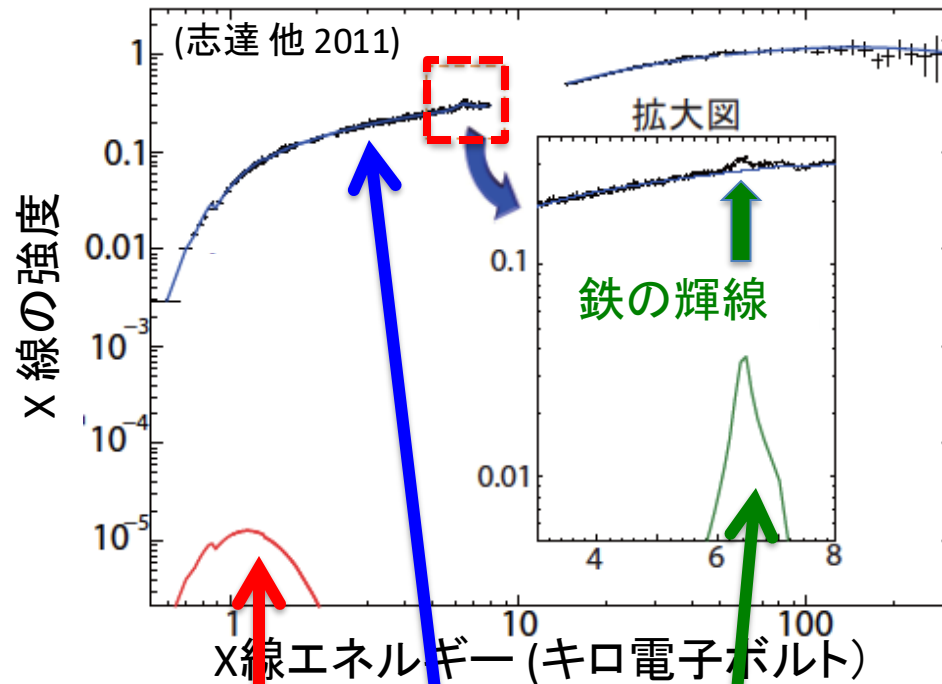
降着円盤を真横から見た図

X線衛星すざくによる観測

すざく

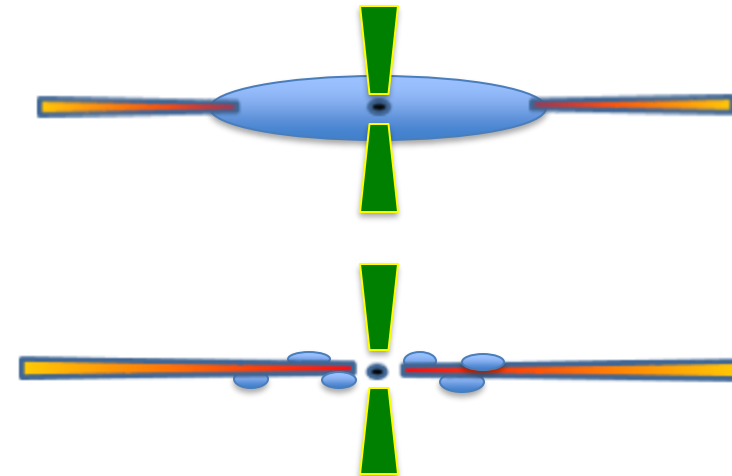


暗い時期のX線スペクトル



1000万度の
ガス

↑
10億度のガス

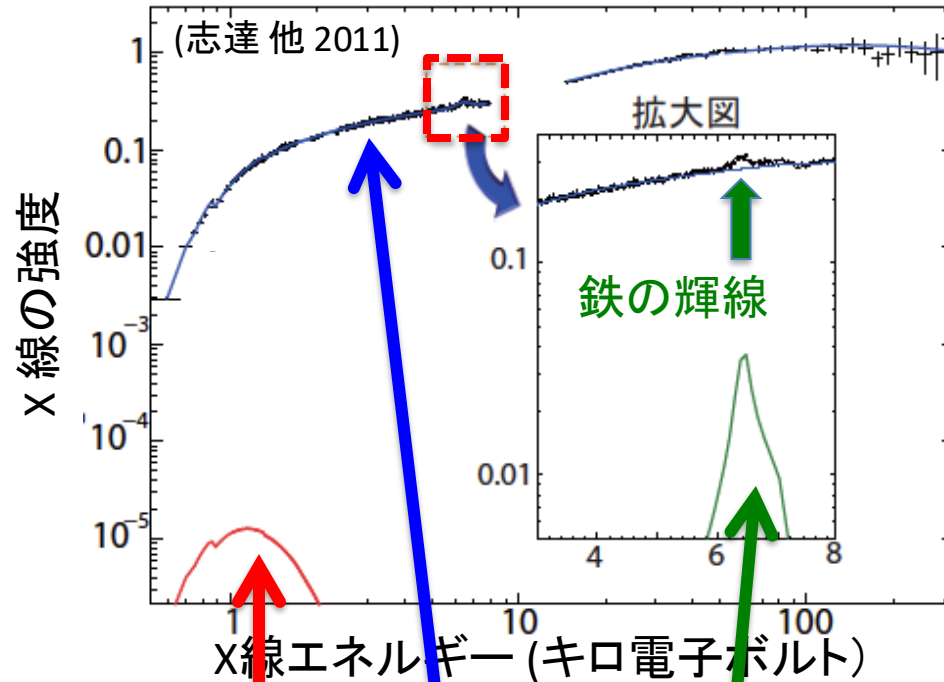


X線衛星すざくによる観測

すざく

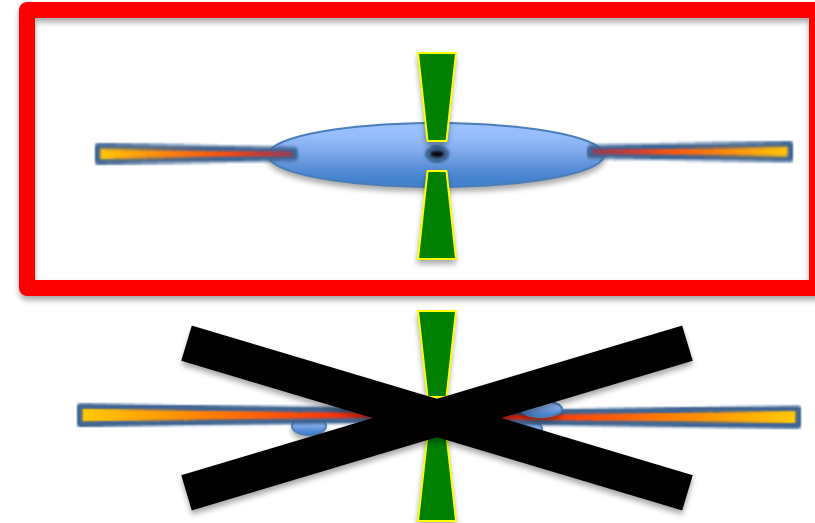


暗い時期のX線スペクトル



1000万度の
ガス

↑
10億度のガス



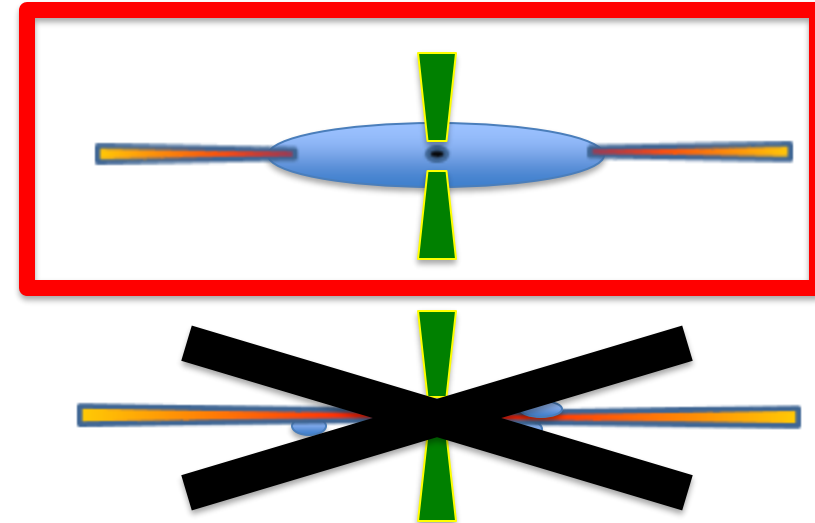
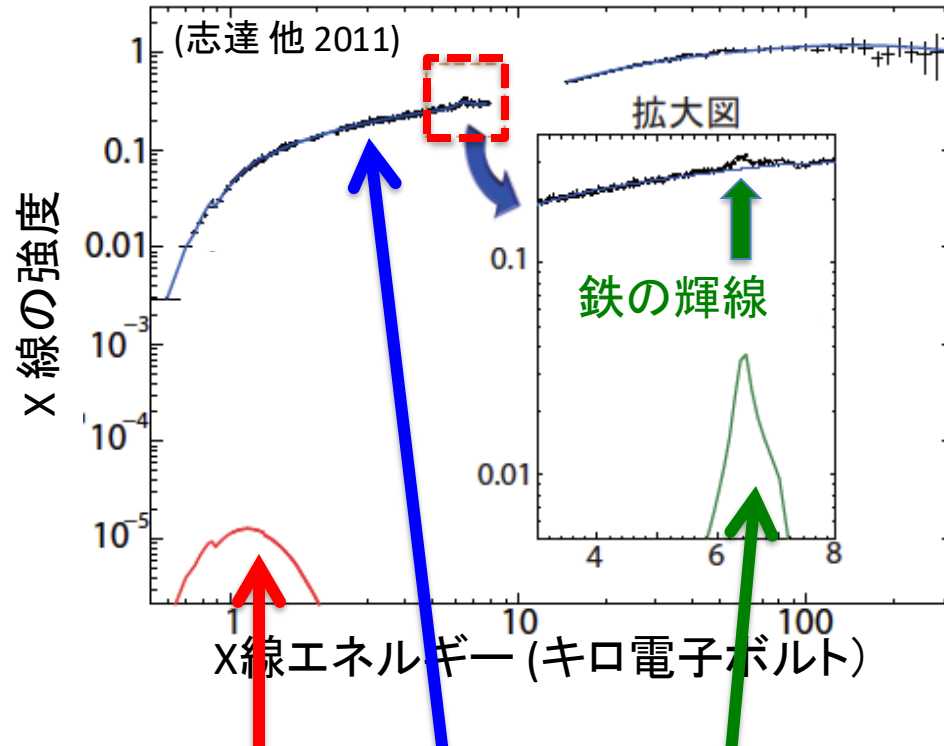
X線で暗い時期には、ガスが約 10 億度で、
多量の熱エネルギーを抱えたまま BH に落ちている

X線衛星すざくによる観測

すざく



暗い時期のX線スペクトル

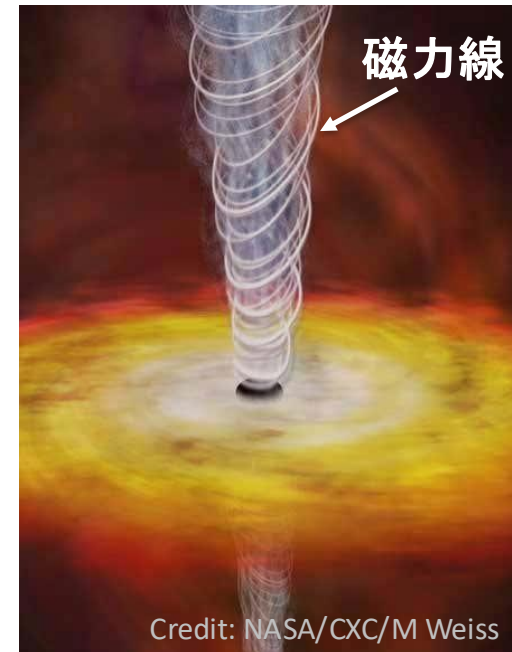
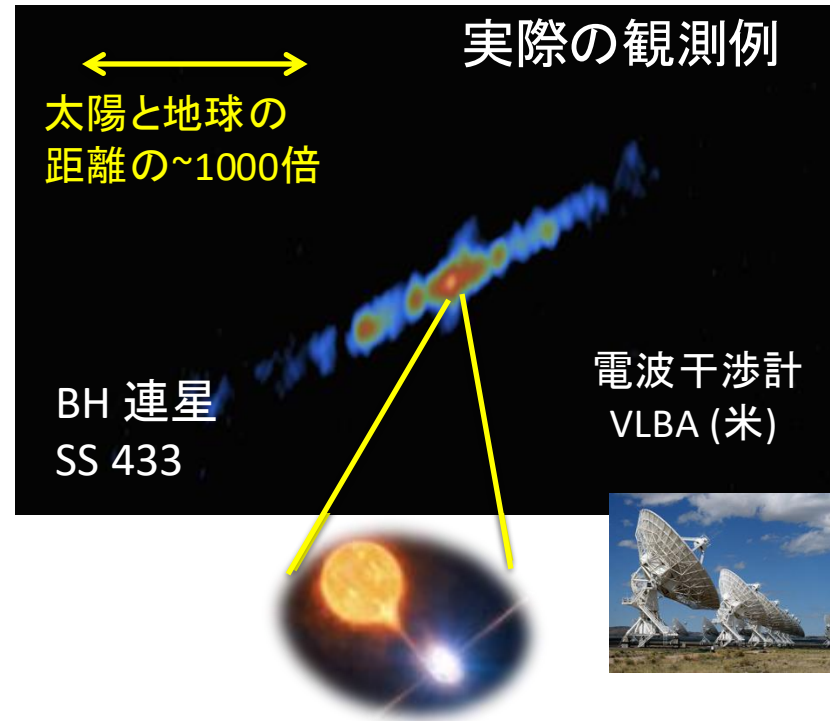


直接見えない降着円盤の構造をスペクトル解析により暴いた！
ブラックホールの自転の測定にも大きな影響

(Shidatsu et al. 2011a, 2011b, 2013, 2014)

ブラックホールから噴き出すジェット

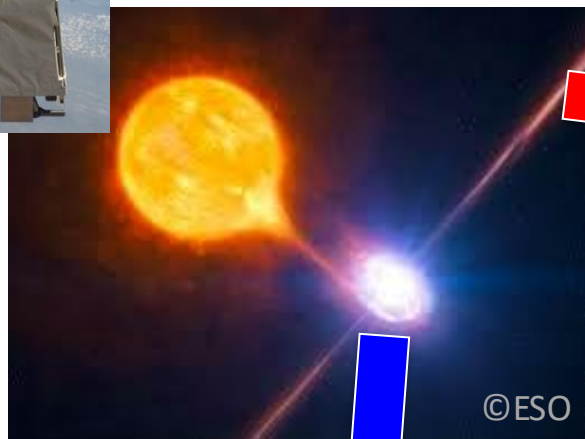
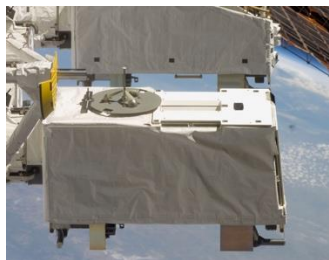
ブラックホールに落ちるガスの一部が高速（**光速の数割以上！**）で噴出



どのようなメカニズムで噴き出すのか??
なぜ細く絞られる??

ブラックホールX線連星の多波長同時観測

MAXI で増光の始まりをとらえ、ジェット噴出時に詳細観測



X線
降着円盤を
とらえる

電波、赤外線、可視光
ジェットをとらえる



京大岡山 3.8m
せいめい望遠鏡



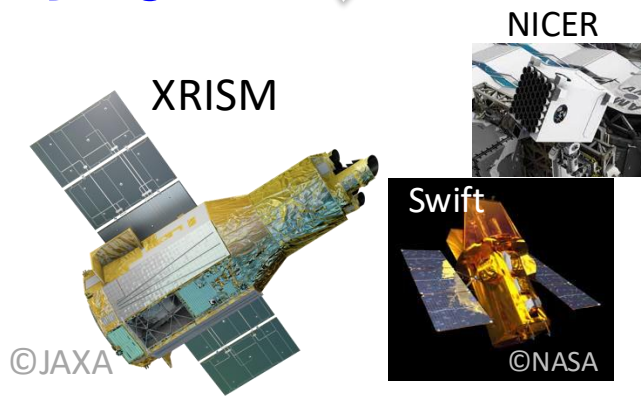
MiTSuME(東工大)



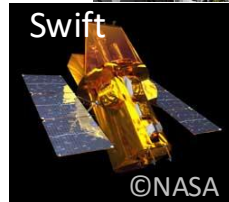
名大南アフリカ
近赤外望遠鏡 IRSF



広大かなた
望遠鏡



©JAXA



©NASA

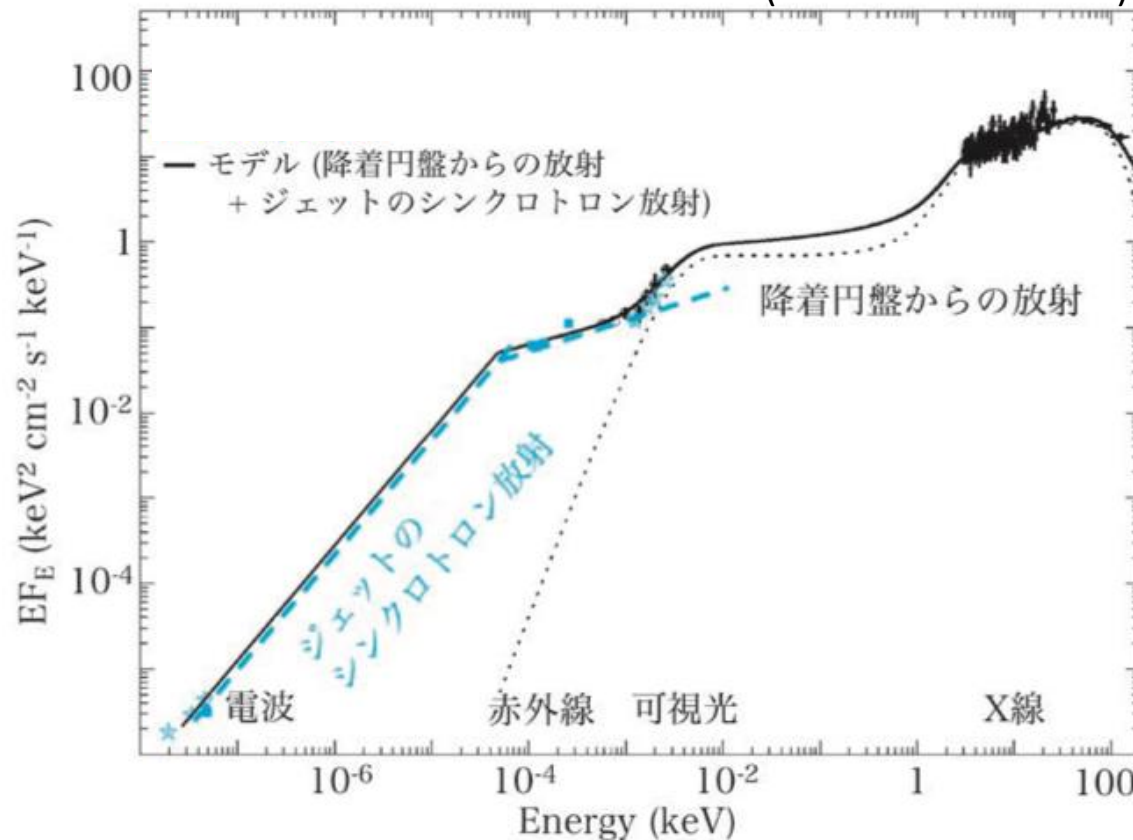
→ ジェット構造・噴出のメカニズム・
降着円盤の構造変化との関係性
を解明したい !!

ブラックホールX線連星の多波長同時観測

MAXI で増光の始まりをとらえ、ジェット噴出時に詳細観測

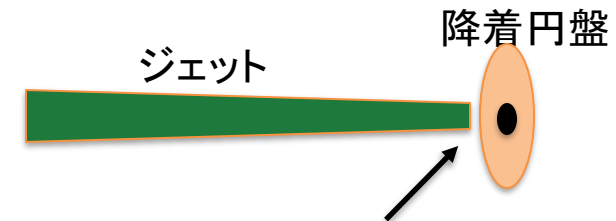
暗い時期の観測例

MAXI J1820+070 (Shidatsu et al. 2018)



多波長データから
ジェットの根元の
磁場を測定

→ **強い磁場が
確かに存在！**

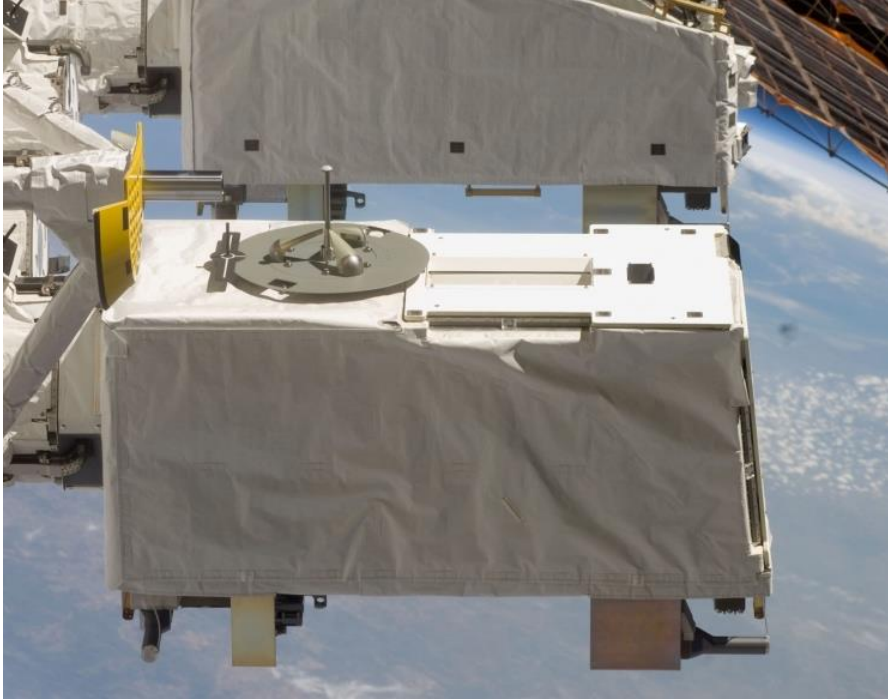


ジェットの根元

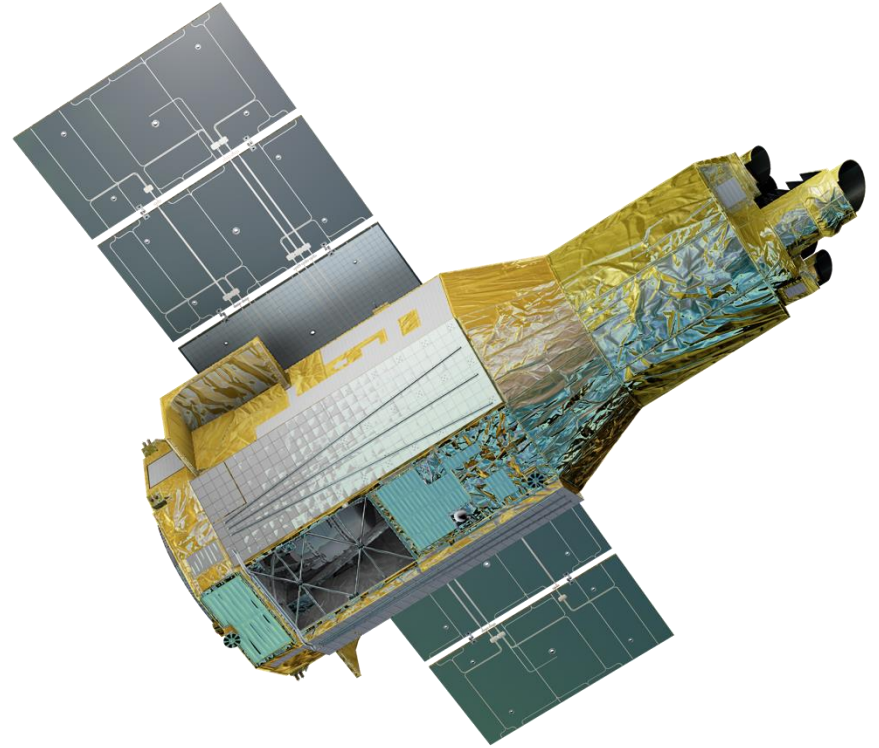
磁場: $B > 1 \text{ T}$

BH からの距離: $\sim 10^4 \text{ km}$

日本の X 線天文ミッションへの貢献



MAXI (2009-)

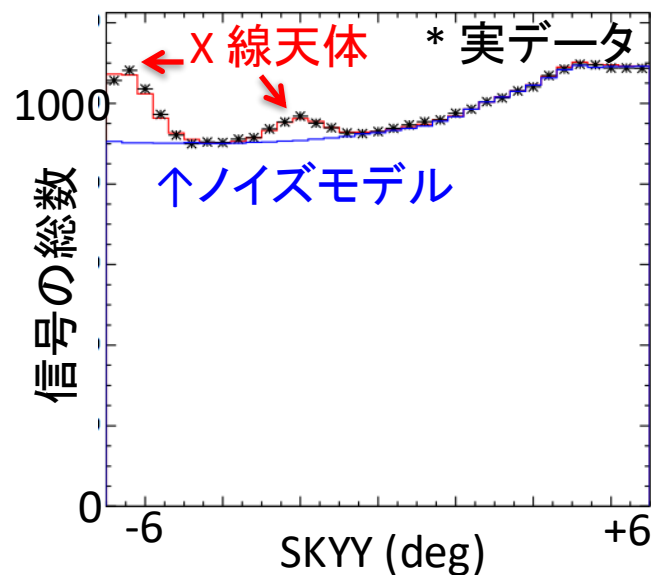


XRISM (2023-)

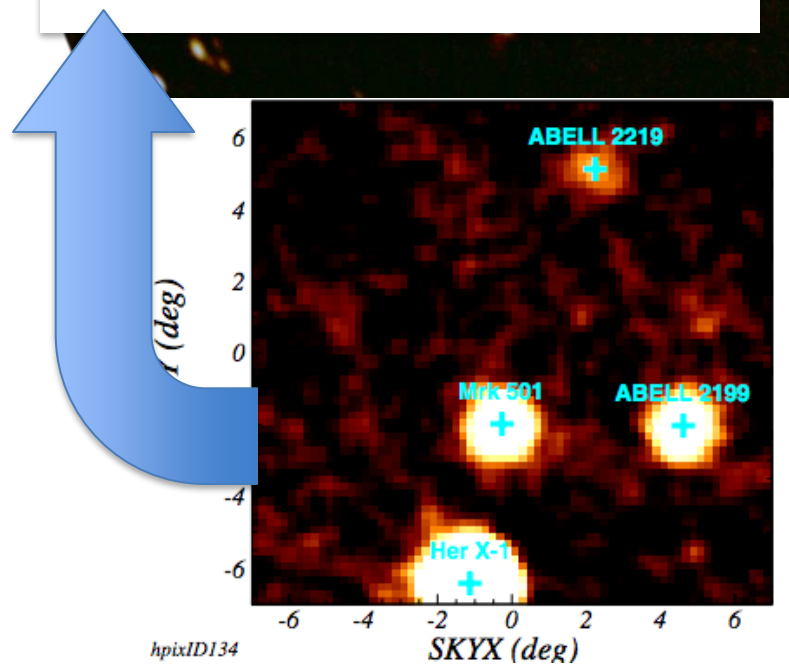
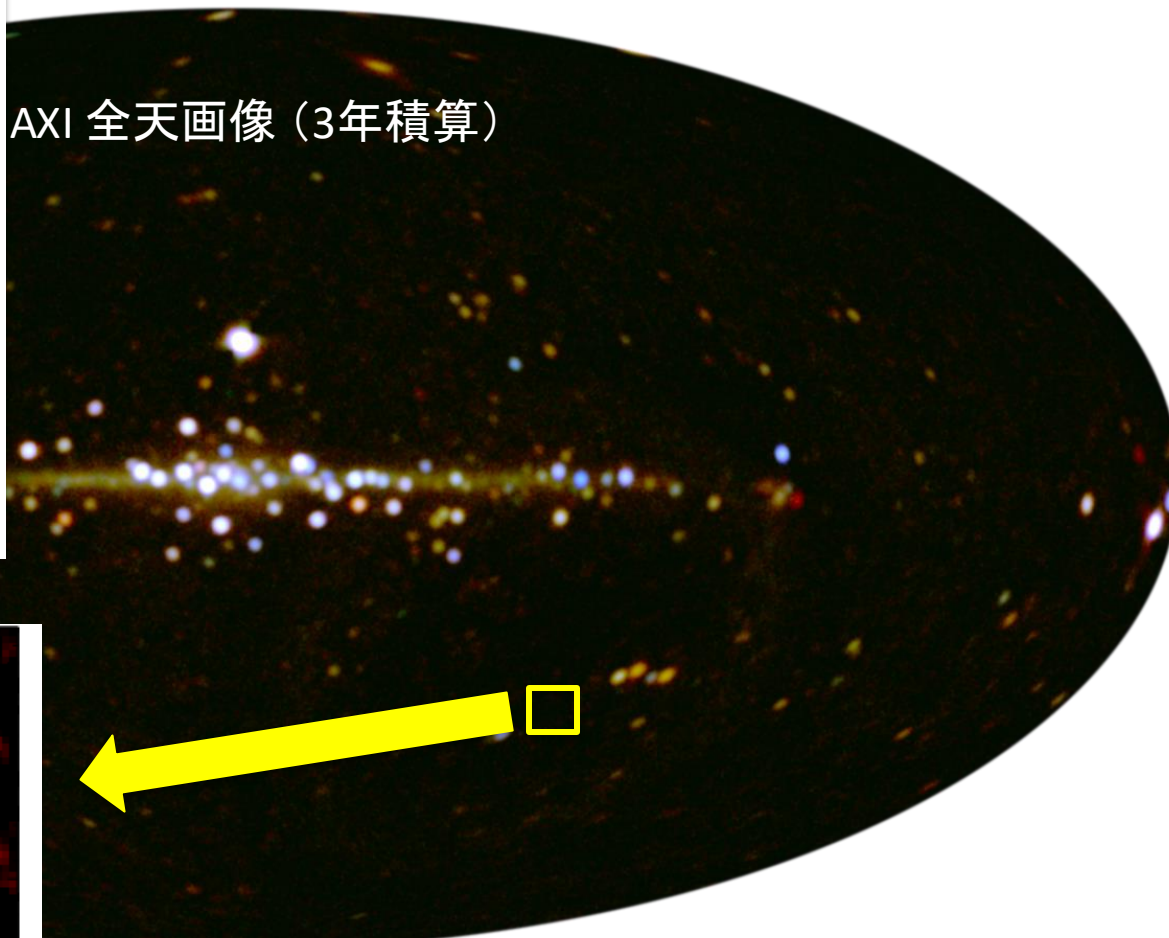
プロジェクトチームに参加し、
サイエンス面(ブラックホールの観測)だけでなく開発・運用にも参加

MAXI

高精度ノイズモデルの構築



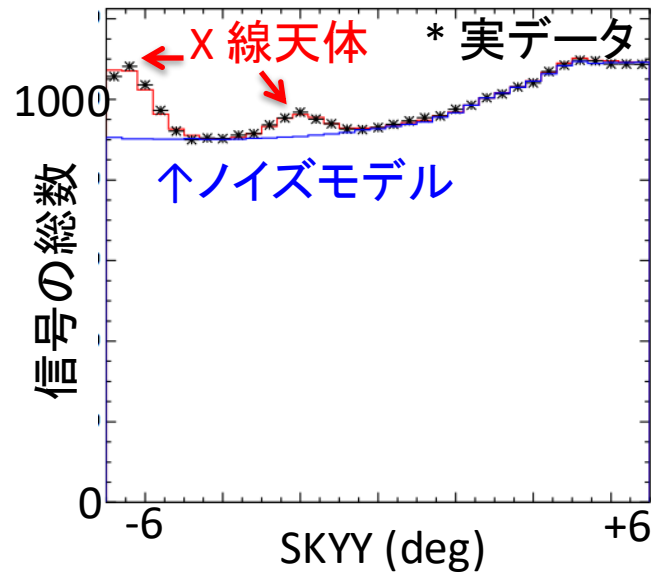
MAXI 全天画像 (3年積算)



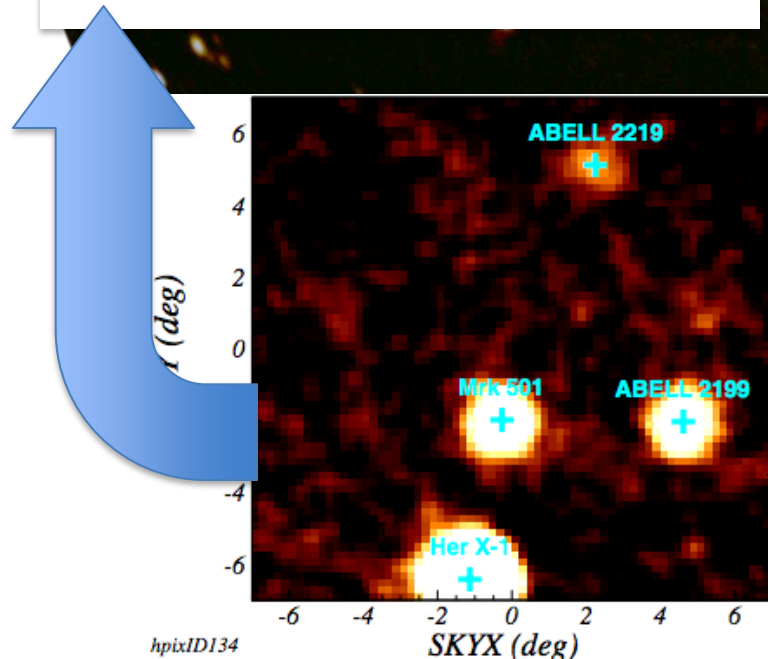
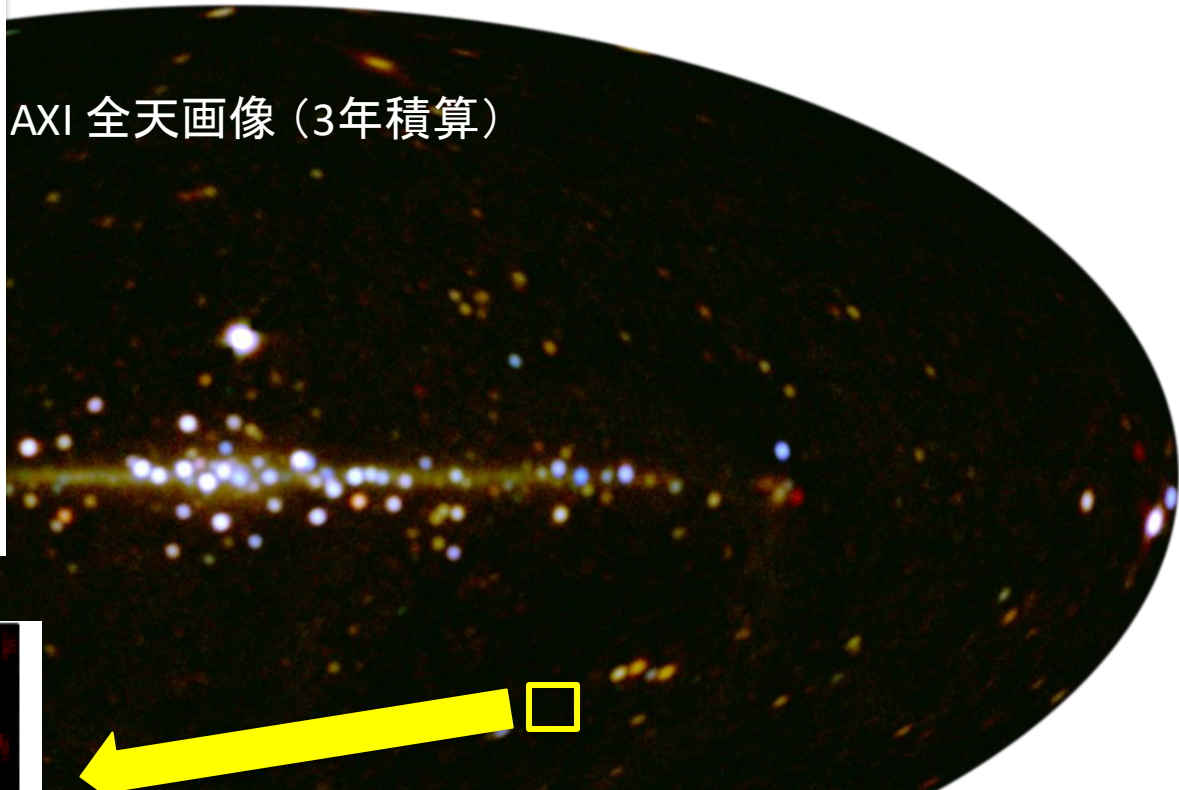
MAXI のノイズ (主に宇宙線によるもの) は
宇宙ステーションの軌道とともに
時々刻々と複雑に変化

MAXI

高精度ノイズモデルの構築



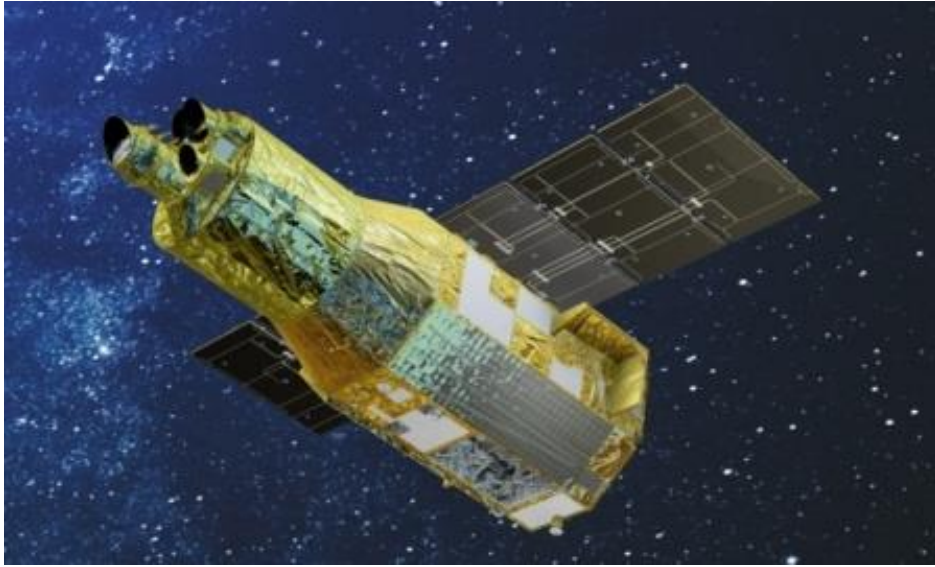
AXI 全天画像 (3年積算)



独自手法で MAXI の全データを解析し、
宇宙線の強度の指標を用いて
高精度のノイズモデルを構築・シミュレータ開発

→ MAXI の感度が飛躍的に向上
その後の多数の研究に貢献

XRISM



- 2023年 打ち上げ → 2024年 本格観測開始
- **X線マイクロカロリメータ (Resolve)** を搭載
X線のエネルギー計測精度が従来より一桁向上
→ ブラックホールからのガス噴出メカニズム・
周囲への影響が明らかに！

- プロジェクト立ち上げ当初から参加
- ブラックホールX線連星の観測の検討・実施を主導
→ 増光中の初の精密分光観測に成功！



打ち上げライブ中継 (YouTube)

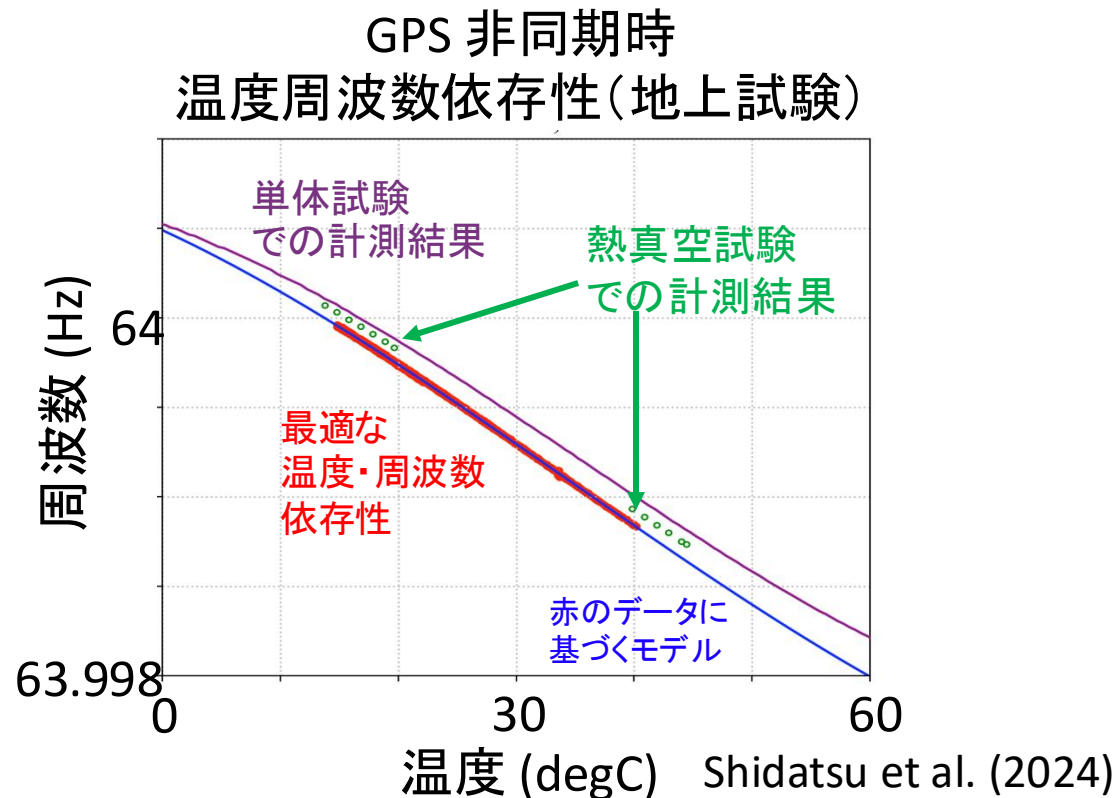
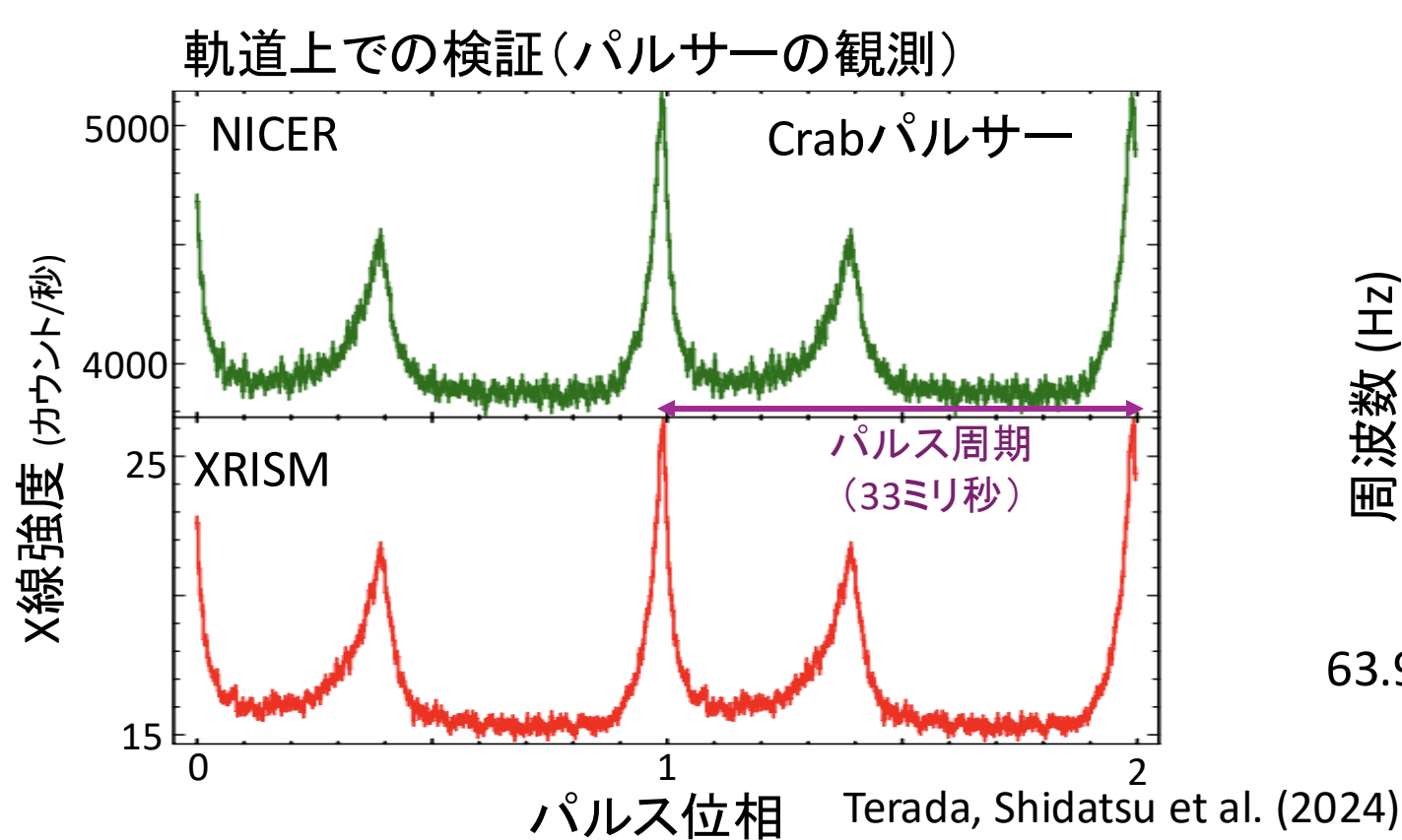
科学運用チームへの参加



- 地上データ処理(衛星生データを科学解析用に加工)システム・関連ソフトウェアの開発・試験
- 時刻精度評価、時刻付けソフトウェアの開発・検証 などに貢献

時刻精度評価への貢献

Resolve はエネルギー計測精度に加え**時刻精度も高く（システム全体で < 1ミリ秒）**
ブラックホールやパルサーなどの短時間変動の研究にも有用！！



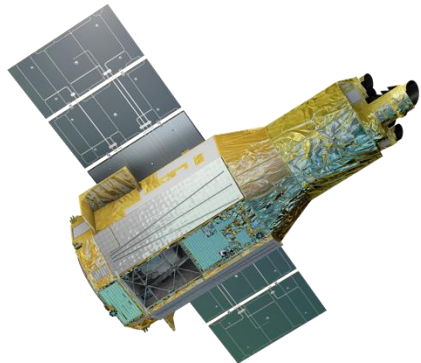
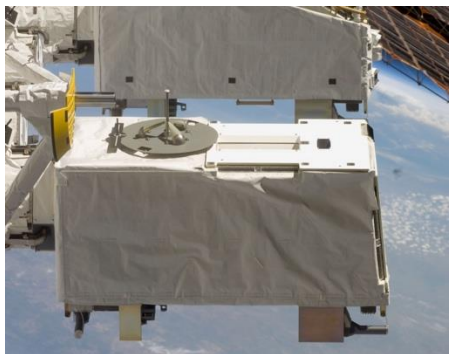
要求精度を実現するための地上試験・軌道上評価に中心メンバーとして参加

研究内容まとめ・おわりに

- MAXI で増光を監視 → 様々な衛星・望遠鏡を駆使して多波長同時観測
→ ブラックホール X 線連星の活動をとらえ、降着円盤・ジェット of 構造を明らかにした
- MAXI・XRISM プロジェクトに自ら参加し開発・運用など技術面にも貢献

開発・運用に携わった衛星や装置を用いて宇宙の謎に挑むことには
何事にも変え難い魅力がある

**他では得られない経験や学び・新しい発見のチャンスを与えてくれる
日本のX線天文ミッションに感謝！**



まずは XRISM で大いに成果を上げ、
将来ミッション検討・次世代の育成にも
貢献していきたい

謝辞

多くの方のお力添えをいただきながら、研究を行ってきました。
この場をお借りして、お世話になった全ての方々に厚く御礼申し上げます。

- ◆ 学生時代からご指導いただいている上田佳宏先生、嶺重慎先生
- ◆ 三原建弘先生、根來均先生、河合誠之先生をはじめとする
MAXI チームの皆様
- ◆ 研究員時代(理研 MAXI チーム)からご指導いただいている
牧島一夫先生
- ◆ 多波長観測にご協力いただいた共同研究者の皆様
- ◆ XRISM 科学運用チームの皆様、サイエンスチームの皆様
特に、科学運用・時刻較正にお誘いいただいた寺田幸功先生
- ◆ 愛媛大学 宇宙進化研究センターの皆様
特に栗木久光先生、寺島雄一先生
- ◆ 支えてくれる家族の皆様