

# X線分光撮像衛星（XRISM）記者説明資料

## 1. 運用状況と観測状況

JAXA宇宙科学研究所 X線分光撮像衛星（XRISM）プロジェクトチーム  
プロジェクトマネージャ  
宇宙物理学研究系 准教授 渡辺 伸

## 2. 最新の研究成果

JAXA宇宙科学研究所 X線分光撮像衛星（XRISM）プロジェクトチーム  
宇宙物理学研究系 准教授 山口 弘悦

# 1. 運用状況と観測状況

## 経緯

- 2023年9月7日 SLIMと相乗りで打ち上げ、初期機能確認運用を開始。
- 2024年1月5日 軟X線分光装置(Resolve)、軟X線撮像装置(Xtend)のファーストライト画像を公開。
- 2024年2月8日 初期機能確認運用を完了、定常運用段階に移行。較正・初期性能検証観測（PV観測）を実施。
- 2024年9月4日 世界中の研究者からの観測提案に基づく観測(公募観測)を開始

# XRISM搭載観測機器



- X線を効率よくセンサ部に集めるX線望遠鏡(XMA)
- 超精密にエネルギーを測る軟X線分光装置(Resolve)
- 広い視野で撮像する軟X線撮像装置(Xtend)

# 運用状況

- 観測運用を継続中
  - ~2024年9月4日: 初期性能検証観測(PV観測)、9月4日~: 公募観測
- 相模原(SSOC)の管制室より管制
- JAXA局, NASA局を使い、毎日10~15パスの運用を実施
  - 高度~560 km, 傾斜角 $31^\circ$ , 軌道周期~96分



出典：プレスリリース  
[https://www.jaxa.jp/press/2023/09/20230907-2\\_j.html](https://www.jaxa.jp/press/2023/09/20230907-2_j.html)

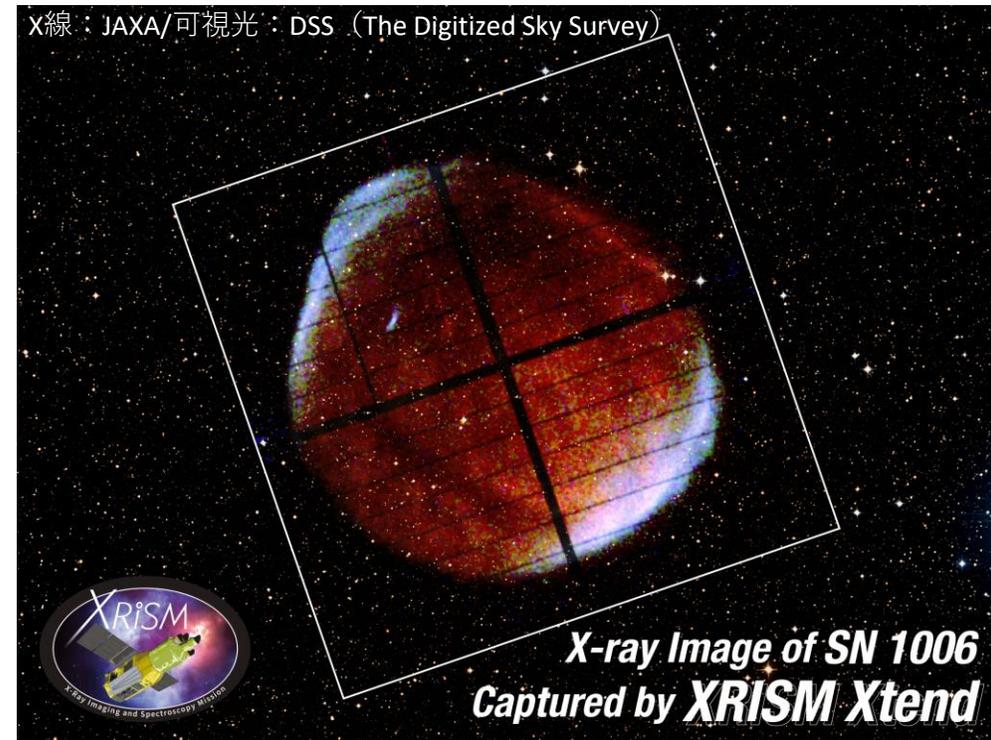
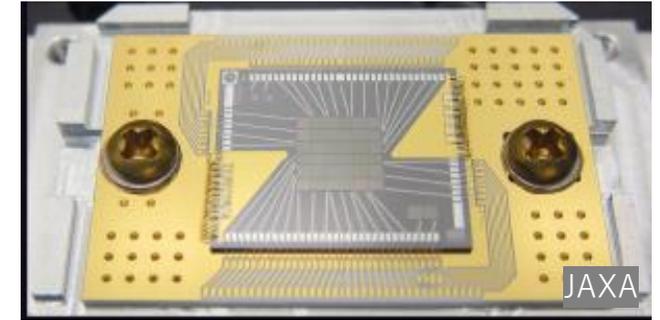
# 衛星の状況

- 衛星バス系：問題なく、想定通り
  - 太陽電池パドル発生電力
  - バッテリーの健全性
  - 姿勢軌道制御系
  - 軌道高度
  - その他、バス系コンポーネント、バス系サブシステム

# 観測装置の状況

- Resolve (X線望遠鏡+X線マイクロカロリメータ)
  - 検出部を50 mKに冷却
  - 要求以上の分光性能 (<5 eV(FWHM)) を維持
  - ただし、Resolveの保護膜の開放はできていない
- Xtend (X線望遠鏡+X線CCD)
  - 軌道上で立ち上げ、調整後、所定の性能で観測を継続中
  - 広い視野でX線天体の構造を捉える
  - 広い視野を活かし、目標天体以外の突発現象の検出に成功 (The Astronomer's Telegramに17件報告)
- 指向精度
  - PV観測を通して、様々な条件下で要求指向精度を達成
  - 高精度の姿勢制御・姿勢決定と低熱歪みの構造 (宇宙研の理工一体+担当メーカーの開発の成果)

X線マイクロカロリメータ



# Resolveの保護膜の状況について

- 2023年11月4日から5日にかけて、所定の運用を行なったが、保護膜の開放を確認できなかった。
- その後11月から12月にかけて、条件を変えて2回開放運用を試みたが、まだ保護膜が閉じたままである。
- 定常運用移行後、3月に開放運用の4回目を予定していたものの、延期して、当面の間、保護膜が閉じた状態での観測を進めることとした。
- 2024年7月、第一期公募観測(GO1)の採択結果を受けて、開放運用4回目の実施時期について、判断を行なった。このGO1観測完了後の2025年9月期に次の開放運用を実施すべく、準備を進めることとした。それまで引き続き、運用内容の詳細検討、リスク検討を行う。



## 保護膜

- ResolveのX線入射部に設置
- 地上で大気から検出部を保護、打上後にアウトガスから検出部を保護
- 約1.8 keV以上の高エネルギーのX線は透過する250ミクロン厚のベリリウム膜
- 打上後に開放してX線帯域を約0.3 keVまで広げる

# 観測計画- 世界に開かれた天文台として

- 初期運用段階 (2023.9.7~2024.2.7)
  - クリティカル運用
  - 初期機能確認運用
  - 初期較正
- 定常運用段階( 打ち上げ後 3 年まで)
  - **初期性能検証観測(約6 か月)**
  - **観測提案にもとづく公募観測**
    - JAXA, NASA, ESA それぞれが、観測提案の公募を行い、選考によって採択された観測を行う。
    - 予め定めた時間配分の範囲で、世界中の研究者に観測の機会を提供
- 後期運用段階 (ミッション完了審査・延長審査を経て)



# 初期性能検証観測の現状

- 2024年2月8日から9月4日まで、公募観測に先立ち、XRISMの性能を生かす観測の「**ショーケース**」となる観測「初期性能検証観測」を実施
- XRISM Science Teamが選定した40天体の観測を実施
- 現在、データ解析と出版準備中
  - 2報が掲載決定（後述）。
  - 各天体から複数の科学成果を発表する計画

初期性能検証観測天体数

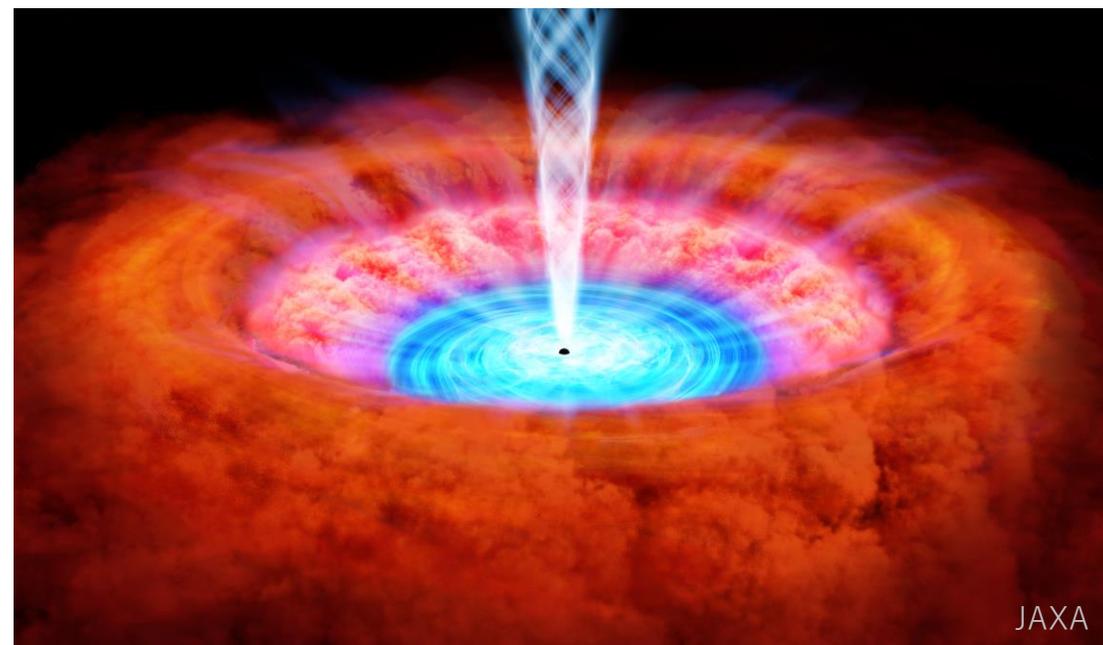
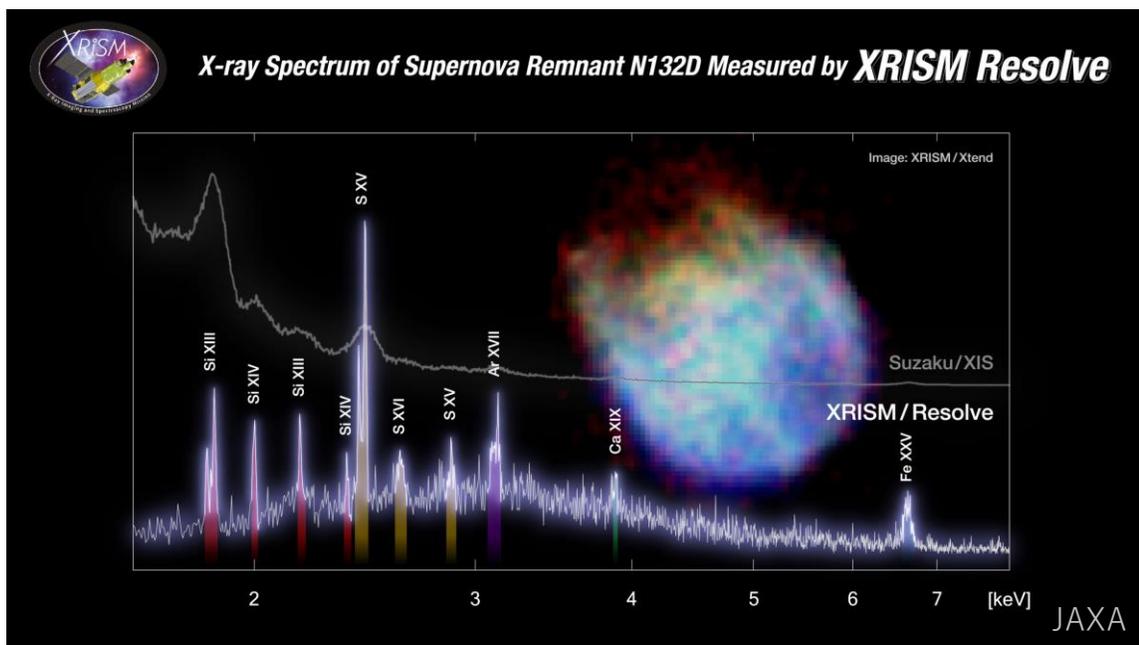
category	観測天体数
銀河系内点源(白色矮星、中性子星、ブラックホールなど)	15
銀河系内の広がった天体（超新星残骸など）	9
銀河系外の点源（活動銀河核など）	10
銀河系外の広がった天体（銀河、銀河団など）	6
合計	40

# 公募観測の状況(2024年9月～2025年8月)

- 第一期公募観測提案 (GO1): 2023年11月15日に公募開始、2024年4月4日に応募締め切り
- 公募はJAXA, NASA, ESAで同時に行い、JAXA 123 件、NASA 144 件、ESA 43件の応募
  - NASAはアメリカとカナダ、ESAは加盟国、JAXAは日本とNASA, ESAがカバーしない地域からの提案を受け付けた
- 予定総観測時間に対して、総要求時間は約5.6倍
- 3地域の観測時間シェアは、JAXA: NASA: ESA = 48: 44: 8
  - JAXA, NASA, ESAそれぞれが設置した選定委員会で選考、それぞれA, B, Cの優先度ランク毎に採択決定。  
(A, B をスケジュールしたあと、観測可能な場合のみCランクの天体が観測される)
  - ただし、地域ごとに選ばれた観測天体と目的が重複した場合、双方を一つの観測として採択
- 合計104天体が採択。採択結果は8月2日に公表済み

	JAXA	NASA	ESA	計
白色矮星、中性子星、ブラックホールなど	17	10	4	31
超新星残骸など	10	6	1	17
活動銀河核など	9	13	5	27
銀河団など	13	12	4	29
合計	49	41	14	104

## 2. 最新の研究成果



# 初期科学成果の紹介

- 学術専門誌への掲載が決定した2件の論文について紹介。  
(他にも複数の論文が投稿中.)
- XRISMによる空前の分光性能(\*)が、超新星爆発の残骸に含まれる重元素の温度や、数千万光年の彼方にある巨大ブラックホールの周囲0.1光年圏内の物質分布を推定する新たな手段をもたらした。
- 「銀河を吹き渡る風」すなわち銀河の進化や星・生命の誕生とも密接に関わる「宇宙の物質・エネルギー循環」を理解する手がかりとなる。

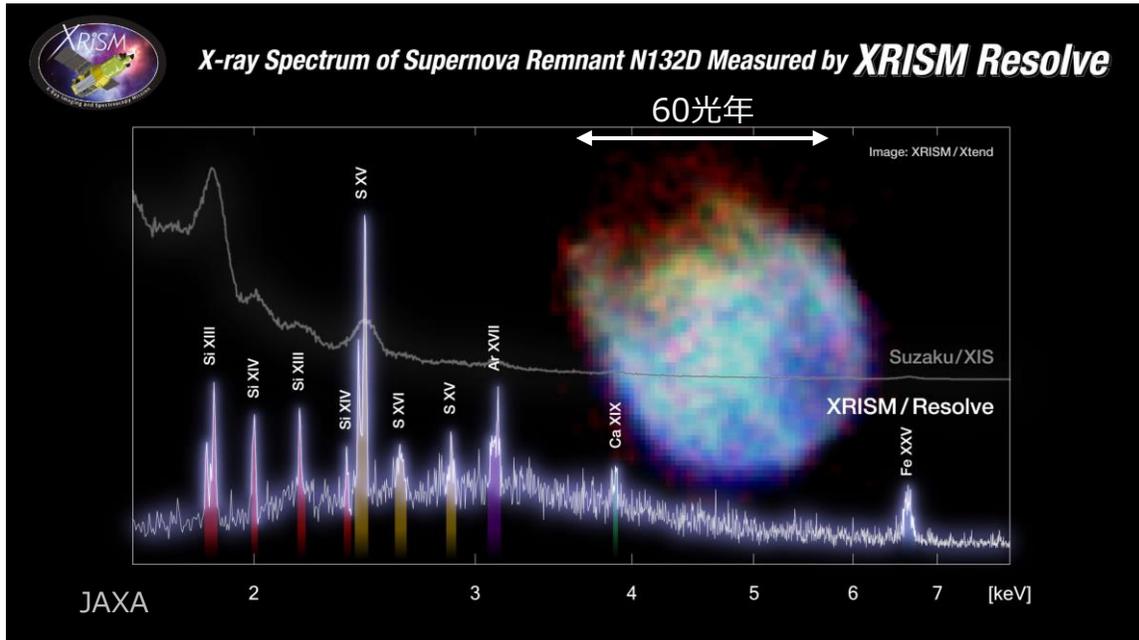
(\*) 分光性能 = X線の波長を識別する能力。音に例えると、その高さを正確に認識する「絶対音感」に相当。 12

# 初期科学成果の紹介



- 「**銀河を吹き渡る風**」すなわち銀河の進化や星・生命の誕生とも密接に関わる「**宇宙の物質・エネルギー循環**」を理解する手がかりとなる。

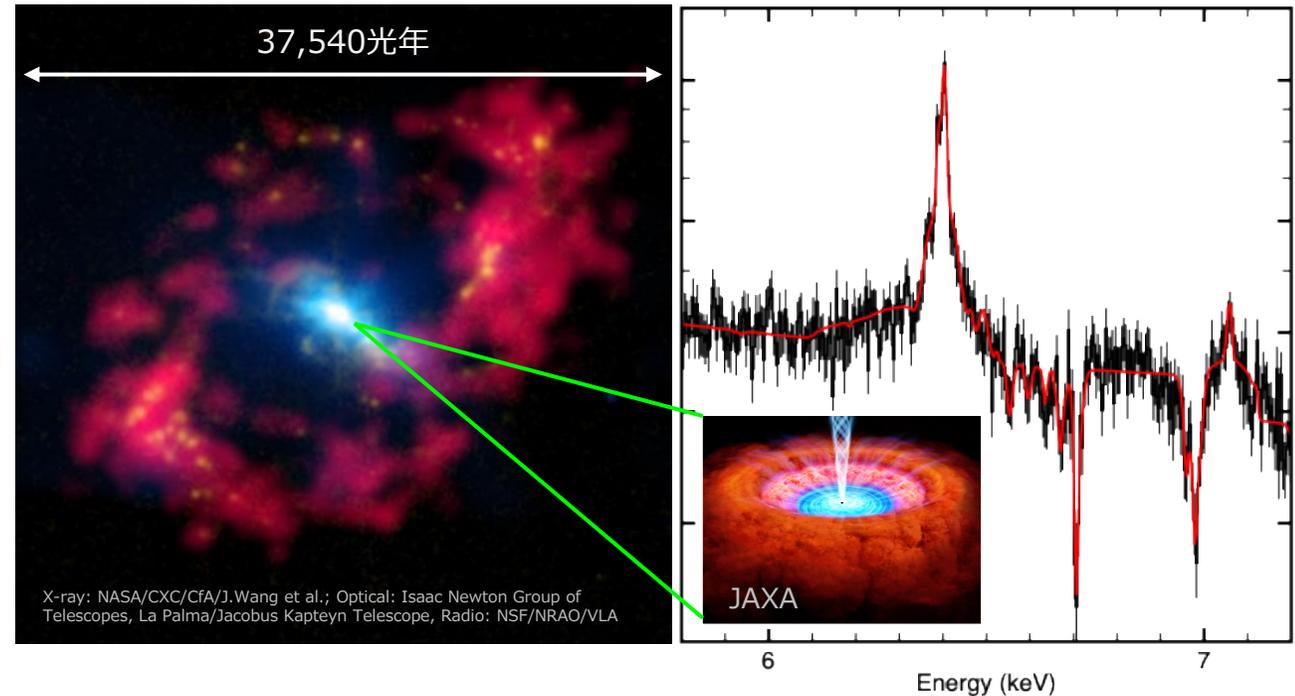
# 超新星残骸 N132D



2023年12月上旬に観測  
(XRISMファーストライト)

日本天文学会誌(PASJ)に掲載決定

# セイファート銀河 NGC 4151 中心の巨大ブラックホール

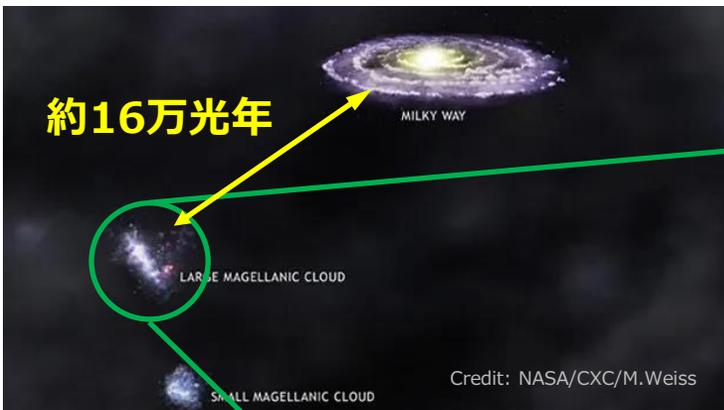


2023年12月上旬と下旬に観測

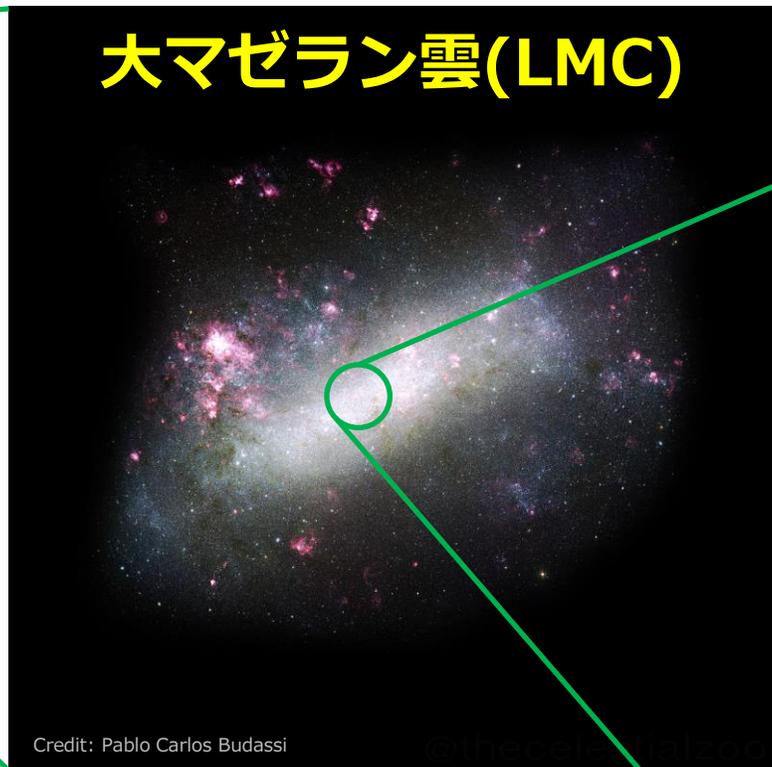
米国天文学会誌(ApJL)に掲載決定

# 超新星残骸 N132D

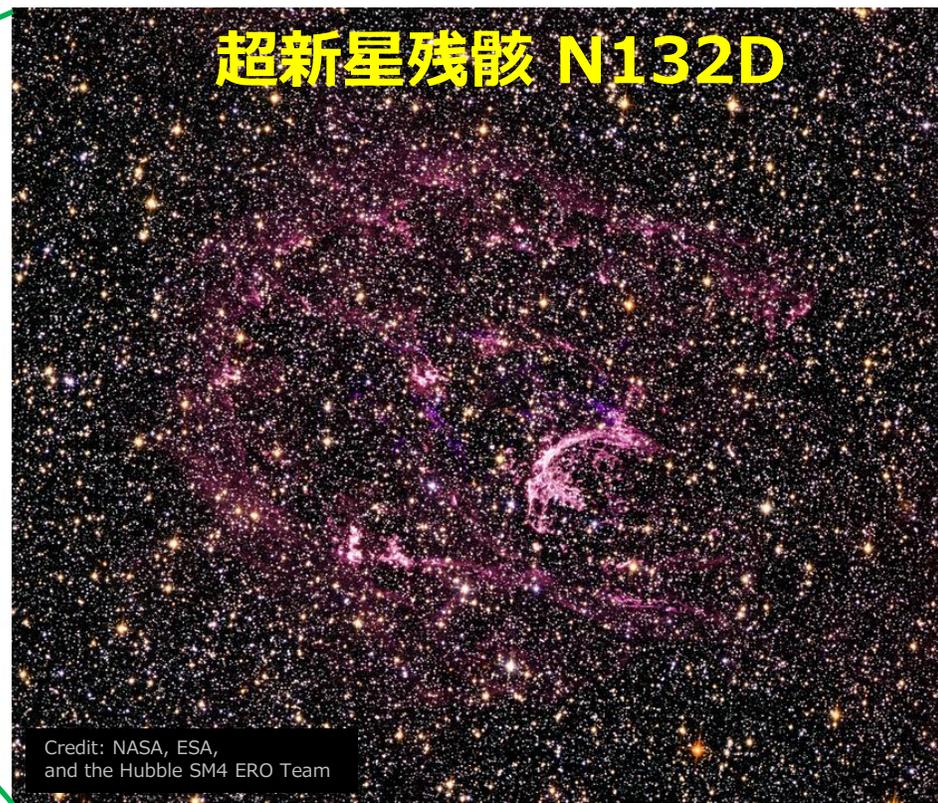
- 約3千年前に起きた重力崩壊型超新星（太陽より10倍以上重い星の爆発）の残骸
- 大マゼラン雲の中央部付近に位置する



## 大マゼラン雲(LMC)



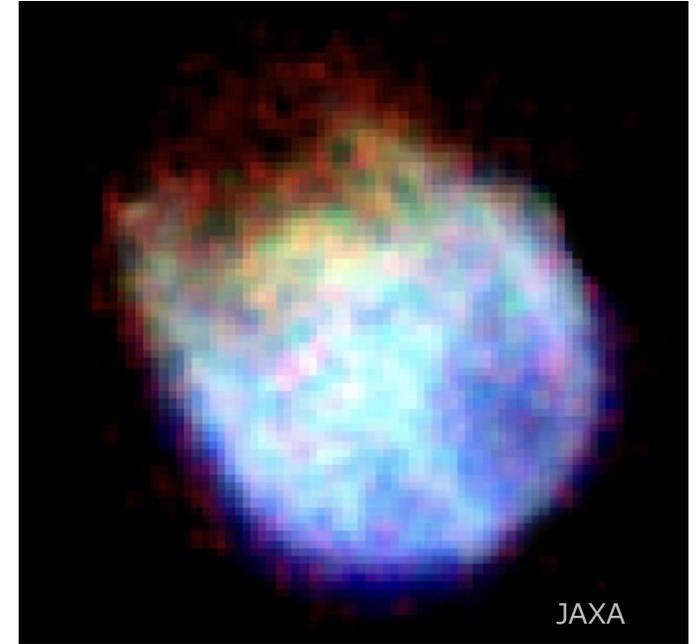
## 超新星残骸 N132D



- 可視光（右図）を含む様々な波長で観測できる
- 特にX線やガンマ線では非常に明るい

# 超新星残骸：宇宙の進化におけるその役割

- 星の一生の最期である「超新星爆発」が起きると、元の星を構成した物質が、秒速数千～数万 kmという超高速で宇宙空間に拡散
- 運動エネルギーが熱エネルギーに変換され、高温プラズマ（= 超新星残骸）となる。
- これらの物質・エネルギーが星間空間に供給され、銀河全体の進化にも影響を及ぼす。



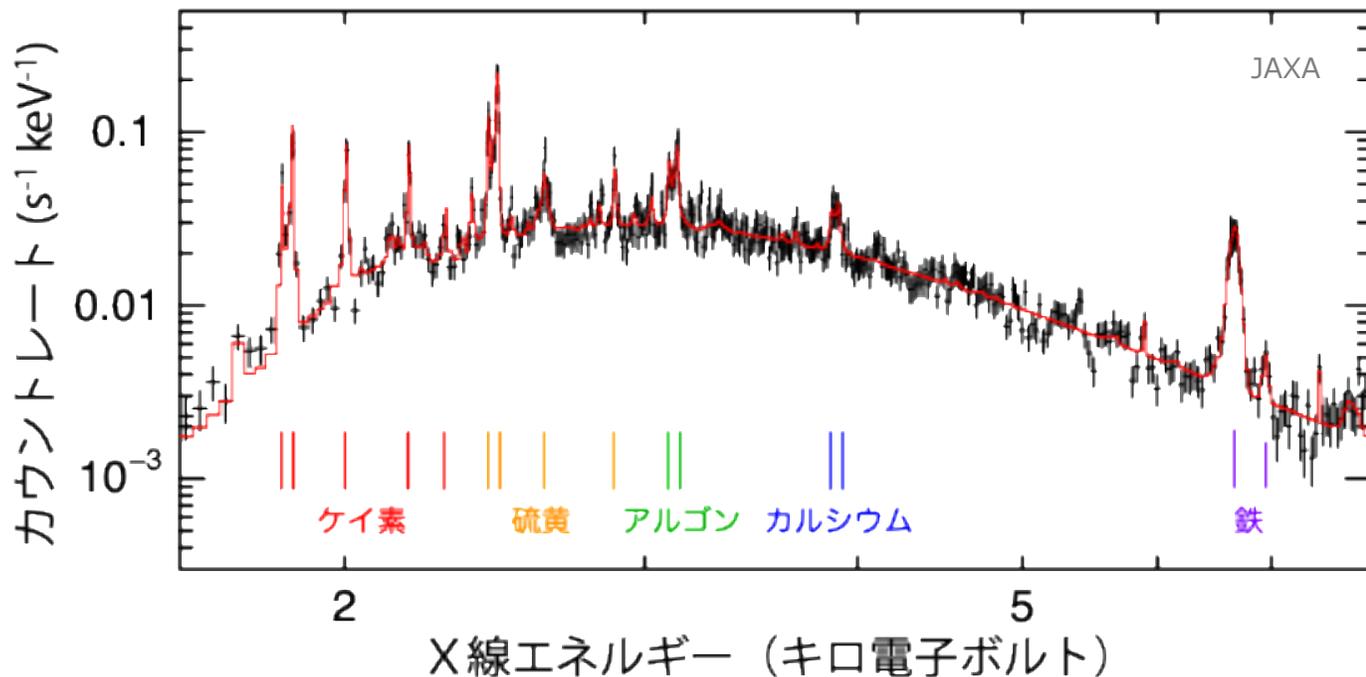
超新星残骸 N132D  
(XRISM Xtendの画像)

超新星残骸にはどれだけのエネルギーがどのような形態で存在し、  
どのようなプロセスを経て星間空間に供給されるか？

(プラズマはどれだけ高温になれるか？)

# 超新星残骸の分光観測

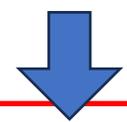
## XRISM Resolve による 超新星残骸N132Dのスペクトル



そのエネルギーのX線の強さ



- X線は電磁波の一種
- エネルギー（横軸）は「波長の長さ」に相当
- 元素ごとに特定の波長の「特性X線」を出す
- 特性X線の「幅」から元素の温度を測定できる

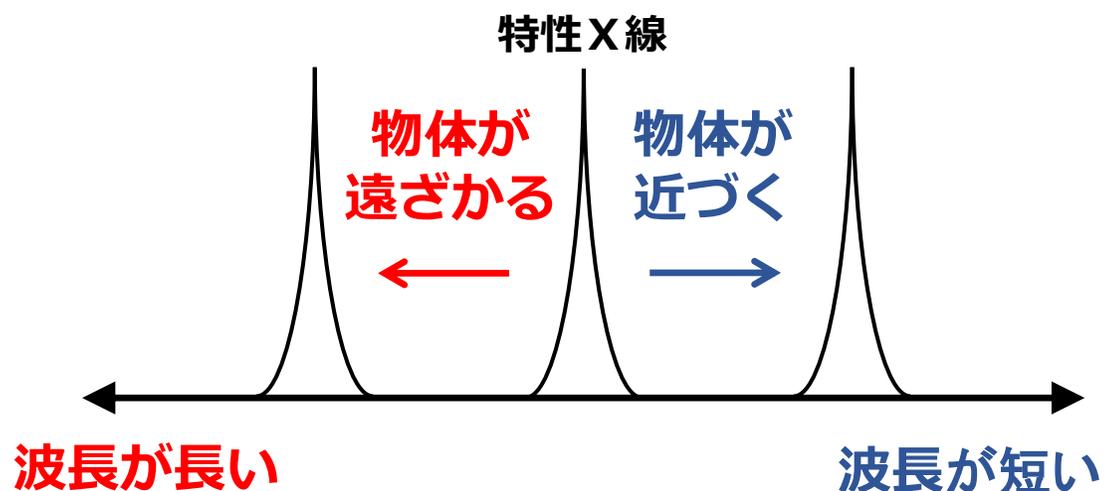


**今回の発見：鉄の温度が約100億度に達していた！**

# X線の波長とドップラー効果

- X線を音波に例えると、  
「波長」は音の高さに相当

ドップラー効果をスペクトル上で表すと...

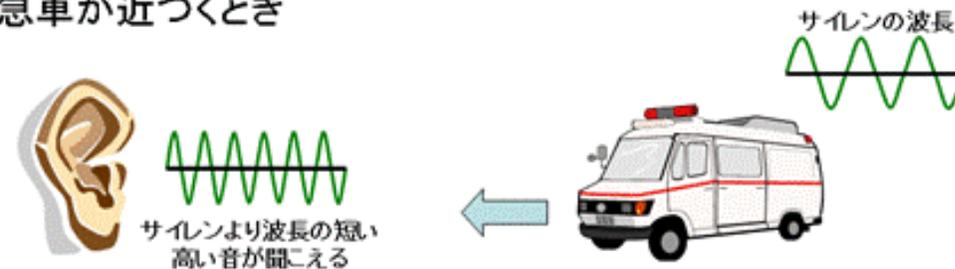


**XRISMはこの差を識別する能力  
(絶対音感)に優れる!**

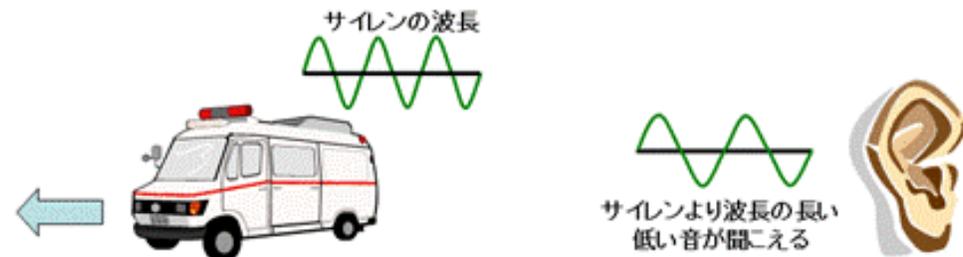
物体の運動の影響により波長が  
変化する(ドップラー効果)

ドップラー効果の具体例

救急車が近づくとき



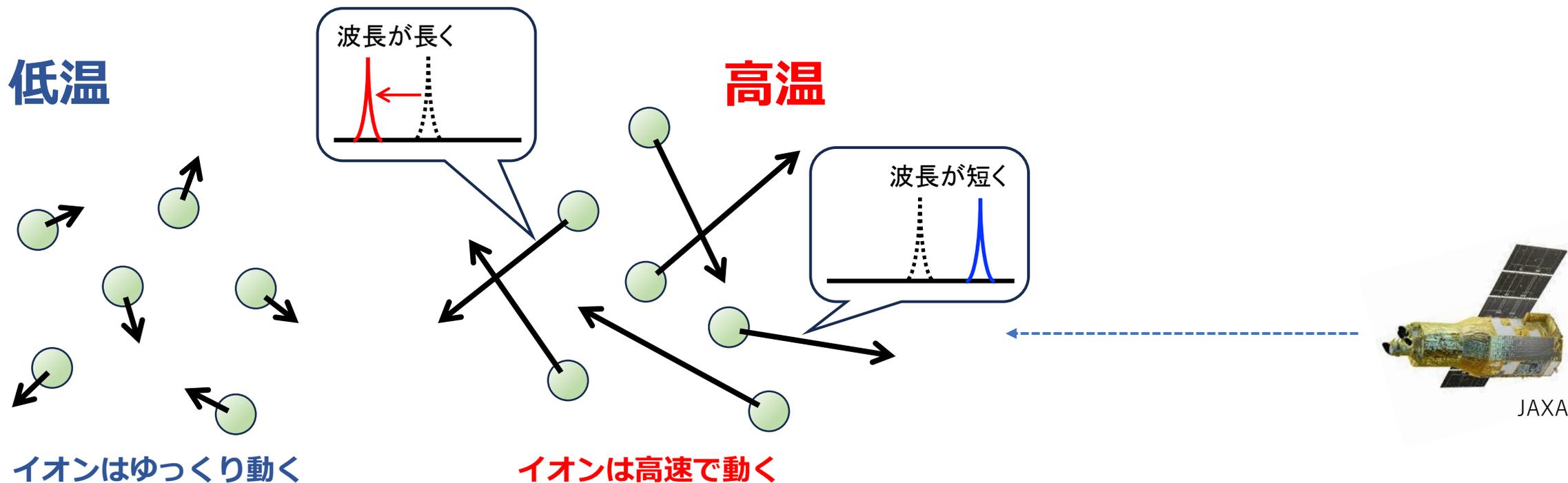
救急車が遠ざかるとき



(出典：気象庁ホームページより)

# 熱運動によるドップラー効果から温度を測る

- プラズマ中では, 重元素のイオンがランダム運動 (熱運動) する.
- 温度が高いほど, その平均運動速度が大きい.
- 個々のイオンが特性 X 線を放射するので...

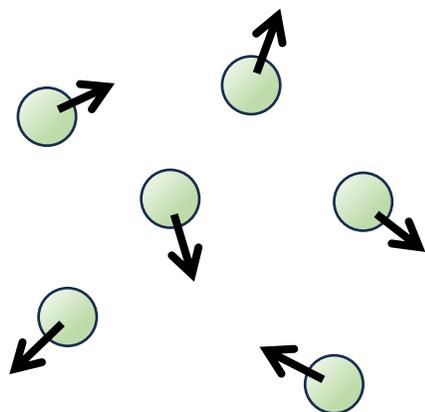


# 熱運動によるドップラー効果から温度を測る

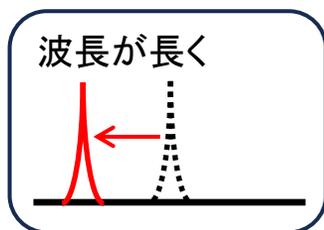
- プラズマ中では, 重元素のイオンがランダム運動 (熱運動) する.
- 温度が高いほど, その平均運動速度が大きい.
- 個々のイオンが特性X線を放射するので...

全ての特性X線を足し合わせると  
幅の広いスペクトルになる.

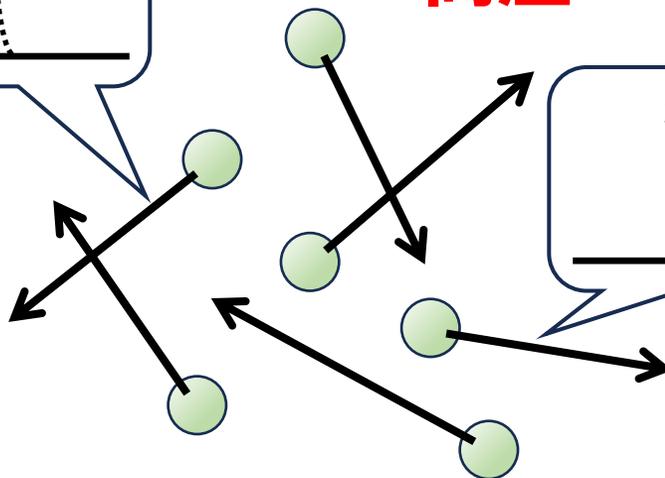
低温



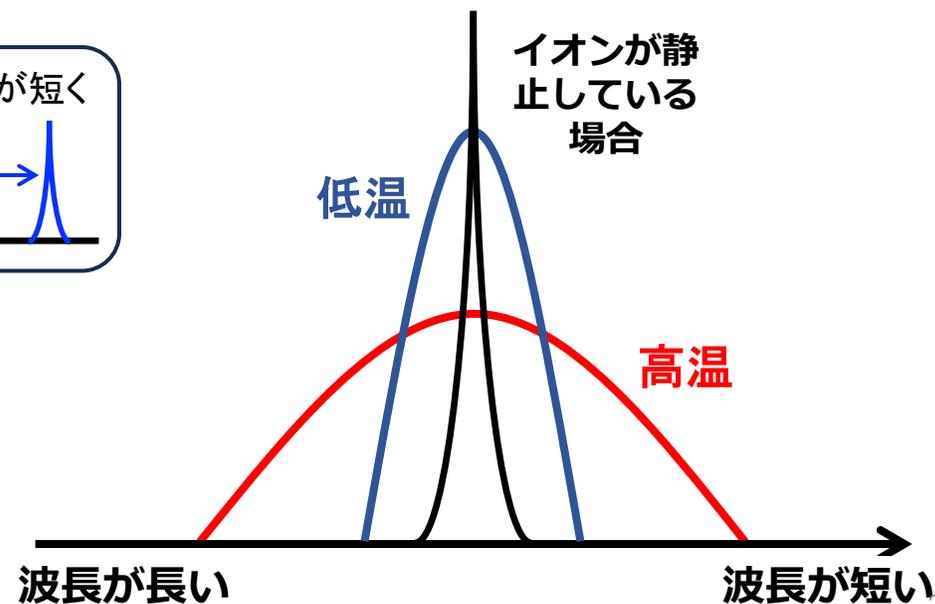
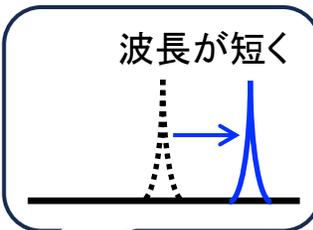
イオンはゆっくり動く



高温



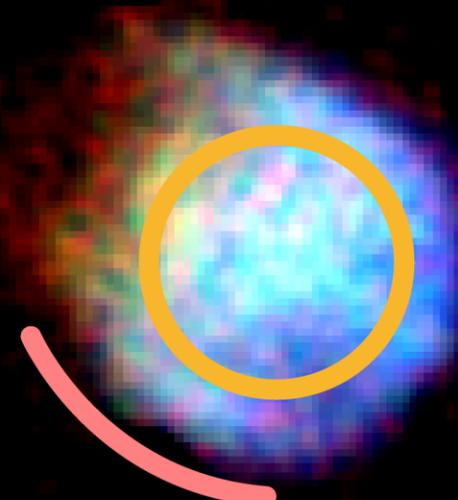
イオンは高速で動く



# N132Dの観測結果

天体の膨張に伴うドップラー効果も考慮してプラズマ温度を推定

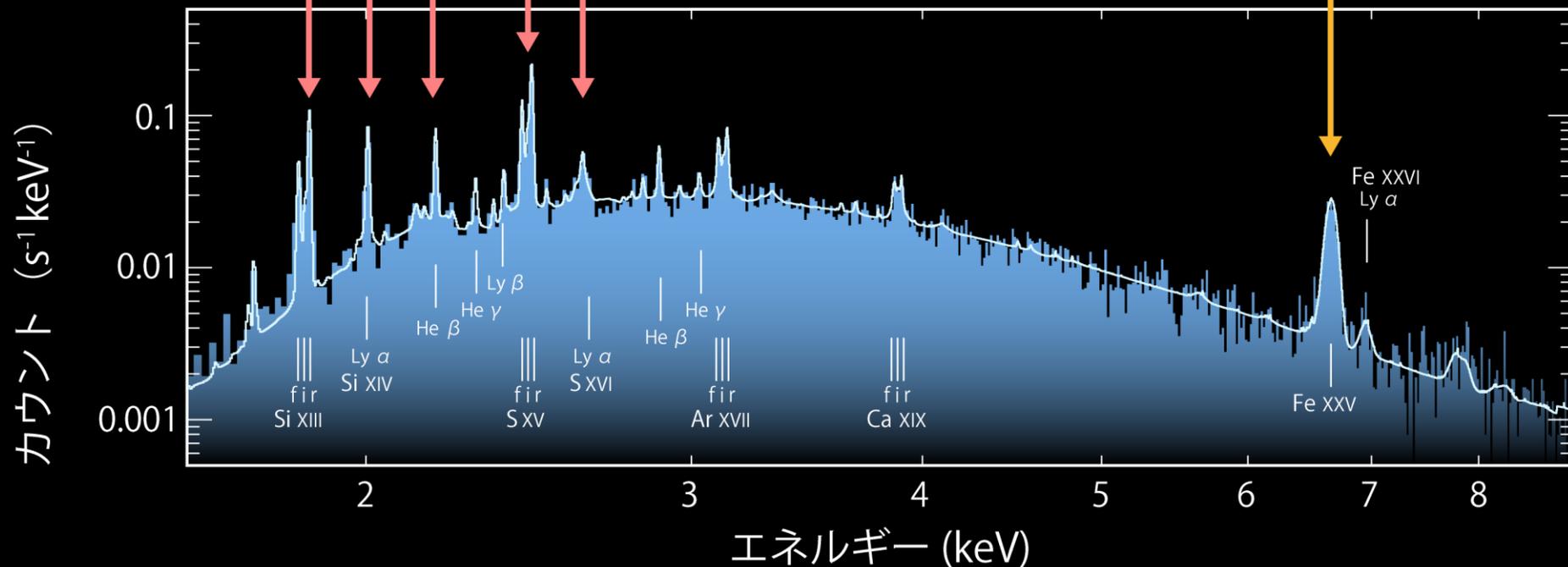
外層部は約1000万度、視線方向に約1200 km/sの速度で膨張



超新星元素合成で作られた鉄は残骸中の衝撃波加熱により **摂氏100億度ほどの超高温状態**

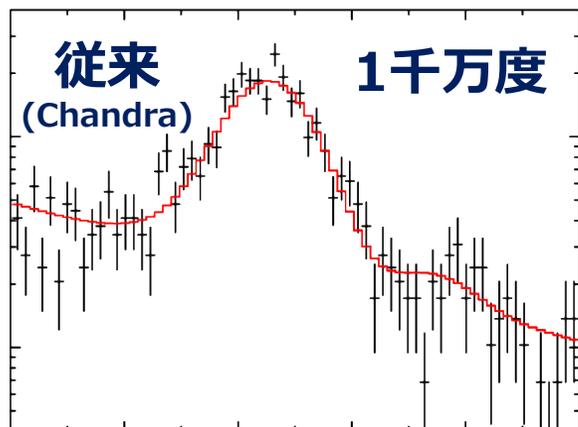
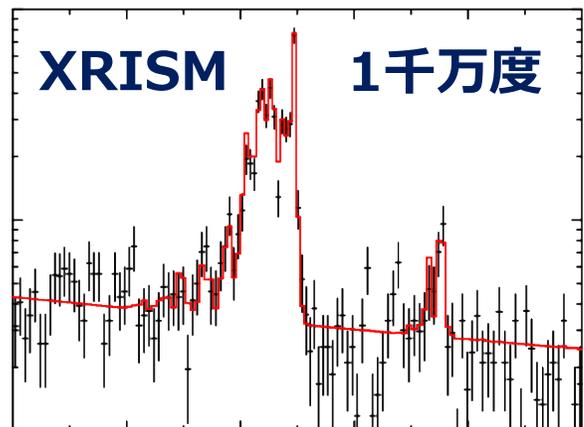
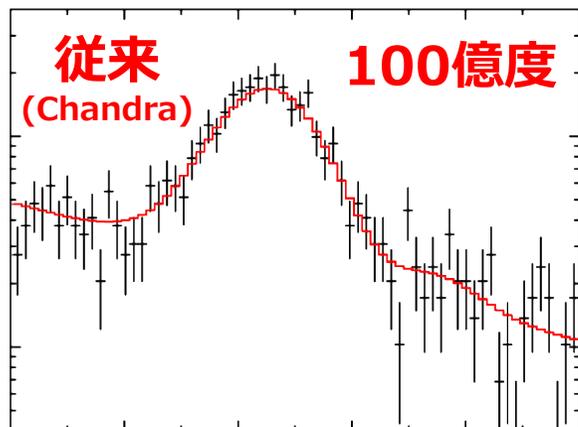
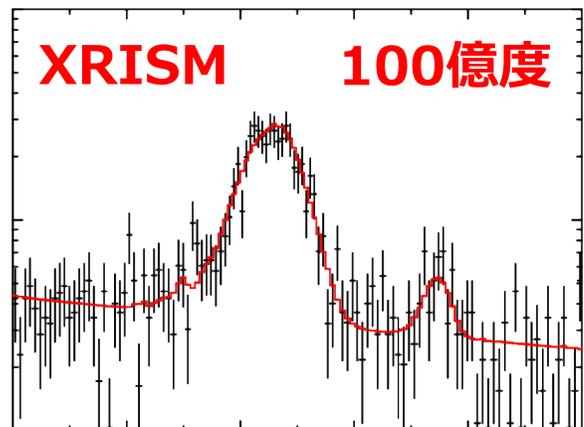
ケイ素・硫黄：幅の狭い特性X線

鉄：幅の広い特性X線



# 結果の意義と今後の期待

- 超新星残骸中の鉄が超高温になることは理論的に予想されていたが、従来の観測装置では測定できなかった。



- 超高温のプラズマ温度を測定する手段を獲得した。  
**銀河を吹く風は熱かった！**
- 宇宙におけるエネルギー循環過程の貴重なスナップショット
- 今後、超新星による重元素やエネルギーの供給・循環過程が詳細に解き明かされると期待

# セイファート銀河 NGC 4151

- 距離6200万光年に位置する渦巻銀河
- 明るい中心核を持つ
- X線帯域では中心核だけが明るく見える
- 正体は**太陽の約3千万倍の質量を持つ巨大ブラックホール**
- ブラックホールに激しく落ち込む物質が熱くなり輝く（重力エネルギーの解放）



# ブラックホール：宇宙の進化におけるその役割

- 多くの銀河の中心核には、太陽の数百万倍から数十億倍の質量を持つブラックホールが存在
- 周囲の物質を吸い込んで成長するだけでなく、吸い込みきれなかった物質を吹き飛ばす
- その物質やエネルギーが広く循環し、銀河全体の進化にも影響を及ぼす（例：星生成の抑制）

天の川銀河中心の  
巨大ブラックホール  
(いて座Aスター)



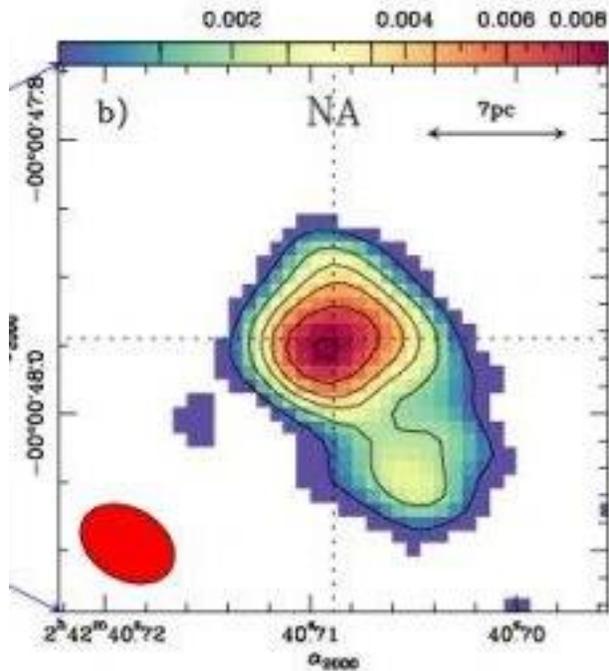
ブラックホールは周囲の物質をどのように引き込み成長するか？

その活動が、銀河全体にどのような影響を与えるか？

# 巨大ブラックホールとその周辺構造

ブラックホールへの物質の供給源として、「分子トールス」と呼ばれる領域が存在

## NGC 1068の分子トールス



García-Burillo, et al. 2016, ApJL, 823, L12

ブラックホール  
約 0.7 AU (金星の軌道半径ぐらい)

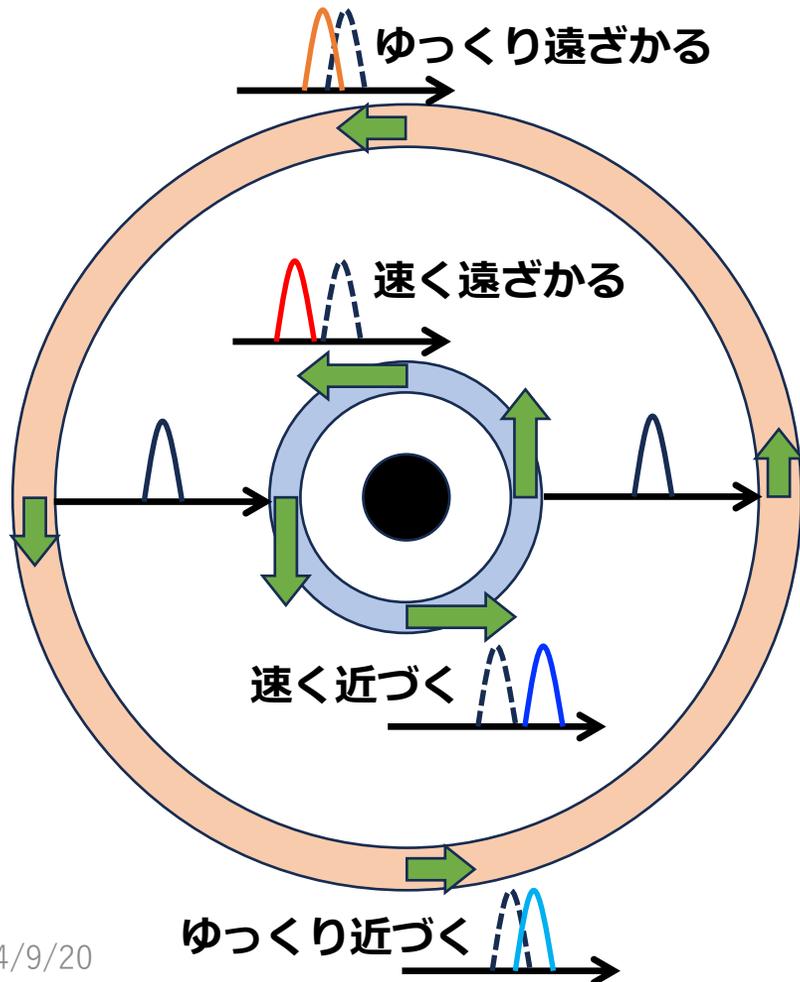


分子トールス  
約 1 光年  
(海王星の軌道半径の約2000倍)

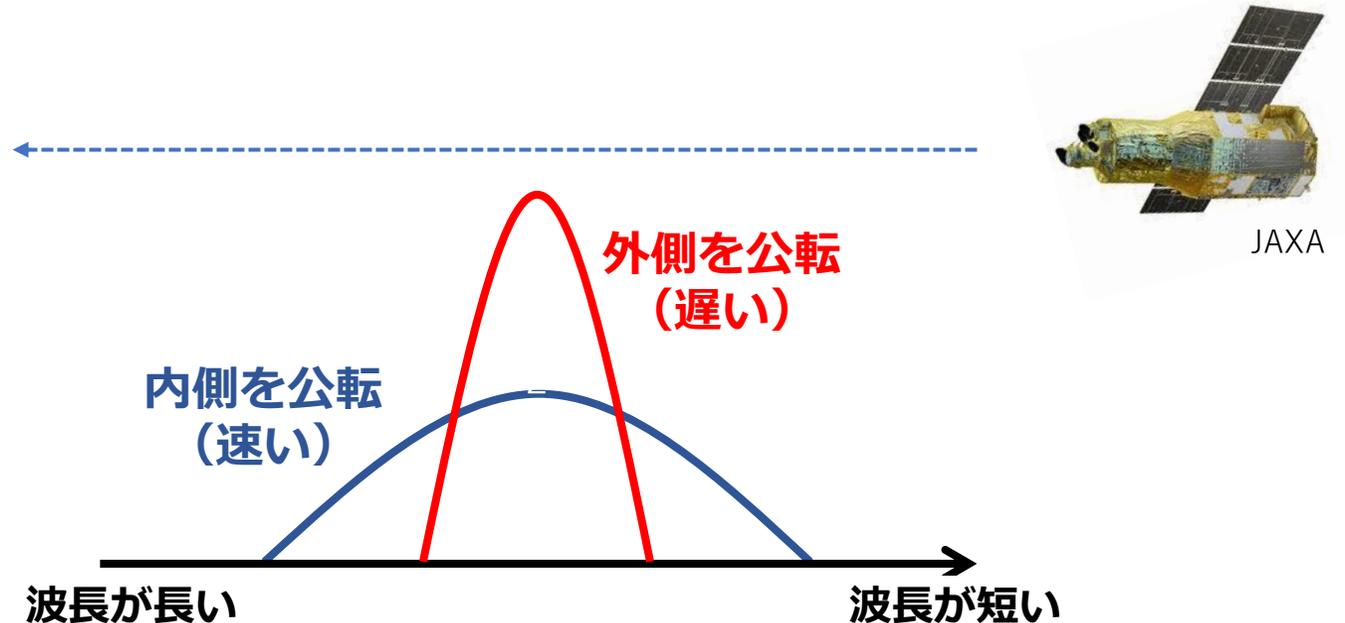
**今回の成果：分子トールスと、その内側の構造を明らかに！**

# 構造の探り方

- 遠方の小さな構造(6200万光年先の1光年!)の直接解像は困難
- ブラックホール周辺物質の「公転速度」を測り, 位置を割り出す

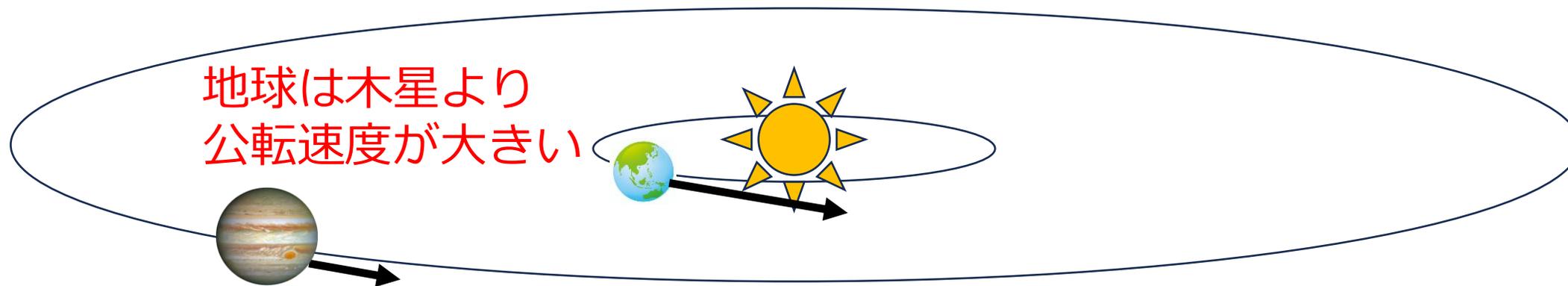


公転半径が小さい (ブラックホールに近い) ほど, 公転速度が大きい



# 構造の探り方

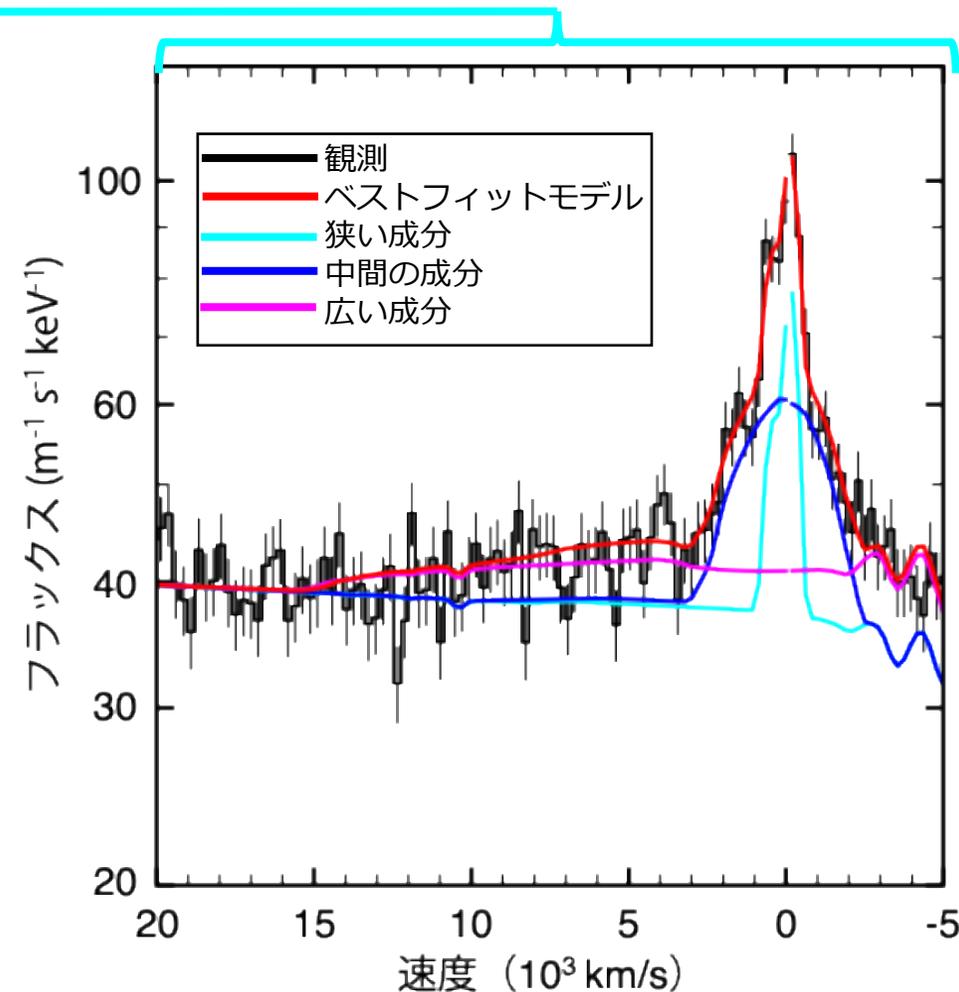
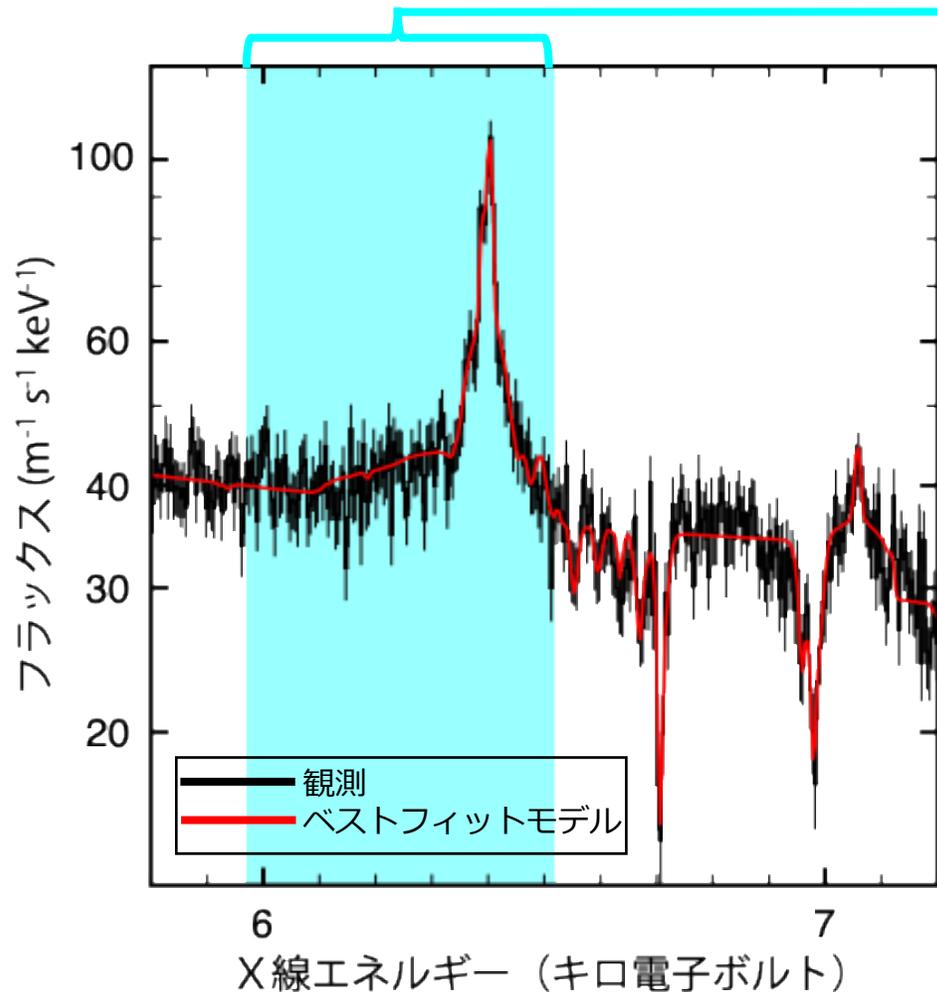
惑星の公転運動と物理法則は同じ！



$$\text{公転半径} \propto \frac{\text{中心天体の質量}}{(\text{公転速度})^2}$$

速度 (& 中心天体の質量) がわかれば, 公転位置を特定できる

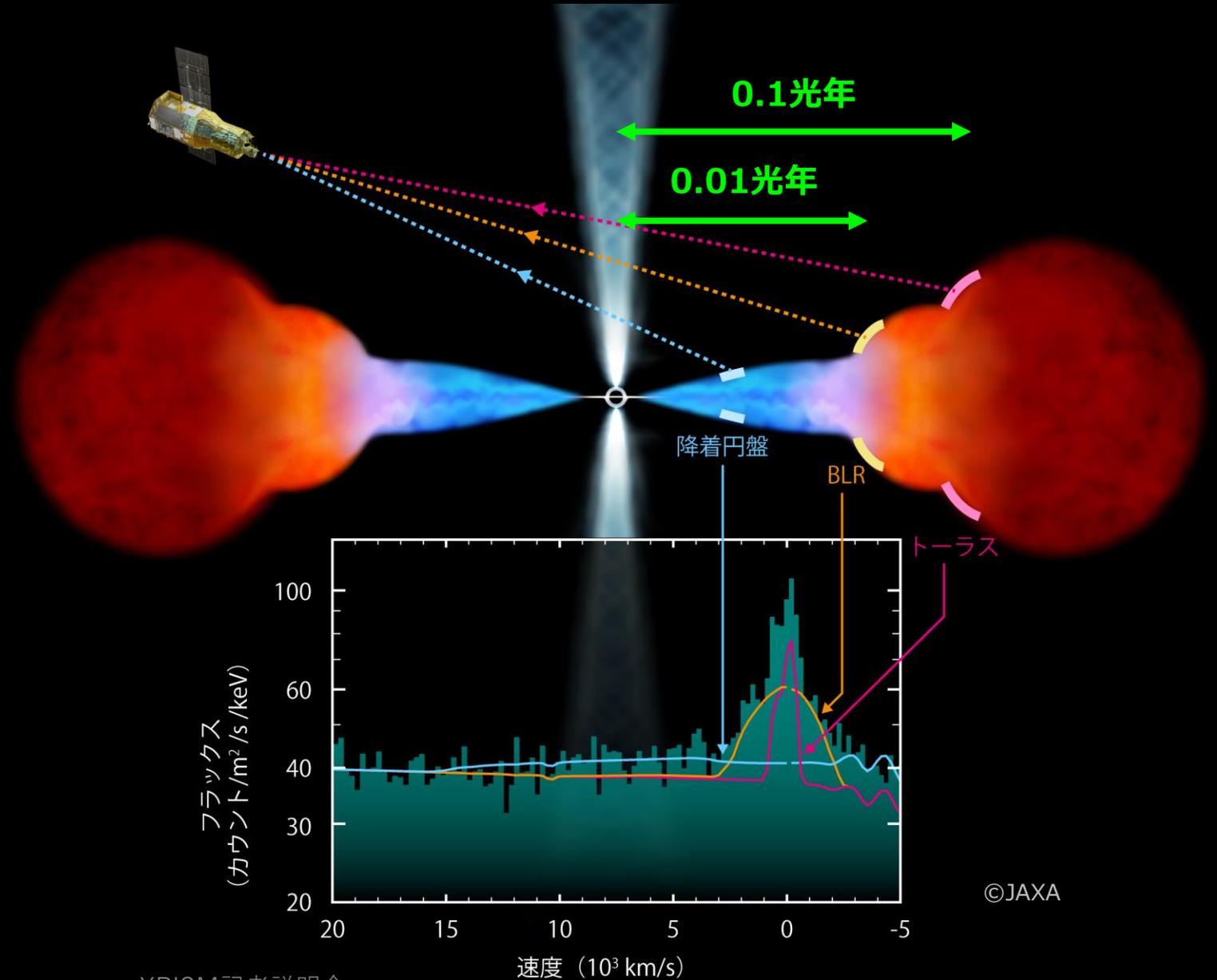
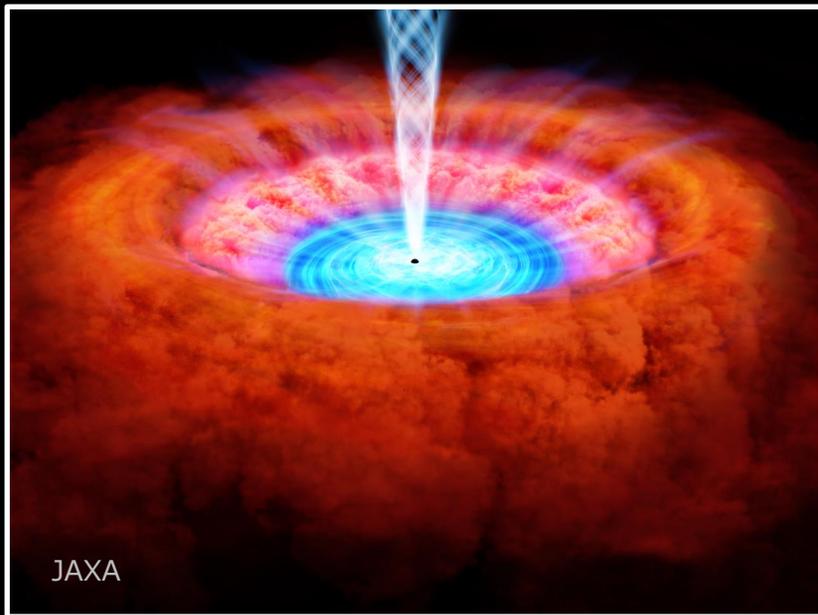
# NGC 4151の観測結果



鉄の特性X線から、3種類の速度成分の存在を確認

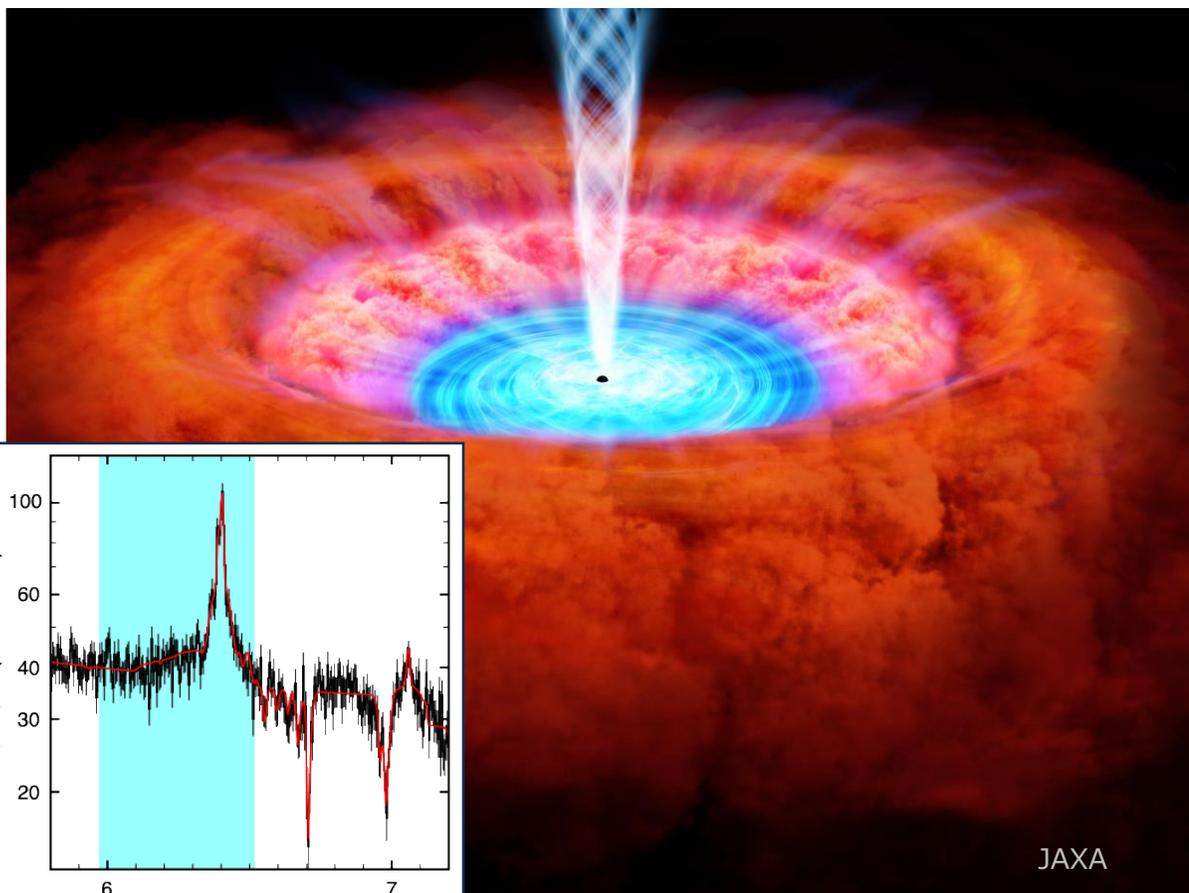
# NGC 4151の観測結果

- 分子トラスの内縁半径を約0.1光年と決定
- さらに内側の広輝線領域 (BLR) と降着円盤の存在も確認



# 結果の意義と今後の期待

- 分子トラスの存在は長年の研究により確立されたが、その形成メカニズムは未だ確定していない。

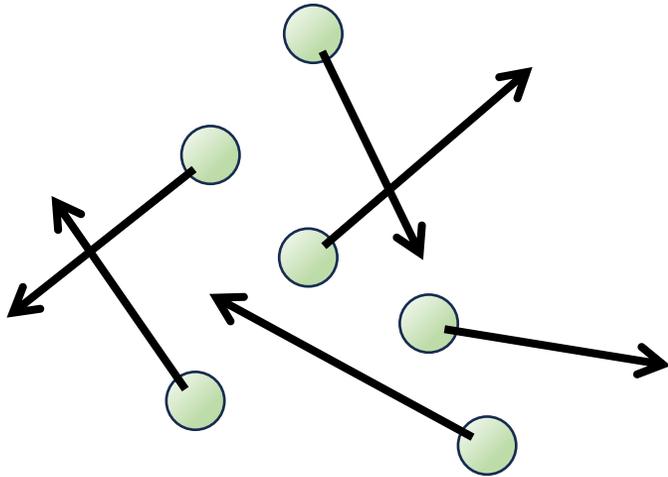


- ブラックホール周辺の物質分布を調べる新たな手段を獲得。
- 周辺構造の形成メカニズムやブラックホールの成長過程を知る手がかりに
- 今後、巨大ブラックホールが銀河全体の成長に与える影響の理解も進むと期待。

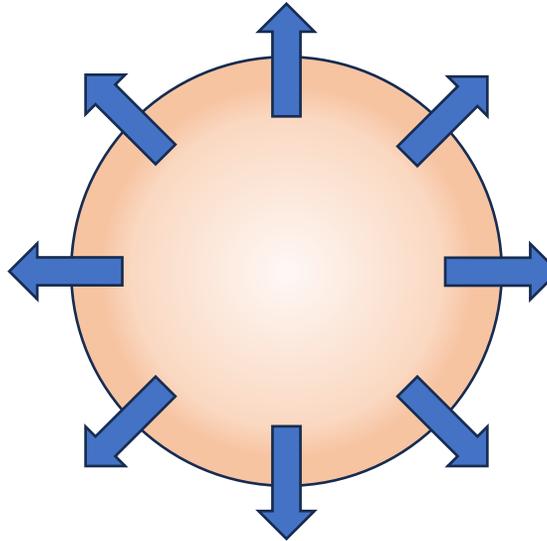
# 要点のおさらい

XRISMの優れた“絶対音感”によって、様々な「速度」の測定に成功

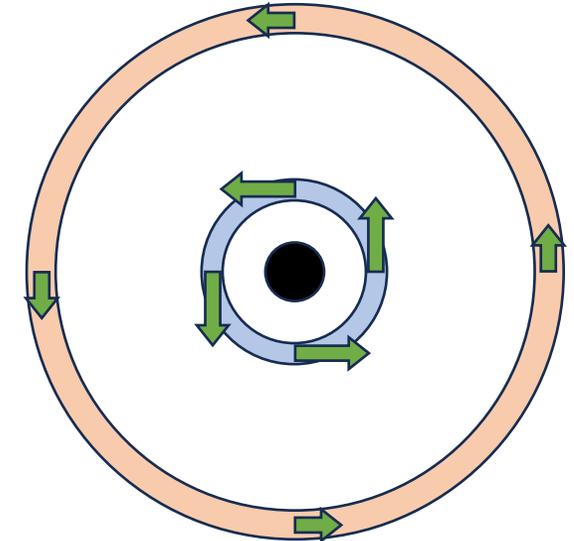
## 熱運動



## 膨張運動



## 公転運動



超新星残骸に含まれる100億度の鉄や、巨大ブラックホールの周辺構造を明らかに

銀河全体の進化, ひいては星・生命誕生の鍵となる  
「宇宙の物質・エネルギー循環」の理解が大きく進むと期待