

# コンパクト天体からのアウトフローに関する研究 および装置的貢献

水本岬希

福岡教育大学 教育学部  
理科教育研究ユニット



# はじめに

## 受賞対象となった論文

1. [XRISM collaboration 2025a](#), Nature,  
"Structured ionized winds shooting out from a quasar at relativistic speeds"  
(責任著者4名のうちの1人)
2. [XRISM collaboration 2025b](#), Nature,  
"Stratified wind from a super-Eddington X-ray binary is slower than expected"  
(責任著者4名のうちの1人)
3. Mizumoto et al. 2025b, PASJ,  
"High-count-rate effects in event processing for the [XRISM](#)/Resolve X-ray microcalorimeter. II. Energy scale and resolution in orbit"

X線天文衛星XRISM (2023年打ち上げ) がなければ成り立たなかった仕事です。  
XRISMに関わってこられた全ての方、および30年以上にわたるX線マイクロカロ  
リメータ開発に関わってこられた全ての方に感謝します。

また、学生時の指導教員であり本賞に推薦いただいた海老沢さんに感謝します。

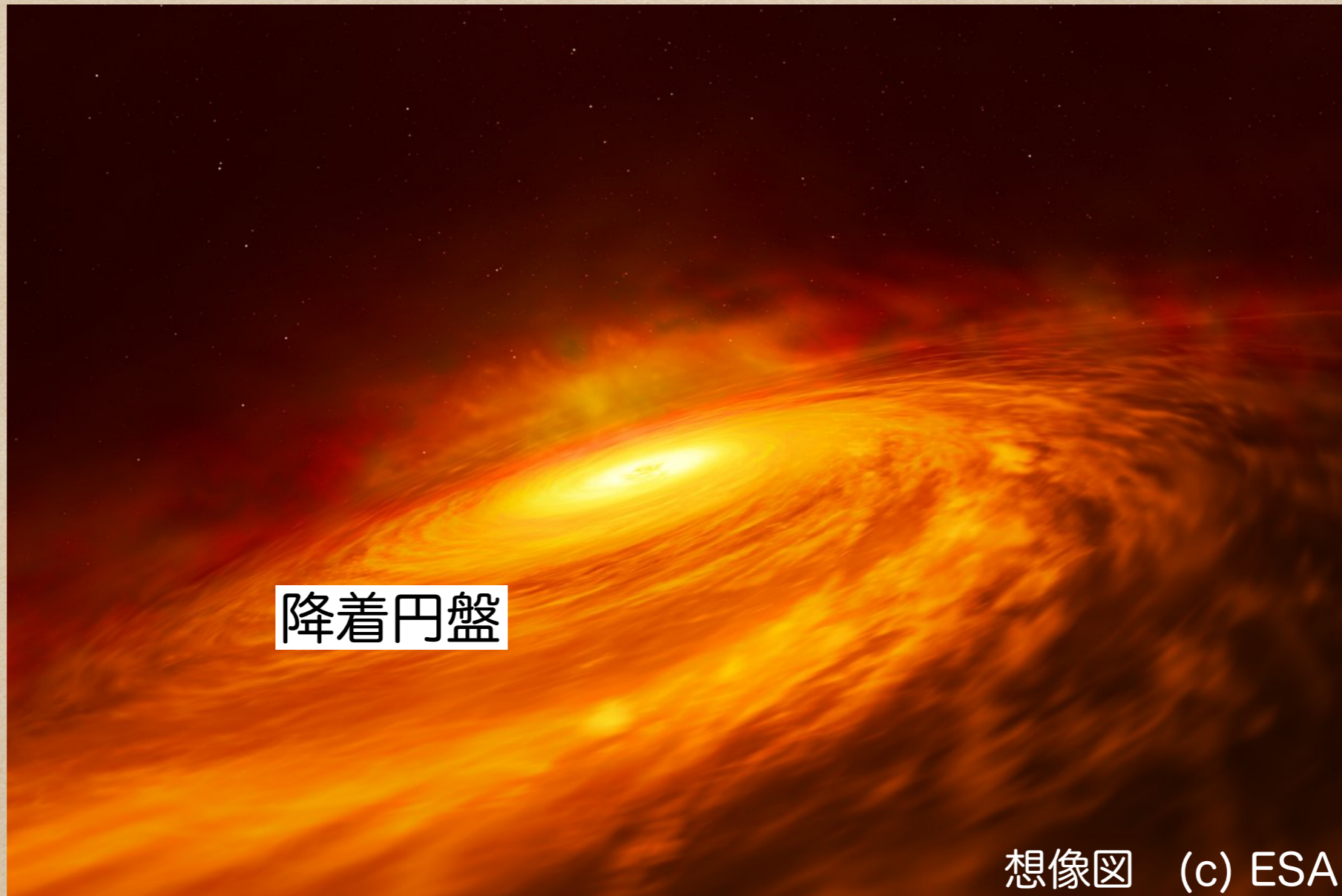
# 目次

1. 超巨大ブラックホール
2. 中性子星
3. X線マイクロカロリメータで明るい天体を  
観測するには（装置的貢献）

# 目次

1. 超巨大ブラックホール
2. 中性子星
3. X線マイクロカロリメータで明るい天体を観測するには（装置的貢献）

# ブラックホール（の周り）を観測する



降着円盤

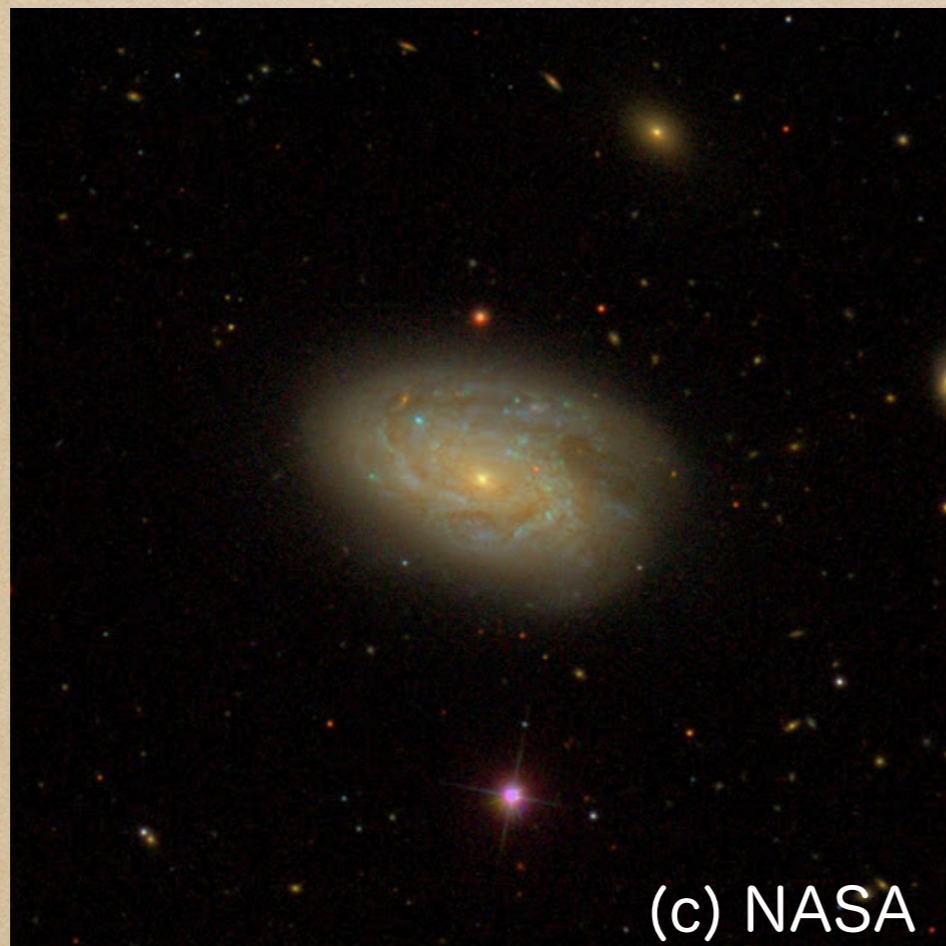
想像図 (c) ESA

- ブラックホールに、周りの星やガスが吸い込まれるとどうなるか
- 吸い込まれていく物質の位置エネルギーが光のエネルギーになる
- 中心近傍の温度は10万度~1000万度に達し、X線を出す

# 超巨大ブラックホール

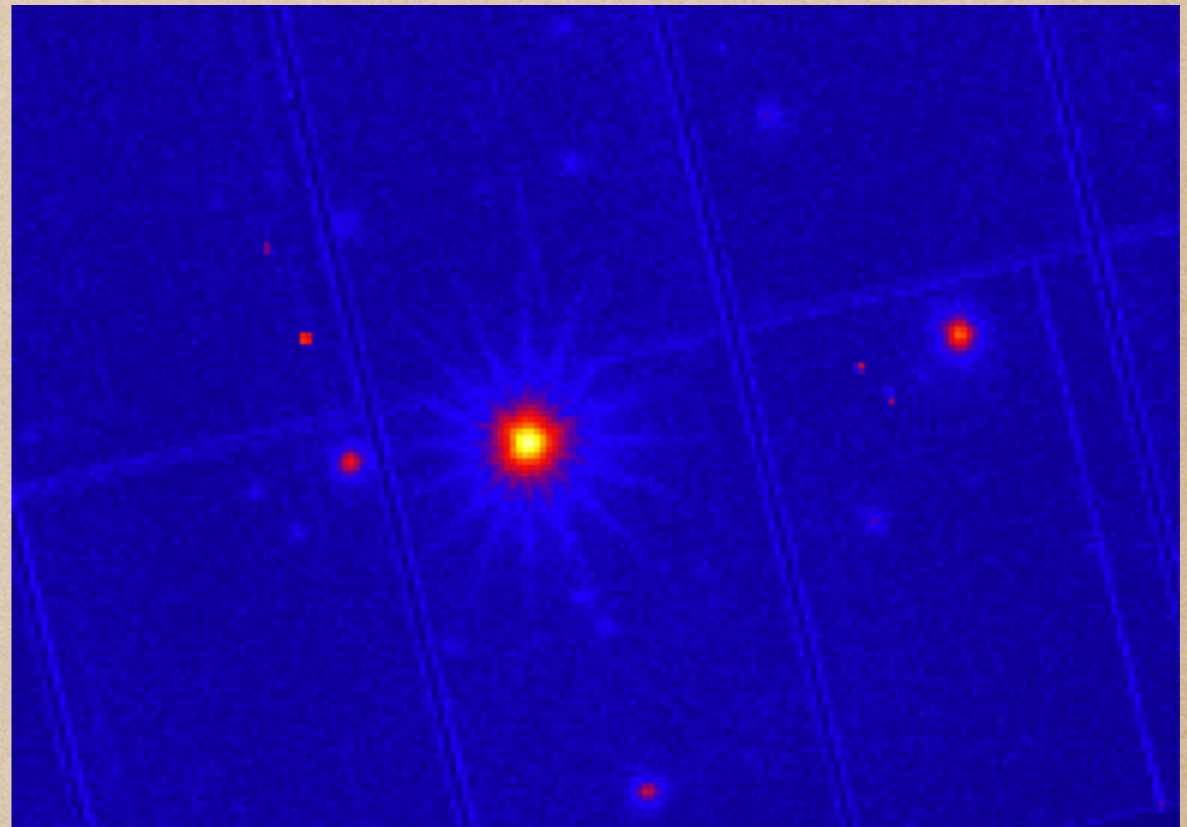
- ・ 銀河の中心に、太陽の $10^6$ - $9$ 倍の超巨大ブラックホールがある

可視光



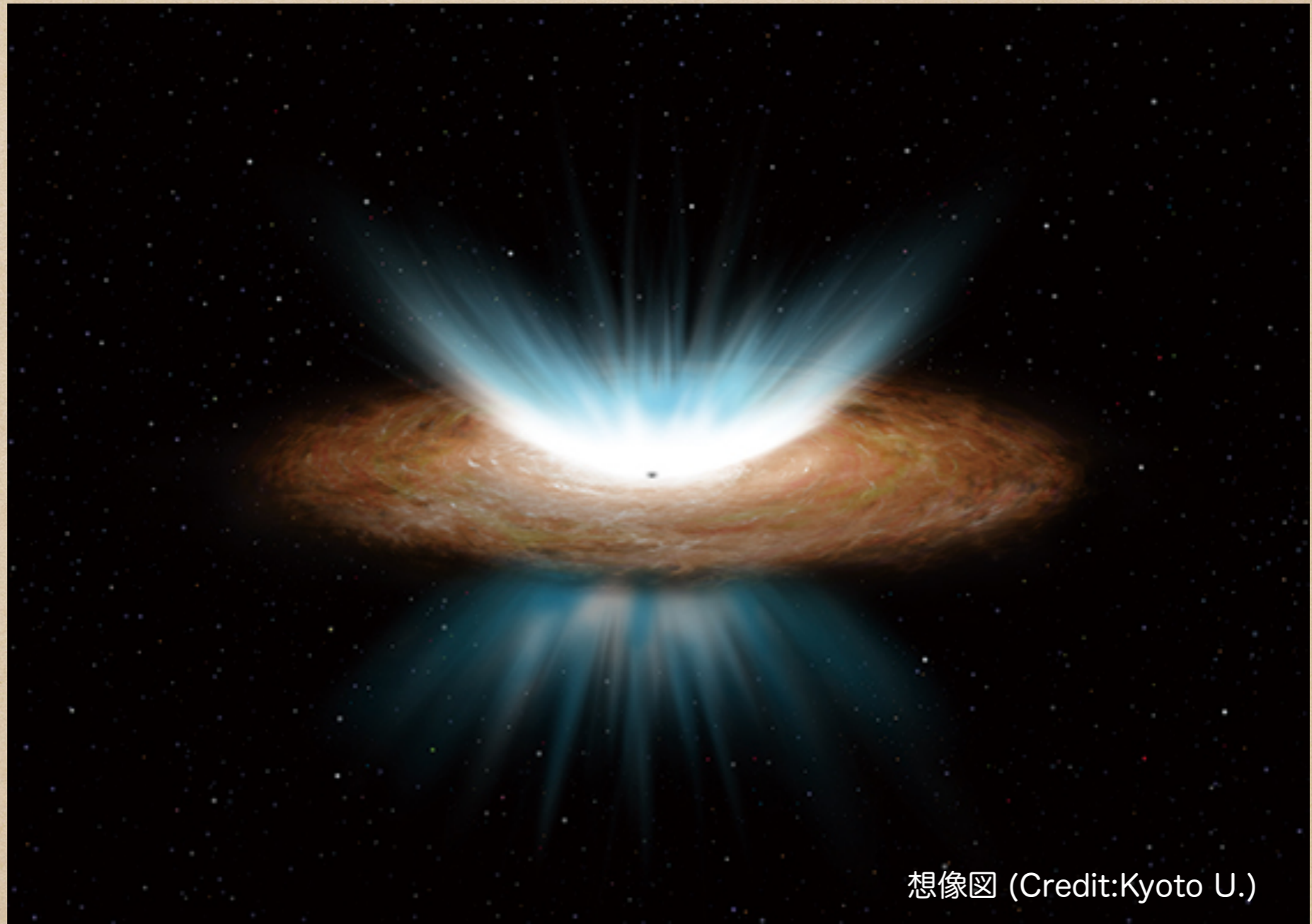
- ・ 銀河の中心にある明るい点がブラックホール（の周り）
- ・ 「活動銀河核」という

X線



X線では銀河はあまり見えず、超巨大ブラックホールだけが見える

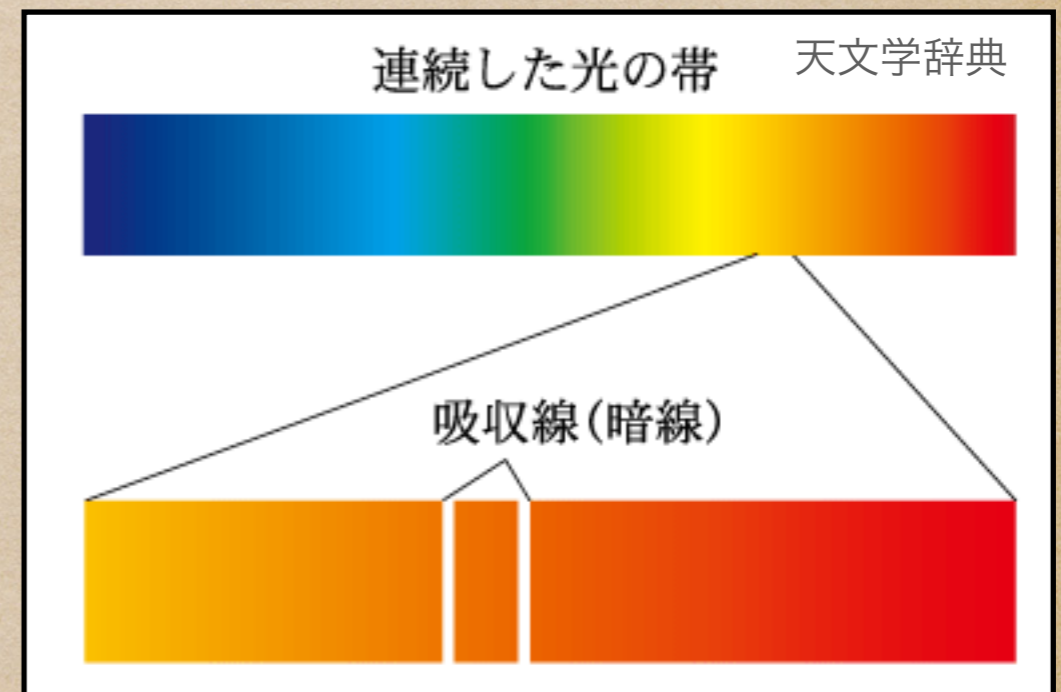
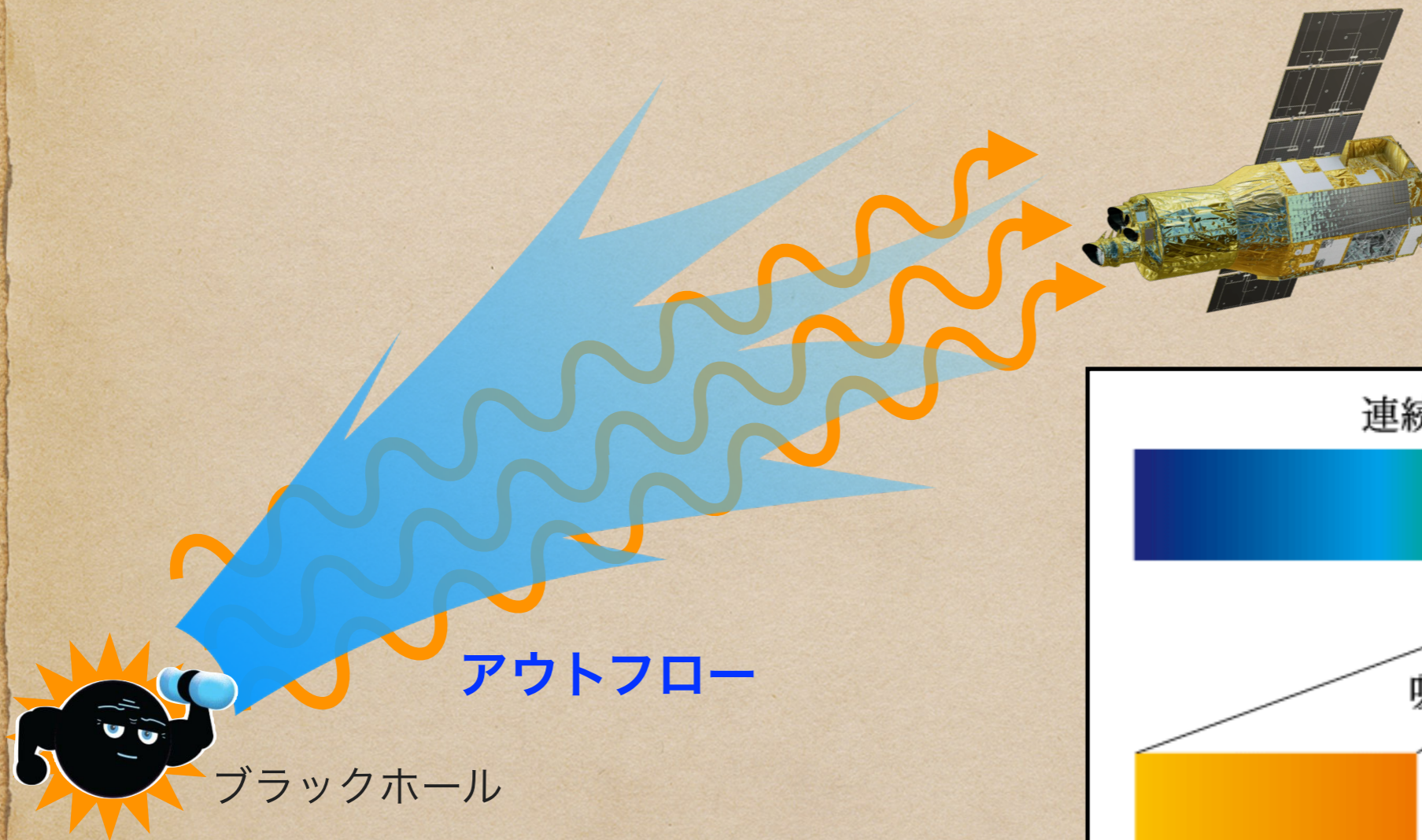
# 「超高速アウトフロー」 (UltraFast Outflow)



想像図 (Credit:Kyoto U.)

- 吸い込まれるガスの一部が、ブラックホール近傍から外向きに放出される
- 速度はおよそ100,000km/s

# 「アウトフロー」の観測

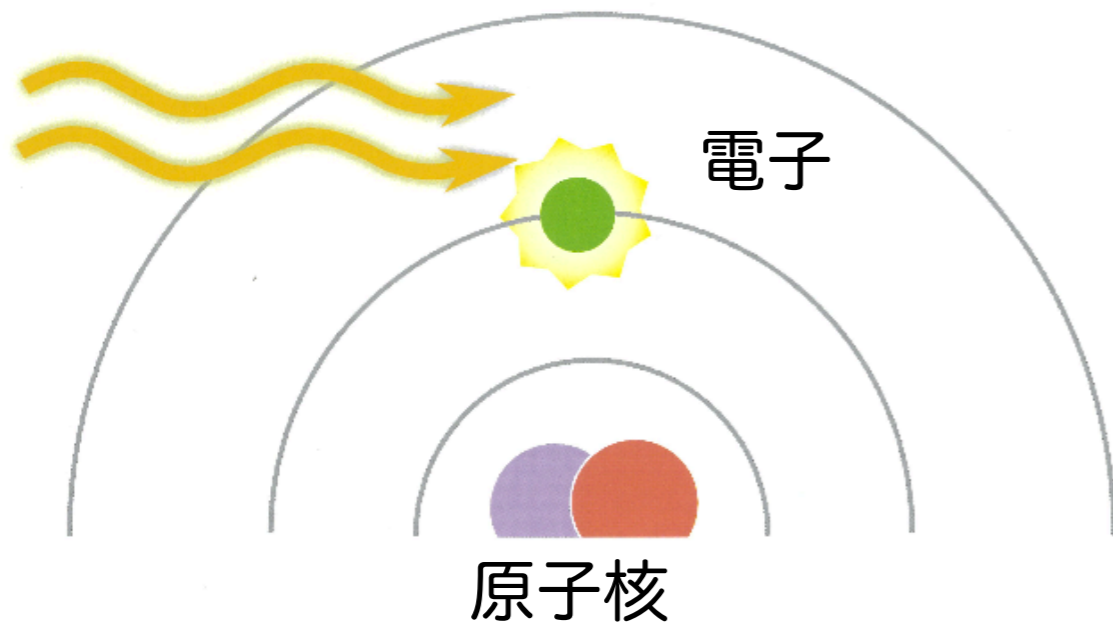


Credit: NASA's Goddard Space Flight Center

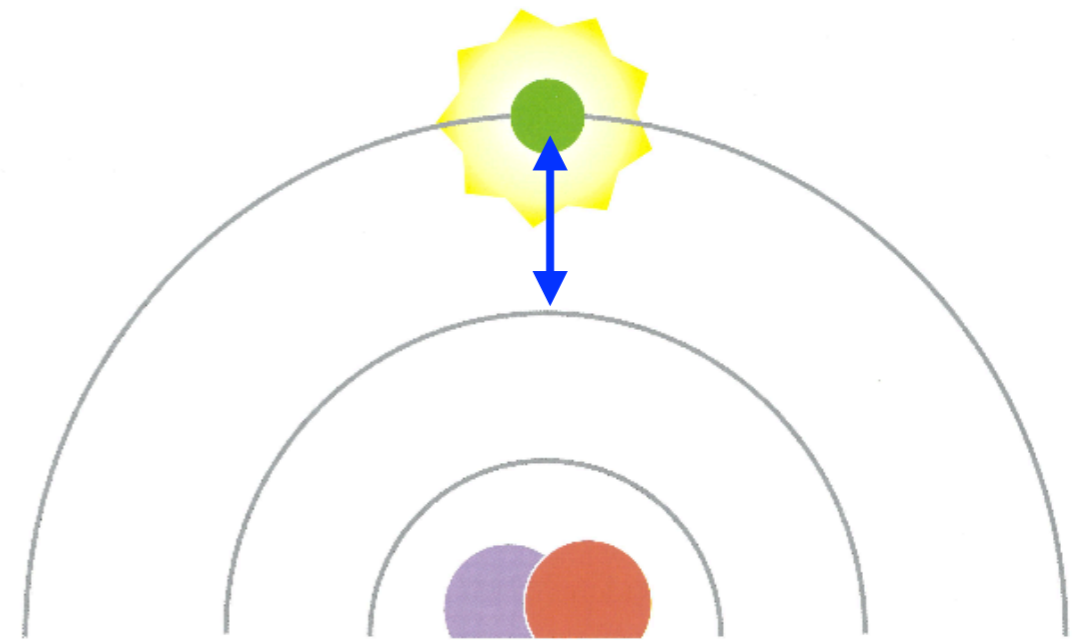
- X線がアウトフローのガスを通ると、吸収線ができる
- 光のドップラー効果により、吸収線の波長がずれる

# 吸収線が作られる理由

特定のエネルギー（波長）の光だけ吸収される



このでんしが エネルギーを もらうと

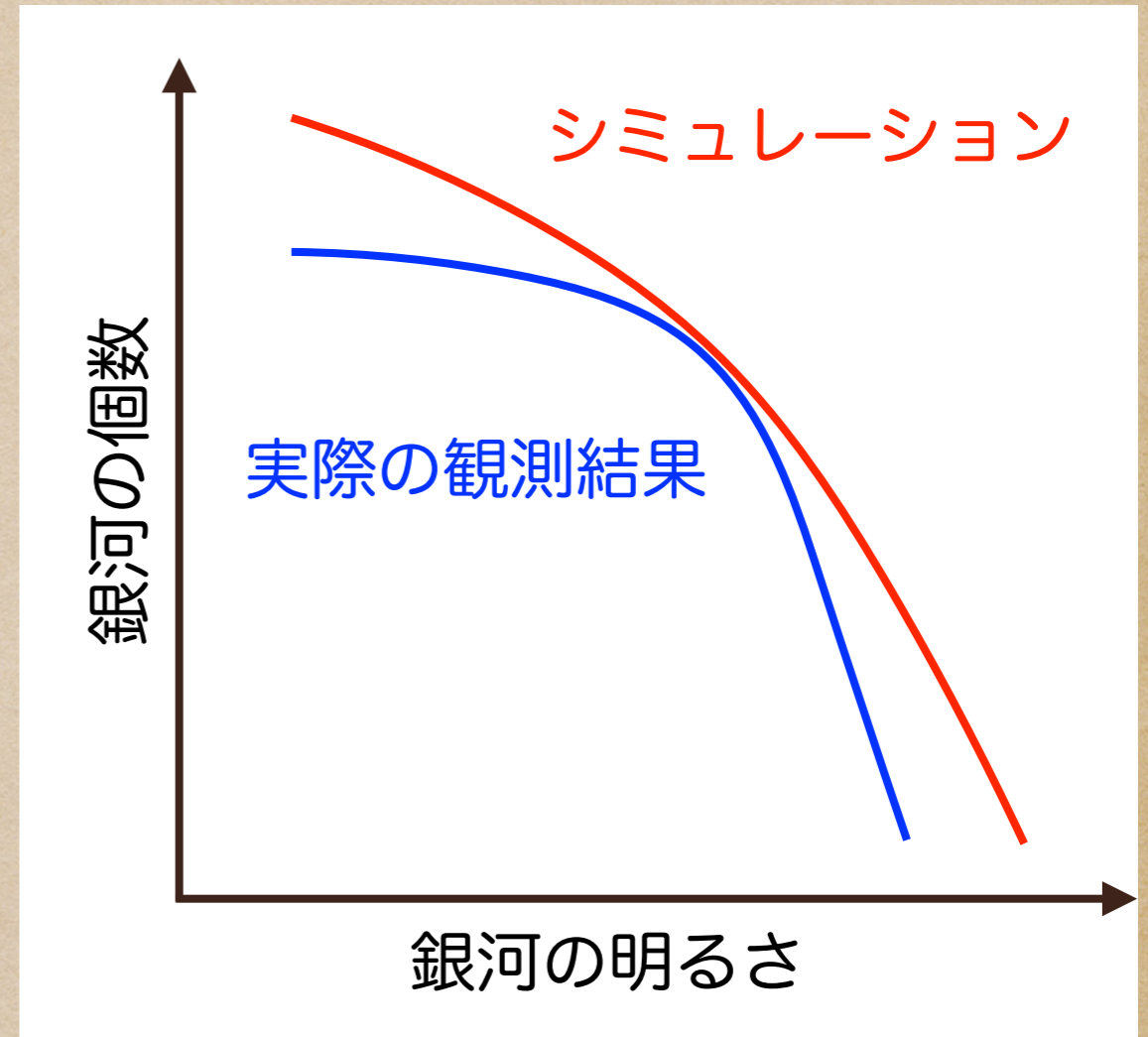


ほら ここに とびあがるんだ

"りょうしりきがく for Babies" (著:Chris Ferrie 訳:村山齊訳)

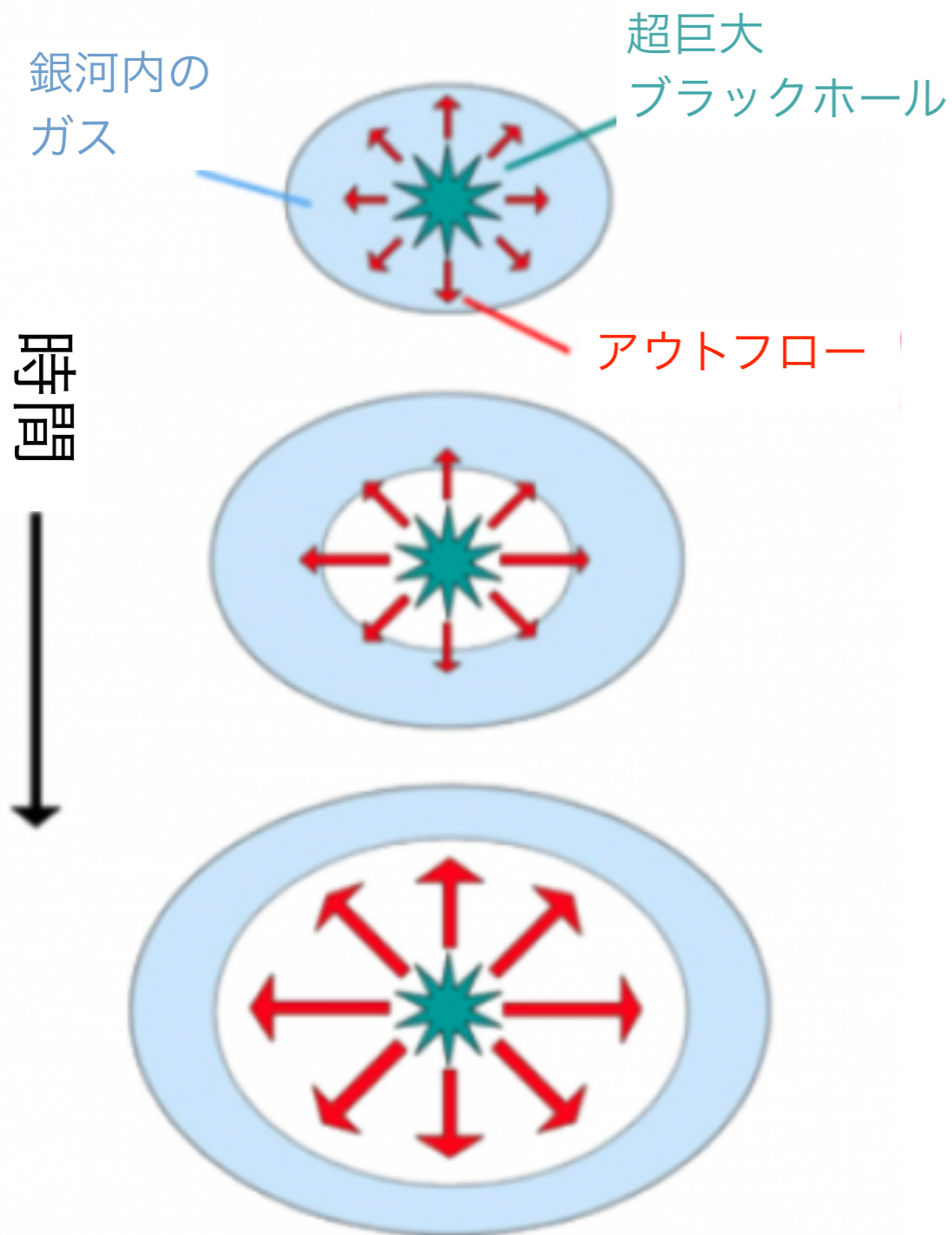
# 「アウトフロー」を研究したい理由

銀河：星の集まり



普通に放っておくと、銀河は明るくなり過ぎてしまう = 星を作り過ぎてしまう  
-> 星の誕生を邪魔するなんらかの仕組みが必要だ

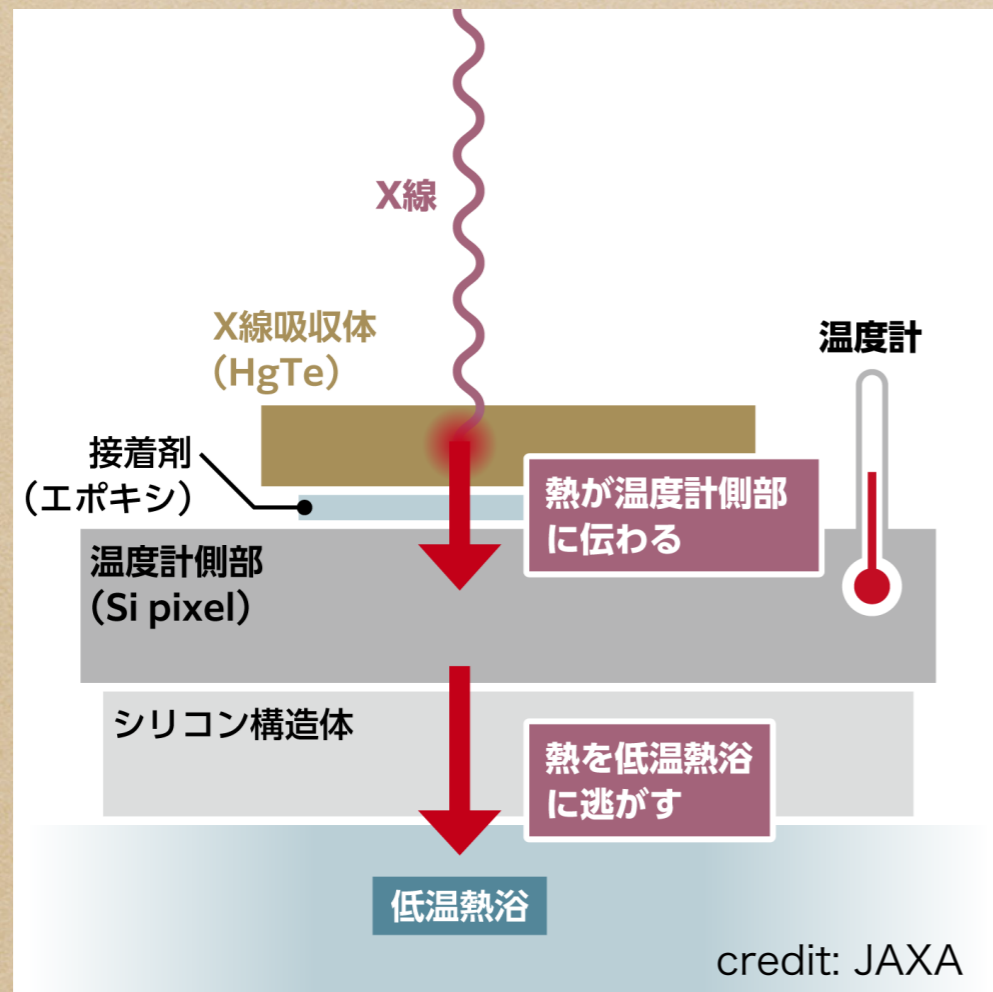
# 「アウトフロー」を研究したい理由



Alexander & Hickox 2012 を一部改変

- 星は、ガスが集まって高温・高圧になることで誕生する。
- そこにアウトフローが吹くと、せっかく集まろうとしたガスが吹き飛ばされてしまうので、星が作られにくくなる
- ブラックホールが銀河の真ん中にあることで、星の誕生が邪魔されているのでは？
- そのためにはトータルのエネルギーを計算したい
- そのためには速度の正確な測定と3次元的な構造の特定が必要

# XRISM衛星搭載のマイクロカロリメータ

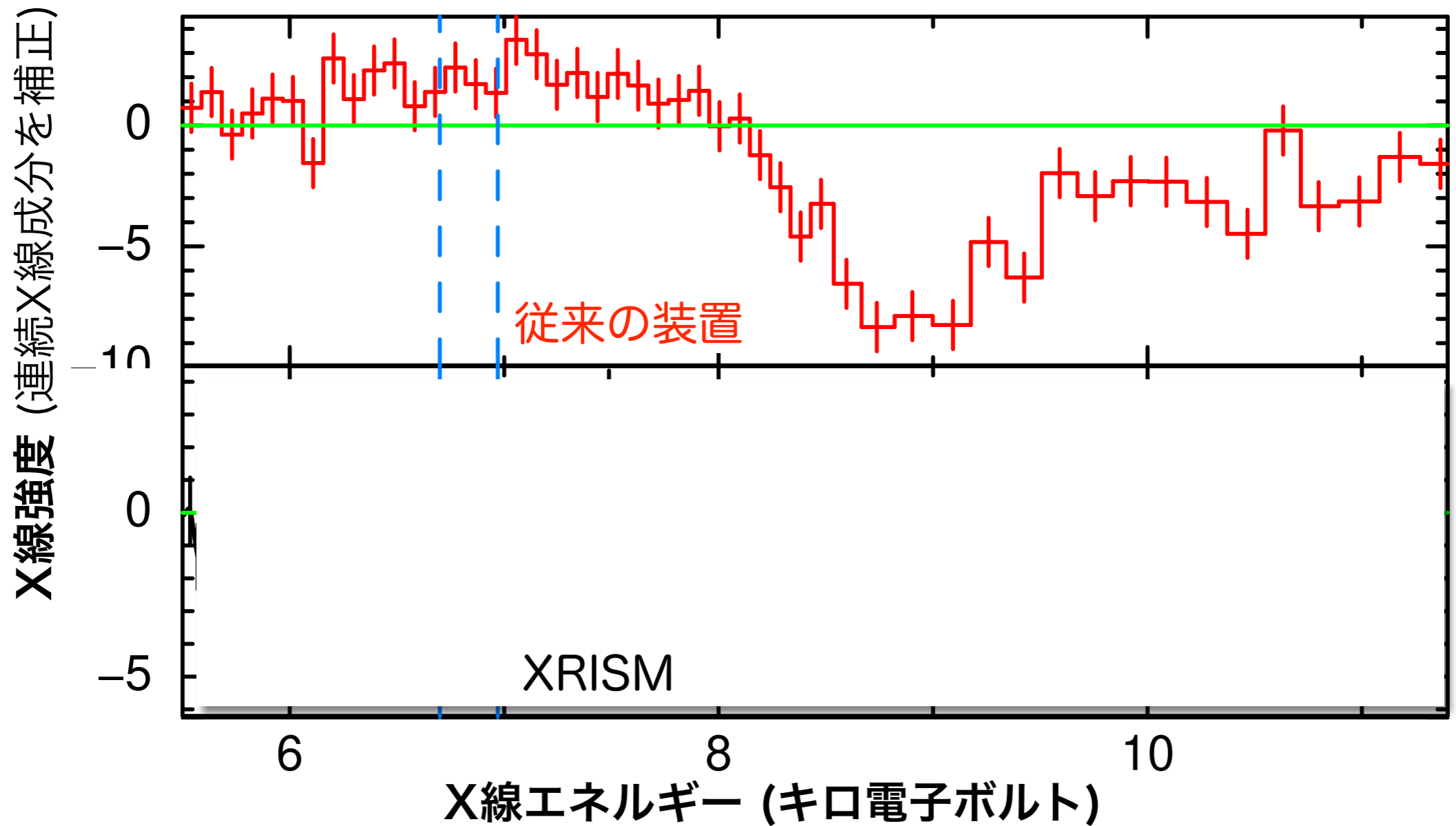


温度を下げるための液体ヘリウムを  
打上げ直前まで入れている様子



- 超高性能な温度計のようなもの
- 望遠鏡を通してX線がやってくると、温度が少しだけ上がる
- その温度上昇を調べる
- これまでより数十倍高い精度で到来するX線のエネルギーを判別可能

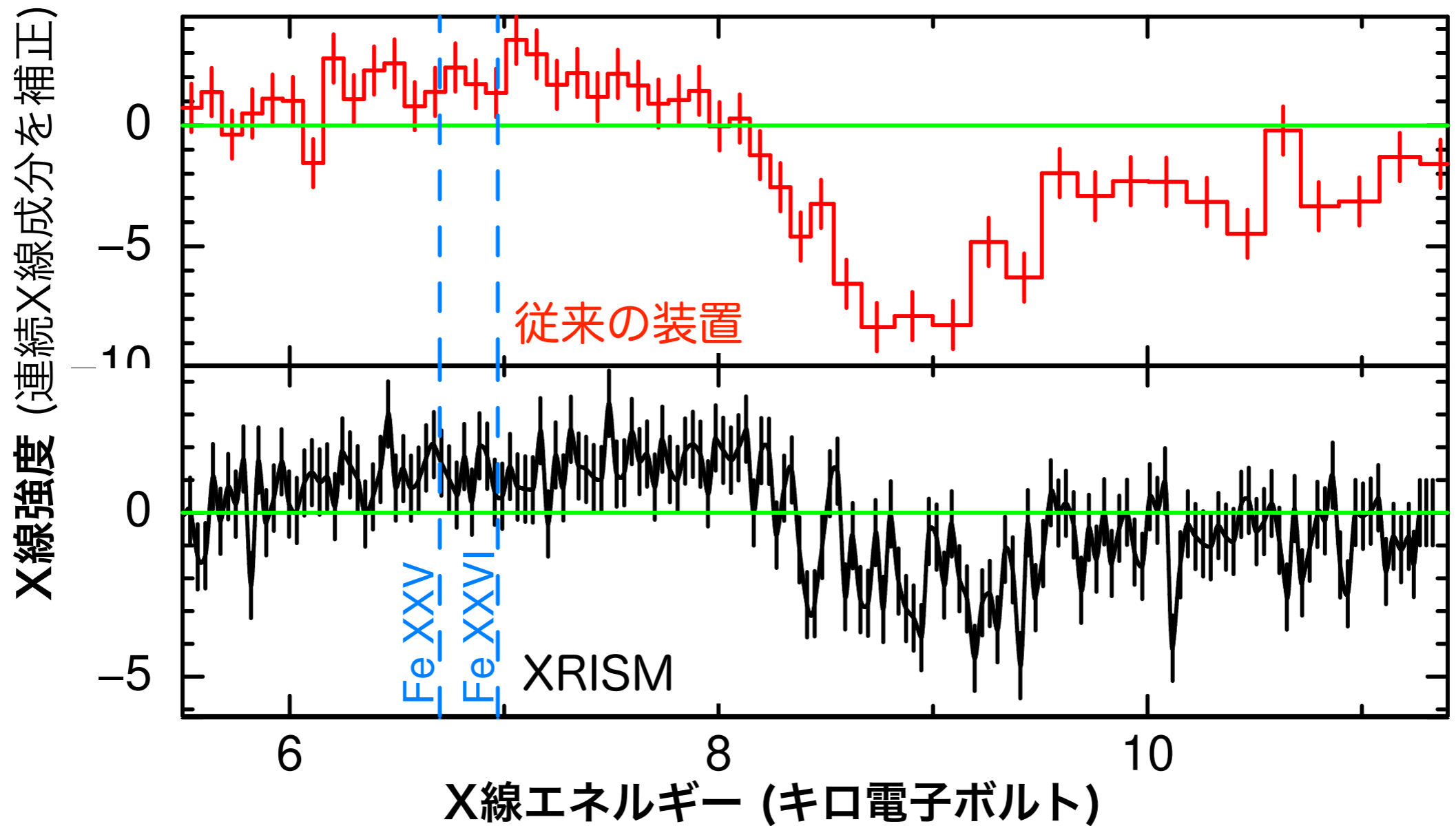
# 活動銀河核 PDS 456



XRISM collaboration 2025a, Nature より一部改変

✖ 従来の観測装置：1つの広がった吸収線

# 活動銀河核 PDS 456

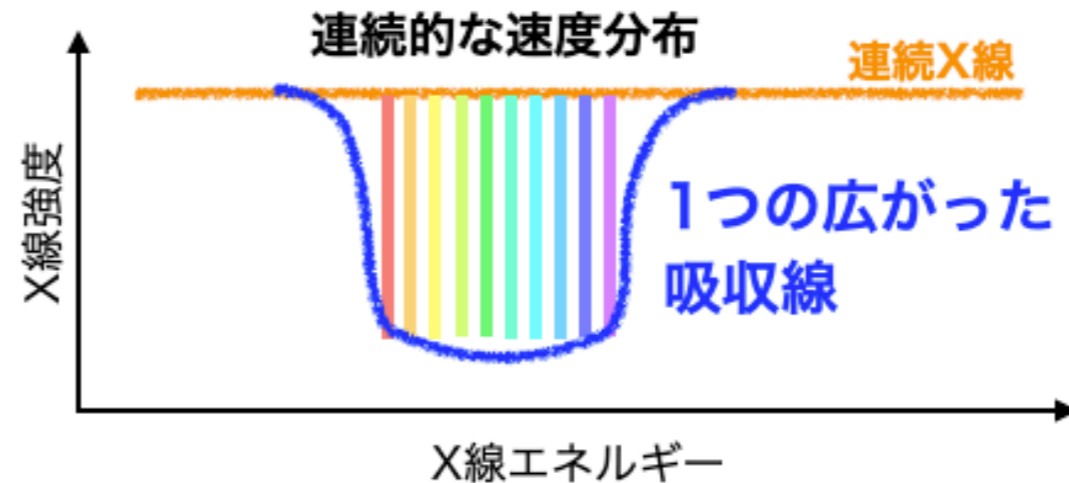
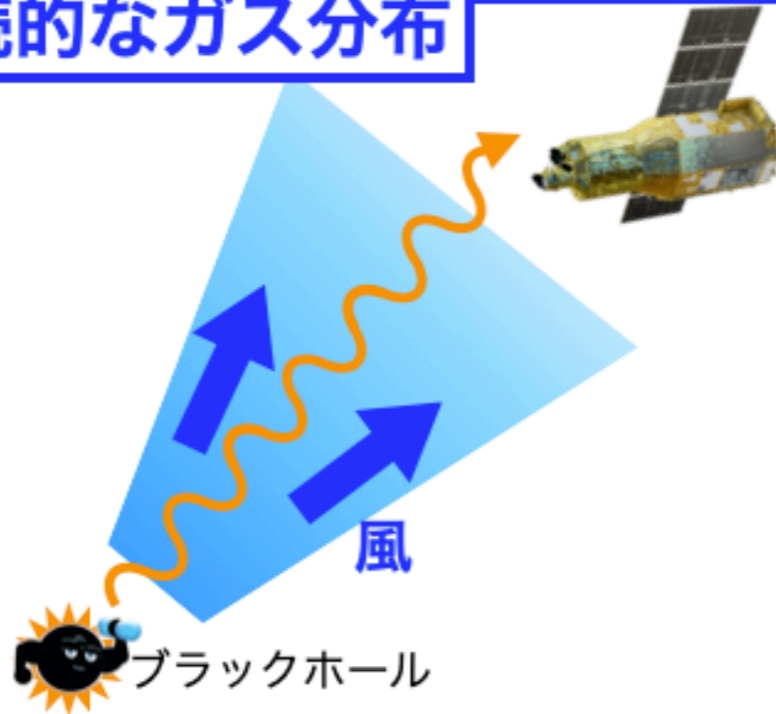


XRISM collaboration 2025a, Nature より一部改変

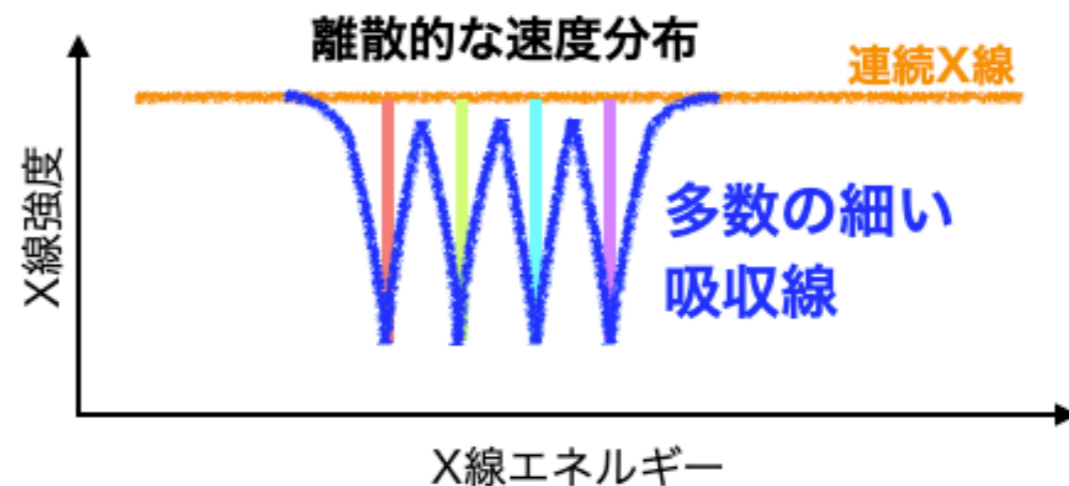
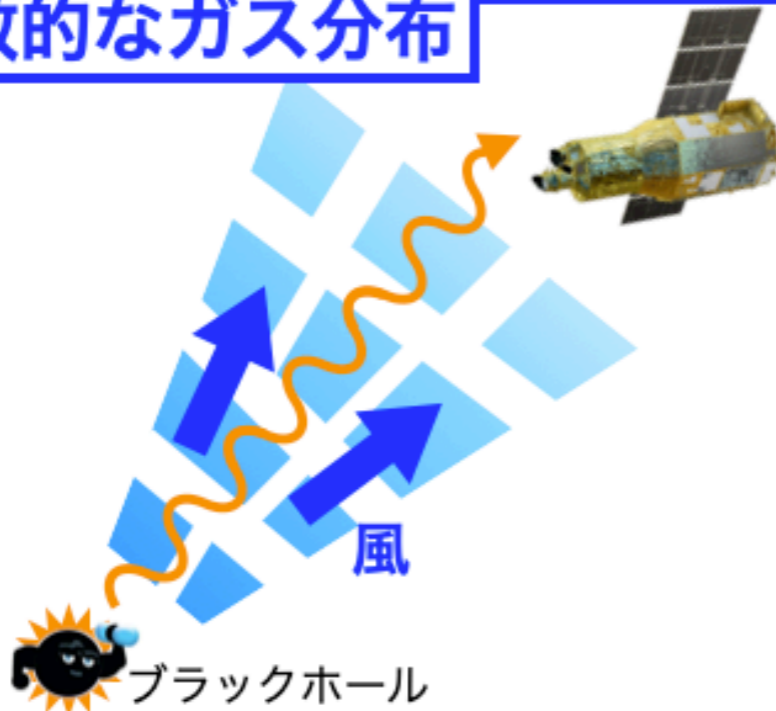
- ✕ 従来の観測装置：1つの広がった吸収線
- XRISMの精密観測：多数の細い吸収線の集まり

# 多数の速度成分 = 離散的なガス分布

## 連続的なガス分布

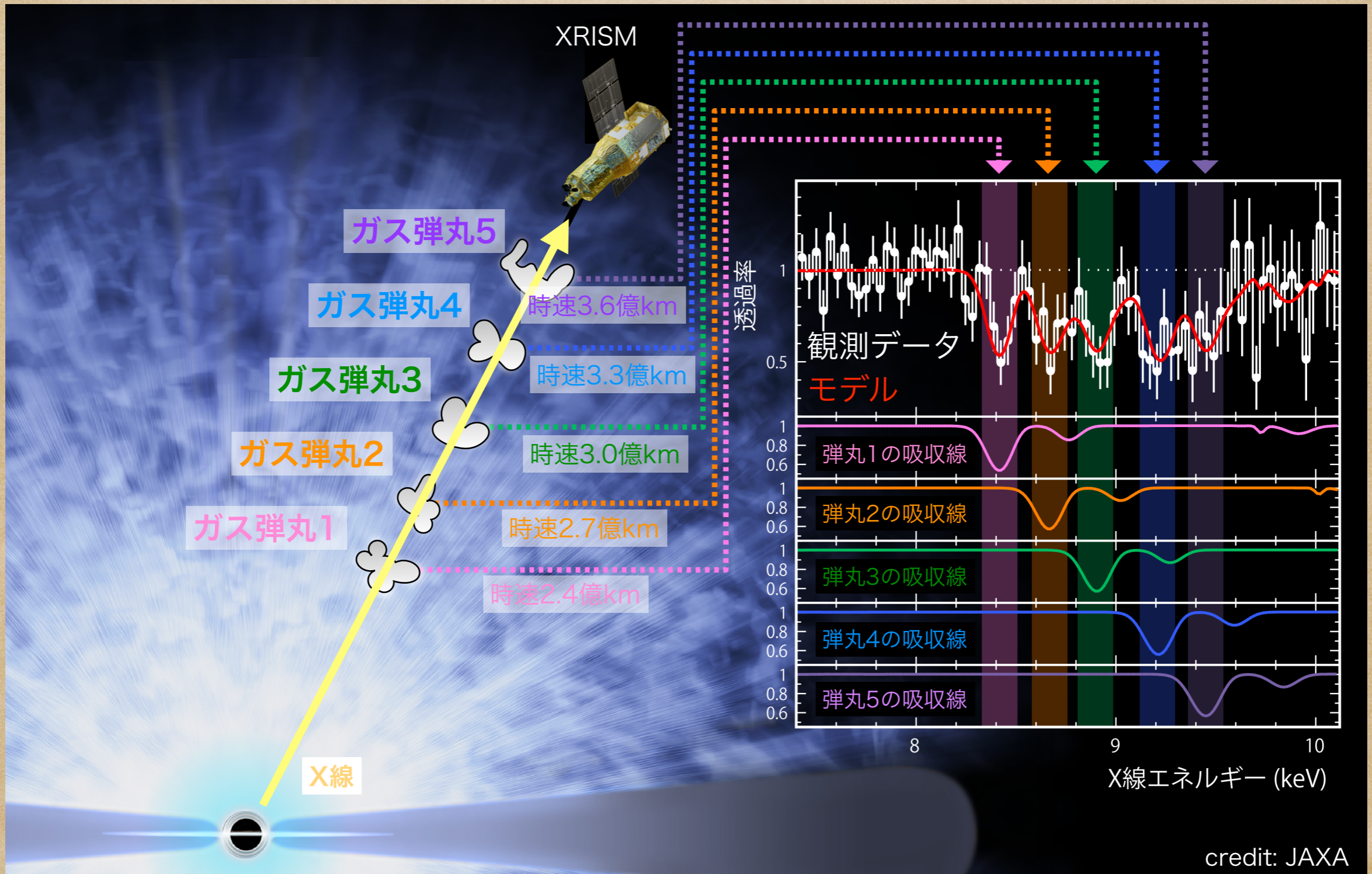


## 離散的なガス分布



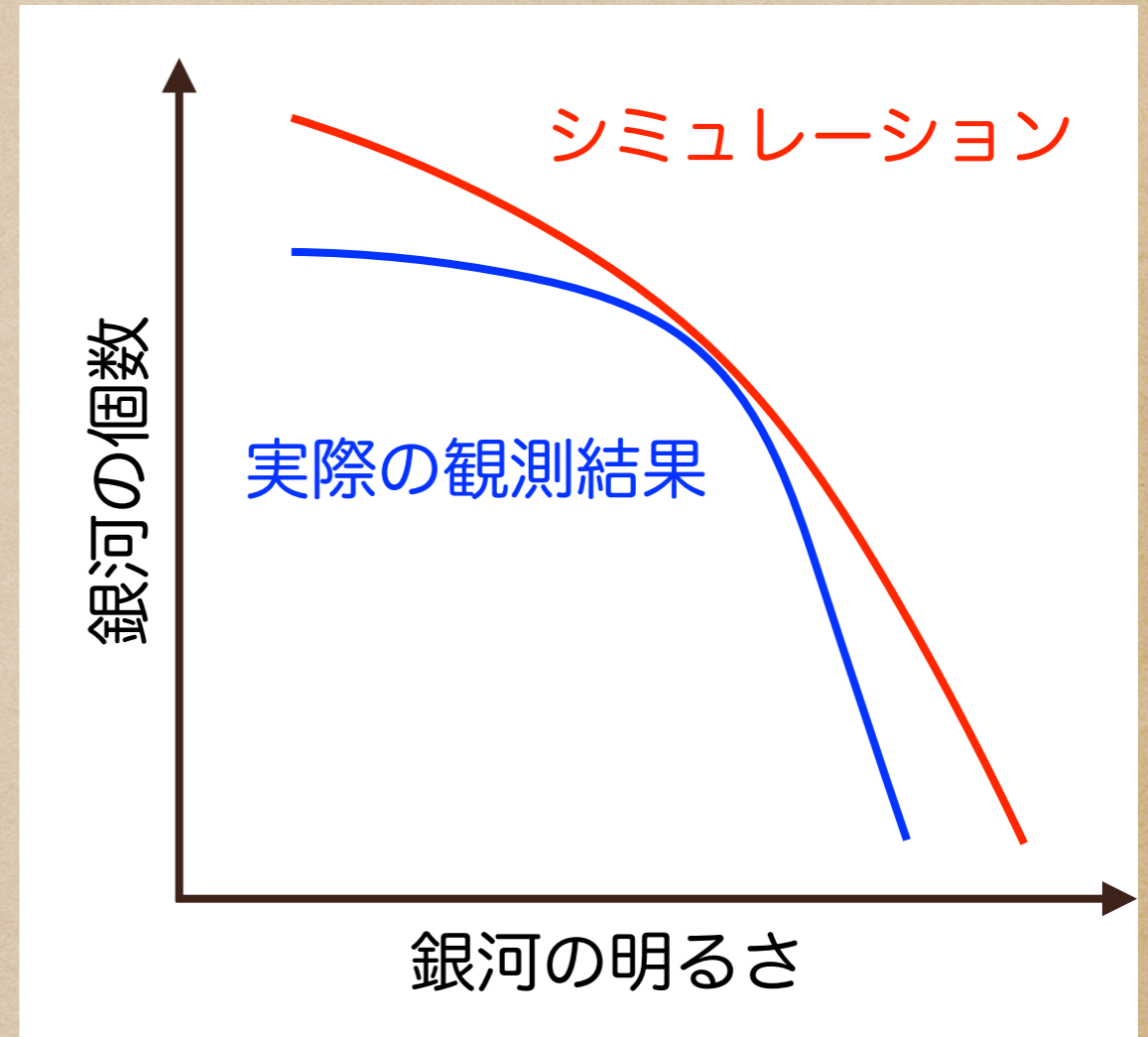
作成：萩野浩一さん (東大理)

# “弾丸”状のアウトフロー



# 「アウトフロー」を研究したい理由（再掲）

銀河：星の集まり

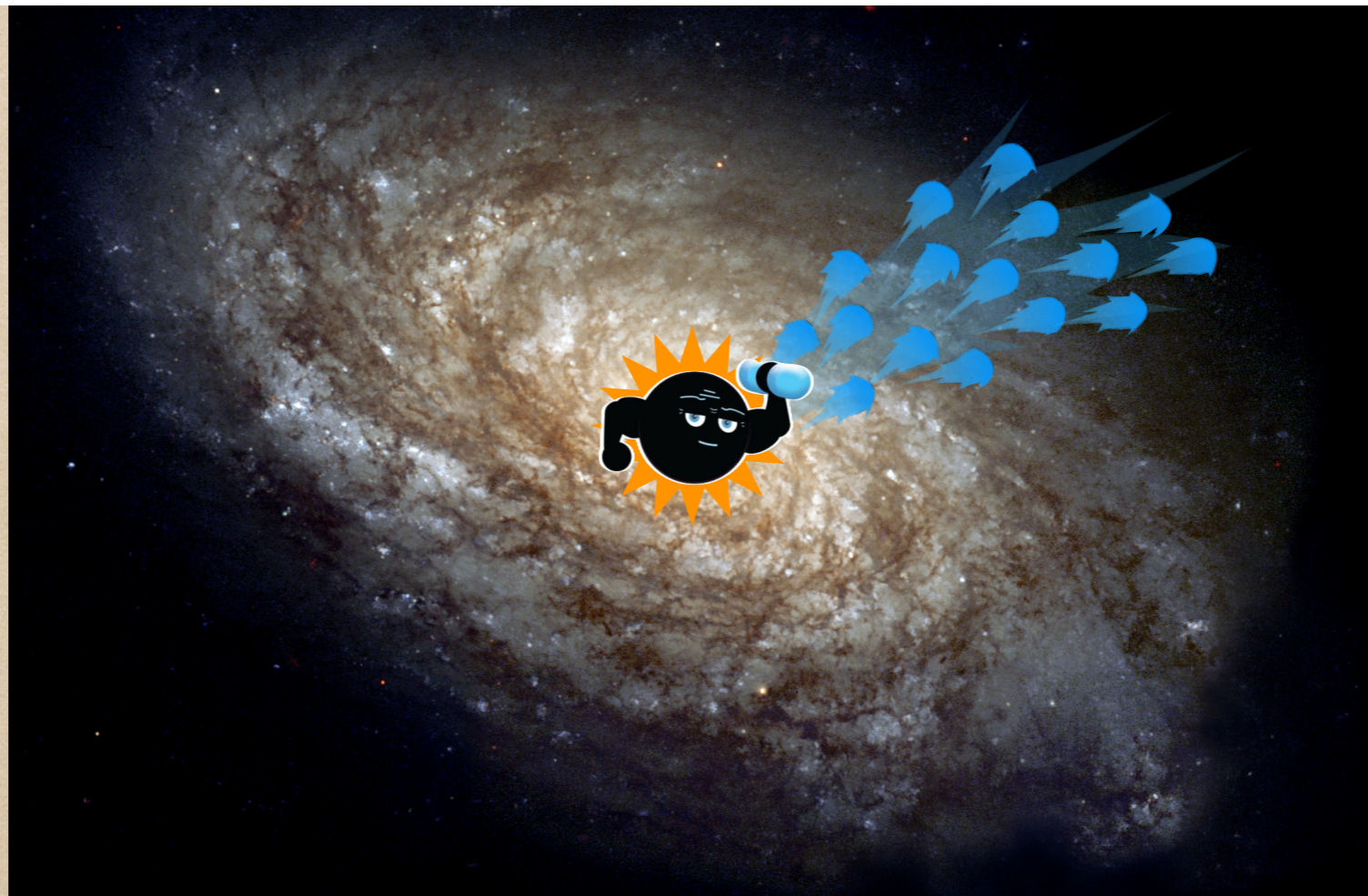


普通に放っておくと、銀河は明るくなり過ぎてしまう＝星を作り過ぎてしまう  
-> 星の誕生を邪魔するなんらかの仕組みが必要だ

# 結果、何がわかったのか

太陽光の**30兆~180兆倍**のエネルギー

-> これまでの見積もりより**1000倍以上**大きい



星の誕生を邪魔し過ぎてしまう。

作成：萩野浩一さん（東大理）

間欠的に吹いている？ガスのほとんどは銀河をすり抜ける？

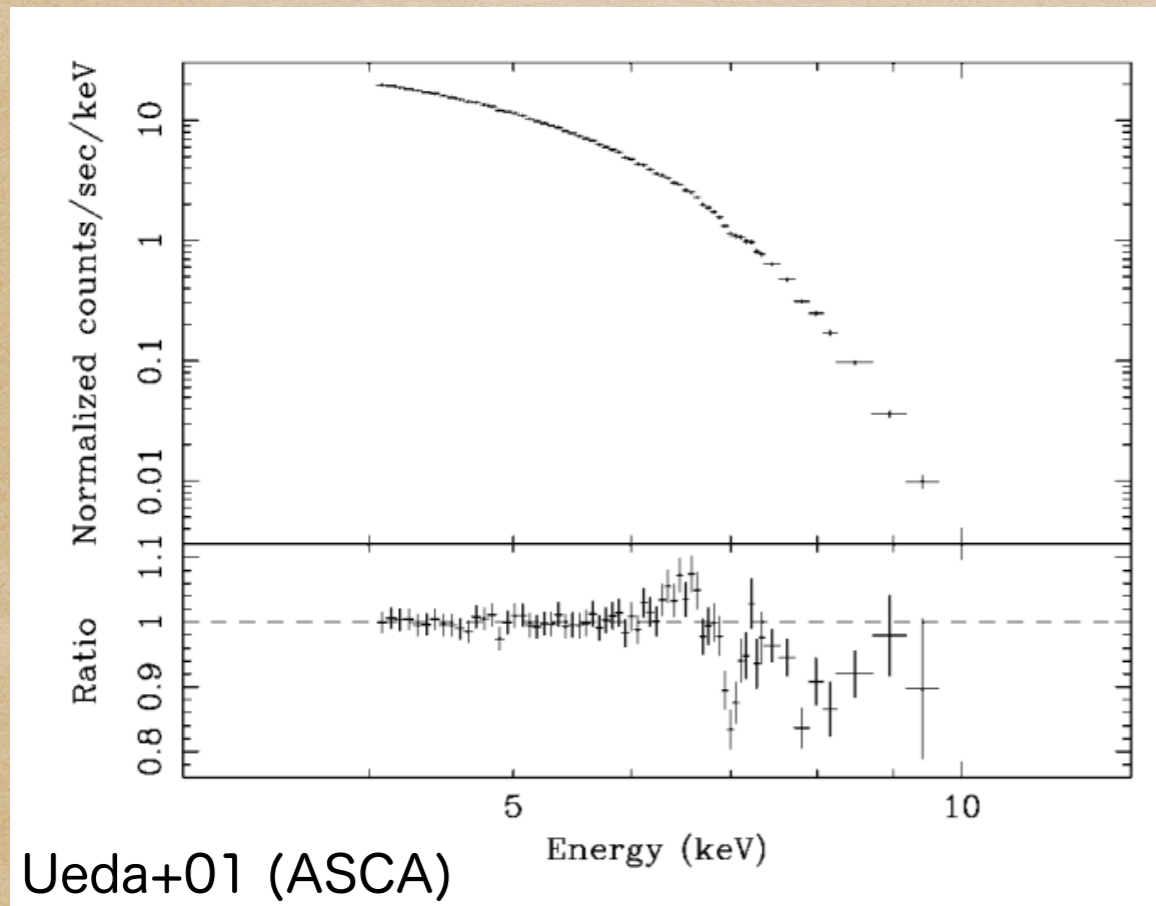
現在は複数天体で検証中 (Mizumoto+26aなど)

# 目次

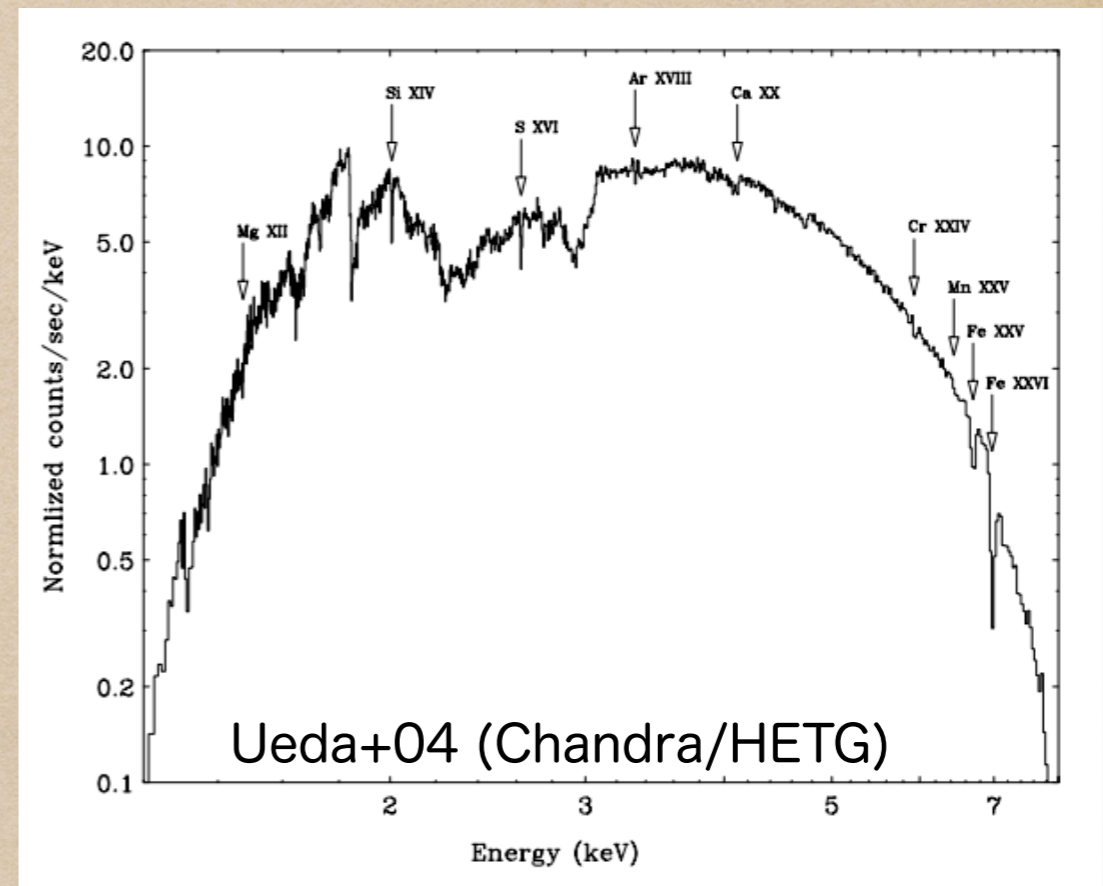
1. 超巨大ブラックホール
2. 中性子星
3. X線マイクロカロリメータで明るい天体を観測するには (装置的貢献)

# 中性子星 GX 13+1

- 中性子星と $0.4M_{\text{solar}}$ の伴星からなる、X線連星の代表格
- ブラックホールと同じく物質が降り積もっている
- 「アウトフロー」があることでも知られている



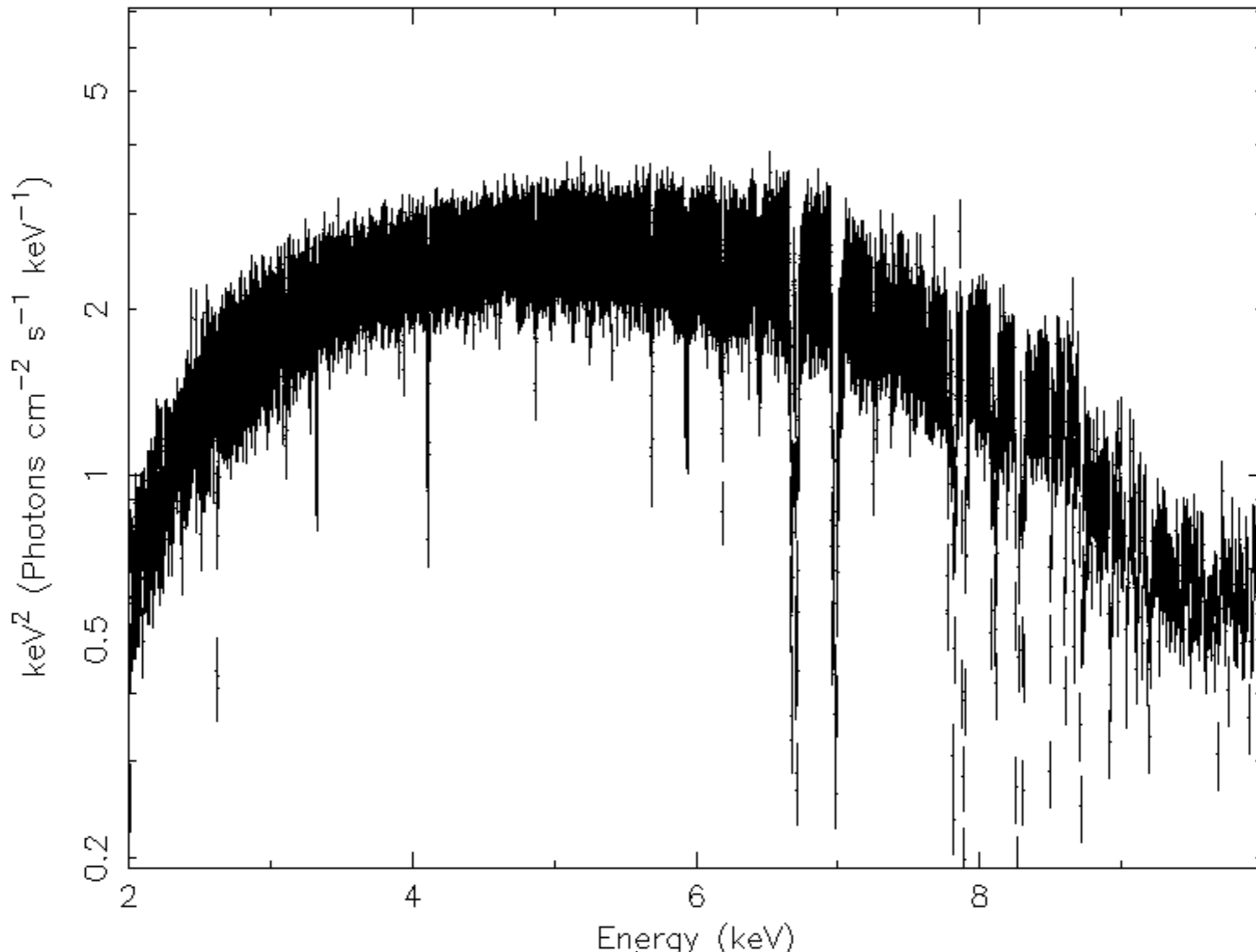
あすか衛星のガス検出器  
-> 吸収線：2本



Chandra衛星のグレーティング  
-> 吸収線：9本

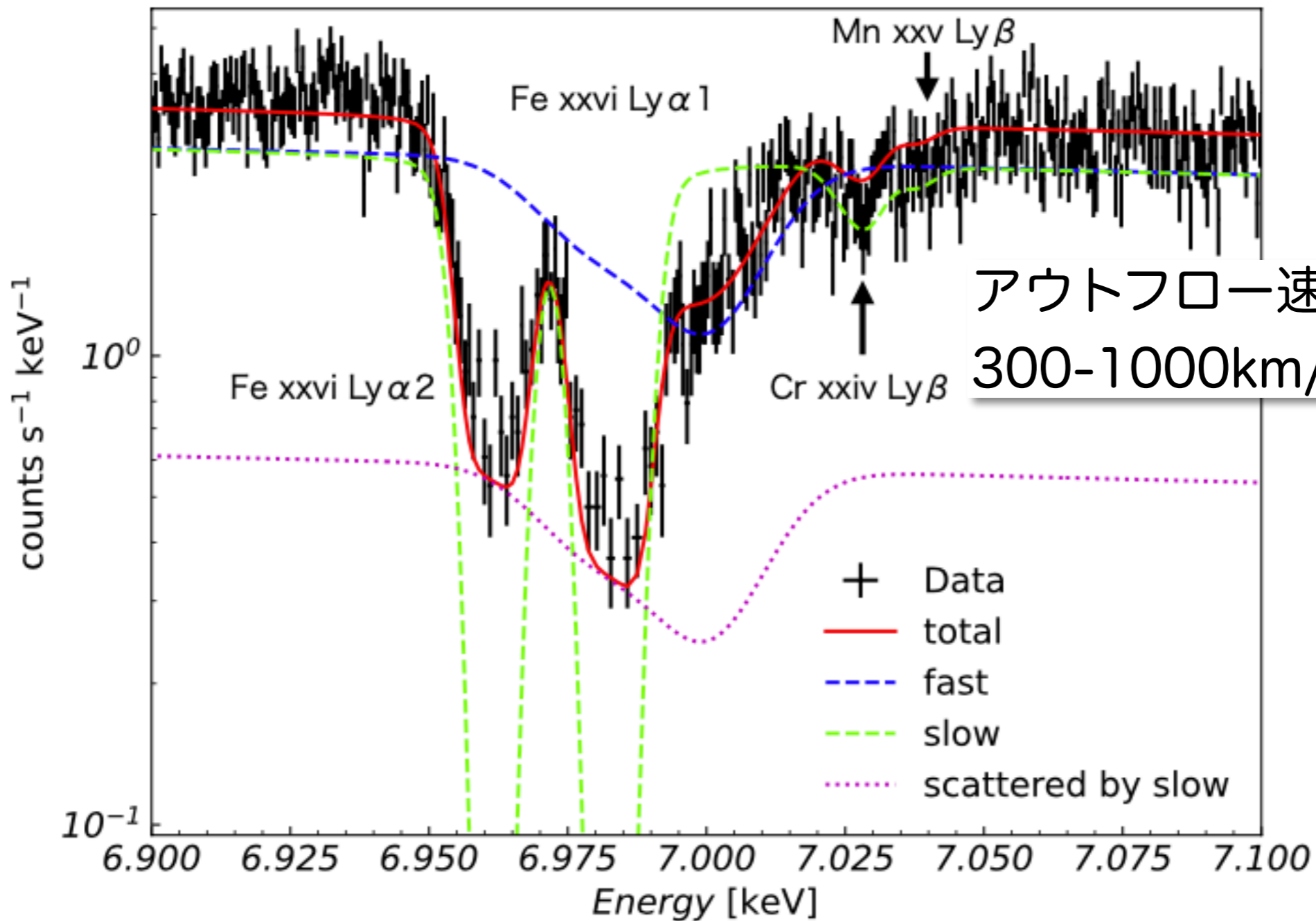
さて、XRISMでは？

# 少なくとも48本の吸収線を検出



XRISM collaboration 2025b, Natureのデータを使用

# ラインプロファイル



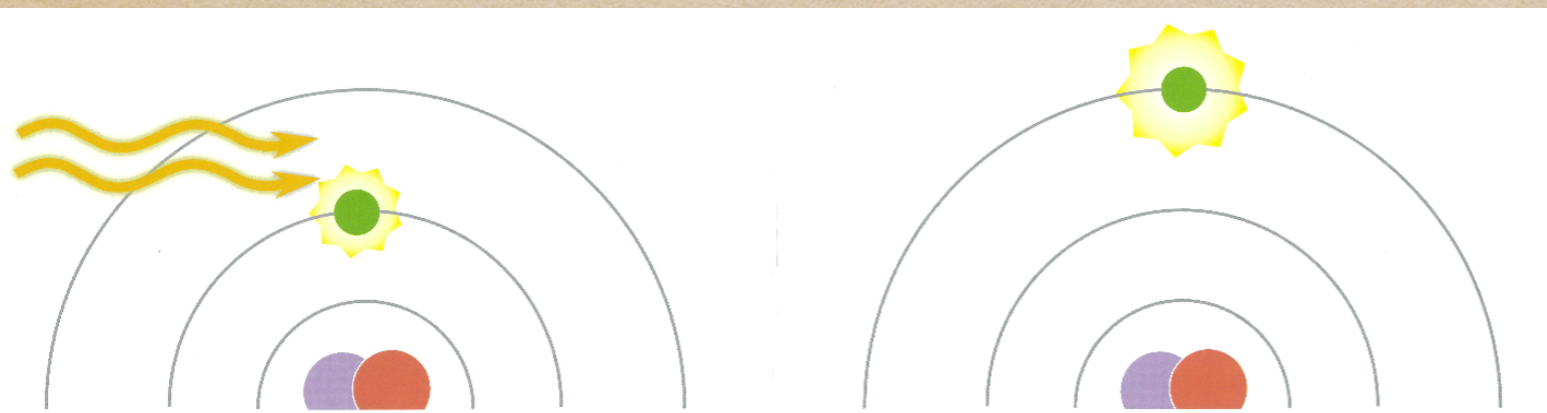
アウトフロー速度は  
300-1000km/s程度

XRISM collaboration 2025b, Nature

中心からのX線が降着円盤表面のガスを温める機構がメインであると判明

# 超巨大ブラックホールと中性子星の違い

|                       | 超巨大ブラックホール                         | 中性子星           |
|-----------------------|------------------------------------|----------------|
| 質量                    | 10 <sup>8</sup> 太陽質量               | 1太陽質量          |
| 質量で規格化した光度            | どちらもほぼ限界に輝いている<br>-> アウトフローが出やすい状態 |                |
| アウトフロー速度              | ~100,000 km/s                      | ~300-1000 km/s |
| 円盤温度<br>(質量の-1/4乗に比例) | 10万度                               | 1000万度         |
| 降着円盤のピーク波長            | 紫外線                                | X線             |



このでんしが エネルギーを もらうと

ほら ここに とびあがるんだ

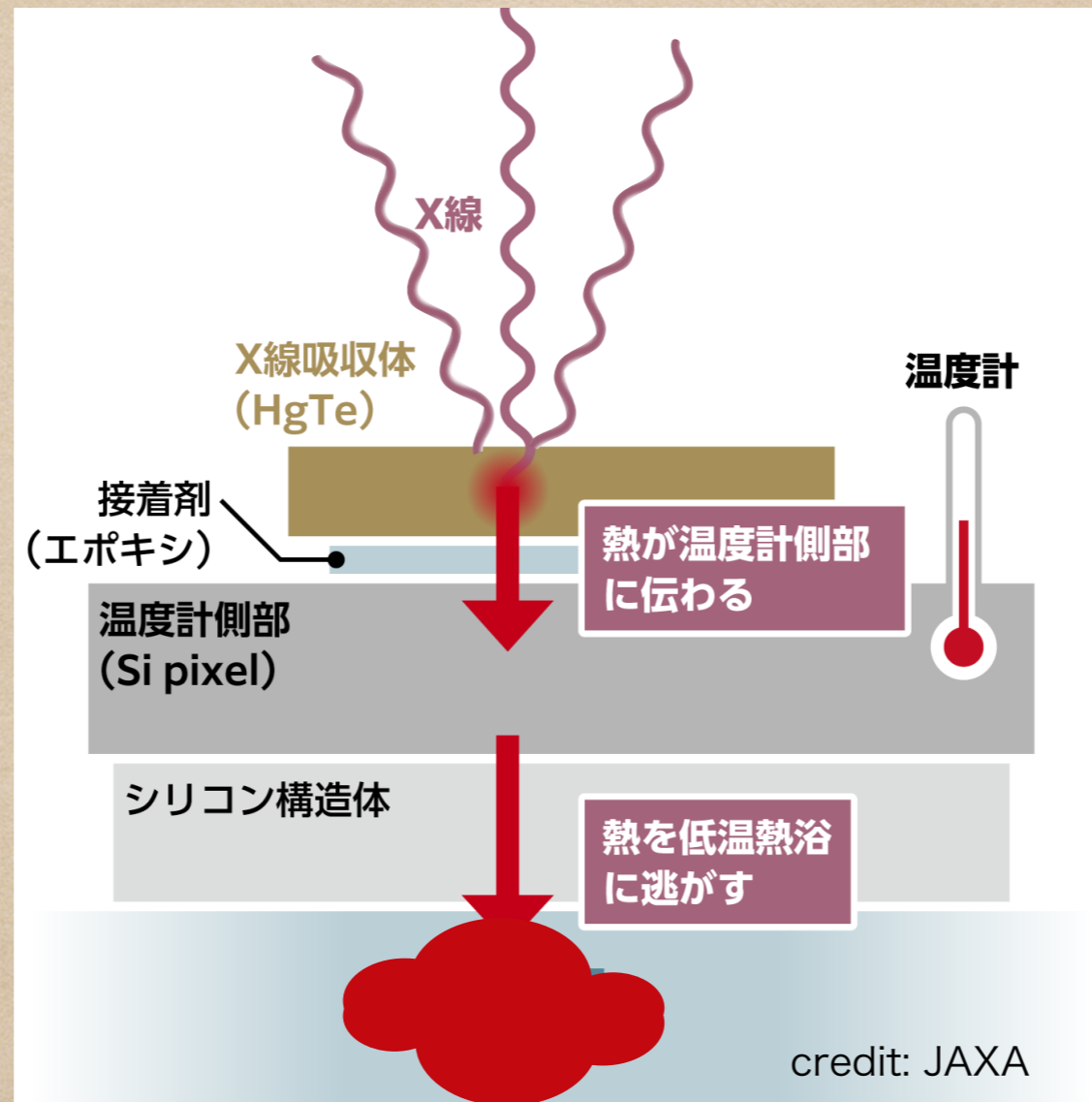
紫外線に束縛-束縛遷移を起こすものが多い+断面積も大きい  
->アウトフローが吹きやすい  
(Mizumoto et al. 2021など)

(c) Chris Ferrie

# 目次

1. 超巨大ブラックホール
2. 中性子星
3. X線マイクロカロリメータで明るい天体を観測するには (装置的貢献)

# 明るい天体は難しい

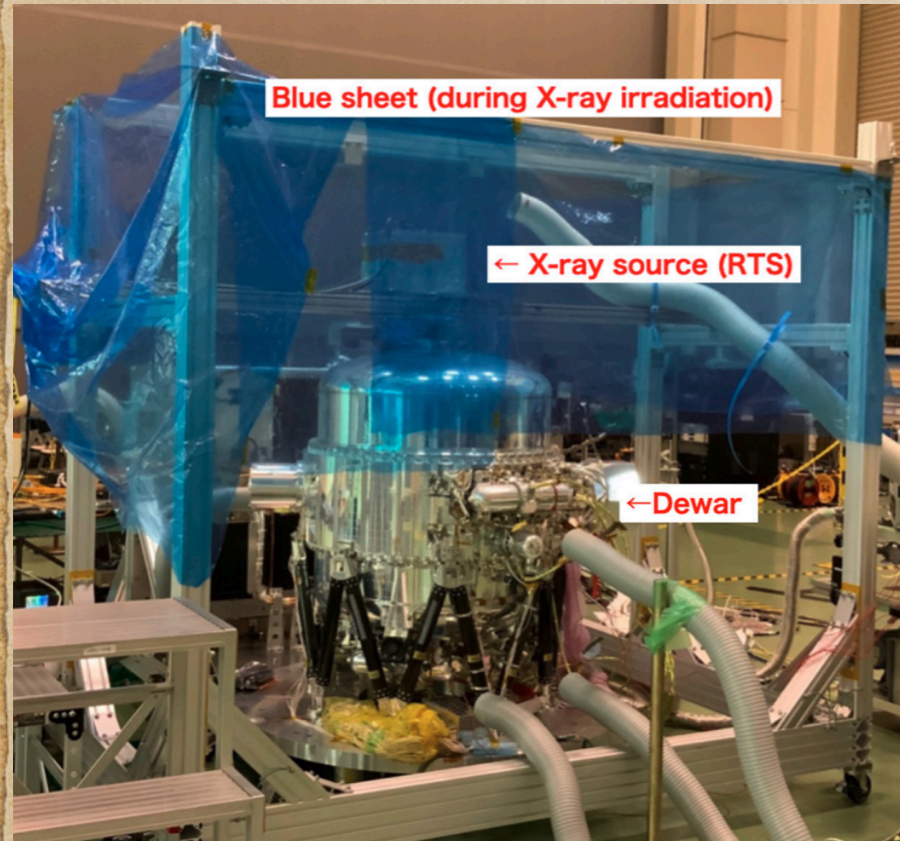


エネルギーの変換係数が変わってしまう  
-> エネルギーの値がズれる

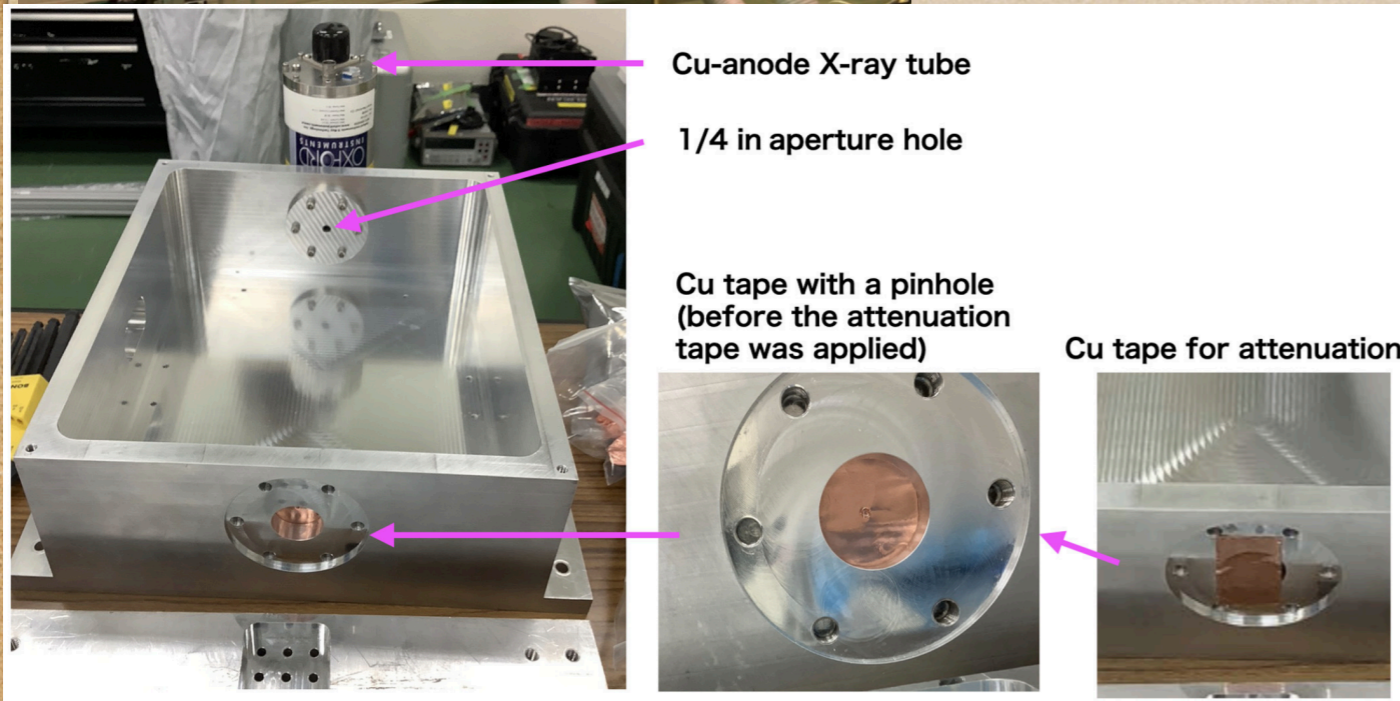
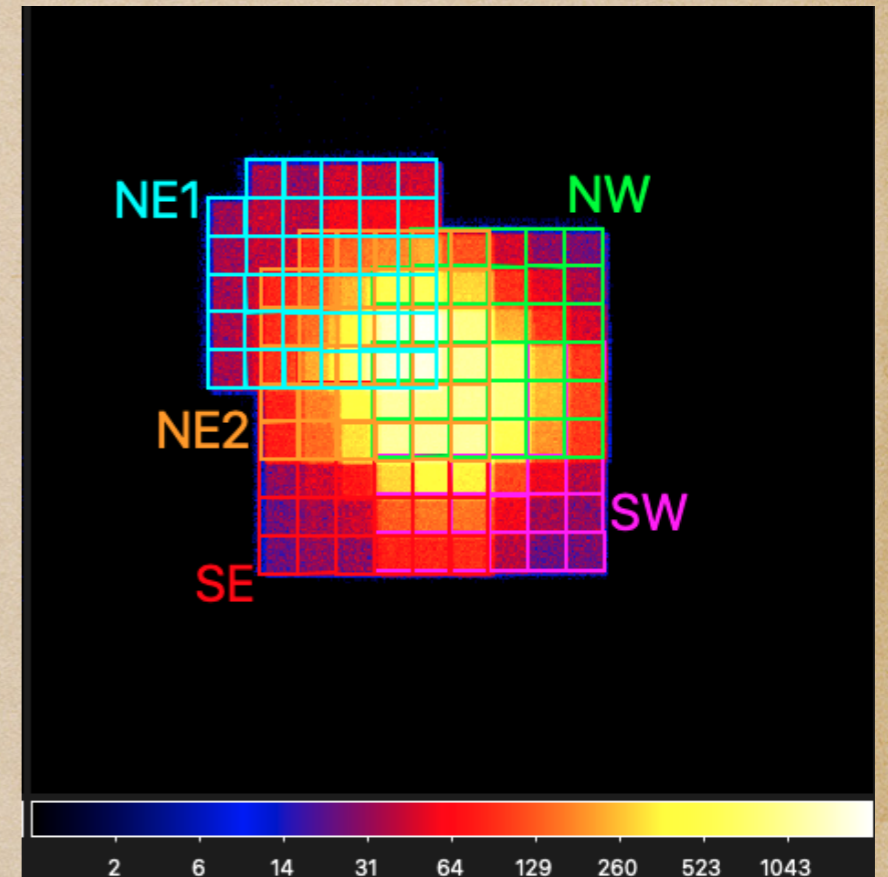
他にもいろいろ悪さをするが、ここでは割愛

詳細は Mizumoto et al. 2025a, JATIS, 11, 042005およびMizumoto et al. 2025b, PASJ, 77, S39

# 地上試験 + 軌道上試験

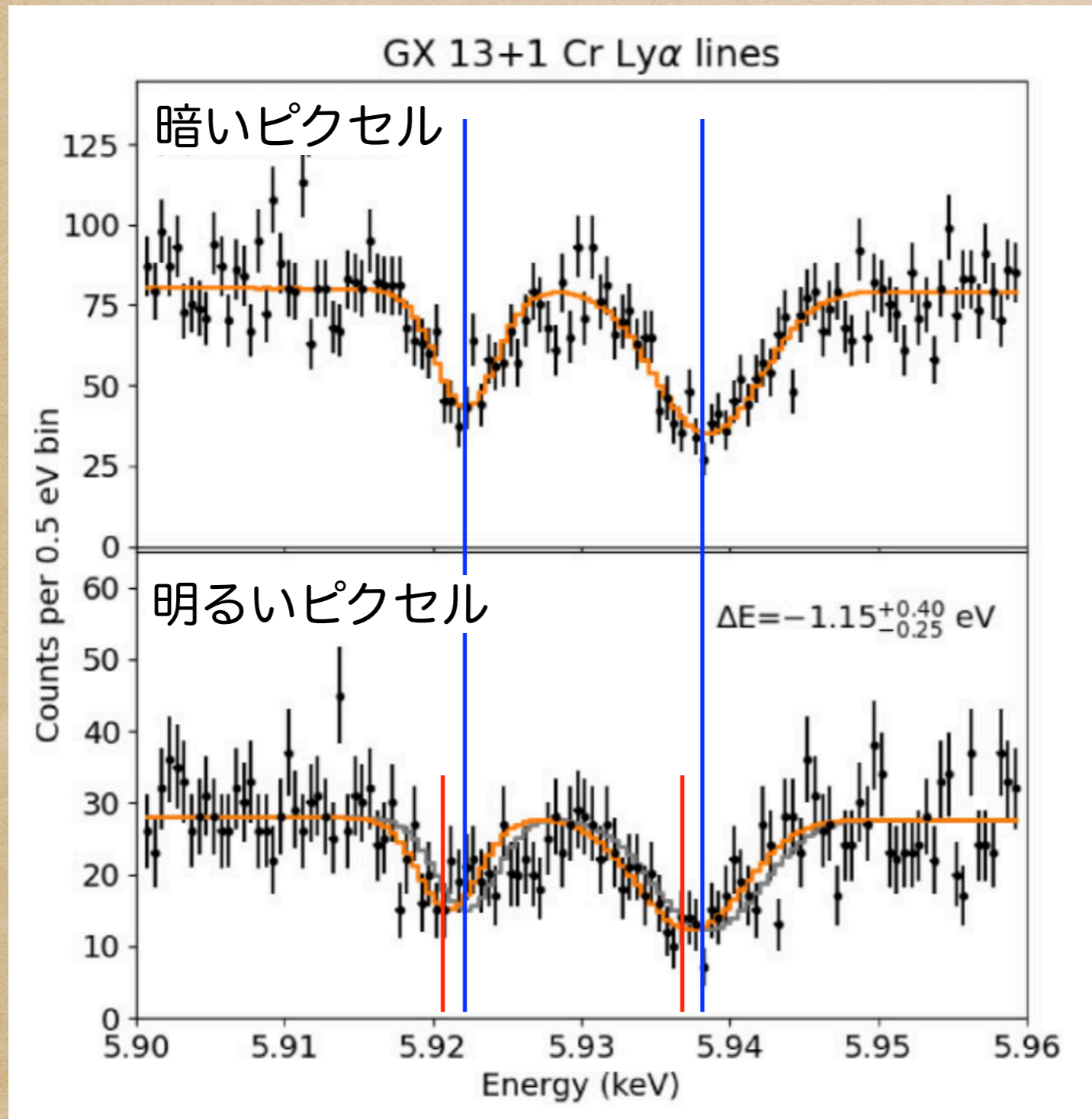


地上試験：  
検出器面に強度を  
段階的に変えたX  
線を照射  
(Mizumoto et al.  
2025a)



軌道上試験：  
かに星雲をポインティング  
をずらしながら観測  
(Mizumoto et al. 2025b)  
試験結果を元にエネルギー  
のズレ方を定式化

# 実データ (GX 13+1) に適応



-1.1 eV のズレ  
(0.02%のズレ)

僅かだが、それでも見えてしまう。

知らないと「明るい時にアウトフローの速度が変わる。これは何か物理的な意味があるかも」となってしまふ。

