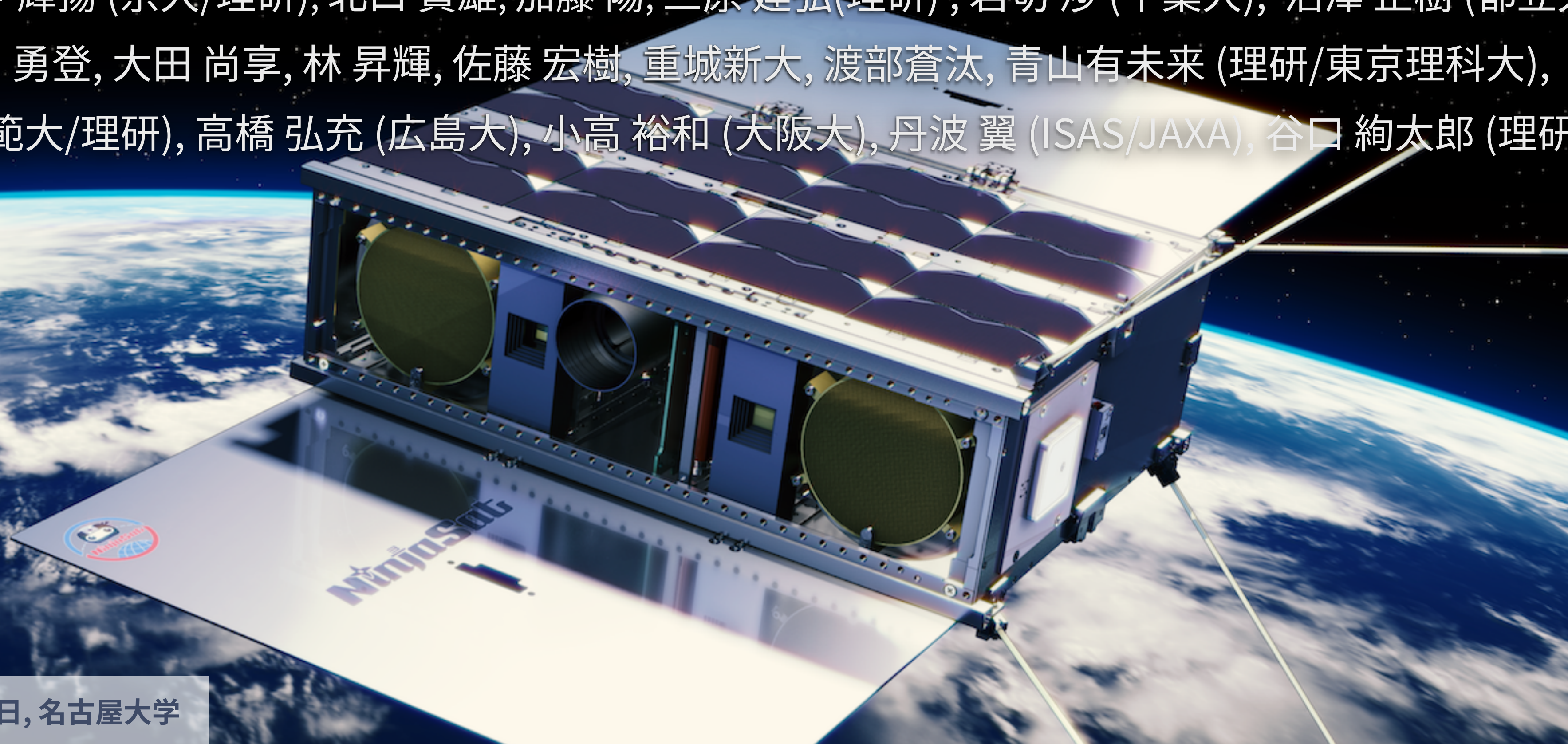




# 柔軟な連携観測を可能にする 超小型X線衛星 NinjaSat

武田 朋志 (理化学研究所/東京理科大)

玉川 徹 (理研), 榎戸 輝揚 (京大/理研), 北口 貴雄, 加藤 陽, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (千葉大), 沼澤 正樹 (都立大),  
内山 慶祐, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝, 佐藤 宏樹, 重城新大, 渡部蒼汰, 青山有未来 (理研/東京理科大),  
Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和 (大阪大), 丹波 翼 (ISAS/JAXA), 谷口 絢太郎 (理研/早大)

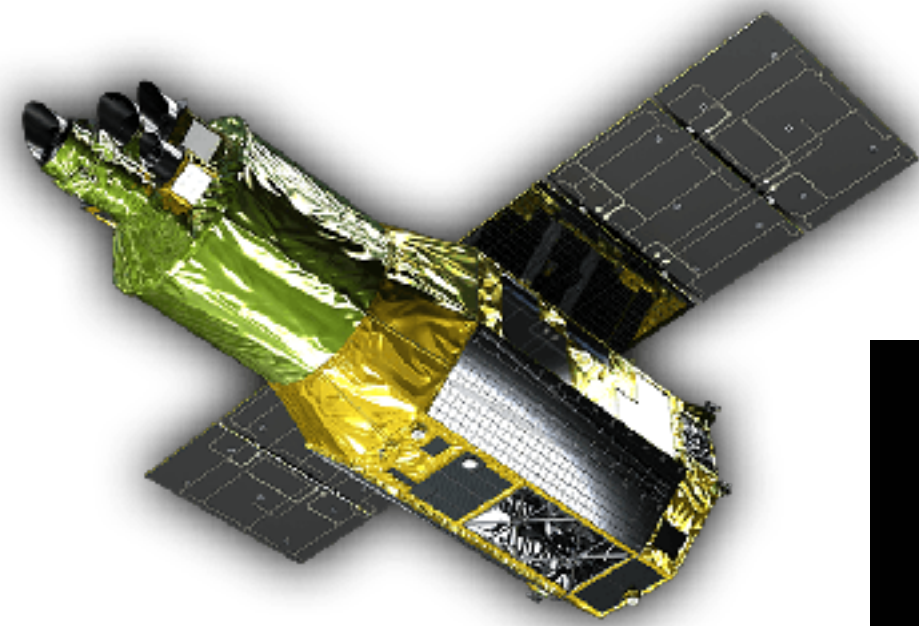




## X線観測

小・中・大型衛星/機器

超小型衛星



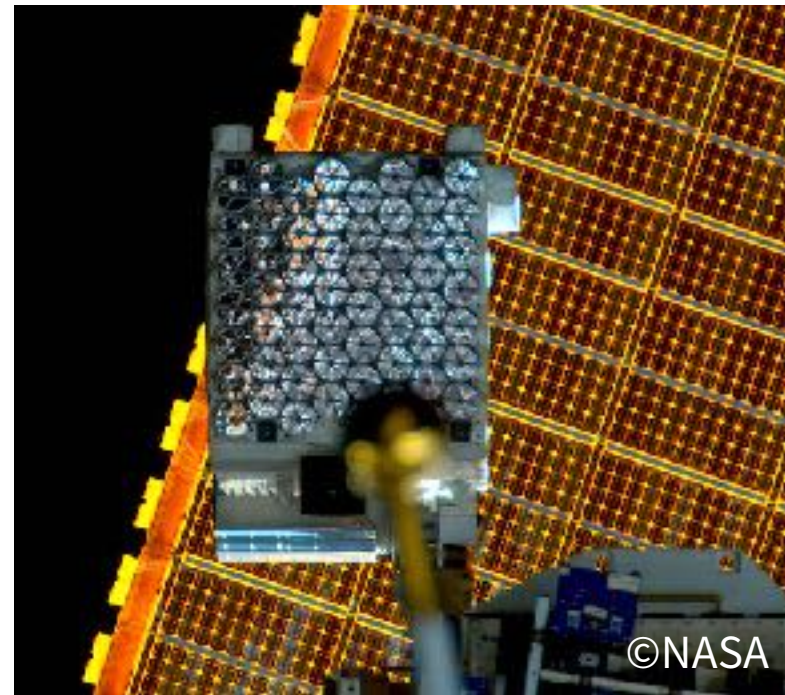
<https://xrism.isas.jaxa.jp/>

**XRISM**

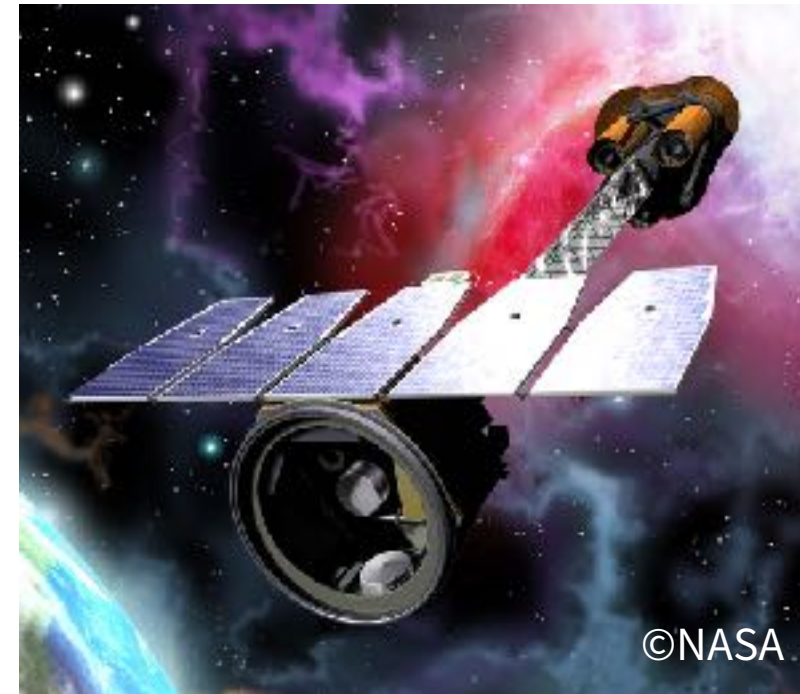
(高エネルギー分解能)

2.3 t

**NICER**  
(高時間分解能)



370 kg



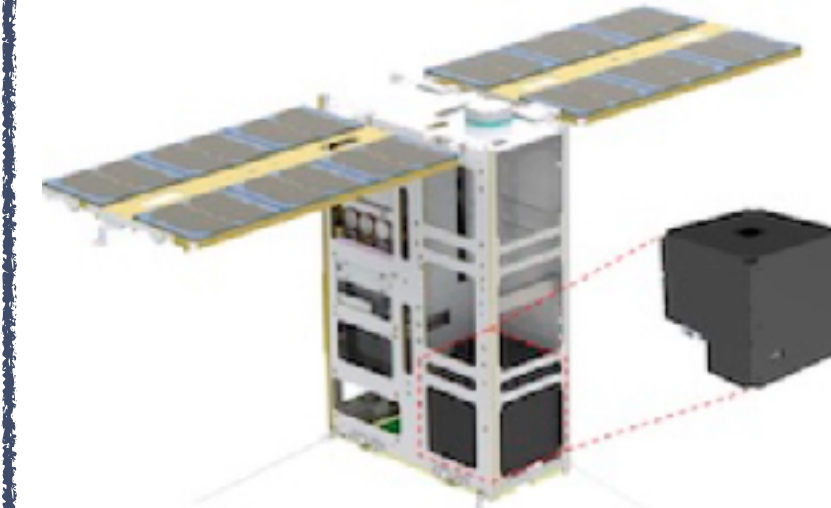
**IXPE**  
(偏光)

340 kg

**MAXI/GSC**  
(全天モニター)



160 kg



**PolarLight**  
(偏光)

<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/missions/polarlight.html>

数 kg  
(偏光計 580 g)

**HaloSat**



<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/halosat/halosat.html>

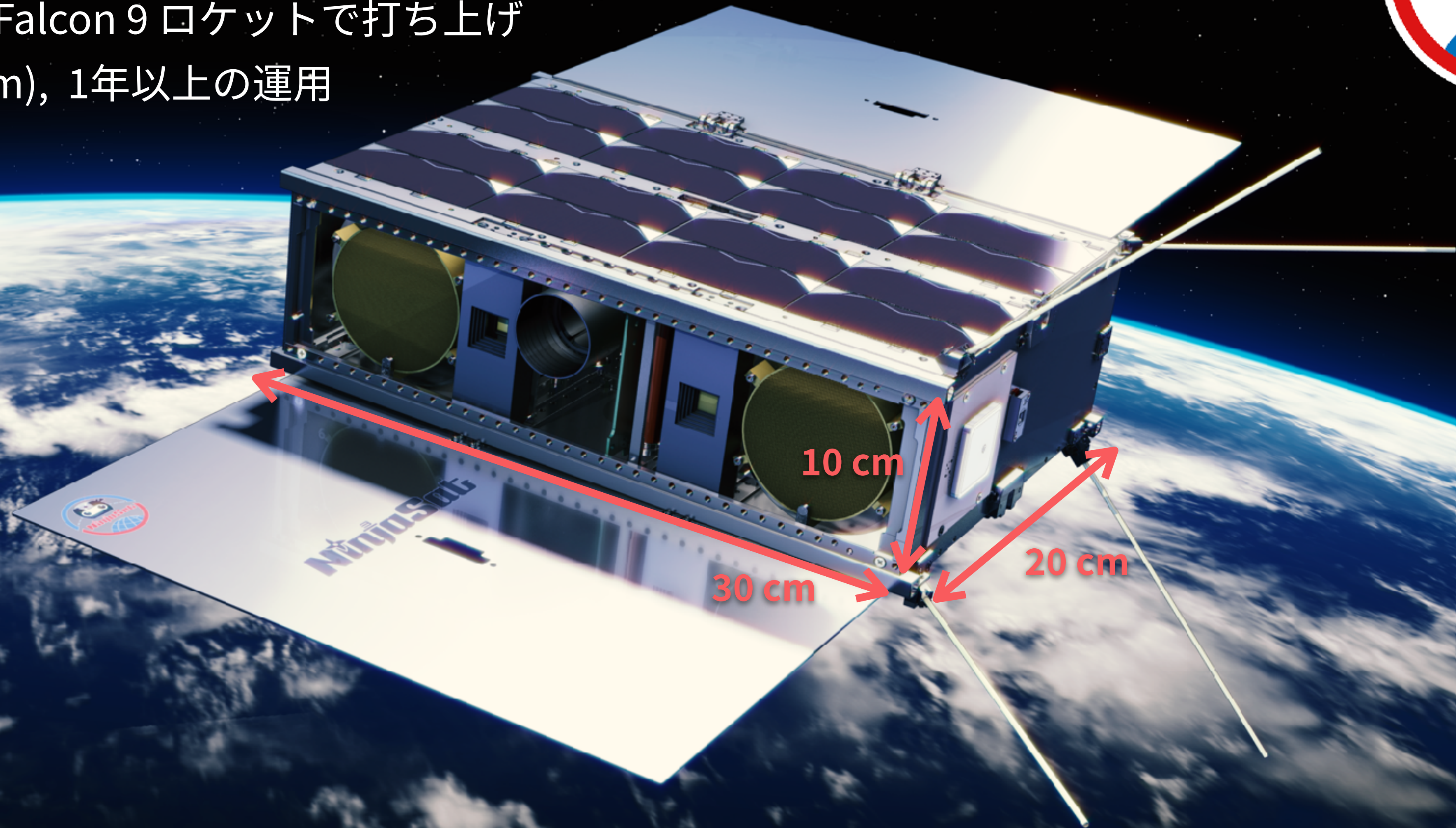
6 kg

- 大型衛星だけで、全天のX線天体すべてを長期にわたって詳細にモニターすることは難しい
- 超小型衛星でも運用方法と天体選定によって大型衛星でできない科学成果を期待できる
  - 長期的な多波長観測, 突発天体の追観測
- 成果の最大化には、多波長・マルチメッセンジャーでの連携・同時観測が鍵になる！



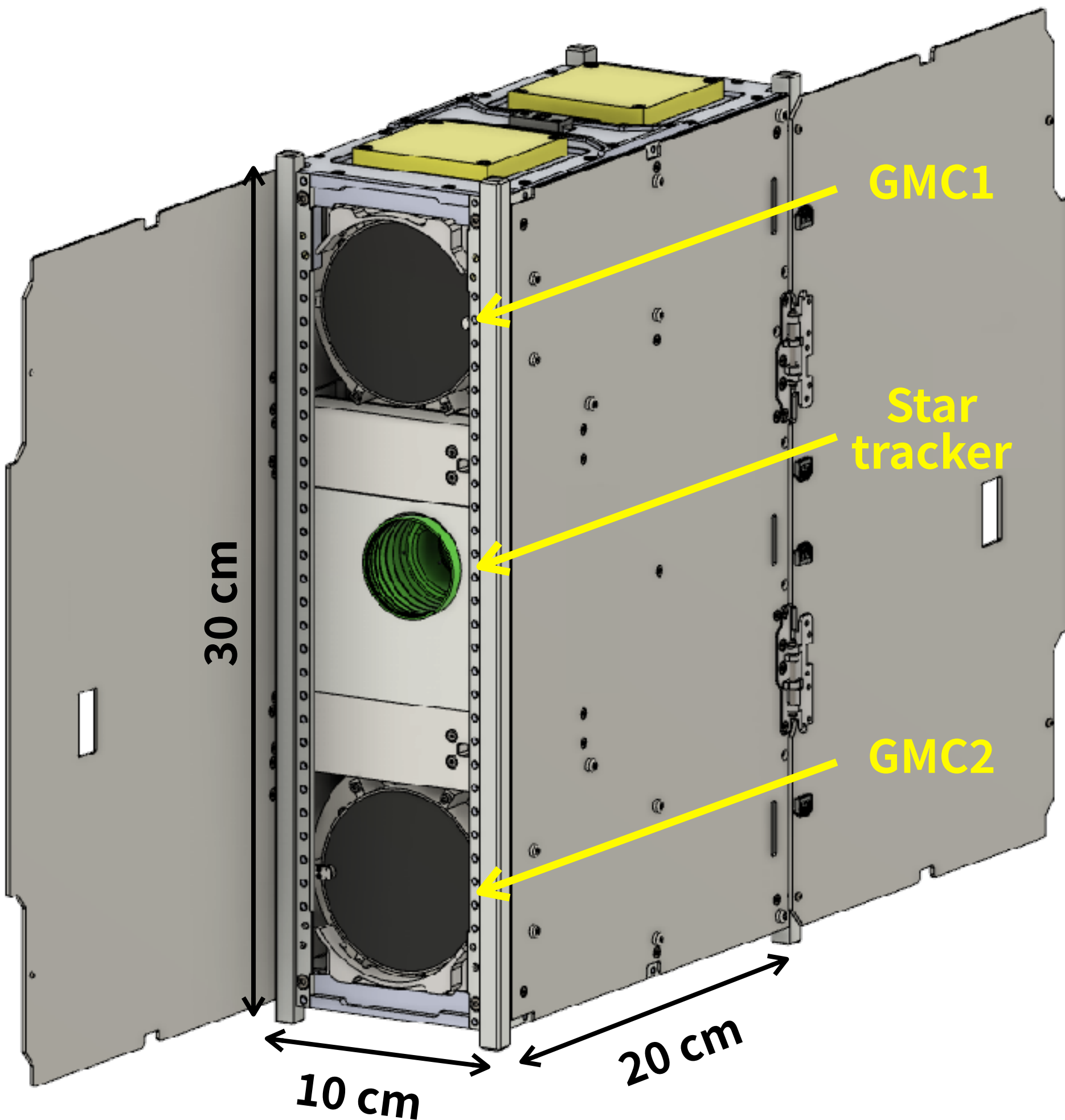
# NinjaSat : 6U CubeSat X-ray Observatory

- 2023年10月 SpaceX Falcon 9 ロケットで打ち上げ
- 太陽同期軌道 (550 km), 1年以上の運用





## 6U サイズの超小型X線衛星



総電力 : 16 W, 総重量 : 8.4 kg

### ■ 主な観測計画

- 明るいX線天体の多波長 (X線/可視光・電波) 観測
- 突発天体の追観測
- 従来の衛星に比べて長期的に実施できるのが最大の特徴

### ■ 衛星バス

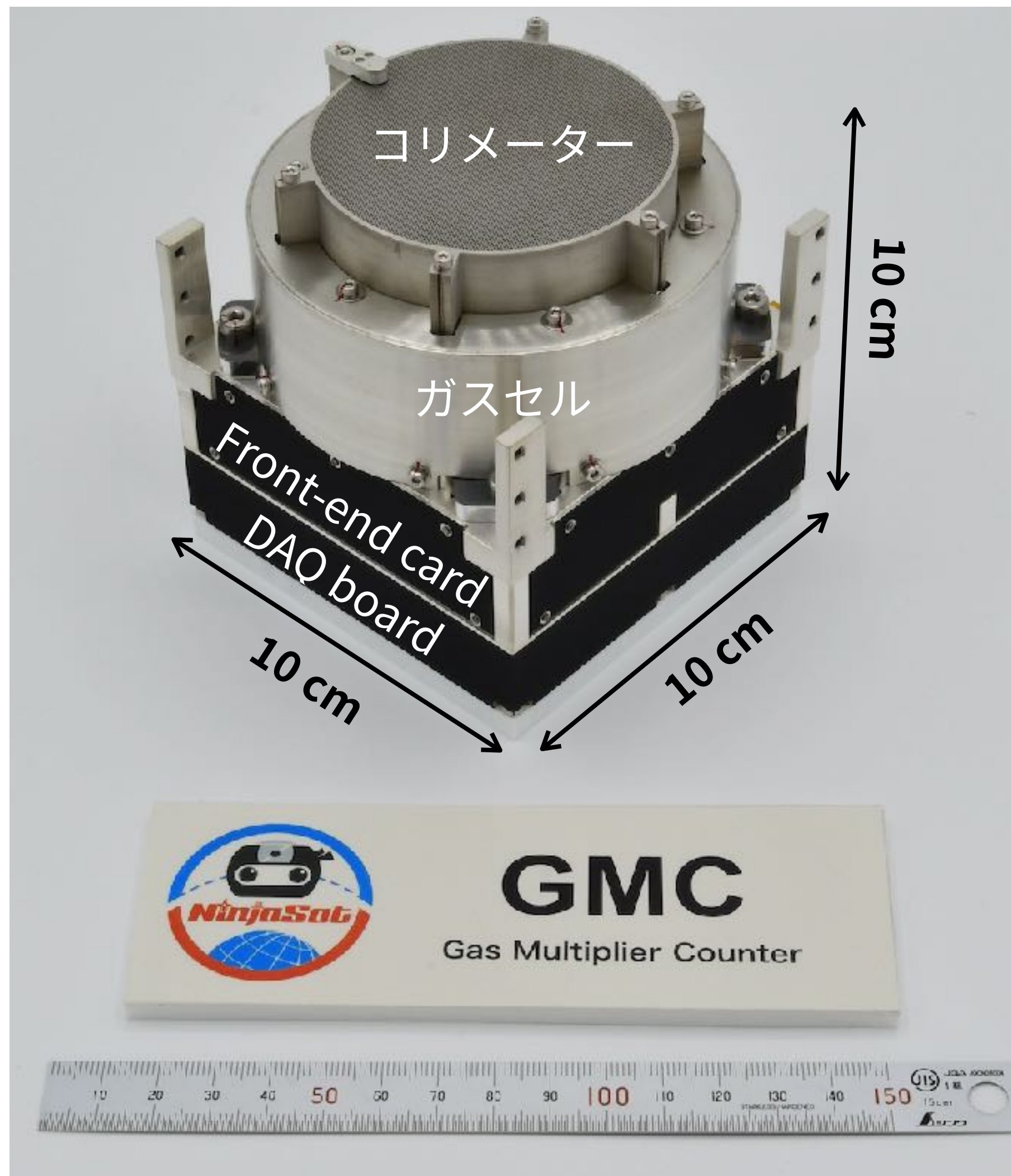
- リトアニアの NanoAvionics 社に委託, 120機以上の実績
- ポインティング精度  $< 0.1^\circ$

### ■ 非撮像型ガスX線検出器 Gas Multiplier Counter (GMC) x 2

- 観測エネルギー帯域 : 2–50 keV
- 視野角 : 2.1 deg (FWHM) w/ コリメーター
- 時間分解能 : 61  $\mu$ s
- 有効面積 : 32 cm<sup>2</sup> @6 keV /2台 (CubeSat では過去最大)
- Sensitivity :  $\sim 10^{-9}$  ergs s<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> (50–100 mCrab) を想定



## Gas Multiplier Counter



質量 : ~ 1.2 kg, 消費電力 : ~ 1.8 W

### ■ 主な観測計画

- 明るいX線天体の多波長 (X線/可視光・電波) 観測
- 突発天体の追観測  
→ 従来の衛星に比べて長期的に実施できるのが最大の特徴

### ■ 衛星バス

- リトアニアの NanoAvionics 社に委託, 120機以上の実績
- ポインティング精度 < 0.1°

### ■ 非撮像型ガスX線検出器 Gas Multiplier Counter (GMC) x 2

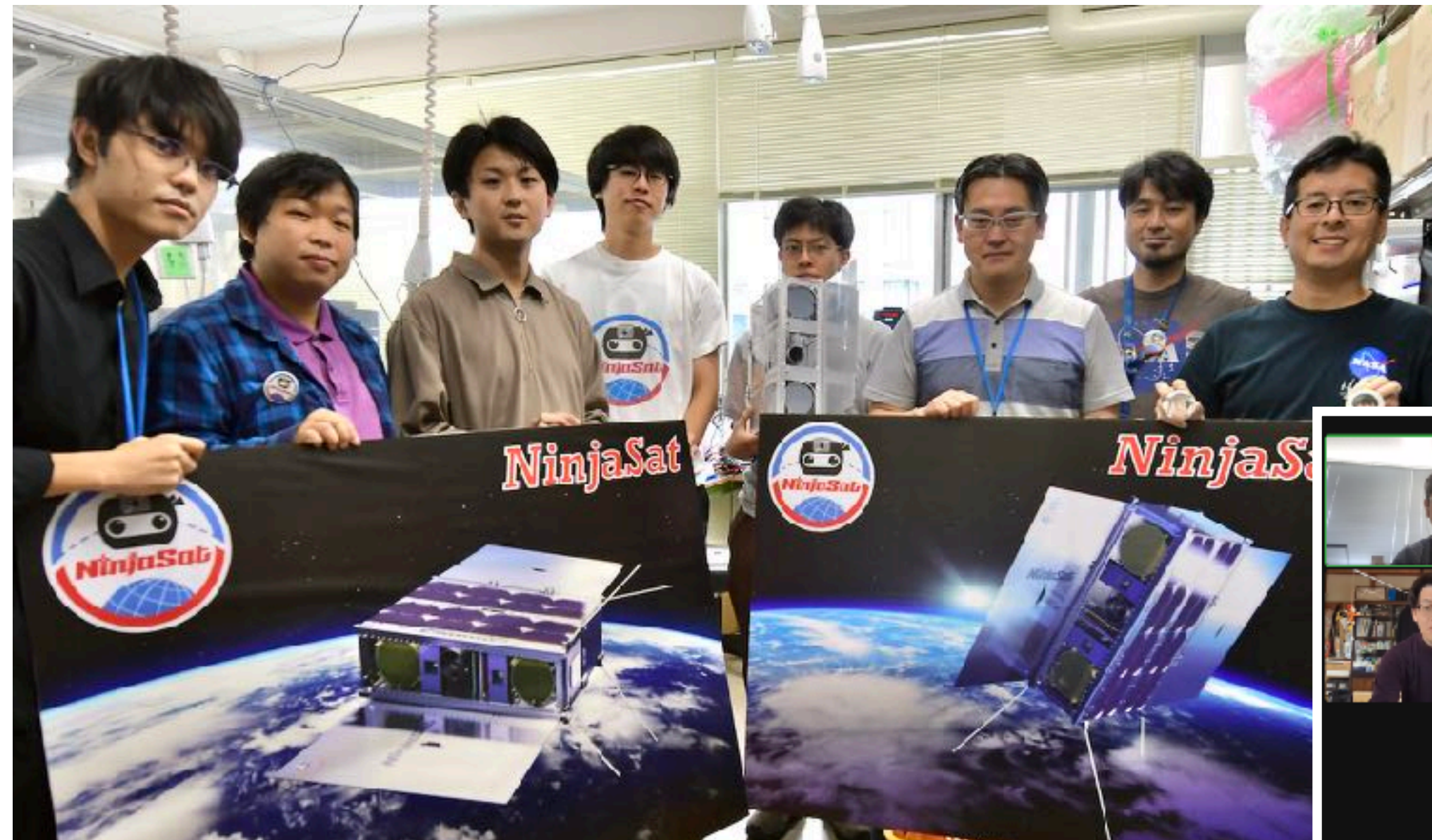
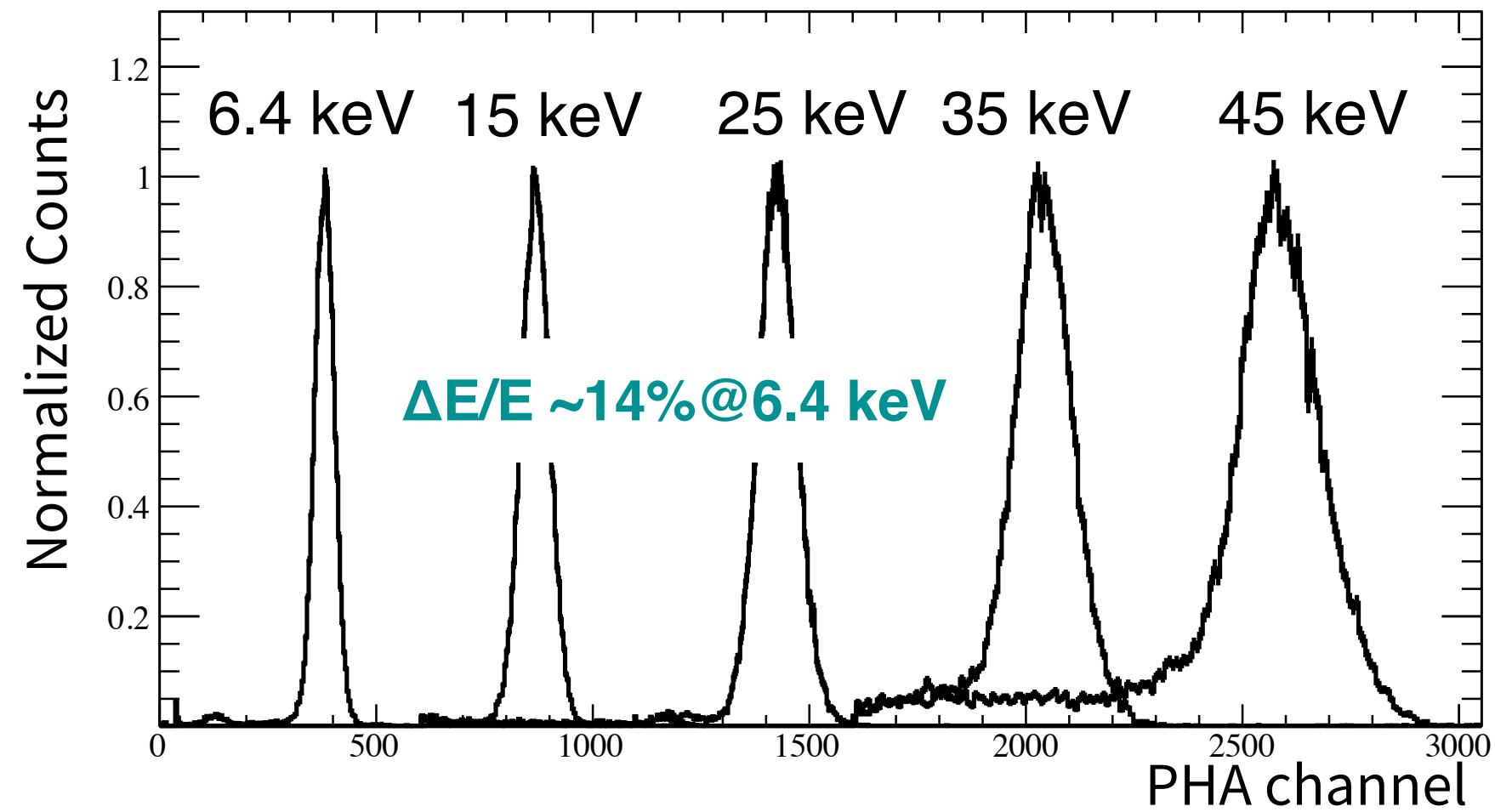
- 観測エネルギー帯域 : 2–50 keV
- 視野角 : 2.1 deg (FWHM) w/ コリメーター
- 時間分解能 : 61  $\mu$ s
- 有効面積 : 32 cm<sup>2</sup> @6 keV /2台 (CubeSat では過去最大)
- Sensitivity : ~ 10<sup>-9</sup> ergs s<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> (50–100 mCrab) を想定



# プロジェクトの進捗



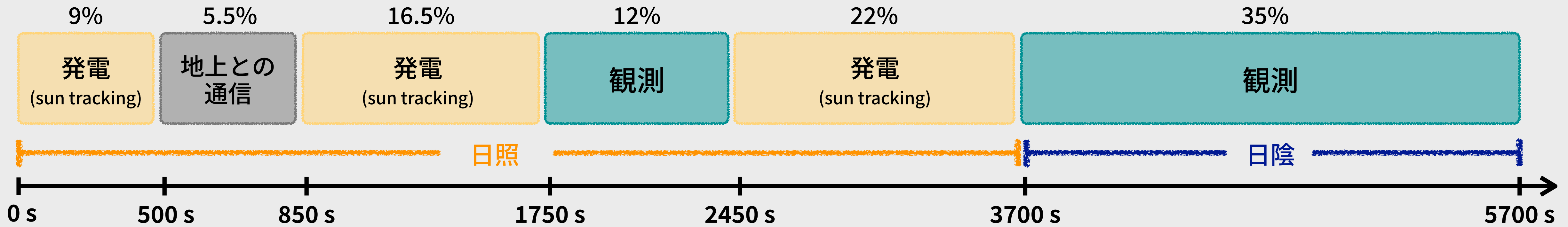
ADC スペクトル @KEK較正試験



- 若手研究者・学生が中心となって自らの手で開発・組み立て
- 我々はペイロード開発に専念し、短期間で打ち上げまで実現 (~4年)



## 運用例 (1周回分)



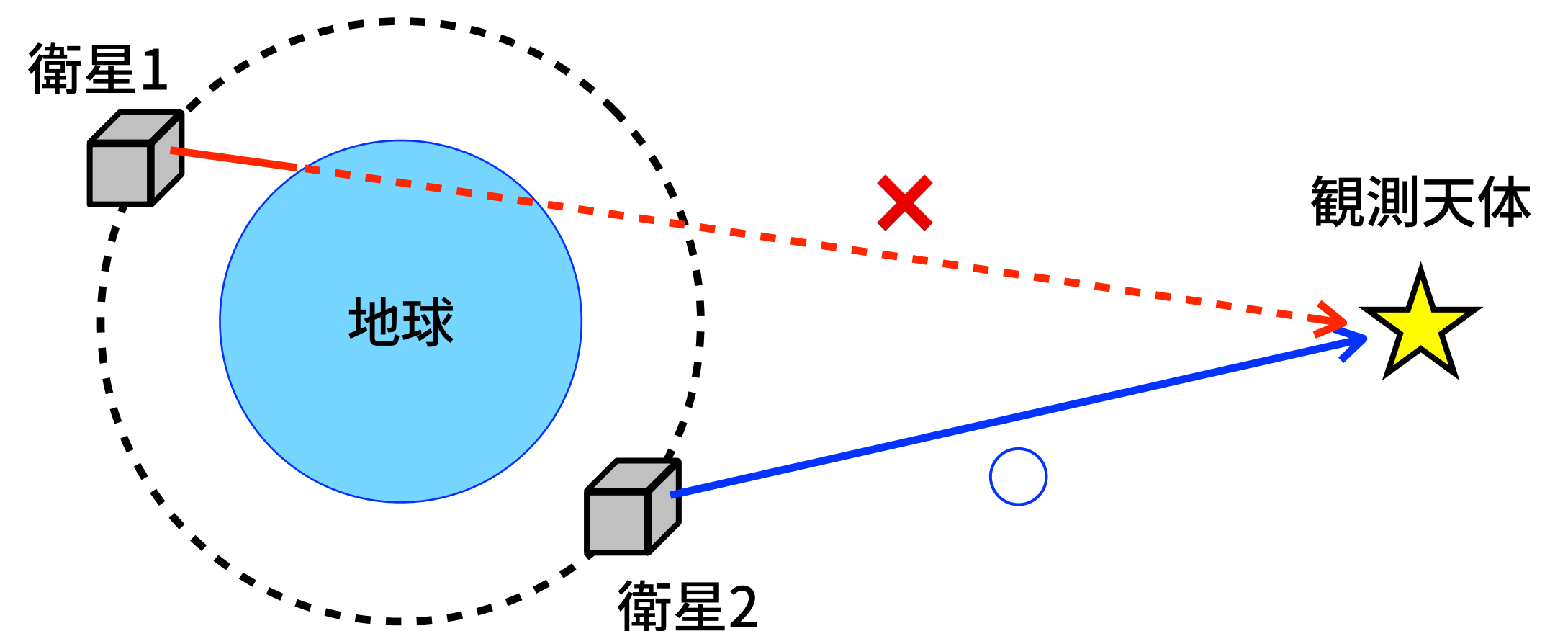
### ■ 3つの運用モード (観測/発電/通信)

- 典型的な観測時間は全体の約 50%
- 地上との通信は 1-2回/日 (定常運用時)

### ■ 将来的には複数台の運用・連携観測も視野

- 充電・地没で観測できない時間を互いにカバー
- 開発・打ち上げコストは大型衛星の 1/100 以下

### 複数台による連携観測 (将来案)





# X線連星の多波長観測・追観測

## ■ X線連星

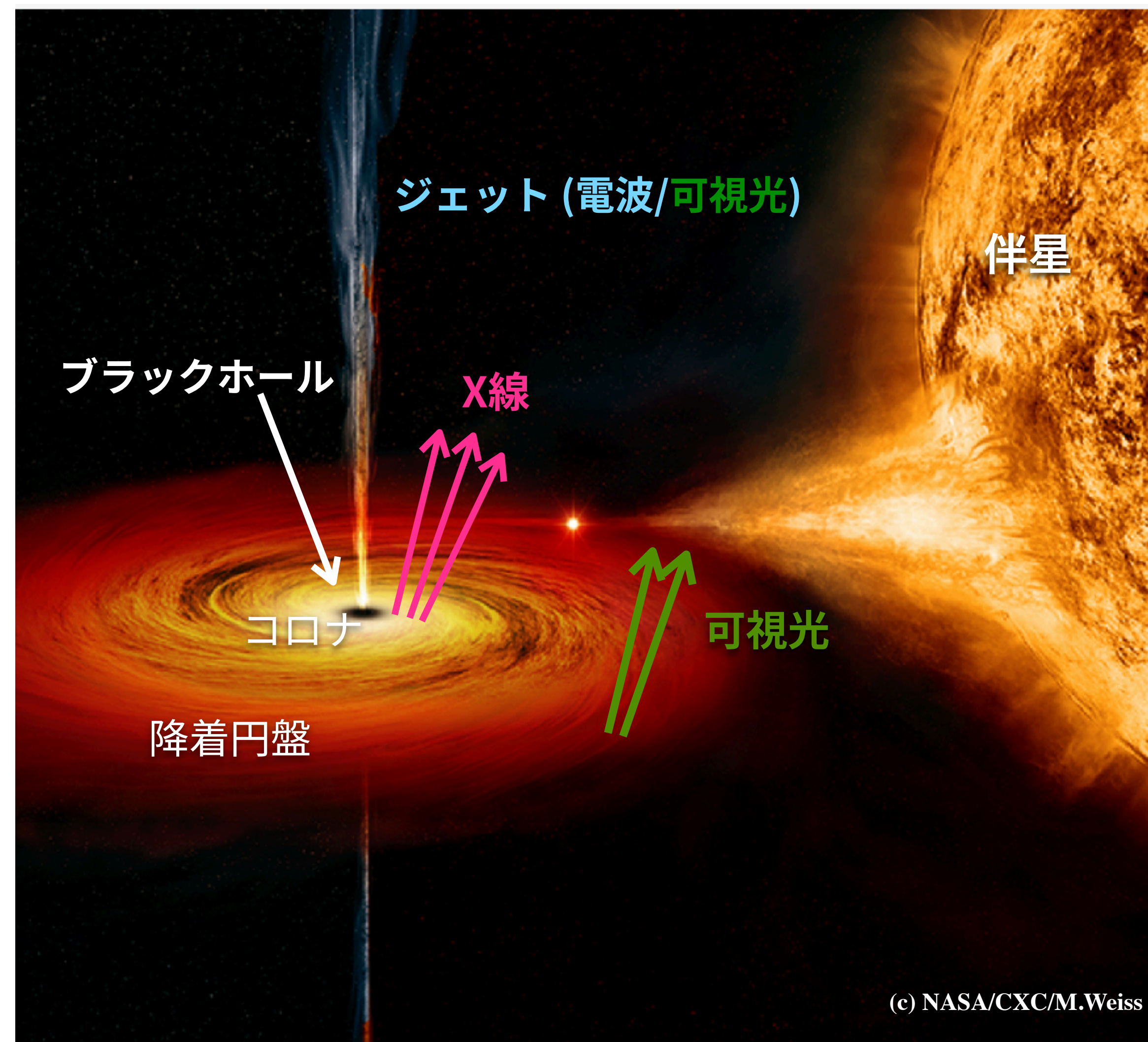
- 伴星からコンパクト天体に質量降着
- 電波からX線まで広い波長帯域の電磁放射
- ミリ秒~数ヵ月を超えるタイムスケールで明るさ変動

## ■ 多波長観測 (X線/可視光/電波)

- 系全体の包括的な理解のために重要
- しかし、これまでの観測は短時間がほとんど
- NinjaSat なら1ヶ月を超える観測が実現可能

## ■ 追観測

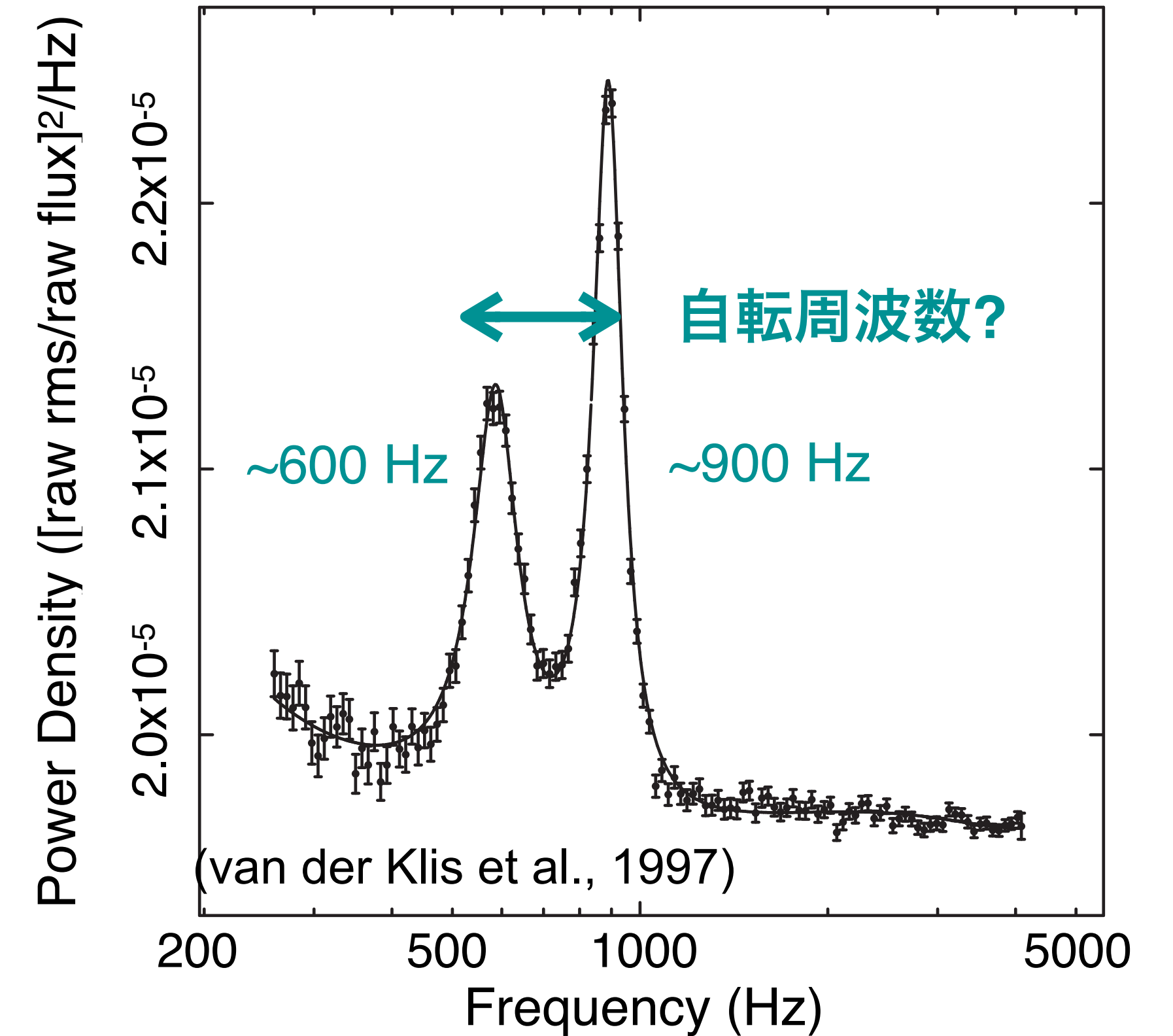
- 突発天体発見からおおよそ1日
  - 地上との通信頻度 (1-2回/日) による制約
- ただし、追観測後は長期観測に移行可能







### Sco X-1 twin kHz QPO



- CGW はこれまで未検出。S/N 向上には中性子星の自転周波数でデータを畳み込む必要あり
- CGW 源候補の Sco X-1 は自転周波数が未知。キロヘルツ準周期振動 (kHz QPO) の差分周期が対応?
- Sco X-1 は大型衛星には明るすぎて観測が難しく、超小型衛星向き  
→ NinjaSat で占有観測し、自転周期を長期的にモニタリングできないか？





- 超小型衛星でも天体選定と運用方法によって大型衛星でできない科学成果を期待できる
  - 成果の最大化には、多波長・マルチメッセンジャーでの連携・同時観測が鍵
- 超小型X線衛星 NinjaSat が 2023年10月に打ち上げ予定
  - 2-50 keV に感度を持つ非撮像型ガスX線検出器 (GMC) を2台搭載
- 超小型衛星の運用上の柔軟性を活かした観測を実施
  - 明るいX線天体の長期的な多波長同時観測
  - 突発天体の追観測を実施
  - 定常重力波検出に向けたX線による中性子星の自転周期のモニター