

# 地球磁気圏X線撮像衛星

## GEO-X

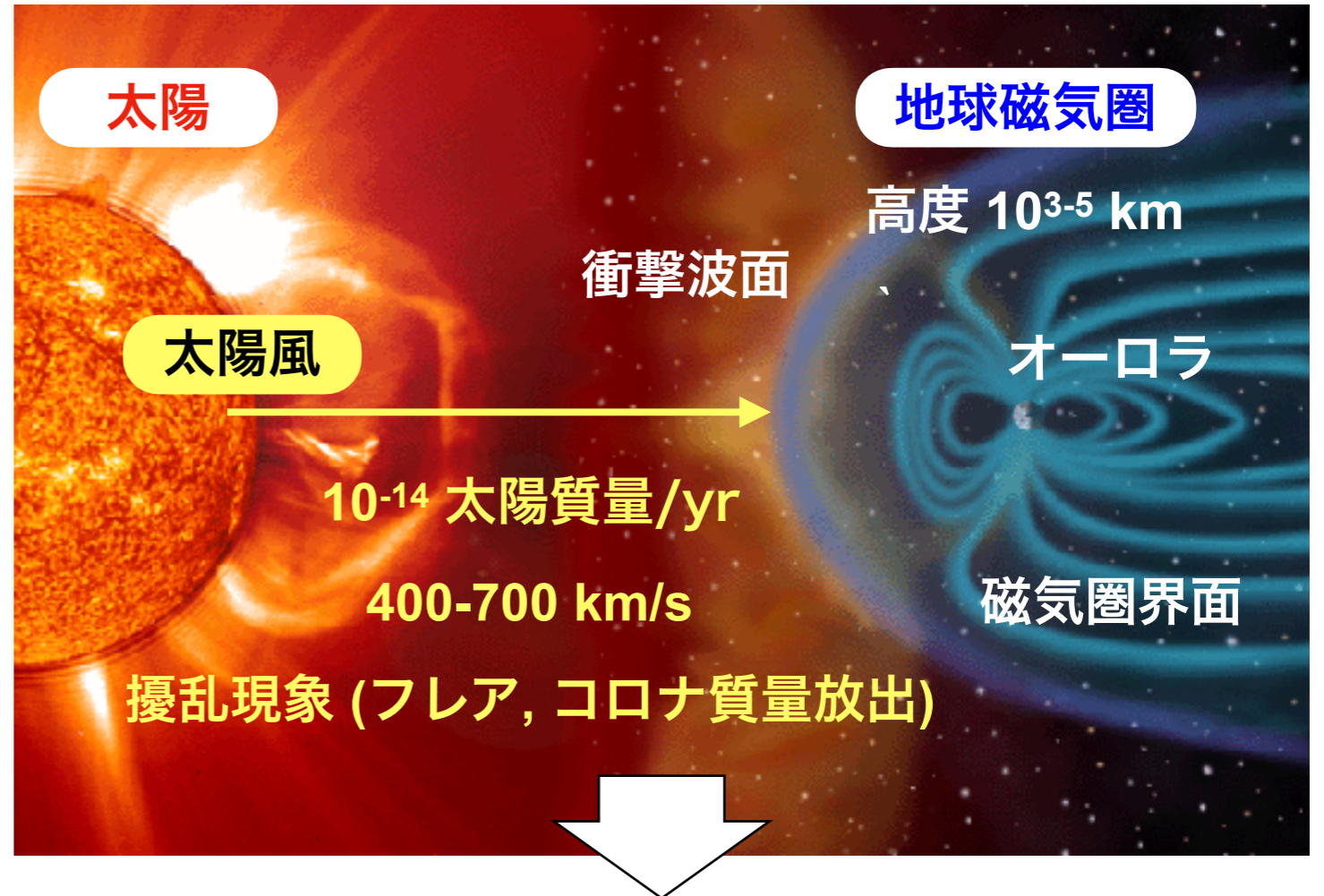
江副 祐一郎, 船瀬 龍, 永田 晴紀, 三好 由純, 中嶋 大, 三石 郁之, 石川 久美,  
川端 洋輔, 中島 晋太郎, Landon Kamps, 沼澤 正樹, 松本 洋介, 細川 敬祐,  
笠原 慧, 平賀 純子, 満田 和久, 藤本 正樹, 上野 宗孝, 山崎 敦, 長谷川 洋, 三谷 烈史,  
川勝 康弘, 岩田 隆浩, 小泉宏之, 佐原 宏典, 金森 義明, 森下 浩平  
ほかGEO-X チーム

2022年1月18日 超小型衛星利用シンポジウム



# はじめに

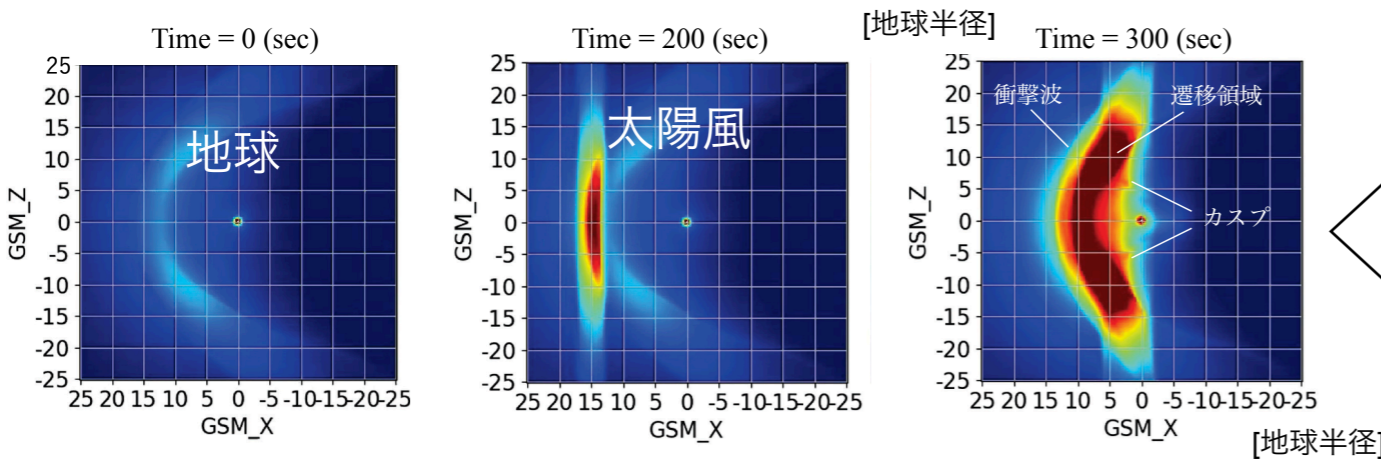
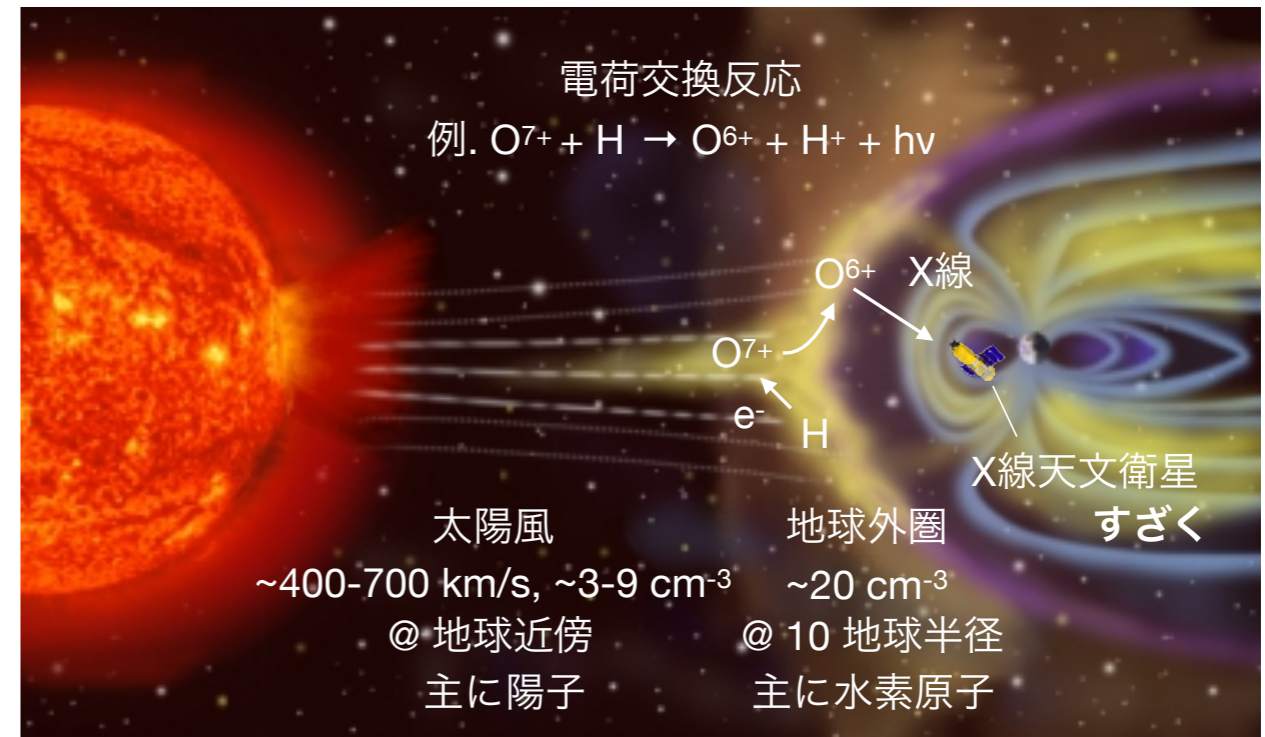
- **地球磁気圏** = 太陽風と地球磁場の相互作用で形成。大規模エネルギー解放や大局的トポロジー変化を生じるダイナミックな系。
- 人工衛星による「**その場**」**観測**が主流。大局構造とその変化の把握は困難。
- **独自の超小型衛星**で地球磁気圏の大局構造の可視化を**世界で初めて**実現し、動的に変化する磁気圏システムを明らかにする。



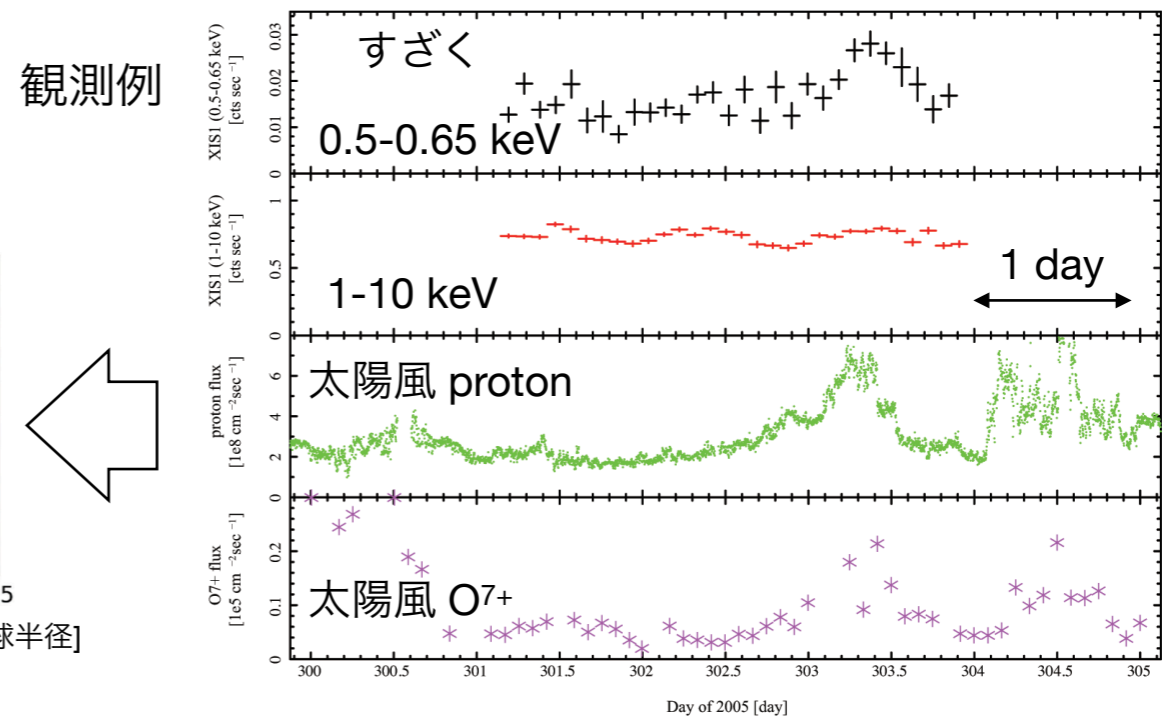
**地球惑星科学** 恒星-惑星相互作用の理解  
**天文** 宇宙プラズマ, 系外惑星環境の理解  
**宇宙天気** 地磁気・大気擾乱による地上・衛星障害

# 研究の背景

- 天文観測中の偶然の発見, **地球周辺からの太陽風電荷交換X線** = **世界最高感度日本X線天文衛星すざく (2005-15)**による成果が強い証拠に。
- 理論的研究の進展, 衝撃波通過後の太陽風プラズマは磁気圏界面との遷移領域で密度を増す = 「**磁気圏の可視化**」の可能性を強く示唆, しかし天文衛星は磁気圏内からの観測であり**未実証**。



X線発光モデル (三好, 松本, 江副)

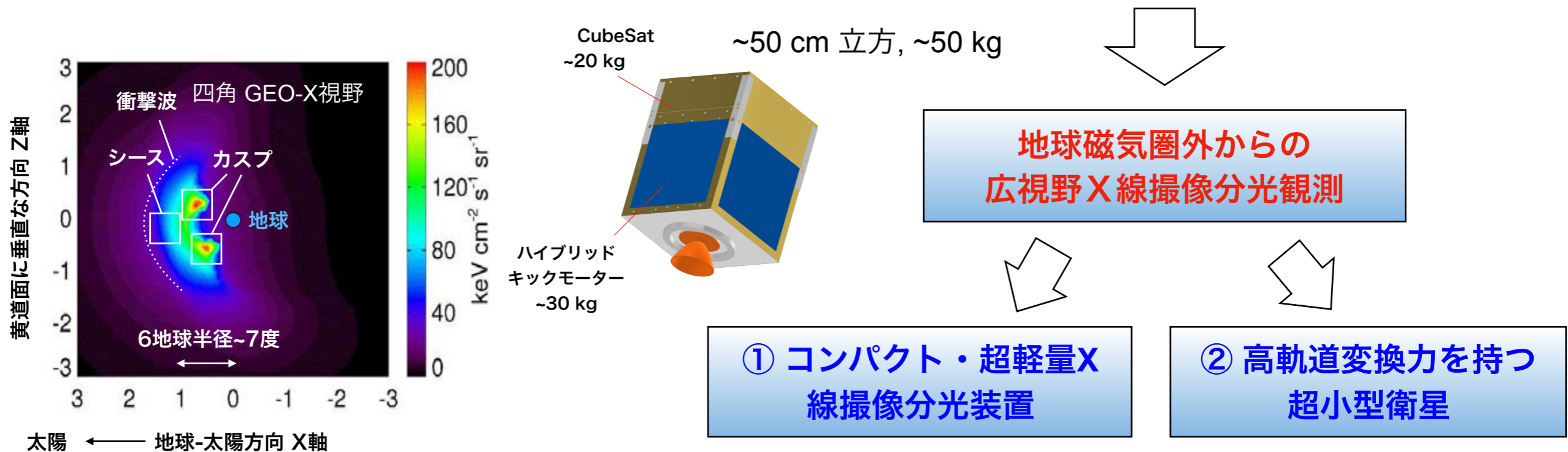


# GEO-X 計画

JAXA 宇宙研 小規模計画 WG  
として 2018年より活動

- 地球磁気圏のX線による可視化と磁気圏ダイナミクスの理解を目標とした、**世界初の地球磁気圏X線撮像を行う超小型衛星**。

- 基本目標：地球磁気圏の太陽側に存在する衝撃波・遷移領域(シース)およびカスプを撮像し、マクロスケール構造を理解する。
- 発展目標：コロナ質量放出などに伴う太陽風動圧の変動によるダイナミックな構造変動、特に動圧上昇時に境界層が地球側に移動する様子、惑星間空間磁場の変化によってカスプ領域が低緯度に移動する様子を可視化し、ダイナミックな変動を理解する。



月近傍(高度50地球半径)からの  
X線観測シミュレーション例

Robertson+06 JGR

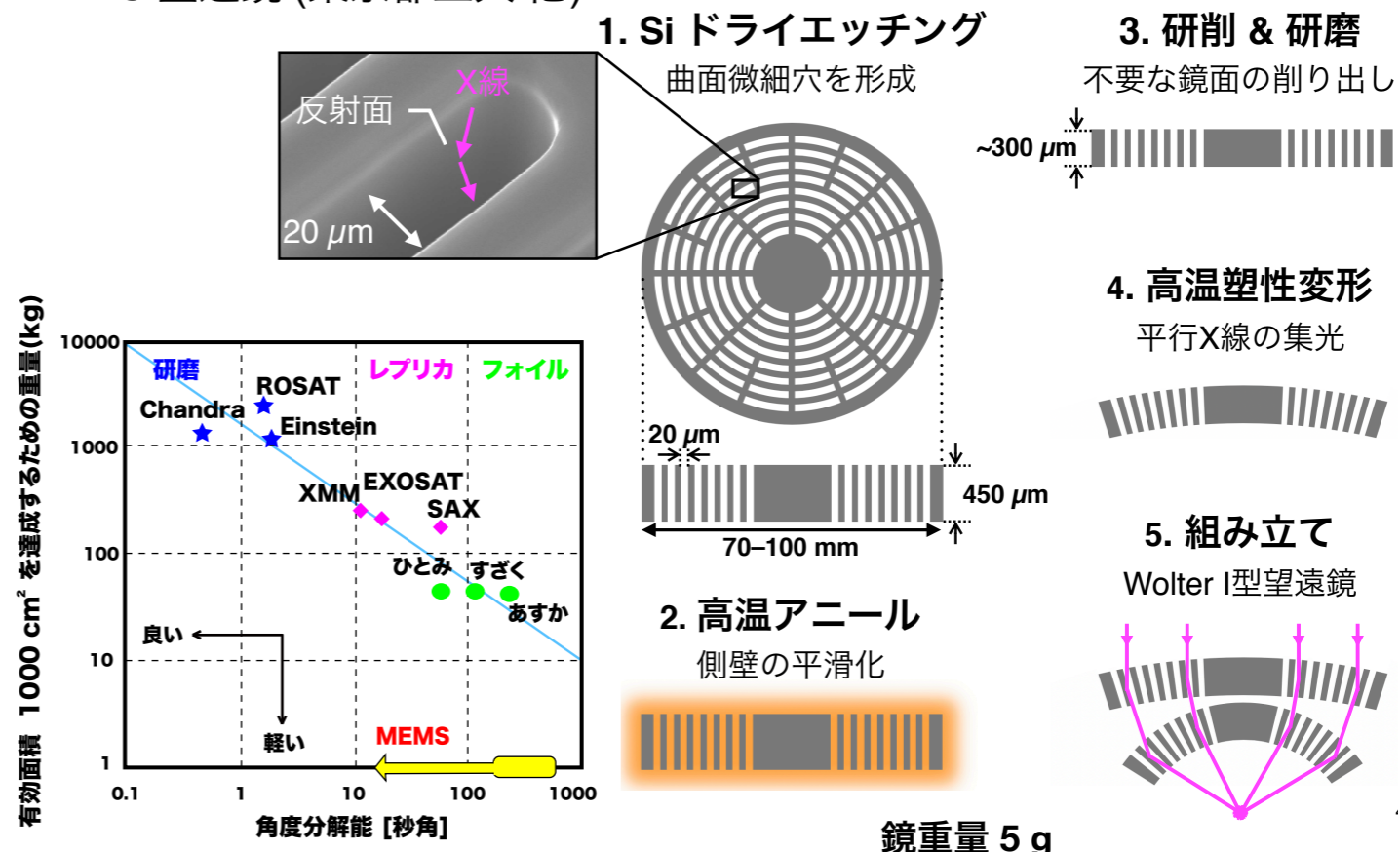
超小型衛星を H3 ロケットなどの相乗りで、太陽活動極大が期待される  
2023-25年頃に打ち上げて、1年以上運用へ。

# ① 観測装置

- 超小型衛星の限られたリソース内で科学要求を満たす**観測装置**。
- すざく衛星に匹敵する**広がった放射への感度**を持ちつつ、サイズ1/15 (焦点距離 25 cm)、重量を1/4 (10 kg)。
- 最先端技術を組み合わせて実現。

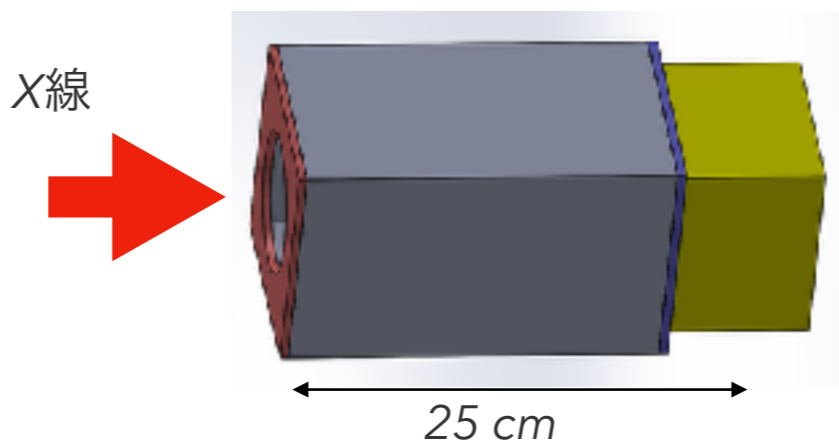
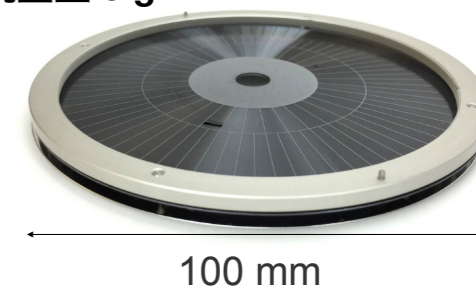
エネルギーバンド	0.3-2 keV
視野	5°角 (5 R <sub>E</sub> )
角度分解能	10分角 (0.2 R <sub>E</sub> )
時間分解能	10分-1時間
広がった放射感度	10 cm <sup>2</sup> deg <sup>2</sup> at 0.6 keV
エネルギー分解能	80 eV at 0.6 keV
可視光遮光率	10 <sup>-8</sup>

MEMS 望遠鏡 (東京都立大 他)

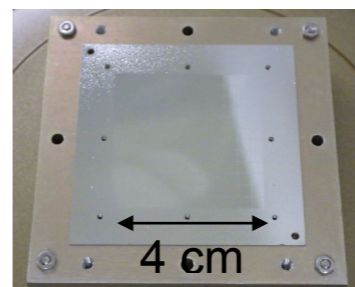


JAXA 宇宙技術ロードマップ「獲得すべきキー技術」

Ezoe+10 MSTほか、  
特許取得11件出願3件、受賞4件



可視光遮光フィルタ  
片面 Al 150 nm 厚付き  
ポリイミド 200 nm 厚  
(名古屋大)

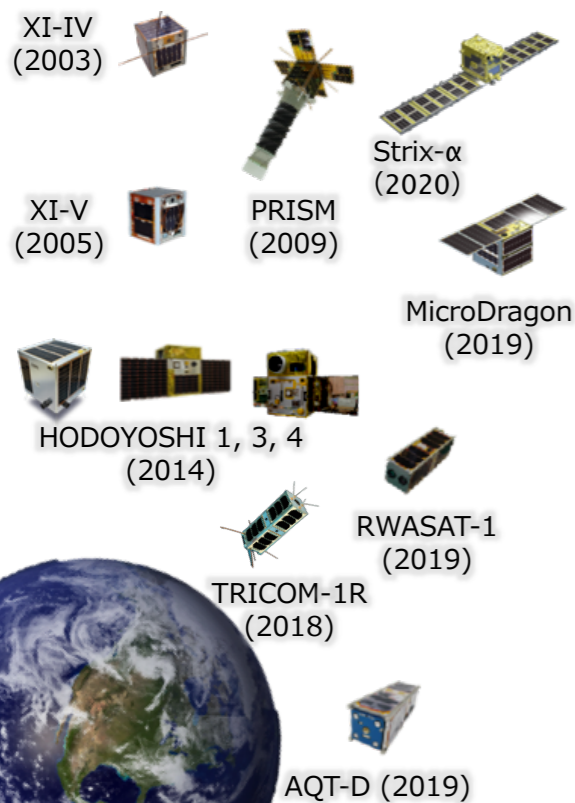
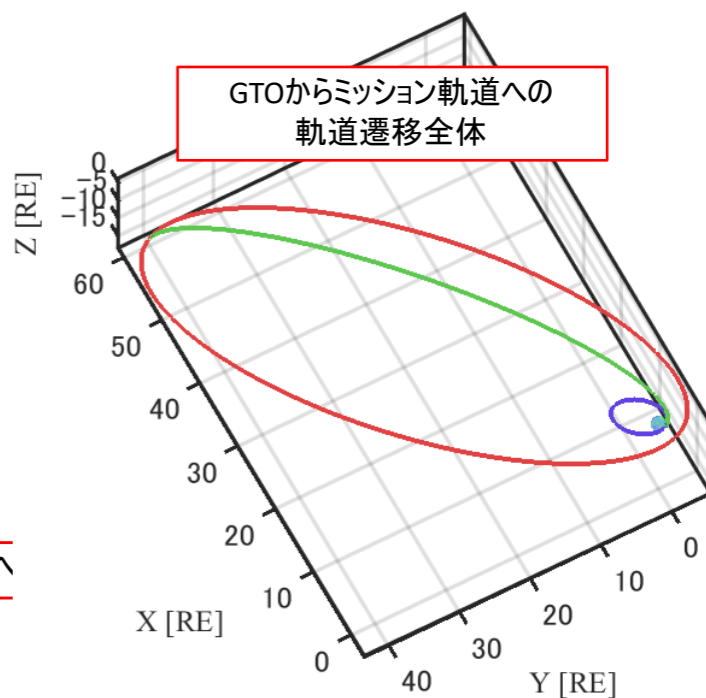
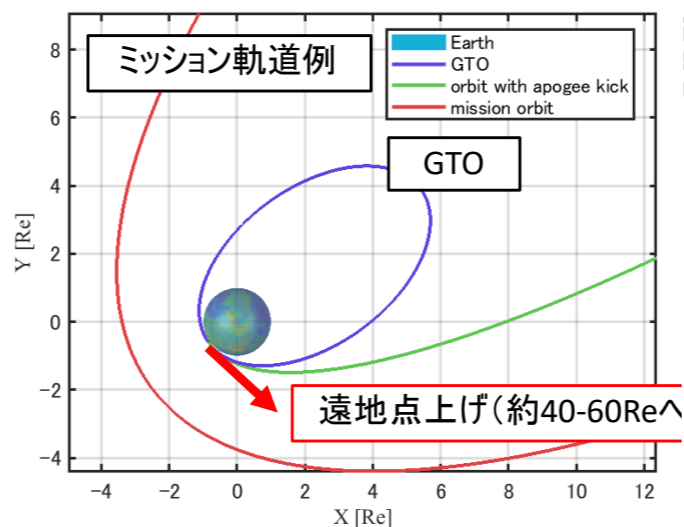


X線CMOS (関東学院大 他)  
Nakajima+20 SPIE

# ② 超小型衛星

- さまざまな相乗り機会に柔軟に対応できる高推力推進系付き**超小型衛星**。
- 相乗りの標準的な規格である **50 cm 立方, 50 kg** を満たしつつ必要性能を満たす = 18U CubeSat & ハイブリッドキックモーター。

高度 1200 x 47万 km  
放射線 10 krad /yr

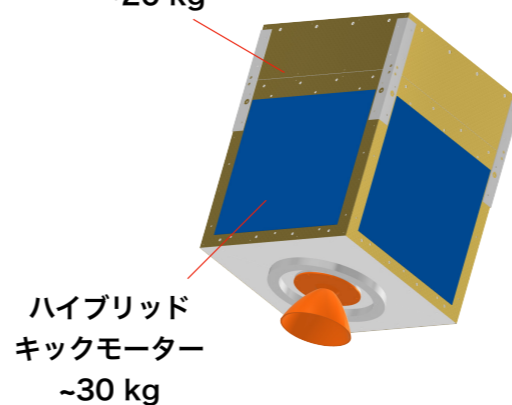


深宇宙探査への進出  
(2014~)

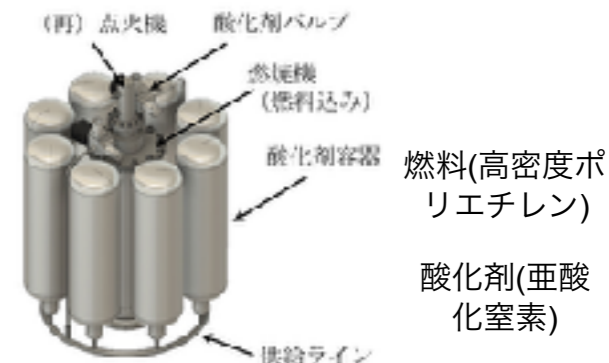


超小型衛星開発の実績  
(JAXA 宇宙研/東大)

CubeSat  
~20 kg



GEO-X 用  
キックモータ



EM 燃焼試験 (北海道大)

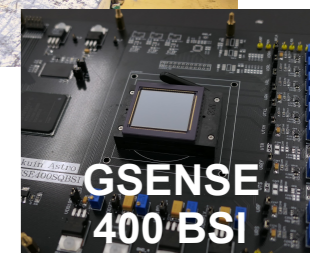
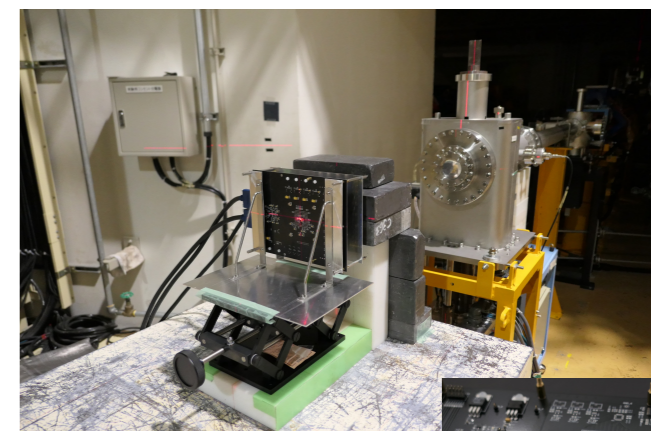


サイズ	50 cm 立方
重量	50 kg
電力	100 W max
データ送受信	X-band
軌道変換能力 $\Delta v$	1000 m/s

# 開発の現状

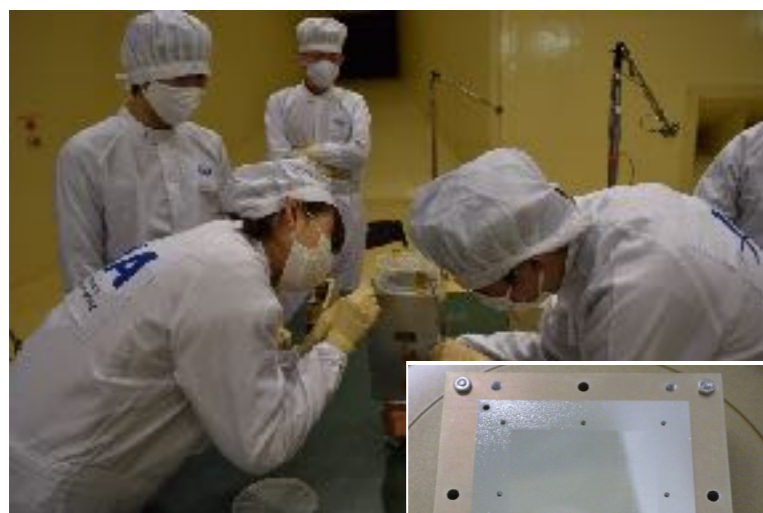
- 2021年度 **衛星開発のための大型予算**を獲得。
- **衛星**：衛星バスの詳細設計を進めている。**推進系**もEMの実証試験(推力履歴, 気密, 断熱等)を完了, フライトモデル製作の物品を手配。
- **観測装置**：各コンポの試験モデル(EM)の開発と性能評価を進めている。可視光遮光フィルタは可視光透過率を実証, 音響試験も問題なく完了。望遠鏡もSTMで音響試験を問題なく完了。EM 望遠鏡を組み立て中。検出器もX線評価 & バックエンド回路完成。間もなく EM 装置が完成。
- **サイエンス**：軌道上での観測シミュレーションを構築中。既存の天文衛星データの系統解析とシミュレーションの比較を実施。
- 現在, **GTO以遠の相乗り打ち上げ機会**を模索中。

検出器 放射線照射試験 @ HIMAC

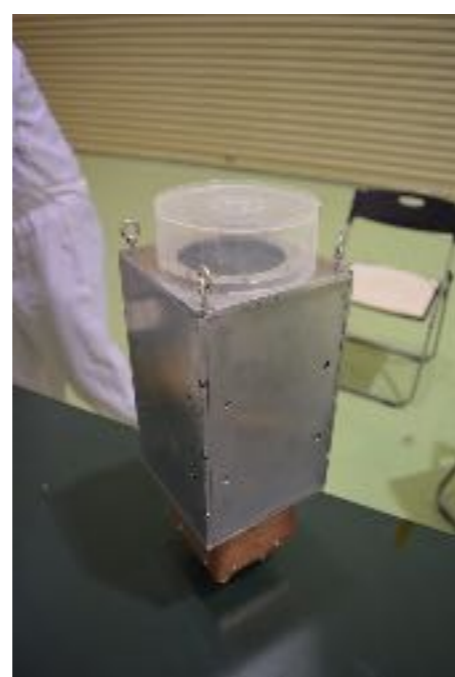
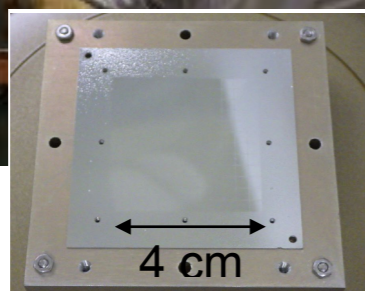


ZDAQ SoC ボード (FPGA+CPU)

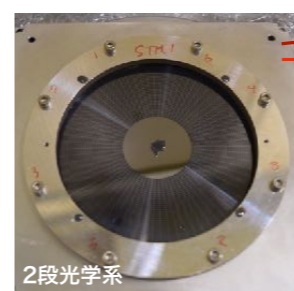
望遠鏡, 可視光遮光フィルタ  
音響試験 @ JAXA 筑波



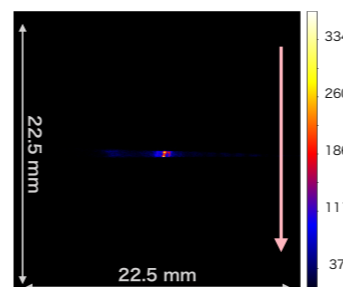
可視光遮光フィルタ  
試作品



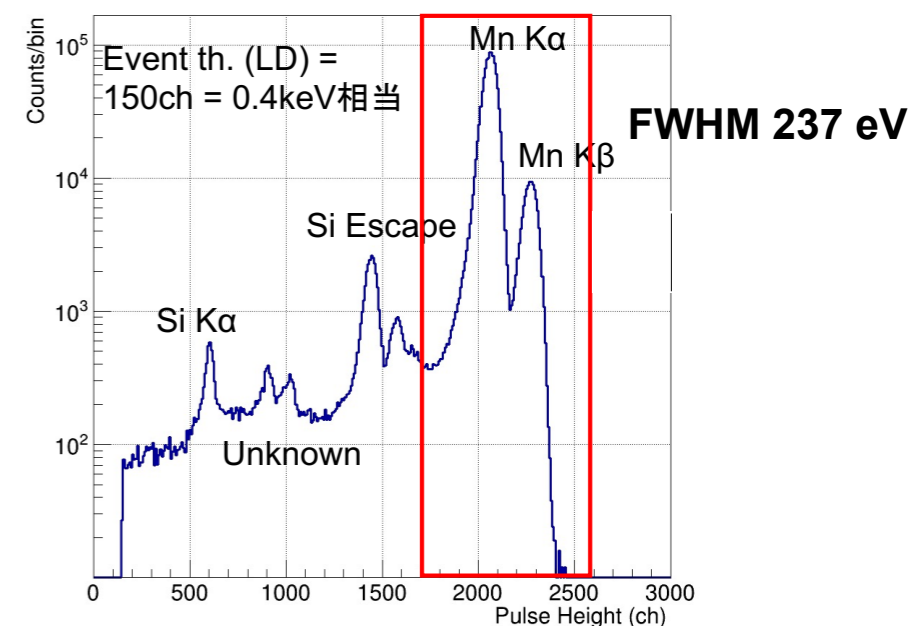
観測装置ハウジング



望遠鏡 試作品



鏡1枚 FWHM 2'  
Fukushima+21 MNC



露光時間 0.4 sec, 冷却温度 -15°C  
Nakajima+21 IEEE NSS

# GEO-X の意義と発展性

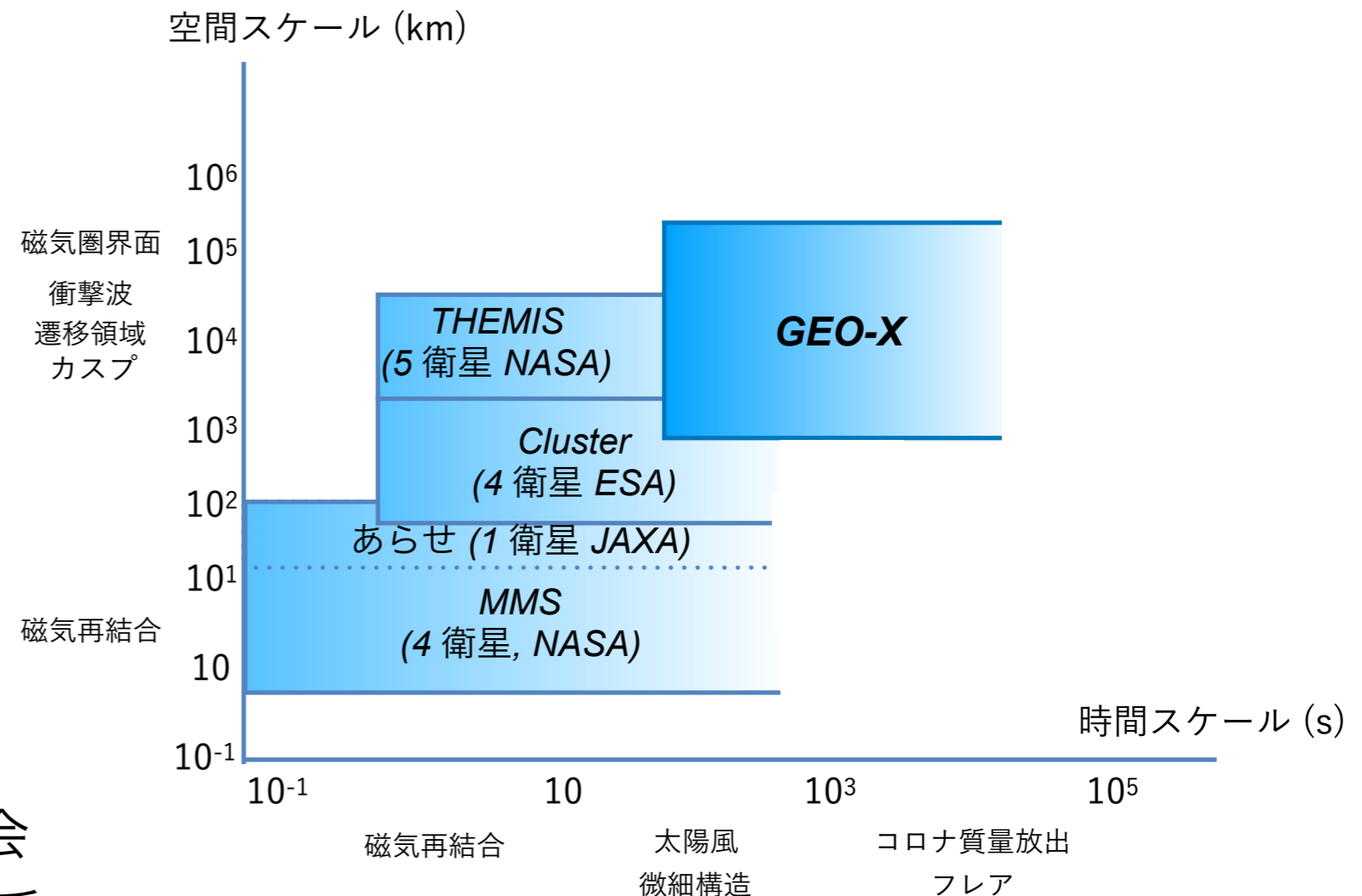
- 科学的意義：地球磁気圏観測を「点」から「面」へと発展し、磁気圏の大規模構造とそのダイナミックな変化を理解する。

= 数億円の超小型衛星で、百億円を超える「その場」複数機衛星に優る空間のカバー性を持つ

- 技術的意義：

(1) 観測技術の確立による大型撮像計画への発展、木星・火星等探査への応用  
= 太陽系X線天文学の創成

(2) さまざまな打ち上げ機会に対応できる、高推力推進系を持った超小型衛星 = より高頻度の深宇宙探査へ



Ezoe+20 SPIE

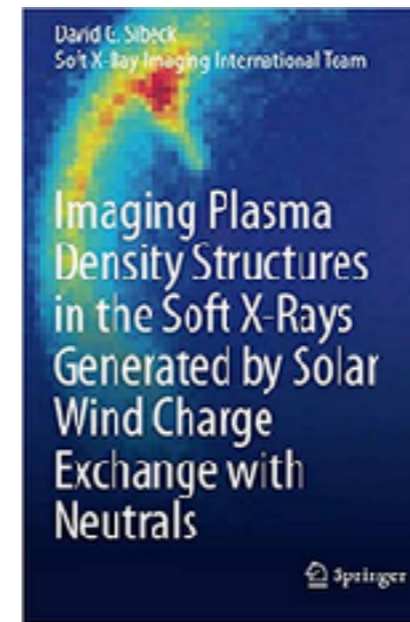
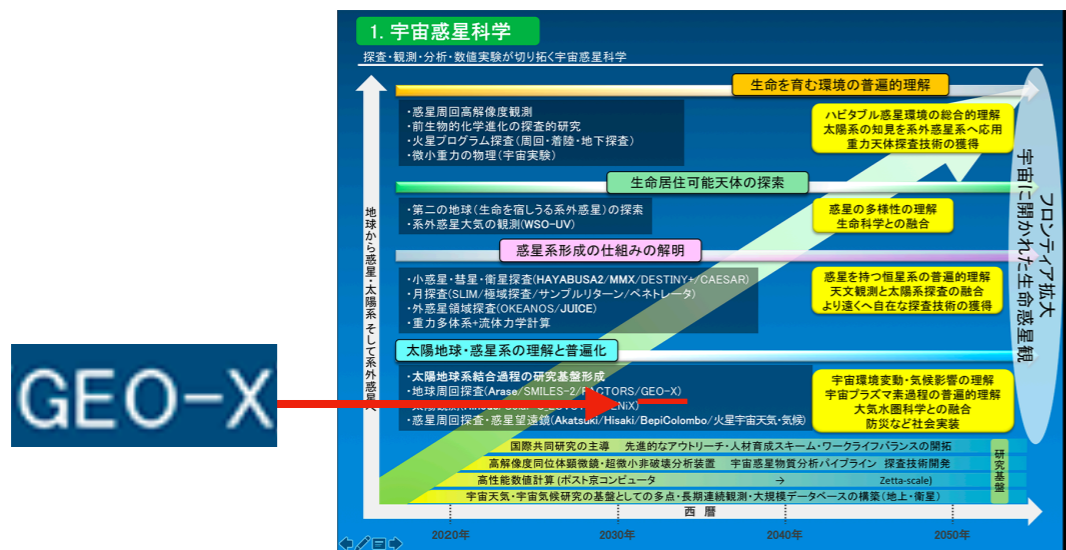


# 国内外における位置づけ

- 国内において、太陽地球惑星圏コミュニティおよび学術会議 地球惑星科学委員会のロードマップに、はやぶさ2等の大型計画と並び記載。

学術会議 地球惑星科学委員会 ロードマップ

地球磁気圏X線撮像に関する書籍を出版



江副  
石川  
三好

- 海外も地球磁気圏X線撮像を計画。  
SMILE 衛星 (欧中), STORM 衛星 (米国)
- GEO-X は打ち上げ年・衛星軌道・装置で**優位**。  
海外研究者から協力の申し出, サイエンスで交流, 本も執筆。
- 科研費 特別推進研究, JAXA 小規模計画※等に採択。 ※ 打ち上げ機会確保の条件付き

科研費 令和3~6年度 特別推進研究

English

X線で挑む地球磁気圏のグローバル撮像

研究内容 | 研究組織 | 研究成果 | 会議・シンポジウム | リンク | 募集情報

令和3~6年度 特別推進研究

X線で挑む地球磁気圏のグローバル撮像

ホームページ <https://tokusui-geox.jp>

# まとめ

- GEO-X は**X線による磁気圏撮像**という革新的なアプローチを世界に先駆けて実現する超小型衛星。
- 太陽風に対する地球磁気圏のマクロスケールの構造応答という**根本的な課題**に挑む。
- 開発は順調。現在、打ち上げ機会を模索中。
- 獲得技術を応用し、「**太陽系X線天文学**」の創成へ。近地球軌道や月周回の超小型衛星のアイディアも持っている。= 今後の超小型衛星利用に大きな期待。
- 関係者の方々に心より御礼申し上げます。**2月16日**に研究会を開催。