

大中小型の紫外線宇宙望遠鏡とOISTERの 連携が拓く恒星フレア研究の最前線

行方 宏介/Kosuke NAMEKATA

(1) NASA/GSFC & (2) 京都大学/白眉センター



内容

- 2020-30年代の大中小型の「紫外線」宇宙望遠鏡とのシナジーについて、恒星・系外惑星研究を主な例に話す予定です。

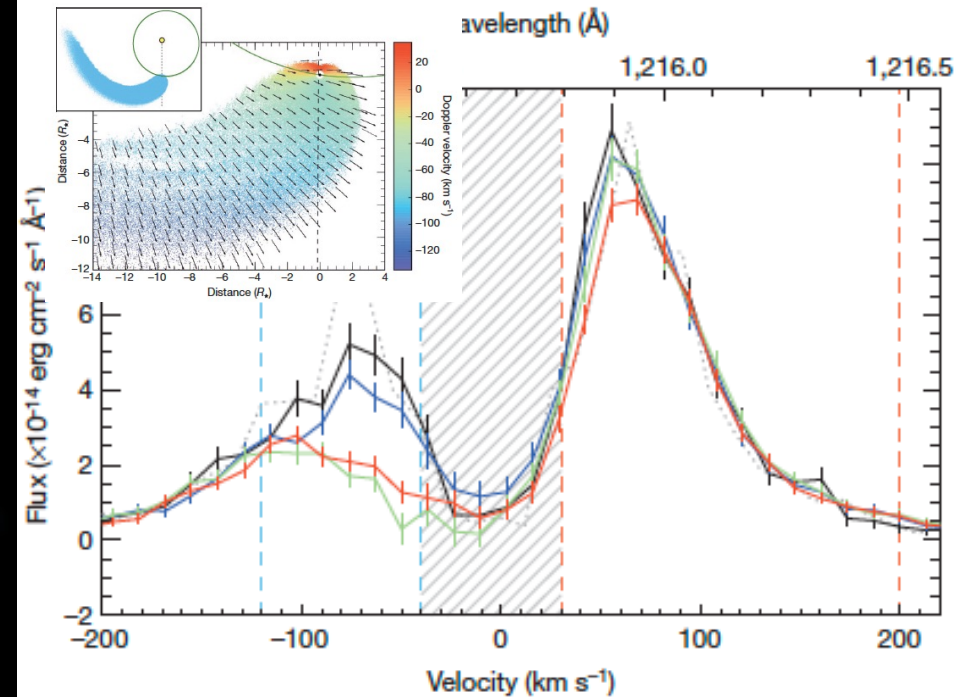
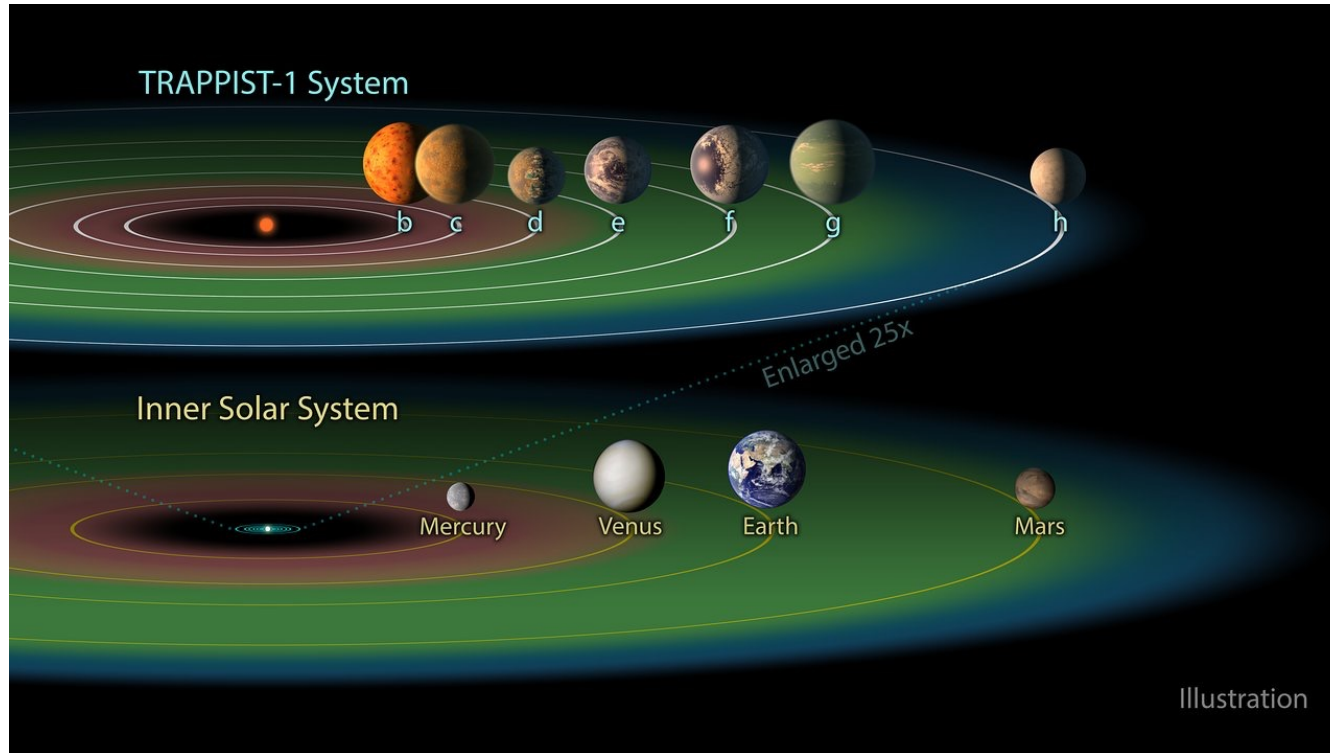
※風邪を引いており、咳が多くて申し訳ありません。

※12時以降、所用で出席できません。

第15回光赤外線天文学大学間連携 (OISTER) ワークショップ
2024 December 13 (Wed) 20:15-20:45EDT (30 = 25+5 min)

Background I: Recent Progress in Exoplanets

- More than 5000 exoplanets were discovered around stars
 - Planetary atmosphere has been already reported
 - Large missions (e.g., TMT, JWST, HWO) will further characterize their atmosphere



Ehrenreich et al. 2015, Nature

Background II: Stellar UV Activity

- Characterization of Stellar UV fluxes is a Key for Exoplanets and Stars

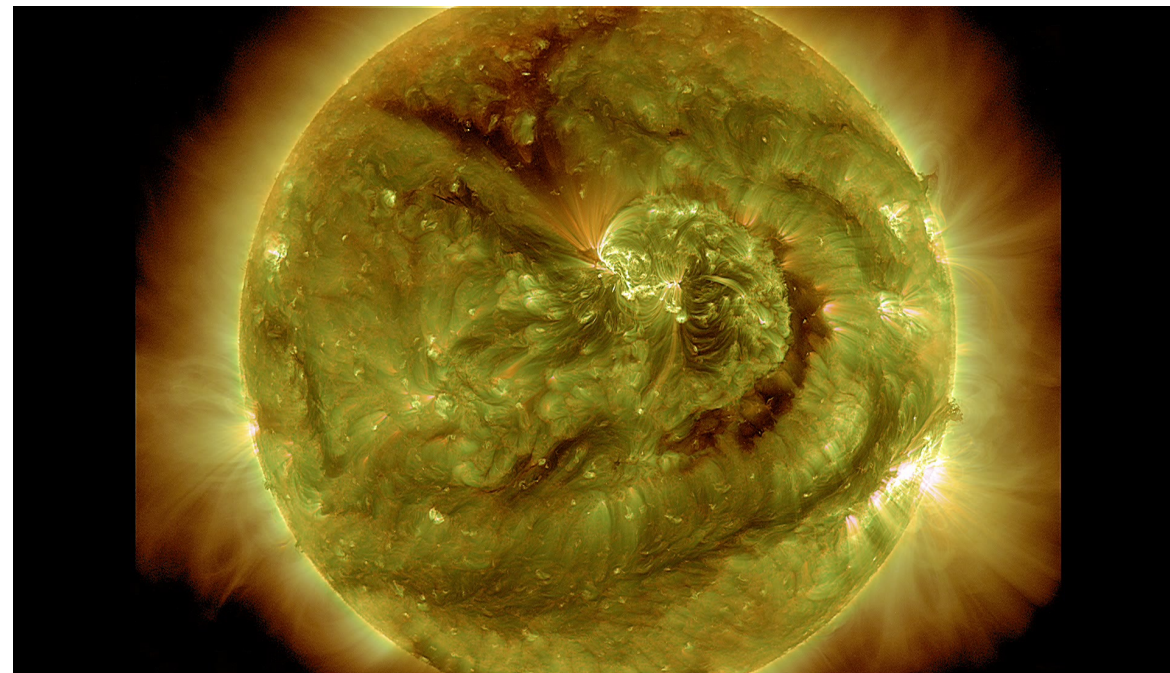
[Exoplanets]

1. Atmospheric evolution (via **atmospheric escape and chemistry change**)
2. Detection of exoplanetary atmosphere.

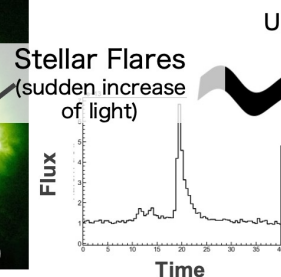
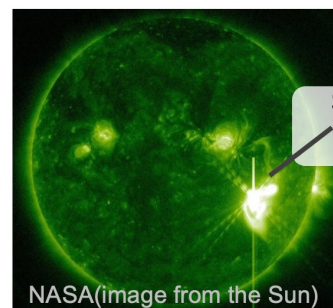
[Stars]

3. The **heating mechanism** (wide temperatures of stellar coronae $>10^6$ K/chromosphere 10^4 K)

What is the UV flux? How do stellar activity affect the exoplanets?



Active Stars

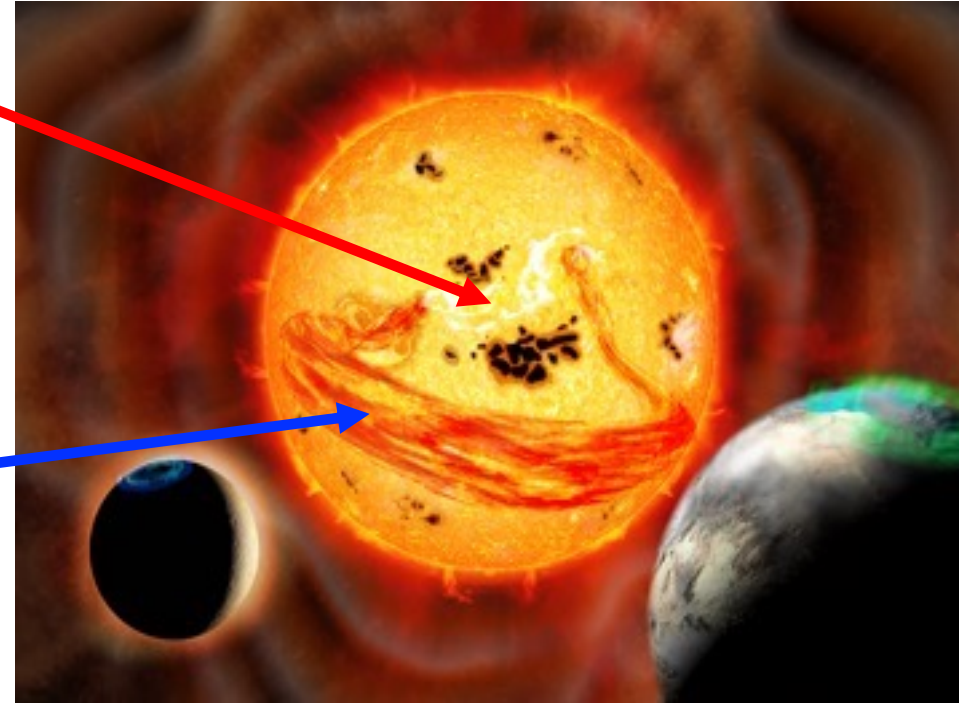
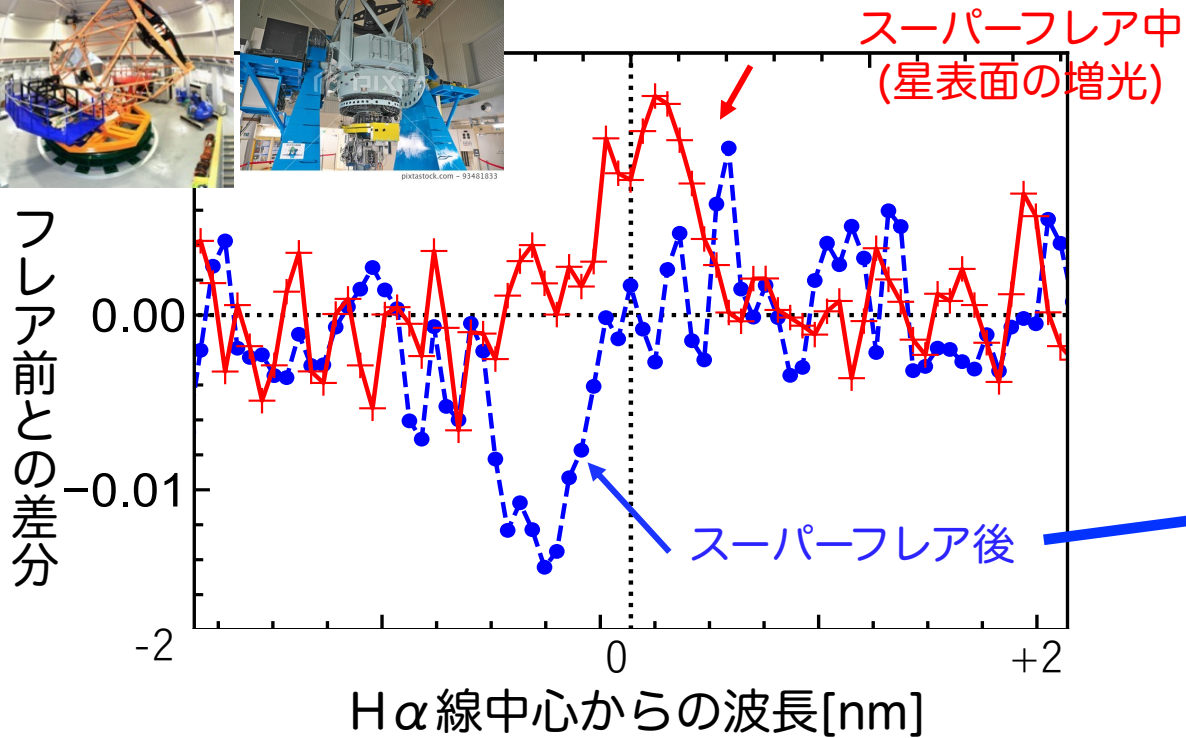


Ultraviolet
X-ray

Exoplanets



Recent Research Activity in Optical with OISTER



(プレスリリース©NAOJ)

恒星の一部の質量が飛び出し、惑星間空間を襲う様子を、初めて捉えた!!

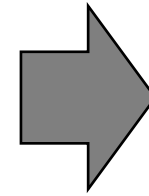
(Namekata K. et al. 2022a Nature Astronomy & 2024a, ApJ, 2024b, ApJ
OISTER web & press release)

- ✓ しかし、可視光観測では、噴出現象の全体(=惑星環境への伝搬)が見えない
⇒ 次のステップでは、**X-ray & UVによる高温・上層部分の同時観測**が必要!

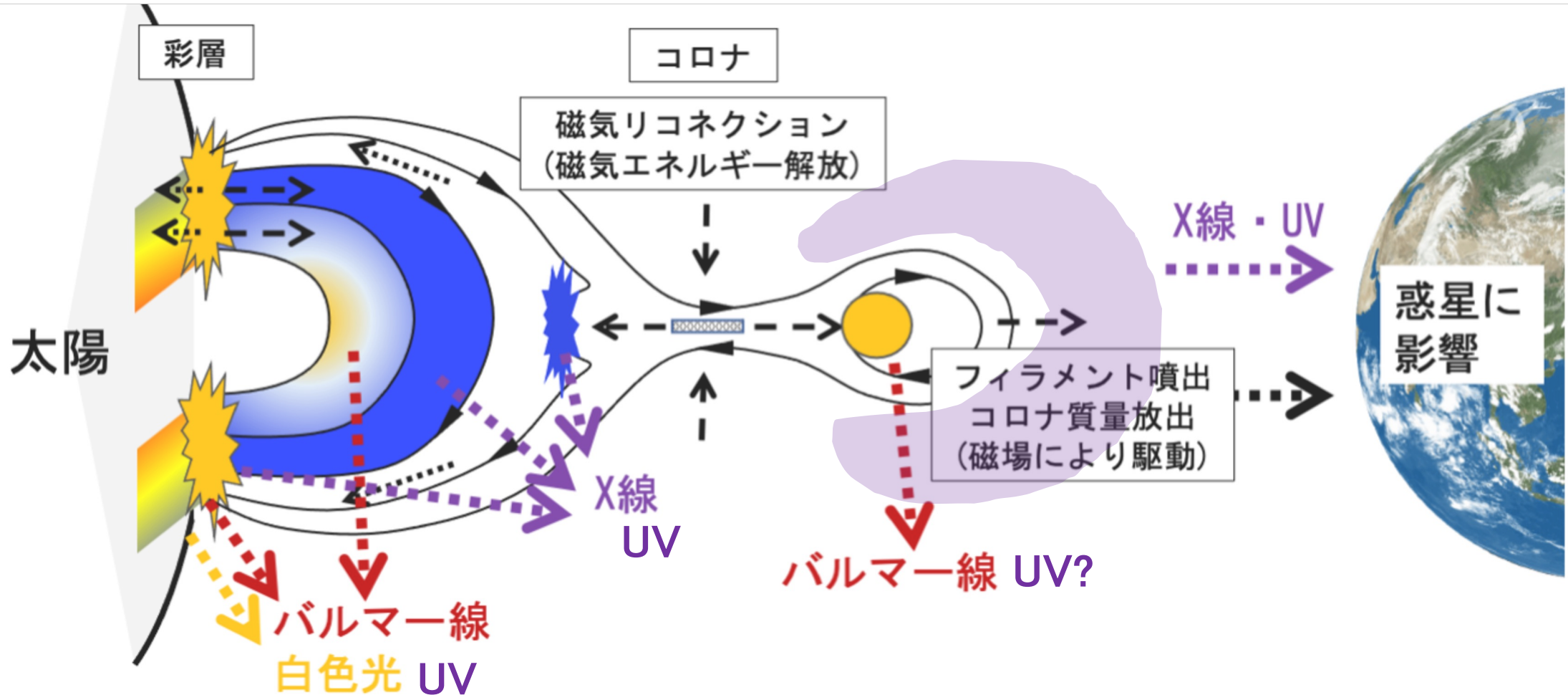
Synergy between Optical and UV (and X-ray)

より一般的に

- ✓ 恒星フレアは多温度・多波長現象。
- ✓ 可視光とUVは異なる温度帯を見ている。



両波長の連携が全体像の理解に



UV Spectroscopy Missions

- UV spectroscopy: No significant updates after Hubble Space Telescope
- But in 2030s-40s, mid-large space missions are going to focusing on UV spectroscopy!!

Hubble Space Telescope



FUSE, IUE, EUVE (retired)

2000

GALEX, XMM, Swift
(on going)

Kepler/TESS discovery
of exoplanets

2025

HISAKI

MAUVE (2025-, SmallSat)

Observing general stars



-SmallSat-

MANTIS (2026/27-)

Exoplanet-hosting stars



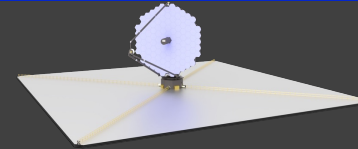
UVEX (NASA's MIDEX Mission)
Large Sky Survey Program

2030

LAPYUTA Transit, Ultraviolet spectroscopy
Detection of Earth-analogs with extended atmospheres

2040

HWO Image, UV-IR
Characterization of Earth-analogs Biosignatures



LAPYUTA: JAXA公募型小型6号機候補

LAPYUTA分光性能
(出典: 亀田さん HWO研究会
ポスターより)

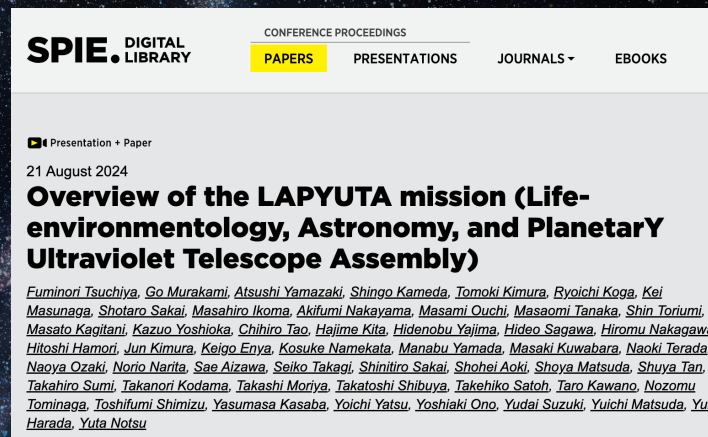
Major specifications

- Primary mirror : 60 cm (F32)
- Effective area : >350 cm²
- Spatial resolution : 0.1 arcsec
- Spectral range : 110-190 nm
- Spectral resolution :
0.02 nm (MRS)
0.003 nm (HRS)
- FOV : 180 arcsec
- Orbit : ~1000 x 2000 km

Scientific instruments

- UV spectrograph (MRS, HRS)
- UV slit imager

2023年3月に公募型小型候補に選定
2033年頃打ち上げ計画
PI:土屋 史紀(東北大)



Tsuchiya et al,
SPIE, 2024

特徴のサマリー

- Hisakiの経験を活用
- HSTと同等の感度
- 時間軸天文学の戦略
- 高軌道によるジオコロナの低減
- 3時間程度以内のToO

LAPYUTA: Science Cases

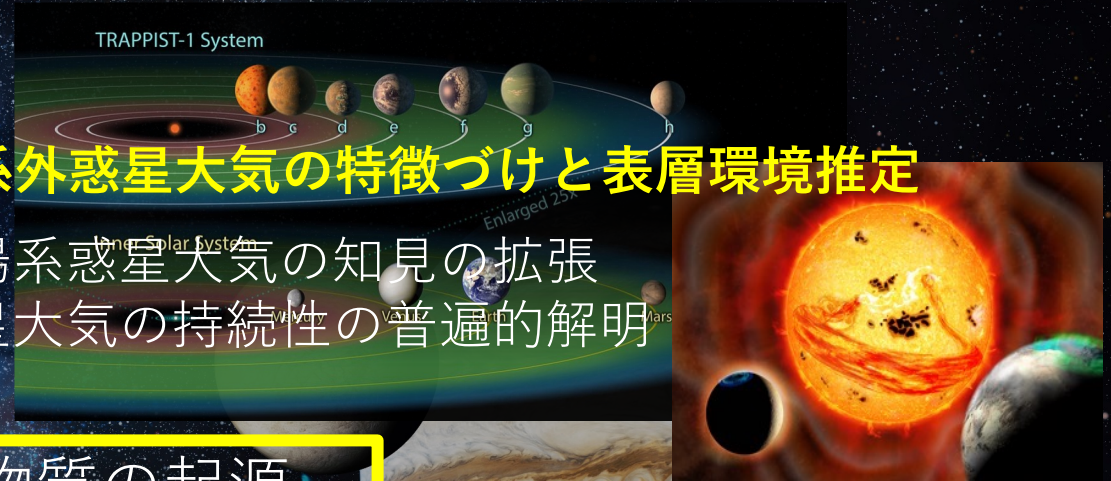
Goal1:生命生存可能環境の多様性

(目標1) 太陽系内天体の生命存在可能環境とその進化

- 氷衛星の地殻活動・表層環境
- 地球型惑星の大気進化

(目標2) 系外惑星大気の特徴づけと表層環境推定

- 太陽系惑星大気の知見の拡張
- 惑星大気の持続性の普遍的解明



Goal2:宇宙の構造と物質の起源

(目標3) 銀河・宇宙論研究

- 銀河Lyaハローの普遍性の検証
- 宇宙大規模構造-銀河における Cold Streamの初検出

(目標4) 物質宇宙の多様性とその進化

- 中性子星合体による重元素合成の検証
- 超新星爆発や恒星フレアのメカニズム

LAPYUTA: Stellar Science (Sub-Objective in Exoplanet Teams)

サブチームメンバ: 鳥海, 野津, 行方

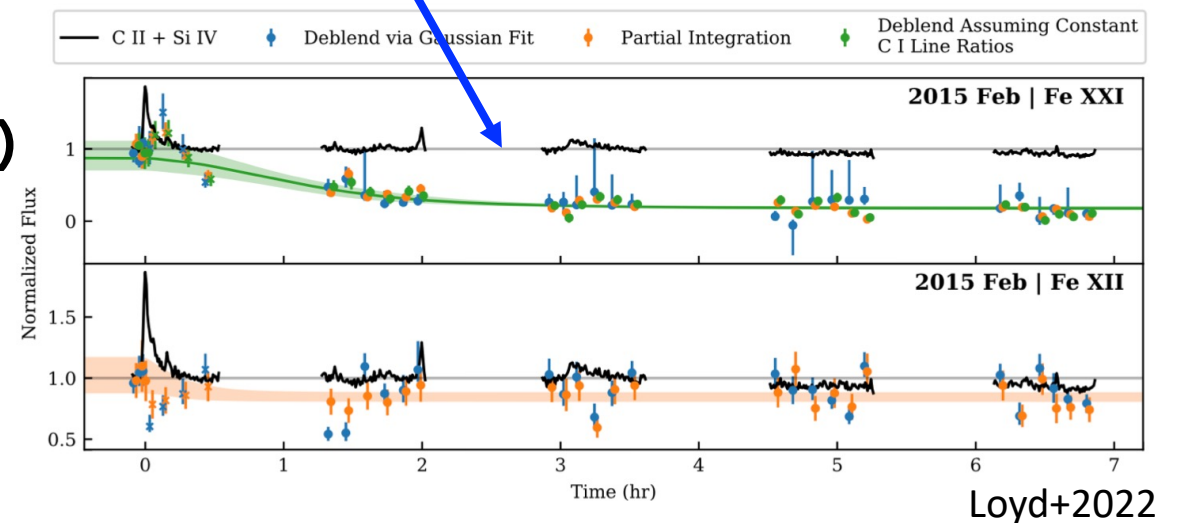
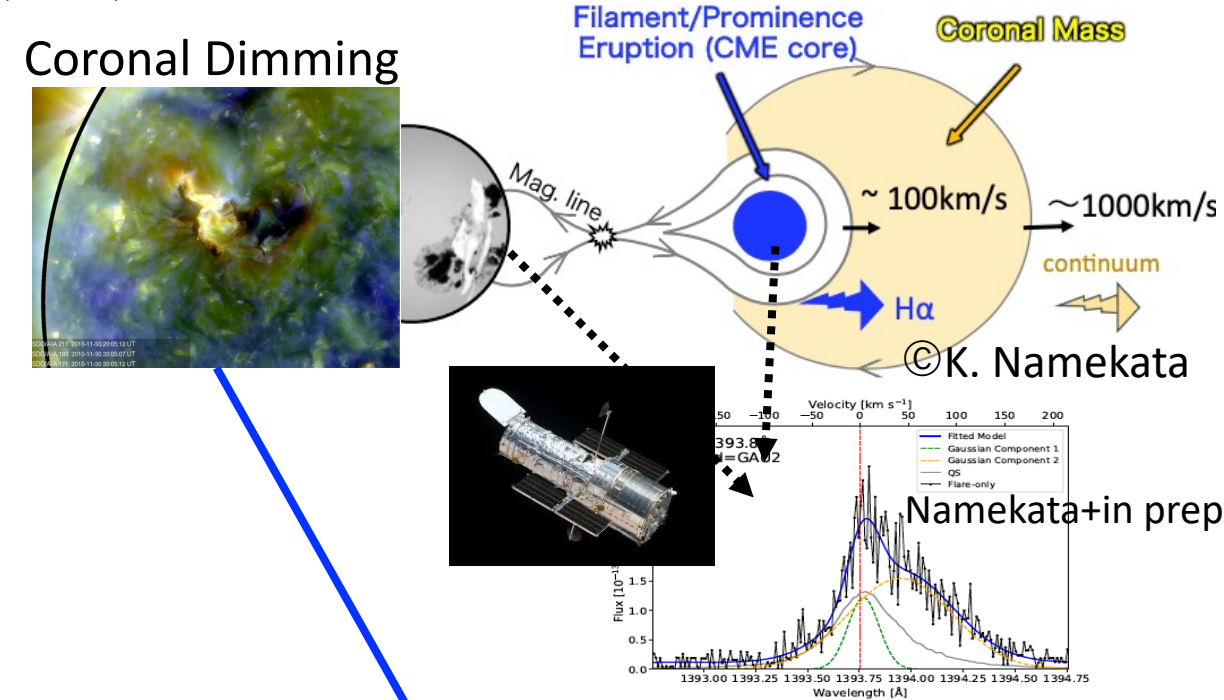
科学目的

中心星の高エネルギー放射を定量観測して、そのプラズマ状態 (黒点・フレア・コロナ質量放出)、さらにその惑星大気への影響を解明する (系外惑星観測において恒星変動成分の除去の役割も)

方法: 紫外線(FUV)の“長期”モニター観測 (系外惑星観測と両立)

観測目標の例(特に時系列データを活かすサイエンス)

- フレア中のプラズマの運動
 - 噴出現象によるDoppler shift
 - Coronal Dimming
- を、膨大な時系列データを用いて検出を目指す！



LAPYUTA and OISTER

LAPYUTAの利点:

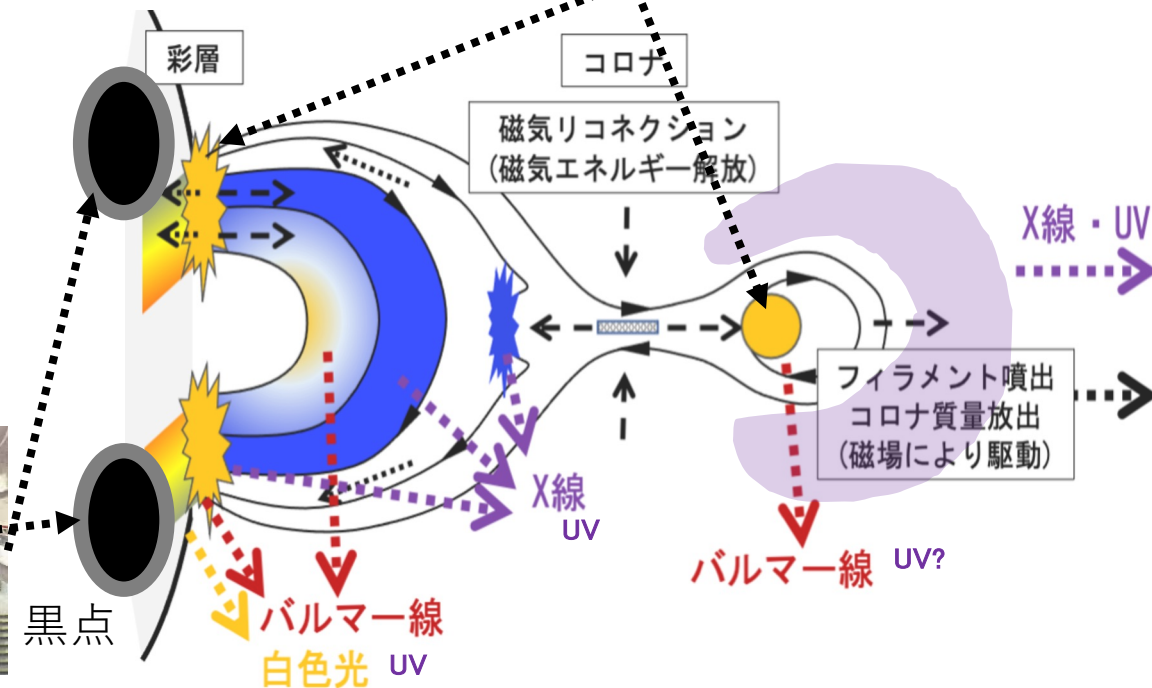
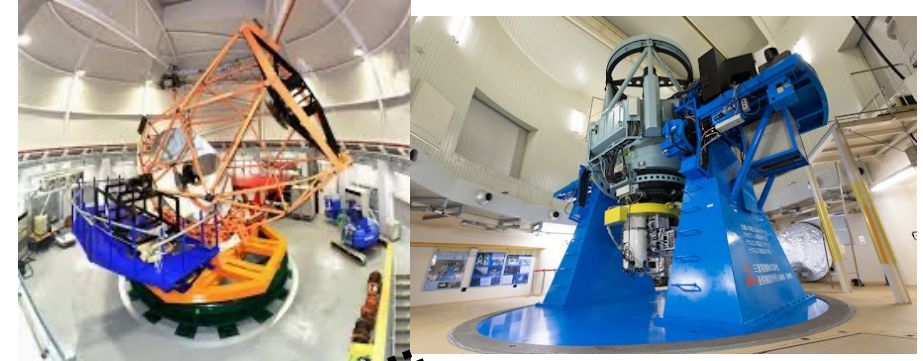
HST時代と違い、長期の観測時間&即時ToOを活かし、地上望遠鏡とも多くの共同観測を行う時間がある。

地上・中小口径望遠鏡の役割:

これまでの恒星観測の経験に立脚し徹底的な同時観測

- バルマー線・Ca II線の中・高分散のモニタ観測
- 磁場・黒点配置の観測
 - 高分散分光観測(GAOES-RV, HIDES)
 - 恒星自転のモニタ(可視光数10cm~1m望遠鏡)

⇒ **LAPYUTAの同時観測で「同じ現象の異なる側面」を、別の手法(可視赤外 + UV)で 独立に測定して比較**



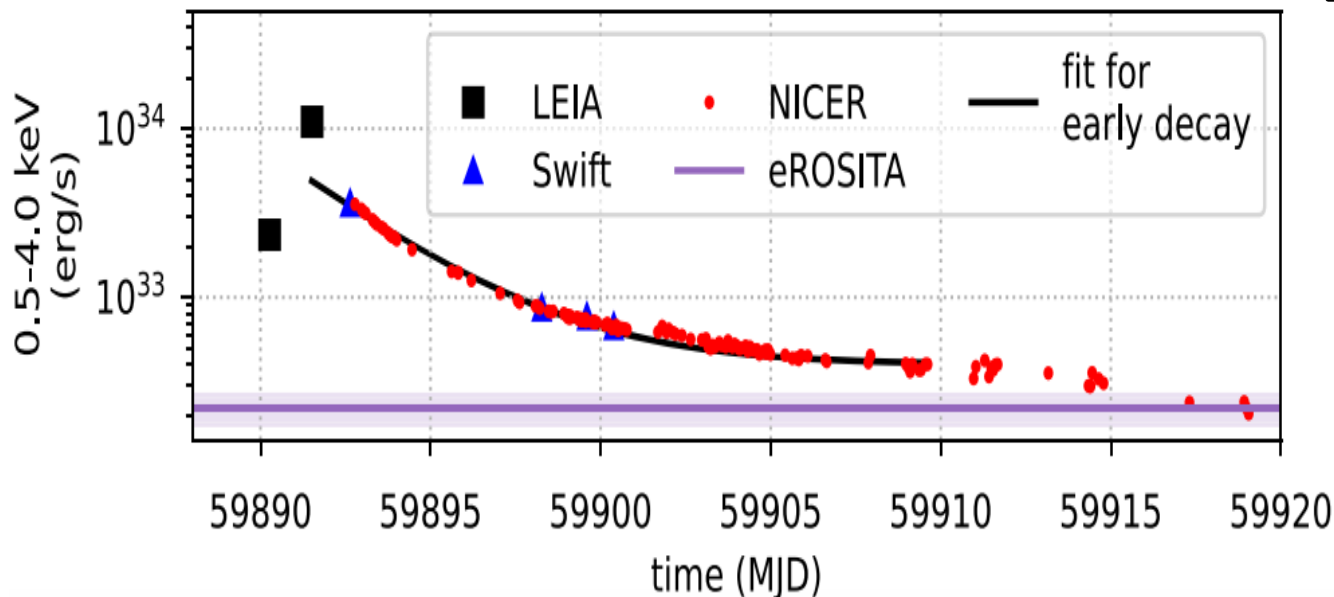
ToO Follow-up by LAPYUTA and UVEX

方法: 紫外線(FUV)とのToOフォローアップ観測
(<3 時間程度での指向目標)

科学目的(科学目標4)

恒星フレアや超新星爆発のメカニズム
中性子星合体による重元素合成の検証

Largest stellar flare ever observed. Günther et al. 2024



✓ ToOフォローアップ観測に関しては
NASA's UVEXも

NASA's UVEX:

- A NASA MIDEX mission
- An expected launch date in 2030
- LAPYUTAはモニタリング型、UVEXはサーベイ型という戦略の違い
- 波長・空間分解能でLAPYUTAに利点

UVEX (NASA's MIDEX Mission)
Large Sky Survey Program



UV Spectroscopy Missions

- UV spectroscopy: No significant updates after Hubble Space Telescope
- But in 2030s-40s, mid-large space missions are going to focusing on UV spectroscopy!!

Hubble Space Telescope



FUSE, IUE, EUVE (retired)

2000

GALEX, XMM, Swift
(on going)

Kepler/TESS discovery
of exoplanets

2025

HISAKI

MAUVE (2025-, SmallSat)
Observing general stars



-SmallSat-

MANTIS (2026/27-)
Exoplanet-hosting stars



UVEX (NASA's MIDEX Mission)
Large Sky Survey Program

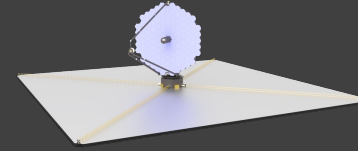
2030

LAPYUTA Transit, Ultraviolet spectroscopy
Detection of Earth-analogs with extended atmospheres



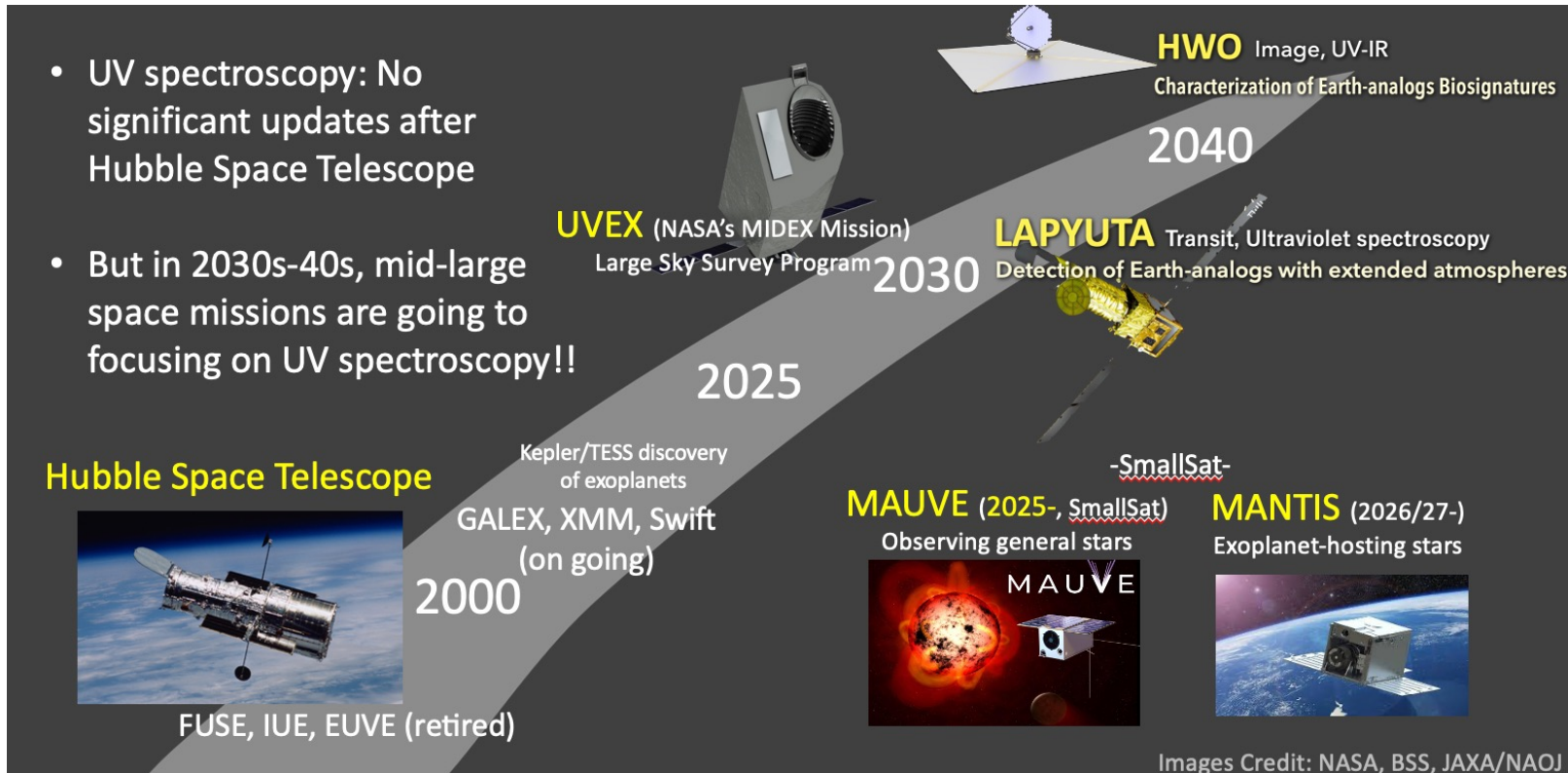
2040

HWO Image, UV-IR
Characterization of Earth-analogs Biosignatures



Summary

- 現役最強のHSTとOISTERの同時観測に成功。ただし労力がかかり数も限定的。
- 系内外惑星における重要性から20-40年代に紫外線が注目。
- LOPYUTA、MAUVEなどは、Time Domain・地上連携に適す。



Near Future

- 今後数年はHST・超小型で(連携・サイエンス面で)経験を稼ぎ、30年代に向けて準備する。