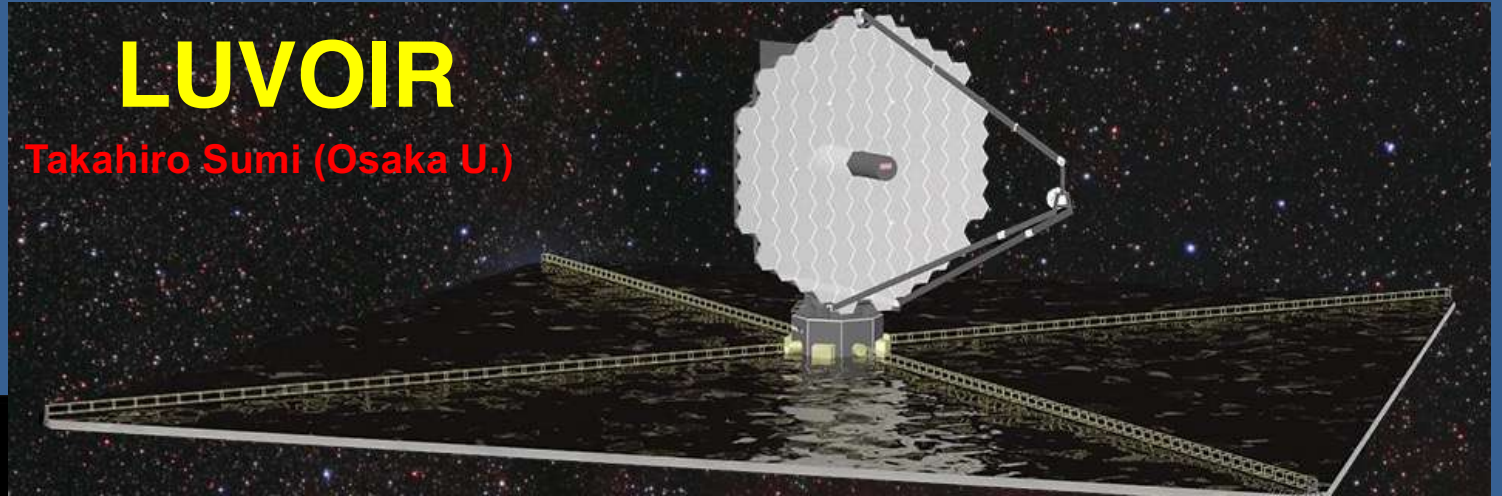


NASA 6m紫外線可視近赤外線宇宙望遠鏡への参加

LUVOIR

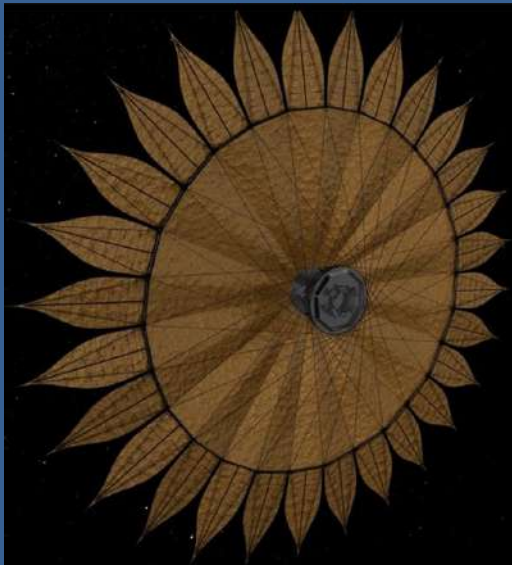
Takahiro Sumi (Osaka U.)



Credit:NASA

HabEx

Motohide Tamura (Tokyo/ABC)



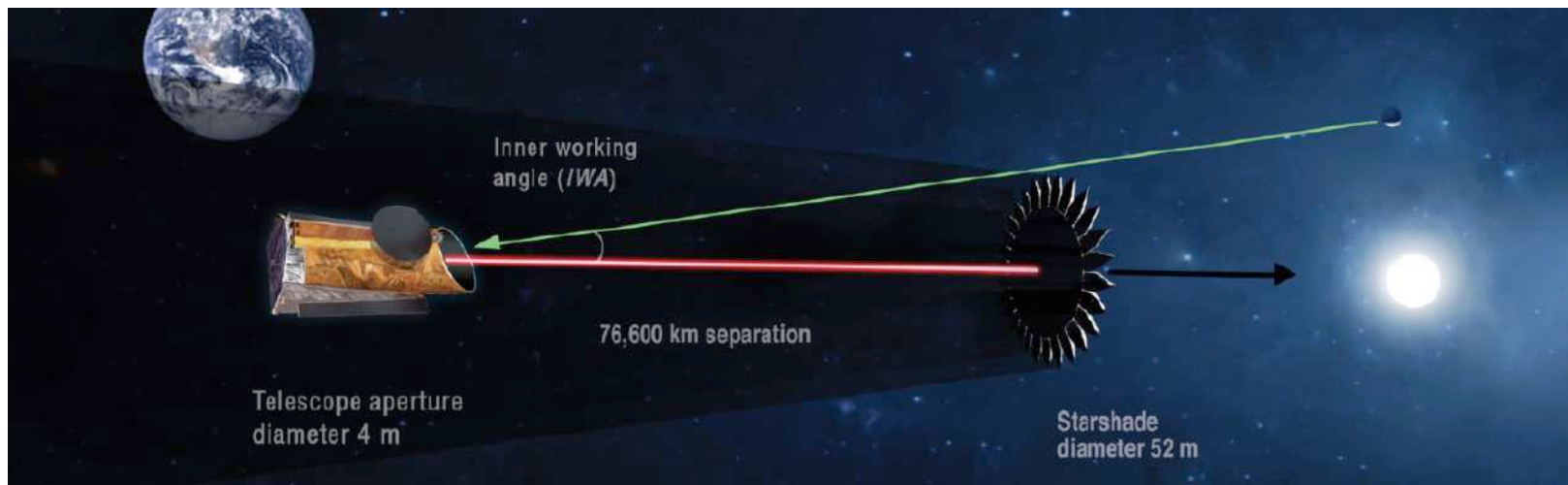
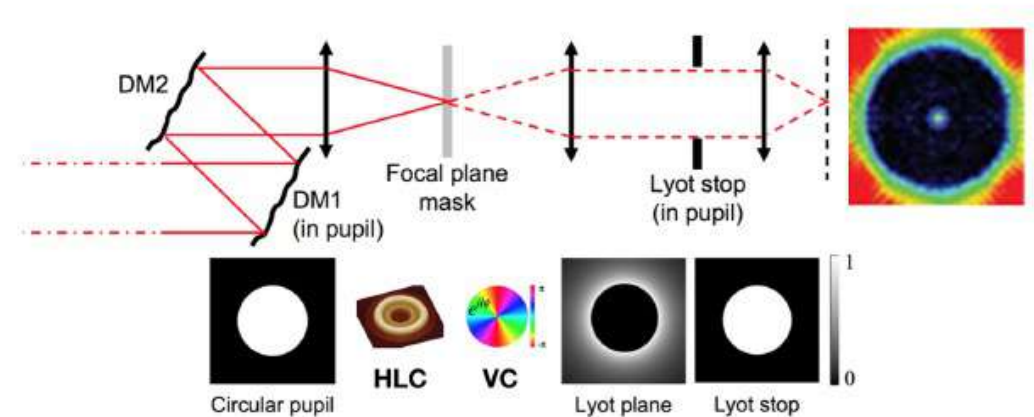
住 貴宏(大阪大学)
LUVOIR/HabEx検討会

Habitable Exoplanet Observatory - HabEx

- ハビタブル系外惑星 & 系外生命探査
- 広範な一般宇宙物理

Motohide Tamura (Tokyo/ABC)

- 口径 4m (1枚鏡) 軸はずし、
- $0.4\mu\text{m}$ 回折限界スペース望遠鏡
- 内部コロナグラフとスターシェード
(SS $\phi 52\text{m}$, 76600km)
- 5年+5年



Large UV/Optical/Infrared Surveyor - LUVOIR

- ハビタブル系外惑星 & 系外生命探査
- 広範な一般宇宙物理

Takahiro Sumi (Osaka U.)

- Segmented, deployable far FUV/optical/NIR telescope (**100 nm to 2500 nm**)
- Ultra-stable to enable high performance coronagraphy
- Serviceable & upgradable (25 year lifetime goal for non-serviceable comp.)

LUVOIR-A

15m (~0.08arcsec)

On-axis

270K(milli-Kelvin precision)

4 instruments

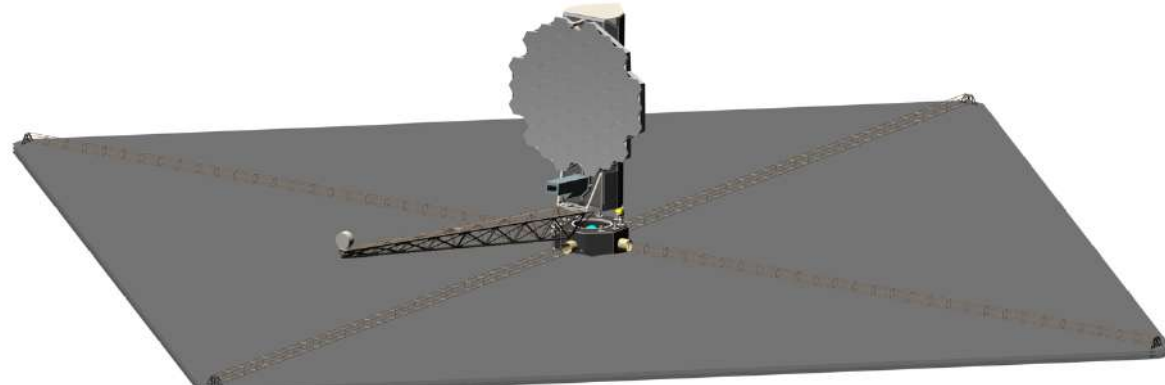


LUVOIR-B

8m (~0.16arcsec)

Off-axis

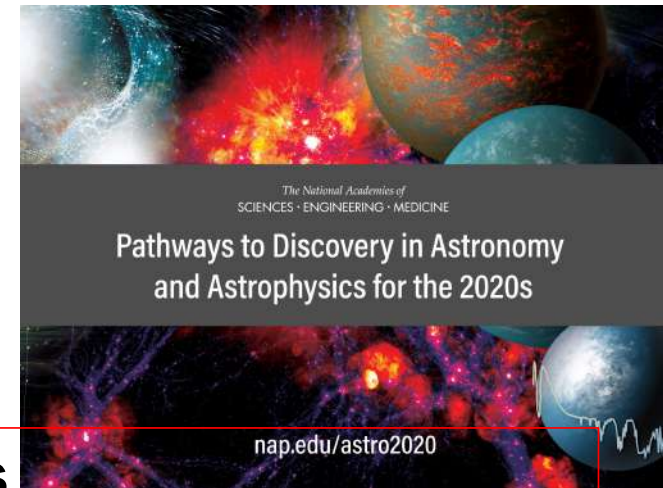
3 instruments



Decadal Survey Recommendation

Worlds and Suns in Context

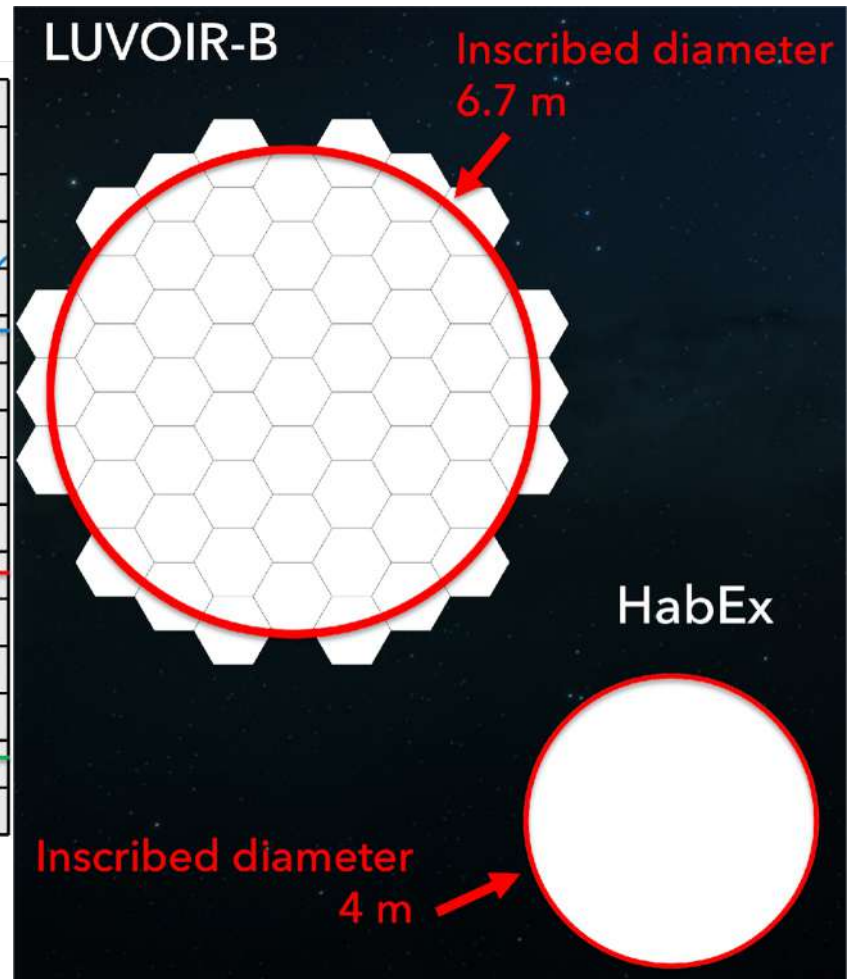
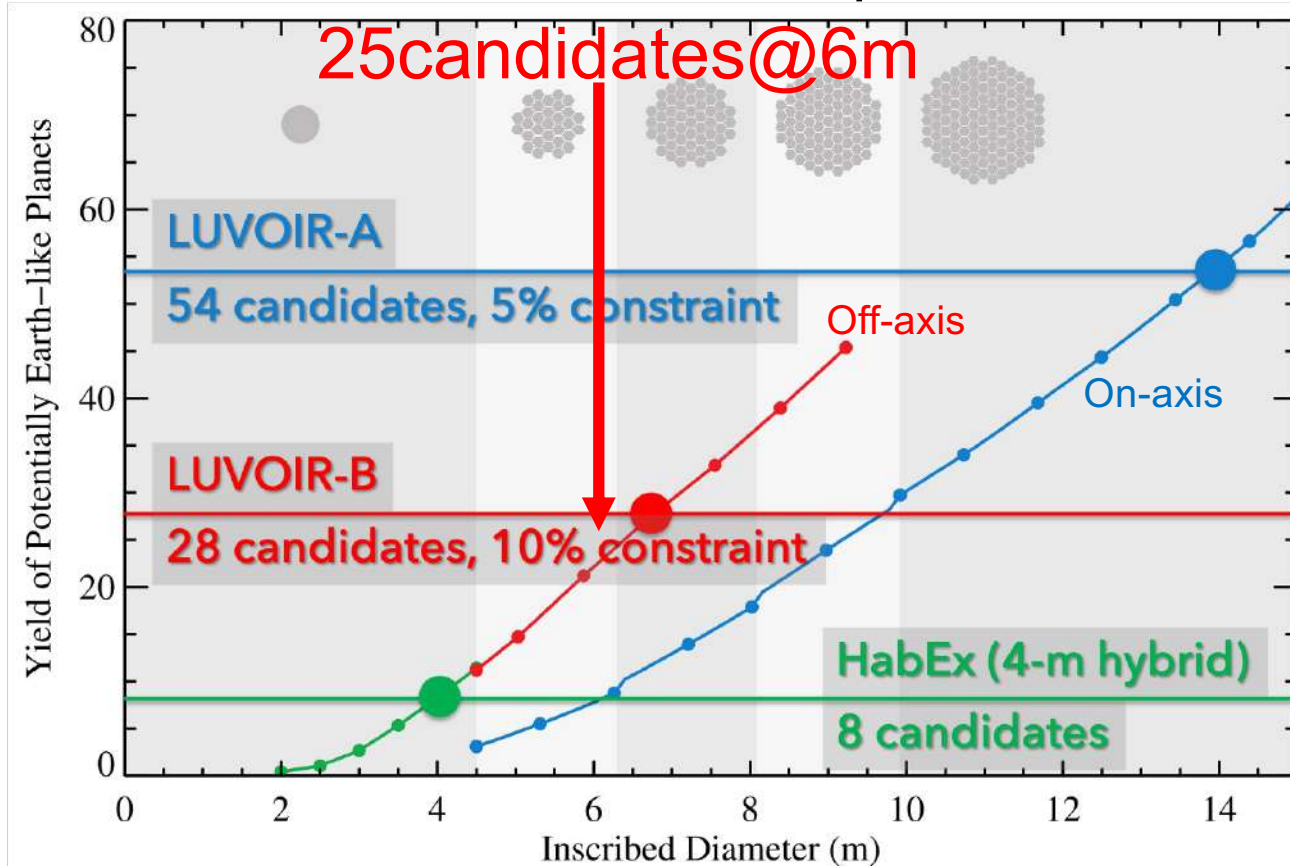
Priority Area: **Pathways to Habitable Planets**
searching for signatures of life



- **Implementing the Next Great Observatories**
 - **Great Observatories Mission and Technology Maturation Program (GOMTMP):**
provide **early investment** in the development of multiple mission concepts to **lower the risks and costs** of projects before they become too complex, large, and costly. **By the end of 2020 decade, (~six years), (\$800M)**
フロントローディングで技術実証
審査を経て本ミッションを開始
 - **The First Mission to this program is**
Large Infrared/Optical/Ultraviolet (IR/O/UV) Space Telescope
off-axis inscribed diameter **6-m, at first half of 2040's (11B\$)**
to search for biosignatures from **~25 habitable zone planets**

6m Large Infrared/Optical/Ultraviolet (IR/O/UV) Space Telescope

Exo-Earth Yield vs telescope diameter



assuming ExoPAG SAG13 value ($0.24^{+0.46}_{-0.16}$)

A 5% and 10% constraint on the frequency of Earth-like planets by LUVUOIR-A and -B, respectively.

(8 planets by HabEx gives 30% constraint on frequency of Earth-like planets.)

LUVEx?

Schedule

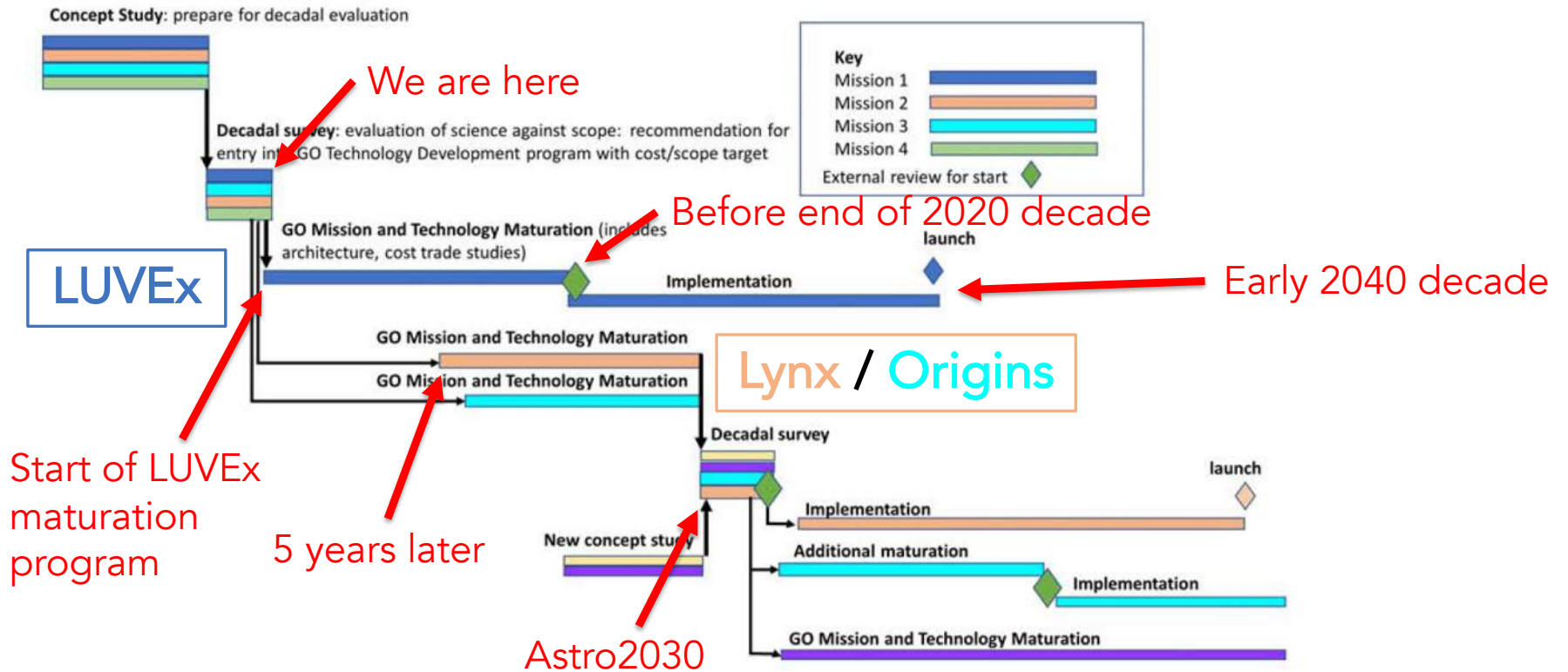
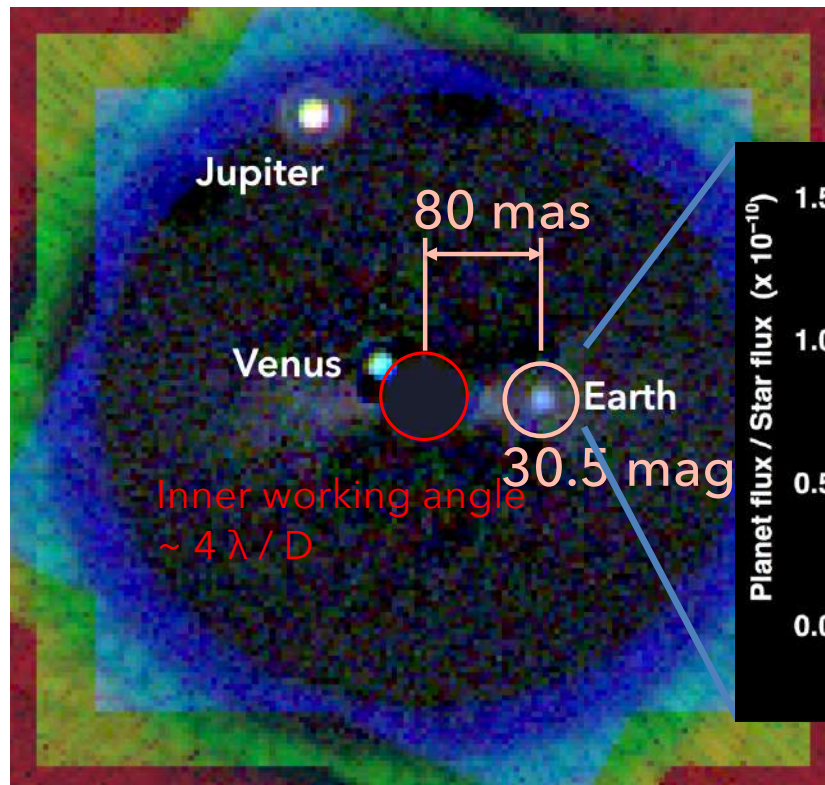


FIGURE 7.2 Flow diagram showing the concept for maturation, recommendation and implementation of NASA Large Strategic Missions. This does not represent the actual recommendations in this report, instead it represents how the program would be structured in general. If implemented, this survey would be the first to adopt this process by recommending the first entrant into the GO Mission and Technology Maturation Program. SOURCE: Fiona Harrison.

Habitable exoplanets & biosignatures

(自然科学における人類最大のテーマの一つ)

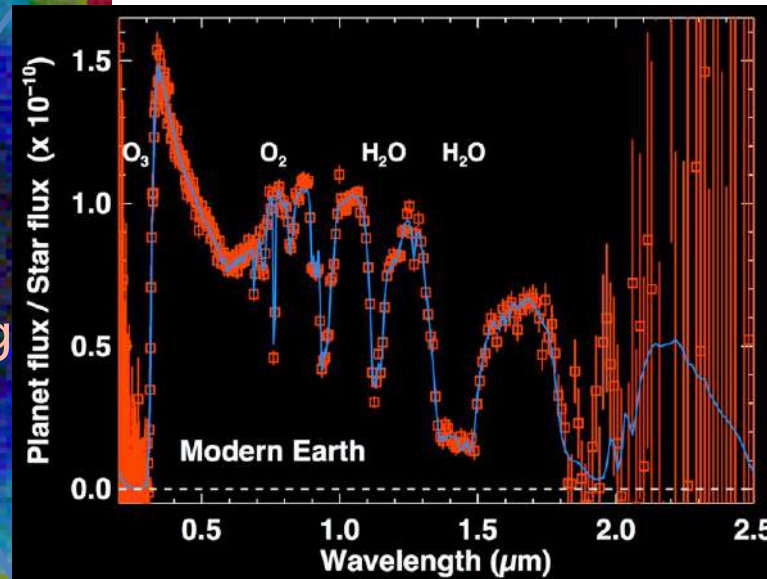
- 地球の様な環境の惑星の頻度 → 高空間分解能 → 大口径が必要
25pc以内の数百個の星
- 生命痕跡探査 (太陽型星回りの地球型): 反射光の直接分光で惑星表層大気測定



ECLIPS on LUVOIR-A:

コロナグラフ装置

直接撮像・分光

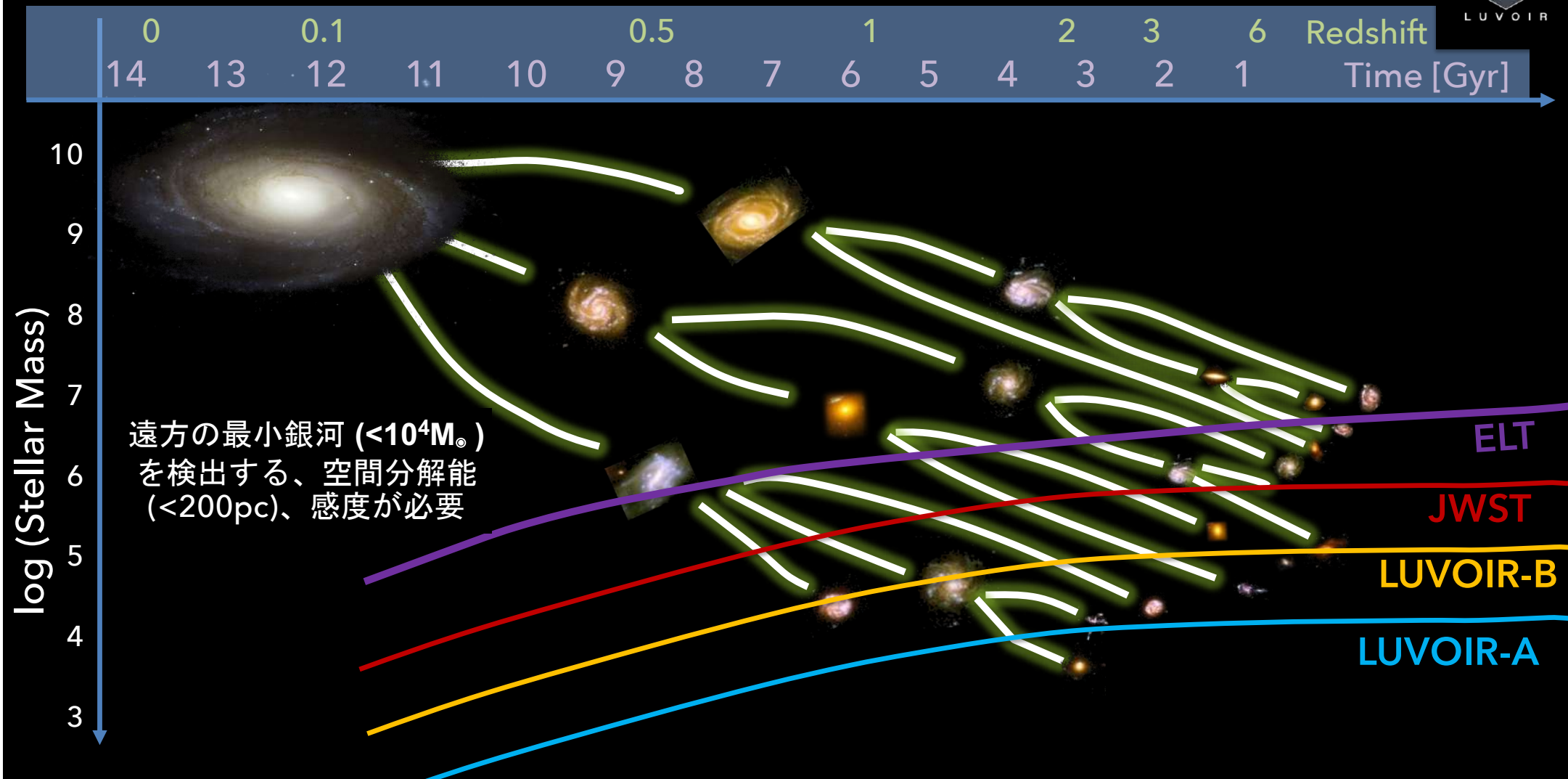


Solar System at
Distance = 12.5 pc
 $D_{\text{telescope}} = 15\text{-m}$
 $R = 150$
Time = 60 hrs per band

Credit: T. Robinson / G. Arney

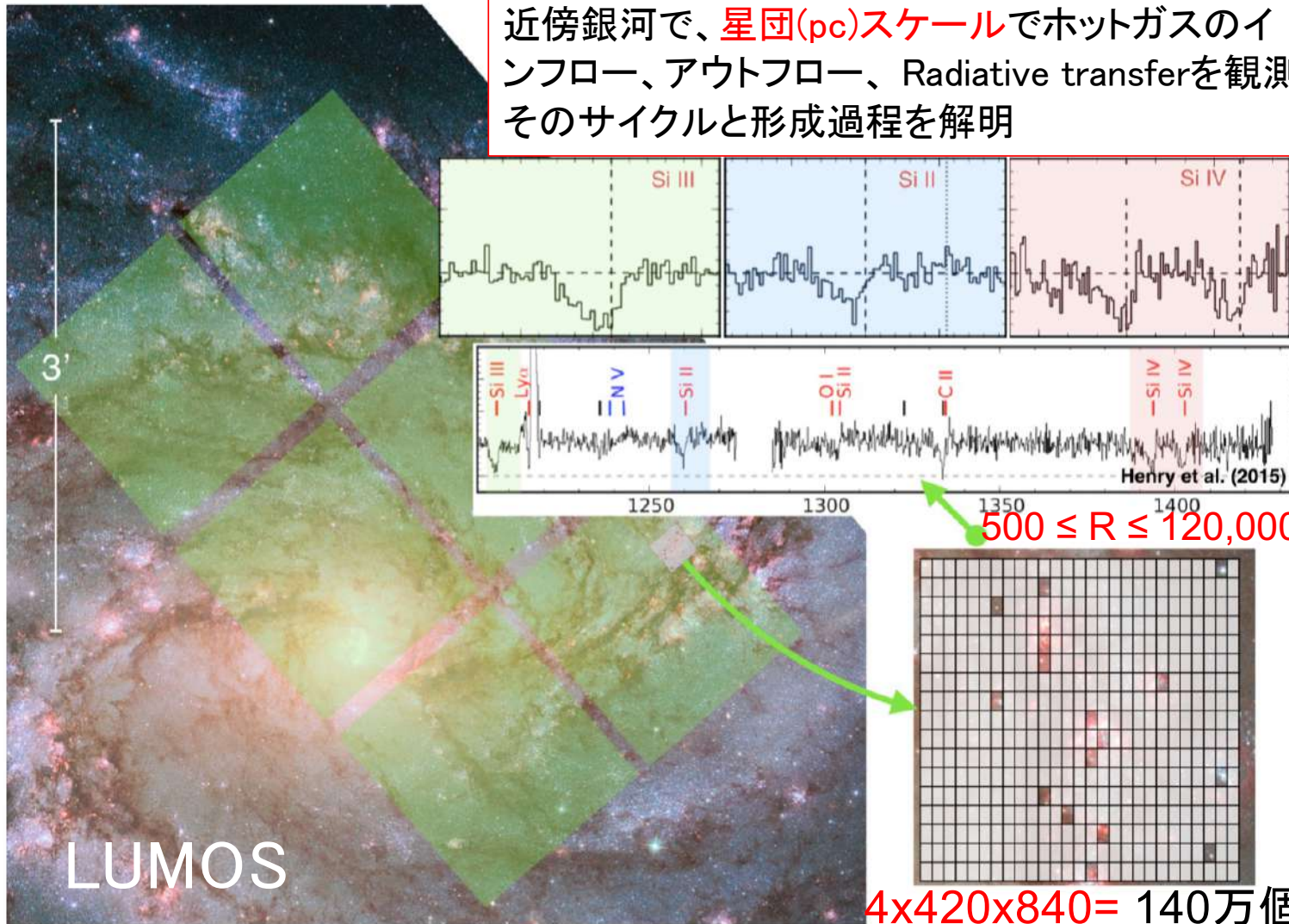


宇宙初期の、最小の構造体を分解し、銀河の形成過程を解明^{HDI}



マイクロシャッターによる高空間分解能、多天体可視UV分光

近傍銀河で、**星団(pc)スケール**でホットガスのインフロー、アウトフロー、Radiative transferを観測
そのサイクルと形成過程を解明

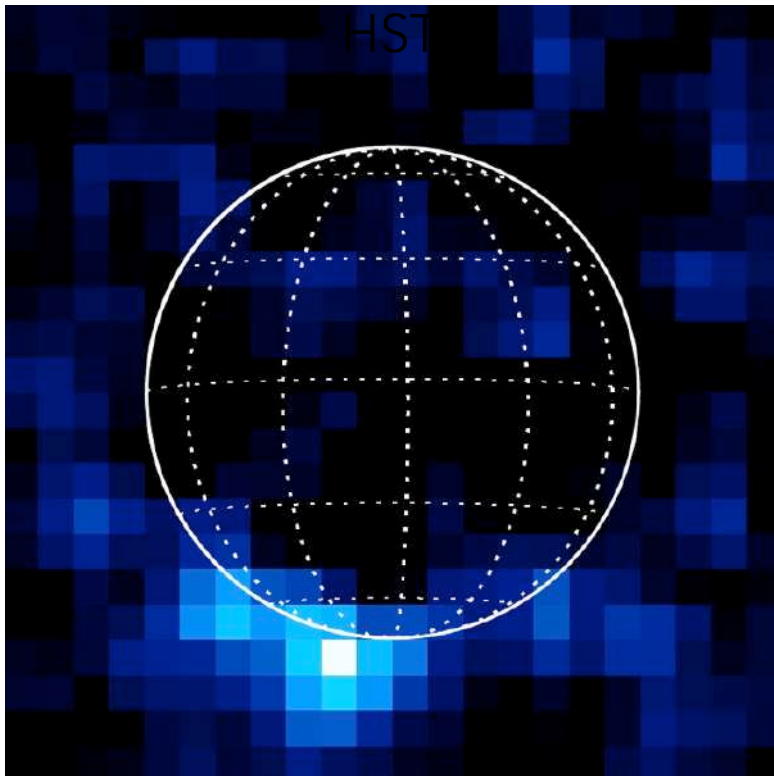


- 空間分解能: $0.07 \times 0.14 \text{ arcsec}$
 $< 100 \text{ pc @ } z < 0.1 \text{ (400 Mpc)}$
 $< 1 \text{ kpc @ all redshifts.}$
- $z < 3$ 以下(宇宙誕生から80%の時間、11-12 Gyr)において、様々な階層で、**物質(バリオン)の量/循環、宇宙再電離**を解明
- 遠方 quasarのUV吸収線でIGM, CGMのバリオン量を測定 (JWSTより近傍)
- 近傍銀河の星形成領域で、物質の温度、密度、速度、金属量をマップでき、構造形成史を解明

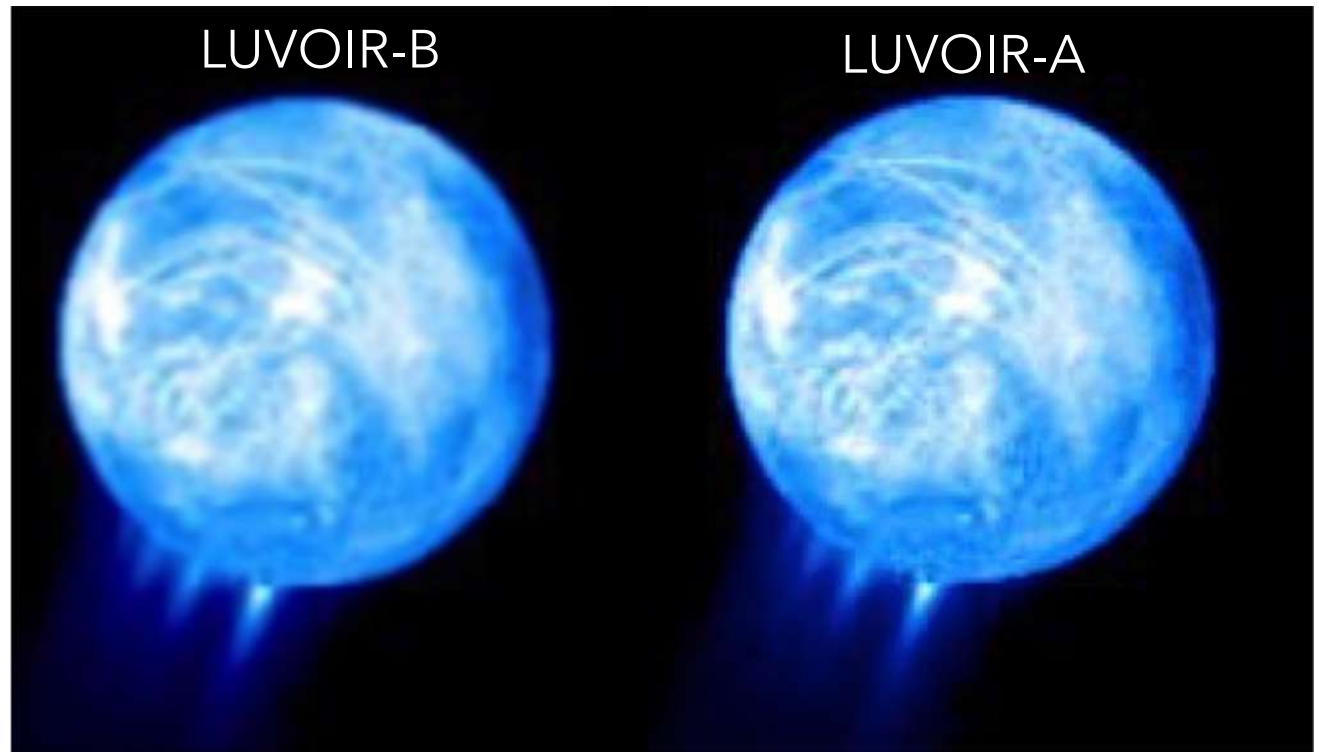
太陽系内氷衛星の生命居住可能性

探査機なみの高空間分解能で氷衛星内部海から噴き出るプルーム（水柱）をモニター
強度、頻度を求め、生命居住可能性を検討

Europa in far-UV Lyman- α emission



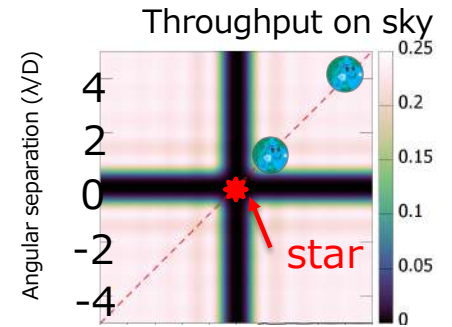
Roth et al. (2014)
HSTによる木星の衛星エウロパのプルーム



Input model: G. Ballester

日本の貢献案(予算)

- 多天体高安定高分散分光器: (100億円) 超小型等で実証
- セグメント鏡回折限界コロナグラフ: (60億円)
- コロナグラフ光学系コンポーネント: Roman参加の実経験を活かす。
 - Baselineマスク (Roman用の基盤製作中)
 - 独自コロナグラフ (提案は20年前から)
 - 偏光器: 日本は40年間以上継続的に光赤外偏光器を製作してきた (Romanの偏光素子製作中)
 - 偏光補償光学系: Romanでの設計経験あり。 (数億円)
- 紫外線検出器, コーティング: ひさき衛星。WSO-UVの実績 (45億円) (LAPYUTAと共同開発)
- 地上局: L2, Ka-band, (Romanで整備) (運営費5億円)



合計210億円程度 (GOMTMP期間中(2029年まで)に約20億円)

期間中目標: 技術成熟度をTRL6+/-に上げ、ミッションコンセプトに組込む

LUVEX(1.2兆円)の1/50以下でもキー技術での旗艦ミッション参加が重要

日本の貢献案

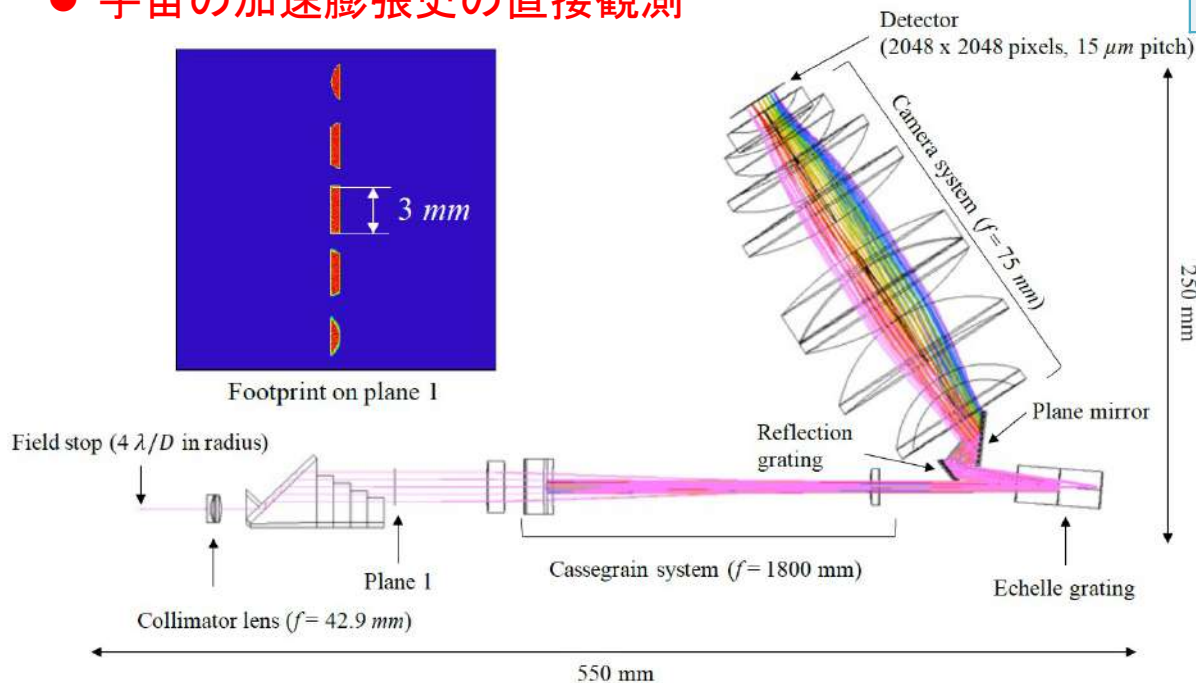
多天体高安定高分散分光器

Matsuo et al. submitted to AAS

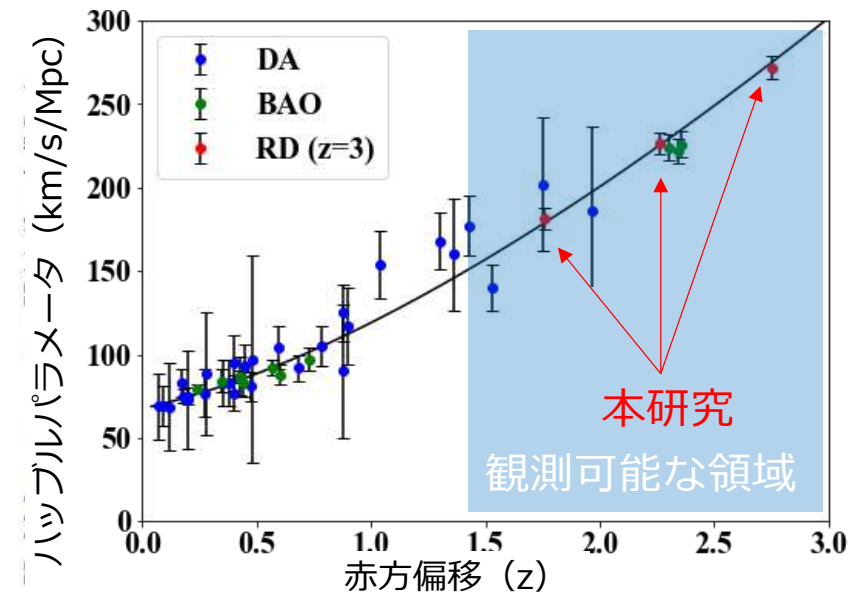
Multi-object high-dispersion densified pupil spectrograph + *a new line-of-sight monitor*

- M型星周りのノンランジットハビタブル惑星の赤外線領域($1.5\text{--}2\mu$)での、大気測定、生命探査
- 宇宙の加速膨張史の直接観測

Wavelength range	320 – 670 nm
Resolving power	> 10,000 (depending on science case)
Stability	~ a few ppm (optics only)
# of field-of-views	~ 10
RV uncertainty	~ a few cm/s (depending on science case)



Optical design



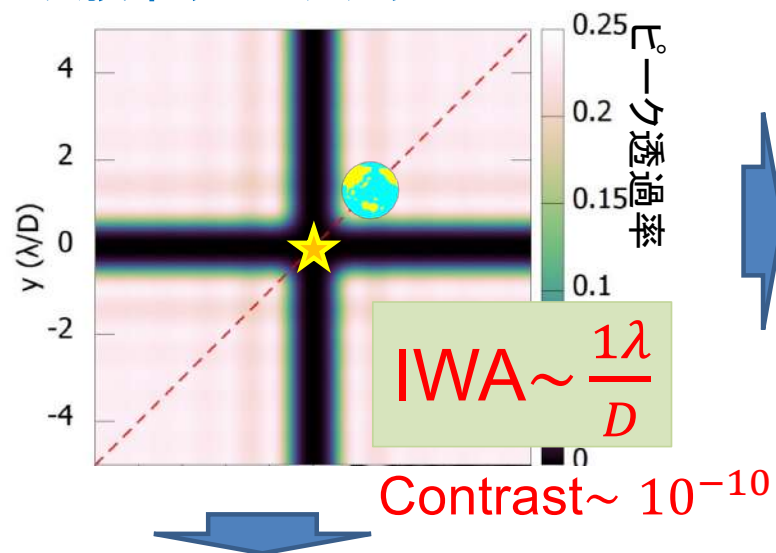
10年の時間間隔から後退速度の変化量（加速度）を導出

セグメント鏡回折限界コロナグラフ

30パーセク離れた軌道半径1天文単位の惑星⇔口径~5m, 波長~750nmでの回折限界角

セグメント鏡回折限界 4次狭帯域コロナグラフ

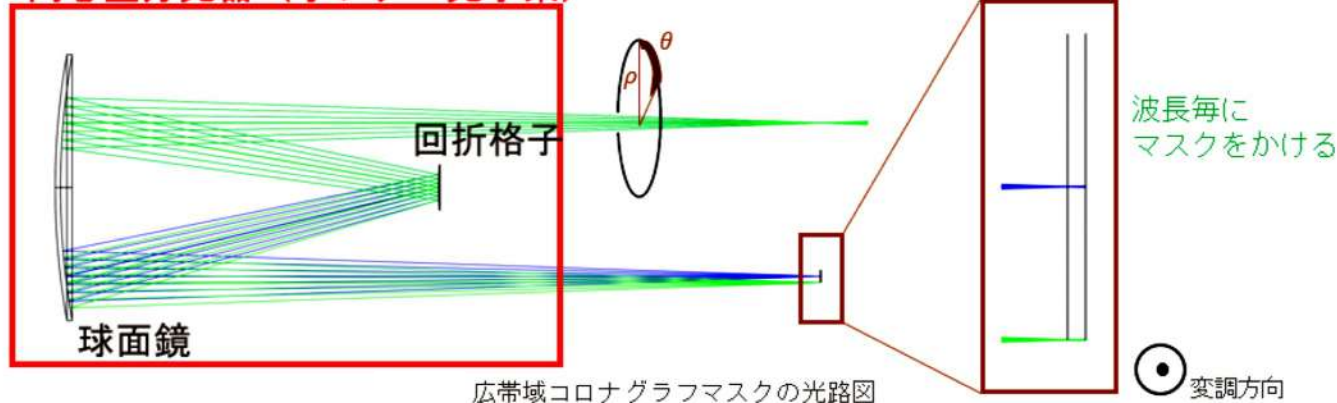
Itoh & Matsuo 2020



高波長帯域化のコンセプト検討

- **二重コロナグラフ** (Itoh & Matsuo 2022)
広帯域光によるリークに再度コロナグラフを適用
- **分光コロナグラフ** (Matsuo, Itoh, and Ikeda 2021)
分光スペクトルの波長要素ごとに最適なマスクを適用
広帯域コロナグラフマスクの実現に向けた
同心型分光器の性能測定(2022天文学会秋季年会で報告)

同心型分光器（オフナー光学系）

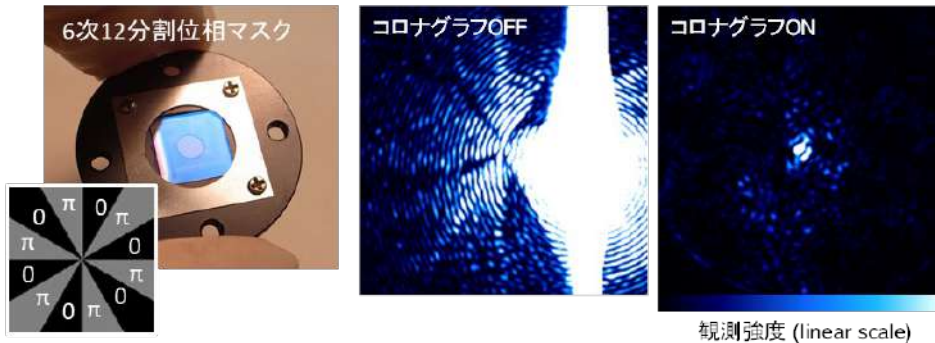


高コントラスト観測技術

Roman宇宙望遠鏡コロナグラフ用の光学素子(マスク基板・偏光素子)において, NASAへの貢献実績あり

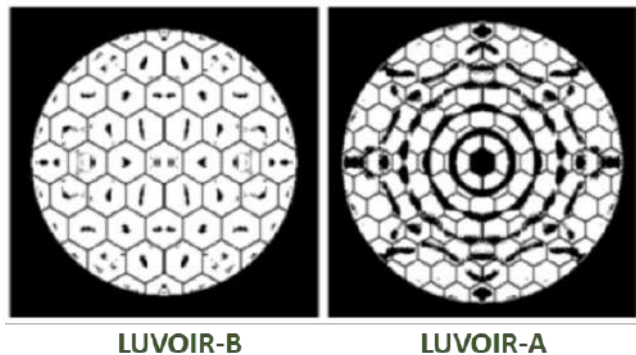
• フォトニック結晶マスク

- 惑星分光観測のための多層広帯域マスク開発中
- 斜入射に強い6次マスク開発中



• 複雑なLUVOR瞳に最適化した瞳アポダイザ

- 焦点面マスクコロナグラフの性能を向上させる
- 今後: 射入射に強い設計を目指す



← LUVOR-A & -B 用に設計した瞳アポダイザ
Nishikawa et al. (2020), Proc. SPIE, 11447, 114474T.

• 高コントラスト観測技術の開発拠点

- e.g., FACET, EXIST構築 (@北海道大)
- 各種コロナグラフ & ダークホール制御試験
Murakami et al. (2020), Proc. SPIE, 11443, 114432M.
Yoneta et al. (2022), Proc. SPIE, in press.

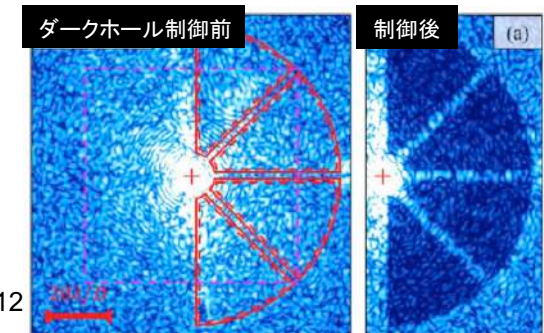
← 試作6次位相マスクと, 単一波長コロナグラフ試験の初期結果

米田他, 日本天文学会2022年秋季年会V225a
西川他, 日本天文学会2022年秋季年会V227b



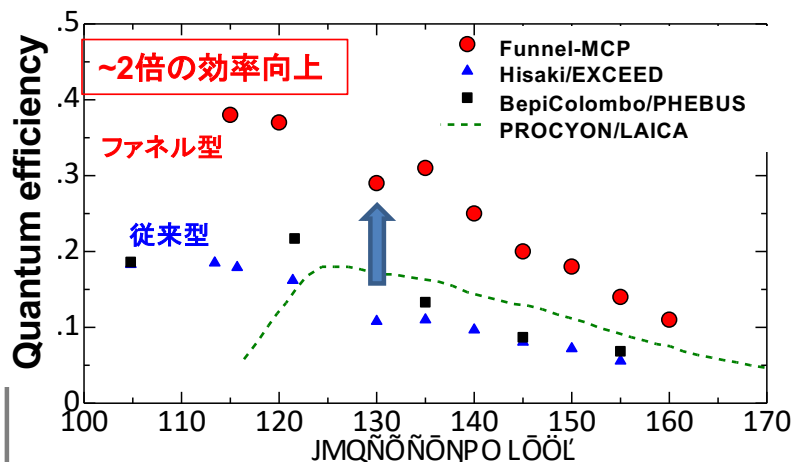
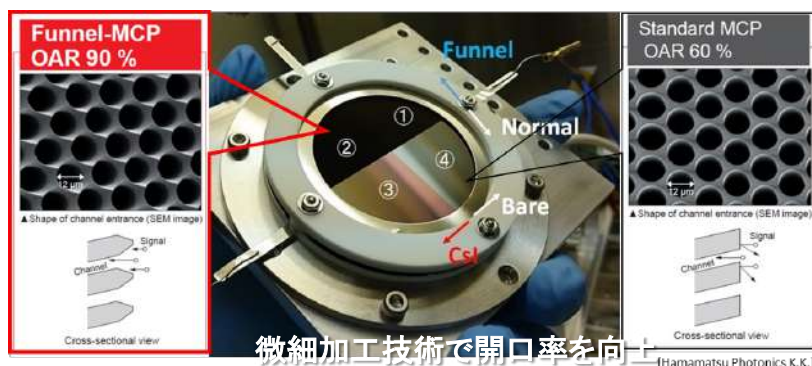
→ (上)テストベッドFACET外観 (下)ダークホール制御試験の例

Yoneta et al. (2022), Astron. J., 163, 112



紫外線観測装置の開発

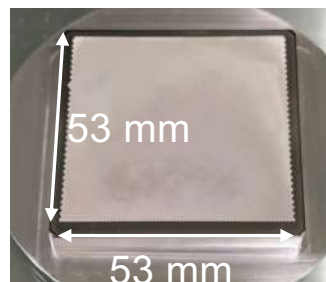
1. 高感度化: ファネル型MCP検出器



-試作機(φ40)で2倍程度の効率向上に成功

2. 大型化: MCPアレイ

大型ファネルMCP



狭縁3×3 MCPアレイ
(間隔6.5mm)



<LUVOIR要求:
200 x 200 mm>

□70 x 70ファネル
MCPを用いた狭縁
3×3MCPアレイ検出
器で要求の達成を目
指す

3. 広ダイナミックレンジ化・高解像度化: CMOS読み出し

- ファイバオプティクプレートによる
CMOSセンサとMCP(II)のカップリング技術を確立
- CMOSによる高速撮像を利用した光子計数
入力上限 $\sim 10^5$ cts/s $\rightarrow > 10^6$ cts/s
空間分解能の向上 30-40 μm $\rightarrow 6 \mu\text{m}$



4. ブレーズ型トロイダル回折格子

- ブレーズ型で酸素原子輝線(130nm)に最適化
2022年7月に試作完了
- ラミナー型(実績~30%)に対し、45%の回折効率を達成



ファネル型MCP(1), CMOSカップリング(2), ブレーズ型トロイダル
回折格子(4)を組み合わせた分光器を試作中
2022年度中に完成・評価

まとめ

- LUVVOIR/HabExは6m超大型紫外可視近赤外宇宙望遠鏡へ統合
 - ・ 生命居住可能惑星、地球外生命探査、
 - ・ 宇宙物理、地球物理全般を網羅する究極のミッション
- 日本の参加によりミッションを強化し、科学成果を拡大する
- キーコンポーネントを担当し、日本の技術レベルを高める。
- GOMTMPに参加し技術開発・実証を進める
- JAXA, NAOJで新たな枠組みを模索