

# すばる望遠鏡からHWOへの貢献

HWOの現状と今後の予定を示し、すばる望遠鏡において開発中の「系外惑星直接撮像技術」がどのようにHWOに役立つのかを述べる。

2025年8月6日  
国立天文台ハワイ観測所  
宮崎聡・Guyon, Oliver



2002



2025

Guyon氏は2002年にハワイ観測所に着任以来、一貫して系外惑星探査用観測装置の開発に従事している

## HWO Projectの現状と今後の予定

HWO-STARTは2023年8月に解散し、HWO Technology Maturation Project Office (HTMO)が発足した。HTMOはSTARTで形成されたワーキンググループを引き継ぎ、コミュニティー主導の検討が行われた。この成果物として、最近文章がまとめられた(Science Case Development Documents:SCDDs 2025/06末に公開予定)。HTMOは新たにCommunity Science & Instrument Team (CSIT)を編成し、メンバーが公開された。日本から推薦するメンバーは、ISASにおいて選考中であると報告を受けている。

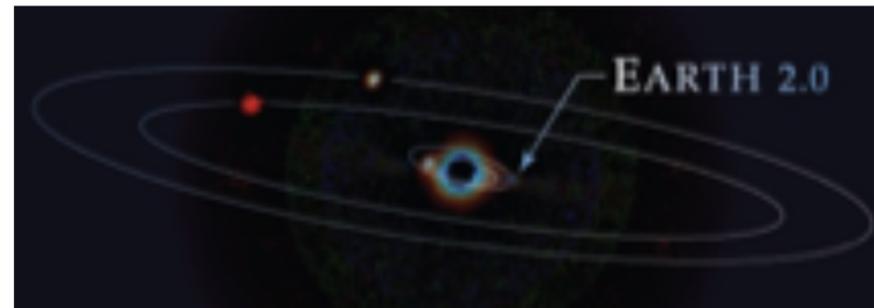


技術面の進捗としては、望遠鏡の概念検討が進み、これまでの3種(EAC1-3)をさらに発展させたEAC4, 5が固まり、2025/07 DCで開催予定のCommunity Conference (HWO25) で公開予定とのことである。

今後の予定としては、2029年3月にMission Concept Review (MCR)を受けて、その後Phase Aに移行を目指す。それまでに各要素技術はNASA TRL5 (コンポーネントないしブレッドボードモデルの相当環境での検証)まで引き上げられていることが期待されている。また、MCRまでに、国際協力の枠組みは確定される見通しである。

## HWOの主要装置:地球型惑星の直接撮像・分光

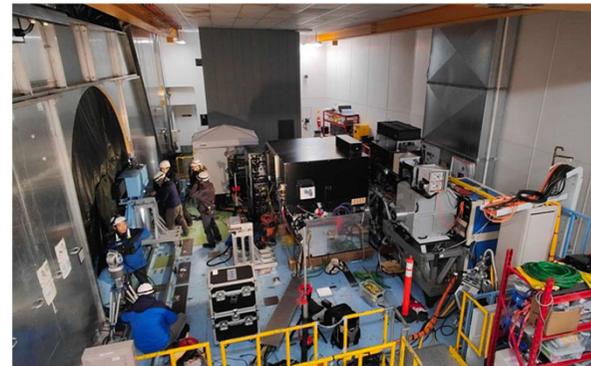
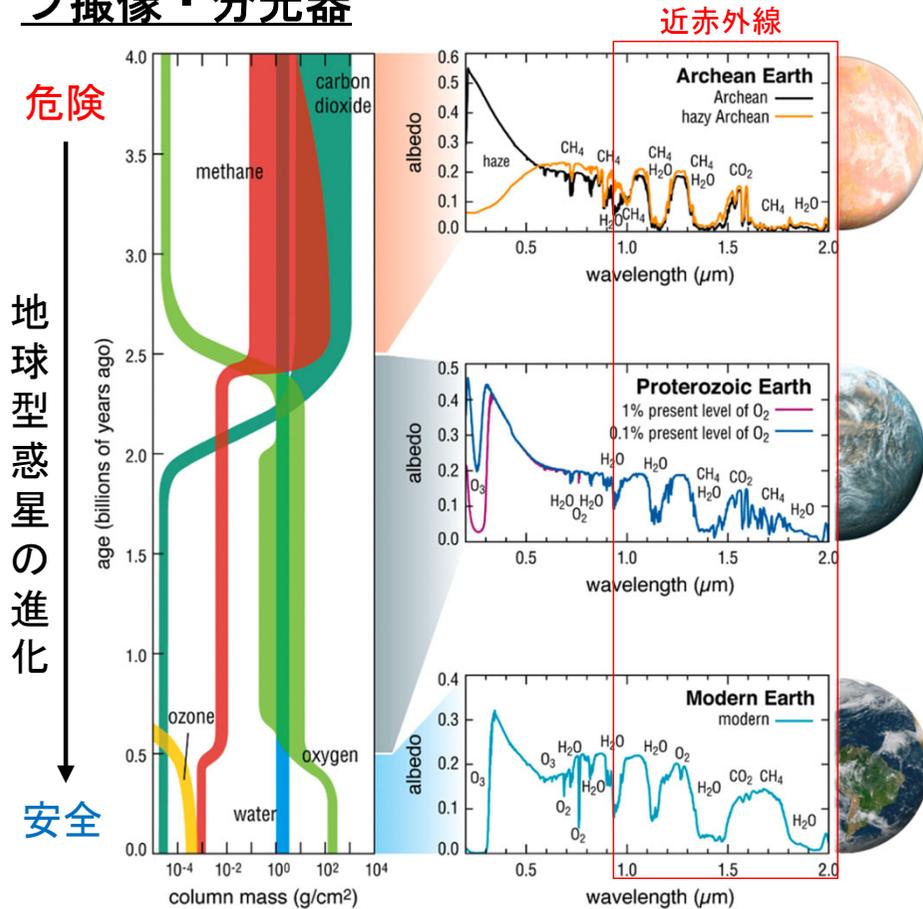
HWOは、複数の焦点面観測装置を搭載予定であるが、その基軸は、コロナグラフと呼ばれる。地球型系外惑星の同定(可視光)とその大気分光による詳細調査(紫外・可視光・近赤外線)を行う装置である。



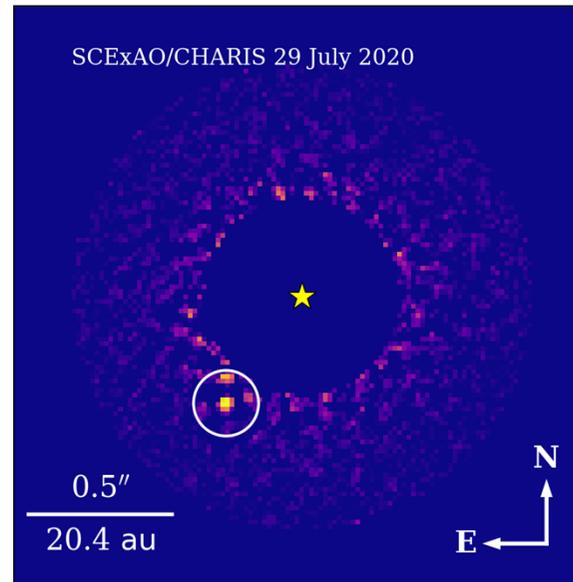
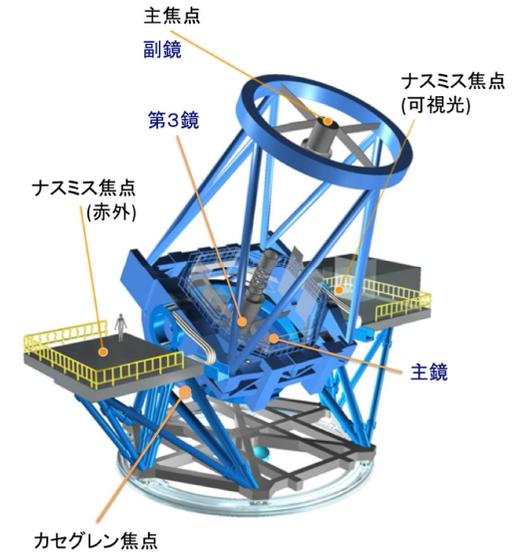
重要な要素技術は、主星からの光を遮蔽(もしくは選択的に拡散)するコロナグラフ技術(これには高次の波面補償技術も含まれる)と、極微光天体(第2の地球)の光を捉えるための、高効率分光器および検出器である。可視光のコロナグラフは、難易度が高く、NASA JPLが開発担当することが想定されている。

# ハワイ観測所の果たす役割

## 日本が開発を目指す、HWO近赤外線コロナグラ 実験室としてのすばる望遠鏡 フ撮像・分光器



すばる望遠鏡ナスミス焦点部の様子



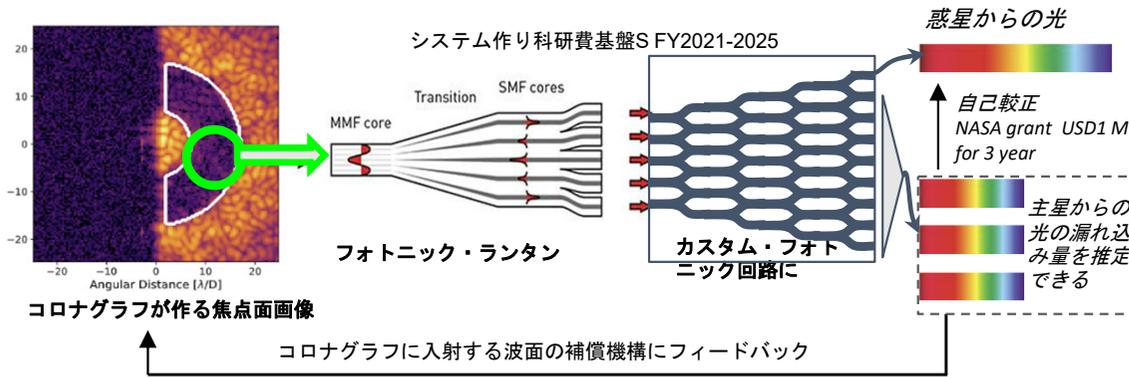
Currie+2023, Science, 380 198

すばる望遠鏡には観測目的に応じて選択できる、複数の焦点がある。ナスミス焦点は重力方向が不変で、大型重量物が設置できるため、系外惑星探査装置の設置に最適である。ここは、最先端の科学観測に使いつつ、アクセスがよいため、新たな技術を実地で試験する実験室の役割も果たしている。

近赤外線波長領域(NIR)は、分子の吸収線が多数存在し、バイオマーカーの特定に適している。NIRでは大気ゆらぎを補正する補償光学技術が確立しているため、地上大望遠鏡を用いて、系外惑星の直接撮像・分光が行われている。

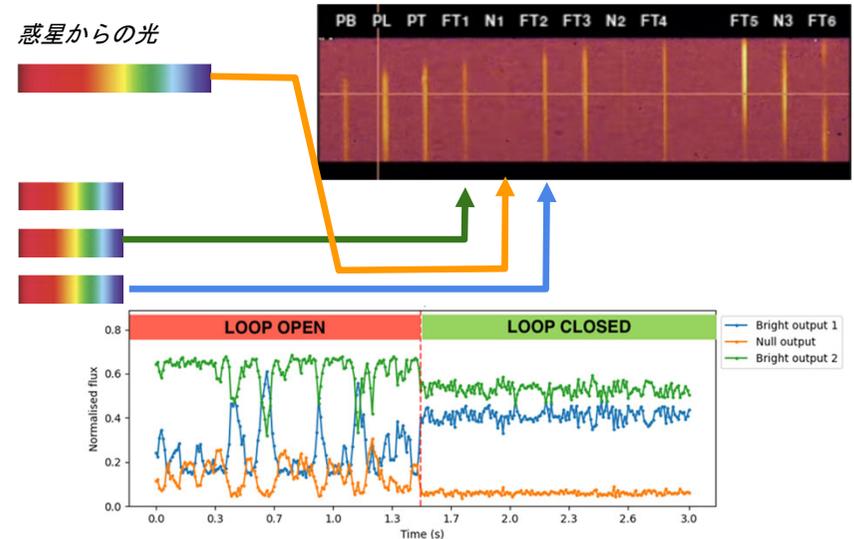
# ハワイ観測所の果たす役割

## HWOに提案するコロナグラフ撮像・分光器



コロナグラフが作る焦点面で、惑星の位置に光ファイバー端を設置して、光を分光器に導入する。ただし、HWOが狙う惑星は、主星に対して $10^{-10}$ と極端に暗いため、主星の光の漏れ込みを以下に抑えるかが鍵となる。漏れ込みを最小にするために、ファイバー径を細くすれば、惑星からの光を失うというトレードオフがある。これを解決するために、惑星像よりやや大きめのフォロニック・ランタン(複数~100本のシングルモードファイバーの束が、一方の端でそのコアが融着されてマルチモードファイバーになっている)に入射させ、シングルモードファイバー出力をカスタム・フォトニック回路に入力し、惑星からの光を1つの回路出力に集めて、それを分光する、というフォトニック分光器をハワイ観測所のGuyon氏が提案している。

光学系の収差の時間変化により、主星から漏れ混む光は変化するが、この分光器ではこれを検知して、波面補償機構にフィードバックすることで、漏れ込み量を減じることができる。また、惑星の分光データ自己補正にも使うことができる。フォロニック分光器の開発は、日本の科研費や、NASAの補助金を用いて行われてきており、2025/05に最初のテスト結果を得た(下図)。



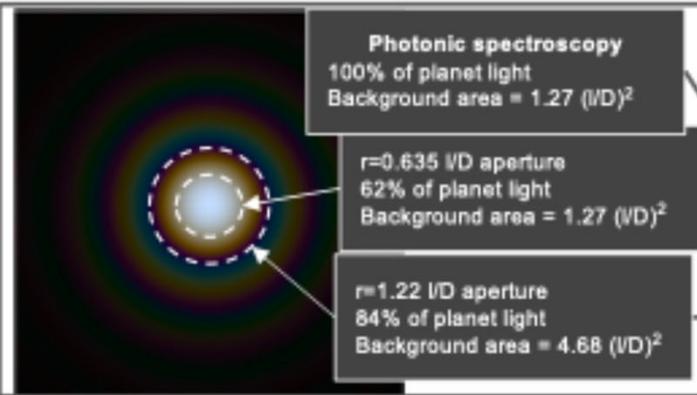
## すばる望遠鏡をHWOコロナグラフのテストベッドとして使う意義

- 要素技術の試験 コロナグラフ、フォトニック回路
- コロナグラフシステムとしての試験
- 系外惑星探査及びその他の科学成果
- 次世代を担う人材の教育

# Why Photonic Spectrograph? : ~10x Sensitivity Advantage

Exoplanet spectroscopy is in the **background-limited regime** -> we must maximize exoplanet flux  $F_p$  while minimizing background flux  $F_b$ :  $SNR \sim \sqrt{T} F_p / \sqrt{F_b}$   
 -> exposure time  $T$  required scales as  $F_b / F_p^2$

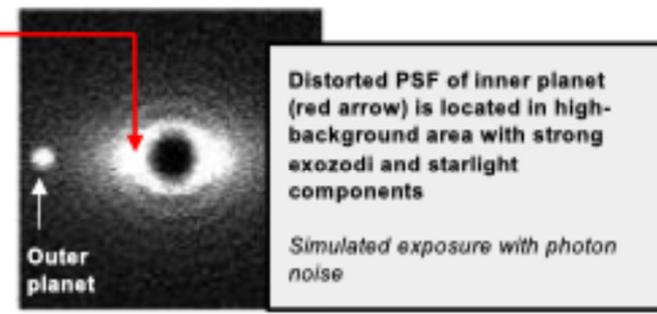
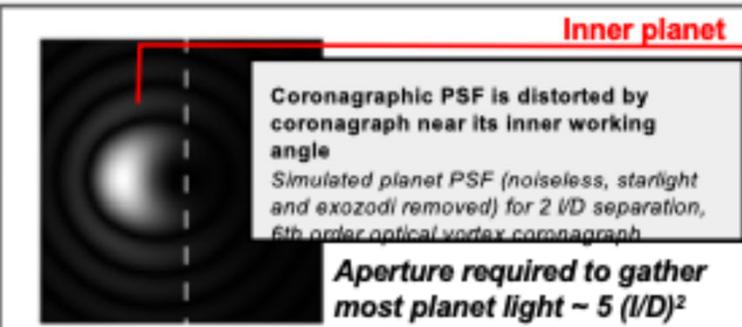
**Conventional spectrograph** is defined by an aperture radius, within which planet light is collected according to encircled energy and background light is collected according to aperture area.  
**Photonic Spectrograph** couples all planet light into a fiber while collecting the minimum background contribution from  $(4/\pi) (\lambda/D)^2$  sky area.



**Ideal case - Diffraction limited PSF (Airy), unobstructed telescope: 2.5x gain**

	Fb area [(l/D) <sup>2</sup> ]	Fp	Relative efficiency Fp <sup>2</sup> /Fb
<b>Photonic spectrograph</b>	<b>4/π=1.27</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
Aperture $r=0.5 l/D$	0.79	0.47	0.36
Aperture $r=0.635 l/D$	1.27	0.625	0.39
Aperture $r=1.22 l/D$	4.68	0.84	0.19

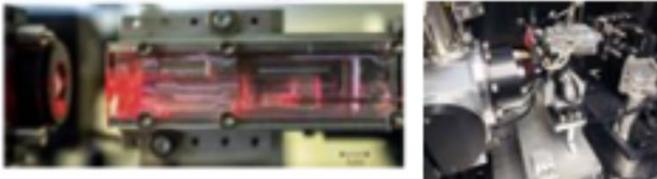
**Photonic spectrograph is 2.5x more efficient than an optimally sized aperture feeding a non-photonic spectrograph.**



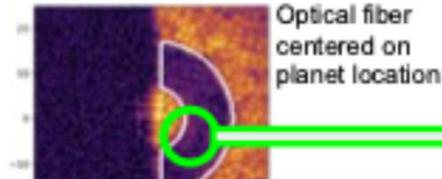
**Coronagraph case: ~10x gain**

*3 day vs. 1 month*

## Implementation on Subaru/SCEXAO instrument

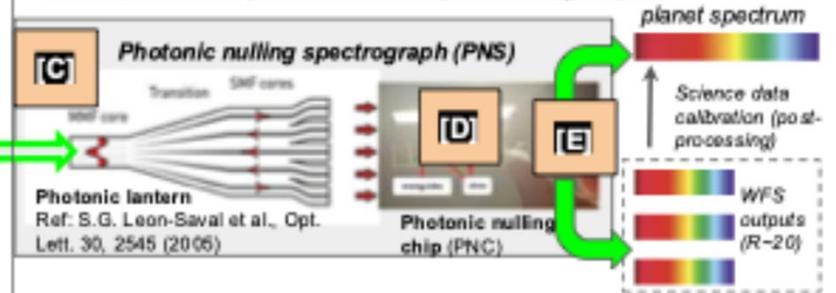


### Coronagraph system

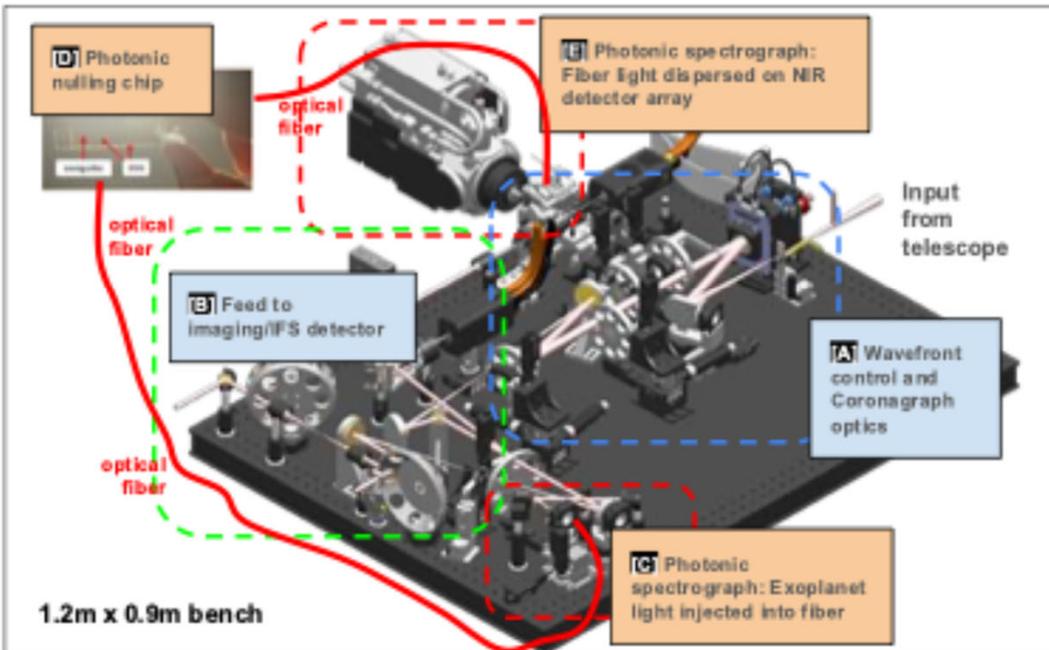


"Conventional" high contrast imaging system: [A] wavefront control and coronagraph + [B] imaging/IFS science detector

### exoplanet photonic spectrograph



highly-efficient photonic spectrograph ([C], [D], [E]).



## 5 KEY STEPS TO EXOPLANET SPECTROSCOPY

- [A] Coronagraph system removes most of the starlight from the image
- [B] Camera or Integral Field Spectrograph for (spectro-) imaging of planetary system
- [C] A small field, centered on the exoplanet, is injected in a photonic lantern
- [D] The output modes are processed by a photonic nulling chip that separates planet light from residual starlight
- [E] Planet light is sent to a science spectrograph. Starlight used for tracking and controlling the residual starlight