

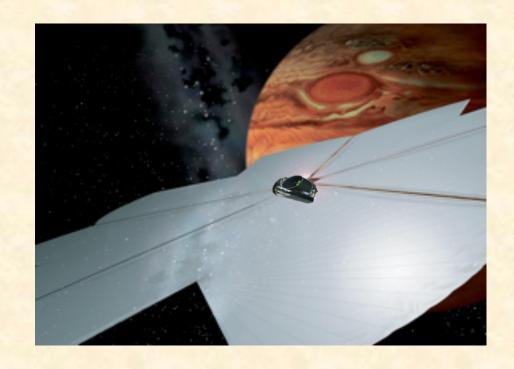
# 光赤天連シンポ 2020



- 2030年代の将来計画 -

惑星間宇宙望遠鏡 IPST – Interplanetary Space Telescope

松浦 周二 (関西学院大学)
OKEANOS/EXZIT & IPST study group
CIBER & COBAND collaboration

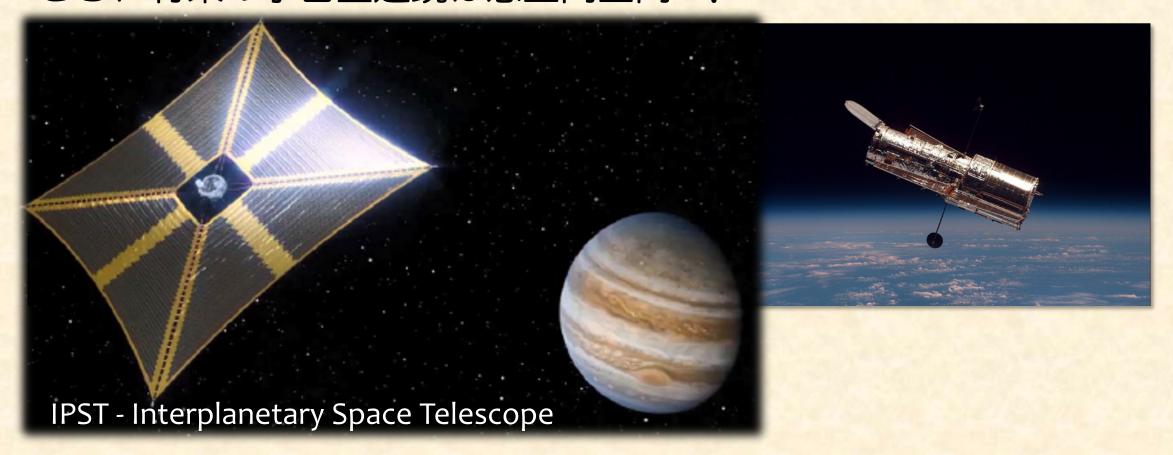




# 惑星間宇宙望遠鏡のコンセプト



天文学はより良い観測サイトを求め高地へ、そして宇宙空間へ、さらに将来の宇宙望遠鏡は惑星間空間へ.

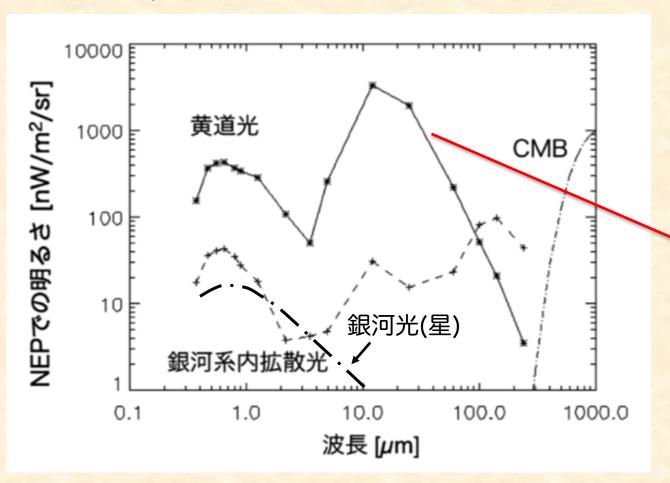




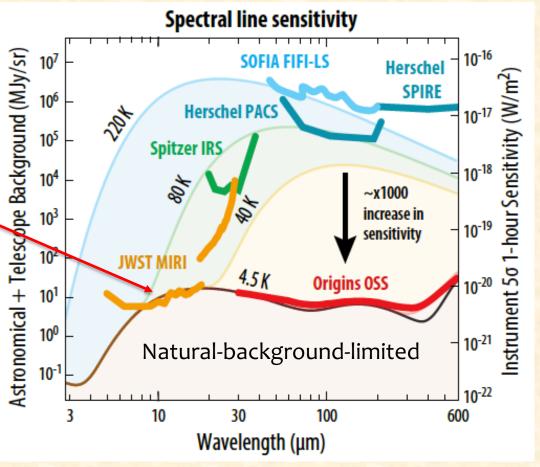
# 黄道光による検出感度の制限



#### 地球から見た空の明るさ



#### JWST, OSTの検出限界感度



from OST mission concept study report



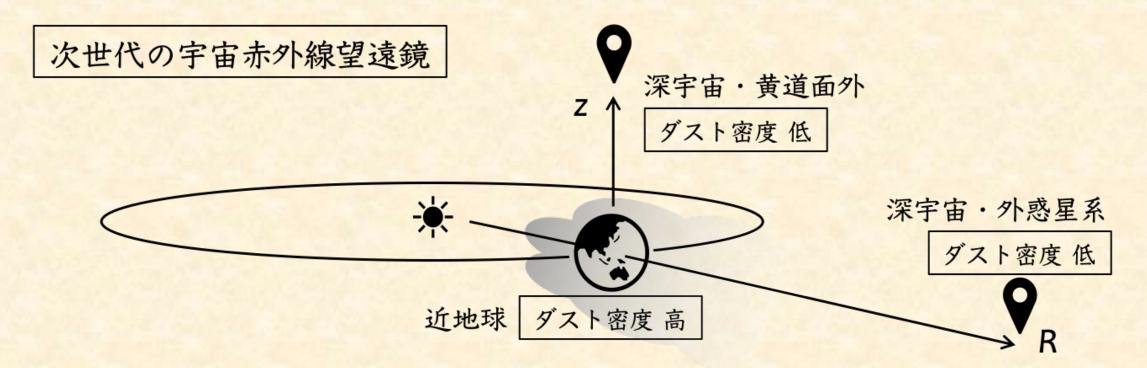
# 深宇宙軌道での黄道光の低減



小惑星帯以遠の惑星間空間では黄道光が地球近傍の 1%以下 @MIR



Background-limited sensitivityを10倍以上改善できる 宇宙背景放射・銀河系拡散放射の測定精度は劇的に改善する





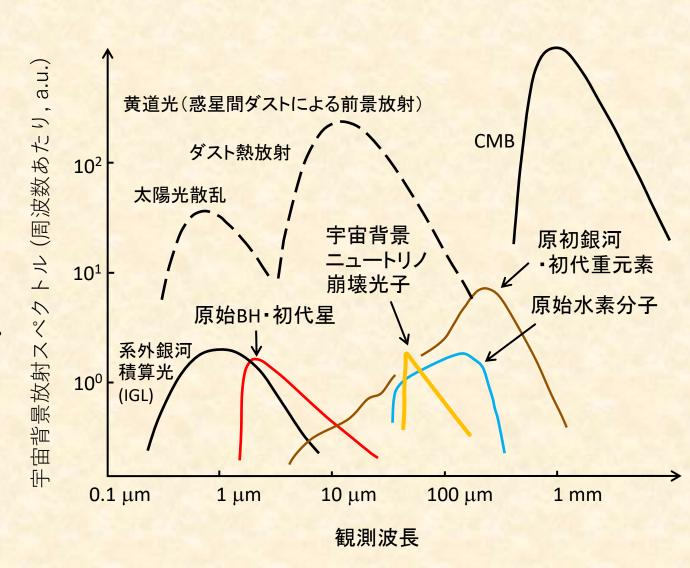
## IPSTの主な科学目的



#### 宇宙赤外線背景放射

(CIB: Cosmic Infrared Background)

- **NIR** 
  - IGL, 超過成分の解明
  - 初代星/PBH LyB, Lya ···
- **MIR** 
  - 背景放射の初検出
  - 原初銀河/AGN [OIII], Hα ···
- ☐ FIR
  - 初代重元素 PAH ···
  - 背景ニュートリノ崩壊光子
  - 原始水素分子収縮



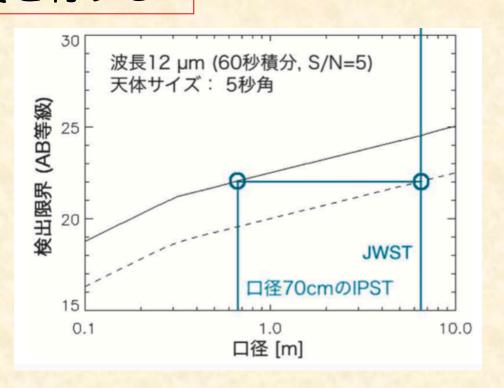


#### その他の科学目的



#### 空間的に拡がりを持つあらゆる階層の天体に対して 口径1m級でもJWSTやOSTをしのぐ感度を有する

- 銀河
  - ☐ Ultra-Diffuse Galaxies, Intrahalo Light
  - □ 星間および銀河間 ガス・ダスト
- 系外惑星系
  - ロ デブリ円盤, Exo-zodiacal light
- 太陽系
  - □ 惑星間/星間ダスト
  - □ EKBO, TNO, オールト雲天体・ダスト



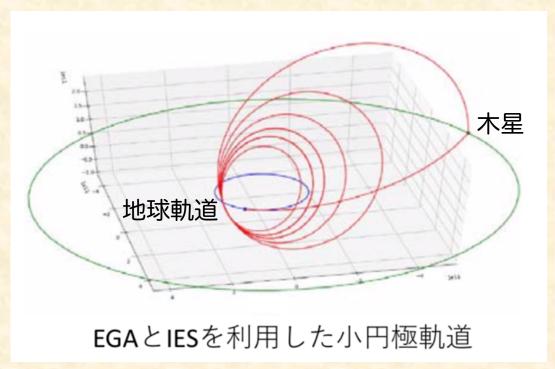
Zodiacal-background-limited sensitivity



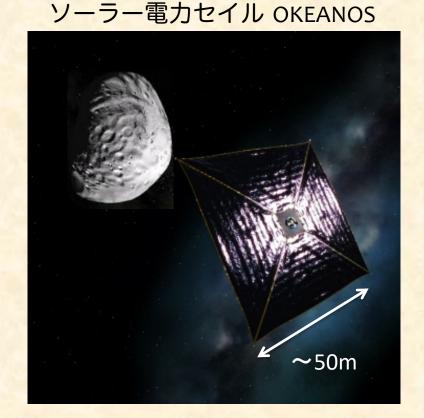
# 深宇宙/黄道面脱出軌道(例)



- 打上げ~ EDVEGA (3.5yr) ~ 木星到着 (2.5yr) (ZL ~ CIB)
- ◆ 木星スイングバイで黄道面脱出 (ZL << CIB)</li>
- ソーラー電力セイル (太陽光圧+イオンエンジンのハイブリッド推進)による太陽極軌道 (z = 1 au) への投入も



資料元:ISAS川口研 高尾 氏



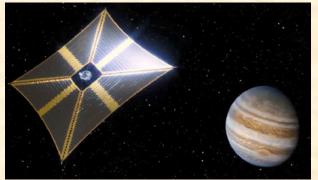


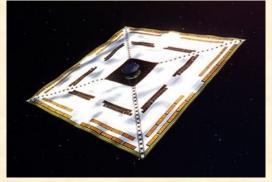
# IPSTシリーズ探査機による段階的な実現



	IPST	IPST pathfinder	OKEANOS / EXZIT	Micro-Sat · Planetary missions
望遠鏡口径	> I m	20 cm	IO cm	5 cm
観測波長	0.4 – 300 μm (可視~遠赤外)	0.4 - 80 μm (可視~遠赤外)	0.4 - 1.7 μm (可視~近赤外)	0.4 - 0.9 μm (可視光)
波長分解能	R~100	R ~ 100	R ~ 20	R < 10
検出器温度	<0.3 K	<2 K	140 K	250 K
機器質量	200 kg	50 kg	5 kg	~ I kg
軌道	木星~太陽極軌道	R > 3 AU	R ~ 5 AU	R < 1.4 AU
規模	ISAS中型~大型	ISAS小型~中型	親機はISAS中型	超小型(6U or I 2U)
打上げ期	2040年以降	2030年代	~2030年	~2025年









#### IPSTの意義

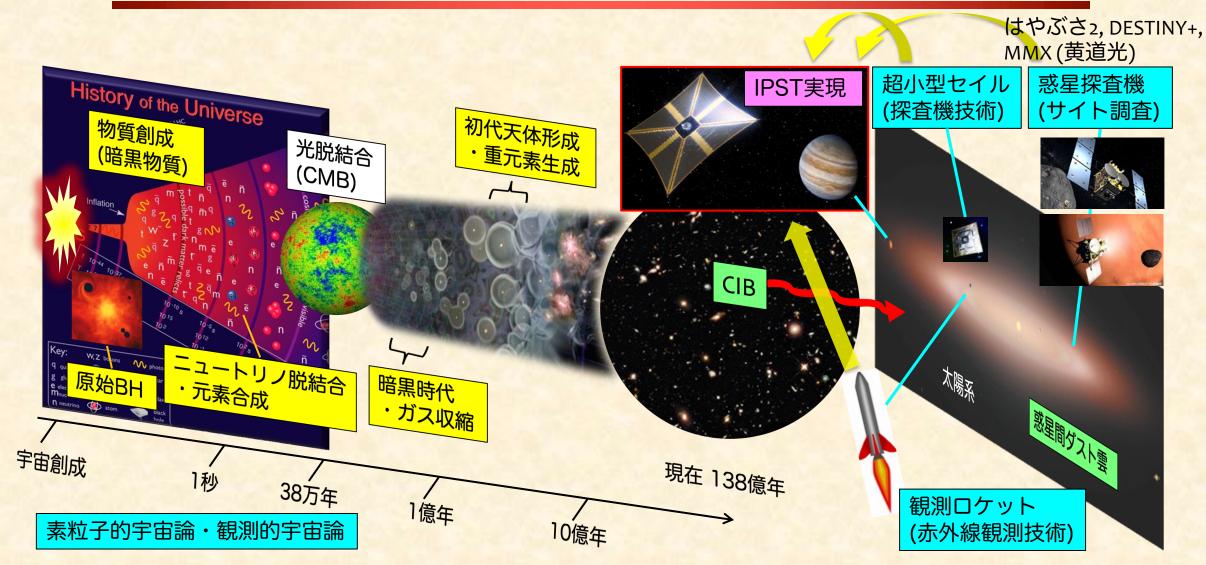


- 2020年代はCIBER-2, SPHEREX など国内外の小型計画で NIRのCIB観測が大きくすすむ
- ●NIR CIB絶対値とMIR, FIR CIB観測は2030年代に取り組むべき課題でありIPSTは大きな進歩をもたらす
- ●太陽系科学や素粒子物理学にも大きなインパクト
- ●新たな天文観測サイトとしての惑星間空間を開拓
- ●ソーラーセイルなど将来の宇宙探査・航行技術の開発
- ●理学・工学が一体となったコミュニティ形成
- □本提案は様々な分野の約50名の協力と賛同を得ている



# 分野総動員のIPST計画





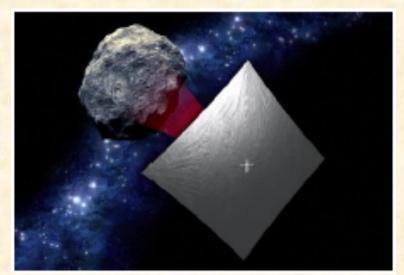
CIBER-2 (NIR/MIR) & COBAND (FIR, CVB)



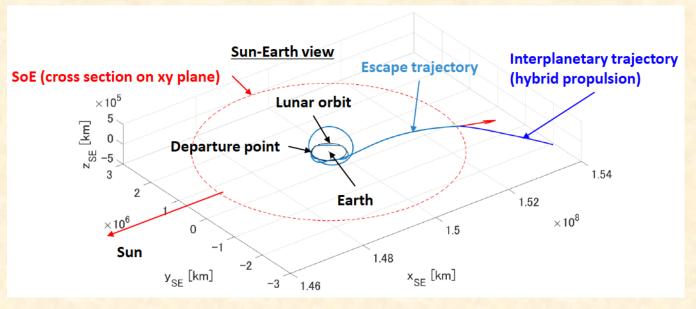
# 超小型ソーラーセイルの検討



- 12Uシステムにより月経由で惑星間軌道に出て火星や近地球小惑星へ
- 6UでのSEL1 / SEL2ハロー軌道も同時に検討
- OKEANOS等のIPSTにつながる日本独自のソーラーセイル技術の実証



NASA NEA Scout (2021) 超小型セイル探査機の例



超小型セイルの軌道検討 Titech, ISAS

資料元:東工大中条氏



#### WP評価結果の総評



黄道光の外での宇宙赤外背景光の研究を主目的とする、技術的にも日本のヘリテージ が活かされた独創性の高い惑星間宇宙望遠鏡計画です。惑星から宇宙論にわたる豊富 なサイエンスが可能である点は高く評価されていますが、①メインの宇宙赤外背景光 については、小型のミッションで有意な背景光の存在を確認することがまずは重要で あり、1 mが必要な根拠が不明確と思われます。実現可能性については、②データ送 信技術の成熟度をはじめとして深宇宙ミッションとしてのシステム要求とその実現性 に多くの開発課題があること、③黄道面を離れることで目的の条件を得られるかはま だ不確かであること、4IPSTパスファインダーのイプシロン級での実現性は明確で ないこと、55年毎の開発・打上げ計画が時間的に短すぎることが懸念されており、 現実的な境界条件を見据えた検討をすべきと指摘されています。一方で、検討段階か ら、理学、工学の両方のコミュニティをうまく巻き込んでおり、科学的価値と技術開 発の準備状況(もしくは開発体制)のバランスが良い点は非常に高く評価されています。 国際競争力については、地球惑星科学ミッションと融合した他に類似計画のないユ ニークな計画である点が高く評価されていますが、⑥目標とするサイエンスケースの 中には海外の赤外線ミッション(SPHEREx/JWST/SPICA/OST など)で可能にな るものも多いと考えられます。



# 評価で指摘された点



	IPST	IPST pathfinder	OKEANOS / EXZIT	Micro-Sat · Planetary missions
望遠鏡口径	> 1 m	20 cm	IO cm	5 cm
観測波長	0.4 – 300 μm (可視~遠赤外)	0.4 - 80 μm (可視~遠赤外)	0.4 - 1.7 μm (可視~近赤外)	0.4 - 0.9 μm (可視光)
波長分解能	R ~ 100	R ~ 100	R ~ 20	R < 10
検出器温度	<0.3 K	<2 K	140 K	250 K
機器質量	200 kg	50 kg	5 kg	~ I kg
軌道	木星~太陽極軌道	R > 3 AU	R ~ 5 AU	R < I.4 AU
規模	ISAS中型~大型	ISAS小型~中型	親機はISAS中型	超小型(6U or I 2U)
打上げ期	2040年~	2030年~	~2030年	~2025年

#### 評価の要約:

開発タイムスケールと科学目的の確からしさにおいて,フィージビリティーに問題がある.

自己評価においても、同様の課題を認識している.





各評価コメントの重要項目は全て総評に含まれているため、総評に対してのみ回答する.

- ① 小型のミッションで有意な背景光の存在を確認することがまず重要であり、 1 mが必要な根拠が不明確
- 指摘は妥当であり、OKEANOS/EXZITはそのような前駆的な「小型のミッション」としてIPST計画に必須と考えている.
- IPSTは 1 m案の衛星という一つの箱を指すのではなく、将来の宇宙望遠鏡のあり方を示す段階的計画のコンセプトである。
- 提案書には1mの根拠として点源観測ですらJWSTを凌駕する感度を持つことを示したが、もっと本質的なのは背景放射観測における星や銀河の混入の回避であり、その能力でCIBER-2やSPHERExを上回ることを前提としている。この点は提案書で明示すべきであった。最終的な科学目標の見直しとそれに必要な装置規模は今後の検討課題としたい。





- ② データ送信技術の成熟度をはじめとして深宇宙ミッションとしてのシステム 要求とその実現性に多くの開発課題がある
- 指摘は妥当である. この課題は将来の惑星探査技術とも共通しており、惑星科学分野や宇宙工学分野の研究者とタッグを組んで開発を進める. 超小型セイルの早期実証はその一つである.
- 部分的な解決策として、外惑星系に滞在するのではなく回線確保できる日心 距離1au程度の太陽極軌道に木星スイングバイ経由で投入する案があるが、 その際にもシステム要求に多くの課題があることは認識している.
- ③ 黄道面を離れることで目的の条件を得られるかはまだ不確かである
- 指摘が妥当とは思えない.
- これまでの観測で得られた黄道光 (惑星間ダスト) の空間分布についての知見 はミッション検討をするに足るだけの確度がある.





- ④ IPSTパスファインダーのイプシロン級での実現性は明確でない
- 指摘されて気づいたが提案書内で記述に矛盾がある.
- IPST pathfinderは ISAS中型計画の規模を前提としている.
- ⑤ 5年毎の開発・打上げ計画が時間的に短すぎる
- これについても提案書内 (Table 1と5) で記載に矛盾があった.
- pathfinderが 2030年代,1m案は 2040年以降の計画としている.
- pathfinderですら多くの技術的課題 (特にFIR機器) があるが、CIBER-2や COBAND等のロケット実験による基礎開発とともに、LiteBIRDやSPICAなど 2020年代衛星のヘリテージを活かし効率的に開発を進める.

OKEANOSも含めISASの2030年代のプログラムは不透明であり、光赤外天文のコミュニティとしては現時点のISASの枠組に囚われない議論が必要であり、また未来の天文学を見据える上で生産的と考えている.





- ⑥ 目標とするサイエンスケースの中には海外の赤外線ミッション (SPHEREx/JWST/SPICA/OST など)で可能になるものも多い
- 大型望遠鏡で可能になるものはよく仕分けし相補的なサイエンスをより広く検討する. 例えば, 近地球軌道の望遠鏡とIPSTがなす超長基線の視差を利用した観測などは特有なものであろう.
- SPHERExは装置規模や目的が pathfinderのNIRチャンネルと同様であるが、背景放射の絶対値測光能力には決定的な違いがある。さらに背景放射の期限を同定するため SPHERExより詳細なスペクトルの測定を目指す。
- MIR~short FIRのCIB測定のみであれば IPST pathfinderの他計画に対する優位性が明らかであるが、より一般的な目的のfull-size (1m)案ではJWST/SPICA/OSTに対する優位性をさらに検討する必要がある.

各評価コメントを真摯に受け止め必要な変更を含む検討を続ける.