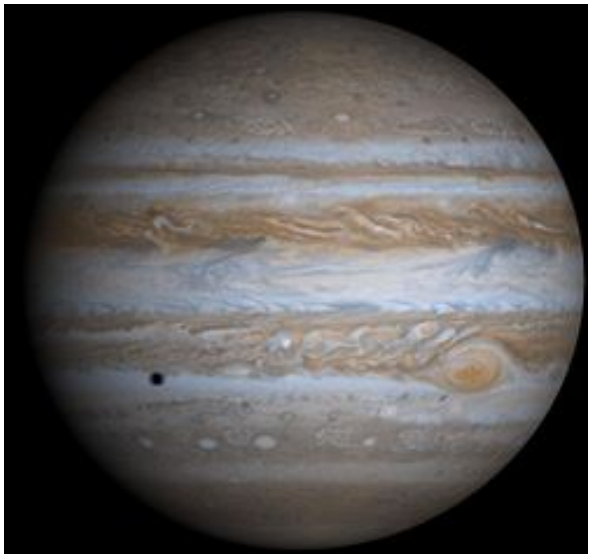
黄道光の外からの究極の天文観測を目指す惑星間空間望遠鏡

津村耕司
(東北大学 学際科学フロンティア研究所)
tsumura@astr.tohoku.ac.jp

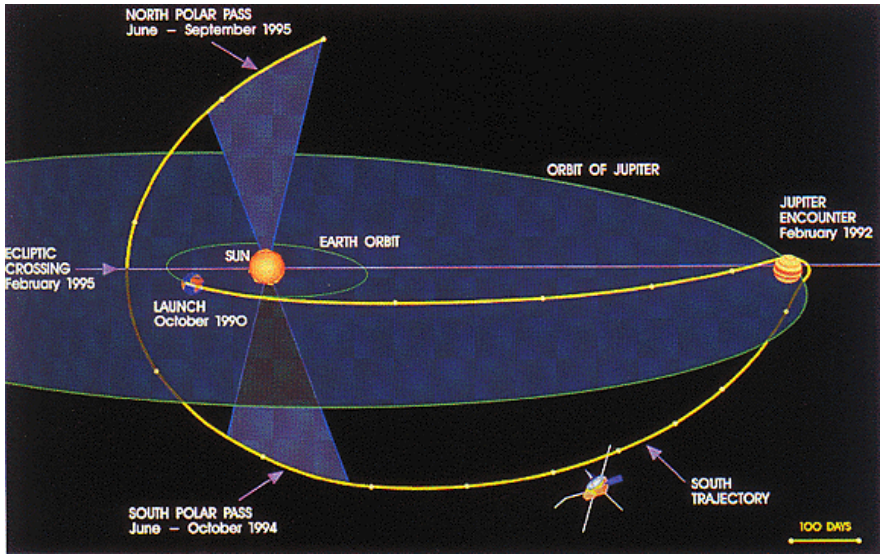
Contributed by 松浦周二 (関西学院大学)

2030年代以降にやりたいこと

惑星間空間望遠鏡
Interplanetary Space Telescope (IPST)



木星天文台



黄道面脱出

1mクラスの望遠鏡を R > 3AU or Z > 1AU に持って行く

過去の検討

- 惑星間望遠鏡計画については、過去に松浦らによって、以下の研究会などで発表されている
  - 1994年光学天文連絡会シンポジウム（平成6年国立天文台ワークショップ）ー2020年の光赤外天文学：地上とスペースからの観測ー
    - 10m望遠鏡を黄道面外へ?! → 現在のEXZITにつながる
  - 平成7年度宇宙放射線シンポジウム (1995)
  - 第１回黄道面脱出ミッション勉強会 (2000)
  - 第２回黄道面脱出ミッション勉強会 (2001)

- これらの経緯や、今回の発表内容を含む惑星間空間望遠鏡計画について、津村・松浦が『天文月報』の記事を先月投稿済

天文学の「質的な」発展

- 新たなパラメータスペースの開拓こそが、それまでの天文学を質的に変え、天文学を発展させてきたのではないか？
  - 初の望遠鏡による天文観測　(Galileo Galilei 1609)
  - 電波天体の偶然の発見(Jansky 1933)と、それに続く初の電波天文観測(Reber 1939)
  - 初のX線天文観測 (Giacconi et al. 1962)
  - 重力波の検出 (LIGO collaboration 2016)
- それに対して、最近の(特に大型の)ミッションは、あらかじめ「解くべき問題」が設定されてしまっている
  - 天文学の「量的な」発展は確実だが、「質的な」発展は望み薄い?
  - 大型ミッションでギャンブルはできないので仕方ない

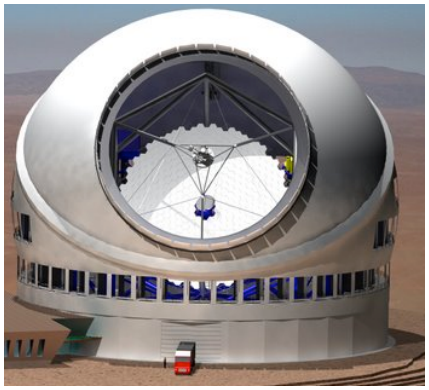
    → 萌芽的なテーマは小型ミッションで
- 現在の電磁波観測天文学において、天文学を質的に発展させる余地は残っているのか？

望遠鏡の質的進化

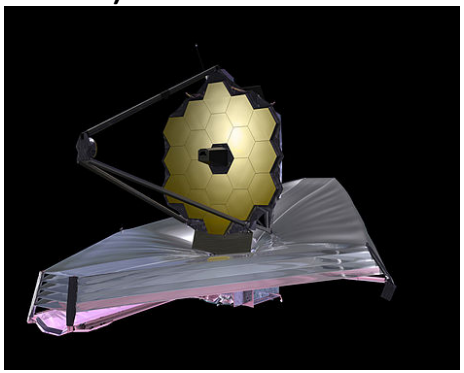
眼視の時代

(左)渾天儀　(右)象限儀
仙台市天文台所蔵、重要文化財

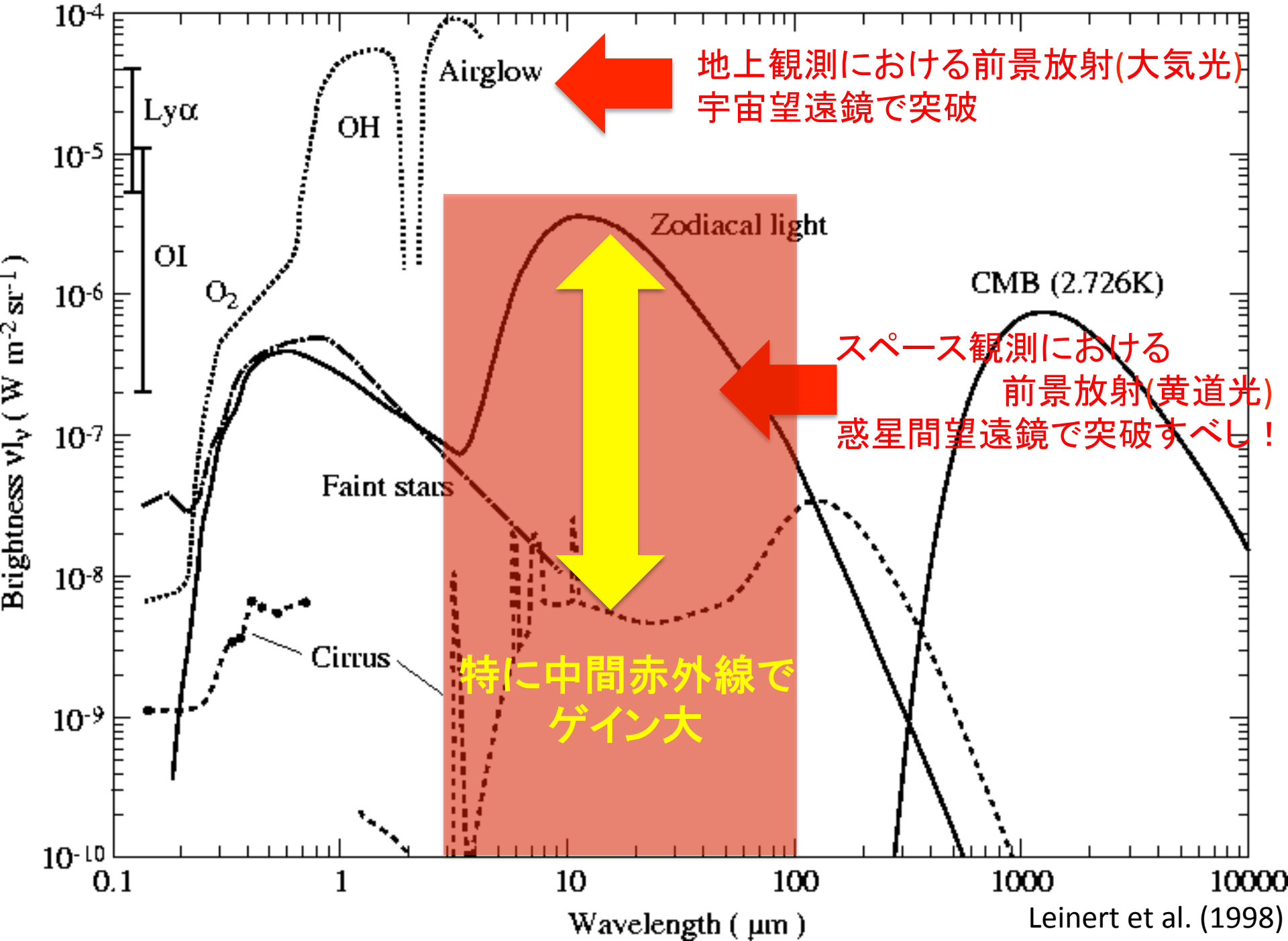
望遠鏡の発明(16世紀末)



宇宙望遠鏡の構想(Spitzer 1946)



望遠鏡の次なる質的進化こそ惑星間空間望遠鏡

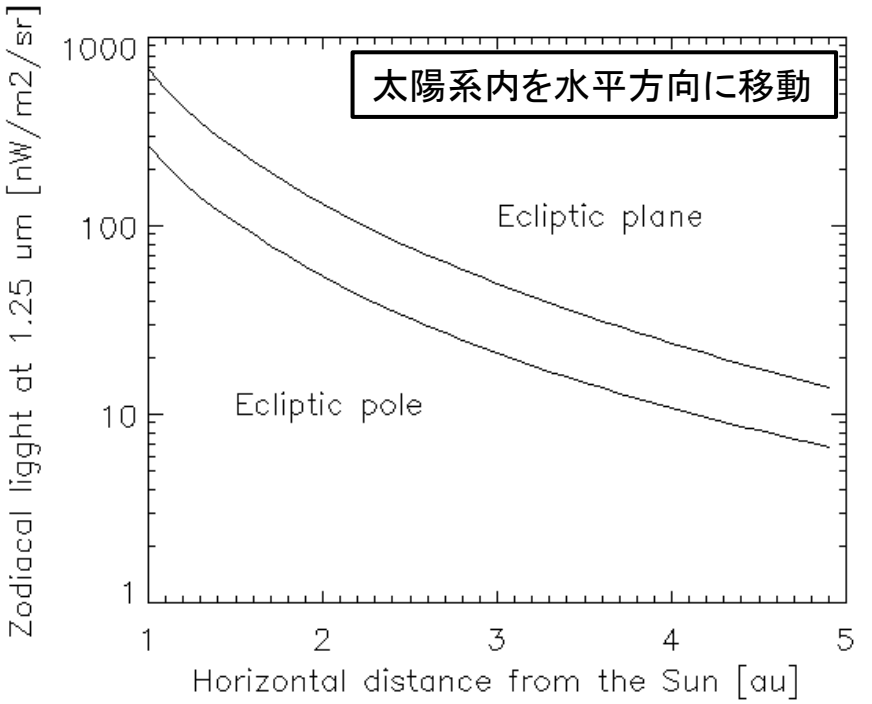


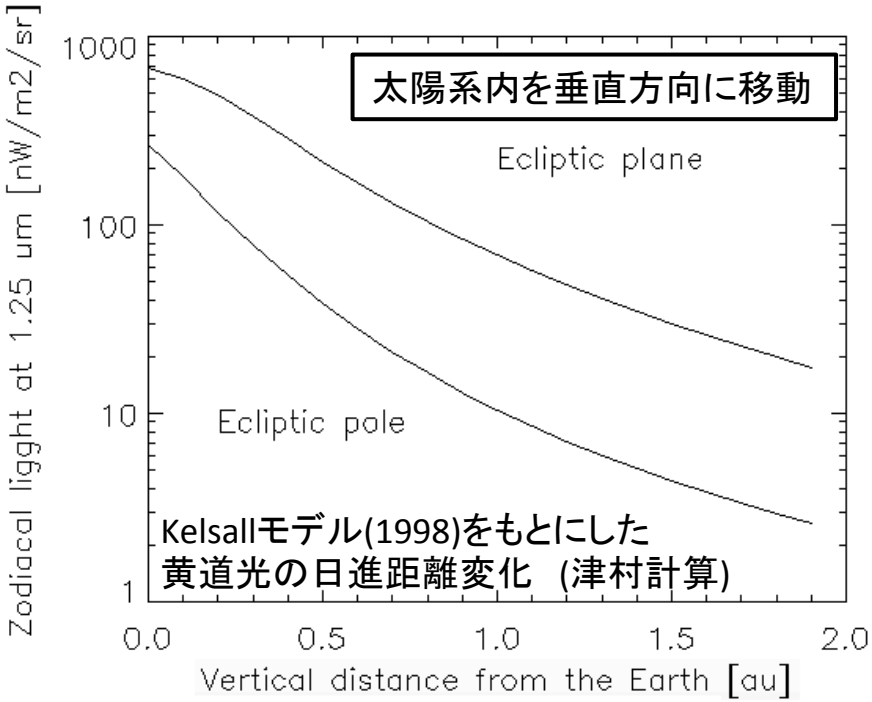
Leinert et al. (1998)

黄道光の位置依存性

- 惑星間ダスト分布モデルからの予測
  - 実測例はPioneer探査機のみ (Hanner et al. 1974, Matsumoto et al. 2018)
  - EXZITで初の赤外線・高感度の黄道光分布観測を目指す
- 黄道面内
  - 小惑星帯以遠（> 3AU）では黄道光輝度は一桁以下に低減
- 黄道面外
  - 太陽系の「上方向」に1AU行けば、黄道光輝度は一桁以下に

R>3AU or Z>1AUで黄道光フリーな天文観測が可能





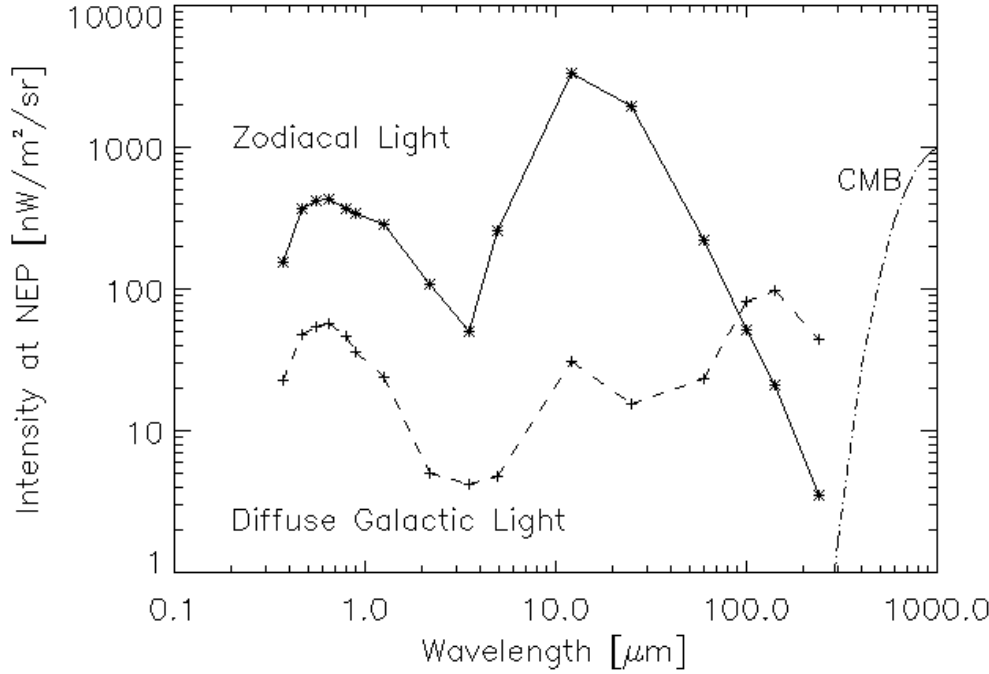
Kelsallモデル(1998)をもとにした
黄道光の日進距離変化 (津村計算)

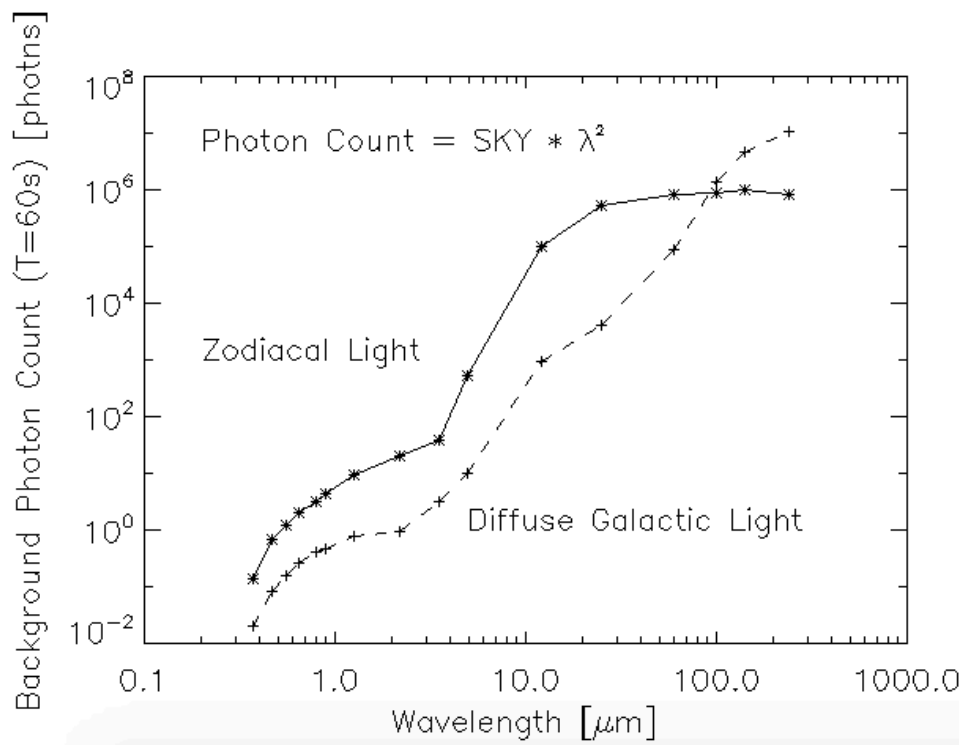
感度計算

回折限界望遠鏡の場合

- $N_{Sky} = I_{Sky} * S * \Omega \ / h\nu$
  $\sim I_{sky} * \lambda^3$
  - N_{sky}:前景光の光子数
  - I_{sky} = ZL + DGL
  - S : 望遠鏡面積 ~ r^2
  - Ω : 立体角=PSFサイズ ~ $(\lambda/2r)^2$
  - 背景光ノイズは口径によらない
- 点源観測の場合、5–100 μm において、黄道面外に行くメリットあり
  - <5 μm: 点源のフォトンノイズリミット
  - >100 μm: DGLリミット

拡がった天体に対しては
<100 μmの全ての波長で
黄道面外に行くメリットあり

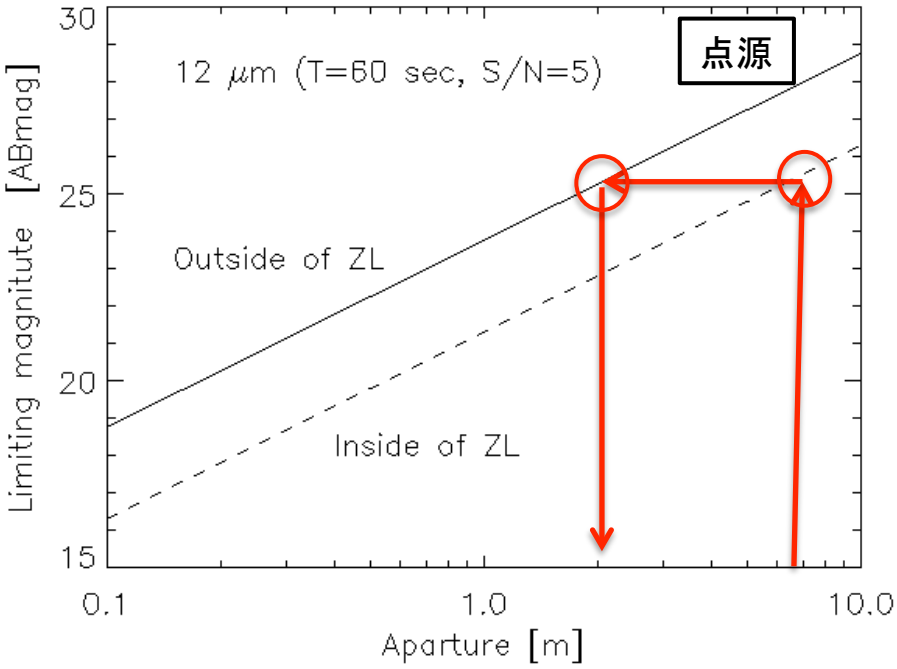


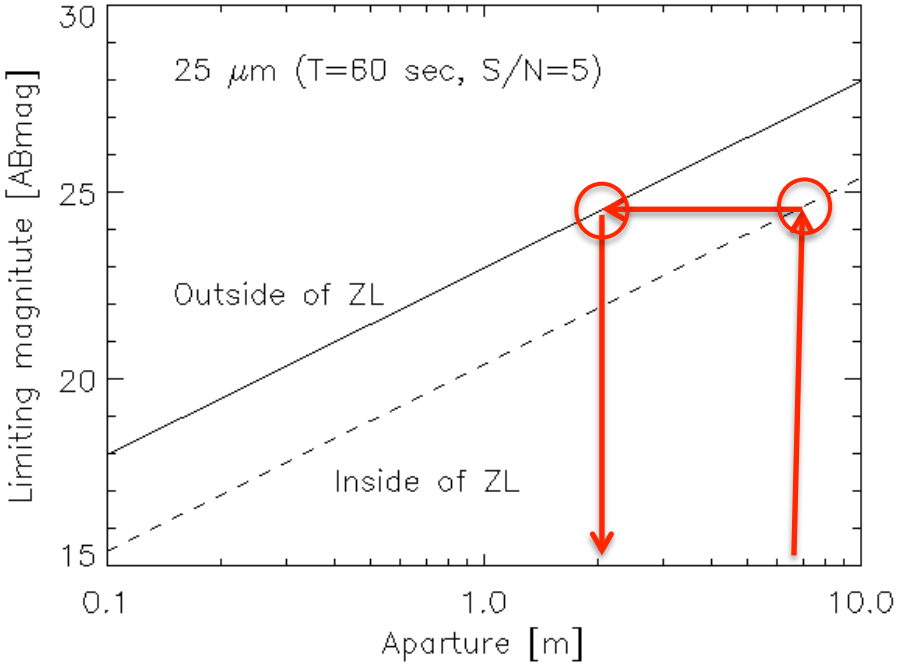


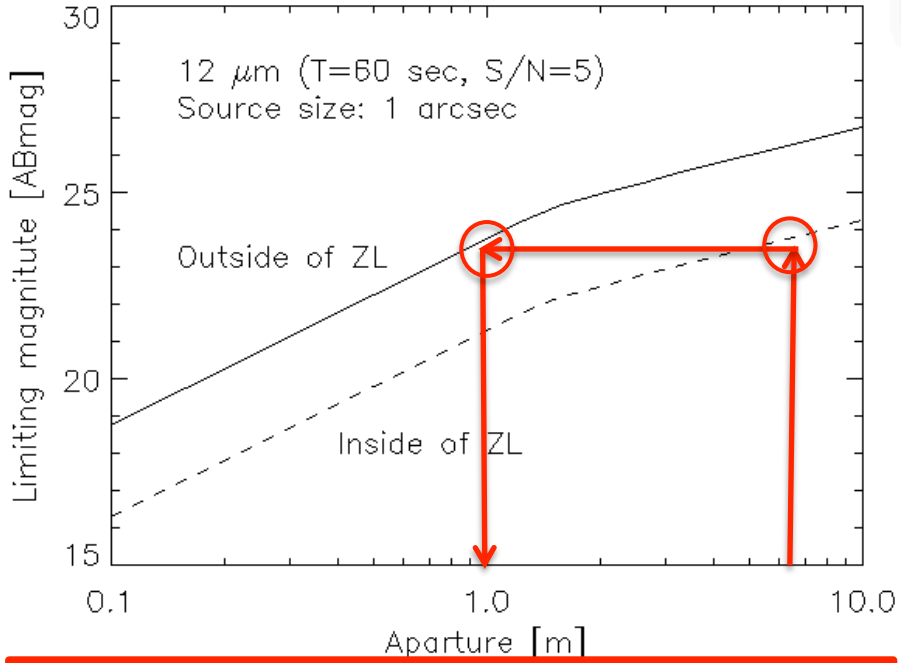
感度計算

- 点源の観測では、中間赤外線において、口径2mのIPSTがJWSTと感度で互角
- 1秒角に拡がった天体に対しては、口径1mのIPSTがJWSTと感度で互角
- 小口径なので、視野を広くできる

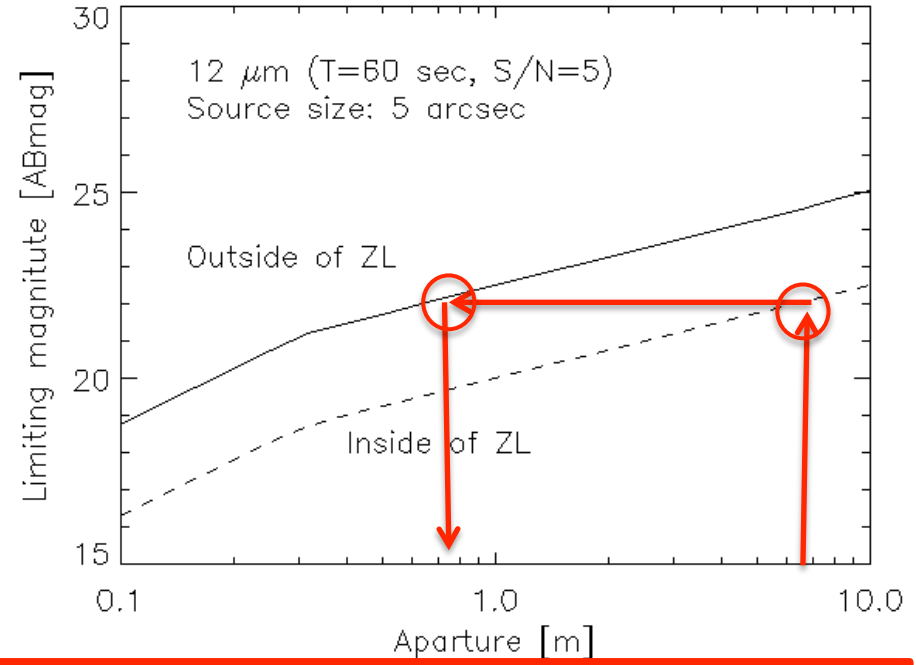
JWSTの感度で
MIR広視野サーベイ



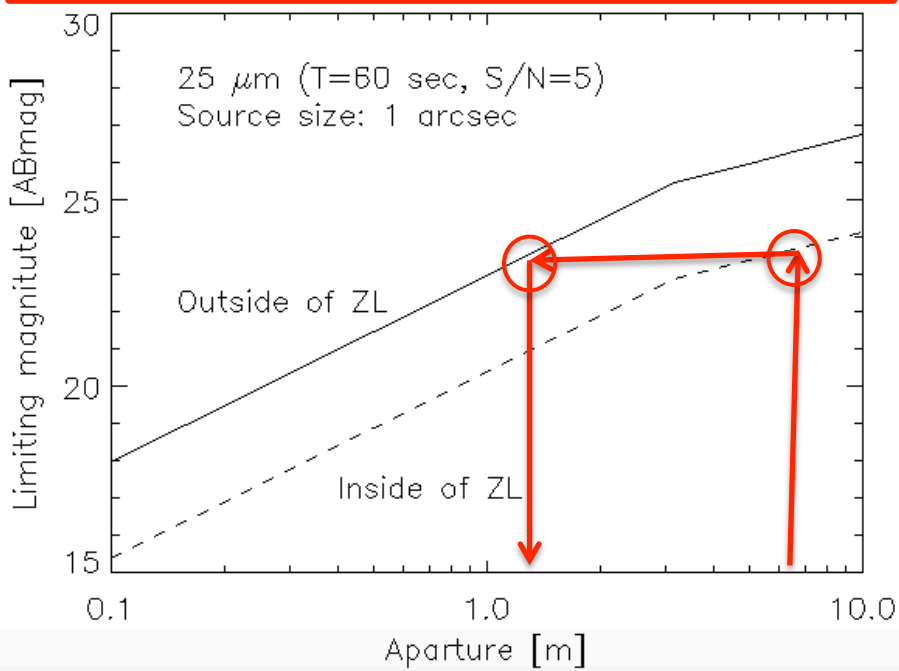


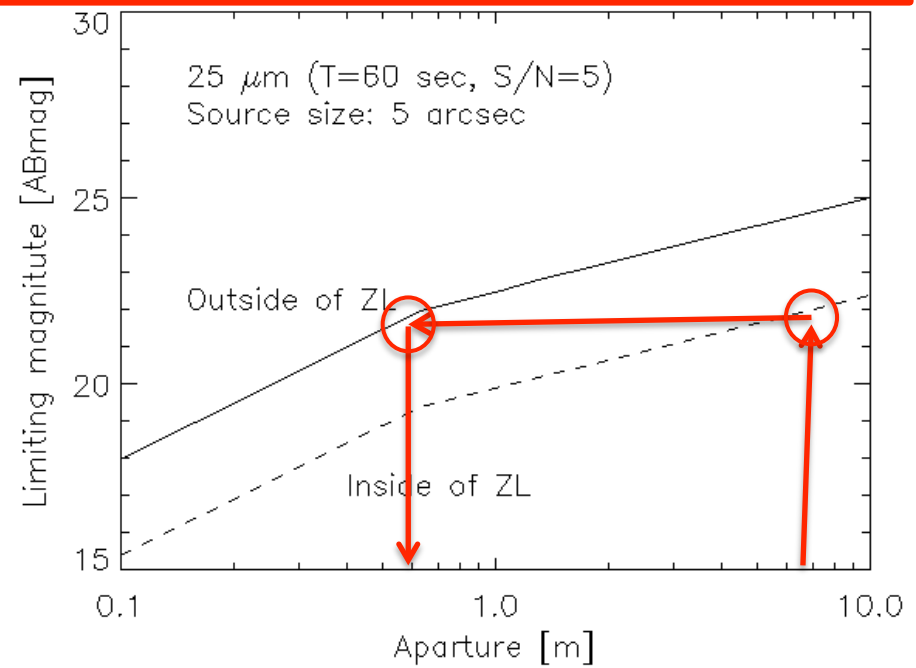


1秒角の天体に対しては1mでJWSTと互角



5秒角の天体に対しては70cmでJWSTと互角



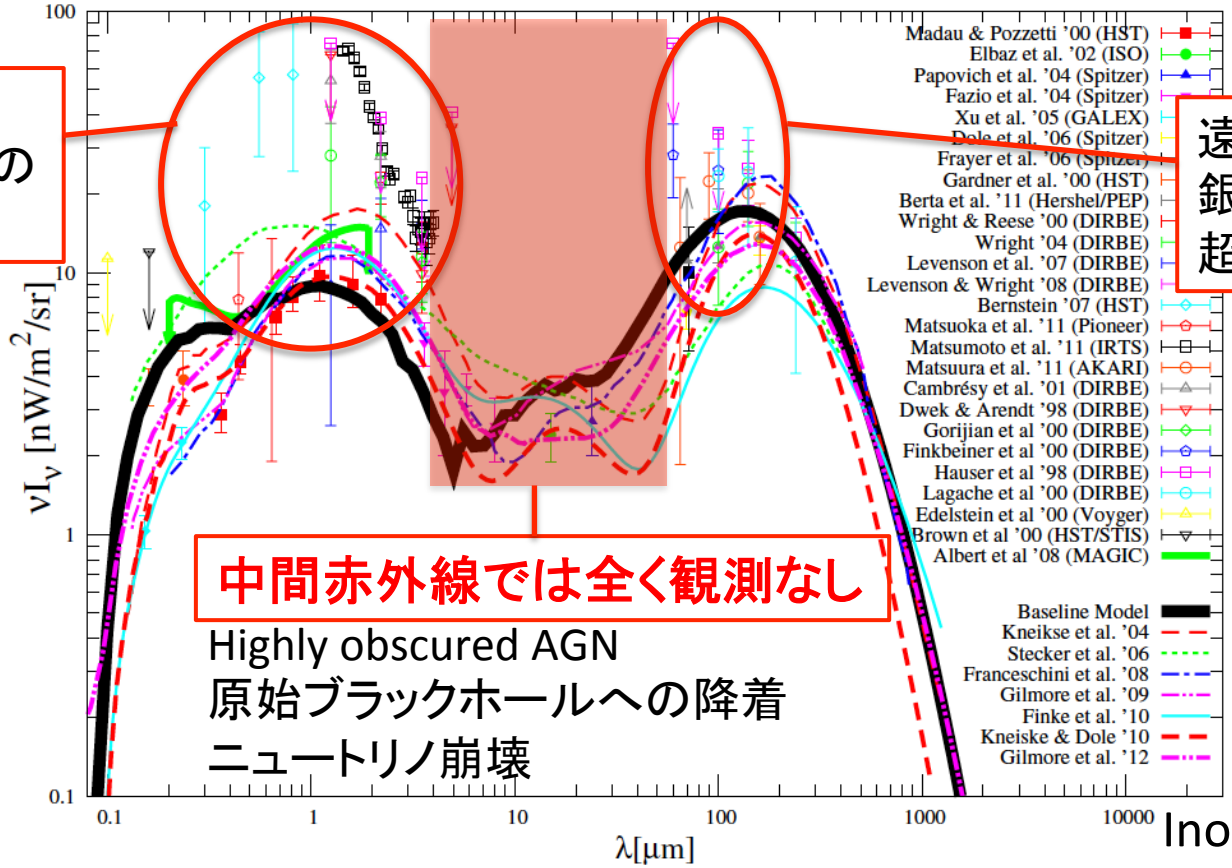


惑星間望遠鏡でのサイエンス案

- <u>全赤外波長域での背景放射の観測</u>
  - NIR: 銀河積算からの超過 (CIBER, AKARI, IRTS, COBE など)
  - MIR: 過去に全く観測なし ← 黄道光が明るすぎるため
  - FIR: 銀河積算からの超過 (AKARI, COBE など)

近赤外線での
銀河積算からの
超過

遠赤外線での
銀河積算からの
超過



EXZIT
で決着を
つけたい！

Inoue et al. (2013)

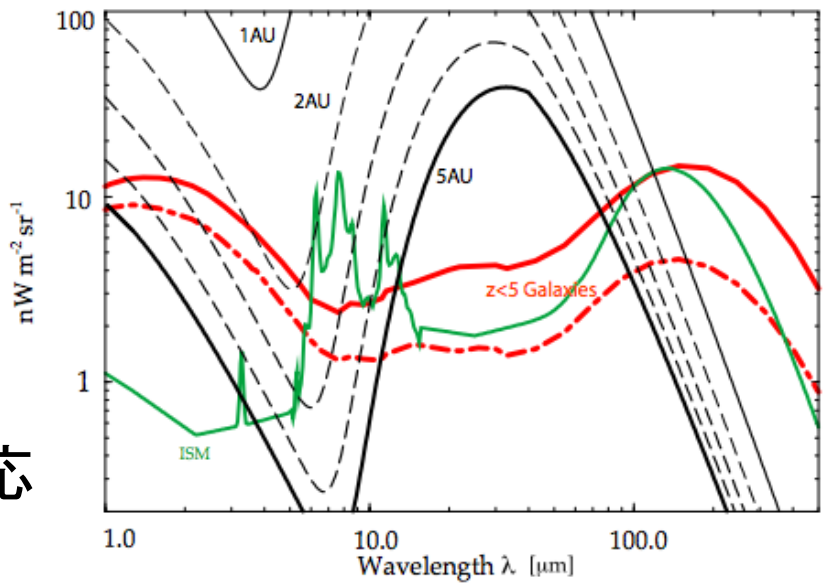
惑星間望遠鏡でのサイエンス案

- 中間赤外線での広視野サーベイ
  - 中間赤外線では口径1mでJWSTの感度に匹敵
  - 口径が小さい分、広視野の望遠鏡ができる
  - JWSTの感度で、WFIRST的な広視野サーベイをする
- 中間赤外線での高感度面輝度分光観測
  - 高銀緯分子雲の観測
    - ガス:ダスト比は100:1なのか？

      ← 佐野さん(名古屋大)より
  - 銀河系放射の直接マッピング
    - 銀河系内でのAstroChemistry

      ← 下西さん(東北大)より
- 他のアイディア求む
  - 天文台型なので色々な観測に対応
  - それを考える研究会を開催したい

Cooray (2016)



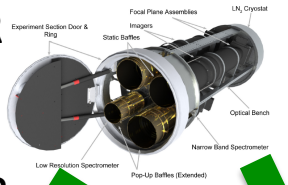
既存のプロジェクトからの発展性

赤外線天文学

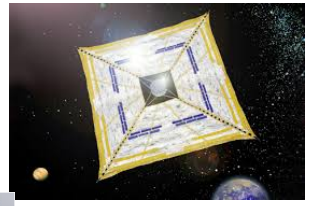
惑星探査工学

IRTS

CIBER



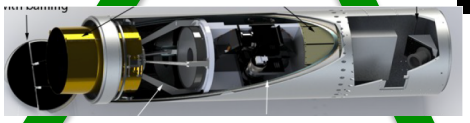
IKAROS



はやぶさ

あかり

CIBER2

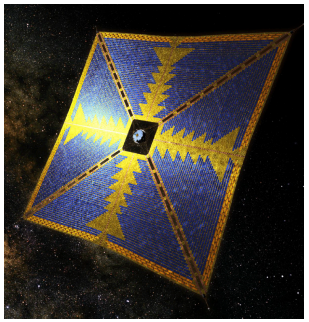


はやぶさ2

王道

小型の活用

王道



戦略的中型3候補
SPICA

- 冷却技術
- 中間赤外線観測装置

＋

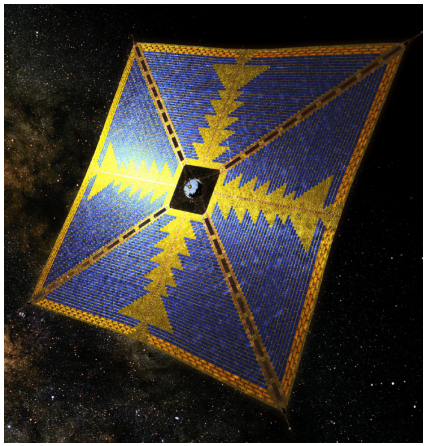
戦略的中型2候補
OKEANOS

- 木星までの航行技術
- EXZITによる“サイト調査”

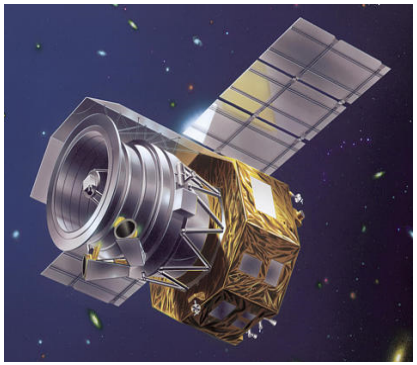
惑星間空間望遠鏡

搭載可能な質量

- ソーラー電力セイル探査機OKEANOS
  - ミッション機器合計：141.6 kg
    - 着陸機100kgを含む



- 赤外線天文衛星「あかり」
  - ミッション機器合計：　40.1 kg
    - 望遠鏡(有効径：68.5cm)：30.6 kg
    - 近・中間赤外線カメラIRC(2-26 μm)：4.0 kg
    - 遠赤外サーベイヤーFIS(50-180 μm)：5.5 kg
    - (参考：クライオスタット：　430 kg)



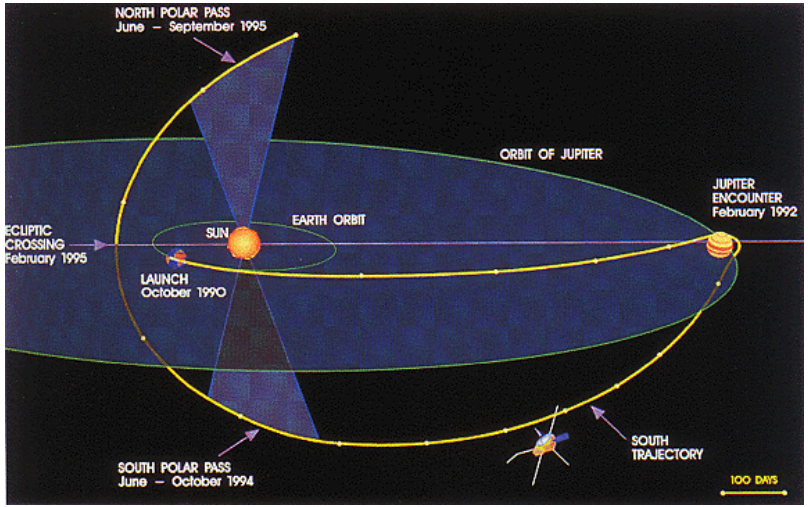
OKEANOSのミッション機器リソースを全て天文につぎ込めば、1m級望遠鏡は搭載可能

軌道案

太陽系極軌道 (Ulysses型)

木星スイングバイで太陽系極軌道へ

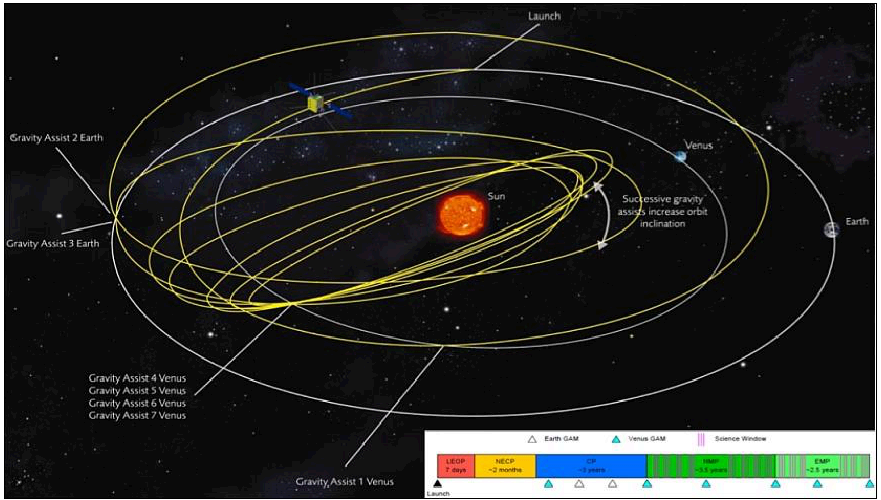
- ○ 広い天域を観測可能
- ○ 低黄道光環境を保ったまま地球に近づくので、高速通信が(徐々に)可能になる
- × 黄道面通過のタイミングでは黄道光が増加する



大軌道傾斜角 (Solar-Orbiter型)

金星・地球の複数スイングバイで軌道傾斜角を徐々に上げて行く

- ○ 常に地球の近くにいるので通信や電力確保が容易
- ○ 小型衛星規模で早期に実現可(Destinyバスなどの利用)
- × 頻繁に黄道面を通過する
- × 最大でZ方向に0.5-1AU程度



人類が持つべき3種類の望遠鏡

[2010年代まで]

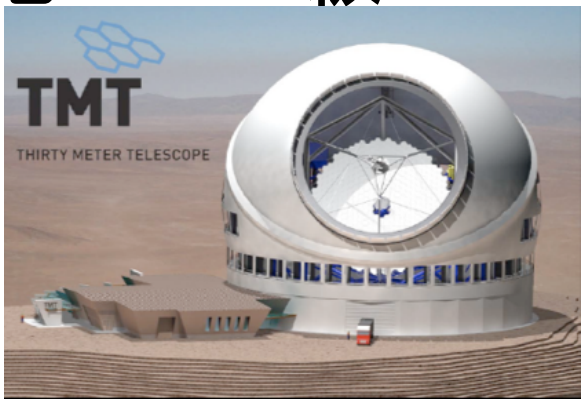
地上10m級

スペース2.5m

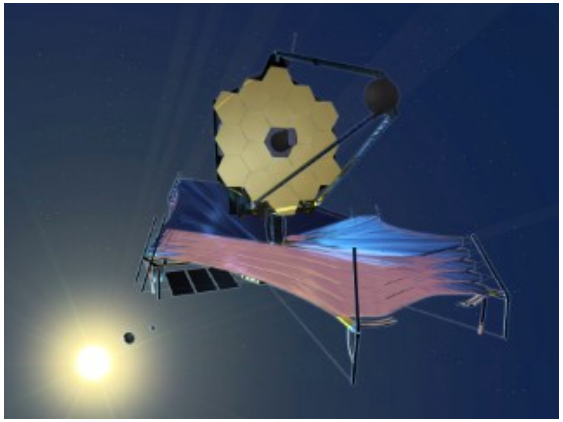
高解像度観測は
地上大型望遠鏡に託す。
高感度広視野や分光に
特化して棲みわけ。

[2030年代以降]

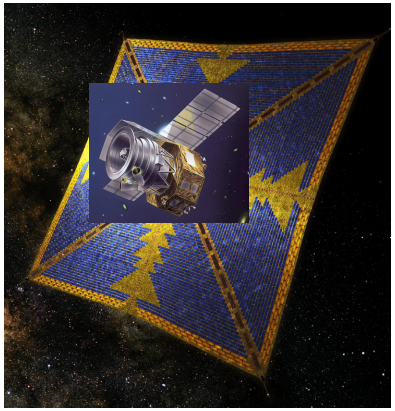
地上30m級



スペース6.5m



IPST 1m級



まとめ

- 2030年代以降の惑星間空間望遠鏡(IPST)計画について考えた
  - 望遠鏡が地球大気の外に出て、天文観測を質的に変えてきた歴史の自然な延長
  - 特に中間赤外線で大きなゲイン
    - JWSTの感度で、WFIRSTのような広視野サーベイ
    - 面輝度分光観測によるAstroChemistry
  - 口径1mでJWSTに感度で互角
- 既存の戦略的中型計画を戦略的に活かした将来計画
  - 戦略的中型2候補：ソーラー電力セイル探査機
    - 木星までの航行技術の実証、EXZITによる”サイト調査”
  - 戦略的中型3候補：SPICA
    - 中間赤外線観測装置、冷却技術
  - NASAやESAにもまだない独自コンセプト
- 惑星間空間望遠鏡計画に興味があればご連絡ください
  - 津村(東北大)　tsumura@astr.tohoku.ac.jp