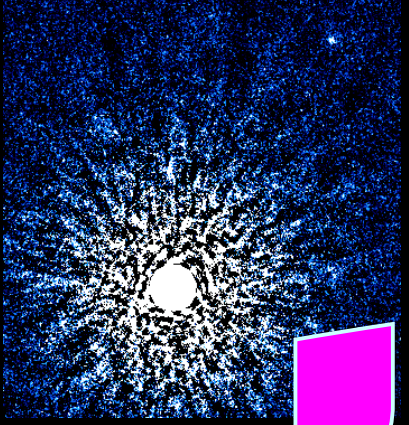
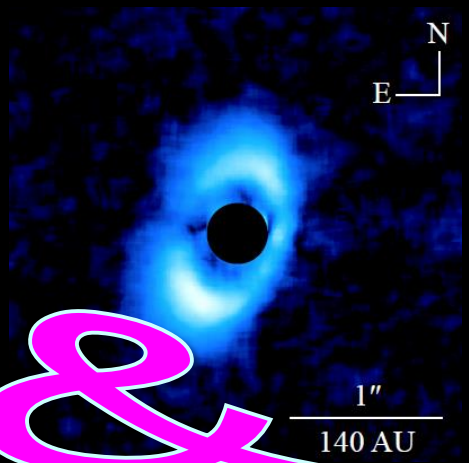
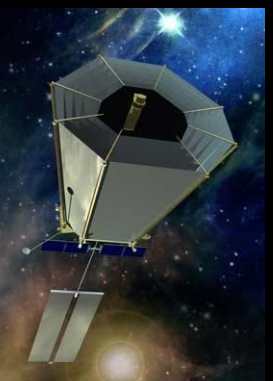




JTPF & WACO

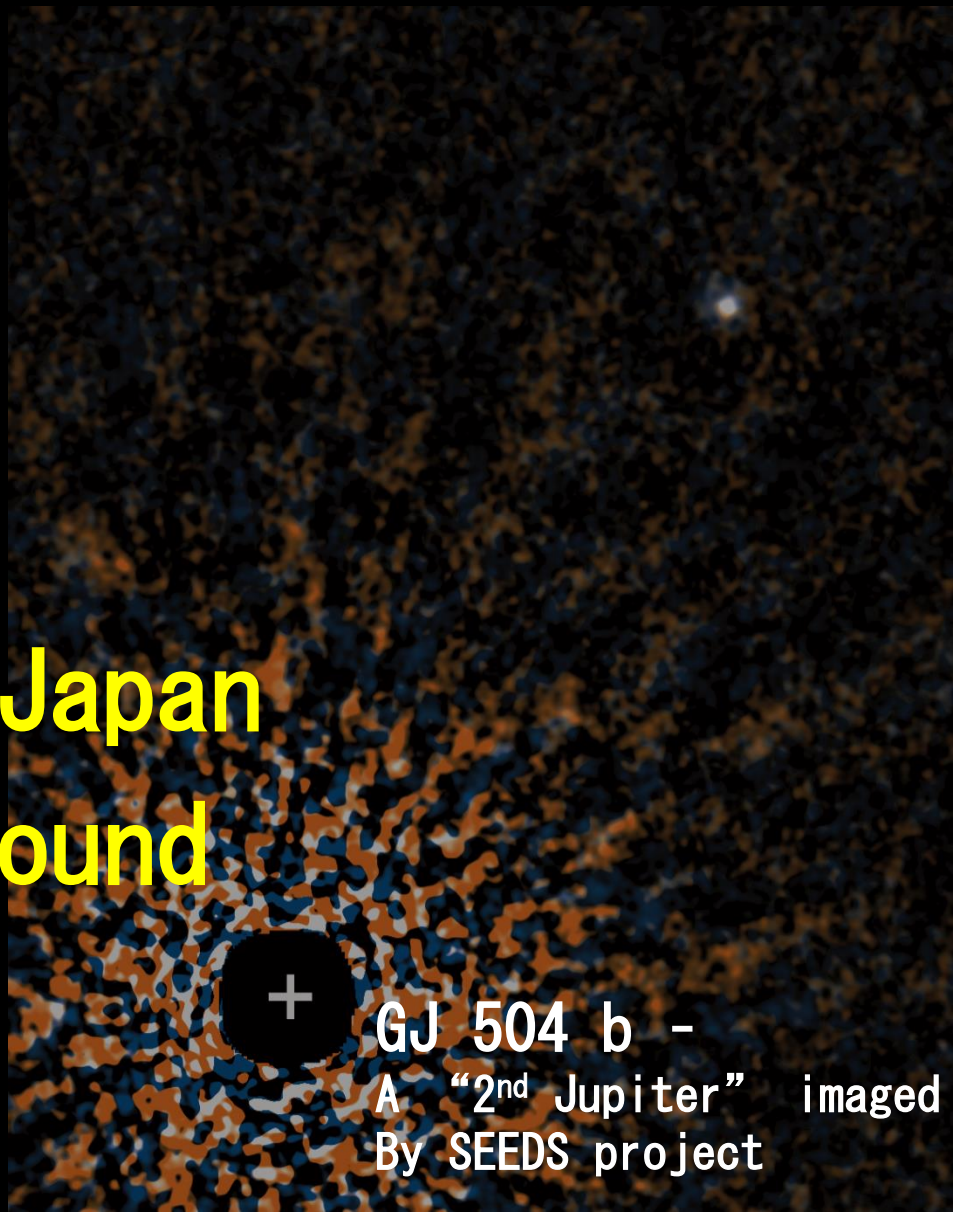
小谷隆行
アストロバイオロジーセンター
系外惑星プロジェクト室

Project web page - http://esppro.mtk.nao.ac.jp

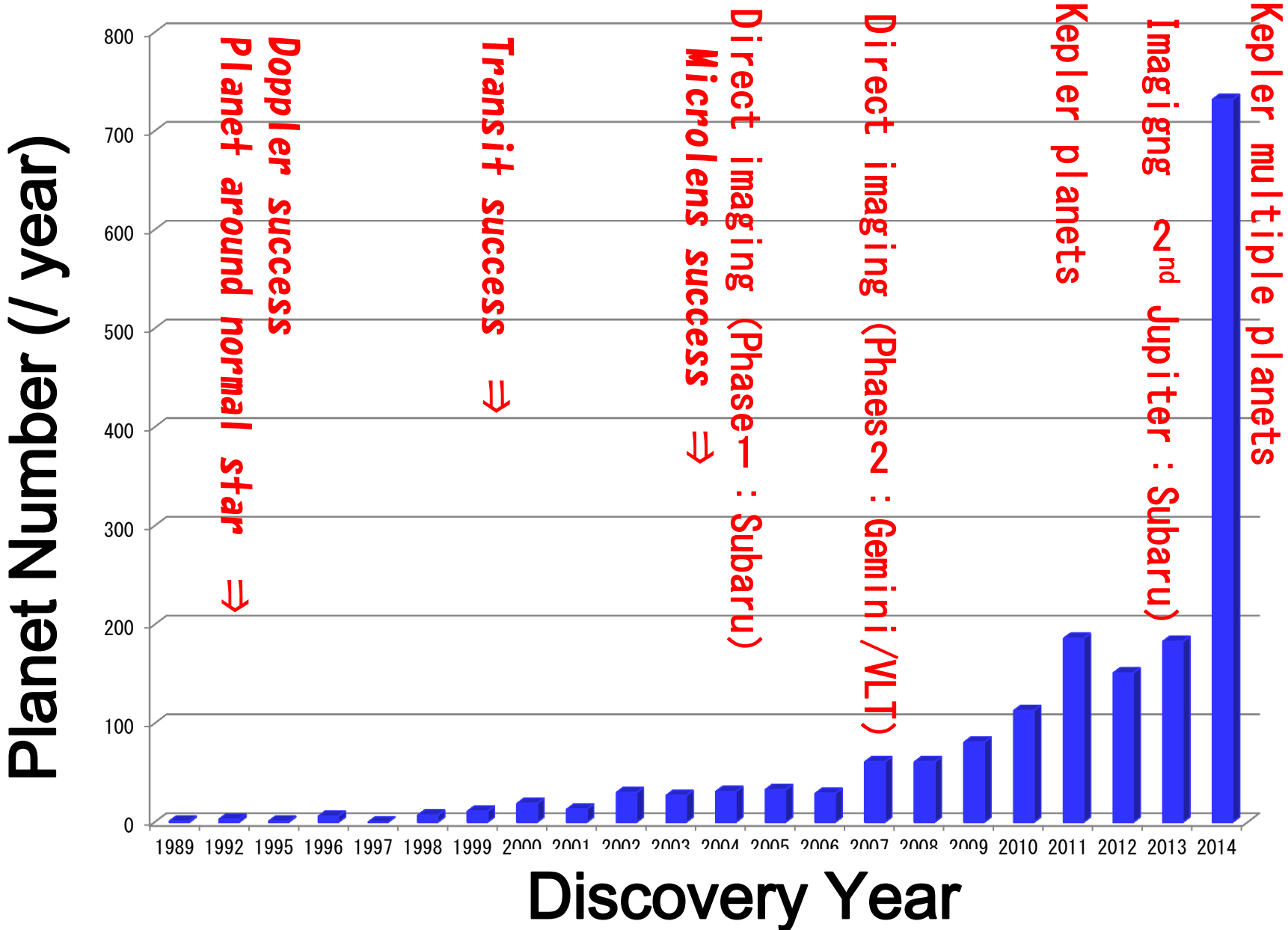


Talk Contents

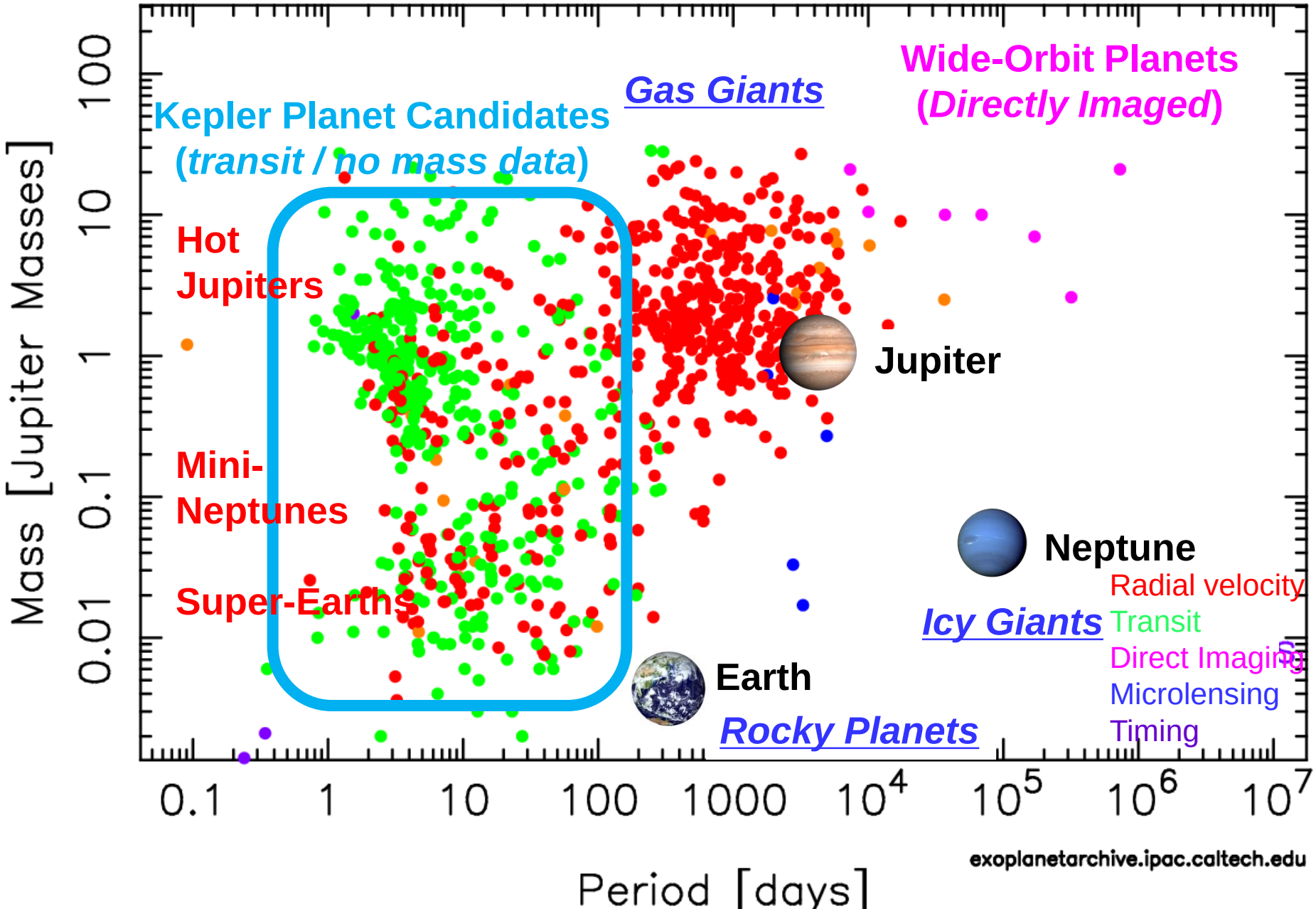
- Introduction
- JTPF
- WACO
- Ongoing R&D in Japan
- Synergy with Ground
- Summary



Various techniques have discovered
More than 5000 planets (candidates), ~2000 confirmed



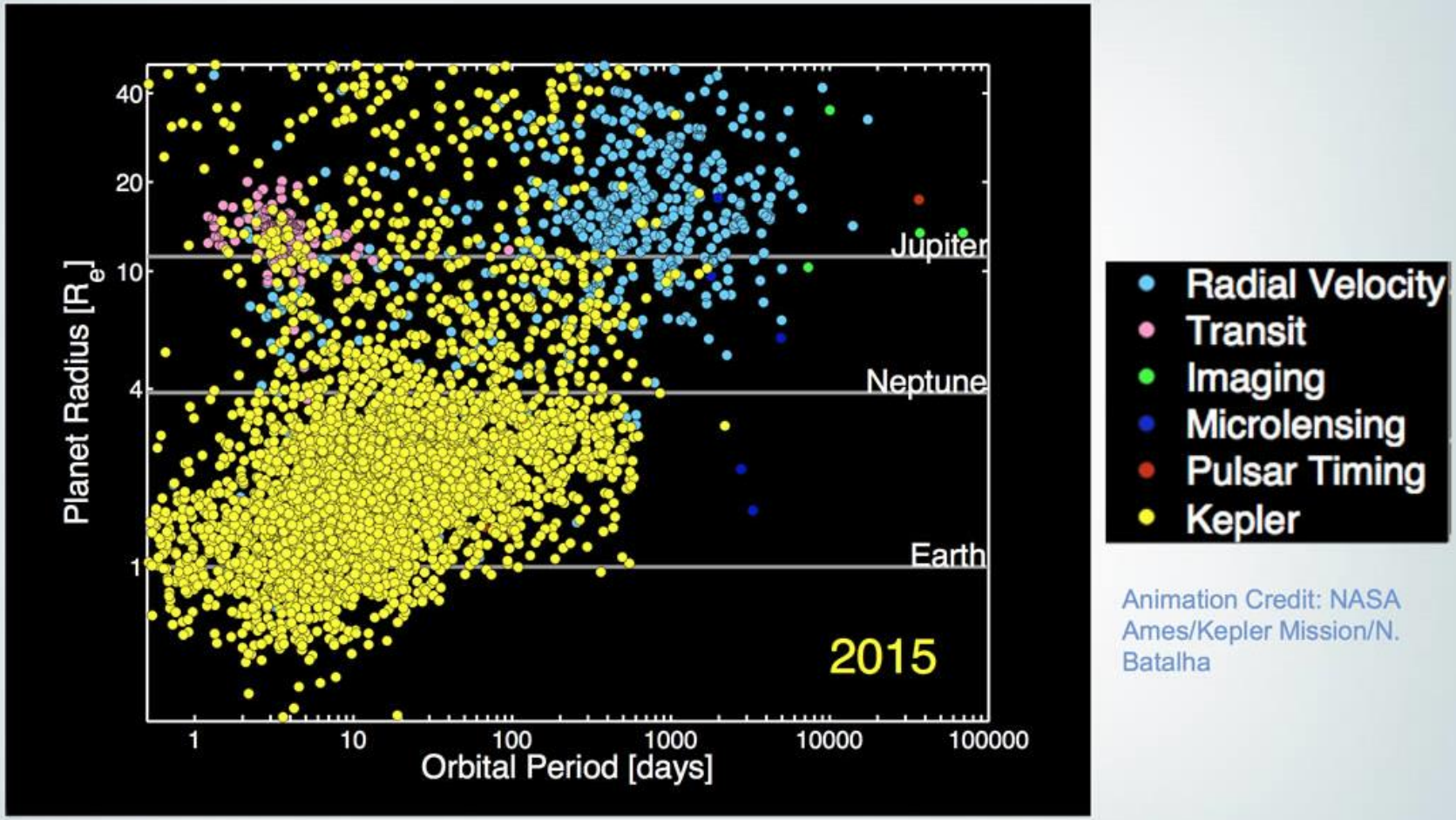
Various techniques have led ~2000 planet discovery in 20yr & exoplanets are "diverse" !



Kepler Planets

Many are NOT plotted in the mass-period daiagam in previous slide

惑星の半径（地球半径）



惑星の公転周期（日）

Brief Research Status

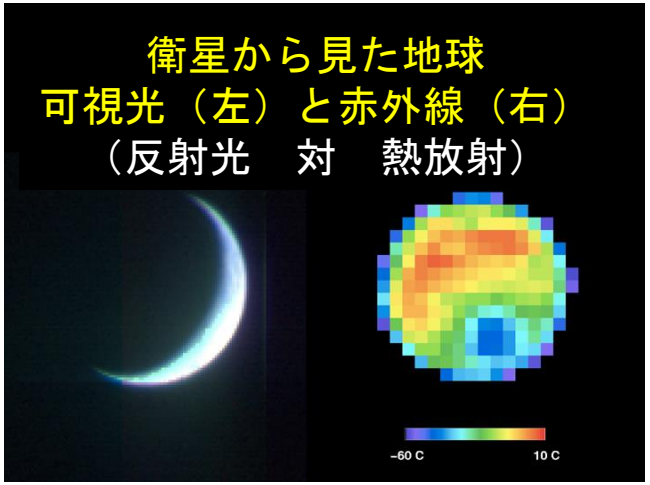
- Statistics and population data by Kepler
  - So many mini-Neptunes and super-Earths
  - Earth-size planet freq. in HZ around G star
- >60% of G stars have planets from RV+Kep
- Transit characterization of Jovian and a few super-Earths
- Multiple planet systems by Kepler
- Direct images of Solar-system scale Jovian planets by DI survey (SEEDS)
- Direct characterization of Jovian planets (ExAO+IFU)

Next Steps

- Direct imaging and characterization of smaller planets (super-Earths & Earths)
  - TMT+SEIT
  - Space coronagraph
  - No exoplanet mission at JAXA at present (inc. SPICA)
- To search for the best targets for these studies (nearby small exoplanets)
  - Subaru IRD
  - K2, TESS
  - Long term monitoring with other smaller telescopes

JTPFとは？　その目標と手段

- ✓ 地球型系外惑星の直接検出を主サイエンスドライバーとして、様々な天文分野への応用を追求するスペース将来計画（国際協力）
- ✓ 大ミッション：2つのアーキテクチャー



2002年　宇宙理学委員会にてJTPF WG設立承認

可視光望遠鏡

- シャープな画像を得やすい可視光望遠鏡で第2の地球を探す
- クリーン、高コントラスト、かつ安定した星像性能を追求した望遠鏡

赤外線干渉計

- 恒星と惑星の明るさのコントラストが小さい中間赤外線波長で第2の地球を探す
- スペース赤外線ナル干渉計望遠鏡

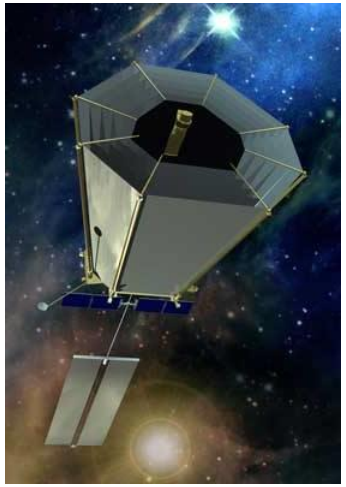
国際協力？

２０００年からの計画が
２０１０年度前半に大きな転機

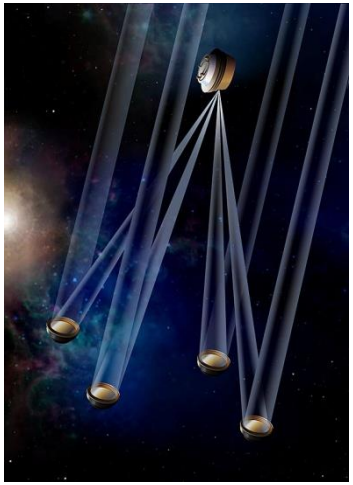
米： いわゆるTPFは無期限停止
NASAは小規模なものを希望

欧： Darwin（赤外線干渉計）
ESA Cosmic Vision落選

->大ミッションの “Precursors” の検討に後退



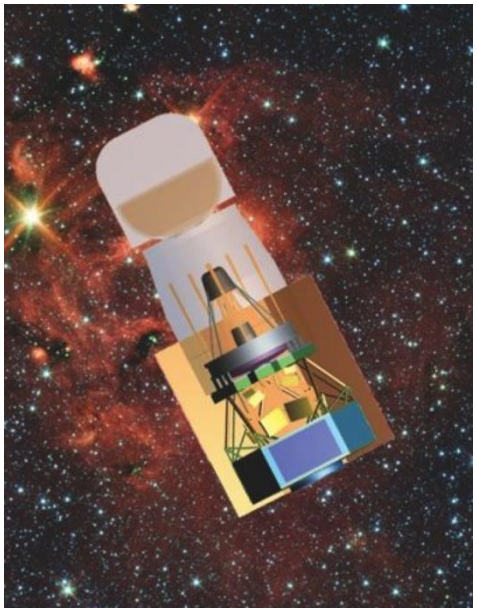
Terrestrial Planet Finder Coronagraph (TPF-C)



Darwin IR Interferometer

日本が参加・貢献できそうなものは：
- 2.4 m WFIRST AFTA coronagraph
- Other Probe missions?

これまでの日本の貢献：
- USA decadal reportに貢献した。
- ESA Cosmic Vision に貢献した。
- 各種のコロナグラフ室内実験を推進。



WFIRST-AFTAとは？　WACOとは？

- Wide-Field InfraRed Survey Telescope Astrophysics Focused Telescope Assets
- 2.4m aperture on-axis obscured telescope, 270K
- Two-channel wide-field instrument with IFU channel 0.6 to 2.0 µm for Dark Energy, NIR Surveys, and Exoplanet Microlensing
- FPA: 6x3 4kx4k HgCdTe detectors, 0.76 to 2.0 µm
- **Coronagraph instrument for Exoplanet Direct Imaging** and characterization　　そのうちの日本の貢献を:

  WACO (WFIRST-AFTA COronagraph) 和光？、倭寇？

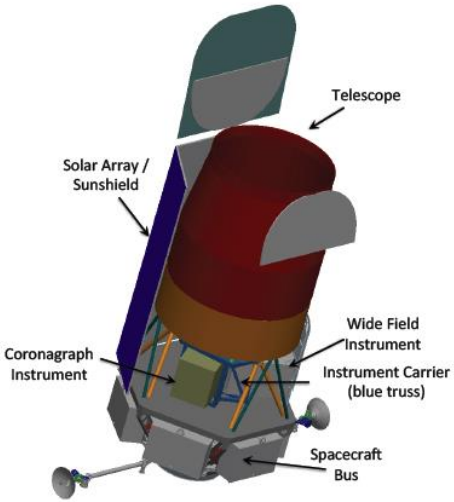
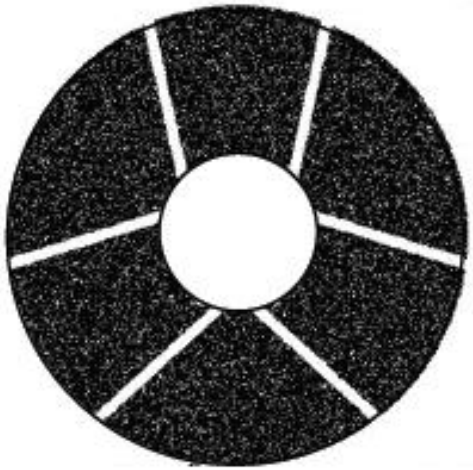


Figure 3-3: WFIRST-2.4 Observatory configuration featur-



The telescope entrance pupil

2014年　WACO WG設立　小規模ミッション枠（国際協力）

WFIRST-AFTA　BRIEF SPEC

望遠鏡口径	2.4m
軌道	傾斜地球同期軌道（IGSO、Inclined Geosynchronous Orbit）
寿命	6年間（コロナグラフ以外は5年間、最大10年可能）
打上ロケット	アトラスV 541
打上予定	2023年以降
（コロナグラフモード）	
観測波長	430-1800 nm
コントラスト	9桁（目標10桁）
観測可能領域	0.2秒角（目標0.1秒角）
観測モード	測光、面分光、偏光
分光解像度	R = 70
（広視野モード）	
観測波長	600-2000 nm
観測視野	0.281平方度
フィルター	6フィルター（ﾏｲｸﾛﾚﾝｽﾞ法は870nmと1490nmﾌｨﾙﾀｰのみ利用）
分光機能	グリズム（0.281平方度、1350-1950 nm、分解能 550-800） 面分光（3.00x3.15 arcsec^2、600-2000 nm、分解能100）

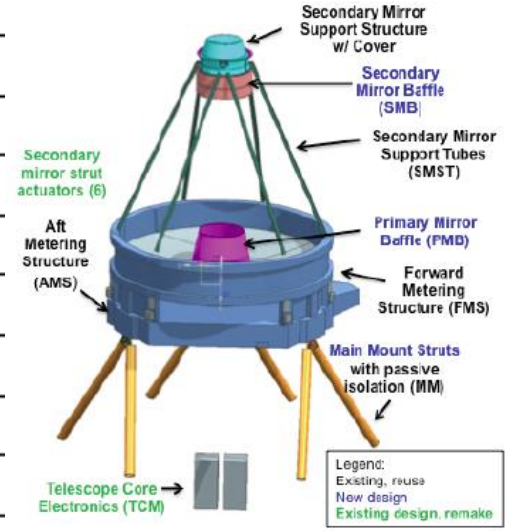
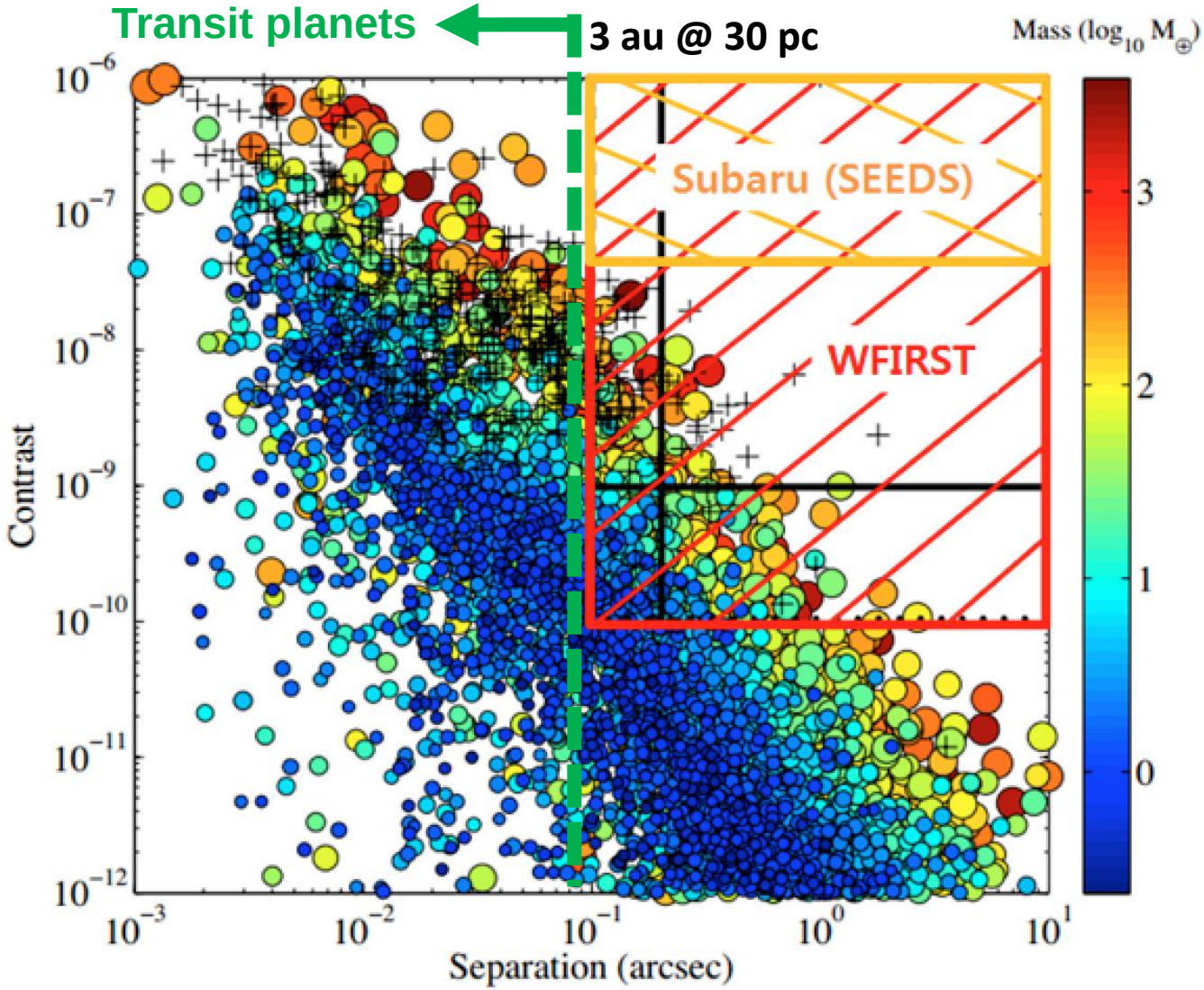


Figure 3-4: The telescope components without the outer barrel assembly.

AFTA coronagraph sensitivity

550 nm
1λ/D=47 mas

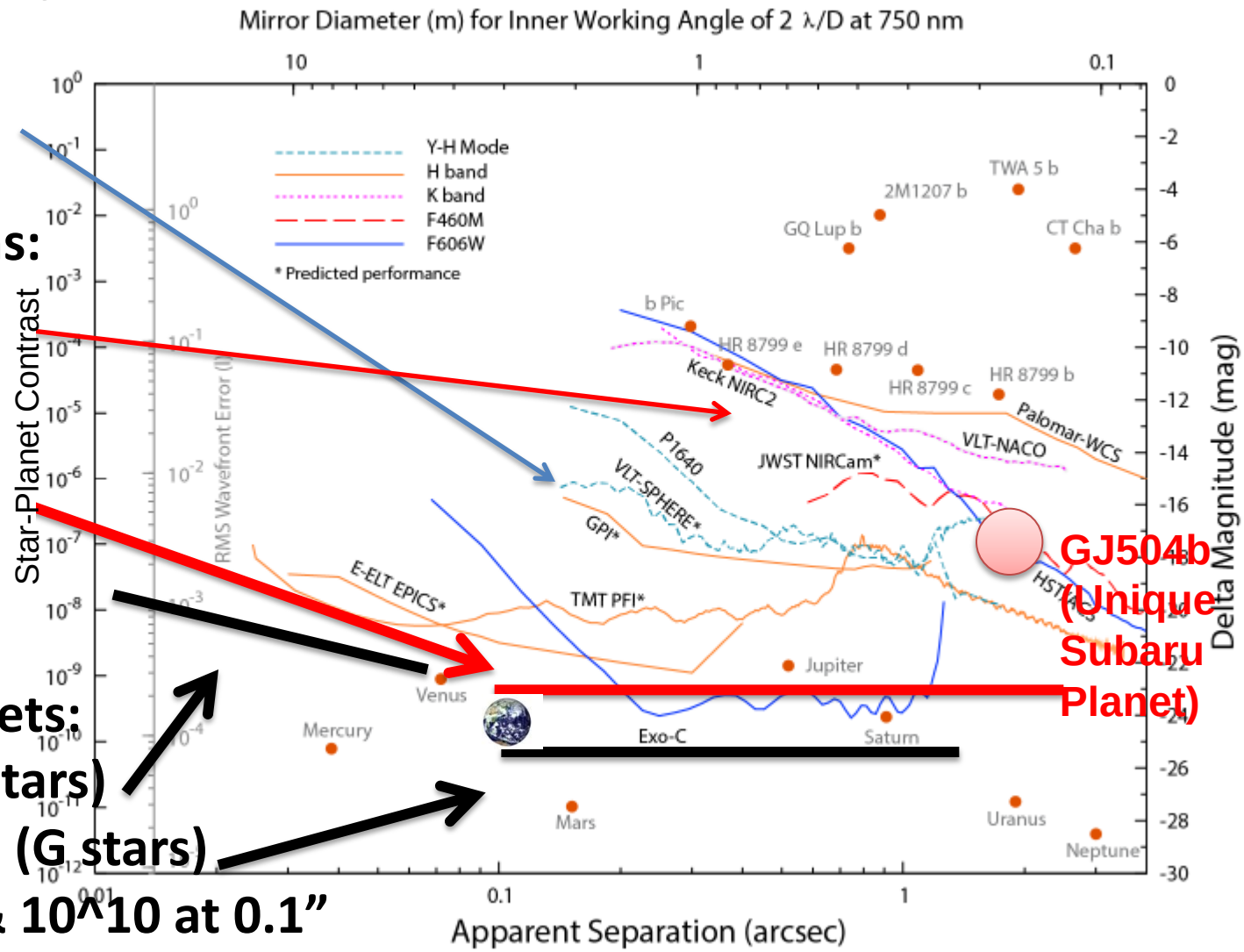


WFIRSTコロナグラフ観測で直接撮像が期待される近傍の惑星の主星からの距離vs主星・惑星の明るさコントラスト。30パーセク以内の200個の恒星に火星質量から木星質量の惑星の分布を仮定してシミュレーションされたもの。色は質量分布を表す。黒線は、保守的コロナグラフの内側観測限界とコントラスト。赤線は、先端的コロナグラフの値。黄色は現在の地上コロナグラフの観測領域。十字は、視線速度法で発見されている系外惑星。

Comparison of Various DI

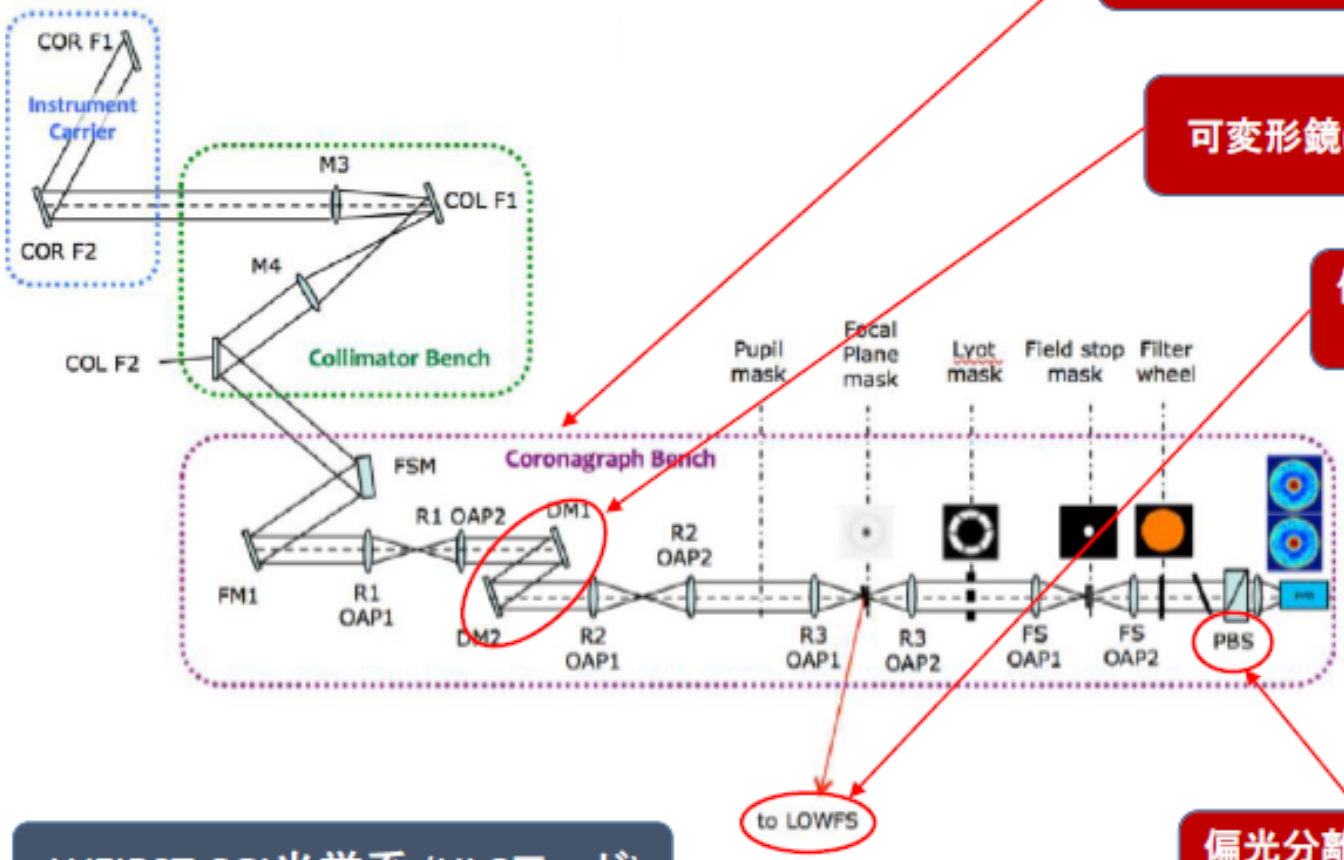
- ☐ **Future Gr. Surveys:**
  - GPI, SPHERE
  - SCExAO
- ☐ **Future missions:**
  - JWST coronagraphs
  - **WFIRST coronagraph**
  - Exo-C
- ☐ **Earth-like planets:**
  - **TMT+SEIT (M stars)**
  - **TPF-C or TPF-O (G stars)**
  - **10^8 at 0.01" & 10^10 at 0.1"**

Based on Exo-C interim report (Stapelfeldt+14)



Coronagraph Optics Plan

Wide-Field InfraRed Survey Telescope- Astrophysics Focused Telescope Assets WFIRST-AFTA 2015 Report
by the Science Definition Team (SDT) and WFIRST Study Office (March 10, 2015)



コロナグラフ：恒星光の大部分を除去
HLC (Hybrid Lyot)/SPC (Shaped Pupil)

可変形鏡(DMs)：残留恒星光を低減

低次波面センサ(LOWFS)：
低次波面誤差を検出

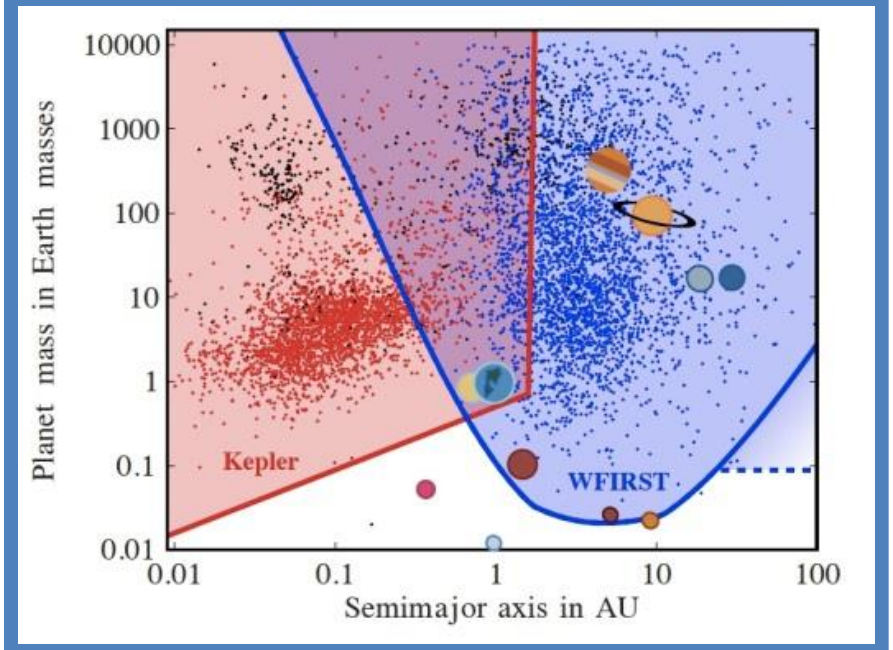
偏光分離素子 (PBS)：
2偏光に分離（偏光観測が可能）

WFIRST CGI光学系 (HLCモード)

WFIRST: Microlensing vs. Direct Imaging

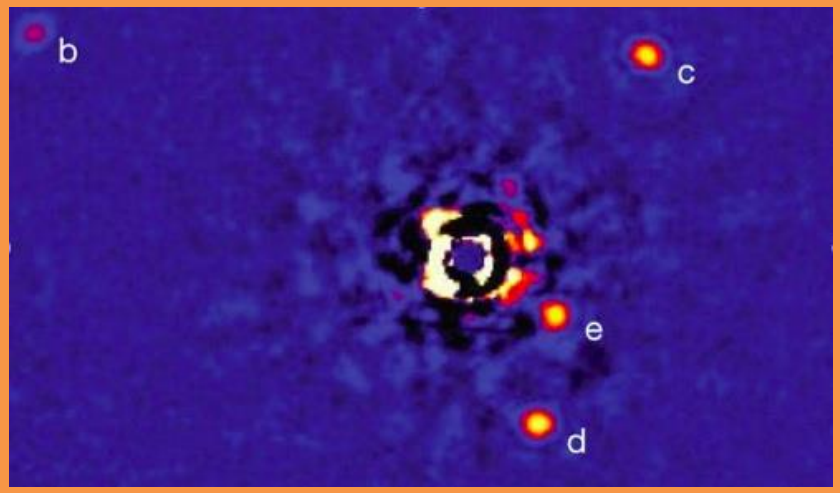
ML survey

Statistics around a few au region

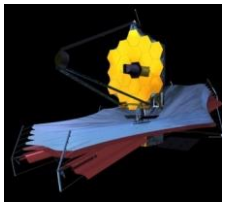
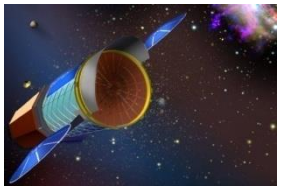
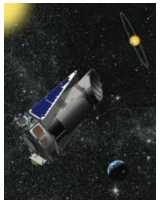
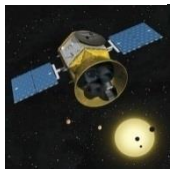
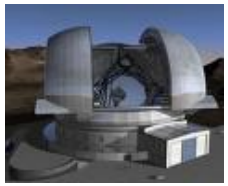
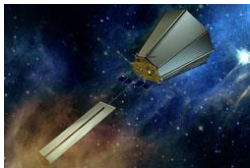


High-cont. Imaging

Nearby planet characterization



系外惑星研究の展望（国内および主要関連設備）

	目標	現在	2018	2022	2026~
HST JWST WFIRST	巨大惑星の 撮像・分光から 各種惑星の統計へ				
8m級 地上鏡 (Subaru/HiCIAO, Gemini/GPI, IRD, etc..	間接法の展開 若い巨大惑星の 撮像・分光 地球型惑星の検出		スペース等のフォローアップ		
地上(専用) 中口径 (Kyoto/SEICA, TAO, IRSF+, OAO, etc.)	間接法の展開 直接法テストベッド		スペース等のフォローアップ		
Kepler TESS	地球型惑星の統計				
30m級 地上鏡	巨大惑星の分光 地球型惑星の撮像・分光 ⇔ SEITの実現がカギ				
TPF	第2の地球と生命の証拠 ⇔ 可視光コロナグラフ さらに赤外干渉計へ				

Summary

- Direct imaging is ongoing both from ground and in space
- WGs: JTPF → WACO → WFIRST
  - WFIRST WGへの発展的解消
- Both ML and DI can be pursued with WFIRST-AFTA
- WFIRST-AFTA in ~2024 can be the first space coronagraph planet imager and targets down to SEs
- ExoPIC/WACO is crucial for a next mission targeting “2nd” Earths around G stars

END