

惑星科学／太陽系科学 研究領域の目標・戦略・工程表 (2019 年改訂版)

SUPPLEMENT

目次

表 S1 : (A.1.4) 火星探査に関する今後の動向および探査計画	2
表 S2 : (A.1.5) 小天体探査に関する今後の動向および探査計画	2
表 S3 : (A.1.7) 氷天体探査に関する今後の動向および探査計画	3
表 S4 : (B.1.1.2) OKEANOS 搭載機器	3
表 S5 : (B.1.2.2) MACO 計画のモデル機器と観測項目、開発状況	4
表 S6 : (D) 戦略的中型およびプログラムの小型ミッションの準備・運用期間	5
図 S1 : (B.1.4.3) 火星探査プログラムにおける科学目標	6
図 S2 : (B.1.4.3) 戦略的火星探査プログラム案の概略	6
図 S3 : (B.1.6.2) 月の静の海の縦孔	7
図 S4 : (B.1.6.3) 火星アルシア山の麓の縦孔の例	7
図 S5 : (B.1.6.4) ケプラー衛星による中長周期惑星トランジットの例	8
図 S6 : (B.1.6.4) 一視野あたりの観測期間と SKY COVERAGE	8
図 S7 : (B.1.6.4) ケプラー衛星による惑星の候補	9
図 S8 : (B.1.6.4) コンパクト惑星系を持つ中長周期惑星	9

表 S1 : (a.1.4) 火星探査に関する今後の動向および探査計画

1. ダイナミックな環境進化の全容：地下水圏・表層水圏・生命圏・気候・地質年代			
2012-	Mars Science Lab (Curiosity)	地質学・地球化学	NASA
2016-	ExoMars Trace Gas Orbiter	微量ガス分布	ESA
2020-	ExoMars Rover	生命圏・古環境	ESA
2020-	Mars 2020	生命圏・古環境	NASA
2030?-	Mars Sample Return	サンプルリターン	米/欧/中
2. 環境進化の決定要因・駆動力：惑星形成・分化・内部ダイナミクス・磁場・大気散逸			
2014-	MAVEN	大気散逸	NASA
2016-	ExoMars Trace Gas Orbiter	微量ガス分布	ESA
2018-	InSight	火震・熱流量	NASA
2020-	HOPE	大気観測	UAE
3. 火星上での化学進化や生命発生進化：生命圏（痕跡含む）・水圏・現存生命 Curiosity、 ExoMars Rover、 Mars 2020			

表 S2 : (a.1.5) 小天体探査に関する今後の動向および探査計画

1. 近地球型小惑星：太陽系始原天体・生命前駆物質・小天体軌道進化				
2009-	NEOWISE	小惑星、彗星	発見と物理特性の調査	NASA
2014-	はやぶさ 2	近地球 C 型小惑星リュウグウ	周回、衝突、SR	JAXA
2016-	OSIRIS-REx	近地球 B 型小惑星ベンヌ	周回、SR	NASA
2022-	DESTINY+	近地球 B 型小惑星 ふたご座流星群母天体ファエトン	フライバイ	JAXA
2020-	NEA Scout	近地球小惑星	低速フライバイ、周回	NASA
2021-	DART	(65803) Didymos B (Didymoon)	衝突	NASA
2024-	HERA	(65803) Didymos B (Didymoon)	周回	ESA
2023-	-	近地球小惑星、メインベルト小惑星	SR、フライバイ	CNSA
2025-	NEO Surveyor	PHA	発見と物理特性の調査	NASA
2020-	Janus	バイナリー近地球小惑星	フライバイ	NASA
2. メインベルト起源小天体：太陽系始原天体・惑星形成論・小天体の形成、分化				
2022-	Psyche	M 型小惑星サイキー	周回	NASA
2024-	MMX	火星衛星フォボス・ディモス	周回、SR	JAXA
3. メインベルト以遠起源氷小天体：初期太陽系雪線・氷/有機物の形成				
2015-	New Horizons	冥王星系、(486958) 2014 MU69	フライバイ	NASA
2021-	Lucy	木星トロヤ群小惑星 (L4, L5) メインベルト小惑星	フライバイ	NASA
2020 年代	OKEANOS	木星トロヤ群小惑星	周回、着陸探査	JAXA
2020 年代	Europa Clipper	エウロパ	周回	NASA

表 S3 : (a.1.7) 氷天体探査に関する今後の動向および探査計画

1. 現在進行中の計画			
2011-2021	Juno	木星系	NASA
2006-2030s	New Horizons	冥王星系・Ultima Thule フライバイ	NASA
2. 準備中の計画			
2022-	JUICE	木星系衛星フライバイ・ガニメデ周回	ESA
2025-	Europa Clipper	木星周回・エウロパフライバイ	NASA
2026-	Dragonfly	タイタン着陸	NASA

表 S4 : (b.1.1.2) OKEANOS 搭載機器

1) クルージングサイエンス機器

赤外線観測装置(EXZIT)は口径 10cm の Offset Gregorian 望遠鏡であり、小型ロケット実験 CIBER-2 のアルミ製望遠鏡などの実績をベースにした設計が行われている。ダスト観測装置(ALDN2)は、IKAROS 搭載 ALADDIN から、コネクタの長寿命化、検出器のダイナミックレンジ拡大などの改良が行われている。磁力計(MGF)は、あらせ(ERG)搭載 MGF、水星磁気圏探査機(MMO)搭載 MGF-I から、ソーラー電力セイル探査機の薄膜の先端マス部に搭載するための改良と検出器の感度向上が行われている。ガンマ線バースト観測装置(GAP2)は、IKAROS 搭載 GAP をベースにした設計が行われている。

機器名	特徴	重量	補記(実績等)
赤外線観測装置/EXZIT	口径 100φ, 波長 0.4~1.6μm を分光撮像	12kg	CIBER, CIBER-2
γ線バースト観測装置/GAP-2	アレイ型シンチレータでγ線偏光観測(30~300KeV)	5kg	IKAROS GAP
ダスト観測装置/ALADDIN-2	大面積 PVDF センサ、低速~高速ダストの検出	1.4kg	IKAROS ALADDIN
磁力計/MGF	フラックスゲート磁力計、高速 AISC 処理	10kg#	ERG/MGF

Solar-Sail の端点の錘と置き換えのため、System 的には追加の質量はほぼ無し。

2) トロヤ群小惑星観測機器(リモセン)

トロヤ群小惑星の形状、表面地形、重力(平均密度)、表層熱物性(空隙、粒径、凹凸)、可視近赤外分光特性(鉱物、氷や含水鉱物と水質変成度、有機物)、中間赤外分光特性(鉱物、結晶・非晶質)などを全球的に調査することで小惑星の性質の理解、および着陸地点候補点を選定する情報を与える。

機器名	特徴	重量	補記(実績等)
近赤外分光撮像/MASTER	波長 1.8~3.6μm を含む、分光撮像	6kg	MEX/VIRTIS 他
熱赤外多色カメラ/TROTIS	波長 7~14μm を 6 帯以上、多色撮像	3kg	BepiC/MERTIS
地下探査レーダ/RADAR	数 100MHz レーダで高解像度地下探査	3kg	Rosetta/CONCERT
航法光学カメラ/ONC-T, -W	望遠カメラ(7色波長)、広角カメラ	n.a.	Hayabusa2/ONC
レーザ高度計/LIDAR	YAG レーザ距離計、	n.a.	Hayabusa2/LIDAR
電波科学	通信系 Range & Range Rate 計測	n.a.	Hayabusa2/通信系

#航法光学カメラ、レーザ高度計は航法誘導系機器、電波科学は通信系機器として搭載されるためミッション機器としての質量計上としてはゼロとなる。

3) トロヤ群小惑星観測機器（着陸機）

着陸降下中および着陸後の撮像による地点同定、高解像度地形観測、表層熱物性、可視近赤外分光特性（鉱物、氷や含水鉱物と水質変成度、有機物）、磁気特性、元素組成を決定する。また、表層試料を採取し、軽元素同位体比測定・揮発性成分の主成分決定(氷、有機物)などを実施する。

機器名	特徴	重量	補記（実績等）
試料採取装置/SMP	エアガン破片回収型の表面カメラ	1~2kg	Hayabusa2/SMP
高精度質量分析計/HRMS	R>30000, M/Z<300。特に H/D, $\delta^{14}\text{N}$	6~7kg	新規(MULTUM)
ハイパースペクトルカメラ/MacrOmega	波長 1~3.6 μm 、解像度<25 $\mu\text{m}/\text{Pix}$	2.5kg	Hayabusa2/MicrOmega
カメラ/CAM	広角カメラ（4色LEDで夜間多色）	0.4kg	Hayabusa2/CAM
多色熱放射計/Mini-RAD	熱放射計、鉱物・非晶質情報	0.2kg.	Hayabusa2/MARA
磁力計/MAG	3軸フラックスゲート磁力計、姿勢検出	0.2kg.	Hayabusa2/通信系
アルファX線分光計/APXS	PIXE原理で主要元素・軽元素の組成	0.5kg	MER 他多数

表 S5 : (b.1.2.2) MACO 計画のモデル機器と観測項目、開発状況

モデル科学機器	観測項目	開発状況	搭載実績	
周 回 機	磁場観測器	B, D	要求を満たす技術は既存。小型・省電力が必要な場合には開発が必要。(他計画用に現在開発中)	あらせ、MMO
	高エネルギー粒子計測器	C	観測原理は確立。小型・省電力化が現状の課題。(三軸探査機用を2018年度に飛翔実験予定)	あらせ(スピン探査機用)
	電子計測器	D	搭載実績は多数。小型省電力化は発展的課題。	あらせ他
	イオン質量分析器	D, E	搭載実績は数例。小型省電力化や高質量分解能は発展的課題。(MMX用[M/dM=100]を現在開発中)	あらせ、かぐや他
	大気流出観測カメラ	E	高コントラストオプティクス要素実験は了。小型・軽量化のためオーロラカメラとの共通化を検討。(BBMによる迷光総合評価を今後実施予定)	あかつき(ベース機器)
	オーロラカメラ	A	IMAP/VISIをベースに、MAVEN/IUVSチームと協力してSNR・光学概念設計を検討中。迷光対策等のため大気流出観測カメラとの共有化を検討。	
	レーダーサウンダ	F	技術的な実現性のリスクはなし。但し前搭載から10年を経ており、担当可能なメーカーによる高周波化・新規部品によるリソース削減見通の再検討が必要。	のぞみ、かぐや
	中性大気流出観測器*	E	海外協力での搭載を検討。	
	テラヘルツ分光器*	G	天文・地球観測ミッションで、技術・手法は確立され、観測実績も豊富。小型省電力化が発展的課題。	Herschel、SMILES他
着陸技術実証機	高解像カメラ	H	はやぶさ2/DCAM等を参考に詳細は今後要検討。	はやぶさ2
	気象測器	H	詳細は今後検討予定。小型省電力化も課題。	

* オプション機器

表 S6 : (d) 戦略的中型およびプログラムの小型ミッションの準備・運用期間

年度	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	
(b.1.1.1) MMX			開発			打上	到着		観測		帰還												
(b.1.1.2) OKEANOS			開発					打上							巡行(観測)							到着	観測
(b.1.1.3) 火星地下圏							WG		▲中型AO	選定・準備・開発			打上	運用									
(b.1.2.1) DESTINY+		開発				打上			運用														
(b.1.2.2) MACO			▲小型AO		開発			打上	到着		観測												

図 S1 : (b.1.4.3) 火星探査プログラムにおける科学目標

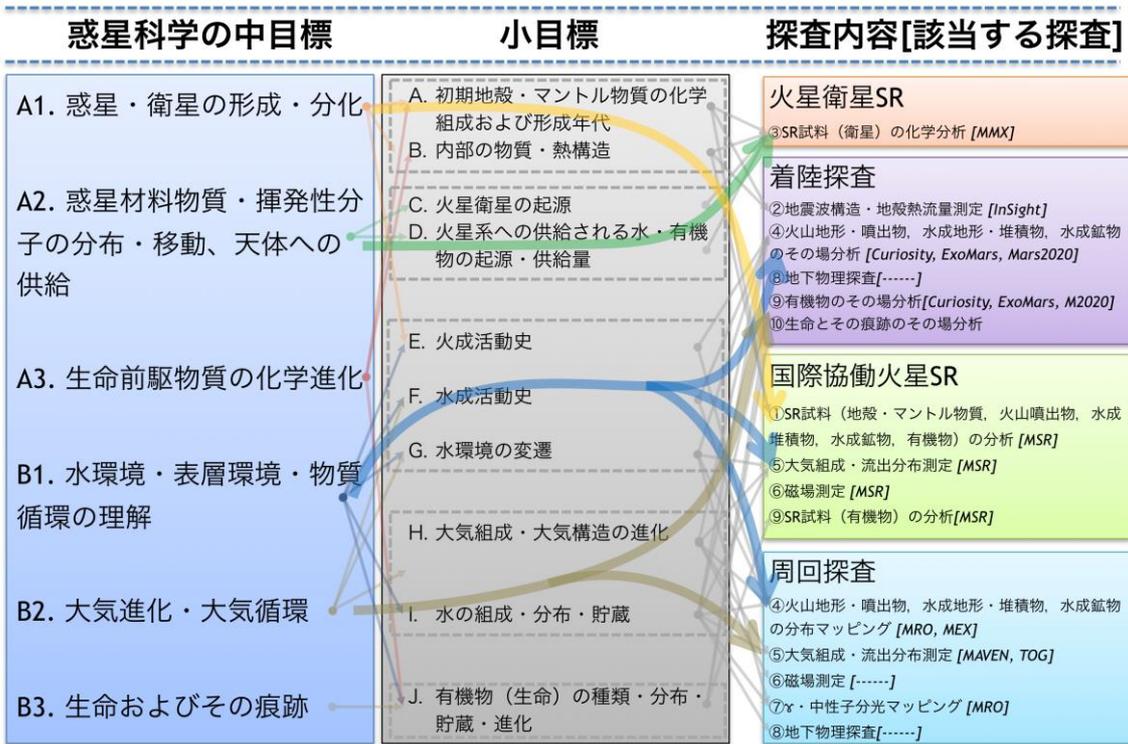
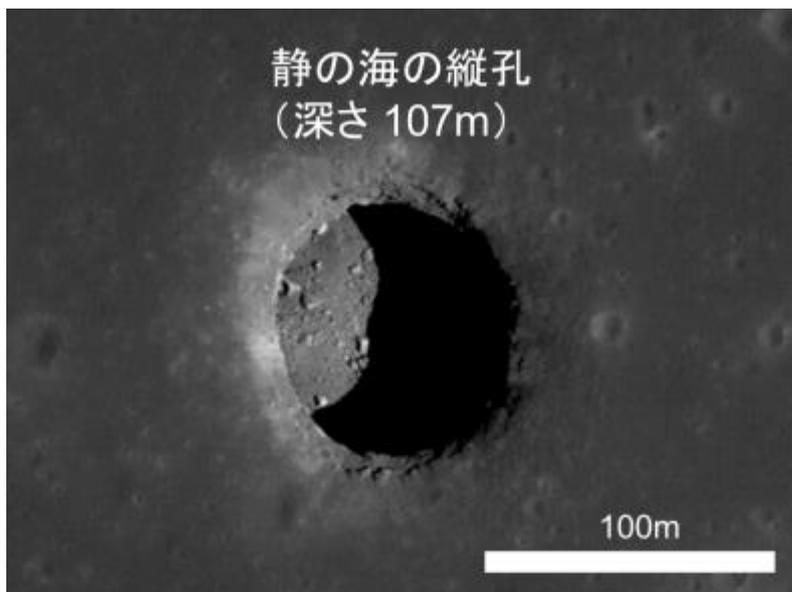


図 S2 : (b.1.4.3) 戦略的火星探査プログラム案の概略



(JAXA 検討案を一部改訂)

図 S3 : (b.1.6.2) 月の静の海の縦孔



SELENE が発見した月の静の海の縦孔。
地下空洞に開いたものと考えられる(LROC:M12671087R)。

図 S4 : (b.1.6.3) 火星アルシア山の麓の縦孔の例

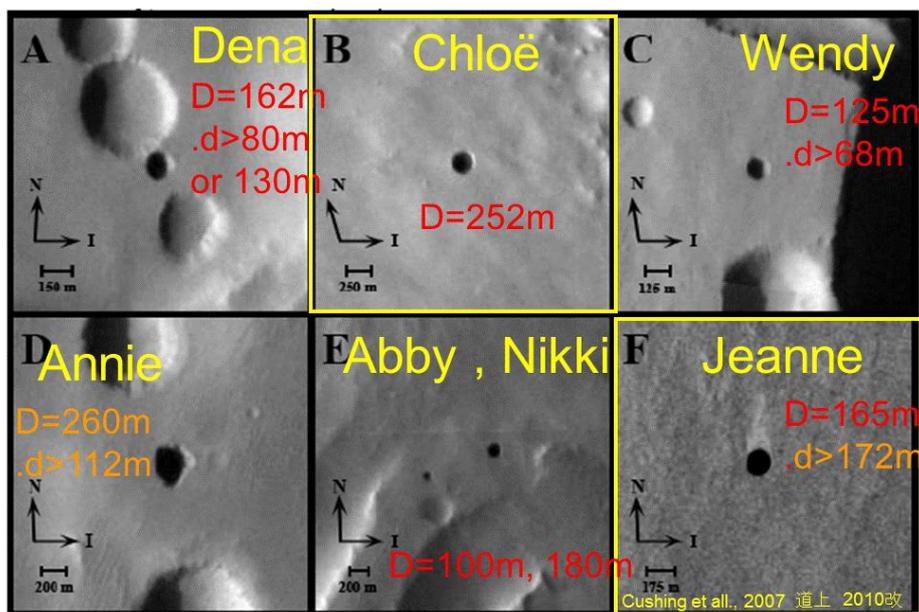
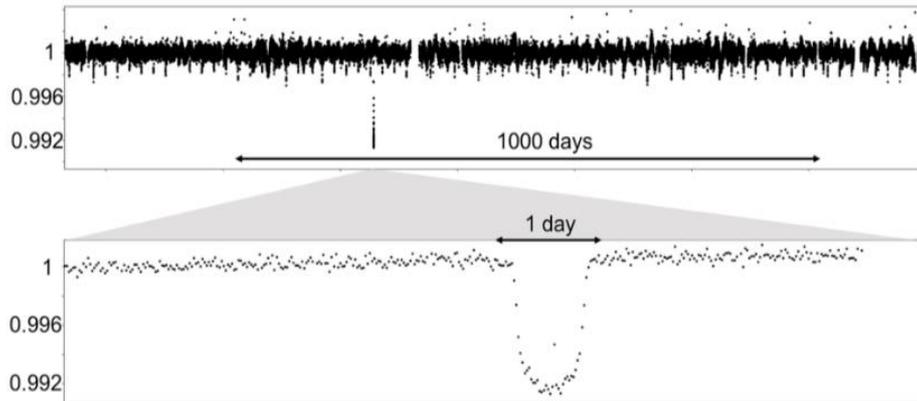
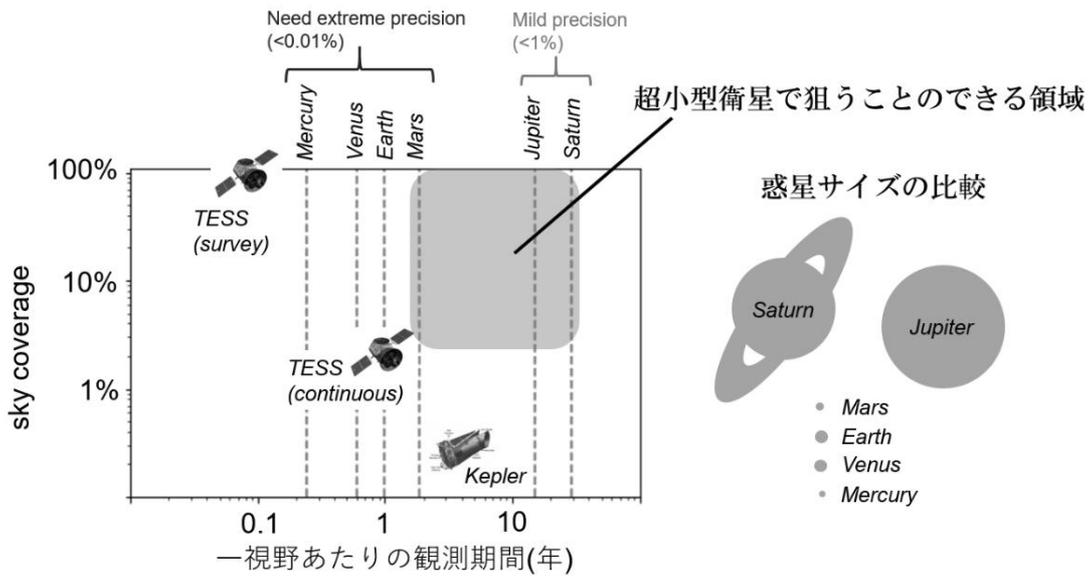


図 S5 : (b.1.6.4) ケプラー衛星による中長周期惑星トランジットの例



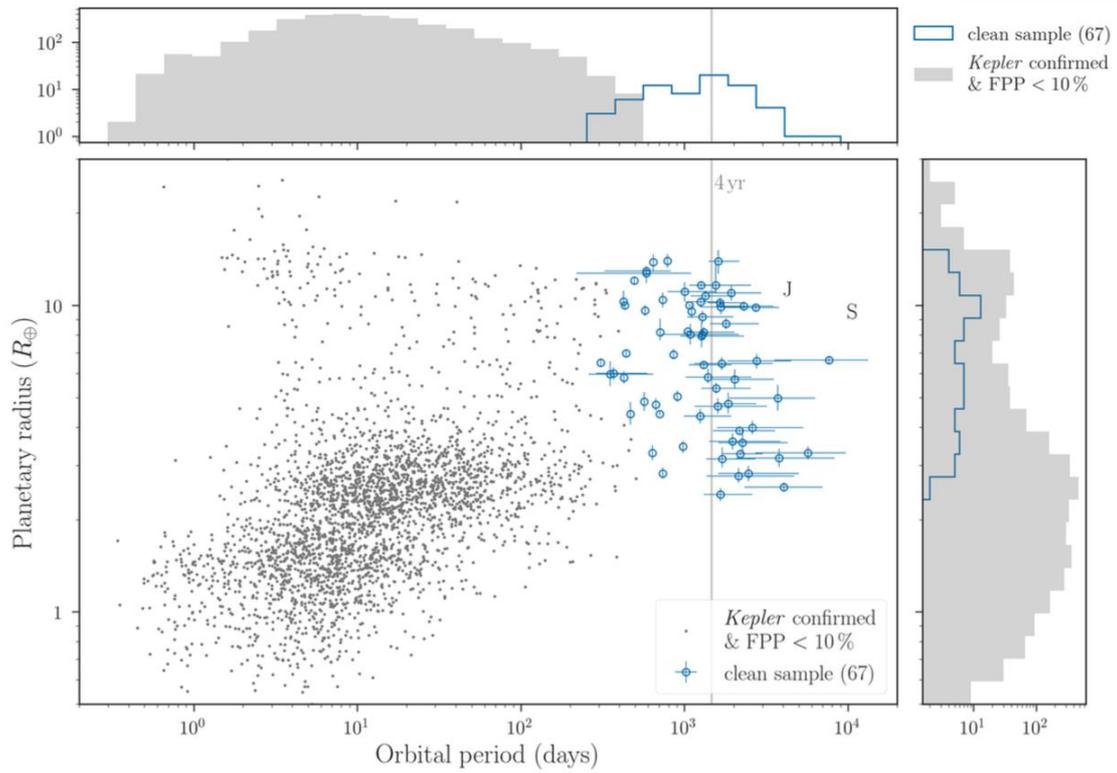
(Uehara et al. 2016, *ApJ* 822, 2)

図 S6 : (b.1.6.4) 一視野あたりの観測期間と sky coverage



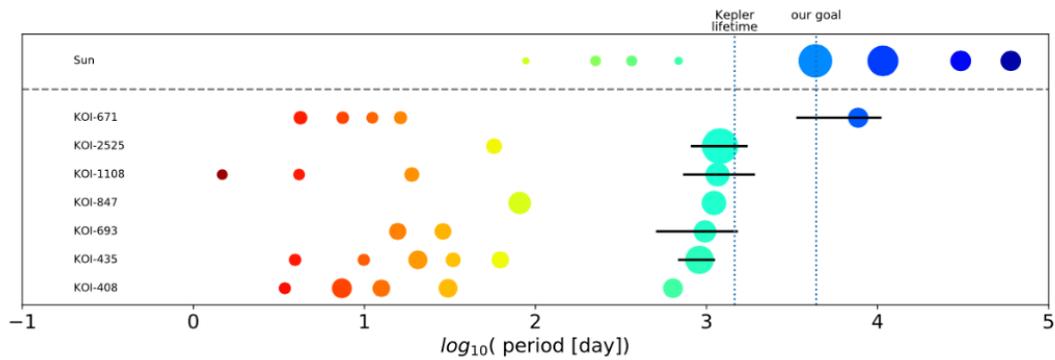
トランジット惑星探査衛星の一視野あたりの観測期間と sky coverage (全天=100%)。太陽系惑星の公転周期を縦線で示してある。超小型衛星でターゲットするのは、灰色の領域のガス型惑星である。

図 S7 : (b.1.6.4) ケプラー衛星による惑星の候補



標準的なパイプラインによるケプラー衛星の惑星候補(灰色)と非標準的な方法で同定されたケプラー衛星中の雪線付近の惑星候補(青色)。縦軸は惑星半径(地球半径)、横軸は公転周期である (Kawahara and Masuda 2019 under review)。

図 S8 : (b.1.6.4) コンパクト惑星系を持つ中長周期惑星



ケプラー衛星で発見された内側にコンパクト惑星系を持つ中長周期惑星と太陽系惑星(上図)の比較。横軸は軌道周期(対数)。