

光赤外天文分野の国際情勢と日本の戦略

山田亨 東北大学

●科学的展望

●日本の現在／将来計画

●国際情勢

●日本の戦略・・・とは？

21世紀初頭における天文学の主要課題

1. 宇宙の加速膨張と暗黒エネルギー／重力修正理論

精密宇宙論

高精度、大統計（設計された系統的広視野観測）

2. 宇宙初期 ($t_{\text{age}} < 7$ 億年) における天体形成と 宇宙再電離過程

近赤外、好感度（スペース観測、大集光力＋補償光学）

3. 太陽系外惑星の性質解明、惑星系形成過程直接観測

高解像度、高ダイナミックレンジ、など

（大口径＋高精度波面制御）

光赤外線分野は、いずれも主要な貢献が期待される。

光赤外天文学は新たな世界を開けるか？

1. 宇宙の加速膨張（暗黒エネルギー／重力修正理論）

Subaru/PFS, TMT, E-ELT, GMT, LSST,
Euclid, WFIRST, WISH など

2. 宇宙初期 ($t_{\text{age}} < 7$ 億年) における天体形成と 宇宙再電離過程

TMT, E-ELT, GMT, JWST, WISH など

3. 太陽系外惑星の実態研究、惑星系形成過程直接観測

TMT, E-ELT, GMT, JWST, SPICA, WFIRST
など

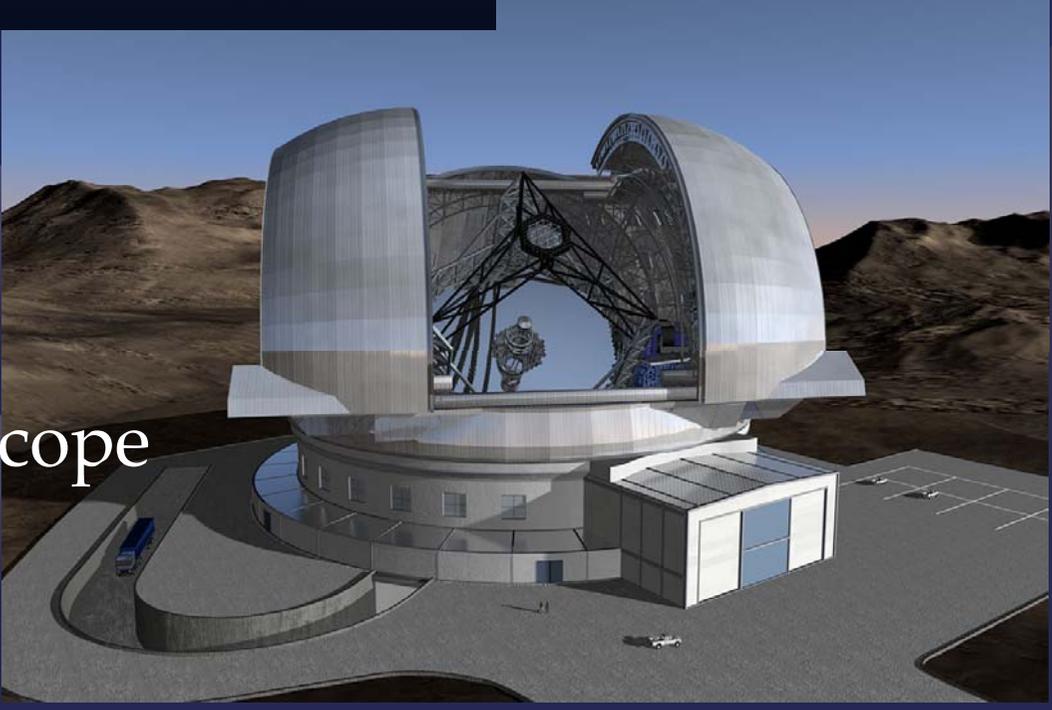
TMT=Thirty Meter Telescope

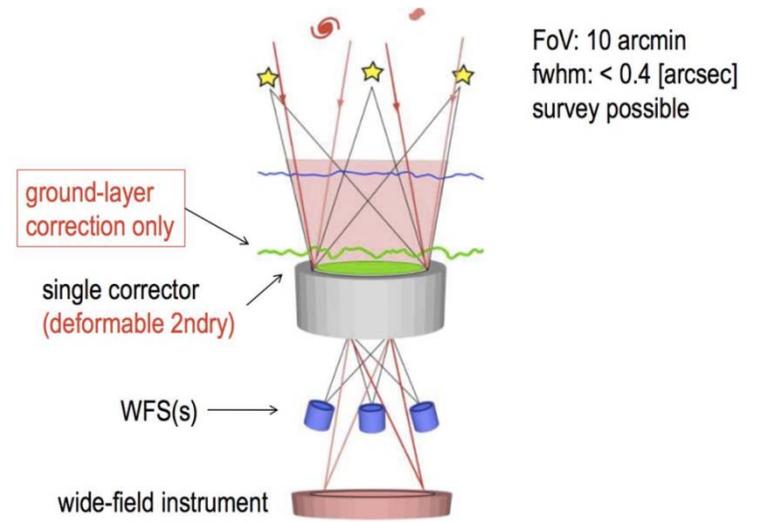




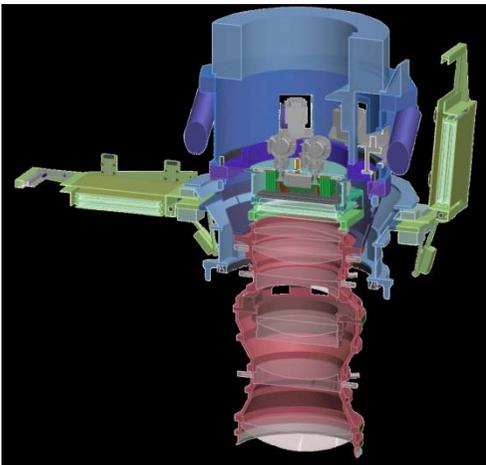
25m GMT
= Giant Magellan Telescope

39m E-ELT
= European
Extremely Large Telescope



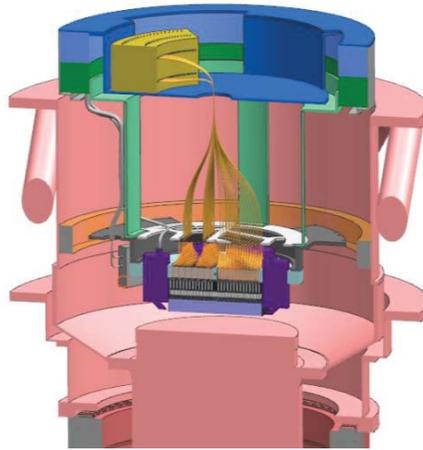


Ground-Layer AO
(接地層補償光学)



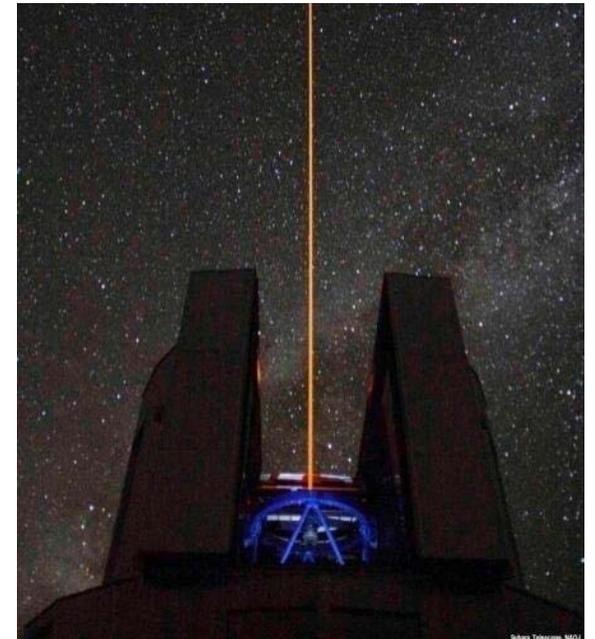
HSC 超広視野カメラ

First Light!

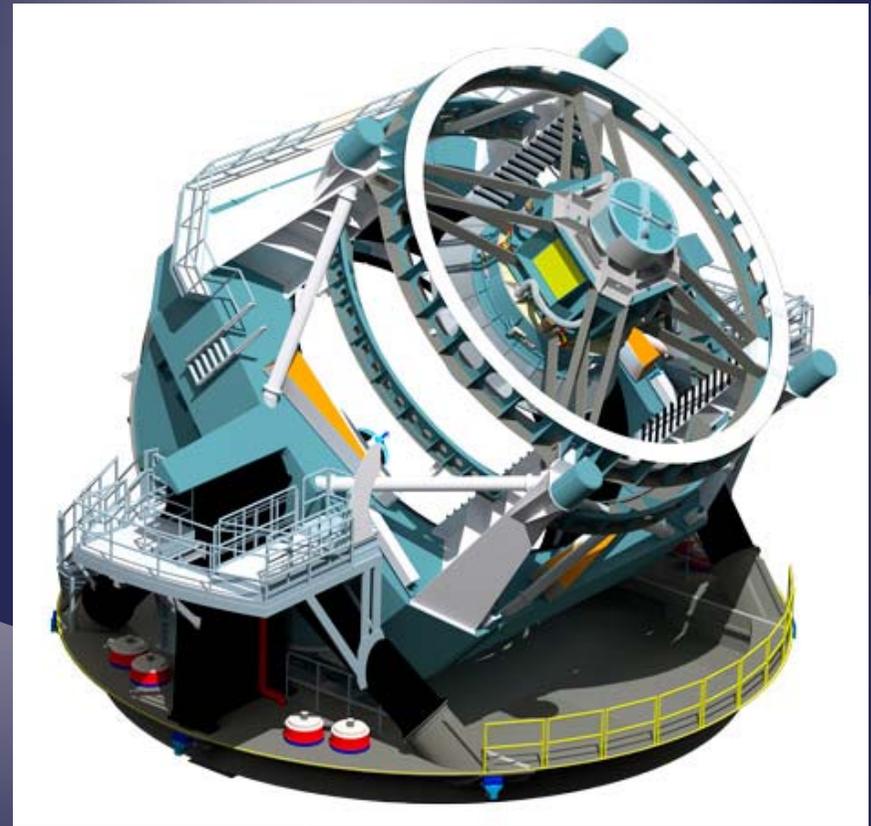


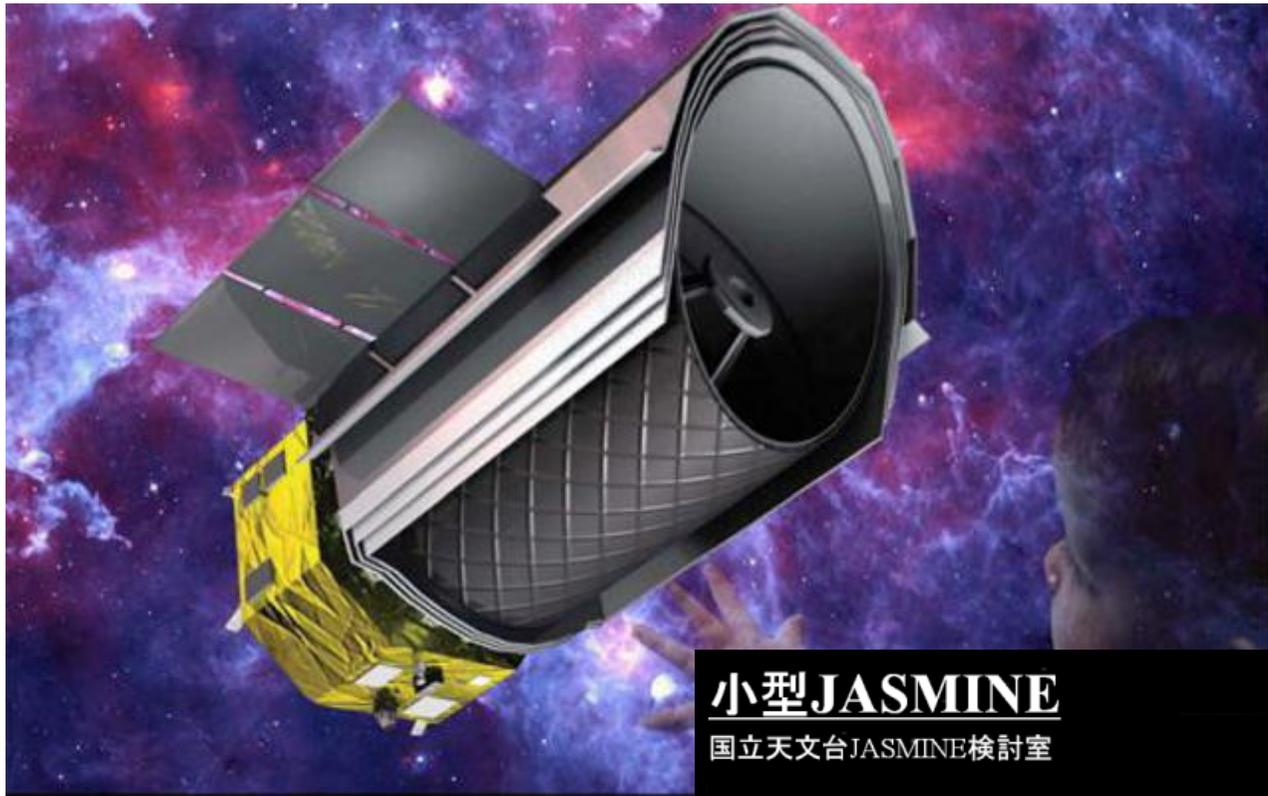
PFS主焦点ファイバ分光器

2017, IMPU, Prinston
Caltech, LAM, ASIAA, Brazil + NAOJ inkind



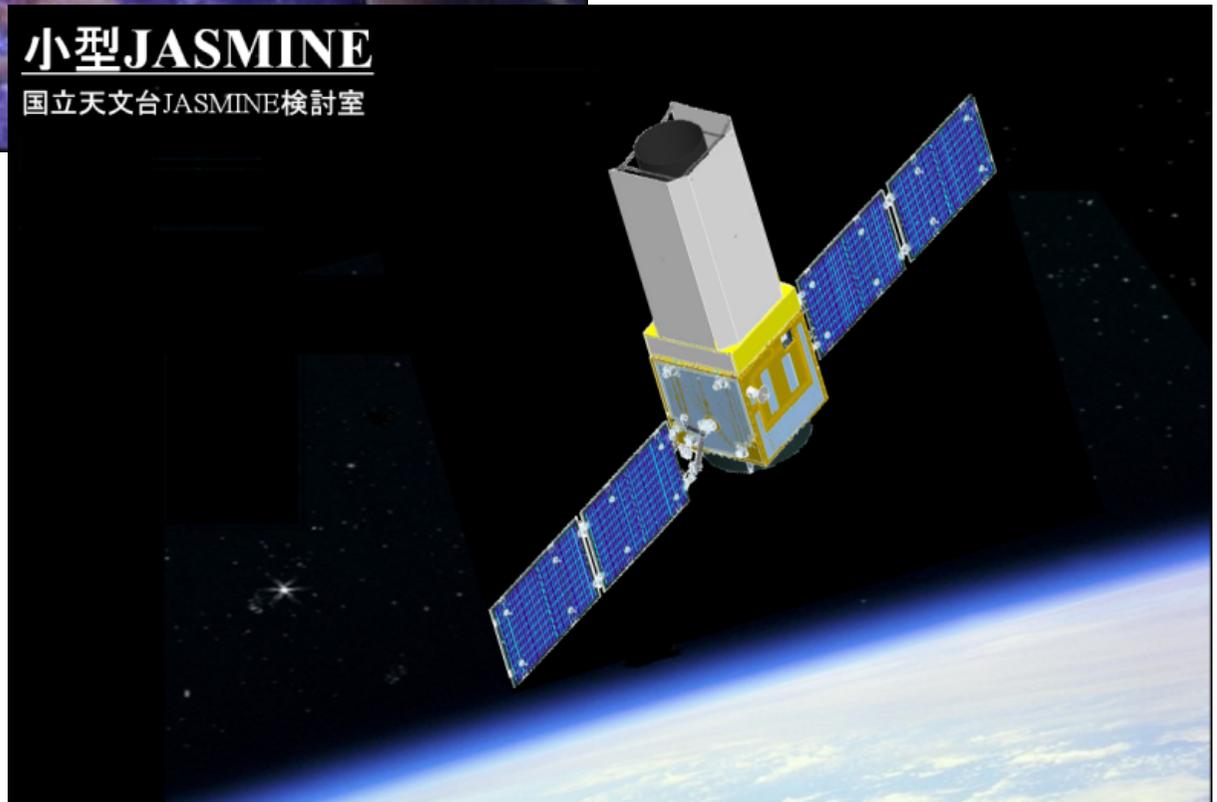
8.4m LSST
= Large Synoptic Survey Telescope





大型赤外線衛星 SPICA

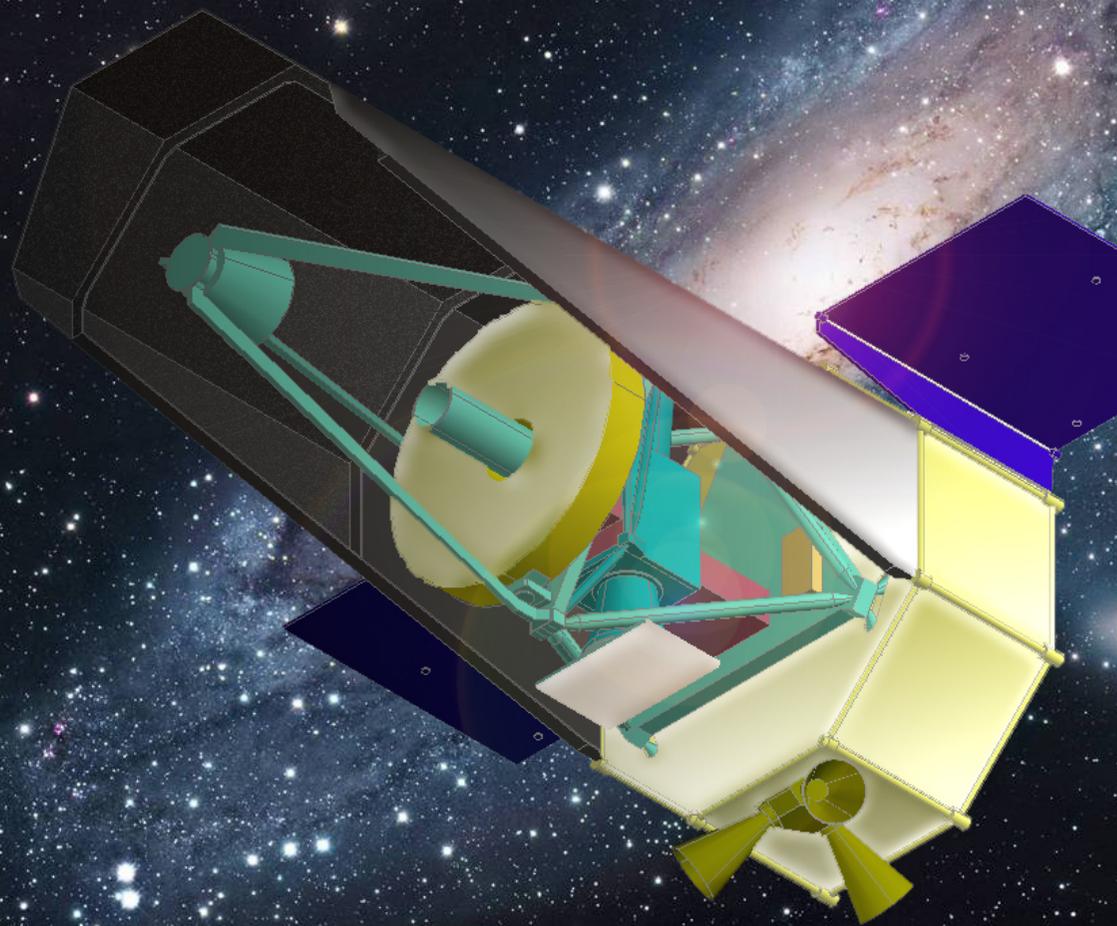
小型JASMINE 国立天文台JASMINE検討室



近赤外(Hw-band)
高精度アストロメトリ衛星
小型 JASMINE

超広視野初期宇宙探査衛星

WISH 計画



WISH (Wide-field Imaging Surveyor for High-redshift)

超広視野初期宇宙探査衛星

ミッション提案書 第1版

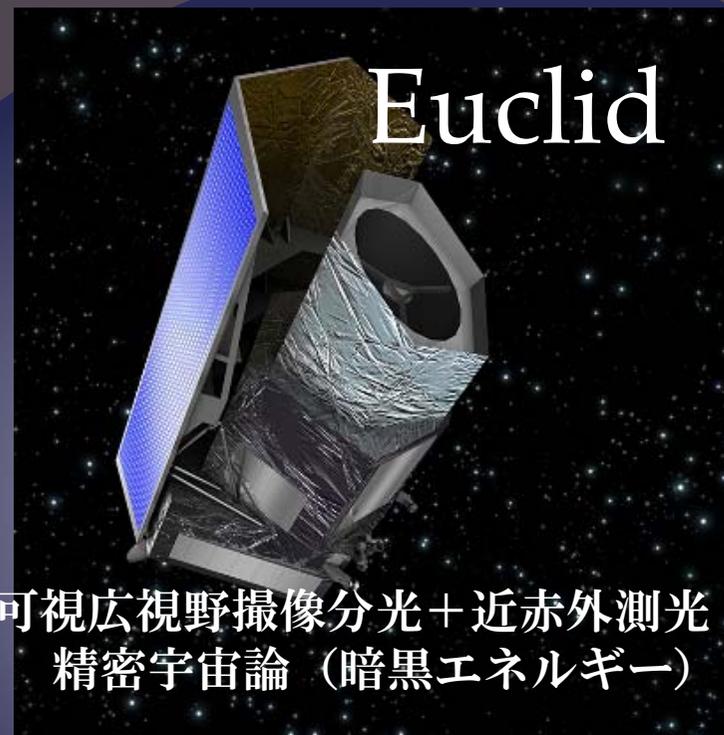
2012年9月

JWST



赤外可視汎用望遠鏡

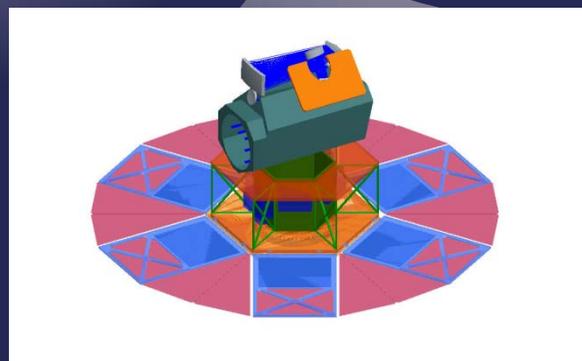
Euclid



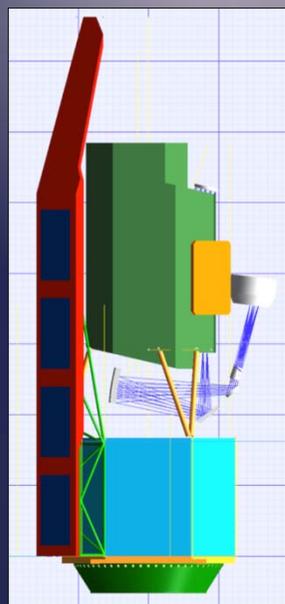
可視広視野撮像分光+近赤外測光
精密宇宙論 (暗黒エネルギー)

WFIRST

DRM2 1.1m Cost-down



DRM1
1.3m



NRO
2.4m

光赤外天文学の発展と人類の世界認識

	代表的望遠鏡	時期	代表的観測
「太陽系の発見」	ガリレオの望遠鏡など	17世紀初頭	月のクレータ、金星の満ち欠け、ガリレオ衛星、土星の輪
「我が銀河系の発見」	ハーシェル望遠鏡など	18世紀	銀河系宇宙の認識
「銀河宇宙の発見」	ウィルソン山 2.5m など (E. ハッブル)	20世紀初頭	アンドロメダ銀河までの距離、銀河サンプル、ハッブルの法則と宇宙膨張
「100億光年の宇宙時空の発見」	パロマー山 5m など	20世紀後半	多数の銀河クェーサー
「宇宙史の発見」	ハッブル望遠鏡、すばる、Keck、VLT、Spitzer、Akari.....	20世紀末～21世紀初頭	130億年にわたる銀河宇宙構造の形成・進化史の俯瞰
?	地上 30-40m 超大型望遠鏡、次世代宇宙望遠鏡	21世紀前半	?

光赤外天文学は新たな世界を開けるか？

1. 宇宙の加速膨張と暗黒エネルギー／重力修正理論
?? 「3+1次元時空」からの展開??

2. 宇宙初期 ($t_{\text{age}} < 7$ 億年) における天体形成と
宇宙再電離過程

物質宇宙の構造形成史の完成

CMB ~ 宇宙初期 ~ 観測されている銀河宇宙史

3. 太陽系外惑星の実態研究、惑星系形成過程直接観測

我々の太陽系→様々な太陽系（地球型惑星）の世界

「生命」についての新しい認識

多様な天文学

(手法)

- 未開拓な波長での観測 [SPICA](#) [TAO](#)
- 特徴ある観測地 [TAO](#) [南極望遠鏡](#)
- 観測時間分解能、観測時間間隔 [LSST](#) / [京都3.8m](#)
- 高精度アストロメトリ [GAIA](#) / [JASMINE](#)
- 高精度偏光 [東アジア天文台](#)
- 高解像度+広視野 [Subaru+GLAO](#)

小惑星から銀河、ブラックホールまで、天文学上のパラダイムシフト、興味深い物理過程の発見は大いに期待される。

日本の現在／将来計画

将来計画についての議論は
光学赤外線天文連絡会
(現在：岩室史英委員長[京都大学])
240名 (2010年4月1日現在)

2003-2004: 2010年代の光赤外天文学
将来計画検討報告書 (2005年3月20日 発行)
TMT / SIPCA

2012: 光赤天連シンポ「2020年に向けてのロードマップ」

開催趣旨:

2020年代の稼働を目指して推進されている光赤外線分野の中型・大型計画について、光赤外線コミュニティとしてそれらを実現し、サイエンスを展開するためのロードマップの発展的な改訂を行うことを目標とする。2020年代に稼働する装置を用いたサイエンスの展望からスタートし、現在推進されている中型・大型計画のそれぞれについて計画を概観する。これらの計画に対する各研究機関の関わり方や研究内容の多様性、独創性、教育機会の確保とのバランス・共存のあり方について議論を行う。

2012: 学術会議分科会の依頼に応じた中規模計画のレビュー
大規模計画のとりまとめ (進行中)

日本の光赤外線研究分野の地上将来計画

大型計画: 大学共同利用機関である国立天文台を中心に
世界最大級・最先端の望遠鏡・観測装置を建設。

Thirty Meter Telescope (TMT) 計画

(最優先課題、学術会議MP)

中規模計画: 対象を比較的特化した先鋭的で特色のある研究、
大学を中心とする教育・人材育成など
基盤形成を担う研究

京都大学 3.8m 新技術望遠鏡計画(京都大,他) **突発天体**

東大アタカマ天文台(TAO) 6.5m計画 (東京大) **>5000m サイト**

すばるPrime Focus Spectrograph 計画 (IMPU) **広視野分光**

すばる望遠鏡次世代補償光学システム計画 **広視野高解像度**

(NAOJ、東北大、他)

地球型系外惑星と生命の探査計画(NAOJ、他) **ダイナミックレンジ**

南極望遠鏡計画(東北大、南極望遠鏡コンソーシアム) **南極**

東アジア天文台計画(広島大) **偏光分光**

1. 地上望遠鏡による研究計画

- 計画・開発段階
- 建設・製作段階 (予定・希望を含む)
- 実行段階 (予定・希望を含む)

2010

2015

2020

地上超大型望遠鏡計画 (TMT計画)

すばる望遠鏡 様々な分野の汎用研究 + 目的を明確にする先鋭的な戦略研究

HiCIAO, FMOS
による戦略観測

HSCによる戦略観測

次期装置

・Prime Focus Spectrograph (暗黒エネルギー、銀河進化)

・次世代 AO システム (銀河形成・進化)

・地球型系外惑星探査 (すばる、TMT 装置開発)

IRD

TMT SEIT

大学を中心とする望遠鏡計画 (基幹大学における中大型望遠鏡計画)

・京都大学 3.8m 望遠鏡計画

国立天文台岡山観測所 188cm 共同利用の見直し

1m mini-TAO

・東京大学アタカマ天文台計画 (銀河進化、惑星形成)

地上

ナショナル・フラッグシッププロジェクトとしての
30m TMT 望遠鏡計画 (国際計画)

すばる装置の先鋭化、専従化、国際協力
(運用コスト、マンパワーを圧縮)

「戦略枠」 HiCIAO, FMOS, HSC,
→ PFS, GLAO+広視野NIR

国内共同利用 岡山1.8m → 大学望遠鏡の有効活用

大学基盤強化、先鋭的な目的を絞った計画
順次、実現を期待

京大3.8m、TAO、南極、広大東アジア.....

日本の光赤外線研究分野の スペースミッション計画（国際協力）

ISAS 理学委員会 **WG** が設置されている計画および
プリプロジェクトとして認定されている計画

SPICA 計画 (プリプロジェクト、学術会議MP)
WISH 計画 (中大型プロジェクトWG)
JTPF 計画 (国際協力対応WG)

ISAS 小型衛星専門委員会(旧)WG が設置されている計画
小型 JASMINE 計画 (小型科学衛星WG)

WFIRST 計画との協力？

計画(装置)概要

計画	コア波長	有効口径	科学目的 特徴的仕様	軌道
SPICA	5-200 μ m	3m	銀河進化・物質循環・ 惑星形成 極低温(<6K) 大口径	SE-L2 Halo
WISH	1-5 μ m	1.5m	初期宇宙銀河・加速膨張・ 広視野サーベイ 超広視野 低温(100K)	SE-L2 Halo
JTPF	可視光?	3m級	太陽系外惑星 ?	?
JASMINE (小型)	1.5 μ m (Hw band)	0.3m級	銀河バルジ構造・力学 高精度 アストロメトリ	太陽同期 (550km)

計画概要 (スケジュール、現在の状況)

計画	期待する 打上時期	現在の状況	コスト予測	備考
SPICA JAXA+ESA	2022	・プリプロジェクト ・リスク低減フェーズ	JAXA 330億 + 打上	コストは JAXA 分。 + ESA、欧州コンソーシアム、韓国、(台湾、米国)
WISH	2019	・WG (2008-)	~250億 + 打上 (dual launch)	コストは 国際協力分含む
JTPF	大型 2025 以降	・WG	?	大型は SPICA 後 中型規模で国際計画 に参加の可能性
JASMINE	小型 2017-	・小型WG (2009-)	ミッション部 10億 バス20億 打上40億	小型の後、中型を計 画。国際協力 (post- GAIA)、または 国内 協力 (WISH など) も 視野。

国際情勢と日本

国際情勢

地上の巨大望遠鏡将来計画

計画	口径	建設地、特徴	予想稼働時期	主要参加者
TMT (Thirty Meter Telescope)	30m	ハワイ・マウナケア 492 1.45m segments 日本の分担（案）： 望遠鏡構造、主鏡材、主鏡研磨（一部）、観測装置	2020	日本、Caltech、UC、カナダ、中国、インド・・・
GMT (Giant Magellan Telescope)	24.5m	チリ・ラスカンパナス 山頂工事開始 8.4m x7 1枚研磨成功 2018 部分運用開始？	2022	Carnegie, SAO, Harvard, Arizona, Texas, Chicago, オーストラリア, 韓国
E-ELT (European Extremely Large Telescope)	39.3m	チリ（アルマゾネス？） 798 1.45m segments 建設準備予算承認 (2011/12) 広視野AO	Early 2020's	欧州南天天文台、ブラジル
LSST (Large Synoptic Survey Telescope)	8.4m	チリ 超広視野（9.6平方度） 半天をくまなく走査 最終的に ugrizy で 26-28等 Deep drilling fieldsも観測	2022	米国

国際情勢

光赤外スペース将来計画

	口径	特徴	主目的	質量	打上	主要機関
JWST	6.5m	大口径 0.6-28 μ m 近赤外 撮像 30AB 分光 27AB	汎用 初期宇宙銀河 系外惑星 銀河形成進化	6.2t	2018	NASA ESA CSA
Euclid	1.2m	可視広視野 広域フィルタ (0.55-0.9 μ m) 近赤分光 1.1-2.0 μ m 近赤撮像 (測光) 0.9-2.0 μ m 24AB 20000 deg ² 26AB黄極 40 deg ²	精密宇宙論 弱い重力レンズ 銀河クラスタリ ング	2.2t	2019	ESA NASA
SPICA	3m	5-200 μ m (詳細は SPICA 講演)	ダスト、ガス	3.7t	2022	JAXA+ESA+ KASI+台湾
WFIRST	1.3m / 2.4m	1.3m案 近赤外 0.8-2.0 μ m 撮像 25AB >2500 deg ² 分光 2ch NRO 2.4m案 検討中 27AB Wide	精密宇宙論 超新星 BAO/RSD 系外惑星 マイクロレンズ 近赤サーベイ	1.3m ~3.9t	2025?	NASA?

日本の戦略 スペース

(中間、遠) 赤外線観測

銀河のダスト成分、PAR、
電離ガス・PDRガスの微細構造輝線

Akari → SPICA (大型、3.6t)

(そもそも、Akari で検出した天体を SPICA で分光する、
という考え方も当初から)

新しい挑戦

高精度アストロメトリ JASMINE (小型シリーズ)

すばる望遠鏡、あかり近赤外からの飛躍

可視光に近い近赤外線 WISH (中型、1.4t)

日本の戦略 地上＋スペース

- **すばる望遠鏡**のユニークな広視野性能、高結像性能を活かし、2020年代初頭まで世界をリードする計画
 - SEEDS サーベイ 2009-2013 系外惑星直接撮像
 - FMOS サーベイ 2013-2015(TBD) 近赤外多天体分光
 - HSC サーベイ 2013-2018 広視野深撮像
 - PFS サーベイ 2017-2022 (TBD) 広視野系統分光
 - 新装置 2020年代初頭 (GLAO + 広視野近赤分光撮像) ?
- 2020年代、世界に先駆けて **30m級超巨大望遠鏡 TMT**を稼働しすばるサーベイや、**SPICA / WISH** など宇宙望遠鏡による観測とも相乗効果を得て研究を展開
 - すばるサーベイ天体 → TMT で詳細観測、分光
 - SPICA ダスト・ガス成分の観測 → TMT による解像可視・近赤外観測
 - WISH による $z=8-15$ 初期宇宙天体 → TMT で分光

科学目的、という観点からの日本の戦略

① 精密宇宙論、宇宙の加速膨張、暗黒エネルギー

- **すばる望遠鏡・新装置** (HSC, PFS) による広視野観測
vs LSST (南天)
- **TMT**による宇宙膨張直接測定、Double Einstein Ring 観測、
など。
vs E-ELT
- **WISH** による静止系近赤外線での Ia 型超新星探査
TMT で分光
vs Euclid (WL, clustering), WFIRST ($2\mu\text{m}$ 以下)

科学目的、という観点からの戦略

②宇宙初期での銀河形成と宇宙再電離

- WISH による検出、TMT による詳細分光
vs JWST, HST+TMT,
- SPICA FPC-S CIRB 観測によるアプローチ

科学目的、という観点からの戦略

③ 系外惑星の性質解明、惑星形成過程

- TMT による地球型惑星の直接撮像
- SPICA 分光（円盤）、コロナグラフ

スペースミッション 国際情勢における戦略

JWST 日本は参加しない (現状)

Euclid 日本は参加しない (現状)

ただし、すばる望遠鏡観測時間を
200夜程度投入することで、20-30名程度の研究者が
データ解析に参加する可能性も。

SPICA ガス、ダスト成分を中心としたユニークな観測

WISH 広視野、 $5\mu\text{m}$ までの近赤外線でユニークなアプローチ
宇宙初期銀河形成、暗黒エネルギー

JASMINE GAIA衛星と相補的な近赤外、銀河バルジ

スペースミッション研究計画

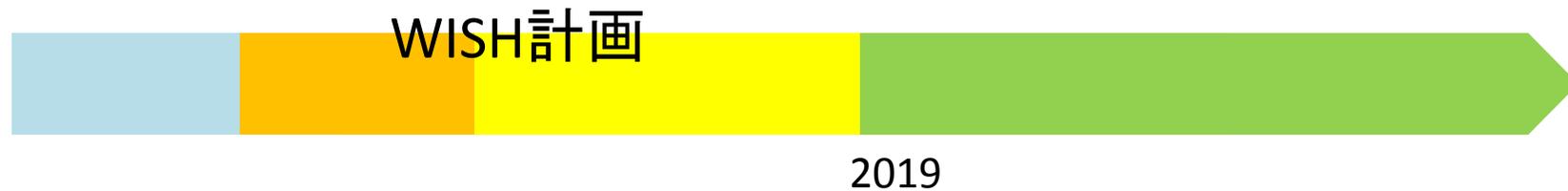
- WG 段階
- プリプロジェクト段階 (予定・希望を含む)
- 建設・製作段階 (予定・希望を含む)
- 実行段階 (予定・希望を含む)



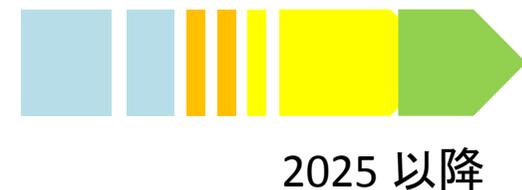
プリプロジェクト



Working Group



JTPF計画



小型JASMINE計画





GAIA 2015- →

JWST 2018- →

Euclid 2019- →

WFIRST2025 ?? →

SPICA 2022? →

WISH 2019?? →

JASIMINE 2017?? →

次世代
國際宇宙望遠鏡？
UV / Opt / IR
汎用 / 專用
系外惑星 / 宇宙論 / 銀河

2025 年以降のヴィジョンと2010年代の開発

WFIRST? 1.3m / 2.4m NRO?

日本の分担 コロナグラフ装置? 広視野?

TPF 的ミッションの復活はあるのか?

2025 年以降に、次世代・大規模国際協力型

スペース超大型ミッションはあるのか? 得策か?

地上 30-40m 望遠鏡に続く計画は、

地上 100m か? スペースか?