

Future plans for Japan Radio Astronomy Forum

Kenta Fujisawa

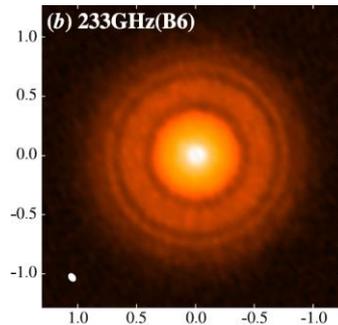
(Japan Radio Astronomy Forum(宇電懇), Yamaguchi University)

What are we trying to understand about the universe over the next 20 years?

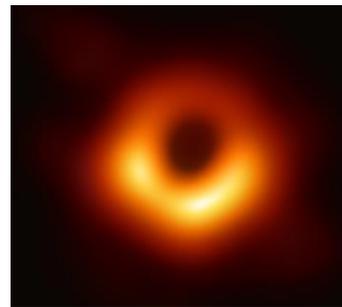
- History of the radio astronomy in Japan
 - Nobeyama, ALMA, VLBI
 - Star formation, black hole
 - Pioneering of millimeter wave astronomy



Nobeyama 45m



Tsukagoshi et al (2016)

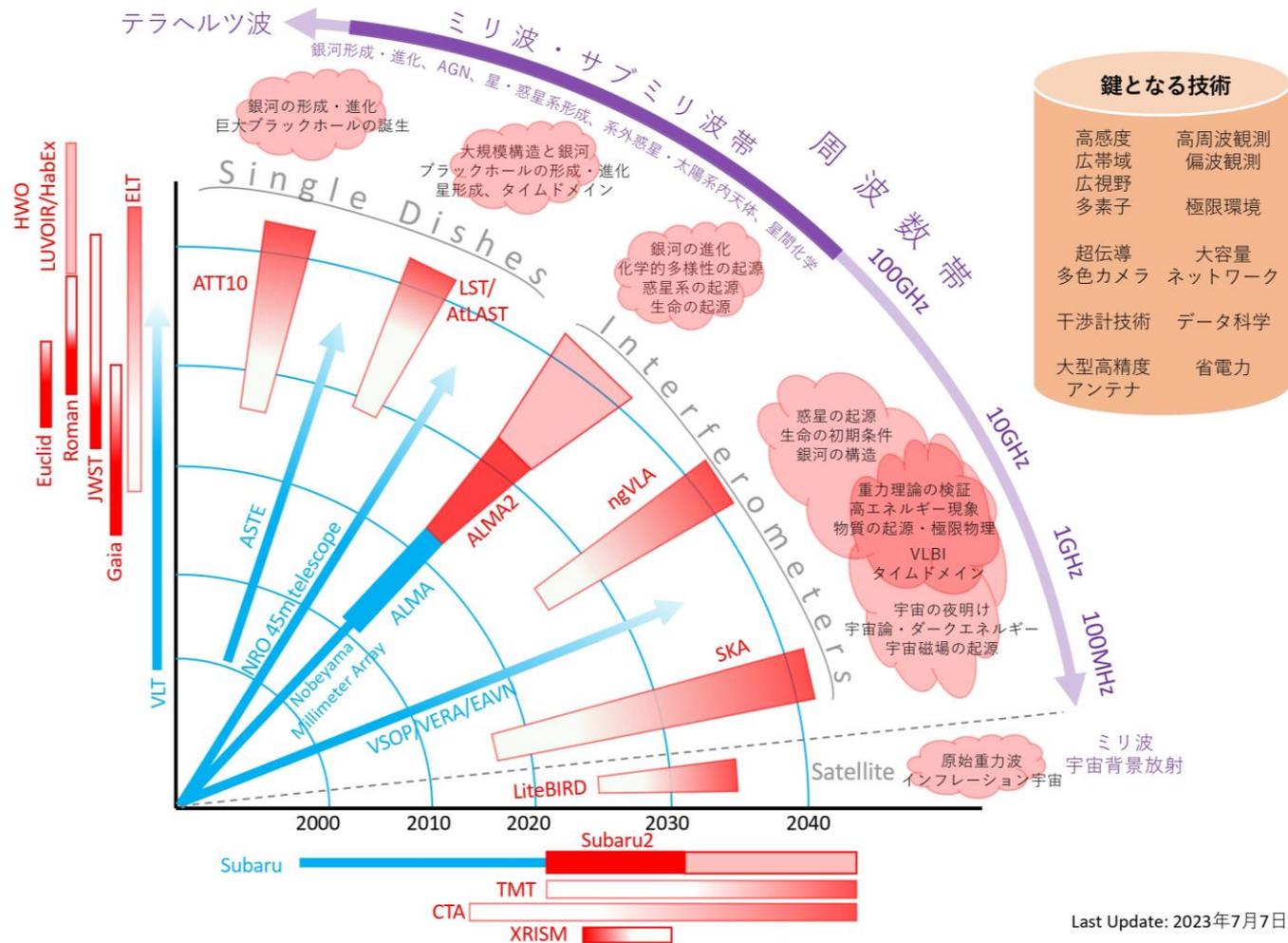


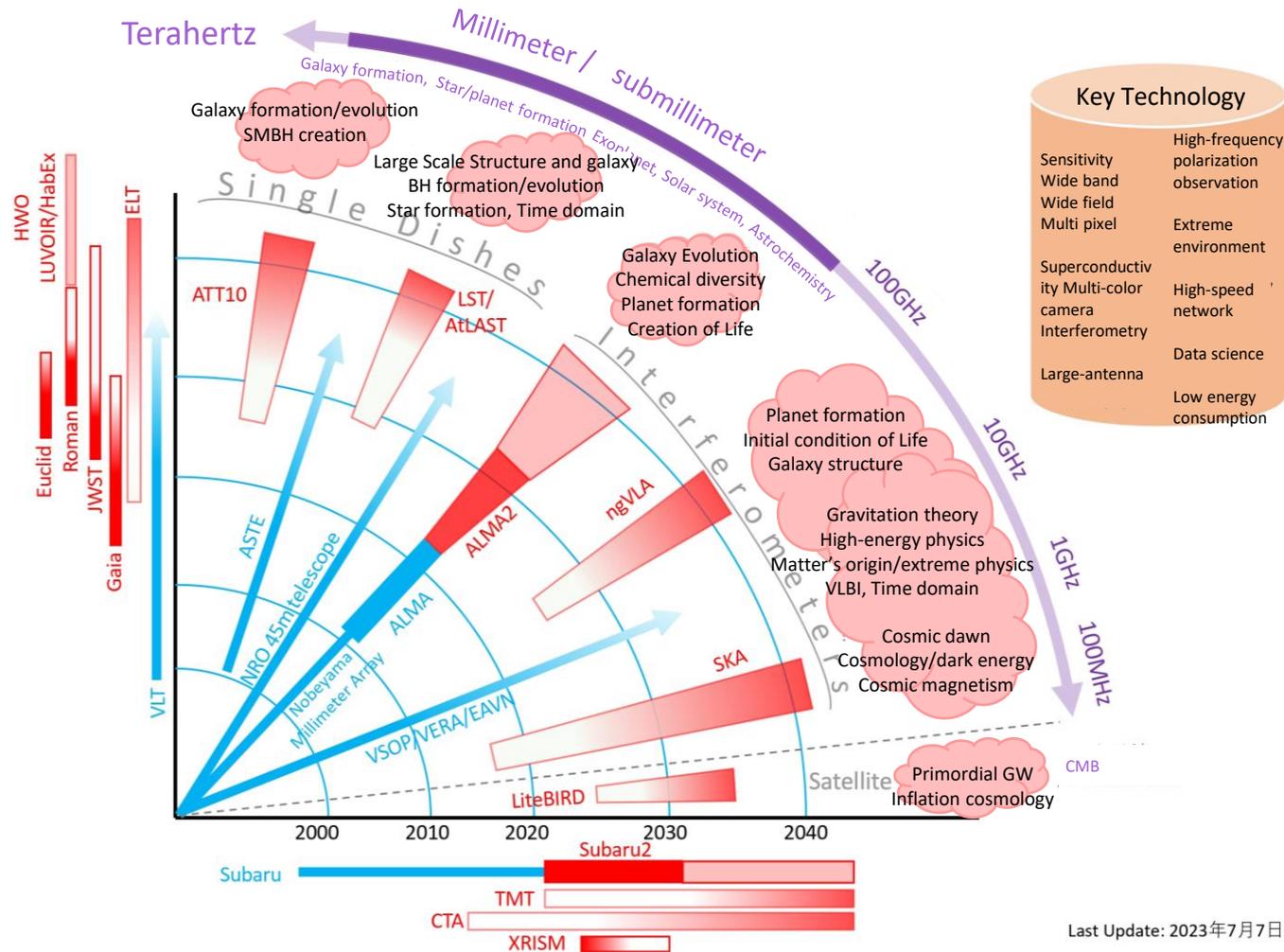
EHT Collaboration

- 5 recommended plans

- SKA1 Square Kilometre Array Phase 1
- ngVLA Next-generation Very Large Array
- LST Large Submillimeter Telescope
- ATT10 Antarctic 10-m Terahertz Telescope
- LiteBIRD Lite (Light) satellite for the studies of B-mode polarization and Inflation from cosmic background Radiation Detection

➡ cm-wave large interferometer







Square Kilometre Array Phase 1 (SKA1)

<https://www.skao.int>

・総建設費2210億円・運用費1020億円(2021-2030)・日本側2%貢献=72.4億円(2021-2030) + 5.6億円/年(2030-)

SKA1は

アルマでは観測ができない**低周波数の電波**を、従来の**10倍の感度**と**10倍の解像度**、そして複数の観測の**同時実行**を実現しながら、大規模な**掃天観測**を実施することで、この周波数でしか果たせない**天文学・宇宙物理学の新天地**を目指す。

目的と意義等

- 今世紀の天文学を牽引する**国際共同利用施設**
- 電波天文学・理論天文学・惑星科学・地球物理学・データ科学等を**融合**した**多彩な科学目標**
- 日本の技術力は**SKAOから高く評価**され早期参加が期待される。参加は日本の地位確保に重要



実施体制・国際的な位置づけ等

- 16ヶ国が条約批准または覚書締結を目指すため、**安定した統治**が期待。一方、**科研費になじまない**
- SKA1は現在**建設中**で2029年頃完成。**緊急性**あり。規模10倍増の第2期(SK A2)も計画にある
- 年間700PBのデータを世界的なクラウド情報基盤を構築し支える。**情報イノベーション創出**が期待
- 途上国開発、国際性豊かな点→**SDGs実現**に一助

国内の準備状況等

- 過去に**マスタープラン・ロードマップ**に掲載
- 実施機関に**NAOJ**を想定。検討Gが建設に貢献中
- 白書(2020)、論文464編、競争的資金4.02億円、修士163名博士33名輩出→若手からの支持も高い



Square Kilometre Array Phase 1 (SKA1)

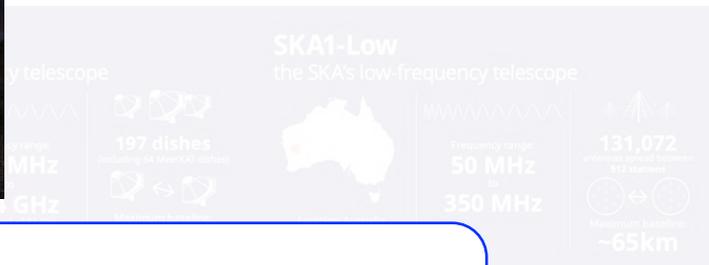
<https://www.skao.int>

総建設費2210億円

貢献=72.4億円(2021-2030) + 5.6億円/年(2030-)

SKA1は

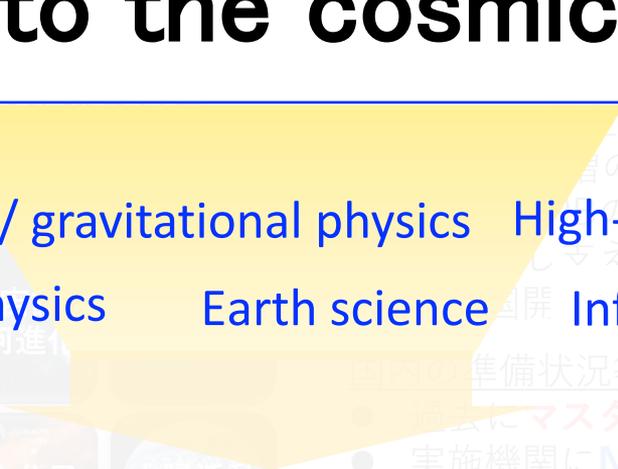
アルマでは観測ができない低周波数の10倍の感度と10倍の解像度、その同時実行を実現しながら、大規模な観測を行うことで、この周波数でしか果敢と観測可能な宇宙物理学



Look into the cosmic dawn

目的と意義

- 今世紀前半に実現する
- 電波天文学・データ科学等を融合して
- 日本の技術力はSKAOから高い期待が寄せられる



Strong **B** Particle / gravitational physics High-energy physics Plasma

Blackhole physics Earth science Information technology

Physically understand the history of this world

日本のキーサイエンス

宇宙再電離 宇宙磁場 重力理論 銀河進化 国内の準備状況等

突発天体 極限物理 天の川 銀河 星形成 生命分子 太陽活動

建設中で2029年頃完成。緊急性あり。第2期(SKA2)も計画にある

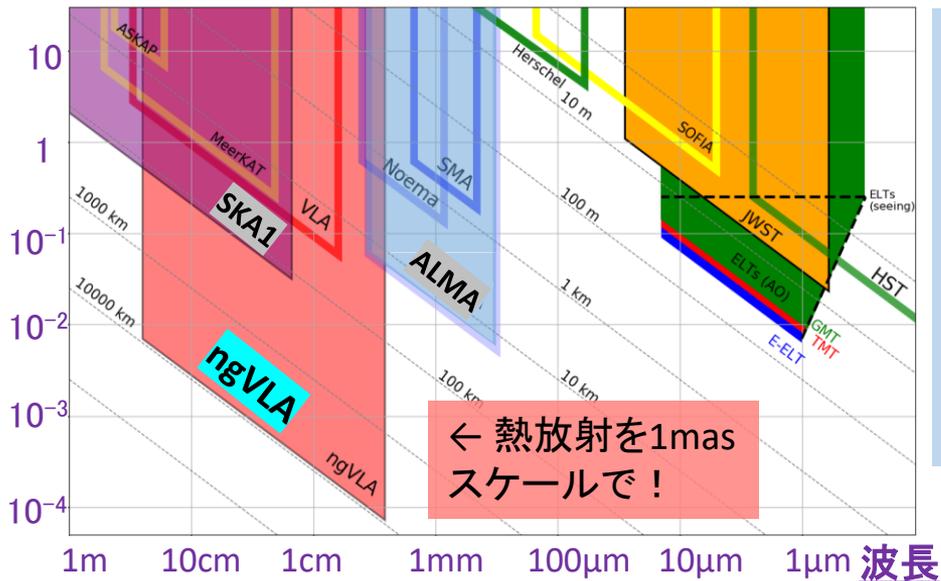
過去にマスタープラン・ロードマップに掲載

実施機関にNAOJを想定。検討Gが建設に貢献中

競争的資金4.02億円、修士163名博士33名輩出→若手からの支持も高い

Next-generation Very Large Array (次世代大型電波干渉計ngVLA)

空間分解能(秒角)

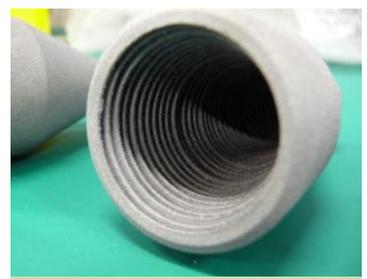


← 熱放射を1mas
スケールで!

5大科学目標

- 太陽系のような惑星系の形成過程の解明
- 星間物質化学を通じた生命誕生の初期条件の理解
- 宇宙星形成史に伴う銀河の進化の解明
- 銀河系中心領域パルサーを用いた重力理論検証
- マルチメッセンジャー天文学における恒星進化の最終段階と超大質量ブラックホール形成の理解

- 学術分野間のシナジー
- ALMAの建設・運用の実績を踏まえた独自の貢献
- 国際化・人材育成に寄与



Gonzalez 他 (2021)

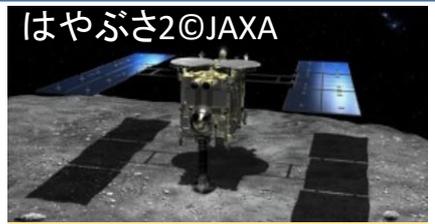
冷凍機環境で仕様を満たす35-50GHz帯コルゲートホーン



口径18m, 6mアンテナを263台結合



北米大陸中心に約9000kmに展開



はやぶさ2@JAXA

太陽系探査との連携

空間分解能(秒角)



5大科学目標

- 1. 太陽系外惑星の形成過程の解明
- 2. 生命の起源と進化の理解
- 3. 宇宙を介した生命誕生の初期条件の理解
- 4. 宇宙の歴史に伴う銀河の進化の解明
- 5. 宇宙領域パルサーを用いた重力理論検証

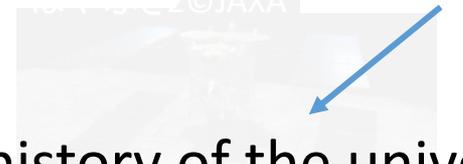
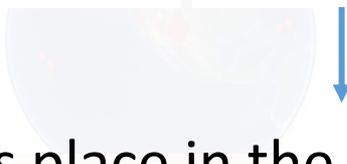
Understand how the Earth was created



Earth-planetary science

Chemistry

Biology



Humanity's place in the history of the universe

口径18m, 6mアンテナを263台組み

約9000kmに展開

太陽系探査との連携

Gonzalez 他 (2021)

冷凍機環境で仕様を満たす35-50GHz帯コルゲートホーン

大型サブミリ波望遠鏡 Large Submillimeter Telescope (LST)

ミリ波・サブミリ波帯において広い視野・広い波長域を一挙に観測することができる 50 m 級の大口徑望遠鏡を南米チリに建設しアルマとは相補的なディスカバリー・スペースを開拓する計画

● 科学目標

- (1) 宇宙再電離期に至る宇宙史の中での銀河とブラックホールの形成・進化過程の解明
- (2) 星形成初期段階とそれに伴う惑星系形成の多様性および普遍性の解明
- (3) ミリ波サブミリ波帯における時間領域天文学の本格的な開拓

● 学術的意義

- 大口徑・広視野・広帯域のコンセプトのもと、宇宙再電離期の銀河から、銀河団・大規模構造、ブラックホール形成、星・惑星系形成、太陽系内惑星大気まで、多様な階層における天体形成・進化の研究を格段に進展させるとともに、サブミリ波帯時間領域天文学を本格的に開拓する。光赤外線分野や低周波電波帯などにおける広域探査計画とも高い相乗効果。
- アルマの一素子としても組み込むことで、アルマの感度向上にも資する(現在の観測時間の約1/2で同じ感度に到達可能に)

● 独自性・創造性

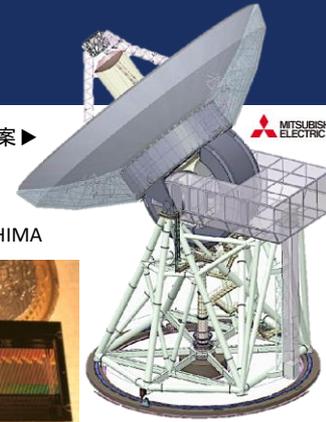
- 野辺山・なんてん・VST・富士山望遠鏡・ASTEそしてアルマへ発展してきた我が国のミリ波サブミリ波天文学に根ざした日本発の計画。
- 集積超伝導分光器 (ISS) や、ミリ波補償光学 (MAO) など、日本の若手研究者が世界に先駆け提唱・実証した創造性の高い独自技術を投入し、アルマと比較した撮像・分光探査能力 (マッピング・スピード) の数桁の向上を実現。アルマ2に向けた国立天文台での超伝導受信機開発や、データ科学と連携した新しいサブミリ波分光観測・解析法など日本独自の成果に基づく計画。

● コミュニティーでの合意形成と国内外での連携

- 宇宙電波懇談会・電波天文将来計画検討WGで、ngVLAおよびSKA1に続き第二位の推薦。高い科学的評価、一方でプロジェクトのステージとしては異なるフェイズにあるとの評価。➔ 同様のコンセプトに収斂してきた欧州主導の AtLAST計画 (現在 ERC grant獲得に基づく技術・科学検討を2021年3月から推進中) との統合により、実現性を高める。
- 90名以上の研究者が参加している科学検討 (LST白書作成) を推進中。幅広い分野の研究者からの期待。
- 日本天文学会企画セッション (南極テラヘルツ望遠鏡計画と合同開催)、月例LSTセミナーなどコミュニティとの連携強化。

LST望遠鏡案▶

▼ 集積超伝導分光器 DESHIMA



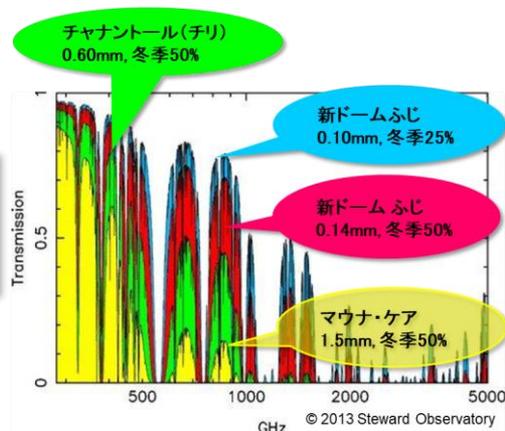
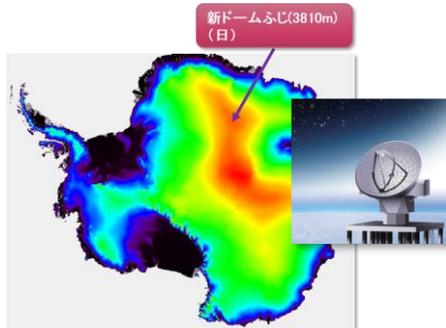
南極10m級テラヘルツ望遠鏡計画(ATT10)

南極内陸部:地上最高の観測サイト(新ドームふじ)

- 高い大気透過率 ⇒ 地上で唯一、テラヘルツ帯での観測が可能
- 極めて安定な大気 ⇒ 大規模サーベイを可能に

➤ 10m級テラヘルツ望遠鏡:

- 観測周波数: 200 GHz - 2 THz
- 広視野 ($\geq 1^\circ$)
- 広視野MKIDカメラ (850 GHz, 300/400/500 GHz)
- ヘテロダイン受信機 (450GHz, 650GHz, 800GHz, 1THz, 1.3THz, 1.5THz, 1.9THz)



➤ ATT10による銀河進化の研究

(連続波)超広視野電波カメラによるConfusion limitでの
南天全域掃天観測

⇒ ダスト熱放射で1000万個以上の銀河を検出
多波長と合わせて銀河のSED決定

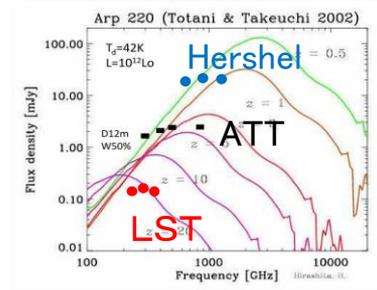
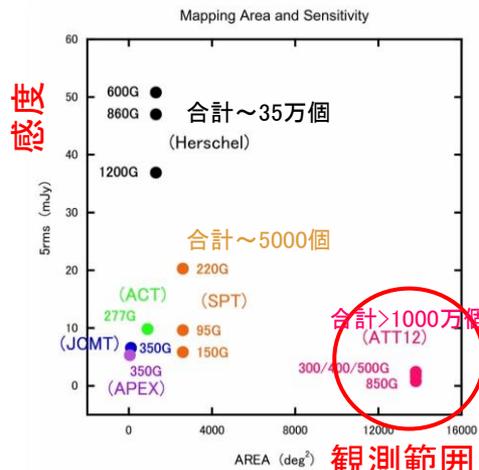
⇒ 銀河の星形成史・AGNの進化

⇒ 多数の重力レンズ天体 → ハッブル定数の測定

(スペクトル線)遠方天体からの遠赤外線の微細構造線
([CII]158, [OI]145, [OIII]52/88, [NII]122/205...)

⇒ 銀河の星間媒質の時間進化

(電子密度、金属量、電離状態)



- ngEHT(Event Horizon Telescope)の重要局として期待
- 極域からの地球大気観測
- テラヘルツ技術の産学連携
- 将来:30m級テラヘルツ望遠鏡



LiteBIRD : 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星

主要諸元

- ・ 打上げロケット：H3ロケット
- ・ 質量：2.6 トン、電力 3 kW
- ・ 観測期間：3年
- ・ 軌道：太陽-地球 L2、リサージュ軌道
- ・ 極低温望遠鏡：広視野~20度、温度5K (-268度)

目的

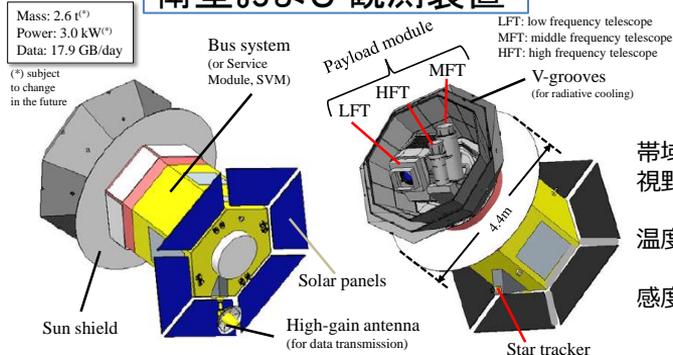
人類にとって根源的な知的探求

- 宇宙誕生の瞬間とは？
- 宇宙・時空を創る物理理論とは？

「宇宙のインフレーション仮説」
 (佐藤勝彦らが提案) 熱いビッグバン以前の宇宙に関する
 最有力仮説。原始重力波の存在を予言。

- 原始重力波はCMBの偏光マップに「指紋」の様な痕跡 (原始Bモードと呼ばれる渦巻き状の偏光パターン) を残す。
- LiteBIRDは、**スペースからの観測でのみ可能な「指紋」の全天精査を行い**、インフレーション仮説を徹底検証する。

衛星および観測装置



- 帯域：34-448 GHz, 15バンド
- 視野：8°×9° (LFT)
28° (MHFT)
- 温度：5K (望遠鏡)
0.1K (焦点面検出器)
- 感度：2.16mK・arcmin
(3年の全天観測)

期待される成果

- 時空の量子揺らぎによる原始重力波を検出
- 強度パラメータ r (テンソル・スカラー比) の決定
→ インフレーション仮説の検証
→ 量子重力理論 (超弦理論) の検証
- 銀河の磁場構造、星間ダスト等の物理の飛躍的発展



国際的な位置付け

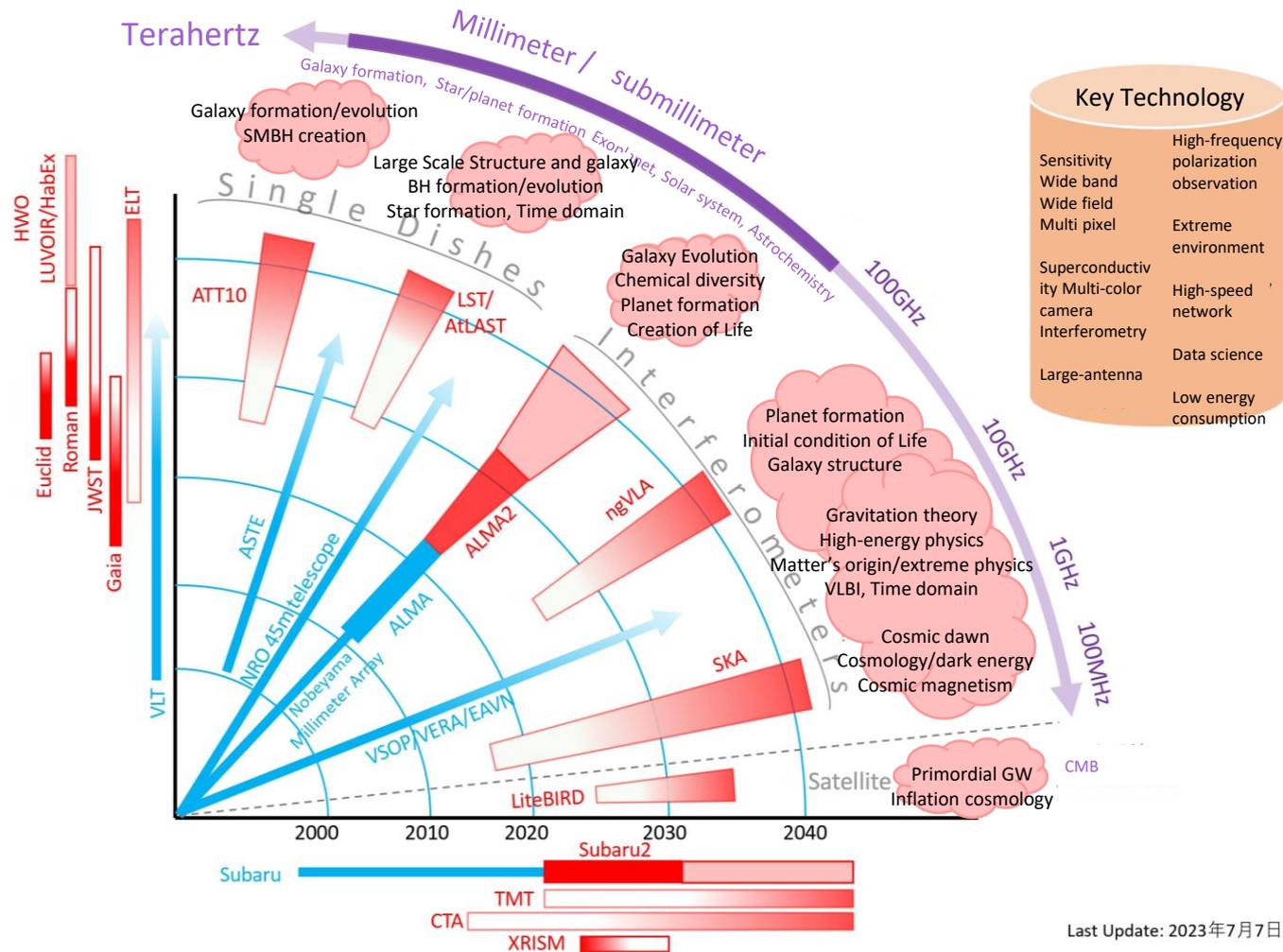
- 2020年代後半に実現可能な世界で唯一のCMB偏光観測衛星
- 日欧加による国際協カミッション
- ・ 日本：打ち上げ・運用、バス系、放射冷却系、機械式冷凍機、低周波望遠鏡、焦点面検出器
- ・ 欧州：中高周波望遠鏡、サブケルビン冷凍機
- ・ カナダ：常温読み出し系

国内研究機関

- ・ JAXA
- ・ KEK 量子場計測システム国際拠点 (QUP)、素粒子原子核研究所
- ・ 東京大学 Kavli IPMU
- ・ 岡山大学
- ・ 他

国内位置付け

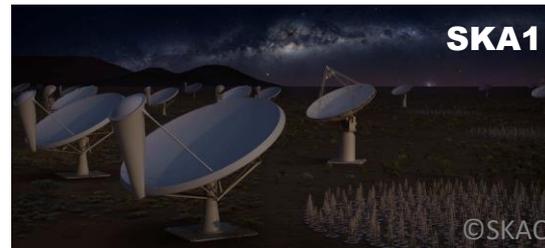
- ・ 学術会議マスタープラン2020：重点大型計画
- ・ 文部科学省ロードマップ2020：選定



What are we trying to understand about the universe over the next 20 years?

- **cm-wave interferometer**

- **SKA1** Look into the cosmic dawn, in 10 years
- **ngVLA** Understand how the Earth was created, in 20 years



- **Millimeter/submillimeter**

- LST
 - ATT10
 - LiteBIRD
- cosmo-tectonics { The ultimate submillimeter telescope
The best observation site on earth
- LiteBIRD Look into the birth of the Universe



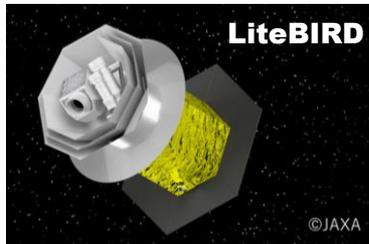
LST



ATT10



LiteBIRD



Answering human's fundamental questions using today's best technology