

Future plans from Japan Radio Astronomy Forum (Udenkon)

宇電懇の将来計画

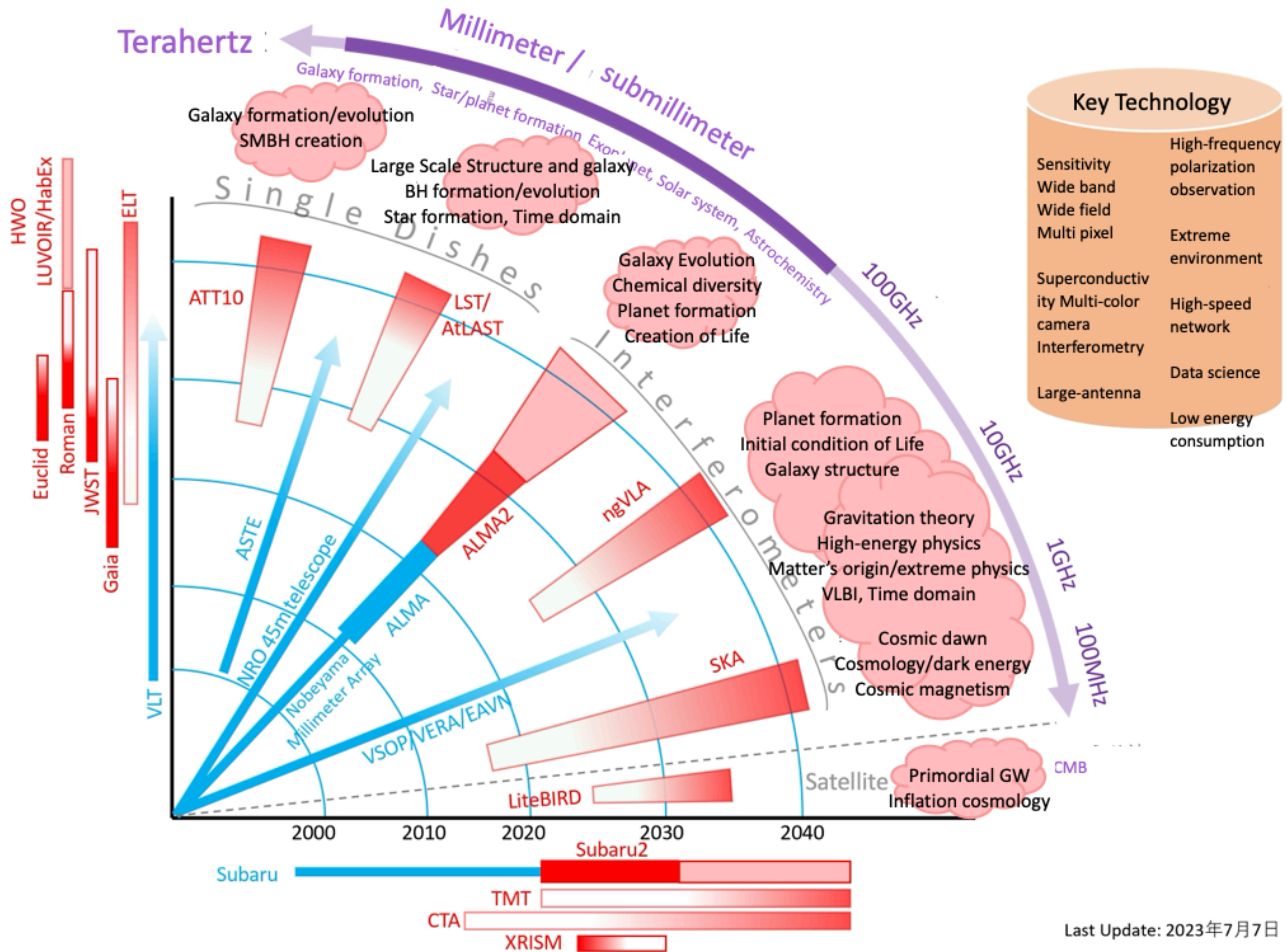
Yoichi Tamura (Nagoya University / Udenkon Chair) - NAOJ Future Planning Symposium, 3 Dec 2024

Japan Radio Astronomy Forum (宇電懇, Udenkon)

宇宙電波懇談会

- Udenkon was established in 1970's to promote Nobeyama Radio Observatory (NRO) and ALMA.
- Currently 381 members are involved (as of December 2).
 - Note: Users of radio facilities are not limited to Udenkon members. (e.g., ALMA from optical/X-rays people, SKA1 from ~140 theoreticians, etc.)
- Radio astronomy future planning working group (WG)
= Advisory group organized under the Udenkon steering committee
 - WG has established for discussions regarding MasterPlan 2023 of SCJ and aims to draw a roadmap of future radio astronomy in Japan. 学術会議
- Current members: T. Akahori^{*1}, S. Ishii^{*1}, T. Izumi^{*1}, F. Egusa^{*2}(vice chair), T. Onishi^{*3}(chair), N. Kuno^{*4}, K. Kohno^{*2}, T. Kojima^{*1}, N. Sakai^{*5}, K. Takahashi^{*6}, Y. Tamura^{*7}, K. Niinuma^{*8}, K. Hada^{*9}, K. Fujisawa^{*8}, M. Momose^{*10}, Y. Watanabe^{*11}
(*1 NAOJ, *2 UTokyo, *3 OMU, *4 Tsukuba, *5 Riken, *6 Kumamoto, *7 Nagoya, *8 Yamaguchi, *9 NagoyaCityU, *10 Ibaraki, *11 Shibaura)

**What are we trying to know about the Universe
over the next 20 years?**





ALMA2計画がスタート

- 2023年度からALMA2計画期間がスタート
 - ALMAの本格運用は2013年に開始し、10年が経過した
- **科学運用を継続しながら、観測機能の大幅な強化を行う計画**
- **機能強化** ALMA2 will pursue substantial enhancement of the capability with keeping science operations.
 - 国内外の研究者コミュニティと協力し、これから挑むべき科学目標と必要な機能強化を議論して、ALMA Development Roadmapとしてまとめた
 - Roadmapで最優先となった“Wideband Sensitivity Upgrade” (WSU) は、受信機、相関器を含む信号伝送系、データ処理からアーカイブまでを更新するという大規模なアップグレードとなる。同時に観測可能な周波数帯域を拡げつつ、高感度化を図る。
 - WSUシステム全体の設計、各装置の開発を進めている。

2030年代の科学的価値の創出

日本として、大規模計画実施機関としての技術的強みの維持と発展、**人材育成** 波長を超えた人材の育成・交流が可能な領域もある

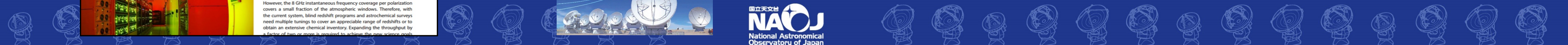
科学データを出し続ける
老朽化対策
運用の継続
(機能強化の基盤)

観測機能を強化する
観測システムの設計と実装
システムの各コンポーネントの開発

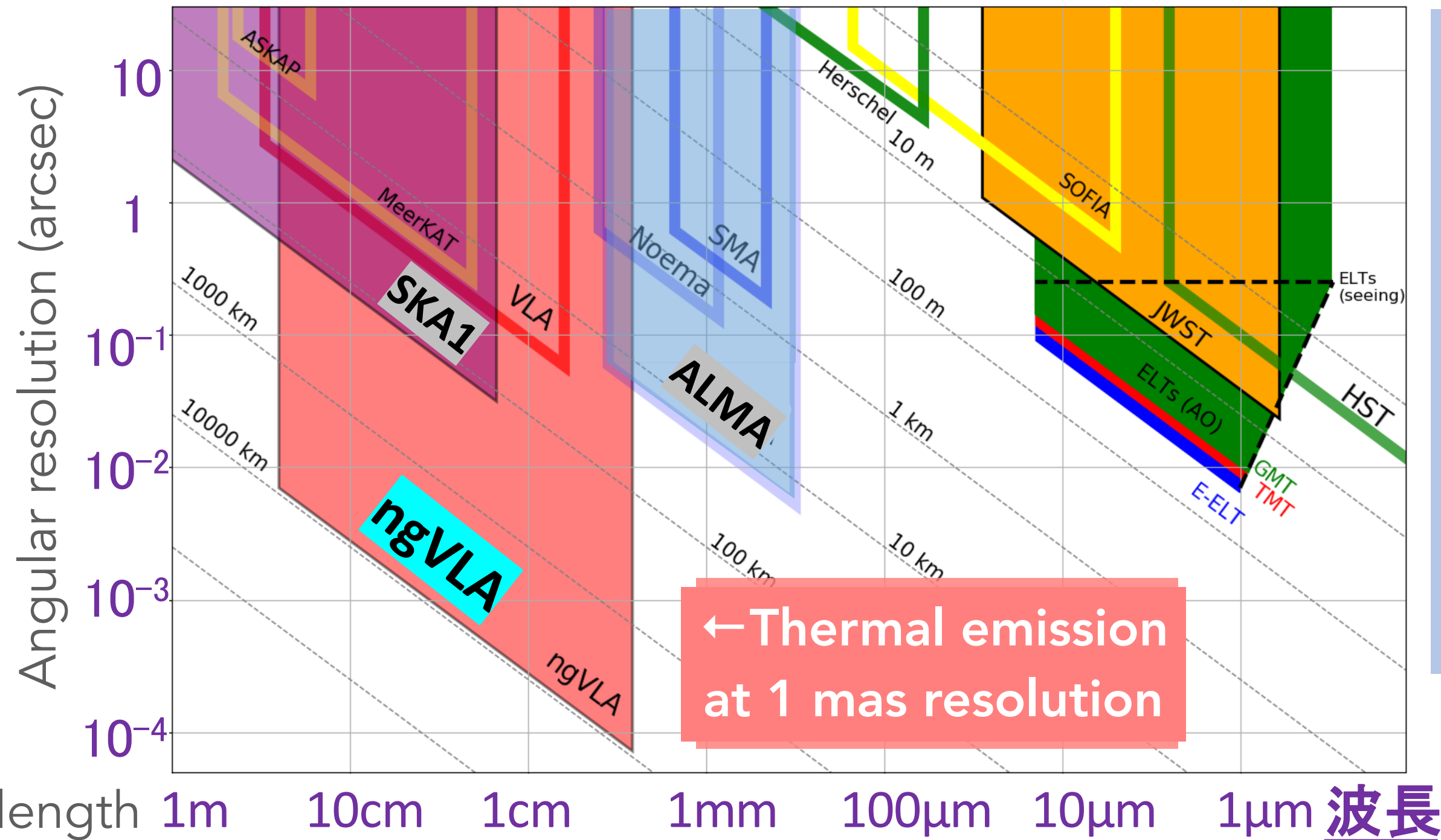
ALMA Development Roadmap (2018)



ALMA2 project book (2019)



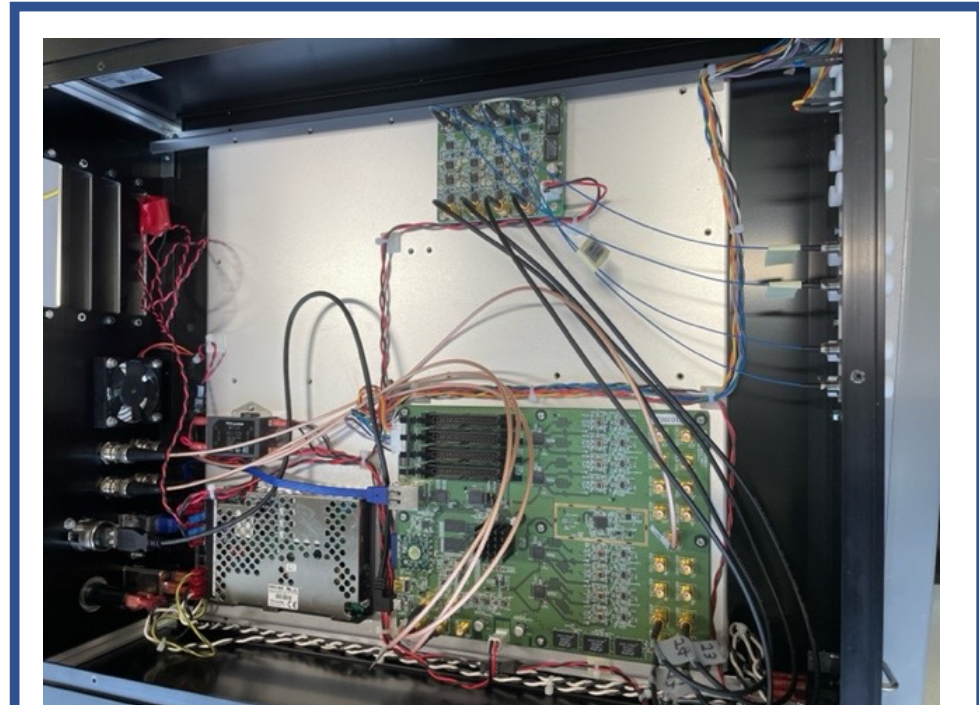
Next-generation Very Large Array (次世代大型電波干渉計ngVLA)



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



木内 他 (ATCで開発)

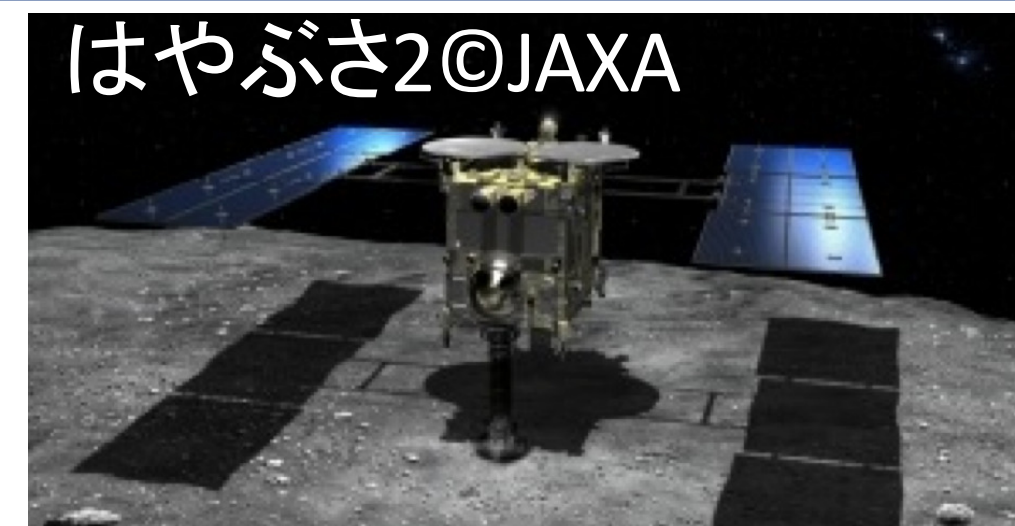
高位相安定に信号を伝達する独自技術



©NRAO
263 antennas with D = 18 m or 6 m



Up to 9000 km baselines



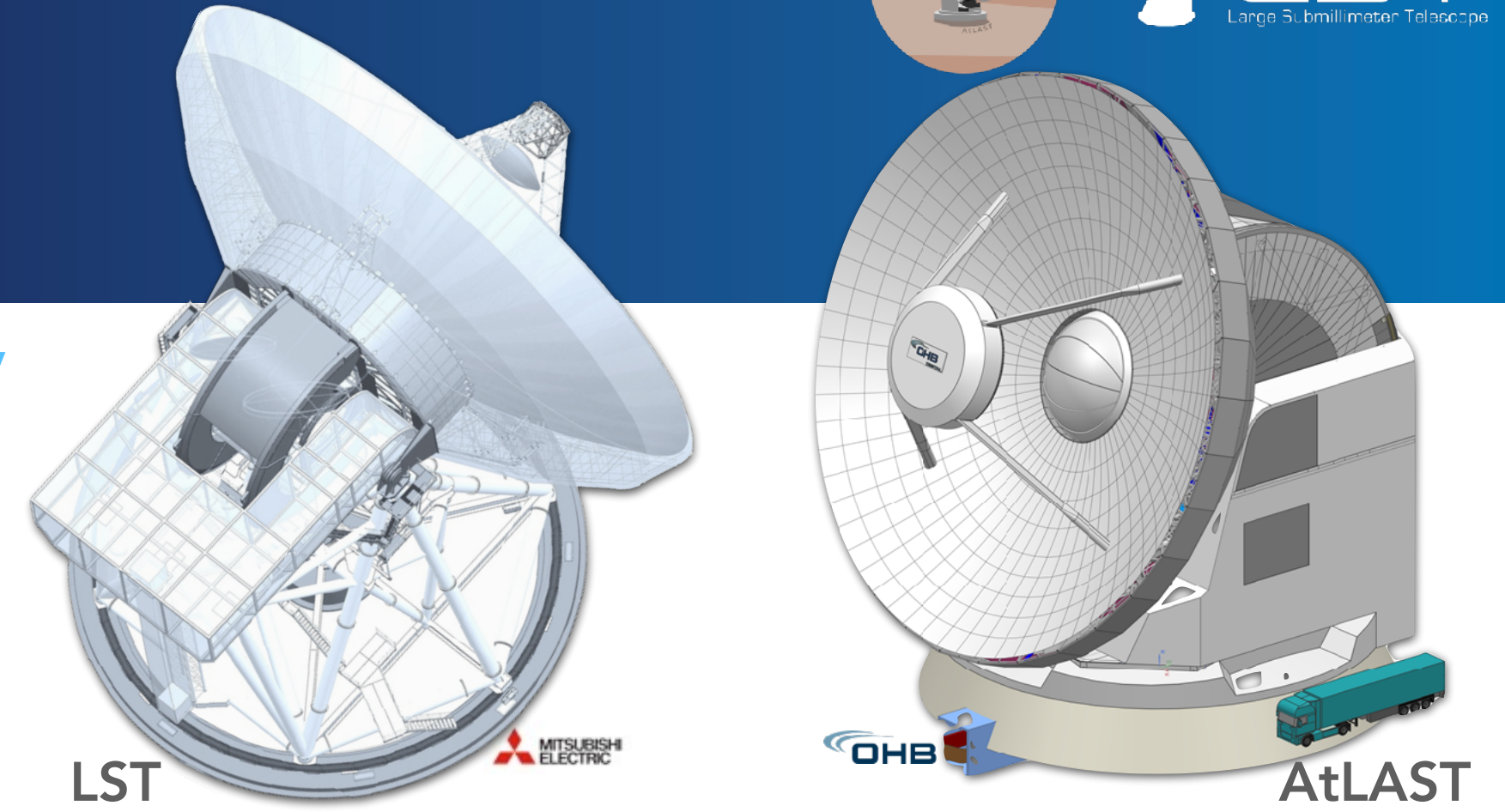
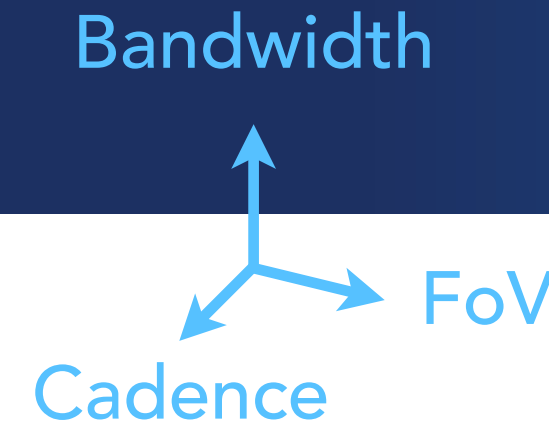
はやぶさ2©JAXA

太陽系探査との連携

大型サブミリ波望遠鏡 LST/AtLAST

Large Submillimeter Telescope / Atacama Large-Aperture Submillimeter Telescope

(サブ)ミリ波で広い視野・広い波長域を一挙に観測する 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。



科学目標 Science objectives

- (1) 宇宙再電離期に至る宇宙史のなかでの銀河・銀河団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 Scientific impact

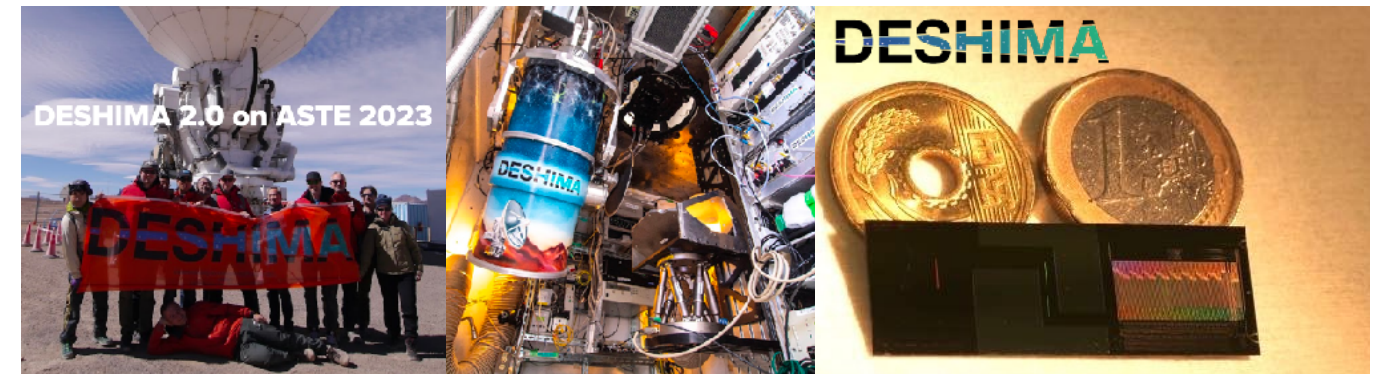
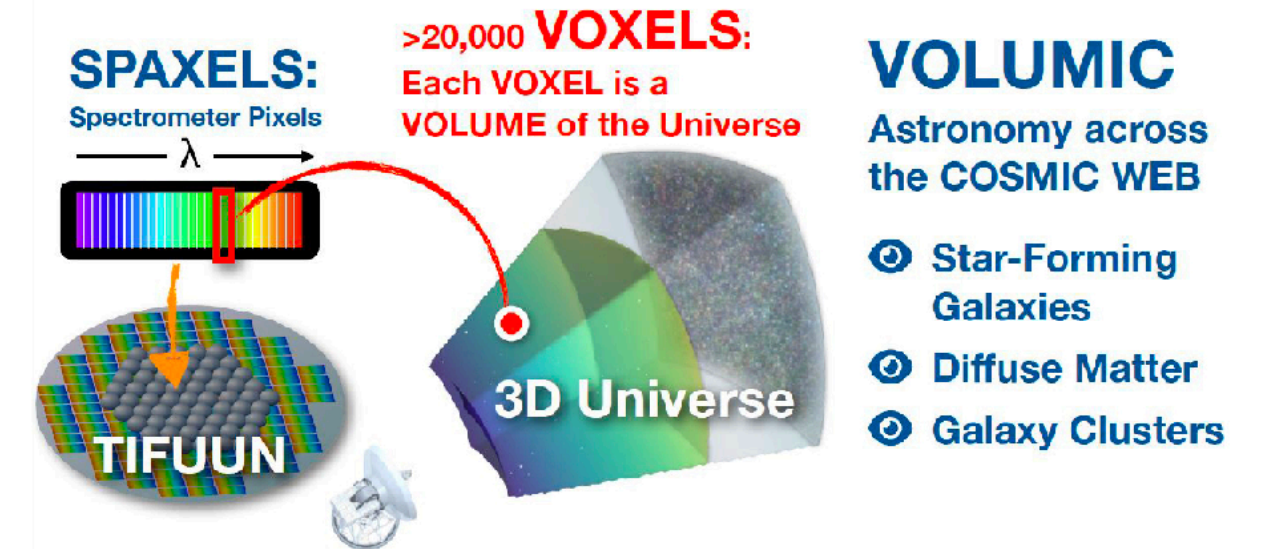
- 大口徑・広視野・広帯域のコンセプトのもと、多様な階層における天体形成・進化の研究を格段に進展させるとともに、サブミリ波帯時間領域天文学を本格的に開拓する。光赤外線分野や低周波電波帯などにおける広域探査計画とも高い相乗効果。
- アルマと組み合わせ、アルマの感度向上に資する (観測時間が約1/2に)。VLBI局としても。

独自性・創造性 Originality & Creativity

- 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た我が国の(サブ)ミリ波天文学に根ざした日本発の計画。
- 集積超伝導分光器やミリ波補償光学など、日本の若手研究者が提唱した創造性の高い独自技術を投入し、アルマを数桁上回る分光撮像探査能力(マッピング・スピード)を実現。アルマ2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。

コミュニティでの合意形成と国内外での連携 Domestic and international situation

- 宇宙電波懇談会で第2位の推薦。高い科学的評価の一方で、計画としては若いフェイズにあるとの評価。
- 欧州主導 AtLAST計画 (欧州連合EU Horizon 2020/25獲得, €7M) との統合を合意。初の再生可能エネルギーによる天文台。
- 日本で90名以上の研究者によるLST白書を出版。日本天文学会企画セッション、月例LSTセミナーなどコミュニティとの連携を強化。競争的資金 (特推, 国際先導, 基盤S, ERC等) による若手研究者を巻き込んだ鍵技術の開発と科学推進を実施中。



Demonstration of new spectrometer at ASTE (2023~)



AtLAST conference (2024.5) での計画統合の合議

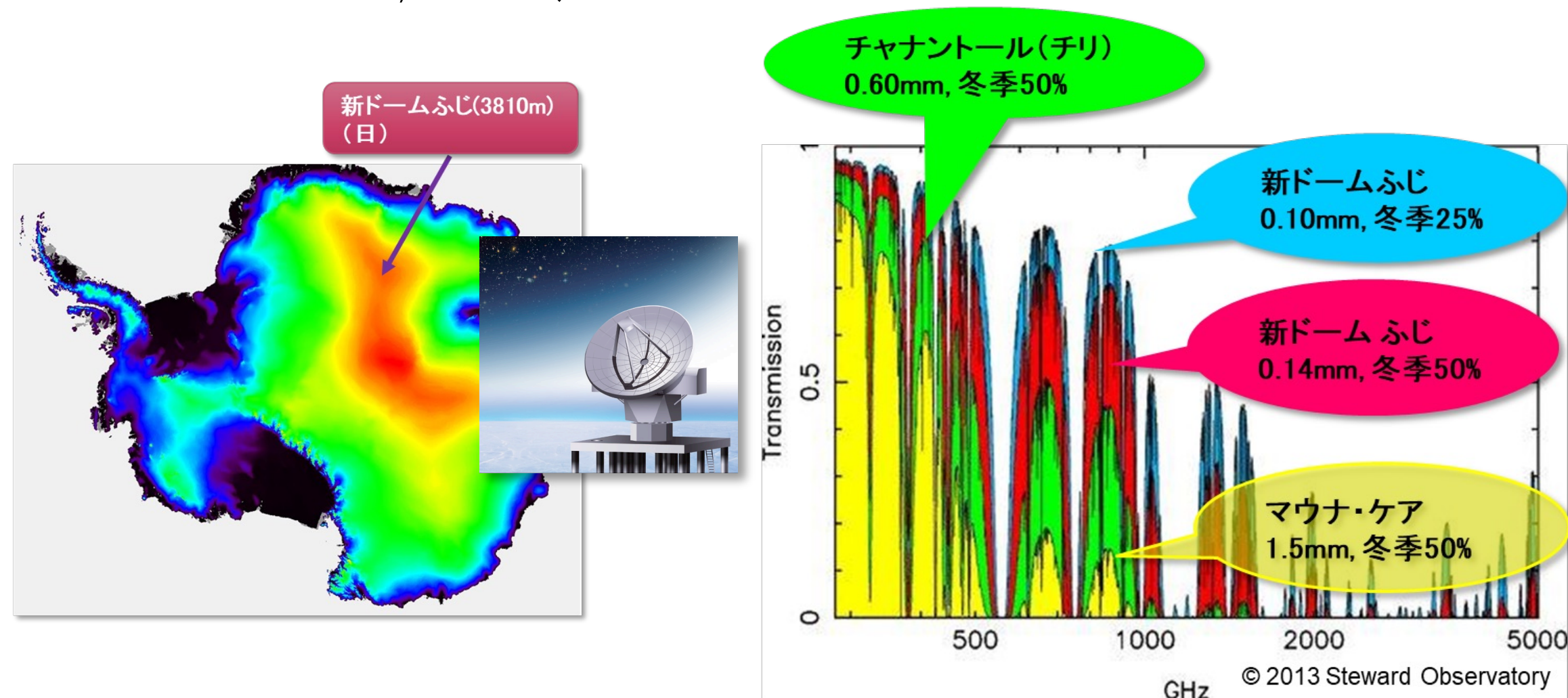
南極12mテラヘルツ望遠鏡計画(ATT12)

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

➤ 12m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)



➤ ATT12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
他波長と合わせて銀河のSED決定

⇒ 銀河の星形成史・AGNの進化

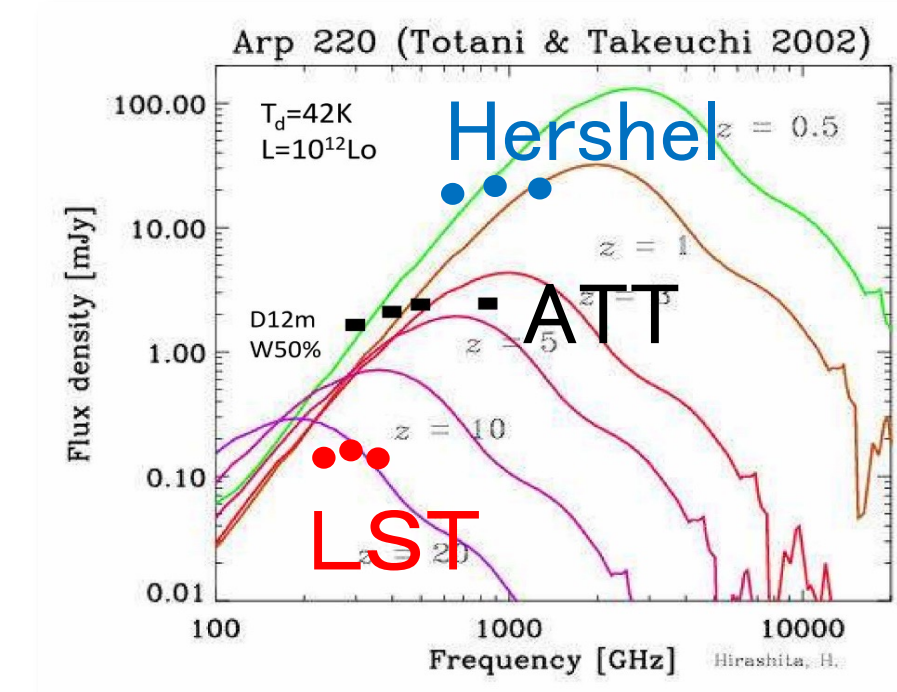
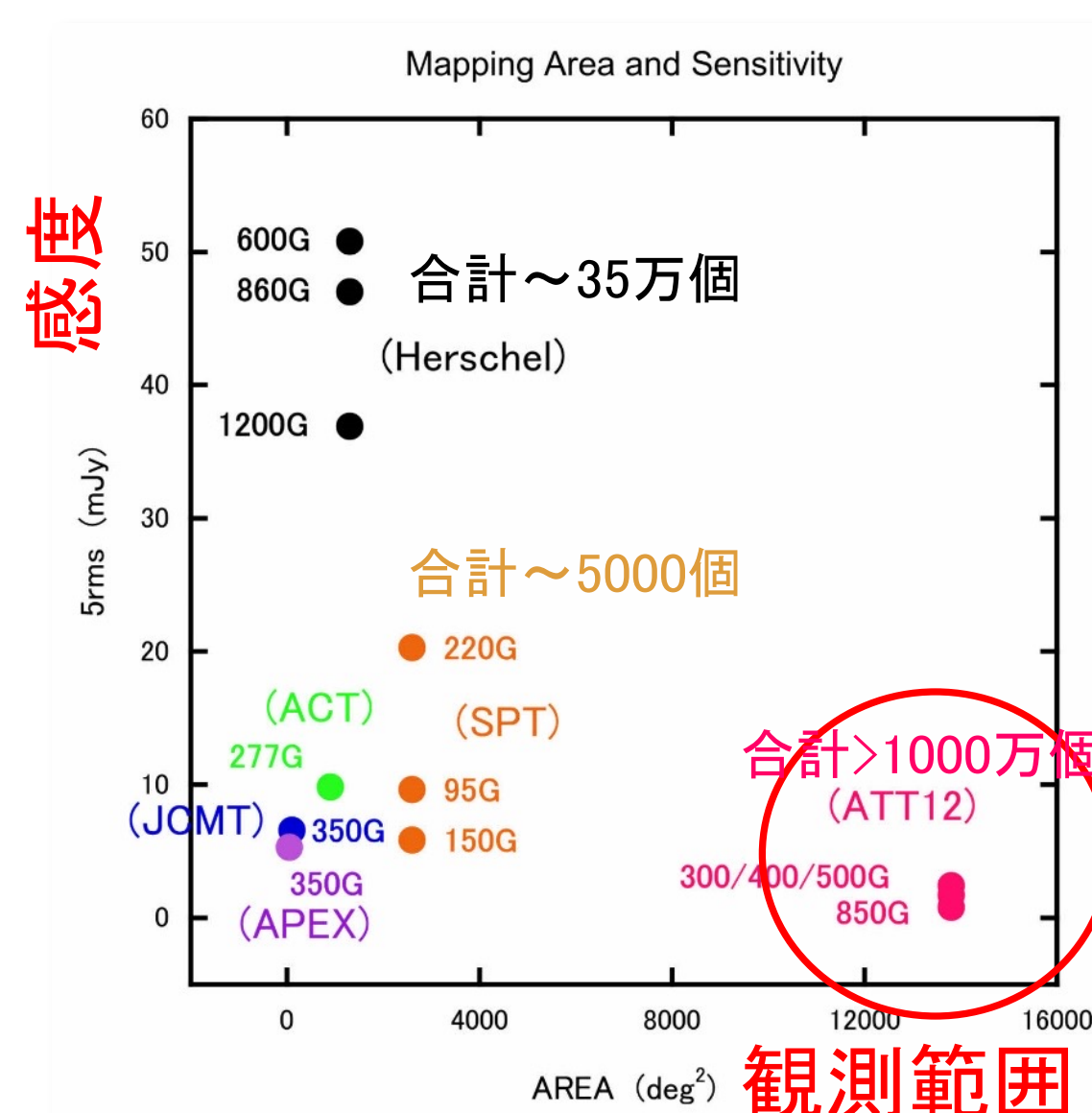
⇒ 多数の重力レンズ天体 → ハッブル定数の測定

(スペクトル線)遠方天体からの遠赤外線の詳細構造線

([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



T. Matsumura (Kavli IPMU), R. Fujimoto (JAXA/ISAS) ← M. Hazumi (KEK), Y. Sekimoto (JAXA/ISAS)

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 : 3.2 トン、電力 3.7 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)

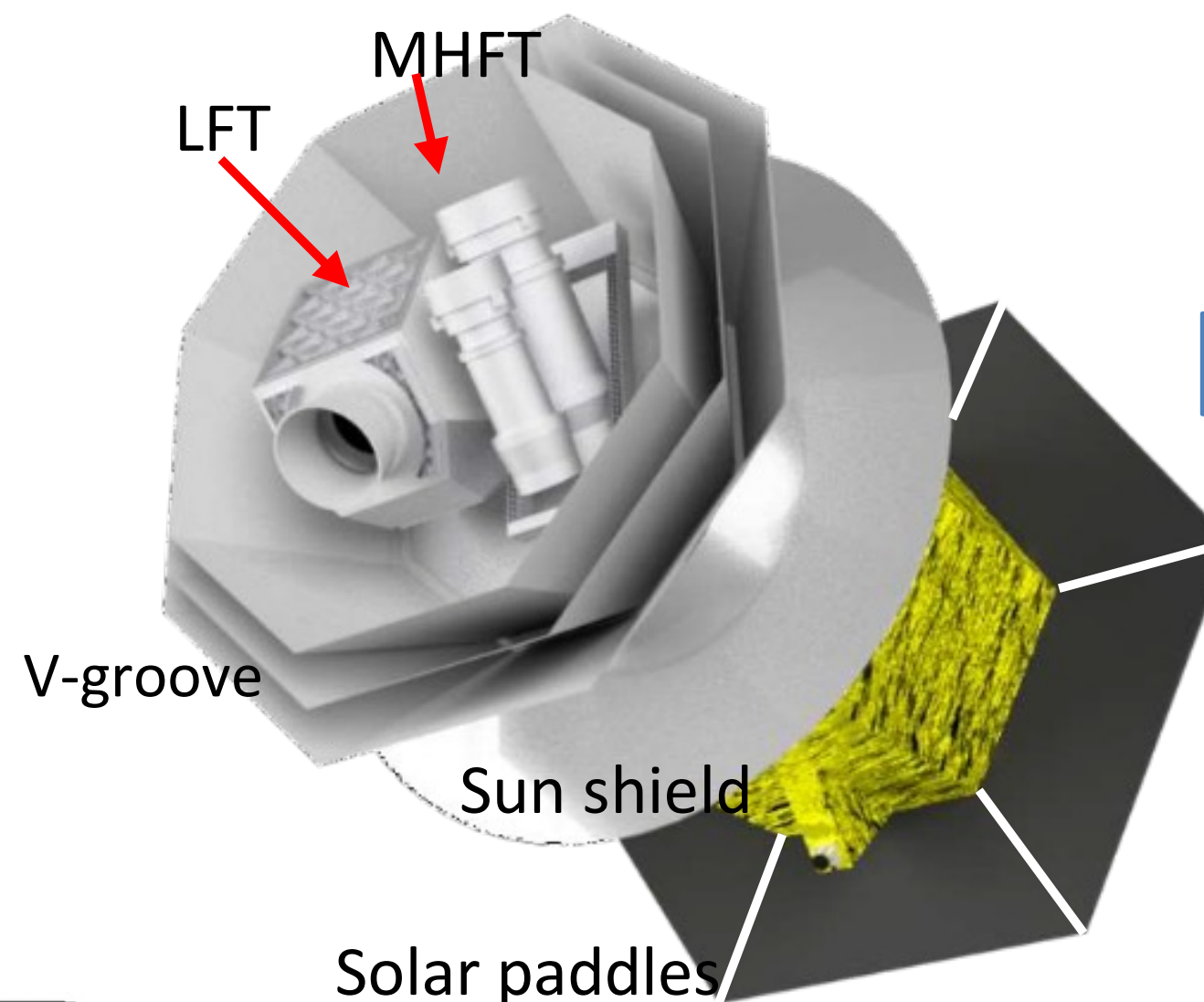
目的

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・時空を創る究極理論とは？

「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 (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發展



国際的な位置付け

- 2030年代前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力ミッション

- 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 (LFT)、焦点面検出器
- 欧州 : 中高周波望遠鏡 (MHFT)、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2023 : 選定

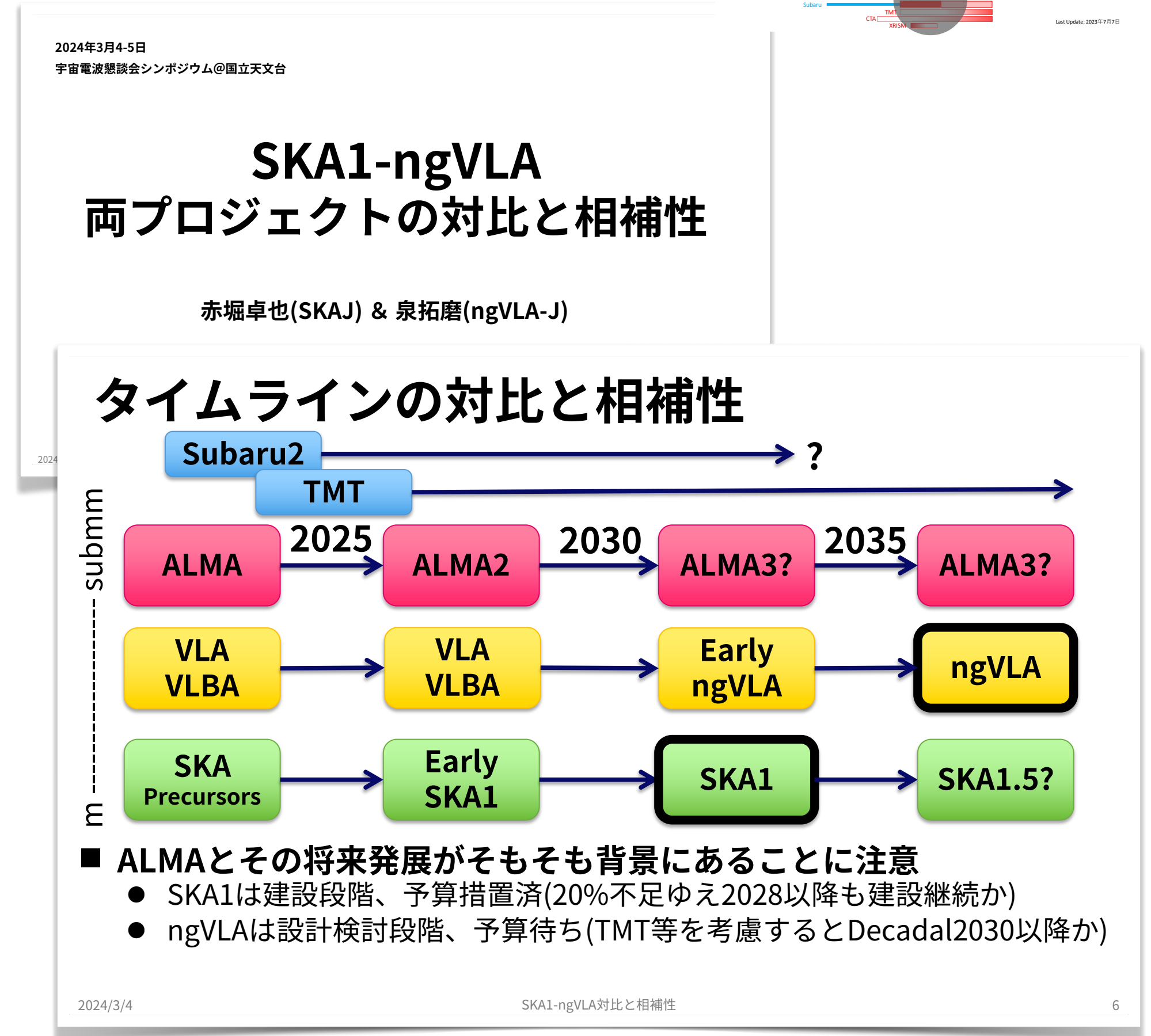
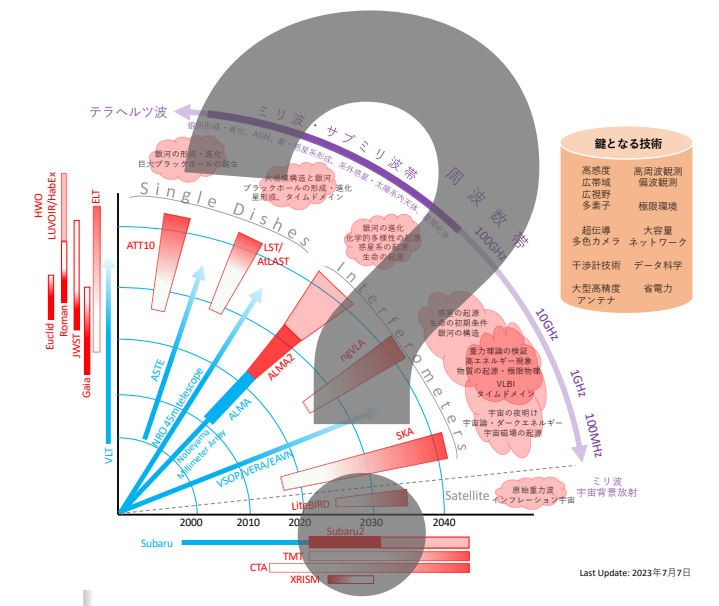
Recommendation from Udenkon so far

- In 2021 October, in response to a call for **MasterPlan 2023** of SCJ (日本学術会議), Udenkon (宇電懇) has recommended the following five projects --- Large-scale projects: SKA1 and ngVLA as the 1st priority, followed by LST as the 2nd priority; Medium-scale project (A): ATT12; Important large-scale project not ranked: LiteBIRD. A vote of intent (意向投票) was conducted to decide the rankings based on factors such as technical maturity and timing. (JRAF News, #118, #119)
- Udenkon has recommended the projects that requested Udenkon's support for **RoadMap 2023**.

Project	MP2023	Grandvisions 未来の学術振興構想	RM2023
ALMA2	-	-	-
SKA1	✓ (large-scale, 1st prio.)	✓ → Accepted	✓
ngVLA	✓ (large-scale, 1st prio.)	✓ → Accepted	-
LST/AtLAST	✓ (large-scale, 2nd prio.)	✓ → Accepted	-
ATT12	✓ (mid-scale A)	✓ → Accepted	✓
LiteBIRD	✓ (large-scale)	✓ → Accepted	✓ → Accepted

Udenkon Symposium FY2023 (2024 March)

- Background: ALMA2 has formally started. On the other hand, attractive future projects are being envisioned for low and high frequency radio waves.
- We first reviewed the current state of affairs regarding various projects. We also heavily discussed the mutual relation between SKA1 and ngVLA.
- Findings:
 - Roadmap depicting how ongoing projects can connect and contribute to future plans should be developed.
 - Although we reached no definitive conclusions, our understanding has deepened through rigorous comparisons and discussions of the future projects.
- Further discussions within the community are necessary & urgent. → Udenkon Symposium FY2024 (2025 January)

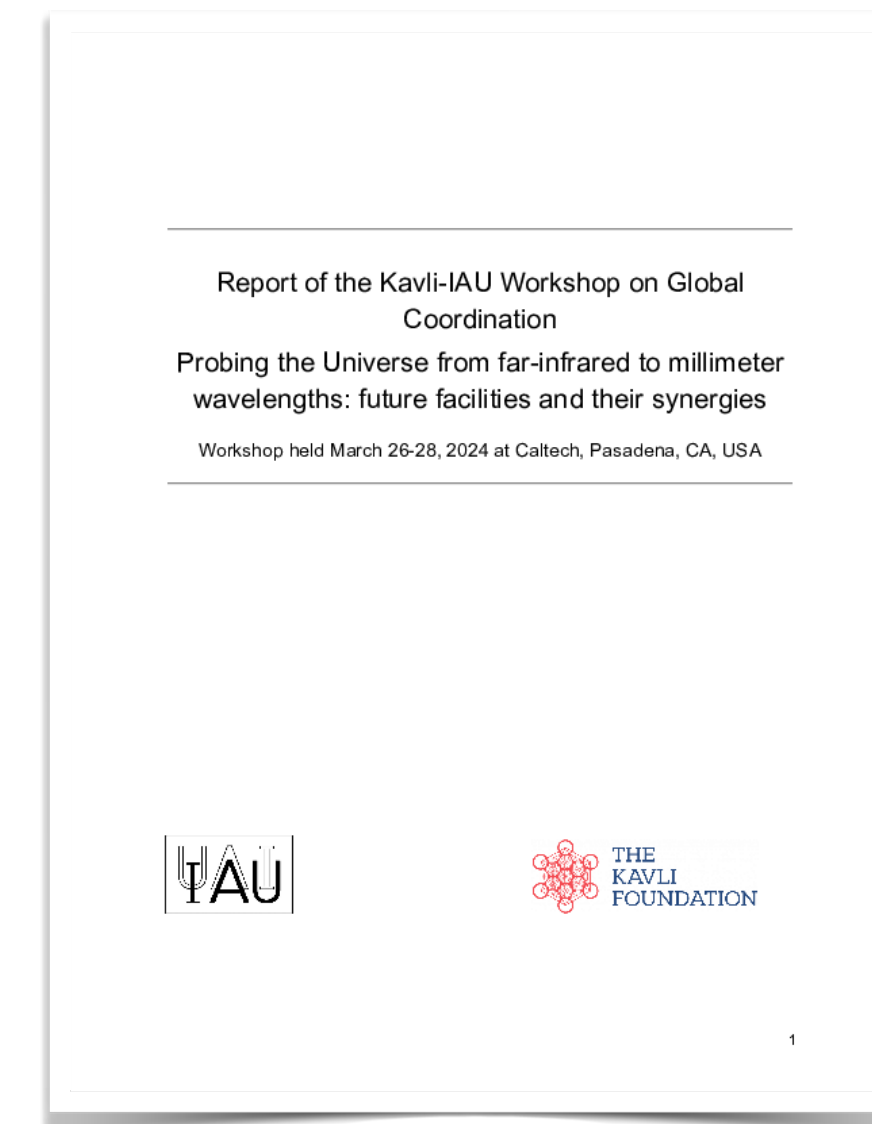


Drawn from slide deck of Akahori-san and Izumi-san

International situation: Kavli-IAU WS on Global Coordination 2024

Probing the Universe from far-infrared to millimeter wavelengths: future facilities and their synergies

- WS aims to identify the scientific and technological significance of the far-IR to mm-wave astronomy beyond the 2030s (**findings**) and to present the pathways (**recommendations**) for future advancements from an international perspective. (Note: SKA1 is out of the WS scope)
- SOC: Bolatto, Cleeves, Dale, Helou, Motohara, Roche, Tacconi, van Dishoeck, Zmuidzinas
- ~70 people participated.
From Japan, Motohara-san (SOC), Iguchi-san, Inami-san, Kohno-san, Tamura
(, Endo-san@TU Delft, Fujimoto-san @UT Austin)
↳PRIMA ↳Galaxies ↳LST ↳ALMA
- Workshop report: arXiv:2409.07570



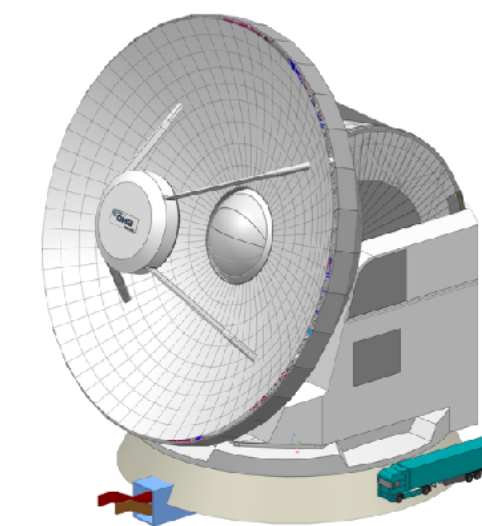
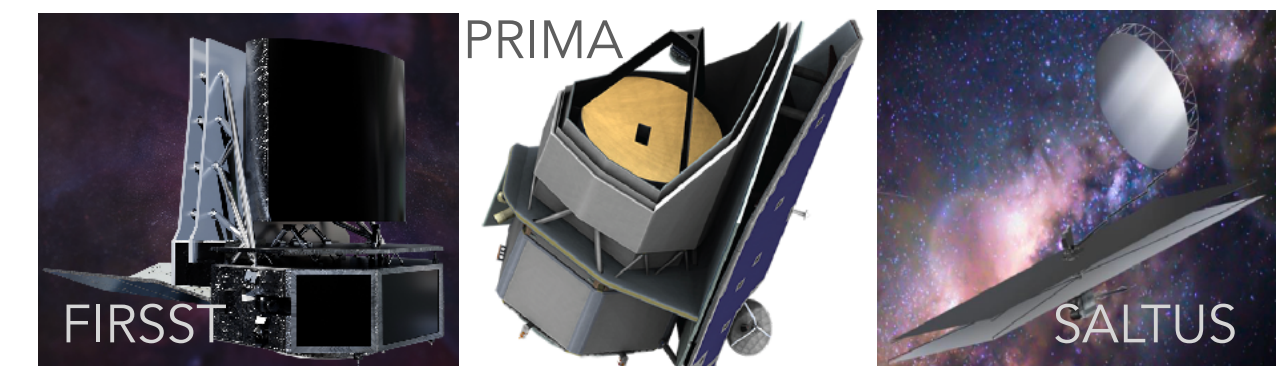
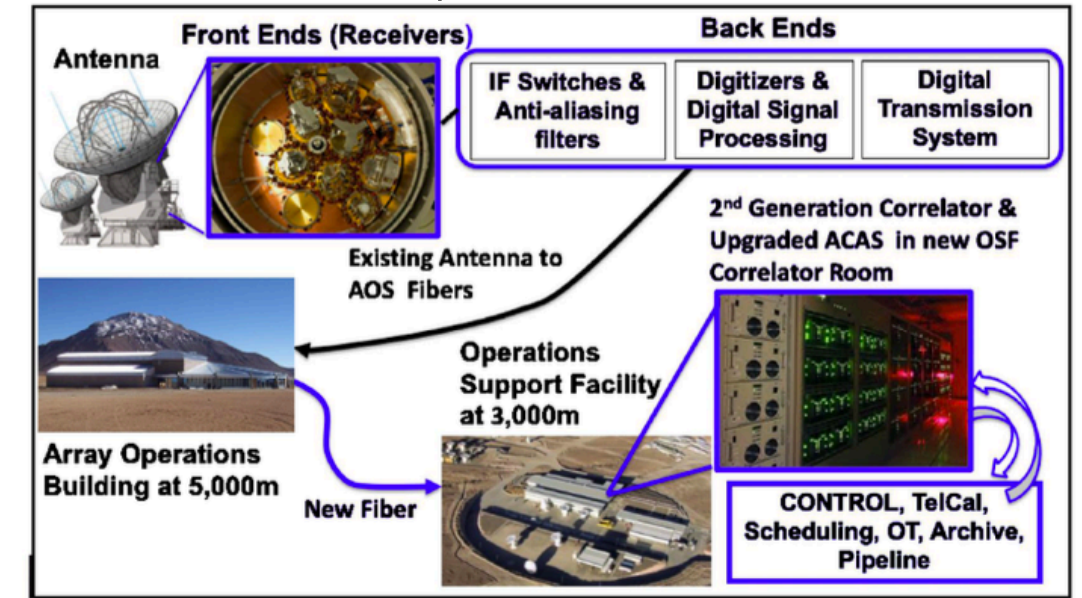
Helou, Zmuidzinas, van Dishoeck et al.,
arXiv:2409.07570

<https://www.arxiv.org/abs/2409.07570>

Kavli-IAU WS on Global Coordination 2024: Recommendations

- Completing ALMA 2030 (WSU) and envisioning ALMA 2040
 - Necessary to make ALMA more sensitive. WSU is the 1st priority. Expanding baselines.
 - ALMA 2040, in which an order of gains in spectral line sensitivity should be considered ("10x ALMA", e.g. cheap, large antennas at core frequency bands at 0.8-1.4 mm)
- Promoting ngVLA (Note: SKA1 was out of the WS scope)
 - Maintain the momentum toward construction in 2020's.
 - Expand the engagement of int'l communities, which is heavily shared with ALMA.
- Far-infrared probe (FIRSST, PRIMA, SALTUS) *alphabetical order
 - Necessary to fill the gap between JWST (< 30 μm) and ALMA (> 350 μm) that has been lacking since *Herschel* (-2013).
 - Loss of sciences, technologies and industries must be avoided.
- Large submm single dish (AtLAST/LST)
 - Further study on a ground-based large-aperture submm telescope is encouraged.
 - Vigorous technological development should be pursued at current/near-future facilities (LMT, FYST/CCAT-p, ..) and for high-frequency VLBI (e.g., ngEHT, BHEX).

ALMA WSU (Carpenter+2023)



AtLAST design study
(Mroczkowski+2024)



FYST
(<https://www.ccatobservatory.org>)

Opportunities are unfolding in front of us.

How should we choose them under the (harsh) circumstances?

Summary

- Our 1st priority is to complete "ALMA 2."
- Future large to mid-scale projects; SKA1, ngVLA, LST, ATT12, and LiteBIRD.
- We have had constructive (but not conclusive) discussions on SKA1 and ngVLA.
- But, "inter-facilities" links have not been discussed very well, which will be discussed in Udenkon symposium FY2024 (2025 January)
- Keep an eye on international trends. Need more discussions among multi- λ communities.

