

# 宇電懇およびV懇における 将来計画の検討状況

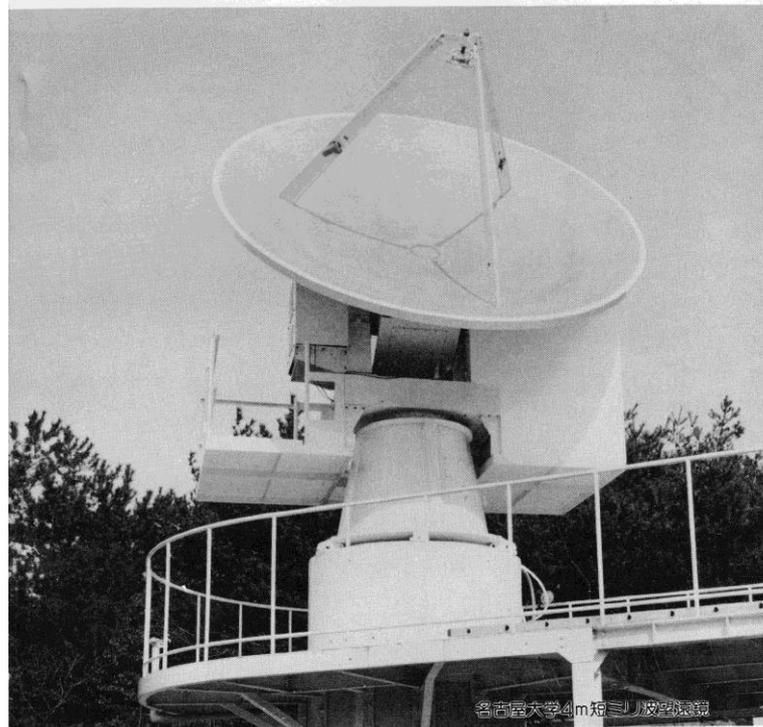
藤沢健太(宇宙電波懇談会、山口大学)

# 40年前の研究会

- 「星間分子研究会」
  - 宇電懇主催の研究会
- 1983年
  - 野辺山45mが完成した直後
  - 東京天文台6mミリ波望遠鏡
  - 名古屋大学4m望遠鏡
  - 実験室での分子分光
  - 当時の大学院生が現在定年前後

星間分子研究会

1983



総合研究(A)「宇宙電波観測法の研究」代表 赤羽 賢司

# 星間分子研究会目次

1983年2月28日、3月1日 於 名古屋大学理学部

## 1. イントロダクション

宇宙分子研究の役割 ..... 早川幸男(名大理)..... 3

## 2. 実験室での星間分子研究

星間分子のマイクロ波分光 ..... 斎藤修二(分子研)..... 6

◎オリオン星雲コアの分子線スペクトルサーベイ ..... 大石雅寿(東大理).....15

星間分子の回転および振動回転スペクトル —最近の研究より—  
..... 広田栄治(分子研).....18

衝突緩和現象 ..... 清水忠雄(東大理).....23

## 3. 星間分子雲の物理状態の決定

レビュー ..... 福井康雄(名大理).....29

## 4. 星の形成領域の観測

オリオン領域での星の形成 ..... 鷹野敏明(名大理).....30

◎オリオンのもう一つの星形成領域 ..... 藤本泰弘(名大理).....34

◎若い星と分子雲 ..... 磯部瑋三(東京天文台).....37

◎プライトリム分子雲のHCO<sup>+</sup>観測 ..... 林正彦(東大理).....40

◎HCO<sup>+</sup>分子輝線によるNGC7538領域の観測 ..... 亀谷 叔(東北大).....45

◎TMC1領域の分子雲の構造 ..... 鷹野敏明(名大理).....49

星の誕生とBipolar Flow ..... 川辺良平(名大理).....54

◎オリオン星雲コアの構造と運動 ..... 長谷川哲夫(東京天文台).....60

◎NGC 2071の回転ディスク ..... 高羽 浩(名大理).....64

◎Cepheus A, L 1551のCS速度分布 ..... 鈴木左絵子(東大理).....67

## 5. 赤外域の分光観測

レビュー ..... 奥田治之(宇宙研).....71

◎オリオン星雲の水素分子分光観測 ..... 森次達郎, 松本敏雄, 宇山喜一郎(名大理).....77

## 6. 銀河の観測

レビュー ..... 長谷川哲夫(東京天文台)..... 82

◎1.5m鏡による銀河系中心領域のCO分子線観測 ..... 川辺良平(名大理)..... 88

◎SgrB2における各種分子スペクトルの分布について ..... 森本雅樹(東京天文台)..... 92

◎銀河系中心部の分子組成異常 ..... 福井康雄(名大理)..... 95

◎銀河中心核付近の分子雲の分布と運動 ..... 稲谷順司(東京天文台)..... 96

◎Near-by Spiral Galaxiesの中心付近の分子スペクトル観測 ..... 中井直正(東大理).....100

## 7. 星間分子雲の理論的理解

巨大分子雲と太陽系 ..... 藤本光昭(名大理).....103

◎巨大分子雲と銀河構造 ..... 藤本光昭, 釜淵弘隆(名大理).....106

◎非軸対称磁気雲の準静的収縮と分裂 ..... 中野武宜(京大理).....110

◎原始星中での荷電粒子密度 ..... 梅林豊治(京大理).....113

◎星間分子雲の収縮・分裂過程の数値シミュレーション  
..... 観山正見(京大理).....116

◎星間分子雲内の衝撃波の構造 ..... 土佐 誠, 佐場野 裕(東北大).....120

◎星間分子雲における星生成 ..... 佐場野 裕, 土佐 誠(東北大).....124

◎銀河における分子雲の分布について ..... 福長正考(東北大).....127

## 8. 観測装置の進歩

ミリ波望遠鏡の現状と将来 ..... 海部 宜男(東京天文台).....130

◎受信機——特にフロントエンド ..... 小川英夫(名大理).....136

◎6mミリ波望遠鏡の改造 ..... 面高俊宏(杏林大保).....142

◎4m短ミリ波望遠鏡 ..... 藤本泰弘(名大理).....144

◎45m望遠鏡の現況 ..... 海部 宜男(東京天文台).....146

## 9. ラウンドテーブルディスカッション

——今後の星間分子研究

## 10. コンクルーディングリマークス

藤本光昭(名大理)

あとがき ..... 150

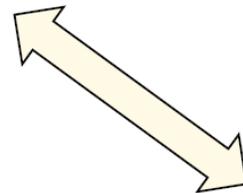
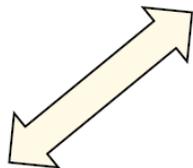
東京大学 5  
 東京天文台 7  
 宇宙科学研究所 1  
 名古屋大学 15  
 京都大学 3  
 分子研 2  
 東北大学 4  
 杏林大学 1  
 (合計38件)

# 大型計画の実現と日本の天文学の発展



## 天文学関連の研究者数の増加

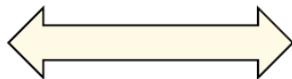
第一線の共同利用望遠鏡で得られる優れた業績  
大学ポスト（40年で4倍）やポストクの増加  
関連する専門職の増加



## 天文学を学べる大学の増加

大学所有の望遠鏡が無くても、共同利用施設により観測やシミュレーションができる  
天文学のコースがあると学生が集まる

「理科離れ」が言われるなか、  
日本の天文学・宇宙物理学分野  
は伸び続けてきた



## 国民の天文学への 興味・理解の増進

幅広い広報・普及活動  
社会に向けた積極的な成果紹介



# 国立天文台の大型観測装置(光・電波)

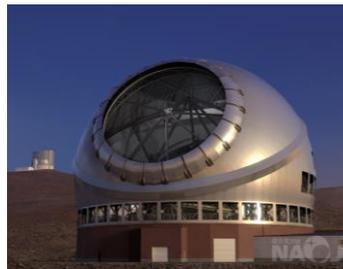
岡山  
1960



すばる  
1999



TMT



野辺山  
1982



ALMA  
2011



宇電懇設立  
1970

VSOP  
1997

ASTE  
1999

VERA  
2002



# 宇宙電波懇談会(宇電懇)

- 会員数 約380人
- 設立 1970年
- 目的
  - 野辺山宇宙電波観測所設立推進研究者団体
  - 電波天文学研究者の意思表示取りまとめ団体
  - 研究者交流・情報交換
- 活動
  - 国立天文台の各種委員の推薦、意見提出
  - 学術会議への意見提出
  - 宇電懇シンポジウム
  - メーリングリスト、宇電懇ニュース
- 2022年度の宇電懇シンポジウム
  - ALMA建設から10年を主題とする
  - 「2030年代の電波天文学」
  - 日時: 2023年3月27日(月)、28日(火)
- 2022年度宇電懇シンポジウムの趣旨説明
  - 2011年に初期科学運用を開始したアルマ望遠鏡は10年目のマイルストーンを迎えました。近傍から遠方までの様々な天体を高感度・高解像度で捉えることにより、天文学研究全般にわたり質的転換をもたらし、私たちの宇宙に対する理解は飛躍的に深化しました。アルマ望遠鏡は、今後、科学運用を継続しながら、天文学研究をさらに進展させることを目的とした機能強化計画「ALMA2030: Wideband Sensitivity Upgrade」が段階的に進行します。一方、2030年代には、機能強化したアルマ望遠鏡に加えて、相補的な役割を担う観測装置の建設運用が計画されており、電波天文学は新たな局面を迎えます。本シンポジウムは、10年間のアルマ望遠鏡の観測成果を振り返るとともに最新成果を共有し、関連する装置の観測成果や開発実績も踏まえ、2030年の電波天文学を議論することを目的とします。

# 宇電懇における将来計画の議論

- 1970年代
  - 野辺山宇宙電波観測所設立運動
- 1990年代
  - 野辺山45m/ミリ波干渉計の次の計画→ALMA建設推進へ
  - VLBI研究グループの発展:VSOP→VERA
- 近年の活動
  - 電波天文学発展のための研究者の議論と意見集約の場
  - 2000年代に入りALMA開始後は活動がやや低下
  - 2021年に「電波天文分野将来計画検討WG」を設置→マスタープラン2023

# 次世代電波望遠鏡の構想

- 様々なグループで構想されている次世代計画(2000~2010年代)
  - 背景、特色なども多様化
- LST・ATT10(野辺山・ASTEから)
  - ミリ波大型単一鏡望遠鏡
- SKA(VLBIから)
  - 低周波数、超大面積高感度干渉計
- ngVLA(ALMAから)
  - cm波、究極の超汎用干渉計
- LiteBIRD(高エネルギー物理から)
  - CMB特化の物理学実験、衛星計画

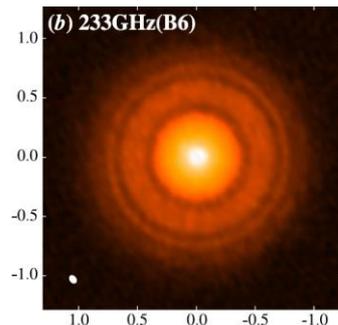
# 電波天文分野将来計画検討WG(2021-)

- 宇電懇運営委員会の諮問機関
  - 運営委員会が示した評価基準に従って電波天文分野の将来計画を議論する
  - 先ずは学術会議マスタープラン2023対応に向けた答申を行う
- メンバー
  - 赤堀卓也（国立天文台）
  - 泉 拓磨（国立天文台）
  - 江草芙実（東京大学）
  - 大西利和（大阪府立大学）議長
  - 久野成夫（筑波大学）
  - 河野孝太郎（東京大学）
  - 小嶋崇文（国立天文台）
  - 坂井南美（理化学研究所）
  - 高橋慶太郎（熊本大学）
  - 田村陽一（名古屋大学）
  - 新沼浩太郎（山口大学）
  - 秦 和弘（国立天文台）
  - 藤沢健太（山口大学）
  - 百瀬宗武（茨城大学）
  - 渡邊祥正（芝浦工業大学）

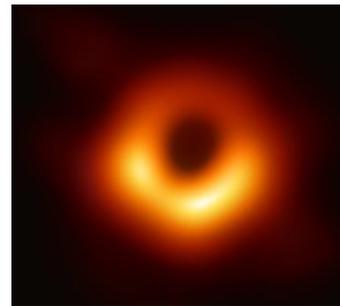
# これから20年間、我々は何を知ろうとしているのか？

- 日本の電波天文学の発展

- 野辺山、ALMA、VLBI
- 星の形成、ブラックホール
- ミリ波天文学の開拓



Tsukagoshi et al (2016)



EHT Collaboration

- 推薦5計画

- SKA1 Square Kilometre Array Phase 1
- ngVLA Next-generation Very Large Array
- LST 大型サブミリ波望遠鏡 Large Submillimeter Telescope
- ATT10 南極10m級テラヘルツ望遠鏡計画
- LiteBIRD 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星

⇒ cm波大型電波干渉計



# 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)

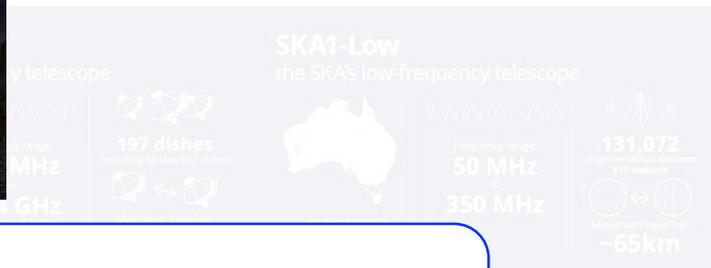
<https://www.skao.int>

総建設費2210億円

建設費=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、大規模観測を行うことで、この周波数でしか果たぬ宇宙物理学



## 星が生まれる前の宇宙を見る

目的と意義

- 今世紀前半に完成する
- 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

目指すため、なじまない

建設中で2029年頃完成。緊急性あり。

第2期(SKA2)も計画にある

強磁場物理   素粒子・重力理論   高エネルギー宇宙物理   プラズマ物理

ブラックホール物理   地球物理   情報技術

この世界の歴史を物理的に理解する

宇宙再電離   宇宙磁場   パルサー重力理論   銀河進化   基礎盤を支える。情報イノベーションの期待   国際性豊か   情報技術   現に一助

日本のキーサイエンス

突発天体 極限物理   天の川 銀河

国内の準備状況等

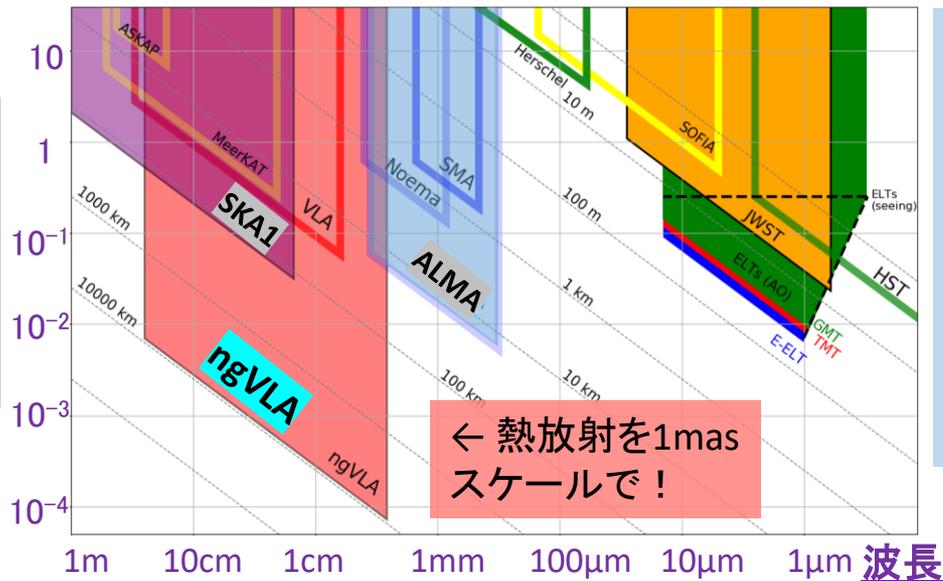
論文にマスタープラン・ロードマップに掲載

実施機関にNAOJを想定。検討Gが建設に貢献中

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

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

空間分解能(秒角)

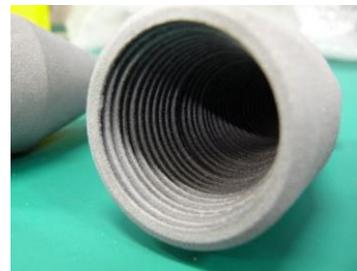


← 熱放射を1mas  
スケールで!

## 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



©NRAO

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)



## 地球のでき方がわかる

地球惑星科学

化学

生物学

宇宙史における人間の位置

口径18m, 6mアンテナを263台結合

約9000kmに展開

太陽系探査との連携

5大科学目標

ような惑星系の形成過程の解明

化学を通じた生命誕生の初期条件の理解

成史に伴う銀河の進化の解明

心領域パルサーを用いた重力理論検証

恒星進化の最

形成の理解



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

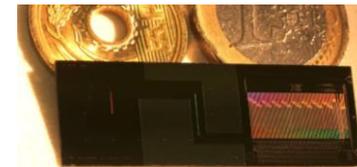
- 野辺山・なんてん・VST・富士山望遠鏡・ASTEそしてアルマへ発展してきた我が国のミリ波サブミリ波天文学に根ざした日本発の計画。
- 集積超伝導分光器 (ISS) や、ミリ波補償光学 (MAO) など、日本の若手研究者が世界に先駆け提唱・実証した創造性の高い独自技術を投入し、アルマと比較した撮像・分光探査能力 (マッピング・スピード) の数桁の向上を実現。アルマ2に向けた国立天文台での超伝導受信機開発や、データ科学と連携した新しいサブミリ波分光観測・解析法など日本独自の成果に基づく計画。

## ● 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



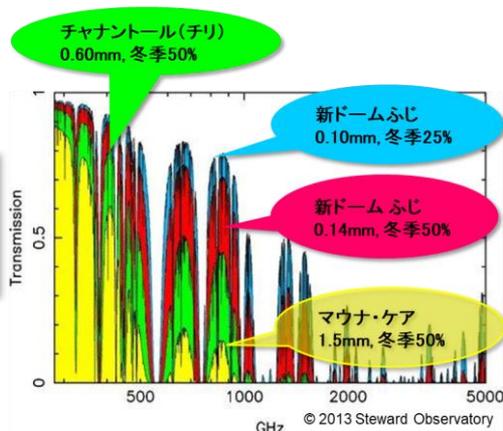
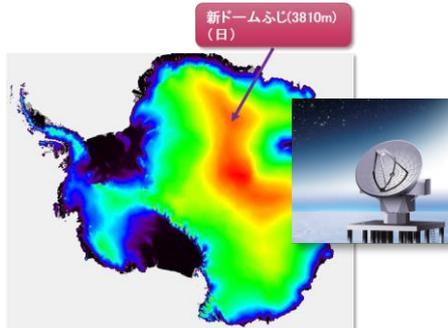
# 南極10m級テラヘルツ望遠鏡計画(ATT10)

## 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

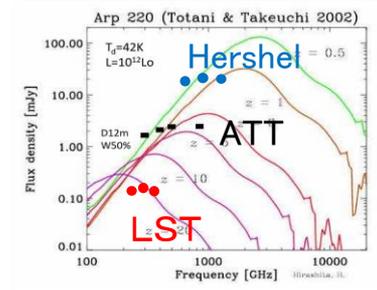
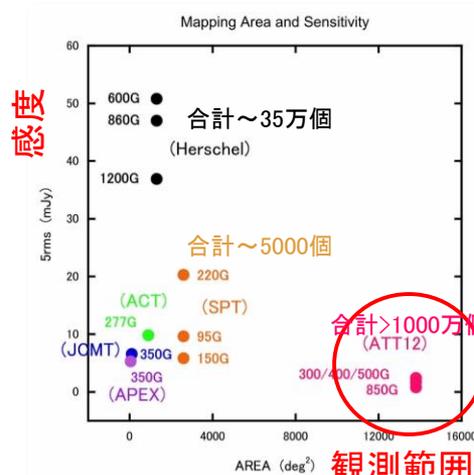
⇒ 銀河の星形成史・AGNの進化

⇒ 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



# 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

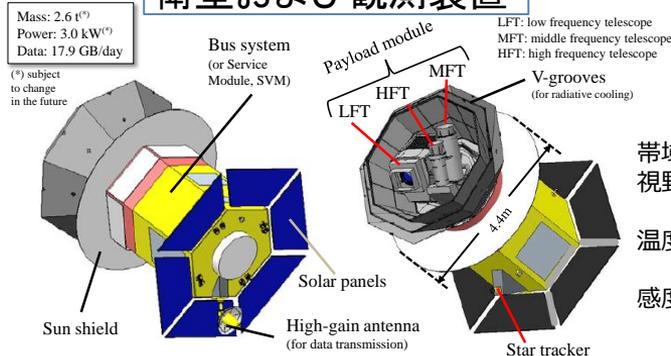
人類にとって根源的な知的探求

- 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 (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、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

# これから20年間、我々は何を知ろうとしているのか？

- cm波大型電波干渉計

- SKA1 10年後、星が生まれる前の宇宙を見る
- ngVLA 20年後、地球のでき方がわかる



- ミリ波・サブミリ波

- LST } 宇宙構造形成史 { 究極のサブミリ波望遠鏡
- ATT10 } cosmo-tectonics { 地球上最高の観測サイト
- LiteBIRD 宇宙誕生の瞬間を見る



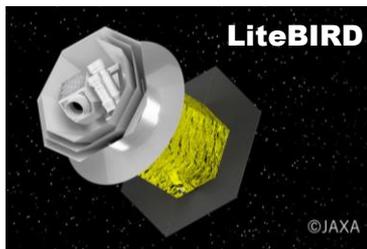
LST



ATT10



LiteBIRD



この時代の最高の技術を用いて  
人類の基本的な問いに答える

# 宇電懇と国立天文台

- 電波天文学の大型計画の多くは
  - 国立天文台のプロジェクト
- 宇電懇と国立天文台の意見交換経路
  - 学術会議への意見提出
    - マスタープラン、未来の学術振興構想...
  - 国立天文台運営委員会、科学諮問委員会
    - 委員の推薦
  - (電波専門委員会)
  - 様々な機会の意見提出
    - NAOJ将来計画シンポジウム、個別の意見提出等

# VLBI将来計画WG



## • 立ち上げ経緯

- 日本のVLBI研究の中核を担ってきたVERA計画が2021年度で終了→国内のVLBIコミュニティとしては大きな節目を迎える
- 2019年のVLBI懇談会シンポジウムにて、集中的に検討を進めるため**VLBI懇談会の中に科学検討班の立ち上げ**を提案
  - 極限天体、地球・測地、星、銀河、装置・開発の5つの検討班を設置

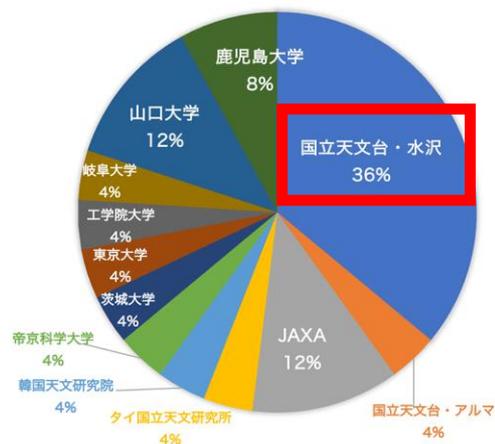
## • 目的

- **国内VLBIコミュニティ**にとっての今後の研究の「柱 (=看板)」となりうる計画案の策定

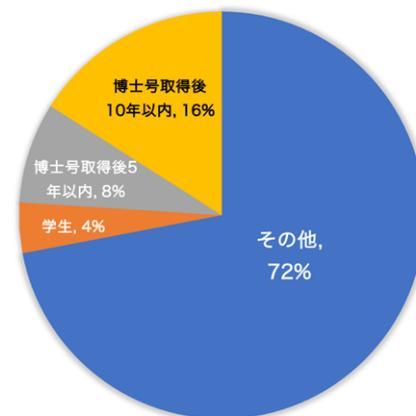
# VLBI将来計画WG

- サブワーキンググループ
  - コミュニティからの推薦をもとに各検討班の班長を決定
  - 同推薦結果およびコミュニティからの参加希望者を中心にメンバーを確定（WG全体で25名）

WGメンバー所属分布



WGメンバー世代分布



# VLBI将来計画WG

- 各検討班の班長
  - **極限天体**：新沼浩太郎（山口大学）
  - **地球・測地**：寺家孝明（国立天文台）
  - **星**：中川亜紀治（鹿児島大学）、廣田朋也（国立天文台、水沢VLBI観測所との橋渡し）
  - **銀河**：永山匠（国立天文台）、秦和弘（国立天文台）
  - **装置**：河野裕介（国立天文台）
- VLBI懇談会役員会にて承認 → MLにて会員へ連絡
- 検討班全体会（班長会議）
  - 各班長 + VLBI科学諮問委員会（藤澤委員長）で定期開催の全体会を組織

# VLBI将来計画WG 検討報告書

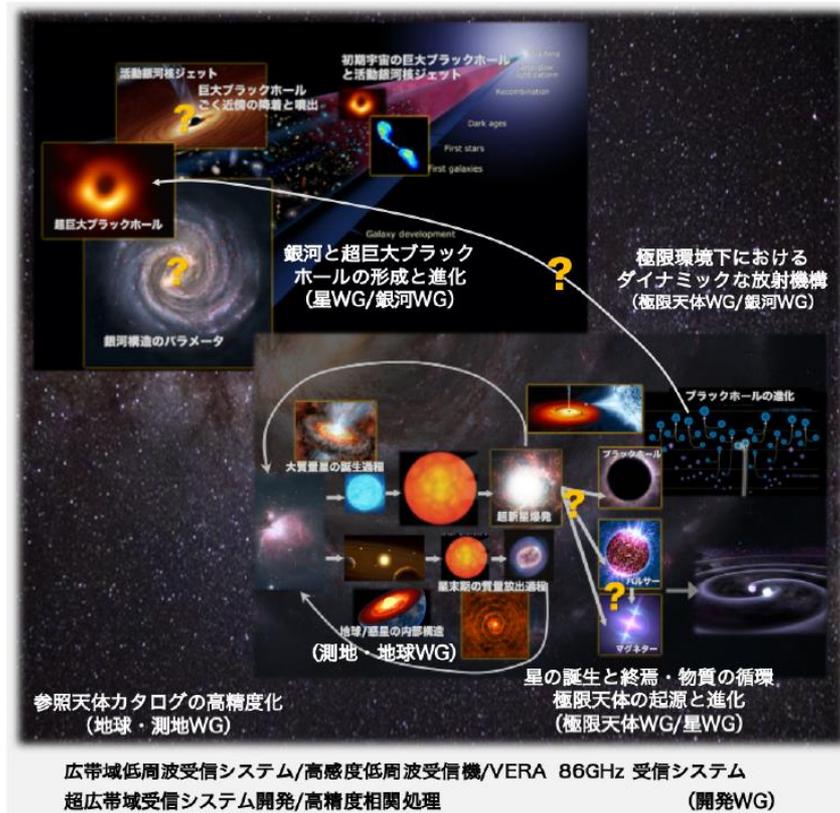
2021年6月 第4版

VLBI 将来計画ワーキンググループ



<https://www2.nict.go.jp/sts/stmg/vcon/>

# 宇宙の階層構造における起源と進化 VLBIが捉える星と極限天体の変化の瞬間



# 宇宙の階層構造における起源と進化

## VLBIが捉える星と極限天体の変化の瞬間



広帯域低周波受信システム/高感度低周波受信機/VERA 86GHz 受信システム  
超広帯域受信システム開発/高精度相関処理 (開発WG)

## 2つの中核的研究課題

- 星の誕生と終焉およびコンパクト星の起源と進化の解明
- 銀河と超巨大ブラックホールの形成と進化の解明

1. センチ波帯を網羅した観測システムの開発およびアレイの拡張により、高空間分解能観測によるコンパクト天体の研究分野の開拓と大学を中心に実績を積み重ねているメタノールレーザーモニターを基軸とした大質量星形成過程の観測的研究を発展させる
2. 従来のミリ波帯を中心とした老齢星における質量放出過程の観測的研究、天の川銀河中心領域の位置天文観測、超巨大ブラックホールおよび活動銀河核ジェットの研究の継続および、86GHz など、より高い周波数のアレイへ拡張し研究を発展させる
3. アレイの超広帯域化による地球内部の流体核自由章動/内核自由章動の高精度計測により、内部組成・構造・運動の理解を目指す

# 実現に向けて

- 研究計画の実現
  - 水沢VLBI観測所、VERA/EAVN、JVN、SKA1、EHT等を通じて実現する
- 装置開発
  - 低周波数帯への拡張（VERA, JVN→ $\leq 1\text{GHz}$ ）
  - 86 GHz VLBIアレイ強化（野辺山、VERA、EAVN）
  - 広帯域化・受信機低雑音化