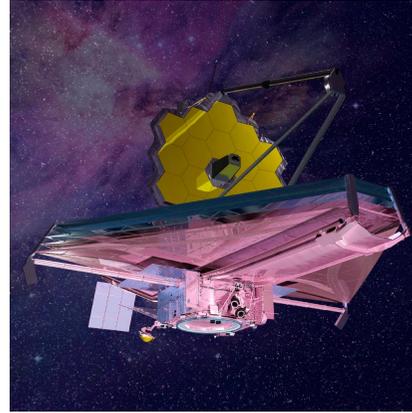


観測的宇宙論グループ (A8サブコース 大内研)



東京大学 宇宙線研究所

大内 正己

メンバー

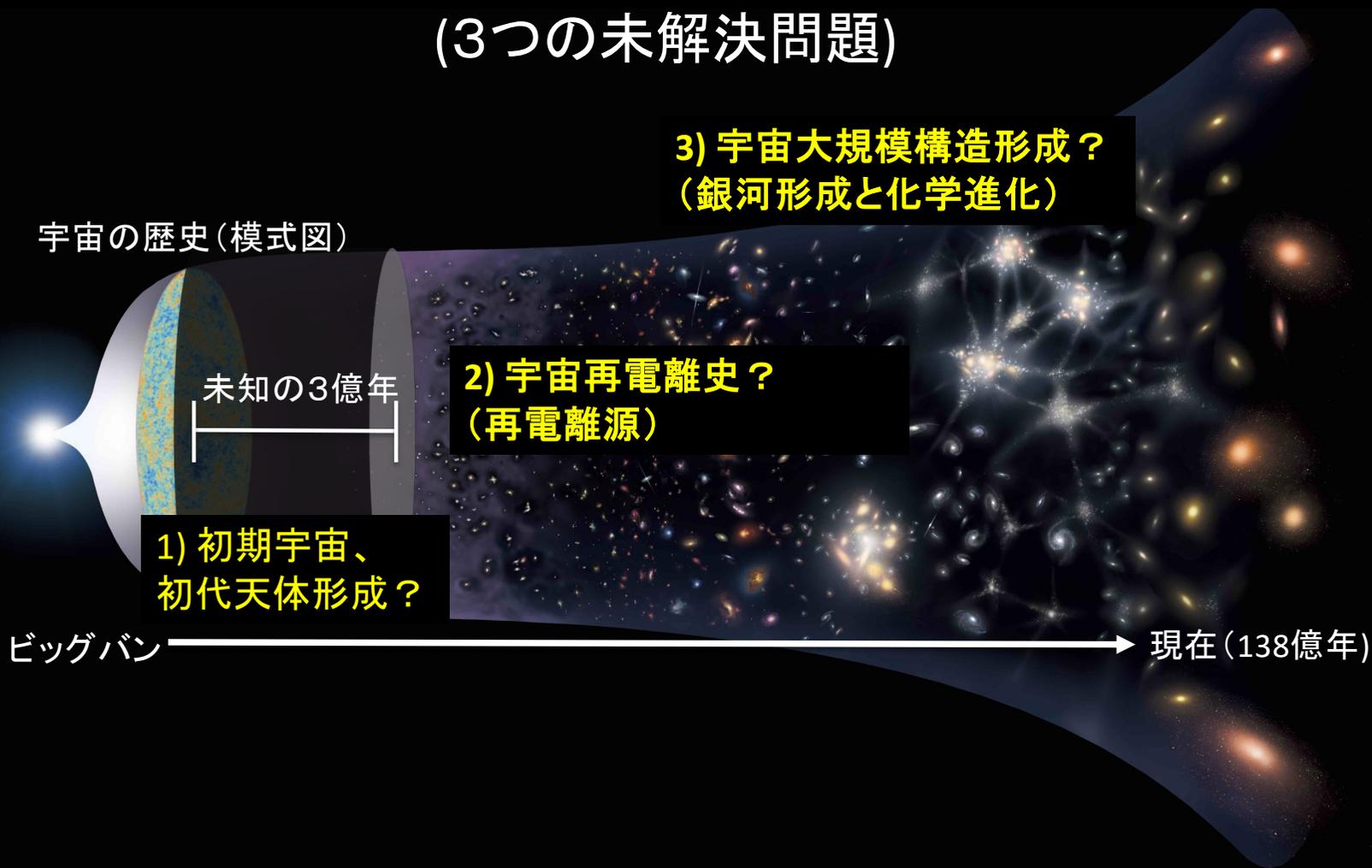


教授 大内 正己
助教 小野 宜昭、播金優一
秘書(兼)..... 井戸村 貴子
研究員..... Yongming Liang
学生 孫東昇、徐弈、梅田滉也、松本明訓、
祝程浩、中根美七海、柳澤広登、影浦優太

宇宙史

(3つの未解決問題)

宇宙の歴史(模式図)



未知の3億年

1) 初期宇宙、
初代天体形成?

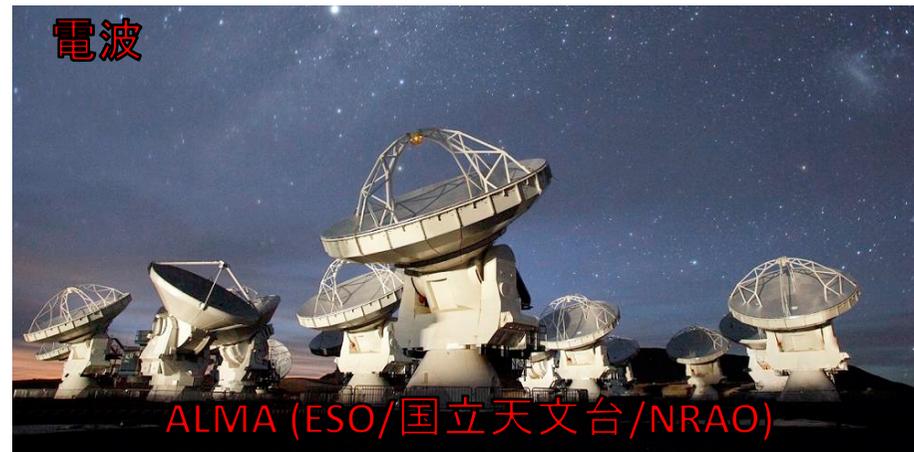
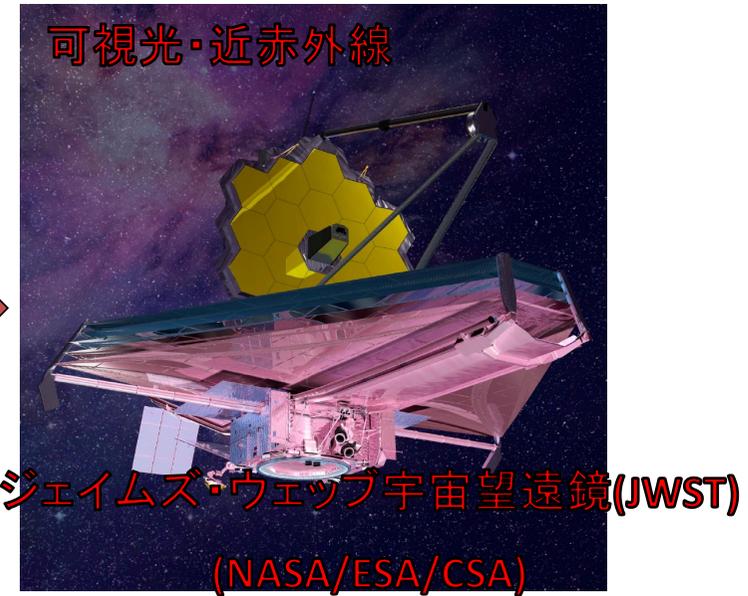
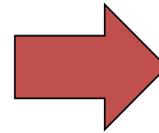
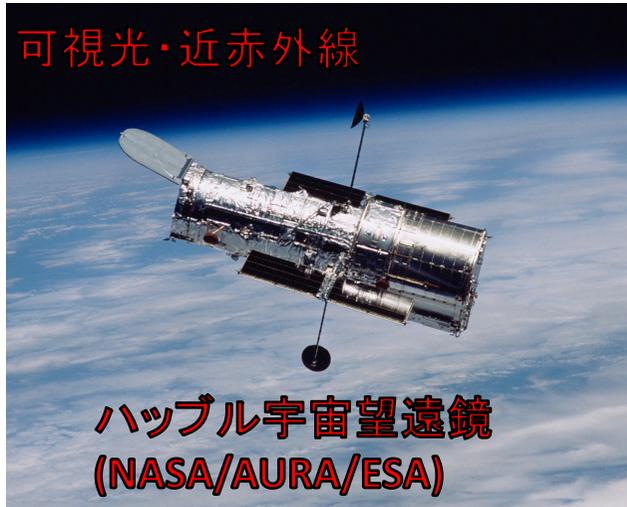
2) 宇宙再電離史?
(再電離源)

3) 宇宙大規模構造形成?
(銀河形成と化学進化)

ビッグバン

現在(138億年)

大口径望遠鏡



研究活動

観測準備風景 (©NHK)



- 観測

- すばる望遠鏡 (ハワイ)
- ケック望遠鏡 (ハワイ)
- ALMA望遠鏡 (→チリ)
- ハッブル宇宙望遠鏡/ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (→軌道上)

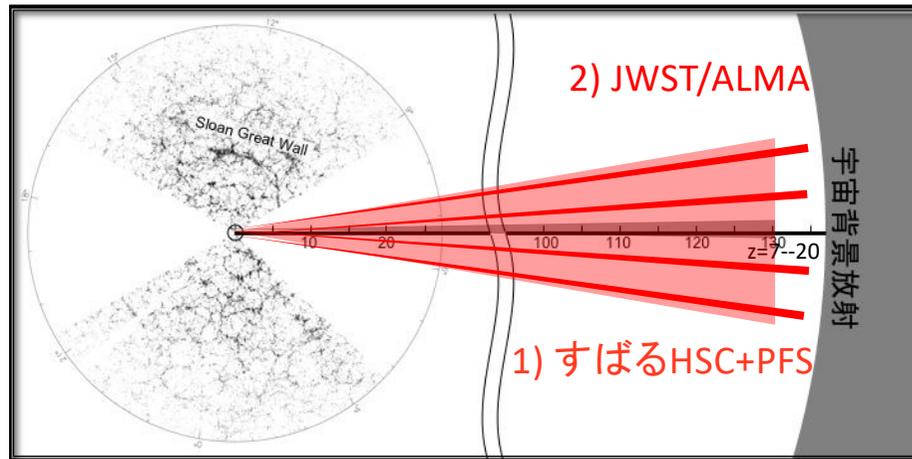
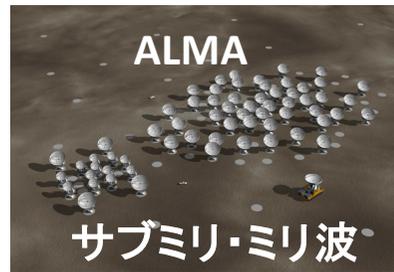
- 国内/国際会議

- アメリカ、ドイツ、イタリア、スイス、イギリスなど含む

今後5年間の研究(2025-2030年) 2つの柱

1) すばるHSCと次世代PFSの**広域**深宇宙探査
(Tokyo, NAOJ, PU, Taiwan etc)

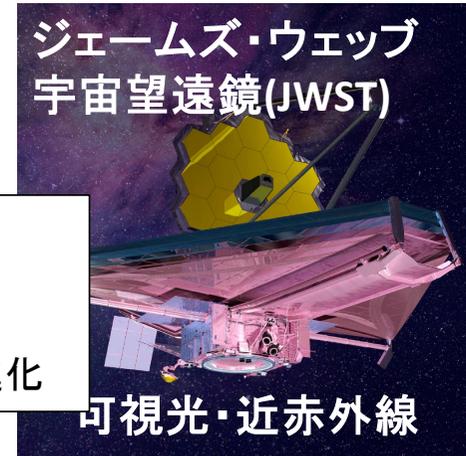
2) JWSTやALMA等による**高感度**深宇宙探査
(U. Tokyo, University of California etc.)



今後5年間の研究(2025-2030年) 2つの柱

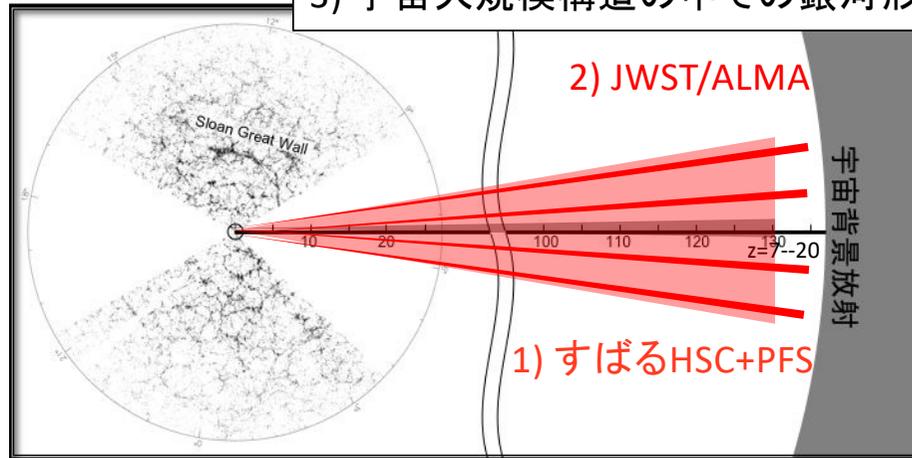
1) すばるHSCと次世代PFSの**広域**深宇宙探査
(Tokyo, NAOJ, PU, Taiwan etc)

2) JWSTやALMA等による**高感度**深宇宙探査
(U. Tokyo, University of California etc.)



未解決の問題

- 1) 初期宇宙/初代天体形成
- 2) 宇宙再電離史と再電離源
- 3) 宇宙大規模構造の中での銀河形成と化学進化

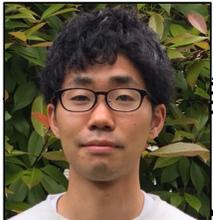


研究テーマ(学生)

- 孫東昇: SDSS+HETDEXによる宇宙大規模構造とALMAによる $z=6$ 銀河の力学構造
- 徐弈: JWST分光データを用いた初期銀河の力学構造と初期小質量銀河のアウトフロー
- 梅田滉也: すばるとJWST、MWA 21cm電波観測で探る宇宙再電離
- 松本明訓: 原始 He存在比とCMBと遠方銀河を使った初期宇宙($t\sim 1$ 秒)の探索と Λ CDMモデルの検証
- 祝程浩: 強酸素輝線天体の物理状態と超巨大ブラックホール
- 中根美七海: JWSTとPFSを用いた元素組成比 α/Fe で探る銀河形成と対不安定型超新星
- 柳澤広登: 原始 He存在比による初期宇宙($t\sim 1$ 秒)の探索
- 影浦優太: JWSTの $\text{Ly}\alpha$ 輝線観測に基づく宇宙再電離史



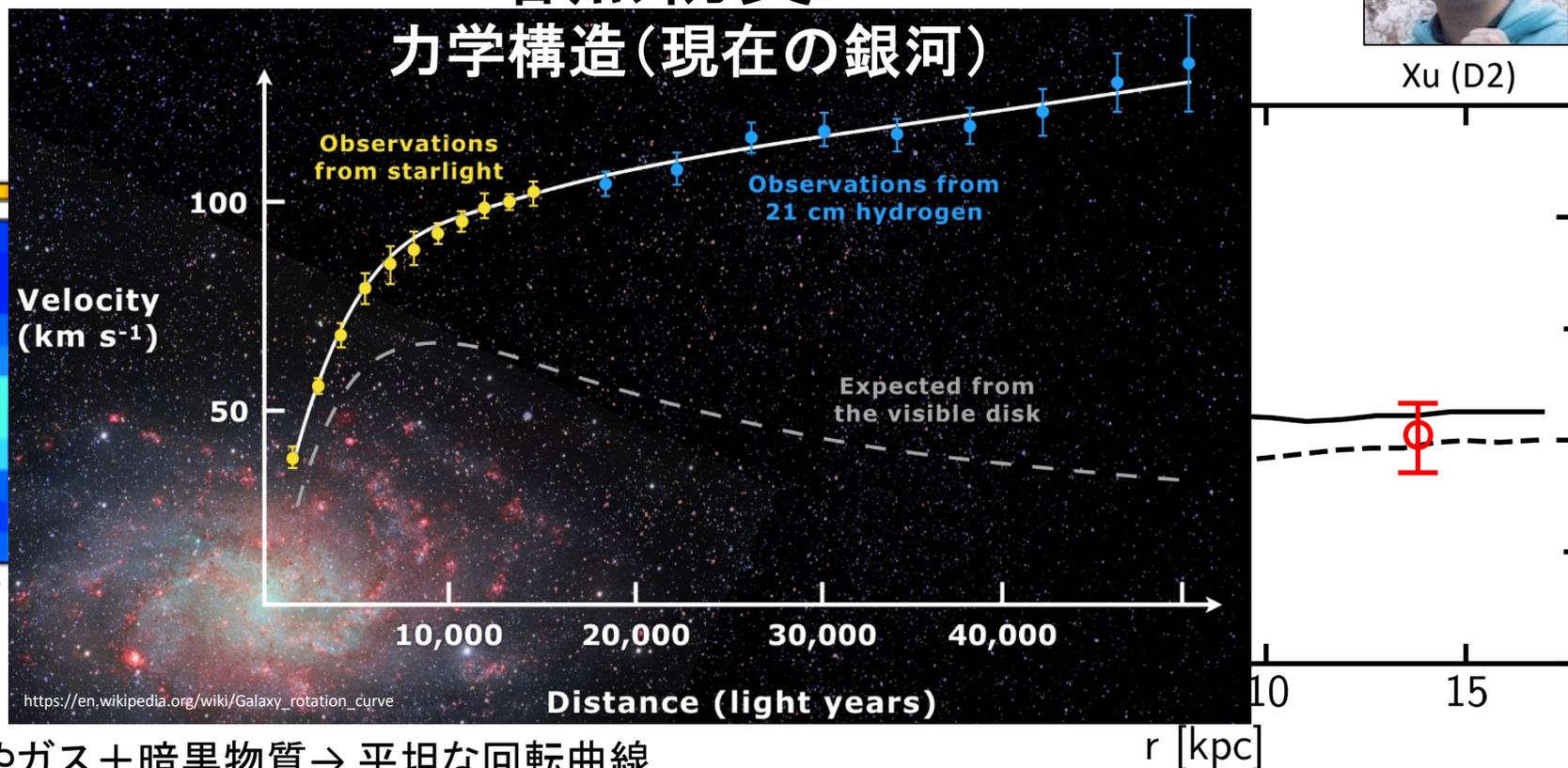
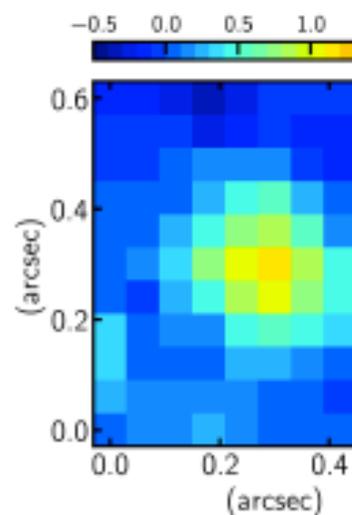
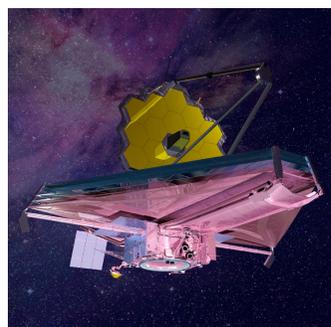
研究テーマ(学生)

- SS+HETDEXによる宇宙大規模構造とALMAによる $z=6$ 銀河の力学構造
- 徐弈: JWST分光データを用いた初期銀河の力学構造と初期小質量銀河のアウトフロー
- 梅田滉也: すばるとJWST、MWA 21cm電波観測で探る宇宙再電離
- 松本明訓: 原始 He存在比とCMBと遠方銀河を使った初期宇宙($t\sim 1$ 秒)の探索と Λ CDMモデルの検証
- 酸素輝線天体の物理状態と超巨大ブラックホール
- 中根美七海: JWSTとPFSを用いた元素組成比 α/Fe で探る銀河形成と対不安定型超新星
- 柳澤広登: 原始 He存在比による初期宇宙($t\sim 1$ 秒)の探索
- 影浦優太: JWSTの $\text{Ly}\alpha$ 輝線観測に基づく宇宙再電離史

初期銀河の力学構造と 暗黒物質



Xu (D2)

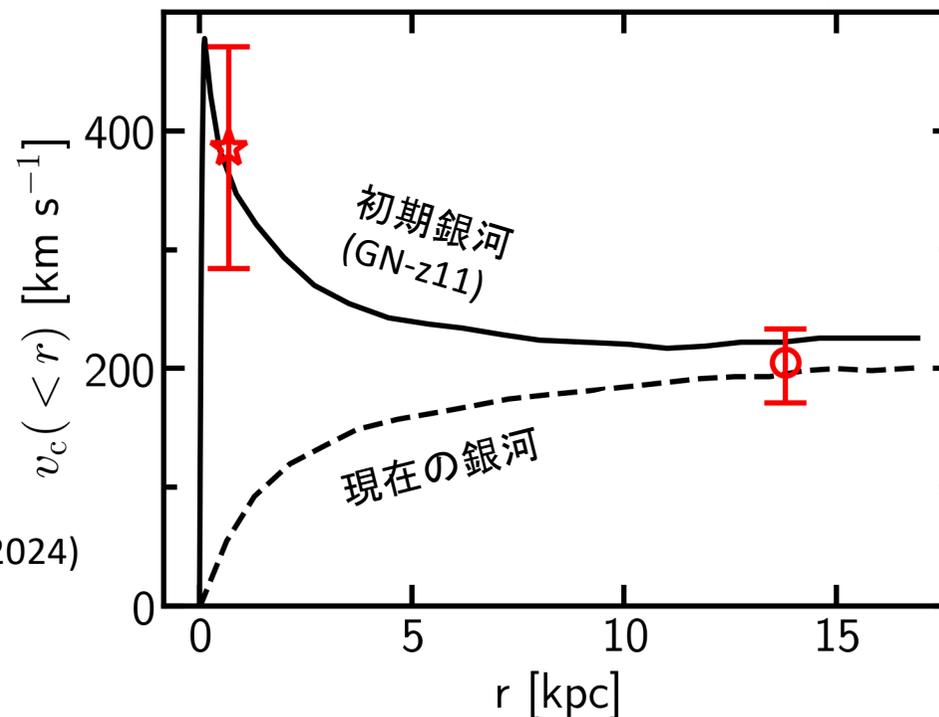
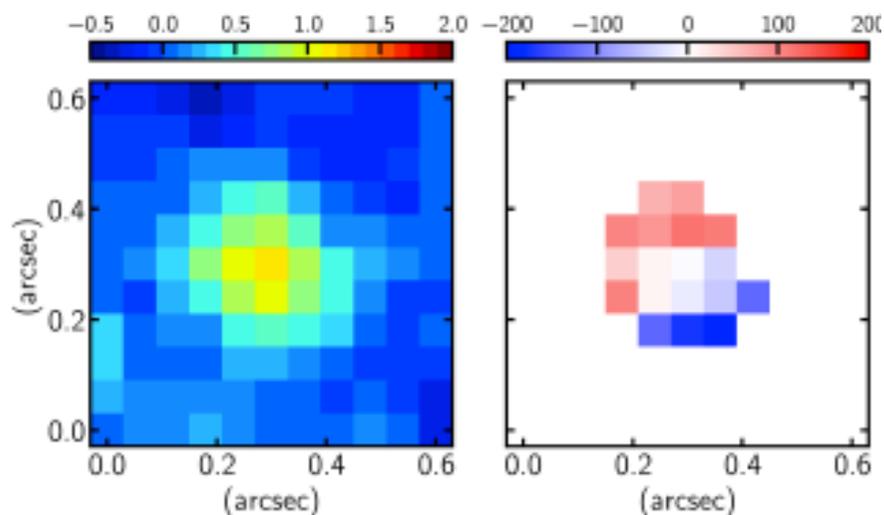
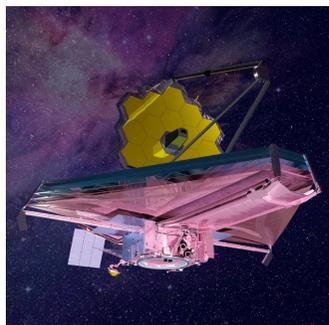


- 現在の銀河: 星やガス + 暗黒物質 → 平坦な回転曲線
- JWSTによる初期銀河GN-z11 ($z=10.6$)の運動
- 中心部で速度 $\sim 400\text{km/s}$ 、外縁部で $\sim 200\text{km/s}$ の回転 → 平坦な回転曲線ではない
 - 暗黒物質が含まれない?
 - 弱いフィードバック (超新星爆発の熱エネルギーなどがガスに与えられず、中心部にガスが集中 → 極めて小さい円盤)

初期銀河の力学構造と 暗黒物質



Xu (D2)



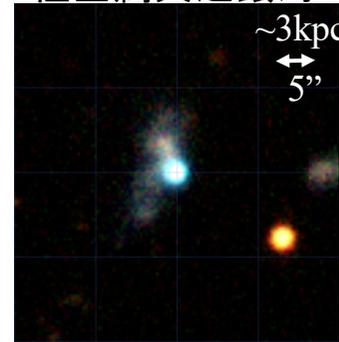
- 現在の銀河: 星やガス+暗黒物質 → 平坦な回転曲線
- JWSTによる初期銀河GN-z11 ($z=10.6$)の運動
- 中心部で速度 ~ 400 km/s、外縁部で ~ 200 km/sの回転 → 平坦な回転曲線ではない
 - 暗黒物質が含まれない?
 - 弱いフィードバック(超新星爆発の熱エネルギーなどがガスに与えられず、中心部にガスが集中 → 極めて小さい円盤)

ビッグバン宇宙に残された謎

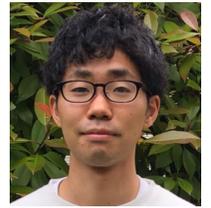


Credit: Scientific American/Malcolm Godwin

極金属欠乏銀河



すばる望遠鏡



松本(D2)

インフレーション、粒子生成 (≤ 1 秒) [≤ 10 秒]

- ハドロン (陽子, 中性子)、[レプトン (電子, ニュートリノ)]

• ビッグバン元素合成 (BBN): (~ 100 秒)

- 水素, **ヘリウム**, Li [Be]

• ニュートリノ世代数 $N_{\text{eff}} = 2.49 (+0.17/-0.26)$: 標準的な宇宙理論 ($N_{\text{eff}} = 3.046$) から90%程度の確率でズれる? \rightarrow レプトン非対称性 $\xi_e \neq 0$ を示唆?

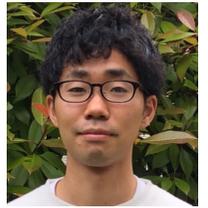
• N_{eff} が3.046より $\Delta N_{\text{eff}} \sim 0.4$ 程度大きい? ($N_{\text{eff}} \sim 3.5$)

\rightarrow 宇宙論最大の問題 (ハッブル定数の食い違い) を説明できる?

• 松本さんの論文発表 \rightarrow 問い合わせ多数。招待セミナー (KEK等)

• 精度を上げる必要あり \rightarrow **すばるで観測継続 (松本代表: 4晩獲得 \rightarrow 今秋観測)**

ビッグバン宇宙に残された謎



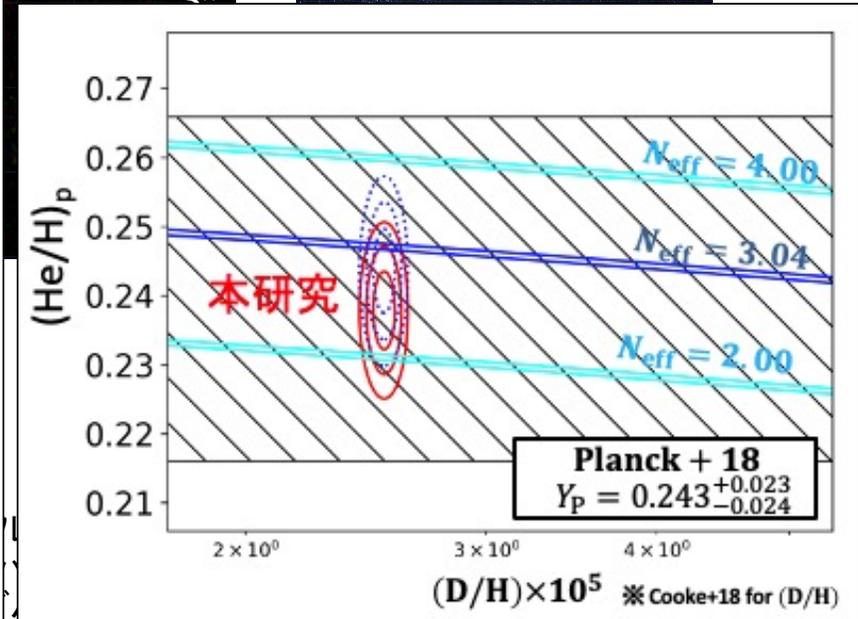
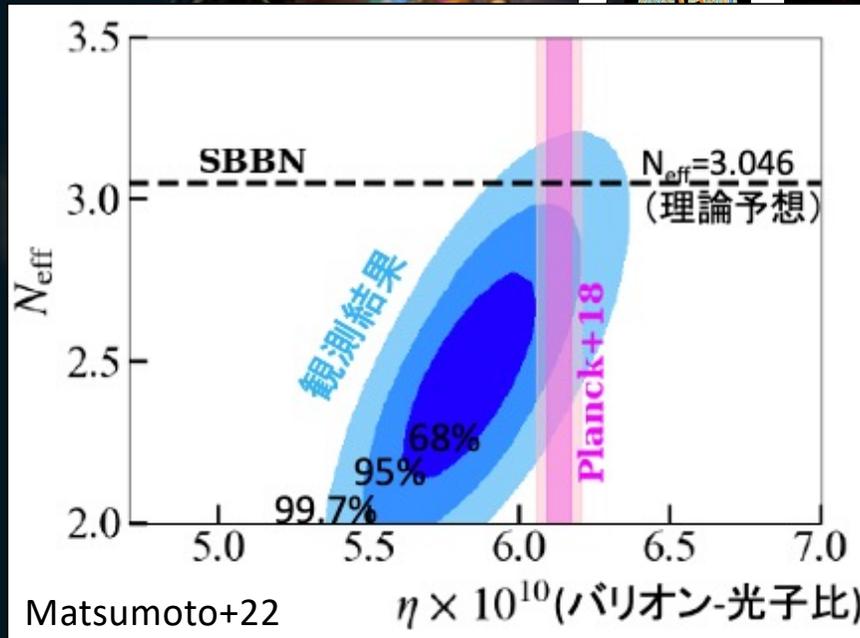
松本(D2)



極金属欠乏銀河

~3kpc

すばる望遠鏡

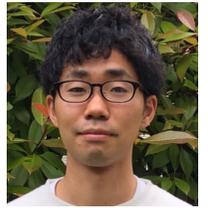


10 second Cosmic inflation ends
 10 second Protons form
 100 seconds Deuterium, helium and lithium are synthesized

Credit: Scientific American/Malcolm Godwin

- 水素,ヘリウム, Li [Be]
- ニュートリノ世代数 $N_{\text{eff}} = 2.49 (+0.17/-0.26)$: 標準的な宇宙論 ($N_{\text{eff}} = 3.046$) から90%程度の確率でズれる? → レプトン非対称性 $\xi_e \neq 0$ を示唆?
- N_{eff} が3.046より $\Delta N_{\text{eff}} \sim 0.4$ 程度大きい? ($N_{\text{eff}} \sim 3.5$)
 → 宇宙論最大の問題 (ハッブル定数の食い違い) を説明できる?
- 松本さんの論文発表 → 問い合わせ多数。招待セミナー (KEK等)
- 精度を上げる必要あり → すばるで観測継続 (松本代表: 4晩獲得 → 今秋観測)

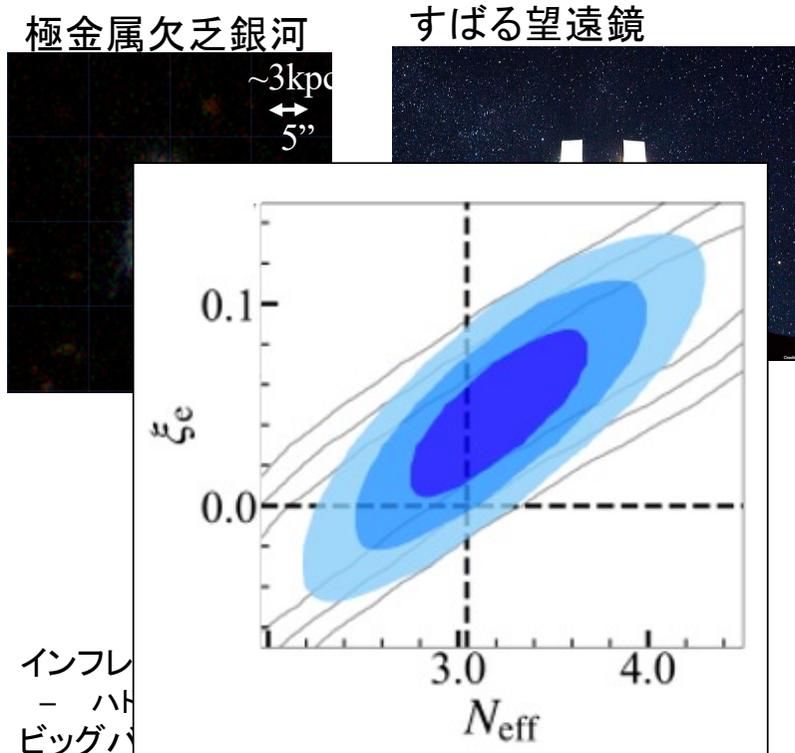
ビッグバン宇宙に残された謎



松本(D2)



Credit: Scientific American/Malcolm Godwin

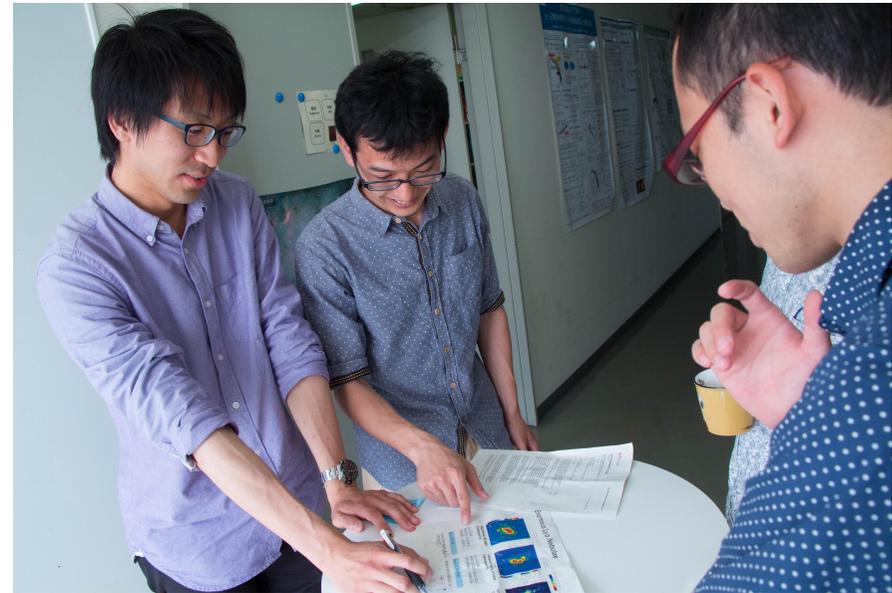


- インフレーション
 - ハッブル定数の食い違い
- ビッグバン
 - 水素, **ヘリウム**, Li [Be]
- ニュートリノ世代数 $N_{\text{eff}} = 2.49 (+0.17/-0.26)$: 標準的な宇宙理論 ($N_{\text{eff}} = 3.046$) から90%程度の確率でズれる? → レプトン非対称性 $\xi_e \neq 0$ を示唆?
- N_{eff} が3.046より $\Delta N_{\text{eff}} \sim 0.4$ 程度大きい? ($N_{\text{eff}} \sim 3.5$)
 - 宇宙論最大の問題 (ハッブル定数の食い違い) を説明できる?
- 松本さんの論文発表 → 問い合わせ多数。招待セミナー (KEK等)
- 精度を上げる必要あり → **すばるで観測継続 (松本代表: 4晩獲得 → 今秋観測)**

研究室の日常風景



教員とのマンツーマンのミーティング



学生同士の研究の議論

卒業生の進路

- 17名の卒業生。進路の例

研究職

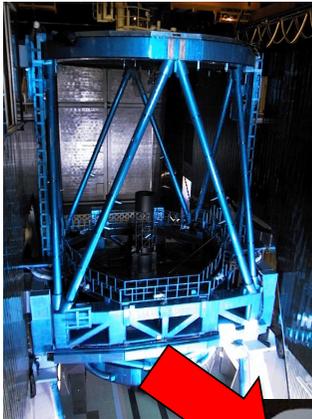
- 藤本征史(2019): テキサス大学オースティン校
- 播金優一(2019): NAOJ/ロンドン大学→東大ICRR助教
- 菅原悠馬(2020): 早稲田大学
- 張也弛(2023): 国立天文台→カリフォルニア工科大学
- 磯部優樹(2024): 早稲田大学→ケンブリッジ大学

民間・官公庁

- 内藤 嘉章(2015): Ernst & Young→ ProbSpace(代表取締役)
- 玉澤裕子(2016): 高エネルギー一研・広報
- 向江史朗(2020): 資生堂
- 小島崇史(2020): 警察庁
- 菊地原正太郎(2022): 富士通

将来の研究 (博士取得後)

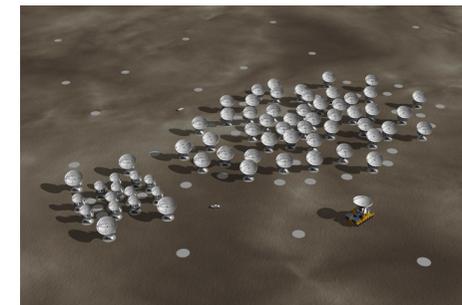
1) すばるHSC/PFS探査



2) JWST/ALMA探査



2-10年後
(2030年頃)



20年後
(2040年頃)



まとめ

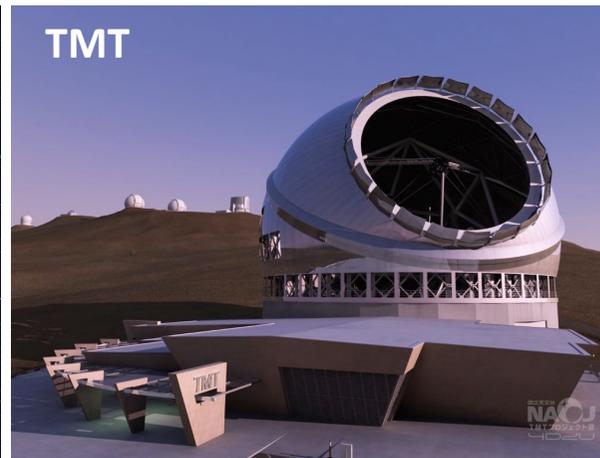
- 宇宙史の研究(初期宇宙、大規模構造、銀河形成など)
- 大型望遠鏡による観測(JWST,すばる,ハッブル,ALMA等)
- 学生さんの最近の研究(2つの例)

2-10年後のRoman宇宙望遠鏡, TMT,
そして約20年後の次世代超大型宇宙望遠鏡(HWO等)へ

昼食の時やLAB TOURでお話しましょう



2022年から科学観測開始
最新大型宇宙望遠鏡



2030年頃完成予定
超大型地上望遠鏡



2040年頃(計画)
超大型宇宙望遠鏡