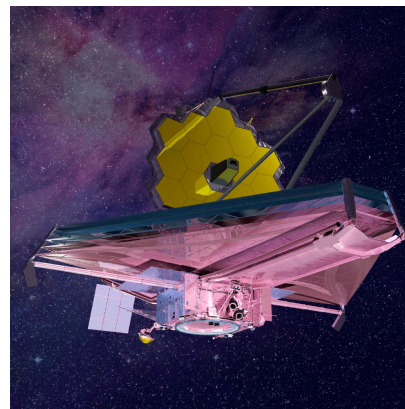


観測的宇宙論グループ (A8サブコース 大内研)



東京大学 宇宙線研究所
大内 正己

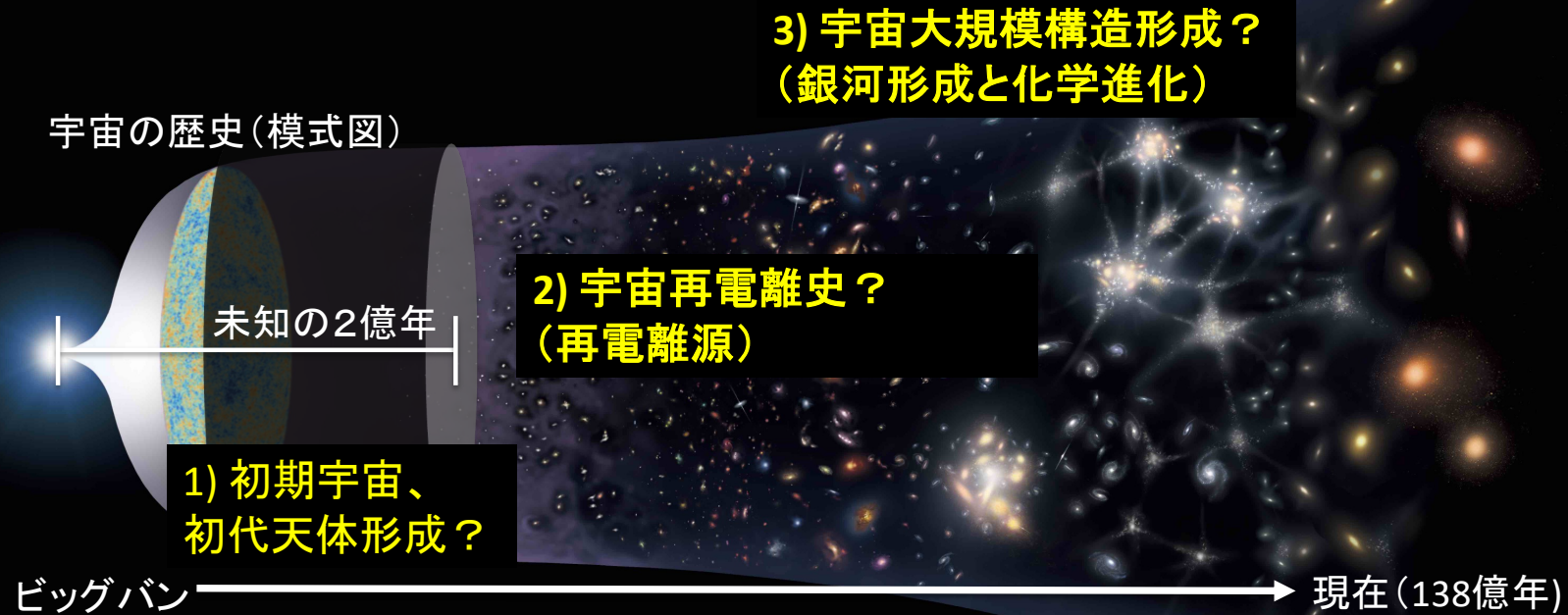
メンバー



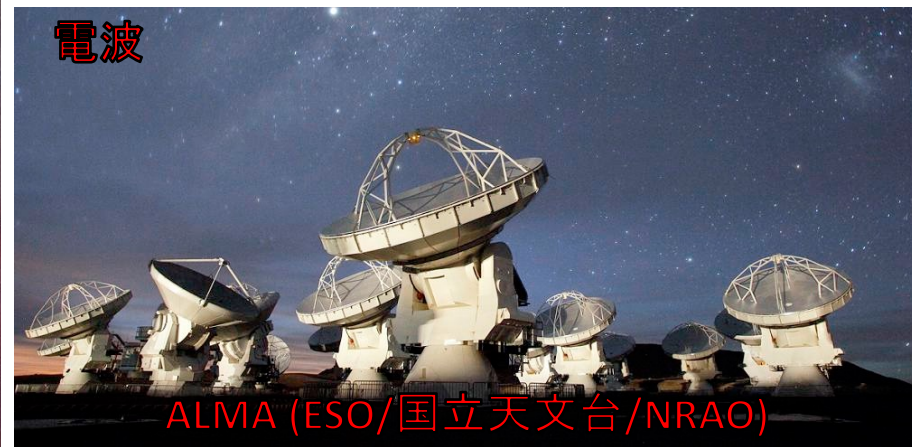
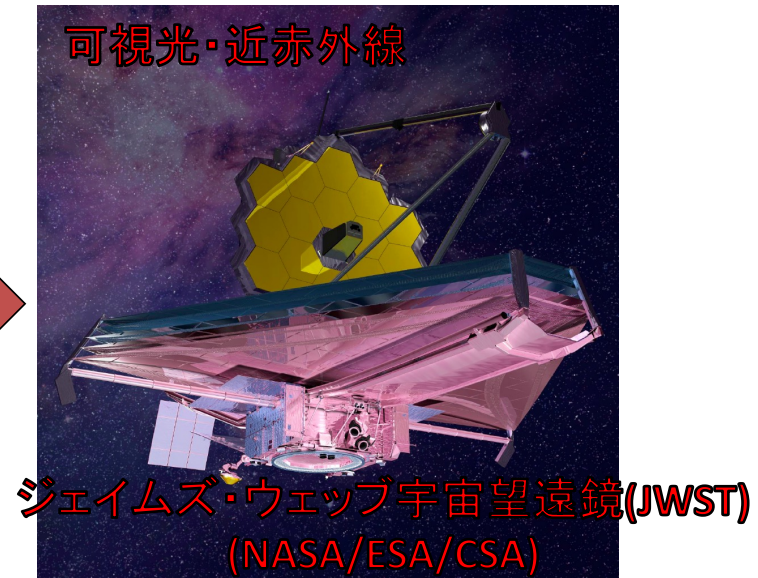
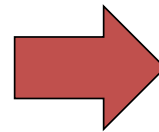
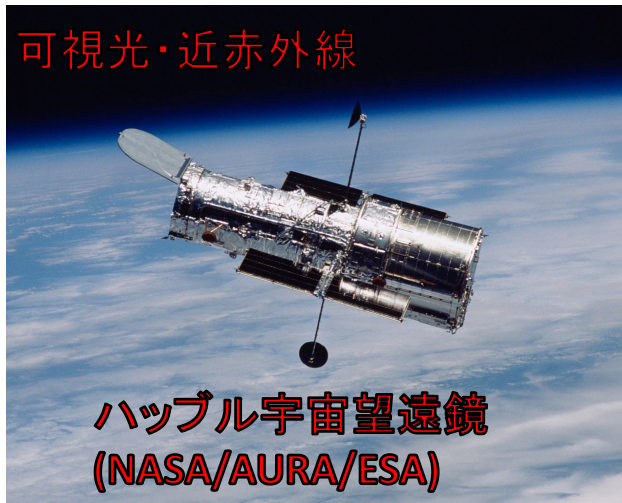
教授 大内 正己
助教 小野 宜昭、播金優一
秘書(兼)..... 井戸村 貴子
研究員..... 孫東昇
学生 徐弈、梅田滉也、松本明訓、祝程浩、中根美七海、
柳澤広登、影浦優太、武知可夏、松浦義実

宇宙史

(3つの未解決問題)



大口径望遠鏡



研究活動

観測準備風景 (©NHK)



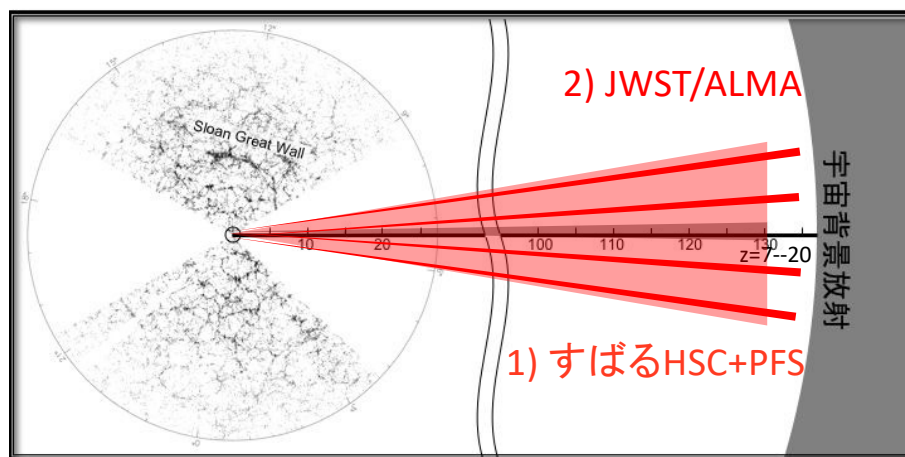
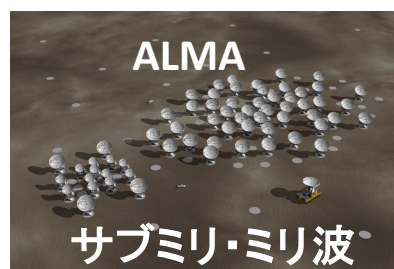
- 観測
 - すばる望遠鏡 (ハワイ)
 - ケック望遠鏡 (ハワイ)
 - ALMA望遠鏡 (→チリ)
 - ハッブル宇宙望遠鏡/ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (→軌道上/ L_2 点)
- 国内/国際会議
 - アメリカ、ドイツ、イタリア、スイス、イギリスなど含む

今後5年間の研究(2026-2031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, Princeton, Taiwan etc.)



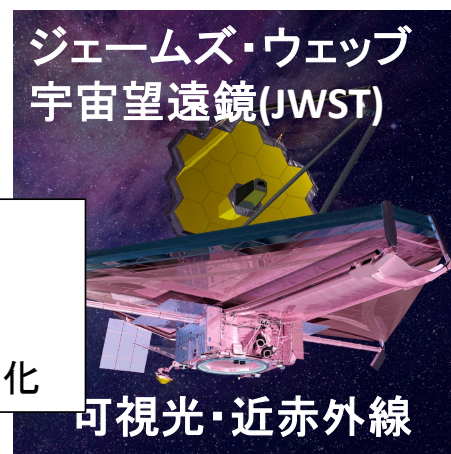
2) JWSTやALMA等による**高感度**深宇宙探査
(U. Tokyo, U. Texas, U. Copenhagen, U. Arizona etc.)



今後5年間の研究(2026-2031年) 2つの柱

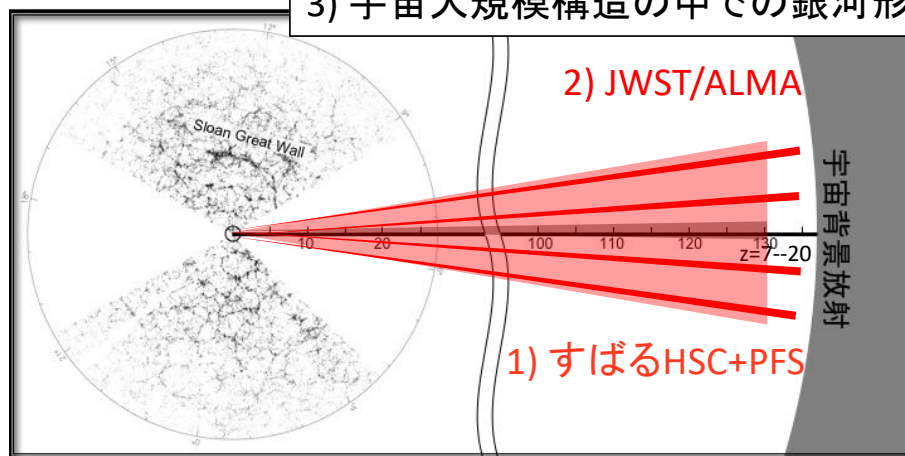
1) すばるHSCと次世代PFSの**広域**深宇宙探査
(Tokyo, NAOJ, Princeton, Taiwan etc.)

2) JWSTやALMA等による**高感度**深宇宙探査
(U. Tokyo, U. Texas, U. Copenhagen, U. Arizona 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)

- 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と遠方銀河で探る宇宙大規模構造と 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とすばる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
- 武知可夏: JWSTとALMAを用いた宇宙最初のダスト形成
- 松浦義実: JWSTとすばるPFSによる星間物質の電子密度の進化

研究テーマ(学生)

- 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



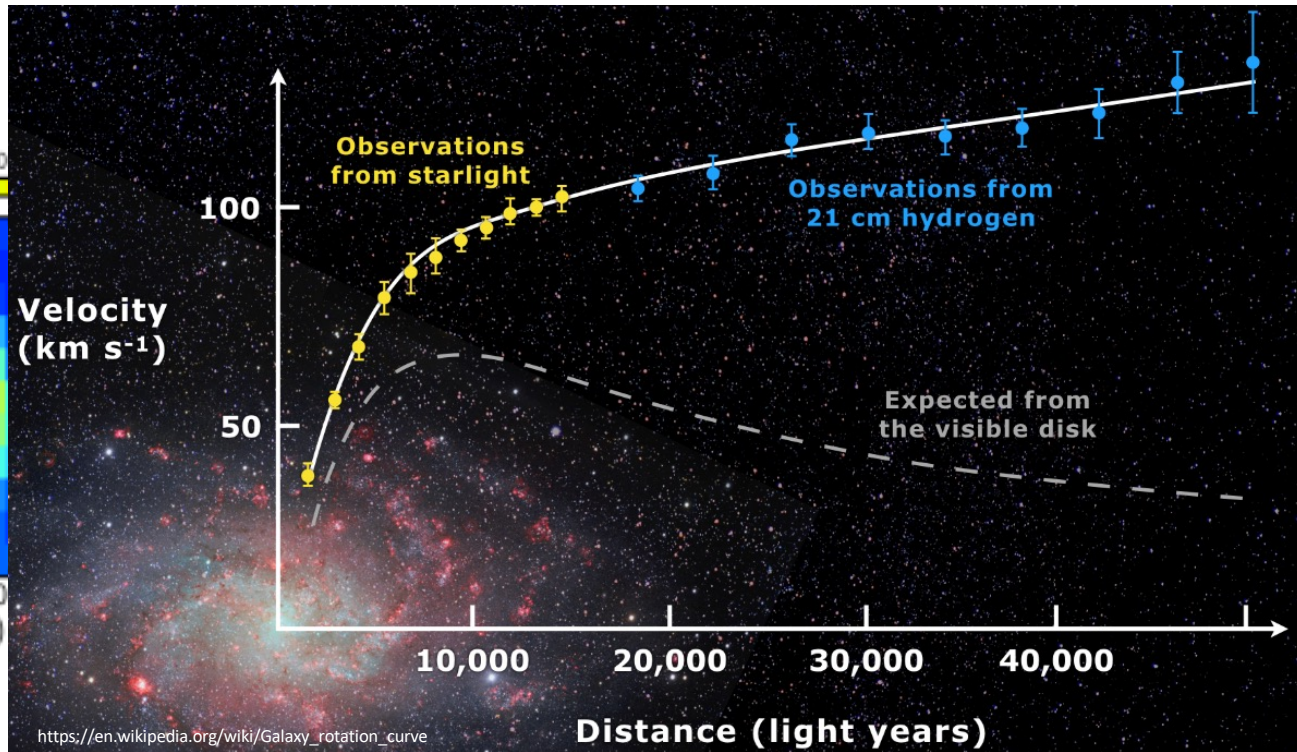
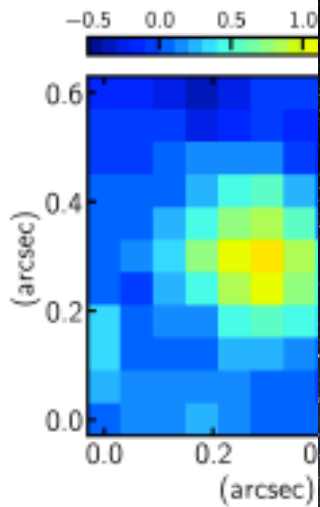
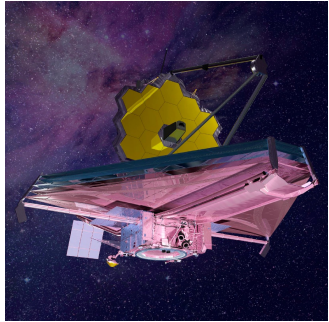
- すばるとJWST、MWA 21cm電波観測で探る宇宙再電離
- 原始 He存在比とCMBと遠方銀河で探る宇宙大規模構造と Λ CDMモデルの検証
- 祝程浩: 強酸素輝線天体の物理状態と超巨大ブラックホール
- 中根美七海: JWSTとすばるPFSを用いた元素組成比 α/Fe で探る銀河形成と対不安定型超新星

- 柳澤広登: 原始 He存在比による初期宇宙($t \sim 1$ 秒)の探索

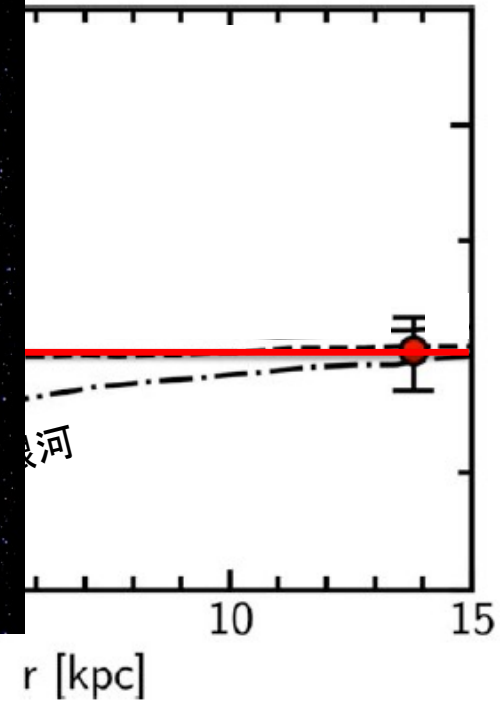


- JWSTの $\text{Ly}\alpha$ 輝線観測に基づく宇宙再電離史
- JWSTとALMAを用いた宇宙最初のダスト形成
- 松浦義実: JWSTとすばるPFSによる星間物質の電子密度の進化

初期銀河の力学構造と 暗黒物質

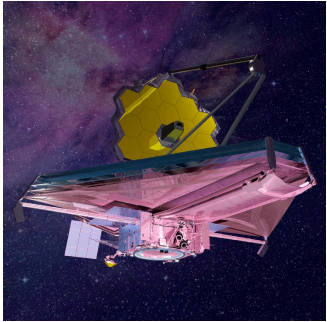


Xu (D3)

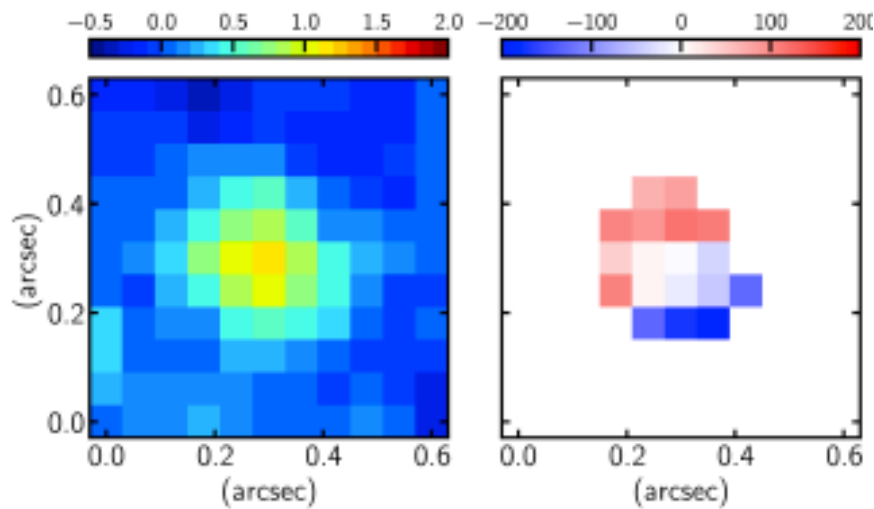


- 現在の銀河: 星やガス+暗黒物質→ 減速しない回転曲線
- JWSTによる初期銀河GN-z11 ($z=10.6$)の運動
- 中心部で速度 $\sim 200\text{km/s}$ 、外縁部で $\sim 200\text{km/s}$ の回転→現在の銀河で見られる回転曲線ではない
 - 暗黒物質? → No 超巨大ブラックホール? → No ($\sim 10^6 M_\odot$)
 - 極めて小さい円盤の存在: 弱いフィードバック(超新星爆発の熱エネルギーなどが与えられず、中心部にガスが集中)

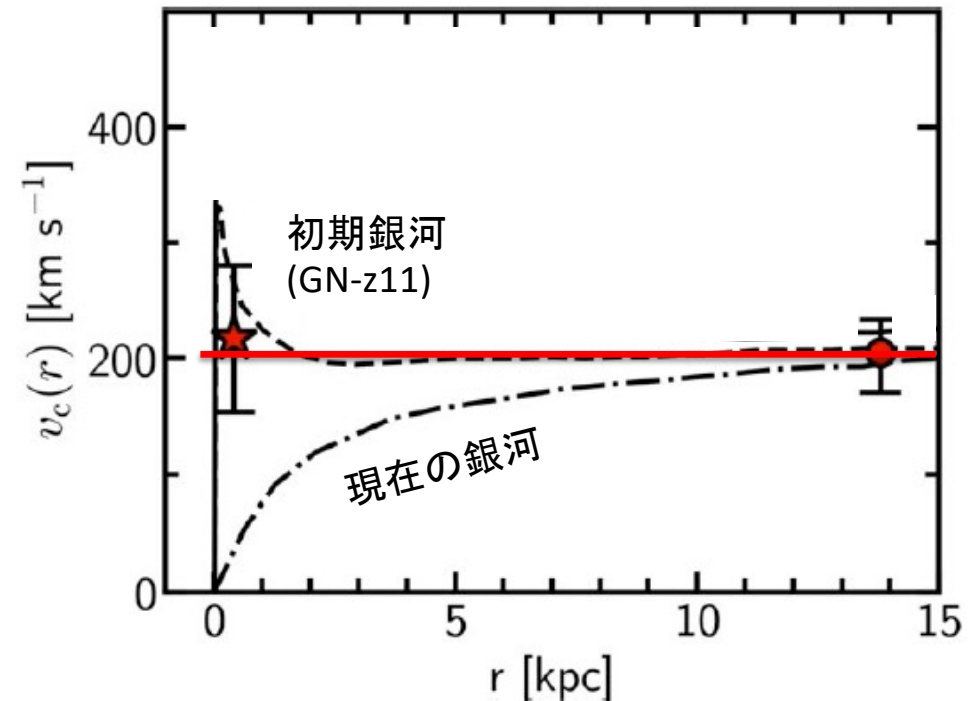
初期銀河の力学構造と 暗黒物質



Xu (D3)



Xu et al. (2024)



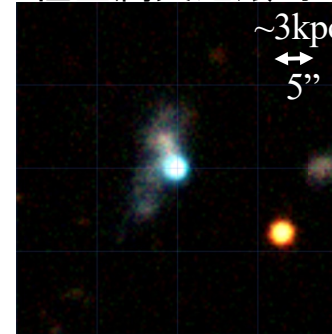
- 現在の銀河: 星やガス+暗黒物質 → 減速しない回転曲線
- JWSTによる初期銀河GN-z11 ($z=10.6$)の運動
- 中心部で速度 $\sim 200\text{km/s}$ 、外縁部で $\sim 200\text{km/s}$ の回転 → 現在の銀河で見られる回転曲線ではない
 - 暗黒物質? → No 超巨大ブラックホール? → No ($\sim 10^6 M_\odot$)
 - 極めて小さい円盤の存在: 弱いフィードバック(超新星爆発の熱エネルギーなどが与えられず、中心部にガスが集中)

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



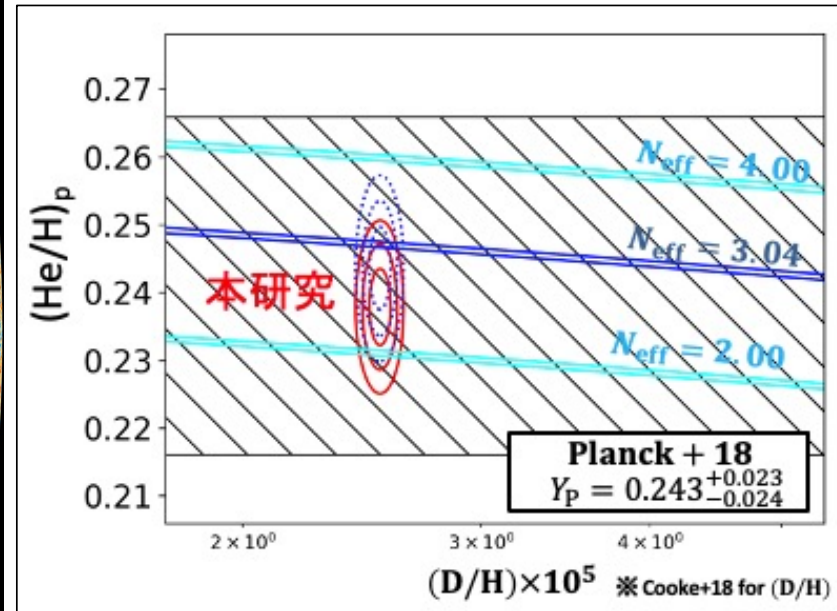
柳澤(D1)

- 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 $N_{\text{eff}} = 2.41 (+0.20/-0.21)$: 標準的な宇宙理論 ($N_{\text{eff}} = 3.046$) から $>95\%$ 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?
- 精度を上げる必要あり $\rightarrow$ **すばるで観測継続**

ビッグバン宇宙に残された謎



Credit: Scientific American/Malcolm Godwin



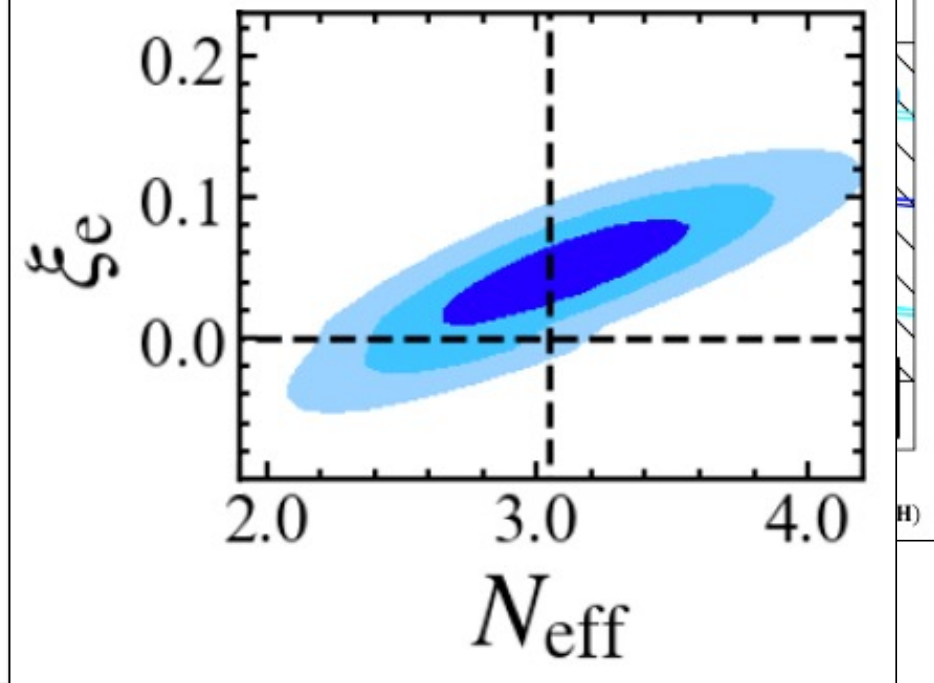
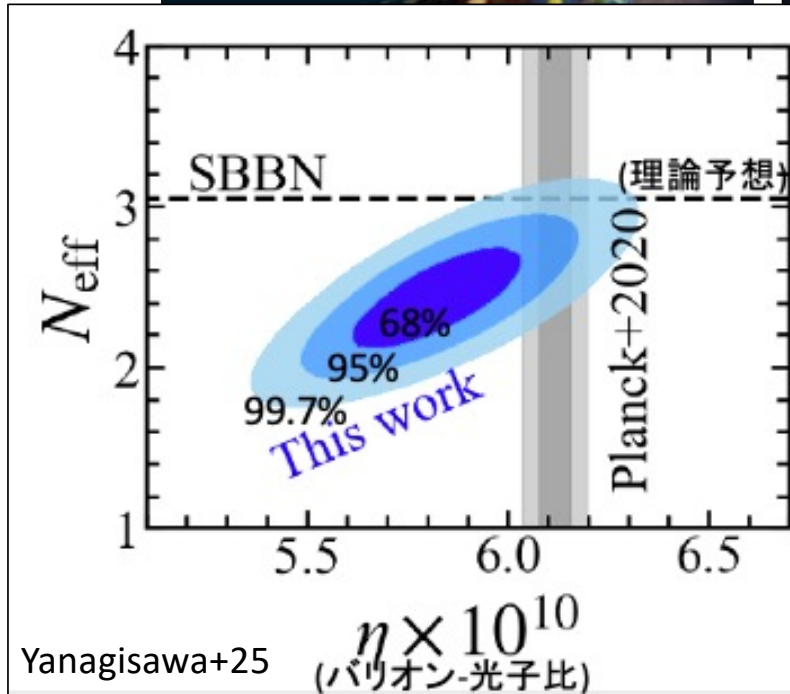
柳澤(D1)

- 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 $N_{\text{eff}} = 2.41 (+0.20/-0.21)$: 標準的な宇宙理論($N_{\text{eff}} = 3.046$)から $>95\%$ 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?
- 精度を上げる必要あり $\rightarrow$ **すばるで観測継続**

ビッグバン宇宙に残された謎



柳澤(D1)



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

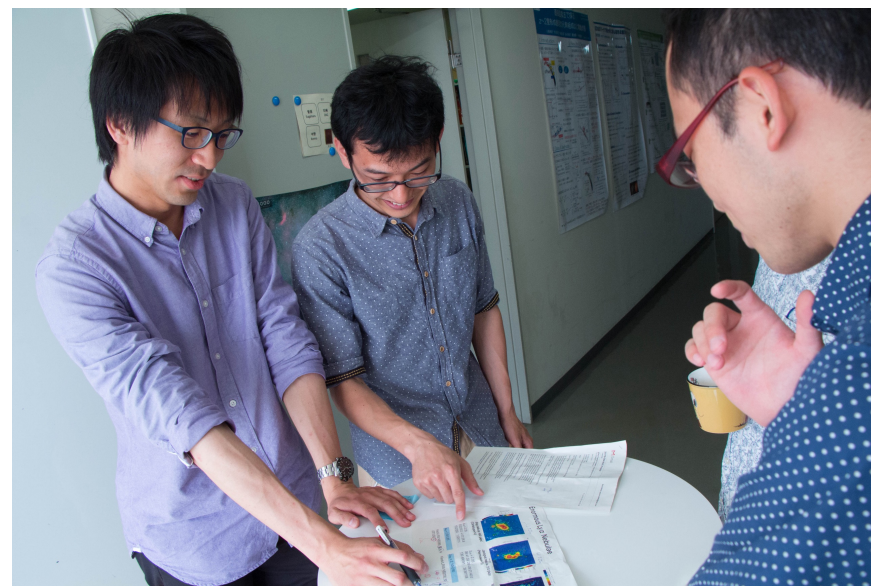
Credit: Scientific American/Malcolm Godwin

- 水素, **ヘリウム**, Li [Be]
- ニュートリノ世代数 $N_{\text{eff}} = 2.41 (+0.20/-0.21)$: 標準的な宇宙理論 ($N_{\text{eff}} = 3.046$) から >95% 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?
- 精度を上げる必要あり → **すばるで観測継続**

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

- 18名の卒業生。進路の例

研究職

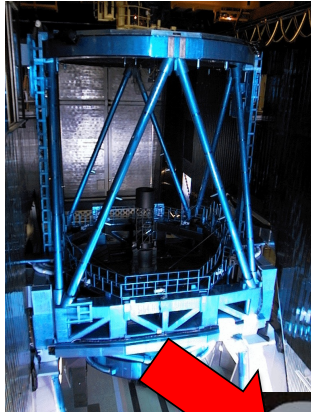
- 藤本征史(2019): テキサス大学オースティン校→トロント大学 助教授
- 播金優一(2019): NAOJ/ロンドン大学→東大ICRR 助教
- 菅原悠馬(2020): 早稲田大学講師
- 張也弛(2023): 国立天文台→カリフォルニア工科大学
- 磯部優樹(2024): 早稲田大学→ケンブリッジ大学

民間・官公庁

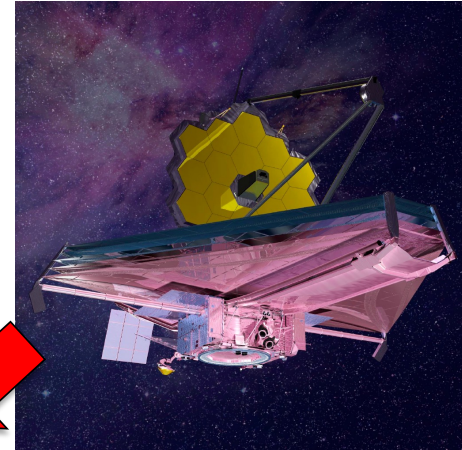
- 内藤 嘉章(2015): Ernst & Young→ ProbSpace(代表取締役)
- 玉澤裕子(2016): 高エネルギー研・広報
- 向江史朗(2020): 資生堂
- 小島崇史(2020): 警察庁
- 菊地原正太郎(2022): 富士通

将来の研究 (博士取得後)

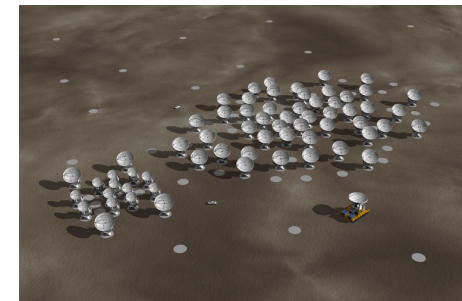
1) すばるHSC/PFS探査



2) JWST/ALMA探査



1-10年後
(2030年前後)



20年後
(2040年頃)



まとめ

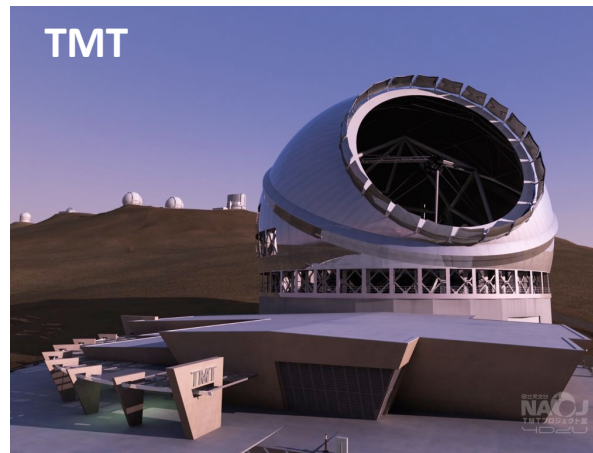
- 宇宙史の研究(初期宇宙、大規模構造、銀河形成など)
- 大型望遠鏡による観測(JWST,すばる,ハubble,ALMA等)
- 学生さんの最近の研究(2つの例)

1-10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
最新大型宇宙望遠鏡



2030年代完成(計画)
超大型地上望遠鏡



2040年頃(計画)
超大型宇宙望遠鏡