

科学報告

[宇宙論]

山内大介

神奈川大学

工学部物理学教室

『電波観測による

インフレーション宇宙の探求』

SKAでは宇宙論に指向した複数のサーベイが実施されるが、これまで簡便な現象論モデルのみが検討されてきた。より現実的なインフレーションモデルと結び付けるためには後期宇宙と初期宇宙双方の精密なモデリングが鍵となることから、これを大きく推進する。さらに、得られた観測データを正しく理論解釈するために、実データを観測量に結び付けることのできる人材を育成していく。これにより、インフレーション宇宙に多角的に迫っていくことを可能とする。(212文字)



観測

データ
解析

① データ → 観測量

連携

連携

後期宇宙の
深い理解

③ インフレーション
の精密モデリング

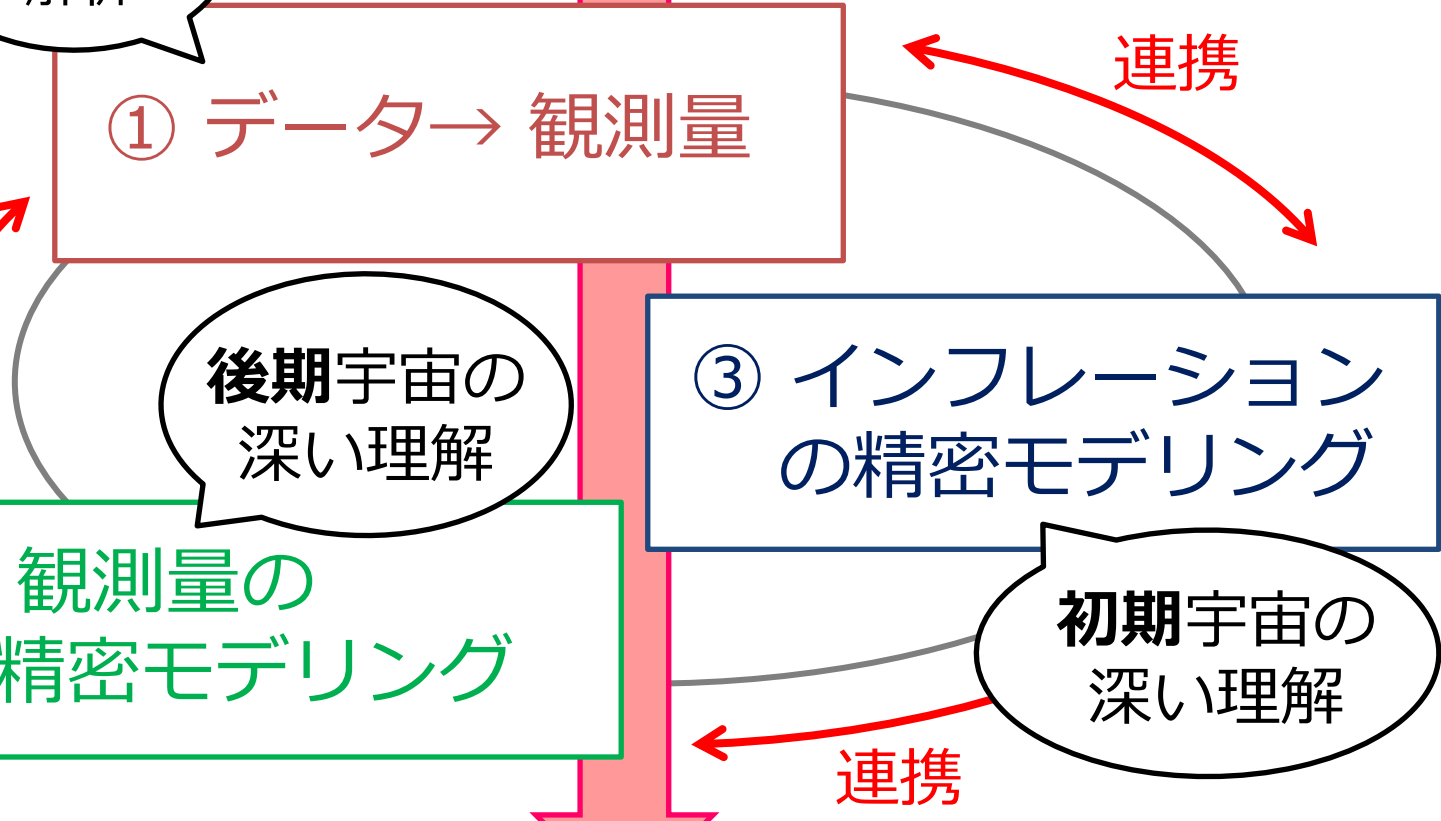
② 観測量の
精密モデリング

初期宇宙の
深い理解

連携

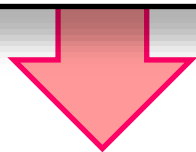
理論

(真の)インフレーション宇宙理論





観測データと真のインフレーション宇宙を
結び付けるためには、**後期宇宙・初期宇宙**
双方の**精密なモデリング**が鍵！



(真の)インフレーション宇宙理論

観測



理論



観測

① データ → 観測量

日本の寄与

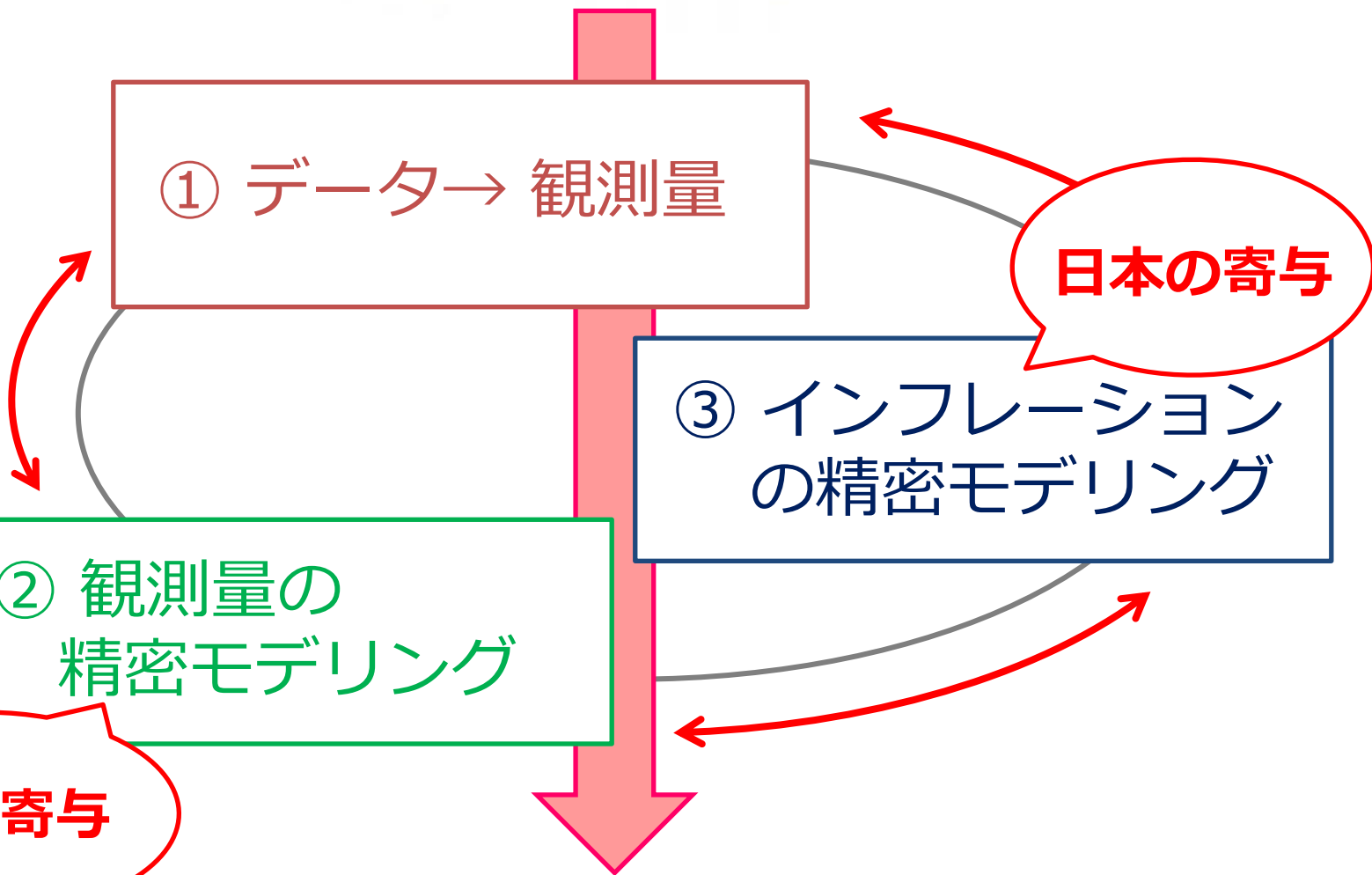
③ インフレーションの精密モデリング

② 観測量の精密モデリング

日本の寄与

理論

(真の)インフレーション宇宙理論



SKAによる宇宙論： あらゆる観測量を多角的に使用

□ 宇宙論サーベイ

- ◆ HI銀河赤方偏移サーベイ
 - ◆ 電波連続線サーベイ
 - ◆ MID HI強度マッピング
 - ◆ LOW HI強度マッピング → IGMがターゲット
- 銀河がターゲット
- ✓ 21cm線グローバルシグナル
 - ✓ 21cm線パワースペクトル
 - ✓ 21cm線フォレスト

□ パルサータイミング

SKAによる宇宙論： あらゆる観測量を多角的に使用

□ 宇宙論サーベイ

- ◆ HI銀河赤方偏移サーベイ
- ◆ 電波連続線サーベイ
- ◆ MID HI強度マッピング
- ◆ LOW HI強度マッピング

重力理論
の検証

原始揺らぎ
の統計性

原始磁場

- ✓ 21cm線グローバルシグナル
- ✓ 21cm線パワースペクトル
- ✓ 21cm線フォレスト

原始磁場

暗黒物質

□ パルサータイミング

原始ブラック
ホール

SKAによる宇宙論： あらゆる観測量を多角的に使用

□ 宇宙論サーベイ

◆ HI銀河赤方偏移サーベイ

◆ 電波連続線サーベイ

21cm線吸収線

再電離班・銀河進化班の一押しサイエンス！

→ 協働が期待できる

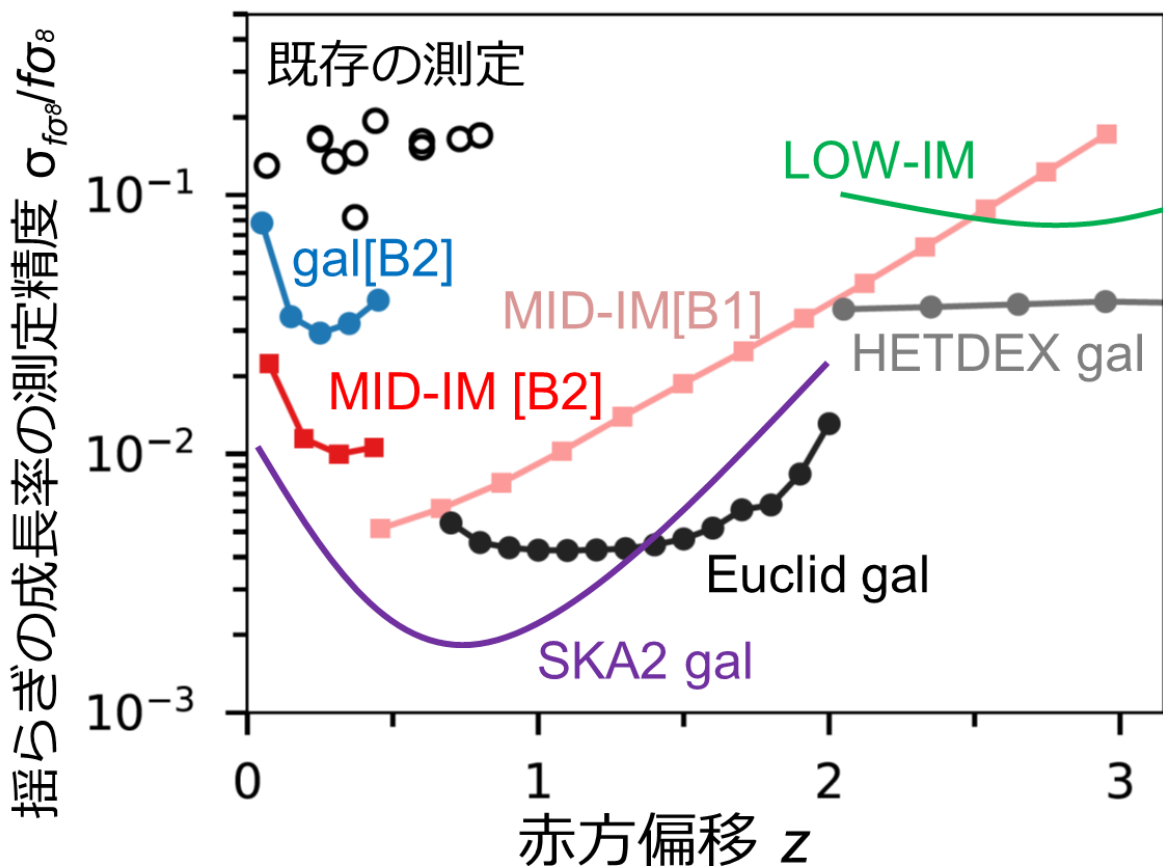
✓ 21cm線フォレスト

□ パルサータイミング

密度揺らぎの成長率の決定精度

□ (サブ)パーセントレベルの宇宙論の決定精度が期待

[注意] 宇宙物理過程についてはシミュレーションに依存 (後述)



パーセントレベルの
宇宙論のためには

□ 初期宇宙

□ 後期宇宙

両者の精密なモデリ
ングが必須

インフレーション宇宙の現状

☑ 原始曲率揺らぎ 観測済 [CMB(WMAP, Planck)]

☑ 原始重力波 観測近し [CMB(LiteBIRD, …)]

☑ 原始揺らぎの統計性 インフレーション検証の
残されたピース

☑ 原始磁場 近年指摘されている

☑ 原始ブラックホール 重要なターゲット

➡ SKAで探査できることを指摘 [後述]

インフレーション宇宙の現状

☑ 原始揺らぎの統計性 (原始非ガウス性)

◆ 重要なパラメータ：3点相関関数の係数 f_{NL}

[i] もし $f_{NL} < 1$ を観測出来たら…

複数場インフレーションのほとんど全てを棄却

[ii] もし $f_{NL} > 1$ を観測出来たら…

最も基本的なインフレーションを棄却



SKAで探る 原始揺らぎの統計性[③]

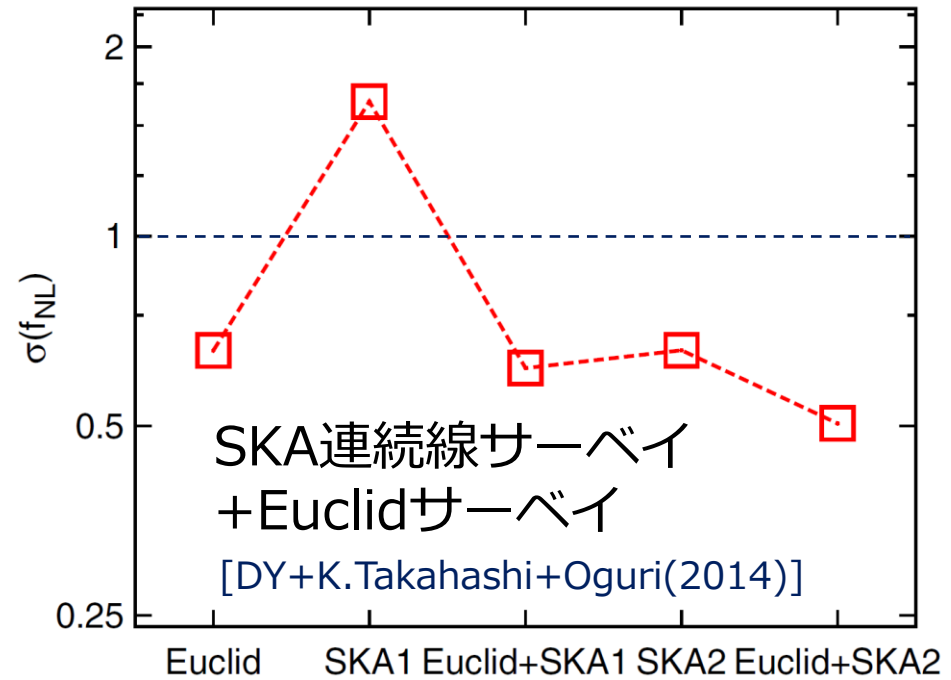
□ 非線形パラメータ f_{NL}

[DY+K.Takahashi+Oguri(2014)]

SKA+可視/光赤外のシナジーにより $\sigma(f_{NL}) < 1$ を達成可能

□ インフレーションの 整合性条件の検証可能性

[DY+K.Takahashi(2015),
Sekiguchi+T.Takahashi
+Tashiro+Yokoyama(2018)]



整合性条件[須山-山口不等式]を検証もしくは棄却出来ると
インフレーションパラダイムそのものに大きなインパクト

インフレーション宇宙の現状

☑ 原始磁場

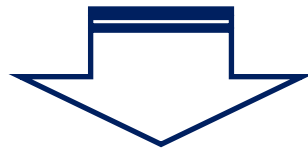
◆ 10^{-16} G 程度の銀河間磁場の種？

☑ 原始ブラックホール

◆ 暗黒物質の候補の1つ

◆ LIGO/Virgoで発見されたブラックホール連星？

◆ 超大質量ブラックホールの起源？



インフレーション宇宙の痕跡の可能性！

SKAで探る 原始磁場・ 原始ブラックホール[③]

□ 原始磁場

- ◆ 21cm線グローバルシグナル

[Minoda+Tashiro+T.Takahashi(2019)]

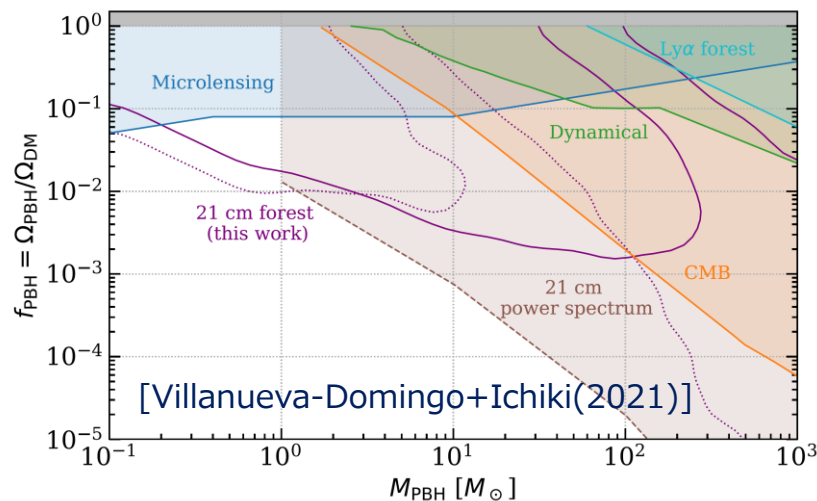
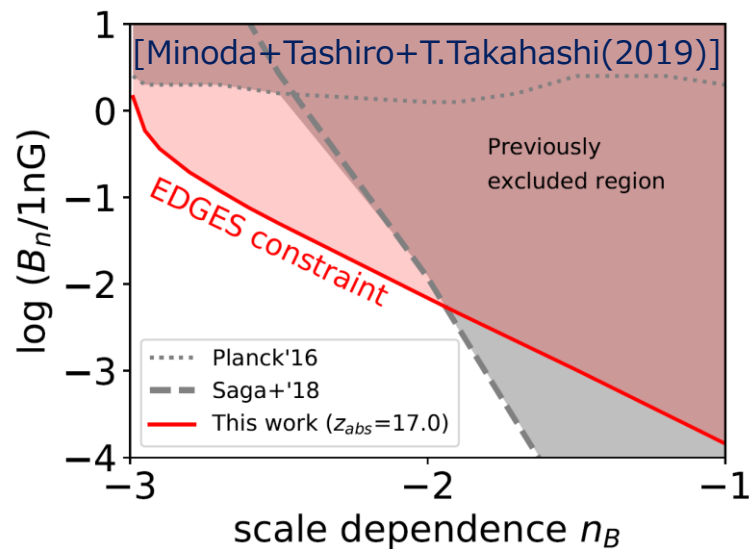
- ◆ パルサータイミング

[Saga+Tashiro+Yokoyama(2020)]

□ 原始ブラックホール

- ◆ 21cm線フォレスト

[Villanueva-Domingo+Ichiki(2021)]



SKAで探る 原始磁場・ 原始ブラックホール[③]

□ 原始磁場

磁場班

- ◆ 21cm線グローバルシグナル

[Minoda+Tashiro+T.Takahashi(2019)]

再電離班

- ◆ パルサータイミング

[Saga+Tashiro+Yokoyama(2019)]

パルサー班

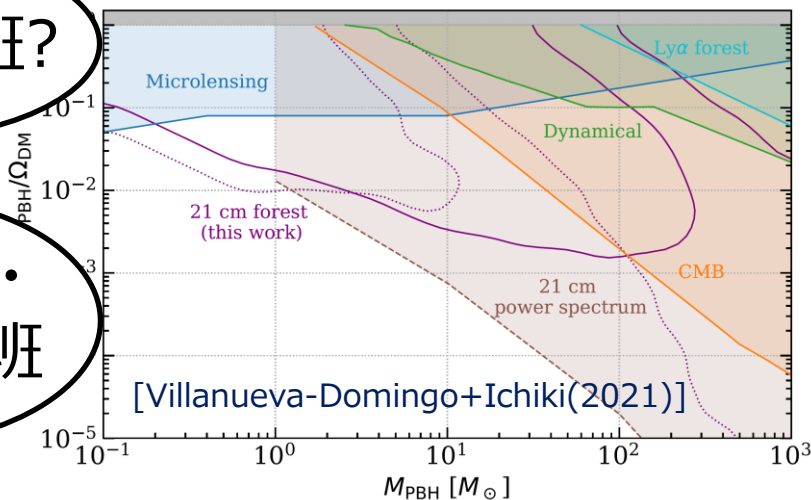
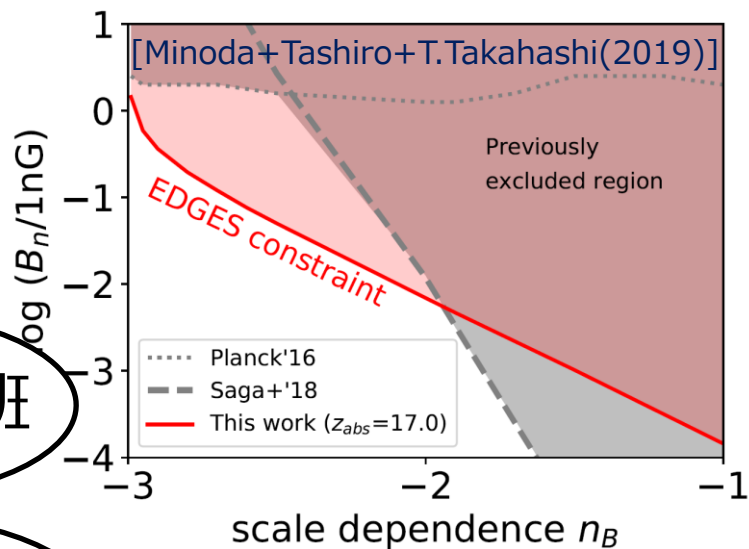
突発天体班?

□ 原始ブラックホール

- ◆ 21cm線フォレスト

[Villanueva-Domingo+Ichiki(2021)]

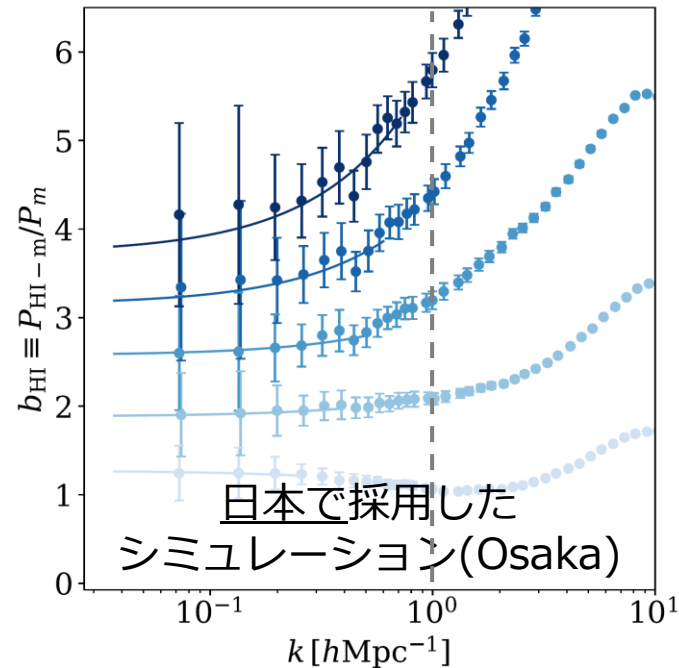
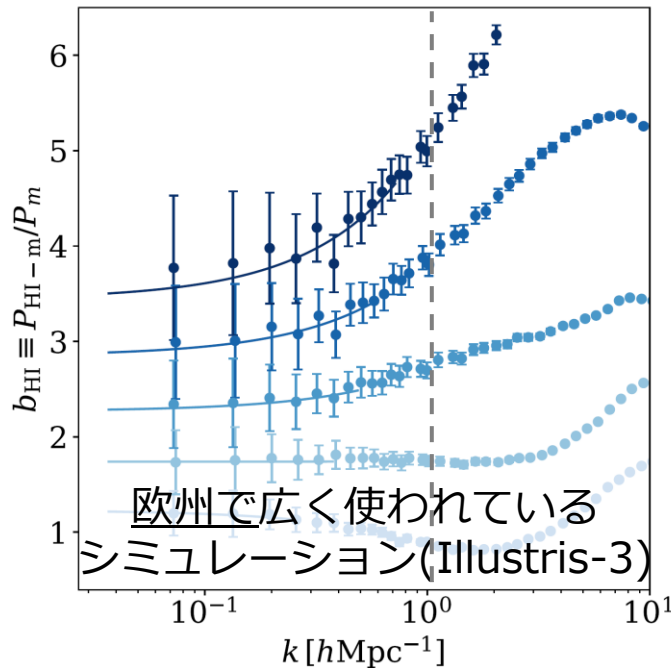
再電離班・
銀河進化班



SKAの観測量の 精密モデリング[②]

再電離班・
銀河進化班
と関連

AGNフィードバックが極端に強い AGNフィードバックがほどほどの強さ



☑ $k > 1 h/\text{Mpc}$ にAGNフィードバックの影響

BAO解析を行ったときに、ピーク的位置が宇宙物理効果の影響をどの程度受けるのかを理解する必要がある

[Ando+Nishizawa+Hasegawa+Shimizu+Nagamine(2019)]



観測



理論

① データ → 観測量

原始揺らぎ
原始磁場
原始BH
など

AGNフィー
ドバック
など

③ インフレーション
の精密モデリング

② 観測量の
精密モデリング

連携

連携

(真の)インフレーション宇宙理論

観測

理論の精密モデリングへの寄与

市来、郡、嵯峨、高橋(慶)、高橋(智)、三倉+、箕田、横山、吉浦、山内* (太字：国際宇宙論SWGへ参加)

[*：国際宇宙論SWG編纂レッドブックに参加]

連携

② 観測量の
精密モデリング

③ インフレーション
の精密モデリング

連携

理論

(真の)インフレーション宇宙理論



観測



理論

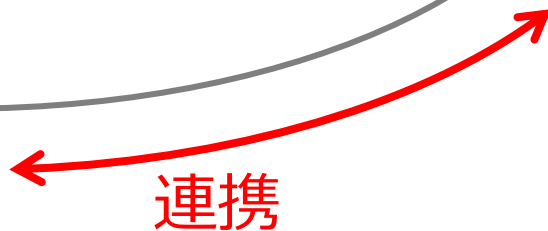
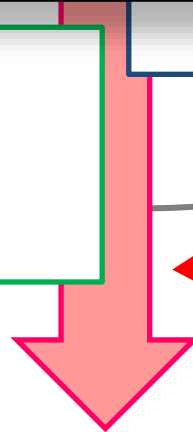
浦堆 ←

観測量の精密モデリングへの寄与

阿部⁺、安藤⁺、市来、島袋、西澤、高橋(慶)、村上⁺、中沢⁺、吉川、吉浦 (+:学生)

② 観測量の精密モデリング

山田、三浦、高橋



連携

(真の)インフレーション宇宙理論



観測



理論



① データ → 観測量

連携

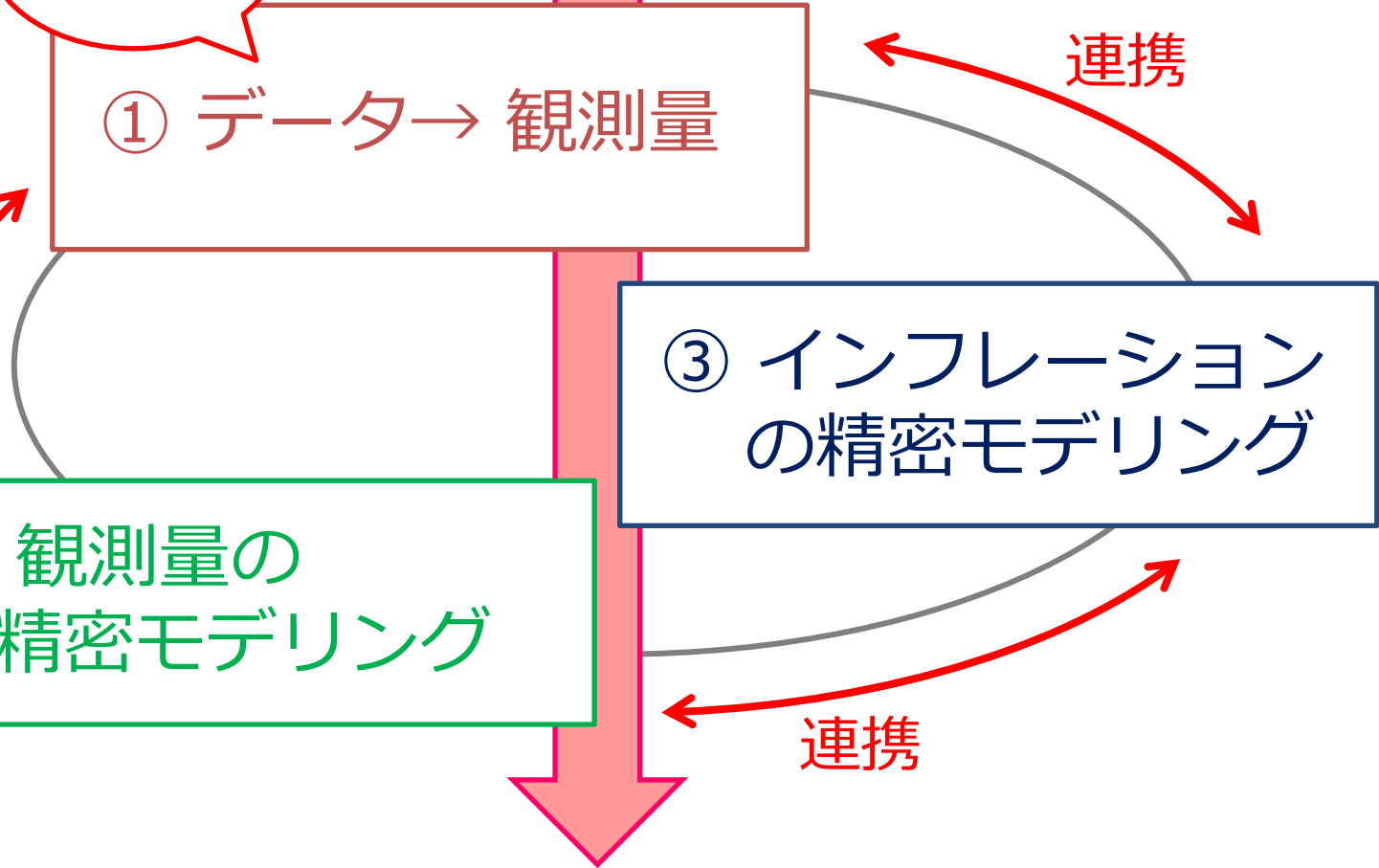
連携

③ インフレーションの精密モデリング

② 観測量の精密モデリング

連携

(真の)インフレーション宇宙理論





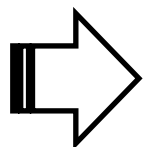
観測

① データ → 観測量

連携

(これまでに寄与はないが、)

正しく理論解釈するために、実データを観測量に適切に結び付ける部分への関与は必須！



宇宙論サーベイ開始時（～10年）で
第一線で活躍できる**人材の育成**を目指す

[データチャレンジ・解析コード開発などへの参加]

理論

(真の)インフレーション宇宙理論

『電波観測による インフレーション宇宙の探求』

SKAでは宇宙論に指向した複数のサーベイが実施されるが、これまで簡便な現象論モデルのみが検討されてきた。より現実的なインフレーションモデルと結び付けるためには後期宇宙と初期宇宙双方の精密なモデリングが鍵となることから、これを大きく推進する。さらに、得られた観測データを正しく理論解釈するために、実データを観測量に結び付けることのできる人材を育成していく。これにより、インフレーション宇宙に多角的に迫っていくことを可能とする。

