

# SKA-JP Cosmology

## SWGの活動



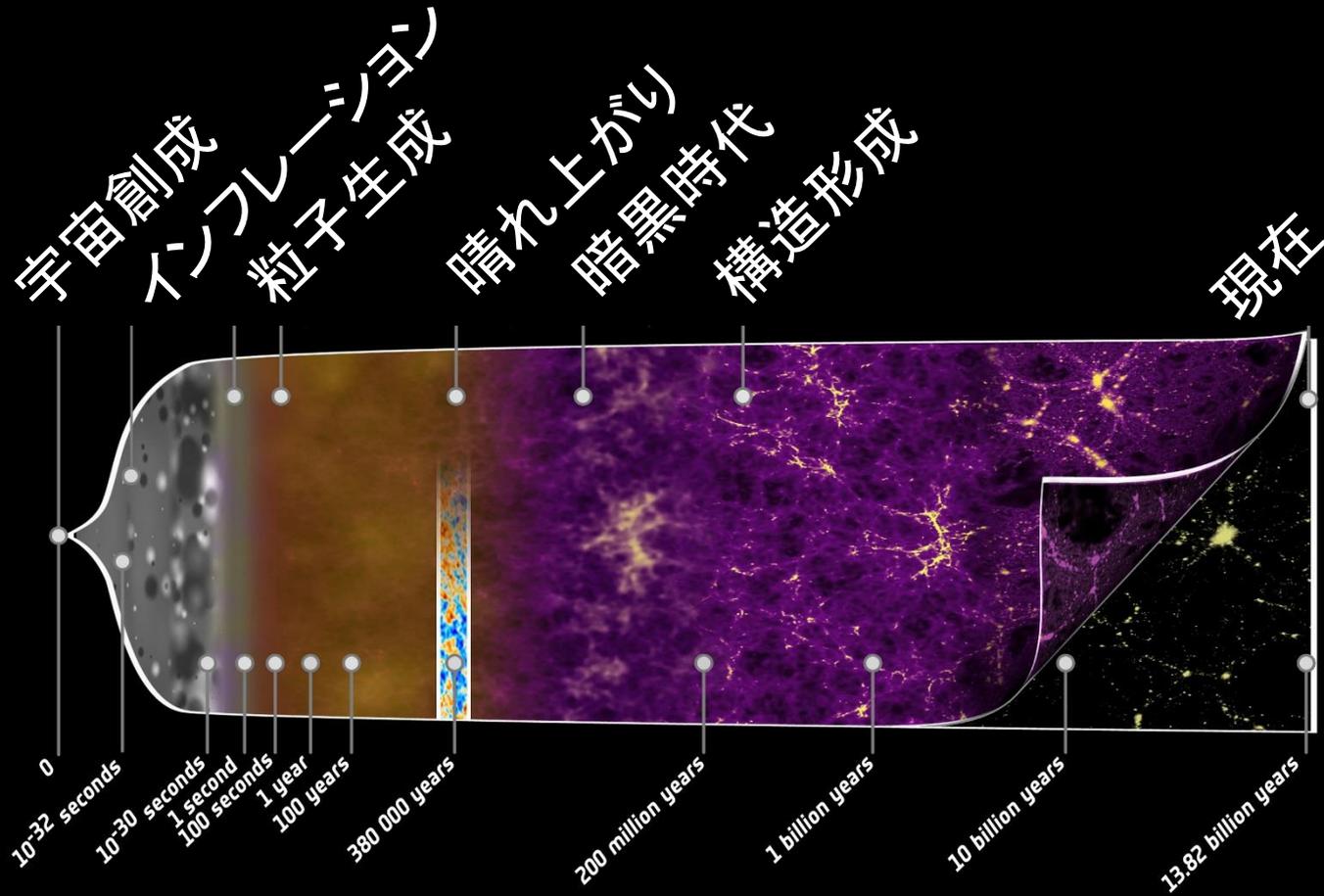
山内大介

東京大学

ビッグバン宇宙国際研究センター

& SKA-JP宇宙論科学検討班

# 標準宇宙論と未解決問題



# 標準宇宙論と未解決問題

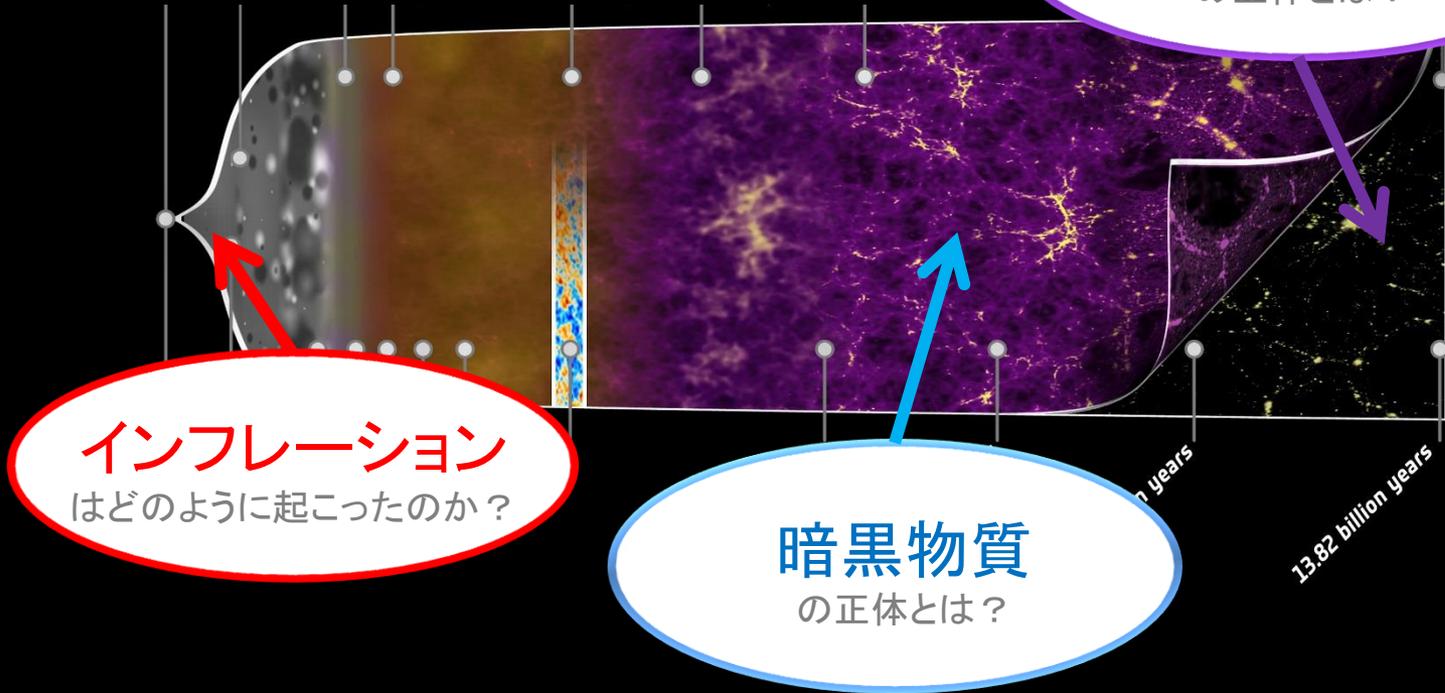
宇宙創成  
インフレーション  
粒子生成  
晴れ上がり  
暗黒時代  
構造形成

暗黒エネルギー  
の正体とは？

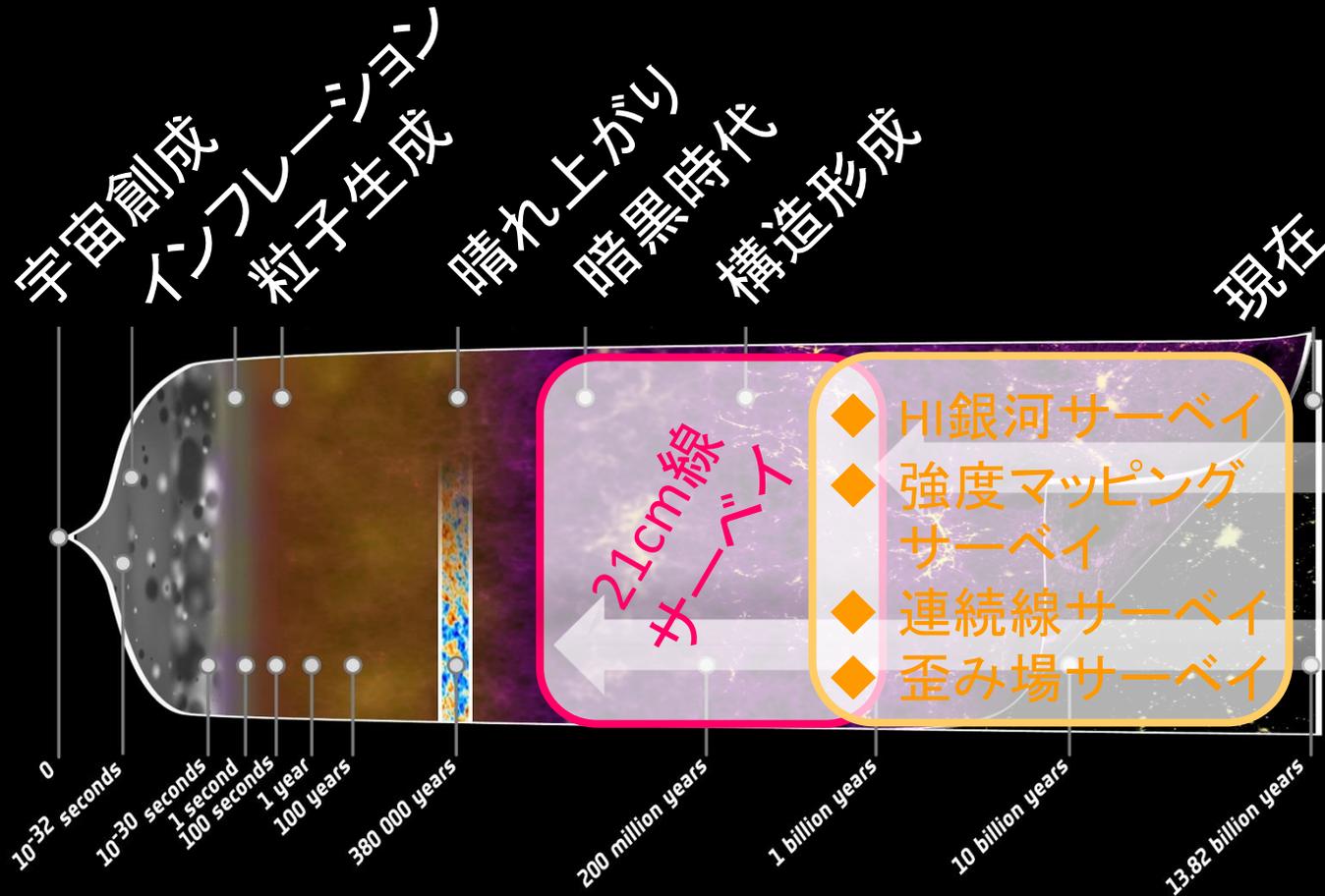
インフレーション  
はどのように起こったのか？

暗黒物質  
の正体とは？

7 years  
13.82 billion years



# SQUARE KILOMETRE ARRAY による宇宙論



## ➤ HI輝線サーベイ

### ✓ HI銀河赤方偏移サーベイ (gal)

- 赤方偏移情報 ( $z < 2$ )
- 銀河分布

新たな観測手法  
最初の観測

[Chang+(2010)]

### ✓ HI強度マッピングサーベイ (IM)

- ピクセル内の全ての21cm放射の積分量を観測
- SKA1でも高赤方偏移( $z < 3$ )+広範な掃天

### ✓ 21cm線(HI)サーベイ

- 再電離期以前の中性水素の分布

新たな分野

## ➤ 銀河連続線サーベイ (conti)

- シンクロトロン放射
- 赤方偏移はわからないが、感度高い ( $z < 6$ )
- 弱重力レンズ効果

系統誤差の削減

観測量	サーベイ	SKA-phase	赤方偏移 (z)	掃天範囲 (deg <sup>2</sup> )	銀河数 (個)
21cm輝線	HI銀河赤方偏移サーベイ (gal)	SKA1 MID(B2)	$z < 0.8$	5,000	$\sim 10^7$
		SKA2	$z < 2$	all-sky	$\sim 10^9$
21cm輝線	HI強度マッピングサーベイ (IM)	SKA1 MID(B1+2) & LOW	$z < 3$	all-sky	--
		SKA2	$z < 3.7$	all-sky	--
シンクロトロン放射	銀河連続光サーベイ (conti)	SKA1 MID(B2)	$z < 6$	all-sky	$\sim 10^8$
		SKA2	$z < 6$	all-sky	$\sim 10^9$
シンクロトロン放射	歪み場弱重力レンズサーベイ	SKA1 MID(B2)	$z < 3$	5,000	3 [arcmin <sup>-2</sup> ]
		SKA2	$z < 6$	all-sky	10 [arcmin <sup>-2</sup> ]
可視/光赤外	Euclid		$z < 2$	15,000	$\sim 10^8$

観測量	サーベイ	SKA phase	SKA1重点課題	観測範囲 (deg <sup>2</sup> )	銀河数 (個)
21cm輝線	HI銀河赤方偏移サーベイ	SKA1 MID(B2)	z<0.8	5,000	~ 10 <sup>7</sup>
		SKA2	z<2	all-sky	~ 10 <sup>9</sup>
21cm輝線	HI強度マッピングサーベイ (HI)	SKA1 MID(B1+2) & LOW	z<3	all-sky	--
		SKA2	z<3.7	all-sky	--
シンクロトロン放射	銀河連続光サーベイ (conti)	SKA1 MID(B2)	z<6	all-sky	~ 10 <sup>8</sup>
		SKA2	z<6	all-sky	~ 10 <sup>9</sup>
シンクロトロン放射	歪み場弱重力レンズサーベイ	SKA1 MID(B2)	z<3	5,000	3 [arcmin <sup>-2</sup> ]
		SKA2		all-sky	10 [arcmin <sup>-2</sup> ]
可視/光赤外	Euclid		z<2	15,000	~ 10 <sup>8</sup>

KSP  
SKA1重点課題

KSP

KSP

KSP

“Billion galaxy survey”:  
究極の宇宙論サーベイ

観測量	サー				銀河数 (個)
21cm輝線	HI銀河赤方偏移 サーベイ (gal)	SKA2	$z < 2$	all-sky	$\sim 10^7$
					$\sim 10^9$
21cm輝線	HI強度マッピン グサーベイ (IM)	SKA1 MID(B1+2) & LOW	$z < 3$	all-sky	--
		SKA2	$z < 3.7$	all-sky	--
シンクロ トロン放射	銀河連続光 サーベイ (conti)	SKA1 MID(B2)	$z < 6$	all-sky	$\sim 10^8$
		SKA2	$z < 6$	all-sky	$\sim 10^9$
シンクロ トロン			$z < 3$	5,000	3 [arcmin <sup>-2</sup> ]
			$z < 6$	all-sky	10 [arcmin <sup>-2</sup> ]
可視/光赤外	Euclid		$z < 2$	15,000	$\sim 10^8$

SKA1であっても  
Euclidに匹敵！

# SKA-JP宇宙論班が狙うサイエンス

## 1. 広視野：「超地平線スケール宇宙論」

- ✓ 密度揺らぎ：線形領域
- ✓ 宇宙物理過程：介在しない

## 2. 深宇宙：「21cm線観測による深宇宙探査」

- ✓ 密度揺らぎ：小スケールまで線形領域
- ✓ 宇宙物理過程：再電離班との協働により分離

## 3. 理論予言：「精緻な理論模型構築と暗黒エネルギー」

クリーンな宇宙論観測

# SKA-JP宇宙論班が狙うサイエンス

1. 広視野：「超地平線スケール宇宙論」————→ 斎藤さん

- ✓ 密度揺らぎ：線形領域
- ✓ 宇宙物理過程：介在しない

2. 深宇宙：「21cm線観測による深宇宙探査」→ 浅羽さん  
田代さん  
井上さん

- ✓ 密度揺らぎ：小スケールまで線形領域 島袋さん
- ✓ 宇宙物理過程：再電離班との協働により分離 → 久保田さん  
吉浦さん

3. 理論予言：「精緻な理論模型構築と暗黒エネルギー」

# SKA-JP宇宙論班が狙うサイエンス

1. 広視野：「超地平線スケール宇宙論」————→ 斎藤さん

- ✓ 密度揺らぎ：線形領域
- ✓ 宇宙物理過程：介在しない

2. 深宇宙：「21cm線観測による深宇宙探査」→ 浅羽さん  
田代さん  
井上さん

- ✓ 密度揺らぎ：小スケールまで線形領域 島袋さん
- ✓ 宇宙物理過程：再電離班との協働により分離 → 久保田さん  
吉浦さん

3. 理論予言：「精緻な理論模型構築と暗黒エネルギー」

# 目的：銀河バイアスを通じた インフレーション機構の決定

最後の  
ピース

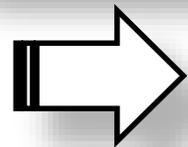
➤ 原始揺らぎの統計性

観測済み

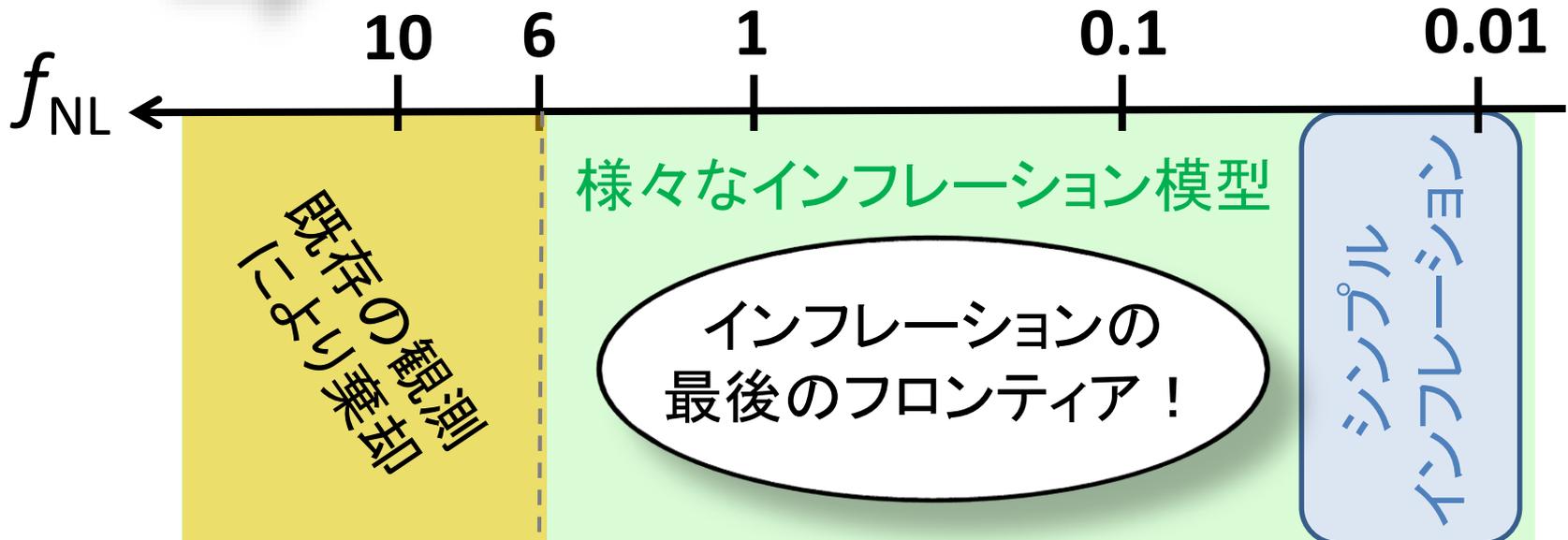
➤ 原始曲率揺らぎ

観測近し

➤ 原始重力波

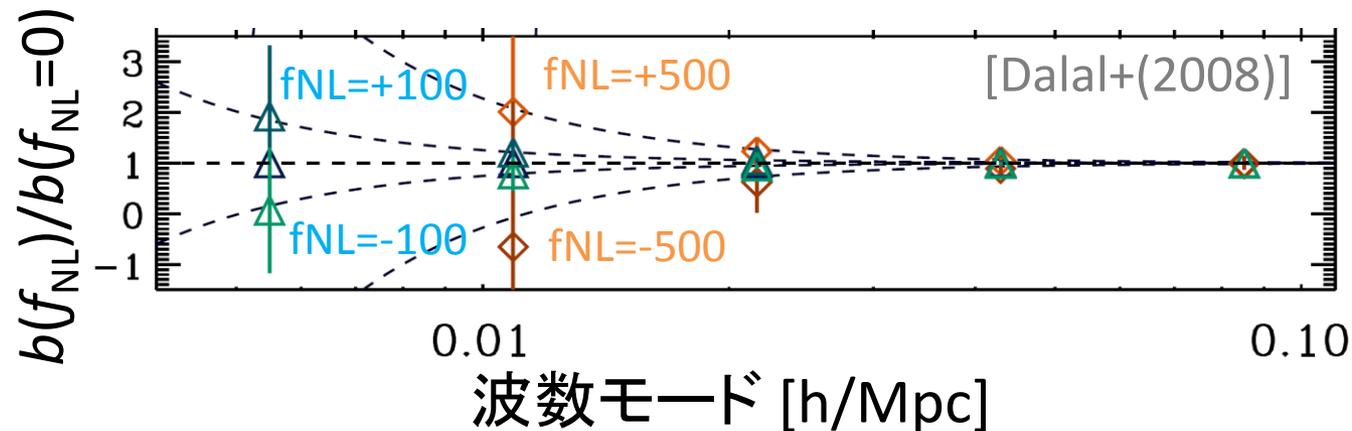


SKA銀河サーベイで探査可能



# 原始非ガウス性探査

- 原始非ガウス性 → スケールに依存するバイアス



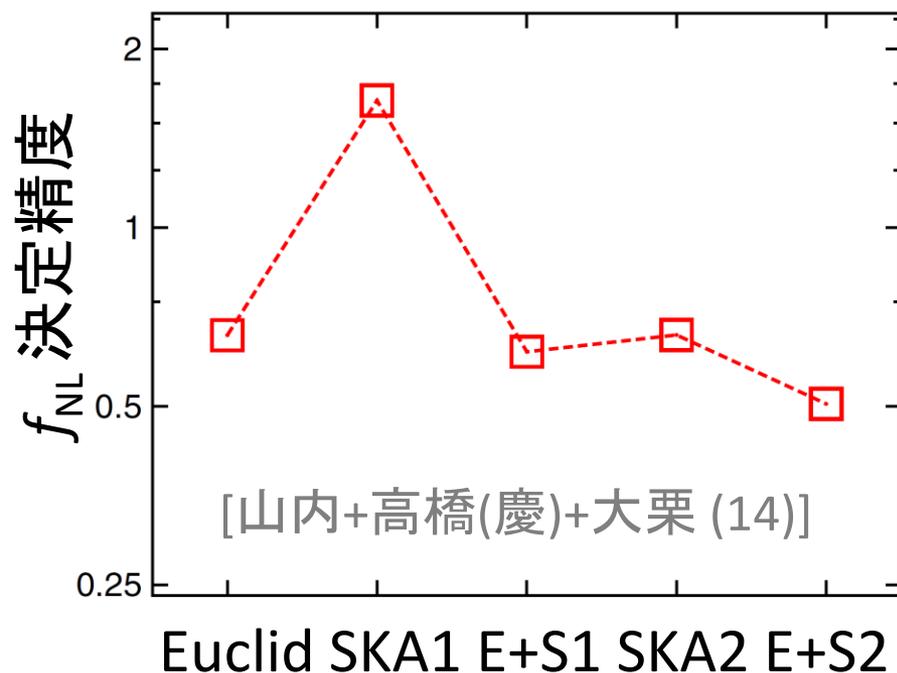
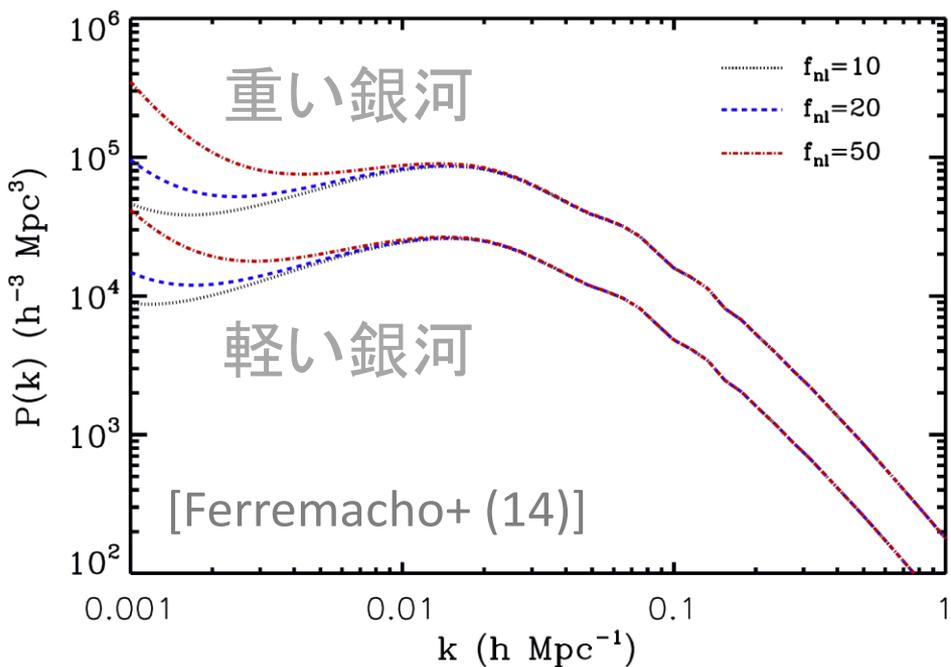
- 超地平線スケール観測が鍵！

✓ マルチトレーサー法 [Seljak (2009)]

: 形態分類した銀河サンプルを解析することで、コズミックバリエーションに依らずにバイアスの「比」を決定できる！

# ターゲット：形態分類した 銀河サンプルのパワースペクトル

Euclid : 5つの質量ビン  
SKA[連続波]: 5種類の形態分類



- 性能要求
- ✓ 3  $\mu\text{Jy}$  depth
  - ✓ 分解能 : 1 arcsec
  - ✓ 掃天 : 30,000 deg<sup>2</sup>
  - ✓ 積分時間 : 10<sup>4</sup>時間

# 将来計画

原始非ガウス性の理論的研究は  
我が国による多くの重要な寄与  
[SKA-JP SWG : 郡, 関口, 高橋(智),  
高橋(慶), 横山]

## ➤ 原始非ガウス性 + マルチトレーサー法

✓ 原始ガウス性の一般化 :  $f_{\text{NL}}, \tau_{\text{NL}}, g_{\text{NL}}, f_{\text{NL}}^{\text{eq}}, f_{\text{NL}}^{\text{orth}}, \dots$

[e.g. Gong+Yokoyama (2011), Yokoyama+Matsubara (2011)]

これらを網羅的に調べなければ真のインフレーション模型  
の全貌を明らかにすることはできない！

✓ 無矛盾条件 (須山-山口不等式)

$$\tau_{\text{NL}} \geq (36/25) (f_{\text{NL}})^2 \quad [\text{Suyama+Yamaguchi (2010)}]$$

インフレーション模型を決定付ける！

# まとめ

- 電波宇宙論で未解決問題に決定打を！

**インフレーション**

はどのように起こったのか？

**Square  
Kilometre  
Array**

**暗黒エネルギー**

の正体とは？

**暗黒物質**

の正体とは？