

SKAによる宇宙論



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

目次

1. 国際SKAおよびSKA-JPの宇宙論SWG

2. SKAサイエンスブック

2.1 宇宙論の現状と未解決問題

2.2 国際SKAが狙うサイエンス

2.3 SKA-JPが狙うサイエンス

3. まとめ

目次

1. 国際SKAおよびSKA-JPの宇宙論SWG

2. SKAサイエンスブック

2.1 宇宙論の現状と未解決問題

2.2 国際SKAが狙うサイエンス

2.3 SKA-JPが狙うサイエンス

3. まとめ

國際SKA「宇宙論」科学検討班

R. Maartens (W. Cape; Chair) F. Abdalla (College London) S. Furlanetto (California)
J. Pritchard (Imperial College) D. Bacon (Portsmouth) G. Bernardi (SKA)
C. Blake (Swinburne) S. Inoue (Max Planck Inst.) K. Takahashi (Kumamoto)
M. Jarvis (Oxford) M. Santos (W. Cape) P. Ferreira (Oxford)
J.-L. Starck (CEA-CNRS) S. Prunet (IAP) X. Chen (NAO)
T.R. Choudhury (NCRA) A. Cooray (California) T. Chang (ASIAA)
U.-L. Pen (CITA) S. Zaroubi (Groningen) M. Brown (U. Manchester)
D. J. Schwarz (Bielefeld) H.-R. Kloeckner (MPIfR) P. Bull (ITA)
A. Raccanelli (CalTech) C. Jackson (Curtin) C. Cress (U. W. Cape)
P. Patel (SKA) S. Colafrancesco (Wits) T. Kitching (UCL)
L. Miller (Oxford) S. Bridle (Manchester) C. Clarkson (Cape Town)
S. Prunet (IAP) B. Joachimi (UCL) B. Nichol (Portsmouth)
J. Weller (LMU) S. Borgani (INAF) M. Viel (INAF)
F. Perrota (INAF) G. De Lucia (INAF) J.-P. Kneib (EPFL)
B. Metcalf (Bologna) M. Kunz (Geneva) M. Magliocchetti (INAF-IAPS)
G. Zhao (Portsmouth) S. Camera (Lisboa) M. Kunz (Geneva)

国際SKAサイエンスブック「宇宙論」

- 1501.04076 Cosmology with the SKA – overview
Maartens et al.
- 1501.04035 Cosmology from HI galaxy surveys with the SKA
Abdalla et al.
- 1501.03978 Euclid & SKA Synergies
Kitching et al. (including [Takahashi](#), [Oguri](#), [Yamauchi](#))
- 1501.03892 Weak lensing simulations for the SKA
Patel et al.
- 1501.03989 Cosmology with a SKA HI intensity mapping survey
Santos et al.
- 1501.03859 Overview of Complementarity and Synergy with
Other Wavelengths in Cosmology in the SKA era
[Takahashi](#) et al. (including [Oguri](#), [Yamauchi](#))

国際SKAサイエンスブック「宇宙論」

- 1501.03851 Cosmology on the largest scales with the SKA
Camera et al.
- 1501.03840 Model-independent constraints on dark energy and modified gravity with the SKA
Zhao et al.
- 1501.03828 Weak gravitational lensing with the Square Kilometre Array
Brown et al.
- 1501.03825 Cosmology with SKA radio continuum surveys
Jarvis et al.
- 1501.03821 Measuring redshift-space distortions with future SKA surveys
Raccanelli et al.
- 1501.03820 Testing foundations of modern cosmology with SKA all-sky surveys
Schwarz et al.

SKA-JP「宇宙論」科学検討班

日本版

Square Kilometre Array

サイエンスブック

第3章 宇宙論

3.1. イントロダクション:
標準宇宙論と未解決問題

3.2. 国際SKAのサイエンス

3.3 日本が狙うサイエンス

市來淨與	(名古屋大)
井上進	(Max Planck Int.)
大栗真宗	(東京大)
大山祥彦	(総合研究大学院大)
郡和範	(KEK)
島袋隼士	(名古屋大)
関口豊和	(Helsinki大)
高橋慶太郎	(熊本大)
高橋智	(佐賀大)
○山内大介	(東京大)
横山修一郎	(立教大)
吉川耕司	(筑波大)

日本SKAコンソーシアム

科学検討班

目次

1. 国際SKAおよびSKA-JPの宇宙論SWG

2. SKAサイエンスブック

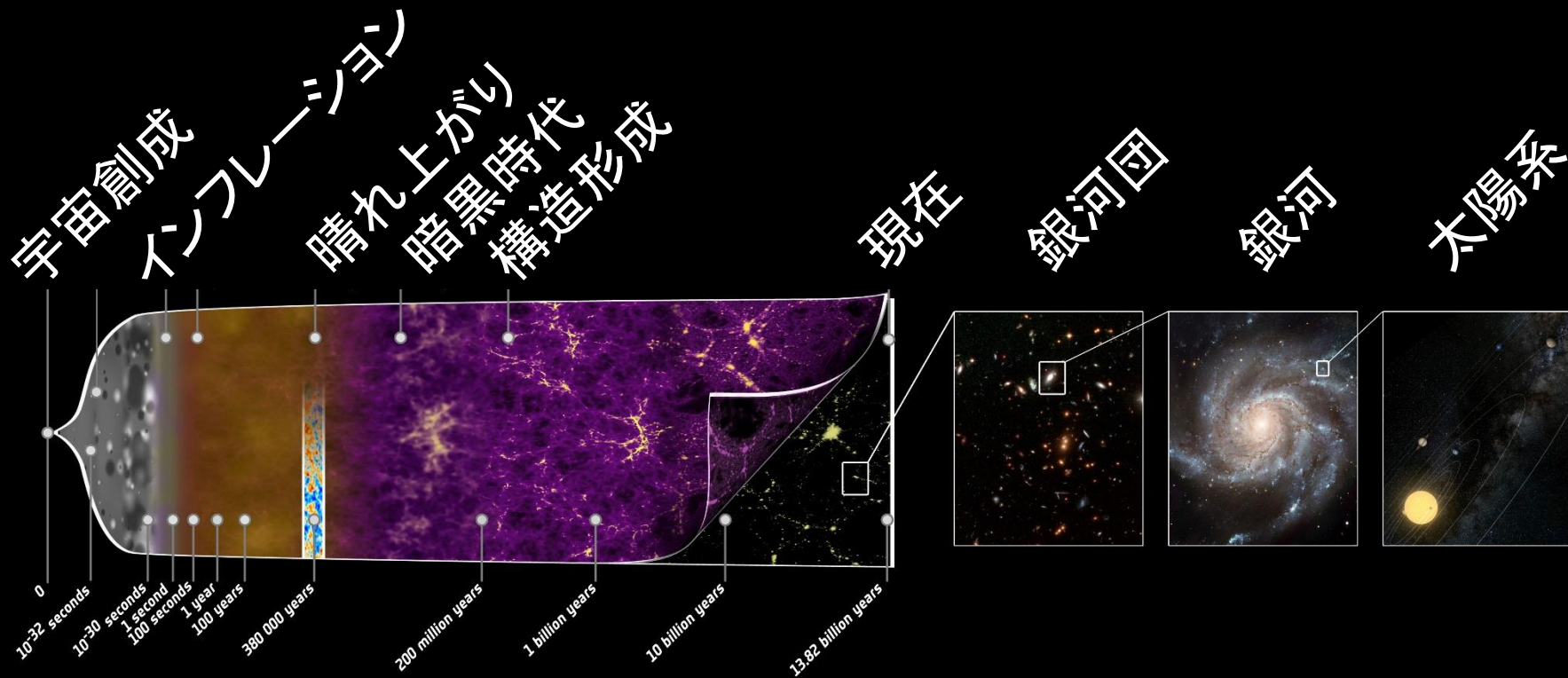
2.1 宇宙論の現状と未解決問題

2.2 国際SKAが狙うサイエンス

2.3 SKA-JPが狙うサイエンス

3. まとめ

標準宇宙論



✓ 一様等方宇宙模型

- 通常物質
- 冷たい暗黒物質
- 宇宙項(暗黒エネルギー)

6-パラメータ標準宇宙模型： Λ CDM

構成割合

$\Omega_b h^2$: 通常物質

$\Omega_c h^2$: 暗黒物質

宇宙物理

τ : 光学的深さ

幾何学

H_0 : ハッブル定数

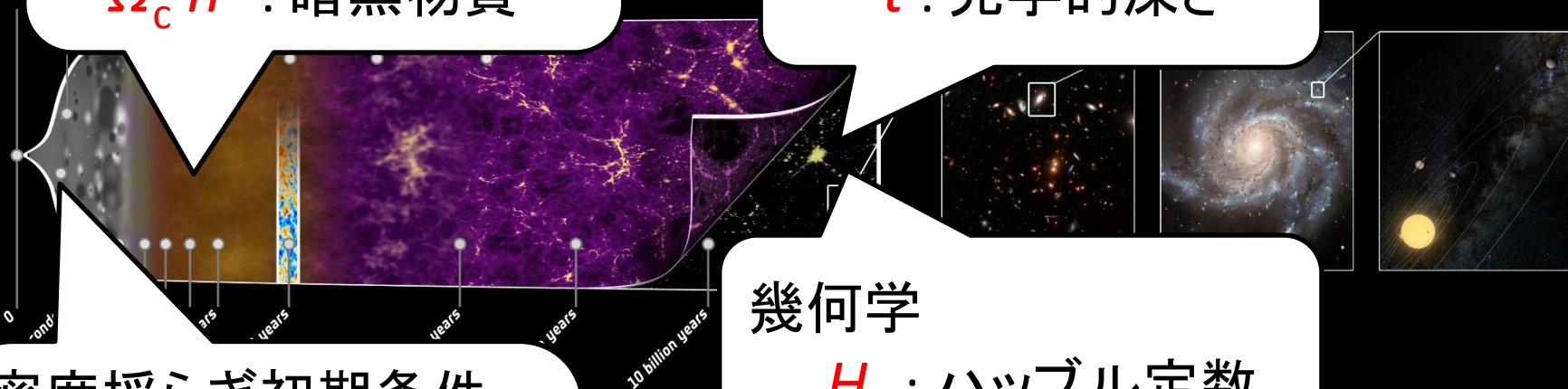
密度揺らぎ初期条件

$$P_R(k) = A_s (k/k_0)^{n_s - 1}$$

A_s : 振幅

n_s : 冪

これだけでほぼ全ての
観測データを説明できる！



6-パラメータ標準宇宙模型： Λ CDM

➤ 密度揺らぎの初期条件

$$P_R(k) \sim 2 \times 10^{-9} (k/0.05 \text{Mpc}^{-1})^{-0.04}$$

: インフレーション模型と整合的

➤ 宇宙の構成成分

$$\Omega_b \sim 0.05 : \text{通常物質}$$

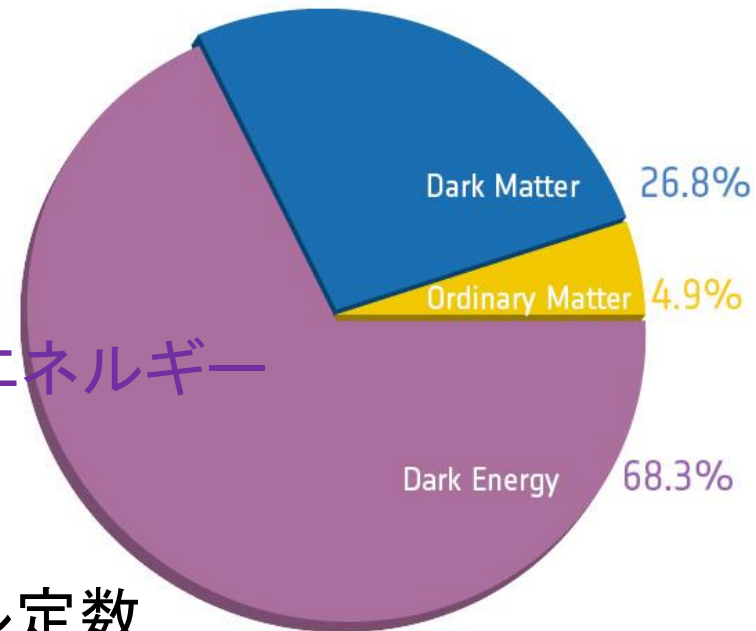
$$\Omega_c \sim 0.27 : \text{暗黒物質}$$

$$\Omega_\Lambda = 1 - \Omega_c - \Omega_b \sim 0.68 : \text{暗黒エネルギー}$$

➤ 幾何学と宇宙物理

$$H_0 \sim 70 \text{ [km/s/Mpc]} : \text{ハッブル定数}$$

$$\tau \sim 0.1 : \text{光学的深さ}$$



6-パラメータ標準宇宙模型： Λ CDM

- 密度揺らぎの初期条件

$$P_R(k) \sim 2 \times 10^{-9} (k/0.05 \text{Mpc}^{-1})^{-0.04}$$

: インフレーション模型と整合的

どうやって
起こった?

- 宇宙の構成成分

$$\Omega_b \sim 0.05 : \text{通常物質}$$

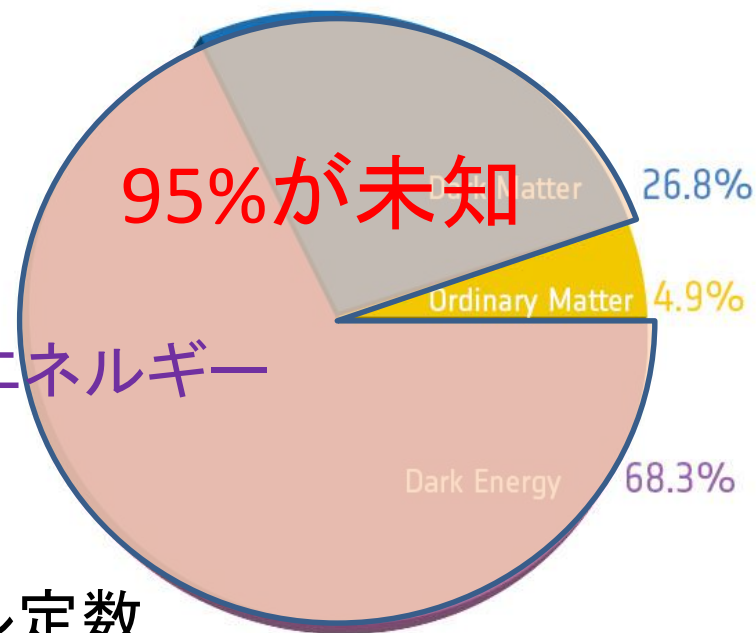
$$\Omega_c \sim 0.27 : \text{暗黒物質}$$

$$\Omega_\Lambda = 1 - \Omega_c - \Omega_b \sim 0.68 : \text{暗黒エネルギー}$$

- 幾何学と宇宙物理

$$H_0 \sim 70 \text{ [km/s/Mpc]} : \text{ハッブル定数}$$

$$\tau \sim 0.1 : \text{光学的深さ}$$



宇宙論の未解決問題

インフレーション

はどのように起こったのか？

暗黒エネルギー

の正体とは？

暗黒物質

の正体とは？

宇宙論的観測手法

➤ 宇宙マイクロ波背景輻射

➤ 宇宙大規模構造

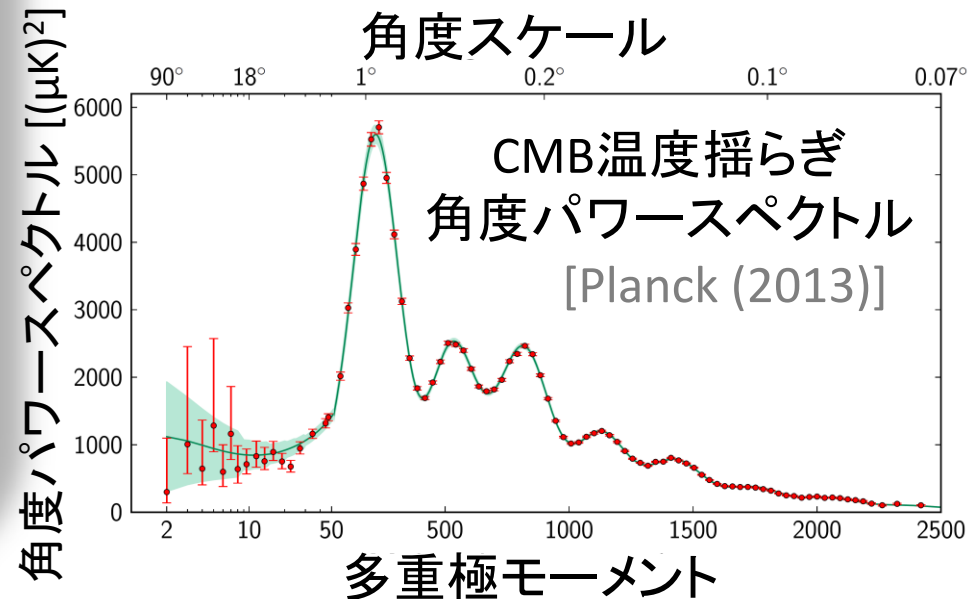
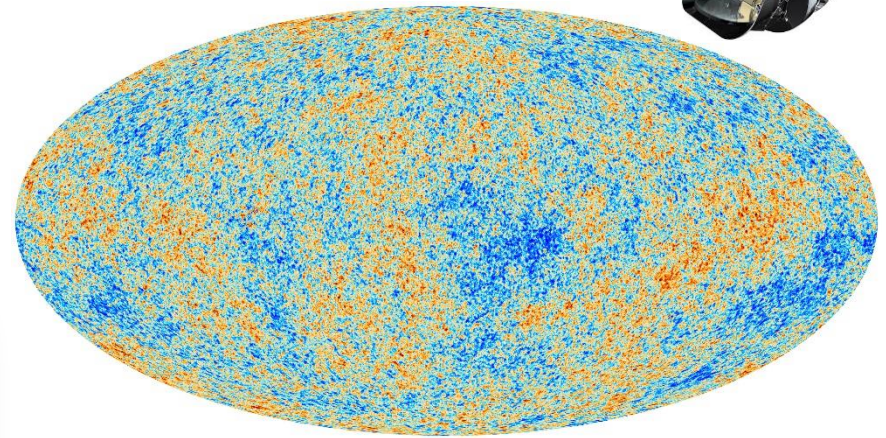
- バリオン音響振動
- 赤方偏移方向歪み
- 重力レンズ効果

宇宙論的観測手法

宇宙マイクロ波背景輻射

- ✓ 標準宇宙論を確立
[COBE, WMAP, Planck,...]
- ✓ B-モード偏光観測
→ 原始重力波を観測?
[BICEP2 (2014)]
- ✓ 弱重力レンズ観測
[SPTPol, PolarBear and more]
- ✓ スペクトル歪み

CMB温度揺らぎ
全天マップ



宇宙論的観測手法

➤ 宇宙マイ

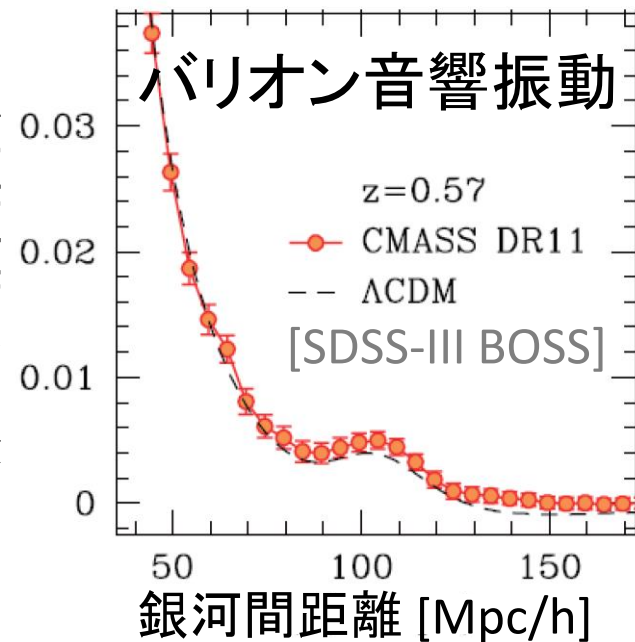
✓ 音響ホライズン
→ 距離指標

➤ 宇宙大規模構造

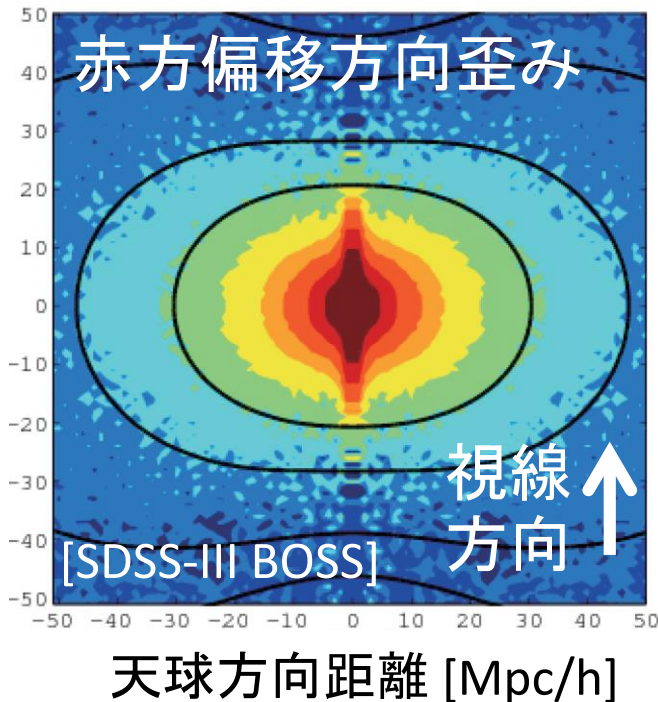
- バリオン音響振動
→ 杉山さんトーク
- 赤方偏移方向歪み

- ✓ 銀河固有速度
→ 揺らぎの成長率
- ✓ 暗黒エネルギー探査

銀河2点相関関数



視線方向距離 [Mpc/h]

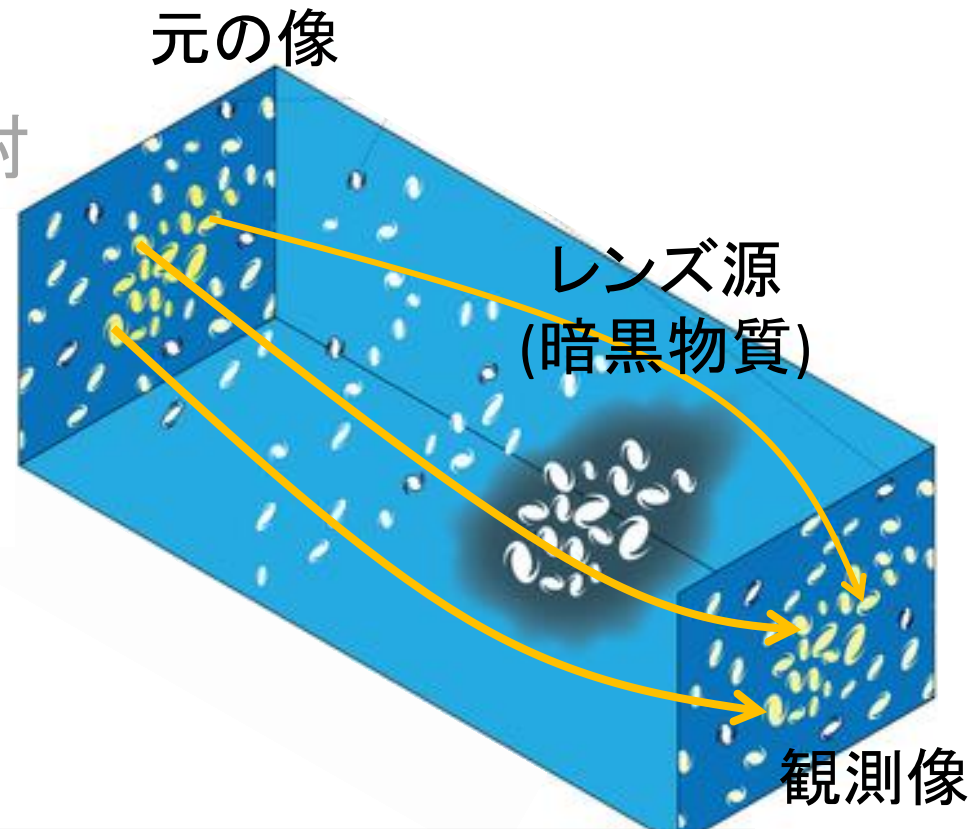


宇宙論的観測手法

➤ 宇宙マイクロ波背景放射

➤ 宇宙大規模構造

- バリオン音響振動
- 赤方偏移方向歪み
- 重力レンズ効果



- ✓ 前景暗黒物質による銀河像の歪み
- ✓ 密度揺らぎとその進化

目次

1. 国際SKAおよびSKA-JPの宇宙論SWG

2. SKAサイエンスブック

2.1 宇宙論の現状と未解決問題

2.2 国際SKAが狙うサイエンス

2.3 SKA-JPが狙うサイエンス

3. まとめ

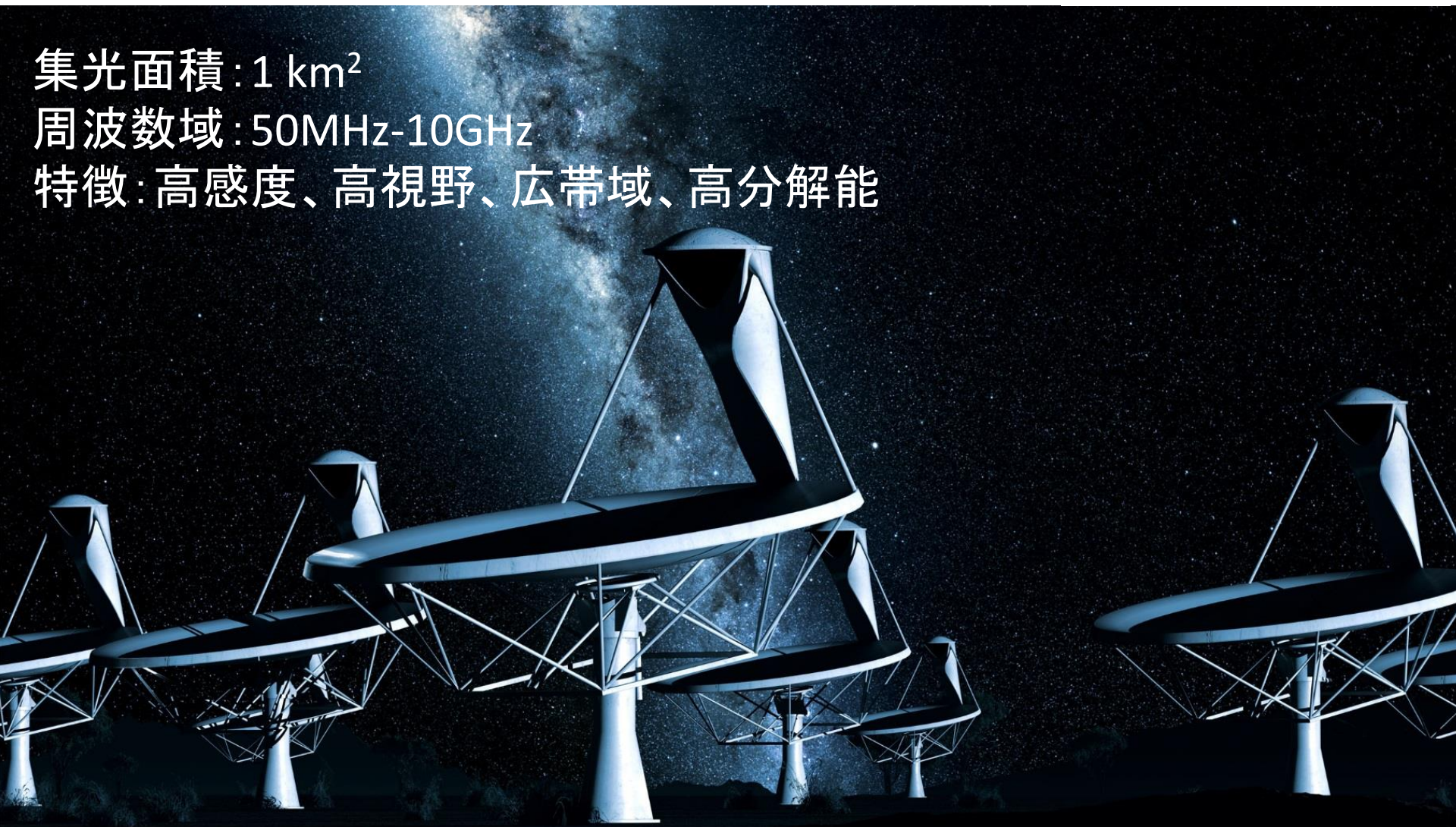
Square Kilometre Array



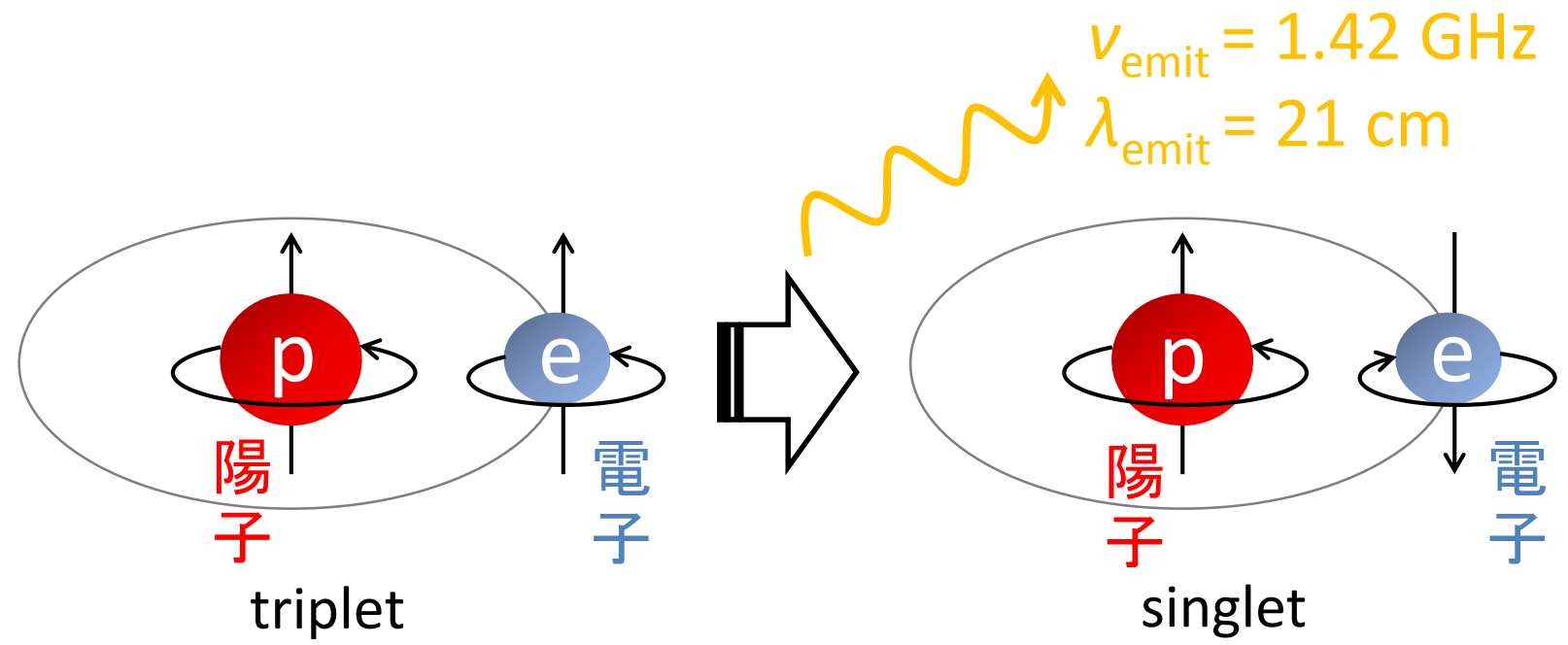
集光面積: 1 km^2

周波数域: 50MHz-10GHz

特徴: 高感度、高視野、広帯域、高分解能



中性水素の(赤方偏移した)21cm線



- 中性水素原子の超微細構造
- 赤方偏移した周波数 $\nu_{\text{obs}} = 1.42 / (1+z) \text{ GHz}$

(参考) $\left\{ \begin{array}{l} \bullet 50 \text{ MHz} \rightarrow z=27 \\ \bullet 70 \text{ MHz} \rightarrow z=19 \end{array} \right.$

→ 杉山さんトーク

➤ 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線サーベイ → 大山さん、関口さんトーク

- 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		赤方偏移 (z)	掃天範囲 (deg ²)	銀河数 (個)
21cm輝線	HI銀河赤方偏移 サーベイ (gal)	SKA1 MID/SUR	z<0.7	5,000	~ 10 ⁷
		SKA2	z<2	30,000	~ 10 ⁹
21cm輝線	HI強度マッピング サーベイ (IM)	SKA1 MID/SUR	z<3	30,000	--
		SKA2	z<3.7	30,000	--
シンクロ トロン放射	銀河連続光 サーベイ (conti)	SKA1 MID	z<6	30,000	~ 10 ⁸
		SKA2	z<6	30,000	~ 10 ⁹
可視/光赤外	e.g. Euclid		z<2	15,000	~ 10 ⁸

$$\Delta\nu/\nu = 0.3 \text{ @ } 0.8\text{-}1.7[\text{GHz}]$$

$$\Delta\theta = 1 \text{ [arcsec]}$$

$$S = 1 \text{ [\mu Jy]}$$

$$t_{\text{int}} = 10^4 \text{ [hour]}$$

観測量	サーベイ	観測機	赤方偏移	観測数	銀河数 (個)
21cm輝線	HI銀河赤方偏移 サーベイ (gal)	SKA2	$z < 2$	30,000	$\sim 10^7$
					$\sim 10^9$
21cm輝線	HI強度マッピング サーベイ (IM)	SKA1 MID/SUP	$z < 3$	30,000	--
		SKA2	$z < 3.7$	30,000	--
シンクロ トロン放	銀河団結核 サーベイ (GC)	SKA1	$z < 6$	30,000	$\sim 10^8$
			$z < 6$	30,000	$\sim 10^9$
可視/光赤外	e.g.		$z < 2$	15,000	$\sim 10^8$

“Billion galaxy survey”:
究極の宇宙論サーベイ

SKA1
MID/SUP

SKA1であっても
Euclidに匹敵!

$\Delta\nu/\nu = 0.3 @ 0.8-1.7[\text{GHz}]$
 $\Delta\theta = 1 [\text{arcsec}]$

$S = 1 [\mu\text{Jy}]$
 $t_{\text{int}} = 10^4 [\text{hour}]$

国際SKAが狙うサイエンス

- 日本版
Square Kilometre Array
- SKA-JPサイエンスブック3.2節
 - ✓ バリオン音響振動
 - ✓ 赤方偏移空間歪み
 - ✓ HI強度マッピング: 前景放射
 - ✓ HIトポロジー
 - ✓ 超地平線スケール宇宙論
 - ✓ 弱重力レンズ
 - ✓ 銀河団宇宙論
 - ✓ 宇宙原理

日本SKAコンソーシアム

科学検討班

**Advancing Astrophysics
with the Square Kilometre Array**

9-13 June 2014, Giardini Naxos, Italy
#skascicon14

2014 marks 10 years since the publication of the comprehensive 'Science with the Square Kilometre Array' book and 15 years since the first such volume appeared in 1999. In that time numerous and unexpected advances have been made in the fields of astronomy and physics relevant to the capabilities of the Square Kilometre Array (SKA). This meeting will facilitate the publication of a new, updated science book, which will be relevant to the current astrophysical context.

Scientific Organising Committee	
Robert Braun (SKAO) - co-Chair	Michael Kramer (MPI-R)
Grazia Umana (INAF-OA-CeS) - co-Chair	Roy Maartens (Univ. Western Cape)
Tyler Bourke (SKAO)	Tom Cloutman (ASTRON)
Rob Fender (Oxford)	Isabella Prandoni (INAF-IRA)
Federica Govoni (INAF-OA Cagliari)	Nicholas Seymour (CASIS)
Jan Green (SKAO)	Ben Stappers (MNRU-ROD)
Mohan Meera Lovell	Laura Staveley-Smith (COAR)
Miklavc, Johnston-Hollitt (Victoria Univ. Wellington)	Won-Whi Tan (NADC)
Loen Koopmans (Kapteyn Astronomical Institute)	Jeff Wagg (SKAO)

Enquiries: ska-june14@skatelescope.org
or visit: indico.skatelescope.org/event/AdvancingAstrophysics2014

Facebook: Square Kilometre Array | Twitter: @SKA_talescope

RadioNet | INAF | SKAO

国際SKAが狙うサイエンス

日本版
Square Kilometre Array

➤ SKA-JPサイエンスブック3.2節

✓ バリオン音響振動

✓ 赤方偏移空間歪み

✓ HI強度マッピング: 前景放射

✓ HIトポロジー

✓ 超地平線スケール宇宙論

✓ 弱重力レンズ

✓ 銀河団宇宙論

✓ 宇宙原理

日本SKAコンソーシアム

科学検討班

Advancing Astrophysics with the Square Kilometre Array

9-13 June 2014, Giardini Naxos, Italy
#skascicon14

2014 marks 10 years since the publication of the comprehensive 'Science with the Square Kilometre Array' book and 15 years since the first such volume appeared in 1999. In that time numerous and unexpected advances have been made in the fields of astronomy and physics relevant to the capabilities of the Square Kilometre Array (SKA). This meeting will facilitate the publication of a new, updated science book, which will be relevant to the current astrophysical context.

Scientific Organising Committee	
Robert Braun (SKAO) - co-Chair	Michael Kramer (MPI-R)
Grazia Umana (INAF-OA-CeS) - co-Chair	Roy Maartens (Univ. Western Cape)
Tyler Bourke (SKAO)	Tom Clavin (ASTRON)
Rob Fender (Oxford)	Isabella Prandoni (INAF-IRA)
Federica Govoni (INAF-OA-Cagliari)	Nicholas Seymour (CASIS)
Jon Green (SKAO)	Ben Stappers (MNRU-ANU)
Mohan Mehta (Lund)	Laura Staveley-Smith (CSIAR)
Mikhael Johnston-Hollt (Victoria Univ. Wellington)	Won-Whi Tan (NADC)
Loen Koopmans (Kapteyn Astronomical Institute)	Jeff Wagg (SKAO)

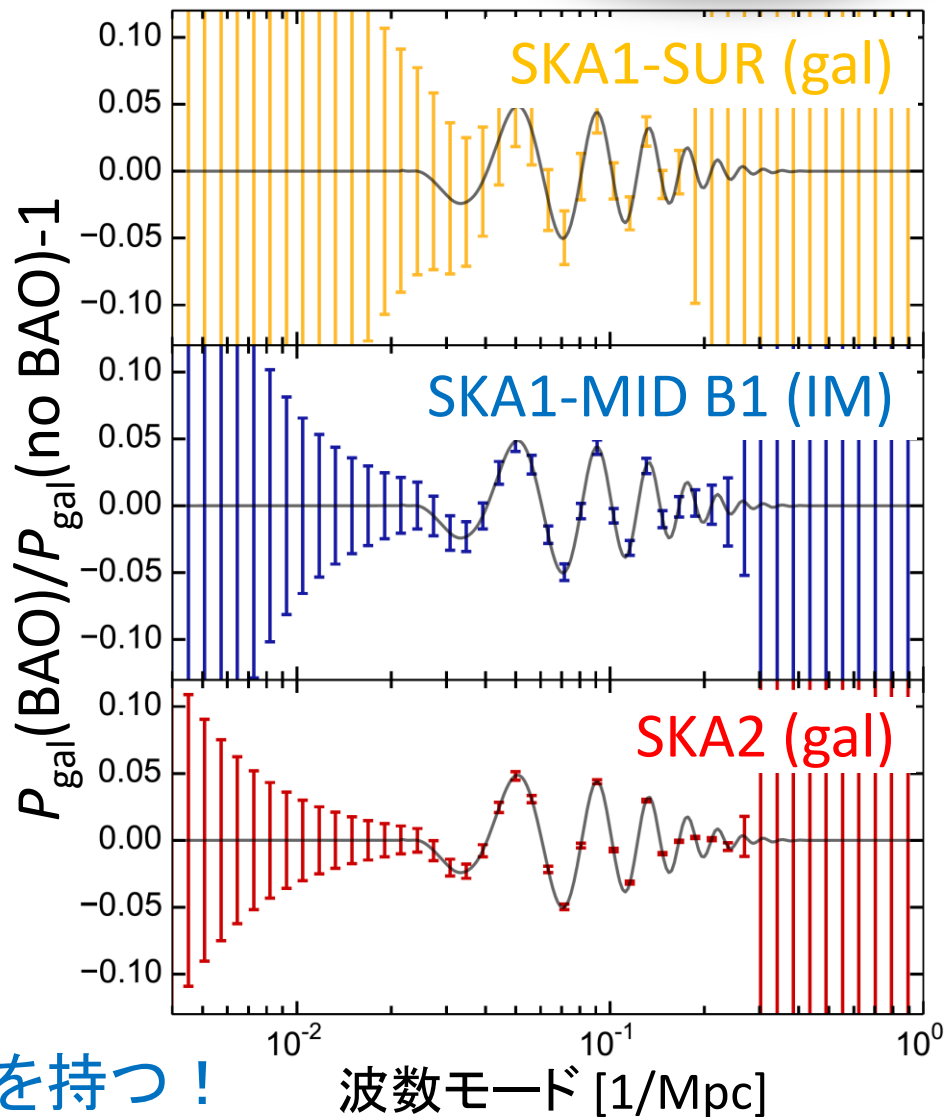
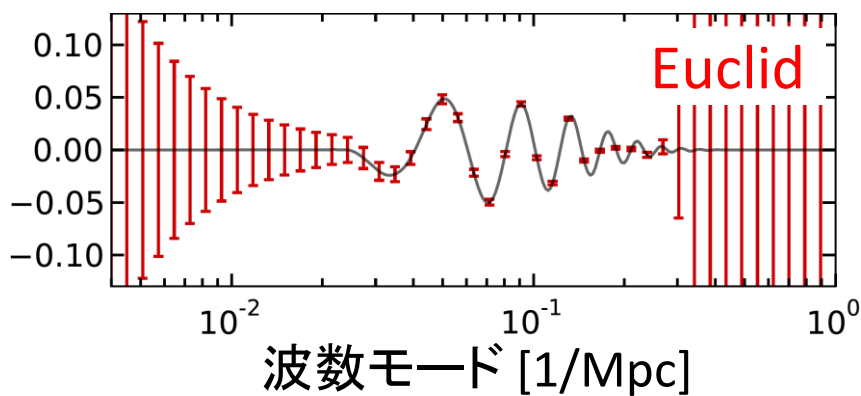
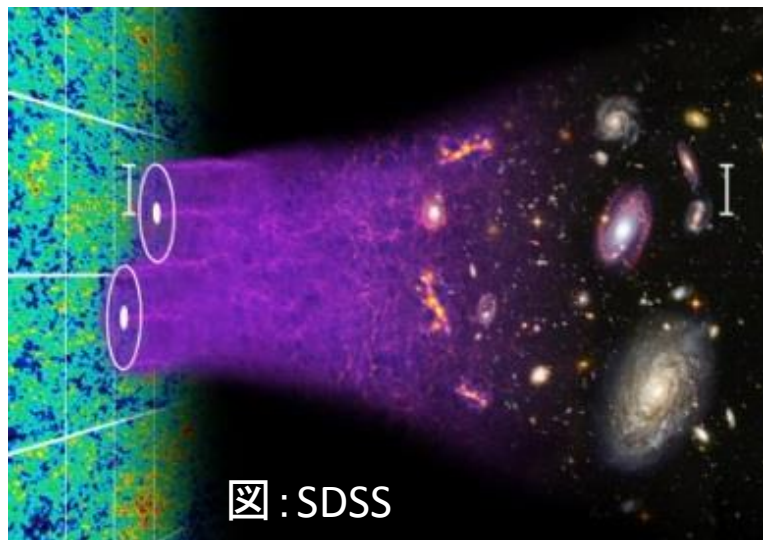
Enquiries: ska-june14@skatelescope.org
or visit: indico.skatelescope.org/event/AdvancingAstrophysics2014

Facebook: Square Kilometre Array | Twitter: @SKA_talescope

RadioNet | INAF | SKAO

バリオン音響振動 (gal, IM)

暗黒エネルギー

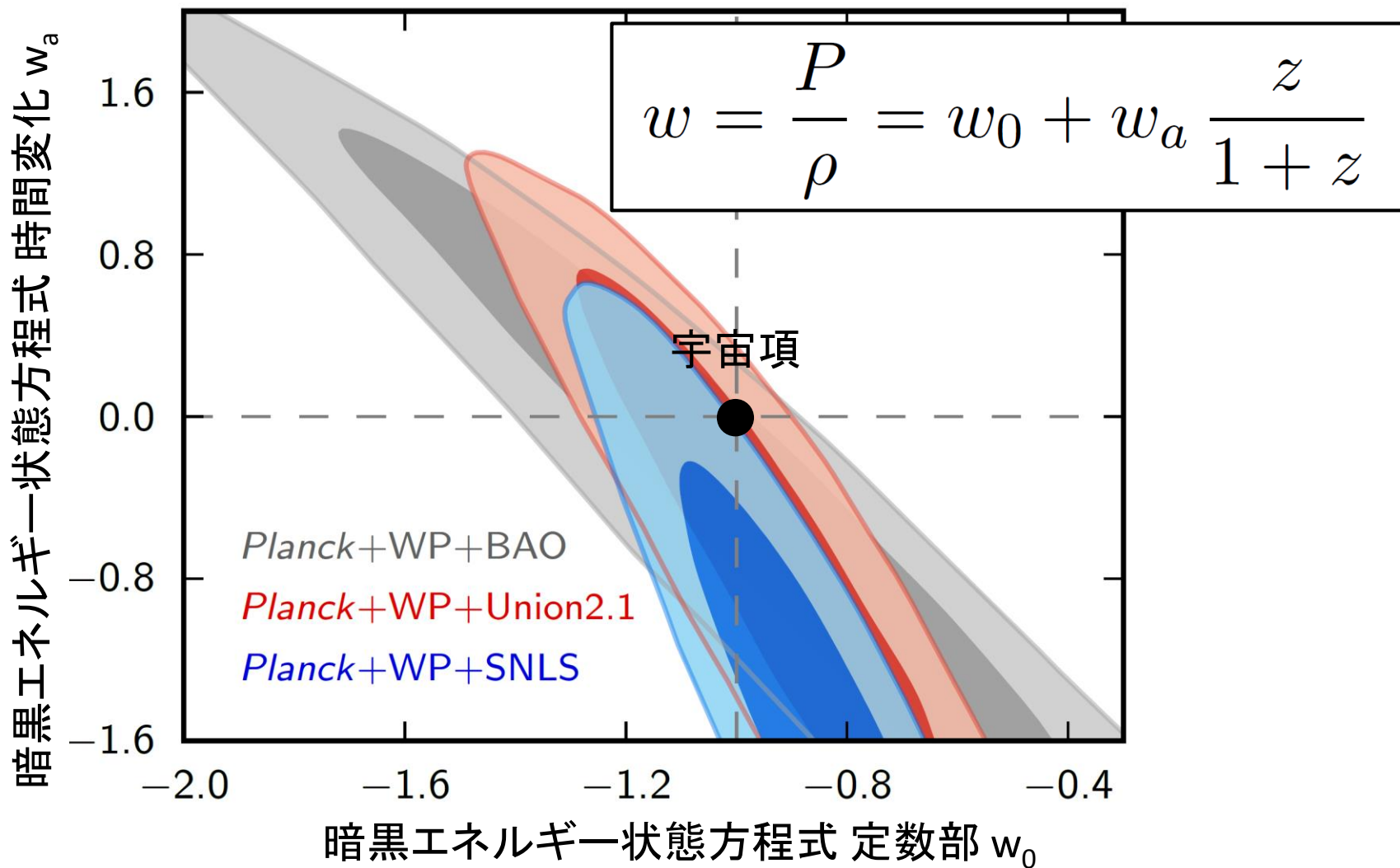


✓ SKAは2020年代を牽引する性能を持つ！

バリオン音響振動 (gal, IM)

暗黒エネルギー

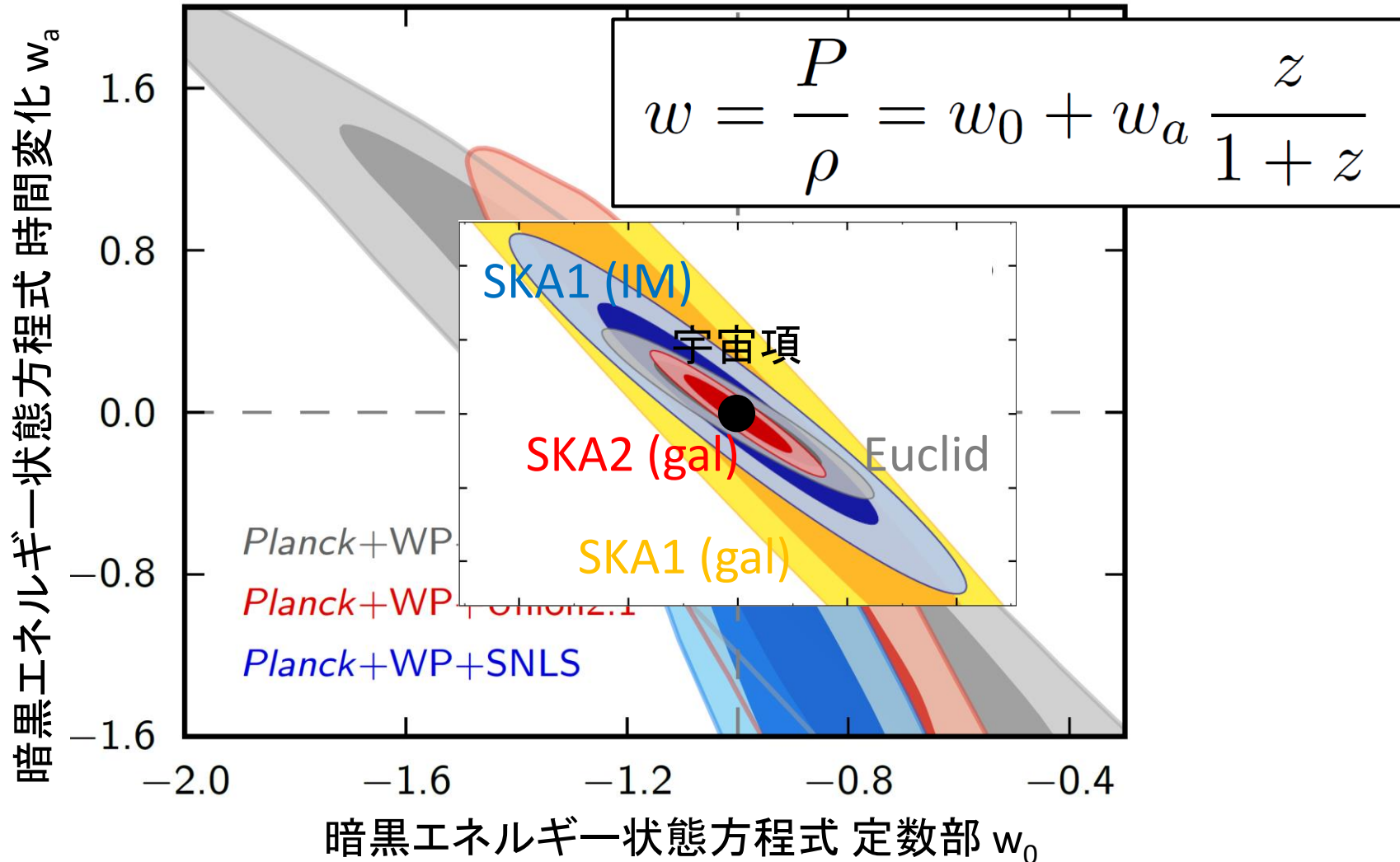
暗黒エネルギーの状態方程式への制限



バリオン音響振動 (gal, IM)

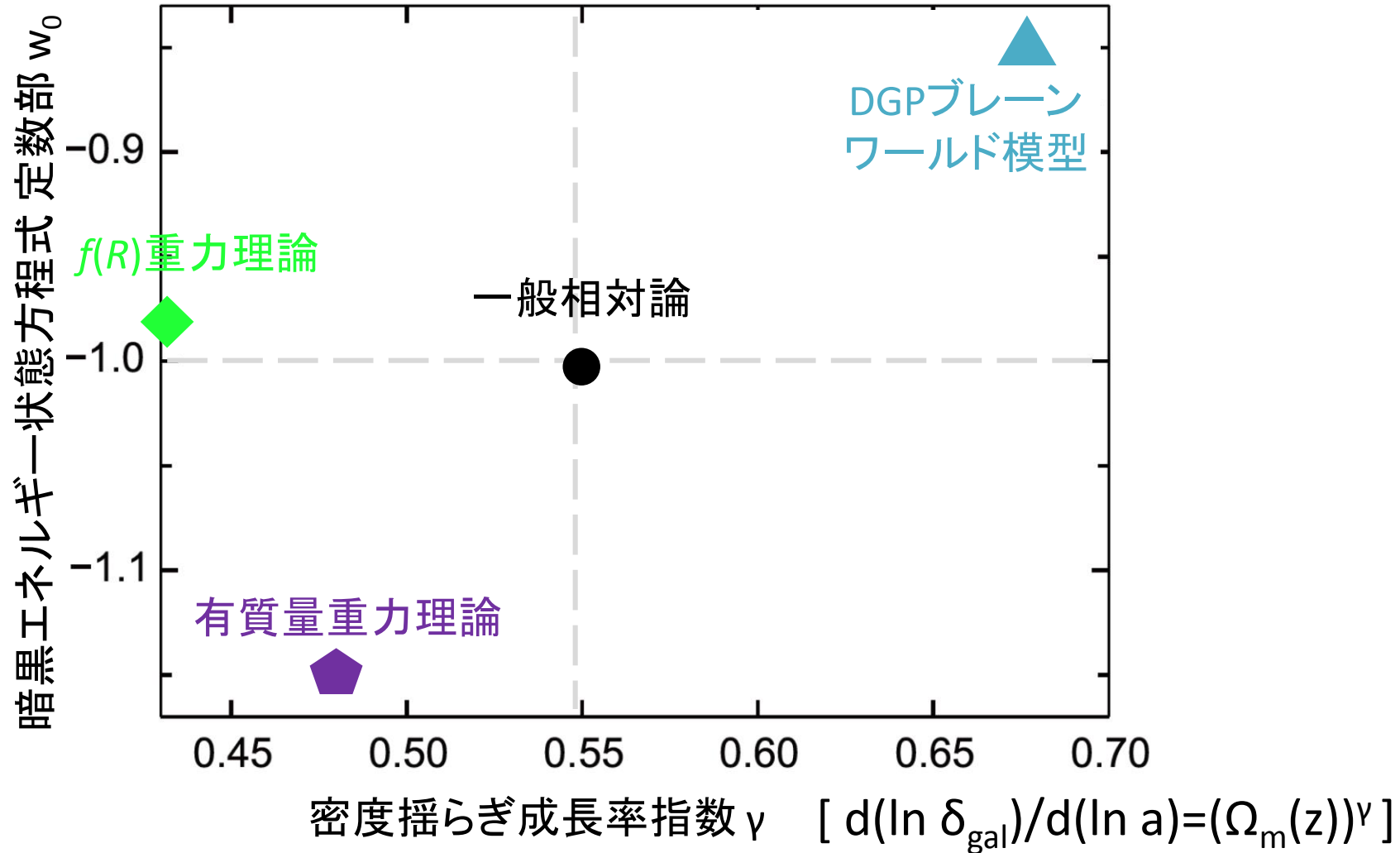
暗黒エネルギー

暗黒エネルギーの状態方程式への制限



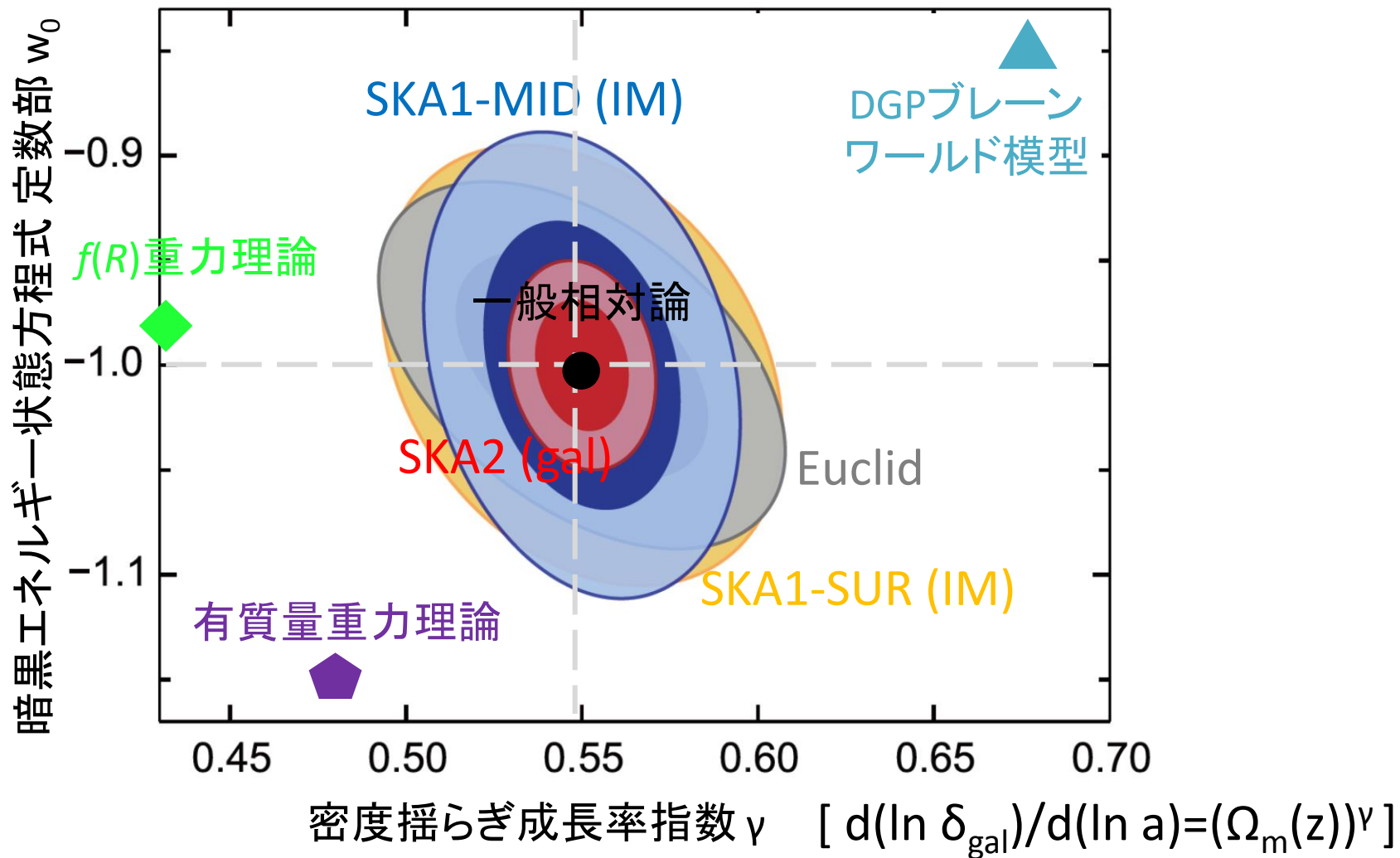
赤方偏移方向歪み (gal, IM) 暗黒エネルギー

暗黒エネルギーの代替要素としての重力理論の修正



赤方偏移方向歪み (gal, IM) 暗黒エネルギー

暗黒エネルギーの代替要素としての重力理論の修正



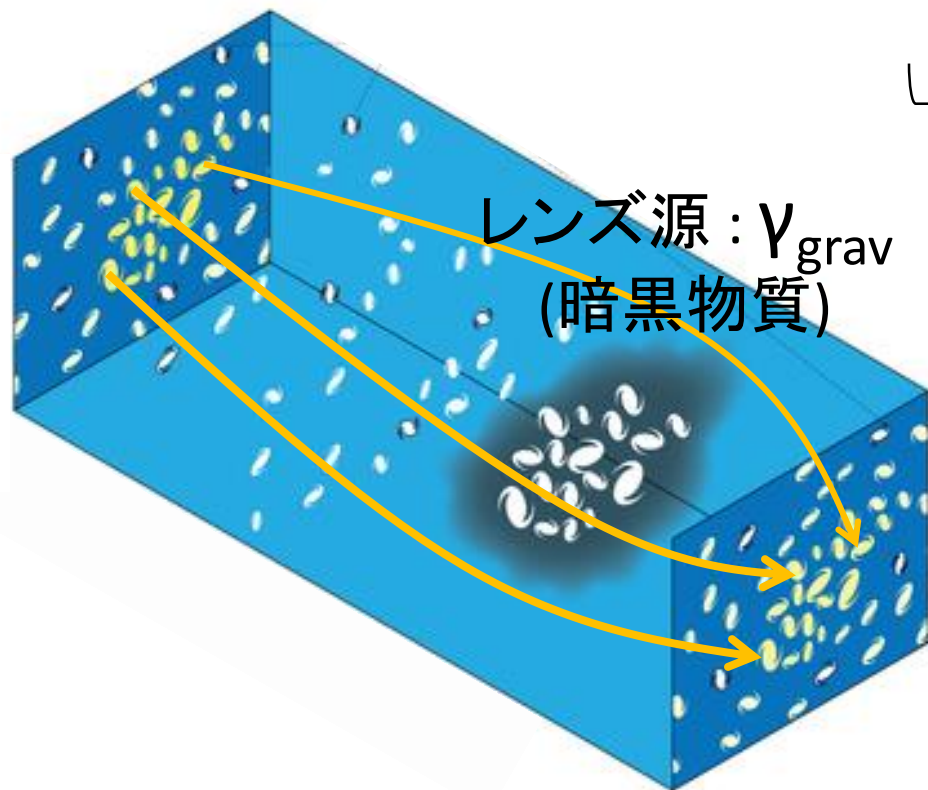
弱重力レンズ効果 (conti)

➤ 観測量 = 銀河像の歪み具合

$$\gamma = \gamma_{\text{grav}} + \gamma_{\text{int}} + \gamma_{\text{sys}}$$

元の銀河像: γ_{int}

重力レンズ起源 (知りたいもの) 固有の歪み率 系統誤差



相関を持つ: 本質的なノイズ源

電波(SKA)と可視光(e.g. Euclid)との協働によるノイズ除去!

観測される銀河像:

$$\gamma = \gamma_{\text{grav}} + \gamma_{\text{int}} + \gamma_{\text{sys}}$$

弱重力レンズ効果 (conti)

➤ 電波観測(r)と光学観測(o)との相互相関

銀河偏向情報による
固有歪み度の再構成

$$\langle \gamma^{(o)} \gamma^{(r)} \rangle = \langle \gamma_{\text{grav}} \gamma_{\text{grav}} \rangle + \langle \gamma_{\text{grav}} \gamma_{\text{int}}^{(o)} \rangle + \langle \gamma_{\text{grav}} \gamma_{\text{int}}^{(r)} \rangle \\ + \langle \gamma_{\text{int}}^{(o)} \gamma_{\text{int}}^{(r)} \rangle + \langle \gamma_{\text{sys}}^{(o)} \gamma_{\text{sys}}^{(r)} \rangle$$

固有歪み度相互相関は小さい [Patel+(2010)]
: 電波と可視光で放射機構が異なるため

異なる観測間の系統誤差は十分小さい

光学観測との協働により、これまでにない精度を達成可能！

目次

1. 国際SKAおよびSKA-JPの宇宙論SWG

2. SKAサイエンスブック

2.1 宇宙論の現状と未解決問題

2.2 国際SKAが狙うサイエンス

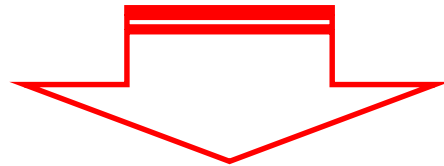
2.3 SKA-JPが狙うサイエンス

3. まとめ

精密宇宙論観測の困難

➤ 宇宙論的な情報に対するノイズ

- ✓ 密度揺らぎの非線形発展
- ✓ バリオン物理を含む宇宙物理的過程



この困難を克服するためには...

- 1. 広視野
- 2. 深宇宙



に特化する必要がある！

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：「精緻な理論モデル構築と暗黒エネルギー」

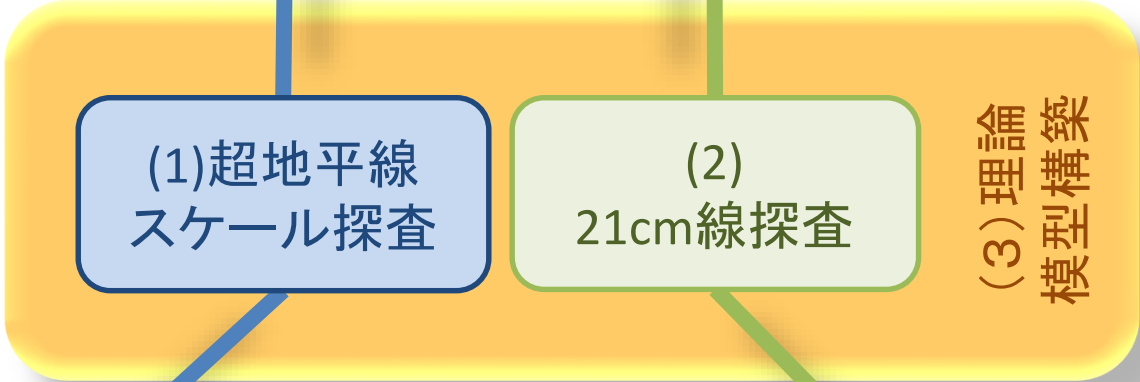
クリーンな宇宙論観測

インフレーション

はどのように起こったのか？

スケール依存するバイアス

密度揺らぎ多点関数



赤方偏移方向歪み

小スケール密度揺らぎ

暗黒エネルギー

の正体とは？

暗黒物質

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？

観測済み

- 原始曲率揺らぎ → スケール不変からのわずからのズレ (5σ)

$$P_R(k) \propto k^{-0.04} \quad [\text{WMAP, Planck, ...}]$$

観測近し

- 原始重力波 → 原始曲率揺らぎの10%以下 [Planck]

[future : LiteBIRD, COrE+, PIXIE, ...]

最後の
ピース

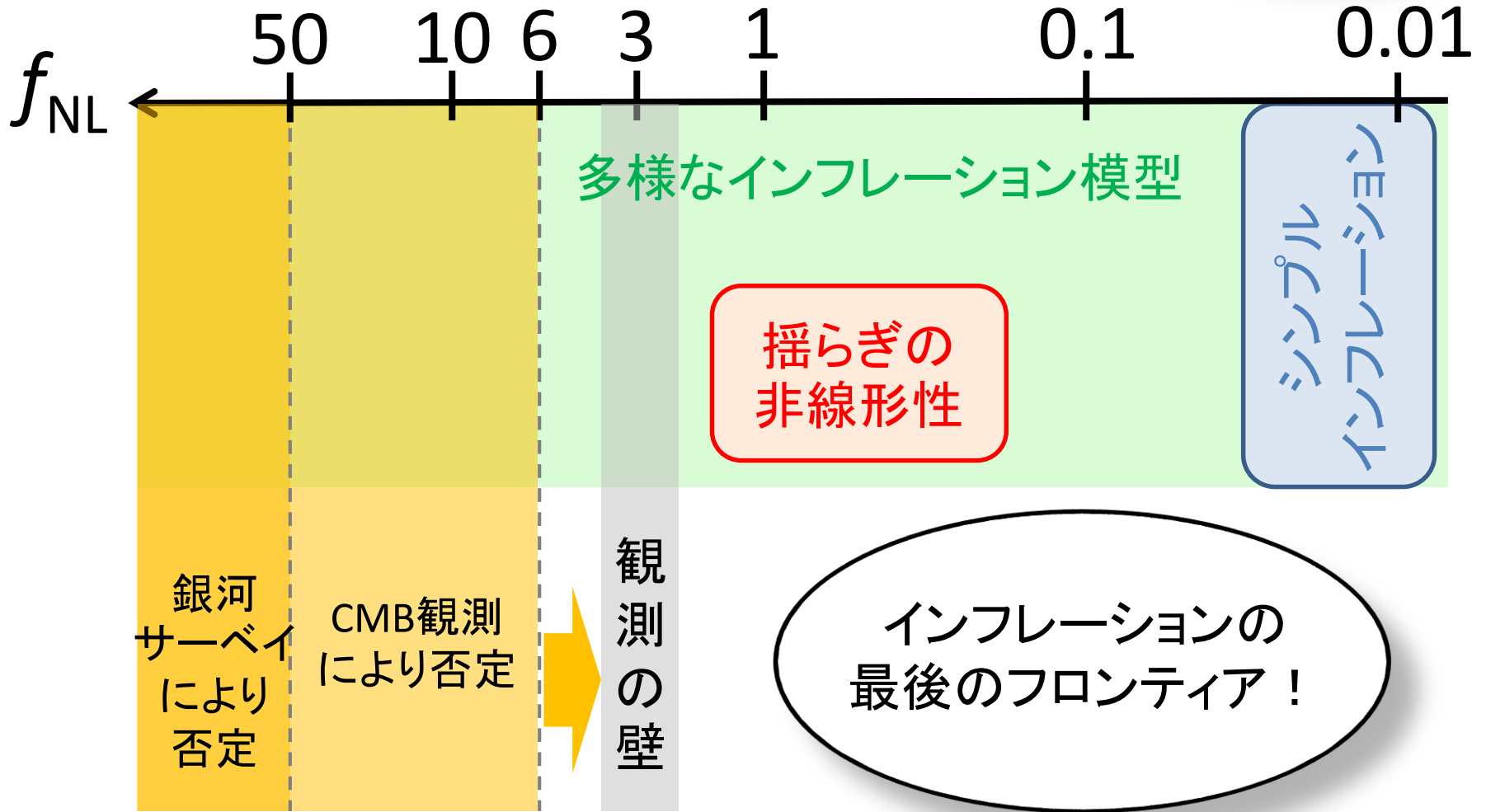
- 原始揺らぎの統計性 → 「ほぼ」ガウス分布 [Planck]

✓ ガウス分布からのズレをパラメータ化

: 非線形パラメータ f_{NL} [Komatsu+Spergel (2001)]

原始非ガウス性 f_{NL}

インフレーション



→ 杉山さんトーク

原始非ガウ

f_{NL} ← 50 10

銀河
サーベイ
により
否定

CMB観測
により否定

観測
の壁

我が国による多数の重要な寄与

Moroi+T.Takahashi (2001),

Yokoyama+Suyama+Tanaka (2007, 2008),

Kawasaki+Nakayama+Sekiguchi+(2008, 2009),

Suyama+Yamaguchi(2010),

Suyama+T.Takahashi+Yamaguchi+Yokoyama (2010)

他多数

揺らぎの
非線形性

インフレーション
インフレーション

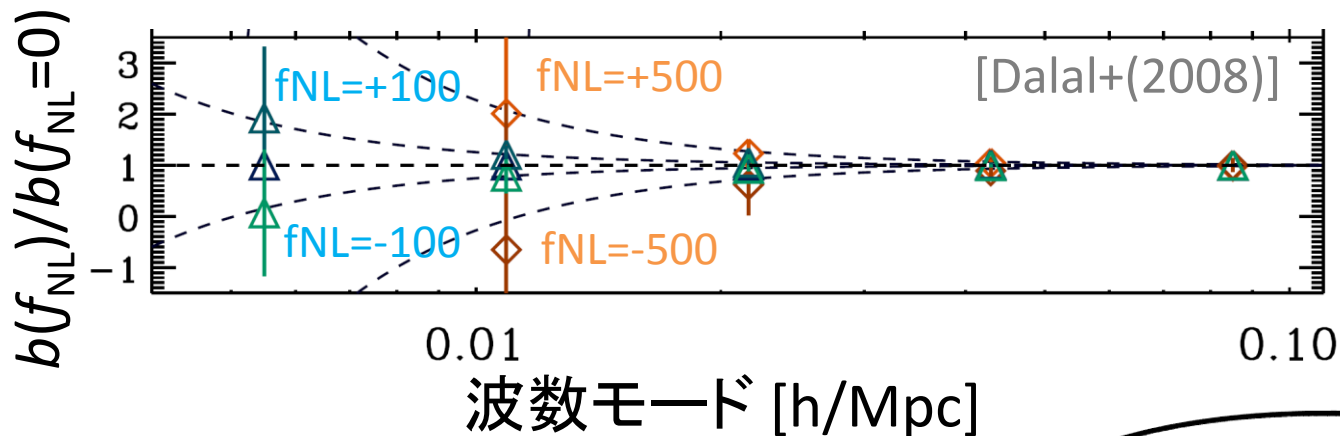
インフレーションの
最後のフロンティア！

→ 杉山さんトーク

(1) 原始非ガウス性探査

インフレーション

- 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)]

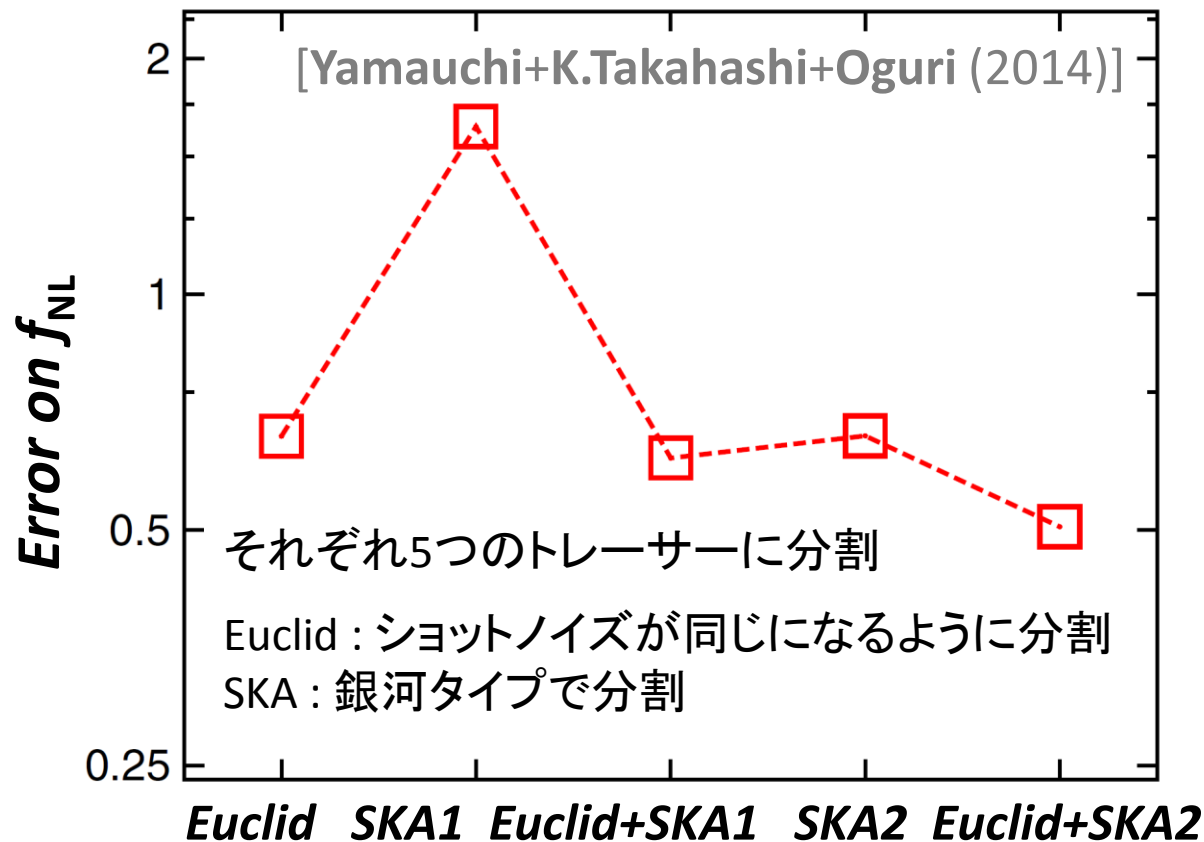
: データを分割して解析することで、コズミックバリエーションノイズに依らずにバイアスの比を制限することができる！

宇宙の単一性による
有限サンプルノイズ

先行研究： マルチトレーサー法

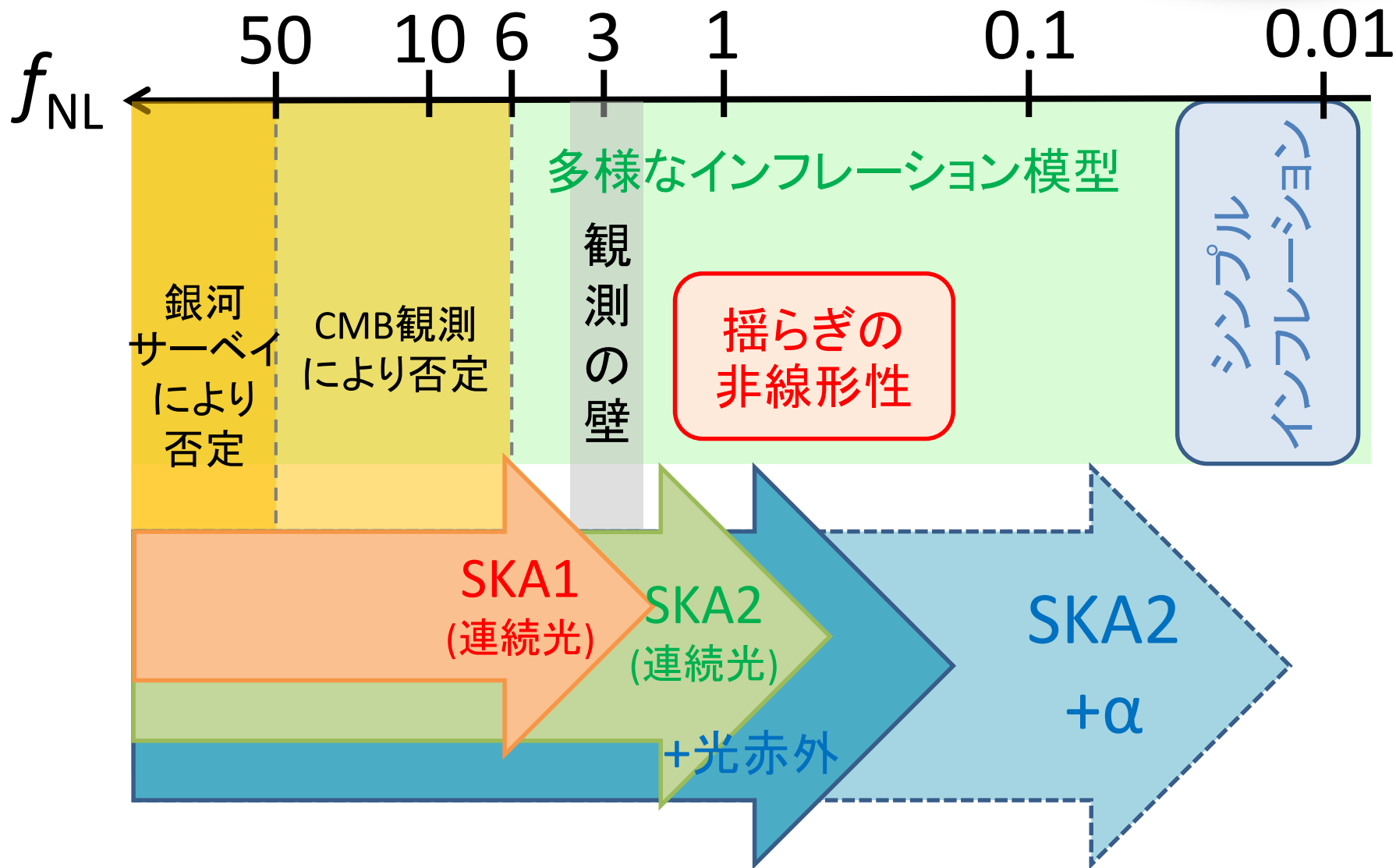
インフレーション

SKA, Euclid単独でも $\sigma(f_{NL})=1$ を達成可能であり、
協働することで $\sigma(f_{NL})=0.1$ を狙うことができる！



原始非ガウス性 f_{NL}

インフレーション



将来計画 (1)

インフレーション

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)

$$\tau_{\text{NL}} \geq (36/25) (f_{\text{NL}})^2$$

[Suyama+Yamaguchi (2010), Sugiyama+Komatsu+Futamase (2013)]

インフレーション模型を決定付ける！

将来計画 (1)

暗黒エネルギー

- 赤方偏移方向歪み
+ マルチトレーサー法

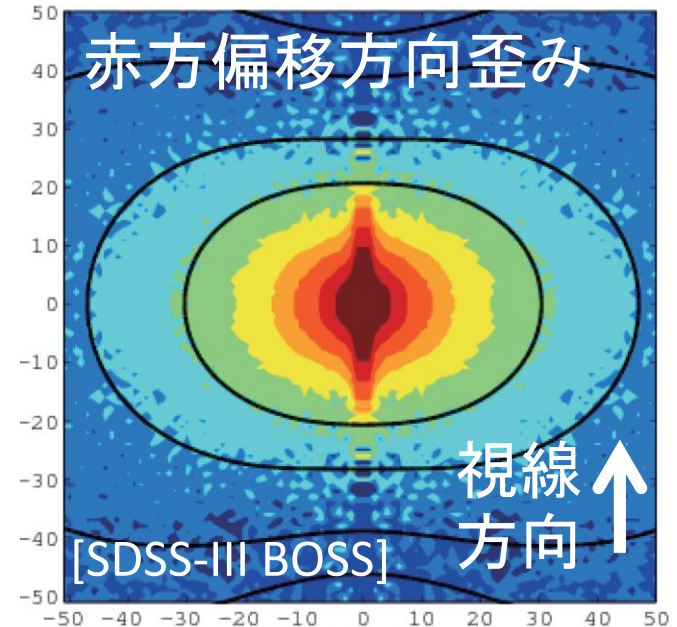
暗黒エネルギーモデルをCVに
依らずに厳しく制限！

インフレーション

暗黒エネルギー

- マルチトレーサー法の改良

✓ 銀河形状-質量関係の精密化 → 銀河班との協働



暗黒物質

の正体とは？

これまで

➤ 地上実験：暗黒物質未発見



SKA時代

➤ 宇宙観測：深宇宙に暗黒物質の重要なヒント！

✓ 暗黒物質：大規模構造の進化をトレース

- 構造の時間進化
- 小スケールまで探査

21cm輝線サーベイ

21cm輝線サーベイ

暗黒物質

➤ 輝度温度

宇宙論

$$\delta T_b(\nu) \approx 27 x_{\text{HI}} (1 + \delta_b) \left(1 - \frac{T_\gamma}{T_s}\right) \left(\frac{1+z}{10}\right)^{1/2} \left(\frac{\partial_r v_r}{(1+z)H(z)}\right)^{-1} [\text{mK}]$$

天体物理

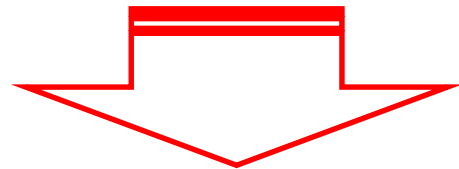
天体物理

→ 市来さんトーク

✓ CMBに対する放射・吸収/背景光源に対する吸収

✓ 宇宙論・天体物理の両者の情報を含む

→ 再電離班との協働により適切に分離




暗黒物質の諸性質に鋭敏！

高赤方偏移・小スケールにわたって
宇宙論の情報を引き抜くことができる！

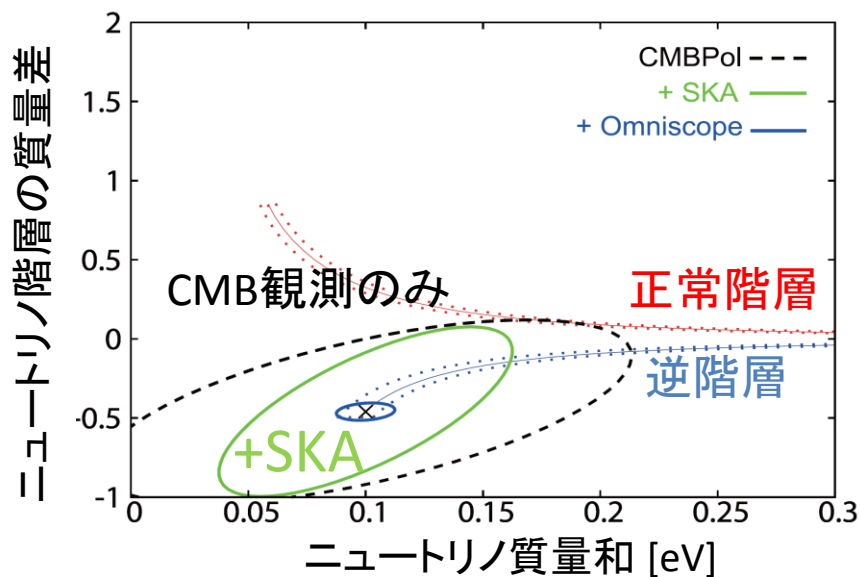
21cm線による深宇宙探査

暗黒物質

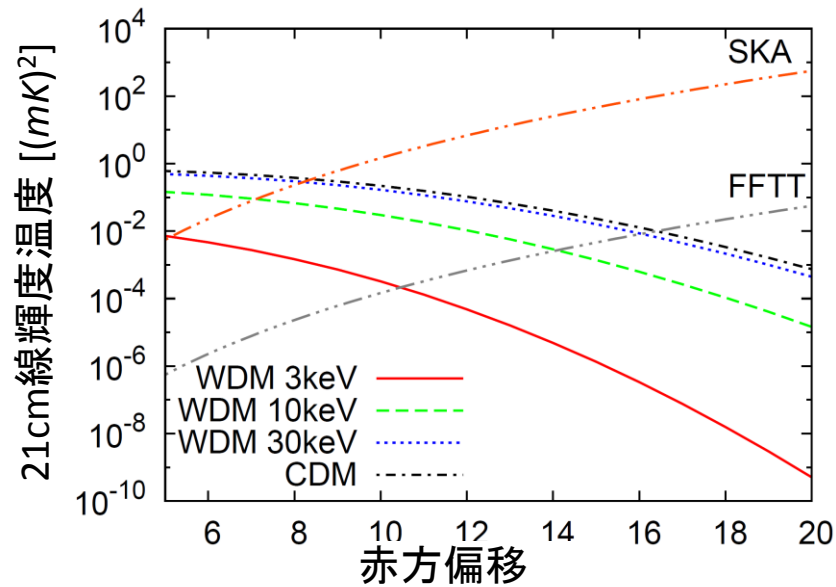
➤ ニュートリノ  大山さん

➤ 暗黒物質性質  関口さん

[Oyama+Shimizu+Kohri (2012)]



[Sekiguchi+Tashiro (2014)]



これまで地上実験により確かめられてきた暗黒物質の諸性質/背後にある素粒子模型を高精度宇宙観測によって明らかにできる！

将来計画 (2)

暗黒物質

SKA-JP再電離班との協働が重要

➤ 21cm線サーベイを用いた深宇宙探査

- ✓ 高赤方偏移+小スケール → 暗黒物質の諸性質に鋭敏
- ✓ 我が国による先駆的研究 → 世界を牽引

[Kohri+Oyama+Sekiguchi+T.Takahashi (2013, 2014),
Sekiguchi+Tashiro+Silk+Sugiyama (2014),
Kawasaki+Sekiguchi+T.Takahashi (2011),...]

電波観測から暗黒物質探査にヒントを！

インフレーション

[Cooray (2006)]

- ### ➤ 密度揺らぎ多点関数の直接観測から探る原始非ガウス性

(3) 精緻な理論模型構築 と暗黒エネルギー

インフレーション

暗黒物質

暗黒エネルギー

- 超地平線スケール: 相対論効果を見無視することができない!
 - ✓ 銀河サーベイにおける相対論補正:
 - 原始非ガウス性探査と相補的
 - 補正項を用いた暗黒エネルギー探査
 - ✓ 21cm線サーベイにおける相対論的補正:
 - 再電離班との協働が鍵

目次

1. 国際SKAおよびSKA-JPの宇宙論SWG

2. SKAサイエンスブック

2.1 宇宙論の現状と未解決問題

2.2 国際SKAが狙うサイエンス

2.3 SKA-JPが狙うサイエンス

3. まとめ

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？