



# いよいよ建設開始！ SKA と 10の科学

- 宇宙論 -

山内大介

神奈川大学

工学部物理学教室



**SKA** は

◆ どんな宇宙論サーベイがあって

◆ どんなサイエンスが出来る？

SKA-LOW  
( $\nu < 350\text{MHz}$ )



SKA-MID  
( $\nu > 350\text{MHz}$ )



**SKA** は

◆ どんな宇宙論サーベイがあって

➡ 4つのサーベイモード

◆ どんなサイエンスが出来る？

➡ インフレーション・重力理論・  
素粒子物理・再電離物理 etc

SKA-LOW  
( $\nu < 350\text{MHz}$ )



SKA-MID  
( $\nu > 350\text{MHz}$ )

SKAで実施が検討されている

# 電波域宇宙論 サーベイ



観測量

ソース

4つのサーベイモード

銀河特定

銀河

HI銀河赤方偏移サーベイ

$z < 2$ , 3次元銀河分布

21cm線

1ピクセル  
で積分

MID HI強度マッピング

$z < 3$ , 速く広いサーベイ

IGM

(再電離前)

LOW HI強度マッピング

$3 < z < 27$ , IGM内HIの21cm輝度温度

連続線  
(シンクロ  
トロン放射)

銀河

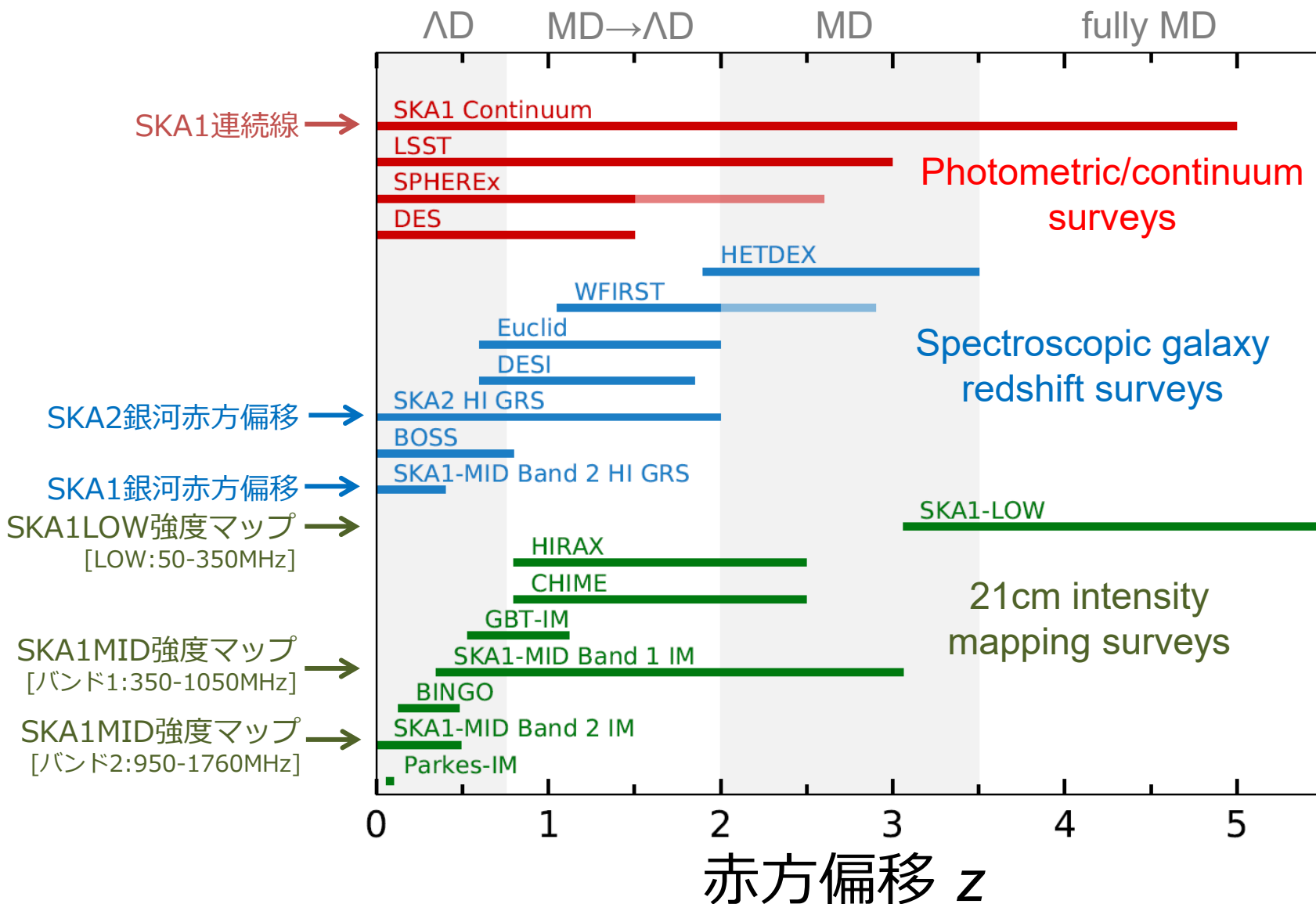
電波連続線サーベイ

$z < 6$ , 赤方偏移情報なし

観測量	サーベイ	SKA Phase	赤方偏移	掃天	観測銀河数
HI [21cm線]	HI銀河赤方 偏移サーベイ (gal)	Phase-1	$z < 0.8$	1/8	$\sim 10^7$
		Phase-2	$z < 2$	3/4	$\sim 10^9$
HI [21cm線]	MID HI強度 マッピング (MID-IM)	Phase-1	$z < 3$	3/4	--
		Phase-2	$z < 3.7$	3/4	--
HI [21cm線]	LOW HI強度 マッピング (LOW-IM)	Phase-1	$3 < z < 27$	1/40	--
		Phase-2	$3 < z < 27$	3/4	--
シンクロ トロン放射	電波連続線 サーベイ (conti)	Phase-1	$z < 6$	3/4	$\sim 10^8$
		Phase-2	$z < 6$	3/4	$\sim 10^9$
可視域	e.g. <i>Euclid</i>		$z < 2$	3/8	$\sim 10^8$

$S = 70(\text{SKA1gal}), 5(\text{SKA2gal}), 1(\text{SKA1cont}), 0.1(\text{SKA2cont}) [\mu\text{Jy}]$   
 $\Delta\theta = 1(\text{SKA1}), 0.1(\text{SKA2}) [\text{arcsec}], t_{\text{int}} = 10^4 [\text{hr}]$

# カバーする赤方偏移の比較

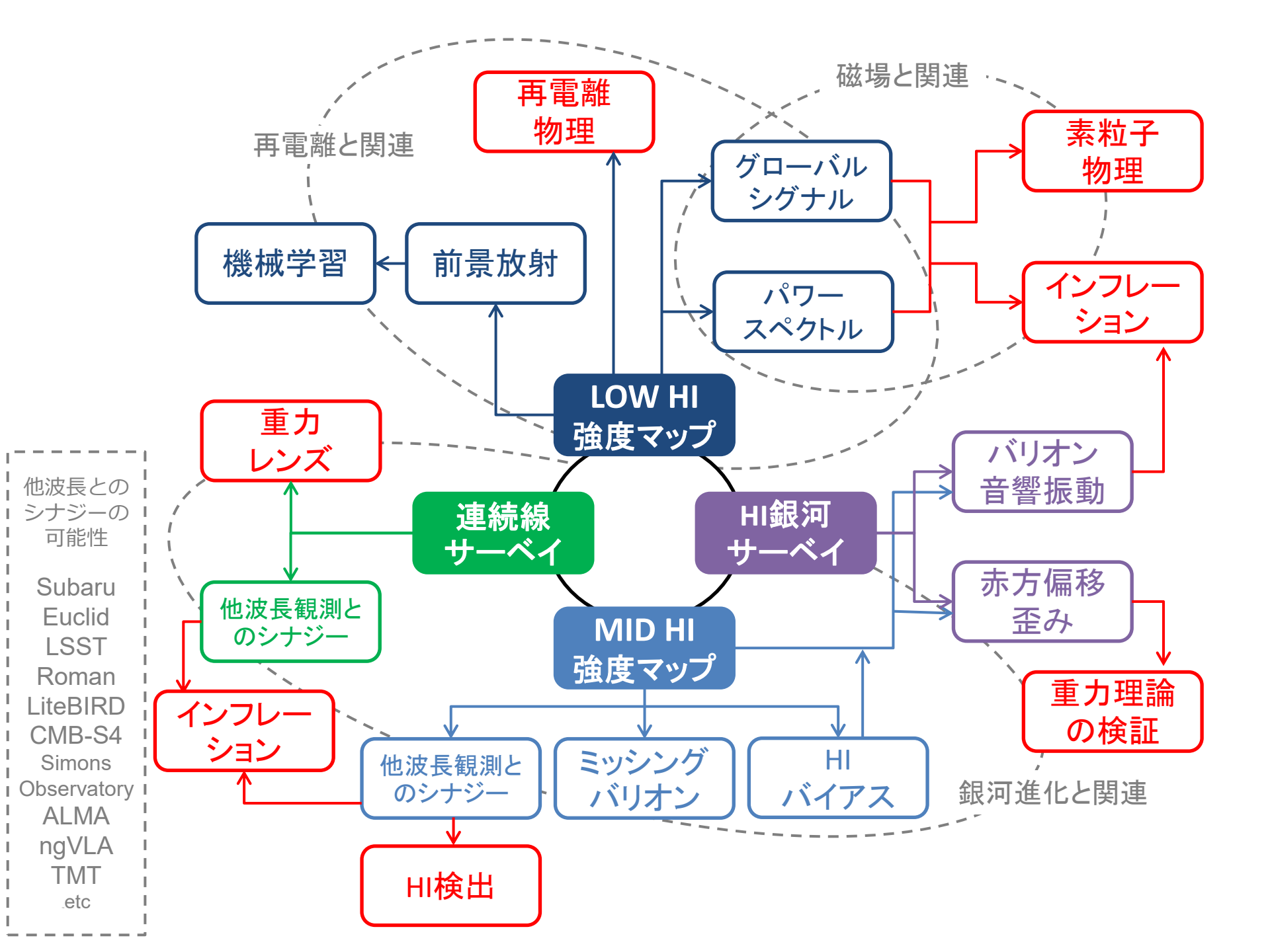


SKAで到達出来る

# 電波域宇宙論 サイエンス







# 宇宙論における観測量

## ◆ 宇宙膨張率 (背景レベル) 状態方程式

$$\frac{H^2(a)}{H_0^2} = \frac{\Omega_{m,0}}{a^3} + \frac{\Omega_{r,0}}{a^4} + \frac{\Omega_{K,0}}{a^2} + \Omega_{\Lambda,0} e^{-3 \int_1^a (1+w(a')) d \ln a'}$$

## ◆ 密度揺らぎ (摂動レベル)

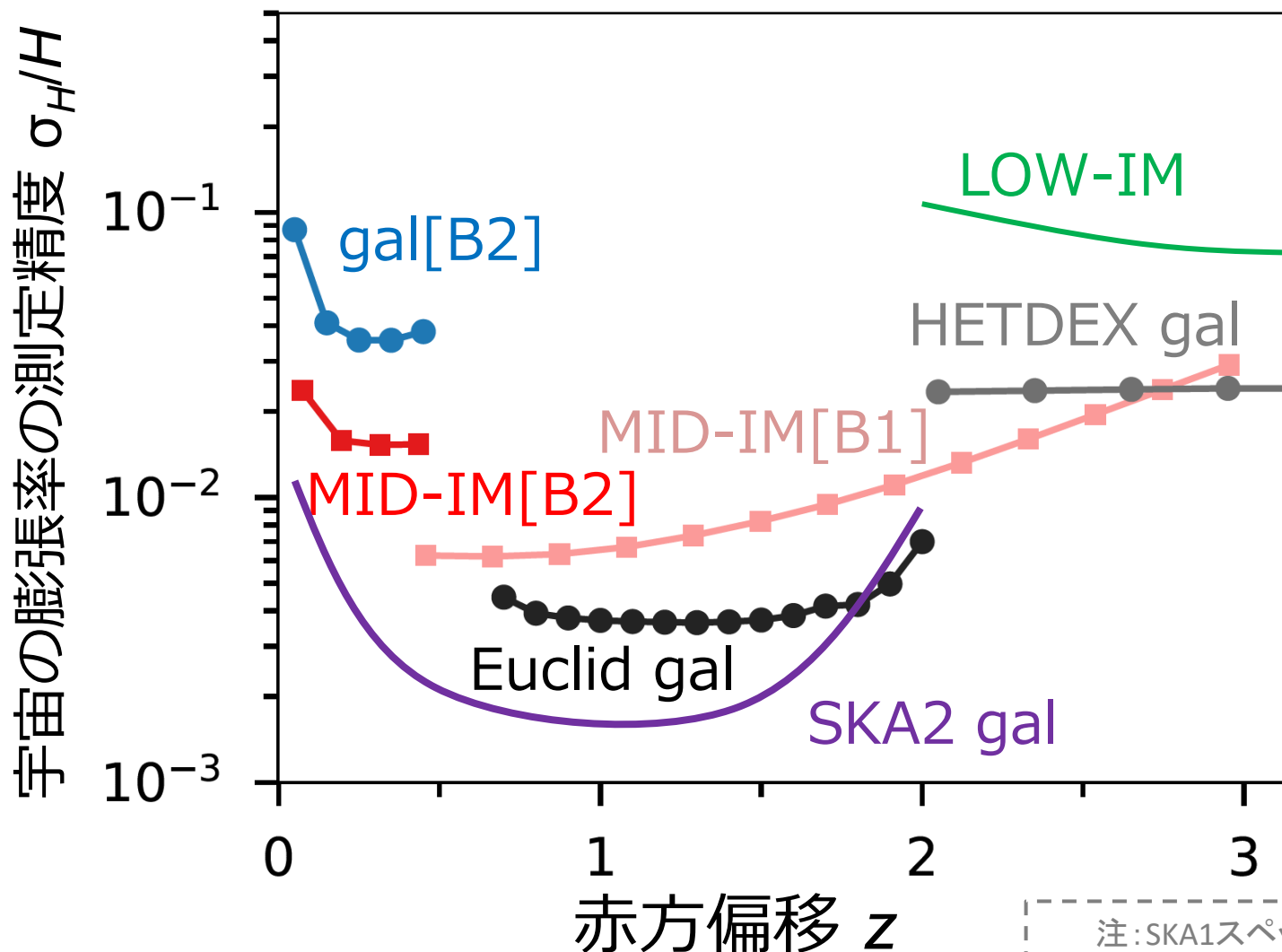
$$\delta(a, \mathbf{k}) = \delta_L(a, \mathbf{k}) + \left[ F_2(\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2; a) \delta_L(a, \mathbf{k}_1) \star \delta_L(a, \mathbf{k}_2) \right]_{\mathbf{k}} + \dots$$

線形成長率

線形成長指数

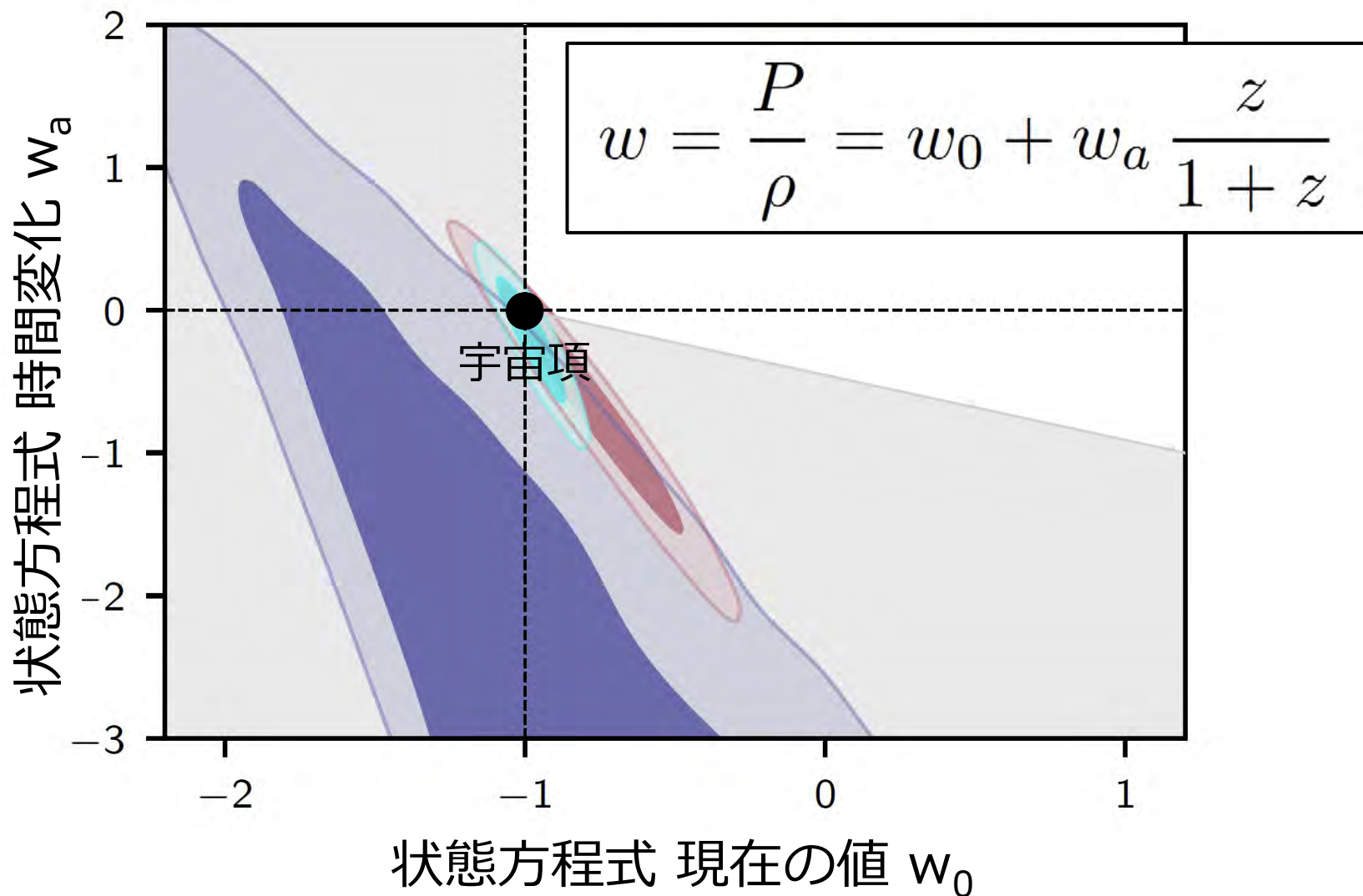
$$\frac{d \ln \delta_L}{d \ln a} = f(a) \approx \Omega_m(a)^\gamma$$

# 宇宙膨張率の決定精度

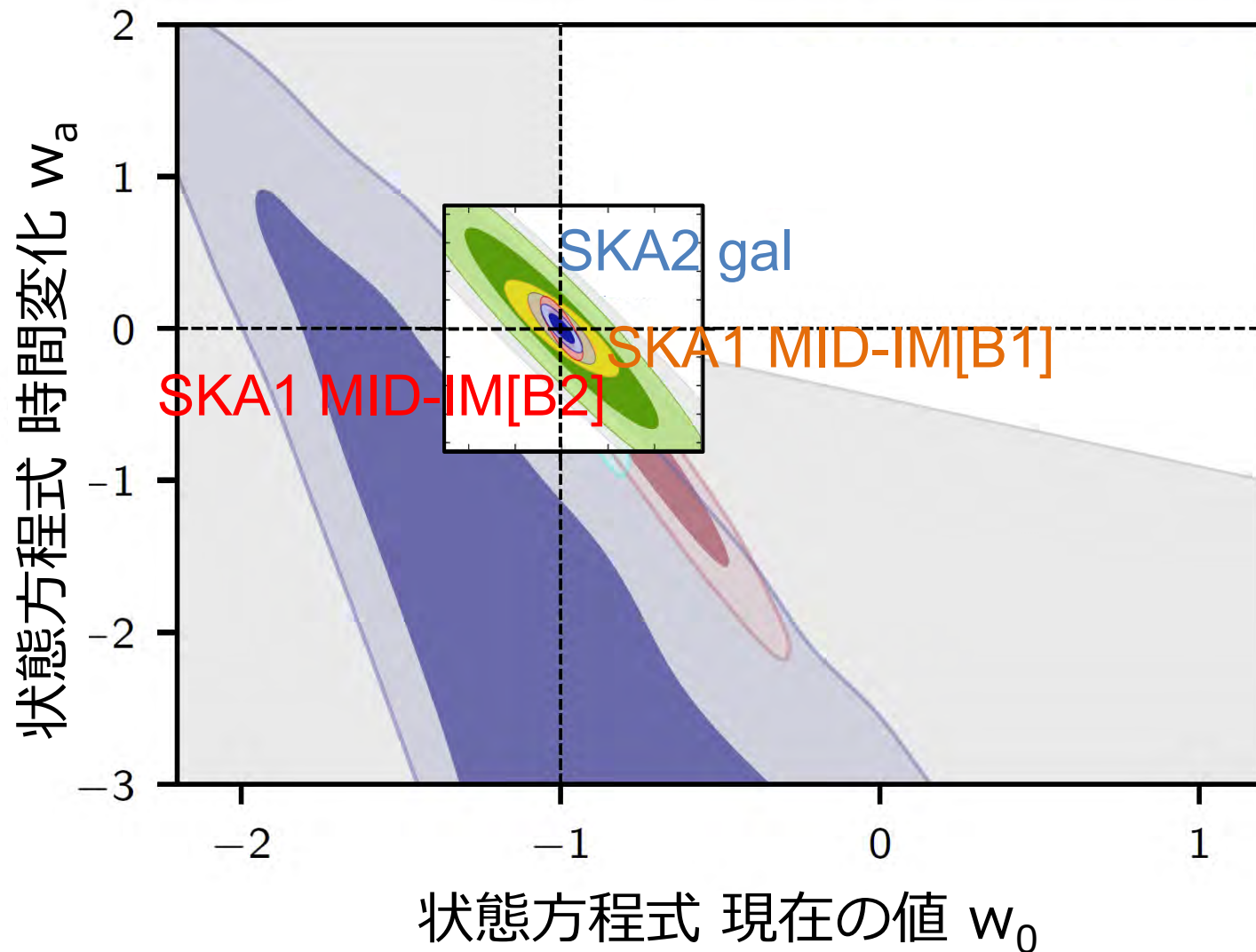


注: SKA1スペックはKSPを想定 (SKA1-fullではもう少し改善)

# 状態方程式: Planck(CMB)

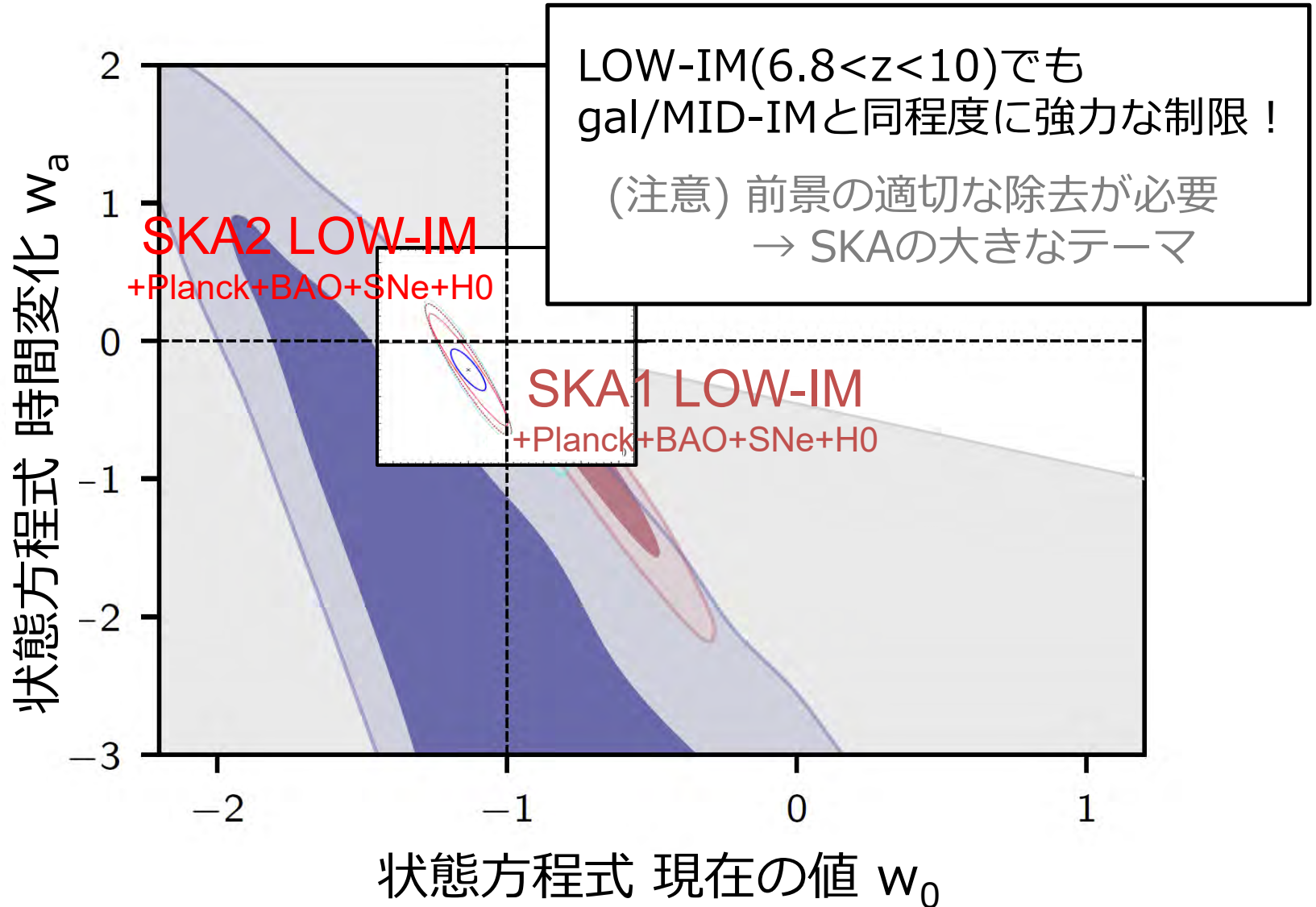


# 状態方程式: SKA gal/MID-IM

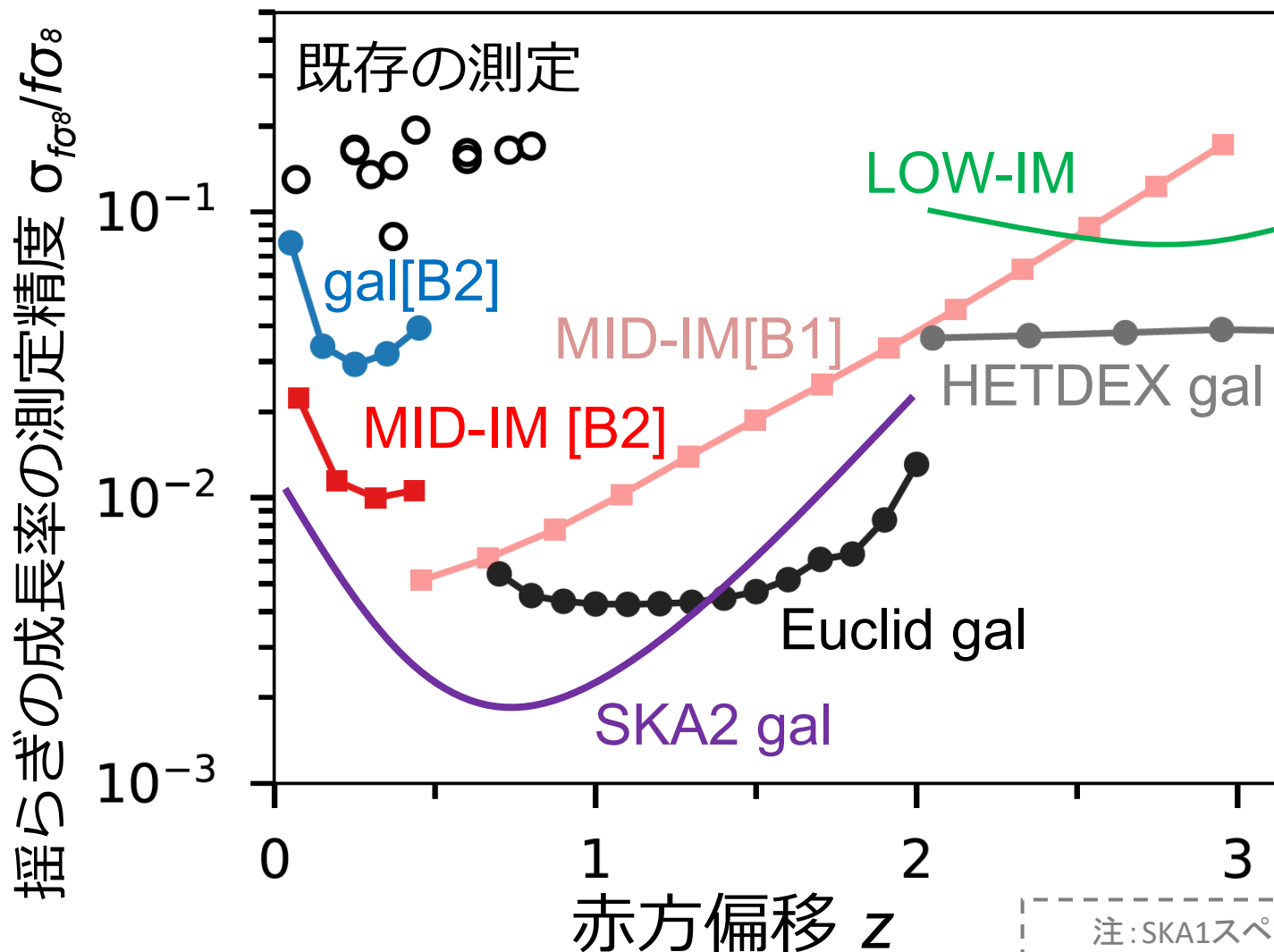




# 状態方程式: SKA LOW-IM



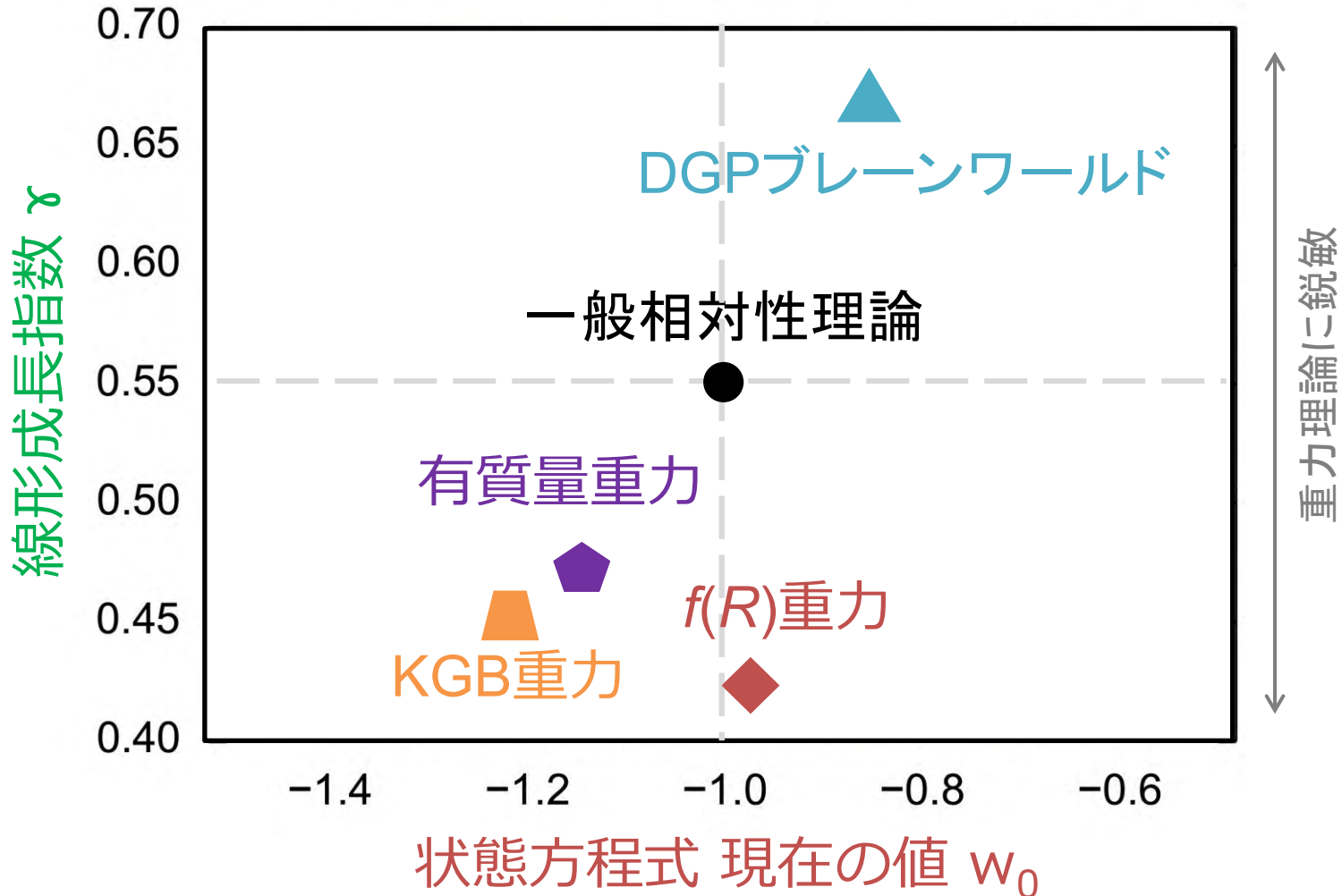
# 密度揺らぎの成長率の決定精度



注: SKA1スペックはKSPを想定  
(SKA1-fullではもう少し改善)

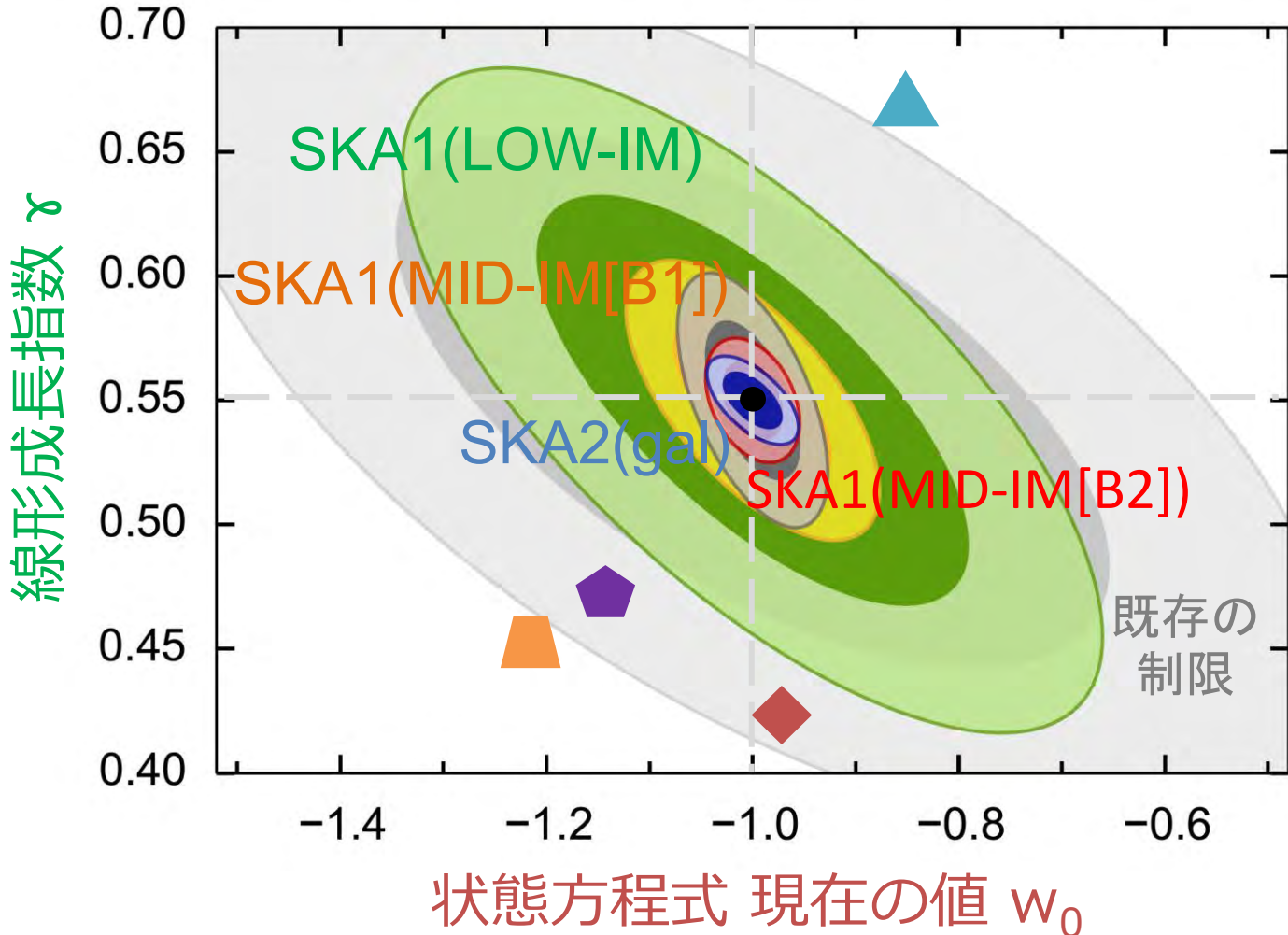
# 線型成長率

$$\frac{d \ln \delta_L}{d \ln a} = f(a) \approx \Omega_m(a)^\gamma$$



# 線型成長率

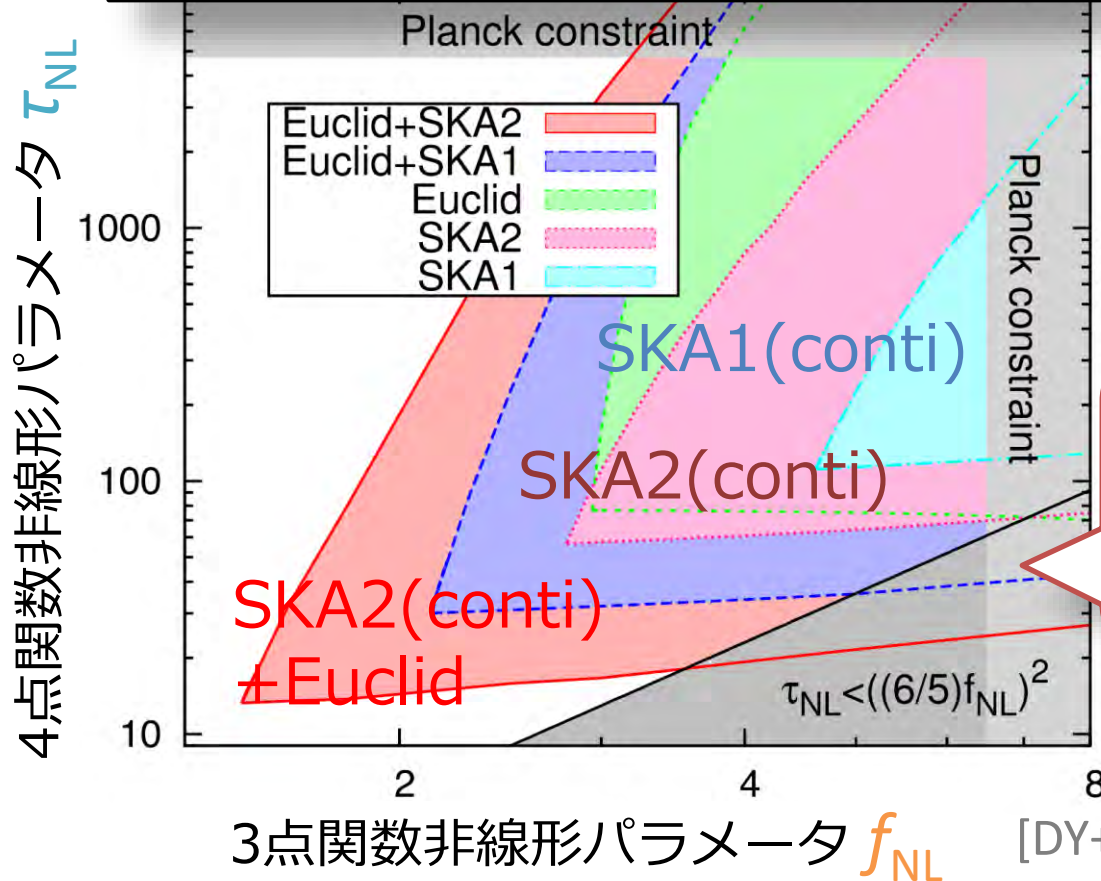
$$\frac{d \ln \delta_L}{d \ln a} = f(a) \approx \Omega_m(a)^\gamma$$



# シナジーによるインフレーション検証

インフレーションの整合性条件  $\tau_{NL} \geq ((6/5)f_{NL})^2$

[Suyama+Yamaguchi(2008)他日本人による多数の貢献]



破れが見えた場合には  
インフレーションに  
絶大なインパクト!



# SKAサイエンスブック/レッドブック

## ◆ SKAサイエンスブック [2015]

<https://www.skatelescope.org/books/>

## ◆ SKA宇宙論班編レッドブック

[SKA Cosmology SWG:Bacon+DY+(2018)]

## □ 日本SKAコンソーシアムによる寄与

## ◆ 日本版SKAサイエンスブック [2015, 2020]

[http://ska-jp.org/SKAJP\\_Science\\_Book\\_2020.pdf](http://ska-jp.org/SKAJP_Science_Book_2020.pdf)

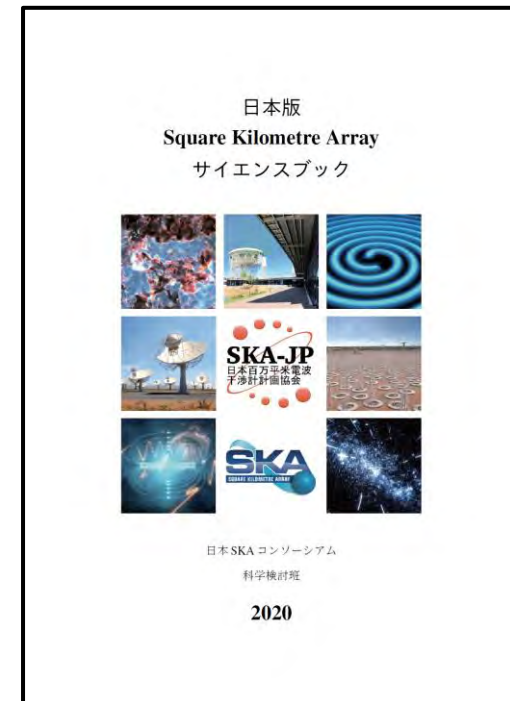
## ◆ SKA-JP宇宙論班編サイエンスレビュー

[SKA-Japan Cosmology SWG:DY+(2016)]

### Cosmology with Phase 1 of the Square Kilometre Array

*Red Book 2018: Technical specifications and performance forecasts*

Square Kilometre Array Cosmology Science Working Group: David J. Bacon<sup>1</sup>, Richard A. Battye<sup>2,\*</sup>, Philip Bull<sup>3</sup>, Stefano Camera<sup>4,5,6,2</sup>, Pedro G. Ferreira<sup>7</sup>, Ian Harrison<sup>2,7</sup>, David Parkinson<sup>9</sup>, Alkistis Pourtsidou<sup>3</sup>, Mário G. Santos<sup>9,10,11</sup>, Laura Wolz<sup>12,\*</sup>, Filipe Abdalla<sup>13,14</sup>, Yashar Akrami<sup>15,16</sup>, David Alonso<sup>7</sup>, Sambatra Andrianomena<sup>9,10,17</sup>, Mario Ballardini<sup>9,18</sup>, José Luis Bernal<sup>19,20</sup>, Daniele Bertacca<sup>21,36</sup>, Carlos A.P. Bengaly<sup>9</sup>, Anna Bonaldi<sup>22</sup>, Camille Bonvin<sup>23</sup>, Michael L. Brown<sup>2</sup>, Emma Chapman<sup>24</sup>, Song Chen<sup>9</sup>, Xuelei Chen<sup>25</sup>, Steven Cunnington<sup>1</sup>, Tamara M. Davis<sup>27</sup>, Clive Dickinson<sup>2</sup>, José Fonseca<sup>9,36</sup>, Keith Grainge<sup>2</sup>, Stuart Harper<sup>2</sup>, Matt J. Jarvis<sup>7,9</sup>, Roy Maartens<sup>1,9</sup>, Natasha Maddox<sup>28</sup>, Hamsa Padmanabhan<sup>29</sup>, Jonathan R. Pritchard<sup>24</sup>, Alvise Raccanelli<sup>19</sup>, Marzia Rivi<sup>13,18</sup>, Sambit Roychowdhury<sup>2</sup>, Martin Sahlén<sup>30</sup>, Dominik J. Schwarz<sup>31</sup>, Thilo M. Siewert<sup>31</sup>, Matteo Viel<sup>32</sup>, Francisco Villaescusa-Navarro<sup>33</sup>, Yidong Xu<sup>25</sup>, Daisuke Yamauchi<sup>34</sup>, Joe Zuntz<sup>35</sup>



# まとめ

- SKAでは宇宙論に適した**4つのサーベイモード**
  - ☑ HI銀河赤方偏移サーベイ: 究極サーベイ( $N_{\text{gal}} \sim 10^9$ )
  - ☑ MID HI強度マッピング : 速く広いサーベイを実現
  - ☑ LOW HI強度マッピング : 再電離物理に迫る
  - ☑ 電波連続線サーベイ : 遠方( $z \sim 6$ )まで観測可
- 多様な**宇宙論サイエンス**
  - インフレーション・重力理論・再電離物理・素粒子物理・重力レンズ etc

*Thank you!*