

# 一般相対論による宇宙の記述と新たな重力理論の可能性

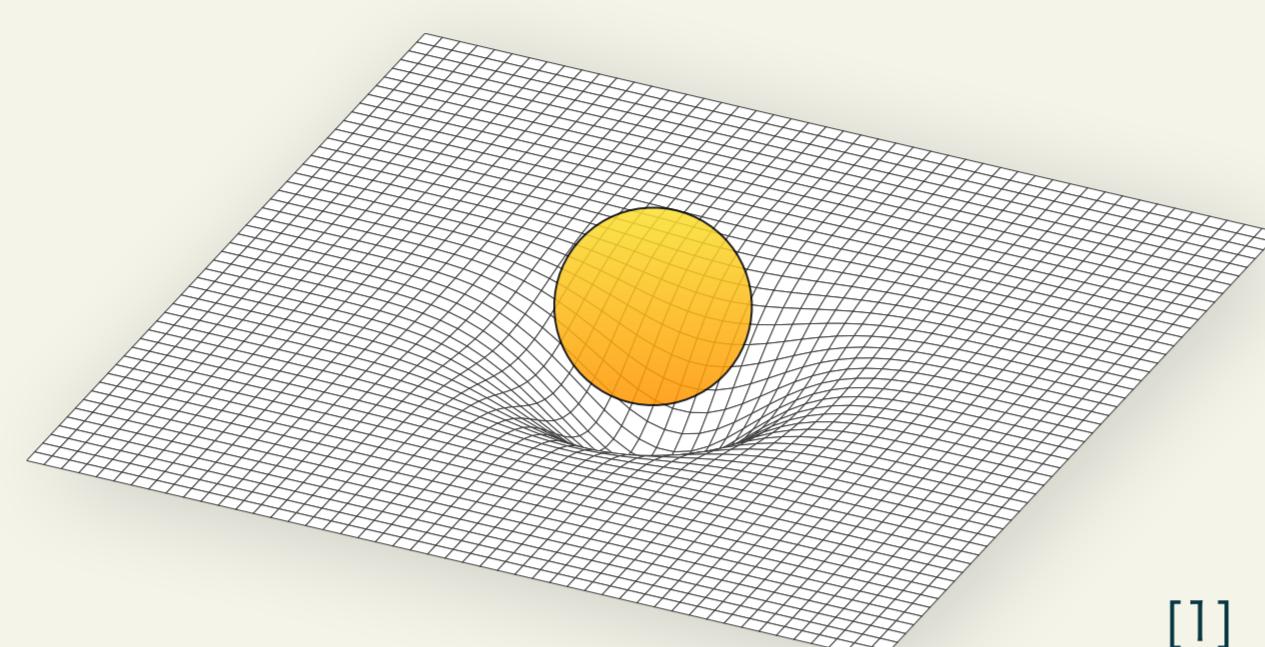
理学研究科 物理学専攻 加瀬研究室 | 博士後期課程2年 | 谷口 喜太郎

加瀬研の目的 宇宙論・重力理論の問題を理論の立場から解決することを目指す

## 1. 一般相対論の成功 [ A. Einstein (1915年頃) ]

重力とは時空の歪みである

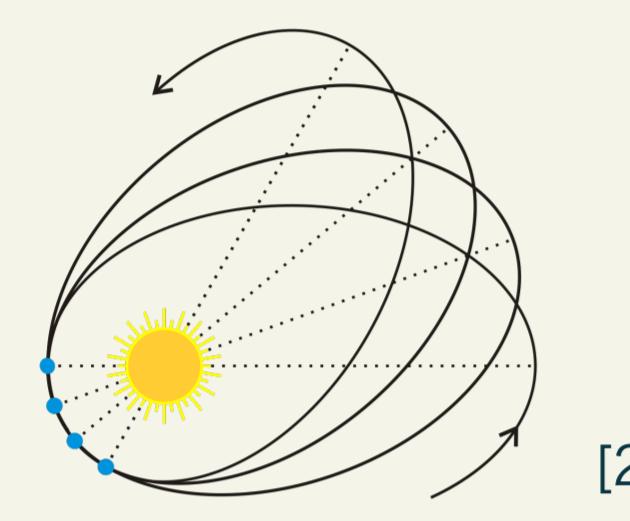
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



[1]

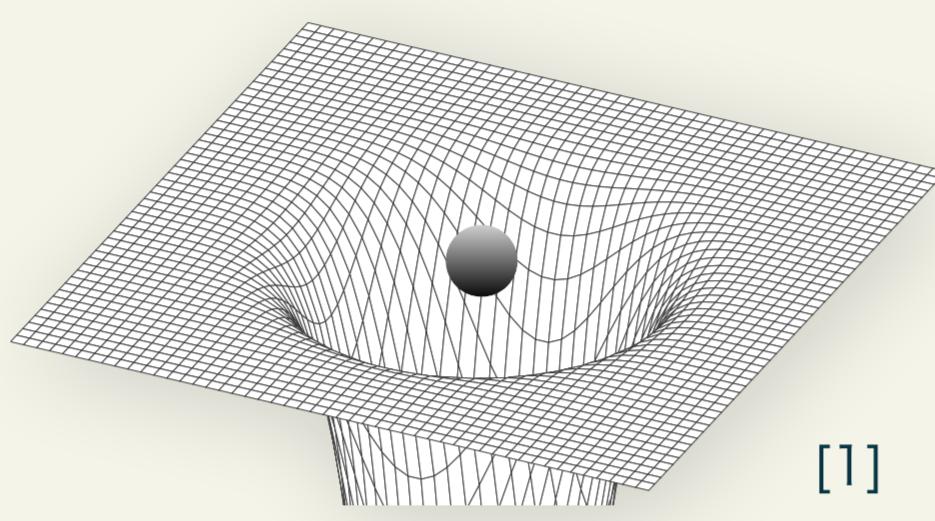
### ● 一般相対論が予言/修正する宇宙の諸現象の例…

(a) 水星の近日点移動



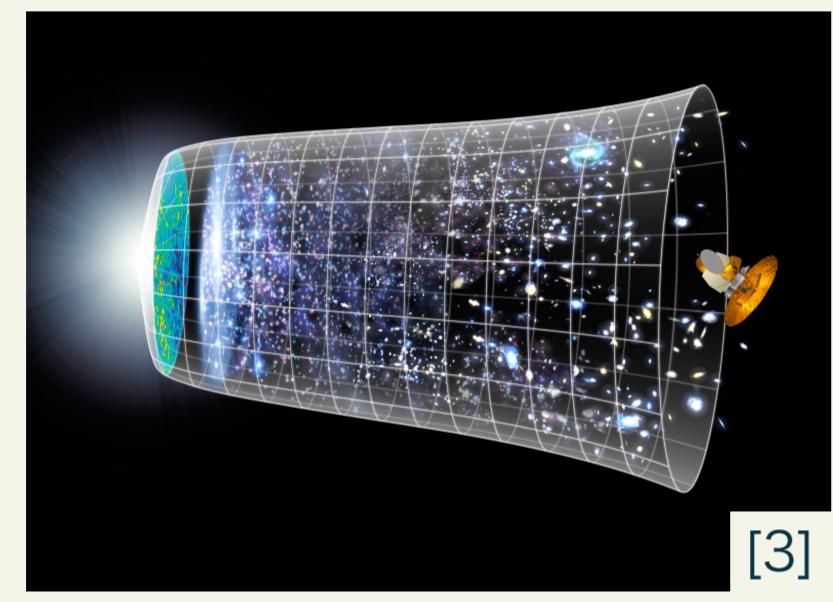
[2]

(b) ブラックホール



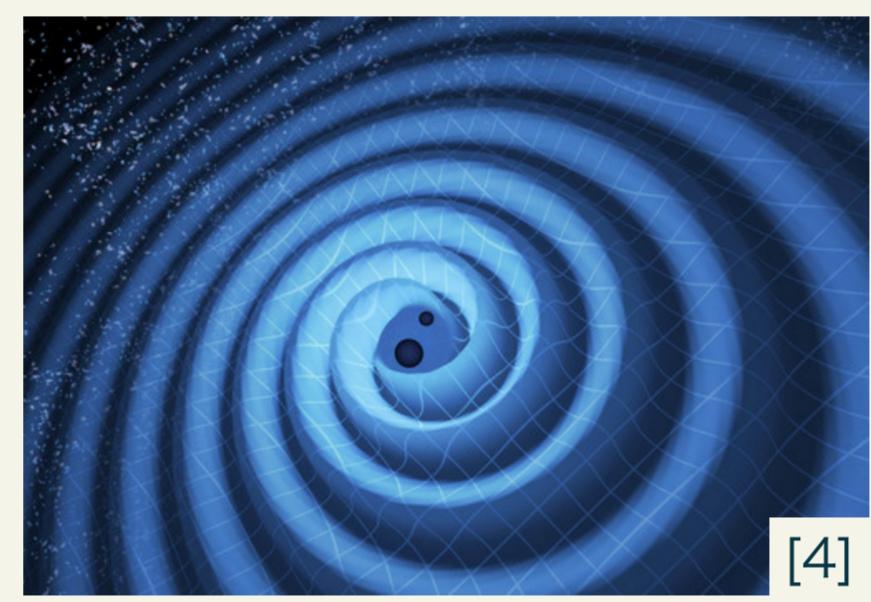
[1]

(c) 宇宙膨張



[3]

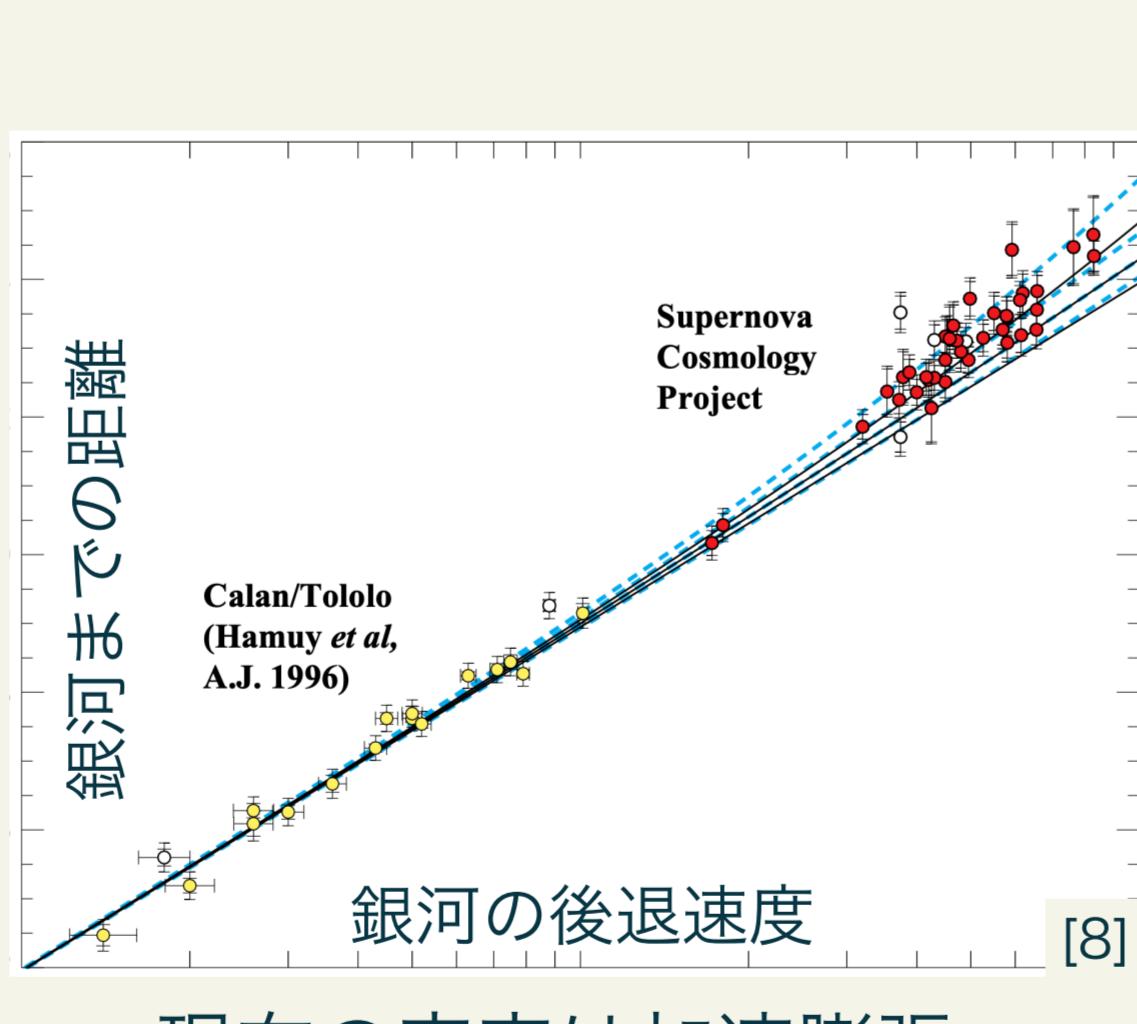
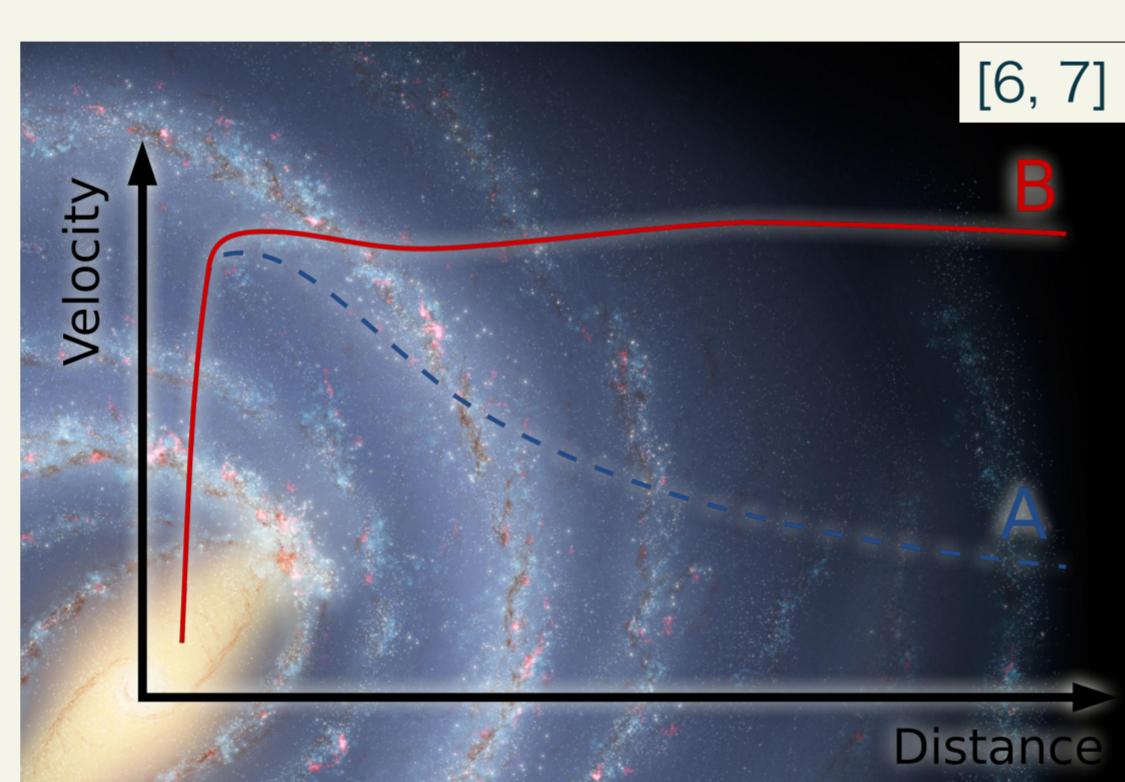
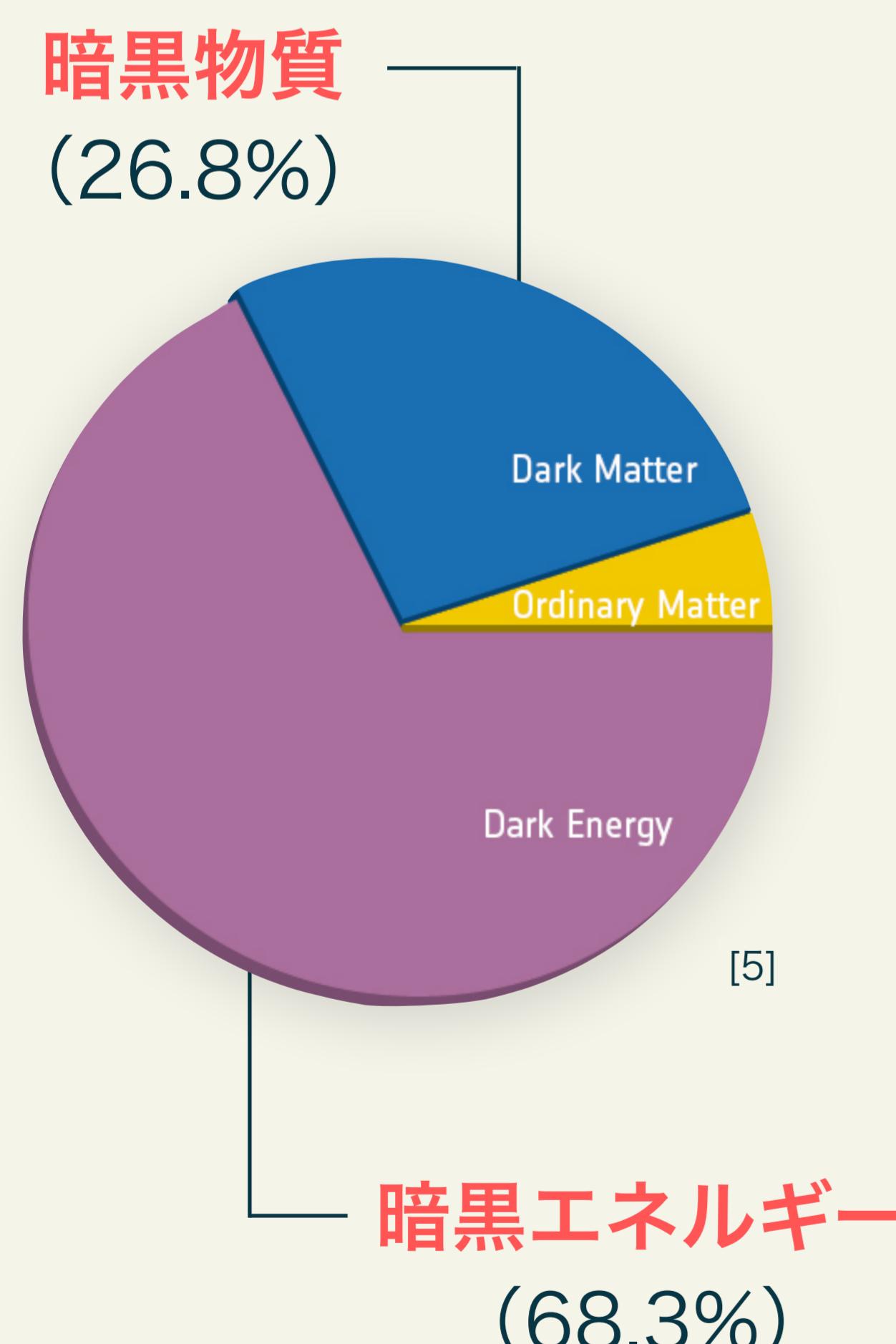
(d) 重力波



[4]

→ ここ100年で一般相対論の有効性が検証されてきた

## 2. 宇宙を満たす2つの暗黒成分



## 3. 宇宙論における標準シナリオと課題

$\Lambda$ CDMモデル：

『一般相対論 + 宇宙定数 + 冷たい暗黒物質』

→ 宇宙の進化や構造形成を整合的に記述！

- [1] <https://tex.stackexchange.com/questions/585057/tikz-3d-pgfplots-how-to-draw-plot-curved-spacetime>  
[2] <https://ja.wikipedia.org/w/index.php?title=%E5%8D%8A%E7%94%9F%E7%80%94>  
[3] <https://map.gsfc.nasa.gov/media/060915/index.html>  
[4] <https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20160615f>  
[5] [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2013/03/Planck\\_cosmic\\_recipe](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2013/03/Planck_cosmic_recipe)  
[6] <https://images.nasa.gov/details-PIA10748>  
[7] <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9E%8B%E5%AE%A1>  
[8] S. Perlmutter, ApJ, 517:565-586 (1999)
- [9] P. A. R. Ade et al., [Planck], A&A, 594, A13 (2016); L. Verde, T. Treu & A. G. Riess, Nature Astron. 3 891 (2019)  
[10] K. Taniguchi & R. Kase, Phys.Rev.D 105, 10, 104044 (2022)  
[11] <https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20170601d>  
[12] The Event Horizon Telescope Collaboration, ApJL, 875, L1 (2019)

### ● $\Lambda$ CDMモデルが抱える課題の例

(a) 宇宙定数問題

宇宙定数を量子論的な零点エネルギーとみなすと理論値と観測値が桁違い

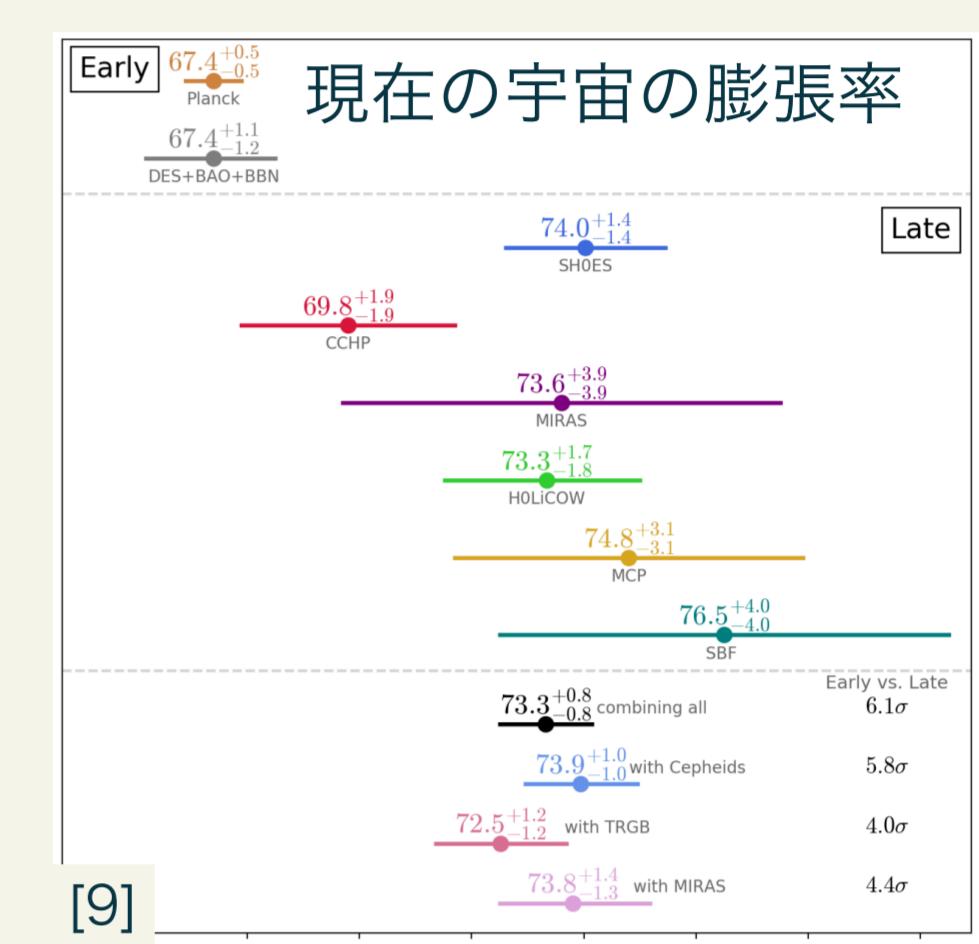
(b) 偶然性問題

暗黒エネルギーと物質が同じ桁で存在するのは偶然か過去の初期値に微調整が必要

(c) 観測値の不一致問題

観測値が遠方と近傍で統計的有意に食い違う

独立した2つの物理量に関して同様の問題が存在

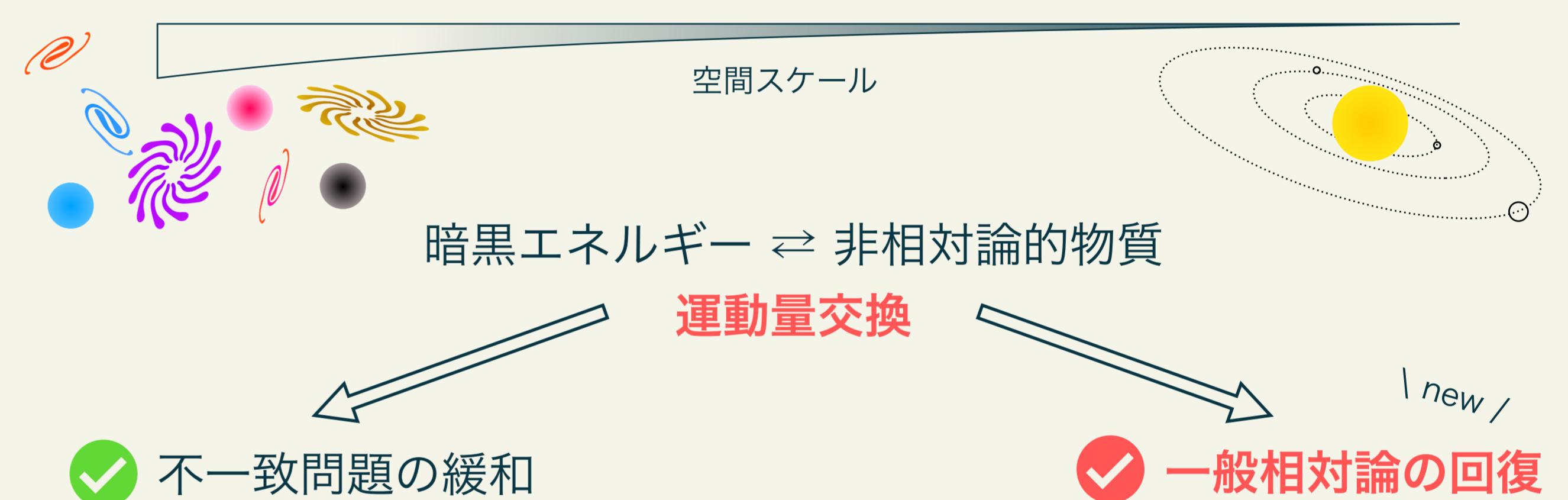


[9]

→ 宇宙定数によらない新たな宇宙論モデルの可能性

### ★ 新たな宇宙論モデルを検証した研究 [10]

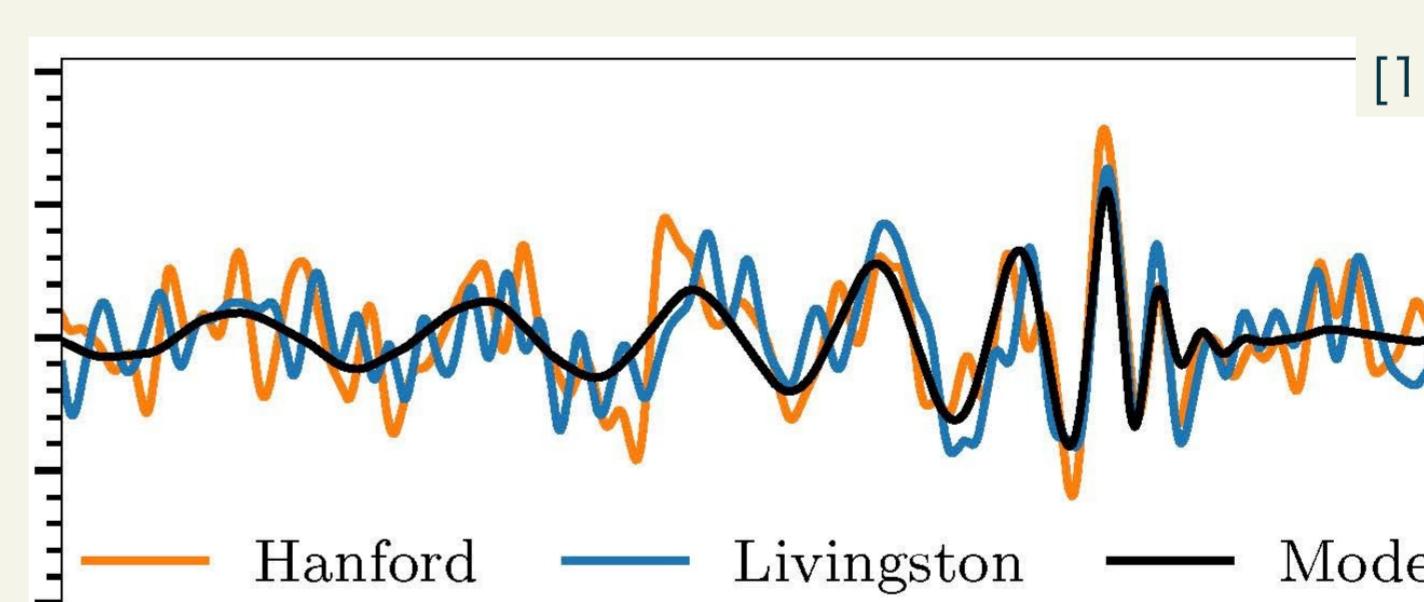
Q. 不一致問題を緩和する理論が小スケールで一般相対論と整合的か



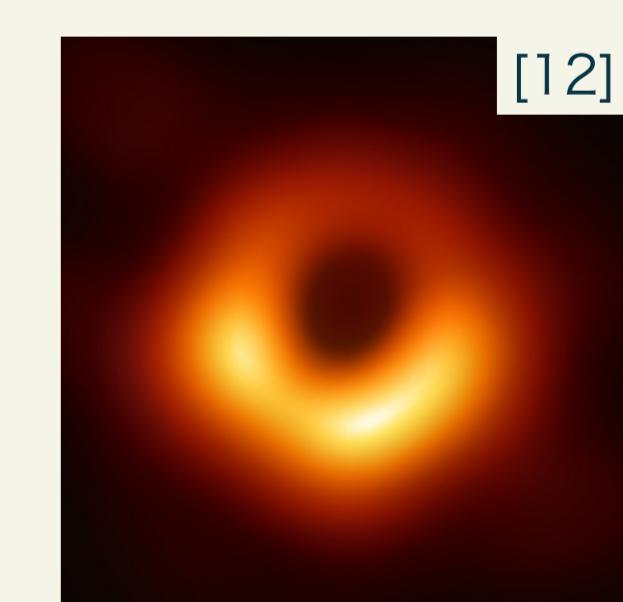
## 4. 強重力領域でのさらなる検証

### ● 強重力の物理に関する直接観測の例

(a) 高密度天体からの重力波



(b) ブラックホールシャドウ



→ 強重力領域の可観測量から重力理論をテストする

(例) ブラックホールの無毛定理：

『一般相対論 + 電磁気学で真空かつ漸近平坦な時空での定常軸対称ブラックホールは質量、電荷、角運動量のみをもつ』

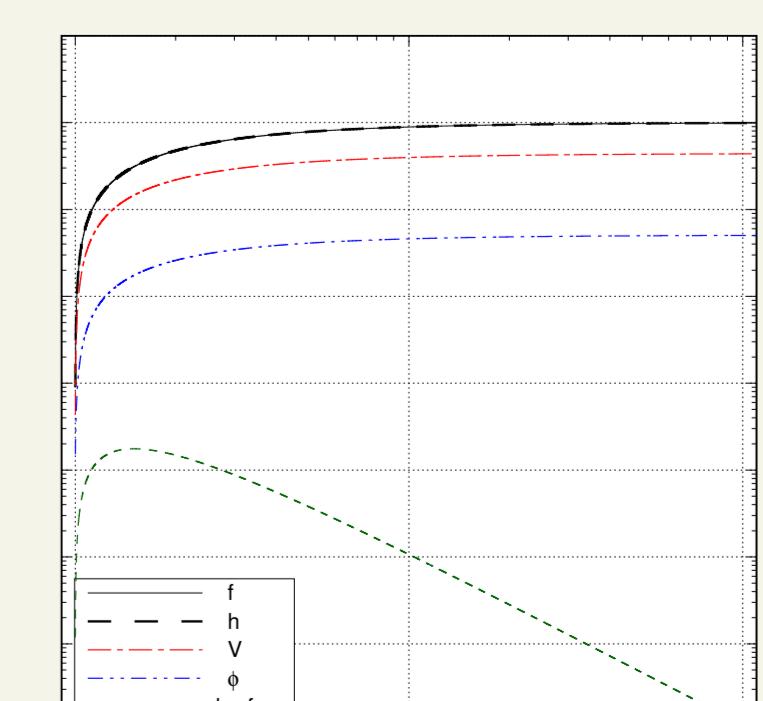
### ★ 暗黒物質の候補を導入したブラックホールの研究

Q. 素粒子物理学や弦理論から示唆される

電磁場と弱く結合する新たな場が

暗黒物質として宇宙を満たしているならば

ブラックホールにどのような痕跡を残すか



## 5. 加瀬研へようこそ！