

4

重力波望遠鏡でダークマターを探す

大島 由佳

理学系研究科

(専門:宇宙物理学・レーザー干渉計を用いた精密測定)

宇宙物理学者たちがダークマターの正体を探し始めて早35年。いまだに見つかっておらず、見つければノーベル賞確実と言われています。重力波望遠鏡でダークマターを探す、一石二鳥の最先端研究をご紹介します。

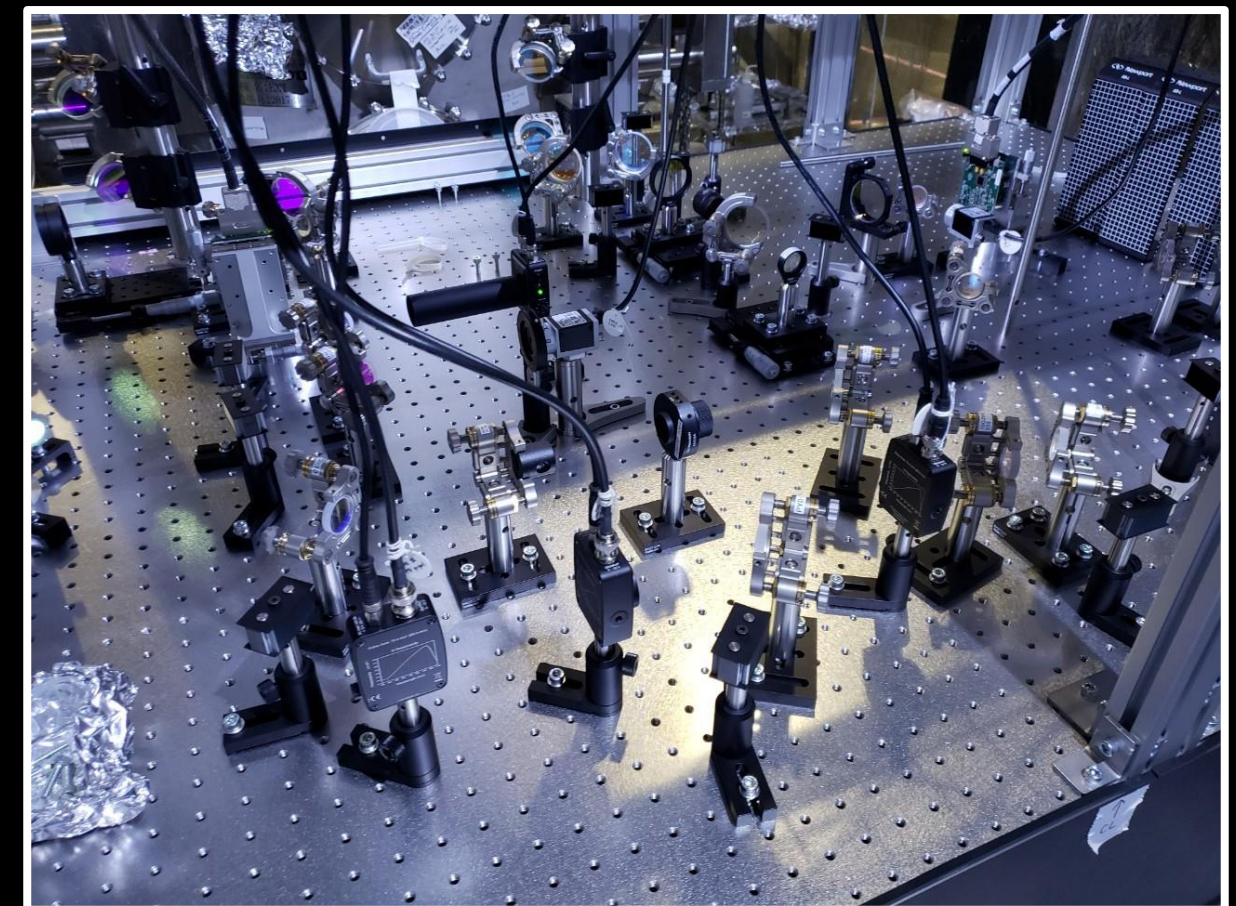
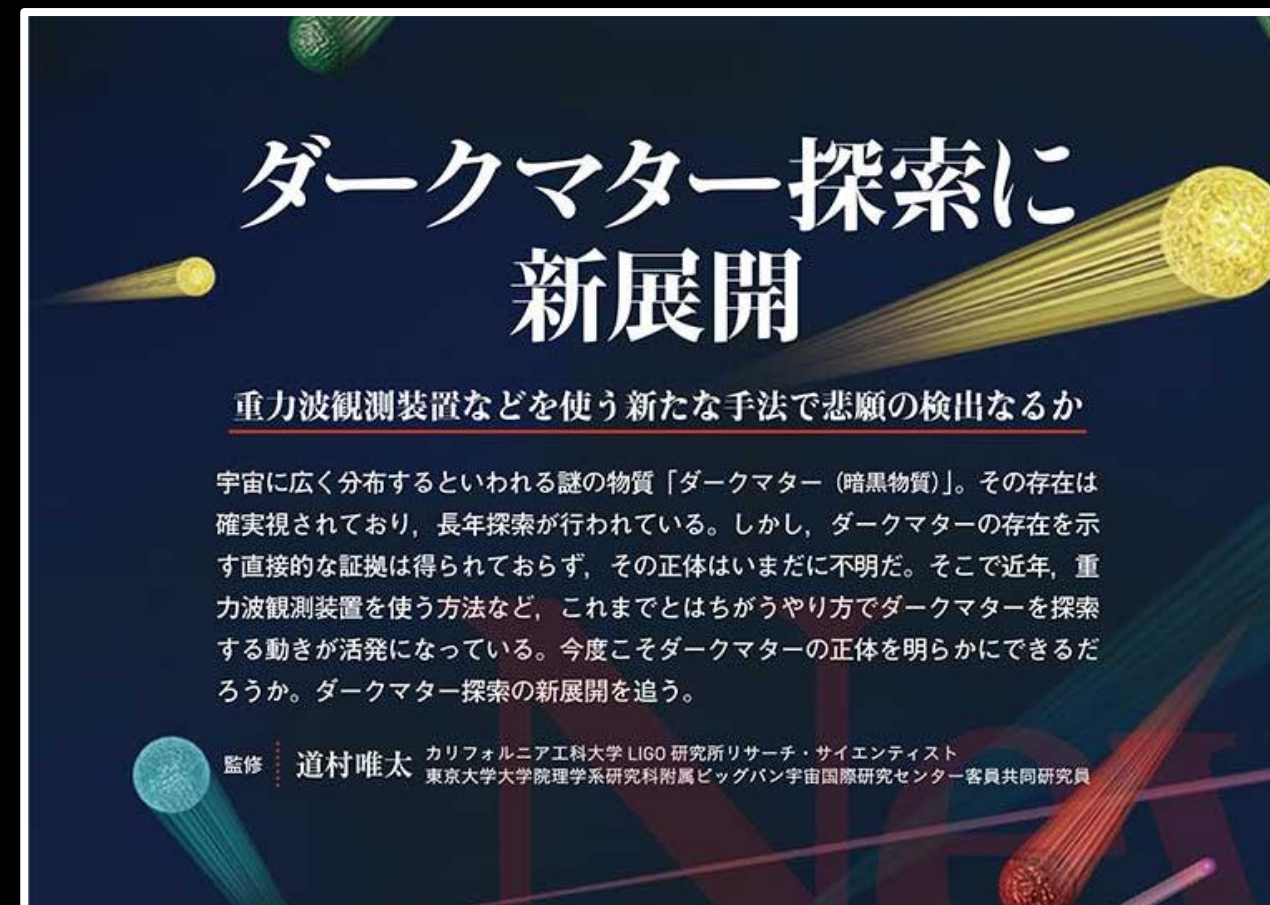
10分で伝えます!

東大
研究
最前線

科学雑誌 Newton 2022年12月号

「重力波望遠鏡KAGRAでダークマターを探す」

私が撮った写真が載っています！



万物は元素でできている？

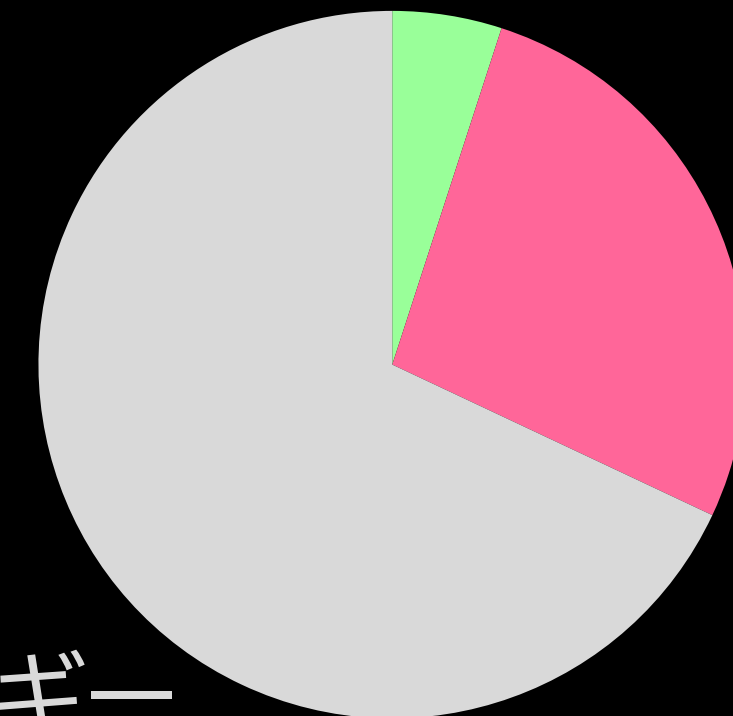
昔は or 高校の理科までは 正しい

ダークマター(暗黒物質): 正体不明の物質

元素の周期表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H 1.008																		2 He 4.003
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012	atomic number Symbol atomic weight										5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18	
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31	metallic amphoteric non-metallic inert gas unknown										13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95	
4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.63	33 As 74.92	34 Se 78.97	35 Br 79.90	36 Kr 83.80	
5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.95	43 Tc [99]	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3	
6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	L	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po [210]	85 At [210]	86 Rn [222]	
7	87 Fr [223]	88 Ra [226]	A	104 Rf [267]	105 Db [268]	106 Sg [271]	107 Bh [272]	108 Hs [277]	109 Mt [276]	110 Ds [281]	111 Rg [280]	112 Cn [285]	113 Nh [284]	114 Fl [289]	115 Mc [288]	116 Lv [293]	117 Ts [293]	118 Og [294]	
			L	57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm [145]	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.1	71 Lu 175.0	
			A	89 Ac [227]	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np [237]	94 Pu [239]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [252]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]	

原子・分子でできた
ふつうの物質
5%



ダークマター
27%

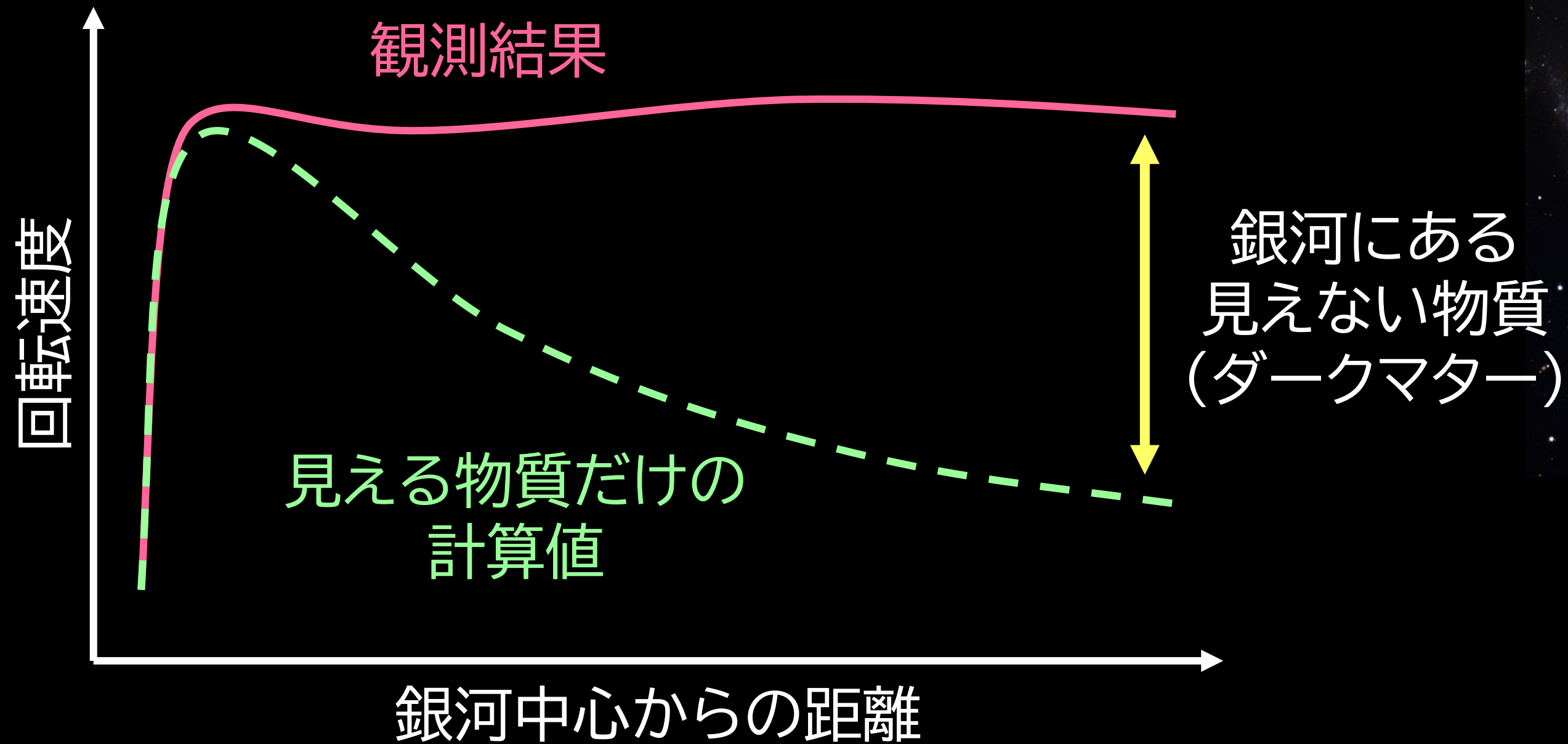
ダークエネルギー
68%

宇宙の組成

ダークマター存在の証拠

銀河の回転曲線の観測結果がダークマターの存在を強く支持

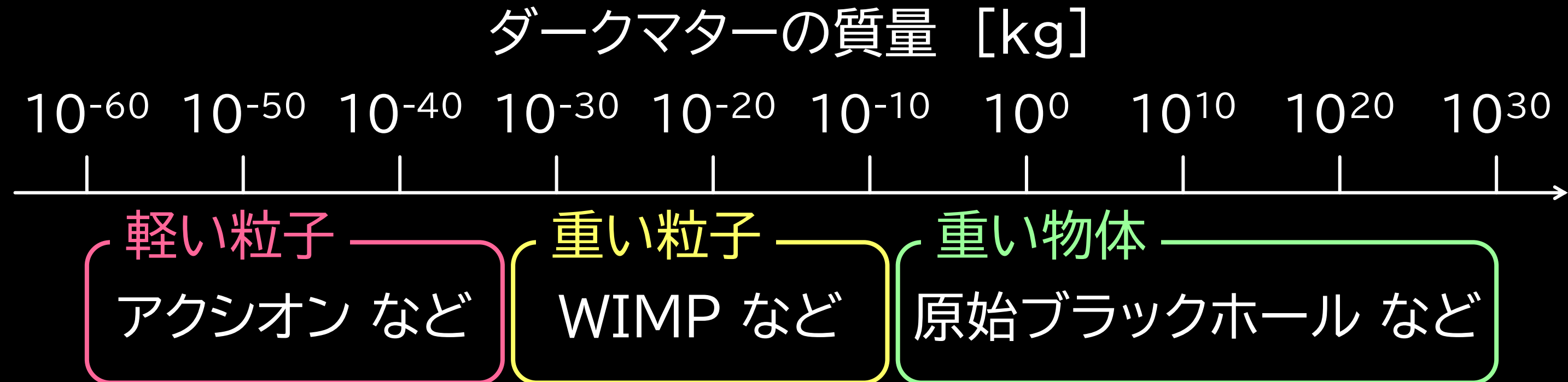
銀河にダークマターが存在する = 私たちのすぐそばにも存在する



ダークマターの候補

理論研究により多くのダークマターの候補が考えられた

ダークマターの条件: 電荷をもたない・壊れにくい・宇宙初期にできた など



これまでのダークマター探索

最有力候補**WIMP**を探す多くの実験が行われたがいまだに見つかっていない
近年**アクシオン**が注目されている

ダークマターの質量 [kg]

10^{-60} 10^{-50} 10^{-40} 10^{-30} 10^{-20} 10^{-10} 10^0 10^{10} 10^{20} 10^{30}

軽い粒子

アクシオン など

重い粒子

WIMP など

重い物体

原始ブラックホール など

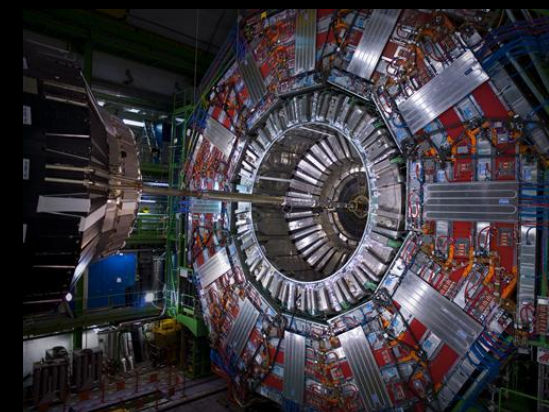
CAST

XENONnT

XMASS

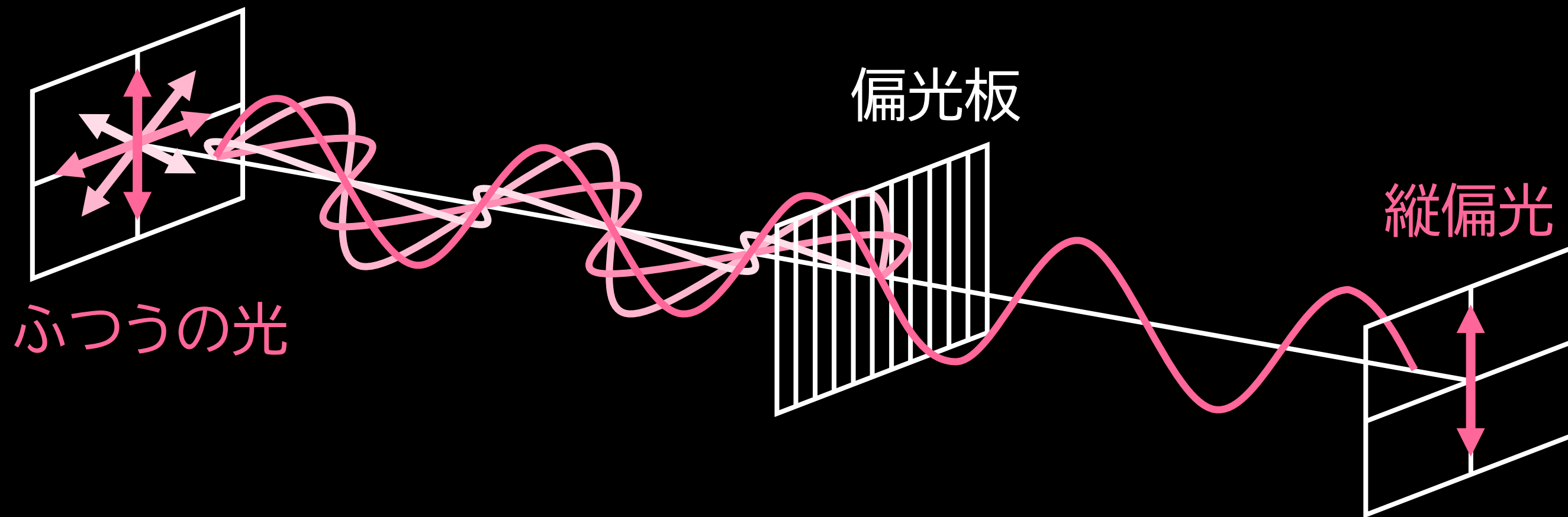
LHC

すばる望遠鏡



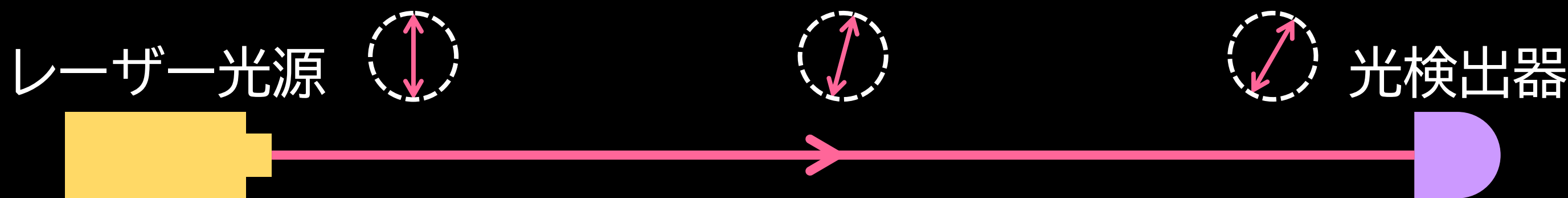
アキシオンと偏光の反応

偏光板を通った光は1方向にだけ振動する



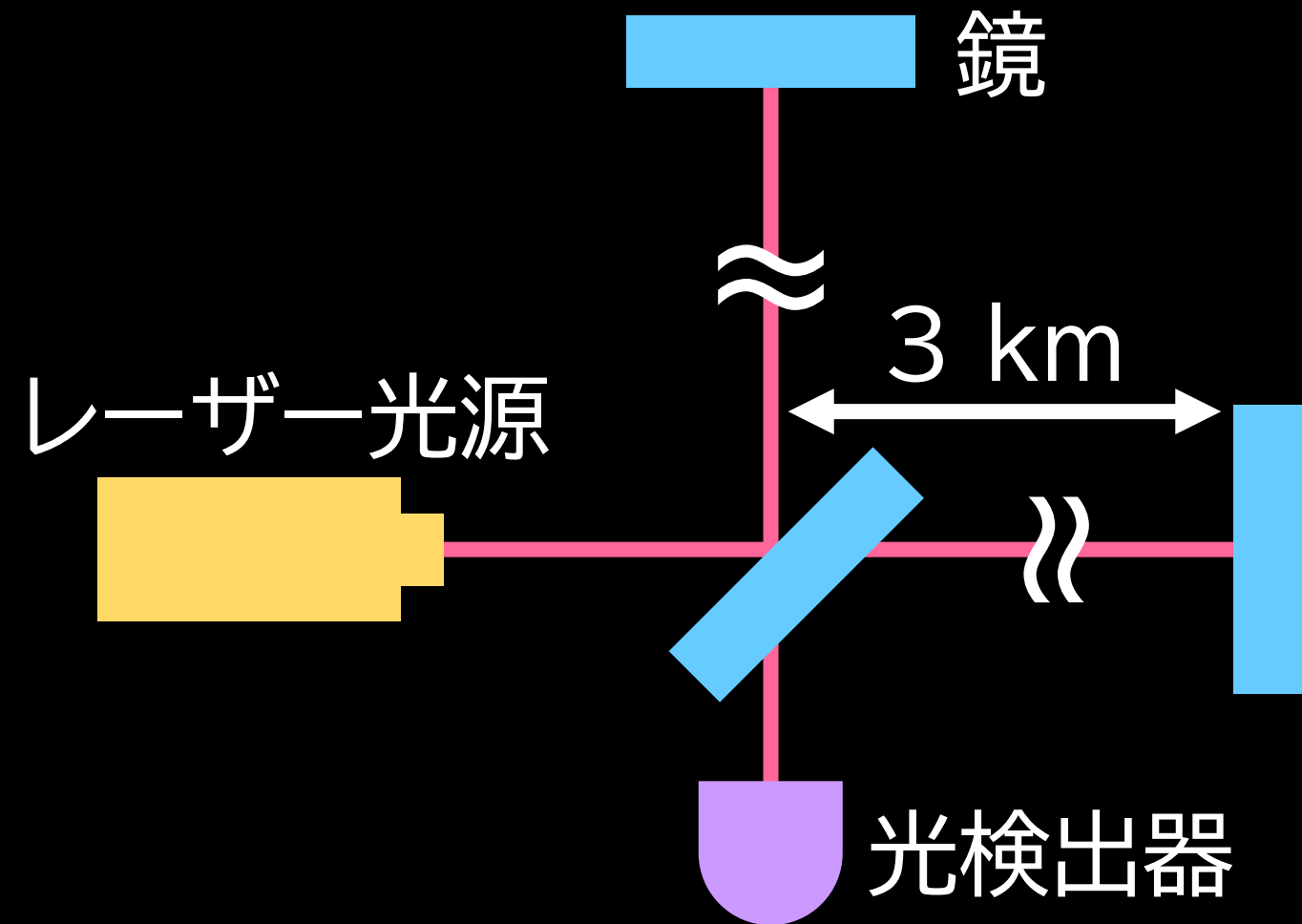
もしアキシオンがあると偏光がわずかに回転する

回転角度はとても小さい → 偏光を長い距離とばして検出する必要がある



重力波望遠鏡KAGRAでアキシオンを探す

KAGRAを上から見た図



重力波: 空間の歪みの変化が伝わる現象

重力波望遠鏡:

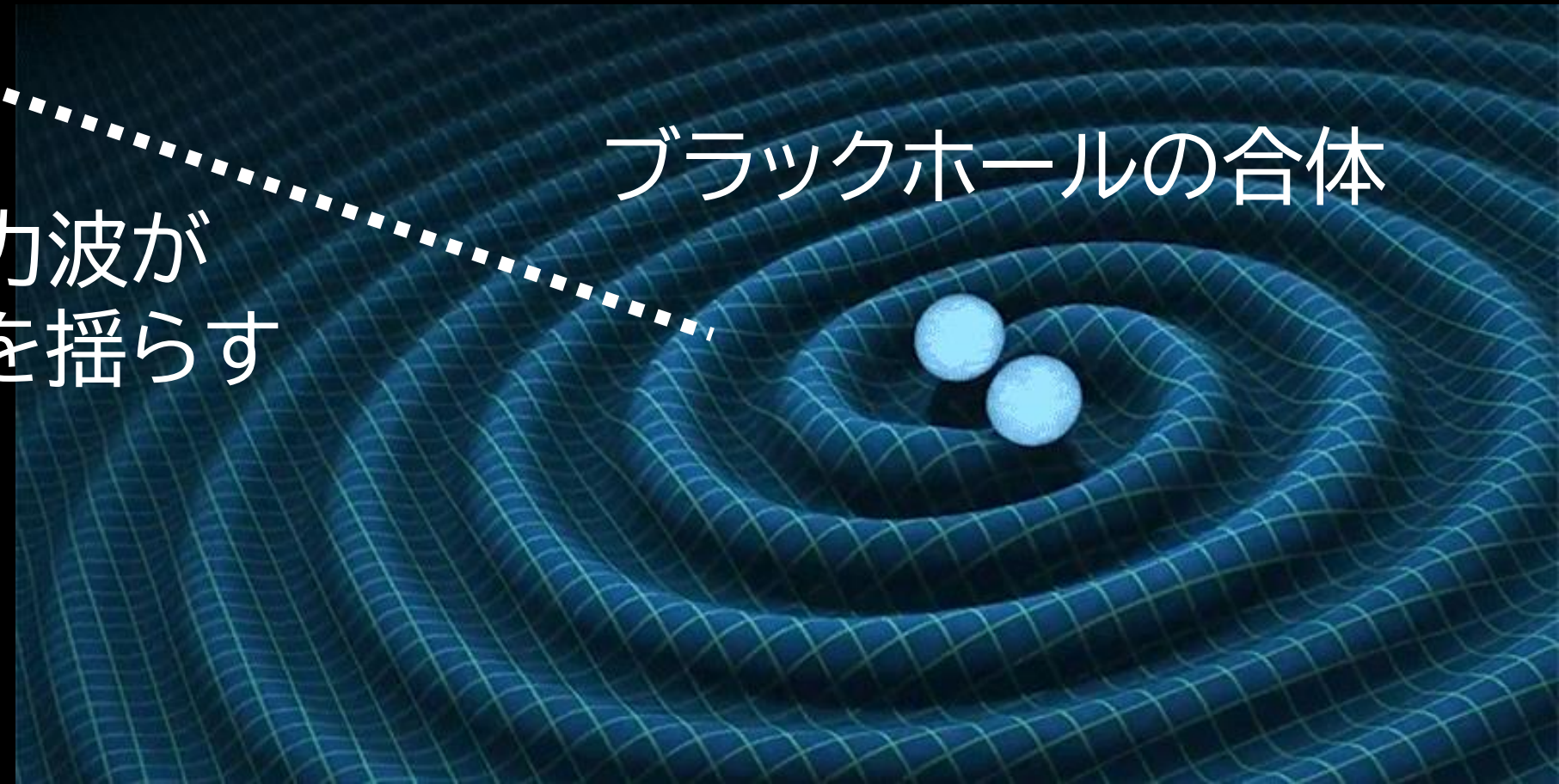
光を長い距離とばして鏡の揺れを測る



岐阜県神岡

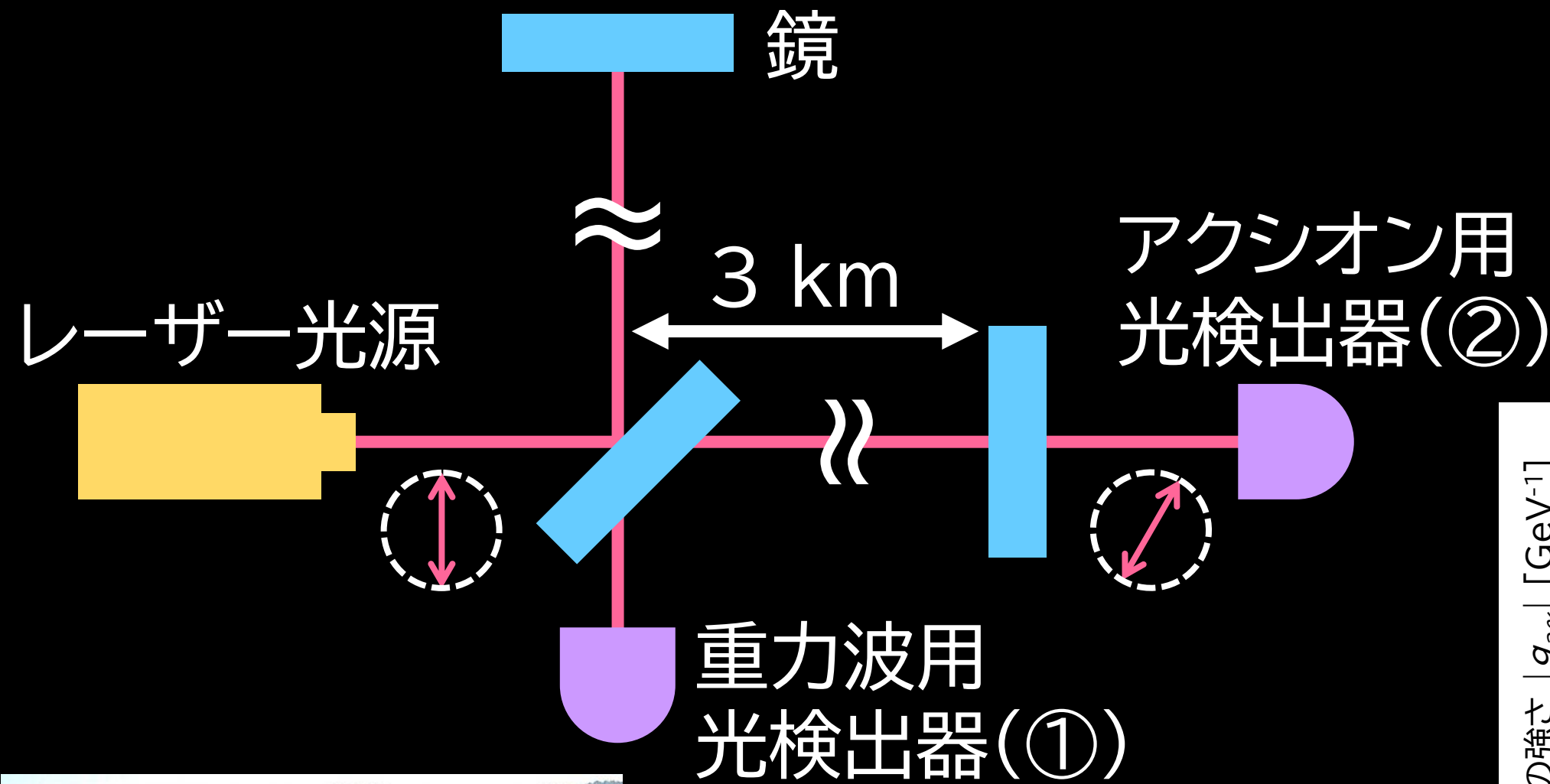
重力波が鏡を揺らす

ブラックホールの合体



重力波望遠鏡KAGRAでアクシオンを探す

KAGRAを上から見た図



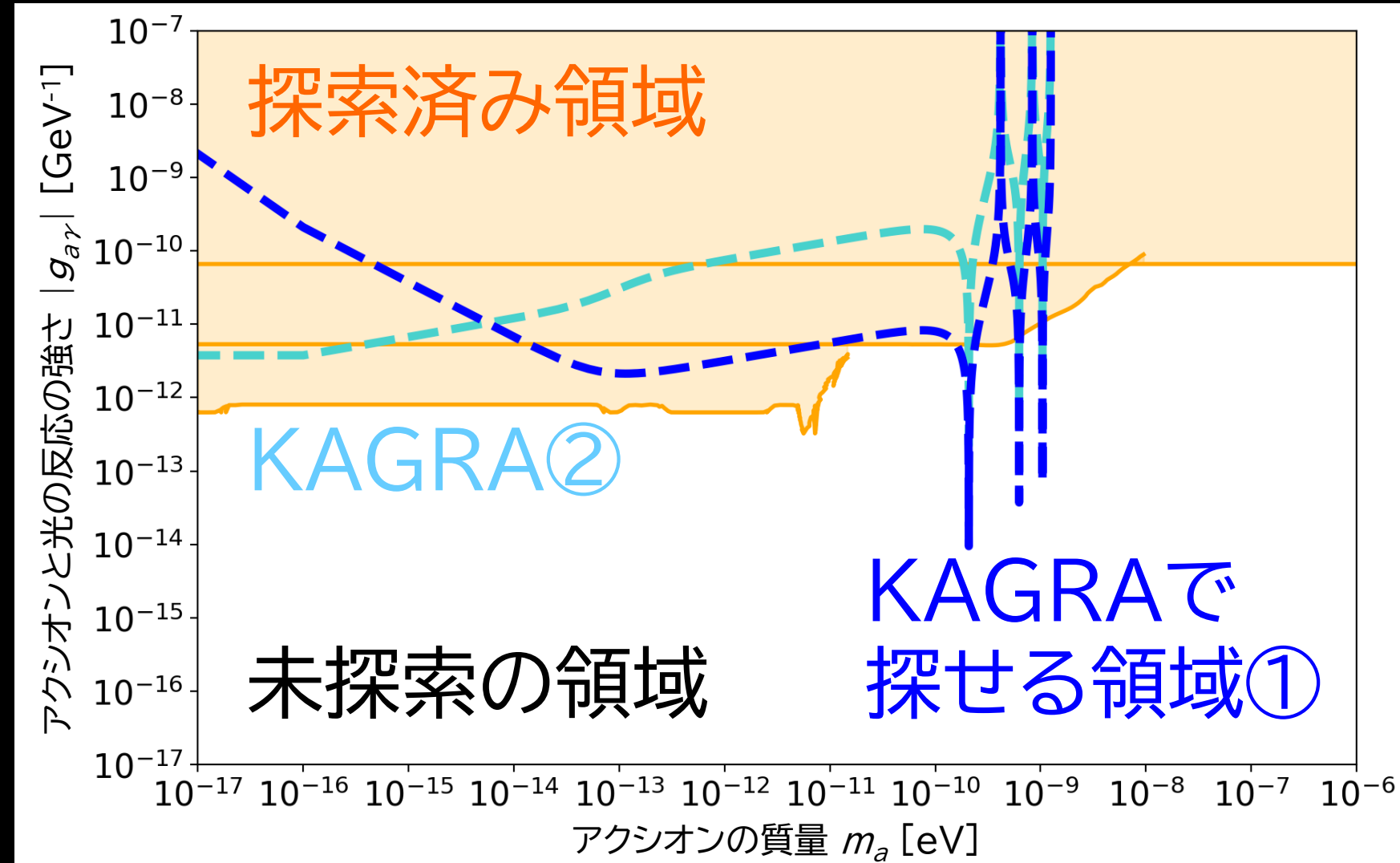
光を長い距離とばす重力波望遠鏡は
 アクシオン探索にも使える
 → **一石二鳥**の研究

K. Nagano+, *Phys. Rev. Lett.* **123**, 111301 (2019)
 K. Nagano+, *Phys. Rev. D* **104**, 062008 (2021)



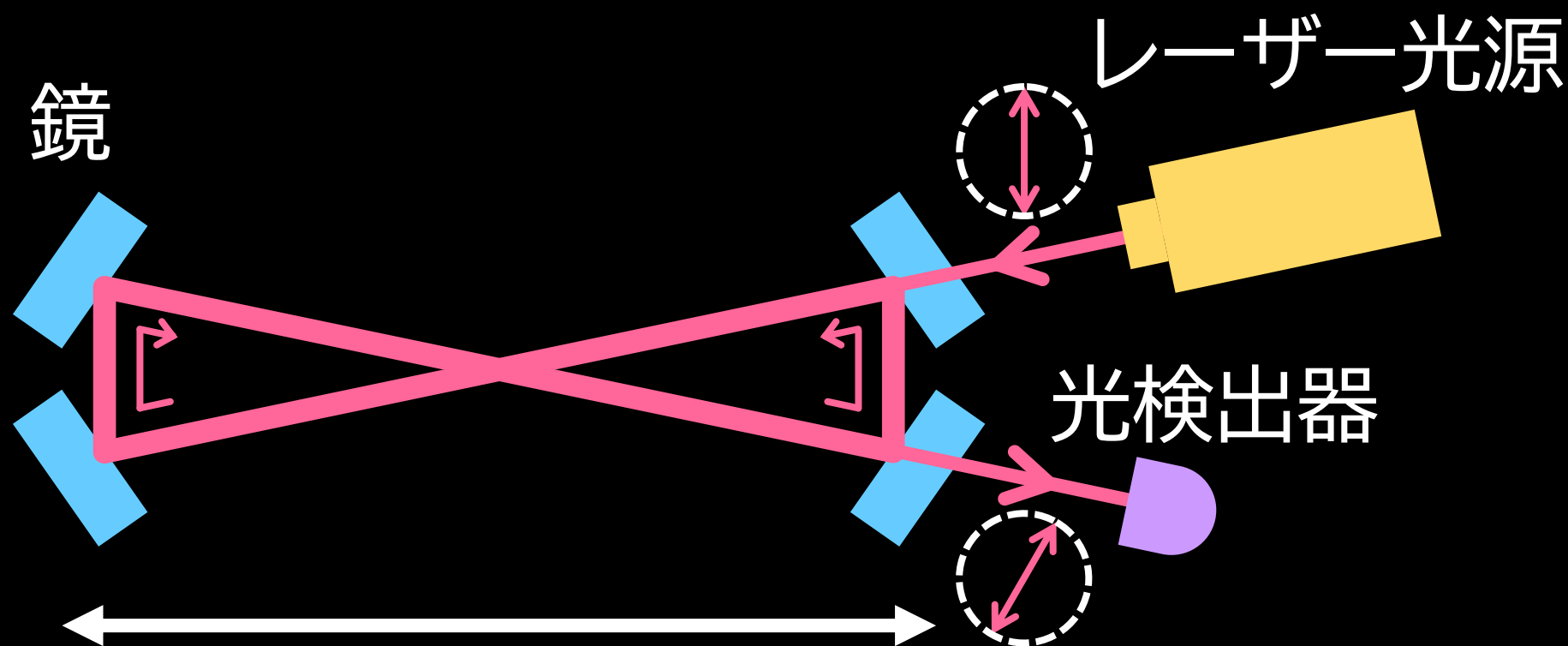
岐阜県神岡

反応が弱い
 = 高感度の探索



専用装置DANCEでアクシオンを探す

DANCEを上から見た図

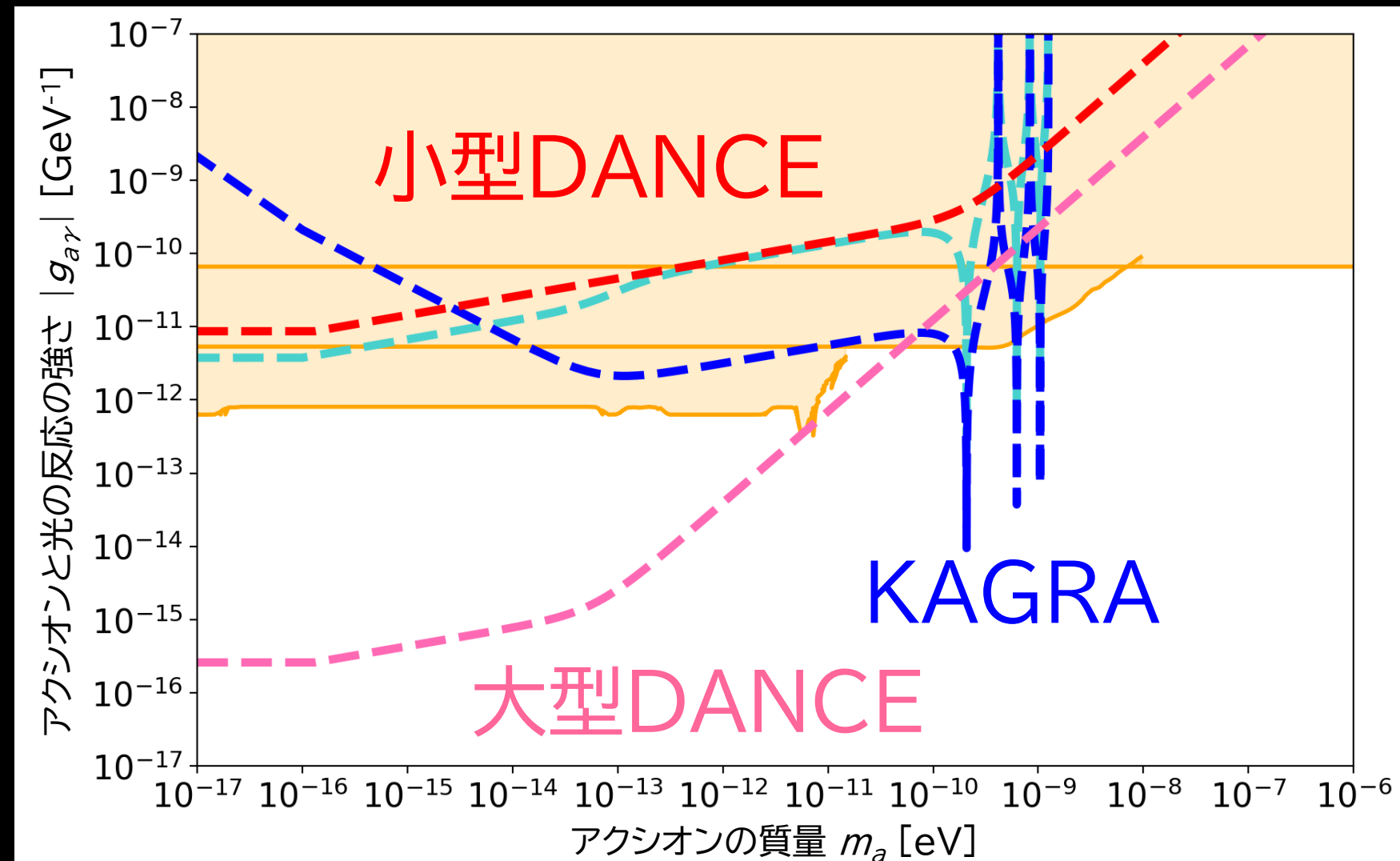


小型(実験中): 50 cm
 大型(将来計画): 5 m

鏡の中で光を何度も周回させて
光をとばす距離を長くする

アクシオン探索専用設計
 → 小さくても**広い帯域で良い感度**

I. Obata+, *Phys. Rev. Lett.* **121**, 161301 (2018)



本郷キャンパス

反応が弱い
 = 高感度の探索

KAGRAとDANCEの現状



KAGRA

初めての
観測運転

アクシオン用
光検出器を設置

いい感度が
出た！

2回目の
観測運転

DANCE

小型DANCE
1台目製作

初めての
観測運転

小型DANCE
2台目製作

Y. Michimura+, *J. Phys.: Conf. Ser.* **1468** 012032 (2020)
 Y. Oshima+, *J. Phys.: Conf. Ser.* **2156** 012042 (2021)
 H. Fujimoto+, *J. Phys.: Conf. Ser.* **2156** 012182 (2021)

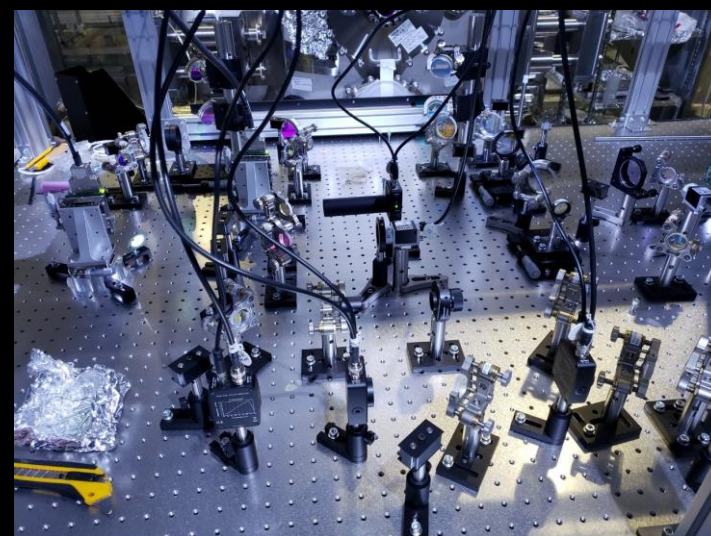
高感度な探索には雑音の低減が必要
 → 地面振動・レーザー光雑音とたたかう日々



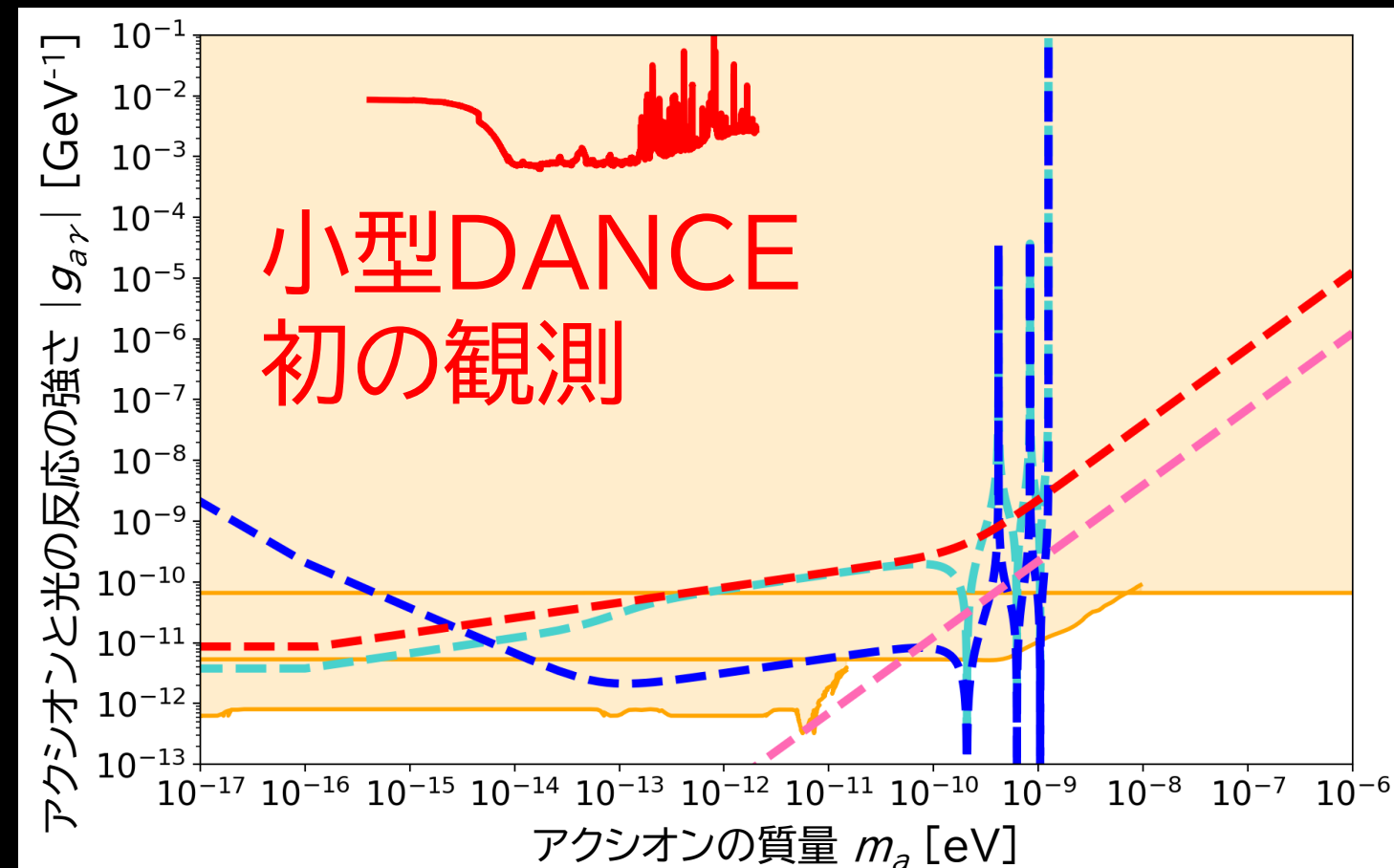
KAGRAのトンネル



クリーンスーツ
を着た私



アクシオン用
光検出器



まとめ

宇宙には正体不明の物質**ダークマター**がたくさんある

近年**アクシオン**が注目され多くの実験で探されている

重力波望遠鏡**KAGRA**と専用装置**DANCE**での
アクシオン探索を進めている

今後の結果にご期待ください！

