



GW 170817 以降の

重力理論の現状

成子 篤 (東北大)

学際科学フロンティア研究所 (當真さん、矢島さん)

= Frontier Research institute for Interdisciplinary Sciences

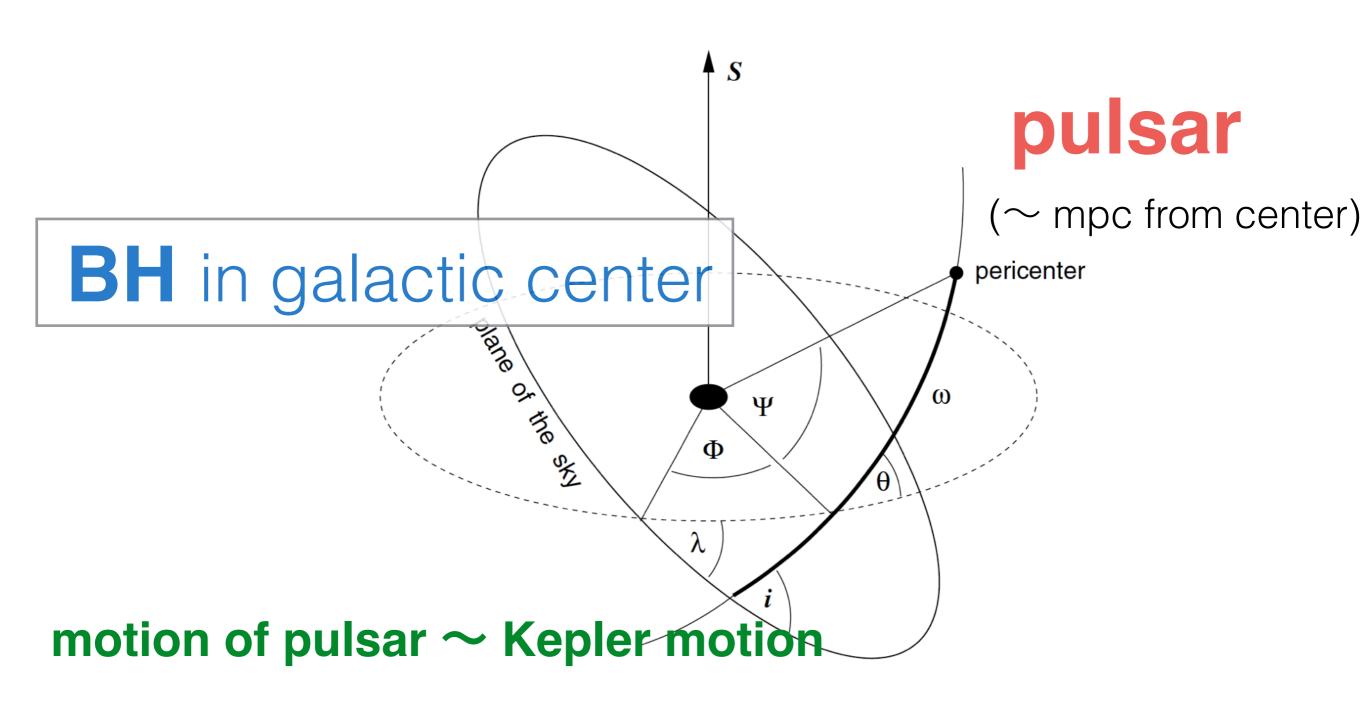
Towards testing gravity theory with a pulsar-BH system

Atsushi NARUKO (Tokyo Institute of Technology)

in collaboration with

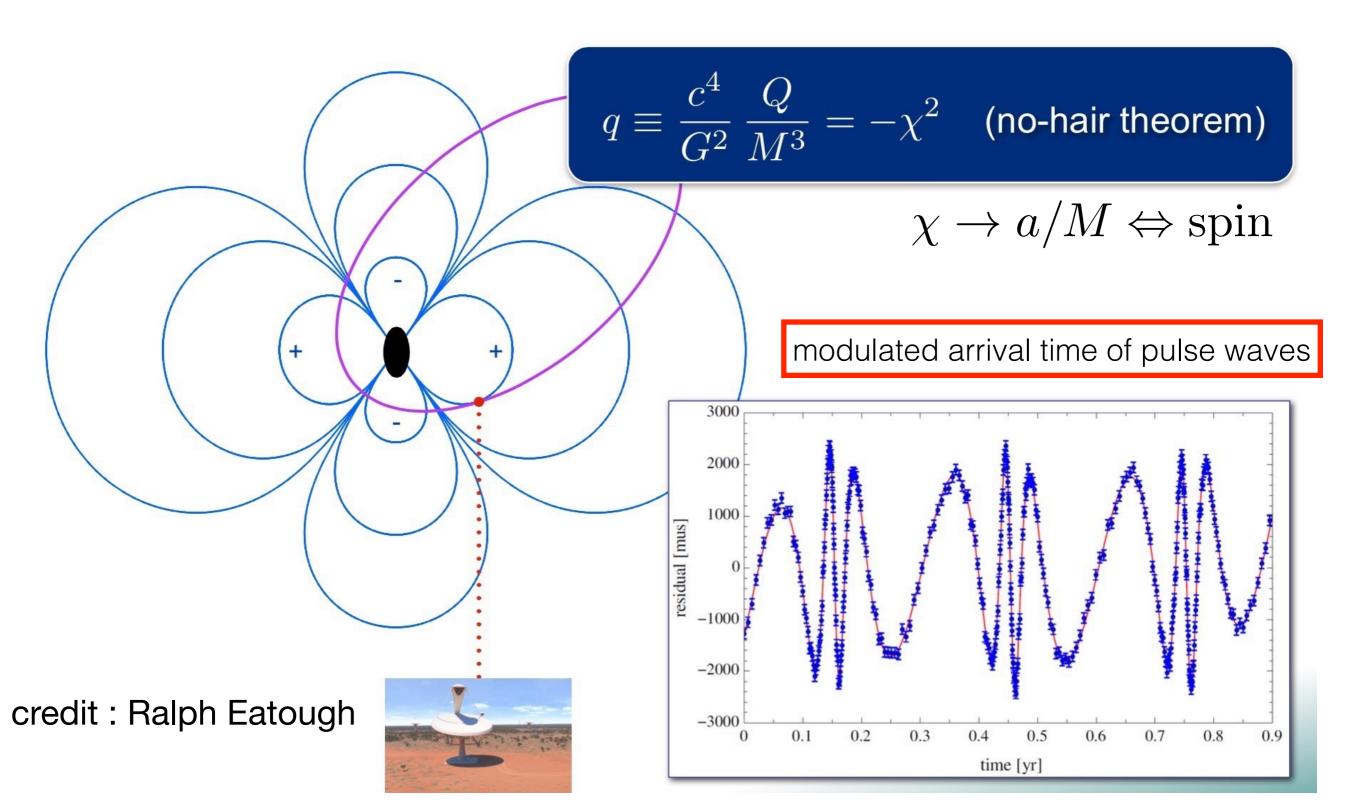
Kazuya Koyama (UK) Keitaro Takahashi (Kumamoto) Chul-Moon Yoo (Nagoya)

system



+ GR effects → deviation from Kepler motion

multi-pole moment of BH (Ф_G)



no-hair theorem of BH

- In GR, BH is parametrized only by 3 three parameters mass (M), angular mom. (spin, a), charge
 - \rightarrow higher multi-pole moments are **f** [M & a] only quadrupole moment : $Q = -Ma^2$
- Apart from GR, those relations become non-trivial
 - $\rightarrow Q = -Ma^2 + \alpha$ (+ a : parameters of the theory)
 - → with SKA, by carefully observing [M, a, Q...], new test of gravity theories at the level of O(%)!!

(using a pulsar at a distance of mpc from the galactic center)





GW 170817 以降の

重力理論の現状

成子 篤 (東北大)

学際科学フロンティア研究所 (當真さん、矢島さん)

= Frontier Research institute for Interdisciplinary Sciences

内容

- ✓ これまでの重力波観測のまとめ (aLIGOによる)
- ✓ 重力波の伝搬速度の制限 (GW170817 以前/後)
- ✔ 暗黒エネルギーモデルに対する制限
- ✓ v_{GW} = c の暗黒エネルギーモデル (時間が許せば)

aLIGOによる これまでの重力波観測

GW detectors







LIGO (02)

Nov. 30, 2016 – Aug. 25, 2017 (detection distance ~80 Mpc)

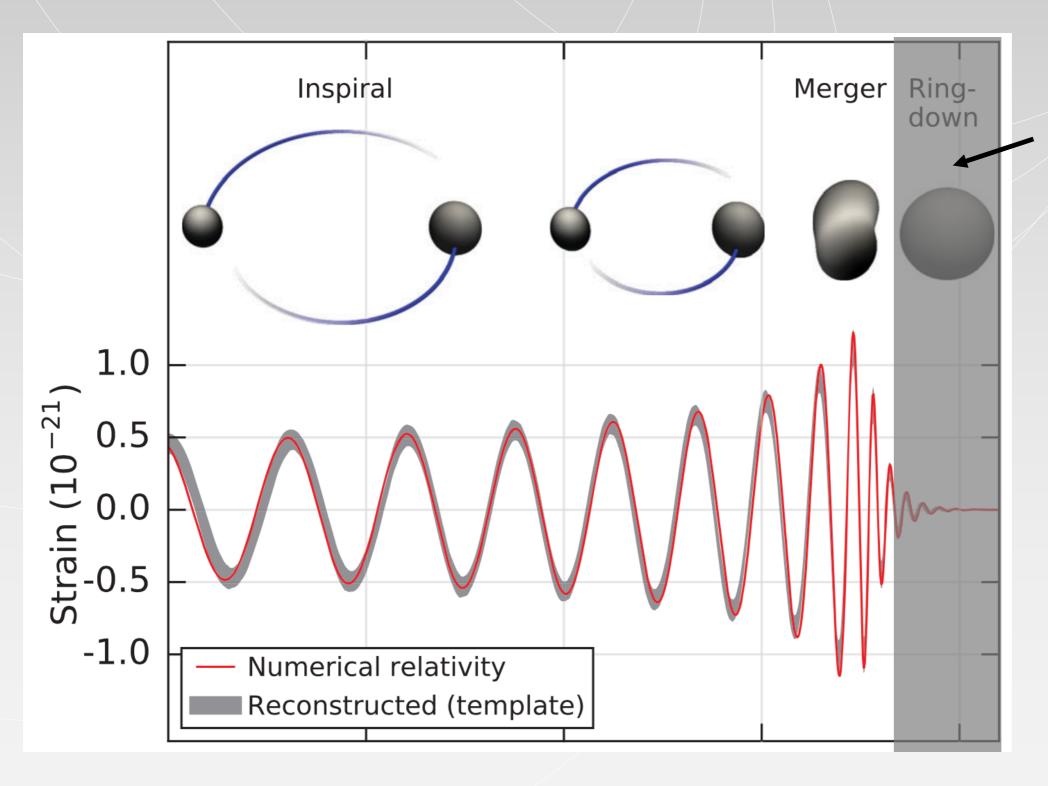
VIRGO

Aug. 1, 2017 – Aug. 25, 2017 (detection distance ~20 Mpc)

LIGO (01)

Sep. 12, 2015 - Jan. 19, 2015

GW signal



depends on neutron star or black hole

In case of neutron stars, mass ejection occurs. (waveform is not so clean)



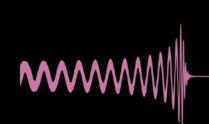
GW150914

W

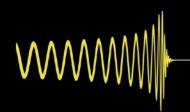
LVT151012

^^^





GW170104



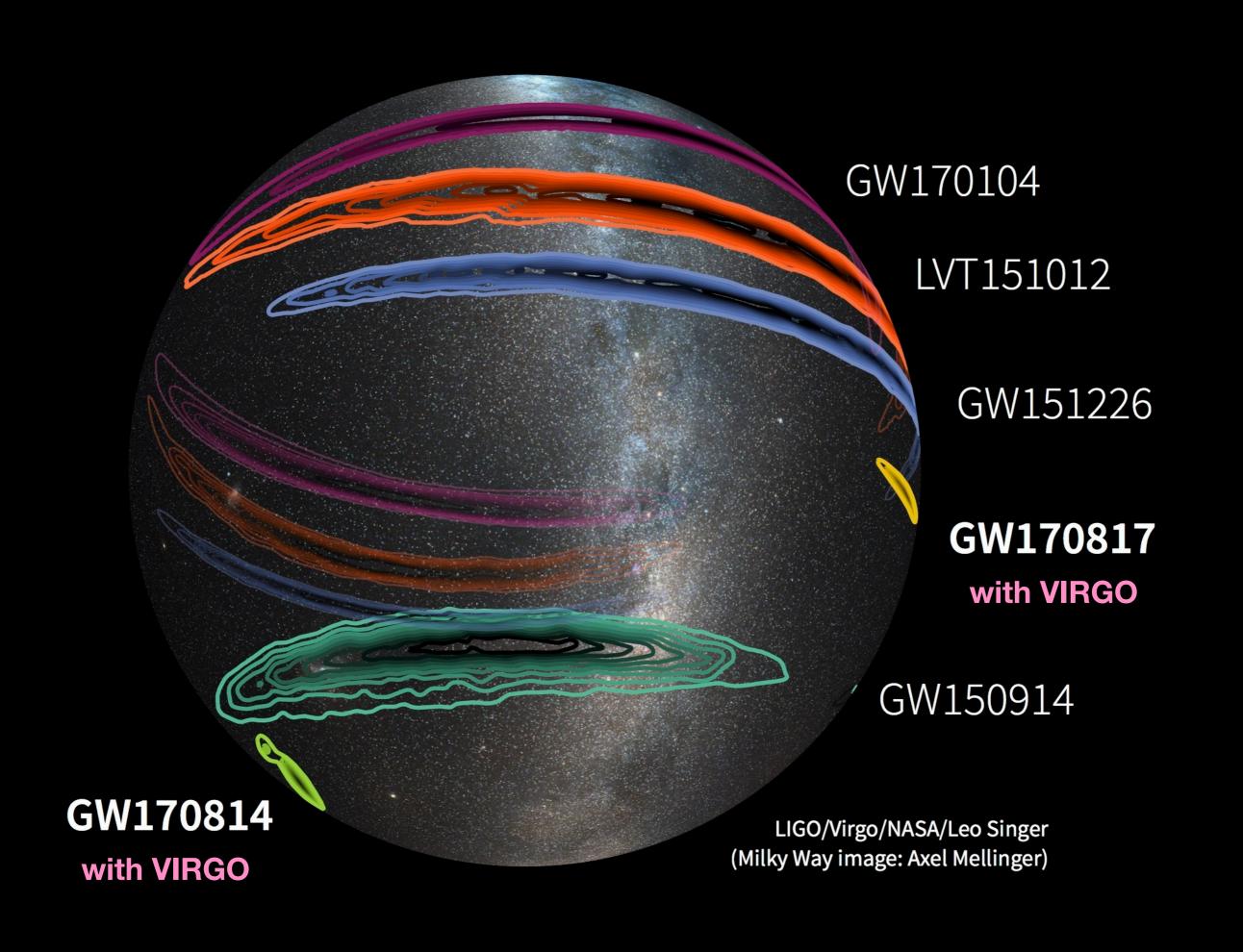
GW170814 by LIGO & Virgo (for others solely by LIGO)

0 sec.

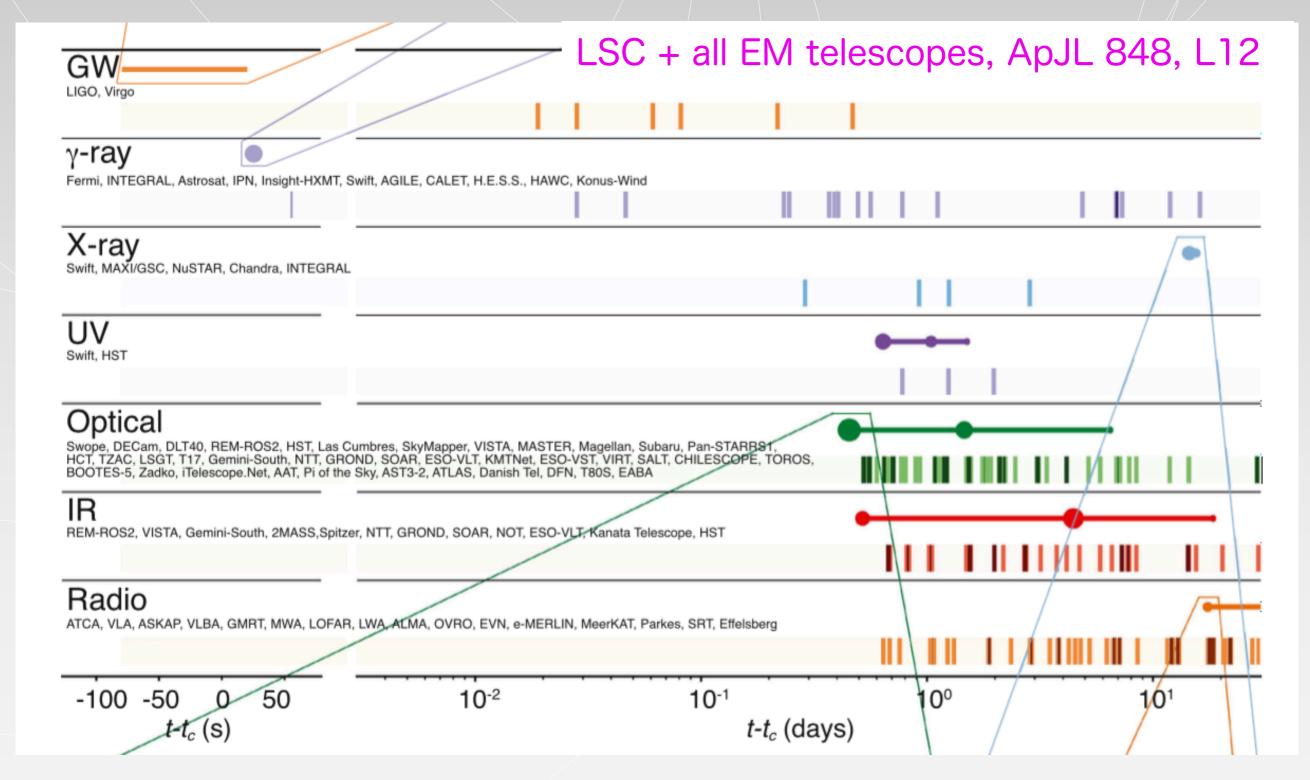
1 sec.

2 sec.

time observable by LIGO-Virgo



Other follow-up observations



No neutrino was detected. LSC + neutrino detectors, arXiv:1710.05839

重力波の伝搬速度の制限

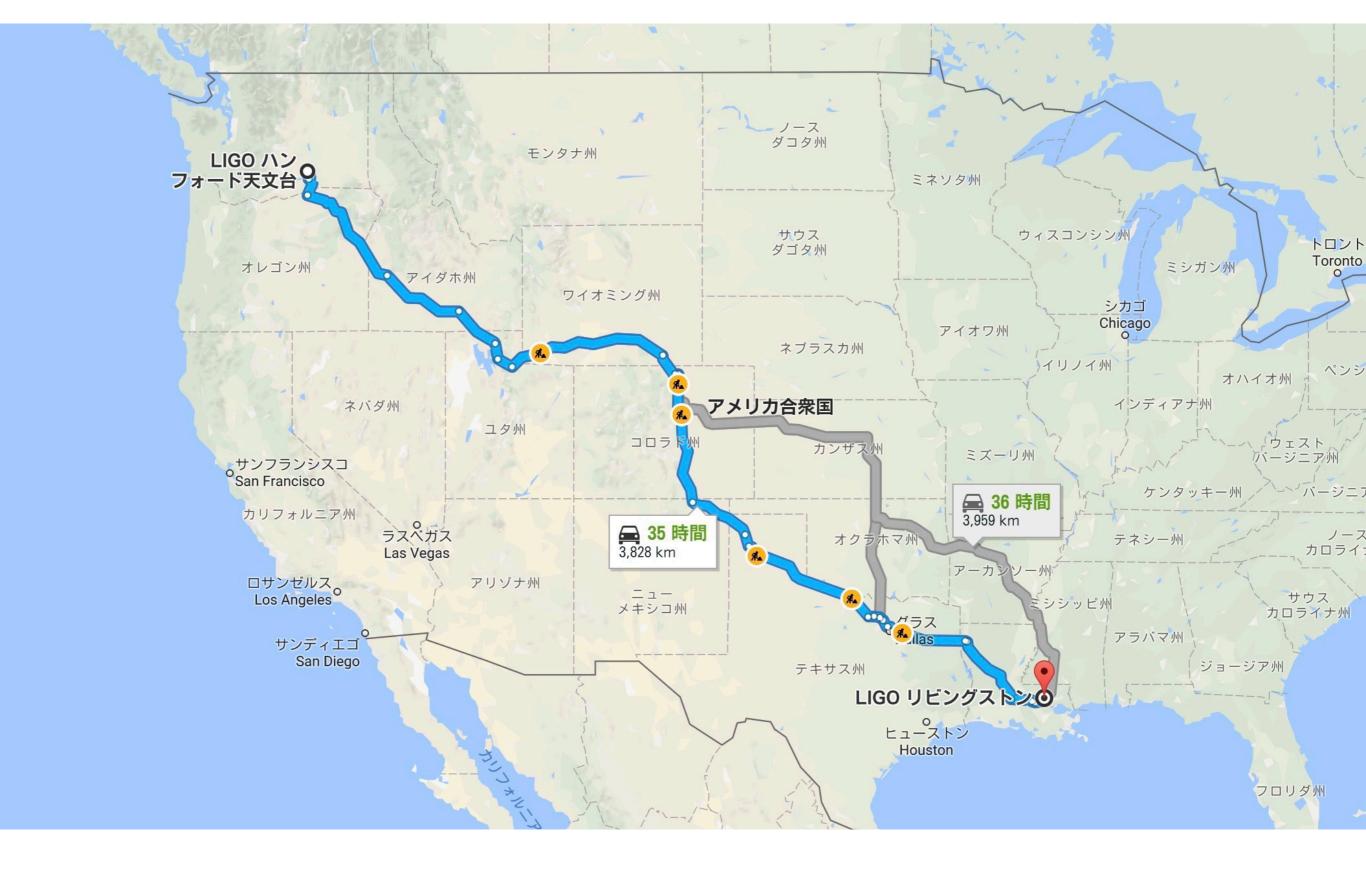
GW170817以前/後

GW170817 以前

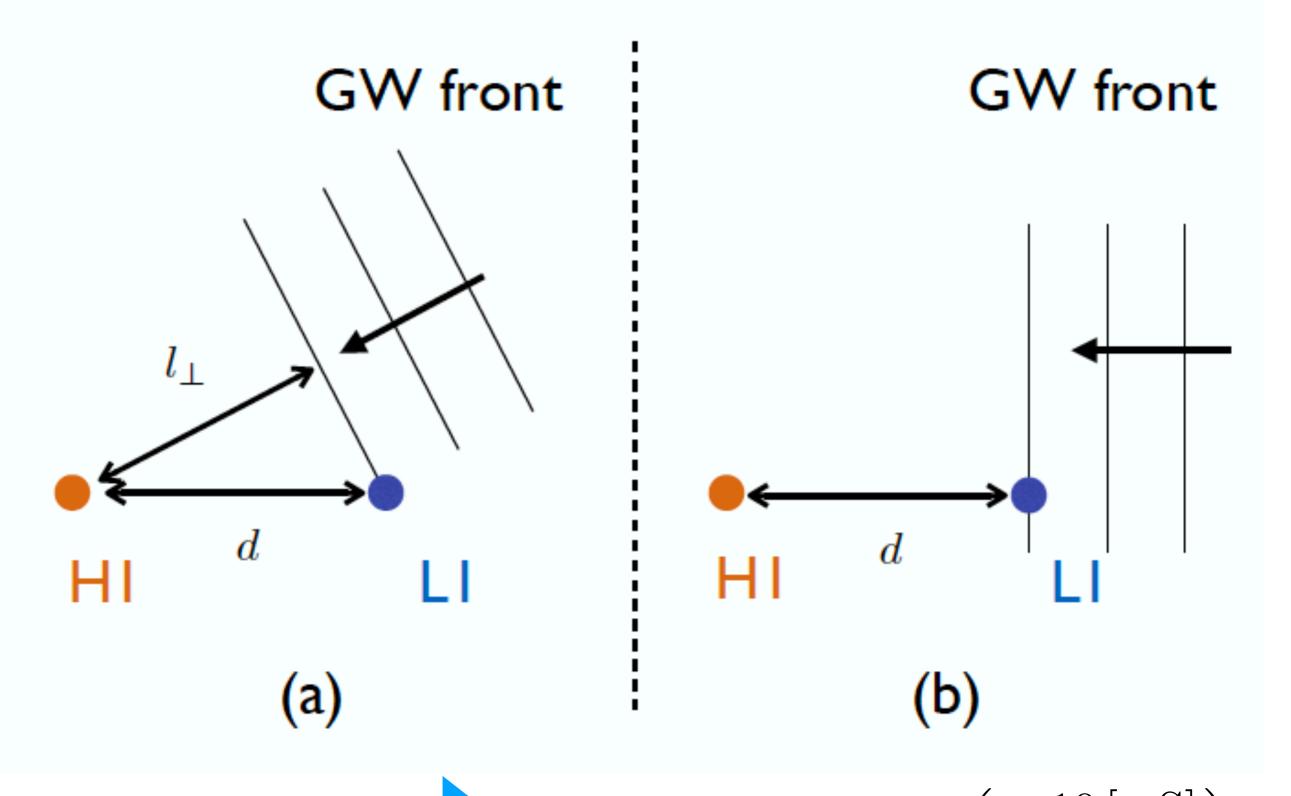
GW170817 以前

 $1-10^{-15} \le V_{GW}/C \le 1.7$

"重力波"チェレンコフ 放射を用いて 最初の重力波観測で 初めて上限が与えられた [GW150914]



√ 2つの検出器間の距離 = 3000km = 10ms (光速で)



$$\sqrt{d_{GW}*\Delta t} \leq d$$

$$\mathbf{V_{GW}} \le \mathbf{1.7} \, \mathbf{c} \qquad \left(= \frac{10 \, [\mathrm{mS}]}{7 \, [\mathrm{mS}]} \right)$$

arXiv:1602.04188

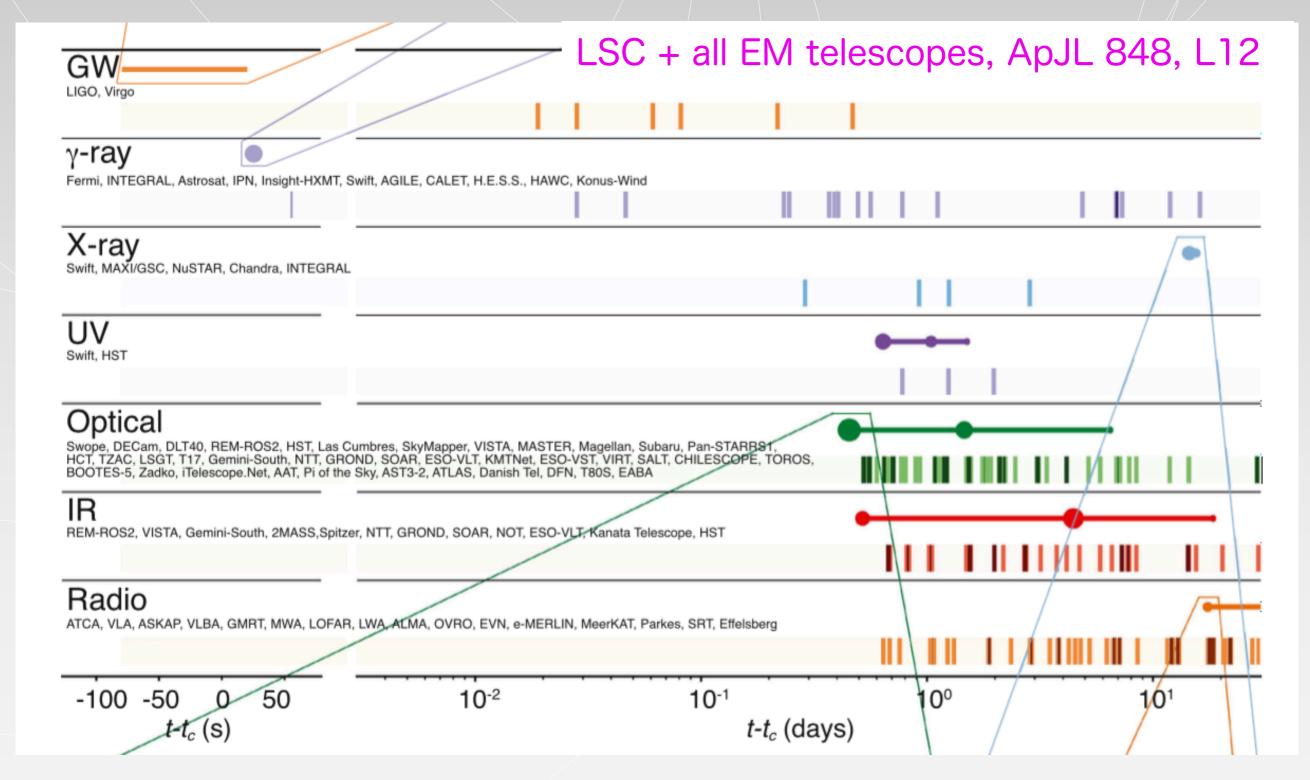
GW170817 以後

GW170817 以後

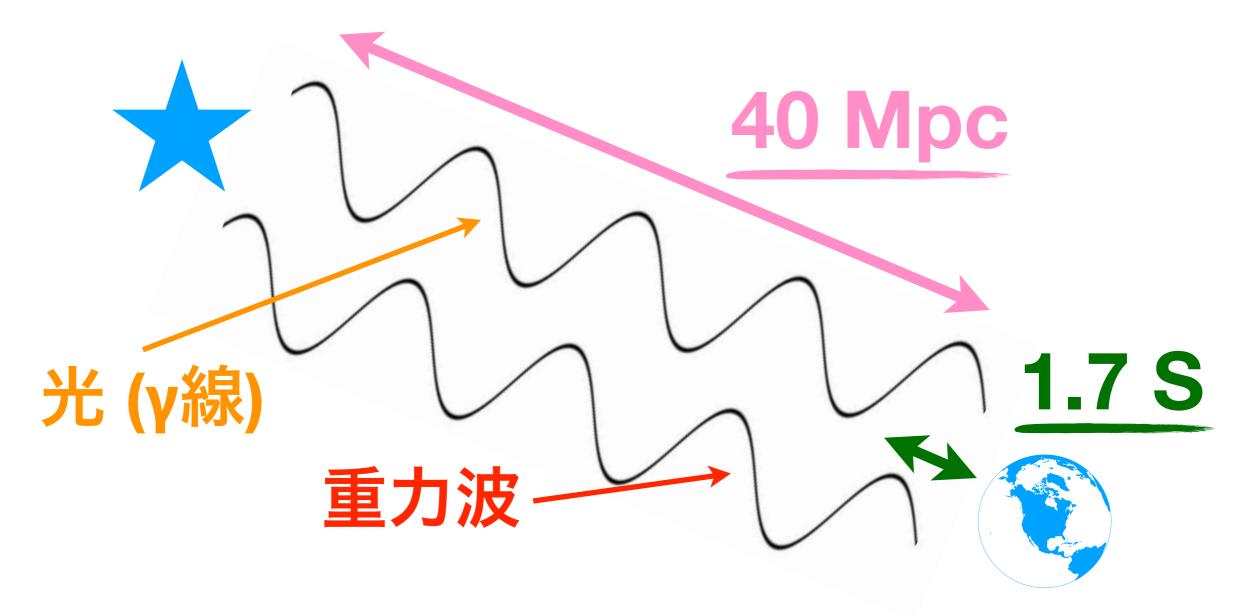
$$3*10^{-15} \le V_{GW}/C - 1 \le 7*10^{-16}$$



Other follow-up observations



No neutrino was detected. LSC + neutrino detectors, arXiv:1710.05839



- √ ソースまでの距離 = 40 Mpc = 3*10²⁴ m
- ✓ 重力波と光の到着時刻のずれ = 1.7 秒

$$-3 \times 10^{-15} \le \frac{v_{\text{GW}} - c}{c} \le +7 \times 10^{-16}$$

暗黒エネルギーモデル に対する制限

暗黒エネルギーモデル

✓ 現在の宇宙 (初期宇宙) は、加速膨張をしている (た)

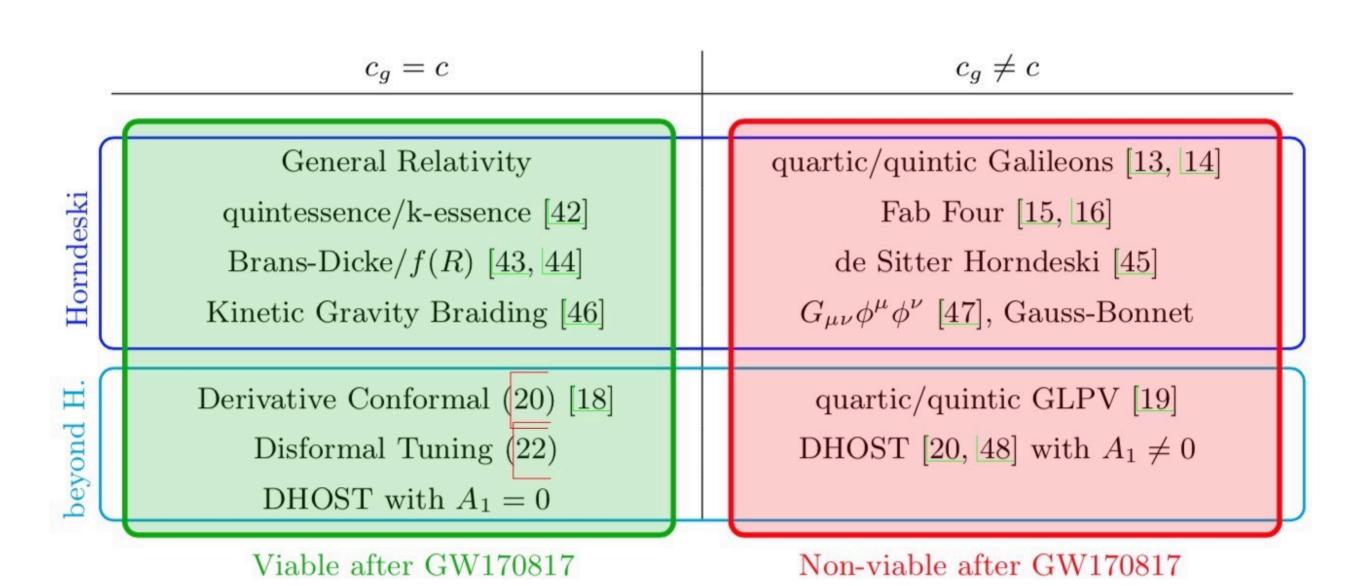
ヘンテコ物質?? 重力理論の変更??



- ^ ?? (なぜそんなに小さい?なぜ今??)
- **∧** [φ] ?? ⇒ スカラー・テンソル 理論
- e.g. カノニカル, k-エッセンス, ホルンデスキー [*1974*]
- **gw ??** [重力 (子) の法則を変更] = テンソル 理論 e.g. 有質量重力 (massive gravity), 双-重力子理論 (bi-gravity)

重力理論 after GW 170817

~ Λ [φ] = スカラーテンソル理論 ~



1710.05901

要約すると、

✓ 生き残り = 一般相対論 + スカラー場 (とその親戚)

✔ 例:一般相対論 + カノニカル (最も単純な) スカラー場 (インフレーションを学んだ時にみたと思います)

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{c^4}{16\pi G} R - \frac{1}{2} (\nabla \phi)^2 - V(\phi) \right]$$

重力波の方程式: $\ddot{h}_{ij} + 3H\dot{h}_{ij} + c^2 \frac{k^2}{a^2} h_{ij} = 0$

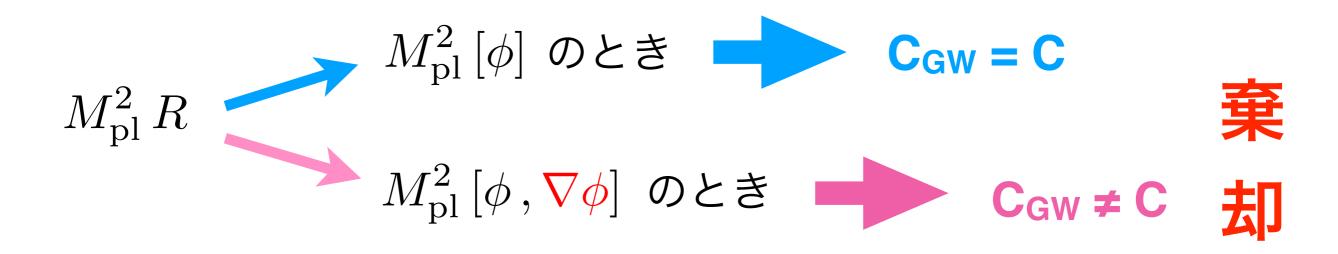
重力波の伝搬速度 = C

棄却されたモデル

✔ 例:一般相対論 + 一般の (難しい) スカラー場

重力波の eq: $\ddot{h}_{ij}+3\,\widetilde{H}(\phi)\,\dot{h}_{ij}+c_{\mathrm{GW}}^2(\phi)\,\dfrac{k^2}{a^2}\,h_{ij}=0$

重力波の伝搬速度 = C_{GW} [φ] ≠ C



 $V_{GW} = C \mathcal{O}$

暗黒エネルギーモデル

まとめ

- ✓ aLIGO による重力波の観測により、重力波の伝搬速度に制限がついた。v_{GW}/c < O(1) → 1 + O(10⁻¹⁵)
- ✓ 重力波の伝搬速度が、光速からずれるモデルは棄却。M_{Pl} (φ) R は生き残り (⊃ GR)、M_{Pl} (φ, ∇φ) R は棄却。
- ✓ v_{GW} = c となる、非自明な暗黒エネルギーモデルは 存在するかもしれない。

ご静聴

ありがとうございました