重力波と電磁波対応天体を用いた重力理論の検証

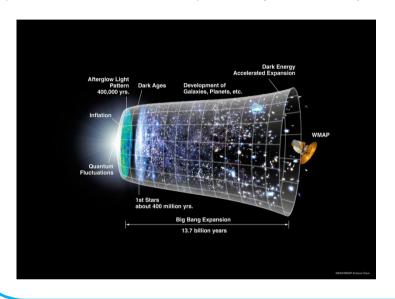
日本物理学会 @ 東海大学 2014年3月28日

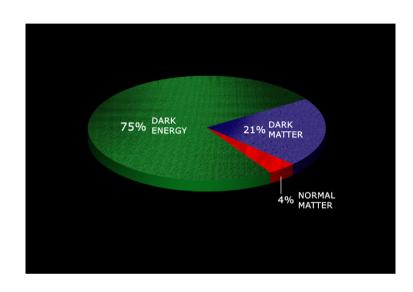
八木 絢外

モンタナ州立大学 重力研究室

なぜ修正重力理論?

重力の未解決問題を自然に説明できる (I)





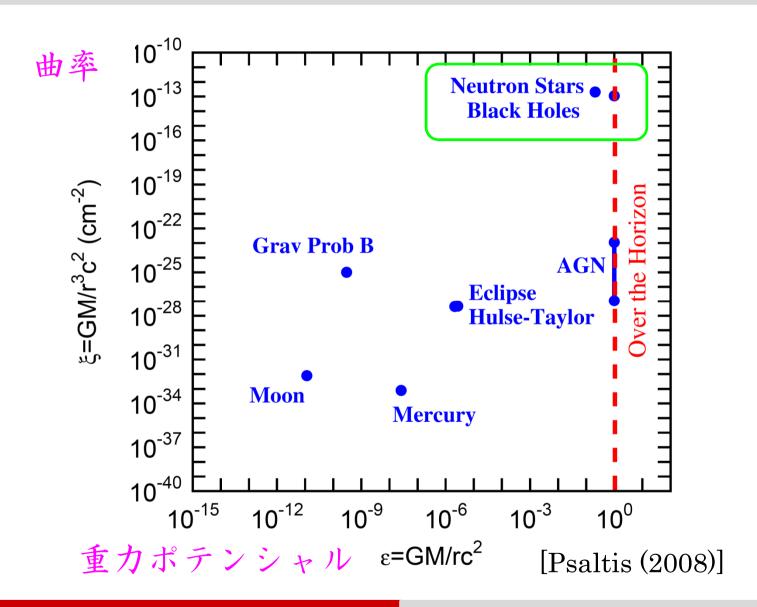
(II) 古典重力理論は、より根源的な理論の 低エネルギー有効理論



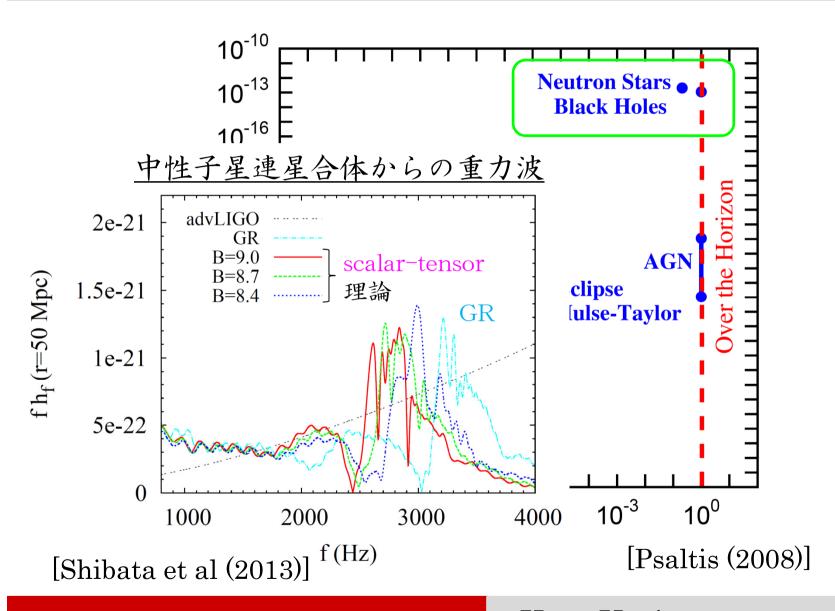
例: 超弦理論 スカラー自由度

高次曲率項
$$R + R_{GB}^2 + R\tilde{R} + \cdots$$

重力理論の検証



強重力場での重力理論検証の重要性



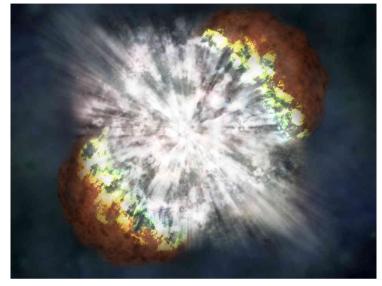
Kent Yagi

Introduction

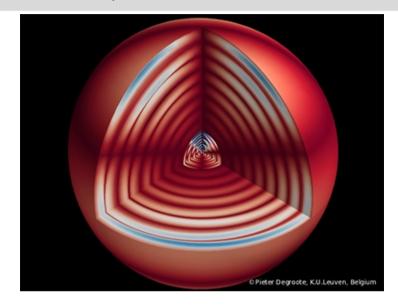
- -イントロダクション
- -様々な重力波源と重力理論の検証
- -重力波観測のみによる重力理論の検証
- -重力波と電磁波観測を合わせた重力理論の検証
- -まとめ

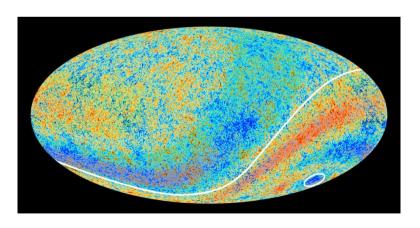
- ーイントロダクション
- -様々な重力波源と重力理論の検証
- -重力波観測のみによる重力理論の検証
- -重力波と電磁波観測を合わせた重力理論の検証
- -まとめ

様々な重力波源と重力理論の検証





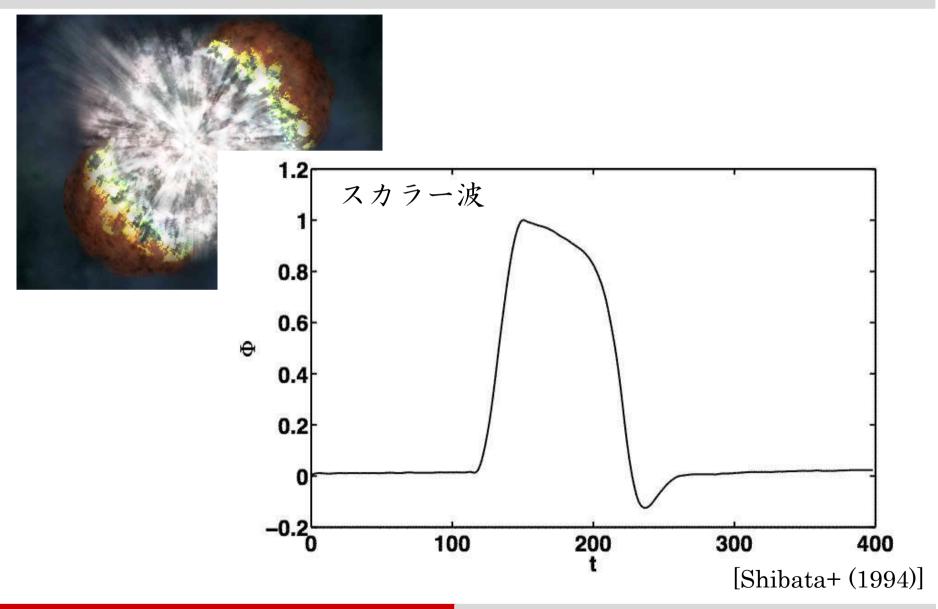




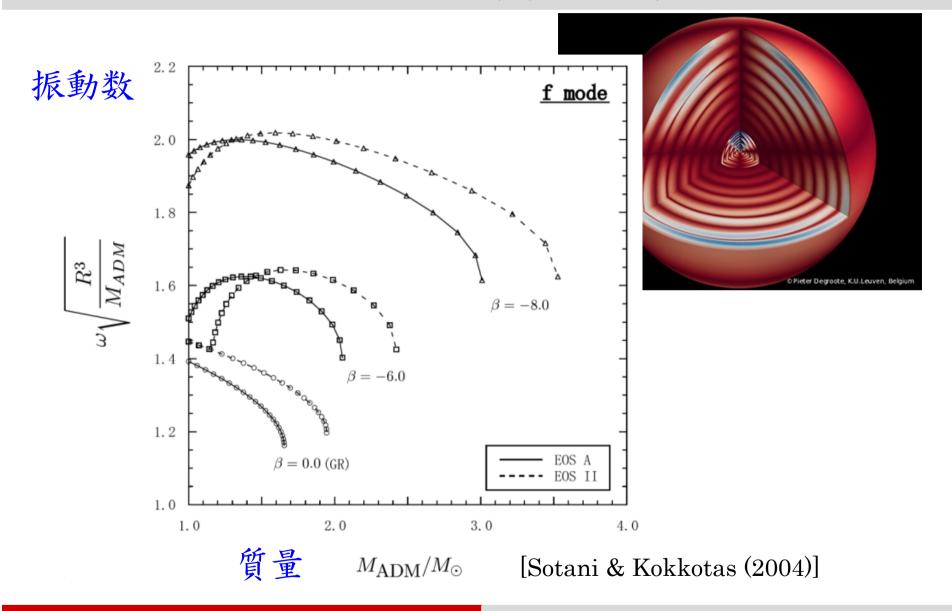
GW Sources & Testing GR

Kent Yagi

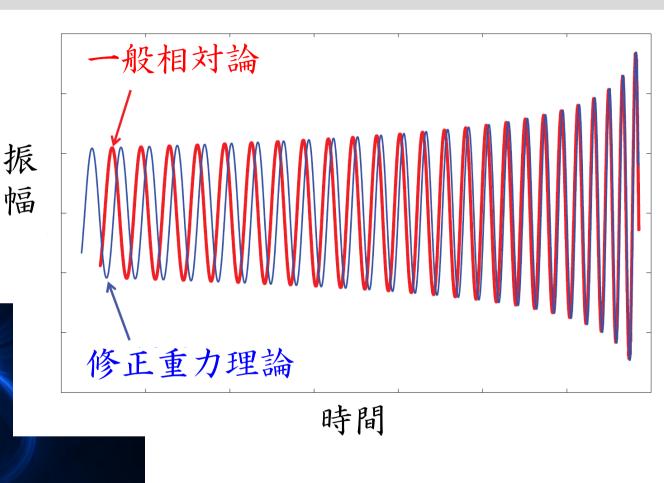
Brans-Dicke理論での球対称重力崩壊



Scalar-Tensor 理論での中性子星振動

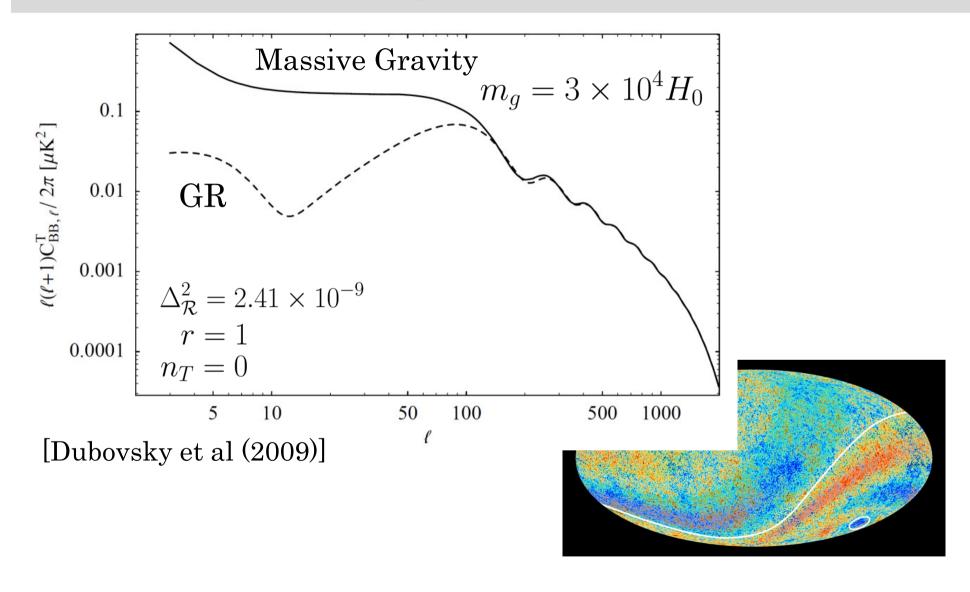


コンパクト星連星からの重力波



GW Sources & Testing GR

CMB B-mode 偏光



- ーイントロダクション
- -様々な重力波源と重力理論の検証
- -重力波観測のみによる重力理論の検証
- -重力波と電磁波観測を合わせた重力理論の検証
- -まとめ

Parameterized Post-Einsteinian 波形

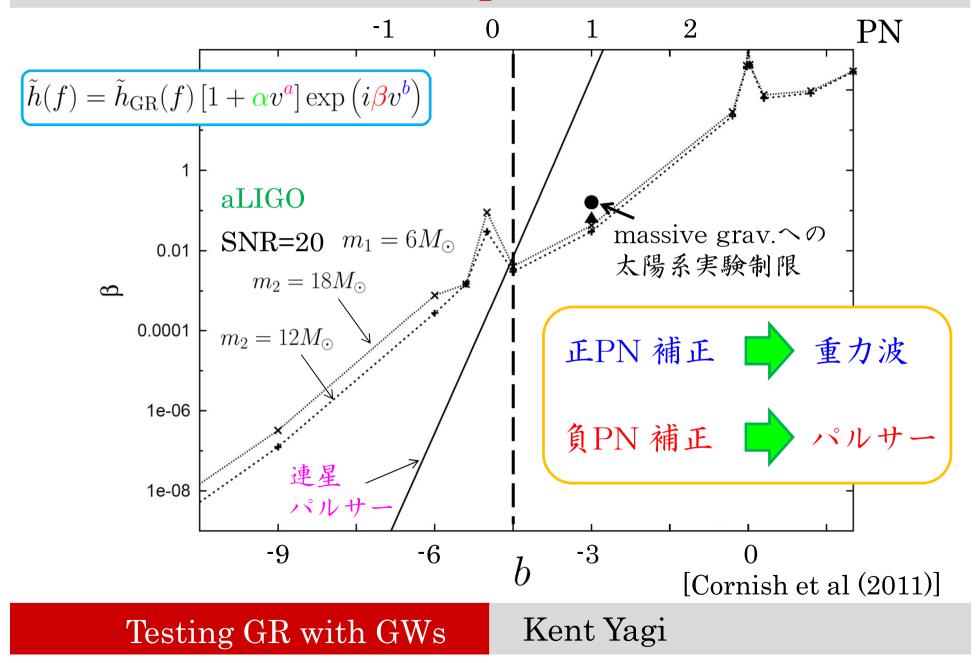
$$\tilde{h}(f) = \tilde{h}_{\text{GR}}(f) \left[1 + \alpha v^{a} \right] \exp \left(i \beta v^{b} \right)$$

[Yunes & Pretorius (2009)]

[Yunes & Simens (2013)]

Theory	$lpha_{ m ppE}$	a_{ppE}	$eta_{ m ppE}$	$b_{ m ppE}$
Jordan–Fierz– Brans–Dicke	$-\frac{5}{96}\frac{S^2}{\omega_{\rm BD}}\eta^{2/5}$	-2	$-\frac{5}{3584} \frac{S^2}{\omega_{\mathrm{BD}}} \eta^{2/5}$	-7
Dissipative Einstein-Dilaton- Gauss-Bonnet Gravity	0	·	$-\frac{5}{7168}\zeta_3\eta^{-18/5}\delta_m^2$	-7
Massive Graviton	0		$-\frac{\pi^2 D \mathfrak{M}_c}{\lambda_g^2 (1+z)}$	-3
Lorentz Violation	0		$-\frac{\pi^{2-\gamma_{\mathrm{LV}}}}{(1-\gamma_{\mathrm{LV}})}\frac{D_{\gamma_{\mathrm{LV}}}}{\lambda_{\mathrm{LV}}^{2-\gamma_{\mathrm{LV}}}}\frac{{\mathfrak{M}_{c}^{1-\gamma_{\mathrm{LV}}}}}{(1+z)^{1-\gamma_{\mathrm{LV}}}}$	$-3\gamma_{\rm LV} - 3$
G(t) Theory	$-\frac{5}{512}\dot{G}\mathfrak{M}_c$	-8	$-rac{25}{65536}\dot{G}_c \mathfrak{M}_c$	-13
Extra Dimensions	•	•	$-\frac{75}{2554344} \frac{dM}{dt} \eta^{-4} (3 - 26\eta + 24\eta^2)$	-13
Non-Dynamical Chern-Simons Gravity	$lpha_{ m PV}$	3	$eta_{ ext{PV}}$	6
Dynamical Chern– Simons Gravity	0		$eta_{ ext{dCS}}$	-1

Constraints on PPE parameters



Parameterized Post-Einsteinian 波形

$$\tilde{h}(f) = \tilde{h}_{\mathrm{GR}}(f) \left[1 + \alpha v^{a} \right] \exp \left(i \beta v^{b} \right)^{\mathrm{[Yunes \& Pretorius (2009)]}}$$

Theory	$lpha_{ m ppE}$	a_{ppE}	$eta_{ m ppE}$	$b_{ m ppE}$
Jordan–Fierz– Brans–Dicke	$-\frac{5}{96} \frac{S^2}{\omega_{\rm BD}} \eta^{2/5}$	-2	$-rac{5}{3584} rac{S^2}{\omega_{ m BD}} \eta^{2/5}$	-7
Dissipative Einstein-Dilaton- Gauss-Bonnet Gravity	0	·	$-\frac{5}{7168}\zeta_{3}\eta^{-18/5}\delta_{m}^{2}$	- 7
Massive Graviton	0		$-\frac{\pi^2 D \mathfrak{M}_c}{\lambda_g^2 (1+z)}$	-3
Lorentz Violation	0		$-\frac{\pi^{2-\gamma_{\mathrm{LV}}}}{(1-\gamma_{\mathrm{LV}})}\frac{D_{\gamma_{\mathrm{LV}}}}{\lambda_{\mathrm{LV}}^{2-\gamma_{\mathrm{LV}}}}\frac{{\mathfrak{M}_{c}^{1-\gamma_{\mathrm{LV}}}}}{(1+z)^{1-\gamma_{\mathrm{LV}}}}$	$-3\gamma_{\rm LV}-3$
G(t) Theory	$-\frac{5}{512}\dot{G}\mathfrak{M}_c$	-8	$-rac{25}{65536}\dot{G}_c \mathfrak{M}_c$	-13
Extra Dimensions			$-\frac{75}{2554344} \frac{dM}{dt} \eta^{-4} (3 - 26\eta + 24\eta^2)$	-13
Non-Dynamical Chern–Simons Gravity	$lpha_{ m PV}$	3	$eta_{ m PV}$	6
Dynamical Chern– Simons Gravity	0		$eta_{ ext{dCS}}$	-1

重力波によるdCSへの制限 [KY+ PRL 109, 251105 (2012)]

 $L^{
m dCS}$:理論パラメータ

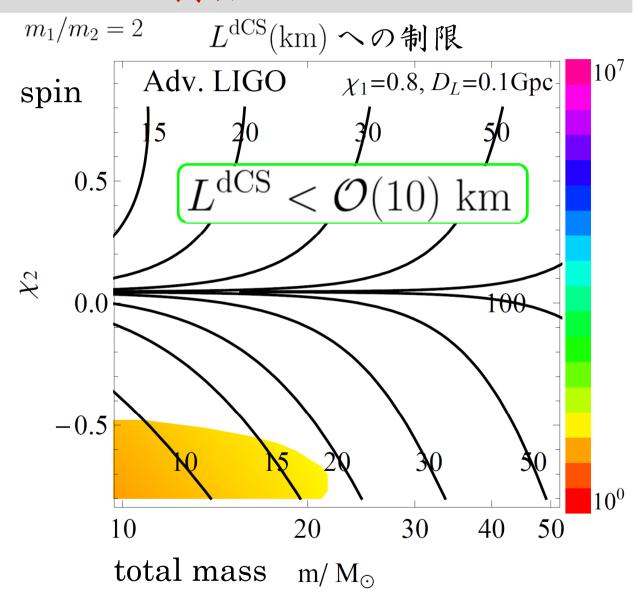
 $L^{\mathrm{dCS}} \to 0 : \mathrm{GR}$

太陽系実験

 $L^{\rm dCS} < \mathcal{O}(10^8) \text{ km}$

ブラックホールの 大きさ程度の制限

太陽系実験より7桁強い制限!!

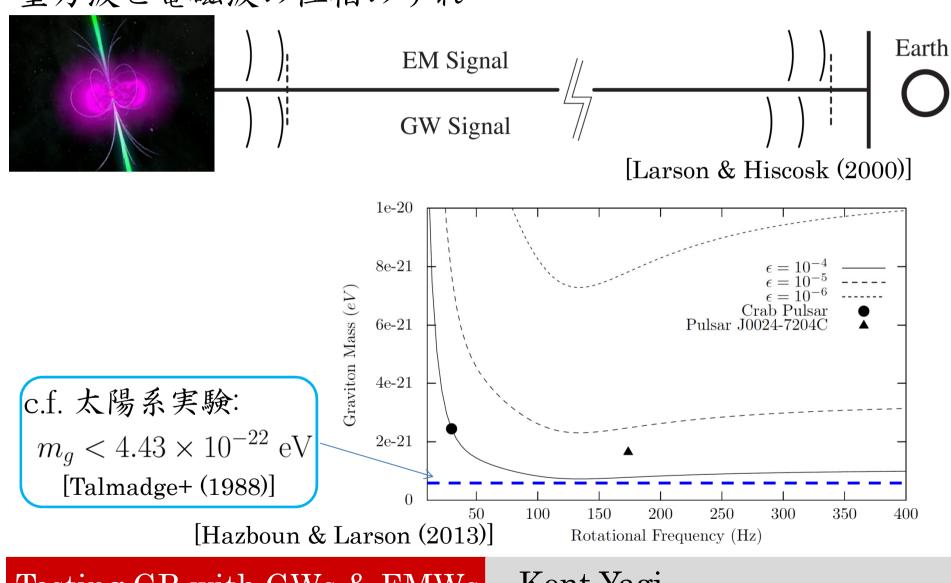


BH GWs

- ーイントロダクション
- -様々な重力波源と重力理論の検証
- -重力波観測のみによる重力理論の検証
- -重力波と電磁波観測を合わせた重力理論の検証
- -まとめ

Massive Gravity

重力波と電磁波の位相のずれ



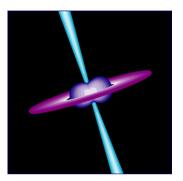
Testing GR with GWs & EMWs

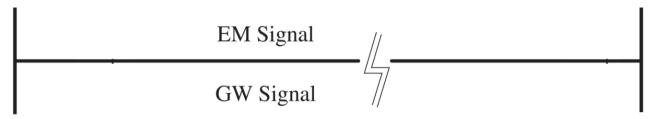
Parity-Violating Gravity

[Yunes + (2010)]

Earth

重力波とショートガンマ線バーストの同時観測

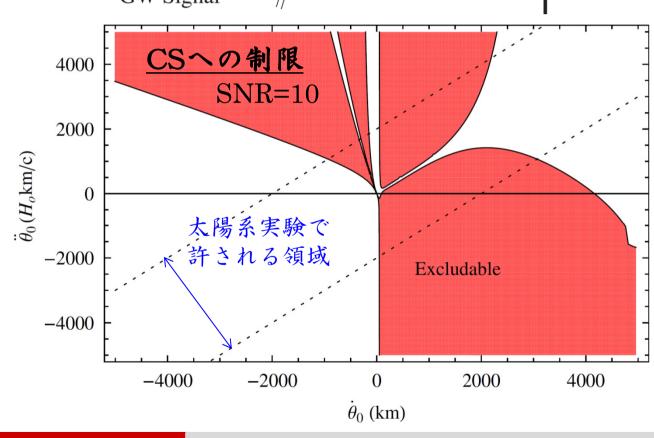




重力波振幅 を修正

振幅 $\rightarrow D_{\rm GW}$

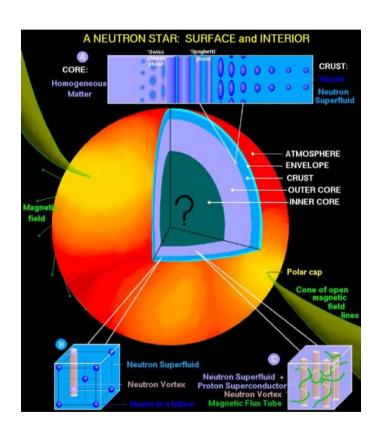
 $D_{\rm EM} \neq D_{\rm GW}$

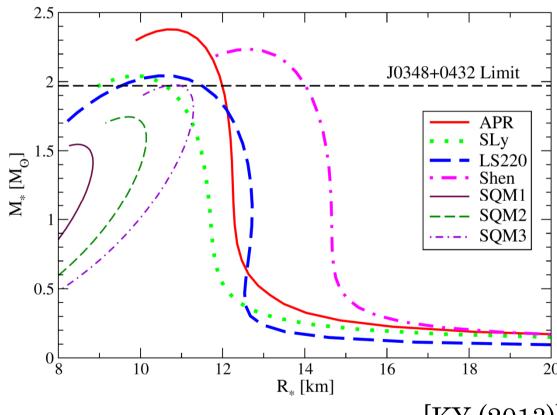


Testing GR with GWs & EMWs

NS & EoS

NS internal structure depends on the unknown equation of state (EoS)



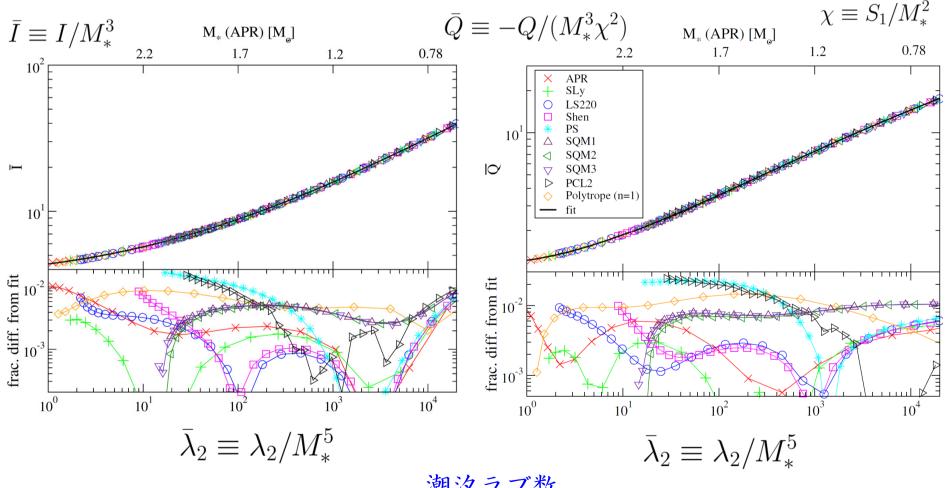


Universal I-Love-Q Relations

[KY & Yunes , **Science** (2013)] [KY & Yunes, PRD (2013)]

慣性モーメント

四重極モーメント



潮汐ラブ数

重力理論の検証

double 連星パルサー



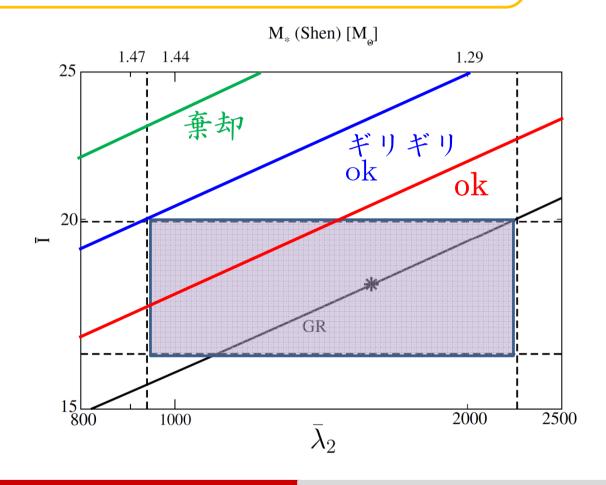
$$\Delta \bar{I}/\bar{I} = 10\%$$

NS/NS連星重力波

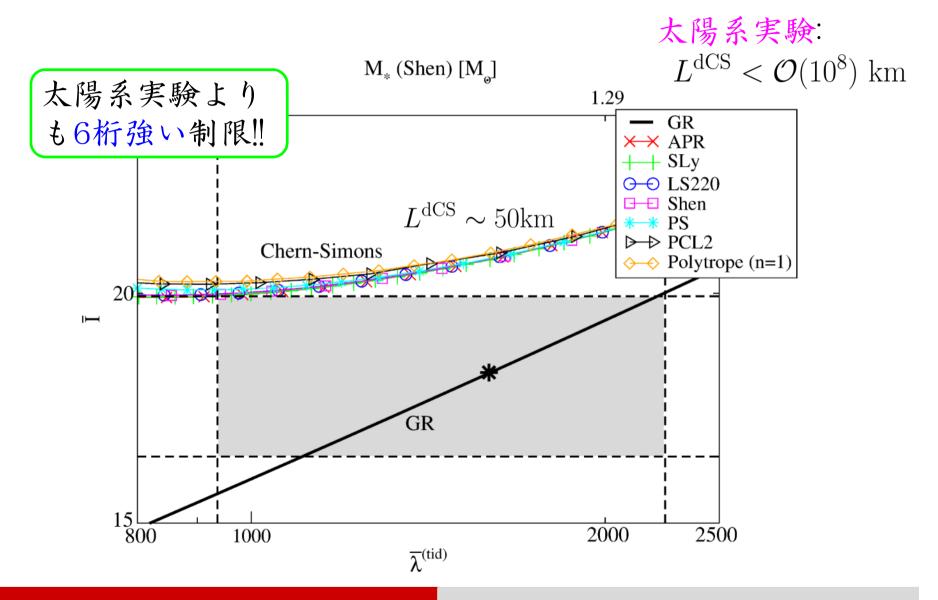


$$\Delta \bar{I}/\bar{I} = 10\%$$

$$\Delta \bar{\lambda}_2/\bar{\lambda}_2 = 50\%$$



重力理論の検証の具体例 (dCS)



Testing GR with GWs & EMWs

- ーイントロダクション
- -様々な重力波源と重力理論の検証
- -重力波観測のみによる重力理論の検証
- -重力波と電磁波観測を合わせた重力理論の検証
- -まとめ

まとめ

-重力波を用いた重力理論の検証 強重力場でGRからのずれが大きくなる理論に対して有効 e.g. dCS, massive grav., scalar-tensor理論の非線形効果

-重力波と電磁波対応天体を用いた重力理論の検証 まだ不十分