

スペース重力波アンテナ DECIGO計画(22)：サイエンス2 修正重力理論への制限

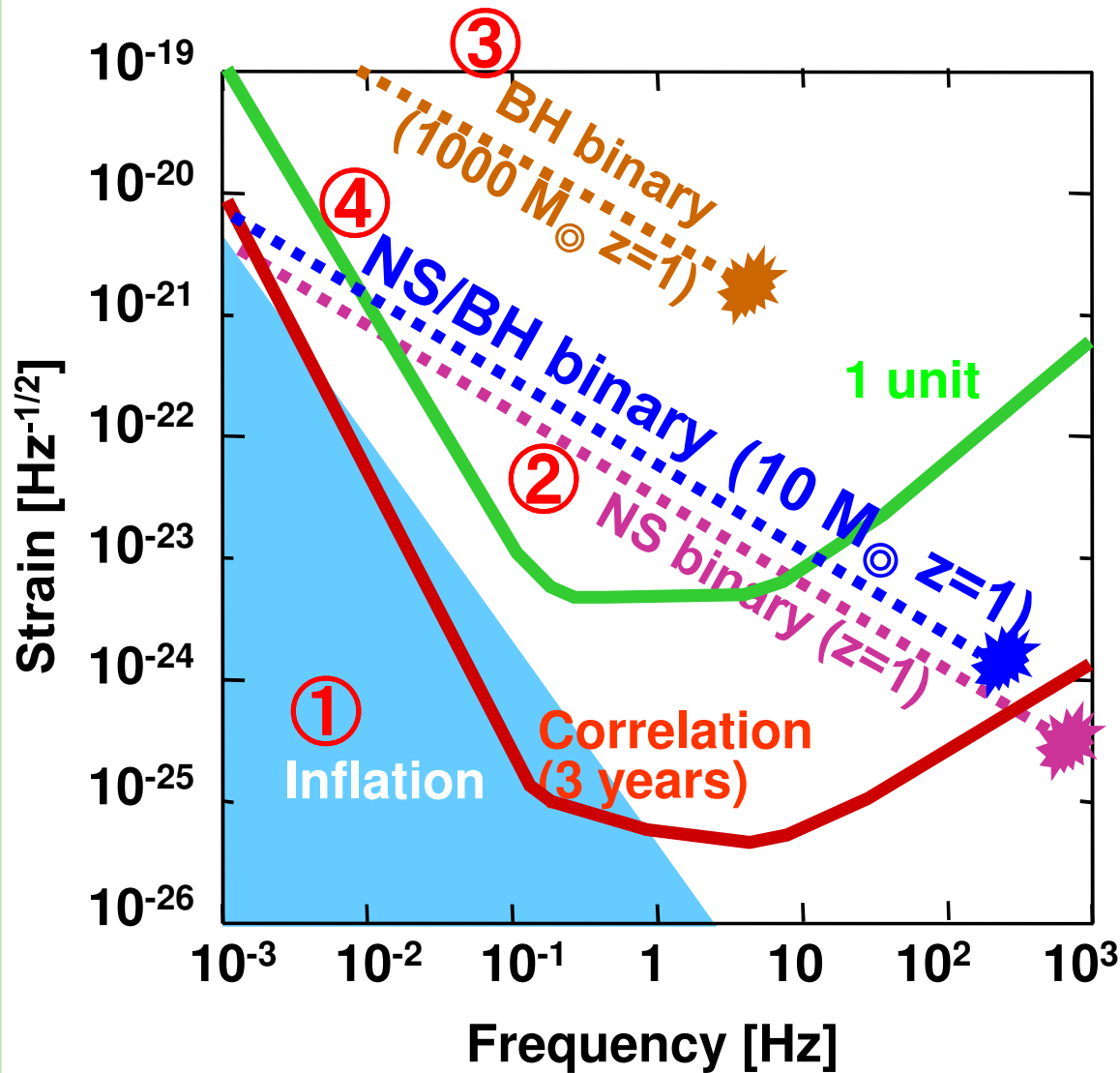
物理学会 2009秋@ 甲南大学

八木 絢外 (京大天体核)

田中 貴浩 (京大基研)

DECIGOワーキンググループ

§ 1 DECIGOによるサイエンス



① Inflation起源
横山さんの講演

② NS/NS連星
Dark Energy

③ IMBH/BH連星
SMBH形成

④ NS/BH連星
一般相対論の検証

K.Y. and Tanaka (2009)
arXiv: 0908.3283 [gr-qc]

§ 2 Brans-Dicke理論

- ・ スカラー・テンソル理論の代表格

(重力) = (計量) + (スカラー場)

- ・ スカラー・テンソル理論が現れる例 (および、対応するスカラー):

KK理論 (dilaton)

超重力理論 (dilaton)

超弦理論 (dilaton)

braneworld (radion) ... Garriga&Tanaka (2000)

inflation (inflaton) ... Steinhardt&Accetta (1990)

dark energy (quintessence) ... Perrotta&Baccigalupi (1999)

- ・ Brans-Dicke理論の作用

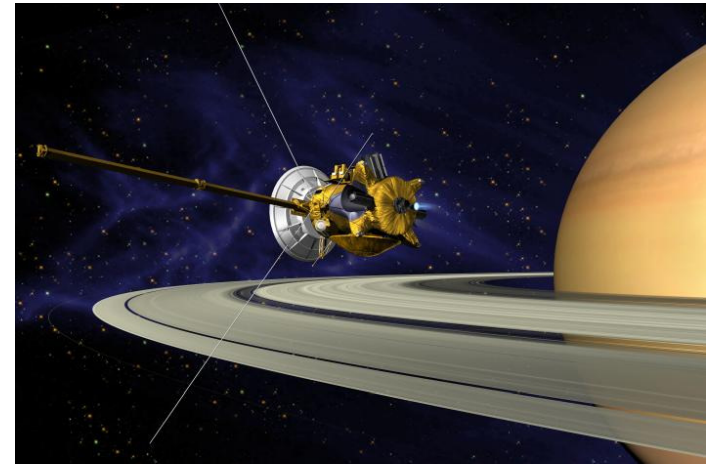
Brans-Dickeパラメータ

$$S = (16\pi)^{-1} \int \sqrt{-g} d^4x (\phi R - \phi^{-1} \omega_{\text{BD}} \phi_{,\mu} \phi^{,\mu} + \mathcal{L}_{\text{matter}})$$

- $\omega_{\text{BD}} \rightarrow \infty$ の極限で一般相対論に一致。
(このとき、 $\phi \rightarrow \text{const.}$ になる)。

- 現在得られている最大の制限:
土星探査衛星Cassiniによる
Shapiro Time Delay
(Bertotti *et al.* 2003)

$$\omega_{\text{BD}} > 4 \times 10^4$$

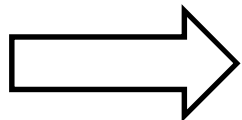


- ϕ による重力波の**双極放射**が存在。

$$\text{(連星からの双極GW)} \propto (s_1 - s_2)^2$$

s_i : 単位質量当たりの自己重力エネルギー

$$s_{\text{NS}} \sim 0.2, \quad s_{\text{BH}} = 0.5$$

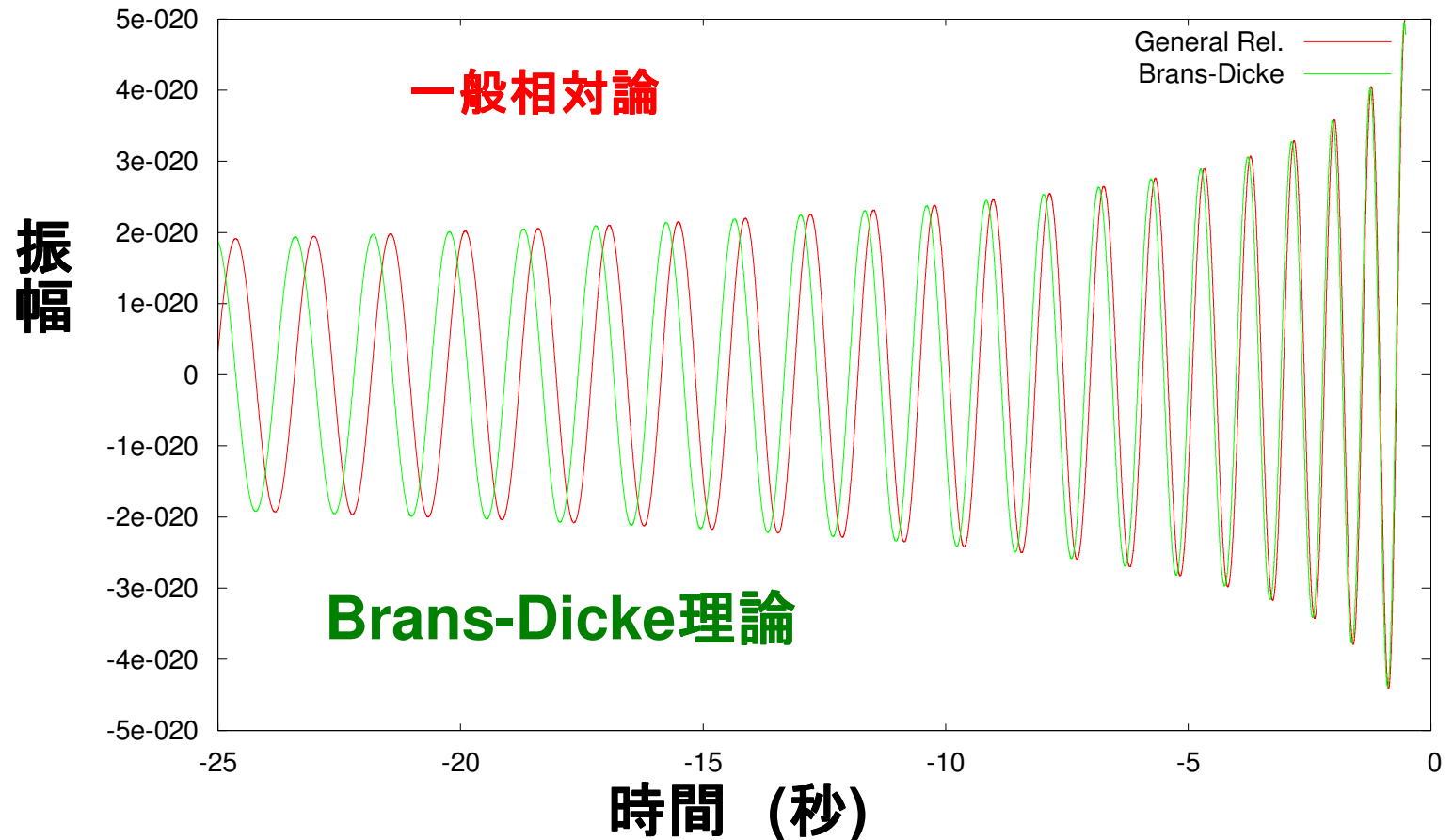


NS/BH連星を考えるのがBest !

§ 3 Brans-Dicke理論における重力波形

- ・Brans-Dicke理論では、重力波形の位相が一般相対論からずれる。

連星からの重力波形



§ 4 今までの研究

adv. LIGO

- Will (1994)

$$(1.4+10)M_{\odot}, S/N=10 \cdots \omega_{\text{BD}} > 194$$

LISA

- Berti *et al.* (2005)

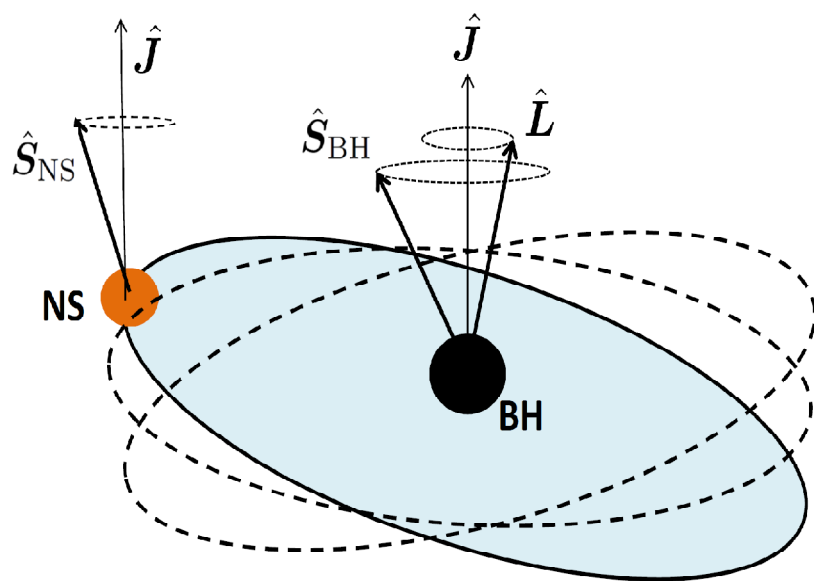
$$(1.4+1000)M_{\odot}, S/N=10 \cdots \omega_{\text{BD}} > 10799$$

(Cassini Boundと同程度)

今回

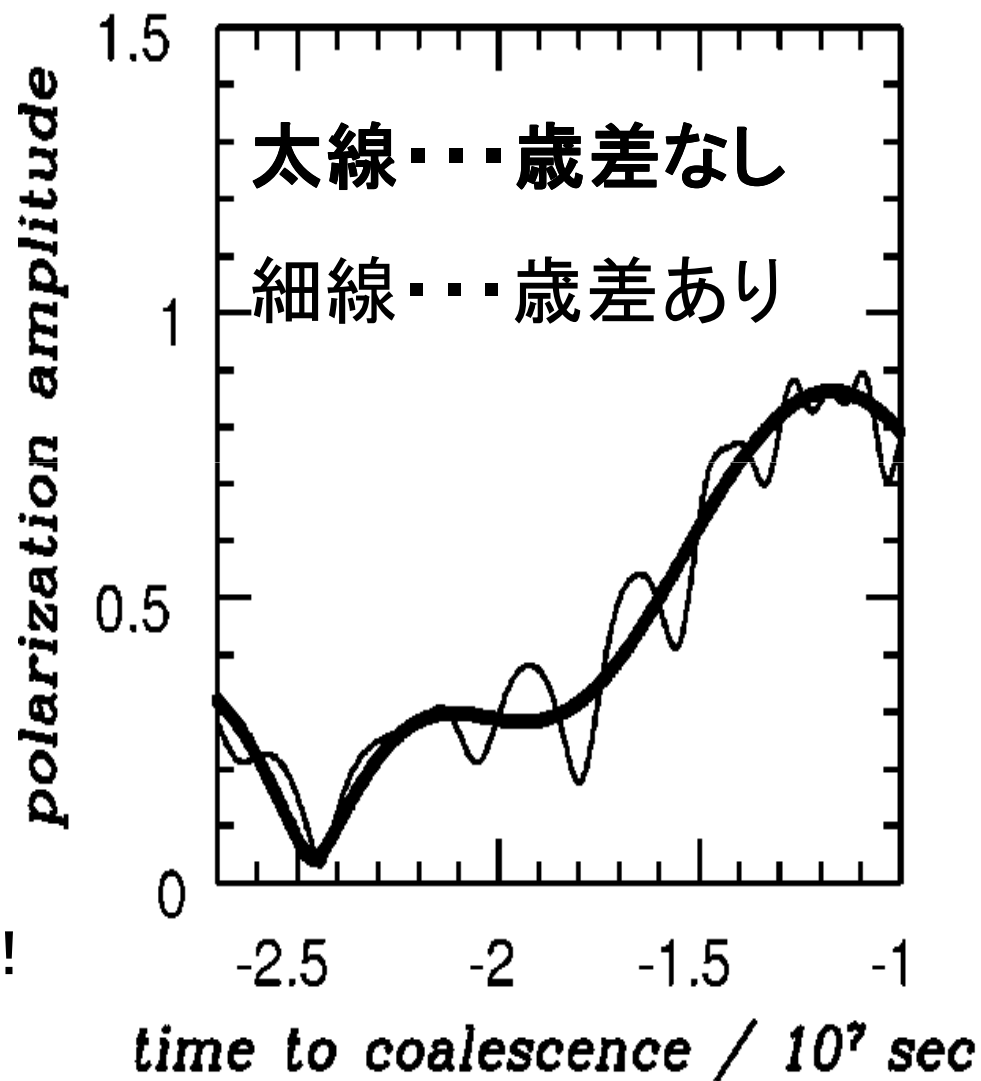
- ・ **際差運動** やスピン・スピン相互作用も考慮
- ・ LISA及び**DECIGO**の場合を計算

§ 5 歳差運動が与える波形への影響



- 新たな情報が増える
⇒ パラメータ間の縮退を解く！

重力波振幅の図



Vecchio (2004)

§ 6 Monte Carloシミュレーション

Step1: 10^4 個のNS/BH連星を、
乱数を振って全天に散りばめる。
質量・・・ $(1.4+1000)M_{\odot}$ (LISA)
 $(1.4+10)M_{\odot}$ (DECIGO)
距離・・・SNR=10

Step2: 検出器2台，合体の1年前から観測した場合、
各連星からの重力波形を計算

Step3: Fisher matrix Γ_{ab} を計算

$$\Gamma_{ab} \equiv \left(\frac{\partial h}{\partial \theta^a} \mid \frac{\partial h}{\partial \theta^b} \right)$$

⇒ 各連星パラメータ (ω_{BD} を含む) の決定精度を計算

$$\Delta \theta^a = \sqrt{(\Gamma^{-1})_{aa}}$$

Step4: ω_{BD} への制限を計算

各 ω_{BD} の制限を与える連星個数のヒストグラム

連星の個数

(10^4 個で規格化)

・DECIGOはLISAよりも**200倍強い**制限！

理由

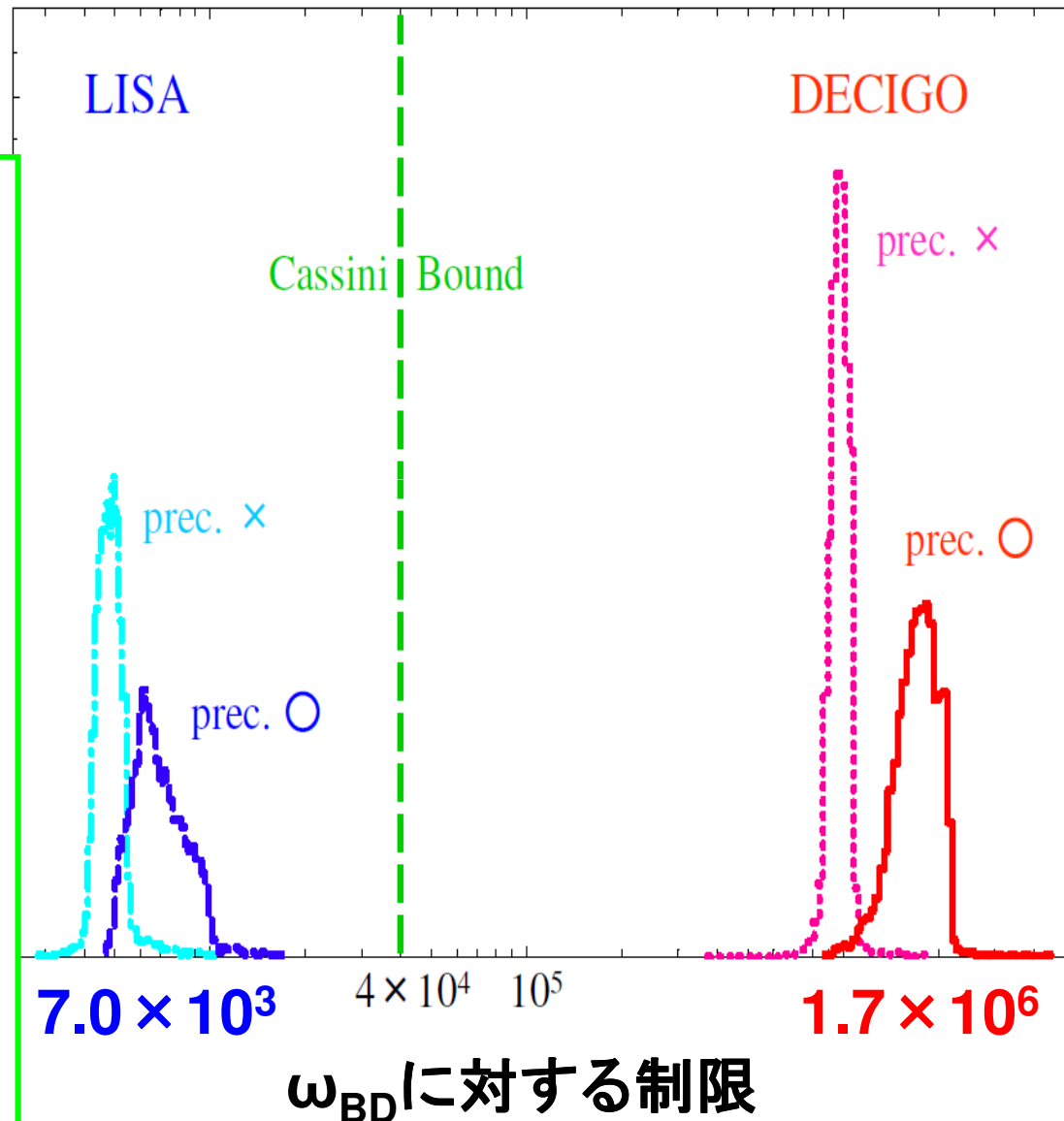
(i) **GWのサイクル数**

(ii) **感度**

・際差運動

⇒ 制限が**2倍**強まる

(パラメータ間の**縮退**
が解けるため。)



§7 まとめ

- 連星からのGWをLISA及びDECIGOで検出した場合、**歳差運動**を考慮して**Brans-Dicke理論**への制限を計算。
- 際差運動 ⇒ 制限を若干強める
- LISA..... $\omega_{BD} > 7040$ (Cassini Bound よりも5倍弱い)
- DECIGO.... $\omega_{BD} > 1.7 \times 10^6$ (Cassini Bound よりも50倍強い)
- event rateの比較
 - LISA..... 10^{-6} 個/yr
 - DECIGO.... 10^4 個/yr
- DECIGOの**統計性**を考慮 ⇒ 制限は**さらに30倍以上強まる!**

Future Works

- higher harmonicsの考慮 (Klein *et al.* 2009)
- 他の重力理論への制限

DECIGOは重力理論検証の強力なツール!!