

スペース重力波アンテナ DECIGO計画(37)：サイエンス

物理学会 @ 関西学院大学

2012年 3月24日

八木 絢外
(京大理, D3)

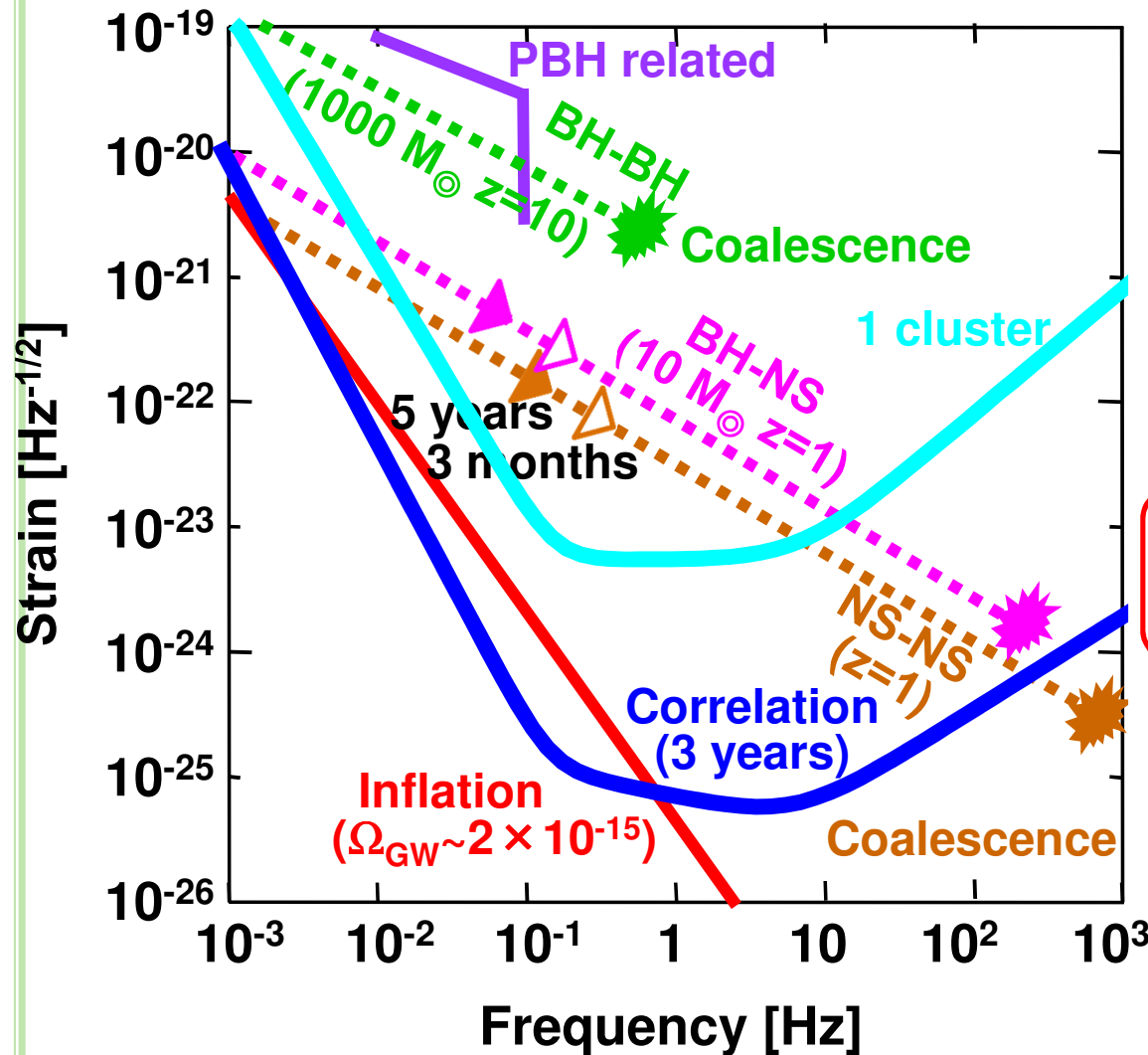
早崎公威 (京大宇物)

田中貴浩 (京大基研)

嶺重慎 (京大宇物)

DECIGOワーキング・グループ

Targets & Sciences with DECIGO & BBO



(Kawamura)

- **z-drift** (seto+ 2001)
- **Inhomogeneous Universe** (K.Y.+ 2011)
- **standard siren** (Cutler & Holz 2009) (Nishizawa, K.Y.+ 2011)
- **SMBH formation** (Gair+ 2009)
- **Accretion disk** (Hayasaki, K.Y.+ 2012)
- **GR test** (K.Y. & Tanaka 2010) (K.Y.+ 2011)
- **Dark matter (PBH)** (Saito & Yokoyama 2009)
- **Inflation, reheating** (Seto+ 2001, Nakayama+ 2008)

Accretion Diskの効果

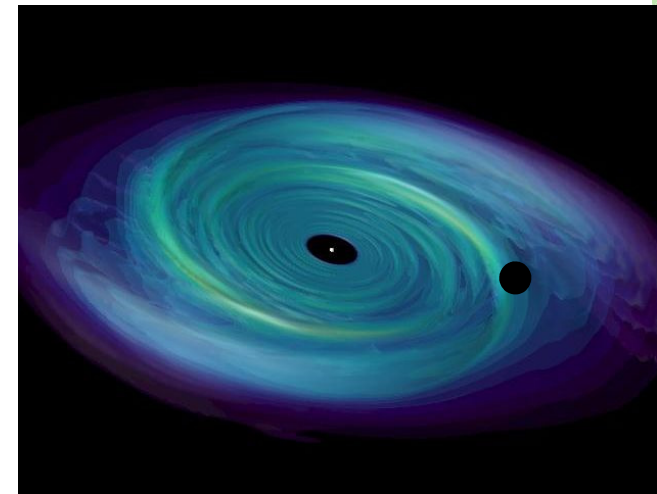
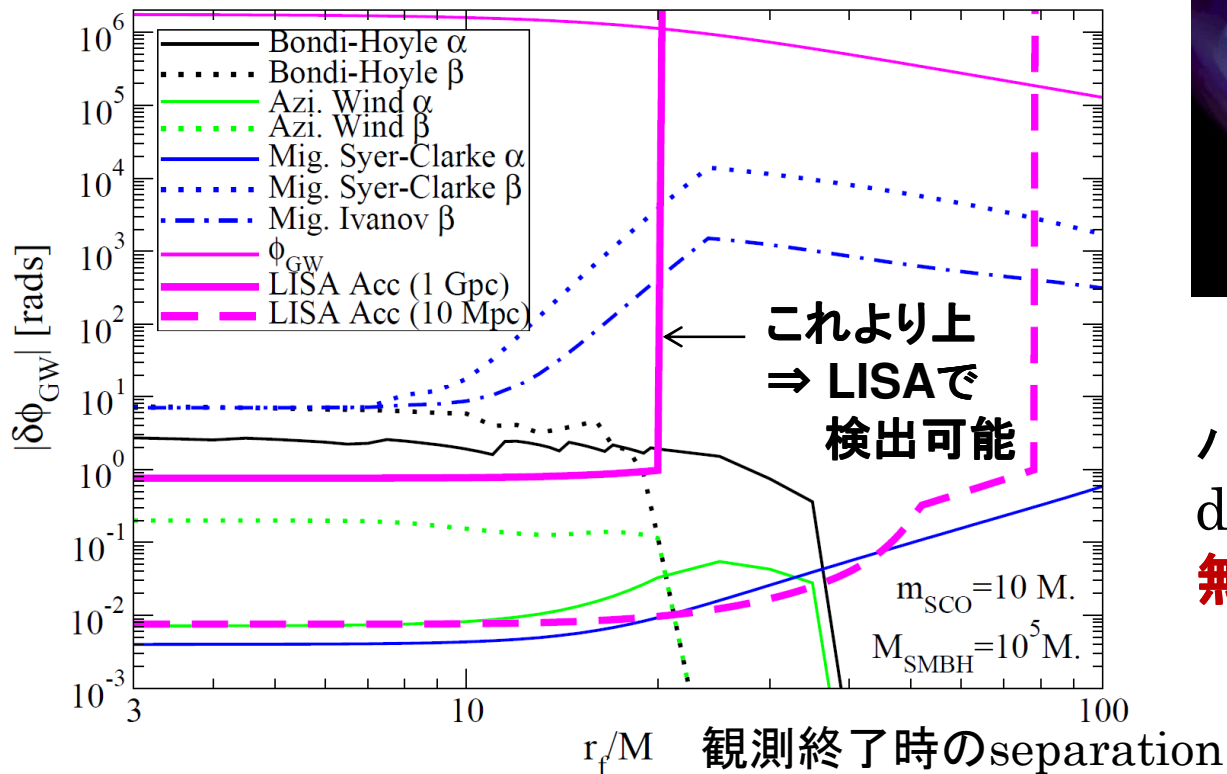
クリーンなコンパクト連星からのGWは良く調べられている。
 実際の系では、(厳密には)周りは真空ではない。

e.g. 他の星、**gas** → **disk**

・Mass比が大きい場合 (EMRI)

[Yunes et al. (2011), Kocsis et al. (2011)]

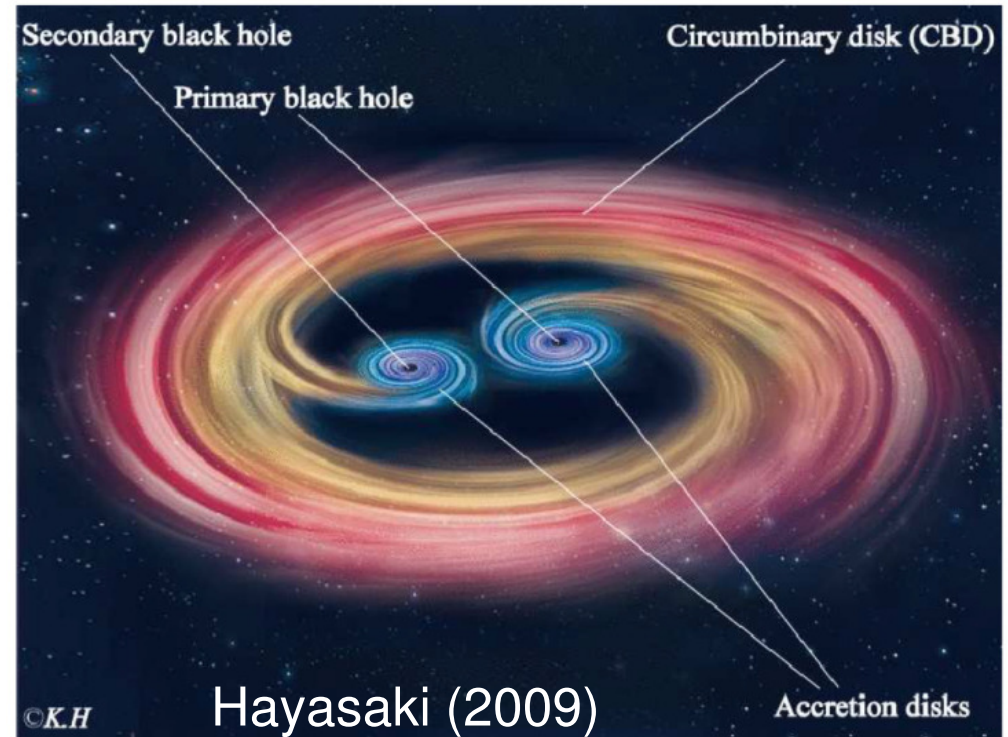
Dephasing



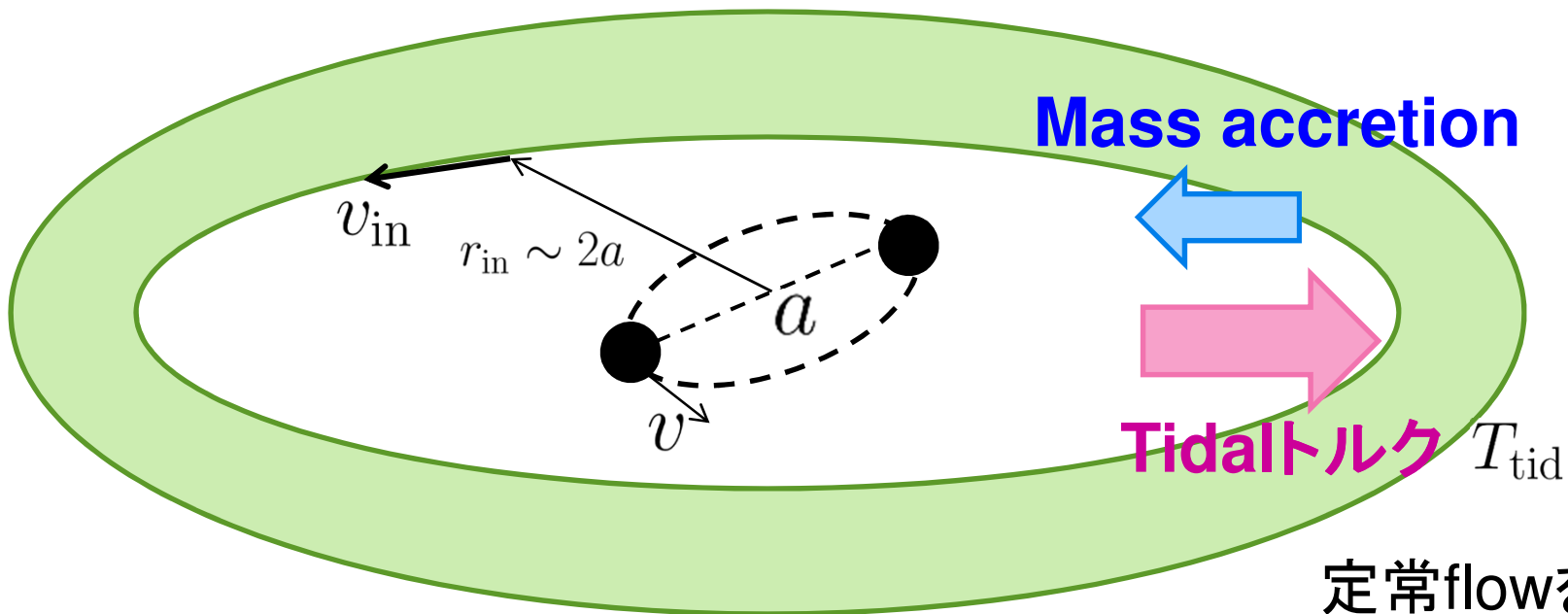
パラメータによっては、
 diskからの寄与は
無視できない。

・今回 Equal mass連星
+
circumbinary disk

- (I) Diskが波形に与える影響
- (II) 将来観測で測定可能か?
- (III) event数は?



- ・他の物理(例えば、修正重力理論の検証)との区別は可能か?



定常flowを仮定

連星が失う角運動量: $\dot{J} = T_{\text{tid}}|_{r_{\text{in}}} - \dot{M}r_{\text{in}}v_{\text{in}}$

3つの項がコンパラだと思つと、 $\dot{J} \sim T_{\text{tid}}|_{r_{\text{in}}} \sim \dot{M}r_{\text{in}}v_{\text{in}}$

・連星がdiskとの相互作用

により失うenergy flux:

C は $O(1)$ の定数

$$\begin{aligned} \dot{L}_{\text{disk}} &= C\dot{M}av \\ &= C\dot{M}M_tv^{-1} \end{aligned}$$

$$\frac{\dot{L}_{\text{disk}}}{\dot{L}_{\text{GW}}} \propto \dot{M}v^{-8}$$

・連星がGW

により失うenergy flux:

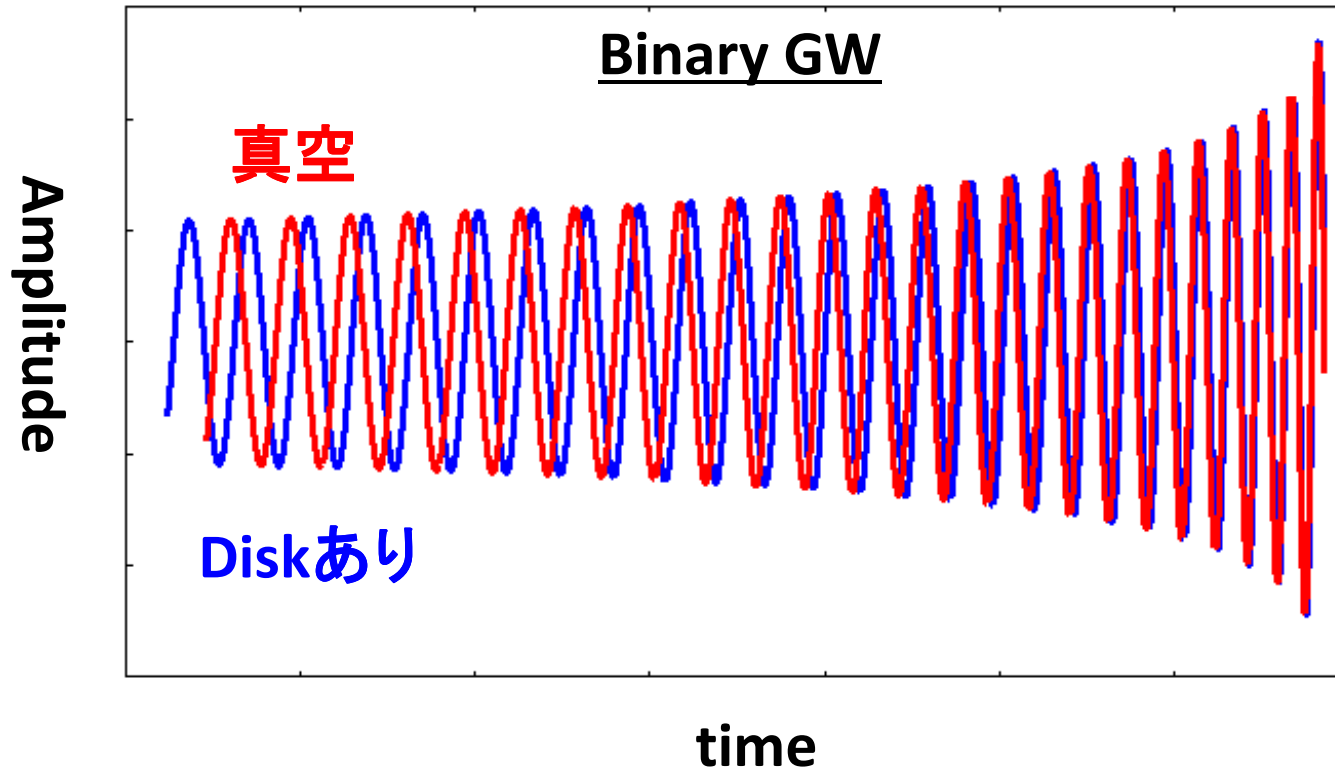
$$\dot{L}_{\text{GW}} \propto M_tv^7$$

(diskは-4PNの効果)

(I) 重力波形への影響

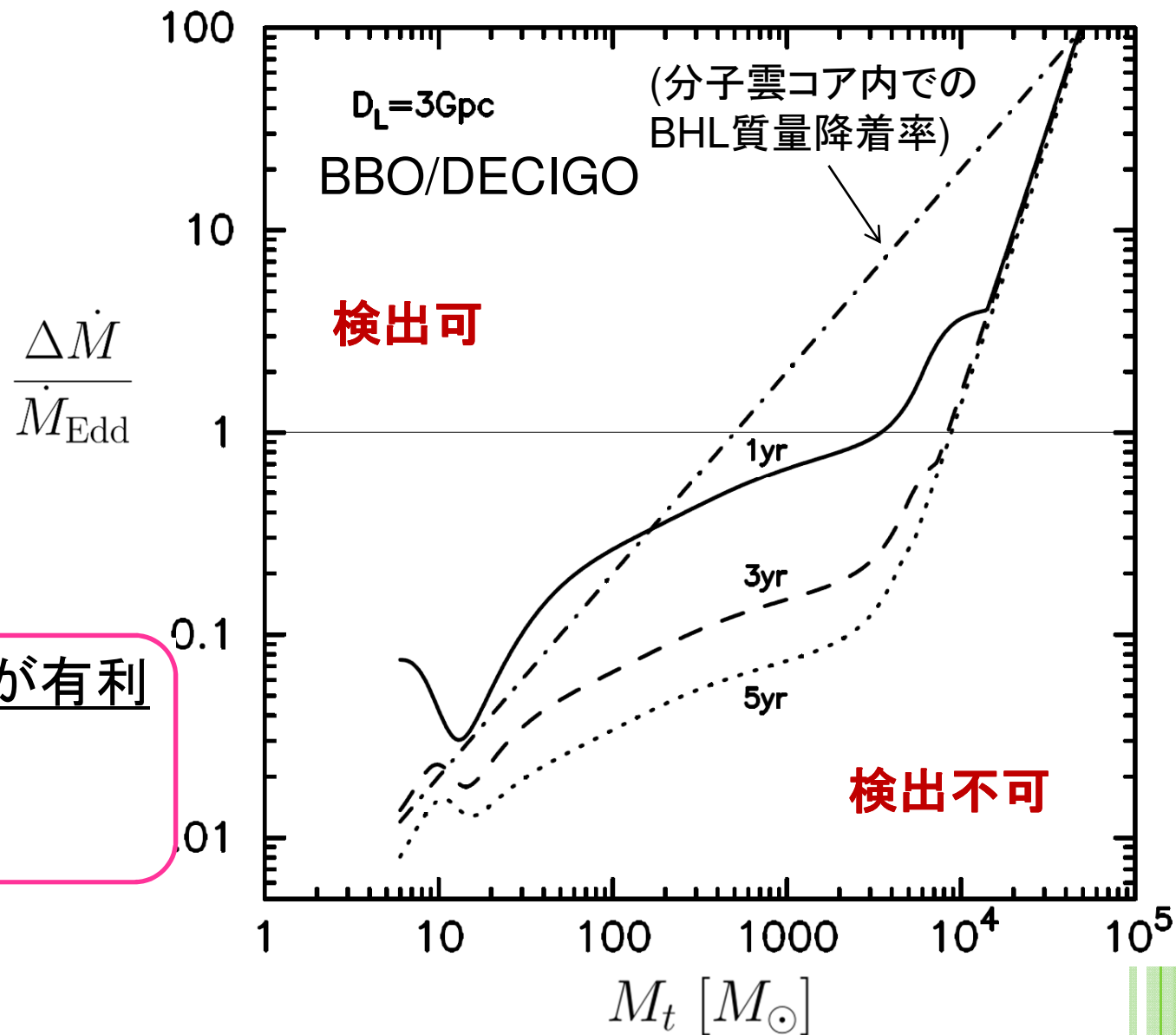
$$\eta \equiv \frac{m_1 m_2}{M^2}$$

- Diskによる位相の補正: $\Psi(f) = \Psi(f)_{\text{vac}} \left[1 - \frac{25}{832} \frac{C}{\eta^2} \dot{M} v^{-8} + \dots \right]$



- 補正項の大きさ: 10^{-7} (合体5年前、 $M = 10M_{\odot}$, $\dot{M} = \dot{M}_{\text{BHL}}$)
- GWのサイクル数: $0.1 \text{ Hz} \times 5 \text{ yr} \sim 10^7 \Rightarrow$ 位相のずれはtotalで $O(1)$
- 円軌道、等質量のもとで $\Delta \dot{M}$ を計算。

(II) 検出可能性



Massが小さい方が有利

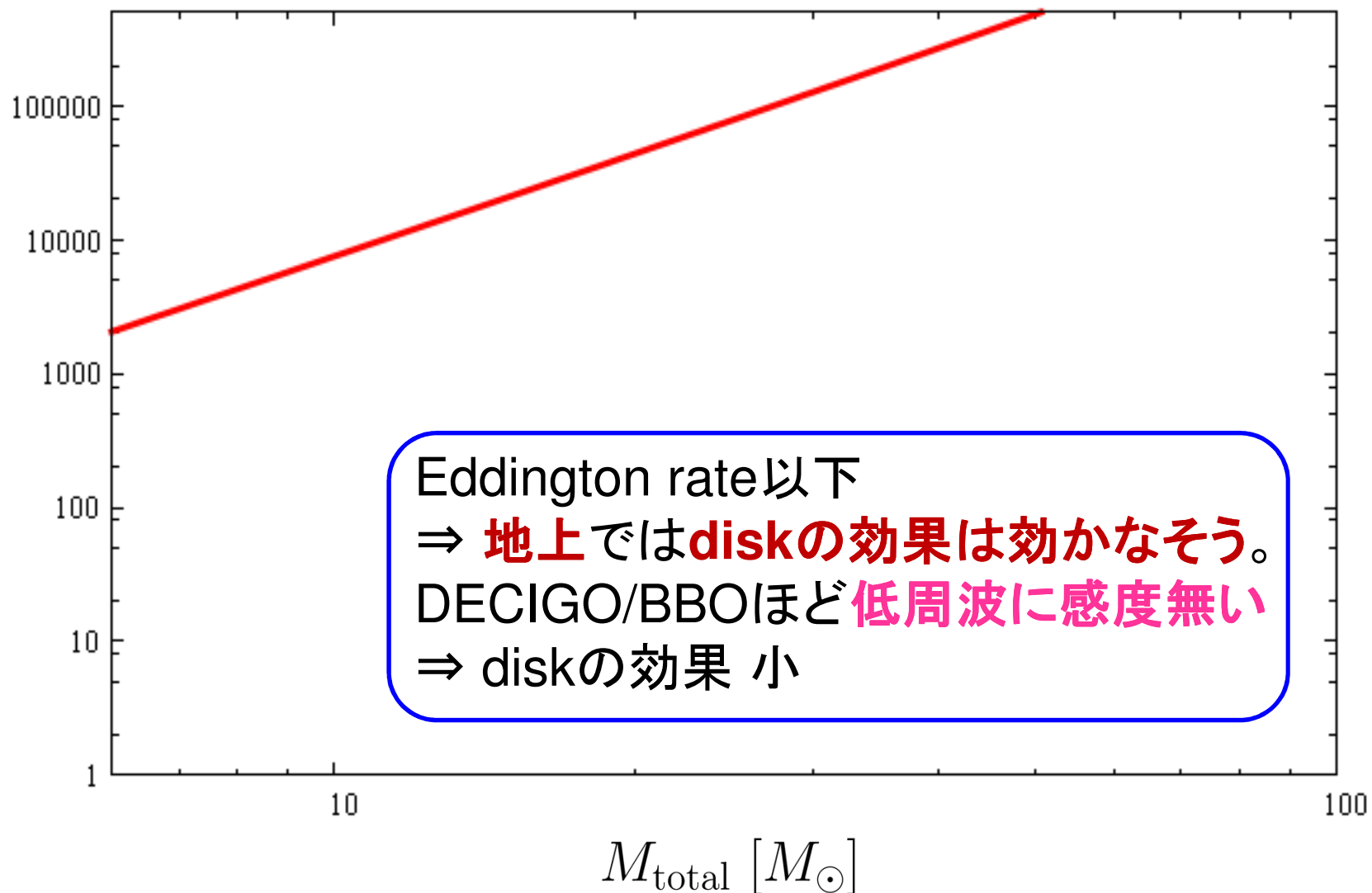
(i) Cycle数大

(ii) $\nu_{1\text{yr}}$ 小

ET


$D_L = 100 \text{ Mpc}$

$$\frac{\Delta \dot{M}}{\dot{M}_{\text{Edd}}}$$



DISKとBINARYのDECOUPLE

- **Disk**の進化のtimescale: $t_{\text{vis}} = \frac{r_{\text{in}}^2}{\nu}$ ν : 粘性係数
- **連星**の進化のtimescale: $t_{\text{GW}} = \frac{a}{\dot{a}_{\text{GW}}}$


 $t_{\text{GW}} < t_{\text{vis}} \Rightarrow$ binaryはdiskとdecouple


- **Standard disk model**を仮定:

(Geometrically thin, optically thick, α 粘性)

- \dot{M} は **Bondi-Hoyle-Lyttleton降着率**:

$$\dot{M}_{\text{BHL}} := 4.4 \times 10^{-9} \left(\frac{M_t}{10M_{\odot}} \right)^2 \left(\frac{\rho_{\infty}}{10^{-19} \text{g cm}^{-3}} \right) \left(\frac{v_{\infty}}{20 \text{km s}^{-1}} \right)^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$$

 $M_t > 1.4 \times 10^4 M_{\odot} \Rightarrow$ 合体数年前で binaryはdiskと既に**decouple**

 **SMBH連星**からのGWに対しては、**Diskの影響はない**。

(III) DECIGOでのEVENT数

stellar-mass BH連星が分子雲に突っ込むような場合

$$\text{Event数: } N \sim \frac{4\pi}{3} \left(\frac{D_L}{1+z} \right)^3 n_{\text{gal}} f_{\text{BH}} f_{\text{MC}} \frac{t_{\text{obs}}}{1+z} \sim \mathcal{O}(0.1) \quad (\text{5年観測})$$

$$n_{\text{gal}} = 0.01 \text{galMpc}^{-3}$$

銀河の個数密度

$$f_{\text{BH}} \sim 10^{-5} \text{yr}^{-1} \text{gal}^{-1}$$

銀河1個辺りのBH/BH merger rate

$$f_{\text{MC}} \sim 5.2 \times 10^{-6} \left(\frac{M_t}{10M_{\odot}} \right)^{9/5} \left(\frac{\Delta \dot{M}}{0.01 M_{\text{Edd}}} \right)^{-9/5}$$

(GW観測に十分な)molecular cloudのvolume fraction

[Mii & Totani (2005)]

- ・運が良ければ、DECIGOで見える。
- ・修正重力理論の効果は個々の連星によらずuniversal
⇒ 統計をためれば、diskの効果は問題にならないと期待。

まとめ

- ・BH連星の周りの**diskの影響**を調べた。
- ・Standard disk \Rightarrow DECIGO, 5yr観測で**event数 $O(0.1)$**
LISAや地上の検出器では観測できない。
 \Rightarrow **GW天文学でdiskの物理量を決定**できる可能性あり。
- ・修正重力理論の効果は**universal**
 \Rightarrow 統計をためれば、**diskの効果は問題にならない**と期待。

Discussion:

- ・**Eccentric orbit**
Eccentricityとdiskの効果はどちらも
separationが大きい時に効く
 \Rightarrow 相関大 \Rightarrow accretion rateの決定精度が悪くなる。
- ・**Super-Eddington** accretion, event rate
- ・gasではなく、**3体目**があるような場合と区別できるか?
[Yunes et al. (2011)]