

重力波観測による 非一様宇宙モデルの検証

理論懇シンポジウム @ 基研

2010年12月21日

八木 絢外 (京大 天体核)

西澤 篤志(基研)

柳 哲文(基研)

§ 1 Introduction

1-1 宇宙の加速膨張

・宇宙論観測

⇒ 宇宙が**加速膨張**しているように見える。

・一様等方を仮定

$$\frac{G_{\mu\nu}}{\textcircled{2}} = \frac{8\pi G}{c^4} \frac{T_{\mu\nu}}{\textcircled{1}}$$

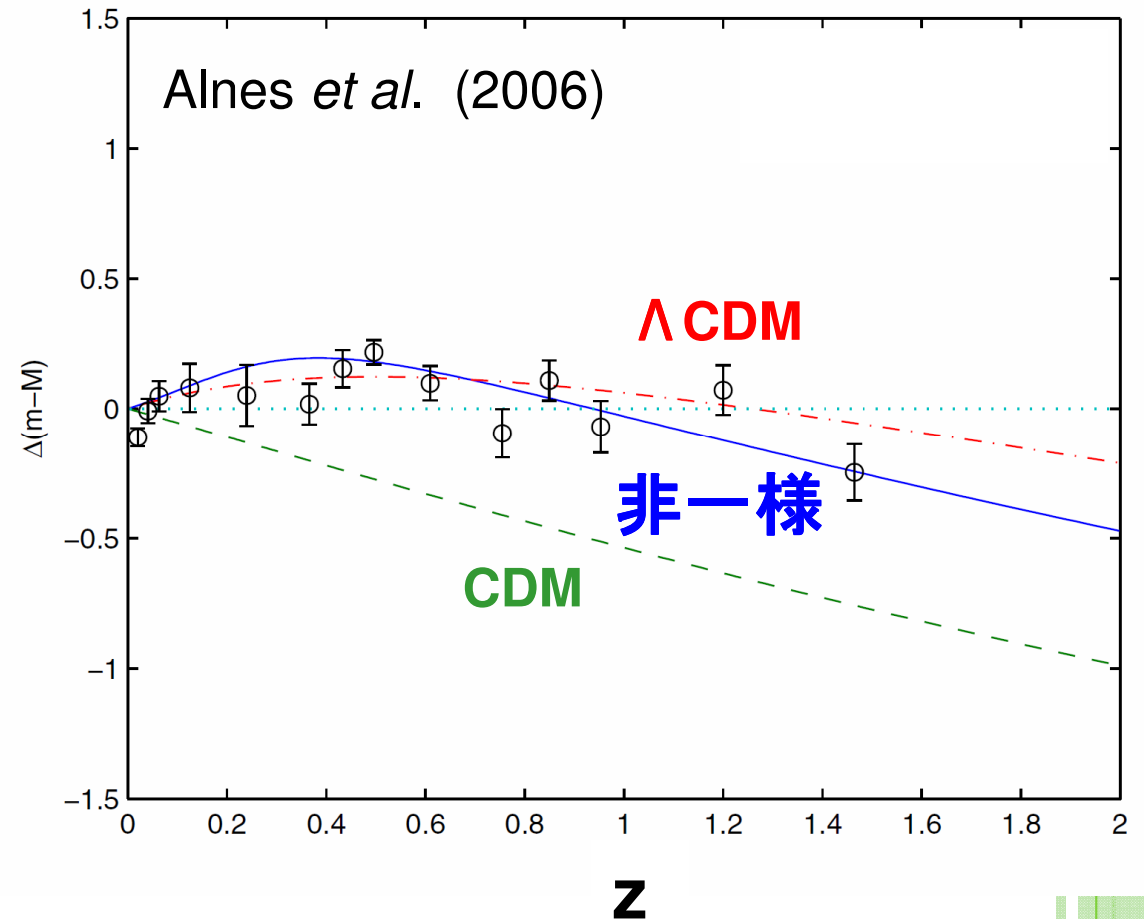
① **G.R.+ Dark Energy**

② **Modified Gravity**

・一様等方の仮定をはずす

③ **G.R.**で観測(みかけの加速膨張)を説明できる。
Dark Energyは不要。

TypeIa SN の観測

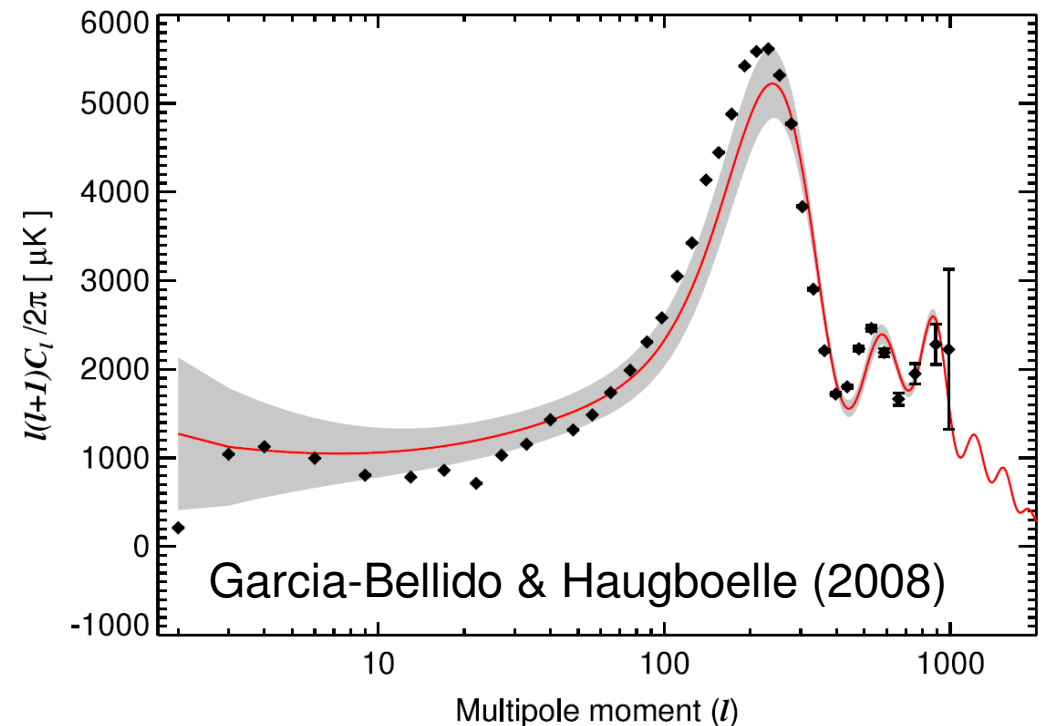
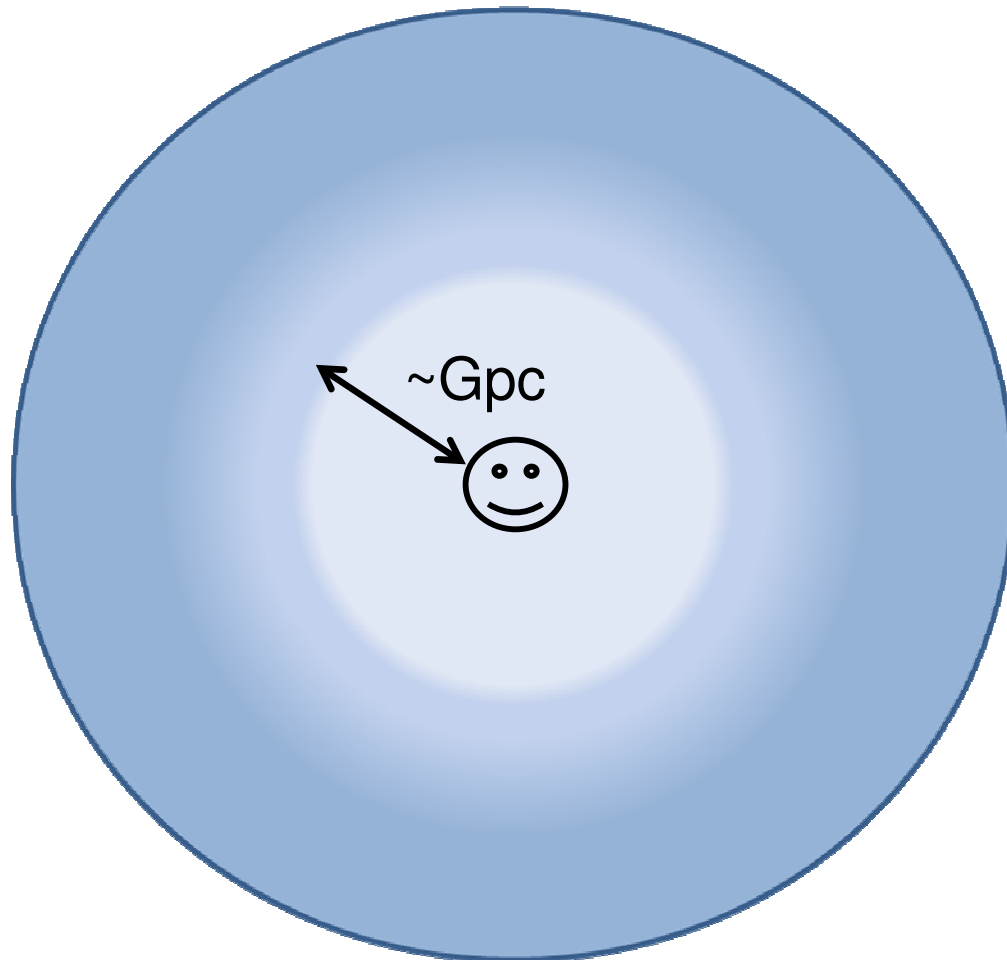


1-2 LTB Void モデル

- ・球対称、ダスト、非一様宇宙
- ・**Void**(密度がスカスカの領域)の中心にいる。

密度は**単調増加**。

- ・密度や曲率の勾配
⇒ **みかけの加速膨張**
- ・SNだけでなく、**CMBやBAOのピーク**も説明できる。



- ・非一様モデルと Λ CDMをもっと**はっきり区別できる観測量**が欲しい。

1-3 Redshift Drift $\Delta_t z$

Redshiftの時間変化

膨張の加速度をより顕著に反映

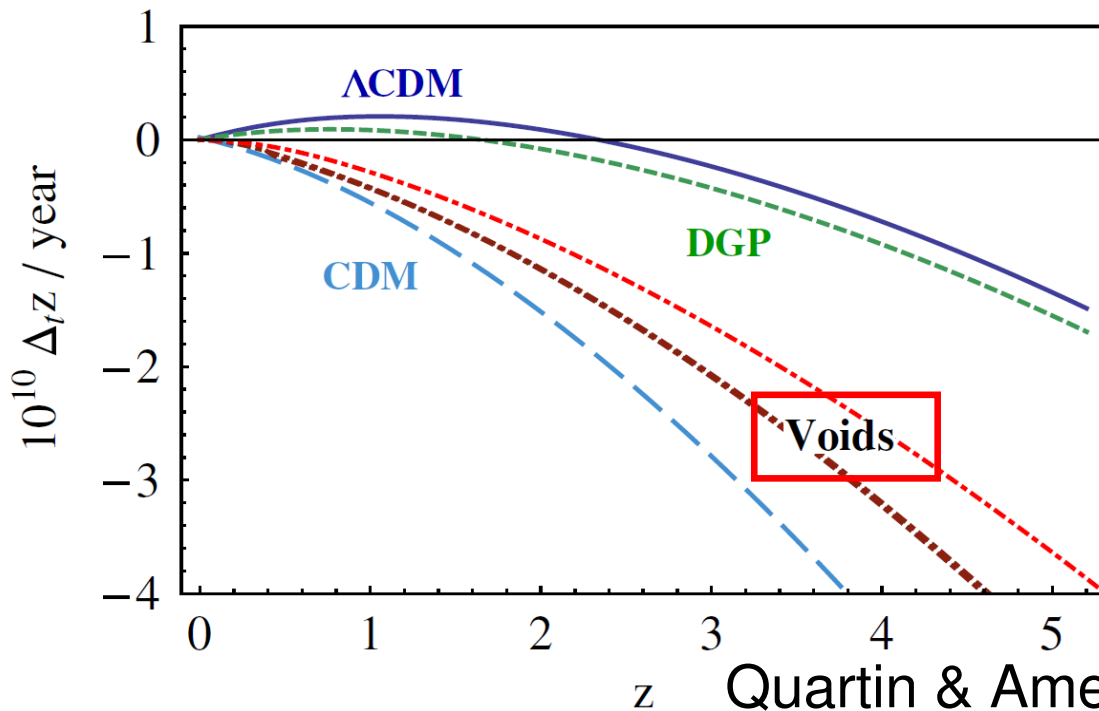
$$\Delta_t z = H_0 \Delta t_0 \left(1 + z - \frac{H(z)}{H_0} \right) \quad (\text{FLRW})$$

$$\sim \frac{\text{obs. time}}{\text{cosmic age}} \sim 10^{-10}$$

LTBの場合 Kai, Nakao & Yoo (2010)

• LTB metric: $ds^2 = -dt^2 + \frac{[R'(t, r)]^2}{1 - k(r)} dr^2 + R^2(t, r) d\Omega^2$

FLRW: $R(t, r) = a(t)r \quad k(r) = kr^2$



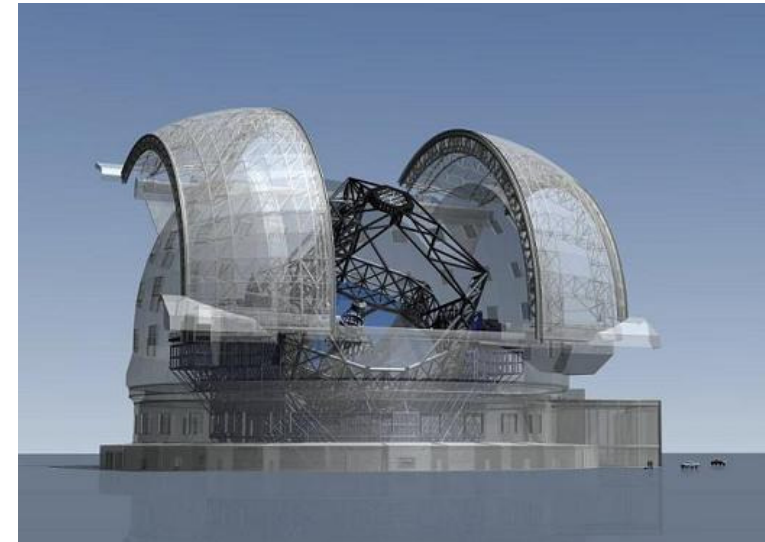
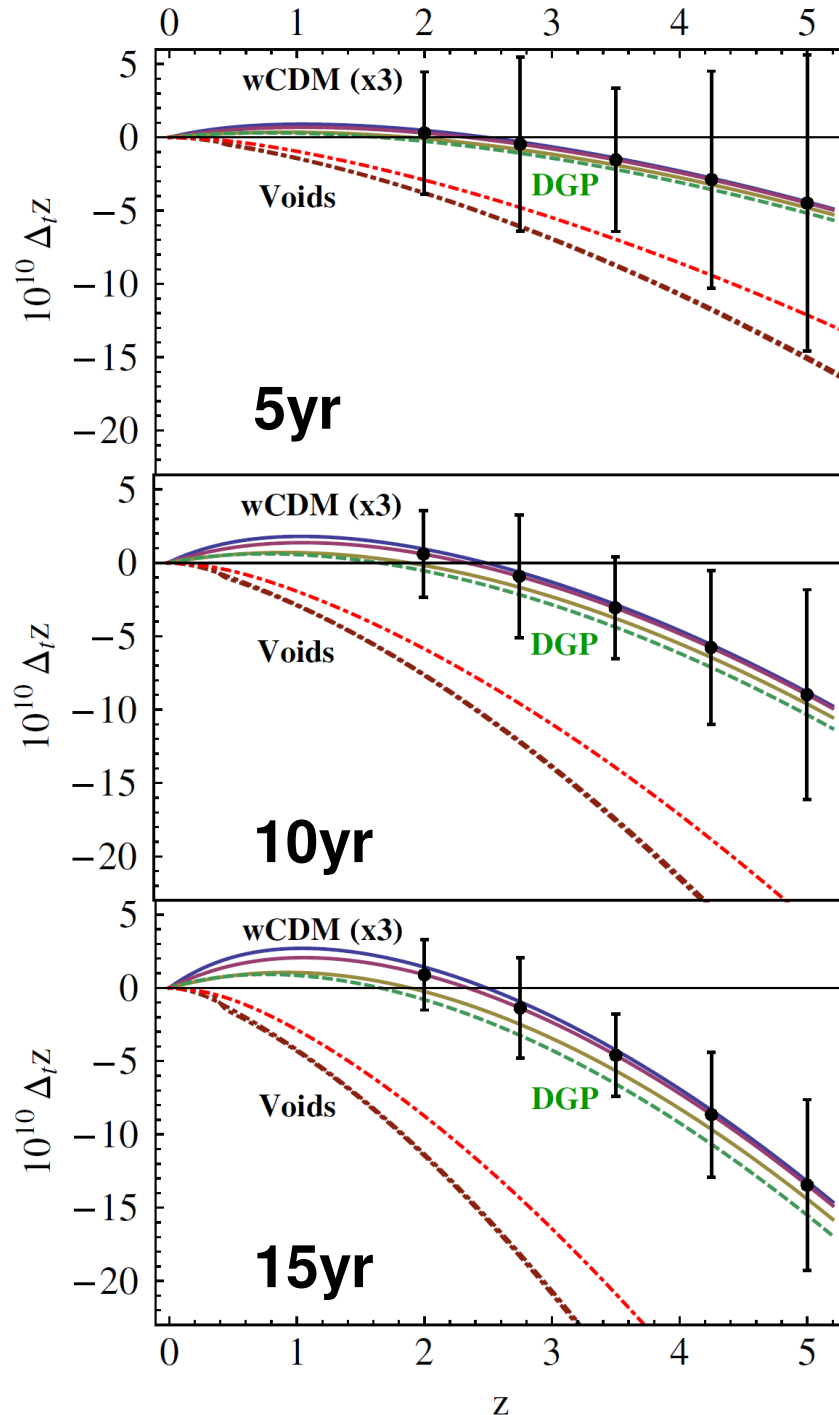
$$\frac{d}{dz} \left(\frac{\Delta_t z}{1+z} \right) = \frac{1}{(1+z)^2} \frac{\ddot{R}'(t, r)}{\dot{R}'(t, r)} \Delta t_0$$

LTB Voidモデル

$$\Rightarrow \Delta_t z < 0 \quad \forall z > 0$$

1-4 E-ELTによるz-drift観測とLTBモデルの検証

Quartin & Amendola (2010)



European Extremely Large Telescope (E-ELT)

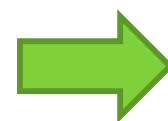
・Quasarの吸収線を利用

high z の観測のみ。

・ Λ CDMが正しい

⇒ 10年観測で典型的なvoidモデルを棄却

・ $\Delta_t z > 0$ の検証 ⇒ low z の観測が必要。



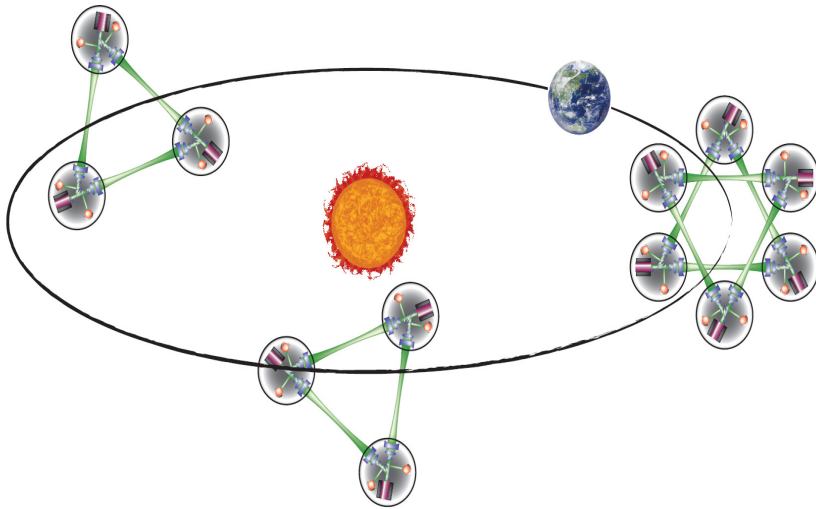
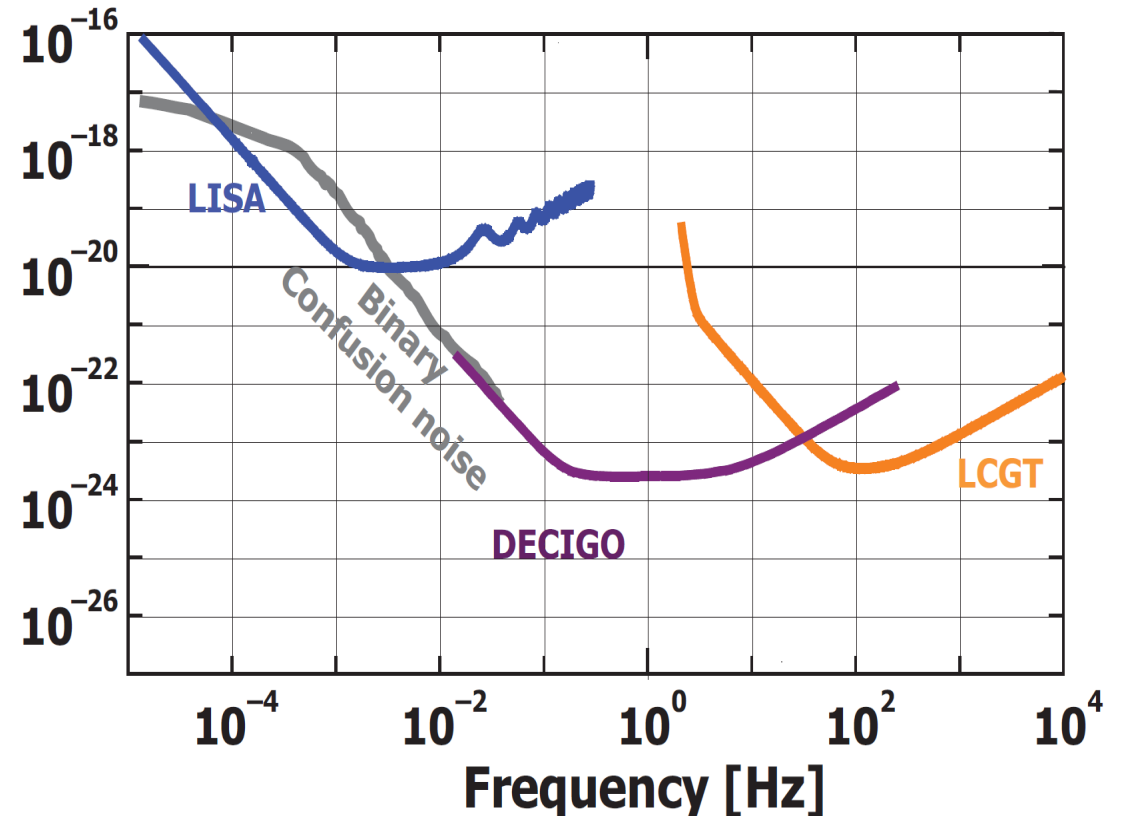
DECIGO による重力波観測 !!

1-5 DECIGO

Seto, Kawamura & Nakamura (2001)

- ・日本が計画する**宇宙重力波干渉計**
- ・**地上の干渉計**と**LISA**の周波数帯を**橋渡し**!
- ・DECIGO大きな目標の一つ: **redshift-driftの測定**
(加速膨張の直接測定)
- ・ Λ CDMが正しい場合に、DECIGOで $\Delta_t z > 0$ が検証できるか?

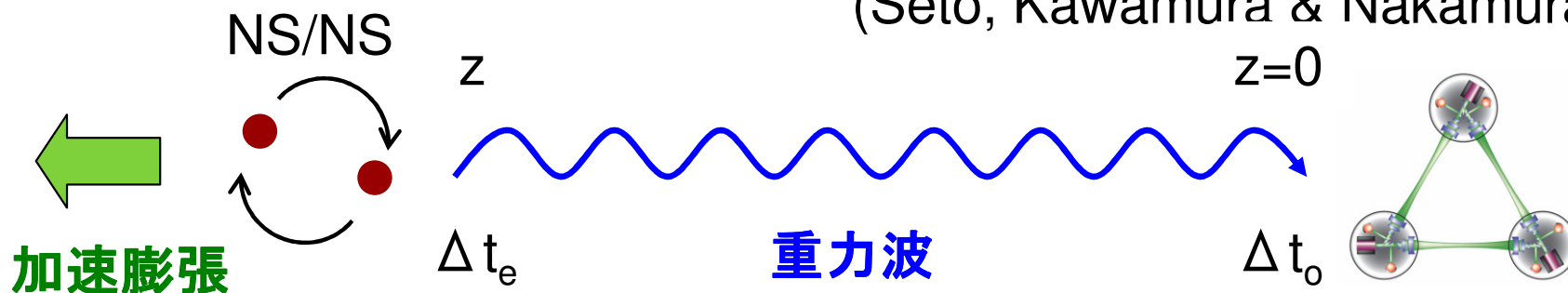
振幅



Sato *et al.* (2009)

§ 2 DECIGOによるredshift driftの測定

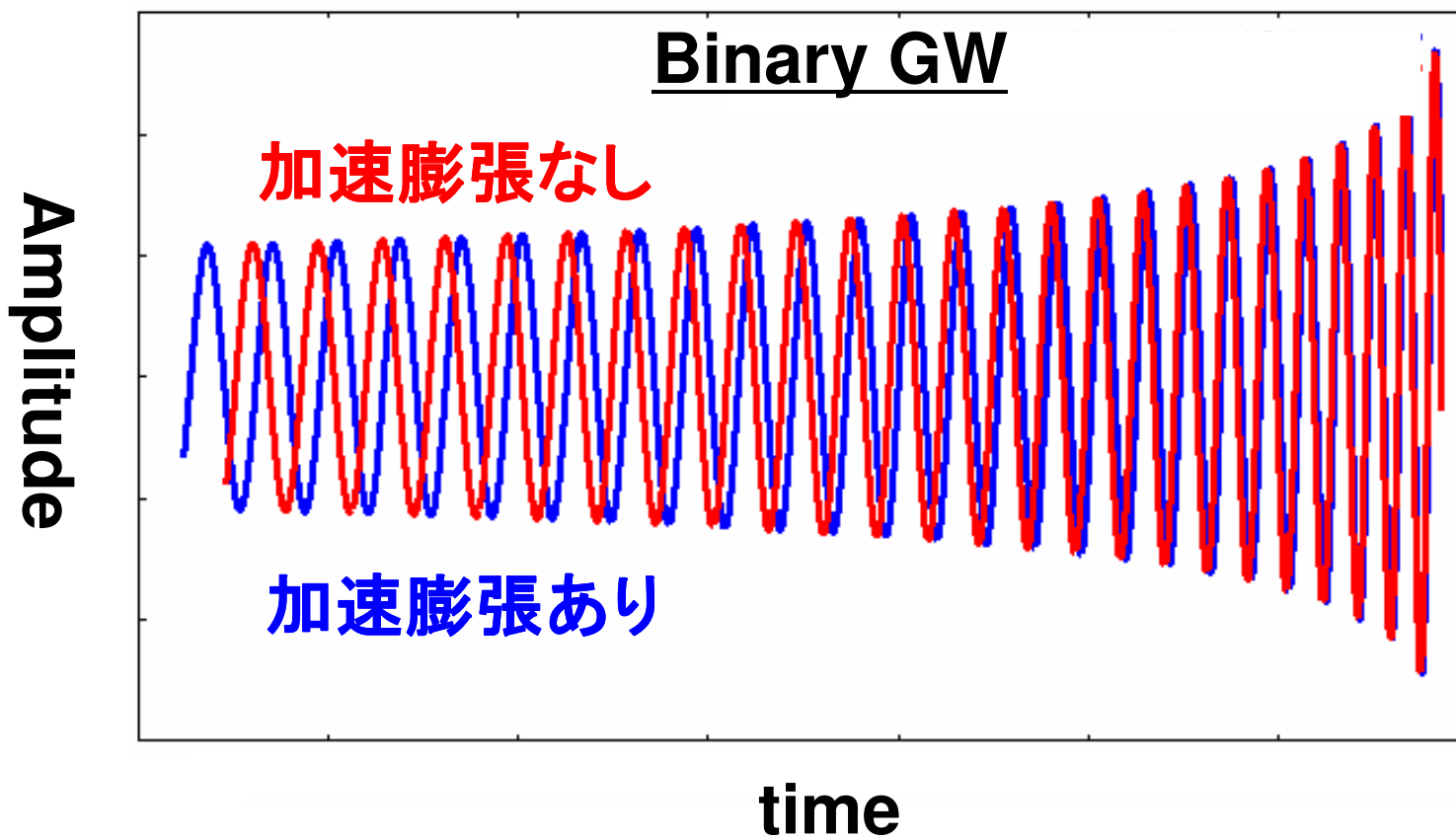
(Seto, Kawamura & Nakamura 2001)



$$\Delta t_o = (1 + z) \Delta t_e \left(1 + \frac{\Delta_t z}{2(1 + z)} \right)$$

位相のずれ

$$\delta \Psi_{\text{acc}} = -2\pi f \Delta t_o \frac{\Delta_t z}{2(1 + z)}$$



§ 3 数値計算

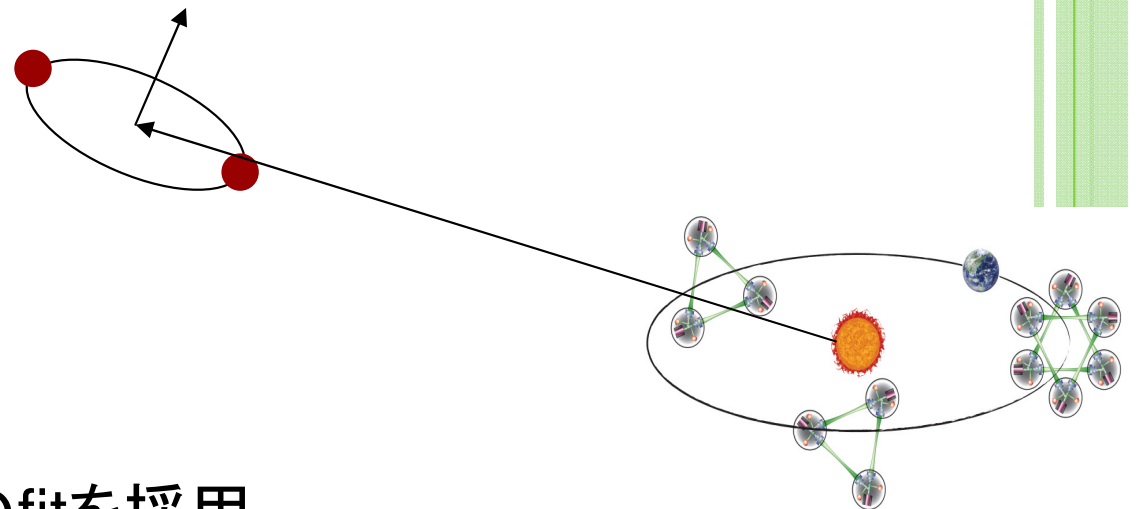
- DECIGOによるredshift driftの決定精度をFisher解析を用いて計算。

[c.f. Ultimate DECIGOを用いたz-driftの測定 (Takahashi & Nakamura 2005)]

↑
DECIGOよりも3桁感度が良い

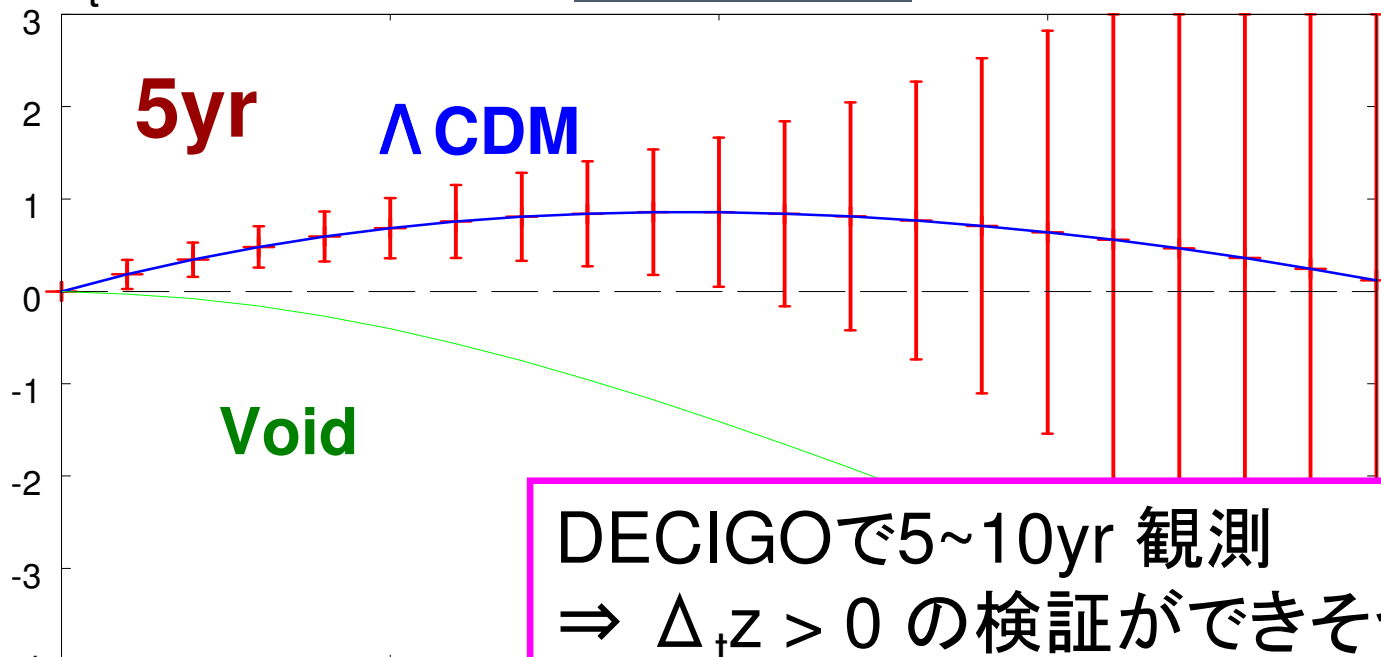
新しい効果

- 各zでRandomに連星を振るMonte Carlo シミュレーション
連星の方向と軌道面の傾き
検出器の運動
- スピン (& 離心率)
- WD/WD confusion noise
- merger rate の evolution は
star formation galaxyの観測のfitを採用。

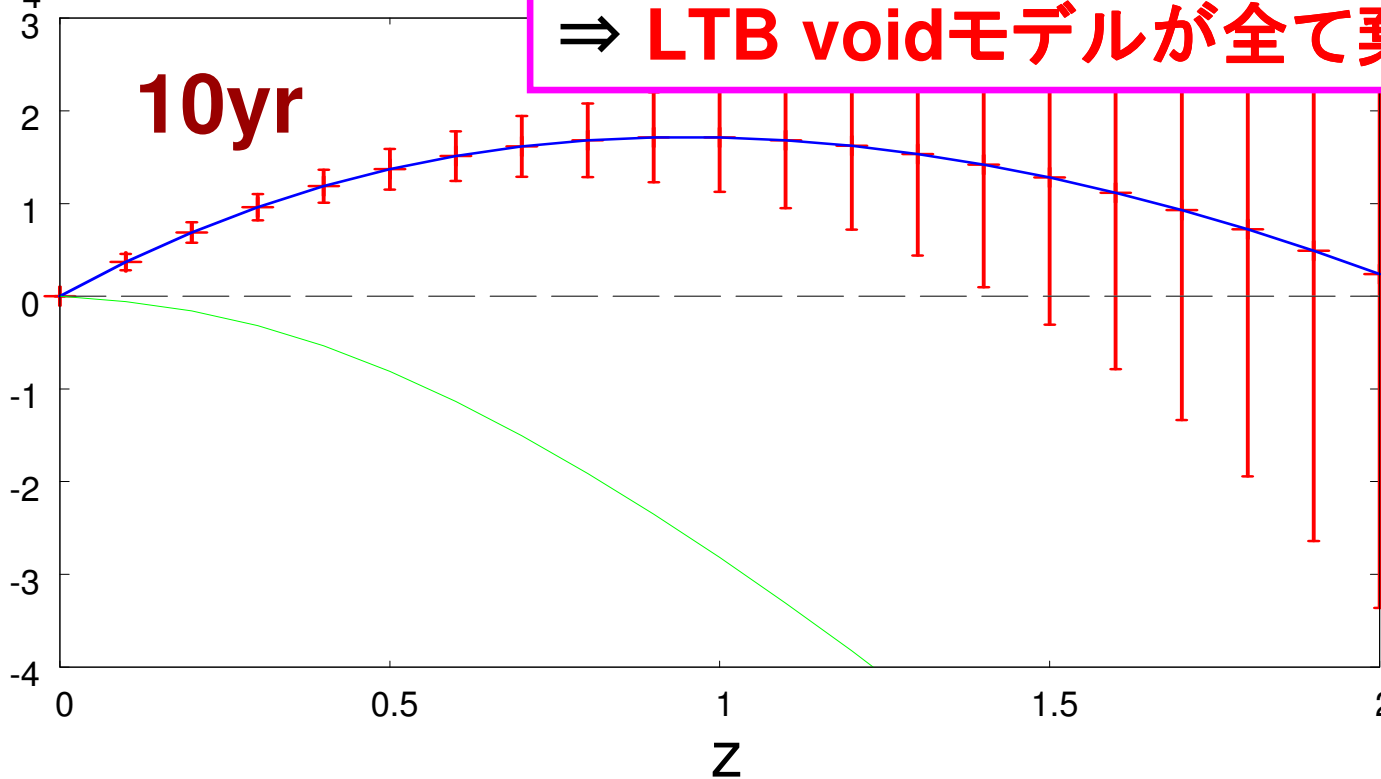


§ 4 結果

$10^{10} \Delta_t z$



DECIGOで5~10yr 観測
⇒ $\Delta_t z > 0$ の検証ができそう!!
⇒ **LTB voidモデルが全て棄却**できる!!



§5 まとめ

- **z-drift** ⇒ **非一様宇宙モデルと Λ CDMを区別**できる！
- **NS/NS連星からのGW観測**によるz-driftの測定精度を計算。
- DECIGO・・・ **5yr~10yr観測で $\Delta_t z > 0$** が検証できそう。
⇒ **LTB voidモデルをすべて棄却**できる可能性がある。
それ以外のモデルも棄却可能。
(現在観測を説明するモデルは **$\Delta_t z < 0$** を示唆)
- E-ELTの観測とは**相補的**。
- Future Works :
 χ^2 検定 ⇒ 何 σ でLTB voidモデルを棄却できるか？

LCGT ⇒ **重力波天文学**の幕開け!!

DECIGO ⇒ **重力波宇宙論**の幕開け!!!