

Direct Measurement of the Acceleration
of the Universe using
0.1Hz Band Laser Interferometer
Gravitational Wave Antenna in Space

瀬戸直樹、川村静児、中村卓史

2001年9月 物理学会

[astro-ph/0108011](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0108011)

Introduction

■ Dark Energyの観測的研究

■ 宇宙は加速膨張? $\ddot{a} \propto -\text{sign}(\rho + 3p) > 0$

■ 光度距離の測定

■ SNIa SNAP 2000□/年 $z < 1.7$

■ 連星からの重力波 (Schutz 1986)

$$M(1+z) d_L$$

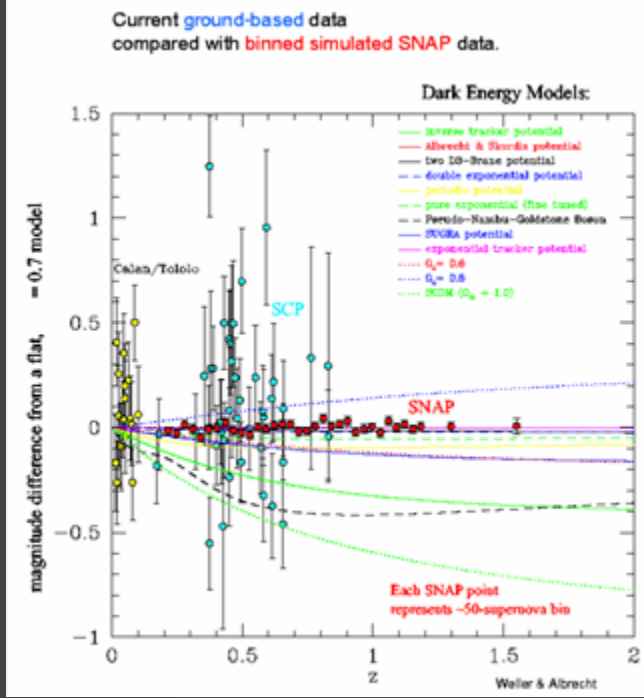
■ $d_L(z)$ から状態方程式を決める (e.g. 中村&千葉 99)

$$d_L(z) = (1+z)r(z)$$

$$\kappa^2 \rho(z) = 3 \left((dr/dz)^{-2} + \{ (1+z)^2 - r^2 (dr/dz)^{-2} \} H_0^2 \Omega_{K0} \right)$$

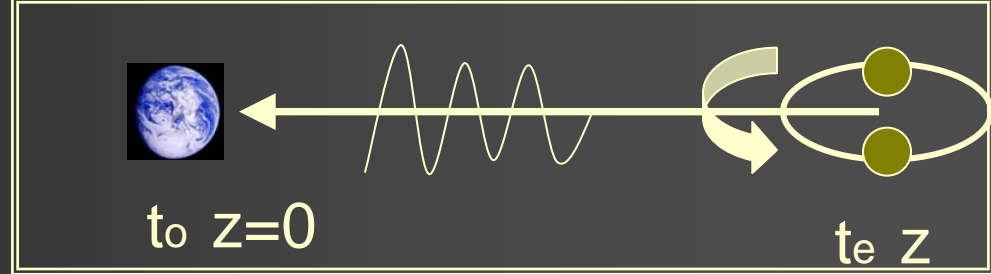
$$\kappa^2 p(z) = -3 (dr/dz)^{-2} + \{ \dots \} H_0^2 \Omega_{K0}$$

■ 今回: 加速膨張を直接測る



曲率パラメーターの自由度で縮退

加速膨張の測定



Observer time t_o と emitter time t_e

$$\Delta T = (1+z)\Delta t_e$$

$$\Delta t_o = \Delta T + X(z)(\Delta T)^2 + \dots$$

$$X(z) = (H_0 - H(z)/(1+z))/2$$

Hubbleの時間変化

- 後退速度(赤方偏移)の時間変化としても現れる \Rightarrow QSOの吸収線(Loeb 1998)

時間のずれ

$$X(z)\Delta T^2 \sim H_0\Delta T^2 \sim 1 \left(\frac{\Delta T}{10 \text{ yr}} \right)^2 \text{ sec}$$

重力波観測は **phase** の情報に sensitive

パラメーター $X(z)$ を観測的に決める

波のフーリエ変換 $h(f) \propto f^{-7/6} \exp(i\Phi(f))$

$$\Phi(f) = 2\pi f t_c - \phi_c - \frac{\pi}{4} + \frac{3}{4} (8\pi M_{cz} f)^{-5/3} - \frac{25}{32768} X(z) f^{-13/3} M_{cz}^{-10/3} \pi^{-13/3}$$

連星中性子星からの重力波

■ 連星の進化(四重極公式)

$$f = 0.1(1+z) \left(\frac{M_t}{2.8M_\odot} \right)^{1/2} \left(\frac{a}{15500\text{km}} \right)^{-3/2} \text{ Hz}$$

$$t_c = 7(1+z) \left(\frac{M}{1.4M_\odot} \right)^{-3} \left(\frac{a}{15500\text{km}} \right)^4 \text{ yr}$$

$$h_c = 1.45 \times 10^{-23} (1+z)^{5/6} \left(\frac{Mc}{1.2M_\odot} \right)^{5/6} \left(\frac{f}{0.1\text{Hz}} \right)^{-1/6} \left(\frac{d_L}{10\text{Gpc}} \right)^{-1}$$

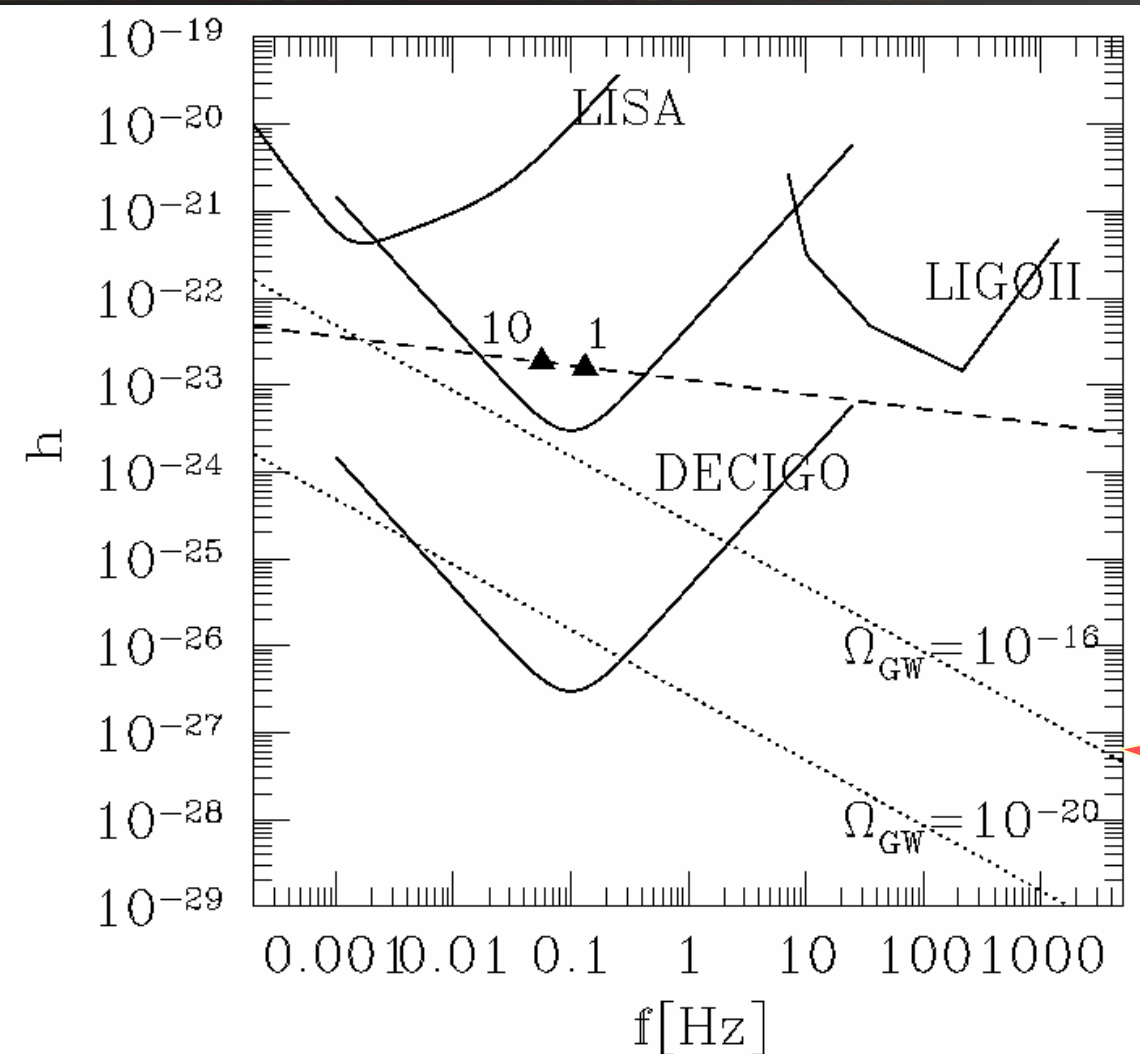
■ $t_c \sim 1\text{yr}$ で $f \sim 1\text{Hz}$

■ $f \sim 1\text{Hz}$ ではWD連星によるノイズがない

inflation起源の背景重力波をかけるためには
NS+NSの寄与を正確に取り除く必要がある

DECIGO

DECi herz Interferometer Gravitational wave Observatory



- Quantum limit sensitivity
100kg mass
- Arm length 50000km
LISA $\mathcal{O}1/10$

Detectable level
for stochastic
background
by correlation
analysis
(several years)

パラメーターの決定精度 (Fisher Matrix)

- 10年で $\Delta X / t_0^{-1} \sim 10^{-2}$ が可能

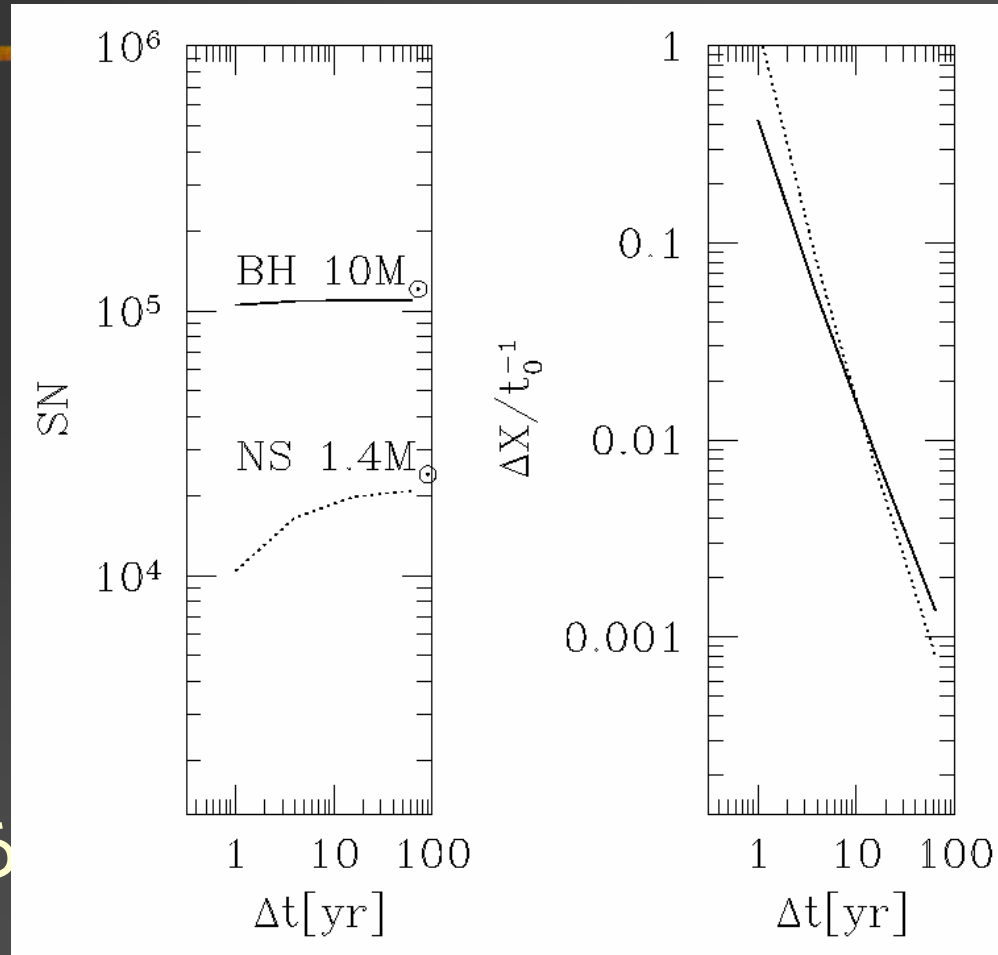
$$X(z) = (H_0 - H(z)/(1+z))/2$$

- NS+NSの合体頻度

$$\geq \left(\frac{10 \text{Gpc}}{350 \text{Mpc}} \right)^3 \sim 10^5 \text{コ/年}$$

(Kalogera et al. 350Mpc内に 1コ/年)

h_{rms} が $\times 1000$ でも意味がある $\Omega_{\text{GW}} \sim 10^{-16}$



$z=1$ の連星からの重力波

まとめ

- 宇宙の加速膨張の直接の測定
- DECIGO ($h_{\text{rms}} \sim 10^{-27}$) @ 0.1Hz
で $z=1$ の NS+NS を使って $\Delta X / t_0^{-1} \sim 10^{-2}$
の測定が可能
- Inflation 起源の背景重力波 ($\Omega_{\text{GW}} < 10^{-16}$) を
検出するためには現在の加速膨張の効果が
重要になる