

星の位置を高精度測定
[(例)VLBI (超長基線干渉計)]

位置天文を用いた

低周波重力波の制限

山内 大介

神奈川大学工学部物理学教室

素朴な疑問・・・

そもそも**位置天文**で
宇宙論的に興味のある物理
なんてわかるの？

位置天文[VLBI]は何が得意？

◆ デメリット

感度はあまりよくない

[例] SKA1 → 感度 $70\mu\text{Jy}$

EAVN → 感度 $100\mu\text{Jy}$

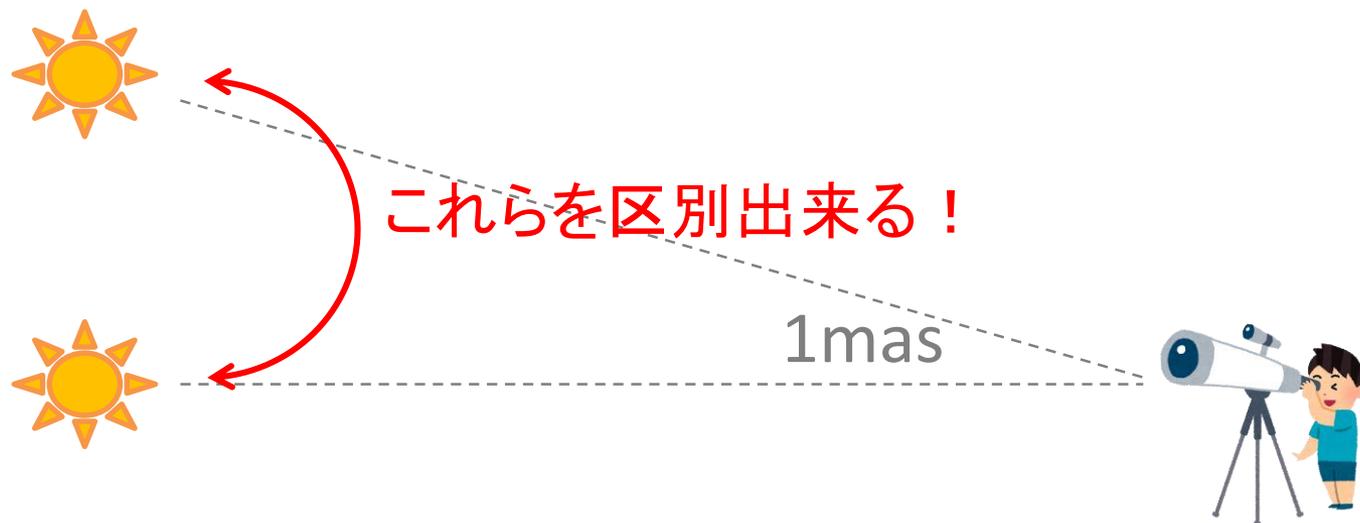
◆ メリット

空間分解能が各段に良い！

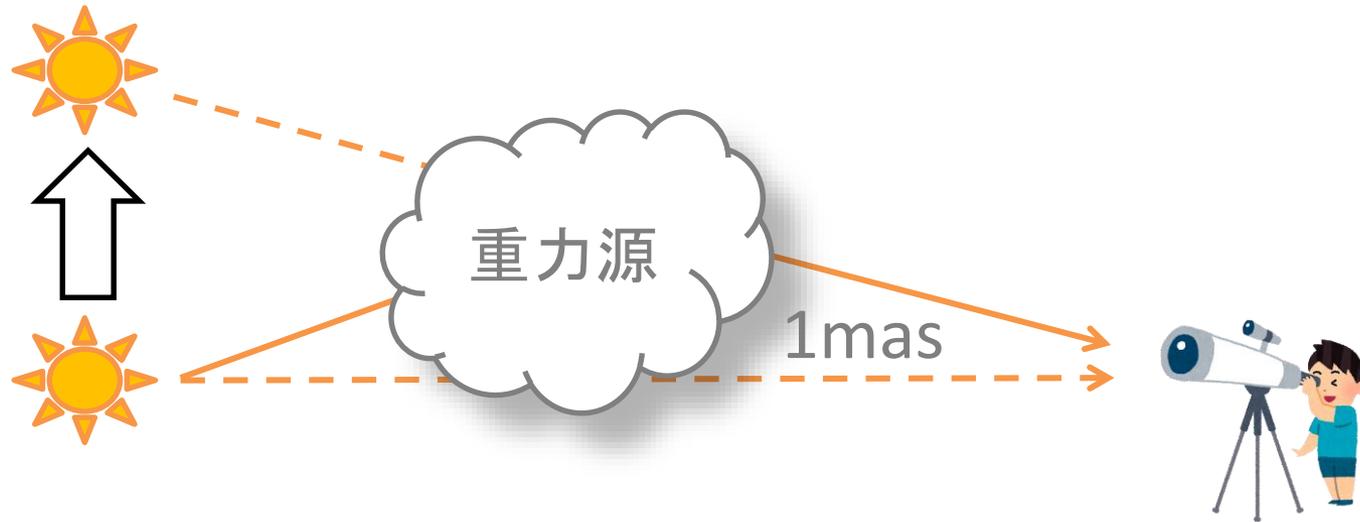
[例] SKA1 → 30mas

EAVN → 空間分解能 1mas

星の位置が決まると何が嬉しい？



星の位置が決まると何が嬉しい？



手前に重力源があると・・・

- 星の光路が曲げられる（～重力レンズ）
- 1masのズレを生む重力源を区別出来る(?)

パルサータイミングとの違い



手前に重力源があると・・・

- 星の光が遅れて到達する（～重力赤方偏移）
- 1msのズレを生む重力源を区別出来る

対応している？

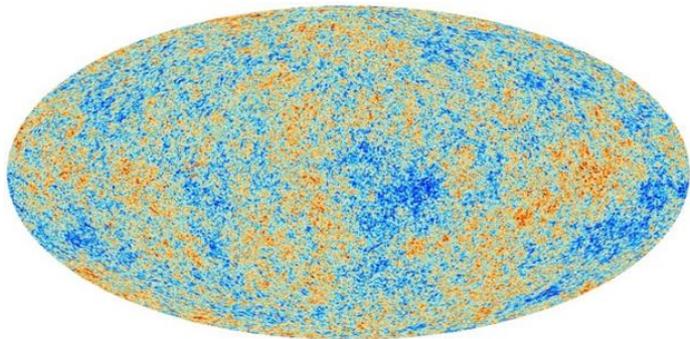
CMB

ザックス・ボルフェ効果

最終散乱面の時間のズレ

重力レンズ効果

揺らぎの位置のズレ



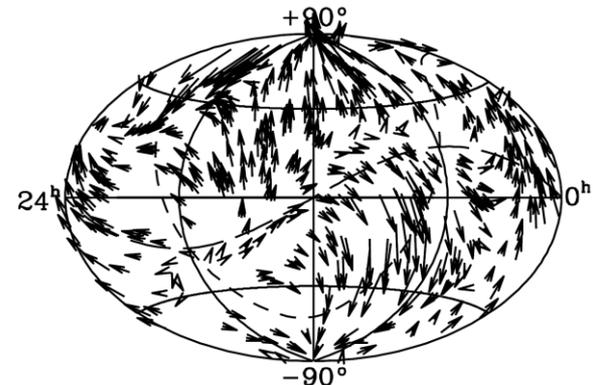
今回

パルサータイミング

パルスの時間のズレ

VLBI

星の位置のズレ
(正確には角速度)



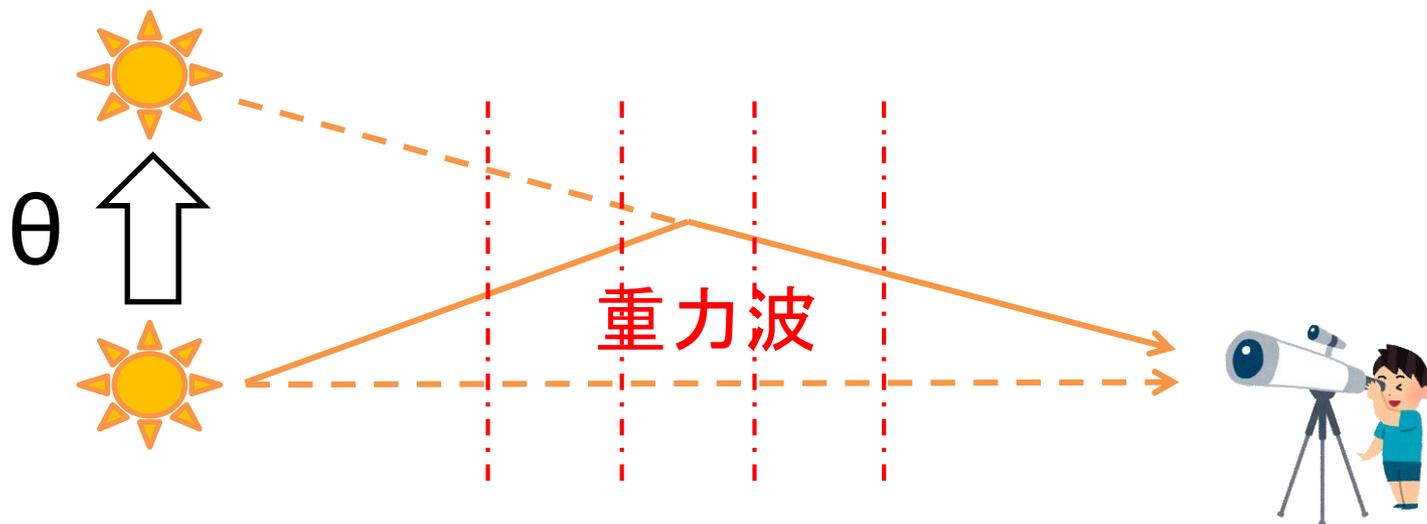
位置天文による 背景重力波の探査

背景重力波が誘起する星角速度

□ 天球面上での見かけの星の位置の変位

$$\theta \sim \sqrt{\langle h^2 \rangle} \sim \frac{H_0}{f} \sqrt{\Omega_{\text{GW}}}$$

⇒ 角速度 $\omega \sim \frac{\theta}{T} \sim f\theta \sim H_0 \sqrt{\Omega_{\text{GW}}}$



背景重力波が誘起する星角速度

□ まじめに計算すると… $= \Omega_{\text{GW}}^{\text{tot}}$

$$\frac{6}{5} P_{\ell=2} = 4\pi \int_{f < 1/T} H_0^2 \Omega_{\text{GW}}(f) d \ln f$$

角速度場

パワースペクトル

[$\ell=2$ モード]

観測時間 T [s]以上のタイム

スケールで速度場を変動

させうる重力波の和

大角度速度場の相関が
 $f < 1/T$ の Ω_{GW} の上限を与える

背景重力波が誘起する星角速度

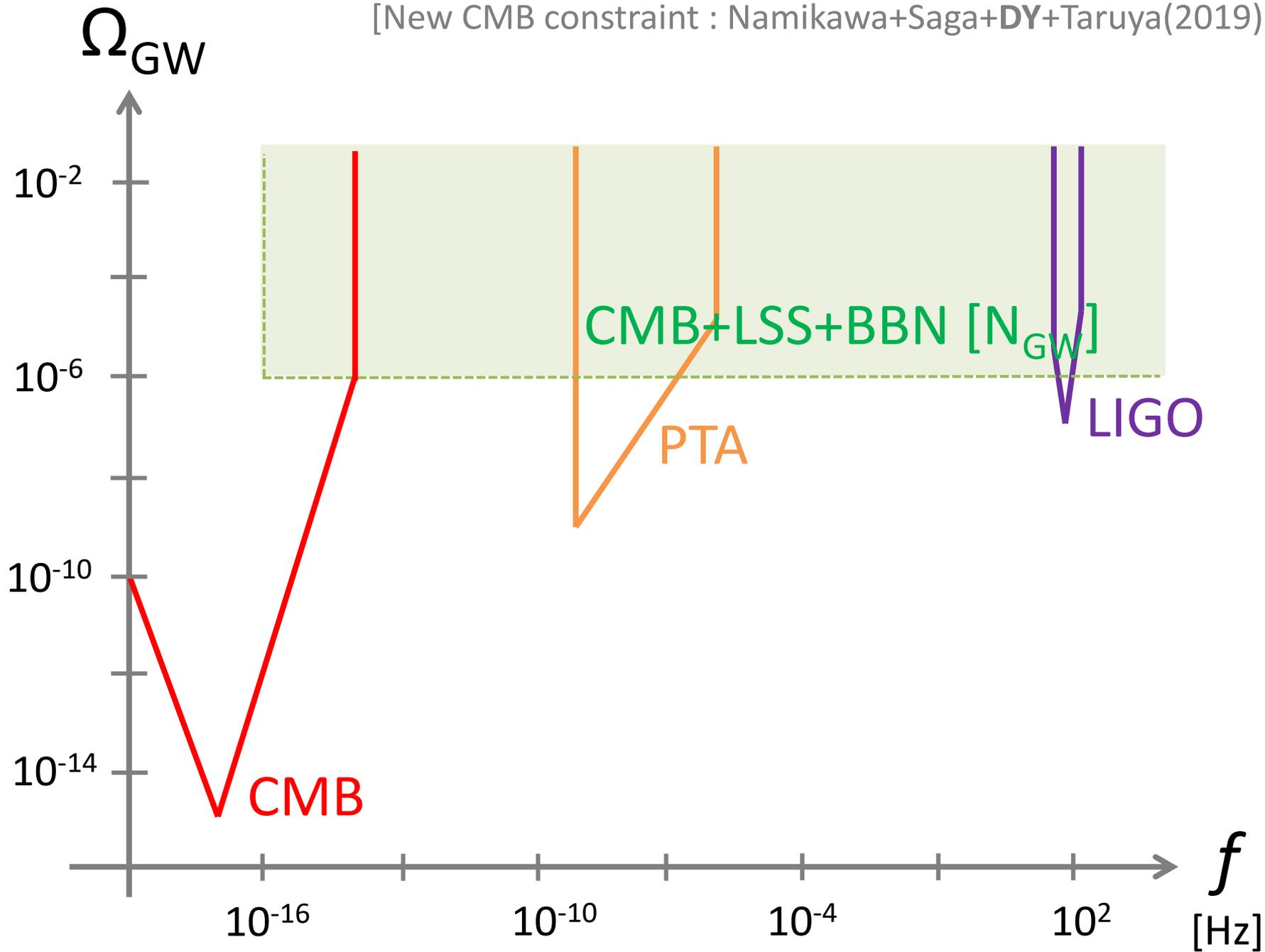
□ まじめに計算すると・・・

$$\Omega_{\text{GW}}^{\text{tot}} = \frac{6}{5} \frac{1}{4\pi} \frac{P_2}{H_0^2} = 0.00042 \frac{P_2}{(1 \mu\text{as}/\text{yr})^2}$$

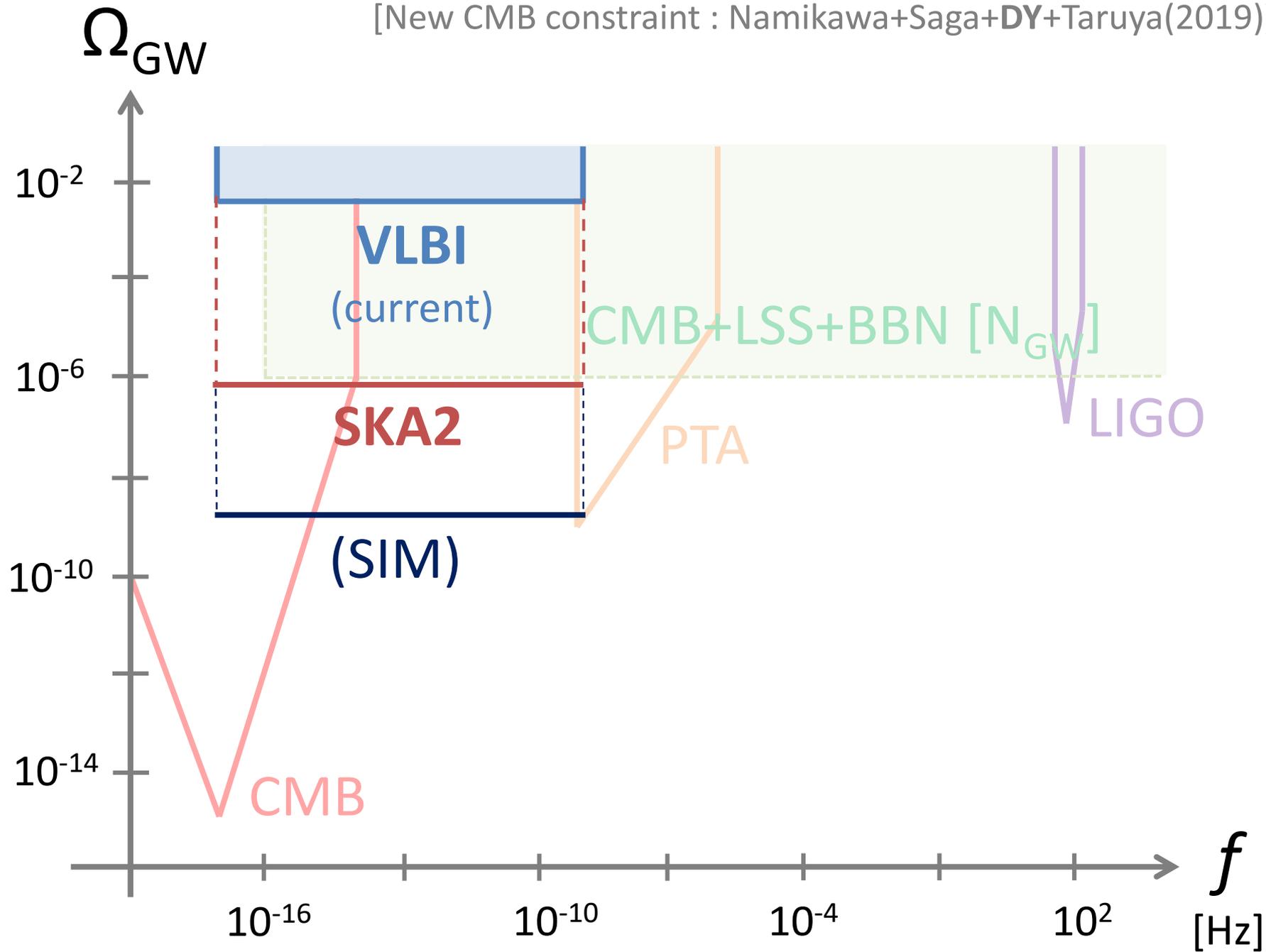
⇒ 典型的に観測期間10yr, 位置精度100 μas が必要

大角度速度場の相関が
 $f < 1/T$ の Ω_{GW} の上限を与える

[New CMB constraint : Namikawa+Saga+DY+Taruya(2019)]



[New CMB constraint : Namikawa+Saga+DY+Taruya(2019)]



位置天文で迫る背景重力波性質

◆ パルサータイミングで出来ないことをする

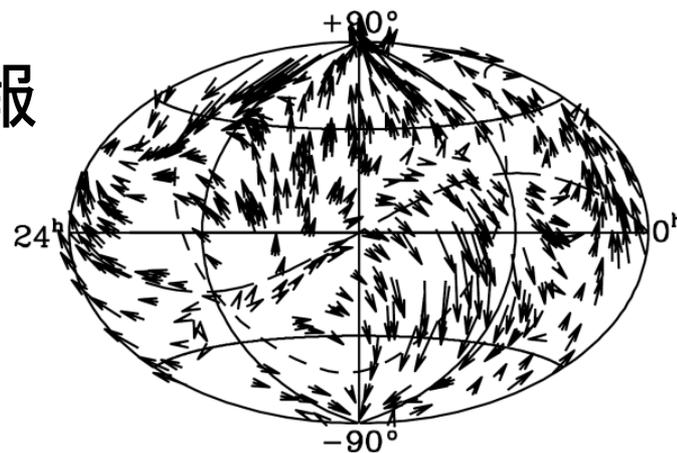
✓ パルサータイミング

時間方向のみの**1次元**情報

✓ VLBIによる位置天文

点球面上の**2次元**情報

E-/B-モード分解

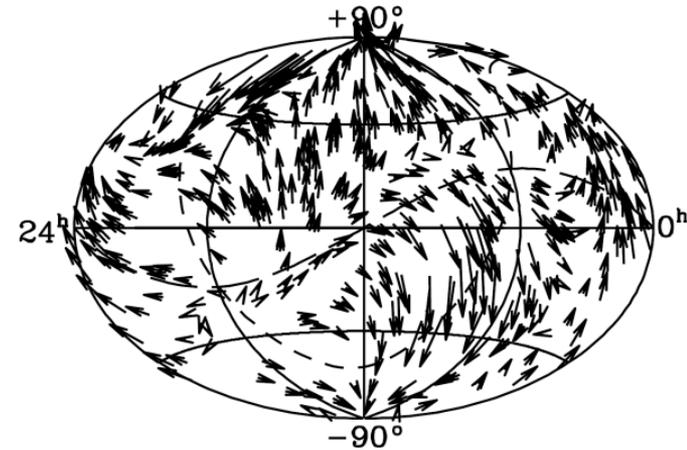


位置天文で迫る背景重力波性質

◆ 通常重力子の場合

$$\text{分散関係 } \omega^2 = c^2 k^2$$

$$P_I^{EE} = P_I^{BB}$$



◆ 重力子の分散関係が異なる場合

$$\text{分散関係 } \omega^2 = c_g^2 k^2 + m_g^2 + \dots$$

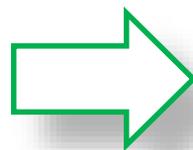
$$P_I^{EE} \neq P_I^{BB}$$

位置天文で迫る背景重力波性質

通常重力子の場合

$$\frac{6}{5} P_{\ell=2} = 4\pi \int_{f < 1/T} H_0^2 \Omega_{\text{GW}}(f) d \ln f$$

P_2 の上限



Ω_{GW} の上限

位置天文で迫る背景重力波性質

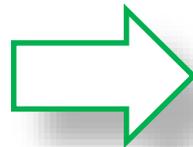
分散関係が異なる場合

$$P_{\ell=2}^{\text{QQ}} = 4\pi \int_{f < 1/T} \alpha_{\ell=2}^{\text{QQ}}(f) H_0^2 \Omega_{\text{GW}}(f) d \ln f$$

周波数に依存した係数

P_2^{EE} の上限

P_2^{BB} の上限

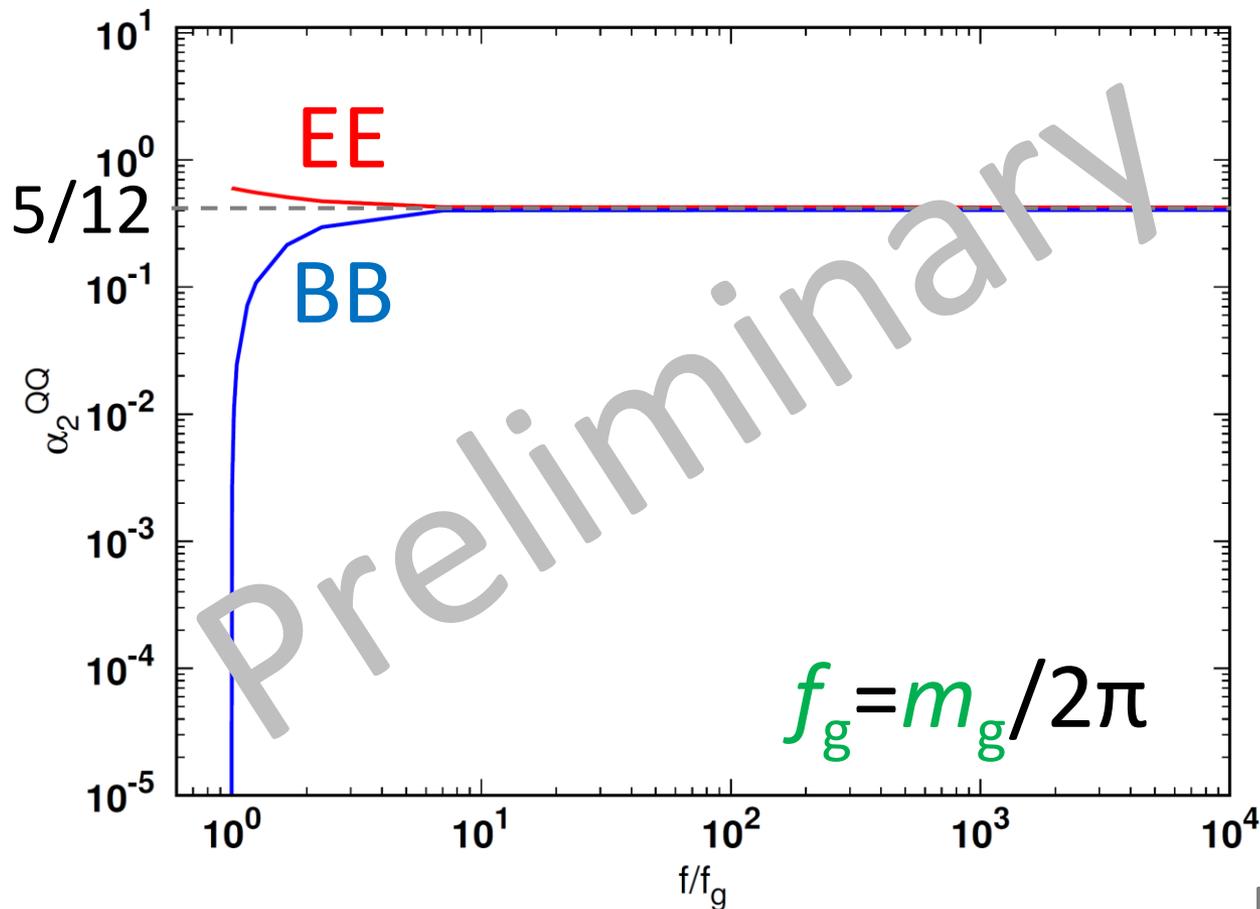


Ω_{GW} の上限

+ 重力子の性質

位置天文で迫る背景重力波性質

例) 重力子質量 $\omega^2 = c^2 k^2 + m_g^2$



まとめ

**位置天文でも宇宙論に
興味のある物理は探れる！**

- ◆ 低周波帯の背景重力波
- ◆ 背景重力波の分散関係