

スペース重力波アンテナDECIGO計画 XVI (サイエンス)

瀬戸直樹, 川村静児, 安東正樹, 佐藤修一, 田中貴浩, 神田展行,
船木一幸, 中村卓史, 坪野公夫, 沼田健司, 高島健, 井岡邦仁, ...
(DECIGO-WG)

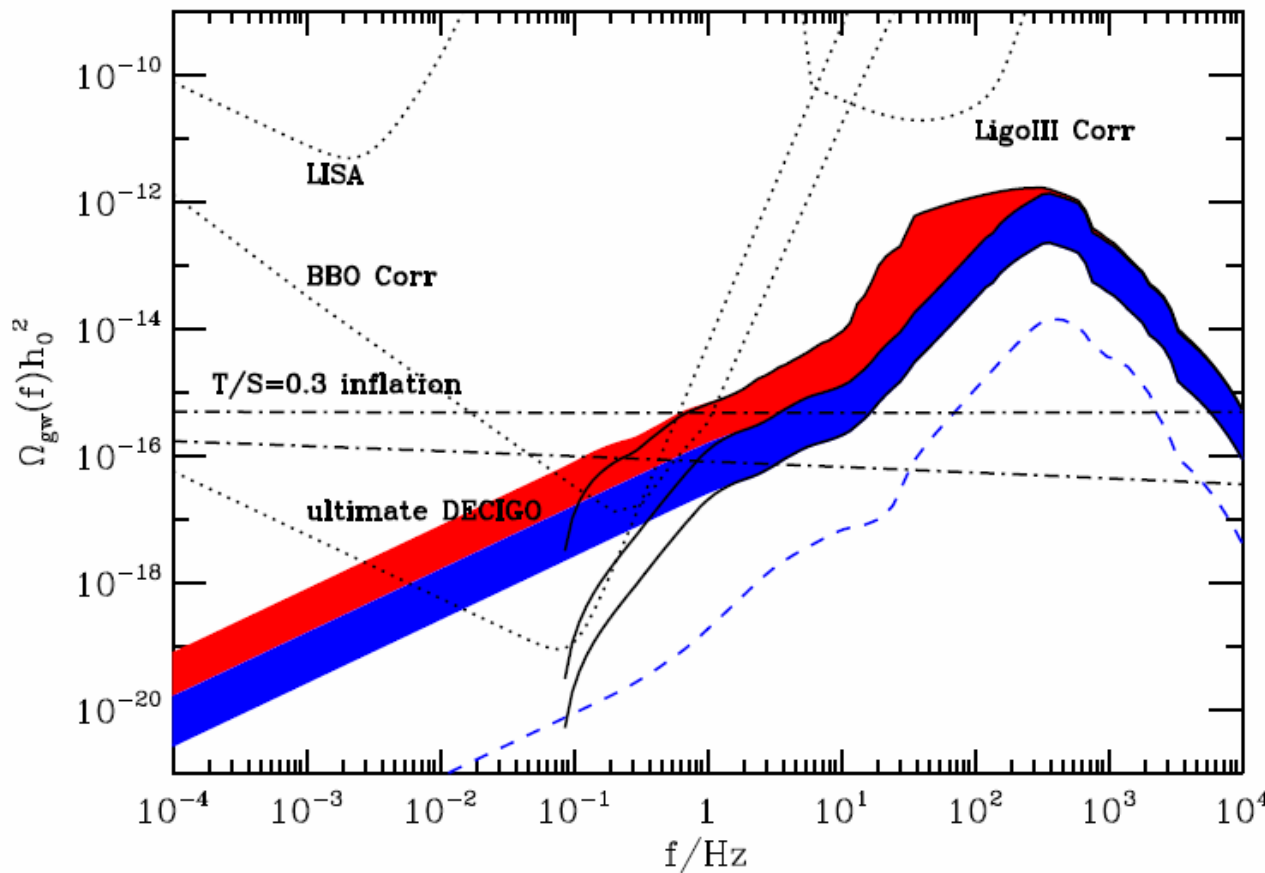
2008年9月 物理学会

発表の構成

- Introduction
 - バースト波による背景重力波を対象
- 基本的な仕組み
 - 非ガウス性、kurtosis、粒度
- SNと弱信号の統計的増幅
- DECIGO+popIII SNe
- まとめ

Introduction

以前から指摘されていた懸念: Pop III超新星爆発時の ν 放射非対称性 \rightarrow メモリー効果
 インフレーション起源の背景重力波を覆っている(?)



メモリー効果



微分が δ 関数的 $f h = \text{const}$

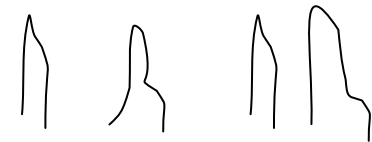
個々のバーストの強さ不明
 Inflation起源と見分けがつか?

Ω_{GW} 以外の指標が必須

- **今回の研究** (Seto ApJL, 2008)・・・春の続き

- 背景波の非ガウス性に注目

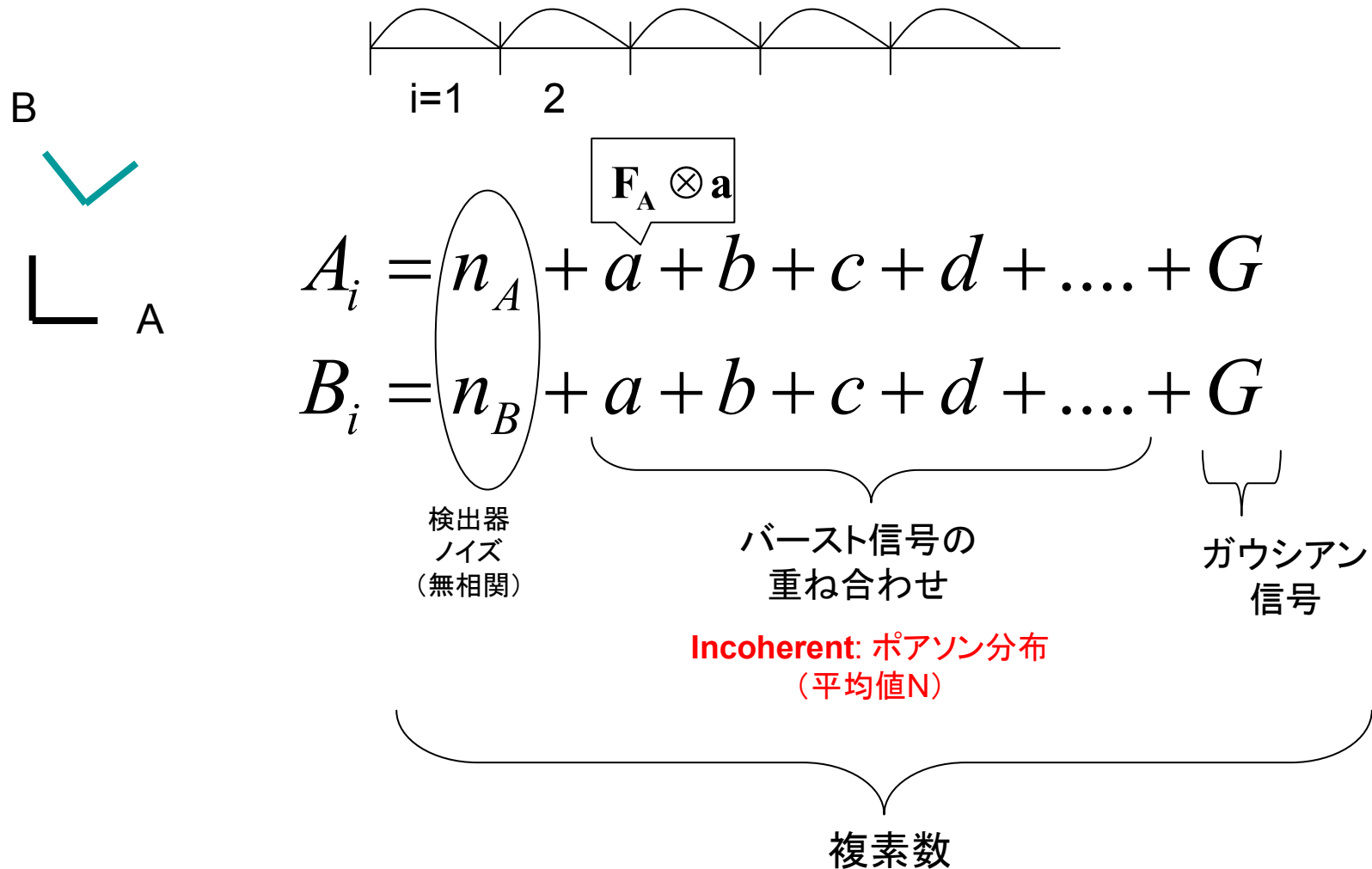
- 粒度と密接に関連
- インフレーションタイプと識別
- 弱バースト信号の統計的増幅
 - ソースの性質に迫る



- (地上干渉計ネットワークにも応用化能)

基本的な仕組みをみておく

- 粒度と非ガウス性: Kurtosis



$$A = n_A + a + b + c + d + \dots + G$$

$$B = n_B + a + b + c + d + \dots + G$$

今までの相関解析

$$C_2 = \langle AB^* \rangle = \langle aa^* \rangle + \langle bb^* \rangle + \dots + \langle GG^* \rangle = \underline{N \langle |a|^2 \rangle + \langle |G|^2 \rangle}$$

$$\langle (AB^*)^2 \rangle = N \langle |a|^4 \rangle + 2 \left(\underline{N \langle |a|^2 \rangle + \langle |G|^2 \rangle} \right)^2$$

$$C_4 \equiv \langle (AB^*)^2 \rangle - 2C_2^2 = N \langle |a|^4 \rangle$$

クロスタームがすべて落ちる！
3月発表：特定の干渉計セット

$$Gを無視すると \quad C_4 = C_2^2 / N$$

個々の“要素”にどの程度パワーが集中しているかが問題

ちなみに幾何学的情報を取り込むと $C_4 \propto q_l l^2 + q_v V^2$

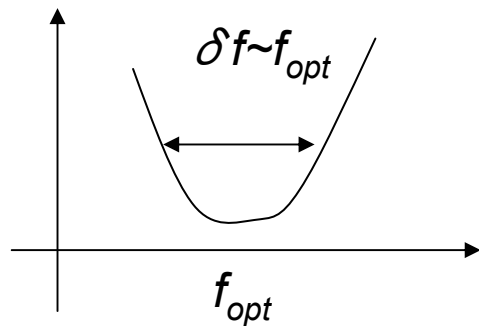
ジェットの、回転的？

発表の構成

- Introduction
- 基本的な仕組み
 - 非ガウス性、kurtosis、粒度
- SNと弱信号の統計的増幅
- DECIGO+popIII SNe
- まとめ

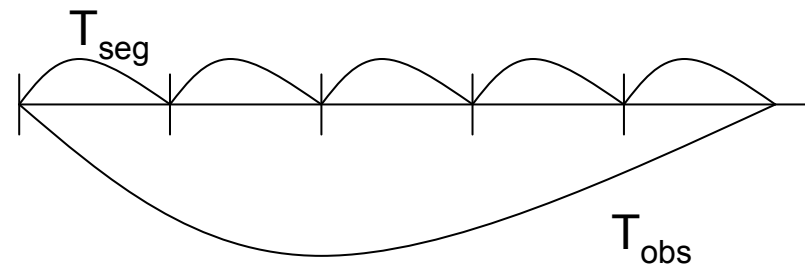
SNR等の評価

状況設定



干渉計 周波数: f_{opt} バンド幅: $\delta f \sim f_{opt}$

データを T_{seg} ごとに分割
フーリエ変換



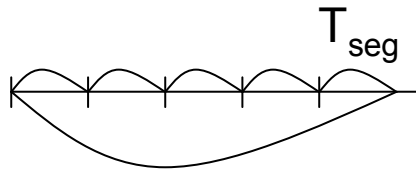


$$C_2 \equiv \sum_{\text{mode}} B(f)A(f)^*$$

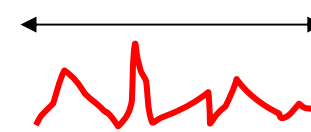
普通の相関解析: バースト Ω_{GW} への感度 $\propto T_{\text{obs}}^{1/2}$

$$C_4 = \langle (AB^*)^2 \rangle - 2C_2^2$$

新しい観測量



T_d : バースト継続時間



結果

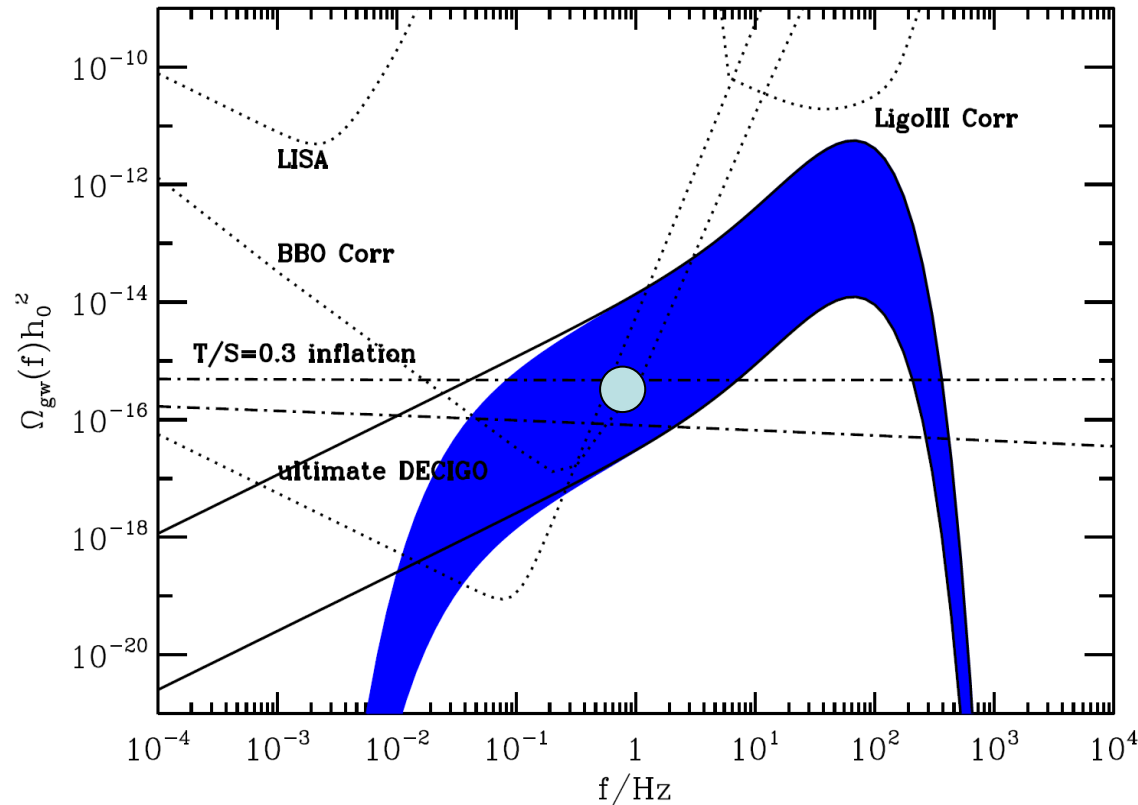
$$SNR : C_4 = \underbrace{SNR : C_2}_{\propto T_{\text{obs}}^{1/2}} \times \underbrace{SNR_{\text{Bst}}^2}_{\text{個々のバーストのSN}} \times \underbrace{Q}_{O(1)} \times \begin{cases} (T_{\text{seg}} \delta f)^{-1} & T_{\text{seg}} \gg T_d \\ (T_d \delta f)^{-1} & T_{\text{seg}} \geq T_d \end{cases}$$

T_{seg} に対する依存性の変化:
継続時間 T_d が推定可能
パワーの散逸



小さくても統計的に増幅可能

Pop III burst background



Buonanno et al.の典型モデル

$$\Omega_{GW} \rightarrow 10^{-16}$$

$$R \rightarrow 0.01/\text{sec}$$

個々のバースト

$$SNR_{Bst} \sim 0.6 \left(\frac{\Omega_{GW}}{4 \times 10^{-16}} \right)^{1/2} \left(\frac{R}{0.01/\text{sec}} \right)^{-1/2}$$

背景GW

$$SNR : C_2 \sim 80 \left(\frac{\Omega_{GW}}{4 \times 10^{-16}} \right) \left(\frac{T_{obs}}{10\text{yr}} \right)^{1/2}$$

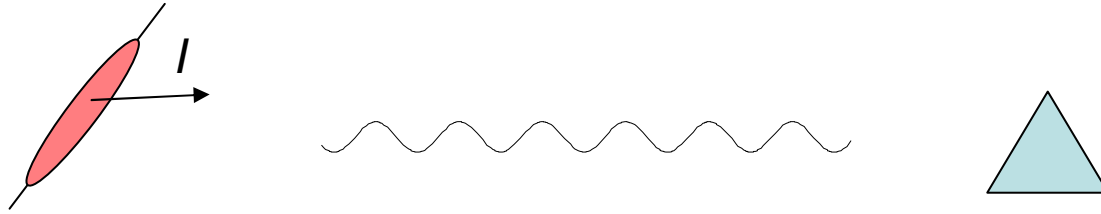
$$SNR : C_4 \sim 10 \left(\frac{\Omega_{GW}}{4 \times 10^{-16}} \right) \left(\frac{R}{0.01/\text{sec}} \right)^{-1} \left(\frac{T_{obs}}{10\text{yr}} \right)^{1/2}$$

バーストは検出できなくても、粒度のチェックが可能

まとめ

- 背景重力波の性質を探る
 - Ω_{GW} 以外の定量化が必須
 - 今回は非ガウス性に注目
 - バースト背景波に有効 (popIII SNe)
- 4次のモーメント C_4
 - 粒度と関連
 - 弱信号の統計的増幅
 - Burst duration, rate, polarization...
- DECIGO
 - popIII SNeに対して適用可能と期待
 - Inflation起源とconsistentかチェック
- 地上干渉計ネットワークにも応用

バーストの重ね合わせ



軸対称放射モデル(SN,GRB,...)

$$H(\alpha_+(I), i\alpha_-(I))$$

規格化 $\frac{1}{2} \int_0^\pi (\alpha_+^2 + \alpha_-^2) \sin IdI = 1.$

$$C_4 \equiv \left(A(f)E(f)^* \right)^2 \quad \text{の角度平均}$$

方向、向き

$$\frac{H^4}{20160} \int_0^\pi (357 \{a_+^4 + a_-^4\} - 1234a_+^2 a_-^2) \sin IdI$$

消えない: 足し合わせて増幅可能

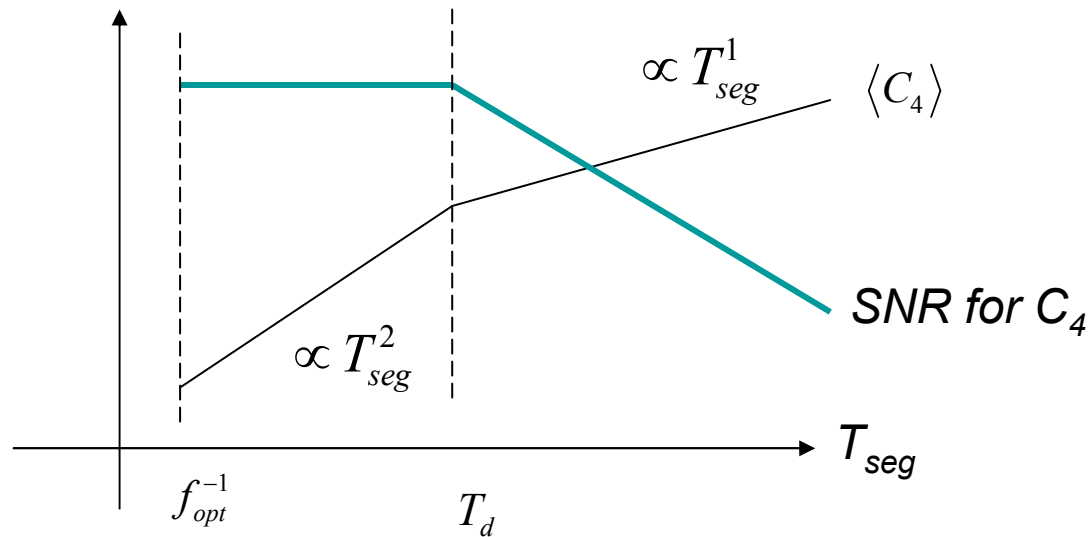
相関解析の原理



$$Q = \frac{\langle (AE^*)^2 \rangle}{\langle AA^* \rangle \langle EE^* \rangle} = O(1)$$

いろいろなモデルで確認済み

T_{seg} 依存性



T_{seg} に対する依存性の変化からバースト継続時間 T_d が推定可能

普通の相関解析 $\propto \Omega_{GW} \propto (\text{バーストレート}) \times (\text{振幅})^2$

$C_4 \propto (\text{バーストレート}) \times (\text{振幅})^4$

両方分かれば: レート、振幅ともに推定可能