

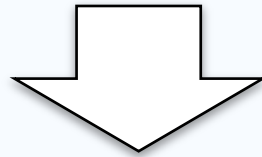
重力波観測における データ解析の概要と 今後の課題

総合研究大学院大学 天文科学専攻
M1 橋詰 克也

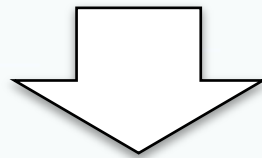
Contents

- 重力波とは
- 主な重力波源
- データ解析について
- まとめ

重力波望遠鏡



データ解析



重力波検出

重力波はデータ解析を経て検出される

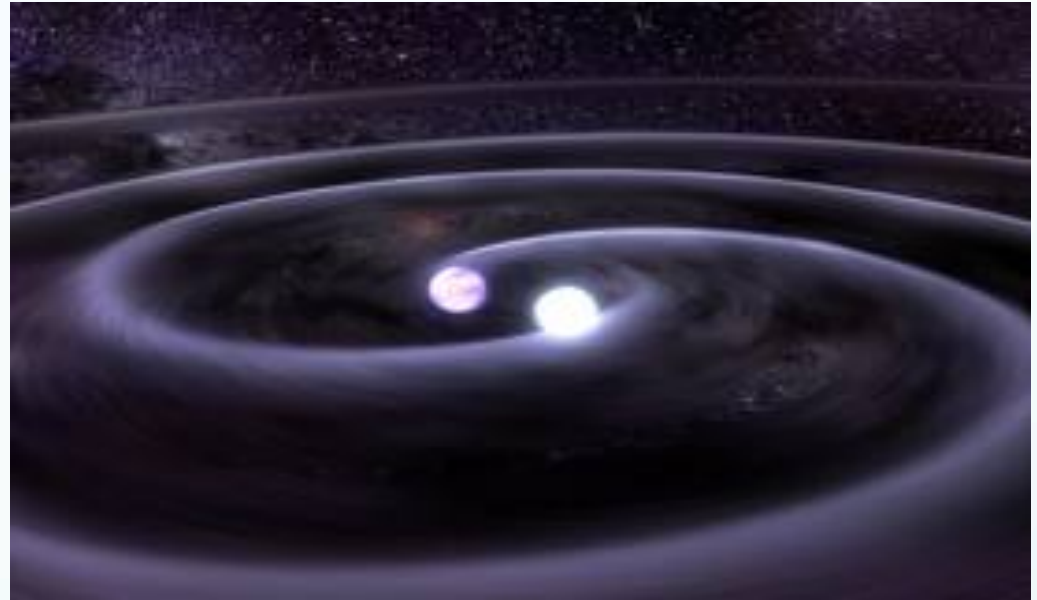
重力波とは

- **重力場の時間変動**により生じる

- 電磁波との比較

- 類似点

真空中を光速で伝播する
偏波の存在



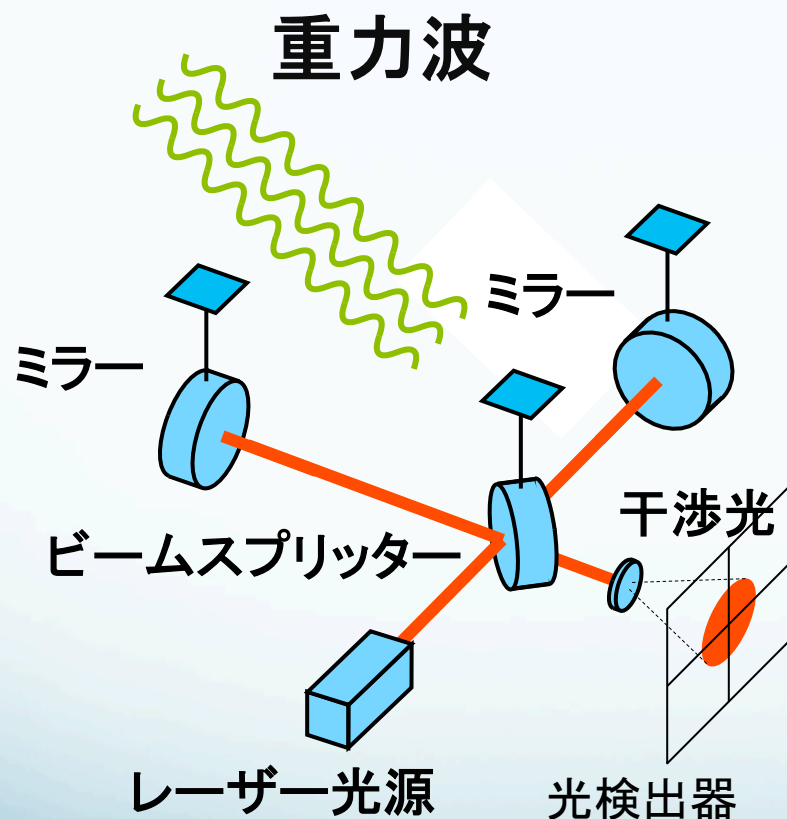
強い重力場を形成する天体が激しく運動すれば
重力波は大量に放射される

- 相違点

→ 透過性が高く、散乱・吸収を受けない

＝電磁波では得られない情報を持っている

データ解析の流れ



望遠鏡からのデータ



校正



イベント探索
(データ解析)

主な重力波源

解析では波源の特徴を知ることが重要

- 連星合体による重力波

中性子星連星, BH(Black Hole)連星, 中性子星+BHの連星

- バースト重力波

重力崩壊型超新星爆発(Ⅱ型Super Nova), GRB (Gamma Ray Burst), SGR(Soft Gamma-ray Repeater), etc...

- 連続波

パルサー(非球対称な回転中性子星)

- 背景重力波

初期宇宙起源

重力波観測におけるデータ解析

- 検出器から出てくる信号＝重力波信号＋様々な雑音
- 重力波信号は雑音レベルと同等か、それ以下の大きさ
- いかに信号雑音比(SNR)を大きくするか
- 波源に応じて解析手法を変える必要

- 連星合体による重力波

中性子星連星, BH(Black Hole)連星, 中性子星+BHの連星

- バースト重力波

重力崩壊型超新星爆発(Ⅱ型Super Nova), GRB (Gamma Ray Burst), SGR(Soft Gamma-ray Repeater), etc...

- 連続波

パルサー(非球対称な回転中性子星)

- 背景重力波

初期宇宙起源

- 連星合体(1)

理論的な波形予測が進んでいる

- ✓ **Inspiral phase**

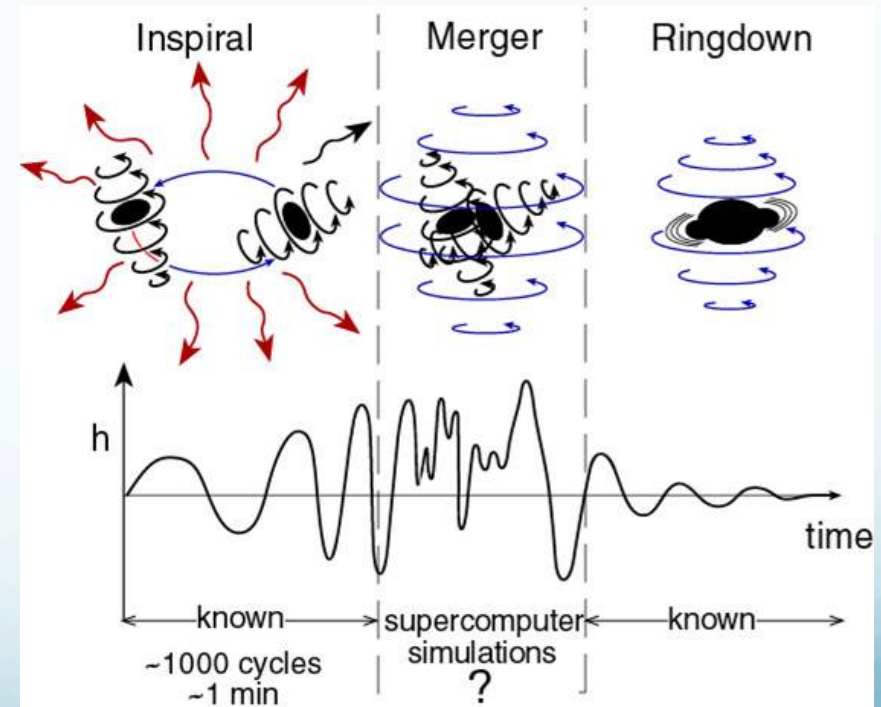
連星の回転軌道が小さくなっていく段階

- ✓ **Merger phase**

2つの星が接触している段階

- ✓ **Ringdown phase**

合体後に形成されるBHの固有振動による重力波が放射されている段階



(Thorne)

- 連星合体(2)

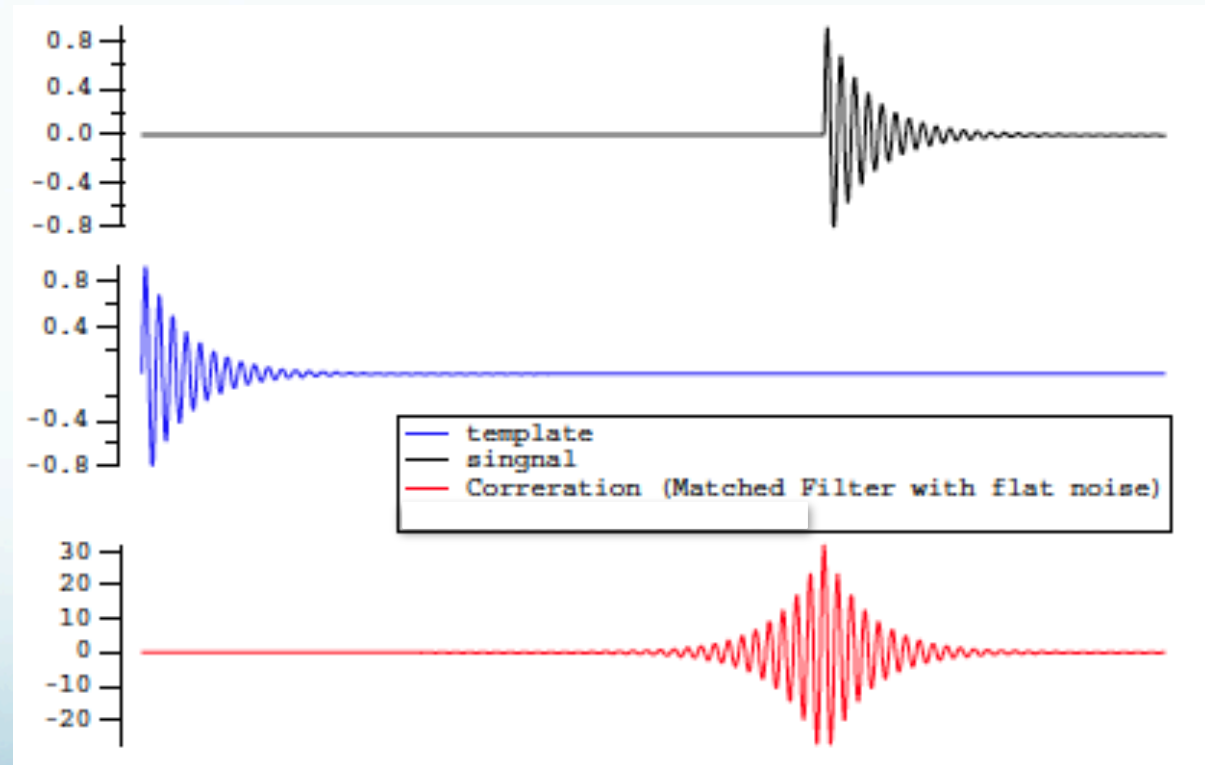
- ✓ マッチドフィルター

重力波の波形が予想できれば、検出器から出力される波形と**相関をとればよい**

例: ringdown phase

テンプレートを数多く作成し、
重力波を見つけ出す

連星合体は頻度があり、
波形の計算ができるので
良い観測対象！



(大型低温重力波望遠鏡(LCGT)計画設計文書 第3版)

- 連星合体による重力波

中性子星連星, BH(Black Hole)連星, 中性子星+BHの連星

- バースト重力波

重力崩壊型超新星爆発(Ⅱ型Super Nova), GRB (Gamma Ray Burst), SGR(Soft Gamma-ray Repeater), etc...

- 連続波

パルサー(非球対称な回転中性子星)

- 背景重力波

初期宇宙起源

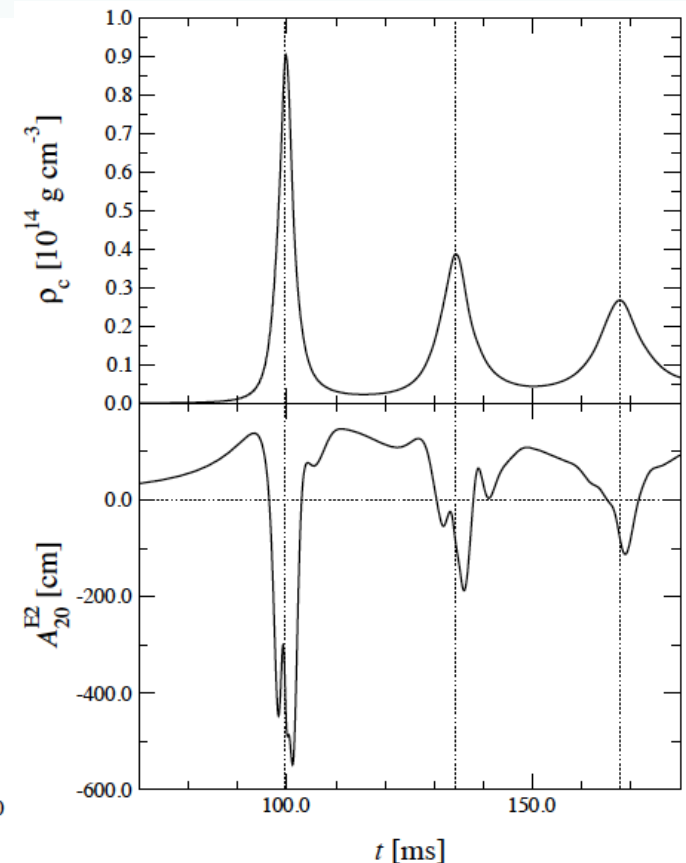
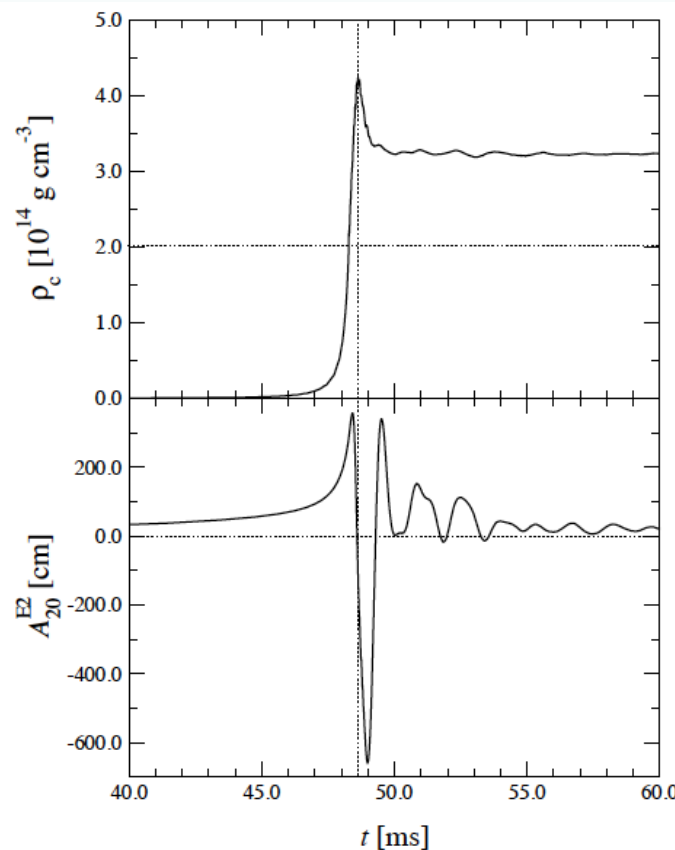
- バースト重力波

バースト性の波形: 時間的に短い < (100msec)

- ✓ 時間的に短い信号 → 周波数空間で広帯域な信号
- ✓ 計算が複雑で波形予測が困難 → 連星合体と同じようにはいかない

超新星爆発の計算
コアの密度(上)と
重力波振幅(下)の
時間発展

Harald
Dimmelmeier, et
al, (2002)



ここでちょっと...

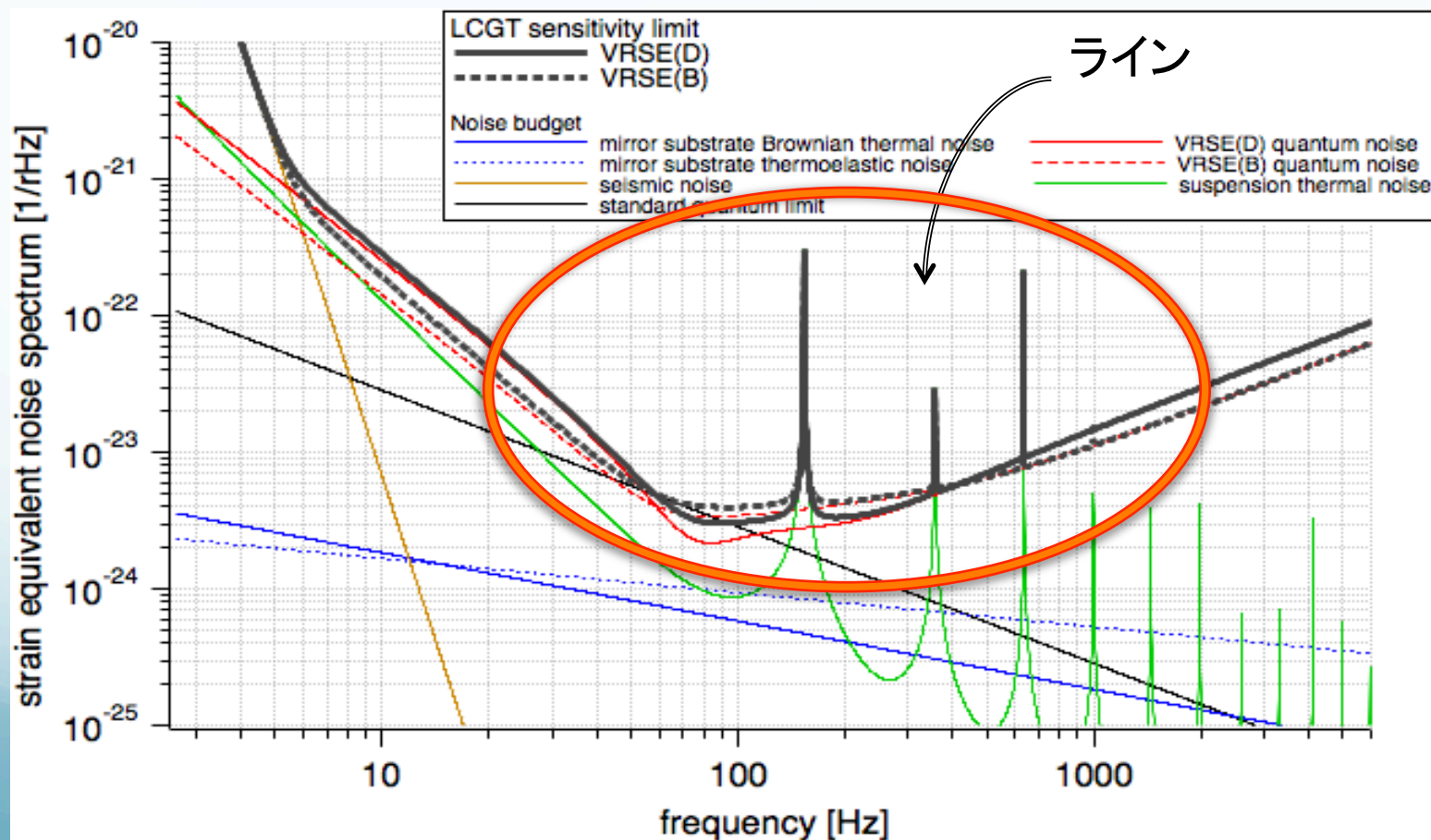
- 研究で扱っている問題

- ✓ 検出器自体が持つバースト性雑音

- 複数の望遠鏡でも同時に発生することがある

- 振動モードなどから想定されるラインが**同じ帯域の重力波信号を消してしまう**

LCGTの感度曲線



ラインの周波数帯に中心周波数をもつ

バースト重力波はどうするか

現在の解析手法ではラインと一緒に重力波信号も抑制してしまう

重力波信号の情報を失わないで済む手法を開発する

(今秋の天文学会で発表する予定です！)

- 連星合体による重力波

中性子星連星, BH(Black Hole)連星, 中性子星+BHの連星

- バースト重力波

重力崩壊型超新星爆発(Ⅱ型Super Nova), GRB (Gamma Ray Burst), SGR(Soft Gamma-ray Repeater)のフレア, etc...

- 連続波

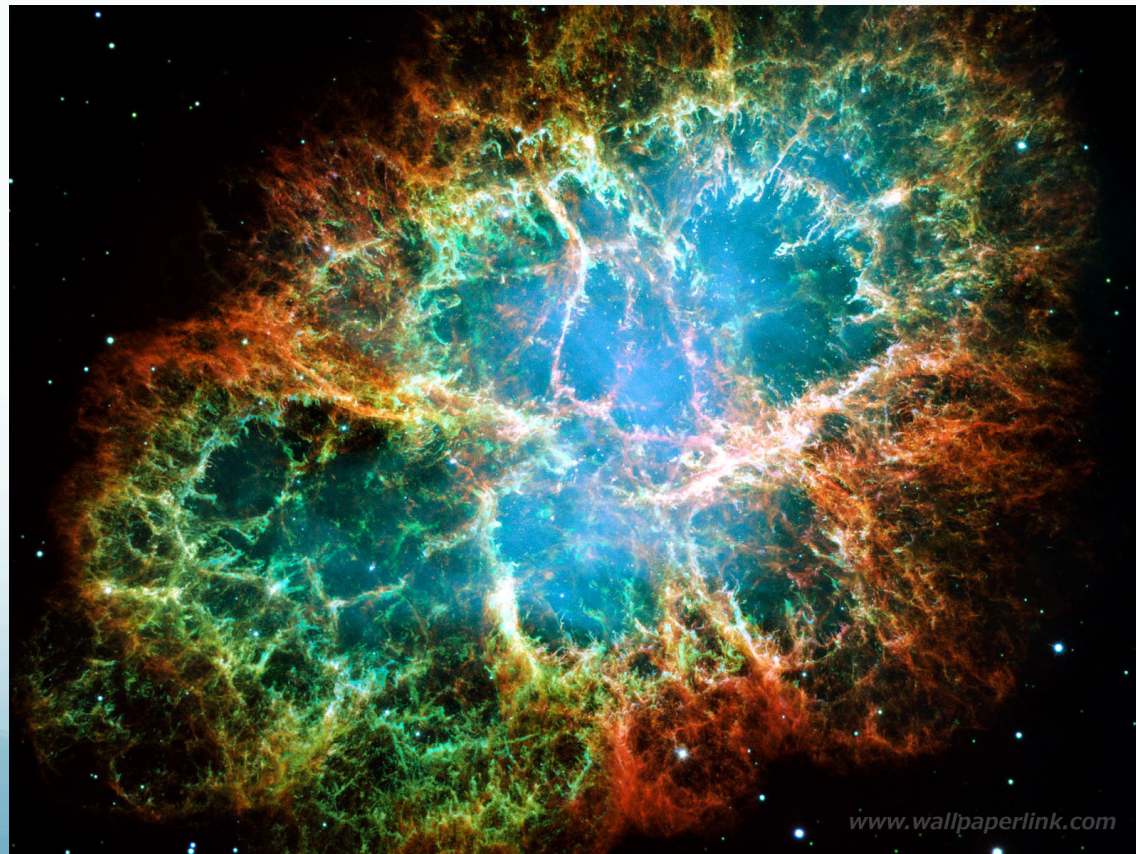
パルサー(非球対称な回転中性子星)

- 背景重力波

初期宇宙起源

- パルサーからの連続波

- ✓ 非球対称な回転中性子星が重力波を放射する
- ✓ 連続的な重力波源と考えられ、波形予測ができる
 - マッチドフィルターを用いた探索が可能



- 連星合体による重力波

中性子星連星, BH(Black Hole)連星, 中性子星+BHの連星

- バースト重力波

重力崩壊型超新星爆発(Ⅱ型Super Nova), GRB (Gamma Ray Burst), SGR(Soft Gamma-ray Repeater), etc...

- 連続波

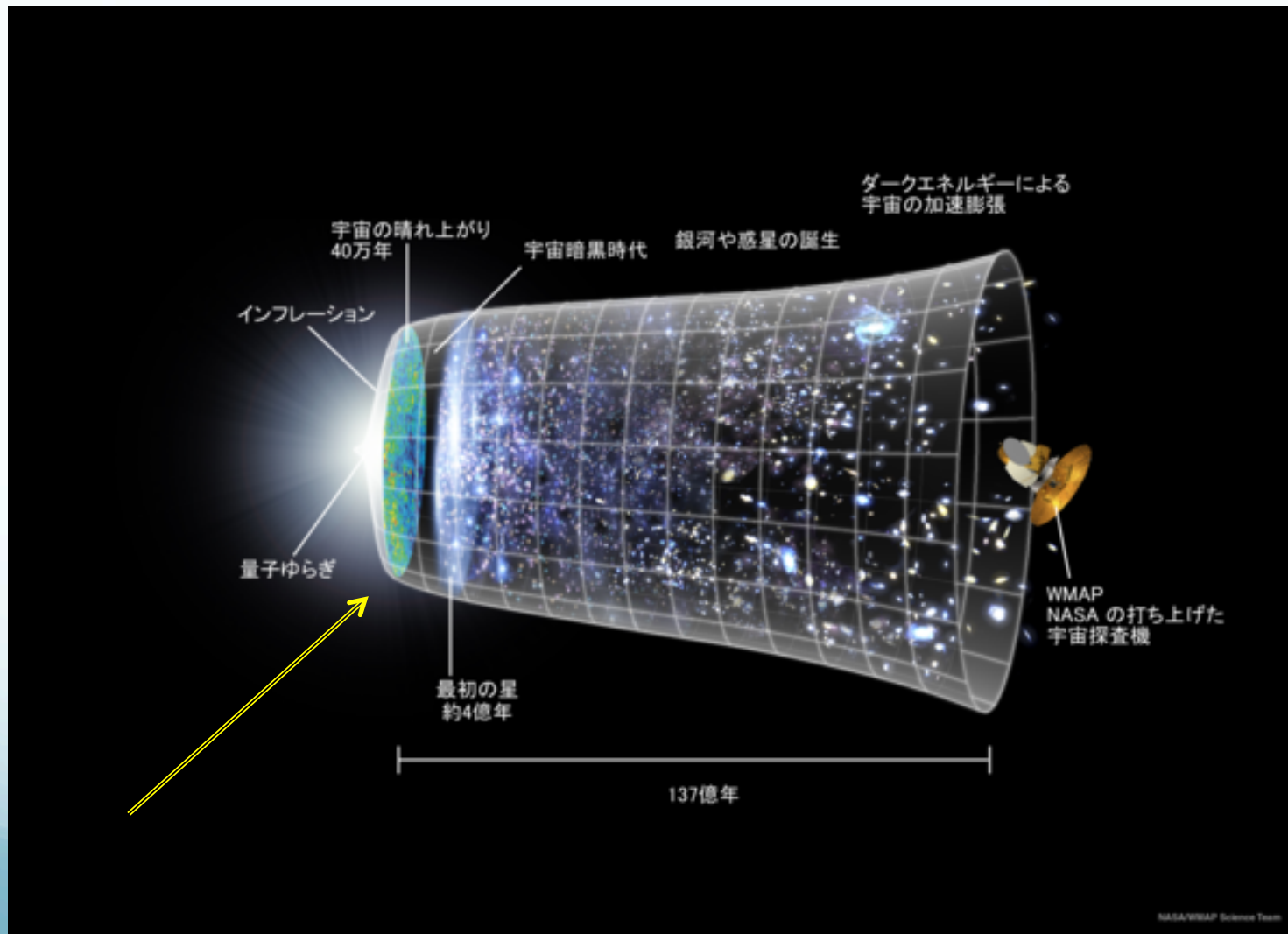
パルサー(非球対称な回転中性子星)

- 背景重力波

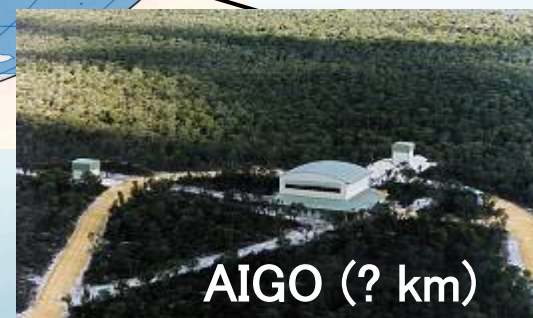
初期宇宙起源

- 背景重力波

宇宙の晴れ上がり以前の情報を持っている



国際的な観測ネットワーク



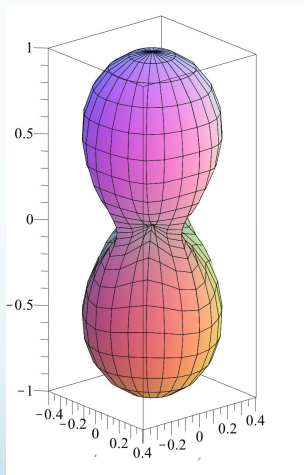
- すでに各国の重力波望遠鏡が稼働
→ LIGO, Virgoは改良型を建設中
- 世界的なネットワークによって全方位について重力波イベントを見落とさないようにする

最大感度の約70%以上となる領域

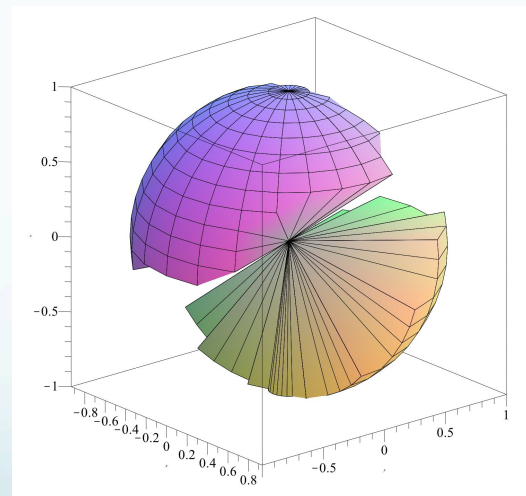
H: LIGO-H, L: LIGO-L, V: Virgo, J: LCGT, A: AIGO

単独のアンテナパワーパターン

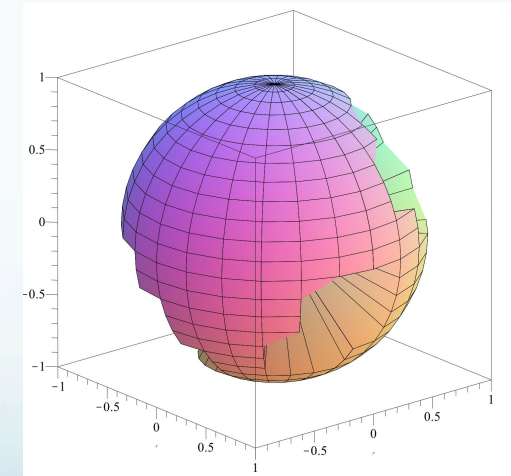
横に感度が無い！



HLV



HLVJA



Schutz, CQGra, Volume 28, Issue 12, pp. 125023 (2011)

まとめ

- 重力波にはいろいろな波形がある
- 各々の波形に応じて解析手法を変える
- 重力波信号は小さく、雑音が大きい

データ解析が大事！！

重力波天文学の創成に向けて

- マルチメッセンジャー観測

電磁波望遠鏡と相互に協力し, GRBや超新星爆発
起源の重力波を追う

- 第2世代望遠鏡による重力波初検出を目指す

LCGT, Advanced-LIGO, Advanced-Virgo

重力波検出が十分に期待できるレベルの感度
年間の観測イベント数の増加

- 宇宙空間での重力波観測→多波長観測へ

DECIGO, LISA