

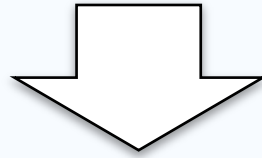
# 重力波観測における データ解析の概要と 今後の課題

総合研究大学院大学 天文科学専攻  
M1 橋詰 克也

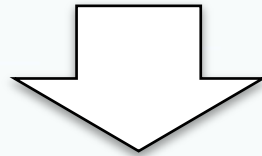
# Contents

- 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

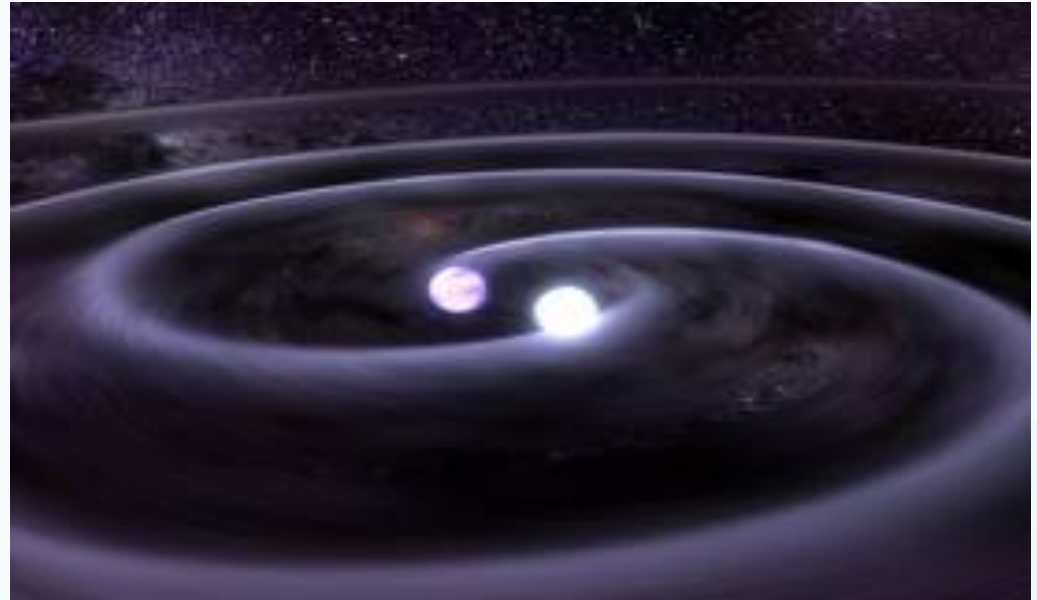
# 重力波とは

- **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

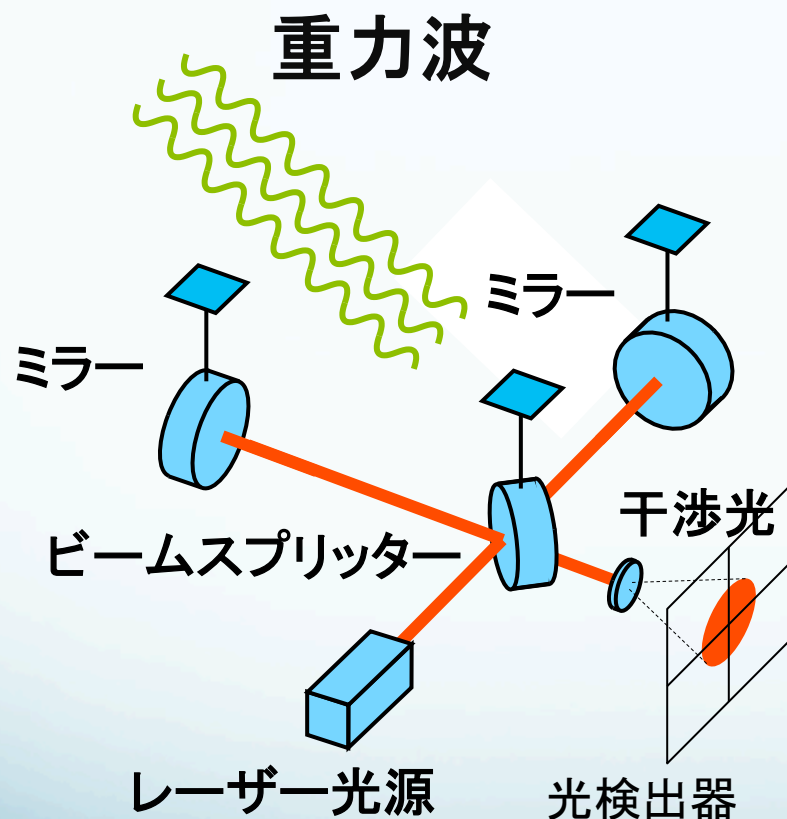
- 相違点

→ 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**

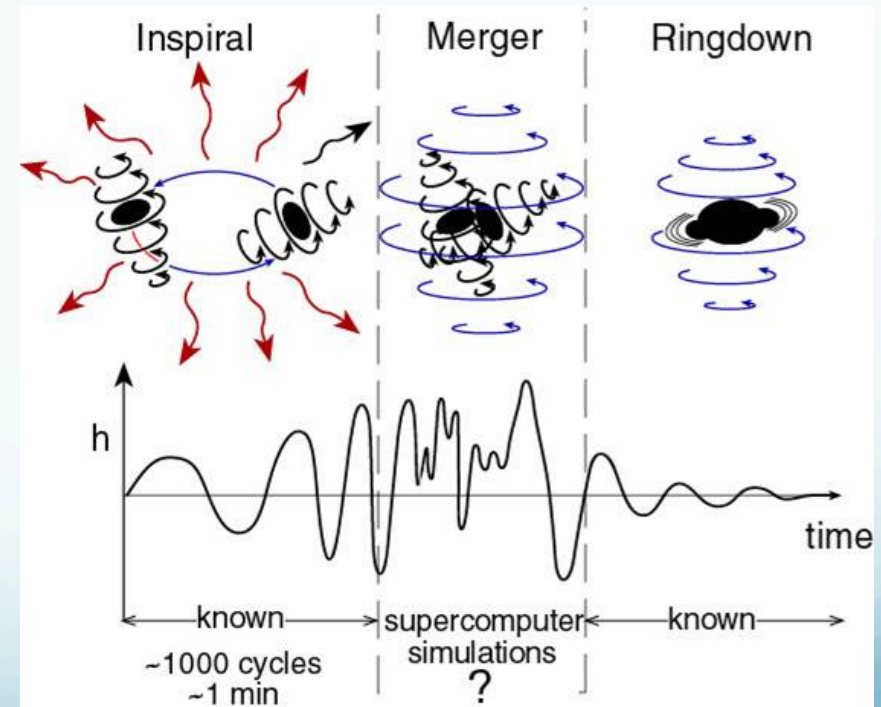
連星の回転軌道が小さくなっていく段階

- ✓ **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)

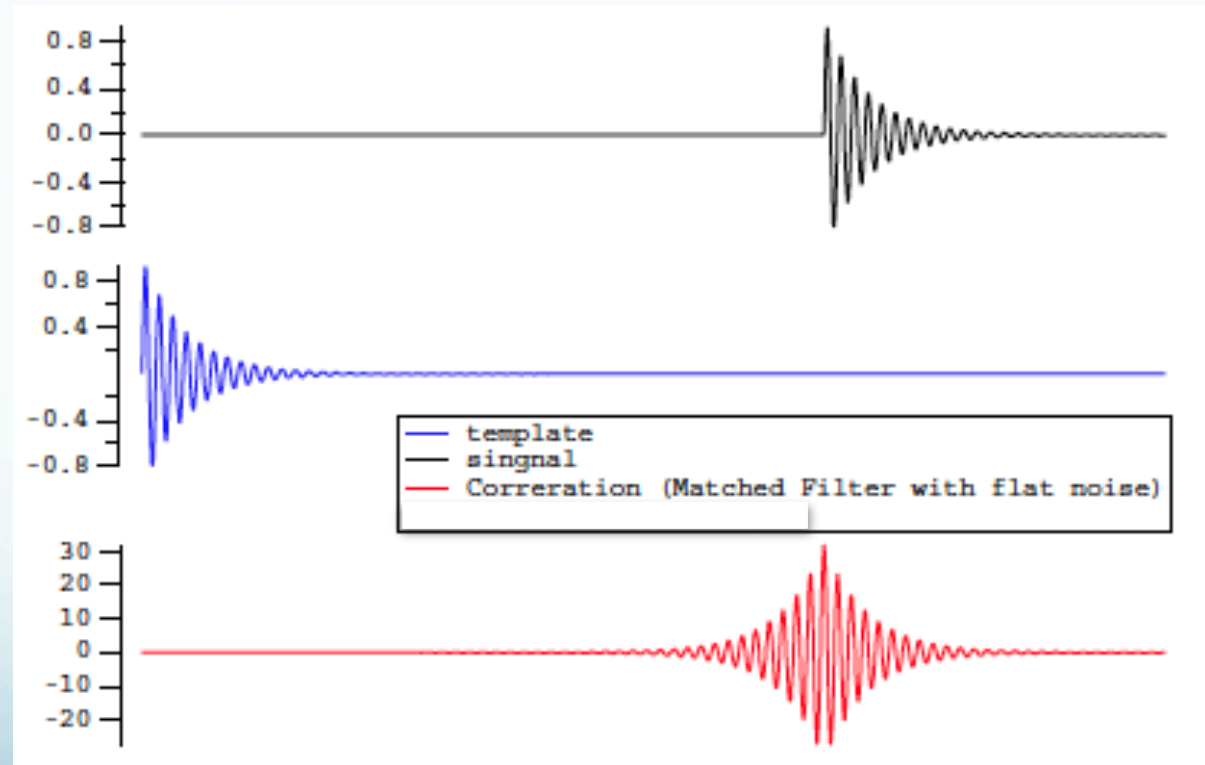
- ✓ マッチドフィルター

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

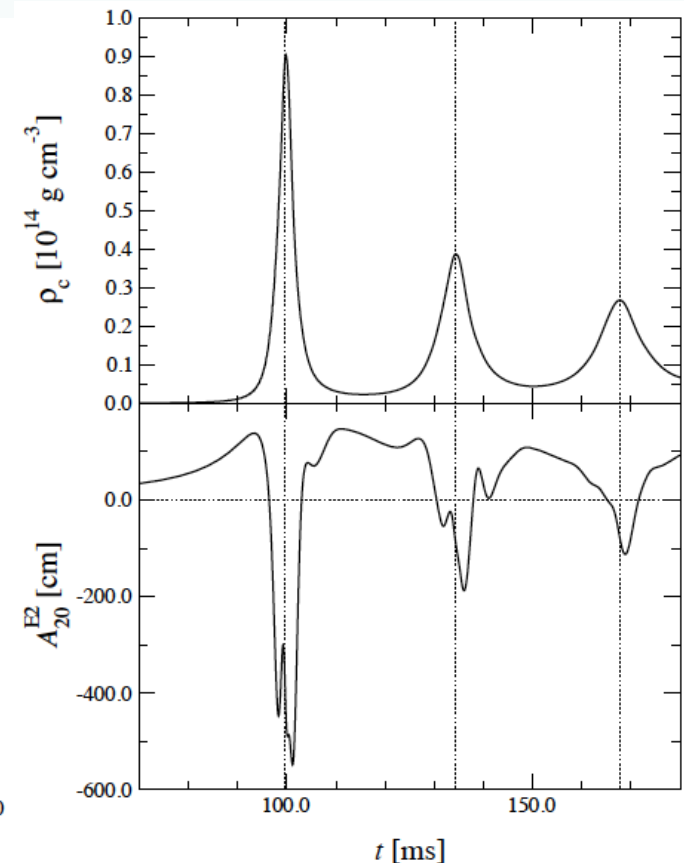
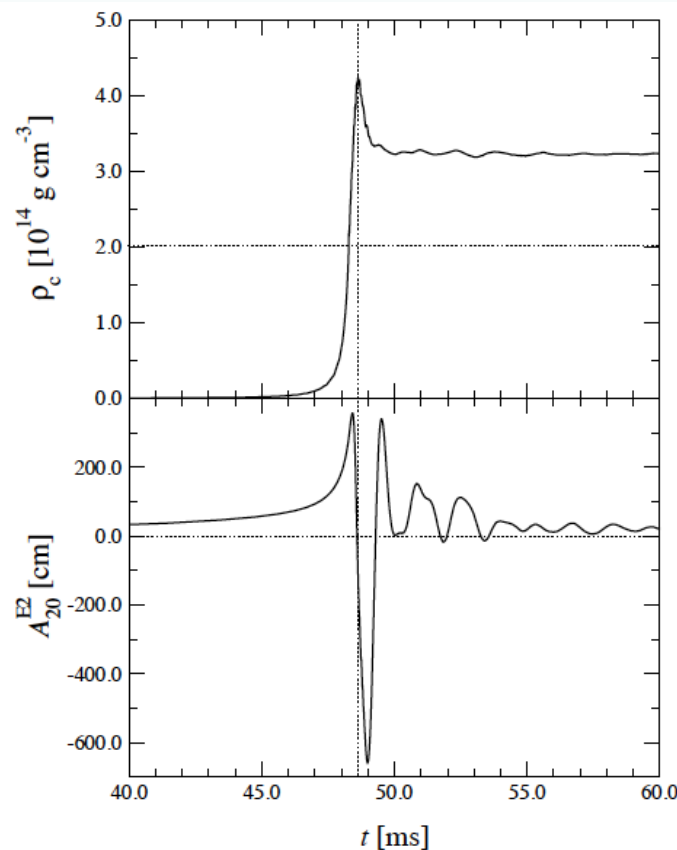
- バースト重力波

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...

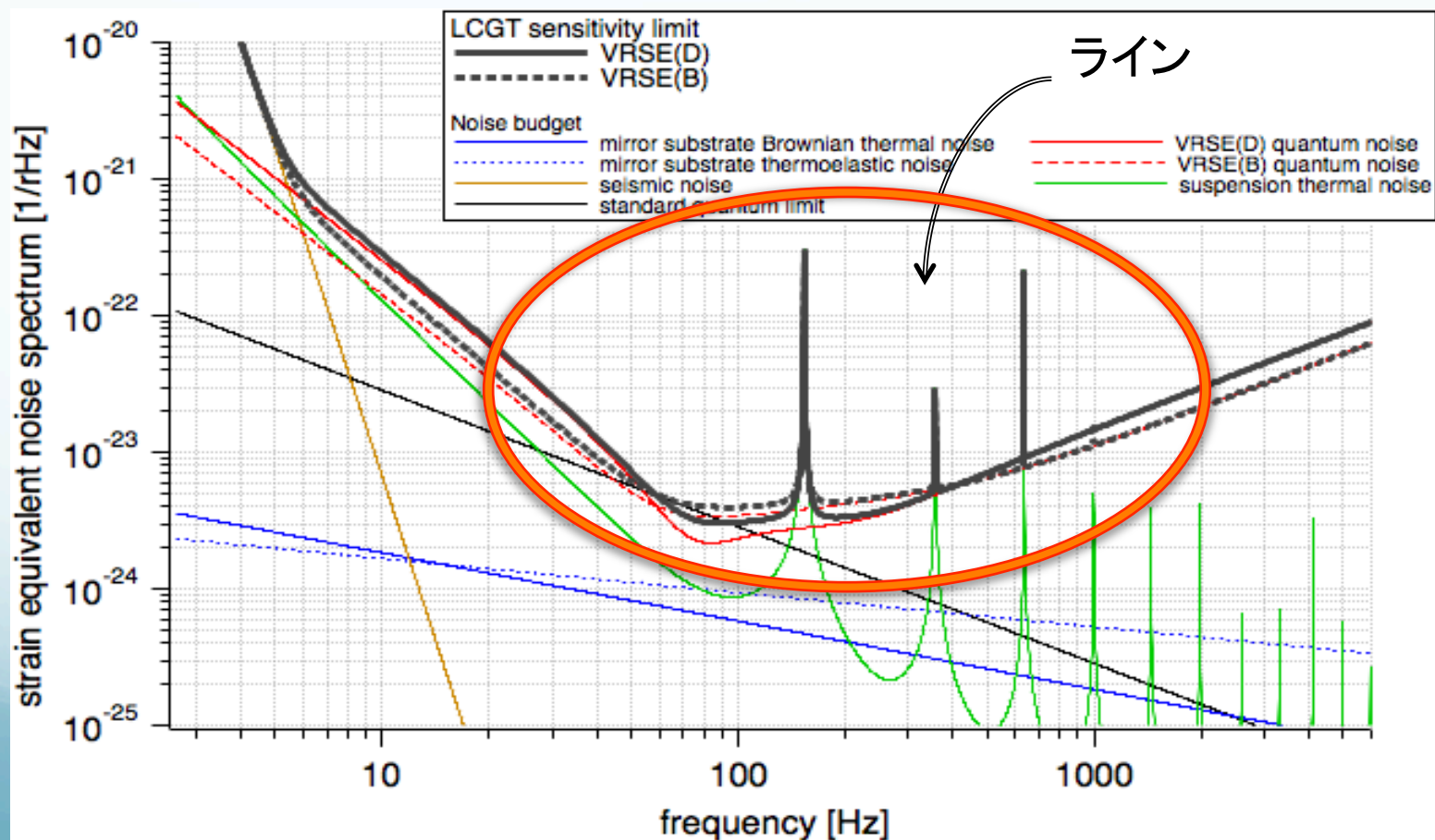
- 研究で扱っている問題

- ✓ 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

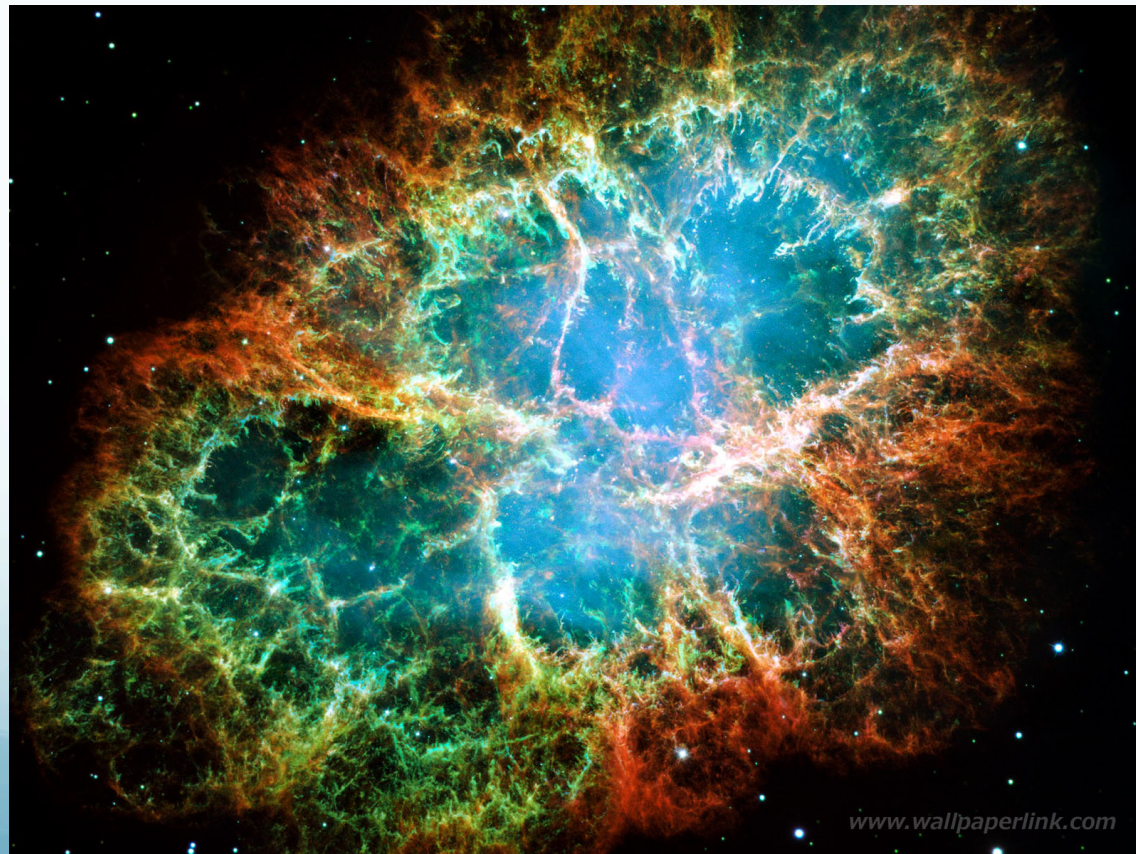
パルサー(非球対称な回転中性子星)

- 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)

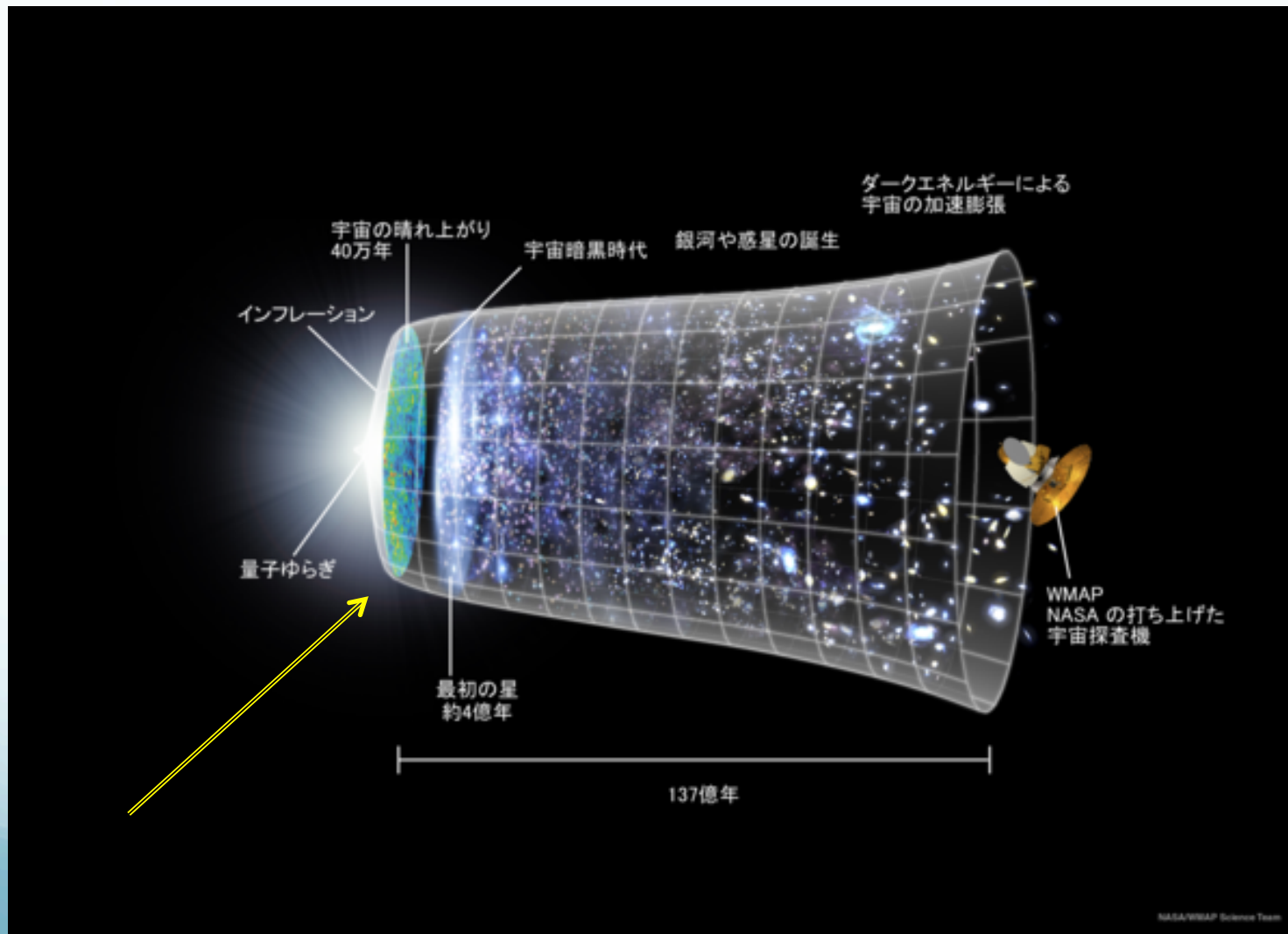
- 背景重力波

初期宇宙起源

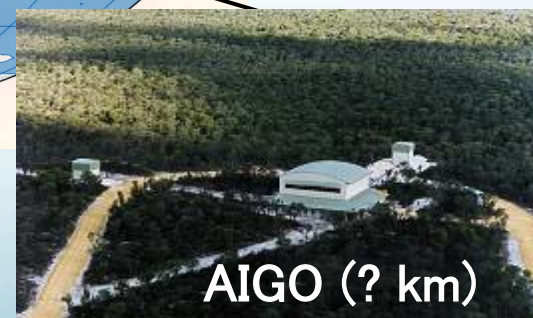
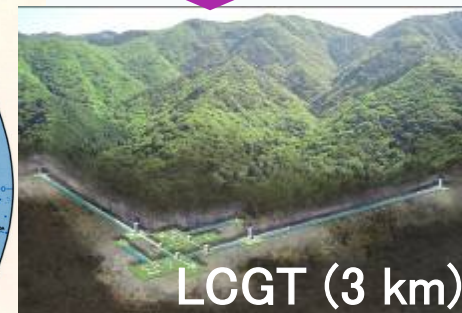


- 背景重力波

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の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

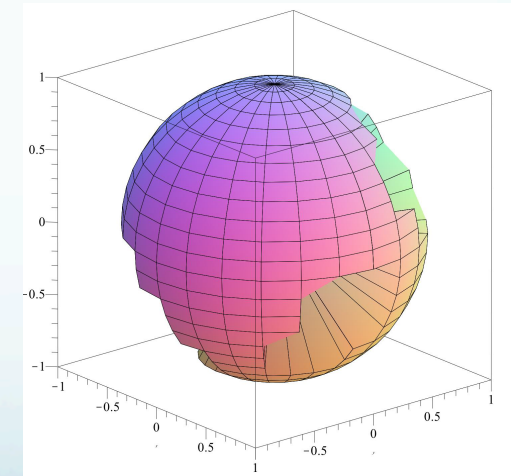
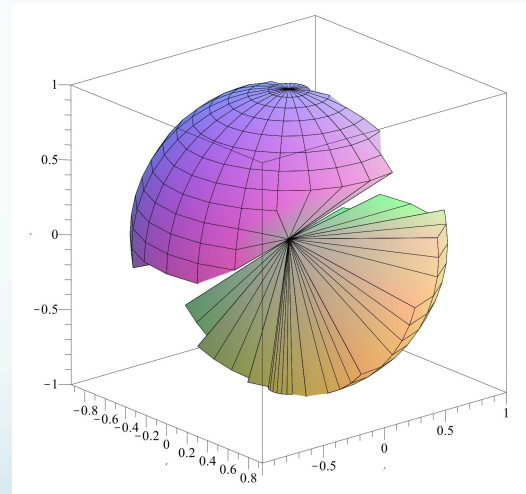
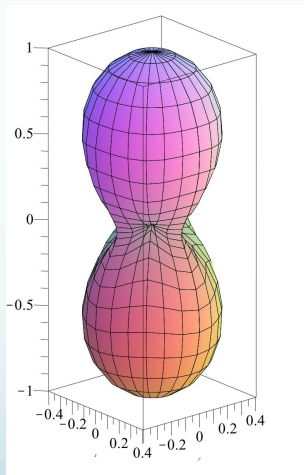
H:LIGO-H, L:LIGO-L, V:Virgo, J:LCGT, A:AIGO

HLV

HLVJA

単独のアンテナパワーパターン

横に感度  
が無い！



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

ご清聴ありがとうございました