

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
- 重力波観測におけるデータ解析(今日のメイン)
- 重力波が検出されるまでの流れ
- 国際的な観測ネットワーク
- まとめ
- 今後の展望

重力波とは

- **重力場の時間変動**により放射される
- 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(+, ×)

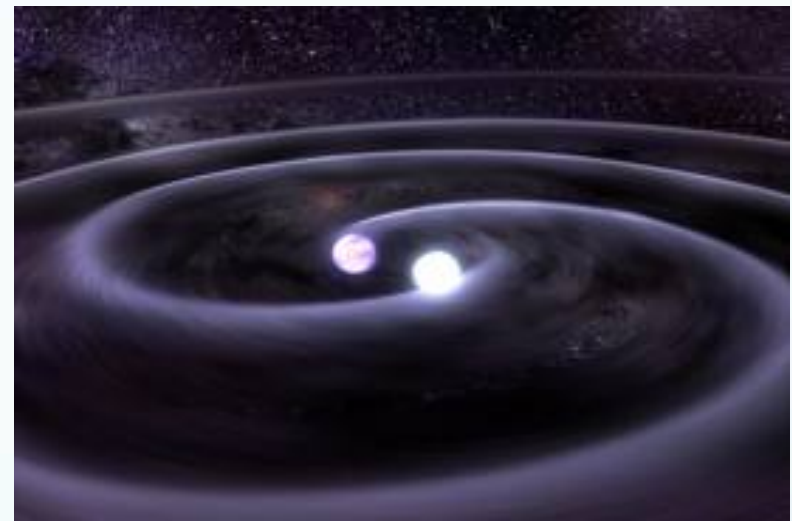
物体(質点)の加速度運動で生じる

- 相違点

重力の相互作用はとても弱い

: 電磁気力の 10^{-40} 程度

→ 透過性が高い = 検出が難しい



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

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), マグネター(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)

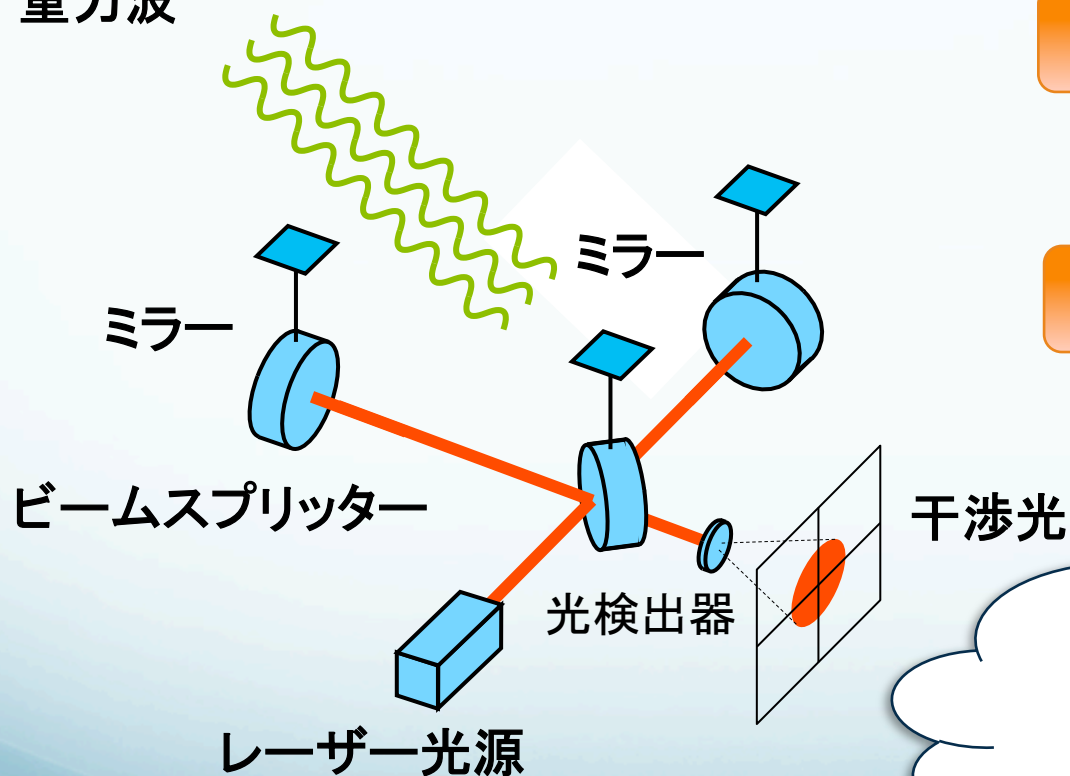


- **背景重力波**

初期宇宙起源

重力波が検出されるまでの流れ

重力波



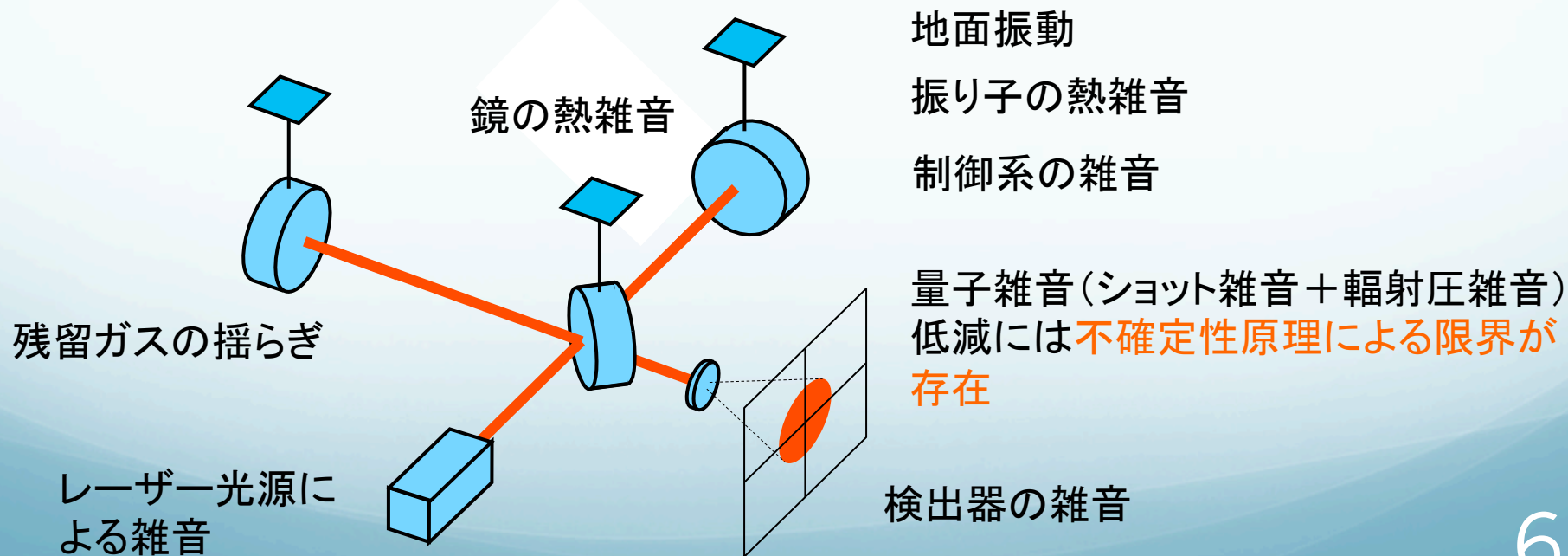
Raw data

Calibration

イベント探索
(データ解析)

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**
- 重力波信号は雑音と区別しにくい
- いかに信号雑音比(SNR)を大きくするか → 解析手法の開発



- 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), マグネター(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

● 連星合体(1)

理論的な波形予測が進んでいる→テンプレートの利用

✓ Inspiral phase

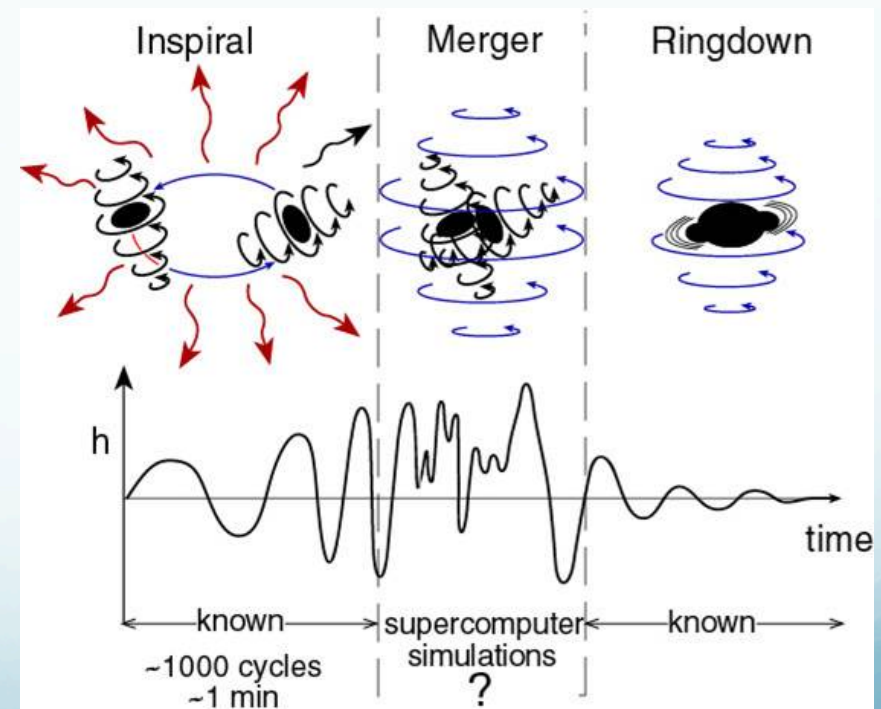
連星の回転軌道が小さくなっていく段階

✓ 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)

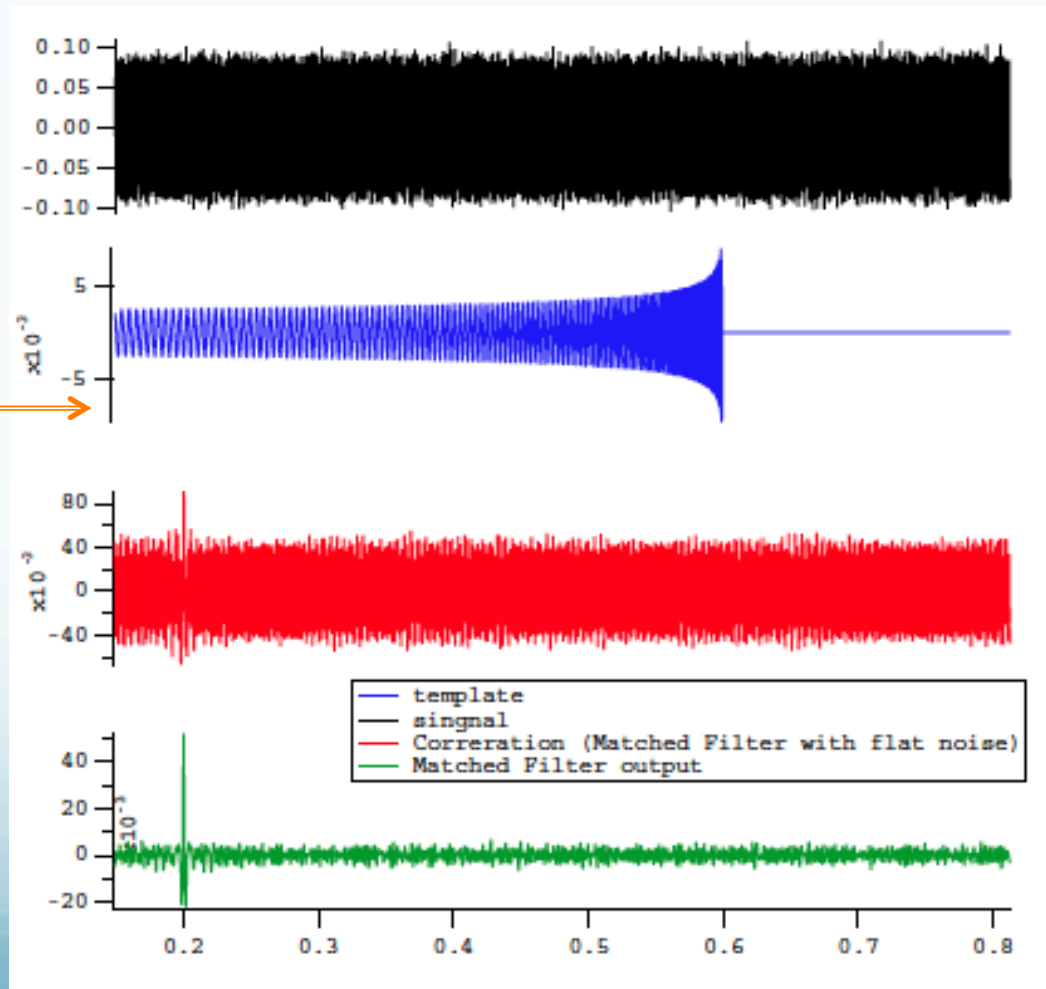
- 連星合体(2)

- ✓ 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

→例えば, inspiral phase なら**チャープ波形**と呼ばれる特徴的な波形が観測されるはず！

計算精度の良い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), マグネター(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

● バースト重力波(1)

バースト性の波形: **時間的に鋭いピークをもつ**

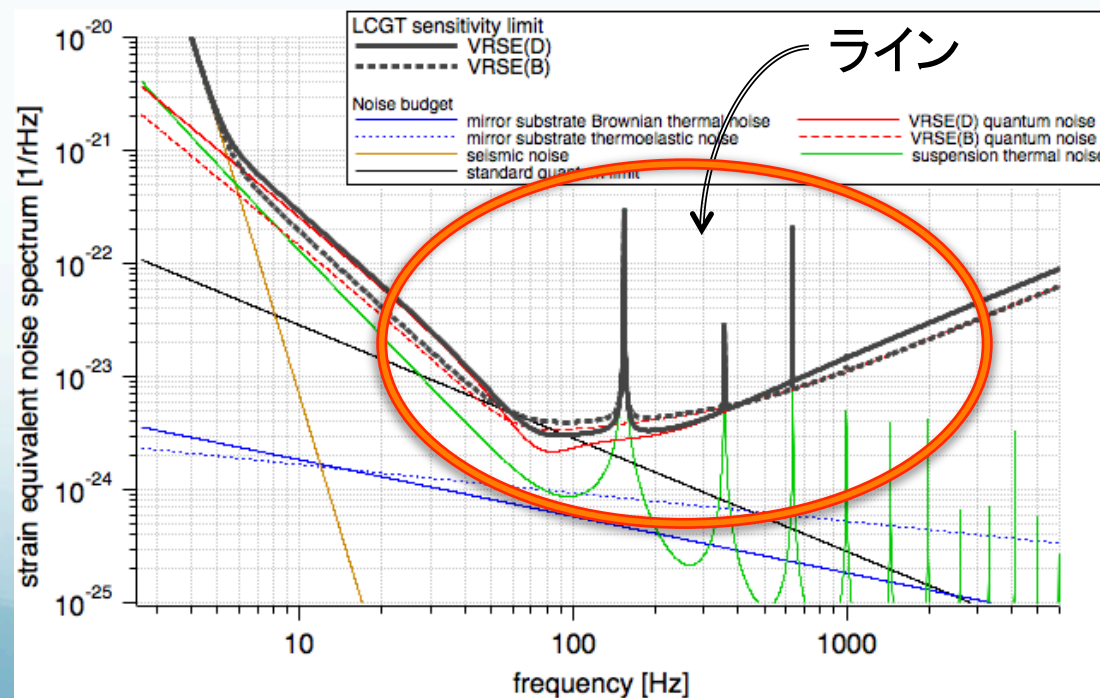
✓ 検出器自体がバースト性雑音をもつ

➤ 複数の望遠鏡でも同時に発生することがある→重力波信号か雑音か区別が大変

✓ 短い継続時間(~100msec)を持つバースト重力波は検出器が持つ特徴的な雑音も問題になる

➤ バースト重力波は時間的に鋭い→周波数空間で広帯域な信号(フーリエ変換)

➤ 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**



● バースト重力波(2)

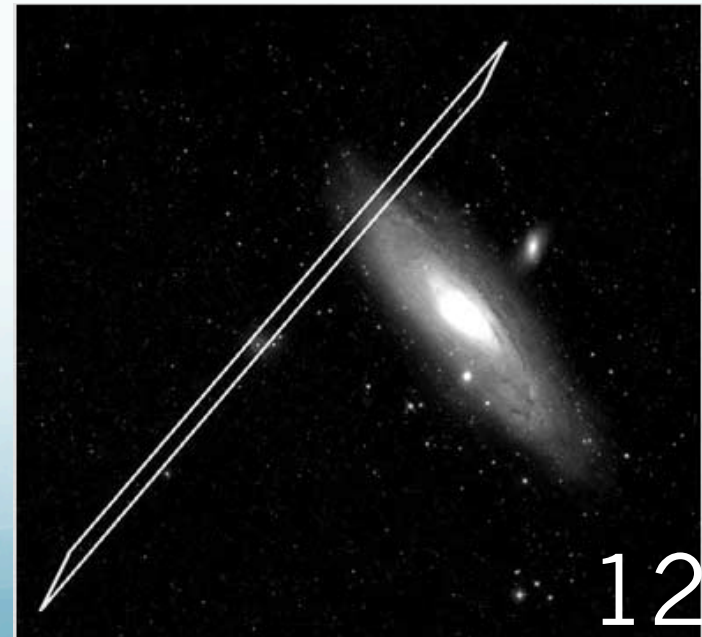
- ✓ ラインの周波数帯に中心周波数をもつバースト重力波はどうするか
 - 現在の解析手法ではラインと一緒に重力波信号も抑圧してしまう

重力波信号の情報を失わないで済む手法を開発する

◇ 近年の観測: M31方向のイベント(GRB 070201)

- 770kpcという近傍
- 電磁波でバースト現象を観測
- M31内での連星合体ではなかったがSGRフレアの可能性は排除しきれない

Abbott, B.P., et al,
Astrophys. J. 681, 1419
(2008)



- **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), マグネター(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
- ✓ しかし、検出には以下の要素が必要
 - 数ヶ月～1年以上の長時間積分
 - アンテナパターンの補正
 - 時刻精度の安定性
- ✓ 回転が落ちてきたパルサーなどに対する感度向上は今後の課題
→ 低周波数帯は地面振動による雑音が多い

- **連星合体による重力波**

中性子星連星, BH(Black H)

- **バースト重力波**

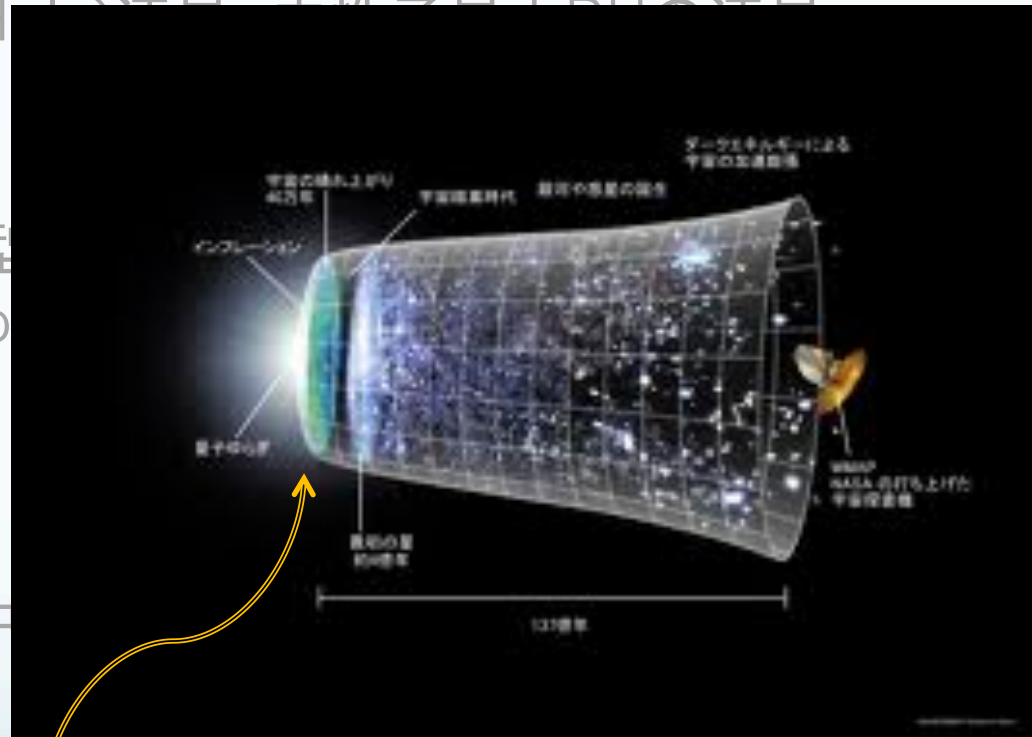
重力崩壊型超新星爆発(Ⅱ型 Burst), マグネター(SGR:So etc...

- **連続波**

パルサー(非球対称な回転中

- **背景重力波**

初期宇宙起源



この頃の情報を得られる

- **背景重力波**

宇宙の晴れ上がり以前の情報を持っている

- ✓ **インフレーション起源**

理論モデルにより発生する重力波が異なる

- ✓ **再加熱や相転移起源**

エネルギー密度分布の変動により重力波が発生する

- ✓ **フォアグラウンドの重ね合わせ**

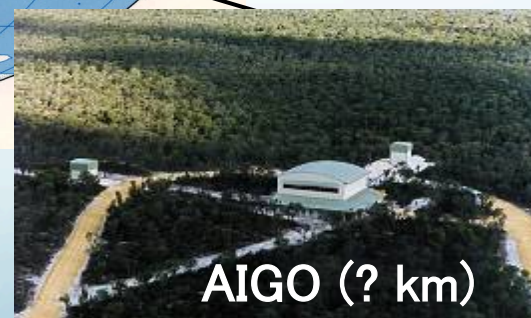
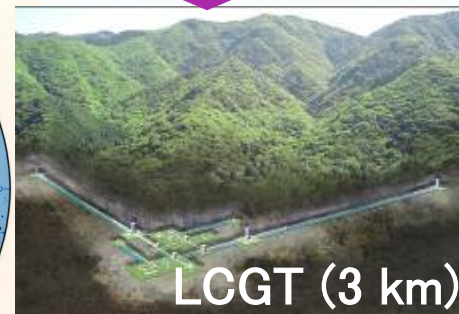
白色矮星連星や中性子星連星など多数の天体起源の重力波

- 背景に対して雑音となる

初期宇宙起源の重力波を観測するため**観測周波数帯を変える**

DECIGOや**LISA**による宇宙空間からの観測

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
- **重力波望遠鏡1台では重力波の到来方向を断定できない**
→複数台による観測で指向性を得て, 波源の位置を特定する

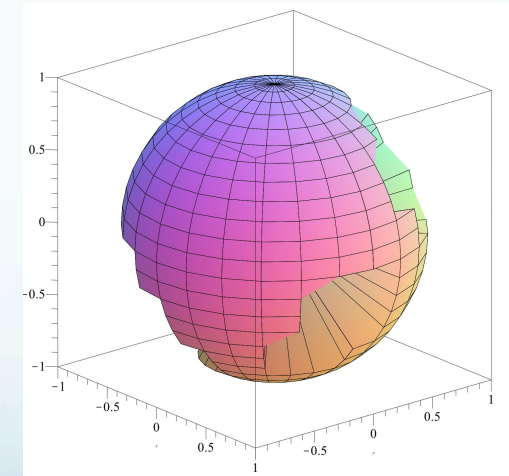
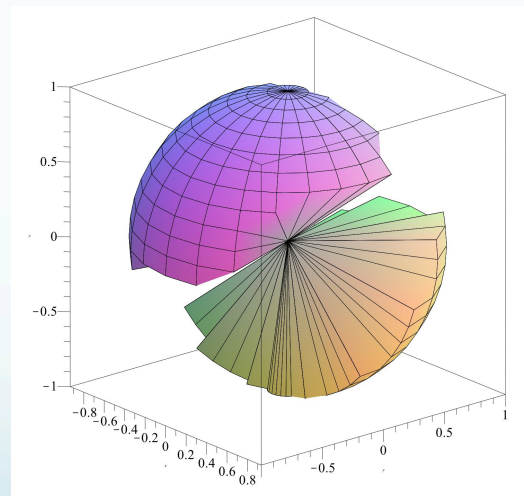
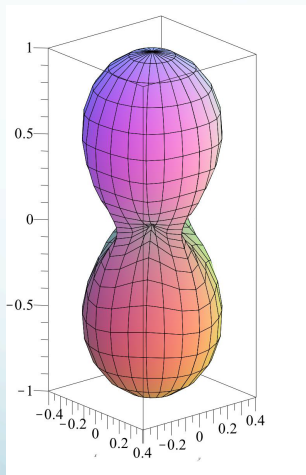
最大感度の約70%以上となる領域

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

HLV

HLVJA



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

まとめ

- 重力波検出には**正確なテンプレート**が重要
 - 波源ごとに残っている解析手法の課題を克服する
- 複数の重力波望遠鏡による**同時観測**によって重力波信号を見つける
 - 世界的なネットワークで観測領域の拡大を目指す

今後の展望

- 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、リアルタイムバーストサーチ、トランジェント天体を追う

- 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, GEO-HF

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