

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
- 重力波が検出されるまでの流れ
- 國際的な観測ネットワーク
- 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(+, ×)

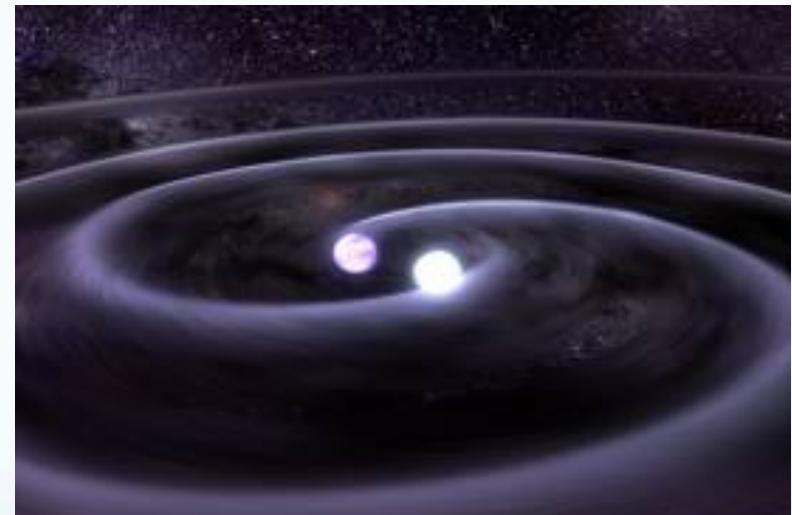
物体(質点)の加速度運動で生じる

➤ 相違点

重力の作用がはとても弱い

: 電磁気力の 10^{-40} 程度

→ 透過性が高い



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

- **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...

- **連續波**

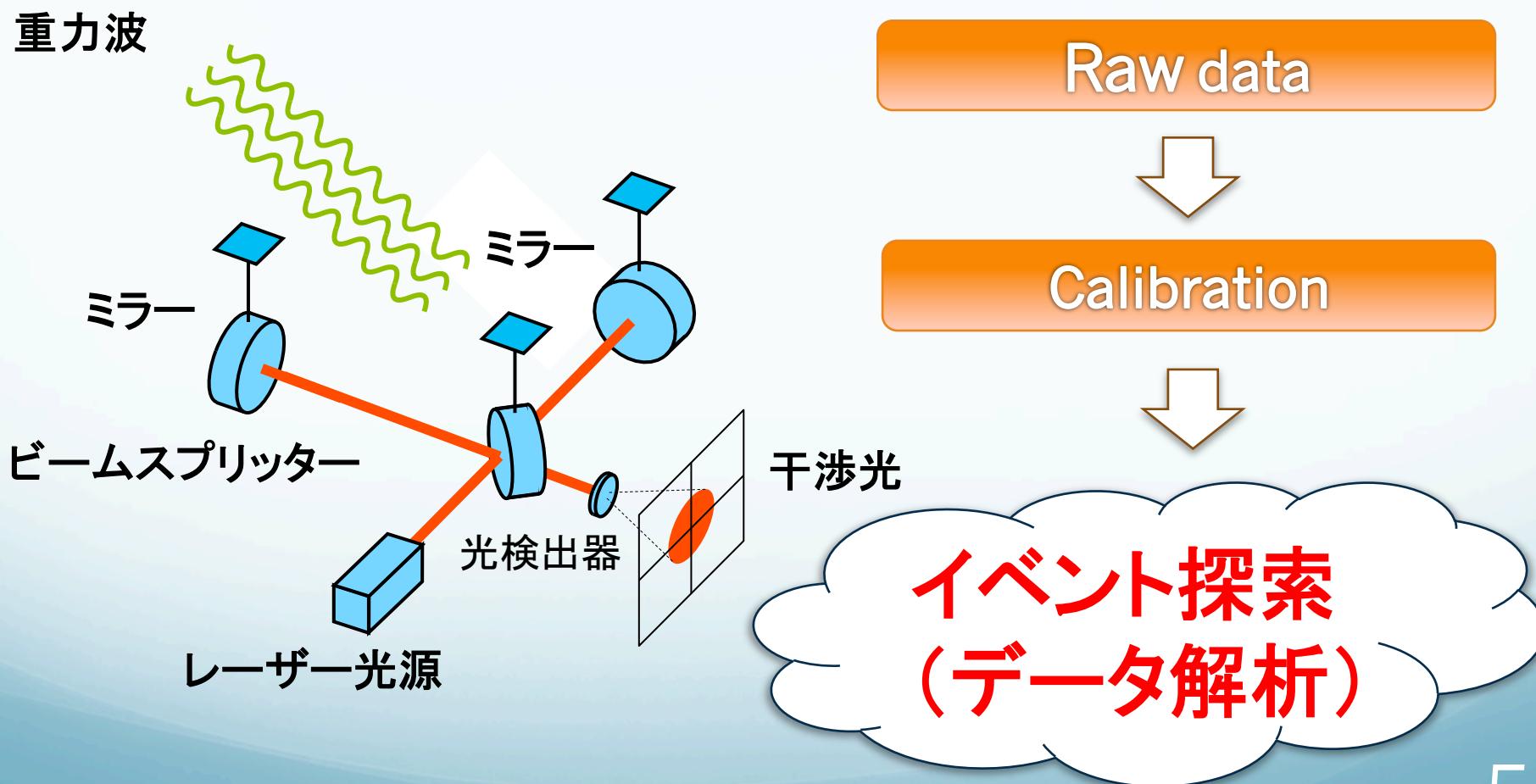
パルサー(非球対称な回転中性子星)

- **背景重力波**

初期宇宙起源

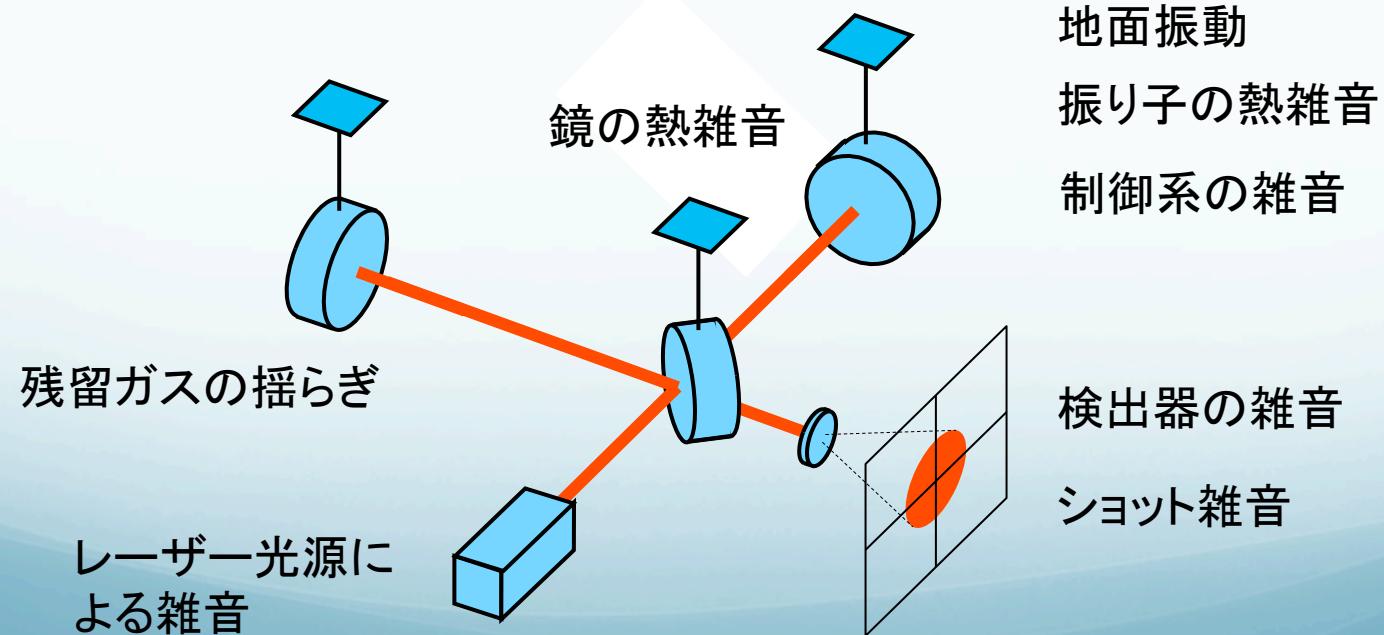


重力波が検出されるまでの流れ



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**

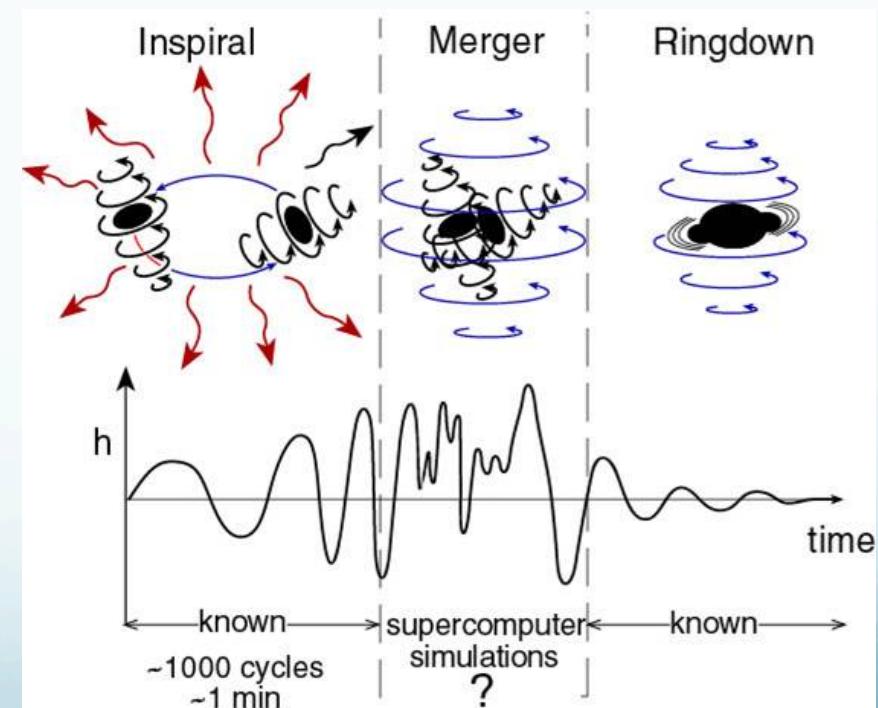
連星の回転軌道が小さくなっていく段階

- ✓ **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)

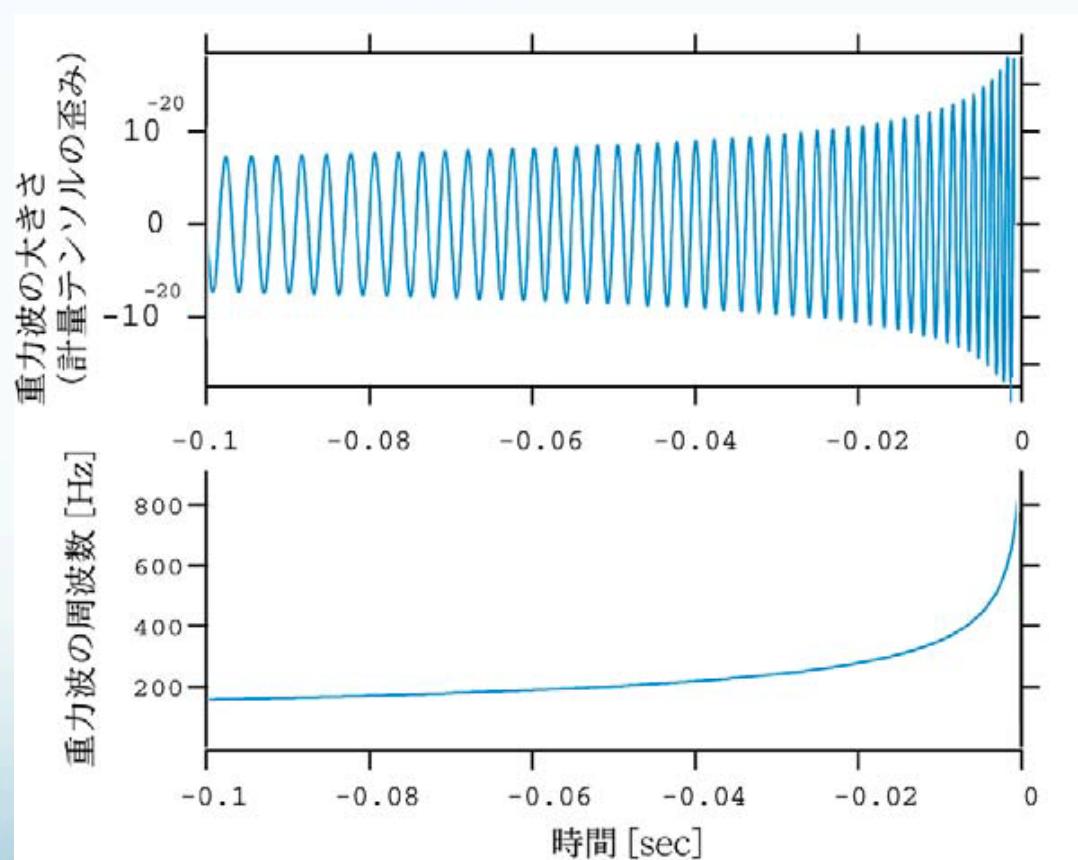
● 連星合体(2)

✓ 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**チャーブ波形**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...

- 連續波

パルサー(非球対称な回転中性子星)

- 背景重力波

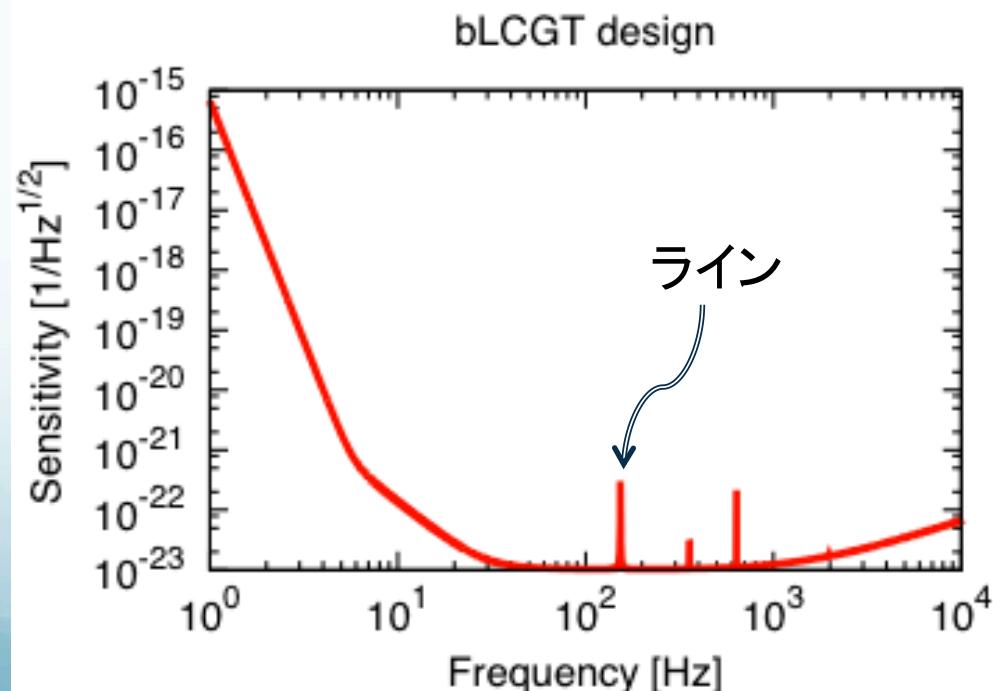
初期宇宙起源



● バースト重力波(1)

- ✓ 検出器自体が似たような**バースト性雑音(非定常雑音)**を持つ
 - 複数の望遠鏡を用いてもコインシデンスイベントが起こることがある
 - 重力波信号と雑音を区別するのには色々な情報と照らし合わせる必要
- ✓ 100msec以下の短い継続時間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
 - 振動モードなどから想定されるライン
狭帯域で大きなエネルギーを持つスペクトルで、同じ帯域の重力波信号を消してしまう

周波数に対する
bLCGTの感度



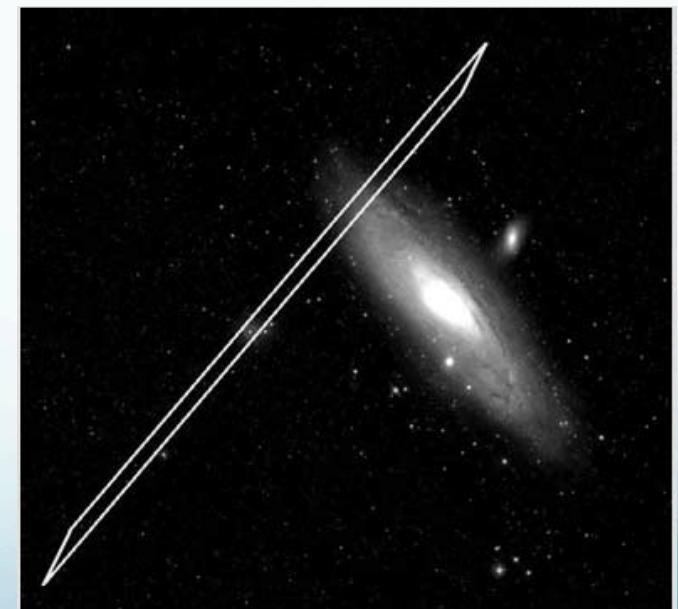
- バースト重力波(2)

- ✓ veto解析による偽イベントの除去

- 例:検出器の非定常雑音(数秒) > バースト重力波(100msec)
 - 雑音だと判断したとき、重力波信号も除去してしまう確率は?
→データに信号を埋め込んで見積もってみる

- ❖ 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



- **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
- ✓ 連續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 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...
- **連續波**
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

- ✓ 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

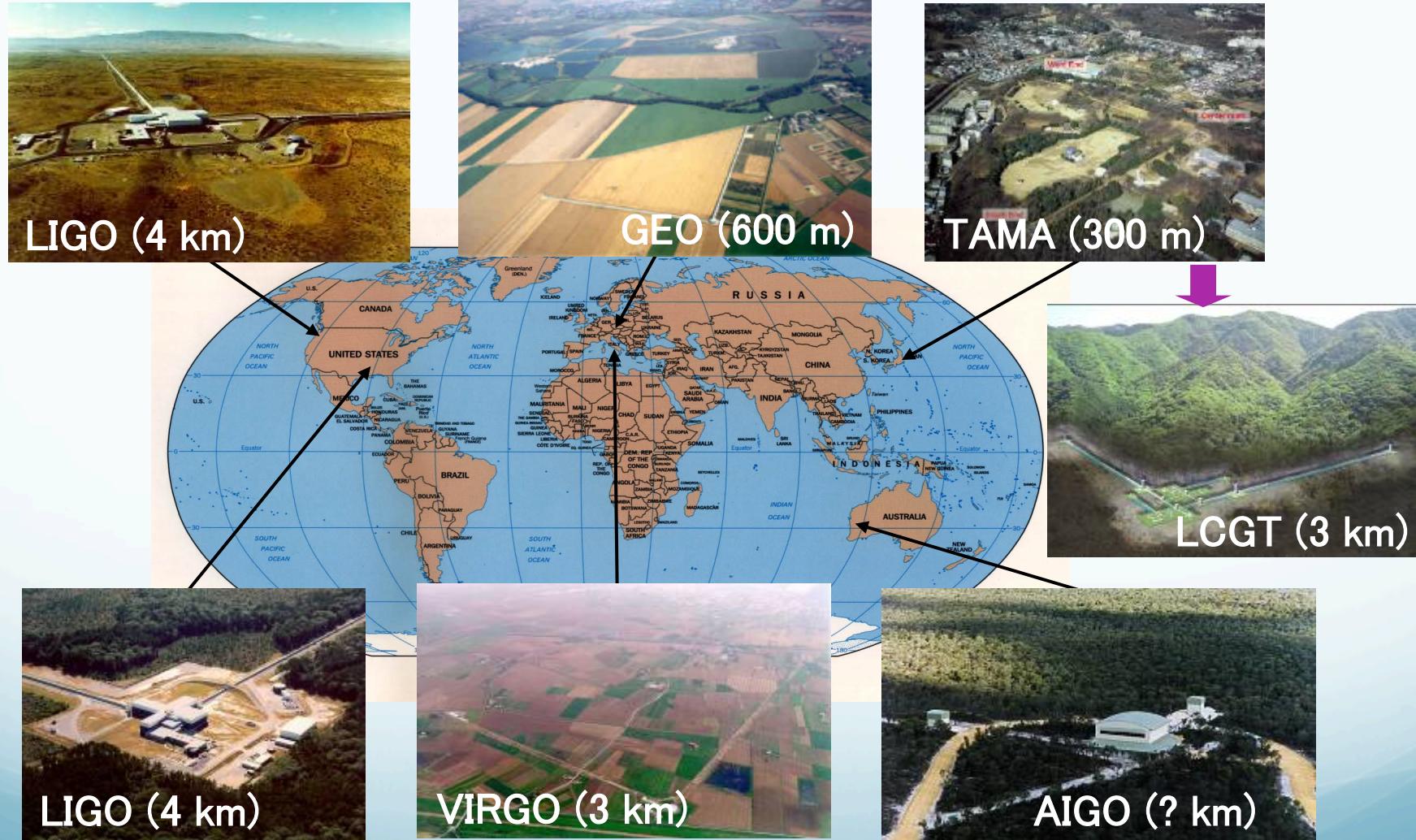
- 白色矮星連星や中性子星連星など多数の天体起源の重力波

- 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

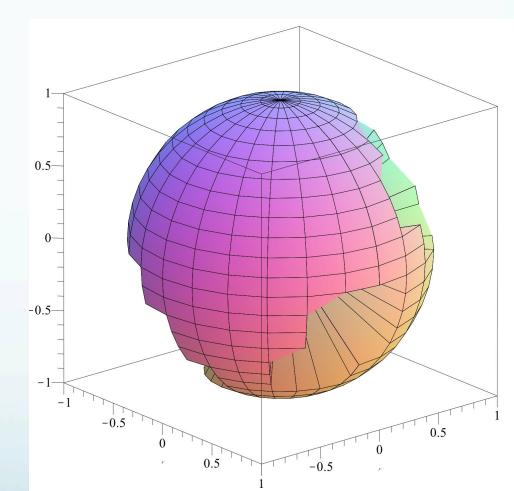
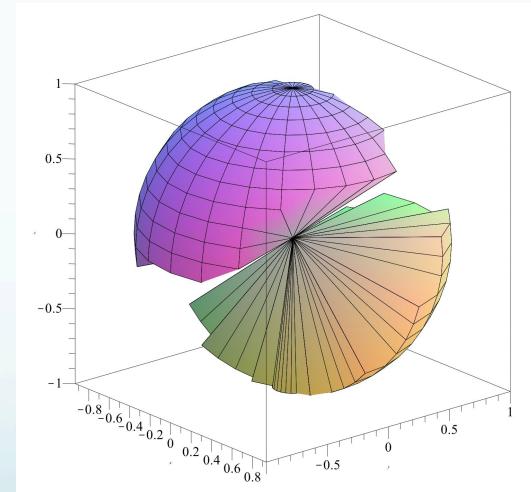
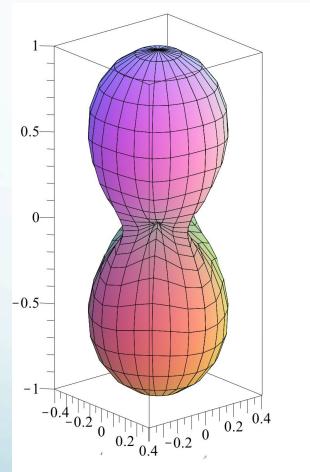


- すでに各国の重力波望遠鏡が稼働
→LIGO, Virgoは改良型を建設中
- 重力波望遠鏡1台では重力波の到来方向を断定できない**
→複数台による観測で指向性を得て、波源の位置を特定する

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



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

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、トランジエント天体を追う

- 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