

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
- 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
- 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
- 散乱を受けずに観測者まで伝播してくる

- 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(+, ×)

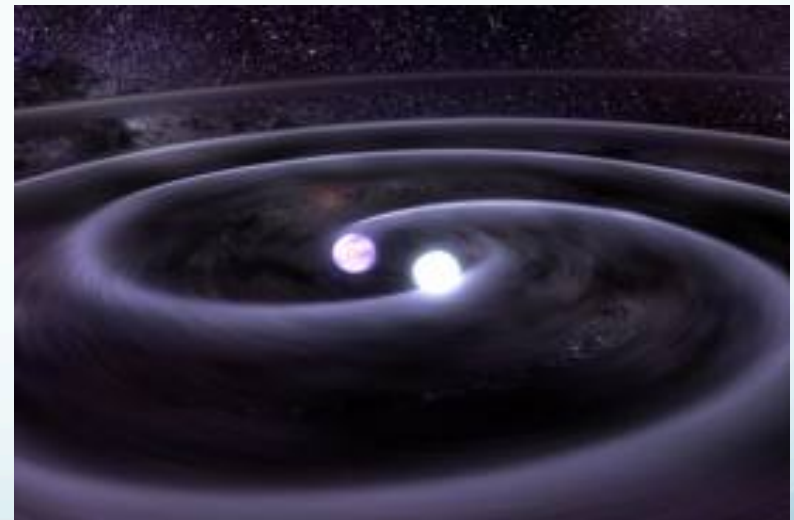
- 物体(質点)の加速度運動で生じる

- 相違点

- 重力の作用がはととても弱い

- : 電磁気力の 10^{-40} 程度

- 透過性が高い



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**

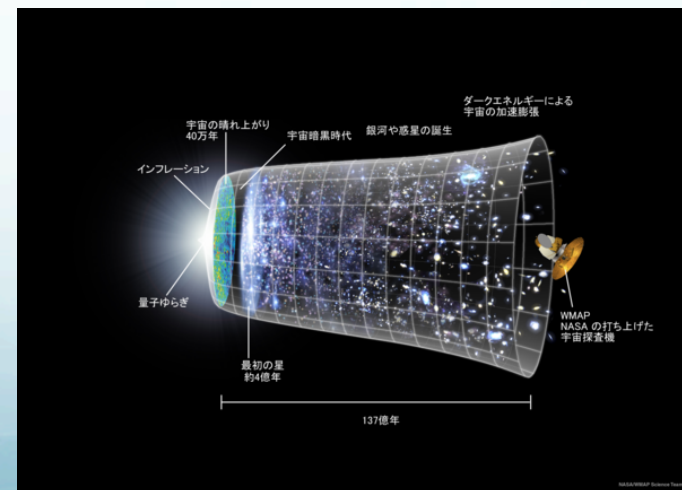
重力崩壊型超新星爆発(Ⅱ型Super Nova), GRB (Gamma Ray Burst), マグネター(SGR:Soft Gamma Repeter)のフレア, etc...

- **連続波**

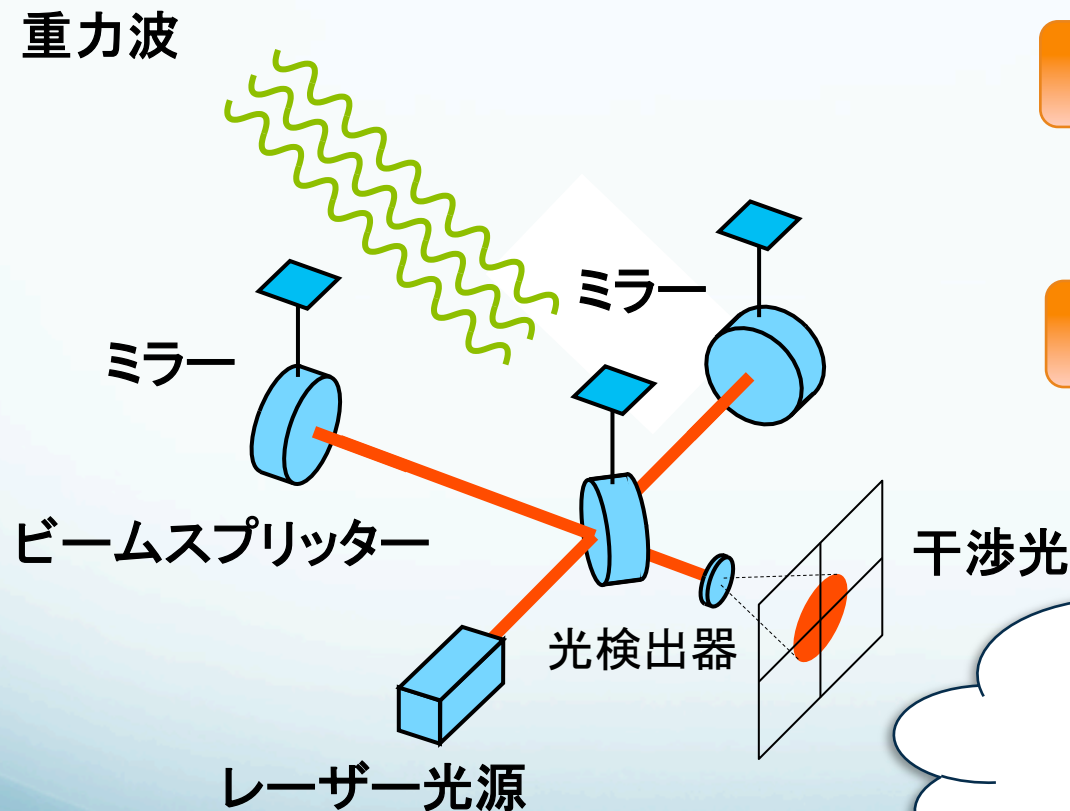
パルサー(非球対称な回転中性子星)

- **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



Raw data



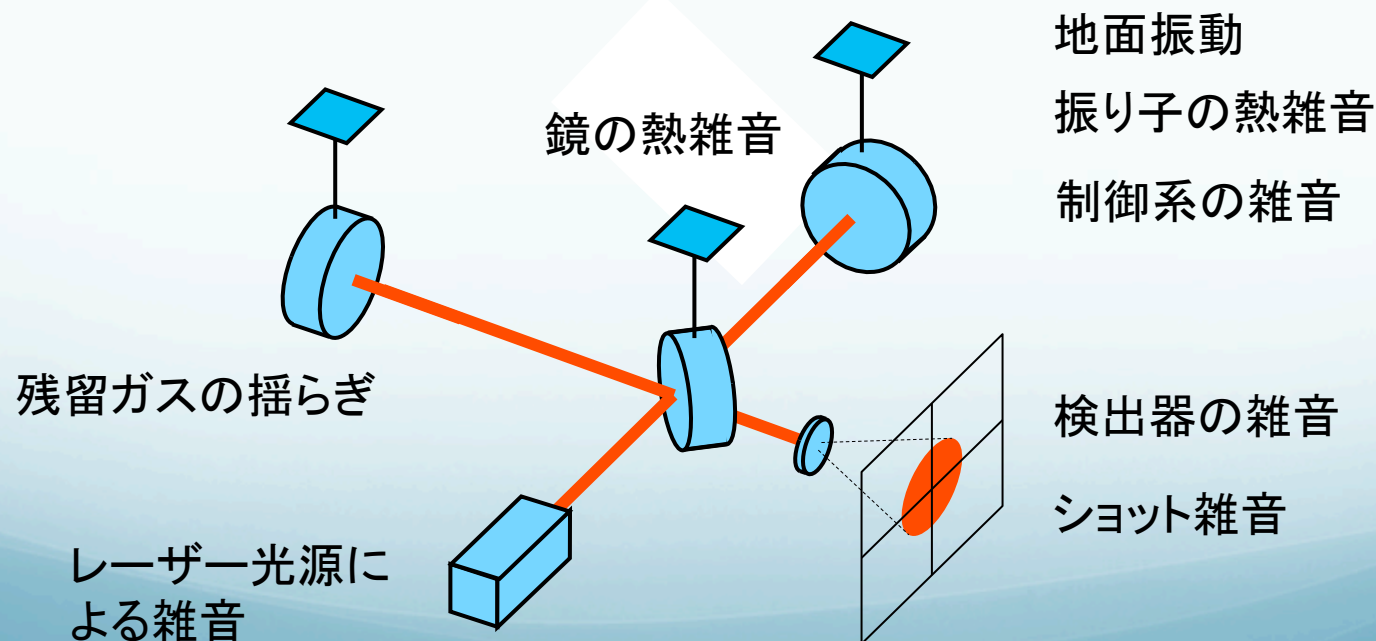
Calibration



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→切り分けが困難
- 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(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

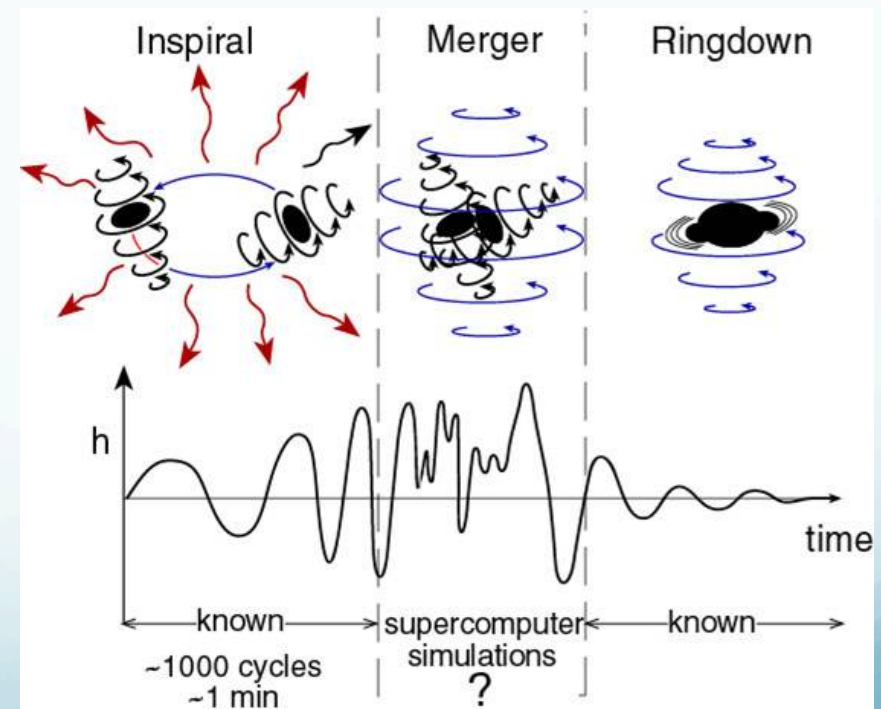
連星の回転軌道が小さくなっていく段階

✓ 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

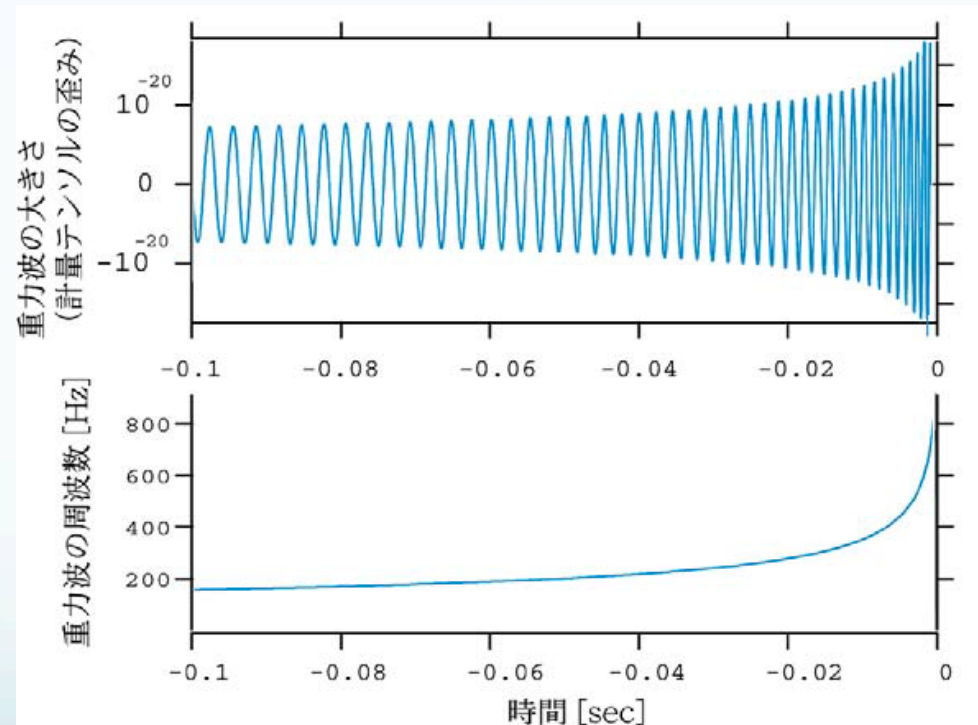


- 連星合体(2)

- ✓ 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！



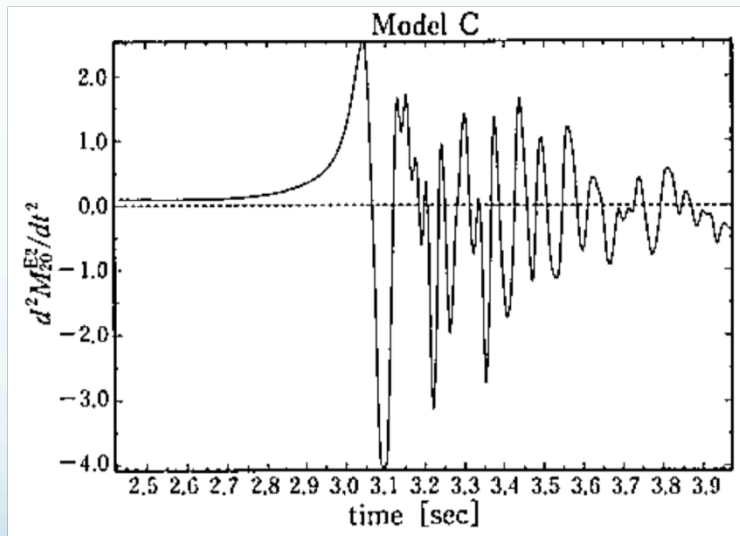
非ガウス雑音に対しては χ^2 検定で有意な信号か決める

● バースト重力波(1)

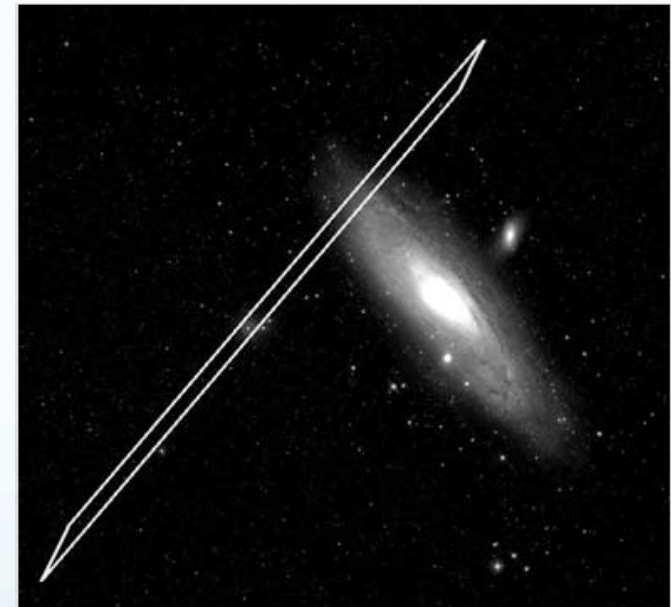
✧ M31方向のイベント(GRB 070201)

- 770kpcという近傍
- ショートGRBだった→連星合体？SGR？
- M31内でのイベントではなかった

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



回転軸対称重
力崩壊のモデ
ル波形



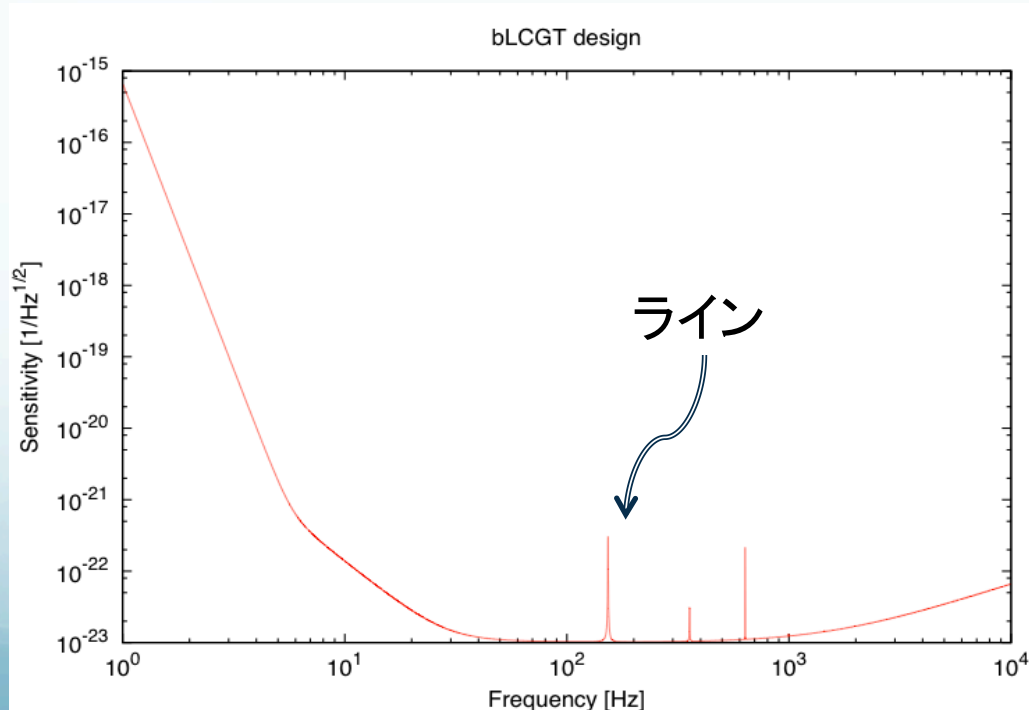
✓ コアの状態を解くのが難しいため、波形予測が困難

- マッチドフィルターは使えない→別の手法(例: Excess Power Filter)

● バースト重力波(2)

- ✓ 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



● 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
- ✓ 原理的にはわかりやすいが以下の要素が必要
 - 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
→ 地上望遠鏡には地面振動による低周波の感度制限

- 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→検証

- ✓ 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

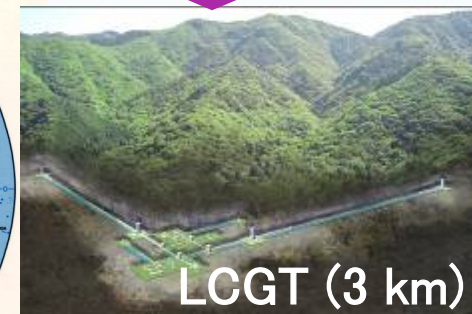
- ✓ フォアグラウンドの重ね合わせ(=雑音)

- 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

- 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

国際的な観測ネットワーク

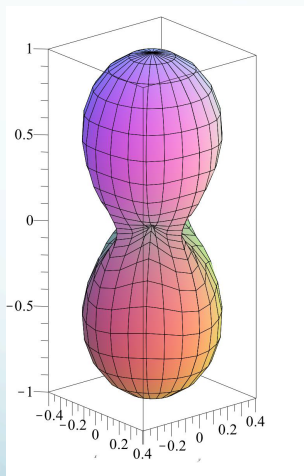


- **すでにアメリカのLIGOやフランス・イタリアのVirgoが稼働**
→現在はadvanced-LIGO, advanced-Virgoを建設中
- **重力波望遠鏡1台では重力波の到来方向を断定できない**
→複数台による観測で指向性を得て, 波源の位置を特定する

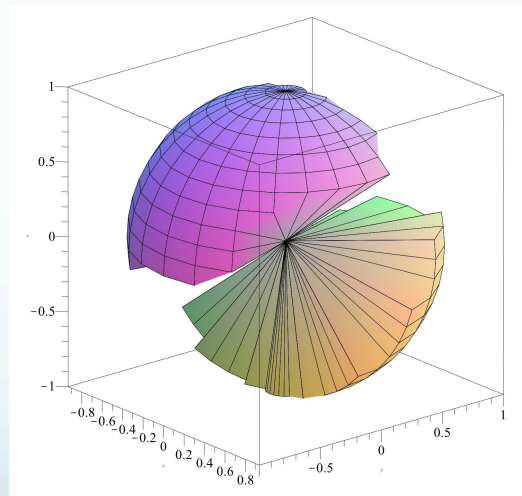
最大感度の約70%以上となる領域

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

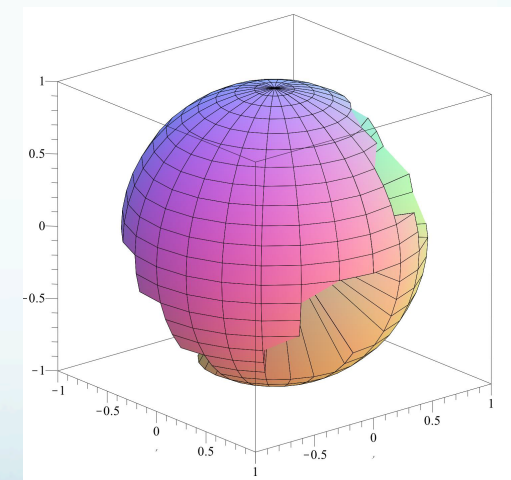
単独のアンテナパワーパターン



HLV



HLVJA



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

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