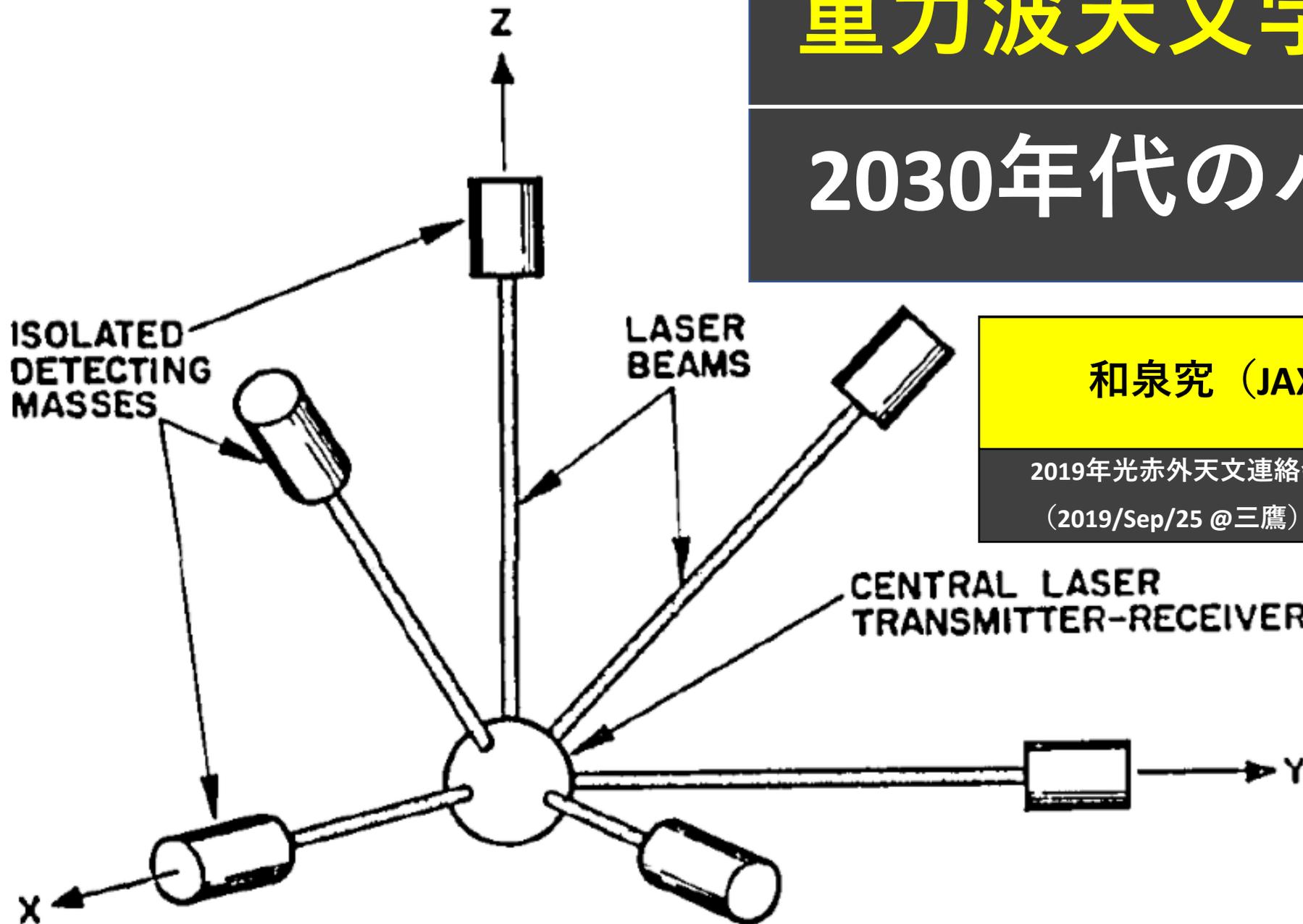


# 重力波天文学から見る

## 2030年代のパノラマ



和泉究 (JAXA宇宙科学研究所)

2019年光赤外天文連絡会シンポジウム

(2019/Sep/25 @三鷹)

# 重力波分野の現在： 大型実験から天文観測装置へとシフト

## ● これまで

- ▷ km 級のレーザー干渉計動作
  - LIGO・VIRGO・KAGRA
- ▷ 初検出（GW150914、BH連星）
  - 強重力場での相対論検証
  - 恒星質量BHが連星系として存在
- ▷ NS連星合体の初観測（GW170817）
  - 潮汐歪み係数に上限
  - ハッブル定数の推定
  - EM（電磁波）との同時観測
  - 重元素合成過程

## ● これから

- ▷ BH連星統計的性質から天文情報
  - スピン・質量分布
- ▷ 超新星爆発からの重力波
  - 爆発機構に知見
  - マルチメッセンジャー観測
- ▷ NSの自転からの重力波検出
  - 極限環境での核物理・物性
- ▷ 宇宙論的観測
- ▷ etc.



[1] Nature 551, 85 (2017)  
[2] PRX 9,011001 (2019)

# 近い将来

arXiv:1304.0670v8  
(LIGO-P1200087-v56)

- LIGO-Virgo O3 実施中

- ▷ ~ 1 event/week

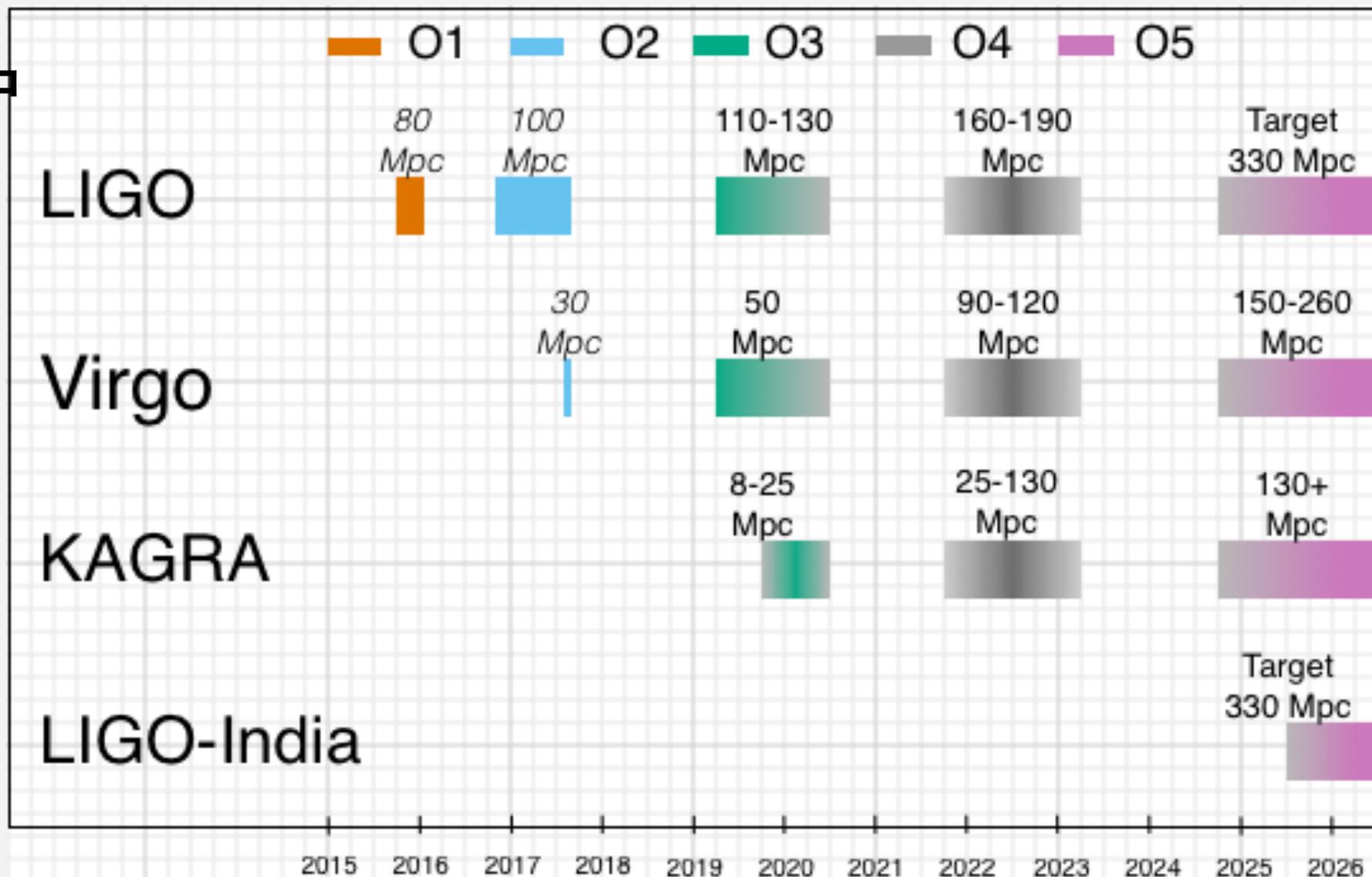
- KAGRA

- ▷ 今年末にO3参加

- 2020年代 :

- ▷ O4とO5が計画

- ▷ LIGO India 稼働

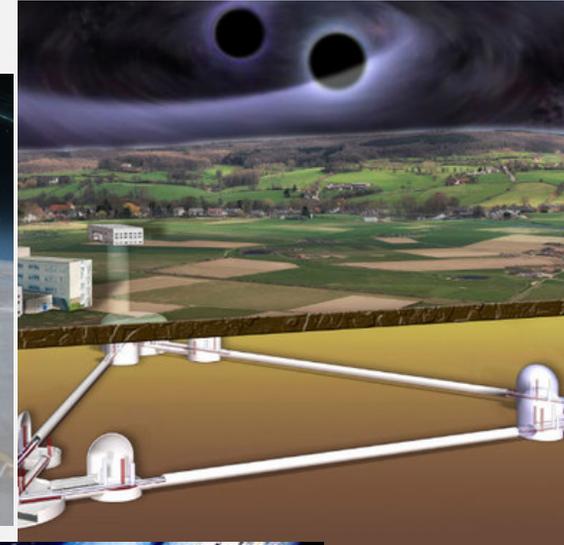
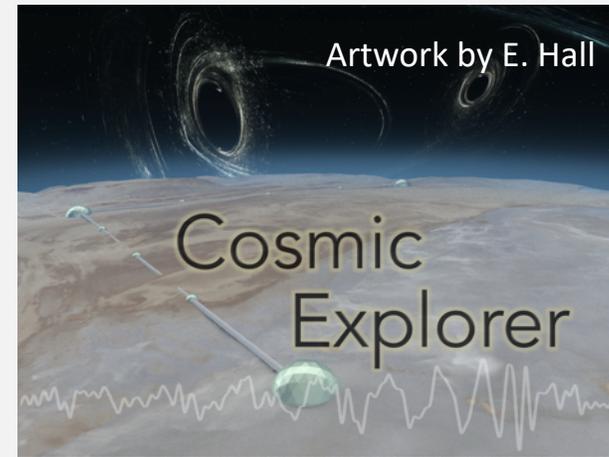


# 2030年代の重力波観測装置

## ● 観測装置の分化にともない分野も細分化

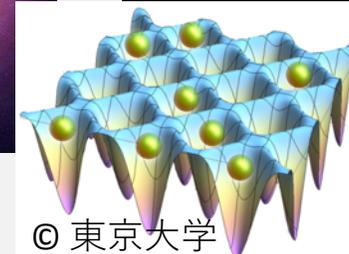
### 地上数10km級レーザー干渉計

- ▷ Cosmic Explorer (US)
- ▷ Einstein Telescope (EU)
- ▷ 日本フラグシップ干渉計 (?)



### 宇宙空間レーザー干渉計 + 他

- ▷ LISA (EU, 2034 打ち上げ)
- ▷ B-DECIGO/DECIGO (JP)
- ▷ 光格子時計, 原子干渉計 (?)



### パルサータイミングアレイ

- ▷ SKA

# 電磁波追観測： リアクティブからプロアクティブ観測へ

- 宇宙検出器が合体前に観測開始

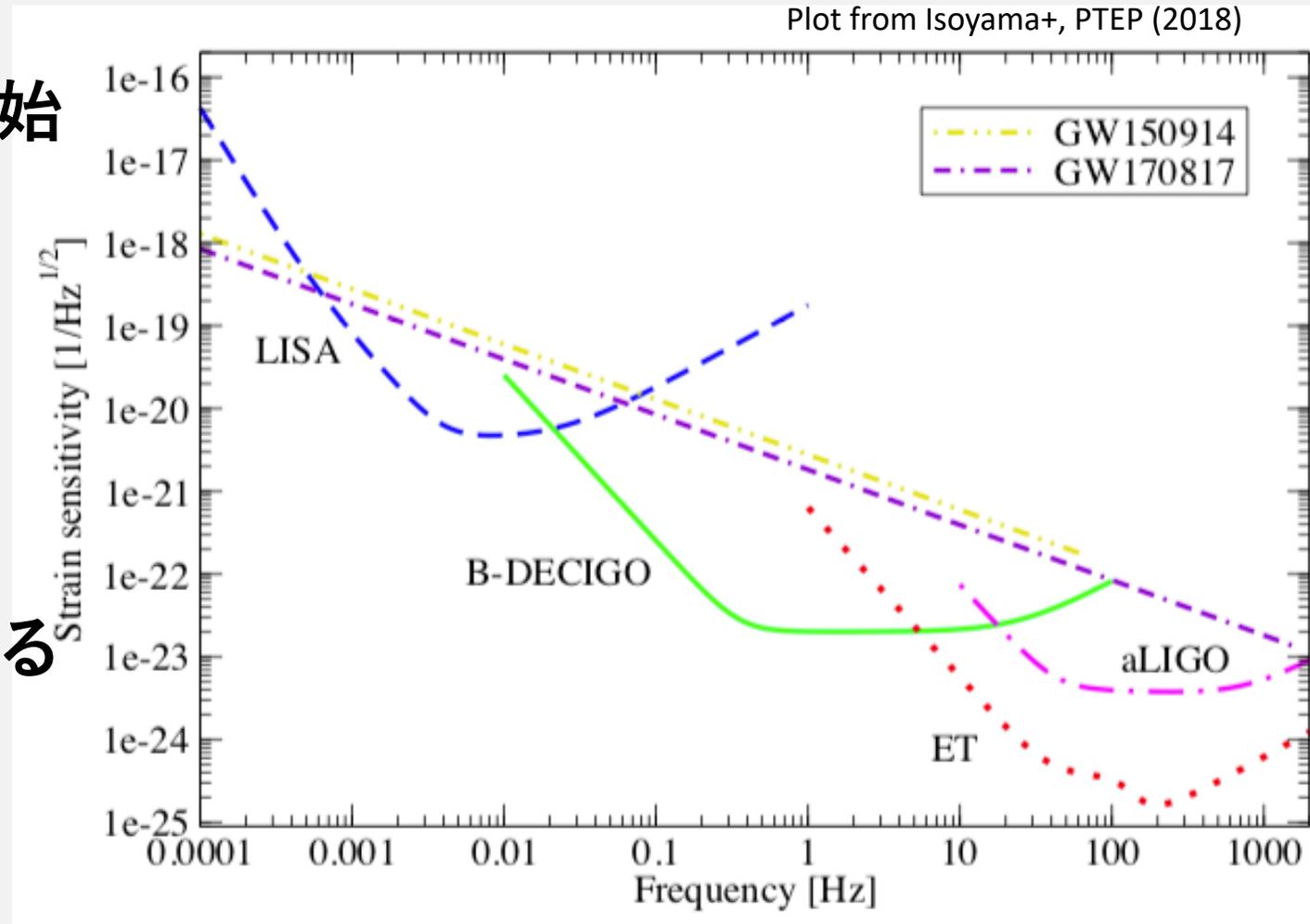
- 波源位置の早期推定（予言）

- ▷ B-DECIGO で BNS@z=0.1  
合体1ヶ月前に $1 \times 10^{-3}$  [deg<sup>2</sup>]  
程度の精度で位置を推定

[武田氏提供（東大）]

- イベント前に観測戦略を敷ける

- ▷ ホスト銀河の予想
- ▷ 望遠鏡間での同時連携観測



# 銀河研究との結びつき

## ● BBH 位置特定エラー改善。ホスト銀河との位置相関が改善

▷ LISA  $< 1 \text{ deg}^2$ , B-DECIGO  $< 0.1 \text{ deg}^2$  for GW150914-like @  $z=0.1$  [Nakamura+, PTEP 2016]

▷ Cosmic Explorer  $\sim 1 \text{ deg}^2$  for GW150914-like @  $z=0.1$  [Mills+, PRD 2018]

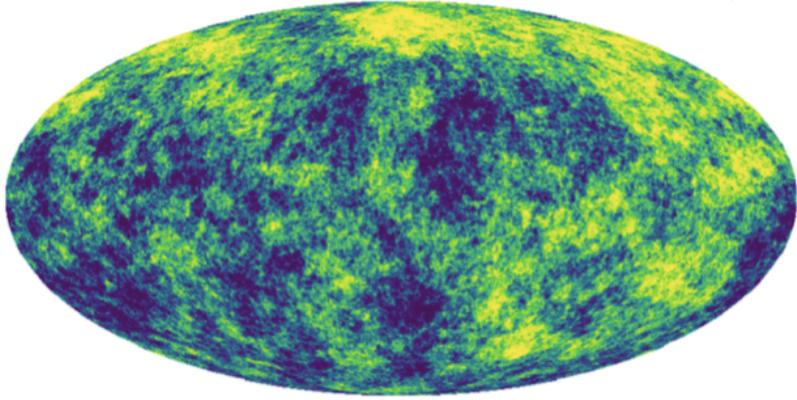
## ● BBH と銀河環境の関係性を調査

▷ AGN と恒星質量BBH の関連 [Bartos+, Nature comm. 2017]

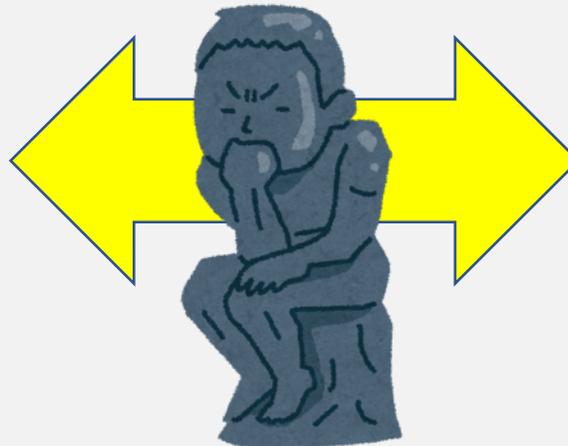
## ● 検出不能の多数の連星合体イベント

▷ 背景輻射だと思ってマップ化できる可能性 [Jenkins+, arXiv:1907.06642]

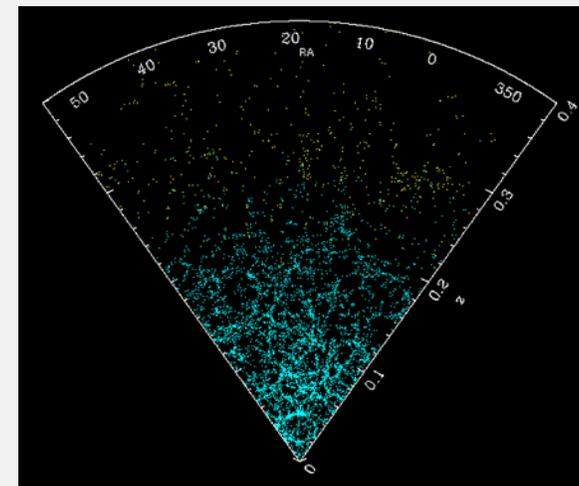
GW 背景マップ (信号なし、計算)



[Jenkins+, arXiv:1907.06642]



銀河の分布



© SDSS

# 連星系進化

## ● 宇宙検出器では多数 ( $10^6$ - $10^7$ ) のWD-WD連星が検出

- ▷ 重力波観測からカタログが作成
- ▷ 軌道傾斜、質量、etc. が決定
- ▷ 統計的なアプローチをする連星研究に親和性

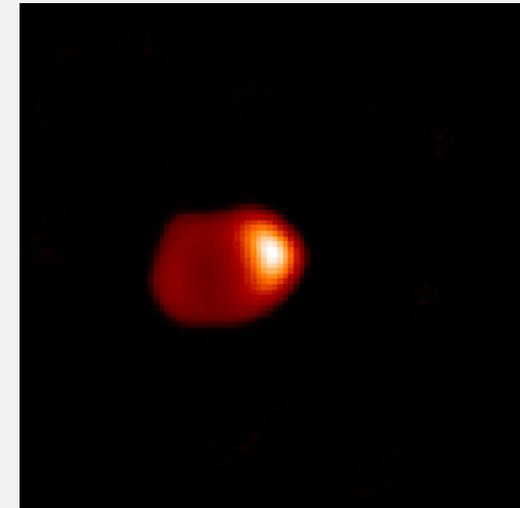
## ● WD-WDの前段階の進化フェーズの観測情報が不足

- ▷ WD-晩期星 (Be star) の観測例なし...
- ▷ コモンエンベロープ、Roche lobe overflow の役割

## ● 重力波の観測対象によってはWD-WDは**前景雑音**となる

- ▷ 詳細なポピュレーションが知りたい
- ▷ 前景除去の対策を練っておきたい

[Cutler+, PRD 2006]



CHARA obs. of Algol  
Gif by F. Baron (U. of Michigan)

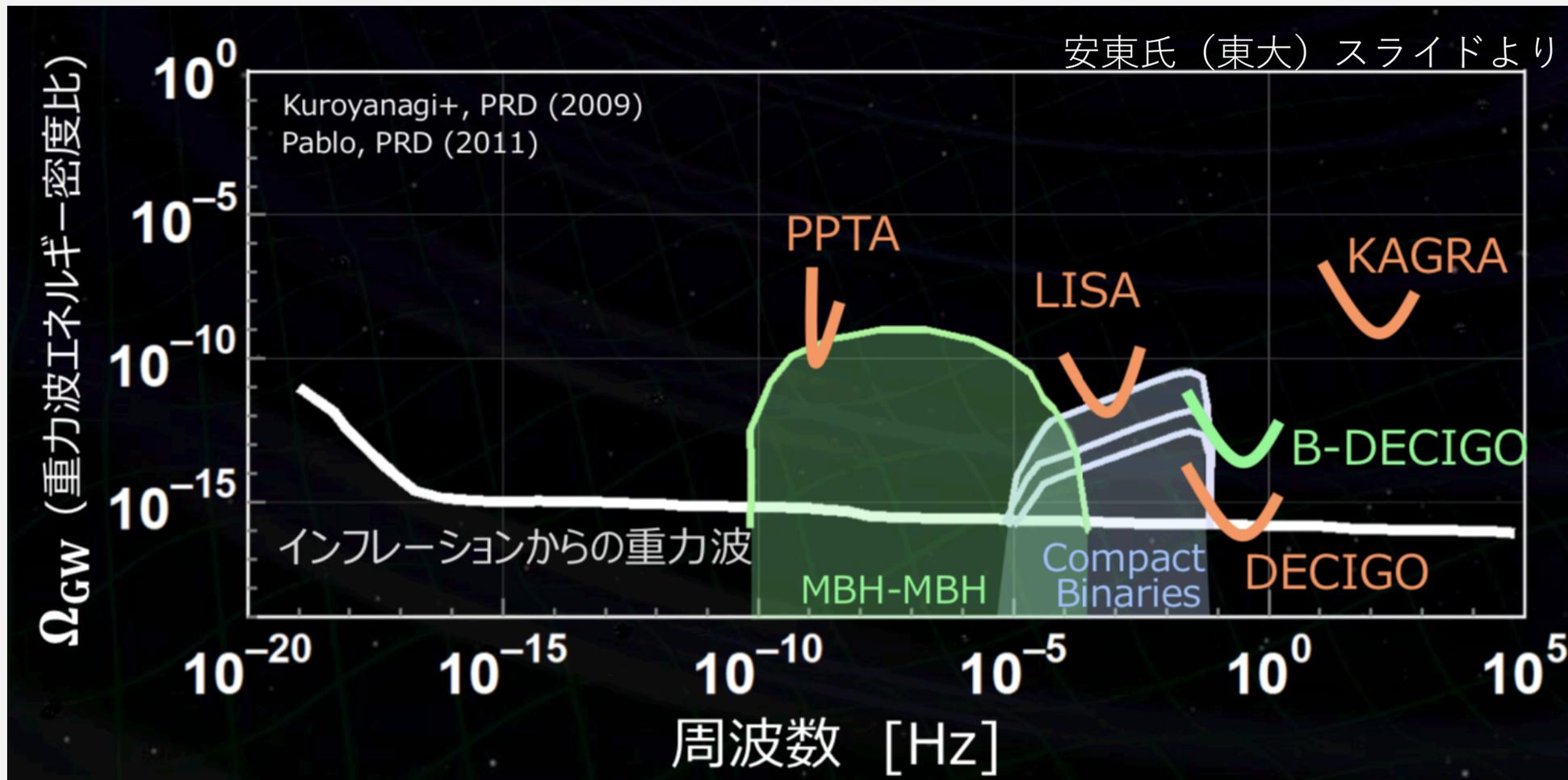
# 未知の波源

- 想定範囲外の波源・天体天文現象？
- ありうるシナリオ
  - ▷ 重力波検出器からアラート、EMフォローアップ
  - ▷ EM 観測からアラート、GW 信号の事後解析
- LIGO-VIRGO観測では未だそういった報告例なし
- 何かアイディアあれば教えてください

# 背景重力波輻射：私の研究興味

## ● インフレーション時に初期量子揺らぎが増幅・古典化される [Grishchuk, CQG 1993]

▷ 重力波は晴れ上がり以前の初期宇宙を探索するユニークな手段



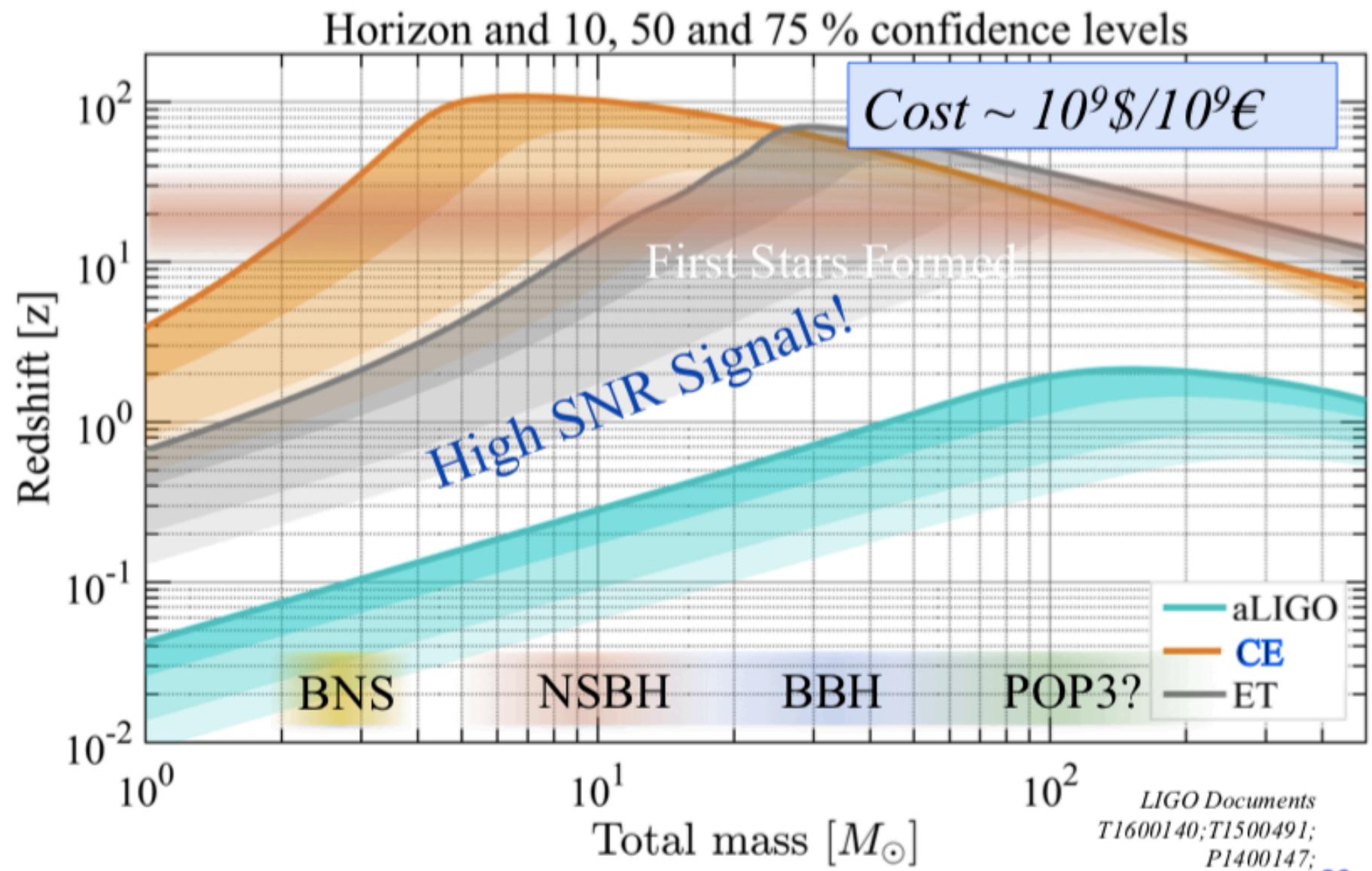
# まとめ

- 重力波検出器は天文観測装置としての色合いが強くなる
- 検出器の分化：地上にとどまらず宇宙検出器もオンライン
- 多様な天文貢献（追観測・銀河研究・連星進化・etc）
- 晴れ上がり以前を観測できるユニークなプローブ





# ET and CE Have Cosmological Reach



LIGO Documents  
T1600140; T1500491;  
P1400147;  
ET Document ET-0106C-10<sup>36</sup>

# Cosmic Explorer Conceptual Design Sensitivity

