2018年 DECIGOワークショップ

宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGOの概要

安東 正樹 (東京大学 / 国立天文台)

DECIGO/B-DECIGO collaboration

宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO



※ 以前のPre-DECIGOから改名.

- B-DECIGO
 - 3機の宇宙機で構成された宇宙重力波望遠鏡
 - 重力波感度 2x10⁻²³ Hz^{-1/2} at 0.1Hz.

絵: 佐藤修-

•観測目標

- (1) コンパクト連星合体の観測.
- (2) 中間質量BH連星合体の観測
- (3) DECIGOへ向けた フォアグラウンドの理解.



JAXA戦略的中型ミッションとしての実現を目指す(2020年代).

まとめ

- ・B-DECIGO は, 重力波観測・天文学において新たな可能性を切り拓く宇宙重力波望遠鏡.
 - 観測周波数帯 0.1-1Hz: 地上重力波望遠鏡, 欧州の宇宙重力波望遠鏡LISAと相補的な科学的目標.
 - 多くのイベントレートが期待できる: 連星中性子星 ~100 yr⁻¹, 連星ブラックホール ~10⁵ yr⁻¹
 - 連星合体の事前予測が可能 (z=0.1のイベントに対して, 角度分解能 0.1deg², 合体時刻 1秒).
 - → 電磁波望遠鏡による合体の瞬間の観測.
 - 将来のDECIGOによる初期宇宙観測のための知見.
- ・従来の提案を再定義し, ミッション検討・根幹技術開発を進める.
- ・JAXA戦略的中型ミッションとして 2020年代後半の実現を目指す.



連星中性子星合体からの重力波の初観測

- ・2017年10月16日, LIGO-VIRGOコラボレーションは、 連星中性子星合体からの重力波を初観測したと発表.
- ・信号は 2017年8月17日に到来
 - → GW170817と名付けられた.
- ・方向特定 (30deg²) → 電磁波 によるフォローアップ観測も実現.
 - * 重力波検出の1.7秒後にガンマ線も観測.
 - *光赤外望遠鏡による追観測
 - → 約11時間後に対応天体発見
 - * 紫外, X線, 電波でも対応天体発見.

[ApJ Letters 848:L12 (Oct 20, 2017)]

分かったこと、新たな疑問

- ・短ガンマ線バーストの起源.
 - 連星中性子星合体と同時に観測された.
 - しかし、暗すぎるという新たな疑問も生じた.
- ・重元素の起源
 - 数値シミュレーションによる光度曲線の予想と一致.
 - どの程度が連星中性子星合体起源かは,多くの観測例が必要.
- ・合体後に何ができたのかは不明.
 - ブラックホールか中性子星か.
 - 中性子星の状態方程式に対する知見.
- ・基礎物理や宇宙論に対する知見も得られた.
 - 全く新しい手法で知見が得られた.



さらに多く,より精度の高い観測が必要.

KAGRA と DECIGO



KAGRA (~2017)

地上重力波望遠鏡

→ 高周波数 の重力波イベント

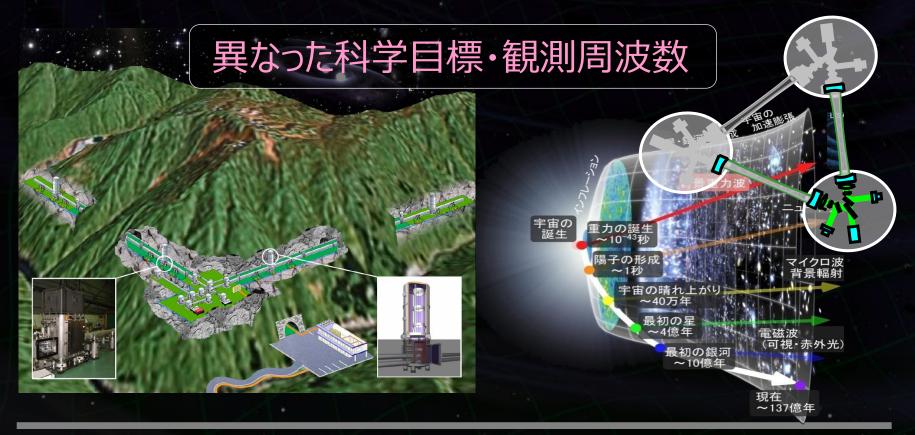
目標: 重力波の検出, 天文学

B-DECIGO (~2020年代後半)

宇宙重力波望遠鏡

→ 低周波数 の重力波

目標: 重力波天文学の展開





宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO

B-DECIGOのミッション要求と構成

ミッション要求:

<u> 歪み感度 2x10-23 Hz-1/2 (0.1Hz付近)</u>

 \triangle

* 変位感度 2x10⁻¹⁸ m/Hz^{1/2}

* 力の雑音 1x10⁻¹⁷ N/Hz^{1/2}

Arm length: 100 km

Finesse: 100

Mirror diameter: 30 cm

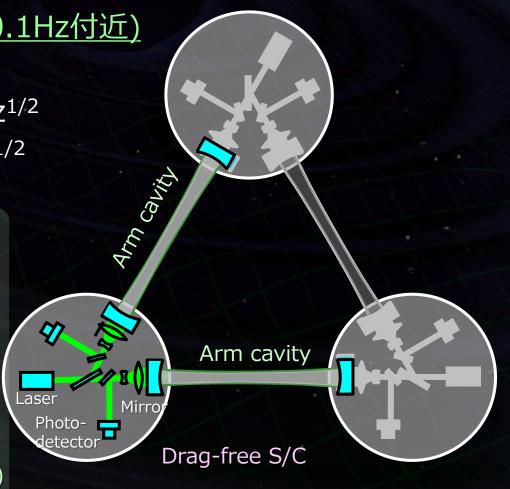
Mirror mass: 30 kg

Laser power: 1 W

Laser wavelength: 515 nm

Orbit: TBD

(Record-disk around the Earth?)



宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO



※ 以前のPre-DECIGOから改名.

- B-DECIGO
 - 3機の宇宙機で構成された宇宙重力波望遠鏡
 - 重力波感度 2x10⁻²³ Hz^{-1/2} at 0.1Hz.

絵: 佐藤修-

•観測目標

- (1) コンパクト連星合体の観測.
- (2) 中間質量BH連星合体の観測
- (3) DECIGOへ向けた フォアグラウンドの理解.

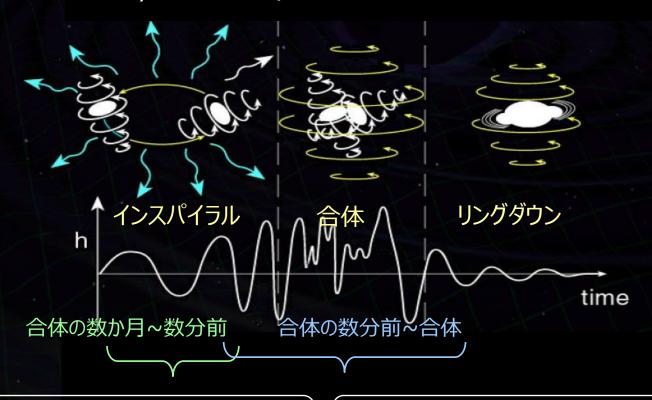


JAXA戦略的中型ミッションとしての実現を目指す (2020年代).

観測目標 (1):コンパクト連星の合体



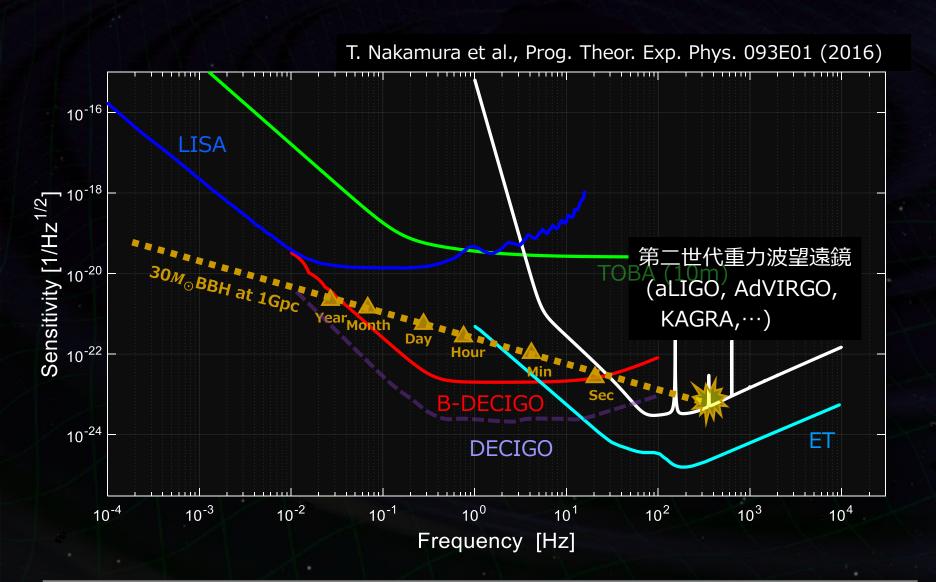
B-DECIGOでは、 $\sim 10^5$ 個/年 の連星合体イベントを観測.



低周波数 → B-DECIGO 質量, 軌道, 方向, 合体予測. 高周波数 → 地上望遠鏡 状態方程式, 高エネルギー現象.

感度の比較



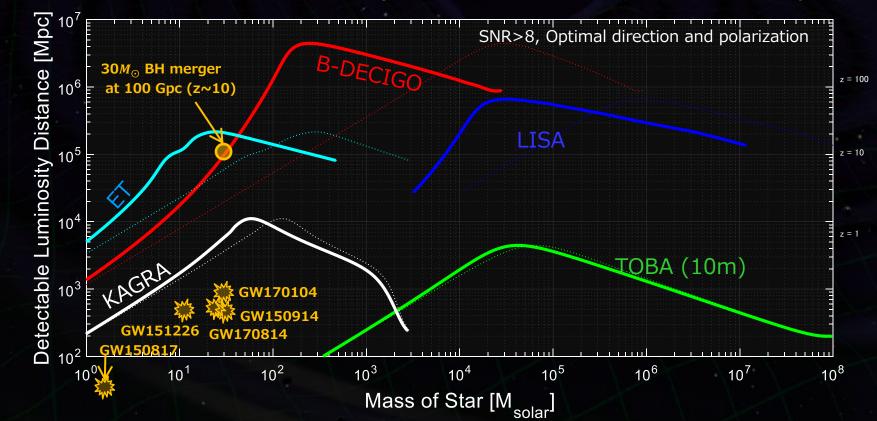


連星合体の観測可能距離



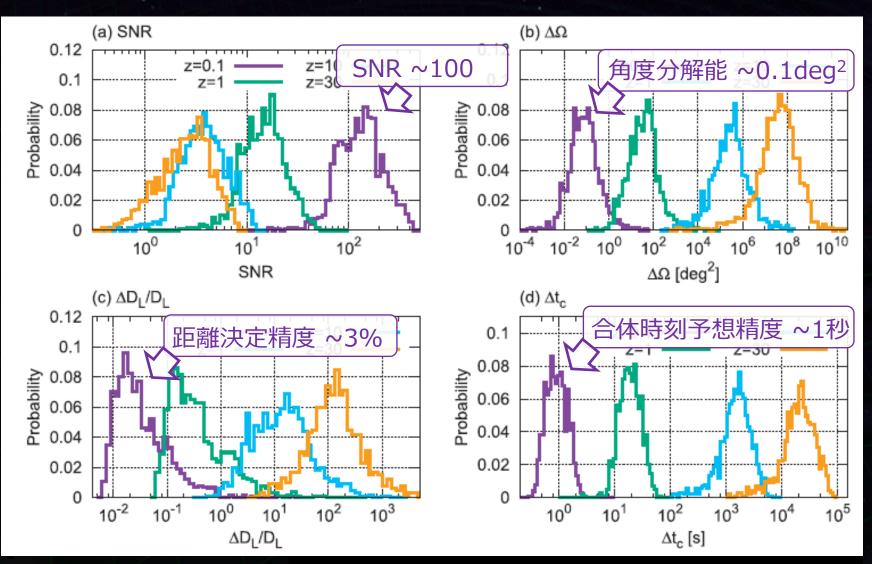
B-DECIGOでの合体観測頻度:

連星中性子星 ~100 yr-1, 連星ブラックホール ~105 yr-1



多くのサイクル数 (~10⁵)の観測 → パラメータ推定精度の向上 連星の質量, 位置, 軌道, 合体時刻, (距離), …

B-DECIGOのパラメータ推定精度



T. Nakamura et al., Prog. Theor. Exp. Phys. 093E01 (2016)

Foreground Cleaning



DECIGO obs. band: free from WD binary foreground

→ Open for cosmological observation

DECIGO will watch ~ 10⁵ NS binaries

Foreground for GWB

In principle, possible to remove then

Require accurate waveform $\rightarrow \Delta m/m < \sim 10^{-7} \%$

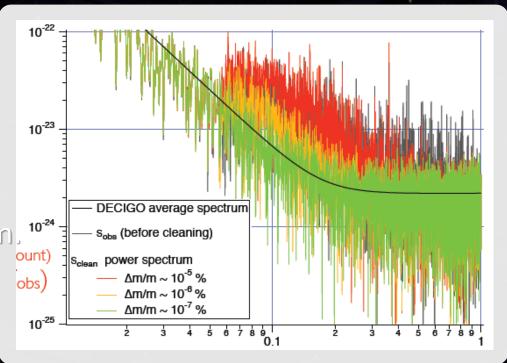


Fig: N. Kanda

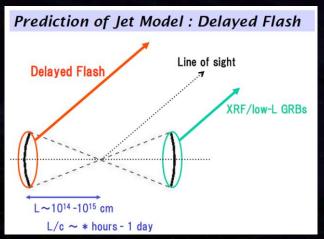
B-DECIGOによる重力波と電磁波の同時観測

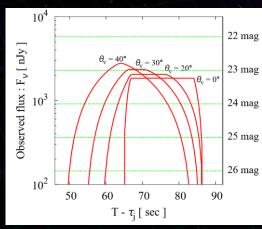
- ・合体前に方向と合体時刻を予測.
 - → 連星中性子星合体/GRB/Kilonova の発生前・直後の電磁波観測も可能. これまでにない天文観測の可能性.
 - (例1) 合体直前からの光度曲線・スペクトル変化の観測.
 - (例2) GRBで,反対側に放射されるジェット からのDelayed Flash.

山崎氏(青学大): https://arxiv.org/abs/1711.06856

(例3) 連星中性子星合体が, Fast Radio Bursts の起源という説 (合体後1msec).
戸谷氏(東京大): https://arxiv.org/abs/1710.02302

・宇宙の加速膨張測定,基礎物理測定.





山崎氏 講演資料 (2017.11.21) より https://arxiv.org/abs/1711.06856

DECIGO組織体制 (再編検討中)

代表: 中村(京都大)

副代表: 安東(東大理),瀬戸(京大理),川村(名古屋大)

運営委員会

川村 (東大宇宙線研),安東 (東大理),瀬戸 (京大理),中村 (京大理),坪野 (東大理),佐藤 (法政大理工),田中 (京大理),船木 (JAXA),神田 (阪市大理),井岡 (KEK),高島 (JAXA),横山(東大理),阿久津 (国立天文台),中澤 (東大理),河野 (JAXA),武者 (電通大)

検出器 阿久津 (国立天文台) 沼田 (Maryland) サイエンス・データ 田中 (京大基研) 瀬戸 (京大理) 神田 (阪市大理)

衛星

船木 (JAXA)

B-DECIGO

リーダー: 安東 (東大理)

Design phase

Mission phase

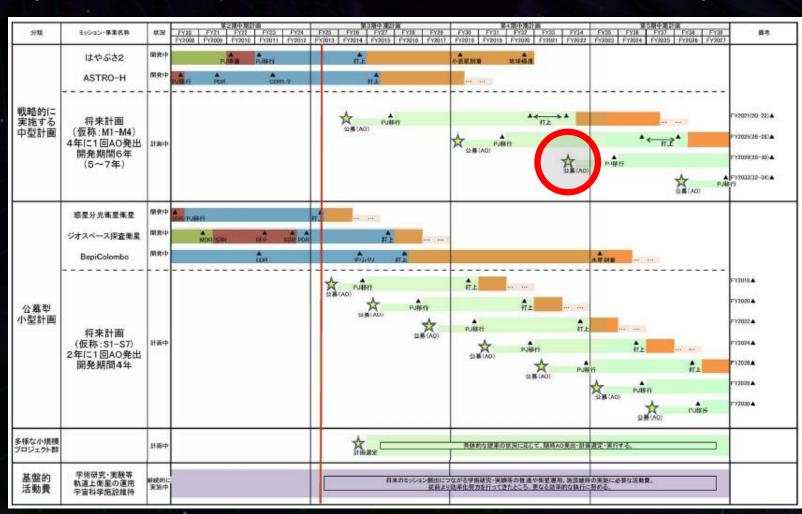
干渉計 佐藤 (法政理工), 上田 (国立天文台), 麻生 (東大理) レーザー 武者 (電通大) <u>植田 (</u>電通大) 衛星システム/ ドラッグフリー 佐藤 (法政理工), 坂井 (JAXA) スラスター 船木 (JAXA) 信号処理 阿久津 (国立天文台) データ解析 神田 (阪市大理)

B-DECIGOの技術的課題まとめ

- ・長基線長レーザー干渉計技術 (変位感度 <2x10⁻¹⁸ m/Hz^{1/2})
 - 双方向FP共振器の光学系設計. 安定化光源とその制御.
 - 100kmの長基線技術 (長曲率半径鏡, 鏡変形の補正).
 - 光軸・衛星姿勢の初期捕捉. 低周波数雑音.
- ・外力雑音の低減 (試験マスへの力の雑音 <1x10-16 N/Hz1/2)
 - 重力, 磁場変動, 静電気力, 残留気体, 熱輻射, 宇宙線衝突, 支持・制御起因の雑音, などあらゆる雑音源対策.
- ・衛星変動の低減
 - ドラッグフリー技術, 低雑音スラスタ技術, 衛星全体の信号処理.
 - 受動的外乱低減技術.
- ・衛星システム設計
 - 軌道設計, 初期ミッションシーケンス.
 - 衛星のリソース配分, 打ち上げ手段, コスト見積もり

JAXAによる宇宙科学・探査ロードマップ

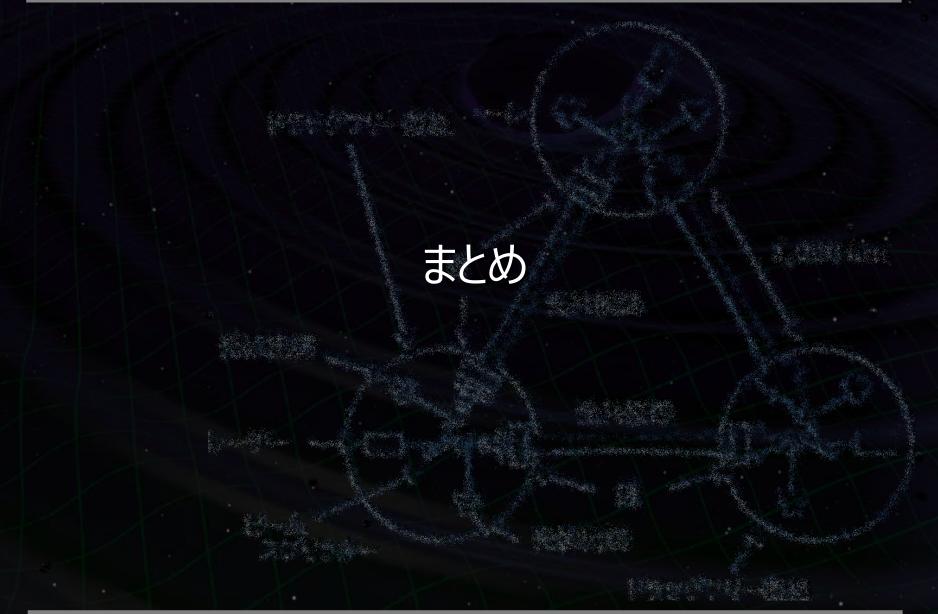
From file submitted to the government by ISAS/JAXA (内閣府・宇宙政策委員会・宇宙科学・探査部会 2013年9月19日).



B-DECIGO検討の見通し

- ・2022年までにミッション提案できるよう準備を進める.
 - ミッション提案 (MDR: ミッション定義審査) に必要な準備.
 - ミッション要求・システム要求へのブレークダウン.
 - JAXA/メーカーを含めた,衛星システム検討. コスト見積.
 - 搭載機器について,技術開発計画の立案と実施. 現在の活動: 安定化レーザー光源, レーザー干渉計テストベンチ開発, 外力雑音評価セットアップ, スラスタ評価, 軌道・ドラッグフリー設計, ドラッグフリー実証モデル開発.
- ・DECIGO関係の財源:
 - * 基盤(A)「宇宙重力波干渉計の地上試験モデルの完成」(代表: 中村先生, 2015 2019年度, 3,000万円程度)
 - * RESCEU運営費からのサポート「B-DECIGOのシステム検討」 (代表: 安東, 2018 - 2020年度, 1,000万円程度)

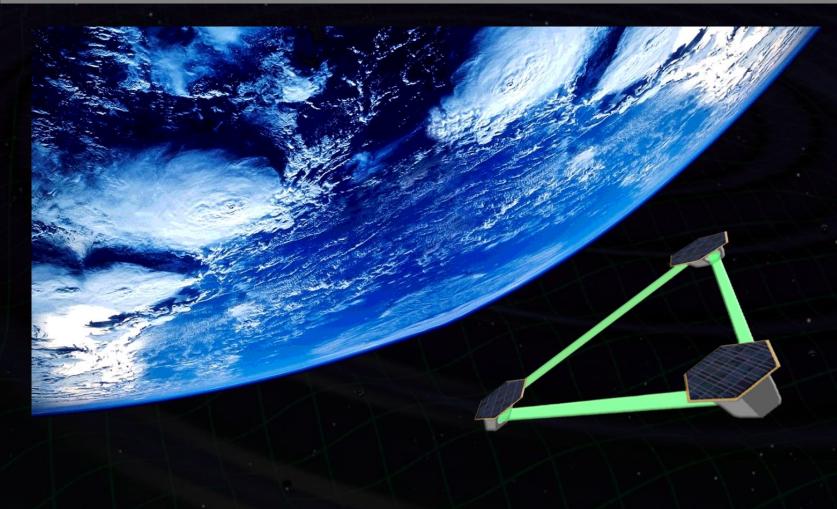




まとめ

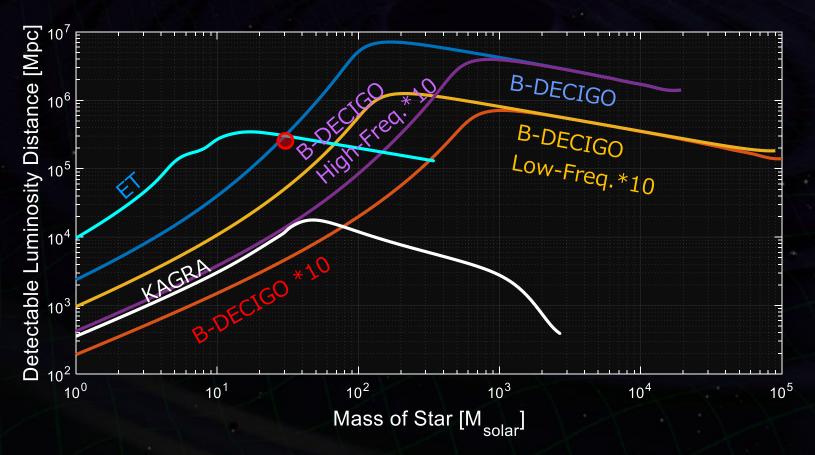
- ・B-DECIGO は, 重力波観測・天文学において新たな可能性を切り拓く宇宙重力波望遠鏡.
 - 観測周波数帯 0.1-1Hz: 地上重力波望遠鏡, 欧州の宇宙重力波望遠鏡LISAと相補的な科学的目標.
 - 多くのイベントレートが期待できる: 連星中性子星 ~100 yr⁻¹, 連星ブラックホール ~10⁵ yr⁻¹
 - 連星合体の事前予測が可能 (z=0.1のイベントに対して, 角度分解能 0.1deg², 合体時刻 1秒).
 - → 電磁波望遠鏡による合体の瞬間の観測.
 - 将来のDECIGOによる初期宇宙観測のための知見.
- ・従来の提案を再定義し, ミッション検討・根幹技術開発を進める.
- ・JAXA戦略的中型ミッションとして 2020年代後半の実現を目指す.





終わり

B-DECIGOの性能を妥協した場合の観測距離.



低周波数(外力雑音)悪化 \rightarrow 観測可能距離は全体的に悪化. 高周波数(散射雑音)悪化 \rightarrow $10^3~M_{\odot}$ より軽い連星で悪化.