



重力波干渉計の観測範囲

1.4M_☉の重さの中性子星合体観測可能範囲



天の川銀河

10万光年 ~ 30kpc

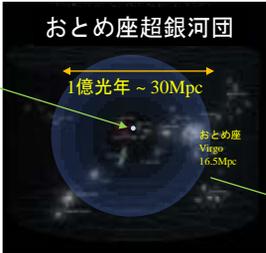


1pc (パーセク)
= 3.26 光年
= 3.1x10¹³ km
信号強度 ~ M^{2/3}
信号頻度 ~ r³ ~ M²

initial LIGO
学術運転1年

おとめ座超銀河団

1億光年 ~ 30Mpc

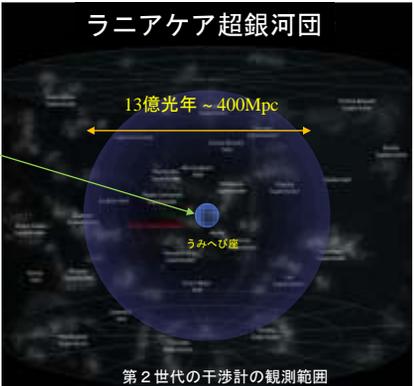


おとめ座
3Mpc
16.5Mpc

advanced LIGO
観測運転計166日

ラニアケア超銀河団

13億光年 ~ 400Mpc



うみへび座

第2世代の干渉計の観測範囲

連星BH合体 半年で10個 arXiv:1811.12907

連星中性子星合体 半年で1個 arXiv:1811.12907

LIGO-G1801933
我孫子サイエンスカフェ 2018年12月23日 山本博章

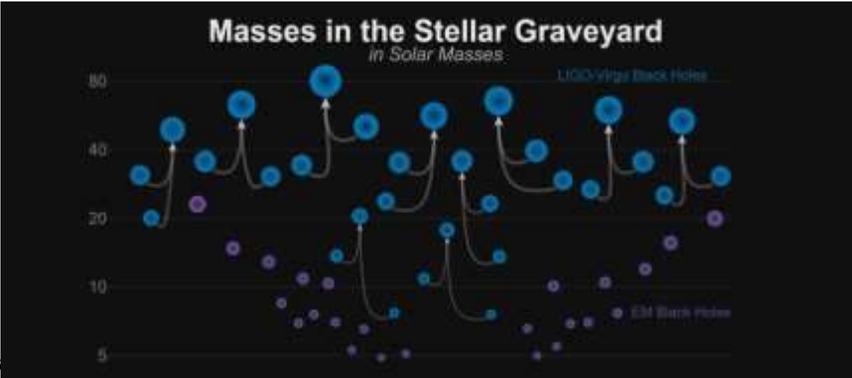


連星ブラックホール合体からの 重力波測定の意味

arXiv:1811.12907



- ┆ 一般相対性理論の予言する重力波の直接観測
- ┆ 重い恒星質量のブラックホールの質量構造 (太陽の重さの10~80倍)
- ┆ 連星ブラックホールの存在とその結合過程の観測
- ┆ 一般相対性理論の検証

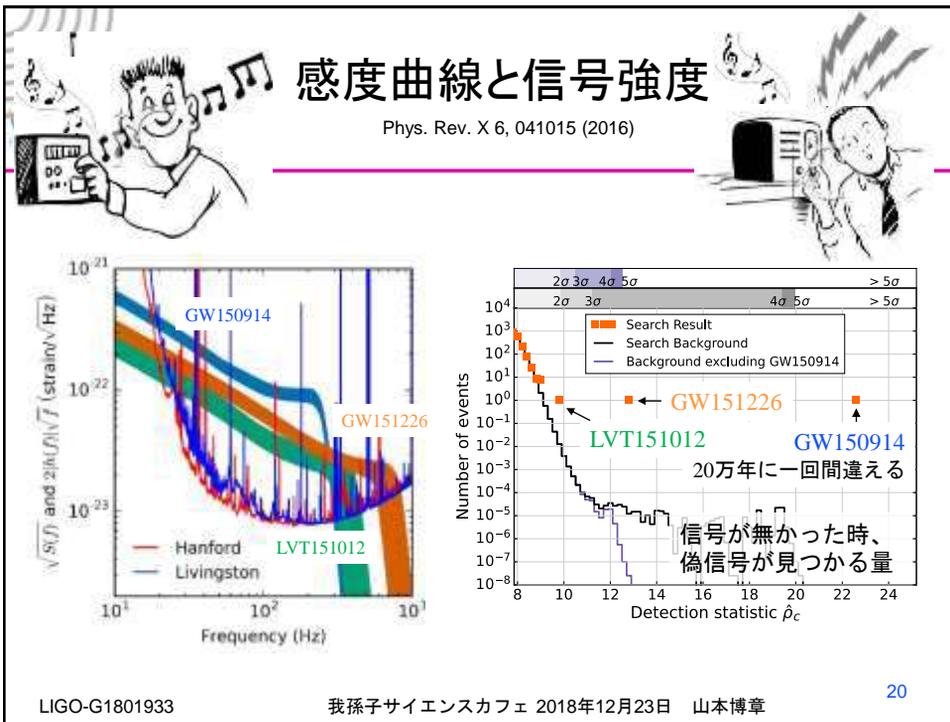
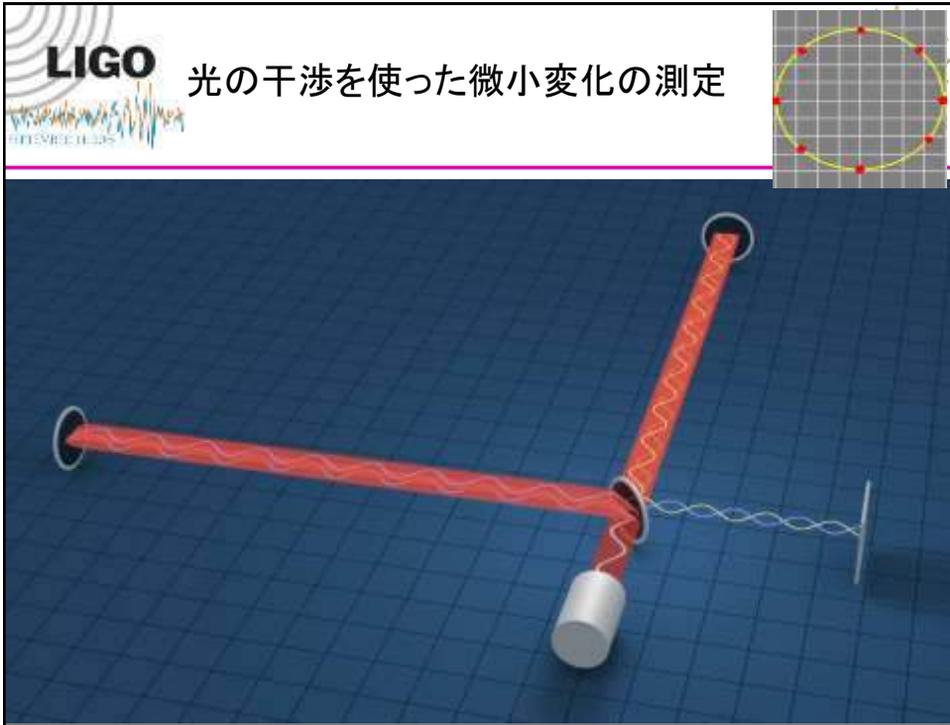


Masses in the Stellar Graveyard
in Solar Masses.

LIGO-Virgo Black Holes

EM Black Holes

LIGO

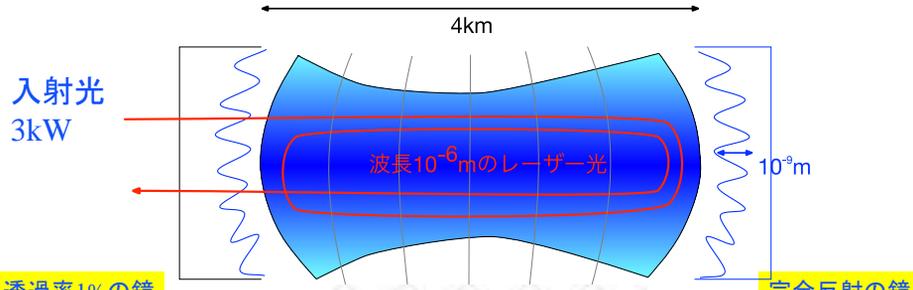




雑音が無い時の 腕の長さの測定精度



4km x 300回往復 ~ 実効長1200km
 光速 / 腕の長さ = $3 \times 10^8 \text{m} / 12 \times 10^5 \text{m} \sim 250 \text{Hz}$



入射光
3kW

透過率1%の鏡

完全反射の鏡

腕の中に1MWのレーザー光 = 10^{25} 個の光子
 光子1個が測れる長さの精度 $\sim 10^{-6} \text{m} / 300$
 多数の光子を合わせて $\sim 1/\sqrt{\text{光子の数}}$ $\Rightarrow 10^{-20} \text{m}$

LIGO-G1801933

我孫子サイエンスカフェ 2018年12月23日 山本博章

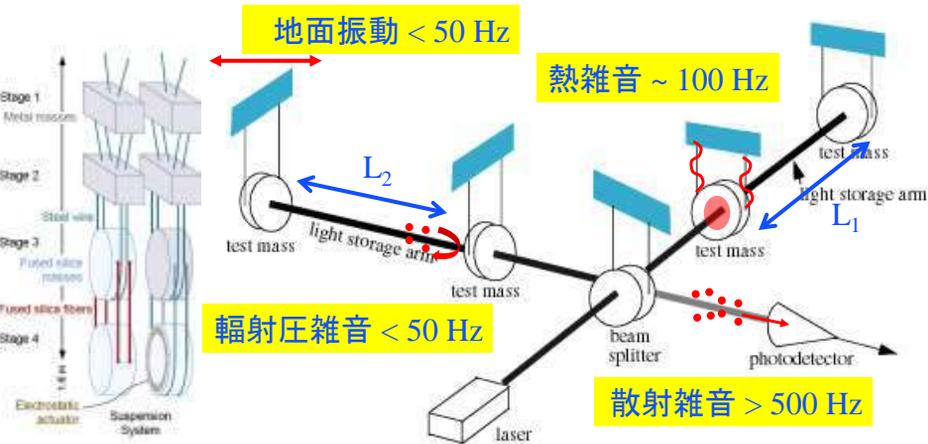
21



重力波干渉計の雑音

二つの腕の長さの差の厳密測定を妨げる要因





LIGO-G1801933

我孫子サイエンスカフェ 2018年12月23日 山本博章



重力波観測への道






2017 Nobel Prize in Physics

- Ⅰ 情熱を持った人達
 - » 一般相対論の意味を探った人達
 - » 重力波を見つける実験手法を追い求めた人達
 - » 高エネルギーで培った大型実験の手法を重力波観測実験で生かした人達
- Ⅰ NSF(日本の文科省)の長年に亘る財政面の援助
 - » 1970年代から連続した援助
 - » 1990年に入っての大型援助の決断(合計1300億円)
- Ⅰ 時間をかけての準備
 - » 黎明期(1970年~)、第一期(開発、1994年~2008年)から第二期(観測、2001年~)へ
 - » 注意深い技術開発と選択
 - » 第一期での失敗や経験を第二期で生かす事が出来た
- Ⅰ 情熱と努力へのご褒美のグッドラック

LIGO-G1801933
我孫子サイエンスカフェ 2018年12月23日 山本博章



重力波観測国際ネットワーク



S. Katsanevas, August 30, 2018 '夜明けへの会議 第四回'



LIGO Scientific Collaboration

- 共同研究者 1263人
- 20か国
- 総費用 ~1.5G\$ (~1800億円)

Virgo Collaboration

- 共同研究者 343人
- 6か国
- 総費用 ~0.42G€ (~600億円)

KAGRA Collaboration

- 共同研究者 260人
- 14か国
- 建設費 ~164億円

- 保守的な設計
- 稼働する事を重視
- 地表で常温

- 次の世代に向けての設計
- 地下で低温⇒雑音の低減

LIGO-G1801933
フェ 2018年12月23日 山本博章

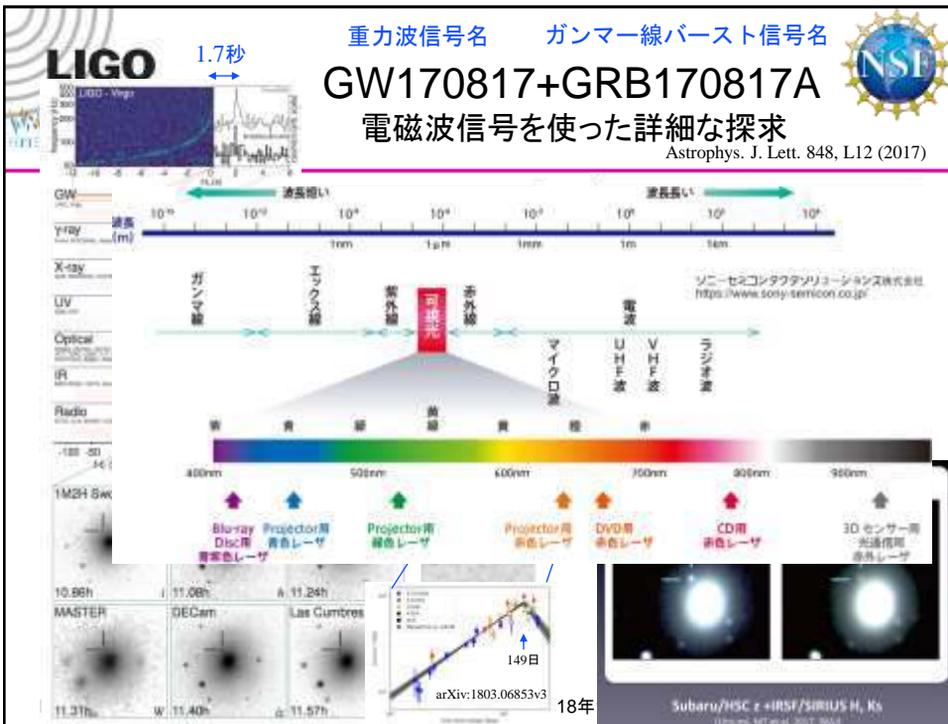
2017年8月17日に始まった連星中性子星合体の観測と、新たな天文学の夜明け

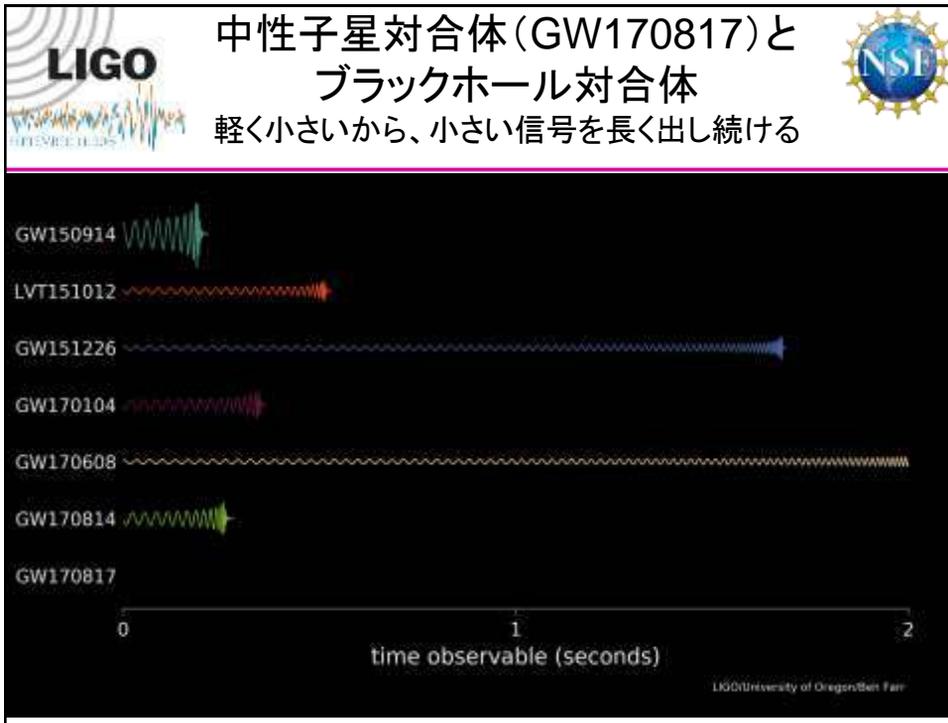
NHK 2018年6月7日
 コズミック フロント☆NEXT
 「重力波 天文学を変えた奇跡の2週間」



LIGO-G1801933

我孫子サイエンスカフェ 2018年12月23日 山本博卓





2017年8月17日に観測された
連星中性子星合体で放出された
重力波と電磁波信号

- | 連星中性子星合体の初観測
 - » $(1.36\sim 2.26)M_{\odot} + (0.86\sim 1.36)M_{\odot} \rightarrow \square (2.73\sim 3.29)M_{\odot}$
 - » 40Mpc ~ 1.3億光年
- | 重力波を起点とするマルチメッセンジャー天文学の始まり
- | 連星中性子星合体とショートガンマ線バーストの関連
- | 鉄より重い重元素合成を起こすr過程とそれに伴う合成された元素の放射性崩壊熱による電磁波放射(キロノバ)の観測
- | 今までとは独立なハッブル定数の測定:
- | 一般相対性理論の検証
 - » 重力波信号が、理論予言と1000サイクル以上で一致
 - » 重力波の速度と光の速度が 10^{-15} の精度で一致
 - » 等

LIGO-G1801933 我孫子サイエンスカフェ 2018年12月23日 山本博章

28



始めての中性子星合体からの重力波

2017年8月17日

マルチメッセンジャー天文学の夜明け



1 | **マルチメッセンジャー天文学とは: 電波、重力波、荷電粒子、ニュートリノを使った天文現象の観測と解析**

- › 400年前にガリレオが望遠鏡を使って夜空を見て、光を使った天文学が始まった。

1 | **GW170817**

- › 中性子星合体からの重力波と電波
- › LIGO、Virgoは90以上のグループと覚え書きを交換して、この観測に備えた。

1 | **IceCube-170922A**

- › プレーザーからのニュートリノと電波





LIGO-G1801933



我孫子サイエンスカレッジ 2018年12月27日(木) 15:00



Tagoshi at JGRG27



- 東大宇宙線研を中心に、高工研、天文台等80余りの研究機関が参加
- 韓国台湾中国等、国際的プロジェクト
- 岐阜県飛騨市神岡鉱山(ニュートリノ測定器カミオカンデの側)
- 3キロの基線長の干渉計
- 地下に作る事と高い防振装置を採用する事で地面震動の影響を軽減
- 鏡を低温にする事で熱雑音を軽減
- 2019年末からLIGO、Virgoの重力波観測ネットワークに参加







おわりに

- 大勢の人達の100年にわたる努力で、やっと宇宙のさざなみを聞く事が出来ました。
- 地上の干渉計の改良と、新たな宇宙に浮かべる干渉計で、もっと面白い事探る事が出来ます。
- 400年前、ガリレオが開いた光を使った天文学に、今それに相当する様な大きなページが追加されました。今まで白黒画像で見ていた夜空を、総天然色で楽しむ事が出来るようになるでしょう。

