



# LCGTによる 重力波天文学の創成

物理学会北陸支部講演会  
@富山大学

平成24年1月19日

川村静児(東大宇宙線研)

イラスト:Sora

JGW-G1200795-v1

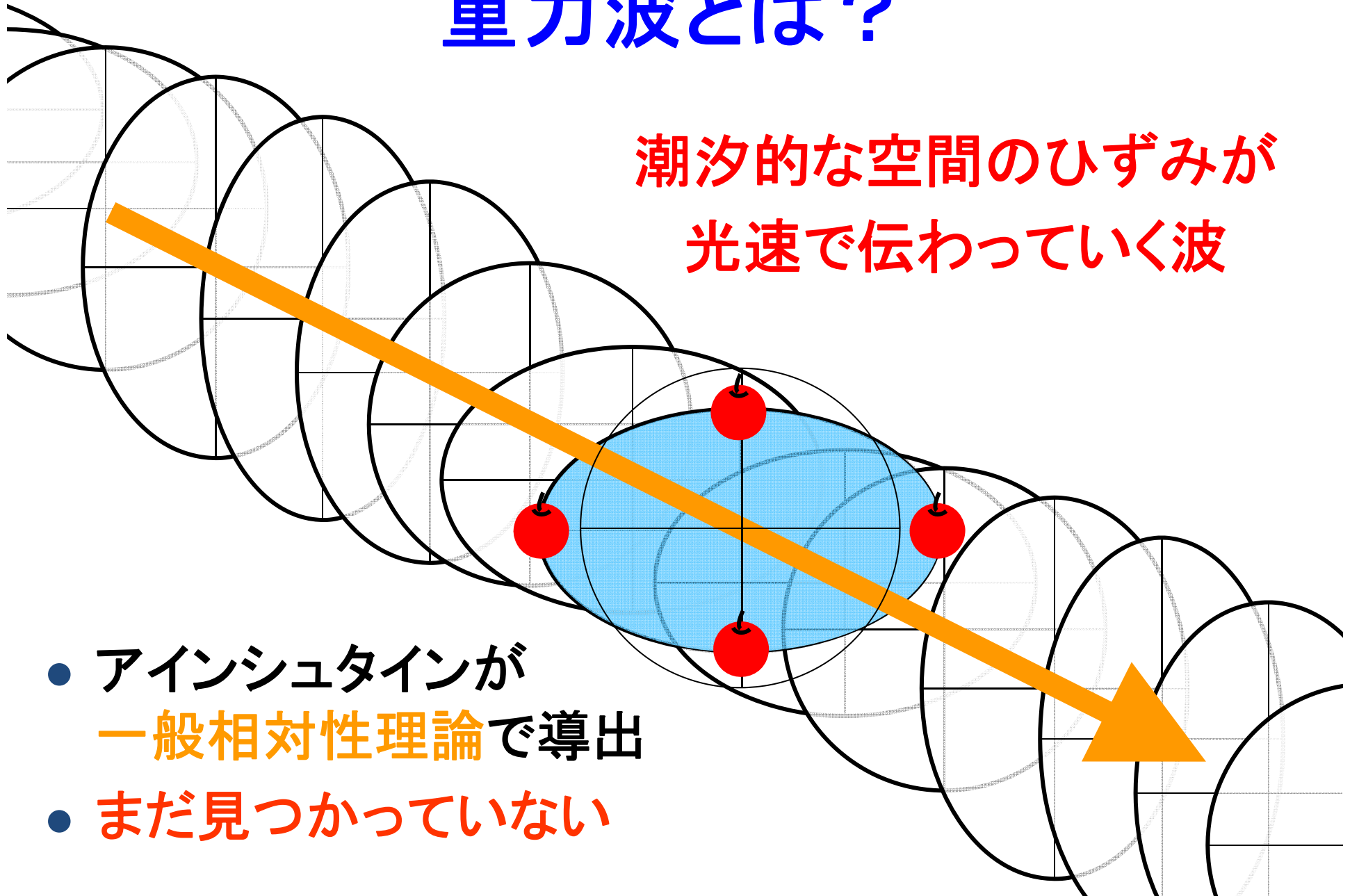
# 話の内容

1. 重力波とその検出
2. 第1世代検出器と得られたサイエンス
3. LCGT
  - ① 目指すサイエンス
  - ② 検出器について
  - ③ スケジュール・組織
4. まとめ

# 重力波とは？

潮汐的な空間のひずみが  
光速で伝わっていく波

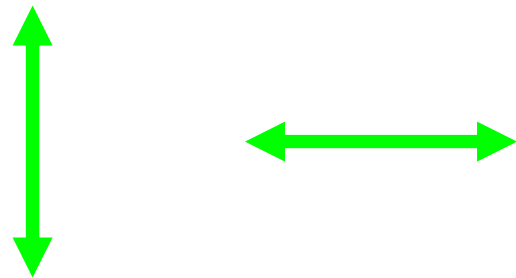
- アインシュタインが  
一般相対性理論で導出
- まだ見つかっていない



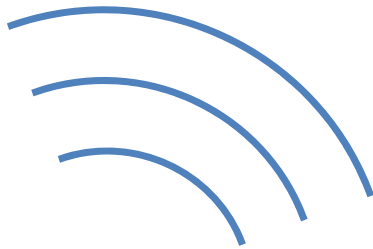
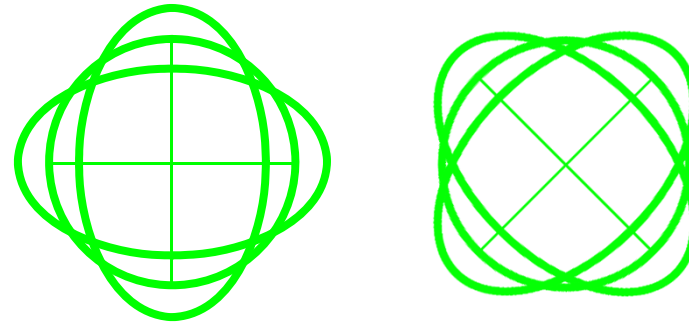
# 重力波と電磁波の違い

電磁波(ベクトル)

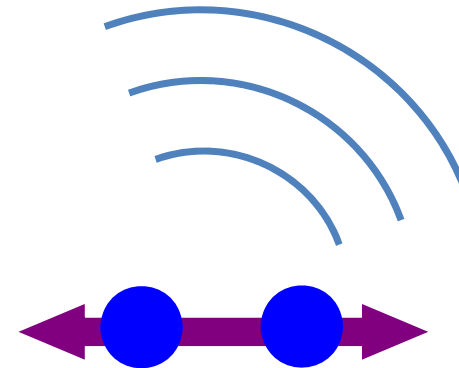
重力波(テンソル)



偏光



電荷(双極子放射)



質量(四重極子放射)

# 重力波は存在する！

- テイラー、ハルスの連星パルサー (PSR1913+16) の観測
- 重力波を放出してエネルギーを失い、軌道周期が変化
- 1993年ノーベル賞

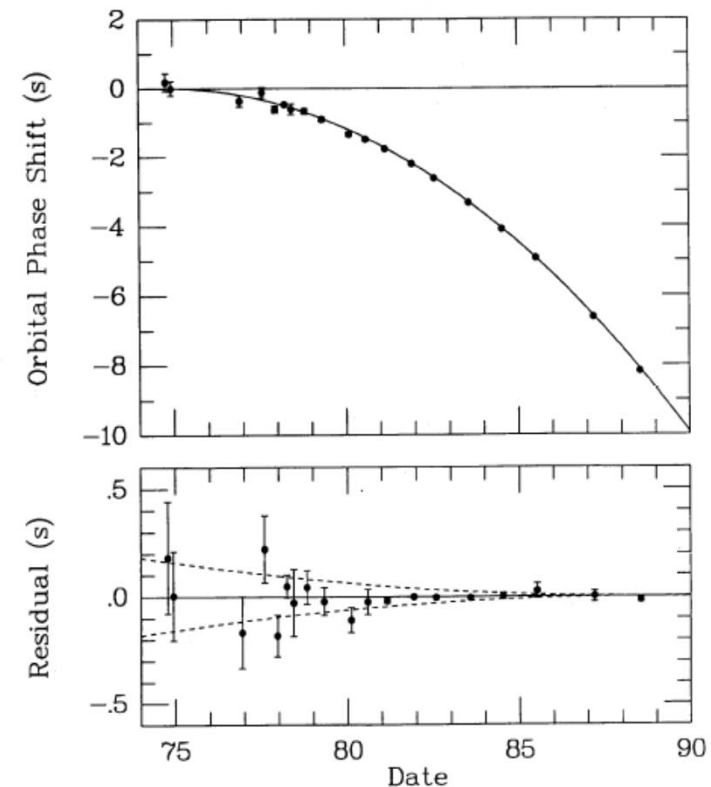


FIG. 5.—*Top*: Cumulative shift of the times of periastron passage relative to a nondissipative model in which the orbital period remains fixed at its 1974.78 value. *Bottom*: Differences between the locally measured periastron times and those expected according to the DD(1) parameter set. Dashed curves illustrate differential trends that would be expected (relative to epoch 1988.54) if the rate of orbital decay  $\dot{P}_b$  were 2% larger or 2% smaller.

Taylor et al., ApJ.345(1989) p435

# 重力波を出す天体現象

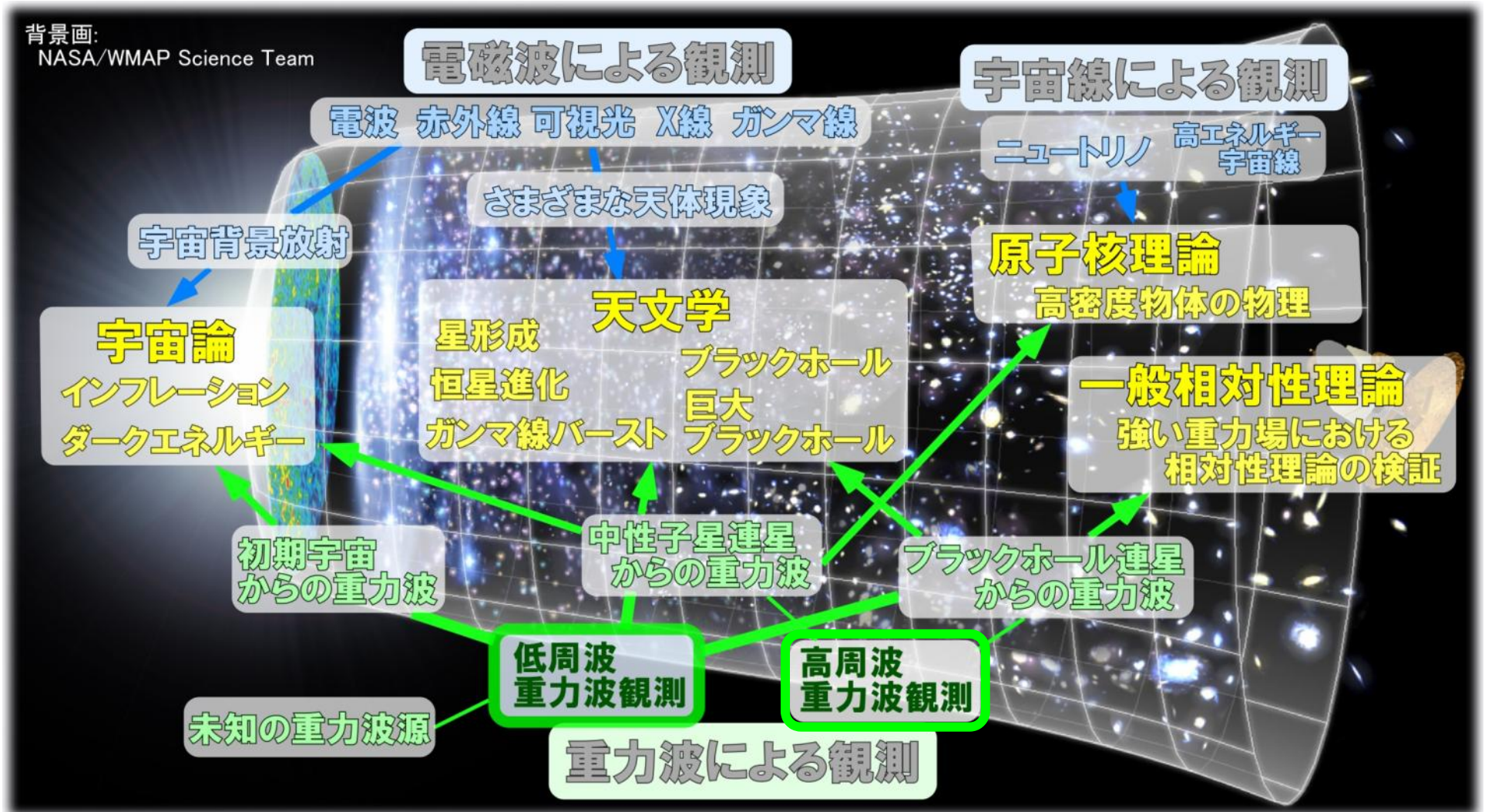
- 中性子星やブラックホールの連星運動とその合体
- 超新星爆発
- パルサー
- 宇宙初期
- 未知なる天体



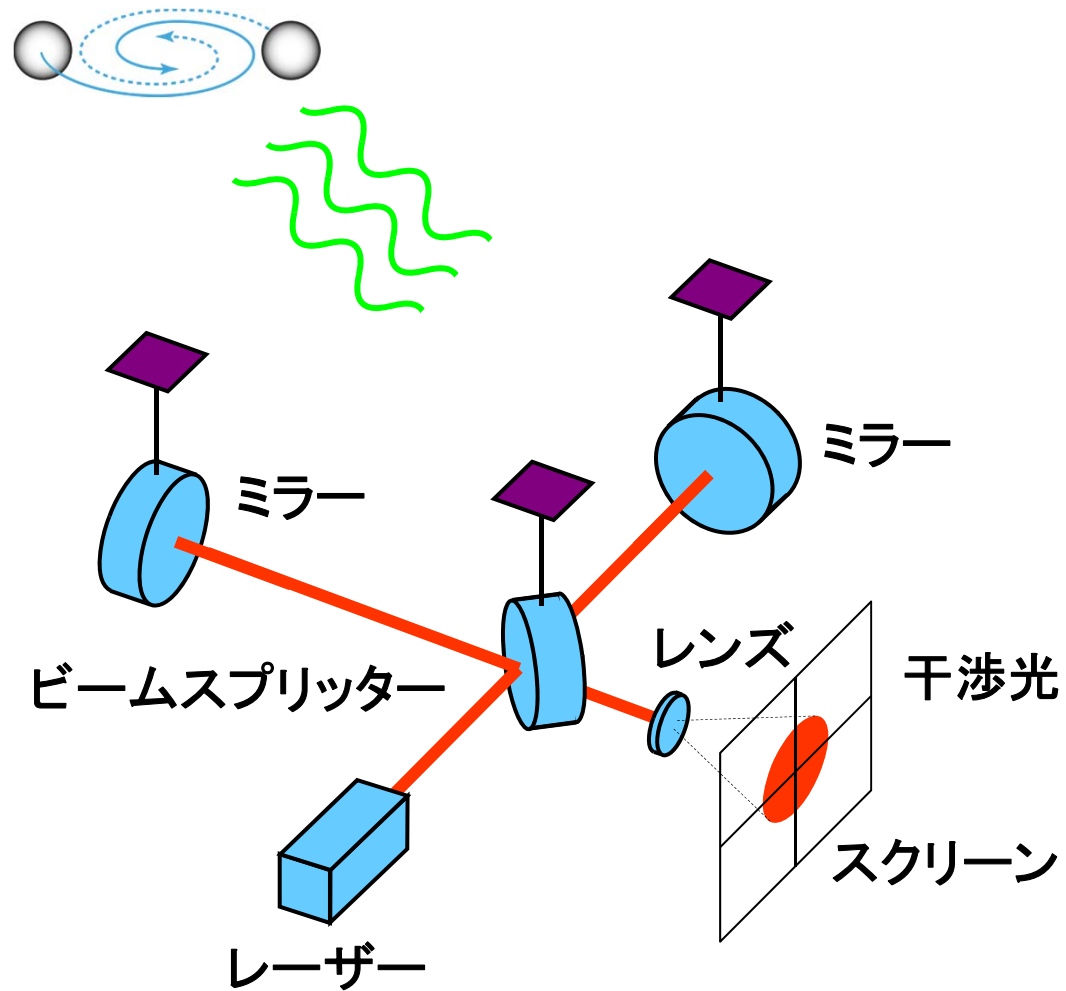
重力波天文学

# 重力波天文学

(電磁波・宇宙線による観測との相補・融合)

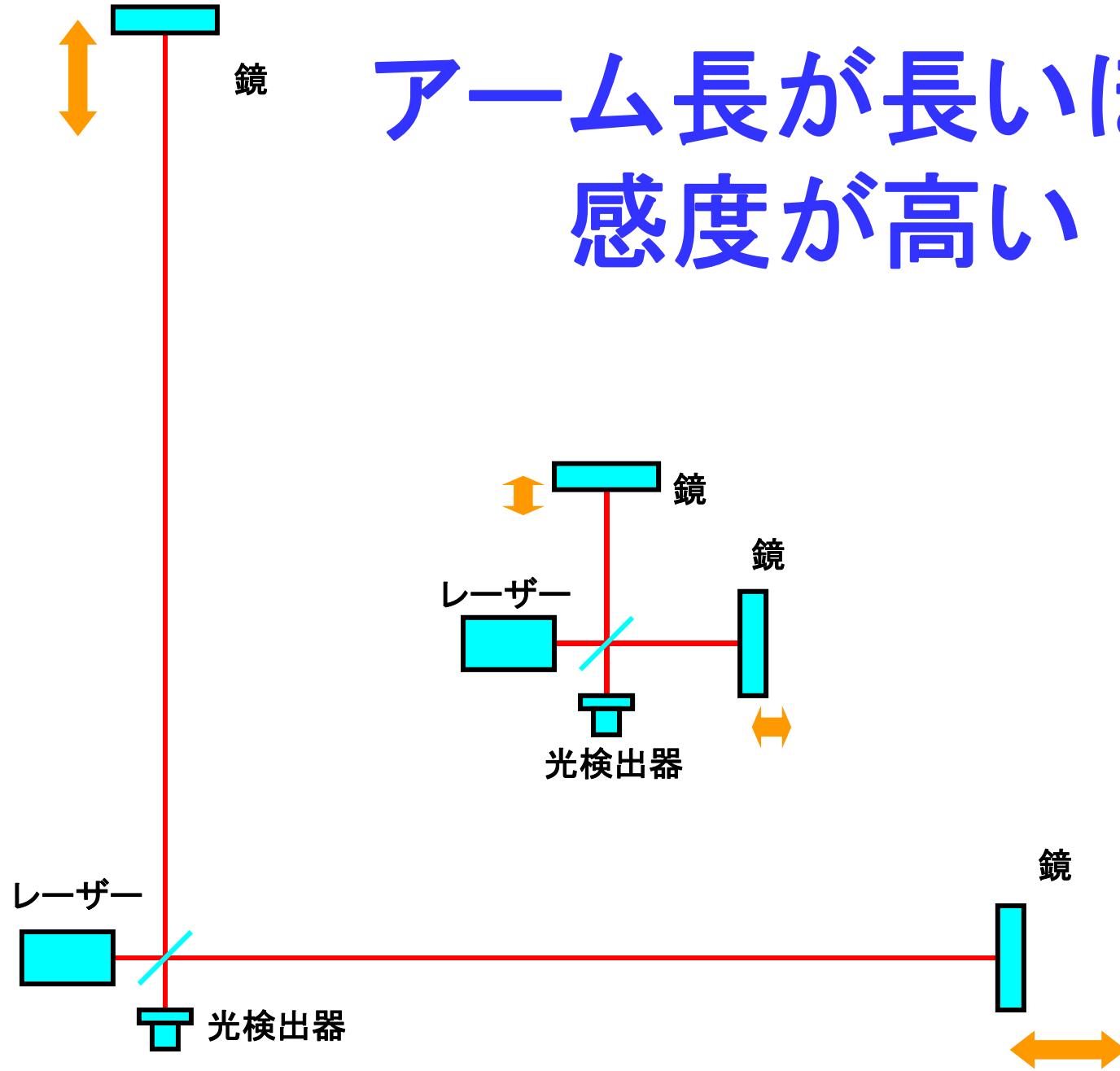


# レーザー干渉計による 重力波検出



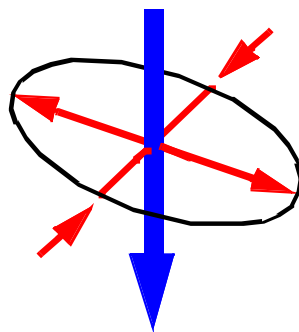


アーム長が長いほど  
感度が高い

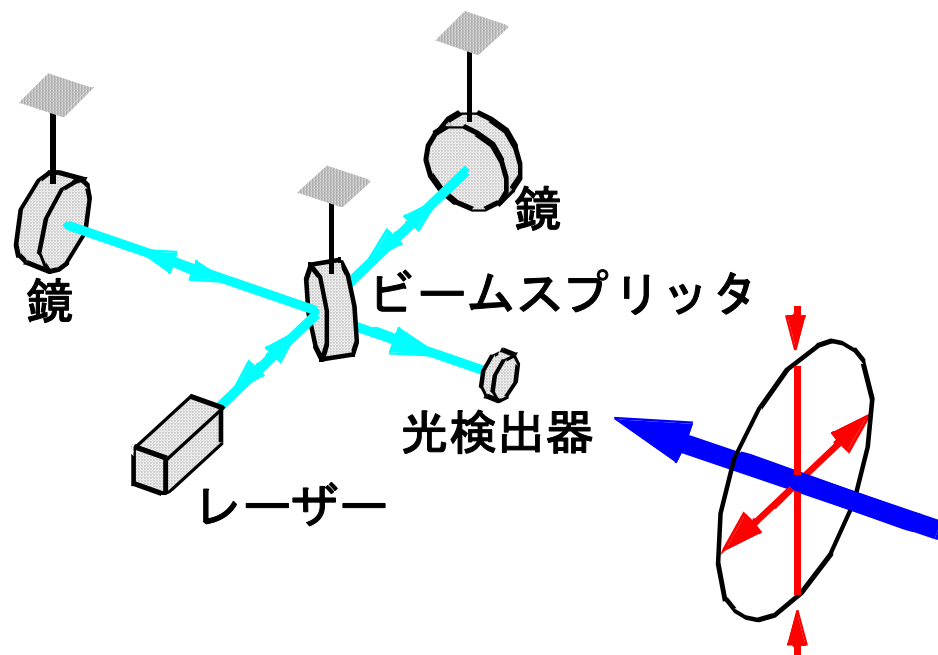
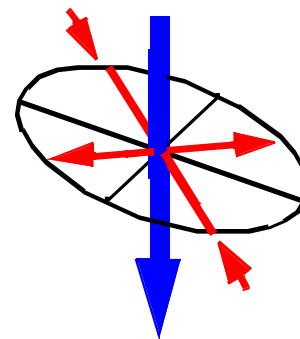


# 干渉計の指向性

応答:最高



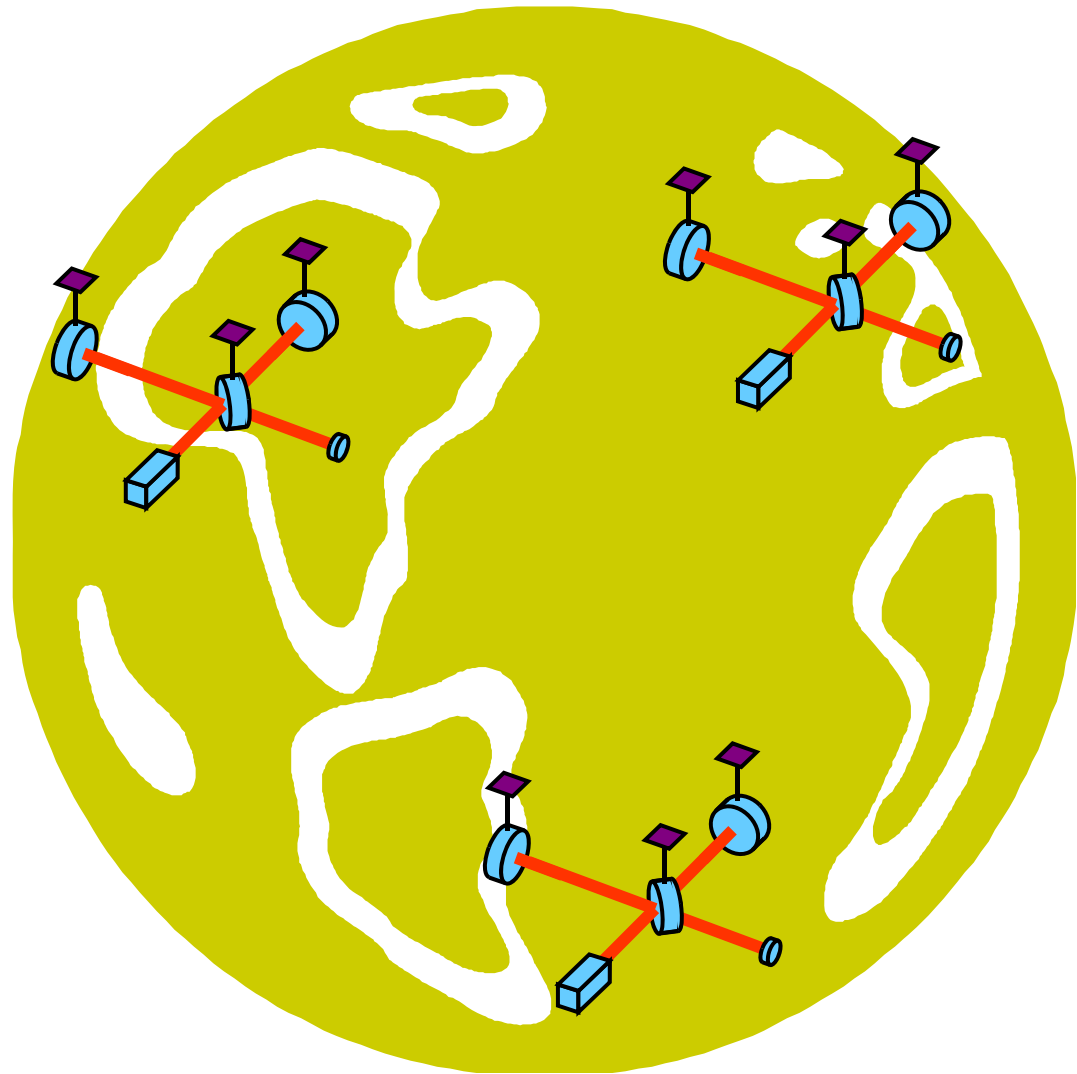
応答:ゼロ



応答:最高の半分

重力波の方向や偏極によって応答が違う


# 重力波源の方向は？



3台あれば  
時間差から  
方向が分かる！

# 世界の第1世代検出器





西エンド

目的:

1. LCGTのためのプロトタイプ
2. 可能なら重力波検出

南エンド

アーム長: 300 m

中央実験室

**TAMA300**

# TAMA300

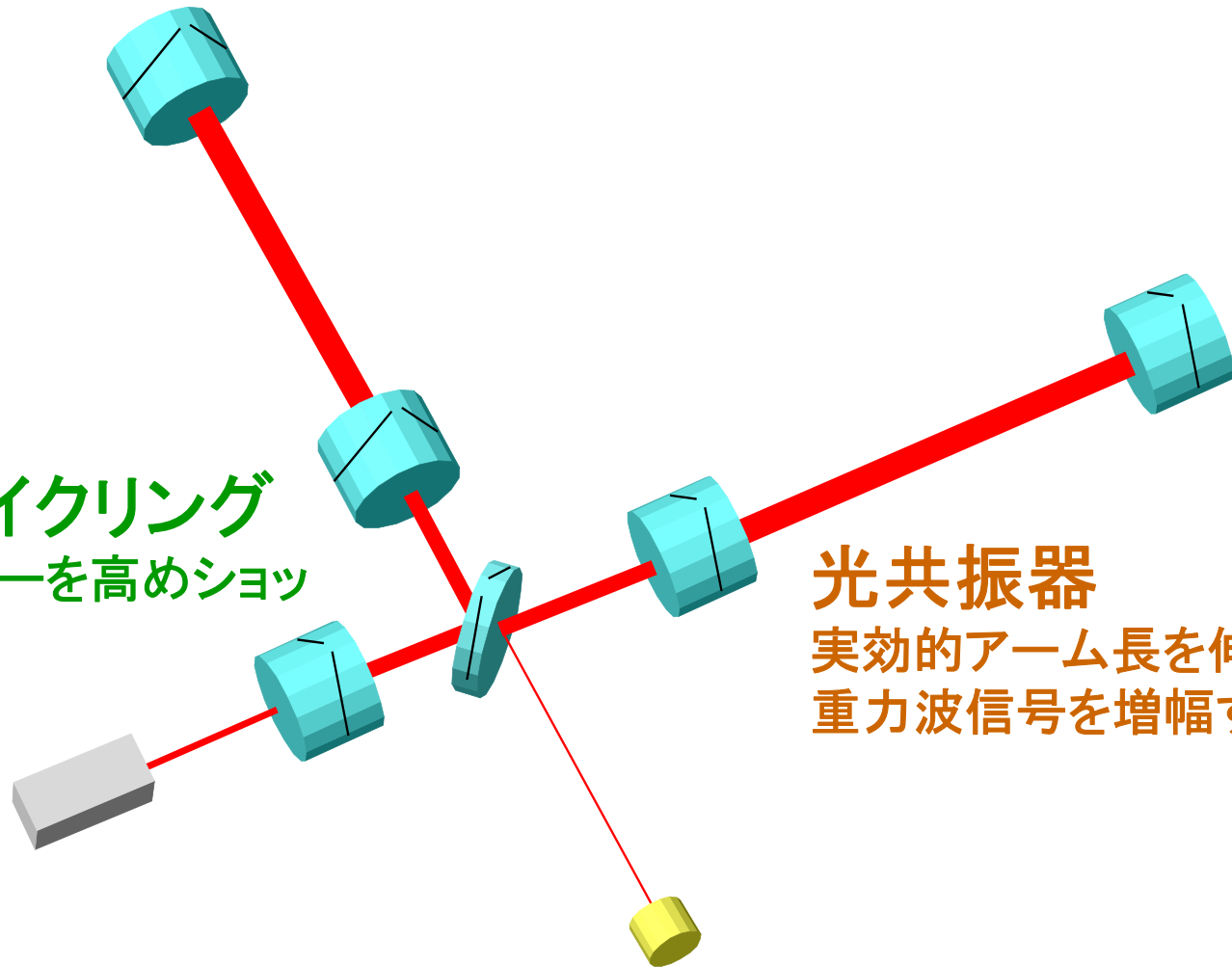
2000年**世界最高感度**達成！  
2年間トップ  
世界最長観測(1,000時間)

現在の感度： $10^{-20}$

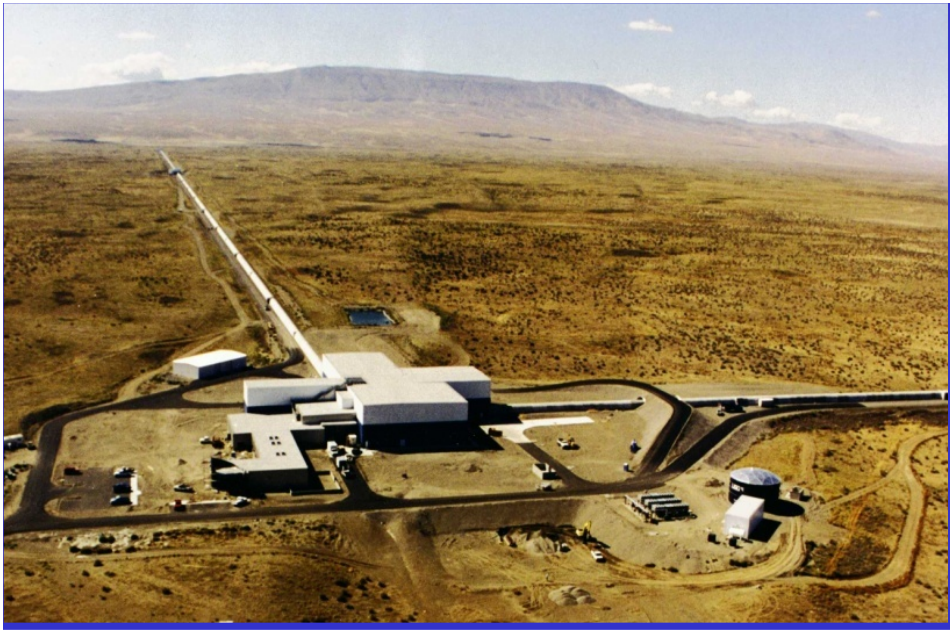
23万光年かなたの中性子星連星の合体  
からの重力波が検出可能

# TAMA300の基本構成

**パワーリサイクリング**  
光の実効的パワーを高めショットノイズを下げる



**光共振器**  
実効的アーム長を伸ばし、重力波信号を増幅する



# LIGO

アーム長: 4 km & 2 km

Hanford, Washington

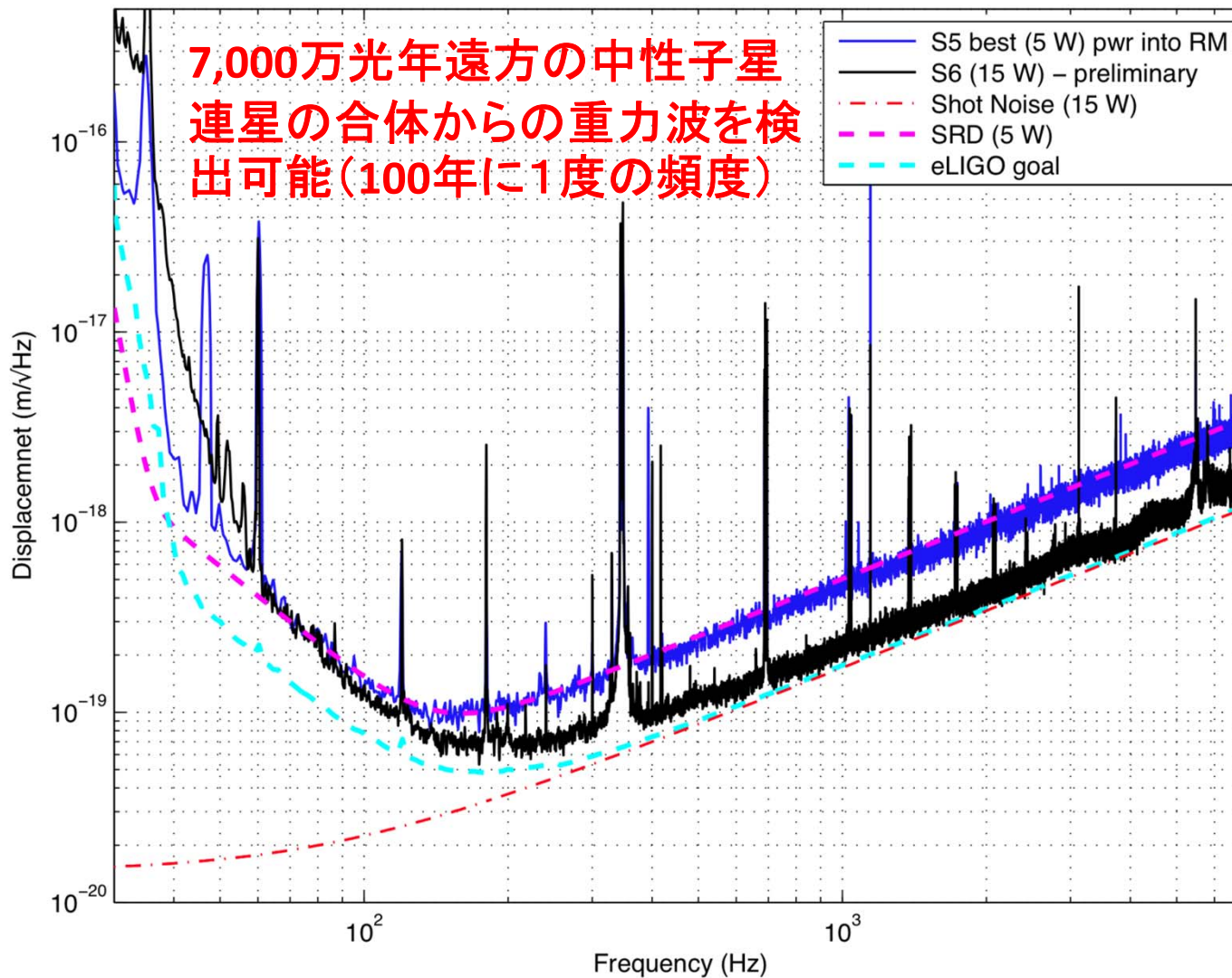
アーム長: 4 km





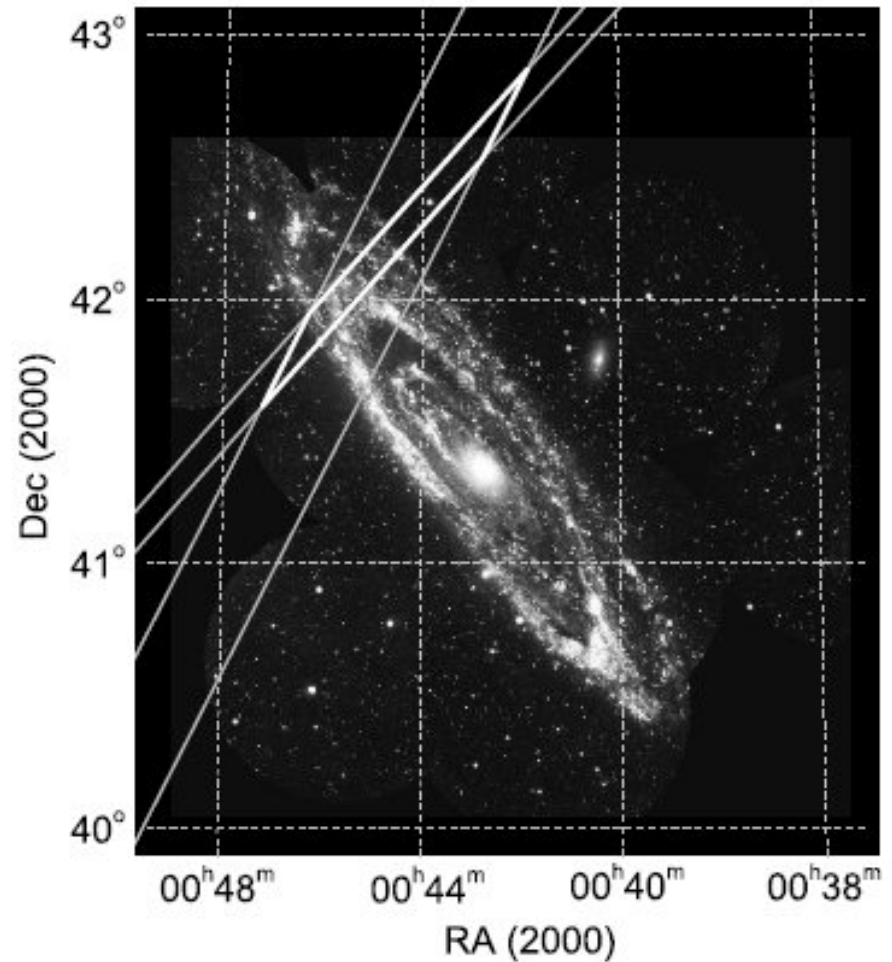
# LIGOの感度

H1 DARM Noise. SensMon 21.5 Mpc. GPS 957935880.



# GRB 070201

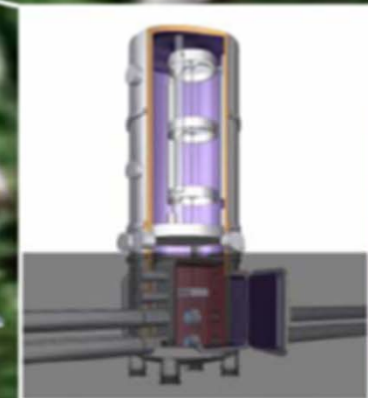
- GRB 070201
  - Short GRB
  - M31の腕を含む方向から到来
- 重力波検出されず
  - LIGO H1のデータ解析 (180 s)
- M31におけるNS-NS、NS-BHの合体ではない
  - $m_1:1M_s-3M_s$ ,  $m_2:1M_s-40M_s$



Abbott et al., *Astrophys. J.* **681** (2008) p.1419-1430

# LCGT

(Large-scale Cryogenic Gravitational wave Telescope)



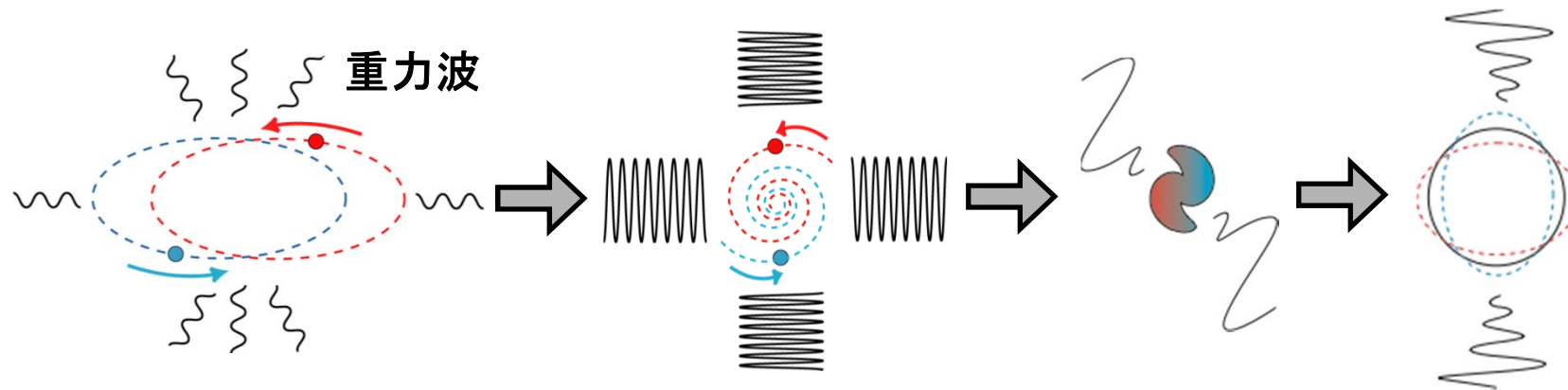
# LCGT

目的: 重力波を初検出し重力波天文学を創成する

予算: 平成22年、文部科学省の「最先端研究基盤事業」による補助対象事業の1つに選ばれた

スコープ: 神岡の地下にアーム長3kmのレーザー干渉計型重力波検出器を建設

# 中性子星連星の合体

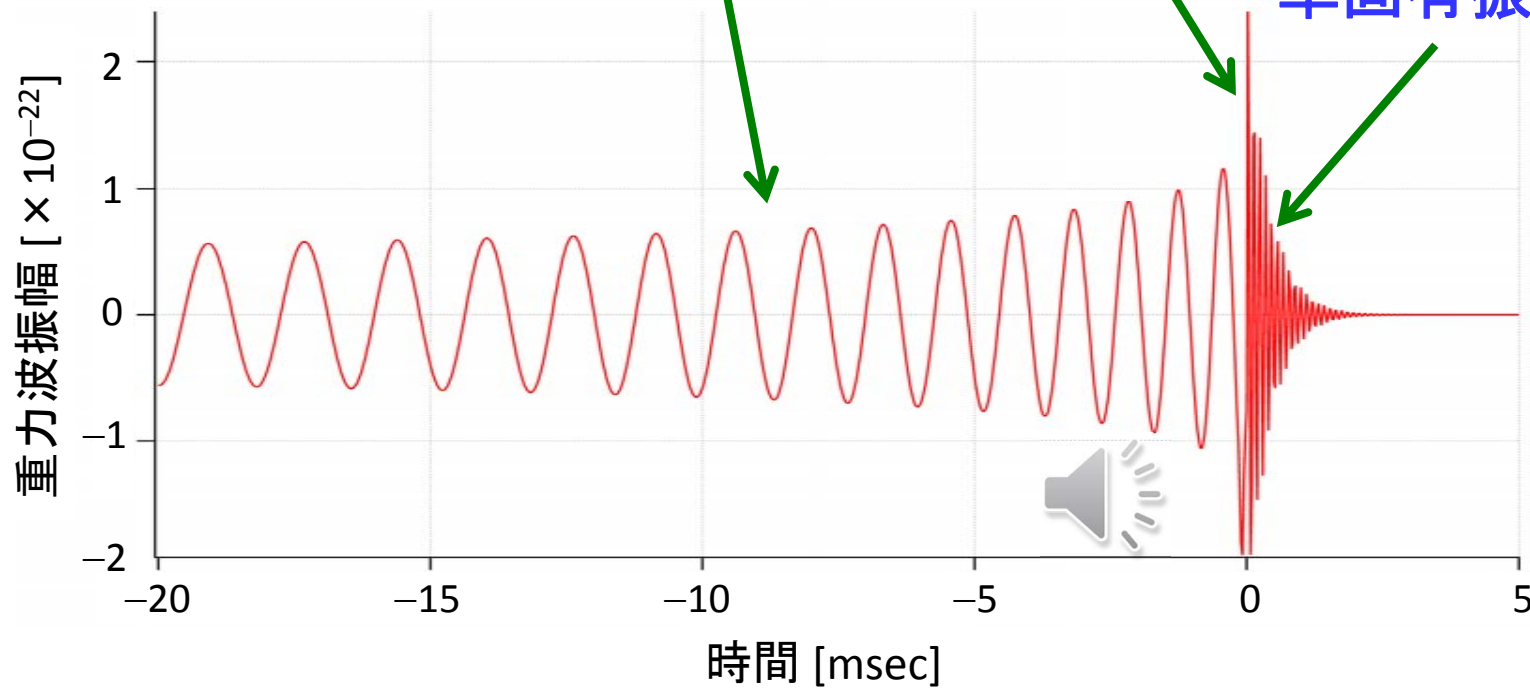


公転運動

インスパイラル

合体

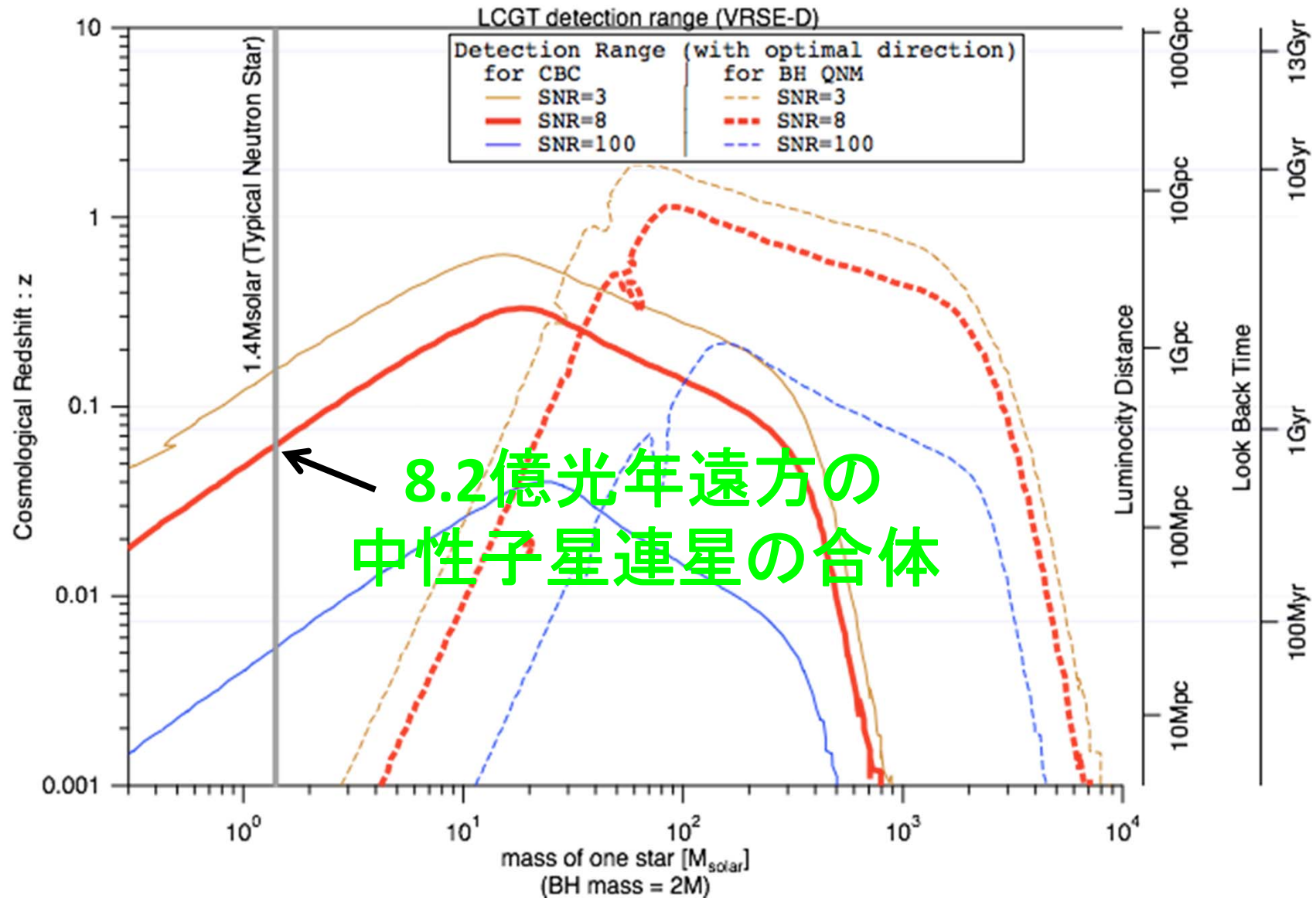
ブラックホールの  
準固有振動



# 中性子星連星からの 重力波検出の可能性

- どのくらい遠くまで見れるか？
- 合体はどのくらいの頻度で起こるか？

# 連星合体に対する感度



# 中性子星連星の合体の頻度

- これまでに見つかった中性子星連星とその予測寿命より推測

銀河系合体率:  $118_{-79}^{+174} \text{ Myr}^{-1}$  (Kim ('08), Lorimer ('08))

名前	パルス周期(ms)	公転周期(hr)	離心率	寿命(Gyr)
B1913+16 <sup>a</sup>	59.03	7.75	0.617	0.37
B1534+12 <sup>a</sup>	37.90	10.10	0.274	2.93
J0737-3039A <sup>a</sup>	22.70	2.45	0.088	0.23
J1756-2251 <sup>a</sup>	28.46	7.67	0.181	2.03
J1906+0746 <sup>b</sup>	144.14	3.98	0.085	0.082
J2127+11C <sup>bcd</sup>	32.76	8.047	0.681	0.32

両方パルサーとして観測

2006年に見つかったもの

(Lorimer, LRR, 11, (2008), 8)



# 中性子星連星からの 重力波検出の可能性

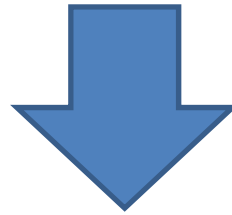
LCGTのイベントレート：

$$9.8^{+14}_{-6.6} \text{ yr}^{-1}$$

系統誤差は大きいですが、1年に1イベント以上はあると期待できる

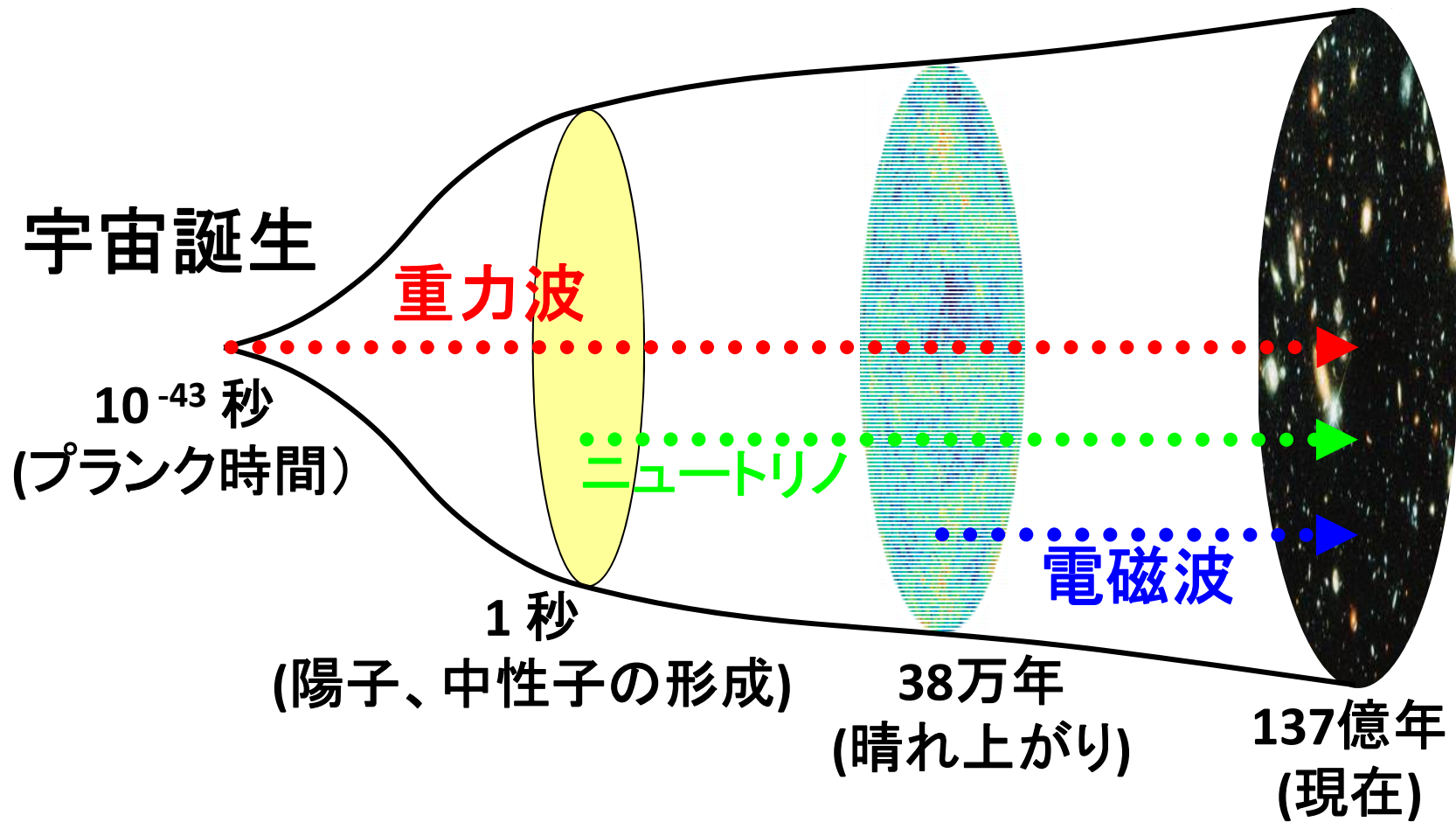
# ショートGRBの正体？

ショートGRBと重力波の同方向・同時観測



ショートGRB＝中性子星連星の合体

# 初期宇宙



# 初期宇宙

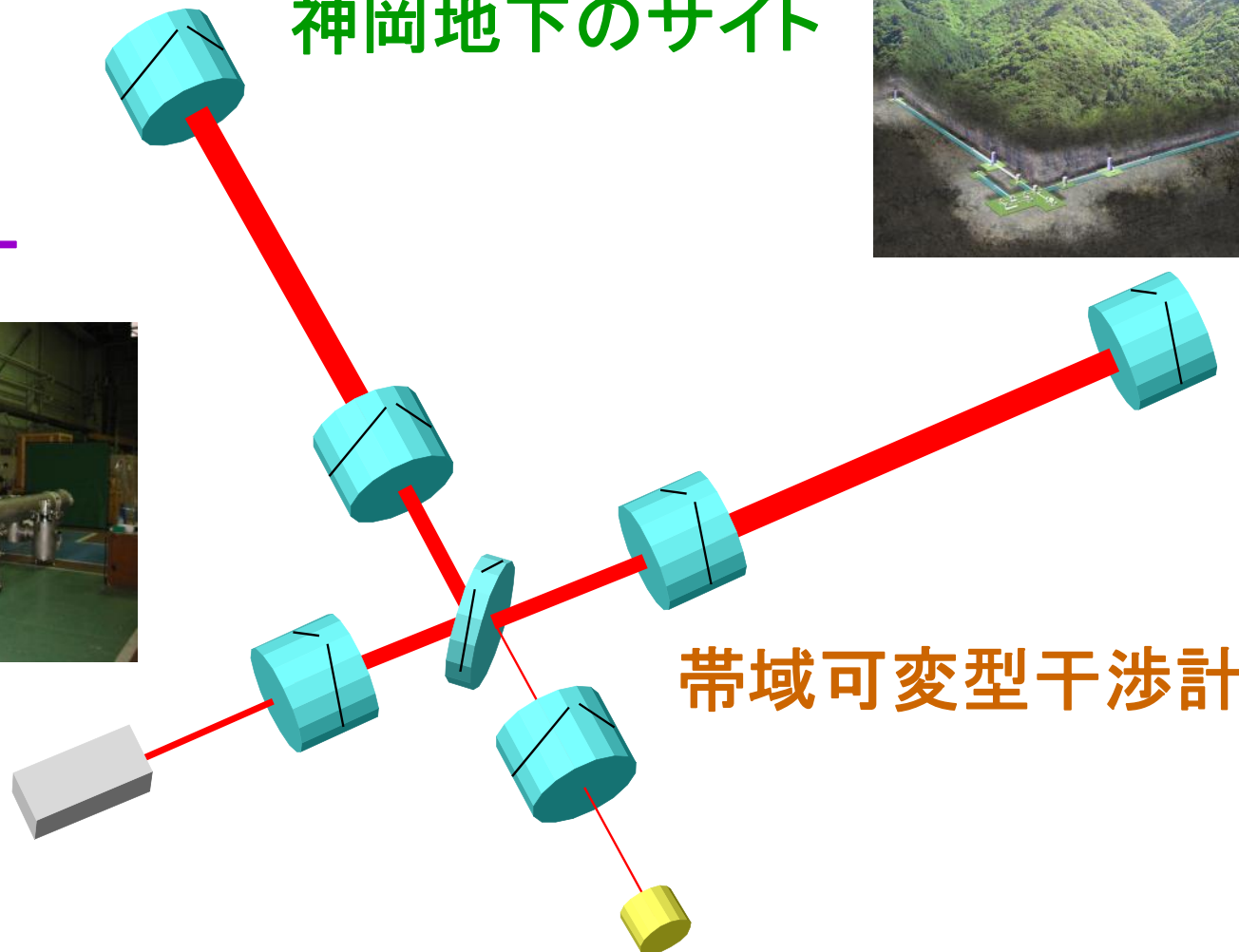
- 標準モデルで予測されるインフレーションから発生する重力波の検出は期待できない
- しかし、初期宇宙に起こった相転移や、その化石である位相的欠陥の運動に伴って生成した重力波など、思わぬ起源の重力波が検出される可能性はある

# LCGTの3つの特徴

神岡地下のサイト

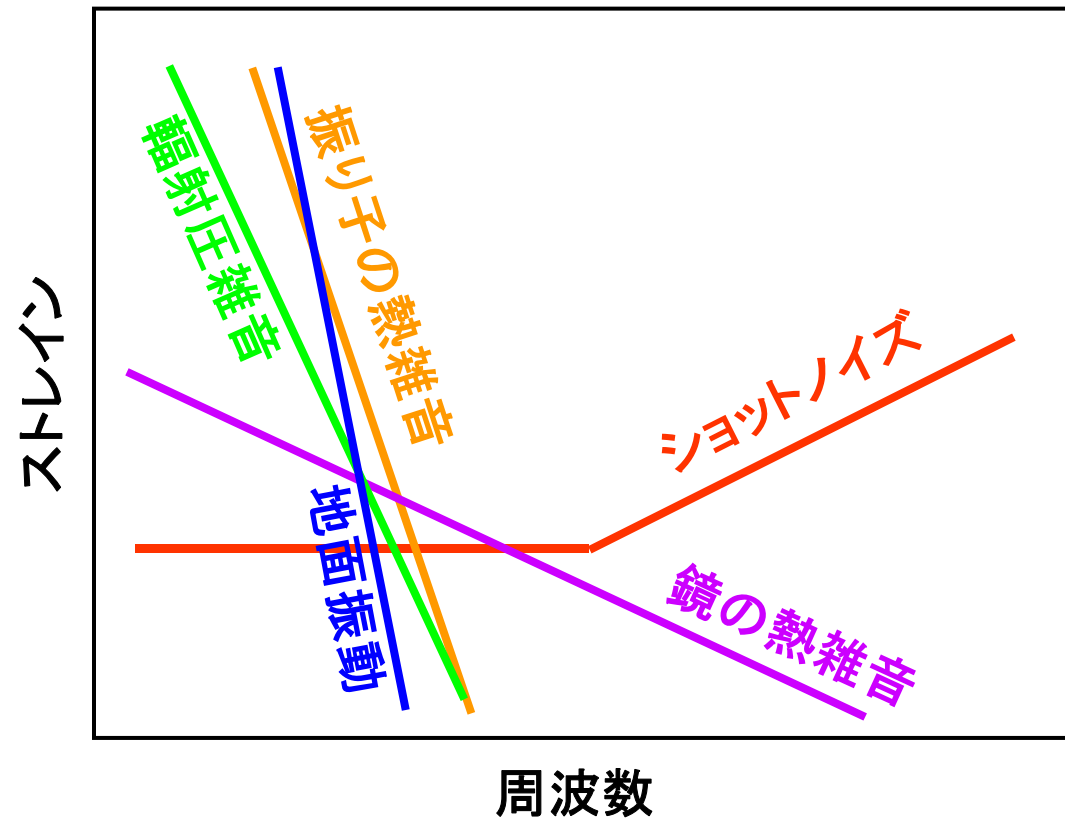


低温ミラー

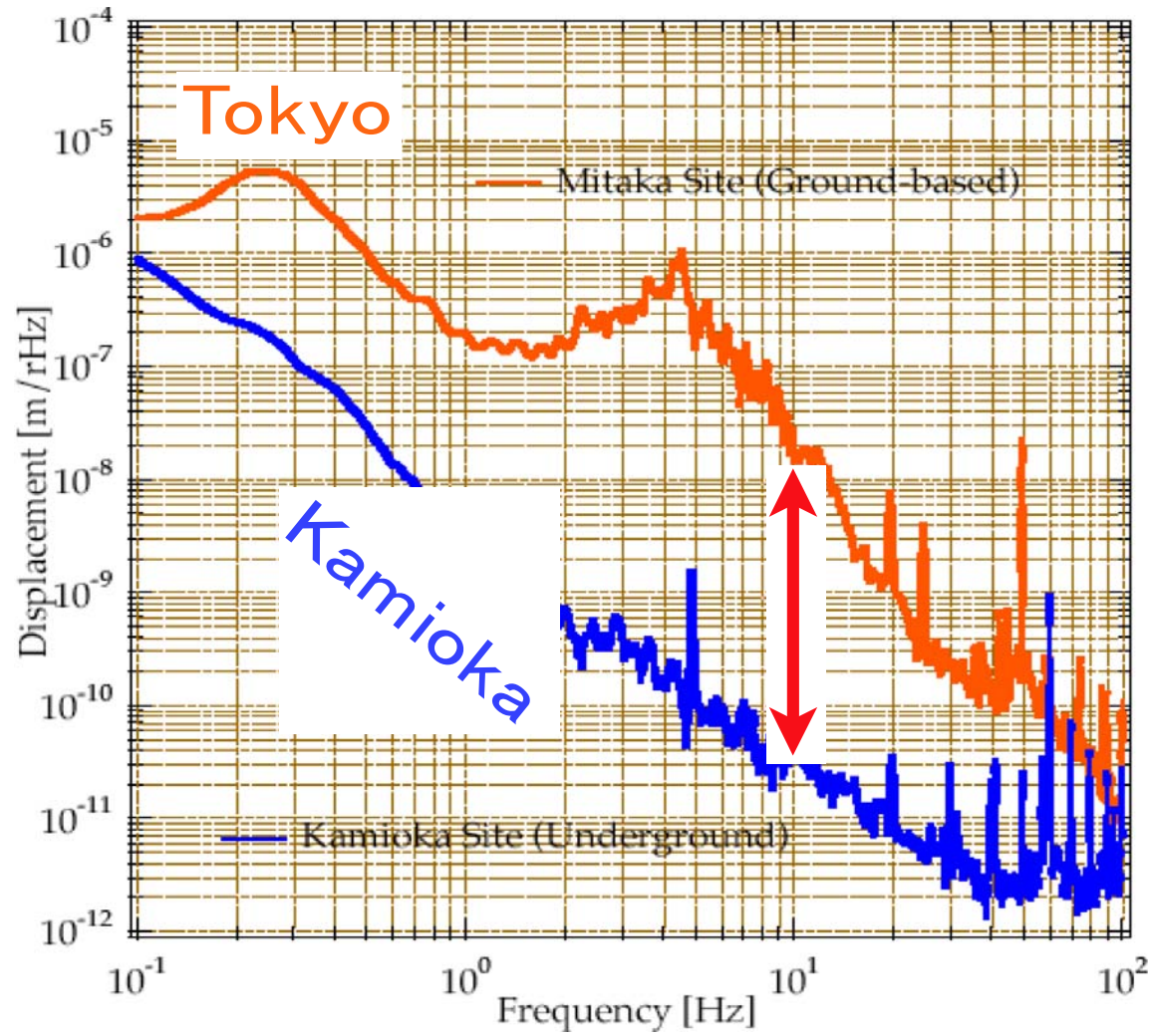


帯域可変型干渉計

# 干渉計の感度を決める雑音源

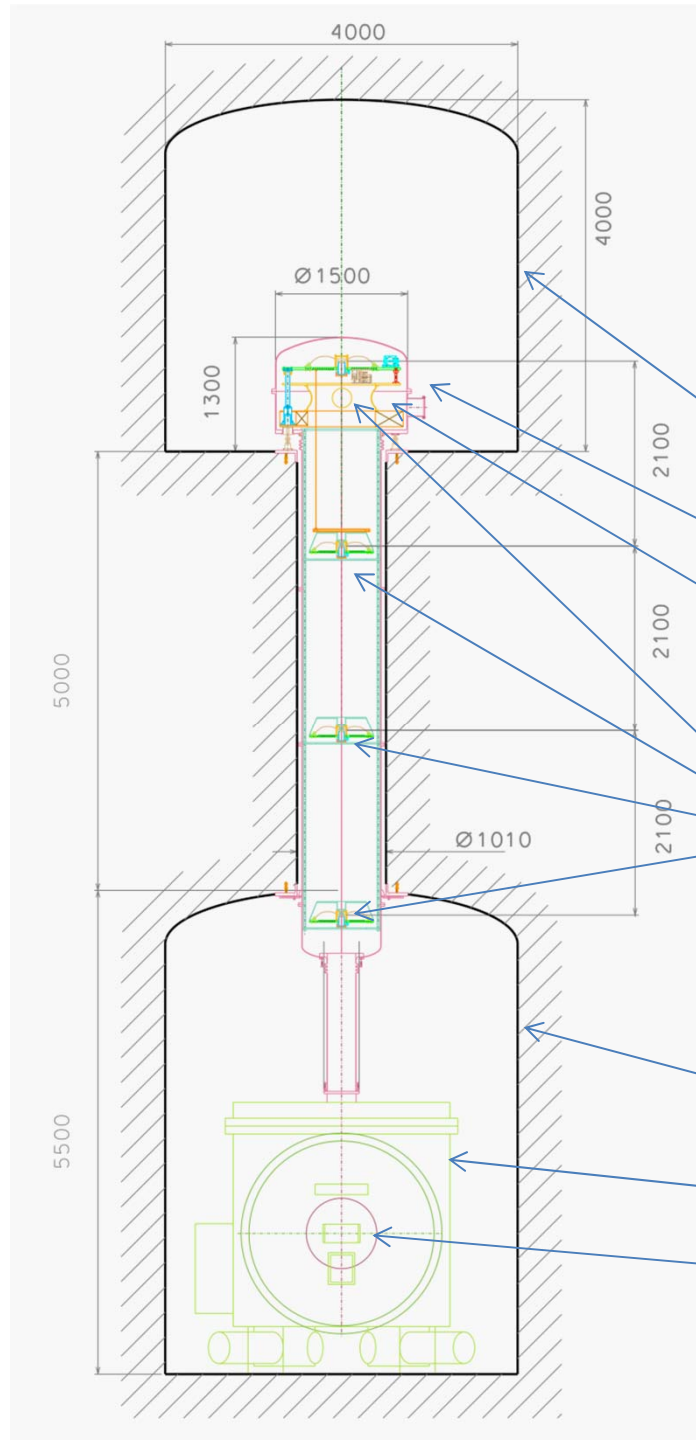


# 神岡地下と三鷹の地面振動



Amplitude of seismic motion

# 防振システム



トンネル (2階)

チェンバー

倒立振り子

GAS フィルター

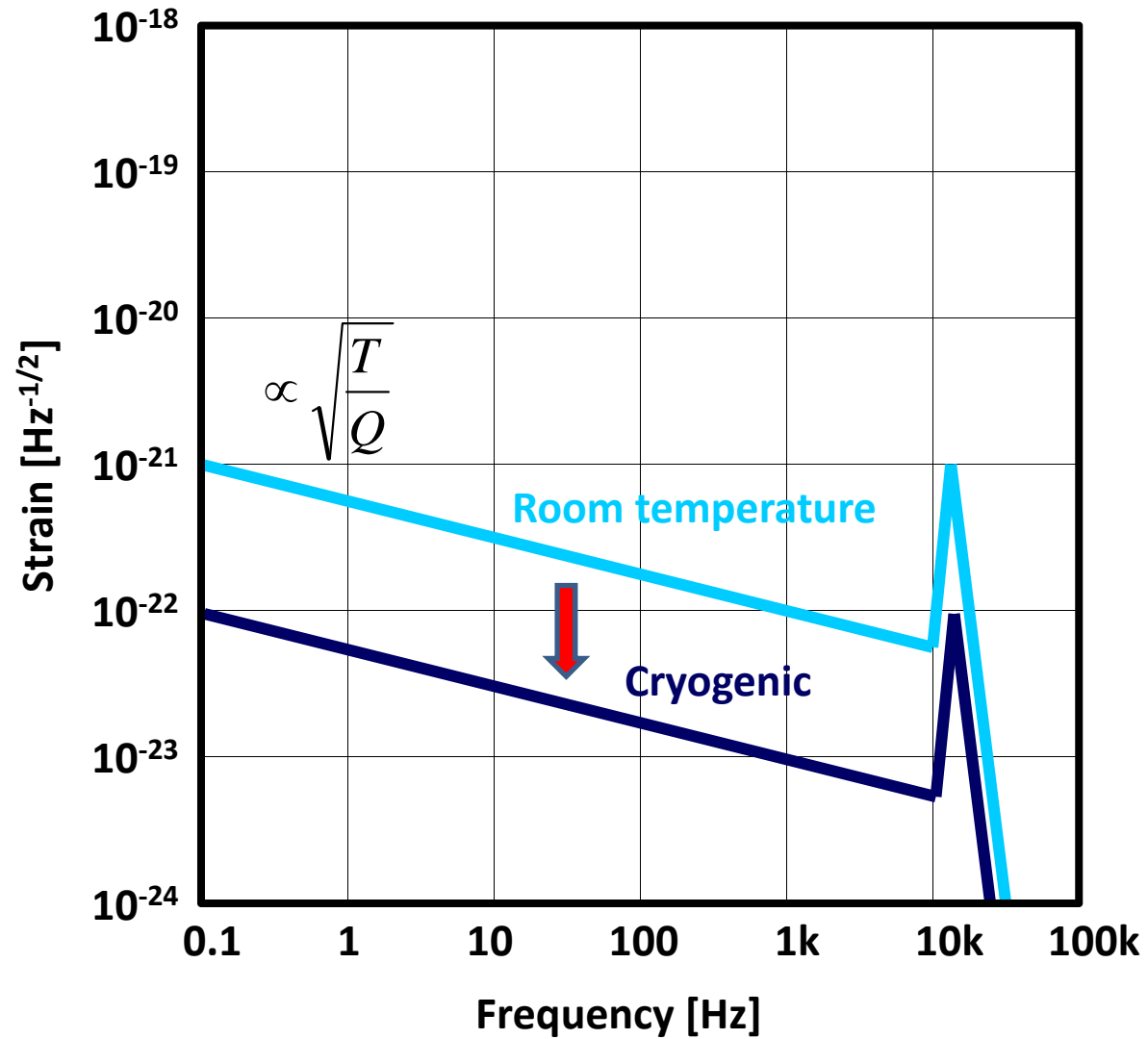
トンネル (1階)

チェンバー

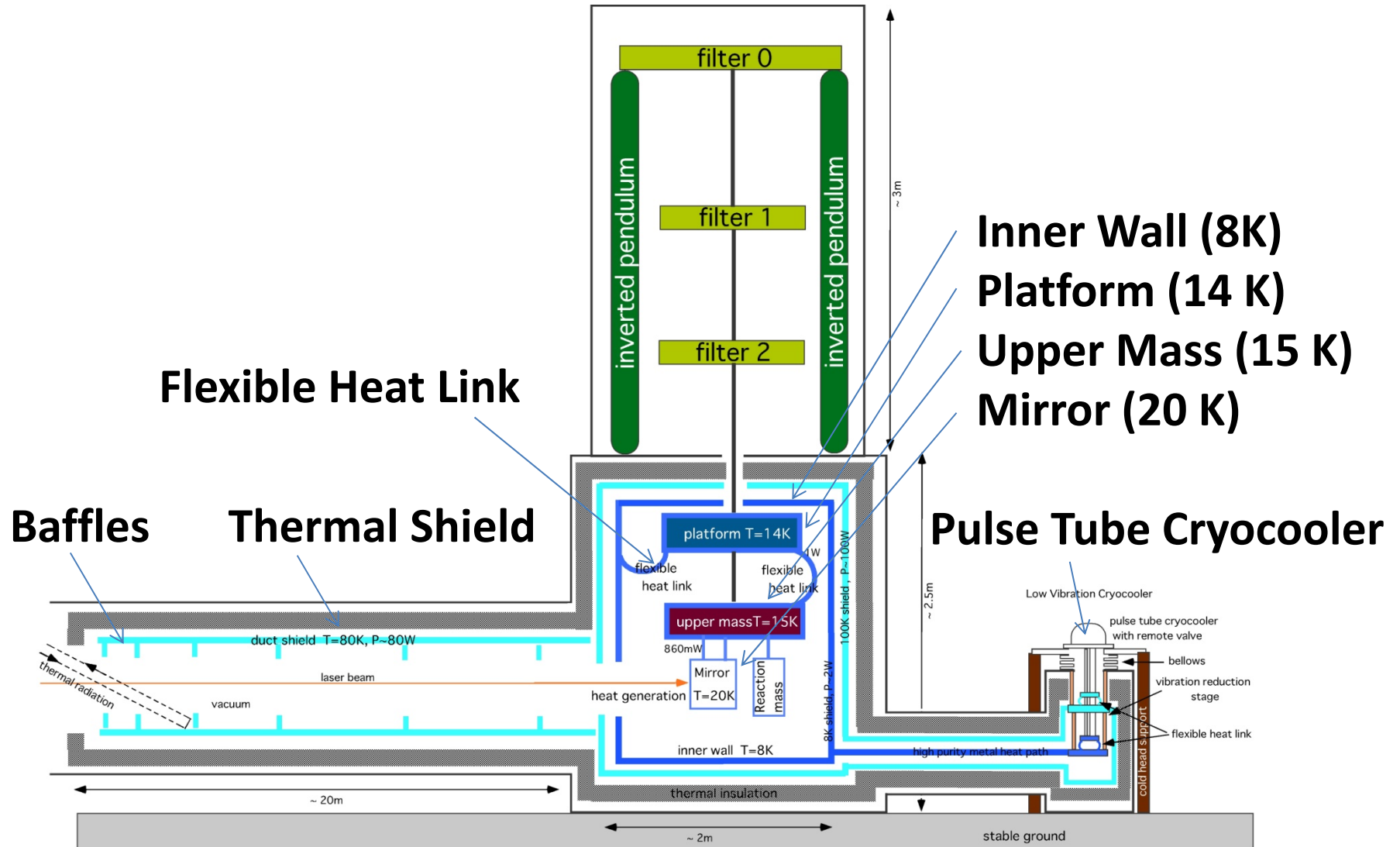
鏡



# 熱雑音

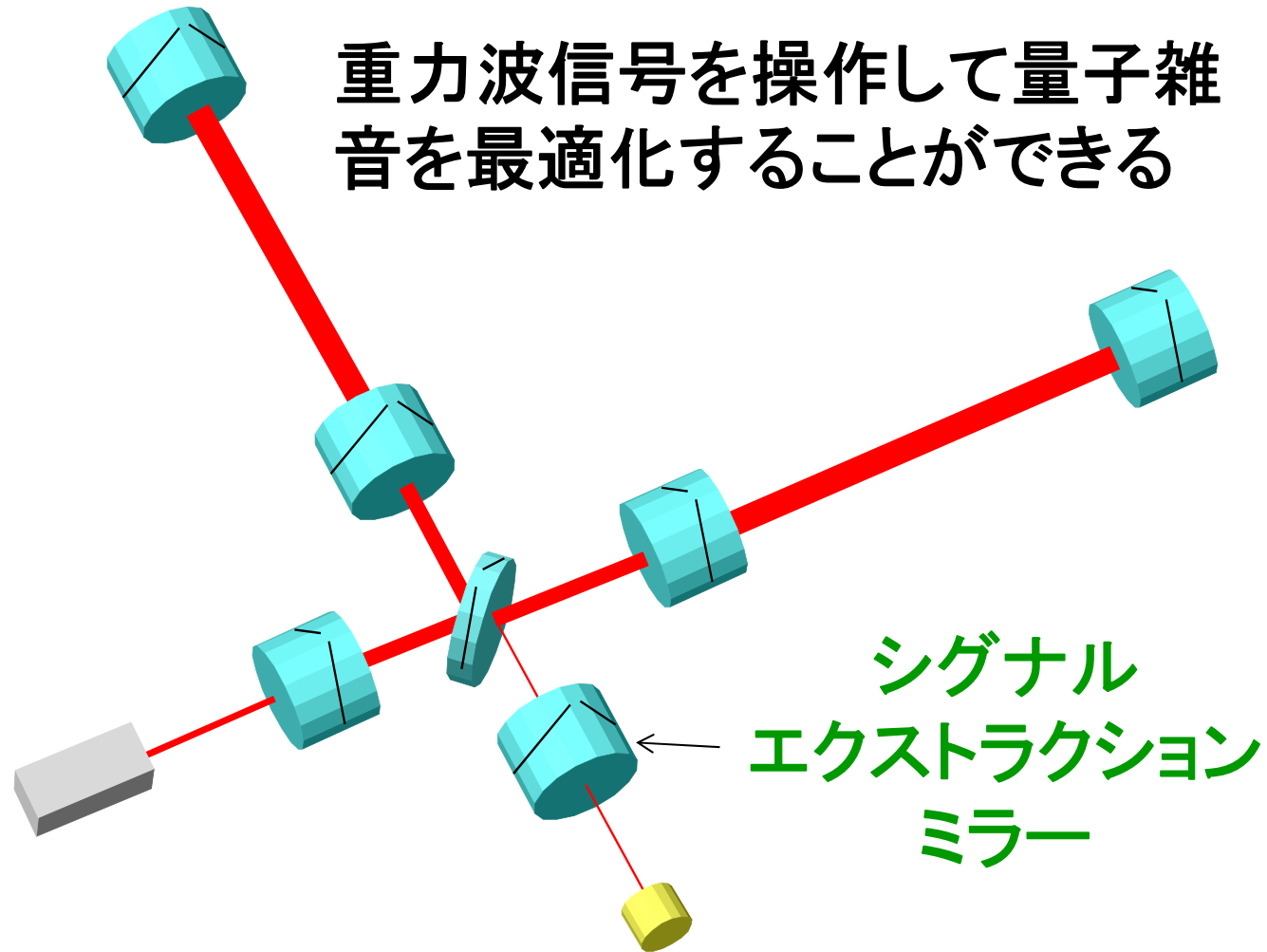


# 冷却システム

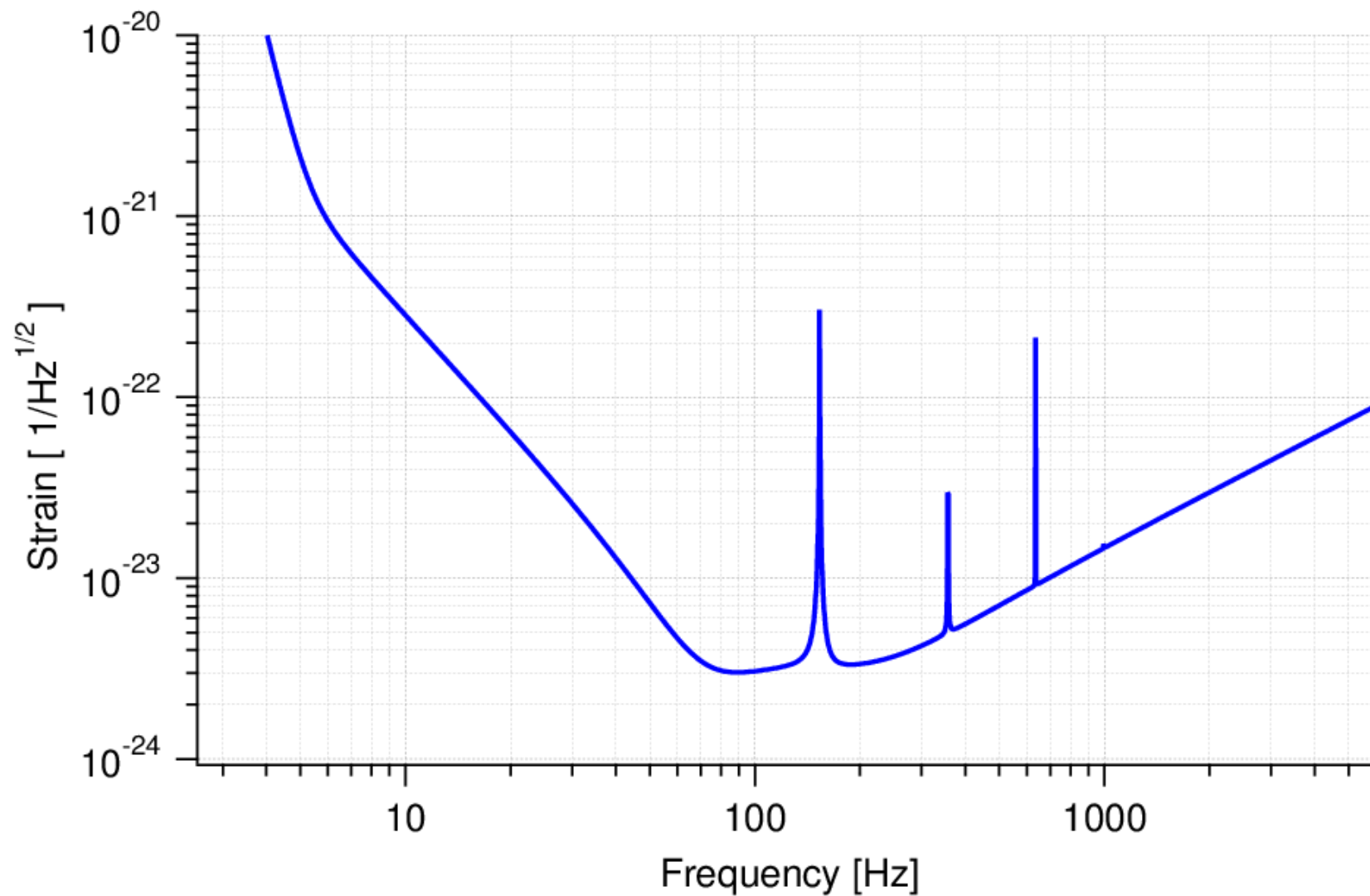


# 帯域可変型干渉計

重力波信号を操作して量子雑音を最適化することができる

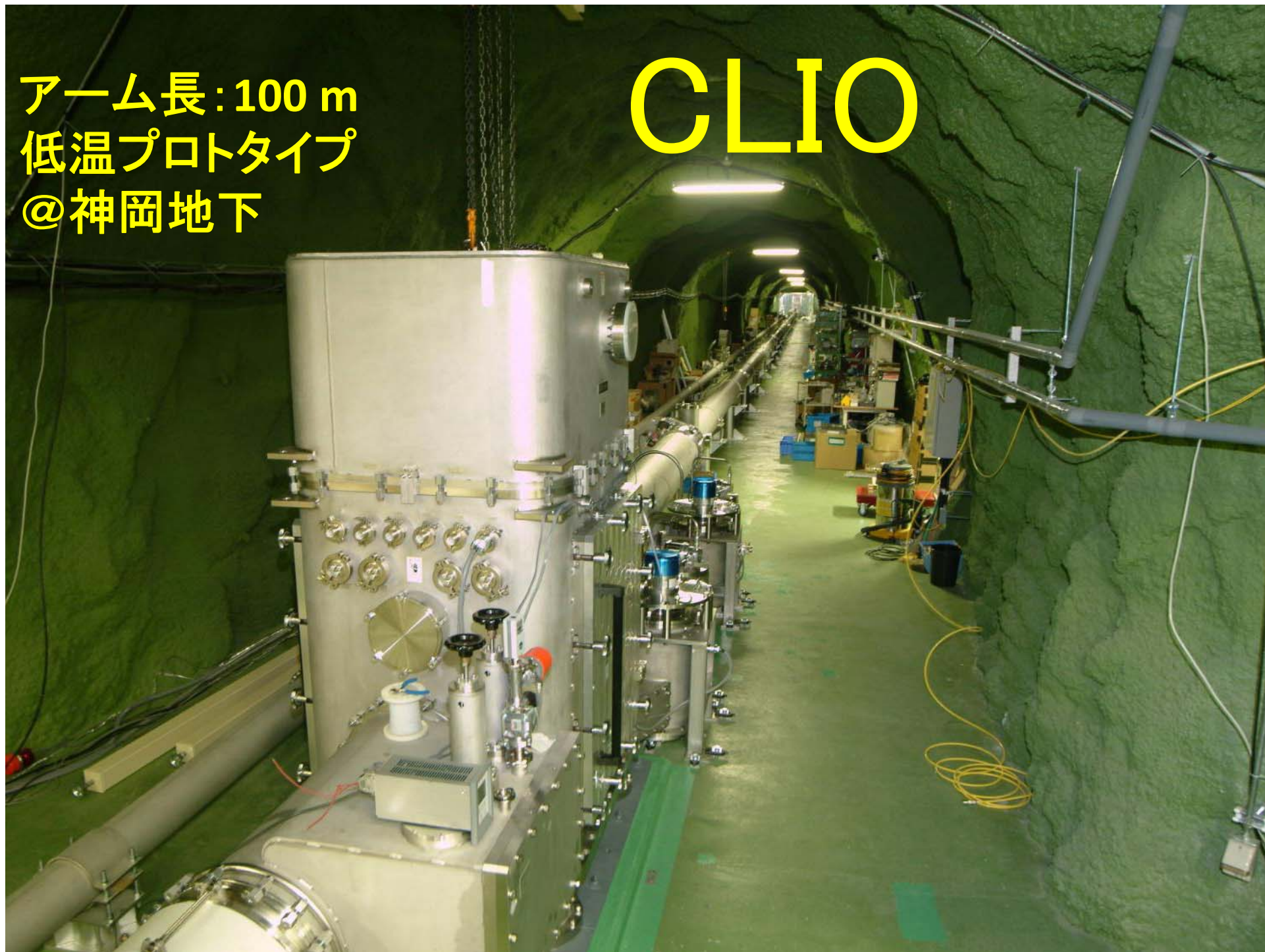


# LCGTの感度曲線

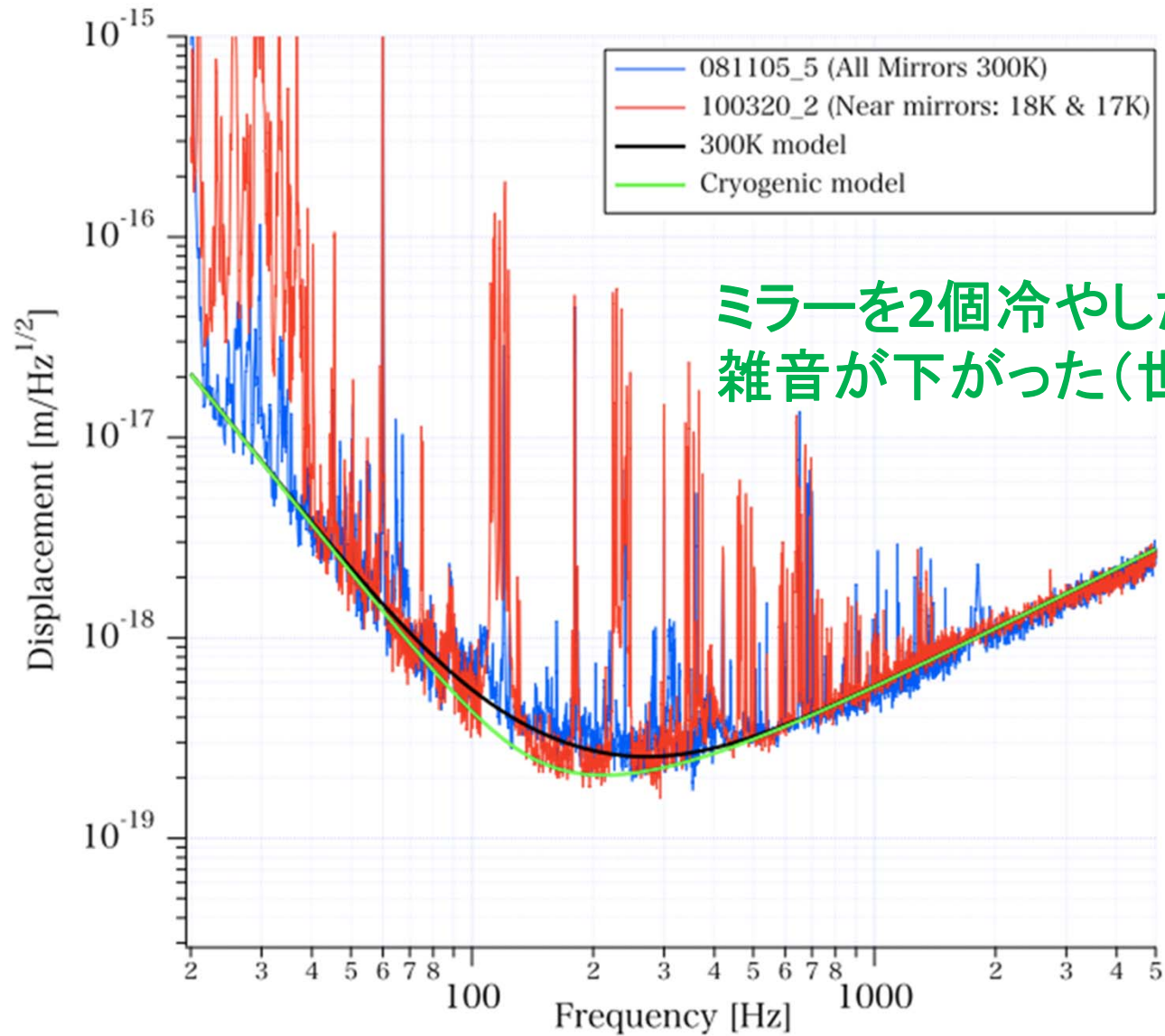


アーム長 : 100 m  
低温プロトタイプ  
@ 神岡地下

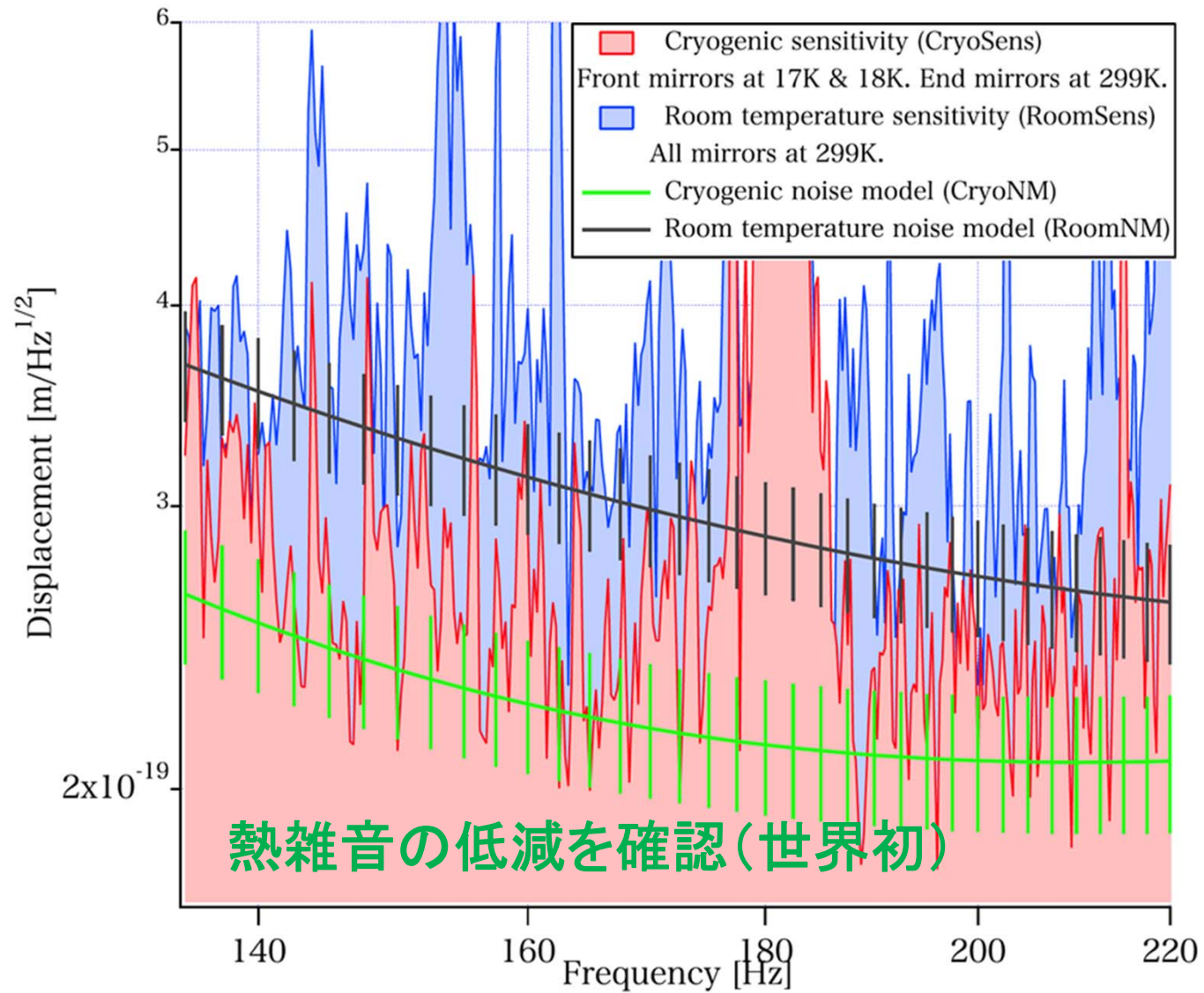
# CLIO



# CLIOの感度



# CLIOの感度



# スケジュール

2012.4–2014.3

トンネル掘削

2014.4–2015.11

初期干渉計(iLCGT)インストール・調整

2015.11

iLCGTによる観測

2015.12–2017.3

最終干渉計(bLCGT)インストール

2017.3–2018.8

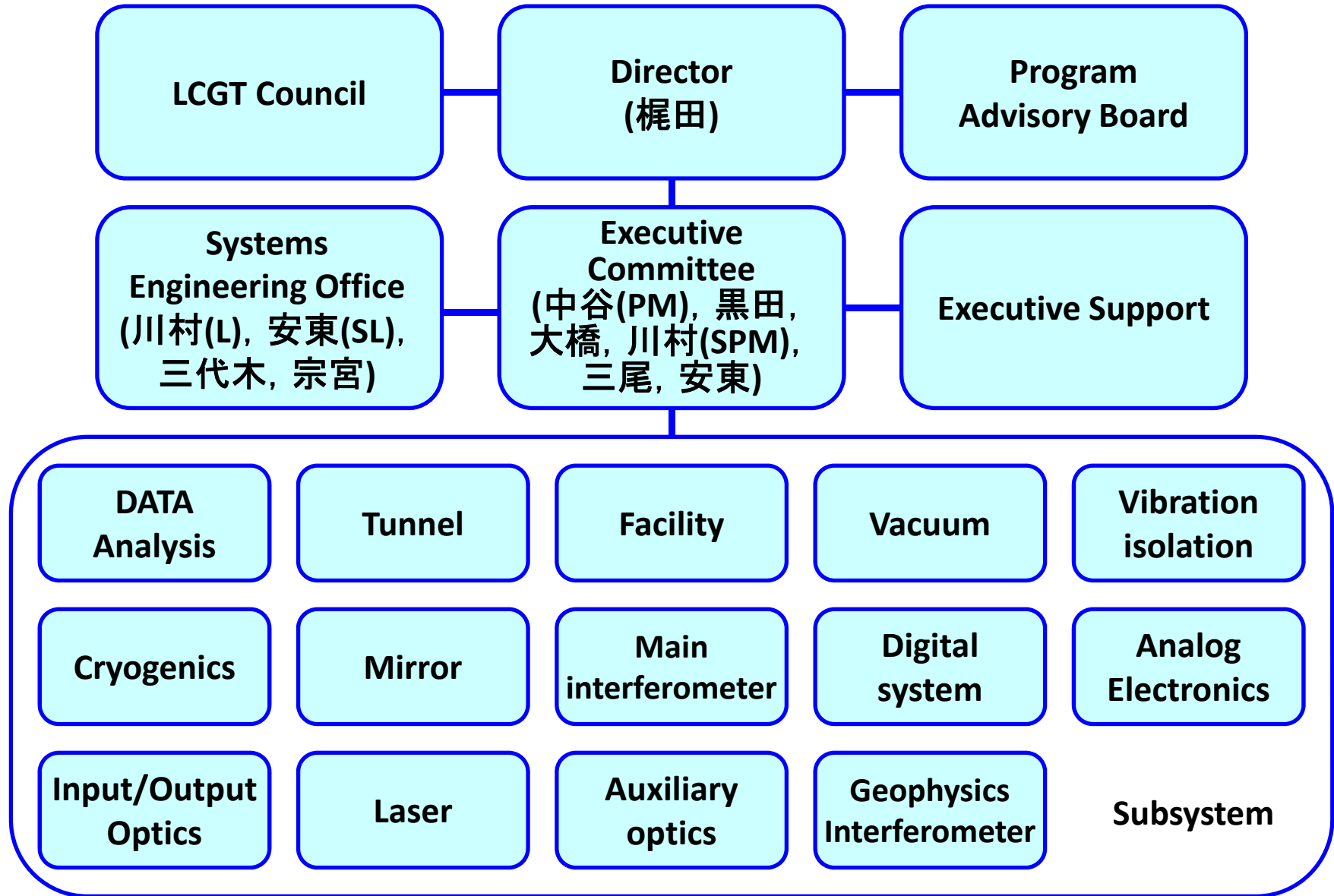
bLCGTによる観測・調整

2018.9–

本格的観測



# LCGT組織



# 着工記念行事

平成24年1月20日

安全祈願祭、着工式、祝賀会(@神岡 & 富山)

平成24年1月28日

着工記念一般講演会・愛称公表式、祝賀会(@東大柏キャンパス)

# まとめ

- LCGTにより中性子連星の合体などからの重力波が検出され、重力波天文学が創成されることが期待されている
- 重力波は電磁波や宇宙線の観測と融合して新しい天文学を生み出す
- LCGTは低温、地下、帯域可変型干渉計の3つの特徴を持つ
- 2018年度に本格的観測開始予定

重力波天文学の  
夜明けは近いぜよ！



イラスト：  
Sora