

大型低温重力波望遠鏡の開発・設計 (X)

R&D and Design of large-scale cryogenic gravitational wave telescope (X)

大阪市立大学大学院理学研究科 神田展行 他

LCGT collaboration

ICRR共同利用研究成果発表研究会

12/19/2009

重力波グループ関連のH20年度研究課題

整理 番号	研究代表者	所属機関・職名	研究課題	新規 継続	H20査定額 (単位:千円)		
					研究費	旅費	計
H01	黒田 和明	東京大学宇宙線研究所・教授	大型低温重力波望遠鏡の開発・設計(X)	継続	0	70	70
H02	都丸 隆行	高エネルギー加速器研究機構共通 基盤研究施設・助教	LCGTクライオスタットのための効率的熱シールド の研究	継続	440	60	500
H03	鈴木 敏一	高エネルギー加速器研究機構超伝 導低温工学センター・講師	LCGTのための単結晶サファイア鏡懸架の開発 (IV)	継続	420	20	440
H04	三尾 典克	東京大学大学院新領域創成科学 研究科・准教授	CLIO干渉計用高出力光源の開発	新規	700	0	700
H05	大橋 正健	東京大学宇宙線研究所・准教授	神岡での重力波観測(VII)	継続	200	600	800
H06	三代木 伸二	東京大学宇宙線研究所・助教	重力波アンテナのデジタル制御技術とデータ解 析技術の開発(III)	継続	500	0	500
H07	田村 良明	国立天文台水沢VERA観測所・助 教	レーザー伸縮計と超伝導重力計の同時観測によ る地球の固有振動の研究	継続	0	200	200
H08	安東 正樹	東京大学大学院理学系研究科・助 教	光ファイバーを用いたレーザー光源安定化シス テムの評価	新規	0	150	150

大型低温重力波望遠鏡の開発・設計 (X)

LCGT (large-scale cryogenic gravitational wave telescope)

- ・ 国内：92名 17機関
- ・ 国外：29名 15機関
- ・ 本年度予算は旅費のみ
- ・ LCGT

TAMA, CLIO の技術のうらづけ
KEK, 天文台（と他の機関）の協力
設計を ready to construct にする
のが急務

予算状況などから、いくらかの
修正

所 属 ・ 職 名 ・ 氏 名
宇宙線研究所宇宙基礎物理研究部 准教授・大橋正健、助教・三代木伸二、助教・内山 隆、技術職員・石塚秀喜、協力研究員・岡田 淳、 D1・我妻一博、M1・森岡友子、M1・齊藤陽紀
東京大学新領域 准教授・三尾典克、助手・森脇成典
東京大学理学系 教授・坪野公夫、助教・安東正樹、D4・榊村 宰、D2・石徹白晃治、M2・高橋 走、M1・穀山渉
東京大学総合文化 准教授・柴田 大
東京大学地震研 准教授・新谷昌人、助教・高森昭光
国立天文台 教授・藤本眞克、准教授・川村静児、助教・高橋竜太郎、助教・新井宏二、助教・辰巳大輔、 助教・上田暁俊、研究技師・山崎利孝、研究技師・石崎秀晴、技師・福岡美津広、 研究員・佐藤修一、研究員・瀬戸直樹、M2・荒瀬勇太、M1・和泉 究
高エネ研 教授・山本 明、教授・春山富義、教授・斉藤芳男、講師・鈴木敏一、講師・木村誠宏、 助教・佐藤伸明、助教・都丸隆行
お茶大理 D3・川添史子、D3・阪田紫帆里、D2・苔山圭以子、M1・西田恵里奈
京大人間環境・D2・西澤篤志
日大総合科学・教授・新富孝和
長岡技科大・助教・高橋弘毅
産総研 研究員・寺田聡一、研究員・高辻利之、研究員・尾藤洋一
大阪市立大・教授・神田展行
電通大新世代レーザー研究センター 准教授・米田仁紀、准教授・中川賢一、助教・武者 満
情報通信研・研究員・長野重夫
京大理 教授・中村卓史、准教授・田中貴浩
京大基研・教授・佐々木節
阪大理 助教・田越秀行、研究員・藤田龍一
群馬天文台・台長・古在由秀

重力波の物理

- 一般相対論検証としての意義
強重力場で検証する実験／直接観測はまだない。

基礎物理として非常に重要な課題!!

- 重力波源についての物理

天体物理

コンパクト星の連星（中性子星，ブラックホール）

ブラックホール準固有振動

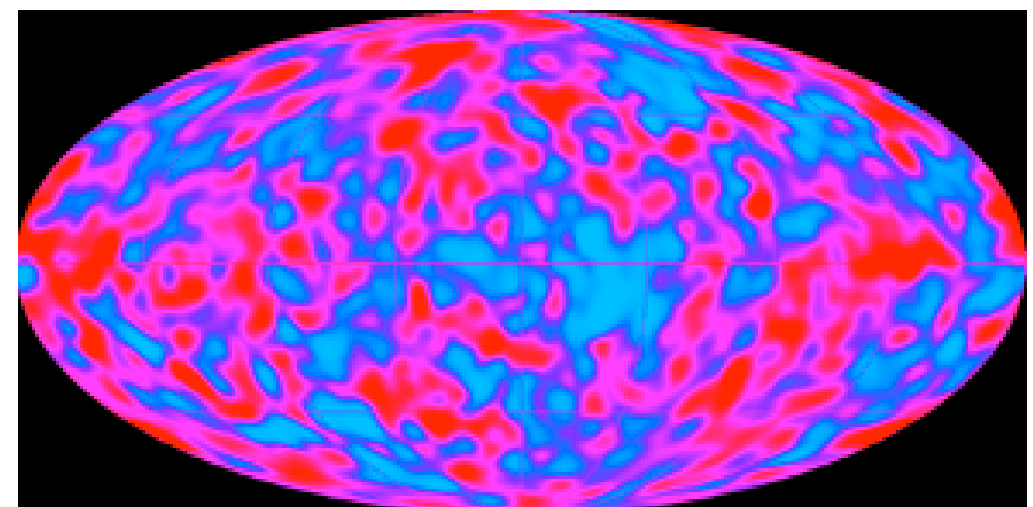
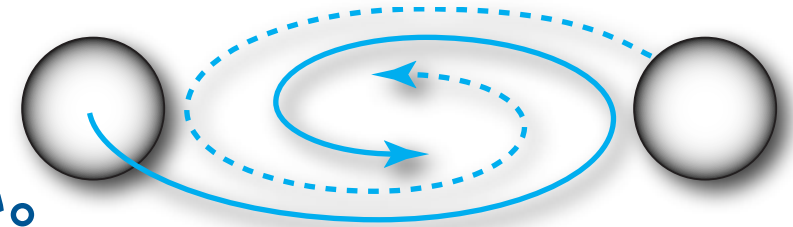
超新星爆発

パルサー

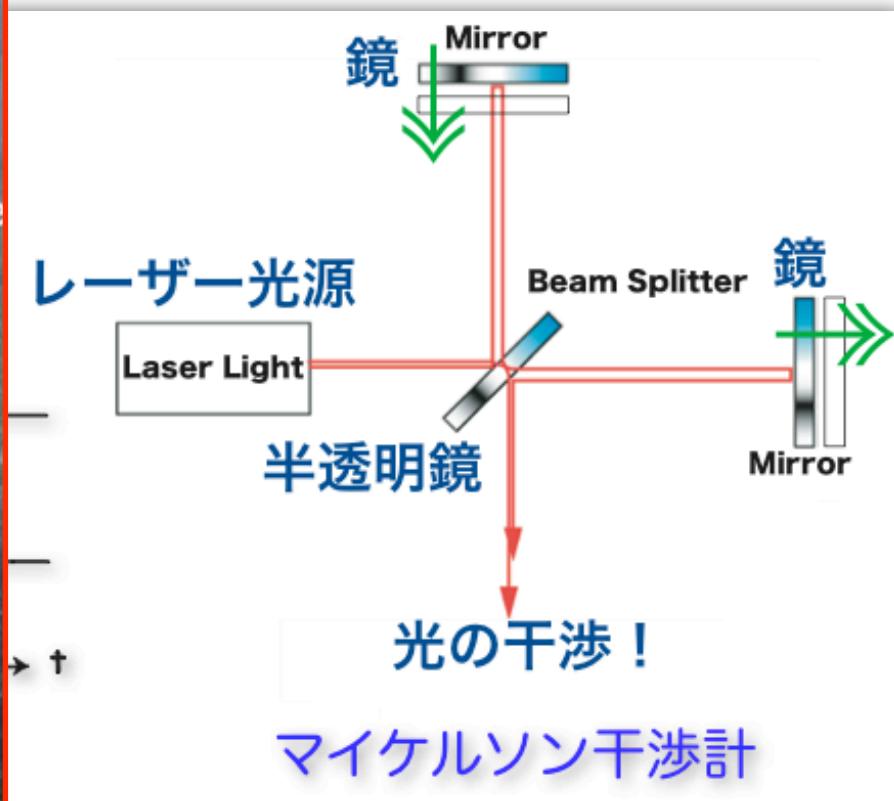
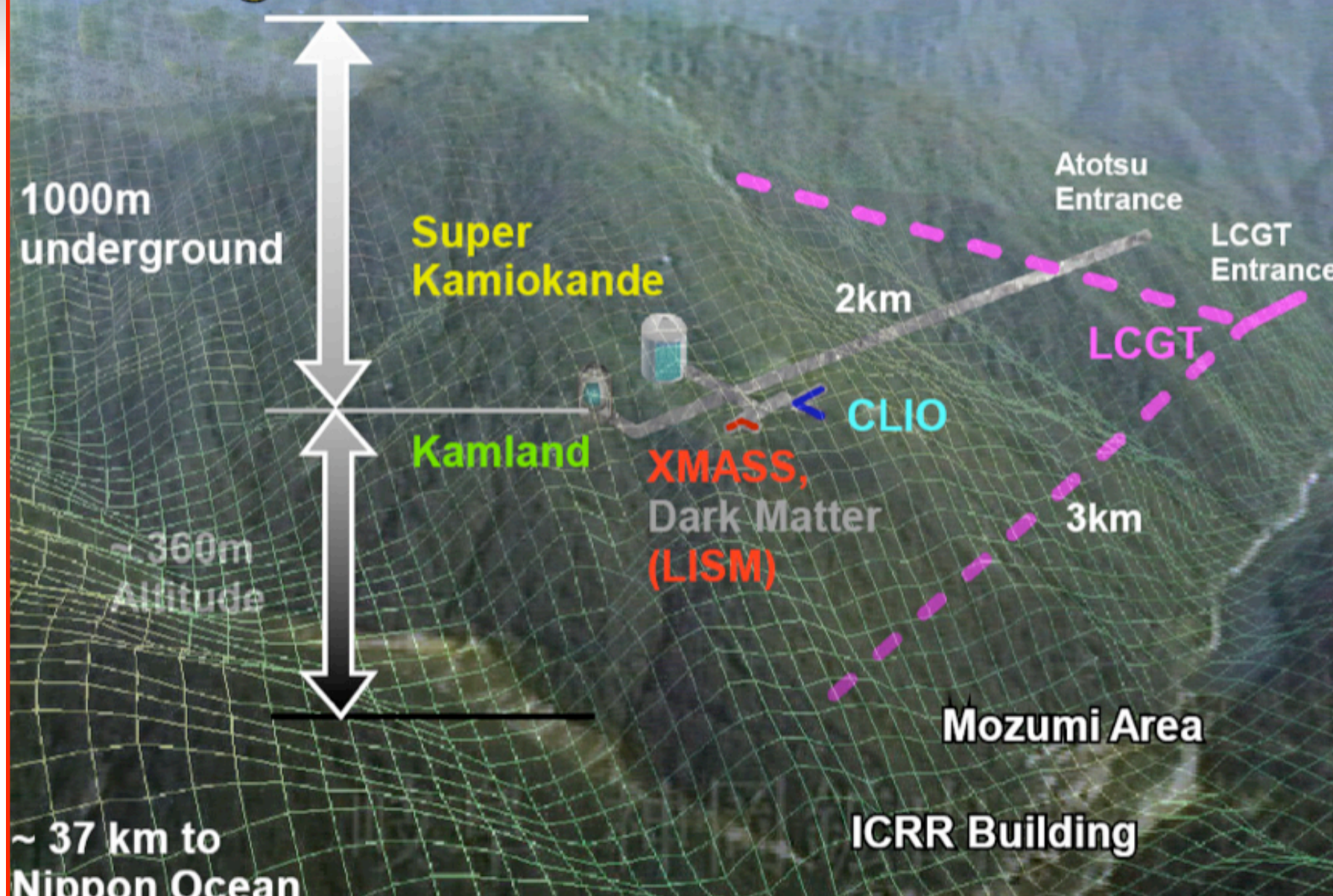
宇宙物理

インフレーション起源の背景重力波

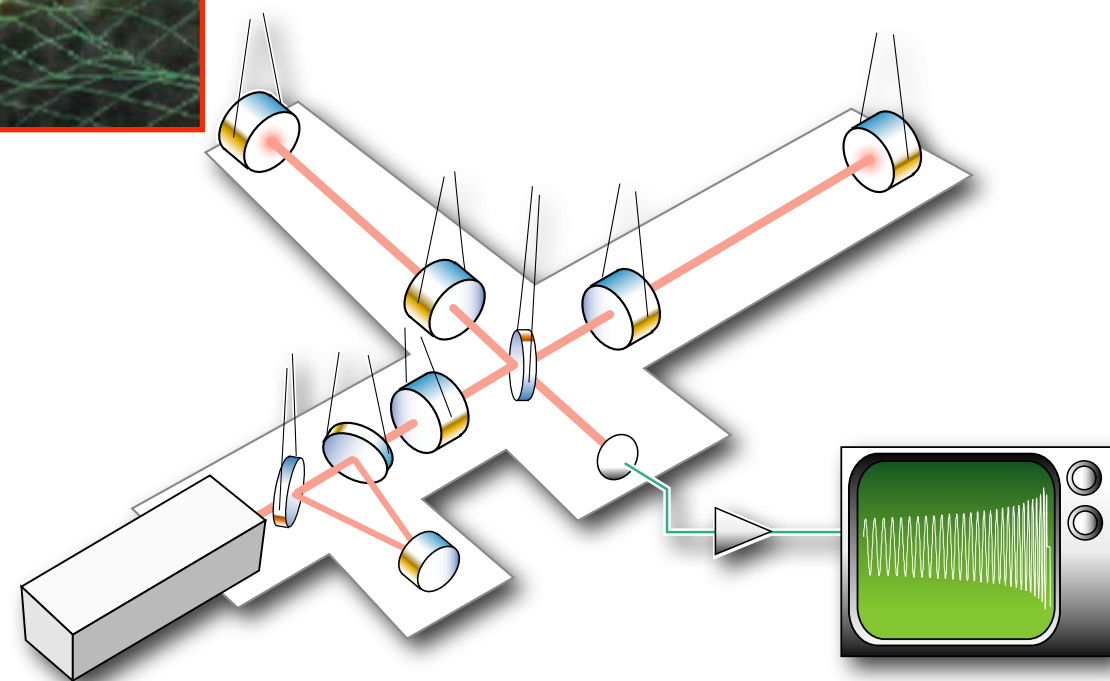
cosmic string



Underground Facilities in the Kamioka Mine

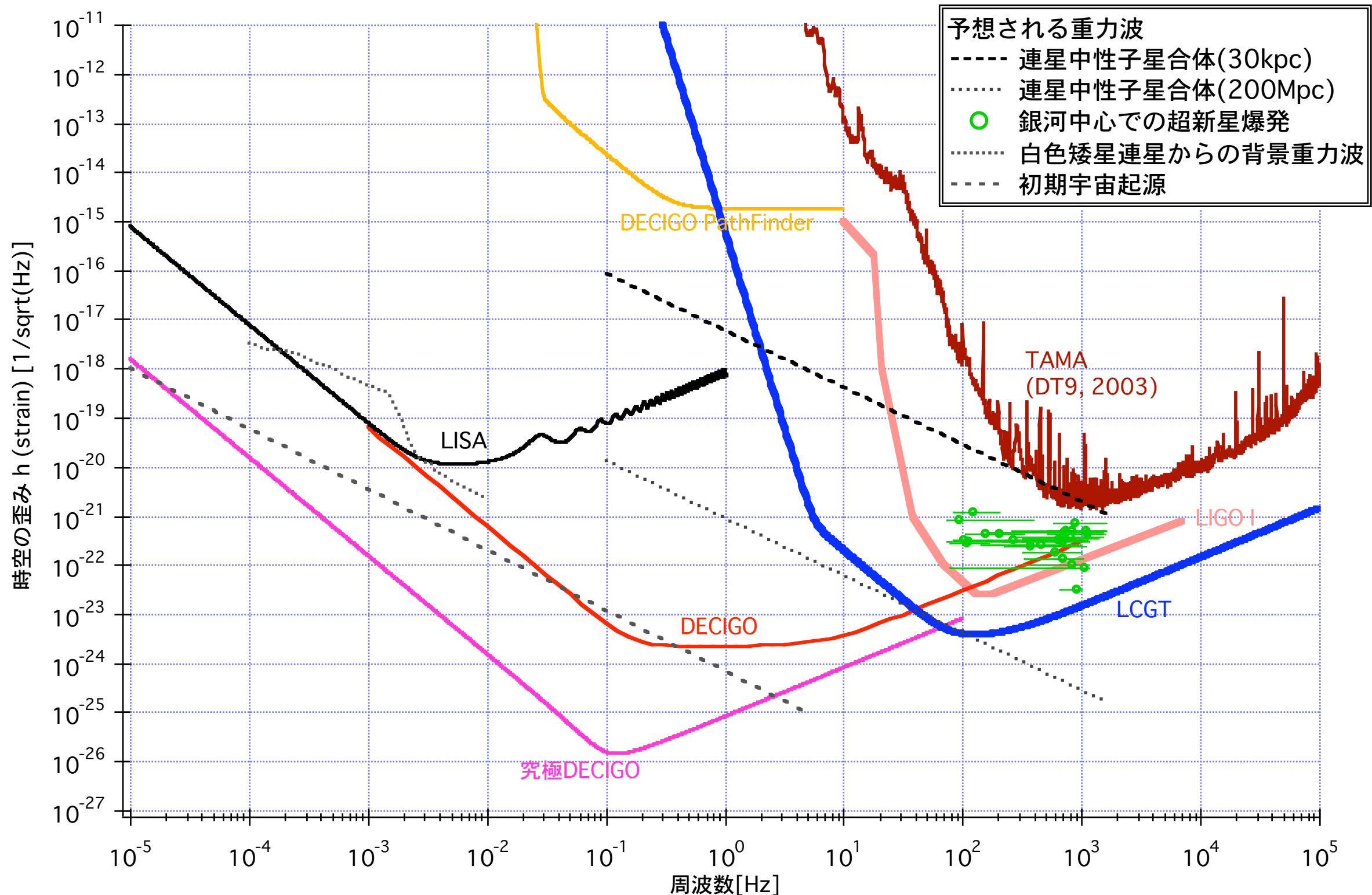


- ・ レーザー干渉計型重力波検出器
 - ・ 神岡地下
 - ・ 低温($\sim 20\text{K}$)
 - ・ 長基線(3km)

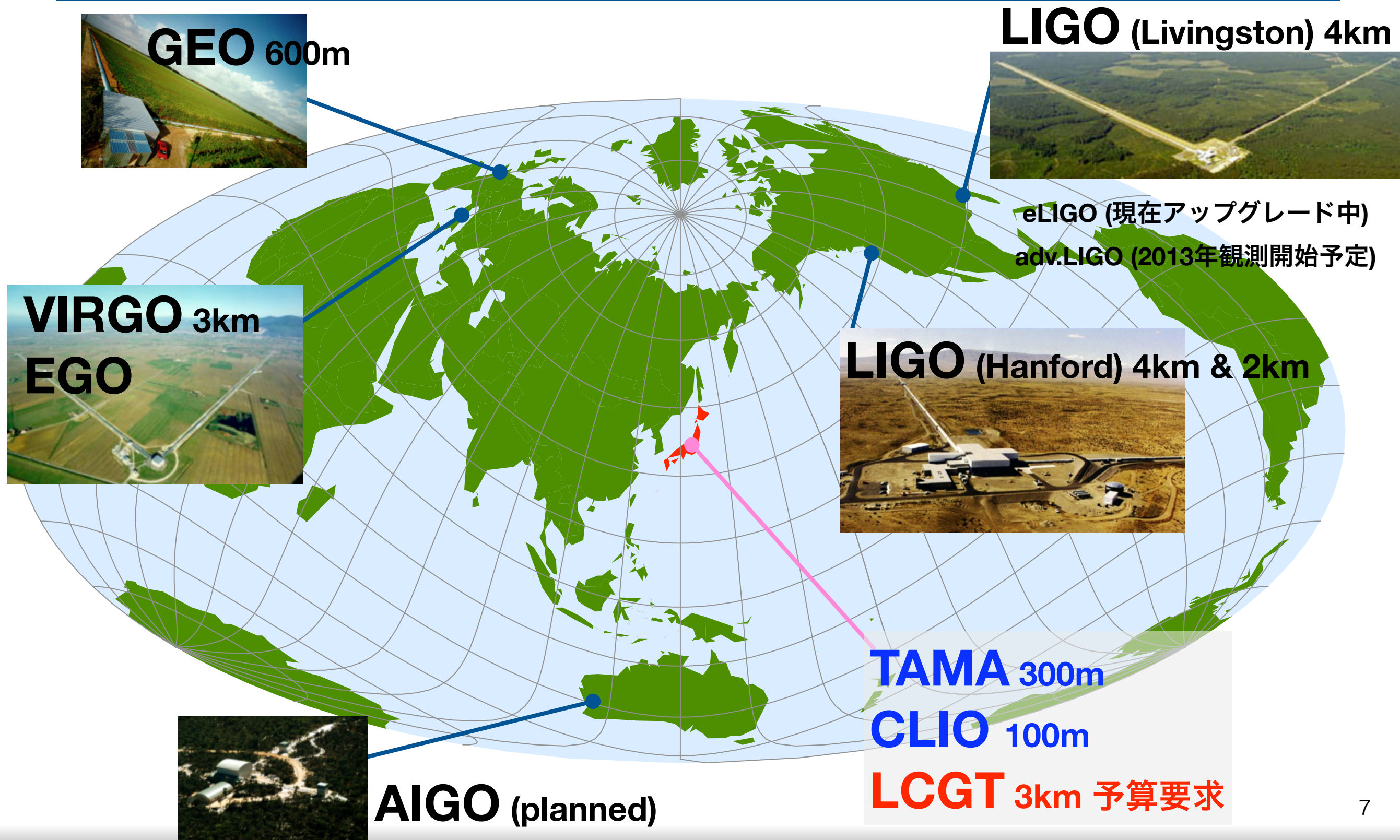


重力波源と検出器感度

LCGTでは約200Mpc離れた連星中性子星合体からの重力波を捕える

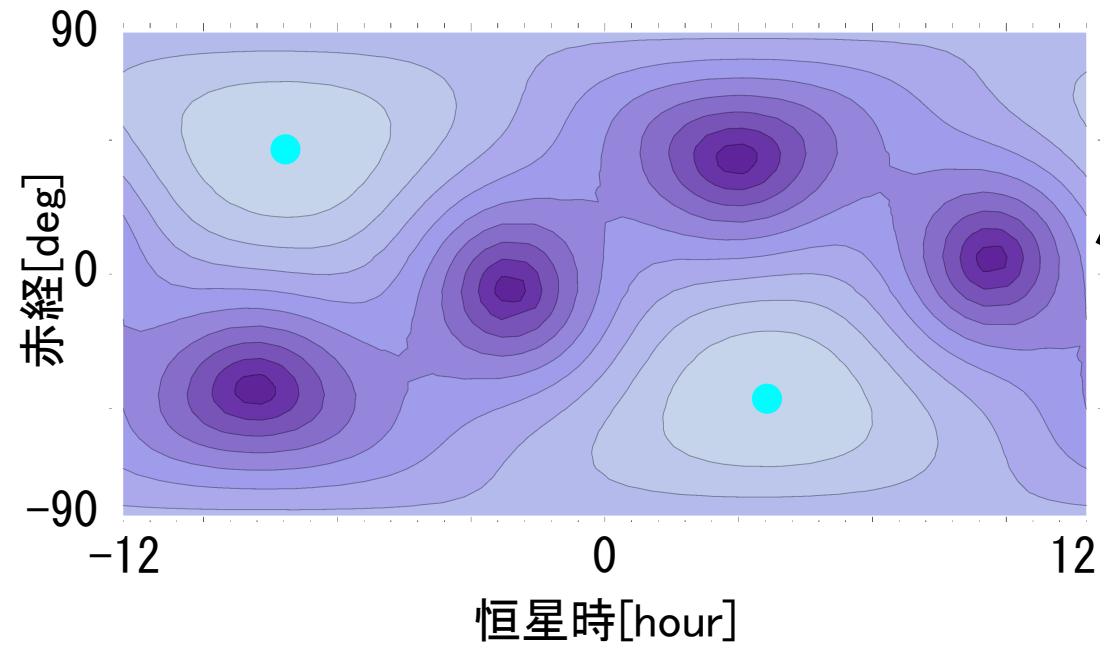


World Wide Network of GW Detectors



国際観測網における重要な役割

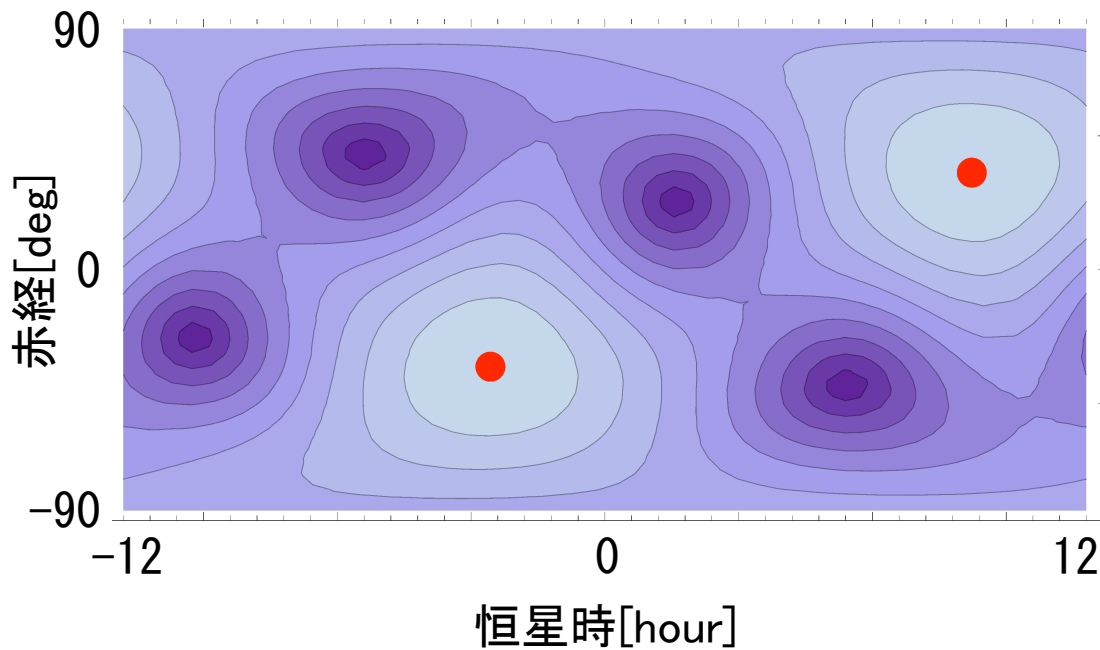
LIGO (Hanford)



重力波到来方向についての感度マップ
(明るい部分ほど高感度)

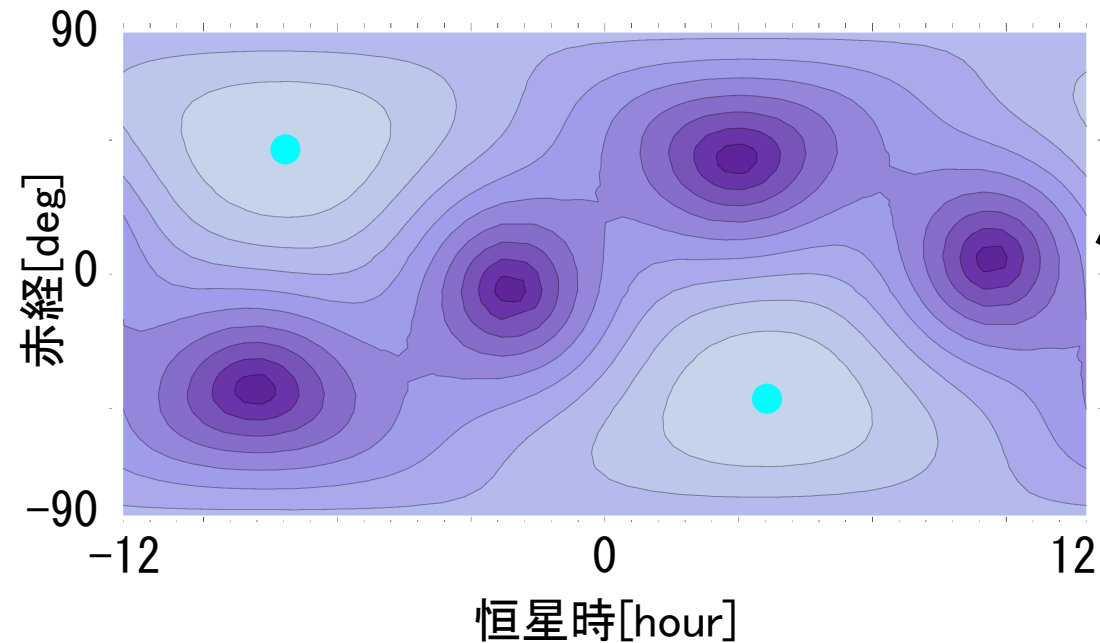
- 検出器の天頂方向
- LIGO Hanford
 - LIGO Livingston
 - VIRGO
 - LCGT

LCGT



国際観測網における重要な役割

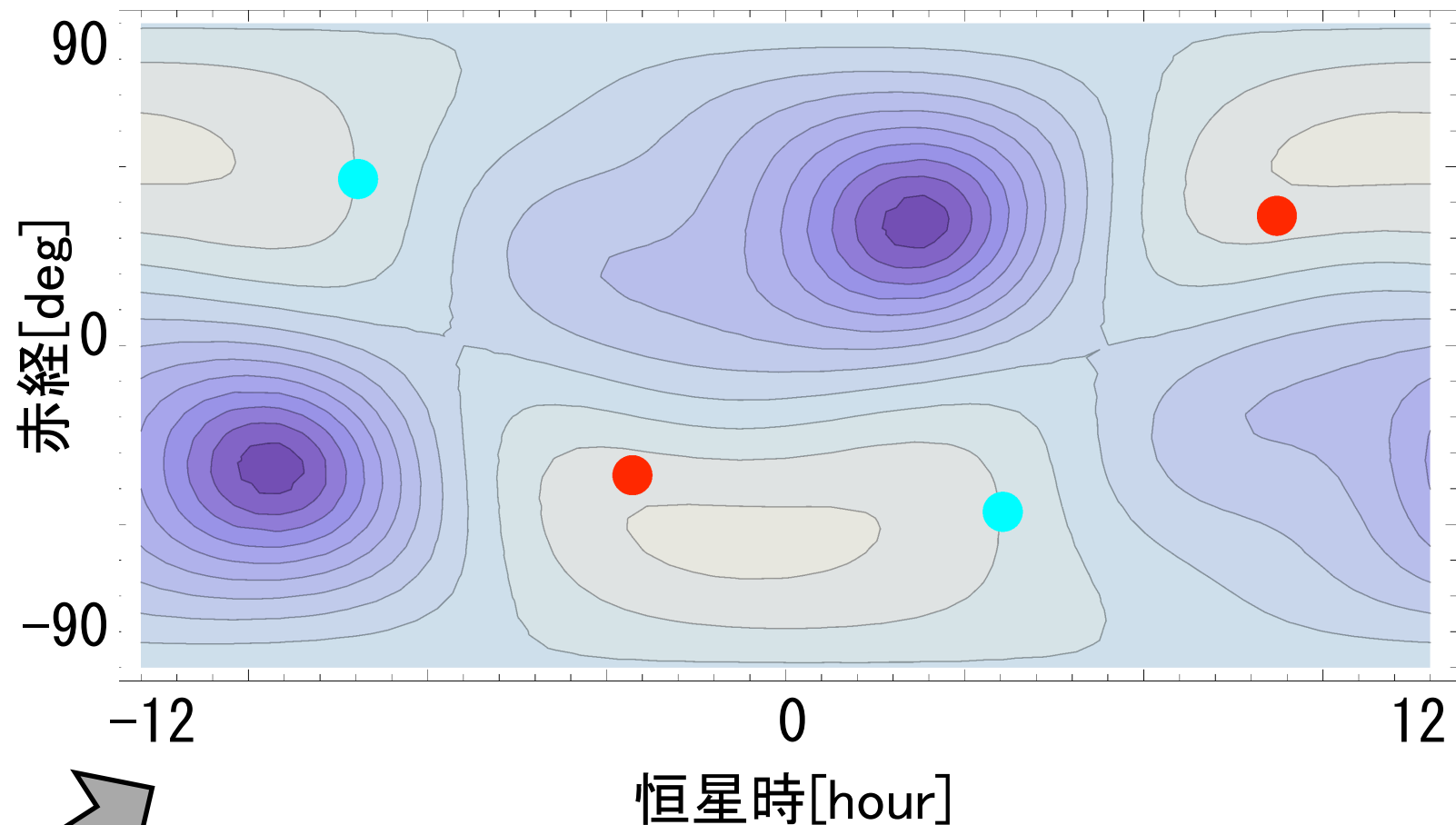
LIGO (Hanford)



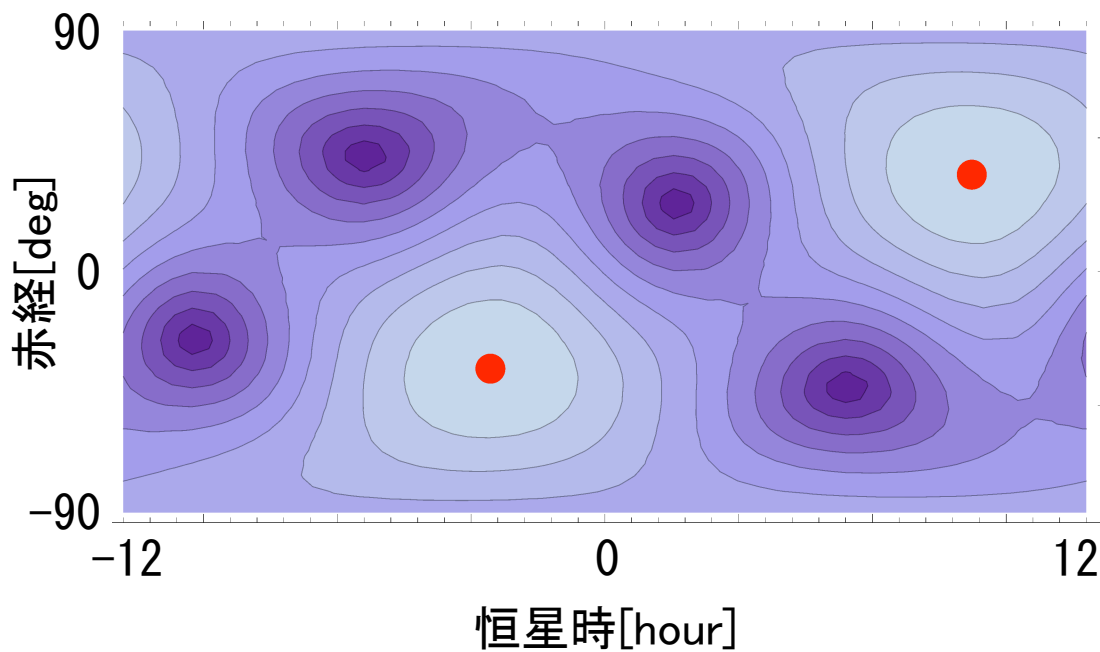
重力波到来方向についての感度マップ
(明るい部分ほど高感度)

- 検出器の天頂方向
- LIGO Hanford
 - LIGO Livingston
 - VIRGO
 - LCGT

Quadratic Sum : LCGT + LIGO(Hanford)

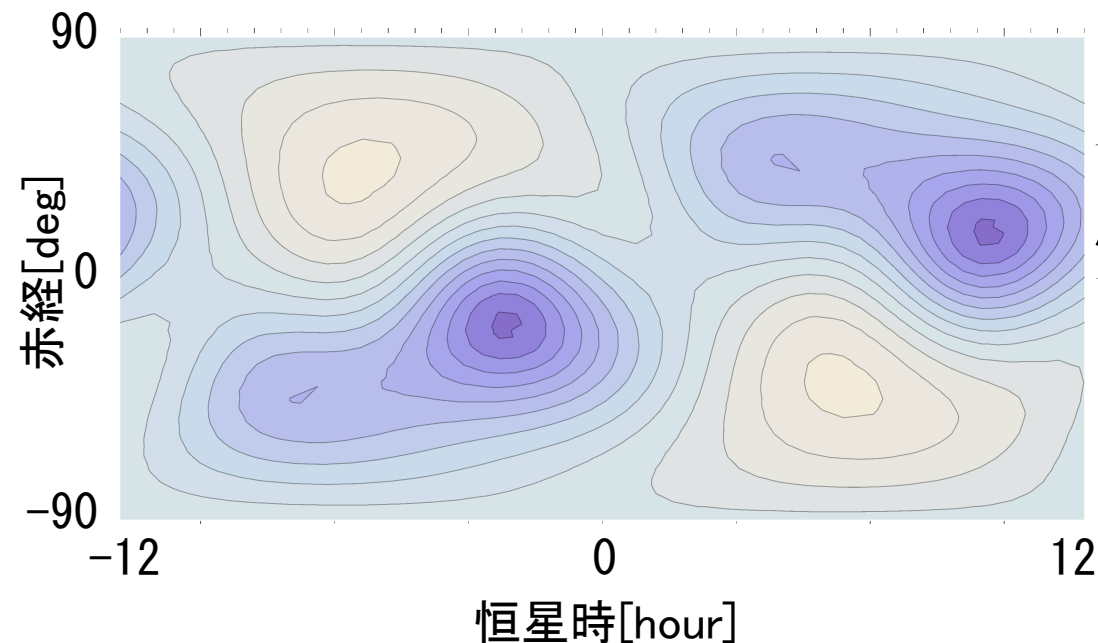


LCGT



国際観測網における重要な役割

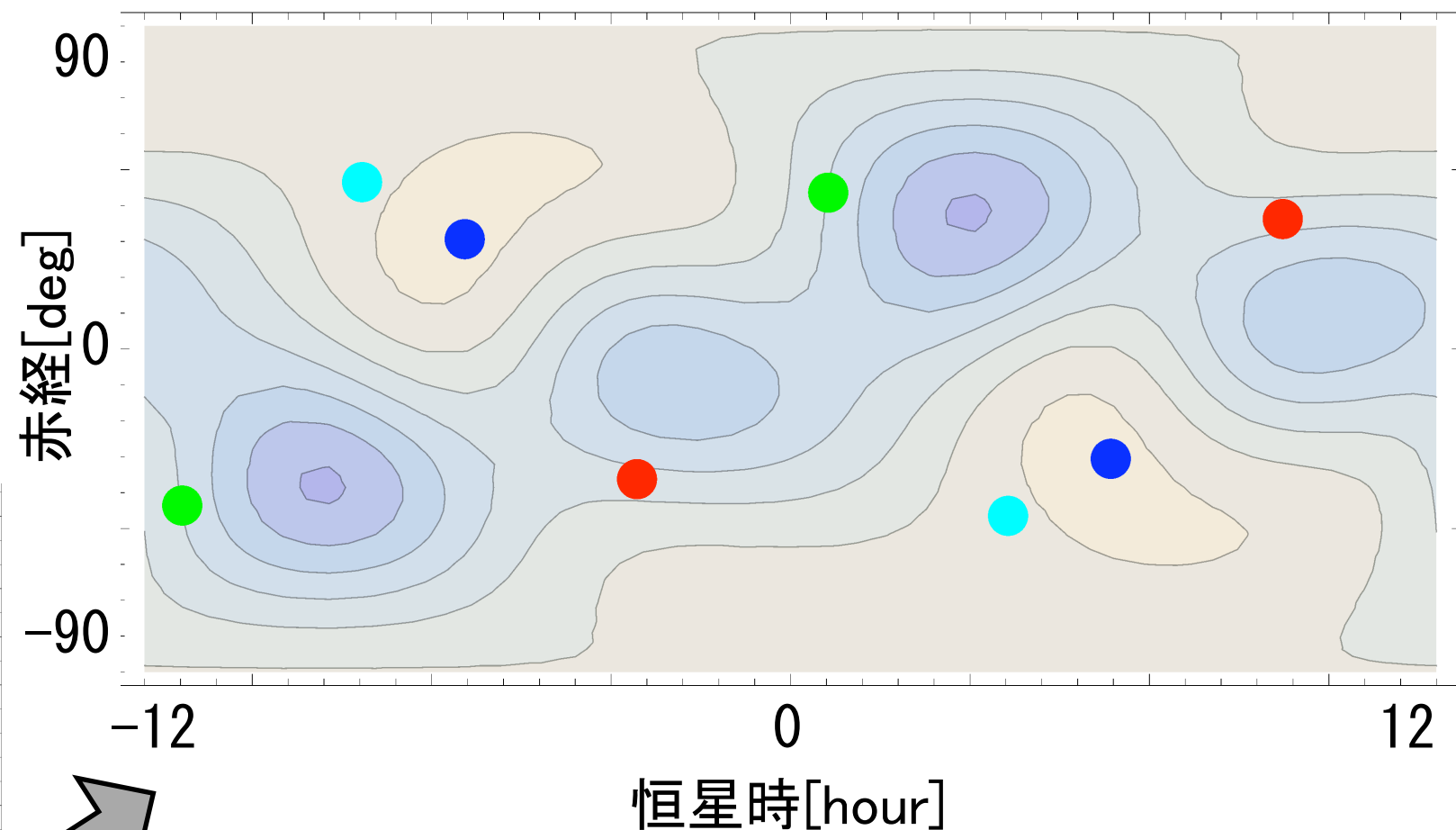
LIGO x2 + VIRGO



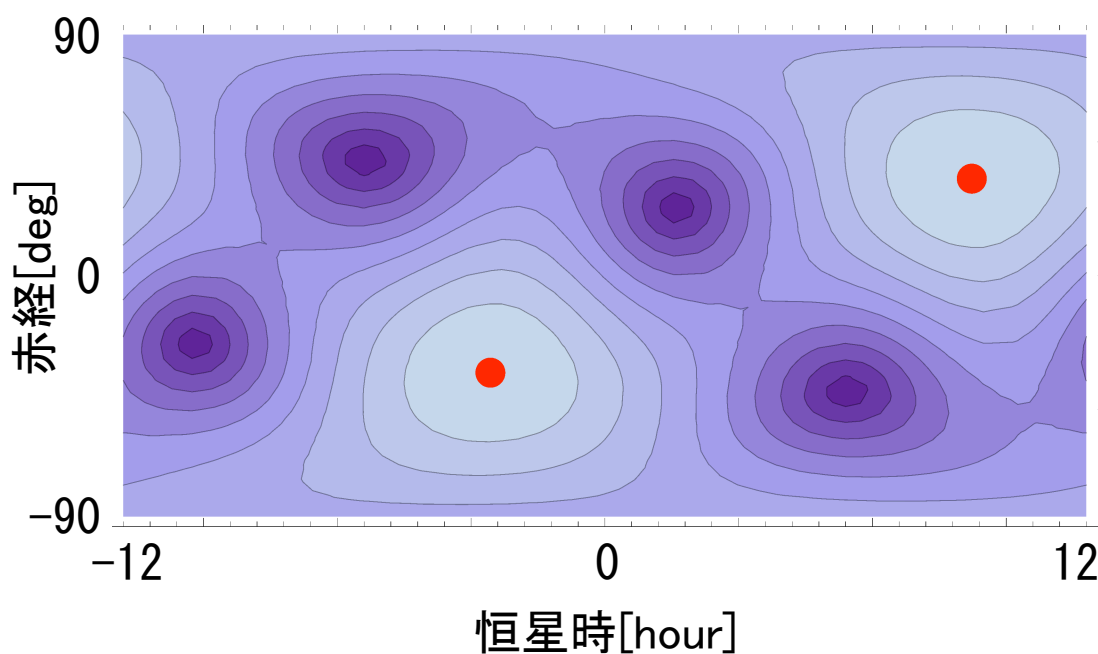
重力波到来方向についての感度マップ
(明るい部分ほど高感度)

- 検出器の天頂方向
- LIGO Hanford (cyan dot)
 - LIGO Livingston (blue dot)
 - VIRGO (green dot)
 - LCGT (red dot)

Quadratic Sum : **LCGT**+LIGOx2+VIRGO



LCGT



国際観測網の中で、LCGTは、LIGO, VIRGOと相補的な役割を果たす
→ 全天coverage, 方向同定に重要な役割

世界のプロジェクトスケジュール

08 09 10 11 12 13 14 15 16 17

TAMA

CLIO

LCGT

LIGO(+)

Ad.LIGO

VIRGO(+)

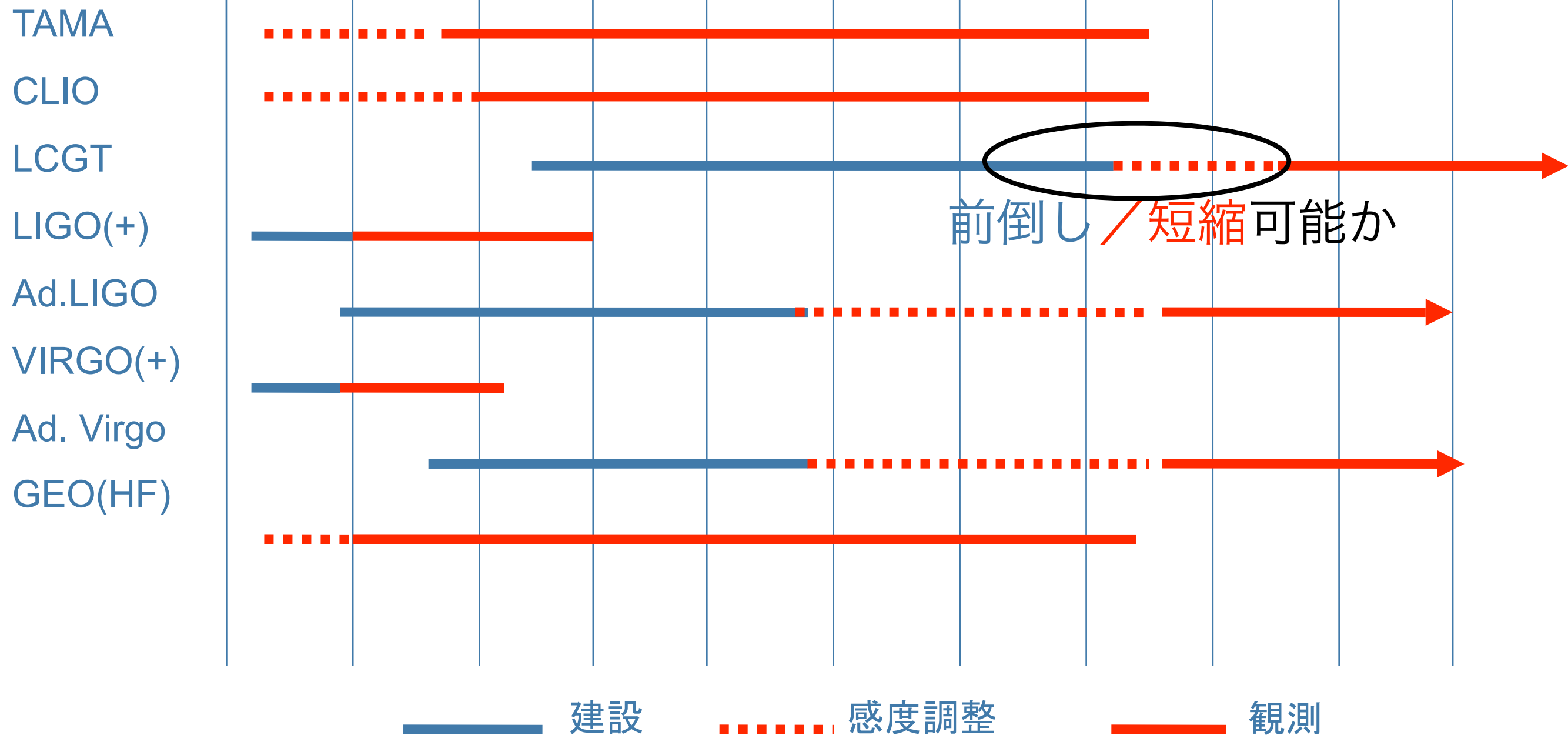
Ad. Virgo

GEO(HF)

建設 感度調整 観測

世界のプロジェクトスケジュール

08 09 10 11 12 13 14 15 16 17



LCGT計画の状況：予算他

- ・ 平成18年度、19年度、20年度、平成21年度概算要求
 現行計画は160億円

1987: 宇宙線研究所将来計画検討小委員会報告

1993: 宇宙線研究所将来計画検討小委員会報告 「重力波望遠鏡」 将来計画

1994: NAO-KEK-ICRR 3所長覚書、2年毎に更新

天文学長期計画（学術会議天文研連）

2000: 学術審議会宇宙科学部会報告

2005: 日本学術会議天文学研究連絡委員会 特別議事録

8月、LCGTに関する技術諮問委員会のレビュー

2007 2月、ICRR-NAO-KEK 計画を推進の覚書を締結

8月 宇宙線研究所将来計画検討委員会報告

2008 4月 国際重力波委員会(GWIC, IUPAP・PaNAGICの下) 声明 "2015年をめどに観測開始できるように"

2008 7月 日本学術会議天文学・宇宙物理学分科会の議事録

9月 日本学術会議素粒子物理学・原子核物理学分科会の審議記録の付録

LCGT計画の状況： 国際協力

- MOU, 研究協力

TAMAのMOU(LIGO, VIRGO等)の維持

LCGT <-> ACIGA : サファイヤ結晶開発

CLIO <-> LIGO : デジタル制御開発

- Collaboration への参加

海外研究者

米国、欧州、奥州、インドなど

予算がつけば参加を表明している機関

ルイジアナ大低温グループ

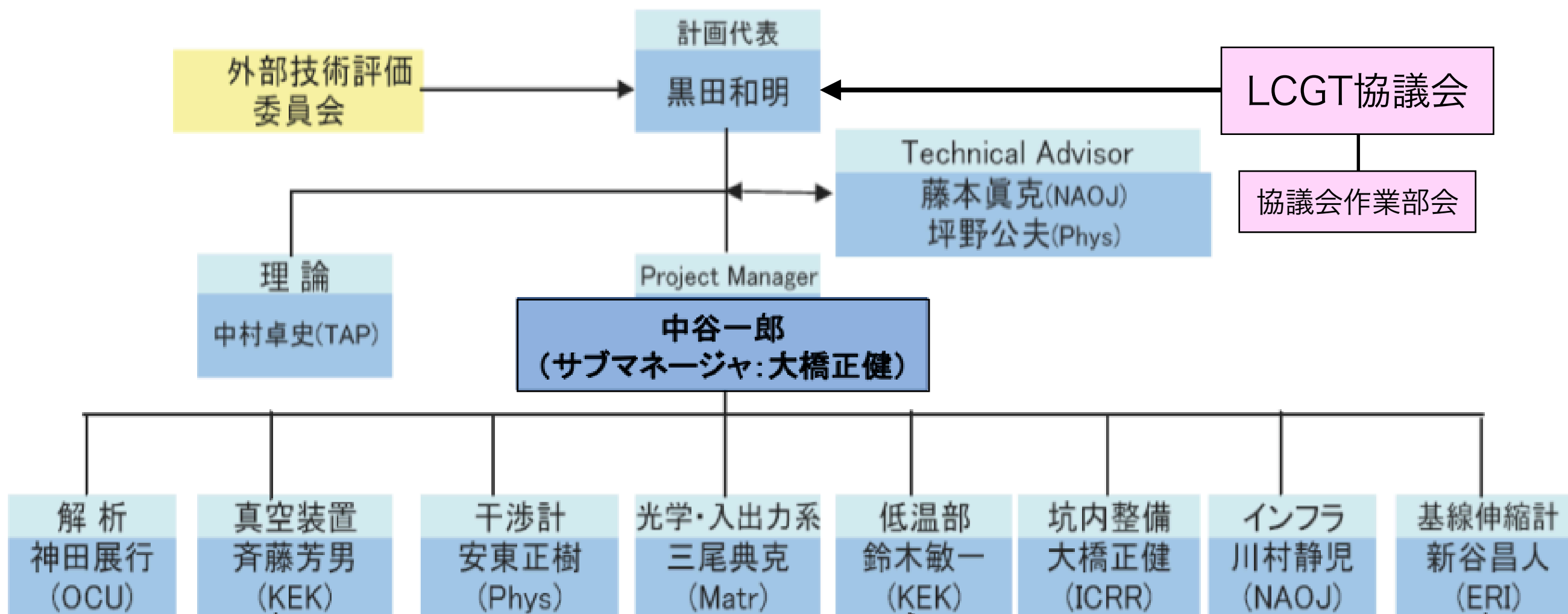
中国科学院

- 国際協力の枠組み

GWIC : LCGT早期実現の勧告

cf : Gravitational Wave International Committee

LCGT Collaboration : 新体制



今年度のLCGTの主な研究について

- ・ デザイン見直し作業
 - ・ TAMA関連
 - ・ CLIO関連
- (次のトーク：三代木氏)

LCGTデザイン

- ・ 以前(~2007)からの変化

- 予算状況

- 2台併設 → 1台

- 外的要因：海外グループの進捗

- 建設サイト

- 3km → >2.7km (設置場所調整の余地あり)

- 技術上の進展

- RSE (シグナルリサイクル技術)、SPI (懸架系干渉計)、 デジタル制御

- ・ より具体的(construction ready)な設計へ

- Peer Review およびデザインの再検討作業
各種検討事項を一巡

例 1 : SPI

懸架点にレーザ干渉計をつけて”2 段組み”にする技術

・ 防振上、制御安定性上の利点 <ー> 実証テスト情報の不足

冷却のためのヒートリンク

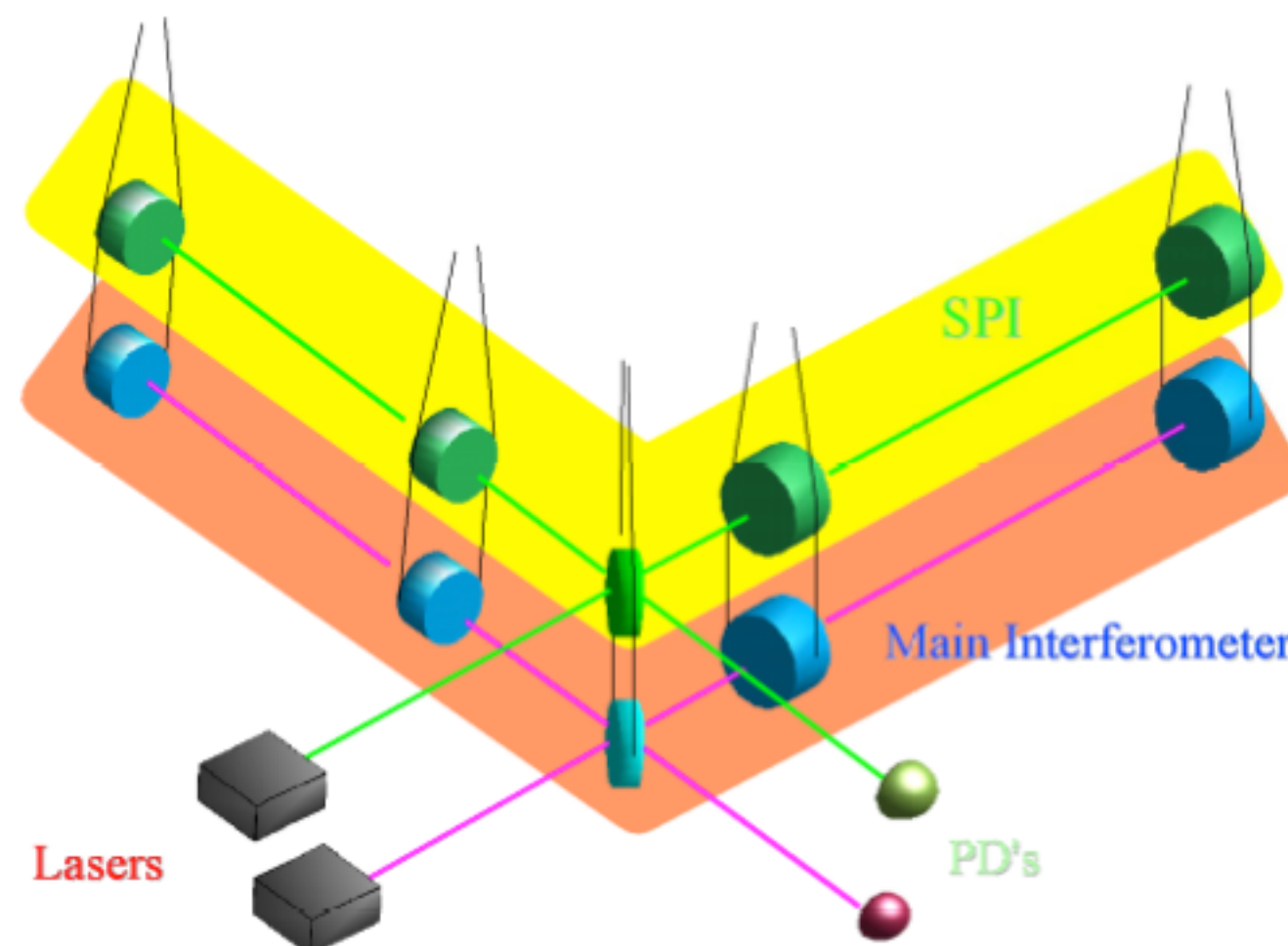
地面振動防振の要請

ロック引き込み

制御系雑音

データ解析での情報

などと相補的に性能要求を
決める必要



(図 : ICRR 三代木氏)

例 2 : RSE

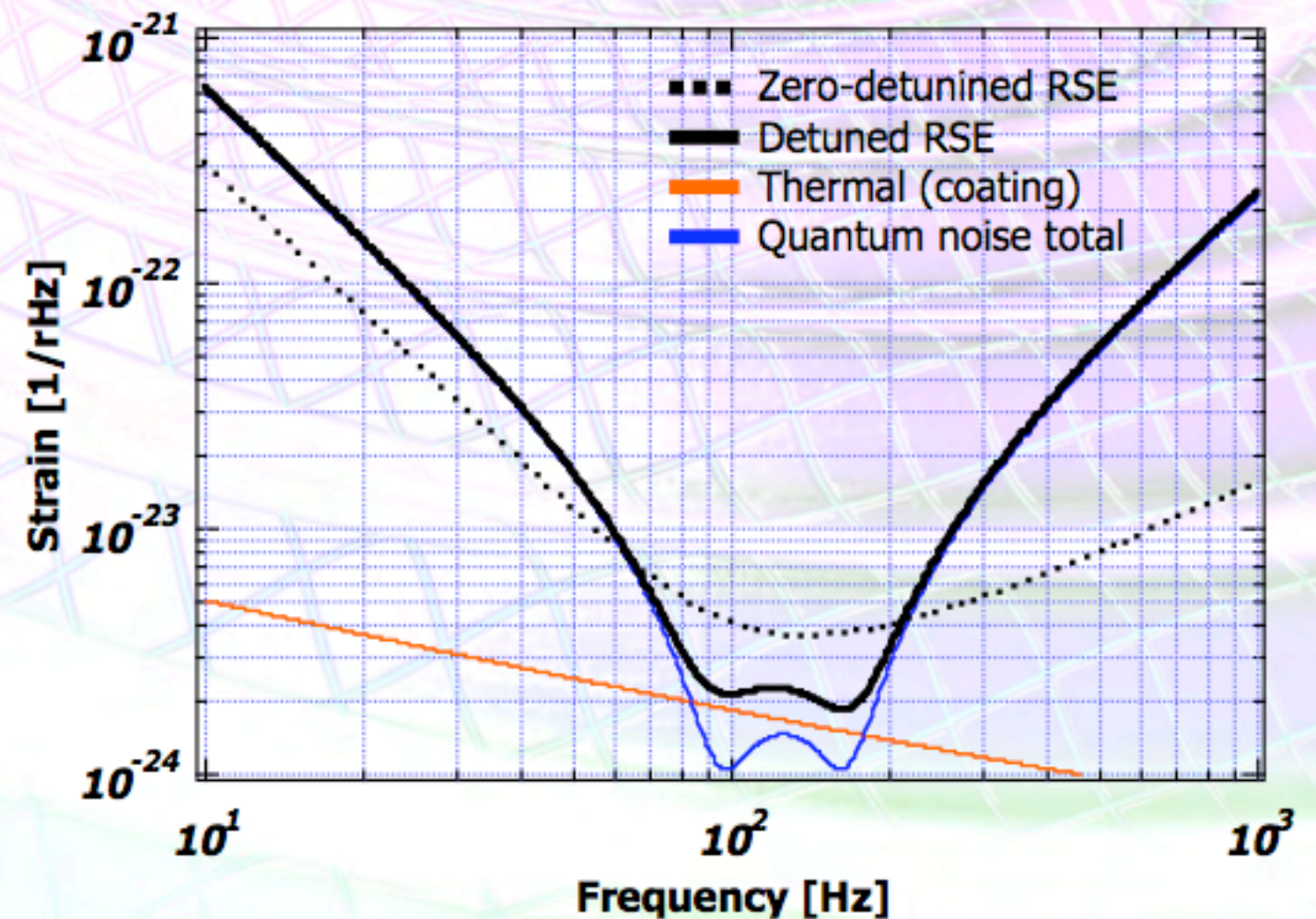
LCGTデザイン感度比較 (案)

■ Zero-detuned RSE

- 現行 (最新) デザインによる

■ Detuned RSE

- 特別な最適化なし
- SEMの反射率と ϕ_{SEC} のみ再設定
- $r_{\text{SEM}}^2 = 0.98$
- $d\phi_{\text{SEC}} = 4^\circ$
- パラメータの選択次第で調整の余地あり

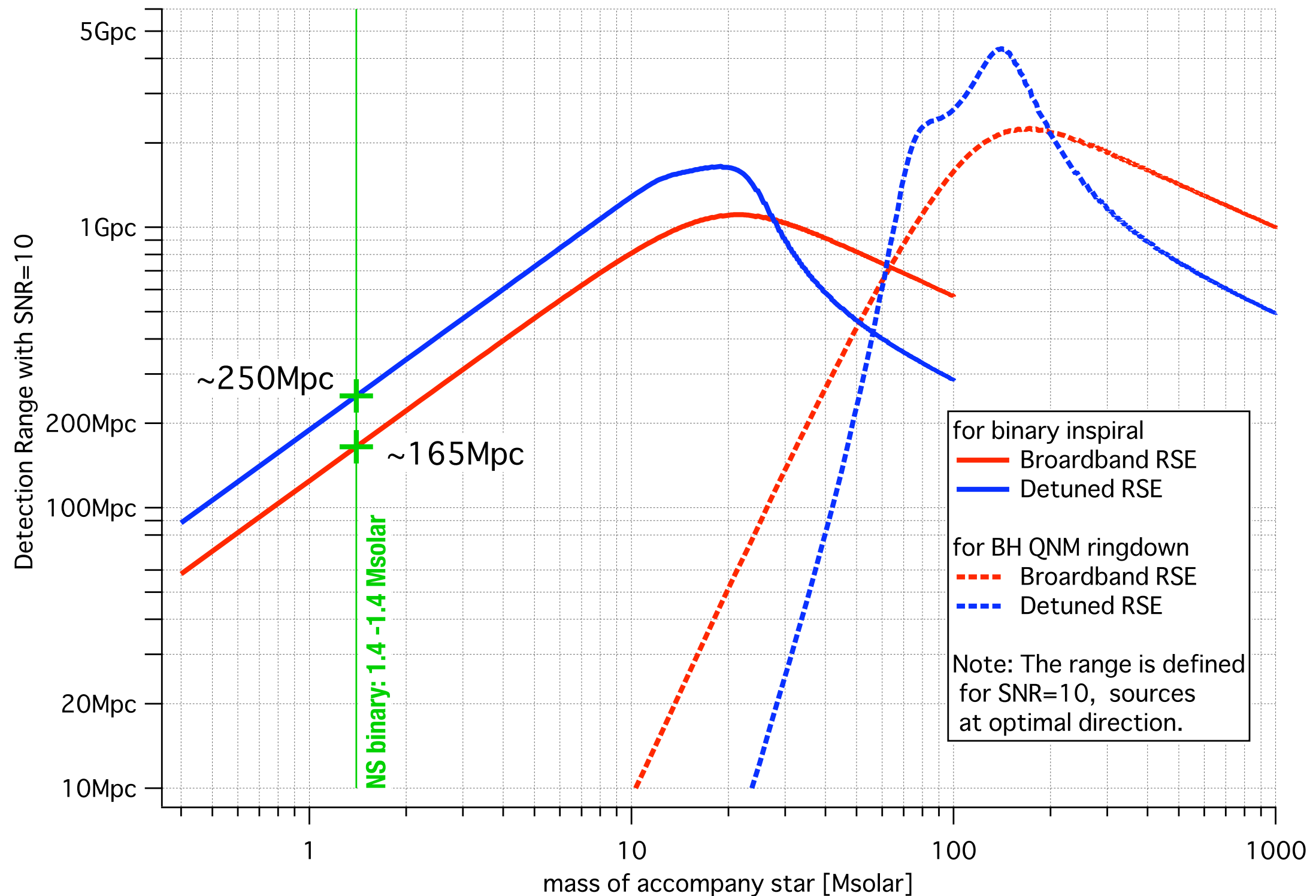


広帯域

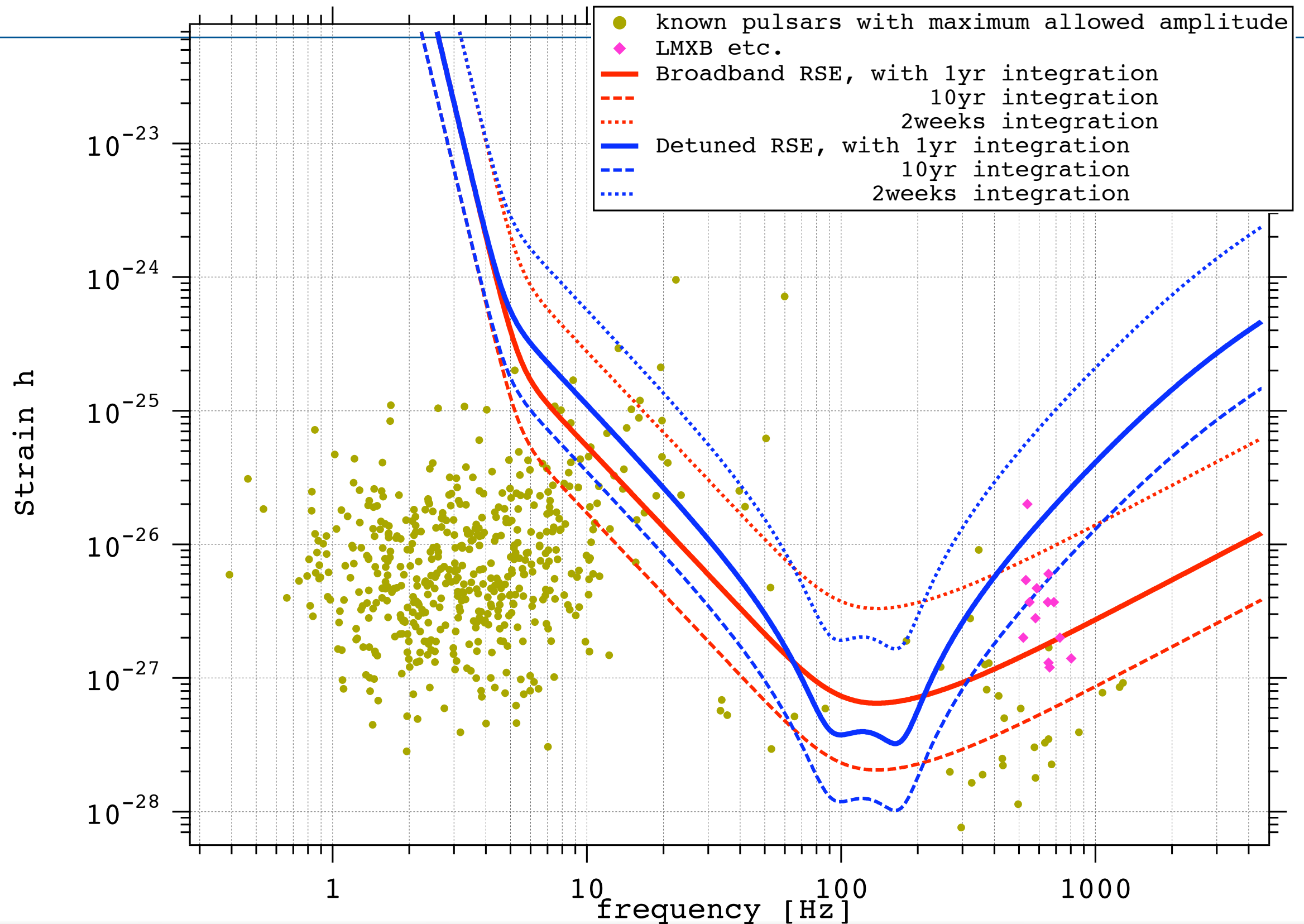
or

狭帯域でより高感度

RSE の導入による連星合体検出レンジの変化

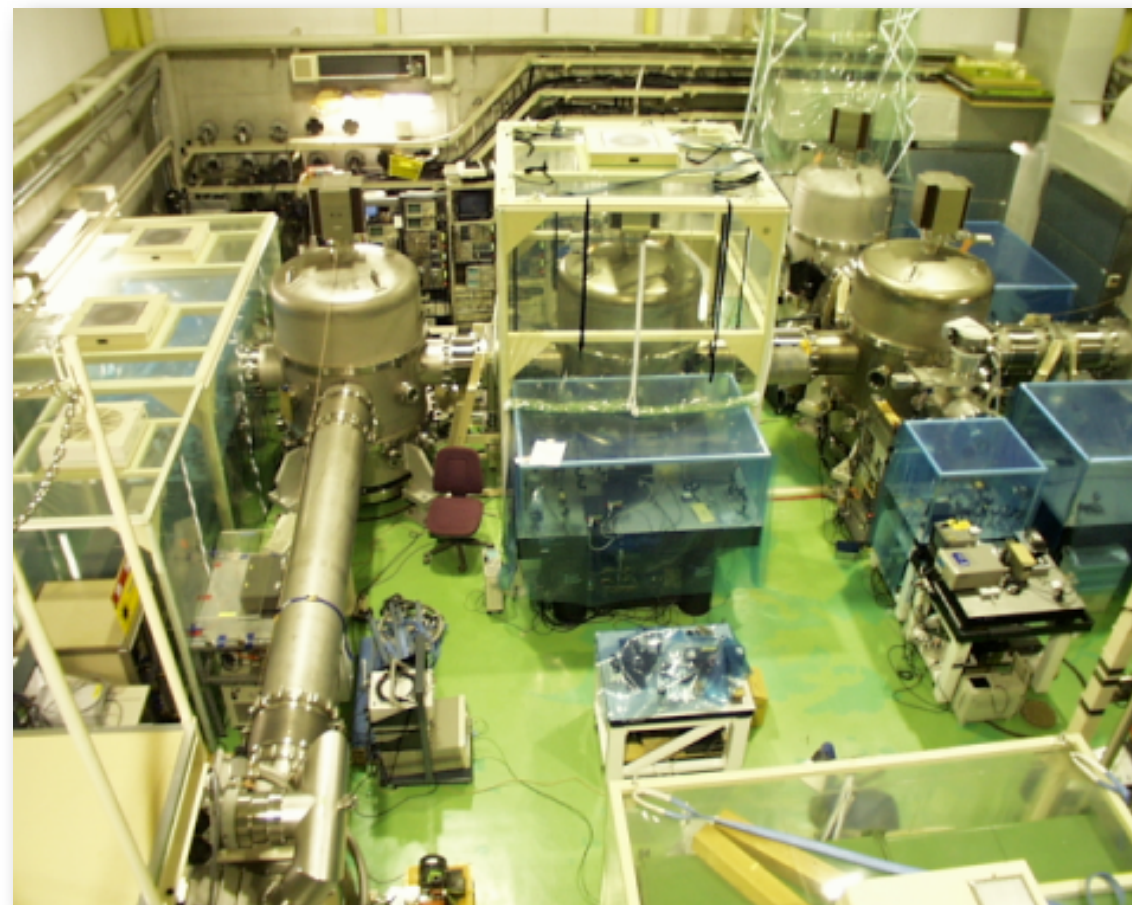


連続重力波（候補） にたいする感度



TAMA関連

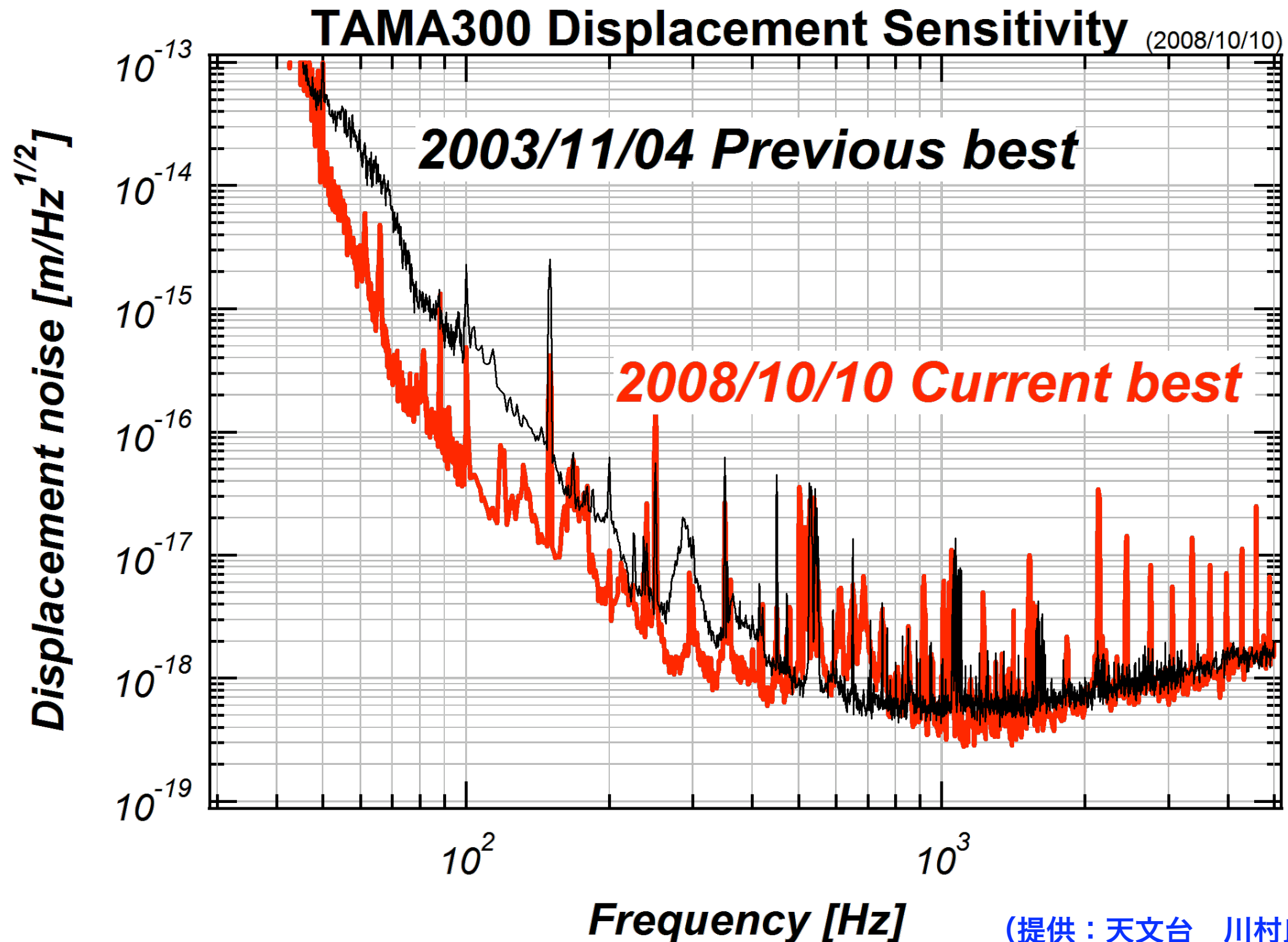
- ・ 感度向上
DT9@2003年以降の更新
ほぼ全体域の雑音の解明
- ・ SAS（低周波防振装置）
全体の感度向上につながった
- ・ デジタル制御の進展



TAMA300の感度向上

- ほぼ全帯域で感度向上を達成

～100Hz付近で1桁以上の改善

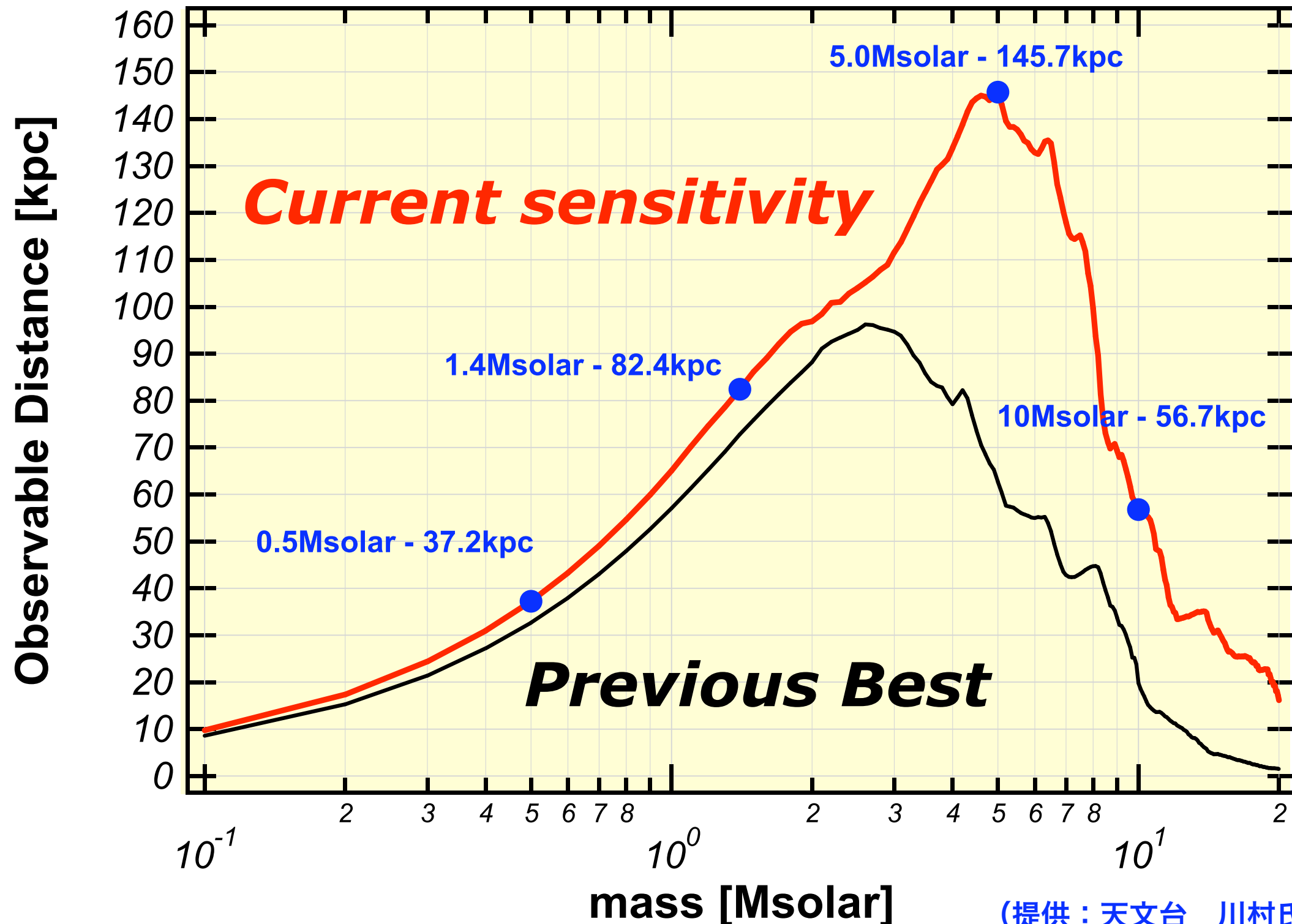


(提供：天文台 川村氏、新井氏ほか)

連星中性子星合体に対する感度

- どのmassのcompact連星に対しても感度改善

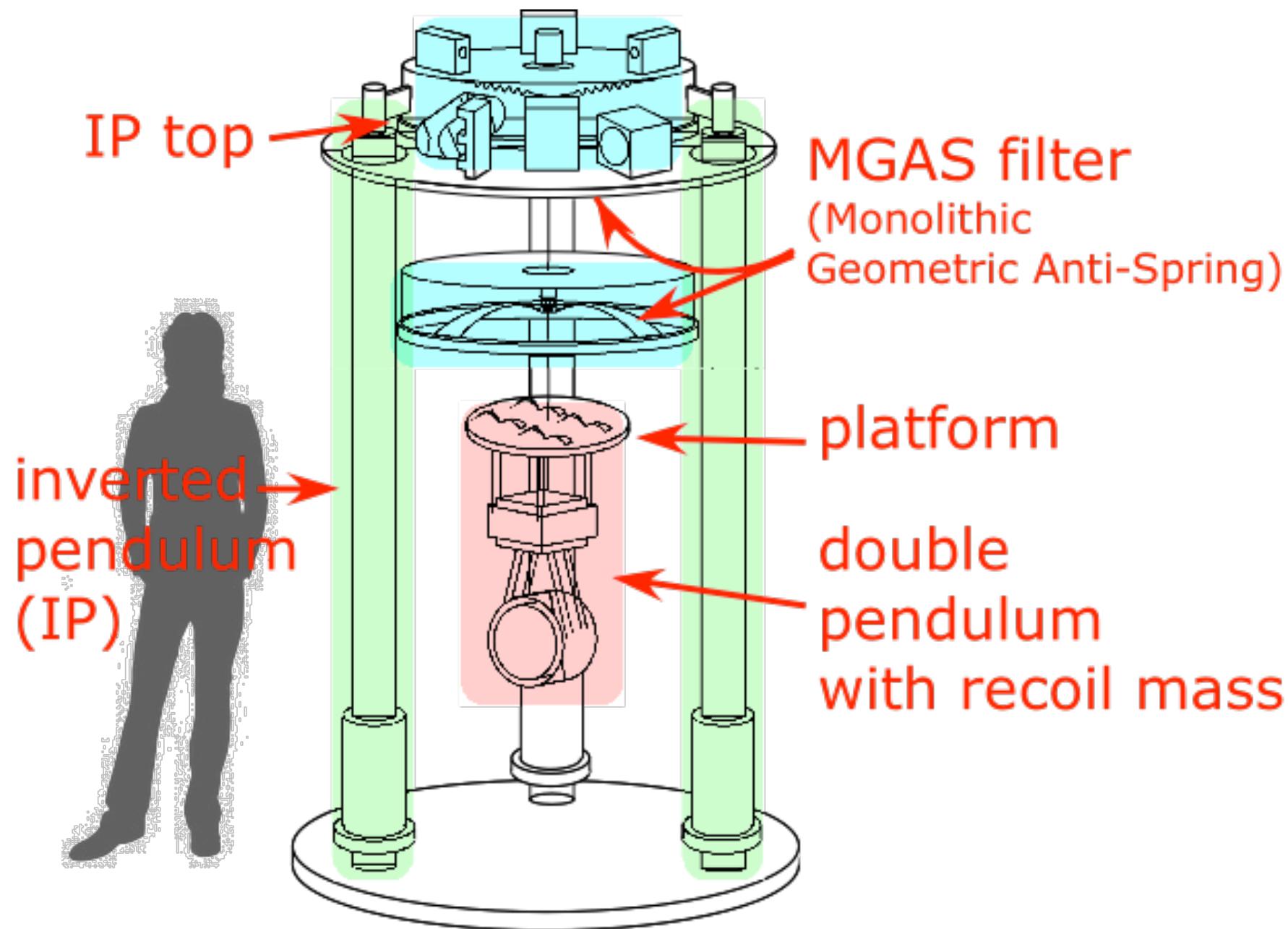
Distance of detecting inspirals with SNR=10



(提供：天文台 川村氏、新井氏ほか)

低周波防振装置SASの導入

米LIGO・伊VIRGO・東大理との共同開発
LCGT の防振装置の原理検証



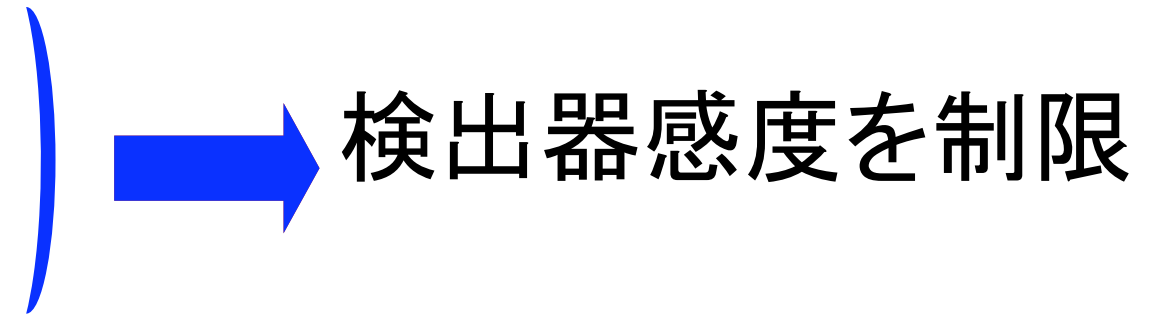
センタールームでの
インストール作業

(提供：天文台 川村氏、新井氏ほか)

SASによる感度向上

●今までの感度

鏡の角度揺れ制御による雑音
アクチュエータ系の電気雑音



●SAS導入に伴う改善

防振性能の向上

⇒ 制御帯域を下げられた

デジタル制御系の導入

⇒ 電気雑音対策の柔軟性アップ

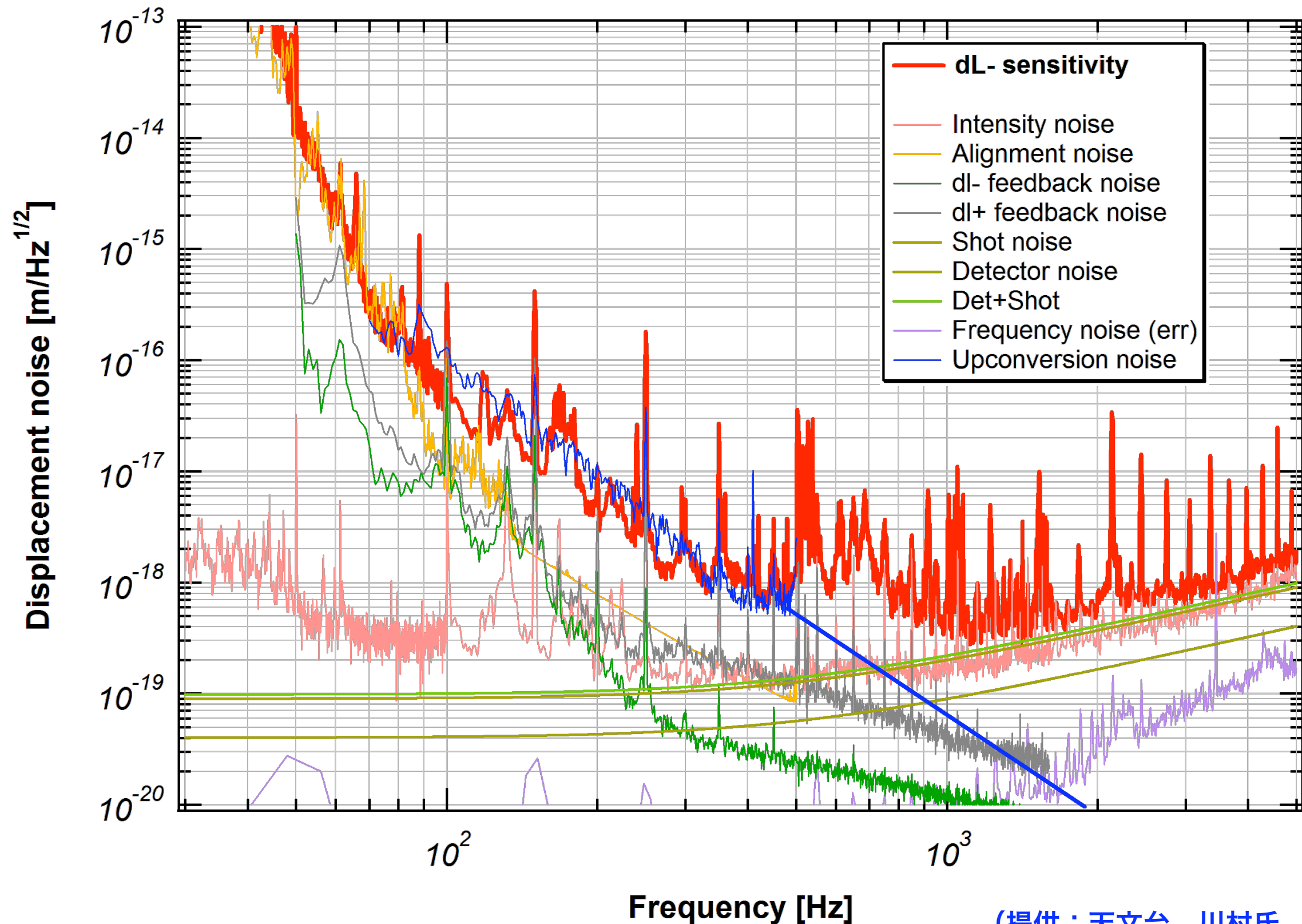
結果として重力波感度の改善

さらに

現在の感度が既知の雑音源で説明可能になった

TAMA300 noise budget

- ほぼ現在の雑音レベルの説明がつく



まとめ

- LCGT予算申請（概算要求）
- LCGTデザインの改訂作業
目指すのは construction ready な設計
- TAMAとCLIOによる技術的な裏付け
TAMAの感度更新、ほとんどの雑音源の特定
CLIOにおける熱雑音に迫る感度向上、世界の大型実験に比肩する変位感度
TAMA-CLIOの協力体制
- 世界情勢：LIGOの成功、adv.LIGOの開始、EGOの発足
一刻も早くLCGTの実現が必要

お知らせ *Notice*

- ・ 春の物理学会シンポジウム

2009/3/30午後

「重力波検出の現状と将来」

ゲスト：B.F. Schutz

"Science Frontier by the
world-wide gravitational wave
network"

他 5 講演

- ・ 藤原セミナー

2009/5/27-29 @ 国際湘南村

The 58th Fujihara Seminar

World-wide Network for Gravitational Wave Observation

27-29 May 2009

Shonan Village Center, Hayama, Kanagawa, Japan

A hundred years after Einstein revealed the nature of gravity, large scale ground based interferometers are currently in operation to observe gravitationally induced ripples in the space-time continuum and to uncover hitherto unseen secrets of the universe.

Strategies will be discussed to establish a world-wide network of detectors to measure the properties of gravitational wave signals, and to use them with other astronomical observations to understand their sources.



Hosted by Institute for Cosmic Ray Research (ICRR) / Sponsored by the Fujihara Foundation of Science
with scientific oversight by Gravitational Wave International Committee (GWIC)
<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/gr/fujihara.html>