

宇宙線研重力波グループの研究



宇宙基礎物理学研究部門
重力波観測研究施設
内山 隆

宇宙線研重力波グループ

重力波グループ

- 世界に唯一の地下設置・低温ミラー装着の重力波望遠鏡KAGRA
- 国際色豊かに最先端研究を進めている研究です



内山(A8)

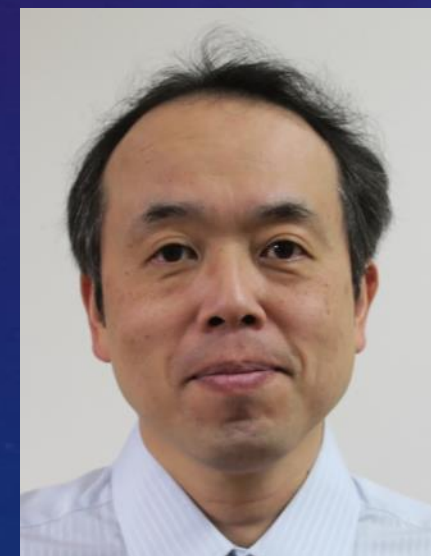


大橋(A8)

これから展開してゆく重力波
天文学と一緒に創りましょう！



梶田(A8)



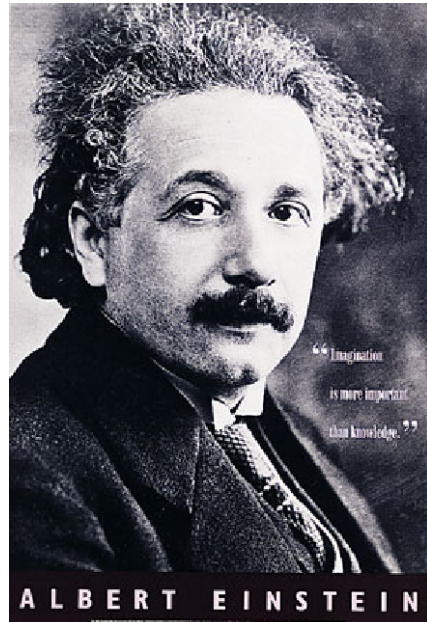
三代木(A8)



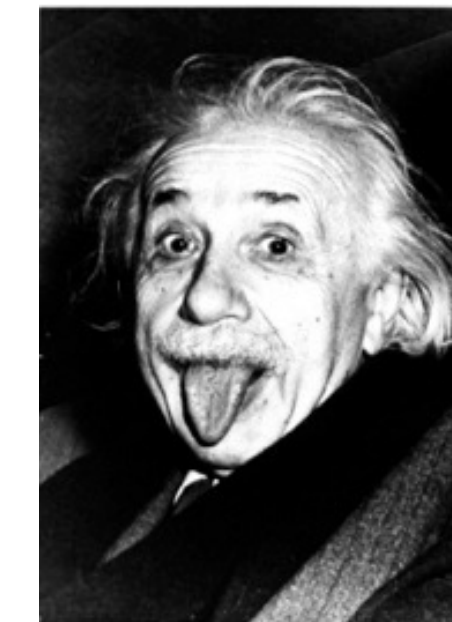
田越(A5)



補足：梶田先生、大橋先生の学生の募集はありません

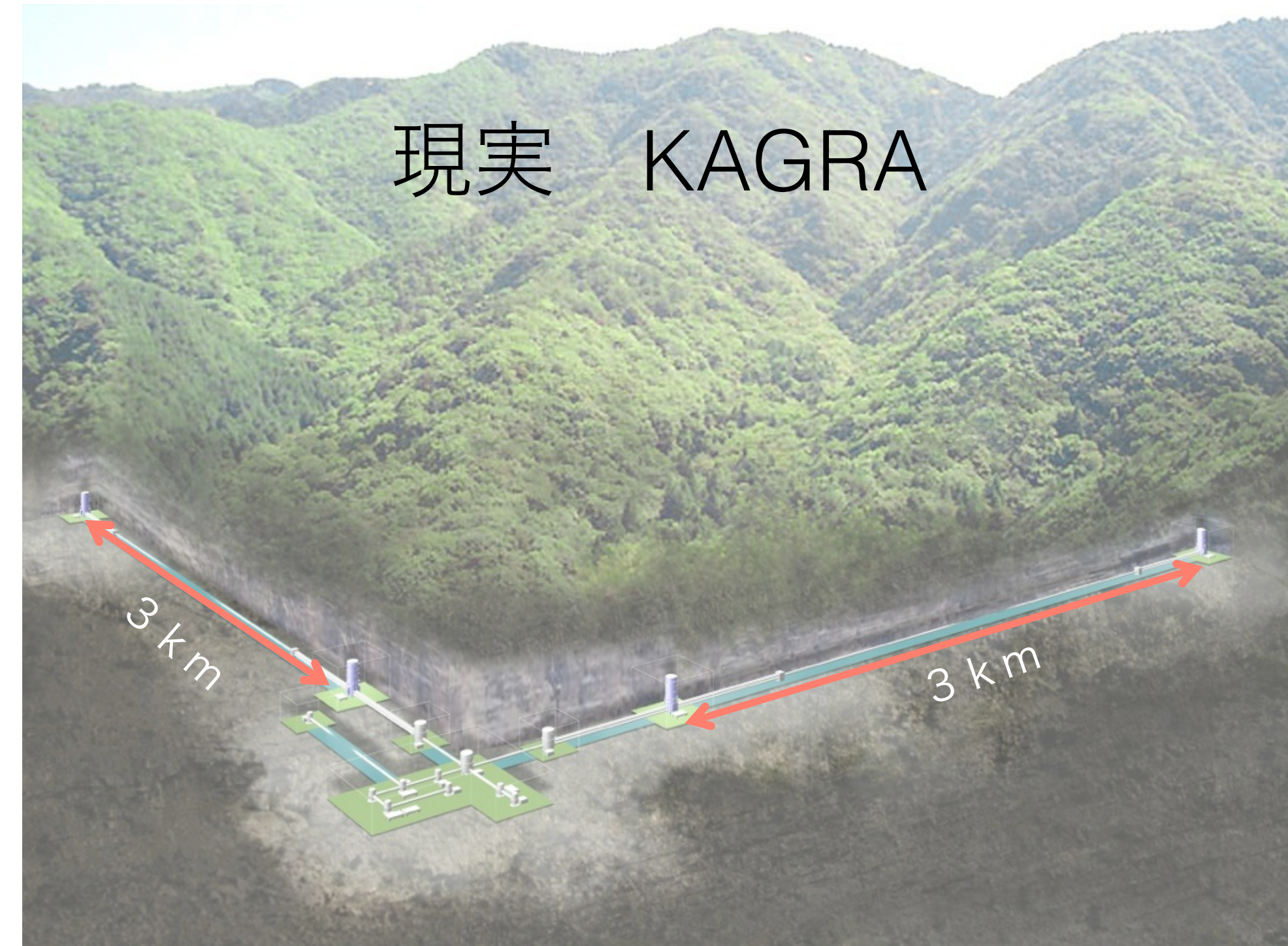
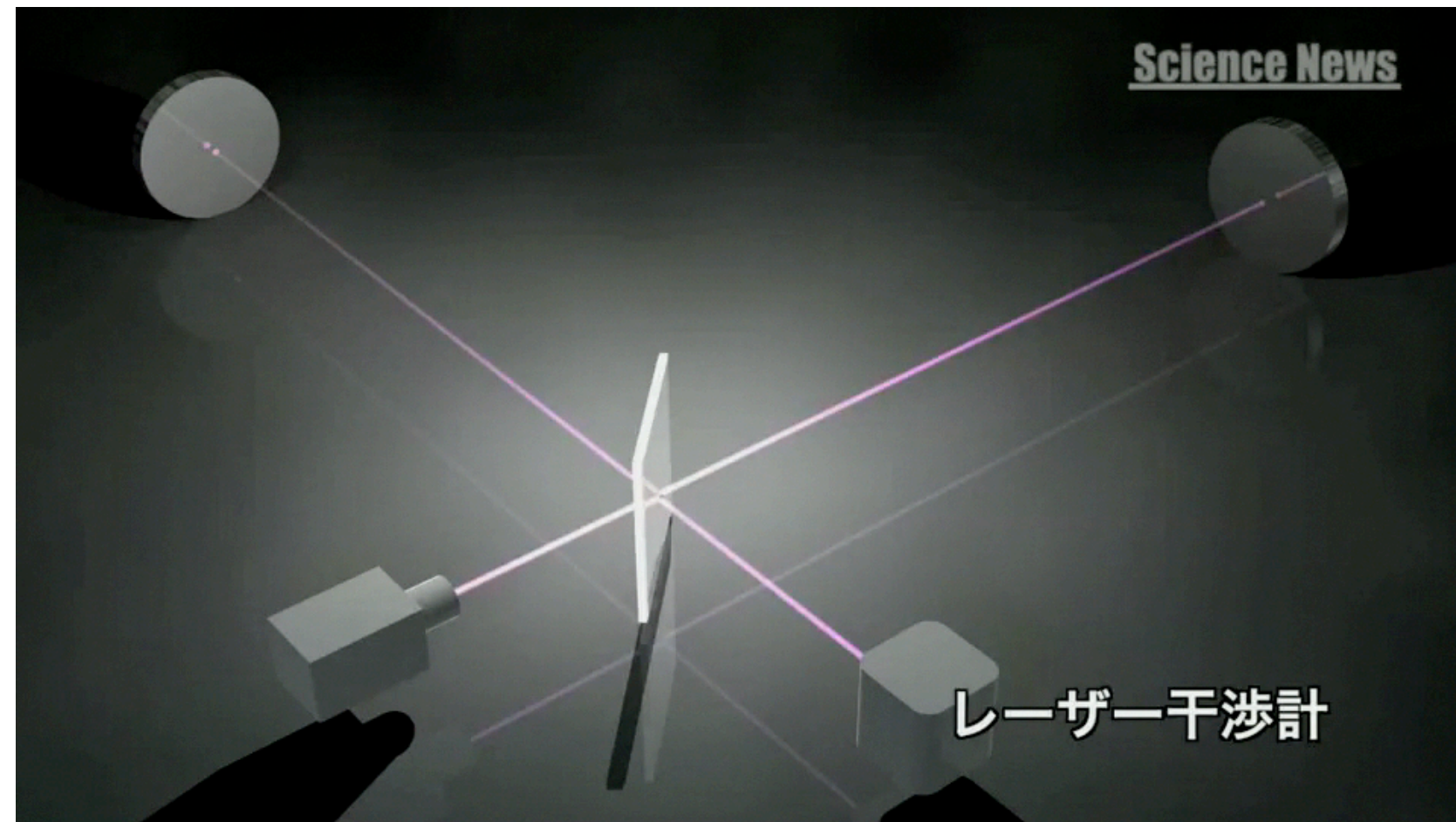


重力波と重力波検出



- アインシュタイン博士が1916年に一般相対性理論で予言。
- 時間と空間(時空)のひずみを光速で伝える波動現象。
- 質量の非球対象な運動により発生。実験室内で検出可能な強度の重力波の発生は実質的に不可能。→宇宙から届く重力波を検出しよう
- 2015/9/14にLIGO(米国)により初検出。発生源はBHの連星合体。
- 初期宇宙から中性子連星の合体、超新星爆発、パルサーなど様々な天体現象が重力波源になる。
- 大型レーザー干渉計が現在の主流。KAGRA, LIGO, VIRGO etc.
 - 重力波検出の意義その1：一般相対性理論の実験的検証。
 - 重力波検出の意義その2：重力波天文学。

重力波検出の原理 光路長変化の精密測定



重力波検出のため

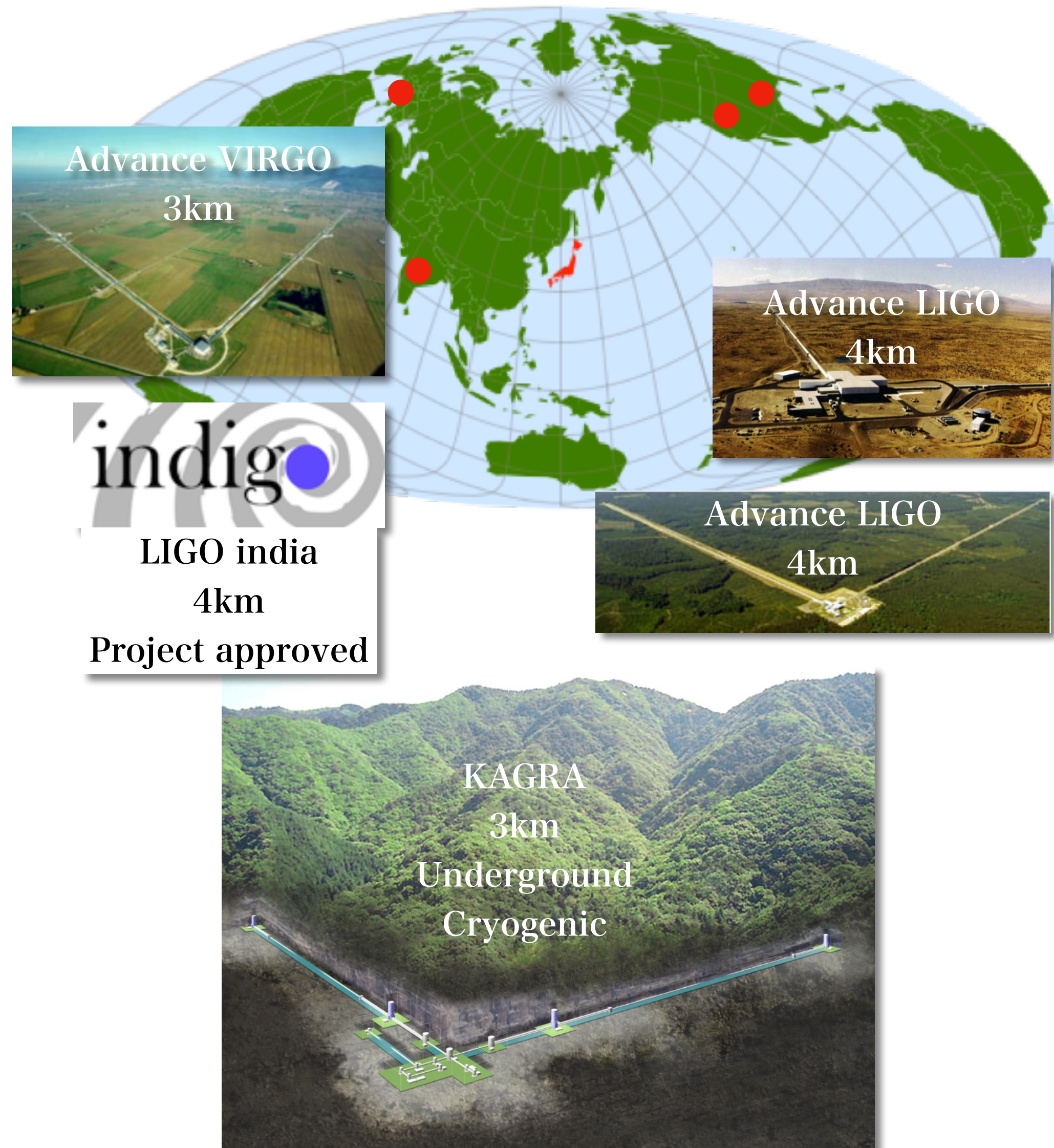
一辺3~4kmの巨大レーザー干渉計を建造し

1

$\frac{1}{100,000,000,000,000,000,000}$ m 注：0が20個あります

この微小距離変化測定の実現を目指します。

重力波国際ネットワーク



- 信号の同時性により、真の測定かどうかを判断できる。
- 複数の検出器の信号を比較することができる。
 - 信号の到来時刻差→重力波源の位置
 - 重力波の偏光成分の測定
 - (コンパクト連星の場合)軌道傾斜角と絶対振幅の決定→重力波源までの距離
- 観測時間と観測可能領域の拡大
 - より多くの重力波イベントの発見

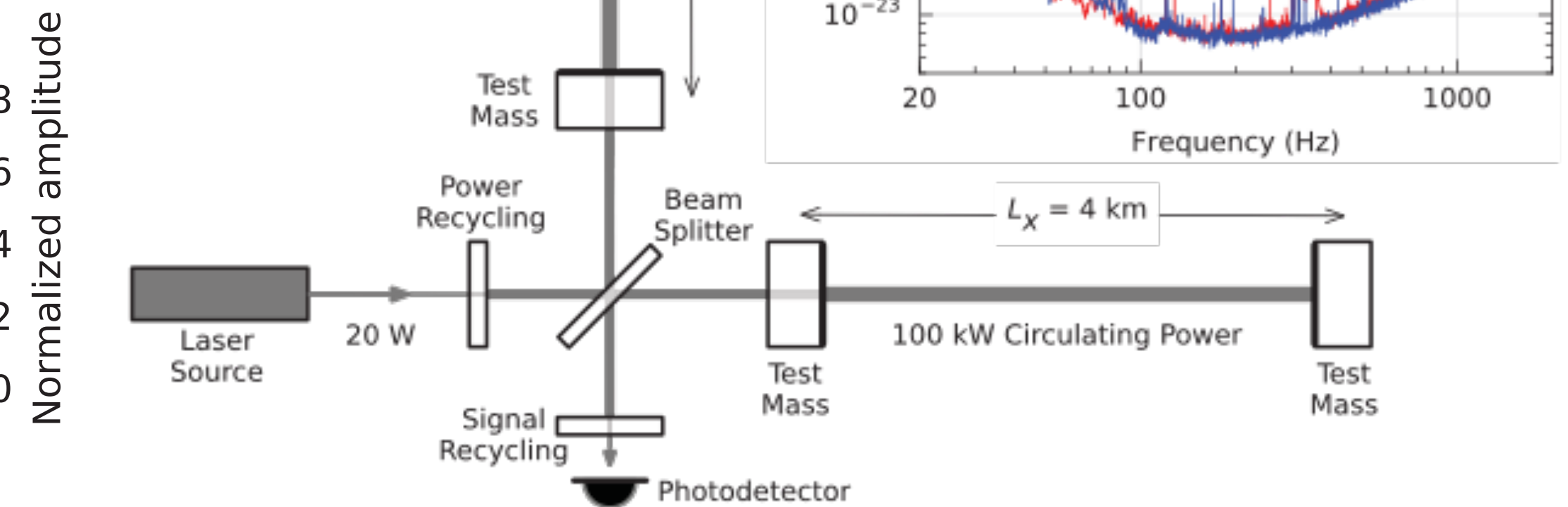
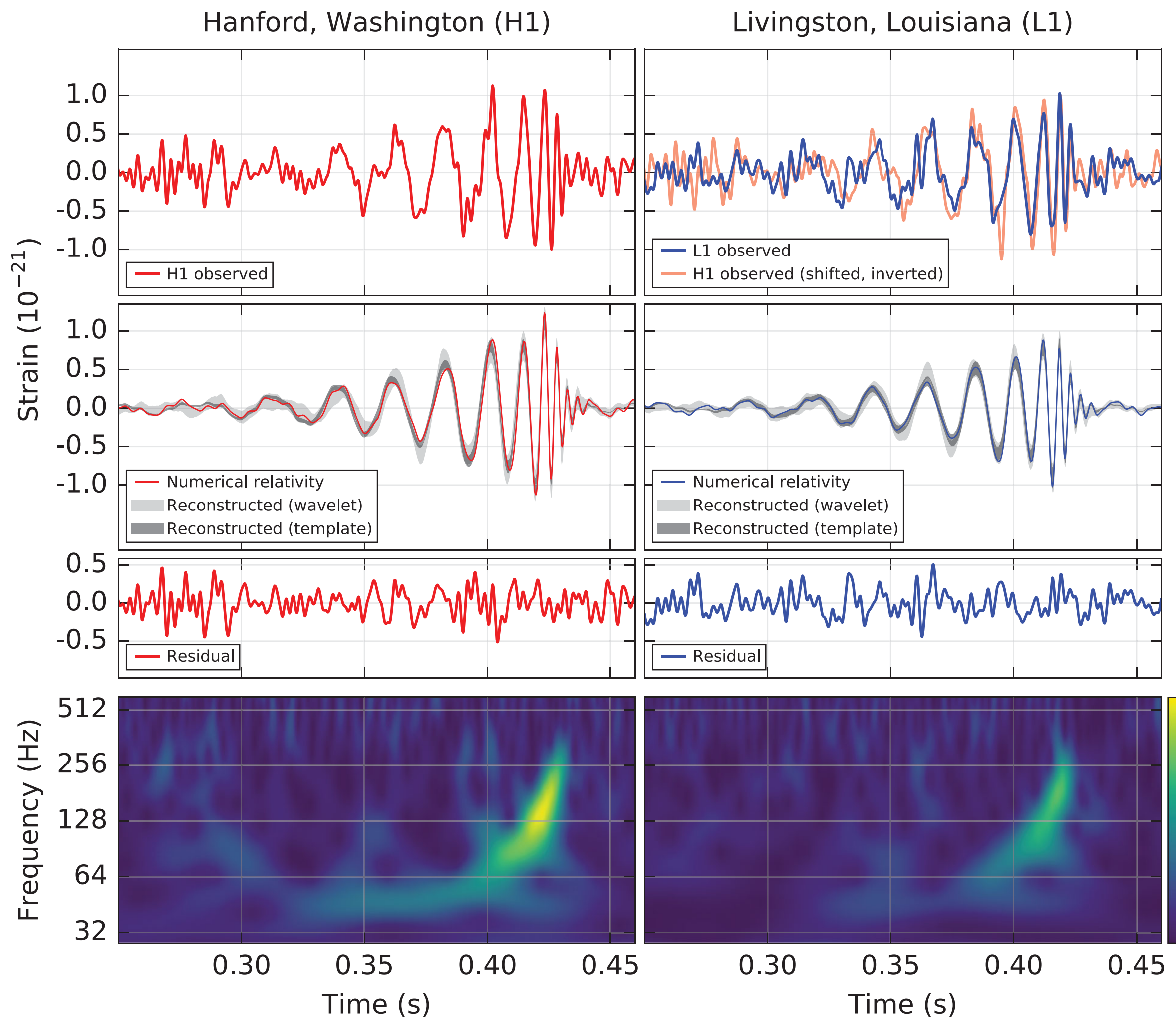
KAGRAの参加は非常に重要

歴史的重力波観測その1 GW150914

重力波の初検出

発見の重要性

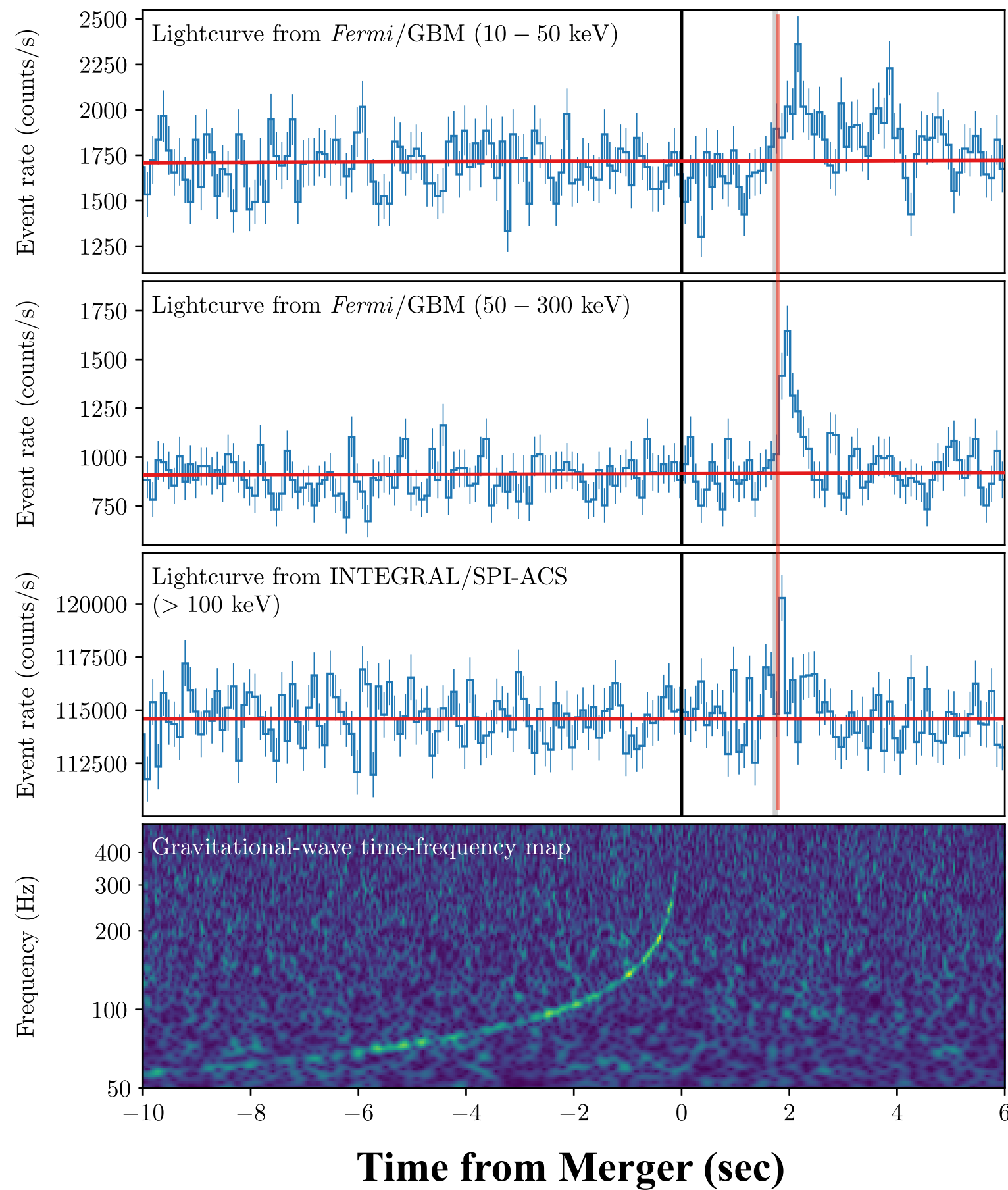
- ・ 初めての重力波検出である。
- ・ 初めて BH連星を発見し、その合体を観測した。
- ・ 最も重い恒星型BHを発見した。
- ・ 強い重力場において、一般相対性理論の検証を行った。



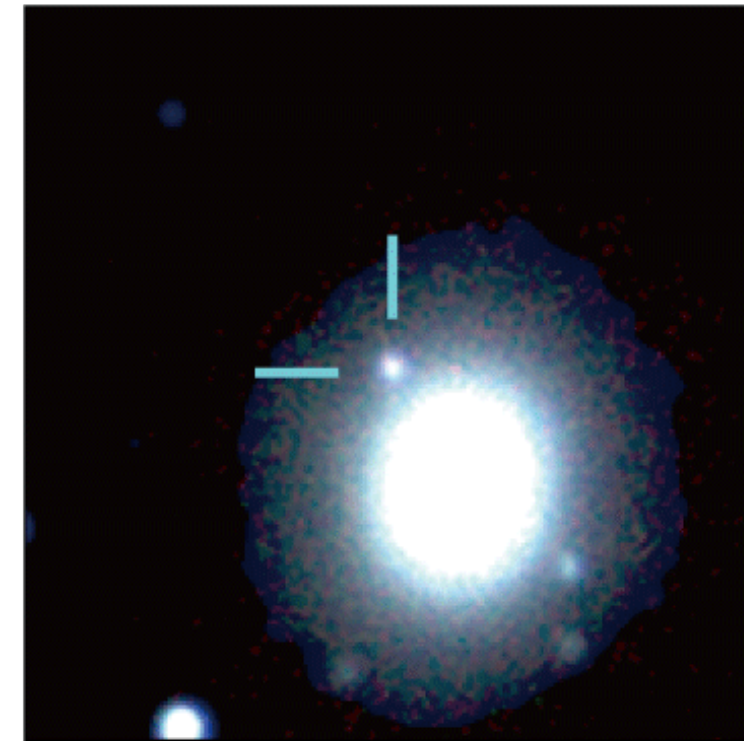
歴史的な重力波観測その2 GW170817

連星中性子星合体による重力波の初観測

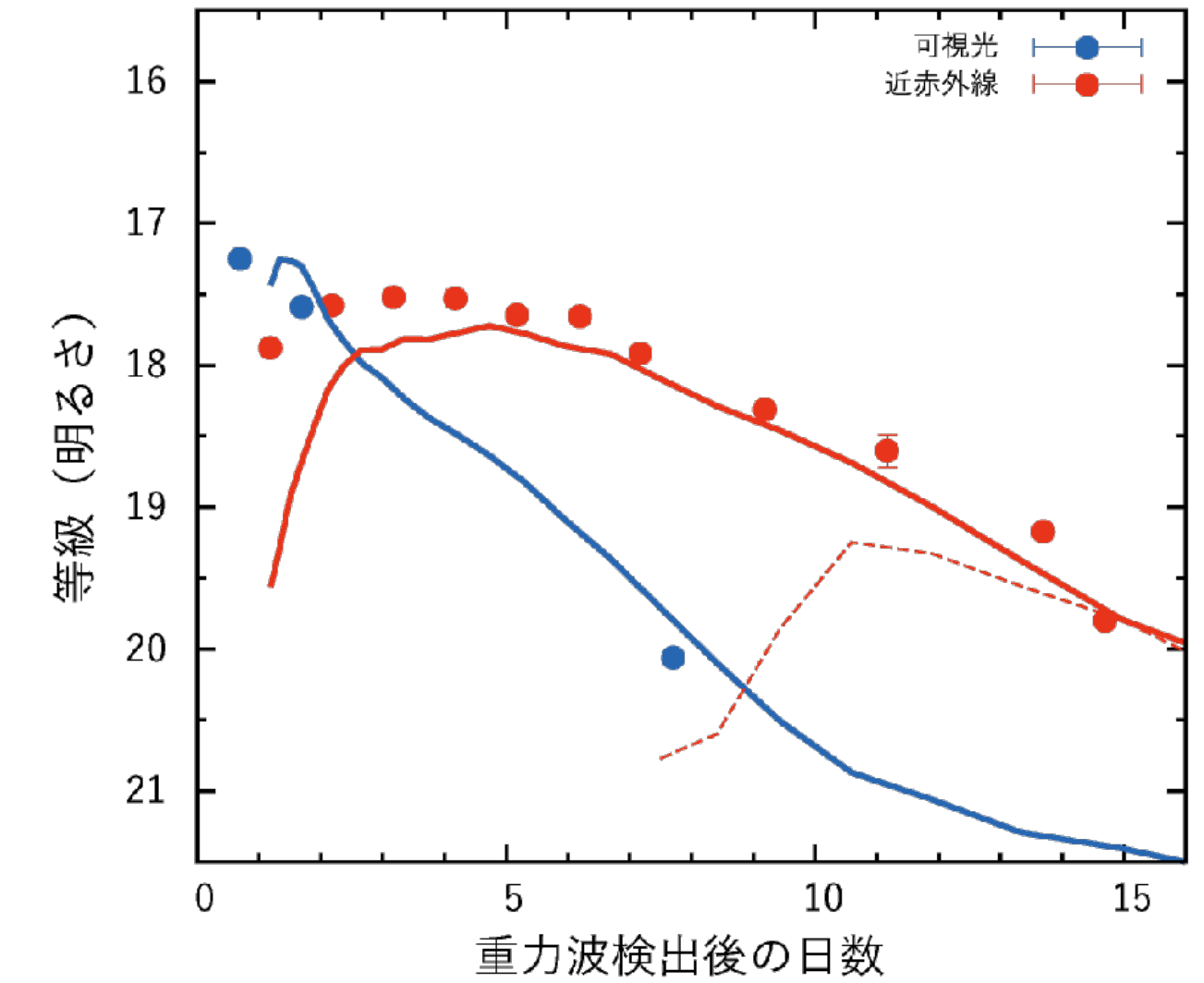
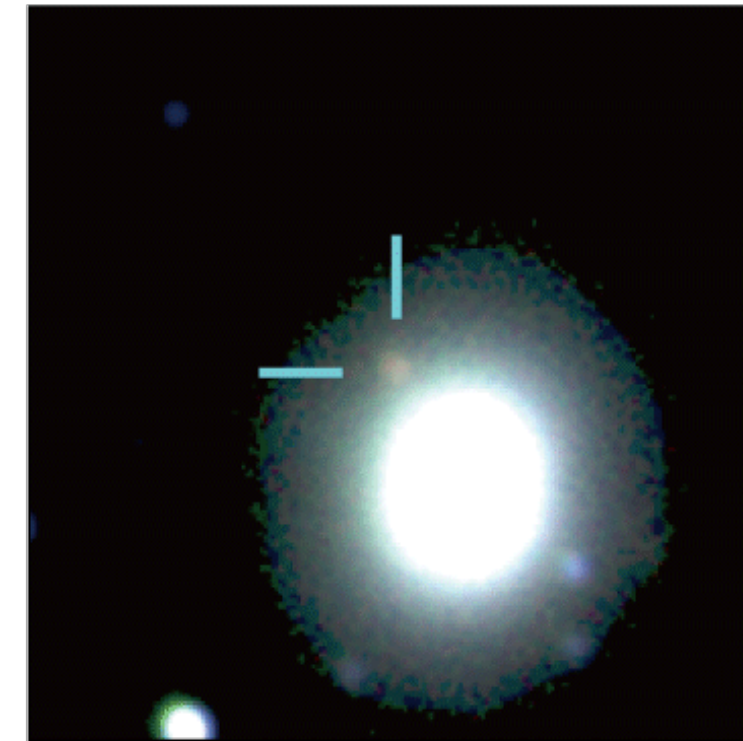
Merger \times GRB start



2017.08.18-19



2017.08.24-25



Importance of the discovery

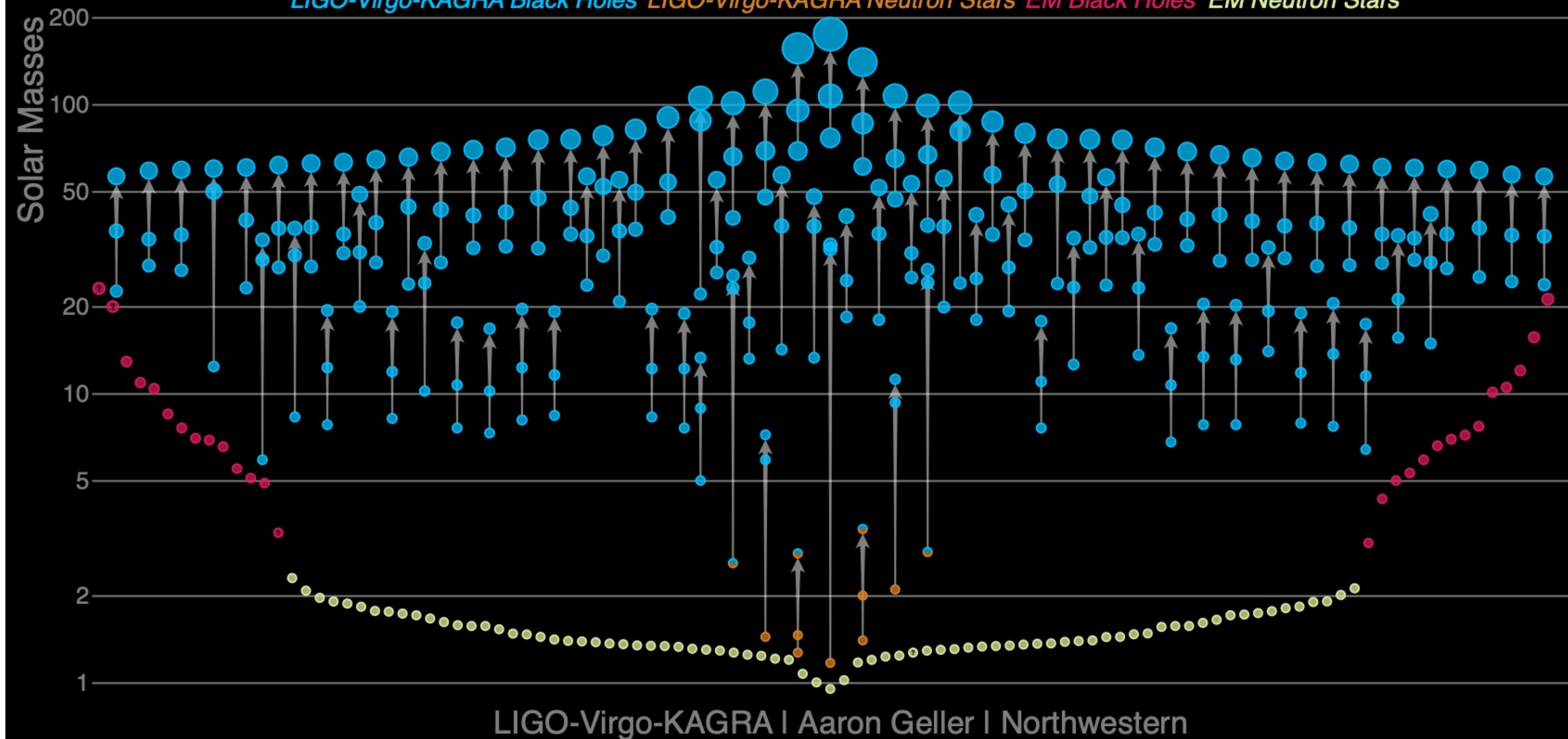
- ・ 初めての中性子連星合体からの重力波検出。
- ・ 電磁波観測によるフォローアップ観測に成功。
 - ・ 精度の高い波源方向の決定。
 - ・ ショートガンマ線バーストを観測。→ 起源を確認。
 - ・ r-プロセスに伴うキロノヴァを観測。→ 重金属の起源を確認。
- ・ ハッブル定数の導出。
- ・ 中性子星の半径と状態方程式の導出。
- ・ 一般相対性理論の検証。→ 理論とよく一致した。

Short Gamma Ray Burst 1.7sec after GW170817

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 848:L13 (27pp), 2017 October 20

Masses in the Stellar Graveyard

LIGO-Virgo-KAGRA Black Holes LIGO-Virgo-KAGRA Neutron Stars EM Black Holes EM Neutron Stars

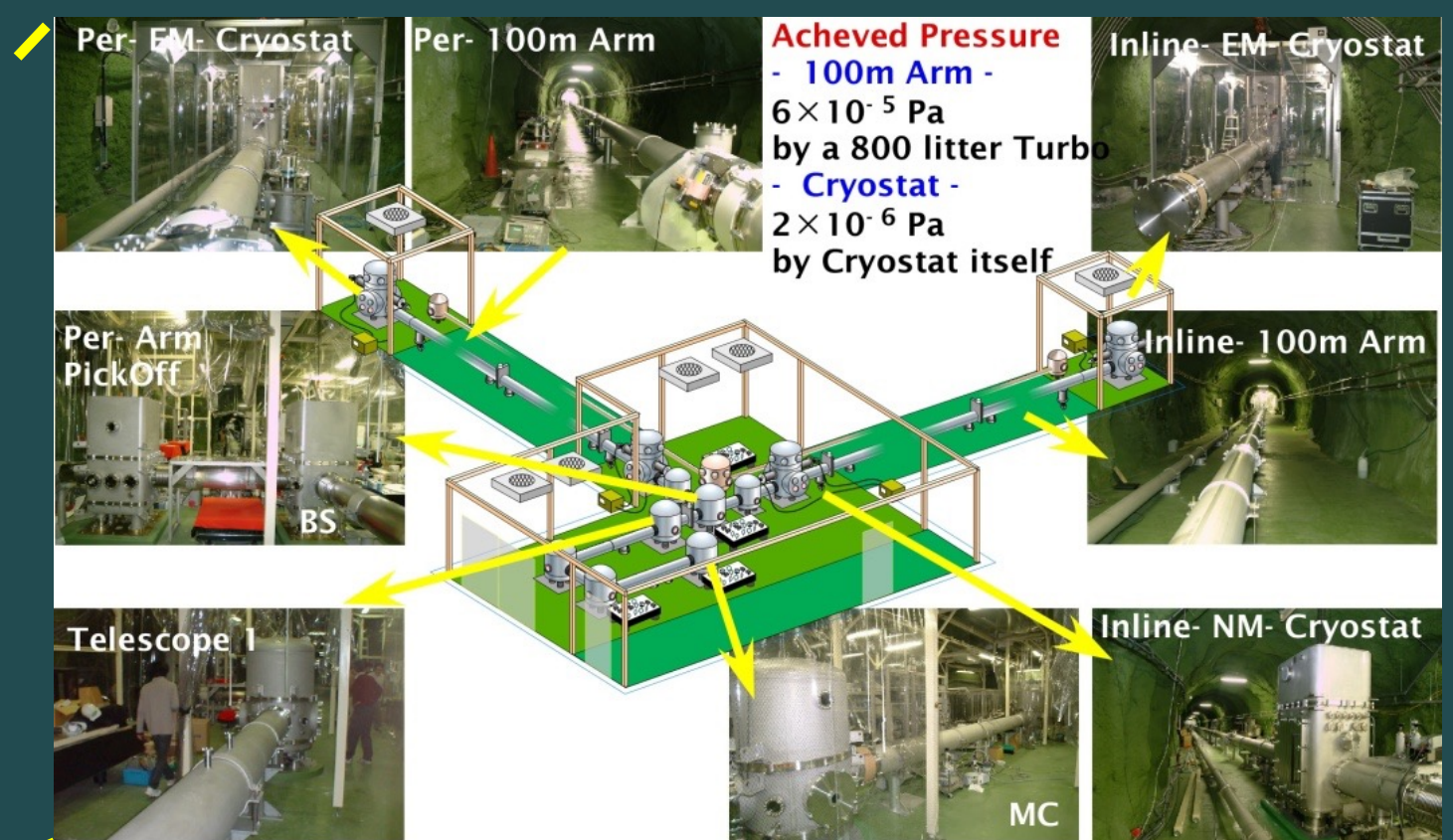


これまでに重力波および電磁波観測により発見された中性子星とブラックホール

- 重力波観測O1(2015/9-2016/1), O2(2016/11-2017/8), O3(2019/4-2020/3)
- これまでに90回の連星合体による重力波観測を実現(O3では50回！！)
- BH-BH: 84, NS-NS: 2, BH-NS: 2, BH-BH/NS: 2
- 電磁波追観測に成功したのはGW170817のみ

<https://ligo.northwestern.edu/media/mass-plot/index.html>

大型低温レーザー干渉計KAGRA

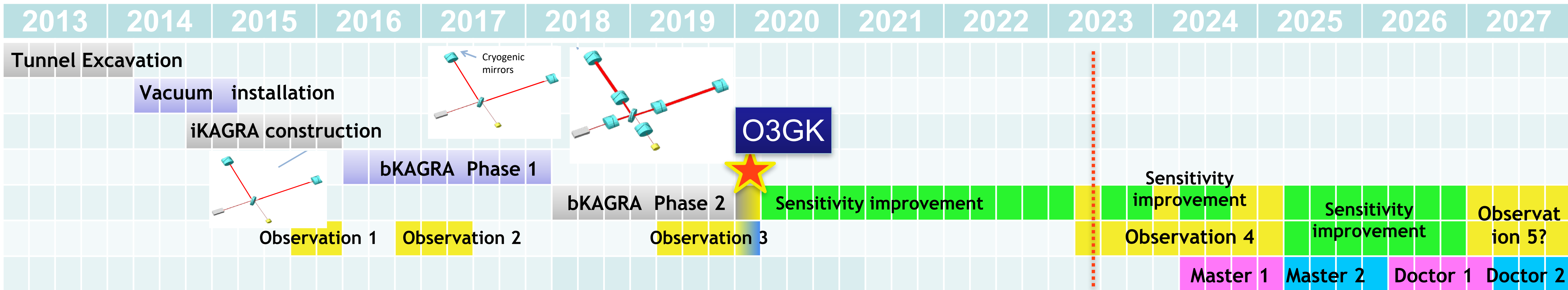


KAGRAの特徴

- (1)地面振動の影響を低減するため神岡鉱山の地下200m以下に建設
- (2)低温鏡(サファイア鏡を-250度に冷却)と低温鏡振り子の導入で熱雑音を低減
唯一KAGRAだけが採用

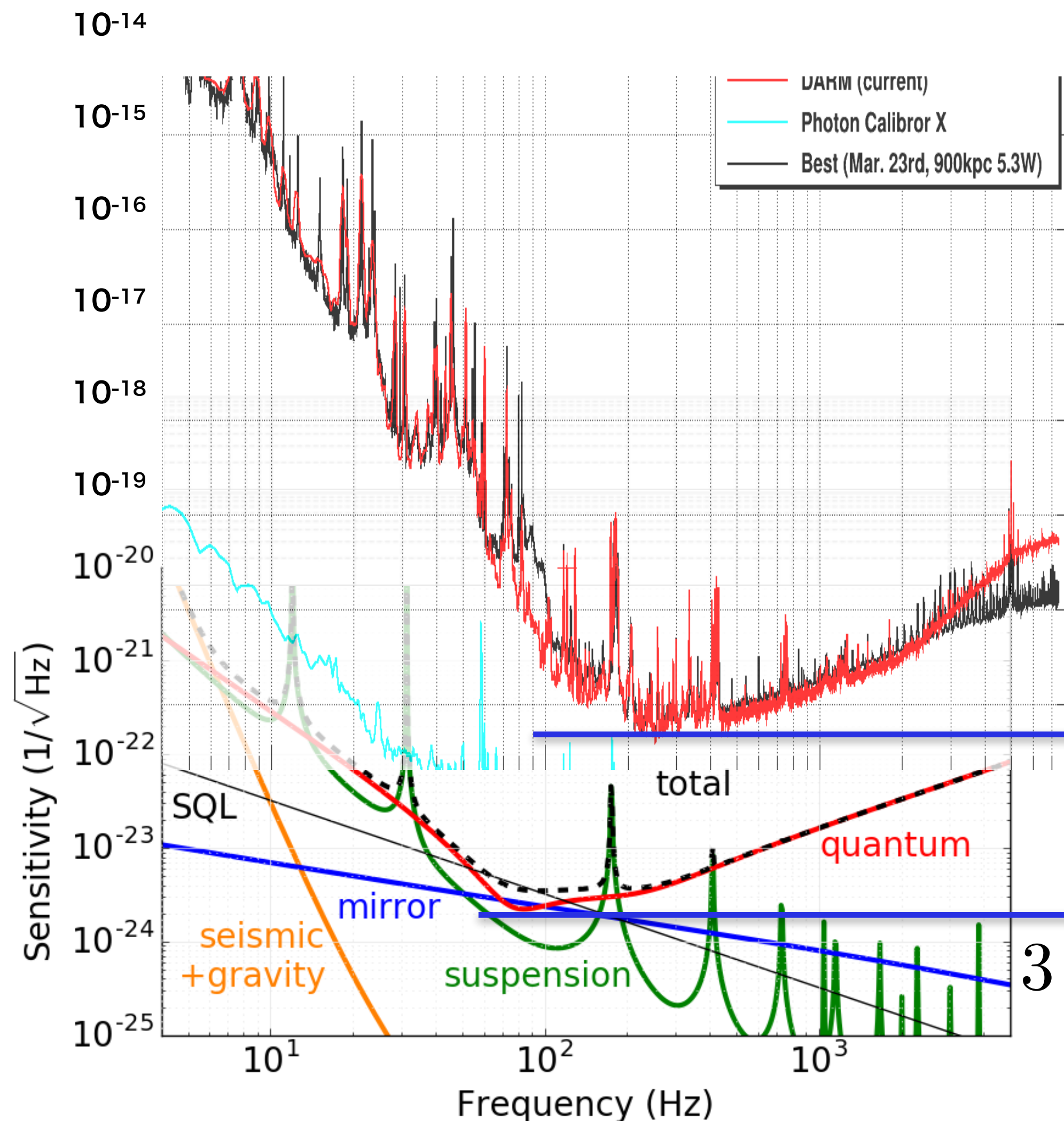
目標感度：約200Mpc(中性子星連星合体に対して)。約4Gpc(GW150914相当)

KAGRA ROAD MAP



- KAGRAプロジェクトは2010年より始まった。段階的に巨大干渉計の建設を進めた。
- iKAGRA: 常温マイケルソン干渉計。km-class干渉計のテスト運転。約3週間の試験観測を完了。
- bKAGRA Phase 1: 低温マイケルソン干渉計。低温技術、大型防振装置の導入
- bKAGRA Phase 2: フルスペック。全ての要素がインストール。
- O3GK：2020年4月に国際共同観測を実施。
- 現在はObservation 4実施中（2025年1月ごろまで）。KAGRAは感度向上作業を挟みながら参加。
- 皆さんが修士の時には、感度向上作業と国際共同観測の両方に参加可能。

KAGRAの現状と目標



A8 (三代木、内山)の研究テーマ

- ・ KAGRAの感度向上、安定な運転
- ・ 将来に向けた観測技術開発

幅広い研究テーマから選ぶことができます。

現在は、KAGRAの感度向上が特に重要。

目標到達まで300倍の改善が必要。

皆さんの活躍が必要です。

$1 \times 10^{-22} [1/\sqrt{\text{Hz}}]$ O3の時のKAGRA

sensitivity

KAGRA Target

sensitivity

目標値

$3 \times 10^{-24} [1/\sqrt{\text{Hz}}]$

田越秀行 (A5サブコース)

重力波のデータ解析・理論グループ

田越秀行 教授 (重力波のデータ解析と理論)

森崎宗一郎 助教 (重力波天文学)

川口恭平 助教 (数値相対論、重力波天文学) (浅野研と兼任、ドイツ出向中)

成川達也 特任助教 (宇宙物理学、重力波天文学)

内潟那美 特任研究員 (宇宙物理学、重力波天文学)

大学院生5名



- KAGRAのデータ解析グループの1つ
- KAGRAによる重力波検出を目指して様々な研究を行っています
- 重力波検出器KAGRA/LIGO/Virgoのデータ解析, 信号検出と物理パラメータの推定
- 検出された重力波信号の理論的解釈, 関連する重力波天文学・物理学の理論的研究
- など

連絡先: tagoshi__AT__icrr.u-tokyo.ac.jp お気軽にご連絡ください

研究室訪問

- 重力波実験（三代木、内山）
- 総合研究棟 6階 630号室
- 重力波データ解析・理論（田越）
- 総合研究棟 6階 654号室

まとめ

- 宇宙線研重力波グループではA5(田越)、A8(三代木、内山)が修士学生を受け入れます
- 岐阜県飛騨市神岡町にある大型低温重力波望遠鏡KAGRAを用いた研究を進めています
- A5(田越): 重力波データ解析・理論の研究に基づき、KAGRAによる重力波検出を目指しています。柏で研究します。
- A8(三代木、内山): KAGRAの感度向上や将来に向けた観測技術開発など幅広いテーマが対象。神岡で研究します。神岡での研究についてはオープンラボにて。
- KAGRAでは観測と感度向上を交互に行い、重力波天文学の発展に貢献していきます