

宇宙線研重力波グループの研究



宇宙線研重力波グループ



田越秀行教授

データ解析・理論

「重力波検出器のデータ解析や重力波に関する宇宙物理学の理論的研究を行っています」

A5 サブコース



三代木伸二教授



内山 隆准教授

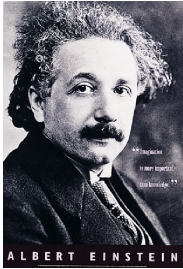


宮川 治准教授

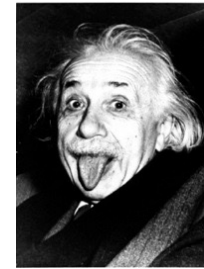
重力波実験

「岐阜県飛騨市にある神岡鉱山に建設した低温重力波望遠鏡 KAGRA を用いて宇宙から届く重力波の検出を目指しています」

A8 サブコース

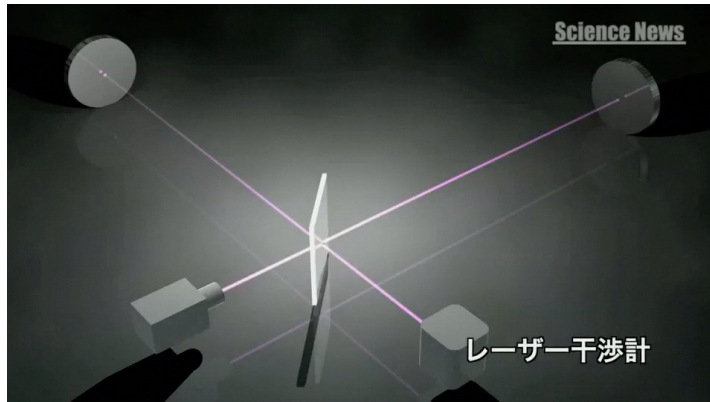


重力波と重力波検出



- 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

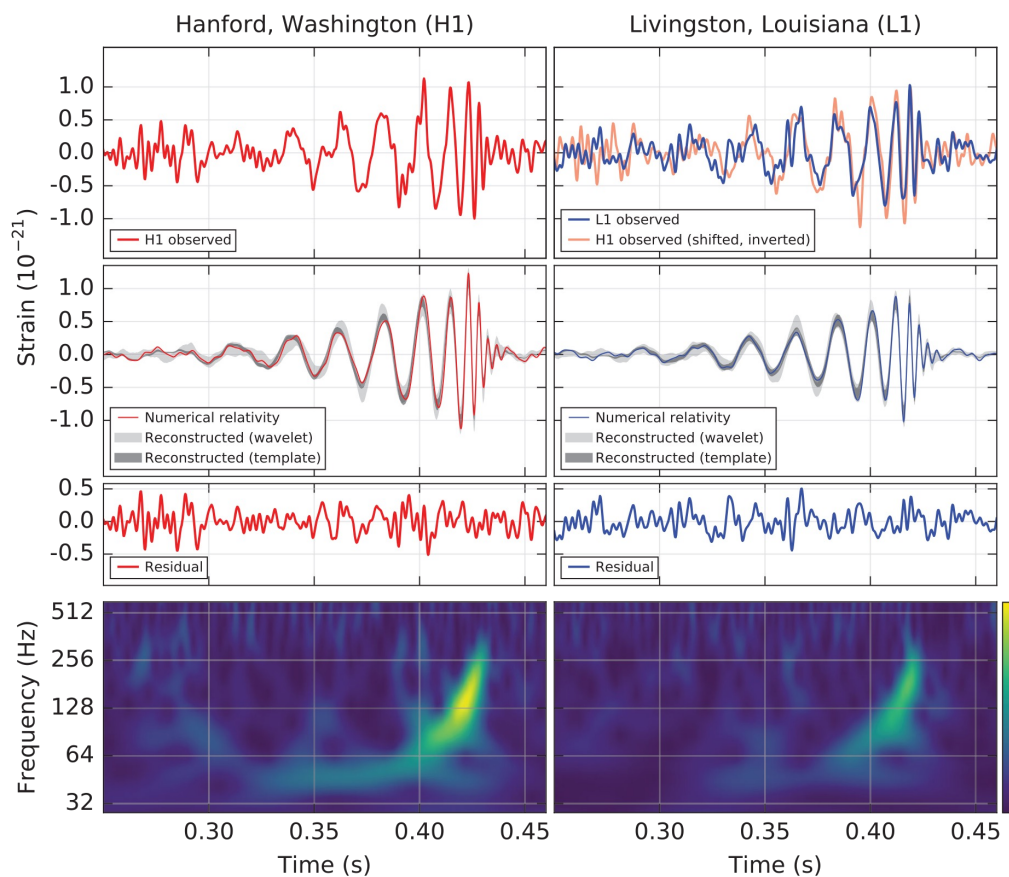


重力波検出のため
一辺3~4kmの巨大レーザー干渉計を建造し

$\frac{1}{100,000,000,000,000,000,000}$ 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。

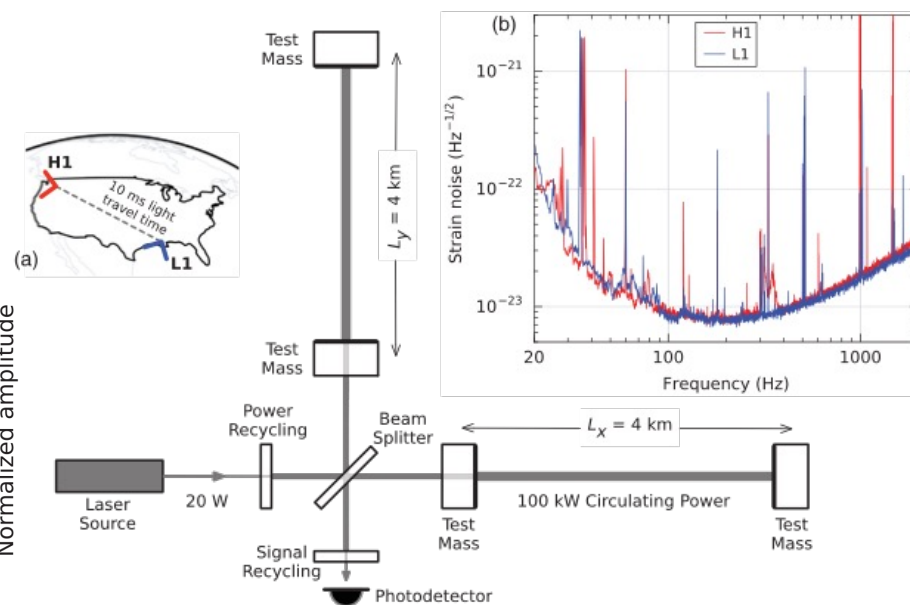
歴史的重力波観測その1 GW150914

重力波の初検出



発見の重要性

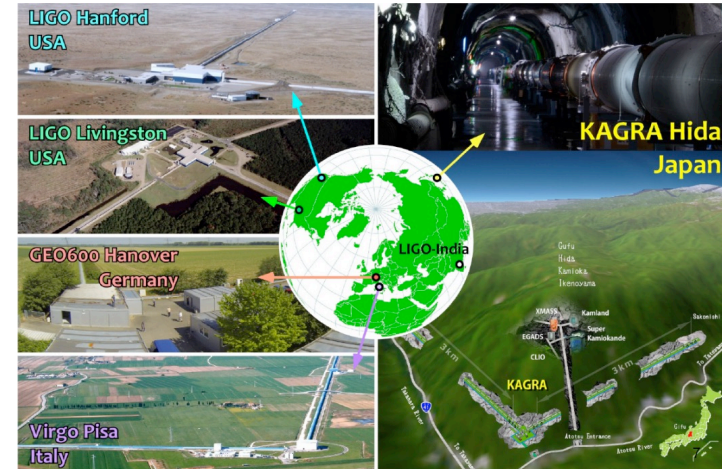
- 初めての重力波検出である。
- 初めて BH連星を発見し、その合体を観測した。
- 強い重力場において、一般相対性理論の検証を行った。



重力波国際ネットワーク

複数の重力波望遠鏡による同時観測網

- LIGO Livingston (LLO): アメリカ ルイジアナ州
- LIGO Hanford (LHO): アメリカ ワシントン州
- Virgo: イタリア ピサ カッシーナ
- KAGRA: 日本 岐阜県飛騨市神岡町

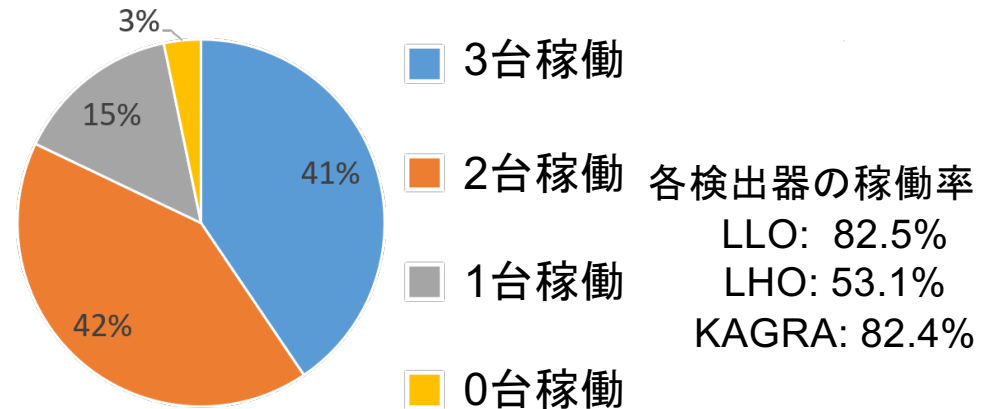


重力波の観測に複数の検出器が必要となる理由

- 方向決定精度の向上
- パラメータ決定精度の向上
- 複数台稼働率の向上

今までに4回の国際共同観測(O1 - O4)
現在はO4観測期間中で2025年10月までの予定

KAGRAの参加は非常に重要



2023年5月24日15:00UTCから
2023年6月20日23:00UTCのネットワーク稼働率

大型低温レーザー干渉計KAGRA

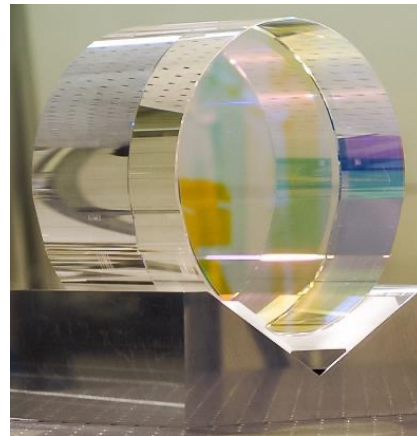
岐阜県飛騨市に建設された3kmの腕共振器を持つ
干渉計型重力波望遠鏡

他の重力波望遠鏡にはない2つの特徴

- 地下サイトの利用 → 地面振動雑音の低減
- 鏡の低温化 → 熱雑音の低減



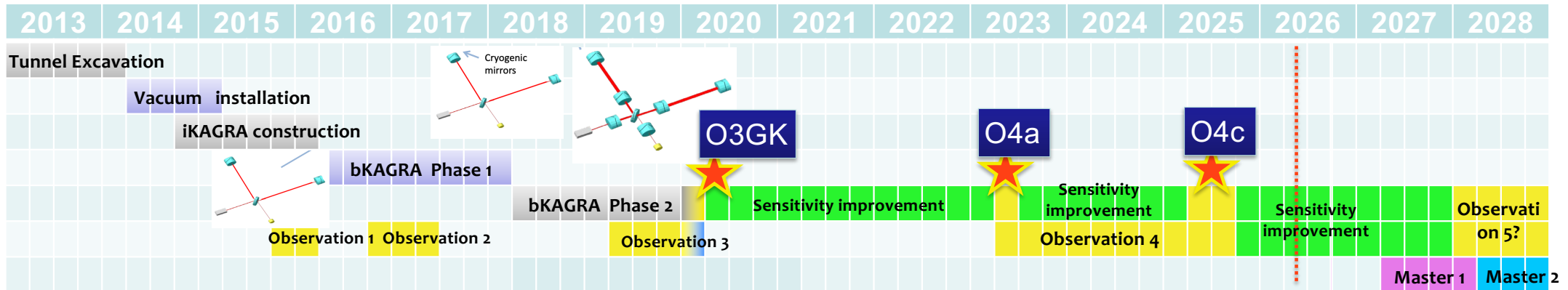
掘削直後のトンネル



サファイア鏡



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。
- O4: 2023年5月から2025年11月。KAGRAは初期のO4aと、能登半島地震からの復帰後、O4cに参加。
- 皆さんが修士の時には、次の観測O5に向けた感度向上作業に参加可能。

O4a観測とKAGRAの感度

低周波数：

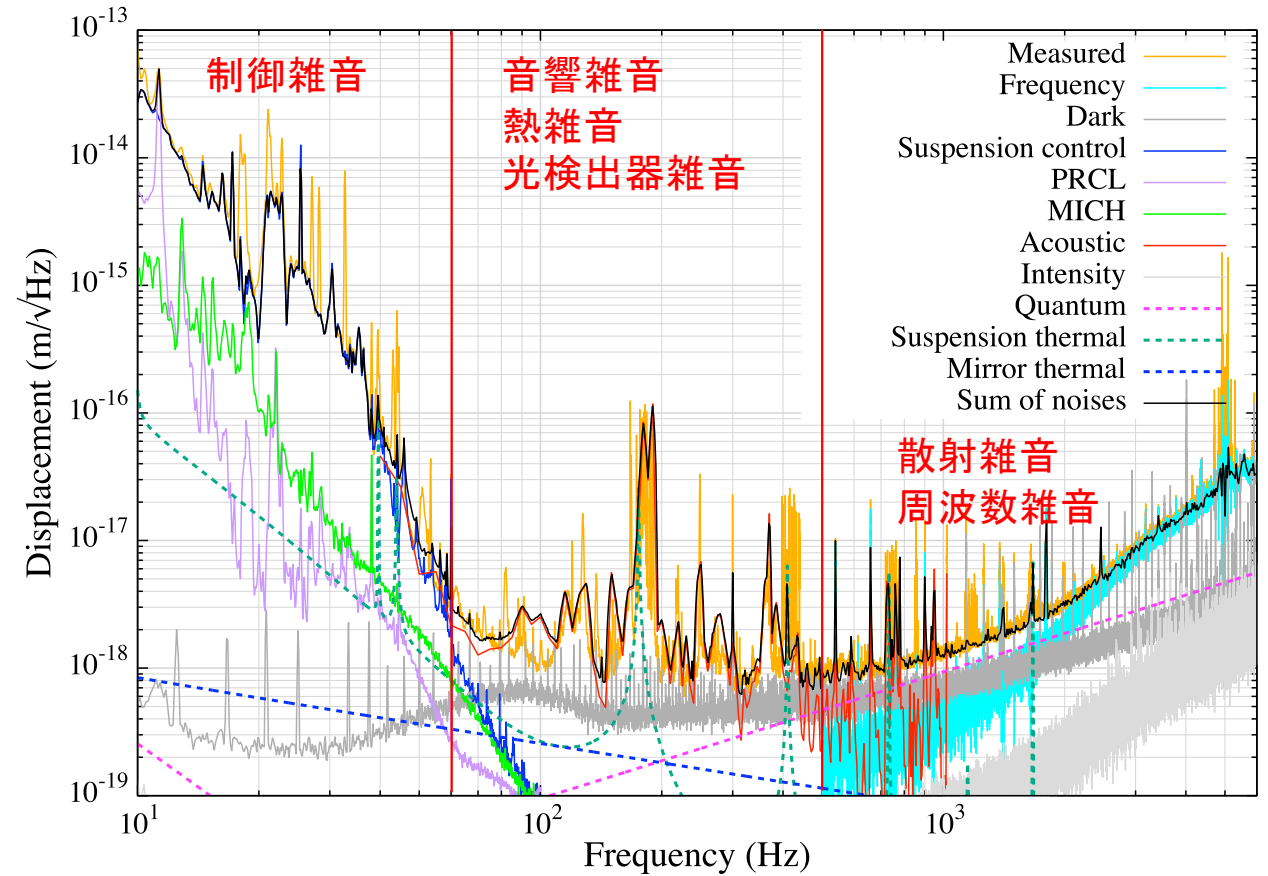
- 防振装置の制御雑音
- 他自由度の制御雑音

中間周波数：

- 熱雑音
- 音響雑音
- 光検出器雑音

高周波数：

- レーザー周波数雑音
- 光の散射雑音
- 光検出器雑音



雑音低減を達成して2024年3月から国際共同観測O4bに参加する予定だったが...

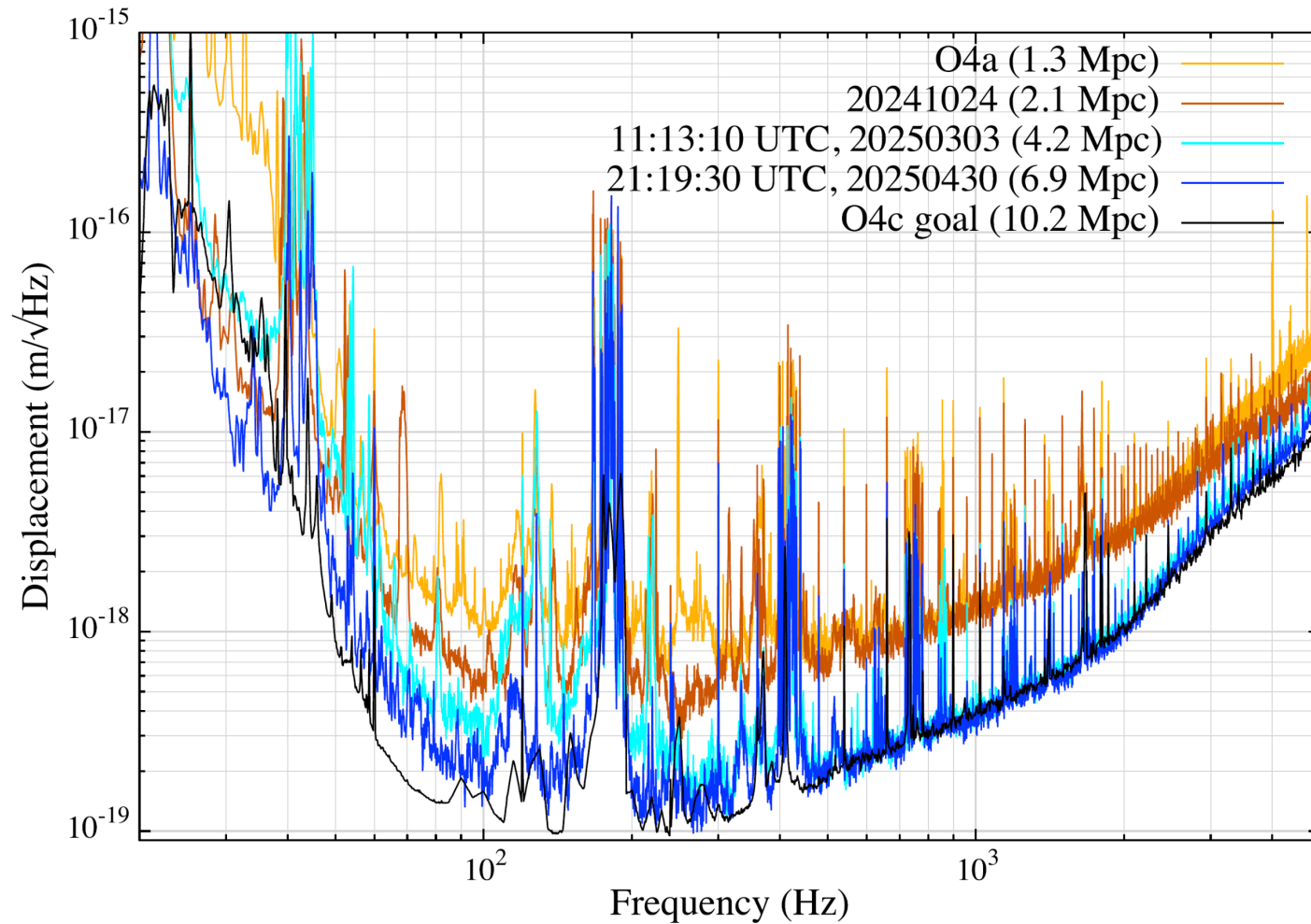
能登地震



KAGRAサイト付近で震度5弱を観測：ここ100年で最大規模の地震

KAGRA近傍で数cm程度の地殻変動が観測された。

O4cでの感度



OMC stackの改良と
ダンパーの設置

低温化とハイパワー化

入射光軸揺らぎの低減と
アライメント調整

05に向けて

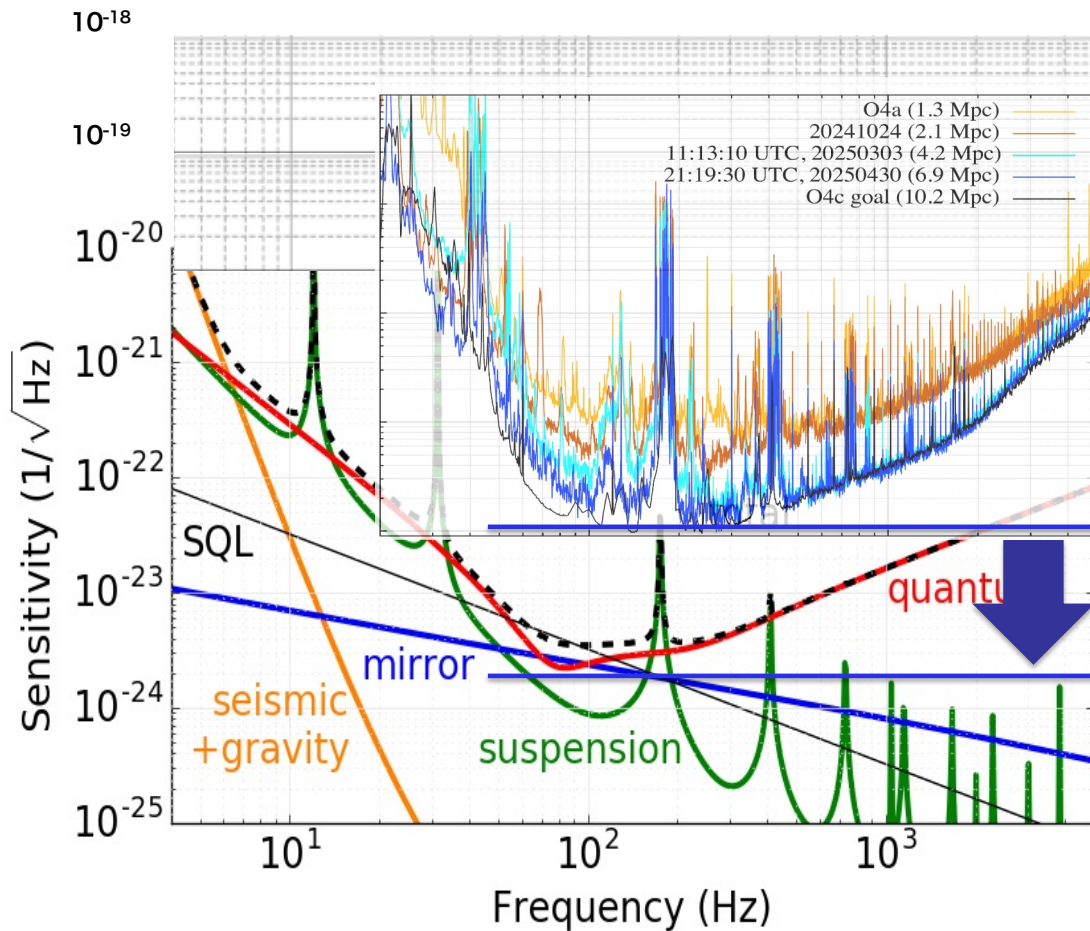
04に向けたコミッショニングで判明した問題点を解消するとともに、検出ポート側にさらに鏡(シグナルリサイクリング)を追加し、高感度化を目指す。

具体的な検討されているアップグレード内容:

- シグナルリサイクリング鏡の追加
- ITMの高性能化(低複屈折・反射率非対称性の低減)
- OMC防振台の製作・インストール(OMC防振の強化)
- 光検出器の真空化(散乱光低減・センシング雑音の低減)
- レーザーの高出力化

などの検討が進められている。

KAGRAの現状と目標



A8 (三代木、内山、宮川)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20倍の改善が必要。
皆さんの活躍が必要です。

$4 \times 10^{-23} [/\sqrt{\text{Hz}}]$ 現在のKAGRAの感度

1/20

$3 \times 10^{-24} [/\sqrt{\text{Hz}}]$ KAGRAの目標感度

田越秀行（A5 サブコース）

研究場所：柏キャンパス



重力波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 准教授（重力波天文学、重力波データ解析）
内潟那美 特任助教（重力波天文学、一般相対論）
特任研究員2名(2026年夏から更に2名着任)
大学院生（博士6名、修士3名）

- KAGRAの主要なデータ解析グループの1つ
- KAGRAによる重力波初検出を目指したデータ解析の研究
- LIGO-Virgo-KAGRA データの解析，信号検出と物理パラメータの推定
 - 4イベントの高速パラメータ推定
 - 4データによる重力理論検証
- 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
 - 観測結果を用いた連星ブラックホールの分布と起源の探求
- 新しいデータ解析コード開発
 - 太陽より軽い連星ブラックホール合体探索コード開発
 - 機械学習を用いた連星合体パラメータ推定コード開発
 - BH準固有振動重力波の新しい解析方法開発

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

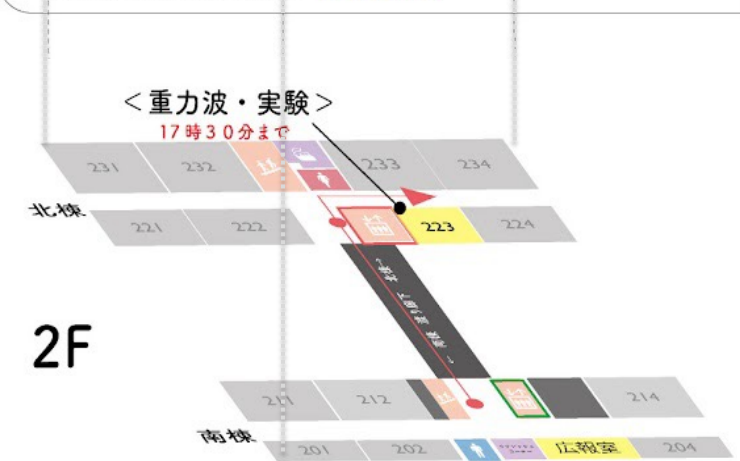
まとめ

- ・ 宇宙線研重力波グループではA5(田越)、A8(三代木、内山、宮川)が修士学生を受け入れます。ただし、田越先生は皆さんが博士課程を修了する前に定年退職するため、博士進学時に他の先生に指導教員になってもらう必要があります。
- ・ 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、宮川): 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

大学院進学のための交流会 @ 宇宙線研究所



<ニュートリノ振動、陽子崩壊 (SK・T2K・HK 実験)> 17時30分まで
<ニュートリノ天文学 (超新星・太陽ニュートリノ)> 17時まで
<暗黒物質直接探索> 17時30分まで



LABツアー(14:00-17:30)

- 重力波実験 (三代木、内山、宮川)
- 総合研究棟2階223号室
- 重力波データ解析・理論 (田越)
- 総合研究棟6階654号室