

私の研究キャリア —研究分野の選び方—

東大宇宙線研究所 特任助教
重力波グループ

牛場 崇文

略歴

- 2007年：東京大学入学
- 2011年：東京大学卒業・大学院入学
- 2013年：修士課程修了・博士課程進学
- 2015年：学振特別研究員DC2に採択
- 2016年：博士課程修了・学振特別研究員PD
- 2017年：宇宙線研究所 宇宙線研フェロー
- 2018年：宇宙線研究所 特任助教

修士課程での研究：

- ①サブミリメートル領域での重力法則の検証による余剰次元探査
- ②低温シリコン光共振器を用いた狭線幅光源の開発

博士課程での研究：

- ①低温シリコン光共振器を用いた狭線幅光源の開発（修士課程の続き）

大学院での研究室

- 坪野研究室（現・安東研究室）
 - 重力波実験（KAGRA, TOBA, DECIGO）
 - 相対性理論の検証実験（光速度不変の原理の検証）
 - 巨視的量子現象の観測実験（光学浮上）
 - 余剰次元探査実験（重力の逆二乗則検証）

重力・相対論
に関する研究室

- 選んだきっかけ
学部1年生のときの特殊相対性理論の講義
 - 共振型アンテナ
 - TAMA300
 - KAGRA（LCGT）などの話を聞いて興味を持った。



大学院での研究①

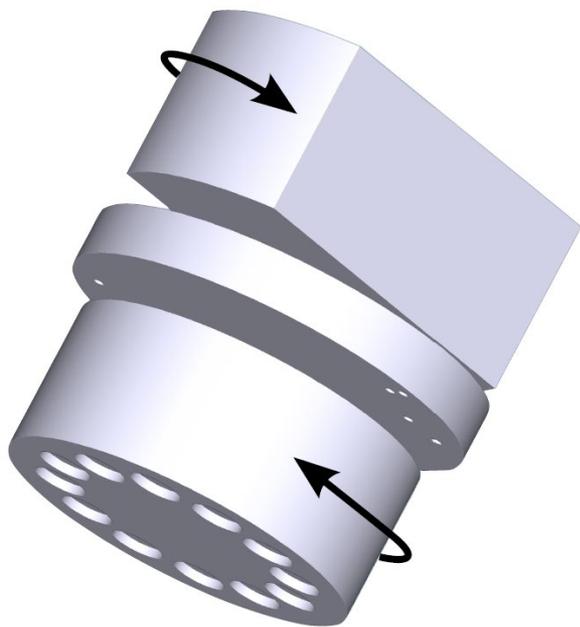
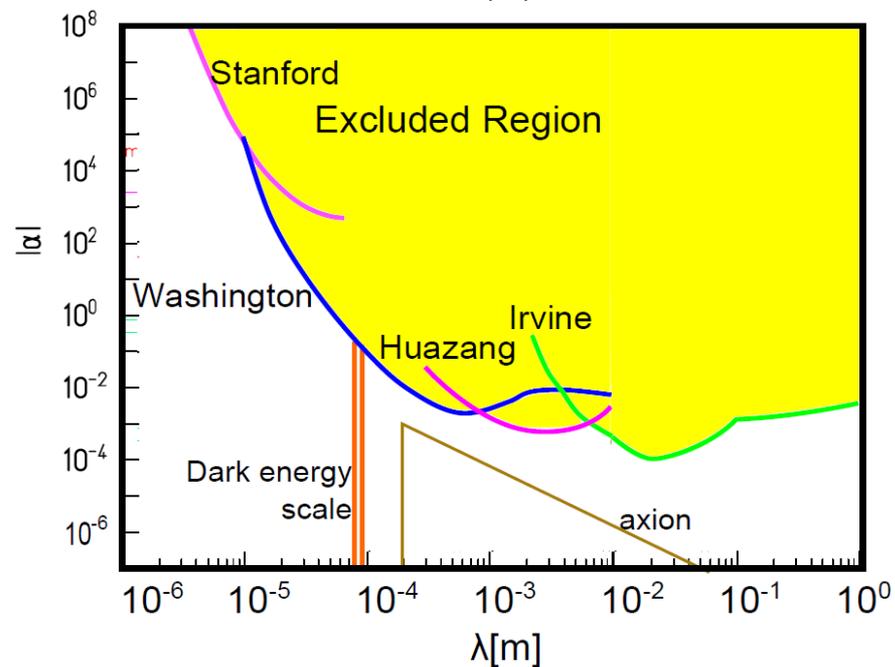
- 重力の逆二乗則（ニュートン重力）の検証実験

$$\phi(\mathbf{r}) = -\frac{GM}{r} \left(1 + \alpha \exp\left(-\frac{r}{\lambda}\right) \right)$$

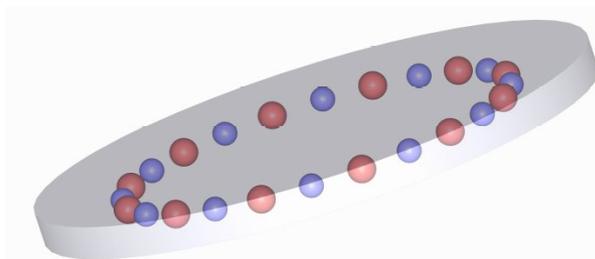
α : 破れのエネルギースケールを表すパラメータ,

λ : 破れの距離スケールを表すパラメータ

α - λ 図



実験で使したアンテナ



実験で使した重力源

大学院での研究①

- 実際に行ったこと

1. 装置の設計

- 実験に最適なパラメータを決める（機械的パラメータ）
- 具体的な装置設計・製作

2. 重力源を精度よく回転させるための周波数制御

- 制御システムの設計
- 回路設計・製作
- 制御系の評価（うまく目標の精度が達成できているか確認）

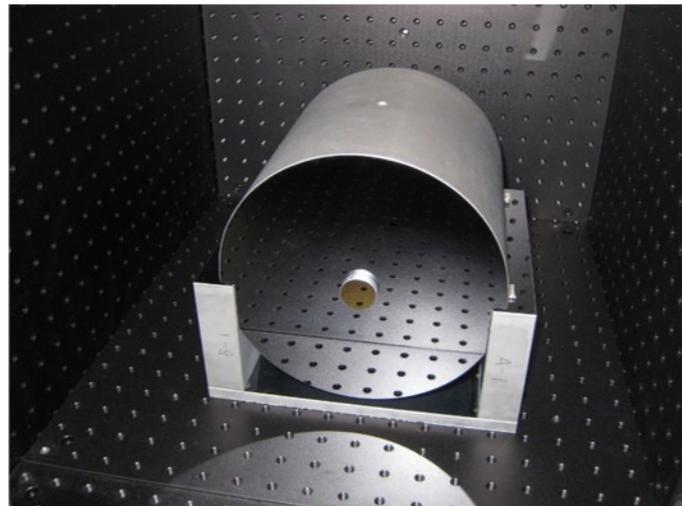
3. データ解析

- データ取得と解析

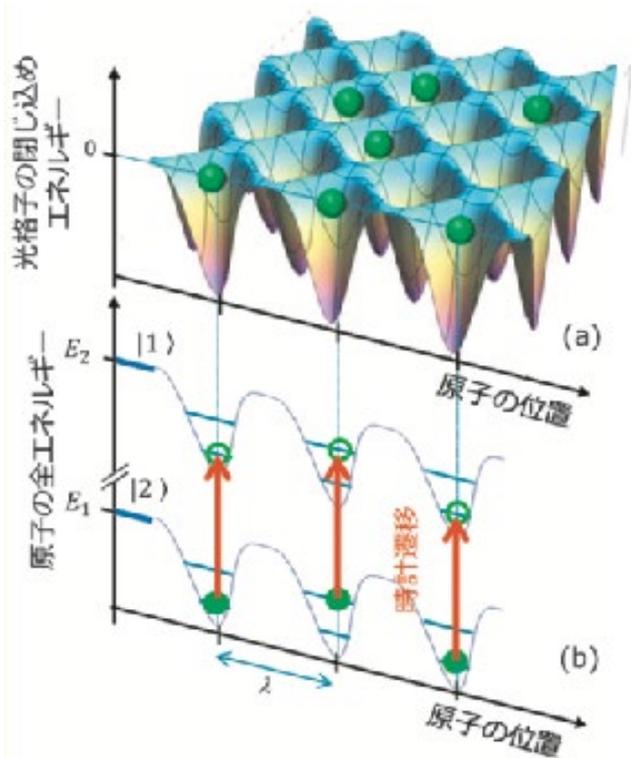
装置の設計・製作・評価・データ取得・解析の一通りの流れを経験できたことは修士課程での非常に良い経験になった。

大学院での研究②

- ストロンチウム光格子時計用のレーザー光源開発

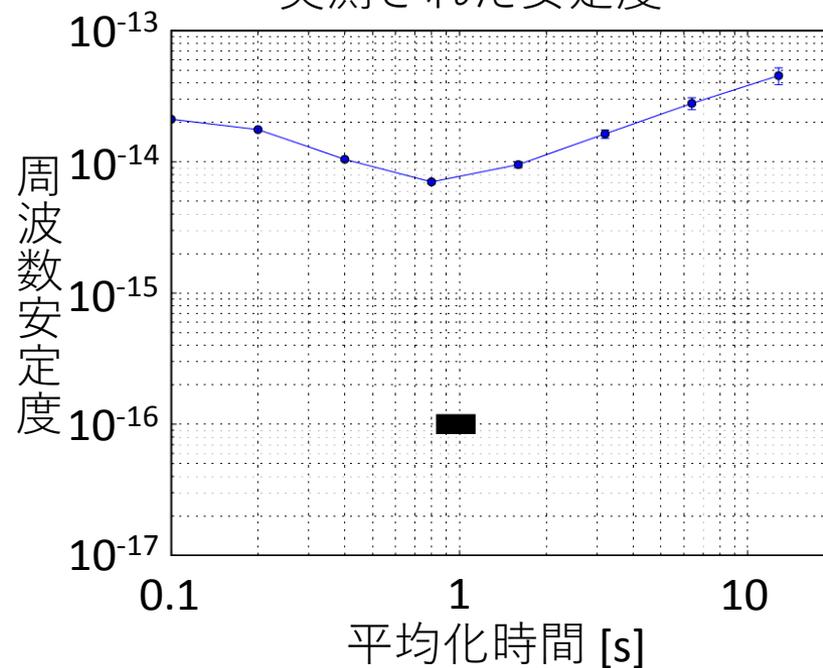


使用した参照共振器



光格子時計の原理

実測された安定度



大学院での研究②

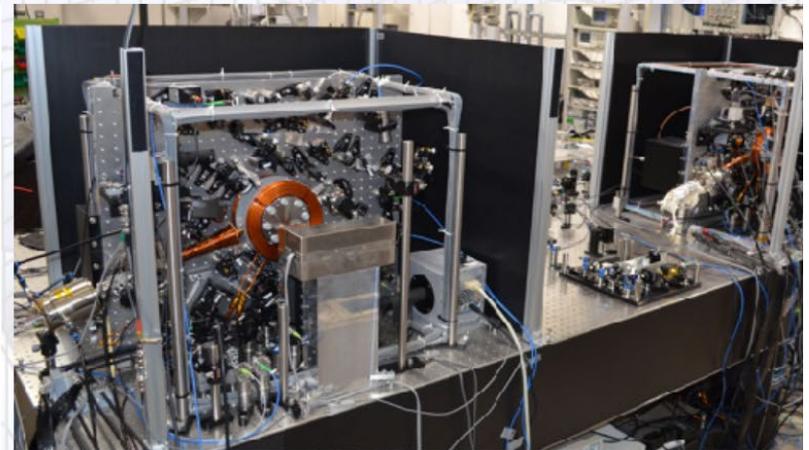
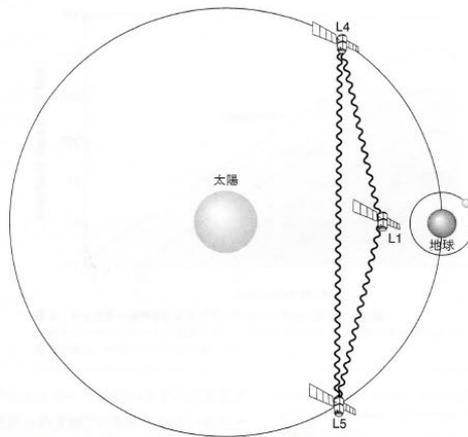
- 修士課程前半の実験と同様に設計から解析までを行うことに加え、
 - 超精密測定(10^{-18} の精度)
 - 極低温技術(-250°C 以下の極限世界)
 - 光学干渉計(重力波検出器の根幹技術)等の新たな分野の経験を積んだ。

- 現在の研究の根幹に関わる部分は学生時代に蓄積された。
 - KAGRAの極低温懸架系の設計
 - KAGRAの極低温懸架系のインストール
 - KAGRAの極低温懸架系の制御→学生時代の経験はその後の研究生活を支える非常に重要なもの

余談ですが . . .

光格子時計を用いた重力波検出法の提案

真貝寿明 (大阪工大/理研), 玉川徹 (理研), 野田篤司 (JAXA),
香取秀俊 (東京大/理研), 牧野淳一郎 (神戸大/理研), 戎崎俊一 (理研)



- ◆ Cassini衛星のDoppler tracking精度は現在の技術で3桁改善可能
- ◆ “Cassini+++”, “Cassini++++” : 感度曲線, 観測可能距離 $D(\text{Mc})$
- ◆ 銀河中心SMBHのヒエラルキー的形成シナリオでイベント数予測

2018/3/25 物理学会@東京理科大

研究分野選びのアドバイス

- 興味のあることを学べる（研究できる）分野に行く
 - 何事も経験が大事
 - 向き・不向きはやってみるまでわからない
 - 好きこそ物の上手なれ
- 色々なことに興味を持つ
 - 何が役に立つかは後々になるまでわからない
 - 研究の動機は知的好奇心から
 - 色々なことを経験して得意なことを見つける

色々なものを経験して、本当に面白いと思える分野を見つけることが一番大事なこと。

今回のスプリングスクールで、そのような分野を見つけられるように頑張ってください。

研究紹介

重力波って何？

- 重力が波うって伝わってくる現象。
→非常に物を透過する力が強い。
- 大規模な天体現象から大きな重力波が発生する
 - コンパクト連星(中性子星・ブラックホール)の合体
 - 超新星爆発(星の終焉)
- **1974**年に発見された連星パルサーの回転周波数の上昇が重力波の放出から予測される結果と一致
→**1993**年のノーベル物理学賞
- **2015**年に二つのブラックホールが合体した際に放出された重力波の検出に成功
→**2017**年のノーベル物理学賞

重力波で知りたいこと

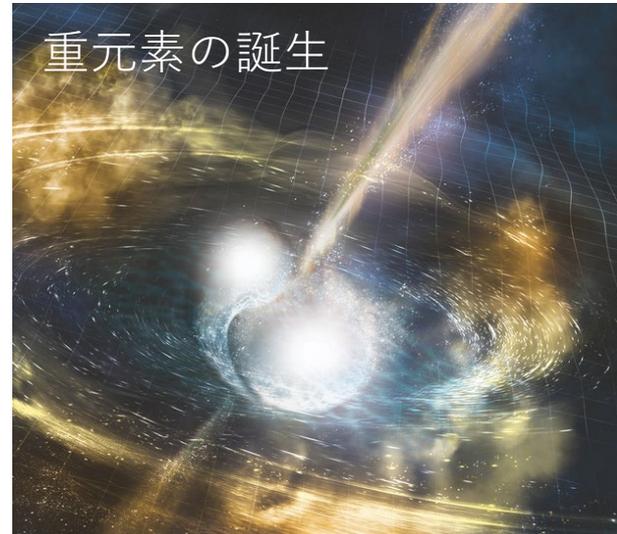


星の誕生



THE FIRST STARS

重元素の誕生



重力波観測で見えてきた世界①

- 銀河中心の謎

- 銀河の中心には超巨大ブラックホールがあると考えられている。

- 二つの仮説

- A.小さいブラックホールが合体しながら次第に大きくなる？

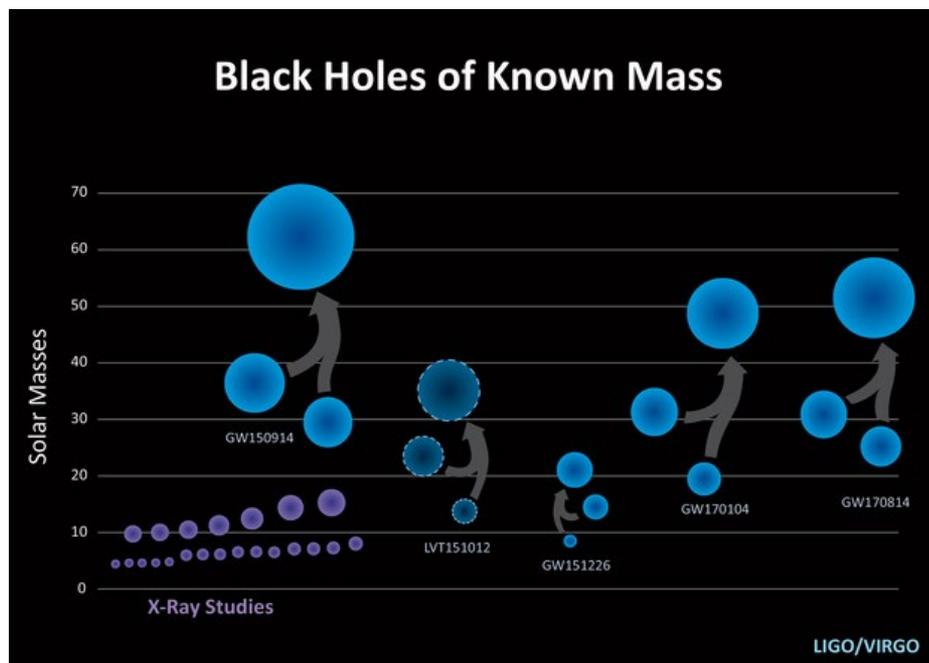
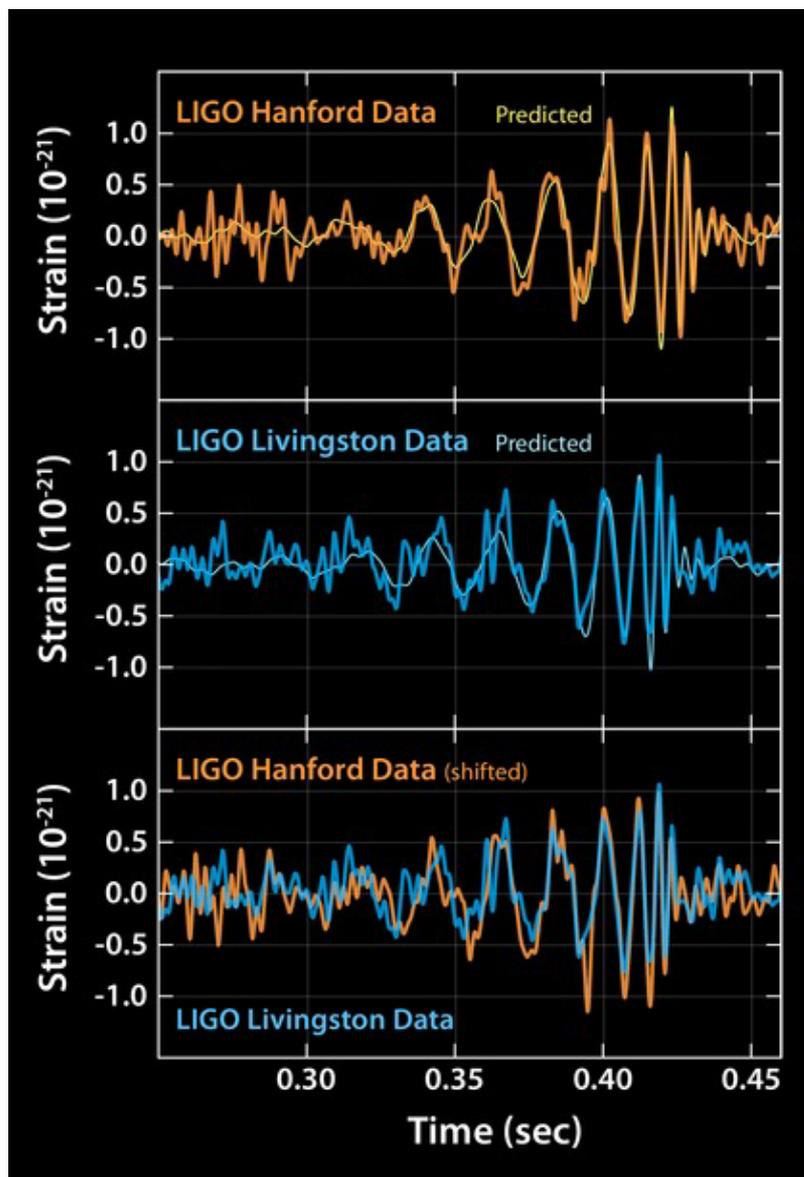
- B.ある程度大きなブラックホールに宇宙の塵が降り積もる？

- 中間質量帯のブラックホールの不在

- 超巨大ブラックホール以外には、太陽の**10**倍程度の重さのブラックホールしか見つかっていなかった。

- Bの仮説を支持??

重力波観測で見えてきた世界①



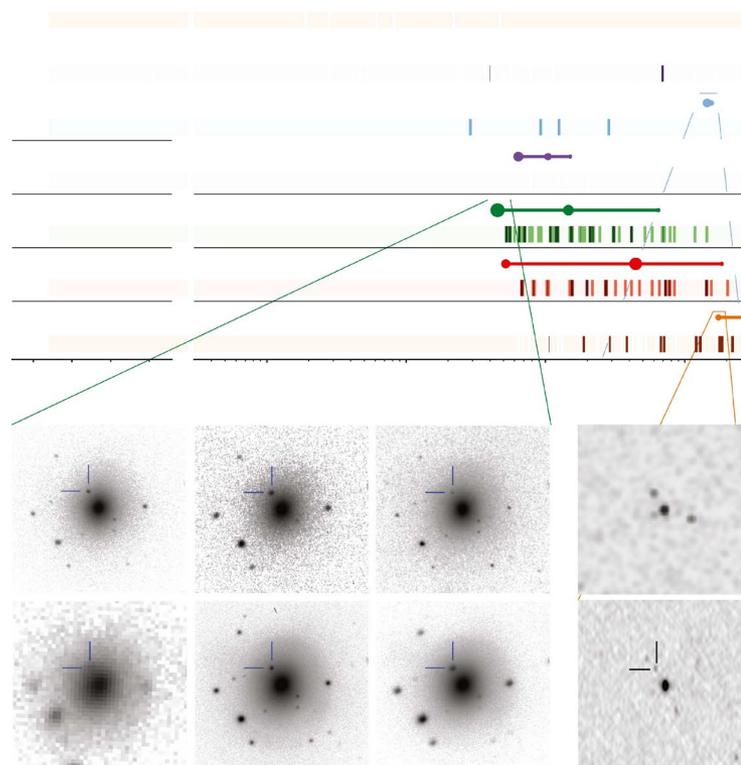
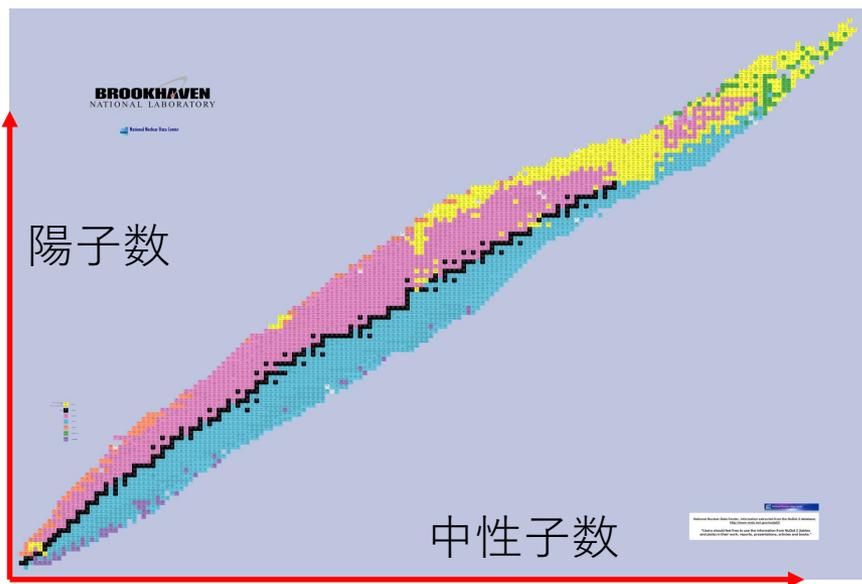
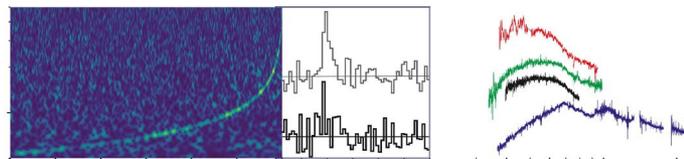
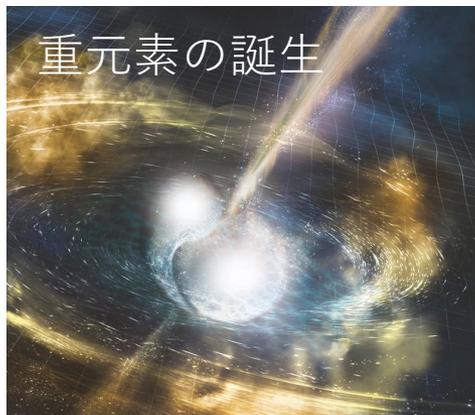
LIGOが太陽の60倍の質量を持つ
ブラックホールを発見。

更なるBH連星合体の調査によって、
重いブラックホールが段階的に形成され
ていった証拠をつかめるかも！？

重力波観測で見えてきた世界②

- 元素合成の謎
 - 宇宙誕生の際に生成された元素はほとんどが軽い元素
 - 今ある色々な種類の元素はどうやってできたのか??
- 恒星の内部で作られる元素
 - 鉄元素までは星内部の核融合反応で作られる(星が光る原因)。
- さらに重い元素は軽くて明るい星(漸近巨星分枝星)で作られる。
 - それでもビスマス元素より重いものはできない(s-process)。
- もっと重い元素はr-processによって作られる。
 - 超新星爆発が有力候補だったが、違うことが分かってきた。
 - 中性子連星の合体がr-processの有力候補に。

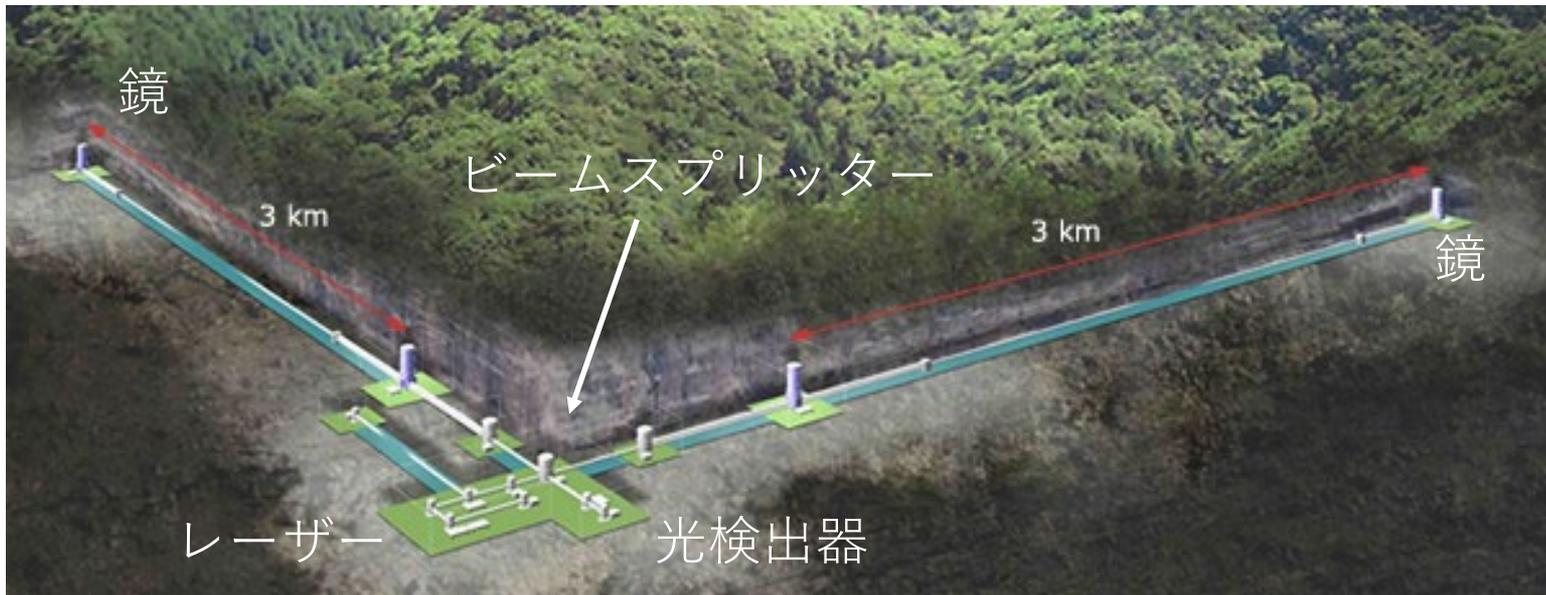
重力波観測で見えてきた世界②



連星中性子性の合体でr-processによる元素合成の兆候が見られた！！

重力波検出器KAGRA

- 重力波検出器KAGRAの建設に従事
 - ー岐阜県神岡町の池ノ山の地下に3kmのL字型干渉計を建設。



KAGRAの特徴

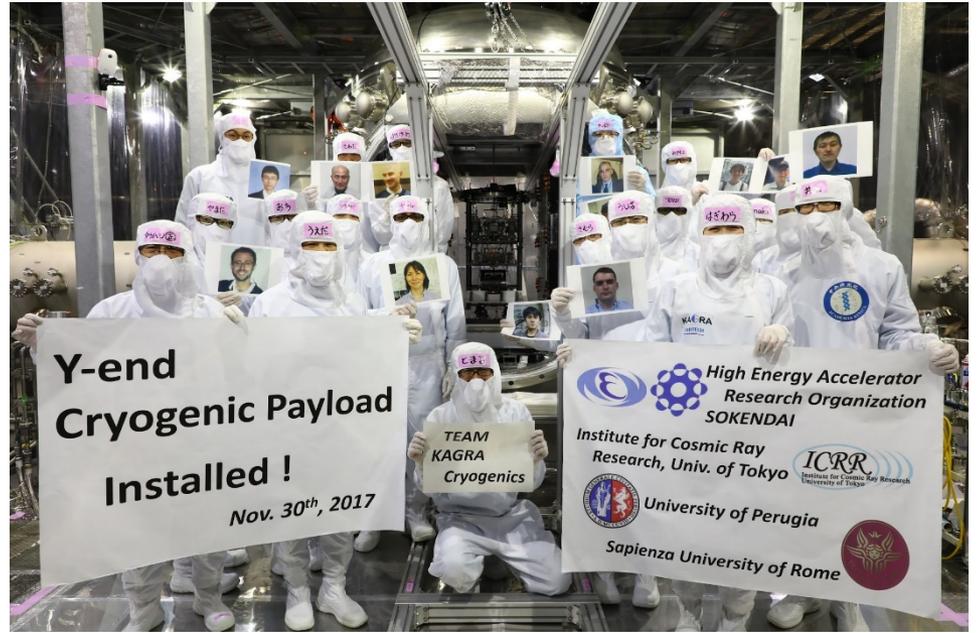
- ー地下に建設されている(海外の検出器は全て地上に建設)
- ーサファイア鏡を極低温まで冷却する(海外の検出器は全て常温)

現在の研究と目標

2017年9月22日：
KAGRAで最初のサファイア鏡が完成



2017年11月30日：
KAGRAで最初のサファイア鏡のインストールが完了



目標（やりたいこと）：

重力波検出器KAGRAで重力波検出の達成

超巨大ブラックホールの形成シナリオの解明・初期宇宙の観測

まとめ

- 研究分野の選択では興味のある研究分野を見つけましょう
 - 何事も経験が大事
 - 向き不向きはやってみるまでわからない
 - 好きこそ物の上手なれ
- 重力波の観測によって宇宙の重大な謎を解明する兆候が見えつつある。
 - 太陽質量の60倍程度までのブラックホールの発見
 - 中性子性連星合体とr-processの兆候の観測

スプリングスクールで自分のやりたい
ことを一緒に見つけましょう