



講演の撮影・録画・録音はご遠慮ください。

4

## ブラックホールからの重力波をとらえる

大島 由佳

理学系研究科 (専門：宇宙物理学)

10分で伝えます!

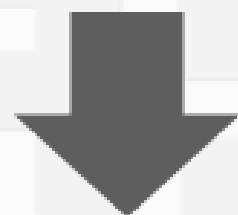
東大  
研究  
最前線

質問・コメントを「チャット」よりお寄せください。

「字幕」ボタンから字幕の表示/非表示の切り替えが可能です。

見つからない場合は「詳細」を開いてください。

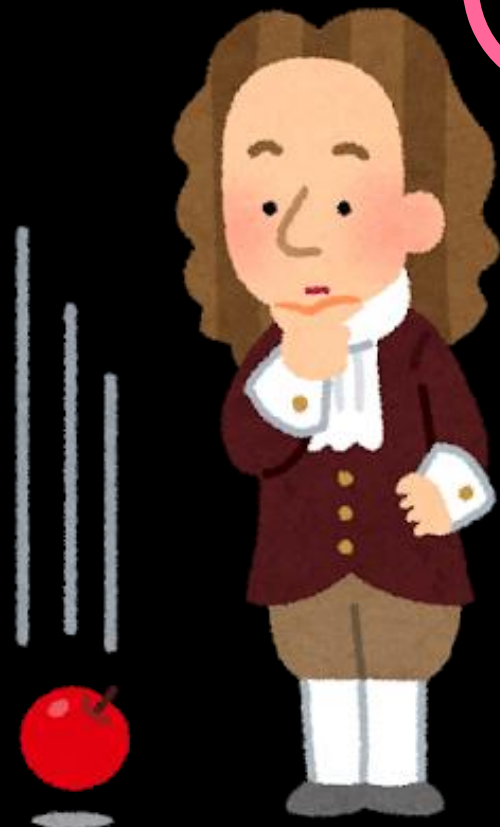
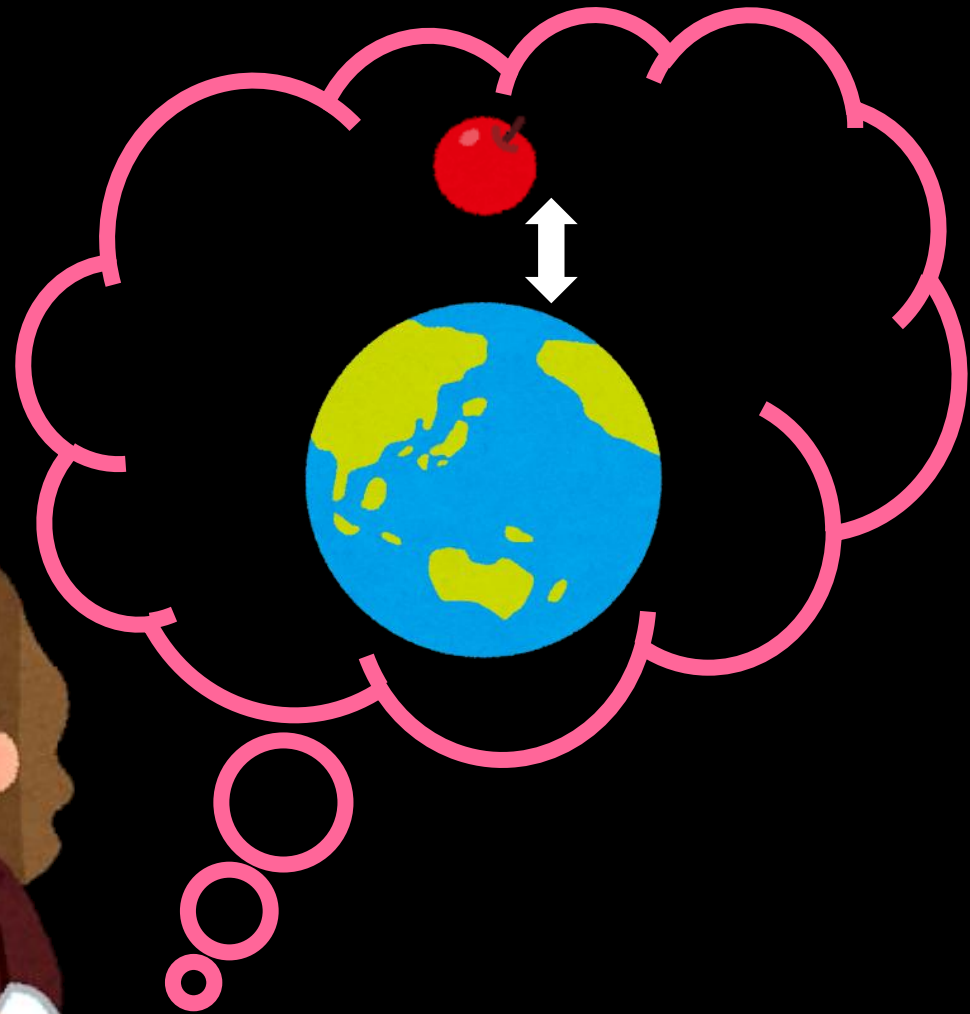
※ iPad等では画面右上に表示されることもあります。



# 一般相対性理論における重力

1665年 ニュートン  
万有引力:  
万物はお互いに引き合う

1915年 アインシュタイン  
一般相対性理論:  
物体があると空間がゆがむ



なにもないトランポリンは平ら

ボールを置くと  
トランポリンがゆがむ

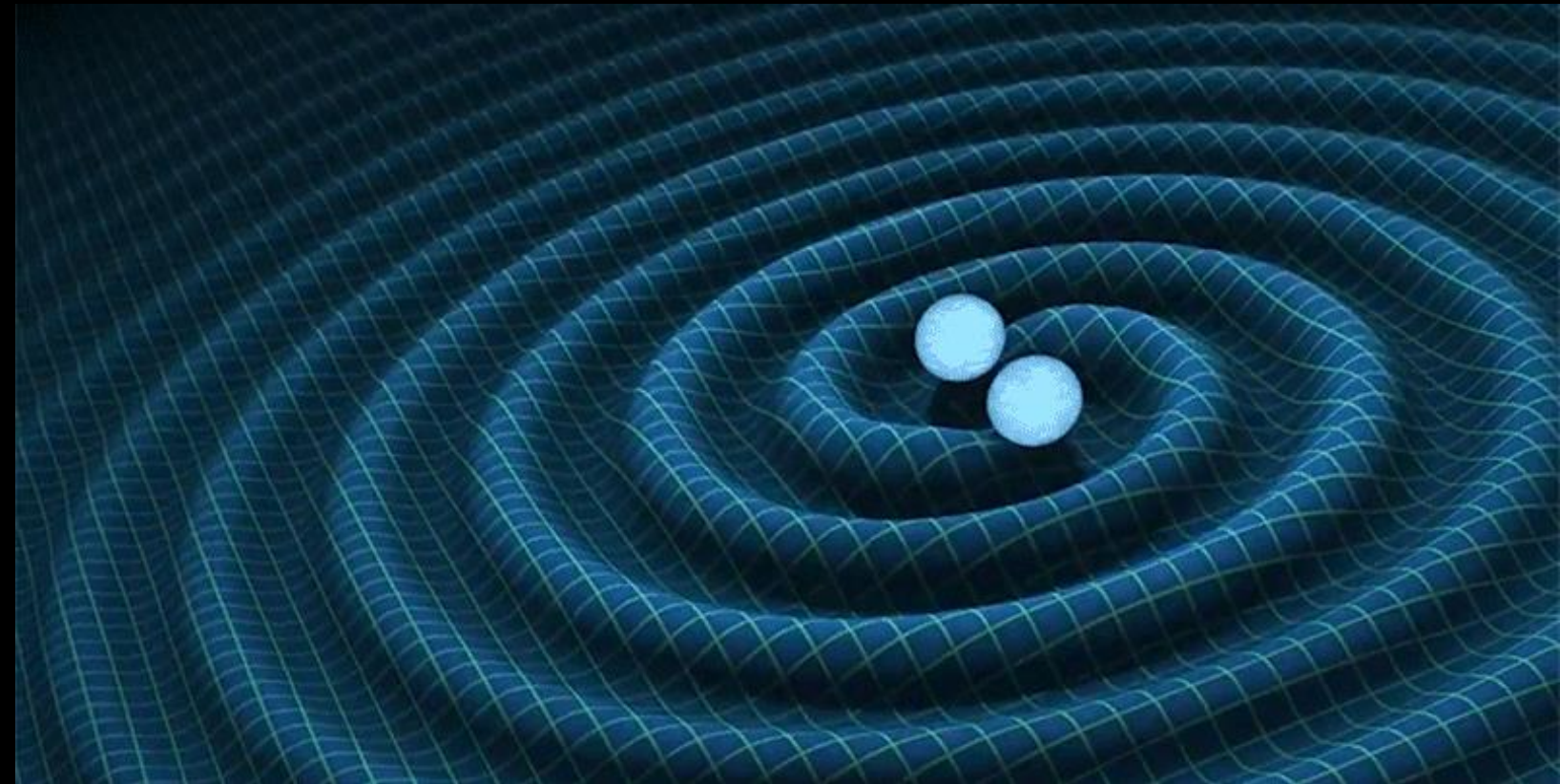
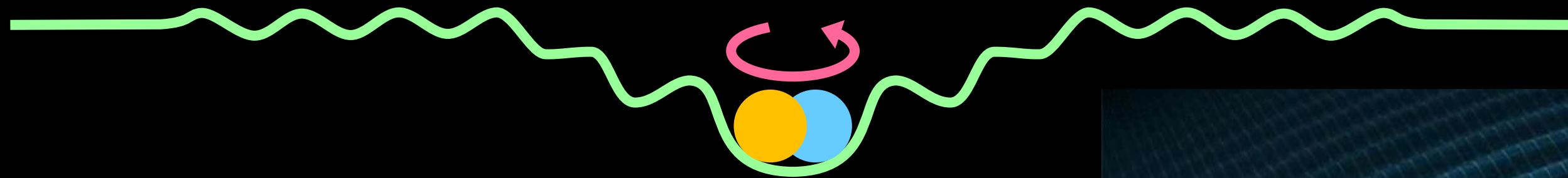
近くのボールは  
ゆがみに沿って引きつけられる



# 重力波

物体が動くと空間のゆがみが変化する

重力波：空間のゆがみの変化が波として伝わる現象



重力波は何にも遮られない

→光では見ることができない天体現象をとらえられる

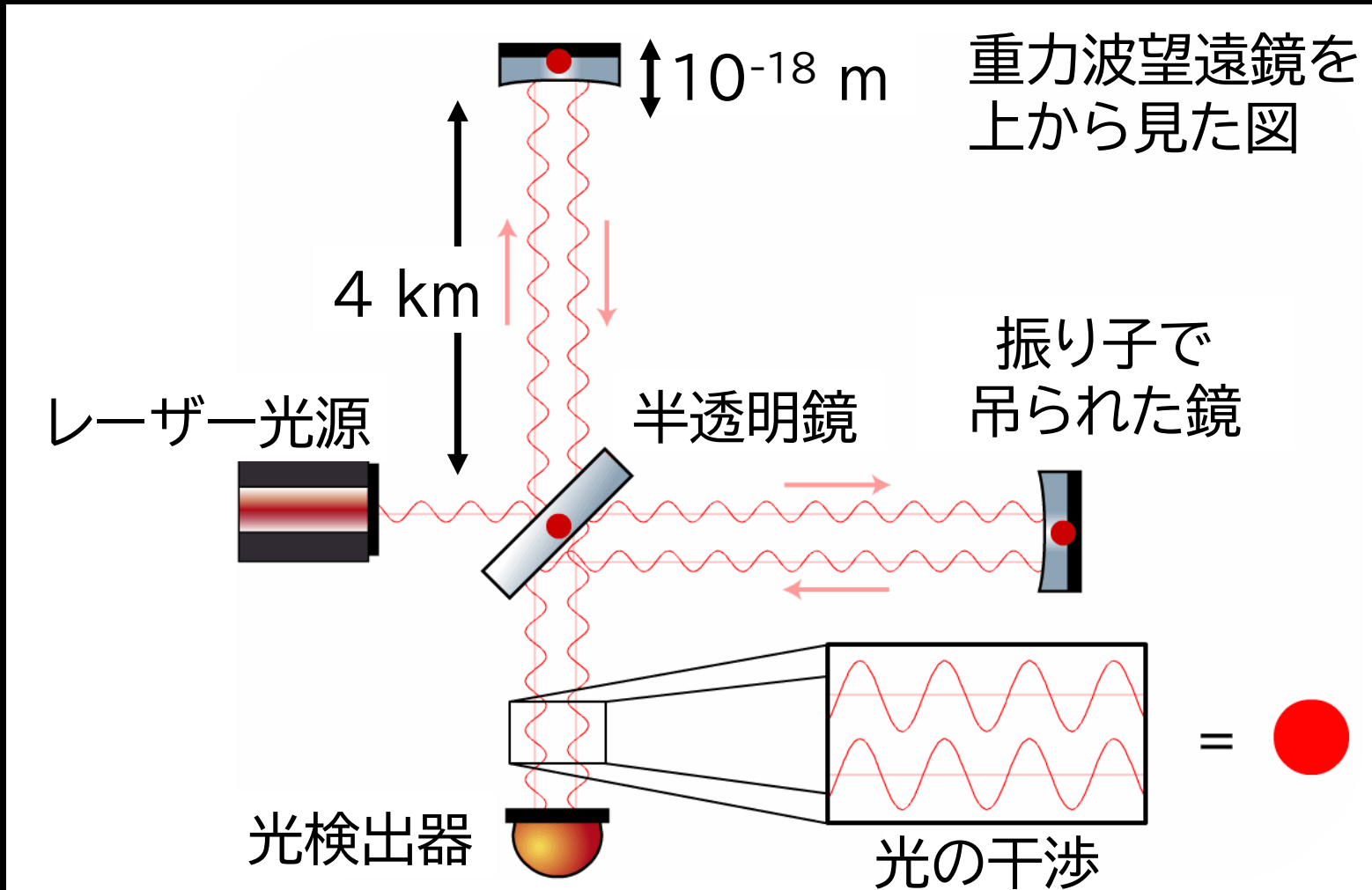
例) ブラックホールの合体・超新星爆発のときの内部・宇宙の始まり

# 現在の重力波望遠鏡の原理

マイケルソン干渉計：振り子で吊られた鏡の動きをレーザー光の干渉で読み取る

重力波信号はとても小さい → 鏡間の距離を長くして鏡が動く距離を大きくする

重力波以外の原因による鏡の揺れは重力波と区別がつかず雑音になる  
→ 地面の揺れを振り子で防振する



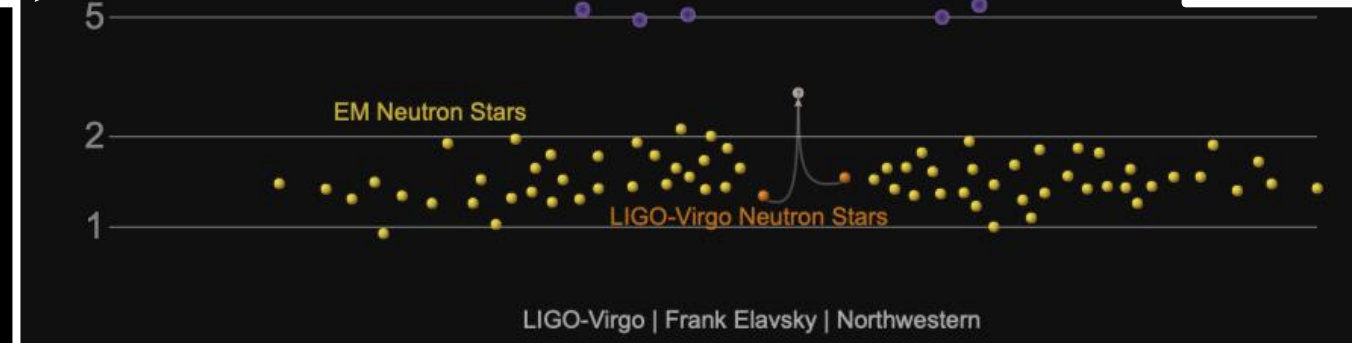
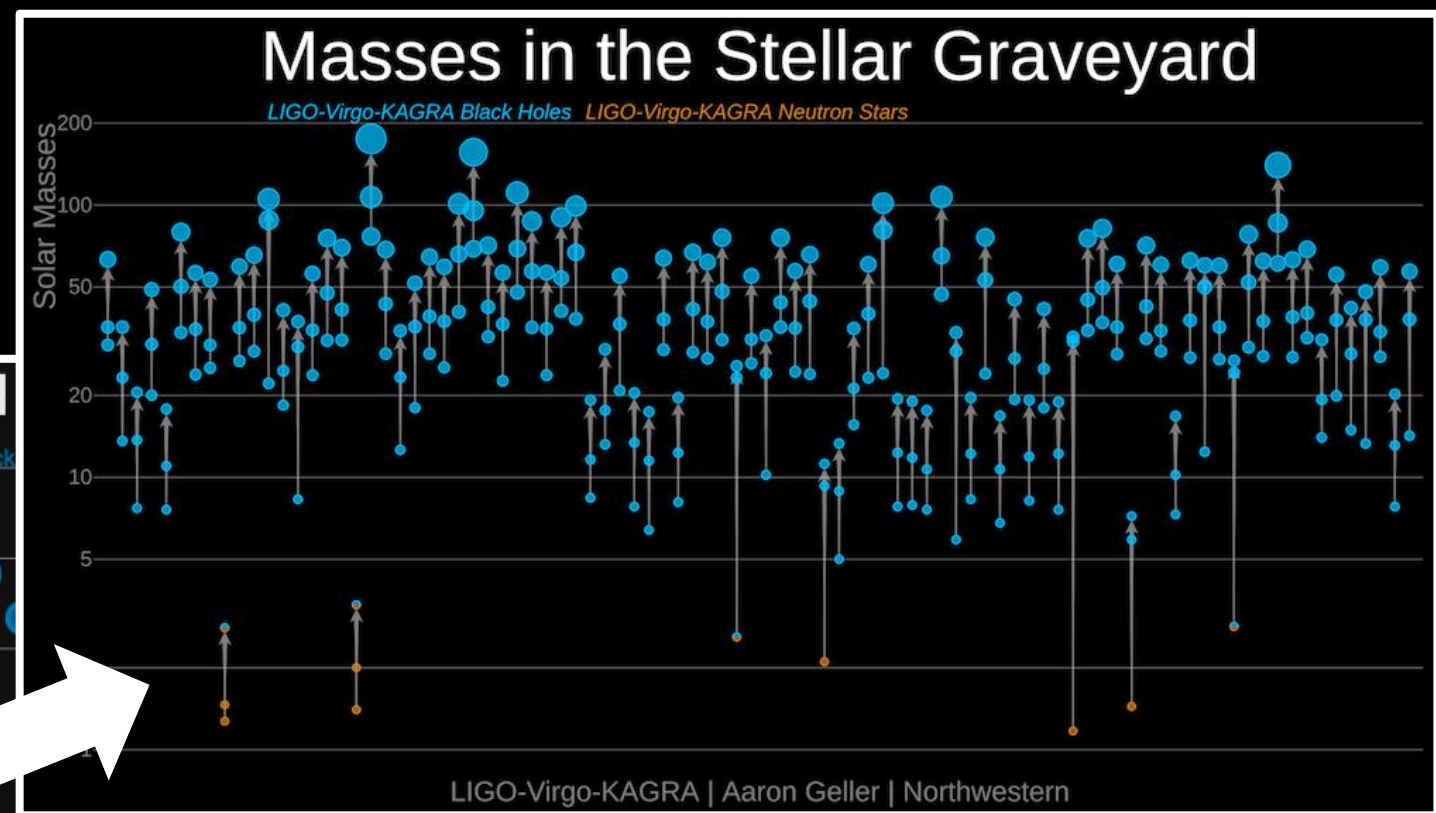
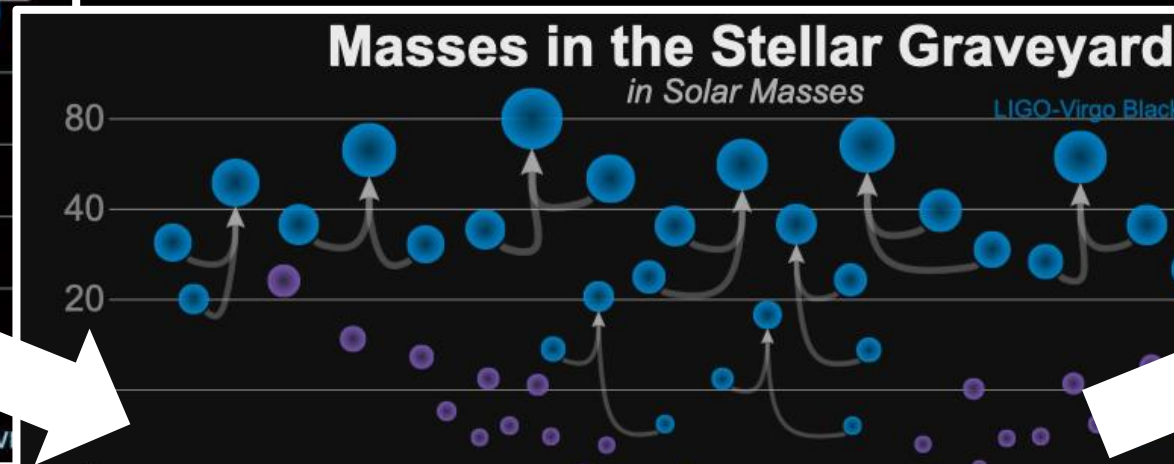
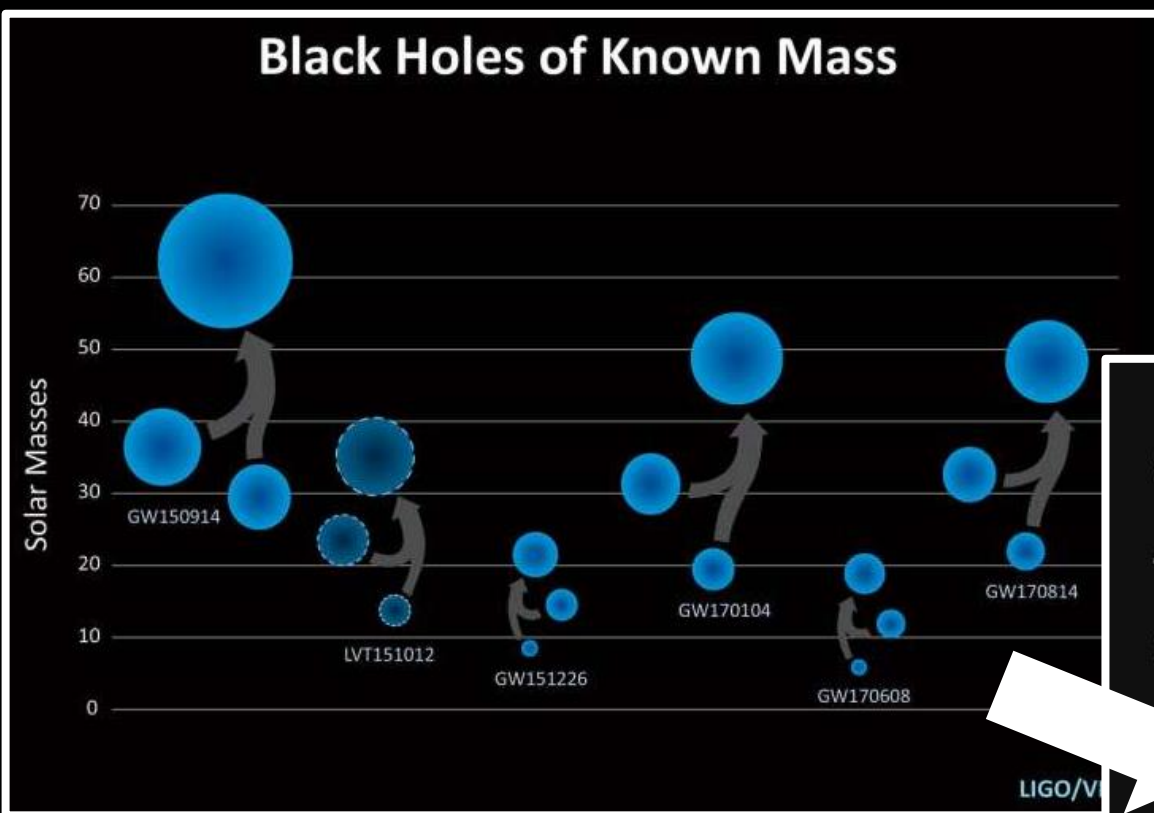
## アメリカの重力波望遠鏡LIGO



# これまでの重力波観測

2015年 アメリカの重力波望遠鏡LIGOが**初めて重力波を観測**  
 太陽の30倍の質量のブラックホールの合体からの重力波  
 重力波をとらえたこと自体がものすごいこと → 2017年 ノーベル賞

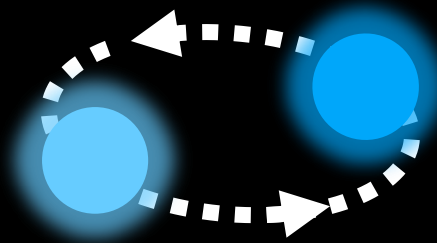
2020年までに重力波が90回観測された



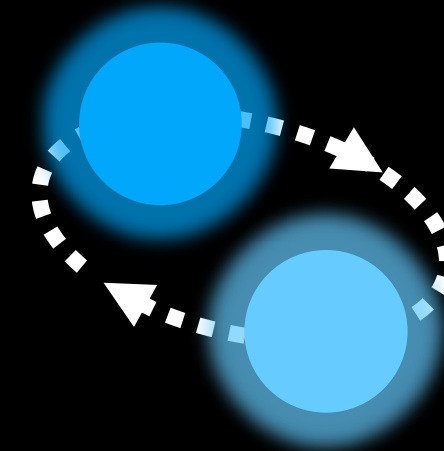
# これからの重力波観測

重いブラックホールほど合体のときに出す重力波の周波数が低くなる

LIGOで観測された  
ブラックホール



これから観測を目指す  
ブラックホール



質量

太陽の10-100倍

太陽の100-10万倍

重力波の周波数

約100 Hz

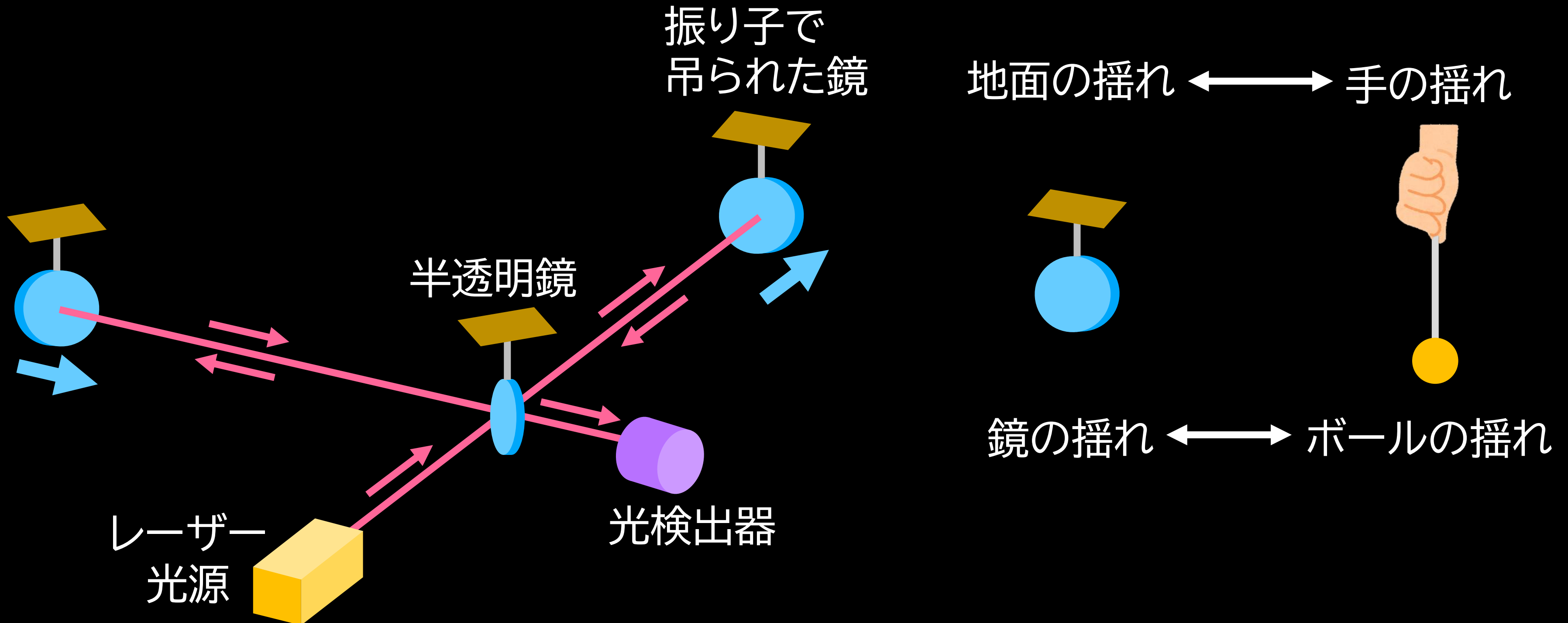
約1 Hz

今後は低い周波数の重力波の観測を目指す

→低い周波数の地面の揺れをどのように防振するかが課題

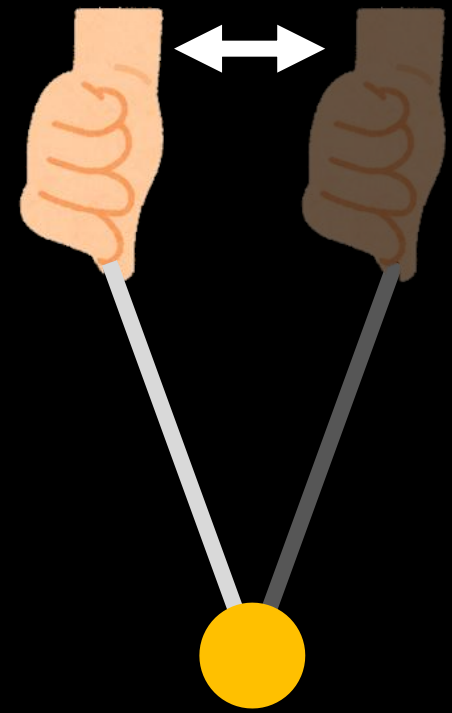
# 振り子で地面の揺れを防振する

LIGOでは振り子で鏡を吊って高周波数での地面の揺れを防振している

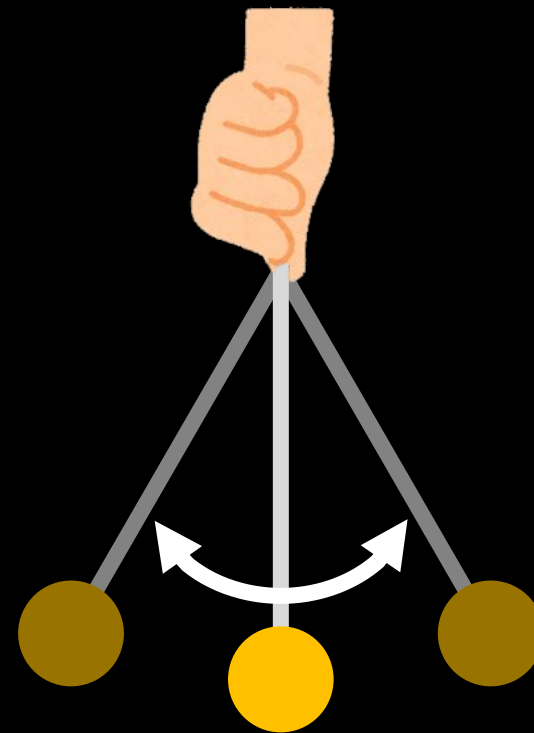


# 振り子の共振周波数

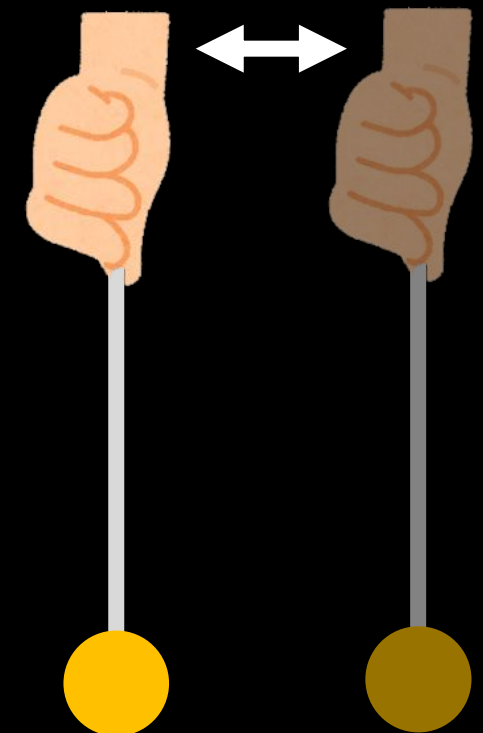
地面の揺れが速い  
(高い周波数)



振り子の  
共振周波数



地面の揺れがゆっくり  
(低い周波数)



○ 鏡はほぼ揺れない  
→防振できる

✗ 鏡は大きく揺れる  
→防振できない

低周波数の防振には振り子の共振周波数を低くすることが必要

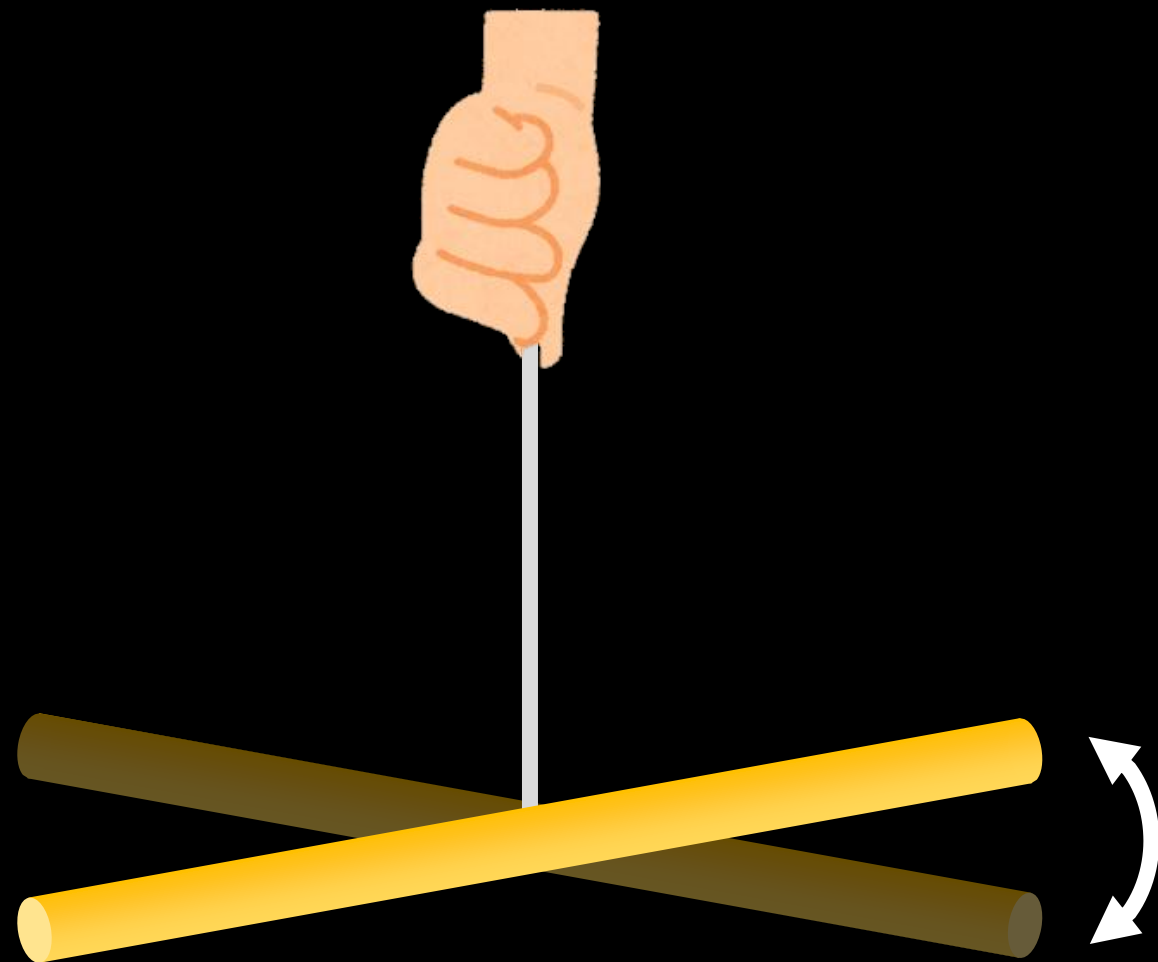


# ねじれ振り子を使った重力波望遠鏡TOBA

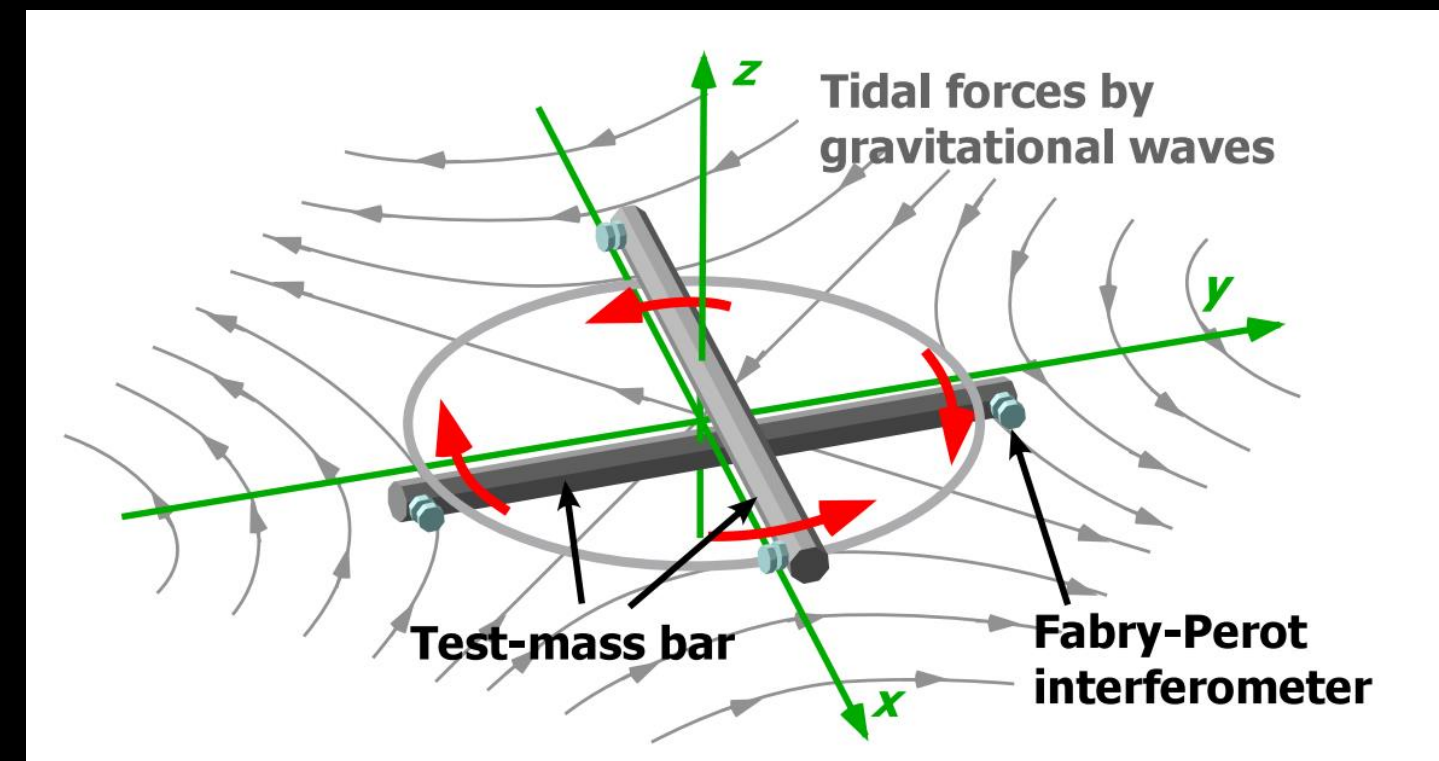
## ねじれ振り子

普通の振り子よりも低い共振周波数をもつため  
低い周波数まで地面の揺れを防振できる

TOBA: Torsion-Bar Antenna

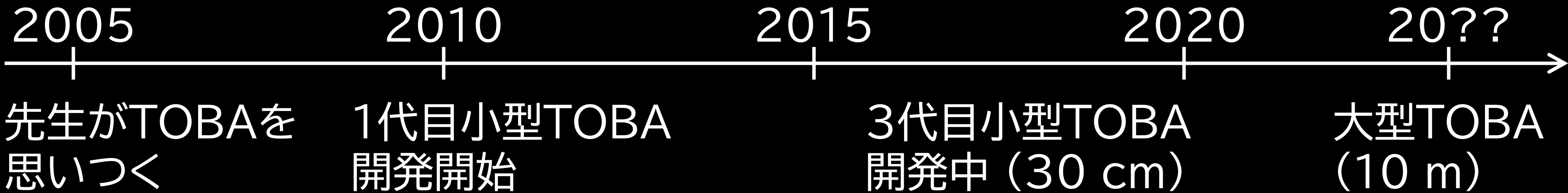


## TOBAの提案論文の図

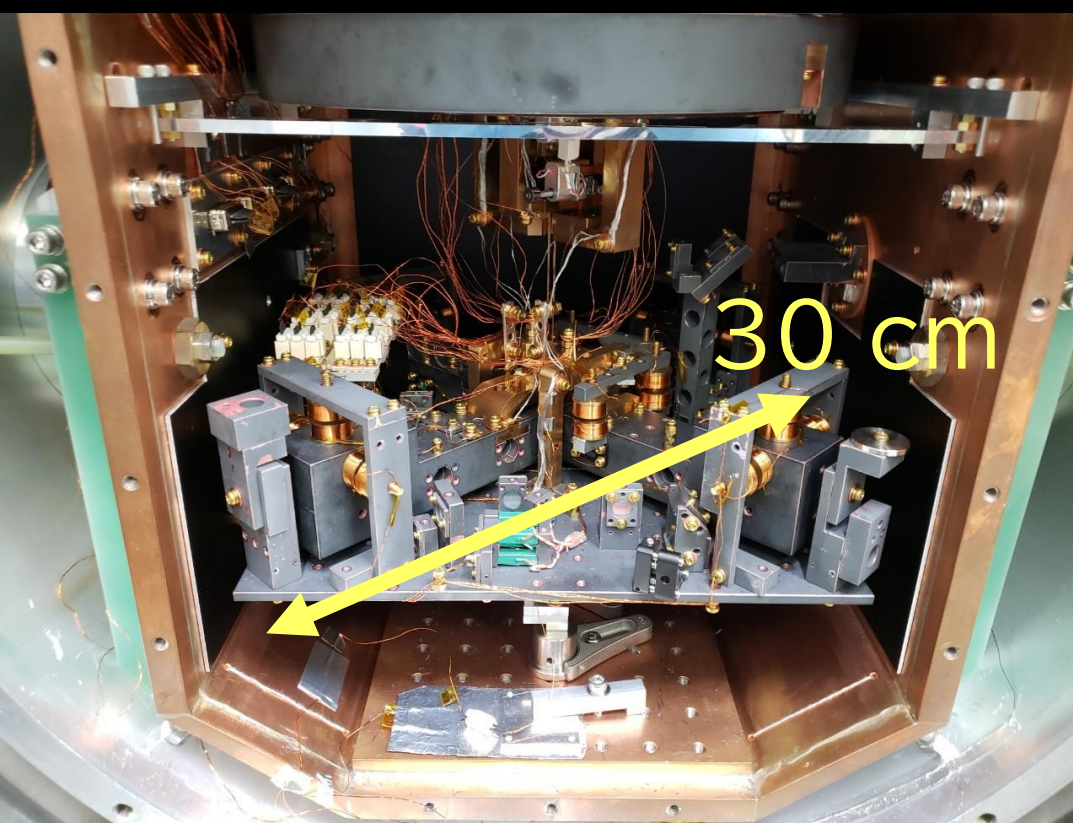


# TOBA開発の現状

本郷キャンパスで3代目の**小型TOBA**を開発中  
LIGOも小型サイズの開発から始まった



3代目小型TOBA



真空槽とクレーン



**重力波望遠鏡の開発は雑音との闘い**

- 人の活動が少ない夜は装置が安定
- 地震で装置の運転がストップ
- 千代田線の磁場雑音に影響される

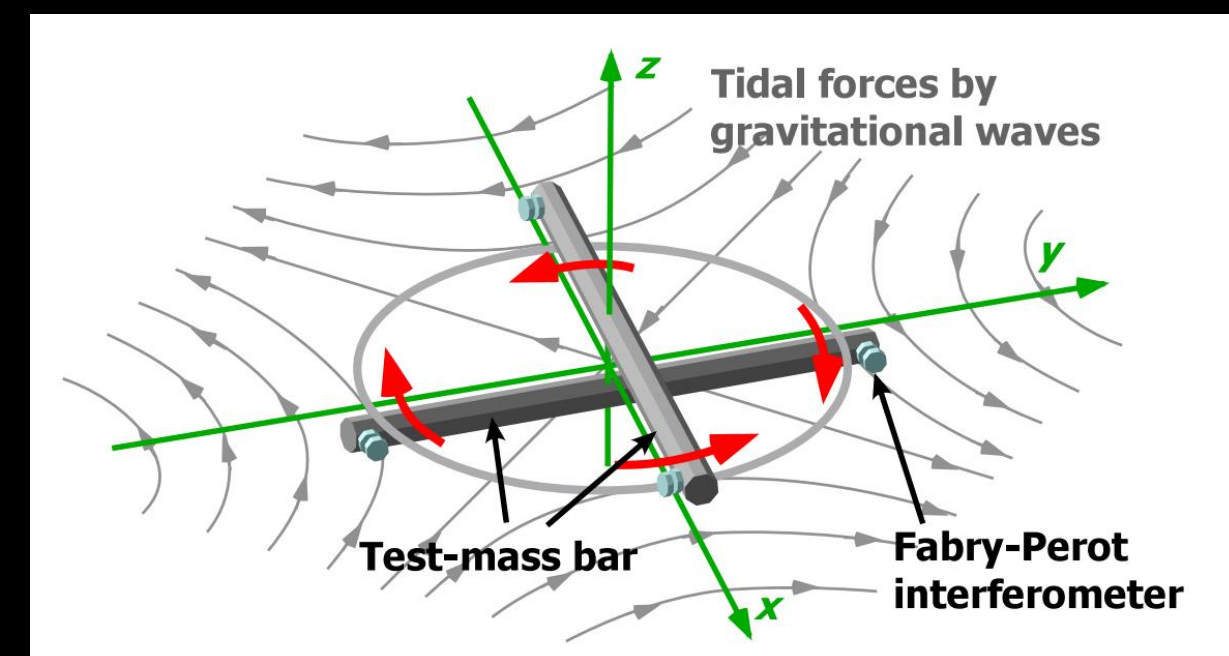
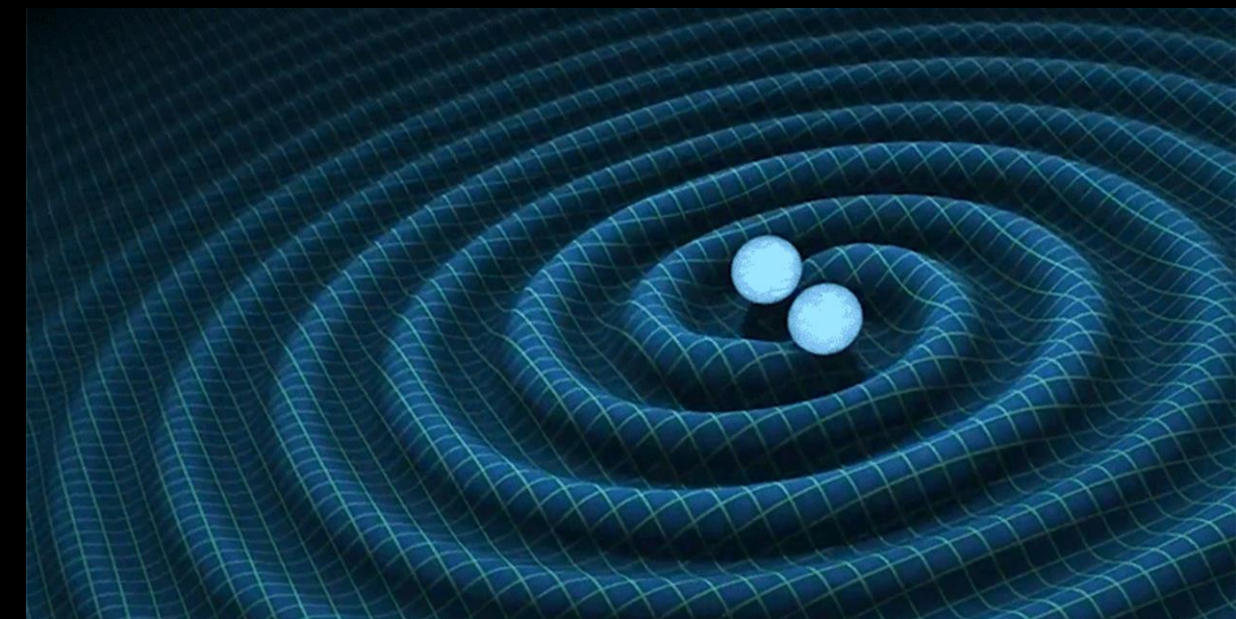
# まとめ

重力波：空間のゆがみの変化が波として伝わる現象

LIGOでブラックホールの合体からの重力波が観測された

今後は低周波数の重力波でさらに重いブラックホールの合体の観測を目指す

ねじれ振り子を使った重力波望遠鏡TOBAを開発中



# 五月祭総選挙/アンケートのお知らせ

10分で伝えます!

東大  
研究  
最前線

投票は  
こちら→



来場者の投票で人気企画を決める  
「五月祭総選挙」にエントリーしています。

この講演を楽しんでいただけた方は、  
「10分で伝えます! 東大研究最前線」(企画ID:442)  
に投票をお願いします。

アンケートは  
こちら→



この企画に対する感想やご意見は、  
「参加者アンケート」よりお寄せください。  
(Zoom終了後の画面からもアクセス可能です。)

カンパは  
こちら→



よろしければ、カンパにご協力お願いいたします。  
(PayPalアカウントを作成のうえ、ご送金ください(任意制になります)。)

まもなく次の講演が始まります

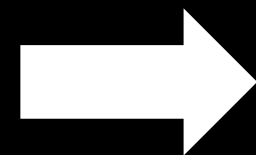
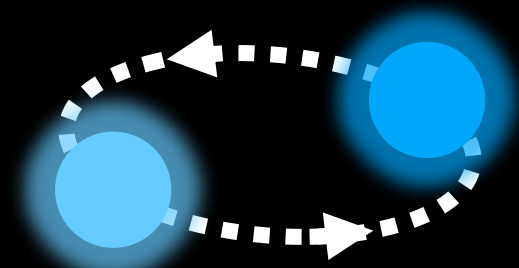
# 補助スライド

# 超巨大ブラックホールの謎

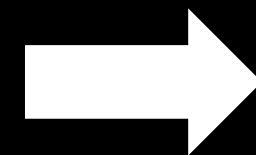
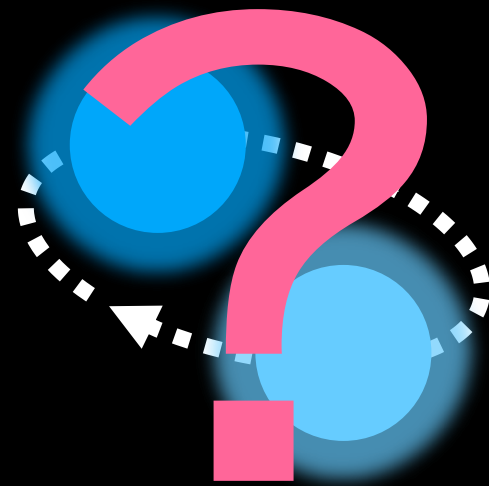
低周波数の重力波で中間質量ブラックホールが見つければ  
超巨大ブラックホールがどのようにできたのかわかるかもしれない

恒星質量ブラックホール

- 太陽の質量の10倍
- 重力波で発見された

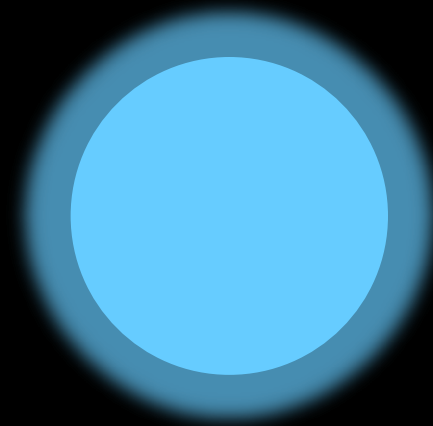


合体を繰り返して成長？



超巨大ブラックホール

- 太陽の質量の1億倍
- 銀河の中心にあることが光の観測からわかっている

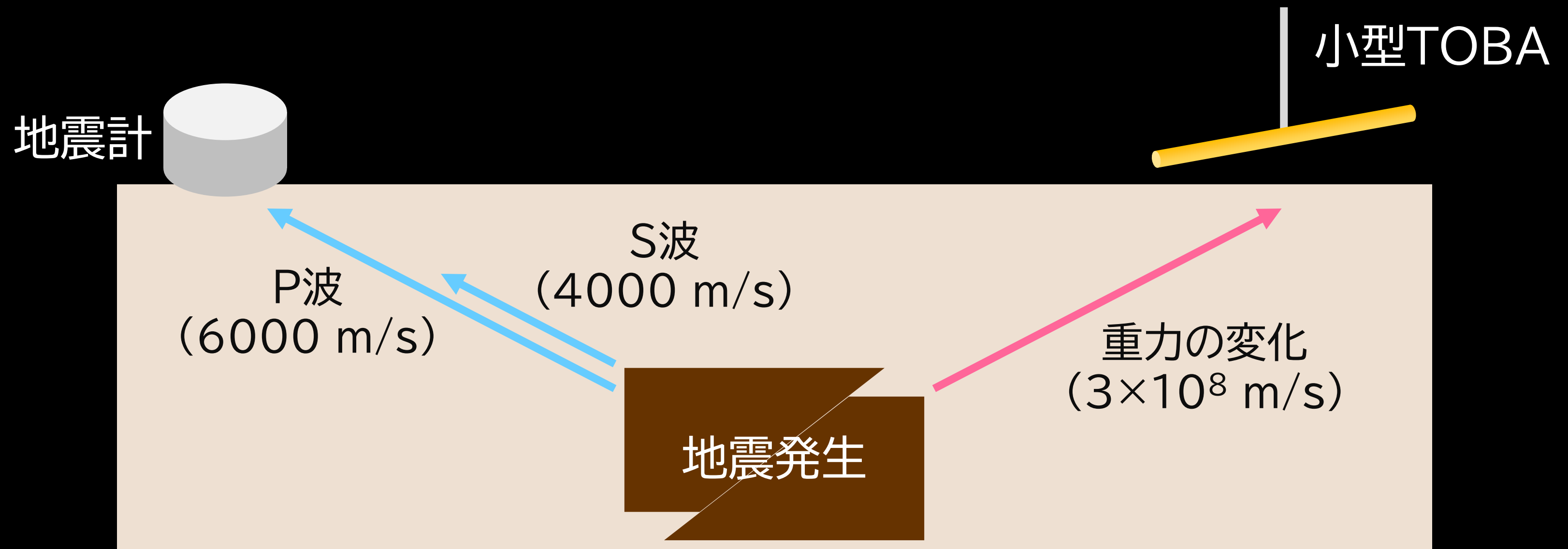


中間質量ブラックホール

- 太陽の質量の10万倍
- ほとんど見つかっていない

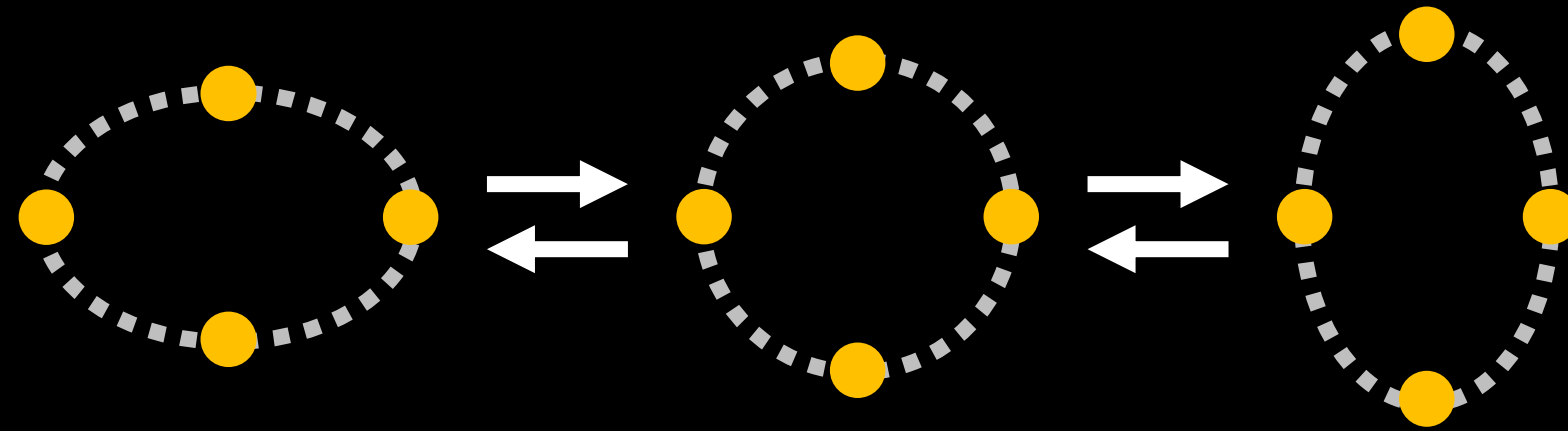
# 小型TOBAの地震速報への応用

小型TOBAの感度は重力波観測には不十分だが**地震速報には十分**  
今よりも**10秒ほど早く警報を出せる見込み**

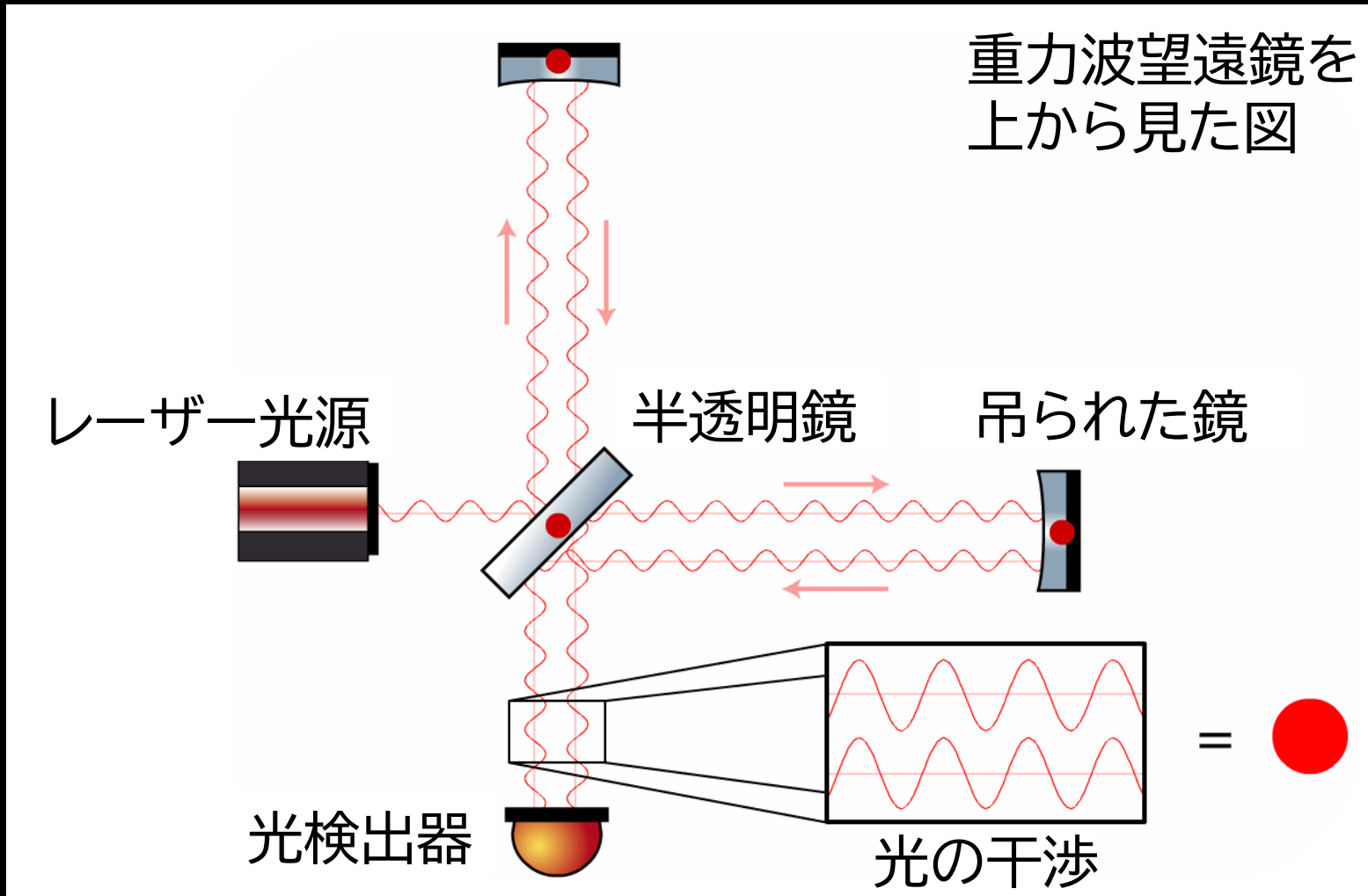


# 現在の重力波望遠鏡の原理

重力波が来ると  
縦方向が伸びて横方向が縮む



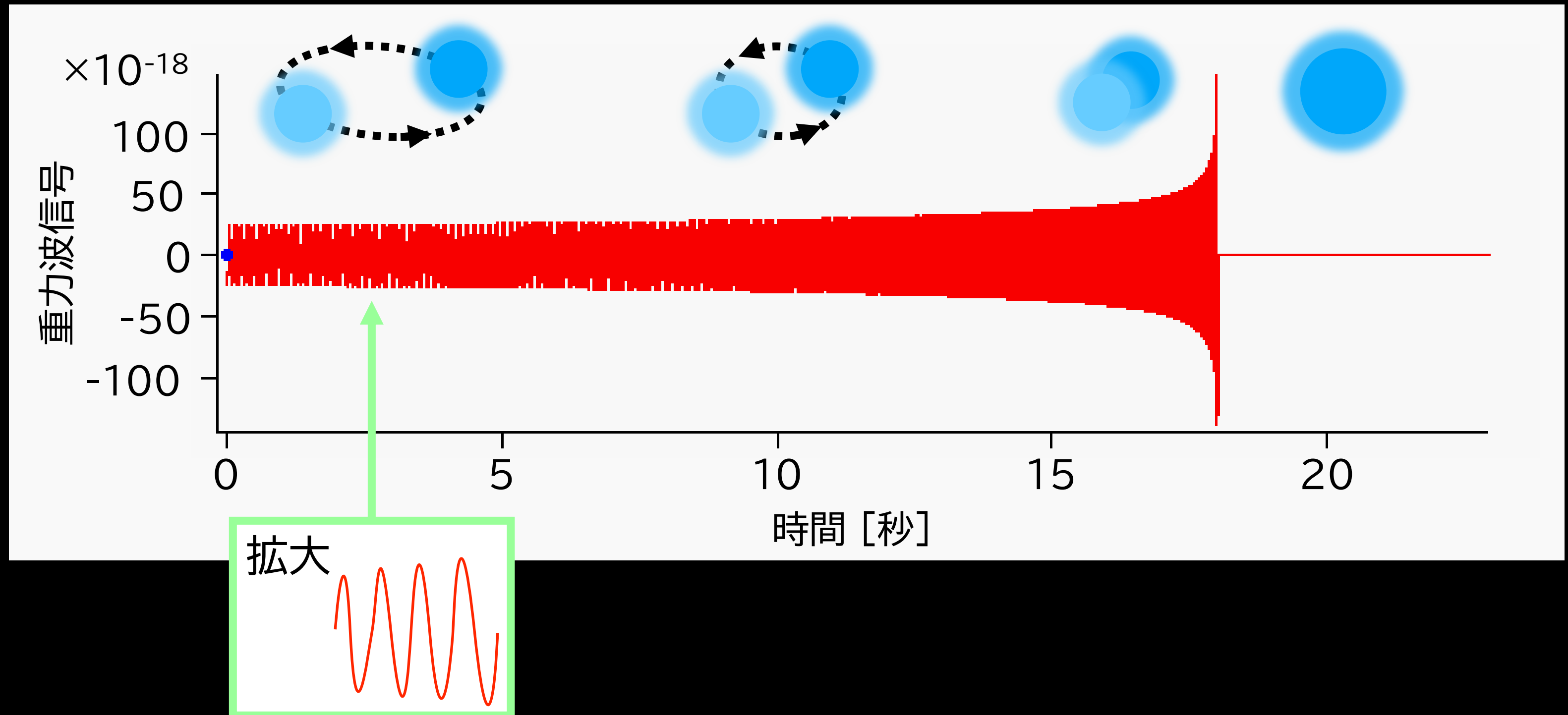
マイケルソン干渉計：振り子で吊られた鏡の動きをレーザー光の干渉で読み取る





# 重力波を音に変換

太陽の10倍の質量のブラックホールの合体からの重力波



# これからの重力波望遠鏡の開発

LIGOより感度の良い重力波望遠鏡で遠くまで観測する

例) Einstein Telescope: 10倍大きいマイケルソン干渉計

LIGOとは異なる原理の重力波望遠鏡で低周波数の重力波を観測する

→ 地面の揺れをどのように防振するかが問題

例) TOBA: ねじれ振り子を使う

LISA: 宇宙に打ち上げる

