

講演会「重力波が紐解く宇宙の謎」- ブラックホールは見つかったのか? -

重力波検出がもたらすもの

大阪大学理学研究科 棚橋典大

重力波検出がもたらすもの

1. 今回の重力波検出がもたらしたもの

- ✓ 観測事実はなにか？
- ✓ そこから何が分かるか？

2. 今後の重力波観測がもたらすもの

- ✓ 現在調べていることはなにか？
- ✓ 今後、どのような発展がもたらされるか？

重力波検出がもたらすもの

1. 今回の重力波検出がもたらしたもの

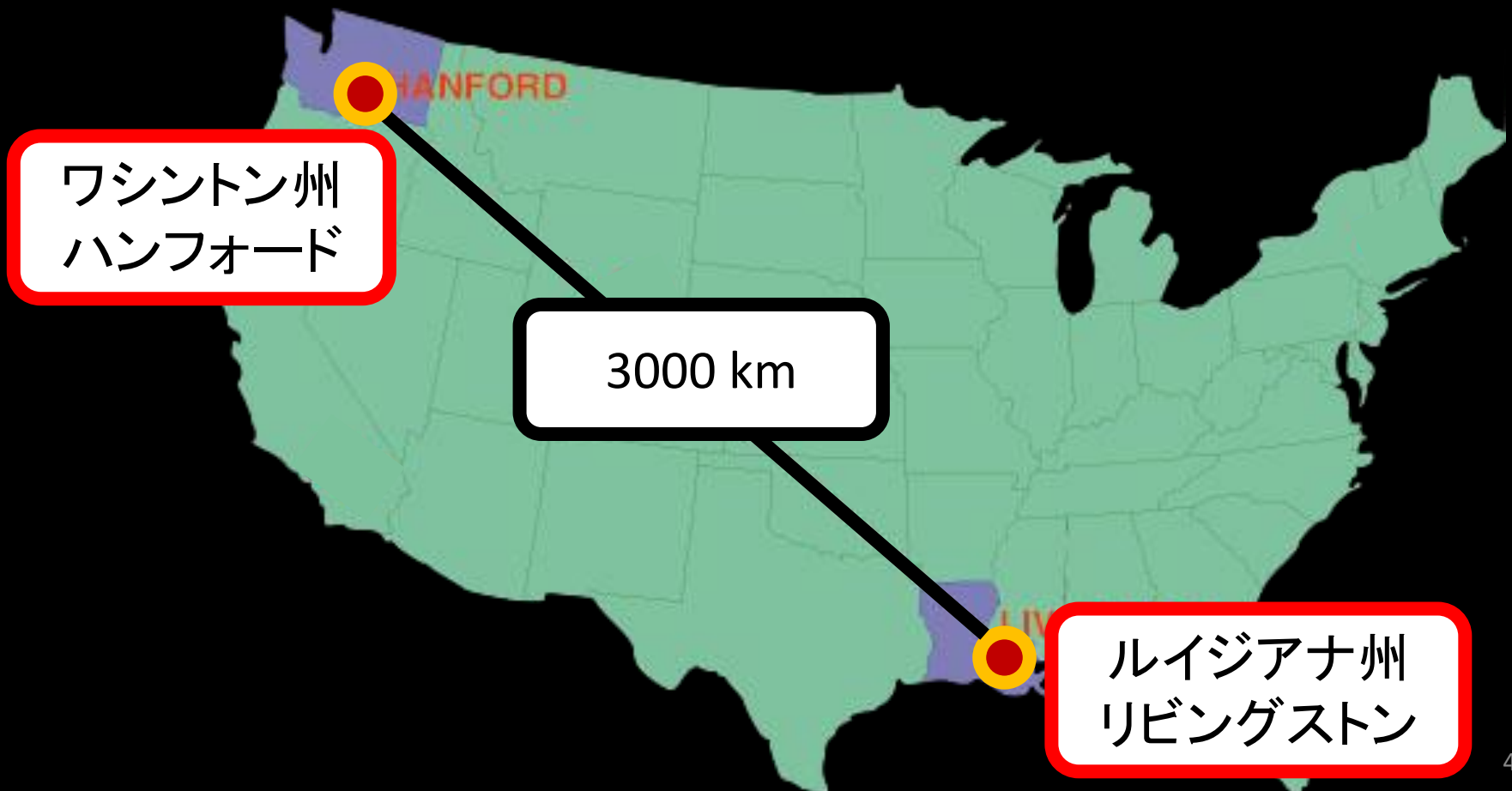
- ✓ 観測事実はなにか？
- ✓ そこから何が分かるか？

2. 今後の重力波観測がもたらすもの

- ✓ 現在調べていることはなにか？
- ✓ 今後、どのような発展がもたらされるか？

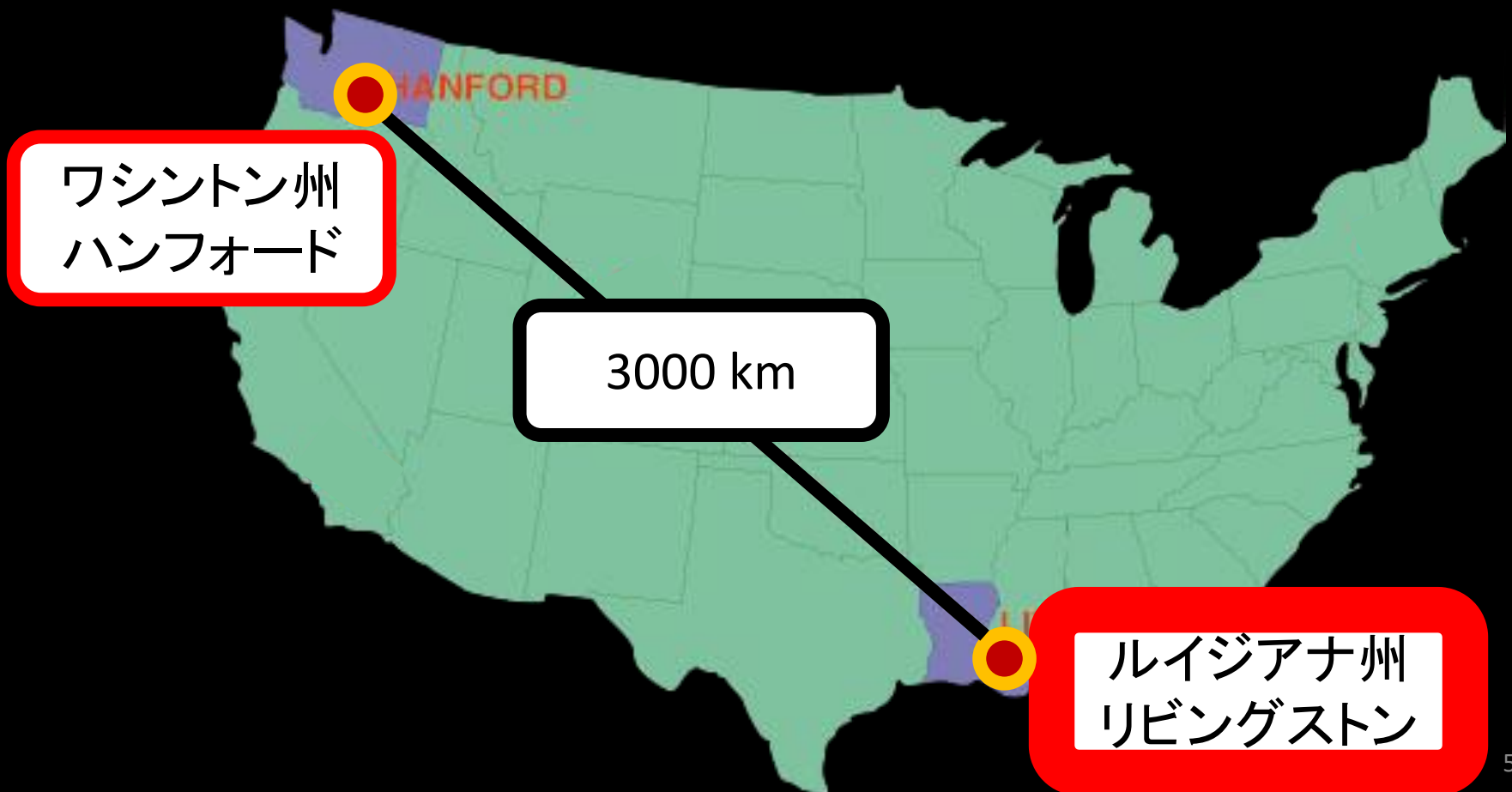
観測事実

- LIGO: 重力波検出器 2基のセット



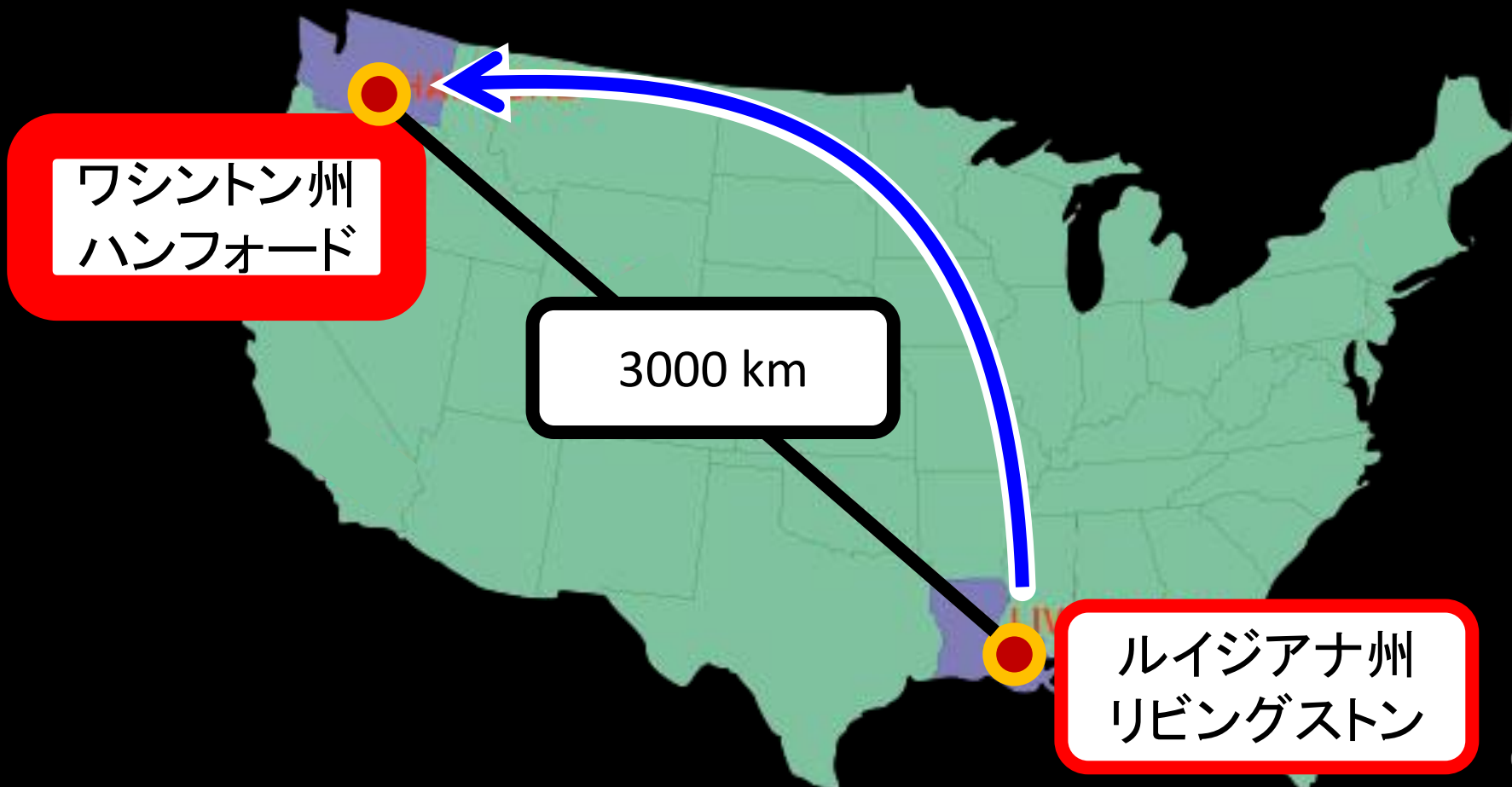
観測事実

- まず、**リビングストン**で振動をキャッチ



観測事実

- 7ミリ秒後に、ハンフォードで振動をキャッチ

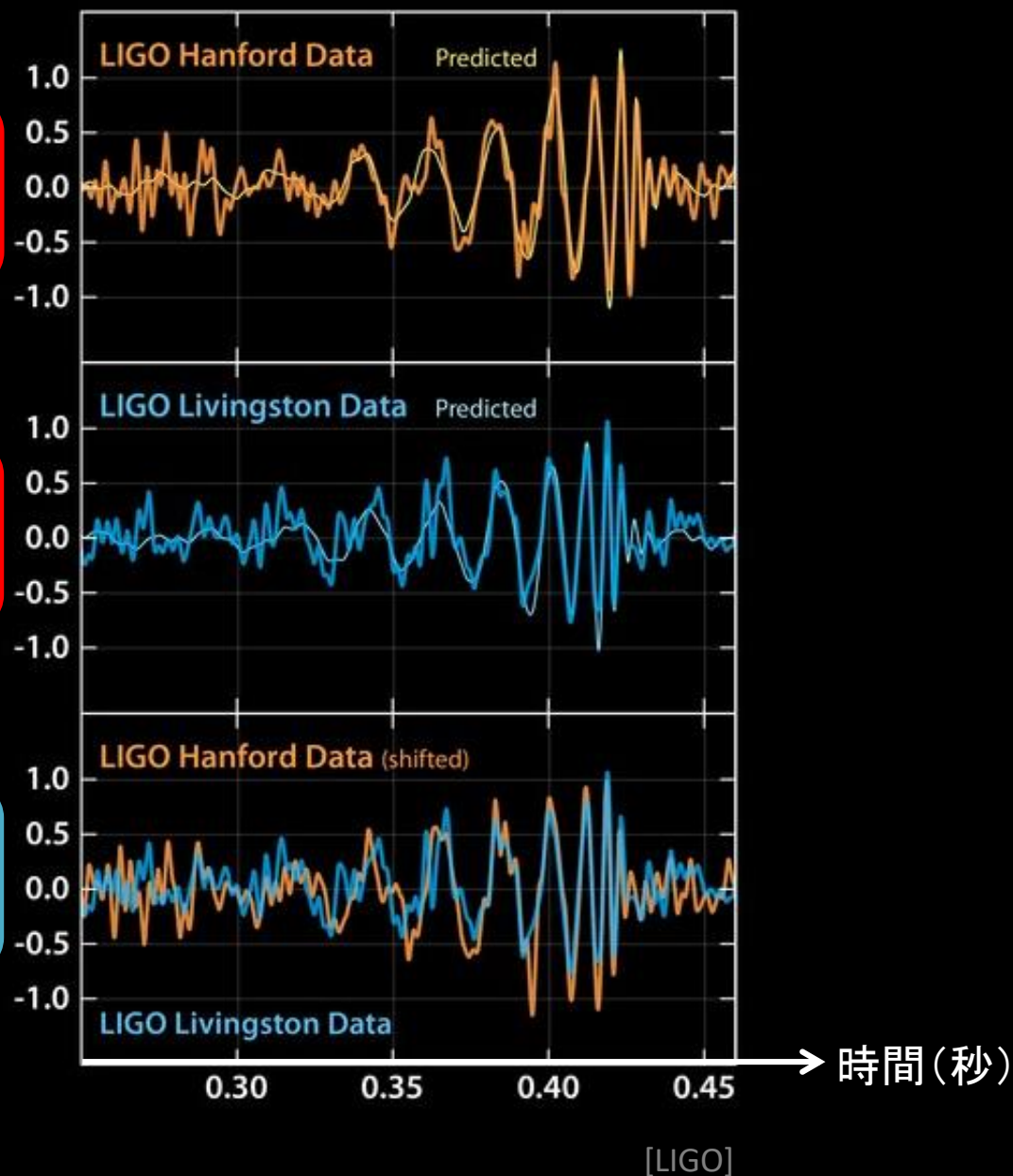


- 2カ所で得られた波形は、ほぼ同じ

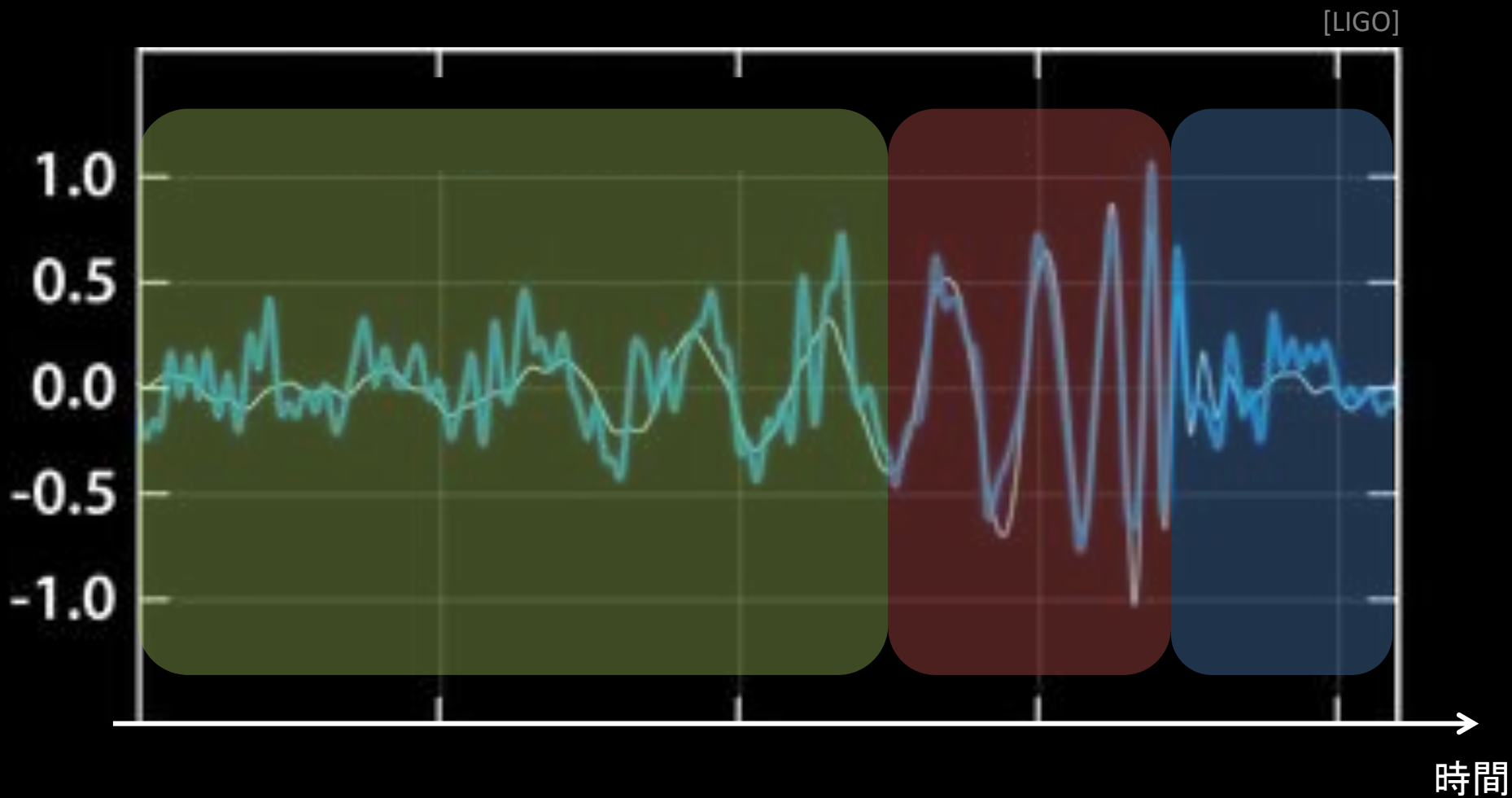
北の検出器
(ハンフォード)

南の検出器
(リビングストン)

波形の比較



- 波形の変化の様子:



ゆっくりとした小振動 → 速い大振動 → 急減衰

観測事実：まとめ

- LIGO：重力波検出器 2基のセット
- まず、**南の検出器**で重力波を検出
- **7ミリ秒後に、北の検出器**で検出
- 2カ所で得られた波形は、ほぼ同じ
- 波形は

ゆっくりとした小振動 → **速い大振動** → 急減衰
と変化

以上のことから、何がわかるか？

目次

1. 今回の重力波検出がもたらしたものの

- ✓ 観測事実はなにか？
- ✓ そこから何が分かるか？

2. 今後の重力波観測がもたらすものの

- ✓ 現在調べていることはなにか？
- ✓ 今後、どのような発展がもたらされるか？

観測事実：まとめ

- LIGO：重力波検出器 2基のセット
- まず、南の検出器で重力波を検出
- 7ミリ秒後に、北の検出器で検出
- 2カ所で得られた波形は、ほぼ同じ
- 波形は

ゆっくりとした小振動 → 速い大振動 → 急減衰
と変化

→ 地震などによるノイズではなく、重力波によるもの。

観測事実：まとめ

- LIGO：重力波検出器 2基のセット
- まず、**南の検出器**で重力波を検出
- **7ミリ秒後に、北の検出器**で検出
- 2カ所で得られた波形は、ほぼ同じ
- 波形は

ゆっくりとした小振動 → 速い大振動 → 急減衰

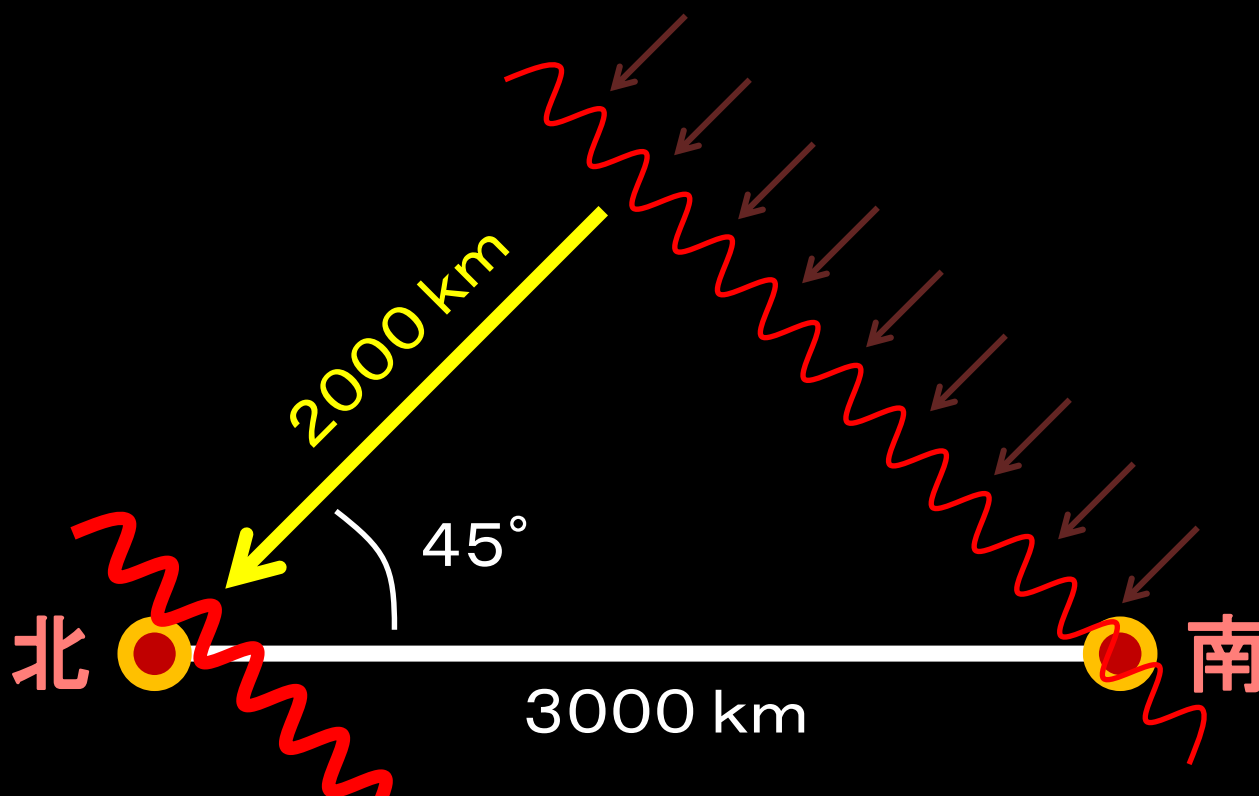
と変化

→ 重力波は、南から飛んできた。

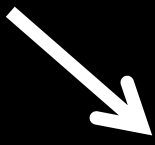
- まず、**南の検出器**で重力波を検出
- **7ミリ秒後**に、**北の検出器**で検出

7ミリ秒間で、重力波は **2000 km** だけ進む。

→ 重力波は、**南向き 斜め45度の方向**から飛んできた。



南半球の空



重力波の到来方向



観測事実：まとめ

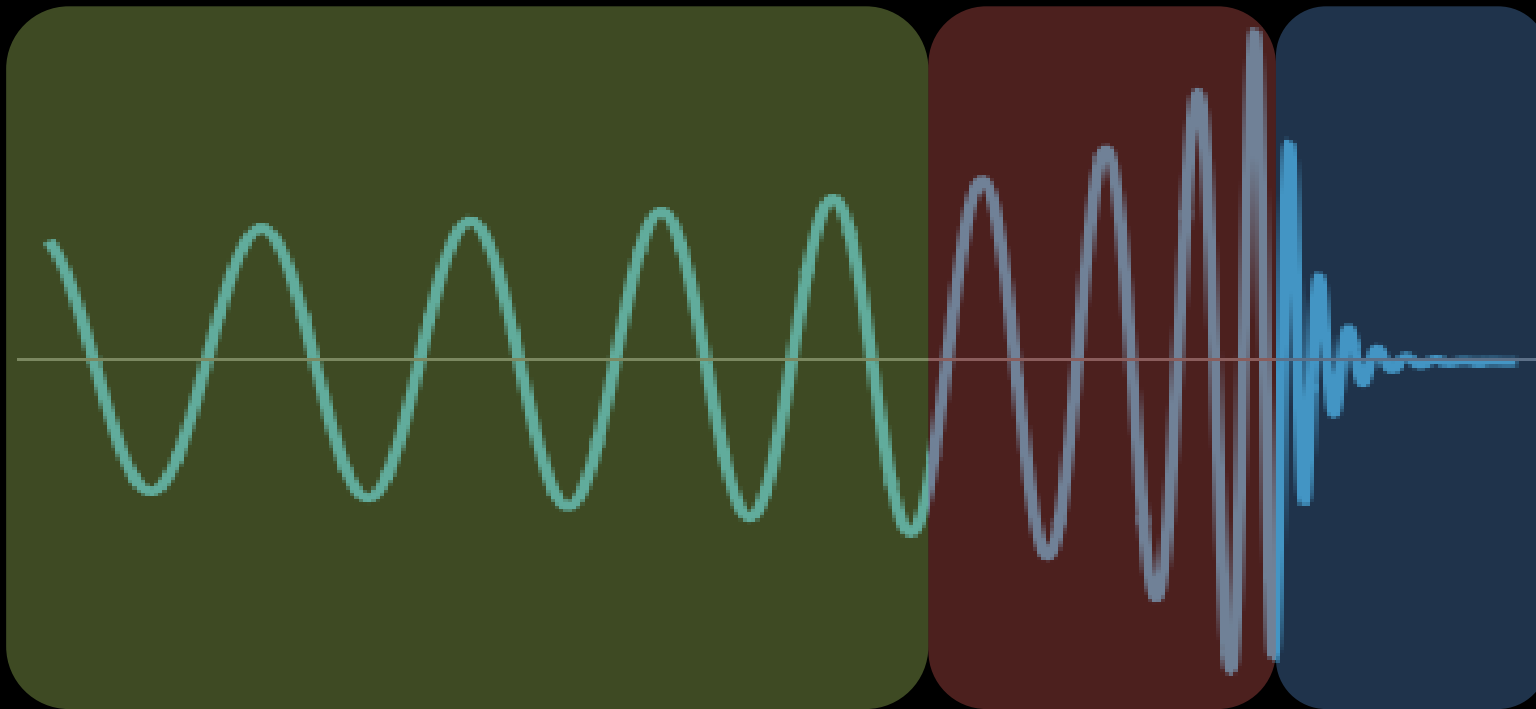
- LIGO：重力波検出器 2基のセット
- まず、南の検出器で重力波を検出
- 7ミリ秒後に、北の検出器で検出
- 2カ所で得られた波形は、ほぼ同じ
- 波形は

ゆっくりとした小振動 → 速い大振動 → 急減衰

と変化

- 波形の変化の様子:

ゆっくりとした小振動 → 速い大振動 → 急減衰



2つの重い星が、重力波を発生しながら近づいていく様子
に対応している。

2つの重い星と、その周りの重力場

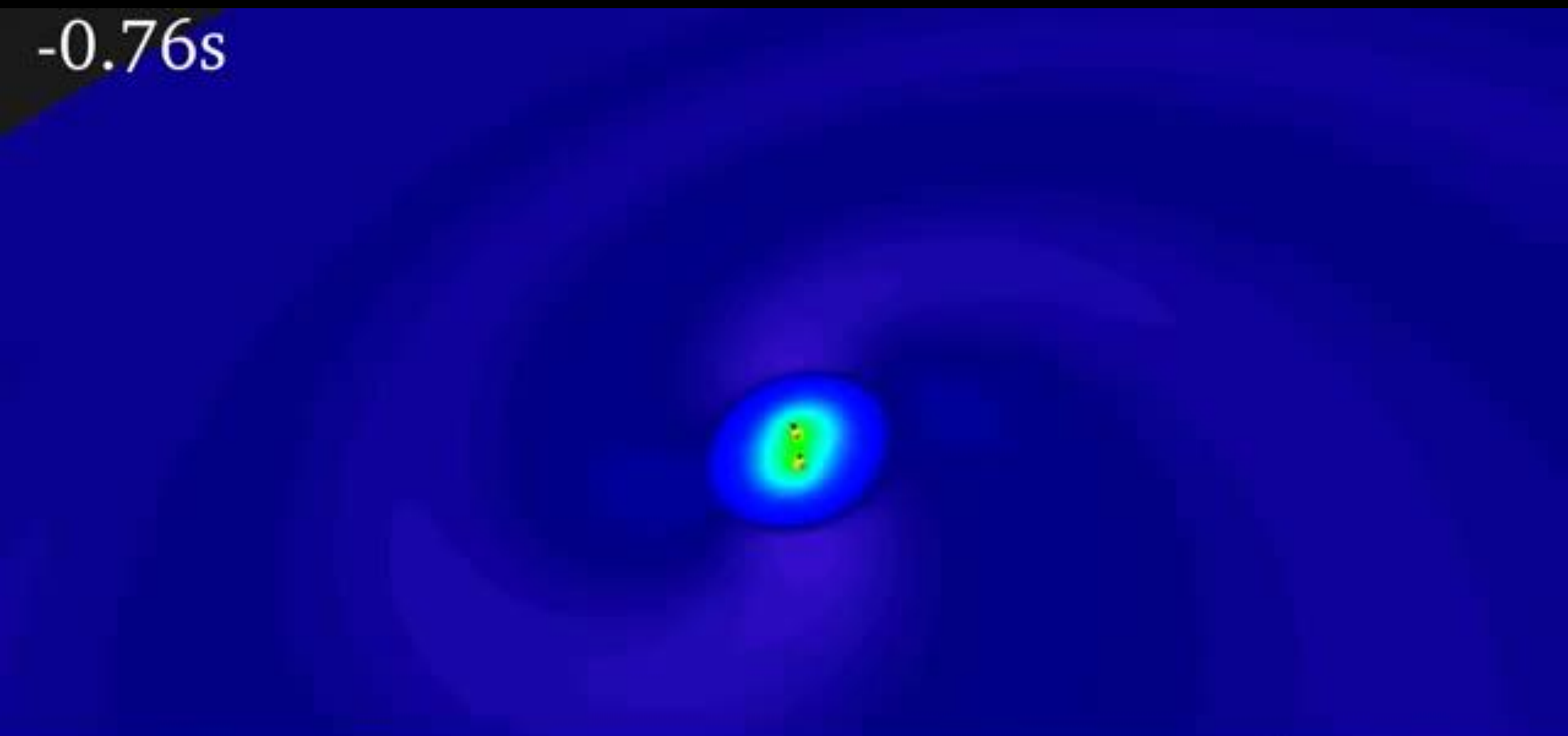
-0.76s



こちらに届く重力波

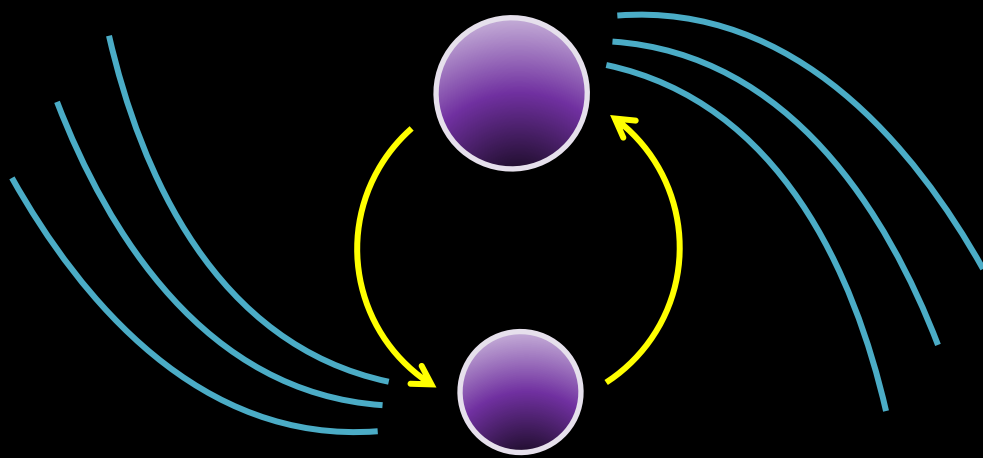
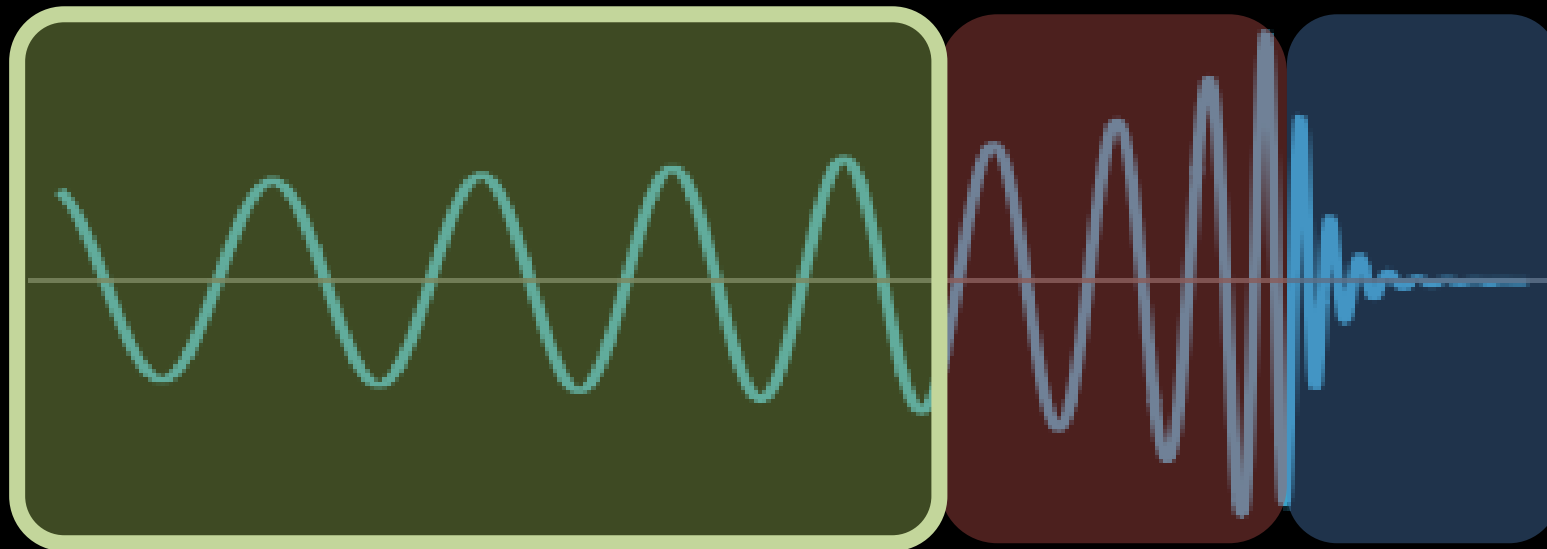


-0.76s



- 波形の変化の様子:

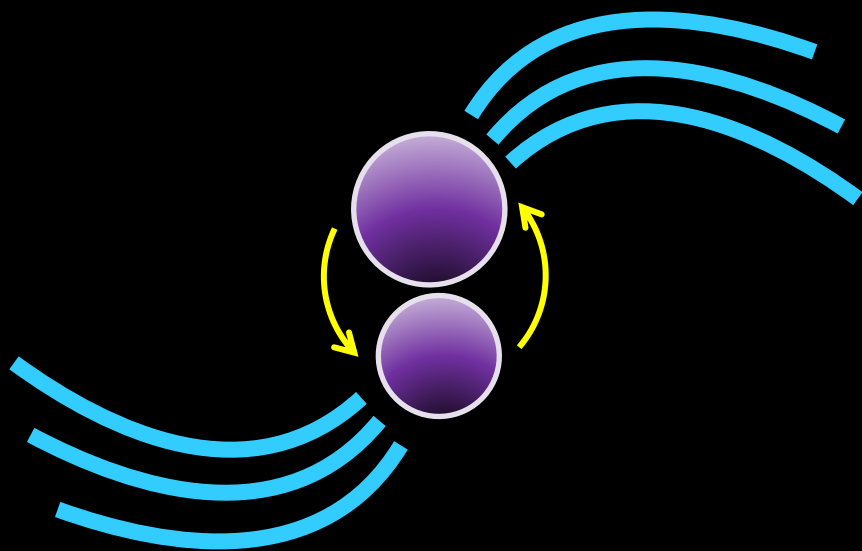
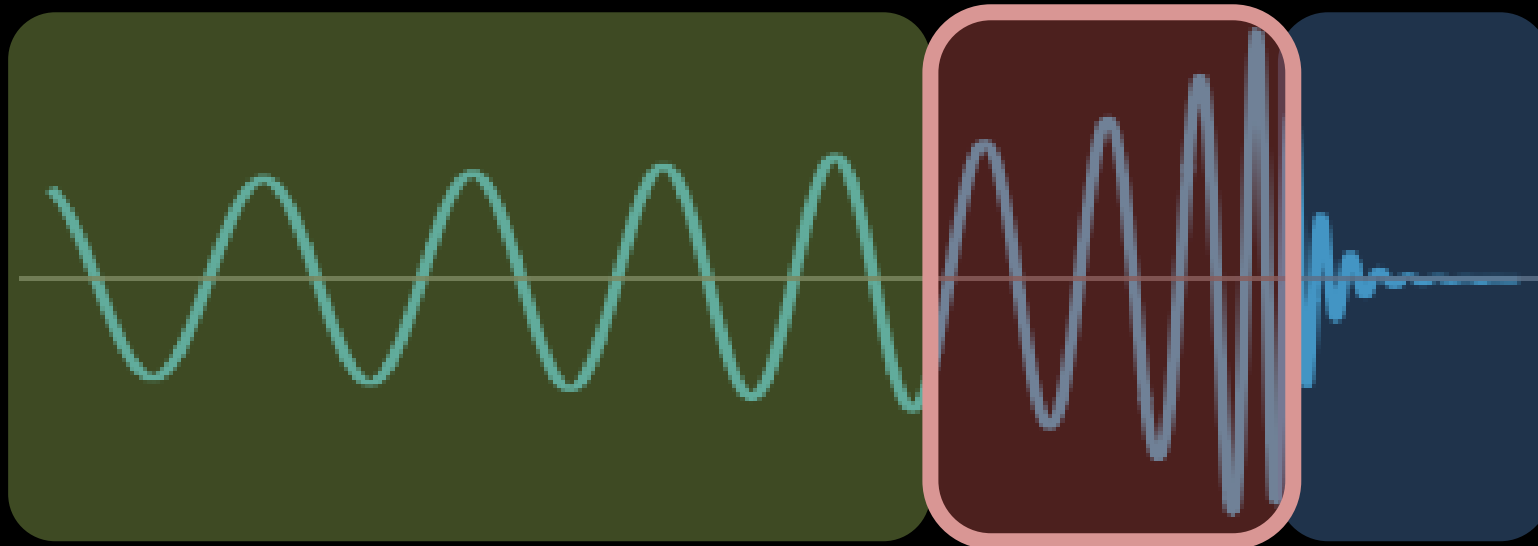
ゆっくりとした小振動 → 速い大振動 → 急減衰



- 2つの重い星が、重力波を発生しながら回転
- だんだん近いていく

- 波形の変化の様子:

ゆっくりとした小振動 → 速い大振動 → 急減衰

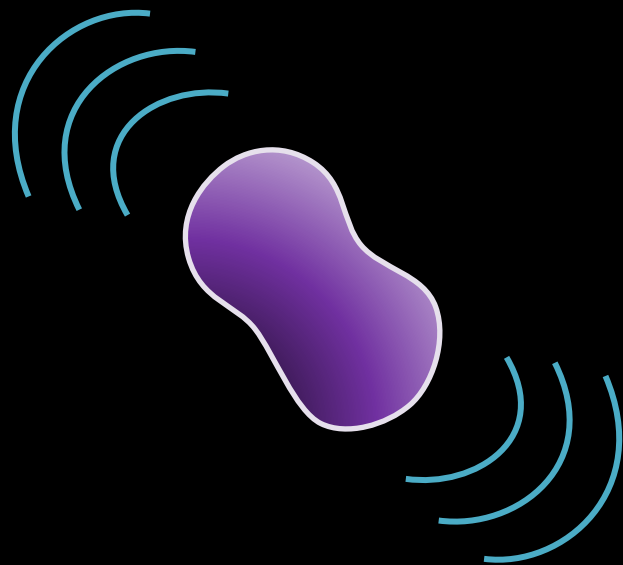
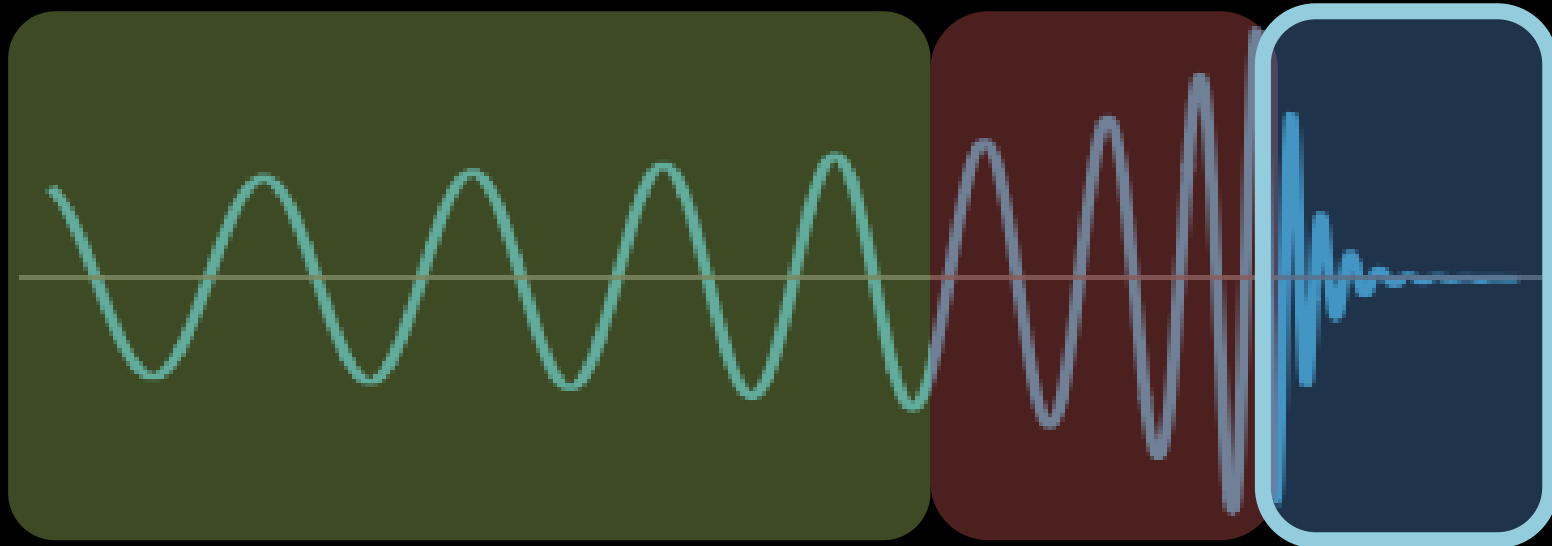


- 近づく → **スピードアップ**

- 衝突直前 → **最大の重力波**

- 波形の変化の様子:

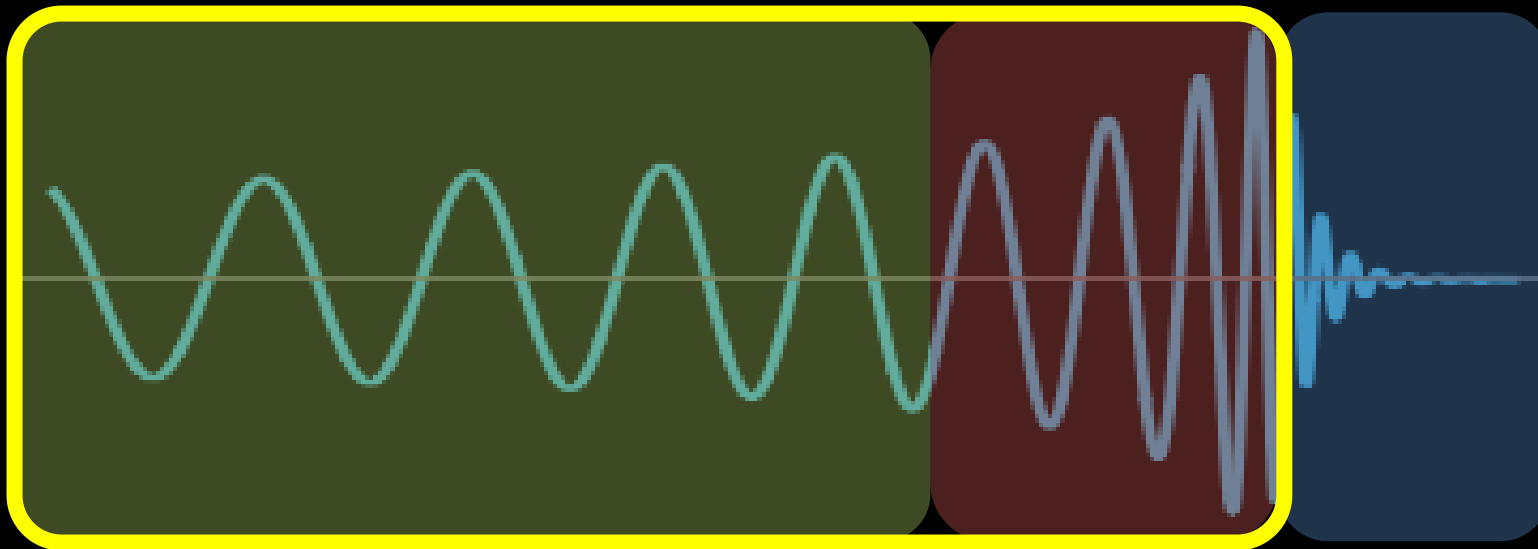
ゆっくりとした小振動 → 速い大振動 → 急減衰



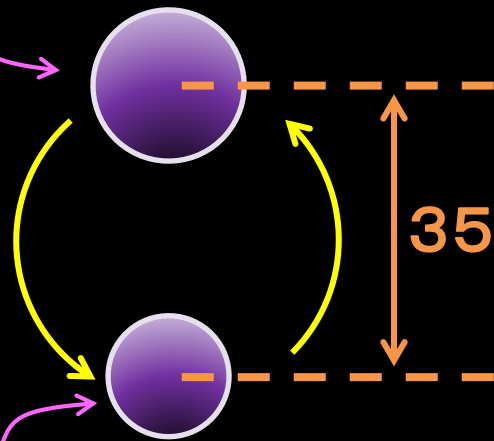
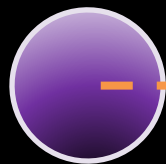
- 合体してひとつの星に
→ 重力波が出なくなる
- 星が振動 → 弱い重力波

• 波形の変化の様子:

ゆっくりとした小振動 → 速い大振動 → 急減衰



太陽の36倍の重さ



350km

太陽の29倍の重さ

波の周波数・振幅の変化から

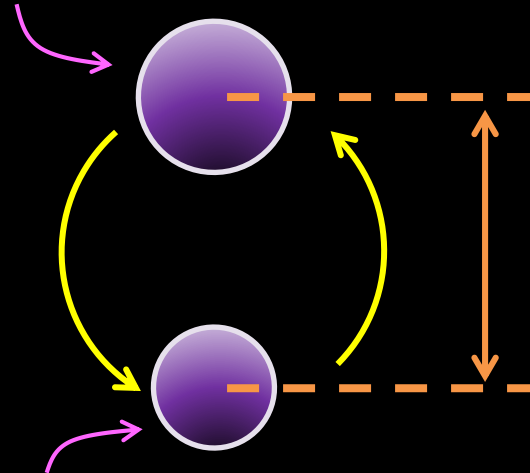
• 星の重さ

• 合体直前の距離

などがわかった。

• 今回:

太陽の36倍の重さ



350km

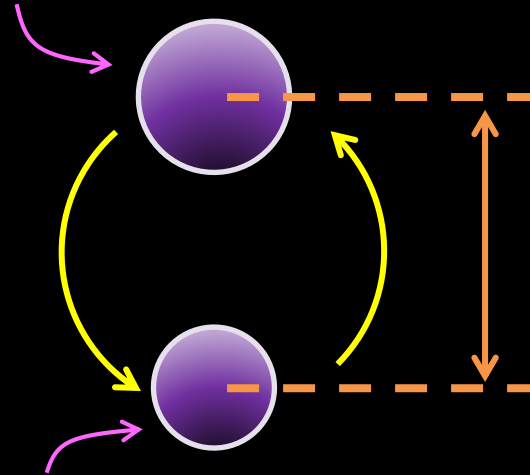
太陽の29倍の重さ

• 太陽: 直径140万km

4000倍

- 今回:

太陽の36倍の重さ



350km

太陽の29倍の重さ

普通の星と比べて、とても重く、小さい

→これらの星はブラックホールである
と思われる。

ブラックホール

- 光より速く飛ぶものはない
- とても重い星
 - 重力が非常に強い
 - 光も吸い込んでしまう

「ブラックホール」

- 一般相対論の予言のひとつ。
直接的に発見されたのは、今回が初めて。

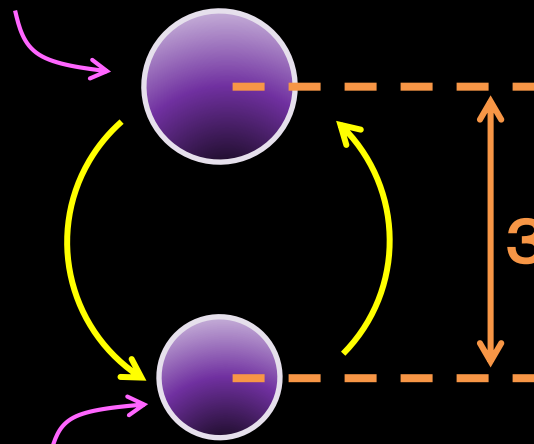
まとめ：何が分かったか？

- 重力波形を解析

- - ✓ 2つのブラックホールの衝突・合体が起きた
 - ✓ 南の空の方向
 - ✓ 地球から13億光年先から飛んできた

と予想される。

太陽の36倍の重さ



350km

太陽の29倍の重さ

まとめ： 今回の発見の意義

- 重力波が存在すること
- 一般相対性理論が正しそうであること
- ブラックホールの連星が存在すること
- そのような連星で、合体するものがあること

これらについて、直接的な証拠が世界で初めて得られた。

目次

1. 今回の重力波検出がもたらしたもの
 - ✓ 観測事実はなにか？
 - ✓ そこから何が分かるか？
2. 今後の重力波観測がもたらすもの
 - ✓ 現在調べていることはなにか？
 - ✓ 今後、どのような発展がもたらされるか？

現在調べていること

1. 太陽の30倍重いブラックホール連星が見えた。
これは、どのようにして作られたか？
2. ブラックホール連星は宇宙に何個あるか？
3. 一般相対性理論はどこまで正しいか？

1. 太陽の30倍重いブラックホール連星が見えた。

これは、どのようにして作られたか？

予想外の結果

✓ より数の多い中性子星の連星が
先に見つかると思っていた。

✓ 太陽の30倍重いブラックホール:

{ より軽いブラックホール
ずっと重いブラックホール } の方ができやすい。

適度に重いブラックホールの起源を探るべき。

2. ブラックホール連星は宇宙に何個あるか？

- これまで： 望遠鏡で見える星の数などから推測
不定性が大きかった。
- 今回： 2015年9月12日 ~ 10月20日の観測

→ { 9月14日に重力波検出。
10月12日にも何か見えた？

→ ブラックホール連星は意外と多いかも。

一年間に10回くらい見つかる？

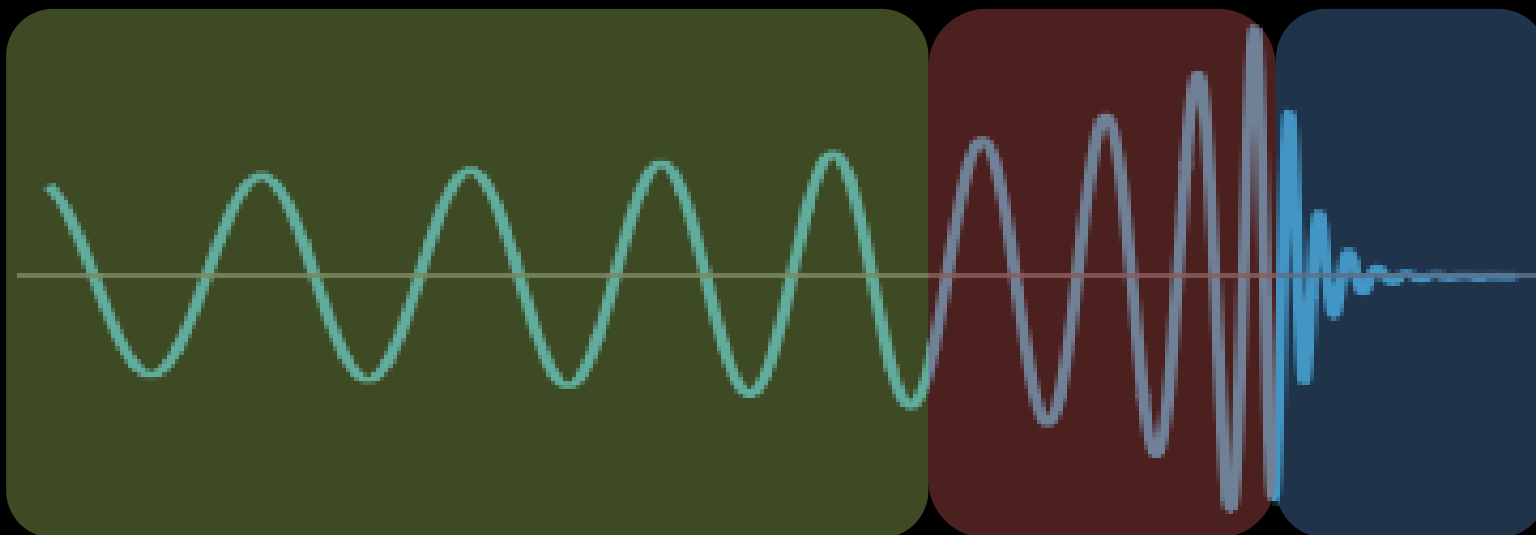
→ この宇宙にあるブラックホール連星を数えられるかも。

3. 一般相対性理論はどこまで正しいか？

• ブラックホール付近から出てくる重力波を観測できた。

→ **強い重力場がある場合に一般相対論を検証**できる。

- ✓ 重力波は光の速さで飛ぶか？
- ✓ ブラックホール特有の振動が見られるか？



現在調べていること

1. 太陽の30倍重いブラックホール連星が見えた。
これは、どのようにして作られたか？
2. ブラックホール連星は宇宙に何個あるか？
3. 一般相対性理論はどこまで正しいか？

今後の高精度の観測や理論研究で明らかになる。

目次

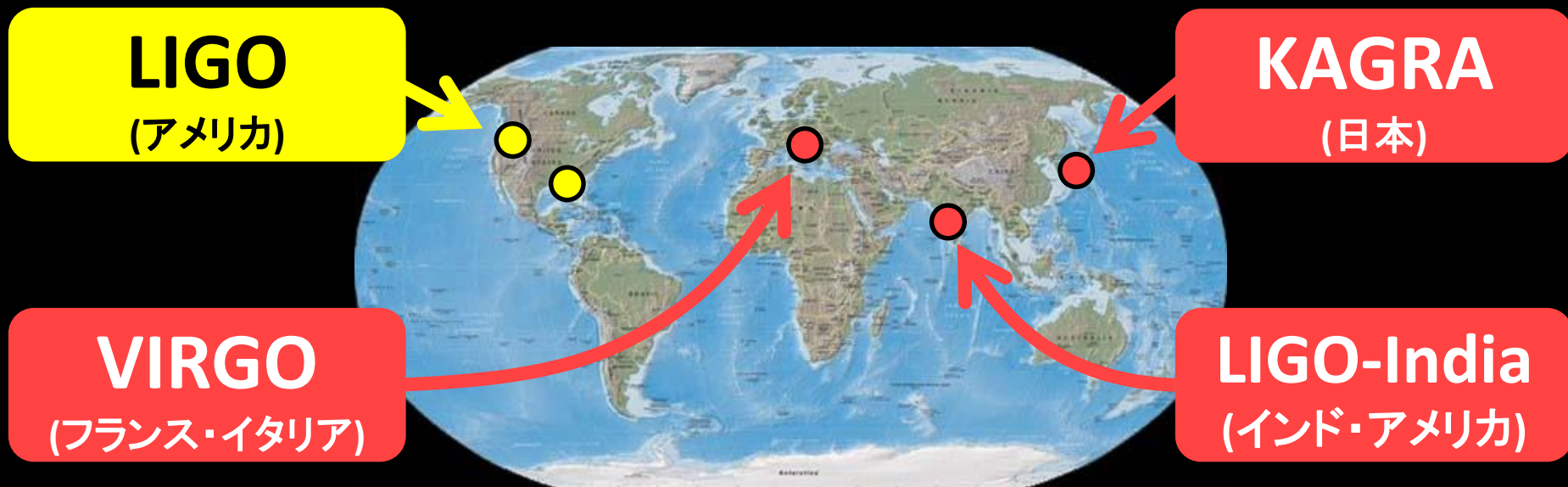
1. 今回の重力波検出がもたらしたもの
 - ✓ 観測事実はなにか？
 - ✓ そこから何が分かるか？
2. 今後の重力波観測がもたらすもの
 - ✓ 現在調べていることはなにか？
 - ✓ 今後、どのような発展がもたらされるか？

今後、どのような発展がもたらされるか？

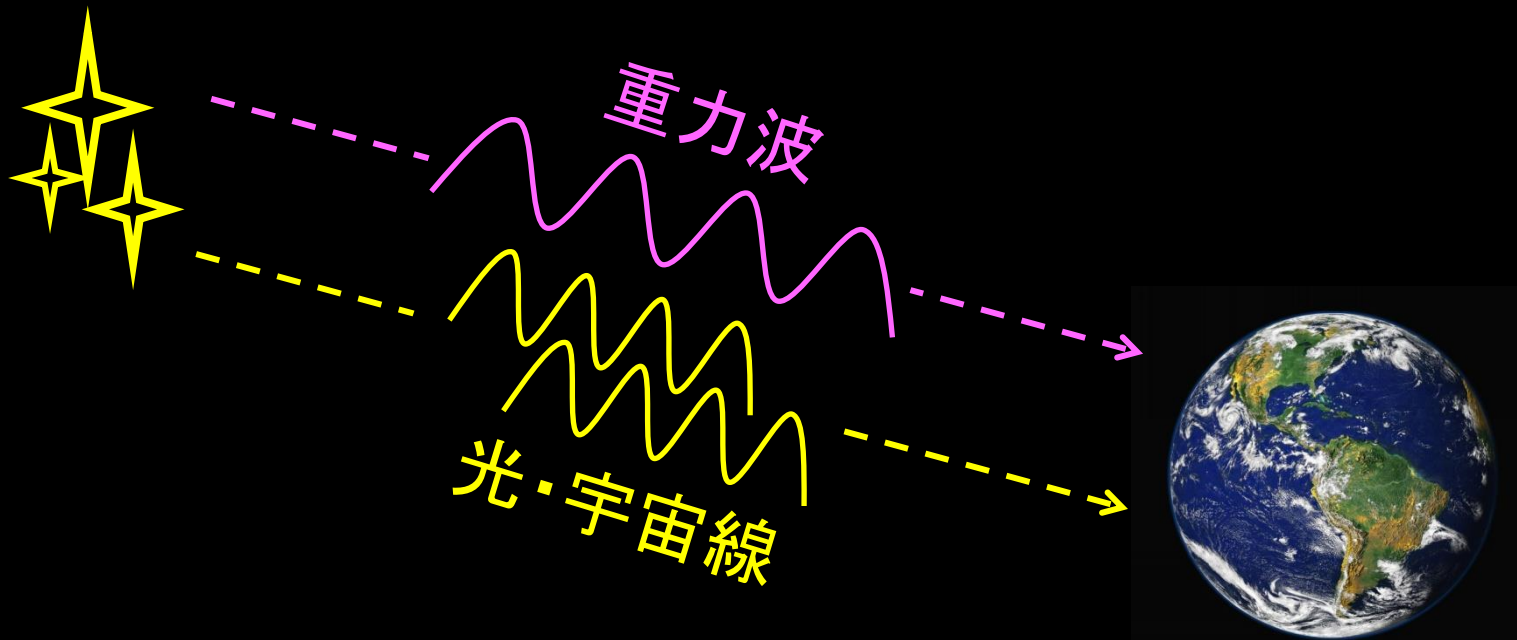
1. 地上重力波天文台のネットワーク
2. 他の望遠鏡との連携
3. 宇宙重力波天文台
4. 「重力波天文学」のはじまり

1. 地上重力波天文台のネットワーク

- 今回: **2台の検出器**による観測
→ どの方向から来たのか、特定しきれなかった
- 今後: **多くの重力波検出器**による同時観測
→ より正確に方向・性質を決定できる



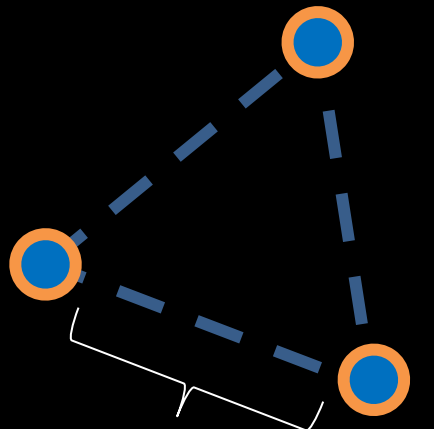
2. 他の望遠鏡との連携



- もし、重力波と同時に光や宇宙線でも見えると
 - 到来方向が正確に分かる
 - どのような天体から来たのか判明し、理解が進む

3. 宇宙重力波天文台

- 重力波検出器の感度を上げたい
 - ✓ 長い方が高感度 ← 地上では数kmが限度
 - ✓ 防振が必要 ← 地震がノイズになる
- どちらも、宇宙に作れば解決する。



数千 ~ 数百万 km

- 人工衛星を3基飛ばし、その間の距離を測る
→ 重力波を測れる。
- 地上の検出器とは違ったものが見える
- ヨーロッパ・日本・アメリカなどで計画中

4. 「重力波天文学」のはじまり

- 今後数年間で、膨大な観測データが得られる
 - ブラックホール・中性子星が発する重力波
- これまでの望遠鏡では見えなかったものが見える
 - 光・宇宙線を出さない天体でも見える
 - 透過性が強い → より遠くが見える
 - より古い時代のことが分かる
 - この宇宙の成り立ちを調べられる

重力波の観測にもとづく天文学研究がはじまる。

まとめ： 重力波検出がもたらすもの

- ◆ 昨年9月14日に重力波が観測された。
 - 13億光年先にある、太陽の30倍の重さを持った2つのブラックホールの衝突・合体
 - このブラックホール連星の起源はなにか？
- ◆ 数年以内に多くの重力波観測データが得られる
 - ✓ 重力波天文学の研究
 - ✓ 宇宙の成り立ちの解明 などが急速に進展する。
 - ✓ 一般相対性理論の検証