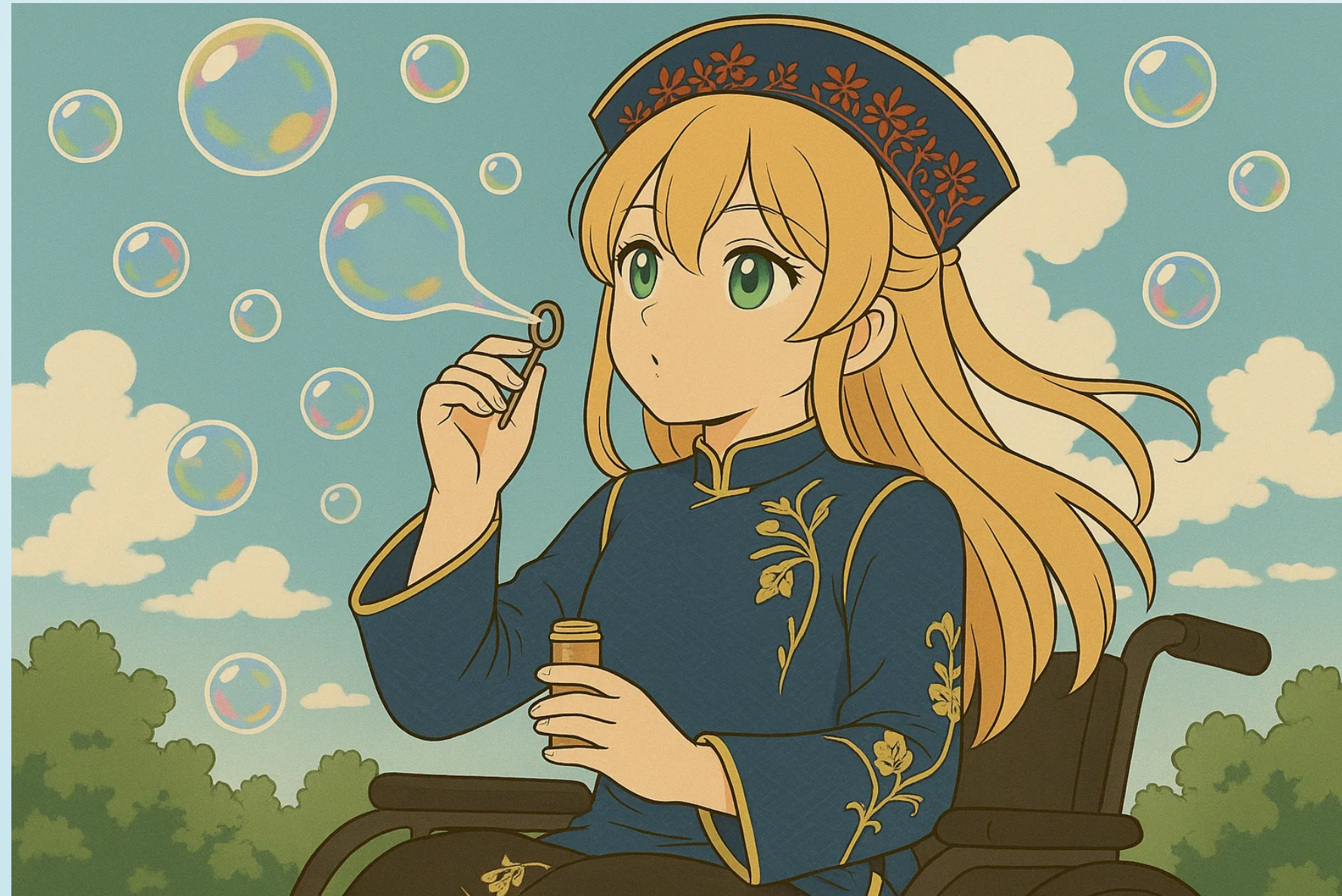


シャボン玉の虹から原子も地震も 重力も見える！

物理の目「干渉縞」のすごい力



自己紹介

- さめ (MEΓ-CCK)
 -  VRChat物理学集会の主催
 -  社会人学生として通信制大学在学中
- 得意分野:
 -  コンピュータビジョン (画像認識 / 点群処理)
 -  空間情報処理 (地理情報 / リモートセンシング)
 -  クラウドインフラ設計 / IaC (AWS, GCP)
- [GitHub](#)
- [YouTube](#)
- [Speaker Deck](#)



今日話すこと

- シャボン玉でなぜ虹色が見えるのか？
- まったく同じ原理で原子も地震も重力も見える！
 - X線回折、InSAR、重力波検出など



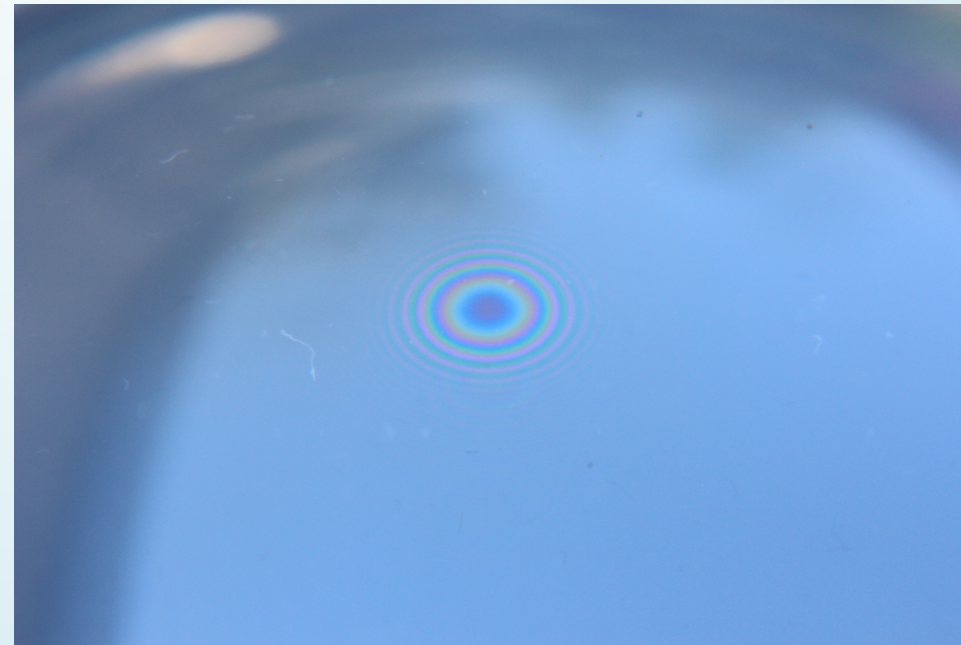
シャボン玉でなぜ虹色が
見えるのか？

ニュートンリング

- 平凸レンズを平面ガラスの上に置くと現れる同心円状の干渉縞



原理: レンズと平面の間の空気層で光が反射
→ 上面反射と下面反射の光が干渉



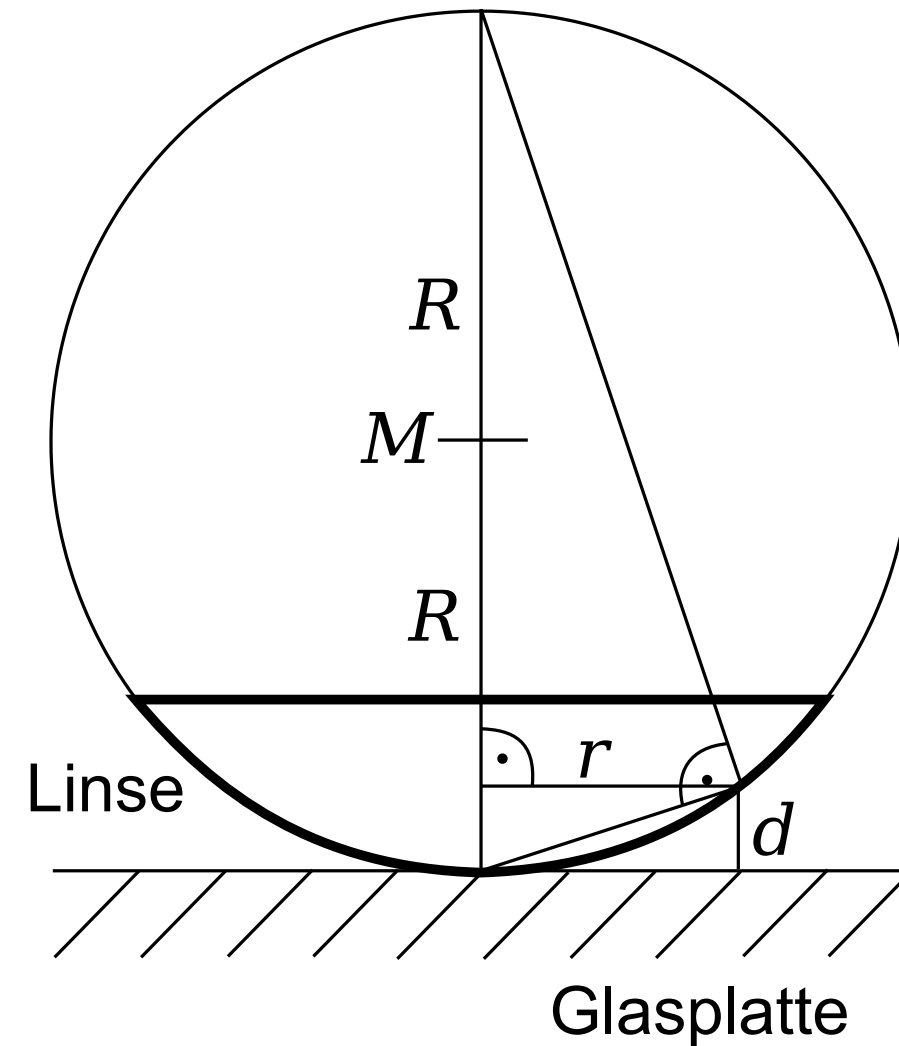
ニュートンリングの実際の写真

なぜ同心円になるのか？

空気層の厚さ d と
半径 r の関係

$$d = \frac{r^2}{2R}$$

R : レンズの曲率半
径



干渉縞の明るさ

光路差 $\simeq 2d$ (往復分)

💡 明るくなる条件

$$2d = m\lambda$$

波が同位相で重なる

🌑 暗くなる条件

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

波が逆位相で打ち消し合う

測定の困難さ

 測定容易

リング半径 r

- mm～cm単位
- 定規やノギスで測定可能
- 目で見える大きさ

 測定困難

空気層厚さ d

- μm 単位
- 通常の測定器では不可能

具体例の計算

具体例で計算してみると...

- リング半径 $r = 5 \text{ mm}$ を測定
- レンズ曲率半径 $R = 1 \text{ m}$

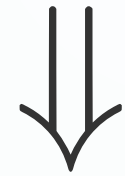
$$d = \frac{(5 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{2 \times 1 \text{ m}} = 12.5 \text{ } \mu\text{m}$$

**目で見える5mmから、見えない12.5 μ m
が分かった！**



干渉縞は「増幅装置」

目に見えない μm の世界 → 目に見える縞模様の間隔（ mm 単位）



数100~1000倍の拡大効果

シャボン玉の虹色の原理

1. 膜厚が場所により異なる
2. 膜の厚さで光路差が変わる
3. 色ごとに強め合う条件が違う
 - 赤 (700nm) が強め合う場所
 - 青 (450nm) が強め合う場所

ニュートンリングとの違い

- 媒質：空気層 → 石鹼水の薄膜
- 形状：同心円 → 不規則な模様



この原理が基礎となって...

- 原子の配列を見る → X線回折 (XRD)
- 地殻変動を測る → InSAR
- 重力波を検出する → LIGO

X線回折

(XRD, X-RAY DIFFRACTION)

原子の配列を「見る」技術

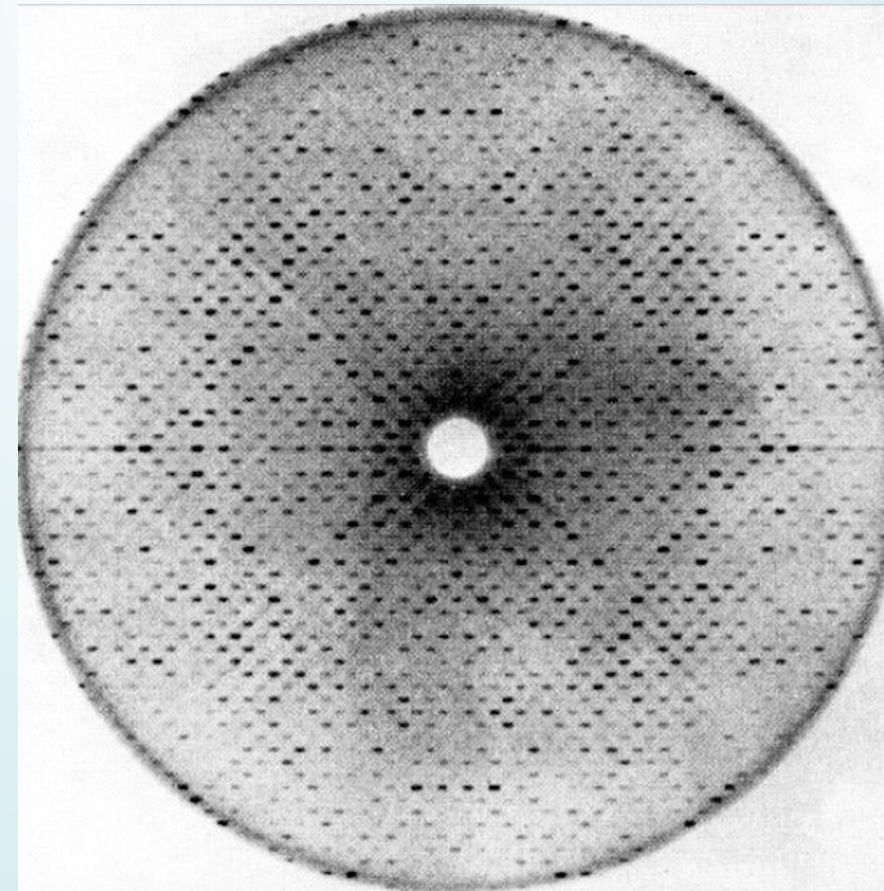
X線回折とは

 1912年 マックス・フォン・ラウエが発見

- X線が結晶で回折することを発見
- 原子配列を直接「見る」初の技術



マックス・フォン・ラウエ

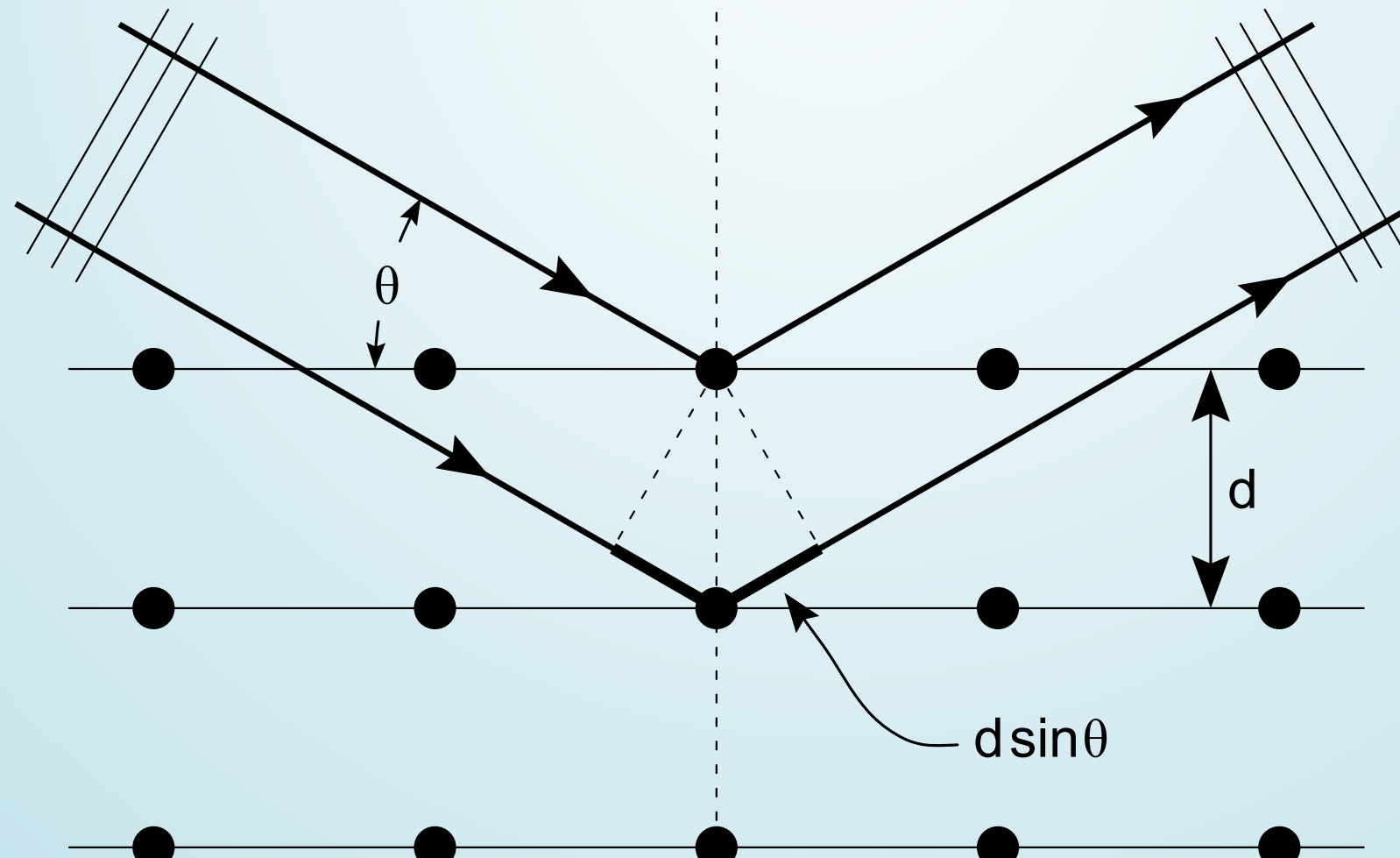


X線回折のパターン

ブラッグの法則

$$\text{光路差} = 2d \sin \theta = n\lambda$$

の時にX線同士が強め合う！



回折パターンから構造を解く

1. **測定**: 回折パターンを記録

- 角度 θ での強度を測定

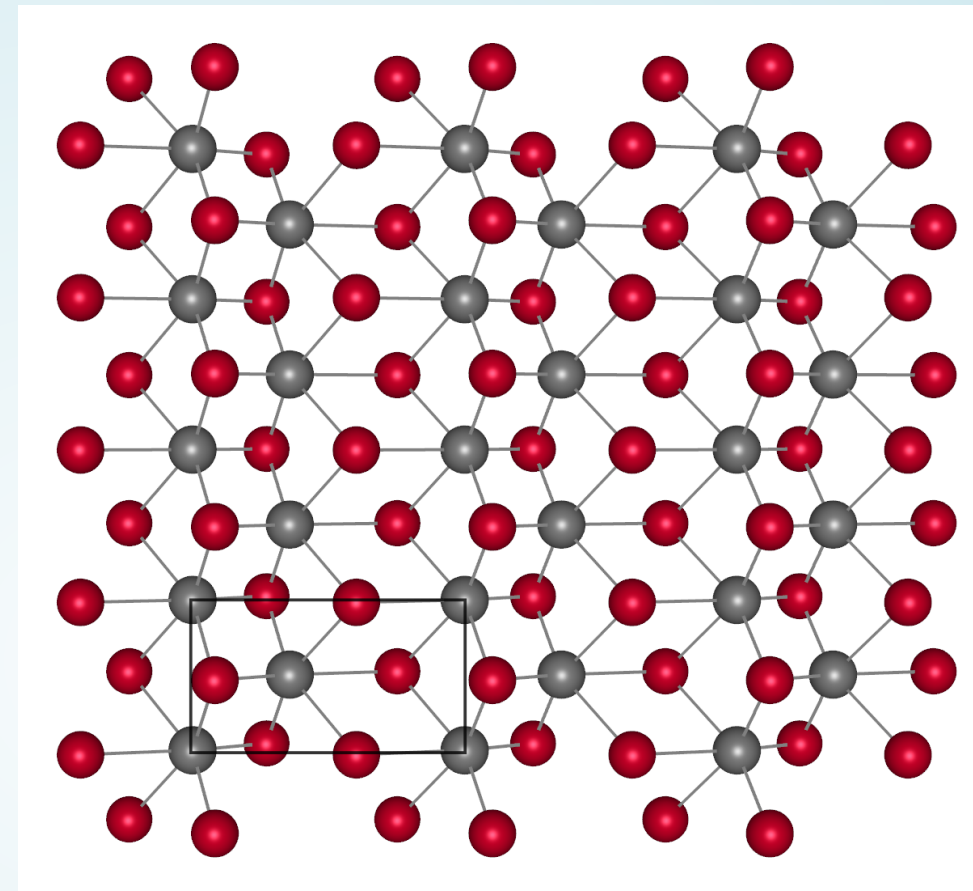
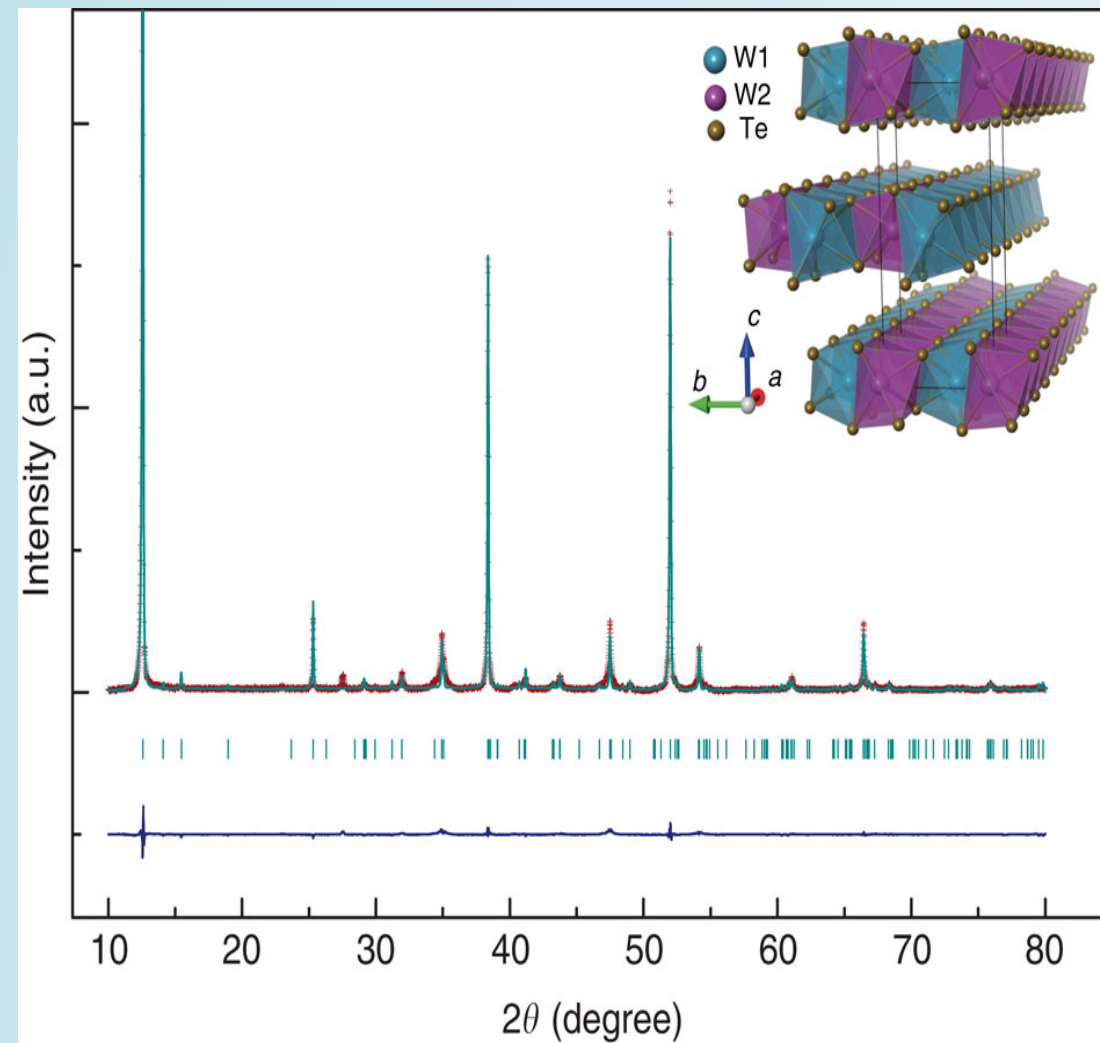
2. **計算**: ブラッグの式を適用

- $$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

3. **構造決定**: 格子定数の決定

- 原子配列の3D構造を再構築

XRDの測定例



WTe_2 のXRDパターンと結晶構造(W:灰色, Te:赤)

ピーク的位置(強め合う角度)から結晶構造を決定できる！

XRDの応用例

材料科学

- 材料の結晶性評価

地球科学

- 地質調査

美術品の分析

- 顔料の分析による真贋判定

INSAR (合成開口レーダー 干渉法)

宇宙から地殻変動を「見る」技術

INSARとは

- 人工衛星から地表の変位を測定
- 広範囲を観測可能

何が測れる？

- 地震による地殻変動
- 地盤沈下

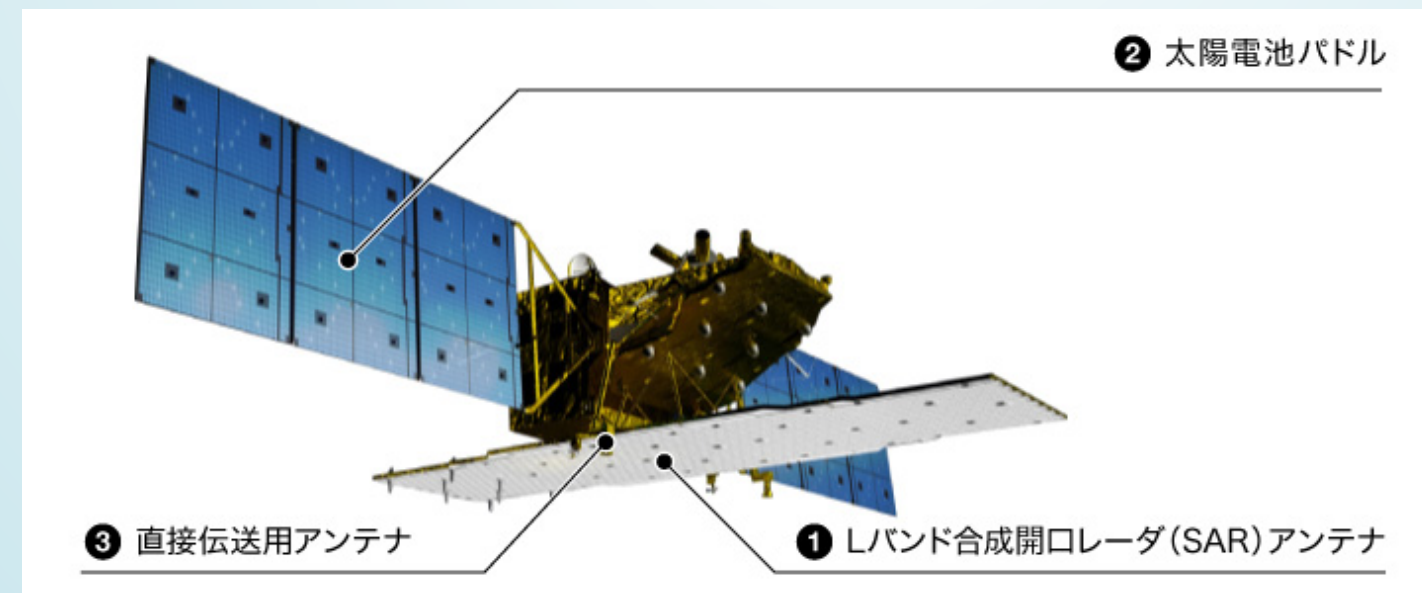


Image credit: JAXA

INSARの測定原理

- 衛星から電波を送信
- 同じ場所を2回観測
- 地殻変動があれば距離が変化する
- 2回の観測の位相差を計算

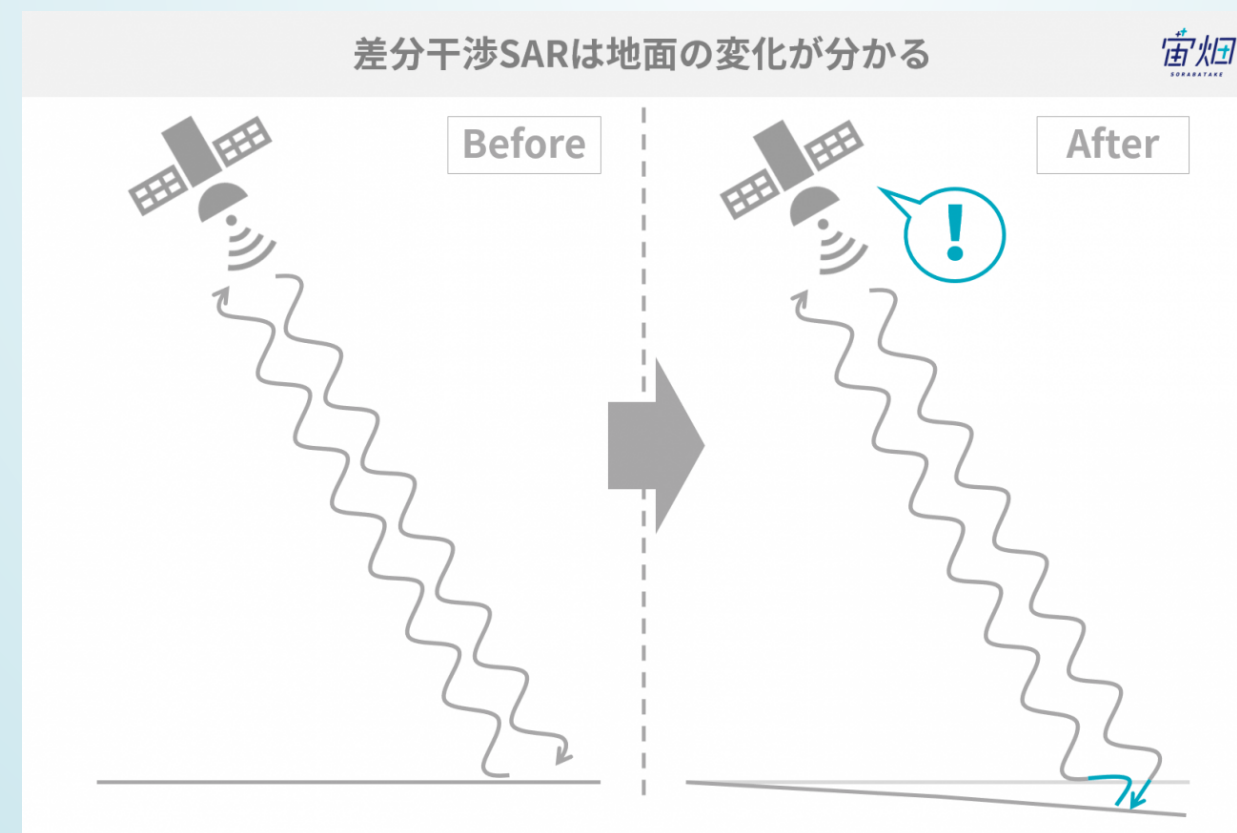


Image credit: 宙畑

INSARで見た熊本地震 (2016年)

地震による地盤変動

- 最大で1mの変動

観測の特徴

- 震源を中心とした干渉縞

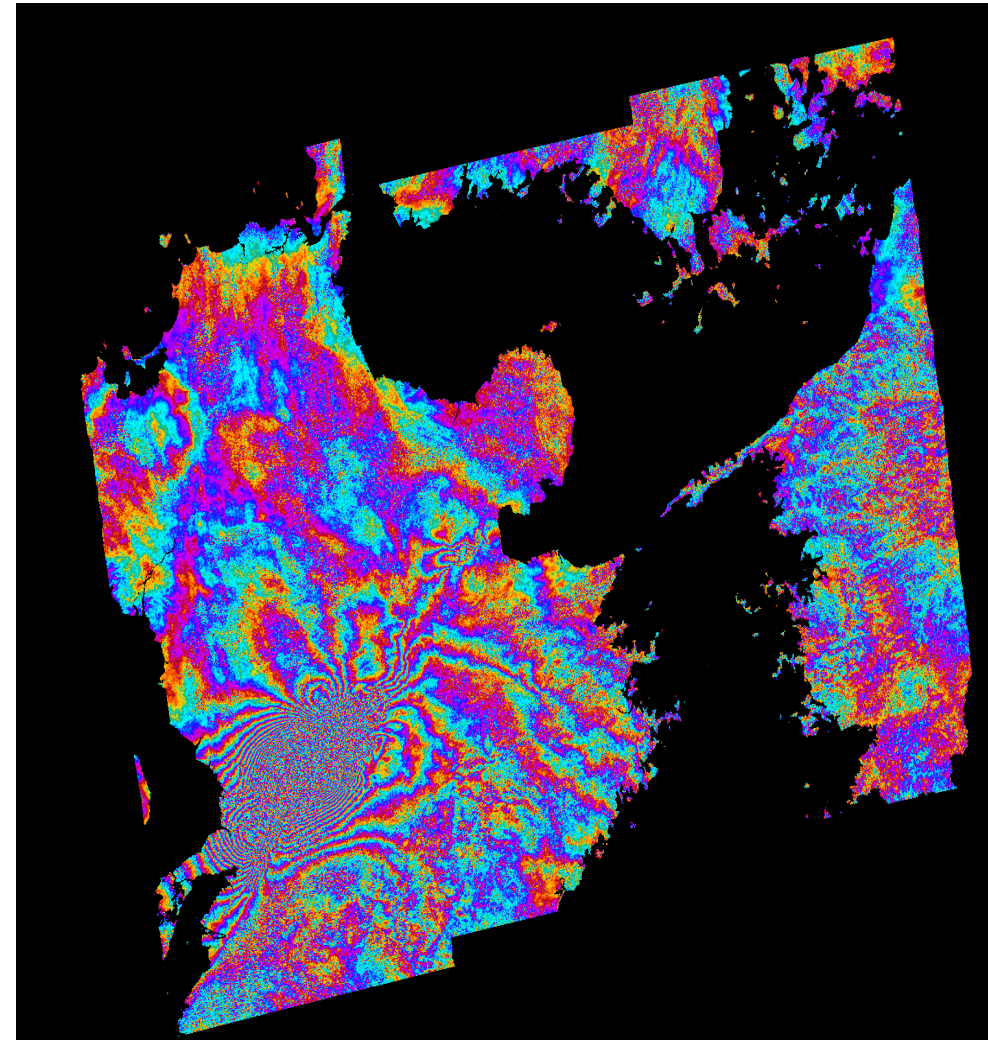


Image credit: ESA

INSAR技術の優位点



災害監視への貢献

迅速な被害把握

- 発災後数時間で解析完了
- 広域被害の全体像把握
- 立入困難地域の状況確認



長期的な観測

- 同一地点を数年間継続して観測可能
- 地盤沈下のような長期的な変動の把握

重力波検出

時空の歪みを「見る」究極の技術

重力波とは

アインシュタインの予言

- 質量が動くとき時空が歪む
- その歪みが波として伝わる

しかし歪みが小さすぎて見えなかった...

歴史的瞬間

2015年9月14日

- LIGOが初検出
- ブラックホール合体による重力波
- アインシュタインの予言から99年

LIGOの測定原理

- L字型の4kmアームにレーザを往復させる
- 重力波が通過すると...
 - 一方のアームが伸びる
 - もう一方が縮む

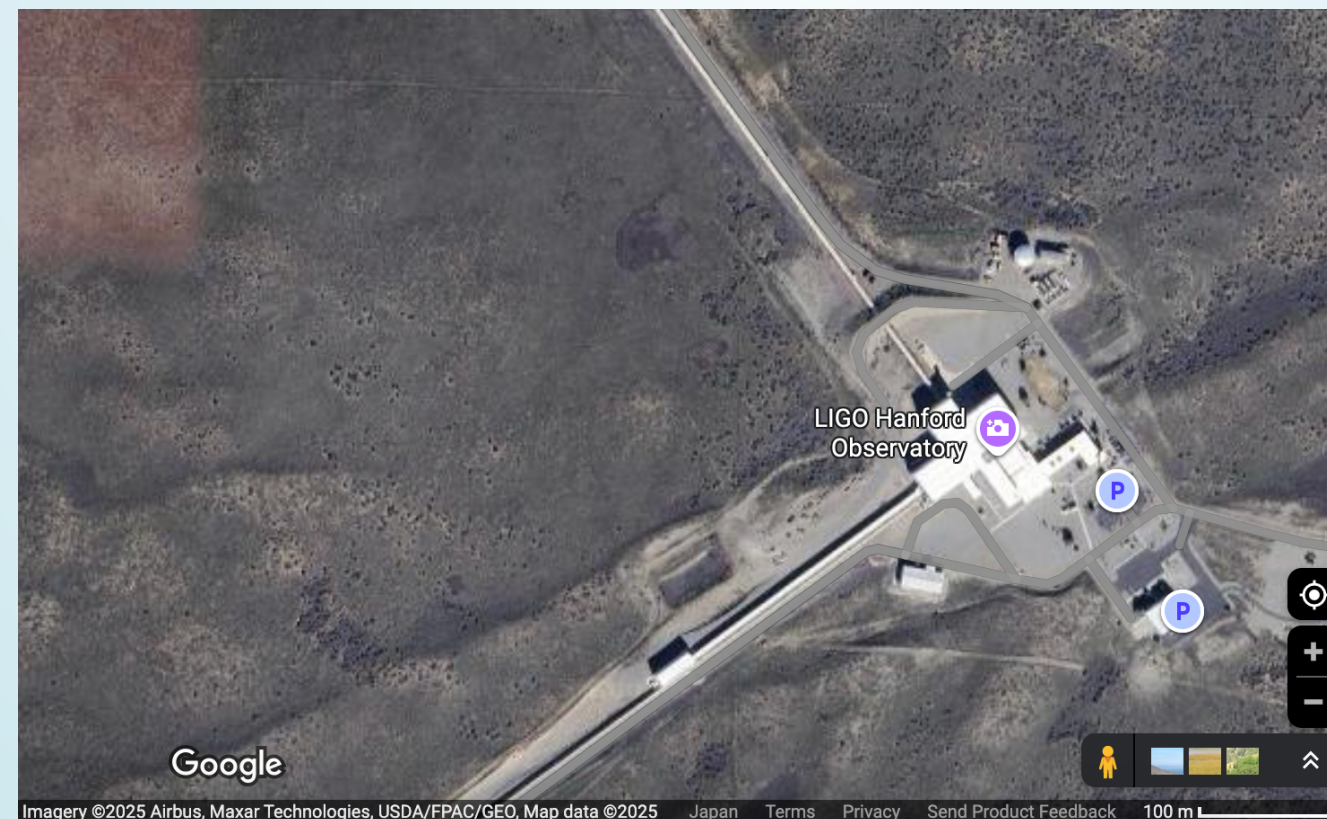
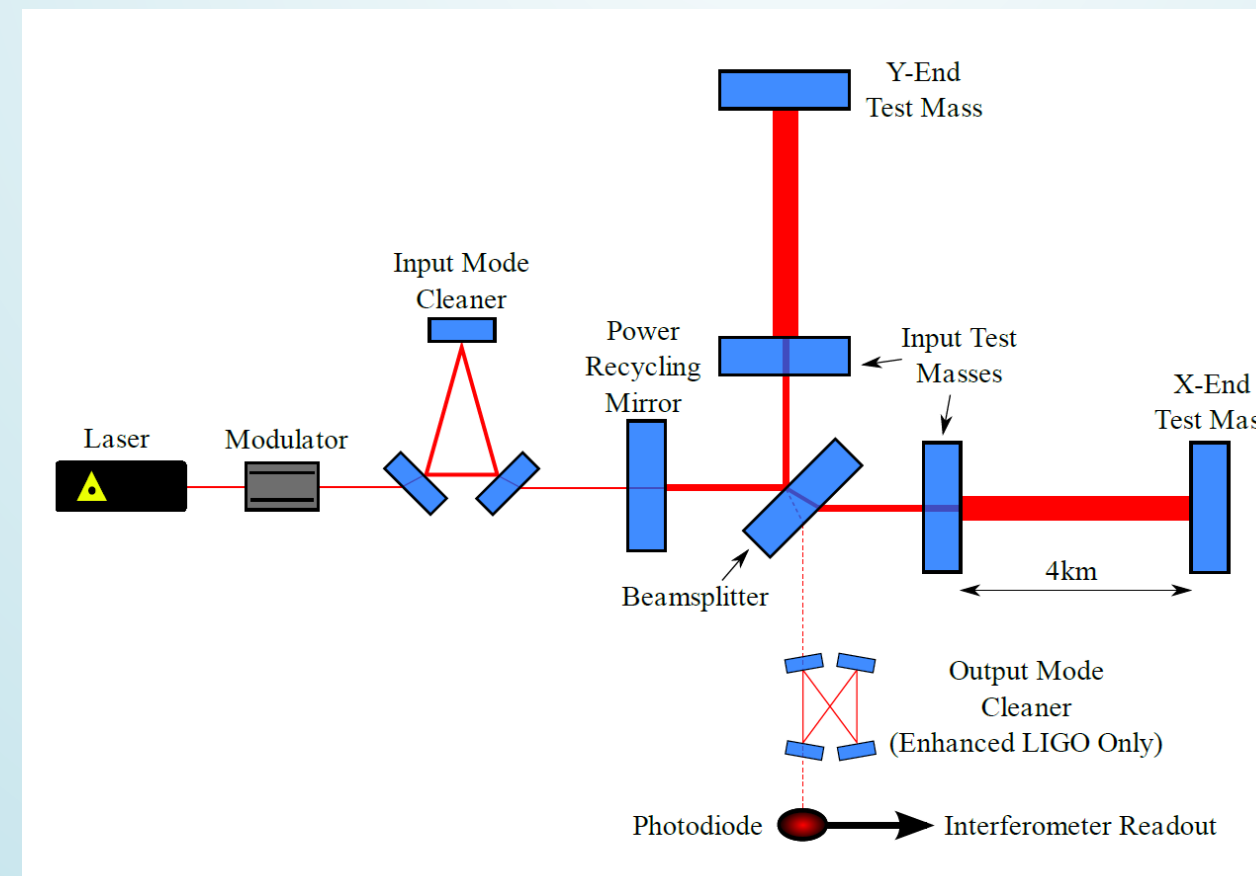


Image credit: Google Maps

干渉で重力波を検出

マイケルソン干渉計で検出

- アームの伸び縮みによって光路差が変化
 - → 干渉パターンの変化
- 10^{-18}m の変位を検出！



驚異的な感度



どれくらい小さい？

検出された変位: 10^{-18}m

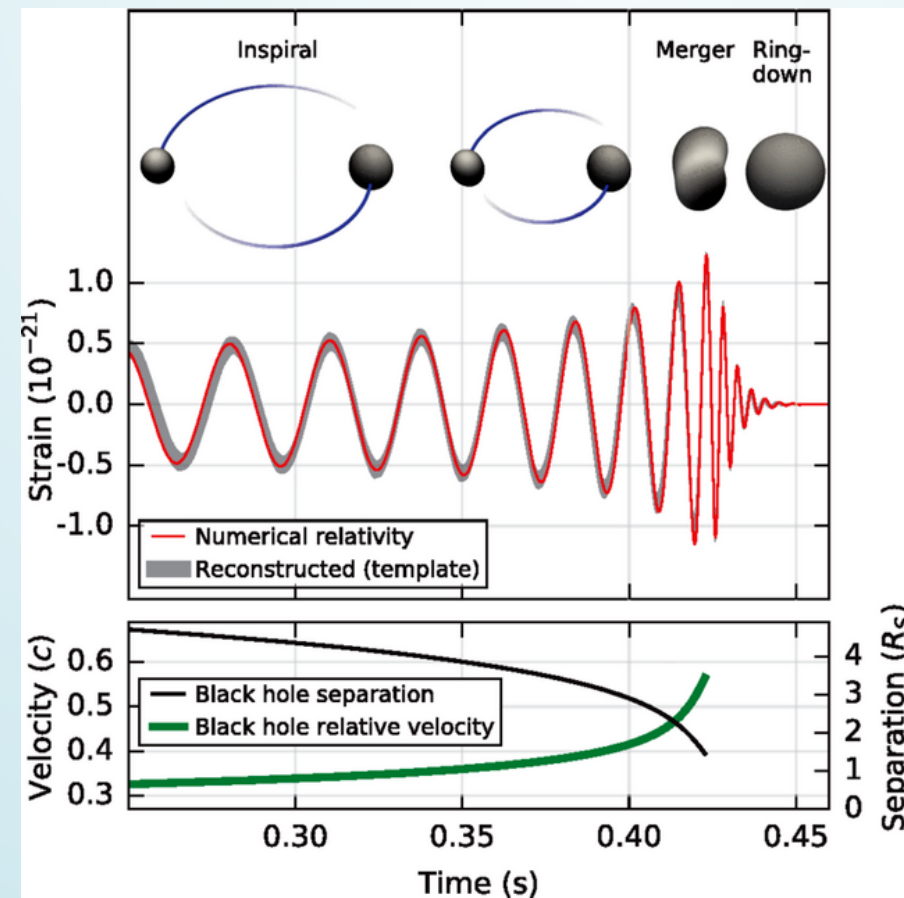
これは...

- 陽子の大きさの**1/1000**
- 地球-太陽間の距離に換算すると**水素原子1個分**に相当！

検出された重力波

★ GW150914 (初検出)

- ブラックホール合体
- 太陽3つ分の質量に相当するエネルギーが重力波として放出



重力波検出の快挙

- 陽子よりもはるかに小さい変位を検出
- 様々なノイズ低減、干渉の増幅を利用
- **しかし根本的な観測原理は古典的なマイケルソン干渉計！**

まとめ：干渉縞は物理学の「目」

 すべて干渉縞を利用

- 光路差 → 位相差 → 干渉パターン
- 見えないものを見る化
- 微小な変化を増幅
- 原子から地球、宇宙まで
 - シャボン玉の虹と根本的には同じ原理！
- 干渉縞は物理学の「目」である！

LT登壇者の募集

- 物理学集会ではLT登壇者を募集しています！
 - どんなジャンルでもOK！
 - 応募がないと主催がまたLTという名目のジャイアンリサイタルを開くことになります...
- 興味のある方は物理学集会のDiscordサーバーまで！

