

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 (мeг-ccк)
  - 🚗 フリーランスのソフトウェアエンジニア
  - 🎓 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



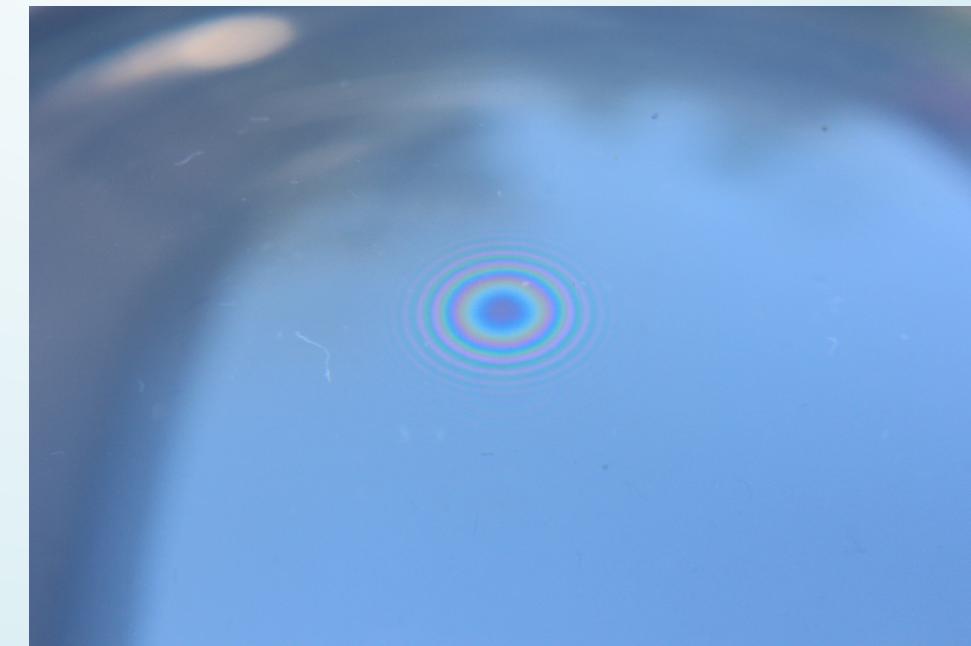
シャボン玉でなぜ虹色が  
見えるのか？

# 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



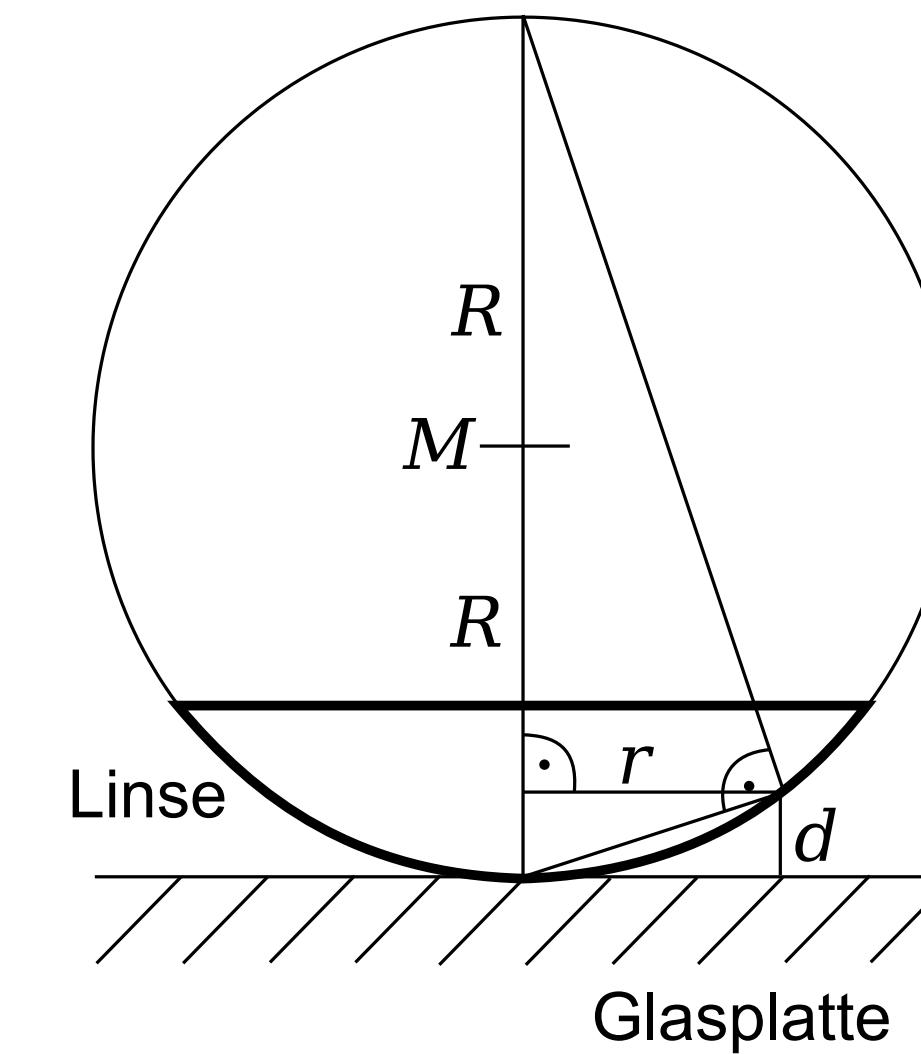
ニュートンリングの実際の写真

# 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

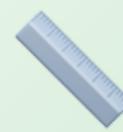


暗くなる条件

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

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 $d$

- $\mu\text{m}$ 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  $R = 1 \text{ m}$

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

目で見える5mmから、見えない12.5μm  
が分かった！



## 干涉縞は「増幅装置」

目に見えない $\mu\text{m}$ 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

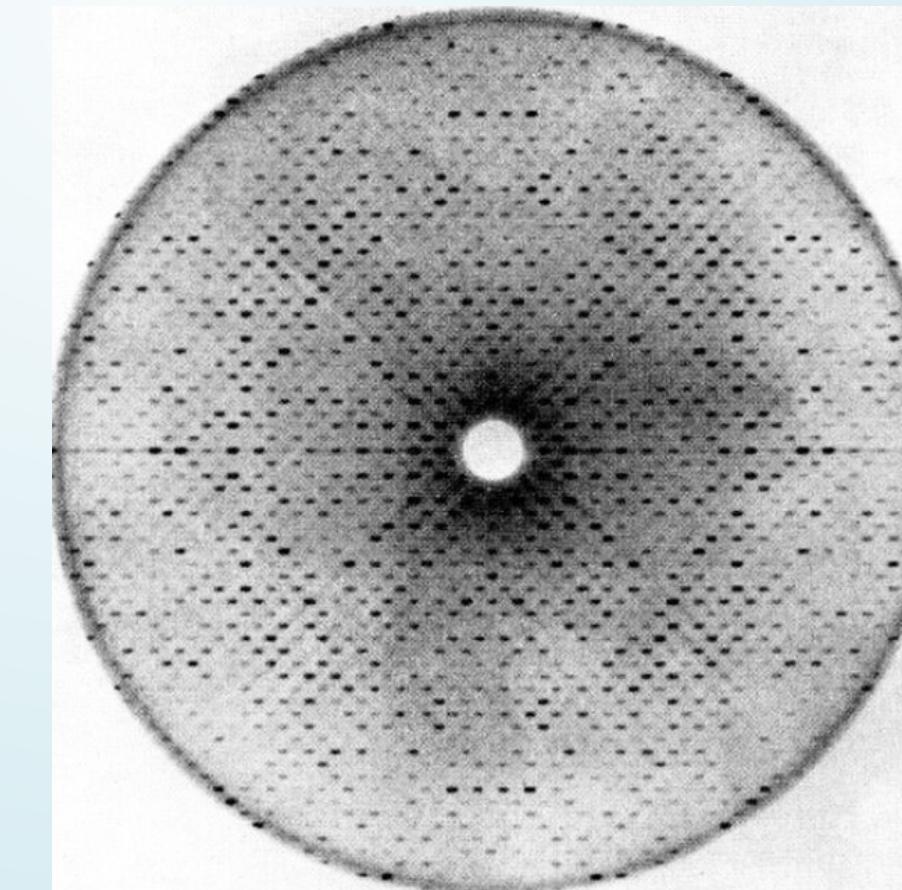


1912年 マックス・フォン・ラウエが発見

- 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

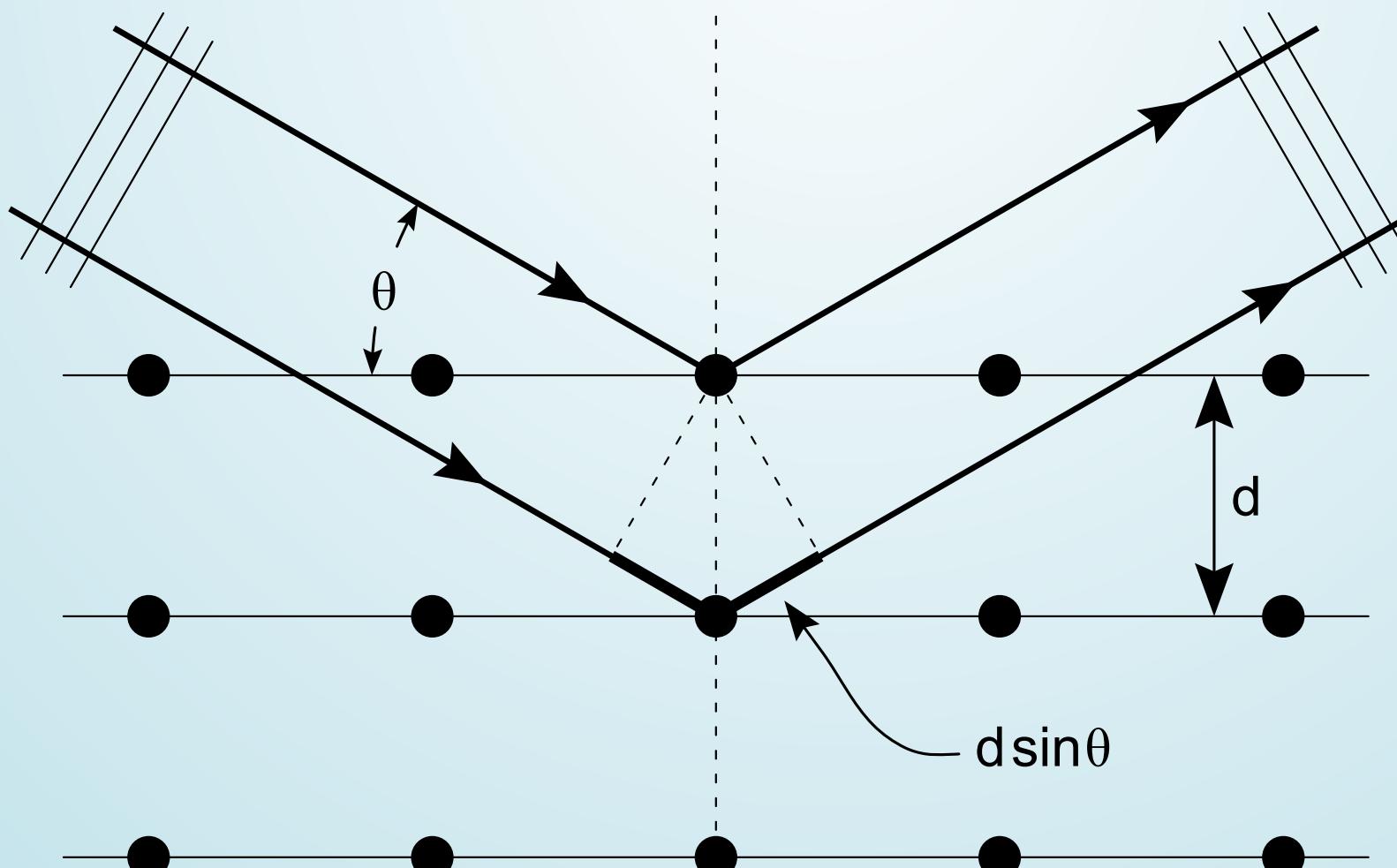


X線回折のパターン

# ブラックの法則

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

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  $\theta$  での強度を測定

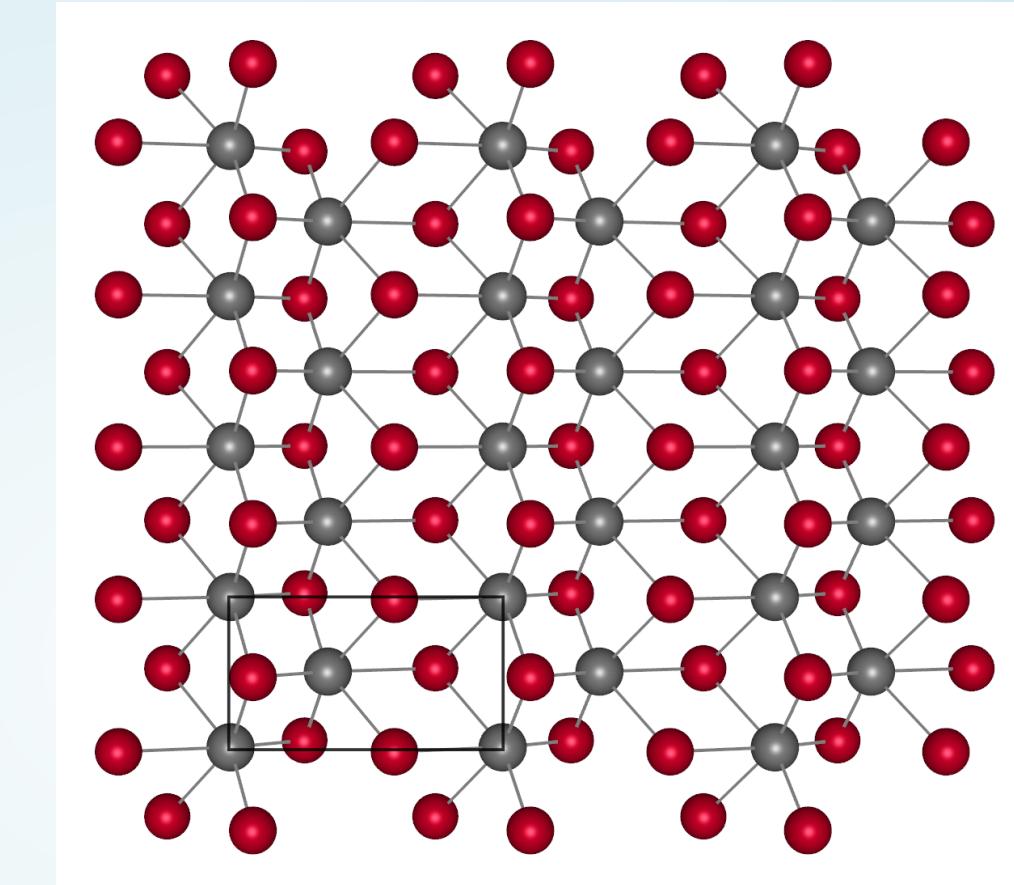
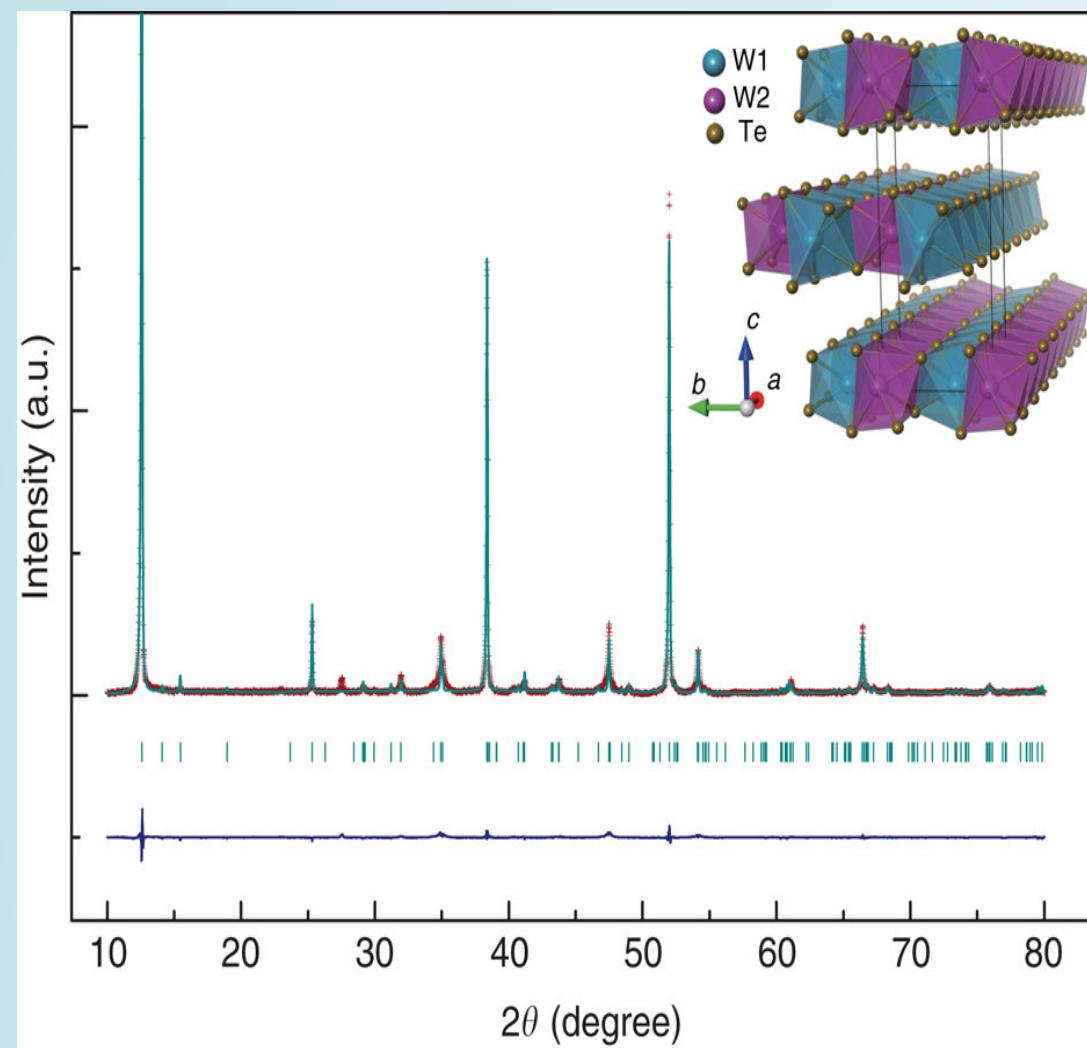
2. 計算: ブラックの式を適用

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

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<sub>2</sub>のXRDパターンと結晶構造(W:灰色, Te:赤)

ピークの位置(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

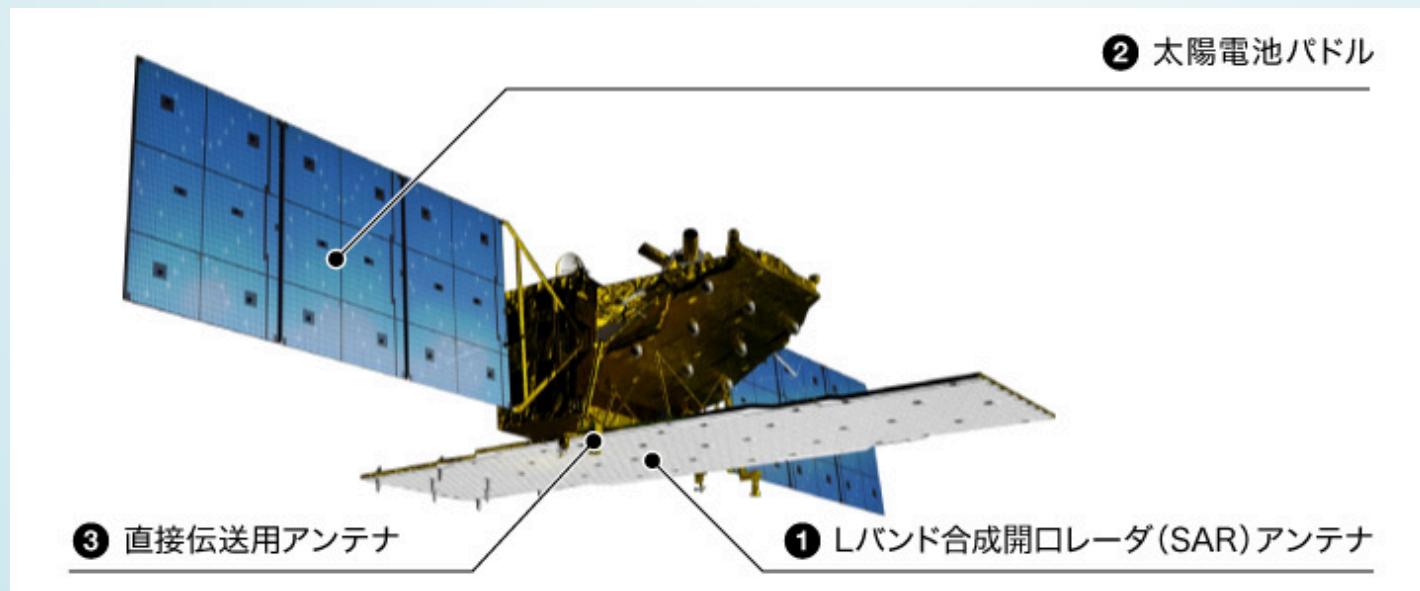


Image credit: JAXA

# 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

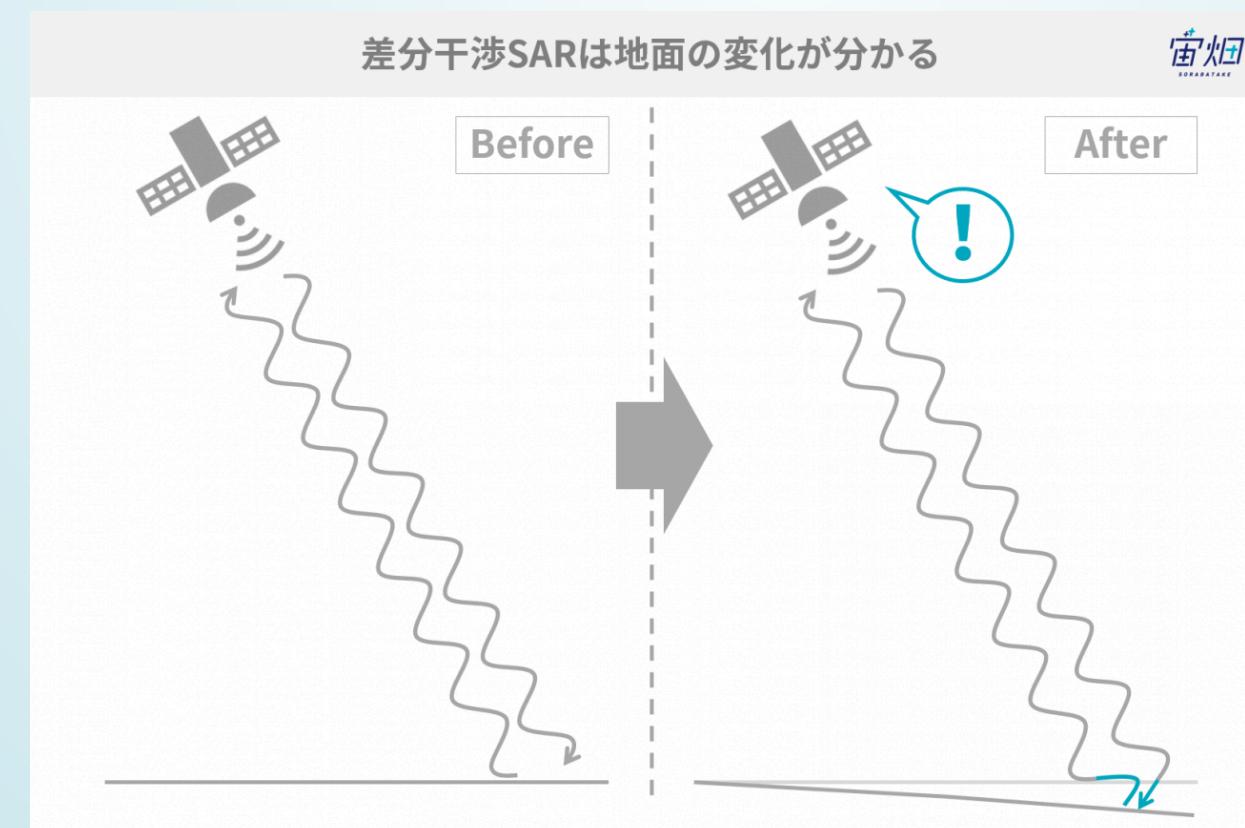


Image credit: 宙畠

# INSARで見えた熊本地震(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

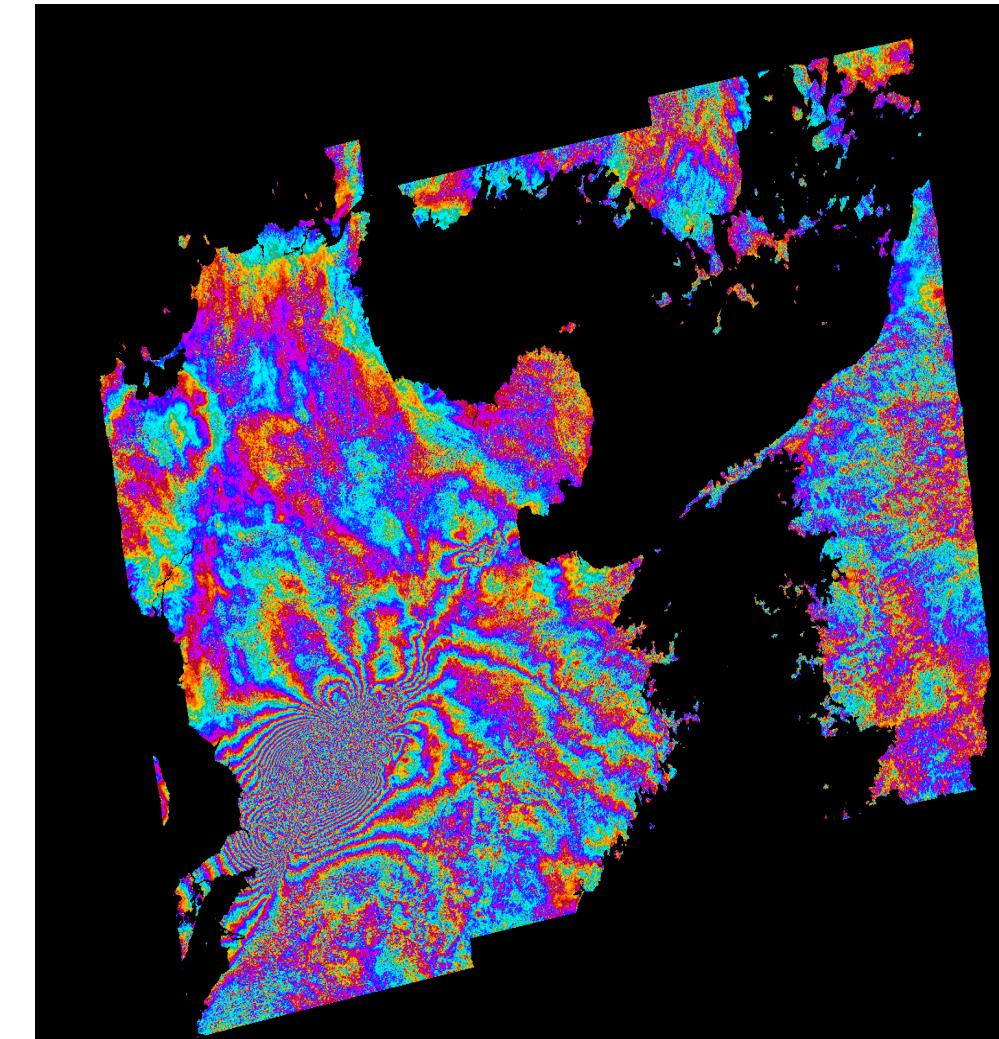


Image credit: ESA

# 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つた...



## 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

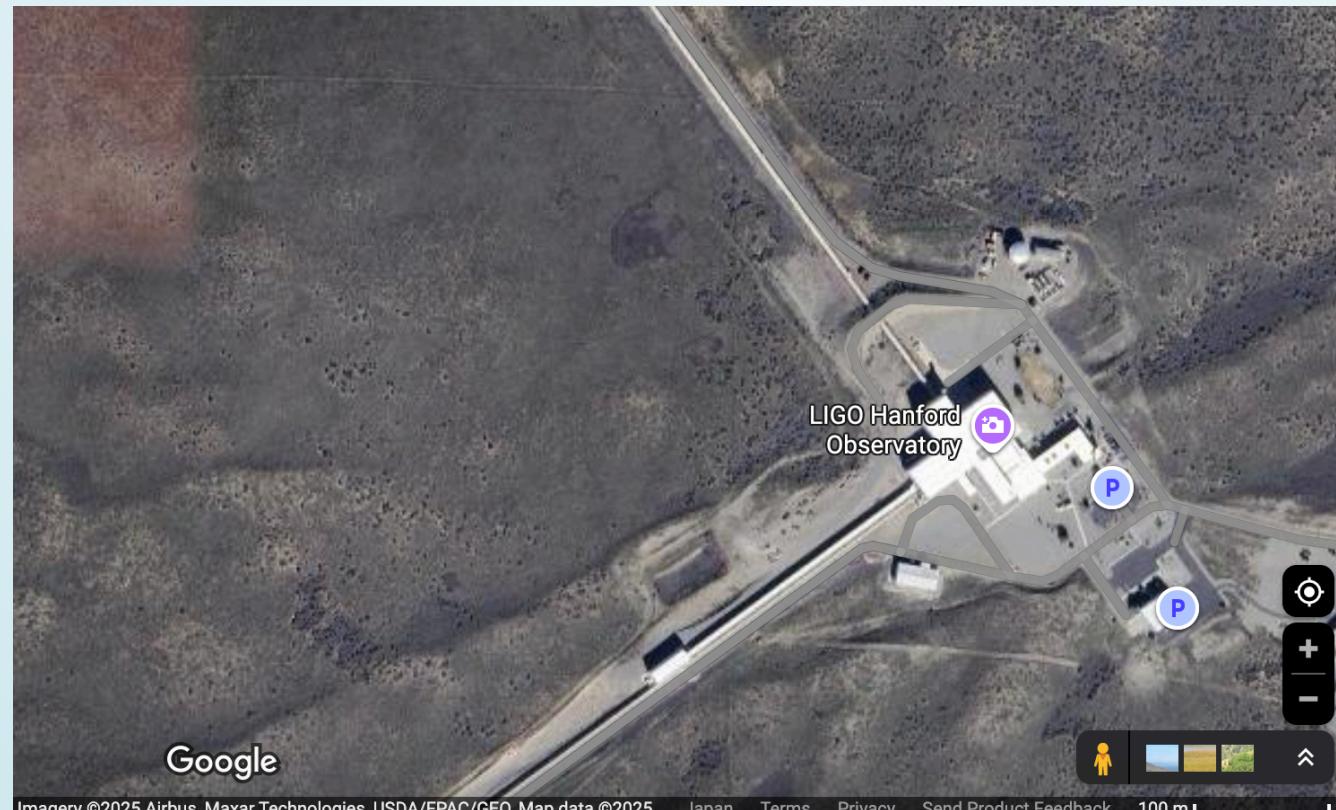
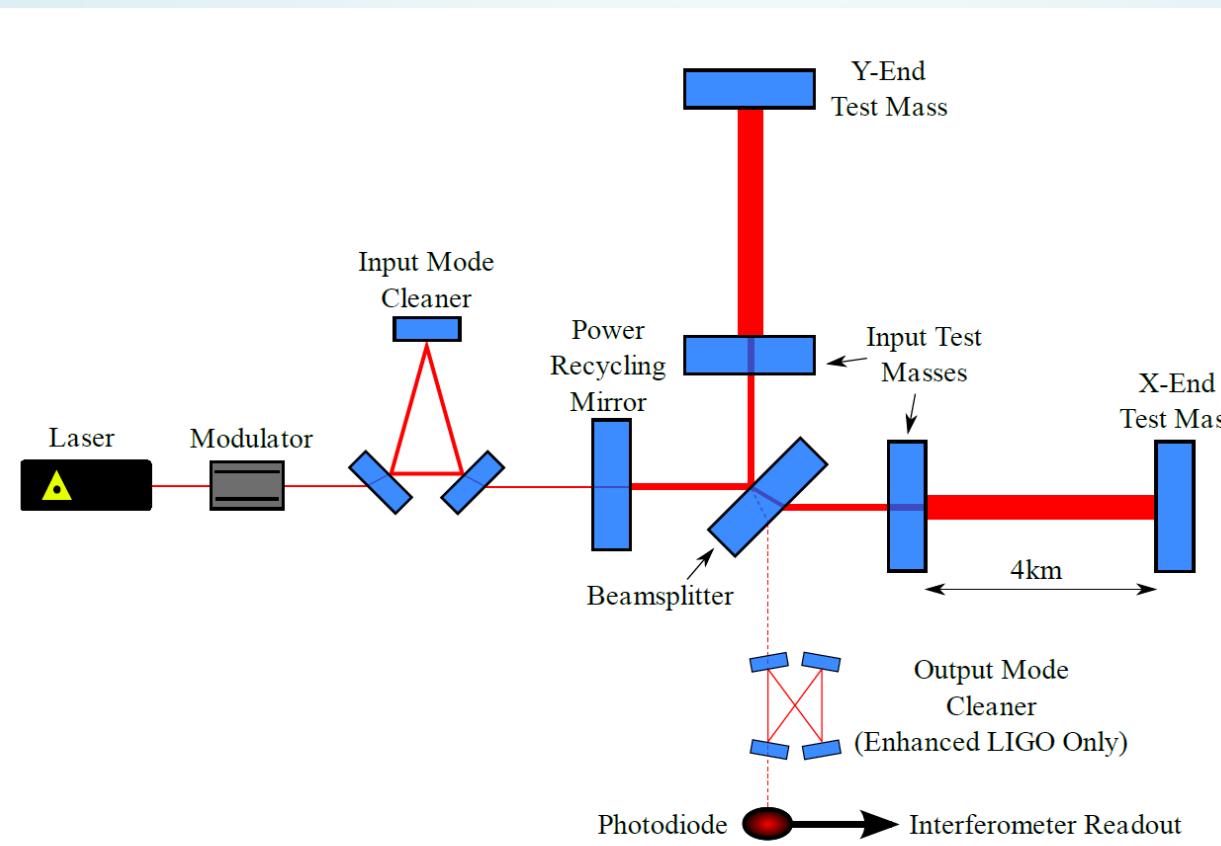


Image credit: Google Maps

# 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
- ・ $10^{-18}\text{m}$ 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:  $10^{-18}\text{m}$

これは...

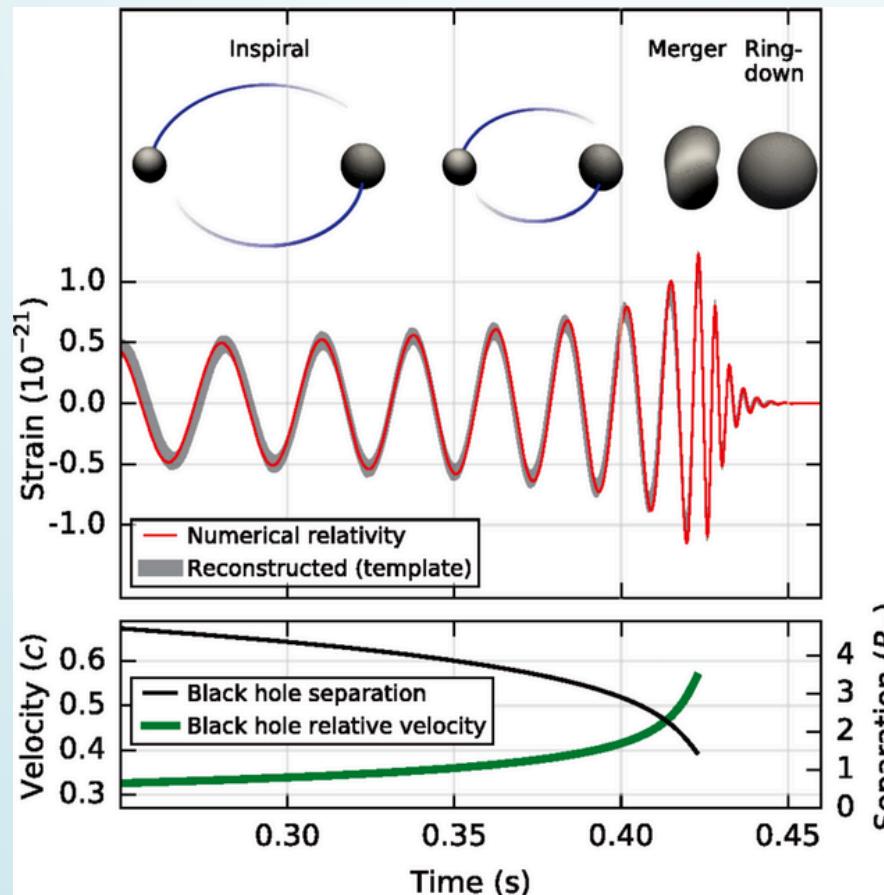
- 陽子の大きさの**1/1000**
- 地球-太陽間の距離に換算すると水素原子**1個分**に相当！

# 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ト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！

