

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

YouTube動画用修正原稿

導入（タイトルスライド）

みなさん、こんにちは！今回は「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」という、ちょっと不思議なタイトルの動画をお届けします。

自己紹介

まず簡単に自己紹介から。私はさめと言います。VRChat物理学集会っていうイベントを主催してまして、現在は社会人をやりながら通信制大学で勉強中です。普段はコンピュータビジョンでの画像認識とか、空間情報処理、クラウドインフラの設計なんかをやってます。

今回のテーマ

さて、みなさんシャボン玉って吹いたことありますよね？あの虹色に輝く美しい模様。実はあれと全く同じ原理で、目に見えない原子の並び方や、地震による地面の動き、さらには宇宙からやってくる重力波まで見る事ができるんです。今回はその不思議な「干渉縞（かんしょうじま）」の世界をご紹介します。

第1部：シャボン玉でなぜ虹色が見えるのか？

ニュートンリングから始めよう

まずは、ニュートンリングという現象から始めましょう。これ、理科の実験で見たことある人もいるかもしれません。平らな凸レンズをガラス板の上に置くと、中心から広がる同心円状の美しい縞模様が現れます。これがニュートンリングです。

なぜこんな模様ができるかというと、実はレンズとガラスの間にある薄い空気の層で光が反射してるんです。上の面で反射した光と、下の面で反射した

光が重なり合って、干渉という現象を起こしているんですね。

なぜ同心円になるの？

ここで面白いのが、なぜきれいな同心円になるかということ。実は、空気層の厚さ d は、中心からの距離 r とこんな関係があるんです：「空気層の厚さは、半径の2乗を、レンズの曲率半径の2倍で割った値」になります。つまり、中心から離れるほど空気層が厚くなっていく。この厚さの変化が、同心円状の美しい模様を作り出すんです。

干渉縞の明暗の秘密

じゃあ、なんで明るい部分と暗い部分ができるのか。これは光の波の性質によるものです。

光路差、つまり2つの光が進む距離の差が、光の波長のちょうど整数倍になると、波が強め合って明るくなります。逆に、波長の半分ずれた位置では、波が打ち消し合って暗くなるんです。プールの波を想像してみてください。2つの波がぴったり重なれば大きな波に、山と谷が重なれば平らになる、それと同じです。

ここがすごい！測定魔法

さて、ここからが本当にすごいところ。リングの半径は5ミリとか、定規で簡単に測れる大きさですよ。でも、空気層の厚さはどうでしょう？実際に計算してみると...

例えば、リング半径が5ミリ、レンズの曲率半径が1メートルの場合、空気層の厚さはなんと約12.5マイクロメートル。これ、髪の毛の太さの5分の1くらいです！

つまり、目で見える5ミリの縞模様から、目には見えない12.5マイクロメートルという超微細な厚さが分かっちゃうんです。これが干渉縞の魔法。見えないものを数百倍から千倍に拡大して見せてくれる「自然の増幅装置」なんです。

シャボン玉の虹色の原理

そして、シャボン玉の虹色も全く同じ原理です。ただし、ニュートンリングとの違いは、媒質が空気から石鹼水の薄い膜に変わって、形も同心円じゃなくて不規則な模様になること。

シャボン玉の膜の厚さは場所によって違います。そして、幕の厚さによって波長700ナノメートルの赤い光が強め合う場所と、波長450ナノメートルの青

い光が強め合う場所が違うから、あのきれいな虹色が現れるんです。

第2部：X線回折 - 原子の配列を「見る」技術

原子が見えた！歴史的発見

さて、ここからが本題。1912年、マックス・フォン・ラウエという科学者が、X線を結晶に当てると回折することを発見しました。これ、何がすごいかというと、人類が初めて原子の並び方を「見る」ことができるようになった瞬間なんです。

ブラッグの法則をわかりやすく

X線回折では「ブラッグの法則」っていうのが重要になります。難しそうに聞こえるけど、原理はシンプル。結晶の中の原子は規則正しく並んでいて、各層で反射されたX線の光路差が波長の整数倍になったとき、X線同士が強め合うんです。シャボン玉と同じ原理ですね！

回折パターンから構造を解く

実際の測定では、まず回折パターンを記録して、どの角度でX線が強くなるかを調べます。そして、ブラッグの式を使って原子間の距離を計算し、最終的に原子がどう並んでいるか、3次元の構造を明らかにするんです。まるで影から実体を推理する探偵みたいですね。

身近なところで大活躍

X線回折って実はいろんなところで使われてます。新しい材料の開発、地質調査、そして面白いところでは美術品の鑑定にも。絵の具の成分を分析して、本物か偽物かを見分けたりするんです。

第3部：InSAR - 宇宙から地殻変動を「見る」技術

宇宙から地面の動きを測る

次は、InSAR（インサー）。正式名称は「Interferometric Synthetic Aperture Radar」、日本語で「合成開口レーダー干渉法」といいます。これ、人工衛星から地面の変動を測る技術なんです。

どうやって測るの？

仕組みはこう。衛星から地面に向けて電波を発射して、同じ場所を時間をおいて2回観測します。もし地震とかで地面が動いていたら、衛星からの距離が変わりますよね。この距離の変化を、2回の観測データの位相差として検出するんです。

熊本地震での実例がすごい

2016年の熊本地震の時、この技術が大活躍しました。なんと最大で1メートル、つまり大人の腰の高さくらいまで地面がずれたことが、宇宙から観測されたんです。震源を中心とした虹色の干渉縞パターンが、まるで巨大なシャボン玉みたいに地表に現れました。

InSARのすごさ

この技術の何がすごかって、災害が起きてから数時間で広い範囲の被害状況が分かること。人が入れない危険な場所の様子も確認できるし、何年も同じ場所を観測し続けることで、地盤沈下みたいなゆっくりした変化も捉えられるんです。

第4部：重力波検出 - 時空の歪みを「見る」究極の技術

アインシュタインの予言

最後は、究極の干渉技術、重力波検出です。アインシュタインが「質量が動くと時空が歪んで、その歪みが波として伝わる」って予言したんですが、あまりに小さすぎて100年近く誰も検出できませんでした。

歴史的瞬間！ついに検出

そして2015年9月14日、ついにアメリカの研究施設LIGO（ライゴ）が重力波の初検出に成功！13億光年かなたで起きたブラックホールの合体による重力波をキャッチしたんです。アインシュタインの予言から99年後の快挙でした。

LIGOの測定原理

LIGOは、4キロメートルもある巨大なL字型の装置です。レーザー光を2つのアームに分けて往復させます。重力波が通過すると、片方のアームがほんのちょっと伸びて、もう片方が縮む。

この変化をマイケルソン干渉計で検出するんです。ものすごく小さい長さを測ってるのですが、測定原理自体は実はものすごく古典的でオーソドックスなものなんです。

とんでもない精度の話

ここからが本当に信じられない話。検出する変位は10のマイナス18乗メートル。これがどれくらい小さいかというと...

- 陽子（原子核を作る粒子）の大きさの1000分の1
- 地球と太陽の間の距離で例えると、水素原子1個分の大きさ
- 髪の毛の太さを地球の直径まで拡大したとき、やっと1ミリ動くくらい

もう想像を絶する小ささです。でも、干渉という現象を使えば、これが測れちゃうんです。

検出された重力波の正体

初めて検出されたGW150914という重力波は、太陽の質量の3倍分のエネルギーが一瞬で放出された現象でした。宇宙ってすごいですね。

技術の勝利

陽子よりもはるかに小さい変位を検出するために、様々なノイズ対策や干渉の増幅技術が使われていますが、根本的な原理は古典的なマイケルソン干渉計。シャボン玉の虹と同じ、光の干渉なんです。

まとめ：干渉縞は物理学の「目」

すべてつながっている

今回見てきた技術、全部に共通しているのが「干渉縞」です。光路差が位相差になって、それが干渉パターンとして現れる。この原理で、見えないものを見える化し、微小な変化を増幅してきました。

原子の世界から地球規模の変動、そして宇宙の彼方からやってくる時空の波まで、すべてシャボン玉の虹と根本的には同じ原理で見ているんです。干渉縞は、まさに物理学に与えられた特別な「目」なんですね。

最後に

最後にお知らせです。物理学集会では、LT（ライトニングトーク）の登壇者を募集しています。どんなジャンルでもOK！物理じゃなくても大歓迎です。

応募がないと主催の私がまた一人で延々と話すことになっちゃうので... (笑)

興味のある方は、動画の概要欄にある物理学集会のDiscordサーバーのリンクからぜひ遊びに来てください。

今回の動画はいかがでしたか？チャンネル登録と高評価をお願いします。それでは、また次の動画でお会いしましょう！