

# フェーズドアレイ空気砲

理数科 物理1班

奥山大聖 佐々木悠翔 佐藤駿

東海林新太 高橋夢叶

## 1. 研究の動機

側面に穴を開けた段ボール箱を叩くと、空気の塊が円形になり、ねじれながら進んでいく現象が観測される。これを「渦輪」という。米村でんじろう氏の空気砲が有名である。この空気砲を横に並べると、空気の進み方はどうなるのかという疑問を抱いた。



図1：渦輪の様子

## 2. 本研究にあたって

「フェーズドアレイ」とは、小さな波（素弦波）が重なって、1つの波を作るというホイヘンスの原理を用いた考え方である。この原理を利用して発射のタイミングをずらすと波の進行方向を変えることができ、イージス艦のレーダーや体育館のスピーカなどに応用されている。

### 予備実験 空気砲の製作

まず、私たちは（図2）のように筒にゴム膜を張った空気砲を作った。

輪が出ることはなかった。

このことから私たちは、まずは空気砲の原理を知る必要があると考えた。



図2：空気砲初号機

## 3. 輪が出る条件の考察

形状に注目し、製作した筒型と一般的な箱型を比較した。箱型は射出口に板が存在していて外側後方の空気が混じらないが、（図3）が筒型にはそれがない。私たちは、単純に空気が押し出されている筒型と一度空気を圧縮されている箱型で輪の有無は決まると考えている。

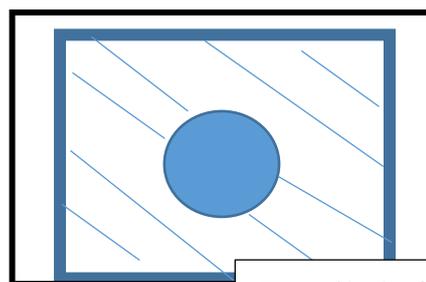


図3：箱型の模式図

### 実験1 穴の形状による輪の形の変化

次に私たちは（図4）のように様々な形状の射出口からなる空気砲を製作した。



図4：多種の空気砲

射出口を出た直後の渦輪は穴の形が反映されていたが、進むにつれて、最終的にはすべて円形になっていくことが観察された。

## 実験2 射出タイミングを変えた場合の渦輪

ここで私たちは、研究の大筋である空気砲での輪の干渉を確認した。輪の射出タイミングを変えて進行方向を制御することができるはずだ。

しかし、実際に渦輪を正面から衝突させてみた。その際、渦輪は双方消滅してしまった。また人の手で叩いていたため試行ごとに射出の勢いが異なり、定量的に射出の強さをコントロールできる装置を考案すべきと考えた。

## 実験3 スピーカを利用した空気砲



図5：音波砲

スピーカに電池をつなげ、その動きで衝撃を作る制御方法である。

威力は1円玉を2~3cm跳ね上げる程度であるが、コンピュータでタイミングを正確に制御できるメリットがある。しかしスピーカの力が弱すぎて空気をほんの少し揺らすことしかできなかった。威力を増加させるため数を増やすことを考えた。(図6)が配置図である。

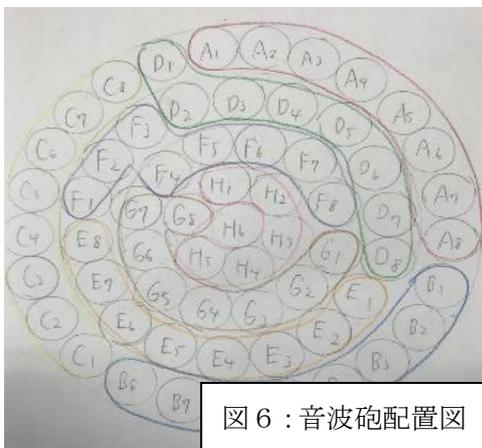


図6：音波砲配置図

どの並びが一番密集して叩けるかを考え、64個の配置方法を考えた。しかしこれも配線の

問題や、購入したスピーカの大きさの問題があり、実現するに至らなかった。

## 実験5 二つ穴空気砲での実験

ここまで私たちも試行錯誤を繰り返してきたが、条件の制御が非常に難しいという壁にぶつかってしまった。精密とはいかないが少しでも精度を高めるために、二つ穴の空気砲(図7)で実験をすることにした。



図7：二つ穴空気砲

そしてもう一度輪をぶつけ観察をすることにした。そして次のようなことを視認した。



図8：輪が重なったとき

輪が重なったとき(合体)

- ・一つの大きな輪になった。
- ・大きな伸縮を続け消滅した。

完全に速度、伸縮のタイミングが一定であった。それが干渉しあい大きな輪を形成している。

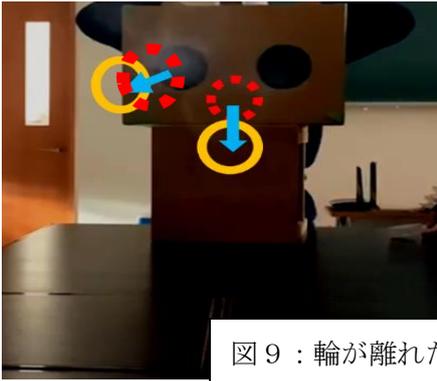


図9：輪が離れたとき

渦輪が接近したとき(離反)

- ・渦輪の縁が重なり合っていた。
- ・近づいた後離れて消滅した。

接点の渦輪の速度が上昇し外方向へ離れたと考えられる。

勢いよく衝突したとき(消滅)

- ・速い速度で衝突した。
- ・一瞬で打ち消しあい消えた

どちらかの輪が速く、輪が合わさるタイミングがずれ、消滅している(手でたたいている影響とも考えられる。)

しかし二つ穴を叩き、手とはいえ微量な条件変化であるのにも関わらずこの3つの場合が複雑に確認されるということはカオス現象を疑わざるを得ない。

#### 4. 結論

たくさんの方の方法を試してきたが、条件制御が難しく、射出される方向が毎回異なってしまう。軽微な変化で結果が異なるカオス現象の可能性はある。

さらなる研究の発展には、実験の回数を増やすほかに、発想の転換が必要である。

#### 5. これからの展望と課題

- ・箱の押す強さを一定にして実験を行う。
- アドバイスしていただいた、レールから鉄球を落とす試行する。
- ・条件制御を確立してもランダムなデータになるのか、すなわちカオス現象が起こるのか

確認する。

- ・流体シミュレーションソフトを使用し、動きを予想する。

#### 参考文献

石原 諭, 佐藤 光, 三宅 明, 松川 敦子  
「空気砲の物理」, 2008 (Online)

([https://www.jstage.jst.go.jp/article/pej/56/3/56\\_KJ00005898584/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/pej/56/3/56_KJ00005898584/_article/-char/ja/)), 2020 07/09