

動画にみる螺旋状の流水

宮城県仙台第三高等学校

08 班

水が流れているホースをスピーカーの音の出口につけて音を出すと、流水が螺旋状に見え、周波数を変えると螺旋が上下することが分かっている。しかし詳しい原理は不明であるため、解明することを目的としている。低周波発振器とアンプを接続したサブウーファーの音の出口にホースをつけ、水道やペットボトルを用いて水を流すとホースは前後に運動し 60Hz 以下でカメラのフレームレートと低周波発振器の周波数が等しいとき螺旋状に停止して見えた。また装置の特性上 30Hz 以上の周波数では制御が難しいためすべての実験で詳細な値は分からなかったが、フレームレートの値周辺の周波数では低い周波数で螺旋が上昇、高い周波数で下降して見える傾向があった。これらのことから、水滴自体は二次元の運動であり、一コマごとの水滴が映る位置の変化により水滴が螺旋状に運動しているように見えるのではないかと考えた。水の中に粒状の固体を入れて実験したところ、水滴全体は螺旋状に見えたが粒状の固体一粒は単調に落下したため仮説は正しかったといえる。これらの結果をふまえ、今後は水滴がなす螺旋の概形をフレームレートや周波数に関する式にしたい。

1.背景

ネット上の動画(以降「情報源」とする)より、水が流れているホースをスピーカーの音の出口につけて水を流したものをカメラで録画すると流水が螺旋状に見え、周波数を変えると螺旋状の流水が上下して見えることが分かっている。しかしその動画では結果についての説明だけがされており、またドップラー現象やクラドニ図形のように一般的によく知られた現象ではないため詳しい原理や法則は不明である。そこで私たちは現象の再現と、現象が起こるフレームレートと周波数の関係を中心として原理を解明するための実験を行った。

2.材料

以下の材料を用いて実験した。

- ・低周波発振器



Fig.1 低周波発振器

左上のダイヤルで連続的に周波数を変更できる。周波数が大きくなるほど目盛りの間隔が狭くなり正確な制御が困難になるため、後述する実験③では 1Hz 単位での調整が可能でありフレームレートと一致する値がある唯一の周波数 24Hz 周辺についてのみ具体的な数値を調べた。

- ・アンプ

低周波発振器から発せられる音を増幅させる目的で使用した。



Fig.2 アンプ

- ・サブウーファー



Fig.3 サブウーファー

- ・ビニールテープ

ホースの固定やサブウーファーの音の出口を塞ぐために用いた。

- ・カメラ

スマートフォンに内蔵されているカメラを使用した。フレームレートは23fps,24fps,25fpsに対応している。

- ・ホース

内径 12mm×外径 14mm ビニール製,内径 4mm×外径 6mm シリコン製の 2 種類を使用した。経緯は実験①で述べる。

- ・プラスチック球

実験④で水滴の可視化を目的に使用した。

- ・ペットボトル

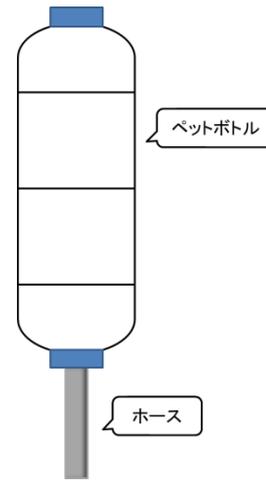


Fig.4 ペットボトルで作った実験装置

水を流すために用いた。Fig.4 のようにペットボトルの底を切り落とし 2 つ繋げ,上部で蓋の開閉ができるようにしたことで,水を流しているうちに容器内の圧力が低くなり,水が流れなくなることがないように工夫した。

3.予備実験:現象の再現

目的

現象の再現をして原因を探るために行った。

方法:情報源の環境を再現した。具体的な方法は低周波発振器から発された音が出るサブウーファーの音の出口をホースにあてて水を流したものを,カメラで録画した。

結果

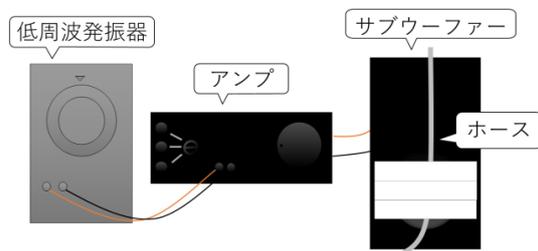


Fig.5 実験装置

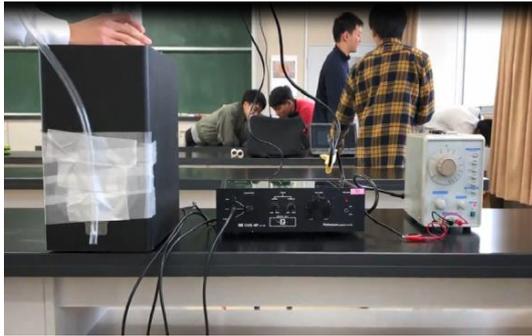


Fig.6 実際に装置を組んだ様子

上図のように実験装置を組み実験したところ、もとの動画と同じように螺旋状の流水が撮影できた。そのため現象の再現ができたとみなして、以降の実験ではこの方法を基礎とした。またこの実験より、ホースに伝わる音の振動が原因なのではないかと考えた。

4.実験①:ホースの太さ

方法 I

サブウーファースの音の出口をふさがず内径 12mm × 外径 14mm のビニール製ホース, 4mm × 6mm のシリコン製ホースを用いて実験する。

結果と考察 I :

2mm × 14mm のビニール製ホースは振動しなかったが, 4mm × 6mm のシリコン製ホースは振動した。この結果から音の振動に対してホースの質量が大きすぎるときホースは振動しないのではないかと考えた。

目的 II

本当に 12mm × 14mm のビニール製ホースは振動しないのか検証するため音による振動を伝えやすくして実験をした。

方法 II

サブウーファースの音の出口全体をビニールテ

ープで塞いで実験 I と同じ 2 本のホースを用いて実験する。

結果と考察 II

2 本のホースはどちらも振動した。ビニールテープを貼ることによって振動が伝わりやすくなり、ビニール製のホースでも振動したと考えた。またどちらのホースを用いても動画の再現は可能であり、実験結果に相違はなかった。よって以降の実験方法においてはホースの種類について特記しないものとする。

5.実験②:周波数と螺旋の間隔

目的

情報源では 24Hz の場合のみが示されておりその他の周波数については言及されていないため、周波数の増減に伴う螺旋の幅の変化の傾向も含め周波数と螺旋の間隔の関係を調べるために行った。

方法

周波数がフレームレートと同値または倍数で実験する。

24fps のとき…24Hz, 120Hz

30fps のとき…30Hz

60fps のとき…60Hz

結果と考察



Fig.7 水を流している様子(左から 24Hz, 30Hz, 60Hz, 120Hz)

周波数 (フレームレート)	24Hz (24fps)	30Hz (30fps)	60Hz (60fps)	120Hz (24fps)
見え方	停止	停止	停止	※

※フレームレートと周波数が同値をとるとき停止
(120Hzのときは螺旋状に見えなかった)

Fig.8 実験②結果

周波数が高くなるにつれて螺旋の間隔が狭くなる傾向があることが分かった.例外として120Hzで24fpsのとき流水は螺旋状に見えなかったが,これは周波数が高すぎて流水がことによるのではないかと推測している.

6. 実験③:周波数とフレームレート

目的

情報源では24fpsと同値あるいは±1の周波数についての結果が示されている.この結果の真偽と他のフレームレートについて調べるために行った.

方法

フレームレート 24fps,30Fps,60fps について周辺の値の周波数で実験する.

結果

周波数 (フレームレート)	23Hz (24fps)	24Hz (24fps)	25Hz (24fps)
見え方	上昇	停止	下降

Fig.9 実験③結果

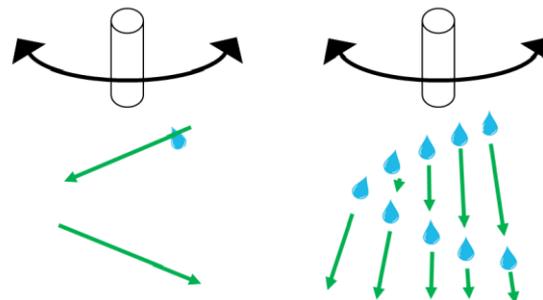
周波数とフレームレートの値を合わせて実験したとき,30Hzと60Hzでは24Hzのときと同じように停止した.フレームレートを24fpsで固定し,周波数は23Hz,24Hz,25Hzで実験したとき,螺旋は23Hzのとき上昇,24Hzのとき停止,25Hzのときは下降して見えた.また,前述のとおり実験装置の都合上30Hz周辺と60Hz周辺は制御が難しく詳細な値を調べることはできなかったが,30fps,60fpsのときも同様の結果が得られた.したがって,フレームレートより

大きい周波数のとき下降,小さいとき上昇する傾向があることが分かった.

仮説

実験②,③を踏まえ「動画において流水が螺旋状に見えるのは一コマに映る水滴の位置の変化によるものなのではないか」という仮説を立てた.

当初想定していたもの(みかけ)



仮説

Fig.10 仮説(緑矢印は水滴一滴の軌道)

当初は,動画上での見かけよりまずホースが振動し,そのホースの口の動きに合わせて螺旋状の軌道を通り水一滴が移動,のちの水滴も同じ軌道を通ることによって螺旋状に見えるのではないかと考えていた.

実際はホースが振動し,ホースの口の位置から水滴が落下,水滴ごとの落下した時間のずれによって螺旋状にみえるのではないかと考えた.

7.実験④:水滴一滴のふるまい

目的

仮説が正しければ,水滴は螺旋状に移動せず単調に落下するはずである.水滴一滴のふるまいを観察し,これを確認することにより仮説の検証をする.

方法

流す水(ペットボトル)の中に直径6.0mmのプラスチック球を数個入れ,最も周波数の制御が

しやすい設定(周波数 24Hz, フレームレート 24fps)で実験する。

結果と考察

流水全体は螺旋をなしていたが,プラスチック球はすべて単調に落下し螺旋状に移動したものはなかった.したがって,実験②,③から立てた仮説は正しかったといえる.

8.実験⑤:螺旋に見える方向

目的

動画を撮影する際,方向によって螺旋に見えないことがあったため,撮影方向による流水の見え方の変化を調べる.

方法

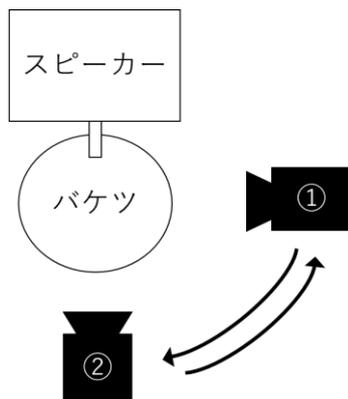


Fig.11 実験⑤方法

上図①の位置から撮影をはじめ,②まで移動する.

結果

①の視点では流水が螺旋状に見えたが,②に移動するにつれ螺旋は細くなり②では完全に単調に落下して見えた.これは,ホースの振動方向がサブウーファーに対し垂直な方向であり,水滴も同じ方向に排出されることによるものではないかと考えた.

8.結論

周波数を高くすると螺旋の間隔が狭まることが分かった.また 120Hz では螺旋状に見えなかった.フレームレートと周波数の差によって螺旋全体の動き方が変わり,フレームレートと同値で停止,大きい周波数で下降,小さいとき上昇する傾向があることが分かった.

なお,螺旋に見えるのは一定の角度からのみで,3次元ではなく2次元の動きで螺旋に見えることが分かった.

9.今後の展望

より詳細に値を定めることのできる実験器具を用いてほかのフレームレートと周波数の関係について調べ,水滴がなす螺旋の概形をフレームレートや周波数に関する式にしたい.

10.参考文献

- 1) Amazing Water & Sound Experiment #2
https://www.youtube.com/watch?v=uENITui5_jU