

クラドニ図形発生時における音量の変化について

東 和輝 島 康晟 藤石 佳吾 谷口 直輝

要旨

私たちは音源の周波数を変えながらクラドニ図形を作成する中で、周波数によって聞こえる音量が違うように感じた。そこで私たちはクラドニ図形が発生した時の周波数と音量の関係について調べることにした。クラドニ図形の発生の仕方、音源の音量、周波数の記録を行い、クラドニ図形と音量の変化について考察を行う。本実験では次の2つのことを行った。

まず、実験1ではガラス板の有無による音量の差について調べるため、板のある場合と、ない場合でそれぞれ実験を行い、得られたデータをもとにグラフを作成し比較した。

次に、実験2ではクラドニ図形が発生する600 Hz、900 Hz、1500 Hz付近の周波数における音量を計測した。計測したデータからグラフを作成し、クラドニ図形と音量の関係性について考察を行った。

実験1の結果から、ガラス板ない場合は、音量は一定に近い値を示していた。ガラス板がある場合は、周波数によって得られた音量は異なっており、作成したグラフは増加・減少を繰り返しながら上に凸の放物線のような形状になっていた。また、音量はガラス板がない場合に比べ、ある時の方は音量が小さかった。次に実験2からクラドニ図形が一番鮮明に発生した周波数の音量は、付近の周波数に比べて音量が大きく下がっていたことが分かった。実験1から音量はガラス板がある場合の方が全体的に下がる傾向があることが分かる。実験2からは、周波数を変化させても、すべての実験において板は振動し粒体は動いていることから、音源から出たエネルギーは板の振動に使われたと考えられる。また、音エネルギーが多く使われているとき、つまり音量が大きく下がっている時の周波数を見ることで比較的簡単に物体の共振周波数を調べることができると考えられる。

今後は、実験時季も考慮に入れ、多くのデータを取ることで、結果の信頼性を高めていく。また、実験器具で使用したスポンジが圧縮されていたので、定期的に新しいものに変えて条件を一定になるように実験を行い、私たちの考察が正しいかどうかを調べていく。

1. クラドニ図形について

クラドニ図形とは、音の振動によって物体が動くことを利用して、平面に音の腹と節を可視化したものである(図1)。まず音源から出てくる音が板に伝わって、板が振動する。波には最も大きく振動する腹と全く振動しない節があり、それが平面上に伝わることで平面にも腹と節の部分ができ、振動するところと振動しないところが出てくる(図2)。板の上に載っている粒体が振動するところから、振動しないところ集まることで、独特の模様ができ、平面では周波数ごとに違う模様ができる。これがクラドニ図形である。

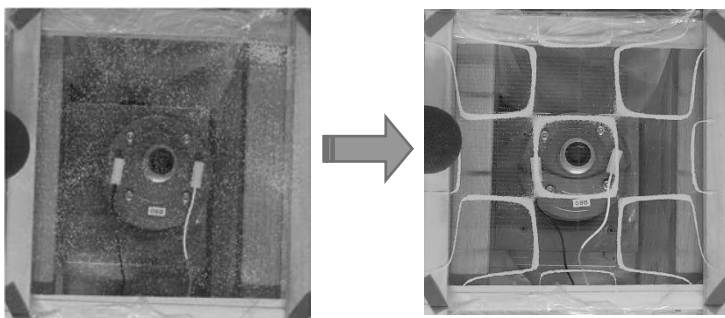


図1 クラドニ図形発生前(左) 発生後(右)

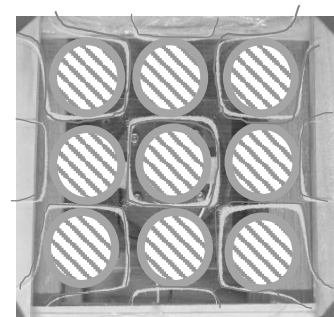


図2 クラドニ図形の腹と節を可視化したもの

2. 研究目的

クラドニ図形の実験を行っていく中で、私たちはクラドニ図形が発生したときと、そうでないときで、スピーカーからの音量に違いがあるように感じた。そこからクラドニ図形の発生は音量に何らかの影響を与えるのではないかと思い、クラドニ図形発生時の音源の周波数と音量の関係について調べることにした。

3. 先行研究

①秋田県立横手高等学校「クラドニ図形～音波が作り出す芸術～」(2018年)より

周波数が一定の時、形成されるクラドニ図形は砂の質量や大きさによって変わらないことが分かっている。この先行研究について、私たちも実際に確かめた(図3)。図は音源の周波数を一定として板上の粒体を変えたときのクラドニ図形の様子である。この実験により、先行研究が正しいことを確認した。



図3 3種類の粒体と図形の同一性

粒体は左から塩、ミョウバン、ザラメとなっている。

②長野県木曾青峰高等学校「クラドニ図形による音の可視化 ～板の形による影響～」(2017年)より

振動させる板の形が正方形のとき、クラドニ図形は対称的な図形となり、長方形のときは非対称の図形ができることが実験により示されている。なお正方形の板、長方形の板の両方において、周波数が大きくなると、できる図形が複雑になり、節の間隔が狭くなることも示されている。この先行研究より、本研究においてはクラドニ図形が対称的な図形となり分かりやすい正方形の板を使用することとした。

4. 仮説

音源の音量はパソコンとアンプで一定の値に設定している。そのため、計測される音量の値もクラドニ図形が発生する、しないに関わらず一定になるのではないかという仮説を立てて実験を行った。

5. 準備物

- ・ガラス板(30cm四方の正方形 厚さ2mm)
- ・粒体(塩)
- ・スポンジ:板の四方を固定
- ・実験室の椅子, 木杵:スタンドとして使用
- ・パソコン:音源の設定, 記録用
- ・音源ソフト「Generate」
- ・アンプ
- ・トランペットスピーカー
- ・昇降プラットフォーム
- ・カメラ
- ・三脚
- ・騒音計



図4 実験装置の様子

準備物の機材を用いて実験装置を組み立てた(図4)。なお、すべての実験で同じ器材を用いて実験を行った。板とスピーカーの間は図5のように3mmになるように昇降プラットフォームを調節した。騒音計はガラス板の外側に設置し、騒音計の先端が図5のようにガラス板の3mm上に来るようにした。

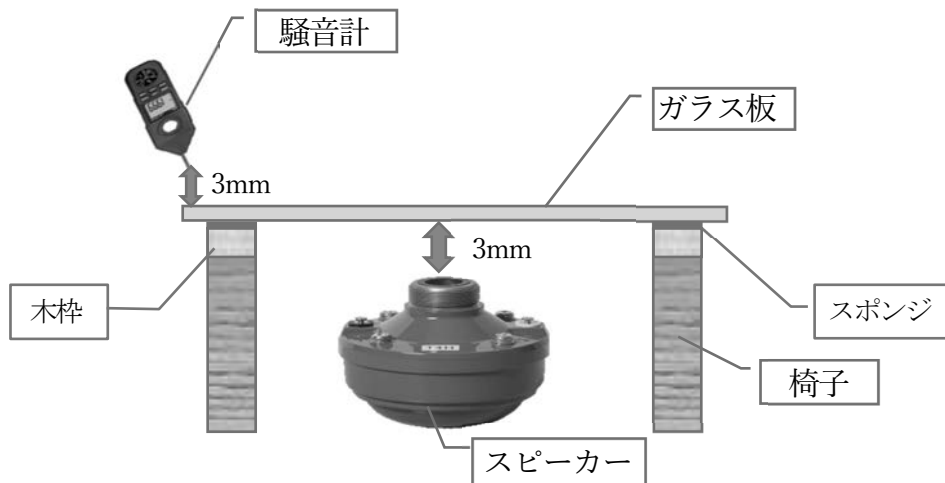


図5 横から見た実験装置の様子

6. 予備実験

(1) 目的

使用しているガラス板において図形が発生するおおよかな周波数を調べる。

(2) 手順

- ①ガラス板の上に偏りがないように塩をまく。
- ②パソコン本体と、アンプの音量を最大に設定する。
- ③周波数を 500Hz に設定して 20 秒間音を出し、ガラス板を振動させる。
- ④クラドニ図形が発生した場合は、写真を撮影し、その時の周波数を記録する。
- ⑤周波数を 500Hz から 2100Hz まで 100Hz ずつ大きくしていき、各周波数で、①②③④の手順を 1 回ずつ行う。

(3) 結果

600Hz, 900Hz, 1500Hz でクラドニ図形が発生した (図 6)。

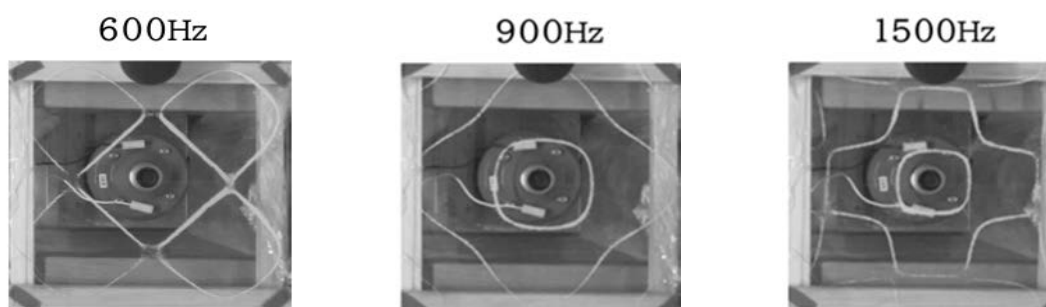


図6 各周波数で発生したクラドニ図形

7. 本実験

実験1 ガラス板の有無による音量の違いについて

(1) 目的

ガラス板がある場合とない場合で周波数を変えながら音量を計測し、ガラス板が音量に与える影響について調べる。

(2) 手順

- ①図4のように準備物を設置する。

- ②パソコンとアンプの音量を最大に設定し、20秒間音を出す。
- ③音源の周波数を500Hzから1000Hzまで10Hz間隔で変えていき、騒音計を用いて音量を計測する。
- ④周波数と音量のグラフを作成する。
- ⑤ガラス板がない場合でも同様に実験を行ってグラフを作成する。
- ⑥手順④と⑤のグラフを比較し、ガラス板の有無による音量の違いについて考察する。

(3) 結果

ガラス板がない場合はあまり変化が見られなかったため実験を1回、ガラス板がある場合では音量に顕著な変化が見られたため実験を3回行った。図7、図8はガラス板の有無における周波数と音量の変化を示したものである。図中の点線はそれぞれの実験における音量の最大値と最小値の差を示している。

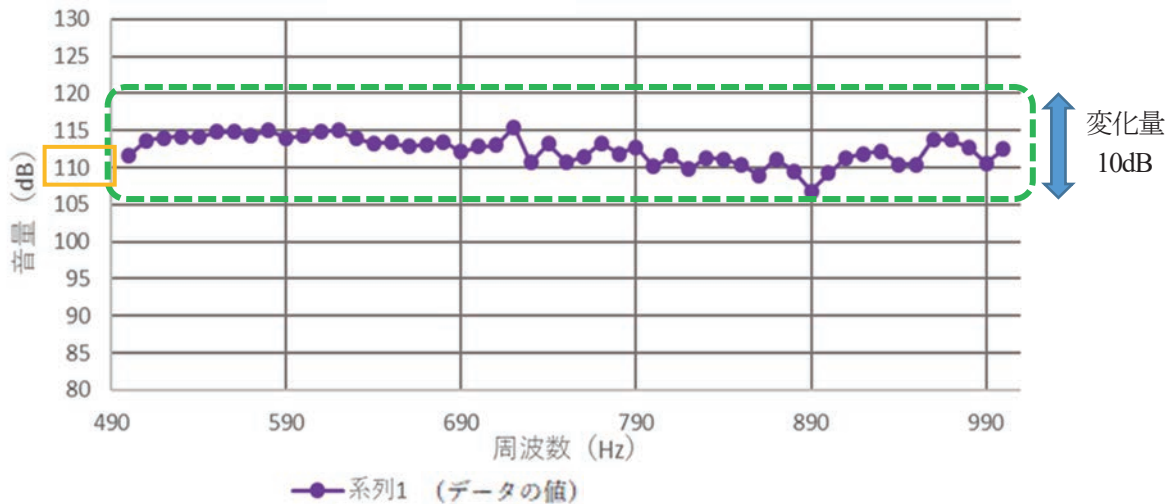


図7 ガラス板がない場合での周波数と音量の関係

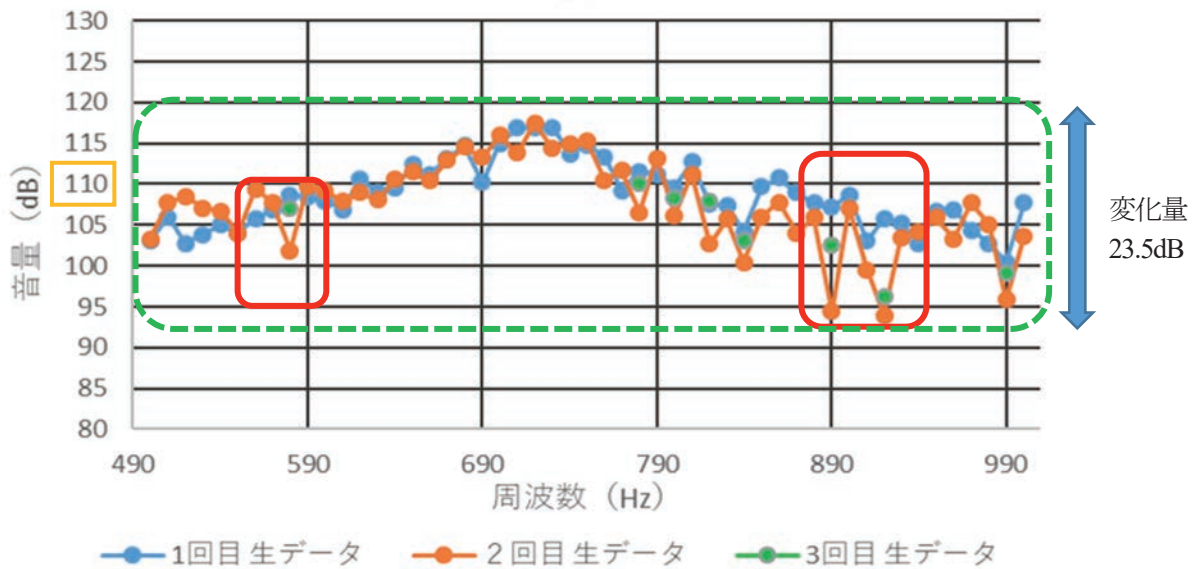


図8 ガラス板がある場合での周波数と音量の関係

周波数を変化させたとき、音量はガラス板のない場合では105dB～115dBの間で横這いであり、ガラス板のある場合では94.0dB～117.5dBの間で変動している。最大値と最小値の差はガラス板がある方が2倍以上大きい。これらよりガラス板の有無は音量に変化を与えていることが分かる。また、110dBを注目して見てみるとガ

ラス板のない図7ではほとんどの値が110dBを上回っていたが、ガラス板のある図8ではほとんどの値が110dBを下回っており、ガラス板がある場合はガラス板がない場合のグラフに比べ値が全体的に下がっていることが分かった。

図8では赤線でクラドニ図形ができた周辺の周波数を示している。クラドニ図形ができた580Hz, 890Hz, 920Hzでの音量はその前後の周波数の音量に比べて5~10Hzと大きく下がっていることが分かった。そこで音量の下がり方とクラドニ図形には何らかの関係性があるのではないかと思い、予備実験でクラドニ図形のできた600Hz, 900Hz, 1500Hz周辺に注目して実験2を行うこととした。

実験2 クラドニ図形付近の音量について

(1) 目的

クラドニ図形付近の周波数での音量を計測し、クラドニ図形の発生が音量に与える影響について調べる。

(2) 手順

- ①実験1と同様に図4のように準備物を設置する。
- ②パソコンとアンプの音量を最大に設定し20秒間音を出す。
- ③クラドニ図形のできた600Hz, 900Hz, 1500Hz付近の周波数を10Hzずつ変えながら各周波数ごとに3回ずつ音量を計測する。
- ④計測したデータをもとに実験1と同様にグラフを作成する。
- ⑤クラドニ図形と音量の関係性について考察を行う。

(3) 結果

周波数ごとの粒体の動きに違いがみられたため、図9のように、ガラス板上の粒体の動き方でできた図形をもとに点数化を行った。

点数化においてはまず目視で粒体は動いたが移動するには至らずクラドニ図形はできなかったものを「多少動いた」、粒体が移動を開始しクラドニ図形ができていると判断できたものを「図形ができた」と判断した。次に、「多少動いた」、「図形ができた」の中でも粒体の動きに違いがみられたため、その違いを、点数を用いて表すこととした(図9)。

粒体の動き方		点数
まったく動かなかった		0
多少動いた	弱	1
	中	2
	強	3
図形ができた	弱	4
	中	5
	強	6

図9 粒体の動き方と対応する点数

「多少動いた」においては、粒体はその場で振動するため図10のとおり静止画で見たときにほぼ違いは見られないが、その中でも近づかなければ分からないほど、粒体とその場で微弱に振動したものを1とし、1に比べ遠目でもその場で振動していることが分かるものを2とし、初めの位置から多少動いていたものを3とした。

また、「図形ができた」においては時間をかけ少しずつ図形が浮かび上がってきたものと一瞬で図形が発生したものがあった。前者はその図形の明瞭度合いで4または5、後者を6とした。4と5は、図11の左図のようにぼんやりとしたものを4、中央図のようにはっきりとしたものを5とした。

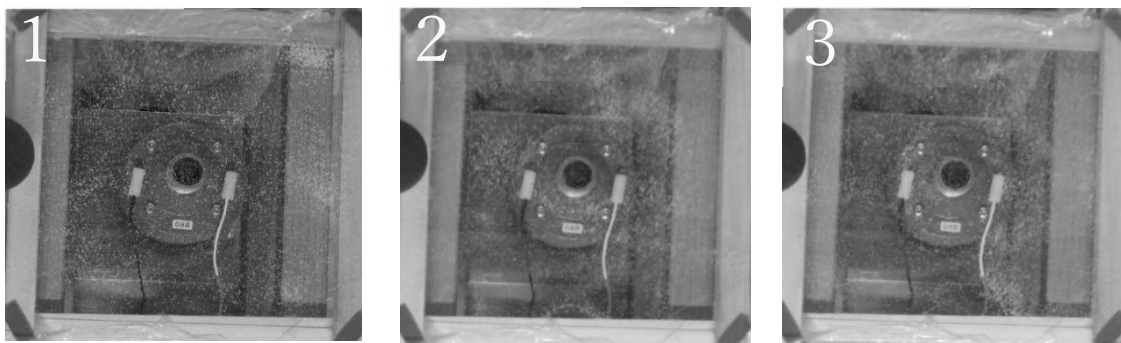


図10 「多少動いた」 <弱:1><中:2><強:3>の粒体の様子

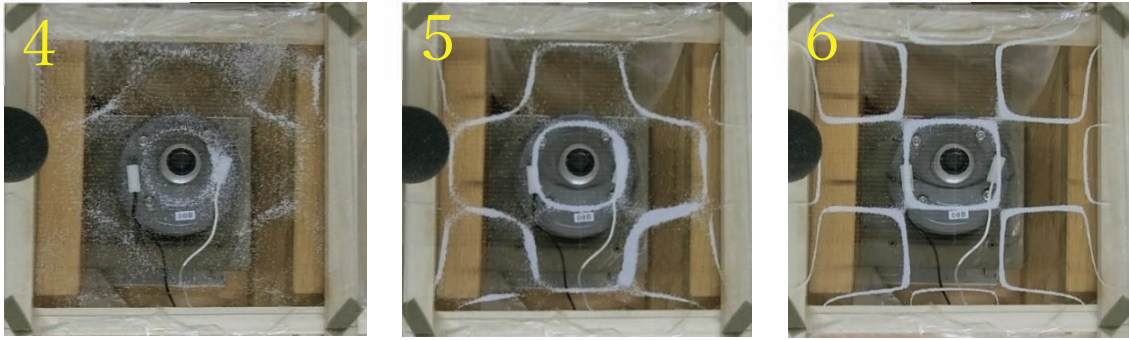


図 11 「図形ができた」 <弱：4><中：5><強：6>の粒体の様子

600 Hz, 900Hz, 1500Hz 付近の周波数と点数, 周波数と観測された音量の変化を図 12 にまとめた。図中の枠囲みの所がクラドニ図形ができたときを示している。図 12 の A-1~3 のグラフより赤枠で示した周波数がクラドニ図形のできる周波数に近づくにつれ粒体の動きが大きくなり, 周波数とその値から離れるにつれ粒体の動きが小さくなることが分かった。また, B-1~3 よりクラドニ図形がはっきりできた 610 Hz, 910 Hz, 1500 Hz 付近で音量が大きく下がっていることが分かった。A と B を比較して, 図形ができたとき音量が下がっていることが分かった。

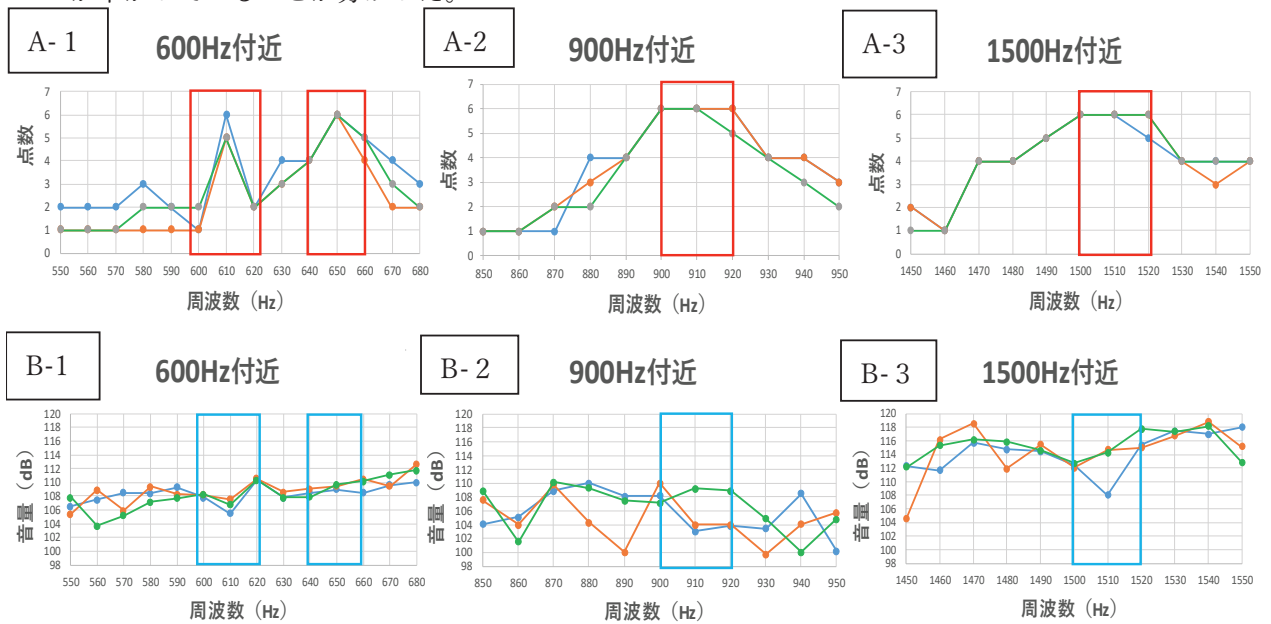


図 12 周波数付近における (A) 図形の変化と (B) 音量の変化

8. 考察

実験 1, 2 より音量はガラス板がある時の方がガラス板なしのときに比べ全体的に下がる傾向が見られ, すべての実験において板は振動し粒体は動いていることから音エネルギーが運動エネルギーに変換されているといえる。また, クラドニ図形発生時, 他に比べ音量が下がったことから音源から出た音エネルギーがより多く板の振動に使われたのではないかと考えられる。また, すべての物体には振動しやすいときの周波数である共振周波数というものがある。クラドニ図形が発生する周波数は, 使用する板の共振周波数付近に起こる。私たちの実験でクラドニ図形が発生した周波数の中でも最も音量が下がった周波数が, 使用する板の共振周波数に最も近い値であると考え。共振周波数は本来専門的な機材を用いることで求めることができるが, クラドニ図形の実験により比較的簡単に共振周波数を求めることができると考えている。

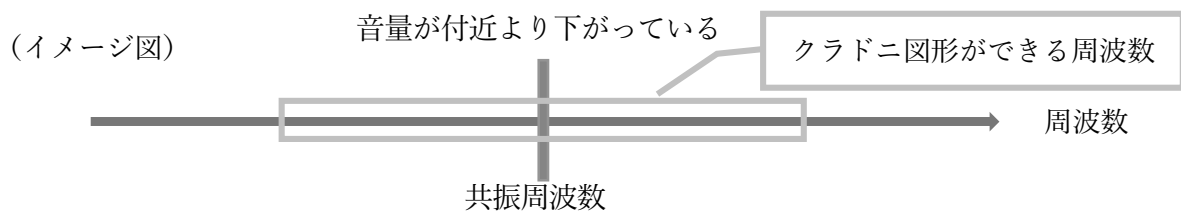


図 13 共振周波数とクラドニ図形ができる周波数の関係

9. 結論

クラドニ図形の発生時には、板はより多くの音エネルギーを使用し激しく揺れるため、計測される音量は周りの周波数に比べて大きく減少する。

10. 今後の展望

これらの実験は主に 4 月から 7 月に行った。6 月頃は梅雨のため湿度が高く、粒体の動きや計測される音量に湿度が影響したのではないかと考えられる。特に実験 2 の 2 回目、3 回目は梅雨入り後に行ったため、正確に求められていない可能性がある。今後の展望としては、湿度の低い冬にも継続して同様の実験を行い、サンプル数を増やしつつ結果の信頼性を高めていく必要がある。

また、ガラス板を支えているスポンジが実験を続けているうちにガラス板の重みによって少しずつではあるが圧縮されてしまい、実験時間が進むにつれてスポンジが薄く硬くなってしまっていた。ガラス板の支え方により、板の振動の様子が変化することが考えられる。板の振動の変化によって図形ができる周波数に違いが生じる可能性があるため、定期的にはスポンジを新しいものに変えて実験を行う必要がある。

11. 実験で注意した点

- ・実験を行う人数を 3 人と固定することで、できるだけ音量に与える影響を少なくした。
- ・クーラーをかけることで温度を 26℃ で一定にし、本実験を行った。
- ・実験を行う際に実験室の扉を閉め、さらに暗幕をすることで外部の音を取りこまないようにした。
- ・塩をまく操作、騒音計の値を読み取る操作は個人による差をなくすために特定の人が行った。

12. 参考文献

- I. 手塚 万桜・中島 美奈・古畑 佑樹・森 洗樹
クラドニ図形による音の可視化 ～板の形による影響～ <https://onl.sc/kag9s96>
- II. 姉川 輝亮・沖野 健太郎・藤井 将貴
高松第一高等学校課題研究論文集 Vol.5 (2017)
ジャイアンの声でガラスは割れるのか？
- III. 金沢大学理工学域. 2018-10-12 振動が描く不思議な模様
～クラドニ図形を見てみよう～ おもしろ科学実験室 <https://onl.sc/KkKQVJa>
- IV. 千葉県立船橋高等学校理数科 3 年 相川 由輝. 2020-08-18
特定のクラドニ図形が出現するときの振動数と板の大きさの関係 <https://onl.sc/bFwPSRP>
- V. CAE 用語辞典 <https://onl.sc/jePXN4C>

13. 謝辞

私たちの研究を担当してくださった増田裕明先生をはじめ、様々なアドバイスをしてくださった先生方のご指導により研究を進めることができました。この場をお借りして感謝申し上げます。