

グラスハープの振動数を 変化させる要因について

徳島県立城南高等学校応用数理科3年

尾池 明日歌

高木 百愛

目次

- ・ 研究の概要
- ・ 動機、目的
- ・ 実験 1 グラスの形状を変化させる場合
- ・ 実験 2 内容物の粘度を変化させる場合
- ・ 実験 3 グラス自体の振動を妨げる場合
- ・ まとめ
- ・ 参考文献

1. 概要

私達はグラスハープの音の発生原理と特性について明らかにするためにグラスの形状、内容物の粘度、グラスの外側から力を加えることに着目し、3つの実験を行った。グラスの形状の実験ではどのような形状においても水量が大きくなるにつれて振動数が減少した。内容物の粘度を変える実験では粘度を大きくしていくにつれて振動数が減少した。グラスの外側から力を加える実験では定位置で外側から加える力を大きくしても振動数に変化は見られないが外側から加える力がグラスの縁に近づいていくにつれて振動数は減少した。このことからグラスの振動する部分の面積が小さくなるにつれて振動数が減少することと振動する物体の質量が大きくなるにつれて振動数が減少することがわかった。

2. 動機、目的

食器を洗っている際、偶然グラスの縁に指が触れたことで澄んだ音が発生した。この現象に対しその音の発生原理と特性について関心を持った。後に調べたところ、この音響現象はグラスハープと呼ばれる楽器の音響原理、すなわち振動体の共振による発音ということがわかった。グラスハープとはワイングラスなどの器の縁を水で濡れた指で擦って音を出す楽器である。グラスハープについての先行研究では材質を変数とおいた実験が行われていたため私達は大きさや形を変えることでどのように振動数が変化するかを明らかにしたいと考えた。

3. 【実験1】グラスの形状並びに水の量を変化させ、振動数の変化を見る

①実験器具

- ・『グラス1』ワイングラス(240ml)
- ・『グラス2』ブランデーグラス(340ml)
- ・『グラス3』ブランデーグラス(160ml)
- ・『グラス4』ストレートグラス(360ml)
- ・『グラス5』ストレートグラス(240ml)
- ・水
- ・ピペット
- ・FFTWave(振動数を計測することができるスマホアプリ)



図1：使用したグラス（左からグラス1，2，3，4，5、ビーカー）

②方法

様々な形状、大きさのグラス(1～5)を用意し(図1)、それぞれのグラスに水を10ml ずつ加えていき、水で濡らした指をグラスの縁に擦らせて音を発し、その都度 FFTWave で振動数を計測する。

③仮説

鉄琴や木琴は長い鍵盤を叩いたときは振動数が小さく短い鍵盤を叩いたときは振動数が大きい。このことからグラスに入れる水の量が増えるとグラスが振動する部分が小さくなり鉄琴や木琴と同様に振動数が大きくなる。

同じ形状のグラスでも、グラスの大きさが小さいほど口径が小さくなり、指で擦る部分の面積が小さくなり、狭い範囲でより複雑な振動が生じ、振動数が大きくなる。

側面が平らなストレートグラスよりも、ワイングラスやブランデーグラスの方がボウルの部分が音を反響させ、より複雑な振動を生み出し、振動数が大きくなる。

④結果

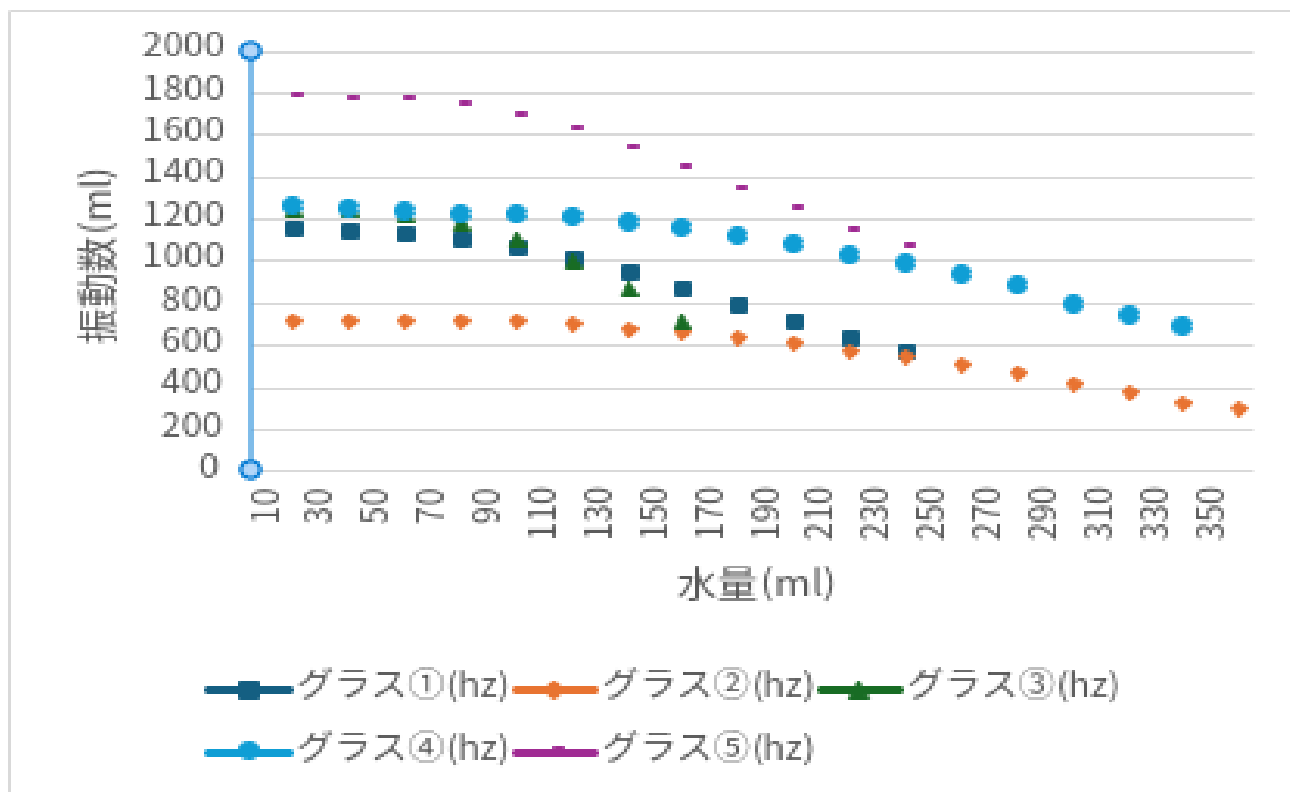


図2：それぞれのグラスに入れた水の量と振動数の関係(グラス1は正方形、グラス2はひし形、グラス3は三角、グラス4は丸、グラス5は長方形)

どのグラスも入れる水の量が増加するにつれて振動数は小さくなり、違う形状のグラスでも、グラスの大きさが大きいほど振動数が小さくなった(図2)。また、ストレートグラスよりもワイングラスやブランデーグラスの方が振動数が小さくなった。

⑤考察

どのような形状のグラスであっても、水の量が増加するほどグラスの縁から水面までの距離が小さくなることにより振動する部分が小さくなり、振動数が小さくなる。

グラスの大きさが大きくなるほど質量が大きくなるので、単振動の周波数公式「 $f = 1 / 2\pi \sqrt{k/m}$ 」よりグラスの大きさが大きくなるほどグラスの質量が大きくなり、振動数は小さくなる。

ストレートグラスがワイングラスやブランデーグラスよりも振動数が大きくなることについて、ストレートグラスの側面はほぼ垂直で、わずかに広がっているか、全く広がっていない。それに対し、ブランデーグラスやワイングラスはボウル部分が大きく口径が大きい。これにより水位が同じであってもワイングラスやブランデーグラスはストレートグラスよりも水量が多くなり、水の重さが重くなり、振動が

荒くなることで振動数が小さくなる。よってストレートグラスはワイングラスやブランデーグラスよりも振動数が大きくなる。

4. 【実験2】内容物粘度を変化させる場合

【実験1】より、どのような形状・大きさのグラスでも水位が上がると共鳴音の振動数が下がった。水位が上がると内容物は重くなるので、内容物の濃度を変化させることで内容物の重さを変化させると振動数にどのように影響が及ぶのかを明らかにするため、実験を行った。

①実験器具

- ・ ストレートグラス (360ml)
- ・ 水
- ・ 洗濯糊
- ・ 食器用洗剤
- ・ 砂糖
- ・ 食塩
- ・ ガムテープ
- ・ 木の板
- ・ ビーカー
- ・ ピペット
- ・ 薬包紙
- ・ 電子はかり
- ・ FFTWave(振動数を計測することができるスマホアプリ)



図3：ストレートグラスに入れる内容物を変化させている様子

②方法

この実験では、洗濯糊、食器用洗剤、砂糖、食塩を水に混ぜる割合を変化させることで内容物の濃度を変化させる（図3）。

水に対して混ぜる洗濯糊、食器用洗剤、砂糖、食塩の割合を、内容物の質量を 100ml に保ちながら 10% ずつ増加させていき（例：洗濯糊 10ml のとき水 90ml、洗濯糊 20ml のとき水 80ml）、水で濡らした指をグラスの縁に擦って音を発し、その都度 FFTWave で振動数を計測する。このとき、実験者によって振動数に変化が現れるので、2人で同じ実験装置を同じ実験環境で使用し、各溶液につき3回ずつ測定し、2人の平均値を出す。また、各溶液を作る際、泡が立たないように気をつけながら 100 回ずつかき混ぜた。

計測時にストレートグラスを手で支えてしまうと、グラスの振動を妨げてしまうので、ガムテープを輪っかにし、グラスを平らな木の板に貼り付けてグラスを固定した。

③仮説

【実験1】では、水位が上がることにより内容物が重くなり、グラスの振動数が小さくなった。液体の濃度が大きくなるということは、内容物は重くなるということであるので、内容物の濃度が大きくなると振動数が小さくなる。

④結果

ここで、砂糖と食塩の濃度を変化させながら 100ml を保つ方法は模索中であるため、砂糖と食塩の濃度を変化させる実験は未実行である。

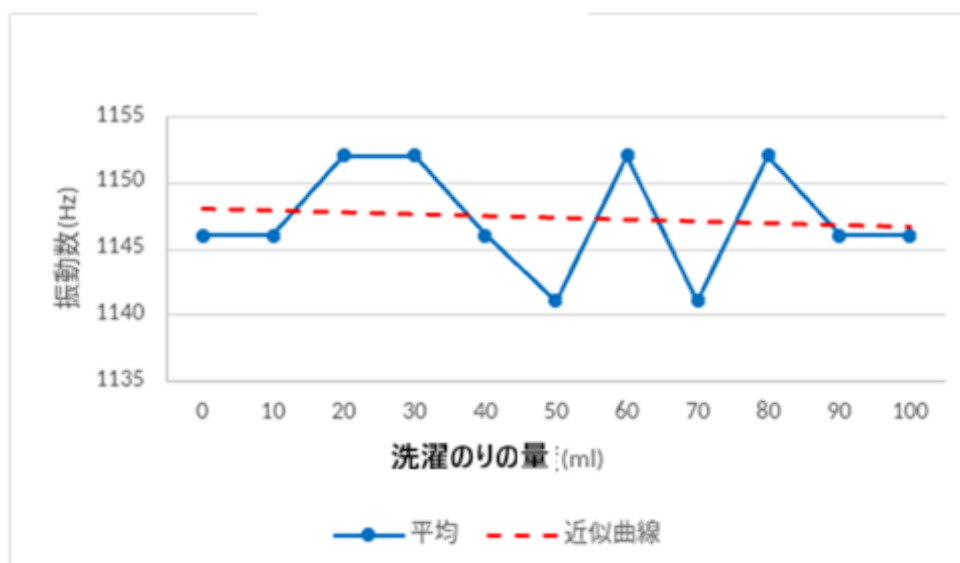


図4：洗濯のりの量と振動数の関係（全体で 100mL なるよう水を加え調整）

上図より、水に対する洗濯糊の濃度を変化させる実験では、水に対する洗濯糊の濃度が大きくなっても、振動数に大きな変化は見られず、測定値にばらつきが見られる。近似直線により、振動数の減少傾向が確認できる（図4）。

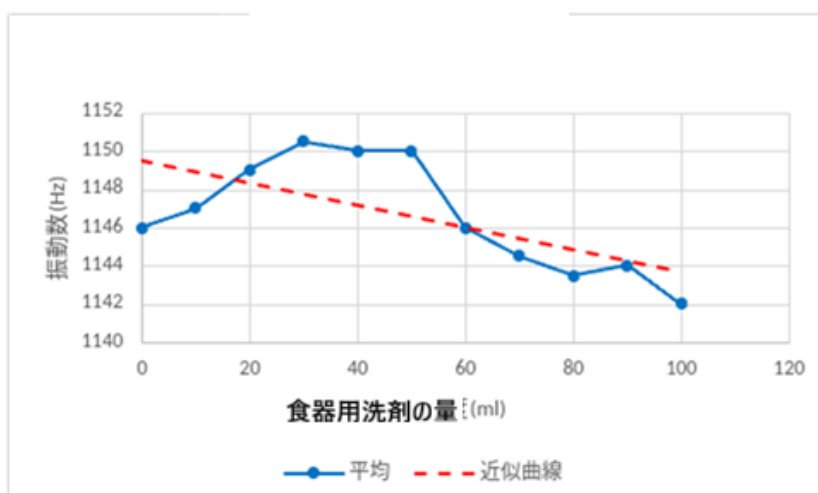


図5：食器用洗剤の量と振動数の関係（全体で 100mL なるよう水を加え調整）

上図より、水に対する食器用洗剤の濃度を変化させる実験では、水に対する食器用洗剤の濃度が大きくなっても、振動数に大きな変化は見られず、測定値にばらつきが見られる。近似直線により、減少傾向が確認できる（図5）。

⑤考察

水に対する洗濯糊の濃度を変化させる実験でも、水に対する食器用洗剤の濃度を変化させる実験でも、振動数の減少傾向が見られたことから、グラスハープの内容物の粘度が高くなるにつれて振動数は小さくなる。水よりも洗濯のりと食器用洗剤のほうが密度が大きいため質量も大きい。よって内容物の濃度が大きくなると質量も大きくなる。物体の質量が大きくなるほど固有振動数が小さくなるため共鳴を利用したグラスハープにおいて固有振動数とグラスハープの振動数が一致するので振動数に減少傾向が見られた。また、測定値にばらつきが見られたのは、濃度変化の値が小さかったこと、グラスの縁に溶液が付着してしまっていたことで正しい値が得られなかったこと、各濃度での溶液の溶解具合にばらつきがあったことなどの理由が考えられる。

5. 【実験3】 グラスの外側から力を加える場合

【実験2】より、内容物の粘度を変化させると振動数に減少傾向が見られることが明らかになったためグラスの外側からグラスの外側から力を加え振動を妨げる実験を行った。

①実験器具

- ・ ワイングラス (177ml)
- ・ 輪ゴム
- ・ ビーカー
- ・ ピペット
- ・ 水
- ・ FFTWave (振動数を計測することができるスマホアプリ)



図6：ワイングラスに対し、ゴムバンドで振動を防ぐ装置を作成

②方法

【実験3】では振動を妨げる力の大きさによる影響と振動を妨げる位置による影響を明らかにするため2種類の実験を行った。

力の大きさによる影響を調べる実験では、位置を固定し輪ゴムの本数を増やすことによって力の大きさを変化させる(図6)。まずワイングラスにグラスの縁から水面までの距離が6cmになるように(【実験3】で使用したワイングラスでは78ml)水をいれる。そして、6cmの半分である3cmの地点で輪ゴムの本数を1本ずつ増やしていく。水で濡らした指でワイングラスの縁をなぞるように擦って音を発し、その都度 FFTWaveによって振動数を測定する。輪ゴムの本数を増やしていく際、輪ゴムが縦に広がって振動を妨げる位置が変化しないように輪ゴムに重ねるようにして取り付けていく。

位置による影響を調べる実験では、力の大きさによる影響を調べる実験と同様にワイングラスにグラスの縁から水面までの距離が6cm(【実験3】で使用したワイングラスでは78ml)になるように水をいれる。そして、輪ゴムの本数を5本で固定し輪ゴムを付ける位置を水面から1cmずつ距離を大きくしていく。水で濡らした指でワイングラスの縁をなぞるように擦って音を発し、その都度 FFTWaveによって振動数を測定する。

③仮説

力の大きさによる影響を調べる実験では輪ゴムの本数が増えていくにつれて外側からグラスを押さえつける力が強くなることによってグラスが振動しにくくなり振動数が小さくなる。

位置による影響を調べる実験では輪ゴムを付ける位置が縁に近づいていくにつれて振動する部分が小さくなるため振動数が小さくなる。

④結果

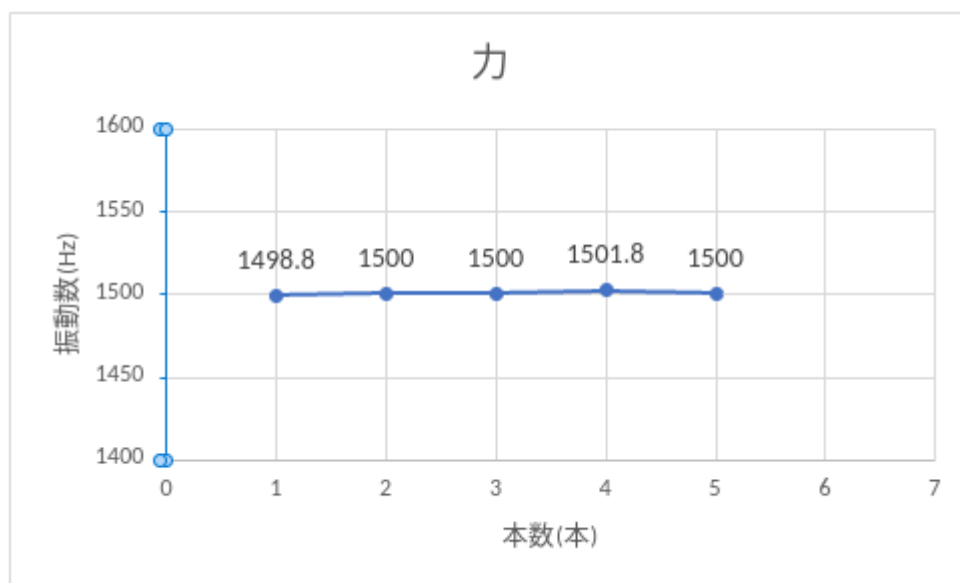


図 7 : 加えた輪ゴムの本数と振動数の関係

上図より輪ゴムの本数を増やしていても振動数に変化は見られなかった(図 7)が、振幅が小さくなっていった。6 本目からは音が鳴らなくなった。

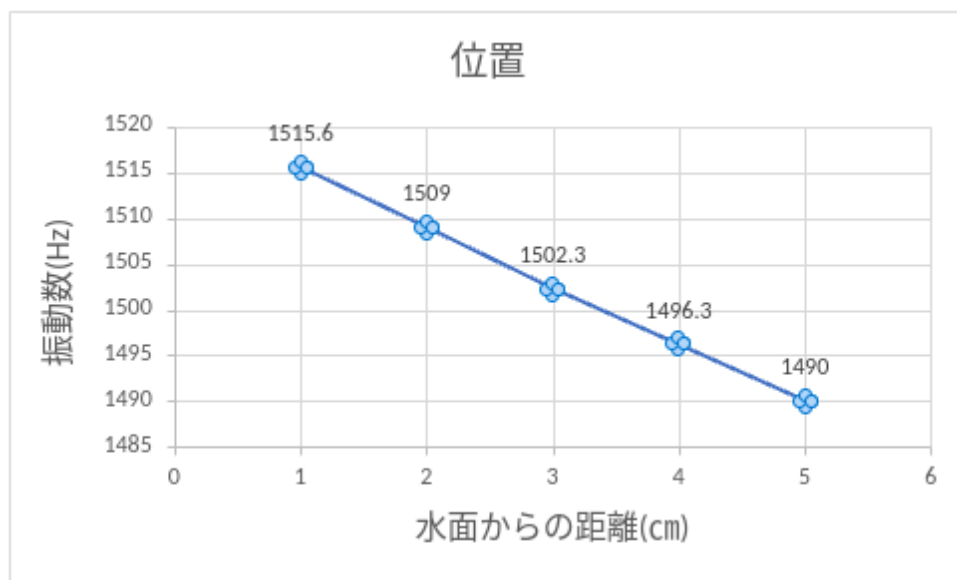


図 8 : 水面からの輪ゴムの距離と振動数の関係

上図より水面からの距離を大きくしていくにつれて、一次関数的に振動数の減少傾向が見られる(図 8)。

水面からの距離を 1cm 増やすごとに振動数は約 7.8Hz 減少した。

⑤考察

力による影響を調べる実験では振動数が一定であることから外側から振動を妨げる力を大きくしても振動数に影響しない。振幅が小さくなっていったことから外側から振動を妨げる力が大きくなるとガラスが固定されていき振動しなくなる。

位置による影響を調べる実験では一次関数的な減少傾向が見られたことから輪ゴムの付ける位置を縁に近づけていくことによってガラスの振動する部分が小さくなり振動数が小さくなる。

また輪ゴムをつけることによって輪ゴムの質量がガラスの固有振動数に影響するのかを調べるため質量比に関する実験を行った。

⑥質量比に関する実験

力による影響を調べる実験で輪ゴムの本数を増やした際に輪ゴムの質量がガラスの振動に影響を与えるのではないかと考え質量比に関する実験を行った。

I. 実験器具

- ・ワイングラス(177ml)
- ・輪ゴム
- ・おんさ
- ・叩き棒
- ・マグネット(8g)
- ・FFTWave(振動数を測定することができるスマホアプリ)
- ・電子天秤

II. 方法

【実験3】と同様にワイングラスに水を入れる。輪ゴムの本数を5本で固定し水面から0cmの地点と水面から6cmの地点で水で濡らした指でワイングラスの縁をなぞるように擦って音を発しその都度FFTWaveによって振動数を測定する。

マグネットをおんさのU字型の部分の一番下につけたときと一番上につけたときに叩き棒でおんさのさを軽く叩きFFTWaveによって振動数を測定する。電子天秤でマグネット、輪ゴム、おんさ、ワインxグラスの質量を測定する。このときワイングラスの振動する部分を概算して全体の質量の1/3とし、おん

さの振動する部分そを概算して 4/5 とする。それぞれの質量比と振動数を比較する。

III. 結果

グラス全体の質量は 147.0 g となりグラスの振動する部分の質量は 49.0 g となった。輪ゴム 5 本分の質量は 0.80 g となったことからワイングラスと輪ゴムの質量比は 0.034 となった。またワイングラスの水面から 0cm の地点に輪ゴムを付けたときの振動数は 1528.9Hz となり水面からの距離が 6cm の地点に輪ゴムを付けたときの振動数は 1490.0Hz となった。

おんさ全体の質量は 295.5g となりおんさの振動する部分の質量は 236.4g となった。マグネットの質量は 8.0g となったことからおんさとマグネットの質量比は 0.016 となった。

また、おんさのU字型の部分の一番下にマグネットを付けたときの振動数は 368.4Hz となり一番上の部分にマグネットを付けたときの振動数は 352.6Hz となった（図 9）。

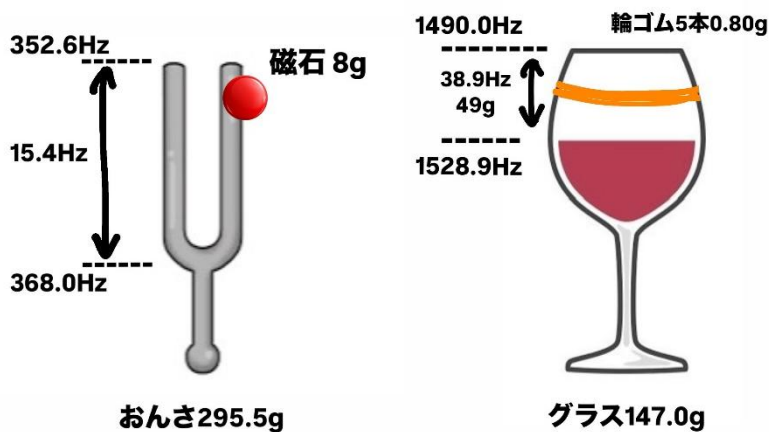


図 9：質量比に関する実験結果

IV. 考察

グラスハーブと輪ゴムの質量比が 0.034 で振動数が 38.9Hz 変化し、おんさとマグネットの質量比が約 0.016 で振動数が 15.4Hz 変化したことから質量比と振動数に関連性が見られない。

6. まとめ

今回、グラスハーブの振動数を変化させる要因を明らかにする実験を行った。グラスの形状、内容物の粘度、グラスの外側から加える力の大きさと位置の 3 つを変数とおいた。実験の結果から、グラスの振動数は、グラスの形状にかかわらず、また内容物の粘度が大きいほど、更に、輪ゴムがグラスの縁に近づくほ

ど振動数は減少した。しかし、輪ゴムの本数が増加しても振動数に変化は見られず6本目からは音が鳴らなくなった。このことから、グラスが振動する面積が小さければ振動数も小さくなること振動する物体の質量が大きくなると振動数も小さくなることがわかった。

7. 参考文献

河口愛奈、野口ひより、福本琴未「グラスハーブの振動特性について」

栗田雄一、祖父江厚志、池田篤俊、小笠原司「グラスハーブの音響特性に基づくはじき動作による水量推定」2011