

ハリセンの音を大きくするためには

3630 橋詰直隼 3525 西川正悟 3617 紀岡武伸

要旨

本研究の目的は、2つの物体をぶつけて音を出すもので大きな音を鳴らすためにはどうすればいいのかについて調べることである。我々はその現象の一つであるハリセンの音に焦点を当てた研究を行った。ハリセンの音には折り目の数や物体が叩かれる部分及びその速さ、ハリセンのしなり具合や観測者の位置及びその際の関係性の変化の6つの要因があるという仮説を立て、各仮説に関する実験・観察を行い、実験結果から高周波数帯における音の大きさに関してはハリセンの折り目の数や物体を叩いたハリセンの面積には正の相関が、ハリセンのしなり具合や観測者との距離と叩き方の違いによる音の大きさへの影響度には負の相関があるという結論に至った。

1、目的

2つの物体同士をぶつけて音を出すもので大きな音を鳴らすためにはどうすればいいのかについて調べる。本研究では、自作ができ安定したデータが取りやすいハリセンを用いて様々な条件下における音の大きさの関係性を明らかにし、各条件を満たしたより大きな音の鳴るハリセンの作り方・叩き方を導く。

2、仮説

ハリセンの音の大きさには以下の6つの要因があると考えた。

- ① ハリセンの折り目の数が音の大きさに影響を及ぼす
- ② 物体がハリセンに叩かれる部分の面積が音の大きさに影響を及ぼす
- ③ ハリセンが物体を叩く平均の速さが音の大きさに影響を及ぼす
- ④ ハリセンがしなりの具合が音の大きさに影響を及ぼす
- ⑤ ハリセンと観測者の距離が音の大きさに影響を及ぼさない
- ⑥ 仮説①～⑤の影響度はハリセンと観測者との距離に関わらず変化しない

3、研究・実験・データ解析の手順

【実験の概要】

[使用した器具・装置のデータ]

- ・ハリセン…折り目の数：5回（6面）
 - 縦：40cm
 - 横：5cm（計30cm）
 - 質量：37.5g
- ・棒：長さ：246cm
 - 質量：1510g
- ・椅子：高さ…66cm
 - 机との距離…237cm

・棒の角度：倒す前…なす角 77°

ハリセンが叩く瞬間…なす角 13°

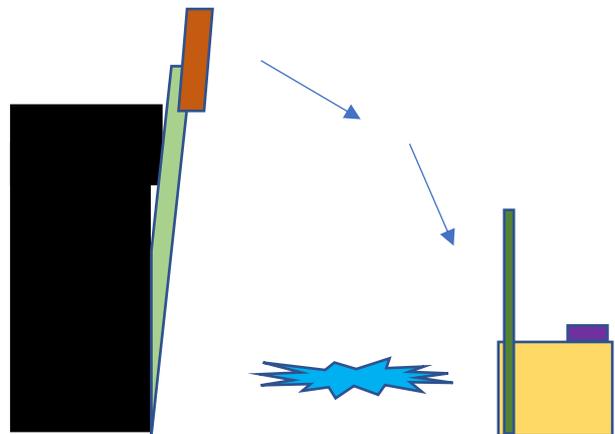


図1 実験器具の配置

ハリセン ()・棒 ()・椅子 ()

ブルーシート ()・ICレコーダー ()

机 ()・1m直定規 ()・養生テープ・厚紙

※ () は上図での位置を示す

[実験方法 (標準)]

- ① ・ハリセンを棒の先端に取り付け、棒を机の足元と天板の側面に触れるように固定する
 - ※棒を触れるように設置したのは、棒を倒す角度を一定にすることで音声データの安定化を図るためである
- ・椅子をハリセンの先端から5cmの位置に叩けるように（机から237cmの位置に）設置する
- ・ICレコーダーを椅子の奥端に設置する
- ・ブルーシートを5、6回程折り畳み、机と椅子の間に設置する
 - ※棒を倒した際に床を傷つけてしまうことを防ぐためである
- ② 棒を椅子に目掛けてそっと倒す

- ③ ハリセンが椅子に当たる一連の音声を椅子上の IC レコーダーで録音する
- ④ 音声データをフーリエ解析等で解析した後、Excel でグラフに表し考察を進めた。

※人間の耳には約 20~20000Hz 帯の音を聞くことができ、その中でも等ラウドネス曲線から約 2000~6000Hz 帯の音が聞き取りやすいと読み取った。よって、本研究で考察を進めるハリセンの音の周波数は 2000~6000Hz 帯とする。

4、ハリセンの音について

以下のグラフは図 1 に示した標準の実験の計測結果である。

※本論文で示されるグラフは、各実験を 5 回ずつ行って得たデータの中で波形が最も平均のものである。

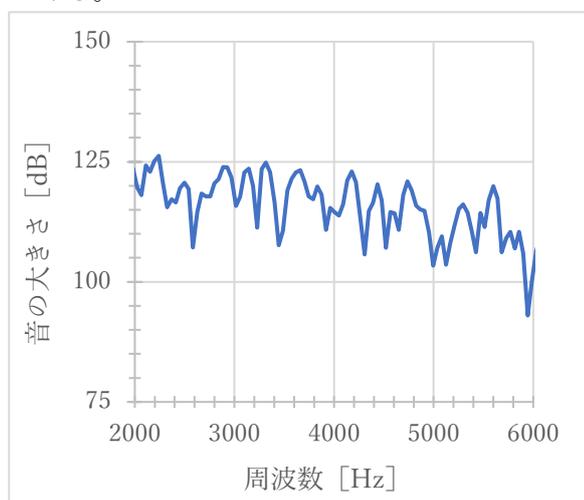


図 2 ハリセンの音

上記のグラフから、ハリセンの音は周波数が高くなる程小さくなる傾向にあり、それは単調減少ではなく周波数ごとで音の大小を行き来するといった特性をもっていると読み取れる。また、音の大きさは 100dB~125dB 帯であり、瞬間的ではあるものの、車のクラクション音や飛行機のエンジン音に匹敵する大きい音が鳴っていることが読み取れる。

5、実験 I

【目的】

ハリセンの折り目の数と音の大きさの関係性を明らかにする。

【仮説】

ハリセンの音が物体を叩く瞬間にハリセンの蛇腹間にある空気が外側に押し出されることによって生み出されると予想し、ハリセンの折り目の数が多いほど外側に押し出される空気量が多

くなり音の大きさも大きくなると考えた。

【追加条件】

折り目の数が 2 回・5 回・11 回折りの 3 種類のハリセンを用いた実験を行った。なお、これらのハリセンは面の数が 12 面、6 面、3 面と 2 倍ずつ増やしたものである。



図 3 実験に使用したハリセン (左：11 回折り、中央：5 回折り、右：2 回折り)

【結果】

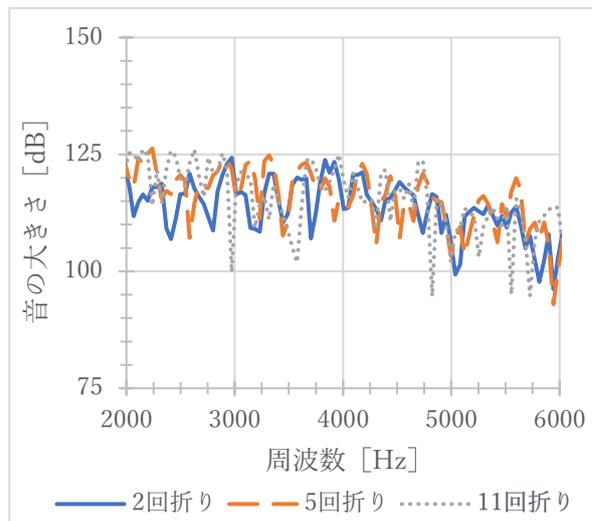


図 4 実験結果 I

上記のグラフから、約 2000~4000Hz 帯では、どの折り目の数のハリセンも一定の音の大きさを保ち、約 4000~5000Hz 帯では減少傾向にあるというグラフの特性に大きな違いは見られないことが読み取れる。一方、2 回折りハリセンは他と比べて全体的に音が小さいことや、約 5000~6000Hz 帯では 11 回折りハリセンより 2 回折り・5 回折りハリセンの方が音の大きさの下げ幅が大きいことが読み取れる。

【考察】

どの周波数帯でも2回折りハリセンが全体的に音が小さいことや、特に5000~6000Hzの高周波数帯で折り目の数が多いほどハリセンの音の下げ幅が小さくなることより、ハリセンの折り数と音の大きさには正の相関があると考えられる。これはハリセンの折り目の数が多いほどハリセンを叩く瞬間に蛇腹間から外側に押し出される空気量が多くなることが原因だと考えられる。

6、実験Ⅱ

【目的】

物体がハリセンに叩かれる部分の面積と音の大きさとの関係性を明らかにする。

【仮説】

物体を叩く瞬間はハリセンの根元部分より先端部分の方が速くなって衝撃力が大きくなって空気が勢いよく押し出されることより、物体が叩かれる部分がハリセンの先端部分に近づくにつれ音の大きさも大きくなると考えた。

【追加条件】

物体が叩かれる位置がハリセンの先端から5cm・15cm内側の2種類のハリセンを用いた実験を行った。なお、これらのハリセンは先端から当てる位置までの距離を3倍に増やしたものである。

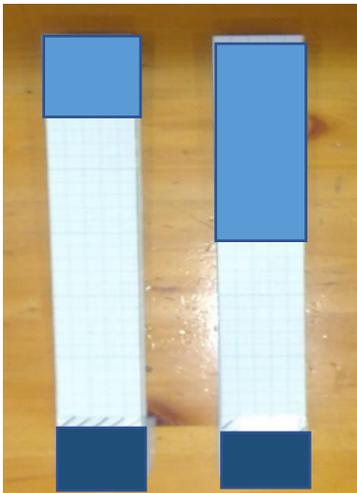


図5 実験に使用したハリセン
(左：先端から5cm、右：先端から15cm)

- ※ …ハリセンが物体に当たる部分
- ※ …ハリセンを手で持つ部分(5cm)
- ※実験では棒に取り付ける部分

【結果】

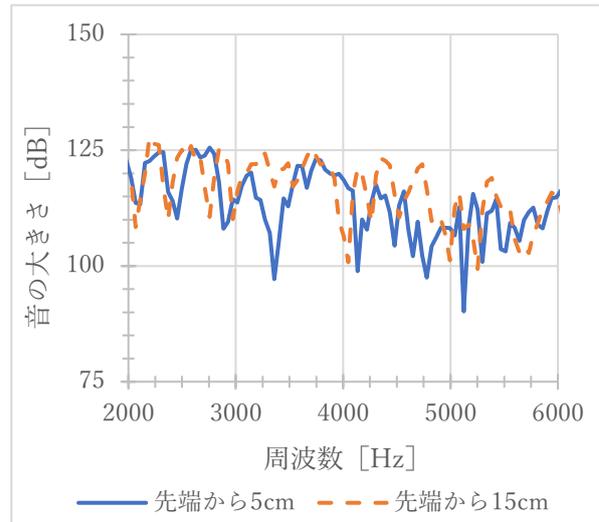


図6 実験結果Ⅱ

上記のグラフから、どの周波数帯においても先端から15cm内側に叩かれた時の方が、先端から5cm内側に叩かれた時よりも全体的に音が大きいことが読み取れる。

【考察】

どの周波数帯においてもハリセンの先端から15cm内側に叩かれた方が5cm内側より全体的に音が大きいことより、物体を叩いたハリセンの面積と音の大きさには正の相関があると考えられる。これはハリセンが物体を叩いた際の衝撃力の総和が物体に叩かれたハリセンの面積が大きいほど大きくなることが原因で生じるものだと考えられる。

7、実験Ⅲ

【目的】

ハリセンが物体を叩く平均の速さと音の大きさの関係性を明らかにする。

【仮説】

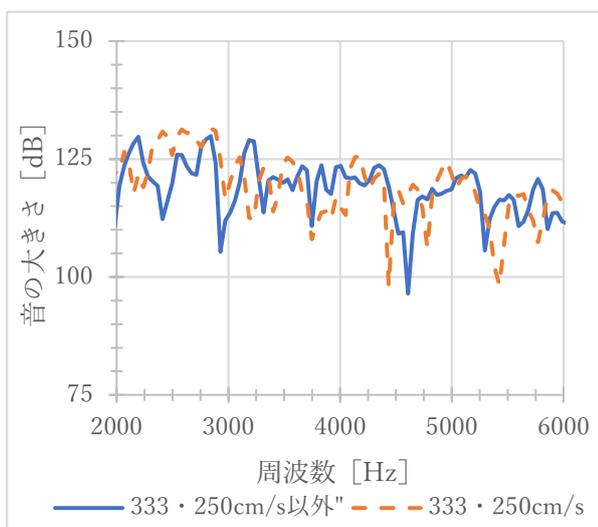
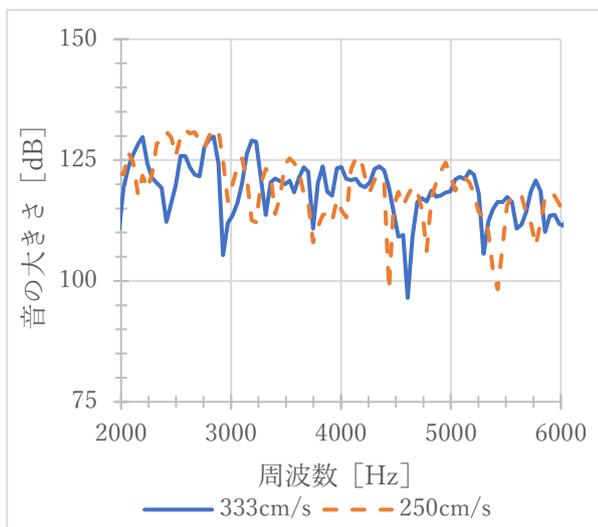
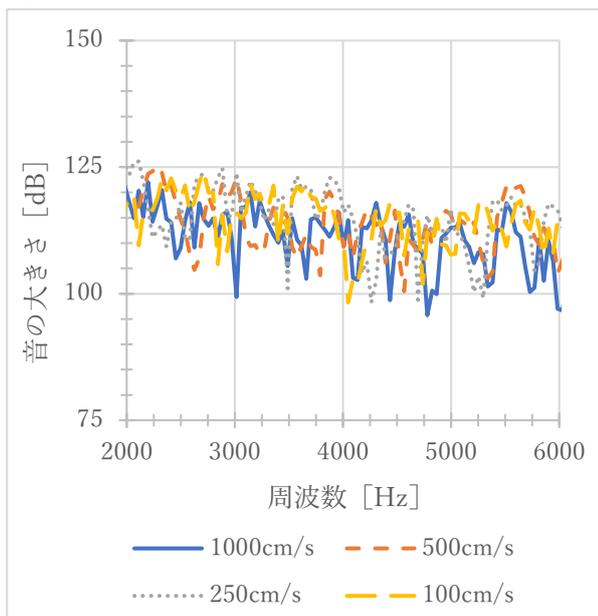
ハリセンの速さが物体を叩いた瞬間の衝撃力に影響を及ぼすため、ハリセンの速さが速くなるにつれて音の大きさも大きくなると考えた。

【追加条件】

ハリセンを倒す高さを変えた6種類のハリセンを用いた実験を行った。なお、これらのハリセンは当たる際の平均の速さを100cm/sから1000cm/sまで変化させたものである。ハリセンを倒す高さに関しては、250・333cm/sでは高さ1mから、その他の速さでは標準通りの角度(高さ約2.57m)から倒した。また、平均の速さは椅子から高さ50cmから椅子を叩くまでの時間を録画した動画

から 100 分の 1 s 単位で測定したものとする。

【結果】



上から図 7・図 8・図 9 実験結果 III

上記のグラフから、どの速さでも音の最大が 2500～3500Hz 帯と変わらないことも読み取れる。

また、250・333cm/s とそれ以外でグラフの特性が異なっていることが読み取れる。

【考察】

250・333cm/s 以外の速さの音の波形があまり変わらなかったことより、ハリセンが物体を叩く速さと音の大きさはあまり関係がない、またはハリセンの速さの違いが微少であったために音の大きさの変化が顕著に表れなかったと考えられる。一方、250・333cm/s のみ音が全体的に大きくなったのは速さと異なる原因があると考えられる。

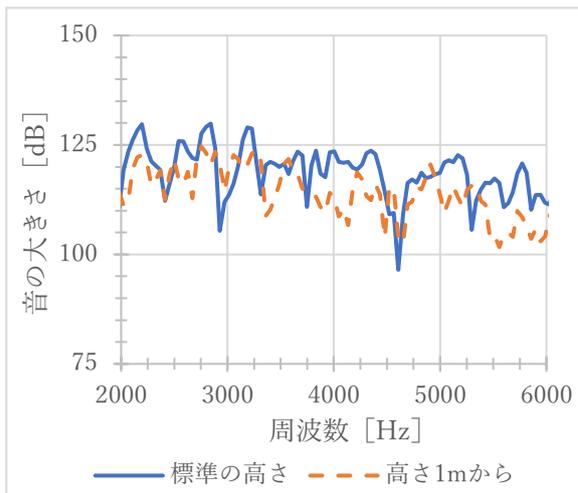


図 10 実験結果 III

上記のグラフは 250・333cm/s で音が全体的に大きくなったことに関して、同じ 250cm/s のデータで棒の落とし方で比較したものである。このグラフから、標準の方法より高さ 1m から落とした方法の方がハリセンの音が大きくなっていることが読み取れる。

【考察】

実験方法によってハリセンの音の大きさが変わったため、ハリセンの音は物体を叩く速さよりも叩き方（物体への当たり方）の方が影響を受けることが考えられる。

8、実験 IV

【目的】

実験 III で生じた疑問点であるハリセンの叩き方（物体への当たり方）と音の大きさの関係性を明らかにする。

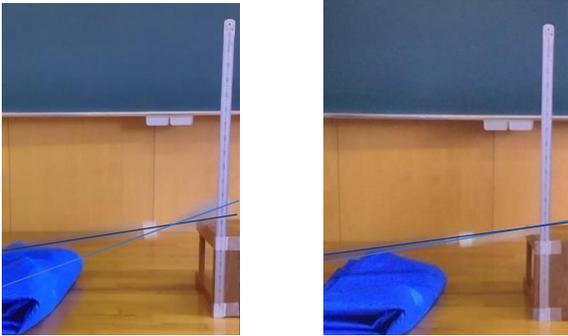
【仮説】

ハリセンが物体を叩いた瞬間にハリセンの向きが椅子の面と並行になる程効率よく空気が外側に押し出されるので、棒が倒れる際にしならない高さ 1m から落とす方法の方がハリセンの音が大きくなったのではないかと考えた。

【追加条件】

標準の実験方法と高さ 1 m から落とす方法で、ハリセンが椅子を叩く一連の動きを録画する。

【結果】



左から図 11・図 12 実験結果IV

(左：標準の方法、右：高さ 1 m から落とす方法)

※ハリセン (—)・棒 (——)

上記の画像から、標準の実験方法では高さ約 1.5m からハリセンがしなり始め、椅子を叩く直前に棒に対してハリセンが約 25° も傾いていたのに対し、高さ 1 m から落とす方法では全く傾いていないことが読み取れる。

【考察】

ハリセンの音が小さかった標準の実験方法ではハリセンがしなり、大きかった高さ 1 m から落とす方法ではしならなかったことより、ハリセンのしなり具合 (棒に対する角度) と音の大きさには負の相関があると考えられる。これはハリセンが物体に平行の角度で叩いた方が蛇腹間の空気が外側に効率よく押し出されることが原因だと考えられる。

9、実験V

【目的】

ハリセンと観測者の距離が音の大きさに与える影響度とその際の仮説①～⑤の影響度の変化について明らかにする。

【仮説】

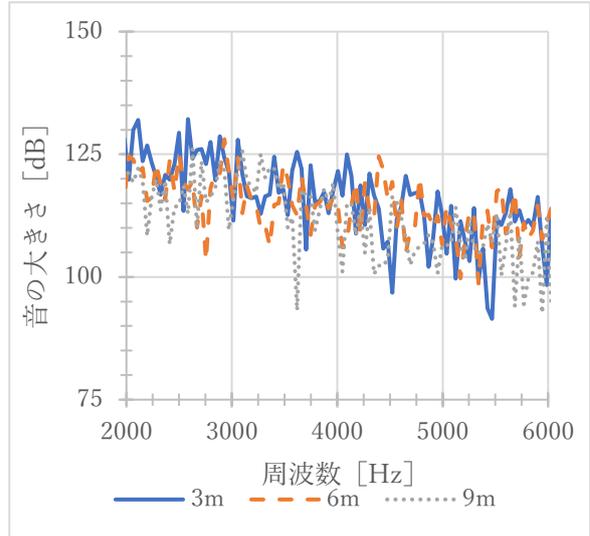
実験は封鎖状態の教室で行い、ハリセンの音は壁に反響するため、音の大きさは観測者との距離関わらず変わらないと考えられる。また観測者が物体が叩かれた位置と離れた位置にいるときの音の大きさの違いは観測者との距離と音の大きさが変わらないため変わらないと考えられる。

【追加条件】

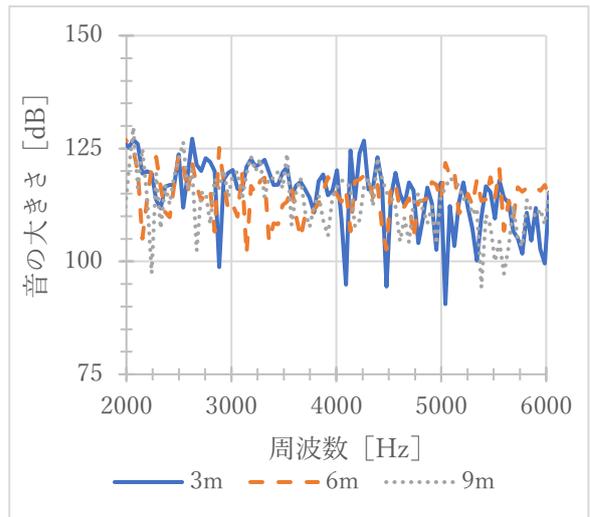
録音する IC レコーダーをハリセンが叩く椅子

から 3m・6m・9m と 3m 間隔で離れた実験を行った。なお、観測者との距離の違いにおける音の大きさの影響度の比較は実験 II のハリセンが物体に当たる位置と音の大きさの関係性を用いる。

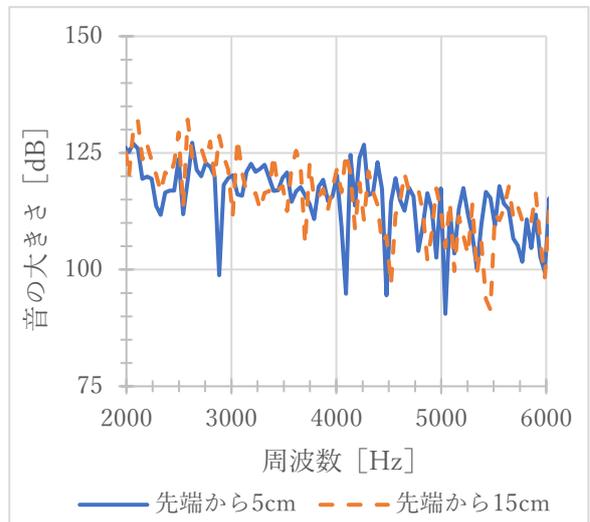
[先端から 5cm]

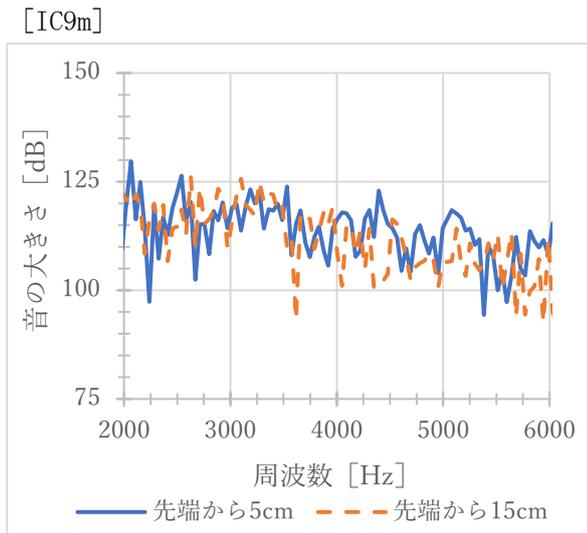


[先端から 15cm]



[IC3m]





上から図 13・図 14・図 15・図 16 実験結果 V

上記のグラフから、ハリセンの長さに関係せず 9m の位置のみ 5000~6000Hz の高周波数帯で音が小さくなることが読み取れる。また、2000~3500Hz 帯はどのハリセンも音が一定であるが、15cm 内側で叩いたハリセンよりも 5cm 内側で叩いたハリセンの方が単調減少が顕著であることが読み取れる。他にも、ハリセンと観測者の距離が 3m・6m では 15cm 内側で叩いたハリセンの方が音が少し大きく、9m のみあまり違いが見られないことが読み取れる。

【考察】

ハリセンの長さに関係せずハリセンと観測者の距離が 9m の位置のみ 5000~6000Hz 帯で音が小さくなることより、ハリセンが叩いた位置と観測者の距離と音の大きさには負の相関があると考えられる。これはハリセンの音が物体に当たった位置から同心円状に伝わっていき距離が近いほど伝わる音の重複部分が多くなることが原因だと考えられる。

観測者との距離が長くなるにつれ 5cm と 15cm 内側で叩いたものの音の大きさに違いがあまり見られなかったことより、ハリセンと観測者の距離が与えるハリセンの音の大きさの影響度が薄まっていると考えられる。これは観測者に伝わる音の量が少なくなったことにより、グラフの波形に誤差がある状態にあることが原因だと考えられる。

10、結論

仮説①に関する実験 I からは、約 5000~6000Hz の高周波数帯において、ハリセンの折り目の数と音の大きさには正の相関があると考えられる。

仮説②に関する実験 II からは、物体を叩いたハリセンの面積と音の大きさは正の相関を表すと

考えられる。

仮説③に関する実験 III からは、ハリセンが物体を叩く速さと音の大きさはあまり関係がない、またはハリセンの速さの違いが微小であったため音の大きさの変化が顕著に表れなかったと考えられる。また、この実験では音の大きさが変わる速さと異なる要因があると考えられる。

仮説④に関する実験 IV からは、ハリセンのしなり具合（棒に対する角度）と音の大きさには負の相関があると考えられる。

仮説⑤・⑥に関する実験 V からは、ハリセンと観測者との距離と音の大きさは負の相関があると考えられる。また、観測者との距離が音の大きさに与える影響度は負の相関があると考えられる。

以上の結果から導き出したより大きな音の鳴るハリセンの作り方・叩き方・聞き方は、

- ① ハリセンの折り目の数を増やす
- ② 物体を叩くハリセンの面積を増やす
- ③ ハリセンがしならないように叩く
- ④ 観測者はハリセンが物体を叩くところまでできるだけ近づく

以上の 4 つの条件を満たすものであるという結論に至った。

11、展望

今後は以下の条件下における音の大きさの関係性を明らかにする。

- ① 実験 III の改良（スピード差を大きくする）
- ② ハリセンを作る紙の材質を変える

12、謝辞

本研究を行うにあたり、御助言・御指導いただいた物理科の原田健先生に厚く御礼申し上げます。

13、参考文献・引用文献

- ・同じ大きさのはずなのに、同じ大きさに聴こえない？耳と周波数の関係
<https://www.soundzone.jp>
- ・フーリエ解析とは
dic.nicovideo.jp
- ・Excel を使ったフーリエ級数をグラフに描く
<https://www.sit.ac.jp/user/kobayasi/GraphByExcel.p>