

拍手音の解明
Elucidation of the Handclap Sound
千崎 瑛祐 野口 耕平
SENZAKI Eisuke , NOGUCHI Kohei

I 要旨

我々は、普段何気なく行っている拍手の、音発生仕組みが気になり、以下のように実験Ⅰ～Ⅲを設定し、研究を行った。

実験Ⅰ：手のどこの部位がどれくらいの割合でなっているのかを解明する

実験Ⅱ：拍手時、手のぶつかる速度を変えると波形はどのように変わるのかを解明する

実験Ⅲ：拍手をする手を変えると波形はどう変化するのかを解明する

実験Ⅰの結果として、手の部位別の音の割合として、手のひら同士が28.3%、指同士が6.5%、指の第三関節と手のひら上部が13.0%、手のひらで作った空洞が、52.2%の時、拍手のような手の形の拍手と近似した。

実験Ⅱの結果として、音の変化はほぼ無かった。

実験Ⅲの結果として、手の違いによる波形の違いは顕著であることが分かった。

*写真は本論文末の IX資料 にまとめてある。

II 研究動機・目的

ある日ふと手を叩いた時、拍手音発生仕組みが気になった。そこで、インターネットで検索したり、物理の先生に聞いたりしたが分からなかった。ならば、課題研究で調べよう、と思ったことが本研究の動機である。

本研究の目的は「拍手を様々な観点から解明する」ことである。この目的を達成するために、以下のように実験Ⅰ～Ⅲを設定し、実験を進めることとした。

実験Ⅰ：手のどこの部位がどれくらいの割合でなっているのかを解明する

実験Ⅱ：拍手時、手のぶつかる速度を変えると波形はどのように変わるのかを解明する

実験Ⅲ：拍手をする手を変えると波形はどう変化するのかを解明する

III 先行研究

様々な音に関する研究がなされていたが、拍手に関する先行研究を見つけることはできなかった。以下に、調べた先行研究を挙げる。

『顎関節音に関する研究（新潟大学歯学部）』

『ビンから出るトクトク音についての研究（新潟県立長岡高等学校）』

『歌声の波形の分析と合成（埼玉県立浦和第一女子高等学校）』

『The Study of Chilling Sound（岡山県立高島高等学校）』

IV 研究内容

i) 式変形

これから行う実験のために必要な2式を以下のように変形した。

$$L_{P[dB]}=10\log_{10}\frac{p^2[Pa]}{p_0^2[Pa]} \cdots \textcircled{1}$$

$$\frac{\text{拍手 I から拍手 IV それぞれの音圧[Pa]}}{\text{基本拍手の音圧[Pa]}} \times 100 = \text{「任意の\%」} \dots \text{②}$$

ただし、

$$p_0 = 2.0 \times 10^{-5}$$

$p =$ 「拍手 I から拍手 IV それぞれの音圧」 ($=x$ と置く) である。

$$\text{①を } L_{p[\text{dB}]} = 20 \log_{10} \frac{p[\text{Pa}]}{p_0[\text{Pa}]} \dots \text{③} \text{ と変形。}$$

②と条件より、

$$\frac{x[\text{Pa}]}{\text{基本拍手の音圧[Pa]}} \times 100 = \text{「任意の\%」}$$

これを x について解いて、

$$x = (\text{基本拍手の音圧}) \times \frac{\%}{100} \dots \text{④}$$

また、この実験では基本拍手の音圧レベルを 60dB としているので、

③式に代入すると、

$$60[\text{dB}] = 2.0 \times 10^{-2}[\text{Pa}] \dots \text{⑤} \text{ が得られる。}$$

⑤の値を④に代入すると、

$$x = 2.0 \times 10^{-2} \times \frac{\%}{100} \dots \text{⑥} \text{ となり、}$$

条件と⑤式を③式に代入し整理すると、

$$20 \log_{10}(10 \times \text{任意の\%}) \dots \text{⑦} \text{ が得られる。}$$

ii) 拍手の定義

今回の研究では、拍手(かしわで)に似た拍手の形を基本拍手として定義した(写真1)。また、基本拍手をするときにつかる手の部位を4つに分け、定義した。それぞれ、拍手Iとして「手のひら全部があたる形」(写真2)、拍手IIとして「指と指が当たる形」(写真3)、拍手IIIとして「指の第三関節と手のひら上部が当たる形」(写真4)、拍手IVとして「手のひらで空洞を作った形」(写真5)とした。

iii) 実験 I

実験 I の目標は「手のどこの部位がどれくらいの割合でなっているのかを解明する」ことである。実験 I の過程は、「基本拍手～拍手IVの録音」→「ノイズ除去」→「1波形の切り出し」→「音圧を一定に」→「音の合成」である。

① 基本拍手～拍手IVの録音

基本拍手～拍手IVを録音した。なお、実験 I では、千崎の拍手を用いた。

(基本拍手～拍手IV それぞれ写真6～写真10)

② ノイズ除去

写真 5～写真 8 を見てもわかりように、それぞれの拍手音の音源にはノイズが乗っている。よって拍手音のきれいな波形が確認できない。そこで、ソフト：Adobe Audition を使ってノイズを除去した。

(写真 6 ノイズ除去前 写真 11 ノイズ除去後)

③ 1 波形の切り出し

ノイズ除去を行った音源から、1 回の拍手の波形を見るため、それぞれの拍手の波形から 1 波形を選び、切り出す。この時、選び出す拍手音を出した拍手の速度を 1.7[m/s]に統一した。なぜ 1.7[m/s]に統一するかというと、基本拍手を 60 回前後行った際の衝突直前の速度の平均が約 1.7[m/s]になったからである。また速度を統一する理由は、拍手の速度が変数となる可能性を排除するためである。(写真 11 切り出し前 写真 12 切り出し後)

④ 音圧を一定に

選び出した波形を、ソフト：Gaudio を用いて基本拍手～拍手Ⅳの音の音圧を 60dB に統一する。なぜ音圧を統一するかというと、基本拍手に対する部位別拍手の割合を調べるためである。

⑤ 音の合成

そして基本拍手と部位別拍手の波形を見比べながら割合を予想し、⑦式の「任意の%」のところを予想した割合を代入して 60dB から何 dB 引けばよいかを求める。その後ソフト：Adobe Audition を用いて拍手Ⅰ～拍手Ⅳの音成分の dB 数を変更しながら音を合成し、60dB の基本拍手の波形に近づける。予想を元に合成、印刷し、基本拍手の波形と比較、基本拍手の波形に近づけるための考察、という作業を繰り返した。波形が基本拍手の波形に近づいてくると、基本拍手の音と合成音を比較しながら調整した。

⑥ 結果

次に実験の結果をまとめる。

(写真 13 基本拍手波形 写真 14 合成音波形)

拍手	割合[%]	音圧レベル[dB]
I	28.3 %	49dB
II	6.5 %	36dB
III	13.0 %	42dB
IV	52.2 %	54dB
全体	100%	≡ 基本拍手

iv) 実験Ⅱ, Ⅲを行うにあたっての変更点

実験Ⅱ, Ⅲを行うにあたって、録音時のノイズをできるだけ排除するため、録音方法を少し変更した。拍手の速度を図る方法を、超音波センサーでの測定からスーパースローカメラでのコマ数計測に変更し、超音波センサーの音が入らないようにした。また、実験Ⅰでの録音方法はPCに直接マイクを接続していたので、PCのノイズ音などが入ってしまった。そこで、今回は、マイクをボイスレコーダーにつないで録音した。しかし、どうしても環境音が入ってしまったため、やむを得ずノイズ除去を行った。

実験Ⅱ, Ⅲでは、以下の方法で録音した音源を使用した。

v) 録音・録音後の処理

① 録音

大まかな流れは前述の通り。スーパースローカメラは300fpsで撮影。1つの拍手につき、30[s]~60[s]録音を5回行った。

② ノイズ除去

iii) ②)を参照のこと

③ 音圧を一定に

iii) ④)を参照のこと

④ カメラの映像と拍手音の照合

スーパースローカメラで撮った映像を、ソフト:Adobe Premiere を用いてコマ送りしそのコマ数を計り、ソフト:Microsoft Excel で作成した式に代入し、それぞれの拍手の速度を求めた。

⑤ 切り出し

音割れの有無や拍手時の手の形が定義に沿っているか否かを確認した後、条件に適合した拍手の波形を切り出し、実験Ⅱ, Ⅲに用いた。

vi) 実験Ⅱ

実験Ⅱでの目標は、「拍手時、手のぶつかる速度を変えると波形はどのように変わるのかを解明する」ことである。なお、実験Ⅱでは千崎の拍手を用いた。

結果、音が大きくなっただけで波形の変形はほぼ無い、つまり音の変化はほぼ無いということが分かった。
(写真 15 速度約 1.25m/s 写真 16 速度約 1.88m/s)

vii) 実験Ⅲ

実験Ⅲでの目標は、「拍手をする手を変えると波形はどう変化するのかを解明する」ことである。また、実験Ⅲでは千崎と野口の基本拍手同士を比較した。

結果、手の違いによる波形の違いは顕著であることが分かった。(千崎と野口の基本拍手で比較した。)

(写真 17 千崎基本拍手 写真 18 野口基本拍手)

V 考察

i) 実験 I

写真 13, 14 より, 基本拍手の波形と合成音の波形はほぼ同じ波形だといえるが, 一部において, 波形が若干異なる部分があることが分かる。波形が完全に一致しない可能性として, 4つあると考えている。1つ目は, 人が拍手をしているため, 基本拍手を行った時と部位別の拍手を行った時で衝突する部分が微妙に違った, ということ。2つ目は, 基本拍手の時に音を出しているにもかかわらず, 部位別の拍手として定義されていないものがあること。3つ目はノイズ除去を行った際, ノイズと一緒に拍手の音成分も削られた, ということ。4つ目は, %や dB を出すときに四捨五入をしたこと, である。これらの可能性の中で最も影響が大きかったと思われるのは, 2つ目と3つ目である。定義の問題は, これからの課題とする。ノイズ除去に関しては, 音の強い部分はほぼ影響を受けなかったと考えられるが, ノイズよりも弱い部分は削られてしまった可能性がある。

ii) 実験 II

速度の変化による違いがほぼなかった理由として, 手のあたる速度が速くなっても手のあたる部分は変わらないため波形もほぼ変わらない, ということが考えられる。

iii) 実験 III

手の違いによる波形の違いが顕著であった理由として, 人により手の形に個人差があるため, 強くあたる部分が異なっている, ということが考えられる。

VI 今後の課題・展望

実験の改善点として, 主に 5つ挙げられる。1つ目は音質の向上である。今回の研究では, 録音時に環境音などのノイズが入ってしまい, ノイズの除去を行わざるを得なかった。この影響で少なからず波形した可能性がある。そこで, 録音した音源をそのまま用いられるよう, 音質を改善させたいと考えている。さらに, 実験 II・IIIでは, 基本拍手の波形同士を比較した。そこで, 実験 II・IIIでも拍手音を部位別に分け, それぞれの割合を求めて, さらに細かい分析を行いたいと考えている。また, 実験 IIでは, 速度の変化幅が小さかったので, 大幅に速度を変化させての波形の変化を見たい。また今回, 実験 IIIは, 2人の拍手の比較だった。そこで比較する人数をもっと増やして実験を行いたいと考えている。また, 考察でも述べたが, 更に精度の高い実験結果を得るためには, 拍手の定義についてもう一度考察する必要があると考えている。

今後の展望としては, 様々な人の拍手を部位別に分け割合を出し, 部位の個人差と割合の違いとの関係を探ってみたい。

まだ全く行われていない研究内容であるためこれ以外にも様々な研究内容が考えられる。

VII 使用ソフト・参考図書

参考図書・・・『音響学入門』 (編者: 社団法人 日本音響学会)

使用ソフト・・・FFT Analyzer Adobe Audition Adobe Premiere

Microsoft Excel Gaudio

VII 謝辞

今研究を行うにあたり、終始御指導いただいた小谷猛房先生をはじめ、中間発表で多くの助言いただいた先生方、そしてお忙しい中、我々の質問にお答えいただいた徳島県立脇町高等学校の坂東潤先生並びに、貴重な研究資料などを御提供いただいた、徳島県立脇町高等学校 SSH 課題研究「よく通る声とはどんな音？」班の皆様には大変お世話になりました。厚く御礼申し上げます。

IX 資料



写真1 基本拍手



写真2 拍手I



写真3 拍手II



写真4 拍手III



写真5 拍手IV

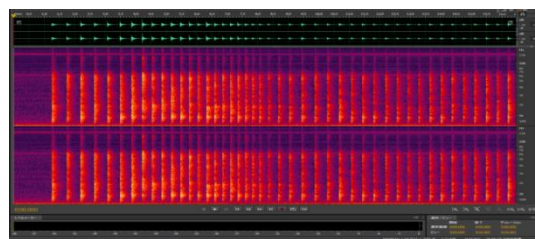


写真6 基本拍手波形

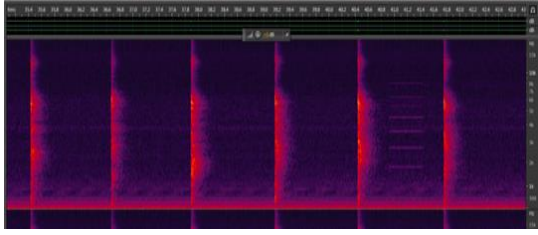


写真 7 拍手 I 波形

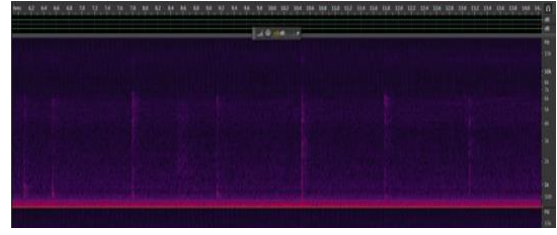


写真 8 拍手 II 波形

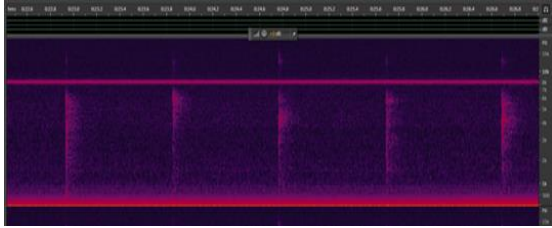


写真 9 拍手 III 波形

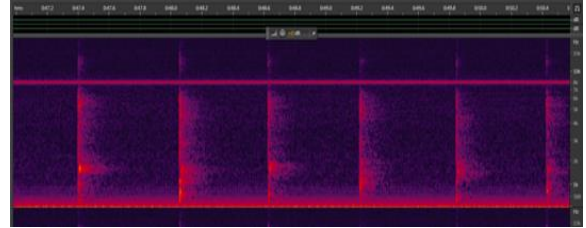


写真 10 拍手 IV 波形

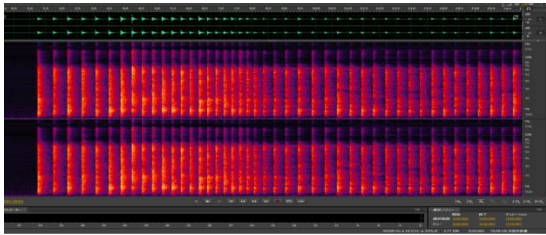


写真 11 基本拍手ノイズ除去後

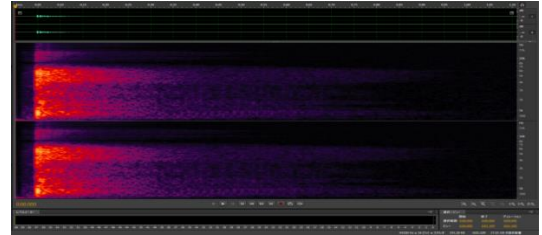


写真 12 波形切り出し

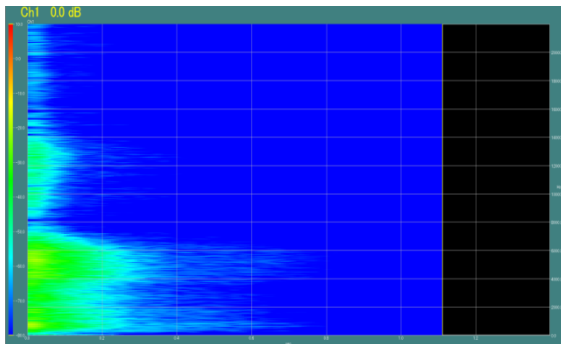


写真 13 基本拍手波形

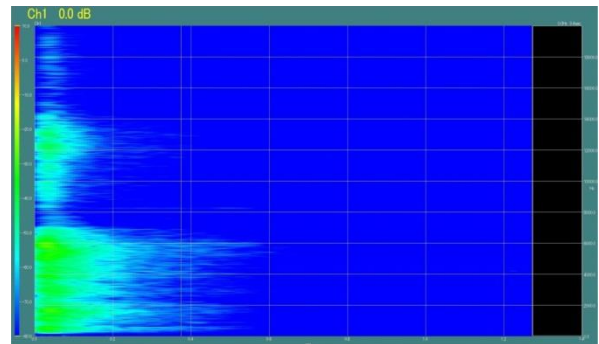


写真 14 合成音波形

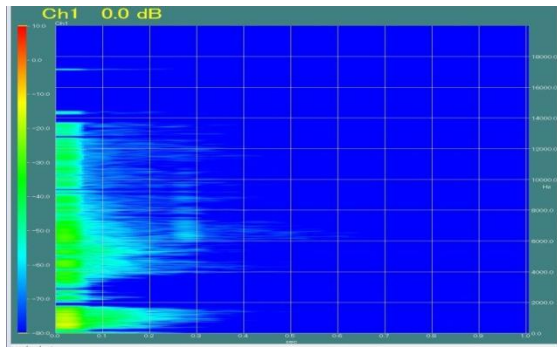


写真 15 速度約 1.25m/s 波形

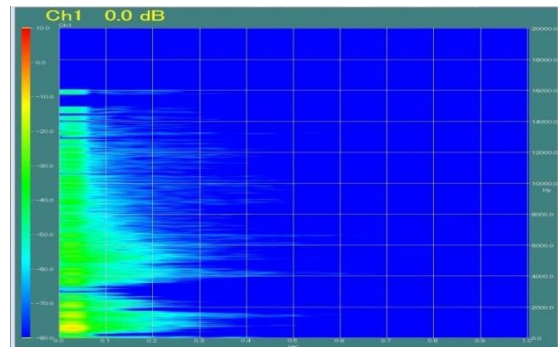


写真 16 速度約 1.88m/s 波形

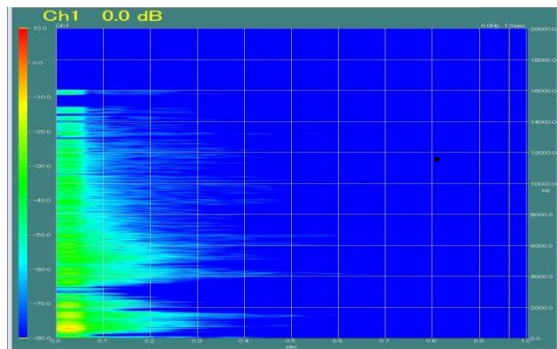


写真 17 千崎 基本拍手波形

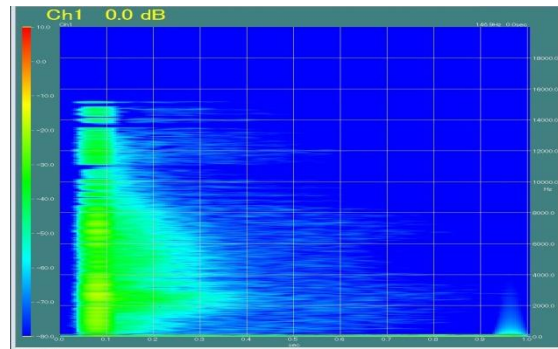


写真 18 野口 基本拍手波形