

# 音楽信号による打診における測定方法の検討

## Fundamental Study on Measurement Methods for Percussion Inspection Using Musical Signals

清水 唯衣<sup>†</sup> 鳥谷 輝樹<sup>†</sup> 小澤 賢司<sup>†</sup>

Yui Shimizu Teruki Toya Kenji Ozawa

### 1 はじめに

打診とは、物理的な打撃によるインパルス応答の計測である。医師は、打診音の微細な音色を識別することで、内臓の位置や状態を診断する。そのため、打診は熟練した医師のみが行える診断方法である。一方、体内の組織構造に由来する音の変化を、スマートフォンなどを用いて計測できれば誰でも打診を行うことができる。さらに、音楽によりインパルス応答を計測できれば、患者自身が楽しく診断を行うことが可能となる。

本研究では、振動子により体表面からメロディーを有する試験信号を与え、インパルス応答を算出することを電子打診と称す。この音楽信号を利用した体内のインパルス応答により、患者にとって快い電子打診の実現を目指す。

これまでに音楽信号の構成法について報告した [1]。本稿では、音楽信号を用いた人体での有効な測定方法を検討する。

### 2 音楽を構成する信号の生成方法

本章では、文献 [1] の内容をまとめる。

#### 2.1 音高を有する試験信号の構成

本研究では、図 1 に示す単位 FVN (Frequency domain variant of Velvet Noise) [2] により音楽信号を生成した。単位 FVN は TSP (Time Stretched Pulse) 信号の一種であるが、ランダム性を持っているため音高は知覚されない。本研究では、単位 FVN を時間軸上でオーバーラップさせながら  $\frac{1}{f}$  s ごと等間隔に並べることで、 $f$  Hz の音高が知覚できる音を生成した。標準化周波数は 44.1 kHz とした。

#### 2.2 音楽信号の生成方法

本研究で使用する音楽信号の生成方法について述べる。まず、同一の乱数シードによって生成された単位 FVN をオーバーラップさせながら等間隔で並べ、信号が単位 FVN の 2 個分長めになるよう生成する。次に、異なる乱数シードによって生成された単位 FVN を上記と同様に生成する。上記で生成した 2 種の信号を重畳

<sup>†</sup>山梨大学大学院 Graduate School, University of Yamanashi

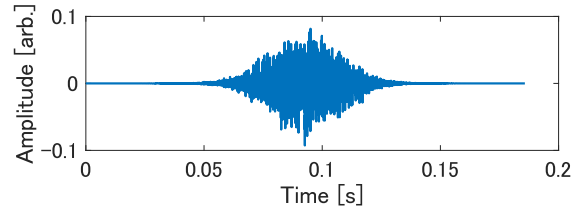
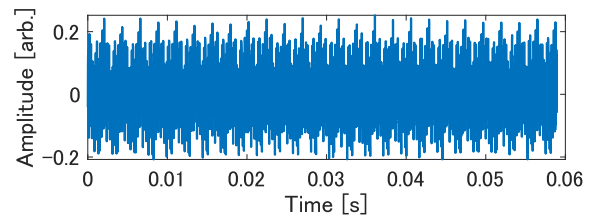
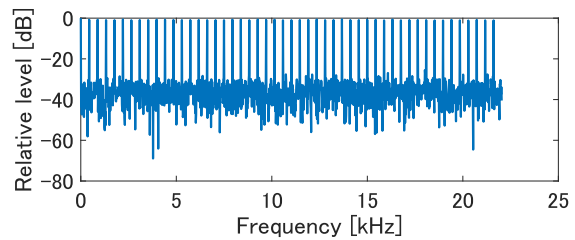


図 1: 単位 FVN の時間波形



(a) 時間波形



(b) スペクトル

図 2: 生成した 440 Hz のピッチを有する試験信号

し、定常部分を切り出すため信号の前後を単位 FVN 1 個分ずつ除外する。なお重畳する際、雑音成分の知覚を低減させるため、異なる乱数シードによって生成された単位 FVN においては振幅を  $\frac{1}{10}$  倍したものを使用した。本手法により生成した信号を図 2 に示す。図 2(b) より、極端にパワーが小さい周波数はないため、対象とする周波数帯域で安定した測定が期待できる。

### 3 身体での計測

#### 3.1 身体へのインパルス応答

身体へのインパルス応答は 1 kHz 以下の周波数が優勢であり、60 ms 以内に特徴が表れる [3]。そこで、2.2 節の手法により約 60 ms の信号を生成した。本研究ではこれを繰り返すことで 1 音を構成し、15 s 程度の音楽信号を生成した。また、この信号における同期加算の回数は 201 回であった。

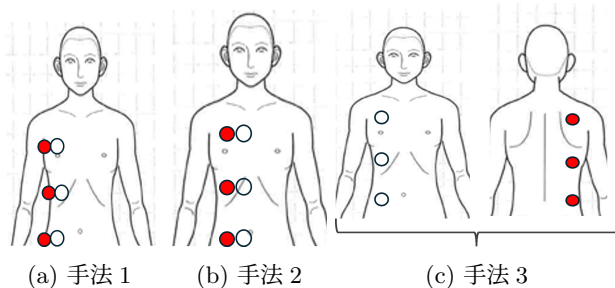


図 3: 3種の測定方法 (●: 録音位置, ○: 加振位置)

### 3.2 身体における計測方法

本研究では臓器の位置が比較的わかりやすい、肺、肝臓、腸においてインパルス応答を比較する。また、インパルスと等価である TSP 信号 (0~2 kHz) と音楽信号の測定結果を比較することにより、従来の打診と同等の結果が得られるか検証を行う。そして、複数の加振位置と録音位置で計測を行うことにより、位置の違いが測定結果に与える影響について確認する。本研究では、予備実験においてインパルス応答を算出可能であった3種類の手法で測定を行った。図3に各測定方法における、加振位置と録音位置の対応を示す。加振器は Moser, Adafruit 1785, マイクロホンは NaRiKa, G40-7402-01 を使用した。なお、測定結果は 0.1~2 kHz までに注目し、被験者は男女5人ずつの計10人で行った。

### 3.3 結果と考察

本稿では、測定結果の一例として手法3における測定結果を図4に示す。まず、図4において TSP 信号と音楽信号の測定結果は概ね一致している。また、被験者10人において全手法で概ね一致した結果となった。したがって、本研究で生成した音楽信号において TSP 信号と同様の測定結果が得られることが確認できた。

続いて、図4のスペクトルに示す通り、臓器ごとに異なる測定結果が得られた。そこで、3つの手法の計測結果から被験者ごとにスペクトルの中央値の周波数を求め、分散分析 [4] を行った。結果、手法3において「肺と腸管」、「肺と肝臓」のみ有意差が見られた。以上より、電子打診において有効な測定方法は手法3であると考えられる。また、臓器の中が空洞である部位と充填されている部位では、統計的な違いが表れることが判明した。

以上の通り一部の手法、一部の臓器でのみ統計的な違いが表れなかった原因として、体格差を考慮していないことが挙げられる。すべての手法において、各臓器におけるスペクトルの概形は異なった。よって、臓器ごとの違いを表すためには、被験者個人の体格に基づいて測定データを補正する必要があると考えられる。

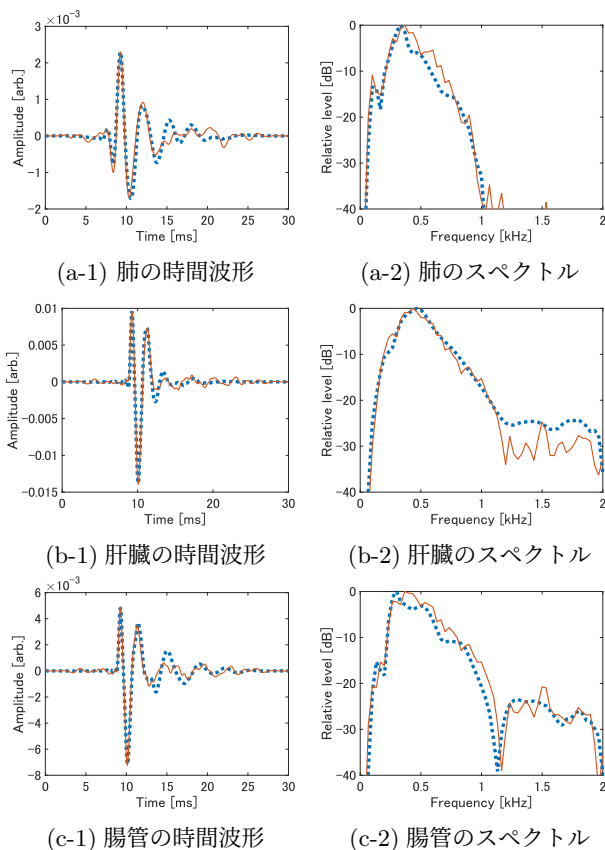


図 4: 各測定法におけるスイープ信号 (点線) と音楽信号 (実線) の計測結果

## 4 まとめと今後の展望

TSP 信号と音楽信号を用いて体内のインパルス応答を測定することにより、生成した信号によって従来の打診と同等の結果が得られることが確認できた。また、電子打診を行うにあたり有効な測定方法は手法3であることが判明した。

今後は、被験者の体格を考慮した分析やスペクトログラムを用いた分析を行うことにより、電子打診の高精度化を目指す。

謝辞 JSPS 科研費 (24K22337) の助成を得て実施した。

## 参考文献

- [1] 清水唯衣, 鳥谷輝樹, 小澤賢司, “音楽信号による打診の実現に向けた基礎的検討,” 情報処理学会 第 87 回全国大会, pp. 2-615-2-616, 2025.
- [2] H. Kawahara, K.-I. Sakakibara, M. Mizumachi, H. Banno, M. Morise, and T. Irino, “Frequency domain variant of Velvet noise and its application to acoustic measurements,” ASPIPA ASC 2019, pp. 1523-1532, Lanzhou, China, 2019.
- [3] K. P. Ayodele, O. Ogunlade, O. J. Olugbon, O. B. Akinwale, and L. O. Kehinde, “A medical percussion instrument using a wavelet-based method for archivable output and automatic classification,” Computers in Biology and Medicine, vol. 127, # 104100, pp. 1-11, 2020.
- [4] 田中敏, 山際勇一朗, ユーザのための教育・心理統計と実験計画法, 教育出版, pp.105-127, 1992.