

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350573

研究課題名(和文)心音曲面二次元関数処理

研究課題名(英文) Processing of Two-Dimensional Function on Curved Surface Associated with Heart Sound Data

研究代表者

菱田 博俊 (HISHIDA, Hirotoshi)

工学院大学・工学部・准教授

研究者番号：60373966

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：携帯性に優れ個人が自宅でも使用できる、心音を録音し、その曲面(三次元グラフ)の二次元関数処理に基づき自動診断するシステムを試作した。システムは、集音及び録音する録音系、録音された音をWAVEデータとして記録する記録系、WAVEデータをx軸を周波数、y軸を時間、z軸を振幅量とした曲面に変換する処理系、曲面から病名を診断する人工知能から成る。着衣時の良好な聴診の為に、ベルの大型化が課題である。また、録音系と記録系の小型化が課題である。収集できた健全者20名の心音は大きな個人差を示し、人工知能の学習には曲面の情報小型化と共により多くのデータを必要とする。非健全者の心音データの収集も今後の課題である。

研究成果の概要(英文)：Trial study on an automated diagnosis system based on the processing of 2D-function on data envelope of the recorded heart sound has been completed. The expected apparatus is portable and usable at home. The system consists of recording components which catches and records a heart sound signal and stores it as WAVE data, a transforming component which converts the WAVE data to the TXT data to process the x-component for the frequency and the y-component for the time sequence with the z-component for the amplitude of heart sound data, and an artificial intelligence (AI) which gives a diagnosis based on the processing. Enlargement of a bell-size should be recommended for the better auscultation over clothes. Miniaturization of the apparatus is also necessarily taken into account. Data from 20 healthy persons showed large dependency on individuals, so that simplification of the information shown in the data envelope and more data would be of importance to learn the AI well.

研究分野：計算力学

キーワード：人工知能 ニューラルネットワーク 心音 自己聴診 自動診断 FFT 固体差 雑音

1. 研究開始当初の背景

(1) 聴心で心臓の健康度を判定できる熟練医が減り、一方で患者数は増えている。聴心は臨床の第一歩と言われながらも、高度な医療機器の進歩により軽視され始めている^{1,2)}。

(2) 2000年以前には、録音機能付聴診器の汎用市販品は見当たらず、心音録音は特殊装置を都度製作使用していた³⁾。一方、PC機器と並行してオーディオ家電や音響機器が進歩し、それに伴い医療現場に電子機器が導入され始め、近年それを利用した録音機能付電子聴診器の活用事例が紹介されるようになってきた⁴⁻⁶⁾。

(3) 心音診断は本質的には医師の漠然とした直観に頼っている⁷⁾逆解析なので、そのプログラム化は困難と考えられている。

2. 研究の目的

(1) できるだけ詳細な(例えば病名を予測できる様な)心音診断を自動でできるシステムの構築を図る。医師不足の解消、若手医師の教育支援、更には医師不足地域等における家庭での自己診断の可能性に期待する²⁾。

(2) 具体的なイメージとして、携帯性に優れ、個人が自宅にて使用できる最終形態を見据え、心音を録音し、その曲面の二次元関数処理に基づき自動診断するシステムの構築を目的とする。

(3) 自動診断においては、心音のFFTピーク等の代表値だけでなく、曲面を全体的に参照する方針の採用を試みる。

(4) 心音自動診断に必要なニューラルネットワーク⁸⁻¹¹⁾の規模を目算し、より有効な学習データとは何かを検討する。

3. 研究の方法

(1) システムを、集音及び録音する録音系、録音された音をWAVEデータとして記録する記録系、WAVEデータをx軸を周波数、y軸を時刻、z軸を振幅量とした曲面化し二次元関数処理する処理系、二次元曲面から病名を診断する人工知能から構成する事とした。

(2) 研究開始前後に発表され始めた、様々な録音機能付聴診器及び心音分析システムを調査し、特徴の整理をした。また、心臓検査法及び従来の心音診断手法を整理した。

(3) 録音系には、既存の聴診器やマイクロフォンを活用する事とした。その為に、それらの性能調査を実施した。

(4) 記録系には、既存のオーディオ関連機器ソフトを活用する事とした。その為に、それらの性能調査を実施した。

(5) 処理系は、当初は既存のプログラム等を活用する事とした。その為に、それらの性能調査を実施した。

(6) 録音系～処理系が完成した後に、心音データを収集する事とした。健全者は周囲のボランティアから、非健全者は東京医科大学を訪れる患者から採取する事とした。

(7) 人工知能として、階層型ニューラルネットワークを採用する事とした。階層型ニューラルネットワークは、研究用に学習過程を詳細にモニターできる様なものを自作する事とした。

4. 研究成果

(1) 聴診器の歴史¹²⁾を顧みて、現在の聴診器が持つ科学的意義¹³⁾や特徴を整理した。心音診断に関する従来研究は、録音できる聴診器に関する研究と、心音を分析するシステムに関する研究に大別すると解り易いとする。概して、前者では簡便な録音を目指し分析は附属的な位置付けとされ、後者では汎用化が課題である。近年の聴診器におけるユニークな型を表1に纏める。

表1 近年の聴診器

- ・ダブル型及びトリプル型
- ・時差ダブルチューブ型
- ・中央突起膜面型
- ・周波数特性調整型
- ・ステレオ型

(2) 表2に、心臓検査法を一覧する。聴診は、無害で非侵襲な、優れた原初の検査法と見做されている。Litmann、HD Medical等が、録音、記録、表示機能付聴診器を市販している。便利だが、操作性は良くはない。Kickstarter社、Kukupia社、株式会社アド(福島県)等が、外部記録装置を活用した録音機能付聴診器を発表した。中には胎児やペットの心音録音用と言った精度度外視の物もあった。これらは、インターネットを通じて医療期間に心音データを送り、そこで診断をする事もできる。但し診断は概して、通院

表2 心臓検査法の比較一覧

| 検査方法 | 方法(原理) | 被曝 |
|---------|----------------------|-----------------------|
| 心機図 | 心音図 | 音を聴く。 : 無 |
| | 頸動脈波 | 脈圧を触るか聞く。 : 無 |
| | 頭静脈波 | 脈圧を触るか聞く。 : 無 |
| | 心尖拍動図 | 脈圧を触るか聞く。 : 無 |
| 胸部X線 | X線を用いて平面撮像する。 : 被曝 | |
| 心電図 | 標準12誘導心電図 | 肢誘導・胸部誘導の心電を測定する。 : 無 |
| | 長時間心電図 | 長時間測定する。 : 無 |
| | 運動負荷心電図 | 運動により負荷を与えて測定する。 : 無 |
| CT | X線により三次元撮像する。 : 被曝 | |
| MRI | 核磁気共鳴により三次元撮像する。 : 無 | |
| 心臓核医学検査 | RIを投与し対外撮影する。 : 被曝 | |
| カテーテル | 結核動態検査 | カテーテルを挿入する。 : 無 |
| | 心血管造影法 | カテーテルを挿入する。 : 無 |
| | 電気整理学的検査 | 電極カテーテルを挿入する。 : 無 |
| 超音波 | 断層心エコー | 反射波を測定する。 : 無 |
| | Mモード心エコー | 反射波を測定する。 : 無 |
| | ドップラー心エコー | 赤血球反射波を測定する。 : 無 |
| | 経食道心エコー | 食道や胃にファイバーを挿入する。 : 無 |

を促すか否か程度の極簡単な内容である。心音自動診断は、心音図自動診断に端を発している^{14,15)}。分析システムとして、例えば、漠然と異常がありそうかどうかを判定するシステム、一部の疾患を鑑別できるシステム¹⁶⁻¹⁹⁾等が開発されている。心音をFFTする事は既に考えられているが、汎用的な診断プログラムに繋がった例はない。聴診器の雑音除去^{20,21)}が重要課題の一つとして挙げられている。

(3) 録音系を、図2の聴診部の様に、既存の聴診器(例えばWelch Allyn製ハーバーDLX)やマイクロフォン COS-11D を活用し自作する事ができた。聴診器のベル面から極力近い場所にマイクロフォンを設置する事、広域でフラットな小型のマイクロフォンを使用する事、マイクロフォンの支持には反射率の良い素材を用いる事(硬質シリコンチューブと黄銅製留具を用いる)等が、高精度の録音に有効ではないかと考える。図1に、周波数特性が判っているスピーカーから鳴らしたホワイトノイズを聴診、録音した際に得られた、各聴診器毎の波形を一覧する。聴診器によって周波数特性が異なるが、医師が用いる聴診器であれば概して 300Hz 以下における差は小さい。

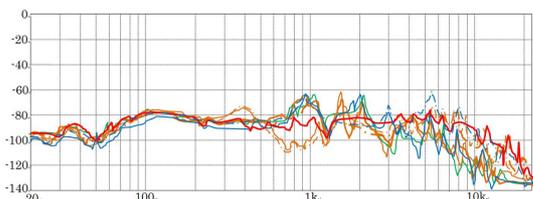


図1 ホワイトノイズ録音波形の聴診器依存性。

一方、いずれの聴診器も自己聴診するには質量や形等の点で改善が必要と考える。また、基本的には大型の膜無し面(オープンベル面)を用いるべきだが、特定の病気に対応する膜面も効果的と推察する。自分の聴診部位を素人が上手に押さえる事は難しいが、訓練する事で可能と考える。表3に、一般的な聴診部位を一覧する。3L、APEX から多くの情報を含む心音を得られる一方、実験結果として着衣時には 3L の聴診はかなり困難であり、特に女性が下着を着用している場合には APEX の聴診は不可能である事が判明した。即ち、心音自動診断の精度向上には、衣服も関わっている。尚、聴診器やマイクロフォンは日進月歩なので、今後も既存品の調査や録

表3 聴診部位の一覧

| 部位 | 音 | | 駆出音 | | | 音 | | 音 | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|--|
| | 三尖弁 | 僧帽弁 | 動脈 | 大動脈弁 | 肺動脈弁 | 僧帽弁 | 左心室 | | |
| | 27.5Hz | 27.5Hz | 49.0Hz | 34.6Hz | 36.7Hz | 25.0Hz | 25.0Hz | | |
| 2R | | | | | | | | | |
| 2L | | | | | | | | | |
| 3L | | ○ | | | | | ○ | | |
| 4L | | | ○ | ○ | ○ | | | | |
| 5R | | | | | | | | | |
| APEX | | | | | | | | | |

音系の改善検討を継続する

(4) 記録系を、図2の録音系の様に、既存のオーディオ関連機器ソフト(小野測器製FFTアナライザ)を活用して自作した。後過程の分析を考慮し、精度重視で実施したので、比較的大型になった。携帯する為の小型化は、今後の課題としたい。

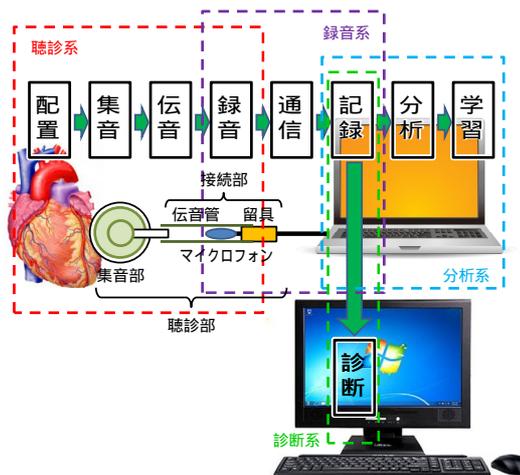


図2 システムの全体構成

(5) 処理系を検討した結果、従来の聴診器から得られる音声データの互換性、それを処理するプログラムの可塑性(設計変更できる柔軟性)、データ処理を実行する際の操作性等に難がある事が判った。そこで、汎用的な音声データ形式である WAVE 形式で録音、記録し、その曲面を二次元関数処理したデータを TXT 形式で出力できる処理系を、R 言語で自作した。

(6) 心音のデータを以下の通り集積し、それぞれの曲面データを得て、二次元関数処理を実施した。データ増しが今度の課題である。

20歳代から50歳代までの男女合計約20人の健全者から心音データを採取した。脱衣した場合と着衣の場合とで比較すると、着衣の場合の録音状態は悪い。聴診器を固定できないが故に発生する衣服の擦れ雑音はその原因の一つであり、衣服を通すと予想以上に録音レベルが下がる事も判明した。後者については、ベル面の大きさのある程度大きくし圧力を掛けて肌に押し付ける事で録音レベルを上げられる事が判明した。即ち、着衣のまま聴診する事を前提とするならば、現行聴診器をそのまま使えない。録音レベルの下がり方は衣服の種類に拠るが、定量的な評価は今後の課題である。周波数特性及び音量に関して、個人差が大きい事が確認できた。聴診部位を少し外すと、大きく録音レベルが下がるので、一般人や自宅等で自分の心音を聴診する事を念頭に置いた場合に、ある程度の熟練はどうしても必要と言わざるを得ない。

非健全者の心音データを採取する予定だ

| 時刻[ms] | ES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 2 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 4 | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 7 | 10 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 9 | 12 | 7 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 10 | 13 | 10 | 5 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 11 | 14 | 12 | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 10 | 13 | 13 | 6 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 9 | 12 | 13 | 6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 7 | 10 | 11 | 6 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 4 | 7 | 10 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 2 | 4 | 6 | 5 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 1 | 2 | 4 | 5 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 1 | 2 | 4 | 5 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

図5 ニューラルネットワーク入力データ例

の雑音に対する抵抗力を高める事も、今後の重要課題の一つと考える。音感を上げただけでは周囲の環境音も大きく拾ってしまうので、音量や周波数等に関するバランス選択や取捨選択の工夫が必要と考える。場合によっては、衣服の検討もすべきかも知れない。

< 引用文献 >

- 1) M. Postman・訳/GS研究会：“技術 vs 人間：ハイテク社会の危険”，新樹社（1994）。
- 2) 原量宏・他：“図説・日本の遠隔医療 2013”，JTTA，(2013) pp.1-7
- 3) 江鐘偉：“デジタル聴診器と触診センサシステムの開発”，山口大学，オープンラボ資料（2004）pp.81-84。
- 4) 橋本孝一・小田嶋洋兵・中川いずみ：“録音機能付き電子聴診器の使用経験”，日本透析医学会雑誌，46，Supplement 1，p.722。
- 5) 伊藤和也・他：“録音再生機能付電子聴診器を用いたシャント管理の試み”，第18回北海道臨床工学会，O-14（2007）。
- 6) 筑波大学附属病院：“臨床研修案内”，総合臨床教育センター（2016）p.3。
- 7) 医療現場の医師の私信。
- 8) H. Hishida：“Study on Viscoplastic Constitutive Equation and Its Application to Some Engineering Problems”，Doctor thesis，Nuclear Engineering Division of Tokyo University（1991-3）。
- 9) 吉村忍・菱田博俊・矢川元基：“ニューラルネットワークによる非弾性構成方程式のパラメータ決定法”，日本機械学会論文集A，59-559（1993-3）pp.518-525。
- 10) 吉村忍・矢川元基・菱田博俊：“非線形材料構成方程式のためのパラメータ最適化手法：階層型ニューラルネットワークの適用”，日本機械学会通常総会，日本機械学会，920-17A（1992）pp.133-135。
- 11) 菱田博俊・吉村忍・矢川元基：“ニューラルネットワークに基づく非弾性構成方程式のパラメータ同定”，日本機械学会関

西支部講演大会，日本機械学会，910-22（1991）pp.67-68。

- 12) R. T. H. Laennec：“De l'Auscultation Médiante ou Traité du Diagnostic des Maladies des Poumons et du Coeur”，Paris，Brosson & Chaudé（1819）。
- 13) 松井弘稔・他：“ステレオ聴診器による fine crackles の検討”，日本胸部疾患学会雑誌，30-349（1992）。
- 14) 竹中克・鈴木順一・塩田隆弘・天野巨・五十嵐力・渡辺文督・青木俊郎・園田誠・杉本恒明・樋口和彦・古瀬彰・佐藤功一・竹田博：“多数点同時記録心音図による自動診断”，J. Japanese Circulation，56 supplement（1992-3）p.199。
- 15) 下地悦朗・吉村正蔵・鈴木孝治・加藤慶次郎・常岡雅幸・塚田湧長：“心音図自動診断”，J Japanese Circulation，第59回日本循環器学会関東甲信越地方会，36-6（1972-8）pp.649-650。
- 16) 地悦朗・吉村正蔵・小沢仁・鈴木孝治・塚田湧長・林知己夫：“アナログ型心音自動診断装置の研究（ ）”，J. Japanese Circulation，33 Supplement（1969-2）p.119。
- 17) 下地悦朗・吉村正蔵・鈴木孝治・加藤慶次郎・常岡雅幸・塚田湧長：“心音図自動診断”，J Japanese Circulation，第59回日本循環器学会関東甲信越地方会，36-6（1972-8）pp.649-650。
- 18) 吉村正蔵・小沢仁・下地悦朗・鈴木孝治：“心音図の自動診断 - 主として計測過程を中心として”，J. Japanese Circulation，30-9，第39回日本循環器学会関東甲信越北陸地方学会（1966-9）p.1277。
- 19) 町井潔・関口寿・赤塚宣治・高野興三・三科大和・太田怜・花岡和一郎・吉利和・三浦茂・安部幸人・林寛：“アナログ方式による心音の自動診断”，J. Japanese Circulation，31 Supplement（1967-3）p.58。
- 20) 魚住善一郎・横井正史・岡本登・水野嘉子・岩塚徹・高橋春雄：“心音図自動診断の問題点：心音の認識と類似雑音の鑑別”，J. Japanese circulation，38 Supplement（1974-4）p.151。
- 21) 小田信貴：“電子聴診器で発生する摩擦音の除去”，高知工科大学，情報学群学位論文，(2014-3)。
- 22) 沢山俊民：“CD による聴診トレーニング 心音編”，日本医学出版（1996-6-20）。
- 23) 沢山俊民：“CD による心音シャワー・聴診の達人”，JMP CD ブックシリーズ，日本医学出版（1996-6-20）。
- 24) 菱田博俊・岳尾隼人・菱田啓子・御法川学：“音の心地良い聴覚情報としての有効活用の試行 - 第三報 イヤフォンのスペクトル特性調査方法の検討”，産業保健人間工学会，12（2010-10）pp.68-71。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

森崎由高、菱田博俊、黒野昭彦、徳植公一、樋口詩織、心音自動診断システムの実用化検討～第一報：録音及び一時分析系～、産業保健人間工学会 20 周年記念大会、2015 年 9 月 4 日～5 日、大阪市北浜フォーラム。平成 28 年度中に追加で学会報告予定。

〔図書〕(計 0 件)

「心音楽を聴く」の執筆出版を検討中。

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

平成 28 年度鎌倉教養セミナー、鎌倉市教育委員会主催、平成 28 年 8 月 25 日、神奈川県鎌倉市生涯学習センター音楽室：現時点で明らかになっている結果について、一般向けに講演予定。(その時、一般の方から希望者を募り、心音データ増しを試みる。)

平成 27 年度鎌倉教養セミナー、鎌倉市教育委員会主催、平成 27 年 8 月 29 日、神奈川県鎌倉市生涯学習センター音楽室：当時明らかになっていた結果について、一般向けに講演した。(その時、一般の方から希望者を募り心音の録音を試みたが、周囲の雑音を拾ってしまい録音は失敗した。)

ホームページ作成を検討中。

試作の携帯録音システムを改善し、それを用いて録音実験を今後実施し、データの一馬氏を試みる予定。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菱田 博俊 (HISHIDA, Hirotoshi)
工学院大学・工学部機械工学科・准教授
研究者番号：6 0 3 7 3 9 6 6

(2) 研究分担者

徳植 公一 (TOKUUE, Kouichi)
東京医科大学・医学部放射線科・主任教授
研究者番号：0 0 3 3 4 0 6 1

赤田 壮一 (AKADA, Souichi)
東京医科大学・医学部放射線科・教授
研究者番号：7 0 2 4 6 1 9 8
(平成 26 年死去まで研究分担者)

(3) 連携研究者

御法川 学 (MINORIKAWA, Gaku)
法政大学・理工学部・教授
研究者番号：1 0 3 1 8 6 0 2

(4) 研究協力者

黒野 昭彦 (KURONO, Akihiko)
小出 知実 (KOIDE, Tomomi)
樋口 詩織 (HIGUCHI, SHiori)
菱田 啓子 (HISHIDA, Keiko)
森崎 由高 (MORISAKI, Yutaka)
柳井 英介 (YANAI, Eisuke)