

心音録音手法の雑音耐性評価

小林 幸夫*¹, 佐藤 貴幸*²

Noise tolerance evaluation of heart tone recording methods

Yukio KOBAYASHI, Takayuki SATOU

In this study, we focused on the study of recording method which is hardly influenced by ambient noise. We carried out the noise tolerance experiment which evaluates the influence on quality of recording by ambient noise environment in 4 kinds of recording methods, then compared and evaluation its.

In the result, recording methods by piezoelectric transducer were hard to be influenced by ambient noise. And we clarified that if the noise doesn't be mixed in frequency band of heart sound, influence of noise could be controlled without the decay of quality of recorded heart sound by using low-pass filter which can cut frequency band higher than heart sound.

KEYWORDS : heart sound, auscultation training, piezoelectric transducer

1. はじめに

聴診器は、心臓から発生する可聴域の振動（心音）を捉える道具で、古くから内科診断のために使用されてきた。しかし、聴診器を使用し病状を判別することは、医師の長年の経験を必要とし、主観的な判断に左右されるものである。そのため、医学生に聴診を教えるのに時間と手間がかかり、後世にノウハウを残すことが難しい。また、近年ではX線検査や超音波検査などの医療技術の発展により、体内を動画像化することで視覚的かつ客観的な心臓検査が可能になった。こうした理由から、聴診器を用いた聴診の機会が減少し、医師の聴診能力は次第に低下していった¹⁾。これにより、熟練した聴診教育スタッフが減少し、医学生への聴診教育がなかなか進んでいない、という医学系大学での現状がある²⁾。

その対策として電子聴診器で録音した音や聴診教育用のCDを使用した聴診教育を行っているが、その音質は十分とは言い難い。

そこで当研究室では、自治医科大学黒木准教授の依頼を受け、医学生の聴診教育に使用できる高品位な心音の録音手法の検討と評価について研究を進めてきた。その結果、聴診器のチューブ内にマイクを埋め込み録音する方法が最も音質が良く、臨床用に使用可能であるという評価を得た。しかし、この方法では心音以外の周囲雑音（空調の音や話し声など）も同時に録音してしまい、録音環境によっては録音品質が損なわれるという指摘もあった³⁾。

本研究では、周囲雑音の影響の少ない録音手法の検討を行った。スピーカから白色雑音を提示した状態を疑似的に雑音環境下とし、その環境下で録音した心音の周波数解析を行うことで周囲雑音の有無が録音品質に与える影響を評価する、雑音耐性試験を提案した。

まず、実際の聴診時における雑音の影響を評価するため、人間の頭を模擬できるダミーヘッドマイクを用いた録音手法において雑音耐性試験を行った。次に、検討した4種類の録音手法において

*1 電気情報工学科(Dept. of Electric and Computer Engineering), E-mail: ykoba@oyama-ct.ac.jp

*2 H23 専攻科(Advanced Course of Electronic System Engineering)修了、(現在 小野測器株式会社)

も同様に雑音耐性試験を行い、各録音手法での比較・評価を行った。

2. 心臓・心音のしくみ^{4),5)}

心臓は血液を受け入れる心房と、血液を送り出す心室がそれぞれ左右にある4つの部屋から構成されている。そして、心室と心房の境界には房室弁、心室と肺動脈・大動脈の境界には半月弁があり、それぞれ血液の逆流を防ぐ役割を持っている。これらの弁の働きと心臓の筋肉の収縮・弛緩により、血液は、

①大静脈→右心房→右心室→肺動脈

②肺静脈→左心房→左心室→大動脈

という経路で全身に運ばれる。

心房が収縮、心室が弛緩することで心室内の圧力が下がると、半月弁が閉鎖して心室内に血液が流れ込む。そして心房が弛緩、心室が収縮することで心室内の圧力が上がると、閉鎖していた半月弁が開放して心室内の血液が肺動脈や大動脈に送り出され、開放していた房室弁が閉鎖する。そして心室内の血液を送り出すことで心室内の圧力が下がる。この動作を繰り返すことにより、心臓は血液を全身に循環させている。

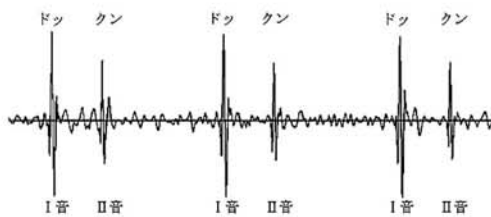


図1 心音の録音波形 (心音図)

心音は、この心臓の活動によって生じるもので、心臓の一回の拍動ごとに主に2回の音が聞こえる。一般には「ドッ」、「クン」、のように表現される音であるが、始めの音はI音、次の音はII音と呼ばれており、それぞれ主に房室弁の閉鎖、半月弁の閉鎖に起因するものと考えられている。I音はII音よりも比較的低い音であり、聴診する部位によってそれぞれの聞こえる音の大きさが異なる。

健常者は図1のようにI音、II音のみが聞こえる場合が多いが、心疾患など、心臓に病気を持った人はI音、II音以外に細かい雑音が聞こえる場合がある。こうした雑音は心雑音と呼ばれており、心臓の異常や病状を判別する際の重要な指標となる。心音を周波数解析した際の主帯域(I音、II音)は10~100[Hz]といわれているが、そうした心雑音は低域から高域にかけて20~1000[Hz]の帯域に広く分布する⁵⁾。

3. 雑音耐性試験

聴診において、心雑音を正確に聴き取る事は必要不可欠である。心雑音はI音、II音と比較しても小さく聴き取りにくい場合が多いため、心音録音の際に周囲雑音が混入すると、患者の心雑音を聴き取りにくくして病状判別の妨げとなる可能性がある。

そこで、無響室内においてスピーカから白色雑音を提示した状態を疑似的に雑音環境下とし、その環境下で録音した心音の周波数解析を行うことで周囲雑音の有無が録音品質に与える影響を評価する雑音耐性試験を行った。

雑音耐性試験方法を図2に示す。提示した白色雑音は音響・振動解析装置(小野測器 Graduo)を音源として使用し、パワーアンプ(Accuphase E-250)で増幅したものをスピーカ(Technics SB-440)から放射した。録音場所はスピーカの音響中心軸上1[m]の位置とした。その位置での白色雑音のFLAT特性音圧レベルを60[dB SPL]、80[dB SPL]に設定し、その数値は騒音計(小野測器 LA-1250)を用いて確認した。

それぞれの録音手法につき、雑音なし、60[dB SPL]、80[dB SPL]の3種類の条件で心音録音、周波数解析を行い、周波数スペクトルの変化の比較・評価を行った。

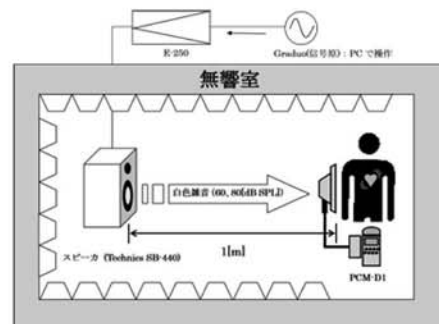


図2 雑音耐性試験方法

4. 実際の聴診時における周囲雑音の影響

実際の聴診時において、周囲雑音が聴診に与える影響を評価するため、ダミーヘッドマイクを用いた録音手法を検討し、雑音耐性試験を行った。その様子を図3に示す。

聴診器(Littmann Master Classic II)をダミーヘッドマイク(Neumann KU-100)に装着し、リニアPCMレコーダ(SONY PCM-D1)に接続し録音を行った。録音条件は、サンプリング周波数44.1[kHz]、量子化ビット数16[bit]とした。

人間の頭を模擬できるダミーヘッドマイクに聴診器を装着することで、人間が聴診器で聴く心音と同様な音を録音することが可能である。



図3 ダミーヘッドマイク録音

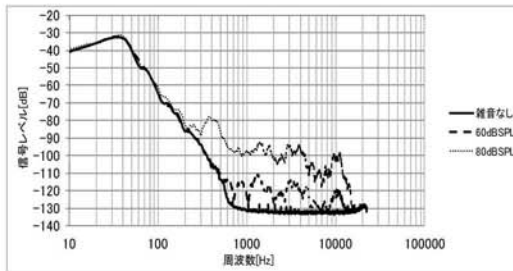


図4 雑音耐性試験結果

図4にダミーヘッドマイク録音における雑音耐性試験の結果を示す。雑音なしのスペクトルに比べ、60[dB SPL]、80[dB SPL]と雑音のレベルを上げるとスペクトルが変化している。これは心音録音時に周囲雑音が混入したため、元々の心音の成分に雑音の成分が加わったことを示す。

スペクトルの変化が200[Hz]以上の帯域で見られることから、I音、II音よりも、心雑音の帯域に多く影響を与えることがわかった。心雑音はI音、II音と比較しても小さい場合が多いため、元々聴き取りにくい心雑音が、周囲雑音の混入により更に聴き取れなくなる可能性が示唆される。

したがって、実際の聴診時には心雑音の帯域を含めた10~1000[Hz]の帯域内で雑音の混入がないことが望ましいと考えられ、心音録音にも同様の事がいえる。

5. 各録音手法における周囲雑音の影響

検討した以下の4種類の録音手法において、雑音耐性試験を行った。

a) 聴診器埋め込みマイク録音 (図5)

聴診器のチューブをカットし、チューブ内に小型コンデンサマイク (Sanken Cos-11X) を挿入し、レコーダに接続して録音を行った。最も音質の評価の高かった録音手法[3]であるが、心音以外の周囲雑音も同時に録音してしまい、録音環境によっては録音品質が損なわれるという指摘があった。



図5 聴診器埋め込みマイク録音

b) 電子聴診器 (AD Instruments MLT206 : 図6(a))

MLT206は聴診部にコンデンサマイクを使用した電子聴診器である。本体のアナログ出力をレコーダに接続して録音を行った。

c) 電子聴診器 (Littmann Model 4100 : 図6(b))

Model 4100は聴診部に圧電素子を使用した電子聴診器である。また、空気中を伝わってチェストピースの隙間から入ってくる雑音、体内を經由して聴診器に入ってくる雑音の2つの音を相殺することで、雑音を低減させる技術 ANR (Ambient Noise Reduction) テクノロジーという独自の騒音低減機能を持つ。しかし、録音した音質は悪く、心音の間に揺れるような雑音が混入するという指摘があった³⁾。仕様上この録音手法のみ、本体の録音機能を使用し、サンプリング周波数8[kHz]、量子化ビット数16[bit]の条件で録音を行った。



(a) MLT206



(b) Model 4100

図6 電子聴診器

d) 圧電聴診器録音 (図7)

圧電聴診器は当研究室で試作したもので、聴診部に圧電素子であるPVDFフィルムとプリアンプを内蔵したコンタクトマイク (東京センサCM-01B) を使用している。圧電聴診器をレコーダに接続して録音を行った。



図7 圧電聴診器

図8にそれぞれの録音手法における雑音耐性試験の結果を示す。

(a)聴診器埋め込みマイク録音と(b)MLT206では、雑音によるスペクトルの変化が大きくなった。

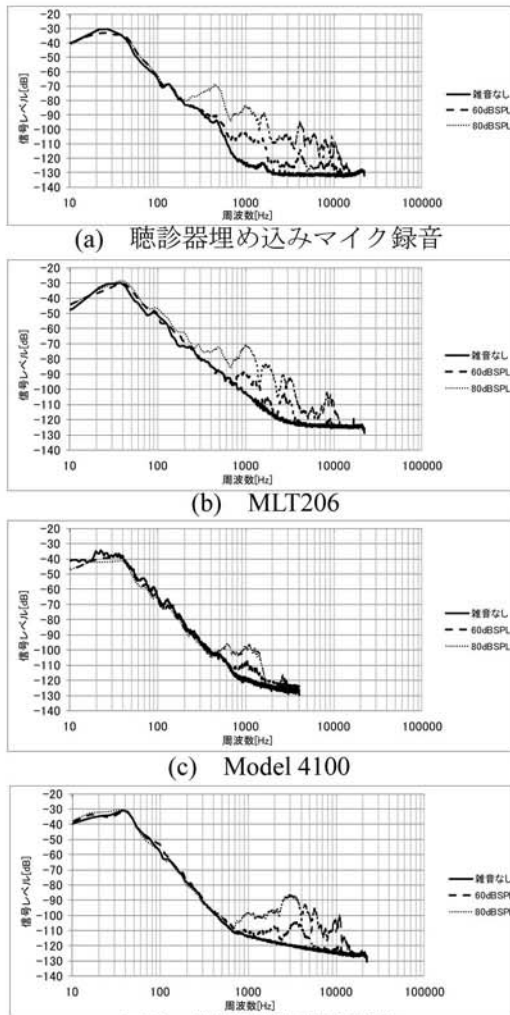


図8 雑音耐性試験結果

これは、空気振動を捉えるコンデンサマイクによる録音手法が、周囲雑音の影響を受けやすいためだと考えられる。

(c)Model 4100では、他の録音手法と比較してスペクトルの変化が最も大きく抑制された。この理由として、固体振動を捉える圧電素子が周囲雑音の影響を受けにくいことが挙げられる。また、独自の騒音低減機能である ANR テクノロジーの効果も含まれていると考えられる。

(e)圧電聴診器では、他の録音手法と比較してスペクトルの変化が最も高域側に現れた。これは、聴診部が小さく、筐体の機械的な共振周波数が高くなったため、周囲雑音によるスペクトルへの影響が高域側に現れたと考えられる。また、聴診部に圧電素子が使用されているため、(a)や(b)と比較して雑音によるスペクトルの変化も抑制された。

圧電聴診器の雑音の影響は高域側で、心音の周波数帯域(10~1000[Hz])での影響はほとんど見られないため、ローパスフィルタで心音以上の帯域

をカットすれば、心音に影響を与えずに雑音を更に抑制できると考えた。そこで、圧電聴診器とレコーダ間にマイクアンプ(小野測器 AU-2100)を接続し、内蔵のローパスフィルタ機能(遮断周波数 $f_c=1$ [kHz])を使用して同様に雑音耐性試験を行った。その結果を図9に示す。

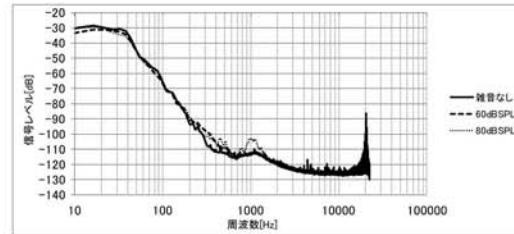


図9 圧電聴診器+ローパスフィルタ

図8(d)と比較すると、20[kHz]付近にマイクアンプに起因するノイズが混入しているが、ローパスフィルタにより1[kHz]以上の帯域の雑音がカットされ、雑音の影響を更に抑制することができた。最も雑音の混入が抑制されていた図8(c)と比較しても、スペクトルの変化は小さくなり、また聴感上でも雑音が全く気にならない程度まで減少したことが確認できた。したがって、圧電聴診器とローパスフィルタを組み合わせることで、心音に影響を与えることなく、より高い雑音耐性を得ることができ、雑音環境下でも高品位な心音録音が可能であることがわかった。

6. 今後の課題

今後、雑音耐性の高かった圧電素子を用いた録音手法の開発を検討する必要がある。具体的には、より高感度で音質の良い圧電聴診器の試作や、心雑音に影響を与えずに雑音を抑制できるようなローパスフィルタの遮断周波数 f_c の数値の検討を行う。これらの課題を克服し、最終的には、医学生の聴診教育に使用できるような高品位な録音手法の確立を目指す。さらに、実際の診察現場でも使用できる、PCに接続可能な新しい聴診システムの開発を行う予定である。

参考文献

- 坂本二哉：“現代心臓病学における心臓聴診の意義”，Heart&Wellness 臨床 ME インフォメーション NO. 23 『聴診の臨床的意義』(2008)
- 森 経春：“CD-ROMを用いた視聴覚教育 ～IT化時代の新しい聴診教育を探る～”，心臓病学の卒前・卒後教育 2, pp. 85-87 (2002)
- 神山慎平 梁島啓多 小林幸夫 黒木茂広：“心音録音手法の検討と評価”，電気学会研究発表会資料，ETT-09-27, pp. 82-85 (2010)
- 石川道雄：“教養の生理学”，南山堂，pp. 69~73(1970)
- 綿貫貞：“医用電子・生体工学概論”，コロナ社，pp. 142~148 (1977)

【受理年月日 2012年 9月28日】