

体表密着型マイクを用いた体導音と発話の 収録の試み

川波弘道[†] 鹿野清宏[†]

近年ライフログへの関心が高まり、音声もその重要なメディアとなっている。それに対し体導音は体の状態を示す重要な情報ではあるものの、その収録が簡単でないこともあり注目されることが少ない。そこで、ワイヤレス通信を可能とした非可聴つぶやき(NAM; Non-Audible Murmur)マイクと、NAMマイクを心音収録用に改造したマイクを用いて高品質な体導音を収録する試みを行った。心音収録用に改良したNAMマイクを胸部に設置して静環境下や実環境下で収録した音を分析した結果、心音、消化器音、呼吸音、嚥下音などの体内音のみならず、従来のNAMマイクによる收音同様、4k [Hz]以下の成分のみではあるものの発話や外部雑音も収録可能であることが分かった。

Trial for Recording Body-conducted Sound using a Body Attached NAM Microphone

Hiromichi Kawanami[†] and Kiyohiro Shikano[†]

Recently, researches concerning Life-log have been focused. Speech is one of the most important media for life-logging. However, body-conducted sound is not mentioned yet although it is also important media which indicates current state of a body. In this report, trial for recording high-quality body-conducted sound is described. A conventional wireless NAM (Non-Audible Murmur) microphone and a NAM microphone which is arranged to collect heart beat sound are used in the recording experiments. The analysis of the recorded sound indicates that they can record inner body sound such as heart beat, from digestive organs, breathing and swallowing and so on. Speech and environmental sound can also be recorded although the frequency characteristics are limited up to 4k [Hz] as same as NAM or ordinary speech picked up on the conventional microphone position, the side of the neck.

1. はじめに

人の行動を電子的な手段で記録するライフログ技術に注目が集まっている 1). 活動において他者の助力が必要な人の見守りを目的としたものから、記録を分析し行動の改善を図るもの、さらには記念アルバムのような形で経験を残すことを趣旨とするものまで幅広いサービスと需要が見込まれる。

それを実現する技術的背景としても、マイクやカメラ、歩行感知センサなど多様なセンサを組み込んだ環境を整備した空間内で行動を外部から記録するものから、本人がマイクなどのセンサを装着して自由に移動し、何らかの方法で取得した位置情報と合わせて記録する形式まで様々なものが提案されている (例えば 2,3)).

しかしながら、外から人を観察したり外部の情報を記録したりするためのセンサに関する技術は高度なものが実現されているが、人の体内の情報を記録する方法は限られている。特に任意に移動を行う人の内部をモニターするためにはセンサや記録手段の携帯性が重要になるが、それを満たす機器やサービスは非常に限られている。

ことに健康管理の見地からは体内の状態を常時記録できることへの要求は高く、心音をはじめとして体内の音の記録も重要である。しかしながら音に関しては、通常発話はタイピンマイクなど外部マイクによって高品質かつ携帯性の高い収録環境が整備されているが体内音を収録する手段は一般的には実用化されていない。筆者らはこれまで、周囲に聞こえないくらい小さなささやき声(非可聴つぶやき; Non-Audible Murmur, NAM)を收音する体表密着型マイク(NAMマイク)を開発、NAMが音声認識 4)、話者認識 5)、声質変換技術の入力 6) として有効であることを示し、新たな入力メディアとして推進してきた。

NAMマイクは設置する場所によって、NAMや通常声だけではなく様々な体導音、具体的には体内に音源がある心音、呼吸、蠕動音などの体内音や、身体を通して伝わった外部雑音も収録される。これらの体導音は個人の状態の記録として重要な情報であるが、従来は収録機材の携帯性の観点から収録が簡単ではなかった。

本報告ではNAMマイクを用いた体導音の収録の可能性を検討する。特に、心音を主とした体内音と通常発話の収録品質に注目し2種類のNAMマイクを用いて研究室内での収録音を分析する。脈拍・呼吸情報の低負担な収録のためにNAMマイクの有効性を検討する試みはすでに行われているが 6)、ここでは得られた信号から心拍数等をどの程度抽出できるかなどの検討までは行わず、実環境で1時間程度の長時間収録実験を数回行った結果から、そのデータのライフログとしての利用可能性を探ることに留める。

次節では本報告で用いる2種類のNAMマイクについて概説し、静環境下で収録し

[†] 奈良先端科学技術大学院大学・情報
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

た音に対する分析を行う。3節では実際の生活環境下で収録したデータを紹介し、4節でこれらのデータの利用方針を考察した後、本報告をまとめる。

2. NAM マイク

NAM マイクの基本構造を図1に示す。コンデンサマイクを、人の筋肉と音響インピーダンスが近いシリコンやウレタン樹脂で包んだ構造を持つ。これを首筋に密着させることで、声道内の乱流を音源とする振動を骨による妨害なく収録することができる。その結果、周囲に聞こえないくらい小さなささやき声(NAM)をシステム入力として用いることが可能となり、NAM 音声認識や話者認識、無音声電話(NAM から通常音声への声質変換)が可能となった(4-6)。

ただし、NAM マイクで体表から収録された NAM や通常音声では 4k [Hz]以下の成分しか観測されない。これは体内伝播の過程の高域減衰や口腔からの放射特性が反映されることが影響すると考えられるが、この構造を持つ NAM マイクそのものが、 -17dB/oct. の特性を持つことが精密な測定により確認されている(8)。

以下、本報告で用いた2種類の NAM マイク(ワイヤレス NAM マイク、体内音マイク)と比較のための電子聴診器、それらを用いて室内で収録した体内音と音声の特徴について述べる。

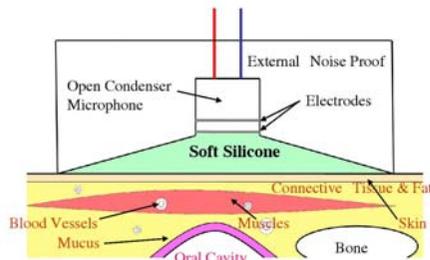


図1 NAMマイクの構造

2.1 マイク

(1) ワイヤレス NAM マイク

図2-1にワイヤレス NAM マイクの外観を示す。ミツミ社製 NAM マイクを Bluetooth によるワイヤレス通信器とマイクアンプに組み込んだものである。図中、白い長方形のものが送信機、その上の黒い長方形のものが受信機である。図中の単三電池は大きさの比較のためのものである。NAM マイクは送信機に埋め込んであり、中央の黒い円形部を体表に密着させて使用する。送信された信号は受信機でいったんアナログ信

号に変換して出力され、デジタル録音機で再び A/D 変換される。

本実験ではマイク(送信機)はクラフトテープを用いて胸部に密着させた。

(2) 体内音マイク

本実験で体内音マイクと呼称しているマイクは、胎児心音の収録を目的として NAM マイクを改良したものである。横臥状態の被験者の腹部にマイクを乗せても安定するよう、マイクフォルダを真鍮製とした有線式マイクであり、安定性に加えて収録範囲の拡大を期待して体表接触面の直径を 30mm に拡大している。内部に収納しているマイクは 6mm 径のコンデンサマイクである。充填剤としてシリコンを用いたものとウレタンを用いたものを作成しているが、ここではウレタンを用いたものを用いた。胸部への密着にはワイヤレス NAM マイク同様、クラフトテープを用いた。

体内音マイクによる収録システムを図2-2に示す。中央の円形のものマイク本体である。この体内音マイクを用いた収録では、図中のタイピン型コンデンサマイク SONY ECM-77B を服の胸部につけ2チャンネルで収録し、外部音として参照した。



図2 体表密着型マイクによる収録システム

2-1(左上): ワイヤレス NAM マイク収録機材 (白が送信機, その上の黒が受信機),

2-2(右上): 体内音マイク (円形がマイク, その上は参照用マイク ECM-77B),

2-3(下): 電子聴診器 (Littmann Model 3000, ダミーヘッド NEUMANN KU-100)

(3) 電子聴診器

体内音の聴取を目的とした従来機器として、電子聴診器(Littmann Model 3000)による収録も行った。聴診器(チェストピース)は持ち手と一体化され複雑な形状をしているため被収録者自身が手で持って固定した。また聴診器のイヤークリップをダミーヘッド(NEUMANN KU-100)に挿入して収録した。収録システムを図2-3に示す。本器は出力する周波数帯域によって「ベルモード」(20 - 200 Hz)と「ダイヤフラムモード」(100 - 500 Hz)が選択できるが後者のみを示す。

2.2 体内音と発話の収録

体内音と音声の収録は PC 雑音のみがある研究室内(37 dBA)で行った。心音をもっともよく聴取できる胸部の点を収録者自身が聴取で探り、その位置で収録した。データ形式は 44.1kHz, 16bit PCM, 録音機は SONY ICD-SX950 を用いた。体内音マイクと電子聴診器での収録ではタイピン型エレクトレットコンデンサマイク SONY ECM-77B を衣服の胸部につけ、2チャンネルで収録した。

発声内容は奈良県生駒市の実環境音声案内システム「たけまるくん」への入力を想定したユーザ発話 18 発話を 2.3 秒間隔で発声したものである。

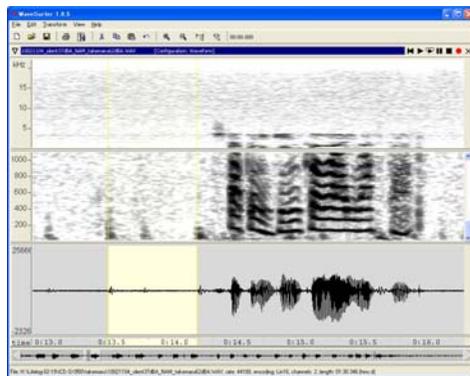


図3 ワイヤレス NAM マイクによる収録音のスペクトログラムと波形
(「近くに銀行はありますか」)

(1) ワイヤレス NAM マイク

図3に、「近くに銀行はありますか」という発話の波形とスペクトログラムを示す。ハイライトされている区間は心音の一周期である。上段のスペクトログラムは全帯域

を表示したもので、4k [Hz]より高い音はほぼ収録されていないことが分かる。(ただし文頭の破擦音では 5k [Hz]以上の帯域にもパワーが観察されている。)中段のスペクトログラムは 1k [Hz]までの帯域を拡大したものである。ここで収録された体内音は低域に強い成分を持つ心音のみあるが、スペクトログラムからその帯域の音も収録可能であることがわかる。

(2) 体内音マイク

図4は上半部に体内音マイク、下半部に外部マイクによる音のそれぞれスペクトログラムと波形を示したものである。やはり図中でハイライトされている範囲は心音の一周期に対応する。ワイヤレス NAM マイクと同様、ほぼ 4k [Hz]以下の成分のみを持つが低域まで収録可能であることがわかる。外部マイクでは体内音は収録されていない。

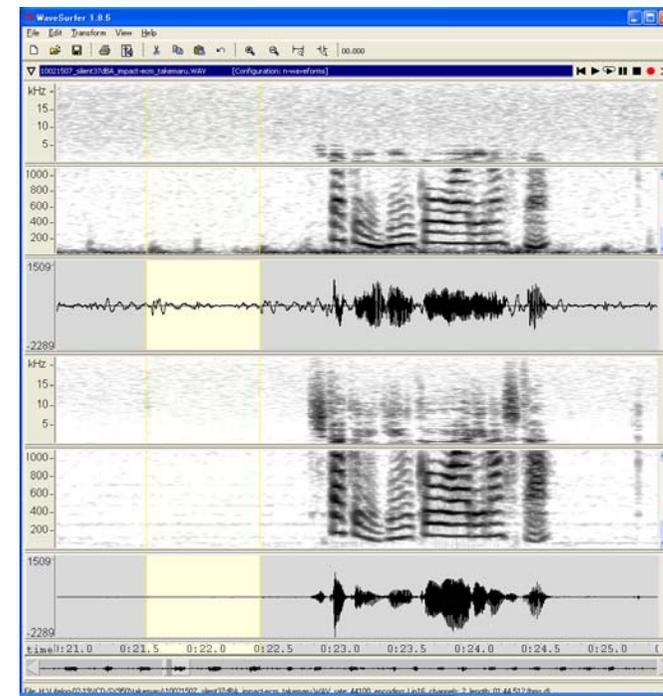


図4 体内音マイク(上)と外部マイク(下)による収録音のスペクトログラムと波形
(「近くに銀行はありますか」)

(3) 電子聴診器

図5に電子聴診器(Model 3000)のダイヤフラムモードで収録した音の波形とスペクトログラムを示す。聴診器内部で体内音に適合した帯域制限処理が行われているため、波形からも明瞭に心音が観察できる。2つのNAMマイク同様、4k [Hz] までの成分が収録されているが摩擦音の箇所のみ高域まで収録されている。これはダミーヘッド耳介内のマイクから入りこんだものとも考えられるが、摩擦音のみで観測されている現象である点は図3の文頭とも共通しており、別の要因である可能性がある。

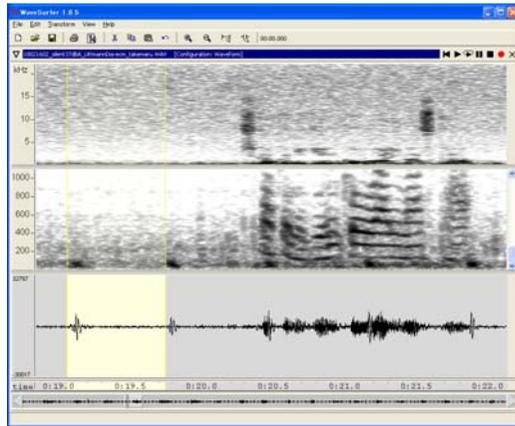


図5 電子聴診器(ダイヤフラムモード)による収録音のスペクトログラムと波形。
(「近くに銀行はありますか」)

以上の収録結果から、ワイヤレスNAMマイク、体内音マイクのいずれを用いても胸部体表面で心音と音声を収録できることが分かった。

音声はNAMマイクで収録した音の特性として、ほぼ4k [Hz]以下の成分のみを持つ「こもった」音声となるが、発話内容や話者性は保持されている。

2.3 その他の体内音や外部雑音

2.2節の収録の前後では非発話時の音の収録も行っている。その収録音の聴取から、心音以外にも、消化器の音、嚥下する音、比較的大きな呼吸音、歩行音(ただし衣服との擦れによる雑音として)が収録できることを確認している。図6に消化器系が音源である音の例を示す。左図はいわゆる「腹の鳴る音」が擬周期信号として観察できる。右図は飲料を嚥下した音(0:15:20, 0:15:27頃)とその直後に起きた消化器が発する雑音が収録されている。

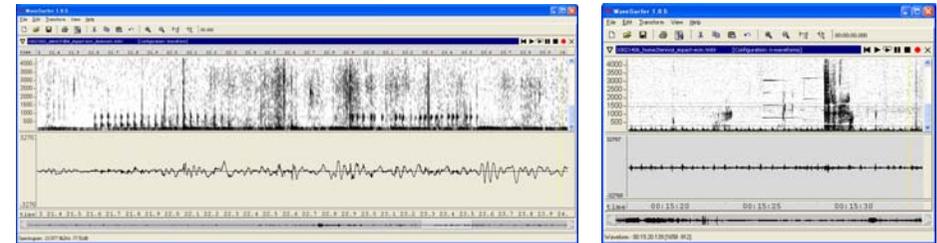


図6 体内音マイクによる体内音(左: 胃腸音, 右: 飲料嚥下前後の音)

図7は、駅の構内で収録した実環境雑音を、2.2と同じ室内で60 dBAになるようにスピーカーから再生させた環境下で、通常発話を行ったものである。図上半部は体内音マイクによるスペクトログラムと波形、下半部は外部マイクによるものである。雑音は混入するが、基本的にマイクと音源の距離は接話型マイク程度に近いので、高S/N比が維持できる。

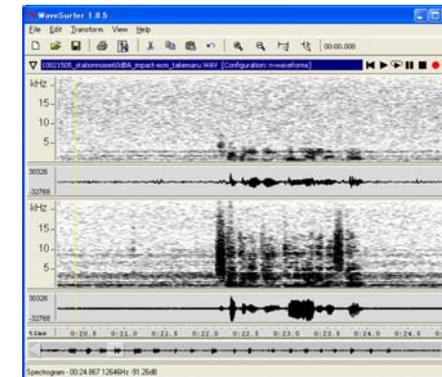


図7 駅雑音60dBA再生下で収録した体内音マイク音(上)と外部マイク音(下)のスペクトログラムと波形(「近くに銀行はありますか」)

3. 実環境収録データ

前節で紹介した体内音マイクを用いて、実環境データを収録しデータベース化を進めている。2種類のNAMマイクは収録性能の点では同等であるが、歩行時でも胸部に安定して固定できるという点で、ケースに起伏が無く体表密着面積の大きい体内音

マイクを主に用いて収録している。マイク形状とワイヤレス通信機能の有無は独立しているため、将来的にはこの体内音マイクをワイヤレス化することも検討できる。

これまでに体内音マイクを用いて収録した主な実環境データのリストを表1に示す。収録者は男性1名である。

表1 主な実環境収録データ

	心音マイク		ワイヤレス NAM マイク	
屋外	1. 家～自動車内～駅～電車内～駅・(発話なし)・外部マイク同時収録(図8参照)	60分		
	2. 駅構内・2名による対話・外部マイク同時収録	25分		
	3. 電車内・2名による対話・外部マイク同時収録	5分		
	4. 駅～自動車内・3名による対話・外部マイク同時収録	20分		
屋内	5. 食堂(食事中)・3名による対話・外部マイク同時収録	40分	8. 居間(就寝中)	60分
	6. 講演会場・外部マイク同時収録	90分	9. 研究室(デスクワーク中)	12分
	7. 大学内移動・2名による2対話を含む・腹部で収録	30分		

実環境収録データには環境音、体内音、発話が混合した音が収録される。一例として表1の屋外収録データからデータ1の波形を図8に示す。これは収録者が家から車で駅に行き電車に乗って目的の駅まで移動するまでの1時間分の収録音である。上段が体内音マイク、下段が外部マイクである。図中ハイライトしているのは乗用車運転中の箇所である。体内音マイクでは低域にパワーを持つ車のエンジン音が人体を通して収録され、大きな波形振幅となっている。それを除く、体内音マイク収録音で振幅が大きな箇所は歩行中の音である。歩行音そのものではなくマイクと衣服とのすれる音が収録されてしまうが、結果的に大域的な表示から大まかに静止時と移動時を見分けることが可能となっている。

また、ワイヤレス NAM マイクの効果的利用の可能性として、意識的な姿勢制御ができないため有線マイクでは収録が困難となる就寝中の音を収録した。就寝から1時間



図8 屋外収録データ(上:体内音マイク,下:外部マイク。ハイライトしている区間は乗用車運転中,その他の体内音マイク振幅が大きな箇所は歩行中,他は電車内)

後の覚醒までの音データから、寝返り、呼吸の様子や覚醒前後の心拍の変化などが観察できる。

4. 体内音マイクの活用

これまでの結果を通して、体内音マイクによる収録音の有効かつ実現可能な活用方法を考察する。

体内音マイクを用いた収録を行う意義には大きく2つの方向性が考えられる。1つは、(1) 医療的見地から身体情報である体内音を積極的に利用し、発話は音声メモとして副次的に使うというものである。(声帯や声道の健康状態の反映として発話を分析することもできる。) 他方は、音の記録の一部として体内音も追加するというものである。前者であれば外部環境音は不要な雑音であり、後者であれば所望の体内音さえ収録可能であれば自分の声や外部環境音は高品質で収録することが望ましい。

4.1 体内音の積極的利用

健康管理等、医療的見地から収録音の利用方法を検討する。

胸部で収録した音からは、第一に心音が明瞭に観察される。そのため心拍数の常時モニタリングの一助となることが期待できる。また、ある種の特定の体内音が生じたかどうかを検出したい場合があれば、キーワード探索や発話区間識別技術が

採用できる。これらはマイク接触面からの音の混入を防ぐための機械的工作或や、雑音抑圧処理と合わせて行うことで大いに実現が期待できる。ただし、環境雑音による振動が体内をどの程度伝播しているかを調査する場合には体内伝播した環境音とマイク表面から混入した環境音とを区別して取り扱う必要がある。

4.2 音環境の記録の一部としての体内音収録

マイクを着用することで高い携帯性を実現すること自体もライフログのためには重要な要素である。そのため体表に密着させて携帯できること自体に意義があり、そこで収録される体内音は所望のもの以外には関心が無い場合、不要な体内音を抑圧あるいは必要なものだけを強調するというアプローチが考えられる。ただし、必ずしも体内音マイクだけを用いて外部環境音や発話まで収録する必要はないのであるから、それらの収録のために別途外部マイクを装着し、体内音に関しては前項のように体内音マイクで収録して音から外部雑音の影響を抑圧することが適切であろう。

5. おわりに

体表密着型マイクを用いて体内音と発話を収録することの可能性を検討した。収録された音には心音、消化器音、呼吸音をはじめとした体内音のみならず発話や外部環境音も収録可能であることが分かった。ただしNAMを用いたこれまでの実験と同様、4k [Hz]以下の成分しか収録されないため、高域成分のある音に関しては大まかな記録であることを許容するか他の記録手法を使う必要がある。

今後は、実環境収録音の発話区間検出、体内イベント検出、心拍数推定実験により、体内音マイクの有効かつ実用的な利用形態を探索する。また、外部マイクや動画カメラなど、他の携帯可能な記録媒体との効果的な記録方法も検討する。

謝辞 本研究は総務省・戦略的情報通信研究開発推進精度(SCOPE)の支援を受けた。

参考文献

- 1) 相澤清晴, ライフログ: 体験の情報処理, 第2回音声ドキュメント処理ワークショップ講演論文集, pp.33-40 (2008)
- 2) G. C. De Silva et al., An Interactive Multimedia Diary for Home, *IEEE Computer, Special Issue on Human Centered Computing*, Vol.40, Issue 5, pp.52-59 (2007)
- 3) V. Sunil et al., An Audio-Based Personal Memory Aid, *UbiComp 2004*, Vol.3205, pp.400-417 (2004)
- 4) 中島淑貴他, 非可聴つぶやき認識, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-D-II, No.9, pp.1757-1764 (2004)
- 5) M. Kojima et al., Speaker Verification with Non-Audible Murmur Segments, *INTERSPEECH2006*, pp.2114-2117 (2006)

- 6) 戸田智基他, 混合正規分布モデルに基づく非可聴つぶやき声(NAM)から通常音声への変換, 電子情報通信学会技術報告, SP2004-107, pp.67-72 (2004)
- 7) 下ノ村英雄他, NAM(Non-Audible Murmur)マイクロホンを用いた脈拍・呼吸情報の低負担収集, 電子情報通信学会技術報告, HCS2004-39, HIP2004-84 (2005)
- 8) 清水奨太他, 非可聴つぶやき声の音響的特徴とNAMマイクの応答特性, 電子情報通信学会技術報告, SP2007-38, pp.85-90 (2007)