

## マイクロフォンセンサを用いた在宅行動モニタリング

品川佳満\*1 岸本俊夫\*2 太田 茂\*3

### はじめに

独居高齢者の見守り機器として、小型無線発信機を用いる緊急通報システムは有名である。応需体制に余裕がある福祉先進国のデンマークでは、この仕組みを些細な要件でも利用することが可能であるが、日本の場合、命に関わる緊急時の場合のためという位置づけになっている。そのため、不用意に触れることがないようにどこかにしまいこまれた発信機が緊急時に役立つかどうかは疑問であり、また、たとえ発信機を持っていたとしても急病で押せない場合もある。さらに、応需側にとっても突然の通報だけでは事態の経緯がよく分からない問題もある。

このような問題点を解決するために、高齢者の状況を24時間見守るための技術に関する研究やシステム構築が国内外を問わず行われており、例えば、日常生活の中から生体情報を無拘束、無意識で取得するもの<sup>1-4)</sup>から、宅内での姿勢状況や移動状況<sup>5-9)</sup>、電化製品の使用状況を計測するもの<sup>10-12)</sup>まであり、そのほとんどがリアルタイムセンシング技術を応用したものである。特にこのような分野は、最近、「e-house」「e-healthcare」と呼ばれる構想の一部として研究が進んでいる<sup>13)</sup>。

そのリアルタイムセンシング技術の中で、日常生活における活動パターンは健康状態をよく反映すると考えられ、さまざまなセンサで検出する試みがなされている。例えば、カメラにより画像を撮影するもの<sup>5)</sup>、タッチセンサ、マグネットスイッチなどで電気ポットなどの家電の使用状況を検知するもの<sup>10,11)</sup>、開閉センサ、通過センサ、焦電型赤外線センサなどで家の各部屋の活動を検知するものがある<sup>6-9)</sup>。これらのセンサは、無意識無拘束のもとで計測できることはもちろんのこと、比較的安価にシステムが構築できる。さらに複数の部屋に設置することで、つねに高齢者の行動状況を把握でき、24時間の見守りも可能となる。しかし、問題点もいくつ

かあり、例えば、カメラによる手法は姿を直接撮影するためプライバシーに関する問題があり<sup>14)</sup>、また姿を撮影しない方法に用いられるセンサ(タッチセンサ、マグネットスイッチ、開閉センサ、通過センサ、赤外線センサなど)から得られる情報は、ON/OFFの2値データであるため生活状況を推測するには情報量が少なすぎる場合もある。

このような状況を考え、姿を撮影せず、さらに連続的に日常生活状況を計測できる手法として、今回マイクロフォンセンサを利用して生活の中で発生する音を計測することで宅内での行動をモニタする研究を行った。本研究の最終的な目的は、日常を元気に生活している独居高齢者が安心して在宅で暮らせるために、家庭内で発生する音を計測することで、家庭内事故などの異常事態を検知するシステムを開発することである。本稿では、まず基礎研究として生活音計測のためのシステム開発と、そのシステムから得られた情報について考察した結果を報告する。

### 方 法

#### 1. 生活音計測システム

本研究で開発した生活音計測システムを図1に示す。エレクトレット・コンデンサ・マイクロフォンを利用し、宅内で発生する音圧を収集する。マイクロフォンセンサで検知した微小信号(V)をアンプで増幅し、8chの接続装置に送り、A/D変換器(NR-500, NR-HA08, 株式会社キーエンス)を介して、コンピュータに取り込む。マイク部に関しては、マイクの感受方向を(a)床用と(b)空間用の2種類(図1拡大部分)を用意し、これらのマイクを被験者のよく活動する部屋の床や壁に設置する。

#### 2. 計測実験

実験は、生活音計測システムの被験者として同意を得た30代の女性独居者宅で行った。被験者に研究の意義や趣旨を事前に説明し、納得頂いた上で、センサの設置場所を決定した。図2に被験者宅の間

\*1 大分県立看護科学大学 健康情報科学研究室 \*2 有限会社 福祉システム研究所

\*3 川崎医療福祉大学 医療技術学部 医療情報学科

(連絡先)品川佳満 〒870-1201 大分市廻栖野2944-9 大分県立看護科学大学

E-Mail: shinagawa@oita-nhs.ac.jp

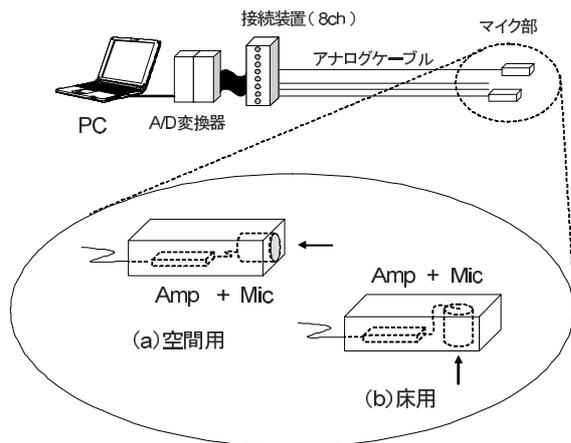


図1 生活音計測システム

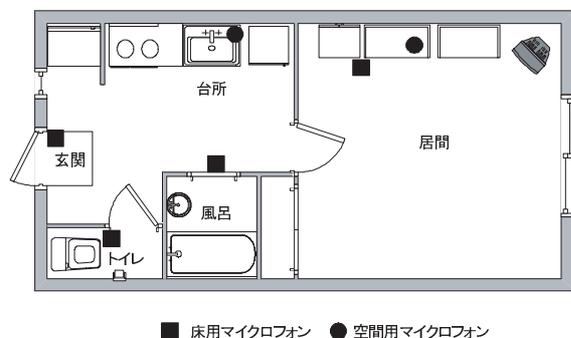


図2 被験者宅の間取りとセンサの設置場所

取り図およびセンサの設置場所を示す。なお、被験者宅の床は玄関の出入口部分を除いてすべてフローリングである。床用( 図中 )のマイクロフォンセンサを玄関、居間、トイレ、浴室前の4カ所に、空間用( 図中 )のマイクロフォンセンサを台所、居間の2カ所に設置した。計測データについては、プライバシーに配慮するために、宅内で発生している音の強弱と音圧の変動パターンのみ分析することを被験者に説明し、人の声や会話は分析しないことも付け加えて説明した。計測は、2005年5月9日~6月11日までの約1ヶ月間行った。

### 3. 分析方法

本研究では、マイクロフォンセンサが検知した音圧データを1日単位にまとめ、その音圧の変動パターンを解析した。まず、各マイクロフォンセンサの信号をA/Dコンバータにて1KHzでサンプリング後、100ms毎にその中での最大値を求め、さらに、その最大値を10分単位で積分し、1日の室音パターンとした。この時、何も音が発生していない状態でマイクロフォンセンサが拾っているノイズによる影響を除去するために、無音状態で各マイクロフォンセンサが出力している値の上限値を求めておき、そ

の値以上の出力値のみ積分することにした。この室音パターンから、まずセンサの設置場所に関する検討をするために、計測開始から3日目までのデータを用いてマイクロフォンセンサ間の室音パターンの相関を求めた。次に、室音計測によるパターンが日頃の行動パターンの類似性を表現できているか、各センサの室音パターンを合計したものを1日の室音パターンとして、パターン間同士の類似度を求めた。なお、類似度の算出は、人間の行動の時間ずれを考慮し、動的計画法(DP: Dynamic Programming)によりパターンマッチングを行った。なお、DPマッチングを行う際には、その日の全積分値で各時刻の積分値を割り、室音パターンの正規化を行った。

## 結 果

### 1. 室音の変動パターン

図3に各部屋に設置したマイクロフォンセンサにより計測した(a)平日と(b)休日の1日の室音パターン例を示す。図の横軸は時刻であり縦軸は、100ms毎に求めた最大値を10分単位に積分した値(V)である。本実験の被験者は、基本的に月、水、金曜日は8時~20時頃まで外出し、火、木曜日は、午後半日外出という行動パターンをもっている。図3(a)の平日は月水金曜日にみられる1日外出しているパターンであり、朝起床してから出かけるまでの間と、帰宅後から就寝するまでの時刻について主にマイクロフォンセンサが音を検知している。(b)の休日は、ある日曜日の室音パターンであり、家の中いる時間が長いため、平日より多くの音が発生していることがわかる。

図4は、図3(b)休日の11:40~14:40の居間、台所の空間用センサ、およびトイレの床用センサが検知した実際の波形である。台所のセンサが検知した昼の激しい音圧変化は、昼食の準備に発生したものと推測できる。また、14:40前に発生しているトイレの波形は、マイクロフォンセンサが、水を流したときの音を検知した結果である。居間で発生している音は、台所のセンサが検知した食事の準備などで発生した音よりかなり小さい。これは、図3の積分値をみてもわかるように、居間では、活動的に過ごす時間帯においても、他の場所に比較して大きな音が発生していないからである。また、夜間においてはどのマイクロフォンセンサもほとんど音を検知しておらず、被験者が就寝している状態であることが推測できる。

### 2. マイクロフォンセンサ間の関連

表1に、各マイクロフォンセンサの室音パターン間の相関係数を求めた結果を示す。玄関と台所、浴室前と玄関、浴室前と台所の相関係数が0.9以上と

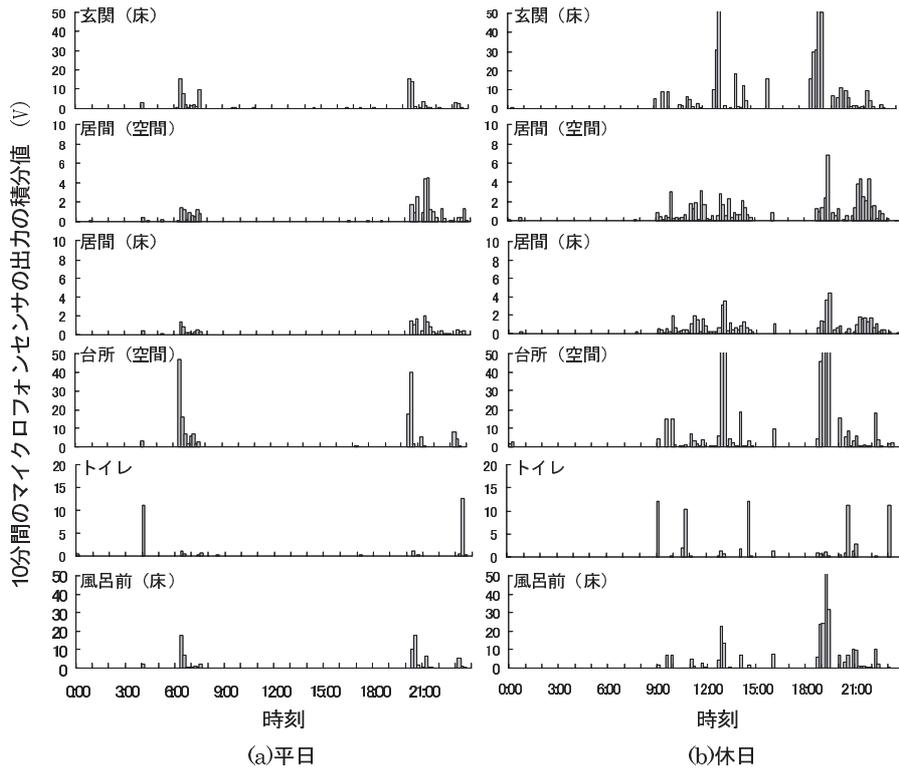


図3 室音の1日の変動パターン例

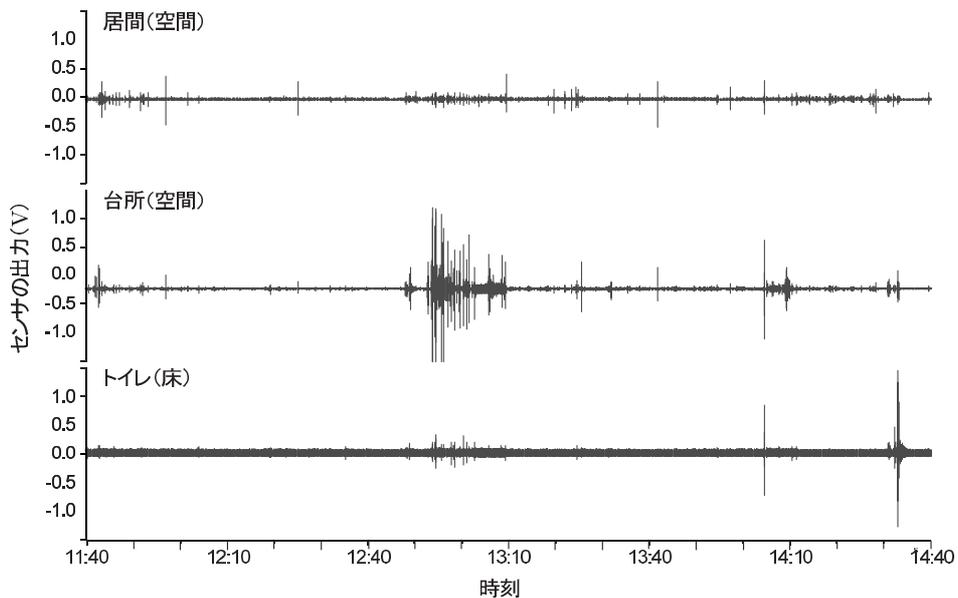


図4 マイクロフォンセンサで検知した音圧波形(図3(b)休日の居間(空間),台所(空間),トイレ(床)の11:40~14:40) トイレ(床)のマイクロフォンセンサの波形が太いのはノイズの影響である。

非常に高く、強い関連を示した。また、居間の空間用と床用のマイクロフォンセンサ同士も0.84と非常に高い関連を示した。一方トイレは、他のすべてのマイクロフォンセンサの室音パターンとも相関は低く、関連がほとんどみられなかった。

### 3. 毎日の室音パターンの類似性

表2に、DP マッチングによるパターンマッチン

グ法により、計測開始から1週間分の室音パターンに対して、それぞれの日に計測期間内において最も類似していた5日分のデータを示した。なお、DP マッチング法による時間ずれの許容範囲は60分としている。類似度は、パターン間の距離を示しており、0に近いほど2つのパターンの類似度は高いことになる。月水金曜日は、ほぼ1日外出している日

表1 室音パターンのセンサ間の相関

	居間(空間)	居間(床)	台所(空間)	トイレ(床)	浴室前(床)
玄関(床)	0.612 **	0.408 **	0.955 **	0.107 *	0.945 **
居間(空間)		0.844 **	0.061	0.112 *	0.075
居間(床)			0.336 **	0.124 *	0.347 **
台所(空間)				0.094 *	0.913 **
トイレ(床)					0.060

\* p &lt; .05 \*\* p &lt; .01

表2 日毎の室音パターンの類似性

基準日	5/9 (月)	5/10 (火)	5/11 (水)	5/12 (木)	5/13 (金)	5/14 (土)	5/15 (日)
	日付 類似度						
	5/27(金) 0.600	5/26(木) 0.751	6/ 7(火) 0.523	6/ 1(水) 0.734	5/25(水) 0.481	5/26(木) 1.496	5/29(日) 0.734
基準日と類似度が高い日	6/10(金) 0.728	5/24(火) 0.810	6/ 6(月) 0.622	5/24(火) 0.847	5/30(月) 0.550	5/ 9(月) 1.235	5/10(火) 0.821
	5/16(月) 0.764	5/15(日) 0.821	5/27(金) 0.680	5/10(火) 0.973	6/ 8(水) 0.587	5/30(月) 1.028	5/22(日) 1.082
	5/20(金) 0.766	5/12(木) 0.973	6/ 3(金) 0.741	5/21(土) 0.975	6/10(金) 0.606	6/ 4(土) 1.513	6/11(土) 1.087
	5/11(水) 0.846	5/30(月) 1.032	6/10(金) 0.794	5/17(火) 1.022	5/16(月) 0.607	5/31(火) 1.541	5/26(木) 1.119

※類似度は、DPマッチング法(時間ずれの許容範囲60分)により求めたパターン間の距離を示している。

であるため5/9(月), 5/11(水), 5/13(金)に似通った日は, 月水金曜日のデータが多い。また, 火木曜日は基本的に午後半日外出している日であるため5/10(火), 5/12(木)は, 火木曜日の室音パターンと類似した日が多い。5/14(土), 5/15(日)は, 月曜から金曜の平日と比較すると規則正しい生活を送っていないため, 類似度である距離が他の曜日より大きい傾向にあったが, 5/15(日)に関しては, 同じ日曜日のデータが2日分含まれていた。

### 考 察

本研究では, マイクロフォンセンサを用いて, 宅内で発生する音圧を計測することにより, 在宅内での行動モニタリングを行った。10分毎に計測値を積分し, それを1日単位にまとめることで, 生活の行動パターンが把握できることが示唆された。特に, 本研究では平日の行動パターンがある程度規則的な被験者での実験により, 平日の類似性を検出することができた。また, 台所で発生する音を検知することで食事の準備などの様子, 夜間の無音状態検知により就寝状態の様子なども推測できることが示唆された。さらに, トイレで発生する水の流れる音を検知することで, 生理的な現象も把握でき, その回数や間隔を求めることで健康状態の推測に利用できると思われる。

今回の実験では, マイクロフォンセンサを宅内の6カ所に設置したが, 居間の床用と空間用のセンサ, 台所の空間用と玄関と浴室前に設置した床用のセンサで検知した信号は, それぞれセンサ間の相関係数が高く, 関連が強いことがわかった。これは, 図2の間取り図をみてわかるように, 間仕切りのない同じ部屋にあるため, 同時刻に発生した音をそれ

ぞれのマイクロフォンセンサが検知しているためである。つまり, 今回のように, 室音パターンを1日単位にまとめて長時間のデータとして評価する場合には, 音の伝わる範囲であれば, 設置するマイクロフォンセンサを1つに絞り込むことができるといえる。一方, 間仕切りのある部屋やトイレなどの密閉された部屋においては, 他のセンサとの相関は低く, 少なくとも各部屋に1つのセンサ設置が必要であるといえる。ただし, 同じ部屋に設置したセンサでも検知している音の強さは音の発生原因や場所により異なっており, 例えば, 居間の床用と空間用センサでは, 空間用の方がテレビなどの音をよく検知しているため床用のセンサより積分値が平均的に高く, 台所では, 食事の準備や洗い物の時発生している音は, 台所の空間用センサの方がよく検知しているが, 洗濯などで発生している洗濯機の振動などは, 玄関に設置した床用センサの方がよく検知していた。つまり詳しく行動パターンを把握するためには, 同じ部屋でも複数のセンサ設置が有効な場合もあるといえる。

### 今後の計画

本研究では, マイクロフォンセンサにより計測した宅内での室音パターンを1日単位にまとめることで, 1日の活動状況の様子が把握できることを示した。しかし, 室音計測には, 以下に示すような問題や, 今後研究すべき課題があり, これから研究を行っていく予定としている。

まず, 今回の分析は1日単位の室音パターンについて行った。しかし, リアルタイムに異常を検知するためには, 短時間のデータについて評価する必要があり, 今後は, 短時間の室音パターンの分析を行

う必要がある。特に、本研究の計測手法は、一つの音に対して複数のマイクロフォンセンサが検知することがあるため、赤外線センサのように現在どの部屋に被験者が居るのかを判定することは難しい。つまり、部屋の滞在時間を監視<sup>15)</sup>することにより異常を推測するなどの方法は利用できない。そのため、異常を判定するための新たなアルゴリズム開発が必要となる。現在異常の評価方法として、ある閾値以上の音圧レベルの監視や、無音時間の監視による異常判定のアルゴリズムを検討中である。

次に、冷蔵庫など定期的に動作する家電製品などがある場合、その振動や音を拾ってしまい、行動パ

ターンの評価をする上でノイズとなることがある。また、宅内だけでなく室外から発生する音の影響も考えなければならず、このようなノイズに対する対処法についても今後検討する必要がある。

さらに、音圧測定は、これまでの見守りに利用されてきたセンサから得られる ON/OFF データに比べて大量のデータが発生する。必要な情報をどのような形で蓄積していくかということも今後検討すべき課題といえよう。

本研究は文部科学省科学研究費補助金(若手研究 B 16700421)の助成を受けて行った。

## 文 献

- 1) Togawa T, Tamura T, Zhou J, Mizukami H and Ishijima M: Physiological monitoring systems attached to bed and sanitary equipments. *IEEE Engineering in Medicine & Biology Society 11th Annual International Conference Seattle*, 1461-1463, 1989.
- 2) Ishijima M and Togawa T: Observation of electrocardiograms through tap water. *Clinical Physics and Physiological Measurement*, **10**(2), 171-175, 1989.
- 3) Ishijima M: Monitoring of electrocardiograms in bed without utilizing body surface electrodes. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, **40**(6), 593-594, 1993.
- 4) 山越憲一: トイレに設置するモニタリングシステム. *BME*, **10**(5), 30-38, 1996.
- 5) 青木茂樹, 岩井嘉男, 大西正輝, 小島篤博, 福永邦雄: 人物の位置・姿勢に注目した行動パターンの学習・認識と非日常状態検出への応用. *電子情報通信学会論文誌(D-II)*, **J87**(5), 1083-1093, 2004.
- 6) Celler B, Earnshaw W, Ilsar ED, Betbeder-Matibet L, Hams MF, Clark R, Hesketh T and NH Lovell: Remote monitoring of health status of the elderly at home. A multidisciplinary project on aging at the University of N.S.W. *International journal of bio-medical computing*, **40**, 147-155, 1995.
- 7) Yamaguti A, Ogawa M, Tamura T and Togawa T: Monitoring behavior in the home using positioning sensors. *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, **20**(4), 1997-1979, 1998.
- 8) Demongeot J, Virone G, Duchene F, Benchetrit G, Herve T, Noury N and Rialle V: Multi-sensors acquisition, data fusion, knowledge mining and alarm triggering in health smart homes for elderly people. *C R Biologies*, **325**(6), 673-682, 2002.
- 9) Ohta S, Nakamoto H, Shinagawa Y and Tanikawa T: A health monitoring system for elderly people living alone. *J Telemed Telecare*, **8**(3), 151-156, 2002.
- 10) 象印マホービン株式会社: 見守りホットラインホームページ. <http://www.mimamori.net>, [2005.9.22].
- 11) ナイス・ロケーションシステムズ株式会社, みまもりネットホームページ. <http://www.naloc.co.jp/setumei/MIMAMORINET/index.html>[2005.9.22].
- 12) 松本勉, 嶋田泰幸, 川路茂保, 平松義朗: 確率有限オートマン生活行動モデルに基づく生活行動異常判定. *医療情報学*, **22**, 35-42, 2002.
- 13) 田村俊世: 特集号「e-house, e-healthcare」にあたって. *ライフサポート*, **13**(4), 87, 2001.
- 14) 品川佳満, 橋本勇人: 人間性へ配慮した高齢者見守りシステムの開発 —高齢者のプライバシー・抵抗感に視点をのいた意識調査—. *川崎医療福祉学会誌*, **11**(1), 199-204, 2001.
- 15) 品川佳満, 岸本俊夫, 太田茂: 独居高齢者の居室滞在時間の分析と自動緊急通報システムへの応用. *ライフサポート*, **13**(3), 9-16, 2001.

**Monitoring Human Behaviour in the Home Using Microphone Sensors**

Yoshimitsu SHINAGAWA, Toshio KISHIMOTO and Shigeru OHTA

(Accepted Oct. 31, 2005)

Key words : microphone sensors, in-house movement, unrestrictive measurement

Correspondence to : Yoshimitsu Shinagawa Health Informatics and Biostatistics  
Oita University of Nursing and Health Sciences  
Oita, 870-1201, Japan  
E-Mail: [shinagawa@oita-nhs.ac.jp](mailto:shinagawa@oita-nhs.ac.jp)  
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.15, No.2, 2006 615-620)