ニオイセンサのマハラノビスの距離による人間のふるまい判別

Recognition of Human Behaviors by Mahalanobis' Generalized Distance in Odor-sensor Characteristics

沢田史子(学生会員), 大藪多可志(非会員), 南戸秀仁(正会員)*

Ayako Sawada, Takashi Oyabu, Hidehito Nanto

Abstract

Human beings generate many kinds of odors in a domicile. The kinds and concentrations of these odors are different according to human behaviors. The odor-sensor characteristics were analyzed for recognition of basic human behaviors in a domicile. Taking meals, sleeping and opening the door were chosen as basic behaviors. The odor sensors are installed at various points in an experimental house. All the odor sensors are a metal oxide type. Human behaviors were identified by applying the odor-sensor output at an installing point to Mahalanobis' generalized distance(MGD). MGD's of sensor outputs for the behaviors were also adapted to Poisson distribution. A simulation was done using the sensor outputs of a different day to evaluate recognition of behaviors. As for the results, it was possible to recognize the behaviors at high probabilities, namely taking meals at 89%, and sleeping at 88%.

Key Words

odor sensor, odor sensor pattern, welfare, Mahalanobis' generalized distance

1. はじめに

日本における高齢化は諸外国に比べ、類を見ない速さで進展してきている。65 歳以上の高齢者の割合は 2000 年に 17.2%, 2015 年には 25%を超えると推計されている¹⁾。このため社会保障費は増大し政府、自治体に大きな負担を与えることが予想される。高齢化の進展に伴い単身高齢者も増加している。総務庁の社会生活基本調査によると単身高齢者が一人である時間は 12 時間 18 分で、単身でない高齢者の約 2 倍となっており、これに睡眠時間を加えると 20 時間を超え 1 日の大半を一人で過ごすことが判る。このような単身高齢者の生活を大雑把に把握するにも多くの人手、

人件費が必要である。このコスト削減のため、高齢者世帯のサポートを行うシステムの必要性が高まってきている。本研究では金属酸化物半導体ニオイセンサを居住空間の複数箇所に設置し、ニオイ成分を測定した。人間の生活にともない様々なガス・ニオイ成分が発生する。すなわち、これらの成分種と濃度が知れば、逆に様々なふるまいを認知できるという逆問題でもある。実験で得られた複数箇所のセンサの信号を、マハラノビスの距離を用いて解析し、居住者の食事の摂取や就寝等の基本的なふるまいの判別を行った。

2. 実験方法

実験は岩手県水沢市のウエルフェアテクノハウスで行った。通産省のウエルフェアテクノハウス構想により建てられた高齢者のための実験施設である²⁾。1 階は集中管理室になっており、2 階が実験のための居住空間である。その居住空間内部の写真を Fig.1 に示す。これまでも、当該施設を用いていくつかのふるまい同定について報告している^{2)~9)}。実験では新コスモス電機(株)から市販されている 4 種類のセンサを使用した^{3),10)}。その写真を Fig.2 に示す。左から順に型番は CH-E2, CH-E3, CH-N, AET-S である。いずれも金属酸化物半導体ニオイセンサである。このセンサはガスセンサと同様の原理でニオイを検知する。センサ素子

2000 年 10 月 13 日受付

2000 年 12 月 15 日最終原稿受理

金沢経済大学, 〒920-8620 金沢市御所町丑 10 番地 1

*金沢工業大学 〒924-0838 松任市八東穂 3-1

Kanazawa University of Economics, 10 Ushi, Gosyomachi, Kanazawa, 920-8620

*Kanazawa Institute of Technology, 3-1 Yatsukaho, Matto, 924-0838

Fig.1 Photograph of interior of the experimental house.

にニオイ分子が吸着すると、素子の抵抗値が減少し、出力電圧が上昇する。これによりニオイ分子の濃度を知ることができる。CH-E2 は主に建材等から発生する VOC (volatile organic compounds) 等を検知し、CH-E3 はその高感度タイプである。CH-N はアンモニアやエタノール、AET-S は硫化水素やメチルメルカプタンに感度が高い。各センサの特徴をTable1に示す。これらのセンサをまとめて1つのユニットを構成した。このセンサユニットを居住空間 12 箇所に設置した。Fig.3 に居住空間のレイアウト及びセンサユニット設置箇所を示す。センサからの信号はデータコンバータを介し、データロガーでA/D変換され1階集中管理室のパソコンへ取り込まれる。このシステムは 2 秒毎のサンプリングが可能であるが、本実験では1分毎に測定を行った。全センサからのデータはハードディスク及び、データの安全性や移動する際の利便性を考慮し PC カードメモリにも記録する。

3. ニオイセンサ特性

センサユニットは 12 箇所に設置してある。システムの実用化にはコストダウンが必須であり、使用するセンサの数、設置場所の最適化も検討しなければならない。本研究では日常の基本的なふるまいである就寝、食事の摂取、窓の開閉に影響を受けやすいダイニングキッチン、書斎、ルーフテラスのみのセンサ特性を解析した。書斎とリビングルームには仕切りが無く、ワンフロアとなっている。その特性を Fig.4 に示す。ダイニング、書斎ともにセンサ出力が大きく上昇しているところは食事を表している。ダイニングや書斎等のセンサ出力が下がり、ルーフテラスの特性が上昇している箇所は窓を開けたことを示している。4 つのセンサともに似た特性を示していることから、本研究ではCH-E3 センサ特性のみを

Fig.2 Photograph of four types of odor sensor.

Fig.3 Floor plan of welfare oriented residence and installation points of SUs.

使用した。しかしながら、ニオイ種の同定等には他のセンサも必要である。

4. マハラノビスの距離による判別

4.1 センサ信号に対するマハラノビスの距離

ふるまいの判別はマハラノビスの距離 (Mahalanobis' generalized distance) を用いた。マハラノビスの距離とは、判別分析に用いられる多次元情報の相関と密度を考慮した距離のことである。次にその導出方法を示す。

基本的なふるまいについて相関がある多次元データを用いて基準空間を作る。就寝と食事はダイニングと書斎、窓の開閉はダイニングとルーフテラスの CH-E3 のセンサ出力を使用した。これ

Table 1 Employed odor sensors which are fabricated by New COSMOS Inc. of Japan.

Type	Material	High sensitivity gases and odors
CH-E2	SnO ₂	VOC, CH ₃ CHO, CH ₄ , alcohol
CH-E3	SnO ₂	high sensitivity type of CH-E2
CH-N	SnO ₂	NH ₃ , C ₂ H ₅ OH, CH ₃ OH
AET-S	ZnO	H ₂ S, CH ₃ SH, CH ₃ SCH ₃ , CH ₃ SSCH ₃

Fig.4 Sensor output characteristics in the dining kitchen, the study room and roof terrace.

を2次元グラフにプロットしたものを Fig.5 に示す。食事の基準空間を作り、その空間に属するデータの平均、標準偏差、相関係数を利用してマハラノビスの距離を算出する例を挙げる。まず、食事時間における書斎のセンサ出力値を x 、ダイニングの値を y とする。 x から x の平均を引き、さらに x の標準偏差で割ったものを新しい x とする。 y についても同様に新しい y を求める。元のデータ x と y の相関係数を r とし、新しい x と y を用いて

$$v = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}, \quad v^T = (x, y), \quad R \text{ を相関行列} \begin{pmatrix} 1 & r \\ r & 1 \end{pmatrix}$$

とし、 k を変数の個数とすると、マハラノビスの距離 D^2 は

$$D^2 = \frac{v^T R^{-1} v}{k}$$

Fig.5 Standard spaces and center of gravities for fundamental behaviors.

によって求められる。各データの距離を求めると、その平均は1になる。マハラノビスの距離とは各データから重心(平均値)までの距離を表している。Fig.5 に基準空間及びその重心を示す。

1998年11月, 1999年3月, 7月の実験データから就寝, 食事, 窓 OPEN に対するマハラノビスの距離を上記の方法により求めた。3月の距離のヒストグラムをFig.6に示す。また, 各ヒストグラムをポアソン分布へあてはめた時の, 係数をTable2に示す。就寝はいずれも約 3.5 でその頻度特性が一定であることが判る。

4.2 シミュレーションによるふるまい判定

3月のデータより作られた基準空間(就寝, 食事, 窓 OPEN)に対し同月の異なる日のデータを用いシミュレーションを行った。

初めに, 就寝中のデータのシミュレーションについて説明する。まず, 就寝, 食事, 窓 OPEN に対する距離を求める。求められた距離をそれぞれ D_1^2 , D_2^2 , D_3^2 とする。マハラノビスの距離による判別の一般的な閾値は3から4である。本研究では少し厳しく3を閾値として採用した。 D_1^2 が最小でかつ閾値以下であれば, 就寝と判断した。同様に D_2^2 が最小の時は食事, D_3^2 が最小の時は窓 OPEN とした。 D_1^2 , D_2^2 , D_3^2 ともに閾値を超える時は, その他のふるまいと判断した。これらのルールを以下に示す。

r1: if ($D_1^2 < D_2^2$ and D_3^2) and ($D_1^2 \leq 3$) then sleeping

r2: if ($D_2^2 < D_1^2$ and D_3^2) and ($D_2^2 \leq 3$) then meal

r3: if ($D_3^2 < D_1^2$ and D_2^2) and ($D_3^2 \leq 3$) then opening the door

シミュレーション結果をTable3に示す。就寝時間は391分間で48分間食事と誤判別され, 残り343分間は就寝と判別されている。したがって, 就寝に対する認知率は88%であった。同様に食事時間に対するシミュレーション結果も89%と高い認知率を示した。

この就寝に対する認知率は391分間を通してのものである。これを10分毎に区切った時の認知率を調べた。その結果をFig.7に示す。就寝を開始して始めの50分間は0~40%であった。これは就寝前のふるまいによるニオイ分子が, 就寝後も暫く居住空間に残留するためである。しかし, 1時間後には認知率は100%に達し, その後もほぼ100%となっている。これは就寝の判別が10分間のセンサ信号により極めて高い確率で可能であることを示している。食事についても同様に10分毎の認知率を調べた。その結果をFig.8に示す。昼食の開始から30分後に認知率が40%になり, 夕食も途中10%に低下している箇所がある。これは煮炊きによりセンサ出力が非常に高い値を示した場合にマハラノビスの距離が大きくなり誤判別されるためである。このため, 食事中と認知され一時その認知率が低下した場合において, 以下のようなルールを追加する。

CH-E3 センサの出力値が30分間でベースレベルより増加し

Fig.6 Histogram of Mahalanobis' generalized distance for fundamental human behaviors, sleeping, meal and opening the door.

Table 2 Coefficients of Poisson distribution for Mahalanobis' generalized distance.

	sleeping	meal	opening the door
March	3.50350	3.19162	3.23077
July	3.51349	2.36434	3.56098
November	3.51477	2.57951	1.90278

Table 3 Simulation results for recognition of human behaviors.

sleeping

sleeping	meal	opening the door	other behaviors
$\frac{343}{391}$	$\frac{48}{391}$	$\frac{0}{391}$	$\frac{0}{391}$

recognition rate 88%

(a) Recognition rate of sleeping

meal

sleeping	meal	opening the door	other behaviors
$\frac{6}{290}$	$\frac{258}{290}$	$\frac{0}{290}$	$\frac{26}{290}$

recognition rate 89%

(b) Recognition rate of meal

た値を $V_{CH-E3/0.5hour}$ とする。この $V_{CH-E3/0.5hour}$ が 0.5V を超えた場合、食事とする。ここでは食事の準備も食事中(meal)と判断している。このルールを以下に示す。

$r4$: if $V_{CH-E3/0.5hour} > 0.5V$ then (preparing) meal

$r4$ の追加により一部就寝と誤判別される箇所を除きほぼ 100% 食事中の認知率となった。

このようにふるまいの判別は動的要因が少ない就寝に対して非常に有効である。食事に関してもマハラノビスの距離単独による同定は概ね可能であり、 $r4$ を追加することによりその認知率を向上させることができた。

この方法による窓 OPEN のシミュレーションによる認知率は 16% であった。この値は非常に低いものである。窓を開けるとニオイ分子が室内から室外へと流れる。ルーフテラスのセンサ出力は、窓を開ける時の室内のニオイ濃度に大きく依存する。このため、マハラノビスの距離は閾値を超えるものが多く、低い認知率となった。著者らはこれまでに窓 OPEN のふるまいに関してダイニングとルーフテラスのセンサ出力を2次元グラフにプロットし、その V 字特性⁹⁾より、同定を行ってきた。V 字特性とは食事時にダイニングのセンサ特性が上昇し、ルーフテラスのセンサは変動せず、窓 OPEN 時はルーフテラスのセンサ特性が急上昇しダイニングの特性が減少することにより、センサ特性が V 字を描くことである。これにより V 字のどの辺りにプロットされるかにより窓を開けているか否かの判断が可能となる。したがって、ふるまいを同定する時に

Fig.7 Recognition rate of sleeping estimated by using every 10 minutes' data.

Fig.8 Recognition rate of meal estimated by using every 10 minutes' data.

まず V 字特性を調べ、窓 OPEN か否かを判断する。窓 OPEN でなかった時は、マハラノビスの距離により就寝、食事の同定を行うこととする。これによりシステムの信頼性を向上させることが可能となり、93%の認知率が得られた。

5. まとめ

居住空間に設置したニオイセンサの信号より居住者のふるまいの認知を行った。あらかじめ、もつとも基本的なふるまいとして就寝、食事、窓 OPEN を選び基準空間を作成する。この基準空間の平均、標準偏差、相関係数を用いてシミュレーション用のデータの距離を求める。3 つのふるまいに対する距離の中で最も小さく、さらにその値が閾値 3 以下であれば該当するふるまいであると判断し、それ以外は他のふるまいとする。結果として、就寝のシミュレーションによる認知率は 88%、食事は 89% であった。さらに 10 分間のふるまいデータによるシミュレーションでも非常に高い認知率が得られた。また、ベースレベルより 30 分間で 0.5V 以上の変動を伴うのは食事による高濃度のニオイ分子の発生によるものと考えられ、そのルールを追加することにより、ほぼ 100% の食事認知が可能となった。

窓 OPEN のシミュレーションによる認知率が低かったため、筆

者らがこれまでに同定を行ってきた V 字特性によって、まず窓 OPEN のふるまいであるかを判断させることとした。窓 OPEN でない時は、本手法を用いて就寝、食事の同定を行った。結果として 93% の確率で就寝、食事、窓 OPEN の認知が可能となった。

謝辞

実験を手伝っていただいた新コスモス電機・笠原浩、金沢大・小野寺武、金沢工大・中田尚将の各氏に感謝申し上げます。また、実験施設を提供していただいた(株)快適介護の家・井筒岳氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 平成 11 年度版高齢社会白書(総務庁)
- 2) T.OYABU, H.NANTO, H.KASAHARA, T.ONODERA, N.NAKATA: "ODOR SENSING CHARACTERISTICS IN RESIDENTIAL SPACE USING METAL-OXIDE SENSORS", *Sensors and Materials*, Vol.11, No.8, pp.457-468 (1999)
- 3) Takashi Oyabu, Hiroshi Kasahara, Hidehito Nanto, Yoshinobu Matsuura, Takeshi Onodera, Yoshiteru Douguchi: "Odor Sensing Characteristics in Residential Bedrooms", *East Asian Conference on Chemical Sensors*, No.A-1, pp.189-192 (Nov.23-26, 1999, Hsinchu, Taiwan)
- 4) 大藪, 笠原, 南戸, 小野寺, 筒口, 中原: "一般家庭トイレにおけるニオイセンサ特性", *Proceedings of the 29th Chemical Sensor Symposium*(電気化学会・化学センサ研究会), Vol.15, Suppl.B, No.37, pp.118~120(1999.9)
- 5) 大藪, 南戸, 笠原, 小野寺, 井筒, 辻: "居住空間におけるニオイセンサアレイの多点測定と福祉分野への応用", *電子情報通信学会・電子部品・材料研究会技術研究報告*, CPM99-34, pp.31-36(1999.6)
- 6) Ayako SAWADA, Takashi OYABU, Hidehito NANTO, Takeshi ONODERA, Teruaki KATUBE: "Identification of Meal-Degree of a Solitude Aged using Odor Sensors", *Asian Fuzzy Systems Symposium*, No.0W2D-2, pp.68-73 (May 31-June 3, 2000, Tsukuba Science City, Japan)
- 7) 沢田, 大藪, 中本, 小野寺, 木村, 笠原, 南戸, 勝部: "ニオイセンサ信号の融合による人間の日常活動の同定", *電気学会センサ・マイクロマシン準部門総合研究会*, CS-99-50, pp.37-42 (1999, 11)
- 8) 沢田, 大藪, 南戸: "マハラノビスの距離による居住者のふるまい同定", 第 16 回ライフサポート学会, 1S-1-3, p.19(2000, 8)
- 9) 大藪, 沢田, 南戸: "ニオイセンサアレイによる人間の基本的室内活動の同定", *電気学会論文誌E*, Vol.121-E, No.1, pp.20-25 (2001)
- 10) Takashi Oyabu, Tadanobu Misawa, Haruhiko Kimura,

Hidehito Nanto: "Proposition of sensor agent for estimation of air-pollution direction and its experimental simulation", *Materials Science & Engineering C* 12, pp.89-95 (2000)