

研究速報

赤外線センサ情報からのデータマイニングによる独居老人の振舞い認知に関する一考察

小越 康宏† (正員) 小越 咲子†† (学生員)
 広瀬 貞樹† (正員) 木村 春彦†† (正員)

A Study on the Recognition of Human Activities by Datamining from Infrared Sensor Information

Yasuhiro OGOSHI†, Regular Member,
 Sakiko OGOSHI††, Student Member, Sadaki HIROSE†, and
 Haruhiko KIMURA††, Regular Members

† 富山大学工学部知能情報工学科, 富山市

Faculty of Engineering, Toyama University, Toyama-shi,
 930-8555 Japan

†† 金沢大学大学院自然科学研究科数理情報科学専攻, 金沢市

Graduate School of Natural Science and Technology,
 Kanazawa University, Kanazawa-shi, 920-8667 Japan

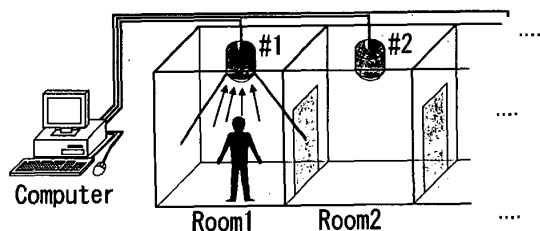


図1 赤外線センサユニットの設置イメージ

Fig. 1 Installation image of the infrared sensor units.

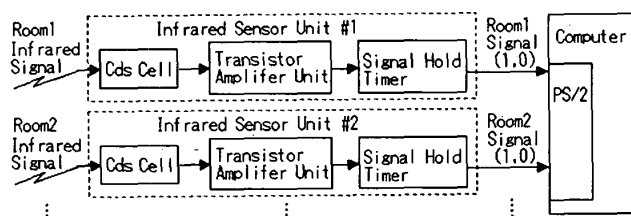


図2 システム構成

Fig. 2 Construction of the experiment system.

あらし 独居老人の介護, 危険回避のために, 家庭内での生活様態を把握することは非常に重要であるが, 家庭内での振舞い認知についての研究は少ない. 本論文では, 赤外線センサを各部屋に分散配置し, 部屋ごとに老人の滞在の傾向をとらえることにより家庭内での振舞い認知を実現し, 新しく観測される老人の活動が, 習慣的な振舞いとは異なる振舞いなのかを検知する手法を提案する.

キーワード 赤外線センサ, 振舞い認知, データマイニング, 平滑化

1. まえがき

近年, 高齢化が進み独居老人が増加しつつある. 家庭内で, 事故や体調の異変が生じた場合, 本人が通報することは難しく発見が遅れる場合がある. 例えば, 転倒事故は65歳以上における家庭内の死因第1位であり[1], 異変を早期発見することは非常に重要である.

従来より, 老人の行動のモニタリングは盛んであり, PHSを老人に携帯させ, 野外における徘徊位置を検出するシステム[2], [3], 徘徊老人にIDカードや医療用のデバイスを装着させ, 病院内での徘徊位置を検知したり心拍数を監視するシステム[4]がある. 事故の未然防止, 保護に期待がもたれているが, 家庭内で実施するためには機器やコストの制約があり, 健康な老人においては, デバイスの装着に心理的な抵抗がある.

また, 食事の準備や暖房等の利用などの日常的な活動により還元性ガスが発生するのを利用し, 起床, 就寝, 食事といった人間の振舞いを検知する研究[5]があるが, 人間の動きまでは検知できない.

そこで, 我々は, 家庭内での行動位置や状態の把握を目的とし, 赤外線センサを居住空間に分散配置し,

センサから得られたデータを, GAを用いてクラスタリング処理して, 行動の把握を行った[6]が, 最適なクラス分けやクラス数の決定が難しく計算にも時間を要した. 本研究では, 滞在分布や滞在頻度から習慣的な振舞いを判別する手法を提案し, 更に異常や危険の検知も行う.

2. 振舞い認知の方法

提案手法における振舞い認知は, 部屋ごとに, 通常の振舞い(入室時刻, 滞在時間)がどのような傾向にあるのかを分析(データマイニング)し, 新たに観測されるデータを通常の振舞いと比較して異常や危険の検知を行うものである.

2.1 システムの概略

独居老人の居住する各部屋には, 図1に示すような, 人体輻射熱を感知する赤外線センサユニット(#1, #2, ...)を1台ずつ設置し, これらのセンサユニットからの検出信号(1:存在する, 0:存在しない)をPS/2インタフェースを介し, コンピュータに記録していく. このシステム構成の概略を図2に示す.

2.2 参照データベースの作成

通常の振舞いを示すデータとして, 図2の実験システムによって得られる検出信号から, 以下の項目をデータベースに登録する.

- 標本番号
- 入室時刻[日, 時:分:秒]
- 退室時刻[日, 時:分:秒]
- 滞在時間[分]
- 部屋

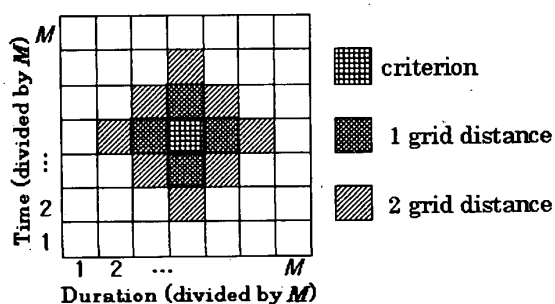


図3 グリッドイメージ
Fig.3 Grid image.

このデータベースを参照データベースと呼ぶ。

2.3 参照データベースから各部屋の特徴抽出

参照データベースから通常の振舞いを把握するために以下の処理を行う。

2.3.1 データの抽出

部屋ごとに、以下の項目について抽出を行う。

- 集計番号 (標本番号の順に番号を振り直す)
- 入室時刻 [日, 時:分:秒]
- 退室時刻 [日, 時:分:秒]
- 滞在時間 [分]

2.3.2 データのグラフ化

部屋ごとに抽出されたデータについて、 X 軸に滞在時間 (分), Y 軸に入室時刻 (0~24 時) をとりグラフ化する。ここで、各軸の最大値が 1 となるようにデータの要素を、次のように正規化する。

- X 軸: 滞在時間の値を滞在時間の最大値で除算
- Y 軸: 時刻 0~24 時を 0~1 に対応

X 軸の範囲を最大値で正規化する理由は、部屋によって滞在時間が大きく異なるため、また、個人によって滞在時間が異なることが考えられるため、特定の人物・部屋の振舞いの特徴をとらえやすくするためである。

2.3.3 グラフのブロック分割

2.3.2 のグラフをもとに滞在の分布を分析する。 X 軸, Y 軸を図 3 に示すように、それぞれ M 等分して $M \times M$ のメッシュに切り、メッシュ内の各ブロック上のデータ点数を数えることによって、各ブロックにどのくらいの頻度で滞在しているのかをとらえる。

X 軸, Y 軸のブロック番号を $x = 1, 2, \dots, M$, $y = 1, 2, \dots, M$ とおき、各ブロックの位置を $L(x, y)$ と表す。そして、メッシュ内の各ブロック上のデータ点数を数え、このブロック内の滞在の頻度数を $P(x, y)$ とおく。

続いて、以下のように 3 次元グラフを作成する。

- X 軸 (滞在時間): $x = 1, 2, \dots, M$

- Y 軸 (入室時刻): $y = 1, 2, \dots, M$

- Z 軸 (各ブロックの滞在の頻度数): $P(x, y)$

なお、本論文に挿入されているグラフにおいて、 X 軸に滞在時間を意味する Duration, Y 軸に入室時刻を意味する Time のような名称で表記する。

2.3.4 ブロック内データの平滑化処理

各時間帯における危険の検知を行うことを目的とし、人間の行動をとらえるために各時間帯における滞在時間の多少に着目する。

十分な観測日数があれば、時間の推移や絶対的な時間の多少だけを見て、細かな特徴をとらえることも可能と考えられるが、観測日数が十分に得られない場合には、観測された滞在時間の値にばらつきがあると思われ、大まかな特徴をとらえにくいと考えられる。

隣接した時間帯ごとにおける観測された値を平滑化することによって、信頼性にはやや欠ける面もあるが、ある程度の観測日数さえあれば、大まかな特徴をとらえることができるといった効果が期待できる。

具体的には、2.3.3 の 3 次元グラフにおいて、隣り合ったブロック間で $P(x, y)$ の値の差が大きい場合や、孤立点が存在する場合に対して、大まかな滞在の傾向をつかむために Z 軸の値を平滑化する。

図 3 のように任意のブロック $L(x, y)$ に対して、縦横方向で一つ隣にあるブロック $L(x-1, y), L(x+1, y), L(x, y-1), L(x, y+1)$ までの距離を 1 グリッド距離、二つ隣にあるブロック $L(x-2, y), L(x+2, y), L(x, y-2), L(x, y+2)$, 及び、斜め隣にあるブロック $L(x-1, y-1), L(x-1, y+1), L(x+1, y-1), L(x+1, y+1)$ までの距離を 2 グリッド距離とする。

対象とするブロック $L(x, y)$ における滞在の頻度数を平滑化した値を $F(x, y)$ とおき、式 (1) によって求める。

$$F(x, y) = (\text{対象のブロック内における頻度数}) * k_1 \\ + (\text{1 グリッド距離の領域における頻度数}) * k_2 \\ + (\text{2 グリッド距離の領域における頻度数}) * k_3 \quad (1)$$

ここで、式中の k_1, k_2, k_3 は係数であり、対象となるブロックを基準にして、距離の近さに応じて、それぞれ、 $1/2, 1/4, 1/8$ と設定した。

また、 Y 軸については、00:00 と 24:00 の点は同じ時間を意味するので、連続的につないで上記の平滑化の計算を行うものとした。

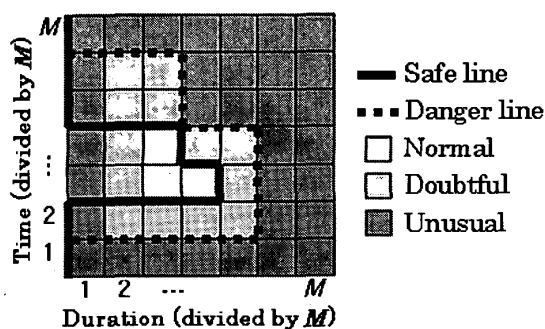


図4 属性イメージ
Fig. 4 Attribution image.

2.3.5 各ブロックにおける振舞い属性の設定

各ブロック $L(x, y)$ における振舞いの属性を $A(x, y)$ とおき、平滑化された滞在の頻度数 $F(x, y)$ を用いて、以下のような判定基準に従い、三つの振舞い {Normal (正常), Doubtful (疑わしい), Unusual (異常)} に判別する。

- $\{f \leq F(x, y)\} \rightarrow \{A(x, y) = Normal\}$
- $\{0 \leq F(x, y) < f\} \rightarrow \{A(x, y) = Doubtful\}$
- $\{F(x, y) = 0\} \rightarrow \{A(x, y) = Unusual\}$

ここで、 f はしきい値であり、ブロック内における滞りの頻度数が1回でもあれば安全とみなすという理由で $f = 1$ とした。このイメージを図4に、ブロックを色分けして示す。

2.3.6 各ブロックにおける安全許容範囲の設定

各ブロックの属性 $A(x, y)$ をもとに、入室時間帯ごとに、安全とみなせる滞在時間の許容範囲を考える。

各ブロックの属性 $A(x, y)$ について、行ごと(分割された時間帯ごと)に属性が Normal となる最右端の $A(x, y)$ を見つけ、この x の位置を Normal とみなせる許容範囲の限界位置とする。その行に Normal が見つかからない場合は Y 軸を限界位置とする。そして、行ごとに求めた Normal の限界位置において境界線 *Safe_line* を引く。属性が Doubtful となるものについても同様に操作を行い、Doubtful とみなせる許容範囲の限界位置を行ごとに求め、境界線 *Danger_line* を引く。このイメージを図4に、線を引いて示す。

2.4 検査データの異常・危険検知

参照データベースの作成後に、新たに観測されるデータを検査データと呼び、参照データベースと比較することにより、異常・危険検知を行う。

2.4.1 異常・危険検知の方法

検査データ(滞在時間, 入室時刻)が, 図3のどのブロックに対応するかを調べる。その結果ブロック

$L_{new}(x, y)$ に対応したとする。

検査データは、既に退室完了であるもの、継続して滞在中であるものといった2種類のデータに区別できる。退室完了のデータにおいては振舞いの異常を検知することを、滞在中のデータにおいては振舞いの危険を検知することを目的とする。

(1) 退室完了の検査データの場合

$L_{new}(x, y)$ のブロックに対応する、参照データベース中のブロック属性 $A(x, y)$ を調べ、これを検査データのブロック属性 $A_{new}(x, y)$ に代入し、次の判定基準に従って三つの振舞い {正常, やや異常, 異常} に判別する。

- $\{A_{new}(x, y) \in Normal\} \rightarrow$ 正常
- $\{A_{new}(x, y) \in Doubtful\} \rightarrow$ やや異常
- $\{A_{new}(x, y) \in Unusual\} \rightarrow$ 異常

(2) 滞在中の検査データの場合

$L_{new}(x, y)$ に対し、 y 行における x の位置を $x_{new}(y)$ とおき、 y 行ごと(入室時刻の時間帯別)に、図4に示したような参照データベースの境界線をもとに、三つの振舞い {安全, やや危険, 危険} に判別する。

境界線 *Safe_line* と *Danger_line* の位置 x をそれぞれ、 $x_{Safe_line}(y)$, $x_{Danger_line}(y)$ とおき、次のルールに従い判別する。

```

if (  $x_{new}(y) \leq x_{Safe\_line}(y)$  ) {
    安全
} else if (  $x_{new}(y) \leq x_{Danger\_line}(y)$  ) {
    やや危険
} else {
    危険
}

```

3. 実験結果

2. に示した手順に従って、実験を行った結果について以下に述べる。

3.1 実験環境

独居老人の居住空間として、図5に示すような居住環境を想定する。各部屋には、赤外線センサユニットを1台ずつ設置した。図2における赤外線センサユニットの装置番号(#1, #2, ...)は、図5における各部屋番号(1, 2, ...)に対応している。

3.2 参照データベースの作成

図5の各部屋から得られる検出信号を、表1に示すようなデータベースの形式で5日間にわたって記録した。表には参考までに(行動)も記してある。

表1 観測データ
Table 1 Human activities for 5 days.

標本番号	入室時刻 [日, 時:分:秒]	退室時刻 [日, 時:分:秒]	滞在時間 [分]	部屋	(行動)
1	0,21:50:03	1,06:03:05	493.03	寝室	睡眠
2	1,06:03:05	1,06:03:48	0.72	洗面所	うがい
3	1,06:03:48	1,06:05:34	1.77	トイレ	小便
4	1,06:05:34	1,06:08:04	2.50	洗面所	歯磨
5	1,06:08:04	1,06:12:20	4.27	寝室	着替え
6	1,06:12:20	1,06:51:38	39.30	台所	朝食
7	1,06:51:38	1,07:48:47	57.15	居間	TV
8	1,07:48:47	1,07:48:55	0.13	台所	通過
9	1,07:48:55	1,07:49:01	0.10	洗面所	通過
10	1,07:49:01	1,07:53:24	4.38	トイレ	大便
:	:	:	:	:	:

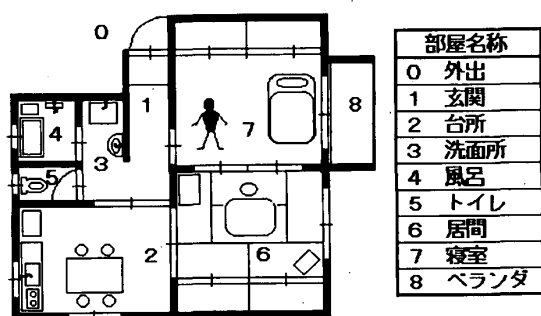


図5 独居老人の居住環境

Fig. 5 Residence space of the aged person who leads a solitary life.

表2 トイレにおける5日間の観測データ

Table 2 Human activities for 5 days (Rest room).

集計番号	入室時刻 [日, 時:分:秒]	退室時刻 [日, 時:分:秒]	滞在時間 [分]	(行動)
1	1,06:03:48	1,06:05:34	1.77	小便
2	1,07:49:01	1,07:53:24	4.38	大便
3	1,10:27:34	1,10:28:38	1.07	小便
:	:	:	:	:
7	1,21:22:14	1,21:23:29	1.25	小便
8	2,05:51:41	2,05:53:13	1.53	小便
9	2,07:36:23	2,07:39:58	3.58	大便
:	:	:	:	:

3.3 参照データベースから各部屋の特徴抽出

参照データベースを基に部屋ごとに特徴の抽出を行う。以降にトイレにおける特徴の抽出について示す。

3.3.1 データの抽出

表1からトイレについて抽出したデータを表2に示す。

3.3.2 データのグラフ化

表2に示したデータを、どの時刻にどのくらいの時間滞在したのかを把握するためにグラフ化する。図6のように、X軸に滞在時間(滞在時間の各値を最大

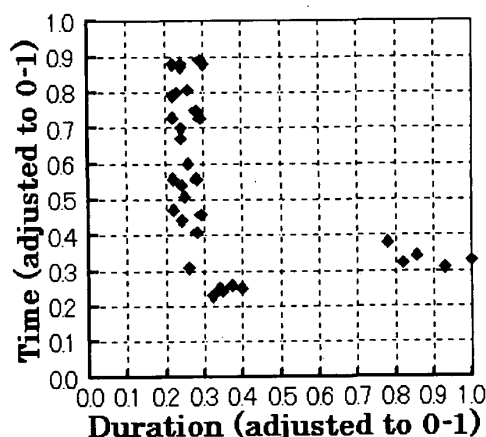


図6 トイレにおける観測データ

Fig. 6 Plot data on the rest room.

値=4.38秒で除算し正規化), Y軸に入室時刻(0~24時を0~1に正規化)をとる。ここで、X軸の正規化に用いた最大値を α とおく。

3.3.3 グラフのブロック分割

図6の平面を、X軸、Y軸それぞれ12x12のメッシュに切り、各ブロックにおける滞在の頻度数 $P(x,y)$ をZ軸に表すと図7のようになる。メッシュの分割数を12にした理由は、Y軸において2時間単位の精度で傾向をつかむことを前提にしたためである。

なお、Z軸の名称をFrequencyと表記し、X軸、Y軸の目盛りにはブロックの番号を記すべきであるが、実際の値が明確となるように時間[min], 時刻[hour:min]の単位で表記した。

ここで、より多くのデータがあれば、ブロックの区分も細かくとることができ精度が向上するが、図6に示した33点(5日間採取)程度のデータ件数でも、提案手法によって大まかな傾向をとらえることが可能と考えられる。

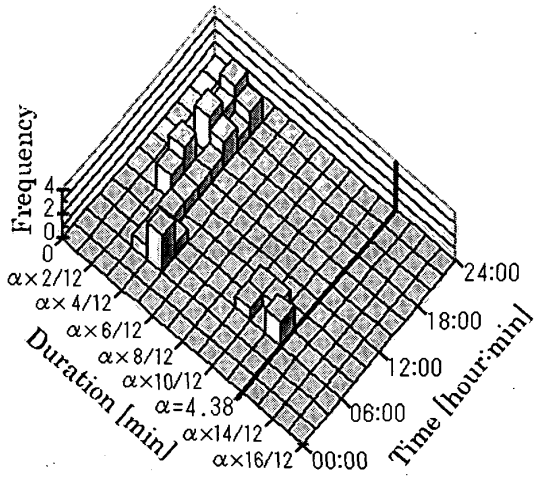


図7 滞在頻度数

Fig. 7 Stay frequency in each block.

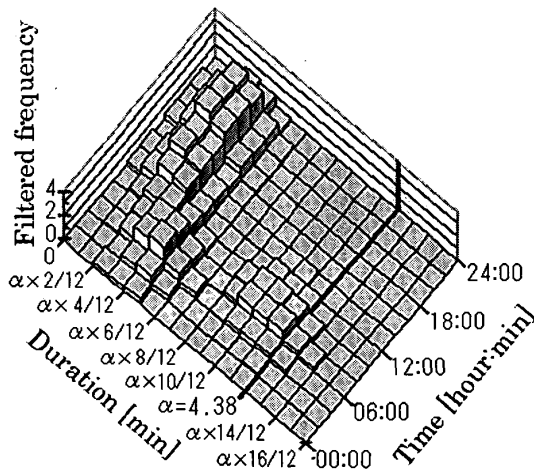


図8 平滑化された滞在頻度数

Fig. 8 Filtered stay frequency in each block.

3.3.4 ブロック内データの平滑化処理

図7のZ軸に示した各ブロックにおける滞在の頻度数について、隣り合ったブロック間で差が大きいことがわかる。また、孤立点も存在しているので平滑化する。平滑化した結果を図8に示す。なお、Z軸の名称を Filtered Frequency (各ブロックの滞在の頻度数を平滑化したもの)と表記する。

3.3.5 各ブロックにおける振舞い属性の設定

2.3.5に従い、各ブロックに振舞い属性を設定したものを図9に示す。

3.3.6 各ブロックにおける安全許容範囲の設定

2.3.6に従い、各ブロックに安全許容範囲を設定したものを図10に示す。

3.4 検査データの異常・危険検知

2.4に従い、トイレにおける検査データについて異常・危険検知を行った結果を以下に示す。

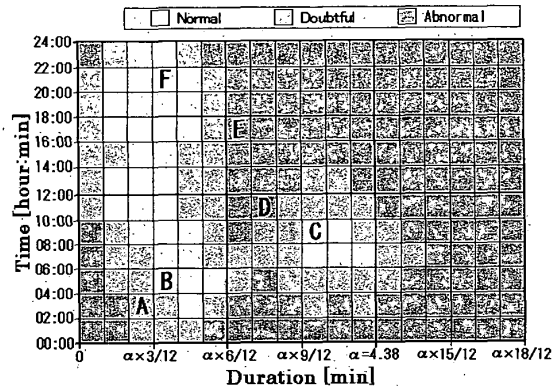


図9 異常検知の実験結果

Fig. 9 Result of unusual detection.

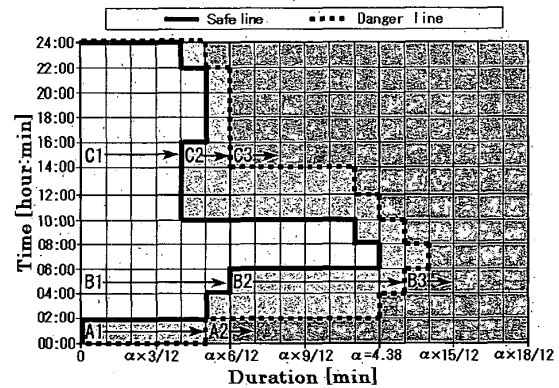


図10 危険検知の実験結果

Fig. 10 Result of dangerous detection.

3.4.1 異常・危険検知の結果

(1) 退室完了の検査データの場合

トイレにおける退室完了の検査データとして得られた、A~Fまでの六つの事例を表3に示す。また、図9にこれらの事例を記す。3.3.5で設定した参照データベースの振舞いの属性と照合し、六つの事例について異常の判別を行った結果を表3の判定の項目に示す。このように参照データベースをもとに、退室完了の検査データに対して、振舞いの異常を検知することが可能になると考えられる。

検査データにおいて正常な振舞いではないと判定された場合は、徘徊などの痴呆症の発症や体調の不調等が起因していると想定でき、痴呆症や体調不良の早期発見が可能になると考えられる。

(2) 滞在中の検査データの場合

トイレにおける滞在中の検査データのうち、危険が検知されたA, B, Cの三つの事例を表4に示す。また、図10にこれらの事例を記す。3.3.6で設定した参照データベースの安全許容範囲と照合し、三つの事例について危険の判別を行った結果を表4の判定の項目に示す。ここで、A1, A2の表記は、Aの事例にお

表3 退室完了の検査データ

Table 3 Inspection data when a person left the room.

検査事例	入室時刻 [日, 時:分:秒]	退室時刻 [日, 時:分:秒]	滞在時間 [分]	(行動)	判定
A	6,03:14:35	6,03:15:32	0.95	小便	やや異常
B	6,05:55:42	6,05:56:59	1.28	小便	正常
C	6,08:23:18	6,08:26:56	3.63	大便	正常
D	6,11:57:24	6,12:00:06	2.70	大便	異常
E	6,16:02:53	6,16:05:20	2.45	小便	異常
F	6,20:30:42	6,20:32:03	1.35	小便	正常

表4 滞在中の検査データ

Table 4 Inspection data when a person is staying the room.

検査事例	入室時刻 [日, 時:分:秒]	観測時刻 [日, 時:分:秒]	滞在時間 [分]	(行動)	判定
A1	7,00:16:38	7,00:16:39	0.02	小便	やや危険
A2	7,00:16:38	7,00:18:28	1.83	小便	危険
B1	8,00:16:38	8,05:57:11	0.02	大便	安全
B2	8,11:57:24	8,05:59:22	2.20	大便	やや危険
B3	8,11:57:24	8,06:01:55	4.75	大便	危険
C1	9,15:34:06	9,15:34:07	0.02	大便	安全
C2	9,15:34:06	9,15:35:34	1.47	小便	やや危険
C3	9,15:34:06	9,15:36:18	2.20	小便	危険常

いて継続して滞在しているが、A1では“やや危険”、A2では“危険”と危険度が変化したことを示している。このように参照データベースをもとに、滞在中の検査データに対して、振舞いの異常を検知することが可能である。

検査データにおいて安全な振舞いではないと判定された場合は、何らかの危険な状態に陥っていることが想定でき、危険を通知することにより、早期に保護することが可能になると考えられる。

4. む す び

本論文では、赤外線センサを独居老人の居住空間に配置し、センサから得られる情報を用いて、老人の家庭内での習慣的な振舞いの認知、及び、異常や危険な振舞いの検知が可能となることを示した。

今回はトイレの例をもとに本手法の有効性を示したが、すべての部屋について、また、異なる人物に対して実験を行い、有効性を検証する必要がある。また、季節によっても行動に変化が現れると考えられるので、長期にわたって観測する必要がある。

また、観測データの性質（すなわち、規則的なのか不規則的なのか、更には、周期的な繰返しなどが見られるのかといったこと）の違いにより、参照データの観測日数を決定する必要があると考えている。今後、実験を重ねて検証していきたいと思う。

謝辞 金沢経済大学教授の大藪多可志先生、査読者の先生に有益な御助言を頂いた。ここに記して謝意を表する。

本研究は財団法人ユニバーサル財団「豊かで活力ある長寿社会の構築をめざして」を基本テーマとした研究助成（平成13年度）による成果の一部である。

文 献

- [1] 笠原勝幸（監訳）、高齢者介護ハンドブック—自立をめざす介護・リハビリテーション、中学医学社、Oct. 1999.
- [2] 保坂良資、斎藤正男、“PHSを技術基盤とする徘徊老人定位に適した電子マーカの仕様の研究,” 信学論 (D-II), vol. J82-D-II, no.12, pp.2367-2374, Dec. 1999.
- [3] 保坂良資、“PHS ホームアンテナの活用による痴呆症老人の徘徊初期段階検知システム,” 計測自動制御学会論文集, vol.36, no.12, pp.1172-1177, Dec. 2000.
- [4] 松村謙次、稲田 紘、堀尾裕幸、中沢一雄、石川 澄、関田康慶、片山文善、麻生 茂、保坂栄弘、“痴呆老人の徘徊防止管理システムの開発に関する研究,” 第17回医療情報学連合大会, 17th, JCMI, Nov. 1997.
- [5] 大藪多可志、木村春彦、“ガスセンサによる人間のふるまい認知,” 電学計測研究会, IM-94-11, pp.77-85, Jan. 1994.
- [6] Y. Ogoshi, T. Misawa, H. Kimura, Y. Ueda, and T. Oyabu, “Recognition of human behavior using sensor-agent system,” The Third Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management Systems, Hong Kong, Dec. 2000.

(平成13年10月1日受付, 12月25日再受付)