

原 著

季節変動に着目した独居高齢者の在宅行動データの解析

品川佳満*1 岸本俊夫*2 太田 茂*3

要 約

本研究では、在宅高齢者の異常検知法を確立するために、赤外線センサを利用した高齢者見守りシステムを用いて長期間(25ヶ月)にわたり計測した宅内行動状況の統計的解析を行った。その結果、宅内移動距離は正規分布を示すが、居室利用頻度、居室利用時間の分布は被験者や部屋に依存することが判明した。また、宅内移動距離、居室利用頻度、居室利用時間は平均気温と相関があり季節変動の存在が確認できた。従って、高齢者見守りシステムを構築する際の異常検知アルゴリズムについては、データの分布型を確認した上で適切な統計指標を採用し、さらに、その指標は季節変動を考慮し、同時期あるいは1ヶ月程度の直近データを用いて求める必要がある。

はじめに

現在、リアルタイムセンシング技術を利用した高齢者見守りシステムの開発が国内外を問わず盛んに行われている。これらのシステムは、赤外線センサ、磁気センサ、光センサなどを利用し、在宅内での行動状況を把握するものから¹⁻⁶⁾、電気ポット、冷蔵庫、電子レンジなどの家電製品を用いて日常の習慣的な行動を把握するものまであり⁷⁻⁸⁾、そのハードウェア的な技術はすでに確立しているといつてよい。

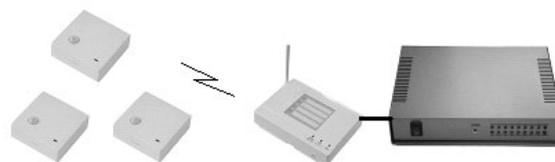
一方、ハードウェア技術に比べて取得データの分析法や解釈に関する研究は後手にまわっていたが、最近ようやく注目されはじめ、「高齢者在宅データ解析アルゴリズムコンテスト」といったデータ解析法に関する研究も行われ始めた⁹⁻¹⁴⁾。しかし、多くの見守りシステムに関する研究は、実験の計測期間が長くとも半年~1年程度であり、1年を超えて長期計測したものは少ない。高齢者の宅内行動状況から健康状態の推測や異常検知を行うためには、年単位の計測を行い季節的な変動を確認した上で、アルゴリズムを構築していくことが望ましいと考えられる。

本研究では、焦電型赤外線センサにより独居高齢者の宅内行動状況を2年以上計測した結果をもとに、宅内行動の特徴および季節的な変動を明らかにし、今後の見守りシステムによる異常検知アルゴリズム開発のための提案を行うことを目的とした。

方 法

1. 宅内行動計測

独居高齢者の宅内行動計測には、図1に示した宅内行動センシングシステムを利用した。焦電型赤外線センサの反応を、無線により宅内の電波受信機により受信後、宅内装置に集積し、最終的にデータベースに被験者ID、日時、センサ番号、センサON/OFFを1つのデータセットとして蓄積した。



焦電型赤外線センサ 受信機 宅内装置

図1 宅内行動センシングシステム

2. データ処理

蓄積されたON/OFFデータは、高齢者が宅内において「いつ」「どこに」居たのかという位置情報として蓄積されてゆくため、図2に示すような遷移として表現できる。つまり、各部屋のセンサ応答時刻から、部屋の滞在時間、利用頻度などが把握でき、さらに、居室間の距離から宅内でのおよその移動距離も知ることが可能である。

*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

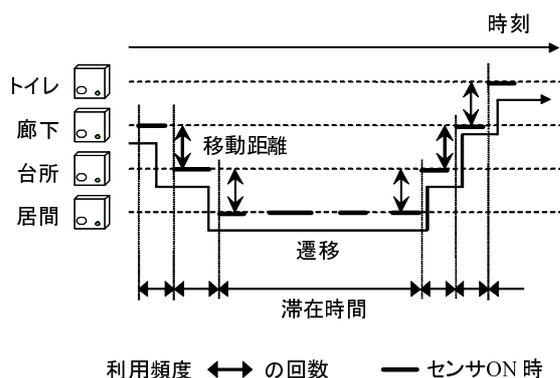


図2 センサ反応からの宅内行動の抽出
宅内移動距離は居室間の距離と推移回数から求める。居室利用頻度は部屋への入退室回数であり、居室利用時間は、部屋に入室してから退室するまでの滞在時間である。

本研究では、赤外線センサのデータから、1日単位に宅内移動距離、居室利用頻度、居室利用時間を抽出した。宅内移動距離は、部屋から部屋の推移回数とその推移した部屋間の距離から求めた。居室利用頻度は、1日分の入退室の回数を部屋毎に求めた。居室利用時間は、部屋毎に入室してから退室するまでの滞在時間を求め、1日単位に合計した。なお、居室利用頻度と居室利用時間は、宅内での主な活動場所である居間、台所、寝室、トイレについてのみ求めた。

3. 分析方法

分析は、まず、計測全日数について宅内移動距離、居室利用頻度、居室利用時間のヒストグラムにより分布型を確認し、平均値、標準偏差、中央値などの基本統計量を求めることで行動データの特徴を把握した。その後、1ヶ月毎にデータを集計し、経時的な変化を確認した。その際、被験者の住む地域に近い気象台の平均気温データとの相関を求め、宅内行動と平均気温との関連から季節変動の有無を調べた。

4. 分析データ

分析は、実験にあたり本人および家族に同意の得られた独居高齢者3名のデータにもとづいている。表1に被験者の年齢、性別、分析期間(ヶ月)を示す。

表1 分析データ

被験者	年齢	性別	分析期間(ヶ月)
A	90	男	25
B	73	女	25
C	73	女	25

結果

1. 宅内行動データの特徴

1.1. 宅内移動距離

図3に被験者Aの1日の宅内移動距離のヒストグラムを示す。図に示したように宅内移動距離は、正規分布を示し、他の被験者についても正規分布に近い分布型であった。

表2にすべての被験者の宅内移動距離の平均値、標準偏差、中央値を示す。部屋間の距離から求めた宅内移動距離の平均値は、約900~1200mであり、宅内においてもかなりの移動量があることがわかる。

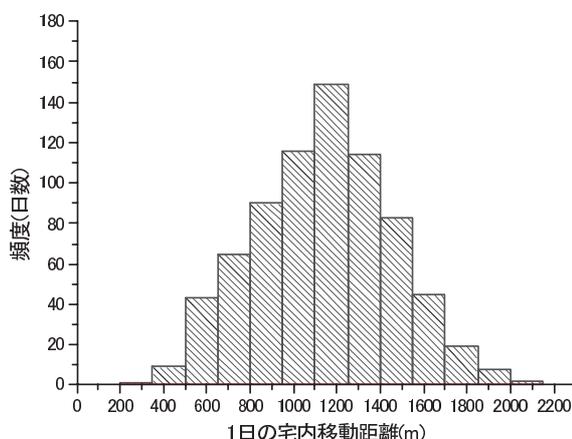


図3 宅内移動距離のヒストグラム(被験者A)

1.2. 居室利用頻度

図4に被験者Aの居間、台所、寝室、トイレの1日の利用頻度のヒストグラムを示す。また、表2に、部屋毎に求めた利用頻度の平均値、標準偏差、中央値を示す。部屋毎に分布型は異なり、被験者Aの場合、居間や寝室は正規分布に近いが、台所やトイレは、右に裾を引く分布型を示していた。平均利用頻度は、居間が314.6回、台所が156.8回、寝室が262.5回と非常に多くの利用回数を示しているが、これは実際にその部屋を利用した回数に加え、移動による部屋のセンサ反応もカウントされているためである。一方トイレに関しては、部屋の構造が袋小路になっているため、移動による頻度が加算されない。そのため実際にトイレを利用した回数を示しており、被験者Aの場合、1日のトイレへの入室回数が平均4.5回であることがわかる。

他の被験者では、利用の多い部屋では、300~400回程の入退室があり、トイレは約10回の入室がみられた。

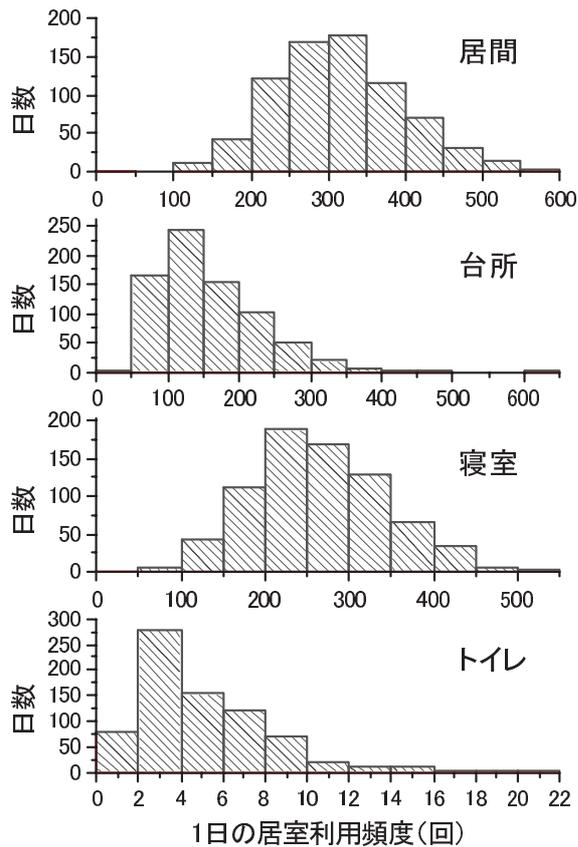


図4 居室利用頻度のヒストグラム(被験者A)

1.3. 居室利用時間

図5に被験者Aの居間,台所,寝室,トイレの1日の利用時間のヒストグラムを示す.また,表2に部屋毎に求めた利用時間の平均値,標準偏差,中央値を示す.分布型は,居室利用頻度と同様に部屋毎に異なり,正規分布に近いものから,右に裾を引く分布,さらに左に裾を引く分布までみられた.1日の利用時間の平均値は,被験者Aの場合は,居間や台所がそれぞれ3~4時間程度であり,寝室は,約15時間と非常に長い時間利用されていた.

他の被験者では,被験者Bでは居間10時間,台所2.5時間,寝室8時間であり,被験者Cでは,居間7時間,台所3.5時間,寝室6.3時間程度の利用が認められた.

トイレに関しては,分布が大きく右に裾を引く分布を示すことが多く,利用時間の平均値と中央値が大きく異なっていた.これは,トイレから退室後にセンサがOFFした時の情報がうまく宅内装置に届いていなかったため,高齢者がトイレに長時間滞在していたと誤って判断されたシステム上の問題が原因であった.

2. 宅内行動の季節変動

2.1. 宅内移動距離の季節変動

図6に被験者Aの宅内移動距離の季節変動を示す.図中 は1ヶ月毎に求めた1日の平均移動距離を示し,実線は被験者の住む地域の1ヶ月の平均気

表2 1日の宅内移動距離,居室利用頻度,居室利用時間の平均値,標準偏差(SD),中央値

行動データ	統計量	被験者			
		A	B	C	
移動距離(m)	平均値 (SD)	1138.8(315.8)	914.9(264.1)	1196.3(309.1)	
	中央値	1140.0	870.0	1164.5	
居室利用頻度(回)	居間	平均値 (SD)	314.6(83.5)	314.5(163.6)	294.1(126.1)
		中央値	310.0	274.0	270.0
	台所	平均値 (SD)	156.8(72.5)	187.8(92.1)	388.1(123.7)
		中央値	140.5	162.5	379.0
	寝室	平均値 (SD)	262.5(78.5)	92.3(48.1)	158.7(69.7)
		中央値	256.0	83.0	153.0
トイレ	平均値 (SD)	4.5(3.0)	11.2(9.1)	8.9(5.5)	
	中央値	4.0	9.0	8.0	
居室利用時間(分)	居間	平均値 (SD)	198.1(68.2)	591.9(149.4)	428.0(137.4)
		中央値	192.8	595.8	421.1
	台所	平均値 (SD)	192.4(94.5)	149.4(62.4)	221.3(113.1)
		中央値	172.2	137.9	190.7
	寝室	平均値 (SD)	885.1(176.0)	495.6(182.8)	384.9(200.0)
		中央値	889.1	511.0	437.9
	トイレ	平均値 (SD)	17.1(91.3)	20.6(29.5)	115.3(186.1)
		中央値	4.8	15.8	21.8

温を示している．気温が上がるとともに宅内移動距離が増加し，気温が下がるとともに宅内移動距離は減少している．表3に，宅内移動距離の平均値および中央値と平均気温の相関を求めた結果を示す．宅内移動距離の平均値と平均気温の相関係数が0.69と強い関連が認められた．その他の被験者についても被験者Bが0.46，被験者Cが0.76となっており，宅内移動距離と気温との間に関連が認められた．

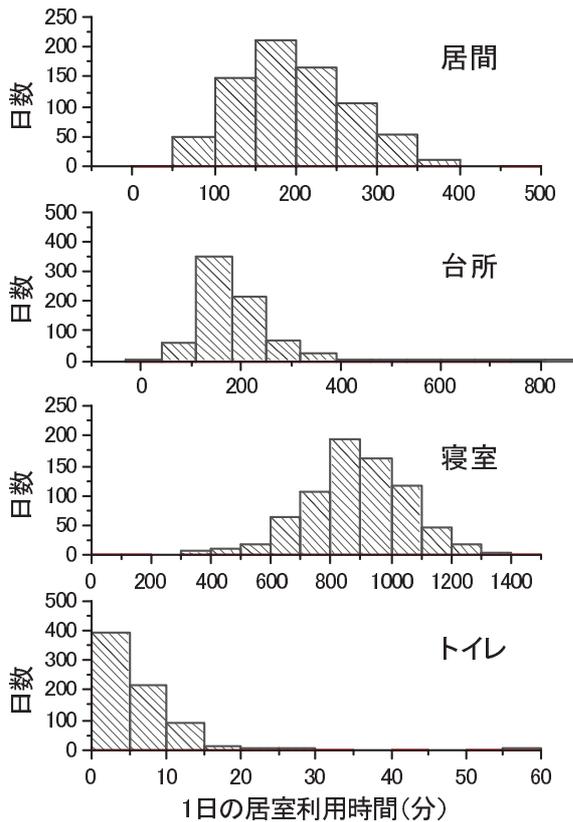


図5 居室利用時間のヒストグラム (被験者A)

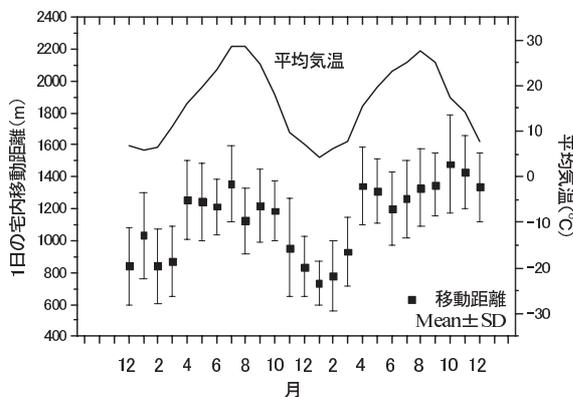


図6 宅内移動距離の季節変動 (被験者A)

2.2 .居室利用頻度の季節変動

図7に，被験者Aの居間，台所，寝室，トイレの利用頻度の季節変動を示す．また，表3に利用頻度の平均値および中央値と平均気温の相関を求めた結果を示す．被験者Aは，気温の上昇，下降とともに居間および寝室の平均利用頻度が増加，減少し，平均気温と正の相関が認められた(居間： $r = 0.47$ ，寝室： $r = 0.54$)．一方，台所は，その逆の傾向を示しており，気温が上がるとともに利用頻度は減少し，下がるとともに増加する負の相関がみられた($r = -0.43$)．トイレについては，相関係数が低く平均気温との間に関連はみられなかった($r = -0.04$)．

他の被験者については，被験者Bは，居間と台所の平均利用頻度が気温と負の相関，寝室は弱い正の相関，被験者Cは居間，寝室，台所とも負の相関がみられた．トイレについては，被験者B，Cとも相関係数が0.3程度と弱い負の相関が認められた．

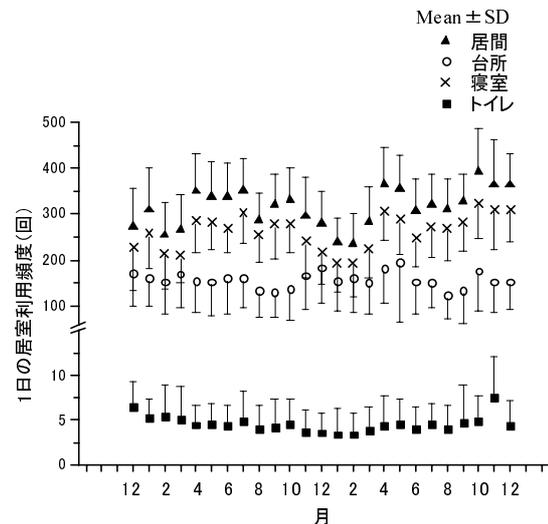


図7 居室利用頻度の季節変動 (被験者A)

2.3 .居室利用時間の季節変動

図8に，被験者Aの居間，台所，寝室の利用時間の季節変動を示す．また，表3に，居室利用時間の平均値および中央値と平均気温の相関を求めた結果を示す．被験者Aは，気温の上昇，下降とともに居間の平均利用時間が増加，減少し，平均気温と正の相関($r = 0.62$)を示していた．一方，寝室の利用時間は平均気温と負の相関($r = -0.65$)を示し，気温が上昇すれば利用時間は減少し，反対に気温が下降すれば利用時間は増加していた．

他の被験者では，被験者Bは，居間の利用時間が平均気温と負の相関を示し，台所は正の相関を示していた．被験者Cでは，台所の利用時間のみ平均気

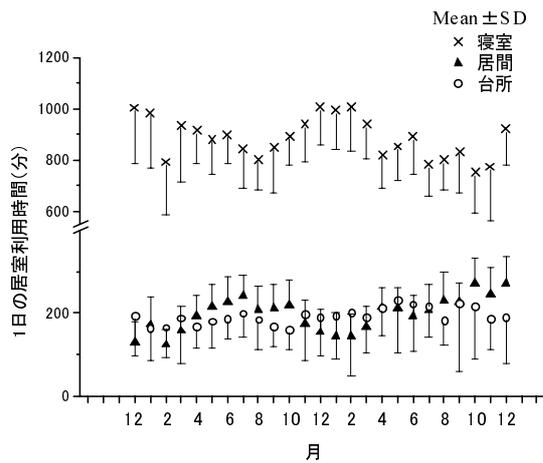


図8 居室利用時間の季節変動(被験者A)

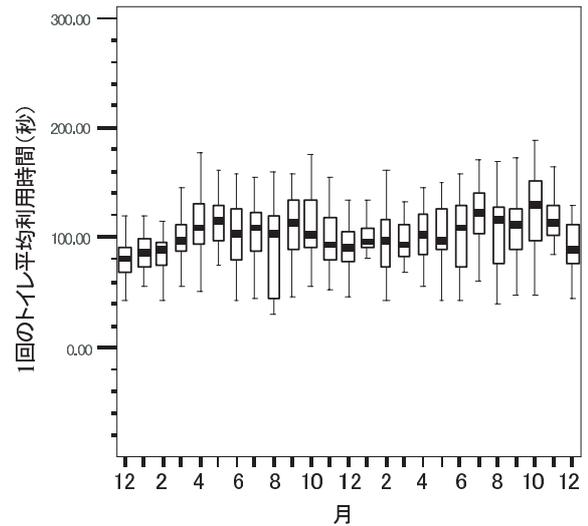


図9 トイレ利用時間の季節変動(被験者B)

温と正の相関を示しており、他の部屋については、相関係数が低く、気温との関連はみられなかった。

トイレは、表3に示したように、いずれの被験者も利用時間の平均値と平均気温との相関係数は低く、ほとんど関連はみられなかった。しかしながらトイレの利用時間は先程述べたように右に裾を引く分布を示していたため、分布の代表値として中央値を用いた方が適している場合もあり、その場合、被験者Bの利用時間の中央値と平均気温の相関が0.67と強い関連がみられた。図9に、月別に求めた被験者Bの1回の入退室に要したトイレの利用時間の箱ひげ図を示す。変動の幅は小さいが、気温の上昇とともに

利用時間が増加し、気温が低くなるとともに利用時間が減少する傾向が認められた。

考 察

人間は体調が良ければよく行動し、悪ければじっとしている。人間の健康状態と行動の間に密接な関係があることを考えると、宅内移動距離は、独居高齢者の活動量を評価するために重要な指標になると考えられる。また、部屋の利用頻度、特にトイレの利用回数や利用時間は、それ自体が生体情報であり、

表3 平均気温と宅内移動距離，居室利用頻度，居室利用時間の相関

行動データ	気温と相関を求めた統計量	被験者		
		A	B	C
移動距離	平均値	0.69	0.46	0.76
	中央値	0.39	0.71	0.81
居室利用頻度	居間 平均値	0.47	-0.66	-0.63
	居間 中央値	0.52	-0.79	-0.53
	台所 平均値	-0.43	-0.44	-0.33
	台所 中央値	-0.38	-0.71	-0.29
居室利用時間	寢室 平均値	0.54	0.28	-0.44
	寢室 中央値	0.53	0.30	-0.33
	トイレ 平均値	-0.04	0.34	0.33
	トイレ 中央値	-0.12	0.12	0.28
居室利用時間	居間 平均値	0.62	-0.69	0.00
	居間 中央値	0.53	-0.76	0.02
	台所 平均値	0.22	0.47	0.52
	台所 中央値	0.52	0.79	0.49
	寢室 平均値	-0.65	0.07	0.14
	寢室 中央値	-0.76	0.02	0.14
	トイレ 平均値	0.08	0.22	-0.03
	トイレ 中央値	-0.15	0.67	-0.12

健康状態を推測するための有益な情報となる。さらに、部屋の利用時間は、ある一定時間を超えると通報を発信する緊急通報システムの仕組みとして利用されることが多い¹⁵⁻¹⁶⁾。そのため、これらのデータの特徴や季節変動の存在を調査することには、健康状態の推測や異常検知を行う上で重要であると考えられる。

これまで提案されている見守りシステムに関する研究では、実際に計測されたデータは長いもので約半年～1年程度であり、1年を超えて計測を行った研究はほとんどない。そのため、異常判定アルゴリズムの検証に1年以上のデータが利用されたことはなく、季節変動は考慮されていない。本研究では、2年以上にわたり宅内の行動状況を計測した結果から、宅内移動距離、居室利用頻度、居室利用時間を抽出し、それら行動データの特徴および季節変動について調査を行った。

結果として、まず、宅内移動距離のデータは正規分布を示しており、平常や非平常（異常）の判定基準に平均値や標準偏差などの統計量を利用することができ、さらに、平均気温と強い相関がみられ、季節的な変動があることが明らかになった。居室利用頻度については、部屋や被験者によって分布型が異なるため、必ずしも平均値が適した判定指標になるとはいえないが、平均値や中央値などを用いることで主な部屋での活動状況の推測ができるといえる。特に、トイレに関しては、その分布の代表値を調べることで1日のおおよその排泄回数が把握でき、病気の早期発見に役立つと考えられる。居室利用頻度の季節変動に関しては、被験者や部屋により、その関連の方向や強さは異なっていたが、多くの部屋において季節変動が認められた。居室利用時間は、居室利用頻度同様に部屋や被験者によりデータの分布型は異なっていたが、被験者の利用する多くの部屋で季節的な変動が存在していた。

以上のように、宅内行動データの特徴および季節変動が明らかになったことで、健康状態の平常範囲や異常検知の閾値設定においては、以下の2点について考慮する必要があることを本研究において提案する。

- データの分布型を調査した上で、平均値および標準偏差、中央値やパーセンタイル値などの統計指標を利用する
- その際の分布は、直近の1ヶ月程度のデータもしくは、1年以上の計測をしている場合は同時期のデータをもとに作成する

まず一つめは、非平常（異常）状態を推測する一つの方法として、例えば宅内移動距離など正規分布

を示す場合、1日の平均値を m 、標準偏差を s とした場合、平常範囲の閾値の上限を th_{max} 、下限を th_{min} とすると

$$[th_{min}, th_{max}] = [m - s \times k, m + s \times k]$$

のように定義することができる。なお、 k は任意の定数とする。

このように平常範囲を設定することで、例えば、移動量であれば体力の低下などの推測ができ、トイレの利用頻度であれば、腎臓、膀胱、前立腺などの疾病の推測に役立つ可能性がある。また、分布が歪んでいる場合は、中央値やパーセンタイル値などを利用し、異常検知の閾値設定をすることができる。例えば、我々のこれまでの研究では¹⁷⁾、分布の25パーセンタイル(Q_1)および75パーセンタイル(Q_3)間の範囲(四分位範囲: IQR)を利用して、居室滞在時間の閾値 th_{max} を

$$th_{max} = Q_3 + IQR \times k$$

のように設定し、閾値を超えた場合は、転倒や発病などが原因で動けなくなっている可能性があるとして推測し、安否確認のメッセージを家族等に送っている。

ただし、上記のような平常範囲や閾値を利用して異常判定をする場合の注意すべき点として来客や外出などによる値の変化がある。来客や外出は、値に大きな変化をもたらすため平常範囲から外れてしまうことが予測できる。そのため、異常判定には来客や外出などの行動を正確に把握することが必要になる。

二つめは、今回の調査結果から宅内の行動には季節変動があることが明らかになったため、統計指標を求める元データは、なるべく同時期のものを利用する方が望ましいことである。ただし、同時期のデータを利用する場合は、1年以上の計測が必要になる。その場合は直近のデータを用いることがもっとも良いと考えられる。五味らは、宅内行動データについて分析し、20日～30日前後でデータの変動が落ち着いてくると報告しており¹⁸⁾、この点から考えれば直近の1ヶ月程度のデータを利用することが望ましいといえる。

おわりに

家庭内事故の増加などのため、在宅高齢者を見守る技術の研究・開発への重要性が高まっている現在、ハードウェア的な技術開発に加え、計測されたデータから異常を検出するアルゴリズム構築も早急に行

う必要がある。そのためには、長期間にわたり計測した基礎データの解析は重要であると考えている。

本研究では、赤外線センサを利用した高齢者見守りシステムにより2年以上にわたり計測した長期宅内行動データから宅内移動距離、居室利用頻度、居室利用時間を抽出し、そのデータの特徴および季節的な変動についての調査を行った。その結果、データの特徴としては宅内移動距離は正規分布を示していたが、居室利用頻度、居室利用時間は被験者や部屋により分布型が異なっていた。季節変動については、宅内行動データと平均気温との相関を求めた結

果、宅内移動距離についてはすべての被験者で正の相関がみられ気温が上昇するとともに移動量が増加し、気温が下がるとともに移動量が減少していた。居室利用頻度、居室利用時間についても被験者や部屋により関連の強さや方向は異なっていたが、平均気温と相関があり、気温の変動により利用頻度や利用時間が増加もしくは減少していることが明らかになった。本研究の結果は、見守りシステムを利用した日常生活行動の平常範囲や緊急事態を推定する際の基準や閾値決めの貴重な資料になると考えられる。

文 献

- 1) 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.
- 2) 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), 1977-1979, 1998.
- 3) 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. *CR Biologies*, **325**(6), 673-682, 2002.
- 4) 小越康宏, 小越咲子, 広瀬貞着: 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. *信学論 (D-II)*, **85**(5), 959-964, 2002.
- 5) 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.
- 6) 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.mewloc.jp/mimamori/>, [2006.3.20].
- 7) 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>, [2006.3.20].
- 8) 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.
- 9) 木川泰, 小栗宏次: 高齢者在宅データ遷移確率に基づく生活リズム変動解析. *電子情報通信学会技術研究報告*, **102**(726), 41-44, 2003.
- 10) 澤井一義, 吉田正樹: 論理演算を用いた在宅高齢者の異常検出. *電子情報通信学会技術研究報告*, **102**(726), 45-48, 2003.
- 11) 沼田成弘: 隠れマルコフモデルを用いた高齢者の異常検知システムの構築. *電子情報通信学会技術研究報告*, **102**(726), 49-52, 2003.
- 12) 古屋雅宏, 村上肇, 宮本渉: 独居高齢者の生活習慣に基づく少数のセンサによる体調不良日検出. *電子情報通信学会技術研究報告*, **102**(726), 53-56, 2003.
- 13) 村上肇: 日常生活動作の抑制に着目した独居高齢者の体調不良の推定. *電子情報通信学会技術研究報告*, **102**(726), 57-60, 2003.
- 14) 松岡克典: 住宅内行動の長期蓄積に基づく異常検知手法の検討. *電子情報通信学会技術研究報告*, **102**(726), 65-68, 2003.
- 15) 古川聡, 松田啓史, 萩尾健一, 谷口良, 筒井譲二, 田中智幸: 「ケアモニタ」向けセンサの検知技術. *松下電工技報*, **73**, 16-22, 2001.
- 16) 加藤清一: 高齢者の介護をバックアップするシステム・生活空間・製品 介護支援情報システム 見守りシステムをご存じですか?. *介護支援専門員*, **4**(4), 97-101, 2002.

- 17) 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.
- 18) 五味壮平, 坂田和実, 大竹佐久子, 井筒岳, 新貝柳蔵: 赤外線センサー群から得られた生活データの統計的解析 —異常発見支援システムの開発に向けて—. ライフサポート, 13(4), 10-17, 2001.

(平成18年5月20日受理)

Analysis on Human Behavior of Elderly People Living Alone Focusing on Seasonal Variation

Yoshimitsu SHINAGAWA, Toshio KISHIMOTO and Shigeru OHTA

(Accepted May 20, 2006)

Key words : human behavior, statistical analysis, seasonal variation,
home health monitoring, the elderly

Abstract

To establish detection method of health condition of elderly people living alone, we statistically analyzed monitored data at home for 25 months. The data were obtained from several infrared sensors placed in several rooms in house of elderly people. We found that movement distance at home showed a Gaussian distribution, but distribution of staying period and frequency in rooms was different from subject to subject depending on a room. Moreover, there was a correlation between movement distance, staying period and frequency in rooms and the average temperature. We found a seasonal variation of behavioral pattern. To develop abnormality detection algorithm with our home health monitoring system, it is necessary to check the distribution types the data and it is necessary to use the data of the past one month or the same season as the previous year.

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
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.16, No.1, 2006 121-128)