2001年における元気な高齢者の独り暮らし応援システム

A Health Monitoring System for the Aged Living Alone in 2001

太田 茂 (正会員), 谷川智宏 (学生会員), 品川佳満 (学生会員), 仲本博 (非会員) *

Shigeru OHTA, Tomohiro TANIKAWA, Yoshimitsu SHINAGAWA, Hiroshi NAKAMOTO *

Abstract

We have recently developed a health monitoring system for the elderly living alone. We measured in-house movements by placing infrared sensors in each room of their houses without restricting them so that monitoring can last longer. Continuous monitoring was performed for 91 months in total to 8 subjects. We estimate their health condition by checking the staying periods at specific rooms such as a lavatory in comparison with the previous data statistically. If there is a unusual state after analysis, we have to inform the family of the incident. Final decision should be made by their family. After inquiring with the subject or his/her neighbors by telephone, family members may call an ambulance, if necessary.

Key words

the elderly living alone, health monitoring, unrestrictive measurement, in-house movement

1.はじめに

4人に1人が高齢者という超高齢社会がまもなく日本に到来すると予想されている。急速な長寿化と少子化は必然的に独居高齢者数を増大させるが、高齢者の独居生活には不安要素が多いので適切な支援体制が必要である。このための仕組みとしては小型の無線発信機を用いる緊急通報システムが有名である。応需体制に余裕がある福祉先進国デンマークではこの仕組みを些細な用件で利用しても許される¹⁾というが、日本では命に関わる場合のためのものという位置づけになっている。不用意に触れることが無いよう大事にしまい込まれた発信機が緊急時に役立つかどうか多いに疑問であるし、応需側も突然の通報だけでは経緯がよく分からないという問題もある。

そこで、我々は独居高齢者の生活状況を長期的に見守るシステムを検討した。自らの意志で独り暮らしを続けるためには炊

事洗濯等の家事ができる身体能力や単調な生活を厭わない精神力が必要であるから、対象は日常生活の維持が可能な程度(多少の持病はOK)の体力や気力を持つ「元気な高齢者」に限定した。高齢者のモニタリングの手法は多様で、GPS(Global Positioning System)やPHS(Personal Handyphone System)を駆使して高齢者を広範囲にわたって追跡するシステム²⁾では存在場所を確定するための無線機携行が必須条件で、GPSアンテナの配置にも配慮する必要がある。機器を衣服に縫い込む方法は脱ぎ捨てられる恐れがあるし、無線機を頭頂部等の皮下に埋め込む方法には抵抗がある。こうした事情や経済的理由から、我々は宅内における無意識無拘束モニタリングの実現を目指した。

宅内でも就寝中や入浴中の心電図、就寝中の体温や呼吸数、大小便の排泄量や速度等が無拘束的に計測可能³⁾である。こうした生体情報は体調変化に敏感で病気や怪我の発生を素早く見つける目的には適しているが、被験者の協力無しに使えるセンサは少なく経済性も考慮すると無意識無拘束的な計測に徹することは結構難しい。我々も就寝中の異常事態を検出するために1998年まで特殊な布帛(フhak)電極を用いる無拘束心電図計測⁴⁾を実施していたが、長期間継続するためには操作性のみならず経済性や耐久性への配慮も欠かせないため今は中断している。また、窓やドアの開閉、家電製品の使用状況、さらに、電力・ガス・水道の使用量等のライフライン情報の計測も技術的には可能であるが、冷蔵庫のように人の存在に関係なく作動する機器も多く、計測結果と被験者の生活状況との関連が明確でない。

こうした背景を踏まえ、我々は人の存在を検知するセンサを

2001年12月9日受理

川崎医療福祉大学医療技術学部医療情報学科

〒701-0193 岡山県倉敷市松島 288

* 川崎医科大学医用工学

〒701-0192 岡山県倉敷市松島 577

Department of Medical Informatics, Faculty of Medical Professions, Kawasaki University of Medical Welfare, 288 Matsushima, Kurashiki-shi, Okayama, 701-0193

* Department of Medical Engineering, Kawasaki Medical School, 577 Matsushima, Kurashiki-shi, Okayama, 701-0192

多数用いて独居高齢者の宅内行動を連続的に計測し、その結果を別の場所で暮らしてはいるが独居高齢者の身を案じている家族や親戚、知人（以下、別居親族という言葉で代表させる）に伝えモニタして貰う「元気な高齢者の独り暮らし応援システム」を開発した⁴⁻⁵⁾。既に、80歳前後の独居高齢者8名の宅内行動を延べ91カ月にわたって計測してきた実績があり、地方自治体や別居親族等の協力さえ得られれば今すぐにも実施できる状況にある。被験者の属性をTable 1に示す。

Table 1 Subjects' Profile

Subject	Age (years)	Sex	Duration of monitoring Period months	
A	83	Female	1996/Jul~1996/Oct	4
B	87	Female	1996/Oct~1997/May	8
C	85	Female	1996/Aug~1998/Mar	20
D	73	Female	2000/Jan~2001/Jul	19
E	90	Male	2000/Apr~continuing	20
F	85	Female	2001/Apr~continuing	8
G	73	Female	2001/May~continuing	7
H	73	Female	2001/Jul~continuing	5

被験者の日常生活を妨げたり経済的・心理的に負担になるような計測法は長続きしないので、本システムでは無意識無拘束性を重視して人の体温に反応する赤外線受光素子を使用している。この素子は自動ドアや自動水栓など産業分野で多用されており安くて丈夫な上に非接触で被験者の存在が分かるので、これを組み込んだセンサを各部屋に設置すれば移動状況から大凡の健康状態が推測できる。計測中に普段と異なる状態が見つかったら別居親族に知らせる。なお、夫婦共に高齢者という世帯や施設に入所している高齢者や障害者についても24時間連続稼働する機械の目があれば家族も職員も安心であるが、被験者が複数の場合は個人識別番号を送出する無線機の常時携帯が必要になる。何かを強制することは無意識計測の趣旨に反するが、健康状態把握に役立つことが理解されれば被験者の協力も得やすい。そこで、無線機に各人の運動量に関する情報を提供できる多軸加速度計を組み込もうと考えている。

2. システム構成

本システムはFig. 1に示す宅内装置、情報集積装置(DBサーバ)、ウェブサーバおよびモニタ装置から構成されている。独居高齢者宅に設置する宅内装置は各部屋に設置した行動検知センサから収集した情報が一定量に達したらISDN回線の制御用チャンネルを介して情報集積装置に随時転送する。また、長時間、応答がない時には30分毎に無応答と通知する。情報集積装置は全情報を蓄積し被験者の生活状態解析に利用すると同時に最新情報をウェブサーバに伝送する。別居親族は自宅でモニタ用のソフトを組み込んだパソコンを用いてウェブサーバから被験者情報を適宜取り出し、閲覧用ソフトを用いて被験者の生活状況をモニタする。ウェブサーバの維持管理は自前もしくはプロバイダと呼ばれる通信業者に委託する。

現状では、独居高齢者の緊急事態に24時間対応できる市町村はそう多くない。それ故、我々は通報先を別居家族にした。別居親族への情報伝送路にインターネットを用いた理由は通信費用面での優位性を評価したためであるが、守秘面に関しては十分な注意を払う必要がある。

このシステムは、各市町村に対しIT時代にふさわしい独居高齢者への対応方法を提示するものである。

Fig. 1 Block diagram of Our Health Monitoring System

3. 計測方法とその特徴

独居高齢者のモニタリングを行うために、我々は人体が放射する赤外線を検知する焦電型赤外線受光素子（松下電工株式会社製、AMP2109およびAMN1111-2を使用）を組み込んだ行動検知センサを開発した。このセンサは検知範囲に人が入るとオン状態になり、そこから出るか静止するとオフ状態になる。この状態変化の時刻をミリ秒単位で記録したデータが次章で述べる様々な解析の基になる。前記素子はチャタリング（連続的なオン/オフの繰返し）防止策として一定時間、オン状態を持続する。我々が用いている素子の持続時間は約10秒で、検知範囲を通過しただけでも、そのセンサのオン状態は10秒間続き、各部屋に設置したセンサのオン状態も実際の滞在時間より10秒程度長い。つまり、行動検知センサのオン回数は、その場所における滞在時間には比例しない。我々は、センサのオン状態が長く続く場合、滞在時間が10秒経過するたびに仮想的なオン回数を1ずつ加算することで、この値が概略の滞在時間を示すように工夫した。

このセンサは安価なので被験者が利用する全ての部屋に設置することができる。非接触で検知するので長期間利用しても被験者に負担をかけない。ただし、このセンサは来客や犬猫にも反応して雑音を発する。来客以外の原因による雑音は独居高齢者の宅内行動の把握には不都合であるが、長期旅行中の被験者宅における計測結果から推定した雑音発生率は0.1%以下なので無視している。一方、独居高齢者の体調不良時に訪れた客は、このシステムでは対応できない状況にも対処でき、独居高齢者の緊急時に備えるという本来の目的に好都合なので、現行システムの判定基準を信号途絶には厳しく来客等によ

る信号増大には甘く設定した。なお、前述した個人識別番号を送出する無線機の常時携行には雑音を減らす効果も期待できる。また、多数の部屋にセンサを設置した場合、概略の宅内移動距離が算出できる。

浴室やトイレは事故が多いのでモニタリングの必要性は高いが、我々のセンサは浴室等の高温多湿環境に長く耐えられない。そこで、浴室には防水型の無線発信機を置いて万一の場合に備えた上で、脱衣場に設置したセンサで浴室内の状況を推定している。

健康状態の急変に敏感な心拍や体温、呼吸数等のバイタルサインは事情が許せば利用したい情報である。また、電力・ガス・水道等のライフライン情報も緊急事態の発生原因推定に役立つ。しかし、我々はコスト面の制約からどちらも採用せず、代わりに、健康状態との関連性が高い情報として日常生活における体動に着目し、その計測手段である携帯型加速度計の開発を進めている。しかし、センサの携行は無意識計測の趣旨に反するだけでなく、携行を忘れるという事態が避けられないので、入力情報の一部が欠落しても運用可能なシステムを構築して対処する。加速度計には重力の影響分も計測できるアナログデバイス社製の小型 2 軸加速度計 ADXL202 を選び、これを 2 個用いて 3 次元化し被験者の姿勢変化や運動強度に関する情報を求めている。将来的には、無線機に多軸加速度計を内蔵させ歩行状況や運動量に関する情報がリアルタイムに収集できるようにすべきであるが、当面はオフライン的に収集し解析している。

4. 計測結果の解析評価と効用

焦電型赤外線受光素子はカメラに比べて一般に安価でデータ量も少ないので多くの部屋に気軽に設置できる。したがって、これだけでも被験者の生活状態がほぼ把握できるからカメラは不要と我々は考えている。この特性は独居高齢者のモニタリングに適しており、豪州でも実験が行われている⁶⁾。

赤外線センサで判ることは被験者が存在する場所だけであるが、独居高齢者の日々の宅内行動パターンが示す高い類似性から最新計測値を過去の計測値と比較照合することで現在の生活状態を統計的に推定することができる。ただし、このセンサだけで健康状態を正確に判断することは不可能に近いので、我々は過去の一般的傾向と類似している状態（これを平常状態と定義する）に含まれるか否かという判断をしている⁴⁻⁵⁾。非平常状態には次のような場合が含まれる。

- 1) 滞在時間が統計的に許容される設定値を超過—トイレや浴室等の使用目的が明確で滞在時間が短い場所に有用。
- 2) 無応答時間が統計的に許容される設定値を超過—居間や寝室等の滞在時間が長い場所に有用。
- 3) 最新の変動パターンが過去の平均パターンと不一致—台所や寝室等のほぼ定まった時刻に利用する場所に有用。

1)の滞在時間超過に限り自動的に検出でき即時警告も可能であるが、非平常状態は必ずしも病気や怪我などの異常状態を意味しない。例えば、ひごろ家に閉じ籠もりがちの人が外出

すればセンサの検知回数は減少し来客時には増大するが、人の目はセンサより信頼できるから、こうした原因による非平常日は問題ではない。なお、外出や来客の有無は本人に電話して確認すれば確実だが計測結果から推測もできる。非平常状態の発生を通報されたモニタ担当者（一般には別居親族）は直ちに本人もしくは隣人に対して電話で問い合わせなどの方法で真因を究明しなければならない。問い合わせの結果、健康状態への影響、例えば、発病などが疑われる場合には、モニタ担当者はホームヘルパーや救急車の派遣を要請しなければならない。こうした緊急事態に備え、モニタ担当者は被験者居住地域の救急体制について事前に調査しておく必要がある。前述したように、非平常状態には外出や来客が含まれ、更に、雑音混入やセンサの誤動作もあり得るので、あらゆる場合について人による確認を原則とする。確認のために電話することで家族相互のコミュニケーションが増すという二次効果も別居家族の話で明らかになった。

4. 1 行動軌跡の目視

Fig. 2 は或る被験者宅の間取図であり、各センサの応答状況をセンサ取付位置や検知範囲の色で示す。過去の応答状況をビデオの早送り風に時間を短縮して表示すると、被験者の宅内行動が動的に示される。人間のパタン認識能力は極めて高いので、被験者の生活習慣を熟知している人なら、この図から多大の情報を得ることができる。また、各センサの応答状況を Fig. 3 に示すような横軸がセンサ番号、縦軸が時間であるグラフで表すと各時刻における所在が一目瞭然と被験者の生活状況を正確に把握でき、かつ、記録性も高い。いずれの表示方法も判り易いのでモニタ担当者に好評である。

4. 2 センサ間推移表と宅内移動距離

Table 2(a)は一人の被験者のある特定日のセンサ間推移表である。表中の S が付いた記号、例えば、S1 はセンサ番号 1 番の検知領域を表す。広大な部屋や特殊形状の部屋は別だが、通常は各部屋に一つずつセンサを設置するようにしているので、この表は或る部屋から別の部屋へ一日の間に何回移動したかを示すマトリクスといえる。縦軸のセンサから横軸のセンサへ移動する約束にしてあるので、マトリクスの 1 行目は S1 を設置した部屋から他の部屋への推移回数を示し、1 列目は他の部屋から S1 を設置した部屋への推移回数を示している。つまり、(a)のマトリクスは被験者の行動パターンを示している。次に、(b)は過去 30 日間の平均値からなるマトリクスで、各要素は (a)と同様、被験者の平均的行動パターンを示している。二つのマトリクスの相関係数は 0.969 であり、この被験者の行動パターンは毎日似通っていることが分かる。この傾向は我々が計測した被験者の多くに認められる特徴で、おそらく、多くの独居高齢者に共通することであろうと我々は考えている。この経験則から、我々のシステムでは、最新情報を過去の蓄積情報と比較し、類似日の多寡によって平常日と非平常日を判別している。

Fig. 2 Placement of Movement Sensors

Fig. 3 Transition Diagram of an Elderly Person

センサ間距離は不変であるから、推移表から宅内移動距離も求められる。Fig. 4 に示すように、この値は病気で寝込んだ日や外出日に減少するので、被験者の健康状態を示す指標として利用できる。減少した理由は本人に聞けば簡単に分かるが、玄関センサの応答状況からも推測可能である。

4. 3 時間帯別センサ応答回数

Fig. 5 は台所センサの応答回数の時間的変動を示すグラフで被験者の行動様式の一断面を示している。被験者の起床、食事、就寝等の時刻は多少の変動はあっても大凡決まっているから日々のパターンには強い類似性が認められる。しかし、朝寝坊をした日でも普段より遅いのは朝食だけで昼食や夕食はいつもどおりかもしれない。行動計測では、こうした時間的ズレが頻繁に起こるため二つのグラフの同一時刻の値を単純に比較しても類似性が発見できないことがある。しかし、音声認識のように時間的変動が日常茶飯事という分野では時間的変動の存在を前提として信号波形の類似性判定を行っている。そこで、我々も宅内行動パターンについては最新情報と過去の蓄積情報とを音声認識手法を用いて比較⁷⁾し、類似日数の多寡を判定基準にすることによって平常日と非常日を区分している。

4. 4 滞在時間監視

過去の計測結果から独居高齢者の各部屋の滞在時間には規則性があることが判った。Fig. 6は或る被験者の各部屋における注目日の最大滞在時間をグラフ化したものである。全ての滞在時間をグラフ化するとトイレを除く多くの部屋で極めて短い滞在時間が目立つが、これは各部屋を通過する際の時間と思われる。そこで、各部屋における一日の最大滞在時間に注目し長期間のデータを精査したところ、図のような分布傾向が明らかになった⁸⁾。曲線の細かい形状は各自の生活習慣を反映して異なるが、大まかな傾向は多くの被験者で共通である。そこで、過去の計測結果に基づいて被験者毎に各部屋の閾値を設定し、これを超える場合に警報を発することが可能で、この機能はトイレや浴室で特に重要かつ有効である。平均滞在時間が長過ぎるため同様の手法が使えない居間や寝室等については、過去の計測結果から各センサの時間帯別応答間隔を算出し、この値に基づいて警報を発する方法で対処している。いずれの場合も閾値は計測結果に基づいて各被験者毎に算定している。また、滞在時間は季節によって変動することも過去

Table 2 Transition Matrices from Sensor to Sensor

(a) A specific data at 19th/Aug/1996

S:Sensor

From / To	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	---	0	56	0	1	0	0
S2	0	---	0	6	23	5	0
S3	48	0	---	0	43	0	9
S4	0	6	0	---	0	0	0
S5	1	25	39	0	---	45	0
S6	0	3	4	0	43	---	0
S7	0	0	9	0	0	0	---

(b) Averaged data of past 30 day of matrix(a)
(from 19th/Jul/1996 to 18th/Aug/1996)

From / To	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	---	0.2	32.9	0.1	2.4	0.5	0.1
S2	0.2	---	1.4	5.7	20.5	4.8	0.1
S3	32.5	0.7	---	0.1	46.9	1.0	13.0
S4	0.1	5.6	0.2	---	0.1	0.4	0.1
S5	1.6	21.4	43.7	0.0	---	44.3	0.4
S6	0.8	4.6	4.4	0.5	40.9	---	0.2
S7	0.5	0.1	12.1	0.1	0.7	0.2	---

の計測結果から判っているのを、これを念頭に置いて閾値は動的に変化させている。我々は、今も計測を継続している被験者に対し上記の監視を 24 時間続けており、モニタ担当者の携帯電話にメールまたは音声による警報を実際に送信している。運用開始から半年という状況なので閾値の設定方法等に調整の余地はあるが、雑音による誤報は皆無で被験者の家族や知人から高い評価を受けている。

4.5 運動強度情報

足早に長時間歩ける人は元気と考えられるから、運動強度が簡単に計測できれば被験者の健康状態の推定に役立つ。こ

Fig. 4 In-house Moving Distance

Fig. 5 Movement Events Detected by a Sensor

の目的に加速度計は最適で、垂直方向の加速度振幅は古くからエネルギー消費量や運動強度の指標と目されてきた⁹⁾。しかし、多軸加速度計を用いて歩行および走行時の加速度変化を観察してみると、運動量と加速度振幅の関係はそれほど単純ではないことがわかる。例えば、走行速度を上げる方法として歩幅を拡大する走法では、速度の増大、つまり、運動強度の増大に伴って顕著に増大するのは垂直方向よりもむしろ前後方向の振幅である。従って、加速度計を用いるなら多次元的情報を活用すべきである。また、歩行および歩行時の周期の影響が軽視されている点も問題である。そこで、我々は各振幅を一步に要する時間で除して正規化してみたところ、幾つかの興味ある事実が得られた¹⁰⁾。例えば、上下と前後の 2 軸あるいは上下、左右、前後の 3 軸の正規化振幅からなるベクトルの大きさとエネルギー消費量の指標である%最大酸素摂取量との間には比例に近いリニアな関係が多く数の被験者について認められる。20~50 歳代の被験者の上下・前後 2 軸の歩行および走行時の正規化振幅ベクトルと最大酸素摂取量との関係を Fig. 7 に示す。なお、縦軸の単位に含まれる G は重力加速度 (=9.8m/s²) を意味している。

本実験の前提となる最大酸素摂取量の測定は被験者にかなりの負担を与えるので高齢者向きではない。しかし、我々の狙いは運動強度や運動量から独居高齢者の健康状態を推測するための評価指標を見つけることであって、運動生理学分野との整合性は必ずしも重要ではない。そう考えれば、多軸加速度計によって求められる多次元空間内の正規化振幅ベクトルの大きさは高齢者の運動強度の指標として充分利用可能である。以上の観点から、我々は 3 軸加速度計を内蔵した携行可能な小型の運動強度センサの開発に取り組んでいる。

5. 結論

我々は独居高齢者宅の各部屋に焦電型赤外線センサを配置し無意識無拘束的に見守る仕組みに押しボタン式の無線発信機を組み合わせる実用的なシステムを構築した。このセンサではバイタル情報は得られず収集できる情報は限られるが、被験者の生活を乱す要素が全く無いので長期計測が可能である。また、安価なので被験者宅の随所に設置することができ被験者の宅内行動を連続的に計測できる。その結果、高齢者の行

Fig. 6 Histograms of Maximum Staying Period in Rooms

Fig. 7 Normalized Vector of Amplitude of Acceleration during Single Step Exercise

動パタンの類似性が証明できたが、これは長期継続性を測定精度より優先させたおかげである。人体が放射する赤外線を検知するという方式上、このセンサで病気や怪我の発生を即座に知ることは難しいが、長期計測可能という利点を活かして蓄積した過去の膨大なデータを最新計測値の評価に利用することで平常／非平常の判別が可能である。宅内行動状況の変化から独居高齢者の健康状態の推移がある程度まで分かるので、独居高齢者と別居親族双方の不安感を軽減させるという本システムの使命は充分達成可能である。もともと、本システムにおいて正常／異常の最終判断を下すのはモニタ担当者であって、コンピュータはそれに必要な情報を提供するための道具にすぎない。それでも、疲れ知らずという機械ならではの特性を持つコンピュータは、間違いやすい人間の弱点をカバーし被験者の異常事態検出に貢献するから、その果たす役割は大きい。加速度センサから得られる情報も加味すれば、より正確な判断が可能になるものと期待している。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費（1999-2001, No. 11558047）ならびに新エネルギー産業技術総合開発機構の平成7年度提案公募型研究開発（1995-1997, No. E-017）と（社）人間工学研究所経由で同機構から委託された人間行動適合型生活環境創出システム技術（1998～）等の補助金で実施したものである。

参考文献

- 1) 大熊由紀子, 「寝たきり老人」のいる国いない国. 初版. 東京: ぶどう社, 1990:p35.
- 2) D.Murakami and M.Makikawa, Ambulatory

behavior map, physical activity and biosignal monitoring system. Method of Information in Medicine 1997; 36: 360-363.

- 3) T.Togawa, Home health monitoring. Journal of Medical and Dental Science 1998; 45: 151-160.
- 4) 太田茂, 元気な高齢者の独り暮らし応援システム. バイオメカニズム学会誌 1998; 22(2): 61-66.
- 5) 太田茂, 高齢者のためのモニタリング. 情報処理 2000; 41(6): 639-643.
- 6) B.CELLER, W.Earnshaw, E.D.ILSAR et al, Remote monitoring of health status of the elderly at home. International Journal of Biomedical Computing 1995; 40: 147-155.
- 7) H.SAKOE and S.CHIBA, Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition. IEEE Transactions on Acoustic, Speech and Signal Processing 1978; ASSP-26(1): 43-49.
- 8) 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 2001; 13(2): 9-16.
- 9) H.J.MONTOYE, R.WASHBURN, S.SERVAIS, A.ERTL, J.G.WEBSTER et al, Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. Medicine and Science in Sports and Exercise 1983; 15(5): 403-407.
- 10) 谷川智宏, 品川佳満, 藤谷恭信, 太田茂, 長尾光城, 携帯型加速度計を用いた運動強度の計測. 川崎医療福祉学会誌 2001; 11(1): 99-106.