生活記録を行うための携帯型計測システム*

Portable Devices Measuring Daily Activities

猪岡 光**
Hikaru INOOKA

Key words measurement, portable device, physical activities, ambulatory movements, energy consumption

1. はじめに

日本は世界でもトップレベルの長寿国であるが、「健康日本21」でも強調されているように、寿命を単に伸ばすことよりも「健康寿命」に重点が移ってきた。健康寿命は自立して生活できる期間を意味し、寿命と健康寿命の差が介護を受ける期間である。この健康寿命を伸ばすことは、個人にとっては何にもまして大事なことであるが、社会的にも医療費や介護費用の低減、さらには労働力の確保という側面から重要視される。

健康寿命は多くの因子により決まるものであるが、身体的な健康に注目すると、食生活と日常の運動が大きな要因である。特に摂取カロリーが消費カロリーを大幅に超過すれば肥満につながり、いわゆるメタボリック症候群に陥る可能性が高まる。そこで、摂取カロリーと身体活動量がバランスした生活をすることが、長期間の健康保持に必須である¹⁾。

日常生活の行動や消費カロリーの測定は、様々なセンサーが使用可能になってきたので、特に小型軽量の加速度センサーの発達により、比較的容易に実現できるようになってきた^{2)~4)}。本解説ではこれらのセンサーを使用した生活記録用の携帯型装置を中心に、関連した分野での最近の状況を概説したい。

2. 生活記録の方法

生活記録の方法としては質問紙法が従来から使用されている。疫学的研究の多くはこのような調査に基づいており、有用な様々な成果を得ている。例えば、ハーバード大

学の卒業生約1万7千人の7年にわたる追跡調査では、日常の身体運動量と心筋梗塞発症リスクの関係が明らかにされている⁵⁾。特に日常的に階段を利用している、2ブロック以上歩く、スポーツをしているなどの生活習慣が心疾患のリスクを下げていることが指摘された。同様な調査により、一定以上の身体活動量が心疾患のみならず他の疾患の予防に寄与することが明らかになっており、身体活動量のレベルと継続時間との関係などさらに多くの調査が継続されている。

質問紙法や日記法（生活行動時間調査）は、計測装置を使用しない点では簡便であるが、データの収集に手間がかかること、あるいは詳細なデータを得ることは困難であることが欠点である。そこで、何らかの計測装置を使用することが求められてきた。一方、精神的な健康は主観的な側面が大であり、質問紙法は極めて有力な方法である。また、健康の総合的な理解にも質問紙法は有効である。最近開発された「元気点検表」は、食事（食）・呼吸（息）・睡眠（眠）・体温調節（温）・運動（動）・心の働き（想）・性・環境・安全の9つの視点から自己の生活習慣を総合的に評価・認識・改善することに役立つ⁶⁾。このような質問紙法においても、行動計測装置を併用するシステムを構築することで、より詳細な考察が可能となるであろう。

日常生活における行動を計測する装置を、使用するセンサーと測定項目により大まかに分類したのが表1である。最初の歩数計は、歩行という行動に特化した計測装置であるが、加速度センサーの使い方によっては、次の活動レベル計測装置と重なる部分もある。活動レベル計測装置は、人間の身体の動きから活動レベルを推定し、長時間にわたる生活記録を調べるのに使用される。行動計測装置は、行動の分類と対応する消費エネルギーを推定する装置であるが、やはり上記2種類の装置と部分的に重複する。最後の移動計測装置は、日常生活での人間の移動経路を推定する装置である。以上の分類に基づき、以下に説明をしたい。

*原稿受付 平成19年8月20日

**研究工房ろごす（宮城県仙台市青葉区八幡3-5-3）

猪岡 光

1969年東北大学工学研究科博士課程修了（工学博士）。東北大学教授。計測制御、人間工学の研究教育に従事。2004年定年退職。「研究工房ろごす」開設、行動計測など技術コンサルタント。著書「あやつる」オーム社、「知能制御」講談社など。

*1 元気点検表：<http://genki.sendai-wellness.jp/swc-hlcl/pr/PrHlclTop>

表1 計測装置の分類

	センサー	測定項目、特徴
歩数計	バネ・振り子系 加速度センサー	歩数 (階段・坂道の区別をしない)
活動レベル計測装置	加速度センサー ジャイロセンサー	相対的な活動レベル (長時間計測が可能)
行動計測装置	加速度センサー ジャイロセンサー 気圧センサー	行動の分類 消費エネルギー
移動経路計測装置	加速度センサー ジャイロセンサー GPS 気圧センサー 地磁気センサー	移動経路の推定 (屋外はGPS情報により 屋内はデッドレコニング法により推定する)

3. 歩 数 計

歩数計は当初距離測定の方法として注目され、そのための器具はレオナルド・ダ・ビンチ、日本では平賀源内までさかのぼれる⁶⁾。しかし、歩数計が急速に発展したのは1960年代の日本である。運動不足が危惧され、1965年に(財)日本万歩クラブが設立されたことが、そのきっかけになった。「ヒトは歩く動物である」といわれるように、歩行は日常生活の状況を知るのに最も適した行動である。歩数計は、歩行により生ずる身体の下方向加速度に基づき作動する。初期にはバネと振り子による機械式が採用されたが、最近は加速度センサーの使用が中心である。腰に装着するのが普通であるが、3軸加速度計を使用することで、計測装置の方向を垂直に保つ必要がなくなり、「胸、内ポケットタイプ」、「腕時計タイプ」など多様なタイプが販売されている。年間に約200万個も販売されており、最も普及している計測装置である。精度的には腰に装着するタイプが最も安定した性能を示すが、それでも歩行速度が極端に遅い場合や早いときには誤差が増加するので、注意が必要である。また、歩行動作の検出であり、階段や坂道の上下移動を区別することはできない。

簡易な歩数計は、積算した歩数のみを表示するが、メモリーを有する歩数計は長期間のデータを保存できる。さらにコンピュータと接続することで、様々な処理が可能である。最近は携帯電話に歩数計を組み込んだ機種もあり、歩数データを無線通信で指定の場所にも送ることもできる。また最近発売されたNike+iPodは、専用の靴を使用するが、ランニングにおける歩数の計測精度は高い²⁾。

なお、歩数計には消費エネルギーを表示するタイプもあるが、平地歩行と階段・坂道の歩行を区別できないので、使用状況で大きな誤差が生じることに注意しなければならない。

4. 活動レベル計測装置

活動レベル計測装置(Activity monitor)は身体の動き

図1 合成加速度の例

を計測し、マクロな生活記録を調べるのに有用である。通常3軸加速度センサーを使用し、歩数や行動よりも活動レベルの計測に重点をおいている。アクチメータと呼ばれることもあるが、本来は睡眠中の体の動きを測定して、睡眠の質を調べるために開発された装置である。レム睡眠とノンレム睡眠を判定するのに、このような体の動きを測定することが重要である。腕時計タイプの装置が普及している。例えばCambridge Neurotechnology社の製品は、6ヶ月あるいは18ヶ月連続使用が可能であり、防水機能もあるので、長時間計測に適している³⁾。加速度の強度レベルで評価し、長期間の時系列データの相対的な変動で日常生活の傾向を推定することができる。例えば、1日ごとの総活動レベルの時系列を数ヶ月間比較することで、その人の生活パターンに変化があるか、体調に変調をきたしてないかどうかを、容易に判定できる。このように長期使用に適しているので、疫学的な使用にも適している。

腰に付けるタイプは、人間の重心位置の動きを測定することから、体全体の動きを大略見ることができる。そこで、体全体の動きに対応した消費エネルギーを同時に推定する機能を有する装置もある。しかしながら、加速度の情報のみでは、正確な消費エネルギーが推定できない。図1は、腰に装着した加速度センサーの3軸の合成加速度(各軸の加速度の二乗和)の例である。平地歩行、走行、階段下り、階段上りに分けて表示してある。合成加速度レベルが平地歩行より高いのは、走行と階段下りである。走行は歩行よりも多くの消費エネルギーを使用するので(速度により4~6倍)、この結果は少なくとも定性的には妥当である。しかしながら、階段降りは、平地歩行と同程度あるいは多少多い消費エネルギーであるが、合成加速度のレベルは平地歩行の3~4倍になっている。それに対して階段上りは、平地歩行の3~4倍の消費エネルギーになるが、合成加速度は平地歩行と同レベルである。このように、消費エネルギーを合成加速度から推定するのは大きな誤差を伴うことがあるので注意が必要である。長時間計測では、このような誤差がプラスとマイナスで相殺され明確でないこともあるが、短時間でも高負荷な行動は医学的に重要であり、区別が必要である。

消費エネルギーをより精度よく推定するために、心拍計

*2 Nike+iPod: <http://www.apple.com/jp/ipod/nike/gear.html>

*3 Cambridge Neurotechnology: <http://www.camntech.com/>

図2 行動の分類例

を合わせて使用する方式が提案されてきた⁷⁾。消費エネルギーは心拍数との相関が高いが、心拍数は精神的な刺激によっても変動する。そこで、歩数計からの運動情報と合わせることで、そのような変動を除去して消費エネルギーを推定できる。

5. 行動計測装置

日常行動をより詳細に分類し記録ができる装置を行動計測装置と呼ぶことにする。行動の分類としては、大きくは立位、座位、臥位の3種類である。立位の行動は、さらに平地の歩行、階段・坂道の歩行、自転車、ジョギングあるいは立位での活動（家事、掃除など）に分類できる。また、乗り物による移動も行動として重要である。このような行動をすべて区別できる計測装置はいまだない。現在報告されている記録装置は、限定された行動のみを区別できる。通常の歩数計では、歩行と走行との分類のみであるが、3軸加速度センサーを使用すると、立位、座位、臥位を区別することができる。加速度センサーとジャイロを足先に装着すると、階段や坂道の上下を含めて移動距離を精度良く推定できる⁸⁾。また、気圧センサーを使用すると、上下方向の移動を容易に検知でき、階段や坂道の上下のみならず、乗り物による上下方向の移動（エレベータ、エスカレータ、自動車、列車など）も検出できる⁹⁾¹⁰⁾。気圧センサーを利用した計測装置の測定例を図2に示す。行動を、走行、歩行（上り、平地、下り）、乗り物（上り、下り）、その他、静止、臥位の9種類に分類して、時系列として表示してある。実際の行動としては、平地歩行から始まり、階段上り、階段下り、エレベータの上り下り、途中で椅子にて休憩をしているが、記録としてはこれらの行動を正確に分類している。なお、乗り物の判定は、歩行でないと上下の移動を検出したときにされるので、乗り物でも上下移動がないと、「その他」、「静止」と判定されることに注意が必要である。最後の段には、各行動で消費したエネルギーの推定値が記載してある。消費エネルギーの推定は、呼気ガス分析装置を使用した行動実験にて作成したデータベースに基づいており、精度は高い。

社会生活の基本調査では、家事、育児、食事、趣味な

ど、目的により行動を分類する。交通行動分析でも、アクティビティデータとして1日中のすべての行動を、目的ごとの行動を含めて記録する。しかしながら、このような目的ごとの行動分類を自動的に計測する方法はない。記述式の回答に頼らざるを得ないが、先のような時系列の行動記録があれば、その結果を基に詳細な行動を書き込むのは容易である。もちろん、音センサーによる周囲の音や会話の記録、光センサーによる環境の変化などの情報、さらに次に述べる移動経路情報も加えれば分類を有効に行うことができる。

6. 移動経路測定装置

行動の時系列のみならず、行動をした場所の特定や移動した経路を計測することも要求されることがある。自宅から外に出たのか、外出時にどのような経路を通ってきたか、あるいは、百貨店・ショッピングモールなどでどのような売り場を見てきたかという情報は、本人の活動や実際の範囲、移動の手段、興味の傾向を知る上で役立つ。

建物外においてはGPS（Global Positioning System）が有効であり、小型で高性能な装置が各種市販されている。例えば、USBメモリー型の軽量小型計測装置で、約5日間のデータを蓄積し、その間の移動経路をGoogle Mapにて簡単に表示できる商品もある。ハイキング、サイクリング、登山など屋外の活動に簡単に使用できる。オフラインの使用を想定している装置が多いが、リアルタイムでの使用も可能である。

一方、建物内や地下街などではGPSが使用できない。ICタグ、カメラなどを整備することも考えられるが、そのような場所では経路を推定できない。人間に取り付けた装置のデータのみから経路推定を行うことは、移動ロボットでのデッドレコニングに相当する。移動ロボットにおいては、車輪の回転数から移動距離を比較的精度良く推定できる。しかし、人間の場合には歩行動作から移動距離を推定する必要があるが、精度良く推定するのは困難な課題である。推定方法はいくつか提案されているが、いずれの方法を使用しても累積誤差は避けえず、短時間の使用しかできない。地図を利用することで、誤差の発散を避ける方

法も提案されている¹¹⁾。

加速度の直接積分に基づく慣性航法を適用することでもできる。地下街、トンネル、地中の工事現場など、消防活動が困難な場所での消防隊員の活動を支援するために、慣性航法による「位置特定センサー」が開発され、報告書も公開されている¹²⁾。また、デッドレコニングとGPSを併せて経路・位置の推定をする方法も提案されており、ポイントマンの名前で市販もされている^{*4)}。これらの装置が、生活行動を記録する目的に利用されるためには、装置の軽量化、使いやすさ、コストの軽減などが望まれる。

7. ま と め

日常での生活記録について、主に消費エネルギーに重点をおいた行動記録のための計測装置について述べた。行動記録といっても応用分野により、選択すべき行動が異なることに注意が必要である。医療・看護、リハビリテーション、福祉分野、交通問題、都市計画分野など、多くの場面で行動計測と関連する情報収集が行われている。医療分野では行動のみでなく、血圧、脈拍、血中酸素飽和度、心電図などの生体情報と合わせた記録も要求されている。これら多様な分野における行動記録の詳細に関しては、各分野の状況を参照いただきたい。

将来、行動計測装置すべてに関わる問題として、データの標準化、インターネットへの接続法などが挙げられる。行動計測装置が単独に使用されるよりは、他の装置と組み合わせられシステム化される場合が増えてくる。そのためには、データの標準化が必須である。あらゆる健康機器の相互接続性を確保するために、Continua Health Allianceという団体が2006年に設立され、関連する100社以上の参加のもとで活動している。インターネットへの接続は、個人データを扱うのでセキュリティが最優先であろう。無線通信ネットワークもこれから不可欠な技術であるが、医療・ヘルスケアに関する無線の規格づくりとしては、IEEEが2007年にMedical BAN作業部会を立ち上げた。健康管理・予防医療分野での大きな流れが動き始めてお

り、行動記録装置もその中で新たな展開が予想される。

本文をまとめるにあたり有益なコメントをいただいた山梨大学助教の大瀧保明氏に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 永富良一：身体活動量評価の健康福祉分野におけるニーズ，日本機械学会誌，**110**, 1058 (2007) 34.
- 2) J.B.J. Bussmann, P.H. Veltink, F. Koelma, R.C. van Lummel and H.J. Stam: Ambulatory Monitoring of Mobility-Related Activities: the Initial Phase of the Development of an Activity Monitor, *European Journal of Physical Medicine Rehabilitation*, **5**, 1 (1995) 2.
- 3) C.V.C. Bouten, K.T.M. Koekkoek, M. Verduin, R. Kodde and J.D. Janssen: A Triaxial Accelerometer and Portable Data Processing Unit for the Assessment of Daily Physical Activity, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, **44**, 3 (1997) 136.
- 4) 牧川方昭：行動のモニタリング，日本機械学会誌，**101**, 950 (1998) 14.
- 5) R.S. Paffenbarger, Jr., A.L. Wing and R.T. Hyde: Physical Activity as an Index of Heart Attack Risk in College Alumni, *American Journal of Epidemiology*, **108** (1978) 161.
- 6) 波多野義郎：歩数計の歴史，体育の科学，**56**, 10 (2006) 803.
- 7) T. Tamura, T. Fujimoto, H. Sakaki, Y. Higashi, T. Yoshida and T. Togawa: A Solid-state Ambulatory Physical Activity Monitor and Its Application to Measuring Daily Activity of the Elderly, *Journal of Medical Engineering and Technology*, **21** (1997) 96.
- 8) 佐川貢一，煤孫光俊，大瀧保明，猪岡光：足爪先加速度積分による歩行経路の3次元無拘束計測，計測自動制御学会論文集，**40**, 26 (2004) 635.
- 9) 佐川貢一，伊奈淳，高橋隆行，石原正，猪岡光：加速度および大気圧を利用した人間の移動形態の推定，計測自動制御学会論文集，**35**, 2 (1999) 184.
- 10) Y. Ohtaki, M. Susumago, A. Suzuki, K. Sagawa, R. Nagaatomi and H. Inooka: Automatic Classification of Ambulatory Movements and Evaluation of Energy Consumptions Utilizing Accelerometers and Barometer, *Microsystem Technologies*, **11**, 8 (2005) 1034.
- 11) Y. Ohtaki, M. Arif, A. Suzuki, S. Ootani and H. Inooka: A Method for In-Store Customer Tracking Utilizing Wearable Inertial Sensors and Map Knowledge, *Proceedings of the 6th International Conference on Machine Automation*, 2006.6 (Seinajoki, Finland).
- 12) 消防活動が困難な空間における消防活動支援情報システム開発報告書平成16年3月 http://www.fdma.go.jp/html/new/pdf/040521_hokoku.pdf

*4 ポイントマン DRM: <http://www.spp.co.jp/sssj/pointman3.pdf>