

健康と生活習慣に関わる 時系列データ解析に基づく p-health の 1 例

竹内裕之・黛 勇気・児玉直樹

(受理日 2012年9月28日, 受稿日 2012年12月13日)

An Example of p-health Based on Time-Series Data Analysis of Health Conditions and Lifestyles

Hiroshi TAKEUCHI · Yuuki MAYUZUMI · Naoki KODAMA

(Received Sept. 28, 2012, Accepted Dec. 13, 2012)

1. はじめに

インターネットを活用した健康医療のユビキタス化が大きな分野として成長しようとしている。最近の学会の潮流としても、m(mobile)-health や p(personalized)-health といった概念が台頭している^{1,2)}。従来医療機関で発生していた健康医療に関するデータや情報が個人それぞれの家庭や職場でも発生し、携帯電話やスマートフォンといった携帯端末を通して健康や医療に関するサービスを受けることが可能になってきた。我々はいち早く、インターネット上で動く自動健康データマイニングシステムをコア技術とした個人健康管理システム (Personal Dynamic Healthcare System : PDHS) を開発してきた^{3,4)}。このシステムは、携帯電話 (mobile phone) を情報端末として、個人の日常生活習慣や健康に関するデータをインターネット上のサーバに蓄積し、サーバ上で生活習慣と健康状態の相関ルール抽出 (健康データマイニング) を

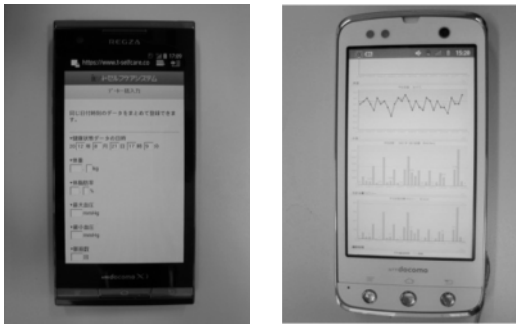
行って個人に通知する、正にクラウドコンピューティングをいち早く具現化したものである。現在、我々は、このシステムを p(personalized)-health を支えるシステムとして位置づけて、さらにブラッシュアップを図っている⁵⁾。PDHS の開発から、8年余り経過しシステムは進化してきているが、この間1人のユーザに於いて継続的にデータ蓄積が行われており、その時系列変化に興味深い特徴が見出された。

本稿では、この1人のユーザのデータを追跡し、日常の健康や生活習慣について日毎の粒度で時系列データを蓄積することの意義を考察する。

2. 研究方法

2.1. 時系列データの取得

最新のシステムでスマートフォンを用いてのデータ入力およびデータグラフ表示画面を図1に示す。図1(a)の入力画面から、登録した健



(a) 入力画面 (b) データグラフ表示画面

図1 データ入力画面およびデータグラフ表示画面

康および生活習慣データ項目について日々のデータを一括して送信することができる。登録したデータは時系列データとして、図1(b)のようにグラフ表示で閲覧でき、平均、最大値、最小値など統計データを見ることもできる。さらに、サーバ(クラウド)でデータ解析(健康データマイニング)を行い、生活習慣と健康状態の間に相関ルールが抽出されれば、それを表示することができる。

本研究の対象ユーザは、東京在住の男性、データ取得開始時(2004年5月)57歳、通常の勤務を行っている。やや血圧に問題があり健康管理に関心をもって日々のデータを取得している。このユーザの血圧、脈拍数、体脂肪率、消費エネルギー、摂取エネルギーの8年余りの長期にわたる日毎の粒度の時系列データ解析を試みた。

体重、体脂肪率は、タニタの体組成計(Inner Scan: BC-521)を用い、毎朝起床時に計測した。血圧、脈拍は日本精密測器の血圧計(VITAL SCOPE)を用いてやはり起床時に計り、血圧については3回計測してその平均値をデータ登録した。生活習慣としての消費エネルギーは、歩行によるものはオムロンの歩数計(Walking

style)を携帯して計測し、その他の運動についてはMets値を基に推測した。摂取エネルギーについては毎食事の内容から、インターネット上の関連サイトを参照するなどして推測した。

データの登録・蓄積期間は、2004年の5月から2012年の8月までで、データは原則的にはほぼ毎日システムに登録されていた。

2. 2. 時系列相関解析

本研究では、期間を3ヶ月毎に区切り体脂肪率変化と消費エネルギー/摂取エネルギーの蓄積との時系列相関を評価した。ここで、消費エネルギー/摂取エネルギーの蓄積は、体脂肪率変化をみる前日から遡ったデータの重み付加算で表現する。時系列相関は、式(1)で表されるピアソンの積率相関係数で評価する。

$$r(\Delta h_{nm}, e^{w_{nl}}) = \frac{\text{Cov}(\Delta h_{nm}, e^{w_{nl}})}{SD(\Delta h_{nm})SD(e^{w_{nl}})} \quad (1)$$

ここで、

$$\Delta h_{nm} = h_n - h_m \quad (2)$$

は目的変数である体脂肪率 h の変化を表す差分値であり、

$$e^{w_{nl}} = w(0)e_{n-1} + w(1)e_{n-2} + \dots + w(l-1)e_{n-l} \quad (3)$$

は消費エネルギー/摂取エネルギー e の蓄積を表す、ある期間に亘る重み付加算値である(図2参照)。式(1)において、 r は相関係数、 $SD(\Delta h_{nm})$ は Δh_{nm} の時系列区間(ここでは3ヶ月)に

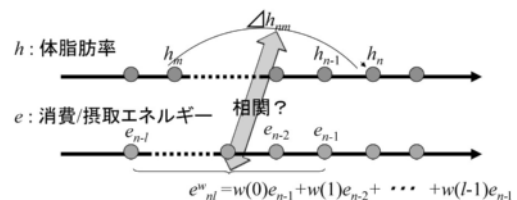


図2 体脂肪率変化と消費/摂取エネルギーの蓄積との時系列相関評価の説明図

重み付け関数の定義

$$w(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (\sigma > 0, \mu \geq 0)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots, l-1$$

$$\sum_{i=0}^{l-1} w(i) = 1$$

消費/摂取エネルギー重み付け加算の例

$$w(0)e_{n-1} + w(1)e_{n-2} + w(2)e_{n-3} + \dots + w(10)e_{n-11}$$

($l = 11$, 体脂肪率データのカーソル日: n と仮定)

図 3 採用した重み付け関数

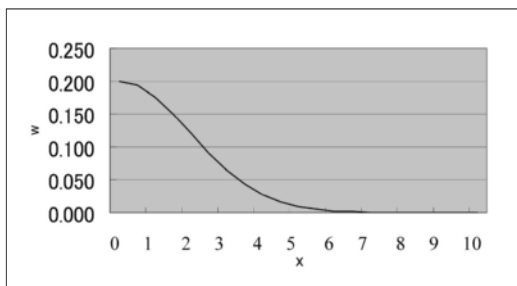
における標準偏差、 $SD(e_{nl}^w)$ は e_{nl}^w の時系列区間 (ここでは 3ヶ月) における標準偏差、 $Cov(\angle h_{nm}, e_{nl}^w)$ は h_{nm} と e_{nl}^w の共分散である。

式(3)において、 $w(0) \sim w(l-1)$ は重み付け係数であるが、先の研究で、これまでの時系列データ解析結果を参考に、図 3 に示した正規分布関数の形に着目し、 μ と σ の 2 つのパラメータで重み付けを特徴付ける方法を考案した^{6,7)}。ここで、正規分布関数を重み付け関数として使うときは、 x の値はゼロもしくは正の整

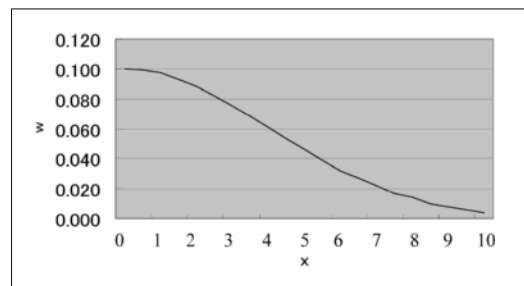
数值として得られた関数値を重みとして、遡った日付に降順に割り当てる (図 3 の例を参照)。

いくつかの重み付けパラメータ μ と σ の値に対応する重み付け関数のパターンを図 4 に示す。ここでは、体脂肪率データのカーソル日 n の前日から遡って 11 日間の消費エネルギー/摂取エネルギーに重みを付けて加算することを想定している。

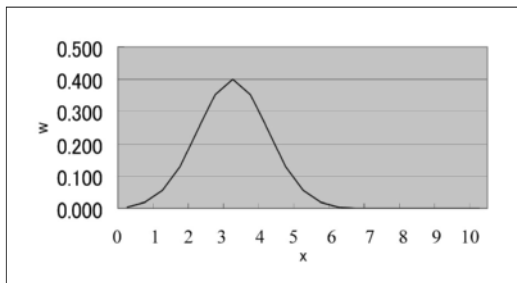
時系列相関評価の結果、図 4 (a) のようなパターンの重み付けで相関係数の絶対値が最大になれば、比較的直近の運動量や食事摂取量が遅滞無く体脂肪率に影響を与えることになり、(b) や (d) のようなパターンの重み付けで相関係数の絶対値が最大になれば、比較的長期の運動量や食事摂取量が尾を引いていることになる。また、(c) のようなパターンの重み付けで相関係数の絶対値が最大になれば、比較的短期間の運動量や食事摂取量が遅れをもって体脂肪率に影響を与えていることになる。



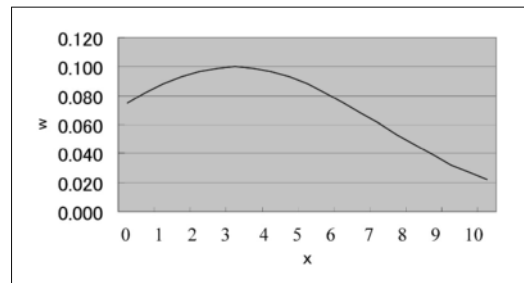
(a) $\mu = 0, \sigma = 2$



(b) $\mu = 0, \sigma = 4$



(c) $\mu = 3, \sigma = 1$



(d) $\mu = 3, \sigma = 4$

図 4 各種 μ と σ の値に対応する重み付け関数のパターン

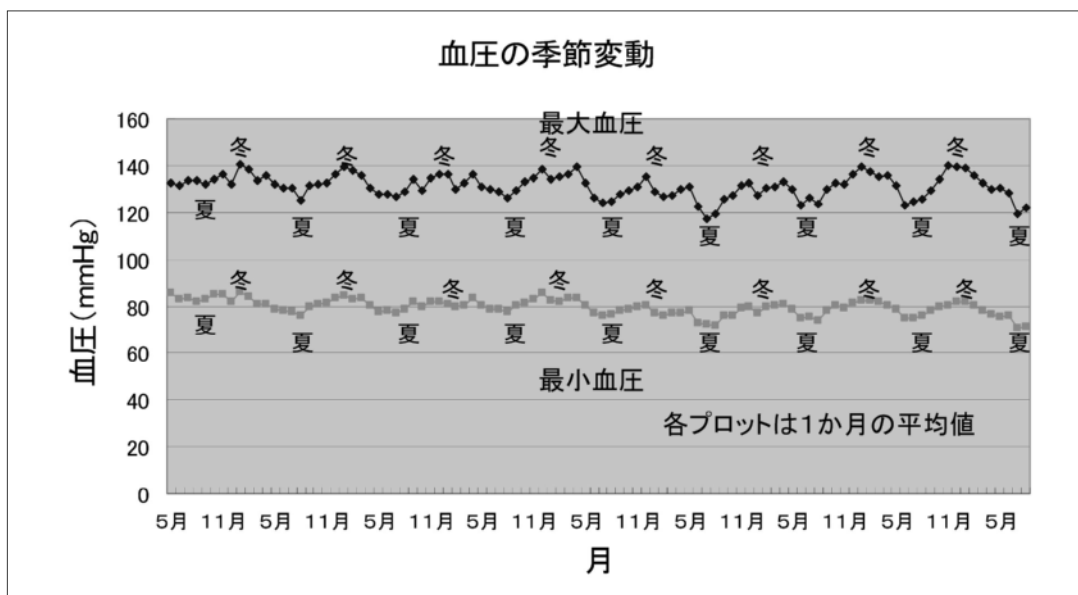


図5 血圧の時系列変化 (2004年5月～2012年8月)

3. 解析結果

3. 1. 時系列データの解析

(1) 血圧と脈拍数

2004年5月から2012年8月までの最大血圧(収縮期血圧)と最小血圧(拡張期血圧)の時系列変化を図5に示す。血圧の日毎の変動からは傾向は掴めないが、1ヶ月の平均値をプロットすると最大血圧、最小血圧ともに明らかに周期的な季節変動を示し、気温の低い冬は高く、気温の高い夏は低くなっている。血圧の季節変動については、疫学的な研究報告があり、外気温度が家庭で計る血圧に影響を与えることが知られている⁸⁾。本研究では、1人の対象者の家庭内安静時血圧を長期に追跡しているが、周期的な季節変動に加え、特に最大血圧の冬夏の変動幅が年々大きくなる傾向が見られた。そして、直近では変動幅は最大血圧で約20mmHg、最小血圧で約10mmHgであった。

同じ期間の脈拍数の時系列変化を図6に示

す。やはり1ヶ月の平均値をプロットした。脈拍数についても、血圧ほど明瞭ではないが、季節変動がみられ、気温の低い冬は多く、気温の高い夏は少なくなる傾向が見られた。また2009年の8月あたりから、やや上昇傾向が見られた。

(2) 体脂肪率

2004年5月から2012年8月までの体脂肪率の時系列変化を図7に示す。血圧と同様に日毎の変動からは傾向を掴み難いが、1ヶ月の平均値をプロットすると、図から明らかなように周期的季節変動を示しており、気温の低い冬は体脂肪率が高く、気温の高い夏は低くなるという結果が得られた。体脂肪率の季節変動に関する疫学的研究⁹⁾、本研究のように特定の個人の長期データを追跡した先行研究があり¹⁰⁾、同様な季節変動が報告されている。本研究では、血圧の季節変動と同様に、体脂肪率の冬夏の変動幅が年々大きくなる傾向が見られた。

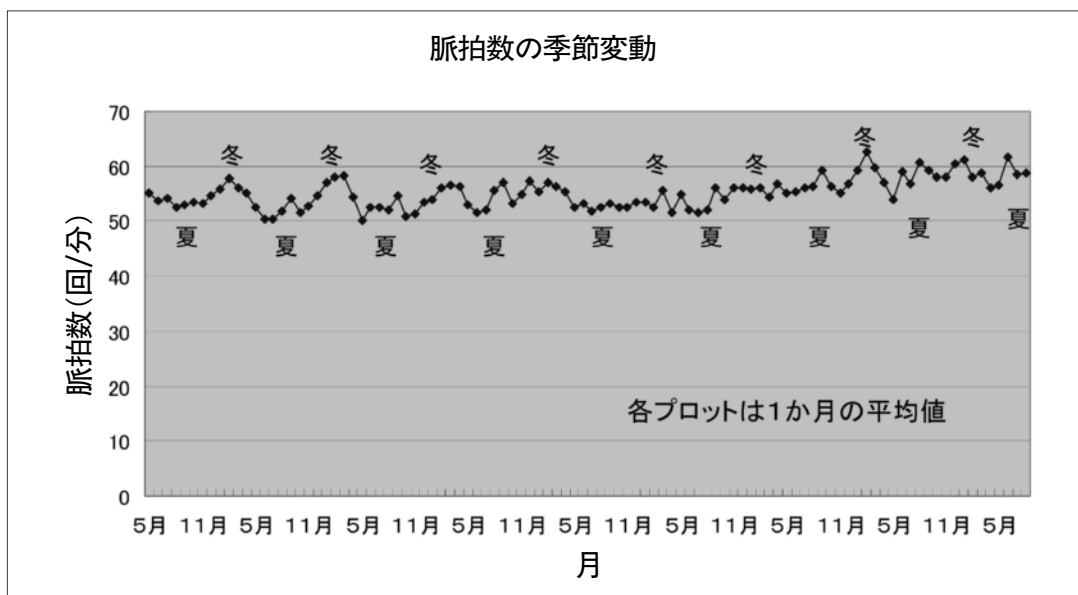


図 6 脈拍数の時系列変化 (2004年 5月～2012年 8月)

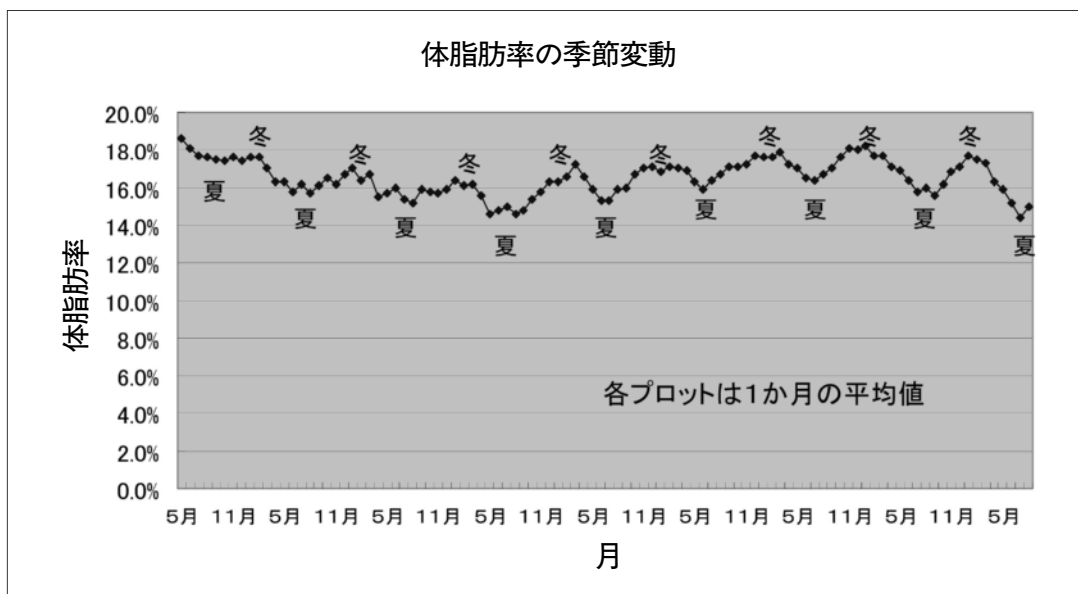


図 7 体脂肪率の時系列変化 (2004年 5月～2012年 8月)

3. 2. 重み付けパラメータの解析

(1) 体脂肪率変化と最大の相関を示す消費エネルギー重み付け加算パラメータ

解析に用いた重み付け関数は、図 3 において、 $\mu=0, 1, 2, 3, \sigma=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0,$

3.5, 4.0 の各組み合わせの 32 種類のパターンである。 x の範囲は $x=0\sim 10$ で、体脂肪率のカーソル日の前日から 11 日間の消費エネルギーの重み付け加算を行った。

対象データ取得期間は 2004 年 6 月 1 日～

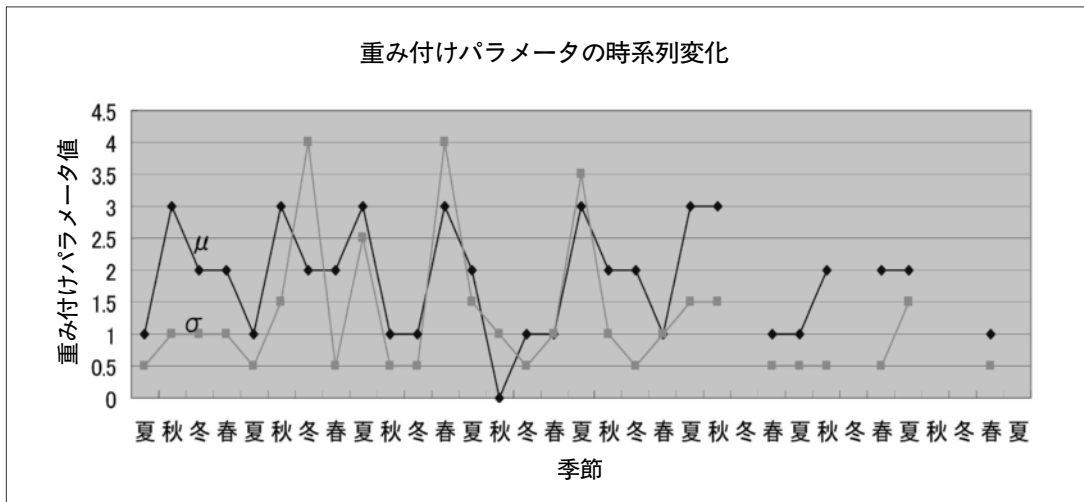


図8 体脂肪率変化と最大の相関を示す消費エネルギー重み付け加算パラメータの時系列変化 (2004年夏～2012年夏)

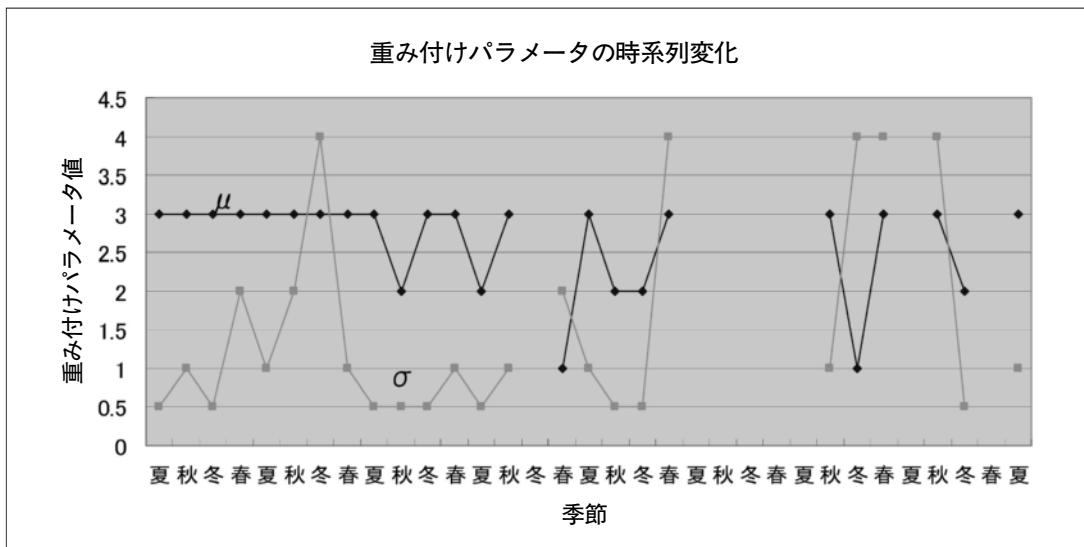


図9 体脂肪率変化と最大の相関を示す摂取エネルギー重み付け加算パラメータの時系列変化 (2004年夏～2012年夏)

2012年8月31日の8年3か月間で、3か月毎(季節毎)に式(1)の時系列相関係数を評価し、相関係数の絶対値が最大になる(μ , σ)の組み合わせを求めた。3ヶ月ごとに得られた μ 、 σ それぞれの値の時系列変化を図8に示した。季節や加齢による変動を予想していたが、季節や加

齢に依らずにばらつくことが判った。最大の相関係数が0.20未満のデータ期間では(μ , σ)の値は特定不能とした。

なお、図8からは読み取りにくいですが、 $\mu=1$ 、 $\sigma=0.5$ 、 1.0 の組み合わせの頻度が高く、全データに対する割合が17/28(61%)となってい

た。同様の結果は既報^{11,12)}でも得られている。

(2) 体脂肪率変化と最大の相関を示す摂取エネルギー重み付け加算パラメータ

体脂肪率変化と消費エネルギー重み付け加算との相関解析と全く同じ条件で解析を行った結果得られた摂取エネルギー重み付け加算パラメータ μ 、 σ の時系列変化を図 9 に示す。

μ 、 σ の値は、やはり季節や加齢によって変動していない。特に、 μ の値はほぼ 3 と一定である。図 9 から読み取れるが、 $\mu=2, 3, \sigma=0.5, 1.0$ の組み合わせの頻度が高く、全データに対する割合が 18/25 (72%) となっていた。同様の結果は既報^{11,12)}でも得られている。

4. 結果の検討

4. 1. 時系列データについて

特定の 1 人の対象者について日毎の粒度で時系列的にデータを長期にわたり蓄積し、1ヶ月間の平均値をみることにより、血圧や体脂肪率の季節変動が明瞭に抽出された。血圧については外気温度に関係して、季節変動があることは知られていたが、その変動幅に関する個人の定量的な評価ができたことに p-health としての意義があると考えられる。即ち、日本での疫学的研究では、冬夏の気温差が 25 度とすると最大血圧で 10mmHg、最小血圧で 7mmHg の変動幅が報告されている⁸⁾が、このユーザの場合、変動幅は直近では最大血圧で約 20mmHg、最小血圧で約 10mmHg と大きい。従って、生理学的な血圧の季節変動による脳血管障害や心血管障害のリスクが平均より高いことに注意しなくてはならない。また連動して、脈拍数も冬場は夏場に比べると約 10 回/分多く、やはり生理学的な季節変動と考えられる。また、特に最大血圧の季節

変動幅が年々増加する傾向がみられるが、これは加齢と関係しているのではないかと考えている。実際に、高血圧患者に於いて、最大血圧の季節変動幅が年齢と正の相関があることが報告されている¹³⁾。

体脂肪率の季節変動についても先行研究があり、概して夏は低く、冬には高くなる傾向が報告されている。岡らは、気温の低下とともに食料の確保が難しくなる自然環境の下では、多くの動物は秋期に生理反応として脂肪を貯めこみ、冬季に消費するが、現代に生きるヒトにおいては、冬季にも十分に食料があるため体脂肪率が高いまま春先まで維持される、という解釈をしている¹⁰⁾。

本研究の対象者では、明瞭な体脂肪率の季節変動に加え、最大血圧と同じように、変動幅が年々大きくなる傾向が見られた。岡らの解釈の延長線上で考察すると、気温が低くなり秋期に生理反応として貯めこんだ脂肪を、冬季に消費する機会が加齢とともに益々少なくなる結果と考えられる。

我々は、生活習慣と健康状態の相関ルールを導き出す健康データマイニングの研究を行っている⁴⁾が、本研究でみられるような季節変動がルール生成に影響を与えることを防ぐために、3ヶ月間 (1 季節) のデータを対象にルールマイニングを行っている。

4. 2. 重み付けパラメータについて

体脂肪率変化と消費エネルギー/摂取エネルギーの重み付け加算の間に最大の相関を与える重み付けパラメータ (μ 、 σ) にも、季節や加齢による変動があるのではないかと考えていたが、図 8, 9 に示したように、そのような傾向は見られなかった。むしろ、季節や加齢と関係な

く、時系列データは特定の (μ , σ) の組み合わせの周りに分布するという結果であった。このことは、運動や食事摂取の体脂肪率への時間的な影響の仕方 (パターン) は、環境に左右されない個人の遺伝子由来のものであることを示唆している。つまり、生体内反応の結果として現れる体脂肪率など生体の指標は遺伝的な体質に加え気温など環境によっても生理反応として変動するが、炭水化物や脂質がグリコーゲンや中性脂肪として貯えられる過程やそれらから必要に応じて ATP が生成されるエネルギー代謝のような反応系のダイナミクスは個人固有のものであり、環境にあまり左右されないということではないかと考えられる。

5. まとめ

インターネットを活用した個人健康管理システム (Personal Dynamic Healthcare System: PDHS) の開発から 8 年経過し、現在はスマートフォンを用いた p-health を担うシステムとして進化を続けているが、この間 1 人のユーザが日毎の粒度で継続的に蓄積した時系列データの解析を行った。

その結果を以下にまとめる。

(1) 最大血圧 (収縮期血圧)、最小血圧 (拡張期血圧) とも顕著な生理学的季節変動を示し、夏冬の変動幅は、疫学的研究で得られている値 (最大血圧で 10mmHg、最小血圧で 7mmHg) より大きく、それぞれ約 20mmHg、約 10mmHg であった。

(2) 前記変動幅は、特に最大血圧において年々大きくなる傾向があり、これは先行研究と照らし合わせ加齢による変化と考えられる。

(3) 血圧ほど顕著ではないが、脈拍数におい

ても生理学的な季節変動がみられ、冬場は夏場に比べ約 10 回/分多かった。

(4) 体脂肪率も顕著な季節変動を示した。これは自然環境下に生きる動物と同じように気温の低下とともに生理反応として貯めこんだ脂肪を現代のヒトは冬に消費することなくキープしてしまう結果と考えられている。本研究の対象者にみられる変動幅の年々の増加は、生理反応として貯めこんだ脂肪を冬に消費する機会が加齢とともに益々減ることの結果と考えられる。

(5) 体脂肪率変化と最大の相関を示す消費エネルギー/摂取エネルギーの重み付け加算パラメータを 3ヶ月毎に評価したところ、季節や加齢による変動はみられなかった。

(6) 前記の結果は、運動や食事摂取の体脂肪率への時間的影響の仕方 (パターン) は環境に左右されない、個人の遺伝子由来のものであることを示唆している。

謝辞

本研究は文部科学省科研費 (課題番号: 23500813) の助成を受けている。また、日本データベース学会と日立製作所による日立 HiRDB アカデミック制度の適用を受けている。

参考文献

- 1) H. Kumpusch, D. Hayn, K. Kreiner, M. Falgenhauer, J. Mor, and G. Schreier: A Mobile Phone Based Telemonitoring Concept for the Simultaneous Acquisition of Biosignals and Physiological Parameters, Proc. 13th World Congress on Medical and Health Informatics (Medinfo2010) (2010) 1344-1348.
- 2) E. C. Kyriacou, C. S. Pattichis, and M. S. Pattichis: An Overview of Recent Health Care Support System for eEmergency and mHealth Applications, Proc. 31st Annual International Conference of the

- IEEE EMBS (2009) 1246-1249.
- 3) H. Takeuchi, T. Hashiguchi, and T. Shintani : Personal Dynamic Healthcare System Utilizing Mobile Phone and Web Technologies, Proc. 2nd Int'l Conf. Advances in Biomedical Signal and Information Processing (2004) 304-307.
 - 4) 竹内裕之、児玉直樹、橋口猛志、林 同文：インターネット上で動く自動健康データマイニングシステム、高崎健康福祉大学紀要 第 5 号 (2006) 1-11.
 - 5) H. Takeuchi, Y. Mayuzumi, N. Kodama, and K. Sato : Application Service Provider System for Healthcare with Data Mining Function, Proc. 13th World Congress on Medical and Health Informatics (Medinfo 2010) (2010).
 - 6) 竹内裕之、黛 勇氣：生活習慣と健康状態の時系列データ解析への重み付の導入、高崎健康福祉大学紀要 第 10 号 (2011) 1-8.
 - 7) H. Takeuchi, Y. Mayuzumi, and N. Kodama : Analysis of Time-Series Correlation Between Weighted Lifestyle Data and Health Data, Proc. 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS (2011) 1511-1514.
 - 8) A. Hozawa, S. Kuriyama, T. Shimazu, K. Ohmori-Matsuda, and I. Tsuji : Seasonal Variation in Home Blood Pressure Measurements and Relation to Outside Temperature in Japan, Clin. Exp. Hypertens. 33(3) : (2011) 153-158.
 - 9) 山下静江、井町和香、武藤志真子：体脂肪率の季節変動とその性差および地域差、くらしき作陽大学・作陽短期大学研究紀要 第 38 巻 (2 号) (2005) 51-63.
 - 10) 岡 拓矢、加藤元海：ヒトにおける体重と体組成の変動パターンおよび体脂肪率に変化を与える要因、黒潮圏科学 (Kuroshio Science) 5-2 (2012) 161-167.
 - 11) 竹内裕之、黛 勇氣、児玉直樹：個人の生活習慣と健康状態の相関を特徴付けるパラメータの解析、高崎健康福祉大学紀要 第 11 号 (2012) 15-22.
 - 12) H. Takeuchi, Y. Mayuzumi, and N. Kodama : Parameters Characterizing Nature of Personal Health in the Correlation between Energy Expenditure/Supply and Body-Fat, Proc. 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS (2012) 2140-2143.
 - 13) J. Minami, T. Ishimitsu, Y. Kawano, and H. Matsuoka : Seasonal Variations in Office and Home Blood Pressures in Hypertensive Patients Treated with Antihypertensive Drug, Blood Press. Monit. 3 (2) (1998) 101-106.