

食事・行動履歴に基づく空腹度推定手法の提案

杉田 敢^{†1} 山下 徹^{†1} 水本 旭洋^{†1} 玉井 森彦^{†1} 安本 慶一^{†1}

概要: 近年、食生活の乱れが生活習慣病の要因の一つとして問題になっている。食生活の乱れは、人間が食事を行うのに適した時間や量を正しく認識できない事に原因がある。そこで食生活の乱れを抑制する方法として、人間の感覚的状態の一つである空腹感の推定による適時・適量の食事推薦が、この問題の軽減に役立つ可能性がある。しかし一般的に、感覚的な状態の推定は生体を傷つけて行う侵襲的測定や、専門的または高価な機器が必要であるためユーザへの負担が大きい。そのため、侵襲的ではない方法により、定量的な空腹感の度合い「空腹度」を推定できることが望ましい。本稿では、空腹度と血糖値との間に密接な関係があることに着目し、(1) 食事および行動情報からの血糖値の推定、(2) 血糖値から空腹度の推定、の2段階構成の推定モデルを構築する手法を提案する。この空腹度推定モデルにおける推定血糖値と実際の血糖値、推定血糖値と空腹度との関連性を調査するため、血糖値および生活行動の記録、およびそれらを空腹度推定モデルに適用する実験を行った。その結果、実際の血糖値と推定血糖値の推移、推定血糖値と空腹感との間には強い正の相関が確認できた。

Hunger degree estimation based on meal and activity logs

Abstract: In recent years, disturbance of diet has become a problem in many countries. Disturbance of diet is caused by the fact that people are not so conscious of appropriate time to eat meals as well as appropriate amounts of the meals. Accordingly, estimating the hunger feeling which is one of the human sensory states may help alleviating this problem. However, estimation of human sensory states often requires invasive measurement by injuring human body with a special and expensive device. In this paper, we propose a method for estimating hunger degree of a user at arbitrary time from the information of meals and exercises that the user has taken. We construct the hunger degree estimation model consisting of two steps: (1) the blood glucose level from meal and exercise information and (2) the hunger degree from the blood glucose level. To evaluate the proposed method, we measured the blood glucose level of a subject at some points of time as well as the user's meal and exercise information, and applied the measured data to our proposed estimation model. As a result, we observed a strong correlation between the measured and the estimated blood glucose level and between the subjective and the estimated hunger degree.

1. まえがき

近年、日本を含む世界各国において、偏食あるいは欠食などの食生活の乱れが問題視されている。特に世界保健機関の調査によると、アメリカにおいては過去10年で肥満人口がおよそ30%に倍増しており、食生活の乱れによる影響を示唆している[1]。肥満はあらゆる生活習慣病や疾患の要因となる危険因子であり、心臓病、脳卒中、癌、2型糖尿病、高血圧といった危険な疾患を避けるためにも、適切な食生活を行うことが重要である。

食生活の乱れは、適切な時間・状態で適切な食事を摂取

していないことが大きな要因であると考えられる。主な例としては、間をおかずに何度も食事を摂る、運動・労働などの消費活動を行わずに高カロリーの食事を摂る、ある日には食事を殆ど摂らず別の日には大量に摂取する、といった事が挙げられる。これらの誤った摂食行動は、人間が自分自身のこれまでの食事・運動(労働)状況と、それに対する空腹感の強さを明確に意識できていないことが一つの原因である。このことから、人間の感覚的状態の一つである空腹感を推定することは、食生活の乱れを改善するためのアプローチとして非常に有効であると考えられる。

しかしこのような感覚的状態および体内状態の推定は、測定に用いる機器が一般的でない点、測定の際のユーザへの負担が大きい点から困難である。例えば2章で詳述する

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

既存研究では、計測およびデータ収集に侵襲的な方法を用いる（生体を傷つける）必要があるほか、血糖値測定や呼吸吸気の測定のための専用の機器を必要とし、PC やスマートフォン等の一般的なモバイル端末のみで推定する方法はまだ確立されていない。

本稿では、空腹感の度合「空腹度」を一般的なモバイル端末で計測または入力した食事・行動の履歴情報から非侵襲的に推定するために、血糖値と空腹感の間の関連性を利用した推定モデルを構築する手法を提案する。まず、食事の種類や摂取時間、感覚的な量の多さや食後の充足感などを総合した食事情報と、運動あるいは労働の内容・実施期間などを総合した行動情報の2つのパラメータを空腹度の推定モデルに対して適用する。空腹度推定モデルは(1) 食事・行動情報からの血糖値の推定、(2) 血糖値から空腹度の推定、の2段階の推定モデルとして構築する。

(1) 食事・行動情報からの血糖値推定では、3食の食事時間や内容・量・感覚的評価値からなる食事情報と、運動・労働や睡眠の感覚的評価値と時間からなる行動情報を推定モデル式に適用することで、血糖値の推定値を算出する。血糖値推移は間食を摂らない場合は食後遅れてピークに推移し、以後は緩やかに低下する。よってフィッティング関数としてログノーマル（対数正規分布）関数を用いることで推定モデルを構築する。

(2) 血糖値からの空腹度推定では、実際の血糖値に対して補正を加える事で空腹度の算出を行う。具体的には、血糖値は実際の空腹感の推移の逆数値となっており、また推移にも遅延が存在する。そのため、空腹度に対して逆位相を加える事で遅延を除去し、その結果に対する逆数値を求め正規化する推定モデルを構築する。

推定した血糖値と実際の血糖値、推定した血糖値と空腹度、のそれぞれの関連性を確認するために、血糖値測定と食事・行動情報の記録および比較実験を行った。その結果、推定血糖値と実際の血糖値それぞれの推移、および推定血糖値と空腹度それぞれの推移の間には強い正の相関が見られた。

2. 関連研究

本章では、人間の生理的状態の推定に関する既存研究について概観する。

2.1 加速度および呼気ガスにおける酸素・二酸化炭素濃度を基にした消費カロリー推定手法 [1]

この研究は、ユーザが摂取・消費するエネルギーのバランスを監視するシステムにおいて、消費カロリーの自動計算を目的とした手法である。消費カロリーの推定に用いるものは、運動時の加速度と移動距離、呼気・吸気に含まれる酸素・二酸化炭素の濃度である。これらを測定する機器を被験者の体に取り付けた状態で、決められたスケジュー

ルのもと屋内・屋外それぞれのプログラムで運動行動を行わせ、消費カロリーを推定するモデル式に適用することで、消費カロリーを推定する。

この研究における問題点は、呼気・吸気に含まれる二酸化炭素・酸素の濃度を測定する機器が大型でかつ一般的でない点である。また装着する加速度計も一般的に用いられる物ではなく、一般的なユーザによる利用が非常に困難な点が挙げられる。

2.2 データマイニングを用いた血糖値推定手法 [2]

この研究は、血糖モニタ、代謝率モニタおよびそれらを接続したコンピュータ上から入力したデータに対してデータマイニングを行い、血糖値を推定する手法である。ソフトウェア上で食事内容を入力することで総摂取カロリーを計算し、加えて血糖モニタ、代謝率モニタ、モバイルコンピュータの3つのポータブルデバイスを用いることでデータ収集を行う。これらのデバイスを通して得られた入力データに対し、データマイニングを行い、血糖値推定モデルを構築することで、翌朝の血糖値を最高90%の精度で推定する事ができる。

この研究における問題点は、ユーザの翌朝の血糖値しか推定できない点、およびデータマイニングに際して血糖値だけでなく代謝率および代謝率測定モニタ、食事による摂取カロリーを必要とする点が挙げられる。また、この研究は対象ユーザとして糖尿病患者を想定しているが、提案手法では糖尿病患者ではない通常の血糖値推移を示すユーザを対象として想定している点が、相違点として挙げられる。

2.3 提案手法の新規性

ここまでで述べたように、ユーザの感覚的状態や内部状態を推定する既存研究は、いずれも専用の機器を必要とし、一般的なモバイル端末上で動作させる事は出来ないため日常での使用は非常に困難である。更に既存研究は専門家向けのものが多く、一般的なモバイル端末上での動作への応用は困難である [3][4]。またユーザの感覚的状態を高精度に推定するには、ユーザに対して侵襲的あるいは大掛かりな機器によるデータ収集を行い、得られた生体データを基にして推定することが必要とされているため、ユーザに対する負担が大きい。

本稿で述べる提案手法は、専用の機器を必要とせずモバイル端末上で動作させることができる点、ユーザの生体データの非侵襲的かつ継続的な推定が可能である点、そして「空腹」という感覚的状態の推定を提案している点で、既存研究と異なっている。また、推定モデルはユーザの持つ属性（以後ユーザタイプという）を基に選択するため、ユーザが属するユーザタイプの推定モデルが既に存在する場合に、推定モデル構築にあたっての侵襲的測定が必要ない点で優れている。

表 1 主食情報の構成要素

項目	内容
摂取時刻	食事を摂取した時刻
内容	食事の内容
感覚的分量	食事の分量の多さの 5 段階評価値
食後充足感	食事に対する食後の充足感の 5 段階評価値

表 2 間食情報の構成要素

項目	内容
摂取時刻	間食を摂取した時刻
食物数量	食べ物の数量
飲料数量	飲み物の数量

表 3 運動情報の構成要素

項目	内容
運動期間	運動を行った期間
運動後疲労度	運動後に感じた疲労の強さの 5 段階評価値

3. 食事・行動履歴に基づく空腹度推定問題と解決すべき課題

本章では推定を行うための想定環境および利用者の前提条件を示し、解決すべき課題を明らかにする。

3.1 想定環境と前提条件

対象とするユーザ、環境、およびデバイスについて以下のように前提条件を設定する。

3.1.1 対象ユーザ

提案手法を用いるユーザを**対象ユーザ**とし、対象ユーザの前提条件を設定する。対象ユーザは以下の前提条件を満たすものとする。

- 毎日最低 1 食、基本 3 食の食事を摂取
- 糖尿病等による血糖値異常のない健常者

3.1.2 対象環境

本節では対象とする利用状況および動作環境を**対象環境**とし、対象環境の前提条件を設定する。対象環境は以下の前提条件を満たすものとする。

- 一般の PC またはスマートフォン・タブレット等のモバイル端末が利用可能
- 食事または行動と内容情報の即時入力が可能

3.1.3 食事情報

空腹度推定モデルは、入力として食事情報と行動情報の 2 つを与えることにより、血糖値を推定する。本節では食事情報を構成する**主食情報**と**間食情報**について述べる。食事情報はいずれも空腹度に対して減衰の影響を与える。

〈**主食情報**〉 主食情報は、朝食・昼食・夕食の生活における 3 食の食事内容に関する各種情報から構成される。主食情報は表 1 の要素より構成される。

〈**間食情報**〉 間食情報は、前回測定時から現在までに摂取した菓子や飲料に関する各種情報から構成される。間食情報は表 2 の要素より構成される。

3.1.4 行動情報

空腹度推定モデルは、入力として食事情報と行動情報の 2 つを与えることにより、血糖値を推定する。本章では行

動情報を構成する**運動情報**と**睡眠情報**について述べる。

〈**運動情報**〉 運動情報は、前回測定時から現在までに行った運動または労働に関する各種情報から構成される。運動情報は空腹度を増大させるパラメータ成分であり、表 3 の要素から構成される。

〈**睡眠情報**〉 睡眠情報は、前回測定時から現在までに行った睡眠の期間に関する情報である。予備実験では、睡眠前と睡眠後で血糖値は殆ど変化しなかった事から、提案手法では睡眠情報はその期間の空腹度を変化させないための情報として扱う。

3.2 解決すべき課題と対処法

提案手法を用いて空腹度を推定する場合に考えられる課題は次の 2 点である。

- (1) 空腹感は感覚的な量で定量的裏付けが困難であること
- (2) 空腹感には個人差が存在するため一意に推定できないこと

以下に、それぞれの課題に対する詳細な説明と提案手法における対処法を述べる。

3.2.1 空腹感の定量的裏付けが困難という課題

空腹感や疲労感といった人間の感覚的な状態は、それ自体に決まった形や値等の指標は存在しない。従って正確に測定・推定するためには、感覚的变化によって生じる生体内の微細な変化に着目する必要がある。既存研究においては、専用の測定機器を用いて微細な生体内変化を捉える試みがされているが、これらの試みには 2 章で述べた問題点がある。従って、提案手法では専用の測定機器を用いること無く、一般的なモバイル端末のみを用いて人間の感覚的な状態の一つである空腹感を推定する必要がある。本稿では、こちらの課題に対する具体的なアプローチを示す。

3.2.2 個人差の影響により一意に推定できない課題

人間の感覚的な状態は、個人の身体や健康状態・体内の働きなどに強く影響される。例えば「疲労感」は、高い筋持久力やスタミナを持つ人は疲労を感じにくく、低い人は疲労を感じやすい。空腹感も同様であり、普段から食事を多くとっている人は空腹を感じやすく、逆に普段から食事をあまり取っていない人や健康状態の悪い人は、空腹を感じにくい。そのため、空腹感の度合いは全ての人間に対して一律に変化せず、一意的に推定することはできない。そのため、提案手法では個人の身体的な特徴や属性を基にして、個人差を考慮した推定モデルの構築を行うことが求められる。

4. 食事・行動履歴に基づいた空腹度推定モデル

本章では、3章で述べた問題に対して解決の基本方針を示し、その上で空腹度推定モデルの構築を行う。

4.1 基本方針

提案手法では、食事・行動の履歴データをもとにして空腹度の推定を行う。しかしながら前述のように、空腹感を始めとした人間の感覚的状態は、定量的な裏付けが非常に困難であり、また個人差の影響を考慮しない限り正確な推定は困難である。

本稿ではまず「空腹度の定量的裏付けが困難である課題」に対する解決案として、血糖値の推移をベースとして空腹度を推定するアプローチを取る。血糖値は血中のグルコース（ブドウ糖）の濃度を示す値であり、摂取した食事から得られた糖が分解され血中に取り入れられた事を表す指標値である。従って、血糖値の推移は空腹状態との関連性を持つということが考えられる。これにより、血糖値を推定し、それを裏付けとして空腹度を推定することで、定量的な裏付けを得た上での空腹度の推定が可能になる。

上記のアプローチを実現するために、食事・行動の履歴情報を入力することで血糖値の推定値を得るための推定モデルを構築する。

4.2 空腹度推定モデル

空腹度推定モデルは、食事・行動情報から血糖値を推定するモデルと、推定した血糖値を元に空腹度を推定するモデルの2つから構成される。本節では空腹度推定モデルを構成するこれらのモデルについて述べる。

4.2.1 食事・行動情報からの血糖値推定

まず血糖値の推定にあたり、血糖値とその推移について述べる必要がある。血糖値は血液に含まれるグルコース（ブドウ糖）の濃度を指す値で、健康な人間の空腹時血糖は約70~109mg/dl、食後2時間の血糖値は140mg/dl未満と言われている[5]。血糖値推移は間食を取らない場合は食事摂取後に少し遅れてピークに達し、そこから徐々に減少していく形となる[6]。そこで血糖値を推定するにあたり、血糖値推移と同様の非線形的な推移曲線を描くフィッティング関数として、(1)式に示すログノーマル（対数正規分布）関数を用いる。ここで x は確率変数、 μ は平均、 σ は標準偏差を表す。

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left\{-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

提案手法では、ログノーマル関数における確率変数 x を時間 t として扱う。また平均 μ 、標準偏差 σ は、血糖値推移の個人差に応じて推定モデルを変化させるためのパラ

表 4 血糖値推定モデルのパラメータ内容

記号	値	内容
$Gul(t)$	正数	推定血糖値
$Gu_m(t)$	0~1	推定血糖値における主食成分
$Gu_s(t)$	0~1	推定血糖値における間食成分
$Gu_e(t)$	0~1	推定血糖値における運動・労働成分
C_d	0.5	間食情報における飲料品数の補正係数
C_e	0~1	運動情報における補正係数
C_f	0.0171429	主食情報における補正係数
C_{g1}	800.42773	推定血糖値に対する補正係数
C_{g2}	1.670282	ログノーマル関数における平均
C_{g3}	1.03231	ログノーマル関数における標準偏差
C_m	0.7	間食情報における食料品数の補正係数
C_s	0~1	間食情報全体に対する補正係数
d_a	0以上の自然数	間食における飲料品数
e_f	1~5	運動・労働における疲労感の感覚的評価値
f_a	1~5	主食情報における食事の量の感覚的評価値
f_s	1~5	主食情報における食事に対する充足度の評価値
δ_e	0, 1	運動の有無を表す係数。
δ_s	0, 1	睡眠の有無を表す係数。
t_e	0~1439	運動を開始した時刻 [分]
t_f	0~1439	主食を摂取した時刻 [分]
t_s	0~1439	間食を摂取した時刻 [分]

メータとして用いる。

食事・行動情報から血糖値を推定するためのモデルは以下の(2)~(5)式により与える。式中で用いられるパラメータについては表4に示す。

$$Gul(t) = (1 - \delta_s) \frac{C_{g1}(1 - (Gu_m(t) + Gu_s(t) + Gu_e(t)))}{\sqrt{2\pi}C_{g3}t} \exp\left\{-\frac{(\log t - C_{g2})^2}{2C_{g3}^2}\right\} + \delta_s Gul(t-1) \quad (2)$$

$$Gu_m(t) = C_f \sum_{i=1}^N f_{ai} f_{si} \left(1 + \frac{t}{t_i}\right) \quad (3)$$

$$Gu_s(t) = C_s (C_m s_a + C_d d_a) \left(1 + \frac{t}{t_i}\right) \quad (4)$$

$$Gu_e(t) = \delta_e C_e \left(1 + \frac{t}{t_i}\right) (l_e e_f) \quad (5)$$

血糖値の推定式は、(3)~(5)式で示される主食・間食・運動情報に関するパラメータを係数としたログノーマル関数として定義する。それぞれのパラメータは、前回推定からの経過時間に応じて増減する。また、補正係数の値は、予備実験により得られた血糖値推移データの中で理想的推移を持つデータを複数選出し、その平均値に対してログノーマル関数をフィッティングすることで得られた。直前に睡眠を取った場合には係数 δ_s が1となり、(3)式における2項目の $\delta_s Gul(t-1)$ だけが残るため、睡眠前の推定情報が

表 5 空腹度推定モデルのパラメータ内容

記号	値	内容
$H(t)$	0~1	時刻 t における空腹度
C_h	0.005556	血糖値に対する補正係数
$Gul(t)$	正数	時刻 t における血糖値
α	90	空腹感推移と血糖値推移の間の時間差 [分]

引き継がれる．以上より食事・行動情報からの血糖値の推定を行う．

4.2.2 血糖値からの空腹度推定

推定した血糖値から空腹度を推定するためのモデルは以下の (6) 式で与える．式中で用いられる数値を表 5 に示す．なお，式中で用いられる関数は予備実験で得られた空腹感に対し，(2)~(5) 式に示す空腹度推定式をフィッティングした結果より得られた値を用いる．

$$H(t) = 1 - C_h Gul(t + \alpha) \quad (6)$$

血糖値と空腹感の間の推移には遅れが存在する．血糖値は食後 90 分でピークに達する事が知られており，この事から約 90 分後における推定血糖値を用いる必要がある．また血糖値は満腹感に沿った推移をするため，空腹の強さを定量的に決定するためには，正規化した数値を 1 から引いた値を用いなければならない．よって (6) 式により，定量的な空腹度の導出が可能であると考えられる．

4.3 個人差を考慮した推定モデルの構築

様々なユーザタイプに対応した空腹度推定を実現するためには，ユーザの持つ属性（以後ユーザタイプと呼ぶ）を基に，ユーザタイプの各組み合わせに応じた複数の推定モデルを構築する必要がある．

ユーザタイプには，性別，年齢，人種，体格（身長，体重），体脂肪率などが含まれる．例えば性別や人種の違いは，食事情報における摂取する食べ物の種類に対して強く影響し，年齢，体格，体脂肪率は摂取する食べ物の量や運動情報に対して強く影響する事が予想される．そのため，個人差を考慮した推定モデルを構築する上で，ユーザタイプをパラメータとして用いる事が必要である．

基本方針として，同じユーザタイプを持つユーザは摂取カロリーと消費カロリーが同じ場合に，同様の血糖値推移を行うという仮定のもと，ユーザタイプ毎に本章で示した血糖値推定モデル・空腹度推定モデルを構築する必要があるが，具体的な実験は今後の課題となっている．

5. 実験

本章では，食事・行動履歴から推定した血糖値と実際の血糖値の間の関連性，および推定した血糖値と実際の空腹感との間の関連性を調査するための実験について述べる．

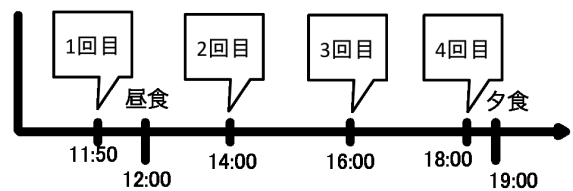


図 1 実験スケジュール



図 2 血糖自己測定器

5.1 実験概要

本実験の目的は，様々な生活パターンでの食事・行動情報および血糖値を測定し，提案手法における空腹度推定モデルから出力される推定血糖値および空腹度との関連性を確かめることである．本実験の実施スケジュールを図 1 に示す．

図 1 は，一日の中で計 4 回行われる測定実験の時刻と，昼食・夕食の時刻をまとめた図である．測定及び記録は，昼食直前の 11 時 50 分，昼食の約 2 時間後の 14 時 00 分，以降 2 時間間隔で 1 日に計 4 回行い，これを昨年 9 月から 10 月の内の 8 日間にわたり実施した．なお本実験は 20 代前半の男性 1 名を対象に行い，計測日の生活行動は普段と同様に行うよう設定した．5.2 節より，血糖値の実測値測定と食事・行動情報の記録に関する具体的な方法を述べる．

5.2 血糖値の測定

血糖値の実測値の測定には図 2 に示す，血糖自己測定器（アークレイ社製のグルコカード G ブラック [7]），および同社製の血糖値センサ（アークレイ社製 G センサー [8]）と穿刺器具（アークレイ社製のナチュラルレット EZ デバイス [9]）を使用した（以降，測定器と呼ぶ）．

測定器は穿刺器具により，指先を穿刺して微量の血液を採血することによって，血糖値を測定・数値化することが出来る．実験では，食事・行動情報の記録に合わせて 1 日に計 4 回の測定を行った．ここで計測した実際の血糖値をグラウンドトゥルースとし，今回の実験におけるパラメータとの比較を行った．

5.3 食事・行動情報の記録

食事・行動情報の記録は，記録シートを用意し適宜シート上に記入した．なお，今回の実験においては食事情報・行動情報の他に，評価のため以下の項目を記録した．



図 3 推定血糖値と実際の血糖値との比較

- 計測時の空腹感の強さの 5 段階評価値
- 摂取した食事のカロリー
- 計測時の体調の良さの 5 段階評価値

これらのうち、第 1 項目の計測時の空腹感の強さ、および前節で計測した実際の血糖値をグラウンドトゥールースとして比較を行った。

6. 評価

本章では、提案手法における空腹度推定モデルにより得られた推定血糖値と実際の血糖値との比較、および推定した血糖値と空腹感との間の関連性について評価する。

6.1 推定血糖値と実際の血糖値の比較

実験において計測した実際の血糖値、および食事・行動情報を 4 章の血糖値推定モデル (式 (2)) に適用し、血糖値の推定値を算出した結果を図 3 に示す。ここで、図は横軸を計測した期間 8 日間、縦軸を血糖値の絶対値とし、青線が実際の血糖値、橙線が推定血糖値を表す。

図 3 より、橙線で示される推定血糖値の上下変動は、青線で示される実際の血糖値にある程度追従している事がわかる。ここで推定血糖値と実際の血糖値との計測期間全体に亘る相関値は 0.57469 となり、ある 1 日に着目した場合には最大で 0.95572 と非常に強い正の相関が得られた。この事から、食事・行動情報から血糖値推定を行うことがある程度可能なことが分かる。

6.2 空腹度と実際の空腹感との比較

推定血糖値を 4 章の空腹度推定モデル (式 (6)) に適用し得られた空腹度と、実際の空腹感の主観的評価値とを比較した結果を図 4 に示す。なお、図は横軸を計測した期間 8 日間およびその中で行われた各計測を表し、縦軸を 0~1 までの割合とする。また青線を実際の空腹感の主観的評価値、橙線を推定した空腹度とする。

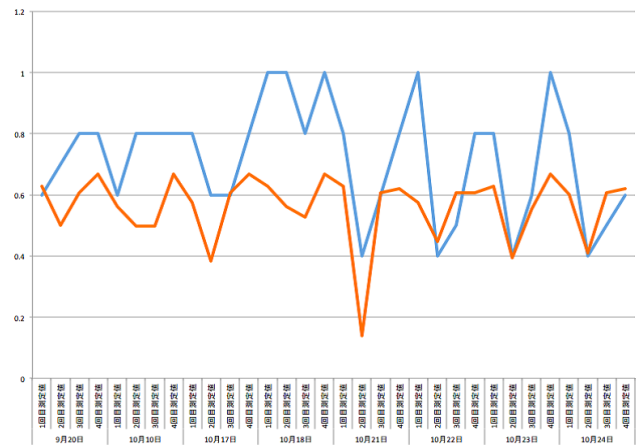


図 4 空腹度と実際の空腹感との比較

図 4 より、空腹度と実際の空腹感の上下変動には類似性が認められることが分かる。また計測期間全体に亘る相関値は 0.57956 となり、ある 1 日に着目した場合には最大で 0.95791 と非常に強い正の相関が得られた。この事から、提案手法における推定モデルより得られた空腹度と実際の空腹感には関連性があり、以上の事から、食事・行動情報を基にして空腹度の推定を行うことがある程度可能であることが分かった。

6.3 現状の問題点と解決法

現状の問題点として、図 3、図 4 を見て分かる通り、絶対値の誤差が非常に大きく精度が不足している点があげられる。ここで精度不足の原因を以下に示す。

- 野菜類・肉類といった食べ物の種類を考慮していない
- 食べ物・飲み物を摂取する順番を考慮していない
- 運動に関する情報が不足している
- 多様な属性を持つユーザに対応できない

1 点目として、食べ物はおおまかに野菜類・肉類、またはタンパク質や炭水化物などに分類することができるが、本稿においてそれらを考慮していない点が挙げられる。血糖値の推移は摂取した食べ物の量だけでなく、摂取した食べ物に含まれる糖分やタンパク質に大きく影響される。例えば同じ量であっても、麺類とご飯類では食後に上昇する血糖値に大きな違いがあることが知られている [10]。

また 2 点目についても、食べる順番が食べ物の栄養摂取効率に影響すると言われており、本稿で得られた食後血糖値の実測値に対して影響していると考えられる [11]。

3 点目については、運動情報は現状では感覚的な疲労度の評価値と、運動・労働を行った時間帯のみをパラメータとしているため、具体的な運動・労働の種類や負荷をかけた身体の部位、心的疲労度と身体的疲労度の区別等は行っていない。

これらの問題については、現状では血糖値推移に対してどの程度強く影響するかが明確にわかっていない。従っ

て、今後推定モデルの精度を上げていく過程で調査を繰り返す、その結果を踏まえて入力パラメータに組み込んでいく必要がある。

また、本稿で行った実験における測定対象の被験者が1名のみであり、多様な属性を持つ複数の被験者に対する実験を実施していない。従って今後の調査において複数の被験者に対して測定実験を実施し、提案手法における空腹度推定モデルの、多様なユーザに対する有効性を確かめる必要があると考えられる。

7. まとめ

本稿では、食事・行動の履歴情報を用いて非侵襲的に空腹度を推定するための推定モデルの構築手法を提案した。提案手法における空腹度推定モデルは、日常生活における基本の3食、およびその間の間食情報からなる食事情報と、運動(労働)や睡眠に関する情報から血糖値を推定するモデル、および推定した血糖値から空腹度を推定するモデルの2つから構成される。構築したモデルが有効である事を確かめるため、実験において実際の食事・行動情報の記録およびそれを用いた血糖値の推定と、実際の血糖値の計測、そして推定血糖値と実際の血糖値および実際の空腹感との間の関連性を調査した。その結果、推定した血糖値と実際の血糖値との間には正の相関がみられ、また推定した血糖値と空腹感(または満腹感)の間にも正の相関が見られた。

今後の課題としては、6.3節で述べた問題点を解決するために、入力する食事情報に野菜・炭水化物などの種類をラベル付けして利用する、ユーザの年齢・性別・身長・体重・体脂肪率等のユーザタイプを調査し、それらを基にユーザを分類して個別の推定モデルを構築する、といったアプローチを取り、精度を向上させていく必要がある。

参考文献

- [1] Lester, J., Hartung, C., Pina, L., Libby, R., Borriello, G. and Duncan, G.: Validated caloric expenditure estimation using a single body-worn sensor, *Proceedings of the 11th international conference on Ubiquitous computing*, ACM, pp. 225–234 (2009).
- [2] Yamaguchi, M., Kanbe, S., Wårdell, K., Yamazaki, K., Kobayashi, M., Honda, N., Tsutsui, H. and Kaseda, C.: Trend estimation of blood glucose level fluctuations based on data mining, *The 7th world multiconference on systemics, cybernetics and informatics*, pp. 86–91 (2003).
- [3] Heini, A., Lara-Castro, C., Kirk, K., Considine, R., Caro, J. and Weinsier, R.: Association of leptin and hunger-satiety ratings in obese women, *International Journal of Obesity & Related Metabolic Disorders*, Vol. 22, No. 11 (1998).
- [4] Friedman, M. I., Ulrich, P. and Mattes, R.: A figurative measure of subjective hunger sensations.
- [5] 病院の検査の基礎知識: 糖尿病の有無、その治療や管理の指標として欠かせません, <http://medical-checkup.info/article/44936157.html>.
- [6] 日本医師会: 血糖値推移の変化, http://www.med.or.jp/forest/health/eat/m08_02.html.
- [7] アークレイ株式会社: 血糖自己測定器 グルコカード G ブラック, http://www.arkray.co.jp/press/press/2013_05_07.html.
- [8] アークレイ株式会社: 血糖値測定用 G センサー, <http://biz.arkray.co.jp/BunsyoKaitei/Gsensor.pdf>.
- [9] アークレイ株式会社: ナチュラレット EZ デバイス, <http://biz.arkray.co.jp/BunsyoKaitei/naturaletEZ.pdf>.
- [10] 糖尿病サイト: 高血糖の予防法, http://www.club-dm.jp/prevention/hyperglycemia_006.php.
- [11] メディマグ. 糖尿病: 食べる順番で血糖値が変わる, http://dm.medimag.jp/column/90_2.html.