

食量・タイミング推薦に向けた血糖値測定に基づく 空腹度推定・予測手法の開発

Developing a method of hunger degree estimation
for recommending the amount of food and meal time

玉置 理沙[†] 藤本 まなと[†] 諏訪 博彦[†] 安本 慶一[†]
Risa Tamaki Manato Fujimoto Hirohiko Suwa Keiichi Yasumoto

1. はじめに

食生活の多様化が進む現代社会において、健康維持のために適切な食量の摂取が推奨されている。食生活が乱れ、適切な食量を上回る食量を摂取し続けることで、肥満をはじめとした生活習慣病が引き起こされる可能性がある [1]。適切な食量を摂取するには、いつ空腹であるのかを正確に把握することが極めて重要となる。そのためには、血糖値の測定が非常に重要である。空腹と血糖値は密接に関連しており、例えば、空腹であるほど血糖値が低いとされ、100mg/dL 未満の時は空腹時であるとされている。また、人の主観的な空腹の度合いを「空腹度」とする。血糖値を正確に把握することができれば、空腹度の推定・予測が可能となる。空腹度推定・予測が可能になれば、いつどのくらいの食量を取ればよいかの推薦が可能となる。

既存の杉田らの研究 [2, 3] では、食事・行動履歴から血糖値と空腹度を推定している。この研究では、推定モデルの構築のため、痛みを伴う穿刺型の血糖値測定器による定期的な穿刺が必要なこと、血糖値の推定精度がそれほど高くないという問題があった。また、Gyuk らの研究 [4] では、数学モデルを使用して血糖値を予測したが、対象ユーザーが糖尿病患者であったため、健康な成人の血糖値予測が行われておらず、ユーザーの特性にあった血糖値の予測が困難であった。

本研究では、既存の研究の問題点を解決するため、血糖値測定専用センサ (Freestyle リブレ) [5] を一定期間 (約 2 週間) にわたって非糖尿病患者である被験者に装着してもらうことで血糖値データを収集する。この装置は継続的に血糖値を収集することが出たため、より高精度な推定が可能となる。また、継続的な血糖値のデータ収集により、血糖値の推移の要因の特定が可能となる。本研究では、収集した血糖値データから、時間の経過、食事の摂取に伴う空腹度の変化を推定・予測する新たな手法の開発を達成目標とする。

2. 関連研究

2.1 食事・行動履歴に基づく空腹度推定

杉田ら [2, 3] は、単一の被験者に対して約一週間穿刺型の血糖値測定器を用いて定期的に測り、主観的な空腹度と関連付け、食事・行動履歴をもとに血糖値を予測するモデルを作成することで空腹度を予測する手法を提案している。単一被験者を対象としたこの実験では、食事・行動情報の記録に合わせて 1 日に計 4 回の測定を行っている。ここ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、実験におけるパラメータとの比較を行っており、また、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ている。なお、実験においては食事情報・行動情報の他に、計測時の空腹感の強さの 5 段階評価値し、摂取した食事のカロリーや、計測時の体調の良さの 5 段階評価値をパラメーターとして取り入れた。

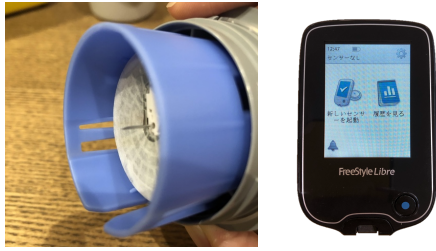
しかし、この研究では、食量は考慮しているが食事の糖質量までは考慮していないため、血糖値の測定に一定の誤差が生じるといった問題点がある。また、穿刺型の血糖値測定値を用いたことにより、血糖値測定のため、数時間ごとに穿刺が必要、被験者への負担が大きいといった問題もある。

2.2 データマイニングを用いた血糖値測定

山口ら [6] は、対象ユーザとして糖尿病患者を想定し、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を提案している。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、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% の精度で推定している。

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はなく、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課題として挙げられる。

[†] 奈良先端科学技術大学院大学, Nara Institute of Science and Technology



(a) リブレセンサ (b) リブレリーダー

図 1: 血糖値測定機器

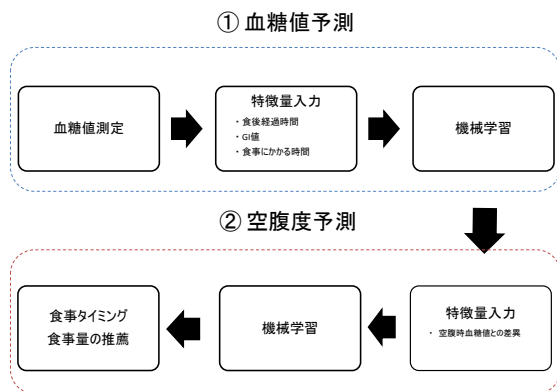


図 2: 提案方式

2.3 数学モデルを用いた栄養とインスリン投与記録に基づく糖尿病患者の血糖値予測

Glukら [4] は、連続グルコースモニタリングシステムを用いて継続的に血糖値を測定し、インスリンの摂取量を推定することを目的とする研究を行っている。試験は、20人を超える糖尿病患者を含む臨床試験を含むデータセットに対して行われた。その結果、食事摂取からのグルコース吸収をモデル化するいくつかの方法を利用してインスリン吸収を含む栄養吸収を計算し、血糖値を予測する数学モデルを使用することで、92.5%の精度で血糖値を予測することに成功したと報告している。この研究では、グルコースの吸収モデルに着目しているが、食品の糖質を考慮していない点が課題である。

2.4 糖尿病管理のための血糖値を予測する機械学習アプローチ

Plisら [7] の研究では、連続グルコースモニタリングシステムを用いて5人の1型糖尿病患者から血糖値のデータセットを作成し、食事のタイミング、糖質量、食事の組成、頻度を特徴量とする機械学習により血糖値の予測を行い、血糖値が低血糖とされる値になる30分前の時刻を導出している。その結果、低血糖時の30分前の予測を23%の精度で予測している。この研究では、対象者を糖尿病患者としている点が課題である。

表 1: 機械学習における特徴量

特徴量	内容
食事後経過時間 [8]	食後の血糖値上昇を考慮
食事時間 [9]	咀嚼回数と食事時間の長さが血糖値に及ぼすことを考慮
GI値 [10]	食事に含まれている糖質を考慮

3. 提案方式

3.1 概要

本研究では、既存研究の問題点を解決するため、負担の少ない血糖値測定器である Freestyle リブレ*を用いて約2週間分の継続的な血糖値データを取得する。機械学習を用いて血糖値を予測することで、時間の経過、食事の摂取に伴う空腹度の変化を推定・予測する新たな手法を提案する。

3.2 使用機器

本研究では、図1(a)に示す Freestyle リブレセンサと図1(b)に示すリーダーを使用する。Freestyle リブレセンサは、ほとんど痛みの伴わない500円玉(3cm程度)サイズのシール状血糖値測定専用センサで、被験者の上腕部に貼ることで、皮下中の間質液中のグルコース濃度を連続的に測定できる。また、センサにリーダーをかざし、スキャンすることで、連続測定した間質液中グルコース濃度変動パターンをリーダーの液晶画面上に表示できる。この時、リーダーの液晶画面上には間質液中グルコース濃度を血糖値に変換した値が表示される。

3.3 空腹度の推定・予測手法

本提案では、図2に示すように、二段階の機械学習を行う。第一段階として、血糖値の予測を行う。被験者は1日3回、8時間毎(例えば、起床後、午後、および就寝前)にセンサにリーダーをかざすことで血糖値データを収集する。また、血糖値の測定に伴い、被験者には食事情報(量・種類と時間)と主観的な空腹度を10段階でアンケートに記入してもらう。被験者の食事情報、例えば、表1に示すように、食事経過時間、食事時間、GlucoseIndex値(GI値)を特徴量として入力し、回帰的かつ非侵襲的に血糖値の予測を行う。また、このとき被験者の食事に含まれるGI値は下記のサイト [10] より引用する。

第二段階として、空腹度の予測を行う。血糖値と空腹度を紐づけ第一段階で予測した血糖値をもとに、空腹時血糖値との差を特徴量として入力することで、クラス分類にて空腹度の予測を行う。機械学習を適用することにより、非侵襲的に血糖値の予測を行い、予測された血糖値データから、時間の経過、食事の摂取に伴う空腹度

*Freestyle リブレ：連続測定したグルコース濃度の変動パターンを表示するグルコースモニタリングシステム。

の変化を推定・予測する。最終的には、推定・予測された空腹度の情報から、食事のタイミングや食事を提案・推薦できるシステムの開発を最終目標とする。

4. 実験方法

4.1 実験目的と概要

本研究では、適切な食事量の摂取のため食事のタイミングと食事量の推奨することを目的としたシステムの開発を目指す。研究の実施において、健康な成人男性および成人女性、小規模多機能施設の高齢者を合わせて約20名を研究対象者とする。実験の順番としては、安全性を考慮し、本学の学生/教員を対象とした実験を行った上で、小規模多機能施設の高齢者を対象とした実験を行う。被験者は1日3回、8時間毎（例えば、起床後、午後、および就寝前）にセンサにリーダをかざすことで血糖値データを収集する。また、推定・予測された空腹度の情報から、食事のタイミングや食事を提案・推薦できるシステムの開発を最終目標とする。測定期間中は被験者には通常通りの生活を行ってもらうものとする。なお、本実験は奈良先端科学技術大学院大学に設置された倫理審査委員会の承認のもと行う予定である。

4.2 評価方法

被験者の継続的な血糖値のデータと食事量や主観的空腹度のデータ採取する。また、食事情報を特徴量として入力し、機械学習を使用し、最終的に交差検証を行う。推定に対する評価指標には、適合率: Precision, 再現率: Recall, F値を用い、交差検証として k-fold cross validation を用いる予定である。

5. 結論

本研究開発により、血糖値測定用専用センサ (freestyle リブレ) を用いて血糖値データを測定・収集することにより、空腹度の推定および予測を可能とする手法が実現可能となる。空腹度の推定・予測が可能となれば、摂取すべき食事量をその時の空腹度に合わせて提示が可能な、食事量・タイミング推薦システムをはじめとする様々な生活支援システムの研究開発が加速的に活発化することが期待できる。また、現在倫理審査申請中であるため、申請が受理され次第、実験を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、科研費基盤研究 (C)(No.16K00126) の助成によって行った。

参考文献

[1] Barbara J Rolls, Erin L Morris, and Liane S Roe. Portion size of food affects energy intake in normal-weight and overweight men and

women. *The American journal of clinical nutrition*, Vol. 76, No. 6, pp. 1207–1213, 2002.

- [2] 杉田敢, 諏訪博彦, 荒川豊, 安本慶一. 食事・行動履歴に基づく非侵襲的空腹度推定手法. 2015 年度情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, Vol. 2015, , 2015.
- [3] Isamu Sugita, Morihiko Tamai, Yutaka Arakawa, and Keiichi Yasumoto. A method for estimating hunger degree based on meal and exercise logs. In *MobiHealth 2014*, pp. 11–14, 2014.
- [4] Péter Gyuk, István Vassányi, István Kósa. Blood glucose level prediction for diabetics based on nutrition and insulin administration logs using personalized mathematical models. *Journal of health-care engineering*, Vol. 2019, , 2019.
- [5] Freestyle リブレ. available from <https://http://myfreestyle.jp/>.
- [6] Masaki Yamaguchi, S Kanbe, Karin Wårdell, Katsuya Yamazaki, Masashi Kobayashi, Nobuaki Honda, Hiroaki Tsutsui, and Chosei Kaseda. Trend estimation of blood glucose level fluctuations based on data mining. In *The 7th world multiconference on systemics, cybernetics and informatics*, pp. 86–91, 2003.
- [7] Kevin Plis, Razvan Bunescu, Cindy Marling, Jay Shubrook, and Frank Schwartz. A machine learning approach to predicting blood glucose levels for diabetes management. In *Workshops at the Twenty-Eighth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2014.
- [8] 危険な食後の高血糖. available from <https://www.boehringerplus.jp/sites/default/files/sup-diabetes-02.pdf>.
- [9] 安藤雄一, 花田信弘, 柳澤繁孝. 「ゆっくりとよく噛んで食べること」は肥満予防につながるか? ヘルスサイエンス ヘルスケア, Vol. 8, No. 2, pp. 51–63, 2008.
- [10] 食品の GI 値一覧表. available from <https://lpi.oregonstate.edu/mic/food-beverages/glycemic-index-glycemic-load>.