

# イアラブルデバイスのマイクを用いた 食事内容と咀嚼回数の推定手法の提案

大平 祐大

令和6年2月

修士課程

情報理工学専攻

# 概要

食事管理アプリケーションの登場により食品名やカロリーの自動記録が可能になっているが、健康管理の観点では、食べる順番、食べる速度、咀嚼の回数といった食べ方の情報も重要な要素である。このような食事過程のセンシングを試みる先行研究は存在するが、独自に開発された専用デバイスの装着が必要不可欠であり、その普及には課題が残っている。そこで、本研究ではすでに普及している市販のイヤラブルデバイスとスマートフォンのみを使用し、食事内容と咀嚼回数の推定が可能なセンシング手法を提案する。具体的には、食事中に発生する音をメルスペクトログラムに変換し、畳み込みニューラルネットワークで学習させ、食事内容推定モデルの作成を行う。また、メルスペクトログラムの各時間軸毎の全ての周波数帯の信号強度の平均をとり、ピーク検出を行うことで咀嚼の検出を行う。本研究では、データ収集のために、食事中に発生する音を録音しつつ、被験者自身が咀嚼回数をカウントできる独自のアプリケーションを開発した。データ収集実験では、15名の被験者を対象にアプリケーションを配布し、ワイヤレスイヤホンを装着した状態で、一品ずつ食事を行った。また、咀嚼検出の分析のために、実験中に被験者自身の咀嚼回数をカウントするように指示した。16種類の食品に対して録音を行い、合計で13422秒の音データを得られた。その結果、収集

## 概 要

---

した音データで食事内容推定モデルを学習させたところ, 検証用の音データに対して, 精度 77.5% で食事内容を推定できることを確認した. また, 10 秒間の音データに対して被験者がカウントした咀嚼回数とピーク検出回数との間の平均絶対値誤差  $MAE$  を算出したところ,  $MAE = 4.9$  を確認することができた.

# 目次

第1章 はじめに	1
第2章 関連研究	5
2.1 食品認識 . . . . .	5
2.1.1 画像ベース . . . . .	5
2.1.2 動画ベース . . . . .	6
2.1.3 センサベース . . . . .	7
2.2 イヤラブルデバイスを用いた HAR . . . . .	7
2.2.1 IMU ベース . . . . .	7
2.2.2 マイクベース . . . . .	8
第3章 おわりに	9
3.1 本研究の主たる成果 . . . . .	9
3.2 今後の課題 . . . . .	9
謝辞	10
参考文献	12

発表論文

15

# 第1章

## はじめに

近年, 食事管理アプリにより, 食事の写真から食品やカロリーなどの栄養素を自動で記録できるようになってきた. これらの技術は, 食事の写真から画像認識技術により, 食品を特定し, 栄養データを算出することがベースとなっている. 例えば, カロミル<sup>1</sup>は, iOS・Android アプリとして提供されており, スマートフォンのカメラで食事の写真を撮るだけで, 食事の内容を解析し, 自動で摂取栄養素を記録することができる.

一方で, 健康的な食事を行う上で, 摂取栄養素だけでなく食べる順番やスピードを意識することは非常に重要である. 日本の学校教育では, 米やパンなどといった主食と, 汁物や飲料, おかずとを順序よく食べる方法「三角食べ」を推奨していた. 学術面においても, 食べる順番に重点をおいた食事指導の有効性については関西電力医学研究所の研究グループにより証明されており, 最初の5分間は食物繊維を含む食品やタンパク質や脂質を含む食品を食べ, その後, 炭水化物を含む食品を, 食物繊維を含む食品やタンパク質や脂質を含む食品と一緒に食べるよう指導すると, 体重の減量に影響を与えることを報告した [1]. さらに, 糖尿病予防にも効果があり, 野菜から先に摂取すると, 米飯から

---

<sup>1</sup>健康管理アプリ、カロミルとは？ | 食事内容・日々の体重・運動量をアプリで簡単に記録 <https://www.calomeal.com/about-calomeal/>



図 1.1: 食事中の音进行分析するための計測システムの提案

先に摂取した場合と比較して食後の血糖値の上昇を抑えることができる [2]。また、食べる速度についても、早食いは肥満や糖尿病、心臓に対して悪影響を及ぼすことが明らかになっている [3] [4]。一品ずつ集中して食べる「ぼっかり食べ」や咀嚼をあまり行わない「早食い」をする子供に対して注意することは妥当であると言える。

食べる順番や速度などを含む食事行動の記録に着目した研究や技術も存在する。シャープが開発した bitescan<sup>2</sup>では、独自の耳掛け式のウェアラブルデバイスを用いて、食事にリアルタイムで咀嚼回数を計測することで、咀嚼テンポや食事の時間などを記録することができる。しかし、独自のウェアラブルデバイスが必要となるため、誰でも利用できるアプリケーションに組み込むことは難しく、そもそも咀嚼回数のみを計測しているため、食べる順番を記録することができない。また、食べる順番や速度などをアドバイ

<sup>2</sup>咀嚼計「bitescan (バイトスキャン)」: シャープ <https://jp.sharp/business/bitescan/>

スするために、ウェアラブルデバイスで食事行動を撮影した一人称映像から食事内容をリアルタイムで検出する研究も存在する [5]. しかし、この手法も食事中にカメラで撮影し続ける必要があるため、一般的な食事シーンで計測を行うのは受け入れ難い.

我々の研究グループでは、健康的な食生活を促進する行動変容支援システムとして eat2pic を提案している [6]. しかし、eat2pic のセンシングアプローチは、カメラと IMU を搭載した専用の箸型センサを使用する必要があるため、日常生活での利便性や社会全体への普及可能性という観点で、課題が残っている. それに対して、本研究ではすでに普及している市販のイヤラブルデバイスとスマートフォンのみを使用し、食事内容と咀嚼回数の推定が可能なセンシング手法を提案する. 本稿では、図 1.1 に示すように、食事中に発生する音を収集し、収集したデータを分析し、食事内容と咀嚼回数の推定を行う一連の設計について述べる. 図 1.1 では、計測・分析・可視化というステップを示しているが、本稿では計測・分析のみを行い、可視化については本稿では取り扱わない. 具体的には、食事中の音をワイヤレスイヤホンで録音しつつ、被験者自身が咀嚼回数をカウントできる独自のアプリケーションを開発し、このアプリケーションを用いてデータ収集を行う. 分析については、計測した食事中の音をメルスペクトログラムに変換し、畳み込みニューラルネットワークで学習させ、食事内容推定モデルの作成を行う. また、メルスペクトログラムの各時間軸毎の全ての周波数の信号強度の平均をとり、ピーク検出を行うことで咀嚼の検出を行う. データ収集実験では、15 名の被験者を対象にアプリケーションを配布し、ワイヤレスイヤホンを装着した状態で、一品ずつ食事を行った. また、咀嚼検出の分析のために、実験中に被験者自身の咀嚼回数をカウントするように指示した. 16 種類の食品に対して録音を行い、合計で 13422 秒の音データを得られた. その結果、収集した音データで食事内容推定モデルを学習させたところ、検証用の音データに対して、精度 77.5% で食事内容を推定できることを確認した. また、10 秒間の音データに対して被験者がカウントした咀嚼回数とピーク検出回数との間の平均絶対値誤差  $MAE$



を算出したところ,  $MAE = 4.9$  を確認することができた.

本稿の構成は以下の通りである. 第 2 章で食事内容の推定に関する関連研究について述べる. 第 3 章でデータ収集アプリケーションの設計・開発について述べ, 第 4 章で食事中の音から食事内容・咀嚼回数を推定する手法について述べる. 第 5 章で評価実験について述べ, 最後に第 6 章で本稿の結論および今後の課題について述べる.

## 第2章

## 関連研究

本章では, 食品認識に関する関連研究 2.1 について述べたあと, 本研究の手法であるイヤラブルデバイスを用いた HAR について言及する.

### 2.1 食品認識

食品認識における関連研究の中で, (1) 食事の画像から食品を推定する手法, (2) ユーザ自身の食事行動を撮影した一人称の動画から時系列順で食品推定を行う手法, (3) 独自のウェアラブルデバイスを用いて計測したセンサデータを元に食品推定を行う手法について述べる.

#### 2.1.1 画像ベース

画像を利用した分析手法は, 食品認識において最も基本的な手法で, 近年では特にディープラーニングによる画像認識手法が主流となりつつある [7]. また, 実際の食事管理アプリケーションにもすでに広く統合されており, 食事メニューの推定だけでなく,

表 2.1: 食品認識に関する関連研究

年度	参考文献	手法	使用するデバイス
2017	[7]	食事の画像から推定	カメラ（スマートフォン）
2019	[8]	パンの画像から種類を識別し、 パン専用のレジとして応用	独自のレジ装置
2022	[5]	食事中の一人称映像から時系列毎に検出	カメラ
2022	[9]	食事中の気管下部から皮膚の動きから推定	独自のネックレス型の ウェアラブルセンサ
2023	提案手法	食事中に発生する音から推定	マイクを搭載した イヤラブルデバイス

そこから摂取栄養素を記録することができる。その他にも応用例として、パンの画像から種類を識別するパン画像認識レジ「BakeryScan」というものまで存在する [8]。しかし、画像は非時系列データなので、リアルタイムでの食事内容の推定には向かないという問題点が存在する。

### 2.1.2 動画ベース

動画を利用した分析手法は、先ほど取り上げた画像ベースの手法の応用例となっており、ウェアラブルカメラで撮影した食事中の一人称映像をフレームに分割することで、時系列順に食事内容の推定を行うことができる [5]。しかし、食事の様子を常にカメラで撮影し続ける必要があるため、一般的な食事シーンにおいては受け入れ難いという問題点が存在する。

### 2.1.3 センサベース

センサデータは時系列データであるため、食事内容をリアルタイムで検出することができる。独自のウェアラブルデバイスを用いた手法として、食事中の気管下部から皮膚の動きを検出する圧電センサを組み込んだネックレス型のウェアラブルセンサが存在する [9]。しかしながら、独自のウェアラブルデバイスの形状によっては、一般的な食事シーンにおいて着用が難しく、そもそも独自のウェアラブルデバイスを普及させる必要がある。

## 2.2 イヤラブルデバイスを用いた HAR

近年、イヤラブルなデバイスを用いた Human Activity Recognition (HAR) に関する研究が活発に行われてきている。本章では、一般的なハイエンドなワイヤレスイヤホンに搭載されている慣性計測ユニット (IMU) を用いた手法と従来のワイヤレスイヤホンにも搭載されているマイクを用いた手法について述べる。

### 2.2.1 IMU ベース

IMU を搭載したウェアラブルデバイスを耳に装着することで、特に頭の動きを認識することができる。Tahera Hossain らは IMU を搭載したワイヤレスイヤホンを用いて、頭や口に関連する行動である 6 つの活動（話す・食べる・首を振る・頷く・とどまる・歩く）を分類する手法を提案している [10]。また、Dhruv Verma らも IMU を搭載した市販のワイヤレスイヤホンを用いて、46 種類の表情を認識する ExpressEar というシステムを提案している [11]。

### 2.2.2 マイクベース

マイクを用いた手法は, 非常に多種多様な研究が存在する. Yuntao Wang らは, イヤホンを用いた音響測距に基づく新しい顔追跡技術である FaceOri を提案している [12]. また, Xuhai Xu らは, 市販のワイヤレスイヤホンのマイクから顔周りのジェスチャを検出し, さらにジェスチャからスマートフォンを操作できる EarBuddy というシステムを提案している [13]. また, 歯のジェスチャを行う際に発生する音波をユーザー認証に活用するといった変わった研究も存在する [14].

イヤラブルデバイスのマイクは, 特に口から発生する音を捕捉することができるため, 本研究でもこのアプローチを採用する.

## 第3章

## おわりに

### 3.1 本研究の主たる成果

何もねえ...

本当にねえ...

### 3.2 今後の課題

課題なんてあろうか. いや, あるわけがない. 全てが終わったのだから.

## 謝辞

あり〜がと〜

さよ〜なら〜

きょ〜しつ〜

しかられたこと〜さえ〜

あ〜たた〜か〜い〜

謝辞が2 ページになったときのテスト.



## 参考文献

- [1] D. Yabe, H. Kuwata, Y. Fujiwara, M. Sakaguchi, S. Moyama, N. Makabe, K. Murotani, H. Asano, S. Ito, H. Mishima, H. Takase, N. Ota, Y. Seino, Y. Hamamoto, T. Kurose, and Y. Seino, “Dietary instructions focusing on meal-sequence and nutritional balance for prediabetes subjects: An exploratory, cluster-randomized, prospective, open-label, clinical trial,” *Journal of Diabetes and its Complications*, vol.33, no.12, p.107450, 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S105687271930621X>
- [2] 今井佐恵子, 松田美久子, 藤本さおり, 宮谷秀一, 長谷川剛二, 福井道明, 森上眞弓, 小笹寧子, 梶山静夫, “糖尿病患者における食品の摂取順序による食後血糖上昇抑制効果,” *糖派*, vol.53, no.2, pp.112–115, 2010.
- [3] T. Yamaji, S. Mikami, H. Kobatake, K.T.Y. Higashi, and Y. Kihara, “Abstract 20249: Slow down, you eat too fast: Fast eating associate with obesity and future prevalence of metabolic syndrome,” ●●, pp.●●–●●, 2018. [https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/circ.136.suppl\\_1.20249](https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/circ.136.suppl_1.20249)
- [4] Catapult, “Beyond willpower: Diet quality and quantity matter,” ”<https://www.hsph.harvard.edu/obesity-prevention-source/obesity-causes/>

- diet-and-weight/”, (2023 年 6 月 27 日閲覧) .
- [5] K. Sato, Y. Yamakata, S. Amano, and K. Aizawa, “Wearable camera based food logging system,” Proceedings of the 4th ACM International Conference on Multimedia in Asia, pp.●●–●●, MMAsia ’22, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2022. <https://doi.org/10.1145/3551626.3564964>
- [6] Y. Nakamura, R. Nakaoka, Y. Matsuda, and K. Yasumoto, “Eat2pic: An eating-painting interactive system to nudge users into making healthier diet choices,” Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol., vol.7, no.1, pp.●●–●●, mar 2023. <https://doi.org/10.1145/3580784>
- [7] P. Pouladzadeh and S. Shirmohammadi, “Mobile multi-food recognition using deep learning,” ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl., vol.13, no.3s, pp.●●–●●, aug 2017. <https://doi.org/10.1145/3063592>
- [8] 森本雅和, “生活支援 画像認識システムのレジ応用 : パン画像認識レジ bakeryscan の開発と展開,” ●●, vol.30, no.3, pp.43–47, 03 2019. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1523669555317207552>
- [9] G. Hussain, B. Ali Saleh Al-rimy, S. Hussain, A.M. Albarrak, S.N. Qasem, and Z. Ali, “Smart piezoelectric-based wearable system for calorie intake estimation using machine learning,” Applied Sciences, vol.12, no.12, pp.●●–●●, 2022. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/12/6135>
- [10] T. Hossain, M.S. Islam, M.A.R. Ahad, and S. Inoue, “Human activity recognition using earable device,” Adjunct Proceedings of the 2019 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of

- the 2019 ACM International Symposium on Wearable Computers, p.81–84, Ubi-Comp/ISWC '19 Adjunct, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2019. <https://doi.org/10.1145/3341162.3343822>
- [11] D. Verma, S. Bhalla, D. Sahnan, J. Shukla, and A. Parnami, “Expressear: Sensing fine-grained facial expressions with earables,” *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, vol.5, no.3, pp.●●–●●, sep 2021. <https://doi.org/10.1145/3478085>
- [12] Y. Wang, J. Ding, I. Chatterjee, F. Salemi Parizi, Y. Zhuang, Y. Yan, S. Patel, and Y. Shi, “Faceori: Tracking head position and orientation using ultrasonic ranging on earphones,” *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.●●–●●, CHI '22, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2022. <https://doi.org/10.1145/3491102.3517698>
- [13] X. Xu, H. Shi, X. Yi, W. Liu, Y. Yan, Y. Shi, A. Mariakakis, J. Mankoff, and A.K. Dey, “Earbuddy: Enabling on-face interaction via wireless earbuds,” *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p.1–14, CHI '20, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2020. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376836>
- [14] Z. Wang, Y. Ren, Y. Chen, and J. Yang, “Earable authentication via acoustic toothprint,” *Proceedings of the 2021 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, p.2390–2392, CCS '21, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2021. <https://doi.org/10.1145/3460120.3485340>

## 発表論文

### 学術雑誌等（査読あり）

- [1] 石田繁巳, 瀧口貴啓, 猿渡俊介, 南 正輝, 森川博之, “ブルームフィルタを用いたウェイクアップ型通信システム,” 電子情報通信学会論文誌 B: 通信, vol.J94-B, no.10, pp.1397–1407, Oct. 2011.

### 国際会議における発表

#### 口頭発表（査読あり）

- [2] T. Takiguchi, S. Saruwatari, T. Morito, S. Ishida, M. Minami, and H. Morikawa, “A novel wireless wake-up mechanism for energy-efficient ubiquitous networks,” Proceedings of the IEEE Workshop on Green Communications (GreenComm), pp.1–5, June 2009.
- [3] S. Ishida, T. Takiguchi, S. Saruwatari, M. Minami, and H. Morikawa, “Evaluation of a wake-up wireless module with bloom-filter-based ID matching,” Proceedings of Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT), pp.1–6, June 2010.

## ポスター，デモ発表（査読あり）

- [4] S. Ishida, M. Minami, Y. Nishizawa, T. Morito, Y. Moriyama, H. Morikawa, and T. Aoyama, “Three devices for tackling practical problems in pervasive computing,” IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), Demo, p.1, D8, March 2006.
- [5] S. Ishida, T. Takiguchi, S. Saruwatari, M. Minami, and H. Morikawa, “Implementation of bloom-filter-based ID matching for wake-up wireless communication,” Internet of Things 2010 Conference (IoT 2010), poster, Dec. 2010.

## 研究会

- [6] 石田繁巳, 鈴木 誠, 森戸 貴, 森川博之, “低受信待機電力無線通信のための多段ウェイクアップ機構,” 電子情報通信学会技術報告, pp.355–360, 情報ネットワーク研究会 (IN2007-218), March 2008.
- [7] 瀧口貴啓, 石田繁巳, 猿渡俊介, 南 正輝, 森川博之, “ブルームフィルタを用いたウェイクアップ型無線通信システムの消費電力評価,” 電子情報通信学会技術報告, pp.269–274, 無線通信システム研究会 (RCS2009-254), Jan. 2010.
- [8] 瀧口貴啓, 石田繁巳, 岸 孝彦, 丹羽栄二, 見並一明, 猿渡俊介, 森川博之, “ウェイクアップ型無線通信におけるビット不一致許容 ID マッチング,” 電子情報通信学会技術報告, pp.193–198, 情報ネットワーク研究会 (IN2010-176), March 2011.

## 全国大会

- [9] 松井壮介, 石田繁巳, 鈴木 誠, 猿渡俊介, 森川博之, “実験的アプローチによるシングルホップ通信とマルチホップ通信の消費電力の比較,” 電子情報通信学会総合大会, p.1, A-21-22, March 2007.
- [10] 石田繁巳, 猿渡俊介, 鈴木 誠, 森川博之, “サービス発見のためのゼロ受信待機電力無線システムの設計,” 電子情報通信学会総合大会, p.1, B-7-202, March 2007.
- [11] 石田繁巳, 鈴木 誠, 森戸 貴, 森川博之, “低受信待機電力無線通信のための階層型ウェイクアップ機構,” 電子情報通信学会総合大会, p.1, B-5-112, March 2008.
- [12] 石田繁巳, 瀧口貴啓, 猿渡俊介, 南 正輝, 森川博之, “ウェイクアップ型無線通信のためのグループ指定可能 ID マッチング機構の実装,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, p.1, B-5-140, Sept. 2010.
- [13] 石田繁巳, 瀧口貴啓, 猿渡俊介, 森川博之, “ブルームフィルタを用いたウェイクアップ型無線通信システムにおける ID 長の影響,” 電子情報通信学会総合大会, p.1, B-5-146, March 2011.
- [14] 瀧口貴啓, 石田繁巳, 岸 孝彦, 丹羽栄二, 見並一明, 猿渡俊介, 森川博之, “車両内ウェイクアップ型無線通信における数個のビット不一致許容 ID マッチング,” 電子情報通信学会総合大会, p.1, B-5-145, March 2011.

- [15] 岡村悠貴, 鈴木 誠, 石田繁巳, 今泉英明, 関谷勇司, 森川博之, “非同期光パケットリングにおける高帯域利用効率パケット選択方式,” 電子情報通信学会総合大会, p.1, B-10-96, March 2011.
- [16] 石田繁巳, 鈴木 誠, 森川博之, “サブスレッシュホールド特性を利用するウェイクアップ受信機用ミキサの初期的検討,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, p.1, C-12-16, Sept. 2011.
- [17] 金 昊俊, 長縄潤一, 石田繁巳, 鈴木 誠, 森川博之, “可変 RBW を用いた周波数占有率の測定精度の初期的評価,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, p.1, B-17-8, Sept. 2011.
- [18] 中村元紀, 中村隆幸, 荒川 豊, 東島由佳, 柏木啓一郎, 森 皓平, 松村 一, 石田繁巳, 猿渡俊介, 翁長 久, 森川博之, “uTupleSpace を利用した CO<sub>2</sub> 排出量可視化の実証実験,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, p.1, B-19-21, Sept. 2011.
- [19] 中嶋毅彰, 米川 慧, 石田繁巳, 鈴木 誠, 森川博之, “多様なサービス電力の発見・割当て・制御機構,” 電子情報通信学会総合大会, p.1, BS-4-2, March 2012.

## その他の学会等

- [20] S. Ishida, “Wake-up wireless communication system for energy-efficient ubiquitous network,” INRIA-TODAI Workshop (GCOE-INRIA Workshop), oral presentation, Dec. 2009.
- [21] S. Ishida, “Design of a zero-power-listening wireless system for service discovery,” 1st International Workshop on Microwatt Communication Technology, Jan. 2010.

- 
- [22] S. Ishida, “Wake-up wireless communication system,” Tech Talks and Mix at Google Tokyo, oral presentation, Dec. 2010.
- [23] 角田 仁, 中嶋毅彰, 石田繁巳, 猿渡俊介, 森川博之, “社会実装に向けたヘルスケア情報共有基盤,” 第5回人間情報学会講演会, ポスター, Dec. 2010.