

食器に装着したセンサによる摂食履歴取得

光 藤 雄 ^{†1} 川 嶋 稔 夫 ^{†2}

食事のパターンは、ある程度の個人の健康状態が反映されていると考えられる。本研究では、人間の摂食パターンを、一口単位で追跡するデバイスの制作を目指す。本稿では、スプーンなど、食品を口に運ぶカトラリにセンサ（歪みゲージ）を装着して摂食タイミングを検出することを試み、また食物の重さの測定も試みた。制作したカトラリでは、摂食タイミングの検出が可能である事がわかり、またある程度の精度で重さの検出もできる事が明らかになった。

Dining Record Collection System using Cutlery-Attached Sensor

YUICHI MITSUDO ^{†1} and TOSHIO KAWASHIMA ^{†2}

The dining pattern often reflects one's mental and physical status. In this research, we design and implement a sensing system to detect single-bite intakes during one's dining. In the system, we attach a sensor, strain gauge, to cutlery, to measure the timing of intake and measure the weight of the food on cutlery. The present experimental results suggests that this system can be used as an intake-timing detector and measuring device of the food.

1. はじめに

食べる事は健康を保つ上で大変重要な役割を担う。近年の健康ブームでは、特に「何を食べるか」ということに注目が集まっており、いろいろな食品に含まれる栄養素やカロリーな

どが、雑誌、テレビ、インターネットなどで紹介されている。これらのアプローチを観察すると、一回、もしくは一日の食事ですれだけの栄養素が体内に入ったかに注目していることがわかる。

一方で、この考え方は食物の摂取の時系列的な変化には注目していないこともわかる。実際に我々の普段の食事の様子を思い浮かべると、全ての栄養素を一度に摂取するという事はまれで、食べはじめから食べ終わりまで、さまざまな順序で複数の食品を摂取することが多い。こうした食品の摂取の履歴と健康状態には、なんらかの関係はないのだろうか。

こうした食品の摂取（以下摂食と書く）の履歴と健康状態の関係についての調査を行うために、一口単位の摂食履歴を取る為の機材の開発と、実際の履歴の取得と解析が試みられている。川嶋らの研究¹⁾では、RFIDと重量計を組み合わせることで、何をどのようなタイミングで摂取しているかを計測する事を試み、同じ品目の食事であっても、人によって全く異なるパターンで食事をしている様子を記録した。この研究では、どの食品を摂取したのかは、食器ごとに装着されたIDで、どのくら摂取したのかはお盆に取り付けられた重量計で計測されている。この研究では、RFIDを読み込むため、被験者は、一口ごとに食器を持ち上げる事を要求された。また小野らの研究²⁾では、こうした摂食パターンをマルコフモデルとして解釈し、被験者の摂食パターンは長期的には安定しているとの知見を得ている。

この論文¹⁾の最後でも触れられている通り、この計測は食器の操作時間から摂食を推定するという方法をとっており、実際の被験者の行動をトリガとして摂食回数を算定している訳ではない。そこで本研究では、カトラリにセンサを組み込む事で、摂食回数をさらに正確に算定する事を試みる。

2. カトラリによる摂食の検知

2.1 ひずみゲージによる摂食の検知

摂食回数を数える為には、まず摂食を検知する必要がある。摂食の動作のうち、不可欠なプロセスは、食べ物を口に運ぶことである。本稿では、食べ物を口に運んだ事検知することで摂食回数を数える。

食べ物を口に運ぶ際にしばしば使用されるのが、フォーク、スプーン、箸などのカトラリである。カトラリには摂食する食べ物が載せられるので、その分の荷重がかかる。我々はこの点に注目し、カトラリにかかる荷重を検知する事で、摂食を検知する事にした。

カトラリへの荷重を検知する為には、ひずみゲージを使用する。カトラリに食べ物による荷重が掛かった場合、わずかな変形が生じる。変形が生じる場所は、カトラリのハンドル部分

^{†1} 北九州市立大学 基盤教育センター

The University of Kitakyusyu Center for Fundamental Research

^{†2} 公立はこだて未来大学 情報アーキテクチャ学科

Future University Hakodate Department of MediaArchitecture

(ユーザが把持), と頭部分(食物を載せる)の間にある, 首部分である. この部分の変形を, ひずみゲージと呼ばれるセンサで計測する. ひずみゲージは薄い金属膜から構成される. 長さ l の金属が Δl だけ変形すると, その電気抵抗 R は $\frac{\Delta l}{l}$ に比例して変化する. この $\frac{\Delta l}{l}$ がひずみ ε である. 変形していない状態のひずみゲージの抵抗を R , ゲージ率を K とおくと, 抵抗の変化量 ΔR は,

$$\Delta R = K \times \varepsilon \times R \quad (1)$$

となることが知られており, ΔR を計測する事で, ひずみ ε を検知する事ができる. 同時に, ひずみの量がどの程度であるかを知る事もできる.

2.2 摂食動作の4フェーズとその検知

次に, 摂食動作の際にカトラリにどのように荷重が掛かるかをモデル化する. 皿に盛られた食べ物が口に運ばれるまでのプロセスを観察すると,

- (1) 食べ物をすくう
- (2) 持ち上げる
- (3) 口に入れる
- (4) カトラリを皿上に戻す

の4フェーズ(図1)に分けられると考えられる. これらのフェーズで, カトラリにどのような荷重が掛かるかを考察する.



図1 摂食の4フェーズ

フェーズ1

食物を掬うフェーズ. 食品を掬う際は食品によってカトラリの頭部分が支えられるため, 重力加速度 g の影響は無くなるが, 引き上げる瞬間 g と引き上げる加速度がかかる. さらに, 食物を掬い, 引き上げる時には, 食物を引き千切る事になる(図1最左図). この引き千切りに抵抗する下向きの力が掛かる. カトラリに掛かる荷重は一旦低下した後, 瞬間的に

大きな荷重が掛かる事が予測される.

フェーズ2

掬った食物を皿から口まで引き上げるフェーズ. 重力加速度 g と引き上げ運動の加速度が掛かる. ただし経験上, 引き上げの際の運動は, 等加速度運動ではなく, 引き上げの瞬間に大きな加速度がかかり, その後は等速度運動になると考えられる.

フェーズ3

摂食するフェーズ. 摂食する事により, カトラリに掛かっている食物の荷重はなくなる. フェーズ2までは片持ち梁モデルであったが, カトラリの頭部分が口内に入ることから, カトラリの両端から支えられる状態になる. 従って, 重力加速度 g の影響は無くなると考えられる. また, 口内からカトラリの頭にかかる力があることも予想される.

フェーズ4

口から出したカトラリを皿上まで下ろすフェーズ. カトラリ上は空であり, 下向きの運動になる. 見かけ上カトラリの頭部分の重さが軽くなる. このフェーズも, フェーズ2と同じように初期に大きな負の加速度が生じ, その後等速度運動に変化すると考えられる.

以上から, ひずみセンサからは, 正負方向に大きなオーバーシュートを持った矩形波のような出力が見られるのではないかと予想される.

3. センシングカトラリの実装

本章では, 実際に摂食活動に用いる為のセンシングカトラリを実装する. センサを装着するカトラリには, スプーンを採用した. ハンドル部分が首の部分から持ち手の末端部分まで同じ太さでデザインされていたことから, 無印良品で販売されているステンレスのスプーンを使用した.



図2 スプーンを用いて実装されたセンシングカトラリ

このスプーンはステンレス製で, 一般的に食器のステンレスは 18-8 ステンレスで制作され

ている。また、このスプーンのハンドルの横幅 a は $10.30 \pm 0.05 \text{mm}$ 、厚さ b は $2.75 \pm 0.05 \text{mm}$ であり、ひずみゲージからスプーン最深部までの距離 x は 45mm である。このスプーンの首の部分の裏表に東京測器研究所のひずみゲージ FLA-2-8 を接着した。このひずみゲージのゲージ率 K は $2.1 \pm 1\%$ 、抵抗 R は $120 \pm 0.3 \Omega$ である。ひずみゲージはカトラリの両側に接着し (図 2)、おなじく東京測器研究所製のひずみゲージアンプ用ブリッジヘッド SB-01TAK、ひずみゲージアンプ TAK-01 に接続した。ひずみゲージはカトラリのハンドルの表裏に接着し、これらのゲージをホイートストンブリッジの二つの抵抗を構成するように接続されている (図 3)。

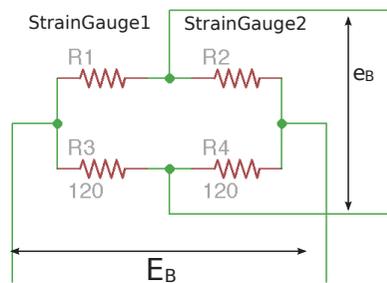


図 3 ひずみゲージの接続図

この構成は 2 ゲージ 2 アクティブ法とよばれ、引っぱり荷重を相殺して曲げ荷重だけを出力する仕組みである。この実験装置では、カトラリに食品を載せた場合に正方向の電圧の変化が起きるようにゲージを構成した。

TAK-01 から出力される信号を HIOKI8430 データロガーで受けて記録した (図 4)。サンプリングレートは 10kHz サンプル/秒である。

ひずみ ε と電圧の変化分 $\Delta e_B (\text{V})$ の関係は、ホイートストンブリッジへの入力電圧を $E_B (\text{V})$ とすると、

$$\Delta e_B = \frac{E_B}{2} K \varepsilon \quad (2)$$

であるとされる。TAK-01 はこのブリッジからの信号を増幅し、ひずみ $\varepsilon = 10^{-6}$ につき 10^{-4}mV の電圧を出力するように調整されている。

4. 実験

4.1 摂食時のセンシングカトラリからの出力

3 章で実装したセンシングカトラリを用いて実際に摂食し、どのような出力が得られるかを観察した。実験に際しては、カトラリにかかる荷重点が一定になる様に軟体状の物体を摂食する事にした。このことから、被験者にプリンを摂食させた。また、一口ごとに口に運んだ量を計測するため、ひずみゲージの出力とともに、プリン容器の重さを重量センサで計り、その都度記録した (図 4)。

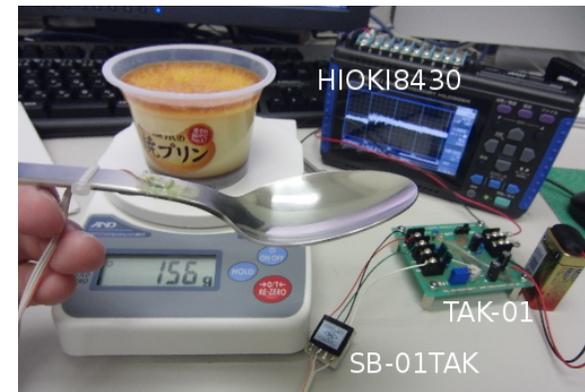


図 4 センシングカトラリとひずみゲージアンプ、データロガー

図 5 に、10 月 22 日に行われた実験の出力と、出力の隣接 10 点の平均を用いて平滑化したものを示す。

この回の実験では、焼きプリン (森永製) を使用した。摂食実験は、カトラリを机上に置いて、摂食者がこれを取り上げるところから開始し、完食後に机上に戻したところで終了させた。

被験者は 8 回でこの食品を完食した。はじめの 6 回は掬って摂食し、最後の 2 回は容器の底に残った食品をカトラリで掻き取るようにして摂食した。一口ごとの食品の重さの変化は、表 1 の通りである。

グラフを目視で観察してみると、カトラリを机から取り上げたところ (図 5 中、「カトラリ上げる」点) で荷重が発生し始め、完食後に机においたところで元に戻っている事がわかる

摂食 No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
重さ (g)	157	134	112	89	73	57	41	24	20
摂取量 (g)		23	22	23	16	16	16	17	4

表 1 摂食時の重量の変化 (は掻き取りあり)

(図 5「カトラリ下ろす」点). この変化は、カトラリを机上に置いた状態では頭部分とハンドル部分が接地しており、カトラリの首には荷重が掛からないが、ハンドルを持って持ち上げると、首部部分に頭部分による曲げ荷重が掛かり、ひずみが生じるためと考えられる。

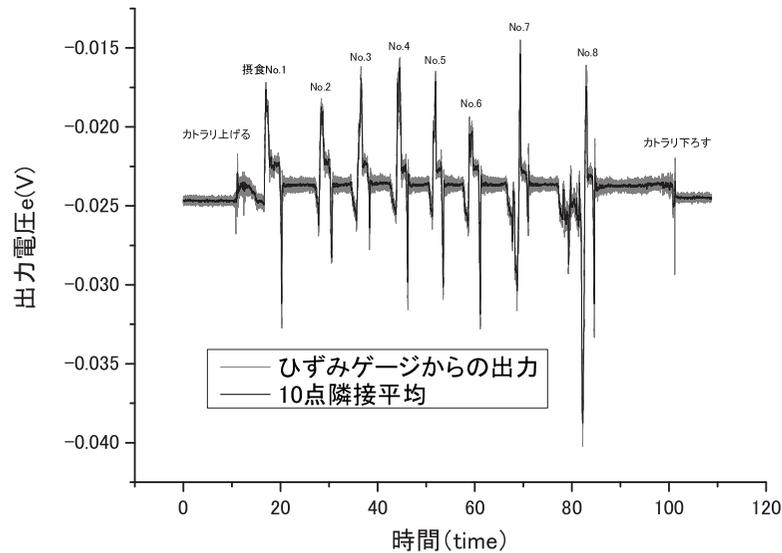


図 5 摂食時にひずみゲージアンプから出力された電圧 e_B (V)

次に摂食時のパルスを観察すると、上下方向に大きなふれを持ったパルスが 8 回連続して発生しており、摂食回数に対応している事がわかる。最後の 2 回では、下向きのふれが連続して起きている。これはカトラリで容器の底に残った食品を掻き取る動作によるものであると考えられる。食品を掻き取る際、カトラリ底部と容器が摂食するので、上向きの曲げ荷重が掛

かり、通常と逆のひずみが生じ、下向きのふれが連続していると考えられる事ができる。

次に、一口食べる際のひずみゲージの出力を観察する。図 5 の摂食 No.1 を拡大したものを図 6 に挙げる。プリンを掬う際に、カトラリの頭部分がプリンに差し込まれる。このとき、

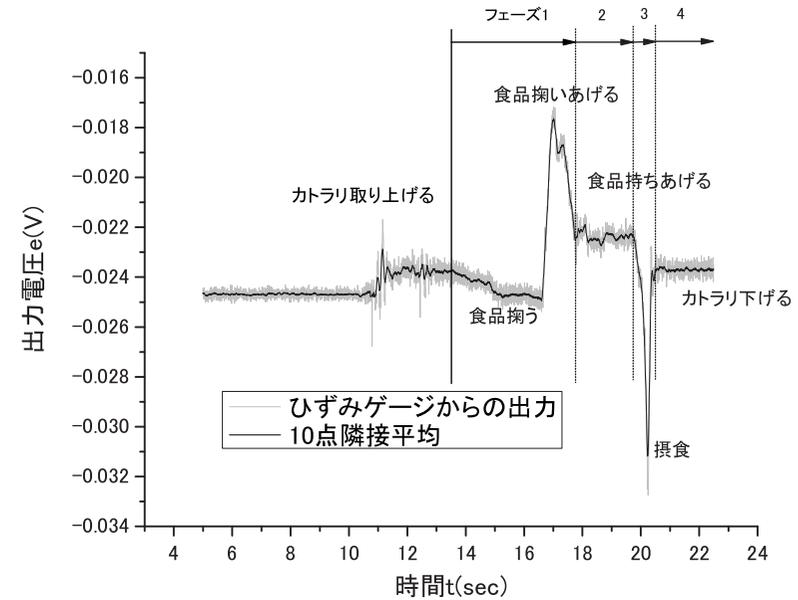


図 6 摂食時にひずみゲージアンプから出力された電圧 e_B (V)

カトラリの頭部分の重量がプリンによって支えられる。このため、摂食初期には負方向のふれが観察される。その後プリンごと引き上げるため、その荷重分とプリンを引き千切る際の抵抗が加わり、正方向に大きなふれが発生する。その後加速度はほぼなくなり、等速運動で口まで運ばれる。口内に入ると再びカトラリの頭部分が口で支えられる為、負方向への荷重が発生する。口内から出されたカトラリは、再び食品を掬う為に下ろされる。この際の運動も等速度運動であると考えられる。図 5 を見ると、これらのプロセスが、一口ごとに繰り返される

と考えられる。

4.2 カトラリによる重量測定

摂食実験に先立ち、静止状態でカトラリに荷重をかけ、どの程度の精度で荷重を測定できるかを測定した。カトラリの頭部分が水平になるように保持した場合、ハンドルは水平から20°傾いた状態であった。このとき、荷重として11g,24g,48gのおもりを載せたところ、それぞれ0.56mV,1.5mV,2.8mVの出力が得られた。質量と電圧差の関係が原点を通る一次関数であると考えてこれらの値を線形回帰すると、質量 m (g) と電圧 Δe (V) の関係は、

$$m = 17.0 \times 10^3 \times \Delta e \quad (3)$$

となる(図7)。

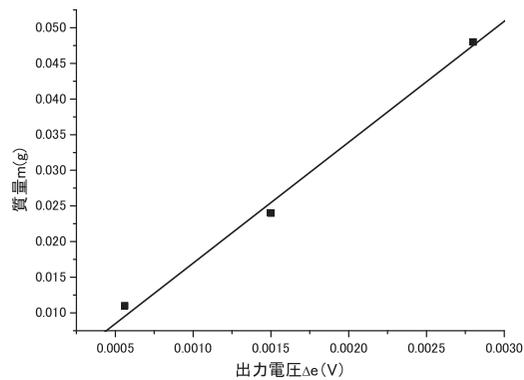


図7 カトラリに載った食物の質量 m と電圧差 Δe の関係

次にこの式を用いて、摂食実験の際の引き上げ部分(フェーズ2)と引き下げ部分(フェーズ4)の電圧差(Δe)から質量を求め、重量計による計測値と比較する。その結果を表2に示す。

5. 評価と検討

摂食タイミングは、図5よりほぼ明確にタイミングを特定できると考えられる。

摂食 No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta e(\times 10^{-3})(V)$	-	1.3	1.4	1.3	1.0	1.0	1.0	0.8	0.6
計算量(g)	-	23	23	22	17	16	18	14	9
摂取量(g)	-	23	22	23	16	16	16	17	4

表2 摂食時の重量の変化

摂食量は、摂食 No.1 から 5 までは、計算値と実測値はほぼ 6%以内の誤差で計測されているが、6 回目以降の数値がずれている。これは残りが少なくなったり、掻き取り動作が入った場合である。また、摂取量が小さい場合に特に誤差が大きくなっていることがわかる。

食品を掻き取ってカトラリに載せた場合、食品がカトラリ上に細切れで分布しているということである。また、摂取量が小さい場合も、カトラリ上に一様に載っていないという事が考えられる。

ひずみ ε と荷重 $F(N)$ の関係は、片持ち梁の場合、ゲージを貼付した点から荷重点までの距離を x 、ハンドル部分の素材のヤング率を E とし、ハンドルの断面が $a \times b$ の大きさであった場合、

$$\varepsilon = \frac{6xF}{ab^2E} \quad (4)$$

の関係が成り立つことが知られている。本稿では、ひずみゲージから荷重点までの距離(x)をスプーン最深部と仮定し固定値として扱っているが、No.6-No.8 のようなケースでは荷重点が移動したために誤差が生じたと推定される。

6. 今後の課題

摂食量の測定精度を上げるため、 x の変動による影響を可能な限り押さえる必要があると考えられる。そこで、ひずみゲージとカトラリ頭部分を可能な限り離して配置する、ゲージを複数設置して x の値を検出するなどの方法をとる事が考えられる。

参考文献

- 川嶋, 谷杉泰苗, 光藤雄一: センシングトレイと ID ウエアを用いた摂食モニタリングシステム, 電子情報通信学会技術研究報告.WIT, 福祉情報工学, Vol.106, No.285, pp.61-66 (2006-10-05).
- 小野康弘, 川嶋, ハルトノピトヨ: 摂食シーケンスパターンの解析, 電子情報通信学会技術報告.HIP, ヒューマン情報処理, Vol.108, No.199, pp.241-246 (2008-08-29).