

物体認識を用いた糖質制限者の為の 栄養素自動算出システム

志津野 之也¹ 濱川 礼¹

概要: 本論文では料理に対して物体認識を行い、その料理に含まれる栄養素を算出する栄養素自動算出システムについて述べる。近年、料理の多様化に伴い、糖尿病患者数は年々増加している。糖尿病の治療並びに予防として食事療法が一般的に取り組みられており、その一つが糖質制限である。しかし、糖質制限を誤ると新たな病気を引き起こす可能性がある。そこで本研究では料理の物体認識を行い、料理名、食品栄養データベース、料理の質量を用いて糖質制限者に糖質、タンパク質、脂質量を提供する事で適切な栄養摂取を維持しながら、健康的に糖質制限を継続する事を支援する栄養素自動算出システムを提案する。

Automatic Nutrient Calculation System for Carbohydrate Limiters Using Object Recognition

YUKIYA SHIZUNO¹ REI HAMAKAWA¹

Abstract: In this paper, we describe an automatic nutrient calculation system which performs object recognition on dishes and calculates carbohydrate, protein and lipid contents contained in the dish. Recently, with the diversification of cooking, the number of diabetic patients has been increasing year by year. Diet therapy is commonly addressed as treatment and prevention of diabetes, one of which is carbohydrate restriction. However, erroneous carbohydrate restriction may cause new diseases. Therefore, in this research, we propose an automatic nutrient calculation system which enables continuation of carbohydrate restriction that object recognition of cooking is carried out, and by providing the amount of carbohydrate, protein, and lipid to the carbohydrate restricted person using the recognized dish and food nutrition database, while maintaining proper nutritional intake, healthy.

1. はじめに

近年、人々の料理の多様化に伴い、糖尿病患者数は年々増加している。国際糖尿病連合 (IDF)[1]によると世界の糖尿病患者数は増加を続けており、2015年度の世界の糖尿病患者数は4億1,500万人となった。

ここで糖尿病とは糖質を摂取する事で血液中の血糖値が上昇し高血糖となり、この状態が断続的に続く症状である [2][3][4]。また、糖尿病の治療並びに予防として、食事療法が一般的に取り組みられている [5][6]。食事療法とは身体の状態に応じてある程度の制限を加えた食事であり、疾病の改善や病気を悪化させないための重要な役割を果たしている [7]。糖尿病の食事療法はカロリー制限、糖質制限 順

番ダイエット等がある [8]。

本研究では糖尿病の原因となる摂取糖質量をコントロールする事で、食後の高血糖値を防ぐ、糖質制限に着目した。

1.1 糖尿病に関するアプリケーション

現在、糖尿病患者数の増加に伴い糖尿病に関するアプリケーションは数多く存在する。

比木らが運営する「Welby」[9]は患者の糖尿病治療に対するモチベーション向上を目的としたクラウド・アプリサービスであり会員数は国内最大級を誇っている。ユーザは血糖値、インスリン、食事内容、血圧などを記録する。記録したデータを web 上やアプリ内でシェアする事で、他の糖尿病の患者や医師から食事内容や血糖値の変化につい

¹ 中京大学 情報科学研究科

でのフィードバックを受け取る事ができる。

株式会社リンクアンドコミュニケーションの「カロリーママ」[10]は食事内容の記録、カロリー計算、管理を行うスマートフォン用のアプリケーションである。ユーザは毎食のメニューを登録する事で摂取カロリー量を確認、記録する事が出来る。糖尿病の食事療法であるカロリー制限を支援するアプリケーションである。

「Welby」[9]や「カロリーママ」[10]以外にも糖尿病に関するアプリケーションは数多く存在しており、糖尿の治療や予防の為に使用されている。

1.2 導入食事療法について

本システムでは以下の理由から、糖尿病の食事療法から糖質制限を取り入れた。

糖尿病の最大の原因となるのが血糖値を上昇させる糖質である。[2]によると、摂取糖質量をコントロールする事で食後の高血糖値を防ぐ、糖質制限の考え方は他の食事療法に比べ有効的だと言える。

上海前向きコホートの研究[11]では上海に居住する女性6万4854人、男性5万2512人を追跡調査を行った。追跡調査中男性被験者は189人女性被験者は120人が心血管病を発症した。その発症リスクを糖質の摂取量によって四つに分けて解析した結果、男女ともに糖質摂取量が多いほどリスクが高く男性では糖質摂取量が最も多いグループで3.2倍であった。よってこの科学的根拠から糖質制限は糖尿病の食事療法において効果的だと言える[2]。

2. 提案システム

「Welby」[9]等の医師や栄養士から食事の内容や血糖値の変化のフィードバックを受け取るアプリケーションはフィードバックを受け取るまでに時間を必要とする。よって食事の際に利用することが困難である。その結果、食事後にフィードバックを受けることになり実用的では無いと考える。また、「カロリーママ」[10]等のユーザが登録した食事内容から摂取したカロリーや栄養素を算出するアプリケーションはユーザが実際に食べた食事の量を加味しておらず、アプリケーションが算出する値は正しいとは言えない。

そこで本研究では料理の物体認識を行い、料理名、食品栄養データベース、料理の質量を用いて糖質制限者に糖質、タンパク質、脂質量を提供する事で適切な栄養摂取を維持しながら、健康的に糖質制限を継続する事を支援する栄養素自動算出システムを提案する。

2.1 栄養素の種類

料理に含まれる栄養素は数多く存在する。そこで本システムでは、[12]が定める三大栄養素である糖質、タンパク質、脂質を対象とする。

三大栄養素とは、人間の身体になくならない栄養素のうち、特に重要なものと位置づけられている栄養素の事を指す。ここで[12]によると炭水化物とは糖質と食物繊維で構成されている。しかし、糖質は体内に取り入れられエネルギー源となるが食物繊維は体内で消化する事ができない。また、食物繊維を多く含む野菜や海藻類を除けば、炭水化物と糖質は同量なので本論文では炭水化物を糖質として表記する[3]。

2.2 システムの構成

図1にシステムの構成図を示す。最初に料理一品に対してスマートフォンやタブレットデバイスに付属されているカメラにより料理の撮影と物体認識を行う。また物体認識とは別に、パーソナル電子天びん[13]から料理の質量を取得しRaspberry Pi 3を介してクラウドサーバに質量を保存する。そして物体認識によって得られた料理名を用いて、食品栄養データベースにマッチングを行い、その料理名の100gあたりの栄養素を取得する。最後にクラウドサーバに保存されている実際の料理の質量から、実際の料理に含まれている栄養素を出力する。

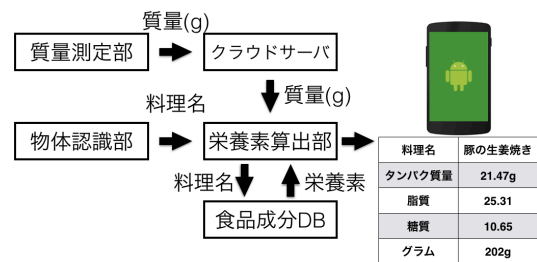


図1 システムの構成

Fig. 1 System configuration

2.3 物体認識部

物体認識部では物体認識を行い、料理名を判定している。本手法では認識の際に docomo Developer support[14] が提供している画像認識 API を使用する。[14]によると、この画像認識 API は、Deep Learning を用いて 1000 枚以上の学習データから、名称と判定のスコアを返却する API である。また今後、学習データ数や認識可能な対象物を拡大して予定である。本システムでは、この画像認識 API の学習データ数や今後のデータ数、認識対象物数の拡大に着目して本 API を使用した。

2.4 質量測定部

質量測定部(図2)ではパーソナル電子天びん[13]を用いて料理の質量測定を行う。測定した質量をクラウドサーバに保存する為に[13]をRaspberry Pi 3にUSB接続してデータ(質量)をクラウドサーバに送信する(図3)。本手法

ではクラウドサーバに Firebase[15] を使用している。[15] は個々のクライアントが「データベースのローカルコピー」を持ち、通常の読み書きはこのローカルコピーに対して行う事でリアルタイム処理を実現している。本手法ではこのリアルタイム処理に着目して [15] を取り入れた。

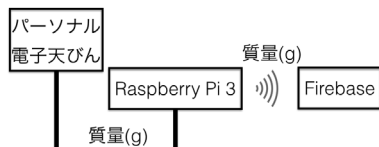


図 2 質量測定部の構成図

Fig. 2 Configuration diagram of mass measurement unit



図 3 質量計測の例

Fig. 3 Example of mass measurement

2.5 栄養素算出部

栄養素算出部では物体認識部から得られた料理名、クラウドサーバに保存されている料理の質量、そして食品栄養データベースを用いて実際の料理に含まれる糖質、タンパク質、脂質量を算出する。

2.5.1 食品栄養データベース

本システムの食品栄養データベースはカロリー Slism[16] に記載されている料理データを参考に作成し、1200 種類以上の食品栄養データを保持している (表 1)。Slism[16] は三大栄養素以外に厚生労働省 [17] が定めたビタミン群、ミネラル、脂肪酸、アミノ酸や料理に使用されている材料 (肉じゃがの場合、じゃがいもや醤油等) が記載されている。物体認識部で得られた料理名を食品栄養データベースからマッチングを行い、100g あたりの糖質、タンパク質、脂質量を取得する。

表 1 食品栄養データベースの要素

Table 1 Elements of food nutrition database

カラム名
料理名
100g あたりの糖質
100g あたりのタンパク質
100g あたりの脂質

3. 関連研究

3.1 食事療法支援に関する研究

川島らは、在宅で食事療法を行う慢性疾患を持つ高齢者を対象ユーザとして、在宅の高齢者と栄養士を繋ぐ web アプリケーションの提案・開発を行った [18]。ユーザは食事の記録、料理の新規登録、栄養士からのメッセージと栄養摂取状況の確認を行う。栄養士側では高齢者側から送られてきた料理データの確認、修正、登録を行い、各データから高齢者へのフィードバックを行う。

[18] は料理の登録をユーザが行っているが、本システムでは予め 1200 件以上の料理別栄養素データを所持している。また、糖質量並びにタンパク質、脂質をリアルタイムで表示することで、栄養士のフィードバックを待たず、今食べている料理に含まれる栄養素を知ることができる。

3.2 糖尿病患者の為の研究

Joachim Dehais らは、1 型糖尿病患者を対象にした尿病患者支援アプリケーションの提案・開発を行った [19]。使用方法として、ユーザはお皿に盛り付けられた複数の料理に対して異なる角度から 1 回ずつ計 2 回撮影を行う。画像認識から、お皿に盛り付けされている料理を Pasta, Breaded food, Green salad の 3 種類に分割する。また、撮影された 2 枚の異なる角度の画像から 3D オブジェクトを生成する。これにより、お皿に盛られている料理の質量をそれぞれ算出し、サーバとマッチングしてユーザに、糖質量、質量、そして投与すべきインスリン量を提供するアプリケーションである。

[19] はお皿に盛り付けされている料理は Pasta, Breaded food, Green salad の 3 種類でしか判別しておらず、正確な料理を判別しているものではない。ここで本システムは食品栄養データベースに保存されている 1200 種類以上の食品栄養データから糖質、タンパク質、脂質量を算出しているため、より正確な糖質、タンパク質、脂質量を算出する事ができると考える。

3.3 生活習慣病に関する研究

今津らはユーザの目標体重と目標期間から推奨摂取カロリー量と、これに応じた食事メニューを推薦する生活習慣予防支援システムを提案した [20]。ユーザは現在の体重、目標体重、目標期間、等をシステムに登録する。システムはユーザが登録したデータから減らすべき体重量とカロリー量を計算する。計算結果からシステムはユーザに毎食の推奨摂取カロリー量と推奨食事メニューを提供する。

[20] はユーザに対して実際に摂取する食事と推奨したメニューを比較することで、生活習慣病予防の意識を高める事が可能である。しかし、本システムではユーザが食事を行う料理に対して栄養素を算出するのでより強く生活習慣

病予防の意識を高める事ができると考える。

4. 評価・考察

本論文ではシステムの処理時間、物体認識の精度、栄養素の算出精度の評価を行った。各評価結果を下記に示す。

4.1 処理時間

処理時間の評価では、本システムの物体認識から栄養素算出までの処理時間を計測した。評価方法として料理を撮影し、物体認識が行われるタイミングで計測を開始して栄養素算出するまでの時間を計測した。今回、この一連の処理を計10回行い、平均処理時間を求めた。評価に使用したデバイスはタブレットデバイスのNexus10である。

評価の結果、10回の平均処理時間は12.6msとなった。ここで、Nielsen Norman Group[21]の調査によると、システムの処理時間で働くユーザーの心理変化は以下の3つに表される。

(1) 100ms

タスクに対して、即時の応答があるように感じられる
限度

(2) 1000ms

遅延を感じるが、連続的なタスクへの集中力は妨げられない限度。

(3) 10000ms

処理中のアプリケーションに関心を向けていられる
限度。

この事から、本システムの平均処理時間である12.6msはユーザに対して快適な処理速度だと言える。

4.2 物体認識の精度

本システムの物体認識精度の評価を行う為、食品30品(表2)に対して本システムの物体認識を行った。評価の結果、認識率は約77%であった(システムが判定した上位三つの料理名を含む)。表3に実際の料理名と本システムが誤認識した料理名、7品を示す。ここで、誤認識した料理名とはシステムが誤認識した上位三つの料理名の内、最もスコアが高い料理名である。誤認識を行った原因を形状・色が起因して起こる誤認識と撮影領域外から起因して起こる誤認識の2つに分けて考える。

4.2.1 形状・色が起因して起こる誤認識

今回の評価で最も多かった誤認識の原因が形状・色が起因していると考えられる。実際の料理の形状・色が他の料理の形状・色に類似しているため誤った料理を判定する問題である。例えばポテトサラダを物体認識した場合、誤認識しておにぎりと判定された。これは盛り付けられたポテトサラダの形状が三角形に類似し、白色が占める面積が大きい為であると考えられる(図4)。

表2 評価を行った食品

Table 2 Food that was evaluated

お好み焼き	マカロニサラダ	とんかつ
春巻き	卵焼き	酢豚
サンドイッチ	カキフライ	サラダ
きんぴらレンコン	たこ焼き	八宝菜
グラタン	ミートスパゲッティ	カルボナーラ
コロッケ	いなり寿司	麻婆豆腐丼
カツ丼	チャーハン	チキンライス
焼きそば	エビチリ	焼売
ひじきの煮物	ほうれん草の胡麻和え	きんぴらゴボウ
ゆで卵	ポテトサラダ	ミートボール

表3 誤認識した料理名

Table 3 False recognized dish name

実際の料理名	誤認識した料理名
お好み焼き	ケバブ
ポテトサラダ	おにぎり
カキフライ	コロッケ
サラダ	カルパッチョ
麻婆豆腐丼	麻婆豆腐
カツ丼	親子丼
ミートボール	ビーフシチュー



実際のポテトサラダ

おにぎりの例

図4 色・形状が起因する例

Fig. 4 Example caused by color and shape

4.2.2 撮影領域外から起因して起こる誤認識

一部の料理において、料理の外見だけでは認識できない事がある。その例が表3で挙げた麻婆豆腐丼を麻婆豆腐と誤認識したケースである(図5)。今回の場合、ご飯を覆うように盛り付けられた麻婆豆腐によってシステムは麻婆豆腐の下に存在するご飯を検知せず麻婆豆腐だけを検知した事で誤認識が行われた。



図5 麻婆豆腐丼

Fig. 5 Sichuan Tofu Bowl

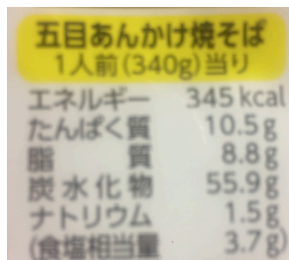
4.3 栄養素の算出精度

栄養素の算出精度の評価を行う為、栄養成分表示が記載されている食品 30 品について本システムを使用して糖質、タンパク質、脂質を算出し、栄養成分表示が示す各栄養素と比較した。図 6、図 7 は「五目あんかけそば」における両者の栄養素の例である。

料理名	五目あんかけ焼きそば
タンパク質	13.1g
脂質	10.5g
糖質	53.5g

図 6 システムが算出したタンパク質、脂質、糖質量

Fig. 6 The protein, lipid, sugar mass calculated by the system



五目あんかけ焼きそば
1人前(340g)当り

エネルギー	345 kcal
たんぱく質	10.5g
脂質	8.8g
炭水化物	55.9g
ナトリウム	1.5g
(食塩相当量)	3.7g

図 7 栄養成分表示

Fig. 7 Nutrition component indication

ここで栄養素算出精度の評価グラフ(図 8)を作成するにあたり、栄養成分表示に記載されている糖質、タンパク質、脂質とのオフセットを % で示す為下記式を用いた(式 1)。整合率が 100% の時を誤差 0 とする。例えば-0.1 の場合食品成分に記載されている栄養素より-10% 栄養量が少ない事を指す。成分表に記載されている各栄養素を N_a 、システムが算出した各栄養素を N_s 、誤差を O とする。

$$O = \frac{N_s}{N_a} - 1 \quad (1)$$

栄養素の算出精度の評価結果を図 8 に示す。評価の結果、システムが算出した三つの栄養素のプラス誤差は平均約 0.3%、マイナス誤差は約-0.1% となった。ここで、消費者庁 [22] が定める食品表示基準よると栄養成分表示に記載されている栄養素にはそれぞれ一定の許容差の範囲がある。今回評価対象にした糖質、タンパク質、脂質の許容差の範囲は -20 % ~ +20% である。ここで本システムが算出した糖質、タンパク質、脂質の誤差はプラス誤差は平均約 0.3%、マイナス誤差は約-0.1% なので食品表示基準の許容差の範囲を加味すると有効性がある数値だと言える。しかし、図 8 から誤差が大きい料理も存在する。例えば、糖

質量のヒストグラム(図 8(中))では誤差が大きい料理が二つある。その料理名はエビチリ、八宝菜であった。その理由として考えられるのが八宝菜、エビチリの調味料である片栗粉である。片栗粉は 100g あたり糖質 81.6g 含んでいる。よって調理する際に使用された片栗粉の量の差により、八宝菜やエビチリに含まれる糖質量と食品栄養データベースに保存されている栄養素とで誤差が生じると考える。

5. 展望

本論文では料理の物体認識を行い、料理名、食品栄養データベース、料理の質量を用いて糖質制限者に糖質、タンパク質、脂質量を提供し、健康的に糖質制限を継続する事を可能にする栄養素自動算出システムの提案、実装、評価を行った。本研究で得られた課題点を以下に纏める

5.1 物体認識精度

本システムの物体認識精度の認識率は約 77% (システムが判定した上位三つの料理名を含む)であったが、日々多様化を続ける料理文化に対応するために認識率を更に向上させる必要がある。認識率を向上させる為に以下の手法を提案し今後、開発を行う。

本システムで使用している docomo Developer support[14] とは別に、独自に DeepLearning を用いた料理画像分類器を開発してシステムに追加する。物体認識部の処理点順として、初めは docomo Developer support[14] が提供している画像認識 API を用いて物体認識を行う。正誤判定はユーザに行ってもらい、誤認識が行われた際に独自に開発した食事画像分類器を用いて物体認識を行う。これにより、[14] が提供している画像認識 API では誤認識した料理を認識可能になり、本システムの認識率向上に繋がると考える。

料理画像分類器の開発において、Google の機械学習ライブラリである TensorFlow を用いて CNN 法 (Convolutional Neural Network) による料理画像分類器を構築予定である。また、学習データにはユーザが本システムで撮影した料理写真を使用する事を想定している。本システムが誤認識を行った際、ユーザに正しい料理名を撮影画像にラベル付けを行ってもらう。ラベル付けされた画像データはクラウドサーバに保存する。クラウドサーバに保存された画像データを使用して料理画像分類器の学習を行う。今回提案した手法を用いる事で現在使用している画像認識 API では判定する事が不可能であった料理も判定する事が可能になり、形状・色が起因して起こる誤認識や撮影領域外から起因して起こる誤認識の問題を解決する事ができ、本システムの認識率が向上すると考える。

5.2 栄養素算出精度

評価の結果、システムが算出した糖質、タンパク質、脂質

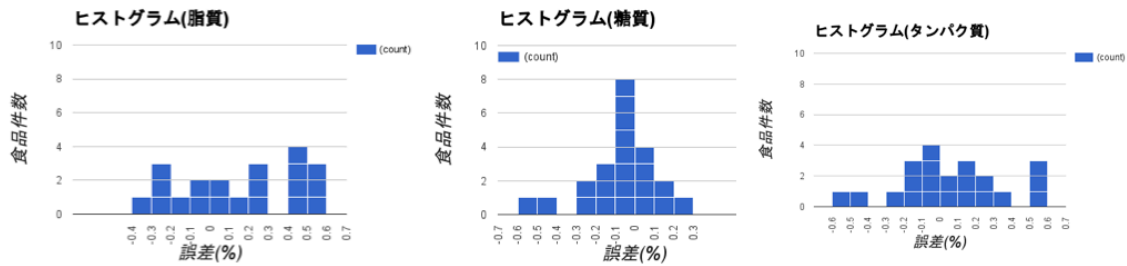


図 8 栄養素別ヒストグラム (左) 脂質, (中) 糖質, (右) タンパク質

Fig. 8 Histogram by nutrient (left) Lipid, (medium) carbohydrate, (right) protein

のプラス誤差は平均約 0.3%, マイナス誤差は -0.1% となり消費者庁 [22] が定める食品表示基準の許容差の範囲を加味すると信頼性がある数値だと言える。しかし誤差が大きい料理も存在する。そこで本システムが使用している食品栄養データベース以外に、参照するデータベースの種類を増やす事でより正確な数値を算出する事が可能になると考える。例えば本データベースにカロリー Slism [16] が提供している料理名ごとの材料 (肉じゃがの場合、じゃがいもや醤油等) を新たに追加する。更に、文部科学省が提供する食品成分データベース [23] を参照して本データベースと組み合わせる手法を考える。食品成分データベース [23] は料理名ではなく、食品名 (例じゃがいも、牛肉) や調味料ごとの栄養素、ビタミン、ミネラルが保存されている。そこで、物体認識から得られた料理名を用いて、本データベースに新たに追加した料理名ごとの材料を取得する。最後に、取得した料理名ごとの材料から食品成分データベース [23] に保存されている食品名や調理名ごとの栄養素を取得して、各栄養素の合計値をユーザに返す。これにより現在の手法に比べて材料、調味料単位の糖質、タンパク質、脂質量を参照する事が可能になり、より正確な数値を算出する事が可能になると考える。

参考文献

- [1] 国際糖尿病連合 (IDF)
<http://www.idf.org/>
- [2] 江部康二: 人類最強の「糖質制限」論 ケトン体を味方にして痩せる、健康になる, SB 新書
- [3] 夏井睦: 炭水化物が人類を減ぼす 糖質制限から見た生命の科学, 光文社新書
- [4] 日本糖尿病学会: 糖尿病治療ガイド, 文光堂
- [5] アメリカ糖尿病学会
<http://www.diabetes.org/?referrer=https://www.google.co.jp/>
- [6] 日本糖尿病学会
www.jds.or.jp/
- [7] 国立循環器病研究センター循環器情報サービス
<http://www.ncvc.go.jp/cvinfo/>
- [8] 山口徹・北原光夫: 今日の治療指針 2015 年版, 医学書院
- [9] Welby
<https://welby.jp/>
- [10] カロリーママ
<http://www.linkncom.co.jp/>
- [11] Yu D, Shu XO, Li H, Xiang YB, Yang G, Gao YT, Zheng W, Zhang X.: Dietary carbohydrates, refined grains, glycemic load, and risk of coronary heart disease in Chinese adults., *American Journal of Epidemiology* 2013 Sep 5.
- [12] e-ヘルスネット
<https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/>
- [13] AND パーソナル電子天びん EJ2000
<https://www.aandd.co.jp/adhome/products/balance/ej.html>
- [14] docomo Developer support
<https://dev.smt.docomo.ne.jp/?p=index>
- [15] Firebase
<https://firebase.google.com/?hl=ja>
- [16] カロリー Slism
<http://calorie.slism.jp/>
- [17] 厚生労働省
<http://www.mhlw.go.jp/>
- [18] 川島, 吉野, 紀平, 伊井, 岡本, 江上, 藤原, 石川, 入江: 新規料理登録機能を持つ高齢者を対象にした栄養管理システムの開発と評価, *情報処理学会論文誌* Vol.56 No.1 171 (Jan. 2015)
- [19] Joachim Dehais, Marios Anthimopoulos, Stavroula Mougiakakou: GoCARB: A Smartphone Application for Automatic Assessment of Carbohydrate Intake, *MADiMa '16*
- [20] 今津, 水本, 孫, 柴田, 安本, 伊藤: 天井照明に設置したセンサデバイスを用いた食事画像自動記録システムの提案, *マルチメディア通信と分散処理ワークショップ* 平成 23 年 10 月
- [21] Nielsen Norman Group
<https://www.nngroup.com/>
- [22] 消費者庁
<http://www.caa.go.jp/>
- [23] 食品データベース
<http://fooddb.mext.go.jp/>