

修 士 論 文 の 和 文 要 旨

研究科・専攻	大学院 情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻 博士前期課程		
氏 名	田口芳樹	学籍番号	1931079
論 文 題 目	成分を加味した代替食材推薦システム		

要 旨

情報化が進んだ現代において、料理レシピはインターネットを介して簡単に共有することができる。昨今では、レシピを共有できるwebサイトの普及によって、大規模なレシピデータの蓄積とデータベース化が促進されている。大規模なデータベースの登場により、レシピの検索システムの開発や機械学習によるレシピの解析など、料理研究は広がりを見せている。その中でもレシピ検索システムであるCOOKPADは日本一のレシピ数を誇り、実生活でも多くの人に使用されている。だが、COOKPADをはじめとする既存のレシピ検索システムはユーザーの現在の手持ち食材を考慮していないという問題点がある。そこで本研究では、ユーザーの現在の手持ち食材を考慮してレシピを推薦するシステムを提案する。本システムには、ユーザーの現在の手持ち食材のみで調理できるレシピが存在しない場合に、食材を代替したレシピを推薦するという機能も備わっている。代替食材推薦システムの部分には、料理の味と深い関係があることが示されている成分という要素を用いる。これにより、従来にはなかった料理の味を考慮した代替食材推薦システムを目指す。本研究では二つの実験を通して、料理の味に対する成分の有用性と、本システムの有用性の二つを検証する。

令和2年度 修士論文

成分を加味した代替食材推薦システム

2021年1月25日

電気通信大学大学院 情報理工学研究科
情報・ネットワーク工学専攻 情報数理工学プログラム

学籍番号 1931079

田口 芳樹

主任指導教員 植野 真臣 教授

指導教員 川野 秀一 准教授

目次

1 はじめに	3
2 既存システムの紹介とその問題点	5
2.1 COOKPAD の検索システム	5
2.2 代替食材推薦システム	6
2.2.1 word2vec を用いた代替食材の発見手法の提案	6
2.2.2 料理レシピマイニングによる代替可能食材の発見	7
2.3 食材の成分と味の関係性	7
3 提案システム	9
3.1 用いるデータセットについて	9
3.2 既存料理の分類	13
3.3 成分データと分量データの統合	14
3.4 提案システムの構成	15
4 評価実験の方法とその結果	18
4.1 評価実験の方法	18
4.2 結果と考察	19
5 まとめ	30
6 謝辞	31
A 食材ごとの分量について	32
B 追加実験にて出力されたレシピ	38

1 はじめに

情報化社会において料理レシピは、書籍上だけでなく、インターネットを介して簡単に共有することができる。昨今では、COOKPAD¹や楽天レシピ²をはじめとする、ユーザが投稿したレシピを共有できる web サイトが普及している。これらサイトの利用者増加に伴い、投稿されるレシピ数も増え、大規模なデータの蓄積とデータベース化が促進されている。大規模なデータベースの登場により、レシピに関する様々なシステムが開発されるようになった。例えば、個人の嗜好にあったレシピを推薦できるシステム [26] や、食材の成分データも用いて、栄養バランスを考慮したレシピを検索できるシステム [24] などが開発されている。また、近年では、膨大なデータを効率的に解析するために機械学習の手法が盛んに用いられている。Salvador et al. [10] はレシピと食品の画像を、再帰型ニューラルネットワーク (Recurrent Neural Network: RNN) と畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network: CNN) でそれぞれ学習させ、それらを組み合わせることによって料理の関係性を表現した。それによって、料理画像からレシピを求めるシステムを作成した。このようにレシピデータを用いることによって、料理研究は広がりを見せている。[2][3][13][23][18][19][22][17]

検索システムの代表例として、日本一のレシピ数を誇る COOKPAD が挙げられる。COOKPAD は食材名を入力することで、その食材を用いているレシピを検索できるシステムである。しかし、COOKPAD は入力した食材全てを用いているレシピを検索するため、ユーザーの現在の手持ち食材内でその料理が作れるかは自分で確認をする必要がある。

食材が足りなかった場合に、その食材を買いに行くなどの様々な手段が考えられるが、その中の一つとして、食材を代替するという方法がある。代替とはレシピに記されている食材が不足している際に別の食材を用いることを指し、代替を可能とする食材（以降、代替食材）を推薦するシステムの開発も行われている。[14] では、食材間の類似度を Term Frequency - Inverse Document Frequency (TF-IDF)[9] によって表し、代替食材を推薦するシステムを開発している。また、[25] では、類似度を word2vec [7] で分散表現として表したシステムを開発している。しかしながら、これらのシステムもユーザーの現在の手持ち食材のことを考慮していないという問

¹<https://cookpad.com>

²<https://recipe.rakuten.co.jp>

題点がある。

そこで本研究では、ユーザーの現在の手持ち食材を考慮してレシピを推薦するシステムを提案する。このようなシステムは、食料品店が遠いなど食材の調達が容易でない人に対して需要があると期待される。本システムには以下のような特徴がある。

1. ユーザーの現在の手持ちの食材を入力すると、その食材内で調理可能なレシピを推薦する。
2. レシピが存在しない場合、食材を代替したレシピを推薦する。（代替食材推薦システム）

本システムの代替食材推薦システム部分には、レシピデータの他に成分データも用いる。食材の味は成分で再現できることが知られており [4], 成分と味には深い関係性があることが示されている。元来、料理は食材を美味しくするための作業であり、推薦システムで味を考慮するのは必須である。したがって、料理を考える上で成分は重要な要素であると考えられる。だが、既存の料理推薦システムは成分を考慮していない。そのため、成分データを用いて料理の味を考慮した代替食材推薦システムを作成し、料理に対する成分データの有用性を示す。

本研究では二つの実験を行う。まず、複数の機械学習手法に対して成分データを用いた既存料理の分類精度の比較を行い、成分データの有用性を示す。機械学習手法として、ランダムフォレスト (Random Forest: RF) [10], サポートベクターマシン (Support Vector Machine: SVM) [11][12], ニューラルネットワーク (Neural Network: NN) [6][8][5] を用いる。これら手法の分類精度を比較し、成分データに適した手法を選択する。本研究では、ここで選択された手法を用いて、代替食材推薦システムを作成する。次に、代替食材推薦システムが推薦したレシピの料理を実際に人間に調理させる評価実験を行い、その有用性を確認する。

本論文の構成は次の通りである。まず第2章では、既存システムの紹介とその問題点を挙げる。その後、第3章では提案システムについて述べる。第4章では、被験者実験の方法とその結果を示す。最後に、第5章では本論文のまとめを行う。

2 既存システムの紹介とその問題点

本節では既存のシステムを紹介し、その問題点を挙げる。2.1 節では 2020 年時点で 344 万と日本で一番のレシピ数を誇り、入力した食材を用いたレシピを検索できるシステムとして知られる COOKPAD の紹介をする。また、2.2 節では既存の代替食材推薦システムを二つ紹介し、その問題点を挙げる。そして 2.3 節では本研究の軸となる成分と味の関係性についての既存研究について述べる。

2.1 COOKPAD の検索システム

図 1 は実際に COOKPAD で入力を卵として検索した例で、卵を材料に使ったレシピが出力される。さらに複数の食材を入力とすることができ、レシピの絞り込みも可能としている。しかし、複数入力した際には、入力した食材全てを用いたレシピに絞り込むため、入力が多いと該当するレシピが出力されないことがある。例えば、食材 ABCD があり、食材 ABC を用いるレシピ X が存在するとする。COOKPAD は ABC 内であれば入力が A であろうが、BC であろうがレシピ X が出力される。しかし、ABCD を入力すると、レシピ X は出力されなくなってしまう。このように COOKPAD は入力する食材が少なければ少ないほど、出力されるレシピが多くなるという仕様になっている。料理の勉強や、買い物前に献立を考えるなどの場合にはとても有用なシステムであるといえるが、ユーザーの現在の手持ち食材内で料理を済ませたい場合には再度検索する手間がある。レシピの料理がユーザーの現在の手持ち食材内で完全に作れるかどうかはその都度確認する必要があるため、問題点があるといえる。



図 1: COOKPAD の検索システム

2.2 代替食材推薦システム

レシピに書かれた食材を持ち合わせていない場合、その食材を買いに行ったりなど様々な手段が考えられるが、その中の一つに食材を代替するという手法がある。そして、食材の代替を目的としたシステムの開発も行われている。以下ではそれらシステムを紹介する。

2.2.1 word2vec を用いた代替食材の発見手法の提案

[25] では word2vec で食材の分散表現を求め、代替食材を推薦するシステムを開発している。word2vec は、複数の単語列から構成されるコーパスを入力とし、その共起関係に基づいて、単語の分散表現を求めることができる。最大の特徴は、2 層の NN のみで構成されるシンプルな構造をしているため、今まで計算量が膨大で難しかった分散表現の学習を現実的な計算量で可能にした点である。[25] では調理手順を形態素解析等を行うことによって、調理法や食材によるコーパスを作成し、そのコーパスを word2vec の入力とすることで、食材の分散表現を求めている。その食材の分散表現からコサイン類似度を求めることによって代替食材を発見している。代替はユーザーの手持ち食材内で完結させるためにする場合がほとんどで、わざわざ代替食材を買いに行く場合は数少ないと考えられる。だがこの研究では、ベーコンの代替食材はウィンナーというような形で、食材 A の代替食材は必ず食材 B とい

うように求められている。つまり、ユーザーの現在の手持ち食材のことは全く考慮されていないという問題点があり、この研究はあまり実用的ではないと考えられる。

2.2.2 料理レシピマイニングによる代替可能食材の発見

[14] では TF-IDF を用いてある料理カテゴリ特有の調理動作を求め、その調理動作と食材の共起度合いから、類似する食材すなわち代替食材を推薦するシステムを開発している。ここでいうカテゴリとはカレーやオムレツなど大きく分けられる料理の種類のことである。TF-IDF とは Salton and Buckley [9] によって提案された、文書中出现する単語の重要度の算出方法である。ここで、文章を A 、文章 A に含まれるある単語を X とすると、以下のように定義することができる。

$$\begin{aligned} TF &= \frac{\text{文書 } A \text{ における単語 } X \text{ の出現頻度}}{\text{文書 } A \text{ における全単語の出現頻度の和}} \\ IDF &= \log \left(\frac{\text{全文書数}}{\text{単語 } X \text{ を含む文書数}} \right) \\ TFIDF &= TF \times IDF \end{aligned}$$

[14] では文書 A を同一カテゴリの料理レシピ、単語 X を調理動作とすることで、同一カテゴリではよく用いられているが他のカテゴリではあまり用いられていない調理動作の TF-IDF を求めている。この調理動作と食材を共起度合いを計算し、似たような調理動作をする食材を代替食材としている。この研究も [22] 項同様、ある食材の代替食材は一意に決められており、ユーザーの現在の手持ち食材のことが考慮されていないという問題点が挙げられる。

2.3 食材の成分と味の関係性

Konosu [4] は様々な食材の味についての研究をし、食材の味は単純で、成分の組み合わせで再現できることを示した。ここで、食材の成分とは、アミノ酸やビタミンを始めとする食材を構成する要素を指している。Konosu [4] の研究の一つであるカニについての研究を例に挙げて説明する。カニは、グリシン、アラニン、アルギニンの3つのアミノ酸に加え、グルタミン酸とイノシン酸のうま味物質、食塩で構成されている。そして、これらのある割合で混合するとカニの味になる。Konosu [4] は実際の

カニから採取したエキスと人工的に作成したエキスを被験者に味見をしてもらうことによってこれを証明した。また, Konosu [4] ではカニの他にも肉や魚など多くの食材で研究を行い, 食材の味は, アミノ酸, うま味物質, 塩の3つで決められていることを示しており, 食材の味と成分は深い関係があることが多く報告されている。他にも様々な食材について成分との関係性が報告されている [28][29][21][15][16][27][20]。

3 提案システム

この節では本研究で提案する手法について述べる。既存のシステムは、問題点として挙げたように食材の代替はユーザーの手持ち食材が考慮されていない。そこで本研究では、ユーザーの現在の手持ち食材で作ることができるレシピを推薦するシステムの提案・作成を目指す。その提案システムは、COOKPAD とは異なるレシピ検索システムに加え、成分を考慮した代替食材の推薦システムも追加する。鴻巣の研究より、成分と食材の味には大きな関係性があるにも関わらず、既存のシステムでは成分が用いられてこなかった。料理は食材をより美味しくするための作業であり、推薦システムで味を考慮するのは必須である。よって、料理を考える推薦システムには味を考慮することが必要で、そのために成分データを用いることは有用であると考えられる。そのため、成分データを用いて料理の味を考慮した代替食材推薦システムを作成し、料理に対する成分データの有用性を示す。代替食材推薦システムは機械学習の手法を用いる。そのため、3.1 節ではその学習に用いるデータセットの説明を、3.2 節ではそのデータセットを用いて分類精度の比較を行う。分類精度の比較には、料理に対する成分データの有用性とどの機械学習手法が一番適しているかを図る目的がある。3.3 節では、3.2 節での結果を受けての発展を示す。3.4 節では提案する推薦システムについて紹介をする。

3.1 用いるデータセットについて

本研究では、料理研究の分野で広く用いられる国立情報学研究所 (NII)³ 所有の cookpad 社のレシピデータと、文科省が公表している日本食品成分表⁴を用いた。日本食品成分表は表 1 のように公表されており、縦が食材 2198 種類、横が食材名を含む成分 158 項目の行列でまとめられている。この食品成分表から廃棄率とエネルギー (kJ) の項目を除いたものをデータとして使用した。

³<https://www.nii.ac.jp>

⁴<https://fooddb.mext.go.jp/whats.html>

表 1: 日本食品成分表（100g あたり）

食材名	廃棄率	エネルギー (kcal)	エネルギー (kJ)	水分	...	マンニトール
アマランサス 玄穀	0	358	1498	13.5	...	0.4
あわ 精白粒	0	367	1538	13.3	...	0
あわ あわもち	0	214	893	48	...	0.4
えんばく オートミール	0	380	1590	10	...	0.4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
メンチカツ フライ済み 冷凍	0	308	1289	47	...	0

一方，cookpad 社のレシピデータは NII に提供を受け，訓練データを作る前に加工を行った．提供を受けたレシピデータは，レシピのタイトルやレシピの材料，レシピの手順やレシピのカテゴリなど，12 種類のカテゴリに分けられており，その中からレシピの材料のデータとレシピの手順のデータを用いた．以降，レシピの材料のデータを材料データ，レシピの手順のデータを手順データと呼ぶ．表 2 が提供を受けたままの材料データで，そのデータを以下の手順で表 3 のように加工を行った．食材名は，食品成分表に載っていないものは代替を探すかレシピごと削除し，該当する食品成分表の行数で表記した．分量は全て g 表記で統一し，その g 変換を以下に示す．

- 「個」や「本」などの単位はそれぞれ食材毎の重さを調べ，g に変換．
- さじ表記は一度 cc に直し，cc は食材毎の密度で g に変換．
- その他の少々やお好み，適量などはその都度確認をし，適宜変換．
- 確認を行っても理解できないものや意味がなさそうなものはレシピごと削除．

食材毎の詳細な g 変換は付録 A にて補足する．

表 2: 元の材料データ

レシピ番号	食材名	分量
8f95726c	強力粉	5 2 0 g
8f95726c	小麦粉	2 6 0 g
8f95726c	卵	2 個
8f95726c	サラダオイル	大さじ 4
8f95726c	塩	小さじ 1 と 3 / 5
8f95726c	ドライイースト	小さじ 2
8f95726c	はちみつ	大さじ 4
8f95726c	お湯	(ぬるめ) 3 6 0 cc
d0567122	牛乳	適当
d0567122	紅茶	イングリッシュブレクファスト
d0567122	熱湯	マグカップ一杯分
⋮	⋮	⋮

表 3: 加工後の材料データ

レシピ番号	食材名	分量
8f95726c	20	520g
8f95726c	18	260g
8f95726c	1744	100g
8f95726c	1824	54g
8f95726c	2062	9g
8f95726c	2131	5g
8f95726c	244	84g
8f95726c	2200	360g
d0567122	1763	400g
d0567122	2033	2.5g
d0567122	2200	200g
⋮	⋮	⋮

食品成分表と加工済みの材料データを基に，学習に用いる 2 つの訓練データを作成した．一つ目は，レシピに含まれる食材のそれぞれの成分の総量をまとめたデータで，以降，レシピ成分データと呼ぶ．これはサンプル数がレシピで，特徴量が成分となっている．二つ目は，レシピに含まれる食材の分量をまとめたデータで，以

降, レシピ分量データと呼ぶ. これはサンプル数がレシピで, 特徴量が食材となっている. 表 4, 5 はそれぞれのデータを表したものである.

表 4: レシピ成分データ

レシピ	エネルギー (kcal)	成分			
		水分	たんぱく質	...	マンニトール
1	4722.38	1063.45	149.05	...	3.409
2	709.43	194.44	23.44	...	4.20
3	2281.50	897.43	65.10	...	4.20
4	67.20	211.36	2.38	...	0.34
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 5: レシピ分量データ

レシピ	食材番号				
	16	18	20	...	2200
1	0g	0g	0g	...	0g
2	0g	0g	0g	...	0g
3	0g	0g	0g	...	500g
4	0g	260g	520g	...	200g
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 4, 5 のように実在するレシピから作り出したデータをラベル 1 とし, 実在しないレシピから作り出したデータをラベル 0 とした. ラベル 0 の作り方は以下に示す.

1. 実在するレシピと同じだけ食材の枠を用意する.
2. その枠に当てはめる食材は, 実在するレシピで用いられた食材 431 種からランダムで選択.
3. 選択した食材が取りうる分量を材料データからランダムで選択し, それを実在しないレシピの分量とする.
4. 用意した実在するレシピの分だけ繰り返し, それを実在しないレシピの材料データとする.

- ラベル1を作った時と同様に，その材料データと食品成分表を用いて，レシピ成分データとレシピ分量データを作成し，それをラベル0とする．

訓練データとしてラベル1とラベル0それぞれ1000ずつ用意した．そのため，レシピ成分データは 1000×156 ，レシピ分量データは 1000×432 の行列の形になっている．

3.2 既存料理の分類

3.1節で作成したラベル1と0の訓練データをRF，SVM，NNの3つの分類手法で学習し，分類及び比較を行ったので，その結果を本節で示す．ラベル1と0の訓練データに標準化を施し，5-fold cross validationで上記3つの分類手法の精度を比較した．5-fold cross validationは訓練データを5等分に分け，一つの塊をテストデータ，他を訓練データとして分類をし，それを5つの塊分繰り返し行うことによって，テストデータ選択による分類の誤差を減らす手法である．本研究での分類精度の尺度はaccuracyとF値とし，表6に示す．

表 6: 分類精度の比較結果

分類精度		RF	SVM	NN
accuracy	分量データ	0.834	0.827	0.839
	成分データ	0.785	0.769	0.798
F 値	分量データ	0.839	0.825	0.840
	成分データ	0.798	0.765	0.808

ここで accuracy と F 値について説明をする．表7のように分類によって予測された混同行列があるとする．

表 7: 混同行列

		真の値	
		1	0
予測値	1	TP	FP
	0	FN	TN

このとき、

$$\begin{aligned}\text{accuracy} &= \frac{TP + FN}{TP + FP + TN + FN} \\ \text{F 値} &= \frac{2TP}{2TP + FN + FP}\end{aligned}$$

と表すことができ、accuracy は予測値と真の値の一致率を、F 値はラベル 1 がラベル 1 と正しく分類できている確率を表している。accuracy と F 値の値に差があればあるほど、ラベル 1 か 0 に分類が偏ってしまっているということが分かる。表 5 を見ると、3 つの分類手法間の accuracy と F 値では NN がもっともよい値を示している。また、3 つの分類手法全てでレシピ分量データの分類の方がレシピ成分データでよりも accuracy が高かった。このデータを分散分析による検定を行った結果、分類手法間の有意確率（p 値）は 1.462×10^{-1} 、データ間は 9.762×10^{-3} となった。p 値は「パターン同士に差はない」というような帰無仮説が正しいという前提において、検定結果以上に偏った検定統計量が得られる確率のことをさす。この p 値が有意水準を下回った時に、パターン同士に統計的有意差がみられたとすることができ、有意水準は一般的には 0.05 で設定される。分類手法間の検定は $p < 0.05$ であるため、accuracy はもっとも良い値であったが、一般的には有意差があるとはいえない結果となった。一方でデータ間では $p < 0.01$ であったため、有意水準 0.01 の下で有意差があるといえる。これは、そのレシピに内包されている成分より、どの食品をどれだけ用いているかの方が既存料理の分類には効果的なデータであるといえる。

3.3 成分データと分量データの統合

3.2 項でレシピ分量データでの分類の方がレシピ成分データでよりも精度が高いことが分かったが、レシピ成分データだけでも約 8 割の分類性能を示していた。これは、レシピ成分データもレシピ分量データも既存料理の分類に有効な因子であると考えられる。レシピ成分データとレシピ分量データ両方を用いれば、既存料理の分類精度がより良くなるのではないかと考え、その実験を行った。分類手法には NN を用い、レシピの成分・分量データ両方を使う手法を二つ考えた。提案 1 は、3.2 項での実験同様、成分・分量データそれぞれで学習を済ませ、各々で予測した予測値の平均を取って分類を行う手法である。一方、提案 2 ではコンカットを用いる。コ

ンカットとは，データごとに学習する提案1と違い，全てのデータの学習を一括で行う手法である．その結果を表 8 に示す．その結果，提案2より提案1の方が分類精度が高かった．これは学習の段階で分量・成分を統合したもので分類するよりも，それぞれで学習を終えたものを用いて分類した方が精度が良いといえる．よって，提案1を用いて代替食材推薦システムを作成する．

表 8: レシピの成分・分量データを両方使った分類精度の比較結果

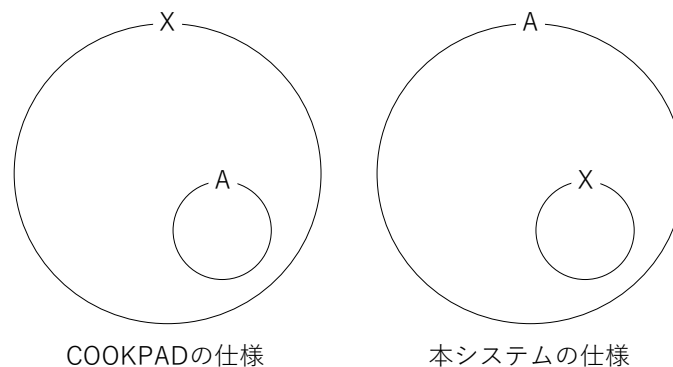
データの種類	accuracy	F 値
分量データ	0.839	0.840
成分データ	0.798	0.808
提案1	0.853	0.854
提案2	0.828	0.831

3.4 提案システムの構成

推薦システムは以下のような機能をもつ．

1. ユーザーの現在の手持ち食材を入力とし，その食材のみで調理できるレシピを推薦する．
2. レシピが存在しない場合，代替食材推薦システムに切り替わり，食材を代替したレシピを推薦する．

1 番目のレシピ推薦は，COOKPAD の検索システムの仕様を少し変更し，食材を入力すればするほど推薦されるレシピが増える仕様にした．入力した食材群を $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots\}$ とし，とあるレシピで用いる食材群を $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ とした時の検索の仕様の違いが図 2 である．この図 2 の条件に当てはまるレシピを推薦するような仕様にした．



2 番目の代替食材推薦システムは以下のような構造をしている。

図 3, 4, 5 にシステムの画面例を示す。また、該当レシピが存在した時にも、図 4 のように、代替食材を用いたレシピに切り替えられるようにしている。

図 3: 食材の入力画面

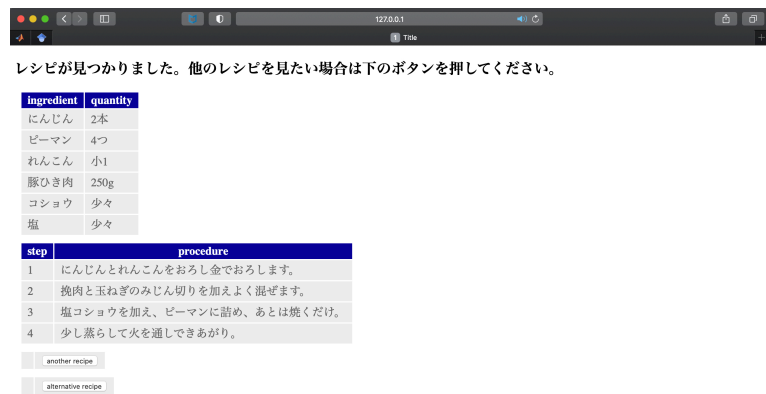


図 4: 該当レシピが存在した時の出力画面

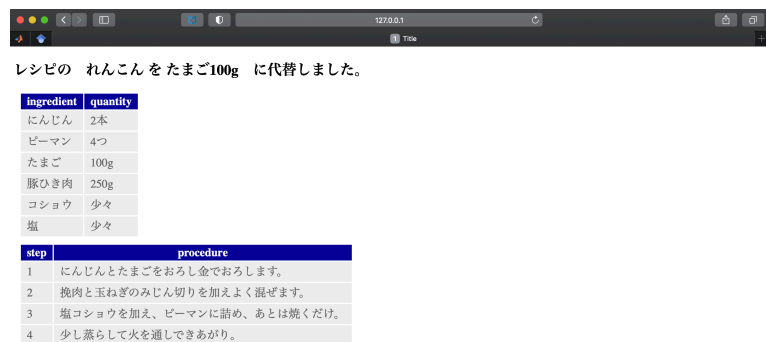


図 5: 代替食材を用いたレシピの出力画面

4 評価実験の方法とその結果

前節で紹介した推薦システムを被験者実験によって評価を行った。本節では、[4.1](#)節で推薦システムの評価方法について示し、[4.2](#)節でその結果と考察を述べる。

4.1 評価実験の方法

評価は全部で20人の被験者を用意して、以下のように行った。

1. 被験者5人に現在の手持ち食材内という条件の下、本システムを使って代替食材を用いたレシピを検索してもらう。そのレシピを実際に調理・試食・アンケート回答をしてもらう。
2. また、その5人には同じ条件の下、COOKPADの検索システムを使ってもらい、比較を行う。
3. 他の被験者15人には、前で5人が検索したレシピを3人ずつに分かれて調理・試食・回答を行ってもらう。

被験者15人に前5人が検索したレシピを作ってもらったのは、その5人の評価が一般的なものであるかどうか確認するためである。評価項目は以下のように設定し、

質問1 あなたは何歳代ですか？

質問2 あなたの性別は？

質問3 あなたは普段から料理をしますか？

質問4 レシピに意外性がありましたか？

質問5 レシピを見た時に美味しそうと思いましたか？

質問6 実際に食べてみて美味しかったですか？

質問7 入力時間も含め、このシステムを使って10分以内にレシピを検索できましたか？

質問8 検索したレシピを自分でアレンジしても良いとして、このシステムは良いと感じましたか？

質問9 このシステムが実用できるなら普段から使いますか？

「非常にそう思う」、「そう思う」、「あまり思わない」、「全く思わない」の4段階で評価を行った。この評価はそれぞれ、4pt, 3pt, 2pt, 1pt とする。質問7, 8, 9は提案システムと COOKPAD の両方で回答してもらい、比較を行った。被験者15人も質問7, 8, 9を除いて同じ評価項目を使用した。また、被験者5人は手持ちの食材にバリエーションをもたせるため、主婦、実家暮らしの男女、一人暮らしの男女(4.2節では被験者の性質と呼ぶ)を用意した。

4.2 結果と考察

本節では、4.1で示した評価実験の結果およびその考察を行う。まず、被験者の入力した食材と提案システムが出力したレシピ、それに対する評価をまとめる。表9では、5人の被験者の質問1から質問3に対する回答とその性質をまとめ、表10, 13, 16, 19, 22では被験者それぞれが入力した食材をまとめた。また表11, 14, 17, 20, 23では、5人の被験者が入力した食材に対して提案システムが出力したレシピをまとめた。表12, 15, 18, 21, 24では、出力したレシピに対する被験者の評価をまとめた。表25では被験者20人に対する質問4から質問6に対する結果をまとめ、表26では質問7から9に対する提案と COOKPAD の比較をまとめた。

表 9: 被験者5人の質問1～3の回答と性質

被験者番号	性質	質問1	質問2	質問3
被験者1	主婦	50代	女	非常にそう思う
被験者2	実家暮らし	20代	男	全く思わない
被験者3	実家暮らし	20代	女	全く思わない
被験者4	一人暮らし	20代	女	そう思う
被験者5	一人暮らし	20代	男	あまり思わない

表 10: 被験者 1 の入力食材

玉ねぎ, じゃがいも, 人参, 長ネギ, ツナ缶, ひじき, 切り餅, 焼き海苔, 砂糖, 塩, みりん, 酢, 醤油, 酒, トマト缶, 鯖缶, コーン缶, 春雨, お好み焼き粉, 小麦粉, パン粉, 片栗粉, スパゲティ, ごま油, ケチャップ, マヨネーズ, ソース, マロニー, 油揚げ, おから, 七味, ラー油, 胡椒, レタス, ピーマン, キャベツ, しめじ, だいこん, 白菜, ほうれん草, なす, レモン, ひき肉, とりもも肉, 卵, 紅生姜, ビール, カレー粉, 食パン, 梅干し, 納豆, こんにゃく, チーズ, ベーコン, ハム, ウィンナー, ちりめん, オレンジジュース, 豆乳, 米

表 11: 被験者 1 のレシピ

調理手順	調理内容
1	じゃがいもと人参は食べやすい大きさに切って、レンジに 5 分程かけます。
2	フライパンにサラダオイルを入れて、タマネギ、牛肉 たまごを入れ炒めます。
3	レンジで火が通った、じゃがいもと人参をいれて軽く油になじませ砂糖 醤油 みりん 酒をいれて、なじんだらできあがり
食材名	分量
じゃがいも	2 個
にんじん	1 本
たまご	250g
たまねぎ	1 個
砂糖	大さじ 1
醤油	中さじ 1
みりん	小さじ 1
酒	小さじ 1

表 12: 被験者 1 のレシピの評価

質問番号	被験者 1 の評価	他 3 人の平均評価
質問 4	4	2.33
質問 5	1	3
質問 6	3	2

表 13: 被験者 2 の入力食材

ごま, 卵, チーズ, キムチ, 納豆, そば, ヨーグルト, 豚肉, 鶏肉, 木綿豆腐,
 しらす, 魚肉ソーセージ, 片栗粉, カレールー, 唐辛子, めんつゆ,
 ケチャップ, ポン酢, 醤油, マヨネーズ, レモン汁, わさび, ソース, すし酢,
 豆乳, 梅干し, しょうが, 柚子胡椒, みそ, 小豆, チョコレート, 牛乳, 長芋,
 ごぼう, 長ネギ, バナナ, 舞茸, ブロッコリー, キャベツ, レタス, 玉ねぎ,
 れんこん, 人参, ピーマン, 塩, ほうれん草, こんにゃく, 塩, 胡椒, ラー油,
 はちみつ, サラダ油, オリーブ油, 酒, カツオだし, コンソメ, ごま油, 酢,
 みかん, ゆず, りんご, のり, 米, からし

表 14: 被験者 2 のレシピ

調理手順	調理内容
1	下準備をする。卵はときほぐし、カラザを取り除く。ねぎは小口切り、ニンジン食べやすい大きさに切っておく。
2	中華鍋を強火にかけ、煙が出るまで熱したらサラダ油をいれ、鍋全体になじませて、いったんあける。
3	改めて鍋に大さじ 2 の油をいれ、強火で熱して、卵を一気に入れる。
4	半熟になったらご飯をいれ、水分をとばしながら炒める。
5	ご飯がぱらぱらになってきたら塩、胡椒で味をつけ、にんじんを入れて混ぜ、次に葱を入れる。
6	酒をいれ、鍋肌から少量のしょうゆと胡麻油をいれる。

食材名	分量
ご飯	300 g
卵	2 個
にんじん	100g
ねぎ	80g
塩	適量
胡椒	少々
醤油	小さじ 1
ごま油	小さじ 1
サラダ油	小さじ 1
酒	大さじ 2

表 15: 被験者 2 のレシピの評価

質問番号	被験者 2 の評価	他 3 人の平均評価
質問 4	3	2.67
質問 5	4	2.67
質問 6	3	3.33

表 16: 被験者 3 の入力食材

七味, 塩, 胡椒, パセリ, バジル, シナモン, ブイヨン, カレー粉,
ガーリック粉, バナナ, 豆乳, パン粉, メンマ, ブルーベリージャム,
マスタード, ザーサイ, オイスターソース, ウィスキー, ブランデー, 酒,
ジン, 赤ワイン, 白ワイン, 中濃ソース, めんつゆ, 佃煮, 韓国のり, 鰹節,
わさび, しょうが, からし, ケチャップ, きなこ, マロニー, 干し椎茸,
昆布出汁, マカロニ, パスタ, 素麺, そば, ひじき, 切り干し大根, コンソメ,
おふ, はちみつ, 黒酢, アマニ油, ヨーグルト, アーモンド, みそ, 牛乳,
ピザソース, 黒蜜, 練乳, マヨネーズ, チーズ, 焼肉のタレ, ごまだれ,
にんにく, 醤油, レモン汁, バター, 豆腐, お好み焼き粉, 小麦粉, 片栗粉,
ホッケ, 梅干し, お揚げ, カニカマ, ブルーベリー, 豚肉, 鶏肉, トマト, 人参,
大根, キャベツ, 長ネギ, なす, 玉ねぎ, かぶ, ピーマン, みかん,
ブロッコリー, カボチャ, ラ・フランス, ポン酢, すし酢

表 17: 被験者 3 のレシピ

調理手順	調理内容
1	かぶは葉を根元から 2 cm くらい残して切り落とし、皮をむいて 6 等分します。キャベツも、6 等分します。ニンジン皮をむいて拍子切りにします。トマトは一口大に切ります。玉ねぎも皮をむいて 6 等分します。
2	鶏肉を一口大に切り油 (分量外) をひいたフライパンできつね色になるまで焼きます。
3	鶏肉を深めの鍋に移し、野菜のかぶ以外を加えて水 (分量外) を野菜がかぶるくらい加えブイヨンを入れます。
4	約 30 分くらい煮こんでキャベツが柔らかくなったら、かぶを加えてさらに 10 分くらい煮こんで、塩コショウで味をととのえてできあがり。

食材名	分量
かぶ	3 個
鶏もも肉	200g
キャベツ	1/2 個
とまと	200g
ニンジン	中 1/2 本
ブイヨンの素	1 個
塩	少々
胡椒	少々
玉ねぎ	中 1 個

表 18: 被験者 3 のレシピの評価

質問番号	被験者 2 の評価	他 3 人の平均評価
質問 4	2	2.67
質問 5	2	3.33
質問 6	3	3.67

表 19: 被験者 4 の入力食材

はちみつ, メープルシロップ, 塩, 胡椒, 砂糖, ナツメグ, ラー油, 鶏ガラ, コンソメ, りんごジャム, 醤油, みりん, 酒, オイスターソース, オリーブオイル, 中濃ソース, マヨネーズ, ごま油, ケチャップ, ほんだし, にんにく, しょうが, 練りゴマ, ポン酢, クリームチーズ, カマンベール, プロセスチーズ, のり, 片栗粉, 薄力粉, みそ, ホットケーキミックス, 玉ねぎ, じゃがいも, さつまいも, ごぼう, ウインナー, たまご, アボカド, 米

表 20: 被験者 4 のレシピ

調理手順	調理内容
1	卵と片栗粉、お酒、塩を混ぜ合わせる。
2	ジャガイモは乱切りにする。玉ねぎは2等分にして1cm幅に切る。
3	鍋にジャガイモと玉ねぎを入れて少量の水を入れ火にかける。ふたをして弱火で10分ほど煮る。
4	ふたをとって強火にして、スプーン2本でラグビーボール形に整えながら落とす。
5	火が通ったら砂糖と醤油を加え、とろみがでてきたらできあがり。

食材名	分量
たまご	250g
片栗粉	大さじ1
お酒	大さじ1
塩	小さじ1/4
じゃがいも	500g (4 - 6個)
玉ねぎ	2個
砂糖	大さじ3
醤油	1/4カップ

表 21: 被験者 4 のレシピの評価

質問番号	被験者 2 の評価	他 3 人の平均評価
質問 4	2	3.33
質問 5	3	2.67
質問 6	4	3

表 22: 被験者 5 の入力食材

(米, トマト缶, ごま油, みりん, オリーブオイル, サラダ油, ツナ缶, 鯖缶, パスタ, 片栗粉, 塩, 胡椒, バター, ケチャップ, わさび, 醤油, マヨネーズ, 梨, みそ)

表 23: 被験者 5 のレシピ

調理手順	調理内容
1	ツナ缶は細かくしておく
2	フライパンを熱し、弱火にしてツナ缶を入れ火が通ったらゴハンを入れる
3	塩で味付けをして最後にフライパンのふちに醤油をたらす
4	皿に盛りつけ出来上がり

食材名	分量
ツナ缶	50g
冷ゴハン	300グラム
塩	小 1/2
醤油	ちょっと
油	適量

表 24: 被験者 5 のレシピの評価

質問番号	被験者 2 の評価	他 3 人の平均評価
質問 4	3	3
質問 5	3	1.67
質問 6	4	3

表 25: 被験者 20 人の評価

質問番号	スコア			
	4	3	2	1
質問 4	6	5	9	0
質問 5	3	9	6	2
質問 6	6	12	2	0

表 26: 被験者 5 人による提案と COOKPAD の比較

検索システム	質問番号	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4	被験者 5
提案	質問 7	できた	できた	できた	できた	できた
	質問 8	1	3	3	4	3
	質問 9	2	3	3	4	4
COOKPAD	質問 7	できた	できた	できない	できた	できない
	質問 8	3	3	2	3	3
	質問 9	3	3	2	3	3

表 25 の質問 4 を見ると、過半数がレシピに意外性があったと答えているのが分かる。意外性を感じている一例として、質問 4 の pt が一番高かった被験者 5 のレシピを挙げる。被験者 5 のレシピでは、チャーハンにツナが代替されている。チャーハンのレシピは COOKPAD に 31175 品掲載されているが、その中でツナを用いているレシピは 985 品しかない。割合では 3.16% であるため、意外性を感じているのではないかと考えられる。また、質問 5 と質問 6 を比べると、美味しそうに見えたという比率より美味しかったという比率の方が多くなった。これらから、人から見ると意外性のある代替ができていると考えられる。一方、表 26 から、質問 8 では 5 人平均で提案が 2.8pt, COOKPAD が 3.2pt, 質問 9 では提案が 2.8pt, COOKPAD が 2.8pt となった。有意差を確認するため分散分析を行ったところ、 $p = 5.636 \times 10^{-1}$ となったため、提案と COOKPAD には差がないという結果となった。だが、主婦のように長年料理を作ってきた人の提案への評価は低かった。これはユーザーの手持ち食材をできるだけ入力しなくてはいけない手間があるため、自分で考えた方が早いからであると考えられる。主婦を除くと質問 8 では提案が 3.25pt, COOKPAD

が 2.75pt, 質問 9 では提案が 3.5pt, COOKPAD が 2.75pt という結果となった. 分散分析を行ったところ, $p = 3.340 \times 10^{-2}$ という結果になったため, 有意水準 0.05 で有意差があるといえる. この結果から提案システムは普段から料理をしない人やあまり料理を経験しなかった人に有用であると考えられる.

被験者 1~5 のレシピの予測値を表 27 にまとめた. 被験者 1~3 だけであれば質問 6 の評価の pt と比例するが, 被験者 4 と 5 は予測値が違うのに pt が全く同じになっている. 手持ち食材を

(はちみつ, 米, 塩, 醤油, 油)

と仮定して提案システムを使ったところ, 表 23 のツナ缶をはちみつに変えたレシピが出力された. このレシピの予測値は成分が 0.835, 分量が 0.974 の平均 0.905 と予測されたが, 被験者 5 による質問 6 の評価は 1pt であった. これらの結果から, 予測値と実際の評価値に関係があるとは言えないのではないかと考えられる. さらに, その関係が分からないため, 仮にユーザーの手持ち食材が少なくても, 「一つだけ食材が足りていないレシピ」という代替食材推薦システムの条件に当てはまれば, どのような食材でも代替として用いてしまうという問題点がある. これらから今回の評価実験の偶然性が否めないと考えられる.

表 27: 代替食材推薦システムの予測値まとめ

レシピ	成分データ	分量データ	成分と分量の平均 (提案)
被験者 1	0.961	0.999	0.980
被験者 2	0.973	0.989	0.981
被験者 3	0.978	0.992	0.985
被験者 4	0.936	0.999	0.968
被験者 5	0.887	0.981	0.934

そのため, 被験者をさらに 13 人増やし, 被験者 1~5 と同様, 追加の実験を行った. 代替食材推薦システムが出力したレシピは付録 B にて示す. なお, この際の質問は 6~9 に絞って回答してもらった. 評価実験の結果, 質問 6 は 4pt : 3, 3pt : 8, 2pt : 2, 1pt : 0 という評価であった. 質問 7~9 の評価は表 28 にて示す. 表 26 も含めると, 質問 8 では提案が 2.72pt, COOKPAD が 3pt, 質問 9 では提案が 3.06pt,

COOKPAD が 2.94pt であった。分散分析の結果、 $p = 8.658 \times 10^{-1}$ で、有意差はみられなかった。だが、これも主婦を除くと、質問 8 では提案が 3.07pt, COOKPAD が 2.87pt, 質問 9 では提案が 3.4pt, COOKPAD が 2.93pt となった。分散分析を行ったところ、 $p = 2.876 \times 10^{-2}$ であったため、有意水準 0.05 で有意差があるといえる。これにより、提案システムは普段から料理をしない人やあまり料理を経験しなかった人に有用であるとより言える。だが、代替食材推薦システムの予測値と実際の評価値の関係が未だに分からないため、提案システムの実用には多くの課題があるといえる。

表 28: 被験者 13 人による評価

被験者	検索システム					
	提案			COOKPAD		
	質問 7	質問 8	質問 9	質問 7	質問 8	質問 9
被験者 6	できた	3	3	できた	3	3
被験者 7	できた	2	3	できた	3	3
被験者 8	できた	3	4	できない	2	2
被験者 9	できた	3	4	できない	2	3
被験者 10	できた	1	2	できた	3	3
被験者 11	できた	3	3	できた	3	3
被験者 12	できた	3	4	できた	3	4
被験者 13	できた	3	4	できた	2	3
被験者 14	できた	1	2	できた	3	3
被験者 15	できた	4	3	できた	4	3
被験者 16	できた	3	3	できた	3	3
被験者 17	できた	4	3	できた	4	3
被験者 18	できた	2	3	できた	3	3

5 まとめ

ユーザーの現在の手持ち食材を考慮したレシピ推薦システムを目指し、機械学習の手法や成分データを駆使してきた。ユーザーの現在の手持ち食材のみで調理できるレシピ推薦システムは、料理をあまり行わない人や、料理の経験が少ない人には有用であることが分かったが、代替食材推薦システムにはまだまだ課題が残る結果となった。今後の課題としては、代替食材推薦システムの改善と、代替食材推薦システムの予測値と実際の評価値の関係を調べる必要があると考えられる。また、被験者をもっと増やすことによって、提案システムの実用性をより証明する必要があると考えられる。

6 謝辞

本研究を進めるにあたって、私が外部からの進学であったということもあり、指導教員の植野真臣教授には本学の研究の文化から懇切丁寧に教えていただきました。その他にも熱心な研究指導だけでなく、人に上手く伝える方法など、社会でも必要であるものを沢山頂戴いたしました。この貴重な経験や知識は、入学しなければ決して得ることはできなかったと思います。心から感謝の意を表します。

川野秀一准教授や宇都雅輝准教授、西山悠准教授は、別の研究室であるにも関わらず、助言をしていただきました。また、飲み会の場合だけでなく、何気ない日常でもフランクに声をかけてくださいました。外部生の意識がまだ強かった私は、研究室の一員なのだと心が救われました。

植野研の皆様には何度もお力添えいただきました。先輩方は私が入学した当初から研究のことだけでなく、日常的な会話など親身にお世話してくださいました。私が相談した時は、忙しいにも関わらず、嫌な顔一つせずに何度も助けていただきました。後輩ですら、私を与えられるものは何もないにも関わらず、研究の相談などに乗ってくれました。植野研の方々の暖かさにはとても助けられました。

そして研究室の垣根を越えた同期の友人達には、学生生活から研究のことまで支えていただきました。特に、自主ゼミと表して毎週集まっていたメンバーには感謝してもしきれません。研究へのモチベーションを高めてくれるのはもちろんのこと、研究やプレゼンへのアドバイスなど、未熟な私を鍛えてくれました。彼らの協力がなければ、今私はどうなっていたかわかりません。

私は恵まれた研究室のおかげで充実した大学院生活を送ることができました。関わっていただいた皆様に心よりお礼申し上げます。本当にありがとうございました。

A 食材ごとの分量について

食材の分量の g 変換をこの付録にて示す。この g 変換は、「グラム」や「G」などの表記の違いや「一」などの漢数字は、全て「g」や「1」のように変換済みであることを前提としている。

- さじ表記は大さじであれば 15cc に、中さじであれば 10cc に、小さじであれば 5cc に直し、cc は食材毎の密度で g に変換。cc と ml 表記の食材毎の密度は表 29 に示す。同様にカップ表記は 200cc に対応させ変換。
- 「本」表記は表 30, 「個」表記は表 31, 「枚」表記は表 32 にてそれぞれ g 変換を示す。
- 「少々」や「ひとつまみ」, 「ちょっと」という表記は全て小さじ 1/8 (0.625cc) に統一し、cc を g に対応するよう変換。
- 「好きなだけ」表記は、調味料や香辛料であれば小さじ 1/8 に統一して g に変換し、薬味類であれば 5g, それ以外は 50g に統一。
- 「お好み」表記の食材は入れなくても良い物と判断し、レシピから削除。
- 「適量」表記は一つだけ用いられているレシピのみを変換対象とし、二つ以上含まれているレシピは丸ごと削除。分量が明確に記されているレシピから水分量と塩分量の比率を求め、その比率になるよう「適量」表記を g に変換。
- 「1 かけ」表記は一律 10g に、「半分」表記は 1/2 個に統一。

その他の表記の g 変換は表 33 にて示す。

表 29: 食材毎の 1cc の g 数

1cc の g 数	食材名	1cc の g 数	食材名
1g	水	0.9g	ショートニング
	牛乳		ごま油
	豆乳		オリーブオイル
	生クリーム		サラダ油
	コーヒー		米油
	酢	1.4g	ごま
	コンソメ		米
	紅茶		バター
	ほうじ茶		ラード
	グランマニエ		コンデンスミルク
	めんつゆ	0.95g	はちみつ
	ドレッシング		ピューレ
	ココナッツミルク		水飴
	ラム		シロップ
	シェリー酒		チョコレート
	ワイン	0.5g	ジュース
	コーラ		リキュール
	ビール		小麦粉
	だし		強力粉
	ブイヨン		薄力粉
	酒		カレー粉
	レモン果汁		クミン
	マヨネーズ		ガラムマサラ
	ケチャップ		パセリ
	バニラ		片栗粉
	にんにく		重曹
	生姜		コーンスターチ
	アイスクリーム		シナモン
	ブランデー		バジル
1.1g	サワークリーム	0.5g	パルメザンチーズ
	ヨーグルト		ドライイースト
1.2g	醤油		ローズマリー
	みりん		ココア
	ソース		ターメリック
	塩		タラゴン
	砂糖		サフラン
	みそ		唐辛子
	グラニュー糖		胡椒
	ナンプラー		ゼラチン
	マスタード		白玉粉
	三温糖		

表 30: 「本」表記の食材毎の g 数

食材名	g 数	食材名	g 数
万能ねぎ	5g	カニカマ	10g
ねぎ	132g	春菊	5g
人参	156g	寒天	10g
ナス	158g	エリンギ	65g
バゲット	240g	山芋	145g
きゅうり	100g	ウィンナー	22g
ズッキーニ	200g	クレソン	5g
パクチー	132g	ゴーヤ	200g
唐辛子の葉	50g	竹輪	30g
大根	1000g	わさび	70g
鷹の爪	5g	シナモンスティック	4g
セロリ	120g	エンダイブ	9g
バナナ	120g	バニラビーンズ	2g
手羽先	35g	ルッコラ	5g
ささみ	60g	にら	5g
ディル	2g	ローズマリー	6g
オクラ	30g	たくあん	90g
わけぎ	29g	チーズ	20g
いんげん	3g	たけのこ	200g
アスパラ	24g	あさつき	3g
チャービル	3g	ソーセージ	22g
魚肉ソーセージ	90g	ミント	1g
ニンニクの芽	20g	アンディーブ	120g
サワークリーム	90g	カステラ	560g
ごぼう	250g	はじかみ	4g
スペアリブ	100g	アンチョビ	15g
さつまいも	210g	レモングラス	3g
たこ	125g	パセリ	1g

表 31: 「個」表記の食材毎の g 数

食材名	g 数	食材名	g 数	食材名	g 数
万能ねぎ	5g	わさび	70g	グレープフルーツ	210g
ねぎ	132g	シナモンスティック	4g	かぼちゃ	2400g
人参	156g	エンダイブ	9g	オレンジ	200g
ナス	158g	バニラビーンズ	2g	パプリカ	38g
バゲット	240g	ルッコラ	5g	レタス	470g
きゅうり	100g	にら	5g	こんにゃく	200g
ズッキーニ	200g	ローズマリー	6g	ミョウガ	16g
パクチー	132g	たくあん	90g	ライム	100g
唐辛子の葉	50g	チーズ	20g	パパイヤ	100g
大根	1000g	たけのこ	200g	マッシュルーム	10g
鷹の爪	5g	あさつき	3g	洋梨	175g
セロリ	120g	ソーセージ	22g	里芋	46g
バナナ	120g	ミント	1g	あさり	5g
手羽先	35g	アンディーブ	120g	オリーブ	4g
ささみ	60g	カステラ	560g	イチジク	72g
ディル	2g	はじかみ	4g	八角	2g
オクラ	30g	アンチョビ	15g	牡蠣	20g
わけぎ	29g	レモングラス	3g	白菜	1260g
いんげん	3g	パセリ	1g	納豆	50g
アスパラ	24g	卵黄	20g	かぶ	80g
チャービル	3g	卵白	30g	ツナ缶	80g
魚肉ソーセージ	90g	卵	50g	餅	50g
ニンニクの芽	20g	トマト	150g	ニンニク	10g
サワークリーム	90g	じゃがいも	125g	紅茶の葉	2g
ごぼう	250g	ピーマン	38g	ブロッコリー	380g
スベアリブ	100g	キャベツ	1000g	パン	30g
さつまいも	210g	アボカド	120g	ピメント	30g
たこ	125g	梅	17g	ホタテ	20g
カニカマ	10g	ふきのとう	7g	えび	20g
春菊	5g	レモン	100g	みかんの皮	10g
寒天	10g	イチゴ	22g	アプリコット	25g
エリンギ	65g	椎茸	10g	カマンベール	120g
山芋	145g	りんご	300g	ムール貝	20g
ウィンナー	22g	杏	8g	ブルーン	10g
クレソン	5g	キウイ	100g	ゆず	100g
ゴーヤ	200g	マンゴー	200g	コンソメ	5g
竹輪	30g	パイナップル	700g	ブイヨン	5g
固形スープ	5g	ハマグリ	15g		

表 32: 「枚」表記の食材毎の g 数

食材名	g 数	食材名	g 数
チーズ	18g	白菜	50g
油揚げ	27g	パイシート	461g
大葉	0.5g	ブリ	80g
ハム	11g	ベイリーフ	0.3g
食パン	60g	ローレル	0.3g
サニーレタス	9g	牛肉	25g
豚肉	25g	さや	2g
ブリトー	28g	ニンニク	1g
レタス	40g	エンダイブ	9g
ベーコン	20g	れんこん	10g
椎茸	10g	ライスペーパー	10g
クラッカー	6g	ナン	15g
鶏肉	300g	クレープ	42g
干物	150g	オレンジ	10g
ローリエ	0.3g	ビスキュイ	3g
こんにゃく	200g	生麩	5g
昆布	10g	キムチ	20g
ラザニア	17g	サルビアの葉	3g
レモン	10g	ウエハース	7g
パイナップル	40g	焼売の皮	6g
餃子の皮	6g	ビスケット	3g
ライム	10g	パイシート	461g
しょうが	2g	ステーキ	200g
バジル	3g	トレビス	20g
ささみ	60g	厚揚げ	200g
ミント	1g	バケット	10g
のり	3g	たけのこ	20g
アンチョビ	15g	ワンタン	3g
春巻きの皮	6g	穴子	50g
キャベツ	50g	ピザ生地	200g
はんぺん	70g		

表 33: その他の食材毎の g 数

食材名	g 数	食材名	g 数
豚肉ブロック	500g	バター 1 かけら	12g
さば 1 匹	600g	モロヘイヤ 1 束	100g
しめじ 1 パック	100g	トマトジュース 1 缶	200g
ニンニク 1 かけ	10g	クレソン 1 束	50g
トマト缶	400g	クレソン 1 枝	5g
山芋 1 つ	180g	糸こんにゃく 1 袋	200g
豆腐 1 丁	350g	パスタ 1 人前	100g
えび 1 尾	5.5g	たらこ 1 腹	100g
紅生姜 1 つまみ	5g	ブロッコリー 1 株	380g
たら 1 切	80g	ケッパー 1 粒	5g
水煮大豆 1 パック	140g	さんま 1 尾	150g
あさつき 1 束	20g	フェンネル 1 株	300g
イワシ 1 匹	80g	桃 1 缶	250g
キャベツ 1 玉	1000g	ほうれん草 1 束	204g
うどん 1 玉	250g	ザーサイ 1 株	400g
中華めん 1 玉	120g	ツナ 1 缶	80g
もやし 1 袋	200g	マッシュルーム 1 缶	50g
ニラ 1 袋	200g	グリーンピース 1 缶	85g
ニラ 1 わ	50g	牡蠣 1 パック	200g
オクラ 1 ネット	100g	パセリ 1 枝	1g
鰹節 1 パック	3g	パセリ 1 束	18g
素麺 1 束	50g	タイム 1 枝	1g
白菜 1 株	2000g	ホワイトソース 1 お玉	50g
オイルサーディン 1 缶	110g	枝豆 1 袋	200g
アスパラ 1 束	100g	コーン 1 缶	80g
うなぎ 1 匹	140g	アンチョビ 1 尾	15g
納豆 1 パック	50g	ゆりね 1 つ	90g
ししゃも 1 匹	15g	そば 1 人前	200g
万能ねぎ 1 束	100g	米どんぶり	250g
春雨 1 袋	25g	カマンベール 1 ホール	120g
三つ葉 1 袋	50g	水菜 1 束	200g
香菜 1 束	50g	鯛 1 匹	200g
しらす 1 パック	100g	米 1 合	150g
イカ 1 杯	350g		

B 追加実験にて出力されたレシピ

この付録では、追加実験をした際に代替食材推薦システムが出力したレシピを示す。

表 34: 被験者 6 のレシピ

調理手順	調理内容
1	米は研がずにそのまま使っちゃえ。
2	水も適当に。普通炊くよりも多めです。
3	火加減は、はじめ強め、沸騰してきたらブイヨンを入れて味付け(薄くて OK)、吹いてきたら弱火で。あとは焦げないように注意。心配だったら、かき混ぜて。
4	米のかたさを見ながら…、水分が足りなくて芯が残ってても、あとから水を足しちゃえ。塩とかで味見してね。
5	やわらかくなったらトマトを入れて一煮立ちさせれば完成。

食材名	分量
トマト	100g
チキンブイヨン	1 個
白米	1.5 カップくらい？

表 35: 被験者 7 のレシピ

調理手順	調理内容
1	材料を切ります。玉ねぎ→みじん切り。アボガド→大きめのさいの目切り。トマト→さいの目切り。
2	切った材料をボールにいれて、塩・コショウ・オレガノを適当に入れて和えます。

食材名	分量
玉ねぎ	1/4 個
生トマト	1/2 個
豆腐	50g
オレガノ	少々

表 36: 被験者 8 のレシピ

調理手順	調理内容
1	材料はこんなもの。にんじんは1個はみじん切り、1個は一口大にくし切りにし、お肉も一口大に切っておきます。
2	みじん切りにしたにんじんをきつね色になるまで炒めます。炒め終わったら一旦鍋から取り出してよけておきます
3	その隣でお肉をフライパンを使って炒めます。油がたくさんでくるのでそんなに油は引かなくても大丈夫。
4	4. のお鍋にフライパンからお肉を入れます。脂があまり入らないように、お箸を使って一つづついれていきます。
5	5. のお鍋に 2. で炒めておいたにんじん、鷹の爪(そのまま)も入れ、沸騰してから15分煮て、カレールーを入れたら完成です
食材名	分量
白米	3 合
鶏肉	モモ 2 枚
にんじん	100g
コショウ	少々
塩	少々
カレー粉	6 人前

表 37: 被験者 9 のレシピ

調理手順	調理内容
1	凍のままの、バナナ、とげを取った皮付きアロエ、牛乳、きな粉、りんごジャムをミキサーに入れて、30 秒ぐらいかくはん。きな粉も、毎日少しずつとれます。思いのほか、香ばしくておいしい！
食材名	分量
バナナ	1 本（食べごろに、ラップに包んで、冷凍してます。）
牛乳	4 0 0 c c ぐらい
きな粉	小さじ 2 杯
りんごジャム	20g
はちみつ	小さじ 4 杯
アロエ	1 枚折る

表 38: 被験者 10 のレシピ

調理手順	調理内容
1	ナスのヘタに包丁の刃先をあて、ナスをグルリと回転させて、ガクの部分に切りこみを入れてガクを、取り除く。ナスの皮目に、縦に 2,3 箇所、切れ目を入れておく。
2	魚焼きグリルに入れて焼く。皮が焦げてナスが、やわらかくなるまで。しょうがをする。ナスが焼けたら、水をはったボールの中で、皮をむく。軽く絞る。
3	冷蔵庫で冷やしておく。ナスに、おろし生姜、梅干しをのせ、醤油でいただく。
食材名	分量
ナス	2 個
しょうが	適量
梅干し	20g

表 39: 被験者 11 のレシピ

調理手順	調理内容
1	まいたけを縦半分に切り種を除き、5ミリの細切りにする。豚肉を広げ、塩コショウをする。
2	豚肉の端の方に、まいたけ約直径 1.5 センチになるように置き、くるくる巻く。
3	フライパンに油を（大さじ 1）引き、巻いた最後を下にしておく。巻いた部分が、接着するまで待つ。接着されたら、表面が焼けるまでひっくり返す。正面が焼けたら塩コショウをし、ふたをして弱火に。1～2 分後、まいたけがしなしなしてたらできあがり。

食材名	分量
まいたけ	50g
豚肉	約 5 センチ× 15 センチ 12 枚
塩	少々
コショウ	少々

表 40: 被験者 12 のレシピ

調理手順	調理内容
1	かぼちゃは、皮をむき適当に切る。電子レンジで柔らかくなるまでチンする。その間に、きゃべつをスライス、ハムを細切り（ベーコンなら炒める）
2	全部をマヨネーズと、塩、コショウで、あえる。

食材名	分量
かぼちゃ	1/6 ぐらい
きゃべつ	50g
ハム	4,5 枚
マヨネーズ	適量
塩	少々
コショウ	少々

表 41: 被験者 13 のレシピ

調理手順	調理内容
1	魚肉ソーセージを薄く切り、塩胡椒とカレーパウダーをまぶします。
2	フライパンで炒めます。
3	少し焦げ目がついてきたら完成です。

食材名	分量
れんこん	100g
カレーパウダー	少々
塩胡椒	少々

表 42: 被験者 14 のレシピ

調理手順	調理内容
1	ぶどうは種をとり、凍らせておきます。皮がついていても OK。 凍らせることで渋みがなくなります。色もついてきれいだよ。
2	ミキサーに材料すべてを入れます。
3	ぶどうの皮がこなごなに鳴るまで攪拌したら、できあがり。

食材名	分量
凍らせたぶどう	100g
牛乳	80g
レモン汁	小さじ 1
めーぶるしろっぷ	8g

表 43: 被験者 15 のレシピ

調理手順	調理内容
1	鮭の両面に塩・胡椒をふり、アルミ箔に乗せる。(私は最初からアルミ箔の上でやってます)
2	たまごをのせ、ホイルを閉じる。
3	オーブントースターで5分程度焼いて出来上がり。レモンをかけて召し上がれ！

食材名	分量
生鮭	2切
たまご	50g
塩・コショウ	適量
レモン汁	少々

表 44: 被験者 16 のレシピ

調理手順	調理内容
1	挽肉を炒め、輪切りにしたたまねぎ、調味料を加えて煮こむ。
2	たまねぎの水が出尽くしたら出来上がり。

食材名	分量
挽肉	200g
たまねぎ	300g
ソース	大さじ3
ケチャップ	大さじ3
醤油	大さじ3
酒	大さじ3

表 45: 被験者 17 のレシピ

調理手順	調理内容
1	ジャガイモの皮をむき、ひたひたの水でゆでる。ゆでたらふたをしてかるく湯を切り、つぶす。(お湯は少し残っていたほうがいい)
2	1 に片栗粉とチーズをいれてまぜる。このときぱさぱさだったら湯をたす。コロッケのように楕円形型にまるめる。
3	フライパンに油をしき、焼く。ホットプレートでもいいかも。

食材名	分量
じゃがいも	4つ
しらす	100g
片栗粉	大さじ3
塩コショウ	適量

表 46: 被験者 18 のレシピ

調理手順	調理内容
1	たまねぎは、適当な大きさにスライス、かぶは、皮を皮むき器で、軽くにとって、いちよう切りにする。
2	厚手のなべに、サラダオイルを入れ、たまねぎが透明になるまで炒め、そこへ、かぶ軽く炒めてから、ワインと水を、具が、ひたひたになる位に入れる（少な目に）、ブイヨンも加える。
3	かぶが、柔らかくなったら、ミキサーにかけて、なべにもどし、あたため、生クリームを入れる（ここで濃い場合は、水で濃度を調節する）。塩こしょうで味を整えて出来上がり。
食材名	分量
かぶ	200g
たまねぎ	2 個
生クリーム	200cc
白ワイン（なくてもよい）	100cc 位
浮き実（パセリ、あさつき、クルトンなどお好みで）	適量
固形ブイヨン	2 ～ 3 個

参考文献

- [1] Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, **45**(1), 5–32.
- [2] Chen, J. and Ngo, C.-w. (2016). Deep-based ingredient recognition for cooking recipe retrieval. In *Proceedings of the 24th ACM International Conference on Multimedia*, 32–41.
- [3] Chen, J.-J., Ngo, C.-W., Feng, F.-L., and Chua, T.-S. (2018). Deep understanding of cooking procedure for cross-modal recipe retrieval. In 1020-1028, editor, *Proceedings of the 26th ACM International Conference on Multimedia*.
- [4] Konosu, S. (1973). Taste of fish and shellfish with special reference to taste-producing substances. *NIPPON SHOKUJIN KOGYO GAKKAISHI*, **20**(9), 432–439.
- [5] LeCun, Y. et al. (1989). Generalization and network design strategies. *Connectionism in perspective*, **19**, 143–155.
- [6] McCulloch, W. S. and Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, **5**(4), 115–133.
- [7] Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., and Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*.
- [8] Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., and Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *nature*, **323**(6088), 533–536.
- [9] Salton, G. and Buckley, C. (1988). Term-weighting approaches in automatic text retrieval. *Information processing & management*, **24**(5), 513–523.
- [10] Salvador, A., Hynes, N., Aytar, Y., Marin, J., Ofli, F., Weber, I., and Torralba, A. (2017). Learning cross-modal embeddings for cooking recipes and food images. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 3020–3028.

- [11] Vapnik, V. (1963). Pattern recognition using generalized portrait method. *Automation and remote control*, **24**, 774–780.
- [12] Vapnik, V. (2013). *The nature of statistical learning theory*. Springer science & business media.
- [13] Wang, H., Sahoo, D., Liu, C., Lim, E.-p., and Hoi, S. C. H. June . (2019). Learning cross-modal embeddings with adversarial networks for cooking recipes and food images. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 11572–11581.
- [14] 志土地由香, 井手一郎, 高橋友和, and 村瀬洋. (2011). 料理レシピマイニングによる代替可能食材の発見. *電子情報通信学会論文誌 A*, **94**(7), 532–535.
- [15] 林哲仁, 山口勝巳, and 鴻巣章二. (1978). Studies on flavor components in boiled crabs. ii. nucleotides and organic bases in the extracts. *日本水産学会誌*, **44**(12), 1357–1362.
- [16] 林哲仁, 浅川明彦, 山口勝巳, and 鴻巣章二. (1979). Studies on flavor components in boiled crabs. iii. sugars, organic acids, and minerals in the extracts. *日本水産学会誌*, **45**(10), 1325–1329.
- [17] 梅本晴弥, 豊田哲也, and 大原剛三. (2018). 料理レシピの分散表現を用いた代替食材の発見手法. *行動変容と社会システム*, **3**.
- [18] 池尻恭介, 清雄一, 中川博之, 田原康之, and 大須賀昭彦. (2014). 希少性と一般性に基づいた意外性のある食材の抽出. *コンピュータ ソフトウェア*, **31**(3), 70–78.
- [19] 池尻恭介, 清雄一, 中川博之, 田原康之, and 大須賀昭彦. (2015). 意外性のあるレシピを推薦するエージェントの提案. *電子情報通信学会論文誌 D*, **98**(6), 971–981.
- [20] 渡辺勝子, 藍恵玲, 山口勝巳, and 鴻巣章二. (1990). ホタテガイの呈味成分 (第 2 報) ホタテガイエキス成分の呈味上の役割. *日本食品工業学会誌*, **37**(6), 439–445.

- [21] 福家真也. (1994). 食品の味. おいしさの科学.
- [22] 花井俊介, 難波英嗣, and 灘本明代. (2015). 健康を意識した代替食材の発見手法. In 第 7 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム.
- [23] 苅米志帆乃 and 藤井敦. (2008). 料理どうしの類似と組み合わせに基づく関連レシピ検索システム. In 第 14 回年次大会発表論文集, 959–962. 言語処理学会.
- [24] 苅米志帆乃 and 藤井敦. (2009). 栄養素等摂取バランスを考慮した料理レシピ検索システム. 電子情報通信学会論文誌 D, **92**(7), 975–983.
- [25] 野沢健人, 中岡義貴, 山本修平, and 佐藤哲司. (2014). word2vec を用いた代替食材の発見手法の提案. 電子情報通信学会技術研究報告, **114**(204), 41–46.
- [26] 高畑麻理, 上田真由美, and 中島伸介. (2011). 食材に対する好き嫌いを考慮した料理レシピ推薦手法の提案. データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム.
- [27] 鴻巣章二. (2002). うま味-味の再発見うま味-味の再発見, 162–164, 1987. 日本味と匂学会誌, **9**(2), 153–162.
- [28] 鴻巣章二, 香取進一, 太田良三, 江口貞也, and 森高次郎. (1956). 魚類肉蛋白のアミノ酸組成について. 日本水産学会誌, **21**(11), 1163–1166.
- [29] 鴻巣章二, 香取進一, 秋山明子, and 森高次郎. (1958). 甲殻類肉蛋白のアミノ酸組成について. 日本水産学会誌, **24**(4), 300–304.