

# 博士論文

## 手作り料理の調理手順の最適化に関する研究

平成27年9月

松島 由紀子

岡山大学大学院  
自然科学研究科



# 内容概要

手作り料理は、日々の健康管理や生活習慣の基盤として重要である。そのため、インターネット上でも、家庭ごとの手作り料理の知恵を相互に交換する、SNS ツールを用いた Web サイトが注目されている。栄養バランスを考えた献立とするために、家庭での手作り料理において、複数の料理を平行して効率よく調理するのは、調理者の手数や鍋、コンロといった調理器具が限られているため工夫が必要である。そこで、本研究では、その支援のために、複数の手作り料理の調理手順の最適化に関する研究を行う。本研究では、その成果として、調理モデル、調理手順最適化アルゴリズム、レシピ変換アルゴリズム、調理ガイダンスシステムの提案を行った。

まず、調理モデルでは、複数料理の調理の開始順を与えた場合に、調理作業スケジュールの生成と、調理作業に要する時間の推定を行う。実行可能なスケジュールの生成のために、すべての調理作業を、切る、混ぜる、炒める、煮る、予熱する、おくの6種類に分類することで、調理者や調理器具の調理動作上の制約を考慮することとした。

次に、調理手順最適化アルゴリズムでは、調理モデルに与える複数料理の調理開始順を、逐次、変更しながら、調理時間を最小化する調理作業スケジュールを求める。その際、料理数の少ない場合には全数探索による方法、多い場合にはシミュレーティッド・アニーリングによる方法を採用することで、計算時間の短縮と解の高精度化を実現した。シミュレーションおよび実際の調理実験により、調理モデルと併せて有効性を確認した。

レシピ変換アルゴリズムでは、Web サイトに公開されている料理の調理レシピを、提案する調理モデルの入力形式に変換する。ここでは、形態素解析によりレシピを品詞の集合に分解した後、予め用意しておく定数テーブルを用いて、動詞毎の調理作業への分類と作業時間の推定を行う。Web 公開レシピへの適用により、その有効性を示した。

最後に、調理ガイダンスシステムでは、調理モデルの出力である調理作業スケジュールに従って、Android 端末を用いて、調理者が次に実行すべき調理作業のガイダンスを行う。ここでは、献立確認機能、調理ガイダンス機能、調理時間計測機能の3つの機能を実装した。本システムを用いて調理実験を行い、その有効性

を確認した。

本研究の今後の課題として、更なる時間短縮のための多種多様な調理道具を活用したレシピへの対応、動画や写真を用いたマルチメディア型レシピへの対応、調理モデルの利用可能なレシピデータベースの作成などが挙げられる。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>緒論</b>	<b>1</b>
1.1	本研究の背景	1
1.2	本研究の目的	2
1.3	本論文の構成	3
<b>第2章</b>	<b>調理モデル</b>	<b>5</b>
2.1	はじめに	5
2.2	キッチンレイアウト	6
2.3	調理作業の定義	6
2.4	状態遷移と制約条件	7
2.5	優先調理フラグ	10
2.6	副調理者希望フラグ	10
2.7	片付けチャンス	10
2.8	調理作業スケジュールの生成	11
2.9	評価用調理モデル	14
2.10	おわりに	15
<b>第3章</b>	<b>調理手順最適化アルゴリズム</b>	<b>17</b>
3.1	はじめに	17
3.2	調理作業時間の推定	18
3.3	全数探索による最適解の生成	19
3.4	SA (シミュレーテッド・アニーリング) による局所最適解の生成	19
3.5	片付けチャンス指示の挿入	19
3.6	調理手順最適化アルゴリズムの評価	19
3.7	おわりに	25
<b>第4章</b>	<b>レシピ変換アルゴリズム</b>	<b>27</b>
4.1	はじめに	27
4.2	アルゴリズムの入力	28
4.3	アルゴリズムの出力	28

4.4	変換用定数テーブル . . . . .	29
4.5	調理作業時間計算式 . . . . .	31
4.6	アルゴリズム . . . . .	32
4.7	評価 . . . . .	34
4.8	おわりに . . . . .	36
<b>第5章</b>	<b>調理ガイダンスシステム</b>	<b>37</b>
5.1	はじめに . . . . .	37
5.2	献立確認機能 . . . . .	37
5.3	調理ガイダンス機能 . . . . .	39
5.4	調理時間計測機能 . . . . .	39
5.5	調理ガイダンスシステムの評価 . . . . .	40
5.6	おわりに . . . . .	43
<b>第6章</b>	<b>関連研究</b>	<b>45</b>
<b>第7章</b>	<b>結論</b>	<b>47</b>
	謝辞	49
	参考文献	51

# 関連発表論文

## 1. 学術論文誌

- 1-1 **Yukiko Matsushima** and Nobuo Funabiki, “A cooking-step scheduling algorithm with guidance system for homemade cooking,” to appear in *IEICE Trans. Inform. Syst.*, vol.E98-D, no.8, pp.1439-1448, Aug. 2015.  
DOI: 10.1587/transinf.2015EDP7048

## 2. 国際会議 会議録

- 2-1 **Yukiko Matsushima**, Nobuo Funabiki, and Toru Nakanishi, “A proposal of cooking model and cooking step scheduling algorithm for multiple dishes,” *The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011 (IMECS 2011)*, pp.127-131, Hong Kong, Mar. 2011.
- 2-2 Nobuo Funabiki, Shiho Taniguchi, **Yukiko Matsushima**, and Toru Nakanishi, “A proposal of a menu planning algorithm for two-phase cooking by busy persons,” *3rd International Workshop on Virtual Environment and Network-Oriented Applications (VENOA 2011)*, pp.668-673, Seoul, The Republic of Korea, Jun. 2011.
- 2-3 **Yukiko Matsushima**, Nobuo Funabiki, and Toru Nakanishi, “An application of cooking step scheduling algorithm for homemade cooking and its extensions,” *The 1st Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2012)*, pp.94-98, Tokyo, Japan, Oct. 2012.
- 2-4 **Yukiko Matsushima**, Nobuo Funabiki, and Toru Nakanishi, “A dynamic rescheduling extension of cooking-step scheduling algorithm for multiple dish cooking,” *The 2nd International Conference on Applied and Theoretical Information Systems Research (2nd ATISR2012)*, CD-ROM, Taipei, Taiwan, Dec. 2012.

- 2-5 **Yukiko Matsushima**, Nobuo Funabiki, Tomoya Okada, and Toru Nakanishi, “A cooking guidance function on Android tablet for homemade cooking assistance system,” IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference 2013 (R10-HTC2013), pp.277-282, Sendai, Japan, Aug. 2013.
- 2-6 Nobuo Funabiki, **Yukiko Matsushima**, and Toru Nakanishi, “An extension of menu planning algorithm for two-phase homemade cooking,” The 2nd IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2013), pp.352-356, Tokyo, Japan, Oct. 2013.
- 2-7 **Yukiko Matsushima**, Nobuo Funabiki, Yijia Zhang, and Toru Nakanishi, “Extensions of cooking guidance function on Android tablet for homemade cooking assistance system,” The 2nd IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2013), pp.397-401, Tokyo, Japan, Oct. 2013.
- 2-8 **Yukiko Matsushima** and Nobuo Funabiki, “Practices of cooking-step scheduling algorithm for homemade cooking,” 4th International Congress on Advanced Applied Informatics (AAI 2015), pp.500-505, Okayama, Japan, Jul. 2015. [Best Paper Award of 4th International Congress on Advanced Applied Informatics (AAI 2015)]

### 3. 学術研究集会

- 3-1 松島由紀子, 船曳信生, 中西透, “忙しい人のための多種料理の調理順最適化アルゴリズム,” 第11回 IEEE 広島支部学生シンポジウム (HISS), pp.360-361, Nov. 2009. [優秀研究賞]
- 3-2 松島由紀子, 船曳信生, 中西透, “多種料理の調理手順スケジューリングアルゴリズムの複数調理者への拡張,” 電子情報通信学会技術研究報告, AI2010-13, pp.19-24, Aug. 2010.
- 3-3 松島由紀子, 船曳信生, 中西透, “調理手順最適化のための調理モデルの拡張と副調理者の役割変更の効果,” 電子情報通信学会技術研究報告, AI2010-34, pp.19-24, Nov. 2010.
- 3-4 岡田朋也, 松島由紀子, 谷口詩歩, 船曳信生, 中西透, 天野憲樹, “忙しい人のための Web を用いた手作り料理支援システムにおける献立作成・調理手順最適化機能の実装,” 電子情報通信学会技術研究報告, ET2010-128, pp.205-210, Mar. 2011.

- 3-5 松島由紀子, 船曳信生, 中西透, “多種料理の調理手順最適化アルゴリズムの拡張,” 電子情報通信学会技術研究報告, LOIS2012-12, pp.1-6, Aug. 2012.
- 3-6 岡田朋也, 松島由紀子, 船曳信生, 中西透, “手作り料理支援システムの調理ガイダンス機能のための Android アプリケーション,” 電子情報通信学会技術研究報告, LOIS2012-63, pp.91-96, Jan. 2013.
- 3-7 松島由紀子, 岡田朋也, 船曳信生, 中西透, 渡邊寛, “4種料理の調理での調理手順最適化アルゴリズム適用評価,” 電子情報通信学会総合大会講演論文集, Mar. 2013.
- 3-8 松島由紀子, 船曳信生, “作業時間変化に対する調理手順最適化アルゴリズムのロバスト性評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, LOIS2014-18, pp.5-10, Sep. 2014.

# 目次

2.1	キッチンレイアウト	7
2.2	料理の状態遷移図	9
2.3	調理者の状態遷移図	9
2.4	調理器具の状態遷移図	9
3.1	料理数の変化に対する3種の調理作業スケジュールによる総調理時間の比較	22
5.1	料理一覧表示画面	38
5.2	食材一覧表示画面	38
5.3	調理者選択画面	39
5.4	主調理者ガイダンス画面	40
5.5	副調理者ガイダンス画面	41
5.6	全調理者ガイダンス画面	42

# 表 目 次

3.1	SA（シミュレーテッド・アニーリング）のパラメータの評価結果	21
3.2	SAによる最適解の割合と実行時間	21
3.3	調理作業時間をランダムに変動させた場合の総調理時間（分）	23
3.4	調理者1名での実験のための調理作業スケジュール	24
3.5	調理者2名での実験のための調理作業スケジュール	25
4.1	動詞標準作業時間表	30
4.2	食材補正表	30
4.3	動作名詞補正表	30
4.4	副詞補正表の例	31
4.5	13種類の評価例題と正答率	34
4.6	調理実験における献立一覧	35
4.7	総調理時間の比較	36
5.1	調理実験での料理4品の調理作業（分）	42
5.2	調理時間結果	43



# 第1章 緒論

## 1.1 本研究の背景

手作り料理は、日々の健康管理や生活習慣の基盤として、多くの家庭で受け継がれている。一般の家庭では、例えば、夕食に一汁三菜を基本とする食事を摂ることで、栄養バランスの良い食生活を維持している。近年では、食育 [1] として、児童や生徒に食の重要性を伝えるなど、学校教育の現場にも取り入れられている。さらに、高齢化社会を迎えている現代では、生活習慣病 [2] を予防するために、塩分や油分の量を自身で調整できる手作り料理の重要性が高まっている。

一方、男女共同参画社会の構築が国の政策として取り組まれる時代となり、家庭での料理は、安価で健康的であることに加えて、より効率的であることが求められるようになってきている。共働きや核家族、単身赴任など、多様な生活環境が広がる現代では、食事の準備に長時間を費やすのは現実的ではない。平日の帰宅後は、できるだけ短時間でバランスの良い料理を作ることが望ましい。

また、一人暮らしの社会人やアルバイト学生にとっても、長時間労働などが影響して、健康的な食事を作ることは大きな負担である。そのため、外食やコンビニ弁当などに頼る生活が続き、摂取する栄養素に偏りが生じることが予想される。その結果、食事バランスガイド [3] に示されている、料理の望ましい組み合わせや栄養摂取量を確保できていないのが現状である。しかし、メタボリックシンドローム [4] といった言葉が日常で使われているように、健康指向およびコスト指向から、手作り料理を中心とした健全な食生活を送りたいと多くの人が望んでいる。

このような背景から、インターネット環境の発展に伴って、“cookpad” [5] や“all-recipes.com” [6] といった、SNS (Social Networking Service) を通じて家庭の手作り料理の知恵を相互に交換する Web サイトが注目されている。これらの Web サイトでは、一般のユーザが投稿したレシピや調理時間短縮の工夫に対して、別のユーザがコメントを追記可能となっている。また、ユーザが実際に調理してみた時の感想や使用した道具の情報をこれらのサイトに書き込むことで、知恵の集合体としての役割を果たしている。さらには、マルチメディアを活用した動画や写真での調理ガイダンスの機能、材料から献立を検索する機能、好みに合わせて献立を推薦する機能などが実装されており、これらの料理サイトからその日に調理する

料理を選択するユーザが増えている。

このように、IT技術の発達から、初心者に対する手作り料理のハードルは下がってきつつある。しかし、初心者が手作り料理として、栄養バランスを考えた献立のために、複数の料理を同時に作る場合、鍋やコンロなど、利用可能な調理器具の数が限られている中で、効率良く調理する手順を考えることは、容易ではない。思いつく順に調理した場合、すべての料理を作り終えるまでに許容できない時間を要したり、最初の方に作った料理が冷めてしまったりするといった問題が発生する。そのため、複数の手作り料理の調理は、初心者にはハードルの非常に高いものとなっている。

## 1.2 本研究の目的

そこで、本研究では、上記の問題を解決するために、調理時間の最小化を図る調理作業スケジュールの生成を目的として、調理時における調理者や調理器具の動きをモデル化した調理モデルと、それを用いて調理作業スケジュールを生成する、調理手順最適化アルゴリズムを提案する。また、Webで公開されているレシピを、調理モデルの入力形式に変換するためのレシピ変換アルゴリズムの提案を行う。さらに、調理作業スケジュールに沿って調理のガイダンスを行う調理ガイダンスシステムの実装を行う。以下に、各提案・実装の概要と目的について述べる。

### 1.2.1 調理モデル

調理モデルでは、複数料理の調理の開始順である料理順を入力として与えた場合に、制約を充たす中で、最大限、前詰めに実行する、調理作業スケジュールを生成する。同時に、それに必要な調理時間を推定する。そのために、事前に、調理者、まな板、コンロ、電子レンジ、流し台で構成されるキッチンレイアウトを与えておく。また、本モデルでは、制約条件の判定のために、切る、混ぜる、炒める、煮る、予熱する、おくの6種類の調理作業を定義している。料理順を変更しながら、調理モデルを繰り返し実行することで、最適な調理作業スケジュールを生成する。また、これとは別に、与えられた調理作業スケジュールと作業時間に従って、調理シミュレーションを行い、各料理の完成時刻と総調理時間を推定する、評価用調理モデルも与えている。

## 1.2.2 調理手順最適化アルゴリズム

調理手順最適化アルゴリズムでは、料理順を変えながら、調理モデルを繰り返し実行することで、目的関数を最小化する料理順を探索し、調理作業スケジュールを生成する。料理順の探索には、全数探索による方法とシミュレーテッド・アニーリング (SA) [7] による方法を採用する。本研究では、シミュレーションおよび実際の調理実験により、その有効性を示す。

## 1.2.3 レシピ変換アルゴリズム

レシピ変換アルゴリズムでは、Web で公開されているレシピを、6 種類の調理作業に分類し、調理モデルへの入力形式に変換するためのアルゴリズムを提案する。これにより、Web 上に公開されている膨大な数のレシピに対して、調理手順最適化アルゴリズムの利用を容易とする。レシピ変換アルゴリズムでは、レシピ中に出現する食材や調理作業の用語の中から、予め、6 種類の調理作業毎に設定しておくキーワードを検出することで、各調理作業への変換と作業時間の推定を行う。本研究では、13 種類の Web 公開レシピに対して本アルゴリズムを適用することで、その有効性を示す。

## 1.2.4 調理ガイダンスシステム

調理ガイダンスシステムでは、Android タブレット端末において調理のガイダンスを行う、調理ガイダンス機能を実装する。本ガイダンスシステムには、大きく分けて、献立確認機能、調理ガイダンス機能、調理時間計測機能の 3 つの機能があり、これらの機能を用いて、献立に含まれる全料理の調理作業を、実施すべきタイミングで調理者に提示する。本研究では、調理ガイダンスシステムを実装した Android 端末を用いた調理実験を行い、その有効性を示す。

## 1.3 本論文の構成

本論文では、以下の構成に従って、手作り料理の調理手順の最適化に関する研究成果の報告を行う。

2 章では、調理モデルを提案する。まず、キッチンレイアウトの定義を行う。次に、調理作業の定義を行い、料理、調理者、調理器具の状態と、その状態に遷移するための制約条件を定める。さらに、優先調理フラグと副調理者希望フラグについてそれぞれ述べ、調理モデルへの入出力と調理作業スケジュールの生成手順、

および、その目的関数について説明する。その上で、評価用調理モデルの定義を行う。最後に、本章のまとめを述べる。

3章では、調理手順最適化アルゴリズムを提案する。まず、調理作業時間の推定方法について述べる。次に、全数探索による最適解の生成とSAによる局所最適解の生成についてそれぞれ述べる。シミュレーションと調理実験により提案アルゴリズムの評価を行い、最後に、本章のまとめと今後の課題を述べる。

4章では、レシピ変換アルゴリズムを提案する。まず、提案アルゴリズムへの入力と提案アルゴリズムからの出力をそれぞれ示す。次に、調理作業時間を推定するための4種類の定数テーブルを定義する。その上で、各調理作業の作業時間推定のための計算式を定義する。さらに、レシピ変換アルゴリズムについて述べた後、提案アルゴリズムの評価を行い、最後に、本章のまとめと今後の課題を述べる。

5章では、調理ガイダンスシステムを実装する。まず、献立確認機能について述べる。次に、調理ガイダンス機能について述べ、続いて、調理時間計測機能について述べる。本ガイダンスシステムを用いた調理実験により本システムの評価を行い、最後に、本章のまとめと今後の課題を述べる。

6章では、本研究の関連研究を示す。

最後に、7章では、本研究のまとめを行い、今後の課題について述べる。

## 第2章 調理モデル

本章では、複数料理の調理にかかる時間の推定と、献立全体の調理作業スケジュールの生成のために、調理時における調理者や調理器具の動きをモデル化した、調理モデルについて述べる。

### 2.1 はじめに

手作り料理を取り巻く環境は、国の政策やIT技術の進歩による時代の変化に伴って、大きく変わってきている。日々の食事の準備において、これまで家庭内の限られた人だけがその役割を担ってきたのに対して、近年では、料理をしたことのないパートナーや子供でも、動画や写真などのガイダンスに従って、手軽に料理を作れるようになってきている。このようなマルチメディアを活用すれば、初心者であっても苦手意識を持たずに調理に携われると期待できる。しかし、Webサイトや書籍のレシピは、その料理だけを作るための手順が示されており、複数の料理を並行して効率良く作るための手順は示されていない。さらに、生活環境によって、鍋やコンロなどの調理器具の数が限られているため、複数の料理を並行して作ることは容易ではない。

そこで本章では、調理時間の最小化を図る調理作業スケジュールを生成するために、調理時における調理者や調理器具の動きをモデル化した調理モデルを定義する。本調理モデルでは、対象とするキッチンレイアウト、調理者数、その役割分担を予め与えることで、多様な調理環境・条件に対応する。

調理モデルでは、まず、調理者、まな板、コンロ、電子レンジ、流し台で構成されるキッチンレイアウトを与える。ここでは、器具数、調理者数などの変化に対して、柔軟に対応可能としている。さらに、本モデルでは、切る、混ぜる、炒める、煮る、予熱する、おくの6種類の調理作業を定義する。そして、各調理段階における、料理、調理者、調理器具の状態と、その状態に遷移するための制約条件を定める。

本モデルでは、入力として与える複数料理の料理単位での調理の開始順である料理順 $v$ に対して、それらの調理手順を、制約を充たす中で、最大限、前詰めに実行することで、その最小の調理時間を算出する。ここでは、コンロや電子レンジ

での調理時には、調理者の手が空くことから、別の手間のかかる作業を並行して実行できることに着目している。また、調理者には、すべての手順を実行する主調理者に加え、パートナー、子供といった、一部の手順のみを実行する副調理者の考慮を可能としている。これは、厚生労働省による雇用均等・両立支援 [8]、男性の育児参画を支援するイクメンプロジェクト [9] などにより、副調理者と一緒に料理する機会の増加が予想されるからである。

さらに、本章では、与えられたスケジュールと作業時間に従って、調理シミュレーションを行う評価用調理モデルを与える。本評価用調理モデルでは、スケジュールに従って実際の調理シミュレーションを行い、各料理の完成時刻と総調理時間を推定する。

以下、2.2節では、キッチンレイアウトの定義を行う。2.3節では、調理作業の定義を行う。2.4節では、料理、調理者、調理器具の状態と、その状態に遷移するための制約条件を定める。2.5節と2.6節では、優先調理フラグと副調理者希望フラグについてそれぞれ述べる。2.8節では、調理モデルへの入出力と調理作業スケジュールの生成手順、および、その目的関数について述べる。2.9節では、評価用調理モデルの定義を行う。最後に2.10節で本章のまとめを行う。

## 2.2 キッチンレイアウト

図2.1に、調理モデルで対象とするキッチンレイアウトを示す。調理場には、まな板、コンロ、電子レンジがそれぞれ複数個、流し台が1つ備えられている。まな板、コンロ、電子レンジは、同性能のものを指定した数だけ使用可能とする。鍋やボール、皿は調理に十分な数だけ備わっているとする。調理者は1名または2名とする。2名の場合は、優先して調理を担当する主調理者と、主調理者の補佐を行う副調理者としており、後者には、調理の苦手な配偶者や子供を想定している。また、簡単のために、調理に必要な食材はすべて事前に洗浄済みで料理毎に分けられていること、完成した料理の盛り付け時間は考えないこと、各手順の前後に食材や料理を置くスペースは十分にあることとしている。

## 2.3 調理作業の定義

調理モデルの各作業段階は、切る、混ぜる、炒める、煮る、予熱する、おくの6種類の調理作業で構成される。切るでは、まな板で食材の加工（皮むき、切断など）を行う。混ぜるでは、複数の食材を混ぜ合わせたり、捏ねたりする。炒めるでは、鍋とコンロを用いて、焦げ付きを防止するために、調理者が食材を攪拌し

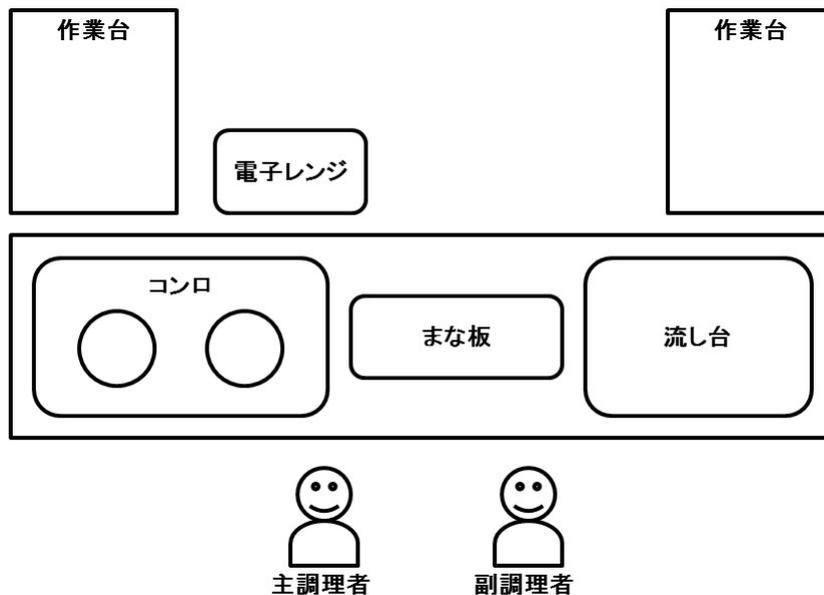


図 2.1: キッチンレイアウト

ながら加熱する。煮るでは、コンロを用いて、煮込む、焼く、茹でるなどの作業を、調理者の手間を掛けずに行う。予熱するでは、電子レンジを用いて、食材の解凍や下茹で、加温などを行う。おくでは、材料を冷ましたり、味を馴染ませたりするために、その料理の作業を一定時間中断する。

ここで、調理器具をすすぐ、フライパンに油をひく、食材を鍋に移すといった、各調理作業の前後に発生する短時間の作業については、それらの調理作業に含めることとする。

本モデルではまた、以下を仮定している。切る、混ぜる、炒めるは、調理者の手間を必要としており、手の空いた調理者のいる時のみ、実行可能である。それに対して煮る、予熱する、おくでは、調理者の手間がかからず、それらの作業と同時に進めることができる。なお、煮るの途中に食材を時々攪拌する作業については、短時間の作業となるため、調理者の手間とは考えない。

## 2.4 状態遷移と制約条件

ここでは、各調理段階における、料理、調理者、調理器具の状態と、その状態に遷移するための制約条件について述べる。

### 2.4.1 料理の状態遷移図

図 2.2 に、料理の状態変化を示す状態遷移図を示す。料理では、初期状態を準備段階とし、いくつかの調理作業を経由して完成に遷移する。準備段階は、野菜などの食材が加工作業に取りかけられる状態を表す。完成は、料理の全調理作業が終了し、完成した状態を表す。調理作業は複数個を並列に実行可能であることから、各料理は調理段階に応じて異なる状態に遷移する。ここで、「茹でてから煮込む」といった調理（煮る → 煮る）にも対応するため、各調理作業は同じ状態に繰り返し遷移可能としている。また、切る、混ぜる、炒める、煮る、予熱するへの遷移には、調理者や器具が空いている必要があることから、以下に示す条件を充たす場合に遷移可能となる。

1. 切るへの遷移には、調理者とまな板が空いていること
2. 混ぜるへの遷移には、調理者が空いていること
3. 炒めるへの遷移には、調理者、コンロが空いていること
4. 煮るへの遷移には、コンロが空いていること
5. 予熱するへの遷移には、電子レンジが空いていること

### 2.4.2 調理者の状態遷移図

図 2.3 に、調理者の状態遷移図を示す。調理者では、空きと作業中の2種類の状態がある。空きは、調理者の手が空いており、手間のかかる作業（切る、混ぜる、炒める）を担当できる状態を表す。作業中は、調理者が手間のかかる作業に従事している状態を表す。なお、本モデルでは、必要に応じて、調理者数、各調理者の実行可能な作業の指定、調理者の熟達度の設定が可能である。熟達度のレベルには、上級、中級、初級の3段階を設定可能としている。上級は、レシピに提示される標準時間の8割から半分程度の時間で調理できるレベル、中級は、標準時間で調理できるレベル、初級は、標準時間の2倍程度の作業時間がかかるレベルを想定している。

### 2.4.3 調理器具の状態遷移図

図 2.4 に、調理器具の状態遷移図を示す。まな板、コンロ、電子レンジの調理器具では、空きと使用中の状態がある。空きは、各調理器具が空いており、調理に

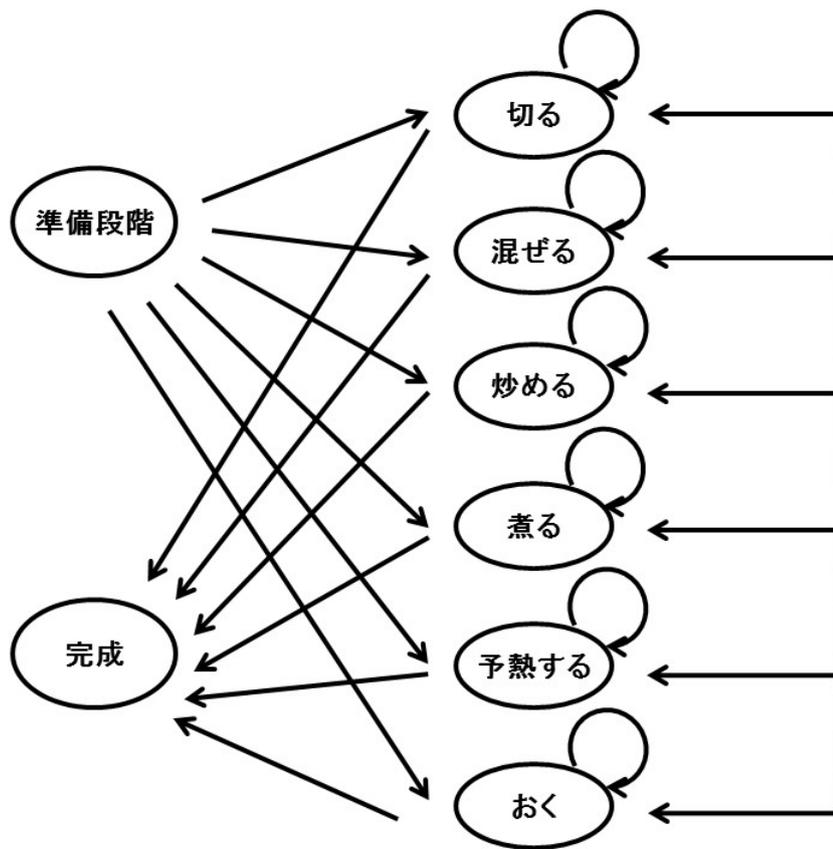


図 2.2: 料理の状態遷移図

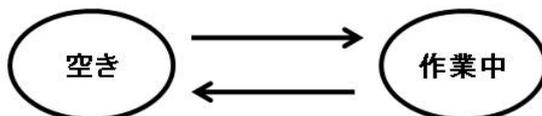


図 2.3: 調理者の状態遷移図

使える状態を表す。使用中は、調理器具が調理に使われている状態を表す。ここで、これらの調理器具の数も必要に応じて指定可能としている。

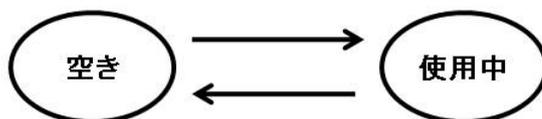


図 2.4: 調理器具の状態遷移図

## 2.5 優先調理フラグ

料理によっては、後に続く調理作業を連続して実施することを必要とする場合がある。例えば、「材料に火が通るまで炒めたらスープを足して煮込む」（炒める → 煮る）や、「皮をむいてすぐに 10 分間水にさらす」（切る → おく）が挙げられる。この解決策として、優先調理フラグを使用する。このフラグが ON の場合、次に実行する調理作業を探索する際に、その作業を優先して選択する。もし、調理者の状態が作業中であつたり、調理器具の状態が使用中であつたりするために、該当する作業を選択できない場合には、その制約となる調理者や調理器具が空き次第、優先して調理することとする。

## 2.6 副調理者希望フラグ

本モデルでは、副調理者に配偶者や子供を想定しているため、調理自体にそれほど興味を持っていなかったり、調理に不馴れであつたりすることが考えられる。本研究では、男女の共同参画支援や子供の食育促進を目的の一つとしていることから、副調理者が積極的に食事の準備に参加できるように、1 つの料理の調理作業を最初から最後まで連続して実施可能としている。

ある料理の副調理者希望フラグが ON の場合、その料理で実行可能な全ての調理作業を、副調理者に割り当てることとする。これにより、調理の流れを把握でき、次回に向けての調理能力の向上が期待できる。また、興味を持った料理を担当することで、食事の準備に関心を持って取り組むことも期待できる。

なお、副調理者が安全に食事の準備ができるように、副調理者の成長に応じた調理作業を割り当て可能としている。例として、副調理者が幼児の場合、包丁を使用する切るは危険として、混ぜるだけを割り当てるといった使い方ができる。

## 2.7 片付けチャンス

調理の初級者にとって、食事の準備と並行して、使用済みの鍋や包丁などの道具を洗浄するのは容易ではない。そこで、予め片付けチャンス判定時間を設定しておき、調理者に判定時間以上の待ち時間が生じた場合に、片付けの機会を通知することとしている。

## 2.8 調理作業スケジュールの生成

ここでは、調理モデルへの入出力と調理作業スケジュールの生成手順、および、その目的関数について述べる。

### 2.8.1 入力

本モデルへの入力を、以下に示す。

- 料理の必要人数（食数）： $m$
- 調理者・まな板・コンロ・電子レンジの数
- 主・副調理者の実行可能な調理作業
- 主・副調理者の熟達度
- 片付けチャンス判定時間（分）
- $n$  個の料理  $\mathcal{V} = \{1, \dots, n\}$ 
  - 料理  $i$  の料理名 ( $i \in \mathcal{V}$ )
  - 副調理者希望フラグ
  - 料理  $i$  の調理作業  $j$  での作業
    - \* 調理作業種類
    - \* 調理作業時間（分）
    - \* 優先調理フラグ
    - \* レシピ本文

### 2.8.2 出力

調理モデルの出力は、開始時刻、調理主体（調理者、調理器具）、料理、調理作業種類、調理作業時間、レシピ本文を含む、全料理の調理作業スケジュール  $\sigma$  である。

### 2.8.3 目的関数

本モデルでは、複数料理を「まとめ調理」する場合に加え、完成した料理を「直ぐに食べる」場合も対応可能としている。前者の場合、全体での調理時間の最小化が重要であるのに対し、後者の場合、最初と最後の完成料理の時刻差の最小化が重要である。そのため、それぞれの場合の目的関数を定義する。式(2.1)は前者の場合、式(2.2)は後者の場合を示す。ここで、 $C_i$ は、料理*i*が完成した時点での、調理開始からの経過時間(分)を表す。

$$f_1(\sigma) = \max_{i \in \mathcal{V}} C_i. \quad (2.1)$$

$$f_2(\sigma) = \max_{i \in \mathcal{V}} C_i - \min_{i \in \mathcal{V}} C_i. \quad (2.2)$$

### 2.8.4 調理シミュレーション

調理モデルでは、料理単位での調理の開始順である料理順 $\nu$ に従って、2.2節～2.7節の条件の下で、1分刻みで与えられる時刻*T*毎に、調理作業のシミュレーションを行うことで、各料理の完成時刻を推定する。ここで、現在調理中の作業で優先調理フラグがONの場合はその後続く調理作業を優先して選択する。

1. 時刻*T*を0で初期化する。
2. 現在調理中の作業の調理作業時間が経過したら、その作業を終了する。
3. ある料理が完成した場合、その料理の調理終了時刻を記録する。
4. 全ての料理が完成した場合、本シミュレーションを終了する。
5. ある調理者が空きの場合、次に実行する調理作業を決定し、その開始時刻を記録する。
6. コンロおよび電子レンジが空きの場合、次に実行する調理作業を決定し、その開始時刻を記録する。
7. ある料理の調理作業がおくになった場合、その開始時刻を記録する。
8. 時刻*T*を1分更新し、2.に戻る。

以下では、5.および6.について詳細を述べる。

## 2.8.5 調理者の調理作業の選択

時刻  $T$  において、ある調理者が空きであれば、次の手順に従って、料理順  $\nu$  の先頭から順に料理を調べ、この調理者が実行する調理作業を選択する。

1. 以下の4条件をすべて満たす最初の料理を、 $\nu$  の先頭から探索する。
  - (a) 完成でない
  - (b) 次に開始すべき調理作業が煮る、予熱する、おくでない（調理者が不要なため）
  - (c) 副調理者の場合、次に開始すべき調理作業が実行可能な作業である
  - (d) 主調理者の場合、副調理者希望フラグがONでない、もしくは、副調理者が次に開始すべき調理作業を実行できない
2. 1. で見つかった料理の次の作業が切るであれば、まな板の状態を確認し、以下を実行する。
  - (a) 1つのまな板の状態が空きであれば、この調理者とまな板にその料理の次に実行すべき調理作業をセットし、このまな板の状態を使用中に遷移させる。
  - (b) すべてのまな板の状態が使用中であれば、次の料理を調べるために、1. に戻る。
3. 1. で見つかった料理の次の作業が混ぜるであれば、この調理者にその料理の次に実行すべき調理作業をセットする。
4. 1. で見つかった料理の次の作業が炒めるであれば、コンロの状態を確認し、以下を実行する。
  - (a) 1つのコンロの状態が空きであれば、この調理者とコンロにその料理の次に実行すべき調理作業をセットし、このコンロの状態を使用中に遷移させる。
  - (b) すべてのコンロの状態が使用中であれば、次の料理を調べるために、1. に戻る。
5. 調理者が次に実行する調理作業が見つかった場合、調理者の状態を作業中に遷移させる。

## 2.8.6 コンロ・電子レンジの調理作業の選択

調理者と同様に，コンロあるいは電子レンジが空きであれば，次の手順に従って，料理順  $\nu$  の先頭から順に料理を調べ，その時刻にそれらが実行する調理作業を選択する．

1. 以下の2つの条件をすべて満たす最初の料理を， $\nu$  の先頭から探索する.
  - (a) 完成でない
  - (b) 次に開始すべき調理作業が切る，混ぜる，炒めるでない（調理者の手間が必要なため）
2. 1. で見つかった料理の次の作業が煮るであれば，そのコンロの状態を使用中に遷移させる．
3. 1. で見つかった料理の次の作業が予熱するであれば，その電子レンジの状態を使用中に遷移させる．

## 2.9 評価用調理モデル

本研究では，調理作業スケジュールが与えられた場合に，作業時間が変化する場合のシミュレーションを行うために，評価用調理モデルも実装している．本モデルでは，2.8.2 節で得られるスケジュールに従って調理シミュレーションを行い，その調理時間を求める．

### 2.9.1 入力と出力

評価用調理モデルへの入力は，3章で示す調理手順最適化アルゴリズムによる調理作業スケジュールと，実際の各調理作業時間である．また，本モデルの出力は，与えられた調理作業スケジュールおよび作業時間で調理した場合の総調理時間である．

### 2.9.2 評価用調理シミュレーション

評価用調理モデルでは，入力の調理作業スケジュールに従って調理シミュレーションを行うため，実行する調理作業の順序は固定されている．ある時刻  $T$  に開始できる作業は，入力のスケジュールの中で未着手となっている最初の作業であり，スケジュールの中で後に続く作業が前の作業を追い越すことがない．

ここで、スケジュールに指定された時刻よりも早く、次の調理作業に取りかかる条件が整った場合は、指定時刻を待たずに作業に取りかかることとする。一方、調理者または調理器具が他の作業に従事しているために、スケジュールの指定時刻に作業を開始できない場合は、それらが空になるまで待ち、空きとなった時刻で、その作業を開始することとする。

1. 時刻  $T$  を 0 で初期化する。
2. 現在調理中の作業の調理作業時間が経過したら、その作業を終了する。
3. ある料理が完成した場合、その料理の調理終了時刻を記録する。
4. 全ての料理が完成した場合、本シミュレーションを終了する。
5. 制約条件に従って入力スケジュールを先頭から探索し、次に実行する調理作業を決定し、その開始時刻を記録する。
6. 時刻  $T$  を 1 分更新し、2. に戻る。

## 2.10 おわりに

本研究では、忙しい人による毎日の手料理を支援することを目的として、調理モデルの提案を行った。ここでは、生活環境や調理場の状況に応じて調理者数や調理器具数を指定可能とした。さらに、調理モデルへの入出力と調理作業スケジュールの生成手順、および、その目的関数について述べた。また、与えられたスケジュールと作業時間に従って調理シミュレーションを行う評価用調理モデルを定義した。



## 第3章 調理手順最適化アルゴリズム

本章では，2章で提案した調理モデルで与えた制約条件に従って，目的関数を最小化する料理順 $\nu$ を探索し，調理作業スケジュールを生成する，調理手順最適化アルゴリズムを提案する．

### 3.1 はじめに

本アルゴリズムでは，食数や調理者の熟達度に応じて各料理の調理作業時間を推定する．一般に，書籍やWebサイトに掲載されているレシピには，調理にかかる時間が示されていない．その理由として，家族構成によって食事の量が異なることや，調理者のレベルによって，作業時間が大きく変わることが挙げられる．そこで，本アルゴリズムでは，食材の量や加工方法に応じた作業時間をレシピから推定する．さらに，調理者の熟達度によって調理時間を調整する．

料理順 $\nu$ の探索には，全数探索による方法とシミュレーティッド・アニーリング (SA) による方法を提案する．全数探索による方法では，最適な調理作業スケジュールを生成できるが，献立に含まれる料理数が増えるに従い，実用的な時間でのスケジュール生成が困難になる．そのような場合，SAによる探索を行い，短時間で精度の良いスケジュールを探索することとする．提案アルゴリズムでは，料理数が7以下の場合に全数探索による $\nu$ の探索を行い，8以上ではSAを用いることとしている．

提案アルゴリズムでは，生成された調理作業スケジュールを走査し，調理者に一定時間の待ち時間が生じた場合に，片付けチャンスのメッセージを挿入する．調理の初級者にとって，食事の準備と並行して，使用済みの鍋や包丁などの道具を洗浄するのは容易ではない．その結果，片付けの手間が理由で手作り料理を避けることも考えられる．そこで，スケジュール内で予め片付けの時間を指示することで，手作り料理に対する負担の軽減が期待できる．

本章では，以上の評価として，シミュレーションによる調理時間の評価と，実際の調理実験を行う．調理シミュレーションによる評価では，全数探索とSAによる解の比較，総調理時間短縮の効果，調理作業スケジュールのロバスト性の評価

の3点を行う。調理実験による評価では、実際に調理者1名と2名による調理をそれぞれ行い、その結果について考察する。

以下、3.2節では、調理作業時間の推定方法について述べる。3.3節と3.4節では、全数探索による最適解の生成とSAによる最良解の生成についてそれぞれ述べる。3.6節で提案アルゴリズムの評価を行い、3.7節で本章のまとめと今後の課題を述べる。

## 3.2 調理作業時間の推定

調理作業スケジュールの最適化にあたり、各調理作業の作業時間を推定する。レシピに与えられる調理作業時間は、多くの場合、煮込み時間や電子レンジでの予熱時間、生地の手回し時間などに限られており、通常、その他の作業時間は指定されない。特に、切るは食材の量や調理者の熟達度に影響されやすいため、レシピに提示されることはほとんどない。そこで本節では、食数と調理者の熟達度から各料理の作業時間を推定する。

### 3.2.1 食数による推定

料理の食材量は、1人分の量と食数の積となることから、切るに要する時間も食数に比例して増加する。一方、炒める、煮る、予熱するでは、食材が増えることで鍋の温度上昇が遅れが生じるが、切るに比べてその影響は小さいと考えられる。同様に、混ぜる、おくについても食数による影響は小さいものと考えられる。そこで、食数を  $m$  とした場合、切るの作業時間を1人分の  $m$  倍とする。混ぜる、炒める、煮る、予熱する、おくの作業時間については、1人分の  $(1 + 0.1 \cdot m)$  倍とする。なお、4章に示すレシピ変換アルゴリズムにより、Web上に公開されているレシピの調理時間を推定した場合は、その結果を優先し、3.2.2節に示す熟達度の調整のみを行うこととしている。

### 3.2.2 熟達度による推定

同じ食材量を加工する場合でも、調理者の熟達度が上級であれば短時間で作業を終えられるのに対して、初級であれば、推定よりも調理に時間がかかることが予想される。そこで、調理者の熟達度に応じて調理作業時間を増減できるように、これまでに推定した作業時間と熟達度係数との積を調理作業時間とする。熟達度係数は調理者により設定可能とし、上級の作業時間は1人分の0.8倍、中級はそのまま、初級は2倍とする。この熟達度係数は、調理者により設定可能としている。

### 3.3 全数探索による最適解の生成

調理作業スケジュールを生成する際、調理モデルでは、料理順  $\nu$  に従って調理のシミュレーションを行い、目的関数 (2.1) または (2.2) が最小となる  $\nu$  を決定する。ここで、料理の数が7以下の場合、全数探索により全ての組み合わせの  $\nu$  を、実用的な時間内で探索することが可能である。一般に、日々の生活において、一度の食事で調理する料理の数は多くても5品程度と考えられるため、本アルゴリズムにより、最適な調理作業スケジュールが得られる。

### 3.4 SA による局所最適解の生成

調理する料理の数が多く場合は、SA に基づいて料理順  $\nu$  の採否を決定し、最良解を求める。本アルゴリズムでは、 $\nu$  の初期値をランダムに与える。それ以降は、現在の料理順  $\nu$  において、ランダムに選択した隣同士の料理の順序を交換することで、新しい  $\nu$  を生成する。 $\sigma_{old}$  を前回の  $\nu$  から生成された調理作業スケジュール、 $\Delta$  を両者での目的関数値の差 ( $= f(\sigma) - f(\sigma_{old})$ ) とする。この時、 $\Delta$  が0以下であれば確率1、そうでなければ確率  $e^{-\frac{\Delta}{t}}$  で  $\nu$  を受領する。ここで、 $t$  はSAの温度パラメータである。

### 3.5 片付けチャンス指示の挿入

生成された調理作業のスケジュールを走査し、調理者に一定以上の待ち時間が生じた場合に、スケジュールに片付けチャンスのメッセージを追加する。

### 3.6 調理手順最適化アルゴリズムの評価

本節では、2章で述べた調理モデルと調理手順最適化アルゴリズムをJava言語で実装し、それらの評価を行う。まず、調理シミュレーションによる評価では、全数探索とSAによる解の比較、総調理時間短縮の効果、調理作業スケジュールのロバスト性の評価の3点を行う。次に、調理実験による評価では、5章に示す、Androidタブレットによる調理ガイダンスシステムを用いて、実際に調理者1名と2名による調理をそれぞれ行った結果について考察する。

### 3.6.1 評価環境

シミュレーション用の評価データとして、100個のWeb公開レシピを“AJINOMOTO Park” [10]と“me:new” [11]からランダムに収集した。それらの各レシピを、4章で示すレシピ変換アルゴリズムを用いて、6種類の調理作業に変換した。本シミュレーションでは、同時に調理する料理の数  $n$  を2~10に変えて評価を行った。ランダムに料理を選択することで、各料理数について100組の献立を生成し、その平均値で評価した。

調理モデルへの入力パラメータとして、食数4、まな板数1、コンロ数2、電子レンジ数1とした。調理者は主調理者と副調理者の2名とし、主調理者は普段から調理に慣れた人を想定して、全調理作業を実行可能とした。副調理者は調理器具の扱いに不慣れな児童を想定して、切るを実行可能な調理作業から除くこととした。熟達度は両調理者とも中級とした。なお、本評価における目的関数は式(2.1)を採用した。

### 3.6.2 SAのパラメータ設定

本節では、評価に用いたSAのパラメータについて述べる。以下に示すSAの各パラメータ  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  の値については、本研究グループが行ったシミュレーションにより、 $k_1 = 5$ ,  $k_2 = 20$ ,  $k_3 = 10$  とした。本シミュレーションでは、2~10種類の料理を一度に作ることで、評価用データとして用意した100個のレシピからランダムに料理を選択し、各料理数につき100組の献立を生成した。これらの献立を入力として、SAによる局所最適解を評価した。表3.1の評価結果より、 $f_1 = 64$ となる  $k_1 \sim k_3$  を採用した。ここで、SAの温度降下係数を0.95 [7]とし、これに乗じることで、徐々に温度を下げていく。なお、ある温度で  $\nu$  の更新が一度も起こらない場合、もしくは、温度降下回数を満たした場合に、アルゴリズムを終了する。

- 初期温度 :  $t = k_1 \times n$
- 温度降下回数 :  $k_2 \times n$
- 各温度での料理順  $\nu$  の生成回数 :  $k_3 \times n$

### 3.6.3 全数探索とSAによる解の比較

本節では、全数探索とSAによる、アルゴリズムの実行時間の比較を行う。評価に用いたPCでは、OSがWindows7 Home Premium、CPUがIntel Core i5-2450M 2.50GHz、メモリが4.00GBである。

表 3.1: SA のパラメータの評価結果

$k_1$	$k_2$	$k_3$	$f_1$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$f_1$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$f_1$
5	5	5	81	10	5	5	85	20	5	5	87
5	5	10	84	10	5	10	85	20	5	10	88
5	5	20	83	10	5	20	86	20	5	20	89
5	10	5	72	10	10	5	70	20	10	5	77
5	10	10	66	10	10	10	74	20	10	10	76
5	10	20	72	10	10	20	75	20	10	20	77
5	20	5	72	10	20	5	65	20	20	5	67
<b>5</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>64</b>	10	20	10	70	20	20	10	72
5	20	20	68	10	20	20	66	20	20	20	69

表 3.2 に、各料理数に対して、SA によって生成した 100 種類の調理作業スケジュールの中で最適解に到達した割合と、全数探索および SA での平均実行時間を示す。

全数探索と SA を比較した結果、表 3.2 より、料理数  $n = 6$  までは全数探索の実行時間が短いことがわかる。さらに、 $n = 7$  までは 1 秒未満で最適解を生成していることから、料理数  $n = 7$  以下の場合には全数探索を、それ以上の場合には SA を用いることが有効であると言える。

表 3.2: SA による最適解の割合と実行時間

料理数 $n$	SA による 最適解の 割合 (%)	SA による 実行時間 (秒)	全数探索の 実行時間 (秒)
2	100	0.0769	0.0004
3	100	0.1269	0.0004
4	99	0.1934	0.0025
5	94	0.2747	0.0145
6	93	0.3705	0.1182
7	89	0.4627	0.9936
8	87	0.5800	9.8695
9	88	0.6908	106.2833
10	91	0.8635	313.4160

### 3.6.4 総調理時間短縮の効果

提案アルゴリズムによる総調理時間短縮の効果を評価するために、料理数  $n$  を 2~10 まで変化させた場合の、3種の調理作業スケジュールによる総調理時間の比較を行った。図 3.1 にその結果を示す。逐次調理は、調理作業間での平行調理を行わず、全ての調理作業時間を合計した値を総調理時間とした。調理モデル上でのランダム料理順は、本調理モデルにより求めた総調理時間の初期解である。アルゴリズムスケジュールは、本調理モデルに提案アルゴリズムを適用して生成した最適または局所最適解の総調理時間である。調理モデル上でのランダム料理順は逐次調理と比べて平均で 34% の時間を削減できている。アルゴリズムスケジュールでは、さらにそこから 9.6% の時間を削減できることが明らかとなり、本調理モデルと提案アルゴリズムの有効性が示された。

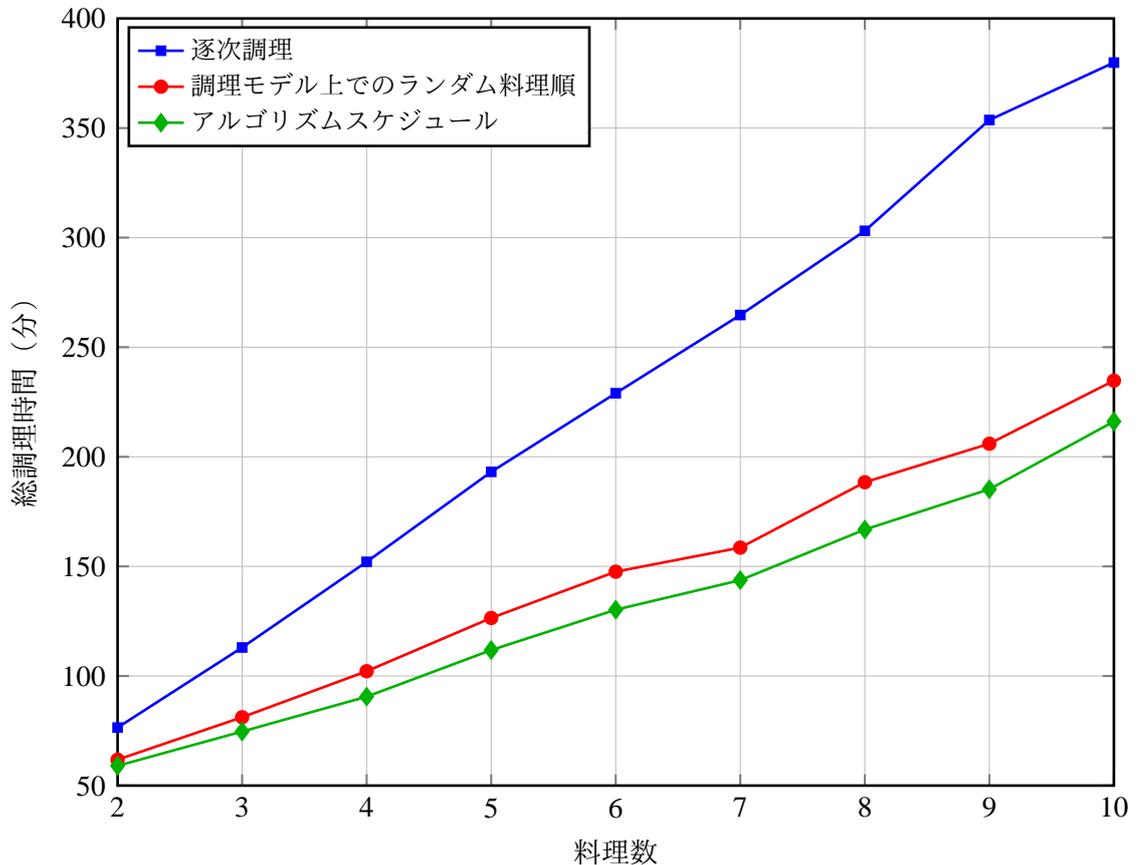


図 3.1: 料理数の変化に対する 3種の調理作業スケジュールによる総調理時間の比較

### 3.6.5 調理作業スケジュールのロバスト性の評価

日々の調理では、食材の固さや形、気温などが原因で各作業時間が変化し、調理作業スケジュール通りに調理できるとは限らない。そこで本節では、提案アルゴリズムによって生成された調理作業スケジュールの作業時間の変化に対するロバスト性を評価する。そのため本シミュレーションでは、3.2節の調理作業時間に対して30%の範囲でランダムな変化を与えた。

評価のために、提案アルゴリズムを用いて調理作業スケジュールを生成する場合と、2.9節の評価用調理モデルを用いてシミュレーションを行う場合で、2種類の調理作業時間を用いた。すなわち、標準の作業時間とそれをとランダムに増減させた作業時間である。まず、標準時間での調理では、両方の場合で標準の調理作業時間を与えた。現実の調理では、評価用調理モデルにランダム増減時間を与えた。理想の調理では、両方の場合でランダム増減時間を与えた。

表3.3に、料理数3~7において、それぞれ100組の献立を生成した場合の総調理時間の平均とその標準偏差を示す。表3.3の結果より、これらの3ケースにおいて、総調理時間にほとんど差がないことが明らかとなった。すなわち、各料理の調理作業時間の入力値を用いて調理手順最適化アルゴリズムを実行した場合のスケジュールは、調理作業時間の増減に対してロバストであると言える。

表 3.3: 調理作業時間をランダムに変動させた場合の総調理時間 (分)

	標準時間 での調理		現実の 調理		理想の 調理	
提案アルゴリズム	標準時間		標準時間		ランダム増減	
評価用調理モデル	標準時間		ランダム増減		ランダム増減	
料理数 $n$	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
3	74.26	23.22	75.06	24.04	74.67	23.96
4	92.16	22.53	92.40	22.74	91.72	22.27
5	115.75	31.91	117.10	32.23	116.44	32.27
6	133.16	30.27	133.39	30.00	132.82	30.28
7	148.23	33.68	149.29	32.98	148.38	33.59

### 3.6.6 調理者1名での調理実験

本節では、調理者1名での調理実験の結果を示す。評価例題として、なすのチリソース炒め、トマトサラダ、コンソメスープ、きゅうりの浅漬の4品の調理

を行った。表 3.4 に、提案アルゴリズムによる調理作業スケジュールを示す。アルゴリズムによる総調理時間が 40 分であるのに対して、調理実験では 38 分で調理を終えた。2 分の誤差があったが、概ねスケジュール通りに調理できたと言える。

表 3.4: 調理者 1 名での実験のための調理作業スケジュール

開始時刻	調理者	料理	調理作業	作業時間 (分)
0	主調理者	トマトサラダ	切る	5
0	コンロ 1	コンソメスープ	煮る	6
5	主調理者	トマトサラダ	切る	2
7	主調理者	コンソメスープ	混ぜる	1
8	主調理者	トマトサラダ	混ぜる	2
10	主調理者	きゅうりの浅漬け	切る	3
13		きゅうりの浅漬け	おく	10
13	主調理者	なすのチリソース炒め	切る	5
18	主調理者	なすのチリソース炒め	切る	7
25	主調理者	きゅうりの浅漬け	混ぜる	3
28	主調理者	きゅうりの浅漬け	混ぜる	2
30	主調理者	きゅうりの浅漬け	混ぜる	1
31	主調理者	なすのチリソース炒め	炒める	4
35	主調理者	なすのチリソース炒め	炒める	2
37	主調理者	なすのチリソース炒め	炒める	1
38	主調理者	なすのチリソース炒め	炒める	2
アルゴリズムによる総調理時間 (分)				40
調理実験 (分)				38

### 3.6.7 調理者 2 名での調理実験

2 つ目の調理実験として、主調理者と副調理者の 2 名での実験を行った。評価例題として、豚肉と大根の中華炒め、もやしとツナのカレーマヨサラダ、たたききゅうりとツナのサラダ、えのきのたまごスープの 4 品を調理した。表 3.5 に提案アルゴリズムによる調理作業スケジュールを示す。アルゴリズムによる総調理時間が 31 分であるのに対して、調理実験では 35 分で調理を終えた。この 4 分の誤差の原因として、副調理者が調理場に慣れていないために、調味料や調理器具の場所がわからず、たびたび主調理者の作業を中断していたことが挙げられる。

表 3.5: 調理者 2 名での実験のための調理作業スケジュール

開始時刻	調理者	料理	調理作業	作業時間 (分)
0	副調理者	えのきのたまごスープ	混ぜる	6
0	主調理者	豚肉と大根の中華炒め	切る	3
3	主調理者	豚肉と大根の中華炒め	混ぜる	3
6	副調理者	もやしとツナのカレーマヨサラダ	混ぜる	2
6	主調理者	豚肉と大根の中華炒め	切る	3
8	電子レンジ	もやしとツナのカレーマヨサラダ	予熱する	6
9	主調理者	豚肉と大根の中華炒め	切る	2
11	副調理者	豚肉と大根の中華炒め	炒める	3
11	主調理者	えのきのたまごスープ	切る	3
14		もやしとツナのカレーマヨサラダ	おく	2
14	コンロ 1	えのきのたまごスープ	煮る	5
14	副調理者	豚肉と大根の中華炒め	炒める	3
14	主調理者	たたききゅうりとツナのサラダ	切る	5
17	副調理者	豚肉と大根の中華炒め	混ぜる	3
19	主調理者	えのきのたまごスープ	混ぜる	2
20	副調理者	豚肉と大根の中華炒め	混ぜる	1
21	副調理者	えのきのたまごスープ	混ぜる	2
21	主調理者	たたききゅうりとツナのサラダ	切る	1
22	主調理者	たたききゅうりとツナのサラダ	混ぜる	1
23	副調理者	たたききゅうりとツナのサラダ	混ぜる	5
23	主調理者	もやしとツナのカレーマヨサラダ	混ぜる	5
28	副調理者	たたききゅうりとツナのサラダ	混ぜる	1
28	主調理者	もやしとツナのカレーマヨサラダ	混ぜる	1
29	主調理者	もやしとツナのカレーマヨサラダ	切る	2
アルゴリズムによる総調理時間 (分)				31
調理実験 (分)				35

### 3.7 おわりに

本研究では、複数料理の手作り料理支援を目的として、調理手順最適化アルゴリズムの提案とその検証を行った。評価として、調理シミュレーションと調理実験を行い、提案アルゴリズムの有効性が明らかとなった。今後の課題には、Webに掲載のレシピの活用を視野に入れたレシピデータベースの構築や、調理者の個性を反映した調理作業スケジュールの生成などが挙げられる。



## 第4章 レシピ変換アルゴリズム

本章では、Web で公開されているレシピを、2章で定義した調理モデルへの入力形式に変換するためのレシピ変換アルゴリズムを提案する。

### 4.1 はじめに

調理モデルでは、調理作業として、切る、混ぜる、炒める、煮る、予熱する、おろしの6種類を定義しており、各料理のレシピは、この6種類の調理作業の組合せで表現できるものとしている。その上で、調理作業毎に定義された、調理者や調理器具に関する制約条件を考慮しながら、与えられた調理時間に基づき、調理作業のスケジュールを生成する。そのため、調理手順最適化アルゴリズムを用いて、Web 上に公開されている料理レシピに対するスケジュールを作成する場合、各レシピを、これら6種類の調理作業の組合せに変換することが必要となる。その際、調理作業毎の作業時間の推定も必要となる。

その背景として、最近では、一般家庭へのブロードバンドインターネット環境の普及から、“coocpad” [5], “allrecipes.com” [6] といった、ユーザ参加型の料理レシピサイトが増加している。ユーザ参加型料理レシピサイトでは、ユーザが独自のレシピを投稿したり、それを見たユーザが実際に料理を作ってみた際の感想やコメントを投稿することが可能である。すなわち、「投稿する」、「閲覧する」、「コメントする」など、双方向にコミュニケーションを行える特徴がある。このようなサイトの増加により、これまで家庭内だけで伝承されてきた料理の知恵や工夫が、インターネット上に公開されるようになり、家に居ながらにして、膨大な数のレシピを入手できるようになっている。このような環境から、Web 上の一般レシピを活用し、調理時間短縮を目的としたスケジュールを生成することは、有用性が高いと考えられる。

そこで本章では、Web 公開レシピを、調理モデルの入力形式に変換する、レシピ変換アルゴリズムを提案する。これにより、Web 上に公開されている膨大な数のレシピに対して、調理手順最適化アルゴリズムの利用を容易とする。本アルゴリズムでは、レシピ中出现する食材や調理作業の用語の中から、予め、6種類の調理作業毎に設定しておくキーワードを検出することで、各調理作業への変換と

所用時間の推定を行う。

提案するレシピ変換アルゴリズムでは、まず、形態素解析により、レシピを品詞の集合に分解する。次に、品詞の中から動詞を検出し、予め用意しておく定数テーブルを用いて、動詞毎の調理作業への分類と、その作業時間を求める。その際、作業時間をできるだけ正確に推定するため、食材の固さや形状による作業時間の変化と、「乱切り」、「みじん切り」といった「切り方」の違いによる調理者の手間を考慮する。また、「じっくり煮込む」や「さっと炒める」といった、調理方法の修飾子による作業時間の調整も行うこととしている。本アルゴリズムでは、動詞標準作業時間表、食材補正表、動作名詞補正表、副詞補正表の4種類のテーブルを用意しておき、それらを用いて作業時間の補正を行う。

以下、4.2節と4.3節では、提案アルゴリズムの入力と出力を示す。4.4節では、調理作業時間を推定するための4種類の定数テーブルを定義する。4.5節では、各調理作業の作業時間推定の計算式を定義する。4.6節では、レシピ変換アルゴリズムについて述べる。4.7節で提案アルゴリズムの評価を行い、4.8節で本章のまとめと今後の課題を述べる。

## 4.2 アルゴリズムの入力

提案アルゴリズムへの入力を以下に示す。ここでは、各作業の所用時間をより正確に推定するため、料理  $i$  で使用する材料、調味料、その分量も与えられているものとしている。

- $n$  個の料理 :  $\mathcal{V} = \{1, \dots, n\}$ 
  - 料理  $i$  ( $i \in \mathcal{V}$ )
    - \* 料理名
    - \* 材料および調味料
    - \* 材料および調味料のグラム数
    - \* レシピ本文

## 4.3 アルゴリズムの出力

提案アルゴリズムからの出力を以下に示す。これらのデータは、調理モデルへの入力となる。

- $n$  個の料理 :  $\mathcal{V} = \{1, \dots, n\}$

- 料理  $i$  の料理名 ( $i \in \mathcal{V}$ )
- 料理  $i$  の調理作業  $j$  での作業
  - \* 調理作業種類：切る，混ぜる，炒める，煮る，予熱する，おく
  - \* 調理作業時間（分）
  - \* 優先調理フラグ
  - \* レシピ本文

## 4.4 変換用定数テーブル

本アルゴリズムでは，調理作業時間をできるだけ正確に推定するために，以下の4種類の定数テーブルを予め定義しておく．これにより，食材の固さや形状による加工時間の増減に加え，「乱切り」や「みじん切り」といった切り方の違いによる調理者の手間や，「じっくり煮込む」「さっと炒める」といった，加熱の仕方の違いによる調理時間の調整を行う．ここで，これらの表は，日本語の漢字とその送りがな，ひらがな，カタカナによる表記のゆらぎを防ぐために，レシピに使用される用語をカタカナに統一して登録する．

- 動詞標準作業時間表
- 食材補正表
- 動作名詞補正表
- 副詞補正表

### 4.4.1 動詞標準作業時間表

表 4.1 に動詞標準作業時間表を示す．ここでは，「切る」や「ゆでる」，「焼く」といった動詞に対する調理作業の標準作業時間と，それらの動詞が分類される調理作業を登録する．

### 4.4.2 食材補正表

表 4.2 に食材補正表を示す．ここでは，材料の加工しやすさによる調理時間の増減を補正するために，食材とその補正係数を登録する．この補正係数は食材の量に比例するため，食材の単位あたりのグラム数も併せて登録する．

表 4.1: 動詞標準作業時間表

動詞	調理作業	標準作業時間(分)
キル	切る	2.0
ユデル	煮る	2.5
ヤク	炒める	1.6
マゼル	混ぜる	0.8
⋮	⋮	⋮

表 4.2: 食材補正表

食材	補正係数	食材の単位あたりのグラム数
ニンジン	1.4	150
ジャガイモ	1.6	120
タマネギ	1.5	160
ブタニク	1.8	200
⋮	⋮	⋮

#### 4.4.3 動作名詞補正表

表 4.3 に動作名詞補正表を示す。ここでは、「みじん切り」のように、その作業時間が標準作業時間から大幅に変更される可能性のある加工方法を対象とする。ここでは、加工方法を表す動作名詞、補正係数、分類される調理作業を登録する。

表 4.3: 動作名詞補正表

動詞名詞	調理作業	補正係数
ランギリ	切る	1.4
ミジンギリ	切る	2.5
ユドオシ	炒める	0.5
アクヌキ	おく	2.0
⋮	⋮	⋮

#### 4.4.4 副詞補正表

表 4.4 に副詞補正表を示す。ここでは、「じっくり」「しっかり」「軽く」といった、調理の程度を表す副詞とその補正係数を登録する。

表 4.4: 副詞補正表の例

副詞	補正係数
ジックリ	1.7
サット	0.5
ヨク	1.3
カルク	0.3
⋮	⋮

## 4.5 調理作業時間計算式

次に，各調理作業の作業時間推定のための計算式を定義する．ここでは，ある調理を行う動詞の対象となる食材それぞれに計算式を生成し，その計算結果の合計を求めることで調理時間を推定する．例えば，「人参とジャガイモを煮込む」では，煮込む対象である「人参」と「ジャガイモ」のそれぞれに対して計算式を生成し，推定の作業時間をこれら2つの計算式の合計とする．

調理作業の中で切るは食材によって加工時間に差が出るため，切る作業の場合とそれ以外の作業の場合に分けて，2種類の計算式の定義を行った．その際，切る作業では，食材ごとの加工時間を求め，合計する．それ以外の作業では，作業時間が食材のグラム数の総和に比例しないことがあるため，傾き  $\gamma$  を乗じることによって作業時間の調整を行う．

- 一つの動詞の調理時間： $T_v$
- 一つの動詞が対象とする食材の数： $l$
- 動詞標準作業時間： $V$
- $i$  番目の食材
  - 食材補正係数： $I_i$
  - 食材の単位あたりのグラム数： $g_l^i$
  - 動作名詞補正係数： $N_i$
  - 使用しているグラム数： $g_U^i$
  - 食材固定作業時間： $\alpha$
- 副詞補正係数： $A$
- 単位グラム数： $g = 100$

- 調味料固定作業時間： $\beta$
- 傾き： $\gamma = 1 - \sqrt{\frac{g_U^i}{g}} \times 0.1$

調理作業が「切る」の場合、調理作業時間計算式は以下となる。

$$t_{cut}^i = V \times I \times \frac{g_U^i}{g_I^i} \times N_i \times A + \alpha \quad (4.1)$$

$$T_v = \sum_{i=1}^l t_{cut}^i \quad (4.2)$$

調理作業が「切る」以外の場合、調理作業時間計算式は以下となる。

$$t_{other}^i = V \times \frac{g_U^i}{g} \times N_i \times A \quad (4.3)$$

$$T_v = \gamma \times \sum_{i=1}^l t_{other}^i + \beta \quad (4.4)$$

## 4.6 アルゴリズム

本節では、レシピ変換アルゴリズムについて述べる。まず、形態素解析により、レシピを品詞の集合に分解する。次に、その中で動詞を検出し、動詞で調理作業種類を分類するとともに、それが対象とする食材の作業時間を求める。その時間に対して補正を行い、この作業の作業時間を推定する。これをレシピの末尾まで繰り返すことで、レシピ変換を行う。

### 4.6.1 品詞分解

本アルゴリズムでは、まず、レシピ全体を形態素解析エンジン“kuromoji” [12]に入力し、品詞の集合に分解する。例として、「にんじん、玉ねぎを乱切りし、じっくり煮込む」は、「にんじん (名詞)」、「, (記号)」、「玉ねぎ (名詞)」、「を (助詞)」、「乱切り (名詞)」、「し (動詞)」、「, (記号)」、「じっくり (副詞)」、「煮込む (動詞)」に分解される。ここで、品詞に分解された単語をレシピトークンと呼ぶこととする。このレシピトークンに含まれる情報を以下に示す。

- 原単語
- 単語の読み(カタカナ)

- 単語の品詞
- 食材フラグ
- 使用済フラグ

食材フラグは、そのレシピトークンが食材の時、ONとする。これは、名詞属性のレシピトークンの「単語の読み(カタカナ)」が材料の一覧に含まれているか否かにより判別する。使用済フラグは、そのレシピトークンが既にレシピ変換に使われているか否かを示す。

#### 4.6.2 調理作業分類と作業時間推定

レシピを6種類の調理作業に分類し、作業時間を推定するために、まず、レシピ本文を動詞毎に分割し、セグメントの集合に分ける。一つのセグメントを一つの作業とみなし、動詞標準作業時間表(表4.1)から、その調理作業と標準作業時間を取得する。次に、そのセグメントの中から食材フラグがONのレシピトークンを抽出し、式(4.1)または式(4.3)を生成する。ここで、そのようなレシピトークンがセグメント内に存在しない場合、1つ前のセグメントに遡って食材を抽出する。

続いて、食材の数だけ生成された計算式に、動作名詞補正と副詞補正を行う。動作名詞補正については、そのセグメント内の食材フラグがOFFのレシピトークンを動作名詞補正表(表4.3)に問い合わせ、表に登録されている場合、補正係数を式に反映させる。副詞補正についても同様に副詞補正表(表4.4)に問い合わせ、登録されている場合、補正係数を式に反映させる。全ての補正を終えた後、全ての式の計算結果の総和を求め、その調理作業の作業時間とする。

#### 4.6.3 調理作業の結合

レシピ本文の末尾まで変換を終えた後、同じ調理作業が連続する場合、それらを一つにまとめる。この時、対応する調理時間も合計する。これは、同じ調理作業の場合、調理者にまとめて提示した方がわかりやすいためである。

最後に、本アルゴリズムは複数の料理を一度に入力できるため、各料理の出力を一つのファイルにまとめ、これを、調理モデルの入力とする。

## 4.7 評価

本章では，提案するレシピ変換アルゴリズムの評価を行う．まず，13種類のWeb公開レシピを入手し，本アルゴリズムの適用結果と，手作業での調理作業の分類結果の比較を行う．次に，作業時間推定の評価のために，アルゴリズムによる変換結果と，手作業によるレシピ変換結果をそれぞれ調理モデルに入力し，総調理時間の比較を行う．本アルゴリズムもJava言語で実装している．

### 4.7.1 調理作業の変換率の評価

評価例題として，“Ajinomoto Park” [10]と“me:new” [11]の2つのWebサイトから選んだ13種類の料理を表4.5に示す．まず，これらのレシピ本文を手作業で調理作業に分類した．次に，同じレシピ本文を提案アルゴリズムに入力して得られた分類結果を比較することで，その正答率を測定した．

表 4.5: 13 種類の評価例題と正答率

料理番号	料理名	正答率 (%)
1	オクラの醤油ガーリックトースト焼き	67
2	簡単レンチンお弁当オイマヨごまサラダ	75
3	ピーマンと豚肉の中華炒め	100
4	味噌汁	100
5	肉じゃが	94
6	豚バラと白菜の重ね鍋	89
7	大根と人参のごまマヨあえ	100
8	豚のしょうが焼き	82
9	豚肉とごぼうの黒酢炒め	100
10	マカロニポテトサラダ	100
11	厚揚げとシャキシャキ玉ねぎの照り焼きハンバーグ	100
12	えびと厚揚げのチリソース煮	90
13	細切り豚肉とピーマンの炒めもの	96

表 4.5 より，レシピによる多少のばらつきはあるが，13種類の料理の85%については，正答率80%以上の結果が得られた．料理番号1，2，8の正答率が低いのは，「加熱する」，「温める」といった表現がレシピ本文に含まれており，これだけでは，煮ると炒めるのどちらに分類すべきか判断できないためである．レシピ中の他の用語を考慮することで，正答率を改善する必要があると考えられる．また，料理に特有の用語を，形態素解析のデータベースに登録することで，レシピ変換率の向上を図ることも必要である．

## 4.7.2 総調理時間の評価

本研究では，総調理時間の正確な推定が最も重要となる．まず，人による調理実験を繰り返し，動詞標準作業時間表と3つの補正表の補正係数が実験結果に近づくように，それらの値の修正を行った．ここでは，料理数を2から4に変化させて7種類の献立を作成して調理実験を行い，表の値を修正した．なお，正確さのために，全ての料理を手作業で調理作業に分類した．表4.6に調理実験で用いた献立の一覧を示す．調理者数は，2品と3品が1人，4品が2人である．

表 4.6: 調理実験における献立一覧

献立番号	料理名
1	ピーマンと豚肉の中華炒め オクラの醤油ガーリックトースト焼き
2	カレイの煮付け かぼちゃのそぼろあん
3	鶏肉と白菜の重ね蒸し 簡単もやしとツナのカレーマヨサラダ
4	シチュー(ルウ使用) 簡単レンチンお弁当オイマヨごまサラダ
5	豚肉と大根の中華炒め 手作りドレッシングでたたききゅうりとツナのサラダ ふわふわえのきのたまごスープ
6	豚肉とごぼうの黒酢炒め 大根と人参のごまマヨあえ 味噌汁
7	豚肉と大根の中華炒め 手作りドレッシングでたたききゅうりとツナのサラダ ふわふわえのきのたまごスープ 簡単もやしとツナのカレーマヨサラダ

次に，修正後の各表を用いてレシピ変換アルゴリズムを適用し，その結果を調理モデルの入力として，調理作業スケジュールを生成した．また，手作業で調理作業を分類し，調理時間を推定した結果を調理モデルに入力し，調理作業スケジュールを生成した．表4.6の献立番号6について，2つのスケジュールに従ってシミュレーションで得られる総調理時間を，表4.7に示す．それぞれの総調理時間の相対誤差は7.7%であった．これより，提案アルゴリズムの調理作業の作業時間の推定結果は，妥当であると言える．

表 4.7: 総調理時間の比較

	作業工程数	総調理時間 (分)
レシピ変換アルゴリズム	20	56
手作業	21	52
相対誤差 [%]	7.7	

## 4.8 おわりに

本研究では、調理モデルへの入力データを Web 公開レシピからの変換により求めるアルゴリズムの提案を行った。13 種類の Web 公開レシピを用いて、手作業での変換結果との比較により、その有効性を検証した。今後の課題として、まず、「加熱する」、「温める」といった、複数の調理作業に分類できる用語を、意図した作業に分類するための方法が挙げられる。次に、白菜のように、重さに対して調理時間が短く、提案した計算式では正しい調理作業時間を推定できない場合への対策が挙げられる。その上で、多くの Web 公開レシピに対して、調理作業スケジュールの精度を更に向上させることが課題である。

## 第5章 調理ガイダンスシステム

本章では，3章で生成した調理作業スケジュールに従って調理のガイダンスを行う，調理ガイダンスシステムについて述べる。

### 5.1 はじめに

調理作業スケジュールは調理モデルより CSV 形式で出力されるため，実際に調理を行う際には，調理者が見やすいように整形して利用する必要がある。また，複数料理のレシピが一つのファイルに統合されているため，作業数の多い料理が含まれている場合，次に行う作業をスケジュール上で見失う問題がある。そこで，本章では，タブレット端末において調理のガイダンスを行う，調理ガイダンス機能の実装を示す。OS には，Android を採用し，Java アプリケーションとして実装した。

本ガイダンスシステムには，大きく，献立確認機能，調理ガイダンス機能，調理時間計測機能の3つの機能がある。これらの機能を用いて，献立に含まれる全料理の調理作業を，実施すべき順に調理者に提示する。また，各作業の実際の開始と終了のタイミングをユーザが入力することで，正確な調理時間の取得を可能としている。

調理場の多くはスペースが比較的狭いことが多く，デスクトップPCやノートPCといった機器を調理場に置いて支援を受けることは現実的ではない。そこで，現在広く普及しているタブレット端末を用いることで調理場でのスペースの問題を解消する。また，調理を行う家庭の多くの台所では，インターネットアクセス機能が完備されていない可能性が高いため，今回，通信機能は想定していない。

以下，5.2節では，献立確認機能について述べる。5.3節では，調理ガイダンス機能について述べる。5.4節では，調理時間計測機能について述べる。5.5節で本システムの評価を行い，5.6節で本章のまとめと今後の課題を述べる。

### 5.2 献立確認機能

調理ガイダンスシステムを利用する際には，まず，調理を行う料理の内容を確認する必要がある。そのために，献立確認機能において，献立に含まれる各料理の

料理名と、それらの食材の一覧を表示する。図 5.1 に料理の一覧表示の例、図 5.2 に食材の一覧表示の例を示す。



図 5.1: 料理一覧表示画面

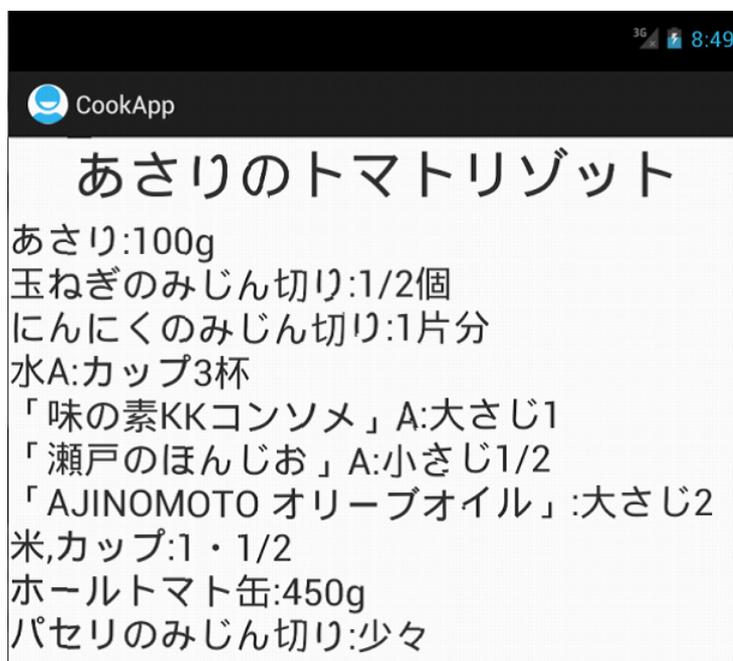


図 5.2: 食材一覧表示画面

## 5.3 調理ガイダンス機能

次に、調理ガイダンス機能では、主調理者と副調理者それぞれの調理のガイダンスを、それぞれの画面で行うこととしている。そのために、まず、図 5.3 に示す調理者選択画面を用いて、全体、主調理者、副調理者の3種類のボタンにより、どの調理者のガイダンスを行うかの選択を行う。



図 5.3: 調理者選択画面

主調理者あるいは副調理者のボタンをクリックした場合、その調理者の担当する作業が調理者毎に一覧で表示される。図 5.4 に主調理者へのガイダンス画面、図 5.5 に副調理者へのガイダンス画面の例を示す。ここでは、調理作業の進捗状況を容易に把握可能とするために、既に終了済みの作業を灰色、現在従事中の作業のうち、主調理者を赤色、副調理者を水色、今後の作業を白色で表現している。各画面において、開始ボタンのクリックにより各調理作業の開始を、終了ボタンのクリックにより終了し、次の作業に移行する。

全体のボタンをクリックした場合、図 5.6 に示すように、今回のすべての料理において、両者の中で次に従事すべき作業手順が一覧で表示される。ここでは、先の画面と同様、終了作業、従事中作業、今後の作業を異なる色で区別している。

## 5.4 調理時間計測機能

調理時間計測機能では、図 5.3 に示すように、調理全体の経過時間と各調理者の各作業での経過時間を管理し、ユーザに提示している。調理者の各作業での調

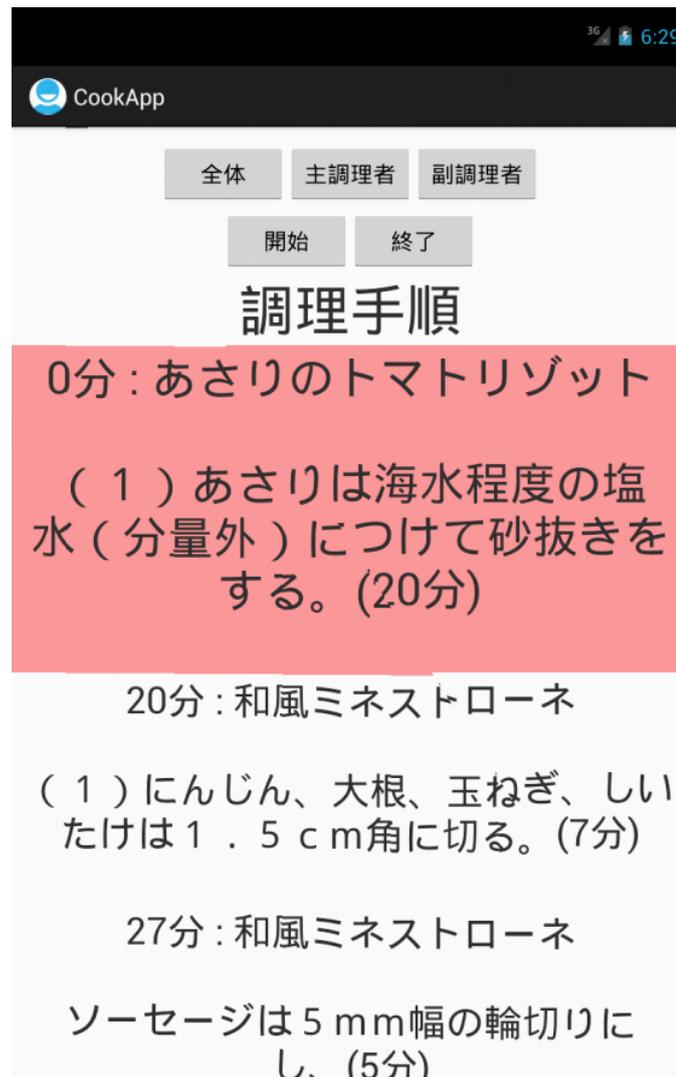


図 5.4: 主調理者ガイダンス画面

理時間は、「開始」ボタンをクリックすることで0からスタートし、「終了」ボタンをクリックすることでストップする。そして、その間の時間が作業時間として保存される。これらの時間を保存・管理し、標準作業時間に反映することで、次に同じ料理を調理する際に、調理者により適したスケジュールを生成することが可能である。

## 5.5 調理ガイダンスシステムの評価

調理ガイダンスシステムの評価のために、本システムを実装した Android 端末を用いた調理実験を行った。実験では、表 5.1 に示す、あさりのトマトリゾット、長いもと豚こまのにんにく味噌バター、白菜と油揚げの蒸し煮、和風ミネストロー

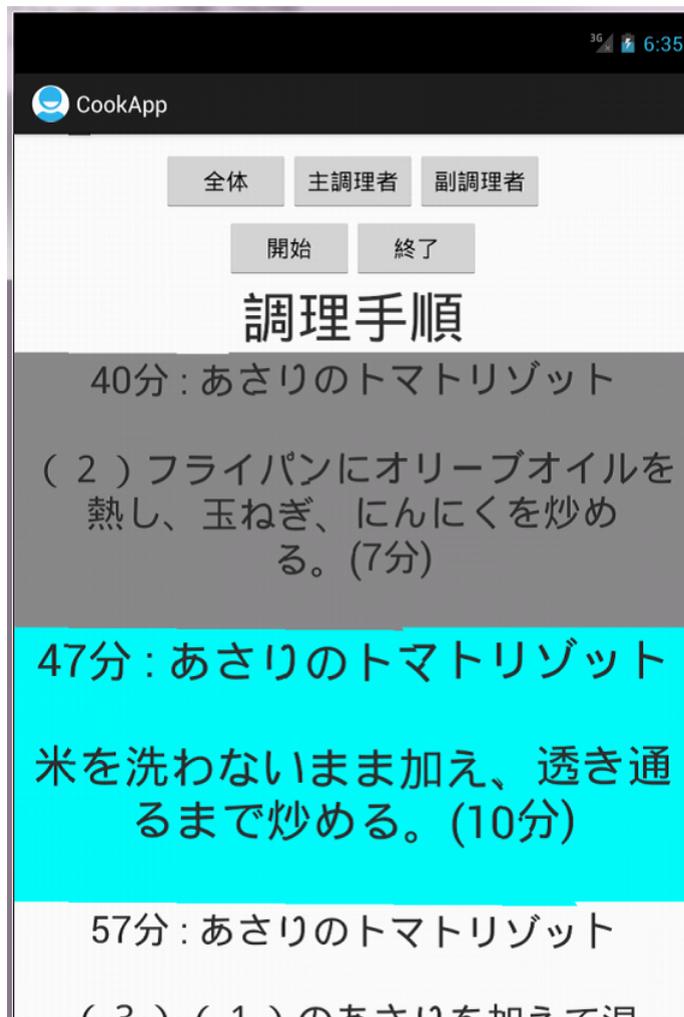


図 5.5: 副調理者ガイダンス画面

ネの4品を，3章で提案のアルゴリズムの出力に従って実際に調理した．調理モデルへの入力として，食数4，まな板数1，コンロ数2，電子レンジ数1とした．調理者は主調理者と副調理者の2名とした．主調理者は全ての調理作業を実行可能とし，副調理者は混ぜると炒めるのみを実行可能とした．ここで，熟達度は，主調理者が上級，副調理者が初級である．

表 5.2 に示すように，本評価結果では，総調理時間がアルゴリズムによる時間より3分長かった．これは，長いもと豚こまのにんにく味噌バター炒めるで水の分量を間違えたために，追加の作業時間がかかったからである．一方，切るの総作業時間は，アルゴリズムより15分短かった．これは，主調理者の調理技術が高かったために，アルゴリズムで指定した時間よりも早く作業が終わったためであ

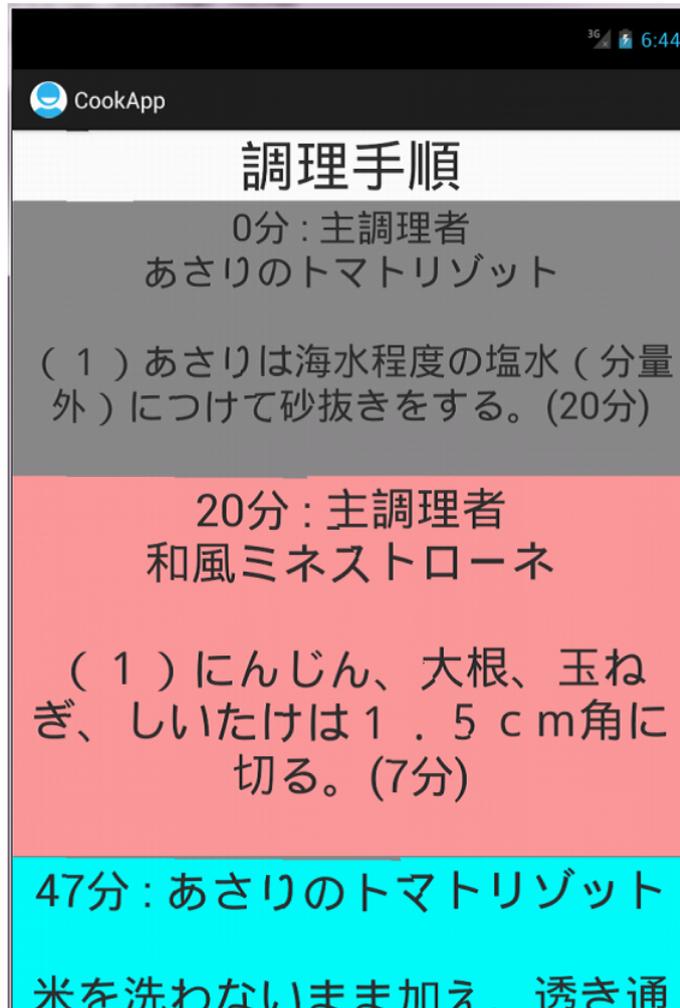


図 5.6: 全調理者ガイダンス画面

表 5.1: 調理実験での料理 4 品の調理作業 (分)

$i$	料理	調理作業	$j = 1$	2	3	4	5
1	あさりの トマトリゾット	種類	炒める	炒める	炒める	煮る	混ぜる
		時間	7	10	10	25	5
2	長いもと豚こまの にんにく味噌バター	種類	切る	混ぜる	炒める	炒める	混ぜる
		時間	5	5	16	3	6
3	白菜と油揚げの 蒸し煮	種類	切る	切る	煮る	煮る	
		時間	10	5	3	2	
4	和風 ミネストローネ	s 種類	切る	切る	切る	煮る	混ぜる
		時間	7	5	5	20	2

る. その対策として, 調理ガイダンスシステムの調理時間取得機能を用いて実際の調理時間を収集することで, 適正な時間をアルゴリズムに反映させることが挙

げられる.

表 5.2: 調理時間結果

	アルゴリズム	調理実験	差
総調理時間 (分)	66	69	3
切るの総作業時間 (分)	37	22	15

## 5.6 おわりに

本研究では、理作業スケジュール従って調理のガイダンスを行う、タブレット端末機能を実装した。評価として、調理者2名による調理実験を行った。今後の課題には、煮るの終了を知らせるタイムアップアラーム機能の追加や、料理の再加熱指示、調理時間のフィードバックなどが挙げられる。



## 第6章 関連研究

本章では、調理支援に関する従来研究を紹介する。

まず、複数料理の調理の最適化に関する研究として、文献 [13] で浜田らは、料理に固有の辞書を構築することで、調理の順序を示すフローグラフを料理のテキスト教材から自動生成するための手法を提案している。ここでは、レシピを「卵を割る」、「卵を焼く」などの作業タスクに分け、その順序を最適化することで、全体の調理時間、全レシピ終了時刻差を最小化する。

次に、文献 [14] で浜田らは、映像と音声に従って調理することで、複数料理を並列に調理することを目指す、料理支援ソフトウェア HappyCooking を提案している。ここでは、複数料理を作る際、文献 [13] に示すフローグラフを統合し、作業タスクの順序を入れ替える。作業タスクは、アクションユニット (Action Unit: 以下 AU) と呼ばれ、「卵を焼く」が必ず「卵を割る」の後に来るように、AU 同士は論理的な順序関係を持つものとしている。調理手順を最適化するにあたり、人的リソースと台所リソースに AU を配置するためにリストスケジューリングアルゴリズム [15] を用いている。その上で、ビデオやテキスト教材により調理のガイダンスを行う。本研究との相違は、大きく分けて2つある。1つ目は、料理間および同一料理内の両方での作業タスクの入れ替えである。これにより、調理手順がより最適化される可能性がある一方、料理数が増えた場合、一般ユーザには作業中の手順の料理が何であるかを認識できなくなり、手順を間違える恐れがある。2つ目は、複数調理者の場合、調理者毎の役割を設定できないことである。

Freyne らは文献 [16] で、レシピの推薦のために、推薦アルゴリズムの適合性についての予備調査を、512人の好みを反映したレシピ群に対して行った。協調フィルタリングとコンテンツベースフィルタリングについて実験を行った上で、その正確性についてハイブリッド協調フィルタリングとの比較を行っている。

上田らは、文献 [17] で、レシピ検索履歴や調理履歴からユーザの好みを取得し、文献 [18] に示された食べ物の好み度に基づいて、一人ひとりに合ったレシピ推薦手法を提案している。

文献 [19] で Hu らは、Group FDT (Future Dining Table) と呼ばれる、複数人数での食事を想定したテーブル型リアルタイム料理推薦システムについて提案している。そこでは、画像処理によって食卓の状況を常に認識し、実際の食卓での調査

や文献, 実験結果に基づいてタイミング良く料理を薦めてくるシステムを開発している.

## 第7章 結論

本研究では、手作り料理の調理手順を最適化することを目的として、調理時における調理者や調理器具の動きをモデル化した調理モデルと、それを用いて調理作業スケジュールを生成する調理手順最適化アルゴリズムを提案した。次に、Webで公開されているレシピを、調理モデルへの入力形式に変換するためのレシピ変換アルゴリズムの提案を行った。さらに、調理作業スケジュールに沿って調理のガイダンスを行う調理ガイダンスシステムの実装を行った。シミュレーションと調理実験により、これらの評価を行った。

本研究の今後の課題として、まず、時間短縮のための新しい調理道具を活用したレシピに対する、各アルゴリズムの改良が挙げられる。調理モデルでは、調理道具として、まな板、コンロ、電子レンジに限っているが、今後、ポット、炊飯器、ミキサーなどの調理道具の追加と制約条件の変更が必要である。また、レシピ変換アルゴリズムでは、レシピ変換のための補正テーブルの拡張と定数テーブルの修正、調理時間計算式の再定義などが挙げられる。

次に、SNS 料理サイトに日々追加されるマルチメディア型レシピへの対応が挙げられる。近年は、従来のテキストによるレシピ提示に加え、動画や写真を活用した料理サイトが台頭してきている。また、Web サイト上のレシピをユーザ同士で加工する手法が用いられるようになってきた。このようなマルチメディアコンテンツや動的コンテンツには、調理時間を短縮するためのヒントが含まれている可能性があり、調理手順の最適化には有効と考えられ、それらの活用が今後の課題である。

調理ガイダンスシステムでは、グーグルグラスを例とするウェアラブル端末を用いたガイダンスへの拡張が挙げられる。タブレット端末でガイダンスを行う場合、調理作業のガイダンスや調理時間の取得のために、調理中に端末の画面をタップする操作が発生する。手が汚れている場合、タップする前に手を洗う必要があったり、タップ後に食材を触る場合は、衛生のために、もう一度手を洗ったり消毒したりする必要がある。そこで、端末に触らなくても操作ができるように、ウェアラブル端末による自然音声操作を目指す。また、マルチメディア型レシピと組み合わせることで、実際の食材や調理道具を見ながら調理方法を学習することも期待できる。

調理モデルの拡張としては、完成時刻を指定し、その時刻を目標として調理を進めていく評価関数の導入や、気温の変化を考慮した調理作業時間の補正が挙げられる。例えば、冬は先に完成した料理が冷めるのが早いため、盛り付けの前に仕上げ加熱を行う時間を調理作業スケジュール上に予め確保しておくことが考えられる。また、夏の昼間の台所は気温や湿度が高く、長時間作業には向いていないため、調理をいくつかのフェーズに分割し、指定した完成時刻までに何度か台所を離れられるスケジュールを生成することで、熱中症のリスクを回避することも拡張の一つとして挙げられる。これらの実生活に基づいた拡張は、本研究の実用化に向けた課題の一つである。

# 謝辞

本研究の全般に渡り、深いご理解を頂き、本論文の主査を務めて頂きました、岡山大学大学院自然科学研究科産業創成工学専攻 船曳信生教授には、心より感謝致します。本論文をまとめるにあたり、ご多忙の中、熱心かつ親切にご指導賜りましたことに対しまして、厚く御礼申し上げます。

本論文の副査を務めて頂きました、岡山大学大学院自然科学研究科産業創成工学専攻 田野哲教授、野上保之准教授には、本論文を仕上げるために様々なご指導を頂きましたことを、心より感謝致します。また、本研究を進めるにあたって、数々の有益なご指導を頂きました、広島大学大学院工学研究科情報工学専攻 中西透教授には、心より感謝致します。

種々の御協力と御助言を頂きました、分散システム構成学研究室の皆様には、心から感謝申し上げます。特に、同研究室の岡田朋也、張一加、西村勇希の各氏には、プログラム修正や評価実験におきまして、様々なご協力を頂戴しましたことを、ここに感謝致します。また、事務手続きや研究室生活の面でお世話を頂きました、黒岡由美子事務補佐員に感謝致します。

株式会社ミーニュー代表取締役 三宅伸之氏には、研究を遂行する上で貴重なデータをご提供頂き、また、ご指導ご鞭撻を賜りました。心より御礼申し上げます。評価実験におきましては、船曳直美教授夫人に多大なるご協力を頂戴致しました。深く御礼申し上げます。

本論文をまとめるにあたり、職務との両立に御理解を頂き、様々な御支援を頂戴しました、専門学校ビーマックス、津山工業高等専門学校の皆様には、深く感謝致します。

博士課程在学中、共に切磋琢磨しました、友人の塔娜、西田遥の両氏の存在が、研究を進めていく上で大きな励ましとなりました。両氏へエールを送るとともに、深く感謝申し上げます。

本研究の遂行に際し、常に著者を叱咤激励下さり、温かく見守って下さった、両親、姉をはじめ家族の皆様には、深く感謝申し上げます。また、いかなる時も著者の進む道を応援して下さい下さった幼馴染みに、心より感謝を申し上げます。

最後に、幼少の頃より著者に家庭の味を教えて下さった亡き祖母に深い感謝の意を記して、謝辞と致します。



## 参考文献

- [1] 文部科学省, “学校における食育の推進・学校給食の充実,” 2005, [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/sports/syokuiku/](http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/syokuiku/).
- [2] 厚生労働省, “生活習慣病予防,” [http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou\\_iryuu/kenkou/seikatsu/seikatusyuukan.html](http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/seikatsu/seikatusyuukan.html).
- [3] 厚生労働省, “食事バランスガイド,” 2005, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyuu-syokuji.html>.
- [4] 厚生労働省, “メタボリックシンドロームを予防しよう,” 2007, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/metabo02/>.
- [5] クックパッド株式会社, “coocpad,” <http://cookpad.com/>.
- [6] Allrecipes.com, Inc, “allrecipes.com,” <http://allrecipes.com/>.
- [7] M.S. Sadiq and H. Youssef, “Iterative computer algorithms with applications in engineering,” Wiley-IEEE Computer Society Press, 2000.
- [8] 厚生労働省, “雇用均等,” 2011, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/koyoukintou/index.html>.
- [9] 厚生労働省, “イクメンプロジェクト,” 2011, <http://www.ikumen-project.jp/index.html>.
- [10] 味の素株式会社, “AJINOMOTO Park,” <http://park.ajinomoto.co.jp>.
- [11] 株式会社ミーニュー, “me:new,” <http://menew.jp/>.
- [12] アティリカ株式会社, “kuromoji,” <http://www.atilika.com/ja/products/kuromoji.html>.

- [13] R. Hamada, I. Ide, S. Sakai, and H. Tanaka, "Structural analysis of cooking preparation steps in Japanese," Proc. 5th Int. Workshop on Information Retrieval with Asian Languages, pp.157-164, 2000.
- [14] R. Hamada, J. Okabe, I. Ide, S. Satoh, S. Sakai, and H. Tanaka, "Cooking Navi: Assistant for daily cooking in kitchen," Proc. 13th Annual ACM International Conference on Multimedia, pp.371-374, 2005.
- [15] Y. Srikant and P. Shankar, "The compiler design handbook: Optimization & machine code generation," CRC Press, 2002.
- [16] J. Freyne and S. Berkovsky, "Recommending food: Reasoning on recipes and ingredients," User Modeling, Adaptation, and Personalization, Lecture Notes in Computer Science, vol.6075, pp.381-386, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [17] M. Ueda, M. Takahata, and S. Nakajima, "User's food preference extraction for personalized cooking recipe recommendation," Proc. Second Workshop on Semantic Personalized Information Management: Retrieval and Recommendation, 2011
- [18] M. Ueda, M. Takahata, and S. Nakajima, "Recipe recommendation method based on user's food preferences," Proc. IADIS Int. Conf. e-Society, pp.591-594, 2011.
- [19] J. Hu, Y. Otsuka, and T. Inoue, "Automatic dish recommendation system for people dining together: the group FDT," Proc. Int. Conf. Collabo. Technol., pp. 42-47, 2012.