

整数計画問題による家庭料理の献立表提案システムの開発

細川 万維^{1,a)} 横山 想一郎² 山下 倫央² 川村 秀憲² 関屋 英理子³

概要：家庭での調理は健康面、経済面でメリットがある一方で、献立を考え無駄のない買い物をするのは難しく、家庭の負担や食品ロスにつながることもある。この問題を解決するため、本研究では材料を一週間で使い切る献立表とそれに必要な買い物リストを提案するシステムを考案し整数計画問題として定式化した。本論文では実際のレシピを用いて献立表を作成し、実用化に向けて献立の内容や食材の余剰量の検証などを行い、余剰食材のない献立の提案が可能であることを確認した。

1. はじめに

家庭での食事は、生活の中でも非常に大切なものである。現代ではスーパーやコンビニ、出前サービス等で商品を購入するなど食事の方法が多様化しているが、家庭料理を作って食べることは様々なメリットがある。例えば一般的に自分で料理を作ると、外食に比べ栄養やカロリーを適切にコントロールしやすい。また、外食や購入した食事に比べ一食のコストも抑えられるため経済面でもメリットがある。

一方で、家庭料理を作るまでには考慮しなければならない要素がいくつか存在する。例えば、献立の栄養、食べ合わせ、分量、必要食材の買い出し、家にある食材の管理、料理の難易度などである。家庭料理には良い面も多く存在するが、共働き世帯が増えつつある現代において、これらのことをすべて考慮して献立を組むのは家庭の負担となる。こうした家庭料理の調理における問題点を解決するため、献立支援システムが開発されている。web サイトやスマートフォンアプリのサービスであるキッコーマン株式会社のホームクッキング [1] というサービスではユーザーによるレシピ検索機能に加えて、365 日の季節などを考慮した献立を紹介し、毎日の献立を考える負担を軽減している。また、スマートフォン上で動作する献立支援システムアプリである株式会社ミーニューの me:new [2] は、ユーザーの入力した要望によって最長 1 週間分の献立の提案を行うことが可能である。

数ある家庭料理の課題に対して本研究が問題視している

のは食品ロス問題である。食品ロスとは本来食べられるのに捨てられてしまう食品のことで、農林水産省によると年間 600 万 t ある食品ロスのうち、約半数の 46% は各家庭から発生する家庭系食品ロスとなっている [3]。家庭からの食品ロスの原因としては料理を作りすぎたりして残る「食べ残し」、野菜の皮や茎など食べられるところまで切って捨ててしまう「過剰除去」、未開封のまま食べずに捨ててしまう「直接廃棄」がある [4]。このうち「食べ残し」や「直接廃棄」による食品ロスは食材の管理が家庭内でうまくいかないことで発生する食品ロスであるといえる。こうした食品ロスは食材の使い切りが可能な献立の提案によってなくすることができるはずである。ただし、献立を提案しても実際にユーザが作り切れなければ食品ロスはかえって増えてしまうためユーザの生活や料理経験に合わせた料理の選出は重要である。また、毎日の食事が同じような内容だったり、毎週の献立が一緒だとユーザが飽きてしまうため、そのような献立にならないような配慮が重要である。

本研究では家庭料理の効率化と家庭からの食品ロス削減を目的として、1 週間分の献立を出力する献立表作成システムの提案と検証を行った。献立表提案システムでは 1 週間余剰食材の重量を最小化した、ユーザの希望する調理手順数の料理レシピを含んだ献立の選択を整数計画問題として扱い、候補料理レシピ集合の中から最適な料理レシピ主菜と副菜に分けてを選択できるようにした。さらにその結果得られた余剰食材を料理レシピへ配分することにより 1 週間での食材の使い切りを実現し、同じ食材を使った料理が続かないように主菜と副菜の組み合わせの選択を行った。さらにこのシステムを長期にわたって利用してもらうため上記の処理を繰り返し行って継続的に料理レシピを選出できるようにした。

¹ 北海道大学 工学部
札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学工学部
² 北海道大学 大学院情報科学院
³ 株式会社ニチレイ 事業開発推進部
^{a)} mhosokawa@ist.hokudai.ac.jp

2. 関連研究

2.1 料理レシピに関する研究

Salvador らは、料理画像から料理レシピを再現する研究を行った [5]. 画像からレシピへの変換問題は検索タスクとして定式化されており、画像の類似度スコアに基づいて固定のデータセットから検索してくることで料理レシピを再現している. RecipeIM+という料理レシピと食品画像で構成された大規模データセットを用いることによりシステムを改善し、画像と推測された食材の両方を活用することにより、クオリティの高い料理レシピを生成できるようになった.

2.2 献立提案システムに関する研究

木原らは余剰食材の使い切りを考慮したレシピ推薦手法の提案を行った [6]. この研究では (1) 前日までに余ってしまった余剰食材の量と賞味期限を考慮して、廃棄する食材が出ないような料理レシピを推薦するケースと、(2) 1 週間分の食材を買い物し食材をちょうど使い切れるような 7 日分の料理レシピを推薦するケースの 2 つの料理レシピ推薦について提案されている. (2) に関しては非常に本研究と類似している. 本先行研究ではユーザの食べたい料理の希望を満たす前日までの余剰食材を優先的に使えるような料理レシピの検索を推薦の際に使っているが、本研究では 1 週間の買い出しを 1 回で済ませるために料理レシピの献立すべての余剰食材の重量を検討し、最も余剰食材の重量が少ない献立を買い物リストとともにユーザに推薦するという点で異なっている.

3. 食品ロスを最小にする献立表提案システム

本研究の献立表提案システムの目的は、献立提案によって家庭料理の支援を行いつつ、近年問題視されている家庭からの食品ロスを減らすことである. この目標を達成するために満たすべきシステムの要件として以下のように設定した.

- 食材をちょうど使い切れる 1 週間の献立を提案すること
- 必要食材のまとめ買いができ、余計な食材は買わないような買い物リストを示すこと
- 料理レシピの調理手順数を考慮してユーザーにあった料理を提案すること
- 毎日の献立で同じような食材が続かないこと
- 継続的に献立を提案すること

以上の要件を受け、本研究の献立表提案システムは図 1 に示すとおり構成とした. 本システムでは献立の候補となるレシピ集合に対して、

(1) 献立に採用する料理の選出

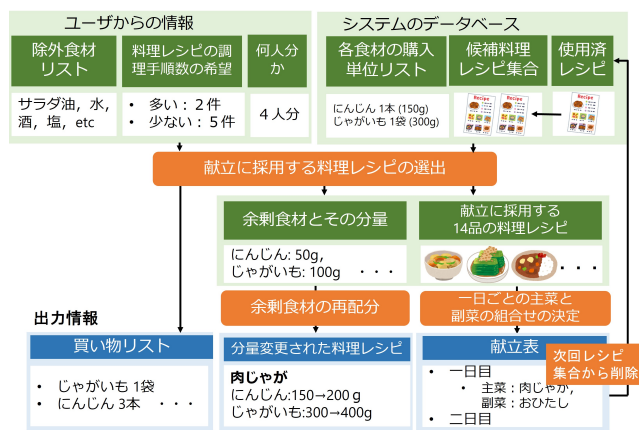


図 1 献立支援システムの概要図

(2) 余剰食材の配分

(3) 1 日ごとの主菜と副菜の組合せの決定

(4) 使用済み献立の除外

という 4 つの処理を行うことで、1 週間分の献立を 1 日ごとに示し、その献立を作るために必要な食材の買い物リストも出力する. (1) 献立に採用する料理の選出では、あらかじめ設定した調理手順数の料理レシピを含むという制約のもと献立の余剰食材を最小化問題を解くことで、ユーザに合わせた食品ロスが最小の献立を出力する. (2) 余剰食材の配分では、(1) 献立に採用する料理の選出で最小化した余剰食材を献立内の料理レシピへ配分することで 1 週間での完全な食材の使い切りを実現する. 最後に、(3) 1 日ごとの主菜と副菜の組合せの決定で、(1) 献立に採用する料理の選出の処理で出力した 1 週間分の献立をユーザの曜日ごとの忙しさと料理レシピごとのメイン食材の重複の分散を考慮して 1 日ごとに主菜と副菜に並べ替え、最終的に 1 日ごとの献立表を出力する. 一度献立で使用した料理レシピは使用済み料理レシピ集合に入れ (4) の処理で候補料理レシピ集合から除くことで継続的に内容の異なる献立を提案する.

3.1 候補料理レシピ集合

本システムで用いる献立の候補料理レシピ集合はすべての料理レシピがあらかじめ主菜と副菜に分けられたものを使用している. 主菜とは主に肉や魚を多く含む料理、副菜とは主に野菜などを多く含む料理である. それぞれの料理レシピは一般的な料理レシピと同様に、料理名、必要食材とその分量、文章による調理工程説明によって構成されている. その中から各料理レシピの「必要食材とその分量」、「調理手順数」、「メイン食材」の情報を抽出しシステムで使用している. 調理手順数とは、切る、煮る、焼くなどのひとまとまりの調理内容で区切られている調理工程の文章数としている. またメイン食材は料理レシピのメイン食材は料理レシピの必要食材の中から、3.3.2 節で述べる除外食材を除いた肉や魚、野菜などから一番使用している重量が重

い食材を求めることで決定している

3.2 1週間分の献立の定義

本稿における1週間分の献立の定義、すなわち献立表提案システムの最終的な出力結果は、家庭の夕食を想定している。具体的には1日につき主菜1品、副菜1品を7日分に示したものである。この献立表提案システムが出力する献立には白米や味噌汁は含まれない。食べ合わせや栄養の点から、ユーザーが白米や味噌汁を食べることを想定しておかずとなる主菜と副菜を1品ずつ提案する形式をとる。

3.3 献立に採用する料理の選出

この処理では、余剰食材の重量を最小にする1週間分の料理レシピ(主菜7品、副菜7品)を選出する。本システムにおける献立の余剰食材の重量は、店舗での販売単位の重量と購入数の積で与えられる購入食材の重量と、献立で定義される必要食材の重量の差分で定義される。また、献立の選出の際には次の制約を設定する。

- 食材の購入数は必要量を満たす
- 同じレシピは2回以上選択しない
- 献立には主菜7品、副菜7品を含める
- ユーザの指定した数の調理手順数の料理を含める

本システムでは提案した献立の中に調理手順数が多いものばかり含まれていて、ユーザーが実際に1週間作り切ることができないことが無いように、主菜と副菜それぞれを調理手順数が多い料理レシピと少ない料理レシピに分類し、4つの集合の中からそれぞれいくつずつ献立に採用するかを指定する。今回は主菜と副菜の調理手順数の分布を確認し調理手順数の多いものと少ないものが大体同じ数になるように分類した。主菜は調理手順数が8以上の料理レシピを調理手順数の多い料理レシピ、副菜は調理手順数が5以上の料理レシピを調理手順数の多い料理レシピと定義した。

3.3.1 店舗での販売単位の重量

食材の販売単位はネットスーパーなどで調査したデータを参考にして作成した。表1に示した通り販売単位は1本や1袋単位で設定し、その販売単位の重量をグラムでシステムに与えて献立の選出に利用する。実際の店頭では、4分の1にカットされた大根が販売されるなど、販売単位は様々なので、ユーザーが買い物をする際の利便性を考慮すると、このシステムを実際にアプリなどに実装する際にはユーザーのよく利用する店舗での販売単位を設定することが必要である。

3.3.2 除外食材

料理レシピに含まれる食材すべてがすぐに食品ロスにつながるわけではない。優先して余剰食材をなくすようにしなければならないのは賞味期限が短い野菜や肉、魚などである。食品ロスを考慮する食材の数は計算時間に大きく影響するため、すぐに食品ロスに繋がらない調味料や米など

表1 店舗での販売単位とその重量の例

食材名	販売単位の名称	販売単位の重量(g)
にんじん	1本	150.9
鶏もも肉	1パック	300.0
油揚げ	1枚	30.0
卵	1パック	600.0
青のり	1袋	2.0
ツナ	1缶	70.0

表2 余剰食材から除外する食材とその例

食材	食材例
賞味期限が長いもの(システムが設定)	調味料など
賞味期限は短い家庭に常備してあるもの(ユーザが設定)	牛乳、豆腐など

の賞味期限が長い食品や賞味期限は短い家庭に常備してある食材は余剰食材の計算から除外する。除外食材の例を表2に示す。

3.3.3 定式化

1週間後に発生する余剰食材の分量 L を最小化する整数計画問題として定式化を行った。献立 m は、全レシピ数の要素数を持つベクトルで、各要素 m_i は0か1かの値を取る。これは i 番目のレシピを採用するしないかを意味している。また、候補料理レシピは主菜か副菜か、手順の複雑さが高いか低いかで4種類に分類される。主菜かつ複雑さが高い料理レシピ集合を MH 、主菜かつ複雑さが低い料理レシピ集合を ML 、副菜かつ複雑さが高い料理レシピ集合を SH 、副菜かつ複雑さが低い料理レシピ集合を SL とする。以下の式のように定義される。

$$m = [m_0, m_1, \dots, m_i, \dots, m_M] \quad m_i \in \{0, 1\} \quad (1)$$

$$MH = \{i \in I | Main(i), Manyprocess(i)\} \quad (2)$$

$$ML = \{i \in I | Main(i), Fewprocess(i)\} \quad (3)$$

$$SH = \{i \in I | Sub(i), Manyprocess(i)\} \quad (4)$$

$$SL = \{i \in I | Sub(i), Fewprocess(i)\} \quad (5)$$

ここで、 M は候補料理レシピの種類数、 I はレシピ番号の集合、 $Main()$ は入力されたレシピ番号のレシピが主菜であることの真偽値を返す関数、 $Sub()$ は入力されたレシピ番号のレシピが副菜であることの真偽値を返す関数、 $Manyprocess()$ は入力されたレシピ番号のレシピ調理手順が多いものであることの真偽値を返す関数、 $Fewprocess()$ は入力されたレシピ番号のレシピ調理手順が少ないものであることの真偽値を返す関数である。

全候補料理レシピに含まれる食材の質量を格納した行列を $r_{i,j}$ とする。 $r_{i,j}$ は i 番目の料理レシピが使用する食材 j の質量である。なお余剰食材の計算に使用する全食材の種類数 F は、候補料理レシピに含まれる全食材から除外食材リストに含まれる食材を除いたものである。

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} r_{00} & \cdots & r_{0,F} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{M,0} & \cdots & r_{M,F} \end{pmatrix} \quad r_{i,j} \geq 0 \quad (6)$$

ここで、 F は余剰食材の計算に使用した全食材の種類数である。

$\mathbf{s}$ は店舗での販売単位の質量を表すベクトルで、 $\mathbf{r}$ の行数と同じ要素数をもつ。

$$\mathbf{s} = [s_0, s_1, \dots, s_F] \quad s_i \in \mathbb{R} \quad (7)$$

ここで、 s_j は食材 j の販売単位 [g] を表す。

$\mathbf{n}$ は必要食材の購入数を表すベクトルで、要素数は F である。

$$\mathbf{n} = [n_0, n_1, \dots, n_F] \quad n_i \in \mathbb{N} \quad (8)$$

上記の変数で定義された以下の整数計画問題を解くことにより、献立 $\mathbf{m}$ と必要食材の購入数 $\mathbf{n}$ を決める。

minimize

$$L(\mathbf{n}, \mathbf{m}) = \sum_{j=0}^F (s_j n_j - \sum_{i=0}^M m_i r_{i,j}) \quad (9)$$

subject to

$$0 \leq s_j n_j - \sum_{i=0}^M m_i r_{i,j} \quad (10)$$

$$\sum_{i \in MH} m_i = c^{main, manyprocess} \quad (11)$$

$$\sum_{i \in ML} m_i = c^{main, fewprocess} \quad (12)$$

$$\sum_{i \in SH} m_i = c^{main, manyprocess} \quad (13)$$

$$\sum_{i \in SL} m_i = c^{main, manyprocess} \quad (14)$$

$$c^{main, manyprocess} + c^{main, fewprocess} = 7 \quad (15)$$

$$c^{sub, manyprocess} + c^{sub, fewprocess} = 7 \quad (16)$$

ここで、 $c^{main, manyprocess}$ は主菜かつ調理手順数の多い料理の規定数、 $c^{main, fewprocess}$ は主菜かつ調理手順数の少ない料理の規定数、 $c^{sub, manyprocess}$ は副菜かつ調理手順数の多い料理の規定数、 $c^{sub, fewprocess}$ は副菜かつ調理手順数の少ない料理の規定数である。

この整数計画問題を解く際には、 $c^{main, manyprocess}$ 、 $c^{main, fewprocess}$ 、 $c^{sub, manyprocess}$ 、 $c^{sub, fewprocess}$ を、求める献立内にいくつ含むかを任意の数に設定することができる。ただし、1週間分の献立の選出を行うため主菜の合計数は7件、副菜の合計数は7件にするという制約がある。具体的な値については実験の章で設定する。

余剰食材のにんじん100gを配分する例

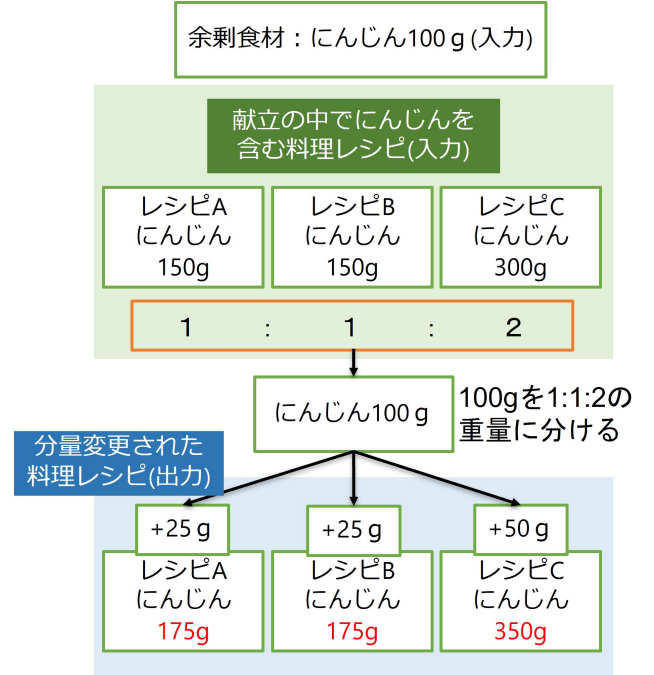


図2 余剰食材の配分の例

3.4 余剰食材の配分

前節の選出処理によって献立に採用する料理が出力されたら、その結果をもとにして余剰食材を配分する処理を行う。余剰食材を配分する対象料理は、献立に採用する料理の中で配分する余剰食材を含む料理すべてである。この余剰食材を含む料理の余剰食材の元の分量を確認し、その比を余剰食材ごとに算出する。算出した比を余剰食材の分量に乗算することでそれぞれの料理レシピに合わせた余剰食材の配分量を決定する。これは元の料理レシピの分量を極力変えないための工夫である。具体的のにんじんを100g配分する際の例を図2に示した。

3.5 1日ごとの主菜と副菜の組合せの決定

この処理では選出された主菜7品、副菜7品計14品の料理レシピの並べ替えを行うことで1日ごとの主菜と副菜の組合せ7日分を、1週間分の献立表として示す。並べ替える際には各料理レシピの調理手順数とメイン食材を用いて主菜から副菜の順に並べ替える。並べ替えは以下の方法で行っている。

- (1) 主菜で調理手順数が多いものを、連日でメイン食材が出現ないようにユーザが希望する日付に入れる
- (2) 主菜で調理手順数が少ないものを、連日でメイン食材が出現しないように残っている日付に入れる
- (3) 副菜で調理手順数が多いものを、連日でメイン食材が出現しないようにかつ組み合わせる主菜のメイン食材と副菜のメイン食材が同じにならないようにユーザの希望する日付に入れる

(4) 副菜で調理数が少ないものを、連日でメイン食材が出現しないようにかつ組み合わせる主菜のメイン食材と副菜のメイン食材が同じにならないように残っている日付に入れる

なおこの手順で並べ替えるときは、メイン食材を続かないようにする条件よりも、ユーザの希望する日付に入れることを優先する。つまりメイン食材が連日出現したり、主菜と副菜でメイン食材が同じになったとしても、ユーザの希望する日付に入れることを優先する。

3.6 数種類の1週間分の献立の出力

本論文での献立表提案システムは、献立の選出を献立の余剰を最小にする整数計画問題として定式化したため、同じレシピ集合に対して同じ条件で複数回処理を実行しても基本的に出力される献立の内容は毎回同じになる。しかしこのシステムをサービスとして利用してもらう場合には、毎週同じ献立を推薦するのはユーザが飽きてしまう可能性があり望ましくない。そこで、一度献立でユーザーに推薦したレシピを使用済み料理レシピ集合に追加しその料理レシピは候補料理レシピ集合から除く処理を行う。ただし、それでは候補料理レシピ集合がなくなってしまうため、4週目以降の献立提案では最も古い料理レシピ14品の中から7品をランダムに使用済み料理レシピ集合から除く処理を行う。こうすることで継続的に食品の使い切り可能な献立を提案することを目指す。実験にて連続して出力した1週間分の献立の検証を行う。

4. 実験

献立表提案支援システムの出力に関する余剰食材や食材の配分結果の検証、数種類の1週間分の献立の選出の機能の検証を行った。また、実際に本システムで出力した買い物リストの通りに買い物をし、指示された献立を実際に調理してみたのシステムの使用感や使用した際の問題点などを調査した。

4.1 実験設定

本研究における提案システムで候補料理レシピ集合として使用するのは株式会社ニチレイの1週間分の献立を提案するサービスである conomeal kitchen [7] に登録されていた主菜93件、副菜80件の計173件の料理レシピである。主菜と副菜の分類は株式会社ニチレイから提供されたものを使用している。推薦する料理レシピは4人分、1日目と2日目に調理手順数の多い料理を希望するユーザを想定して献立を提案する。ソルバーは Google OR-Tools[8] の CP-SAT solver を使用している。

4.2 献立表提案システムの検証

実験目的は、献立表提案システムを実際の料理レシピ集

表3 1週間分の献立表

献立	主菜と副菜 (メイン食材)
1 日目	かぼちゃと豚肉のバルサミコソース (かぼちゃ) ニラ玉 (卵)
2 日目	かぼちゃと豚肉のバルサミコ茶碗蒸し (かぼちゃ) ナスの揚げ浸し (なす)
3 日目	レンコンと鶏肉の挟み焼き (れんこん) ズッキーニの焼きびたし (ズッキーニ)
4 日目	鰯の煮付け (まだら) かぼちゃのロースト (かぼちゃ)
5 日目	豚バラのニラ玉炒め (卵) レンコンの煮物 (れんこん)
6 日目	ぶりの照り焼き (ブリ) ナス田楽 (なす)
7 日目	生姜の肉巻き (豚ロース肉) ニラの卵焼き (卵)

表4 献立の必要食材 (買い物リスト)

食材名	販売単位の名称	販売単位 (g)	個数
ショウガ	1 パック	40.0	2
長ネギ	1 本	100.0	2
なす	1 本	70.0	16
豚バラ肉	1 パック	200.0	3
ズッキーニ	1 本	200.0	1
卵	1 パック	500.0	2
かぼちゃ 生	1/4 個	250.0	3
れんこん	1 個	150.0	4
鶏ひき肉	1 パック	200.0	1
ブリ	1 尾	100.0	4
まだら 生	1 尾	100.0	4
ニラ	1 袋	100.0	3
豚ロース肉	1 パック	200.0	2

合について適用した際の、1週間分の献立と買い物リスト、分量変更された料理レシピの出力可能性の検証である。

先ほど設定した実験設定で本献立表提案システムを用いた結果、表3に示したように1週間分の献立とそれを作るのに必要な買い物リスト表4が得られた。この結果は or-tools によって最適な実行可能解であることを確認した。この献立表ではかぼちゃと豚肉のバルサミコソース、かぼちゃと豚肉のバルサミコ茶碗蒸し、ニラ玉、ナスの揚げ浸しが調理手順数の多い料理であり、1日目と2日目に調理手順数の多い料理を推薦することができている。その影響でメイン食材が一部連続しているが、そのほかのメイン食材については連日や主菜と副菜で同じになることなく、献立を提案することができた。

表5に買い物リストの食材を使用して表3の料理レシピを作ったときに発生する余剰食材とその分量を示した。その時の余剰食材の重量の合計は86gであり、これを表6に示した同じ候補料理レシピ集合からランダムに主菜7品・副菜7品選出してきたときの平均値3,341gと比較す

表 5 選出した献立の余剰食材と重量

食材名	重量 (g)
ショウガ	16.0
卵	50.0
にら	20.0
合計	86.0

表 6 ランダム選出した主菜 7 品と副菜 7 品の余剰食材の重量

余剰食材の重量 (g)	
平均値	3,341
最小値	1,439
最大値	5,610

表 7 余剰食材の配分

余剰食材	配分する料理	元の分量 (g)	配分量 (g)
ショウガ	レンコンと鶏肉の挟み焼き	10.0	2.5
ショウガ	鱈の煮付け	8.0	2.0
ショウガ	生姜の肉巻き	40.0	10.0
ショウガ	ナスの揚げ浸し	6.0	1.5
卵	レンコンと鶏肉の挟み焼き	50.0	2.6
卵	豚バラのニラ玉炒め	400.0	21.1
卵	豚バラのニラ玉炒め	200.0	10.5
卵	かぼちゃと豚肉のバルサミコ茶碗蒸し	100.0	5.3
卵	にらの卵焼き	200.0	10.5
にら	豚バラのニラ玉炒め	120.0	8.6
にら	ニラ玉	120.0	8.6
にら	にらの卵焼き	40.0	2.9

ると、余剰食材の重量はかなり小さく抑えられていることがわかった。

余剰食材の配分を行った結果、表 7 に示したように、各余剰食材をその食材を含む料理レシピに配分する分量が得られた。献立に採用する料理の選出の際の余剰食材の重量がかなり少なかったため、料理レシピへの配分量は元の分量に対して非常に少ない量に抑えることができた。しかし卵の料理レシピへの配分だけは不自然な結果になっている。卵は 1 個あたり 50 g で計算しているため今回の余剰食材では卵は 1 個だけ余剰が生じたが、それをほかのショウガやにらと同様に割合で分割して処理するのは現実的ではない。このような例外の食材に対して、例えば配分する際の単位をデータベース上に設定してその単位ごとに食材を配分するなどの対応が必要である。

4.3 継続した食材を使い切り可能な 1 週間分の献立出力

実験目的は、本システムを用いて一部使用済み料理レシピを再利用しながら 1 週間分の献立を数週間分選出し、余

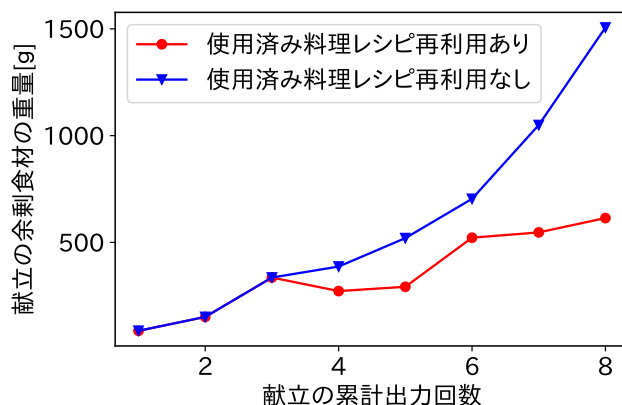


図 3 システムで繰り返し献立を出力した場合の余剰食材の重量

剰食材の量が再配分可能な量で抑えられているか、毎週異なる内容の献立を提案できるのかを確認することである。

前節の実験と同じ設定にして、約 2 か月 8 回分の献立の選出を行った。図 3 に 8 週分の献立の余剰食材の重量を示す。赤で示したグラフは本システムで 4 週目以降の料理レシピで料理レシピをランダムに再利用したときの献立の余剰食材の重量を示している。また青で示したグラフは使用済みの料理レシピを再利用しなかったときの余剰食材の結果を示しており、料理レシピを一部再利用することが献立の余剰食材に対して有効なのかを比較するために載せている。この結果から料理レシピを一部再利用して献立を選出することによって、余剰食材の重量は再利用しなかったときと比較して小さく抑えられていることがわかった。今回のシステムで選出した献立の余剰食材の重量は約 500 g 前後であったが、候補料理レシピ集合の数が多ければさらに余剰食材を少なく抑えた献立を継続して出すことができると予想される。

次に、先ほどの献立の 500 g 前後の余剰食材が実際に献立で配分可能な量なのかを検証する。表 8 に 8 週目の献立を配分した結果を一部示す。省略した部分は、同じ食材を同じ分量で料理レシピに配分しており、議論するうえで必要ないと判断した部分である。この結果を確認すると、牛バラ薄切り肉やにんにくの芽などが余剰食材として出ているが、元の分量に比べて少ない上炒め物に配分するので元料理レシピへの影響は少ない。また、今回配分量が 160 g で一番多かったリーキという食材に関しても、ネギのような食材であるため炒め物に追加しても味などへの影響は少ないと予想される。一方でニンニクが元の分量に対して多くの量が配分されてしまっている。今回のニンニクやショウガなどは 1 個あたりの購入単位に対して料理レシピ内で使用する分量が少ないためこのように余りやすい食材となっている。しかし、味の濃いニンニクやショウガを他の食材と同様に配分すると元料理レシピの味を大きく変えかねないため、このような食材については例外的な処理を行う必要があり、今後の課題である。現在対応策として考え

表 8 8 週目の献立の余剰食材の配分

余剰食材	配分する料理	元の分量 (g)	配分量 (g)
リーキ	リーキとりんごの豚肉の マスタード炒め	400.0	160.0
牛バラ薄切り肉	きゅうりと牛肉の炒め合 わせ	240.0	17.1
牛バラ薄切り肉	きゅうりとにんにくの芽 の中華炒め	320.0	22.9
しいたけ	ロースト椎茸	240.0	60.0
ニンニク	蒸し鳥のインディアンサ ラダ	8.0	12.0
にんにくの芽	牛肉とにんにくの芽の中 華炒め	320.0	40.0
にんじん	にんじんのグラッセ	400.0	50.0

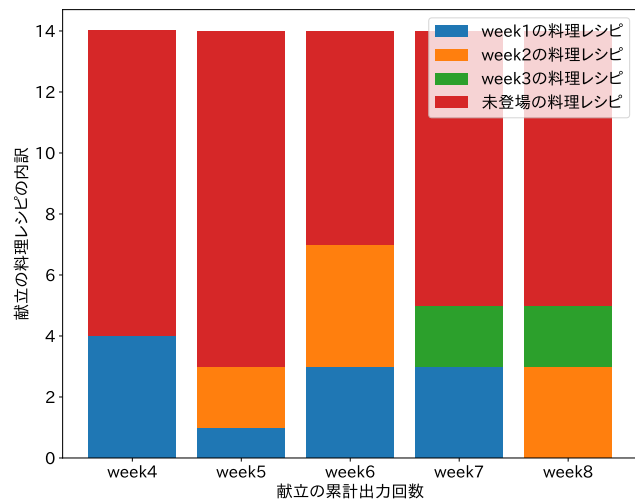


図 4 システムで繰り返し献立を出力した場合の料理レシピの内訳

ているのは、ニンニクやショウガは、チューブ式のものを使うよう料理レシピを変更し、ニンニクやショウガを調味料として除外食材に指定することである。

また、献立の再利用を行った4週目以降の料理レシピの内訳を示したのが図4である。この時、8週目までの献立の内容を確認し同じ料理レシピが3回以上は選出されていないことを確認している。そのうえで結果を確認すると、それぞれの献立の再利用した料理レシピの割合は低く、毎週ある程度異なる献立を提案できていることが確認できた。

4.4 献立表提案システムの動作事例の紹介

本節では、本研究の献立表提案システムを使って実際に献立を選出して実際に家庭の食品ロスや買い物の回数を減らす手助けができていたのかを確認した結果を示す。

検証は3日間行った。対象は筆者とその家族4人である。今回の検証では買い物と余剰食材の検証をメインで行うため、献立に採用する料理レシピの選出と余剰食材の再配分だけを行った献立を実際に調理した。出力された買い

表 9 献立の必要食材 (買い物リスト)

食材名	販売単位の名称	販売単位 (g)	個数
ショウガ	1 パック	40.0	1
きゅうり	1 本	100.0	4
長ネギ	1 本	100.0	2
にんじん	1 本	150.0	1
牛バラ薄切り肉	1 パック	200.0	1
白菜	1/4 個	500.0	2
塩昆布	1 袋	28.0	1
豚ロース肉	1 パック	200.0	2



図 5 実際に購入した食材

表 10 3 日分の主菜と副菜

主菜	副菜
ショウガの肉巻き	にんじんしりしり
白菜の肉巻き	白菜のナムル
牛肉とねぎの煮物	きゅうりと塩昆布の和え物

表 11 余剰食材と重量

食材名	重量 (g)
ごま	48.0
牛バラ薄切り肉	8.0
白菜	100.0
塩昆布	16.0
合計	172.0

物リストは表9に示した通り、その通りに買い物した食材の写真が図5である。買い物は買い物リストのおかげで1回で済み、余計な食材を買うこともなかった。

提案された献立は表10に、献立の余剰食材は表11に、余剰食材の配分は表12に示した。なお、塩昆布とごまは家にあるものを使ったため、余剰食材として配分は行わなかった。今回設定した除外食材にはごまや塩昆布を含めていなかったが、実際に家に常備しており、賞味期限もある程度長いいためごまや塩昆布も除外食材に指定すべき食材であることを確認した。

表 12 余剰食材の配分

余剰食材	配分する料理	元の分量 (g)	配分量 (g)
白菜	白菜の肉巻き	100.0	11.1
白菜	白菜のナムル	800.0	88.9
牛バラ薄切り肉	白菜の肉巻き	72.0	3.0
牛バラ薄切り肉	牛肉とねぎの煮物	120.0	5.0



図 6 実際に調理した結果

実際に作った写真を図 6 に示す。調理した結果買い物リストの指定通り買って来た食材で 3 日分、4 人前の夕食のおかずを作り切ることができた。白菜の肉巻きで失敗と書いてあるのは白菜を肉で巻くのに失敗したという意味で味に問題はなかった。余剰については買い物リストの通りに買いものできたものに関しては全く余らず、ちょうど使い切ることができた。一方で買い物リストの通りに買いものできなかった食材もある。それが白菜である。白菜は購入した時期が旬であったため、通常の大きさよりも大きく想定より多く買ってしまったため余ってしまった。そのため、より現実の購入単位に近づけるため、今後購入単位の最適化が必要である。

以上の 3 日分の調理によって本献立提案システムは買い物の回数を 1 回に抑え、食材の使い切りが可能な一定期間の献立を提案することができることを確認した。また実際に調理や買い出しをすることでシステムで設定している除外食材や食材の購入単位の情報が非常に重要なデータであることを確認したため、今後再検討が必要である。

5. まとめ

本研究では家庭からの食品ロスを削減しつつ、買い物の回数を減らしたり、ユーザの忙しさ考慮したり、同じような料理や献立を連続して提案しないようにした 1 週間分の献立を提案する献立表提案システムの開発を行った。

本研究では、献立の余剰食材を最小化するために献立に

採用する料理レシピの選出を献立の余剰食材を最小化する整数計画問題として定式化した。その際含める料理レシピに主菜と副菜を 1 週間分である 7 件ずつ含むという制約と調理手順数の多い料理と少ない食材をユーザの希望数含むという制約を設けることでユーザに合わせた 1 週間分の主菜と副菜を選出した。その結果わずかに出た余剰食材は献立内の料理へ配分することで食材の使い切りを実現できるようにした。また、1 日ごとの主菜と副菜の組み合わせを、ユーザの忙しさとメイン食材のかぶらなさに決めることにより、ユーザが調理しやすい 1 週間分の献立表を提案することを可能にした。また、継続して献立の提案を行う際には一度使用した料理レシピを候補料理レシピ集合から除くことで異なる内容で余剰食材が少ない献立の提案を行った。

実験では実際のアプリで使用される料理レシピ集合に対して本システムを用いて 1 週間分の献立を選出し、想定通り 1 週間で食材が使い切れる献立を出力できていることを確認した。また、連続して 1 週間分の献立を選出した際には一部の献立を再利用することにより継続して余剰食材が少なく、内容の異なる献立を選出することができることを確認した。

謝辞 本研究に際し株式会社 ONODERA GROUP ホールディングス 杉浦 仁志様に種々の御助言を賜りました。ここに深甚なる謝意を表します。

参考文献

- [1] ホームクッキング—キックマン, <https://www.kikkoman.co.jp/homecook/index.html>. (Accessed on 05/02/2022).
- [2] 最長一週間の献立が簡単に作れる me:new[メニュー], <https://menew.jp/sp/index.html>. (Accessed on 06/02/2021).
- [3] 食品ロスとは: 農林水産省, https://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/161227_4.html. (Accessed on 08/09/2021).
- [4] 家庭での食品ロスを減らそう—[消費者庁] めざせ! 食品ロス・ゼロ, <https://www.no-foodloss.caa.go.jp/eating-home.html>. (Accessed on 02/02/2022).
- [5] Salvador, A., Drozdal, M., Giro-i Nieto, X. and Romero, A.: Inverse Cooking: Recipe Generation From Food Images, *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (2019).
- [6] 木原ひかり, 上田真由美, 中島伸介: 余剰食材の使い切りを考慮したレシピ推薦手法の提案, 第 3 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, pp. E3-3 (2011).
- [7] conomeal(このみる)—おいしいを、わたしらしく。、<https://www.conomeal.jp/>. (Accessed on 06/02/2022).
- [8] Perron, L. and Furnon, V.: OR-Tools, <https://developers.google.com/optimization/>.