

数理最適化を利用した 大学生協食堂における食品組合せシステムの検討

小出武^a, 梶野真希^b

^a甲南大学 知能情報学部 知能情報学科
神戸市東灘区岡本8-9-1, 658-8501

^b株式会社 ソフトウェア・サービス
大阪市淀川区西宮原2-6-1, 532-0004

概要

大学生協食堂を対象として、栄養バランスが良く、利用者の希望に沿う食品の組合せを検索するための最適化モデルを提案し、最適化モデルの有効性を評価するためのシステムを作成した。利用者の性別、食物アレルギーの有無、希望する摂取カロリー、希望する食品ジャンルを指定すると、栄養バランスの良い食事を行うための方法である三群点数法における赤、緑、黄の目安、および指定された条件を満たす食品の組合せの中で合計価格が最安の組合せを出力する。提案した最適化モデルを基盤としたシステムの実用化に向けて、提案したモデルの拡張やシステムが解決すべき課題について考察する。

キーワード: 食品組合せ, 献立計画, 数理最適化, 生協食堂, 三群点数法

1 はじめに

健康を保つためには、健全な食生活を営むことが重要である。日本の食生活に関する公な指針として、2000年に厚生省、農林水産省、文部省が共同で策定した食生活指針が存在する。2016年に改定された食生活指針[1]では10種の指針が示されており、その一つが「主食、主菜、副菜を基本に、食事のバランスを。」という摂取する食品のバランスに関する指針である。また厚生労働省と農林水産省は、1日に摂取すべき食品の種類と量を示す食事バランスガイドを2005年に策定している[2]。

2021年に実施された食育に関する意識調査[3]によれば、国民の食育に関する関心は高く、今後1年間で食育として実践したいこととして「栄養バランスの取れた食生活を実施したい」と挙げた人が最も多い。その一方、実際にバランスの良い食事をほぼ毎日できていると回答した人の割合は36.4%であり、2021年に制定された第4次食育推進基本計画[4]では、2025年度までに50%以上にすることが目標とされている。

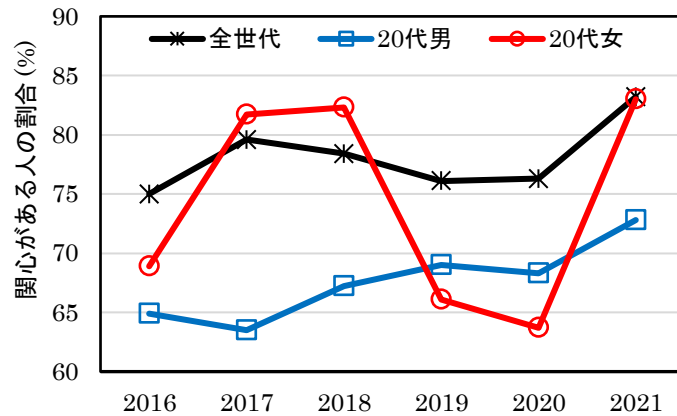


図 1. 食育への関心度 ([3]を基に著者が作成)

2016年から2021年までの6年間において、[3]の調査にて食育に関心があると回答した人の割合の推移を図1に表す。回答者全体に加え、20代男性、20代女性の推移を示した。20代男性は全世代と比較すると食育に関する関心が低いものの、年々関心が高まっていることがうかがえる。一方で同じく[3]によると、2021年においてバランスの良い食事をほぼ毎日できていると回答した20代男性は26%、20代女性は22%で、全体の36.4%よりも低い値を示している。2020年に全国大学生生活協同組合連合会が実施した実態調査[5]によると、他の飲食店と比較して生協食堂が優れている項目として、栄養バランスの良さが大学生から最も高く評価されている。多くの大学生が利用する生協食堂において、バランスの良い食品の組合せを容易に見つけることができる方法があれば、多くの学生が関心を示すことが期待される。

本研究では、生協食堂を利用する学生が最適な食品の組合せを検索するための最適化モデルを提案する。検索される食品の組合せは、全国の大学生協で導入されている三群点数法[6]に基づいた栄養バランスを満たし、かつ、いくつかの利用者の希望を満たす組合せのうち、合計価格が最小となる食品の組合せである。提案した最適化モデルの有効性を評価するために、提案した最適化問題を解くシステムを作成し、出力される食品の組合せを検証した。合わせて、作成したシステムを実用可能なシステムにするために必要な条件、具体的には最適化モデルの拡張、およびシステムが解決すべき課題について考察する。

2 関連知識

2.1 先行研究

栄養を考慮した上でどんな食品を摂取、あるいは選択すればよいかという最適化問題は、栄養問題や献立計画などと呼ばれている。この問題はオペレーションズ・リサーチの研究分野で古くから取り扱われ、Lancaster[7]によれば、1945年には所定の栄養を満たす最小費用の食料の量を求める研究が行われている。この例のように当初の研究では、実数で表される食料の量を求める線形計画問題に帰着させる研究が主であった。一方、近年における献立計画では、学校給食における日々のメニューや日替わり弁当に入れる食品のように、候補となる食品群からどの食品を選択し、いつ提供するかという組合せ最適化問題に関する研究が多い。線形計画問題と比較して、組合せ最適化問題は最適解を求めるための時間がかかることが多いため、厳密な最適解ではなく、精度の良い近似解を短時間で導出するための研究も盛んに行われている。

献立計画の分類として、次の2点を考える。1つ目は意思決定者に関する分類で、提供する食品の組合せを決定するサービス提供側である場合と、食べたい食品の組合せを決定するサービス受容側である場合とに分別できる。2つ目の分類は意思決定の対象期間に関する分類であり、食品の組合せを決めるのは1度だけである単期間決定と、連続する複数回の組合せを決定する多期間決定とに分別できる。近年盛んに行われているのは、サービス提供側による多期間決定である。約1か月の学校給食の献立を決定する研究[8,9]、病院や介護施設における管理食の献立を30日分立案する研究[10]、6か月分の日替わり弁当のメニューを作成する研究[11]などが存在する。一方、サービス受容側の意思決定として、[12]では1回の食事、[13]では1日3回の食事において選択する食品を決定する問題を扱っている。また1~7日間、大学生が外食メニューだけで栄養バランスを満たせるのかを考察した研究も存在する[14]。本研究が取り扱う問題は、1食における食品選択問題である。

2.2 生協食堂

本研究では甲南大学岡本キャンパス内の厚生施設 iCommons の1階に存在する生協食堂、正式には Hiraon Dining Hall を対象とする。生協食堂はカフェテリア形式で、主菜のほかに麺類、丼類、カレー、総菜などを食することができる。時期によって異なるがおよそ、主菜が5~7種類、麺類が3種類、カレーが2種類、総菜が10~15種類提供されている。当日に提供されるメニューは、食堂のホームページで確認することができる[15]。生協食堂では一つ一つの品を「メニュー」と呼ぶが、本研究では先行研究に倣って「食品」と呼ぶことにする。

生協食堂での精算時に受け取ることができるレシートの例を図1に示す。このレシートには価格のほかに、三群点数法による栄養バランス、蛋白質、カルシウム、野菜量、塩分など、選択した食品に関する情報が記載されている。三群点数法[6]とは、栄養バランスの良い食事を行うための方法の一種で、全国の大学生協にて導入されている。日常食べている食品を栄養の働き別に赤、緑、黄の3つのグループに分類し、食品を80kcal 摂取するごとに1点として各グループの目安となる点数を設定している。1日当たりの目安の点数は、赤8点、緑3点、黄が男



図1. 生協食堂発行のレシート



図2. メニュー組合せ検索の画面

性 17 点，女性 10.5 点である．目安の点数を満たすように食事をするこゝで，摂取する栄養のバランスを良くすることができる．レシートには 1 食あたりの目安が記されているが，三群とも目安を満たすように食品を選択するのは案外難しい．

大学生協の学食情報サイトである学食どっとコープでは，メニュー組合せ検索というサービスが提供されている[16]．利用者が入力する情報は自分の気分と予算の 2 種類で，条件に合った食品の組合せが表示される．図 2 にその出力結果の例を示す．選択された食品が画像付きで表示され，その下には選択した全食品に対するエネルギー量，三群点数法の三色である赤，緑，黄の点数，塩分，および税込価格が表示される．

学食どっとコープは北海道地方，東北地方，関東甲信越地方，東海地方の大学生協を対象としているため，メニュー組合せ検索で選択される食品は対象の大学生協で提供される食品に限定される．そのため，自分好みの食品組合せを探したい甲南大学学生食堂の利用者を想定した場合，学食どっとコープのメニュー組合せ検索は直接的には役に立たない．また，検索条件として指定できる条件が少なく，例えば三群の点数をすべて満たすような食品の組合せを検索することはできない．

3 食品組合せの定式化

本章では，利用者の希望を満たす食品の組合せを選択する作業を最適化問題として定式化する．最適化問題 (optimization problem) とは，与えられたすべての制約条件を満たす解のうち，目的関数の値を最適，すなわち最大，または最小にする解を求める問題である．最適化問題の最適解を導出することを数理最適化 (mathematical optimization) と呼び，その方法を数理計画法 (mathematical programming) と呼ぶ[17, 18]．以降の節，および次章の内容は，梶野が行った研究[19]に基づいて変更加筆したものである．

3.1 選択される食品組合せの設定

利用者の希望を満たす食品の組合せを選択する作業を具体化するために，利用者が与える情報や選択される組合せが満たすべき条件を以下に定めた．

利用者が与える情報は性別，食物アレルギーの有無，希望する食品ジャンル，希望する摂取カロリーの 4 種類とした．まず性別は，性別によって異なる三群点数法の黄の目安点数を定めるために使用する．食物アレルギーを持つ利用者は選択できる食品が限定されるため，食物アレルギーの有無も入力項目に加えた．また，実際に生協食堂で食品を選択する際には，「麺類が食べたい」とか「肉類が食べたい」などのように，自分の食べたいジャンルを意識することが多いと考えて，希望する食品ジャンルも指定できるようにした．合わせて摂取カロリーを気にする利用者が多数存在すると考えて，希望する摂取カロリーの範囲を指定できるようにした．

次に選択される食品の組合せが満たすべき条件として，以下のものを定めた．

(1) 選択される食品数は最大 6 品まで

バランスの良い食事として，主食，主菜，汁物を各 1 品，副菜を複数品としても，最大 6 品あれば十分と考え，選択される食品数は 6 品までとした．また，システム化した際での結果表示画面の大きさを定めるため，最適化問題を解く際に解の候補数を絞るためにも，選択する食品数の上限を設定するのが望ましいと考えた．

(2) 性別に応じた三群点数法の点数が目安を満たす

三群点数法における 1 食の目安の点数は、1 日あたりの目安を 3 で割って赤 2.7 点、緑 1.0 点、黄は男性 5.7 点、女性 3.5 点とした。日頃生協食堂で食品を選ぶとき、3 色とも目安を満たすのが困難であったため、本研究ではこの条件を必ず満たすように食品を選択することにした。

(3) 食物アレルギー物質を含む食品を選択しない

利用者が食物アレルギーとして指定した品目を材料として含む食品は選択しないようにした。食物アレルギー物質は、食品表示法[20]に基づく特定原材料 7 品目である卵、乳、小麦、えび、かに、落花生、そば、および特定原材料に準ずる 21 品目である大豆、あわび、いか、いくら、さけ、さば、くるみ、ゼラチン、まつたけ、やまいも、牛肉、豚肉、鶏肉、オレンジ、キウイフルーツ、バナナ、桃、りんご、ごま、カシューナッツ、アーモンドを合せた合計 28 品目とした。

(4) 利用者が希望するジャンルを含む食品を少なくとも 1 つ選択する

利用者が希望できる食品ジャンルは麺、どんぶり、カレー、魚、肉とした。利用者がこれらのジャンルのいずれかを希望した場合は、少なくとも 1 品は希望ジャンルに属する食品を含むように選択することにした。また希望するジャンルがないことを意味する「おまかせ」も用意し、おまかせを選択した場合には、希望ジャンルに関する条件を考慮しないこととした。

(5) 利用者が希望する摂取カロリーの範囲に収める

1 日に必要なエネルギー量は、活動量の少ない成人女性で 1400~2000kcal、男性で 2000~2400kcal が目安である[21]。日常生活での身体活動レベルや食事のタイミングに応じて利用者が求めるエネルギー量は異なるため、利用者が希望するエネルギー量の範囲を選択できるようにした。

(6) ライス、どんぶり、カレーなどのライス類は 1 品まで

ライス、どんぶり、カレーなど、ごはんを多く含む食品をライス類と呼ぶことにする。通常、1 回の食事でライス類を 2 品以上選択することはないと考え、1 品までしか選択しないこととした。

(7) 最大 3 種の組合せを出力する。ライスを除き、同じ食品は重複して選択しない

1 回の検索に対して、最大 3 種類の食品の組合せを表示する。異なる組合せで同じ食品を選択可能とすると、総菜を 1 つ入れ替えただけの類似した組合せが表示されるため、ライス以外の食品は異なる組合せで重複して選択しないこととした。ここで言う「ライス」とはライス SS、ライス S、ライス M、ライス L を指し、(6)で述べた「ライス類」とは異なる。

(8) 条件を満たす食品の組合せのうち、合計価格が最小の組合せを選択する。

主なる利用者である学生にとって最も関心が高い事項は価格であると考え、条件を満たす候補のうち、最安値となる食品の組合せを導出することにした。現実に最安値の組合せが提示されたとき、利用者は導出された組合せの価格が想定よりも安価であれば、示された食品の組合せを基として、別の食品を追加したり、より好みの強い別の食品と入れ替えたりすると想像している。

3.2 定数と集合の定義

前節で設定した最適な食品の組合せを発見するための最適化モデルを提案する。最適化モデルで使用する定数と集合を以下に定義する。

- M 選択可能な食品の集合
- C_l 利用者が指定した最小の摂取カロリー
- C_u 利用者が指定した最大の摂取カロリー
- $\hat{R}, \hat{G}, \hat{Y}$ 利用者が摂取すべき赤, 緑, 黄の点数の目安. \hat{Y} は性別に依存
- R_i, G_i, Y_i 食品 i の赤, 緑, 黄の点数
- P_i 食品 i の価格
- C_i 食品 i のカロリー

$$\bullet \quad r_i = \begin{cases} 1 & \text{食品 } i \text{ がライスであるとき} \\ 0 & \text{食品 } i \text{ がライスでないとき} \end{cases} \quad (1)$$

$$\bullet \quad rgi = \begin{cases} 1 & \text{食品 } i \text{ がライス類であるとき} \\ 0 & \text{食品 } i \text{ がライス類でないとき} \end{cases} \quad (2)$$

$$\bullet \quad j_i = \begin{cases} 1 & \text{食品 } i \text{ が利用者希望ジャンルの食品であるとき} \\ 0 & \text{食品 } i \text{ が利用者希望ジャンルの食品でないとき} \end{cases} \quad (3)$$

$$\bullet \quad a_i = \begin{cases} 1 & \text{食品 } i \text{ が利用者指定の食物アレルギーを含むとき} \\ 0 & \text{食品 } i \text{ が利用者指定の食物アレルギーを含まないとき} \end{cases} \quad (4)$$

$$\bullet \quad d_i = \begin{cases} 1 & \text{食品 } i \text{ が以前の食品組合せで選択されているとき} \\ 0 & \text{食品 } i \text{ が以前の食品組合せで選択されていないとき} \end{cases} \quad (5)$$

最大 3 種類の食品の組合せを表示するため, 最大 3 回最適化が実行される。1 回目の最適化によって最適解が得られた場合, 選択された食品 i に対して $d_i = 1$ としたのちに 2 回目の最適化を実行する。3 回目の最適化についても同様の処理を行う。

3.3 定式化

提案する最適化モデルにおける決定変数は次のようになる。

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{食品 } i \text{ を選択するとき} \\ 0 & \text{食品 } i \text{ を選択しないとき} \end{cases} \quad (6)$$

最適化モデルにおける目的関数は, 合計価格の最小化である。

$$\text{Min.} \quad \sum_{i \in M} P_i x_i \quad (7)$$

最適化モデルにおける制約条件を以下順に示す。

- ① 選択される食品数は最大 6 品まで

$$\sum_{i \in M} x_i \leq 6 \quad (8)$$

② 性別に応じた三群点数法の点数が目安を満たす

$$\sum_{i \in M} R_i x_i \geq \hat{R} \quad (9)$$

$$\sum_{i \in M} G_i x_i \geq \hat{G} \quad (10)$$

$$\sum_{i \in M} Y_i x_i \geq \hat{Y} \quad (11)$$

③ 食物アレルギー物質を含む食品を選択しない

$$\sum_{i \in M} a_i x_i = 0 \quad (12)$$

④ 利用者が希望するジャンルを含む食品を少なくとも1つ選択する

$$\sum_{i \in M} j_i x_i \geq 1 \quad (13)$$

⑤ 利用者が希望する摂取カロリーの範囲に収める

$$C_l \leq \sum_{i \in M} C_i x_i \leq C_u \quad (14)$$

⑥ ライス、どんぶり、カレーなどのライス類は1品まで

$$\sum_{i \in M} r g_i x_i \leq 1 \quad (15)$$

⑦ ライスを除き、以前の最適化で選択された食品は選択しない

$$x_i \leq 1 - d_i(1 - r_i) \quad (16)$$

食品*i*が以前の最適化で選択された場合、式(16)は $x_i \leq r_i$ となる。食品*i*がライスであれば式(16)は $x_i \leq 1$ となり食品*i*を選択することができるが、食品*i*がライスでなければ式(16)は $x_i \leq 0$ となり食品*i*は選択することができない。一方、食品*i*が以前の最適化で選択されていない場合、式(16)は $x_i \leq 1$ となるので、食品*i*を選択することができる。

4 食品組合せシステム

前章で提案した最適化モデルの有効性を確認するため、利用者の希望に応じた食品組合せを検索するシステムを作成した。本システムは[19]で作成されたシステムを基としている。本章ではシステムの詳細について説明し、実データを用いた実行例を示す。

4.1 食品データ

システムが利用する食品データは、甲南大学生生活協同組合に協力していただき、ある1日で実際に生協食堂にて提供された食品一覧の情報を3日分提供して頂いた。各食品に関して含まれる情報は、食品名、価格、食品が含む食物アレルギーリスト、三群点数法における赤の点数、

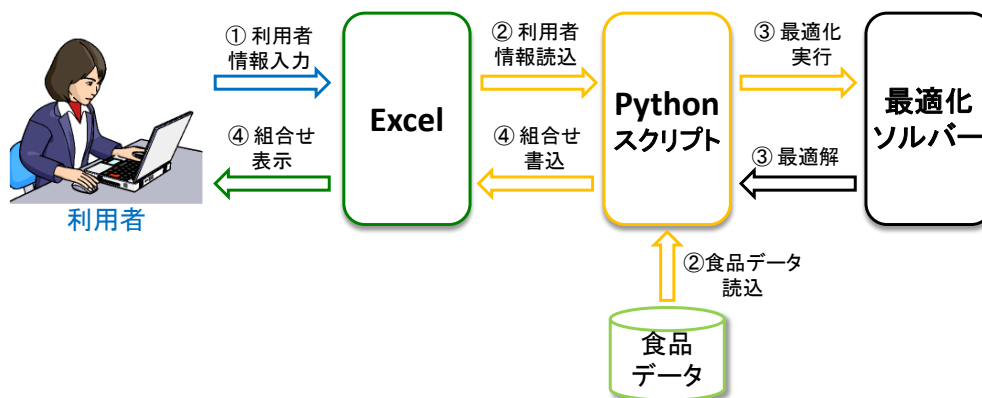


図 3. 処理フロー図

緑の点数，黄の点数，カロリーである．提供いただいた 3 日分の食品データを 1 日分ずつ分割して，それぞれ，データ 1，データ 2，データ 3 と名付けた．

本システムでは利用者が希望する食品ジャンルも考慮するため，上記のデータに「食品ジャンル」という項目を手作業で追加した．各食品に対して，麺，どんぶり，カレー，魚，肉，ライスの中で，該当するジャンルがあれば最も近いもの 1 つを選択して入力した．

4.2 システム構成と処理の流れ

作成したシステムにおける処理の流れを図 3 に示した．システムの UI として Microsoft Excel を採用した．利用者は一つの Excel ファイルを開き，シートに必要な情報を入力することで，システムを利用することができる．以下，図 3 内の番号に沿って処理の流れについて説明する．

- ① システムの利用者は，性別，食物アレルギー，希望する食品のジャンル，希望する摂取カロリーの 4 種類の情報を Excel シートの指定された箇所に入力し，組合せを表示するためのボタンをクリックすると，Excel VBA (Visual Basic for Application) で作成されたプログラムが起動する．プログラムは，別ファイルとして保存している Python スクリプトを実行する．
- ② Python スクリプトは，Excel シートに入力された利用者情報，および別ファイルにて保存されている食品データを読み込み，前章で示した最適化モデルを作成する．
- ③ Python スクリプトは最適化ソルバーと呼ばれる外部モジュール(プログラム)を用いて，作成した最適化モデルの最適解を求める．
- ④ Python スクリプトは得られた最適解を解釈し，選択された食品の組合せを Excel シートに書き込む．Excel は書き込まれた組合せを利用者に表示する．

利用者が使用する Excel ファイルは，「入力」，「出力」，「設定」の 3 つのシートによって構成される．以下では入力シートと出力シートについて説明する．システムの実行環境設定を行う設定シートについては，説明を割愛する．

4.3 入力シート

入力シートは利用者の希望する情報を受け付ける画面である．その例を図 4 に示す．上から順に 4 種の質問に回答する形式で入力する．







	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	4つの質問に答えるだけ!													
2	①あなたの性別は?													
3		<input checked="" type="radio"/> 男性												
4		<input type="radio"/> 女性												
5														
6	②アレルギーはある?													
7		<input type="checkbox"/> 卵		<input type="checkbox"/> 落花生		<input type="checkbox"/> いくら		<input type="checkbox"/> まつたけ		<input type="checkbox"/> オレンジ		<input type="checkbox"/> ごま		
8		<input type="checkbox"/> 乳及乳製品		<input type="checkbox"/> そば		<input type="checkbox"/> さけ		<input type="checkbox"/> やまいも		<input type="checkbox"/> キウイフルーツ		<input type="checkbox"/> カシューナッツ		
9		<input type="checkbox"/> 小麦		<input type="checkbox"/> 大豆		<input type="checkbox"/> 鯖		<input type="checkbox"/> 牛肉		<input type="checkbox"/> バナナ		<input type="checkbox"/> アーモンド		
10		<input type="checkbox"/> えび		<input type="checkbox"/> あわび		<input type="checkbox"/> くるみ		<input type="checkbox"/> 豚肉		<input type="checkbox"/> 桃				
11		<input type="checkbox"/> かに		<input type="checkbox"/> いか		<input type="checkbox"/> ゼラチン		<input type="checkbox"/> 鶏肉		<input type="checkbox"/> りんご				
12														
13	③カロリーを気にする?													
14		<input type="radio"/> 500kcal以下 <input checked="" type="radio"/> 500kcal~1000kcal <input type="radio"/> 1000kcal~1500kcal <input type="radio"/> 1500kcal以上 <input type="radio"/> 気にしない												
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22	④食べたいものはある?													
23	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <input type="radio"/> 麺が食べたい </div> <div style="text-align: center;">  <input type="radio"/> どんぶりが食べたい </div> <div style="text-align: center;">  <input type="radio"/> カレーが食べたい </div> <div style="text-align: center;">  <input type="radio"/> 魚が食べたい </div> <div style="text-align: center;">  <input type="radio"/> 肉が食べたい </div> <div style="text-align: center;">  <input checked="" type="radio"/> おまかせ </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 30%;">データ1</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 30%;">データ2</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 30%;">データ3</div> </div>													
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														

図 4. 入力シート

①では性別をラジオボタンにて男性か女性か、いずれかを選択する。②では食物アレルギーの有無を、該当する食品にチェックを付ける形式で回答する。③では希望する摂取カロリーの範囲をラジオボタンで選択する。作成したシステムでは簡易的に範囲を指定できるように、500kcalで範囲を区切った。気にしないを選択した場合は、摂取カロリーが実質的に制約にならないように、0~10000kcalの範囲になるように設定した。④では希望する食品ジャンルをラジオボタンで選択する。おまかせを選択した場合には、希望ジャンルに関する制約条件である式(13)を最適化問題から除外するようにした。

最後に最下部に存在するデータ1、データ2、データ3のいずれかをクリックすると、最適化問題を解いて、希望に沿った食品の組合せを表示する。クリックする1つのボタンがある1日における生協食堂の食品リストを表しているので、利用者が入力した希望が同じであっても、異なるボタンをクリックすれば出力される食品の組合せは異なる。実行時間は食品データや利用者の希望する条件によって異なるものの、どのデータでも数秒以内で結果が表示された。

4.4 出力シート

出力シートには利用者の希望に沿った食品の組合せが出力される。出力例を図5に示す。こ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	性別が男性														
2	アレルギーはなし														
3	1000kcal以下														
4	おまかせが食べたい	のあなたには！													
5															
6															
7	①														
8	No	メニュー	価格	カロリー	赤	緑	黄								
9	1:	ライスM	115:	408:	0:	0:	5.1								
10	2:	ブリ照り煮	176:	234.2:	2.6:	0:	0.3								
11	3:	さつま芋甘露煮	88:	96:	0:	1:	0.2								
12	4:	K味噌汁	33:	52:	0.3:	0:	0.4								
13	5:														
14	6:														
15	合計		412円:	790kcal:	2.9点:	1.0点:	6.0点:								
16	②														
17	No	メニュー	価格	カロリー	赤	緑	黄								
18	1:	ライスM	115:	408:	0:	0:	5.1								
19	2:	鶏きも煮	88:	66.7:	0.6:	0:	0.2								
20	3:	オクラ巣ごもり玉子	88:	91.2:	1:	0.1:	0.1								
21	4:	南瓜煮	66:	74.1:	0:	0.7:	0.3								
22	5:	だし巻き	66:	98:	1.1:	0:	0.2								
23	6:	ポテトサラダ	66:	100:	0:	0.5:	0.8								
24	合計		489円:	838kcal:	2.7点:	1.3点:	6.7点:								
25	③														
26	No	メニュー	価格	カロリー	赤	緑	黄								
27	1:	ライスS	94:	272:	0:	0:	3.4								
28	2:	Eハンバーグおろし	220:	263.4:	1.4:	0.1:	1.8								
29	3:	クラムチャウダー	220:	240:	1.3:	0.9:	0.8								
30	4:														
31	5:														
32	6:														
33	合計		534円:	775kcal:	2.7点:	1.0点:	6.0点:								
34															
35	*一食の目安	(男性)			2.7点:	1.0点:	5.7								

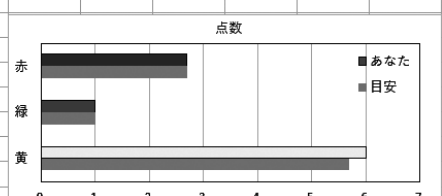
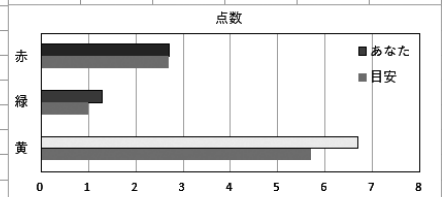
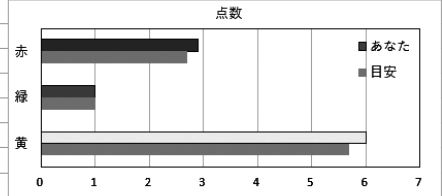


図 5. 出力シート

の例では、男性、食物アレルギーなし、希望摂取カロリー500~1000kcal、希望食品ジャンルおまかせの条件下で実行した。

図 5 では 3 種類の食品組合せが表示されている。いずれもある 1 日に提供された食品リストの中から選択している。この例で満たすべき条件は摂取カロリーの範囲と三群点数法の点数のみである。まず①では条件を満たす食品組合せのうち、合計価格が最小となる組合せを出力している。組合せリストの右側には、摂取される三群点数法の赤・緑・黄の点数をグラフで表した。摂取カロリーが指定範囲内で、三群点数法の点数もすべて目安以上であることが分かる。

②では、①で選択された食品を選ばないようにする条件を付加した上での最適な食品組合せが表示される。ただしライス類は①と重複しても構わないため、①で選択されたライスMが②でも選択されている。②の条件は①より厳しくなっているため、②での合計価格 489 円は①での合計価格 412 円よりも高価になる。同様に、①と②で選択された食品を除いた条件下での最適な組合せが③に出力され、合計価格はさらに高価な 534 円になっている。

図 5 の例では 3 種類の食品組合せが表示されたが、必ずしも 3 種類表示されるとは限らない。利用者が指定した条件が厳しい場合、条件を満たす組合せが存在せず、1 つも組合せを表示しないこともある。また①として 1 つの組合せは表示できたものの、①で選択した食品を選択しないようにすると条件を満たすことができず、2 種類目以降の組合せが表示されないこともある。

5 実用に向けた検討

5.1 最適化モデルの拡張

食品組合せに関する利用者の嗜好について、3章で提案した最適化モデルが考慮している事項は三群点数法の点数、食物アレルギー、希望食品ジャンル、摂取カロリー、合計価格の5つである。塩分やカルシウムなどの摂取量についても、各食品が含む量に関するデータさえ存在すれば、モデルで考慮するように拡張することは容易である。

また、特定の食品が選ばれるように指定したり、逆に特定の食品が選ばないように指定したりすることも可能である。システムでこれらの指定ができるようにするには、対象日に提供される食品の一覧を読み込み、利用者に提示する仕組みが必要となる。その際には[16]のメニュー組合せ検索のように、食品の画像を一緒に表示すれば利用者にとって使いやすくなるだろう。

さらに、3章のモデルでは合計価格の最小化を目的関数としたが、一定の合計価格の条件下で、なるべく栄養バランスの良い食品を選択したい、というニーズも存在するだろう。利用者によって、必ず満たすべき条件である制約条件と、できるだけ良くしたい条件である目的関数に指定したい条件は様々である。また、利用者が指定する「摂取カロリーを1000kcal以下」という希望における「1000kcal」は決して厳密ではなく、大抵の場合はより良い食品の組合せであるなら摂取カロリーが1001kcalでも大きな問題ではない。制約条件として指定する条件に対して、多少なら違反することを許容するような食品組合せを出力することも必要であろう。利用者の好みの多様性、および曖昧な制約条件に対処するには、すべての条件をソフト制約として定式化し、目的関数をソフト制約の違反度の最小化とする方法が有用である[22]。

5.2 実用に向けた課題

提案した最適化モデルに基づいた食品組合せ検索システムが将来構築されると仮定して、解決すべき課題について考察する。

まず利用者はスマートフォンでシステムを利用する頻度が最も大きいことが予想される。利用者の端末の種類を問わない点やシステムアップデートの容易さを考慮すると、Webブラウザ上で稼働するWebアプリとしてシステム化するのが望ましいと考えられる。当日のメニューが食堂のホームページ[15]で公開されている点でも親和性が高い。Pythonで作成したプログラムをWebアプリ化するには、Django[23]やFlask[24]などのフレームワークを用いることが多く、これらを用いれば利用者の食品組合せに対する好みの設定を保存する仕組みも実現できる。

当日の食品組合せを検索するためには、当日に提供する食品データが必要となる。食品データを更新する手続きは、生協食堂に担当して頂く必要がある。生協食堂の作業負担を軽減するために、複数日分の食品データを一度に更新できる仕組みが必要である。

また、生協食堂が日頃業務で使用している食品データをそのまま食品組合せシステムでも転用できれば、作業負担が少なくて好ましい。しかし、提案した最適化モデルが考慮する「食品ジャンル」に相当する情報は、生協食堂が日頃業務で使用しているデータには存在しない。希望する食品ジャンルを考慮する仕組みを継続させるためには、食品データに対して「食品ジャンル」を手作業で指定する必要がある。麺、どんぶり、肉、魚など、ジャンルとして指定する個数によって手作業の手間も異なる。利用者が希望ジャンルを指定できる長所と、生協食堂が新しい食品に対してジャンルを決定しなければならない負担を勘案して、システムの仕様を決定する必要があるだろう。

6 おわりに

本研究では、生協食堂で提供される食品から利用者の好みに応じた最適な食品の組合せを選択するための最適化モデルを提案し、機能を満たすシステムを作成した。提案したモデルは、三群点数法による栄養条件をはじめとする条件を満たす食品の組合せのうち、合計価格が最安となる組合せを出力する。提案したモデルを基にしたシステムを実用化することを目標として、利用者の多様なニーズに対応できるように最適化モデルを拡張することを今後の課題とする。

謝辞

食堂部の石川芳人店長をはじめ、内田真紀子専務、山本正生常務など、甲南大学生生活協同組合のみなさまにはご協力と貴重なご助言を賜りました。心から御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 食生活指針について, 厚生労働省, <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000128503.html>, 2021年12月27日閲覧.
- [2] 「食事バランスガイド」について, 農林水産省, https://www.maff.go.jp/j/balance_guide/, 2021年12月27日閲覧.
- [3] 食育に関する意識調査, 農林水産省, <https://www.maff.go.jp/j/syokuiku/ishiki.html>, 2021年12月27日閲覧.
- [4] 新たな「食育推進基本計画」の公表について, 農林水産省, https://www.maff.go.jp/j/press/syouan/hyoji/210331_35.html, 2021年12月27日閲覧.
- [5] 第56回学生の消費生活に関する実態調査報告書, 全国大学生生活協同組合連合会, <https://www.univcoop.or.jp/press/life/info.html>, 2021.
- [6] 三群点数法・バランスよく食べよう, 京都地区大学生協食堂メニュー情報サイト, <https://www.u-coop.net/food/menu/hanshin/about3.html>, 2022年1月6日閲覧.
- [7] L. M. Lancaster, “The history of the application of mathematical programming to menu planning,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 57, pp. 339–347, 1992.
- [8] 加島智子, 折登由希子, 山本久志, “多期間献立計画問題に対する食育評価モデルの提案と分布推定アルゴリズムによる最適化,” *電気学会論文誌C*, Vol. 133, No. 8, pp. 1576–1585, 2014.
- [9] 高橋淳, 片桐英樹, “下調理の手間と食材の重量を考慮した組合せ最適化に基づく学校給食の献立作成, 日本経営工学会 2021年度春季大会予稿集,” pp. 276–277, 2021.
- [10] 入江恭平, 藤井信忠, 国領大介, 貝原俊也, “管理食を対象とした献立計画システム：食材発注費用の考慮,” 第34回人工知能学会全国大会論文集, 1F4OS2b02-1F4OS2b02, 2020.
- [11] 菅原一将, 太田和希, 片桐英樹, “数理最適化に基づく仕出し弁当の献立作成,” 日本経営工学会 2021年度春季大会予稿集, pp. 93–94, 2021.
- [12] 加島智子, 石井博昭, 食材分類による献立作成の提案, “数理解析研究所講究録,” No. 1629, pp. 1–7, 2009.
- [13] 辻明日夏, 倉重賢治, 亀山嘉正, “ファジィ数理計画法を用いた料理の選択,” *知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）*, Vol. 20, No. 3, pp. 337–346, 2008.

- [14] 堀田敬介, “数理最適化を利用した大学生の外出利用と栄養バランスに関する論考,” 湘南フォーラム : 文教大学湘南総合研究所紀要, No. 22, pp. 99–116, 2018.
- [15] Hirao Dining Hall 食堂メニュー, <https://www.knu.jp/food/menu.html>, 2021年12月23日閲覧.
- [16] 学食どっとコープ, <https://gakushoku.coop/>, 2021年12月20日閲覧.
- [17] 久保幹雄, J. P. ペドロソ, 村松正和, A. レイス, あたらしい数理最適化, 近代科学社, 2012.
- [18] 梅谷俊治, しっかり学ぶ数理最適化, 講談社, 2020.
- [19] 梶野真希, 大学生協の食堂メニューの組み合わせシステム, 甲南大学知能情報学部卒業論文, 2021.
- [20] 食品表示法等 (法令及び一元化情報) , 消費者庁, https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/food_labeling_act/, 2021年12月23日閲覧.
- [21] 一日に必要なエネルギー量と摂取の目安, 農林水産省, https://www.maff.go.jp/j/syokuiku/zissen_navi/balance/required.html, 2021年12月23日閲覧.
- [22] 池上敦子, ナース・スケジューリング, 近代科学社, 2018.
- [23] Django公式ページ, <https://www.djangoproject.com/>, 2022年1月7日閲覧.
- [24] Flask公式ページ, <https://flask.palletsprojects.com/en/2.0.x/>, 2022年1月7日閲覧.