

制限食と大人数料理に対応した ブラウザベースの 自動献立作成システムの開発

**Development of a Browser-based Automatic Menu Creation
System that Supports Restricted Meals and large Groups of People**

水上 和秀 (Mizukami Kazuhide)
t915077@st.pu-toyama.ac.jp

富山県立大学 工学部 電子・情報工学科 情報基盤工学講座

**10:45-11:00, Tuesday, February 14, 2023
N212, Toyama Prefectural University**

1. はじめに
2. 自動献立作成の概要
3. 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
4. 提案手法
5. 数値実験
6. おわりに

1.1 研究の背景

2/17

背景

近年、生活習慣病を患う人々が増加している。生活習慣病とは「食習慣、運動習慣、休養、喫煙、飲酒、ストレスなどの生活習慣を原因として発症する疾患の総称」のことであり、深刻な疾患に深く関与している。

生活習慣病を患った場合、食生活を見直すことで改善することができる。しかし栄養バランスの取れた献立を作成するには、メニューの組み合わせや栄養価の計算を考慮する必要がある、献立を考えることは面倒と考える人は少なくない

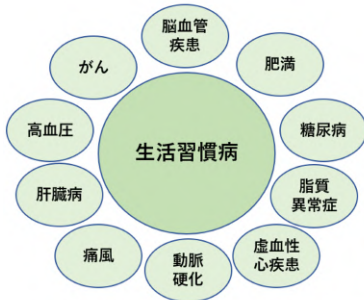


図1 生活習慣病を起因とする疾患

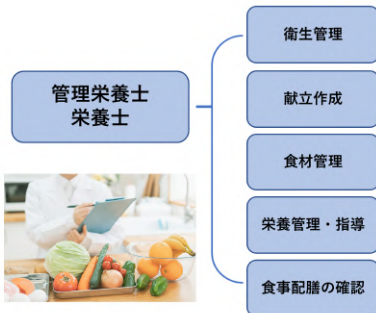


図2 栄養士の主な業務内容

1. はじめに
2. 自動献立作成の概要
3. 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
4. 提案手法
5. 数値実験
6. おわりに

1.2 研究の目的

3/17

目的

そこで、健常者だけでなく、生活習慣病やアレルギーを持っていて制限食を必要とする人でも摂るべき栄養素やカロリーが満たされた献立作成をコンピュータによって自動的に行うシステムを提案する。

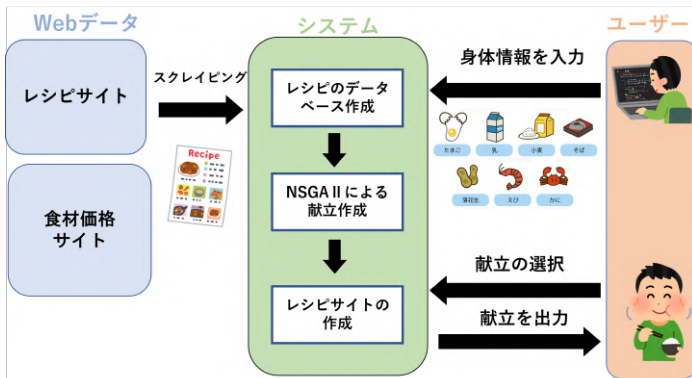


図3 システムの流れ

1. はじめに
2. 自動献立作成の概要
3. 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
4. 提案手法
5. 数値実験
6. おわりに

2.1 Web 上のレシピデータを活用

4/17

Web 上のレシピデータを活用

システムに使用するレシピとしてレシピサイト「ボブとアンジー」「eatSMART」「おいしい健康」から、料理レシピデータ（必要材料、摂取栄養量、カロリーなど）をスクレイピングし、参照する。食品価格動向を調査しているサイト「小売物価統計調査による価格調査」から様々な食品とその価格データをスクレイピングする。次に、料理レシピデータの食材と食材価格データの食材を照らし合わせて食材コストを計算する。

- はじめに
- 自動献立作成の概要
- 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
- 提案手法
- 数値実験
- おわりに



図4 レシピサイト・ボブとアンジーにおける料理レシピ情報

小売物価統計調査による価格推移

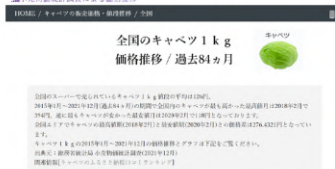


図5 食品価格推移調査サイトの例



スクレイピングする主なデータ

- 料理レシピ名
- 調理時間
- 摂取カロリー
- 摂取栄養名
- 必要食材名
- 必要食材量
- 作り方
- 画像URL
- 食材価格
- 販売単位
- 食材名

WEBスクレイピング

データ抽出・出力



図6 Webデータ活用の流れ

2.2 多目的最適化による自動献立作成

5/17

献立作成システムは、決められた制約条件の中で、目的関数を最大または最小となるパラメータの組み合わせの解を探索する、組み合わせ最適化問題として捉えられる。献立作成における制約条件として、栄養素を最低でどれだけとるか、カロリーをどのくらい制限するか、などが挙げられる。また、目的関数として、調理時間と調理コストの最小化が挙げられる

献立作成における 目的関数、制約条件の例

目的関数の例

- ・ 調理時間の最小化
- ・ 個人の嗜好の最大化
- ・ 食材ロスの最小化
- ・ 食材コストの最小化

制約条件の例

- ・ 特定の栄養素量の制限
- ・ 摂取カロリーの制限
- ・ 献立を作成する日数
- ・ 調理工程の制限

献立作成における研究例

- ・ 必要な摂取栄養量をファジィ数で表す、ファジィ数計画法を用いた献立作成。
- ・ ユーザとの対話型処理によって献立を作成する。
- ・ ユーザの献立の雰囲気によって献立を作成する。

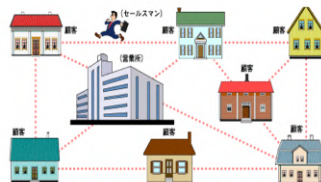


図7 ナップサック問題の例

図8 巡回セールスマン問題の例

1. はじめに
2. 自動献立作成の概要
3. 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
4. 提案手法
5. 数値実験
6. おわりに

3.1 多目的最適化とパレート最適解

6/17

多目的最適化は、ある制約条件のもと、複数の目的関数を最大化、あるいは最小化する手法である。全ての目的関数を最大化、あるいは最小化するような最適解が存在するとは言えないため、パレート最適という概念を導入する必要がある。

多目的最適化の定式化

$$\begin{aligned} &\underset{x}{\text{minimize}} && \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)\} \\ &\text{subject to} && g_k(x) \leq 0 \quad k = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

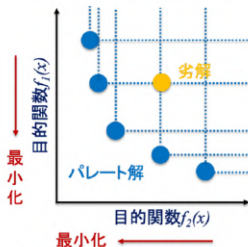


図9 パレート解のイメージ

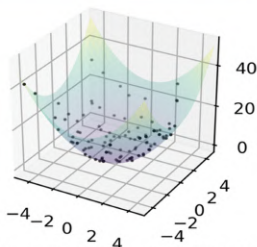


図10 解探索のイメージ (粒子群最適化)

1. はじめに
2. 自動献立作成の概要
3. 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
4. 提案手法
5. 数値実験
6. おわりに

3.2 遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化

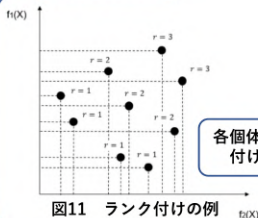
7/17

多目的最適化問題を解く手法として、NSGA-IIを用いる。これは、遺伝的アルゴリズムを多目的最適化問題に拡張したものであり、非優越ソート、混雑度トーナメント選択といった特徴を持つ。

NSGA-IIの特徴

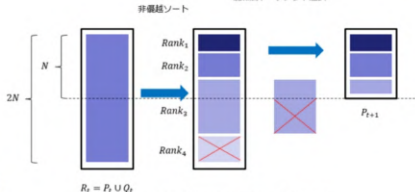
- ・非優越ソート
- ・混雑度トーナメント選択

非優越ソート



各個体にランク
付けを行う

混雑度トーナメント選択



混雑度トーナメント選択

$$\text{混雑距離} : CD(x^{(i)}) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k |\tilde{f}_j(x^{i+1}) - \tilde{f}_j(x^{i-1})|$$

- ・個体 i のランクが個体 j のランクよりも優れている。
- ・個体 i と個体 j はともに同じランクであり、 i の混雑距離が j よりも優れている。

1. はじめに
2. 自動献立作成の概要
3. 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
4. 提案手法
5. 数値実験
6. おわりに

3.3 健康のための制限食の考慮

8/17

1. はじめに
2. 自動献立作成の概要
3. 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
4. 提案手法
5. 数値実験
6. おわりに

人によっては制限食を考慮しなければならない。制限食とは、個人の健康状態、病気の状態に合わせてカロリーや摂取栄養素などを制限する食事のことである。病気の種類にあった制限食を摂ることで病気の症状を改善することができる。また、病気にかかっていなくても生活習慣病を予防することができる¹。

糖尿病

- 1日の炭水化物摂取量を100g以下に抑える
- 1日の脂質の摂取量を必要推定エネルギーの15~25%に抑える
- 1日の食物繊維の摂取量を20g以上にする

腎臓病

- 1日のたんぱく質の摂取量を標準体重当たり0.6~0.7gに抑える
- 1日の塩分の摂取量を3~6gに抑える
- 1日のカリウムの摂取量を1500mgに抑える

脂質異常症

- 1日の脂質の摂取量を必要推定エネルギーの15%以下に抑える
- 1日のコレステロールの摂取量を200mg以下に抑える
- 1日の食物繊維の摂取量を20g以上にする

高血圧

- 1日の塩分の摂取量を6g未満に抑える
- 1日のカリウムの摂取量を1500mgに抑える
- 1日の食物繊維の摂取量を20g以上にする

¹厚生労働省．“日本人の食事摂取基準（2020 年版）”，
https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_08517.html(参照 2023-02-07)

3.3 健康のための制限食の考慮

9/17

アレルギーについて

アレルギーの項目は過去に一定の頻度で血圧低下，呼吸困難又は意識障害等の重篤な健康危害が見られた症例が見られる「特定原材料等」に指定されている 28 品目を対象とする²。



図13 対応するアレルギー情報

² “食物アレルギーガイドライン”，厚生労働省，2023.<https://minds.jcqhc.or.jp/n/med/4/med0501/G0001331>(参照 2023-02-07)

1. はじめに
2. 自動献立作成の概要
3. 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
4. 提案手法
5. 数値実験
6. おわりに

4.1 調理時間とコストを最小化するパレート最適な献立

10/17

献立に含まれる料理の調理時間の最小化と、料理の食材コストの最小化を目的関数とし、摂取カロリーや摂取栄養量などを制約条件として多目的最適化を行い、パレート最適な献立を出力する。

定式化

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^D \sum_{l=1}^R r_{li} T_i$$

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^D \sum_{l=1}^R r_{li} G_i$$

$$\text{subject to } F_l^L \leq \sum_{i=1}^D \sum_{l=1}^R r_{li} f_{il} \leq F_l^H \quad (\forall k, \forall l)$$

$$B^L \leq \sum_{i=1}^D r_{ki} C_i \leq B^H \quad (\forall k)$$

$$\sum_{i=1}^R r_{ki} T_i \leq \tau_1 \quad (k \% 3 = 1)$$

$$\sum_{i=1}^R r_{ki} T_i \leq \tau_2 \quad (k \% 3 = 2)$$

$$\sum_{i=1}^R r_{ki} T_i \leq \tau_3 \quad (k \% 3 = 3)$$

$$0 < \sum_{i=1}^R r_{ki} \sigma_i \leq 1 \quad (\forall k)$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^R r_{ki} (1 - \sigma_i) \leq 3 \quad (\forall k)$$

$$\sum_{i=1}^D r_{ki} \leq 1$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^R r_{ki} x_i < 1$$

調理時間の最小化

食材コストの最小化

摂取栄養量の制約

摂取カロリーの制約

調理時間の制約(朝)

調理時間の制約(昼)

調理時間の制約(夜)

主菜の制約

副菜の制約

料理種類の制約

アレルギーの制約

変数

対象の日数: D

レシピの数: R

食材の数: Q

栄養素の数: N

データベース上の食材数: S

データベース上の食材番号: $d: 1, 2, 3, \dots, S$

日の番号: $k: 1, 2, 3, \dots, D$

栄養素の番号: $l: 1, 2, 3, \dots, N$

材料の番号: $m: 1, 2, 3, \dots, Q$

レシピの番号: $i: 1, 2, 3, \dots, R$

i 番目のレシピの名前: y_i

i 番目のレシピの献立フラグ: r_{ki}

i 番目のレシピの主菜フラグ: σ_i

i 番目のレシピの調理時間: T_i

i 番目のレシピの摂取カロリー: C_i

i 番目のレシピの食材コスト: G_i

i 番目のレシピの m 番目の材料の名前: q_{im}

i 番目のレシピの m 番目の材料の量: e_{im}

i 番目のレシピの l 番目の栄養素の名前: n_{il}

i 番目のレシピの l 番目の栄養素の量: f_{il}

d 番目の食材名: Z_d

d 番目の食材の販売単位: W_d

d 番目の食材の値段: M_d

ログイン情報

使用者の名前: e_j

身長: a_j

体重: β_j

年齢: γ_j

身体活動レベル: τ_j

アレルギー情報: θ_j

疾患情報: π_j

4.2 対話型による最適な献立の提示

11/17

1. はじめに
2. 自動献立作成の概要
3. 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
4. 提案手法
5. 数値実験
6. おわりに

多目的最適化によって得られた、調理時間と材料コストが最小化されたパレート最適解（レシピ）の中から、利用者が選択して献立を作成する際に対話型処理を行う。本研究ではパレート解に対応した解を候補として表示し、その候補をユーザに選択してもらう。



図14 対話型処理のイメージ

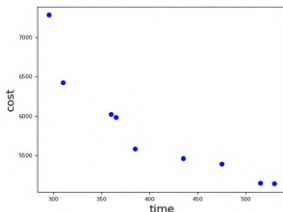


図15 出力されるパレート解

献立の候補はこのようになりました!

候補1: 3日分合計の時間:295分 3日分合計のコスト:7282円(1人当たり)
 候補2: 3日分合計の時間:310分 3日分合計のコスト:6422円(1人当たり)
 候補3: 3日分合計の時間:360分 3日分合計のコスト:6027円(1人当たり)
 候補4: 3日分合計の時間:365分 3日分合計のコスト:5986円(1人当たり)
 候補5: 3日分合計の時間:385分 3日分合計のコスト:5582円(1人当たり)
 候補6: 3日分合計の時間:435分 3日分合計のコスト:5467円(1人当たり)
 候補7: 3日分合計の時間:475分 3日分合計のコスト:5391円(1人当たり)
 候補8: 3日分合計の時間:515分 3日分合計のコスト:5153円(1人当たり)
 候補9: 3日分合計の時間:530分 3日分合計のコスト:5143円(1人当たり)

候補を選択してください

[戻る](#)

図16 選択画面

4.3 提案手法のアルゴリズム

12/17

動画

提案システムの流れを動画でお見せします。

1. はじめに
2. 自動献立作成の概要
3. 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
4. 提案手法
5. 数値実験
6. おわりに

5.1 数値実験の概要

13/17

データベースに蓄積した，料理レシピ，食材の価格データの例を示す．また，本研究で用いる各栄養素およびエネルギーを求める式を示す．

レシピの名前	主菜	サブ調理時間	摂取カロリー・材料名	材料量	栄養素名	栄養量	コスト	朝食
うずら卵の蒸し物	0	45	170 (ひき肉蒸し)	たんぱく質	11.5g	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 ・ うずら卵8個	炭水化物	6.2g	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 ・ 生しいたけ8枚	糖質	5.1g	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 ・ 片栗粉 少々	脂質	9.7g	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 ・ 鶏ひき肉100g	食塩相当量	1.2g	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 ・ 酒 大さじ2	食物繊維	1.1g	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 ・ 卵白 少々	ビタミンA	160 μg	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 ・ 塩 少々	ビタミンB	0.13mg	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 ・ こしょう少々	ビタミンB	0.44mg	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 ・ うま味調味料少々	ビタミンB	0.27mg	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 (れんげ蒸し)	ビタミンB	2.2 μg	241	0	
うずら卵の蒸し物	0	45	170 ・ うずら卵8個	ビタミンC	4mg	241	0	

図17 レシピデータの例

<基礎代謝量>

$$\begin{aligned} \text{基礎代謝量(kcal/日)} \\ = \text{基礎代謝基準値} \times \text{体重(kg)} \end{aligned}$$

<必要推定エネルギー量>

$$\begin{aligned} \text{必要推定エネルギー量(kcal/日)} \\ = \text{基礎代謝量} \times \text{身体活動レベル指数} \end{aligned}$$

<必要たんぱく質>

$$\text{たんぱく質(g/日)} = \frac{\text{必要推定エネルギー} \times 0.13}{4(g)}$$

<必要脂質>

$$\text{脂質(g/日)} = \frac{\text{必要推定エネルギー} \times 0.15}{9(g)}$$

<必要炭水化物>

$$\text{炭水化物(g/日)} = \frac{\text{必要推定エネルギー} \times 0.4}{4(g)}$$

食材名	値段	販売単位
コシヒカリ	2195円	5 k g
お米	2062円	5 k g
もち米	568円	1 k g
鶏肉	134円	1 0 0 g
レバー	147円	1 0 0 g
ハム	196円	1 0 0 g
ソーセージ	179円	1 0 0 g

図18 食材価格データの例

厚生労働省「日本人の食事摂取基準」
2022年度版より

性別	男性		
	基礎代謝 基準値 (kcal/kg体重/日)	参照体重 (kg)	基礎 代謝量 (kcal/日)
年齢			
18-29	24.0	63.2	1520
30-49	22.3	68.5	1530
50-69	21.5	65.3	1400
70 以上	21.5	60.0	1290

5.2 数値実験の結果

14/17

健常者の数値実験

身長を 170cm, 体重を 67kg, 年齢を 22 歳, 性別を男, 身体活動レベルを普通として入力とし, 1 日に必要な推定エネルギー量を算出し, 目的関数と制約条件に基づいて 1 日分の献立作成を行った結果を示す。

表1 出力されたレシピ

	出力されたレシピ
朝	ひまわりご飯
	なんちゃってピザ
昼	イワシのガーリックトマトソース 絹さやの卵とじ
	ブリのもぐり飯
夕	ほうれん草とえのきのお浸し ホットブレッドサラダ

なんちゃってピザ



調理時間	摂取カロリー	食材コスト
10分	177kcal	203円

食材名	栄養成分	食材名	食材量	作り方
たんぱく質	6.8g	クラッカー	12枚	(1)クラッカーを並べてクチャップをぬります。(2)(1)に細かく切ったネギとベーコン、コーンを入れた、上からチーズをかける。(3)(2)をオーブントースターで約3〜5分加熱して出来上がりです。
脂質	9.0g	ネギ	5枚	
炭水化物	17.6g	ベーコン	2枚	
糖質	16.2g	コーン	大さじ3	
食塩相当量	1.0g	チーズ(ピザ用)	適量	
食物繊維	1.4g	クチャップ	適量	
ビタミンA	63.0mg	NAN	NAN	

表2 健常者のパラメータ

献立のパラメータ	
摂取カロリー	2621
たんぱく質	92.3
脂質	72.1
炭水化物	276.3
調理時間合計[朝](分)	15
調理時間合計[昼](分)	40
調理時間合計[夕](分)	45

表3 設定した制約条件

制約条件	設定した値
摂取カロリー(kcal)	2595〜2795
たんぱく質(g)	84.33〜
脂質(g)	43.25〜
炭水化物(g)	259.5〜
調理時間合計[朝](分)	15
調理時間合計[昼](分)	45
調理時間合計[夕](分)	60
主菜	1
副菜	2

・表2と表3を比較すると、制約条件を満たしながら 1日分の献立作成ができていることが分かる。

図19 出力されたレシピの例

5.2 数値実験の結果

15/17

制限食を必要とする人の数値実験の結果

各制限食を必要とする人のモデルとして、以下のユーザー像を想定した。

- ・糖尿病：年齢 71 歳，性別 男，身長 163.1cm，体重 61.18kg，身体活動レベル 低い
 - ・腎臓病：年齢 70 歳，性別 男，身長 163.1cm，体重 61.18kg，身体活動レベル 低い
 - ・脂質異常症：年齢 45 歳，性別 男，身長 171.5cm，体重 102.94kg
身体活動レベル 低い
 - ・高血圧：年齢 37 歳，性別 男，身長 171.5cm，体重 88.24kg，身体活動レベル 低い
- そのときの制約条件および出力結果を以下に示す。

表4 制限食を必要とする人の制約条件

	摂取カロリー(kcal)	たんぱく質(g)	脂質(g)	炭水化物(g)	塩分(g)	食物繊維(g)	カリウム(mg)	コレステロール(mg)
糖尿病	1819~2019	62.36~	31.98~53.3	0~100.0	設定なし	20.0~	設定なし	設定なし
腎臓病	1819~2019	36.7~42.82	30.31~	181.9~	3.0~6.0	設定なし	~1500	設定なし
脂質異常症	2738~2938	92.23~	0~47.3	283.8~	設定なし	20.0~	設定なし	0~200.0
高血圧	2524~2724	82.03~	42.06~	252.4~	0~6.0	20.0~	3510~	設定なし

表5 出力された献立のパラメータ

	摂取カロリー(kcal)	たんぱく質(g)	脂質(g)	炭水化物(g)	塩分(g)	食物繊維(g)	カリウム(mg)	コレステロール(mg)
糖尿病	1926	80.1	42.3	96.2	8.1	22.5	3210	141
腎臓病	1830	35.7	32.6	194.5	3.9	18.3	1465	72
脂質異常症	2925	93.5	40.5	294.6	8.2	26.7	2988	156
高血圧	2655	92.3	43.5	265.1	4.5	26.4	3612	204

- はじめに
- 自動献立作成の概要
- 制約条件を考慮できる多目的遺伝的アルゴリズム
- 提案手法
- 数値実験
- おわりに

大人数を想定したときの数値実験の結果

大人数を想定した場合のモデルとして、以下のユーザー像を想定した。

- ・モデル 1：年齢 52 歳，性別 男，身長 170.8cm，体重 70.4kg，身体活動レベル 普通
 - ・モデル 2：年齢 48 歳，性別 女，身長 158.3cm，体重 55.2kg，身体活動レベル 普通
 - ・モデル 3：年齢 22 歳，性別 男，身長 172.6cm，体重 64.0kg，身体活動レベル 高い
 - ・モデル 4：年齢 17 歳，性別 女，身長 154.8cm，体重 47.2kg，身体活動レベル 低い
- そのときの制約条件および出力結果を以下に示す。

表6 大人数の場合の制約条件

	摂取カロリー(kcal)	たんぱく質(g)	脂質(g)	炭水化物(g)
モデル1	2509～2709	81.54～	41.82～	250.9～
モデル2	1876～2076	60.97～	31.27～	187.6～
モデル3	2953～3153	95.97～	49.22～	295.3～
モデル4	1575～1775	51.19～	26.25～	157.5～

表7 大人数の場合のパラメータ

	摂取カロリー(kcal)	たんぱく質(g)	脂質(g)	炭水化物(g)
モデル1	2620	85.15	43.67	262.00
モデル2	2017	65.57	33.63	201.74
モデル3	3039	98.77	50.66	303.92
モデル4	1755	57.05	29.26	175.54

まとめ

本研究では、Web上のレシピデータを活用した制限食と大人数料理に対応した自動献立システムの開発と提案をした。

- ・制約条件をユーザーが選択できるようにした
- ・パレート解のうちの最適解を選択できるようにしてユーザにとって一番最適な献立を出力できるようにした
- ・システムの有用性を示した

今後の課題

- ・ユーザの好みに合った献立を出力する
- ・今ある食材が含まれるレシピを出力できるようにする
- ・システムのデザインの改良