

## 多目的最適化を用いた効率的な食品の選定

松井 信宏(18X4128) 指導教員 五島 洋行

## 1. はじめに

現代日本は飽食の時代を迎えている。飽食とは、食べ物の不足に困ることなく、飽きるほどに食することができる状態である。1970年代から1990年代にかけて、外食産業が栄えた。また、食品の輸入が盛んになったことによって、食事の内容が大きく変化し、栄養バランスが崩れた食生活を送る人が増加した。具体的には、従来の食品である米などの炭水化物や野菜の摂取量は減少傾向にある一方で、動物性食品や加工食品、脂質などの摂取量は増加傾向を示している。過剰に脂質や糖質を摂取し、栄養バランスが崩れ、生活習慣病を発症しやすくなっている現状がある。それを予防するためには、健康にいい食品や栄養価の高い食べ物を見極め、食事に取り入れる必要がある。それでは、すぐさま栄養価の高い食品を買い求め、食卓に並べるべきだと考えるだろう。しかし、健康な食生活を送るためにはもう一つ大きな問題がある。それは金銭的な問題である。

飽食の時代の真ただ中にある日本だが、一方で近年は相次ぐ食料品の値上げによって、食費に対する支出が年々上がっており、同時に、健康的な食生活のハードルも厳しくなりつつある。しかし、高い栄養価だけを目当てに食品を購入すれば、質素かつ、好ましくないメニューが多く食卓に並ぶことになるだろう。

そこで本研究では、こういった問題解決の一助となることを目的として、個人の食の嗜好、食費、そして栄養バランスのどれも損なわない食品選択を行う方法を探す。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用データ

## ①食品データ:

一般に流通している食品の中から選ばれた食品群。

## ②食品価格データ:

政府統計の総合窓口(e-stats)の小売物価統計調査から「主要品目の東京都区部小売価格【2021年11月~2022年11月】」より抜粋。

## ③栄養成分表データ:

文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会が発行している「日本食品標準成分表 2020年版」より抜粋。

## ④食事摂取基準データ:

厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討会」が公表している報告書「日本人の食事摂取基準(2020年版)」より抜粋。

栄養素指標の推定必要量、推奨量、目安量、耐用上限量、目標量より各栄養素の上限值と下限値を設定。

表 1 策定した基準値

エネルギー	推定必要量	2650 kcal		
タンパク質	推奨量	65 g		
脂質	目標量	58.88889 88.33333 g		
炭水化物	目標量	331.25 430.625 g		
食物繊維	目標量	21 g		
ビタミンAレチノール活性当量	推奨量	850 $\mu$ gRAE	耐用上限量	2700 $\mu$ gRAE
ビタミンD	目安量	8.5 $\mu$ g	耐用上限量	100 $\mu$ g
ビタミンE	目安量	6 mg	耐用上限量	850 mg
ビタミンK	目安量	150 $\mu$ g		
ビタミンB1	推奨量	1.4 mg		
ビタミンB2	推奨量	1.6 mg		
ナイアシン	推奨量	15 mgNE	耐用上限量	300 mgNE
ビタミンB6	推奨量	1.4 mg	耐用上限量	55 mg
ビタミンB12	推奨量	2.4 $\mu$ g		
葉酸	推奨量	240 $\mu$ g	耐用上限量	900 $\mu$ g
パントテン酸	目安量	5 mg		
ビオチン	目安量	50 $\mu$ g		
ビタミンC	推奨量	100 mg		
食塩相当量	推定必要平均量	1.5 g	目標量(上限値)	7.5 g
カリウム	目標量	3000 mg		
カルシウム	推奨量	800 mg	耐用上限量	2500 mg
マグネシウム	推奨量	340 mg		
リン	目安量	1000 mg	耐用上限量	3000 mg
鉄	推奨量	7.5 mg	耐用上限量	50 mg
亜鉛	推奨量	11 mg	耐用上限量	40 mg
銅	推奨量	0.9 mg	耐用上限量	7 mg
マンガン	目安量	4 mg	耐用上限量	11 mg
ヨウ素	推奨量	130 $\mu$ g	耐用上限量	3000 mg
クロム	目安量	10 $\mu$ g	耐用上限量	500 $\mu$ g
モリブデン	推奨量	30 $\mu$ g	耐用上限量	600 $\mu$ g
セレン	推奨量	30 $\mu$ g	耐用上限量	450 $\mu$ g

## ⑤嗜好値データ:

選定した91種類の食品に対して、個人の好みの数値として、それぞれ1から5の評価をランダムに与えた。

## 3. NSGA-IIを用いた最適化

## 3.1 NSGA-IIとは

NSGA-II (Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm)は、Deb, Agrawalらによって2002年に提案されたNSGAの改良アルゴリズムであり、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る。

特徴としては以下の3つが挙げられる。

- ・非優越ソートによるランキング方法。
- ・混雑距離の導入。

・混雑度トーナメント選択の導入.

### 3.2 定式化

本研究で定義した多目的最適化問題は以下のように表せる.

$$\text{minimize } \sum_i C_i x_i, \text{ maximize } \rightarrow \sum_i P_i x_i \quad (1)$$

$$\text{subject to } S_{Lj} \leq \sum_j \sum_i N_{ij} x_i \leq S_{Uj} \quad (2)$$

$$(0 \leq x \leq 300)$$

$i$ : 食品名  $j$ : 栄養素名  $x$ : 食品の重量の集合  $C$ : 食品の価格の集合

$P$ : 嗜好値の集合  $N$ : 食品の栄養価の集合

$S_L$ : 栄養基準値の下限の集合  $S_U$ : 栄養基準値の上限の集合

### 3.3 実装

食品データ, 食品価格データ, 栄養成分データ, 嗜好値データと策定した食事摂取基準データを python のライブラリ pandas を利用して読み込ませ, 多目的最適化ライブラリ Platypus を利用して計算を行い, ライブラリ matplotlib の pyplot にてパレート最適解をグラフとしても取得する. 実行するにあたり, 初期集団数を  $N=100$ , 世代数を  $t=100000$  とした.

### 3.4 結果

3.3 で実装したプログラムを実行した結果, 次のような解を得た.

表 2 パレート最適解の一例

まぐろ	0.04	ながいも	0.00	スパゲッティ	40.70
あじ	0.29	しょうが	0.11	中華麺	4.29
いわし	0.04	えだまめ	0.02	小麦粉	53.26
かつお	0.13	さやいんげん	0.10	たらこ	0.04
さけ	0.04	かぼちゃ	28.66	しらす干し	0.02
さば	24.12	きゅうり	272.16	煮干し	0.01
さんま	0.92	なす	9.62	ししゃも	0.23
たい	0.05	トマト	0.28	かつお節	0.01
ぶり	0.03	ピーマン	1.73	牛肉(国産品)	2.05
いか	0.18	生しいたけ	0.09	牛肉(輸入品)	22.72
たこ	0.07	えのきたけ	77.04	豚肉(国産品)	81.89
えび	0.42	しめじ	0.03	鶏肉	2.22
あさり	0.20	りんご	125.38	牛乳	138.52
かき(貝)	0.17	みかん	1.06	バター	7.19
ほたて貝	0.15	オレンジ	5.34	チーズ	9.63
キャベツ	39.00	梨	1.76	ヨーグルト	0.52
ほうれんそう	0.07	ぶどう(巨峰)	0.20	鶏卵	65.00
はくさい	138.13	柿	80.53	わかめ	0.16
ねぎ	1.96	桃	0.05	ひじき	0.13
レタス	128.43	すいか	233.23	豆腐	23.55
もやし	136.86	メロン	1.18	納豆	82.33
ブロッコリー	0.23	いちご	0.15	食用油	2.62
アスパラガス	0.22	さくらんぼ	0.00	マーガリン	31.80
さつまいも	0.11	バナナ	204.99	食塩	0.01
じゃがいも	272.92	キウイフルーツ	1.36	しょう油	1.40
さといも	0.00	アボカド	0.14	みそ	19.25
だいこん	27.42	うるち米	0.41	砂糖	108.01
にんじん	0.44	食パン	2.31	酢	239.86
ごぼう	0.45	うどん	31.55	ケチャップ	24.74
たまねぎ	2.84	そうめん	9.29	マヨネーズ	0.03
れんこん	0.11				

目的関数:

Objectives1(cost)=1188.78 円

Objectives2(Preference)=1021.60

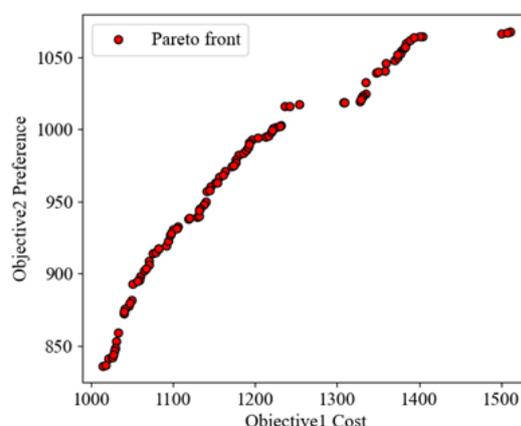


図 1 パレートフロント

### 4. おわりに

実装したプログラムでパレート最適解を求めることにも一応は成功したが, 実用レベルには程遠く, 改善点が見られた.

特に, 食品の量の変数を自然数として設定すべき点である. これに関しては, もともと自然数を設定していたのだが, どうしてもパレート最適解の数値を取得することができなかつたため, やむなく実数で設定したという経緯がある. 食品の効率的な選択という観点から考えると, 小数点以下の数値が存在するのはやはり好ましくない.

### 参考文献

- [1] 政府統計の総合窓口(e-stats)小売物価統計調査, 「主要品目の東京都区部小売価格【2021年11月~2022年11月】」 [https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200571&tstat=000000680001&cycle=1&year=20220&month=24101211&result\\_back=1&tclass1val=0](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200571&tstat=000000680001&cycle=1&year=20220&month=24101211&result_back=1&tclass1val=0)
- [2] 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会, 「日本食品標準成分表 2020年版」(2019)
- [3] 「日本人の食事摂取基準」策定検討会, 日本人の食事摂取基準(2020年版), pp.11-143, (2019)
- [4] Platypus - Multiobjective Optimization in Python [https://platypus.readthedocs.io/en/latest/\(2022\)](https://platypus.readthedocs.io/en/latest/(2022))

令和4年度卒業研究論文

# 多目的最適化を用いた効率的な食品の選定

法政大学 理工学部 経営システム工学科

経営数理工学研究室

18X4128 松井 信宏

指導教員 五島 洋行 教授

<b>学科名</b>	<b>経営システム工 学科</b>	<b>学籍番号</b>	<b>18X4128</b>
<b>申請者氏名</b>	<b>松井 信宏</b>		
<b>指導教員氏名</b>	<b>五島洋行</b>		

## 論文要旨

論文題目	多目的最適化を用いた効率的な食品の選定
------	---------------------

本論文では、食の嗜好、食事にかかる費用、そして栄養バランスのどれも損なわない効率的な食品選択を行う方法を提案する。

現代日本は飽食の時代ということもあり、栄養バランスが崩れた食生活を送る人が増加、生活習慣病などの原因になっている。それを防ぐために、健康的な食品を選ぼうと考えても、近年は食料品の値上げが相次いでおり、食費に対する支出は年々上がっている。加えて、栄養価のみに焦点を当てた食事内容では、精神的に継続は厳しいと考えられる。

そこで本論文では、栄養摂取基準を制約条件とし、嗜好と食品にかかる費用をそれぞれ最大化、最小する目的関数とした多目的最適化問題とすることで、より効率的な食品の選択を行う方法を提案する。

そして、栄養摂取基準、食品の価格、食品の栄養成分、食の嗜好を数値化したデータを読み込ませ、多目的最適化問題として解を求めることには成功したが、現実味を欠いている部分がいくつか散見された。

今後、変数の設定方法の変更や、嗜好データの扱いなどを調整することで改善を図ることはまだまだ可能であると考えられる。

# 目次

第 1 章 はじめに .....	5
1.1 研究背景と目的 .....	5
1.2 本論文の構成.....	5
第 2 章 先行研究 .....	7
第 3 章 関連知識 .....	8
3.1 数理最適化 .....	8
3.2 多目的最適化問題.....	8
3.3 パレート最適解 .....	8
3.4 遺伝的アルゴリズム .....	9
3.5 多目的遺伝的アルゴリズム.....	10
第 4 章 実験概要 .....	12
4.1 実験手法.....	12
4.2 使用データ .....	14
4.3 エネルギー指標の概要.....	18
4.4 栄養素指標の概要.....	18
4.5 エネルギー・各栄養素の下限及び上限の設定 .....	19
4.6 実験環境.....	21
第 5 章 NSGA- II を用いた最適化.....	23
5.1 NSGA- II とは.....	23
5.2 NSGA- II のアルゴリズム .....	23
5.3 非優越ソート (Non-Dominated Sort).....	24
5.4 混雑度ソート (Crowding Sort) .....	25

5.5 混雑度トーナメント選択.....	25
5.6 定式化.....	26
5.7 実装.....	26
5.8 結果.....	27
第 6 章おわりに.....	29
参考文献.....	30
謝辞.....	31

# 第1章 はじめに

## 1.1 研究背景と目的

現代日本は飽食の時代を迎えている。飽食とは、食べ物の不足に困ることなく、飽きるほどに食することができる状態である。1970年代から1990年代にかけて、外食産業が栄えた。また、食品の輸入が盛んになったことによって、食事の内容が大きく変化し、栄養バランスが崩れた食生活を送る人が増加した。具体的には、従来の食品である米などの炭水化物や野菜の摂取量は減少傾向にある一方で、動物性食品や加工食品、脂質などの摂取量は増加傾向を示している。過剰に脂質や糖質を摂取し、栄養バランスが崩れ、生活習慣病を発症しやすくなっている現状がある。それを予防するためには、健康にいい食品や栄養価の高い食べ物を見極め、食事に取り入れる必要がある。それでは、すぐさま栄養価の高い食品を買い求め、食卓に並べるべきだと考えるだろう。しかし、健康な食生活を送るためにはもう一つ大きな問題がある。それは金銭的な問題である。

飽食の時代の真ただ中にある日本だが、一方で近年は相次ぐ食料品の値上げによって、食費に対する支出が年々上がっている。世界情勢の影響から物価の優等生として名高い鶏卵ですらも近頃は価格上昇傾向にあるなど、健康的な食生活へのハードルは以前よりも厳しくなりつつある。しかし、だからといって栄養価だけを目当てに食品を購入すれば、それは極めて質素かつ、好ましくないメニューが食卓に並ぶことになるだろう。

そこで本研究では、こういった問題解決の一助となることを目的として、個人の食の嗜好、食費、そして栄養バランスのどれも損なわない食品選択を行う方法を構築する。

## 1.2 本論文の構成

本論文は6章で構成されている。

第1章では研究背景と目的を述べる。

第2章では先行研究を述べる。

第3章では本研究で用いる関連知識を述べる。

第4章では本研究の実験の概要及び、使用するデータと実行環境について述べる。

第 5 章では NSGA-II を用いたプログラムを実装及び実行し，その結果を述べる

第 6 章では本研究のまとめを述べる.

## 第2章 先行研究

類似の研究としては、文教大学経営学部教授の堀田敬介氏が執筆された「数理最適化を利用した大学生の外食利用と栄養バランスに関する論考」において、一定の栄養バランスを満たしつつも、食事にかかる費用を最小化する試みがなされていた。この際、食事メニューは成分データが取得できる外食チェーンに限定されており、栄養バランスに関しては四群点数法を参照していた。費用を抑えるという点において、外食チェーンを採用するというのは、成分データが取得できる点を除けば、悪手であるように思える。また、四群点数法は、食品の栄養に疎くとも扱える反面、やはりある程度大まかな目安であることは否めない。また、個人の食の嗜好はもちろん反映されていない。

そこで本研究では、一般的なスーパーマーケットで購入可能な食品内で、より厳密な栄養摂取基準を満たしつつも、個人の嗜好の最大化と費用の最小化の両方に対応できる食品の選択方法を模索する。

## 第3章 関連知識

本章では、本研究で用いる用語や関連知識について述べる。

### 3.1 数理最適化

実際の問題を数式で表し、最適解を得るための手法である。一般的に一つの目的関数と満たすべき制約条件を記述した制約式で構成され、目的関数は問題の総費用や総利益を表すことが多く、それらを最大化、もしくは最小化することが目的となる。

有名な例としては、ナップザック問題やセールスマン巡回問題、スケジューリング問題などが挙げられる。

### 3.2 多目的最適化問題

複数の目的、評価基準を同時に最適化する問題を多目的最適化問題という。多目的最適化問題は  $n$  個の設計変数を持つ  $k$  個の目的関数  $f_x$  を、 $m$  個の制約条件  $g_x$  のもとで最小化または最大化する問題として以下のように定式化される。

$$\begin{cases} \max(\min) & f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) & (i = 1, 2, 3, \dots, k) \\ \text{subject to} & g_j(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq 0 & (j = 1, 2, 3, \dots, m) \end{cases} \quad (3.1)$$

多目的最適化問題における複数の目的、評価基準は互いに競合関係(トレードオフ)であることが多く、そのような場合にはただ一つの最適解は存在しない。そのために多目的最適化では、後述するパレート最適解の集合を求めることとなる。

### 3.3 パレート最適解

パレート最適解とは他の解に優越されない解のことである。解 $X_1$ が解 $X_2$ に対して、一つ以上の目的関数について優れていて、その他の目的関数についても優越されていない場合、「解 $X_1$ は解 $X_2$ を優越する」といえる。そして、実行可能解の集合中で他のどの解からも優越されていない解をパレート最適解(非劣解)という。

仮に二つの目的関数 $f_1, f_2$ が存在し、それらを同時に最小化しようとした場合、パレート最適解は次の表のように示される。

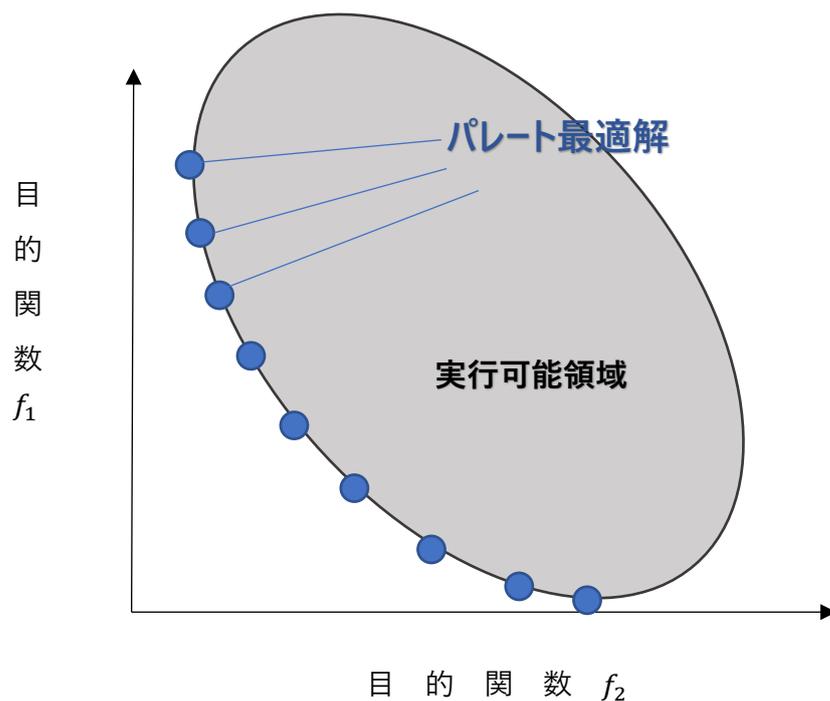


図1 パレート最適解

### 3.4 遺伝的アルゴリズム

初期の個体である第一世代をランダムに複数生成し、それぞれの個体における適応度を計算する。次に、次世代の遺伝子を選択、交叉、突然変異によって生成し、世代交代させる。最終世代の中で一番適応度が高い個体が遺伝的アルゴリズムの解となる。

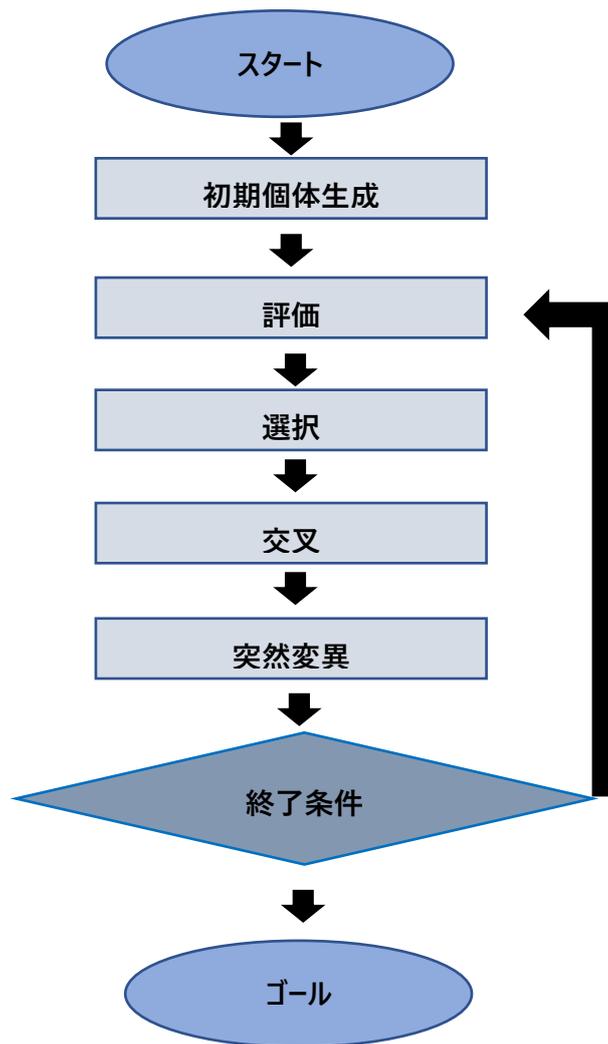


図2 遺伝的アルゴリズム フローチャート

### 3.5 多目的遺伝的アルゴリズム

多目的遺伝的アルゴリズムは多点探索であるため、一度の探索でパレート解集合を求めることができる点が有用である。多目的最適化では、単目的最適化においてただ一つの最適解を求める場合とは解が異なる。具体的にはパレート最適解全てが解の候補となるため、単純に単一目的における適合度の割り当てをそのまま適用させることが不可能である。そこで、多目的 GA の適合度の割り当て方法には以下の二つが挙げられる。

- ①解の優越関係を用いずに適合度を割り当てる⇒非パレートのアプローチ
- ②解の優越関係に基づいて適合度を割り当てる⇒パレートのアプローチ

非パレートのアプローチでは、Schaffer のベクトル評価遺伝的アルゴリズム(Vector Evaluated Genetic Algorithms: VEGA)が代表的な手法であり、パレートのアプローチに分類される多目的遺伝的アルゴリズムの例としては、Deb,Agrawal らが 2000 年に提案した NSGA- II(Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm)が挙げられる。本研究で用いたアルゴリズムもこちらである。

## 第4章 実験概要

本章では本研究の実験概要及び、使用するデータとデータの選別理由、実行環境について述べる。

### 4.1 実験手法

選定した特定の食品群の価格と栄養成分のデータ、健康の保持、増進を目的とする食事摂取基準のデータに加えて、食の嗜好を数値化した嗜好値を用意する。

これらのデータを用い、食品の重量を変数、一定の食事摂取基準を満たすことを制約条件、食品にかかるコストを目的関数として最小化問題とすると、ただ一つの解を出力する線形計画問題となる。つまり、コストを抑えながらも栄養価において最大の効率をもった食品群を導き出すことができる。これは以前に自身が行った手法であり、実際に妥当な解は得られたが、解がただ一つしか出力されないこと、個人の嗜好が一切反映されないことが、食品をひいては献立を効率的に決めるうえで問題となっていたのが実情であった。

やはり、個人の嗜好をわずかにも考慮されていない、まったく同一かつ同量の食品を毎日食し続けるのは現実的に厳しいと言わざるを得ない。そのため、今回の研究では、新たに嗜好値というデータを食品群に与え、それを最大化するという目的関数を追加した。嗜好値はその食品に対しての嗜好の具合を数値として入力したものであり、今回は特定の人物像に結果を寄せないために、ランダムな数値をそれぞれ設定した。これにより、コストの最小化と嗜好値の最大化という二つの目的関数を持つ多目的最適化問題を定義することができた。

また、多目的最適化問題はただ一つの最適解を持たず、パレート最適解という形で複数の解を返す。この性質によって、先述した嗜好を排除した同一同量の食品を毎日取り続けなければならないということもなくなり、個人の目的に最も沿っている解、もとい食品群をパレート最適解の中から選好解という形で選択できるようになると考えている。

本研究は、先述したデータを用いて、先ほど定義した多目的最適化問題の解を求めることが目的である。具体的には `python` を用いて、各データを読み込ませ、最適化問題のアルゴリズムを再現、実装し、計算することで解を求める。

## 4.2 使用データ

表1 選定した食品群

まぐろ	ながいも	スパゲッティ
あじ	しょうが	中華麺
いわし	えだまめ	小麦粉
かつお	さやいんげん	たらこ
さけ	かぼちゃ	しらす干し
さば	きゅうり	煮干し
さんま	なす	ししゃも
たい	トマト	かつお節
ぶり	ピーマン	牛肉(国産品)
いか	生しいたけ	牛肉(輸入品)
たこ	えのきたけ	豚肉(国産品)
えび	しめじ	鶏肉
あさり	りんご	牛乳
かき(貝)	みかん	バター
ほたて貝	オレンジ	チーズ
キャベツ	梨	ヨーグルト
ほうれんそう	ぶどう(巨峰)	鶏卵
はくさい	柿	わかめ
ねぎ	桃	ひじき
レタス	すいか	豆腐
もやし	メロン	納豆
ブロッコリー	いちご	食用油
アスパラガス	さくらんぼ	マーガリン
さつまいも	バナナ	食塩
じゃがいも	キウイフルーツ	しょう油
さといも	アボカド	みそ
だいこん	うるち米	砂糖
にんじん	食パン	酢
ごぼう	うどん	ケチャップ
たまねぎ	そうめん	マヨネーズ
れんこん		

## ①食品データ

一般に流通している食品の中から一定の理由で選ばれた食品群(表1を参照)。今回は91種類の品目が選ばれているが、これら食品の選定は以下のルールに従っている。

- ・栄養成分と価格が調査できなければ本研究に利用できないため、小売物価統計調査、日本食品標準成分表2020年版のどちらにもデータが確認できること。つまり、地域性が強いなどの理由で、一般にはあまり流通していない食品は除外する。

- ・品目がぶどうで品種が巨峰、デラウェアといったように、同一の品目だが、品種や種類が違うという場合がある。しかし、価格データ上では品種の違いによる価格の違いが明記されておらず、ぶどうの価格として統合されていることが多い。その場合は総合的に近いと判断される一つの食品を選定する。

- ・小売物価統計調査、日本食品標準成分表2020年版のどちらにもデータが確認できる場合でも、菓子類にあたる食品や、それに近い加工食品の類は栄養成分的な観点から不要と考え、除外する。

## ②食品価格データ

政府統計の総合窓口(e-stats)の小売物価統計調査から「主要品目の東京都区部小売価格【2021年11月～2022年11月】」のデータを利用する。食品によっては月毎に価格のばらつきがあり、特定の時期を選んでしまうと結果に偏りが出してしまう可能性を考え、通年の平均値を求め、それを通年平均価格として利用する。

## ③栄養成分表データ

文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会が発行している「日本食品標準成分表2020年版」のデータを利用する。各食品に対して5大栄養素である炭水化物、たんぱく質、脂質、ビタミン、ミネラルを網羅している。

データは基本的に計測された数値で網羅されているが、以下のような表記がなされている場合もある。その場合の対処を以下に記す。

- ・ - : 未測定を意味する。0 という意味ではないが、一般的には0 として計算する。
- ・ Tr : 最小記載量の 1/10 以上~5/10 未満を意味する。Tr は Trace の略であり、微量含んでいるという意味である。しかし、栄養計算上の影響の低さからこちらも0 として処理する。
- ・ (数値) : 推計値であることを意味する。その食品そのものから計測された数値ではなく、類似の食品から推定された値であるが、()内の数字を用いることとする。
- ・ (0) : 文献等によって含まれていないと推計されていることを意味する。未測定ではあるが、こちらも0 として計算する。

#### ④食事摂取基準データ

厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討会」が公表している報告書「日本人の食事摂取基準(2020 年版)」のデータを利用する。制約条件として利用する際のルールは後述する。

#### ⑤嗜好値データ

選定した 91 種類の食品に対して、それぞれ 1 から 5 の評価を与えた。その際は python の random.randint 関数を用いて、ランダムに数値の生成を行った。

表2 食品と嗜好値

まぐろ	1.0	ながいも	2.0	スパゲッティ	5.0
あじ	1.0	しょうが	3.0	中華麺	2.0
いわし	1.0	えだまめ	4.0	小麦粉	3.0
かつお	2.0	さやいんげん	5.0	たらこ	2.0
さけ	1.0	かぼちゃ	5.0	しらす干し	5.0
さば	4.0	きゅうり	5.0	煮干し	1.0
さんま	5.0	なす	4.0	ししゃも	1.0
たい	1.0	トマト	3.0	かつお節	5.0
ぶり	4.0	ピーマン	3.0	牛肉(国産品)	4.0
いか	3.0	生しいたけ	1.0	牛肉(輸入品)	3.0
たこ	3.0	えのきたけ	4.0	豚肉(国産品)	5.0
えび	2.0	しめじ	3.0	鶏肉	1.0
あさり	4.0	りんご	5.0	牛乳	2.0
かき(貝)	2.0	みかん	2.0	バター	2.0
ほたて貝	1.0	オレンジ	4.0	チーズ	2.0
キャベツ	3.0	梨	1.0	ヨーグルト	1.0
ほうれんそう	4.0	ぶどう(巨峰)	3.0	鶏卵	5.0
はくさい	4.0	柿	4.0	わかめ	3.0
ねぎ	5.0	桃	2.0	ひじき	2.0
レタス	5.0	すいか	1.0	豆腐	1.0
もやし	4.0	メロン	5.0	納豆	2.0
ブロッコリー	1.0	いちご	3.0	食用油	5.0
アスパラガス	2.0	さくらんぼ	4.0	マーガリン	4.0
さつまいも	3.0	バナナ	4.0	食塩	4.0
じゃがいも	4.0	キウイフルーツ	4.0	しょう油	2.0
さといも	2.0	アボカド	1.0	みそ	4.0
だいこん	2.0	うるち米	1.0	砂糖	5.0
にんじん	1.0	食パン	3.0	酢	2.0
ごぼう	3.0	うどん	4.0	ケチャップ	4.0
たまねぎ	3.0	そうめん	3.0	マヨネーズ	1.0
れんこん	4.0				

### 4.3 エネルギー指標の概要

以下 4.3 の内容は日本人の食事摂取基準(2020 年版)からの引用である。

・エネルギー必要量については、無視できない個人間差が要因として多数存在するため、性・年齢区分・身体活動レベル別に単一の値として示すのは困難であるが、参考資料としてエネルギー必要量の基本的事項や測定方法、推定方法を記述するとともに、併せて推定エネルギー必要量を提示。

### 4.4 栄養素指標の概要

以下 4.4 の内容は日本人の食事摂取基準(2020 年版)からの引用である。

#### ① 推定平均必要量 (estimated average requirement : EAR)

・ある対象集団において測定された必要量の分布に基づき、母集団（例えば、30～49 歳の男性）における必要量の平均値の推定値を示すもの。

・推定平均必要量は、摂取不足の回避が目的だが、ここでいう「不足」とは、必ずしも古典的な欠乏症が生じることだけを意味するものではなく、その定義は栄養素によって異なる。

・十分な科学的根拠が得られたものについては、推定平均必要量を設定する。

#### ② 推奨量 (recommended dietary allowance : RDA)

・ある対象集団において測定された必要量の分布に基づき、母集団に属するほとんどの者（97～98%）が充足している量。

・推定平均必要量を設定したものについては、推奨量を設定する。

#### ③ 目安量 (adequate intake : AI)

・特定の集団における、ある一定の栄養状態を維持するのに十分な量。

・栄養素の不足状態を示す者がほとんど存在しない集団で、日本人の代表的な栄養素摂取量の分布が得られる場合は、その中央値とする。この場合、複数の報告において、最も摂取量が少ない集団の中央値を用いることが望ましい。

#### ④ 耐容上限量 (tolerable upper intake level : UL)

- ・健康障害をもたらすリスクがないとみなされる習慣的な摂取量の上限。
- ・十分な科学的根拠が得られたものについては、耐容上限量を設定する。

#### ⑤ 目標量 (tentative dietary goal for preventing life-style related diseases : DG)

・生活習慣病の発症予防を目的として、特定の集団において、その疾患のリスクや、その代理指標となる生体指標の値が低くなると考えられる栄養状態が達成できる量として算定し、現在の日本人が当面の目標とすべき摂取量として「目標量」を設定。

## 4.5 エネルギー・各栄養素の下限及び上限の設定

対象とする年齢、性別、身体活動レベルによって基準が変わることから、今回は自立して生活している18~29歳男性を対象として基準を策定した。

4.3の内容より、当該栄養素に推奨量が存在する場合は、不足を防ぐという観点から推定平均必要量より推奨量の方がより良いとされるため、その数値を制約条件の下限に組み込む。同様に、耐上限容量が設定されている場合にも、制約条件の上限として組み込む。目安量と目標量は推定平均必要量と推奨量とは共存せず、目安量と目標量がともに策定されている場合は、科学的根拠のより強い目標量を上限または下限に採用する。

### 捕捉

・炭水化物は総エネルギーの50~65%が目標量であり、対象である自立して生活している18~29歳男性の推定必要量とされているエネルギー量は2650kcalであるため、炭水化物の目標量は以下のような式で算定される。

$$\text{炭水化物(g)} = 2650(\text{kcal}) \times 0.5 \times \frac{1}{4}(\text{g/kcal}) \sim 2650(\text{kcal}) \times 0.65 \times \frac{1}{4}(\text{g/kcal})$$

・同様に、脂質は総エネルギーの20~30%が目標量であるため、以下のような式で算定される。

$$\text{脂質(g)} = 2650(\text{kcal}) \times 0.2 \times \frac{1}{9}(\text{g/kcal}) \sim 2650(\text{kcal}) \times 0.3 \times \frac{1}{9}(\text{g/kcal})$$

・ビタミンAはレチノール活性当量として表され、以下の式で定義される。

$$\text{レチノール活性当量}(\mu\text{gRAE}) = \text{レチノール}(\mu\text{g}) + \beta_0 \text{カロテン}(\mu\text{g}) \times \frac{1}{12} + \alpha_0 \text{カロテン}(\mu\text{g}) \times \frac{1}{24} + \beta_0 \text{クリプトキサンチン}(\mu\text{g}) \times \frac{1}{24} + \text{その他のプロビタミンAカロテノイド}(\mu\text{g}) \times \frac{1}{24}$$
 で算定される。

・ビタミンEは $\alpha_0$ トコフェロールについてのみ算定された。 $\alpha_0$ トコフェロール以外のビタミンEは含んでいない。

・ナイアシン当量(NE) = ナイアシン +  $\frac{1}{60}$ トリプトファンで算定されている。

・食塩相当量(g) = ナトリウム(mg)  $\times \frac{2.54}{1000}$  で算定される。

表 3 策定した基準値

エネルギー	推定必要量	2650 kcal			
タンパク質	推奨量	65 g			
脂質	目標量	58.88889 g	88.33333 g		
炭水化物	目標量	331.25 g	430.625 g		
食物繊維	目標量	21 g			
ビタミンAレチノール活性当量	推奨量	850 $\mu$ gRAE	耐用上限量	2700 $\mu$ gRAE	
ビタミンD	目安量	8.5 $\mu$ g	耐用上限量	100 $\mu$ g	
ビタミンE	目安量	6 mg	耐用上限量	850 mg	
ビタミンK	目安量	150 $\mu$ g			
ビタミンB1	推奨量	1.4 mg			
ビタミンB2	推奨量	1.6 mg			
ナイアシン	推奨量	15 mgNE	耐用上限量	300 mgNE	
ビタミンB6	推奨量	1.4 mg	耐用上限量	55 mg	
ビタミンB12	推奨量	2.4 $\mu$ g			
葉酸	推奨量	240 $\mu$ g	耐用上限量	900 $\mu$ g	
パントテン酸	目安量	5 mg			
ビオチン	目安量	50 $\mu$ g			
ビタミンC	推奨量	100 mg			
食塩相当量	推定必要平均量	1.5 g	目標量(上限値)	7.5 g	
カリウム	目標量	3000 mg			
カルシウム	推奨量	800 mg	耐用上限量	2500 mg	
マグネシウム	推奨量	340 mg			
リン	目安量	1000 mg	耐用上限量	3000 mg	
鉄	推奨量	7.5 mg	耐用上限量	50 mg	
亜鉛	推奨量	11 mg	耐用上限量	40 mg	
銅	推奨量	0.9 mg	耐用上限量	7 mg	
マンガン	目安量	4 mg	耐用上限量	11 mg	
ヨウ素	推奨量	130 $\mu$ g	耐用上限量	3000 mg	
クロム	目安量	10 $\mu$ g	耐用上限量	500 $\mu$ g	
モリブデン	推奨量	30 $\mu$ g	耐用上限量	600 $\mu$ g	
セレン	推奨量	30 $\mu$ g	耐用上限量	450 $\mu$ g	

## 4.6 実験環境

本研究における実験環境は表 4 のとおりである。

表 4 実験環境

CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11700 @ 2.50GHz 2.50 GHz
OS	Windows 11 home
メモリ	16.0GB
使用言語	Python 3.9.13

## 第 5 章 NSGA- II を用いた最適化

### 5.1 NSGA- II とは

NSGA- II (Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm)は, Deb ,Agrawal らによって 2002 年に提案された NSGA の改良アルゴリズムであり, 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る.

特徴としては以下の 3 つが挙げられる.

- ・ 非優越ソート (Non-Dominated Sort) によるランキング方法.
- ・ 混雑距離 (Crowding Distance) の導入.
- ・ 混雑度トーナメント選択 (Crowded Tournament Selection) の導入

### 5.2 NSGA- II のアルゴリズム

NSGA-II では,優良個体を選別し, 保存しておくためのアーカイブ母集団  $P_t$ と交叉・突然変異といった遺伝的オペレータを用いた探索を行うための母集団  $Q_t$ の 二つの独立した母集団が定義され, それらを次のアルゴリズムで用いることにより, 最適解を算出する.

以下, NSGA-II のアルゴリズムの流れを示す.

**Step 1**  $t = 0$  とする.  $t$ の値は世代数を表す. 探索母集団  $Q_t$ を初期化し, アーカイブ母集団  $P_t = \emptyset$ にする.

**Step 2** 探索母集団  $Q_t$ の各個体の評価を目的関数を用いて行う.

**Step 3** アーカイブ集団  $P_t$ と探索母集団  $Q_t$ の和集合  $R_t = P_t \cup Q_t$ を生成する. その後

$R_t$ に対して非優越ソートを行い, 全個体をランク毎に分類する.

$F_i, i = 1, 2, \dots, etc.$

**Step 4** 新規アーカイブ母集団  $P_{t+1} = \emptyset$  を生成, 変数  $i = 1$  とする.

$|P_{t+1}| + |F_i| < N$  を満たすまで,  $P_{t+1} = P_{t+1} \cup F_i$  と  $i = i + 1$  を実行.

**Step 5** 混雑度ソートを実行し, 密集した解を除外し,  $F_i$  の中で最も多様性に優れた個

体,  $N - |P_{t+1}|$  個を  $P_{t+1}$  に加える.

**Step 6** この時点で終了条件(指定の世代数等)を満たしていれば, 終了する.

**Step 7**  $P_{t+1}$  を基に, 混雑度トーナメント選択によって新たな探索母集団  $Q_{t+1}$  を生成する.

**Step 8**  $Q_{t+1}$  に対して交叉, 突然変異などの遺伝的オペレータを行う.  $t = t + 1$  をとし, Step 2 に戻る

### 5.3 非優越ソート(Non-Dominated Sort)

非優越ソート(Non-Dominated Sort)は, 1989年に Goldbergにより提案されたアルゴリズムであり, NSGA-IIにおいて適応度の高い個体を抽出するために用いられている個体のランク付け方法である. 理想的な解である(0,0)へのマンハッタン距離ごとにランクづけを行っている.

以下, アルゴリズムの流れを示す.

**Step1** ランク  $r = 1$  とする.

**Step 2** 生成した個体群  $R_i$  の中から, (0,0)へのマンハッタン距離が最も短い個体である非劣個体を求め, これらの個体をランク  $r$  とする.

**Step 3** 得られた非劣個体群を個体群  $R_i$  から除外し,  $r = r + 1$  とする.

**Step 4** 全ての個体がランク付けされるまで, Step 2 および Step 3 を繰り返す.

## 5.4 混雑度ソート(Crowding Sort)

混雑度ソート(Crowding Sort)とは、ある個体  $i$  の周りにおける個体の密集度を評価するための手法である。非優越ソートで同一にランク付けられた個体同士で用いられる。

以下、アルゴリズムの流れを示す。

**Step 1** ランク  $r = 1$  とし、 $l = |F_r|$  とする。

また、 $F_r$  の各個体  $i$  に対して初期値を設定する：混雑度  $d_i = 0$ 。

**Step 2** 各目的関数  $m = 1, 2, \dots, M$  に対して、目的関数値が悪い順に個体をソートする

： $I^m = \text{sort}(f_m, >)$

**Step 3** 各目的関数  $m = 1, 2, \dots, M$  に対して、まず境界個体に対して最大距離、または無限距離を与える： $d_{l,m} = d_{1,m} = \infty$

この際、 $I^m$  は  $m$  番目の目的においてソートした個体の  $j$  番目の個体を意味し、境界個体以外の全ての個体 ( $j = 2, \dots, l-1$ ) に対して以下の式に従った混雑度計算を行う。

$$d_j = \sum_{m=1}^M \frac{f_m^{I_{j+1}^m} - f_m^{I_{j-1}^m}}{f_m^{\max} - f_m^{\min}} \quad j \in [2, l-1] \quad (5.1)$$

## 5.5 混雑度トーナメント選択

混雑度トーナメント選択 (Crowded Tournament Selection) は、母集団の個体  $i$  が持つ母集団における非優越ランク ( $i_{\text{rank}}$ )、母集団内の局所的混雑距離 ( $i_{\text{distance}}$ ) の二つの基準を用いてトーナメント選択を行う。 $i$  と  $j$  の 2 個体の優越関係として以下のいずれかの条件を満たす場合に、 $i$  は  $j$  よりも優れているとして次の母集団に加える。

- ・ 個体  $i$  のランクの方が個体  $j$  のランクよりも優れている： $i_{\text{rank}} < j_{\text{rank}}$

- ・ 個体  $i$  と  $j$  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 :

$$i_{\text{rank}} = j_{\text{rank}} \text{ and } i_{\text{distance}} > j_{\text{distance}}$$

## 5.6 定式化

本研究で定義した多目的最適化問題は以下のように表せる.

$$\text{Minimize } \rightarrow \sum_i C_i x_i, \quad (5.2)$$

$$\text{Maximize } \rightarrow \sum_i P_i x_i, \quad (5.3)$$

$$\text{subject to } S_{Lj} \leq \sum_j \sum_i N_{ij} x_i \leq S_{Uj}, \quad (5.4)$$

$$0 \leq x \leq 300. \quad (5.5)$$

$i$ : 食品名  $j$ : 栄養素名  $x$ : 食品の重量の集合  $C$ : 食品の価格の集合  $P$ : 嗜好値の集合

$N$ : 食品の栄養価の集合  $S_L$ : 栄養基準値の下限の集合  $S_U$ : 栄養基準値の上限の集合

## 5.7 実装

4.2 で提示した食品データ, 食品価格データ, 栄養成分データ, 嗜好値データと 4.5 で策定した食事摂取基準データを python のライブラリ pandas を利用して読み込ませ, 多目的最適化ライブラリ Platypus を利用して計算を行い, ライブラリ matplotlib の pyplot にてパレート最適解をグラフとしても取得する. 実行するにあたり, 初期集団数を  $N=100$ , 世代数を  $t=100000$  としており, その他パラメータは自動で設定されている.

## 5.8 結果

5.3 で実装したプログラムを実行した結果，次のような解を得た．

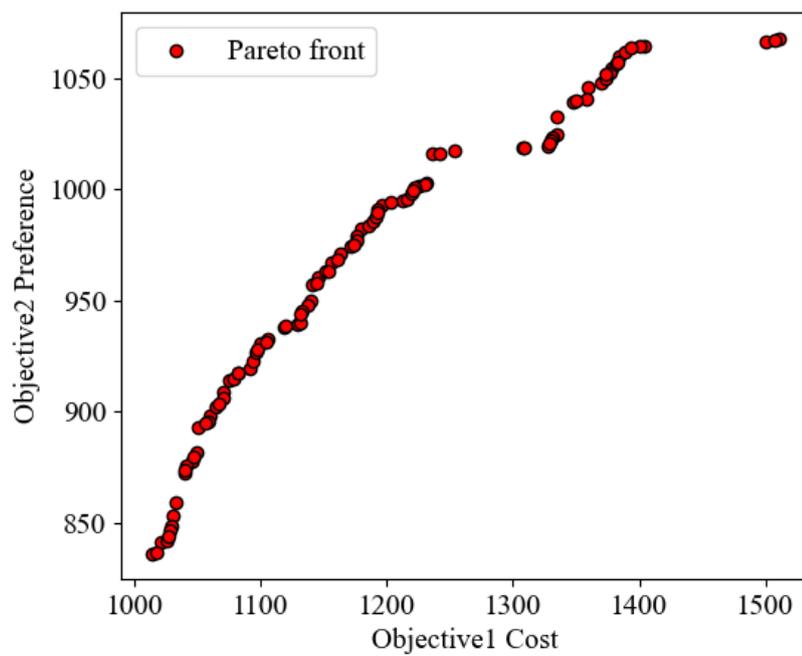


図3 パレートフロント

表 5 パレート最適解の一例(単位:g)

まぐろ	0.04	ながいも	0.00	スパゲッティ	40.70
あじ	0.29	しょうが	0.11	中華麺	4.29
いわし	0.04	えだまめ	0.02	小麦粉	53.26
かつお	0.13	さやいんげん	0.10	たらこ	0.04
さけ	0.04	かぼちゃ	28.66	しらす干し	0.02
さば	24.12	きゅうり	272.16	煮干し	0.01
さんま	0.92	なす	9.62	ししゃも	0.23
たい	0.05	トマト	0.28	かつお節	0.01
ぶり	0.03	ピーマン	1.73	牛肉(国産品)	2.05
いか	0.18	生しいたけ	0.09	牛肉(輸入品)	22.72
たこ	0.07	えのきたけ	77.04	豚肉(国産品)	81.89
えび	0.42	しめじ	0.03	鶏肉	2.22
あさり	0.20	りんご	125.38	牛乳	138.52
かき(貝)	0.17	みかん	1.06	バター	7.19
ほたて貝	0.15	オレンジ	5.34	チーズ	9.63
キャベツ	39.00	梨	1.76	ヨーグルト	0.52
ほうれんそう	0.07	ぶどう(巨峰)	0.20	鶏卵	65.00
はくさい	138.13	柿	80.53	わかめ	0.16
ねぎ	1.96	桃	0.05	ひじき	0.13
レタス	128.43	すいか	233.23	豆腐	23.55
もやし	136.86	メロン	1.18	納豆	82.33
ブロッコリー	0.23	いちご	0.15	食用油	2.62
アスパラガス	0.22	さくらんぼ	0.00	マーガリン	31.80
さつまいも	0.11	バナナ	204.99	食塩	0.01
じゃがいも	272.92	キウイフルーツ	1.36	しょう油	1.40
さといも	0.00	アボカド	0.14	みそ	19.25
だいこん	27.42	うるち米	0.41	砂糖	108.01
にんじん	0.44	食パン	2.31	酢	239.86
ごぼう	0.45	うどん	31.55	ケチャップ	24.74
たまねぎ	2.84	そうめん	9.29	マヨネーズ	0.03
れんこん	0.11				

目的関数 : Objectives1(cost)=1188.78 円, Objectives2(Preference)=1021.60

## 第 6 章おわりに

本研究では、栄養摂取基準を制約条件とし、嗜好と食品にかかる費用をそれぞれ最大化、最小する目的関数とした多目的最適化問題とすることで、より効率的な食品の選択を行う方法を提案した。実装したプログラムでパレート最適解を求めることにも一応は成功したが、実用レベルには程遠く、いくつかの改善点が見られた。

まずは、食品の量の変数を自然数として設定すべき点である。これに関しては、もともと自然数を設定していたのだが、どうしてもパレート最適解の数値を取得することができなかつたため、やむなく実数で設定したという経緯がある。プログラム実装自体に問題があるのかどうかといった原因はいまだ掴めていないが、食品の効率的な選択という観点から考えると、小数点以下の数値が存在するのはやはり好ましくない。

次に、嗜好値に関してだが、今回は 1 から 5 までの数値をランダムに設定した。それらが均等に振り分けられたために、1 に選ばれてしまった食品と 5 に選ばれた食品は食品自体の栄養価の多寡が軽視され、嗜好値最大化の目的関数の影響を大きく受けてしまったように見られた。食品に対しての実際の好みの偏りは、1 から 5 まで均等に振り分けられるようなものではないため、一定の人数にアンケートを取ること

で、その実態を明らかにする必要があると感じた。

## 参考文献

- [1]堀田敬介, 数理最適化を利用した大学生の外食利用と 栄養バランスに関する論考 (2018)
- [2]政府統計の総合窓口(e-stats)小売物価統計調査, 「主要品目の東京都区部小売価格【2021年11月~2022年11月】」 [https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200571&tstat=000000680001&cycle=1&year=20220&month=24101211&result\\_back=1&tclass1val=0](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200571&tstat=000000680001&cycle=1&year=20220&month=24101211&result_back=1&tclass1val=0)
- [3]文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会, 「日本食品標準成分表 2020年版」 (2019)
- [4]「日本人の食事摂取基準」策定検討会, 日本人の食事摂取基準(2020年版),pp.11-143, (2019)
- [5]Platypus - Multiobjective Optimization in Python  
<https://platypus.readthedocs.io/en/latest/>(2022)
- [6]王 路易, 多目的遺伝的アルゴリズムにおける解の精度と幅広さの向上の検討(2010)
- [7]K.Deb et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA- II . IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.6, (2002)