

アニーリングマシンを用いた学校給食推薦システム

井上優風 (指導教員：工藤和恵)

1 はじめに

学校で働く管理栄養士、栄養士の仕事には、食材の選定や購入、調理作業、給食管理、食育など、献立作成以外に多くのものがある [1]。また、「給食施設における献立作成業務実態調査—作業の所要時間と標準化に向けて—」 [2] では、給食管理会社に勤務する栄養士と管理栄養士を対象に調査が行われた。この調査は、病院や高齢者福祉施設で働く栄養士の方を対象に含めた調査にはなるが、献立作成を難しいと感じる理由として、「食種が多いから」、「給与目標栄養量と合わせるのが難しい」、「予算の食材費とあわせるのが難しい」というものがある。これらは、学校給食の現場においても同じようなことが言えるのではないかと考える。このような背景を受け、「イジングマシンを用いたレシピ推薦」、「イジングマシンを用いた献立の表示順最適化」という研究で、昨年度、先輩が開発したシステムを学校給食に特化したシステムへと応用させ、献立作成の最適化を行うアルゴリズムの考案を行った。アニーリングマシンとは、組合せ最適化問題を解くのに特化したコンピュータのことであり、QUBO 形式 (二次制約なし二値最適化) でハミルトニアンを表現する必要がある。本研究では、大量にあるレシピの中からユーザーにとって良いレシピを組み合わせて献立にする、ということを組合せ最適化問題として解く。

2 設定

横須賀市の「小学校給食献立表オープンデータ」 [3] を使用し、合計で 297 のレシピ数となるデータを用いる。このデータには、献立名、材料とその分量、各材料ごとの栄養情報 (エネルギー、たんぱく質、脂質、ナトリウム)、そのレシピが提供された日付の情報が含まれている。これらのデータにカテゴリー (主食、主菜、副菜、汁物、デザート)、ジャンル (和風、洋風、中華風、韓国風、エスニック)、その料理を提供することができる月、費用の情報を加えた。料理を提供することができる月とは、旬の時期や特定の時期にのみ提供されるレシピがあること、クリーム系のレシピは夏には提供されないことなどを考慮して設定した。費用は、各材料 1 g あたりの費用を設定し、必要な分量ごとに計算した値をデータに加えた。

3 定式化

決定変数は、レシピ i を日にち r に選択するとき 1、レシピ i を日にち r に選択しないとき 0 となる $x_{i,r}$ を用いる。ハミルトニアンは、制約項である H_1, H_2, H_3, H_4 とコスト項である H_5, H_6, H_7, H_8 の 8 項で構成した。

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7 + H_8 \quad (1)$$

まず、 H_1 は、献立の構成を考える項である。

$$\begin{aligned} H_1 = & \alpha_1 \sum_{r=1}^M \left(\sum_{i \in \text{主食}} x_{i,r} - 1 \right)^2 \\ & + \alpha_2 \sum_{r=1}^M \left(\sum_{i \in \text{主菜}} x_{i,r} - 1 \right)^2 \\ & + \frac{\alpha_3}{2} \sum_{r=1}^M \left(\sum_{i \in \text{副菜}} x_{i,r} \right) \left(\sum_{i \in \text{副菜}} x_{i,r} - 1 \right) \\ & + \frac{\alpha_4}{2} \sum_{r=1}^M \left(\sum_{i \in \text{汁物}} x_{i,r} \right) \left(\sum_{i \in \text{汁物}} x_{i,r} - 1 \right) \\ & + \frac{\alpha_5}{2} \sum_{r=1}^M \left(\sum_{i \in \text{デザート}} x_{i,r} \right) \left(\sum_{i \in \text{デザート}} x_{i,r} - 1 \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ は正のパラメータ、 M は日数である。主食・主菜に分類されたレシピの中から 1 個を選ぶ one-hot 制約と、副菜・汁物・デザートに分類されたレシピの中から 0 個または 1 個を選ぶ制約を組み合わせたものである。

H_2 は、献立の栄養素の合計値を理想値に近づける項である。

$$H_2 = \sum_{r=1}^M \left(\sum_{k=1}^A \beta_k \left(\frac{1}{\varepsilon_k} \cdot \frac{1}{V_k} \left(\sum_{i=1}^N v_{i,k} x_{i,r} - V_k \right) \right)^2 \right) \quad (3)$$

$v_{i,k}$ はレシピ i の栄養素 k の量、 V_k は栄養素 k の理想値、 N はレシピの総数、 ε_k は栄養素 k に関する制約の範囲、 A は栄養素の数、 β_k は正のパラメータである。

H_3 は、費用を理想値に近づける項である。

$$H_3 = \gamma \left(\frac{1}{\varepsilon} \frac{1}{C} \left(\sum_{r=1}^M \sum_{i=1}^N c_i x_{i,r} - C \right) \right)^2 \quad (4)$$

c_i はレシピ i にかかる費用、 C は M 日分の費用の理想値、 ε は制約の範囲である。

H_4 は、同じレシピが 2 回以上出ないようにする項である。

$$H_4 = \frac{\delta}{2} \sum_{i \in \text{ごはん, 麦ご飯以外}} \left(\sum_{r=1}^M x_{i,r} \right) \left(\sum_{r=1}^M x_{i,r} - 1 \right) \quad (5)$$

δ は正のパラメータである。ヒアリング時に栄養士の方に、1ヶ月の中で同じレシピは 2 回以上出さないようにしている、ということを知ったので、それを参考にして作成した制約である。

H_5 は、1日分の献立の中でのジャンルを揃える項で

ある。

$$H_5 = \epsilon \sum_{r=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N G_{i,j} x_{i,r} x_{j,r} \quad (6)$$

ϵ は正のパラメータ、 $G_{i,j}$ はレシピ i とレシピ j が同じジャンルなら 0、そうでなければ 1 となる値とする。これは、文献 [4] を参考にした。

H_6 は、過去の献立を参考にして、主食に合うレシピを推薦する項である。

$$H_6 = \zeta \sum_{r=1}^M \sum_{i \in \text{主食}} \sum_{j \in \text{主食以外}} s_{i,j} x_{i,r} x_{j,r} \quad (7)$$

ζ は正のパラメータ、 $s_{i,j}$ は i 番目の主食と j 番目のレシピが過去に一緒に出たことがあれば 0、そうでなければ 1 となる値である。過去に i 番目の主食と一緒に出したレシピが出る方が好ましいことを表す。

H_7 は、似ている献立が隣りあわないようにして、献立に多様性を出す項である。

$$H_7 = \sum_{i=1}^N \sum_{i'=1}^N \sum_{r=1}^M \sum_{r'=1}^M (g_{i,i'} + \eta f_{i,i'}) d_{r,r'} x_{i,r} x_{i',r'} \quad (8)$$

η は正のパラメータ、 $g_{i,i'}$ は献立 i と i' のジャンルが同じとき g 、そうでないとき 0 となる値、 $f_{i,i'}$ は、献立 i と i' のレシピ内で使用されている食材によるコサイン類似度、 $d_{r,r'}$ は表示日 r と r' が隣り合っている、すなわち $r' = r + 1$ または $r' = r - 1$ のとき 1、そうでなければ 0 となる値である。

H_8 は、ユーザーからの評価を反映させる項である。

$$H_8 = \iota \sum_{r=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{i,j} x_{i,r} x_{j,r} \quad (9)$$

ι は、正のパラメータであり、 $L_{i,j}$ はレシピ i とレシピ j の組み合わせが過去に良くない献立として出力されていたら 1、そうでなければ 0 となる値である。ユーザーにとって望ましくない献立が出力された際には、良くない献立としてユーザーが評価することによって、望ましくない献立を学習する項となっている。

4 結果

表 1 は、 $M = 5$ として、5 日分の献立を出力した結果である。ソルバーは Fixstars Amplify AE [5] を用いた。牛乳以外の献立をアニーリングマシンを用いて推薦し、最後に牛乳を加えた。表 2 の通りに栄養素と費用の理想値を設定した。栄養素は、エネルギー、たんぱく質、脂質の 3 つを考え、小学校中学年である児童 (8 歳~9 歳) の場合の基準値 [6] を参考にした。また、費用については、学校で働く栄養士の方とのヒアリング時の情報をもとに基準値を設定した。ハイパーパラメータは、 $\alpha_{1-5} = 1$, $\beta_{\text{energy}} = 0.5$, $\beta_{\text{protein}} = 0.3$, $\beta_{\text{fat}} = 0.5$, $\zeta = 0.2$, $\gamma = \delta = \epsilon = \eta = \iota = 0.1$ とした。日数を表す M の値や実行回数を変えることで 1ヶ月分の献立を出力することもできる。

5 まとめ

本研究では、アニーリングマシンを用いて、学校給食の献立を作成する方法の提案を行なった。

表 1: 出力された献立の例

日	献立	栄養素	費用
1 日目	[主食] 切り干し大根のたきこみごはん (和風) [主菜] 五目煮 (和風) [副菜] おひたし (和風) [飲み物] 牛乳	カロリー: 638.0 kcal たんぱく質: 29.400 g 脂質: 19.1 g ナトリウム: 1097.0 mg	328.215 円
2 日目	[主食] 食パン (洋風) [主菜] とり肉と豆のトマト煮こみ (洋風) [副菜] りんごジャム (洋風) [デザート] ミックスフルーツ (洋風) [飲み物] 牛乳	カロリー: 639.0 kcal たんぱく質: 28.900 g 脂質: 18.9 g ナトリウム: 600.0 mg	390.611 円
3 日目	[主食] ごはん (和風) [主菜] いわしのこはく揚げ (和風) [汁物] だんご汁 (和風) [飲み物] 牛乳	カロリー: 646.0 kcal たんぱく質: 26.3 g 脂質: 19.2 g ナトリウム: 687.0 mg	250.83 円
4 日目	[主食] セサミライス (洋風) [主菜] コロコロチキンソテー (洋風) [デザート] フルーツポンチ (洋風) [飲み物] 牛乳	カロリー: 625.0 kcal たんぱく質: 25.8 g 脂質: 17.3 g ナトリウム: 492.0 mg	301.273 円
5 日目	[主食] ごはん (和風) [主菜] あじのこはく揚げ (和風) [副菜] ボイルキャベツ (和風) [汁物] 豚汁 (和風) [飲み物] 牛乳	カロリー: 645.0 kcal たんぱく質: 28.2 g 脂質: 18.5 g ナトリウム: 985.0 mg	293.56 円

表 2: 基準値 (牛乳含む)

項目	基準値	誤差
エネルギー	650 kcal	± 約 52 kcal
たんぱく質	学校給食による摂取エネルギー全体の 13~20%	エネルギーの 13~20%
脂質	学校給食による摂取エネルギー全体の 20~30%	エネルギーの 20~30%
費用	1500 円	± 約 100 円

謝辞

本研究は 2023 年度末踏ターゲット事業の支援を受けています。ご助言を賜りました工藤研究室博士前期 1 年秋島遥氏、ご協力いただいた皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 栄養士のお仕事 Magazine, 学校で働く栄養士・管理栄養士のお仕事とは?, <https://eiyoushi-shigoto.com/magazine/archives/854/> (2024 年 1 月 21 日アクセス).
- [2] 大中佳子、森政淳子、石田裕美, 給食施設における献立作成業務実態調査—作業の所要時間と標準化に向けて—, <https://core.ac.uk/download/pdf/230128196.pdf> (2024 年 1 月 21 日アクセス).
- [3] 横須賀市, 小学校給食献立表オープンデータ, <https://www.city.yokosuka.kanagawa.jp/8345/kyuushoku/kyuusyoku-menu-open.html> (2024 年 1 月 21 日アクセス).
- [4] オージス総研, 量子技術を使おう 第 1 回量子アニーリングによる献立提案, <https://www.ogis-ri.co.jp/otc/hiroba/technical/quantumtech/part1.html> (2024 年 1 月 21 日アクセス).
- [5] Fixstars, Fixstars Amplify - 量子コンピューティングクラウド, <https://amplify.fixstars.com/ja/> (2024 年 1 月 21 日アクセス).
- [6] 文部科学省, 文部科学省告示第十号学校給食法, https://www.mext.go.jp/content/20210212-mxt_kenshoku-100003357_2.pdf (2024 年 1 月 21 日アクセス).