

消費期限を考慮したレシピ推薦と食材の追加購入

前田 康成¹

1) 北見工業大学・地域未来デザイン工学科

要約：食品ロスは世界中で大きな問題になっている。従来研究において料理レシピの推薦方法が数多く提案されているが、食品ロスと食材の追加購入の総コストは最小化されていない。本研究では、消費期限を考慮して食品ロスと食材の追加購入の総コストを最小化する料理レシピの推薦及び食材の追加購入方法に動的計画法を適用する。提案する料理レシピの推薦及び食材の追加購入方法の有効性を確認するための実験結果を報告する。実験によって、提案方法の総コストが経験則による料理レシピの推薦及び食材の追加購入方法の総コストよりも小さいことが確認できた。提案方法は家庭の食品ロスの削減に寄与することが期待される。提案方法の最適解は理論的限界でもあり、理論的限界は他のレシピ推薦及び食材の追加購入方法の評価にも利用できる。提案方法のヘルスケアへの応用は今後の課題である。

キーワード：消費期限, 料理レシピ, コスト, 余剰食材, 動的計画法

Recommendation of Recipes and Additional Purchase of Ingredients Considering Expiration Date

Yasunari MAEDA¹

1) School of Regional Innovation and Social Design Engineering, Kitami Institute of Technology

Abstract: Food loss is a big problem all over the world. Many recommendation methods for cooking recipes are proposed in previous research. But the total cost of food loss and additional purchase is not minimized in the previous research. In this research dynamic programming is applied to minimize the total cost of food loss and additional purchase in recommendation and purchase method considering expiration date. A new recommendation and purchase method is proposed. The effectiveness of the proposed method is shown by some experiments. In the experiments the total cost of the proposed method is confirmed to be smaller than the total cost of the empirical recommendation and purchase method. The proposed method is expected to contribute to the reduction of food loss in households. The optimal solution of the proposed method is also a theoretical limit. The theoretical limit can be used to evaluate other recommendation and purchase methods. The application of the proposed method to healthcare is a topic of the future.

Keywords: expiration date, cooking recipe, cost, surplus ingredient, dynamic programming

Yasunari MAEDA

165 Koen-cho, Kitami-shi, Hokkaido, 090-8507, Japan

Phone: +81-157-26-9328, Fax: +81-157-26-9344, E-mail: maedaya@mail.kitami-it.ac.jp

1. はじめに

日本では平成29年度の推計で612万トンの食品ロスが発生しており、家庭系食品ロスに限定しても284万トンである[1]。インターネット上には、入力した食材を使用するレシピ検索など、家庭の余剰食材の有効活用に資するサイト[2][3]も多い。

他方、料理メディア分野ではさまざまな食品ロス対策が検討されている[4]–[9]。例えば、従来研究[4]では食品ロスをなるべく小さくするような日々のレシピと食材の購入の仕方を推薦する。しかし、既に家庭にある余剰食材への対応は検討していない。従来研究[5]–[7]では、余剰食材への対応を検討しているが、食材の消費期限/賞味期限を考慮していない。また、従来研究[8]では、賞味期限を考慮して期限が近い余剰食材を使用するレシピを優先して推薦する。しかし、食品ロス等のコストの最小化は検討していない。

従来研究[9]では、食品ロスと食材の追加購入で発生する総コストを最小化する、食材の消費期限を考慮したレシピ推薦と食材の追加購入方法を提案している。しかし、食材の追加購入では不足量と同量を購入可能という条件を仮定していた。この仮定は、食材の追加購入を実施しても新たな余剰食材は発生しないという、非現実的な仮定である。

そこで本研究では、食材の追加購入に伴って新規余剰も発生する、より一般的な問題設定を考える。例えば、にんじんが1本だと64円なのに対して3本だと180円というように、まとめ買いによって単価が安くなることがある。つまり、同じ食材について量や単価が異なる複数の商品が存在し、適切な商品選択が重要になる。従来研究[9]同様に動的計画法[10]を適用し、余剰食材状況に基づいて、対象期間中の食品ロス及び食材の追加購入で発生する総コストを最小化する、計画的なレシピ推薦と食材の追加購入方法を提案する。なお、日々変化する余剰食材状況に基づいて、かつ翌日以降も考慮してレシピ推薦などの意思決定を行う本研究や従来研究で扱う意思決定問題には、先読みしながら逐次的に意思決定する動的計画法が適すると考える。

本研究は食品ロス及び食材の追加購入で発生する総コストの最小化に関する基礎研究であり、具体的なシステム化などは想定せず、議論を簡便にするために簡易な問題設定を扱っている。今後、本研究の拡張研究としてより現実に近い問題設定(より複雑な最適化問題)を検討する。また、本研究(今後の拡張研究も含めて)は必ずしも提案方法の実用化を目指すものではない。食品ロ

ス及び食材の追加購入の総コストを最小化する最適解(最適なレシピ推薦と食材の追加購入)を算出する提案方法は、実用化にはより簡易な処理が望まれるなどの理由で実用化に適さない可能性もある。しかし、提案方法による最適解は理論的境界でもある。よって、提案方法で最適解が算出可能な問題設定のもとで、他のレシピ推薦及び食材の追加購入方法の評価(理論的境界に対してどの程度の差か評価)に利用することも可能である。

2. 準備

最初に本研究で使用する記号などを定義する。 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_{|G|}\}$ は食材集合を示し、 g_i は*i*番目の食材である。 $w_s(i)$, $1 \leq i \leq |G|$ は食材 g_i の余剰量(グラム)を示す。余剰がない食材 g_i の場合は $w_s(i) = 0$ である。なお、食材 g_i について余剰がない($w_s(i) = 0$)とは、当初から食材 g_i の余剰がない場合と、レシピ推薦の過程での食材 g_i の使用または廃棄による場合である。 $c_s(i)$, $1 \leq i \leq |G|$ は余剰食材 g_i の単価(1グラムあたりの購入価格, 円)を示す。 $ex_s(i)$, $1 \leq i \leq |G|$ は余剰食材 g_i の消費期限までの残日数(日)を示す。 $ex_s(i) = 1$ が消費可能な最後の日を示し、 $ex_s(i) = 0$ になった時点で余剰食材 g_i は廃棄される。廃棄に伴い食品ロスによるコスト $c_s(i)w_s(i)$ (円)が発生し、余剰量は初期化されて $w_s(i) = 0$ となる。余剰がない食材 g_i ($w_s(i) = 0$)の場合は、便宜上、 $ex_s(i) = 0$ とする。

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_{|R|}\}$ は料理レシピ集合を示し、 r_i は*i*番目の料理レシピである。 $F(i)$ は料理レシピ r_i で使用される食材の番号(添え字)の集合である。 $w_r(i, j)$ は料理レシピ r_i の食材 g_j の1人前あたりの使用量(グラム)を示す。ただし、*N*人前のレシピ推薦を検討する場合には、*N*人前の量に読み替える。

$M = \{M(1), \dots, M(|G|)\}$ は食材商品の集合、 $M(i) = \{m(i, 1), \dots, m(i, |M(i)|)\}$ は食材 g_i の商品集合、 $m(i, j)$ は食材 g_i の*j*番目の商品を示す。 $w_m(i, j)$, $c_m(i, j)$, $ex_m(i, j)$, $1 \leq i \leq |G|$, $1 \leq j \leq |M(i)|$ は商品 $m(i, j)$ の重量(グラム), 価格(円), 消費期限までの残日数(日)を示す。

本研究では、*T*日間の*T*回(1日1回)の調理(レシピ選択)を支援するための*T*回のレシピ推薦及び食材の追加購入問題を対象とする。議論を簡便にするため、各回(各日)で推薦/選択するレシピは1レシピのみとし、余剰食材のみで食材が不足する場合には食材商品を追加購入する。ただし、同一食材で重量、価格が異なる複数の商品がある場合には、複数の商品の中から選択する。

レシピ推薦及び食材の追加購入問題における状態 (W_s, EX_s, C_s) は、当該回の余剰食材状況である余剰量 $W_s = (w_s(1), w_s(2), \dots, w_s(|G|))$, 消費期限までの残日数 $EX_s = (ex_s(1), ex_s(2), \dots, ex_s(|G|))$, 単価 $C_s = (c_s(1), c_s(2), \dots, c_s(|G|))$ で構成される。後述の動的計画法を用いたアルゴリズムでは、 t 回目の推薦時の状態変数を $X_t = (X_{t,1}, X_{t,2}, X_{t,3})$ と表記し、当該時点の余剰食材の余剰量 $X_{t,1} = (X_{t,1,1} = w_s(1), \dots, X_{t,1,|G|} = w_s(|G|))$, 消費期限までの残日数 $X_{t,2} = (X_{t,2,1} = ex_s(1), \dots, X_{t,2,|G|} = ex_s(|G|))$, 単価 $X_{t,3} = (X_{t,3,1} = c_s(1), \dots, X_{t,3,|G|} = c_s(|G|))$ とする。

t 回目の推薦時の推薦用の変数を $Y_t = (Y_{t,1}, Y_{t,2})$ と表記し、 t 回目の推薦時の推薦レシピ番号 $Y_{t,1}$, $1 \leq Y_{t,1} \leq |R|$ と追加購入商品 $Y_{t,2} = (Y_{t,2,1,1}, \dots, Y_{t,2,|G|,|M(|G|)|})$ とする。ただし、 $Y_{t,2,i,j}$ は食材 g_i の j 番目の商品 $m(i, j)$ の追加購入数である。商品 $m(i, j)$ が購入不要であれば、 $Y_{t,2,i,j} = 0$ である。 t 回目の推薦時の追加購入コストは $\sum_{1 \leq i \leq |G|} \sum_{1 \leq j \leq |M(i)|} c_m(i, j) Y_{t,2,i,j}$ である。

t 回目の推薦時の状態 X_t は推薦 Y_t の実施によって、 $t + 1$ 回目の状態 X_{t+1} に以下の手順で更新される。

手順1: 消費期限までの残日数 $ex_s(i)$ を式(1)で更新する。

$$ex_s(i) = \begin{cases} ex_s(i) - 1, & w_s(i) > w_r(Y_{t,1}, i), i \in F(Y_{t,1}); \\ 0, & w_s(i) = w_r(Y_{t,1}, i), i \in F(Y_{t,1}); \\ \max\{ex_m(i, j) - 1 | j, Y_{t,2,i,j} > 0\}, & \\ & w_s(i) < w_r(Y_{t,1}, i), i \in F(Y_{t,1}), \\ \sum_{j, Y_{t,2,i,j} > 0} w_m(i, j) Y_{t,2,i,j} + w_s(i) > w_r(Y_{t,1}, i); & (1) \\ 0, & w_s(i) < w_r(Y_{t,1}, i), i \in F(Y_{t,1}), \\ \sum_{j, Y_{t,2,i,j} > 0} w_m(i, j) Y_{t,2,i,j} + w_s(i) = w_r(Y_{t,1}, i); & \\ ex_s(i) - 1, & w_s(i) > 0, i \notin F(Y_{t,1}); \\ 0, & w_s(i) = 0, i \notin F(Y_{t,1}). \end{cases}$$

ただし、右辺の条件 $w_s(i) > w_r(Y_{t,1}, i)$, $i \in F(Y_{t,1})$ は t 回目の推薦レシピ $r_{Y_{t,1}}$ で使用する食材 g_i が余剰食材のみで対応可能で、使用後に余剰量が残る場合を示す。条件 $w_s(i) < w_r(Y_{t,1}, i)$, $i \in F(Y_{t,1})$ は余剰食材が不足する場合を示し、さらに条件 $\sum_{j, Y_{t,2,i,j} > 0} w_m(i, j) Y_{t,2,i,j} + w_s(i) > w_r(Y_{t,1}, i)$ は使用後に追加購入食材の余剰が発生する場合を示す。

手順2: 追加購入して新たな余剰量が発生する食材 g_i の単価 $c_s(i)$ を式(2)で更新する。

$$c_s(i) = c_m(i, j) / w_m(i, j). \quad (2)$$

ただし、

$$j = \arg \max_k \{ex_m(i, k) - 1 | k, Y_{t,2,i,k} > 0\},$$

$$w_s(i) < w_r(Y_{t,1}, i), i \in F(Y_{t,1}),$$

$$\sum_{k, Y_{t,2,i,k} > 0} w_m(i, k) Y_{t,2,i,k} + w_s(i) > w_r(Y_{t,1}, i). \quad (3)$$

手順3: 余剰食材の余剰量 $w_s(i)$ を、 t 回目の推薦レシピ $r_{Y_{t,1}}$ での使用及び追加購入を反映した余剰量に更新する。

$$w_s(i) = \begin{cases} w_s(i) - w_r(Y_{t,1}, i), & w_s(i) \geq w_r(Y_{t,1}, i), \\ & i \in F(Y_{t,1}); \\ \sum_j w_m(i, j) Y_{t,2,i,j} + w_s(i) - w_r(Y_{t,1}, i), & \\ & w_s(i) < w_r(Y_{t,1}, i), i \in F(Y_{t,1}); \\ w_s(i), & i \notin F(Y_{t,1}). \end{cases} \quad (4)$$

手順4: t 回目の状態 X_t で推薦 Y_t を実施したもとの、 $t + 1$ 回目に消費期限までの残日数が0になって発生する食品ロス(廃棄)のコスト $cost_{fl}(X_t, Y_t)$ (円) を式(5)で算出する。

$$cost_{fl}(X_t, Y_t) = \sum_{w_s(i) > 0, ex_s(i) = 0} c_s(i) w_s(i). \quad (5)$$

食品ロスが発生しない場合には、 $cost_{fl}(X_t, Y_t) = 0$ である。次に式(5)の食品ロスでの廃棄に対応してさらに余剰量 $w_s(i)$ を更新する。

$$w_s(i) = 0, \quad w_s(i) > 0, ex_s(i) = 0. \quad (6)$$

上記の手順による更新後の余剰食材の余剰量を W'_s , 消費期限までの残日数を EX'_s , 単価を C'_s とすると、 $t + 1$ 回目の推薦時の状態は $X_{t+1} = (X_{t+1,1} = W'_s, X_{t+1,2} = EX'_s, X_{t+1,3} = C'_s)$ である。

3. 消費期限を考慮したレシピ推薦と食材の追加購入方法の提案

食品ロス及び食材の追加購入による総コストを最小化するために、 T 回のレシピ推薦及び食材の追加購入を考える。動的計画法を用いた提案アルゴリズムでは T 回目のレシピ推薦及び食材の追加購入から1回目まで遡りながら処理を実施する。 T 回目の推薦及び食材の追加購入と T 回目以外で処理が異なるので、最初に T 回目の処理を示す。

$$v(X_T, T) = \min_{Y_T} \alpha_b cost_b(X_T, Y_T) + \alpha_{fl} cost_{fl}(X_T, Y_T). \quad (7)$$

ただし、 $v(X_T, T)$ は状態 X_T における最小コストである。最小コストに対応する Y_T が最適なレシピ番号と追加購入食材商品である。 $cost_b(X_T, Y_T)$ は追加購入コストで $cost_b(X_T, Y_T) = \sum_{1 \leq i \leq |G|} \sum_{1 \leq j \leq |M(i)|} c_m(i, j) Y_{T,2,i,j}$ である。 α_b は追加購入コストに対する重み、 α_{fl} は食材ロス

(廃棄) コストに対する重みを示し、利用者の価値観に基づいて任意に設定できる。例えば、 $\alpha_b = \alpha_{fl} = 1$ の場合には2つのコストを同等に評価した総コストの最小化、 $\alpha_b = 1, \alpha_{fl} = 0$ は追加購入コストのみの最小化、 $\alpha_b = 0, \alpha_{fl} = 1$ は食材ロス(廃棄)コストのみの最小化に相当する。

次に t 回目 ($t < T$) の推薦及び食材の追加購入に関する処理を示す。

$$v(X_t, t) = \min_{Y_t} \alpha_b \text{cost}_b(X_t, Y_t) + \alpha_{fl} \text{cost}_{fl}(X_t, Y_t) + v(X_{t+1}, t+1). \quad (8)$$

ただし、 $v(X_t, t)$ は状態 X_t における t 回目以降の最小総コストである。最小総コストに対応する Y_t が最適なレシピ番号と追加購入食材商品である。式(8)では動的計画法の考え方に従って $t+1$ 回目以降の最小総コスト $v(X_{t+1}, t+1)$ を再帰的に利用している。この再帰的処理が $t+1$ 回目以降の先読みである。先読みによって、総コストを最小化する計画的なレシピ推薦と食材の追加購入を実現している。

4. レシピ推薦及び食材の追加購入例

4.1 適用例1

提案方法の有効性を検証するために、適用例を示す。レシピの一覧を表1、食材の一覧を表2に示す。各レシピで使用する食材料量(グラム, 4人前)を表3に示す。なお、調味料等は省略している。初期の余剰食材(余剰量, 単価, 消費期限までの残日数)を表4に示す。食材商品(重量, 価格, 消費期限までの残日数)を表5に示す。レシピは料理レシピサイト[2][3]等、食材の単価は農林水産省の食品価格動向調査[11]等を参考にした。牛肉の単価は輸入牛肉ロース, 豚肉の単価は輸入豚肉ロースである。推薦回数は $T = 4$ とする。

表1. レシピ一覧

| | | | |
|-------|----------|----------|--------------|
| r_1 | さんまのトマト煮 | r_6 | 鮭の南蛮漬け |
| r_2 | 牛すき煮 | r_7 | 豚肉とにんじんのピカタ |
| r_3 | トマトすき焼き | r_8 | ホイコーロー |
| r_4 | 肉野菜炒め | r_9 | 豚肉とピーマンの味噌炒め |
| r_5 | 野菜炒め | r_{10} | ピーマンの牛肉巻き |

表2. 食材一覧

| | | | | | |
|-------|-----|-------|------|----------|------|
| g_1 | さんま | g_5 | 玉ねぎ | g_9 | トマト |
| g_2 | 鮭 | g_6 | にんじん | g_{10} | きゅうり |
| g_3 | 牛肉 | g_7 | キャベツ | g_{11} | 卵 |
| g_4 | 豚肉 | g_8 | ピーマン | | |

表3. レシピの使用食材(グラム, 4人前)

| レシピ | 使用食材 |
|----------|---|
| r_1 | $g_1:200, g_5:200, g_9:240$ |
| r_2 | $g_3:300, g_5:200$ |
| r_3 | $g_3:300, g_5:200, g_9:240$ |
| r_4 | $g_4:300, g_5:200, g_6:80, g_7:240, g_8:80$ |
| r_5 | $g_5:200, g_6:80, g_7:240, g_8:80$ |
| r_6 | $g_2:300, g_5:200, g_{10}:100$ |
| r_7 | $g_4:300, g_6:80, g_{11}:200$ |
| r_8 | $g_4:300, g_7:240, g_8:120$ |
| r_9 | $g_4:200, g_8:300$ |
| r_{10} | $g_3:300, g_8:240$ |

表4. 初期の余剰食材

| 食材 g_i | g_1 | g_2 | g_3 | g_4 | g_5 | g_6 |
|---------------|-------|-------|-------|----------|----------|-------|
| w_s (グラム) | 100 | 0 | 200 | 200 | 0 | 160 |
| c_s (円/グラム) | 0.7 | 2.5 | 2.8 | 1.0 | 0.2 | 0.4 |
| ex_s (日) | 1 | 0 | 3 | 2 | 0 | 4 |
| 食材 g_i | g_7 | g_8 | g_9 | g_{10} | g_{11} | |
| w_s (グラム) | 480 | 0 | 240 | 0 | 0 | |
| c_s (円/グラム) | 0.1 | 0.6 | 0.8 | 0.4 | 0.5 | |
| ex_s (日) | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | |

提案方法による最適なレシピ推薦及び食材の追加購入例を表6~表10に示す。食品ロスと追加購入のコストの重み付けについて5組を実施した。コスト欄の購入, 食品ロスは重み付けしていない追加購入コストと食品ロスのコストである。

表6の $\alpha_b = 1, \alpha_{fl} = 1$ の場合が提案方法による基本的な食品ロスと追加購入による総コストの最小化である。総コストを最小化する計画的なレシピ推薦と追加購入が確認できる。重量の小さい単価が高めの商品(さんま, ピーマン等)を随時購入する以外に, 重量の大きい単価が安めの商品(玉ねぎ)を購入して計画的に消費している。

表5. 食材商品 $m(i, j)$ の一覧

| | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|-----|
| i, j | 1,1 | 2,1 | 3,1 | 4,1 | 5,1 | 6,1 |
| $w_m(i, j)$ (グラム) | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 160 |
| $c_m(i, j)$ (円) | 70 | 250 | 280 | 100 | 40 | 64 |
| $ex_m(i, j)$ (日) | 2 | 2 | 3 | 3 | 30 | 7 |
| i, j | 1,2 | 2,2 | 3,2 | 4,2 | 5,2 | 6,2 |
| $w_m(i, j)$ (グラム) | 300 | 600 | 400 | 400 | 800 | 480 |
| $c_m(i, j)$ (円) | 180 | 1200 | 1000 | 320 | 140 | 180 |
| $ex_m(i, j)$ (日) | 2 | 2 | 3 | 3 | 30 | 7 |
| i, j | 7,1 | 8,1 | 9,1 | 10,1 | 11,1 | |
| $w_m(i, j)$ (グラム) | 600 | 40 | 200 | 100 | 200 | |
| $c_m(i, j)$ (円) | 60 | 24 | 160 | 40 | 100 | |
| $ex_m(i, j)$ (日) | 10 | 7 | 7 | 7 | 14 | |
| i, j | 7,2 | 8,2 | 9,2 | 10,2 | 11,2 | |
| $w_m(i, j)$ (グラム) | 1200 | 400 | 600 | 300 | 500 | |
| $c_m(i, j)$ (円) | 100 | 200 | 400 | 100 | 200 | |
| $ex_m(i, j)$ (日) | 10 | 7 | 7 | 7 | 14 | |

表6. 提案方法のレシピ推薦及び食材の追加購入例1

| | |
|-------------------------|--|
| α_b, α_{fl} | 1, 1 |
| 推薦レシピ | 1回目 r_1 , 2回目 r_4 , 3回目 r_2 , 4回目 r_5 |
| 購入商品 | 1回目 $m(1,1)$ 1個, $m(5,2)$ 1個, 2回目 $m(4,1)$ 1個, $m(8,1)$ 2個, 3回目 $m(3,1)$ 1個, 4回目 $m(8,1)$ 2個 |
| コスト | 購入686円, 食品ロス0円 |

表7. 提案方法のレシピ推薦及び食材の追加購入例2

| | |
|-------------------------|--|
| α_b, α_{fl} | 1, 0 |
| 推薦レシピ | 1回目 r_1 , 2回目 r_9 , 3回目 r_5 , 4回目 r_5 |
| 購入商品 | 1回目 $m(1,1)$ 1個, $m(5,1)$ 1個, 2回目 $m(8,2)$ 1個, 3回目 $m(5,1)$ 1個, 4回目 $m(5,1)$ 1個, $m(8,1)$ 2個 |
| コスト | 購入438円, 食品ロス560円 |

表8. 提案方法のレシピ推薦及び食材の追加購入例3

| | |
|-------------------------|--|
| α_b, α_{fl} | 0, 1 |
| 推薦レシピ | 1回目 r_1 , 2回目 r_4 , 3回目 r_2 , 4回目 r_4 |
| 購入商品 | 1回目 $m(1,1)$ 1個, $m(5,1)$ 1個, 2回目 $m(4,1)$ 1個, $m(5,1)$ 1個, $m(8,1)$ 2個, 3回目 $m(3,1)$ 1個, $m(5,1)$ 1個, 4回目 $m(4,1)$ 3個, $m(5,1)$ 1個, $m(8,1)$ 2個 |
| コスト | 購入1006円, 食品ロス0円 |

表9. 提案方法のレシピ推薦及び食材の追加購入例4

| | |
|-------------------------|--|
| α_b, α_{fl} | 1, 0.5 |
| 推薦レシピ | 1回目 r_3 , 2回目 r_9 , 3回目 r_5 , 4回目 r_5 |
| 購入商品 | 1回目 $m(3,1)$ 1個, $m(5,1)$ 1個, 2回目 $m(8,2)$ 1個, 3回目 $m(5,1)$ 1個, 4回目 $m(5,1)$ 1個, $m(8,1)$ 2個 |
| コスト | 購入648円, 食品ロス70円 |

表10. 提案方法のレシピ推薦及び食材の追加購入例5

| | |
|-------------------------|--|
| α_b, α_{fl} | 0.5, 1 |
| 推薦レシピ | 1回目 r_1 , 2回目 r_4 , 3回目 r_2 , 4回目 r_5 |
| 購入商品 | 1回目 $m(1,1)$ 1個, $m(5,2)$ 1個, 2回目 $m(4,1)$ 1個, $m(8,1)$ 2個, 3回目 $m(3,1)$ 1個, 4回目 $m(8,1)$ 2個 |
| コスト | 購入686円, 食品ロス0円 |

表7の $\alpha_b = 1, \alpha_{fl} = 0$ の場合は食材購入コストのみの最小化であり, 家計最優先の一般的な目的を本研究の問題設定に適用した例である. 表8の $\alpha_b = 0, \alpha_{fl} = 1$ の場合は食品ロスのコストのみの最小化であり, 環境問題最優先の目的の適用例である. とともに対象コストは最小化できるが, 対象外のコストは大きくなることもある.

他方, 表9の $\alpha_b = 1, \alpha_{fl} = 0.5$ と表10の $\alpha_b = 0.5, \alpha_{fl} = 1$ の場合は, 重要視するコストに1, 他のコストに0.5を設定している. 重要視するコストがなるべく小さくなるとともに, 他のコストもある程度小さくなる.

以上より, 提案方法によって, 食品ロス及び追加購入に対する任意の重み付けを反映した総コストを最小化する, 計画的なレシピ推薦と食材の追加購入が可能であることを確認した.

4.2 経験則との比較

提案方法に対する比較対象として, 以下の比較1と比較2のルール(経験則)に基づくレシピ推薦及び食材の追加購入例を表11と表12に示す.

比較1: 消費期限までの残日数が1日の余剰食材を優先して使用する条件のもとで, 当日の追加購入コストが最小のレシピ推薦及び食材の追加購入を選択する.

比較2: 消費期限までの残日数が1日の余剰食材を優先して使用する条件のもとで, 残日数が2日以上余剰食材もなるべく多く使用する. ただし, 余剰食材の消費が同等のもとでは, 当日の追加購入コストが最小のレシピ推薦及び食材の追加購入を選択する.

表11. 比較1のレシピ推薦及び食材の追加購入例

| | |
|-------|--|
| 推薦レシピ | 1回目 r_1 , 2回目 r_3 , 3回目 r_2 , 4回目 r_5 |
| 購入商品 | 1回目 $m(1,1)$ 1個, $m(5,1)$ 1個, 2回目 $m(4,1)$ 1個, $m(8,1)$ 3個, 3回目 $m(3,1)$ 1個, $m(5,1)$ 1個, 4回目 $m(5,1)$ 1個, $m(8,1)$ 2個 |
| コスト | 購入690円, 食品ロス32円 |

表12. 比較2のレシピ推薦及び食材の追加購入例

| | |
|-------|---|
| 推薦レシピ | 1回目 r_1 , 2回目 r_4 , 3回目 r_2 , 4回目 r_5 |
| 購入商品 | 1回目 $m(1,1)$ 1個, $m(5,1)$ 1個, 2回目 $m(4,1)$ 1個, $m(5,1)$ 1個, $m(8,1)$ 2個, 3回目 $m(3,1)$ 1個, $m(5,1)$ 1個, 4回目 $m(5,1)$ 1個, $m(8,1)$ 2個 |
| コスト | 購入706円, 食品ロス0円 |

比較1と比較2の経験則では追加購入コストと食品ロスコストの重み付けは行っていないので, 提案方法の表6の $\alpha_b = 1$, $\alpha_{fl} = 1$ の場合と比較する. 経験則では動的計画法のような先読みによる計画性を伴わないため, 総コストの最小化はできない. 比較1では余剰食材の消費が計画的でないために, にんじん80グラムの食品ロスが生じている. また, 比較2では推薦レシピは提案方法と同じであるが, 食材の追加購入が計画的でないために, 提案方法のように重量が大きくて単価が安い玉ねぎの商品を購入せずに重量の小さい商品を毎回購入している. このように, 日常生活で見られるような経験則では必ずしも提案方法のように総コストを最小化できないことがわかる.

4.3 適用例2

提案方法の性質についてさらに検証するために, 4.1節の適用例1の設定に少し変更を加えた適用例2を紹介する. 適用例2での変更点を表13に示す. 大きな変更点はレシピ集合から野菜炒めを削除して, 使用食材がさんまのみのさんまの塩焼きを追加し, さんまの重量の大きな食材商品をより重量の大きな商品に変更した点である. 提案方法の $\alpha_b = 1$, $\alpha_{fl} = 1$ の場合の結果を表14に示す.

表14の結果においても, 重量の大きなさんまの商品を計画的に購入することによって, 総コストを最小化している. しかし, 1回目から4回目の推薦レシピは, さんまのトマト煮, さんまのトマト煮, さんまの塩焼き, さんまの塩焼きで, 2つのレシピが2回ずつ推薦されている. しかも, 2つのレシピともに主たる食材がさんまである.

さらに, 4.1節の適用例1についても表7, 表8, 表9で同じレシピが2回推薦されていることが確認できる. なお, 4.2節で経験則と比較した表6では同じレシピの重複推薦はない.

このように, 提案方法は食品ロス及び食材の追加購入の総コストを最小化できるが, 同じレシピや主たる食材が同じレシピを繰り返すような偏ったレシピ推薦になることがある. 偏ったレシピ推薦は栄養面や食事の満足度において不適切であり, 提案方法の改善が必要である.

表13. 適用例2での変更点

| | |
|----------------------------------|--|
| レシピ r_5 | さんまの塩焼き |
| レシピ r_5 の使用食材 | g_1 (さんま) 400グラム |
| 初期の余剰食材 (右記以外の食材の 余剰は0グラム) | g_1 (さんま) 200グラム, 単価0.7円, 残日数1日 g_9 (トマト) 480グラム, 単価0.8円, 残日数4日 |
| 食材商品 $m(1,2)$ (他商品に変更無) | 800グラム, 400円, 残日数2日 |

表14. 提案方法のレシピ推薦及び食材の追加購入例6

| | |
|-------------------------|---|
| α_b, α_{fl} | 1, 1 |
| 推薦レシピ | 1回目 r_1 , 2回目 r_1 , 3回目 r_5 , 4回目 r_5 |
| 購入商品 | 1回目 $m(5,1)$ 1個, 2回目 $m(1,1)$ 2個, $m(5,1)$ 2個, 3回目 $m(1,2)$ 1個, 4回目なし |
| コスト | 購入620円, 食品ロス0円 |

5. 考察と今後の課題

5.1 考察

1章で提案方法による最適解は理論的境界でもあることを説明した. つまり, 本研究の提案方法は食品ロスと食材の追加購入の総コストを最小にするレシピと追加購入商品を推薦し, かつ提案方法で算出される最適解(最小の総コスト)は他の方法の評価に利用可能な理論的境界でもある. 4章では, 提案方法と経験則を比較したが, この比較実験は経験則が理論的境界に対してどの程度の精度かを確認した実験とも解釈できる. 現状ではレシピ推薦や食材購入に関するベンチマークテストなどは存在しないので, このような理論的境界の提供も重要と考える.

本研究のようなレシピ推薦に対して, 必ずしも利用者が推薦されたレシピに満足するとは限らない. 算出された推薦レシピに対する利用者の希望による変更も推薦

方法が備えるべき機能である。対処方法はいろいろ考えられる。例えば、利用者が満足している推薦回（推薦レシピ）についてはそのままレシピを固定して再度のレシピ推薦の対象から除外する。不満足な推薦回については、当該不満足レシピをレシピ集合から除外する。不満足な推薦回のみを再度のレシピ推薦の対象として、追加食材の購入と不満足回の再レシピ推薦について提案方法と同様の方法で対応することが考えられる。

推薦対象となるレシピ集合については、なるべく多くの利用者の嗜好に適するような一般的なレシピ集合、個別の利用者の嗜好に適したレシピ集合、嗜好で分類された利用者グループに適したレシピ集合などさまざまな考え方があられる。レシピ推薦の算出結果に対する利用者の満足度を高めるためには、なるべく個別の利用者ごとにレシピ集合を整備すべきであるが、レシピ集合の整備に必要なコストについても検討が必要である。基本的には利用者の満足度とレシピ集合の整備コストがトレードオフの関係になると考えられる。

5.2 今後の課題

4.3節の適用例2で確認したように、提案方法では状況次第で同じレシピを繰り返して推薦するなど、推薦レシピに偏りが生じることがある。推薦レシピの偏りは、栄養面での偏りや利用者の飽きによる低い満足度の原因になるため、改善が必要である。改善策として、例えば同じレシピの推薦を回避する工夫や、栄養面での工夫が考えられる。

提案方法では、余剰食材の余剰量、消費期限までの残り日数と単価の情報で構成される状態定義を用いているが、レシピ推薦の履歴情報を状態定義に追加してレシピ推薦の選択肢から履歴中のレシピ（あるいは規定回数推薦済のレシピ）を除外することによって、同一レシピの回避は可能である。また、主たる食材についても同様の工夫で対応可能である。

栄養面の工夫に関しては、従来研究[5]におけるレシピ中の栄養素の含有量の点数化や、従来研究[12][13]におけるレシピ中の栄養素の含有量に関する制約などと同様の工夫を本研究の提案方法に追加することによる栄養面の偏りの回避などが考えられる。

本研究では1レシピの推薦という簡易な問題設定を扱ったが、現実的なレシピ推薦を目指すためには複数レシピで構成される献立の推薦に拡張する必要もある。上記のような状態定義の拡張、栄養面の工夫、献立推薦への拡張、前節で述べた推薦レシピに対する利用者の満足度

を高めるための再推薦、レシピ集合の整備など、より現実に近い問題設定への各種拡張に関する具体的な検討は今後の課題である。

6. まとめ

食品ロス及び食材の追加購入による総コストを最小化する、レシピ推薦及び食材の追加購入方法は従来から検討されている。しかし、従来研究 [9]は不足量と同量の追加購入が可能という、非現実的な問題設定である。そこで、本研究では追加購入で新規の余剰が発生する、より一般的な問題設定とした。そのもとで総コストを最小化する計画的なレシピ推薦及び食材の追加購入方法を提案した。

提案方法を用いて実際に食品ロス及び食材の追加購入による総コストを最小化するレシピ推薦と追加購入が可能であることを、適用例で確認した。また、利用者の価値観に基づく重み付けにより、食品ロスと購入コストの両方を考慮しつつ、より重要視するコストを優先して小さくできることも確認した。日常生活で見られるような経験則では必ずしも提案方法のように総コストを最小化できないことも確認した。

本研究では議論を簡便にするために簡易な問題設定を対象としたが、今後は5.2節で述べたようなより現実に近い問題設定への拡張が必要である。本研究の拡張に関する具体的な検討は、今後の課題である。

参考文献

- [1] 農林水産省：食品ロスとは：農林水産省，
https://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/161227_4.html，参照 (2020. 12. 29)
- [2] Cookpad Inc.：クックパッド，
<https://cookpad.com/>，参照 (2020. 12. 29)
- [3] Oishi kenko Inc.：おいしい健康，
<https://oishi-kenko.com/>，参照 (2020. 12. 29)
- [4] 鄭美玲，井上悦子，中川優：食材の使い切りを考慮した期間的な料理レシピセットの推薦，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，E3-4，Feb. 2011.
- [5] 林優太，奥良太，竹之内宏，徳丸正孝：食材の購入を考慮した食生活支援システム，第31回ファジィシステムシンポジウム，TE1-3，Sep. 2015.
- [6] 吉田朋史，北山大輔：レシピ推薦のためのユーザの食材購入周期に基づく余剰食材・購入予定食材推定手法，第8回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム，P3-5，Feb. 2016.

[7] 平野眞喜子, 植竹朋文: 代替食材を考慮した料理レシピ推薦システムの提案, 情報処理学会第79回全国大会, 7ZA-02, Mar. 2017.

[8] 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, E3-3, Feb. 2011.

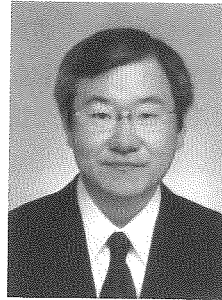
[9] 前田康成: 消費期限を考慮したレシピ推薦方法に関する一考察, 電子情報通信学会論文誌D, Vol. J103-D, No. 11, pp. 849-852, 2020.

[10] 鍋島一郎: 動的計画法, 森北出版, 東京, 1968.

[11] 農林水産省: 食品の価格動向,
<https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/anpo/kouri/index.html>, 参照 (2020. 12. 29)

[12] 前田康成, 榊井文人, 吉田秀樹, 鈴木正清: メタボ対策料理レシピ発想支援方法に関する一考察, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 13, No. 1, pp. 81-86, 2011.

[13] 前田康成, 榊井文人, 鈴木正清: 特定栄養素を調整する新規料理レシピ発想支援方法に関する一考察, 電気学会論文誌C, Vol. 131, No. 9, pp. 1654-1655, 2011.



前田康成 (まえだやすなり)

平成7年早大・理工卒. 平成9年同大学院理工学研究科修士課程修了. 日本電信電話(株), 東日本電信電話(株), 北見工大助手, 助教, 准教授を経て平成28年同大学教授, 現在に至る. 博士(工学). 統計的決定理論の学習問題への応用に関する研究に従事. 電子情報通信学会等各会員.