

THE IEICE TRANSACTIONS ON INFORMATION AND SYSTEMS (JAPANESE EDITION)

IEICE | **電子情報通信学会**
D | **論文誌** 情報・システム

VOL. J103-D NO. 11

NOVEMBER 2020

本PDFの扱いは、電子情報通信学会著作権規定に従うこと。

なお、本PDFは研究教育目的（非営利）に限り、著者が第三者に直接配布することができる。著者以外からの配布は禁じられている。

情報・システムソサイエティ

一般社団法人 **電子情報通信学会**

THE INFORMATION AND SYSTEMS SOCIETY

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

消費期限を考慮したレシピ推薦方法に関する一考察

前田 康成^{†a)} (正員)

A Note on Recommendation Method for Recipes Considering Expiration Date

Yasunari MAEDA^{†a)}, Member

[†] 北見工業大学地域未来デザイン工学科, 北見市

School of Regional Innovation and Social Design Engineering, Kitami Institute of Technology, 165 Koen-cho, Kitami-shi, 090-8507 Japan

a) E-mail: maedaya@mail.kitami-it.ac.jp

DOI:10.14923/transinfj.2020DL8008

あらまし 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方法を動的計画法によって実現する。レシピ推薦方法を提案し、提案方法の有効性をレシピ推薦例によって確認する。

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

1. まえがき

近年、まだ食べられる食品が廃棄される食品ロスによる大きな損失が世界中で発生している。日本でも平成 28 年度の推計で 643 万トンの食品ロスが発生しており、家庭で発生した食品ロスに限定しても 291 万トンである [1]。日本では食品リサイクル法に基づき、国、地方自治体及び事業者等によるさまざまな取組みが実施されている。インターネットの普及に伴い料理レシピを公開する料理レシピサイトが数多く開設されているが、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。なお、余剰食材は使いかけの食材とまだ手をつけていない食材の両方を合わせた家庭の在庫食材である。

他方、料理メディア分野ではさまざまな料理レシピの検索・推薦に関する検討 [4]~[7] が行われているが、これらの従来研究の中には食品ロス対策を検討している研究もある。例えば、従来研究 [6] では、なるべく余剰食材が発生しない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、食材の消費期限/賞味期限や既に家庭に存在する余剰食材への対応は検討していない。また、従来研究 [7] では、賞味期限を考慮して期限に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、食品ロスなどによって発生するコストの最小化は検討していない。

そこで、本研究では余剰食材の消費期限を考慮して、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レシピ推薦方法を検討する。具体的には動的

計画法 [8] を適用し、余剰食材の在庫量と消費期限までの残日数の情報に基づいて、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選択 (余剰食材の消費と食材の追加購入) を推薦する。

本研究の位置づけは実用的なレシピ推薦方法の将来的な提案を目指したもとの、基礎検討の第一段階である。そのため、対象とする問題設定は簡易な設定である。具体的には、食材の追加購入では不足量と同量を購入可能とする。この簡易な設定のもとでは、追加購入によって新規の余剰食材が発生することはない。よって、初期に存在する余剰食材に関して、計画的になるべく過不足が生じないように余剰食材を消費する組合せ (料理レシピ) を推薦することが主たる目的となる。本研究の問題設定は現実とは異なるが、例えば、生活協同組合などの週に 1 度の宅配サービスで頻繁に消費する定番の食材を毎週届けてもらい、以後 1 週間は途中で不足した食材を近所のスーパーマーケットで追加購入する生活様式が本研究の問題設定に近い。

他方、より現実に近い食材購入を伴う問題設定の具体的な検討は今後の課題とする。より現実に近い設定のもとでは、例えば人参が 1 本だと 50 円なのに対して 5 本だと 200 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想定される。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。本研究では意思決定対象は推薦するレシピ (消費する食材の組合せ) のみであるが、より現実に近い設定のもとでは購入する商品の選択も追加される。本研究では基礎検討の第一段階として計画的なレシピ推薦 (消費食材の選択) によるコスト最小化に焦点をあてるため、食材の追加購入について不足量と同量を購入可能とする設定を採用している。

2. 消費期限を考慮したレシピ推薦方法の提案

最初に本研究で使用する記号などを定義する。 $\mathcal{G} = \{g_1, g_2, \dots, g_{|\mathcal{G}|}\}$ は食材集合を示し、 g_i は i 番目の食材である。 $w_s(i)$, $1 \leq i \leq |\mathcal{G}|$ は食材 g_i の余剰量 (グラム単位) 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。 $c(i)$, $1 \leq i \leq |\mathcal{G}|$ は食材 g_i の単価 (1 グラムあたりの購入価格, 円) を示す。 $ex(i)$, $1 \leq i \leq |\mathcal{G}|$ は食材 g_i の消費期限までの残日数を示す。

$ex(i) = 1$ が消費可能な最後の日を示し、 $ex(i) = 0$ 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 $c(i)w_s(i)$ (円) が発生し、余剰量は初期化されて $w_s(i) = 0$ となる。当初から余剰がない食材 g_i ($w_s(i) = 0$) の場合は、便宜上、 $ex(i) = 0$ とする。

$\mathcal{R} = \{r_1, r_2, \dots, r_{|\mathcal{R}|}\}$ 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。 $f(r_i, j) \in \mathcal{F}(r_i)$, $1 \leq f(r_i, j) \leq |\mathcal{G}|$ は料理レシピ r_i の j 番目の食材の番号 (添え字) を示し、 $\mathcal{F}(r_i)$ は料理レシピ r_i で使用される食材の番号の集合である。 $w_r(f(r_i, j))$ は食材 $g_{f(r_i, j)}$ 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。

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当該食材の不足量と同量の食材を追加購入可能とする。

レシピ推薦問題における状態 (W_s, EX) は、当該回の余剰食材状況である余剰量 $W_s = (w_s(1), w_s(2), \dots, w_s(|\mathcal{G}|))$ と消費期限までの残日数 $EX = (ex(1), ex(2), \dots, ex(|\mathcal{G}|))$ 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 $\mathbf{X}_t = (\mathbf{X}_{t,1}, \mathbf{X}_{t,2})$ と表記し、 t 回目の推薦時の余剰量 $\mathbf{X}_{t,1} = (X_{t,1,1} = w_s(1), \dots, X_{t,1,|\mathcal{G}|} = w_s(|\mathcal{G}|))$ と t 回目の推薦時の消費期限までの残日数 $\mathbf{X}_{t,2} = (X_{t,2,1} = ex(1), \dots, X_{t,2,|\mathcal{G}|} = ex(|\mathcal{G}|))$ とする。 t 回目の推薦時の推薦レシピ番号用の変数を \mathbf{Y}_t , $1 \leq \mathbf{Y}_t \leq |\mathcal{R}|$ とすると、 t 回目の推薦時の状態 \mathbf{X}_t は $t+1$ 回目の推薦時の状態 \mathbf{X}_{t+1} に以下の手順で更新される。

最初に余剰食材のみで食材が不足する場合に発生する、食材の追加購入コスト $cost_b(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t)$ (円) を算出する。なお、追加購入では不足量と同量を購入可能とする。

$$cost_b(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t) = \sum_{w_s(i) < w_r(i), i \in \mathcal{F}(r_{\mathbf{Y}_t})} c(i)(w_r(i) - w_s(i)). \quad (1)$$

食材が不足しない場合の追加購入コスト $cost_b(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t)$ は 0 円である。

次に余剰食材の余剰量を、 t 回目の推薦レシピ $r_{\mathbf{Y}_t}$ の使用及び追加購入を反映した余剰量に更新する。

$$w_s(i) = \begin{cases} w_s(i) - w_r(i), & w_s(i) \geq w_r(i), i \in \mathcal{F}(r_{\mathbf{Y}_t}); \\ 0, & w_s(i) < w_r(i), i \in \mathcal{F}(r_{\mathbf{Y}_t}); \\ w_s(i), & i \notin \mathcal{F}(r_{\mathbf{Y}_t}). \end{cases} \quad (2)$$

式 (2) 右辺の条件 $w_s(i) \geq w_r(i), i \in \mathcal{F}(r_{\mathbf{Y}_t})$ が当該レシピで使用する食材 g_i が余剰食材で対応可能な場合、条件 $w_s(i) < w_r(i), i \in \mathcal{F}(r_{\mathbf{Y}_t})$ が余剰食材の不足量と同量を追加購入した場合である。

次に消費期限までの残日数を更新する。

$$ex(i) = \begin{cases} ex(i) - 1, & w_s(i) > 0; \\ 0, & w_s(i) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

ただし、式 (3) 右辺の条件 $w_s(i) = 0$ は、 t 回目のレシピ推薦前に既に余剰がなくて $ex(i) = 0$ だった場合と t 回目のレシピ推薦によって余剰がなくなった場合 (式 (2) の処理によって新たに $w_s(i) = 0$ となった場合) の両方を含む。

次に t 回目の推薦時の状態 \mathbf{X}_t でレシピ $r_{\mathbf{Y}_t}$ を推薦したもとの、 $t+1$ 回目に消費期限までの残日数が 0 (式 (3) の処理 $ex(i) - 1$ によって新たに $ex(i) = 0$) になって発生する食品ロス (廃棄) のコスト $cost_{fl}(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t)$ (円) を次式で算出する。

$$cost_{fl}(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t) = \sum_{w_s(i) > 0, ex(i) = 0} c(i)w_s(i). \quad (4)$$

食品ロスが発生しない場合には、 $cost_{fl}(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t) = 0$ である。次に式 (4) の食品ロスでの廃棄に対応して余剰量を更新する。

$$w_s(i) = 0, \quad w_s(i) > 0 \text{ かつ } ex(i) = 0. \quad (5)$$

式 (2)、式 (3)、式 (5) による更新後の余剰量を W'_s 、消費期限までの残日数を EX' とすると、 $t+1$ 回目の推薦時の状態は $\mathbf{X}_{t+1} = (\mathbf{X}_{t+1,1} = W'_s, \mathbf{X}_{t+1,2} = EX')$ である。

動的計画法によって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 回のレシピ推薦を実施するレシピ推薦問題を考える。動的計画法を用いた提案アルゴリズムでは T 回目のレシピ推薦から 1 回目のレシピ推薦まで遡りながら処理を実施する。 T 回目の推薦と T 回目以外の推薦で処理が異なるので、最初に T 回目の推薦に関する処理を示す。

$$v(\mathbf{X}_T, T) = \min_{\mathbf{Y}_T \in \mathcal{R}} cost_b(\mathbf{X}_T, \mathbf{Y}_T) + cost_{fl}(\mathbf{X}_T, \mathbf{Y}_T). \quad (6)$$

$$d(\mathbf{X}_T, T) = \arg \min_{\mathbf{Y}_T \in \mathcal{R}} \text{cost}_b(\mathbf{X}_T, \mathbf{Y}_T) + \text{cost}_{fl}(\mathbf{X}_T, \mathbf{Y}_T). \quad (7)$$

ただし、 $v(\mathbf{X}_T, T)$ は状態 \mathbf{X}_T における最小コスト、 $d(\mathbf{X}_T, T)$ は最小コストに対応する最適なレシピ番号である。

次に t 回目 ($t < T$) の推薦に関する処理を示す。

$$v(\mathbf{X}_t, t) = \min_{\mathbf{Y}_t \in \mathcal{R}} \text{cost}_b(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t) + \text{cost}_{fl}(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t) + v(\mathbf{X}_{t+1}, t+1). \quad (8)$$

$$d(\mathbf{X}_t, t) = \arg \min_{\mathbf{Y}_t \in \mathcal{R}} \text{cost}_b(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t) + \text{cost}_{fl}(\mathbf{X}_t, \mathbf{Y}_t) + v(\mathbf{X}_{t+1}, t+1). \quad (9)$$

ただし、 $v(\mathbf{X}_t, t)$ は t 回目の推薦時の状態 \mathbf{X}_t における t 回目以降の最小総コスト、 $d(\mathbf{X}_t, t)$ は最小総コストに対応する t 回目の推薦時の最適なレシピ番号である。式 (8) 及び式 (9) 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 $v(\mathbf{X}_{t+1}, t+1)$ 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り、先読みすることにより t 回目のレシピ推薦において t 回目から T 回目 (最終回) までの総コストを最小化できる。

3. レシピ推薦例

提案方法の有効性を検証するために、レシピ推薦例を示す。対象レシピ名と使用する食材量 (グラム, 4人前) を表 1 に示す。なお、調味料等は省略している。食材の余剰量, 単価と消費期限までの残日数を表 2 に

表 1 レシピと使用食材 (グラム, 4人前)

レシピ	使用食材
さんまの竜田揚げ	さんま 200
さんまのトマト煮	さんま 200, 玉葱 200, トマト 240
牛すき煮	牛肉 300, 玉葱 200
トマトすき焼き	牛肉 300, 玉葱 200, トマト 240
肉野菜炒め	豚肉 300, 玉葱 200, 人参 80, キャベツ 240, ピーマン 80
豚肉の生姜焼き	豚肉 300
野菜炒め	玉葱 200, 人参 80, キャベツ 240, ピーマン 80

表 2 余剰食材

食材	さんま	牛肉	豚肉	玉葱
余剰量 (グラム)	200	300	300	400
単価 (円/グラム)	0.7	2.8	2.6	0.2
残日数	1	2	3	3
食材	人参	キャベツ	ピーマン	トマト
余剰量 (グラム)	80	0	80	240
単価 (円/グラム)	0.4	0.1	0.6	0.8
残日数	3	0	3	3

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 [9] 等を参考にした。牛肉の単価は輸入牛肉コース, 豚肉の単価は国産豚肉コースである。推薦回数は $T = 3$ とする。

提案方法を用いて算出した, 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という意味で最適なレシピ推薦例を表 3 に示す。総コストの 24 円は 3 回目のレシピ推薦の際に不足するキャベツ 240 グラムの追加購入のコストである。この推薦例では食品ロス (廃棄) は発生していない。

提案方法との比較対象として, 以下のルール比較 1, 比較 2 による推薦例を表 4 に示す。

比較 1 消費期限までの残日数が最小の余剰食材を優先して使用し, かつなるべく多くの余剰食材を使用するレシピを優先する。

比較 2 消費期限までの残日数が最小の余剰食材を優先して使用するが, 消費期限まで余裕のある (翌日以降でも消費可能な) 食材の使用は必要最低限にする。

比較 1 では, 64 円の総コストが発生しており, これは 3 回目のレシピ推薦の際に不足する玉葱 200 グラムとキャベツ 240 グラムの追加購入のコストである。比較 2 では, 216 円の総コストが発生しており, これは 3 回目のレシピ推薦の際に不足するキャベツ 240 グラムの追加購入と 3 回目のレシピ推薦後に消費期限切れになるトマト 240 グラムの廃棄の総コストである。

食材の追加購入について不足量と同量を購入可能という簡易な問題設定であるが, 単純に消費期限に近い余剰食材を優先して使用する比較対象のルールよりも, 動的計画法の先読みによって総コストを最小化するように計画的にレシピを推薦する提案方法の方が総コストをより小さくできることが表 3 及び表 4 から確認できた。

表 3 最適なレシピ推薦例

1 回目の推薦レシピ	さんまの竜田揚げ
2 回目の推薦レシピ	トマトすき焼き
3 回目の推薦レシピ	肉野菜炒め
総コスト (円)	24

表 4 比較 1, 比較 2 のレシピ推薦例

	比較 1	比較 2
1 回目	さんまのトマト煮	さんまの竜田揚げ
2 回目	牛すき煮	牛すき煮
3 回目	肉野菜炒め	肉野菜炒め
総コスト (円)	64	216

4. む す び

本研究では、動的計画法を適用し消費期限を考慮して家庭の余剰食材を有効活用することによって、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方法を提案した。従来研究[7]でも余剰食材の有効活用は検討されているが、食品ロスなどのコスト最小化は実現されていなかった。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が可能であることを、推薦例で確認した。

本研究では、不足する食材について不足量と同量の追加購入を仮定することによって、新規の余剰食材が発生しない簡易な問題設定を採用した。より現実に近い食材の追加購入を伴う問題設定のもとでは、量や単価が異なる同じ食材の複数商品からの選択や新規の余剰食材への対応が必要になる。また、食材が不足する際にレシピ中の食材を他の余剰食材で代替することによって、食材の追加購入を回避することも現実にはよくある。より現実に近い食材の追加購入を伴う問題設定や、食材の代替による追加購入の回避に関する具体的な検討は今後の課題である。

本研究や従来研究[6],[7]の検討対象は食材の一般的な可食部分である。他方、従来研究[10]では根菜類の皮や魚の骨のように一般的に廃棄される食材部位を料理に有効活用することによって食品廃棄物等の削減を検討している。

また、本研究では食品ロス（廃棄）によるコストと食材の追加購入によるコストを単純に合算したものを総コストとして最小化しているが、レシピ推薦方法の利用者の価値観に基づいた最適化も想定される。例えば、二つのコストに利用者の価値観に基づく重み付けをした総コストを最小化する最適化問題としての

拡張が考えられる。

更に、本研究では議論を簡便にするために推薦するレシピは1レシピとしたが、献立メニューにおける複数レシピの推薦であれば、ヘルスケア支援への応用も想定される。例えば、献立メニューにおける特定栄養素の合計値に関する制約付きの最適化問題としての拡張が考えられる。廃棄される食材部位の有効活用や、本研究の最適化問題としての拡張についても具体的な検討は今後の課題としたい。

文 献

- [1] 農林水産省, “食品ロス量(平成28年度推計値)の公表について,” https://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/kankyoi/190412_40.html (2020年4月11日参照)
- [2] Cookpad Inc., “クックパッド,” <https://cookpad.com/> (2020年4月11日参照)
- [3] Oishi kenko Inc., “おいしい健康,” <https://oishi-kenko.com/> (2020年4月11日参照)
- [4] 石原和幸, 上田真由美, 平野 靖, 梶田将司, 間瀬健二, “FF-IRFを用いた個人嗜好レシピ推薦手法の有効性検証,” 信学技報, MVE2007-77, Jan. 2008.
- [5] 苺米志帆乃, 藤井 敦, “栄養素等摂取バランスを考慮した料理レシピ検索システム,” 信学論(D), vol.J92-D, no.7, pp.975-983, July 2009.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 鍋島一郎, 動的計画法, 森北出版, 東京, 1968.
- [9] 農林水産省, “食品の価格動向,” <https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/anpo/kouri/index.html> (2020年4月11日参照)
- [10] 高橋 武, 佐藤哲司, “調理過程で廃棄されるロス食材を活用したレシピ推薦手法の実装と評価,” 第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, F2-1, March 2019.
(2020年4月17日受付, 5月25日再受付,
7月8日早期公開)