

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K01276

研究課題名(和文) ファジィ確率計画に基づく健康障害発生リスクを考慮した最適献立作成

研究課題名(英文) Fuzzy Stochastic Programming-Based Optimal Menu Planning in Consideration of Health Problems Risk

研究代表者

片桐 英樹 (Hideki, Katagiri)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：40325147

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、栄養価のバランス、費用、単品同士の相性、出現頻度などの制約と目的と同時に、健康障害の発生リスクや専門家(栄養士)の知識・判断に含まれる曖昧さなどの不確実・不確定性を考慮した献立作成モデルを数理最適化やファジィ理論といった専門技術に基づいて提案した。東京都のある自治体における学校給食献立の実データを用いたシミュレーション実験を行い、給食経営管理の専門家(大学教授)や実際に献立を作成している栄養士から実験結果(献立)に対する評価を受けた。その結果、本研究での提案モデルで作成した献立に対して現場の献立作成者が少し変更を加えれば、十分に使用可能なレベルであることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的には給食経営管理と経営工学(あるいはシステム工学や情報工学)との境界・融合分野の発展に寄与している。また、社会的意義としては、近年、健康な食事として和食や日本の給食に対する海外からの注目度は高く、日本の強みを活かしたサービス産業の発展と農林水産省が進める日本の食文化の海外展開につながる可能性を持っている。さらに、本研究の成果を発展させてソフトウェア化できれば、現場での献立作成が短時間で可能となり、栄養士や栄養教諭の働き方改革につながる可能性も有すると考える。

研究成果の概要(英文)：This study proposed a nutritional model that takes uncertainty into consideration based on specialized techniques such as mathematical optimization and fuzzy logic. The proposed model considers nutritional balance, cost, compatibility between individual products and frequency of appearance, as well as uncertainties such as the risk of health problems and the ambiguity contained in the knowledge and judgment of experts (nutritionists). Simulation experiments were conducted using actual data of school lunch menus in a local government in Tokyo. The experimental results were evaluated by experts such as business management (university professors) and dietitians who actually create meals in school lunch. As a result, it was shown that the menu created by the proposed model in this study could be used.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：献立作成 数理最適化 ファジィ理論 確率論

1. 研究開始当初の背景

近年、肥満や生活習慣病など健康問題が注目され、国民の健康に対する意識が高まっている。内閣府は「食育推進基本計画」を推進し、厚生労働省は「日本人の栄養摂取基準」を設定、さらに、文部科学省は50年ぶりに学校給食法を改正して新しい「学給給食実施基準」を制定するなど多くの政策を打ち出した。また、厚生労働省は食品に含まれる栄養成分表示を厳密化し、上下限の区間値で表すことを義務化した。さらに、厚生労働省が定める各栄養素の摂取量についても「推定平均必要量」、「推奨量」など段階的に定められ、不確実性や多様性が含まれている。

このような中で、健康問題が生じるリスクの定量的なモデル化と、摂取栄養基準や食品に含まれる栄養素の含有量に対する不確実・不確定性を適切に考慮した献立作成の方法論の確立が求められている。

2013年には日本の「和食」がユネスコ無形文化遺産に登録され、海外で日本の食事や学校給食への注目が集まっている。過去、日本はモノづくりを中心に急速な経済成長を遂げてきた。しかし、経済の成熟化と少子高齢化社会の到来に伴い、日本ではモノづくりからコトづくりへのシフト化、さらに、付加価値の高いサービス産業の創生が、国としての喫緊の課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、献立を単品の組合せと表現し、さまざまな制約や多様な目的を考慮した組合せ最適化問題としてモデル化する。さらに、栄養素の摂取基準の曖昧性や栄養素の含有量の不確実性を確率論やファジィ理論を用いて表現することで、不確実性や不確定性を考慮した最適献立作成問題を考える。栄養摂取基準の曖昧性を考慮した健康障害が発生するリスクを定量的に表現し、対話型アルゴリズムにより最適な献立作成を行う手法を提案する。実データを用いた数値実験を行い、提案手法の有用性を検証する。

3. 研究の方法

まず、現場の栄養士や給食経営管理分野の専門家へのヒアリングを行って献立最適化モデルで考慮すべき制約条件や目的を調査・決定する。次に、収集した現場の情報に基づいて、献立作成を数理最適化問題として定式化する。献立作成の現場においては、厳密に満たすべきハード制約とできる限り満たしたいソフト制約の2種類の制約条件が存在する。そこで、ハード制約条件の下で、ソフト制約に対する逸脱度・違反度を目的関数として最小化する問題として定式化する。

また、現場の不確実性・不確定性を考慮するために、確率論やファジィ理論を用いる。健康障害の発生リスクを定量的に表現する方法と相競合する目的を同時に考慮した解を対話的に導出する計算アルゴリズムについて検討する。

関東地区の自治体にコンタクトをとり、学校給食献立の実データを収集する。料理データおよび食材データ、並びに調理機器の使用順序と使用時間のデータベースを作成する。料理数や食材数はそれぞれ300以上とする。そのデータを用いて計算機実験を行う。食材の栄養量などのデータについては一般に公開されているものを使用する。

4. 研究成果

献立最適化問題を数理最適化問題として定式化した。具体的には、単品集合の中から適切な単品を組合せて1回の食事献立として、1か月の献立を作成する多期間の組合せ最適化問題として定式化した。決定変数は各単品を1回の食事に含める場合は1、含めない場合は0をとる0-1変数とした。制約としては、栄養摂取量、エネルギー比率（厚生労働省が定める基準）、費用、単品の出現頻度、一汁三菜の構成、単品同士の相性、調理法（例：揚げ物）の回数制限、使用調理器具の重複回避、旬の食材の使用頻度、調理器具、調理時間、調理の手間、料理の重量、見た目（彩）、味、食材の価格高騰リスクなどを考慮した。

献立に対する満足度の曖昧性を考慮するために、厚生労働省や文部科学省が定める栄養摂取基準を満足する度合いをファジィ集合により表現し、メンバシップ関数値の最大化を目的とした。「最適化基準が達成されると期待される可能性（期待可能性）の最大化」するモデルを提案し、不確実性を含む元の問題が等価な確定的最適化問題となる過程および解法を提案した。可能性測度に関する分散最小化モデルやVaR(Value at Risk)モデルの構築を行った。さらに、本研究の基礎となる最適化モデルおよびアルゴリズムの研究を行った。健康障害の発生リスクを定量的に表現する方法と相競合する目的を同時に考慮した解を対話的に導出する計算アルゴリズムを提案した。

自治体から提供された献立の実データを用いて計算機実験を行った。最初に、提供された実際の献立に基づく料理データおよび食材データ、並びに調理機器の使用順序と使用時間のデータベースを作成した。料理数は644品目、食材数は372品目となった。食材の栄養量などのデータは、文部科学省が提供しているウェブサイト「食品成分データベース」に基づいて作成した。また、食材価格のデータは、業務用、一般用の食材や食品の通信販売を行っている「業務用食材卸売市場M マート」、「価格.com」の二つのウェブサイトでの食材の販売価格と、「東京都中央卸売

市場」の市場統計情報の2016年から2020年までの平均価格を参考に作成した。さらに、計算機実験を行う上で、給食調理食数や調理時間、使用する厨房機器などについて、実際の現場に近い仮定の献立作成・調理環境を設定した。構築したデータベースを用いて、商用の数値最適化ソルバーGurobi Optimizerにより4か月分の献立を作成した。汎用計算機により1か月分あたり1時間程度で献立を作成できることを確認した。

東京都のある自治体における学校給食献立の実データを用いたシミュレーション実験を行い、給食経営管理の専門家（大学教授）や実際に献立を作成している栄養士から実験結果（献立）に対する評価を受けた。その結果、本研究での提案モデルで作成した献立に対して現場の献立作成者が少し変更を加えれば、十分に使用可能なレベルであることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Takashi Tanizaki, Yuto Masuda, Hideki Katagiri	4. 巻 -
2. 論文標題 Application of scatter search with path relinking for scheduling problems with crane interference	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Flexible Automation 2020	6. 最初と最後の頁 16-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/ISFA2020-9604	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Md. Sazzad HOSSAIN, Masato TAKANOKURA, Hiromi SAKAI, Hideki KATAGIRI	4. 巻 70
2. 論文標題 Theoretical and Practical Investigation of Fuzzy-AHP with Voting in QFD to Design Communication Systems for Disabled Individuals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Industrial Management Association	6. 最初と最後の頁 115-123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11221/jima.70.115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takashi Tanizaki, Yuto Masuda, Hideki Katagiri	4. 巻 1
2. 論文標題 Application of scatter search for scheduling problem with crane interference	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Scheduling 2019	6. 最初と最後の頁 16-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takeshi Uno, Hideki Katagiri, Kosuke Kato	4. 巻 1
2. 論文標題 A shop location optimization with traffic generators and lines based on prediction of residents' movement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2019	6. 最初と最後の頁 491-494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Tanizaki, Hideki Katagiri, Antonio Oliveira Nzinga Rene	4. 巻 12
2. 論文標題 Scheduling Algorithms Using Metaheuristics for Production Processes with Crane Inteferece	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 297-307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2018.p0297	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ryota Wakamatsu, Takeshi Uno, Hideki Katagiri	4. 巻 1
2. 論文標題 Machine learning-based methods for detecting defects in glass substrate from non-contact electrical sensor data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the World Congress on Engineering 2018 (WCE2018)	6. 最初と最後の頁 90-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hideki Katagiri, Kosuke Kato, Takeshi Uno	4. 巻 32
2. 論文標題 Possibilistic Stackelberg solutions to bilevel linear programming problems with fuzzy parameters	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Intelligent & Fuzzy Systems	6. 最初と最後の頁 4485-4501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/JIFS-169213	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Hasuike, Hideki Katagiri	4. 巻 32
2. 論文標題 An objective formulation of membership function based on fuzzy entropy and pairwise comparison	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Intelligent & Fuzzy Systems	6. 最初と最後の頁 4443-4452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/JIFS-169210	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hideki Katagiri, Kosuke Kato, Takeshi Uno	4. 巻 9
2. 論文標題 Possibility/Necessity-Based Probabilistic Expectation Models for Linear Programming Problems with Discrete Fuzzy Random Variables	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym9110254	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件(うち招待講演 1件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 高橋淳, 片桐英樹
2. 発表標題 組合せ最適化に基づいた現場の制約を考慮した学校給食の献立作成
3. 学会等名 日本経営システム学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐英樹
2. 発表標題 数理最適化に基づく現場の様々な制約を考慮した学校給食の献立作成
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会「不確実性下における意思決定とその周辺」研究部会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片桐英樹, 佐藤圭介, 風見公子, 高橋淳, 北岡優里
2. 発表標題 数理最適化に基づく現場の様々な制約を考慮した学校給食の献立作成
3. 学会等名 第15回日本給食経営管理学会学術総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakura Kano, Kazuki Ota, Hideki Katagiri
2. 発表標題 Demand forecasting of boxed lunch through a state-space model using time-series data
3. 学会等名 IAET 2nd International Conference on Innovative Research in Computer Applications, Information Technology, System Engineering & Applied Sciences (CISA-20) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐英樹, 佐藤圭介, 風見公子, 佐々木拓斗
2. 発表標題 数理最適化に基づく調理現場の制約を考慮した学校給食献立の作成
3. 学会等名 第14回日本給食経営管理学会学術総会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Kazuki Ota, Hideki Katagiri	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 287
3. 書名 Transactions on Engineering Technologies: World Congress on Engineering and Computer Science 2019	

1. 著者名 Sio-long Ao, Haeng Kon Kim, Oscar Castillo, Alan Hoi-Shou Chan, Hideki Katagiri	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 158
3. 書名 Transactions on Engineering Technologies: International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2017	

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------