

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02043

研究課題名(和文) 就農者の経営安定化に資する農産物サプライチェーンマネジメントの数理的研究

研究課題名(英文) Mathematical Study of Agricultural Supply Chain Management for Stabilization of Farmer's Management

研究代表者

蓮池 隆 (Hasuike, Takashi)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：50557949

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：就農者の経営安定を主眼に起きながら、小売業の収益安定、消費者の食材購入満足度も満たすことができる農産物サプライチェーンマネジメントを研究対象とした。特に、就農者が直近の集荷場に農産物を納品し、そこから物流の最適化を行ったうえで、消費者の需要に合わせた小売店や飲食店への食材配送を行う『産直流通モデル』を構築し、数理最適化・シミュレーションの側面から提案モデルの評価・分析を行い、農産物の地産地消へ向けた応用が十分可能であることを示した。さらに、道の駅などでの実証研究を通して、就農者と消費者の間で対話を促すことで、納得した農産物売買が可能な情報共有システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

農業は全ての家庭の食を支える第一次産業であるが、就農者の高齢化だけでなく、苦勞の割には収益が少ないことから新規就農者も伸び悩み、将来的な農業の継続・発展が危ぶまれている。よって、就農者の経営安定化の実現、ならびに農産物流通の効率化、環境負荷も考慮した地産地消による無駄の削減は、日本全体の経済発展の支えとなるだけでなく、全世界的なSDGsの取り組みにも直結するものであり、本研究課題の活用による農産物流通の持続的発展が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The research target was agricultural supply chain management, to satisfy the profit stability of each retailer and the satisfaction of consumers in purchasing agricultural foods, while focusing on the stabilization of farmer's management. In particular, the "Production DC communication model" was constructed, in which farmers deliver agricultural products at the nearest pick-up area, and deliver agricultural products to retail stores and restaurants to satisfy the needs of consumers, optimizing logistics from pick-up areas to retailers. Furthermore, the proposed model was evaluated and analyzed from the aspects of mathematical optimization and simulation, and it was shown that it can be sufficiently applied to local production and consumption of agricultural products. Furthermore, through empirical researches at roadside stations, we have developed an information sharing system that enables convincing agricultural product sales by encouraging dialogue between farmers and consumers.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：農産物流通 サプライチェーンマネジメント 数理最適化 情報共有システム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

農産物の生産から流通までを統合的に管理する農産物サプライチェーンマネジメント(農産物 SCM)では、就農者・小売店・消費者のいずれも欠くことができない。しかし、就農者の高齢化と、収入の低さや不安定さによる経営的困難から、就農者数が減少傾向にあり、耕作放棄地が増加している。このまま現状が続くと、国内農産物の品質を維持しながら、消費者需要を満たす安定的な生産は難しくなる。平成 28 年度の農林水産省食料・農業・農村施策においても、「力強く持続可能な農業構造の実現に向けた担い手の育成・確保」の必要性が挙げられ、新規就農者育成に関する研究成果も多数公表されている。

一方で、経営的視点に立ちかえると、新規就農者だけでなく、現就農者においても、計画的な農産物生産が重要となる。例えば、市場の生産量が過大な場合、小売店への卸売価格が下落し、出荷コストも考慮すると、出荷せず畑に廃棄することが現状の最善となり、作り損が発生する。また、近年の天候不順の影響で、葉物野菜や根菜類の不作・品質劣化が深刻になる事案を考慮し、収益安定のため、複数品種を作付する方法がある。しかし、各農産物で育成法が異なり、就農者の手間と労力が増大するだけでなく、農産物生産にも規模の効果があるため、圃場規模を考慮したうえで、作付品種を絞りこむ必要がある。さらに、農業経営の新視点である、就農者が農産物の生産から加工、販売までを行う 6 次産業化についても、具体的な方法論は提示されていない。

また消費者は、農産物の価格と品質の両方を考慮して購入決定を行っている。今後農産物の自由化が加速すれば、国内の就農者は価格面で輸入農産物と競争を強いられ、経営がさらに不安定になる可能性が高く、品質を向上する必要に迫られる。一方で、品質を向上させるには、生産単位数あたり育成費用がより多くかかり、それに伴い卸売価格・販売価格も上昇してしまう。

このように、就農者が中長期で経営を安定化させるには、天候変動などの外的要因や地域や圃場の現状、価格や品質に依存する消費者需要などの内的要因を考慮しながら、生産量、価格、品質のバランスを緻密に行う必要がある。つまり、就農者にとって最も安定した経営を実現するための、『生産品種選択、作付面積や作付計画、卸売価格』といった指標(経営安定化の指標)を提示することが重要である。また、農産物 SCM 全体を維持するためには、経営安定化の指標で実行した場合に対する、小売店の収益満足度や消費者の購入満足度も考慮しなければならない。これらを実現するために、消費者が望む農産物を生産、供給して購買を促進することで、小売店や消費者の満足度を高水準で保ち、就農者の経営を安定化させる農産物 SCM モデルを、最適解がそのまま経営安定化の指標となるように設計した多期間の最適化問題として構築する必要がある。この農産物 SCM モデルを構築し、対象地域への適用に至るまでに、以下を解決しなければならない。

- ・課題 1：不確実性を有する SCM モデルを最適化問題として定式化
- ・課題 2：農産物生産・流通の特性に合わせた制約条件や不確実性表現の改良、および満足度関数の設定による、従来 SCM モデルから農産物 SCM モデルへの拡張
- ・課題 3：対象地域・圃場の特性の実地調査や外的・内的要因を加味した計算機シミュレーション分析による問題点の洗い出し、改善方法の検討
- ・課題 4：改善内容の農産物 SCM モデルへの反映による、対象地域に合わせた修正法の確立

課題 1 に関しては、我々が進めていた以前の研究課題において、工場製品を想定し、消費者需要や生産工程での不確実性を考慮した SCM の数理モデルを開発していることから、本研究課題では課題 2～課題 4 を解決することに注力する。

2. 研究の目的

1 の研究背景でも記載したように、農産物の品質維持・安定供給には、一定数の就農者の確保が必要である。しかし、天候変動や圃場特性、地域の環境特性の影響で、生産量や品質には大きな不確実性が生じ、就農者の経営が不安定となり、将来的な就農者数の維持が困難な状況にある。本研究では、不確実性を確率論やファジィ理論を用いて表現し、これからの就農者が中長期にわたり十分な収益を安定して確保するための、生産品種選定、作付面積や作付計画などが最適解として得られる農産物サプライチェーンマネジメント(SCM)モデルを構築する。さらに、対象地域でのシミュレーション分析結果を用いたモデル修正法を開発する。

3. 研究の方法

本研究課題において、既存の工場製品における SCM よりも、生産量やその品質に対する不確実性が高い農産物の SCM を対象とし、様々な不確実性の正確な表現法を確立しつつ、小売店や消費者の満足度を高水準で維持しながら、就農者の経営安定化が達成できる SCM の全体最適化を行う。

不確実性を伴う全体最適化を行う上で、いくつかの困難さが存在する。まず、農産物の品質や、経営安定化の指標に対する満足度関数といった、人ごとに異なり、かつ多数の要因から影響を受

ける不確実性を，メンバシップ関数により正確に表現できるかということである．さらに，就農者や小売店の利益に関する満足度，および消費者の購入農産物のコストや品質を考慮した満足度それぞれの最大化を念頭においた，全体最適化をいかに実現するかである．

我々のこれまでの研究において開発済みの SCM モデルでは，生産量や品質の不確実性の考慮されておらず，特に，品質に関する検討がなされていない．また両者とも，目的は小売店の利益最大化のみであり，生産者や消費者への考慮が不十分である．一方，メンバシップ関数の客観的構築法は，要因が 1 つのみの手法であり，本研究においては，価格と品質の両方を考慮した消費者の満足度関数設定など，多数の要因でも適用できるように既存構築法を拡張する必要がある．上記をふまえ，本研究における「基本的な進め方」をまとめると，以下の通りである．

- (a) 各農産物に対し，天候や土壌による生産量や品質，価格のデータを収集し，生産量の不確実性を確率で，品質をファジィ理論のメンバシップ関数により表現する．
- (b) 構築済みの SCM モデルを原案として，(a)を導入するとともに，農産物生産・流通に特有の条件を調査し，農産物 SCM モデルを定式化する．また，効率的な解法の開発も行う．
- (c) 対象地域・圃場を設定し，その現状を実地調査する．取得情報を入力として(b)の最適解(経営安定化の指標)を求める．それを適用した際の将来状況をシミュレーションにより表現し，結果を評価・分析することで，現時点の農産物 SCM モデルの問題点を抽出する．
- (d) (c)の問題点を数式の追加・修正，およびパラメータ設定の調整を行うことで改善させ，(b)~(d)を繰り返す．また必要に応じて，(a)の改善も行う．

4．研究成果

(1) 耕地契約制度を取り入れた農産物 SCM の構築と評価・分析

生産量やその品質に対する不確実性が高い農産物のサプライチェーンマネジメントにおいて，農家と小売店，消費者といった全ステークホルダーが満足できる流通形態として，情報共有システムの利用と耕地契約制度を取り入れた数理モデルによる分析を行った．具体的には，農家が目標とする収益確保のための小売との直接契約および全量出荷を前提として，小売側が耕地面積を決定する流通モデルを構築し，各ステークホルダーが品質・収益の面で満足できることを示した．また，土壌や気候による農産物生産量への影響や，販売価格による需要変化の調査・分析を行った．これらは，2 件の招待講演，4 件の学会発表として成果発表した．

(2) 産直流通モデルの構築と評価・分析

(1)で開発したモデルにおいて，議論を深めていく中で，農産物を農家から小売へと運ぶ流通部分を誰が担うかが，農産物サプライチェーンマネジメントにおける 1 つにボトルネックとなることが明らかになった．そこでその 1 つの解決方法として，既存の卸売流通や道の駅などの直売所販売の良さを取り入れた産直流通のモデル(以下，産直流通モデル)の構築．具体的には，右図 1 のように，農家が近くの適切な集荷施設に農産物を運ぶとともに，農産物を売りたい小売店の希望を情報システムに入力する．小売店も購入希望を入力し，マッチングが取れた農家・小売間で発生する流通費用を相互分担する流通形態である．

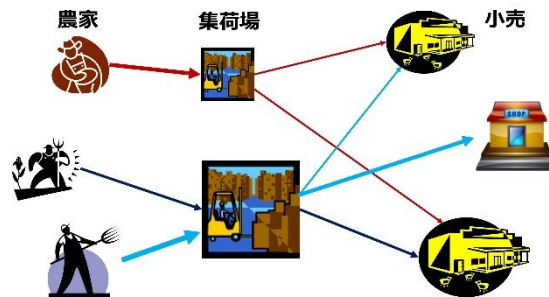


図 1 産直流通モデルの概念図

本研究課題において，農産物の集荷場の立地最適化や，輸送コストの分担による利益や農家・小売店の最適マッチングの感度分析等を行い，産直流通モデルの有効性を検証した．結果として，農家の利益およびマッチングが起こらない農家数を減少させつつ，小売店の利益を向上できることが確認された．また，農家と小売店との契約に天候デリバティブのような金融商品を導入することで，金融工学で検証されているリスクの観点から，本研究で構築されている農産物サプライチェーンのリスク評価を行った．さらに，リスク分担の概念を用いた協力ゲームの考え方の 1 つである Nash 交渉解の概念を導入し，実際の農産物流通の現場を想定して，定式化を変更した拡張モデルを提案した．また，その問題の最適解が容易に得られるように，モデルの等価変換を行い，高級な最適化ソルバーを用いなくても，最適配分案が提示できるような仕組みを構築した．



図 2 産直流通モデルの詳細

これらの成果を広く農業研究関係者に提示するため、農業系の雑誌に記事を掲載し、数理モデルの社会普及にも貢献した。さらに、論文誌の査読付き論文1編、招待講演2件、および国際会議発表3件として対外発表を行った。

(3) 農家と消費者を結ぶ情報システム「ベジスキャン」の開発

さらに、情報共有システムを改良し、映像による直接的な対話形式を取り入れることで、情報共有の質の向上を目指した。具体的には、農産物に貼ったバーコードをタブレット端末で読み取ると生産者や農産物の情報を見ることが可能な「ベジスキャン」を開発した。このシステムでは、生産者や農産物の情報、圃場を紹介し、地方都市においては生産者、消費者は高齢者が多いことから、使いやすさの点にも考慮しつつ、情報という付加価値を付けることで生産者の所得向上や地産地消を促進させることを目的としている。このシステムのプロトタイプを用いて、広島にあるJA 広島中央「となりの農家」高屋店などで実証実験(図3)を行った。



図3 実証実験の様子

これらの成果は、査読付き論文1編、学会発表2件、ならびにメディアへの発表2件により、対外的な研究成果の周知を行った。

(4) 道の駅などの直売所における情報システム実証実験

就農者と消費者の間で、有益な情報交換をストレスのなく持続的に行う必要があることから、双方からの情報が提示される環境を分析し、就農者にとってはQOLの向上と製品価値の向上が、消費者にとっては農産物に対する安心と就農者への信頼が気づける情報共有システムを開発した。具体的には、生産者へのインタビューと全国オンライン調査を実施し、さまざまなタイプの生産者と消費者がつながる新しい情報システムの設計を開発した。さらに、広島県の道の駅を中心に実証実験を行い、農産物流通における問題点の改善に関する数値評価を行うことで、提案した情報システムの有効性を検証した。

この成果を、査読付きの国際会議論文として投稿し、書籍の1節として掲載された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 蓮池隆, 加島智子, 松本慎平	4. 巻 3(8)
2. 論文標題 「次世代農産物流通システム」について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 59-63
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 無
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 Tomoko Kashima, Shimpei Matsumoto, Takashi Hasuike	4. 巻 11569
2. 論文標題 A Practical Study on the Information Sharing System for Producers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science, Human Interface and the Management of Information. Visual Information and Knowledge Management	6. 最初と最後の頁 524-534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-22660-2_38	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, Tomoko Kashima, Shimpei Matsumoto	4. 巻 12(3)
2. 論文標題 Multiobjective crop planning considering optimal matching between retailers and farmers with contract	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2018jamdsm0071	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 Tomoko Kashima, Takashi Hasuike, Shimpei Matsumoto	4. 巻 10905
2. 論文標題 User-Friendly Information Sharing System for Producers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science:Human Interface and the Management of Information. Information in Applications and Services	6. 最初と最後の頁 589-598
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-92046-7_48	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14件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Takashi Hasuike, Tomoko Kashima, Shimpei Matsumoto
2. 発表標題 Optimal Production and Sales Planning between Contracted Farmers and Retailers in terms of Sustainable Agricultural System
3. 学会等名 10th Annual EDSI Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蓮池隆, 加島智子, 松本慎平
2. 発表標題 農産物の産直流通モデルにおける利益向上とリスク分担に関する一考察
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Hasuike, Tomoko Kashima, Shimpei Matsumoto
2. 発表標題 Sustainable production and delivery system of agricultural products considering the local production for local consumption
3. 学会等名 The 20th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems (APIEMS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蓮池隆, 加島智子, 松本慎平
2. 発表標題 ナッシュ交渉解を利用した農産物流通の全体最適化に関する一考察
3. 学会等名 日本経営工学会 2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蓮池隆, 加島智子, 松本慎平
2. 発表標題 農産物における産直流通モデルと農家・小売間の最適マッチング
3. 学会等名 日本経営システム学会 中国四国支部 平成30年度第1回支部講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 蓮池隆, 加島智子, 松本慎平
2. 発表標題 配送拠点の立地を考慮した農産物産直流通モデル分析
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 待ち行列研究部会 第276回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Hasuike, Tomoko Kashimia, Shimpei Matsumoto
2. 発表標題 Mathematical Modelling for Sustainable Agricultural Supply Chain Management Considering Preferences between Farmers and Retailers
3. 学会等名 Advances in Production Management Systems (APMS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加島智子, 松本慎平, 蓮池隆
2. 発表標題 生産者と消費者をつなぐコミュニケーションデザインを考慮したアプリケーションの開発
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Hasuike
2. 発表標題 Optimization of Production Volume and Pricing by Agricultural Information Sharing System between Farmers and Consumers
3. 学会等名 2017 3th International Conference on Industrial and Business Engineering (ICIBE 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 蓮池隆, 松本慎平, 加島智子
2. 発表標題 ICTと最適化を融合した無駄をなくす次世代農産物流通システム
3. 学会等名 イノベーションジャパン2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Hasuike, Tomoko Kashima and Shimpei Matsumoto
2. 発表標題 Sustainable Crop Planning Based on Optimal Matching Between Farmers and Retailers
3. 学会等名 International Symposium on Scheduling 2017 (ISS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Hasuike, Tomoko Kashima and Shimpei Matsumoto
2. 発表標題 Robust Agricultural Supply Chain Management with Various Random and Fuzzy Parameters
3. 学会等名 6th International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI AAI 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Hasuike
2. 発表標題 Sustainable agricultural supply chain management considering weather derivative and contract farming
3. 学会等名 21st Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoko Kashima, Shimpei Matsumoto, Shinji Abe, Takashi Hasuike
2. 発表標題 A new agricultural IT tool that connects producers with consumers -Developing a video streaming-based digital signage system for agricultural direct sales station and its operation-
3. 学会等名 2018 2nd International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence (ISMSI 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>近大工学部 / 農産物の販促システムを開発 http://www.ja-hirochu.or.jp/wp/archives/1321 学生制作のシステムで、地元農作物の売り上げ増に貢献 JAとなりの農家で学生による実証実験開始 https://www.zaikei.co.jp/releases/713428/</p>
--

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
研究分担者	松本 慎平 (Matsumoto Shimpei) (30455183)	広島工業大学・情報学部・准教授 (35403)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	加島 智子 (Kashima Tomoko) (30581219)	近畿大学・工学部・講師 (34419)	

	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
連携研究者	石井 博昭 (Ishii Hiroaki) (90107136)	関西学院大学・理工学部・教授 (34504)	
連携研究者	鹿内 健志 (Shikanai Takeshi) (20264476)	琉球大学・農学部・教授 (18001)	
連携研究者	片桐 英樹 (Katagiri Hideki) (40325147)	神奈川大学・工学部・教授 (32702)	

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