

## 農産物直売所における集荷物流モデルの設計と経済的な実現可能性に関する考察：運搬経路問題の援用から

金, 東壹  
九州大学

森高, 正博  
九州大学

BEN TAIEB, Seifeddine  
九州大学

福田, 晋  
九州大学

<https://hdl.handle.net/2324/7364792>

---

出版情報：Japanese Journal of Farm Management. 62 (4), pp.1-15, 2025-01-25. The Farm Management Society of Japan  
バージョン：  
権利関係：© 日本農業経営学会



# 農産物直売所における集荷物流モデルの設計と 経済的な実現可能性に関する考察 —運搬経路問題の援用から—

金 東壹<sup>1\*</sup>, 森高 正博<sup>1</sup>, BEN TAIEB Seifeddine<sup>1</sup>, 福田 晋<sup>1</sup>

## Optimizing Farmers' Market Pickup Service and Evaluating Its Economic Viability - Using a Modified Vehicle Routing Problem Model -

Dongil KIM<sup>1\*</sup>, Masahiro MORITAKA<sup>1</sup>, Seifeddine BEN TAIEB<sup>1</sup> and Susumu FUKUDA<sup>1</sup>

### Summary

To address the aging farming population, farmers' markets have implemented a pickup service for collecting agricultural products. However, previous research has shown that it is unprofitable. Moreover, it is unclear whether the pickup service was designed optimally in the previous study. Given the aging farming population, the spatial distribution of pickup service users is expected to become sparse in the future, and the demand for pickup services is anticipated to expand spatially. In this regard, designing an economically sustainable and efficient pickup route with multiple pickup points is necessary.

In this study, first, we design a farmers' market pickup model using a Vehicle Routing Problem (VRP). Previous research on VRP did not take the loading and unloading times into account. However, in the farmers' market pickup service, inspecting agricultural products and loading and unloading them from the truck is necessary. The driver also has to transmit information to the users of this service. To reflect such reality, we establish a pickup time constraint equation that considers truck running times and loading and unloading times.

Second, we demonstrate that the time limit in the constraint equation is valid for adjusting the designed model for planning pickup services in the mountainous areas of Fukuoka Prefecture.

Finally, we examine the economic viability of the case study. After verifying the balance between total pickup costs and usage fees, we conclude that operating the pickup service on Saturdays, Sundays, and holidays is economically viable.

**Keywords:** farmer's market, pickup service, optimization problem, vehicle routing problem, pickup time constraint

## I はじめに

近年、日本の中山間地域の人口減少が深刻である。人口減少により、店舗および各種サービスの利用者は空間的に疎に分布することとなり、地域経済と地域産業における経済サービスの集約的な運用が困難となる。以上の原因から、中山間地域では医療施設および商業施設の撤退、公共交通の減便や廃止など、インフラサービスレベルの低下が進み、中山間地域の住民の物理的な移動距離が遠くなっている。

一方で、中山間地域内の物流の需要が高まってい

る。中山間地域の高齢化程度は著しく、自動車の運転が困難な人、つまり、自家物流が困難な人が増えている。中山間地域のインフラサービスレベルが低下する中で、地域生活を維持するために、地域社会はコミュニティバス、乗り合いタクシー、移動販売などを導入し、交通弱者、買い物難民などの問題の解決に取り組まれている。

中山間地域における自家物流の困難問題は地域の農産物直売所（以下、直売所）にも影響を及ぼしている。商業施設の撤退が進んでいる中山間地域において、直売所は地域の数少ない食料品の小売店としての役割を担っている。しかし、近年、直売所が抱えている問題として出荷者の高齢化が挙げられ、それによる出荷者数・出荷頻度・出荷量の減少（森岡、2018）、出荷者確保問題（新開、2023）が顕在化し

Corresponding author \*: kdl7730@naver.com

<sup>1</sup> 九州大学（Kyushu University）

てきた。特に、中山間地域の直売所は上記の問題が深刻であり、直売所としての農産物販売機能を維持するため、出荷農家から直売所店舗までの物流を直売所側で担う集荷事業<sup>注1)</sup>を導入する動き(西日本新聞, 2009; 日本農業新聞, 2018)や運用がみられる(友永, 2008; 農林水産省, 2016)。

直売所の集荷事業に関して、以下の先行研究が挙げられる。雨森(2016)は高知県の中山間地域における直売所への農家庭先集荷事業を挙げ、福祉的な観点から庭先集荷の実施意義を評価するが、採算状況は厳しく持続可能性がないと指摘した。種市(2020)は直売所への集荷事業が中山間地域における農産物の円滑な輸送と地域農業を維持させる一つの手段であると評価するが、直売所の集荷における運送費用の負担は他の事業からの補填や外部補助に依存するため、経済的な持続性に課題が残ると結論づけた。しかし、それらの事例では、集荷物流問題として最適な設計がなされていたか、また、最適な集荷設計の上でも持続性に課題が残るかは明らかでない。一方で、金ら(2021)は、10年以上集荷事業を続けている中山間地域の直売所の事例を取り上げ、経済性をもたらし集荷条件を検討した。その条件は、ほとんどの先行研究および事例で採用されている庭先集荷方式ではなく、加えて利用者対象を運転困難な高齢農家に限定せず、規模の経済をもたらしよう、また、集荷方式に対する集荷サービス利用農家の選好を根拠に、拠点集荷方式で運用することである。

今後のさらなる高齢化を想定すると、直売所の出荷者の疎な空間的分布が一層顕著になりつつ、直売所の集荷サービスへの需要が町域全体に広域で増えることが見込まれる。その場合、複数の集荷地点を巡回する際の集荷経路および集荷時間といった運行について、経済的持続可能で、かつ最適な設計の必要性が高くなる。直売所の集荷費用の最小化に関しては、金ら(2021)が庭先集荷のケースでの試算において巡回セールスマン問題を用いた。しかし、金ら(2021)の試算は1か所の集荷拠点に対応する7戸の農家庭先を巡回する移動距離の最小化というシンプルな条件下での最適化問題に過ぎない。

また、複数の集荷拠点から集荷を行う場合は、集荷拠点数および集荷量に比例し、集荷拠点間の移動時間、荷役作業時間により、集荷時間が長くなる。直売所の集荷は開店前に完了する必要があるため、早朝に集荷が開始される。時間の早い利用者の負担を考慮すると、集荷の時間制限が必要であり、その時間内に集荷を完了する物流設計が必要となる。金ら(2021)も荷役事業を想定したが、費用の試算に過ぎず、最適化の対象となっていない。未だにより広域における直売所の集荷物流設計を扱った研究はない。

農産物集荷の設計は直売所の立地条件や利用者の

分布、道路状況などに規定され、場合によって最適な集荷物流の設計が異なったものとなる。更に、農業の季節性や、農業構造の変化、高齢化の進展によって、集荷量が増えるため、同じ直売所であっても最適な集荷設計の継続的な見直しが不可欠である。また、今後の農業人口の高齢化を考慮すると、集荷事業を検討する直売所が増えてくると考えられる。それゆえ、どのような直売所であっても、集荷拠点別の集荷量を所与として、集荷費用を最小とするスケジューリングと、その集荷費用を推計する集荷物流モデルの構築が望まれる。

従って、本研究の課題は、第1に、集荷圏全域へ拡張した形で直売所の集荷物流モデルを構築すること、第2に、現場への適用を想定し、構築したモデルを用いて、最適集荷の実現可能性の検証、ならびに最適集荷スケジュールを構築するステップを示すこと、第3に、以上のアプローチを事例に適用する方法を提示し、加えて、少なくとも当該事例において一定の実現可能性が見込まれることを示すことである。

本稿では以下の通りに課題にアプローチする。第Ⅱ節では、様々なバリエーションのある運搬経路問題(Vehicle Routing Problem: VRP)の先行研究を整理しつつ、直売所の集荷事業が持つ強い時間制約と、時間制約において重要な位置を占める荷役等作業を正確に反映させた新たなVRPモデルを構築する。第Ⅲ節では、構築したモデルを用いて、最適集荷の実現可能性の検証と、最適集荷スケジュール設計を行うための、一連のフローチャートを提示する。第Ⅳ節では、適用事例の概要、並びに上述の分析に用いたデータの概要を説明する。第Ⅴ節では、まず、適用事例における計算結果から、現実妥当性を確保する上で、第Ⅱ節で提示したモデルの重要性を明らかにする。次に、当該事例における集荷事業の経済的な実現可能性に関して第Ⅲ節で提示したフローチャートに従って検討を行う。最後に、第Ⅵ節で本稿の分析結果と意義をまとめる。

注1) 本来の集荷の意味は、「荷が一か所に集まること」と「荷を一か所に寄せ集めること」、つまり、「集結(gathering)」と「収集(collect)」の意味を持つ。従って、直売所における集荷は、出荷者の自家物流により農産物が直売所の店舗に集結(出荷)されることと、集荷サービスから農産物が収集(集荷)され直売所の店舗に運ばれることの2つの意味を持つ。多くの先行研究は前者を出荷と、後者を集荷と指している。本稿も、同様の意味で出荷と集荷という用語を用いて論じていく。

## II 農産物直売所における集荷物流モデルの構築

### 1 農産物直売所における集荷物流設計上の特徴

まず直売所の集荷の流れを説明する。直売所の集荷担当者は広域に点在する集荷サービス利用者の庭先あるいは集荷拠点を巡回して集荷を行う。各集荷地点においては、商品の検品、車両への積み込みに加えて、出荷農家へ店舗の需給情報等の伝達などの作業が行われる（以下ではこれらの作業を総称して「荷役等作業」と呼ぶ）。また、実際の商品の出荷と輸送にあたっては、商品の破損を避けるためにコンテナが用いられている。そして、直売所は当日出荷・当日販売が原則であるため、集荷作業は開店前に完了する必要がある。

以上を踏まえて、本稿における集荷物流設計上の特徴は、第1に、荷役等作業時間をモデルに反映すること、第2に、農産物の単位はコンテナとすること、第3に、集荷の運用および利用可能な時間の幅（以下、集荷の時間制限と呼ぶ）を設定すること、の3点である。

### 2 モデルの定式化

直売所における最適な集荷物流の設計は、限られた時間内に複数の地点における農産物を残さずに収集し、その地点間の集荷車両の走行スケジュール、荷役等作業が最小費用となる解を探すことであり、数理計画問題として扱える。VRPはデポから複数の集荷地点への集荷車両による運搬距離が最小となるスケジュールを求める数理計画問題であり（久保ら, 2012）、本稿におけるモデルの構築はVRPを援用する。その中でも、直売所の集荷物流は複数の集荷地点から一つの直売所店舗に農産物を集める（Many to One）収集問題である。

モデルには、車両の積載量を想定したCapacitated VRP (CVRP) (Dantzig and Ramser, 1959)、異機種の複数の車両の利用を想定したBruce Golden et al. (1984)のモデル(FMVRP: The fleet size and mix VRP)を援用する。

加えて、直売所における集荷物流設計上の特徴を反映するため、集荷の時間制約式を設け、車両の移動時間だけではなく、荷役等作業時間を考慮した制約式を導入する。VRPの先行研究では荷役作業時間が割愛されるか、便宜的な方法で問題を簡単化してきた。荷役作業を想定するVRP with Pickup, 商品の収集と配送を伴うVRP (VRPPD: VRP with Pickup and Delivery)の先行研究は地点における荷役量を特定するが、荷役作業の時間を考慮していない(Hokey Min, 1989)。その理由として、例えば、郵便物配送と回収(Eiselt et al., 1995)、ゴミの回

収(Surya Sahoo et al., 2005)などのように、運搬時間に比べて荷役作業時間が非常に小さい場合、あるいは、船舶における荷の積み替え(Rodolfo et al., 2011)、液体(石油: Gerald and Glenn, 1981; Gerald et al., 1987、乳製品: Belarmino et al., 1998)や粉(砂糖: Andre et al., 1992)の輸送問題のように、荷役作業時間は膨大でも、輸送と荷役の担当が異なり、それらを別次元で取り扱うことが可能なケースでVRPが用いられてきたためである。

しかし、農産物における集荷事業では、前述の通り必ず荷役等作業が必要であり、かつ、荷役作業は集荷担当者自身が集荷時間内に手荷役で行うため、集荷作業全体に占める荷役等作業時間の割合が大きい。そのためモデルにおいて荷役等作業の時間を省略あるいは簡便に扱うと運搬経路の最適解が大きく歪む可能性がある。従って、現実的な解を得るため、車両移動の時間制約(Constraints on the travel times)を援用(Gilbert Laporte et al., 1984)する中で、車両移動の時間のみならず荷役等作業時間も考慮した制約式を設ける。

#### (1) 費用関数

集荷総費用( $TC$ : Total pick up Cost)は(1)式の通り、バックヤード作業費用( $BC$ : Backyard Cost)と集荷費用( $PC$ : Pick up cost)によって構成される(単位: 円)。

$$TC = BC + PC \quad (1)$$

$BC$ は、出荷から集荷に変わることで、通常は出荷者が行っている陳列などの作業(以下、バックヤード作業)を直売所職員が代行するために発生する費用である(単位: 円)。 $BC$ は(2)式の通り、集荷量に比例してかかる人件費である。

$$BC = \sum_{i=2}^n e_i t_{by} c_i \quad (2)$$

ただし、 $P = \{1, 2, \dots, n\}$ は地点の集合であり、地点1は直売所、地点2~ $n$ は集荷地点である。 $e_i$ は地点 $i \in P$ におけるコンテナ数(単位: 個)の初期量であり、モデルにおける外生変数である。集荷地点における $e_i$  ( $i=2 \sim n$ )は出荷者から地点 $i$ に持ち込まれるコンテナ数で非負の整数である。一方、 $e_1$ は同日、直売所に持ち込まれるコンテナ数(以下、集荷総量)であり、 $e_1 = -\sum_{i=2}^n e_i$ となる負の整数である。 $t_{by}$ はバックヤード作業にかかる時間(単位: 分/個)、 $c_i$ は時間当たりの人件費(単位: 円/分)である。なお、本稿のモデルでは集荷量を所与として最適集荷スケジュールを算出するため、モデルにおいて $BC$ は固定費用として取り扱われる。

$PC$ は以下の(3)式に示す。 $PC$ の第1項は運搬費用を表し、運搬に伴って発生する人件費と集荷車両の車両代、燃費が含まれる。第2項は荷役等作業

費用を表し、荷役等作業に伴って発生する人件費と集荷車両の車両代が含まれる。荷役等作業費用は集荷利用量に比例して増加することを想定する(森高, 2013; Emmanouil et al., 2015; Alexander and Manuel, 2019)。

$$\min_{x_{ij}^k, l_i^k, u_i^k} PC = \sum_{i \in P} \sum_{j \in P} \sum_{k \in K} d_{ij} \cdot x_{ij}^k \cdot (c_r^k + f^k + c_l) + \sum_{i \in P} \sum_{k \in K} (l_i^k t_l + u_i^k t_u) \cdot (c_r^k + c_l) \quad (3)$$

ただし、 $K = \{1, 2, \dots, m\}$  は集荷車両の集合であり、各集荷車両は積載量、燃料費などが異なる。 $d_{ij}$  は地点  $i \in P$  を出て地点  $j \in P$  に至る最短の移動時間(単位: 分)で外生変数である。 $x_{ij}^k$  は集荷車両  $k \in K$  が地点  $i \in P$  の次に地点  $j \in P$  に向かうルートを通る運行回数で、非負の整数である。 $c_r^k$  は集荷車両  $k \in K$  の車両代(単位: 円/分)、 $f^k$  は集荷車両  $k \in K$  の燃費(単位: 円/分)、 $l_i^k$  は地点  $i \in P$  において集荷車両  $k \in K$  に積み込まれるコンテナ数(単位: 個)で整数であり、 $t_l$  はコンテナ1個当たりの積み込む時間(単位: 分/個)、 $u_i^k$  は地点  $i \in P$  において集荷車両  $k \in K$  に積み下ろされるコンテナ数(単位: 個)で整数であり、 $t_u$  はコンテナ1個あたりの積み下ろす時間(単位: 分/個)である。以上の  $x_{ij}^k$ ,  $l_i^k$ ,  $u_i^k$  はモデル内で決定される内生変数である。 $PC$  が固定費用であることから、 $PC$  がモデルにおいて最小化すべき目的関数となる。

## (2) 制約式

まず、目的関数における各内生変数の定義域は以下の(4)式の通りである。

$$x_{ij}^k \in \mathbb{Z}^+, e_{ij}^k \in \mathbb{Z}^+, l_i^k \in \mathbb{Z}^+, u_i^k \in \mathbb{Z}^+ \quad (4)$$

ただし、 $e_{ij}^k$  は地点  $i \in P$  から地点  $j \in P$  まで集荷車両  $k \in K$  で運ばれるコンテナ数(単位: 個)である。

次に、(5)式は  $x_{ij}^k$  の地点  $i \in P$  から地点  $i \in P$  への移動を認めないことを表し、一意の解を得るために課す<sup>注2)</sup>。

$$d_{ii} = \infty \quad (5)$$

ここから、制約式について説明する。まず、次の(6)式はVRPにおける集荷車両の帰巢を表す。VRPにおける車両は必ず、特定の地点を出発し、移動が終わったら再び出発地点に戻る。集荷車両  $k \in K$  が地点  $i \in P$  から出て行った走行回数は必ず地点  $i \in P$  に入ってきた走行回数と一致しなければならないことを表す。その制約で巡回集荷が行われる。

$$\sum_{j \in (P \setminus \{i\})} x_{ij}^k - \sum_{j \in (P \setminus \{i\})} x_{ji}^k = 0, \forall i \in P, k \in K \quad (6)$$

次の(7)式はCVRPにおける積載量制約である。集荷車両の最大積載量を超えて運搬できないことを表す。

$$\bar{l}^k x_{ij}^k \geq e_{ij}^k, \forall i, j \in P, i \neq j, k \in K \quad (7)$$

ただし、 $\bar{l}^k$  は集荷車両  $k \in K$  の最大積載量(単位: 個)である。

地点間におけるコンテナの需給関係はVRPPDにおける以下の(8)、(9)式で表す。これらは最適解において、初期量が正の地点(集荷拠点)から全てのコンテナが運び出され、初期量が負の地点(直売所)に、全てのコンテナが過不足なく運び込まれることを示している。

$$\sum_{i \in P} e_i = 0 \quad (8)$$

$$e_i + \sum_{k \in K} \sum_{j \in (P \setminus \{i\})} e_{ji}^k - \sum_{k \in K} \sum_{j \in (P \setminus \{i\})} e_{ij}^k = 0, \forall i \in P \quad (9)$$

積み込み・積み下ろしコンテナの数の整合性を表すため、森高(2013)を援用し、以下の(10)式の通り、荷役等作業なしにコンテナの輸送ができないことを制約として課す。これは、車両  $k \in K$  に積載されて地点  $i \in P$  に入ってきた総コンテナ数と、同車両に積載されて地点  $i \in P$  から出ていく総コンテナ数に差がある場合、それと整合的に地点  $i \in P$  において当該車両への積み下ろしと積み込みが行われなければならないというものである。

$$\sum_{j \in (P \setminus \{i\})} e_{ji}^k + l_i^k - u_i^k - \sum_{j \in (P \setminus \{i\})} e_{ij}^k = 0, \forall i \in P, k \in K \quad (10)$$

集荷の時間制約について説明する。以下の(11)式は集荷の所要時間が集荷の制限時間を超えないという制約式であり、左辺第1項は運搬時間、第2項と第3項は荷役等作業時間であり、右辺の  $\bar{t}$  は農産物直売所にとって集荷に充てられる集荷の制限時間(単位: 分)である。

$$\sum_{i \in P} \sum_{j \in P} d_{ij} x_{ij}^k + \sum_{i \in P} l_i^k t_l + \sum_{i \in P} u_i^k t_u \leq \bar{t}, \forall k \in K \quad (11)$$

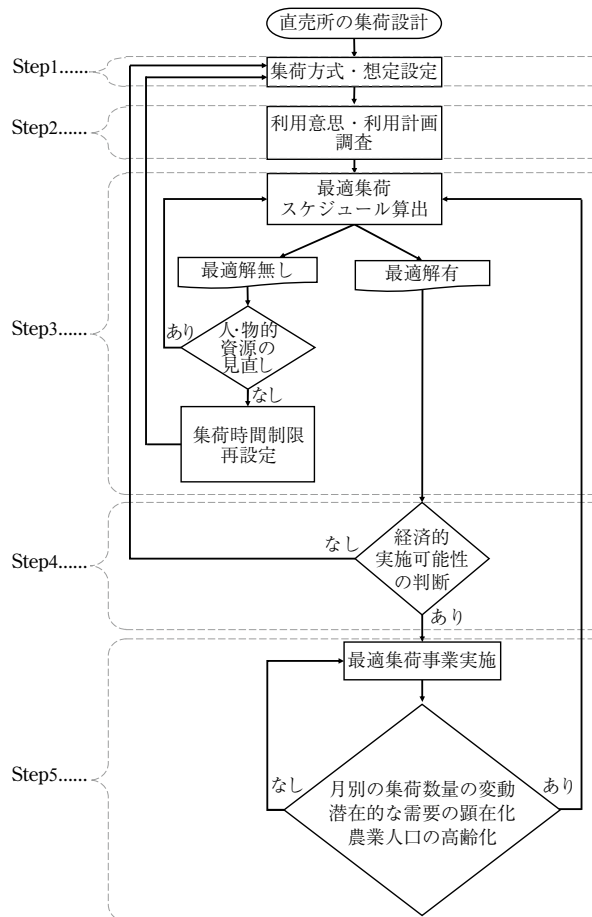
注2) 実際の分析には99と設定した。

## III 最適集荷の設計と実現可能性の検討の流れ

ここで、本稿が構築した集荷物流モデルを用いて直売所の最適集荷の実現可能性を検討するフローチャートを第1図のように提示する。

Step1では、集荷方式と想定項目を設定することである。集荷方式としては拠点集荷方式、庭先集荷があげられる。もし、拠点型集荷方式を採択すると、集荷拠点の選定が必要となる。集荷の想定は、集荷時間、集荷品目、商品のパッケージング、地点にて商品の受け取り方法、利用者の商品価格設定方法、情報共有方法、残品処理方法などが挙げられる。

Step2では、各集荷地点において集荷の利用に伴うコンテナ数を把握するため、定めた集荷方式と想



第1図 直売所の最適集荷の実現可能性を検討するフローチャート

資料：著者作成。

定に関して、出荷者に集荷利用意思と利用計画を調査することである。その調査項目は集荷サービスの利用意向、集荷サービスの利用に伴う地点、1回の利用における出荷量、支払ってもよい集荷利用料金などが挙げられる。

Step3では、Step2から得た集荷コンテナ数に基づき、直売所の現状の人的・物的資源を用いて、本稿が構築したモデルから最適集荷スケジュールを算出する。ただし、所与の資源的・時間的制約の下で全ての荷を集めることが可能な最適解が得られない可能性も存在する。その場合は、資源や時間の制約を緩めて再度最適集荷スケジュールの算出を行うという再設計の過程が必要となる。

Step4では、最適集荷の経済的な実現可能性を検討することであり、その検討基準は集荷費用を集荷利用料収入から丁度補償することである。直売所の集荷利用料の設定として先行研究や実証研究からみられるのは手数料制（毎日新聞，2017；金ら，2021）と定額制（久間生活研究会，2014；辻，2020）がある。仮に、集荷利用料を定額とすれば、農産物の売上から一定の金額を引くため、単価が高い農産物だけが集荷される恐れがある。直売所は多

品目の農産物を揃えることを重視しており、定額制はそれに反する集荷利用料の策定となる。従って、集荷利用料を手数料制とする。

集荷事業を利用した農産物の売上高から徴収する集荷利用手数料について、集荷総費用（TC）を丁度補償する手数料水準 CP（Commission of pick-up service）を以下の（12）式の通り計算し、Step2から得られた集荷利用者が支払ってもよいとする利用料金額が CP を上回るかを確認し、集荷の経済的な実現可能性を判断する。

$$CP = \left( \frac{TC}{\sum_{i=2}^n e_i b} \right) \% \quad (12)$$

ただし、 $b$  はコンテナ 1 個当たりの平均売上高である（単位：円／個）。

Step5として、Step4で実現可能であると判断された場合、実際の運用に移行可能となる。ただし、集荷事業における与件変化があり、最適な集荷スケジュールが変化する場合、Step3に戻り、最適集荷を再設計する。与件変化として考えられるのは、短期的には季節ごとの利用量の変化、中長期的には潜在的な直売所出荷者の顕在化、農業人口の高齢化による出荷農家数の減少などが考えられる。

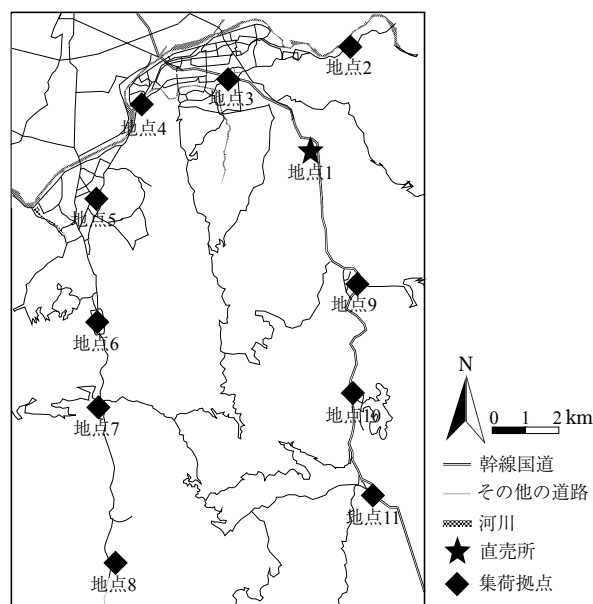
#### IV 最適集荷の事例への適用と想定するデータ

##### 1 M 直売所の概要

M 直売所<sup>注3)</sup>は2005年に開設され、福岡県 Y 市旧 T 町の中山間地域の幹線道路沿いに位置している。出荷者の地理的な範囲は基本的に旧 T 町内を限定しており、大まかに第 2 図の範囲である。管内エリアである旧 T 町の農業構造は農林業センサス2020年より、農家数1,211戸、農業従事者数1,606人（うち、基幹的農業従事者数1,259人）、平均年齢は63.4歳である。耕地面積は田274ha、畑220ha、樹園地1,004haである。

M 直売所の年間売上額は約5.09億円であり、うち、野菜委託販売売上が約0.94億円、果実委託販売売上が約0.61億円である（加工食品販売売上が約2.69億円）（2023年度）。主要農産物10品目を売上順で羅列すると柑橘類、タケノコ、トマト、キウイ、ブドウ、ウメ、キュウリ、シイタケ、ナシ、クリである。

M 直売所の顧客層は、平日地元客が、土日・祝日入込客が多い。特に土日・祝日における商品不足問題が現れ、2008年6月から1か所の地点に集荷拠点を設け（第2図の地点6）、土日・祝日に集荷サービスを行っている（2024年7月時点）。現行の M 直売所の集荷サービスにおける集荷担当者と集荷サービス利用農家の店舗情報の交換について説明すると、基本対面で行うが、利用農家の時間的な都合がつかない場合は荷を集荷拠点に置くことも許容する



第2図 地点の位置情報

資料：ヒアリング調査により、著者作成。

注：1) 地点1はM直売所、他は集荷拠点である。

2) 地点6は現在M直売所が集荷サービスを行っている集荷拠点である。

(金ら, 2021)。集荷サービス利用手数料は集荷サービスを通して売れた農産物の売上の5%であり、委託販売手数料が農産物15%、冷蔵品20%であるため、集荷サービスを通じて売れた農産物の手数料は合計20%となる。登録出荷者は約470人であるが、出荷者の高齢化が進んでいるため、出荷者の出荷頻度と出荷量が減少しており、今後、集荷サービスの地点を複数に広げる計画を立てている。

## 2 集荷の想定

以下では、第1図のフローチャートのStep1として、M直売所の集荷の想定を説明する。まず、集荷方式は拠点集荷方式を採用する。集荷拠点はJA雲南の集荷システム(産直農業新聞, 2014)を参考に、また、M直売所のヒアリングから、拠点たりえる基準を次の通り設定した。①荷役等作業が可能な広さがあること、②土地の利用費用が発生しないこと、③集荷利用者の車が出入り可能な場所であること、④集落と隣接していること、⑤大きい道路沿線に位置していること、⑥道路の交点であること、である。その後、現場調査を行った上で、M直売所と協議の上で、第2図の通り10カ所の集荷拠点を定めた。

次に、想定における集荷の流れを説明する。集荷サービスを利用する出荷者は、第2図に示された集荷拠点到、6:30~8:30間の定められた時間までに、パッケージングとバーコードが貼付された農産物(青果物限定)を指定コンテナに入れて出荷する。コンテナには、出荷者名・品目・数量・価格を書い

た出荷伝票を1枚入れる。ここで、指定のコンテナは直売所が集荷用のコンテナとして地点に用意したものであり、地点における複数の利用者の農産物の混載を許容する。直売所の集荷担当者は各集荷拠点において前述の荷役等作業を行う。ただし、集荷車が各集荷拠点に立ち寄る時間を事前に知らせるが、その時間に合わせて集荷拠点に出荷できる人は対面で情報交換ができる一方、その時間に合わない人、あるいは情報交換が必要ではない人は、事前に荷を集荷拠点に置くことを許容する。なお、その時間は季節ごとに6:30~8:30間のいずれかに変更される。直売所でのバックヤード作業、陳列は直売所スタッフが行う。残品処理は次の集荷日に集荷拠点で返却するか、直売所で処理するかを出荷者自身が選べるものとする。

## 3 パラメータ

以下では、M直売所の現状より、計算に用いるパラメータを説明する。各地点間の最短の移動時間( $d_{ij}$ )はゼンリン住宅地図を用いて事前調査を行い、現場調査(2020年6月19~20日)を通じて値を求めた。ただし、最短移動時間については、現場調査から道路が舗装されていない区間(第2図の地点7と地点9の区間、地点7と地点10の区間、地点7と地点11の区間、地点8と地点9の区間、地点8と地点10の区間、地点8と地点11の区間)があり、M直売所の運営会社も普段使いの道ではないと認識していた。集荷スケジュール算出において、それらの区間における車両の移動を禁止するため、この区間の移動時間を99分と設定する。また、移動時間は区間における制限速度<sup>注4)</sup>の遵守を前提とし、交通状況や信号などは想定しない。以上から得られた $d_{ij}$ を第1表に示す。

次に、人件費( $c_l$ )と集荷車両費用について説明する。事例によっては、余剰の車両や人員を充てて集荷を行う場合があるが、今後、農業人口の高齢化により、集荷事業の導入を検討する直売所が増えてくることが見込まれるため、集荷事業単独の支出額を把握できるよう、擬制計算を行う。 $c_l$ は、福岡県最低賃金である15円/分とする(2023年8月22日基準)。集荷車両はM直売所が現に保有している2台とする。直売所の保有車両には減価償却費、管理費などが含まれる固定費用と車両の稼働に伴う変動費用が発生し、かつ多用途に用いられている。本研究では、上述のように、集荷事業単独の支出額を把握する目的で、すべて変動費として計上できるよう、車両代( $c_v^k$ )にはレンタカー会社のHPから同車種のレンタル代を用いる( $c_v^1=15.28$ 円/分、 $c_v^2=30.56$ 円/分)。次に、稼働費用には集荷車両の燃費( $f^k$ )がある。 $f^k$ は同車種の公式HPから走行速度の40km/hを基準として、1分当たりの燃費で算出

第1表 地点間の移動時間 ( $d_{ij}$ )

| 地点   | 地点1 | 地点2 | 地点3 | 地点4 | 地点5 | 地点6 | 地点7 | 地点8 | 地点9 | 地点10 | 地点11 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 地点1  | 99  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
| 地点2  | 9   | 99  |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
| 地点3  | 6   | 6   | 99  |     |     |     |     |     |     |      |      |
| 地点4  | 9   | 8   | 4   | 99  |     |     |     |     |     |      |      |
| 地点5  | 11  | 11  | 7   | 3   | 99  |     |     |     |     |      |      |
| 地点6  | 14  | 14  | 10  | 6   | 3   | 99  |     |     |     |      |      |
| 地点7  | 18  | 17  | 13  | 9   | 6   | 4   | 99  |     |     |      |      |
| 地点8  | 22  | 22  | 18  | 14  | 11  | 8   | 7   | 99  |     |      |      |
| 地点9  | 5   | 11  | 10  | 12  | 15  | 17  | 99  | 99  | 99  |      |      |
| 地点10 | 7   | 14  | 12  | 14  | 17  | 19  | 99  | 99  | 3   | 99   |      |
| 地点11 | 10  | 16  | 15  | 16  | 19  | 22  | 99  | 99  | 5   | 2    | 99   |

資料：ゼンリン住宅地図と現場調査により、著者作成。

注：1) 単位は分である。

2)  $d_{ij}$  は地点  $i$  と地点  $j$  間の移動時間である。なお、(5) 式より  $d_{ii}$  は無限であるが、分析のため、99と設定する。

する ( $f^1=7.05$ 円/分,  $f^2=13.91$ 円/分)。最大積載量 ( $\bar{l}^k$ ) は M 直売所が集荷に用いるコンテナサイズから算出する ( $\bar{l}^1=30$ 個,  $\bar{l}^2=72$ 個)。時間に関して M 直売所におけるヒアリング調査から、コンテナ1個を積み込む時間 ( $t_l$ ) は2分/個、積み下ろす時間 ( $t_u$ ) は15秒/個、バックヤード作業にかかる時間 ( $t_{py}$ ) はコンテナ1個当たり2分/個とする。

#### 4 集荷利用予測数の算出

##### (1) 集荷利用予測数の算出方針

以下では、第1図のフローチャートの Step2として、M 直売所のシミュレーション分析における集荷コンテナ数の把握について説明する。集荷の利用者となりうるターゲットは「M 直売所に出荷したことはないが、集荷サービスがあると利用したい人(未出荷者)」, 「M 直売所に出荷していたが、何らかの理由で出荷をやめた。集荷サービスがあると利用したい人(過去の出荷者)」, 「現在、M 直売所店舗へ出荷しているが、集荷サービスがあれば、利用したい人(既出荷者)」が挙げられる。それらのターゲットを見つけ、M 直売所への集荷の利用意思、利用計画を調査し、集荷利用量を算出するのが理想的である。しかし、全てのターゲットにアプローチしてアンケート調査を行うには、M 直売所の管内エリアに全数調査を実施する必要がある、実質的に調査が困難である。

そのため本稿では、「既出荷者」にターゲットを絞って集荷サービスの利用意向に関するアンケート調査を行い、集荷利用確率を導出する。ただし、金ら(2021)の事例からは、M 直売所の未出荷者が集荷サービスを利用することで新たな出荷者になったことが報告されている。今回の集荷利用量の予測におけるアンケートの対象は、M 直売所への既出荷者に限定されるため、集荷サービスの利用コンテナ数の予測値には下方バイアスが存在することに留

意しておく必要がある。

なお、アンケートからは、M 直売所への出荷者を母集団とする推計式が得られるが、その説明変数は後述の通り、年代および集荷拠点と直売所間の距離である。集荷拠点ごとに年代別の農家数が統計から得られるので、集荷拠点ごとの利用コンテナ数の推計が可能となる。

また、これも詳細は後述するが、調査では年間を通して各時期の出荷者に調査を行ってはならず、3～4月期の出荷者に対して、集荷サービスの利用意向を尋ねた。そこで、各月の直売所売上額と集荷サービスの利用コンテナ数が比例するという仮定を置いて、他の月の利用コンテナ数を予測する。

アンケートにおける利用意向は、利用意向がある(=1)と利用意向がない(=0)の2値の応答変数であり、ロジスティック回帰モデルによって集荷サービスの利用確率を推計する。

##### (2) 集荷利用確率の推計

ここでは、アンケートによる集荷利用確率の推計式を説明する。(13)式は推計に用いるロジスティック回帰モデルである。

$$\log\left(\frac{\Pr_{is}(Y=1)}{1-\Pr_{is}(Y=1)}\right)=\alpha+\beta^T X \quad (13)$$

ただし、 $Y$ は{1,0}の値をとる応答変数であり、 $Y=1$ のとき集荷サービスを利用することを表し、 $Y=0$ のとき集荷サービスを利用しないことを表す。 $S=\{1,2,\dots,8\}$ は農業従事者数の年代ベクトルであり、1は10歳代、 $\dots$ 、8は80歳代を意味する。 $\Pr_{is}(Y=1)$ は地点  $i \in P$  における年代  $s \in S$  の農家の集荷利用確率を表す。 $\alpha$ は定数項、 $\beta^T$ は係数ベクトル、 $X$ は説明変数ベクトルである。

主要な説明変数として、金ら(2021)を参考に、年代( $X_1$ )、および、最寄りの集荷拠点から直売所までの移動時間( $X_2$ )を用いる。この他、統計上は

入手困難であるが、アンケートでは質問可能な変数として、農家庭先から最寄りの集荷拠点までの移動時間 ( $X_3$ )、農家庭先から直売所までの移動時間 ( $X_4$ )、集荷サービスを利用することにより節約される移動時間<sup>注5)</sup> ( $X_5$ )、M直売所がメインの出荷先であるか否かのダミー ( $D_1$ )、M直売所への出荷を他の人に頼んでいるか否かのダミー ( $D_2$ )、運転に対する心配があるか否かのダミー ( $D_3$ ) も (13) 式の推計において考慮する。

アンケートは2021年3月～4月、約2か月間にわたって調査を行った。アンケート方式は、アンケート配布ボックスをM直売所に設置し、出荷者にアンケート用紙を持ち帰ってもらい6月末まで返信用封筒による郵送で回収した。

アンケートでは (13) 式の説明変数への質問を行うと共に、想定する集荷サービスの具体的内容（上述の Step1 の集荷の想定と同様）について説明した上で、調査時期における集荷サービスの利用意向を尋ねた。また、利用意向がある場合には、集荷サービス利用料金として払える最大利用手数料（0～20%の間に1%刻みの選択肢）、利用希望コンテナ数、コンテナ1個当たりの平均売上、利用希望品目を尋ねた。

得られた回収数は22人で、その内6人が集荷の利用を希望すると回答した。回答者の平均年齢は61.3歳（うち、65歳以上が9人）である。利用希望者について、コンテナ1個当たりの平均売上は3月6,000円/個、4月5,633円/個、農家庭先から最寄りの集荷拠点までの平均移動時間（片道）は3.5分であり（最短：1分、最長12分）、一方、M直売所

への平均移動時間（片道）は13.4分である（最短：6分、最長22分）。利用希望者が集荷サービス利用料金として払える最大金額（WTP）は平均5.33%、一人当たりの平均的な集荷サービス利用希望数は3月、4月において平日はコンテナ2個/日、土日・祝日はコンテナ3個/日、集荷サービスで利用したい品目はタケノコ、柑橘類、ダイコン、キャベツ、サトイモなどである。

22名のサンプルに対して、 $X_4$ 、 $X_5$ と $D_3$ を除く<sup>注6)</sup>5つの変数に対して強制投入法によりロジスティック回帰分析を行った（第2表）。各変数における推定値 $\beta$ のP値は $X_1$ 、 $X_2$ のみが10%水準で有意である。そこで、集荷利用確率の推計式の導出のため、すべての変数の組合せを試した上でAICが最も低いモデルを選んだ。その結果、今回の地点別利用料の予測において利用可能な変数 $X_1$ と $X_2$ が選択された。その推計結果を第3表に示す。 $X_5$ の係数についてのP値は10%水準で有意ではないが、サンプルサイズが小さいため許容範囲と考え、この推計結果を用いて地点別・月別のコンテナ利用量の予測を行っていくこととする。なお、課題で述べた通り、本稿の主目的は、精度の高い利用量の推計ではなく、所与の利用量に対する最適集荷スケジュールを算出する数理計画モデルの構築、ならびに集荷の実現性の検証プロセスの確立にあることを改めて断っておきたい。

### (3) 地点別・月別の集荷利用量の予測

地点における月別の集荷利用予測数は以下の(14)式から算出される。

$$e_{i,raw,m} = \sum_{s \in S} (\widehat{Pr}_{is} v_{is}) \cdot g_m \cdot \frac{q_i}{\sum_{s \in S} v_{is}} \cdot \frac{q_f}{\sum_{i \in P} q_i} \cdot \frac{mf}{q_f} \quad (14)$$

第2表 集荷利用要因のロジスティック回帰分析の結果

| 変数                            | 変数名   | 推定値 ( $\beta$ ) | 標準誤差 (SE) | P 値     |
|-------------------------------|-------|-----------------|-----------|---------|
| 定数項                           | ・     | -21.006         | 9.962     | 0.035** |
| 年代 (10代:1, 20代:2, ..., 80代:8) | $X_1$ | 2.337           | 1.232     | 0.058*  |
| 最寄りの集荷拠点からM直売所までの移動時間 (分)     | $X_2$ | 0.614           | 0.342     | 0.073*  |
| 農家庭先から最寄りの集荷拠点までの移動時間 (分)     | $X_3$ | -0.640          | 0.456     | 0.161   |
| M直売所がメインの出荷先であるか否かのダミー        | $D_1$ | -2.480          | 2.017     | 0.219   |
| M直売所への出荷を他の人に頼んでいるか否かのダミー     | $D_2$ | -0.456          | 1.971     | 0.817   |

資料：ロジスティック回帰分析の結果により、著者作成。

注：1) \*\*\*, \*\*および\*はそれぞれ、1%、5%および10%水準で統計的に有意であることを示す。

2) 強制投入法でのAIC値は26.288、pseudo R<sup>2</sup>は0.523である。

3) 農家庭先から直売所までの移動時間の変数 ( $X_4$ )、集荷サービスを利用することにより節約される移動時間の変数 ( $X_5$ )、運転に対する心配があるか否かのダミー変数 ( $D_3$ ) は多重共線性のため、分析から除外した。

第3表 集荷利用確率推計のロジスティック回帰分析の結果

| 変数                            | 変数名   | 推定値 ( $\beta$ ) | 標準誤差 (SE) | P 値     |
|-------------------------------|-------|-----------------|-----------|---------|
| 定数項                           | ・     | -10.481         | 5.233     | 0.045** |
| 年代 (10代:1, 20代:2, ..., 80代:8) | $X_1$ | 1.114           | 0.621     | 0.073*  |
| 最寄りの集荷拠点からM直売所までの移動時間 (分)     | $X_2$ | 0.187           | 0.143     | 0.189   |

資料：ロジスティック回帰分析の結果により、著者作成。

注：1) \*\*\*, \*\*および\*はそれぞれ、1%、5%および10%水準で統計的に有意であることを示す。

2) 強制投入法でのAIC値は23.386、pseudo R<sup>2</sup>は0.326である。

ただし、 $\mathbf{M}=\{1,\dots,m,\dots,12\}$ は月を示すベクトルである。 $e_{i,raw,m}$ は地点 $i \in \mathbf{P}$ における $m \in \mathbf{M}$ 月の集荷利用予測数（以下、集荷利用量）（単位：コンテナ個）、 $\widehat{Pr}_{is}$ は拠点 $i \in \mathbf{P}$ に対応する年代別 $s \in \mathbf{S}$ の集荷利用確率の推定値、 $v_{is}$ は拠点 $i \in \mathbf{P}$ に対応する年代別 $s \in \mathbf{S}$ の農業従事者数（単位：人）である。 $g_m$ は $m \in \mathbf{M}$ 月別の1日1人の当たりの集荷サービス利用希望数である（コンテナ個／人・日）。 $q_i$ は地点 $i \in \mathbf{P}$ における農家数（単位：戸）であり、 $q_f$ はM直売所の出荷登録者数（単位：人）、 $mf$ は直売所の1日平均出荷者数である（単位：人）。

(14) 式を説明すると、第1番目の括弧により、拠点 $i \in \mathbf{P}$ における集荷利用者数（農業従事者数）が求まる。第2番目の定数項は、集荷利用者数を集荷利用量に調整するための係数である。第3番目の分数は集荷利用者数（農業従事者数）を農家数（戸）に調整するための係数である<sup>注7)</sup>。第4番目の分数は、旧T町における農家の中でM直売所の出荷登録者数（人）を意味している。第5番目の分数は出荷登録者数の中で1日の平均出荷者数を意味する。

ただし、(14) 式から求めた $e_{i,raw,m}$ は地点 $i \in \mathbf{P}$ における複数利用者の集荷利用量の合計であり、少数点以下の数字が含まれる。 $e_{i,m}$ は定義域により整数であるため、 $e_{i,raw,m}$ を0.3以上<sup>注8)</sup>を切り上げて整数化し、 $e_{i,m}$ を表すことにする。

以下、(14) 式の推計に用いたデータについて説明する。 $v_{is}$ は農林業センサスの農業集落別集計結果個人経営体年齢別の農業従事者数を用いる<sup>注9)</sup>。 $q_i$ は農林業センサスの農業集落別集計結果総農家数等を用いる。 $q_f$ はM直売所におけるヒアリング調査により450人である。 $mf$ はM直売所の運営会社のヒアリングから、月別における出荷者数の変動はあるが、毎日入替で平均的に平日20人、土日・祝日40人が出荷しているとのことである。そこで、今回の計算において出荷者数は平日20人、土日・祝日40人に固定する。最後に、月別の1人の当たり1日の平均的な利用希望数 $g_m$ の算出方法を説明する。 $g_m$ はM直売所の年間売上額に占める月別の売上額割合に比例すると仮定し、アンケートによって得られ

た4月の1日1人当たりの集荷サービス利用希望数（コンテナ個／1日）を基準とし、以下の(15) 式から $g_m$ を算出する。

$$g_m = \frac{\text{sales rate}_m}{\text{sales rate}_4} \times g_4 \quad (15)$$

ただし、 $\text{sales rate}_m$ はM直売所の年間売上額に占める $m \in \mathbf{M}$ 月の売上額割合、 $\text{sales rate}_4$ はM直売所の年間売上額に占める4月の売上額割合、 $g_4$ はアンケートによって得られた4月の1日1人当たりの集荷サービス利用希望数（コンテナ個／人・1日）である。 $\text{sales rate}_m$ と $g_m$ は第4表に示す。

以上から推定した平日の $e_{i,m}$ は第5表に、土日・祝日は第6表にそれぞれ示す。

注3) 金ら（2021）が取り上げた直売所である。

注4) おおよそ、40km/hである。

注5)  $X_3$ と $X_4$ の差

注6)  $X_4$ は $X_2$ との、 $X_5$ は $X_2$ との、 $D_3$ は $X_1$ との多重共線性のため、ロジスティック回帰分析から除外する。上記の変数間の多重共線性の理由を次のように説明する。まず、 $X_4, X_5$ と $X_2$ の多重共線性は中山間地域の道路状況に起因する。今回の事例のように、中山間地域の道路は尾根に沿って道路が敷設されている。これは、今回の事例だけではなく、高知県自治研究センター（2008）の実証実験の報告にも言及されているよう、中山間地域の典型的な道路状況である。中山間地域の農家が直売所へ出荷する場合、まず尾根沿いの道路から大きな道路まで移動し、次に大きな道路に沿って直売所まで移動する。しかし、今回の集荷拠点は大きな道路添えに設定しているため、その場合は集荷拠点をショートカットできる道路の存在はほぼない。従って、 $X_4 - X_5 = X_5 \approx X_2$ が成立し、 $X_2, X_4, X_5$ の3つの変数間に多重共線性が発生した。集荷拠点の設定が異なる場合もしくは立地条件が異なる直売所へ集荷利用要因を調査すると、説明変数の選択が変わると考えられる。次に、 $D_3$ と $X_1$ の多重共線性は、高齢になると運転に対する負担が生じるためであると予想される。

注7) M直売所への出荷者登録において、一つの経営体から親と子で個別に登録している例も見られるが、農業経営体（農家）の代表者の名義で出荷登録し、その構成員が代表者の名義で出荷する場合も見られる。後者の割合が多い。現実を反映するため、本来

第4表 M直売所の月別の売上割合、1人・1日当たりの利用希望数、営業日数

| 月       | 1月               | 2月   | 3月   | 4月   | 5月  | 6月   | 7月   | 8月   | 9月   | 10月  | 11月  | 12月  |
|---------|------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 売上割合（％） | 10.4             | 10.1 | 9.1  | 7.7  | 6.2 | 6.1  | 4.3  | 5.3  | 8.8  | 10.8 | 9.6  | 11.6 |
| 平日      | 利用希望数<br>(個／人・日) | 2.7  | 2.6  | 2.4  | 2   | 1.6  | 1.6  | 1.1  | 1.4  | 2.3  | 2.8  | 3.0  |
| 土日・祝日   |                  | 4.05 | 3.94 | 3.55 | 3   | 2.42 | 2.38 | 1.68 | 2.07 | 3.43 | 4.21 | 4.52 |
| 平日      | 営業日数（日）          | 20   | 17   | 19   | 20  | 20   | 19   | 21   | 19   | 18   | 21   | 21   |
| 土日・祝日   |                  | 9    | 10   | 11   | 9   | 10   | 10   | 9    | 10   | 11   | 9    | 9    |

資料：ヒアリング調査により、著者作成。

注：1) 売上の割合はM直売所における野菜と果実の委託販売売上をPOSデータから抽出し、年間における月別の割合で計算した値であり、また(15) 式における $\text{sales rate}_m$ である。

2) 利用希望数( $g_m$ )は(15)式の推計結果であり、 $m$ 月別の1日1人の当たりの集荷サービス利用希望数である。ただし、4月の $g_m$ はアンケート集計結果（網掛け）である。

3) 営業日数はM直売所の運営者へのヒアリングからの値であり、第2水曜日と年末年始の休館日を除き、年間営業日数は351日である。

第5表 平日における月別初期量（ $mf = 20$ ）（単位：コンテナ個）

| コンテナ量      |            | 1月  | 2月  | 3月  | 4月  | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月  | 10月 | 11月 | 12月 |
|------------|------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 初期量<br>(個) | $e_{1,m}$  | -15 | -15 | -14 | -11 | -9 | -9 | -6 | -9 | -14 | -16 | -15 | -16 |
|            | $e_{2,m}$  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
|            | $e_{3,m}$  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   |
|            | $e_{4,m}$  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 0  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   |
|            | $e_{5,m}$  | 3   | 3   | 3   | 2   | 2  | 2  | 1  | 2  | 3   | 3   | 3   | 3   |
|            | $e_{6,m}$  | 2   | 2   | 2   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 2   | 2   | 2   | 2   |
|            | $e_{7,m}$  | 3   | 3   | 3   | 2   | 2  | 2  | 1  | 2  | 3   | 3   | 3   | 3   |
|            | $e_{8,m}$  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 2   | 1   | 2   |
|            | $e_{9,m}$  | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 1   | 1   | 1   |
|            | $e_{10,m}$ | 1   | 1   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1   | 1   | 1   |
|            | $e_{11,m}$ | 2   | 2   | 2   | 2   | 1  | 1  | 1  | 1  | 2   | 2   | 2   | 2   |

資料：(14) 式の結果により，著者作成。

注：1) 平日における1日当たりの出荷者数（ $mf$ ）は20人である。2) 初期量（ $e_{i,m}$ ）の内， $e_{1,m}$ は直売所の初期量であり，初期量の定義により， $e_{1,m} = -\sum_{i=2}^n e_{i,m}$ の値である。第6表 土日・祝日における月別初期量（ $mf = 40$ ）（単位：コンテナ個）

| コンテナ量      |            | 1月  | 2月  | 3月  | 4月  | 5月  | 6月  | 7月  | 8月  | 9月  | 10月 | 11月 | 12月 |
|------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 初期量<br>(個) | $e_{1,m}$  | -42 | -41 | -37 | -34 | -25 | -26 | -19 | -24 | -36 | -42 | -39 | -47 |
|            | $e_{2,m}$  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|            | $e_{3,m}$  | 4   | 3   | 3   | 3   | 2   | 2   | 2   | 2   | 3   | 4   | 3   | 4   |
|            | $e_{4,m}$  | 2   | 2   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 2   | 2   | 2   | 2   |
|            | $e_{5,m}$  | 9   | 9   | 8   | 7   | 5   | 6   | 4   | 5   | 8   | 9   | 8   | 10  |
|            | $e_{6,m}$  | 5   | 5   | 5   | 4   | 3   | 3   | 2   | 3   | 4   | 5   | 5   | 6   |
|            | $e_{7,m}$  | 9   | 9   | 8   | 7   | 5   | 5   | 4   | 5   | 8   | 9   | 8   | 10  |
|            | $e_{8,m}$  | 4   | 4   | 3   | 3   | 2   | 3   | 2   | 2   | 3   | 4   | 4   | 4   |
|            | $e_{9,m}$  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 2   |
|            | $e_{10,m}$ | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|            | $e_{11,m}$ | 6   | 6   | 5   | 5   | 4   | 3   | 3   | 3   | 5   | 6   | 6   | 7   |

資料：(14) 式の結果により，著者作成。

注：1) 土日・祝日における1日当たりの出荷者数（ $mf$ ）は40人である。2) 初期量（ $e_{i,m}$ ）の内， $e_{1,m}$ は直売所の初期量であり，初期量の定義により， $e_{1,m} = -\sum_{i=2}^n e_{i,m}$ の値である。

は農家数を用いることが望ましいが，農家は世帯単位であり，年代（年齢）情報がない。従って，M直売所の出荷登録者数は農家単位であると仮定し，地点における農家と農業従事者数の比から，求めた値を調整する。

注8) M直売所のヒアリングより，切上げの基準を0.3以上と設定した。その理由は，地点における集荷利用量が現実的にコンテナの30%くらいであれば，1個のコンテナとして取りに行けること，コンテナ1個以上の小数点が切り捨ての0.3未満なら，他の地点から集荷された中で，隙間のあるコンテナに詰め込めるため，1コンテナとして扱わないでよい，という判断を直売所側で行ったためである。

注9) 「農業従事者数」ではなく，「基幹的農業従事者数」を用いることも考えられる。農家は世帯であり，必ず世帯員の中に農業従事者を有するが，地点によって農家数より基幹的農業従事者数が少ないことがみられた。例えば，地点4の「農家数は70戸，基幹的農業従事者数は54人」，地点5の「農家数は226戸，基幹的農業従事者数は199人」，地点6の「農家数は97戸，基幹的農業従事者数は90人」である。従って，本稿は農業従事者数を用いる。

## V 適用事例における計算結果

### 1 荷役作業時間の考慮の重要性

M直売所の集荷事業の経済性を検討する前に，荷役作業時間を考慮することが，直売所集荷事業の最適スケジュールを算出する上でいかに重要か検証する。これは各地点の初期量（第5，6表）に，荷役等作業時間を0分と設定したモデル（以下，「荷役なしモデル」と呼ぶ）と，積み込み時間2分，積み下ろし時間15秒と設定したモデル（以下，「荷役ありモデル」と呼ぶ）の試算結果比較によって行った。比較期間はアンケート対象月である4月，および繁忙期である12月のそれぞれ平日，土日・祝日の4期間である。

試算結果を第7表に示す。4月，12月の平日は集荷総量が16個以下である。このときの最適集荷スケジュールは荷役なしモデルも荷役ありモデルともに「直売所—地点3—地点4—地点5—地点7—地点8—地点6—地点9—地点10—地点11—直売所」であ

第7表 荷役なしモデルと荷役ありモデルの最適集荷スケジュールリングの比較

|                                   | 荷役なしモデル  |           |             |              | 荷役ありモデル  |           |             |              |             |              |
|-----------------------------------|----------|-----------|-------------|--------------|----------|-----------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                                   | 4月<br>平日 | 12月<br>平日 | 4月<br>土日・祝日 | 12月<br>土日・祝日 | 4月<br>平日 | 12月<br>平日 | 4月<br>土日・祝日 | 12月<br>土日・祝日 | 4月<br>土日・祝日 | 12月<br>土日・祝日 |
| 集荷総量                              | 11個      | 16個       | 34個         | 47個          | 11個      | 16個       | 34個         | 47個          | 34個         | 47個          |
| 集荷車両                              | 1号車      | 1号車       | 1号車         | 1号車          | 1号車      | 1号車       | 1号車         | 2号車          | 1号車         | 2号車          |
| 集荷<br>スケジュール<br>(上から下の順<br>に巡回集荷) | 直売所      | 直売所       | 直売所         | 直売所          | 直売所      | 直売所       | 直売所         | 直売所          | 直売所         | 直売所          |
|                                   | 地点3      | 地点3       | 地点2         | 地点4          | 地点3      | 地点3       | 地点2         | 地点9          | 地点5         | 地点4          |
|                                   | 地点4      | 地点4       | 地点3         | 地点3          | 地点4      | 地点4       | 地点3         | 地点10         | 地点7         | 地点3          |
|                                   | 地点5      | 地点5       | 地点4         | 地点2          | 地点5      | 地点5       | 地点4         | 地点11         | 地点8         | 地点2          |
|                                   | 地点7      | 地点7       | 地点5         | 地点9          | 地点7      | 地点7       | 地点5         | (地点10)       | 地点6         | 地点9          |
|                                   | 地点8      | 地点8       | 地点7         | 地点10         | 地点8      | 地点8       | 地点7         | 直売所          | (地点5)       | 地点10         |
|                                   | 地点6      | 地点6       | 地点8         | 地点11         | 地点6      | 地点6       | 地点8         | 直売所          | 直売所         | 地点11         |
|                                   | 地点9      | 地点9       | 地点6         | (地点10)       | 地点9      | 地点9       | 地点6         | 直売所          | 直売所         | (地点10)       |
|                                   | (地点10)   | 地点10      | 直売所         | 直売所          | (地点10)   | 地点10      | 直売所         | 直売所          | 直売所         | 直売所          |
|                                   | 地点11     | 地点11      | 地点9         | 地点5          | 地点11     | 地点11      | 直売所         | 直売所          | 直売所         | 直売所          |
|                                   | (地点10)   | (地点10)    | 地点10        | 地点6          | (地点10)   | (地点10)    | 直売所         | 直売所          | 直売所         | 直売所          |
|                                   | 直売所      | 直売所       | 地点11        | 地点8          | 直売所      | 直売所       | 直売所         | 直売所          | 直売所         | 直売所          |
|                                   |          |           | (地点10)      | 地点7          |          |           |             |              |             |              |
|                                   |          |           | 直売所         | (地点5)        |          |           |             |              |             |              |
|                                   |          |           |             | 直売所          |          |           |             |              |             |              |
| 運搬量 (個)                           | 11       | 16        | 34          | 47           | 11       | 16        | 27          | 7            | 30          | 17           |
|                                   |          |           |             |              |          |           | 合計: 34      |              | 合計: 47      |              |
| 運搬時間 (分)                          | 65       | 65        | 76          | 89           | 64       | 65        | 57          | 19           | 46          | 43           |
| 荷役時間 (分)                          | 0        | 0         | 0           | 0            | 25       | 36        | 61          | 17           | 68          | 38           |
| 集荷時間 (分)                          | 65       | 65        | 76          | 89           | 90       | 101       | 118         | 35           | 114         | 81           |
| 運搬費用 (円)                          | 2,426    | 2,426     | 2,837       | 3,322        | 2,426    | 2,426     | 2,128       | 1,130        | 1,717       | 2,557        |
|                                   |          |           |             |              |          |           | 合計: 3,258   |              | 合計: 4,274   |              |
| 荷役費用 (円)                          | 0        | 0         | 0           | 0            | 749      | 1,090     | 1,840       | 718          | 2,044       | 1,743        |
|                                   |          |           |             |              |          |           | 合計: 2,558   |              | 合計: 3,787   |              |
| PC (円)                            | 2,426    | 2,426     | 2,837       | 3,322        | 3,176    | 3,517     | 3,967       | 1,848        | 3,761       | 4,300        |
|                                   |          |           |             |              |          |           | 合計: 5872    |              | 合計: 8,061   |              |
| BC (円)                            | 330      | 480       | 1,020       | 1,410        | 330      | 480       | 1,020       |              | 1,410       |              |
| TC (円)                            | 2,846    | 2,906     | 3,857       | 4,732        | 3,506    | 3,997     | 6,835       |              | 9,471       |              |

資料: 計算の結果により、著者作成。

注: 1) 直売所は地点1。

2) 集荷スケジュールにおける括弧は経由するだけの地点であり荷役は行われない。

3) 小数点は四捨五入。

4) 初期量は第4表と第5表から、運搬量は(9)式における $\sum_{i \in [P \cup U]} e_i^k$ の計算結果から、運搬時間は(11)式における $\sum_{i \in P} \sum_{j \in P} d_{ij}^k x_{ij}^k$ の計算結果から、荷役時間は(11)式における $\sum_{i \in P} l_i^k t_i^k + \sum_{i \in P} u_i^k t_u^k$ の計算結果から、集荷時間は(11)式の計算結果から、運搬費用は(3)式における $\sum_{i \in P} \sum_{j \in P} \sum_{k \in K} d_{ij}^k \cdot x_{ij}^k \cdot (c_i^k + f^k + c_j^k)$ の計算結果から、荷役等作業費用は(3)式における $\sum_{i \in P} \sum_{k \in K} (l_i^k t_i^k + u_i^k t_u^k) \cdot (c_i^k + c_j^k)$ の計算結果から、PCは集荷費用であり、(3)式の計算結果から、BCはバックヤード費用であり、(2)式の計算結果から、TCは集荷総費用であり、(1)式の計算結果からの最適値である。

り、荷役の有無は計算上、問題となっていない。しかし、4月、12月の土日・祝日は集荷総量がそれぞれ34個と47個であり、この時、最適集荷スケジュールは両モデル間で大きく異なった。紙幅の関係で4月の土日・祝日のみを詳細に説明するが、荷役なしモデルでは、1号車が集荷ルートを2周巡回している(1周目のスケジュール:「直売所—地点2—地点3—地点4—地点5—地点7—地点8—地点6—直売所」、2週目のスケジュール:「直売所—地点9—地点10—地点11—直売所」)。これは、集荷車両の積載量に対する制約が働き、1号車が2周することでこれを解決するように解が導かれたためである。一

方で、荷役ありモデルでは2台の集荷車両が用いられ、集荷ルートを1号車が「直売所—地点2—地点3—地点4—地点5—地点7—地点8—地点6—直売所」を、2号車が「直売所—地点9—地点10—地点11—直売所」を分けて巡回する結果となった。これは、車両の運搬時間と荷役等作業に対する集荷の時間制限において制約が働き、1号車(運搬量27個)だけではなく、2号車(運搬量7個)も使う必要が出たためである。12月の土日・祝日のモデル間の相違も同様の理由である。

ここで、仮に4月、12月の土日・祝日に、荷役なしモデルの結果から得られた最適集荷スケジュール

を実践したとしよう。実際の集荷では荷役等作業が発生するため、4月の土日・祝日には運搬時間76分に、荷役等作業時間77分<sup>注10)</sup>が加わり、実際の集荷時間は153分となる。この結果は、集荷の制限時間120分を超えることになる。さらに、12月の土日・祝日の集荷に関しては、運搬時間89分に、荷役等作業時間106分<sup>注11)</sup>が加わり、実際の集荷時間は195分と集荷時間の超過は一層拡大する。

以上の結果から示唆されるのは次の通りである。従来のVRPにおける運搬車のみの時間制約から構築したモデルを用いて集荷を設計すると、集荷の利用量が少ない集荷事業の導入段階においては、集荷の制限時間内に集荷を完了することができるかもしれない。しかし、集荷サービスの普及が進んだ際の繁忙期や、集荷サービスの導入によって新規の出荷者が顕在化する場合など（金ら、2021）、集荷利用量が増加すると、集荷の制限時間内における集荷スケジュールの算出が困難となるであろう。また、今後の高齢化の進展を考えると、集荷の利用量が増加すると予想される。従って、直売所の集荷物流モデルにおいて現実的な解を得るためには荷役等作業時間を考慮する必要があるといえる。

2 経済的な集荷事業の実現可能性の検討

(1) 最適な集荷スケジュールの算出結果

以下では、第1図のフローチャートのStep3として、Step2から得た集荷コンテナ数（平日：第5表、土日・祝日：第6表）を用いて、M直売所における最適な集荷を計算し、その結果を説明する。計算は荷役ありモデルから12か月間の平日と土日・祝日の24パターンを計算した。計算結果として1年間における月別の最適集荷スケジュールを第8表に、集

荷総費用（TC）を丁度補償する集荷利用手数料（CP）を第9表に示す。

まず、月別の集荷スケジュールを説明すると（第8表）、集荷総量の少ない平日における集荷スケジュールはいずれの月も同じである。しかし、土日・祝日における月別の集荷スケジュールは集荷総量によって異なる。7月はM直売所の端境期であり、集荷総量が少ないため、時間制約が働いていない。他の月は1号車が集荷の時間制限内に全地点のコンテナを収集できないため、2号車が投入される。さらに、1号車は2号車より稼働費用が安いいため、集荷の制限時間内に1号車が優先的に配車されるが、集荷総量の増加に伴い、2号車の運行ルート

第9表 M直売所における集荷総費用（TC）を丁度補償する集荷利用手数料（CP）

| 出荷者数<br>(人/日) | 集荷総費用を丁度補償する集荷利用手数料（CP）<br>( $b=4,500$ 円) |                   |                     |
|---------------|-------------------------------------------|-------------------|---------------------|
|               | 平日のみ集荷<br>(%)                             | 土日・祝日のみ<br>集荷 (%) | 一か月間の集荷<br>(合計) (%) |
| 1月            | 5.78                                      | 4.51              | 5.07                |
| 2月            | 5.78                                      | 4.55              | 5.02                |
| 3月            | 6.03                                      | 4.47              | 5.12                |
| 4月            | 7.08                                      | 4.47              | 5.56                |
| 5月            | 8.08                                      | 5.32              | 6.47                |
| 6月            | 8.08                                      | 5.32              | 6.44                |
| 7月            | 11.03                                     | 4.88              | 7.41                |
| 8月            | 8.08                                      | 5.45              | 6.54                |
| 9月            | 6.03                                      | 4.68              | 5.21                |
| 10月           | 5.55                                      | 4.51              | 5.00                |
| 11月           | 5.78                                      | 4.53              | 5.07                |
| 12月           | 5.55                                      | 4.48              | 4.95                |
| 年間            | 6.51                                      | 4.70              | 5.46                |

資料：計算の結果により、著者作成。

第8表 M直売所における月別の最適集荷スケジュールリングの計算の結果

| mf=20                         | 平日    | 1～12月 |        | ・   |        |     |      |     |         |     |      |     |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-----|--------|-----|------|-----|---------|-----|------|-----|
| mf=40                         | 土日・祝日 | 7月    | 5,6,8月 |     | 3,4,9月 |     | 11月  |     | 1,2,10月 |     | 12月  |     |
| 集荷総量                          |       | ～20個  | 24～25個 |     | 29～36個 |     | 39個  |     | 42個     |     | 47個  |     |
| 集荷車両（号車）                      |       | 1     | 1      | 2   | 1      | 2   | 1    | 2   | 1       | 2   | 1    | 2   |
| 集荷スケジュール<br>（上から下の順に<br>巡回集荷） | 直売所   | 直売所   | 直売所    | 直売所 | 直売所    | 直売所 | 直売所  | 直売所 | 直売所     | 直売所 | 直売所  | 直売所 |
|                               | 地点3   | 地点3   | 地点2    | 地点2 | 地点9    | 地点3 | 地点2  | 地点4 | 地点3     | 地点5 | 地点4  |     |
|                               | 地点4   | 地点4   | 直売所    | 地点3 | 地点10   | 地点4 | 地点9  | 地点5 | 地点2     | 地点7 | 地点3  |     |
|                               | 地点5   | 地点5   |        | 地点4 | 地点11   | 地点5 | 地点10 | 地点7 | 地点9     | 地点8 | 地点2  |     |
|                               | 地点7   | 地点7   |        | 地点5 | 直売所    | 地点7 | 地点11 | 地点8 | 地点10    | 地点6 | 地点9  |     |
|                               | 地点8   | 地点8   |        | 地点7 |        | 地点8 | 直売所  | 地点6 | 地点11    | 直売所 | 地点10 |     |
|                               | 地点6   | 地点6   |        | 地点8 |        | 地点6 |      | 直売所 | 直売所     |     | 地点11 |     |
|                               | 地点9   | 地点9   |        | 地点6 |        | 直売所 |      |     |         |     | 直売所  |     |
|                               | 地点10  | 地点10  |        | 直売所 |        |     |      |     |         |     |      |     |
|                               | 地点11  | 地点11  |        |     |        |     |      |     |         |     |      |     |
|                               | 直売所   | 直売所   |        |     |        |     |      |     |         |     |      |     |

資料：計算の結果により、著者作成。

- 注：1) 直売所は地点1。  
2) 集荷スケジュールにおける経路地点の表記は省略。  
3)  $mf$ は1日当たりの出荷者数である。

が増加する。例えば、2号車の訪問地点は、5,6,8月(24~25個)が地点2のみであるが、3,4,9月(29~36個)は地点9, 10, 11で3つの地点、11月(39個)は地点2, 9, 10, 11で4つの地点、1,2,10月(42個)は地点3, 2, 9, 10, 11で5つの地点、12月(47個)は地点4, 3, 2, 9, 10, 11で6つの地点と増えていく。以上から月別の集荷総量の変動により、月間においても最適集荷スケジュールが変更されていることがわかる。

## (2) 経済的な集荷事業の実現可能性の検討

以下では、第1図のフローチャートのStep4として、M直売所における最適な集荷の経済的な実現可能性を検討する。まずコンテナ1個当たりの平均売上額( $b$ )は金ら(2021)を参照し、 $b=4,500$ (円/コンテナ個)と設定する。次に、現在、M直売所における集荷利用手数料5%を集荷サービスの利用者が受け入れ可能な利用料と定め<sup>注12)</sup>、算出したCPが、5%以下で運用できるか否かを確認する(第9表)。一か月間の集荷におけるCPをみると、5%以下で運用可能な月は10月(5.00%)、12月(4.95%)しかない。一方で、月別の土日・祝日のみの集荷事業の運用をみると、5%以下で運用できない月は5月(5.32%)、6月(5.32%)、8月(5.45%)であり、それ以外の月における土日・祝日のみの集荷の運用は5%以下で実現可能であるといえる。更に、通年における集荷事業のCPは5.46%であり、5%以下での集荷の実現可能性はない。一方で、通年の集荷の運用を土日・祝日に限定すると、CPは4.70%となり、経済的な実現可能性はあるという試算結果が得られた。

## 3 集荷事業の実施可能な最大規模

以下では、第1図のフローチャートのStep3における、集荷設計の最適解がない場合、言い換えれば実施可能な集荷の最大規模について確認する。これは、直売所の1日出荷者数をパラメトリックに増やすことで、集荷総量を増やしていき、解が得られない時点まで計算を行った。計算の結果、M直売所の現状(保有車両2台、職員2人、制限時間2時間)では、集荷総量62個以上から解がないという結果を得た。これは表5, 6に見る集荷予想数(初期量)に対してかなり余裕があることを示している。仮にこの最大規模を超える集荷希望数が出てくる場合は、フローチャート(Step3の左側)の通り資源や時間の制約を緩める対策が必要となってくる。ただし、集荷の時間制限を緩めることは集荷作業の開始時間がより早くなることになり、その集荷の想定の変更に対して、利用者の意識を再確認する必要がある。

注10) 計算の単純化のため、荷役等作業はコンテナ1個当たり積み込み1回、積み下ろし1回ずつ発生すると仮定する。コンテナ34個の荷役等作業時間は「 $34 \text{ 個} \times 2 \text{ 分/個} + 34 \text{ 個} \times 0.25 \text{ 分/個} = 77 \text{ 分}$ 」である。

注11) 計算の単純化のため、荷役等作業はコンテナ1個当たり積み込み1回、積み下ろし1回ずつ発生すると仮定する。コンテナ47個の荷役等作業時間は「 $47 \text{ 個} \times 2 \text{ 分/個} + 47 \text{ 個} \times 0.25 \text{ 分/個} = 106 \text{ 分}$ 」である。

注12) 第3章に述べたよう、本来は「Step2 から得られた集荷利用者が支払ってもよいとする利用料金額がCPを上回るかを確認し、集荷の経済的な実現可能性を判断する」ことが望ましい。しかし、今回のアンケート調査の回答者は6人であり、サンプルサイズが少ない。一方で、M直売所は2008年から集荷利用手数料5%で集荷サービスを行っており、その5%はM直売所が把握している農家の受け入れ可能な利用手数料であるといえる。従って、今回の集荷事業の実現可能性の検討では、5%を基準とする。

## VI 結論

本稿をまとめると、第1に、VRPの一つのモデルとして、直売所の集荷の実態を反映した集荷物流モデルを構築した。直売所の集荷の実態とは集荷の際に農産物の検品および手荷役、店舗情報を伝達する時間が欠かせないこと、また、短時間で集荷を完了させなければならない中で、これら荷役等作業時間の占める時間が大きいことである。そのため、構築したモデルでは運搬時間だけではなく、荷役等作業時間を明示的に考慮するモデルとなっている。

第2に、荷役等作業時間を考慮しないモデルと考慮するモデルを比較することで、総集荷量が多い時、前者では実現不可能な集荷スケジュールを最適解として算出することを示し、本稿で構築した荷役を考慮するモデルの必要性を明らかにした。

第3に、本稿の集荷物流モデルを用いて直売所における最適集荷スケジュールの設計と集荷事業の実現可能性を検討するフローチャートを提示した(第1図)。

第4に、提示したフローチャートをM直売所の事例に適用し、最適集荷の設計と、集荷事業の実現可能性の分析例を示した。また、一定の仮定の下での試算ではあるが、適用事例では平日を含めた通年における集荷事業の可能性はなく、土日・祝日における通年集荷は利用手数料4.70%で実現可能であるという試算結果を得た。ただし、集荷利用意向アンケートの回収率が低く、多くの仮定をおいた上で月別・地点別の集荷利用量を推計しているため、集荷利用量の予測精度が低いことに留意する必要がある。補完的に現場からのフィードバックを以下に示

す。シミュレーション分析結果を2024年1月24日にM直売所運営会社の集荷事業担当者に報告した上で、①地点間の集荷利用予測数については、ある程度現実に沿った数字である、②現行の集荷体制、2時間の集荷時間制限において集荷可能なコンテナ数の最大値の試算結果についても妥当なものである、しかし、③具体的な集荷利用量は集荷事業を行ってみないと分からない、という意見を頂いた。また、本モデルが2～3時間で計算可能であるということから、集荷利用希望を集約する仕組みがあれば、本稿のモデルを実際に運用したいという希望が示された。

以上のように、本稿は、運搬時間と共に荷役作業時間のシェアも大きな場合のVRPの新しいモデルを提示し、かつその重要性を数値例で示した点に学術上の新規性を求めることができる。それと共に、実務上の貢献は「集荷設計において現場のニーズに即答可能なモデル」を構築したことである。今回、集荷設計に用いた手法は数理計画法であり、NP困難問題である。以前は最適解の計算自体が困難であったが、近年におけるパソコンの演算能力の発展により、一般的なコンピューターにおいても比較的短時間で計算できるようになった。今回の分析は通常のパソコン<sup>注13)</sup>を用いて分析を行った。第9表における各列の演算時間は最小1分、最大3時間であった。集荷事業の実施可能な最大規模を求めるために、最も計算量が多くなった集荷総量61個のケースでも、計算時間は約25時間であった。以上より、これは直売所の現場でも、二日前までに各出荷者からの集荷サービスの利用希望数が得られれば、当日の最適集荷のスケジュールを計算することができ、最小費用での集荷サービスを実現することが可能であることを意味する。例えば、集荷の導入を検討する段階において、実験的に集荷事業を行う場合においては、顕在化した集荷希望数に対して、集荷総費用を丁度補償するのに必要な手数料が即時に計算可能になり、集荷事業の実現性を判定できる。

なお、金ら(2021)でも言及されているように、集荷サービス利用における価格設定の相場観の把握が利用者にとって困難となってくる恐れがある。直売所へ出荷する一つの理由として、自ら自由な出荷品目と価格の設定が可能なが言われており、それらの意思決定は直売所店舗へ出荷する際に他の出荷者の品目、その品質・量・価格設定など、また、前日の売行き、売れ残りなど、総合的な情報に基づき行われる<sup>注14)</sup>。しかし、集荷サービスの利用により、出荷者は直売所の店舗の総合的な相場観を把握することができず、集荷担当者の情報に頼るしかない。今後、相場観の参考となりうる情報として卸売市場価格、前日における直売所の平均価格など全体的な市況の把握が可能な情報をWebかメールで共有する必要はあると考えられる。その間接的な情報

の共有ができれば、集荷サービス利用者は拠点に自身の商品を置くだけで、出荷が簡単に済むことになる。

最後に、本研究の大きな限界として、集荷時間に対する選好が考慮されていないことがあげられる。今回のシミュレーション分析における集荷時間は6時半から8時半まで、2時間の時間差があり、早い時間においては利用意向が低下する可能性が考えられる。その他にも、集荷利用料、庭先から最寄りの集荷拠点までの距離など、集荷利用意向に影響を与える要素が複数考えられる。これら要素の組み合わせが集荷利用意向にどのような影響するか、今後コンジョイント分析などの適用が求められる。

注13) 仕様がCPU i7, RAM 16.0GBのデスクトップであり、金額は約15万円である。

注14) 金ら(2021)によると、調査時、現在M直売所の集荷サービスの利用者の価格設定は、直売所店舗へ当日に出荷された品目別の平均的な価格をもとに設定されている。しかし、今回の調査から再確認した結果、実はM直売所における現行の集荷サービスは通常の出荷者も集荷サービスの利用ができるよう、自ら価格を設定することができる。金ら(2021)における集荷サービスの利用者の一部は直売所へ出荷したことが無い農家であり、自らの価格設定に困難を感じていたため、要望により、M直売所が当日の平均価格で設定した。また、他の直売所に出荷している一部の集荷サービス利用者も、その平均価格が受け入れ可能な価格設定であったと考えられる。しかし、相場観の把握が困難であることは変わらない。

#### [付記]

本投稿にあたってその費用について高橋伊一郎食料流通研究基金より支援を受けた。

#### [引用文献]

- Alexander Hübner and Manuel Ostermeier (2019) A Multi-Compartment Vehicle Routing Problem with Loading and Unloading Costs, *Transportation Science* 53(1): 282–300. <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0775>.
- 雨森孝悦(2016)「庭先集荷の持続可能性に関する一考察：高知県における事例から」『日本福祉経済論集』52：87–96. <http://id.nii.ac.jp/1274/00002609/>.
- André van Vliet, C. Guus E. Boender and Alexander H. G. Rinnooy Kan (1992) Interactive Optimization of Bulk Sugar Deliveries, *Interfaces* 22(3): 4–14. <https://www.jstor.org/stable/25061617>.
- Belarmino Adenso-Díaz, Mónica González and Emérita García(1998) A Hierarchical Approach to Managing Dairy Routing, *Interfaces* 28(2): 21–31. <https://doi.org/10.1287/inte.28.2.21>.
- Bruce Golden, Arjang Assad, Larry Levy and Filip Gheysens (1984) The fleet size and mix vehicle routing

- problem, *Computers & Operations Research* 11(1): 49-66. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(84\)90007-8](https://doi.org/10.1016/0305-0548(84)90007-8).
- Dantzig. G. B. and Ramser. J. H. (1959) The Truck Dispatching Problem, *Management Science* 6(1) : 80-91. <https://www.jstor.org/stable/2627477>.
- Eiselt. H. A., Michel Gendreau and Gilbert Laporte (1995) Arc Routing Problems, Part I: The Chinese Postman Problem, *Operations Research* 43(2): 231-242. <https://doi.org/10.1287/opre.43.2.231>.
- Emmanouil E. Zachariadis, Christos D. Tarantilis and Chris T. Kiranoudis (2015) The load-dependent vehicle routing problem and its pick-up and delivery extension, *Transportation Research Part B: Methodological* 71: 158-181. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.11.004>.
- Gerald G. Brown and Glenn W. Graves (1981) Real-Time Dispatch of Petroleum Tank Trucks, *Management Science* 27(1): 19-32. <https://doi.org/10.1287/mnsc.27.1.19>.
- Gerald G. Brown, Carol J. Ellis, Glenn W. Graves and David Ronen (1987) Real-Time, Wide Area Dispatch of Mobil Tank Trucks, *Interfaces* 17(1): 107-120. <https://gtl.csa.iisc.ac.in/scm/mobil.pdf>.
- Gilbert Laporte, Martin Desrochers and Yves Nobert (1984) Two exact algorithms for the distance-constrained vehicle routing problem, *Networks* 14(1): 161-172. <https://doi.org/10.1002/net.3230140113>.
- Hokey Min (1989) The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points, *Transportation Research Part A: General* 23(5): 377-386. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(89\)90085-X](https://doi.org/10.1016/0191-2607(89)90085-X).
- 金東壹・森高正博・劉然・Seifeddine Ben Taieb・福田晋 (2021)「農産物直売所における集荷サービスの成立条件—中山間地域の事例による検証—」『農業市場研究』30 ( 1 ) : 1-14. [https://doi.org/10.18921/amsj.30.1\\_1](https://doi.org/10.18921/amsj.30.1_1)
- 高知県自治研究センター (2008)「コミュニティ・ビジネス研究」『2007年度年次報告書』. <https://kochi-jichiken.jp/category/past-articles/investigation/>.
- 久保幹雄・田村明久・松井知己 (2012)『応用数理計画ハンドブック』朝倉書店.
- 久間生活研究会 (2014)「地域農産物の集配システム開発等にかかる調査実績報告書」『中山間高齢農業者地域活性化モデル事業』.
- 毎日新聞 (2017)「中泊・直売所：商品不足解消へ 高齢者宅から集荷 生産者のやりがいも創出／青森」2017年7月7日地方版.
- 森岡亜紀 (2018)「全国農林水産物直売所・実態調査から見える直売所の今と野菜販売」『野菜情報』48-58. <https://www.alic.go.jp/content/000151893.pdf>.
- 森高正博 (2013)「コントラクターを起点とした自給飼料の流通圏域計測モデルの構築」『平成24年度畜産関係学術研究委託調査報告書』. <https://www.alic.go.jp/content/000101070.pdf>.
- 日本農業新聞 (2018)「直売所の集出荷支援 巡回トラック 機材レンタル システム構築へ 農水省」2018年2月24日.
- 西日本新聞 (2009)「長崎県／農水産物直売所をネット化 集出荷システム構築目指す 松浦市が地産地消推進計画を策定／県北」2009年1月31日.
- 農林水産省 (2016)「農林水産物直売所取組事例集」. [https://www.maff.go.jp/j/nousin/inobe/chisan\\_chisyo/toikumi\\_chokubai.html](https://www.maff.go.jp/j/nousin/inobe/chisan_chisyo/toikumi_chokubai.html).
- Rodolfo Dondo, Carlos A. Méndez and Jaime Cerdá (2011) The multi-echelon vehicle routing problem with cross docking in supply chain management, *Computers & Chemical Engineering* 35(12): 3002-3024. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2011.03.028>.
- 産直農業新聞 (2014)「島根県 JA 雲南に学ぶ, 中山間地のネットワーク型直売事業—すべては農家のために」2014年6月10日.
- 新開章司 (2023)「農産物直売所の発展と地産地消への貢献—変化する社会環境への戦略的対応—」『食農資源経済論集』74 ( 1 ) : 23-35.
- Surya Sahoo, Seongbae Kim, Byung-In Kim, Bob Kraas and Alexander Popov, Jr. (2005) Routing Optimization for Waste Management, *Interfaces* 35(1): 24-36. <https://doi.org/10.1287/inte.1040.0109>.
- 種市豊 (2020)「過疎地・農山村における農産物輸送の課題：「基幹型輸送」と「地域内小ロット輸送」の視点からみた巡回集荷の解明」『農業市場研究』29 ( 3 ) : 25-33. [https://doi.org/10.18921/amsj.29.3\\_25](https://doi.org/10.18921/amsj.29.3_25).
- 友永公生 (2008)「小金稼ぎが地域の元気をつくる 持続可能な集落をめざして・高知県黒潮町」『月間自治研』50 : 41-49.
- 辻紳一 (2020)「中山間地域の道の駅におけるバリューチェーンの競争優位に関する一考察—安くて新鮮な農産物を販売する道の駅の事例から—」『関西ベンチャー学会誌』12 : 32-42. [https://doi.org/10.24801/kansaiv.12.0\\_32](https://doi.org/10.24801/kansaiv.12.0_32).

(2024年12月4日受理)