

令和 7 年 5 月 26 日現在

機関番号：32682
研究種目：若手研究
研究期間：2021～2024
課題番号：21K14368
研究課題名（和文）フードデリバリーにおける注文のバッチサイズを動的に決定するアルゴリズムの開発

研究課題名（英文）Japanese

研究代表者
高澤 陽太郎（Takazawa, Yotaro）
明治大学・経営学部・専任講師

研究者番号：20871130
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：オンデマンド型フードデリバリーが都市生活を支える今日、本研究は従業員とクラウドソーサーを併用する運用の最適化に注力した。(1) クラウドソース主体のシフト編成を罰金付きセットマルチカバー問題として定式化し、精度保証付き近似解法を提案した。(2) 需要予測に基づく混合整数計画で配達を動的に割当て、サービス品質を維持しつつ人件費を抑制する指針を示した。さらに、フードテック（代替肉等）に関するSNS意識調査を実施し、消費者志向を把握して将来のサービス設計に活かす可能性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
フード領域が直面する近未来の課題に対し本研究は実証・理論的成果を得た。具体的には、常勤の従業員とクラウドソーサーが混在する二重雇用構造がある際のオペレーションの最適化を行った。そこでは理論保証のあるアルゴリズムを提案できた一方で、実務的に効率的な運営を行うための道筋も得ることができた。また、代替肉への消費者受容をSNS解析で定量化し、次世代フードテックのサービス設計に資する知見を提供した。

研究成果の概要（英文）：On-demand food delivery had become an essential part of urban life. This study aimed to improve such services by coordinating both in-house and crowdsourced couriers.(1) We framed the shift-scheduling problem for crowdsourced couriers as a prize-collecting set multi-cover problem and developed an approximation algorithm with a proven performance guarantee.(2) Using demand forecasts, we built a mixed-integer programming model that assigned orders online, maintained service quality, and reduced labor costs.

Finally, we analyzed social-media data on consumer attitudes toward food tech, especially alternative meats, and discussed how these insights could guide future service design.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：フードデリバリー クラウドソーシング 近似アルゴリズム オペレーションズ・リサーチ フードテック

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年、**Uber Eats** や 出前館 に代表されるフードデリバリーサービスの需要が世界的に急増し、ユーザーは単一のアプリから多様な飲食店の料理を注文できるようになった。注文が発生するとプラットフォームはエリア内に点在する自社配達員へタスクを割り当て、配達員は店舗で商品を受け取り利用者宅へ届ける。こうしたサービスでは各注文の配達時間をいかに短縮するかが重要課題であり、都市部ではとりわけ注文密度が高いため、一定時間(分)注文を蓄積して「注文バッチ」を作成し、その後まとめて配達員へ割り当てる方法が導入され始めている。

注文バッチが一度定まれば、その後は「バッチ内の注文をどの配達員に割り当てるか」というピックアンドドロップ型配送計画問題に帰着でき、既存研究ではこの最適化を高速に解くアルゴリズムが多く提案されてきた。一方で、時間間隔はアルゴリズムに影響が大きいものの、経験に基づく設定や外部から一方的に与えられることが多く、理論・定量的に議論されてはいない。

したがって本研究では、「そもそも注文バッチをどのようにどのようにして決めるべきか」という時間間隔の設計を学術的な核心課題として設定した。バッチ生成のタイミング次第で配送効率と遅延リスクが大きく変動するにもかかわらず、最適な時間間隔を決める理論的指針は未確立である。そこで、本研究は「注文バッチ作成の時間間隔の設定」を主たる問いとし、数理的な分析と実データ検証の両面から解決を図ることを目的としていた。

2. 研究の目的

本研究は、当初想定していた「注文を一定時間(分)ごとに蓄積するバッチ間隔の最適化」から踏み出し、常勤配達員とクラウドソーサーが併存する雇用構造を前提にフードデリバリー運営全体を最適化することを新たな主眼とした。背景には、フルタイム稼働者から高まる「業務委託ではなく社員雇用を望む」との声と、短時間勤務を希望するギグワーカーの増加があり、両者の利害を調整できる枠組みの整備が急務となっている。そこで本研究は、二重雇用体制下で顕在化する実務上の課題を整理し、配達員シフト計画と注文割り当てを両立的に最適化する数理的手法を構築することを目的とした。また、フードデリバリーをフードテック全般の一領域と位置づけ、代替肉など新興フードテック商品に対する消費者の反応を **SNS** データから解析し、サービス設計や今後の研究課題の検討に資する補足的知見を得ることも併せて目指した。

3. 研究の方法

本研究では、常勤配達員とクラウドソーサーが併存する二重雇用体制において顕在化する実務上の課題を、勤務前にあらかじめ決めておくシフト設計、注文発生後に行う配送時の割り当てという二つの段階に整理したうえで、それぞれを数理最適化問題として定式化し、解決アルゴリズムの検討を行った。まずシフト設計では、勤務時間や不確実な需要充足などの主要制約を抽出し、常勤配達員とクラウドソーサーを同一枠組みで扱えるモデルを構築した。次に配送時の割り当てでは、到着する注文をリアルタイムで両者に振り分ける方策を設計し、サービス品質と人件費削減の両立を図ることを目指した。各段階で採用したモデル化の枠組みと計算手法は、理論的妥当性と実務上の計算時間を両立させることを重視している。

加えて、本研究ではフードデリバリーをフードテックの一領域と位置づけ、代替肉に関する **Twitter** (現 **X**) の投稿を収集し、道徳的観点を踏まえたテキスト分析を実施した。得られた消費者の反応傾向は、サービス設計や今後の研究課題を検討する際の補足的知見として整理した。

4 . 研究成果

(1) シフト最適化

各時間帯の必要人数を満たす従来のシフト問題は集合多被覆問題として定式化できる。二重雇用体制では需要が不確実であり、常勤配達員が不足した際には追加コストを払ってクラウドソーサーを呼び込む必要があり、異なるモデルが必要となる。そこで本研究は、この状況を罰則付き集合多被覆問題 (**prize-collecting set multi covering problem**) としてモデル化し、常勤配達員のシフトを決める枠組みを提示した。

当該問題は **NP** 困難であり、最適解を効率的に求めることは理論的には困難であるため、線形緩和を基にしたラウンディング技法を適用し、被覆すべき要素数 n に対して $O(\ln n)$ 近似保証を持つ多項式時間アルゴリズムを設計した。これにより、計算時間を抑えつつ、常勤配達員の過不足とクラウドソースコストをバランスよく最小化できることを確認した。

(2) 注文割り当て最適化

注文が発生するたびに常勤配達員とクラウドソーサーのいずれにタスクを振り分けるかという問題は、将来の需要が未知のまま意思決定を行うオンライン型マッチング問題として捉えられる。本研究では配達遅れ件数 (設定した到着目標時刻を超えた注文数) とクラウドソース活用コストを同時に抑えることを目的とし、シナリオベースの割り当て方式を開発した。具体的には、過去ログから抽出した近似的な需要パターンをサンプリングし、現在から約三十分先までの需要を複数シナリオとして生成する。各シナリオについて混合整数計画を解いて「もし将来がそのシナリオ通りなら最良となる割り当て」を求め、得られた複数解を重ね合わせて直近の注文を決定する手順を採用した。

実サービスの運用ログを再生したシミュレーションの結果、提案手法は単純な割り当て方法と比べて、配達遅れ件数とクラウドソース依存コストの双方を着実に減少させることが確認された。計算時間も実務上許容範囲に収まり、ピーク時でもリアルタイム運用が可能な水準である。これらの結果をまとめた論文は現在投稿準備中である。

(3) SNS 分析 代替肉に対する社会的反応の変化

代替肉がどのような価値観で語られてきたのかを把握するため、本研究では公開 **Twitter** (現 **X**) の英語・日本語投稿を収集し、投稿内の単語を道徳基盤理論に基づく辞書で分類した。分析の結果、調査初期の議論は「味」や「健康」といった機能的要素に集中していたが、年を追うごとに環境保護や動物福祉を理由に代替肉を支持する投稿が増え、関心軸が多様化していることが分かった。特に英語圏では、日本語圏と比べて道徳語の使用率が高く、代替肉を倫理的選択として位置づける傾向が顕著になっている。

この変化は、代替肉が単なる味覚や健康志向の商品から、環境や動物をめぐる道徳的配慮と密接に結びついたフードテック商品へと移行の兆しがあることを示唆する。フードデリバリーを含むフードテックのサービス側にとっても、今後は価格や利便性に加え、倫理的メッセージをどのように発信するかが利用者の受容を左右する重要な要素になるとも考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takazawa Yotaro	4. 巻 50
2. 論文標題 Approximation algorithm for the stochastic prize-collecting set multicover problem	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Operations Research Letters	6. 最初と最後の頁 224 ~ 228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orl.2022.02.003	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 Hashimoto Moena, Takazawa Yotaro, Sasahara Kazutoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Are meat alternatives a moral concern? A comparison of English and Japanese tweets	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Humanities and Social Sciences Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1057/s41599-024-03766-z	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10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 M. Hashimoto, Y. Takazawa, K. Sasahara
2. 発表標題 Does Morality Facilitate the Purchase of Meat Alternatives?
3. 学会等名 9th International Conference on Computational Social Science (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋本萌那, 高澤陽太郎, 笹原和俊
2. 発表標題 道徳は代替肉の消費意欲を高めるか?
3. 学会等名 The 2nd Conference of Computational Social Science of Japan (CSSJ2023)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Moena Hashimoto, Yotaro Takazawa, Kazutoshi Sasahara
2. 発表標題 How Has Food Become a Moral Concern? A Case Study of Meat Alternatives on Twitter
3. 学会等名 8th International Conference on Computational Social Science (IC2S2) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高澤 陽太郎
2. 発表標題 一次の最大・最小の期待値に対する誤差とブレイクポイント数の保証付き区分線形近似
3. 学会等名 日本オペレーションズリサーチ学会 2023年春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高澤 陽太郎
2. 発表標題 フードデリバリーサービスにおける従業員のシフト最適化問題に対する近似アルゴリズム
3. 学会等名 2021年度科研費シンポジウム 機械学習システムの社会実装に向けた次世代最適化技法の研究
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高澤 陽太郎
2. 発表標題 カバー回数が不確実な状況下でのセットマルチカバー問題に対する近似アルゴリズム
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高澤 陽太郎
2. 発表標題 Approximation algorithm for the stochastic prize-collecting set multicover problem
3. 学会等名 「最適化:モデリングとアルゴリズム」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本 萌那, 高澤 陽太郎, 笹原 和俊
2. 発表標題 代替肉ツイートの変遷にみる「食」の道德化
3. 学会等名 第1回計算社会科学会大会 (CSSJ2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本 萌那, 高澤 陽太郎, 笹原 和俊
2. 発表標題 Twitterデータ分析から見えた消費者の食に関する価値観の変化 代替肉普及の観点より
3. 学会等名 日本マーケティング学会 第10回マーケティングカンファレンス2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本 萌那, 松尾 朗子, 高澤 陽太郎, 笹原 和俊
2. 発表標題 代替肉を購入するのはどのような消費者か? 製品別購入要因の日米比較
3. 学会等名 2024年度 日本マーケティング学会 (第13回)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔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
---------	---------