

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04907

研究課題名(和文) 移動シェア問題に対するニューラルネットワークを用いたオンラインアルゴリズムの開発

研究課題名(英文) Development of an online algorithm using neural networks for the sharing economy

研究代表者

松浦 隆文 (Matsuura, Takafumi)

日本工業大学・先進工学部・准教授

研究者番号：70579771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、移動×シェアの利便性を向上させ、利用者を増加させることである。目的を達成するために、運用上の問題点を組合せ最適化問題として定義し、その問題に対する解法を開発した。相乗りタクシーは、乗客の要望に沿った同乗者の決定とタクシーの最適な経路を同時に決定する問題を定義した。数値実験の結果、相乗りにより乗客の運賃は減少し、タクシー会社の利益は向上することを確認した。シェアサイクリングの課題は、駐輪ポートにおける自転車の再配置を効率的に行うことであるため、複数の配送車による自転車再配置問題を定義した。更に、タブー探索を基盤とした解法を開発し、再配置作業を短時間で済ませる経路の構築に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、持続可能な社会に不可欠なシェアリングエコノミーを普及させるために、その妨げになる課題を解決するといった社会的な意義を有している。具体的には、移動をシェアする相乗りタクシーやシェアサイクルで発生している課題を組合せ最適化問題として捉え、その問題に対する効率的な解法を開発している。提案した組合せ最適化問題の制約条件は非常に厳しく、問題設定によっては実行可能な解を求めることが困難であった。そのような問題に対し、実行不可能な解から実行可能な解を構築する手法を開発するといった学術的意義も有している。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to improve the convenience of shared taxis and bike-sharing systems, which are part of the sharing economy. To achieve this purpose, first, we presented operational problems and proposed combinatorial optimization problems to solve them. Then, we developed a heuristic algorithm for solving the problem. With regard to shared-ride taxis, we matched the passengers with the passengers in accordance with their requests. As a result, we confirmed that the taxi company's profits increased and passenger fares decreased. The problem with the bike-sharing system is to efficiently relocate bicycles at bicycle parking ports. To solve this problem, we proposed a multiple bicycle sharing system routing problem (mBSSRP) by using many vehicles. To solve mBSSRP in a short time, we proposed a heuristic method based on the tabu search. The proposed method successfully constructs the route of vehicles in a short time.

研究分野：数理最適化, メタヒューリスティックス, 組合せ最適化

キーワード：シェアリングエコノミー バイクシェアリングシステム 相乗りタクシー 組合せ最適化 メタヒューリスティックス

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

脱炭素社会の実現に向け、渋滞緩和により CO2 の排出量を削減するためには、自家用車ではなく公共交通機関を利用することが重要である。しかし、駅やバス停が自宅や目的地から遠いといった不便さが理由で、公共交通機関の利用者は増加には至っていない。近年、人々がインターネットで繋がり、物やサービス、移動をシェアして効率化するシェアリング・エコノミーが注目されている。シェアリング・エコノミーには様々な種類があるが、その中でも新しい交通手段として、移動手段をシェアする「移動×シェア」が注目されている。代表的な移動×シェアとして、ライドシェアやシェアサイクルがあるが、運用上の課題も多く利用者の増加には至っていない。本研究は、移動をシェアするライドシェア、サイクリングシェアリングの運営上の課題を組合せ最適化問題として捉え、その解決方法の開発を行う。

## 2. 研究の目的

移動をシェアする、ライドシェアやシェアサイクルは利用者が出発地と目的地を自由に決められるため、その利用形態は自家用車に近いものとなっている。本研究は、相乗りタクシー、シェアサイクルが自家用車に変わる交通手段となるための運営上の問題点を示し、その問題点を解決するための最適化問題を提起し、解決方法を開発することを目的とする。

## 3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するために、各研究テーマに対して次のような方法で研究を遂行した。

- (1) ライドシェア：マッチング成功率の向上と経路決定方法の研究  
ライドシェア(タクシー相乗り)の課題は、相乗り交渉の成功率を向上させることである。利用者の同乗者に対する不安を解消し、成功率を向上させるためには、相乗り相手の属性(年齢、性別、利用評価など)を考慮したマッチングが不可欠である。そこで、本研究では、相乗りを希望する乗客は、事前に同乗者の条件を指定(属性を選択)し、乗客が指定した属性を有する乗客とのみ相乗りができる新しいタクシー相乗りモデルを構築する。そのモデルを用いて数値実験を行い、相乗りタクシーの有効性を検証する。
- (2) シェアサイクル：自転車回収車の効率的な経路決定に関する研究  
シェアサイクルが広く利用されるためには、全ての駐輪ポートにおいて、常に利用可能な自転車と返却スペースがある状態を維持することである。この状態を維持するために、シェアサイクルでは、駐輪ポートの自転車の再配置作業を行なっている。本研究は、「移動×シェア」の一つであるシェアサイクルの利用者増加の妨げになる課題を解決するための組合せ最適化問題を提起し、その問題に対する最適化アルゴリズムを開発する。
- (3) 配送計画問題：一般ドライバーを用いた配送計画問題に対するアルゴリズムの研究  
近年、配送業界では配送物は増加しているにもかかわらず、ドライバーが不足していることにより、長時間労働や労働環境の悪化が課題となっている。この問題を解決するためのシェアリング・エコノミーとして、個人ドライバーが自分の目的地に向かう途中で配送を行う配送システムが注目されている。この問題に対し、Artificial Bee Colony アルゴリズムを用いた既存解法の問題点を明らかにし、より高性能なアルゴリズムを開発する。

## 4. 研究成果

本研究において各研究テーマに対する研究成果を以下に述べる。

- (1) タクシー相乗りにおける、マッチング成功率の向上と最適配車ルートの決定に対する研究  
2018年1月、国土交通省と都内タクシー会社はライドシェア(相乗り)の実証実験を行った。その結果、運賃が安くなるため相乗りを利用したいという人は非常に多かったにもかかわらず、実際に相乗りを利用した人の割合は10%程度と少なかった。その原因は「同乗者がどのような人か分からないこと」、「相乗りをすることで目的地への到着時間が遅くなってしまうこと」であった。不安を取り除くための解決策の一つとして、同性としか相乗りができないようにするなど、相乗り相手に条件を加えることが考えられる。  
そこで、本研究は、乗客が同乗者への希望を出せるよう、乗客に対して属性(性別、年代など)を与え、希望する属性の乗客としか相乗りができない新しい相乗りタクシーのモデルを作成し、その評価を行った。  
また、相乗りタクシーの運用は、営業する地域の道路網と複数のタクシーが与えられたとき、時々刻々と発生する顧客に対してタクシーを割当て、その顧客の出発地と目的地へ

向かう経路を決定する動的な最適化問題である．そこで、希望する時間帯までには必ず到着するという条件のもと、タクシーに乗車中、またはこれから乗車する乗客の出発地から目的地までを最短で移動する経路を決定するための数理モデルを構築し、汎用ソルバーにて最適解を求めた．

更に、相乗りしたことによる割引と遠回りしたことによる割引を適応することで、顧客が損しないことを保証する料金設定を提案した．数値実験の結果、乗客の同乗者への要望は考慮せずに相乗り相手を決定する場合に比べ、相乗り可能なタクシーは減るが、従来のタクシー運用形態よりも、タクシーを利用できる顧客数は増加し、タクシー会社の利益が向上することを示唆する結果を得た．

## (2) 自転車回収車の効率的な経路を決定するアルゴリズムの研究

申請者はこれまでに、シェアサイクルに対して配送車の総移動距離を最小にする配送計画問題を提案し[1]、タブー探索[2]を用いた手法を提案している[3]．駐輪ポートの自転車台数が時事刻々と変化する状況に対応するため、提案解法の性能向上と高速化を行った．

これまでに提案した解法は、実行可能な巡回経路が存在するにもかかわらず、その巡回経路を構築することができない場合があった．また、解探索の途中で実行可能な経路を構築できず、探索が停止することもあった．この問題を解決するために、一部の制約条件を削除し、それらの制約条件に対する違反量を重み付きのペナルティとして目的関数に加えたソフトな制約付き自転車再配置問題を提案した．この問題を解くことで、元の問題の実行可能領域と実行不可能領域を探索できることとなる．その結果、性能評価で用いた全ての問題例に対し、元々の問題の制約条件を満たす巡回経路の構築に成功した．また、制約条件に対するペナルティの重みを探索状態に応じて自動的に調整する手法を提案し、更に総移動距離が短い巡回経路を構築できた．

実行不可能領域への探索を導入することで性能は向上したが、従来法に比べ近傍解の数が増加するため良好な近似解を得るまでに要する計算時間が長くなった．提案解法の高速化を達成するために、不必要な近傍解の削除に取り組んだ．具体的には、近傍解の生成に用いる CROSS-Exchange 法 と Or-opt 法において、交換・挿入する部分巡回路が逆順となる近傍への遷移が少ないことを明らかにした．それらの近傍解を削減することで、性能は維持したまま、計算時間を削減する高速なアルゴリズムの開発に成功した．

## (3) 一般ドライバを用いた配送計画問題に対するアルゴリズムの研究

近年、配送業界では配送物は増加しているにもかかわらず、ドライバーが不足していることにより、長時間労働や労働環境の悪化が課題となっている．この問題を解決策するために、移動×シェアの考えを導入した個人ドライバーが自分の目的地に行く途中で配送を行う配送システムが注目されている．このような配送システムの配送経路を決定するために Vehicle Routing Problem with Occasional Drivers and Time Windows が提起され、Artificial Bee Colony アルゴリズムを用いた手法が提案されている．

既存解法は、解探索を行う蜂の移動を確率的にすることで、多様な解へ遷移する大域的な解探索を実現し、良好な近似解を得ている．しかし、集中的な探索能力が低いため、良好な解に収束するまでに長い時間を要する．そこで、蜂の移動に決定論的なダイナミクスを導入し、「探索の多様化」と「良好な近似解の周りを集中的に探索する集中化」を両立した手法を提案した．数値実験の結果、配達先が 25 程度と少ない問題例に対しては 1 秒程度で最適解を構築すること出来た．また、一般ドライバを導入することにより、最も良い場合で約 22%のコスト削減が可能であることを示唆する結果が得られた．

### <参考文献>

- [1] H. Tsushima, T. Matsuura, K. Jin'no, "Local Search Method for Multiple-Vehicle Bike Sharing System Routing Problem," *Journal of Signal Processing*, Vol. 22, No. 4, pp. 157-160, 2018.
- [2] F. Glover, "Tabu search-part I," *ORSA Journal on Computing*, Vol. 1, No. 3, pp. 190-206, 1989.
- [3] H. Tsushima, T. Matsuura, T. Kimura, "Tabu Search Method for Multiple-Vehicle Bike Sharing System Routing Problem," The 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3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 3件）

1. 著者名 Honami Tsushima, Takafumi Matsuura, Tohru Ikeguchi	4. 巻 11
2. 論文標題 Strategy for Exploring Feasible and Infeasible Solution Spaces to Solve a Multiple-Vehicle Bike Sharing System Routing Problem	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 7749 ~ 7749
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app11167749	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 Honami Tsushima, Takafumi Matsuura, Tohru Ikeguchi	4. 巻 12
2. 論文標題 Searching Strategies with Low Computational Costs for Multiple-Vehicle Bike Sharing System Routing Problem	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 2675 ~ 2675
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app12052675	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 Konosuke Hiraki, Jun Adachi, Takafumi Matsuura, Takayuki Kimura	4. 巻 14
2. 論文標題 An effective routing strategy using congestion signaling for various types of communication networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 436-448
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/nolta.14.436	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26件（うち招待講演 0件／うち国際学会 9件）

1. 発表者名 蜂須賀 一志、松浦 隆文
2. 発表標題 Vehicle Routing Problem with Occasional Driversに対するArtificial Bee Colonyアルゴリズムを用いた解法の研究
3. 学会等名 2021年 電子情報通信学会 NOLTAソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 對馬帆南, 松浦隆文, 池口徹
2. 発表標題 大規模自転車再配置問題に対する動的な重み係数調整を用いた解法の性能調査
3. 学会等名 電子情報通信学会非線形問題研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hisashi Abiko, Takayuki Kimura, Takafumi Matsuura
2. 発表標題 Simulation of Dynamic Taxi Ride-sharing Problem with One Attribute for Passengers
3. 学会等名 Proceedings of 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安彦久志, 松浦 隆文
2. 発表標題 属性を考慮した相乗りタクシーにおける送迎距離を制限した定式化の効果について
3. 学会等名 情報処理学会 研究報告数理モデル化と問題解決
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 對馬帆南, 松浦隆文, 池口徹
2. 発表標題 自転車再配置問題に対するOr-optとCROSS-exchangeの近傍解を削減した解法の性能調査
3. 学会等名 電子情報通信学会 2020年ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazsushi Hachisuka, Takafumi Matsuura
2. 発表標題 An Artificial Bee Colony Algorithm for The Vehicle Routing Problem with Occasional Drivers
3. 学会等名 Proceedings of 2021 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 對馬帆南, 松浦隆文, 池口徹
2. 発表標題 自転車再配置問題の実データに対するタブーサーチ法を用いた解法の性能調査
3. 学会等名 電子情報通信学会 2021年総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 對馬帆南, 木村貴幸, 松浦隆文
2. 発表標題 ソフトな制約付き自転車再配置問題に対する解法の研究
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Honami Tsushima, Takafumi Matsuura
2. 発表標題 A Method for Solving Multiple-Vehicle Bike Sharing System Routing Problem with Soft Constraints by Using Dynamic Weight of Penalties in an Objective Function
3. 学会等名 Proceedings of 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hisashi Abiko, Takafumi Matsuura
2. 発表標題 Approximation Algorithm for Traveling Salesman Problem by Using Insertion Based PSO Strategy and 2-Opt Algorithm
3. 学会等名 Proceedings of 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 對馬帆南, 木村貴幸, 松浦隆文
2. 発表標題 自転車再配置問題に対する実行可能解と実行不可能解の探索を動的に変化させる解法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安彦久志, 木村貴幸, 松浦隆文
2. 発表標題 相乗りタクシーにおける乗客の乗車拒否を考慮した顧客割当てのシミュレーション
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hisashi Abiko, Takayuki Kimura, Takafumi Matsuura
2. 発表標題 Simulation of a Dynamic Taxi Ridesharing Problem Considering with Refusal of Ride
3. 学会等名 Proceedings of 2020 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hachisuka Kazushi, Takafumi Matsuura
2. 発表標題 An Artificial Bee Colony Algorithm Based on Reinsert Neighborhood Search for The Capacitated Vehicle Routing Problem
3. 学会等名 Proceedings of 2020 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 對馬帆南, 木村貴幸, 松浦隆文
2. 発表標題 大規模な自転車再配置問題に対するCROSS-exchangeとタブーサーチを用いた手法の性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 郭 豊愷, 對馬 帆南, 足立 淳, 松浦 隆文, 木村 貴幸, 池口 徹
2. 発表標題 公職選挙ポスター掲示問題に対する発見的解法の開発
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 郭 豊愷, 對馬 帆南, 足立 淳, 松浦 隆文, 木村 貴幸, 池口 徹
2. 発表標題 minmax型の目的関数を用いた公職選挙ポスター掲示問題の解法
3. 学会等名 電子情報通信学会非線形問題研究会
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Jun Adachi, Takafumi Matsuura, and Takayuki Kimura
2. 発表標題 Performance evaluation of chaotic search with stochastic solution transitions for various types of Electric Vehicle Routing Problems with Time Windows
3. 学会等名 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takafumi Matsuura
2. 発表標題 Local Search Method for Solving Min-Max multiple Bike Sharing System Routing Problem
3. 学会等名 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松崎 友亮, 足立 淳, 松浦 隆文, 木村 貴幸
2. 発表標題 多目的最適化問題に対する成功履歴を使用した差分進化法 SHADEの性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会非線形問題研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 足立 淳, 平木 幸之助, 松浦 隆文, 木村 貴幸
2. 発表標題 電気自動車を用いた時間枠制約付き配送計画問題に対する改良大近傍可変探索法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会 NOLTAソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 足立 淳, 松浦 隆文, 木村 貴幸
2. 発表標題 部分充電を許容する充電所を用いた電気自動車による時間制約付き配送計画問題に対するカオス探索法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 足立 淳, 松浦 隆文, 木村 貴幸
2. 発表標題 確率的な解遷移を導入したカオスニューラルネットワークによる時間制約付き電気自動車配送計画問題に対する解探索手法
3. 学会等名 電子情報通信学会非線形問題研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Konosuke Hiraki, Jun Adachi, Takafumi Matsuura, and Takayuki Kimura
2. 発表標題 An effective routing strategy with congestion signaling for communication networks
3. 学会等名 022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jun Adachi, Konosuke Hiraki, Takafumi Matsuura, and Takayuki Kimura
2. 発表標題 Performance evaluation of Tabu Search method and Adaptive Large Neighborhood Search method in the Electric Vehicle Routing Problems with Time Windows
3. 学会等名 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 足立 淳, 松浦隆文, 木村貴幸
2. 発表標題 電気自動車による時間枠制約付き配送計画問題に対する局所探索に関する一考察
3. 学会等名 電子情報通信学会非線形問題研究会
4. 発表年 2021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
研究分担者	木村 貴幸  (Kimura Takayuki)  (80579607)	日本工業大学・基幹工学部・准教授    (32407)	

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
---------	---------