

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04961

研究課題名（和文）トラック輸送における多様な運用条件を考慮した多目的最適化のための共進化型メタ解法

研究課題名（英文）Co-evolutionary Metaheuristics for Multi-Objective Optimization Considering Diverse Operating Conditions in Trucking

研究代表者

阪口 龍彦（Sakaguchi, Tatsuhiko）

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号：00403303

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、トラック輸送業務を対象とし、輸送時の多様な運用条件を考慮した意思決定支援を可能とするために、トラックへの荷物の積み付けおよび客先への巡回経路の決定について、多目的最適化を可能とする進化型ハイブリッドメタ解法を提案した。具体的には、エンドユーザ向けの荷物の配送を対象に、配送時のトラックへの荷物の積み付けの最適化と、積み付け多荷物を配送する巡回経路の最適化について、遺伝的アルゴリズムベースの最適化手法を提案し、数値実験により提案手法の有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、トラックによる荷物の配送を対象に、配送巡回経路の最適化のみならず、トラックへの荷物の積み付けをも同時に考慮する最適化手法を提案した。巡回経路最適化、積み付け最適化のいずれも求解困難な組み合わせ最適化問題であり、これらを統一した枠組みの中で同時に求解する点に、本研究の学術的かつ社会的意義があると言える。貨物輸送量の増加は今後も益々増加することが考えられる反面、輸送業界は慢性的に人手不足であり、これを解決する一つの手段として輸送効率向上は必須であり、本研究の提案法は輸送効率向上のための基礎技術として貢献できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on the truck transportation business, and in order to enable decision-making support that takes into account various operating conditions during transportation, we proposed a multi-objective metaheuristic for loading packages onto trucks and determining the route to visit customers. Specifically, targeting the delivery of packages for end users, we proposed a genetic algorithm-based optimization method for solving the package loading problem for trucks and vehicle routing problem. For validating the effectiveness of the proposed method, we conducted the numerical experiment.

研究分野：生産システム工学

キーワード：配送計画 積み付け トラック輸送 遺伝的アルゴリズム

## 1. 研究開始当初の背景

近年、インターネット取引の増加が著しく、これに伴い貨物輸送量は増加の一途をたどっている。またここ最近では、感染症拡大に伴う巣ごもり需要も益々増加しており、エンドユーザ向けのラストワンマイル輸送に対する需要も拡大し続けている。一方で、2024年には働き方改革関連法の施行によりトラックドライバーの年間時間外労働時間の上限が960時間に制限されることで、トラック物流の労働力不足の深刻化が懸念されている。国内物流の9割をトラック輸送が担っていることも踏まえると、トラック輸送の輸送効率の向上は喫緊の課題であるといえる。このような課題に対する解決策の一つとして、トラックの積載率の向上、および輸送時間の短縮化が挙げられる。積載率の向上により一度に輸送できる貨物量が増加するとともに、輸送時間の短縮により短時間でより多くの顧客を訪問することが可能となる。ところで、トラックに荷物を積載して複数の顧客に荷物を運搬する場合、客先での荷物の積み下ろしが必要となるため、全体の輸送時間を短縮するためには荷物の積み下ろしも最短時間で行えることが望ましい。そのためには、客先に到着した際、荷下ろしのしやすい位置に荷物がある方が良く、荷物配置と巡回経路は密接に関係しあうと言える。積載効率の向上には荷物の積み付けの際の配置の最適化を、輸送効率の向上には客先の巡回経路の最適化を行う必要があるが、先に述べた通り荷物の配置と巡回経路は互いに関係するため、これらを同時に最適化する必要がある。

そこで本研究では、積載条件から輸送条件までを含めた多様な運用条件下で、多目的最適化を行うための共進化型ハイブリッドメタ解法を提案する。具体的には、二種類の組合せ最適化問題を同時に求解可能な遺伝的アルゴリズムをメインフレームとし、ここに、積載問題に有効なローカルサーチおよび輸送問題に有効なメタ解法を統合化することで、短時間で良い解を得られる手法を提案する。

## 2. 研究の目的

本研究では、トラック輸送業務を対象とし、輸送時の多様な運用条件を考慮した意思決定支援を可能とするために、トラックへの荷物の積み付けおよび客先の巡回経路の決定について、多目的最適化を可能とする進化型ハイブリッドメタ解法を提案することを目的とする。

トラックへの積み付けでは、現実の輸送においてはトラックの積載率の低下が問題となっている。そこで本研究では、一度の配送でなるべくたくさんの荷物を運搬できるように、積載率の高い荷姿を求めるとを目的に、矩形の入れ物に、それより小さい矩形の荷物を詰め込むパッキング問題の一種としてトラックへの荷物の積み付けを取り扱う。さらに、積載された荷物を配送先の各顧客へ巡回しながら配送する配送計画問題では、配送時間最適化の観点から、総移動距離を最小化する配送計画問題として取り扱う。そして本研究では、研究背景で述べた通りトラックへの荷物の積み付けと配送が密接に結びついていることから、これらを同時に最適化するために、輸送する荷物の順序付き集合を一つの個体とみなし、進化的計算手法を適用することで最適解を探索する手法を提案する。

本研究の先行研究として、車両による人の送迎を対象に、送迎時の訪問順序の最適化および車両内での配席における人の満足度の最適化を同時に実現するという課題に対し、遺伝的アルゴリズムを用いた最適化手法を提案した(文献1)。ここでは人の集合および座席の集合をそれぞれ個体とみなした共進化型遺伝的アルゴリズムにより、移動時間、人の状態や希望、車両数など複数の目的を持つ多目的最適化問題を求解した。これは、巡回配送経路を最適化するという点では本研究と共通するが、配置を決定するという点において、先行研究では固定の座席に対して人を割り付けるのに対し、本研究では空間内のどこかに荷物を配置しなければならず、より求解が困難である。これに対し、著者の精密板金加工におけるネスティングの最適化を対象とした先行研究(文献2)で得た詰め込み問題に対する解法の知見を活用し、巡回経路と積み付けを同時に最適化できる遺伝的アルゴリズムを提案することを本研究の目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 積み付け・配送問題の同時最適化のための進化型手法の拡張

トラックに積載する荷物の配置の最適化と、荷物を顧客に配達あるいは引取りする際の巡回経路の最適化を、多目的環境下で同時に行うために、荷物の配置と巡回経路を、共に荷物の集合を配列により表現することで、同一の遺伝子表現により求解できる点に着目し、著者の先行研究(文献2)で提案した異環境適応型遺伝的アルゴリズムを応用することを考えた。

異環境適応型遺伝的アルゴリズムは、環境の異なる複数の島に個体が別々に存在し、各環境に適合するように進化する過程を模擬した遺伝的アルゴリズムである。原則として、各個体は自信が存在する環境下で進化していくが、パレート解を得やすくするために、定期的に環境間で個体が移動する仕組みを取り入れている。本研究では、巡回配送問題に対しては、遺伝子配列を訪問優先度とみなし、車両の積載容量を満たす条件下で順次客先を巡回する経路を生成していくこととした。巡回における実運用上の要件を考慮するために、配送拠点と顧客を結ぶ経路は、地理情報システムのArcGISと、道路網オプションを活用し、地図上で走行距離を求めるとともに、車両幅制限や車両駐車時の右側配置、Uターンの禁止等の条件を設定した。一方、トラックにお

ける荷物の積み付けに対しては、遺伝子配列をトラック荷台への荷物の配置優先度とみなし、ヒューリスティック手法により配置を決定する方法を提案した。問題の簡単化のため、まず2次元平面上で、トラックの荷台と荷物をともに矩形として、Bottom Left法(以下、BL法)により配置する方法を構築した。ここでは積載効率向上を意図して、トラックの荷台数が最小となる、すなわち1回の積み付けでなるべくたくさんの荷物を積載することを目的とした。

積み付けと配送の最適化を同時に実現するために、荷物の集合の配列で表された遺伝子から、積み付けと巡回経路の両者を決定することとした。すなわち、一つの遺伝子配列に対し、まずBL法により積み付けを決定した後、決定したトラック1台分ごとに、積み付けた順序と同じ順に配送先を巡回することで、配送と積み付けの両方を一つの枠組みの中で決定することを可能とした。また、配送の効率化すなわち距離の最小化を目的とする環境、および積み付けの効率化すなわちトラック台数の最小化を目的とする環境の、二環境を用意し、一定世代ごとに各環境に対する適応度上位の個体数個を、他方に複製することで、両環境に適応可能な個体を生成できるよう工夫した。

#### (2) 求解性能向上のためのエリート初期個体の生成

遺伝的アルゴリズムのような進化型計算手法では、初期の個体群に適合度の高い個体を挿入することで、迅速に解が収束することが知られている。そこで本研究では、異環境適応型遺伝的アルゴリズムの前処理として、ヒューリスティック手法により積み付けおよび配送経路それぞれのエリート解を生成することを考えた。まず、積み付けに対しては、配置の決定にBL法を用いることから、グリーディ法の考え方にに基づき、荷物の面積、幅、奥行きをそれぞれ降順に配列した遺伝子配列をエリート解を生成した。さらに、配送経路のエリート解には、巡回経路問題の代表的なヒューリスティック解法の一つであるセーピング法を適用し、初期の巡回経路を生成した後、その経路を一行に配列した遺伝子をエリート解として初期個体群に挿入した。他の初期個体群は、このエリート解の遺伝子配列をランダムに並べ替えることで生成した。

#### 4. 研究成果

提案した異環境適応型遺伝的アルゴリズムを用いた配送・積み付け同時最適化の有効性を検証するために、オブジェクト指向プログラミング言語 Smalltalk を用いてプロトタイプシステムを開発し、数値実験を行った。

数値実験では、近畿大学工学部広島キャンパスを配送拠点の位置とし、東広島市内に存在する86カ所のコンビニエンスストアへの荷物の配送を想定したケーススタディを作成した。各配送地へは、1個の荷物を運ぶこととし、荷物の大きさは1~20cm、トラックの荷台サイズを2m×5mとした。遺伝的アルゴリズムのパラメータは、予備実験により世代数100、個体数50、交叉率80%、突然変異率5%とし、環境間の移動は5世代に1回、各環境の適合度上位10%の個体を他方に複製し、下位10%を淘汰させた。配送経路は距離、積み付けはトラック台数が目的関数であるが、各々距離最長、台数最大の個体の目的関数値を分母として正規化し、加重和を取ることで適合度とした。重みは、配送最適化の環境では配送に関する目的関数に対する重みを0.9、積み付けに関する目的関数に対する重みを0.1に、積み付け最適化の環境ではこれを逆に設定した。

まず、積み付けのエリート解の有無に対する結果の比較を行った結果を表1に示す。本研究は目的関数最小化の問題であるため、適合度が小さいほど良い結果が得られたと言える。表1より、積み付けに対しては、エリート解の挿入の有無が求解精度に与える影響があまりないことが分かった。これは、積み付けの目的関数がトラック台数としたため、効率よい積み付けができたとしても台数の差はほとんどなかったためと言える。

表1 エリート解の有無による積み付けの適合度の比較

エリート(面積)	エリート(幅)	エリート(奥行)	エリートなし
0.1875	0.1863	0.1868	0.1867

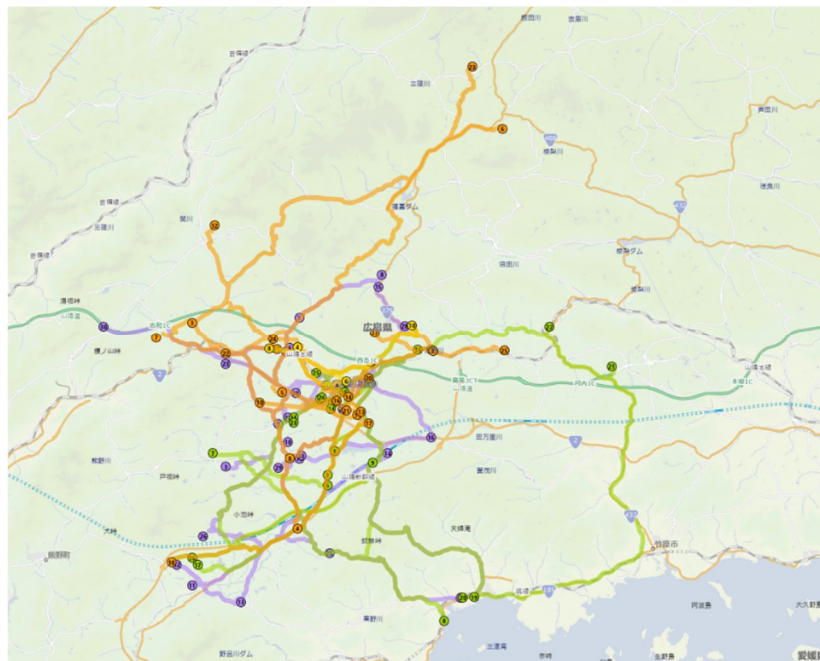
次に、配送経路のエリート解の有無による結果の比較を行った。

表2 エリート解の有無による配送経路の適合度の比較

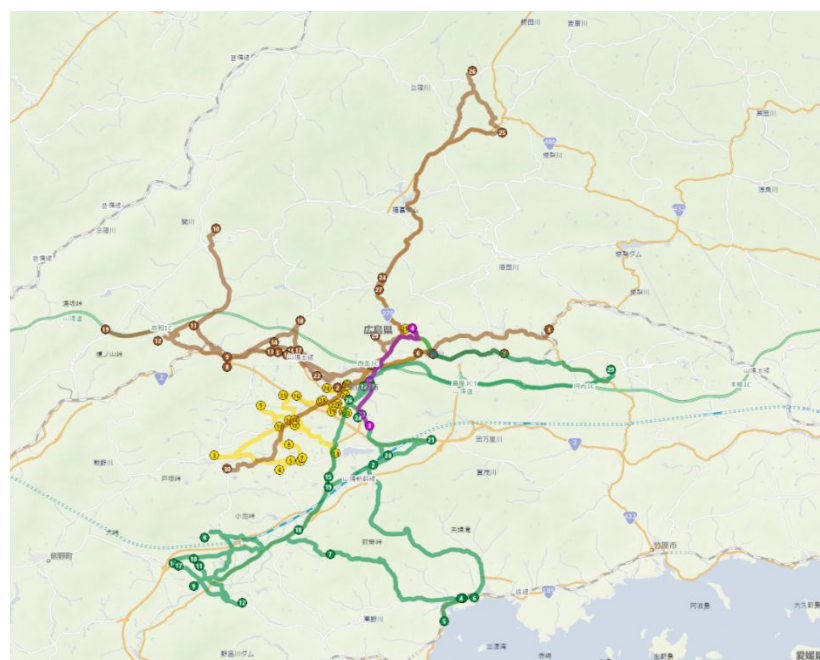
エリートあり	エリートなし
0.4380	0.4622

表2より、セーピング法により生成したエリート解を挿入した場合、求解精度が向上したことが確認できる。また図1には生成された巡回経路を地図上に表示した結果を示す。図の(a)はエリート解を挿入しない、すなわち初期個体群はランダムに生成されたものを用いて異環境適応型遺伝的アルゴリズムにより最適化したもので、(b)は最初にセーピング法により巡回経路を生成した後、異環境適応型遺伝的アルゴリズムにより最適化したものである。地図上に示した丸の位置が客の配置を、それらを結ぶ線が配送経路を示す。(a)の場合、一つの巡回経路に含まれる客の位置が地図上の広範囲に広がっているのに対し、(b)では近隣の客同士が結ばれるような経路

が生成されていることがわかる。以上より、セービング法によりエリート解を挿入した結果、適合度の向上につながったと言える。



(a) エリートなし



(b) エリートあり

図1 エリートの有無による経路の違い

< 引用文献 >

- (1) 阪口龍彦, 早坂太一, 大國護慧, 稲垣孝一, 飯島優貴; デイサービスのための共進化遺伝的アルゴリズムを用いた配車・巡回経路決定アルゴリズムの研究, 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2020 講演論文集, 49-50, 2020.
- (2) Tatsuhiko Sakaguchi, Ryo Ishii, Miyori Shirasuna, Naoki Uchiyama; Environment-Adaptive Genetic Algorithm-based Nesting Scheduling for Sheet-Metal Processing, システム制御情報学会論文誌, Vol. 33, No. 2, 39-48, 2020.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 KAOUD Essam, A. M. ABDEL-AAL Mohammad, SAKAGUCHI Tatsuhiko, UCHIYAMA Naoki	4. 巻 16
2. 論文標題 An adaptable robust optimization model for a dual-channel closed-loop supply chain considering cost and demand uncertainty	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 JAMDSM0038
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2022jamdsm0038	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

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Takuma Kawashima, Tatsuhiko Sakaguchi, Naoki Uchiyama
2. 発表標題 A hybrid meta-heuristic approach considering workload balancing for vehicle assignment and routing problem
3. 学会等名 The International Conference on Leading Edge Manufacturing/Materials & Processing（国際学会）
4. 発表年 2020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
---------	---------