

令和 5 年 6 月 4 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04625

研究課題名（和文）リアルタイムデータに対応可能な最適化輸送システムの構築

研究課題名（英文）An optimization transportation system capable of handling real-time data

研究代表者

村上 啓介（Murakami, Keisuke）

関西大学・商学部・准教授

研究者番号：90646457

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、まず最適化モデルの構築を行った。具体的には、データ変動に対して柔軟に対応するために、データ変動を予測して変化に対して計画の変更を行いやすい最適化モデルと、効率的な経路を求めると同時に顧客満足度を考慮したモデルの構築を行った。次に、最適化アルゴリズムの開発を行った。具体的には、問題の規模に応じて複数のアプローチを開発し、輸送車両台数を複数にした問題に対するヒューリスティック解法の開発を行った。その後、開発したアルゴリズムが機能するかを数値実験によるシミュレーションにより確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、近年のIT技術の発展に伴い現代社会が要求している答えと、数理としての最適化問題の解との差を縮める役割を果たす。その意味で学術的に重要な課題であると考えられる。また、コミュニティバスの例におけるバス・バス停・住民を、それぞれ輸送車・営業所・顧客と置き換えると、宅配などの物流業者の輸送システムにも応用できる。また学術的にも、最適化問題でありながら最適解を敢えて放棄して、解の変更のしやすさを追求するという点で新しい発想であり、非常に特色のあるアプローチであると思われる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we first constructed an optimization model. Specifically, in order to respond flexibly to data fluctuations, we constructed an optimization model that can predict data fluctuations and easily change plans in response to changes, as well as a model that finds efficient routes and takes customer satisfaction into account. Next, optimization algorithms were developed. Concretely, multiple approaches were developed depending on the scale of the problem, and a heuristic solution method was developed for the problem with multiple numbers of transport vehicles. Numerical simulations were then conducted to verify that the developed algorithms worked.

研究分野：最適化

キーワード：組合せ最適化 輸送システム アルゴリズム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の IT 技術の発展により、リアルタイムで大量のデータを入手することが可能になった。それに伴い、運輸・輸送業界においてもリアルタイムで変動する大量データを迅速に処理する必要性が高まっている。例えば宅配業界は、再配達依頼が簡単にできるようになったことから、多くの再配達依頼に対して迅速に対応することが求められている。

例えば、近年の高齢者の自動車事故多発に伴い、自治体では運転免許証の自主的な返納を求めている。ところが、交通網が発達していない地方においては、自動車は生活に欠かせないものになっており、なかなか返納が進んでいないのが現状である。そこで、地方自治体では、コミュニティバスを運行する計画を立てている。ところが、コミュニティバス路線の作成は非常に難しい。なぜなら、コミュニティバスの場合、時刻によっては誰も乗り降りしないバス停も多々あり、そのようなバス停に時刻表に従って訪れるのは時間や燃料費が無駄になるからである。

そこで、リアルタイムに需要を受け付けて、その需要に応じて柔軟に計画を変更できるシステムの構築が必要になっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、状況に応じた輸送計画を立てるためのシステムの構築である。例えば、リアルタイムで予約が入るコミュニティバスの経路計画などを決定するシステムであり、図 1 のように予約に応じてバスの最適な経路を決定するシステムの構築を目指す。

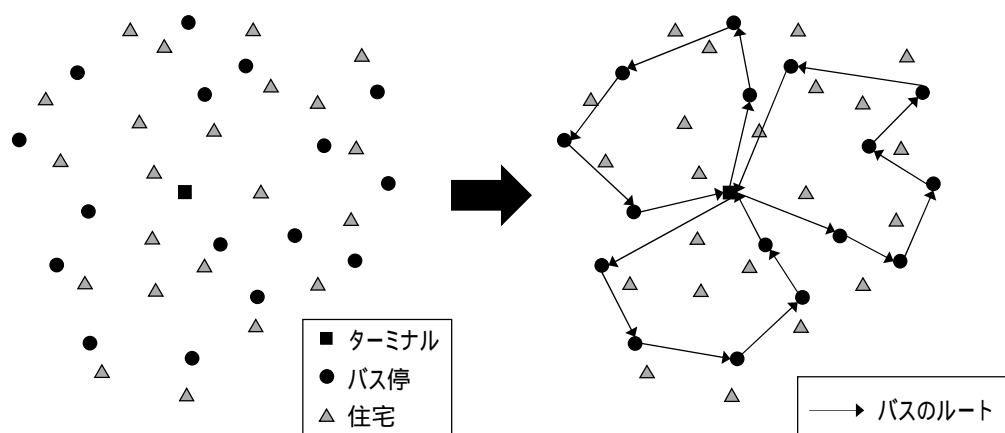


図 1 : バス路線の作成例

3. 研究の方法

本研究では、主に輸送システムの根幹となる最適化問題のモデル化と高速な解法の開発を行った。また、最適化手法では充分に対応できない箇所に対しては、ルールベースのシミュレーションを用いることを検討した。

(1) リアルタイムな情報に対応しうる柔軟な最適化モデルの構築

既存研究でも、データ変動に対して頑強なスケジュールを立てる研究は行われているが、それらとの大きな違いは、本研究では解の頑強さではなく変更しやすさを求めるという点と、規模の大きな(ネットワーク)問題に対して高速に解の決定や更新を行うという点である。運行を滞らせないためには、リアルタイムで受けた情報から即座に解を導出しなければならない。本システムを実現するためには、高速な解法と柔軟性の高い解の導出が必要になる。

すでに解が求まっている状況で顧客からの要望が入った場合、解の変更を余儀なくされる。この際、高速な解法で解の更新を行うが、急な多くの要望に対しては解法だけで対応するのは難しい。そこで、あらかじめ要望の変更を予測して変更しやすい柔軟な解を求める方法を提案した。これは、最適化問題でありながら最適解を敢えて放棄して、解の変更のしやすさを追求するという点で新しい発想であり、学術的にも非常に特色のあるアプローチである。

(2) 問題の規模・難易度に応じた解法の開発

解法の高速度を行う場合、最適化問題に対しては問題の規模(難易度)に応じて、解法を変える必要がある。なぜなら、小・中規模の問題で速く良い解を出していた解法が、大規模になるとまったく機能しなくなることはしばしばあるからである。そこで、重要になるのが問題の規模と解法の関係の明確化である。すなわち、問題の規模ごとに解法を開発して状況に応じて使い分ける手法を提案した。

(3) 開発した最適化手法の限界の検証

基本的には最適化の枠組みでシステムの構築を行うが、最適化の技術だけでは対応できない状況も起こりうる。もし一気に大量の顧客からの要望を受け取った場合、すべての要望を満たす解を必ず出せるとは限らない。その場合、要望を満たすことができない顧客に対しては、臨時に車両を運行する必要がある。ただ、臨時車両は費用がかかるので、あまり出勤させたくはない。そこで、臨時車両が出勤しなければならない条件を明確にするために、開発した最適

化手法が機能する限界の検証を行った。

さらに、開発した最適化手法の限界が明確になったことで、顧客の要望を解法が機能する範囲内に抑えることも可能になった。例えば、コミュニティバスの利用者が乗車時間を登録する際に、システム側ではこの時間に予約を入れられると臨時バスを出さなければならないと分かるので、その時間は予約できないように制御することが可能になった。

(4) ルールベースのシミュレーション

最適化手法はある程度良い解を導出するものの、大規模な問題やデータが変動する問題に対しては脆弱な一面もある。そこで、最適化手法では対応できない問題に対してはルールベースのシミュレーションを行った。例えば、新たに顧客の要望が入った場合は、「現在のルート（解）の最後に行く」といったようなルールを設定しておく。シミュレーションは、問題の大規模化やデータの変動に対応可能である一方で、解の精度が著しく悪くなることがある。したがって、解の精度が悪くなる場合においては、臨時車両を出動させることも検討し、シミュレーションによって出動台数やルートを決定した。臨時車両のルートはそれほど複雑になることはないので、ルールベースのシミュレーションでも良い解が求められた。

4. 研究成果

(1) 最適化モデルの構築

データ変動に対して柔軟に対応するために、データ変動を予測して変化に対して計画の変更を行いやすい最適化モデルの構築を行った。

次に、効率的な経路を求めると同時に顧客満足度を考慮したモデルの構築を行った。顧客満足度は、基本的には輸送時間として定義した。ただし、バスのルートを求める問題においては、各顧客の移動時間を顧客満足度と設定した。その移動時間は、出発地からバス停までの歩行時間、バス乗車時間、バス停から目的地までの歩行時間で定義した。まず、顧客満足度を考慮したモデルにおいて、いくつかの定式化を行い解を求めた。

さらに、輸送車両の台数を複数にしたモデル化とアルゴリズムの開発を行った。モデル化にはハブ設置型の配送計画問題をベースとして、状況に応じてフレキシブルに条件を追加できるものを構築した。

(2) 最適化アルゴリズムの開発

まず、問題の規模に応じて複数のアプローチを開発した。具体的には、比較的規模の小さな問題に対しては数理計画法を用いたアプローチ、比較的規模の大きな問題に対してはヒューリスティック解法を開発した。

次に、輸送車両台数を複数にした問題に対するヒューリスティック解法の開発を行った。まず、列生成法を基本とした解法を開発した。列生成法における子問題に対してはラベリング法ベースの解法を用いることで、高速に解を導出することを可能にした。列生成法は、解の精度をある程度保証する一方で、規模の大きな問題に対しては計算時間が大きくなる傾向がある。列生成法は現実的な規模の問題にも適用可能であるが、より規模の大きな問題に対しては、より高速な解法が必要となる。したがって、経路最適化問題に対して、比較的高速で精度の高い解を導出可能とされている、局所探索法を用いた解法の開発を行った。局所探索法においては、近傍のサイズが解の精度と計算時間に影響を与えるので、問題の規模に応じて適切な近傍のサイズを変更するようにした。

(3) シミュレーションによる改良

開発したアルゴリズムが機能するかを数値実験によるシミュレーションにより確認した。その結果、需要発生ポイント数が多くなく車両数が少ない小規模のインスタンスに対しては、開発した局所探索法が比較的速く良い解を導出することができた。一方、需要発生ポイント数が多く車両数が多い大規模なインスタンスに対しては、良い解を出すことができなかった。そこで、インスタンスの規模に応じたアルゴリズムを3つ開発して、解の精度の向上と計算時間の高速化を図った。実際に数値実験において、それぞれのアルゴリズムは、先に開発した局所探索法より良いパフォーマンスを示した。

また、需要発生の確率分布のばらつきが小さい場合は、上述の3つアルゴリズムにより良い解を出すことができたが、ばらつきが大きくなると、予定通りに輸送することが難しくなり、これらのアルゴリズムだけでは、大幅に悪い解を出すことがあった。そこで、予定から大きく外れた場合に、迅速に予定（経路）を作り直すアルゴリズムを開発した。数値実験において、このアルゴリズムは、予定から外れた時点ですぐに残りの経路を作り直して、解の悪化を防ぐことを確認した。

以上の研究成果は、リアルタイムデータに対応が必要な輸送システムの開発の基盤となるものである。また、最適化の研究分野においても、最適化問題でありながら最適解を敢えて放棄して、解の変更のしやすさを追求するという点で新しい発想であり、学術的にも非常に特色のあるアプローチであると思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Murakami Keisuke	4. 巻 141
2. 論文標題 Time-space network model and MILP formulation of the conflict-free routing problem of a capacitated AGV system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers & Industrial Engineering	6. 最初と最後の頁 106270 ~ 106270
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cie.2020.106270	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 Murakami Keisuke, Uno Takeaki	4. 巻 17
2. 論文標題 Optimization algorithm for k-anonymization of datasets with low information loss	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Information Security	6. 最初と最後の頁 631 ~ 644
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10207-017-0392-y	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 Murakami Keisuke	4. 巻 35
2. 論文標題 Iterative Column Generation Algorithm for Generalized Multi-Vehicle Covering Tour Problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Journal of Operational Research	6. 最初と最後の頁 1850021 ~ 1850021
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1142/S0217595918500215	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 Murakami Keisuke	4. 巻 52
2. 論文標題 A generalized model and a heuristic algorithm for the large-scale covering tour problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RAIRO - Operations Research	6. 最初と最後の頁 577 ~ 594
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1051/ro/2017090	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 Murakami Keisuke	4. 巻 18
2. 論文標題 Formulation and algorithms for route planning problem of plug-in hybrid electric vehicles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Operational Research	6. 最初と最後の頁 497 ~ 519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12351-016-0274-5	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 -

〔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 Keisuke Murakami
2. 発表標題 An optimization approach for temporary staff scheduling problem in service industry
3. 学会等名 The 6th World Conference on Production and Operations Management (国際学会)
4. 発表年 2022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
---------	---------