

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：34416

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25750128

研究課題名(和文) 被覆制約の付いた巡回路問題におけるモデルの整備と解法の開発

研究課題名(英文) Models and algorithms for the covering tour problem

研究代表者

村上 啓介 (Murakami, Keisuke)

関西大学・商学部・助教

研究者番号：90646457

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：被覆制約の付いた巡回路問題(CTP)は、現実社会にも応用可能な問題である。例えば、配送センターの最適な位置を決める問題に適用できる。ところが、従来のCTPに関する研究では、現実に応用可能なモデル化はなされていなかった。そこで、本研究では、まず現実的な条件を考慮したモデルの構築を行った。次に、モデル化された問題を解くための解法を開発した。CTPは解くことが難しい問題であったために、様々な工夫を入れることで良い解を出すことに成功した。

研究成果の概要(英文)：The covering tour problem can be applied to real-world problems. An example of the CTP would be to locate a number of regional distribution centers among a set of candidate sites in such a way that all customers are within reasonable distance from at least one regional distribution center and that the cost of delivery and pick-up routes is minimized. We introduced several realistic constraints into the original CTP, and proposed heuristic algorithms for the CTP. Our algorithm could find a good solution.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：組合せ最適化 アルゴリズム モデル化

1. 研究開始当初の背景

(1) 被覆制約付きの巡回路問題(CTP)は、巡回セールスマン問題と集合被覆問題の特徴を併せ持つ問題であり、最適化問題としておもしろい性質を持つ問題である。ところが、CTPに関する先行研究は少なく、単純なモデル化と簡単なアルゴリズムが提案されているだけである。

(2) 現実社会において CTP の応用事例は多く存在する。例えば、地震などの災害が起きたときに、救援隊が救援物資を届けて回らなければならない状況を考える。その際、被災者は物資が届けられた場所まで行き、救援物資を受け取る。また、救援物資を届ける場所にはいくつかの候補地があり、どの候補地に物資を届けると、どの被災者たちに物資が行き渡るかわかっている。その条件の下で、物資が全被災者に行き渡るように候補地の中から、実際に物資を届ける場所を決める(図1参照)。さらに、効率的に物資を届けて回るために、救援隊は移動距離を最小にしたい。これは、一種の巡回路問題ととらえることができる。すなわち、全ての被災者に物資が行き渡るという制約の下に最短の巡回路を求める問題になる。この問題は CTP として扱うことができる。

その他には、配送センターの集積所を決める問題も CTP になる。この事例の場合、図1の「候補地」が集積所の設置場所の候補地で、「被災者」が顧客(自宅や会社)を表す。また、「候補地の物資が行き渡る範囲」が、その集積所から配送や集荷できる範囲を意味する。

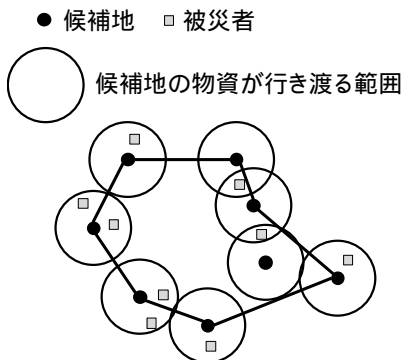


図1：CTPの例

2. 研究の目的

(1) 1つ目の目的はCTPに対してより現実的な条件を考慮したモデル化を行うことである。例えば、上述の救援物資を配る問題において、既存研究では救援隊が各候補地を訪れた場合に、救援物資が行き渡る範囲を同じ半径の円で表している(図1)。ところが、現実問題を考えた場合、各候補地から近い距離にある被災者が必ず救援物資を受け取れるとは限らない。なぜなら、候補地と被災者の間に河などの障害物があった場合、距離が近いからといって被災者はその候補地にたどり着けないこともありうる

からである。したがって、現実的には各候補地と被災者との地理的關係やインフラ状況を考慮して、救援物資が行き渡るかを判断しなければならない(図2)

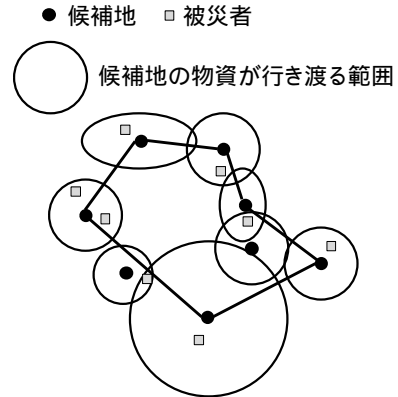


図2：より現実的なCTPモデル

(2) 2つ目の目的は、モデル化された問題に対して有用な解法を開発することである。モデル化された問題の多くはNP困難であることが予想される。そこで、速く精度の高い解法を開発する必要がある。

3. 研究の方法

(1) 現実的な条件を考慮したモデルを構築するために、まず条件の洗い出しを行った。例えば、車の積載容量、走行可能距離、配送地域の地形、地形によるエネルギー消費、到着時間などの条件を洗い出した。ただ、これらの条件をすべて含んだモデルは逆に現実性を失ってしまう。したがって、条件間の関連を考慮して、複数のモデルを構築した。条件の関連図の一部を図3に示す。

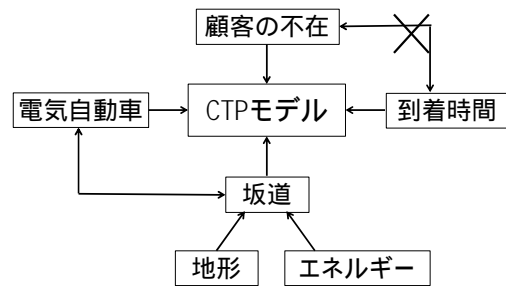


図3：条件の関連図の例

図3では、「地形」と「エネルギー」という条件から「坂道」という条件を抽出した。車にとって坂道はエネルギー消費に大きな影響を与える。また、坂道と大きな関係がある「電気自動車」を用いるモデルを考えた。さらに、「到着時間」を考慮したモデルを構築したが、その際に「顧客の不在」という条件も考えられた。ところが、この2つを同時に考えることは大変困難であったために、2つを同時に含んだモデルは考えないことにした。このように現実的な条件を考慮して、複数のCTPモデルの構築を行った。

(2)次に、解法の開発を行った。まず各CTPモデルに対して基本となる厳密解法を開発した。厳密解法の1つ目のアプローチとして定式化を行い、数理計画ソルバーを用いて解の導出を試みた。ところが、今回モデル化したすべての問題はNP困難であったことからかなり小規模な問題以外は、最適解を見つけることができなかった。そこで、次にラベリング法を基礎とした解法を開発した。この解法は定式化からのアプローチよりも速く最適解を求めることができ、定式化からのアプローチでは最適解を求めることができなかった問題に対しても最適解を求めることができた。

ところが、問題の規模が少し大きくなるとラベリング法を基礎としたアプローチでも解を求めることが難しくなった。そこで、速く有用な解を求めることができる発見的解法を開発を行った。発見的解法は上述のラベリング法の動作を解析して、計算時間を遅くしている部分を改良することで行った。その結果、高速に精度の良い解を導き出すことに成功した。さらに、一般的に解を出すことが難しいとされる大規模な問題に対しても、解を求めることが可能になった。

4. 研究成果

(1)より現実的な条件を考慮したCTPモデルに対して、既存のアルゴリズムより速く精度の高い解を導出した。CTPの基本的なモデルに対しては、精度の高い解を求めることができる解法が存在していた。ところが、この既存のアルゴリズムは、現実的な条件を含んだモデルでは、あまり機能しなかった。そこで、本研究ではより汎用的なアルゴリズムの開発を行った。開発したアルゴリズムは、基本的なCTPモデルに対しても、既存のアルゴリズムと変わらないパフォーマンスを発揮した。また、より現実的なモデルの問題に対しては、既存のアルゴリズムより最大で30%近く良い解を出すことを数値実験により確認した。

(2)複数の車両を使用したモデルの構築とアルゴリズムの開発を行った。CTPは基本的には1台の車両の経路を求める問題であるが、その問題を複数の車両の経路を求める問題へと拡張した。すなわち、被覆制約の付いた配送計画問題を考えた(図4)。

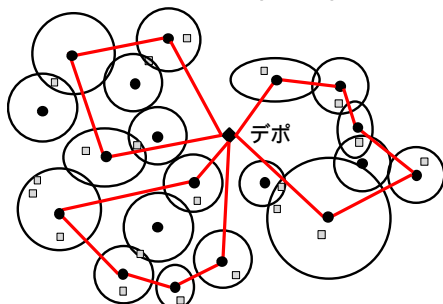


図4：被覆制約の付いた配送計画問題

被覆制約の付いた配送計画問題は図4のように、デポが1つ存在して、各車両はデポを出発してデポに帰ってくる。赤線が車両の経路を表している、この例では3台の車両を使用している。この問題に対して精度の高い解を求めることのできるアルゴリズムの開発を行い、既存のアルゴリズムと比較することで本アルゴリズムの有用性を確かめた。

(3)基板検査問題への応用を行った。基板検査問題とは、パソコンなどに入っている基板の欠陥を検査する際の検査機の動きを決める問題である。基板検査では、検査機の動きで検査時間が決まるので、効率的な動きをすることが望まれる。

本研究では、まず基板検査問題をCTPとしてモデル化した。基板検査問題は、最も単純なCTPとしてモデル化することができた。すなわち、他の条件が付かない既存のCTPモデルと同等のモデルになった。ところが、問題の規模がかなり大きくなったことから、すでに開発したアルゴリズムでは良い解を求めることができなかった。そこで、新たに局所探索法を用いたアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムは、大規模な問題に対しても速く精度の高い解を求めることができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

1. K. Murakami, Formulation and Algorithm for Route Planning Problem of Plug-in Hybrid Electric Vehicle, Operational Research, 掲載確定, 査読有
2. K. Murakami, A Local Search Algorithm for Large-Scale MCM Substrate Testing, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.7, No.4, pp.644-654, 2013, 査読有
3. K. Murakami, Formulation and Heuristic Algorithms for Multi-Chip Module Substrate Testing, Computers & Electrical Engineering, Vol.39, No.4, pp.1049-1060, 2013, 査読有

[学会発表](計9件)

1. 村上啓介, 時間制約付きハブ配置配送計画問題に対するアプローチ, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2016, 2016年12月8日, 滋賀県立体育館(滋賀)
2. K. Murakami and Hiroshi Morita, A Column Generation Model for the Electric and Fuel-engined Vehicle Routing Problem, Proceedings of The 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2015

- 年 10 月 10 日, Hong Kong (China)
3. 村上啓介, 森田浩, 充電と時間制約を考慮したプラグインハイブリッド電気自動車の最適経路計画, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2015 年秋季研究発表会, 2015 年 9 月 11 日, 九州工業大学 (福岡)
 4. 村上啓介, 森田浩, ハイブリッド電気自動車を用いた最適経路計画, 第 59 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2015 年 5 月 22 日, 中央電気倶楽部 (大阪)
 5. 村上啓介, 森田浩, 電気自動車とガソリン自動車を併用した配送計画問題に対する解法, 情報処理学会第 101 回数理モデル化と問題解決研究発表会, 2014 年 12 月 9 日, 奈良女子大学 (奈良)
 6. 村上啓介, 列生成法と局所探索法を用いた被覆制約付き配送計画問題に対する解法, スケジューリング・シンポジウム 2014, 2014 年 9 月 29 日, 富山国際会議場 (富山)
 7. K. Murakami, A Column Generation Approach for the Multi-Vehicle Covering Tour Problem, Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2014 年 8 月 22 日, Taipei (Taiwan)
 8. 村上啓介, 被覆制約付き配送計画問題に対する列生成法, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2014 年春季研究発表会, 3 月 6 日, 大阪大学 (大阪)
 9. 村上啓介, 被覆制約付き配送計画問題に対する列生成法アプローチ, 第 56 回自動制御連合講演会, 2013 年 11 月 16 日, 新潟大学 (新潟)

〔その他〕

ホームページ等

<http://gakujo.kansai-u.ac.jp/profile/ja/3c1e3d30052649ae.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村上 啓介 (MURAKAMI, Keisuke)

関西大学・商学部・助教

研究者番号: 90646457