

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 14 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510190

研究課題名(和文) 低炭素社会のための多様な配送状況に対応可能な二酸化炭素排出量最少経路探索システム

研究課題名(英文) Vehicle routing system to minimize CO2 emissions in various delivery situations for low carbon society

研究代表者

大谷 紀子(Otani, Noriko)

東京都市大学・メディア情報学部・准教授

研究者番号：70328566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、低炭素社会の実現に向けて、複数の配送先への貨物配送におけるCO2排出量の削減を目指した。CO2排出量が最小となるような配送経路と貨物割当を探索する問題を定義し、より実践的にするために、2段階に分けて問題を拡張した。各段階で共生進化に基づく解探索手法を提案し、許容範囲内の処理時間で妥当な結果が得られることを確認した。また、有識者へのインタビュー結果に基づき、物流事業者と下請け業者のコストをも考慮した貨物割当と配送経路の探索にも取り組んだ。ハーモニーサーチに基づく手法を提案し、有用性と特徴を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to reduce CO2 emissions in delivering cargos with different weights to two or more delivery points by truck in order to realize the low carbon society. In the first step, a basic problem for searching vehicle routing and cargo allocation with minimum CO2 emissions was defined. After that, the problem was extended step by step and became more practical. We proposed methods based on symbiotic evolution to solve each problem, and showed that the valid solutions were obtained in the permissible time by those proposed methods. In addition, we worked on considering not only CO2 emissions but also the transportation costs for the cargo carrier and their subcontractors according to the results of interviews for experts. We proposed a solving method based on harmony search algorithm, and revealed its effectiveness and characteristics.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：CO2排出量 配送経路 貨物割当 経路探索 配送コスト 進化計算アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

(1) 2005年2月に発効した京都議定書は、2008年から2012年までの「第一約束期間」内に、CO₂に代表される温室効果ガスの合計排出量を1990年比で6%削減するという目標を日本に対して定めている。一方、民主党は「2020年までに1990年比で25%削減」という中期目標を掲げており、両目標を達成するためにはCO₂排出量削減への対策が必要不可欠である。また、2009年4月1日に施行された改正省エネ法では、物流事業者と荷主にCO₂削減活動計画と成果報告が義務付けられており、物流事業者にとって貨物配送にかかるCO₂排出量の削減は大きな課題となっている。長距離輸送や大量輸送では、CO₂排出量が比較的少ない鉄道や船舶へのモーダルシフトが有用な手段であるが、近距離範囲内で小規模の貨物を配送する場合には、貨物自動車による輸送が欠かせない。特に最近では、インターネットショッピングの爆発的な普及によって個人宅向け配送の需要が高まっており、貨物自動車での配送によって排出されたCO₂の削減は急務であるといえる。

(2) 低コストで手軽に取り組めるCO₂削減対策として、最短経路での配送が考えられる。しかし、1回の配送作業で複数の配送先に重量の異なる貨物を配送する場合には、配送順により各区間の積載重量が変化するため、最短経路がCO₂排出量を最小にする経路になるとは限らない。そこで、最短経路探索とは別の探索アルゴリズムの考案が必要となる。経路探索問題の代表例として知られている巡回セールスマン問題では、各地点間のコストはすべて既知として、巡回コストが最小となる経路を解とするが、巡回地点が多い場合には組合せ爆発が発生する。すなわちNP完全問題であり、解を得るのに膨大な時間を要する。本研究で対象にする問題も同様の課題を抱えている。着荷主が不在で貨物を配送センターに持ち帰ることになったり、配送途中で再配達を依頼されたりした場合には、配送現場における配送順の再検討が必要になるため、標準的なスペックのマシンで許容できる時間内に計算が終了することが必須条件である。また、配達時間帯が指定されている場合など、多様な配送状況に対応可能であることが求められる。CO₂排出量最小経路探索では、最短経路探索よりも、解の評価値が配送順に大きく依存する。例えば、連続する2地点の順序が入れ替わった場合、最短経路探索では、前後の距離は変わっても当該2地点間の距離は変わらない。しかし、CO₂排出量最小経路探索では、前後のCO₂排出量に加え、当該2地点間におけるCO₂排出量も変化する。また、同じ部分経路でも、全経路における位置によってCO₂排出量は異なる。CO₂排出量が少なくなるような近隣地点の訪問順を探索すると同時に、CO₂の総排出量が少なくなるような近隣地点の集まりの並べ方を探索するという並行探索が必要である。

2. 研究の目的

複数の配送先に異なる重量の貨物を配送する際のCO₂排出量の削減を目指す。

(1) 複数の配送先に対する貨物配送を対象として、CO₂排出量を最小とする配送経路および貨物割当を探索する問題を定式化する。使用トラックの最大積載量、物流事業者の保有するトラックの台数、配送コストなど、考慮対象に応じて問題を拡張する。このとき、貨物配送現場における状況や問題点を有識者からヒアリングし、その結果を反映した内容とする。

(2) 定式化された問題に対する解を許容範囲内の時間で算出できる手法を考案するとともに、用いたアルゴリズムの特性を明確化する。

(3) さまざまな配送状況における最適な配送経路および貨物割当の特徴を明確にする。

3. 研究の方法

(1) 基本的なCO₂排出量最小化配送経路・貨物割当問題を定義し、共生進化に基づく解探索手法を考案する。CO₂排出量が最小となるような配送経路を求める最適化問題として、CO₂排出量最小化配送経路探索問題を定義する。本問題は、最短経路探索問題よりも目的関数の値が訪問順序に大きく依存する。CO₂排出量が少なくなるような近隣地点の訪問順を探索すると同時に、CO₂総排出量が少なくなるような近隣地点の配送経路の並べ方を探索する必要がある。また、実用化を視野に入れると、実用に耐え得る時間で解探索が求められる。以上の問題の特徴と要求事項を踏まえて、共生進化に基づいて解を探索する手法を提案する。

(2) 配送する貨物をいくつかのユニットに分割し、ユニットごとに貨物を別便で配送することでCO₂排出量が削減される可能性に着目する。貨物の分割配送を考慮することで、トラックの最大積載量を超える量の貨物配送にも対処が可能となる。配送経路と同時に貨物割当をも決定するように問題を拡張して、CO₂排出量最小化配送経路探索・貨物割当問題を定義する。ただし、使用するトラックの最大積載量は1種類に固定し、物流事業者が保有するトラックの台数も制限しない。合わせて共生進化に基づく解探索手法を提案する。提案手法における遺伝子の表現方法として、遺伝的アルゴリズムで一般的に使われているパス表現、順序表現、ランダムキー表現を共生進化に適用できるよう変更し、その効果を検証する。

(3) 物流事業者の保有するトラックの最大積載量と台数を考慮できるように問題を再定義し、共生進化に基づく解探索手法を提案する。提案手法では、配送開始時刻から終了時刻までの時間の増加を回避するために、同一トラックの複数回使用を抑制しつつCO₂総排出量が最小となるような貨物割当と配送経路を探索することができる。

(4) 実用化に向けて、問題の制約条件と目的関数について、さまざまな観点から検討する。また、サンプルデータを用いた実験を実施し、問題設定の変化による貨物割当てと配送経路の相違を示す。さらに、有識者にインタビューを行ない、物流事業者が配送経路を決定する際の基準、および CO₂ 排出量最小化と作業効率の維持・向上の両立などについて、知識の提供を受ける。

(5) 有識者へのインタビューの結果に基づき、CO₂ 排出量だけではなく、物流事業者と下請け業者のコストをも考慮した貨物割当てと配送経路の探索手法の開発に取り組む。物流事業者はできるだけ委託費用が低くなるように下請け業者が所有するトラックへの貨物割当てを決定する。一方、下請け業者にとっては、委託された配送を低コストで実施することで、利益が向上する。配送費用は主に人件費と燃料費であるが、CO₂ 排出量が少ない経路で配送することで燃料費を削減することができる。また、環境に配慮した物流を実現することで、社会にも貢献できる。配送経路探索にはこれまでと同様に進化計算アルゴリズムが使用できるが、CO₂ 排出量とコストの両者の削減を目標として貨物割当ても同時に考えるには、他の手法との組合せが有効であると考えられる。最初は、暫定的に簡易な方法との組合せを試し、得られる解の傾向や特徴を把握したうえで、より精度の高い解を算出する方法を考案する。

4. 研究成果

(1) 初期の問題に対する解法として、共生進化に基づく手法を提案し、ある物流事業者の顧客である茨城県稲敷市の配送先 32 箇所に貨物を配送する場面を想定して実験を行なった。6 種類の貨物重量データに対して、提案手法およびセービング法により配送経路を求めたところ、表 1 に示す結果が得られた。セービング法よりも CO₂ 排出量が少ないだけでなく配送距離も短い配送経路が得られている。配送先 8 と 21 には 125kg の貨物、それ以外の配送先には 25kg の貨物を配送すると設定したときに得られた配送経路を図 1 に示す。右向き矢印は配送センターの次に訪問することを、左向き矢印は配送センターに戻ることを表す。真っ先に配送先 8、12 に向かうのではなく、他の貨物を下ろしながら重い貨物を配送する地点に行き、その後でさらに残りの貨物を配送するような経路が得られている。

表 1 CO₂ 排出量 [kg-CO₂] と配送距離 [km]

Data	提案手法		セービング法	
	CO ₂	距離	CO ₂	距離
case1	41.4	95.2	48.8	103.3
case2	47.2	94.6	54.3	103.3
case3	46.3	93.8	54.0	103.3
case4	46.6	94.0	54.5	103.3
case5	46.9	94.1	54.3	103.3
case6	37.9	107.1	53.3	103.3

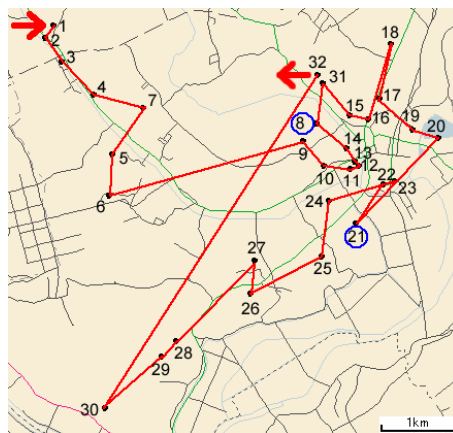


図 1 得られた配送経路の例

(2) 本研究の前段階として提案してきた解探索手法の改良を試み、配送先データの前処理の方法、遺伝子の表現方法、適応度関数の定義、進化戦略、各種パラメータの設定などについて検討した結果、それぞれに関して効果の高い手法が明確になった。これを踏まえ、貨物の分割配送を考慮した問題の解探索手法を提案し、前と同様の配送先データを用いて実験を行なった。配送先 12 と 26 には 750kg の貨物、それ以外の配送先には 150kg の貨物を配送すると設定したときに得られた配送経路を図 2 に示す。配送先 12 については、配送先が密集している地域に位置するため、他の配送先に貨物を下ろしながら配送先 12 に向かう経路となっている。配送先 26 は、ユニットの中で早い段階で訪問するようになっている。他の貨物重量データにおいても、CO₂ 排出量の最小化を目指した探索が実現できていることを示す結果が得られた。

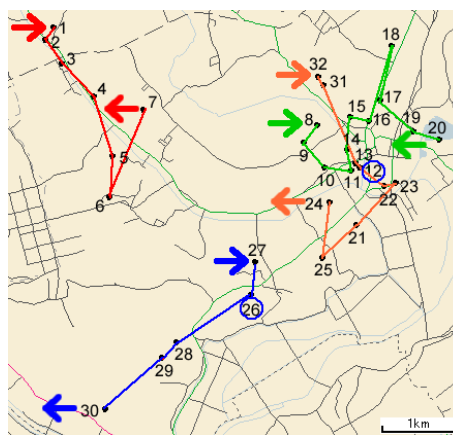


図 2 得られた配送経路の例

(3) 物流事業者の保有するトラックの最大積載量と台数を考慮する問題に対処できるよう、解探索手法を改良し、同様の配送先データを用いて実験を行なった。配送先 6 と 15 には 750kg の貨物、それ以外の配送先には 150kg の貨物を配送すると設定したときに得られた配送経路を図 3 に示す。(a)と(b)は軽トラック、(c)~(h)は 1t トラックで配送する経路である。750kg の貨物は軽トラックに積めないため、150kg の貨物とペアにして、計 900kg の貨物を 1t トラックで配送するよ

うになっている。750kg の貨物を除くと、1tトラックには6箇所分、軽トラックには2箇所分の貨物が積載できるので、1tトラックに対しては積載制限を超えない範囲で曲折の少ない経路になるような配送地点が割り当てられ、残りの地点を軽トラックでまわるような経路が得られている。

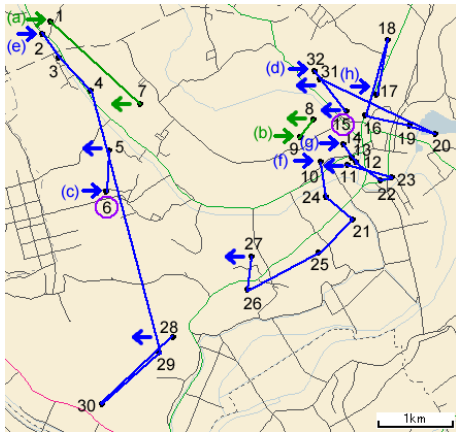
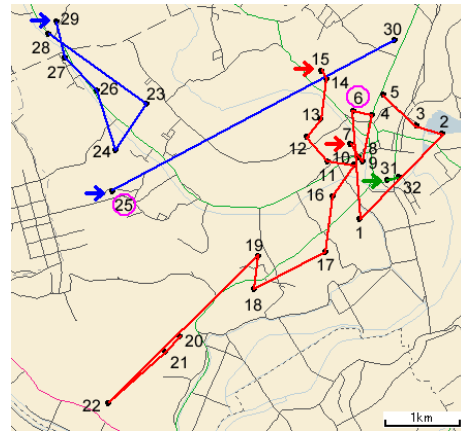
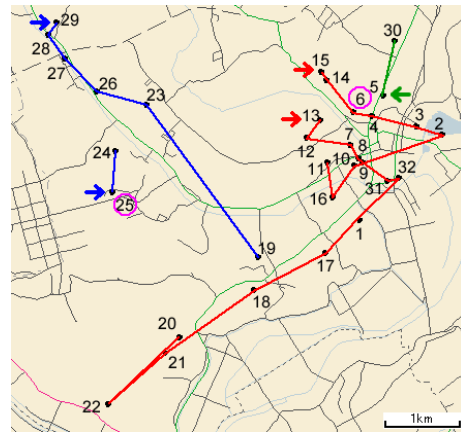


図3 得られた配送経路の例

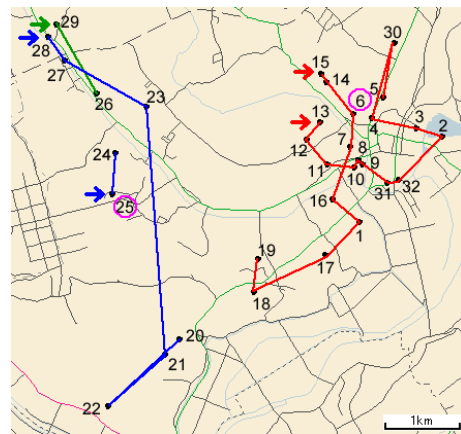
(4) 物流事業者と下請け業者のコストをも考慮した貨物割当と配送経路の探索において、まずは物流事業者のコストがある程度低くなるように貨物割当を仮決定し、CO₂排出量が減少するように微調整する方法を提案した。その後、より効率よく最適解を探索するために、ハーモニーサーチ(HS)に基づく手法を提案し、同様の配送先データを用いて実験を行なった。下請業者は軽トラック、1tトラック、および2tトラックをそれぞれ2台ずつ保有しているものとし、各トラックのチャーター価格はそれぞれ22,000円、25,000円、30,000円とする。HSに基づく手法では、微調整法よりもCO₂排出量の少ない解が得られ、同じ委託費用でCO₂排出量のより少ない配送が実現できることがわかった。配送先6と25には750kgの貨物、それ以外の配送先には150kgの貨物を配送すると設定したときに得られた配送経路を図4に示す。赤、青、緑のラインはそれぞれ2tトラック、1tトラック、軽トラックで配送する経路であり、両手法による調整によって、他より重い貨物を配送する配送先6は配送センターにより近い配送先14、15と同じユニットに属するようになり、少しずつ貨物を下ろしながら配送先6に向かうような経路が得られている。また、配送先25は、調整により近隣の配送先24と同じユニットに属するようになった。微調整法とHSに基づく手法で得られた貨物割当では、軽トラックを使用するユニットに大きな違いが見られる。HSに基づく手法による貨物割当では、配送センターに近い2箇所が軽トラック使用のユニットとなっており、配送センターから遠い配送先はすべて2tトラック使用のユニットとなっているため、CO₂排出量が低く抑えられている。



(a) 調整前



(b) 微調整法で調整後



(c) HSに基づく手法で調整後

図4 得られた配送経路の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計11件)

N.Otani, T.Masui, Cost-Oriented Vehicle Routing and Cargo Allocation with Minimum CO₂ Emissions Based on Harmony Search Algorithm, Proceedings of Asian Conference of Management Science & Applications 2013, 査読有, 2013, pp.528-536.

大谷紀子, 増井忠幸, 配送コストを考慮したCO₂排出量最小化配送経路・貨物割当問題への進化計算の適用, 第5回進化計算

学会研究会資料集， 査読無， 2013， pp.43-48.

N.Otani, T.Masui, Reduction of both Cost and CO₂ Emissions in the Vehicle Routing and Cargo Allocation Problem, Proceedings of 18th International Symposium on Logistics, 査読有， 2013， pp.411-418.

大谷紀子, 増井忠幸, CO₂排出量とコストを考慮した配送経路・貨物割当問題の解法, 人工知能学会第27回全国大会論文集, 査読無， 2013， 2J4-0S-13a-4.

大谷紀子, 増井忠幸, CO₂排出量最小化のための配送経路・貨物割当決定の実用化に関する考察, 日本経営工学会平成24年度秋季研究大会予稿集, 査読無， 2012， pp.232-234.

N.Otani, T.Masui, Consideration of the Variety of the Trucks in Vehicle Routing and Cargo Allocation Problem with Minimum CO₂ Emissions, Proceedings of 10th Global Conference on Sustainable Manufacturing, 査読有， 2012， pp.383-388.

大谷紀子, 増井忠幸, トラックの貨物配送におけるCO₂排出量最小化問題とその解法, 経営システム, 依頼論文, 2012, Vol.22, No.3, pp.129-134.

大谷紀子, 増井忠幸, CO₂排出量最小化のための貨物割当と配送経路の共生進化に基づく探索手法, 人工知能学会第26回全国大会論文集, 査読無， 2012， 3F2-0S-10-4.

N.Otani, T.Masui, Method for Solving the Vehicle Routing Problem with Minimum CO₂ Emissions, Proceedings of Asian Conference of Management Science & Applications 2011, 査読有， 2011， pp.1368-1375.

大谷紀子, 増井忠幸, CO₂排出量最小化配送経路・貨物割当問題のための共生進化における遺伝子表現と操作, 進化計算シンポジウム2011予稿集, 査読無， 2011， pp.48-54.

大谷紀子, 増井忠幸, CO₂排出量最小化のためのトラックへの貨物割当と配送経路の探索手法, 日本経営工学会平成23年度秋季研究大会予稿集, 査読無， 2011， pp.234-235.

[学会発表](計10件)

N.Otani, Cost-Oriented Vehicle Routing and Cargo Allocation with Minimum CO₂ Emissions Based on Harmony Search Algorithm, Asian Conference of Management Science & Applications 2013, 2013/12/23, 昆明(中華人民共和国).

大谷紀子, 配送コストを考慮したCO₂排出量最小化配送経路・貨物割当問題への進化計算の適用, 第5回進化計算学会研究会,

2013/9/12, 室蘭工業大学.

N.Otani, Reduction of both Cost and CO₂ Emissions in the Vehicle Routing and Cargo Allocation Problem, 18th International Symposium on Logistics, 2013/7/8, ウィーン(オーストリア).

大谷紀子, CO₂排出量とコストを考慮した配送経路・貨物割当問題の解法, 人工知能学会第27回全国大会, 2013/6/5, 富山国際会議場.

大谷紀子, CO₂排出量最小化のための配送経路・貨物割当決定の実用化に関する考察, 日本経営工学会平成24年度秋季研究大会, 2012/11/18, 大阪工業大学.

N.Otani, Consideration of the Variety of the Trucks in Vehicle Routing and Cargo Allocation Problem with Minimum CO₂ Emissions, 10th Global Conference on Sustainable Manufacturing, 2012/11/1, イスタンブール(トルコ).

大谷紀子, CO₂排出量最小化のための貨物割当と配送経路の共生進化に基づく探索手法, 人工知能学会第26回全国大会, 2012/6/14, 山口県教育会館.

N.Otani, Method for Solving the Vehicle Routing Problem with Minimum CO₂ Emissions, Asian Conference of Management Science & Applications 2011, 2011/12/21, 三亜(中華人民共和国).

大谷紀子, CO₂排出量最小化配送経路・貨物割当問題のための共生進化における遺伝子表現と操作, 進化計算シンポジウム2011, 2011/12/17, モンタナリゾート岩沼.

大谷紀子, CO₂排出量最小化のためのトラックへの貨物割当と配送経路の探索手法, 日本経営工学会平成23年度秋季研究大会2011/11/13, いわて県民情報交流センター.

[その他]

ホームページ等

<http://www.yc.tcu.ac.jp/~otani/kaken11-13/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大谷 紀子 (OTANI, Noriko)

東京都市大学・メディア情報学部・准教授
研究者番号：70328566

(2) 研究分担者

増井 忠幸 (MASUI Tadayuki)

東京都市大学・環境情報学部・名誉教授
研究者番号：00061565