

CO₂ 排出量最小化のための配送経路探索手法の比較

大谷紀子研究室

1032088 葛目 直樹

1. 研究の背景・目的

現在、地球温暖化の原因の 1 つである CO₂ 排出量の増加が問題となっており、CO₂ 排出量に対する規制や社会の評価は年々厳しくなっている。そのため、物流事業者には配送の際に排出される CO₂ の削減が強く求められており、解決策の 1 つとして CO₂ 排出量最小経路による配送が考えられる。CO₂ 排出量最小配送経路の探索問題には最短経路問題とは異なる特徴的な点がある。CO₂ 排出量は貨物積載量によって増減するため、一度の配送で複数の配送先がある場合には、最短経路が CO₂ 排出量最小配送経路になるとは限らない。また、配送先をいくつかのグループに分け、別の便で配送する方が、CO₂ 総排出量を削減できる可能性がある。大谷らは、CO₂ 排出量最小化配送経路・貨物割当問題に対して、共生進化に基づく解探索手法[1]を提案している。共生進化は部分解と、部分解のより良い組合せを並行して学習するため、多様な解候補からの探索が可能である。しかし、他の最適解探索アルゴリズムを用いた手法は未だ検討されておらず、CO₂ 排出量最小化配送経路・貨物割当問題に適している最適解探索アルゴリズムはわかっていない。本研究では、CO₂ 排出量最小化配送経路・貨物割当問題に対して、人工蜂コロニーアルゴリズム、蛍アルゴリズム、コウモリアルゴリズムに基づく手法を検討し、各手法で得られる解の比較・評価によって、各アルゴリズムの特性や適用可能性を明らかにすることを目的とする。

2. CO₂ 排出量最小化配送経路・貨物割当問題と適用アルゴリズム

本研究における CO₂ 排出量最小化配送経路・貨物割当問題では、複数の配送先に異なる重量の貨物を配送する場合の CO₂ 排出量が最小となる貨物割当と配送経路を決定する。ただし、使用するトラックの最大積載量は考慮するが、台数の制限は設けない。以上の問題に、人工蜂コロニーアルゴリズム、蛍アルゴリズム、およびコウモリアルゴリズムを適用する。人工蜂コロニーアルゴリズムは蜂が蜜を集めるメカニズムを模倣した最適解探索アルゴリズムであり、収穫蜂、追従蜂、および偵察蜂による解探索フェイズを繰り返すことでより良い解を獲得する。蛍アルゴリズムは蛍が光を追う習性を模倣し、適応度の低い解候補を高い解候補に近づけることでより良い解を得る。コウモリアルゴリズムはコウモリが超音波を使って獲物などを特定する方法を模倣しており、パルス率と音量という 2 つの確率を用いてより良い解を探索する。

3. 解の表現と新しい解の生成方法

配送センターから最も近い配送先を 1、配送先 1 から最も近い配送先を 2 というように、N 箇所の配送先に 1~N の番号をつける。解は長さ N の一次元配列で表す。各要素は配送先の番号に正負の符号をつけた値であり、符号が負なら前の配送先とは違う便で配送することを表し、正なら同一便で配送することを表す。解探索の過程で新しい解を生成する際には、解候補集合から選択した 2 つの解候

補を使用する．一方の解候補 A から連続して配送する 2 つの配送先をランダムに選択し，もう一方の解候補 B の同一箇所にコピーすることで，B を A に近づけた解候補が生成される．コピーする際，同じ配送先に二度行くことや，一度も行かない配送先がないように調整する．例えば，図 1(a)に示した解を図 1(b)で示した解に近づくように新しい解を作る場合，図 1(b)の配送順 3 番目と 4 番目に配送先が 4→3 の順で配列に入っているのので，図 2 に示すように 3 番目と 4 番目だけ 4→3 の順で入れる．3 番目と 4 番目の配送先だった 5 と 2 は，図 1(a)で配送先 3 と 4 を回るはずだった 2 番目と 8 番目に，ランダムに決めた順番で入れる．

8	3	5	2	6	7	1	4
---	---	---	---	---	---	---	---

(a)元の解の配列

5	6	4	3	7	1	8	2
---	---	---	---	---	---	---	---

(b)別の解の配列

図 1：新しい解の生成

8	5	4	3	6	7	1	2
---	---	---	---	---	---	---	---

図 2：新しい解の配列

4. 評価実験

各手法の特性と適用可能性を確認し，比較するために軽油を燃料とする最大積載量 2000kg のトラックで 32 箇所の配送先に貨物を配送する場面を想定して実験を行った．距離データは配送先 32 箇所間の移動距離を地図上で計測して作成された実データ，貨物重量データは多様な状況での解の変化を確認するために作成された 12 種類の仮想データを用いた．貨物重量データ random-2, flat-2, heavy1-2 は，貨物総重量が最大積載量を超えており，複数のグループに分割しなければ配送できない場合のデータである．各手法により解探索を 10 回ずつ実行した．得られた CO₂ 排出量の平均の一部を表 1 に示す．

表 1：CO₂ 排出量の平均[kg-CO₂]（一部）

貨物重量データ	人工蜂コロニー	蛍	コウモリ	共生進化
random	23.02(0.12)	23.88(0.33)	33.21(3.02)	23.31(0.21)
flat	28.01(0.11)	28.95(0.50)	41.60(5.16)	28.16(0.16)
heavy1	27.59(0.09)	28.45(0.32)	41.60(4.44)	27.77(0.22)
heavy3a	20.56(0.05)	20.75(0.11)	21.19(0.27)	20.55(0.03)
random-2	42.65(0.10)	43.52(0.46)	54.25(3.95)	42.45(0.42)
flat-2	74.22(0.15)	76.10(0.89)	82.95(4.60)	73.97(0.64)
heavy1-2	70.20(0.18)	73.01(1.79)	81.03(4.19)	72.23(0.45)

(括弧内は標準偏差)

5. 考察

すべてのデータに関して，人工蜂コロニーアルゴリズムと蛍アルゴリズムを用いた手法で良い解が安定して得られることが確認できた．人工蜂コロニーアルゴリズムでは 3 段階の解探索フェイズを繰り返している点，蛍アルゴリズムでは，2000 個の解の組合せについて CO₂ 排出量の大小を比較し近づける操作を行っている点が安定して良い解を得られた理由として挙げられる．コウモリアルゴリズムは解探索の中で良い解ほど高い確率で残すが，切り捨てる可能性もあるため，他のアルゴリズムよりも CO₂ 排出量の平均が大きかったと考えられる．また，人工蜂コロニーを用いた手法のみが共生進化と比べ，同等かそれ以上に CO₂ 排出量を抑える配送経路を探索できている．

参考文献

[1]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，pp.48-54，2011