

配送・集荷経路問題に対するセービング法を用いたハイブリッド技法

足利工業大学大学院 *横山 裕之 YOKOYAMA Hiroyuki
01207540 上智大学 白井 裕 SHIRAI Yutaka
01604170 足利工業大学 松本 直文 MATSUMOTO Naofumi
01105370 足利工業大学 川中子敬至 KAWANAGO Takashi

1. はじめに

近年、地球温暖化の原因である温室効果ガスの削減が地球規模での課題となっている。日本から排出される温室効果ガスの中では、自動車の燃料消費に伴って発生するCO₂の排出量が突出しており、自動車の台数を減らすなどの方法で、その量を減少させなくてはならない。

本研究では、配送・集荷を行うトラック等の走行距離の最小化を目的とする、配送・集荷経路問題(以下VRP)を扱う。これに対する技法として、従来からセービング法[1,2]などの近似解法が知られている。ここではセービング法と遺伝的アルゴリズムやシミュレーテッド・アニーリングを組み合わせたハイブリッド技法を提案し、セービング法単体の場合との比較検討を試みる。

ここでは、配送・集荷経路問題の一例として、ゴミ収集車の巡回経路問題を取り上げ、その定式化を示し、提案ハイブリッド技法を足利市の事例に適用して、その評価を試みる。

2. VRPの定式化(集荷経路問題のケース)

収集車は必ず各集積所に立ち寄り、1回ですべてのゴミを積む。センターをスタートした収集車は、積載容量を超えない条件の下で集積所をたどり、センターへ戻る。収集車は、ゴミ集積所と美化センターの間、ならびにゴミ集積所間を最短経路で走ると仮定する。この経路をここでは巡回ルートと定義する。巡回ルートの決め方により収集車の総巡回経路長は異なる。

VRPはこの最小化を目的とし、制約条件を、

(1) 収集車は必ずすべての集積所をたどる

(2) 収集車は容量以上のゴミを積まない

(3) 収集車は各集積所で積み残しをしない

とすると、以下のように定式化できる。

$$\text{目的: } \min z = \sum_{i=1}^{\alpha} l_i \quad (1)$$

$$\text{制約条件: } q_i = \sum_{k \in R_i} a_k \leq b \quad i=1, \dots, \alpha \quad (2)$$

$$R_i \cap R_j = \{\emptyset\} \quad i, j=1, \dots, \alpha, \quad i \neq j \quad (3)$$

$$\bigcup_{i=1}^{\alpha} R_i = \{0, N\} \quad (4)$$

ここで、

z : 総収集距離

R_i : i 番目のルートに属する集積所の集合

T_i : R_i の順列 $(0, t_1, t_2, \dots, t_n, 0)$

l_i : 順列 T_i によるルート i の総走行距離 $l(T_i)$

0 : 美化センター α : 巡回ルートの数

q_i : R_i の総ゴミ集積量 a_k : 第 k 集積所のゴミ量

b : 収集車の積載容量 N : 集積所全体の集合

である。なお、配送の場合にも同様に定式化できる。

3. 集積所のゴミ量および距離の推定

3.1 ゴミ集積所の圏域配分

各世帯がどのゴミ集積所を利用するかについて、本研究では単純に距離の近いゴミ集積所を利用すると仮定し、最も近距離にある施設の利用者の集合: ポロノイ領域によってできた幾何図形であるポロノイ図[4]を用いて、圏域の配分を行った。

なお、ポロノイ図作成のための入力データは、全世界帯ならびに各ゴミ集積所の位置である。

3.2 ゴミ集積所の圏域による世帯数の推定

本論文では、ポロノイ領域を形作る元になる母点を各ゴミ集積所として、筆者の一部が考案した手法[5]を用いてポロノイ図を作図し、各ゴミ集積所のポロノイ領域内の世帯をそこの利用者とする。そしてポロノイ図の圏域配分を用いて、1996年現在の足利市の世帯数から、各ゴミ集積所を利用する世帯数を推定した。

3.3 各集積所におけるゴミ排出量(a_k)の推定

両毛美化センターが1997年度に収集した可燃ゴミの総量は、8497.31トンであった。ゴミは年間104回収集が行われるという前提条件から、両毛美化センターが1回に収集したゴミの量は81.705トンとなる。この値を足利市の総世帯数で割ると、1回の収集で一世帯が8.26kgの可燃ゴミを出していたことになる。

この8.26kgという値と、3.2節で推定した世帯数から、各ゴミ集積所に1回の収集当たりに出されるゴミの量を算出した。

3.4 ゴミ集積所間の最短経路と距離の算出

本研究では足利市内の道路網を考え、これにゴミ集積所および両毛美化センターを合わせた782カ所を節点に加える。このネットワークにおいて、最短経路問題の解法の1つであるダイクストラ法[6]を用いて、782カ所の節点間の最短道路距離を求めて距離行列を作成した。

最短経路算出のための入力データは、各集積所と美化センターの位置ならびに交差点の位置である。

3.5 足利市の事例

筆者が行った研究[3]では、事例として主に栃木県足利市の富田・毛野地区でゴミの収集を行っている両毛美化センターが担当する範囲について、収集経路を検討した。ゴミ集積所については、1998年3月現在で足利市役所が確認した3554カ所のうち、両毛美化センターが担当する地区内の781カ所を検討の対象とした。

収集するゴミは可燃ゴミに限定し、ゴミの量は、両毛美化センターが1997年度に収集した可燃ゴミの総量とした。なお、ゴミの収集は年間104回行われるものとし、一世帯から1回の収集に出されるゴミの量は一定とする。また、ゴミ収集車の積載容量は4トンに統一する。

4. VRP に対する提案技法および数値実験

4.1 セービング法を用いたハイブリッド技法の提案

VRP の近似解法の 1 つであるセービング法[1,2]と GA [7]を組み合わせた技法としては、GA によるルートの探索中にセービング法による補正を取り入れてルートを改善する技法が提案されている[8]。しかし、この技法は小規模な問題には適用可能だが、本研究で扱うような大規模な問題に適用する場合、初期にある程度良い解を与えないと解の質が極端に悪くなることが考えられ、この技法を即座に適用することが困難である。

本研究では、VRP に対してセービング法を用いたハイブリッド技法を提案する。ここで、提案技法のアルゴリズムを以下に示す。

- [Step1] 各集積所に出されるゴミの量と最短距離を算出して、セービング法を適用する。
- [Step2] セービング法で得られたルート毎に GA もしくは SA を適用し、各ルートの最適化を図る。
- [Step3] ルート間に対し、摂動を加え[Step2]へ。もし所定回数を越えた場合には終了する。

この提案技法では、初期段階でセービング法で得られた解を導入することにより、ランダムに初期解を与えるよりも解の改善性が高まると期待できる。

4.2 提案技法の予備的評価

2.1 節で述べた足利市のゴミ収集の事例について、提案技法の[Step1]および[Step2]に対して、予備的な実験を行った。

この実験では、上記の[Step2]について GA を適用し、集団サイズ 50、最大世代数 1000、交叉確率 0.6、突然変異率 0.05 の条件で 5 回の試行を行い、その実験結果を表 1 に示す。この結果より、[Step1]、すなわち、セービング法単体では 22 巡回ルートが得られ、総走行距離は 489211.4(m)である。一方、提案技法での総走行距離は平均で 437088.2(m)である。したがって、提案技法の総走行距離はセービング法単体と比較して約 11.2%減少することが分かり、提案技法の有効性が確認できる。

図 1 は、22 巡回ルート中の #4 ルートについて、セービング法単体と提案技法それぞれによって算出した巡回経路を示したものである。図 1 からは、セービング法単体による経路に比べて、提案技法による経路での無駄な走行が減少していることが分かる。このことから、提案技法の有効性と、セービング法単体では、VRP の最適解が得られないことが明確である。

4.3 摂動方法についての検討

提案技法の[Step3]で行う摂動を加える方法について、次の 3 つの方法の検討を行っている。

- 1) 各ルートを一次元配列中にランダムに並べ、GA を適用する。
- 2) 1)と同様に、各ルートを一次元配列でランダムに並べる。この時、各ルートに含まれるノードの順番を確率的に反転させる。各ルートの切り方が変わる場合には GA を適用し、変わらない場合には GA を適用しない。
- 3) 2 つのルートが交差する場合に、交差点を境にルートを交換した上で、GA を適用する。なお、交換時には容量制約は考えない。

表1 予備的数値実験の結果

		総走行距離(m)
セービング法単体		489211.4
提案技法	平均	437088.2
	最良	434765.1

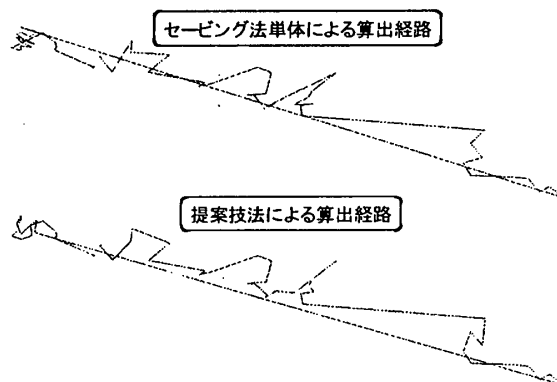


図1 巡回経路の比較例 (#4ルートについて)

GA 技法を適用する際の解の表現法は、 α 個の巡回ルートを形成するゴミ集積所の順列を頭より順に詰めて並べた一次元配列を考え、式(2)を満足するように配列に切れ目の印を付けて、各ルートを決定する。

提案技法とセービング法とのより厳密な性能比較ならびに性能評価が必要であり、現在このための実験を進めている。

5. まとめ

本研究では、配送・集荷経路問題の一例として、ゴミ収集車の巡回経路問題に対して定式化およびセービング法を用いたハイブリッド技法の提案を行い、事例として足利市のゴミ収集を取り上げ、予備実験を行った。

その結果、本研究で扱う大規模な問題に対して、セービングを用いたハイブリッド技法が、セービング法単体および GA 技法単体よりも良好な解を得る見通しを得た。

参考文献

- [1]増井、他：ロジスティクスの OR, 1998, 棋書店。
- [2]古林：ネットワーク計画法, 1984, 培風館。
- [3]横山、白井、川中子、松本：ゴミ収集車の巡回経路問題に関する研究, 日本経営工学会平成 12 年度秋季研究大会予稿集, pp.137-138, 2000。
- [4]岡部、鈴木：最適配置の数理, 1992, 朝倉書店。
- [5]川中子：通学距離と施設規模に基づく学校配置問題の研究, 学位論文(工学院大学), 1992。
- [6]伊理、古林：ネットワーク理論, 1976, 日科技連。
- [7]坂和、田中：遺伝的アルゴリズム, 1995, 朝倉書店。
- [8]相浦、佐藤、唐澤、嘉松：Saving 手法組込み型 GA による輸送経路の最適化, 土木計画学研究・講演集, pp.351-354, 2000。