

# 遺伝的アルゴリズムを用いた都市ごみ収集車スケジューリング手法の開発

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 学生会員 寺田悟  
 京都大学地球環境学大学院 正会員 内海秀樹  
 京都大学地球環境学大学院 正会員 松井三郎

## 1 研究背景及び目的

都市ごみ収集運搬に要する費用が、廃棄物処理費用の中で大きな割合を占め、自治体の財政を圧迫しており、収集運搬システムの効率化が要求されている。しかし、過度に効率性を追求して作業員の労働環境を悪化させてはならない。労働負荷の偏りをなくすためにも、公平な作業配分が必要である。収集車の作業の配分を決定するスケジューリングは、できるだけ偏りのないスケジュールを、突発的な事故や災害などの日々の変化に対応するため、短時間で作成する必要がある。しかし現実的には、収集車の配車と作業の配分の組み合わせの数は膨大で、その全てを探索して最適解を求めることは、莫大な計算時間を必要とすることは巡回セールス問題として知られている。そこで、計算時間と解の質の良さをうまくバランスさせたスケジューリング手法が必要となる。

先行研究<sup>1)</sup>では、遺伝的アルゴリズムを用いた収集経路探索モデルを構築した。本研究では、収集経路探索モデルを発展させて、できるだけ作業配分の偏りのない収集車スケジュールを短時間で作成する手法を開発するために、最適化手法である遺伝的アルゴリズムを用いた収集車スケジューリングモデルを構築した。

## 2 遺伝的アルゴリズムの概要

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms:以下 GA) は、生物の遺伝と進化の過程をモデル化した探索的手法であり、組み合わせ最適化問題やスケジューリング問題に有効な最適化手法である。

GA では、対象とする問題の解を記号列で表し、個体の染色体とする。まず初期集団として、多数の個体を生成する。通常はランダムに生成するが、質の良い解を高速に探索するには、問題ごとに工夫した生成方法が重要となる。そして、集団に対して、2つの個体を組み合わせる交叉や、各個体の染色体を部分的に変化させる突然変異により、新しい個体を生成し、あらかじめ定めた評価関数により個体の適応度を計算し、選択という操作を通して適応度の高い個体を生存させ、低い個体を淘汰する。これらの操作を繰り返すことで、次第に優れた個体が残残り、すなわち解が改善され、最終的には最適に近い解が得られるであろうというのが GA の進化の考え方である。

## 3 収集車スケジューリングモデルの概要

本モデル、まず対象地域の区域への分割を行い、(a) 収集経路の探索、(b) 収集経路のトリップへの分割、(c) 収集車へのトリップの配分、の3つの過程で最適化を行い、それぞれに GA を用いる。ここでトリップとは、収集車が搬送先施設を出発して、集積所を巡回してごみの収集を行い、積載量が一杯になったら積んだごみを下ろすために搬送先施設に戻ってくる一連の行程のことである。収集車は1日にいくつかのトリップを担当する。

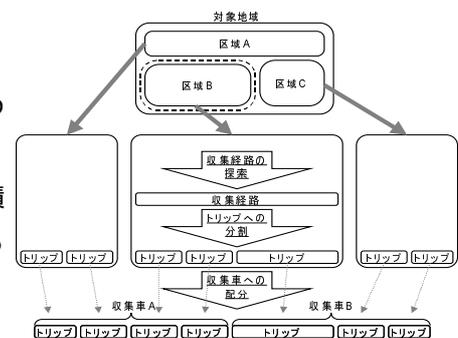


図1 モデルの概念

### 3.1 区域の設定

道幅による収集車の車種の制限や、道路状況による収集時間帯の制限などの条件を基準に、対象地域を制約条件の揃う区域ごとに分割する。

### 3.2 収集経路の探索

先行研究の収集経路探索モデル<sup>1)</sup>を適用し、区域における収集経路を求める。区域内のごみ集積所に番号を付け、番号の順列で収集経路を表す。

### 3.3 収集経路のトリップへの分割

収集車には最大積載量が存在するため、得られた収集経路を1台の収集車が一度で巡回することはできない。そこで1回のトリップでのごみ積載量が最大積載量を超えないように、かつ収集車の作業時間ができるだけ短く

キーワード：都市ごみ、収集車、スケジューリング、最適化、遺伝的アルゴリズム

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院地球環境学廊環境調和型産業論分野

TEL 075-753-5169 / FAX 075-753-3335 / E-mail terada@eden.env.kyoto-u.ac.jp

なるように、GA を用いて、収集経路のどのごみ集積所で搬送先施設に輸送するか、すなわちトリップの最後の集積所を決定する。このことを収集経路をトリップに分割と呼ぶ。

### 3.4 収集車へのトリップの配分

各区域ごとに収集経路の探索、トリップへの分割を行い、複数のトリップが得られる。各収集車の1日の作業時間ができるだけ均等になるように、GA を用いて、複数の区域で得られたトリップを複数台の収集車へ配分する。

GA の染色体表現方法として、トリップと収集車に番号を付けて、次のような2種類の表現方法を考える。ID1: トリップ番号を一行に並べた配列に、区切りを入れて収集車台数分のグループに分け、収集車ごとにトリップを配分する。最大のトリップ番号の次からを区切りを表す番号とする。トリップ番号と区切り番号を並べる表現方法である。ID2: 収集車番号をトリップ数分だけ並べた配列を考えて、端からトリップ番号の小さい順に対応して配分を決定する。収集車番号を並べる表現方法である。また、初期集団生成方式として、ID1 及び ID2 とともに各収集車の担当するトリップ数が均等となる解を生成することにより、作業時間が均等になるような解を得られやすくする均等方式を用いる。

## 4 シミュレーション結果及び考察

解を実用的な時間内で求めるために、効果的な遺伝的アルゴリズムの演算手法およびパラメータの設定を行うことを目的にシミュレーションを行った。本稿では、収集車へのトリップの配分のシミュレーションについて示す。各収集車の作業時間の分散及び計算に要した時間の2つを評価項目とした。シミュレーションの条件を収集車20台、トリップ数90個、各トリップ所要時間60分~140分(ランダムに決定)に仮想的に設定した。またGA で用いる手法とパラメータの条件を表1のように設定した。染色体表現方法及び初期集団生成方法ごとに、交叉率と突然変異率を0から1まで0.1刻みに変化させて、5回ずつシミュレーションを行い、分散と計算時間の5回の平均を求めた。最も小さい5回の平均の分散の値とその時の交叉率と突然変異率を表2に示す。ID1では本研究で考案した均等方式のほうが有効であった。ID2ではあまり差が見られなかった。染色体表現方法を比較するとID1のほうが低い分散が得られた。また計算時間は交叉率及び突然変異率が高くなるのに比例して大きくなり、ID1よりID2のほうが短くなった。次に、ID1において均等方式で生成した初期集団における最も小さい分散の値2268、シミュレーションによって得られた最も小さい分散の値401のときの具体的な収集車へのトリップの配分を、それぞれ図2、図3に示す。シミュレーションにより、作業時間がほぼ均等なトリップの配分が得られていることがわかる。

表1 遺伝的アルゴリズムで用いる手法とパラメータの条件

パラメータ	ID1 設定値	ID2 設定値
染色体数	200	
世代数	1000	
初期集団生成方法	均等方式	
交叉方法	部分一致交叉   二点交叉	転座
突然変異方法		ランク+エリート保存方式
エリート保存率	0.1	

表2 各方法による各収集車の作業時間の分散と計算時間

染色体表現方法	ID1		ID2	
	均等方式	ランダム	均等方式	ランダム
初期集団生成方法				
作業時間の分散	401	630	403	409
計算時間 [秒]	4.8	4.7	3.3	3.8
交叉率	0.3	0.5	0.0	0.8
突然変異率	0.2	0.2	0.3	0.2

## 5 結論

- 遺伝的アルゴリズムを用いて、収集経路の探索、トリップへの分割、トリップの配分の3つのプロセスからなる収集車スケジューリングモデルを構築した。
- 「トリップの分割」と「トリップの配分」において、遺伝的アルゴリズムの、染色体表現方法及び初期集団生成方法を開発し、効果的な演算手法及びパラメータをシミュレーションにより設定して、解を実用的な時間内で求める手法を開発した。

### 参考文献

- 1) 内海秀樹, 中井和彦, 松井三郎: 一般廃棄物収集運搬ルート策定のための遺伝的アルゴリズムを用いた対話型支援システムの開発, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, VII-110, pp.219-220, 2002
- 2) 三宮信夫: 遺伝的アルゴリズムと最適化, 朝倉書店, 1998

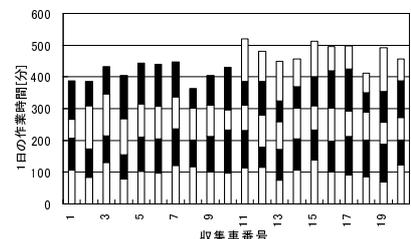


図2 初期集団における収集車へのトリップの配分

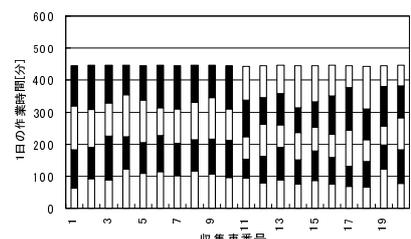


図3 シミュレーション後の収集車へのトリップの配分