

遺伝的アルゴリズムを用いた対話型一般廃棄物収集運搬ルート 策定支援システムに関する研究

○内海秀樹¹、中井和彦²、松井三郎¹

¹. 京都大学大学院地球環境学堂

². 静岡県島田土木事務所

概要：自治体によっては、廃棄物の収集運搬に要する費用が高くなっており、効率的収集運搬ルートの検討が課題の一つになっている。この廃棄物集積所巡回のための最短ルートの探索問題は、巡回方法の組合せの数が膨大になるため、すべてを調べ上げて解を求めることは現実的には困難である。本研究では、確率的探索手法の一つである遺伝的アルゴリズムをこの問題に適用し、利用者が巡回ルートの策定を行う際に対話的に検討できるアプリケーションシステムの開発を目指している。その第1段階として、本報告では、1台の収集車の巡回ルートについて最適ルートを探索するためのアプリケーションシステムについて報告する。使用者の視覚的判断による解の修正などにより、最適解への収束を速める工夫を採用し、本システムでその効果を確認することができた。

キーワード：遺伝的アルゴリズム、最適化、収集ルート、一般廃棄物、対話型システム

1. 研究背景および目的

収集運搬に要する費用が、廃棄物処理処分事業全体に要する費用に対して占める割合は、自治体によっては年々増加する傾向にあり、財政硬直化の一因となっている。今後も容器包装リサイクル法へのより完全な対応など収集運搬業務は、益々、複雑化かつ高費用構造化することが予想される。

収集運搬での巡回方法は、運転者の勤と経験に依存する部分が多いが、その巡回方法に検討を加える必要性は、工事や交通渋滞等の阻害要因を回避するための目的や、ごみ処理施策を大幅に変更し様々な戦略を検討するための目的などで、今まで以上に多くなると思われる。

廃棄物集積所巡回のための最短ルートの探索問題は、その組合せが大変多くなるため、すべてを調べ上げて解を求めることは現実的には困難である。この理由等により、一つ一つのごみ集積所を対象として、最適距離を求める検討方法を採用することは従来あまりなされなかった。

ところが、確率的探索手法の一つである遺伝的アルゴリズム（以後、GAと表記）に関する研究¹⁾が進み、先に述べたような、いわゆる組合せ爆発を起こすような組合せ最適化問題に対して、最適解または最適解に近い解を現実的な時間内で求めることが可能になってきた。

本研究では、GAをこの問題に適用し、利用者に対話的に探索を行うことによって、巡回ルートの検討を行うことのできるアプリケーションシステムのプロトタイプの開発を行った。

2. 遺伝的アルゴリズムの概要

GAは、生物の遺伝と進化の機構を工学的にモデル化したものである²⁾。その基本的原理は、親の遺伝子によって生物としての情報伝達が行われ、次世代へは、各個体の中で環境への適応度のより高い個体の遺伝情報が次世代に優先的に伝えられるというものであり、確率的探索・学習・最適化の一手法と位置づけることができる。

代表的な応用分野には、組み合わせ最適化問題、設計問題、スケジューリング問題、制御問題等を挙げることができるが、本研究で対象とする問題は、組み合わせ最適化問題として分類される巡回セールスマン問題に近い。

遺伝的アルゴリズムでは、実際の染色体に相当するものとして、一般的には、シンボルや数値を 1次元に並べたものを扱う。そして、その計算手順は、概ね次に示すとおりである(図 2-1)。

- a) 対象とする問題を遺伝子の形で表現しなければならないため、”対象とする問題”から”記号列”へと変換を行う必要がある。この作業をコーディングといい、一般的方法是確立されていない。
- b) ある数以上の個体を初期集団として生成させる。多様性を持たせるためランダムに個体を生成させる方法が一般的である。
- c) あらかじめ決めておいた個体の適応度の算定方法に基づき各個体の適応度を計算する。そして、あらかじめ定めた基準を満足する個体があれば終了し、なければ次の手順に進む。
- d) c)で求めた適応度に基づいて次の段階で交叉を行う個体の生成分布を決定する(選択)。
- e) 2つの染色体間で遺伝子を組み換えて交叉を行い、新しい個体を発生させる。
- f) 遺伝子のある部分の値を強制的に変えて、遺伝子集団としての多様性を大きくする(突然変異)。この手順によって、よりよい解を持つ個体の発生が期待されるが、その規模が大きすぎると悪い方向への変異の確率も大きくなる。
- g) c)へ戻る。

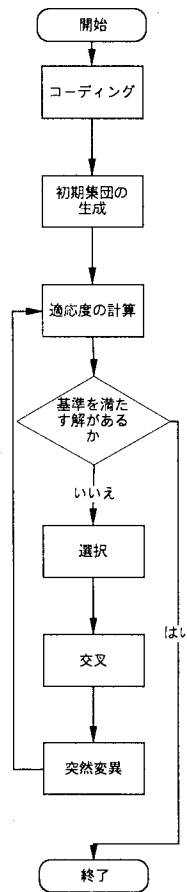


図 2-1 遺伝的アルゴリズムの手順

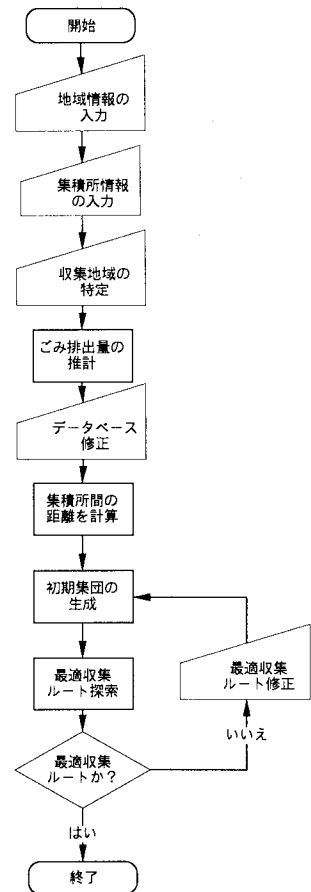


図 3-1 本支援システムの操作手順

3. 対話型一般廃棄物収集運搬ルート策定支援システムの概要

3.1 特徴

本システムでは、1台の収集車が担当する集積所を最短距離で巡回するルートの探索問題に遺伝的アルゴリズムを適用している。

集積所毎に固有の番号を与え、それぞれを染色体に対応する塩基と見立てて、それらを一巡するルートをひとつの染色体と見立てコーディングを行い、一巡するルート案群から構成される初期集団を生成する際に、それらのルート案をランダムに生成させるのではなく、集積所の隣接関係を反映させて生成し、探索時間の短縮化を図るという改良を行っている。

遺伝的アルゴリズムの適用による解の収束を速めるために、視覚的に解の収束を促すと判断できる部分は、利用者の操作により、本システムが提案した解を修正し、初期集団の中に加えて再計算を行うことができるという改良も行っている。つまり、複雑な計算はコンピューターが行い、対話的操作を利用者が行うことによって探索時間の短縮を図る相互補完的なアプローチを本システムは

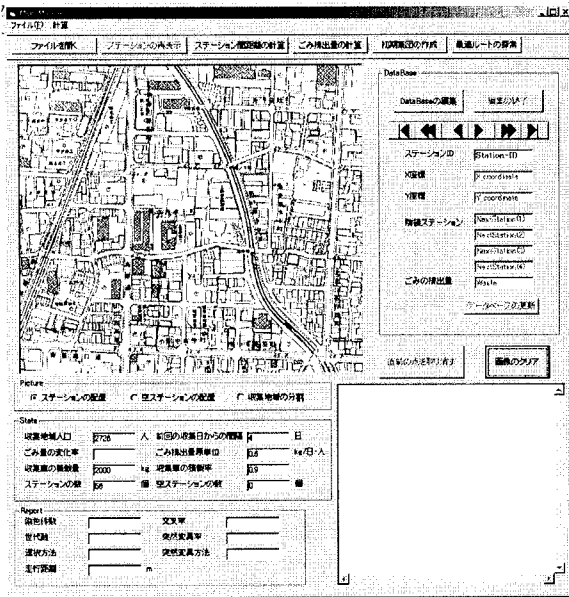


図3-2 アプリケーションメイン画面

用いている。

3. 2 操作手順およびシステム構成

基本的な操作手順(図3-1)は、(1)収集地域の人口などの地域情報の入力、(2)集積所の位置等の情報の入力、(3)地図上での収集地域の特定、(4)ごみ排出量の推計、(5)隣接状況の入力のためのデータベースの修正、(6)集積所間の距離を計算、(7)初期集団(巡回ルート代替案群)の生成、(8)最適収集ルートの探索、(9)ルートの交差がないなど最適収集ルートとの判断が可能であれば終了。そうでなければ、次の手順へ進む。(10)探索解の修正の後、修正後の染色体を加えた初期集団の生成を行うため(7)に戻る作業を行う。

本システムは、集積所のデータベース操作、集積所位置の地図上への入力、収集地域人口などの条件の入力、GAでの条件や適応度(走行距離)を表示する部分などから構成されるメイン画面(図3-2)と、GAで用いる更に詳細な条件を入力するGAの詳細設定画面と初期集団生成設定画面の3つの画面から構成され、相互に連動して機能する。

4. 計算結果および改良による効果

京都市内のある地域を対象として取り上げ、シミュレーションを行った。その際の対象地域の設定を表4-1に、GAの適用の際に必要な設定を表4-2に示す。集積所の数および位置は、支援システム構築が目的であるため、著者らが仮想的に設定を行った。よって現実とは一致しない。また、集積所数の中には、距離の計算精度を向上させるため、実際には集積所はないが通過する必要のある交差点などの場所を、ごみ収集の必要のない集積所として設定している数を含む。表4-2に示しているGA関連のパラメータの設定は、最適解への収束ができるだけ早く進む値を、感度解析によって分析した結果と計算時

表4-1 ケーススタディにおける設定

設定	
対象地域	京都市のある地域
総世帯数	1004[世帯]
総人口	2726[人]
1人1日あたりごみ排出量原単位	0.6023[kg/人/日]
対象地域1日あたり総排出量	1642[kg]
収集間隔	4[日]
収集車の積載量	2000[kg]
積載率	0.9[-]
集積所数	74[カ所]

表4-2 ケーススタディでのGA関連の設定

設定	
染色体数	200
世代数	10000 x 3 or 30000
交叉率	0.7
突然変異率	0.2
突然変異方法	転座
選択方法	ランク方式

表4-3 ルート修正の有無と初期集団生成方式の違いによる探索結果

ルート修正	総走行距離[m]	計算時間[s]
なし		
(ランダム式)	1回目	5821 4224
あり		
(隣接式)	1回目	5162 1389
	2回目	4943 1317
	3回目	4858 1358
	小計	4064

※ルート修正欄の()内は、初期集団生成方式

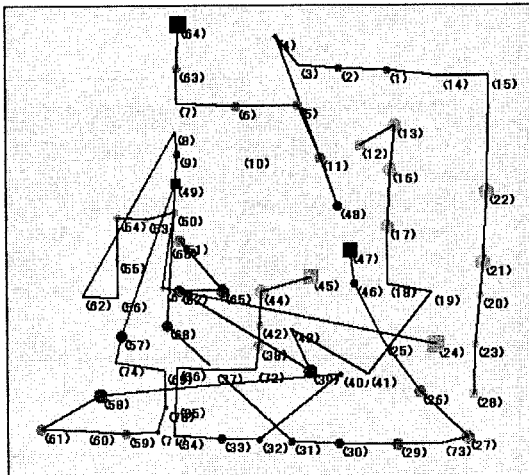


図 4-1 ランダムに生成した初期集団の 30000 世代後の解

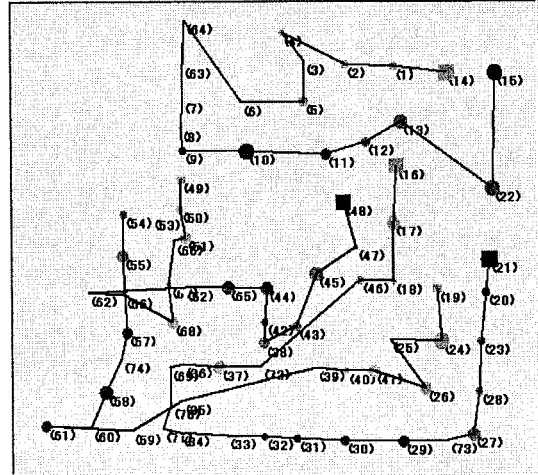


図 4-2 集積所の隣接状況を反映して初期集団を生成後、10000 世代毎に修正を繰り返した後の解

間の量に基づいている。

一般的な GA の手順では、ランダムに初期集団を生成し、最終世代まで計算を行うため、この方法による結果と、本研究で用いた、集積所の隣接関係を反映させて初期集団を生成し、世代計算の途中で修正を加えたものとの比較を行う。表 4-3 には、両者において求められた総走行距離と計算時間の結果を示す。図 4-1 には、ランダムに生成した初期集団に対し、30000 世代に渡って計算した結果を、図 4-2 には 10000 世代毎に利用者が視覚的によりよい解に近づけるように解を修正し、30000 世代まで計算した結果を示す。

図 4-1 および図 4-2 比較すると明らかなように図 4-2 の方が経路の交差箇所が少ない解が得られ、修正を行わない場合に比べて同程度の探索時間で総走行距離が約 15% 強程度短い解を探索していることがわかる(表 4-3)。現段階では統計的検定を加えていないが、これらの結果より、集積所の隣接状況を考慮に入れ、利用者の視覚的な情報を探索に反映させる方が、同程度の探索時間で、よりよい解を探索できる見通しが得られた。集積所の隣接状況を加味した初期集団の生成を行い、解の修正を行わない場合の時は、同程度の探索時間で、約 10% 程度総走行距離の短い解を得られる見通しである。

5. 結論

収集運搬ルート策定を目的として構築している本システムは発展途上にあるが、現段階で達成した成果の主なものは下記の通りである。

- ・ GA の一般的な方法で初期集団をランダムに生成させるのに比べ、集積所の隣接状況を反映させて初期集団を生成する事により、走行距離の短い収集ルートを、より短時間で探索できた。
- ・ 探索されたルートに利用者が修正を加え、再度入力をする事により、適応度の高い染色体を意図的に生成して、より走行距離の短い収集ルートを探索することができた。

参考文献

- 1) 藤野和徳: 遺伝的アルゴリズムによるごみ収集輸送計画, 土木学会論文集, No. 558/II-38, 139-146, 1997
- 2) 萩原将文: ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1994