

経済的なごみ収集輸送システムについて

八代高専専攻科 学生会員 村田 博昭
八代高専 正会員 藤野 和徳

1. はじめに

ごみの量の増加による最終埋め立て処分場の残余容量の減少や産業廃棄物の不法投棄, またダイオキシンの発生によるごみの分別収集や公共施設での焼却炉の廃止など, 多くのごみ問題が発生しており, 資源化や処理費の軽減など, 合理的なごみ処理システムの確立が必要となっている。

本研究は, ごみ処理システムの中で, 経済的なごみ収集輸送システムの構築を提案するもので, 収集域内の各集積所のごみを処理場まで収集輸送するのに, 収集時間が最小となる収集順序を, 動的計画法および遺伝的アルゴリズムにより見出している。

2. 最適ごみ収集輸送ごみ収集輸送計画

ここでは, ケーススタディーとして, 図-1に示す収集域内の各集積所(29箇所)に出されたごみを処理場(番号30)まで収集運搬するのに, 最も時間のかからない収集輸送経路を求める。図-1で3桁の数値は各集積所のごみ量(集積所18は50kg)で, 各集積所間の数値はその集積所間を移動するのにかかる時間(分)であり, 矢印は一方通行を表し, 矢印のついていない区間は通常の道路を表している。

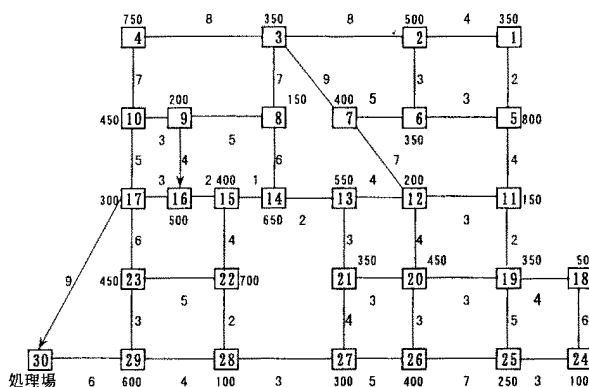


図-1 ごみの収集域

2. 1. 各集積所間の最小移動時間の算定 (動的計画法 DP)

収集車は集積所間を最小時間経路で移動する必要がある。ここでは, 各集積所間の最小移動時間を動的計画法によって求めている。

$$f(i)=\min[f_0+f(j)]$$

($f(i)$ =i 地点から j 地点までの最小移動時間 i =出発点番号 j =次に行く番号)

あらかじめ, 図-1 の場合一方通行などを考慮して各集積所間の最小移動時間とその経路を求めている。

表-1 に各集積所間の最小移動時間を示す。

表-1 各集積所間の最小移動時間 (分)

2. 2. 遺伝的アルゴリズム (GA)

による最適ごみ収集輸送順序の算定

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm) は, 生物の進化の原理をもとに着想されたもので, 一般的に 3つの過程, 選択, 交叉, 突然変異によって適合する子孫到達の原理をモデル化したものである。

図-1 の収集域について, GAを用いて最適ごみ収集輸送順序を求める。処理場から出発してからごみを収集していき, 最大積載量以上にならないように収集して, 再びごみ処理場に戻る

		終 点																													
出 発 点		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	1	0	4	12	20	2	7	12	19	24	26	6	9	12	15	18	18	11	12	8	11	14	20	25	16	13	14	18	21	25	30
	2	4	0	8	16	5	3	8	15	20	23	10	13	15	17	18	20	23	16	12	15	18	22	27	10	17	18	22	24	28	32
	3	12	8	0	8	14	11	9	7	12	15	18	19	15	13	4	16	19	24	20	21	18	18	23	28	25	24	22	20	24	28
	4	20	16	8	0	22	19	17	15	10	7	26	23	19	17	16	14	12	32	28	25	22	20	18	36	33	28	25	22	21	21
	5	2	6	14	22	0	6	11	19	24	24	4	7	11	13	14	16	19	10	6	9	12	18	23	14	11	12	16	19	23	28
	6	7	3	11	19	6	0	5	18	23	28	10	13	12	14	15	17	20	16	12	15	15	19	24	20	17	18	19	21	25	29
	7	12	8	9	17	11	5	0	15	20	20	14	11	7	9	10	12	15	20	16	13	10	14	19	24	21	16	14	16	20	24
	8	19	15	7	15	19	18	16	0	5	8	15	12	8	6	7	9	12	21	17	14	11	11	16	25	22	17	15	13	17	21
	9	22	20	12	10	20	23	20	5	0	3	16	13	9	7	6	4	7	22	18	15	12	10	13	26	23	18	15	12	16	16
	10	25	23	15	7	23	26	23	8	3	0	19	16	12	10	9	7	5	25	21	18	15	13	11	29	26	27	18	15	14	14
	11	6	10	18	26	4	10	10	15	20	20	0	3	7	9	10	12	15	6	2	5	8	14	19	10	7	8	12	15	19	24
	12	9	13	16	24	7	12	7	12	17	17	3	0	4	6	7	9	12	9	5	4	7	11	16	13	10	7	11	13	17	21
	13	13	17	15	20	11	16	11	8	13	13	7	4	0	2	3	5	8	13	9	6	3	7	12	17	14	9	7	9	13	17
	14	15	19	13	18	33	18	13	6	11	11	9	6	2	0	1	3	6	15	11	8	5	5	19	19	16	11	9	7	11	15
	15	16	20	14	17	14	19	14	7	12	10	10	7	3	1	0	2	5	16	12	9	6	4	8	20	17	12	9	6	10	14
	16	18	22	16	15	16	21	16	9	11	8	12	9	5	3	2	0	3	18	14	11	8	6	9	22	19	14	11	8	12	12
	17	21	25	19	12	19	24	19	12	8	5	15	12	8	6	5	3	0	21	17	14	11	9	6	25	22	17	14	11	9	9
	18	12	16	24	32	10	16	16	21	26	26	6	9	13	15	16	18	21	0	4	7	10	19	24	6	9	10	14	17	21	27
	19	8	12	20	28	6	12	12	17	22	22	2	5	9	11	12	14	17	4	0	3	6	15	20	8	5	6	10	13	17	23
	20	11	15	20	26	9	15	11	14	19	19	5	4	6	8	9	11	14	7	3	0	3	12	17	11	8	3	7	10	14	20
	21	14	18	18	23	12	18	14	11	16	16	8	7	3	5	6	8	11	10	6	3	0	9	14	14	11	6	4	7	11	17
	22	20	24	18	21	18	23	18	11	16	14	14	11	7	5	4	6	9	19	15	12	9	0	5	20	17	10	5	2	6	12
	23	25	29	23	18	23	28	23	16	14	11	19	16	12	10	9	6	24	20	17	14	5	0	25	22	15	10	7	3	9	9
	24	16	20	28	36	14	20	20	25	30	30	10	13	17	19	20	22	25	6	8	11	14	20	25	0	3	10	15	18	22	28
	25	13	17	25	33	11	17	17	22	27	27	7	10	14	16	17	19	22	9	5	8	11	17	22	3	0	7	12	15	19	25
	26	14	18	23	29	12	18	14	17	22	22	8	7	9	11	12	14	17	10	6	3	6	10	15	10	7	0	5	8	12	18
	27	18	22	22	26	16	22	18	15	20	19	12	11	7	9	9	17	14	14	10	7	4	5	10	15	12	5	0	3	7	13
	28	21	25	20	23	19	25	20	13	18	15	13	9	7	6	8	11	17	13	10	7	2	7	18	15	9	3	0	4	10	16
	29	25	29	24	27	23	29	24	17	17	14	19	17	13	11	10	12	9	21	17	14	11	6	3	22	19	12	7	4	0	16
	30	31	35	30	37	29	35	30	23	23	20	23	19	17	16	18	15	27	23	20	17	12	9	28	25	18	13	10	6	0	0

作業を繰り返し、各集積所のごみを全て処理場まで収集輸送する時間が短いほど適応度が高いと評価する。まず乱数を用いて、初期集団（ごみ収集輸送順序）を100個作り、以下選択、交叉、突然変異を繰り返し、最小収集輸送時間を求める。以上の手法を図-2に示す。

①収集方法：次の2つの方法を用いた。

- 1) 次の集積所に行くと最大積載量を超える場合は、最大積載量を超える集積所の1つ前の集積所のごみを収集後、処理場に戻る
- 2) 丁度、最大積載量になるまで収集し、最大積載量になったら処理場に戻り、積み残した場合は、そこから収集し始める。

②選択：100組の個体を2回選択できるものとして、任意の2組を選んで収集輸送時間の小さい個体を残すトーナメント選択を用いた。

③交叉：次の2つの方法を用いた。

A) 交叉区間を設け、交叉区間内で交叉相手に同じ集積所番号があった場合、交叉相手の集積所番号の順番と同じ順番の集積所番号を取り替える。交叉区間内に同じ集積所番号が複数組あっても、1つしか行わないものとする。以上の作業を1~5回繰り返す。

B) 標準リストによる方法

④突然変異：次の2つの方法を用いた。

- A) 区間を設定し、区間内の順番を逆に並び替える。
- B) 区間を2つ設定し、各区間の順番を入れ替える。

4. モデルの適用と解の検討

収集方法、交叉および突然変異の組み合わせにより、表-2に示す10ケースについて、最適ごみ収集輸送経路を求めた。なおrun9, 10は、交叉を用いずに2つの突然変異を組み合わせている。

収集方法1と2を比較すると最大積載量になるまで積込む収集方法2の収集時間が約80分程度短くなった。図-3に最大積載量2000kgのときの収集時間の世代変化（収集方法1はrun2, 収集方法2はrun6）を示す。両ケースともに世代数300~500世代で一応の収束を見ており、これ以降の収集時間の減少は突然変異によるものと思われる。

5. むすび

得られた結果をまとめて結びとする。

1. 動的計画法と遺伝的アルゴリズムを組み合わせたごみの効率的な収集輸送手法の定式化ができた。
3. ごみ排出量が既知でほぼ一定であれば、最大積載量に達した後処理場に戻る収集方法が有効である。

参考文献

- 1)北野 宏明：遺伝的アルゴリズム、産業図書、pp.3~60、1994。
- 2)尾形 克彦：ダイナミック・プログラム、培風館、pp.6~19、1973。

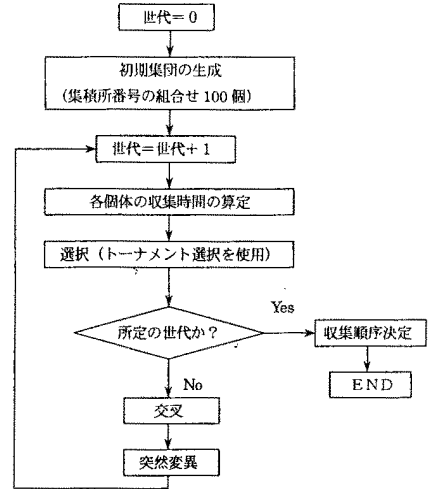


図-2 遺伝的アルゴリズムによる最適ごみ収集順序決定のフローチャート

表-2 算定方法と最小収集時間（分）

	収集方法	交叉	突然変異	最小収集時間(分)	
				1500Kg	2000Kg
run 1	1	A	A	598	510
run 2	1	A	B	595	523
run 3	1	B	A	600	517
run 4	1	B	B	582	522
run 5	2	A	A	497	436
run 6	2	A	B	509	424
run 7	2	B	A	512	449
run 8	2	B	B	512	445
run 9	1	A+B		593	514
run10	2	A+B		514	444
最小値				497	424

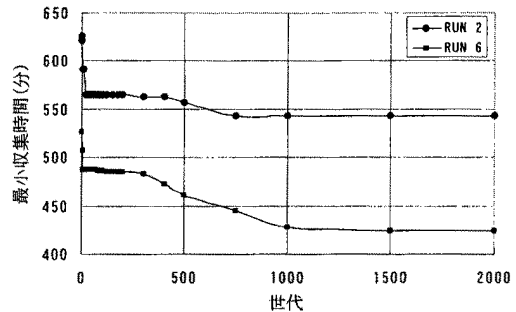


図-3 収集時間の世代変化

(run2は収集方法1、run6は収集方法2)