

遺伝的アルゴリズムによるごみ収集輸送計画

藤野和徳

正会員 工博 八代高専教授 土木建築工学科 (〒866 熊本県八代市平山新町 2627 番地)

近年、最適化問題に遺伝的アルゴリズム(genetic algorithm)が用いられている。この手法は、生物の進化の原理に基づいたものであり、選択、交叉、突然変異の3つの操作を通して、適合する個体を生み出してゆくものである。本研究は、一般廃棄物を最小の時間で処理場まで収集運搬する最適ごみ収集輸送計画に、遺伝的アルゴリズムを適用したもので、ケーススタディを通して、本手法の有用性を検討したものである。

Key Words : genetic algorithm, refuse collection and transportation, dynamic programming

1. 序論

ごみ量の増加による最終埋立処分場の残余容量の減少や産業廃棄物の不法投棄など、ごみ問題が各地で発生しており、資源化によるごみの減量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を作る手法を提案するものである。ごみ収集域の各集積所のごみを処理場まで輸送するのに、収集車の最大積載量を考慮して、最小の時間で搬出輸送するものを最適状態と定義して、数多くの収集輸送順序の組み合わせの中から、最適な収集順序を見い出すために、動的計画法および遺伝的アルゴリズムを用いた算定手法を提示している。

この最適ごみ収集輸送システムは、まず、動的計画法により、各集積所間を最小時間で移動する経路を求め、次に、1台のごみ収集車により、最も時間のかからないごみ収集順序を遺伝的アルゴリズムで算定し、さらに、複数台の収集車については、できるだけ稼働時間が同じになるように収集作業の振り分けを、これも遺伝的アルゴリズムを用いて求めている。ここでは、この手法を収集域モデルに適用し、解の検討を行っている。

2. 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズムは、生物の進化論をもとに構成されたもので、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リングした確率的探索手法である。1990年代になって、工学の様々な分野で利用され始め、さらに研究が必要な分野は残っているが、基本的な取り扱いについてはほぼ確立している¹⁾。

工学の分野の適応例として、特に最適化問題において、田村ほか²⁾は道路の整備計画順序を、Ritzel *et al*³⁾は地下水汚染物質の封じ込めのための最適揚水井戸数、井戸配置、揚水量を、Leah and Farid⁴⁾は地下水汚染物質の濃度を制限するための最小揚水量を算定するのに、遺伝的アルゴリズムを用いている。

遺伝的アルゴリズムの処理手順は、まず、初期個体集団の生成を行う。ここでは、集積所を回る順序を並べたものを一つの個体とし、乱数を用いて生成を行っている。次に、各個体に対して、適応度の評価を行う。基本的に適応度の高い個体が多くの子孫を残すように選択を行ってゆく。選択方法としては、適応度に比例した選択確率を各個体に与え、選択確率の高い個体が交配に参加する回数を多くするものや、適応度の高い個体から順位を付け、その順位から選択確率を割り出し、交配に参加させる回数を決めるものや、無作為に個体を選択し、適応度の高い個体を残すトーナメント選択などがある。

次に、交配を行う任意の2組の個体を決定し、交叉を行う。基本的に双方の染色体の一部を採り、2組の子孫の染色体を作るものである。これは交叉区間を決定し、その区間の染色体を入れ替えるものである。次に、突然変異を加える。これは、ある確率で染色体の一部を変化させる操作である。この突然変異の考慮は、

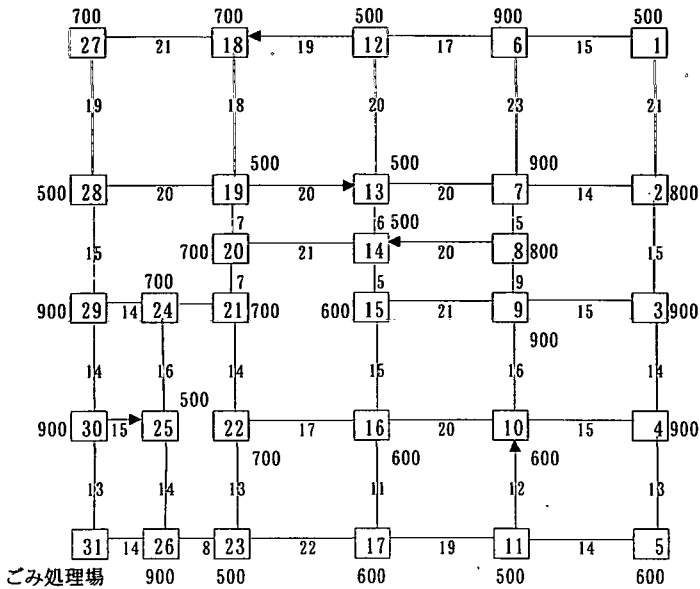


図-1 ごみ収集域と各集積所のごみ量(kg)および集積所間の移動時間(分)

局所解に陥ることを防ぐものである。

これらの一連の操作が終了すると、新しい世代の個体集団が作られる。この新しい集団に対して、同様に適応度の評価、選択、交叉、突然変異の操作を繰り返してゆき、最適な個体を得るものである。

3. 最適ごみ収集輸送計画の定義と定式化

(1) 最適ごみ収集輸送計画の定義

ごみの収集運搬のコストは、ごみ処理にかかる経費全体の7割を占めているといわれており⁵⁾、この収集運搬コストの削減は重要な課題である。ここでは、ケーススタディとして、図-1に示す収集域内の各集積所(30個所)に出されたごみを処理場(番号31)まで収集運搬するのに、最も時間のかからない輸送方法を最適ごみ収集輸送計画と定義して、その収集輸送経路を求める手法を提案する。ここで、四角の中の数値は集積所番号、3桁の数値はその集積所のごみ量(kg)を表し、集積所間の数値はその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、矢印がっていない区間は通常の道路である。

取り扱う問題の設定として、次の5つの仮定を行っている。

- ① 収集車の最大積載量は全車一定とする。
- ② 各集積所のごみ排出量は既知とする。
- ③ 集積所間の収集車の移動時間は既知とする。
- ④ 各集積所のごみは収集するかしないかの2通りとし、例えば半分だけ積み込むといった収集は行わ

ないとする。

- ⑤ 集積所のごみを積み込むための時間は、ごみ量に比例し、ここでは100kg当たり1分かかるとする。

ごみ収集は、通常、複数台の収集車により行うが、全車の移動時間ができるだけ同じで、しかもできるだけ短時間である状態が望ましい。本研究は、この状態を次の2段階で求める方法をとった。

まず、1台の収集車を考える。この1台の収集車が処理場を出発して、集積所を回り、ごみを積み込んでいき、次の集積所で積み込むと最大積載量を越える場合は、処理場へ戻ってごみを降ろすという作業(収集作業)を繰り返してゆく。このとき全集積所のごみを処理場まで運び終えるまでの時間が最小となる収集順序(収集作業の並び)を求める。

次に、得られた各収集作業を、複数の収集車に移動時間が同程度になるように振り分ける。

なお、収集車が処理場からどの経路を通過して目的の集積所へいくかの判断のため、また、できるかぎり最大積載量近くまで積み込むために、各集積所間についても、その間の最小移動時間と経路が必要である。ここでは各集積所間の最小時間経路を動的計画法によって求めている。

地点aからb点までの最小移動時間は、次式の最適性の原理を用いて求めた。

$$f(ab) = \min_j [t_{aj} + f(jb)] \quad (1)$$

ここに、

$f(ab)$: 地点a b間の最小移動時間

t_{aj} : 地点 a j 間の移動時間

$f(jb)$: 地点 j b 間の最小移動時間

あらかじめ、図-1 の場合、処理場を含めて、一方通行を考慮して 31 点間の最小移動時間とその経路を求めた。表-1 に各集積所間の最小移動時間を示す。

以上、最適ごみ収集輸送計画はつぎの 3 つのプロセスよりなる。

- ① 動的計画法により各集積所（処理場を含む）間の最小移動時間およびその経路を算定する。
- ② 遺伝的アルゴリズムにより、収集車 1 台で収集輸送する場合の収集順序（収集作業の並び）を決定する。
- ③ 各収集車の稼働時間ができるだけ等しくなるよう収集作業を複数の収集車に振り分ける。

(2) 遺伝的アルゴリズムによる最適ごみ収集輸送の決定

図-2 にごみ収集順序の決定のための流れ図を示す。

a) 初期集団の生成

集積所の番号（1~30）の並び（収集順序）を個体とする。表-2 に示す個体例 {3, 4, 11, ..., 21} は集積所 3 のごみを収集し、次に 4, 11 と最後に 21 番の集積所のごみを収集することを表す（なお、個々の数字はビットと呼ばれ、10 進数で表している）。本研究では乱数を用いて、400 個の個体（収集順序）を生成し、初期集団としている。

b) 適応度の評価

収集順序を、表-2 のように収集作業に分割する。収集作業 1 は、収集順序にしたがってごみ量の和を求めてゆき、その和が最大積載量を越える一つ手前の集積所までのごみを積み込み、処理場へ輸送するものであり、収集作業 2, 3, ... は再び、処理場から次の集積所へ向かい、同様に最大積載量以下のごみを処理場まで輸送するものであり、最終の集積所のごみの輸送が終わるまで、この作業は続けられる。

積み込みに要する時間と輸送の時間の和が各収集作業の時間となり、全収集作業の時間を加えたものを適応関数の値とし、この値が小さいものほど適応度が高いと評価する。表-2 の収集順序では、まず処理場を出発して、3, 4 の集積所のごみを処理場まで輸送し、次に、11, 10, 9 の集積所のごみを処理場まで輸送する流れとなる。

c) 選択

遺伝的アルゴリズムの 3 つのプロセスの最初である選択について、本研究ではトーナメント選択を用いている。400 の個体（収集順序）を 2 回選択できるとして、任意の 2 個体の組を 400 作り、各組で適応関数値の小さい個体を残す操作を行なっている。この選択方法では個体数は変化しない。

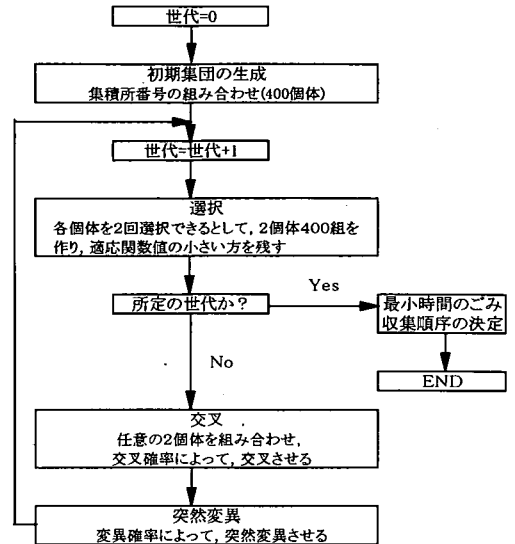


図-2 遺伝的アルゴリズムによる最適ごみ収集順序決定の流れ図

d) 交叉

これは 2 個体の親の染色体列を組み替えて、2 個体の子を作る操作である。交叉確率 C_c （適用例では 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 とした）を設定し、0~1 の乱数を発生させ、その乱数が C_c 以下であれば交叉をさせている。また、交叉区間についても乱数を用いて、2~10 の区間を設定している。次のように、単純に任意の交叉区間の染色体を入れ替えると、

親 A : 4 7 2 6 3 9 8 1 5

親 B : 8 1 5 7 6 2 9 3 4

↓

子 A : 4 7 5 7 6 9 8 1 5

子 B : 8 1 2 6 3 2 9 3 4

子 A のように、2, 3 の染色体が欠如したり、5, 7 の染色体が重複することになる。これは、収集しない集積所が出てきたり、2 度同じ集積所に行くことを意味し、致死遺伝子となる。これを避ける次の 3 種類の交叉を用いた。

① 交叉 A1 : これは交叉区間（例では 3~5 とする）は 1 ヶ所、例えば、子 A が親 B の 3 番目の染色体を受け継ぐとき、予め親 A の染色体 5 の位置 9 番に染色体 2 を移動させておく、また、子 B が親 A の 3 番目の染色体 2 を受け継ぐとき、予め親 B の染色体 5 を染色体 2 の位置 6 番目に移動させておくものであり、染色体の欠如、重複を避けている。

親 A : 4 7 2 6 3 9 8 1 5

親 B : 8 1 5 7 6 2 9 3 4

↓

表-1 各集積所間の最小移動時間(分)

		到達点																														
		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	31
出発点	1	0	21	36	50	63	15	35	40	49	65	77	32	52	58	63	78	89	51	69	76	83	95	108	89	105	116	72	89	103	117	130
	2	21	0	15	29	42	36	14	19	28	44	56	53	33	39	44	59	70	72	67	60	67	76	89	73	89	97	93	87	87	101	111
	3	36	15	0	14	27	51	29	24	15	29	41	67	47	41	36	49	60	86	69	62	69	66	79	75	91	87	107	89	89	103	101
	4	50	29	14	0	13	65	43	38	29	15	27	81	61	55	50	35	46	98	80	73	66	52	65	72	87	73	119	100	86	100	87
	5	63	42	27	13	0	78	56	51	42	26	14	90	70	64	59	44	33	107	89	82	75	61	55	81	77	63	128	109	95	90	77
	6	15	36	51	65	78	0	23	28	37	53	92	17	37	43	48	63	74	36	54	61	68	80	93	74	90	101	57	74	88	102	115
	7	35	14	29	43	56	23	0	5	14	30	70	39	19	25	30	45	56	58	53	46	53	62	75	59	75	83	79	73	73	87	97
	8	40	19	24	38	51	28	5	0	9	25	65	44	24	20	25	40	51	63	48	41	48	57	70	54	70	78	84	68	68	82	92
	9	49	28	15	29	42	37	14	9	0	16	56	52	32	26	21	36	47	71	54	47	54	53	66	60	76	74	92	74	74	88	88
	10	65	44	29	15	28	53	30	25	16	0	42	66	46	40	35	20	31	83	65	58	51	37	50	57	72	58	104	85	71	85	72
	11	77	56	41	27	14	65	42	37	28	12	0	76	56	50	45	30	19	93	75	68	61	47	41	67	63	49	114	95	81	76	63
	12	32	53	67	81	90	17	39	44	52	66	76	0	20	26	31	46	57	19	37	44	51	63	76	57	73	84	40	57	71	85	98
	13	52	33	47	61	70	37	19	24	32	46	56	20	0	6	11	26	37	39	34	27	34	43	56	40	56	64	60	54	54	68	78
	14	58	39	41	55	64	43	25	30	26	40	50	26	6	0	5	20	31	45	28	21	28	37	50	34	50	58	66	48	48	62	72
	15	63	44	36	50	59	48	30	30	21	35	45	31	11	5	0	15	26	50	33	26	33	32	45	39	55	53	71	53	53	67	67
	16	78	59	49	35	44	63	45	45	36	20	30	46	26	20	15	0	11	63	45	38	31	17	30	37	52	38	84	65	51	65	52
	17	89	70	60	46	33	74	56	56	47	31	19	57	37	31	26	11	0	74	56	49	42	28	22	48	44	30	95	76	62	57	44
	18	90	71	85	98	107	75	57	62	70	83	93	58	38	44	49	63	74	0	18	25	32	46	59	38	54	67	21	38	52	66	79
	19	72	53	67	80	89	57	39	44	52	65	75	40	20	26	31	45	56	18	0	7	14	28	41	20	36	49	39	20	34	48	61
	20	79	60	62	73	82	64	46	51	47	58	68	47	27	21	26	38	49	25	7	0	7	21	34	13	29	42	46	27	27	41	54
	21	86	67	69	66	75	71	53	58	54	51	61	54	34	28	33	31	42	32	14	7	0	14	27	6	22	35	53	34	20	34	47
	22	95	76	66	52	61	80	62	62	53	37	47	63	43	37	32	17	28	46	28	21	14	0	13	20	35	21	67	48	34	48	35
	23	108	89	79	65	55	93	75	75	66	50	41	76	56	50	45	30	22	59	41	34	27	13	0	33	22	8	80	61	47	35	22
	24	92	73	75	72	81	77	59	64	60	57	67	60	40	34	39	37	48	38	20	13	6	20	33	0	16	30	48	29	14	28	41
	25	108	89	91	87	77	93	75	80	76	72	63	76	56	50	55	52	44	54	36	29	22	35	22	16	0	14	64	45	30	41	28
	26	116	97	87	73	63	101	83	83	74	58	49	84	64	58	53	38	30	67	49	42	35	21	8	30	14	0	75	56	41	27	14
	27	111	92	106	119	128	96	78	83	91	104	114	79	59	65	70	84	95	21	39	46	53	67	80	48	63	75	0	19	34	48	61
	28	92	73	87	100	109	77	59	64	72	85	95	60	40	46	51	65	76	38	20	27	34	48	61	29	44	56	19	0	15	29	42
	29	106	87	89	86	95	91	73	78	74	71	81	74	54	48	53	51	62	52	34	27	20	34	47	14	29	41	34	15	0	14	27
	30	120	101	103	100	90	105	87	92	88	85	76	88	68	62	67	65	57	66	48	41	34	48	35	28	15	27	48	29	14	0	13
	31	130	111	101	87	77	115	97	97	88	72	63	98	78	72	67	52	44	79	61	54	47	35	22	41	28	14	61	42	27	13	0

表-2 収集順序からの適応関数値の算定 (最大積載量 2000kg)

	収集作業1		収集作業2		収集作業3		...	収集作業12			
収集順序	3	4	11	10	9	24	29	...	19	20	21
ごみ量(kg)	900	900	500	600	900	700	900	...	500	700	700
積込時間(分)	9	9	5	6	9	7	9	...	5	7	7
積載量(kg)	1800		2000		1600		...	1900			
経路	31-3-4-31		31-11-10-9-31		31-24-29-31		...	31-19-20-21-31			
移動時間(分)	101+14+87		63+12+16+88		14+42+54		...	41+7+7+47			
積込収集時間(分)	220		199		142		...	121			

子A: 4 3 5 7 6 9 8 1 2

子B: 8 1 2 6 3 5 9 7 4

②交叉A2: 交叉方法はA1と同じとし、交叉区間を2ヶ所(例では3~5, 7~8)としたものである。

親A: 4 7 2 6 3 9 8 1 5

親B: 8 1 5 7 6 2 9 3 4

↓

子A: 4 1 5 7 6 8 9 3 2

子B: 9 7 2 6 3 5 8 1 4

③交叉B: 収集順序を表している親A, Bの染色体列を、標準リストにより、

標準リスト: 1 2 3 4 5 6 7 8 9

参照染色体列に置き換え、参照染色体列を交叉させ、さらに、再び標準リストを使って、本来の収集順序の染色体列へ戻してゆくものである。参照染色体列の作成方法は、例えば、親Aの収集順序染色体列について

表-3 交叉と突然変異の組み合わせ
(RUN7は突然変異のみ)

	交叉	突然変異
RUN1	交叉A1	逆位
RUN2	交叉A1	転座
RUN3	交叉A2	逆位
RUN4	交叉A2	転座
RUN5	交叉B	逆位
RUN6	交叉B	転座
RUN7	転座	逆位

は、まず収集順序染色体4は標準リストの左から4番目にあるため参照染色体としては4となる。ここで標準リストから4を削除する。次に、収集順序染色体7は、標準リストから4が無くなっているため、左から6番目にあることから、参照染色体は6となる。ここで、標準リストから7を削除する。次に、収集順序染色体2は2番目のため参照染色体2となり、標準リストから2を削除する。以下同様にして求めてゆくと、次のようになる。

親A: 4 7 2 6 3 9 8 1 5

親B: 8 1 5 7 6 2 9 3 4

↓

親Aの参照表現: 4 6 2 4 2 4 3 1 1

親Bの参照表現: 8 1 4 5 4 1 3 1 1

参照表現の染色体を交叉区間(例では3~5)で交叉すると、次のようになる。

子Aの参照表現: 4 6 4 5 4 4 3 1 1

子Bの参照表現: 8 1 2 4 2 1 3 1 1

これを再び、標準リストより、収集順序の染色体列に戻す。例えば、子Aについては、まず参照染色体4は、標準リストの4番目を見て、4となり、ここで、標準リストより4を削除する。次の参照染色体6は、標準リストの6番目を見て、7となり、標準リストより7を削除する。以下同様にして、収集順序染色体を求めると、次のようになる。

子A: 4 7 5 8 6 9 3 1 2

子B: 8 1 3 6 4 2 9 5 7

e) 突然変異^⑥

突然変異についても変異確率 m_p (適用例では0.05, 0.10, 0.20, 0.30とした)を設定し、0~1の乱数を発生させ、その乱数が m_p より小さければ突然変異を起こさせている。ここでは、逆位と転座の二つを用いた。また、突然変異の区間についても乱数を用いて、2~10の区間を設定している。

①逆位: これは区間の染色体の順番を逆にするもので、区間3~6の場合の逆位の一例を次に示す。

4 7 2 6 3 9 8 1 5

↓

4 7 9 3 6 2 8 1 5

②転座: これは染色体の位置を入れ替えるもので、例として、区間3~4と区間6~7の転座を示す。

4 7 2 6 3 9 8 1 5

4 7 9 8 3 2 6 1 5

以上の3つのプロセスを組み合わせると、最小時間のごみ収集輸送順序を求めた。算定には、交叉、突然変異の組み合わせにより、表-3の7ケースを用いた。ここで、RUN7は、交叉を用いず、2つの突然変異を組み合わせている。

(3) 遺伝的アルゴリズムによる収集作業の振り分け

最小時間のごみ収集順序の算定で得られた収集作業を複数の収集車に振り分けるのに、収集作業番号の並びを個体として、(2)で取り上げた遺伝的アルゴリズムをここでも用いた。適応関数は次式で与えている。

$$g = \sum_{i=1}^M \{Tb_i - (T_{total} / M)\}^2 \Rightarrow \min \quad (2)$$

ここに、

Tb_i : 各収集車の稼働時間

T_{total} : 全作業時間

M : 収集車の台数

4. モデルへの適用と解の検討

(1) 収集順序の算定

最大積載量が1800kg, 2200kgの収集車でごみを処理場まで収集輸送するとき、遺伝的アルゴリズムによる最小収集輸送時間を表-4, 5に示す。この表はRUN7によるものである。また、その解が得られるまでの経過を図-3, 4に示す。なお、図-3には比較のためにRUN2の結果をも示している。最大積載量が1800kgの場合、収集作業数は12となり、収集輸送時間は2071分となった。また、最大積載量2200kgの場合は収集作業数は10、収集輸送時間は1772分の結果を得た。表-4, 5より、各収集作業は近くの集積所毎に行われており、一部を除けば最大積載量またはそれ近くのごみ量を搬出輸送することになっている。最大積載量1800kgの場合について、世代数を200として、交叉、突然変異に影響する乱数の初期値の影響を取り除くため、乱数の初期値を10種類ほど変えたときの各RUNの最小収集輸送時間を比較してみよう。図-5は交叉確率0.5 (RUN7は転座の確率)、突然変異確率0.1、また、図-6は交叉確率0.8 (RUN7は転座の確率)、突然変異確率0.1のときの値を示したものである。RUN7は転座の確率が小さいとき、また、RUN2, 4は交叉確率が大きいとき収集輸送時間は小さくなっ

表-4 最小収集輸送時間(RUN7, 転座確率 0.5, 逆位確率 0.1, 最大積載量 1800kg)

収集作業番号	順序1	順序2	順序3	積載量 kg	時間 分
1	7	6	-	1800	253
2	27	18	-	1400	175
3	22	26	-	1600	86
4	9	8	-	1700	206
5	23	24	25	1700	116
6	13	14	20	1700	176
7	11	5	10	1700	192
8	16	15	17	1800	155
9	30	29	-	1800	72
10	4	3	-	1800	220
11	12	1	2	1800	280
12	28	19	21	1700	140
				20500	2071

表-5 最小収集輸送時間(RUN7, 転座確率 0.5, 逆位確率 0.05, 最大積載量 2200kg)

収集作業番号	順序1	順序2	順序3	順序4	積載量 kg	時間 分
1	19	13	15	17	2200	184
2	4	5	11	-	2000	197
3	12	6	18	-	2100	251
4	16	10	9	-	2100	197
5	30	25	24	-	2100	106
6	28	27	29	-	2100	143
7	20	21	22	-	2100	131
8	3	2	1	-	2200	289
9	7	8	14	-	2200	216
10	23	26	-	-	1400	58
					20500	1772

ている。また、図-3には RUN2 と RUN7 の比較のため 300 世代までの収集輸送時間の経過を示しているが、RUN2 はほぼ 80 世代からは解の変動がなくなるのに対し、RUN7 はかなりの世代まで変動するが、RUN1 ~7 のうちで最小収集輸送時間は RUN7 が示した。

最小収集輸送時間を示した RUN7 は、交叉の役目を突然変異の転座に置き換えたものである。交叉は 2 組の遺伝子間の操作であるのに対して、転座は 1 遺伝子内での操作であるが、染色体の組み替え操作としては類似している。これは細胞の増殖過程で染色体の順序が移動、転座し、さらに小さい確率で逆位が生じたもので、生物学的には、細胞の分裂過程をモデル化したものと言える。

(2) 収集作業の振り分け

複数の収集車で収集輸送する場合についても、遺伝的アルゴリズムを用いて収集作業を振り分けた。各収集車の稼働時間を 1 日 7.5 時間(420 分)とすると、最大積載量 1800kg, 2200kg の最小収集時間 2071, 1772 分に対して、必要な収集車の台数は、

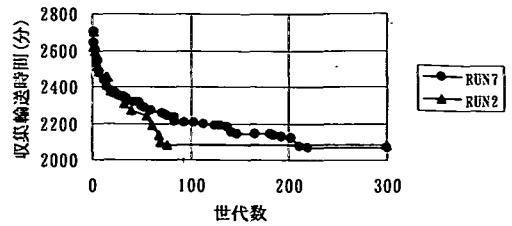


図-3 収集輸送時間の経過(最大積載量 1800kg)
RUN7: 転座確率 0.5, 逆位確率 0.1
RUN2: 交叉確率 0.5, 転座確率 0.1

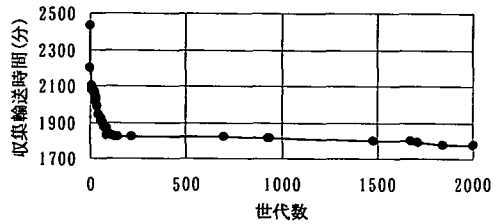


図-4 収集輸送時間の経過(RUN7, 転座確率 0.5, 逆位確率 0.05, 最大積載量 2200kg)

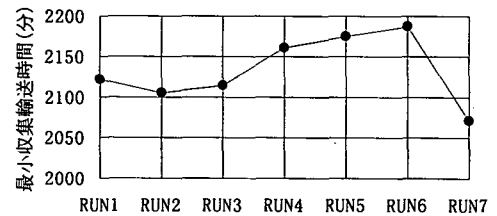


図-5 各 RUN の最小収集輸送時間
交叉確率 0.5, 突然変異確率 0.1

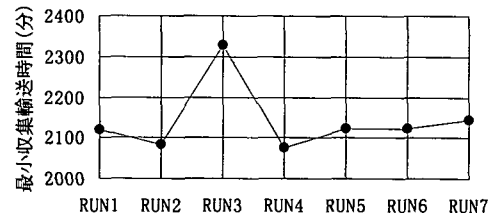


図-6 各 RUN の最小収集輸送時間
交叉確率 0.5, 突然変異確率 0.1

1800kg の場合、 $2071/420=4.6$ 5 台
2200kg の場合、 $1772/420=3.8$ 4 台
となる。1800kg の場合、12 の作業を 3,3,2,2,2 の 5 つの作業に、また 2200kg の場合、10 の作業を 3,3,2,2 の 4 つの作業に振り分け、各収集車の稼働時間ができるだけ同じになるようにした。その結果を表-6 に示す。

表-6 作業の振り分け

最大積載量1800kg				
収集車	作業1	作業2	作業3	時間分
1	3	4	5	408
2	2	6	9	423
3	11	12	-	420
4	1	8	-	408
5	7	10	-	412
				2071

最大積載量2200kg				
収集車	作業1	作業2	作業3	時間分
1	7	5	9	453
2	1	2	10	439
3	6	8	-	432
4	3	4	-	448
				1772

なお、作業番号は表-4、5 に示した番号である。ここでは個体数 50, 世代数 200 として、RUN3, 4 を除いた RUN1,2,5,6,7 を用いて解を求めた。なお、12 の作業を 3,3,2,2 に振り分ける組み合わせは ${}_{12}C_3 \cdot {}_9C_3 \cdot {}_6C_2 \cdot {}_4C_2 / (2 \cdot 6) = 138600$ 通り、また 10 の作業を 3,3,2,2 に振り分ける組み合わせ数は、 ${}_{10}C_3 \cdot {}_7C_3 \cdot {}_4C_2 / (2 \cdot 2) = 6300$ 通りであり、これらの全組み合わせについて式 (2) の適応関数値を求めると、最小値 (最適値) はそれぞれ 192, 262 である。遺伝的アルゴリズムによる解は最適解と一致した。これは、作業数が 12, 10 と少なく、この最適解が得られたと思われる。

表-7 に最大積載量 1800kg の場合で、世代数 200 として、交叉確率、突然変異確率を変化させ、乱数の初期値を 11 変えたときの各 RUN で得られた適応関数 (2) の最小値を示す。この表より、最適解 192 が最も多く得られているのは転座、逆位の組み合わせであり、ここでも、RUN7 が有効な算定方法となっている。

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。
2. 突然変異である転座、逆位を組み合わせた遺伝的アルゴリズムがごみ収集輸送計画の最適化には有効であった。
3. 本手法により、収集車の必要台数、各収集車の作業分担が得られた。

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,

表-7 各 RUN の式(2)の最小値

RUN1		突然変異確率(逆位)			
		0.05	0.10	0.20	0.30
交叉確率	0.40	548	548	192	532
	0.50	1390	548	192	532
	0.60	800	548	532	192
	0.70	1360	772	532	192
	0.80	772	548	548	192

RUN2		突然変異確率(転座)			
		0.05	0.10	0.20	0.30
交叉確率	0.40	772	548	578	392
	0.50	1108	768	192	192
	0.60	800	192	472	444
	0.70	556	472	192	532
	0.80	548	192	192	532

RUN5		突然変異確率(逆位)			
		0.05	0.10	0.20	0.30
交叉確率	0.40	768	548	548	192
	0.50	392	548	192	192
	0.60	548	600	192	192
	0.70	600	192	192	192
	0.80	772	192	192	192

RUN6		突然変異確率(転座)			
		0.05	0.10	0.20	0.30
交叉確率	0.40	548	572	192	192
	0.50	600	548	192	192
	0.60	600	600	548	192
	0.70	548	192	192	392
	0.80	192	392	192	192

RUN7		逆位確率			
		0.05	0.10	0.20	0.30
転座確率	0.40	192	532	192	192
	0.50	548	548	192	192
	0.60	192	192	192	192
	0.70	192	192	192	192
	0.80	192	192	192	192

1994.

- 2) 田村亨, 杉本博之, 上前孝之: 遺伝的アルゴリズムの道路整備順位決定問題への適用, 土木学会論文集, No.482/IV-22, pp.37~46, 1994.
- 3) Brian J. Ritzel, Wayland Eheart and S. Ranjithan: Using genetic algorithms to solve a multiple objective groundwater pollution containment problem, *Water Resources Research*, Vol.30, No.5, pp.1589~1603, 1994.
- 4) Leah L. Rogers and Farid U.Wowla: Optimization of groundwater remediation using artificial neural networks with parallel solute transport modeling,

Water Resources Research, Vol.30, No.2, pp.457
~481, 1994.

ト社, pp.89~91, 1981.

- 5) 中島重旗: 衛生工学入門, 朝倉書店, pp.182~187, 1980.
- 6) 田島弥太郎: 環境は遺伝にどう影響するか, ダイアモン

(1996. 2. 15. 受付)

REFUSE COLLECTION AND TRANSPORTATION PLAN BY GENETIC ALGORITHM

Kazunori FUJINO

Lately, Genetic Algorithms are used for optimization problems. This algorithm based on the theory of evolution creates the suitable individual by repetition of three operators of selection, crossover and mutation. This method is applied to the optimal refuse collection and transportation plan in which several refuse collection trucks transport the municipal solid waste to the treatment plant site in minimum time. The results shows the availability of Genetic Algorithm to determine the optimal transportation order.