

# 施設配置を考慮した可燃ごみ収集・運搬計画の最適化に関する研究\*

## A study on the optimal plans of collecting and transporting combustible waste considering locations of disposal facilities

松中 亮治\*\*・谷口 守\*\*\*・板垣 大介\*\*\*\*

by Ryoji MATSUNAKA・Mamoru TANIGUCHI・Daisuke ITAGAKI

### 1. 背景と目的

現在、廃棄物の収集・運搬においては、交通事情の悪化および中間処理施設や最終処分場の用地確保難による遠隔地への立地等の理由により、その効率が著しく低下している。従って、廃棄物処理事業に要する費用に対する収集・運搬費用の割合は一般に大きく<sup>1)2)</sup>、収集・運搬プロセスの効率化によって、各自治体においては、廃棄物処理費用の削減という効果が期待できる。

そこで本研究では、家庭からの排出量が最も多い可燃ごみに着目し、その処理費用の最小化という観点から、焼却及び中継施設の数・規模・配置までを考慮した、可燃ごみ収集・運搬計画の最適解を探索するシミュレーションシステムを構築する。そして、最適解を探索する際に、可燃ごみの処理システムと都市形態の相違に着目して、6つの分析シナリオを設定し、それらの違いが施設配置、収集・運搬計画や処理費用に及ぼす影響について比較・考察することを目的としている。

### 2. シミュレーションシステムにおける探索手法

本章では本研究において最適化手法として用いた遺伝的アルゴリズムについて概説するとともに、目的関数を定式化する。そして、分析対象とする仮想都市について述べるとともに、探索方法について説明する。

#### (1) 遺伝的アルゴリズム(genetic algorithm, GA)<sup>3)</sup>

遺伝的アルゴリズムとは、ある問題に対する最適解を効率的に求めるための手法で、遺伝子の配列で表現される各個体の適応度により各個体を評価する。それらの個体から交叉や突然変異によって新しい世代が形成され、適

応度の低い解が淘汰され、高い解が生き残っていくという、生物の世界にある進化のメカニズムを最適化に応用したものである。

#### (2) 本研究の可燃ごみ収集・運搬費用の定式化

本研究では目的関数として、収集・運搬に要する総費用を以下のように定式化し、総費用が最小となる計画を探索する。なお、本研究では、次式の第1項を施設費用、第2項と第3項を収集・運搬費用と呼ぶ。

$$GC = (Fgc \div year + FMgc) \times FN + (Cgc \div year + Pgc \times PN) \times CN + CRgc$$

GC: 総費用  
 Fgc: 施設建設費用  
 FMgc: 施設運営費用  
 Cgc: 車両費用  
 Pgc: 人件費用  
 CRgc: 収集費用  
 year: 耐用年数  
 FN: 施設数  
 PN: 人員数  
 CN: 車両数

#### (3) 分析対象とする仮想都市

本研究では図1に示す仮想都市を分析対象とする。仮想都市には、1,2,3,...,900の地区が存在することとし、総費用が最小となるよう、これらの地区のごみ回収順序を探索する。なお、本研究では、各地区内にはA,B,C,Dといった

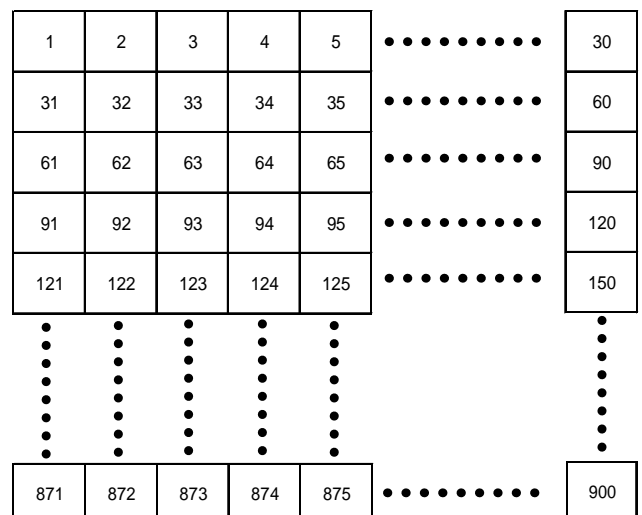


図 1 分析対象とする仮想都市

\*キーワード:ごみ, 収集・運搬計画, 遺伝的アルゴリズム  
 \*\* 正会員 博(工) 岡山大学環境学研究所  
 \*\*\* 正会員 工博 岡山大学環境学研究所  
 \*\*\*\* 学生員 岡山大学大学院環境学研究所  
 〒700-8530 岡山市津島中3-1-1 TEL・FAX 086-251-8921

4 つのごみステーションが存在すると仮定しているが、地区内のごみステーションをどの順序で回収するかは考慮していない。ただし、ごみ積み込み時間をごみ量に応じて加算している。

本シミュレーションシステムでは各地区内の人口、地区の面積を設定条件として与えることで、都市形態の違いが可燃ごみ収集・運搬費用に及ぼす影響を分析することが可能である。

#### (4) 可燃ごみ収集・運搬計画の探索

本研究では、各地区の収集・運搬経路のみならず、施設配置の最適解を求めるために、GAで用いる各個体を地区番号 $N$ 個、施設切り替え番号 $F_N$ 個の2種類の遺伝子で構成している。なお、 $F_N$ は同時に最大施設数も意味する。

本研究では可燃ごみ収集には最大積載量2.3tのパッカー車を用い、中継施設から焼却施設への輸送には最大積載量5.0tの大型車両を用いて、以下に示すように可燃ごみ収集・運搬計画の最適解を探索する。

パッカー車は遺伝子座に出現する地区番号の順に可燃ごみを収集する。

パッカー車は最大積載量を越えることはなく、次の地区の可燃ごみを全て積載することが不能な場合、一度焼却・中継施設に積載した可燃ごみを運搬する。

パッカー車は次の地区の可燃ごみを収集すると制限作業時間を越えると判断されると、その日の作業を終了し出発地点まで戻る。また、以降の遺伝子座に出現する最初の地区については、先述のパッカー車と同じ焼却・中継施設から出発する別のパッカー車が可燃ごみを収集する。

施設切り替え番号出現した際も同様である。

パッカー車は地区間の移動に時間がかかり、可燃ごみの積み込み時間も加算される。

焼却施設には焼却能力があり、焼却能力を超える計画が最適解とならぬようにペナルティーを課す。

上記のような方法で、総費用を計測することによって、施設配置についても考慮した上で、総費用が最小となる解を探索することが可能となる。

### 3. 収集・運搬計画の探索結果

本研究では、(1)で説明する6通りのシナリオを設定し、収集・運搬計画を探索する。

#### (1) 分析シナリオの設定

本研究では、都市形態として2タイプの都市を想定し、可燃ごみの処理システムとして3つのタイプを想定した。それらを以下で説明する。

a) 都市形態:

a-1) コンパクトな都市(面積36km<sup>2</sup>)

a-2) 非コンパクトな都市(面積324km<sup>2</sup>)

a-1, a-2どちらの都市においても人口は36万人で、人口密度は前者が10,000人/km<sup>2</sup>で、後者が約1,111人/km<sup>2</sup>である。また、可燃ごみの排出量は539g/人・日<sup>4)</sup>とする。

b) 処理システム:

b-1) 焼却施設(小)を建設する(施設数は限定しない)

b-2) 焼却施設(大)を1つだけ建設する

b-3) 焼却施設(大)を1つだけ建設するとともに、中継施設を建設し(施設数は限定しない)、中継輸送を導入する

焼却施設(小)は120t/日、焼却施設(大)は200t/日の焼却能力、中継施設に能力制限はないものとする。また焼却能力と可燃ごみ排出量の関係から、焼却施設(小)ならば最低でも2つ、焼却施設(大)は最低1つ必要である。さらに、焼却施設の配置可能な場所は限定されており、焼却施設(小)の配置可能な場所は四隅の地区、ならびに、それらの中間に位置する地区のいずれかで、焼却施設(大)の配置可能な場所は四隅のいずれかの地区である。

以下、各シナリオの名称を表-1で示すものとする。なお、本研究では、各シナリオにおいて、GAによりランダムな初期集合から100万世代解を探索し、100万世代探索後のコンパクトな都市、非コンパクトな都市での解を初期集合として、さらに10万世代解を探索した。

表-1 各シナリオの名称

シナリオ名称	b-1	b-2	b-3
a-1	C-S	C-L	C-LR
a-2	D-S	D-L	D-LR

C: Compact, D: Dispersion, S: Small Facility, L: Large Facility, LR: Large Facility + Relay Facilityの略

表-2 コンパクトな都市での探索結果

コンパクト	施設数			車数		費用(億円)							
	焼却(小)	焼却(大)	中継	収集	輸送	総費用	施設	収集車両費	輸送車両費	収集人件費	輸送人件費	収集	輸送
C-S	2			49		9.71	7.00	0.12		2.51		0.09	
C-L		1		70		9.36	5.50	0.17		3.58		0.12	
C-LR		1	1	52	11	9.65	6.50	0.13	0.05	2.66	0.19	0.09	0.04

表-3 非コンパクトな都市での探索結果

非コンパクト	施設数			車数		費用(億円)							
	焼却(小)	焼却(大)	中継	収集	輸送	総費用	施設	収集車両費	輸送車両費	収集人件費	輸送人件費	収集	輸送
NC-S	2			112		13.17	7.00	0.26		5.73		0.18	
NC-L		1		182		15.50	5.50	0.43		9.31		0.26	
NC-LR		1	1	115	45	13.94	6.50	0.27	0.21	5.89	0.77	0.17	0.13

(2)各シナリオの探索結果

各シナリオの探索結果を表-2, 3 に示すとともに、図-2~4 に収集・運搬に要する費用の内訳を示す。なお、表-2, 3 において、輸送とは、中継施設から焼却施設への輸送を意味する。

図-2 に示すように、コンパクトな都市で、費用が最小になるシナリオは C-L で、次いで C-LR となり、C-S が最も費用がかかるシナリオであるとの結果となった。

コンパクトな都市の場合、収集・運搬に要する費用は、非コンパクトな都市と比較して小さくなるため、コンパクトな都市における施設費用が総費用に占める割合(C-S(72%), C-L(59%), C-LR(67%))は、非コンパクトな都市(D-S(53%), D-L(36%), D-LR(47%))と比較して相対的に大きく、施設費用の差が総費用の差に大きく影響している。そのため、施設費用が最も小さいシナリオである C-L の総費用が最も小さくなったと考えられる。

また、コンパクトな都市において、パッカー車の走行距離に比例する収集費用に関して考えると、費用の小さい順に C-S, C-LR, C-L となっている。これは、焼却施設(大)は都市の四隅にしか配置できないため、可燃ごみの収集・運搬に要するパッカー車台数が増加し、中継輸送も導入されていない C-L の収集・運搬費用が最大となったものと考えられる。一方、焼却施設(小)を2つ建設するとの結果となった C-S では、施設の数と配置場所が都市の四隅でないことが影響し、収集に要するパッカー車台数は C-L の約 70%で、

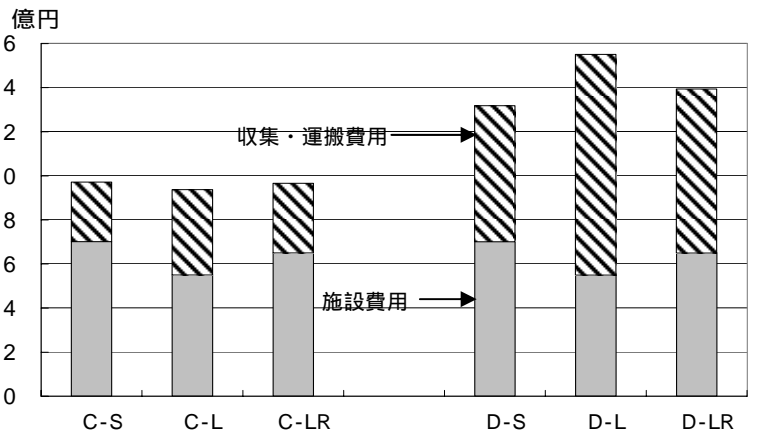


図-2 総費用における施設費用と収集・運搬費用

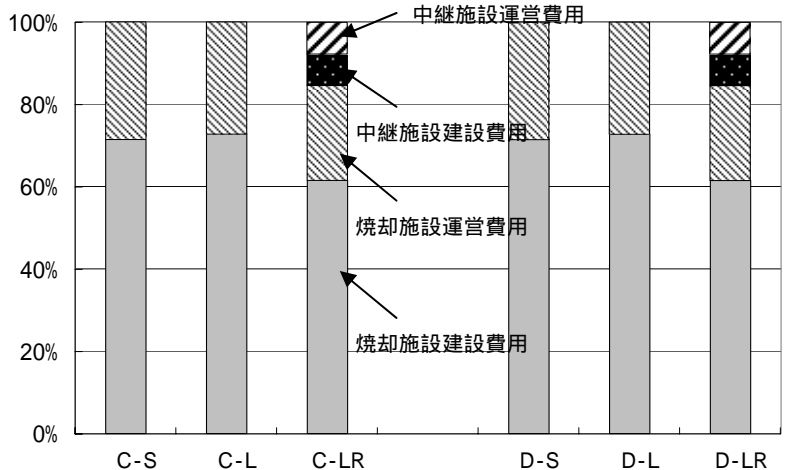


図-3 施設費用における各費用の割合

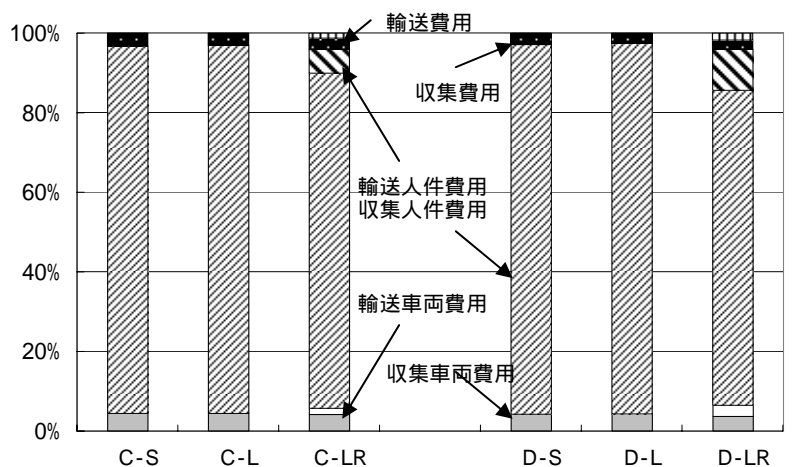


図-4 収集・運搬費用における各費用の割合

収集・運搬に関して費用最小のシナリオとなった。

次に、非コンパクトな都市では、費用が最小となるシナリオは D-Sで、次いで D-LRとなり、D-Lが最も費用がかかるシナリオとの結果となった。

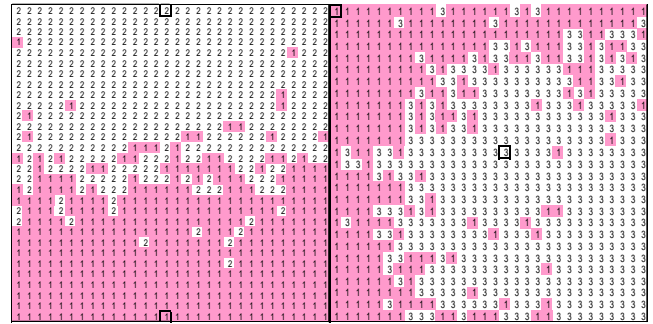
非コンパクトな都市の場合、総費用に対する施設費用の割合が小さく、収集・運搬費用の差が大きく影響するため、コンパクトな都市の場合とは逆に、収集・運搬費用が最小となる D-Sが費用最小のシナリオとなったと考えられる。

D-Lは、施設の配置が都市の四隅にしか配置できないため、また、非コンパクトな都市の場合、地区間の収集・運搬距離が長いこと、収集・運搬費用が非常に大きくなっている。つまり、特に非コンパクトな都市においては、可燃ごみの運搬先である焼却施設が遠隔地に立地している場合は、中継輸送等の導入により、収集・運搬費用の削減を図らない場合、多額のごみ処理費用を要することとなる。

図-3に示すように、どのシナリオにおいても、施設費用に占める割合が最も大きいのは焼却施設の建設費用である。また、焼却施設数、中継施設数の上限は設定していないにもかかわらず、施設数が増加するにつれて多額の建設・運営費用を要するため、どのシナリオにおいても、処理能力の面からみて最小限必要な施設のみが建設されており、各シナリオにおける施設費用は都市形態に関係なく同じ値となっている。

また、図-4に示すように、どのシナリオにおいても、収集・運搬費用に占める割合が最も大きいのは収集人件費用であり、収集・運搬費用に対して80～90%の割合を占めており、各々のシナリオにおける総費用に対する割合は、C-S(26%)、C-L(38%)、C-LR(28%)、D-S(44%)、D-L(60%)、D-LR(42%)となっている。このように、非コンパクトにおける収集人件費用は一般に大きく、特にD-Lでは総費用の6割を収集人件費が占めている。また、表-2に示すように、パッカー車の走行距離に比例する収集費用については、どちらの都市形態でも焼却施設(小)を複数建設するシナリオC-S、D-Sが最小の値となっている。

そして、中継輸送を導入するシナリオC-LR、D-LRではC-L、D-Lと比較して収集費用が小さな値となり、都市形態にかかわらず、中継輸送を導入することにより、収集・運搬に要する費用を低減できる可能性があることが示された。特に、コンパクトな都市と比較して、非コンパクトな都市の方が、より顕著に中継輸送の導入効果が現れている。しかし、それぞれ、パッカー車と大型車両の走行距



シナリオ C-S シナリオ C-LR

図-5 施設配置と収集・運搬先

離に比例する収集費用と輸送費用の合計は、C-LR、D-LRの方が大きくなっており、それぞれの車両から発生する環境負荷については、中継輸送を導入したこれらのシナリオの方が大きくなっていると考えられる。

最後に、図-5にシナリオC-S、C-LRの施設配置と収集・運搬先を図に示した。四角に囲まれた地区には施設が配置されており、各地区の可燃ごみが同じ数字の施設に運ばれていることを示している。ごみの運搬先から判断すると、まだ完全に最適解に到達していないと考えられるが、概ね最適解に近い解が得られているといえる。

## 5. 結論

本研究における可燃ごみ収集・運搬計画の探索結果からの得られた知見としては、焼却・中継施設及び可燃ごみ収集・運搬に要する総費用は、人口に比例する可燃ごみの排出量のみでなく、都市形態や処理システムの影響を強く受け、処理域を広域化し大型の施設を導入することや、中継輸送を導入することによって、大きく異なることが示された。また、中継輸送の導入は非コンパクトな都市の方がより効果的であるとの結果が得られた。

また、コンパクトな都市と非コンパクトな都市では、最適な処理システムにも違いが生じることから、都市形態に応じて、どのように可燃ごみを処理すべきか十分検討する必要があることを改めて示す結果となった。

## 参考文献

- 1) 清水剛, 内海秀樹, 寺島泰: 「ごみ処理の広域化」の環境・経済面からの評価に関する事例研究, 環境システム研究, Vol. 27, pp429-434, 1999.
- 2) <http://www.pwmi.or.jp/pls/flame65.htm>
- 3) たとえば, 坂和正敏, 田中雅博: 遺伝的アルゴリズム, 朝倉書店, 2000.
- 4) 平成15年度 容器包装廃棄物の使用・排出実態調査及び効果検証に関する事業 報告書 <http://www.env.go.jp/recycle/report/h16-02/index.html>