

ネットワーク型施設配置モデルによる廃棄物リサイクル施設計画の分析

Optimal Location of Waste Recycling Plants by Network-based Facility Location Model

溝本剛志*・塚井誠人**・奥村誠***

Goshi Mizumoto, Makoto Tsukai, Makoto Okumura

This paper proposed a network-based facility location model which is applicable to the optimal location of waste recycling plants. In the model, total cost of waste disposal process, which is composed of transportation cost of waste, cost of recycling, cost of final disposal and location cost for the recycling plants. In the recycling process, average cost is assumed to go down along the processing volume, while average final disposal cost is considered to increase because of capacity shortage of plants. In order to solve the location problem with those nonlinear cost functions, a network-based model was proposed instead of ordinary optimal location models based on linear programming structure. The model was applied to a hypothetical location problem in Hiroshima Prefecture, and shown that availability of final disposal facilities governs the optimal location of recycling plants.

Keywords: waste recycling, network-based facility location model, optimal facility location, nonlinear cost function

廃棄物リサイクル, ネットワーク型施設配置モデル, 最適施設配置, 非線形費用関数

1. 本研究の背景と目的

循環型社会の構築に向けて、わが国では平成12年の『循環型社会形成推進基本法』の制定・施行後、製品の生産段階、流通段階、使用段階、回収・リサイクル段階のそれぞれの取り組みを進めるための法律が制定されてきている。特に回収・リサイクル段階では、『容器包装リサイクル法(平成12年完全施行)』、『家電リサイクル法(平成13年施行)』、『食品リサイクル法(平成13年施行)』、『建設リサイクル法(平成14年施行)』、『自動車リサイクル法(平成17年完全施行予定)』の制定がなされている。リサイクル活動の推進は、廃棄物最終処分場の有効利用と延命にも寄与すると考えられ、大きな政策目標となっている。

リサイクルを推進するためには、住民や事業所など、廃棄物を排出する主体の段階でいっそうの分別に努める必要があるが、特に一般廃棄物の場合には回収された廃棄物を適正に分解し、有用な資源を回収するための廃棄物リサイクル施設を整備する必要がある。

リサイクル施設の整備においては、安定稼働と立地費用節約のため施設数を抑えることと、広域的な輸送を避けて輸送コストを抑えるという、相矛盾する要求をどのように調整するかという問題に突き当たる。すなわち、リサイクル施設は大掛かりな設備や多くの人手を要する施設であるため、固定費用が大きい。投入された固定費用を分割し、運営効率を上げるためには、時間的に安定したレベルで稼働させることが必要となる。以上のことから、ある程度の規模を持つ施設を共同で少数設置し、廃棄物を広い区域から収集して安定稼働を図ることが望ましい。リサイクル施設の安定稼働は、そこで生産される再生財を利用する企業にとっても重要な条件となる。なぜなら、バーゲン財に比較して、再生財は供給量の不確実性が大きいとされており、

生産計画上問題となるためである。

一方、一般廃棄物はこれまで市町村の責任で回収し処分すべきものとされて来たため、リサイクルの方針も市町村ごとに異なることが多い。また廃棄物処理において輸送費用の占める割合が大きいため、広域的な輸送を避けることが望ましい。さらにリサイクルの結果再生処理できなかった残りの廃棄物(残滓)を最終処分する上でも、少数の場所にもリサイクル処理施設を集中させることには問題が多い。

以上のことから、廃棄物リサイクル施設の最適位置は自明ではなく、廃棄物の発生量のみならず最終処分場の容量や輸送費用を考慮して適切に定める必要がある。さらに今後のリサイクル処理技術の向上により残滓発生率が変化することも想定して、施設配置を検討することが望まれる。

本研究ではこのような検討を行うためのツールとして、施設配置モデルの提案を行うことを目的とする。その際、上述した施設の固定費用に起因する「規模の経済性」、および最終処分場の逼迫に伴う「規模の不経済性」を考慮するため、非線形の費用関数を取り込んだモデルを提案する。以下、2. では既存の廃棄物リサイクルに関するモデルを概観し、本研究で提案するモデルの説明を行う。3. では広島県にモデルを適用し、パラメータの変化に対する挙動を調べ、モデルの特性を考察する。4. では最終処分場の枯渇および新規建設に関するシナリオを設定し、その下でのリサイクル施設の最適配置を考察する。5. はまとめであり、本研究の成果と今後の課題を述べる。

2. ネットワーク型最適施設配置モデル

(1) 既往の関連研究

廃棄物リサイクルに関連する研究として、物質としての収支バランスおよび処理エネルギーに着目した数量的なモ

*正会員 広島市水道局 (Hiroshima Waterworks Bureau)

**正会員 立命館大学理工学部都市システム工学科 (Ritsumeikan Univ.)

***正会員 広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻 (Hiroshima Univ.)

デルの研究が行われている。

国内経済における廃棄物の需給構造に対して、森川ら¹⁾は取り扱いが困難とされてきた屑・副産物の発生行列、投入行列を SNA 産業連関表に増補し、ハイブリット型結合生産モデルを提案し、LPG など各種 5 品目に着目した実証分析を行っている。この研究により、生産技術が変化することで直接的に屑の発生量を削減している一方で、間接的に屑発生量を増加させる部門が存在することを明らかにした。しかし、データの制約もあり、産業連関表をベースとする研究では地域や施設の位置は捨象されている。

都道府県レベルの地域を対象としてリサイクル政策の分析を試みたものとして厩・宮田ら²⁾がある。そこでは資源循環型地域生産システムのモデルを提案し、地域総合コストの低減、地域マテリアルリサイクル率の向上、地域パーリサイクル率の向上という 3 つの目標から構成される多目的最適化問題を解いている。その結果、製品回収率や回収パターンの違いが地域の再生資源の使用や生産コストに与える影響を把握している。これらの研究では再生財の価格に着目して再投入の可能性を検討しているという特徴があるが、1. で述べたような施設の固定費用あるいは最終処分場の枯渇に起因する費用の非線形性が考慮されていない。また、モデルの中に空間が考慮されていないために、廃棄物の輸送費用にかかわる分析を行うことはできないという問題がある。

一方、廃棄物処理施設をはじめとする公共施設の立地点の選定問題についてはオペレーションズ・リサーチの分野での研究の蓄積がある。その中でも与えられたネットワーク空間上に複数の施設を立地させる問題は最適施設問題と呼ばれており輸送費用、処理費用が線形関数で与えられる時には整数計画法を用いて解く方法が提案されている。より複雑な条件を加えると解析的に解くことはできなくなり、GA (遺伝的アルゴリズム) をはじめとするヒューリスティックな近似解法を用いる必要がある。

立花ら³⁾は、広域生活圏レベルを対象に一般廃棄物処理システム計画モデルを、2 種類の収集・運搬モデル、処理施設計画モデル、排出量計画モデルの計 4 つのモデルに分割して提案した。実証データに基づくシミュレーション分析から、ゴミ排出段階での分別効率の変化による影響などの知見を得ている。しかしリサイクルの結果排出される残滓の最終処分を考慮しておらず、それに伴う処理費用の非線形性が考慮されていないという問題がある。

田畑ら⁴⁾は本研究と同様の問題意識のもとで廃棄物リサイクル施設の適正配置の研究を行っている。この研究では、地域内での産業廃棄物の発生空間分布を把握したうえで、輸送時のエネルギー消費量の最小化と、処理能力を考慮した適正な再資源化施設の配置を決定するための分析手法を GA (遺伝的アルゴリズム) を用いて開発している。施設の処理規模を制約条件として与え、輸送距離が最小となるパターンを解として求めており、幾つかの有用な知見が得られているが、GA という手法の特性上、最適解が得られる

保証がない。

費用の非線形性を考慮した施設配置モデルは、線形計画法や混合整数計画法として定式化することはできない。石黒ら⁵⁾は一般の物流では輸送のロットサイズが大きいほど単に重量あたりの輸送費が安くなるという規模の経済性が作用していることを指摘し、広域物流拠点配置モデルをネットワーク配分問題として定式化している。すなわち、物流拠点での積み替えをリンクを用いて表現し、交通量配分の分野で一般化している分割配分法を使用して最適解を近似的に求めている。しかしながら、規模の経済性と規模の不経済が同時に作用する場合には、計算途中で最小費用を与える経路が切り替わり、ある経路に一旦配分された交通量を別の経路に振り替えることが有利になるケースが発生する。石黒らが用いた分割配分法では一旦配分された交通量の経路は固定され、このようなケースに対応できない。

そこで本研究では、石黒らの研究⁶⁾にならい、最適施設配置モデルをネットワーク配分問題として定義した上で、計算途中で最適経路の切り替えにも対応できる均衡配分法⁷⁾を用いて解くこととする。

(2) ネットワーク型施設配置モデルの定式化

本研究では、外生的に与えたリサイクル施設の立地パターンに対して、廃棄物輸送費用、リサイクル処理費用、残滓廃棄物輸送費用、最終処分費用、新規リサイクル施設立地費用の総和である廃棄物処理費用の最小化を行うネットワークモデルを作成する。さらにそれをサブルーチンとして用いて、総費用を最小とする施設配置を求めるモデルを構築する。

廃棄物処理過程に関して、以下のような仮定を置く。

- 1) 廃棄物の種類は一種類とする。複数の種類の廃棄物が存在する場合には、その種類ごとに別々のモデルを適用することとなる。
- 2) 対象地域を複数個のゾーンに区分する。
- 3) 廃棄物輸送費用はゾーン間輸送距離と輸送量に比例する。ゾーン内の輸送費用は考えない。
- 4) 各ゾーンで発生した廃棄物はすべて、一旦リサイクル施設に運ばれ、分別される。
- 5) リサイクル施設では一定の割合がリサイクル財に再生され、残る部分(残滓)は最終処分場に輸送される。この割合はリサイクルへの社会的な要請と技術レベルに基づいて設定されると考えるが、本研究では外生値として与える。
- 6) リサイクル施設の立地費用とリサイクル処理の限界費用は立地点ごとに与えるが、処理量に対して一定である。
- 7) 最終処分場を保有するゾーンは一部に限られる。
- 8) 最終処分の限界費用は処分量に対して増増する。
- 9) リサイクル再生財の輸送や販売コストは考えない。

仮定 6) により、リサイクル処理の平均費用は処理量に対して逡減し、全体として規模の経済性が働く。また仮定 8) のように最終処分段階では規模の不経済性を仮定する。そのために費用関数を非線形関数として与えるので、一般的な線形計画法あるいは混合整数計画法の形で定式化、求解

することができない。そこで、廃棄物処理過程を図-1に示すようにネットワーク表現する。

始点である廃棄物発生ノードはゾーンの数だけ、リサイクル施設ノードはリサイクル施設が立地したゾーンに2つずつ、最終処分場ノードは最終処分場を保有するゾーンに2つずつ設定する。終点として廃棄物処理の終了を表わす仮想ノードを1つ設定する。輸送、リサイクル、最終処分のリンクに対して輸送(処理)量に対応する費用がかかる。

どのゾーンで発生した廃棄物も確実に処理する必要があるから、各廃棄物発生ノード(O)から仮想ノード(D)までのOD区間($\in \Omega$)にそのゾーンの廃棄物発生量を流す。この総費用最小化問題は、以下のように定式化できる。

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{a \in At_1} (x_a \cdot TC_a) + \sum_{a \in At_2} (1-r) \cdot x_a \cdot TC_a \\ & + \sum_{a \in Ar} r \cdot x_a \cdot RMC_a + \sum_{a \in Ad} \int_0^{(1-r)x_a} DMC_a(w)dw + \sum_i TP_i \cdot \delta_i \\ s.t. & \sum_{k \in K_{OD}} f_k^{OD} - Q_{OD} = 0 \quad (\forall OD \in \Omega) \\ x_a = & \sum_{k \in K_{OD}} \sum_{OD \in \Omega} \delta_{a,k}^{OD} \cdot f_k^{OD} \end{aligned} \quad (1)$$

$$f_k^{OD} \geq 0, \quad x_a \geq 0$$

r : リサイクル率 ($0 \leq r \leq 1$) (外生的な社会的要請値)

a : リンク番号

x_a : 各リンク a を通過する輸送(処理)量 (t)

At_1 : 発生ゾーン~リサイクル施設の廃棄物輸送リンク集合

At_2 : リサイクル施設~最終処分場の残滓輸送リンク集合

Ar : リサイクル活動リンクの集合

Ad : 最終処分活動リンクの集合

$TC_a = c \cdot l_a$: 廃棄物輸送リンクのトンあたりのコスト (円/ t)

C : 単位距離あたりの輸送費用 (円/ $t \cdot km$)

l_a : 輸送リンク a の距離 (km) (直線距離とする)

RMC_a : リサイクル活動リンクのトンあたりのコスト (円/ t)

$DMC_a(x_a)$: 最終処分活動リンクの限界コスト (円/ t)

Q_{OD} : ゾーン O で発生する廃棄物の量 (t)

f_k^{OD} : ゾーン O で発生する廃棄物のうち、第 k 経路に割り振られた経路輸送量 (t)

$\delta_{a,k}^{OD}$: ノード O から仮想ノード D 間の第 k 経路がリンク a を含む場合 1、含まない場合 0

TP_i : ゾーン i の 1 年当りリサイクル施設立地費用 (円)

δ_i : ゾーン i にリサイクル施設が立地する場合 1、立地しない場合 0

目的関数右辺の各項は順に、発生ゾーンからの廃棄物輸送費用、リサイクル後の残滓輸送費用(後出の表3~6ではまとめて輸送費用)と、リサイクル費用、最終処分費用(表6ではまとめて処理処分費用)およびリサイクル施設立地費用(表3~6では立地費用)を表わす。

(3) ネットワーク型施設配置モデルの解法

上記のモデルの目的関数の最小値を求めるため、交通量配分に用いられている計算法を援用する。仮定8)に起因して、本モデルでは配分計算の過程でリンクコストが変化

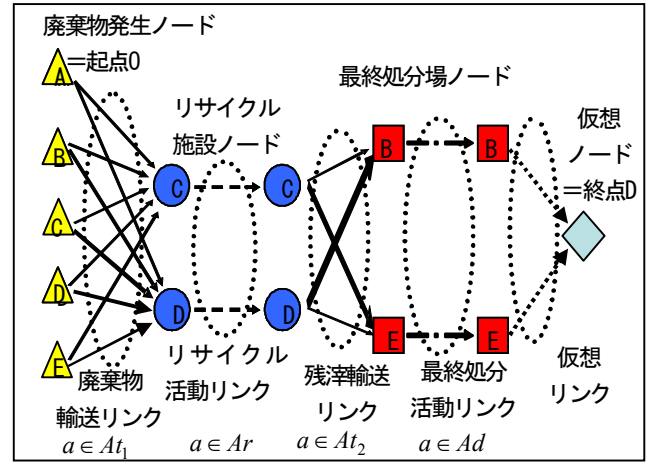


図-1 本研究で扱う廃棄物処理ネットワーク

するため、一旦配分したフローを他の経路に振り替える必要性が生じる。そのため、交通量配分に実用的に用いられている分割配分法ではなく、Frank-Wolfe アルゴリズムを使った均衡配分法を用いる。また、リサイクル施設立地費用(固定費用)はリンクコストとして表現できない。そこで施設を立地させるゾーンの組み合わせ(以下立地パターンと呼ぶ)を仮定し、それぞれに対して上記のモデルの均衡配分計算により最適解を求め、それらを比較して最も総費用の小さい解を見出すこととする。

3. モデルの適用と感度分析

2. で定式化したモデルの特性を明らかにするため、広島県のデータを適用した基本ケースを設定し、さらにパラメータ値の変化が最適解に与える影響を調べる。

(I) 使用データと基本ケースの設定

(I) 廃棄物発生量

環境省の廃棄物処理技術情報⁸⁾のホームページより平成12年度の廃棄物に関するデータを使用する。

図-2のように、実際に廃棄物の広域処理が行われている地域あるいは現在合併が検討されている市町村を単位として17のゾーンを設定した。平成12年度における各ゾーンの廃棄物発生量を図-2と表-1に表示している。

(II) 単位輸送費用

ゾーン間の単位輸送費用は $c=100$ (円/ $t \cdot km$) とする。

(III) リサイクル処理費用

リサイクル処理の限界費用は、廃棄物の種類別の資源化量と処理単価のデータに基づき、全17のゾーンで共通に $RMC_a=50,000$ (円/ t) と設定した。

リサイクル施設の立地費用は都市的土地利用が進んでいるほど環境保全対策等に多くの費用を要すると考え、まず総立地費用をゾーンの人口密度 $dens_i$ (人/ km^2) の二次関数として与えた。

$$TP_i = \beta dens_i^2 + \gamma \quad (2)$$

ただしパラメータ $\beta=60$ (億円/(人 km^2)²)、 $\gamma=50$ (億円)。

他の費用の定義に合わせるため、この建設費用を割引率5%のもとで30年間で等額償還するとして割り戻して年々

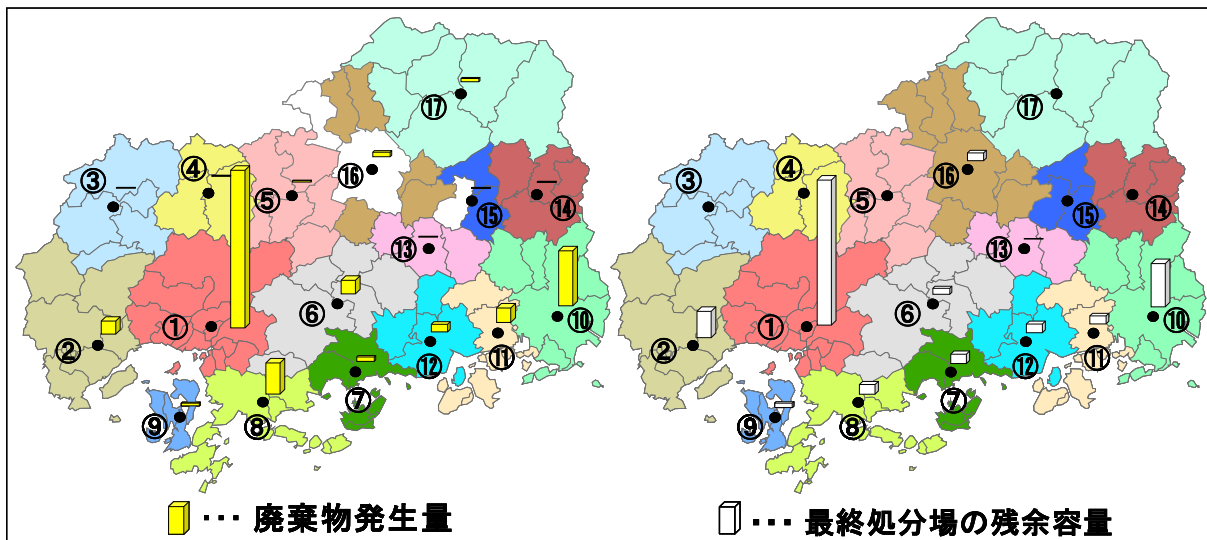


図-2 対象圏域のゾーン区分と廃棄物発生量、処分場残余容量

表-1 各ゾーンの廃棄物発生量と施設立地費用

ゾーン	人口 (人)	年間廃棄物 発生量(t)	人口密度 (人/km ²)	施設立地 費用(億円)	1年当り立地 費用(億円)
1	1,231,712	531,430	1513.2	304.4	19.8
2	156,558	56,986	214.5	55.1	3.6
3	12,670	3,342	21.3	50.1	3.3
4	19,012	4,273	48.5	50.3	3.3
5	35,298	6,418	65.6	50.5	3.3
6	163,907	58,880	236.9	56.2	3.7
7	55,938	19,311	247.0	56.8	3.7
8	263,479	116,759	746.5	111.9	7.3
9	33,007	11,626	327.4	61.9	4.0
10	503,807	194,544	802.1	121.5	7.9
11	158,779	62,252	557.5	84.5	5.5
12	99,392	33,498	284.6	59.0	3.8
13	20,428	3,047	73.4	50.6	3.3
14	13,144	3,697	34.4	50.1	3.3
15	11,663	3,614	52.7	50.3	3.3
16	59,105	20,375	82.8	50.8	3.3
17	44,648	13,713	38.0	50.2	3.3

注)償還期間50年、利率5%のときの等額償還とする。

表-2 各ゾーンの処分場残余容量と η_i の設定値

ゾーン <i>i</i>	残余容量(t) V_i	年間最終処分量(t) $D_i = V_i / V_T \cdot D_T$	パラメータ $\eta_i = (\lambda - \xi) / D_i^2$
1	3,446,922	489,227	6.27×10^{-8}
2	714,094	101,352	1.46×10^{-6}
6	186,096	26,413	2.15×10^{-5}
7	290,819	41,276	8.80×10^{-6}
8	294,233	41,761	8.60×10^{-6}
9	136,463	19,368	4.00×10^{-5}
10	1,102,115	156,425	6.13×10^{-7}
11	248,436	35,261	1.21×10^{-5}
12	265,803	37,726	1.05×10^{-5}
13	386	55	4.99
16	236,941	33,629	1.33×10^{-5}
合計	6,922,307	982,494	

V_T ↑平成12年度最終処分量

の値にする。表-1に各ゾーンの人口密度と求めた施設立地費用を示す。

(IV)最終処分費用

残余容量が少ないほど最終処分の限界費用が高くなるような関数として設定する。本研究では実証的な関数形の設

表-3 基本ケースにおける最適解の費用の内訳

リサイクル率	10%	50%	90%
立地パターン	1,10	1,10	9,11
総費用	522.3	539.4	591.0
輸送費用	20.3	15.2	26.6
リサイクル処理費用	57.2	285.9	514.7
最終処分費用	417.2	210.5	40.3
(処理・処分費用計)	474.3	496.5	555.0
立地費用	27.7	27.7	9.5

費用の単位は億円

定は今後の課題とし、次式のような二次関数で設定する。

$$DMC_i(x_a) = \eta_i \cdot x_a^2 + \xi \quad (3)$$

ただし、最小限界費用パラメータは $\xi = 35,000$ (円/ t)とし、係数の η_i はゾーンごとに以下の式で設定した。

$$\eta_i = (\lambda - \xi) / D_i^2 \quad (4)$$

$$D_i = V_i / V_T \cdot D_T$$

λ : 残余容量に対応する年間埋立を行った場合の限界コストパラメータ (=50,000 円/ m^2 とする)

D_T : 平成12年度の広島県内の最終処分量 (t)

V_i : ゾーン*i*の最終処分場の残余容量 (m^3)

V_T : 広島県内全体の最終処分場の残余容量 (m^3)

なお平成12年度時点で最終処分場を保有するゾーンは計11ゾーンである。平成12年度分の埋め立てを終了した時点での残余容量と算出した η_i を表-2に示す。

(2)基本ケースに対する解

基本ケースとして、以上の設定値のもとで17ゾーン全てにリサイクル施設の立地が可能であるケースを考えた。リサイクル率を10%、50%、90%として与え、2¹⁷通りの立地パターンに対する計算結果の比較を行った。図-3に各リサイクル率における廃棄物処理量の分布を、表-3にそれぞれの費用の内訳を示す。

このモデルでは、廃棄物発生地点-リサイクル施設間、

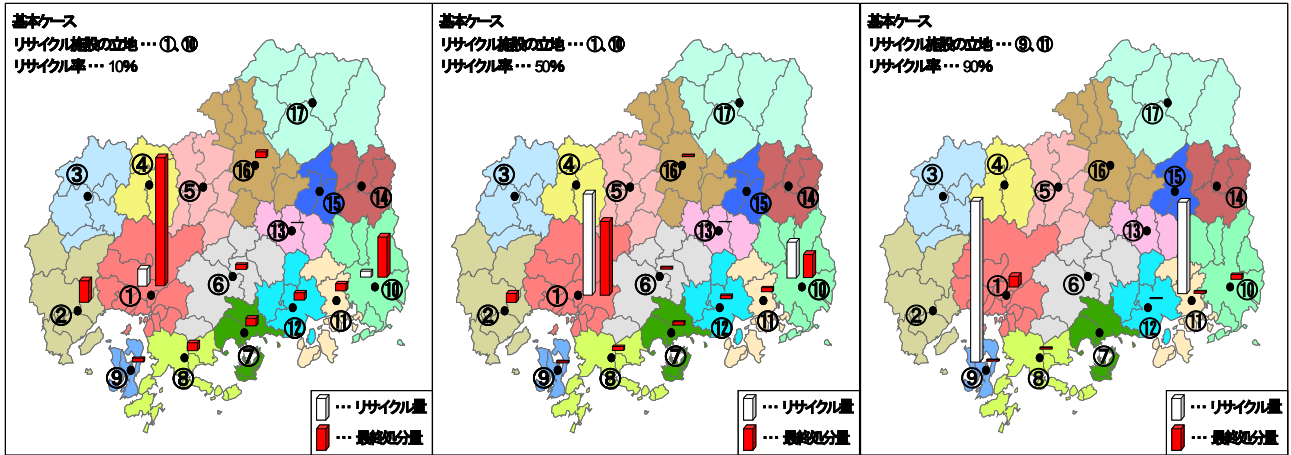


図-3 リサイクル率10%、50%、90%に対する最適解における廃棄物処理量分布

表-4 最適解に対する感度分析

リサイクル率		10%	50%	90%
基本ケース	立地パターン	1,10	1,10	9,11
	総費用	522.3	539.4	591.0
	輸送費用	20.3	15.2	26.6
	リサイクル処理費用	57.2	285.9	514.7
	最終処分費用	417.2	210.5	40.3
	立地費用	27.7	27.7	9.5
残余容量等分	立地パターン	2,6,9,11	6,9,11	9,11
	総費用	525.7	540.6	591.0
	輸送費用	34.8	31.3	25.5
	リサイクル処理費用	57.2	285.9	514.7
	最終処分費用	417.0	210.2	40.6
	立地費用	16.8	13.2	9.5
処理費75%	立地パターン	1,10	1,10	9,11
	総費用	508.0	467.9	462.4
	輸送費用	20.3	15.2	26.6
	リサイクル処理費用	42.9	214.5	386.0
	最終処分費用	417.2	210.5	40.3
	立地費用	27.7	27.7	9.5
75%費用	立地パターン	1,11	9,11	9,11
	総費用	517.4	533.2	584.4
	輸送費用	17.9	27.8	20.0
	リサイクル処理費用	57.2	285.9	514.7
	最終処分費用	417.1	210.0	40.2
	立地費用	25.3	9.5	9.5

費用の単位は億円

リサイクル施設-最終処分場間の2つの輸送を考慮しているため、リサイクル施設の立地は、廃棄物発生量の多いゾーンと最終処分場残余容量の多いゾーンに引き寄せられる。本計算例ではゾーン1と10に立地が起こる。ただし、リサイクル率が上がると、最終処分場の残余容量が多いゾーンの立地を引き付ける力が弱くなり、廃棄物発生量の影響が相対的に強くなるとともに、立地費用の高いゾーンへの立地を嫌って周囲のゾーンに施設立地点が移動する。

(3)パラメータの変動に対する感度

基本ケースで設定したパラメータを以下のように変動させて最適解を求め、モデルの感度を確認した。

- (I) ゾーンごとの最終処分場残余容量に差が無い場合
- (II) リサイクル処理限界費用が基本ケースの75%の場合
- (III) 輸送費用が基本ケースの75%の場合

これらのケースと基本ケースとの最適解を表-4に比較

表-5 処分場(ゾーン1)枯渇時の最適解

リサイクル率	10%	50%	90%
立地パターン	2,6,8,10	2,7,10	9,11
総費用	693.1	571.9	591.6
輸送費用	28.9	32.0	26.7
リサイクル処理費用	57.2	285.9	514.7
最終処分費用	584.6	238.8	40.7
立地費用	22.4	15.2	9.5

費用の単位は億円

している。最終処分費用が輸送費用や施設立地費用よりも大きく、リサイクル施設配置に対し、強い影響を及ぼすことがわかる。また、本研究のモデルの設定では、リサイクル処理費用が低下しても、リサイクル施設立地には影響が見られない。しかし、廃棄物輸送の単価が下がった場合、立地にかかる費用の決定力が増す傾向がある。

4. 最終処分場の枯渇と建設の影響分析

(1)最終処分場の枯渇の影響

平成12年度のデータによると、県内では広島市(ゾーン1)の最終処分場の埋立て終了が最も早く、平成18年と予想されている。そこで、ゾーン1の最終処分場が枯渇して利用できない状態を想定して分析を行う。なお、その他のゾーンの最終処分場の残余容量は基本ケースと同じとし、最終処分費用関数は変更しない。最適解の計算結果を表-5に示し、リサイクル施設立地に変化が見られたリサイクル率10%、50%のケースでの処理量の分布を図-4に示す。これより、廃棄物発生量の多いゾーンにおける最終処分場の枯渇は廃棄物の輸送距離を増大させるとともに、リサイクル施設の立地にも影響を与える。

(2) 新規最終処分場建設の下でのリサイクル施設配置

次にゾーン1の最終処分場が枯渇した後に、新たにゾーン1の処分場と同規模の処分場を圏域内に1ヶ所建設することを考え、分析した。表-6に最終処分場建設パターンに対する各リサイクル率での最適解の費用の内訳を示す。表中で背景色を付けた値は各費用の最小値と、最大値を示している。これより、新たな最終処分場の建設位置やリサイクル率の違いに応じて、リサイクル施設の最適配置パタ

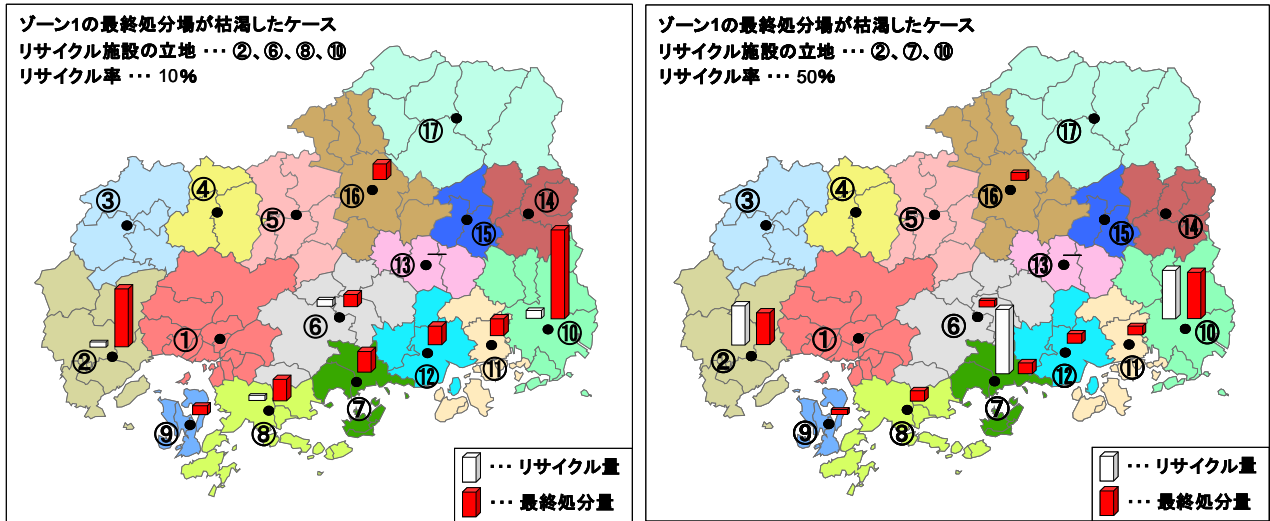


図-4 処分場枯渇時の廃棄物処理量分布

表-6 最終処分場立地点ごとのリサイクル施設立地の最適解とその費用の内訳

最終処分場建設ゾーン	リサイクル率10%の場合					リサイクル率50%の場合					リサイクル率90%の場合				
	リサイクル施設立地	総費用	輸送費用	処理処分費用	立地費用	リサイクル施設立地	総費用	輸送費用	処理処分費用	立地費用	リサイクル施設立地	総費用	輸送費用	処理処分費用	立地費用
1	1,10	522.3	20.3	474.3	27.7	1,10	539.4	15.2	496.5	27.7	9,11	591.0	26.6	555.0	9.5
2	2,6,10	516.9	27.6	474.1	15.1	2,6,11	536.4	27.7	496.0	12.7	9,11	591.6	27.1	554.9	9.5
3	3,6,9,10	527.2	34.1	474.2	18.8	3,7,10	545.3	33.8	496.6	14.9	2,7,11	593.4	24.2	556.4	12.8
4	2,4,7,10,12	525.1	28.6	474.1	22.3	4,8,11	546.1	33.9	496.1	16.0	2,7,10	593.2	21.8	556.3	15.2
5	5,6,9,10	526.0	33.0	474.1	18.9	2,5,9,11	544.5	32.2	496.0	16.4	2,7,10	593.2	21.8	556.3	15.2
6	2,6,7,10,17	520.6	24.3	474.1	22.1	6,10	538.6	29.9	497.1	11.6	6,11	592.1	28.0	554.9	9.2
7	2,3,7,11,14	537.6	41.5	476.8	19.3	7,10	541.6	32.7	497.4	11.6	2,7,11	592.7	24.1	555.9	12.8
8	2,6,7,8,10	519.3	18.9	474.3	26.1	8,10	536.3	24.5	496.6	15.2	8,11	590.1	22.5	554.9	12.8
9	2,7,9,10,16	517.6	21.0	474.1	22.5	6,9,11	535.4	26.1	496.1	13.2	9,11	590.3	25.8	554.9	9.5
10	2,7,10	537.5	47.9	474.5	15.2	6,9,12	554.2	46.2	496.5	11.5	2,7,11	592.8	23.9	556.1	12.8
11	2,6,10,12	535.4	44.2	474.2	19.0	2,6,10	545.6	34.2	496.2	15.1	9,11	591.8	26.2	556.1	9.5
12	2,7,10,12,15	530.4	32.0	474.1	22.3	2,7,10	543.7	32.2	496.3	15.2	2,12	592.8	29.5	555.8	7.4
13	2,6,10	529.2	39.8	474.3	15.1	2,6,11	544.6	34.8	497.1	12.7	2,7,11	593.0	23.9	556.3	12.8
14	2,6,14	540.5	55.5	474.5	10.5	6,9,10,17	553.0	37.6	496.6	18.9	2,7,10	593.2	21.8	556.3	15.2
15	2,6,10,13	537.9	45.1	474.3	18.4	6,9,10	548.2	36.2	496.3	15.6	2,7,10	593.2	21.8	556.3	15.2
16	2,6,7,11,16	533.9	39.9	474.3	19.7	6,9,10	546.9	35.0	496.3	15.6	2,7,11	593.0	23.9	556.3	12.8
17	2,8,10,16	544.7	47.8	474.8	22.1	6,9,10	552.7	39.9	497.2	15.6	2,7,10	593.2	21.8	556.3	15.2

費用の単位は億円

ンが変わることがわかる。また、新規最終処分場建設がリサイクル施設配置計画に及ぼす影響は、リサイクル率が低い場合により顕著である。

5. おわりに

以上の分析から、リサイクル施設の立地には最終処分場の残余容量が大きく影響し、その影響はリサイクル率が低い段階で顕著であることがわかった。今後リサイクル施設配置を計画する際には、最終処分場の残余容量の動向や新規立地の可能性を考慮に入れ、総合的に検討する必要があることが確認できた。本研究で提案したネットワーク型施設配置モデルはその際の有用なツールになると考える。

今後の課題として、実証データに基づきリサイクル活動と最終処分活動の費用関数、立地費用関数を設定することがあげられる。また、輸送に伴う消費エネルギーの検討を行うことが望まれる。さらに、複数の種類の廃棄物の考慮、再生財の販売段階の輸送費用の考慮、収集段階での分別の効果の考慮など、本モデルの多方面への拡張があげられる。

参考文献

- 1) 森川貴史・加河茂美・稲村肇・森口祐一(2003), 「国内経済が内包する廃棄物の需要構造分析」、土木学会論文集、No.744/IV-61、pp77-91
- 2) 梶暁晋・宮田譲(2000), 「資源循環型地域生産システムの多目的最適化」、土木計画学研究・論文集、No.17、pp439-448
- 3) 宮田譲・梶暁晋(2000) 「地域ゼロエミッションの可能性とその評価」、土木計画学研究・論文集、No.17、pp449-460
- 4) 立花潤三・春名攻(2001), 「リサイクルを考慮した一般廃棄物処理システム計画に関するモデル分析」、土木計画学研究・論文集、No.18、pp187-194
- 5) 田畑智博・後藤尚弘・藤江幸一・井村秀文・薄井智貴(2002), 「発生源空間分布から見た廃棄物輸送・再資源化施設の適正配置に関する研究」、環境システム研究、Vol30、pp315-322
- 6) 石黒一彦・桜田崇治・稲村肇(2000), 「規模の経済を考慮した輸送費用最小化に基づく広域物流拠点配置モデルの開発」、土木計画学研究・論文集、No.17、pp693-700
- 7) 土木学会(1998) 「交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—」、丸善(株)
- 8) 環境省, 廃棄物処理技術情報のページ, http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/index.html, 2003.6.入手