

最適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

広島市水道局 正会員 ○溝本 剛志
 広島大学大学院工学研究科 正会員 奥村 誠
 立命館大学理工学部 正会員 塚井 誠人

1. 背景と目的

資源枯渇問題、廃棄物最終処分問題への対策として廃棄物リサイクル活動への期待が大きい。その受け皿となるリサイクル施設は建設費も大きいため、効率的な施設配置計画を検討する必要がある。本研究では、廃棄物処理における規模の不経済を表現できるネットワーク型の最適施設配置モデルを提案する。

2. 廃棄物リサイクル施設配置モデルの定式化

本研究では、廃棄物リサイクル施設の最適配置問題を、廃棄物輸送費用、リサイクル処理費用、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問題として考える。

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。
- 2) 対象地域をゾーンに区分し、ゾーン内の輸送費用は考えない。
- 3) 廃棄物輸送費用は輸送距離と輸送量に比例する。
- 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社会的に要請される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。
- 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逓増する。
- 9) リサイクル再生財の輸送や販売コストは考えない。

本研究では、仮定 8) のような規模の不経済性を仮定する。そのため、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 2 に示すようにネットワーク表現して解くという方法をとる。

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する可能性のあるゾーンの数だけ、最終処分場ノードは最終処分場を保有するゾーンの数だけ設定する。

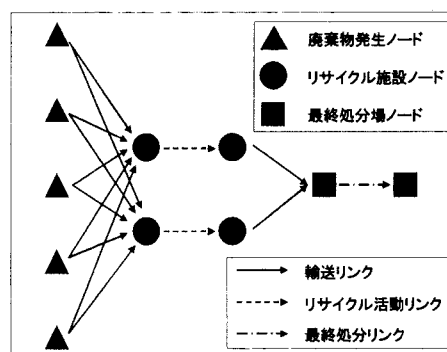


図1 本研究で扱う廃棄物処理ネットワーク

各リンクの通過量に対して、輸送、リサイクル、最終処分の費用がそれぞれかかる。但し、リサイクル施設立地費用はリンクコストとして表現できないため、全立地パターンに対して各最適解を求め、それらを比較して最も総費用の小さい解を導く。

以上のことを踏まえ、リサイクル施設配置モデルを以下に示す総費用最小化問題として定式化できる。

$$\min Z = \sum_{a \in A_{t1}} (x_a \cdot TC_a) + \sum_{a \in A_{t2}} (1-r) \cdot x_a \cdot TC_a \\ + \sum_{a \in A_r} r \cdot x_a \cdot RMC_a + \sum_{a \in A_d} \int_0^{(1-r)x_a} DMC_a(w) dw + \sum_i P_i \cdot \delta_i$$

s.t.

$$\sum_{k \in K_{OD}} f_k^{OD} - Q_{OD} = 0 \quad (\forall OD \in \Omega)$$

$$x_a = \sum_{k \in K_{OD}} \sum_{OD \in \Omega} \delta_{a,k}^{OD} \cdot f_k^{OD}$$

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

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 を流れるリンク輸送(処理)量 (t)

A_{t1} : 発生ゾーン～リサイクル施設の輸送リンク集合

A_{t2} : リサイクル施設～最終処分場の輸送リンク集合

A_r : リサイクル活動のリンク集合

A_d : 最終処分活動のリンク集合

$TC_a = c \cdot l_a$: 廃棄物輸送リンクのリンクコスト (円/ t)

c : 単位距離あたりの輸送費用 (円/ $t \cdot km$)

l_a : 各ゾーン間の輸送距離 (km) (直線距離とする)

RMC_a : リサイクル活動のリンクコスト (円/ t)

$DMC_a(x_a)$: 最終処分活動のリンクコスト (円/ t)

Q_{od} : 起点が O で終点が D の OD 輸
送量 (t)

f_k^{OD} : 起点が O で終点が D の OD
輸送量のうち、第 k 経路に割
り振られた経路交通量 (t)

$\delta_{a,k}^{OD}$: 起点が O で終点が D の OD
間の第 k 経路がリンク a を
含む場合 1、含まない場合 0

P_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

3. 廃棄物リサイクル施設配置モデルの解

本研究では、広島県を対象圏域とし 17 ゾーンに分割
したうえで、平成 12 年度の廃棄物量を環境省の廃棄物
処理技術情報 HP²⁾ より与える。図 2 は各ゾーンの廃棄
物発生量分布、最終処分場残余容量である。

ゾーン間の単位輸送費用を $c=100$ (円/ $t \cdot km$) とする。
リサイクル処理の限界費用は一定とし、最終処分の限
界費用は処理量に対し二次関数的に増加させる。各ゾ
ーンの地価の違いを考慮して、リサイクル施設の立地
費用を表 1 のように設定した。

リサイクル率 10%、50%、90%を与えて計算した結
果を図 3 に示す。このモデルでは、廃棄物発生地点ー
リサイクル施設間、リサイクル施設ー最終処分場間の 2
つの輸送コストを考慮しているため、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施設
の立地が引き寄せられる傾向がある。リサイクル率が
上がると、後者からの力が弱くなり、廃棄物発生量の
影響が相対的に強くなることがわかった。

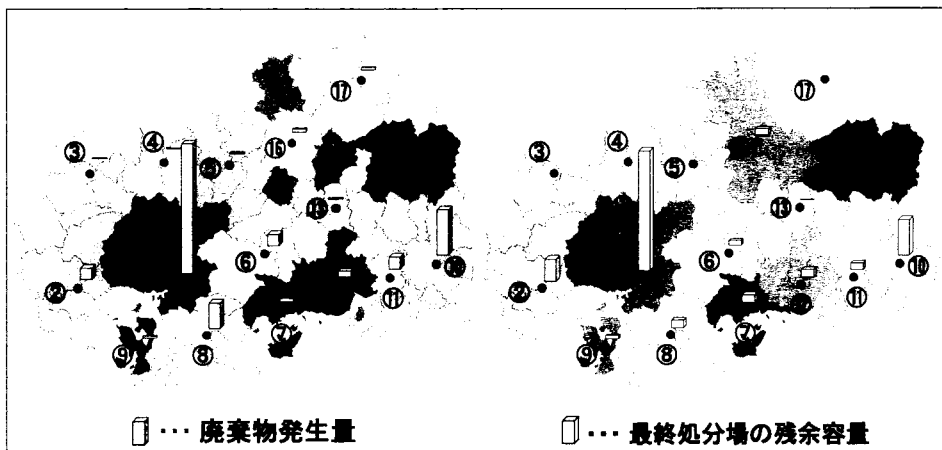


図 2 対象圏域 (広島県) のゾーンごとのデータ

参考文献

- 1) 石黒・桜田・稲村: 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, pp.693-700, 2000.

- 2) 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

表 1 各ゾーンの人口密度とリサイクル施設立地費用

ゾーン	面積 (km ²)	人口 (人)	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	814	1,231,712	1513.2	304.4	19.8
2	730	156,558	214.5	55.1	3.6
3	506	12,670	21.3	50.1	3.3
4	392	19,012	48.5	50.3	3.3
5	538	35,298	65.6	50.5	3.3
6	692	163,907	236.9	56.2	3.7
7	226	55,938	247.0	56.8	3.7
8	353	263,479	746.5	111.9	7.3
9	101	33,007	327.4	61.9	4.0
10	628	503,807	802.1	121.5	7.9
11	285	158,779	557.5	84.5	5.5
12	349	99,392	284.6	59.0	3.8
13	278	20,428	73.4	50.6	3.3
14	382	13,144	34.4	50.1	3.3
15	221	11,663	52.7	50.3	3.3
16	713	59,105	82.8	50.8	3.3
17	1,176	44,648	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。

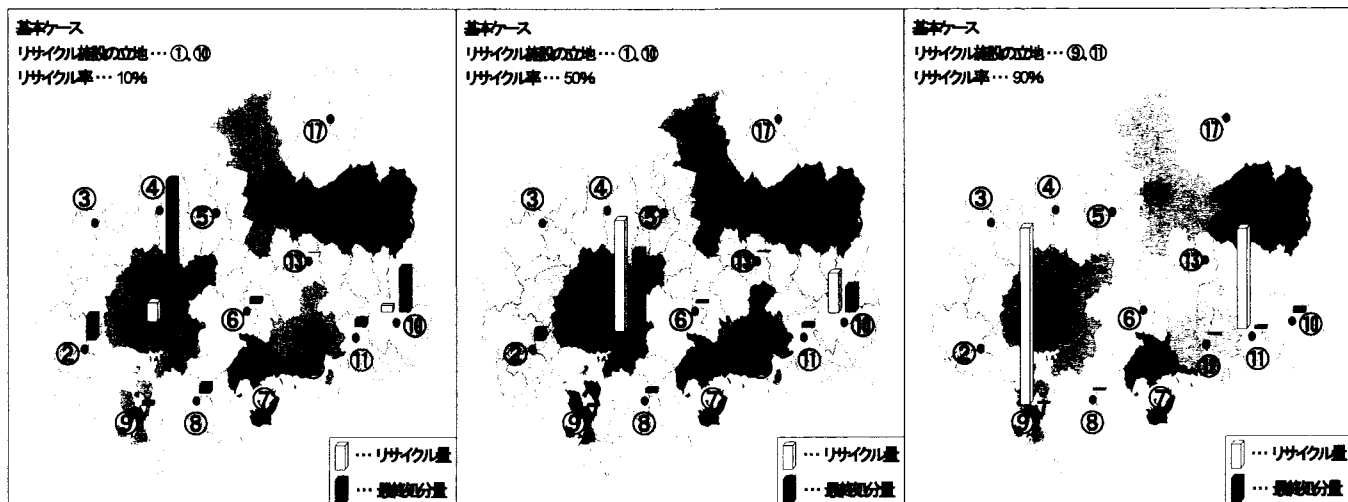


図 3 リサイクル率 10%、50%、90%時の廃棄物処理量分布