

リサイクル施設の企業間共有が資源循環にもたらす効果

The Effect of Recycle-Center-Sharing Between Firms to Circulative Resources

平 聖也*
Seiya TAIRA

*地域計画学研究室（指導教員：大窪和明 助教）

本研究ではリサイクルが法的に制度化される中で企業が静脈物流整備を行う際に、リサイクル施設の企業間共有が資源循環にもたらす効果を明らかにした。まず動脈物流と静脈物流を同時に考える施設配置問題に対し使用済み製品の排出量変動を導入したモデルを開発し、さらにリサイクル施設の共有を導入したモデルへの拡張を行った。2つのモデルを用いた比較分析から、施設の共有によって企業の施設配置に必要な固定費用が減少するばかりでなく、物流費用が減少や使用済み製品回収率の向上が起こる場合があることが分かった。

Key Words : 静脈物流, 施設配置, 施設の共有化, 排出量変動

1 はじめに

循環型社会形成推進基本法における拡大生産者責任(Extended Producer Responsibility: EPR)の確立により、家電や自動車のメーカーは自らの製品の生産、出荷(以下、動脈物流)から使用後の製品の回収、リサイクル(以下、静脈物流)までの管理が義務づけられた。同時に、使用済み製品のリサイクルのために各企業が個別にリサイクル施設を配置することは高コスト、非効率であることから、企業間での協力の強化が求められてきた。しかしリサイクル施設の共有化は進まず、高額なりサイクル料金や不法投棄の一因となっている。今後はリサイクル施設の共有化を進めていく必要がある。

本研究ではリサイクル施設の企業間共有が資源循環にもたらす効果を明らかにすることを目的とする。はじめに使用済み製品の排出量の変動を考慮したクローズドループ型の施設配置モデルを定式化する(基本モデル)。次に2企業によるリサイクル施設の共有を考慮したモデルに拡張する。2つのモデルの比較から施設共有化が使用済み製品の回収率や物流費用を通じて資源循環にもたらす効果を明らかにする。

2 モデルの定式化

2.1 基本モデル

1 企業が図1のように動脈物流から静脈物流までを管理する施設配置問題を定式化する。施設配置計画の段階では使用済み製品排出量の事前把握が困難であるという静脈物流の特徴を踏まえて、排出量が大小の2つのシナリオ $u \in U = \{1, 2\}$ を想定し、確率 P^u で使用済み製品の排出量が $\varepsilon^1 r_k = (1 + \varepsilon) r_k$, $\varepsilon^2 r_k = (1 - \varepsilon) r_k$ になると仮定する。ここで ε は排出量の変動幅、 r_k は地域 k において変動する排出量の中心値、 ε^u はシナリオ u における排出量変動を表す係数である。

シナリオ u において、企業 $g \in G$ は地域 $i \in I$ の一次資

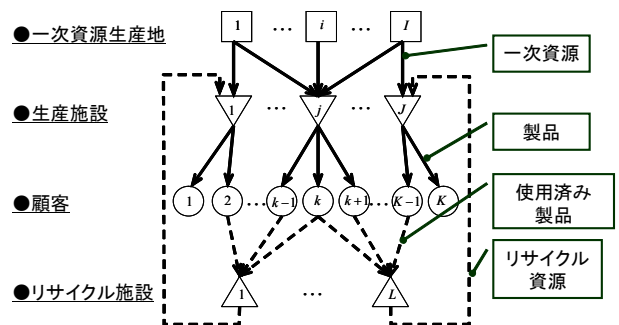


図1 基本モデルの枠組み

源 v_i を地域 $j \in J$ の生産施設に輸送する割合 $X_{ij}^{v,g,u}$, 地域 j の生産施設が地域 $k \in K$ の顧客の需要 d_k を満たす割合 $X_{jk}^{f,g,u}$, 地域 k の顧客から排出される使用済み製品 $\varepsilon^u r_k$ のうち地域 $l \in L$ のリサイクル施設を経由して地域 j の生産施設に輸送される割合 $X_{klj}^{r,g,u}$ を決定する。また地域 j への生産施設の配置を示す $Y_j^{f,g} \in \{0, 1\}$, 地域 l へのリサイクル施設の配置を示す $Y_l^{r,g} \in \{0, 1\}$ を決める。

以上から企業 g の期待費用 $TC^g(\mathbf{Y}^g, \mathbf{X}^g)$ は、

$$TC^g(\mathbf{Y}^g, \mathbf{X}^g) = f^f \sum_{j \in J} Y_j^{f,g} + f^r \sum_{l \in L} Y_l^{r,g} + \sum_{u \in U} P^u \left\{ \begin{aligned} & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij}^v v_i X_{ij}^{v,g,u} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{jk}^f d_k X_{jk}^{f,g,u} \\ & + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} (c_{kl}^r + c_{lj}^r) \varepsilon^u r_k X_{klj}^{r,g,u} + OP^{g,u} + CP^{g,u} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

となる。但し $\mathbf{Y}^g \in \{Y_j^{f,g}, Y_l^{r,g}\}$, $\mathbf{X}^g \in \{X_{ij}^{v,g,u}, X_{jk}^{f,g,u}, X_{klj}^{r,g,u}\}$ とする。式(1)の第1項、第2項は生産施設、リサイクル施設の配置にかかる固定費用、第3~5項はそれぞれ一次資源、製品、使用済み製品、リサイクル資源の輸送費用を示す。第6項 $OP^{g,u}$ は顧客の製品需要が全て満たされない場合のペナルティ、第7項 $CP^{g,u}$ は使用済み製品の排出量が全て回収されな

い場合のペナルティである。

企業 g はリサイクル技術、環境規制を制約条件として期待費用を最小化するように、施設配置、各財の物流量を決定するものとする。以上から企業 g の最適化問題は

$$\min_{\mathbf{Y}^g, \mathbf{X}^g} TC^g(\mathbf{Y}^g, \mathbf{X}^g) \quad (2)$$

$$s.t. \quad \delta \sum_{k \in K} d_k X_{jk}^{f,g,u} \leq \sum_{i \in I} v_i X_{ij}^{y,g,u}, \forall u \in U, j \in J \quad (3)$$

$$\gamma \sum_{j \in J, k \in K} d_k X_{jk}^{f,g,u} \leq \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \varepsilon^u r_k X_{klj}^{r,g,u}, \forall u \in U \quad (4)$$

となる。但し(3)式は製品製造に必要な一次資源の最低含有率であり、 δ の減少はリサイクル技術の進歩を表す。(4)式は環境規制であり、出荷した製品量に対し一定以上の割合で使用済み製品を回収する義務を表す。

2.2 施設共有化モデル

基本モデルと同じ費用構造を持つ 2 つの企業を考え、施設一つ当たり f^s を支払えばリサイクル施設が共有化できる状況を考える。このとき地域 k の顧客からの企業 g の使用済み製品の内、地域 l の共有化リサイクル施設を経て地域 j のもう一方の企業の生産施設へ輸送する割合 $X_{klj}^{rs,g}$ を考えることによって共有化を表現する。以上から、施設共有化モデルにおける 2 企業の最適化問題は

$$\min_{\mathbf{Y}^g, \mathbf{Y}^{rs,g}, \mathbf{X}^g, \mathbf{X}_{klj}^{rs,g}} \sum_{g \in G} \left[TC^g(\mathbf{Y}^g, \mathbf{X}^g) + f^s \sum_{l \in L} Y_l^{rs,g} + \sum_{u \in U} P^{g,u} \left\{ \sum_{j \in J, k \in K, l \in L} (c_{kl}^r + c_{lj}^r) \varepsilon^{g,u} r_k X_{klj}^{rs,g,u} \right\} \right] \quad (5)$$

s.t. eq.(3),(4)

となる。但し $Y_l^{rs,g} \in \{0,1\}$ はリサイクル施設の共有化を表す変数である。

3 数値解析

3.1 想定するシナリオとパラメータ設定

本研究では図2のような5地域の空間的配置を考える。各地域の一次資源賦存量、製品需要量は等しく、1リンク当りの地域間輸送費用と地域内輸送費用は同等とし、ネットワークの特性以外には地域の違いはないとする。一次資源より製品、製品よりも使用済み製品のほうが輸送費用が高い状況を考える。これは、市中を巡回して少しずつ使用済み製品を回収するには時間がかかるため、製品よりも費用が高くなるためである。また 2 企業が同地域にそれぞれのリサイクル施設を配置するのに比べて、共同で配置、共有した方が固定費用は小さくなるとする。

$$(f^r < f^s < 2f^r)$$

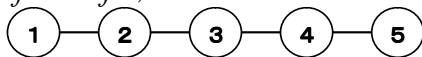


図2 対象とするネットワーク

3.2 施設共有化の効果

共有化モデルの解を基本モデルを 2 企業分考えた共有化前の状況の解と比較し、施設共有化の効果进行分析する。

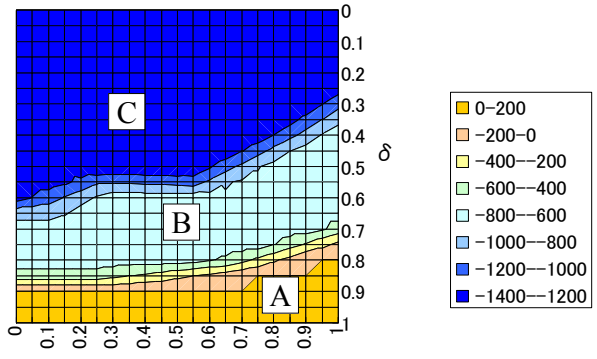


図3 共有化による総費用の差異

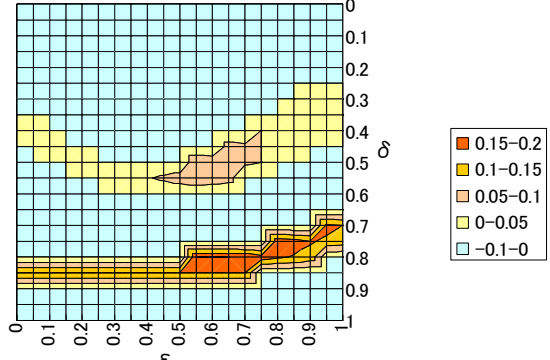


図4 共有化による回収率の差異

技術制約 δ と排出量変動幅 ε を変化させた場合の共有化による総費用の減少額を図3に示す。 $\delta \cdot \varepsilon$ が小さくなるほどリサイクル施設の数が増加し、領域 A, B, C ではそれぞれ 0, 1

, 2 件立地する。領域 A・B の費用減少額は施設共有化による固定費用の節約分に等しい。A・B 領域間, B・C 領域間では総費用減少額に連続的な変化が見られる。これは共有化によって施設配置に差異が生じたことで物流費用にも差異が生じたためである。

共有化による使用済み製品回収率の増加を図4に示す。回収率の改善が見られるのは $\delta = 0.8, 0.5$ 周辺の領域で、施設配置に差異が生じた領域に対応している。

4 まとめ

リサイクル施設を共有化することは固定費用が節約できるだけでなく、施設配置に変化を及ぼすことで物流費用の減少や使用済み製品回収率の向上をもたらすことが分かった。

参考文献

- 1) Zhiqiang Lu, Nathalie Bostel: A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities, Computers & operations Research, Vol.34, pp.299-323, 2007
- 2) Frank Schultmann, Moritz Zumkeller, Otto Rentz: Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry, European Journal of Operational Research, Vol.171, pp.1033-1050, 2006

(2010 年 2 月 10 日提出)