

産廃プラの質を考慮した最適輸送計画モデルの提案

首都大学東京 ○学生会員 河村 永
 首都大学東京 正会員 荒井康裕・大久保伸
 首都大学東京 フェロー 小泉 明
 東京都環境科学研究所 茂木 敏

1. はじめに

東京都内で産業廃棄物として排出される廃プラスチック類(以下、産廃プラ)は年間約50万トン(2004年)であり、その内の約77%が埋立処分されている¹⁾。この埋立比率は全国と比較しても高く、東京都では埋立処理からの脱却のため、平成22年度末までに産廃プラの「埋立ゼロ」を目標に定めた。また、今日では様々なリサイクル技術が確立され、都道府県を越えた広域的な移動が増加傾向にあるものの、資源循環の推進においては高い輸送コストが課題となっている。

そこで本研究では、都内から排出される産廃プラの「広域輸送」に着目し、輸送先を3つのエリアとした仮想的なネットワーク(図-1)を作成し、線形計画法を用いた最適輸送計画モデルについて検討する。具体的には、エリア内の各リサイクル施設の受入れ許容量を満たしながら、輸送効率性の指標である $\text{ton} \cdot \text{km}$ を最小にする最適化問題を解く。また、リサイクルの実態に応じた「受入れ基準」を設定し、各施設における産廃プラ受入れの優越条件を考慮したモデルの提案を目的とする。

2. 研究対象および計算条件

(1)モデル化について

対象とする産廃プラは、都内排出量の約8割を占める「製造業」、「オフィス・小売業」及び「建設業」とした。以降では、これらの総排出量を30万トンと仮定し、 $Q1$:製造業=7.5万トン、 $Q2$:オフィス・小売業=12万トン及び $Q3$:建設業=10.5万トンの内訳により計算を行うこととした。各エリアのリサイクル施設として、マテリアル(M)、セメント(C)、RPF(R)の3種類を設定し、資源化されずに処分される場合には埋立(Z)へのルートも確保した。また、排出された産廃プラは、都内及び関東近郊だけでなく、東北地方など遠方のリサイクル施設や埋立処分場に輸送される事例も報告されている²⁾。そこで実際の計算では、都内から各エリアまでの輸送距離

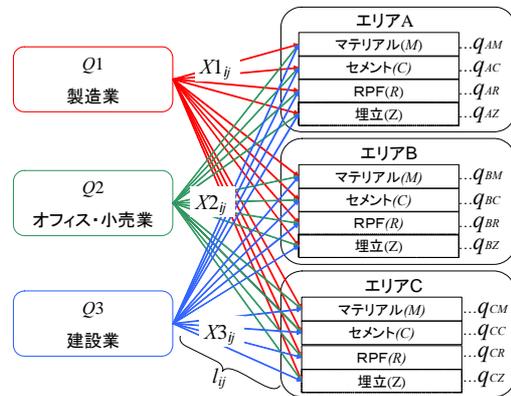


図-1 輸送先を3つのエリアと仮定した仮想的なネットワーク

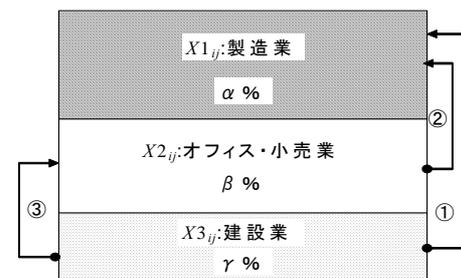


図-2 産廃プラ受入れに関する優越条件

【目的関数】

$$\text{ton} \cdot \text{km} = \sum X1_{ij}l_j + \sum X2_{ij}l_j + \sum X3_{ij}l_j \dots [1]$$

【制約条件】

$$\text{発生量 } \sum X1_{ij} = Q1 \dots [2.1] \quad \sum X2_{ij} = Q2 \dots [2.2]$$

$$\sum X3_{ij} = Q3 \dots [2.3]$$

$$\text{受入れ許容量 } q_{ij} \geq X1_{ij} + X2_{ij} + X3_{ij} \dots [3]$$

【受入れ基準】

$$\textcircled{1} X1_{ij} \geq X3_{ij} \times \frac{\alpha}{\gamma} \dots [4.1] \quad \textcircled{2} X1_{ij} \geq X2_{ij} \times \frac{\alpha}{\beta} \dots [4.2]$$

$$\textcircled{3} X2_{ij} \geq X3_{ij} \times \frac{\beta}{\gamma} \dots [4.3]$$

ここで、添え字 i, j はエリア i (A, B, C) の施設 j (M, C, R, Z) を表す。 $X1_{ij}$, $X2_{ij}$ 及び $X3_{ij}$: 製造業、オフィス・小売業及び建設業から輸送する産廃プラ [ton/年], l_i : エリア i までの輸送距離 [km], $Q1$, $Q2$ 及び $Q3$: 製造業、オフィス・小売業及び建設業の産廃プラの発生量 [ton/年], q_{ij} : 各リサイクル施設の受入れ許容量 [ton/年], α_{ij} , β_{ij} , γ_{ij} : エリア i の施設 j における $X1$, $X2$ 及び $X3$ に対する受入れ比率を示す。

【キーワード】 産廃プラ 広域輸送 最適化 線形計画法 モデル分析 受入れ基準

【連絡先】 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 TEL.0426-77-2788

をエリアA: 50km, B: 400km, C: 1000kmと定め, 広域輸送を含むリサイクルシステムの最適化計算を試みる.

(2)受入れ基準について

本研究で考案した各リサイクル施設の産廃プラ受入れに関する優越条件を図-2に示す. 「製造業」から排出される産廃プラは単一素材で資源化し易い等の特徴を踏まえ, 「製造業 (X1)」、「オフィス・小売業 (X2)」、「建設業 (X3)」の順に優先順位を設けた. すなわち, 式 [4.1] から [4.3] が表現するとおり, 上位に位置付けられた産廃プラの比率は, 下位の比率より多く確保されなければ当該施設での産廃プラの処理は実現しないといった制約を付与した. ただし, 受入れ比率 α_{ij} , β_{ij} 及び γ_{ij} は, エリア i 毎に異なるパラメータであるが, 今回の計算では表-1に示す一律の数値を用いることとした.

(3)制約条件および目的関数について

発生した産廃プラは必ずどこかのエリア, いずれかのリサイクル施設において処理されなくてはならず (式 [2.1] ~ [2.3]), 各リサイクル施設への輸送量は, 受入れ許容量以下でなくてはならない (式 [3]). 一方, 目的関数は「輸送する産廃プラ[ton]」×「エリアまでの輸送距離[km]」の総和 (式 [1]) とし, 埋立 (Z) よりもリサイクル (M, C, R) を優先させるため, 埋立 (Z) の ton・km の算定では, 10,000 倍のペナルティを課す.

3. 計算結果および考察

(1)標準ケース

受入れ許容量 q_{ij} を 5 万トン (ただし, 埋立に関しては許容量 q_{iz} を定めず) にした場合の計算結果を図-3に示す. 図を見ると, 近距離のエリアAだけでなく, 遠方のエリアB及びCにも輸送されており, 広域的な計画代替案となっていることがわかる. ただし, エリアAのRPF (R) をはじめ, 十分に受入れ可能な施設が他に存在するにも関わらず, ペナルティを伴う埋立 (Z) を選択する計画案となっている. この理由は, エリアAの埋立 (Z) を見てわかるように, 受入れ優先度が最も高いX1が既に別施設で処理されるため, X2及びX3に余剰があっても制約条件に組み込まれる質的な優越関係を満足できず, それらは止むを得ず埋立処分へ輸送する結果となっている.

(2)受入れ条件を一部緩和したケース

前述のとおり, 式 [4.1] から [4.3] により表現される産廃プラの質的な優越性が制約として働いたため, 優先度が最も高いX1が不足したことによって非効率的な輸送計画が得られた. そこで, 受入れ基準を緩和したケース

表-1 各リサイクル施設の受入れ比率

	マテリアル <i>M</i>	セメント <i>C</i>	RPF <i>R</i>
α	60%	20%	65%
β	30%	40%	20%
γ	10%	40%	15%

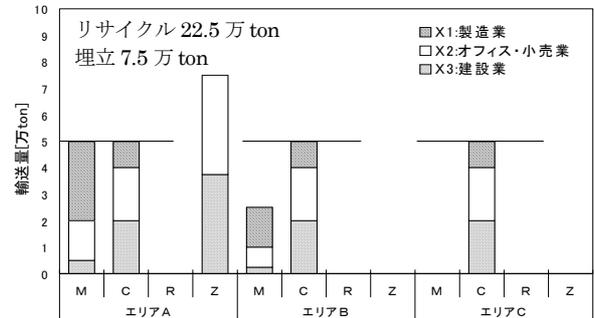


図-3 標準ケース

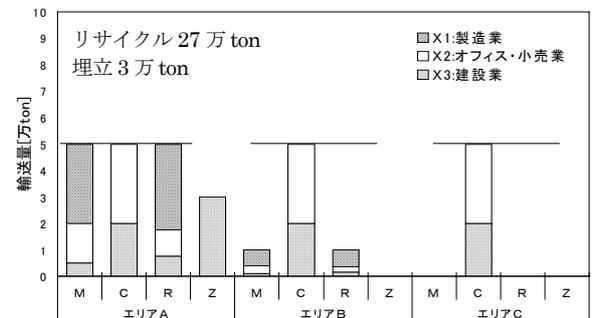


図-4 セメント(C)の制約条件を緩和したケース

を検討し, 産廃プラの資源循環がどのように改善するのかを考察することにする. 具体的には, 全エリアのセメント(C)に対して受入れ基準の緩和を導入し, $X1_{ic}$ 及び $X2_{ic}$ の合計が一定の量を確保できれば産廃プラの受入れを許可する条件に変更する. すなわち, 制約条件式[5]の下で計算を行い, その計算結果を図-4に示す.

$$(X1_{ic} + X2_{ic}) \geq X3_{ic} \times \frac{(\alpha + \beta)}{\gamma} \dots [5]$$

標準ケース (図-3) と比較すると, セメント(C)の構成に製造業からの産廃プラ X1 が含まれず, エリアAにおけるRPF (R) 等の施設でX1が利用できるようになった結果, 全体としてのリサイクル量が20%向上し, 埋立処分量も60%削減する結果となった.

4. おわりに

産廃プラの質を考慮に入れた循環資源の最適配分を検討した結果, 受入れ条件の一部を緩和したことで, 質的条件を満たすリサイクル施設が増え, より効率的な計画に改善されることが明らかになった.

【参考文献】 1) 茂木ら: 都内から排出される廃プラスチック類の東京リサイクル実態, 東京環境科学研究所年報2008, pp.123-126
2) 大久保ら: 東京圏における産業廃棄物プラスチックの静脈物流に関する一考察, 廃棄物学会研究発表会講演論文集 vol.19, pp61-63(2008)