

CO₂排出量を考慮した場合の 産業系プラスチック廃棄物の輸送計画

荒井 康裕* 河村 永* 小泉 明* 茂木 敏

(*首都大学東京大学院)

要 旨

わが国における環境問題は、あらゆる分野で重要課題として位置づけられている。東京都においても、世界で最も環境負荷の少ない都市を目標に掲げて様々な活動に取り組んでいる。一方、東京都内で発生する産業系プラスチック廃棄物の多くは埋立処分され、その割合は全国の処理状況に比べて高いものとなっている。循環型社会の実現には、こうした産廃プラを有効な資源として積極的に利活用して行くことが求められるが、このときに必要とされるのが合理的な輸送計画である。そこで本研究では、本書既報に提案した線形計画法による輸送計画モデルを再検討し、産廃プラの埋め立てゼロ施策に伴う設定シナリオの下で最適化計算を試みた。試算の結果、CO₂排出量を最小化する観点から、広域的な循環システムの有効性を明らかにした。

キーワード：産業系プラスチック廃棄物、マテリアルフロー、線形計画法、
輸送問題、モデル分析、広域的な資源循環システム

Transport Planning for Industrial Waste Plastic in Consideration of CO₂ Emission

ARAI Yasuhiro*, KAWAMURA Hisashi*, KOIZUMI Akira*
and MOGI Satoshi,

* Graduate School of Tokyo Metropolitan University

Summary

Environmental problems represent a significant issue for Japan in various fields. The Tokyo Metropolitan Government has announced its intention to become the city with the lowest environmental impact in the world. Industrial waste plastic generated in Tokyo has been processed into landfill. However, it is now necessary to actively utilize plastic as a useful resource to create a recycling society with a low environment influence. In order to construct a reasonable recycling system, it is necessary to address the transportation problem. This study considers a transport planning model for industrial waste plastic applying the linear programming. The results of running optimized calculations under given scenarios clarified the validity of wide area recycling system.

Key Words : industrial waste plastic, material flow, linear programming,
transportation problem, model analysis, wide area recycling system

1 はじめに

筆者らは既報¹⁾において、輸送効率性のton・kmを最小とするために線形計画法を用いた数理モデル分析による輸送計画を検討し、東京および関東のリサイクル施設へ輸送する計画案を提示している。しかし、東京圏での処理が十分に可能であると確認されたものの、選択されるリサイクル手法はサーマル(T)を中心とした計画代替案となった。この結果を解釈すると、輸送効率の側面では評価できるものの、選択されたりサイクルの環境負荷が考慮されていないといった問題点が残されている。本研究のような輸送問題を考える上では、コンパクトな輸送であることが重要であるが、輸送や処理に係るCO₂排出量等も重要なファクターであることは言うまでもない。また、関東のマテリアル(M)、セメント(C)、高炉・コークス(K)を初め、他のエリアでも処理できる能力が残っており、それらの活用を視野に入れたモデル分析が必要である。

そこで本研究では、筆者らが提案したモデルを応用し、環境負荷を評価項目に入れた分析を行う。具体的には、CO₂排出量の削減を優先した場合の輸送計画について検討して行くこととする²⁾。

2 環境負荷の低減化と評価指標

本研究では環境への影響を考慮するため、既存の研究成果によって示された評価結果を元に「順序尺度行列」を定義し、これを組み込んだ最適化計算を行った。具体的には、以下の手順による。産業系プラスチックごみを対象としたリサイクルに関する詳細な環境負荷等の情報については、PET ボトル以外のプラスチック製容器包装を対象とした調査結果³⁾を参考とした。この調査結果では、化石資源消費、CO₂、大気汚染物質(NO_x、SO_x)、並びに固形廃棄物の排出量に関する評価点(各指標の最大値を100とした相対値)を明らかにした上で、各指標に重み付けした統合化を試み、環境負荷の少ない処理技術の順に高炉・コークス(K)、セメント(C)、RPF(R)、マテリアル(M)、サーマル(T)、埋立処理(Z)と定めている。これらを踏まえ、本報告では表-1に示す「順序尺度行列P」を考案した。この順序尺度には、輸送過程と処理過程における環境負荷の低減を考慮し、9エリアと6処理技術の組合せ(54通り)に対し、処理過程における環境負荷が最も少なく、かつ輸送距離が最も短

表-1 処理過程における環境負荷の低減を優先させた順序尺度行列

	優先					
	高炉・コークス(K)	セメント(C)	RPF(R)	マテリアル(M)	サーマル(T)	埋立(Z)
東京	1	10	19	28	37	46
関東	2	11	20	29	38	47
中部	3	12	21	30	39	48
東北	4	13	22	31	40	49
近畿	5	14	23	32	41	50
四国	6	15	24	33	42	51
中国	7	16	25	34	43	52
九州	8	17	26	35	44	53
北海道	9	18	27	36	45	54

い場合 (p_{4K} ; 行列内の左上) を「1」に、環境負荷が最大で輸送距離も最長の場合 (p_{1Z} ; 同右下) を「54」とした。

なお、以降で処理過程と輸送過程の各々の環境影響を比較する際、エネルギー消費量や大気汚染物質の排出量など様々な視点があるが、ここではその指標としてCO₂排出量を用いた。処理過程に関しては、環境省⁴⁾が公表した「産業廃棄物(廃プラスチック類)の焼却に伴う排出係数(廃プラスチック類1トンを焼却した際に排出されるkgで表した二酸化炭素の量):2,600[kg-CO₂/ton]」を基準値として、前述した指標の評価点(CO₂に関する相対値³⁾はT:100の時、K:62、C:52、R:64、M:75)から算出した原単位(K:1.61、C:1.35、R:1.66、M:1.95、T:2.60[ton-CO₂/ton])を用いる。一方、輸送過程のCO₂排出原単位⁵⁾は、貨物自動車の場合302[g-CO₂/ton・km]、鉄道の場合は21[g-CO₂/ton・km]を用いて評価していく。

3 結果と考察

(1)埋め立てゼロ施策に伴う計画代替案の作成

「環境負荷の低減を優先させた代替案」の作成に先立ち、既報¹⁾に示されている「輸送トン距離を最小にする代替案」を図-1に示す。この代替案は、埋立処理(Z)を必要とせず、かつ輸送エリアが「東京」及び「関東」のみに限定されている点から、東京を中心とした首都圏内での処理は十分に実現可能であることを示している。選択される処理技術に着目すると、東京ではマテリアル(M)及びサーマル(T)の許容量を全て満たす計画内容であるが、関東においては5種類の処理技術の内、セメント(C)及び高炉・コークス(K)には輸送されない結果となっている。提案した輸送計画モデルの戦略性

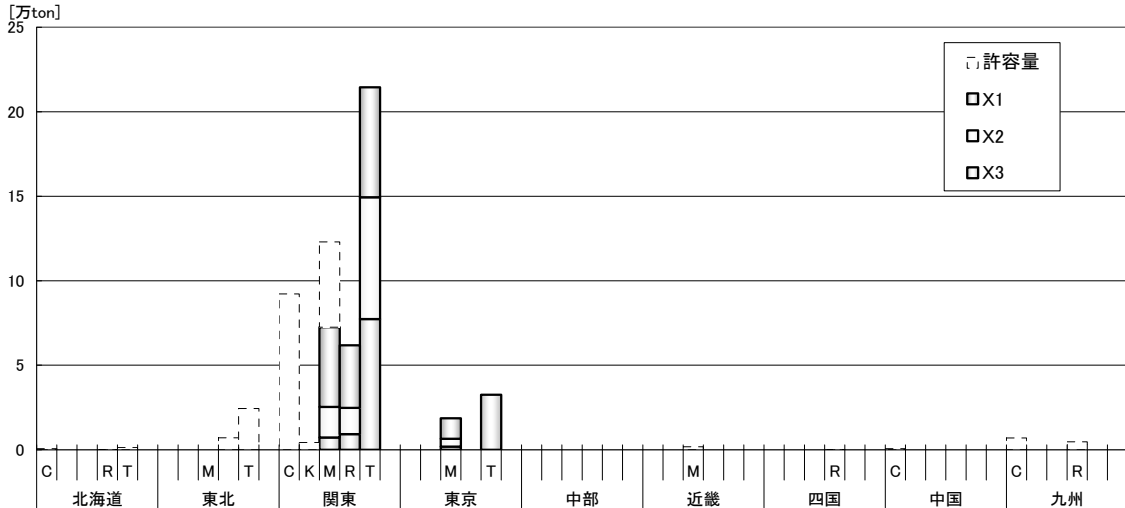


図-1 輸送トン距離を最小にする代替案

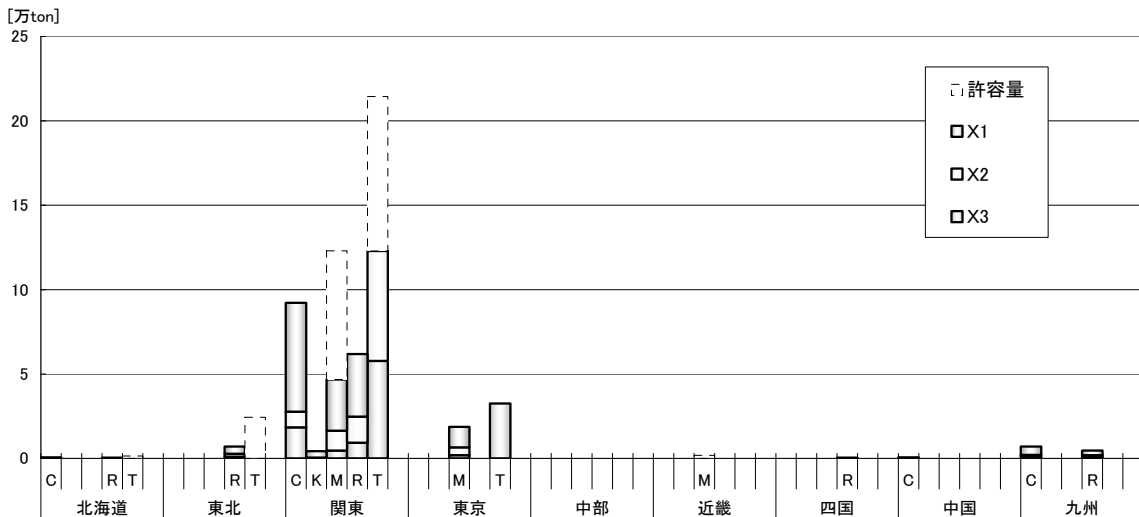


図-2 環境負荷の低減を優先させた代替案

の下では、まず受入れ基準の束縛を受けずに済むサーマル (T) に許容量があれば優先的に輸送し、次いで製造業系 (X1) の受入れ比率が小さい順に RPF、マテリアル、セメント、高炉・コークスへと分配するように機能する。関東における処理技術の選択傾向は、本モデルの戦略性を反映した格好になっており、産廃プラの多くがサーマル (T) によって処理される代替案と特徴付けられる。

輸送距離を順序尺度行列 (前掲表-1) の要素 p_{ij} に変換し、環境負荷の低減化を目的にした場合の計算を行った結果、図-2 に示す第二の代替案が得られた。この図が示すとおり、輸送先のエリアが北海道から九州の全国に拡大しており、輸送トン距離を最小化にする場合とは

対照的に、より広域的な計画内容に変化していることがわかる。処理技術の中で最も環境負荷が大きいサーマル (T) は、輸送トン距離を最小化にする代替案と比較して大幅に減少している。特筆すべきは、関東における T の内訳を見ると、オフィス・小売業系 (X2) 及び建設業系 (X3) を受入れ、最も良質な産廃プラである製造業系 (X1) は含まれていない点である。これは、前述した本モデルの戦略性に「環境負荷の低減化」が目的に加わったことにより、環境負荷の小さい処理技術に対して X1 の分配が率先してなされた結果、X2 と X3 のみが余剰となり、これらを受入れ基準のない T において処理することが必要になったと解釈される。ただし、この第二の代替案においても、環境負荷の大きなサーマル

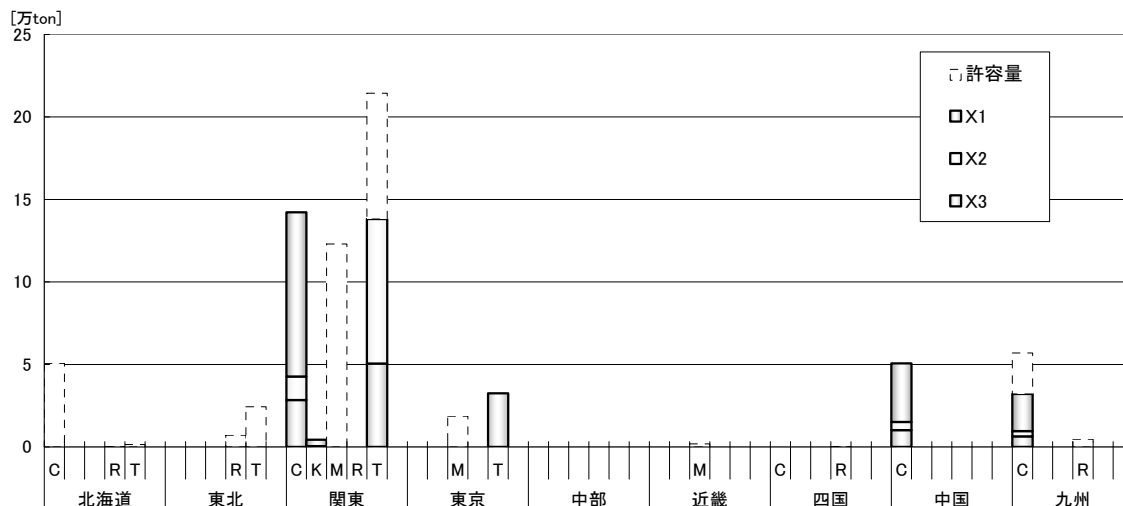


図-3 セメントの受入れ拡大を想定した代替案
(北海道, 関東, 中国及び九州の C の許容量を一律 5 万トン増)

(T) に大きく依存した計画内容となっている。

そこで、第三の代替案として、産廃プラの受入れ拡大が期待されるセメント (C) に着目し、セメント業界での産廃プラ使用量が增大した場合の輸送計画案を作成することにする。今回は、セメント (C) の受入れ実績が既にある北海道、関東、中国及び九州の 4 エリアの許容量を一律 5 万トンずつ増加させた場合の計算を行った。図-3 に示す結果から、受入れ許容量を増加させた関東、中国及び九州への輸送量に変化が生じる一方、北海道は最も遠方のため、許容量を増加させたにも関わらず他と同様の効果は見られなかった。また、東京及び関東に分配されていたマテリアル (M) 及び RPF (R) がゼロになっている点から、より環境負荷の小さい処理技術 (ここではセメント C に相当する) への配分が高まったと言えるが、その反面、セメント (C) への優先度を高めた影響が、オフィス・小売業系 (X2) 及び建設業系 (X3) の余剰を招き、関東のサーマル (T) の受入れ量を僅かながら増加させる格好になった。

(2) 処理・輸送過程における CO₂ 排出量の算定結果

代替案として(1)で示したそれぞれについて、処理・輸送過程における CO₂ 排出量を算定した結果を表-2 に示す。ここで「代替案 4」は、貨物自動車による長距離輸送を「モーダルシフト」、すなわち大量輸送が可能で、かつ環境負荷の小さい鉄道や船舶へ切り替えた場合の

表-2 処理・輸送過程における CO₂ 排出量の比較

	処理過程	輸送過程
代替案 1	92.4	0.56
代替案 2	80.0	1.08
代替案 3	75.4	2.74
代替案 4	75.4	0.61

単位：万トン

注) 表中の代替案 1 とは「輸送トン距離を最小にする代替案」、代替案 2 とは「環境負荷の低減を優先させた代替案」、代替案 3 とは「セメントの受入れ拡大を想定した代替案」、代替案 4 とは「代替案 3 をモーダルシフト化した代替案」を意味する。

効果を検討するための参考案とする。具体的には、既に提示した 3 つの代替案の中で最も輸送過程の負担が大きい「代替案 3」に対し、東京からの輸送距離が 500 km 以上である四国 (700 km)、中国 (800 km)、九州 (1100 km) 及び北海道 (1200 km) の各エリアへの輸送手段を「鉄道」にモーダルシフトした状況を仮定し、前述した輸送過程における CO₂ 排出原単位 (21[g-CO₂/ton・km]) により評価した(産廃プラの配分は代替案 3 と等しいため、輸送過程の CO₂ 排出量のみ計算した)。代替案 1 (輸送トン距離を最小にする代替案) に比べ、代替案 2 (環境負荷の低減を優先させた代替案) では、処理過程の CO₂ 排出量が 92.4 万トンから 80.0 万トンへ 13.4%削減する。一方、輸送過程の CO₂ 排出量は遠方への広域輸

送を伴うために 0.56 万トンから 1.08 万トンに増加している。代替案 3（セメントの受入れ拡大を想定した代替案）を見ると、処理過程の削減が一段と促進されて 75.4 万トンとなり、代替案 1 を基準に 18.3%の削減が達成されている。ただし、輸送過程については首都圏以外への輸送分が増加し、代替案 1 の 5 倍弱に CO₂ 排出量が膨らむ。この代替案 3 に見られる輸送過程の負担増については、代替案 4 が示すとおり、東京・関東エリアに限定した輸送計画（代替案 1）と同程度の輸送負担でありながら、処理過程では大幅な CO₂ 排出量の削減が確認できる点から、モーダルシフトを導入した広域循環システムは有効的と判断される。

4 おわりに

本研究で得られた結果を総括すると、単に輸送トン距離のみを最小化する代替案 1 に比べ、環境負荷の低減を目的にした計画（代替案 2～4）は、より環境負荷の低い処理技術を利用するための広域輸送が伴うが、その分の負荷は CO₂ 排出量全体に占める割合で見ると極めて小さく、処理・輸送過程のトータルで 13%～18%の CO₂ 排出削減が見込まれることが明らかになった。本研究は CO₂ 排出量を評価指標にした分析であったが、NO_x やハイドロカーボン等の排出データ等を用いて同様の検討を行い、より総合的な視点から環境負荷の削減について検討して行くことも可能であると考えている。

参考文献

- 1) 荒井康裕ら：線形計画法を適用した産廃プラスチックの最適輸送計画、東京都環境科学研究所年報 2009、pp.61-67(2009)
- 2) 荒井康裕，河村永，小泉明，茂木敏：産業系プラスチック廃棄物の広域循環システムに関する輸送計画モデル、土木学会論文集 G（環境），Vol.67，No.6（環境システム研究論文集 第 39 巻），pp. II_449-II_458, 2011
- 3) 中橋順一ら：プラスチック製容器包装の処理に関するエコ効率分析、第 18 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.297-299(2007)
- 4) 環境省 温室効果ガス排出量算定方法検討会：平成 14 年度温室効果ガス排出量算定方法検討会 廃棄物分科会報告書、pp.69-71(2002)
- 5) 事業系プラスチック資源リサイクル研究会：事業者

排出プラスチック廃棄物のリサイクル促進について、平成 18 年 2 月(2006)