

和歌山の産業社会システム変化と産業廃棄物発生との関連 及び再資源化の連鎖構築に関する考察

Construction of Resource Utilization Chains with Consideration of Changes in Socio-Industrial Systems and Waste Generation in Wakayama

吉田 登¹・小谷康久¹・金子泰純¹・日下正基¹・谷川寛樹¹

Noboru Ypshida, Yasuhisa Kotani, Yasuzumi Kaneko, Masaki Kusaka and Hiroki Tanikawa

ABSTRACT: An attempt is made to examine eco-restructuring potential of industrial and societal systems in Wakayama prefecture with respect to industrial and product chains in material sectors. First, yearly trend of waste generation in Wakayama prefecture is analyzed using Input-Output analysis in order to recognize inter-industrial relationship in waste generation. Second, preliminary study is made to evaluate potential of regional resource utilization in the steel industry and associated product chains and industrial complexes. Finally, suitable resource conversion technologies are examined by means of linear programming. The analysis also shows the associated problems on quality, etc..

KEYWORDS: Industrial ecology, Regional zero-emission, Material and product chains, Recycling complex

1. はじめに

本研究は、地域経済の中に循環と健全な物質代謝を内在化するために必要な評価手法の開発を目的とするものである。その過程で、和歌山の産業廃棄物の発生抑制及び再資源化について、①経年の要因変化をもとに地域全体の発生動向から対応の方向性を見出し、②具体的な発生構造の分析例として、特に地域の大規模事業所を中心とする地域内物質連鎖に関わりの深い廃棄物を対象とした詳細分析をおこない、③さらに、技術的対応からみた代替案評価の一例として、相応しい再資源化技術の組合せを評価し、とりまとめたものである。具体的には、第1に和歌山における1,2,3次産業間での財・サービスの連鎖とそれに伴う産業廃棄物の排出要因の経年変化を定量的に把握した。第2に鉄鋼高炉やコークス炉で利用されるコークスの代替としての廃プラスチック及び電炉へ投入する鉄スクラップについて和歌山での排出量及びその内容を推計する手法を整理し、受入れ可能量とのバランスを評価した。第3に、地域で発生する廃棄物の中で多くのシェアを占め、また多様な処理、再資源化技術が適用しうる特徴をもつ、有機性廃棄物を対象に、処理費用や最終処分地など種々の制約の中で相応しい再資源化技術の組合せを評価し、かつその結果に影響を与える要因について考察した。

2. 産業廃棄物発生の要因分析

2. 1 産業連鎖表を用いた要因分析の方法

和歌山県産業連鎖表と和歌山県産業廃棄物処理実態調査のデータをもとに、産業間の経済上の相互依存関係を中心に、産業廃棄物発生構造を分析した。和歌山県産業連鎖表は、1年間に県内で行なわれた財・サービスの生産による産業間の取引から消費、投資、移出入までの取引を一覧表にしたものである。産業連鎖表により県の産業構造や産業相互の依存関係を把握することが可能であり、また連鎖表から導き出される係数を用いて計画事業などによる経済波及効果を分析することができる。産業廃棄物処理実態調査は廃棄物処理法にもとづく県産業廃棄物処理計画の策定のための基礎資料として実施されているものであり、県内事業所から標本となる事業所を抽出して実施した調査票への回答と別途調査した活動量指標から県全体の産業廃

1 和歌山大学システム工学部 Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

廃物発生量および処理・処分状況等について現状の推計と将来予測をおこなったものである。

はじめに、個々の産業について(1)式をもとに各産業の個々を単独に見た場合の要因分析をおこない、次に(2)式をもとに産業連関を考慮した要因分析をおこなった。

$$W = (W/Prod) \times (Prod/Lab) \times Lab \quad (1)$$

$$= (\text{生産額あたりの廃棄物発生量}) \times (\text{労働生産性}) \times (\text{労働力})$$

ここに、

W_i : i 部門の産業廃棄物年間発生量 (トン), $Prod_i$: i 部門の県内年間生産額 (百万円)

Lab_i : i 部門の従業者数 (人)

$$W = \underline{W} \times B \times F \quad (2)$$

$$= (\text{生産あたり産業廃棄物発生量}) \times (\text{最終需要あたりの波及係数}) \times (\text{最終需要})$$

ここに、

W : 産業廃棄物年間発生量対角行列 (トン), $\underline{W}$: 生産あたり産業廃棄物発生量対角行列 (トン)

B : レオンチェフ逆行列 (無次元), F : 最終需要対角行列 (百万円)

両式を用いると、(1)式からは、

$$\Delta W = \Delta(W/Prod) \cdot Prod \cdot Lab + \Delta(Prod/Lab) \cdot Lab \cdot W + \Delta Lab \cdot W \cdot Prod + \text{合成項} \quad (3)$$

$$= (\text{生産時の廃棄物発生割合の変化による要因}) + (\text{労働生産性の変化による要因})$$

$$+ (\text{労働力の変化による要因}) + \text{その他の要因}$$

また、(2)式からは、

$$\Delta W = \Delta W \cdot B \cdot F + \Delta B \cdot F \cdot W + \Delta F \cdot W \cdot B + \text{合成項} \quad (4)$$

$$= (\text{生産時の廃棄物発生割合の変化による要因}) + (\text{産業構造の変化による要因})$$

$$+ (\text{最終需要の変化による要因}) + \text{その他の要因}$$

なお、第1の労働力及び生産性からみた要因分析は、産業廃棄物処理実態調査の年度に準じて 1977～81 年、81～92 年の 2 期間について分析した。また第2の産業構造と最終需要からみた要因分析については、産業連関表の年度に併せて廃棄物発生量を線形補完し、1975～80 年、80～90 年、90～95 年の 3 期間について分析した。

2. 2 分析結果

(1) 労働力及び生産性変化からみた要因

まず全体の傾向としては、1977～81 年は生産時の廃棄物発生量削減を中心に大きく廃棄物発生を減少させた時期であり、81～92 年は産業のサービス化傾向や鉄鋼等に代表されるようなマクロ経済レベルでの製品需要増大により主として生産活動量の増大が廃棄物削減効果を上回って、結果として廃棄物発生量を増大させた時期と位置付けることが出来る。詳細をみると 77～81 年にかけて、廃棄物発生量は大きく減少したが、その多くが労働生産性の増大に起因して生産額の増加に伴う廃棄物発生量の増加を、生産時の廃棄物減量化の努力により相殺、減少させた I 群の寄与によるものであり、量的には繊維や一次金属業 (鉄鋼等) などの効果が大きい。一方で、建設業やサービス業などの IV 群では減量効果を上回る生産量の増加により結果として廃棄物発生量が増加した。他方、81 年～92 年にかけては、生産額あたりの廃棄物発生量の増加に起因して全体の廃棄物発生量を増加させた業種が多く認められる。廃棄物削減の技術的な能力はむしろ向上していることを考えると、生産活動量の増大が支配的な要因であるが、生産する財・サービスの質的变化による可能性も示唆される (表-1 参照)。

(2) 産業構造及び最終需要変化からみた要因

(1) の結果を、より詳しく産業間の相互依存に関係づけてその要因を調べてみると、75～80 年と 80～90 年とでは産業構造の変化が増減逆の方向に寄与していることが特徴的である。特に 80～90 年では減量効果により排出原単位が大きく削減されながら、サービス化を中心とする産業構造の変化は結果として直接、

間接を併せた生産量を増大させて廃棄物発生量を増加させた。また、近年では、バブル崩壊による最終需要の減少が減量効果以上に廃棄物発生量の削減に寄与していることが読み取れ、また複合した要因と思われる合成項の値が発生量を増大させる方向に寄与していることも伺われる。

表ー１ 労働力及び生産性変化からみた要因分析（産業全体）

	1977～81	発生量変化値（トン）	1981～92	発生量変化値（トン）
I	食料品、繊維、化学、一次金属、金属製品、その他製造業	-1380529	輸送機器、電気・ガス・水道業	-23714
II	パルプ・紙	-4447	石油・石炭製品	-10617
III	石油・石炭製品	-90172	—	—
IV	窯業・土木製品、電気機器、精密機器	-61196	金属製品、電気機器、農林水産業	-340202
V	—	—	—	—
VI	—	—	窯業・土木製品	-3676
VII	一般機器	+992	—	—
VIII	輸送機器、運輸・通信業	+17934	食料品、繊維、パルプ・紙、その他の製造業、運輸・通信業	+225182
IX	建設業、卸売・小売業、サービス業	+259940	化学、一般機器、精密機器、卸売・小売業、サービス業	+125233
X	—	—	一次金属	+507092

I. 労働力 (▲) - 生産時の廃棄物発生 (▲) - 労働生産性 (△) ⇒ 発生量<▲>
 II. 労働力 (▲) - 生産時の廃棄物発生 (▲) - 労働生産性 (▲) ⇒ 発生量<▲>
 III. 労働力 (▲) - 生産時の廃棄物発生 (△) - 労働生産性 (▲) ⇒ 発生量<▲>
 IV. 労働力 (△) - 生産時の廃棄物発生 (▲) - 労働生産性 (△) ⇒ 発生量<▲>
 V. 労働力 (△) - 生産時の廃棄物発生 (▲) - 労働生産性 (▲) ⇒ 発生量<▲>
 VI. 労働力 (▲) - 生産時の廃棄物発生 (△) - 労働生産性 (△) ⇒ 発生量<▲>
 VII. 労働力 (△) - 生産時の廃棄物発生 (▲) - 労働生産性 (△) ⇒ 発生量<△>
 VIII. 労働力 (▲) - 生産時の廃棄物発生 (△) - 労働生産性 (△) ⇒ 発生量<△>
 IX. 労働力 (△) - 生産時の廃棄物発生 (△) - 労働生産性 (△) ⇒ 発生量<△>
 X. 労働力 (▲) - 生産時の廃棄物発生 (△) - 労働生産性 (▲) ⇒ 発生量<△>

3. 大規模事業所に受入可能な産業廃棄物の発生構造の詳細分析

3・1 廃プラ及び鉄くず発生の詳細分析の方法

廃プラスチックのうち、一般廃棄物系については、和歌山県の一般廃棄物処理データをもとに、既往調査文献による都市ゴミの組成割合を乗じて推計する。産業廃棄物系については、和歌山県の産業廃棄物処理実態調査による発生量データをもとに、県内8地域（和歌山、海南・海草、那賀、橋本・伊都、有田、御坊・日高、田辺・西牟婁、新宮・東牟婁）ごとの業種別廃棄物種類別発生量データから地域ごとに主要な発生業種を抽出する。他方、全国の製造業工場立地データから地域での当該業種工場の規模や主要な製造製品を整理し、廃プラスチックの性状について定性的、定量的に考察する。

鉄くずについては、上述の産業廃棄物データからの考察の他、特に、建設副産物のうち県内の建築系建物更新・解体に伴う鉄くずの排出動向と将来的な見通しについて考察する。後者については、建築物着工の経年データをもとに、既往研究による建築構造別の減失関数を適用することにより、より実態に近い非線型の建物更新を再現する。これにより求まる更新ボリュームに、構造別床面積あたりの鉄資源消費量原単位を

乗じて、解体廃棄物から発生する鉄くずの量を推計する。

3. 2 分析結果

(1) 廃プラスチック

まず一般廃棄物系と産業廃棄物系との廃プラスチック発生規模の比較をおこなった結果、県内の廃プラスチック年間発生量約53,000トンの2割が産業廃棄物系、8割が一般廃棄物系と推計され、全国の比率と比較すると、産業系の割合が著しく小さい値であることが分かった。

また産業廃棄物データから地域別の主要発生業種を抽出し、当該地域、業種の具体的な事業所情報から廃プラスチックの発生実態について考察した結果、概ね、ゴムやプラスチック製品製造などの素材加工くず起因が44%、電気機器のハーネスなど機械部品としてのプラスチックくず起因が19%、製品素材ではなく、減量や製品の容器容器などの製品派生プラスチック起因が14%で全発生量の約8割を構成しているものと推察された。次いで、これらの処理処分の割合を調べると、プラスチックを素材とする業種群の中でも業種毎に多様で、例えばプラスチックの減量化、再資源化が合計7割近くに達しているのに対して、ボタンやブラシなどのその他製品は5割、ゴムはほぼ全量が処分されているなどの状況であることが分かった。

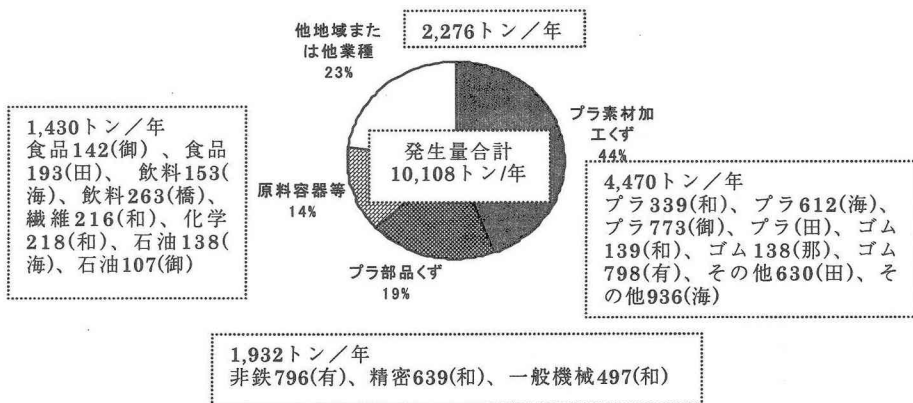


図-1 廃プラ属性からみた廃棄物発生量の集計結果

(2) 鉄くず排出状況と再資源化の可能性

まず製造業起因の発生状況を整理した。化学、金属製品、一般機械、電気機械、精密機械など金属素材製品系の業種からの排出が多い。地域的には和歌山地域からの発生が卓越している。処分状況については、データの不明な業種が多い。明示されている金属、電気機器では最終処分率がそれぞれ7.9%、0.2%と低く押さえられている。発生量の多い金属製品製造業では、おもに建築、建設金属製品製造業の集積が多い。化学以外は、素材加工くず、化学工業では減量容器やパイプなどプロセス施設の補修、更新などに伴う派生的な金属くず発生の可能性が考えられる。

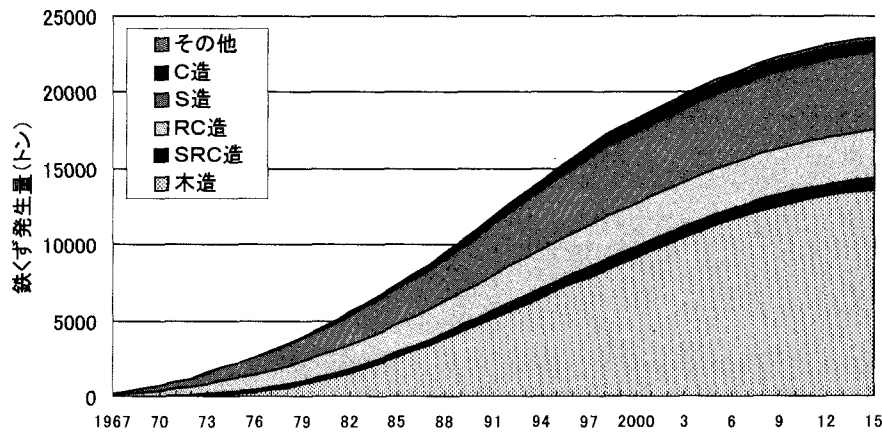
次に建設副産物起因の発生について、建築統計年報データ及び非線型の滅失関数を当てはめて、建物構造別の滅失床面積からそのに含まれる鉄くずを推計した。滅失床面積ベースで推計される発生鉄くず量は、1996年で15,700トンで産業廃棄物データによる建設業からの鉄くず発生量の2倍を超える値となった。この差分は、おそらく建設混合廃棄物の中に含まれるものと考えられるため、現場での分別処理の必要性が示唆される。

また、将来の発生では11年後の2010年で約22,600トン、16年後の2015年で約23,600トンと推計される。

電炉業界へのヒアリングでは、資源制約がほとんど課せられていない現段階では、バージン原料、地方のスクラップ、海外の電炉との競合など、国内電炉業の成長を阻む多くの要因があることが確認された。非鉄による製鉄への障害（トランプエレメント）は技術的課題とともに経済的な問題も大きいことが分かった。また市中の鉄くずの投入に関しては、大量に存在する自動車スクラップなどでは破碎などの中間処理がハーネス非鉄の混在などを誘発して鉄の品質を下げることになってしまう、また廃自転車などの良質スクラップは既存静脈産業への配慮が必要であるなどの阻害要因があることが確認された。

表－2 建築構造物の減失関数

用途・構造	分布形	50%減失年数	パラメータ
木造	対数正規	38.98	$\mu = 3.662955, \sigma = 0.6368878$
RC造、SRC造、S造	ワイブル	52.6	$m = 1.153822, \eta = 350, \delta = -0.52103$ (既往文献の m, δ の比を一定として感度分析により調
C造	ワイブル	32.11	$m = 3.005484, \eta = 36.27570, \delta = 0$
その他	ワイブル	32.11	$m = 3.005484, \eta = 36.27570, \delta = 0$



図－2 鉄くず発生量の推計結果（1967-2015）

4. 種々の制約下での再資源化技術選択の分析

4. 1 線形計画法を用いた技術選択分析の方法

産業廃棄物の再資源化について線形計画法を使用し、施設規模や最低処理量の制約の下に、コストや最終処分量などの最小化、また削減環境負荷量の最大化を目的関数として、6種類の再資源化技術〔①ごみ発電（発電効率 16%）、②ごみ発電（発電効率 18%）、③R D F 発電、④メタン発酵+ガス発電、⑤ガス化溶融、⑥燃料電池〕から最適な技術の組合せを評価した。

【目的関数】

$$\text{Min } F_{\text{cost}}(x) = \sum C_i \cdot x_i / \text{Min } F_{\text{disposal}}(x) = \sum D_i \cdot x_i / \text{Min } F_{\text{envload}}(x) = \sum E_i \cdot x_i$$

【制約条件】

$$x_i \geq 0$$

x 1：ごみ発電(発電効率 18%)への投入量， x 2：ごみ発電(発電効率 16%)への投入量， x 3：R D F 発電への投入量， x 4：メタン発酵への投入量， x 5：ガス化溶融炉への投入量， x 6：燃料電池への投入量、 x 7 埋立てへの投入量

4. 2 分析結果

図－3 は線形計画法を用いて処分量に制約を設けたときの処分量の変化である。処分量最少化を目的関数として最適化をおこなったでは現状より約 47%処分量を削減できる。県内で発生する産業廃棄物の処分量比

は県内 54%、県外 46%²⁾) であり、処分量を最少化したとき県内で全量を処分することができる。しかし、現状よりもコストが約 25% 高くなり、特に処分量の削減比が 40% あたりから急激にコストが高騰している。原因として残渣物の排出を低く抑えることができるが費用が比較的高価なメタン発酵+ガス発電に廃棄物の投入が集中するためである。

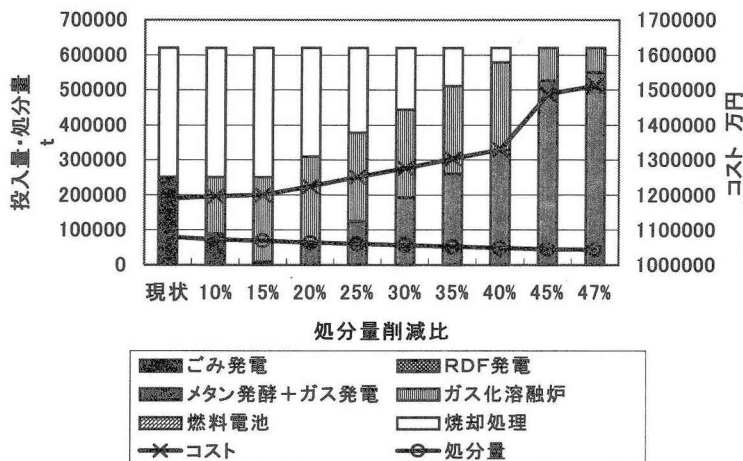


図3 処分容量の減少がもたらす処理方法の変化

5. まとめ

和歌山県を対象として、地域経済の中に循環と健全な物質代謝を内在化するために必要な評価手法の開発をめざし、和歌山の産業廃棄物の発生抑制及び再資源化について廃棄物発生構造分析、特定の廃棄物発生要因の詳細分析と将来予測、種々の制約下での再資源化技術選択の分析をおこなった。

(1)産業連関表を用いた産業廃棄物発生量変化の構造分析では、1970年代後半での廃棄物減量化による発生量削減効果が、80年代では生産量の増大により相殺されたこと、それには産業のサービス化等の産業構造の変化も一因として挙げられ、今後これらへの対応の必要性が示唆された。

(2)地域の大規模事業所のうち鉄鋼業を例としてその物質連鎖に関わりの深い廃プラスチックと鉄くずを対象とした詳細分析をおこなった結果、廃プラスチックでは既往統計資料を組み合わせることにより廃棄物発生と当該地域での産業製品分類の対応付けから、素材加工くず、部品くず、容器などの、組成に関連した詳細な分析が可能であることを実際のデータをもとに示した。減失関数を用いた鉄くずの分析では、建設系混合廃棄物への鉄の混入のオーダーなどへの知見付与にこのような方法が適用可能であることが分かった。

(3)技術的対応からみた代替案評価の一例として、相応しい再資源化技術の組合せを評価し、現状では費用と発電などの技術効率が技術選択に大きな影響を与えていることを、線形計画法を用いて表現した。

参考文献

- 1) 平成9年度産業廃棄物処理計画策定に係る基礎調査業務報告書、和歌山県、pp.1-79、1998
- 2) 和歌山県産業連関表、和歌山県 各年次
- 3) 建設省 建築統計年報 各年次
- 4) 通産省 全国工場通覧 1996~97年版
- 5) 田頭直人・鈴木勉・内山洋司：都市インフラストラクチャー構築の資源消費量と環境負荷、電力中央研究所報告 Y95011、pp.1-30、1996
- 6) 空気調和・衛生工学会編、酒井寛二著：建築活動と地球環境－建築のライフサイクルと環境負荷－、pp.1-155、1995