

研究課題名 = 分別収集・中継輸送に関する費用対効果・費用便益の分析

研究番号 = K1857, K1962, K2044

国庫補助金精算所要額 (円) = 30,327,000 円

研究期間 (西暦) = 2006-2008

研究年度 (西暦) = 2008

代表研究者名 = 松井康弘 (岡山大学)

共同研究者名 = 藤原健史 (岡山大学)、藤井 実 (独立行政法人国立環境研究所)、大迫政浩 (独立行政法人国立環境研究所)、村上進亮 (東京大学)、田中 勝 (鳥取環境大学)

1. はじめに

1.1 研究目的

循環型社会形成の推進に当たって資源の分別収集は不可欠な要素である。分別収集の経済性・環境負荷には、人口分布・施設立地等の地域特性、収集頻度や収集箇所数等の政策特性、中間処理過程で適用される資源選別等の技術特性が影響すると考えられ、分別収集実施に当たっては、これら要因の処理システム全体の経済面、環境負荷面への影響を踏まえ、適切に計画することが必要と考えられる。

また、人口密度の低い地方都市・町村では今後処理の広域化が進むことが予想されるが、施設の大規模集約化に伴って大幅な輸送効率低下・費用増大を招くことが懸念され、その対策として中継輸送の導入効果について検討することが急務となっている。

本研究は、容器包装・生ごみの分別収集、近年導入例が増加してきている各戸収集、及び中継輸送に焦点を当て、その費用・環境負荷に関する基礎データを収集・解析して費用対効果・費用便益を評価し、自治体の 3R 推進・環境負荷削減を適切に進めるための施策立案に資する基礎資料を提供することを目的とする。

1.2 研究の概要

本研究では下記検討を実施した。

- 1) 可燃ごみ・不燃ごみ・資源ごみの排出原単位と地域特性・施策特性の関連を検討し、排出原単位・推定モデルを構築した。
- 2) GPS・GIS を援用して収集・運搬作業実態調査を実施し、各戸収集・各種容器包装・生ごみのステーション収集について、収集・運搬の作業時間・走行速度に関する原単位・予測モデル等を構築した。
- 3) GIS を用いた各戸収集の作業距離の推定ロジックを検討した。
- 4) 各戸収集及び生ごみ分別収集の実態について自治体ヒアリング調査・アンケート調査

を実施し、その走行距離等を把握した。

- 5) 中継輸送については、岡山県域を対象としてごみ排出量マップを作成し、事例的検討を通じて輸送距離の総和を最小にする中継輸送施設の位置を探索する実用的な方法を提案した。
- 6) 本研究で集積した各種原単位・推定モデルを組み込んだ収集・運搬の簡易評価システム(GCM-GIS)を開発した。
- 7) 容器包装・生ごみの分別シナリオ、各戸収集シナリオのコスト・環境負荷を事例評価し、LIME手法を適用して各シナリオの外部費用を試算した。
- 8) 各シナリオの区間推定、各種原単位・モデルパラメーターの不確実性分析を行い、信頼性向上の方向性を明らかにした。

2. 地域特性・政策特性を考慮したごみ・資源ごみの排出原単位推定に関する検討

2.1 研究目的

本章では、ごみ・資源ごみの排出量（排出原単位）に焦点を当て、その関連要因について検討するとともに、排出（原単位）予測モデルを構築することを目的とした。従来の研究において、ごみ・資源ごみの排出には人口・世帯・土地利用・事業所数・事業所年間販売額・産業構成等の地域特性、収集サービスの水準・有料化・事業系一般廃棄物の自治体での取り扱いの状況等の政策特性が影響することが指摘されている。本節では、3R施策の実施状況及び廃棄物の排出実態について自治体アンケート調査により基礎データを収集するとともに、各自治体の地域特性に関する統計データを抽出し、これらデータに基づいてごみ・資源ごみの排出原単位と地域特性・政策特性の関連を検討、予測モデルを構築した。

2.2 方法

各自治体の一般廃棄物の分別区分別の収集量、及び有料化・資源分別等の3R施策導入状況を把握することを目的として、アンケート調査を実施した。調査対象は全国1,434自治体（調査時点）とし、回収数は、667件（回収率：46.5%）であった。調査項目は、①担当者の連絡先、②ごみ(資源ごみ以外)の収集量・収集方式・プラスチック類の分別区分等、③資源ごみ(有害ごみを含む)の分別実態、④家庭系ごみの有料化実施状況・実施予定、⑤事業系ごみの自治体収集(直営・委託)への受け入れ、等とし、2003年度実績の数値を記入するよう依頼した。

各自治体の地域特性に関するデータは、総務省統計局の社会・人口統計体系より人口・世帯、土地利用、事業活動に関する統計データを抽出・利用した。

2.3 地域特性変数・政策特性変数を用いたごみ排出原単位予測モデルの構築

上記地域特性変数・政策特性変数を説明変数候補とし、可燃ごみ・不燃ごみの家庭系・事業系の排出原単位を目的変数とする重回帰分析(ステップワイズ法, 投入 $p \leq 0.10$, 除去 $p \leq 0.15$)を実施し、排出原単位の予測モデルを構築した結果を以下4式に示した。

$$1) \text{ 家庭系可燃: } C_h = 520.87^{***} - 56.83^* \times H_m + 1.63^* \times P_d + 231.81^* \times R_t + 1733.13^{***} \times N_e + 53.78^{***} \times P_i - 52.57^{***} \times P_g - 18.58^{***} \times K_g - 48.28^{**} \times F_g \quad (r^2: 0.237^{***})$$

$$2) \text{ 事業系可燃: } C_b = 146.43^* + 0.88^* \times P_o - 42.85^* \times H_m + 2139.15^{***} \times N_e + 94.60^{***} \times R_s - 37.67^{**} \times C_g \quad (r^2: 0.170^{***})$$

3) 家庭系不燃: $I_h=154.56^{***}-29.69^{***} \times H_m+516.52^* \times R_p+34.45^{***} \times P_i-29.50^{**} \times G_g$ ($r^2:0.170^{***}$)

4) 事業系不燃: $I_b=23.686-11.89^{**} \times H_m+456.98^{***} \times N_e+7.12^* \times P_i$ ($r^2:0.197^{***}$)

C_h : 生活系可燃ごみの排出原単位(g/人/日), C_b : 事業系可燃ごみ排出原単位(g/人/日), I_h : 生活系不燃ごみの排出原単位(g/人/日), I_b : 事業系不燃ごみ排出原単位(g/人/日), P_o : 人口(万人), H_m : 世帯あたり平均人員数(人/世帯), P_d : 人口密度(人/ha), R_p : 1次産業人口比(人/全人口), R_t : 3次産業人口比(人/全人口), N_e : 人口1人あたりの事業所数(所/人), R_s : 人口1人あたりの小売販売額(円/人), P_i : プラスチック分別区分ダミー(1:対象を含む, 0:対象に含まない), P_g : プラスチック再商品化ダミー(1:資源分別あり, 0:資源分別なし), K_g : 生ごみ分別ダミー(1:資源分別あり, 0:資源分別なし), G_g : ガラス再商品化ダミー(1:資源分別あり, 0:資源分別なし), C_g : 有料化ダミー(1:有料化あり, 0:有料化なし), F_g : 従量制ダミー(1:従量制あり, 0:有料化なし)

2.4 政策特性と資源ごみの排出原単位の関連に関する検討

(1) 収集サービス水準と資源ごみの排出原単位の関連

資源ごみの排出原単位には収集サービスの水準が関連すると考えられ、本節では関連の認められたステーション設置密度・収集頻度について検討結果を紹介する。

ステーション設置密度別の平均排出原単位を表1に示した。スチール缶、びん(茶色)、PETボトル、段ボールの4品目においてカテゴリー間で有意な差が見られた。また、収集頻度の違いによって、品目別の排出原単位に差が認められるかを検討した結果を表2に示した。収集頻度を月1回、月2回、週1回の3水準で比較したところ、PETボトル、その他プラスチック製容器包装、紙パック、その他紙製容器包装、段ボールで平均値に有意な差が認められた。いずれも、排出者にとって利便性が高いほど排出原単位が多くなる傾向が認められた。

表1 ステーション密度の違いによる平均値の差の検定結果(g/人/日)

	1-20世帯	20-60世帯	60世帯超	F値	有意確率
1.スチール缶	10.521 ±5.545 (n=23)	9.196 ±5.902 (n=28)	3.989 ±1.874 (n=24)	12.128	0.000 **
2.アルミ缶	3.992 ±2.186 (n=22)	3.530 ±1.650 (n=25)	2.777 ±1.215 (n=24)	2.963	0.058
3.びん(無色)	7.593 ±4.286 (n=22)	8.296 ±4.436 (n=26)	6.696 ±3.959 (n=25)	0.913	0.406
4.びん(茶色)	11.093 ±5.579 (n=21)	8.475 ±4.683 (n=26)	6.241 ±3.731 (n=26)	6.302	0.003 **
5.びん(その他)	3.234 ±2.615 (n=15)	2.848 ±2.200 (n=18)	2.233 ±1.139 (n=19)	1.065	0.353
7.PETボトル	5.221 ±2.847 (n=63)	4.931 ±2.531 (n=59)	3.714 ±1.591 (n=50)	5.825	0.004 **
8.白色トレイ	0.692 ±0.852 (n=15)	1.027 ±0.805 (n=10)	0.688 ±0.392 (n=19)	0.961	0.391
9.その他プラスチック製容器包装	16.463 ±15.09 (n=26)	14.854 ±10.37 (n=19)	13.284 ±10.58 (n=11)	0.253	0.777
その他プラスチック製容器包装(白色トレイ分別なし)	17.411 ±18.58 (n=14)	15.420 ±11.42 (n=13)	15.441 ±10.92 (n=5)	0.069	0.934
その他プラスチック製容器包装(白色トレイ分別あり)	6.358 ±5.312 (n=5)	11.443 ±7.859 (n=4)	14.889 ±11.84 (n=4)	1.157	0.353
11.紙パック	0.594 ±0.399 (n=24)	0.680 ±0.473 (n=26)	0.574 ±0.420 (n=30)	0.453	0.637
12.その他紙製容器包装	5.890 ±4.459 (n=13)	6.927 ±3.640 (n=10)	3.828 ±3.171 (n=7)	1.290	0.292
13.段ボール	19.344 ±13.78 (n=35)	16.568 ±12.89 (n=38)	12.384 ±6.909 (n=36)	3.241	0.043 *

*より右の数値は標準偏差をあらわす **は1%で有意、*は5%で有意

表2 収集頻度の違いによる平均値の差の検定結果(g/人/日)

	月1回	月2回	週1回	F値	有意確率
1.スチール缶	8.476 ±7.951 (n=56)	10.309 ±13.21 (n=55)	12.142 ±15.442 (n=19)	0.800	0.452
2.アルミ缶	4.222 ±3.669 (n=62)	3.262 ±1.966 (n=49)	2.978 ±2.639 (n=19)	2.024	0.136
3.びん(無色)	8.717 ±4.343 (n=61)	6.952 ±2.988 (n=38)	8.443 ±3.971 (n=17)	2.481	0.088
4.びん(茶色)	10.251 ±6.939 (n=66)	8.597 ±5.054 (n=35)	10.827 ±5.257 (n=10)	0.949	0.390
5.びん(その他)	5.959 ±7.528 (n=44)	7.011 ±9.469 (n=29)	7.964 ±6.733 (n=10)	0.310	0.734
7.PETボトル	4.167 ±1.75 (n=60)	5.656 ±2.427 (n=63)	6.774 ±2.888 (n=35)	15.021	0.000 **
8.白色トレイ	0.743 ±0.722 (n=31)	0.786 ±0.471 (n=24)	0.936 ±0.997 (n=14)	0.356	0.702
9.その他プラスチック製容器包装	8.187 ±8.975 (n=16)	15.050 ±10.96 (n=35)	24.091 ±15.279 (n=25)	8.775	0.000 **
その他プラスチック製容器包装(白色トレイ分別なし)	10.465 ±11.008 (n=9)	17.812 ±10.937 (n=20)	24.741 ±15.995 (n=19)	3.752	0.031 *
その他プラスチック製容器包装(白色トレイ分別あり)	5.258 ±4.69 (n=7)	11.366 ±10.194 (n=15)	22.030 ±13.884 (n=6)	4.545	0.021 *
11.紙パック	0.529 ±0.835 (n=55)	0.781 ±0.672 (n=44)	1.103 ±0.761 (n=20)	4.346	0.015 *
12.その他紙製容器包装	6.570 ±4.645 (n=19)	5.601 ±3.428 (n=14)	10.859 ±7.655 (n=11)	3.452	0.041 *
13.段ボール	12.853 ±8.238 (n=67)	20.110 ±13.913 (n=45)	27.432 ±19.322 (n=21)	12.145	0.000 **

*より右の数値は標準偏差をあらわす **は1%で有意、*は5%で有意

(2) 資源ごみの排出原単位推定モデルの構築

資源ごみの排出原単位と関連の見られた地域特性変数・施策特性変数を用い、各品目の排出原単位を目的変数とする重回帰分析を行い、排出原単位推定モデル構築を試みた。こ

ここでは、PETボトルについての結果を下式に示した。PETボトルの排出原単位の予測因としては、世帯あたり平均人員数、1ステーションあたりの世帯数、収集回数、可燃ごみ収集での違反ごみの対応、の4変数が選択された。

$$P_h = 11.15 - 1.40 \times H_m - 1.14 \times S_{60} - 1.84 \times F_w - 1.65 \times M_v \quad (r^2 = 0.32^{***}, n = 152)$$

P_h : PET ボトル排出原単位 (g/人/日)

H_m : 世帯あたり平均人員数 (人/世帯)

S_{60} : PET ボトルステーション密度 1ステーションあたりの世帯が 60 世帯超

F_w : PET ボトル収集回数 月 1 回

M_v : 違反ごみへの対応 (可燃)

3. GPS・GISを援用した分別収集・各戸収集の収集・運搬作業実態調査

3.1 背景及び目的

循環型社会形成に向けて、自治体においてはごみの分別収集対象品目の拡大や各戸収集といった施策の導入が大きな検討課題となっている。計画立案にあたっては、これら施策導入に必要となる収集体制の拡充・コスト負担増等について定量的に評価することが必要と考えられるが、その基礎情報として必要な収集・運搬に係る作業実態データは十分に整備されていないのが現状である。本章では、ごみ収集・運搬車両の追跡調査により作業実態を調査すると共に、GPS（全地球測位システム）及びGIS（地理情報システム）ソフトウェアを援用して運行軌跡データを取得・解析し、分別区分別の収集・運搬の作業時間・走行速度に関する検討を実施したので結果を報告する。

3.2 収集・運搬車両の走行実態調査の概要

本研究事業では、混合ごみ及びかん・びん・ペットボトル・プラスチック製容器包装等の多品目のステーション収集を実施しているA市、モデル地域で生ごみの分別収集を行っているB市、C市、缶・びん・ペットボトルの混合収集を行っているD市、可燃ごみ・不燃ごみ・資源ごみの各戸収集を導入しているE市、平成21年2月に有料化を導入したF市を対象として、ごみ収集・運搬車両の追跡調査により作業時間・走行距離・収集量等を調査した。

収集・運搬作業は、施設（車庫等）出発～収集エリア到着までの往路走行、収集エリア内でのごみの収集作業、収集エリア出発～搬入施設到着までの復路走行、搬入施設での積み下ろし作業、休憩その他、に大別される。さらに、収集作業は①停車・降車、②積み込み、③乗車・発車、④排出地点間の乗車移動により構成され、本検討では①～③の作業時間を「積込時間」、④の作業時間を「移動時間」として1サイクル毎の時間を測定・記録した。走行距離については、収集車両あるいは後続車両に小型GPS機器（パイオニア・ナビコム社 AVID-DR205ZZ、Transystem 社 i-blue747）を設置し、車両の走行軌跡データの収集、GISソフトウェア(ESRI 社 ArcView9.x)を用いて上記時間区分別の走行距離・走行時速を測定した。なお、各戸収集の場合は徒歩で移動しながら積込作業を実施するため、1サイクル毎の「徒歩移動距離」についても測定した。収集量については、1サイクル毎の積込袋数を目視計測するとともに、トラックスケールデータから1往復毎の収集重量を把握した。

3.3 走行速度・作業速度の実態

(1) 往復走行速度の実態

自治体別の往復走行速度の平均・標準偏差を表 3 に示した。往復走行速度の平均は 19.13km/h となった。往復走行速度は、交通事情や道路幅員等の地域事情によって異なると考えられた。

表 3 自治体別の往復走行速度の実態

自治体	平均±標準偏差 (km/h)	備考
A 市	20.15±5.08	往復に片側 2 車線の幹線道路を利用して長距離高速移動
B 市	20.30±5.13	往路で朝の渋滞に巻き込まれた。復路は郊外へのルートで順調に走行。
C 市	24.29±4.19	交通量・信号が少ない
D 市	27.37±6.15	往復に片側 2 車線の幹線道路を利用して長距離高速移動
E 市	19.13±3.05	首都圏の面積が小さい住宅都市、往復距離が短い
F 市	21.95±4.64	往復に片側 2 車線の幹線道路を利用して長距離高速移動

(2) 収集方式・品目別の積み込み作業速度の推定モデルの構築

積み込み時間は、前述したように「作業準備時間」、「積み込み時間」、「徒歩移動時間（各戸収集の場合）」で構成される。実態調査では、自治体別・分別品目別の積み込み時間、積み込み個数（複数品目を混載する場合は品目別の個数）及び徒歩移動距離（各戸収集の場合）のデータを収集しており、これらデータに基づいて積み込み時間の推定モデルを構築することとした。モデルは、積み込み時間を目的変数として、ステーション収集の場合は積み込み袋数を説明変数とする単回帰分析、各戸収集の場合は積み込み袋数と徒歩移動距離を説明変数候補とする重回帰分析により構築した。結果を表 4 に示した。

表 4 収集方式・品目別の積み込み作業時間の推定モデル

自治体	収集方式	品目	車両	荷姿	推定モデル	決定係数	
A市	ステーション収集	混合ごみ	2tp	袋	積込時間(秒)=1.531***x袋数+6.166	0.770***	
F市		可燃ごみ	2tp	袋	積込時間(秒)=1.540***x袋数+5.432	0.857***	
B市		不燃ごみ	2tp	袋	積込時間(秒)=3.641***x袋数+16.480***	0.463***	
A市		缶	2tp	袋	積込時間(秒)=1.961***x袋数+29.831	0.492**	
B市		スチール缶	2t平	コンテナ	積込時間(秒)=14.933***xコンテナ数+16.564	0.661***	
B市		アルミ缶	2t平	コンテナ フレコン	積込時間(秒)=17.140*xコンテナ数+37.838xフレコンバック数+63.459	0.638*	
A市		ビン	2tp	袋	積込時間(秒)=1.832***x袋数+14.467*	0.852***	
A市		ペットボトル	2tp	袋	積込時間(秒)=3.270***x袋数	0.944***	
B市		ペットボトル	2t平	フレコン	積込時間(秒)=0.980xフレコンバック数+142.634***	0.002	
A市		プラ製容器包装	4tp	袋	積込時間(秒)=0.955***x袋数+22.785***	0.498***	
B市		プラ製容器包装	2tp	袋	積込時間(秒)=1.712***x袋数+20.813***	0.673***	
D市		プラ製容器包装	1.7tp LNG	袋	積込時間(秒)=1.319***x袋数+20.620***	0.753***	
B市		紙製容器包装	2tp	東・紙袋	積込時間(秒)=1.224*x東数+29.250*	0.283*	
B市		生ごみ	1.7t平	袋	積込時間(秒)=2.444***x袋数+16.442***	0.413***	
C市		生ごみ	3tp	袋	積込時間(秒)=1.737***x袋数+12.833***	0.418***	
B市		ビン・乾電池(混載)	2t平	コンテナ	積込時間(秒)=27.578***xコンテナ数(ビン)+26.867xコンテナ数(乾電池)+37.652	0.662***	
B市		段ボール・紙製容器包装(混載)	2tp	東・紙袋	積込時間(秒)=1.358*x東数+55.793*	0.550*	
D市		缶・ビン・ペットボトル(混合)	1.7tp LNG	袋	積込時間(秒)=1.687***x袋数+15.897***	0.870***	
E市		各戸収集	可燃ごみ(全体)	2tp	袋	積込時間(秒)=1.828***x袋数+13.641	0.799***
E市			可燃(戸建・集合混在地区)	2tp	袋	積込時間(秒)=0.357*x袋数+29.431*	0.921***
E市	可燃(戸建地区)		2tp	袋	積込時間(秒)=1.486***x袋数	0.979***	
E市	雑誌		2t平	東	積込時間(秒)=1.793***x東数+6.664	0.952***	
E市	新聞紙		2t平	東	積込時間(秒)=2.384***x東数+13.624***	0.878***	
E市	古布・牛乳パック分別		2t平	東	積込時間(秒)=1.928*x東数+4.036**x東数+7.812*	0.931***	

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

(3) 移動速度の実態

自治体別の排出地点間の平均移動速度の平均・標準偏差を表 5 に示した。平均移動速度の平均値は 11.45～16.31km/h となった。D 市では、ステーション間の距離・走行時間が他の自治体より長く、平均移動速度が 16.31km/h とやや早かったが、D 市を除けば移動速度は 11～12km/h であり、大きな差は見られなかった。

表 5 自治体別の平均移動速度

自治体	平均±標準偏差 (km/h)
A 市	11.70±6.01
B 市	11.76±4.20
C 市	12.07±4.30
D 市	16.31±5.95
E 市	12.60±3.95
F 市	11.45±5.65

3.4 各戸収集の走行距離の実態と推定手法の検討

(1) 走行距離の実態

E市における各戸収集の品目別の収集距離の実態について、追跡調査を実施した収集車1台についての1日の乗車移動距離と積み込み距離の内訳を図1に示した（収集対象地域は5品目ともに同じ地域）。1日の収集距離は13.2km～15.5kmであり、缶の収集距離が最も短かった。段ボール・雑誌、新聞紙、古紙・紙パックの4品目は車を移動しながら積み込みこんでいるのに対して、缶では車を止めて、運転手・作業員が回収用の袋を持ち歩いて徒歩中心に広範囲に収集していた。缶では収集距離が最も短く、また乗車移動の距離も短くなっているが、こうした作業実態の違いによるものと考えられる。

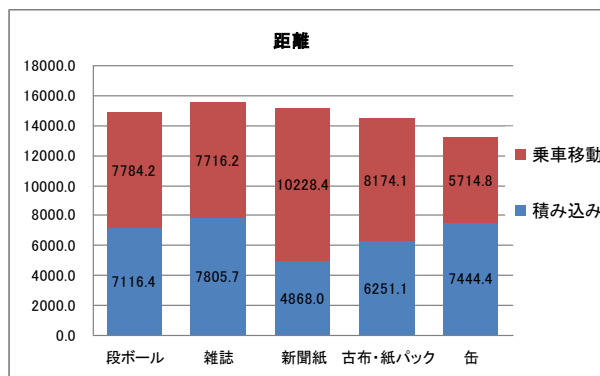


図1 各戸収集の品目別の1日の乗車移動・積み込み距離の内訳

(2) 地図情報を用いた各戸収集の走行距離推定手法の検討

ゼンリン住宅地図 2500 においては、戸建住宅・集合住宅の建物ポリゴンデータが収録されている。このデータを活用して、各戸収集では全ての建物を巡回するものと仮定して走行距離を推定することとした。具体的には、地図上の建物に居住する世帯が全ての道路にごみを排出するものと仮定し、①戸建住宅・集合住宅ポリゴンの重心を求め、②重心を最も近接する道路上にスナップ、③ArcGISのNetwork Analystを用いてスナップした点全てを巡回する最適ルートを計算した。

前述の走行距離を把握した地域において、計算した最適ルートの距離と実際の走行距離を比較すると、実際の走行距離が13.2km～15.5kmであったのに対して最適ルートでは平均16.8kmとなり、約12%の過剰評価となった。実際の収集作業においては、作業員が車両から離れて徒歩で収集を行うこともあるが、計算上はこうした徒歩での収集距離を考慮せず全ての建物を車両で巡回するものと見なして推定を行っており、これが過剰評価につながったと考えられる。

4. 各戸収集・生ごみの分別収集・処理実態に関する基礎調査

4.1 はじめに

収集体制、分別収集区分の変更等を検討するための基礎情報として、収集・運搬コスト等を概算するためのシステムに対するニーズは高いと考えられる。本研究課題では、一般廃棄物の収集・運搬コスト・CO₂排出量を概算するための分別収集モデル（GCM-GIS、6章に詳述）を開発しており、そのモデルパラメーターを収集する目的で各戸収集・生ごみの分別収集に関する実態調査を実施した。

また、生ごみの資源化やエネルギー利用には相当量のエネルギー消費を伴う場合も多く、効果を判定するには分別収集プロセスも含めた総合的なシステム評価を行う必要があることから、メタンガス化施設に対するヒアリング調査を実施し、コスト・環境負荷に関するデータを収集した。

4.2 各戸収集の実態調査

全国の各戸収集の実施の有無について、「一般廃棄物処理実態調査（平成 17 年度 環境省）」より全国の品目別実施状況を整理すると、平成 17 年度現在で 141 市町村（7.9%）が可燃ごみの各戸収集を実施している状況である。これらの市町村の中から、収集車両の走行距離影響が想定される人口規模、面積および人口密度について、多様な抽出対象となるように配慮した上で、ヒアリング及びアンケート調査の実施対象（合計 37）を選定した。調査項目は家庭ごみの分別収集区分ごとに、収集頻度、収集地点数、中間処理施設搬入回数、搬入量、走行距離、出動時間、車両台数など、モデルの検証に必要な項目を設定した。各戸収集実施前のデータが保管されている場合には、過去のデータも併せて調査した。

回答の得られた自治体は 37 自治体中 20 自治体であった。このうち各戸収集の実施前についても詳細なデータが得られた自治体は 3 自治体であった。

各戸収集導入前後の比較が可能であった 3 自治体について、その変化を図 2 に示した。収集距離については、変化に差はあるものの、各戸収集の導入によりごみ 1t あたりの収集距離は増加する傾向が見られた。また A 自治体では、有料化との併用による減量効果によりトリップ回数・総走行距離が減少した。C 自治体では、建物の密集性が高いため、車両を停車して収集作業員が台車等で回収するなど工夫して、各戸収集導入による車両走行への影響を抑制していた。

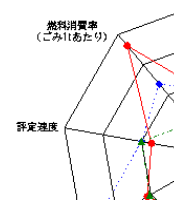


図 2 各戸収集導入前後の比較

4.3 生ごみ分別収集の実態調査

「一般廃棄物処理実態調査（平成 17 年度 環境省）」より、自治体全域もしくは広範囲で生ごみの分別収集を実施している自治体について、各自治体 HP などから情報確認を行ったところ、家庭系厨芥類の分別収集を全域もしくは広範囲で実施しているのは、全国の 1,844 市町村のうち、93 市町村（約 5.0%）であった。これら市町村の中から、人口密度や面積を考慮して 25 自治体を選定した。

回答の得られた自治体は 25 自治体中 14 自治体であった。生ごみ収集開始後の「可燃ごみ」および「生ごみ」の収集に関する主要項目の集計値を表 6 に示した。

生ごみと可燃ごみの収集に係る燃料消費率は、生ごみの方が大きい自治体が多かった。これは、生ごみ収集時の積載率が低い（積載重量が小さい）ことに起因していると考えられる。また、生ごみ分別収集開始前後のデータを保有していた 3 自治体については、以下の点が確認された。

- 開始前の可燃ごみの搬入回数と、開始後の可燃ごみ、生ごみを合算した搬入回数を比較すると、a 自治体と c 自治体では排出量の減量効果もあり、開始前後がほぼ同程度となっているのに対し、b 自治体では、ごみ量増加の影響もあり、30%程度増加した。
- 開始前の可燃ごみの平均積載重量と、開始後の可燃ごみと生ごみの平均積載重量を比較すると、開始後の方が小さくなっており、a 自治体-37%、b 自治体-15%、c 自治体-51%であった。

表 6 生ごみ分別収集を行っている自治体の調査結果

		平均値	最大値	最小値	中央値	データ数	
可燃ごみ	出勤時間	時間/回	4.9	7.0	2.0	6.0	11
	ごみ排出原単位	kg/人/年	98.2	182.0	42.2	99.0	14
	積載重量	kg/回台	1,929.2	3,601.2	937.7	2,119.3	9
	評定速度	km/時間	12.5	22.3	3.9	10.6	6
	燃料消費率1	L/km	0.26	0.31	0.22	0.28	5
	燃料消費率2	L/km t	0.17	0.28	0.06	0.14	5
生ごみ	出勤時間	時間/回	4.1	7.0	1.8	3.8	12
	ごみ排出原単位	kg/人/年	52.4	78.9	33.7	53.5	14
	積載重量	kg/回台	1,379.9	2,707.7	605.2	1,280.9	10
	評定速度	km/時間	13.2	20.8	3.2	15.0	7
	燃料消費率1	L/km	0.25	0.31	0.22	0.24	6
	燃料消費率2	L/km t	0.21	0.47	0.09	0.19	6

4.4 バイオガス化施設の実態調査

岡山大学では、平成 15 年度～19 年度にかけて実施した COE プログラム「循環型社会への戦略的廃棄物マネジメント」において中間処理施設の建設・運転に伴うユーティリティ・資材・薬剤消費、ごみ処理に伴う環境負荷、及び施設運転に関わる人員といったコスト・環境負荷に係る基礎データを収集し、発生するごみの量や質、処理方式・設備の仕様など様々な計画要素を入力値とし、ごみ処理施設の建設・運用に必要なユーティリティ・資材の消費量、施設から排出される環境負荷物質の量、及び回収される資源化物の数量を算出する計算モデル（表 7 に堆肥化施設の例を示す）を構築した¹⁾。しかし、メタンガス化についてはこれまでに 1 施設のデータしか得られていなかったことから、ヒアリング調査により追加的にデータ収集した。調査は、平成 21 年 1 月 20 日に大分県日田市バイオマス資源化センター・熊本県山鹿市バイオマスセンター、平成 21 年 3 月 16 日を福岡県おおき循環センターを対象に実施した。建設費・人員数、ユーティリティ・資材の消費量に関する原単位の平均値の計算結果を表 8 に示した。

表 7 堆肥化施設の技術モデル

目的変数	目的変数単位	原単位もしくはモデル
建設費	千円	32015 × 処理規模
総人員数	人	1.325 × 処理規模 ^{0.229+1} (≦2 の場合は 2 人、>2 の場合は 1.325 × 処理規模 ^{0.229+1})
電力使用量	kWh/tごみ	131.62
燃料使用量	MJ/tごみ	913.26
水使用量	m ³ /tごみ	0.11
活性炭	kg/tごみ	3.24
硫酸	kg/tごみ	0.81
堆肥発生量	t/tごみ	0.17
残渣発生量	t/tごみ	0.15

表 8 メタンガス化施設の技術モデル

目的変数	目的変数単位	原単位もしくはモデル
総工費	千円/t規模	29681 × 処理規模
総人員数	人/t規模	0.281 × 処理規模
電力使用量	kWh/tごみ	144.53
燃料使用量	MJ/tごみ	176.14
水使用量	m ³ /tごみ	2.61
放流量	m ³ /tごみ	1.55
苛性ソーダ	kg/tごみ	4.21
高分子凝集剤	kg/tごみ	0.82
次亜塩素酸ナトリウム	kg/tごみ	3.08
消泡剤	kg/tごみ	0.15
クエン酸	kg/tごみ	0.51
脱硫剤	kg/tごみ	0.99
発電電力量	kWh/tごみ	116.34
残渣発生量	t/tごみ	0.12

5. GISを用いた中継輸送施設の最適配置に関する研究

5.1 はじめに

地方自治体では、資源化促進により資源ごみの収集コストが増え、また、ダイオキシン類排出量削減の恒久対策としての「広域化」が進められ、収集と処理の効率化が図られようとしている。この「広域化」は当初、小型焼却炉を減らしてゆくことが目的であったが、現在においては温暖化問題や地域循環型社会形成を考慮に入れて、広域での高効率処理や資源化処理を展開していかなければならなくなっている。岡山県では平成 19 年 3 月に提出した「新岡山県ごみ処理広域化計画」の中で、地域のごみ排出量が 300 トン/日以上（最低でも 100 トン/日以上）となるように市町村をブロック化し、その中で処理を行う計画を進めており、現在、県下の市町村を岡山、倉敷、西部、高梁、津山、備前の 6 つのブロックに割り振っている。本章ではさらに先を見越して県全体の広域化、すなわち県全体で廃棄物を管理し、エネルギーや物質の使用量節減と循環利用の高効率に行うことを想定し、地理情報システム(GIS)を用いてごみ収集域から中継輸送施設までの輸送距離を求める方法について提案した。また、ごみ収集車による輸送距離の総和を最小にする中継輸送施設の位置を GIS を用いて探索する実用的な方法について提案した。

5.2 中継輸送施設の最適位置探索方法

a) 排出量マップの作成（ステップ 1）

中間処理施設（ここではごみ焼却炉）では独自にごみ排出量や組成調査を行っている。そこで、施設に対し、①施設の搬入ごみの量・質に関する情報と②ごみ収集エリアの地図情報についてアンケート調査を行い、GIS を用いて②と町丁目人口分布から③収集エリア内の人口分布及び④収集エリアの総人口を求め、次に①と④からごみ排出量原単位を求め、その原単位と③から、地域ごみ排出量マップを作成した。

b) ごみ収集セルマップの作成（ステップ 2）

GIS を用いて、ごみ排出量マップからごみ収集車の 1 トリップにおける収集範囲（収集セル）を定め、中継輸送施設の候補地からの平均収集輸送距離を求める。本研究では、ごみ収集量を重みとして計算する総輸送距離の考え方と、世帯数から計算する総収集距離の考え方を示し、さらに距離計算量を大幅に減らすための収集セル分割アルゴリズムを提案した。

c) 中継輸送施設候補地点の一次元探索（ステップ 3）

中継輸送施設からは、圧縮したごみを大型車で処理施設まで運搬する必要性から、幅員が大きくかつごみ処理施設にアクセスしやすい主要幹線道路（これを対象道路と呼ぶ）沿いに設置することが望ましい。対象地域における対象道路に中継輸送施設の候補地を設け、その道路に沿って一次元探索し、ごみ収集車の全トリップの合計である総輸送距離が最も短くなる地点を中継輸送施設の最適な設置場所とした。ここで、総収集距離と総輸送距離は独立して計算し、最適位置の探索は総輸送距離のみを評価する。本研究では、コストと環境負荷の低減が重要と考え、燃料消費、大気汚染物質の発生を抑えるために総輸送距離が最も短くなる地点を最適とした。全体の探索フローを図 3 に示す。

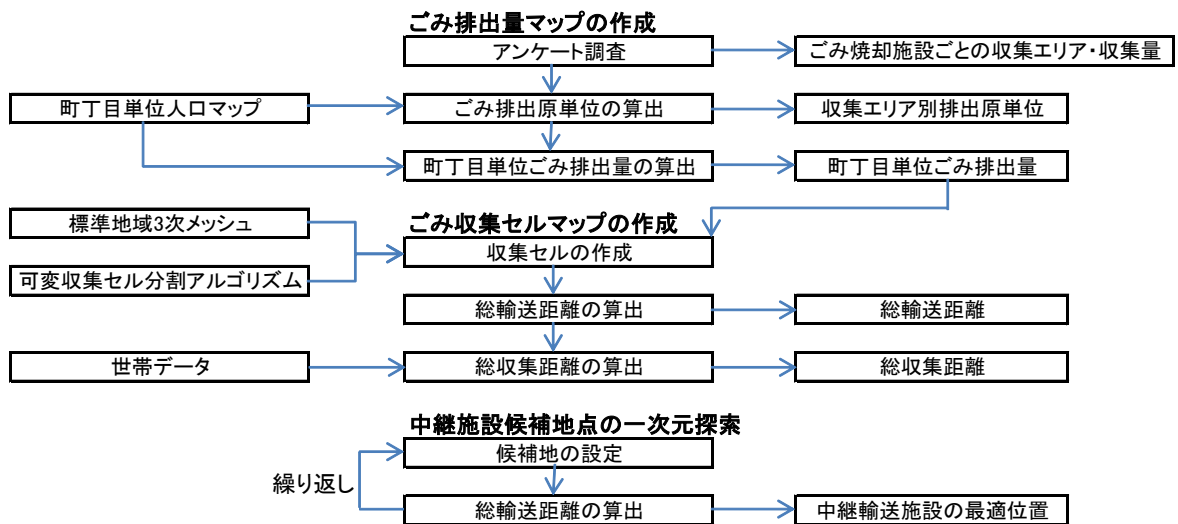


図3 中継輸送施設の最適位置探索フロー

5.3 計算例

(1) 家庭ごみの町丁目排出量マップの作成

岡山県内の全処理施設にアンケート調査を行い、各施設のごみ収集領域を把握してGIS上にマップを作成した。また同時に、家庭系ごみ・事業系ごみについて収集量を把握した。アンケートの回答を、環境省提供の処理施設仕様と稼働状況のデータと照らし合わせて、回答データの調整を行った。収集エリアごとの人口から一人当たり発生量原単位を求め、次に町丁目の人口分布のデータに掛け合わせて、町丁目ごとの排出量原単位を求めた。結果を図4に示す。

(2) 中継輸送施設位置の探索

ごみ収集車を可積載量2トンのパッカー車とし、収集を週2回収集するとして、3.5日当たりのごみ発生量を収集できるセルを発生させた。収集セル内の収集量が2トン以下となるようになるように初期セルから均等な4分割へと分割した。高粱ブロックの可変セル群を求めた結果を図5に示す。図より人口密度が高く排出量が多い場所では収集セルの面積が小さく、排出量が少ない場所では収集セルの面積は大きいという特徴がある。次に、可変収集セルの中心(重心)を代表点とし、中継輸送基地の候補地を主要な道路上に複数点等間隔とり、基準点からの道路距離および総輸送距離の関係

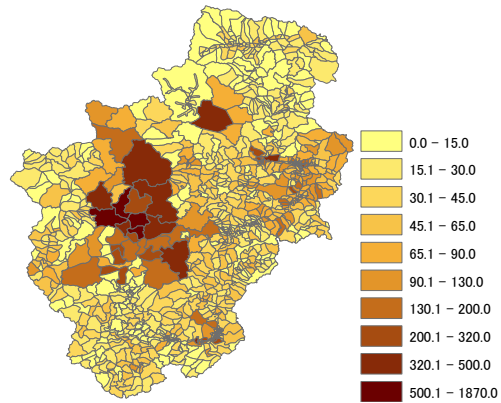


図4 町丁目単位のごみ排出量マップ
(単位 kg/日)

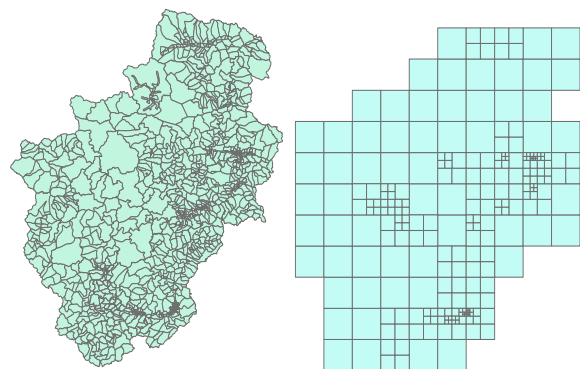


図5 可変収集セルの生成

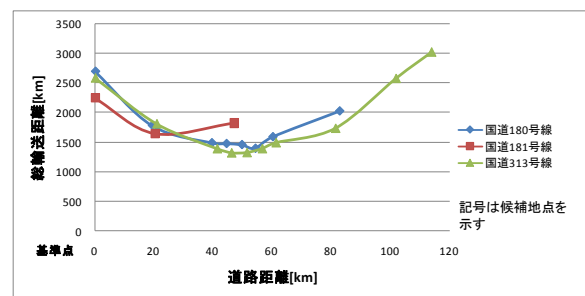


図6 ごみ中継輸送施設候補地における道路距離と総輸送距離の関係

を求めた（図 6）。中継点の最適位置は総輸送距離が 1,328km となる国道 313 号線の基準点より 45.8km の地点となった。

以上の方法を適用することで、ブロック内の総輸送距離を最小にするという条件のもとで中継輸送基地の位置を定めることが可能となる。本方法は、町丁目別の人口データを用いており、多くの自治体において中継輸送基地の検討に役立つものと考えられる。

6. 地理的特性を考慮した収集・運搬のコスト・CO₂算定モデル(GCM-GIS)の構築

6.1 研究目的

収集体制、分別収集区分の変更等を検討するための基礎情報として、収集・運搬コストを概算するためのシステムに対するニーズは高いと考えられる。一般廃棄物の収集・運搬コストを概算するためのシステムを作成することを目的とした。またコスト概算に際して、収集に必要な走行距離、作業時間、収集車台数などが算出されるため、簡易 LCA として CO₂ 排出量を計算可能とすることも併せて目的とした。

6.2 研究方法

収集運搬費用の概算においてもっとも良く用いられるモデルの一つである Ishikawa (1996)による Grid City Model (GCM)を改良することで概算のアルゴリズムを作成した。GCM はその優れた単純化により、概算モデルとして非常に優れてはいるが、自治体が特殊な形状をしている場合、極端に偏った人口分布を持つ場合には結果が大きく現実と異なる危険性をはらんでいる。

この問題を解決しつつ、使用者に対して余り作業負担をかけずにより現実に近い概算値を与えるべく、GCM に対して国勢調査に基づく 1km メッシュ GIS データによる人口データを読み込み、これにゴミの発生原単位を乗じることで発生分布を表現することにした。言い方を変えれば、自治体を 1km メッシュに分割することで、1km²の正方形の地区の集合体として描くこととした。また、分割したと言っても、その集合体としての自治体はその形状をほぼ失わないために、複雑な形状をした自治体の場合の輸送距離を考慮することも出来る。このモデルを GCM-GIS と呼ぶ。なお、排出原単位及び収集・運搬に係る作業時間原単位は、本研究の原単位・推定モデルの検討結果を用いた。

アルゴリズムを実装するにあたり、将来的には web アプリケーションとしての公開を可能とすることも視野に入れ JAVA を用いた開発を実施した。現段階では Eclipse/Visual Editor という開発環境を用いたスタンドアローンのアプリケーションとして作成したが、web アプリケーションへの移行は比較的容易なものである。また Microsoft EXCEL VBA を用いた簡易版も作成した。GCM-GIS のスクリーンショットを図 7 に示した。

GCM-GIS						
ファイルの						
はじめに		自治体コード検索	三次メッシュコード	共通情報入力	ごみ種別情報入力	検索実行と結果表示
結果保存ファイル名		つくば市ゴミ-0327				
計算実行 すべて終了 めのためたし						
合計での計算結果						
収集車の必要台数	55	総作業時間 [時間/年]	69,341	St間移動時間[時間/年]	15,287	
往復移動時間[時間/年]	30,800	非移動作業時間[時間/年]	23,454			
総走行距離 [km/年]	785,830	St間移動距離 [km/年]	184,356	往復移動距離[km/年]	601,474	
ごみ種別の計算結果						
ゴミ種	St間移動距離	往復移動距離	St間移動時間	往復移動時間	総作業時間	収集車延べ台数
可燃	82,098	439,023	0,882	22,335	44,635	83
不燃	5,991	50,631	497	2,576	4,751	99
その他プラ	12,071	9,366	1,001	476	2,106	15
生ごみ	83,285	102,454	9,907	5,212	17,849	42

図 7 GCM-GIS のスクリーンショット

7. 費用対効果・費用便益分析の評価枠組みの検討

費用対効果・費用便益分析の評価枠組みについて、内外の既存研究事例の調査及び我が国の行政機関等における活用状況について整理した。

7.1 費用便益分析について

分別収集・リサイクルの費用便益分析の一般的な枠組みは、既に提案されている（例えば、Turner 1981）。本研究では、発生する費用便益と関連主体との関係を表形式で整理した上で、研究・実務における実施事例等をサーベイし、手法面の論点のうち特に以下に列挙するような市場外効果の取扱いについて、共通的な知見や指摘されている課題等を抽出・整理した。

①排出者の費用便益（特にごみ処理サービスやリサイクルに参加すること自体の効用）

- ・ 神崎（2003）や田畑ら（2006）の結果では、ごみ処理サービスに対する住民の支払意思額は実際の行政コストを下回っている。
- ・ 寺山（2004）では、戸別収集や収集回数の増加に対して、高い評価が示されている。
- ・ 分別品目数を増やすことには、負の便益が観察されている（増田 2005; 田畑 2006）。他方、中谷（2005）は容器包装プラスチックについて正の便益を観察しているが、次項に示すリサイクルへの評価も含まれている可能性があるのではないかと。
- ・ リサイクルの実施・参加自体に対する便益が観察されている。（Lake 1996; Kinnaman 2000）
- ・ 分別排出の手間（時間）を賃金等で評価すると高いが、分別行為の負担回避への WTP から所要時間で割り戻すと、当該時間価値が小さい（Bruvoll 2002）。保管スペースについても同様の可能性がある。

②焼却・埋立等の回避による環境負荷削減やリサイクルで代替される天然資源節約効果等の市場外効果を評価に含めるか、及び、含める場合はその経済評価方法

- ・ LCA 等の結果に基づく既存の経済評価手法の適用や、あるいは、独自の環境影響評価を含む経済評価などが研究レベルでは多数実施されてきた。
- ・ しかし、行政レベルの実施事例では、「枯渇性資源の採取削減効果は、具体的には、資源枯渇の延命と、採取にともなう環境破壊等の発生抑制である。しかし、これらそのものの評価方法は明らかとなっていない。」（産業構造審議会容器包装リサイクル WG 2005）との認識も示されている。

③埋立処分容量の節約効果の評価への反映方法

- ・ 埋立処分場建設等の財務コストの節約以外に、残余容量あるいは残余年数の節約・延長自体に何らかの便益があるとして評価上考慮しなければ、焼却処理といえども単純埋立に比べて費用便益が劣るといった評価結果が導かれる場合もありうる。
- ・ 一方、埋立処分容量の節約を直接的に便益評価するのではなく、制約条件とみて、時間軸を考慮したシミュレーション（最適化計算）を行なうことにより、最適なりサイクル率を評価した研究もある。（Huhtala 1997; 村上ら 2001）

以上のような論点について幅広く合意の得られる手法を短期間に開発することは容易ではなく、かつ、数値算出上の不確実性（例：為替レートと国際資源価格・国際資源循環、将来的な技術革新等）も多い。従って、分析手法の現実的な活用性を重視すれば、最終的に全てを貨幣単位で合算し、単一数値に集約した数値を提示することを最終到達点とする

よりも、排出者、住民・行政、リサイクル事業者など複数の関係主体に対して分析結果がもたらす情報提供機能も重視した手法開発を行なう必要性があると考えられる。

特に、リサイクルにおいては、関係主体ごとの費用便益と社会経済全体としての費用便益に乖離がありうることが既に指摘されており（植田 1991、村上 2001）、分析結果を整理する際には、このことが明確に示される形式が有用であろう。調査した事例の中には、このために、便益帰着構成表を活用しているものがあつた（経済産業省 2003、日本政策投資銀行 2002）。

なお、多くの研究事例では、必ずしも廃棄物処理の本来の目的である生活環境の保全及び公衆衛生の向上の便益を計測しているわけではなく、そのため、評価対象シナリオ単独でみた場合の B-C がマイナスになっている事例もある。逆に、国際協力銀行における円借款事業の評価のように廃棄物回収・処理サービスの改善に対する支払意思向上が含まれている場合もある。ここで、日本における費用便益分析で With/Without を比較する際、Without が何ら廃棄物処理を行わないシナリオというのは考えがたい。よって、ベースライン・シナリオとの差分として費用・便益を把握するとすれば、公衆衛生の向上等の便益を計測項目に含める必要性は低いと考えられる。

また、LCA の影響評価手法として、独立行政法人産業技術総合研究所²⁾では「日本版被害算定型影響評価手法(Life -cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling, LIME)」を開発している。LIME は、二酸化炭素や NOx の排出といった各種の環境負荷が地球や生態系などに与える被害量を割り出す手法であり、被害修復のために社会全体で負担しなければならないコストを「社会的コスト」として統一指標化することが可能である。LIME では、疫学、気象学、保全生物学、保険統計学などの自然科学的知見と環境経済学、社会学、心理学などの社会科学に基づく分析結果に基づき、地球温暖化など 11 種の影響領域を通じて発生する被害量を人間健康などのエンドポイントごとに求め、これらを基礎として環境影響の統合化まで行う被害算定型のアプローチを採用している。また、評価者の多様な LCA の目的に沿うため、1000 を超える環境負荷物質を対象とした特性化、被害評価、統合化の 3 ステップの LCIA 用係数リストが開発され、特に統合化の結果は外部費用（社会的コスト）で表される。LIME の統合化係数の例を表 9 に示した。

表 9 LIME の統合化係数の例

評価項目	LIME 統合化係数
エネルギー消費量	6.66E+01 円/GJ
CO ₂ 排出量	2.18E+03 円/t
SO _x 排出量	1.08E+03 円/kg
NO _x 排出量	1.89E+02 円/kg
埋立量	9.41E+02 円/m ³

7.2 費用対効果分析について

費用対効果分析については、効果の指標をどのように設定するかが評価事例ごとに異なるという意味で、費用便益分析とは異なり、各種研究事例等に共通的な枠組みは存在しない。これは、費用対効果分析が基本的に相対評価手法であるという特性を反映しているともいえる。

つまり、比較評価の対象とする複数の事柄の類似性の程度によって、効果の指標は異なりうる。例えば、比較評価の対象として（ア）同一品目同一リサイクル技術について回収方法や対象範囲等の比較、（イ）同一品目についてリサイクル技術間の比較、（ウ）リサイ

クルする対象品目間（分別収集品目を増やす場合に、プラスチックをリサイクルするのがいいのか、紙をリサイクルするのがいいのか。）の比較、などが考えられるが、（ア）から（ウ）の順に、リサイクルに期待される「効果」が、比較評価対象間で、より異なる種類のものになってくる。このため、費用対効果分析における効果の指標が、より包括的な指標（ただし、貨幣単位とすると、費用便益分析に類似する。）でなければ、有用な分析結果が得にくいことになると思われる。

また、リサイクルの場合、ごみを処理するだけでなく、再生品を得る等の効果も生ずるため、「費用対効果比」という一つの数値を算出する意味での費用対効果分析の枠組みを、適用しづらい面もあると考えられる。

さらに、「便益」ではなくて「効果」を問題とするからには、貨幣換算が適さないリサイクルの「効果」にどのようなものがあるかを明らかにする必要がある。例えば、焼却・埋立量の削減が効果であるとみるならば、焼却・埋立の財務コストの勘定には含まれていない何か、財務コストに比べてかなり大きいものであることが前提となろう。また、代替される天然資源の節約が主要な効果であるとするならば、資源には様々な種類があることから、少なくとも、異なるリサイクル方式や対象品目の比較に用いる適切な評価指標を選定しうるのであるかが、費用対効果分析の適用における課題となる。

本調査で整理した費用対効果分析の内外の研究事例（ただし、リサイクル事業以外を評価対象とする事例も含む。）においては、①ダイオキシン類の削減という比較対象間で共通の「単一の効果」を対象として費用対効果を分析したもの（平井 2004; 岸本 2005）、②「環境効率性」に着目したもの（環境負荷を統合評価して費用と比較）（永田 2004; Hellweg 2005）、③多基準分析により体系的な評価指標項目を（貨幣単位による便益評価が困難な項目を含めて）重み付けて単一指標に集約したもの（Döberl 2002）、④アプリアリな重み付けを行わずに効率性フロンティアの概念により非効率な案を抽出するもの（Courcelle 1998）などのアプローチがみられた。

なお、高速自動車国道における多基準分析に基づく総合評価のような例外はあるものの、多くの公共事業分野においては、評価対象事業の各種の効果について対応する指標を列挙することで、費用便益分析の結果とあわせて意思決定の参考としており、必ずしも単一の「効果指標」として集約しているわけではない。

8. 分別収集・各戸収集シナリオの事例評価

8.1 シナリオの評価範囲・設定条件

A市S地区（人口 6,424人、面積 0.5447km²、道路総延長 20,016m）を対象としてコスト、環境負荷のシナリオ評価を行った。評価範囲は、廃棄物の収集・運搬、中間処理、最終処分、再商品化とし、収集・運搬の機材・燃料・人員、中間処理施設の建設・運転に伴うユーティリティ・資材・薬剤消費、ごみ処理に伴う環境負荷、施設運転に関わる人員とし、LCA/LCCの評価項目としてコスト、CO₂排出、SO_x排出、NO_x排出を取りあげ、LIME手法²⁾によって被害費用を試算した。再商品化プロセスについては「再生品の生産によって、同種製品の製造がその分回避される」と見なし、間接的な環境への貢献分として差し引き計算を行った。なお、機能単位は「ごみ 1tの処理」とした。

想定シナリオは、①基本シナリオ（可燃ごみ・不燃ごみのステーション収集）、②①+缶・

びん・ペットボトルの3種単独収集シナリオ、③①+缶・びん・ペットボトルの3種混合収集シナリオ、④③+プラスチック製容器包装収集シナリオ、⑤④+紙製容器包装収集シナリオ、⑥⑤+生ごみ分別収集シナリオ、⑦可燃ごみ・不燃ごみの各戸収集・有料化同時導入シナリオ、の7つのシナリオについて評価することとした。なお、①のシナリオについては、可燃ごみを単純焼却する場合、焼却発電する場合、焼却発電及び灰を電気熔融する場合の3つを想定し、不燃ごみは全て直接埋立するものとして計算することとした。②～⑥のシナリオについては、可燃ごみは焼却発電、不燃ごみは全て直接埋立とし、資源ごみは選別後に再商品化、生ごみはメタンガス化、可燃残さは焼却、不燃残さは直接埋立するものとした。また⑦のシナリオでは、可燃ごみを単純焼却、不燃ごみを直接埋立するものとした。

各シナリオの設定条件として、ごみ・資源ごみの排出原単位については2章に示した排出原単位・推定モデルを用いて設定することとした。地域特性変数については岡山市の平成20年の統計データを用い、収集頻度・ステーション密度についてはA市の実態を代入・設定して該当する原単位を設定した。なお、各戸収集・有料化の同時導入については、環境省が公表している「一般廃棄物処理有料化の手引き³⁾」において排出削減効果が指摘されており、燃えるごみで128.8g/人/日、燃えないごみで71.8g/人/日の排出量が削減されるものと推定されている。本研究ではこれに基づいて⑦のシナリオの可燃ごみ・不燃ごみの排出原単位を設定した。シナリオ設定条件を表10に示した。

なお、ごみの排出地点は、ごみステーションについてはA市の設置実態に基づいてGIS上にプロットし、各戸収集については各戸の目の前の道路に排出するものと想定してプロットした。これら各シナリオの排出地点に基づき、ESRI社ArcGISのNetwork Analystを用いてそれぞれ最適ルートを求め、収集距離を計算した。

収集・運搬過程の計算には3章の作業時間・走行速度を用い、中間処理過程の計算には、岡山大学において開発した「戦略的廃棄物マネジメント支援ソフトウェア¹⁾」を用いた。

8.2 収集距離の計算結果

収集距離を計算した結果、可燃ごみステーション86箇所の最適ルートの距離は7,222m、資源ごみステーション41箇所の最適ルートの距離は5,014m、各戸収集1,372箇所の最適ルートの距離は22,111m（うち積込距離5,114m、移動距離16,997m）と計算された。排表10 シナリオ設定

シナリオ	項目	単位	可燃	不燃	缶	びん	ペットボトル	プラスチック製容器包装	紙製容器包装	生ごみ	
①可燃・不燃のステーション収集	排出原単位	g/人/日	612.8	92.1							
②①+缶・びん・ペット単独収集			606.8	56.0	12.7	23.4	5.9				
③①+缶・びん・ペット混合収集			609.2	58.2		37.5					
④③+プラスチック製容器包装収集（4品目）			585.1	56.0		37.5		21.7			
⑤④+紙製容器包装収集（5品目）			578.8	56.0		37.5		21.7	6.3		
⑥⑤+生ごみ収集（6品目）			492.8	56.0		37.5		21.7	6.3	86.0	
⑦可燃ごみの各戸収集・有料化同時導入			484.0	20.3							
その他計算条件	ステーション数	箇所	86	86	41	41	41	86	41	86	
	各戸収集箇所数	箇所	1,372	1,372							
	収集頻度	日/回	3.5	15	15	15	15	7	15	3.5	
	使用車種		2tピックアップ	2tピックアップ	2tピックアップ	2tピックアップ	2tピックアップ	2tピックアップ	2tピックアップ	1.7t平ボディ	
	計画積載量	kg	1,400	1,000	500	1,000	400	800	1,000	1,700	
	車輦費		2t550万円、平ボディ350万円（6年使用）								
	燃費		2t 3.678km/l、1.7t平ボディ 3.312km/l								
	燃料費		100円/l								
	人件費		10,000,000円/人/年（2名乗車）								
	往復距離		17.2km/回								

出箇所が増えるに従って走行距離が長くなり、各戸収集では対象地域の道路総延長 20,016 m の約 110%に相当する距離を積込・移動するものと考えられた。

8.3 各シナリオの区間推定結果及び原単位・モデルの不確実性分析

各シナリオについて、評価計算に使用する収集・運搬、中間処理に係る原単位・モデル係数の標準誤差に基づいて確率密度分布を設定し、モンテカルロシミュレーション（試行回数 10,000 回）によって年間のコスト・CO₂ 排出量・外部費用を区間推定するとともに、影響度の高い係数を確認するため順位相関係数（変動に対する寄与率）を算出した。（ただし、資源選別施設、再商品化プロセスについては設計値・文献値を用いたため、今回の検討では分布を設定していない。）

各シナリオの年間のコスト・CO₂ 排出量・外部費用の 90%信頼区間を図 8～10 に示した。

コストについては、①の単純焼却と①の焼却発電との差は見られなかったが、焼却発電・電気溶融についてはコストが大きくなるものと考えられた。また、資源の分別品目が多くなるに従ってコストが大きくなる傾向が見られたが、⑥の 6 品目分別収集シナリオと①の焼却発電・電気溶融のコストはほぼ同等であった。また、③の缶・びん・ペットボトルの混合収集では①の単純焼却と同等のコストであることが示唆された。⑦の各戸収集・有料化同時導入については、収集単価が上昇するものの、ごみ排出削減効果により総処理コストは①単純焼却より小さくなるものと考えられた。

CO₂ 排出量については、①の単純焼却と比較すると、①焼却発電、①焼却発電・電気溶融によって大幅に排出削減されるものと考えられた。また、資源の分別品目が多くなるに従って排出量が小さくなる傾向が見られたが、②の缶・びん・ペットボトルの単独収集より③の缶・びん・ペットボトルの混合収集の方が選別時の残さ率が高く、CO₂ 排出量がや

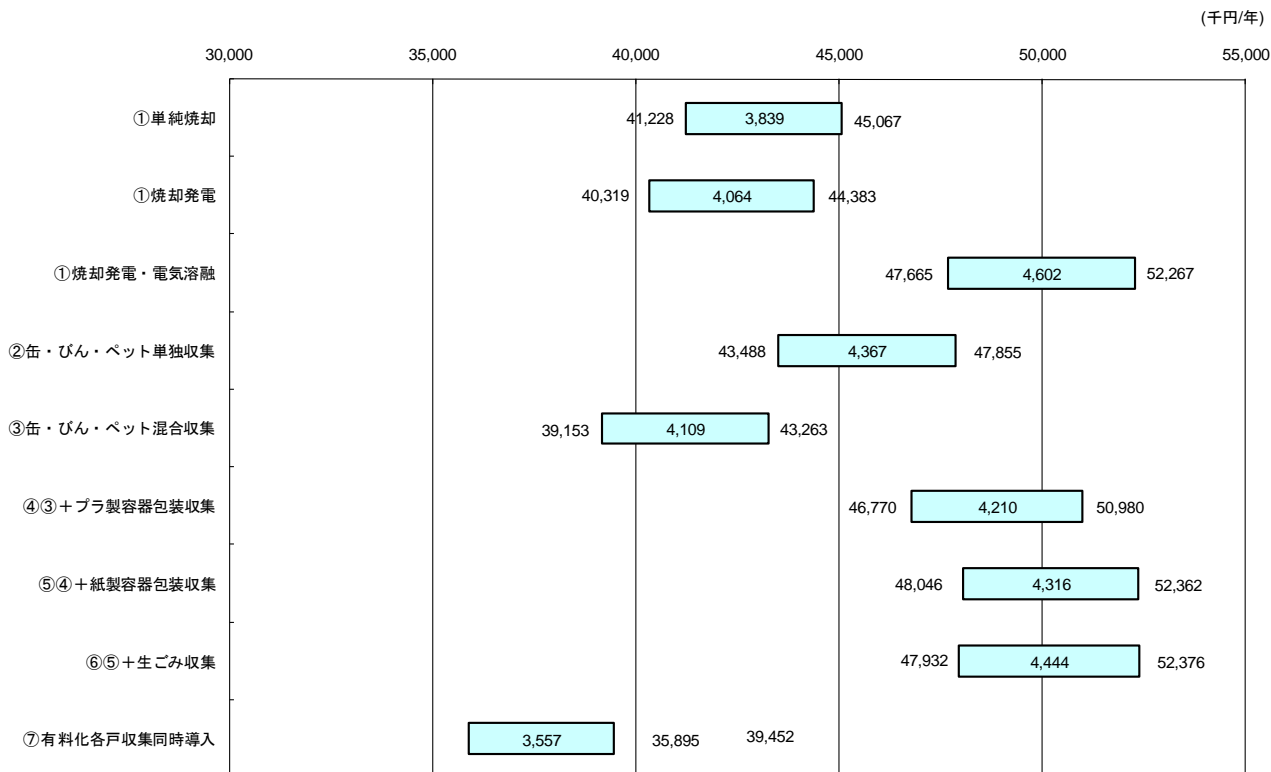


図 8 各シナリオの年間コストの区間推定結果(90%信頼区間を示す)

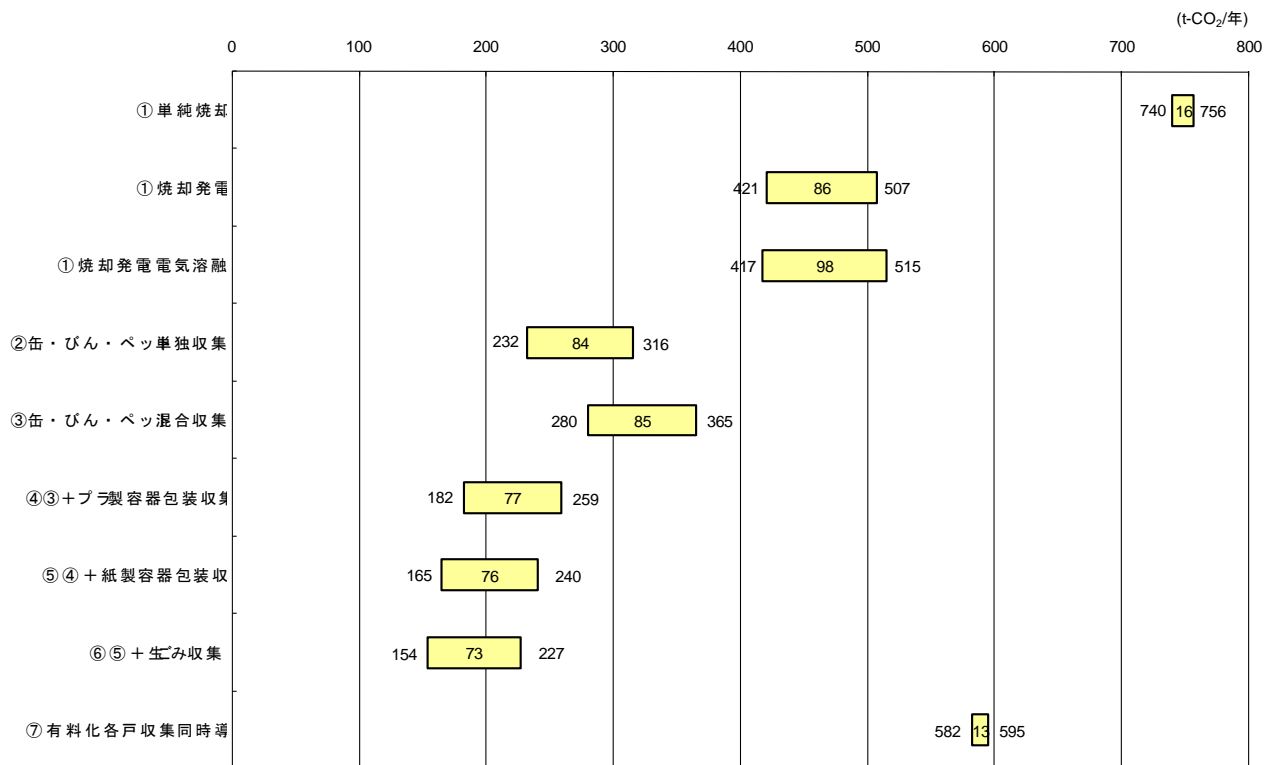


図9 各シナリオのCO₂排出量の区間推定結果(90%信頼区間を示す)

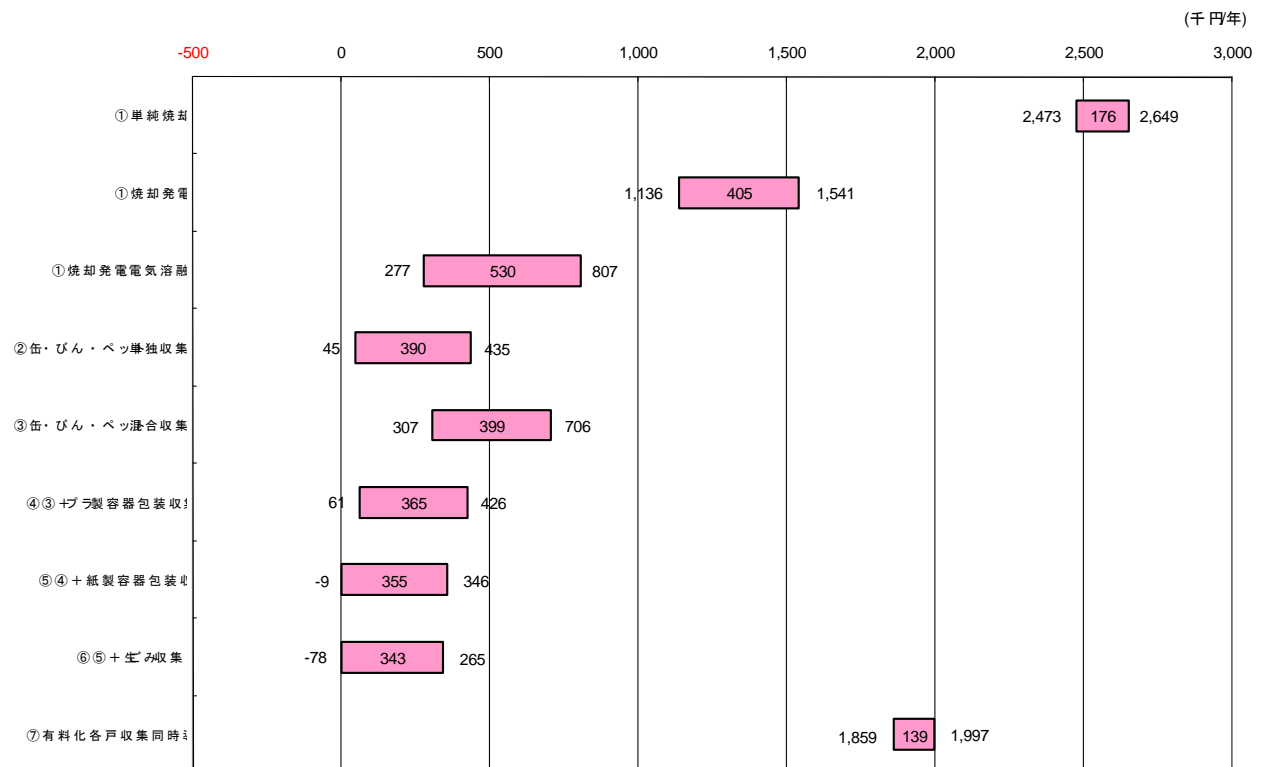


図10 各シナリオの外部費用の区間推定結果(90%信頼区間を示す)

や大きいことが示唆された。⑦の各戸収集・有料化同時導入については、①の単純焼却と比較して2割以上の排出減となった。

外部費用については、CO₂排出量とほぼ同様の傾向を示したが、①焼却発電に比較して①焼却発電・電気溶融では焼却灰のスラグ化・有効利用によって埋立量が削減され、外部

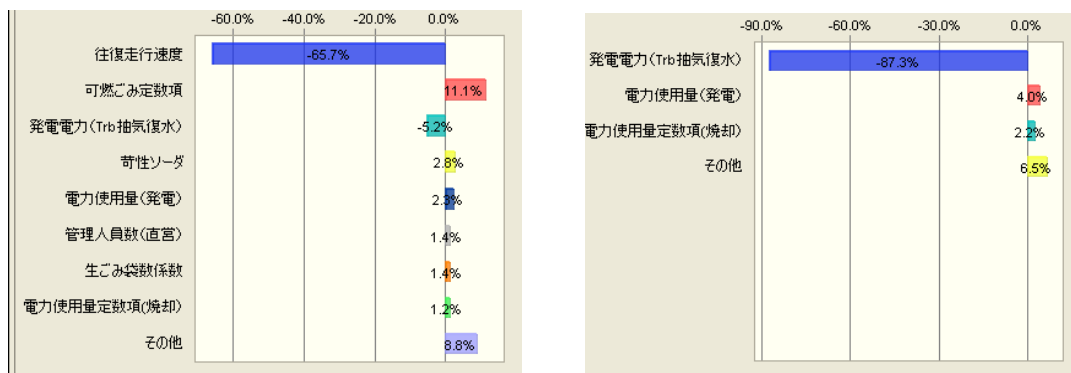


図 11 シナリオ⑥のコスト・CO₂ 排出に関する感度解析結果(左：コスト、右：CO₂ 排出量)

費用も大きく削減されることが示唆された。

なお、本研究で調査したバイオガス化施設では積極的な発電を実施していなかったため環境負荷面のメリットが小さかったが、今後はより資源変換効率・発電効率の高いプロセスについてもデータ収集することが必要である。

次に、最も多くの原単位・推定モデルを用いたシナリオ⑥について、コスト・CO₂ 排出量の変動に影響の高い係数を確認する目的で、感度解析を行った結果を図 11 に示した。コストでは、往復走行速度・可燃ごみの作業時間のモデルの定数項の影響が大きいことが明らかとなった。また、コスト・CO₂ 排出量ともに電力使用量や発電効率の係数の寄与が大きかった。

今後の課題として、シナリオ評価の信頼性を向上するためには、往復走行速度・可燃ごみの作業時間モデル、焼却発電に係るデータ収集・知見の反映等が不可欠であると考えられる。また、本研究では、これまでの研究を通じて十分にデータを蓄積している収集・運搬、中間処理の原単位・モデルについて不確実性分析を行い、その信頼性を検討したが、今後は十分にデータ収集していない資源選別施設、再商品化プロセス等についてもデータ集積・モデル化・不確実性分析を通じた信頼性ある情報基盤の整備が必要である。

参考文献

- 1) 田中勝編著：戦略的廃棄物マネジメントー循環型社会への挑戦ー／岡山大学出版会 (2008)
- 2) 伊坪徳宏・稲葉敦：ライフサイクル環境影響評価手法／(社)産業環境管理協会 (2005)
- 3) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：一般廃棄物処理有料化の手引き (2007)

英語概要

研究課題名 = Cost Effectiveness/ Benefit Analysis on Separate Collection of Recyclables and Waste Transfer

研究代表者名及び所属 = Yasuhiro MATSUI (Okayama University)

共同研究者名名及び所属 = Takeshi FUJIWARA (Okayama University), Minoru FUJII (National Institute for Environmental Studies), Masahiro OSAKO (National Institute for Environmental Studies), Shinsuke MURAKAMI (Tokyo University), Masaru TANAKA (Tottori University of Environmental Studies)

要旨 (200 語以内) = This study focused on separate collection of waste containers/packaging and kitchen waste, door-to-door collection, and waste transfer station. The author aimed to collect basic information on life cycle cost and environmental loads of them, and to analyze cost-effectiveness/cost-benefit of several options on collection & transport stage as decision support information for municipalities. The authors conducted the following research activities; 1) Development of predictive models and discharge quantities per capita on combustibles, incombustibles and recyclables, 2) Development of predictive models of working speed on waste collection & transport by GPS & GIS application on collection vehicle survey, 3) Study on predicting of working distance for door-to-door collection by GIS application, 4) Collection of basic information on household kitchen waste management and door-to-door collection, 5) Development of methodology for optimum location on waste transfer station, 6) Scenario analyses on separate collection of waste containers/packaging and kitchen waste and door-to-door collection, 7) Interval estimations of scenarios and uncertainty analyses of developed model parameters.

・ キーワード (5 語以内) = Separate Collection, Transfer Station, GIS, Life Cycle Assessment, Cost Benefit Analysis