

パネルデータ分析を用いた 兵庫県41市町のごみ排出量の要因分析

末廣 陽大¹・今重 美優¹・末道 綜士¹・梶下 結月¹
樫本 知毅¹・森 龍太²・中畷 一憲³

¹非会員 兵庫県立大学 環境人間学部 (〒670-0092 姫路市新在家本町 1-1-12)

²正会員 兵庫県立大学 環境人間学部 (〒670-0092 姫路市新在家本町 1-1-12)

³正会員 兵庫県立大学 環境人間学部 (〒670-0092 姫路市新在家本町 1-1-12)

E-mail: nakajima@shse.u-hyogo.ac.jp (Corresponding Author)

本研究は兵庫県 41 市町を対象とし、ごみの排出要因とリサイクル率の決定要因を明らかにすることによって、どのようにごみの減量およびリサイクル率の向上を促進させることができるかを検討することを目的とする。本研究は 2007 年から 2018 年までの 12 年間分の家庭系ごみ、事業系ごみ、リサイクル率を被説明変数とする 3 つのモデルを構築し、それぞれについてパネルデータ分析を行う。結果として、家庭系ごみの排出量とリサイクル率において、ごみの分別数は 15 または 16 に設定することが望ましいということが明らかになった。また、数種類のごみではごみ処理手数料を有料化させることで、ごみ排出量の削減に効果的であるが、一部の資源ごみについてはリサイクル率の低下にもつながることが示唆された。

Key Words: garbage problem, panel data, waste segregation, recycle rate, factorial experiment

1. はじめに

近年、大量生産・大量消費・大量廃棄社会となったことで、ごみの大量発生が自然環境に悪影響を及ぼし、環境問題が進行している要因の一つになっている。国連によって提唱された持続可能な開発目標 (SDGs: Sustainable Development Goals) にも、「つくる責任、つかう責任」というごみに関連した目標が制定されている。また、政府は 2006 年に改正容器包装リサイクル法¹⁾を制定し、ごみの減量化及び資源の有効活用を図っている。この法律は、紙やプラスチックなどをリサイクルすることで資源として利用することを促進するものであるが、容器包装リサイクル法が制定されている現状でも、本来リサイクルすることができる多くのごみが捨てられているため、この状況を改善する余地があると考えられる。

兵庫県の多くの市町を見ると、ごみ排出量は年々減少しているものの、表-1 が示すように一部の市町では増加している年もある。また、兵庫県のリサイクル率は、平成 23 年度まで増加傾向であったのに対し、近年は横ばい状態であり、全国平均の 19.9% (平成 30 年度実績) を下回っていることが図-1 よりわかる。

そこで、本研究の目的は、兵庫県の 41 市町を対象とし、市町村合併後の 2007 年から 2018 年までの 12 年間分のデー

タを用いてパネルデータ分析を行い、ごみの排出要因およびリサイクル率の決定要因を明らかにすることによって、どのようにごみの減量およびリサイクル率の向上を促進させることができるかを検討することである。

2. 先行研究の整理

ごみ排出量の減量に関して、碓井(2003)²⁾は全国 3,230 市町村のごみ排出に関するデータを用いて、従量制有料化による徴収額がごみ発生抑制とリサイクルにどのような影響を及ぼすのかを分析している。結果として、従量制有料化価格が 1% 上昇することは、ごみの排出量を 0.082% 減少させ、リサイクル量を 0.073% 増加させることが明らかになった。このことから、従量制有料化価格の上昇はごみの発生抑制に貢献する効果とごみを減量させるためにリサイクルに転換させる効果を持つことがわかった。また、他にもごみ分別数の増加がリサイクル量を増加させる効果が明らかになった。

小泉・樋口・島根(2000)³⁾は、関東・近畿地方および東京 32 市町村における家庭ごみ発生要因をパネルデータ分析を用いて明らかにした。この研究では、所得などの経済指標は家庭ごみ発生量に正の効果を与えること、都市

表-1 2017～2018 年度に増加した家庭系ごみの排出量⁷⁾

	姫路市	尼崎市	西脇市
2017 年度	51,683	46,359	2,437
2018 年度	60,818	53,743	3,619

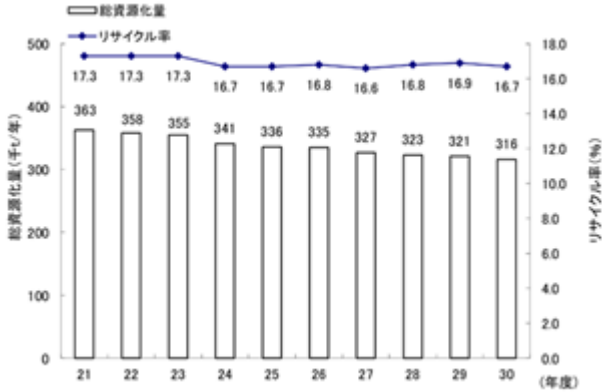


図-1 総資源化量とリサイクル率の推移⁷⁾

化されている地域は家庭ごみの発生量が多いこと、インセンティブを与える手数料はごみの減量効果があること等が明らかとなった。

境・山口・茂木・松谷(2017)⁴⁾は、東京都の特別区を除

いた全国の市町村を対象として、家庭系ごみの一日一人当たりの排出量が、いかなる要因によって規定されるかを重回帰分析によって検証している。この研究では、家庭系ごみの排出量が最小となる分別数が約 18.88 であることや、独立したごみとして回収するべき種類のごみが明らかとなった。また、単身世帯比率が家庭系ごみの排出量に正の影響を与えること、課税対象所得が家庭系ごみの排出量に負の影響を与えることも判明している。

苗(2006)⁹⁾は首都圏 248 の市町村を対象として、リサイクル率に影響を与えると思われる要因の効果を実証的に分析した。この研究では、廃棄物が細かく分別されることは再資源化に有利になること、資源ごみに対して収集頻度が増えればリサイクル率が增加すること、逆に資源ごみ以外のごみに対しては収集頻度が増えればリサイクル率が低下すること等が明らかとなった。

山川・植田・寺島(2002)⁶⁾では、全国の有料化を実施している市を対象として分析した。地域特性、制度特性の影響を考慮しても、有料化のごみ減量効果が確認できた。また、有料化によるごみ減量の持続性については、有料化実施後 5 年以上、10 年以上経っている自治体においても、有料化の有意な減量効果がみられた。

このように、先行研究ではごみに関する処理費用などの有料化といった金銭的インセンティブや最適な分別数によるごみの減量やリサイクル率の増加が見られること

表-2 家庭系ごみの各種利用データの説明並びに引用元一覧表

変数名	利用データ	引用元
$\ln Y_1$	家庭系ごみ量(トン)の対数値	兵庫県的一般廃棄物処理より
X_1	可住地人口密度(人/km ²)	人口:兵庫県ホームページ ⁸⁾ より 可住地面積:e-Stat ⁹⁾ より
X_2	平均世帯人員数(人)	人口:兵庫県ホームページ ¹⁰⁾ より 世帯数:e-Stat ¹¹⁾ より
X_3	一人あたりの課税対象所得(千円)	e-Stat より
X_3^2	一人あたりの課税対象所得の 2 乗	e-Stat より
X_4	高齢者比率(高齢者人口/人口)	兵庫県ホームページより
X_5	一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出(千円)	兵庫県的一般廃棄物処理より
X_6	家庭系ごみ分別数	兵庫県的一般廃棄物処理より
X_6^2	家庭系ごみ分別数の 2 乗	兵庫県的一般廃棄物処理より
X_8	稼働ごみ焼却融解燃料化施設数	兵庫県的一般廃棄物処理より
X_9	稼働粗大ごみ・不燃ごみ処理施設数	兵庫県的一般廃棄物処理より
X_{10}	白色トレイ手数料有料ダミー	兵庫県的一般廃棄物処理より
K_1	可燃ごみ収集回数/月	兵庫県的一般廃棄物処理より
K_2	不燃ごみ収集回数/月	兵庫県的一般廃棄物処理より
K_3	粗大ごみ手数料有料ダミー	兵庫県的一般廃棄物処理より
K_4	プラスチック類(白色トレイを除く)手数料有料ダミー	兵庫県的一般廃棄物処理より
K_5	紙類手数料有料ダミー	兵庫県的一般廃棄物処理より
K_6	紙製容器包装手数料有料ダミー	兵庫県的一般廃棄物処理より
K_7	金属類手数料有料ダミー	兵庫県的一般廃棄物処理より
K_8	可燃ごみ各戸収集	兵庫県的一般廃棄物処理より
K_9	不燃ごみ各戸収集	兵庫県的一般廃棄物処理より

表-3 事業系ごみの各種利用データの説明並びに引用元一覧表

変数名	利用データ	引用元
$\ln Y_2$	事業系ごみ量(トン)の対数値	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_1	可住地人口密度(人/km ²)	人口:兵庫県ホームページより 可住地面積:e-Stat より
X_2	平均世帯人員数(人)	人口:兵庫県ホームページより 世帯:e-Stat より
X_3	一人あたりの課税対象所得(千円)	e-Stat より
X_3^2	一人あたりの課税対象所得の 2 乗	e-Stat より
X_4	高齢者比率(高齢者人口/人口)	兵庫県ホームページより
X_5	一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出(千円)	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_7	事業系ごみ分別数	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_7^2	事業系ごみ分別数の 2 乗	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_8	稼働ごみ焼却融解燃料化施設数	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_9	稼働粗大ごみ・不燃ごみ処理施設数	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_{11}	紙パック直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_{12}	ガラス類直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
Z_1	直接搬入量(kg)	兵庫県の一般廃棄物処理より
Z_2	可燃ごみ直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
Z_3	不燃ごみ直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
Z_4	紙製容器包装直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
Z_5	ペットボトル直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
Z_6	白色トレイ直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
Z_7	プラスチック類直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
Z_8	粗大直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より

表-4 リサイクル率の各種利用データの説明並びに引用元一覧表

変数名	利用データ	引用元
$\ln Y_3$	リサイクル率(%)の対数値	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_1	可住地人口密度(人/km ²)	人口:兵庫県ホームページより 可住地面積:e-Stat より
X_2	平均世帯人員数(人)	人口:兵庫県ホームページより 世帯数:e-Stat より
X_3	一人あたりの課税対象所得(千円)	e-Stat より
X_4	高齢者比率(高齢者人口/人口)	兵庫県ホームページより
X_5	一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出(千円)	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_6	家庭系ごみ分別数	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_6^2	家庭系ごみ分別数の 2 乗	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_7	事業系ごみ分別数	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_7^2	事業系ごみ分別数の 2 乗	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_{10}	家庭系白色トレイ手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_{11}	事業系紙パック直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
X_{12}	事業系ガラス類手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
R_1	家庭系紙パック手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より
R_2	家庭系廃食用油直接搬入手数料有料ダミー	兵庫県の一般廃棄物処理より

がわかっている。本研究はパネルデータ分析によってごみの排出要因およびリサイクル率の決定要因を明らかにすることから、先行研究でも用いられている可住地人口密度や平均世帯人員数、高齢者比率、課税対象所得や廃

棄物処理事業経費歳出、ごみ処理施設数といった社会的要因と、有料化実施の有無やごみ収集方式、ごみ分別数といった政策的要因に着目する。

表-5 家庭系ごみの基本統計量

	変数名	平均値	最大値	最小値
$\ln Y_1$	家庭系ごみ量の対数値	9.496	12.988	7.663
X_1	可住地人口密度	2,134.809	9,286.510	279.010
X_2	平均世帯人員数	2.530	3.260	1.950
X_3	一人あたりの課税対象所得	1,306.927	3,060.550	877.300
X_3^2	一人あたりの課税対象所得の 2 乗	1,806,391.306	9,366,966.300	769,655.290
X_4	高齢者比率	0.273	0.410	0.140
X_5	一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出	9.650	71.800	0
X_6	家庭系ごみ分別数	11.839	24	3
X_6^2	家庭系ごみ分別数の 2 乗	158.722	576	9
X_8	稼働ごみ焼却融解燃料化施設数	0.697	3	0
X_9	稼働粗大ごみ・不燃ごみ処理施設数	0.472	3	0
K_1	可燃ごみ収集回数/月	7.610	12	0
K_2	不燃ごみ収集回数/月	1.429	4	0

表-6 事業系ごみの基本統計量

	変数名	平均値	最大値	最小値
$\ln Y_2$	事業系ごみ量の対数値	8.652	12.257	6.236
X_1	可住地人口密度	2,134.809	9,286.510	279.010
X_2	平均世帯人員数	2.530	3.260	1.950
X_3	一人あたりの課税対象所得	1,306.927	3,060.550	877.300
X_3^2	一人あたりの課税対象所得の 2 乗	1,806,391.306	9,366,966.300	769,655.290
X_4	高齢者比率	0.273	0.410	0.140
X_5	一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出	9.650	71.800	0
X_7	事業系ごみ分別数	6.402	15	0
X_7^2	事業系ごみ分別数の 2 乗	57.496	225	0
X_8	稼働ごみ焼却融解燃料化施設数	0.697	3	0
X_9	稼働粗大ごみ・不燃ごみ処理施設数	0.472	3	0
Z_1	直接搬入量	4,219.986	34,540	0

表-7 リサイクル率の基本統計量

	変数名	平均値	最大値	最小値
$\ln Y_3$	リサイクル率の対数値	21.131	64.900	6.200
X_1	可住地人口密度	2,134.809	9,286.510	279.010
X_2	平均世帯人員数	2.530	3.260	1.950
X_3	一人あたりの課税対象所得	1,306.927	3,060.550	877.300
X_4	高齢者比率	0.298	12.640	0.140
X_5	一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出	9.625	71.800	0
X_6	家庭系ごみ分別数	11.839	24	3
X_6^2	家庭系ごみ分別数の 2 乗	158.721	576	9
X_7	事業系ごみ分別数	6.402	15	0
X_7^2	事業系ごみ分別数の 2 乗	57.500	225	0

3. 分析データの概要

(1) ごみの定義

本研究では家庭系ごみ、事業系ごみ、リサイクル率をそれぞれ対数化したものを被説明変数としている。家庭系ごみは、家庭から発生する一般廃棄物とする。事業系ごみは、事業活動に伴って発生する一般廃棄物とする。これらには産業廃棄物は含まない。またリサイクル率は、

集団回収量と資源化量を合わせた総資源化量を、ごみの総処理量と集団回収量の合計で割ったものとする。

$$\text{リサイクル率} = \frac{\text{総資源化量}}{\text{ごみの総処理量} + \text{集団回収量}}$$

なお、集団回収量とは自治会、子供会が実施している古紙、缶、ペットボトルなどの回収量を、資源化量とは市町に分別収集されたのち直接資源化されたごみと中間処

表-8 モデル選択に関する検定結果

	家庭系ごみ	事業系ごみ	リサイクル率
F 検定	F(40,431)= 640.62 Prob>F=0.000	F(40,431)= 111.03 Prob>F=0.000	F(40,437)= 43.347 Prob>F=0.000
Hausman 検定	chi2(20)=11.719 Prob>chi2=0.925	chi2(20)=55.423 Prob>chi2=0.000	chi2(14)=11.644 Prob>chi2=0.635
Breusch and Pagan 検定	chi2(1)=1,769.5 Prob>chi2=0.000	chi2(1)=1,508.2 Prob>chi2=0.000	chi2(1)=1,221.1 Prob>chi2=0.000
サンプルサイズ		492	
グループワーク数		41	

理を経て資源化されたごみを合計した量を指す。

(2) 利用データ

家庭系ごみの分析で用いたデータを表-2に示す。 $X_1 \sim X_5, X_8, X_9$ は社会的要因, X_6, X_{10} 及び K_1 以降の収集回数やごみ処理手数料, 収集方式は政策的要因である。

事業系ごみの分析で用いたデータを表-3に示す。 $X_1 \sim X_5, X_8, X_9, Z_1$ は社会的要因, X_7, X_{11}, X_{12} 及び Z_2 以降は政策的要因である。

リサイクル率の分析で用いたデータを表-4に示す。 $X_1 \sim X_5$ は社会的要因, $X_6, X_7, X_{10}, X_{11}, X_{12}$ 及び R_1 以降は政策的要因である。

なお, 基本統計量について, 家庭系ごみは表-5に, 事業系ごみは表-6に, リサイクル率は表-7にそれぞれ示す。

(3) 推定モデル

本研究のパネルデータ分析における推定モデルについて, 西山ら(2019)²⁾及び松浦(2010)³⁾に倣って説明する。式(1)において, Y_{it} は t 時点における i 番目の個体に関する被説明変数を, X_{it} は t 時点における i 番目の個体に関する説明変数を, u_{it} は t 時点における i 番目の個体に関する誤差項をそれぞれ表す。

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{kit} + u_{it} \quad (1)$$

パネルデータ分析では, 観察個体の特性を考慮しないプーリング回帰モデルの他に, 固定効果モデルと変量効果モデルがある。固定効果モデルにおいて, 式(1)の α_i が固定効果を表しており, 観察個体ごとに異なるが, 時間を通じては一定であることを意味する。一方, 変量効果モデルにおいて, 式(1)の α_i は観察個体ごとに異なるが時間を通じて一定ということは固定効果モデルと同じであるが, α_i と説明変数 X_{it} とが無相関という仮定が置かれている。これらの3つのモデルのうち, いずれのモデルを採用するかは, F検定, Hausman検定, Breusch and Pagan検定のモデル選択に関する検定を行うことによって決められる。

4. 推定結果および考察

(1) 家庭系ごみ

表-8 のモデル選択の検定結果をみると, F 検定よりプーリング回帰モデルでの推定は棄却された。また, Breusch and Pagan 検定により, 変量効果モデルが採択された。最後に, Hausman 検定より, 固定効果モデルより変量効果モデルが正しいとする仮説が有意水準 5%で棄却されなかった為, 変量効果モデルが採択された。以上より, 家庭系ごみの推定において, 変量効果モデルを採択する。

本研究の分析結果を表-9に示す。有意水準5%で有意に推定された変数は, 可住地人口密度 X_1 , 高齢者比率 X_4 , 家庭系ごみの分別数 X_6 , 家庭系ごみの分別数の2乗 X_6^2 , 不燃ごみ収集回数 K_2 , 稼働粗大ごみ・不燃ごみ処理施設数 X_9 , 可燃ごみ各戸収集ダミー K_8 であった。また, 自由度修正済み決定係数は0.549であった。

以下では, 有意に推定された説明変数について考察する。第一に, 可住地人口密度 X_1 について, 可住地人口密度が 1km^2 あたり1人増加すると, 家庭系ごみの排出量は0.026%増加する。人口密度の低い過疎地域では不法投棄や自家処理などの排出量に加算することができないごみ処理が増えてしまうために減少していると考えられる。

第二に, 高齢者比率 X_4 について, 高齢者比率が 1%増加すると, 家庭系ごみの排出量は 1.30%減少する。若年層や中年層といった 65 歳未満の人に比べ, 高齢者は経済活動をあまり活発に行わないため, 高齢者の割合が高い地域ではごみ排出量が減少すると考えられる。

第三に, 家庭系ごみ分別数 X_6 , 家庭系ごみ分別数の2乗について, 分別数が増加することで家庭系ごみの排出量は減少する傾向がある。ここで, 家庭系ごみ分別数の変数を利用して, ごみ排出量が最少となる分別数の値を求める。

いま, Y を家庭系ごみの排出量の自然対数, X を家庭系ごみ分別数とすれば, 式(2)として表すことができる。

$$Y_{it} = \beta_1 X^2 + \beta_2 X \quad (2)$$

ここで, β_1 は分別数の2乗項の係数, β_2 は1乗項の係数

表-9 家庭系ごみの推定結果

	変数名	Estimate	Std.Error	z-value	Pr(> z)	
X_1	可住地人口密度	2.572.E-04	0.000	8.177	0.000	***
X_2	平均世帯人員数	7.743	0.065	1.193	0.232	
X_3	一人あたりの課税対象所得	-5.223.E-05	0.000	-3.778	0.706	
X_3^2	一人あたりの課税対象所得の2乗	4.094.E-08	0.000	1.012	0.311	
X_4	高齢者比率	-1.300	0.297	-4.375	0.000	***
X_5	一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出	0.001	0.000	1.549	0.121	
X_6	家庭系ごみ分別数	-0.023	0.007	-3.338	0.000	***
X_6^2	家庭系ごみ分別数の2乗	7.830.E-04	0.000	2.747	0.006	**
X_8	稼働ごみ焼却融解燃料化施設数	0.010	0.015	0.648	0.517	
X_9	稼働粗大ごみ・不燃ごみ処理施設数	-0.080	0.024	-3.336	0.000	***
X_{10}	白色トレイ手数料有料ダミー	0.003	0.028	0.093	0.926	
K_1	可燃ごみ収集回数/月	-0.001	0.003	-0.516	0.606	
K_2	不燃ごみ収集回数/月	0.024	0.008	3.102	0.002	**
K_3	粗大ごみ手数料有料ダミー	0.005	0.015	0.322	0.748	
K_4	プラスチック類(白色トレイを除く)手数料有料ダミー	-0.023	0.034	-0.689	0.491	
K_5	紙類手数料有料ダミー	-0.035	0.033	-1.069	0.285	
K_6	紙製容器包装手数料有料ダミー	0.040	0.020	1.959	0.050	
K_7	金属類手数料有料ダミー	-0.027	0.018	-1.515	0.130	
K_8	可燃ごみ各戸収集	0.116	0.050	2.331	0.020	*
K_9	不燃ごみ各戸収集	0.014	0.067	0.205	0.838	

Adj. R²=0.549 n=41, T=12, N=492

***p<0.001 **p<0.01 *p<0.05 p<0.1

を表す。また、切片や他の変数は家庭系ごみの量が最小値となるような分別数の計算には無関係であるため省略する。式(2)を微分し、1階の条件から、Yが最小となるXは以下のように導くことができる。

$$X = -\frac{\beta_2}{2\beta_1} \quad (3)$$

推定結果より $\hat{\beta}_1 = 0.00078296$ 、 $\hat{\beta}_2 = -0.022703$ なので、 $\hat{X} = 14.515$ となる。したがって、家庭系ごみの排出量が最小となる分別数は、14.515である。分別数が14.515種類のときに最小値を取ることから、15種類以上に分別数を増やしても減量効果がなくなっていくことがわかる。

第四に、稼働粗大ごみ・不燃ごみ処理施設数 X_9 について、粗大ごみ・不燃ごみの処理施設が1つ増加すると、家庭ごみの排出量は8.02%減少する。住居の近くやその市町にごみ処理施設があることはごみの処理を身近に感じるきっかけとなり、排出抑制につながっていると考えられる。

第五に、不燃ごみ収集回数/月 K_2 について、不燃ごみの収集回数が1月当たり1回増加すると、家庭ごみの排出量は2.38%増加する。収集頻度が減少することで不燃ごみとして出す機会が減り、排出抑制や集団回収など他の処理方法を促進する効果があると考えられる。

第六に、可燃ごみ各戸回収 K_8 について、可燃ごみを

各戸回収にすることは家庭系ごみの排出量を増加させる傾向がある。各戸回収することでごみ排出がより手軽になり、ステーションまで運ぶ手間も省けるため、より多く排出されてしまうと考えられる。

(2) 事業系ごみ

表-8のモデル選択の検定結果をみると、F検定よりプーリング回帰モデルでの推定は棄却された。また、Breusch and Pagan検定により、変量効果モデルが採択された。最後に、Hausman検定より、固定効果モデルより変量効果モデルが正しいとする仮説が棄却されたため、固定効果モデルが採択された。以上より、事業系ごみの推定において、固定効果モデルを採択する。

本研究の分析結果を表-10に示す。有意水準5%で有意に推定された変数は、平均世帯人員数 X_2 、高齢者比率 X_4 、直接搬入量 Z_1 、不燃ごみの直接搬入手数料有料ダミー Z_3 、白色トレイ直接搬入手数料有料ダミー Z_6 であった。また、自由度修正済み決定係数は0.119であった。

以下では、有意に推定された説明変数について考察する。第一に、平均世帯人員数 X_2 について、平均世帯人員が1人増加すると、事業系ごみの排出量は41.12%減少する。世帯人員数が多ければ、その分共同消費財が増えるため、ごみの量は少なくなると考えられる。

第二に、高齢者比率 X_4 について、高齢者比率が1%増加すると、ごみ排出量が2.71%減少する。若年層や中年

表-10 事業系ごみの推定結果

	変数名	Estimate	Std.Error	t-value	Pr(> z)	
X_1	可住地人口密度	1.726.E-04	0.000	1.066	0.287	
X_2	平均世帯人員数	-0.411	0.142	-2.887	0.004	**
X_3	一人あたりの課税対象所得	2.059.E-04	0.000	0.659	0.510	
X_3^2	一人あたりの課税対象所得の2乗	-5.863.E-08	0.000	-0.640	0.522	
X_4	高齢者比率	-2.710	0.666	-4.066	0.000	***
X_5	一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出	-1.045.E-04	0.002	-0.061	0.952	
X_7	事業系ごみ分別数	-5.010.E-04	0.012	-0.043	0.966	
X_7^2	事業系ごみ分別数の2乗	1.487.E-05	0.000	0.018	0.986	
X_8	稼働ごみ焼却融解燃料化施設数	0.018	0.032	0.566	0.572	
X_9	稼働粗大ごみ・不燃ごみ処理施設数	-0.016	0.054	-0.292	0.770	
X_{11}	紙パック直接搬入手数料有料ダミー	0.010	0.049	0.202	0.840	
X_{12}	ガラス類直接搬入手数料有料ダミー	0.046	0.043	1.076	0.283	
Z_1	直接搬入量	4.617.E-05	0.000	6.683	0.000	***
Z_2	可燃ごみ直接搬入手数料有料ダミー	0.113	0.071	1.598	0.111	
Z_3	不燃ごみ直接搬入手数料有料ダミー	-0.070	0.032	-2.165	0.031	*
Z_4	紙製容器包装直接搬入手数料有料ダミー	-0.045	0.038	-1.190	0.235	
Z_5	ペットボトル直接搬入手数料有料ダミー	0.017	0.039	0.431	0.666	
Z_6	白色トレイ直接搬入手数料有料ダミー	-0.080	0.038	-2.126	0.034	*
Z_7	プラスチック類直接搬入手数料有料ダミー	0.024	0.028	0.859	0.391	
Z_8	粗大直接搬入手数料有料ダミー	-0.005	0.0302	-0.164	0.870	

Adj. R²=0.119 n=41, T=12, N=492

***p<0.001 **p<0.01 *p<0.05 .p<0.1

層といった 65 歳未満の人に比べ、高齢者は経済活動をあまり活発に行わないため、高齢者の割合が高い地域ではごみ排出量が減少すると考えられる。

第三に、直接搬入量 Z_1 について、直接搬入量が 1kg 増加すると、事業系ごみの量が 0.05% 増加する。事業系ごみは直接搬入される割合が家庭系ごみよりも高いため、直接搬入量と事業系ごみの量には正の関係が表れると考えられる。

第四に、不燃ごみ直接搬入手数料有料ダミー Z_3 、白色トレイ直接搬入手数料有料ダミー Z_6 について、不燃ごみと白色トレイの直接搬入手数料が有料になれば、ごみの量は減少する傾向がある。手数料の有料化によってごみを出すことをためらい、ごみ排出抑制への意識変化があると考えられる。手数料の有料化は特に不燃ごみと白色トレイの二つのごみについて事業系ごみの排出減量効果が大きいと考えられる。

(3) リサイクル率

表-8のモデル選択の検定結果をみると、F検定よりプーリング回帰モデルでの推定は棄却された。また、Breusch and Pagan検定により、変量効果モデルが採択された。最後に、Hausman検定より、固定効果モデルより変量効果モデルが正しいとする仮説が有意水準5%で棄却されなかった為、変量効果モデルが採択された。以上より、リサイクル率の推定において、変量効果モデルを採

択する。

本研究の分析結果を表-11に示す。有意水準5%で有意に推定された変数は、平均世帯人員数 X_2 、高齢者比率 X_4 、一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出 X_5 、家庭系ごみ分別数 X_6 、家庭系ごみ分別数の2乗 X_6^2 、事業系ごみ分別数 X_7 、家庭系白色トレイの手数料有料ダミー X_{10} 、事業系ガラス類の手数料有料ダミー X_{12} 、家庭系紙パックの手数料有料ダミー R_1 であった。また、自由度修正済み決定係数は0.276であった。

以下では、有意に推定された説明変数について考察する。第一に、平均世帯人員数 X_2 について、平均世帯人員数が1人増加すると、リサイクル率が67.50%増加する。一人暮らしより、家庭内で協力してリサイクル活動を行うことができるため高くなると考えられる。

第二に、高齢者比率 X_4 について、高齢者比率が1%増加すると、リサイクル率が2.19%増加する。高齢者は経済活動が少なくごみが溜まるペースも遅い。そのためリサイクルのために資源ごみを取っておきやすくなるという高齢者の生活様式による影響が出ているのではないかと考えられる。

第三に、廃棄物処理費用歳出 X_5 について、廃棄物処理費用の歳出が多い市町はリサイクル率が低い傾向がある。ごみ処理事業経費の内訳において8割以上が処理及び維持管理費である。廃棄物処理に出せる費用は有限なため、維持費が高い市町ほど新しくリサイクル施設・技

表-11 リサイクル率の推定結果

変数名	Estimate	Std.Error	z-value	Pr(> z)	
X_1 可住地人口密度	3.345.E-05	0.000	1.405	0.160	
X_2 平均世帯人員数	0.675	0.125	5.394	0.000	***
X_3 一人あたりの課税対象所得	2.782.E-05	0.000	0.307	0.759	
X_4 高齢者比率	2.189	0.569	3.849	0.000	***
X_5 一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出	-0.007	0.002	-4.272	0.000	***
X_6 家庭系ごみ分別数	0.046	0.015	3.137	0.002	**
X_6^2 家庭系ごみ分別数の2乗	-0.001	0.001	-2.256	0.024	*
X_7 事業系ごみ分別数	0.024	0.012	2.115	0.034	*
X_7^2 事業系ごみ分別数の2乗	-0.001	0.001	-0.672	0.502	
X_{10} 家庭系白色トレイ手数料有料ダミー	-0.272	0.049	-5.511	0.000	***
X_{11} 事業系紙パック直接搬入手数料有料ダミー	-0.059	0.030	-1.935	0.053	.
X_{12} 事業系ガラス類手数料有料ダミー	-0.062	0.027	-2.286	0.022	*
R_1 家庭系ごみ紙パック手数料有料ダミー	-0.272	0.096	-2.816	0.005	**
R_2 家庭系廃食用油直接搬入手数料有料ダミー	-0.075	0.045	-1.657	0.098	.
Adj. R ² =0.276 n=41, T=12, N=492					
***p<0.001 **p<0.01 *p<0.05 p<0.1					

術にかかる費用が少なくなりリサイクル率が下がると考えられる。

第四に、家庭系ごみ分別数 X_6 、家庭系ごみ分別数の2乗 X_6^2 、事業系ごみ分別数 X_7 について、分別数が増加するとリサイクル率が増加する傾向がある。「混ぜればごみ、分ければ資源」という言葉があるように、廃棄物を細かく分別すれば再資源化量は直接増加できることを表している。また、家庭系ごみでの計算と同様に計算すると、リサイクル率が最大となる家庭系ごみの分別数は、16,509である。最大値を分別数が16,509種類の時に取ることから、17種類以上に分別数を増やしてもリサイクル率の促進効果がなくなってくるということがわかる。

第五に、家庭系白色トレイ手数料有料ダミー X_{10} 、事業系ガラス類手数料有料ダミー X_{12} 、家庭系紙パック手数料有料ダミー R_1 について、排出手数料が有料だと、リサイクル率が減少する傾向がある。これらの負の影響を与える資源ごみについては、排出が抑制されることでそのごみの資源化量が減少し、リサイクル率が低くなっていると考えられる。

5. おわりに

本研究は、兵庫県の41市町を対象とし、2007年から2018年までの12年間分のデータを用いてパネルデータ分析を行い、ごみの排出要因およびリサイクル率の決定要因を明らかにすることによって、どのようにごみの減量およびリサイクル率の向上を促進させることができるかを検討した。その結果、本研究にて得られた知見は以下に示すとおりである。

① ごみの排出要因およびリサイクル率の決定要因

- 家庭系ごみの排出に関して、社会的要因は可住地人口密度、高齢者比率、稼働粗大ごみ・不燃ごみ処理施設数であり、政策的要因は家庭系ごみの分別数、不燃ごみ収集回数、可燃ごみ各戸収集ダミーであることが明らかになった。
- 事業系ごみの排出に関して、社会的要因は平均世帯人員数、高齢者比率、直接搬入量であり、政策的要因は不燃ごみの直接搬入手数料有料ダミー、白色トレイ直接搬入手数料有料ダミーであることが明らかになった。
- リサイクル率に関して、社会的要因は平均世帯人員数、高齢者比率、一人あたりの廃棄物処理事業経費歳出であり、政策的要因は家庭系ごみ分別数、事業系ごみ分別数、家庭系紙パック手数料有料ダミー、家庭系白色トレイ手数料有料ダミー、事業系ガラス類の手数料有料ダミーであることが明らかになった。

② ごみの減量およびリサイクル率の向上の促進案

- 家庭系ごみの分別数に関して、家庭系ごみ排出量とリサイクル率の観点から、ごみ排出量の最小分別数が14,515、リサイクル率の最大分別数が16,509であることから、ごみの分別数を15または16に設定することが望ましいということが明らかになった。
- 手数料の有料化は、本研究のごみ排出量に影響を及ぼす要因の中では、ごみ排出量の削減に効果的であることが明らかになった。しかしながら、手数料の有料化は資源ごみの種類によってはリサイクル率の低下にも繋がる負の側面も示唆されるため、それぞれの市町に適切な対策を選択することが必要となる。

今後の課題として、本研究は家庭系ごみ、事業系ごみ、リサイクル率の3つのモデルを個別で推定したが、より相互的な分析や考察を行うためには、ごみ排出量とリサイクル率を一つのモデルで表現した分析が必要であるということが挙げられる。このようにごみ排出量とリサイクル率を同時に扱うためのモデルを構築することによって、どのごみの種類の手数料を有料化するべきかなどをより詳細に分析することが可能になるだろう。

謝辞：本研究の分析にあたり、瀧本太郎教授（九州大学）、坂本直樹教授（山形大学）、増井淳教授（創価大学）から大変貴重なコメントを頂いたことに深甚の謝意を表する次第である。なお、本研究における誤りの全ては筆者らに帰すことは言うまでもない。

参考文献

- 1) 環境省: 容器包装リサイクル法とは.
https://www.env.go.jp/recycle/yoki/a_1_recycle/index.html
(最終アクセス日:2021/11/29)
- 2) 碓井健寛: 有料化によるごみの発生抑制効果とリサイクル促進効果, 27 卷, pp.245-261, 2003.
- 3) 小泉高志, 樋口洋一郎, 島根哲哉: 家庭ごみ発生量のパネルデータを用いた基礎的要因分析, 環境経済・政策学会 2000 年大会・報告要旨集, pp.152-153, 2000.
- 4) 境将恭, 山口奈緒美, 茂木貴大, 松谷聡太: 家庭系ごみ排出量の決定要因分析, 明治大学 畑農鋭矢研究会 行政分科会①, ISFJ2017, 2017.
- 5) 苗建青: 一般廃棄物の回収政策によるリサイクル率の影響効果に関する計量分析, 会計検査研究, Vol.33, pp.189-198, 2006-03.
- 6) 山川肇, 植田和弘, 寺島泰: 有料化によるごみ減量効果の持続性, 土木学会論文集, No.713, VII-24, pp.45-58, 2002.
- 7) 兵庫県農政環境部環境管理局環境整備課: ひょうごの環境, 兵庫県の一般廃棄物処理(平成 19 年度版～平成 30 年度版).
https://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/jp/recycle/leg_271/leg_376
(最終アクセス日:2021/11/28)
- 8) 兵庫県: 推計人口.
<https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk11/jinkou-tochitoukei/suikijinnkou.html>
(最終アクセス日:2021/12/1)
- 9) e-Stat 統計データを活用する: 社会・人口統計体系, 市区町村データ, 社会生活統計指標 (廃置分合処理済) .
https://www.e-stat.go.jp/stat-search/data-base?page=1&query=%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E3%83%BB%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E7%B5%B1%E8%A8%88%E4%BD%93%E7%B3%BB%E3%80%80%E5%8F%AF%E4%BD%8F%E5%9C%B0%E9%9D%A2%E7%A9%8D&layout=dataset&statdisp_id=0000020302&metadata=1&data=1
(最終アクセス日:2021/12/1)
- 10) e-Stat 統計データを活用する: 住民基本台帳に基づく人口, 人口動態及び世帯数調査.
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200241&stat=000001039591&cycle=7&ctclass1=000001039601&ctclass2val=0>
(最終アクセス日:2021/12/1)
- 11) e-Stat 統計データを活用する: 社会・人口統計体系市区町村データ, 基礎データ (廃置分合処理済) .
https://www.e-stat.go.jp/stat-search/data-base?page=1&query=%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E3%83%BB%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E7%B5%B1%E8%A8%88%E4%BD%93%E7%B3%BB%E3%80%80%E8%AA%B2%E7%A8%8E%E5%AF%BE%E8%B1%A1%E6%89%80%E5%BE%97&layout=dataset&statdisp_id=0000020203&metadata=1&data=1
(最終アクセス日:2021/12/1)
- 12) 西山慶彦, 新谷元嗣, 川口大司, 奥井亮: 計量経済学, 有斐閣, 2019.
- 13) 松浦寿幸: Stata によるデータ分析入門経済分析の基礎からパネルデータ分析まで, 東京図書, 2010.

(2021. MM. DD 受付)