

2022年度 統計データ分析コンペティション

統計数理賞 [大学生・一般の部]

リサイクル活動に対する地域・政策要因の研究
-主成分分析・階層的クラスタリングを用いた
市町村別分析-

小関 敦生、黒須 咲菜、杉本 果穂、
守木 悠太郎、森田 花梨
(静岡大学情報学部)

宇留賀 大誠 (静岡大学大学院総合科学技術研究科)

論文の概要

市町村単位のデータを用い、主成分分析とクラスター分析を組み合わせた都市分類を行った上で、リサイクル率に関して重回帰分析を行い、産業規模の拡大が都市群によってリサイクル率に影響を及ぼすことを示した。

論文審査会コメント

必要なクラスタリングと実証とを組み合わせた自然な戦略に基づく流れを示し、クラスタ化された地域ごとの異なった要因を示した分析であり、実証手法は素朴なものであるが好ましく、創意工夫にあふれたデータ解析らしさが見られる。

リサイクル活動に対する地域・政策要因の研究

-主成分分析・階層的クラスタリングを用いた市町村別分析-

小関敦生*1、黒須咲菜*1、杉本果穂*1、守木悠太郎*1、森田花梨*1、宇留賀大誠*2

*1：静岡大学 情報学部

*2：静岡大学 総合科学技術研究科 情報学専攻

1. 研究の背景と目的

1985年に地球温暖化に関する初めての世界会議が開催されたことを契機に、二酸化炭素(CO₂)による地球温暖化の問題が大きく取り上げられるようになった。近年では国際的にSDGsやカーボンニュートラルという言葉が耳にする機会が増えた。

SDGsとは、2015年9月の国連サミットで採択された「2030年までに持続可能でよりよい世界を目指す国際目標」である。17のゴール・169のターゲットから構成されており、発展途上国のみならず、先進国自身が取り組むユニバーサル(普遍的)なものであり、日本も積極的に取り組んでいる。

カーボンニュートラルとは、温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させることを意味し、SDGsの取組の1つである。人為起源の温室効果ガスのうち65%が二酸化炭素(CO₂)であり、CO₂の削減は重要な課題になっている。

このCO₂排出の要因として我々になじみ深いものにごみの焼却・処分がある。ごみの焼却・処分を減らす方法の一つとしてリサイクルがあげられる。ごみを減らしたり、紙やペットボトルを適切にリサイクルしたりすることで、ごみとして燃やすより、温室効果ガスの排出を減らすことにつながる。一方で、リサイクルの在り方は、市町村ごとの自治体政策に依存する。

そこで本研究では、カーボンニュートラルを通じたSDGsに資するリサイクルについて、その地域的な促進を検討するために、基本的な都市構造に基づく市町村レベルでの都市分類を行い、それらの分類において、重回帰分析を行い、自治体の都市構造とリサイクル率の関係性を明らかにする。

2. 研究方法

本研究を定めるにあたって、先行研究を概観する。例えば安田(1997)は、実測データ、文献値、および統計資料などを用いて、廃棄物の焼却にともなうCO₂の排出量を推定している⁽¹⁾。この推定は日本全体をマクロで見たものであるが、前述のとおり、自治体政策という視点を踏まえると、市町村単位での分析も重要であると考えられる。

市町村単位の分析の手法として、森川(1998)及び山本(2018)が行ったクラスター分析による分類がある⁽²⁾⁽³⁾。自治体の在り方を探るといふ点を踏まえると、各分類についての分析も重要であると考えられる。そこで、本研究では、森川(1998)及び山本(2018)の手法を用いて市町村レベルでの都市分類を行い、環境に関する変数を用いて重回帰分析を行い、自治体政策とリサイクル率の関係性の明示を試みる。

重回帰分析に関しては、リサイクル率と自治体の地域要因と政策要因の関係性について検討を行って

いる苗(2006)に準拠し、各クラスター間でのごみ排出量とリサイクル率の関係性を比較する。

なお、本研究は3段階の分析を行うため、次節以降それぞれの分析ごとにデータセットの加工と具体的な分析手法について示す。

3. 都市の分類

3-1. 市町村の基本的構造の要約

本項では、市町村の基本的構造を要約した変数を作成するために、主成分分析を行う。基本的構造を捉えるためには、各市町村の人口・地理、経済状況、産業構造等を適切に分析に用いる必要がある。

本研究では、山本(2018)を参考に、データの入手可能性も踏まえ、経済指標として「一人当たり所得」、「一人当たり歳出」を、産業構造指標として「第二次産業比率」及び「第三次産業比率」を採用した。また、人口・地理指標として「総人口」「人口密度」「世帯当たり人数」及び「65歳以上人口割合」を採用した⁽⁴⁾。

主成分分析に用いたデータを表1、並びに基本統計量を表2にまとめる。これらのデータは、教育用標準データセット(SSDSE-A-2022)及び総務省「市町村税課税状況の調」のデータを利用した。

なお、分析対象とする市町村に関して、つぎのような調整を行った。はじめに、福島県の飯館村、浪江

表1 主成分分析に用いたデータ

項目名	項目の説明	出典
一人当たり歳出(千円)	歳出決算総額(市町村財政)/総人口数	教育用標準データセットSSDSE-A-2022
一人当たり所得(千円/人)	課税対象所得(千円)/総人口数	教育用標準データセットSSDSE-A-2022 総務省「市町村税課税状況等の調」
第二次産業比率(実数)	第二次産業就業者数/就業者数	教育用標準データセットSSDSE-A-2022
第三次産業比率(実数)	第三次産業就業者数/就業者数	教育用標準データセットSSDSE-A-2022
総人口(人)	総人口数	教育用標準データセットSSDSE-A-2022
人口密度(人/ha)	総人口数/ha	教育用標準データセットSSDSE-A-2022
世帯当たり人数(人)	総人口数/可住地面積	教育用標準データセットSSDSE-A-2022
65歳以上人口割合(%)	65歳以上人口数	教育用標準データセットSSDSE-A-2022

表2 基本統計量

	データ数	平均	標準偏差	最大値	最小値
一人当たり歳出(千円/人)	1,713	779.44	628.80	7024.96	260.64
一人当たり所得(千円/人)	1,713	2564.74	574.59	6817.85	1176.89
第二次産業比率(実数)	1,713	0.25	0.08	0.53	0.02
第三次産業比率(実数)	1,713	0.63	0.09	0.94	0.21
総人口(人)	1,713	73636.58	298496.48	9733276.00	169.00
人口密度(人/ha)	1,713	11.89	19.57	156.28	0.10
世帯当たり人数(人)	1,713	2.44	0.27	3.59	1.43
65歳以上人口割合(%)	1,713	0.35	0.08	0.65	0.14

町、葛尾町、双葉町、大熊町、富岡町の6町村を分析の対象外とした。これは、東日本大震災の影響によ

り原発避難地域、帰還困難区域に指定されているため人口が 50 人未満となっており、本来の姿を反映していないと判断したためである。また、東京 23 区は東京特別区として 1 つに集約した。これは後のクラスター分析で使用するデータの制約のためである。

表 3 主成分分析の結果

Importance of components:	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
標準偏差	1.6906	1.4156	0.9289	0.89243	0.70477	0.61486	0.57544	0.52245
寄与率	0.3573	0.2505	0.1079	0.09955	0.06209	0.04726	0.04139	0.03412
累積寄与率	0.3573	0.6077	0.7156	0.81515	0.87723	0.92449	0.96588	1

表 4 抽出した主成分の成分行列

	PC1	PC2
一人当たり歳出	0.275	-0.412
一人当たり所得	-0.456	0.128
第二次産業比率	0.05	0.57
第三次産業比率	-0.386	-0.327
総人口	-0.31	-0.076
人口密度	-0.503	-0.055
世帯当たり人数	0.125	0.564
65歳以上人口割合	0.448	-0.234

3-2. 主成分分析による項目の集約

主成分分析は一般的につきのとおり表現できる。

$$z = w_1 \times X_1 + w_2 \times X_2 + \dots + w_n \times X_n$$

ここで z は主成分、 w_n は変数 X_n の重みを表す。さらに、つぎの制約条件

$$w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_n^2 = 1$$

のもと、以下の式を計算する。

$$RW = \lambda w$$

ここでは、 R は変数間の相関行列、 W は重みを要素とするベクトルである。この結果 λ 及び w が計算されるが、このときの λ は固有値である。この固有値 λ を用いて、主成分 k の寄与率及び主成分に対する主成分負荷量を以下のように求める。

$$\text{寄与率} = \frac{\lambda_k}{\sum \lambda} \quad \text{主成分負荷量} = w_k \times \sqrt{\lambda}$$

主成分分析の結果を表 3 のとおり示す。本研究ではガットマン・カイザー基準を採用し、固有値が 1 以上を取る 2 つの主成分を抽出した。表 4 は抽出した 2 つの主成分の成分行列であり、主成分負荷量の絶対値が 0.4 を超えるものについては色付けしている。

はじめに、第 1 主成分と各変数間との関係を見ると、「65 歳以上人口割合」がプラス、「人口密度」がマイナスといった特徴がみられ、「世帯当たり人数」も大きくないことから、少人数及び高齢者の世帯が点在している状況が推測される。また、「一人当たり所得」が小さく「一人当たり歳出」も大きくはないことから、財政・経済状況が厳しい要素が含まれている。これらの傾向から第 1 主成分は「経済力・高齢化懸念主成分」と解釈できる。

第 2 主成分は、「第二次産業比率」がプラスとなっていることから、製造業の要素が強い。また、「世帯当たり人数」がプラス、「一人当たり歳出」がマイナスとなっていることから、単身世帯中心で財政基盤が豊かな大都市という要素はうかがえない。これらの傾向から第 2 主成分は「製造業特化主成分」と解釈できる。

次節では、上記 2 主成分を利用した全国市町村を分類するクラスター分析を行う。

3-3. クラスター分析

本項では、前項の主成分分析の結果から導出された 2 つの主成分をデータに用いてクラスター分析を行い、その上で都市分類を行った。本研究では、階層的クラスタリングを行う。クラスター数は 10 に設

定した。

3-4. 都市分類の結果および解釈

クラスター分析による都市分類の結果を図 1 に、また各クラスター内の主成分得点の平均値を比較したものを図 2 に示す。図 1 中、カッコ内の数値は該当する市町村数である。

表 5 特徴的な 5 つのクラスター（それぞれ最大値、最小値に色付け）

クラスター番号	経済力・高齢化懸念主成分	製造業特化主成分	クラスター名
cluster1	低い	低い	政令指定都市群
cluster3	高い	低い	高齢化・過疎化都市群
cluster4	低い	低い	地方中核都市群
cluster8	低い	高い	地方工業・観光都市群
cluster9	高い	高い	製造業主流都市群

クラスター分析の結果をもとに、具体的に自治体政策とリサイクル率の関係性分析で取り上げるクラスターの検討を行う。すべてのクラスターを分析対象とする考え方もあるが、本研究ではクラスター分析に用いた主成分の意義を強調するため、各クラスターに該当する市町村の主成分得点の平均値が特徴的なクラスターのみを表 5 のとおり分析対象とする。クラスターの名称については、該当する市町村の構成も考慮し設定した。また、クラスター10は東京特別区のみであるため、統計的分析の対象外とした。以上の特徴的な 5 クラスターについて重回帰分析をすすめる。

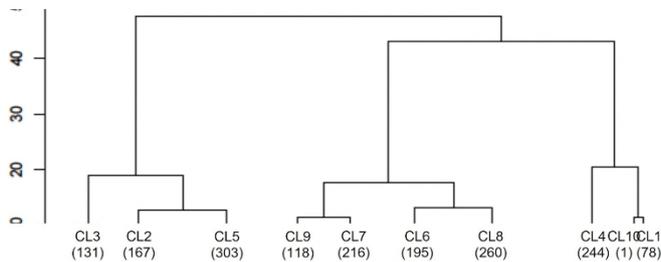


図1 主成分分析を基にした階層的クラスター構造

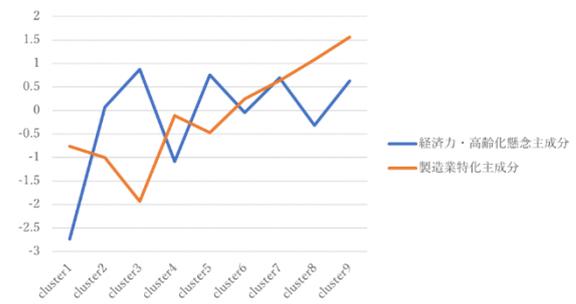


図2 クラスターごとの各変数の平均値比較

4. 地域・政策要因の分析

4-1. 変数の選択

本節では、重回帰分析で使用する被説明変数と説明変数について説明する。被説明変数はリサイクル率である。説明変数は、リサイクル率と自治体の地域要因と政策要因の関係性について検討を行っている苗(2006)に準拠し、地域要因と政策要因の2つに分けた。また、各クラスター間でのごみ排出量とリサイクル率の関係性を比較するために、廃棄物処理状況に関する説明変数を用いた。

具体的に説明変数として用いたデータの概要については、表 6 に整理した。また、地域要因に用いた説明変数に関しては、主成分分析で用いたデータと同様であるため、表 6 には記載していない。出典はすべて環境省の「一般廃棄物処理実態調査(令和 2 年度)」である。

表6 データ概要

変数名	概要
可燃ごみダミー（生活系）	可燃ごみ（生活系）の有料制実施なら0,その他を1
不燃ごみダミー（生活系）	不燃ごみ（生活系）の有料制実施なら0,その他を1
資源ごみダミー（生活系）	資源ごみ（生活系）の少なくとも1種類が有料制実施なら0,その他を1
可燃ごみダミー（事業系）	可燃ごみ（事業系）の有料制実施なら0,その他を1
不燃ごみダミー（事業系）	不燃ごみ（事業系）の有料制実施なら0,その他を1
資源ごみダミー（事業系）	資源ごみ（事業系）の少なくとも1種類が有料制実施なら0,その他を1
1人1日あたりごみ排出量	1人1日あたりごみ排出量（g）
最終処分量合計	最終処分量合計（t）
生活系ごみ	生活系ごみ排出量（t）
事業系ごみ	事業系ごみ排出量（t）

本分析では、各モデル間での係数を比較し、リサイクル率に対する同一説明変数の影響力の違いを見るために、使用データを標準化したうえで回帰分析を行う。

4-2. 分析モデル

本分析では、最小二乗法を用いて次式の推定を行う。

$$\begin{aligned}
 \text{Recycle} = & \alpha + \beta_1 \text{Expenditure} + \beta_2 \text{Income} + \beta_3 \text{Second} + \beta_4 \text{Third} + \beta_4 \text{People} + \beta_5 \text{Density} \\
 & + \beta_6 \text{Household} + \beta_7 \text{Old} + \beta_8 \text{Combustible}_L + \beta_9 \text{Incombustible}_L + \beta_{10} \text{Resource}_L \\
 & + \beta_{11} \text{Combustible}_B + \beta_{12} \text{InCombustible}_B + \beta_{13} \text{Resource}_B + \beta_{14} \text{Garbage} + \beta_{15} \text{Disposal} \\
 & + \beta_{16} \text{Garbage}_L + \beta_{17} \text{Garbage}_B + \epsilon
 \end{aligned}$$

4-3. 推定結果

変数	CL1	CL3	CL4	CL8	CL9
	係数 (標準誤差)	係数 (標準誤差)	係数 (標準誤差)	係数 (標準誤差)	係数 (標準誤差)
定数項	-7.232E-16 (0.08243)	-8.587E-17 (0.08647)	-1.372E-16 (0.05907)	3.15E-16 (0.05814)	-5.659E-16 (0.08112)
一人当たり歳出	0.1536 (0.1198)	-0.08271 (0.1283)	0.09588 (0.09048)	-0.1474* (0.07464)	0.179 (0.1289)
一人当たり所得	0.05775 0.1034	0.007134 (0.1129)	0.1286 (0.07021)	0.02675 (0.08003)	0.05701 (0.1146)
第二次産業比率	-	-0.08573 (0.1094)	0.3753* (0.1501)	-0.2162* (0.1048)	-0.204 (0.1319)
第三次産業比率	-	-0.05168 (0.1229)	0.4492** (0.1475)	-0.215* (0.1016)	0.111 (0.1161)
人口密度	0.1451 (0.1227)	-0.0681 (0.1325)	-0.1341 (0.07388)	0.01515 (0.08931)	0.1589 (0.1307)
世帯当たり人数	-0.1566 (0.1043)	-0.1182 (0.107)	-0.03205* (0.06908)	-0.002255 (0.06774)	-0.2849* (0.1334)
65歳以上人口割合	-0.1857 (0.1171)	-0.05266 (0.1248)	0.1433* (0.0636)	-0.03766 (0.07293)	-0.1749 (0.1187)
可燃ごみダミー(事業系)	-0.1994 (0.1034)	-0.1537 (0.1612)	0.1375 (0.06826)	0.04922 (0.06855)	-0.1956 (0.1049)
不燃ごみダミー(事業系)	0.4513*** (0.1042)	0.2098 (0.1705)	-0.124 (0.07033)	-0.04574 (0.07134)	0.4096*** (0.1068)
資源ごみダミー(事業系)	-0.00518 (0.09428)	-0.01671 (0.1208)	-0.1131 (0.06573)	-0.0127 (0.06669)	0.01474 (0.09038)
可燃ごみダミー(生活系)	-0.05983 (0.09627)	-0.07609 (0.1006)	-0.1907** (0.06754)	0.006239 (0.06319)	-0.07403 (0.09583)
不燃ごみダミー(生活系)	-0.004903 (0.3116)	-	0.03905 (0.1316)	-0.08346 (0.127)	-
資源ごみダミー(生活系)	-0.08757 (0.3203)	-	-0.0732 (0.1327)	-0.1014 (0.1284)	-
1人1日当たりごみ総排出量	-0.09436 (0.0968)	-0.2249 (0.1009)	-0.3079 (0.07157)	-0.04096 (0.06623)	-0.04569 (0.1088)
最終処分量合計	-	-0.1685* (0.1268)	-0.3115*** (0.08829)	-0.4993*** (0.09255)	-0.2413 (0.1406)
事業系ごみ	-	0.01051 (0.13)	0.1578*** (0.08758)	0.3267*** (0.09633)	0.1068 (0.1473)
Adjusted R-squared	0.1982	0.02059	0.1488	0.1212	0.2235
F-statistic	3.41	1.195	3.654	3.233	3.406

4-4. 結果の考察

本節では、上記で示した重回帰分析の結果をもとに、各クラスター間において有意となった変数とリサイクル率についての関係性を検討する。なお、いずれのモデルにおいても多重共線性が疑われる変数はモデルから外した。具体的には、VIFを計算し、10以上となった変数を外した。説明変数の数がクラスター間で異なる理由はそのためである。以降、クラスター1から解釈を述べる。

(1) クラスター1：主要都市群

「不燃ごみダミー(事業系)」が正に有意(0.1%)な結果となった。事業者の排出する不燃ごみの回収サービス有料化政策の導入によってリサイクル率が減少するという、本来の目的とは逆の方向に政策効果が働いている。このことから、以下の2点が示唆される。

1点目は、不燃ごみに関する有料化政策は、企業がごみ排出量抑制を行うインセンティブを引き出せず、結果リサイクル率の向上には有効ではない可能性が示唆される。

2点目は、本都市群で有料化政策を導入していない地域では、そもそも事業系不燃ごみが多く排出されやすく、それだけ当該自治体でのごみ処理能力に負荷がかかっている状況が想定される。このことから、

莫大なごみ処理量に対してリサイクルを行う形で、ごみ問題に対応してきたとすれば、有料化政策を導入しないことがリサイクル率向上に繋がるという今回の結果の説明が可能になる。

(2) クラスタ-3：高齢化・過疎化都市群

「最終処分量合計」のみが負に有意（5%）な結果となった。具体的には、最終処分量が1単位増えると、リサイクル率が約0.16%下がる結果となった。

(3) クラスタ-4：地方中核都市群

「第二次産業比率」、「第三次産業比率」が正に有意となっていることから、工業あるいはサービス業の規模が1単位増加することが、リサイクル率の向上に結び付きやすいと理解できる。この結果から、「清潔な都市」という、都市間競争をより優位に進めるうえでのイメージ戦略の一環として、地方中核都市の産業発展に伴うごみ排出力対策を十分に行うことができている可能性が示唆される。

「65歳以上人口割合」が正に有意となっていることから、高齢者人口割合の増加がリサイクル率の向上に繋がることが明らかとなった。これは、高齢化に伴う移動の困難性が関連していると考えられる。つまり、身体能力の低下に伴い外出を伴う消費行動に対するコストが高くなる分、既購入品の再利用を行う意識が高くなるという高齢者ならではの生活様式の特徴がリサイクル率向上に寄与している可能性が示唆される。

「可燃ごみダミー（生活系）」と「可燃ごみダミー（事業系）」が、それぞれ正と負に有意となっている。前者については、住民がごみ処理量を抑制しリサイクルを行うことのインセンティブを十分に引き出すことができていると考えられる。後者については、クラスタ-1における「不燃ごみダミー（事業系）」と同様のロジックで説明が可能になると考えられる。

「最終処分量合計」は、負に有意（0.1%）となっており、1単位の処理量増加がリサイクル率を約-0.3%下げることが明らかとなった。

「事業系ごみ」は正に有意（0.1%）となり、事業系ごみの排出量増加がリサイクル率を押し上げる結果となった。このことから、排出された事業系ごみをリサイクルするインセンティブが働きやすい都市群である解釈できる。これは、そもそも都市の規模が比較的大きいため、事業系ごみの排出量が多く出やすいが、それだけリサイクルを行う余地があるために、結果として事業系ごみの排出量がリサイクル率に繋がっているという可能性が示唆される。この特徴は、後述のクラスタ-8においても見られる特徴である。

(4) クラスタ-8：地方工業・観光業都市群

「一人当たり歳出」が負に有意（5%）となっていることから、歳出が増加すると、リサイクル率が下がることが明らかとなった。このことから、自治体の歳出目的においてリサイクル率の向上の優先順位が低いことが想定される。

「第二次産業比率」、「第三次産業比率」が負に有意（5%）となっていることから、産業規模の拡大に伴い、リサイクル率が下がることが明らかとなった。これは、クラスタ-4の中核都市群とは異なり、産業規模の拡大に伴うごみ排出量増加に対する政策が十分に講じられていない可能性が示唆される。

「最終処分量合計」は負に有意（0.1%）となっており、1単位の処理量増加がリサイクル率を約-0.5%下げることが明らかになった。

「事業系ごみ」は、正に有意（0.1%）となっており、事業系ごみの増加がリサイクル率を向上させていることが明らかとなった。このことは、上記で見たクラスタ-4の結果と同様のロジックで説明が可能

である。一方で、差異としては、観光消費によるごみ排出量のリサイクル率向上効果がクラスター8よりも高い可能性が示唆される。

(5) クラスター9：製造業主流都市群

「世帯当たり人数」が負に有意(5%)となっている。これは、世帯に人数が増えれば、排出されたごみを処理するまでの間、分別した状態でごみを保管するスペースが十分に確保できない為、リサイクル率が下がっていると考えられる。また、「不燃ごみダミー(事業系)」が正に有意(0.1%)となっている。これは、クラスター1と同じく企業は資金があり、リサイクルの為に手間がかかる不燃ごみの分別を気にするよりも、有料でも不燃ごみを大量に出す方が簡単だと判断している為に、リサイクル率が下がっていると推察される。

5. 結論と展望

本研究では、「人口密度」や「一人当たり所得」といった各自治体の基本的な8つのデータを用いて主成分分析を行った。その結果、これら8つのデータは「経済力・高齢化懸念主成分」と「製造業特化主成分」の2つの主成分に要約された。また、それら2つの主成分を用いてウォード法による階層的クラスタリングを行った。その結果、「主要都市群」、「高齢化・過疎化都市群」、「地方中核都市群」、「地方工業・観光業都市群」、「製造業主流都市群」の5つを特徴的なクラスターとして取り上げた。そして、それら各クラスター間での「リサイクル率」と「地域・政策要因」との関係性についての検討を行うために、前者を被説明変数に取った重回帰分析を行った。その結果、有意となる変数に地域差が多数みられた。それらの結果から導かれた複数の考察のうち、特徴的な点としては、生活系の「可燃ごみ」の排出に対しては、有料化政策が有効に機能する一方で、事業系の「不燃ごみ」あるいは「可燃ごみ」に対しては有効に機能しない可能性が示唆された。

リサイクル率や自治体のごみ処理政策に関する先行研究では、地域を都市構造に関するデータで分類した後に、それらのグループ間における地域差について実証的に分析した先行研究事例は、筆者らの知る限りは存在しない。「地域差」に着目をし、都市の構造によって自治体をグループ分けした後に、「リサイクル率」と地域要因あるいは政策要因、そしてごみ処理・排出量との関係性について定量的に検討したという点で、本研究の独自性・新規性が認められると考える。

一方で、本研究には課題も複数存在する。例えば、今回得られた定量的根拠に基づき、各自治体が行うごみ処理政策について質的にサーベイし、具体的な政策提言を行うまでには至っていない。また、自治体のごみ処理政策とCO₂排出量との関係性や、炭素税や排出権取引といった昨今注目を集める環境政策まで議論を展開することができなかった。これらの課題点については、引き続き先行研究をサーベイし、研究を行っていききたい。

参考文献

- (1) 森川洋『日本の都市化と都市システム』、大明堂、1998
- (2) 安田憲二「廃棄物の焼却に伴う温室効果ガスの排出状況」、『廃棄物学会誌』、Vol.8、No.6、pp432-437、1997
- (3) 山本雄三「統計指標に基づく市町村分類の試み」、JILPT Discussion、Paper 18-05、2018
- (4) 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』、2006