

持続可能な廃棄物処理事業の実現¹ —因果推論に基づく収集運搬費用削減への 政策提言—

熊本県立大学

本田圭市郎研究会

環境・エネルギー①

緒方大輝
小倉太陽
作田萌子
外口莉野
宮内駿輔

2025年 11月

¹ 本稿は、2025年12月13日、12月14日に開催されるISFJ日本政策学生会議「政策フォーラム2025」のために作成したものである。本稿にあり得る誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである。

要約

廃棄物処理は、住民生活の維持に不可欠であると同時に、環境保全や循環型社会の実現に直結する重要な行政サービスである。日本における一般廃棄物の排出量は、人口減少の影響を受けて年々減少しているにもかかわらず、廃棄物処理事業経費は増加傾向にあり、市町村財政を圧迫している。背景としては、施設の老朽化により、修繕費や維持管理費が増大していることが挙げられる。また、小規模市町村を中心に施設運営の効率性が十分に確保されていないことにより、経費増大とともに運営の持続可能性にも課題が生じている。

国は運営の効率化、費用負担の軽減のため、廃棄物処理施設の広域化・集約化を推進している。施設をまとめ、大規模化することで、設備投資や維持管理の重複を避けられ、処理の効率化と費用の抑制が期待できる。しかし、広域化は施設の集約による処理効率化や環境負荷の低減に寄与する一方で、収集運搬費の増大という課題を伴っている。一般廃棄物に係る維持管理費全体が1兆7,000億円であるのに対し、収集運搬費用は約6,414億円となっており、維持管理費の約4割を収集運搬費用が占めている。環境面と財政面の双方で持続可能な運営を実現するには、地域の実情に応じた柔軟かつ効率的な運営体制の構築が不可欠である。

施設の集約化や運営効率化を進める広域化政策と並行して、国は廃棄物の発生抑制と資源循環を目的としたリサイクル政策も推進してきた。リサイクル政策は「処理段階の効率化」ではなく、「排出段階での発生抑制」と「再資源化の促進」を目的として進められているため、これらの作業には多くの人手とコストを要し、市町村の財政負担となっている。

また、ヒアリングの結果から、広域化やリサイクル推進は環境面から重要である一方で、費用負担や各市町村等の個別実情（施設の稼働年度、運用計画）などを勘案する必要がある等の課題があることがわかった。

以上より、広域化に伴う収集距離の拡大や、リサイクル政策による分別細分化・収集頻度の増加といった運用上の変化が、市町村の収集運搬業務を増大させている点を課題としてあげ、廃棄物処理経費において大きな割合を占める収集運搬費が増加すれば市町村の財政負担を押し上げ、制度運営の持続可能性を損なう可能性があることを問題意識とした。

分析では、広域化やリサイクル制度といった政策的要因が、収集運搬費用に与える影響を、固定効果操作変数法を用いて分析した。加えて、合成コントロール法を用いてDX導入による、収集運搬費用削減の効果も分析を行った。

分析Ⅰの結果、広域化を推進すると、収集運搬費用が上がるということが分かった。今後の人口減少による廃棄物排出量の削減や財政圧迫を踏まえると広域化の進展は避けがたい。広域化を行う際に最も懸念されるのは収集範囲の拡大による収集運搬費用である。

分析Ⅱでは収集運搬費用の増加を抑える為に実際の事例をもとに効果検証を行った。収集経路最適化などのDX化施策の効果に着目し、2つの事例を対象に合成コントロール法を用いて費用削減の効果を検証した。検証の結果、DX導入により収集運搬費用は下がっていることが分かった。分析Ⅰと分析Ⅱの結果から、費用の概算を行ったところDXの導入は、広域化に伴う収集運搬費の増大を一定程度緩和することが示された。

以上を踏まえ、本稿では広域化政策とリサイクルのいずれにおいても改善の余地が大きい収集運搬部門に焦点を当て、その効率化に向けた2つの政策提言を行った。

一つ目は、DXの導入により収集運搬工程の効率化を図り、作業量と費用の双方を削減する取組である。これにより、業務の重複や非効率を解消し、スケールメリットを活かした効率的な運営が可能となる(政策提言Ⅰ)。次に、リサイクルに伴う費用負担の見直しを通じて、市町村が負担しているリサイクル費用を企業に引き渡すことで、リサイクル政策の持続可能性を高めるための提言を行う(政策提言Ⅱ)。この二つの政策により、国の政策目標である環境負荷の低減を損なうことなく、市町村の財政的負担を軽減する。

目次

第1章 現状・問題意識

- 第1節 廃棄物処理の現状
- 第2節 国が進める広域化
- 第3節 排出量抑制とリサイクル促進
- 第4節 ヒアリング調査
- 第5節 問題意識

第2章 先行研究と本稿の位置づけ

- 第1節 先行研究
- 第2節 本稿の位置づけ

第3章 分析

- 第1節 分析概要
- 第2節 分析Ⅰ：費用効率への影響
- 第3節 分析Ⅱ：収集運搬費削減の効果検証
- 第4節 費用削減の概算

第4章 政策提言

- 第1節 政策提言の方向性
- 第2節 政策提言Ⅰ DXの活用による収集運搬費用の軽減
- 第3節 政策提言Ⅱ 容器包装リサイクル法の改定による市町村の費用負担の改善

第5章 本稿のまとめと課題

参考文献・参考URL・データ出典・補足資料

第1章 現状・問題意識

第1節 廃棄物処理の現状

現在の日本社会では少子高齢化及び人口減少が進行しており、地域経済の縮小や市町村財政の悪化、さらには労働力不足といった様々な課題に直面している。こうした状況は、医療や教育などの分野にとどまらず、国民生活を支える公共サービス全般に影響を及ぼしており、財政及び人員の面で持続的なサービス提供を困難にしている。

なかでも廃棄物処理は、住民生活の維持に不可欠であると同時に、環境保全や循環型社会の実現に直結する重要な行政サービスである。廃棄物処理とは、家庭や事業所から排出された廃棄物を収集・運搬し、破碎や焼却などの中間処理を経て、リサイクルされたり、最終的に埋め立てられたりする一連のプロセスである。中間処理を行わずに埋め立てを行うと、有害物質の浸出や最終処分場のひっ迫といった問題が生じるおそれがある。そのため、一般廃棄物の処理は市町村が責任をもって実施しており、地球温暖化対策や持続可能な開発目標(SDGs)の達成といった国際的課題への対応のうえでも、分別収集や中間処理の適正化のための廃棄物処理の高度化と効率化は避けられない。

令和7年度版地方財政白書(令和5年度決算)(2025)によると、市町村は負担する衛生費のうち一般廃棄物の収集・処理等に係る清掃費が43.6%を占め、その額は2兆5865億円に達している。また、地方の最終支出金額が、111兆6231億円であり、清掃費は地方財政全体の中では約2%程度にとどまるものの、環境衛生分野では最も大きな支出項目の一つとなっている。このように、廃棄物処理は環境保全と住民生活の維持の双方に関わる基幹的な行政サービスであるが、その運営には多大な費用を要し、市町村財政における一定の負担となっている。

近年、日本における一般廃棄物の排出量は、人口減少の影響を受けて年々減少している。それにもかかわらず、建設改良費や処理維持管理費を含む廃棄物処理事業経費は増加傾向にあり、市町村財政をさらに圧迫している。環境省(2025)によれば、平成26年度から令和5年度にかけて、廃棄物排出量は約12%減少したのに対し、市町村が運営する焼却施設や再資源化施設などに係る事業経費は約17%増加している(図1参照)。

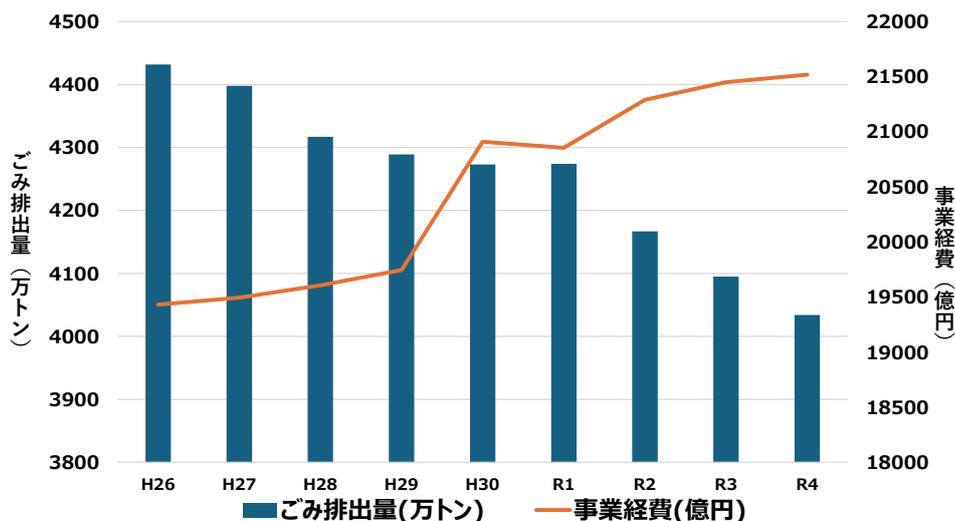


図1 排出量と一般廃棄物処理事業経費
広域化・集約化に係る手引き(2025)より筆者ら作成

第2節 国が進める広域化

第1項 広域化推進の背景と成果

廃棄物処理経費増加の背景には、施設の老朽化が一因としてあげられる。石村(2025)は、2000年以前に稼働を開始した廃棄物処理施設が全体の半数以上を占めており、一般的な耐用年数である20年を超えて稼働する焼却施設が多いと指摘している。老朽化施設では修繕費や維持管理費が増大し、更新投資の必要性も高まっている。さらに、環境省(2025)の「広域化・集約化に係る手引き」では、小規模市町村を中心に施設運営の効率性が十分に確保されていない点を指摘している。加えて、収集運搬や施設運営の現場では職員の高齢化や人手不足も進行しており、経費増大とともに運営の持続可能性にも課題が生じている。

こうした中で、国は老朽化した施設の更新や、運営の効率化、費用負担の軽減を図るための方策として、廃棄物処理施設の広域化・集約化を推進している。広域化とは、複数の市町村が連携して処理施設を共同で整備・運営し、市町村が単独で施設を保有・管理するよりも効率的に廃棄物を処理する仕組みである。主に一部事務組合や広域連合といった市町村間の共同組織によって運営され、費用については、所属する市町村が組合分担金として運営経費を負担している(図2参照)。

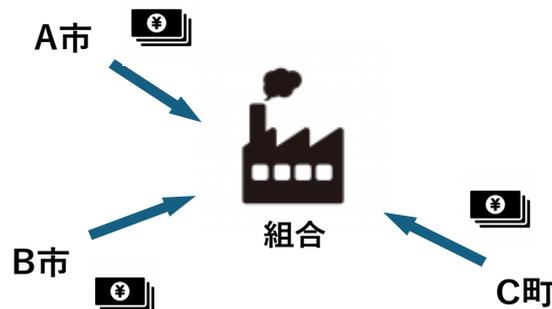


図2 広域化・組合分担金の仕組み
筆者ら作成

広域化によって、施設をまとめて大規模化することで、設備投資や維持管理の重複を避けられ、結果として処理の効率化と費用の抑制が期待できる。このように、広域化は単に施設を減らすための政策ではなく、人口減少や財政制約の中でも安定的に廃棄物処理を維持するために有効である。

環境省は1997年に「ごみ処理の広域化計画について」を通知し、都道府県単位での広域化計画の策定を求めた。その後、国庫補助制度においても広域化を進める市町村を優先的に支援するなど、制度面からの後押しを行ってきた。その結果、全国の廃棄物焼却施設数は平成10年度の1769施設から令和4年度には1016施設へと約4割減少し、施設の平均処理能力は109トン/日から172トン/日へと向上している(図3参照)。このように、施設の集約化・大規模化が進み、広域化政策は全国的な施設数削減と効率化に一定の成果をもたらしているといえる。

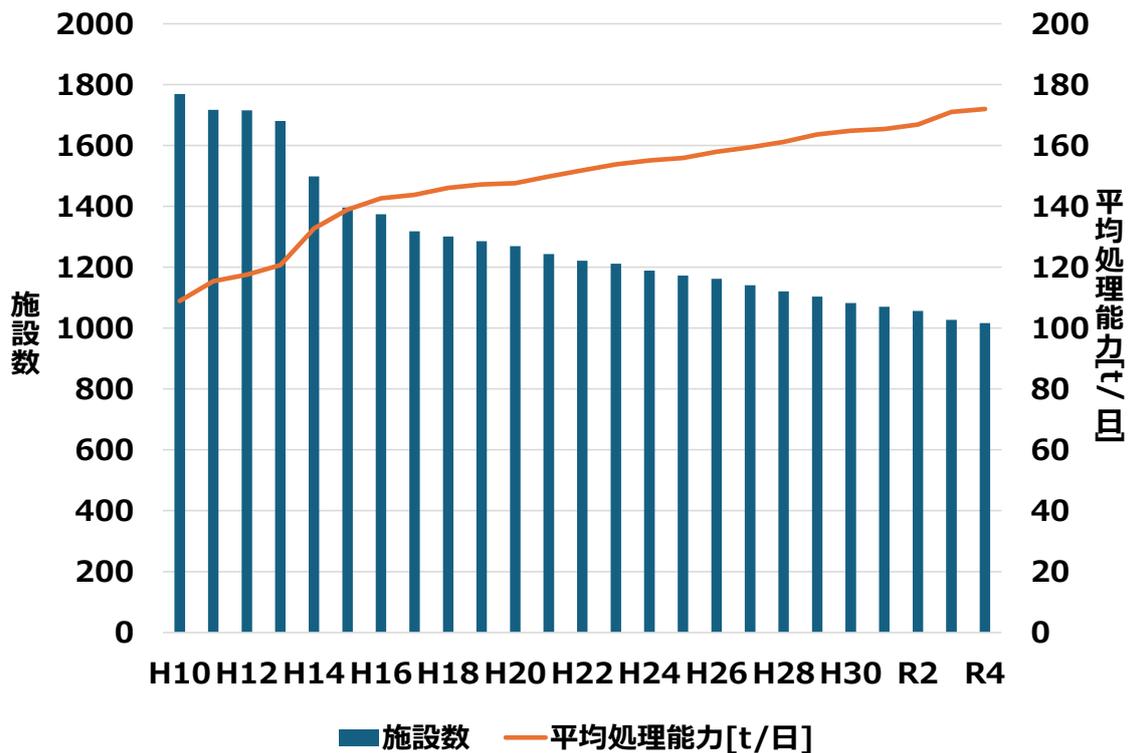


図3 排出量と一般廃棄物処理事業経費
広域化・集約化に係る手引き(2025)より筆者ら作成

第2項 広域化による収集運搬費の増大

一方で、広域化の推進に伴い、従来よりも処理施設までの距離が長くなる市町村が生じ、結果として収集運搬費が増加する可能性がある。実際、環境省(2025)でも、広域化・集約化後も収集運搬業務は各市町村がそれぞれ担う事例が多いため、施設立地によっては運搬距離の増加に伴い費用が増大する懸念があると指摘している。また、一般廃棄物に係る処理及び維持管理費全体が1兆7000億円であるのに対し、収集運搬に要する費用は約6,414億円となっており、維持管理費の約4割を収集運搬費用が占めている。つまり、広域化は施設の集約による処理効率化や環境負荷の低減に寄与する一方で、収集運搬費の増大という課題を伴っている。そのため、環境面と財政面の双方で持続可能な運営を実現するには、地域の実情に応じた柔軟かつ効率的な運営体制の構築が不可欠である。

こうした収集運搬費の抑制を図る取組として、市町村は収集運搬業務の民間委託による費用削減や、収集頻度の見直しによる効率化を進めている。たとえば、横浜市・千葉市・川崎市では、可燃ごみの週2回収集への移行により、廃棄物排出量が前年度比でそれぞれ2.5%、8.0%、5.6%減少し、収集車両の減車などを通じて、横浜市で約5億5,000万円、千葉市で約1億8,000万円、川崎市で約5億円の経費削減が実現している。さらに、DXの導入により運行ルート最適化など、業務効率化の取組も進められている。北海道室蘭市では、収集車両の運行データを活用した最適ルート設計により、年間運搬距離を1万2,548km削減している。また、神奈川県座間市では、ごみ収集車にナビゲーションシステムを導入し、作業効率の向上と運搬回数の削減を実現した。こうした取組は、効率化による費用削減と環境負荷の軽減を同時に達成する、持続可能な政策方向の一例といえる。

第3節 排出量抑制とリサイクル促進

こうした施設の集約化や運営効率化を進める広域化政策と並行して、国は廃棄物の発生抑制と資源循環を目的としたリサイクル政策も推進してきた。広域化が「処理段階の効率化」を通じて環境負荷の低減を図る施策であるのに対し、リサイクル政策は「排出段階での発生抑制」と「再資源化の促進」を目的として進められている。

日本では高度経済成長期以降、経済活動の拡大に伴い廃棄物の排出量が急増した。従来の焼却・埋め立て中心の処理では、最終処分場のひっ迫や環境負荷の増大といった問題を根本的に解決できなかったため、様々なリサイクル政策が整備された。中でも、容器包装リサイクル制度は、市町村が大きな役割を果たす代表的な仕組みである。容器包装廃棄物は家庭ごみの中でも多くを占め、容器包装リサイクル法により、市町村には収集や選別、保管といった業務の実施が義務づけられている。これにより、一般廃棄物の最終処分量は年々減少し、最終処分場の残余年数も改善されるなど、環境負荷の低減や資源循環型社会の形成に一定の成果がみられている。

しかし、これらの作業には多くの人手とコストを要し、市町村の財政負担となっている。現行のリサイクル制度では、容器包装を製造・使用・輸入する事業者(特定事業者)は、集められた廃棄物を再び資源として利用する「再商品化」に係る費用のみを負担している。一方で、その前段階となる収集や運搬、選別・保管、洗浄などの作業のほとんどを市町村が担っており、その費用は市町村の負担となっている(図4参照)。

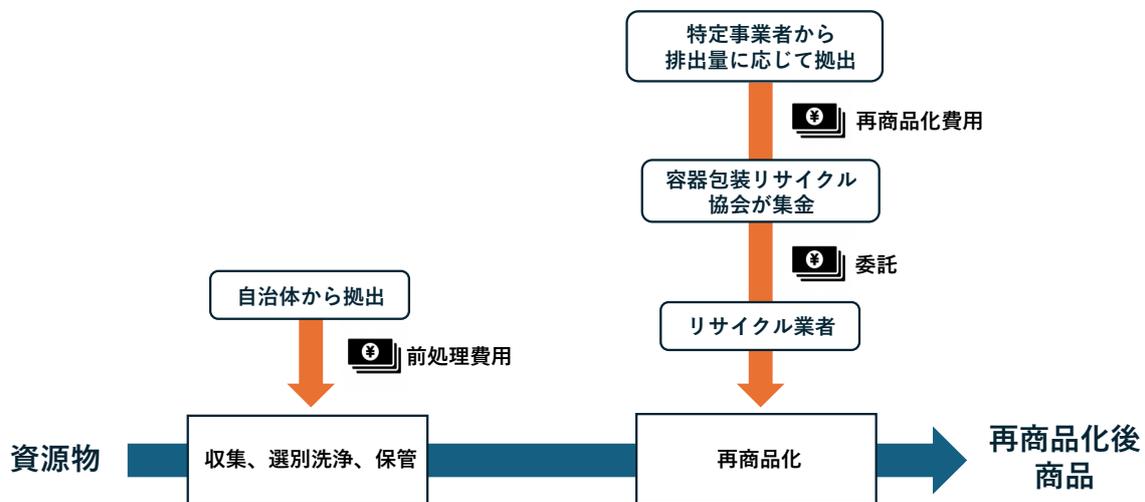


図4 現行のリサイクル制度
筆者ら作成

現行のリサイクル制度では、特定事業者が容器包装の処理・リサイクルまで一定の責任を負い、企業内で製造・使用・輸入した容器包装の分、リサイクル費用を払うという「拡大生産者責任(Extended Producer Responsibility: EPR)」の考え方に基づいて設計されている。しかし、事業者の負担範囲が再商品化段階に限定されているため、生産者責任の理念と市町村財政の持続可能性の両面から課題が残されている。

2017年度に全国1,390市町村を対象に実施された「容器包装廃棄物の収集運搬・選別保

管費用等に関するアンケート調査」によれば、容器包装廃棄物の収集運搬費用は約 1,260 億円、選別保管費用は約 691 億円、管理費用は約 241 億円であり、合計で約 2,200 億円に達している。また、同年度の環境省「一般廃棄物処理事業実態調査」によると、ごみ処理事業全体の経費は約 1 兆 9,600 億円

であり、その中でも容器包装廃棄物の処理に要する経費は無視できない規模となっている。こうした状況は、リサイクル政策が環境面で一定の成果を上げる一方で、市町村の費用負担を増加させている現状を示している。

第4節 ヒアリング調査

本研究では、国の広域化方針への市町村の対応状況や現場で直面する課題、費用負担の実態、リサイクル推進に対する意識を把握するため、ヒアリングを実施した。10月3日にはA県庁環境生活部循環社会推進課の行政職員2名に対して、県としての広域化の取組状況や課題、費用負担の実態について聞き取りを行った。また、10月17日には、政令指定都市のひとつであるB市(人口約70万人規模)で、1日330トンの廃棄物を焼却処理するB市廃棄物処理施設の職員1名に対し、現場での処理業務や費用課題を確認した。ヒアリングの結果、以下のような意見が得られた(表1参照)。

1つ目は、長期的な広域化の推進が現時点では計画段階にあるということである。「A県廃棄物処理計画」素案においては、市町村間の集約化や広域的処理を進める方針が示されているものの、令和7年度末の策定に向けた準備段階であり、具体的な取組はまだこれからである。広域化の実施を困難にする要因として、施設更新時期のずれによる市町村間の調整の難しさ、費用、各市町村などの個別実情を勘案する必要性が指摘されている。

2つ目は、広域化に伴う収集運搬費用の増大への懸念である。施設の統合が進むことで処理効率の向上は期待できる一方、運搬距離の増加によって収集運搬コストが上昇するおそれがある。

3つ目は、リサイクル推進の必要性は認識されているが、環境政策として、費用面とのバランスに関する課題が残る点である。県では企業への助言や支援を行っているが、費用を抑えつつ効果的にリサイクルを進める仕組みはまだ模索段階にある。

4つ目は、施設の稼働状況と費用構造についてである。現場の職員からは、焼却施設の処理能力は600トン/日であるのに対し、実際の処理量は約300トン/日であることが確認された。また、仮に施設を集約させた場合、炉が二基稼働する300トン×2炉体制では点検や保守が炉ごとに発生するため、600トン×1炉体制に集約することで点検費用が概ね半減する可能性があるとして指摘された。燃料費については、年に数回行われる点検や炉停止・再稼働時にのみ、燃料を追加する運用が行われているとの回答が得られた。

5つ目は、廃棄物処理施設における収入の面についてである。施設で使用する電力は発電によって賄われており、そのうち約3割を施設内で使用し、残りの7割は売電されている。売電による収入は年間約4億円に上る。また、持ち込みごみの処理手数料による収入は約7億円であり、施設運営に収益をもたらしている。

以上の結果から、広域化やリサイクル推進は環境面において重要である一方で、費用負担や制度面の課題がある現状がわかった。特に、広域化に伴う収集運搬費用の増加は、現場が強く懸念する主要な課題の一つとして確認された。

一方で、焼却処理施設を集約することで中間処理費用を削減できる可能性も示唆されている。環境省(2025)でも、広域化により中間処理の効率化が図られると述べている。したがって、広域化を進めるうえでは、収集運搬費用の抑制が重要であると考えられる。

表 1：ヒアリング結果

ヒアリング対象	日程	回答
A県庁環境生活部 環境局循環社会推進課	2025/10/3	<ul style="list-style-type: none"> ・長期的な広域化計画は策定中の段階である ・施設更新時期のずれなどにより、市町村間での調整は困難な面がある ・広域化に伴う懸念点の一つは収集運搬費用の増大である ・リサイクルを推進を図っているが、具体的な制度設計は策定中
B市廃棄物処理施設	2025/10/17	<ul style="list-style-type: none"> ・処理能力の半分ほどしか使っていない ・施設集約化によって費用が減少する可能性がある ・燃料費はほとんどかかっていない ・売電収入と廃棄物持ち込み手数料などの収入は大きい

第 5 節 問題意識

日本の廃棄物処理事業では、人口減少や高齢化に伴う税収の減少により、市町村の財政運営が年々厳しさを増している。こうした中でも、国及び市町村は、効率的で環境負荷の少ない処理体制の構築を目指し、施設の広域化やリサイクル施策を推進してきた。これらの政策は、処理効率の向上や最終処分量の削減、資源循環の促進など一定の環境的成果をもたらしている。

しかし一方で、広域化に伴う収集距離の拡大や、リサイクル政策による分別細分化・収集頻度の増加といった運用上の変化が、市町村の収集運搬業務を増大させている点が課題として指摘されている。廃棄物処理経費において大きな割合を占める収集運搬費が増加すれば市町村の財政負担を押し上げ、制度運営の持続可能性を損なう可能性がある。

したがって、これから広域化やリサイクル政策を安定的に進めるためには、こうした施策が市町村の費用構造、とりわけ収集運搬費にどの程度影響を及ぼしているのかを明らかにし、その負担を緩和する方策を検討することが重要である。

本研究の目的は、広域化及びリサイクル施策が市町村の収集運搬費用に与える影響を定量的に分析し、その結果を踏まえ、制度運営の持続可能性を高める方策を検討することである。

本研究のリーサークエスチョンは、これらの施策が市町村の収集運搬費にどのような影響を与えているのかという点である。分析結果を基に、国の政策目標である環境負荷の低減を損なうことなく、市町村の財政的負担を軽減するための政策を提言する(図 5 参照)。

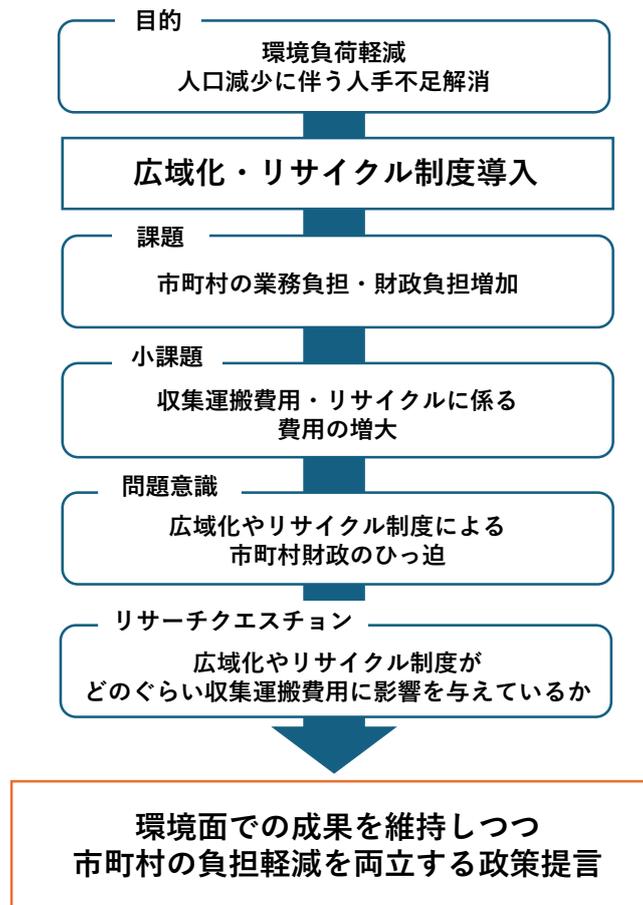


図5 本稿の全体イメージ
筆者ら作成

第2章 先行研究と本稿の位置づけ

第1節 先行研究

廃棄物処理事業では、人口減少や財政制約の下で、限られた資源を効率的に活用しつつ、適正な処理を持続的に行うことが求められている。国や市町村はその対応策として、処理施設の広域化やリサイクル制度の拡充など、さまざまな政策的取組を進めてきた。これらの施策は、廃棄物処理に係る費用構造にも大きな影響を及ぼしていると考えられる。本章では、広域化・リサイクル政策を中心とする既存研究を整理し、本研究の位置づけを明らかにする。

広域化の効果については、主に規模の経済の観点から多くの実証分析が行われてきた。笹尾(2020)は、市町村単独処理と広域連合・一部事務組合による処理を比較し、一般廃棄物の収集運搬及び処理費用を分析した。その結果、組合等による広域処理では、市町村単独に比べて収集運搬費用が抑制され、全体として規模の経済が確認されたとしている。三木(2014)は、ごみ焼却施設の処理量と処理単価の関係を分析し、1日の処理量が大きい施設ほど処理単価が低下する費用構造を持つことを示した。しかし、処理規模が300トン/日

以下の施設が大半を占めている現状から、広域化による費用削減効果が十分に発揮されていないことも指摘している。また、石村(2025)は、廃棄物処理の適正規模を費用効率性の観点から分析し、処理施設あたりの処理量をさらに拡大することで費用削減が可能であると述べている。山本(2009)は、収集範囲を縮小することで収集運搬費用を効率化できるとした上で、中間処理においては依然として規模の経済を享受できる余地があると指摘している。

廃棄物処理におけるリサイクル政策、特に容器包装リサイクル法に基づく分別収集は、市町村財政への影響を通じて費用構造に大きく関わる。碓井(2007)は、同法に基づく分別収集がごみ処理費用に与える影響を分析し、紙製容器包装の分別回収は費用削減に寄与する一方で、プラスチック製容器包装、ビン、缶の分別は費用を増加させることを明らかにした。さらに、Honma and Hu(2021)は、リサイクル率と平均ごみ処理費用の関係を分析し、実際のリサイクル率(約 20%)に対し、費用を最小化する水準は約 7%であることを示した。また、リサイクル率の調整や非効率の解消によって、単独処理・一部事務組合いずれの運営形態でも費用削減の余地があることを指摘している。

第 2 節 本稿の位置づけ

先行研究では、広域的な処理体制の構築やリサイクルの推進などによる政策効果や課題点が示されてきた。しかし、これらの研究にはいくつかの課題が残されている(表 2 参照)。

碓井(2007)は、市町村の廃棄物処理費用に組合分担金を加えた総額を用いて、市町村レベルで費用の決定要因を分析している。この手法は、市町村が最終的に負担する全体的な処理費用を捉える点で有用であるが、収集運搬・中間処理・最終処分といった部門別の内訳がないため、詳細な費用構造への分析が行えていない。

一方、笹尾(2020)は、一般廃棄物 1 トンあたりの費用を収集運搬・中間処理・最終処分の部門別に分けて詳細に分析している。さらに、組合単位の経費データを用いて、市町村と組合を分離して分析している点に特徴がある。しかし、クロスセクションデータを用いて分析しているため、市町村ごとに異なる固有の条件が費用に影響する可能性を十分に考慮できていない。

本研究では、碓井(2007)と笹尾(2020)のアプローチを統合する形で分析を行う。市町村が実際に負担する費用をより実態に近い形で捉えるため、組合分担金を含めた費用を基礎とする。ただし、先行研究が総費用や複数部門を広く扱ってきたのに対し、本研究は収集運搬部門に焦点を置く。環境省(2025)は、広域化によって中間処理の効率化が期待できる一方で、収集運搬については負担増につながる可能性を指摘している。先行研究でもこうした点が示唆されており、広域化の効果を正確に把握するためには、収集運搬費に注目する必要がある。またリサイクルに関しても、分別強化やリサイクル推進によって追加的な作業負担が生じるのは主に収集運搬であると考えられる。

笹尾(2020)のように組合と市町村を分けて分析する手法は、運営主体ごとの特徴を把握するうえで有用である。しかし、実際に最終的な費用を負担しているのは市町村であり、持続可能な行政運営という観点からは、市町村の財政負担をどのように抑制できるかを検討することが重要である。そのため本研究では、組合を独立した分析単位とするのではなく、組合分担金を含めた市町村全体の費用を対象として分析を行うことで、各施策の収集運搬費用への影響を明らかにすることを目指す。

表 2：先行研究のまとめ

先行研究	研究概要	本稿とのつながり
笹尾(2020)	廃棄物処理の運営主体ごとに費用を比較 組合と市町村を別の費用として分析 広域化により収集運搬費用が減少する	自治体の全体支出を計算し分析 複数年の統計データを用いて分析 固定効果操作変数法を使用
碓井(2007)	分別収集が廃棄物処理費用に与える影響の分析 収集品目の違いにより、費用は増減する	収集運搬費用のみに着目 固定効果操作変数法を使用
石村(2025)	廃棄物処理の適正規模を費用効率性の観点から分析 処理量をさらに拡大することで費用削減が可能 中間処理費用は下がる	処理量拡大による中間処理費用は効率化収 集運搬費用に焦点を当てる
Honma and Hu(2021)	リサイクル率と平均ごみ処理費用の関係を分析 リサイクル率の調整や非効率性の解消により、費用削減の余地がある	リサイクル関係の変数を参考にした
三木(2014)	廃棄物焼却施設の処理量と処理単価の関係を分析 1日の処理量が大きい施設ほど処理単価が低下する	広域化によって中間処理費用が下がる
山本(2009)	収集範囲を縮小することで収集運搬費用を効率化できる 中間処理において、規模の経済を享受できる余地がある	広域化によって中間処理費用が下がる 広域化によって収集運搬費用は増加する

第3章 分析

第1節 分析概要

廃棄物処理分野では、施設の広域化やリサイクル制度の導入など、様々な政策が進められてきた。こうした取組により、施設の集約化や資源循環の推進が進められてきたものの、全国的には廃棄物処理経費が増加傾向にある。このことから、これらの施策が実際に費用削減や効率化にどの程度寄与しているのかについて、改めて検証する必要がある。

そこで分析 I では、広域的な処理体制の整備や、容器包装リサイクル制度などのリサイクル関連の取組といった政策的要因が、廃棄物処理費用に与える影響を明らかにすることを目的とする。分析方法は先行研究と同様に OLS 推定を行う。さらに、新規性として、固定効果推定を行う。加えて固定効果推定では逆因果の可能性が考えられるため、操作変数法を用いた分析を行う。分析には環境省「一般廃棄物処理実態調査」から、2012 年から 2023 年までの市町村単位のパネルデータを用いる。

使用変数として被説明変数に 1 トンあたりに係る収集運搬費用を使い、説明変数に広域化の代理変数として市町村ごとの組合への依存度、リサイクル関連の変数として収集頻度、分別品目数を使う。

分析 I の結果、組合への依存度が高くなると収集運搬費用が上がるのが分かった。今後の人口減少による廃棄物排出量の削減や財政圧迫を踏まえると広域化の進展は避けがたい。広域化を行う際に最も懸念されるのは収集範囲の拡大による収集運搬費用である。分析 II では収集運搬費用の増加を抑える為に実際の事例をもとに効果検証を行う。具体的には北海道室蘭市と神奈川県座間市で導入されている経路最適化などの DX 化施策の効果に着目し、2つの事例を対象に合成コントロール法を用いて費用削減の効果を検証する。

検証の結果、DX 導入により北海道室蘭市では収集運搬費用を約 13% 下げ、神奈川県座間市では約 17% 下げていることが分かった。分析 I と分析 II の結果から、費用の概算を行ったところ DX の導入は、広域化に伴う収集運搬費の増大を一定程度緩和することが分かった。

第2節 分析 I：費用効率への影響

第1項 分析目的

廃棄物処理分野では、施設の広域化やリサイクル制度などの政策を処理事業の効率化や資源循環を目的として進められてきた。このような取組が進められてきた一方で、全国的には廃棄物処理事業経費は増加傾向にあり、これらの施策が実際に費用削減や効率化にどの程度寄与しているのかについては明らかではない。このことから、分析 I の目的は、地域特性及び市町村連携による広域的な処理体制の整備や容器包装リサイクル制度などの取組が廃棄物処理事業における収集運搬費用に与える影響を明らかにすることである。

第2項 データと使用変数

使用データは、環境省が全国の市町村を対象に毎年実施している「一般廃棄物処理実態調査」である。本研究では、廃棄物処理費用、廃棄物の排出量及び処理量、人口、分別量、分別数などの指標を用いる。分析には、2012年から2023年までの全国の市町村を対象とした12年間のパネルデータを使用する。²また、災害ダミーに関しては、内閣府「特定地域に係る激甚災害及びこれに対し適用すべき措置の指定に関する政令について」、財政力指数に関しては、総務省「地方公共団体の主要財政指標一覧」より取得している。

被説明変数の費用の算出については笹尾(2020)を参考にしている。本分析で対象とする費用は処理及び維持管理費のうち収集運搬に係る人件費・委託費・処理費の合計である。

【被説明変数】

- ・1トン当たりの収集運搬費用(千円/トン)

市町村が単独で行っている収集運搬に係る人件費・処理費・委託費を合計した収集運搬費に、組合の活動分である組合分担金を合計する。この金額を廃棄物の計画収集量で割ることで1トン当たりの収集運搬費用を算出した。³

$$\frac{\text{収集運搬費} + \text{組合分担金}}{\text{計画収集量}}$$

本分析で用いた組合分担金は、市町村が所属する組合に対して負担金として支払っているものであり、収集運搬、中間処理、最終処分といった各部門を合算した総額としてのみ把握できる。市町村の経費データでは、これらの部門ごとにどれだけの費用が割り当てられているかという内訳は確認できない。一方、組合の経費データでは、各部門にどれだけ支出したかについては金額が公開されており、部門別の支出構造を把握することができ

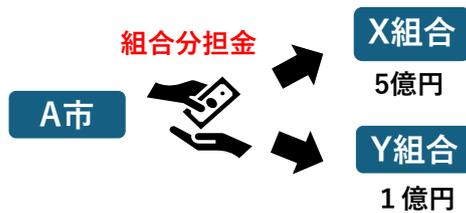
² 2012年を開始年としたのは、前年の2011年に発生した東日本大震災の影響を避ける為である。震災により、特に福島県を中心に廃棄物処理の方法や処理場所が大きく変化し、混合廃棄物の県外処理など特異な対応が取られたため、2011年のデータは平常時の傾向を反映していないと考えられる。また、庄子ら(2024)の先行研究に倣い、分析対象からは東京都23区及び福島県の一部市町村を除外した。東京都23区は、各区単位での生活系廃棄物排出量が把握できないためである。福島県は、東京電力福島第一原子力発電所事故の影響により、富岡町、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村及び飯館村が帰還困難区域に指定され、家庭廃棄物の排出がほとんど確認されなかったためである。分析 II でも同様の処置を施している。

³ 計画収集量とは、市町村が直営または委託によって実施する家庭系廃棄物の収集運搬業務における年間収集予定量を指す。廃棄物処理施設に直接搬入された廃棄物は収集運搬を経ないため、分析対象から除外し、計画収集量を分母として1トン当たりの収集運搬費用を算出した。

る。ただし、組合分担金が各部門に実際にどれだけ割り当てられているかは明示されていない。そこで本分析では、組合が実際に各部門へ支出している金額の割合を、組合分担金にも同じ比率で適用していると仮定した。つまり、組合の総費用に占める各部門の支出割合を算出し、その割合を市町村が支出している組合分担金に乗じることで、市町村が支出する組合分担金が部門別にどの程度割り当てられているかを推計した。

本分析では収集運搬費に着目するため、組合における総費用に対する収集運搬費の割合を用い、各市町村の組合分担金のうち収集運搬に充当されていると推定される金額を算出した(図6参照)。最終的に、これらの推定値を市町村自身の収集運搬費と足し合わせることで、組合の活動分を含めた市町村全体の収集運搬費を再構成している。

①所属組合へ組合分担金を渡す



②組合ごとに収集運搬費用割合を算出

$$\frac{\text{収集運搬費}}{\text{処理維持管理費}} = \begin{array}{|c|c|} \hline \text{X組合} & \text{Y組合} \\ \hline 35\% & 25\% \\ \hline \end{array}$$

③A市が支出している組合分担金が収集運搬にいくら使われているかを推計

X組合 収集運搬費：5億円×0.35＝1億7500万

Y組合 収集運搬費：1億円×0.25＝2500万

図6 組合分担金の按分方法
筆者ら作成

【説明変数】

1.組合への依存度(%)

本分析では、市町村の広域化の指標として組合への依存度を用いる。分母を処理維持管理費と組合分担金の合計とすることで、当該市町村の廃棄物処理関連支出のうちどの程度が外部に委ねられているかを示す割合となる。値が大きいほど当該市町村は広域的な共同処理に依存しており、値が小さいほど自前で処理を行っている単独処理主体であることを表す。これにより広域化の度合いを表すことができる。市町村が単独で行っている処理維持管理費と所属している組合に支出している組合分担金の合計を分母に置く。分子に組合分担金を置くことで、その市町村が組合での処理にどの程度の費用をかけているかの割合を算出した。

以下は算出の式である。

$$\frac{\text{組合分担金}}{\text{処理維持管理費} + \text{組合分担金}}$$

依存度が高いということは市町村が組合に加入し、処理を任せている割合が高いということである。笹尾(2020)では、広域組合は単独処理を行う市町村と比べて、廃棄物の量が多いことが示されている。また、三木(2014)では処理量の増加により、処理単価が下がると示されている。しかし、収集運搬費用は広域的な処理を行う事となり収集範囲が広がり、

ガソリン費用や人件費が増加することが考えられる。そのため、係数の符号は正と予想される。

2.各品目の収集頻度(可燃物、紙、紙製容器包装、ペットボトル、容器包装用プラスチック)

各市町村が1週間に何回回収しているかを示す変数である。可燃物以外のものは資源化ごみであり、リサイクルの観点から追加している。リサイクル制度が収集運搬にどのような影響を与えているかを見るためにこの変数を追加する。収集頻度が多いと往復回数は増え、1回当たりの収集車の積載量は下がり、収集効率は悪くなると考えられる。

3. 分別品目数

市町村ごとの廃棄物の分別品目数を示している。分別の細分化はリサイクルの資源回収率の向上に寄与する一方で、収集の頻度や車両運用に影響を及ぼし、結果として収集運搬費用を増加させる可能性がある。

4.コントロール変数

- ・災害ダミー：激甚災害指定をされている市町村を1、その他を0にしたダミー変数にした。
- ・委託率：委託費を処理維持管理費で割ることで算出した。
- ・人口(対数化)：総人口を対数化したものを用いる。
- ・集団回収率(%)：ごみ総排出量(直接搬入量、集団回収量、計画収集量)のうち、集団回収率が占める割合を算出した。
- ・事業系廃棄物割合：事業系ごみ収集量をごみ搬入量で割ることにより算出した。事業系ごみは事業者が直接ごみを持ってくるので、収集運搬費用は下がると考えられる。
- ・年次ダミー
- ・財政力指数：市町村の財政力を示す指標であり、財政力指数が高い市町村ほど廃棄物処理に対しても積極的に取り組んでいる可能性がある。

第3項 分析手法

分析手法にはOLS推定、固定効果推定、操作変数法の3つを行う。OLS推定は先行研究との比較のために行う。第2章第2節で述べたように、笹尾(2020)ではOLS推定しか行われておらず、市町村ごとに異なる固有の条件が費用に影響する可能性を十分に考慮できていない。そのため本分析ではパネルデータを用いた固定効果推定を行う。

また、組合への依存度と費用効率の関係を推定する際には、費用が掛かる市町村ほど処理効率を高めるために広域化を進めるなど、逆因果的な影響が考えられる。このような関係が存在すると、組合への依存度と誤差項が相関し、内生性が生じる可能性がある。そのため、操作変数法を適用する。操作変数には、内生変数とは相関があるが、被説明変数とは説明変数を通して以外で直接影響を及ぼさないものを変数として選定する必要がある。この条件を満たす変数を操作変数として用いることで、説明変数が被説明変数に影響を及ぼしたという因果関係を見ることができる。本分析では以下のものを操作変数に用いる。

【操作変数】

- ・周辺地域の組合への平均依存度
- ・若年層割合(0~14歳)

操作変数に周辺地域の組合への平均依存度と若年層割合(0~14歳)の組み合わせを使用した。

周辺地域は「市区町村隣接関係一覧」を参考に選定した。若年層割合のデータはe-statの「住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数調査」を使用した。

周辺地域の組合への平均依存度の選定理由として、組合や連合といった組織は複数の市町村が所属し連携して運営しているため、周辺地域が組合への依存度が高いということは

当市町村も組合への所属率が高くなると考えられる。一方で、周辺地域の組合への平均依存度が当市町村への収集運搬費用に影響を与えるとは考えにくい。以上の理由から周辺地域の組合への平均依存度割合を操作変数として用いる。

次に若年層割合を操作変数として選定した理由について述べる。本稿では組合への平均依存度は費用を用いて算出した広域化の指標である。現状で述べたように、今後の人口減少を加味して広域化が進んでいくことは自明である。そのため若年層が少ない地域では将来を見据え単独施設による運営よりも組合等に所属する可能性が高いと考える。本稿では若年層の定義を0～24歳とする。定義の理由として出生率の影響や進学や就職による人口流出を考慮し、操作変数には0～14歳までの若年層割合、15～24歳までの若年層割合、0～24歳までの若年層割合を用いた。⁴

選定した操作変数が妥当かを確認するためにはいくつかの検定を行う必要がある。操作変数は内生変数と相関があることを求められるため、「操作変数は内生変数と弱相関である」という帰無仮説を棄却する必要がある。そこで弱相関検定を行うことで操作変数が内生変数と相関があるかを検証する。検定結果がF値10を超えていることが望ましい。また、操作変数は被説明変数には直接的な影響がないことが求められるため、操作変数が誤差項と相関していないことが求められる。そこで、過剰識別性検定という検定方法が用いられる。操作変数は誤差項と相関が無い必要があるため、帰無仮説「操作変数と誤差項は相関が無い」は棄却されず、検定結果のP値が10%以上の値になることが望ましい。

また、操作変数法を用いる妥当性を確認するために内生性検定というものが存在する。この検定では、内生性が存在しないという帰無仮説を棄却するかを調べる事ができる。P値が10%以下であれば内生性が有意に認められ、操作変数法を用いる妥当性が高いと判断できる。以上の点を考慮して分析を行う。

⁴ 15～24歳、0～24歳までの若年層割合は過剰識別性検定の結果操作変数として不適切だったので除外した。

第4項 結果と解釈

表3 分析結果

変数	収集運搬費用		
	OLS	FE	FEIV
組合への依存度	-0.00457*** (0.000217)	-0.00226*** (0.000371)	0.0121*** (0.00218)
収集頻度(可燃)	-0.0984*** (0.00939)	-0.00187 (0.0149)	-0.0115 (0.0182)
収集頻度(紙)	-0.00305 (0.00450)	-0.00360 (0.00679)	0.00453 (0.0104)
収集頻度(ペットボトル)	0.00846** (0.00396)	0.00632 (0.00664)	0.0119 (0.0100)
収集頻度(紙製容器包装)	-0.00234 (0.00430)	0.00113 (0.00591)	0.00199 (0.00588)
収集頻度(容器包装プラ)	0.0282*** (0.00277)	0.00412 (0.00444)	0.00158 (0.00642)
分別品目数	-0.000720 (0.000968)	0.00417** (0.00192)	0.00262 (0.00184)
総人口(対数化)	-0.100*** (0.00462)	-0.473*** (0.0706)	-0.463*** (0.0766)
集団回収率	0.00305*** (0.000261)	0.00135*** (0.000362)	0.00153*** (0.000301)
災害ダミー	0.166*** (0.0388)	-0.00645 (0.0227)	-0.0101 (0.0174)
事業ごみ割合	-0.0146*** (0.000414)	-0.0101*** (0.000773)	-0.0110*** (0.00100)
財政力指数	-0.115*** (0.0226)	-0.223** (0.0963)	-0.253** (0.118)
委託比率	0.00429*** (0.000274)	0.00398*** (0.000304)	0.00964*** (0.00123)
定数項	3.932*** (0.0538)	7.438*** (0.717)	
観測数	18,859	18,859	18,849
弱相関検定			218.878
過剰識別性検定			0.497
内生性検定			0.000
決定係数	0.256	0.110	0.032

5

※0内は標準誤差を表す。

※***、**、*はそれぞれ1%、5%、10%水準で統計的に有意であることを表す。

※すべての分析に年ダミーを考慮している。

※弱相関検定はF値、過剰識別性検定と内生性検定はP値を示す。

結果は表3の通りである。固定効果操作変数法は全ての検定が有意になり、固定効果操作変数法を行う妥当性が支持された。推定結果を比較すると、OLS推定及び固定効果推定では組合依存度の係数が負で有意であったが、固定効果操作変数法では係数の符号が変化した。これは、OLS推定及び固定効果推定が内生性によるバイアスを受けていた可能性を示している。弱相関検定、過剰識別性検定、内生性検定においても操作変数の妥当性が確

⁵ FEは固定効果推定、FEIVは固定効果操作変数法を表す。また、表中のFEIVの決定係数は擬似決定係数である。そのため、通常のOLS推定における決定係数とは直接比較できない。

認められた為、本分析では固定効果操作変数法の推定結果を最も信頼できる推定値として採用する。

組合への依存度には、OLS 推定、固定効果共に統計的に負に有意となり、組合等による処理が収集運搬の平均費用を下げるとした笹尾(2020)や他の先行研究が示した結果と同様の結果が得られた。しかし、この結果は上記の通り内生性によるバイアスを受けていた可能性がある。実際に、固定効果操作変数法では組合への依存度は OLS 推定や固定効果推定とは異なり 1%水準で正に有意となった。結果として組合への依存度が 1%上がると、収集運搬費用が 1.2%上がるということが明らかになった。収集運搬費用が増加した要因として広域化により処理施設が集約されると、運搬距離の拡大や車両稼働時間の増加が生じ、収集運搬費用が上昇するためと考えられる。

また、仮説では収集頻度の回数が多いと収集車の往復回数が増えることで収集運搬費が増加すると考えたが、非有意という結果になった。分別品目数も同様に収集回数が増え、収集運搬費用を増加させると考えたが、固定効果操作変数法の結果では、非有意となった。このことから、リサイクル促進による収集頻度の増加や分別品目数の増加が費用を上げるという明確な影響は確認できなかった。

その他にも仮説通り事業ごみ割合が負に有意となった結果として事業者がごみを直接搬入することから、収集回数が減り収集運搬に係る費用が下がるためだと考える。

第3節 分析Ⅱ：収集運搬費削減の効果検証

第1項 分析Ⅱの概要

分析結果より組合への依存度は、収集運搬費用が有意という結果になった。この結果から広域化政策は収集運搬費用削減の観点から見ると非効率ではあるが、今後の人口減少による廃棄物排出量の減少や財政圧迫を加味すると、広域化で複数の市町村が連携して廃棄物処理を行うことはやむを得ない。そのため、広域化政策を取りやめることはかえって非効率を招く恐れがある。制度的要因だけでなく人口減少などの構造的要因により広域化が今後も進むのは前提として、広域化を行っていくうえでどのように費用削減を行い、持続可能な廃棄物処理を実現させるかが、今後の廃棄物処理の持続性を高めるうえでの焦点となってくる。

そこで広域化が進むうえで最も懸念される問題である収集運搬費用の増加を抑えるための効果検証を行う。現状でも述べたように、ごみ収集車への DX 化の導入は、収集運搬経路の改善を通じて走行距離の短縮や作業時間の削減を示した。分析結果を踏まえても廃棄物処理費用の中で収集運搬における効率化・費用削減は喫緊の課題である。

したがって、本章では、特定市町村の固有状況に依存した効果ではなく、室蘭市及び座間市の複数の市町村にみられるようなごみ収集業務への DX 化が、一般的に収集運搬費用削減へ効果的であるかを検証することを目的とする。具体的には、合成コントロール法を用いて、政策導入がなされなかった場合の反事実シナリオを構築し、DX 化がもたらした因果効果を推定する。これにより、市町村の廃棄物処理事業における DX 化の費用抑制効果と、その政策的意義について考察を行う。

第2項 因果効果の推定方法と使用データ

合成コントロール法⁶とは、政策介入を受けた地域（処置群）に対して、介入を受けてい

⁶ 合成コントロール法の考え方は、金本(2024)に準拠したものである。

ない複数の地域（ドナープール）を基に加重平均を構成し、介入が行われなかった場合の反実仮想的な地域（合成対照群）を作成することで、政策効果を推定する分析手法である。比較事例分析の代表的手法として、差分の差分法(Difference In Differences: DID)がある。DID は、政策介入を受けた地域と受けていない地域の間で、介入が存在しなかった場合には両者のトレンドが同一であるという「並行トレンド仮定」を前提としている。しかし、実際にはこの仮定を強く満たす組み合わせのデータを見つけることは容易ではない。もし並行トレンドが成立していない状況で DID を適用すると、推定結果は政策導入によるものではなく、もともとの構造的な違いを反映したものとなり、因果効果として解釈することはできない。

一方、合成コントロール法は、介入を受けていない複数の地域の加重平均を用いて、介入地域の介入前の動きを再現する手法である。これにより、並行トレンド仮定を設定せずとも、データの実績に基づいて処置群と同様の推移を示す比較対象を構築できる。その結果、政策介入後に処置群と対照群の間に乖離が生じた場合、その差異は介入によって生じた影響として解釈可能となる。

本節の分析では、反実仮想データの作成方法及び因果効果の推定について式を示す⁷。処置群の結果変数を Y_{1t} 、対象群の結果変数を Y_{1t}^N とする。 t は観測時点を表し、 j は対照群の総和となる。 T_0 は介入年を表し、介入前を($t < T_0$)、介入後を($t > T_0$)と表す。また、 w は合成対照群の重みを表す。 Y_{jt} はドナープールの実際の観測値である。以下の式は、合成対照群を生成するものである。

$$Y_{1t}^N = \sum_{j=2}^{J+1} w_j Y_{jt} \quad (t < T_0) \quad (j = 2 \dots j + 1)$$

上記の式から、処置群の反実仮想データを生成することで、因果効果を推定することが可能となる。以下は、介入による因果効果を示す式であり、 α_{it} は因果効果を表すものとなる。

$$\alpha_{it} = Y_{1t} - Y_{1t}^N \quad (t > T_0)$$

本節の分析では、2012年から2023年までの全国の市町村を対象とした12年間のパネルデータを用いる⁸。政策介入地域としては、北海道室蘭市及び神奈川県座間市⁹を選定した。一方、対照群については、いずれも処置前期間において「ごみ収集車へのDX化の導入」を行っていない市町村から構成する。

室蘭市については、人口規模、産業構造及び財政状況が類似する市町村を選定するため、中国地方、近畿地方及び東海地方の市町村からドナープールを構成した。室蘭市は港湾都市であり、重工業を主要産業とする点に特徴がある。そのため、同様に工業集積を有する地方都市を比較対象とすることで、廃棄物収集運搬費用に影響しうる産業構造上の要因を適切に考慮できると判断した。

一方、座間市については、政策を実施していない神奈川県内の市町村に加え、人口規模や都市的機能が類似する東北地方及び中部・東海地方の市町村をドナープールに含めた。これにより、都市圏市町村に共通する廃棄物収集体制の特徴を反映した比較が可能となるよう配慮した。合成コントロールを作成する際に用いる共変量については、地理的及び社

⁷ 合成コントロール法の推定式は、Cunningham(2023)に準拠したものである。

⁸ ドナープールをより正確な数値で構成するため、市町村の直営施設に係る収集運搬費用、広域施設に係る収集運搬費用が共に0である市町村は除外した。そのため、サンプルサイズは8796に減少した。

⁹ 2019年度の座間市の収集運搬費における人件費が0円と記載されていたことから、不適切だと判断し、座間市の分析では全市町村2019年度の集計を落としている。

会経済的特性を反映させる観点から、笹尾（2020）及び Honma and Hu（2021）を参考にした。具体的には、処置年以前の1トン当たりの収集運搬費用、総人口、生活ごみ排出量、リサイクル率、面積、可住地面積、第一次産業就業者数、第二次産業就業者数、第三次産業就業者数、総排出量、労働人口、財政力指数とする。アウトカム変数は、分析Ⅰと同様に、1トン当たりの収集運搬費用とする。収集運搬費用、総人口、生活ごみ排出量、総排出量、リサイクル率については、環境省「一般廃棄物処理実態調査」、第一次、第二次、第三次産業就業者数、面積、可住地面積、労働人口は、e-stat「統計でみる市区町村のすがた」、財政力指数については、総務省「地方公共団体の主要財政指標一覧」より取得している。

第3項 仮説

近年、廃棄物収集業務においては、収集経路の最適化や作業効率の向上を目的として様々な取組が行われている。なかでも、ごみ収集車へDX化の導入は、収集経路の最適化を通じて走行距離の削減や作業時間の短縮を可能にし、結果として収集運搬費用の削減に効果的であると考えられる。本章の分析では、このようなDX化の導入が収集運搬費用の削減に寄与するという仮説を立て、その妥当性を検証する。

第4項 推定結果

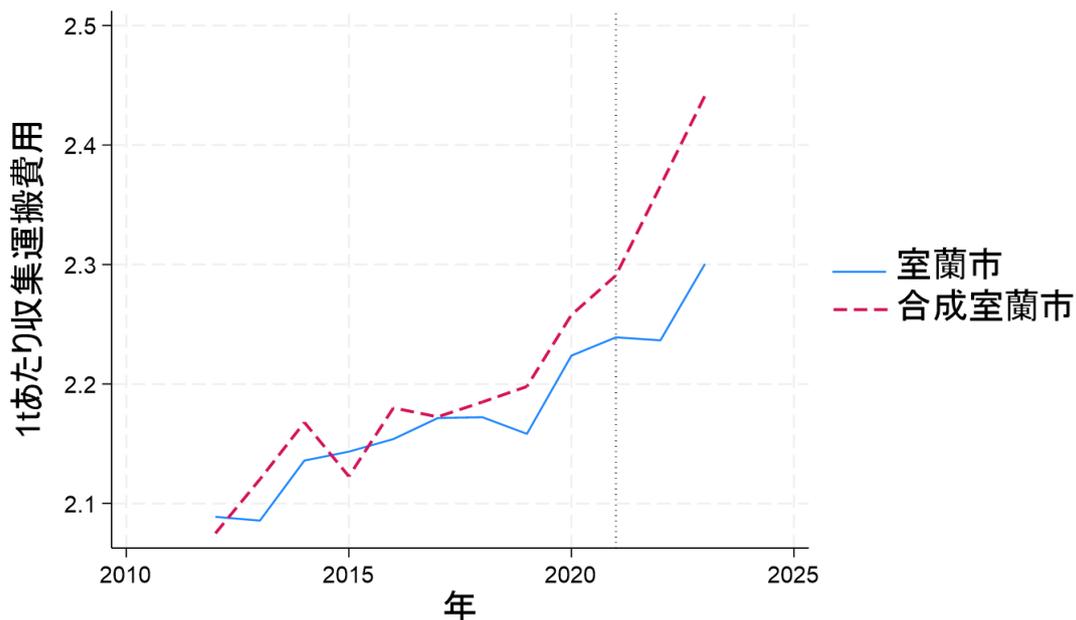


図7 室蘭市：収集運搬費用の推移

年	室蘭市の収集運搬費用	合成室蘭市の収集運搬費用	処置効果
2022	2.236	2.365	-0.129
2023	2.300	2.441	-0.1409
平均	2.268	2.4036	-0.1351

表4 室蘭市：政策による因果効果
出典：筆者作成

図 7 は、合成コントロール法によって推定された、室蘭市及び合成対照群における収集運搬費用の推移を示したものである。分析期間は、処置前期間を 2012 年 4 月から 2022 年 3 月、処置後期間を 2022 年 4 月から 2023 年 3 月とした。青線は室蘭市の実際の収集運搬費用、赤線は室蘭市に最も近似するように構成された合成対照群の推定値を表している。

図 7 より、処置前期間において室蘭市と対照群は概ね同様の増加傾向を示しており、両者の乖離は大きくないことが確認される。これは、処置前におけるトレンドの適合度が一定程度確保されていることを意味する¹⁰。一方、処置後期間に入ると、室蘭市では収集運搬費用が横ばいで推移する一方で、対照群では増加が継続している。すなわち、処置年を境に生じた両者の乖離は、政策導入の効果によるものとして解釈できる。ごみ収集業務における DX 化を導入しなかった場合と比較して、表 4 より、収集運搬費用は対数変換を施しているため、その差分は費用の比率として解釈可能である。処置後 2 年間の平均効果は -0.1351 であり、これは室蘭市における廃棄物処理事業への DX 化の導入が、同期間に平均して約 13.5%の収集運搬費用削減効果をもたらしたことを意味する。ただし、グラフの視覚的な傾向のみでは、効果の統計的有意性を十分に判断することはできない。そこで次節では、プラセボテスト及び正確 P 値を用いた頑健性の検証を行う。

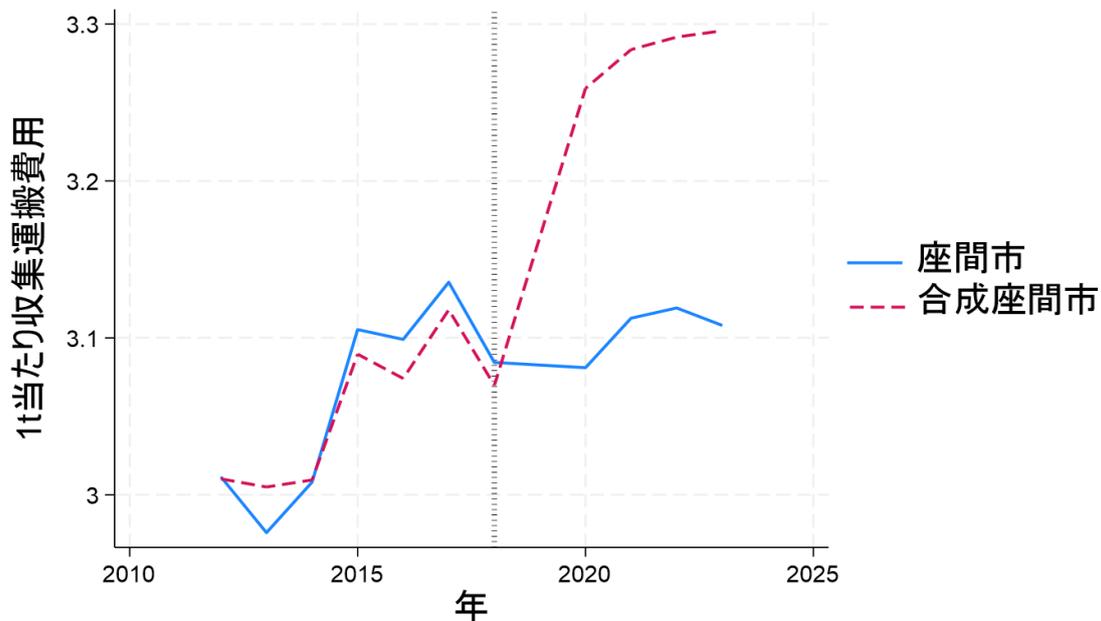


図 8 座間市：収集運搬費用の推移

年	座間市の収集運搬費用	合成座間市の収集運搬費用	処置効果
2020	3.081	3.259	-0.178
2021	3.112	3.283	-0.171
2022	3.119	3.291	-0.172
2023	3.108	3.295	-0.187
平均	3.105	3.282	-0.177

表 5 座間市：政策による因果効果

出典：筆者作成

¹⁰ Abadie *et al.* (2010)より処置前の適合度が著しく低い placebo を除外するため、Pre-treatment MSPE が処置群の 100 倍を超えるユニットは推論から除外した。また、座間市の分析でも同様の処置を施している。

次に、座間市における DX 化導入の効果を検証する。図 8 は、座間市及び合成対照群の収集運搬費用の推移を示したものである。分析期間は、処置前期間を 2012 年 4 月から 2020 年 3 月、処置後期間を 2020 年 4 月から 2023 年 3 月とした。青線は座間市の実際の費用、赤線は座間市の処置前の推移に最も近似するよう構成された合成対照群の推定値である。

図 8 より、処置前において座間市と合成対照群は類似した傾向で推移しており、適合度は一定程度確保されている。一方、処置後期間では、座間市の費用は横ばいで推移する一方、合成対照群は増加を続けている。この乖離は政策効果によって生じたものと解釈できる。さらに表 5 に示すように、収集運搬費用は対数変換を施しているため、その差分は費用の比率として解釈可能である。処置後 4 年間の平均効果は -0.177 であり、座間市における廃棄物処理事業への DX 化の導入が、同期間に平均して約 17.7% の収集運搬費用削減効果をもたらしたことを意味する。ただし、視覚的な差異のみでは有意性の確認はできないため、プラセボテスト及び正確 P 値に基づく検証を行う。

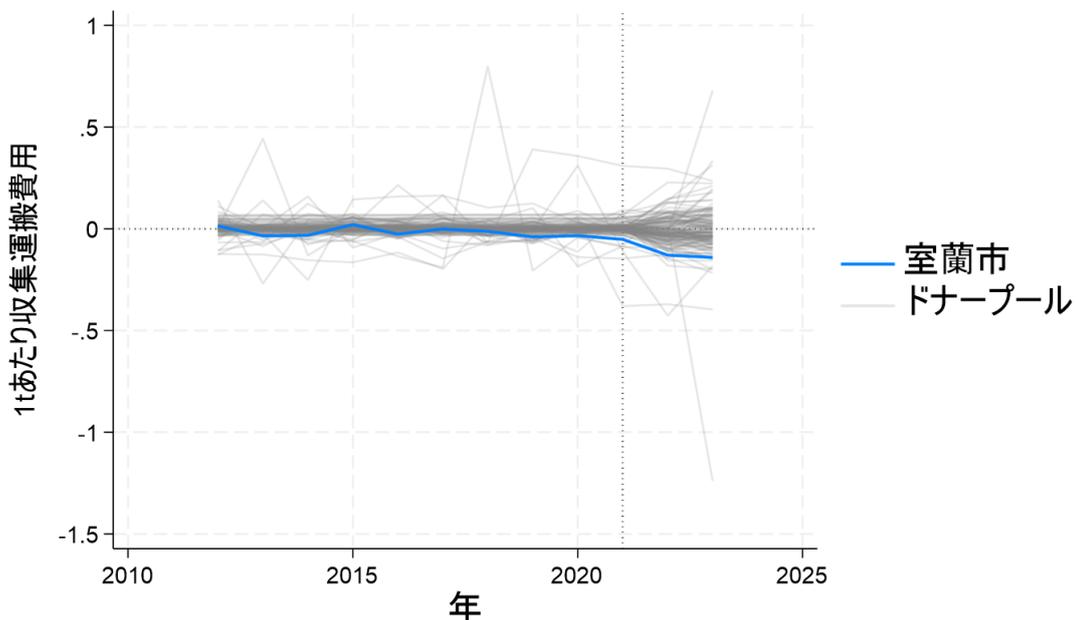


図 9 室蘭市：プラセボテスト

図 9 には、合成コントロール法による推定結果に基づき実施した in-space プラセボテストの結果を示す。in-space プラセボテストとは、処置群以外の市町村を仮に処置群として同様の推定を行い、観察された効果が処置群に固有のものか否かを検証する手法である。この検証では、他市町村において同様の費用削減効果が生じる場合、政策効果の特異性は低いと解釈される。一方、処置群が明確な減少を示す場合、当該効果は政策によるものと判断できる。

図 9 より、処置後の期間において室蘭市は他市町村と比較して明確な費用削減傾向を示している。定量的には、処置年である 2022 年度の処置効果は -0.326 であり、効果が減少方向であるという仮説の下、片側検定を行ったところ正確 P 値は $P=0.04$ であり、有意水準 5% において統計的に有意であった。片側検定を採用したのは、事前に政策が費用を削減する方向の効果を期待していたためである。

以上より、室蘭市のごみ収集業務への DX 化は、収集運搬費用の削減に対し、統計的にも実質的にも有意な効果をもたらしたと結論づけられる。

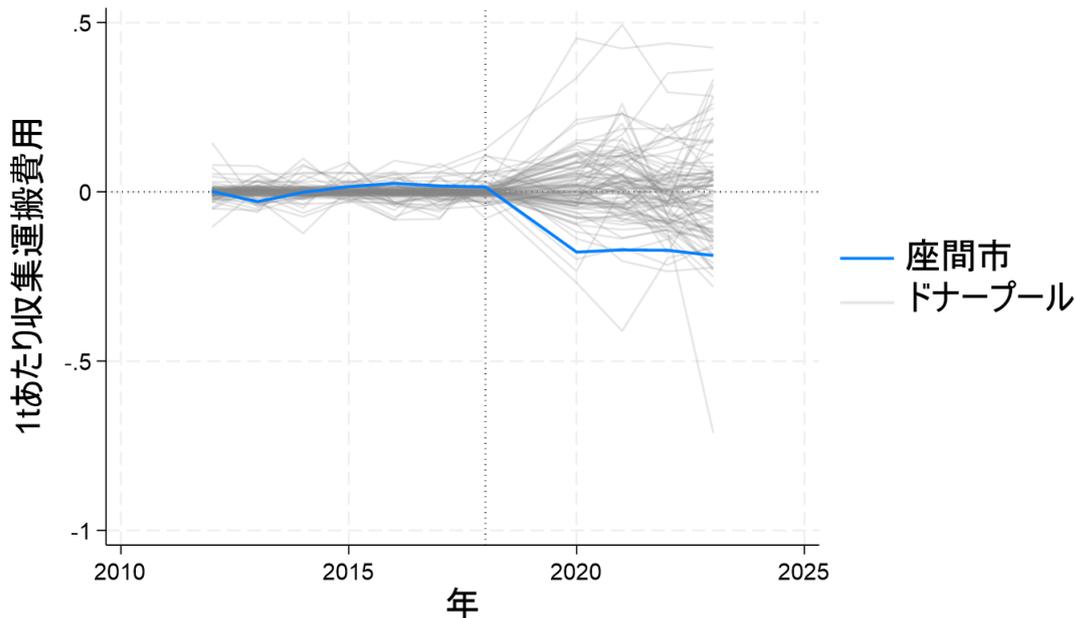


図 10 座間市：プラセボテスト

図 10 は、in-space プラセボテストの結果である。処置後の期間において座間市の収集運搬費用は減少しており、座間市は他市町村と比較して明確な費用減少を示している。定量的にみると、表 5 より、2020 年度の処置効果は -17.80% であり、片側検定による正確 P 値は $P=0.04$ となり、有意水準 5% で統計的に有意であることが確認された。

以上より、座間市における DX 導入は、収集運搬費用の削減に対して統計的にも実質的にも有意な効果を示したことが明らかとなった。

第 5 項 解釈

本章では、室蘭市及び座間市におけるごみ収集業務への DX 化導入が収集運搬費用に及ぼした影響を、合成コントロール法を用いて検証した。その結果、両市において政策導入後に処置群と合成対照群との間に明確な乖離が生じており、費用削減効果が確認された。具体的には、室蘭市では年間約 13.5% 、座間市では年間約 17.7% の収集運搬費用削減効果が推定された。これらの効果は、処置前における適合度が十分に確保されていたこと、in-space プラセボテスト及び正確 P 値により統計的に有意であることが確認され、政策導入による効果であると判断できる。

この結果、本章で設定した「ごみ収集車へ DX 化の導入は収集運搬費用の削減に効果的である」という仮説を支持するものとなった。費用削減効果が生じた要因としては、DX 化による収集ルート最適化及び収集作業の効率化が考えられる。特に、ごみ収集における走行経路の決定は担当者の経験や判断に依存する側面が大きく、これが非効率性を生む要因となる。収集経路を最適化することで、不確実性を低減し、時間当たり収集量や燃料消費の改善につながったと推察される。

さらに、両市町村において類似した費用削減効果が示された点から、この効果は特定の市町村の制度的・地理的条件に依存されるものではなく、他の市町村においても同様を期待できると考えられる。以上より、ごみ収集業務への DX 化は、廃棄物収集運搬業務における効率性の向上及び費用削減への有効な政策手段であると結論づけられる。

第4節 費用削減の概算

分析Ⅰの結果より組合への依存度が1%上がれば、1トンあたりに係る収集運搬費用は1.2%上がることが明らかになった。この結果だけでは議論ができないので、今まで組合に属していなかった市町村が初めて組合へ所属することでどの程度費用が上がるのかを明らかにする。算出方法は組合へ所属していないかつ次年度に組合へ所属した場合の市町村のみを抽出し、組合への依存度がどの位上がるのかを見る。そして、組合への依存度の上昇率の平均を求める。その結果、組合に所属することで約21%費用が増加することが分かった。分析Ⅰの結果を参考にすると、組合への依存度21%上がると1トンあたりに係る収集運搬費用は約25%上がる。この割合を座間市がDXを本格導入した2020年の収集運搬費約7億5,000万円に当てはめると、組合に所属することで収集運搬費は約9億4,000万円となり、約2億円増加する。一方で、分析Ⅱの結果から、DXを導入すると費用が約17%減少することが分かった。計算をすると、約1億3,000万円の削減効果が見込まれる(図11参照)。したがって、DXの導入は、広域化に伴う収集運搬費の増大を一定程度緩和することが期待される。

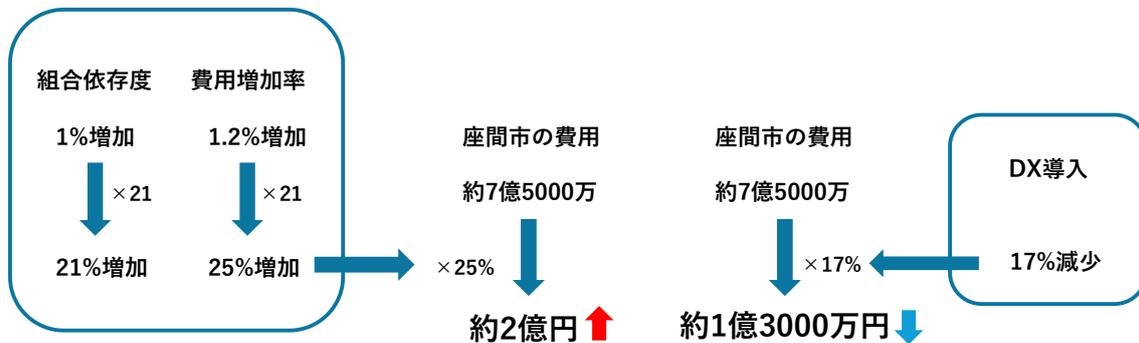


図11 費用の概算
筆者ら作成

第4章 政策提言

第1節 政策提言の方向性

分析Ⅰの結果、広域化を進めている市町村ほど収集運搬費用が高くなる傾向が確認された。広域化が進むことにより運搬距離や車両稼働時間が増加するためであると考えられ、収集運搬費用が市町村の処理関連経費の約4割を占めることを踏まえると、こうしたコスト上昇は無視できない。また、収集運搬費用の上昇が共同処理の経済的メリットを縮小させ、広域化の進展そのものを妨げるリスクも存在する。

一方で、人口減少や担い手不足、施設の老朽化更新といった課題を考えると、将来にわたり安定した処理体制を維持するためには広域化の推進が不可欠である。広域化は、市町村単独では対応が難しくなる廃棄物処理や人材の確保を地域全体で補完するものであり、その方向性自体が否定されるものではない。したがって、本研究の結果は広域化を抑制すべきことを示すものではなく、広域化を進める際に収集運搬費の負担が顕在化しやすいという課題を明らかにしたものである。今後は広域化の推進と並行して、収集運搬工程に集中しがちな費用負担をどのように抑制するかが重要な課題となる。

また、リサイクル関連の指標は収集運搬費用に対して有意な影響を示さなかった。このことから、分別数や収集回数などの既存の取組の変更では、収集運搬費用に影響を及ぼさないことが分かった。したがって、本稿では制度変更によって費用負担の配分の見直しを図る(図12参照)。

政策提言Ⅰ：DXの活用による収集運搬費用の軽減

政策提言Ⅱ：容器包装リサイクル法の改定による市町村の費用負担の改善

まず、DXの導入により収集運搬工程の効率化を図り、作業量と費用の双方を削減する取組を提言する。分析Ⅱの結果、DXの導入による作業効率化が収集運搬費用の削減に有効であることが明らかとなった。これにより、業務の重複や非効率を解消し、スケールメリットを活かした効率的な運営が可能となる(政策提言Ⅰ)。

次に、リサイクルに伴う費用負担の見直しを通じて、収集運搬費用及び全体費用を下げるために市町村が負担しているリサイクル費用を企業に引き渡すことで、リサイクル政策の持続可能性を高めるための提言を行う(政策提言Ⅱ)。



図 12 政策提言の概要図
筆者ら作成

第 2 節 政策提言Ⅰ DX の活用による収集運搬費用の軽減

第 1 項 政策概要

本研究の分析では、広域化の進展によって収集運搬費用が上昇する傾向が確認された。これは、収集運搬距離や車両稼働時間が増加するためだと考えられ、広域化の推進と収集運搬費の増大がセットで生じやすい構造を示している。その際の有効な手段として、DX 導入による収集運搬の効率化があげられる。合成コントロール法による分析でも、DX を導入した市町村では収集運搬費用の削減効果が確認されており、導入による運行管理や作業プロセスの効率化がなされていると考えられる。

このことから、DX は距離そのものを短くする技術ではないが、運行管理の最適化によって収集運搬費の上昇を抑える手段になり得る。広域化を進めれば収集運搬費が増えるのは避けにくいため、広域化を続けるのであれば、DX の導入は費用面の負担を抑えるための実用的で効果的な選択肢となる。

第 2 項 参考にした政策

本提言では、廃棄物収集の効率化を実際に達成している先行事例として、神奈川県座間市と北海道室蘭市の取組を参照した。なお、特に詳細な事例の記述があった座間市を紹介する。

神奈川県座間市では、収集運搬工程の効率化を目的として、2020 年 9 月よりデジタルツールを活用した収集管理システムの実証導入を開始し、2021 年 1 月には全収集車両への搭載を行っている。同市では、収集状況の自動検知、リアルタイムのルート調整、車両間連

携、積載量管理などの先進的な DX の導入により、様々な効果が表れている。

1. 収集状況の可視化とルート最適化

神奈川県座間市では、小田急電鉄が提供する廃棄物管理サービス「WOOMS」を導入し、家庭ごみ収集業務の効率化を進めている¹¹。このシステムでは、収集車に搭載されたタブレット端末により、車両の位置情報や収集作業の進捗、収集量が自動的に記録・共有される。

これにより、担当職員および作業員は、各収集車の現在地や未回収地点を地図上で即時に把握できるようになった。その結果、特定のルートで収集量が増加した場合には、他の車両が応援に向かうなど、柔軟な対応が可能となっている。

2. 積載量向上と運搬回数の削減

座間市では DX 導入により、平均積載量が 1,834 kg から 2,047 kg へと 11.6% 向上し、年間運搬回数も 11,266 回から 9,427 回へと 16.3% 削減された。座間市サーキュラーエコノミー推進と取組について（2023）によれば、同市は近隣 3 市と共同で焼却施設を運営しており、ごみ搬入には 1 回あたり往復 20km 前後の走行が必要となる。そのため、運搬回数削減の効果は職員の稼働時間・燃料費・車両維持費に直接反映され、費用削減効果は大きいとしている。この点を踏まえると、座間市で確認された積載効率の向上と運搬回数の大幅削減は、広域化に伴う収集運搬費の上昇要因を抑制するうえで特に高い効果を持つ事例といえる。

また、DX 導入に関連する国の支援制度として、DX 推進補助金と DX 認定制度（DX ロゴ）を参照した。DX 推進補助金では、通常枠で最大 450 万円、費用の 3 分の 2 以内が補助対象とされ、ソフトウェア購入費、クラウド利用料（最大 2 年間）、導入関連費、サービス利用料などが幅広く対象となっている。市町村が ICT・DX 関連のシステムを導入する際の初期負担を軽減する仕組みとして整備されている。

さらに、DX 認定制度を取得した企業・団体には、政策金融公庫による金利優遇、民間金融機関での信用保証の追加・枠拡大、人材開発支援助成金の活用など、投資促進や人材育成を後押しする措置が講じられている。また、DX 銘柄や DX セレクションへの応募資格、ものづくり補助金での加点など、認定取得を通じて外部資金調達や評価向上につながる制度的支援も整備されている。

第 3 項 提言内容

本提言では、北海道室蘭市や、神奈川県座間市の事例を参考に「ごみ収集車へのナビゲーションシステム搭載による DX 化」導入による収集業務の効率化を提言する。具体的には、収集車に GPS 連動型のナビゲーションシステムを導入し、リアルタイムの車両モニタリングや収集車間のデータ連携を通じて、ルート最適化を図る。

しかし実際の導入には初期費用の負担が大きいといった課題ある。そのため、国による導入支援や費用補助など、DX 化を促進するための制度整備が求められる。

具体的には、国の DX 認定制度を拡張し、廃棄物収集分野に特化した「DX ロゴ・エコバージョン」を付与することを提案する。DX ロゴを取得した企業は市町村入札での優遇を受けられる仕組みとし、技術開発やシステム導入への民間企業のインセンティブを高める。

また、導入費用の一部を国が補助する制度を整えることで、財政的に余裕のない企業でも導入を検討しやすくする。

¹¹ 日本経済新聞デジタル「ごみ収集を IT で効率化 街の「見守り」に役割拡大」2022 年 7 月 10 日より事例を引用した。

このように、国が認定制度と補助制度を組み合わせて官民双方を支援する仕組みを整えることで、DXによる廃棄物収集業務の効率化と費用の削減を段階的に推進できる。

第4項 期待される効果

「ごみ収集車へのナビゲーションシステム搭載によるDX化」による収集業務の効率化は、多面的な効果をもたらす。具体的には、燃料費・人件費の削減、CO₂排出量の低減など、費用・環境の両面で効果が期待できる。

さらに、DXロゴ導入による社会的評価向上や市町村入札での優遇により、民間企業の競争力が強化され、技術開発やスマートシティ政策との連携が期待できる。これらの取組が相互に作用することで、官民協働による環境負荷低減と業務効率化を同時に実現でき、広域化政策で生じている費用上昇の課題解決に資することが期待される。

第5項 実現可能性

DXによる廃棄物収集の効率化は、北海道室蘭市や神奈川県座間市などでの導入実績から、技術的・制度的に高い実現可能性がある。既存のDX推進補助金など、国の補助制度を活用することで、新たな財源確保や制度設計を行うことなく導入が可能である。

デジタル庁の令和7年度予算案(2025)によると、デジタル社会形成推進に必要な経費が前年度予算額の約90%程度に設定されている。また、「デジタル社会形成の推進に関する経費」は前年当初予算額を基準に申請されており、今後DXがさらに進展すれば、当該分野の予算額が増加する可能性が高い。これを廃棄物収集・処理の効率化に関する施策の財源として活用できると想定する。

具体的な導入方策としては、国が共通プラットフォームを開発・提供し、市町村や民間事業者が共同で運用する仕組みを整備することで、全国的なデータ収集や効果測定が可能となる。これにより、市町村ごとの初期投資を抑制しつつ、政策効果を定量的に評価できる体制を構築できる。

ただし、地域特性や現場の環境に応じた柔軟な設計が必要である。例えば、積雪地域や人口密度の低い地域ではルート最適化の効果が限定される場合があり、導入初期には職員教育にも時間を要する。そのため、国による教育プログラムの提供が望ましい。また、長期的なシステム維持費や情報管理体制の整備も課題となる。しかし、既存の技術や補助制度を活用することで、段階的かつ持続的な実施は十分に可能であり、現実的な実施の見通しがあると考えられる。

第3節 政策提言Ⅱ 容器包装リサイクル法の改定による市町村の費用負担の改善

第1項 政策概要

本研究の分析結果から、容器包装リサイクルの推進が市町村の収集運搬費の増大につながっているという明確な影響は確認できず、収集頻度や分別品目数の変更がコストに影響するとは言えない。そのため、費用削減にはリサイクル制度そのものの仕組みに注目する必要がある。そこで政策提言Ⅱでは、市町村が大きな役割を担う容器包装リサイクル法の費用負担範囲に注目する。

現行の容器包装リサイクル法では、容器包装を製造・利用する事業者(特定事業者)は、再商品化、すなわちリサイクルの最終段階に係る費用のみを負担している。一方、住民からの分別収集運搬、選別、保管などの前段階に係る費用はすべて市町村が負担している。この仕組みにより、リサイクルの推進が市町村側の費用負担が大きくなるという構造的問題が生じている。また、事業者によるリサイクルしやすい製品設計の取組が制度上十分に評価されず、設計改善へのインセンティブとして働きにくいという課題もある。

そこで参考になるのが、同じく市町村が回収を担う構造を持つフランスの容器包装のリサイクル制度である。フランスでは、事業者が拠出するマーク使用料を市町村の収集費用に充当し、市町村負担の偏りを抑えている。

本提言では、このフランスの方式を参考にしつつ、日本の制度構造に合わせて事業者負担の範囲をリサイクルの前段階まで広げ、製造や使用段階のリサイクル成果に応じて事業者の費用負担を柔軟に調整できる仕組みを導入する。

第2項 参考にした政策

フランスの EE 方式は、市町村が従来どおり収集を行い、その後のリサイクル工程に関わる処理責任と費用を事業者が負担する仕組みを採用しており、日本の制度構造と近い点が多い。フランスでは、「マーク使用料」を支払い、その資金が市町村への支援やリサイクル工程の費用に充てられている。この仕組みは、日本で既に機能している容器包装リサイクル協会の委託料徴収・配分の仕組みに接続しやすく、拠出金の項目を追加する形で導入しやすい。

また、素材ごとに異なる単価を設定しているため、リサイクルしやすい設計が負担軽減につながる仕組みになっている。これは、本提言で導入を検討している成果連動型 EPR と方向性が一致している。

以上のように、市町村の役割を維持しながら事業者の負担範囲を整理できること、既存の制度と組み合わせ運用しやすいこと、企業の設計改善を促す仕組みを取り入れられることから、フランスの EE 方式は日本が進むべき方向に近い実践例として参考になる。

第3項 提言内容

1. 拡大生産者責任の適用範囲を、収集・選別・洗浄段階まで拡大する

拡大生産者責任の適用範囲を、現行の再商品化段階にとどめず、分別収集運搬・選別・洗浄といった前段階へ拡大する必要がある。フランス方式にならば、市町村が従来通り家庭系廃棄物の収集を担い続け、その費用の一定割合を事業者側が拠出金として負担する仕組みを導入することが望ましい。具体的には、包装材を利用する事業者は指定法人と委託契約を結び、製品の包装にロゴマークを付けて販売する。そしてその使用料として拠出金を支払う制度を創設する。この拠出金を母体として、市町村が分別収集や選別等に要する費用の一部を補填することで、現行制度の構造を大きく変えることなく、費用負担の公平化を進めることができる(図 13 参照)。

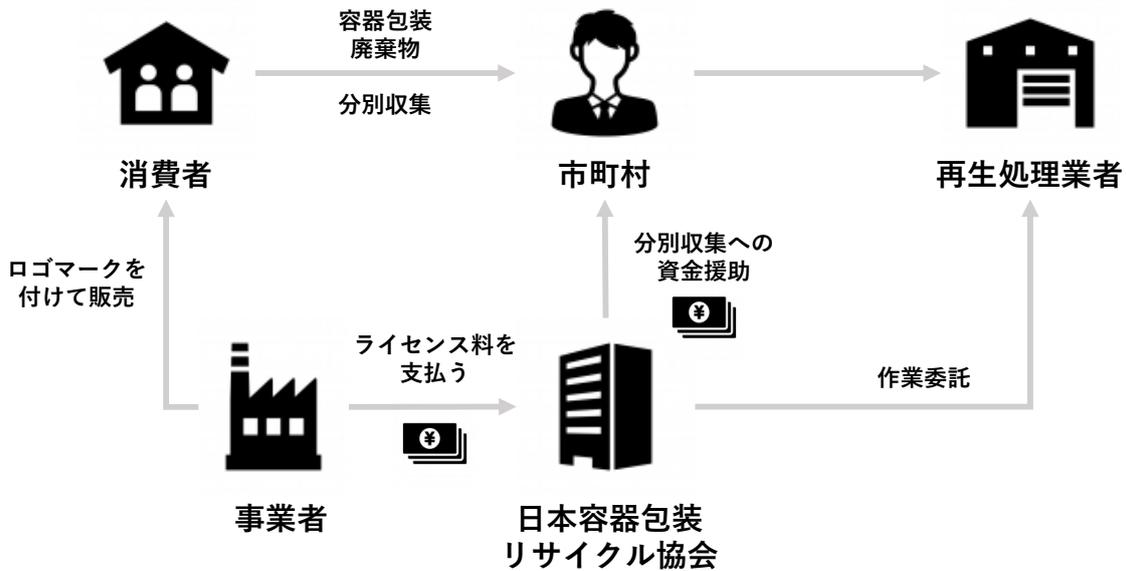


図 13 提言する容器包装リサイクルによる費用の流れ
筆者ら作成

拠出金は容器包装材の材質や重量に基づいて算定し、日本容器包装リサイクル協会が設定する標準単価に応じて事業者ごとに適正な負担を求める。また、前段階の費用については、分別収集、輸送、選別、洗浄、一時保管と品質管理といった各工程を明確化し、それぞれに対応した名目で拠出金に含めることで、制度全体の透明性を高める。資金の徴収と配分については、現行制度で中心的役割を担っている公益財団法人日本容器包装リサイクル協会を基幹的な運営組織とし、「資金・情報ハブ」の役割を日本で再現する形で一元的に管理運営する体制が適している。

2. 成果連動型 EPR の導入

費用負担範囲の拡大に伴い、事業者の負担感を緩和し、かつ制度の実効性を高めるために成果連動型 EPR を導入する。具体的には、リサイクルしやすい素材の使用などを評価指標に含め、その達成度に応じて負担金を増減させる仕組みとする。たとえばフランスでは、再生材の使用や耐用性、修理・再使用の容易さなどを基準にして、製品価格の 20% の範囲で拠出金を割引・割増する制度を設けており、企業の設計段階からの環境配慮を促している。

これにより、企業は単に法定費用を支払うだけでなく、リサイクルしやすい設計への取組を通じて、負担軽減を得られるようになる。制度全体としても、企業の創意的な改善努力を引き出すことができ、費用負担の拡大と企業行動の誘導を両立できる。

第 4 項 期待される効果

本政策によって、市町村が現在負担している約 2,000 億円規模の分別収集運搬・選別費が協会によって集金された拠出金により補填され、市町村財政の安定化が実現する。また、成果連動型 EPR により、企業の包装材の軽量化や単一素材化が進み、廃棄物発生量の削減、リサイクルの質的向上、資源効率の改善が期待できる。

さらに、マーク使用による費用負担の「見える化」によって、企業と市町村双方の責任範囲が明確になり、制度全体の信頼性が高まる。これらにより、循環型社会の形成に向けた実効性が向上する。

第5項 実現可能性

本提案は、現行の容器包装リサイクル法の枠組みを維持しつつ、フランス方式の拠出金制度を導入するものであり、大規模な制度再編や新規インフラ整備を必要としないため、実現可能性は高いと考えられる。

日本にはすでに、企業負担金の徴収・再商品化事業者の契約管理・実績報告を行う日本容器包装リサイクル協会が存在しており、この既存の仕組みを拡張することで、企業負担の新たな費用(収集・選別段階に係る拠出金)も同協会を通じて集約・配分できる体制を構築することが可能である。これにより、新たな法人を設立することなく、段階的に一元的管理の枠組みを実現しうる。

企業負担増加については、約10年間の移行期間を設け、初期は前段階費用の20%を企業負担、最終的に80~100%へ段階的に移行することで合意形成が可能である。また、成果連動型EPRの導入にあたっては、成果指標の設定やデータの信頼性が重要な課題となる。指標評価の透明性を確保するために、外部監査制度の導入などでリサイクル実績の可視化が必要である。

これらの課題を解決することで、費用負担の公平化と企業行動の誘導、市町村財政の安定化を同時に実現し、持続可能な資源循環社会の構築に資する制度改革となる。

第5章 本稿のまとめと課題

本稿では、広域化やリサイクル制度に伴う費用の増加による市町村財政への影響を問題意識として分析を行った。先行研究により、広域化は中間処理費用の削減に寄与することが示されているため、本稿では、広域化の推進により増加が想定される収集運搬費用に着目した。ヒアリングの結果からも、この収集運搬費用の増大が広域化を進める上での阻害要因の一つとなっていることが確認された。

分析を通じて、国が推進する広域化が、市町村における収集運搬費用の上昇をもたらしている可能性が示唆された。また、北海道室蘭市と神奈川県座間市のデータを用いた分析から、DXを導入することで収集運搬費用を抑制できることを明らかにした。

政策提言では、分析の結果をもとに、DXの活用による収集運搬費用の軽減、容器包装リサイクル法の改定による市町村の費用負担の改善の2つを提言した。

しかし、本稿の課題として、市町村単位での組合分担金の支出が区分されているデータが存在しないことが挙げられる。本稿の分析では割合を使って概算をしたが、実際には、収集運搬及び中間処理まで広域化組合に委託している市町村と、中間処理のみ委託している市町村が存在し、その差異を考慮に入れて分析することができなかった。そのため、分析結果の結果に影響を与えた可能性がある。

本稿の執筆にあたり、A県環境生活部署の行政職員2名、ならびにB市廃棄物処理施設に関係する行政職員の方々に、ヒアリング調査やデータ取得の面で多大なご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

・参考文献

- 石村雄一(2025)「ごみ処理量の将来推計と財政運営—人口減少を見据えた広域処理の可能性—」『環境経済・政策研究』、第18巻、第1号(2025.3)、pp.38-42
- 碓井健寛(2007)「廃棄物処理費用のパネルデータ分析」『廃棄物学会論文誌』第18巻、第6号、pp.417-425
- 金本拓(2024)『因果推論』オーム社
- 笹尾俊明(2020)「一般廃棄物の収集運搬・処理費用に関する計量経済分析—市町村と一部事務組合等の違いを考慮して—」『廃棄物資源循環学会論文誌』、第31巻、pp.75-87
- 庄子真憲、佐々木大輔、藤倉良(2024)「プラスチック製容器包装の分別収集と生活系ごみ総排出量との関係に関する研究」『環境科学会誌』、第37巻、第4号、pp.121-130
- 三木潤一(2014)「地方公共サービスの広域化・大規模化：ゴミの収集と処理・処分に関する検討」『商学論究』第61巻、第3号、pp.323-339
- 山本雅資(2009)「一般廃棄物の収集運搬費用の経済分析」『環境経済・政策研究』第2巻、第1号、pp.39-50
- Abadie, Albert, Alexis Diamond, and Jens Hainmuller (2010) “Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California’s Tobacco Control Program,” *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 105, No. 490, pp. 493-505, June.
- Cunningham, Scott (2023) 『因果推論入門』技術評論社
- Honma, S., and J.L. Hu(2021), “Cost efficiency of recycling and waste disposal in Japan,” *Journal of Cleaner Production*, 284, Article 125274

・参考 URL

- 環境省「広域化・集約化に係る手引き」(2025年11月5日最終閲覧)
<https://www.env.go.jp/content/000301370.pdf>
- 環境省「中長期における持続可能な適正処理の確保に向けたごみ処理の広域化及びごみ処理施設の集約化について(通知)」(2025年11月5日最終閲覧)
<https://www.env.go.jp/content/000228517.pdf>
- 市区町村隣接関係一覧
<https://uub.jp/cpf/rinsetsu.html>
- 経済産業省「DX認定制度」(2025年11月7日最終閲覧)
https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/investment/dx-nintei.html
- 経済産業省「容器包装リサイクルシステム フランス」(2025年11月7日最終閲覧)
<https://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/oversea/pdf/07.pdf>
- 総務省「デジタル基盤の利活用・ICT利活用促進」(2025年11月7日最終閲覧)
https://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictriyou/digital_kiban/index.html
- 総務省「令和7年版地方財政白書」(2025年11月5日最終閲覧)
https://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/hakusyo/chihou/r07data/2025data/r07czb01-04.html#p010405
- デジタル庁(2025)「令和8年度概算要求書及び機構定員要求の概要」(2025年11月5日最終閲覧)
https://www.digital.go.jp/budget/r8request_digital.go.jp
- 日本貿易振興機構「循環経済法が2月に施行、循環経済型社会へ大きな一歩(フランス)—欧州が歩む循環型経済への道—『コロナ後』のより持続可能な未来へ」『海外ビジネス

情報 地域・分析レポート』 (2025年11月7日最終閲覧)

<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2020/0601/d20d98ef8e3131f1.html>

日本経済新聞デジタル「ごみ収集をITで効率化 街の「見守り」に役割拡大」2022年7月10日 (2026年1月16日最終閲覧)

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCD044Z30U2A700C2000000/>

環境省(2023)「座間市サーキュラーエコノミーの推進と取組について」(2025年11月7日最終閲覧)

<https://www.env.go.jp/content/000150870.pdf>

・ データ出典

e-stat 「住民基本台帳年齢別人口(市町村別)」(2012-2023)

[https://www.e-stat.go.jp/stat-](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200241&tstat=000001039591&cycle=7&tclass1=000001039601&tclass2val=0)

[search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200241&tstat=000001039591&cycle=7&tclass1=000001039601&tclass2val=0](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200241&tstat=000001039591&cycle=7&tclass1=000001039601&tclass2val=0) 取得日 2025年10月10日

e-stat 「統計でみる市区町村のすがた(自然環境)」(2012-2023)

[https://www.e-stat.go.jp/stat-](https://www.e-stat.go.jp/stat-search?page=1&toukei=00200502&survey=%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E7%B5%B1%E8%A8%88%E4%BD%93%E7%B3%BB)

[search?page=1&toukei=00200502&survey=%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E7%B5%B1%E8%A8%88%E4%BD%93%E7%B3%BB](https://www.e-stat.go.jp/stat-search?page=1&toukei=00200502&survey=%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E7%B5%B1%E8%A8%88%E4%BD%93%E7%B3%BB) 取得日 10月10日

e-stat 「統計でみる市区町村のすがた(労働)」(2012-2023)

[https://www.e-stat.go.jp/stat-](https://www.e-stat.go.jp/stat-search?page=1&toukei=00200502&survey=%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E7%B5%B1%E8%A8%88%E4%BD%93%E7%B3%BB)

[search?page=1&toukei=00200502&survey=%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E7%B5%B1%E8%A8%88%E4%BD%93%E7%B3%BB](https://www.e-stat.go.jp/stat-search?page=1&toukei=00200502&survey=%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E7%B5%B1%E8%A8%88%E4%BD%93%E7%B3%BB) 取得日 10月10日

環境省 「一般廃棄物処理実態調査」(2021-2023)

https://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/ 取得日 2025年8月11日

総務省 「地方公共団体の主要財政指標一覧」(2012-2023)

https://www.soumu.go.jp/iken/shihyo_ichiran.html 取得日 2025年8月20日

内閣府 「特定地域に係る激甚災害及びこれに対し適用すべき措置の指定に関する政令について」(2012-2023)

https://www.bousai.go.jp/pdf/24031302_seirei.pdf 取得日 2025年10月22日

・ 補足資料

分析 I 記述統計量					
変数	度数	平均	標準誤差	最小値	最大
平均収集運搬費用(千円/ton・対数化)	19802	2.659	0.718	-9.724	6.423
組合への依存度	20531	40.656	35.465	0.000	100.000
分別品目数	20546	13.559	5.128	2.000	45.000
総人口(対数化)	20544	10.037	1.481	5.024	15.145
収集回数・可燃(回/週)	19966	2.072	0.501	0.500	7.000
収集回数・紙(回/週)	20545	1.860	1.564	0.000	7.000
収集回数・ペットボトル(回/週)	20223	2.182	1.373	0.500	7.000
収集回数・紙製容器包装(回/週)	20542	1.532	1.612	0.000	7.000
収集回数・容器包装プラ(回/週)	20542	2.046	1.867	0.000	7.000
集団回収率(%)	20499	14.653	19.139	0.000	100.000
事業ごみ割合(%)	20544	17.885	12.352	0.000	87.693
委託比率(%)	20389	42.124	24.219	0.000	100.000
周辺地域の組合割合(%)	20543	38.271	22.102	0.000	100.000
若年層割合(0歳～14歳)(%)	20545	11.616	2.514	1.960	24.485

分析Ⅱ 記述統計量					
変数	観測数	平均	標準誤差	最小値	最大値
計画収集量(t)	8796	40043.64	76234.9	491	1144736
総人口(対数化)	8796	11.279	0.93	7.901	15.144
生活ごみ割合(%)	8796	658.73	90.648	311.7916	1282.54
リサイクル率(%)	8796	20.792	10.79882	1.624	99.75
年齢層0～4歳(人)	8796	5455.727	10568.59	32	158206
年齢層25～29歳(人)	8796	7204.473	15564.86	62	220533
年齢層30～34歳(人)	8796	7869.628	16521.98	50	248723
年齢層35～39歳(人)	8796	8984.628	18312.53	84	303565
年齢層40～44歳(人)	8796	10071.17	20348.53	131	332533
年齢層65～69歳(人)	8796	9573.469	16551.58	271	261928
年齢層70～74歳(人)	8796	8944.334	15651.65	323	246260
年齢層75～79歳(人)	8796	7191.319	12571.39	269	195580
面積	8796	275.242	290.457	5.1	2177.67
可住地面積	8796	103.076	88.4176	5.1	670.71