

[リチウムイオン電池等の回収・再資源化に関する調査 結果報告書 参考資料 1]

市区町村におけるリチウムイオン電池等の 回収施策の効果及び 回収量・処分量の全国推計に関する分析

本分析は、「リチウムイオン電池等の回収・再資源化に関する調査」を通じて得られたデータを用いて、統計的手法により各種推計を行ったものである。

各推計値は、調査の過程で生じた誤差や分析手法に由来する誤差を含み得る試算値であり、これらの精緻化のためには更なる研究を要することから、幅を持ってみる必要がある点に留意されたい。

令和7年6月

総務省行政評価局

目次

1	背景と分析の概要	2
	(1) これまでの分析等との関係及び本分析の位置付け	2
	(2) 本分析の流れ	5
2	使用するデータの概要	6
	(1) リチウムイオン電池等及びその使用製品の混入状況調査（組成分析調査）	6
	(2) リチウムイオン電池等及びその使用製品の回収・処分の実施状況に関する調査（統計調査）	9
	(3) その他	10
3	市区町村における回収施策の効果の分析	12
	(1) 混入量の平均の比較	12
	(2) 重回帰分析	18
	(3) マッチング法	30
	(4) 逆確率重み付け法（IPW法）	33
	(5) まとめ	35
4	市区町村における回収量・処分量の全国推計	39
	(1) 不燃ごみ等におけるリチウムイオン電池等及びその使用製品の混入量	39
	(2) 不燃ごみ等におけるリチウムイオン電池の混入量	44
	(3) 他のごみ区分における混入量	46
	(4) 各種回収ボックスによる回収量	53
	(5) 市区町村における処分量	54
	(6) 感度分析	58
	(7) まとめ	62
5	結論	64
	(1) 市区町村における回収施策の効果の分析	64
	(2) 市区町村における回収量・処分量の全国推計	64
	(3) 更なる実態解明の推進	64
	参考文献	66

1 背景と分析の概要

環境省は今般、リチウム蓄電池等の分別回収やその周知等の考え方について、全国の市区町村に対し技術的助言を行った（結果報告書 p18 等参照）。

環境省が示したこれらの取組の推進により、市区町村における火災事故等の減少が期待されるが、その定量的な施策効果については必ずしも明らかではない。また、リチウム蓄電池等がどのごみ区分にどの程度排出されているかなどの実態も不明となっている。

本分析は、こうした問題認識に基づき、組成分析調査を始めとする今回の調査によって得られたデータやその他関連データを用いて、市区町村におけるリチウムイオン電池、ニカド電池及びニッケル水素電池（以下「リチウムイオン電池等」という。リチウムイオン電池については、適宜「LIB」とも表記する。）及びその使用製品の回収施策の効果の定量分析と、それらの回収・処分状況の全国推計を行ったものである。

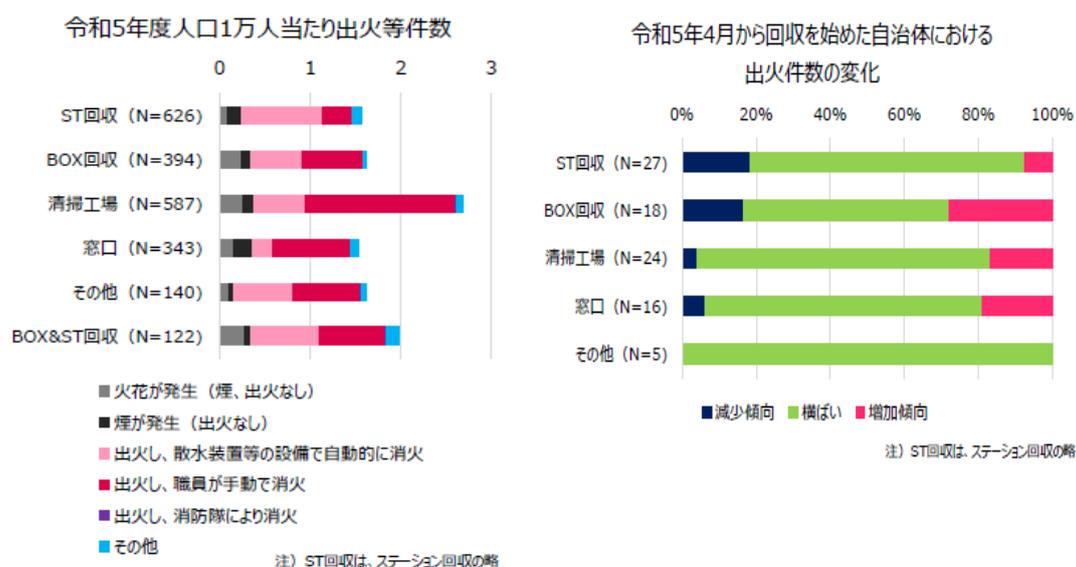
既往の各種分析との比較及び本分析のたまかな流れは、以下のとおりである。

(1) これまでの分析等との関係及び本分析の位置付け

(市区町村における回収施策の効果の分析)

環境省(2025)は、リチウム蓄電池の分別回収等による火災発生への影響を分析している。それによると、リチウム蓄電池の分別回収を実施している市区町村は、火災事故等の発生件数が少ない傾向があり（図 1-1）、ステーション回収やボックス回収を実施している市区町村では、「一定程度の発火件数の減少が見込まれる」とされている。

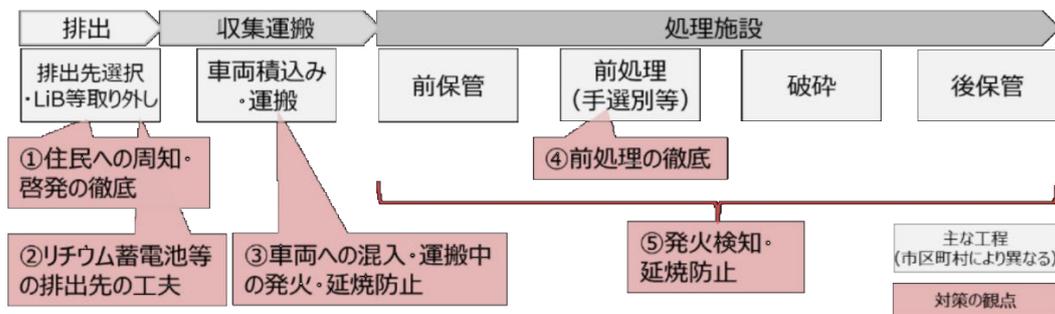
図 1-1 リチウム蓄電池の分別・回収方法ごとの発火等件数



(注) 環境省(2025)による。

ただし、市区町村における火災発生抑止策としては、回収時だけではなく回収後の収集運搬や処理の過程においても各種の対策（例：前処理の徹底、火災検知器の設置等）が考えられる（図 1-2）が、上記の分析では、これらの過程における対策の有無が捨象されているため、火災の減少要因は回収方法の違いのみといえない点で注意が必要である。

図 1-2 市区町村における廃棄物処理フローと発煙・発火対策の関係



(注) 環境省(2025)による。

そのため、分別回収等の効果を計測する観点からは、火災発生件数そのものよりも、火災の原因となるリチウムイオン電池等の不燃ごみ等への混入量をアウトカムとして捉える方が、因果関係の対応がより明確である。分別回収等による混入抑止効果については、これまで各地において実証事業等が実施されている（環境省(2025)、国立研究開発法人国立環境研究所(2024)、Terazono et al. (2024)）。

- ・ 鳥取県鳥取中部ふるさと広域連合の実証事業では、リチウムイオン電池等を取り外せない製品を不燃ごみや小型家電として回収する体制から、有害ごみとして回収する体制に変更した。回収体制の変更前後において、不燃ごみや小型家電に混入しているリチウムイオン電池等の割合が、14%程度減少したとしている。
- ・ 埼玉県坂戸市の実証事業では、従来分別収集を実施していなかったリチウムイオン電池について、廃乾電池やコイン電池等と同じごみ袋で排出するルールとし、また、リチウムイオン電池が外れない小型家電を、その他の小型家電と同様に不燃ごみ（燃やさないごみ）用のごみ袋で排出するルールとした。回収体制の変更前後において、不燃ごみ中のリチウムイオン電池等を含む小型家電の混入率が、0.44%から0.19%まで減少し、発火件数も減少傾向がみられたとしている。

また、同市のデータを用いた別の調査では、リチウムイオン電池が外れない小型家電の分別収集により、不燃ごみへの混入を2割程度削減する効果があったと考えられるとしている。

- ・ 愛知県瀬戸市では、従来リチウムイオン電池及びリチウムイオン電池を取り外せない小型家電の排出に当たっては、JBRC 協力店（報告書 p96 参照）のボックス又は市内リサイクルセンターへの持ち込みが必要であったが、実証事業においては「発火性危険物」（スプレー缶等）の区分にリチウムイオン電池及びリチウムイオン電池を取り外せない小型家電を含めるとともに、市役所へモバイ

ルバッテリーやスマートフォンなどを回収対象とするボックスを設置した。この回収体制の変更前後において、不燃ごみ（燃えないごみ）への混入状況は改善しなかったとしている。

ただし、これらの実証事業等は、個々の市区町村における混入量の変化を分析したものであるため、他地域における分別回収の有効性は必ずしも明らかでない。環境省は、上記事業結果も含め市区町村の先進的な取組をリチウム蓄電池等対策集として毎年度取りまとめ、広く市区町村に提供しているものの、分別回収等による不燃ごみ等への混入抑止効果については上記のような限られた実証事業等の事例の提供にとどまっているため、各市区町村における具体の対策の検討に当たっては、効果検証の充実が重要と考えられる。

以上の状況にも照らし、本分析では、多くの市区町村にも参考となるよう、全国で広く実施した組成分析調査によるデータを用いて、回収方法等の違いが不燃ごみ等への混入量に与える影響を試算することにより、回収時の取組の効果の検証を行ったものである。

（市区町村における回収量・処分量の全国推計）

リチウムイオン電池等及びその使用製品の排出量に関しては、資源循環施策の基礎資料としてそれらの各主体間の流れ（マテリアルフロー）の把握が欠かせないが、その推計事例は限られている。

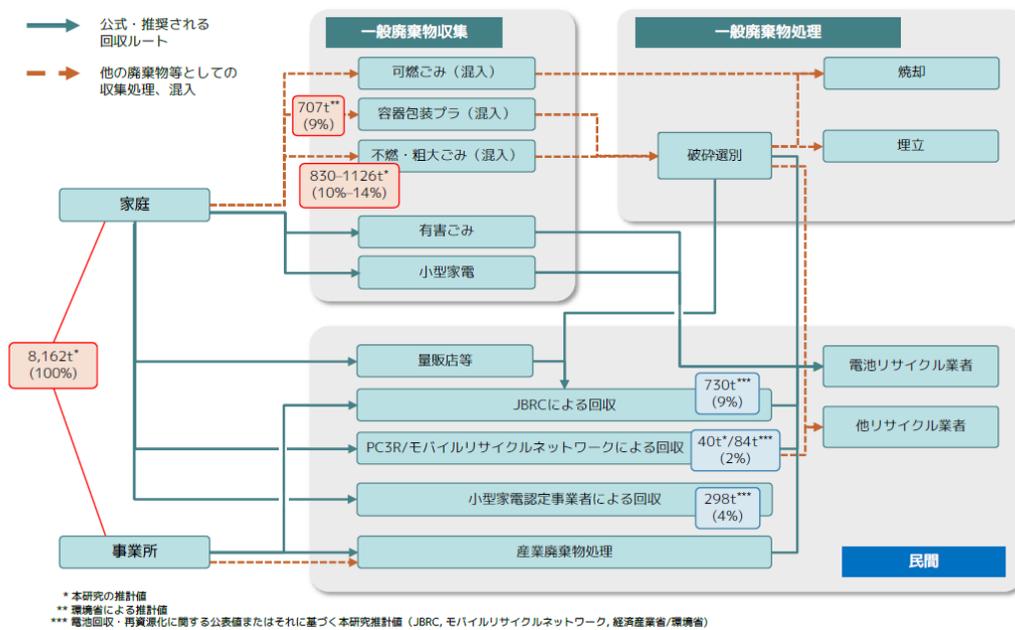
環境省(2022)は、国内の小型家電の出荷量や製品寿命等のデータから、令和元年における国内のリチウム蓄電池を含む小型家電製品の排出量を約 3.8 万トン（うちリチウム蓄電池は 1.6 万トン）と推計している。また、環境省(2021)は、全国 6 市町における不燃ごみ等への混入状況の調査結果を基に、全国の不燃ごみ相当のごみ区分におけるこれら製品の混入量を約 2,400 トン（うちリチウムイオン電池単体は約 70 トン）と推計している。

他方、小口・寺園・蓮沼(2024)は、排出された小型家電製品に使用されているリチウムイオン電池の重量等の情報を用いて、令和 2 年度におけるリチウムイオン電池の排出量を約 8,000 トン（環境省(2022)の約半分）と推計している。また埼玉県坂戸市における調査結果を用いて、不燃ごみへのリチウムイオン電池の混入量を 830 から 1,126 トンと概算している（図 1-3）。

いずれの推計においても、マテリアルフローの大半の部分がまだ解明されていない上、推計値が存在する部分においても分析方法によってかなりの幅がある。

こうした状況を踏まえて本分析では、これらの既往の分析に比して大規模（全国 43 市）に実施した不燃ごみ等への混入状況調査（組成分析調査）の結果を活用して、リチウムイオン電池等が家庭ごみとして排出された後のマテリアルフローの精緻化を図るとともに、マテリアルフローが不明となっている箇所の解明を試みたものである。

図 1-3 リチウムイオン電池のマテリアルフローの推計例



(注) 小口・寺園・蓮沼(2024)による。

(2) 本分析の流れ

本分析を行う基礎データのの一つは、後述する組成分析調査のデータである。組成分析調査は人手を介して広域において実施したものであり、また、一時点の調査結果を年間結果に拡大する等の推計も行っていることから、分析を進めるに当たっては、ヒューマンエラー、横並びの観点からの不整合、拡大推計に当たっての誤差の発生等によるデータへの影響を一定程度織り込んでおくことが必要である。

そのため、分析の前提として、まず組成分析調査によるデータの特性把握が重要なことから、記述統計量等の基本的な確認を経た後、リチウムイオン電池等及びその使用製品の排出量と、政策要因・地域要因との関係性を大まかに確認した。具体的には、先行研究も踏まえて政策要因・地域要因に係る各種変数を選定し、これらを説明変数とする回帰分析によって理論的に整合的な符号の係数が得られるか確認した。

なお、この回帰分析では、サンプルサイズの制約から一般的な重回帰分析は有効でないため、機械学習の分野で広く用いられている手法 (Ridge 回帰) を用いた。この回帰係数は偏りがあることが知られているため、係数そのものを定日回収の効果とみなすことには課題があるが、効果の一定の目安を知る上では有益である。

使用データの一定の有効性 (及び効果の一定の目安) を分析した後、定日回収の効果を 2 つの方法により試算した。具体的には、先の回帰分析で用いた説明変数を共変量として、マッチング法及びその欠点を補う IPW (逆確率重み付け) 法による定日回収の効果の試算を行った。

次に、組成分析調査のデータ (不燃ごみ及びプラスチックごみ) を全国拡大することにより、リチウムイオン電池等及びその使用製品のマクロの排出量の推計を行った。全国拡大に当たっては、全国の市町村を対象に実施した統計調査による共変量の分布データを用いて、IPW 法を応用して偏りを補正する方法を用いた。さらに過

去に実施された消費者の排出先に関するアンケート結果も用いて、可燃ごみ等への混入量も推計するとともに、市区町村における処理ルート別の処分量についても可能な限り試算した。

2 使用するデータの概要

(1) リチウムイオン電池等及びその使用製品の混入状況調査（組成分析調査）

令和6年5～7月にかけて全国43市において当局が実施した「リチウムイオン電池等及びその使用製品の混入状況調査」（以下「組成分析調査」という。）により、不燃ごみ等に混入していたリチウムイオン電池等及びその使用製品について、総計5,083点、総重量1.3トンの回収を得た。

また、組成分析調査に併せて、各市において、当該量の回収に要した不燃ごみ等の収集回数と、年間の不燃ごみ等の収集回数から、年間回収量を推計した。推計に当たっては、当該市において、より適切な推計方法がある場合はそれによることとし、当該市における類似の推計や作業担当者等の所感からみた妥当性の確認を経ている。市別の数値は表2-1のとおり。

組成分析調査は、当局が計50市を対象に実施した実地調査の一環であり、当該実地調査（リチウムイオン電池等及びその使用製品の回収方法、回収量、処分量等）の情報についても適宜用いた。

なお、これらの市は、円滑な調査実施の観点から、人口規模が一定以上の市から抽出し、調査協力が得られた市である。市の選定に当たっては、事前にホームページ情報等から得た定日回収の実施状況や、環境省資料に基づく過去の火災発生状況等を踏まえ、特定の属性の市に偏らないよう、バランスに配慮して選定した。

表 2-1 組成分析調査におけるリチウムイオン電池等及びその使用製品の回収量
及び推計年間回収量

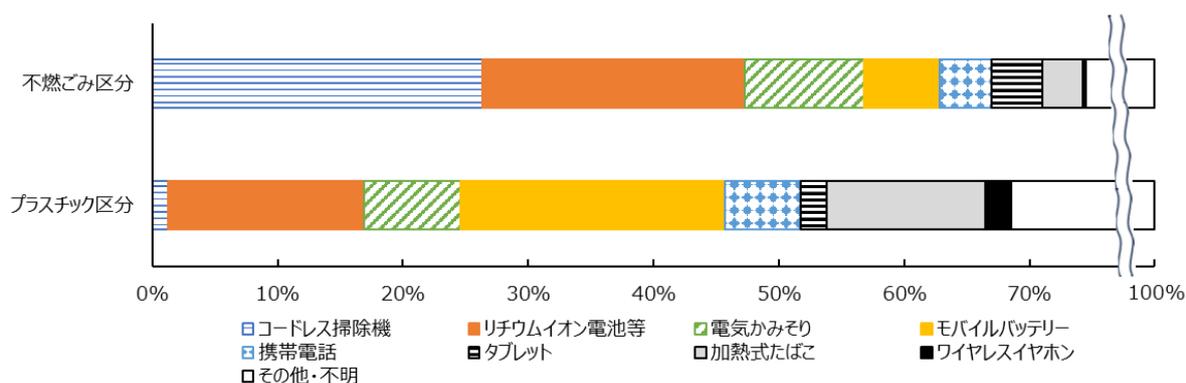
＜不燃ごみ区分＞				＜プラスチック区分＞			
	個数	重量 (kg)	推計年間 回収量 (t)		個数	重量 (kg)	推計年間 回収量 (t)
A1 市	312	118.8	2.7	B1 市	156	20.0	0.2
A2 市	301	63.5	5.1	B2 市	115	20.5	0.6
A3 市	237	63.0	5.7	B3 市	105	11.4	0.1
A4 市	218	55.1	15.7	B4 市	96	11.6	0.2
A5 市	206	78.3	4.1	B5 市	94	11.8	0.6
A6 市	193	34.5	18.6	B6 市	87	11.5	0.2
A7 市	179	54.7	6.8	B7 市	68	7.7	0.1
A8 市	172	29.2	1.5	B8 市	56	8.0	0.4
A9 市	157	46.3	9.0	B9 市	5	0.5	0.0
A10 市	152	54.5	1.4	合計	782	103.1	2.4
A11 市	150	28.8	1.5				
A12 市	146	68.8	0.8				
A13 市	138	33.0	12.5				
A14 市	128	38.5	6.5				
A15 市	124	28.5	0.9				
A16 市	113	32.2	7.8				
A17 市	112	17.9	2.3				
A18 市	110	29.8	1.5				
A19 市	104	30.8	1.7				
A20 市	99	29.1	1.1				
A21 市	96	20.2	7.3				
A22 市	90	22.5	2.9				
A23 市	87	22.8	0.7				
A24 市	83	31.0	2.5				
A25 市	77	20.4	1.1				
A26 市	76	26.3	25.7				
A27 市	72	15.5	2.0				
A28 市	68	31.5	2.2				
A29 市	65	21.2	177.6				
A30 市	39	14.0	0.2				
A31 市	26	4.9	0.1				
合計	4,130	1165	329.5				

＜その他＞			
	個数	重量 (kg)	推計年間 回収量 (t)
C1 市	130	62.4	3.2
C2 市	40	7.6	1.0
C3 市	1	0.1	—
合計	171	70.1	4.2

- (注) 1 「不燃ごみ」区分に含まれる各市の収集区分名は、次のとおりである。
「不燃ごみ」、「燃えないごみ」、「燃やさないごみ」、「燃やせないごみ」、「不燃・粗大ごみ」、
「金属・不燃ごみ」、「破碎ごみ」、「小型破碎ごみ」、「雑貨品・小型廃家電類」、「金属複合製
品類」、「埋立ごみ」
- 2 「プラスチック」区分に含まれる各市の収集区分名は、次のとおりである。
「プラスチック資源」、「有害ごみ、容器包装プラスチック」「プラスチック製容器包装
(容器包装プラ)」、「プラスチック製容器包装」、「プラスチック類」「プラ製容器包装ごみ」
- 3 「その他」には、「空き缶・空きびん」、「持ち込みごみ／缶・びん／小型金属類」、「可燃ご
み」が含まれる。

組成分析調査によって回収した主な品目の内訳は、図 1-4 のとおりである。「不燃ごみ」区分では、コードレス掃除機やリチウムイオン電池、電気かみそり等の混入が多くなっている一方、「プラスチック」区分では、モバイルバッテリー、リチウムイオン電池、加熱式たばこなどの混入が多くなっている。

図 1-4 主な製品等の混入状況（重量の割合）



また、各市において推計した年間のリチウムイオン電池等及びその使用製品の混入量について、当該市における人口で除すことにより一人当たり混入量に換算してその分布をみると、図 1-5 のとおりとなっている。不燃ごみ区分及びプラスチック区分それぞれにおいて混入量が突出して多い市があり、何らかの測定エラーも懸念されるが、全国の不燃ごみ及び資源ごみの排出量（一人当たり）が右に裾が長い分布となっていること（図 1-6）も踏まえ、単純な外れ値処理（当該市の除外¹）は行わず分析を進めることとした。

¹ 混入量が多い当該市は、ごみの分別数が他の市に比べて少ないなどの影響の可能性があるため、単に混入量が多いことのみをもって除外することは適当ではない。

図 1-5 組成分析調査における各市のリチウム製品混入量の分布

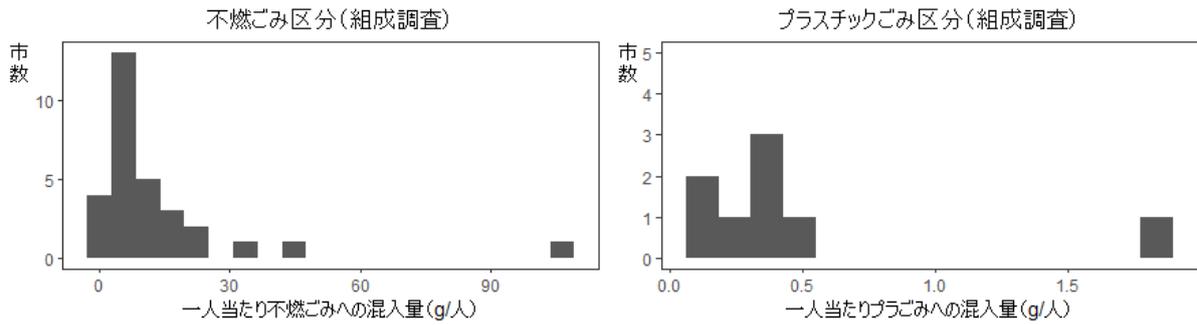
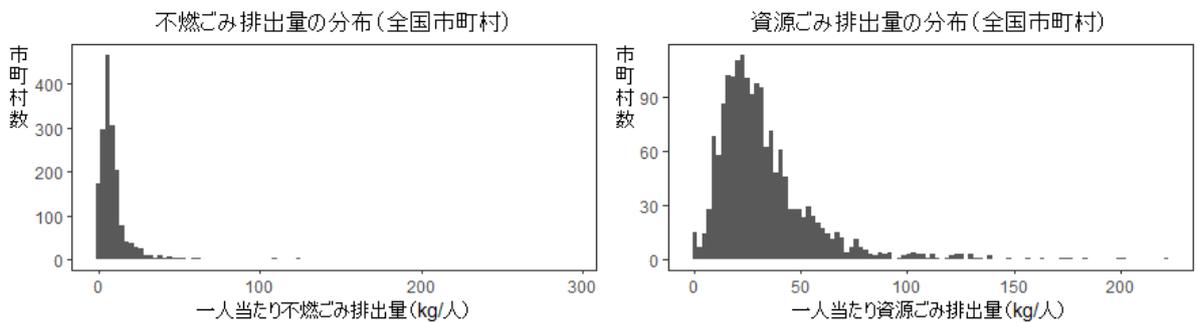


図 1-6 全国市町村の不燃ごみ/資源ごみ排出量の分布



- (注) 1 不燃ごみ及び資源ごみ排出量の分布は環境省「一般廃棄物処理実態調査(令和5年度)」より作成。不燃ごみには混合ごみの相当分(可燃ごみ及び不燃ごみの全国値の割合により按分して算出)を含む。
- 2 不燃ごみ排出量(一人当たり)の最大値は292.4(kg/人)、資源ごみ排出量(一人当たり)の最大値は221.8(kg/人)

(2) リチウムイオン電池等及びその使用製品の回収・処分の実施状況に関する調査(統計調査)

全国の1,741市区町村を対象に、リチウムイオン電池等及びその使用製品が住民にとって排出しやすい状況にあるか、また再資源化に当たっての負担や支障を明らかにする観点から、令和6年9月に統計調査(リチウムイオン電池等及びその使用製品の回収・処分の実施状況に関する調査)を実施した。

具体的には、リチウムイオン電池等及びその使用製品のうち、環境省がまとめた「リチウム蓄電池等処理困難物対策集(令和5年度版)」において、火災事故等の原因品目として多く挙げられているものや、排出先が見つからずに住民が困っていると考えられるものなど8品目(リチウムイオン電池等、モバイルバッテリー、電気かみそり(電池が取り外せない製品)、コードレス掃除機(電池が取り外せない製品)、加熱式たばこ、ワイヤレスイヤホン、電池が破損・膨張したモバイルバッテリー、電池が破損・膨張したスマートフォン)を対象に、以下の事項を調査した。

ア 8品目の回収の実施状況

- (ア) 定日回収の実施の有無及びごみ収集区分
- (イ) 拠点回収の実施の有無及び回収形態
- (ウ) 定日回収、拠点回収を実施していない理由

イ 8品目の処分の実施状況

(ア) 処分方法

(イ) 埋立て、焼却を実施している理由

当該調査結果の概要は「『リチウムイオン電池等及びその使用製品の回収・処分の実施状況に関する調査』(一般統計調査)結果の概要」のとおりである(回答数1,557、回答率89.4%)。本分析では、「4 市区町村における回収量・処分量の全国推計」において、組成分析調査の結果から全国結果を拡大推計する際の基礎データとして、この統計調査結果を用いた。

(3) その他

(1)及び(2)のデータに加え、分析時点において入手できる、家庭ごみの排出に係る各種関連指標を分析に用いた。これらの変数の概要は表2-2のとおりである。

これらの変数は、関連する先行研究結果も踏まえ、各市のごみの排出や定日回収の実施の有無への影響が想定されるものを中心に選定している。変数の選定は、分析に用いたサンプルサイズの制約を考慮し、モデルが過度に複雑にならないことも考慮した。選定の考え方の詳細については、個々の分析の説明箇所において述べる。

さらに、過去に実施された消費者の排出先に係るアンケート結果も適宜用いた。

表 2-2 分析に用いた家庭ごみの排出に係る変数の概要

変数	単位	作成方法	出所
【目的変数】 混入量（合計・各品目別）	g/人	リチウムイオン電池等及びその使用製品の混入量（合計、各品目別）／人口	組成分析調査、計画収集人口（2023年）
【政策変数】 定日回収の有無（8品目別） 定日回収の有無 拠点回収の有無 JBRC回収ボックス数 周知・啓発（4項目別） 広報媒体数	ダミー ダミー ダミー 個/万人 ダミー 個	定日回収を実施=1、その他=0 8品目のいずれかの品目で定日回収を実施=1、未実施=0 8品目のいずれかの品目で拠点回収を実施=1、未実施=0 JBRC回収ボックス数／人口 「リチウム蓄電池等の適切な排出区分に関する内容」、「リチウム蓄電池等の排出事業者（JBRCの回収の利用案内等）に関する内容」、「リチウム蓄電池の製品からの適切な取り外し方や取り外しに関連する留意点」、「リチウム蓄電池等の危険性（発煙・発火等）に関する内容」の観点の周知・啓発を実施=1、未実施=0 自治体HP、ごみカレンダー、チラシ、ポスター、広報誌、学校向け環境教育、ごみ分別アプリ、市区町村が運営するSNSの該当数	組成分析調査、統計調査 組成分析調査、統計調査 組成分析調査、統計調査 JBRC提供資料、住民基本台帳人口 一般廃棄物処理実態調査（2023年） 一般廃棄物処理実態調査（2023年）
【地域変数】 過去の火災の有無 分別数 収集頻度（不燃ごみ・容プラ・小型家電） 手数料（不燃ごみ・容プラ・小型家電） 不燃ごみ排出量 資源ごみ排出量 所得 平均世帯人員 男女比率 人口密度 昼夜間人口比率 若年人口比率 購入頻度（品目別） 消費支出割合（品目別）	ダミー — 回/月 ダミー kg/人 kg/人 百万円/人 人 % 千人/km ² % % % — %	火災発生=1 生活系ごみの分別数 不燃ごみ、容プラ、小型家電の各戸収集方式及びステーション方式による収集回数 有料=1、無料=0 不燃ごみ排出量／計画収集人口 資源ごみ排出量／計画収集人口 課税対象所得／総人口 総人口／一般世帯数 男性人口/女性人口 総人口/総面積 昼間人口/総人口×100 18歳未満人口/総人口 100世帯当たり・一か月当たりの当該品目の購入回数 当該品目の消費支出／消費支出×100	一般廃棄物処理実態調査（2023年） 一般廃棄物処理実態調査（2023年） 一般廃棄物処理実態調査（2023年） 一般廃棄物処理実態調査（2023年） 一般廃棄物処理実態調査（2023年） 一般廃棄物処理実態調査（2023年） 市町村税課税状況等の調、国勢調査（2020年） 国勢調査（2020年） 国勢調査（2020年） 国勢調査（2020年） 国勢調査（2020年） 国勢調査（2020年） 家計調査（2022～2024年平均） 家計調査（2022～2024年の平均）

(注) 1 収集頻度については、各戸収集方式又はステーション方式による収集回数のみを計上。不燃ごみを回収しておらず混合ごみを回収している市町村については、混合ごみの収集回収を採用した。
2 手数料については、不燃ごみを回収しておらず混合ごみを回収している市町村については、混合ごみの手数料を採用した。
3 購入頻度及び消費支出割合について、当該市のデータが家計調査結果にない場合は、所属する地方平均のデータを使用した。

3 市区町村における回収施策の効果の分析²

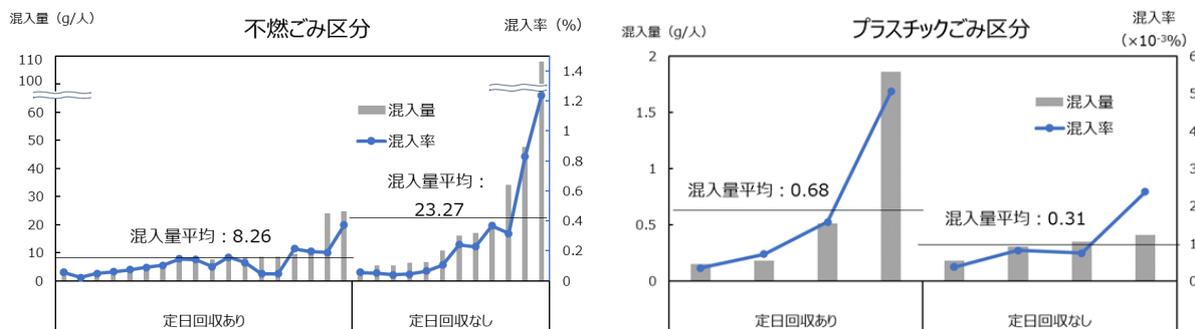
以下では、組成分析調査の結果を用いて、危険ごみ等の区分による定日回収³を始めとした回収施策による不燃ごみ等への混入抑制効果の推計を試みた。

(1) 混入量の平均の比較

(リチウムイオン電池等及びその使用製品の全体)

まず、8品目のいずれかについて定日回収を実施している市と、そうでない市について、リチウムイオン電池等及びその使用製品の不燃ごみ等への混入状況を比較すると、不燃ごみ区分では、定日回収を実施している市の方が、平均混入量(率)が少なくなった。他方プラスチック区分では、その逆の結果となった(図3-1、3-2)。

図3-1 各市におけるリチウムイオン電池等及びその使用製品の混入状況

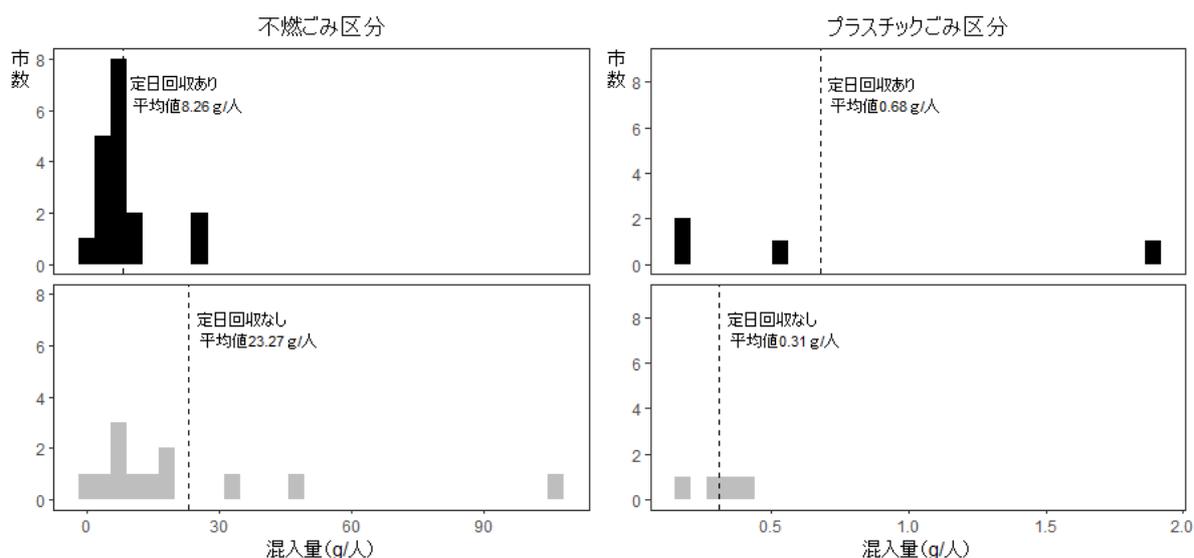


- (注) 1 8品目のいずれかで定日回収している市を「定日回収あり」とした。
 2 混入率は、それぞれ「不燃ごみ」及び「資源ごみ」の総排出量を分母として算出したものである。
 3 不燃ごみ区分について、定日回収の有無による混入量平均の差についてt検定(片側。等分散を仮定しないWelchの方法による。以下で行うt検定において同じ)を行ったところ、p値は0.06(10%水準で有意)となった。

² この分析では、「不燃ごみ」区分及び「プラスチック」区分の市のうち、十分なデータが得られなかった市(表2-1のA31市及びB9市)は除外している。

³ ここでの定日回収は、特に断りのない限り、危険ごみ等の区分によるもののみを指す。

図 3-2 定日回収の有無別にみたりチウムイオン電池等及びその使用製品の混入量分布



(注) 1 8品目のいずれかで定日回収している市を「定日回収あり」とした。
 2 不燃ごみ区分における、定日回収の有無による混入量の分布の違いについて Wilcoxon の順位和検定 (片側) を行ったところ、p 値は 0.24 となった。

ただし、図 3-1 及び 3-2 のとおり、市によって混入量 (率) にはばらつきがあるため、単純平均の比較のみでは評価が難しい。

また、品目全体をまとめて対象とした比較では、定日回収品目と排出品目の対応関係を考慮できていないことにも問題があり、例えば、プラスチック区分において「定日回収あり」にもかかわらず混入量 (率) が最多となっている市は、定日回収を行っていない「リチウムイオン電池」や「モバイルバッテリー」の混入が多くなっている (定日回収は他の品目で実施)。すなわちこの分析では、当該市の定日回収の効果が適切に反映されているとはいえない。

(各品目)

そこで、品目ごとに定日回収の効果を探るため、組成分析調査において対応する品目の混入量が判明している 6 品目について、当該定日回収の有無別にその混入量⁴を比較した。また、電池の定日回収については、電池単体の混入のみならず、電池使用製品の排出時の電池の取り外し促進による、製品の (電池が入った状態での) 混入も抑制する効果も考えられることから、リチウムイオン電池等の定日回収の有無別に、電気かみそり、コードレス掃除機及び加熱式たばこの混入量も比較した (表 3-1~3-3)。

表 3-1~3-3 によると、定日回収をしている市の方が混入量が少ない傾向となってい

⁴ 先行研究では「混入率」を用いた分析が大半とみられるが、本分析では以下の理由から、主として「混入量」を用いた。

- ① 各市における「混入量」は「混入率」と大小関係が類似 (図 3-1) しており、「混入量」も混入の程度を表していると考えられること。
- ② 仮に「混入率」を用いる場合、一からモデル式構築が必要となること (モデル式の先行研究が見当たらない)。
- ③ 組成分析調査の対象とした不燃ごみ等の重量を把握できていないため、不燃ごみ等の総排出量を分母とした「混入率」は「混入量」よりも精度が劣ると考えたこと。

る品目が多くみられる。しかしながら、多くの品目では統計的に（10%水準でも）有意に少なくなっているとはいえず、また大小に逆転が生じている品目もある。

表 3-1 定日回収の有無別 混入量の平均（g/人）＜不燃ごみ区分＞

	総数		定日回収あり		定日回収なし		差 a-b	p 値
	件数	平均	件数	平均 a	件数	平均 b		
リチウムイオン電池等	30	2.97	14	1.23	16	4.49	▲3.26	0.10
モバイルバッテリー	30	0.96	15	0.60	15	1.32	▲0.72	0.07
電気かみそり	30	1.00	10	1.40	20	0.77	+0.63	—
コードレス掃除機	30	3.62	8	1.79	22	4.40	▲2.61	0.06
加熱式たばこ	30	0.44	13	0.38	17	0.49	▲0.11	0.29
ワイヤレスイヤホン	30	0.08	11	0.02	19	0.12	▲0.09	0.11

(注) p 値は定日回収の有無による平均値の差の t 検定（片側）の結果である（表 3-2 及び 3-3 において同じ）。

表 3-2 リチウムイオン電池等の定日回収の有無別 各品目の混入量の平均（g/人）
＜不燃ごみ区分＞

	総数		LIB 等定日回収あり		LIB 等定日回収なし		差 a-b	p 値
	件数	平均	件数	平均 a	件数	平均 b		
電気かみそり	30	1.00	14	1.27	16	0.77	+0.50	0.10
コードレス掃除機	30	3.62	14	2.14	16	4.91	▲2.77	0.07
加熱式たばこ	30	0.44	14	0.40	16	0.47	▲0.07	0.12

表 3-3 定日回収の有無別 混入量の平均（g/人）＜プラごみ区分＞

	総数		定日回収あり		定日回収なし		差 a-b	p 値
	件数	平均	件数	平均 a	件数	平均 b		
リチウムイオン電池等	8	0.10	3	0.03	5	0.14	▲0.12	0.16
モバイルバッテリー	8	0.14	3	0.05	5	0.20	▲0.14	0.20
電気かみそり	8	0.03	3	0.03	5	0.03	▲0.00	0.49
コードレス掃除機	8	0.00	3	0.00	5	0.00	▲0.00	0.46
加熱式たばこ	8	0.05	4	0.05	4	0.06	▲0.00	0.46
ワイヤレスイヤホン	8	0.01	3	0.01	5	0.01	+0.00	—

ここで、例えば、不燃ごみ区分への各品目の混入状況を個別の市ごとにみると、やはりばらつきが大きいことが分かる（図 3-3、3-4）。したがって、各品目の混入量は、定日回収の有無以外の要素の影響を大きく受けていることが想定されることから、定日回収の有無別の単純平均の比較のみでは、これらの影響が捨象されており評価が難しいことが分かった。

そこで、例えば、各市における容器包装プラスチックの回収の有無⁵について条件をそろえた上で、定日回収の有無別に混入量を比較すること等も考えられるが、混入量

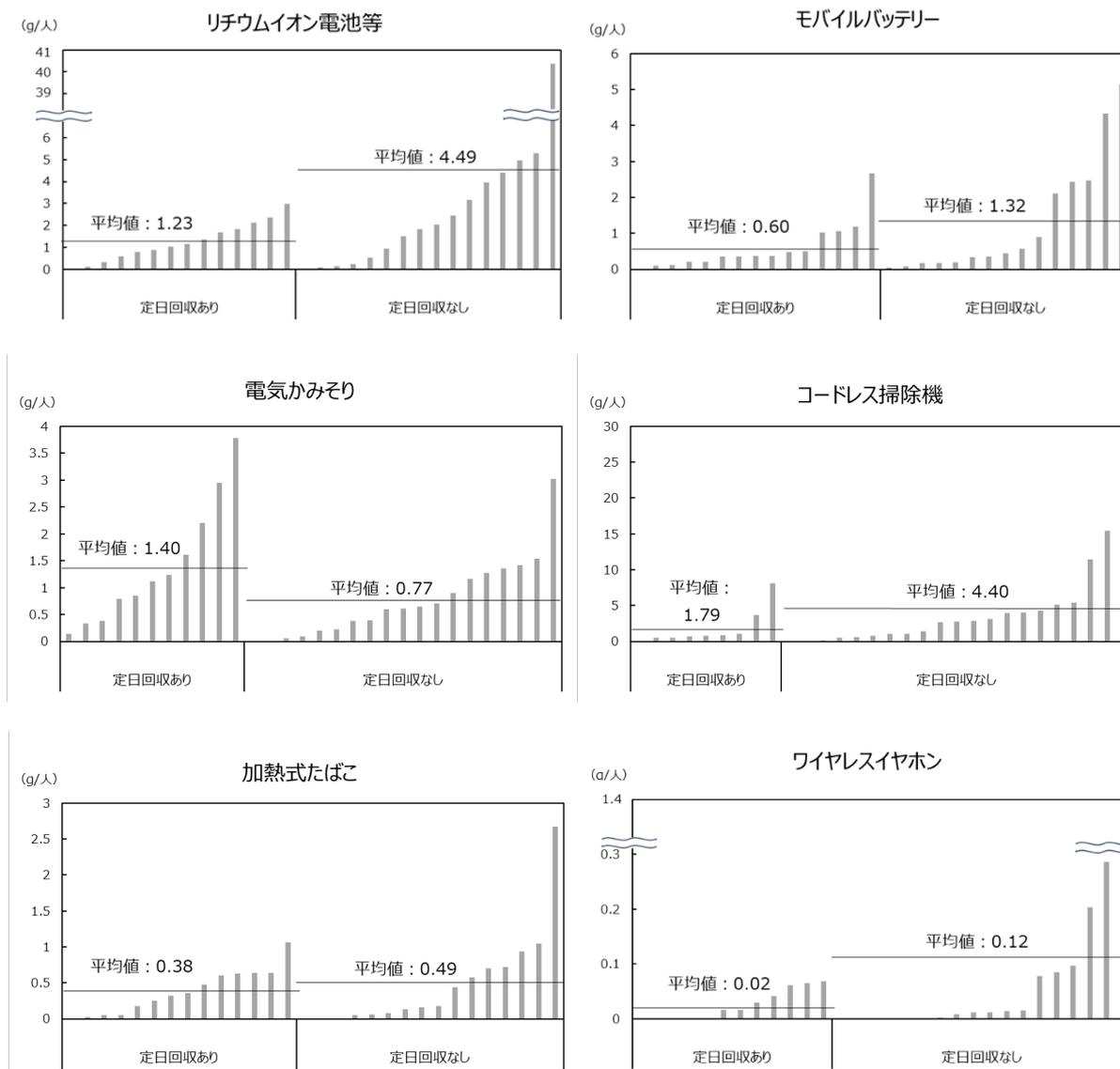
⁵ 環境省(2021)では、容器包装プラスチックや小型家電の回収の有無によって市町村をカテゴリに分け、各カテゴリから対象市町村を選定している。

への影響要因は無数にあると想定される中で、どの条件をそろえることが適当かの判断は難しく、その選択には恣意性が避けられない。また、複数の条件をそろえようとすると、比較対象のサンプルサイズが縮小し、分析の不安定さが増大するという問題も生じる。

さらに、各市における「不燃ごみ」や「プラスチックごみ」の定義（当該区分に相当する概念上のごみの範囲）がまちまちな中で、そこから得られた品目の混入量を単純比較している点についても、留意が必要である。

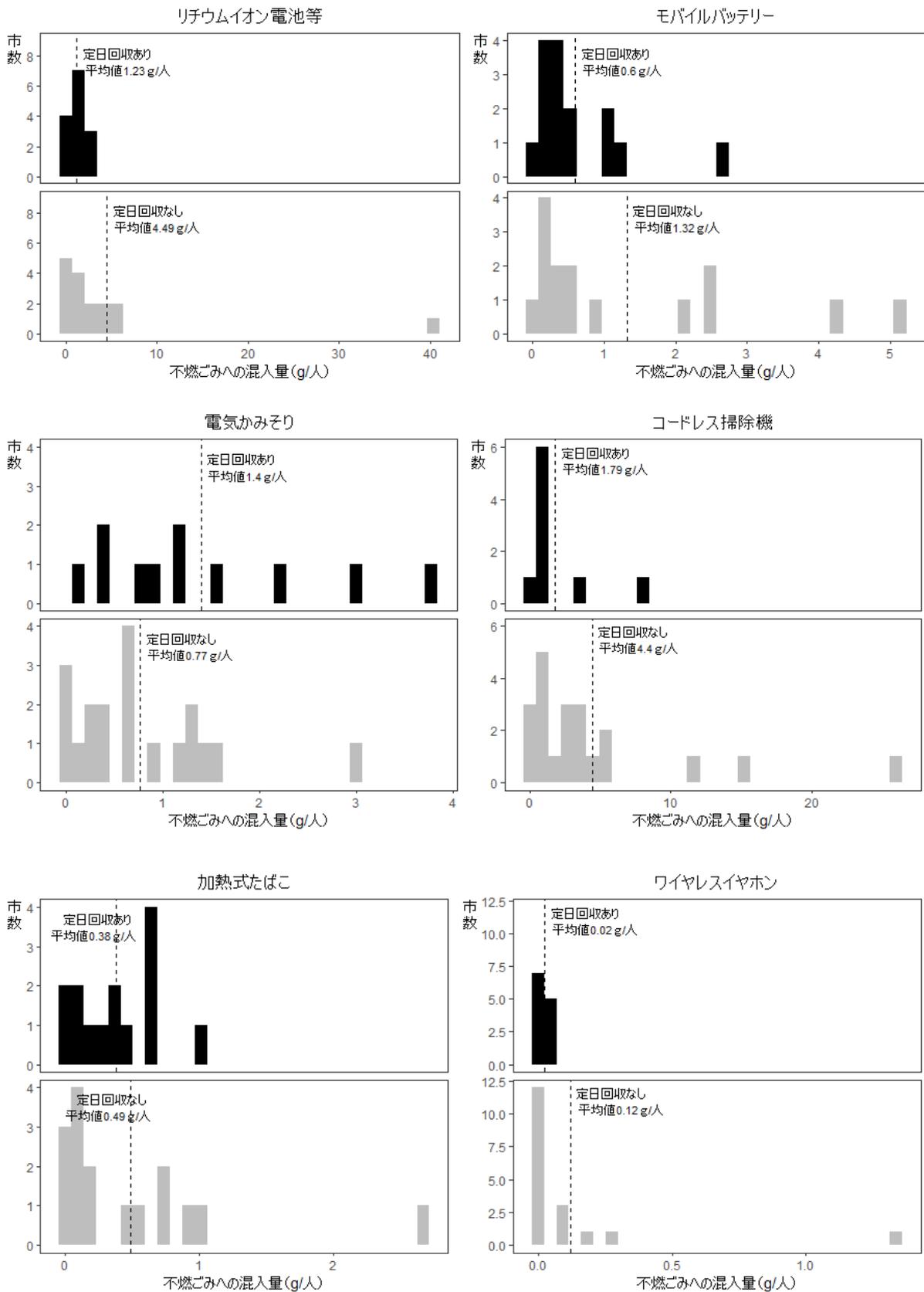
以上のことから、表 3-1～3-3 の単純平均の差をもって、定日回収の効果とみなすのは課題が多いと考えられる。

図 3-3 各市における 6 品目の不燃ごみへの混入状況



(注) 組成分析調査では意図せず混入していた製品等を分析対象とする観点から、不燃ごみ区分に排出された製品等であっても、住民に不燃ごみとして排出するよう周知しているために適正な排出と考えられる一部の製品等は、分析対象の混入量には含まれていない。そのため、(意図しないか否かは問わず)不燃ごみ区分への排出量を分析する場合には、そうした一部の市の排出量については区別して扱う必要があるが、その場合も全体の結論への影響は軽微であるため、以下の分析でも特にこの点について考慮はしていない。

図 3-4 6 品目の定日回収の有無別にみた不燃ごみへの混入量の分布



(注) 電気かみそり以外の品目における、定日回収の有無による混入量の分布の違いについて Wilcoxon の順位和検定 (片側) を行ったところ、p 値は順に 0.11、0.31、0.08、0.58、0.40 となった。

(2) 重回帰分析

(モデルの概要)

単純平均の比較(分析(1))では、混入量の影響要因を考慮できていないことを踏まえ、影響要因と考えられる変数をなるべく取り入れた重回帰分析を行った。当該分析では「不燃ごみ」⁶の区分で調査した30市のデータを用いた。

説明変数として定日回収の有無及び他の影響要因を含む適切な回帰モデルが設定できれば、理論上は、他の影響要因を固定した上での混入量の違いを探ることが可能である。しかしながら、サンプルサイズの制約等により、モデルの精緻化は困難と想定されることから、ここでの重回帰分析は、定日回収効果の定量的に算出することよりも、混入量に与える各要素の影響の有無や用いるデータセットの特徴等を大まかに確認し、後続の分析において用いる変数の候補を検討することを主眼として行った。

説明変数としては、効果の主な把握対象である「定日回収の有無」⁷に加えて、表3-4のとおり設定した⁸。

⁶ プラスチック区分の調査市はサンプルサイズがさらに小さい(8市)ため、以下の重回帰分析、マッチング等の分析は困難と判断し、行っていない。

⁷ 組成分析調査では、「定日回収の有無」に加えてその頻度(「月1回」など)も調査していることから、説明変数において「定日回収の頻度」を加味することも検討したが、後続の全国推計で用いる統計調査では頻度を調査していないため、分析の接続性の観点からここでは「定日回収の有無」を採用した。

⁸ 表3-4の変数を用いた回帰式は、 $y_i = \beta_0 + \sum_j \beta_j x_i^{(j)}$ (y_i : i 市における混入量(g/人)、 $x_i^{(j)}$: i 市の j 番目の説明変数、 β_0, β_j : 偏回帰係数)である。

表 3-4 分析に用いた変数の記述統計量<不燃ごみ>

変数	観測数	平均値	標準偏差	最小値	中央値	最大値
【被説明変数】						
混入量 (合計) (g/人)	30	14.27	20.46	1.56	7.72	108.13
同 (リチウムイオン電池等)	30	2.97	7.22	0.00	1.43	40.38
同 (電源装置)	30	0.96	1.28	0.00	0.37	5.14
同 (電気かみそり*)	30	1.00	0.95	0.00	0.75	3.78
同 (コードレス掃除機*)	30	3.62	5.49	0.00	1.26	25.94
同 (加熱式たばこ)	30	0.44	0.54	0.00	0.29	2.67
同 (ワイヤレスイヤホン)	30	0.08	0.25	0.00	0.01	1.34
【説明変数】 (政策変数)						
定日回収の有無 (リチウムイオン電池等)	30	0.47	0.51	0.00	0.00	1.00
同 (モバイルバッテリー)	30	0.50	0.51	0.00	0.50	1.00
同 (電気かみそり*)	30	0.37	0.49	0.00	0.00	1.00
同 (電気かみそり*・不燃)	30	0.20	0.4	0.00	0.00	1.00
同 (コードレス掃除機*)	30	0.30	0.47	0.00	0.00	1.00
同 (コードレス掃除機*・不燃)	30	0.20	0.41	0.00	0.00	1.00
同 (加熱式たばこ)	30	0.47	0.51	0.00	0.00	1.00
同 (ワイヤレスイヤホン)	30	0.40	0.50	0.00	0.00	1.00
同 (破損モバイルバッテリー**)	30	0.47	0.51	0.00	0.00	1.00
同 (破損スマートフォン**)	30	0.27	0.45	0.00	0.00	1.00
定日回収の有無 (いずれかの品目)	30	0.60	0.50	0.00	1.00	1.00
拠点回収の有無 (いずれかの品目)	30	0.77	0.43	0.00	1.00	1.00
JBRC 回収ボックス数 (/万人)	30	0.62	0.40	0.14	0.49	2.34
周知・啓発 (排出区分)	30	0.90	0.31	0.00	1.00	1.00
同 (JBRC)	30	0.70	0.47	0.00	1.00	1.00
同 (取り外し)	30	0.20	0.41	0.00	0.00	1.00
同 (危険性)	30	0.87	0.35	0.00	1.00	1.00
広報媒体数	30	3.30	1.49	0.00	1.00	7.00
【説明変数】 (地域変数)						
過去の火災の有無	30	0.77	0.43	0.00	1.00	1.00
不燃ごみ排出量 (kg/人)	30	8.06	4.02	2.85	6.67	18.08
資源ごみ排出量 (kg/人)	30	29.58	13.29	7.11	28.38	51.95
分別数	30	12.97	4.70	4.00	13.00	23.00
収集頻度 (不燃ごみ)	30	1.93	0.98	0.00	2.00	4.00
同 (容プラ)	30	2.70	1.95	0.00	4.00	5.00
同 (小型家電)	30	0.15	0.51	0.00	0.00	2.00
手数料 (不燃ごみ)	30	0.53	0.51	0.00	1.00	1.00
同 (容プラ)	30	0.03	0.18	0.00	0.00	1.00
同 (小型家電)	30	0.07	0.25	0.00	0.00	1.00
所得 (百万円/人)	30	1.49	0.18	1.11	1.49	1.95
平均世帯人員	30	2.22	0.13	1.90	2.22	2.43
男女比率 (%)	30	92.93	3.35	87.02	93.34	101.46
人口密度 (千人/km ²)	30	1.52	1.77	0.19	0.09	7.67
昼夜間人口比率 (%)	30	101.60	4.15	90.30	102.25	109.30
若年人口比率 (%)	30	15.27	1.76	12.82	15.14	20.61
購入頻度 (携帯電話機)	30	0.11	0.03	0.06	0.11	0.19
同 (理美容用電気器具)	30	0.41	0.06	0.34	0.40	0.58
同 (電気掃除機)	30	0.10	0.02	0.06	0.10	0.14
消費支出割合 (たばこ)	30	0.54	0.16	0.24	0.52	0.78

(注) 1 各変数は、分布及び用途に応じ、分析時には対数をとったものがある。また、後述の Ridge 回帰においては、説明変数は標準化を行った。

2 定日回収については、特に断りが無い限り、危険ごみ等の区分による回収のみを指すが、電気かみそり及びコードレス掃除機に関しては、不燃ごみによる定日回収についても別途変数を作成した。

3 収集頻度については、収集回数が「不定期」の市町村については、便宜 0.5 回/月とした。

4 * は電池を取り外せない製品 (以下同じ)、** は電池が破損・膨張している製品 (以下同じ) である。

5 購入頻度 (関連品目計) は、携帯電話機、理美容用電気器具及び電気掃除機の合計である。

リチウムイオン電池等及びその使用製品の定日回収の効果について、モデル式を用いた先行研究は見当たらないが、資源ごみ全体に与える施策効果に関しては、その排出量を政策要因（分別数、収集方式、有料化の有無等）及び地域要因（人口指標等）によって説明するモデル式を構築し、資源ごみの収集方式を「各戸方式」や「ステーション方式」（本分析における「定日回収」におおむね相当）にすることによって、その回収効果が期待できるとした分析がある（中村・川瀬(2011)）。

本分析においても、当該先行研究も踏まえ、各種の人口指標の他、不燃ごみ、資源ごみ及び小型家電それぞれについて、各戸又はステーション回収の有無（頻度を加味）を表す変数を説明変数に取り込んだ。平均値の単純比較(1)で考察した、各市における「不燃ごみ」や「プラスチックごみ」の範囲の違いについては、統一は困難であるが、説明変数に「分別数」を加えることによって、一定程度コントロールされるもの⁹と仮定した。

また、これらの政策要因や地域要因で説明しきれない、個々の市における不燃ごみ及び資源ごみの多寡の影響を取り入れるため、これらの排出量そのものを説明変数として組み込む¹⁰モデルも検討した。

先行研究になく当分析で独自に加えた説明変数は、「定日回収の有無」の他、「拠点回収の有無」、「JBRC 回収ボックス数」、「周知・啓発」、「過去の火災の有無」、「購入頻度」等である。ここで単に定日回収という場合は、危険ごみ等の区分による回収を指し、不燃ごみ区分による回収は含んでいないが、不燃ごみ区分で回収している市の中には、他のごみとは別の袋に入れて排出するよう周知し、分別回収を行っている市もあることから、一部のモデルでは不燃ごみによる回収についても変数に加えた。「過去の火災の有無」は、過去の火災の経験が回収時の対策（例えば、ごみ収集を行う職員が袋を開いて電池等を除去する等）に生かされ、ひいては混入量への影響が考えられる¹¹ことを踏まえて追加したものである。「購入頻度」及び「消費支出割合」¹²は、本分析の対象が、不燃ごみや資源ごみ一般ではなく、リチウムイオン電池等及びその使用製品という一定のカテゴリに属するごみの排出量であることを踏まえ、各市におけるこれらの消費志向の要因を取り込むために用いることとしたものである。

⁹ 分別数が多い市ほど、「不燃ごみ」や「プラスチックごみ」に相当するごみの範囲が小さくなるのが想定される。なお、全国市町村における分別数は右に裾が長い分布となっており、分別数は11を超えると効果が薄れるとする先行研究（笹尾(2000)）があることも踏まえ、本分析においては対数値を用いた。

¹⁰ 不燃ごみ等の排出量は、被説明変数であるリチウムイオン電池等及びその使用製品の排出量との同時決定性（内生性）の問題が議論となり得るが、ここで用いる不燃ごみ等排出量は令和5年度の数値であり、そうした影響は軽微と想定した。

¹¹ 「リチウムイオン電池等及びその使用製品の排出量が多い傾向のある市区町村ほど火災が発生しやすい」と考えれば、内生性の問題が議論となりうるが、「過去の火災の有無」は令和5年度の結果であり、そうした影響は軽微と想定した。

¹² リチウムイオン電池及びその使用製品は無数にあるため、その消費志向を表す変数の作成は容易ではないが、ここでは組成分析調査によって多くの混入が認められた、リチウムイオン電池等（最多が掃除機のバッテリーと見られる）、モバイルバッテリー（主な充電用途として携帯電話が考えられる）、電気かみそり、コードレス掃除機、及び加熱式たばこの消費志向を反映するものとして、家計調査（総務省）による「携帯電話機」、「理美容電気器具」、「電気掃除機」及び「たばこ」のデータ（非耐久財である「たばこ」は消費割合、その他（耐久財）は購入頻度。それぞれ3年間の平均値）を用いた。なお、廃棄物の発生量推計の要因として家計消費要因を考慮した分析として、田畑・中谷・林・藤田(2024)がある。

(品目全体：通常の最小二乗法)

まず、基本的な各変数間の関係を大まかに把握するため、リチウムイオン電池等及びその使用製品全体の混入量を被説明変数¹³とし、通常最小二乗法による重回帰分析を行った推定結果は表 3-5 のとおりである。

¹³ 図 1-5 で示したとおり、リチウム製品の排出量は右に裾が長い分布となっていることから、被説明変数を対数変換（併せて説明変数中の不燃ごみ/資源ごみ排出量も対数変換）する方法が標準的とも考えられたが、対数変換しても説明力が上がらなかったこと、後述の品目ごとのモデルにおいては排出ゼロの市があるため対数変換が不可能（微小の平行移動によりそれを回避する方法やより高度な変換方法もあるが加工度が高くなり係数の解釈も困難となる）ことから、ここではそうした変換は行わないこととした。

表 3-5 重回帰分析結果（被説明変数：混入量（合計）g/人）＜不燃ごみ＞

	予想される符号	OLS（通常の最小二乗法）			
		①	②	③	④
定日回収の有無（いずれかの品目）	－	-11.83		0.23	
拠点回収の有無（いずれかの品目）	－	10.23	8.27	-0.78	-4.16
JBRC 回収ボックス数（/万人）	－	-12.75	-27.37	21.43	41.75
定日回収の有無（リチウムイオン電池等）	－		1.53		79.70
同（モバイルバッテリー）	－		5.02		-18.92
同（電気かみそり）	－		44.61		37.24
同（コードレス掃除機）	－		6.57		-8.27
同（加熱式たばこ）	－		-10.61		23.99
同（ワイヤレスイヤホン）	－		-32.16		-47.44
同（破損モバイルバッテリー）	－		-8.49		-46.98
同（破損スマートフォン）	－		-21.54		-16.41
過去の火災の有無	－	-3.15	2.33	-40.27	-36.10
不燃ごみ排出量（kg/人）	＋	0.32	0.54		
資源ごみ排出量（kg/人）	－	-0.35	-0.49		
分別数〔対数〕	－			-47.34	-50.41
収集頻度（不燃ごみ）	＋			-0.53	-12.28
同（容プラ）	－			-5.02	-9.96
同（小型家電）	－			57.95	-37.87
手数料（不燃ごみ）	－			13.03	1.97
同（容プラ）	＋			3.76	9.64
同（小型家電）	＋			-150.94	-4.10
所得（百万円/人）〔対数〕	＋			-3.15	-56.68
平均世帯人員	－			7.73	103.77
男女比率（％）	－			2.25	2.06
人口密度（千人/km ² ）〔対数〕	＋			2.01	14.50
昼夜間人口比率（％）	＋			1.20	3.11
若年人口比率（％）	＋			-1.66	-2.28
購入頻度（関連品目計）（％）	＋	18.02	21.83	114.00	121.25
観測数		30	30	30	30
R2（決定係数）		0.274	0.364	0.729	0.884
R2adj.（自由度修正済決定係数）		0.043	-0.229	0.286	0.157
RMSE（二乗平均平方根誤差）		17.14	16.04	10.47	6.86
Prob > F		0.35	0.82	0.20	0.48

(注) 1 定数項は掲載省略。予想される符号は、先行研究（中村・川瀬・宮下(2007)、中村・川瀬(2021)）も加味したものであり、推定値の網掛けは予想とは逆符号となったものである。

2 購入頻度（関連品目計）は、携帯電話機、電気かみそり、電気掃除機の購入頻度の合計である。

3 各係数の標準誤差や t 値等の指標は掲載を省略した（多くの係数は 10%水準でも統計的に有意ではない）。

最も単純なモデル①をみると、「定日回収の有無」の係数は負となり、いずれかの品目について定日回収を行っている市ほど混入量が少ない傾向が示された。他方で、「拠点回収あり」の係数は正となり、拠点回収によって排出が少なくなっているといえない。JBRC回収ボックス数については、人口当たりの数が多いほど混入量が少ない傾向が示された。

品目別の定日回収の有無を変数に入れたモデル②をみると、多くの品目に係る係数が予想に反して正となった。

①及び②における「不燃ごみ/資源ごみの排出量」の代わりに各市の政策要因・地域要因を組み入れたモデル③及び④をみると、それぞれ①及び②に比べてモデルの説明力は高いものの、多くの係数が、予想に反した符号となった。また、不自然に絶対値が大きくなっている係数や、モデルが変わると係数が大きく変わる変数も多くみられた。

これらを総合すると、サンプルサイズ（30市）の制約により、定日回収等の効果を探るために関連する変数を追加しても、多重共線性¹⁴により係数が不安定となり、また過剰適合（当該30市のみによく当てはまる係数が推定され、その他の市町村にあまり通用しないモデル）となっている可能性が高いと考えられる。

したがって、通常の方法による最小二乗法によって定日回収等の効果を探るのは困難である¹⁵。

（品目全体：Ridge回帰）

次に、機械学習においてよく用いられる手法の一つであり、多重共線性の問題に強く過剰適合の抑制が期待できるRidge回帰¹⁶による分析を行った（表3-6）。

¹⁴ ある品目で定日回収を行っている市は別の品目でも行っている傾向がある等、説明変数間に強い相関があること。例えば、モデル④における定日回収（各品目）のVIF（Variance Inflation Factor：分散拡大要因）は順に95.2、130.2、80.8、17.3、13.9、53.1となっており（一般に10を超えると多重共線性があるとされる）、強い多重共線性が発生している。

¹⁵ 重回帰分析においては、統計的に有意な変数を見出したりモデルの説明力を高めたりするために、変数選択を行う方法（AIC（赤池情報量基準）等を用いたステップワイズ法、Lasso回帰（正則化項を絶対値和としたもの）、Elastic Net回帰（Lasso回帰とRidge回帰の線形和）などが知られている）がある。ここでも変数選択により定日回収のうち有意な変数を見出す可能性も検討したが、上記のどの方法についても有効性は見出せなかった。

¹⁶ 通常の方法による最小二乗法（OLS：Ordinary Least Squares）では $\sum_i (y_i - \beta_0 - \sum_j \beta_j x_i^{(j)})^2$ を最小化する係数を求めるのに対し、Ridge回帰では $\sum_i (y_i - \beta_0 - \sum_j \beta_j x_i^{(j)})^2 + \lambda \sum_j \beta_j^2$ を最小化する係数を求める。推定に当たっては、説明変数を標準化（平均を0、標準偏差を1とする）し、偏回帰係数の推定値は元のスケールに変換する。パラメータ λ は、交差検証（サンプルを学習用データとテスト用データに分割し、学習用データで推定したモデルをテスト用データで検証）により選定する。第二項（正則化項）及び交差検証によって、過剰適合を抑制し、調査対象市以外への適合性を高める効果が期待できる。

表 3-6 重回帰分析結果（被説明変数：混入量（合計）g/人）＜不燃ごみ＞

	予想される符号	Ridge 回帰					
		①	②	③	④	⑤	⑥
定日回収の有無（いずれかの品目）	－	-1.49		-1.13		-1.32	
拠点回収の有無（いずれかの品目）	－	1.01	0.25	0.83	0.41	0.95	0.31
JBRC 回収ボックス数（/万人）	－	-1.24	-0.31	-0.78	-0.44	-1.00	-0.36
定日回収の有無（リチウムイオン電池等）	－		-0.20		-0.28		-0.23
同（モバイルバッテリー）	－		-0.23		-0.34		-0.27
同（電気かみそり）	－		-0.16		-0.21		-0.18
同（コードレス掃除機）	－		-0.19		-0.26		-0.21
同（加熱式たばこ）	－		-0.22		-0.33		-0.25
同（ワイヤレスイヤホン）	－		-0.20		-0.27		-0.22
同（破損モバイルバッテリー）	－		-0.21		-0.30		-0.24
同（破損スマートフォン）	－		-0.24		-0.34		-0.27
周知・啓発（排出区分）	－					0.68	0.21
同（JBRC）	－					-1.13	-0.36
同（取り外し）	－					-0.16	-0.05
同（危険性）	－					0.45	0.14
広報媒体数	－					-0.32	-0.11
過去の火災の有無	－	-0.66	-0.17	-0.52	-0.26	-0.65	-0.20
不燃ごみ排出量（kg/人）	＋	0.03	0.01			0.03	0.01
資源ごみ排出量（kg/人）	－	-0.03	-0.01			-0.03	-0.01
分別数〔対数〕	－			-1.77	-0.90	-2.08	-0.70
収集頻度（不燃ごみ）	＋			-0.08	-0.04		
同（容プラ）	－			-0.26	-0.13		
同（小型家電）	－			0.19	0.12		
手数料（不燃ごみ）	－			0.85	0.45		
同（容プラ）	＋			-0.28	-0.14		
同（小型家電）	＋			0.44	0.27		
所得（百万円/人）〔対数〕	＋			0.00	0.02	-0.10	-0.00
平均世帯人員	－			-3.62	-1.77	-4.26	-1.38
男女比率（％）	－			-0.05	-0.03	-0.06	-0.02
人口密度（千人/km ² ）〔対数〕	＋			0.51	0.27	0.63	0.22
昼夜間人口比率（％）	＋			0.11	0.06	0.13	0.04
若年人口比率（％）	＋			0.15	0.08	0.19	0.06
購入頻度（関連品目計）（％）	＋	2.14	0.53	1.92	0.91	2.00	0.65
観測数		30	30	30	30	30	30
R ² （決定係数）		0.27	0.15	0.47	0.36	0.61	0.42
RMSE（二乗平均平方根誤差）		19.53	19.87	18.61	19.20	18.30	19.39

（注）1 推定値の網掛けは予想される符号と逆になったものである。

2 統計分析環境 R のパッケージ「glmnet」による推定である。パラメータ λ は、5 分割の交差検証により MSE（平：均二乗誤差）が最小となるパラメータを採用した。Ridge はモデルの予測精度に重点を置いているため、各回帰係数の有意性検定は行っていない。

最も単純な Ridge モデル①においては、「定日回収あり」の係数は負となり、いずれかの品目で定日回収を行う市ほど混入量が少なくなる傾向が示された。他方で「拠点回収あり」については（モデル②～⑥においても同様に）係数が負となっておらず、拠点回収によって排出が少なくなっているとはいえない。

品目別の定日回収の有無を変数に入れたモデル②によると、通常の方法の結果とは異なり、これらの係数は全て負となり、品目ベースでも定日回収を行う市ほど混入量が少なくなる傾向が示された。

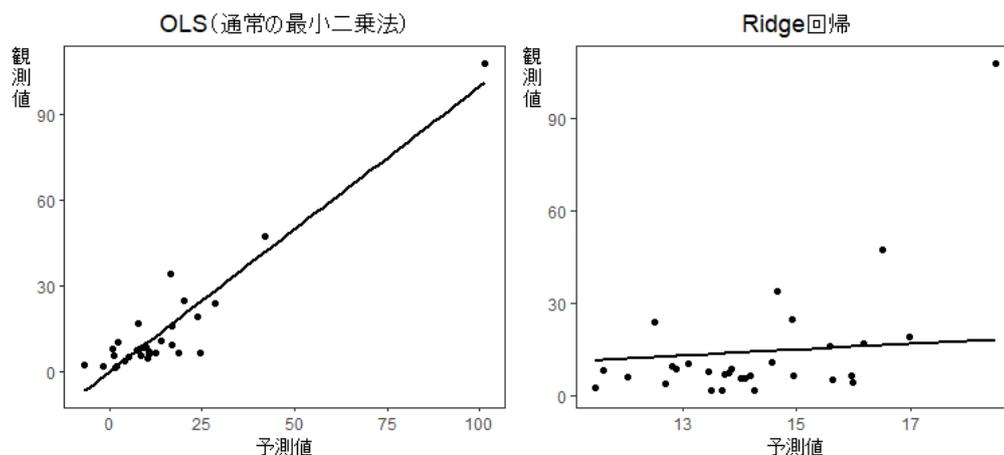
「不燃ごみ/資源ごみ排出量」の代わりに政策要因・地域要因を組み入れたモデル③及び④では、収集頻度や手数料に関する変数の多くは予想と逆符号となったが、その他についてはおおむね予想どおりの符号が得られた。収集頻度や手数料に関する変数を除き「不燃ごみ/資源ごみ排出量」及び「周知・啓発」等を追加したモデル⑤及び⑥では、適切な排出区分や危険性（発煙・発火等）の周知・啓発については期待した符号が得られなかったが、他の係数についてはおおむね予想どおりの符号となった。

「JBRC 回収ボックス数」の係数は全モデルで負となり、その効果が示唆された。

これら Ridge モデル全体の安定性（変数選択を変えた場合の係数の変化の度合い）をみても、通常の方法①～④に比べて良好であり、Ridge 回帰の一定の有効性が示唆された。また、分析に用いている各市の組成分析調査のデータは、年間回収量の算出などにおいて大きな推計が入っているものであり、そのことによる分析上の制約も想定されたが、これらの Ridge 回帰において、一部を除きおおむね期待どおりの符号が得られたことから、後続の分析においてもデータの一定の有用性が予想される。

なお、通常の方法と Ridge 回帰の適合状況を図示したものが図 3-5 である。通常の方法では、回帰直線が値の大きい 1 点に強く引っ張られているが、Ridge 回帰では、この過剰適合が抑制されていることが分かる。

図 3-5 回帰分析による予測値の適合状況



(注) 左図は OLS④、右図は Ridge④の回帰直線（両モデルの説明変数は共通）である。

(各品目：Ridge 回帰)

次に、各品目の混入量を被説明変数として、Ridge 回帰を行った。

説明変数は品目全体の Ridge 回帰とほぼ同様であるが、政策要因・地域要因に係る変数については、品目によってはその影響が変わり得る（例えば、加熱式たばこは、若年人口比率が小さいほど排出が多い可能性がある）ことも踏まえ、

- ・ 個々の政策要因・地域要因の変数を用いたパターン（表 3-7）と、
- ・ そのうち、前述（表 3-6）の分析においてあまり予想される符号が得られなかった、拠点回収、収集頻度及び手数料に係る変数を除き、「不燃ごみ/資源ごみの排出量」及び「周知・啓発」（うち前述の分析で予想される符号が得られたもの）等を加えたパターン（表 3-8）

を推定した。

定日回収（リチウムイオン電池等）及び「JBRC 回収ボックス数」は、リチウムイオン電池等及びモバイルバッテリーのみならず、電池の取り外しが可能な製品の（電池が入った状態での）排出への影響を見る観点から、これらの品目の説明変数としても加えた。消費志向に係る変数としては、品目ごとにその混入量に影響を及ぼすことが想定される購入頻度又は消費支出割合を用いた¹⁷。

¹⁷ リチウムイオン電池等については、組成分析調査において含まれていた当該リチウムイオン電池等の使用製品（後述）のうち、家計調査において対応品目がある電気掃除機及び携帯電話機の購入頻度の合計を用いた。加熱式たばこについては、たばこの消費支出割合を用いた。ワイヤレスイヤホンは家計調査において消費志向を反映する適切な品目が見当たらないことから、当該変数は使用していない。

表 3-7 重回帰分析結果（被説明変数：各品目の混入量 g/人）＜不燃ごみ＞

	予想される符号	Ridge 回帰					
		リチウムイオン電池等	モバイルバッテリー	電気かみそり	コードレス掃除機	加熱式たばこ	ワイヤレスイヤホン
定日回収の有無（リチウムイオン電池等）	－	-0.33		0.05	-0.16	-0.00	
同（モバイルバッテリー）	－		-0.19				
同（電気かみそり）	－			0.07			
同（電気かみそり・不燃）				-0.13			
同（コードレス掃除機）	－				-0.14		
同（コードレス掃除機・不燃）					-0.07		
同（加熱式たばこ）	－					-0.02	
同（ワイヤレスイヤホン）	－						-0.01
拠点回収の有無（いずれかの品目）	－	0.19	0.19	0.11	0.13	0.05	0.02
JBRC 回収ボックス数（/万人）	－	-0.21	-0.10	-0.06	-0.23	-0.01	
過去の火災の有無	－	0.23	-0.11	-0.09	-0.23	-0.03	0.00
分別数〔対数〕	－	-1.11	-0.17	-0.01	-0.37	-0.06	-0.05
収集頻度（不燃ごみ）	+	-0.17	-0.06	0.02	0.02	0.00	-0.01
同（容プラ）	－	-0.11	-0.02	-0.00	-0.07	-0.01	-0.01
同（小型家電）	－	-0.13	-0.01	0.05	0.10	-0.00	-0.01
手数料（不燃ごみ）	－	0.31	0.18	0.02	0.17	0.03	0.01
同（容プラ）	+	-0.05	-0.05	0.06	-0.17	0.04	0.01
同（小型家電）	+	-0.23	-0.02	0.09	0.22	0.01	-0.01
所得（百万円/人）〔対数〕	+	1.11	0.30	-0.11	-0.16	0.03	0.03
平均世帯人員	－	-3.60	-0.18	0.08	-0.60	-0.10	-0.11
男女比率（％）	－	-0.05	0.01	-0.00	-0.01	-0.00	-0.00
人口密度（千人/km ² ）〔対数〕	+	0.29	0.05	-0.01	0.14	0.00	0.01
昼夜間人口比率（％）	+	0.08	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00
若年人口比率（％）	+	-0.01	0.01	0.01	0.06	-0.00	-0.00
購入頻度（関連品目）（％）	+	5.01					
同（携帯電話機）	+		4.46				
同（理美容用電気器具）	+			0.05			
同（電気掃除機）	+				-0.44		
消費支出割合（たばこ）	+					0.05	
観測数		30	30	30	30	30	30
R2（決定係数）		0.53	0.37	0.52	0.46	0.29	0.40
RMSE（二乗平均平方根誤差）		6.16	1.09	0.83	5.01	0.49	0.21

- (注) 1 予想される符号は全品目の混入量を被説明変数とした場合のもの（表 3-6 と同一）であり、推定値の網掛けは当該符号と逆になったものである。ただし、加熱式たばこの「若年人口比率」のように、当該品目に対する回帰係数としては符号が合理的と考えられるものがある。
- 2 統計分析環境 R のパッケージ「glmnet」による推定である。パラメータλは原則、5 分割の交差検証により MSE（平均二乗誤差）を最小化する値。ただし、その方法によると多くの係数がほぼゼロとなり有益な情報が得られない場合は elbow 法(MSE の減少が緩やかとなる点)により選定した。
- 3 Ridge 回帰は予測精度に重点を置くモデルであり、各回帰係数の有意性検定は行っていない。
- 4 購入頻度（関連品目）は、携帯電話機及び電気掃除機の購入頻度の合計である。

表 3-8 重回帰分析結果（被説明変数：各品目の混入量 g/人）＜不燃ごみ＞

	予想される符号	Ridge 回帰					
		リチウムイオン電池等	モバイルバッテリー	電気かみそり	コードレス掃除機	加熱式たばこ	ワイヤレスイヤホン
定日回収の有無（リチウムイオン電池等）	－	-0.39		0.18	-0.13	-0.01	
同（モバイルバッテリー）	－		-0.08				
同（電気かみそり）	－			0.24			
同（電気かみそり・不燃）	－			-0.59			
同（コードレス掃除機）	－				-0.12		
同（コードレス掃除機・不燃）	－				-0.04		
同（加熱式たばこ）	－					-0.01	
同（ワイヤレスイヤホン）	－						-0.01
JBRC 回収ボックス数（/万人）	－	-0.27	-0.06	-0.32	-0.21	-0.02	
周知・啓発（JBRC）	－	-0.66	-0.05	-0.30	-0.12	-0.05	
同（JBRC）× 定日回収 L	－	-0.22		-0.21	-0.14	-0.01	
同（JBRC）× 定日回収 M	－		-0.10				
同（取り外し）	－			0.25	0.01	-0.01	
広報媒体数	－	-0.18	-0.01	0.03	-0.06	-0.01	-0.01
過去の火災の有無	－	0.28	-0.03	-0.47	-0.20	-0.03	0.00
不燃ごみ排出量（kg/人）	＋	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
資源ごみ排出量（kg/人）	－	-0.02	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
分別数 [対数]	－	-1.28	-0.08	-0.17	-0.31	-0.06	-0.05
所得（百万円/人） [対数]	＋	1.41	0.17	-0.51	-0.14	0.03	0.04
平均世帯人員	－	-4.24	-0.14	-0.02	-0.49	-0.10	-0.12
男女比率（%）	－	-0.06	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00
人口密度（千人/km ² ） [対数]	＋	0.34	0.03	-0.03	0.12	0.01	0.01
昼夜間人口比率（%）	＋	0.10	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00
若年人口比率（%）	＋	-0.00	0.00	0.07	0.05	-0.00	-0.00
購入頻度（関連品目）（%）	＋	5.77					
同（携帯電話機）	＋		1.92				
同（理美容用電気器具）	＋			1.62			
同（電気掃除機）	＋				-0.55		
消費支出割合（たばこ）	＋					0.07	
観測数		30	30	30	30	30	30
R2（決定係数）		0.64	0.35	0.65	0.51	0.34	0.47
RMSE（二乗平均平方根誤差）		5.90	1.18	0.61	5.09	0.49	0.21

(注) 1 予想される符号は全品目の混入量を被説明変数とした場合のもの（表 3-6 と同一）であり、推定値の網掛けは当該符号と逆になったものである。ただし、加熱式たばこの「若年人口比率」のように、当該品目に対する回帰係数としては符号が合理的と考えられるものがある。

2 統計分析環境 R のパッケージ「glmnet」による推定である。パラメータ λ は原則、5 分割の交差検証により MSE（平均二乗誤差）を最小化する値。ただし、その方法によると多くの係数がほぼゼロとなり有益な情報が得られない場合は elbow 法(MSE の減少が緩やかとなる点)により選定した。

3 Ridge 回帰は予測精度に重点を置くモデルであり、各回帰係数の有意性検定は行っていない。

4 定日回収 L、定日回収 M は、それぞれ定日回収の有無（リチウムイオン電池等）、同（モバイルバッテリー）を略記したものである。

5 購入頻度（関連品目）は、携帯電話機及び電気掃除機の購入頻度の合計である。

表 3-7 及び 3-8 によると、電気かみそりを除く品目において、定日回収の係数がマイナスとなり、これら品目の定日回収の効果が示唆された。

また、リチウムイオン電池等の回収は、電池単体のみならず、コードレス掃除機¹⁸の排出時における電池の取り外し促進を通じて、電池が入った状態での製品の混入を抑制する効果が示唆された。

周知・啓発については、「リチウム蓄電池等の排出事業者(JBRCの回収の利用案内等)に関する内容」の周知・啓発による各品目(電池単体のみならず電池の入った製品も含む)の混入抑制効果が示唆された。定日回収の有無との交差項の係数をみると、定日回収を行っていない市はもとより、行っている市においても、JBRCの回収の利用案内等を併せて行うことで、より混入の抑制が見込める可能性が示唆された。「リチウム蓄電池の製品からの適切な取り外し方や取り外しに関連する留意点」の周知・啓発については、電気かみそり及びコードレス掃除機の混入減少効果は確認できなかった。広報媒体数はおおむね、多いほど各製品の混入が抑制される傾向が示唆された。

地域変数のうち、不燃ごみ等の収集頻度及び手数料等については、品目全体の分析と同様に、予想と逆符号となった品目が多かった。その他の地域要因に係る変数については、電気かみそりのモデルを除き、おおむね予想どおりの符号が得られた。

(まとめ : Ridge 回帰)

以上の Ridge 回帰の結果を総合すると、電気かみそりを除く品目において、モデルによらず安定的に定日回収にかかる係数の符号が負となり、定日回収による混入抑制効果がうかがえた。特にリチウムイオン電池等に関しては、その定日回収により、電池単体のみならず電池の入った状態の製品の混入も抑制できる可能性が示唆された。

表 3-8 のモデルにおける、各品目の定日回収に係る回帰係数を再掲すると表 3-9 のとおりである。なお、Ridge 回帰は各回帰係数そのものの精度よりもモデルの予測に重点を置くモデルであり、係数の符号による大まかな傾向把握は可能であるものの、係数の値には偏りがあることが知られている¹⁹ため、(通常 of 最小二乗法のように、)当該係数によって定日回収の定量的な効果を把握することには課題がある。

表 3-9 Ridge 回帰モデル (表 3-8) における各品目の定日回収に係る回帰係数

定日回収の品目	当該品目の混入量に関する回帰係数	他品目の混入量に関する回帰係数
リチウムイオン電池等	▲0.39	電気かみそり +0.18 コードレス掃除機▲0.13 加熱式たばこ ▲0.01
モバイルバッテリー	▲0.08	—
電気かみそり	+0.24	—
コードレス掃除機	▲0.12	—
加熱式たばこ	▲0.01	—
ワイヤレスイヤホン	▲0.01	—

¹⁸ 加熱式たばこのモデルの係数も負であるが、値の大きさは僅少。

¹⁹ Ridge 回帰では、各回帰係数はゼロ方向に縮小される傾向があることが知られている。

定日回収のほか、JBRC 回収ボックス数についても、その増加による混入抑制効果がうかがえたが、市区町村による拠点回収については、その効果は定量的に確認できなかった。

周知・啓発については、JBRC の回収の利用案内等に関する内容の周知・啓発は、既に定日回収を行っている場合でも、混入抑制が示唆された。リチウムイオン電池等の適切な排出区分、取り外し方及び危険性に関する内容に関しては、混入抑制効果を直接確認することはできなかった。

(3) マッチング法

重回帰分析による定日回収等の効果分析(2)は、当該回帰モデルが正確であることを前提としており、モデルが誤設定の場合には推定結果の信頼性に課題が残る。

そこで、回帰モデルの仮定が不要であり、混入量に影響を与える変数を考慮する別の方法として「マッチング法」によって、定日回収の効果の算出を試みた。

具体的には、「不燃ごみ」区分の市²⁰について、当該市の特性を表す変数群を用いて、当該変数群（共変量）の値が近い市同士を比較する方法²¹により、定日回収の効果²²を推定した。共変量としては、混入量及び定日回収の有無に影響を与える政策要因及び地域要因のうち、重回帰分析(2)の結果を踏まえて有効と考えられる変数を用いた²³。

マッチング後のサンプルにおける共変量の近さ（マッチング前と比較した変化）と、定日回収の影響の推定結果は、図 3-6 及び表 3-10 のとおりである。

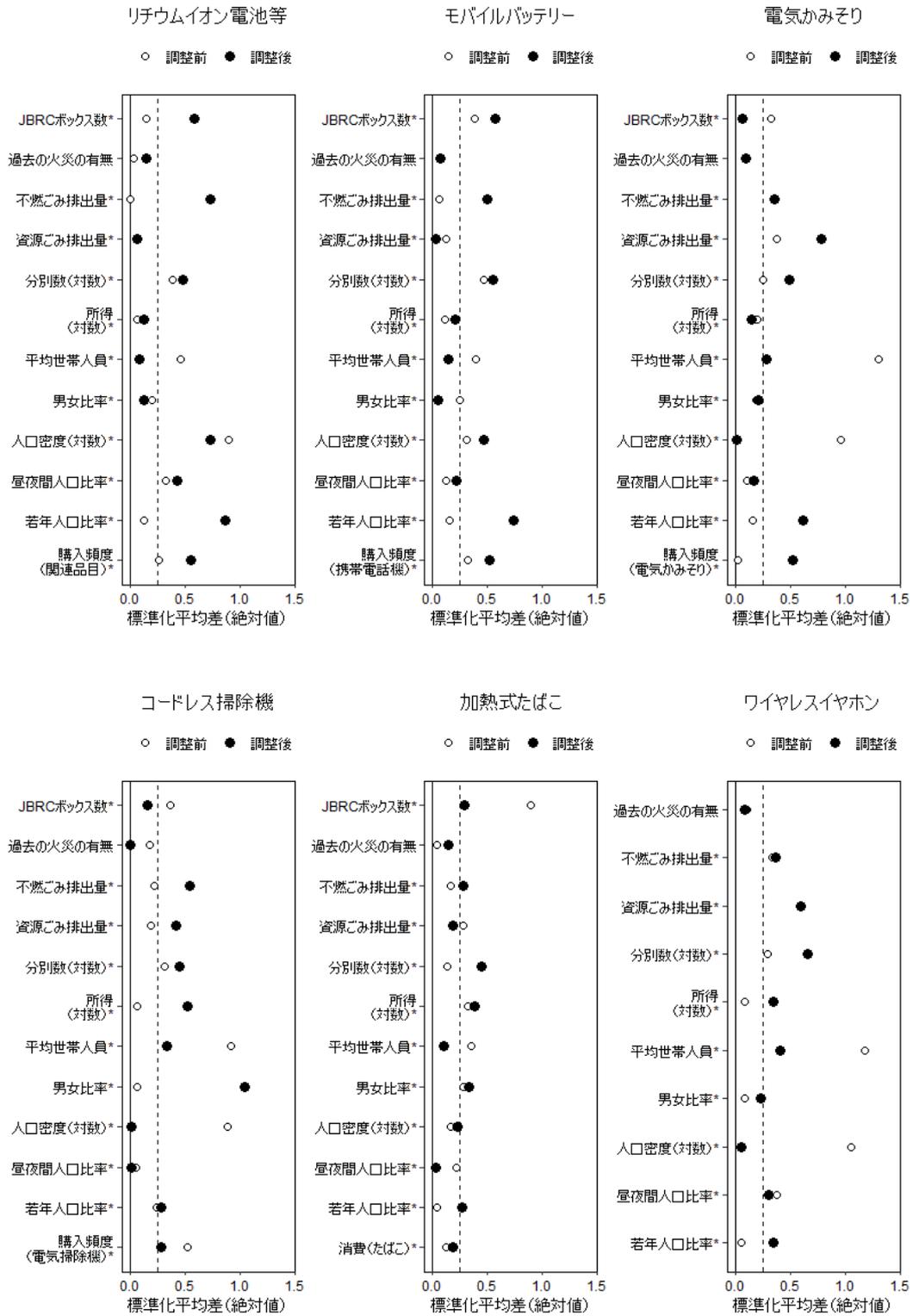
²⁰ プラスチック区分の市（8市）については、定日回収を行っている市が僅少（例えばリチウムイオン電池等の定日回収を行っている市は1市）であるため、当該分析は行っていない。

²¹ マッチング法には様々な方法があるが、ここでは最も簡素な方法の一つである「最近傍法」（定日回収をしている市について、最も類似している定日回収をしていない市をマッチングし、マッチングできたペアの差の平均をとる方法）を用いた。限られたサンプルの中で可能な限り多くのペアを得る観点から、復元あり（一度ペアとして選ばれた市の再選定を許す）とした。また類似（共変量の近さ）の指標としては、データの分布を考慮した「マハラノビス距離」を用いた。ここでマハラノビス距離は、各共変量の値を要素とするベクトル \vec{x} , \vec{y} について、 $\sqrt{(\vec{x} - \vec{y})^T \Sigma^{-1} (\vec{x} - \vec{y})}$ （ Σ は各変数間の分散・共分散の値を要素とする分散共分散行列）で与えられる。

²² ここでいう定日回収の効果としては、定日回収をしている市における平均効果（ATT: Average Treatment Effect on Treated）を推定している。

²³ マッチングや後述の傾向スコア解析において、共変量は一般に、目的変数（ここでは排出量）への予測力が高い変数や、処置の有無（ここでは定日回収の有無）で分布が異なる変数をなるべく多く選択（ただし処置の影響を受けている変数を除く）することが重要とされる（例えば星野(2009)、岩崎(2015)）ことを踏まえつつ、サンプルサイズの制約も考慮し、一部の変数（Ridge 回帰で期待した符号が得られなかった拠点回収、不燃ごみ等の収集頻度及び手数料に係る変数、処置の影響を受けていると考えられる周知・啓発の変数等）を除いて幅広く取り入れた。なお、後述の DR 推計では、可能な限り多くの変数を取り入れた。

図 3-6 マッチング法による共変量の分布の調整状況



(注) 統計分析環境 R のパッケージ「cobalt」を利用した。「調整前」は全サンプル、「調整後」はマッチングに残ったサンプルにおいて各共変量の標準化平均差(絶対値)を見たものである。ゼロに近いほど、共変量のバランスが取れていることを表す。共変量のバランスの水準について、ここでは、標準化平均差 0.25 (Stuart (2010)) を目安として図示(点線表示)したが、より厳しく 0.1 を推奨する文献 (Austin (2011)) もある。

表 3-10 マッチング法による定日回収の効果の試算<不燃ごみ>

定日回収の品目	マッチできた市の数		当該品目の混入量への影響		他品目の混入量への影響	
	定日回収あり	定日回収なし	推定値 g/人	p 値	推定値 g/人	p 値
リチウムイオン電池等	14	5	▲0.18	0.06	電気かみそり +0.57 コードレス掃除機 +0.82 加熱式たばこ ▲0.01	— — 0.46
モバイルバッテリー	15	6	▲0.05	0.45	—	—
電気かみそり	11	5	+0.70	—	—	—
コードレス掃除機	9	6	▲1.45	0.12	—	—
加熱式たばこ	14	5	+0.05	—	—	—
ワイヤレスイヤホン	12	6	▲0.08	0.15	—	—

(注) 統計分析環境 R のパッケージ「MatchIt」を利用した。マハラノビス距離に基づく最近傍マッチング(復元あり)による。推定値は定日回収をしている市における平均効果(ATT)。p 値は片側検定による。

マッチング法は、類似している市同士を比較するものであり、簡明な方法であるが、マッチングによる共変量の調整状況(図 3-6)をみると、マッチング後も十分に共変量が調整されていない(すなわち十分に類似していない市同士の比較となってしまう)ことが分かる。したがって、このマッチングによる推定値には一定の偏りが想定される。

その前提の下で、マッチングにより推定された定日回収の効果(表 3-10)をみると、一定程度の定日回収の効果が示唆されるが、逆符号に推定された品目もある。また、実際にマッチングできたサンプルは小さいため、推定値はかなりの幅を持つてみる必要がある。

以上を総合すると、マッチングによる定日回収の効果の把握²⁴は、課題が多い。

²⁴ マハラノビス距離によるマッチングのほか、後述する傾向スコアを用いたマッチングも試みたが、同様に、共変量の分布がうまく調整されないこと及びマッチングされたサンプルが限定的なことから、確度の高い推定結果は得られなかった。

(4) 逆確率重み付け法 (IPW 法)

(3)において共変量の分布が十分に調整されなかったことを踏まえ、傾向スコア²⁵による逆確率重み付け (IPW: Inverse Probability Weighting) 法による定日回収の効果の推定を試みた。

すなわち、定日回収を実施していない市のうち、定日回収している市に類似する市は割り増し、類似しない市は割り引くような重みをつけることで、定日回収をしている市・していない市の特徴をそろえ、効果を推定した²⁶。

マッチングではマッチングが成立しなかった市のデータは使用しないのに対し、逆確率重み付け法では、全ての市のデータが使えるメリットがある。

(3)と同様の共変量を用いた傾向スコアの推定精度に関する指標は表 3-11、IPW 法による共変量の調整状況は図 3-7 のとおりである。また、推定結果は表 3-12 のとおりである。

表 3-11 各品目の定日回収に係る傾向スコア推定モデルの適合状況

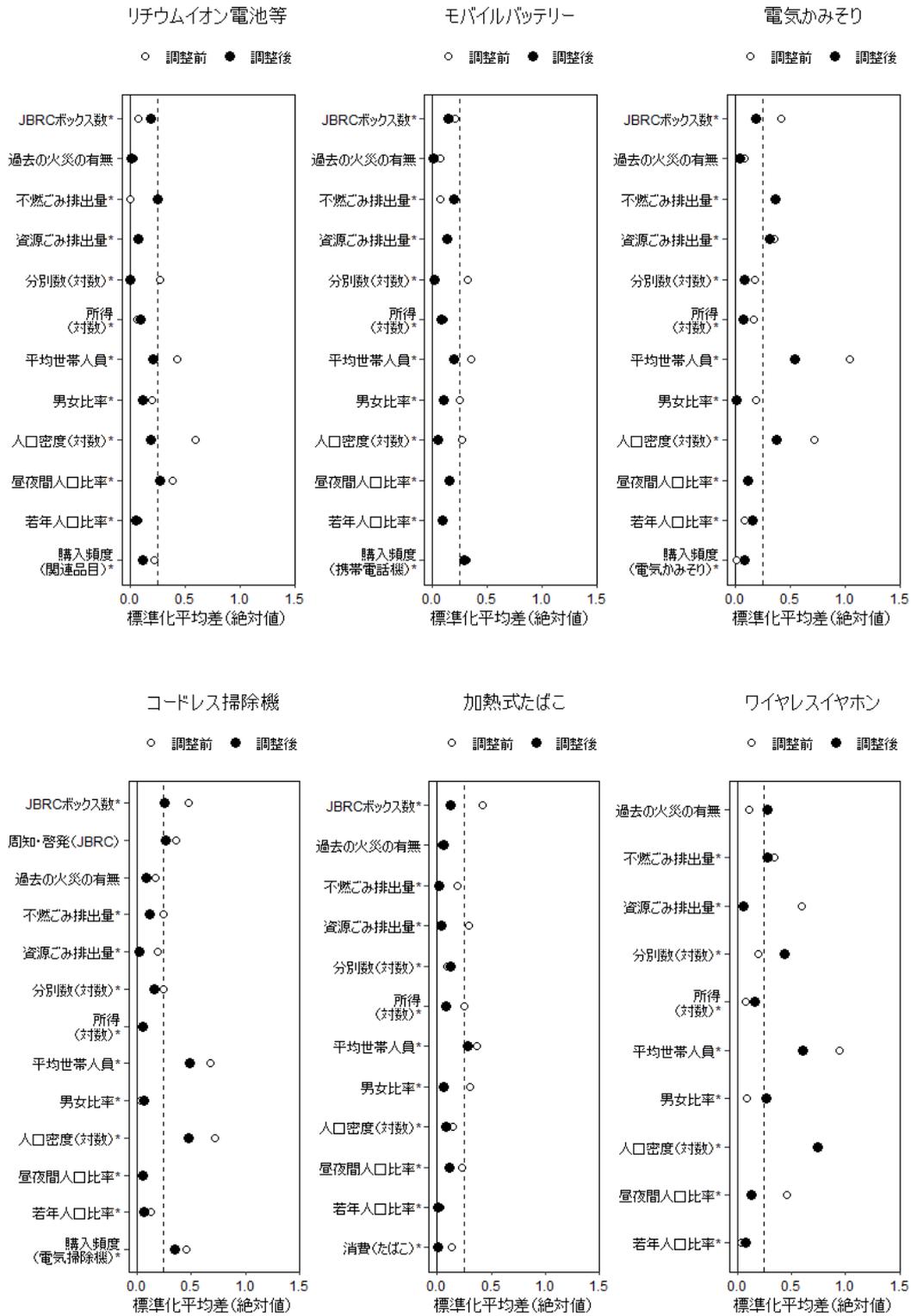
	C 統計量	疑似決定係数
リチウムイオン電池等	0.88	0.47
モバイルバッテリー	0.84	0.34
電気かみそり	0.96	0.59
コードレス掃除機	0.96	0.60
加熱式たばこ	0.85	0.31
ワイヤレスイヤホン	0.91	0.50

- (注) 1 c 統計量は医学系の研究では 0.8 以上がスタンダードとされているが、0.67 程度であっても、従属変数に関連の強い共変量を選択すれば、十分偏りのない調整が可能な場合があるともされている (星野・岡田(2006))。
- 2 疑似決定係数は MacFadden のもの。通常の回帰分析の決定係数に相当する。
- 3 従来傾向スコアはデータに対する説明力が一定を超えることが重要であると解釈されていたが、近年では共変量のバランスが取れているかが重要との見解が一般となっている (星野(2009)、岩崎(2015)、Stuart(2010)など)。

²⁵ 各市が共変量の下で定日回収を行う確率。各品目について定日回収を行っているか否かを被説明変数 (処置変数)、排出量 (及び定日回収の有無) に影響を与える変数群を説明変数 (共変量) とするロジスティック回帰モデル $\log \{e_i / (1 - e_i)\} = \beta_0 + \sum_j \beta_j x_i^{(j)}$ により推定した。

²⁶ 推定した傾向スコア e_i を用いて、定日回収を実施している市の重みを 1、定日回収を実施していない市には重み $e_i / (1 - e_i)$ を付し、ATT (定日回収を実施している市における効果の期待値) を推定する。

図 3-7 IPW 法による共変量の分布の調整状況



(注) 1 統計分析環境 R のパッケージ「cobalt」を利用した。「調整後」は傾向スコアによるウェイト付けした後の、各共変量の標準化平均差(絶対値)を見たものであり、ゼロに近いほど共変量のバランスが取れていることを表す。共変量のバランスの水準について、標準化平均差 0.25(Stuart(2010))を目安として表示したが、より厳しく 0.1 を推奨する文献(Austin(2011))もある。

2 コードレス掃除機に関しては同じ共変量ではバランスが取れなかったため、処置変数の影響が小さいと思われる「周知・啓発(JBRC)」を追加した。「広報媒体の数」を追加すると傾向スコア推計モデルが発散したため不採用とした。

表 3-12 IPW 法による定日回収の効果の試算<不燃ごみ>

定日回収の品目	当該品目の混入量への影響		他品目の混入量への影響	
	推定値 g/人	p 値	推定値 g/人	p 値
リチウムイオン電池等	▲1.91	0.11	電気かみそり +0.76 コードレス掃除機 ▲1.74 加熱式たばこ ▲0.01	— 0.13 0.48
モバイルバッテリー	▲0.25	0.27	—	—
電気かみそり	+0.70	—	—	—
コードレス掃除機	▲1.51	0.20	—	—
加熱式たばこ	+0.02	—	—	—
ワイヤレスイヤホン	▲0.09	0.07	—	—

(注) 傾向スコアはロジスティック回帰分析により推定した。統計分析環境 R のパッケージ「WeightIt」及び「Survey」を利用した。推定値は ATT である。p 値は片側検定による。

傾向スコアの推定精度は比較的良好である。また IPW 法による重み付けの結果、共変量の分布はマッチングと比較しておおむね良好に調整された²⁷ (図 3-7 参照)。したがって、理論上はマッチングよりも推定結果の信頼度は高いものと考えられる²⁸。

表 3-12 の結果によれば、一部品目を除き定日回収の効果が示唆された。

(5) まとめ

(1)～(4)における定日回収にかかる分析結果を総合すると、表 3-13 のとおりとなる。

分析手法によって結果数値が異なり、また結果を見る上では分析手法のメリット・デメリットに応じてそれぞれ留意が必要であるが、全体的な傾向をみれば、電気かみそりを除いて、おおむね定日回収による混入量の抑制効果が示唆される結果となった。

個別にみると、単純平均の差(1)は、定日回収の有無別の混入量の平均値を比較したもので、最も簡明であるが、各市の混入量を左右する多くの背景事情を全く無視している点で、定日回収の効果とみなすには大きな課題がある。

背景事情(共変量)を調整する手法の一つである重回帰分析(2)では、混入量と政策要因・地域要因との関係を把握する上で有益な情報が得られたが、推定方法の技術的な制約から、回帰係数をもって定日回収の定量的な効果を測定するには課題がある。

マッチング法では、最も類似している市同士で比較する手法である点で、簡明であるが、共変量がうまく調整されなかったため、推定値の信頼性には課題がある。

IPW 法は、上記の中では分析の加工度が高いものの、共変量は比較的良好に調整されており、これらの中では最も信頼度が高いと考えられる。

²⁷ ワイヤレスイヤホンに関してはマッチングと比較してあまり改善していないが、推定値はマッチング法とほぼ同水準である。

²⁸ これらの推定結果は概念上、組成分析調査の対象となった市における、定日回収による平均的な効果を推定したものであり、全国の市町村における平均効果とは異なることに留意が必要である。なお、後述の全国推計の方法等を用いれば、平均効果の全国推計も原理的には可能であるが、加工度がさらに高く、精度の高い推計が難しいため、ここでは割愛する。

表 3-13 定日回収の効果にかかる各分析手法による数値<不燃ごみ区分>

	(1) 単純平均の差 g/人	共変量分布を調整 g/人		
		(2) 重回帰分析 (Ridge)	(3) マッチング法	(4) IPW 推定量
リチウムイオン電池等	▲3.26	▲0.39	▲0.18*	▲1.91
※ 電気かみそり	+0.50	+0.18	+0.57	+0.76
※ コードレス掃除機	▲2.77*	▲0.13	+0.82	▲1.74
※ 加熱式たばこ	▲0.07	▲0.01	▲0.01	▲0.01
モバイルバッテリー	▲0.72*	▲0.08	▲0.05	▲0.25
電気かみそり	+0.63	+0.24	+0.70	+0.70
コードレス掃除機	▲2.61*	▲0.12	▲1.45	▲1.51
加熱式たばこ	▲0.11	▲0.01	+0.05	+0.02
ワイヤレスイヤホン	▲0.09	▲0.01	▲0.08	▲0.09*

(注) 1 ※は、リチウムイオン電池等の定日回収による、各品目（電池が入った状態）の混入量への影響を表す。

2 重回帰分析は、各品目の混入量を被説明変数とする Ridge 回帰（表 3-8）による当該品目ダミーの係数である。一般に Ridge 回帰は、各係数はゼロ方向に縮小して推定される傾向があることに留意が必要である。

3 マッチング法は、マハラノビス距離を用いた最近傍法（復元あり）である。

4 IPW 法は、ロジスティック回帰分析により推定した傾向スコアを使用した。推定値は ATT である。

5 * は 10%水準（片側検定）で有意であることを表す。

各品目における定日回収の効果（不燃ごみへの混入抑制効果）として、最も信頼度が高いと考えられる IPW 推定量を、その混入量全体に対する割合とともに示せば、表 3-14 のとおりとなる。リチウムイオン電池等の定日回収は、電池単体及びコードレス掃除機（電池が入った状態）の混入をそれぞれ全体の 1 割程度（13.4%、12.2%）抑制する効果が示唆された。また、コードレス掃除機の定日回収についても、製品の混入を全体の 1 割程度（10.6%）抑制する効果が示唆された。

他方、電気かみそりについては、その定日回収の効果や、電池の回収による取り外し促進の効果は確認できなかった。

上記のとおり、定日回収の混入抑制効果は品目によって異なる上、定日回収単独で混入の大半を抑制できるほど効果が大きいとはいえないことが分かった。一方、Ridge 回帰の結果から、JBRC 回収ボックスや、JBRC の回収の利用案内等に関する内容の周知は、既に定日回収を行っている場合でも、電池単体や電池使用製品の混入抑制効果が示唆された。これらのことから、定日回収のみならず、事業者による回収及びその周知・啓発もより一層推進し、消費者に対してより多くの適切な排出ルートを示す重要性が示唆された。

なお、プラスチックごみへの混入量については、サンプルサイズの制約（観測数 8）から不燃ごみ区分のような統計分析手法は適用できなかった。単純平均の差は表 3-15 のとおりである。

表 3-14 IPW 法による 6 品目の定日回収による混入量の抑制効果

<不燃ごみ区分>

定日回収の品目	当該品目の混入量への影響 (g/人)		他品目の混入量への影響 (g/人)	
		全混入量に対する割合 (%)		全混入量に対する割合 (%)
リチウムイオン電池等	▲1.91	▲13.4	電気かみそり 不明 コードレス掃除機▲1.74 加熱式たばこ ▲0.01	— ▲12.2 ▲ 0.1
モバイルバッテリー	▲0.25	▲ 1.7	—	—
電気かみそり	不明	—	—	—
コードレス掃除機	▲1.45	▲10.6	—	—
加熱式たばこ	不明	—	—	—
ワイヤレスイヤホン	▲0.09	▲ 0.6	—	—

(注) 1 全混入量に対する割合は全品目の一人当たり混入量(平均値)を除いて算出した。
2 いずれも数値は幅を持つてみる必要がある。

表 3-15 6 品目の定日回収の有無による混入量の差<プラスチックごみ区分>

	単純平均の差 (g/人)	割合 (%)
リチウムイオン電池等	▲0.12	▲24.0
モバイルバッテリー	▲0.14	▲29.1
電気かみそり	▲0.00	▲ 0.1
コードレス掃除機	▲0.00	▲ 0.1
加熱式たばこ	▲0.00	▲ 0.9
ワイヤレスイヤホン	+0.00	—

(注) 割合は平均値を除いて算出(マイナス符号のみ数値を掲載)した。
なお、共変量の調整を行っておらず、これをもって定日回収の効果とみなすことは困難である。

ここで、定日回収の効果の把握が最も困難であった電気かみそりに関しては「他のリチウム蓄電池使用小型家電より排出する人が多く、また、燃やさないごみだと考える人が多い。周知の必要性が高い品目と思われる」との市の意見がある(環境省(2025))。

また、過去の消費者アンケート(三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング(2023))によると、電気かみそりについては他の製品に比して「不燃ごみ等」の区分に排出したとする回答割合が多くなっている(図 3-8)。さらに、別の消費者アンケート(株式会社三菱総合研究所(2020))によると、電池を取り外すことなく排出したとする回答割合が多くなっている(図 3-9)。これらの市の意見やアンケート結果は、電気かみそりの定日回収や周知・啓発の効果を確認できなかった本分析結果と符合している。

図 3-8 排出した製品の排出先



(注) 三菱UFJリサーチ&コンサルティング(2023)による。枠線は当省が付した。アンケート実施時期は令和5年2月である。

図 3-9 排出した製品における電池の取り外しの有無



(注) 株式会社三菱総合研究所(2020)による。枠線は当省が付した。アンケート実施時期は、令和元年12月である。

一方、今回の組成分析調査において、電気かみそりを「電池」等の区分として回収しているにもかかわらず不燃ごみへの混入量(一人当たり)が最多となっていた市では、その回収日は不燃ごみと同一となっており、そのことに伴い不燃ごみへの混入が多くなっている可能性も考えられる。本分析では、そうした要素は加味できていないため、定日回収の効果を検証する分析としては不十分な可能性もある。

いずれにしても、表 3-14 で示した定日回収の効果に係る推定値は、サンプルサイズの制約下において考え得る限りの統計分析手法を適用した予測値であるものの、多くが統計的に有意とはいえないため、幅を持ってみるべきものである。有意な結果を得るためには、サンプルサイズの拡大が必要となるが、更に大規模な組成分析調査の実施は容易でないことが想定され、分析の更なる精緻化には多くの課題が残っている。

4 市区町村における回収量・処分量の全国推計

上記 2 のデータ及び 3 の推計結果を用いて、全国市区町村におけるリチウムイオン電池等及びその使用製品の回収量及び処分量を推計した。

(1) 不燃ごみ等におけるリチウムイオン電池等及びその使用製品の混入量

これまでに推計されている全国の不燃ごみ等への混入量のうち、環境省(2021)においては、6市町における不燃ごみ等への混入率、小口・寺園・蓮沼(2024)においては1市の混入率から算出されており、調査した市町の数値の代表性(全国の代表値として適当か等)について、情報が不足している。

また、環境省(2021)においては、6市町の平均値が全国値として当てはめられているが、今回の組成分析調査においては市によって混入量のばらつきが大きかったため、平均値の当てはめについては結果が不安定となる可能性が懸念される。これらの状況も踏まえ、ここでは、次に掲げる複数の方法による試算を比較するとともに、より精度の高い推定を目指すこととした。

- (a) 今回の組成分析調査における平均値をそのまま全国値として当てはめる方法
- (b) 外れ値に頑健な中央値を当てはめる方法
- (c) 製品の排出量に影響を与える要素をなるべく全国平均に補正する方法(不燃ごみ区分のみ)

上記(c)について、組成分析調査対象市は、人口規模一定以上の市から抽出しているほかは、各市のホームページ情報に基づく定日回収の状況や過去の火災の発生状況等についてバランスを考慮して選定しているもの²⁹、より偏りの少ない推定値を得る観点から、全市町村を対象とした統計調査(8品目の定日回収の状況を把握)等の情報を活用し、組成分析調査結果を全国の値に拡大推計した³⁰。具体的には、統計調査回

²⁹ 仮に人口規模がリチウムイオン電池等及びその使用製品の排出量に直接影響する場合には、組成分析調査市は偏ったものとなるが、先行研究(中村・川瀬・宮下(2007)、中村・川瀬(2021))においては、排出量の説明変数に人口規模は用いられていない(人口密度を用いている)ことを参考にして、本分析においても排出量は人口規模には直接依存しないと仮定し議論を進めている。

³⁰ 統計調査では回収率約90%を確保しており、全国値とみなして差し支えないと判断した。

答市町村（計 1557）のうち、組成分析調査対象の市を 1、それ以外の市を 0 とした処
置変数、及び表 4-1 に掲げた共変量による IPW 推定を用いて、全国の排出量を推計し
た。

この IPW 推定は、組成分析調査対象外の市町村が組成分析調査に回答したと仮定し
た場合の混入量の期待値（図 4-1 の②の部分）を算出していることに相当し、当該方
法は他の政府統計においても利用されている手法である³¹。ここでは、この IPW 推定
を更に応用した、より理論的に望ましいとされる「二重頑健（DR: Doubly Robust）推
定」³²により、全国の排出量を推計した。

³¹ 家計調査（総務省）の補正（調査票様式変更時の断層調整）や消費動向指数（総務省）の推定（インタ
ーネット調査の補正）等において類似の手法が利用されている。

³² DR 推定量は、目的変数の回帰モデル及び処置変数の傾向スコア算出モデルのいずれかが正しく設定で
きれば偏りなく推定できる推定量として知られている。推定量は、 $\hat{E}^{DR}(y_{sosei}|z=0) = (1/N) \sum_{i=1}^N [z_i(1 - e_i)/e_i] y_{sosei} + [1 - z_i(1 - e_i)/e_i] g_i$ 、 y_{sosei} ：組成分析調査による i 市の排出量（g/人）、 z_i ：組成分析調
査対象市=1、対象外市=0、 e_i ： i 市の傾向スコアの推定値、 g_i ：Ridge 回帰（目的変数：混入量合計、共
変量：表 4-1）による予測値で求めた。

表 4-1 全国の混入量の推計に用いた変数の記述統計量

変数	観測数	平均値	標準偏差	最小値	中央値	最大値
【処置変数】						
組成分析調査対象(不燃ごみ区分)	1557	0.02	0.14	0.00	0.00	1.00
【共変量】						
定日回収の有無(リチウムイオン電池等)	1557	0.35	0.48	0.00	0.00	1.00
同(電気かみそり)	1557	0.31	0.46	0.00	0.00	1.00
同(電気かみそり・不燃)	1557	0.29	0.45	0.00	0.00	1.00
同(コードレス掃除機)	1557	0.26	0.44	0.00	0.00	1.00
同(コードレス掃除機・不燃)	1557	0.27	0.44	0.00	0.00	1.00
同(破損モバイルバッテリー)	1557	0.30	0.46	0.00	0.00	1.00
同(破損スマートフォン)	1557	0.26	0.44	0.00	0.00	1.00
JBRC回収ボックス数(/万人)	1557	0.75	1.07	0.00	0.50	13.48
周知・啓発(JBRC)	1557	0.21	0.41	0.00	0.00	1.00
広報媒体数	1557	2.02	1.41	0.00	2.00	8.00
過去の火災の有無	1557	0.20	0.40	0.00	0.00	1.00
不燃ごみ排出量(kg/人)	1557	9.33	13.10	0.00	6.81	292.38
資源ごみ排出量(kg/人)	1557	31.98	23.53	0.00	27.16	221.78
分別数	1557	13.81	5.18	2.00	13.00	43.00
収集頻度(不燃ごみ)	1557	1.59	1.33	0.00	1.00	8.00
同(容プラ)	1557	1.84	1.87	0.00	2.00	7.00
同(小型家電)	1557	0.37	0.95	0.00	0.00	7.00
手数料(不燃ごみ)	1557	0.51	0.50	0.00	1.00	1.00
同(容プラ)	1557	0.16	0.37	0.00	0.00	1.00
同(小型家電)	1557	0.05	0.22	0.00	0.00	1.00
所得(百万円/人)	1557	1.34	0.62	0.59	1.26	16.70
平均世帯人員	1557	2.37	0.28	1.05	2.36	3.46
男女比率(%)	1557	95.45	20.23	78.68	93.93	810.75
人口密度(千人/km ²)	1557	1.12	2.71	0.001	0.20	23.18
昼夜間人口比率(%)	1557	98.55	38.04	67.10	96.90	1355.40
若年人口比率(%)	1557	13.74	2.76	0.24	13.79	24.69
購入頻度(携帯電話機)	1557	0.12	0.02	0.04	0.11	0.19
同(電気掃除機)	1557	0.10	0.01	0.06	0.10	0.17
消費支出割合(たばこ)	1557	0.55	0.11	0.24	0.52	0.93

(注) 1 上記のうち、分別数、所得及び人口密度については、分析時には対数をとった。また、DR推定に当たっては、共変量は標準化を行った。

2 共変量の選択に当たっては、目的変数(混入量合計)に影響があると考えられるものをなるべく多く取り込みつつ、DR推定の分散がなるべく小さくなるよう選択した。なお、一般に推定量の偏りと分散にはトレードオフの関係があることが知られており、分散を抑えることが必ずしも精度を高めることにはつながらないが、DR推定によって偏りは一定程度抑制されていることを想定しつつ、後述の感度分析に基づく区間推定を行うことで、偏りの可能性を一定程度カバーすることとした。

図 4-1 組成分析調査対象市と対象外市の関係

	組成分析調査対象 $z = 1$	組成分析調査対象外 $z = 0$
組成分析調査の結果 y_{sosei}	混入量データあり ①	混入量データなし (欠測) ②
共変量項目	定日回収の有無、人口指標等	

(注) ここでの推計データは②に該当する。一般に調査データの補正を考
える場合、組成分析調査 対象外の市町村が(組成分析調査ではなく)
統計調査に回答した場合を推計する必要があるが、混入量データは調
査モードによる差異はないと考えられることから、②を推計した。

組成分析調査の対象・非対象に係る傾向スコアの推定モデルの適合状況は表 4-2 の
とおりであり、比較的良好である。

また、推定した傾向スコアによる分析の有効性を確認するため、傾向スコアによる
共変量の分布の調整状況をみたものが図 4-2 である。これによると、元々(図 4-2 の
「調整前」)組成分析調査対象の市は、全国の市町村平均と比べ、定日回収の実施状況
等に大きな差異はないが、周知・啓発の状況や、地域要因(所得、平均世帯人員、人口
密度、若年人口比率)等において差異がみられる。この傾向スコアによる重み付けに
より、差異のあったこれらの要素がある程度は接近したが、なお差が残っている状況
であり、IPW 法のみによる推定には一定の偏りが想定される。

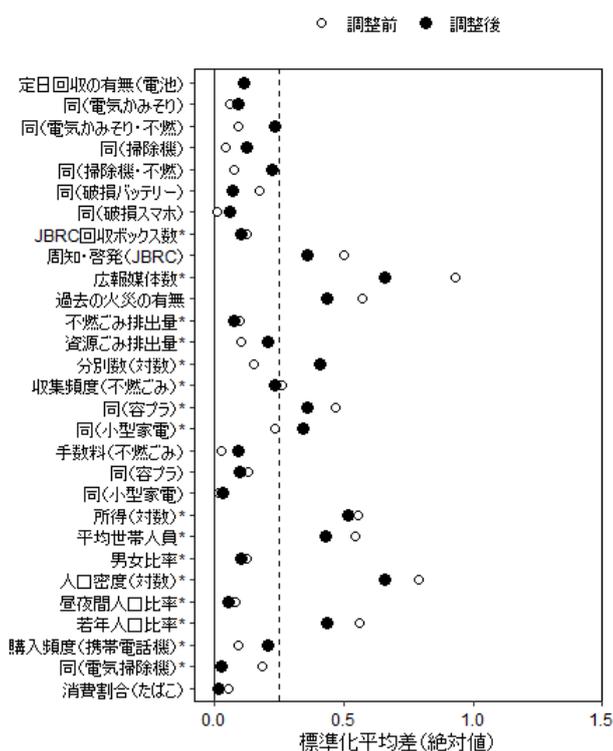
そこで、二重頑健推定により推定の精度向上を図ることとした。

表 4-2 傾向スコアの推定モデルの適合状況(不燃ごみ区分)

c 統計量	疑似決定係数
0.96	0.43

- (注) 1 c 統計量は医学系の研究では 0.8 以上がスタンダードとされている(星
野・岡田(2006))。
- 2 疑似決定係数は MacFadden のものであり、通常の回帰分析の決定係数
に相当する。
- 3 従来傾向スコアはデータに対する説明力が一定を超えることが重要で
あると解釈されていたが、近年では共変量のバランスが取れているかが
重要との見解が一般となっている(星野 2009)、岩崎(2015)、
Stuart(2010)など)。

図 4-2 共変量の分布の調整状況<不燃ごみ区分>



(注) 統計分析環境 R のパッケージ「cobalt」を利用した。

上記(a)～(c)の方法による、全国におけるリチウムイオン電池等及びその使用製品の一人当たり排出量平均と、人口を乗じることによる総排出量を推計すると、表 4-3 のとおりとなった。

組成分析調査の平均値(a)及び中央値(b)を代用した場合には、数値に相当の差が生じている。したがって、組成分析調査のサンプルサイズに制約がある中で、組成分析調査の単純平均や中央値をそのまま全国の平均値として当てはめることについては、不安定さが示唆される。一方、不燃ごみ区分における DR 推定量(c)は、組成分析調査の平均値及び中央値を全国に当てはめた場合の中間値となっており、おおむね合理的と考えられる。

プラスチックごみ区分においては、DR 推定量の算出は困難であることから、平均値又は中央値の当てはめによる推定のみを示すと、表 4-3 のとおりである。

これらの推定のうち、不燃ごみ区分については DR 推定量 (1,672 トン)、プラスチックごみについては平均値の当てはめ (62 トン) を用いることとすれば、全国の不燃ごみ及びプラスチックごみに 1,700 トン超のリチウムイオン電池等及びその使用製品が混入していると推測された。

表 4-3 全国におけるリチウムイオン電池等及びその使用製品の混入量の推定値

		平均値の 当てはめ (a)	中央値の 当てはめ (b)	DR 推定量 (c)
一人当たり 排出量 (g/人)	不燃ごみ	14.27	7.72	13.37
	プラスチックごみ	0.50	0.33	—
総排出量 (t)	不燃ごみ	1,784	966	1,672
	プラスチックごみ	62	41	—

(2) 不燃ごみ等におけるリチウムイオン電池の混入量

(1)で推計した混入量は、リチウムイオン電池等の使用製品を含む全体の重量であり、製品における電池以外の重量が相当を占めている数値である。火災発生の防止や再資源化施策の基礎資料としては、電池そのものの重量を推測することも重要である。

そこで、(1)で推計した不燃ごみ等への混入物の内容構成が、今回の組成分析調査における品目内訳と同等と仮定して、リチウムイオン電池の重量を見積もると、全国の不燃ごみ及びプラスチックごみへの混入計 1,700 トン超のうち、ニカド電池、ニッケル水素電池を除いた、リチウムイオン電池及びその使用製品は 1,002 トン、うちリチウムイオン電池単体は 286 トン、製品に残留していたものを含むリチウムイオン電池の総量は 409 トンと試算された (表 4-4)。

表 4-4 全国の不燃ごみ・プラスチックごみへの混入量の推計 (単位: トン)

	組成分析調査結果 (43 市)		全国の不燃ごみ・プラごみへの混入量 (試算値)		
	全製品	うち LIB 製品	全製品	うち LIB 製品	LIB 総量
合計	1.34	0.77	1,734	1,002	409
電気掃除機	0.34	0.22	438	286	103
リチウムイオン電池等	0.27	0.16	345	207	207
電気かみそり	0.12	0.03	161	44	3
モバイルバッテリー	0.10	0.06	126	74	46
携帯電話	0.06	0.04	74	57	13
加熱式たばこ	0.05	0.05	67	59	6
タブレット	0.05	0.04	67	48	10
ノートパソコン	0.04	0.02	52	31	5
その他	0.31	0.15	403	196	16

ここで、製品に残留していたものを含むリチウムイオン電池の総量の計算に当たっては、各製品において使用されているリチウムイオン電池の重量の情報が必要となる。ここでは、今回の組成分析調査において把握した製品ごとのリチウムイオン電池の重量 (表 4-5) や先行研究を踏まえて、1 製品あたりのリチウムイオン電池の重量 (原単位) を表 4-6 のとおり設定した。

表 4-5 組成分析調査におけるリチウムイオン電池の重量

	個数	重量 (g)	1個あたり 重量 (g)
合計	553	159,868	—
電気掃除機	203	83,079	409
デジタルカメラ・ビデオカメラ	56	5,266	94
携帯電話	51	1,426	28
ノート PC	37	8,732	236
掃除機/電動工具	32	13,301	416
電動工具	30	11,643	388
ゲーム機	13	396	30
電動自転車	11	19,714	1,792
その他・不明	120	16,311	136

(注) 単体で排出されていたリチウムイオン電池の型番等の情報から、その使用製品が判明したものについて集計したものである。

表 4-6 1製品に残留するリチウムイオン電池の重量の推定値(原単位) (単位:g)

	本試算で 用いた 原単位	引用数値・参考数値		
		組成分析調査 平均	環境省 (2019)	小口・寺園・蓮沼 (2024)
電気掃除機	409	409	500	228 (コードレス) 194 (ロボット)
電動工具	388	388		
ノートパソコン	236	236	500	259
モバイルバッテリー	104			104
タブレット	99		200	99
携帯電話	28	28	200	
その他	10		10	

(注) 組成分析調査平均は表 4-5 の該当数値である。

この試算値を既往の分析と比較すると表 4-7 のとおりとなる。既往の分析が少ない上に、相互にかなり差異があることから、この比較による試算値の妥当性の判断は困難であり、今後の研究・検証の蓄積を待つ必要があるが、先行研究のデータソースは6市町分が最大であったところ、当分析は43市(うち全国値への拡大推計のために利用できたのは38市)のデータを用いて統計分析手法により試算した点において特長がある。

ただし、統計分析上は、なお組成分析調査のサンプルサイズが小さいことによる不安定の解消は困難であり、結果は一定の幅を持ってみる必要があることに留意を要する。サンプル抽出等に起因する数値の不確実性については後述する。

表 4-7 全国の不燃ごみ・プラスチックごみへのリチウムイオン電池の混入量の試算値

(単位：トン)

	本分析の 試算	参考	
		環境省 (2022)	小口・寺園・蓮沼 (2024)
全国のリチウムイオン電池及びその使用製品の混入量	1,002	2,400	—
リチウムイオン電池（単体で混入）	207	70	—
リチウムイオン電池（製品への残留分を含む合計）	409	—	830～1126
（参考）組成分析調査の対象市町村数	43	6	1

(注) 1 本分析の試算において、組成分析調査対象の全 43 市のうち、全国値への拡大推計のために利用できたのは 38 市のデータである。残りの市のデータは品目別の LIB 総量の推計に利用した。

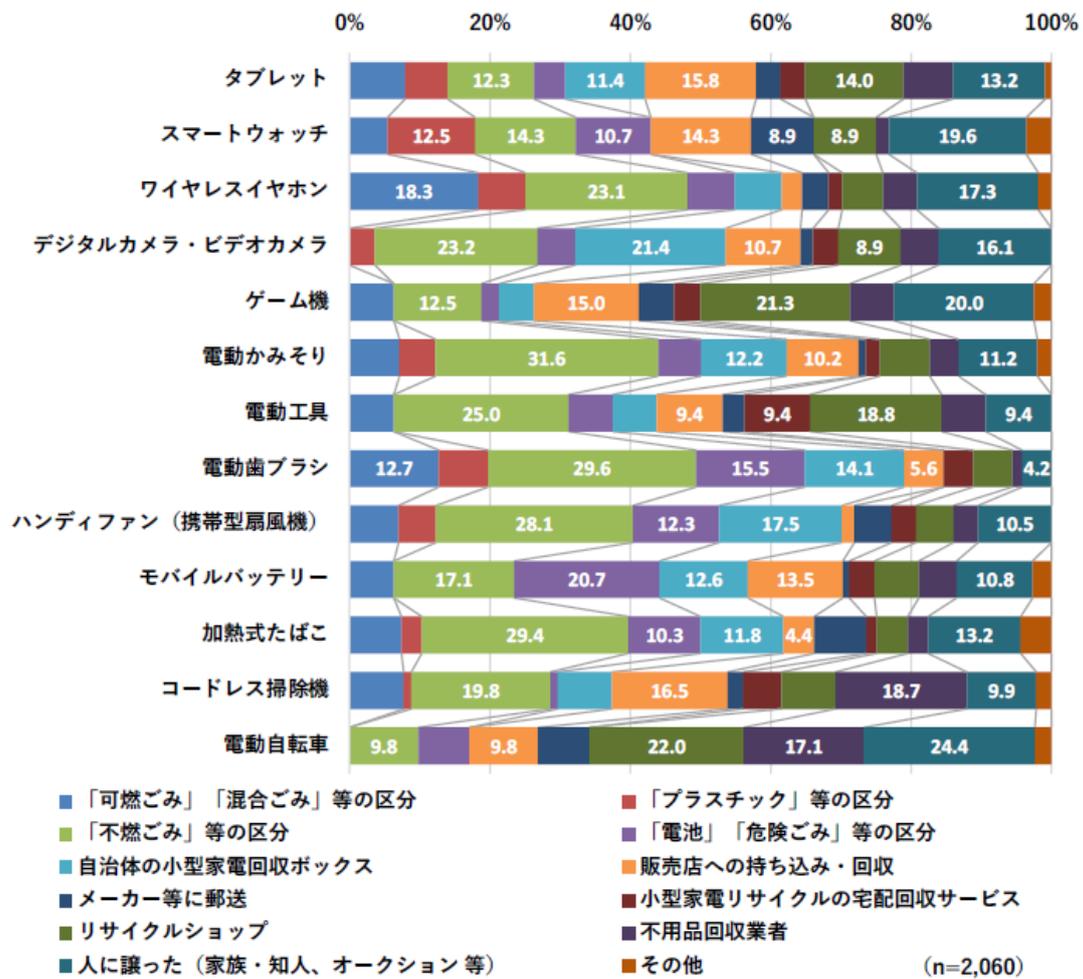
2 環境省(2022)及び小口・寺園・蓮沼(2024)の数値は、不燃ごみ区分への混入量である。

(3) 他のごみ区分における混入量

不燃ごみ及びプラスチックごみ以外のごみ区分（可燃ごみ、危険ごみ等）への混入量については、先行研究が存在せず、現段階においてその混入状況は全く不明となっている。

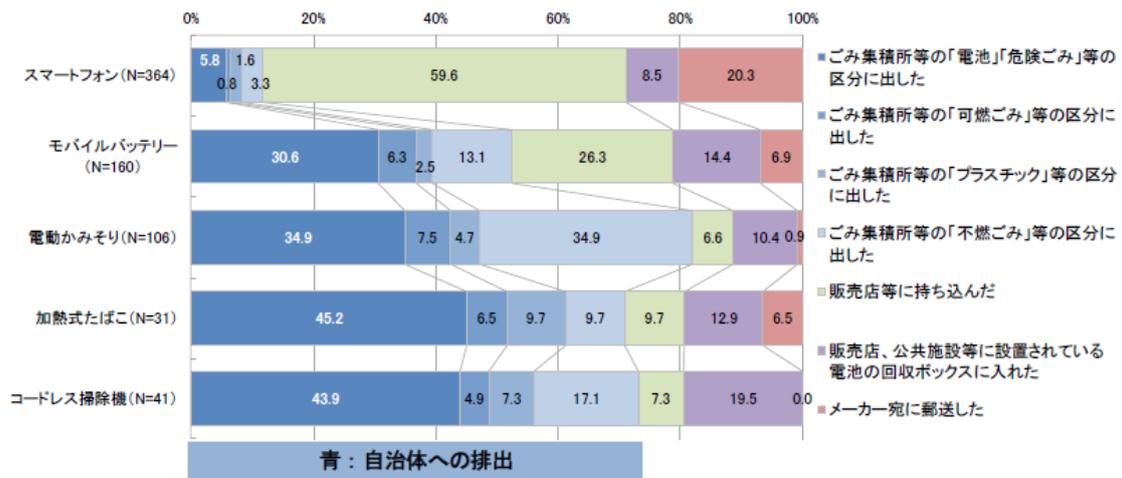
この状況を踏まえ、ここでは、過去に三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング等において実施された消費者の排出先に係るアンケート結果(図 4-3～4-5)等を用いて、これらのごみ区分への混入量の推計を試みた。

図 4-3 各品目の排出先（令和 5 年アンケート）

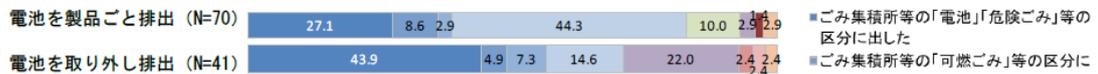


(注) 三菱UFJリサーチ&コンサルティング(2023)による。リチウムイオン電池の使用製品か否かにかかわらず、当該製品の排出先を尋ねた結果である。アンケート実施時期は令和 5 年 2 月である。

図 4-4 各品目の排出先（令和元年アンケート）



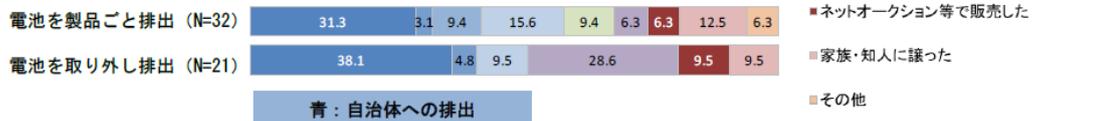
【電動かみそり】



【加熱式たばこ】

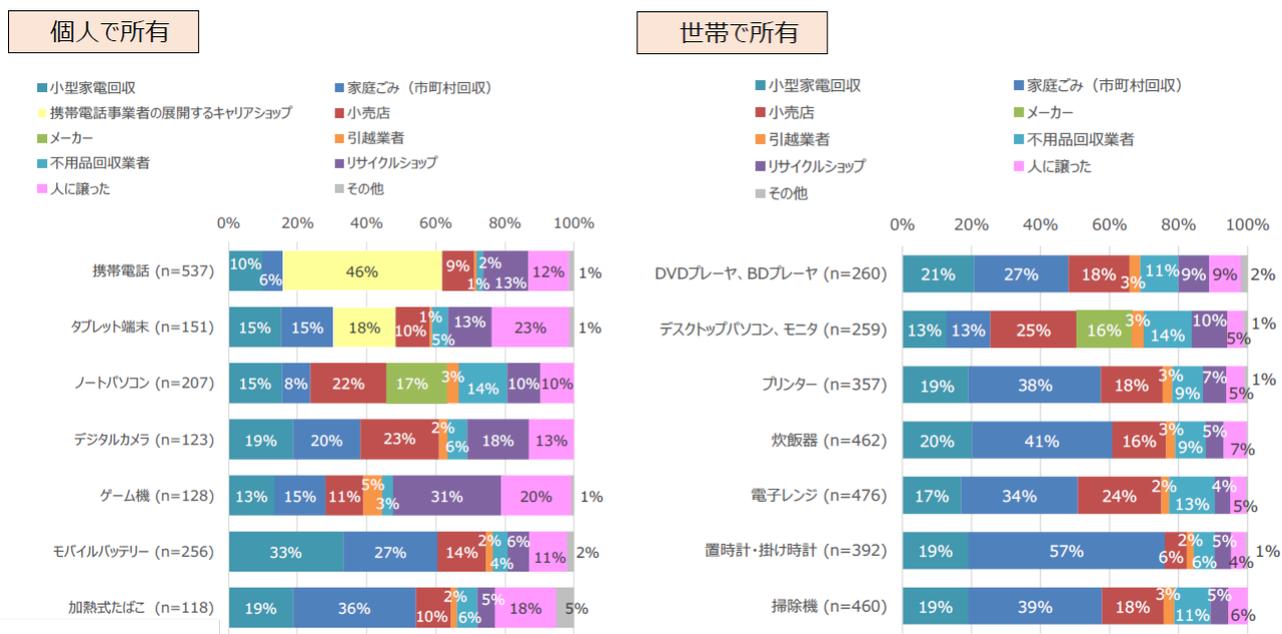


【コードレス掃除機】



(注) 株式会社三菱総合研究所(2020)による。「製品中のリチウムイオン二次電池を手放した方法」を尋ねた結果である。アンケート実施時期は令和元年12月、サンプルサイズ2,484である。

図 4-5 各品目の排出先（令和 6 年アンケート）



(注) 産業構造審議会 イノベーション・環境分科会 資源循環経済小委員会 小型家電リサイクルワーキンググループ（第1回）及び中央環境審議会 循環型社会部会 小型家電リサイクル小委員会（第1回）（2025）による。アンケート実施時期は令和6年7月、サンプルサイズは3,747である。

これらの結果から「人に譲った」等を除いて廃棄のみの排出先に限定することにより、各品目の排出先割合を以下のとおり想定し、以降の分析に用いた（表4-8）。

表 4-8 主な品目の排出先の想定

(単位：%)

	n	販売店、 公共施設 のボックス	販売店	メー カ ー	市区町村ごみ			
					電池・ 危険ごみ	可燃ご み	プラス チック ごみ	不燃ご み
リチウムイオン電池	80	27.8	0.0	1.2	46.5	4.4	6.2	13.8
モバイルバッテリー	160	14.4	26.3	6.9	30.6	6.2	2.4	13.1
電気かみそり	74	18.9	13.5	1.4	8.1	9.5	6.8	41.9
コードレス掃除機	56	21.4	26.8	3.6	1.8	12.5	1.8	32.1
加熱式たばこ	51	17.6	5.9	9.8	13.7	9.8	3.9	39.2
携帯電話	364	8.5	59.6	20.3	5.8	0.8	1.7	3.3
電動工具	21	23.8	14.3	4.8	9.5	9.5	0.0	38.1
ノートパソコン	207	24.2	35.5	27.4	1.8	3.3	2.6	5.2
タブレット	74	23.0	24.3	5.4	6.8	12.2	9.5	18.9
その他	259	15.8	9.3	7.7	12.7	15.4	8.5	30.5

(注) 1 原則として市区町村のごみ区分の内訳の情報がある直近の令和5年アンケートの結果(図4-3)を使用した³³。

2 「モバイルバッテリー」については、令和5年アンケートでは、プラスチックごみへの排出がゼロとなっているが、組成分析調査では相当量の排出がみられたことから、令和元年アンケートを使用した。

3 「ノートパソコン」については、令和6年アンケートの「ノートパソコン」に基づき、市区町村のごみ区分の内訳については令和5年アンケートの「タブレット」と同様と仮定して按分した。

4 「リチウムイオン電池」については、令和元年アンケートにおける「電気かみそり」、「コードレス掃除機」及び「加熱式たばこ」の「電池を取り外し排出」の平均値から作成した。

5 「その他」は、令和5年アンケートにおける「ハンディファン」、「ワイヤレスイヤホン」、「電動歯ブラシ」、「ゲーム機」、「スマートウォッチ」の結果を平均して作成した。

6 それぞれ「人に譲った」等は除外して廃棄のみで作成した。

7 nはデータ源の回答者数である。

また、表4-4で推計した主要品目の不燃ごみ・プラスチックごみへの混入量を、表4-8によって按分し、排出先別排出量を形式的に算出すると、表4-9～4-11のとおりとなった。ここで、電池以外の各品目の数値は、電池が入ったまま排出された製品の排出量を表しており、電池を取り外して排出された製品は含まれていない(取り外して排出された電池は「リチウムイオン電池」に含まれている)ことに留意が必要である。

³³ 「電気かみそり」、「コードレス掃除機」及び「加熱式たばこ」については、令和元年及び5年のアンケート結果に大きな差がみられる(例えば、「電気かみそり」の電池・危険ごみへの排出割合は、前者が34.9%に対し後者は1割未満)が、前者では製品中のリチウムイオン電池の排出先、後者では(リチウムイオン電池の使用製品か否かにかかわらず)当該製品の排出先をそれぞれ尋ねているという違いがある。今回の分析で用いるデータとしては、概念的には前者の方が適していると考えられるものの、多くの消費者が電池が入ったまま製品を排出していることが想定される(同アンケートによれば「電池を製品から取り外して手放した」とする回答は2割程度)ことから、直近の調査結果である後者のデータを用いた。

表 4-9 主要品目の排出先別の排出量の試算 (LIB 使用製品の数) (単位: 千個)

	計	販売店、 公共施設 のボックス	販売店	メーカー	市区町村ごみ			
					電池・危 険ごみ	可燃ご み	プラス チック ごみ	不燃ご み
合計	20,984	3,169	6,923	2,514	3,608	1,074	769	2,927
リチウムイオン電池	3,576	993	0	44	1,665	159	223	493
モバイルバッテリー	2,809	403	738	194	860	175	69	369
電気かみそり	575	109	78	8	47	54	39	241
電気掃除機	748	160	200	27	13	94	13	240
加熱式たばこ	1,360	240	80	133	187	133	53	533
携帯電話	9,143	775	5,448	1,854	533	76	152	305
ノートパソコン	251	61	89	69	5	8	6	13
タブレット	351	81	85	19	24	43	33	66
電動工具	54	13	8	3	5	5	0	21
その他	2,115	335	196	163	270	327	180	645

(注) 1 アンケートの標本誤差等により、特に各品目の数値の精度は粗いものであることに注意を要する。
 2 電池以外の各品目は、電池が入ったまま排出された製品の排出量を表しており、電池を取り外して排出された製品は含まれていない。取り外して排出された電池は、「リチウムイオン電池」に含まれている (以下表 4-10 及び 4-11 において同じ)。

表 4-10 主要品目の排出先別の排出量の試算 (LIB 使用製品) (単位: t)

	計	販売店、 公共施設 のボックス	販売店	メーカー	市区町村ごみ			
					電池・危 険ごみ	可燃ご み	プラス チック ごみ	不燃ご み
合計	4,789	890	1,281	477	817	322	188	813
リチウムイオン電池	1,034	287	0	13	481	46	64	143
モバイルバッテリー	477	69	126	33	146	30	12	63
電気かみそり	90	17	12	1	7	8	6	38
電気掃除機	842	180	226	30	15	105	15	271
加熱式たばこ	136	24	8	13	19	13	5	53
携帯電話	1,142	97	680	232	67	10	19	38
ノートパソコン	395	96	140	108	7	13	10	20
タブレット	169	39	41	9	11	21	16	32
電動工具	30	7	4	1	3	3	0	11
その他	475	75	44	37	60	73	40	145

表 4-11 主要品目の排出先別の排出量の試算 (LIB 重量) (単位: t)

	計	販売店、 公共施設 のボックス	販売店	メーカー	市区町村ごみ			
					電池・危 険ごみ	可燃ご み	プラス チック ごみ	不燃ご み
合計	2,044	450	347	118	602	118	89	320
リチウムイオン電池	1,034	287	0	13	481	46	64	143
モバイルバッテリー	292	42	77	20	89	18	7	38
電気かみそり	6	1	1	0	0	1	0	2
電気掃除機	306	66	82	11	5	38	5	98
加熱式たばこ	14	2	1	1	2	1	1	5
携帯電話	256	22	153	52	15	2	4	9
ノートパソコン	59	14	21	16	1	2	2	3
タブレット	35	8	8	2	2	4	3	7
電動工具	21	5	3	1	2	2	0	8
その他	21	3	2	2	3	3	2	6

表4-11によると、市区町村ごみから推定される家庭からのLIBの排出量は年間2,000トン超と試算された。ただし、この試算は、一部の市を対象に実施した組成分析調査及び消費者アンケート等を基に形式的に算出した粗いものであるため、特に品目別の数値については拡大推計やアンケート結果の偏り³⁴等に起因する誤差が大きいことも予想される。

なお、事業者等による過去の回収実績が判明している幾つかの品目について、本試算の数値と回収実績値を比較すると、以下のとおり、少なくとも数値の大小関係に関しては矛盾がないことがうかがえた。

① リチウムイオン電池

JBRCによる家電量販店等の協力店舗からの回収量は157.5トン(令和5年度実績)とされている。一方、本試算では、消費者による販売店又は公共施設のボックスへの排出は287トン(令和6年度推計)となっている。ただし、試算値には市町村回収分が含まれていることや、JBRCの会員外製品(JBRCの回収対象外)が含まれていること等を踏まえると、これらの大小関係に矛盾はない³⁵。

② ノートパソコン

一般社団法人パソコン3R推進協会(以下「PC3R」という。)による家庭からの回収実績は約9万7千台で265.2トン(いずれも令和5年度実績)とされている³⁶。一方、本試算では、不燃ごみ等へのノートパソコンの排出量から推測される消費者によるメーカー(PC3R分を含む)への排出は約13万4千台、212トン(令和6年度推計)と概算される³⁷。試算は台数ベースでは過大、重量ベースでは過小であるが、メーカーにはPC3R非加盟の社も考えられること、PC3Rは附属機器も回収対象であることを踏まえると、大小関係に矛盾はない³⁸。

③ 携帯電話

モバイル・リサイクル・ネットワーク(以下「MRN」という。)による電池の回収実績は137トン(令和5年度実績)とされており、LIB換算では84トンとの推計がある(小口・寺園・蓮沼(2024))。一方、本試算では、消費者による携帯電話及びタブレットの販売店(キャリアショップ含む)への排出量は計161トン(令和6年度推

³⁴ 例えば、リチウムイオン電池の排出先割合はサンプルサイズ80の回答を元に算出しているため、最大で10%ポイント程度の標本誤差(95%信頼水準)が生じ得る。また、一般にインターネットモニターを対象としたアンケートは無作為抽出でないため、偏りが生じることが知られている。

³⁵ 全国に設置されたJBRC回収ボックスは、合計7,180か所、うち協力市区町村登録の市区町村が庁舎等に設定したものは827か所(出典:JBRC提供資料)ある。また、組成分析調査におけるリチウムイオン電池(160kg)のうち、JBRC会員製であったのは126kgである。これらを用いて形式的に概念調整すると、試算値は200t(販売店のボックスへのJBRC会員製品の排出量)となるため、実績に比して過大推計の可能性はある。

³⁶ なお、家庭からの回収実績が265.2tに対し、事業者からの回収実績は21.0tと、家庭からの回収が主となっている。いずれも令和5年度実績(出典:PC3Rウェブサイト(令和7年4月確認))である。

³⁷ 電池が入ったまま排出されたノートパソコン(電池が入った製品)の排出量(約6万9千台、108t)に、電池単体の排出量から推測される製品の排出も加算したものである。

³⁸ LIB換算では家庭・事業者分合わせて40tとの推計があるが(小口・寺園・蓮沼(2024))、本試算では家庭分で16tとなっている。PC3Rの回収の多くは家庭からであるため、本試算は過小の可能性はあるが、小口・寺園・蓮沼(2024)の推計方法が不明であるため、妥当性の検証は難しい。

計、LIB 換算) となっている。販売店には、MRN の回収拠点であるキャリアショップ以外の小売店が含まれており、その割合が不明であるため精緻な比較検証は難しいが、大小関係に矛盾はない。

④ その他の品目

小型家電リサイクル制度に基づく小型家電の回収実績（そのうち認定事業者が小売店等から市町村を介さず回収した量）は 32,264 トンであり、LIB 換算では市町村からの回収量を含めて 298 トンとの推計がある（小口・寺園・蓮沼(2024)）。一方、本試算では、リチウムイオン電池使用製品の販売店等（ボックス及び販売店の合計）への排出量が 511 トン（令和 6 年度推計、LIB 換算）となっている。販売店等への排出分のうち販売店等から小型家電リサイクル認定事業者への引渡し量が不明であるため、精緻な比較検証は難しいが、大小関係に矛盾はない。

これらを踏まえ、表 4-11 における個々の品目の排出先の数値については精度が粗いとしても、品目全体として大まかな排出先の傾向は捉えているものとみなし、表 4-11 からメーカー等による回収や小型家電リサイクルによる回収分を算出すると、LIB 換算で 916 トン³⁹、全体（2,044 トン）の 4 割強（44.8%）と推測された。反対に、過半（55.2%）のリチウムイオン電池が、これらのスキームで回収されず、市区町村ごみとして排出されている状況と推測された。

また、市区町村ごみとして排出された製品等のうち、LIB 換算で 602 トン、全体（1,128 トン）の半分程度（53.3%）は電池・危険ごみの区分に排出されていると見られる一方で、半分（46.7%）は、電池の再資源化が想定されない、可燃ごみ・プラスチックごみ・不燃ごみに排出されている状況と試算された。

なお、これら品目全体の排出先割合の精度については、後述の感度分析によって評価することとする。

(4) 各種回収ボックスによる回収量

市区町村によっては、上記のごみ区分による回収のほか、JBRC や小型家電リサイクル等の回収ボックスを庁舎等に設置し、電池や製品を回収している市区町村もある。

市区町村における各種回収ボックスによる回収量（表 4-11 等における「販売店、公共施設のボックス」の内訳に相当）については、50 市調査による結果（表 4-12）を用いて、表 4-13 のとおり推計された⁴⁰。

³⁹ 表 4-11 における「販売店、公共施設のボックス」450t、「販売店」347t、「メーカー」118t を合計したもの。なお「販売店、公共施設のボックス」には、メーカー等による回収や小型家電リサイクルによる回収に該当しない、市区町村独自のボックス回収（後述の 1t）が含まれるが、僅少と見込まれることから除外していない。

⁴⁰ 市区町村回収の中でボックス回収の占めるウエイトは大きくないと想定されることから、後述(5)の方法と異なり、50 市調査の人口当たり回収量の単純平均を全国平均とみなして簡易に推計した。なお単純平均ではなくより厳密に加重平均を用いる方法もあるが、人口規模の小さい市の結果も等しく評価する観点から単純平均を用いた。

表 4-12 50 市調査におけるリチウムイオン電池等及びその使用製品のボックス回収の状況（令和 5 年度）

回収ルート	回答数	回収量合計 (t)	人口当たり回収量平均 (g/人)	回収量に含まれるもの（例）
JBRC 回収ボックス	8	3.5	0.9	リチウムイオン電池等、モバイルバッテリー
小型家電回収ボックス	26	1,660	71.0	リチウムイオン電池等の使用製品、その他の小型家電
その他の回収ボックス	7	21	5.0	リチウムイオン電池等（破損・膨張したものを含む）、乾電池、ボタン電池、モバイルバッテリー、加熱式たばこ

（注）回答数は当該回収ルートによる回収量の数値の回答を得た数である。

表 4-13 市区町村によるリチウムイオン電池等及びその使用製品等の回収ボックスによる回収量の推計値

処分先	回収量計 (t)	うち LIB 総量 (t)	LIB 総量の算出に用いた LIB 総量／回収量比
JBRC 回収ボックス	36	12	33.9%
小型家電回収ボックス	5,162	4	0.1%
その他の回収ボックス	135	1	0.5%

（注）1 回収量は 50 市調査における人口当たり回収量平均（表 4-12）に、統計調査において当該回収ボックスによる 8 品目いずれかの回収を行っているとした市区町村の人口を乗じて算出した。

2 JBRC 回収ボックスにおける LIB 総量／回収量比は、JBRC 回収実績（全回収 1737t 中リチウムイオン電池 589t）から算出した。

3 小型家電回収ボックスにおける LIB 総量／回収量比は、「小型家電リサイクル制度の施行状況の評価・検討に関する報告書」（令和 2 年 8 月）による、小型家電回収量実績（100,398t）中の密閉型蓄電池の量（204t）及び注 2 から算出した。

4 その他の回収ボックスにおける LIB 総量／回収量比は、大手廃棄物処理事業者による回収・処分実績より算出した。

(5) 市区町村における処分量

次に、事業者による公表値や既存推計、50 市調査の結果等を用いて、市区町村におけるリチウムイオン電池等及びその使用製品の処分状況について推計する。

50 市調査による処分先別の処分量の概要は、表 4-14 のとおりである。なお、これらの処分量に含まれている電池や製品等は市によってまちまちであり、数値の概念に差があることから、合計や平均は粗い数値であることに留意を要する。

表 4-14 50 市調査におけるリチウムイオン電池等及びその使用製品の処分の状況
(令和 5 年度)

処分先	回答数	処分量 合計 (t)	人口当たり 処分量平均 (g/人)	処分量に含まれるもの(例)
JBRC	26	37	4.3	リチウムイオン電池等、モバイル バッテリー
小型家電リサイクル法認定 事業者	39	5,719	319.9	リチウムイオン電池等の使用製 品、その他の小型家電
その他の処分事業者	30	2,436	148.2	一次電池、二次電池、電池使用製 品、水銀体温計等
一般廃棄物最終処分場	5	69,241	48,164.1	不燃ごみ、粗大ごみ、焼却残さ、資 源化残さ等
一時ストック	3	3	1.6	二次電池、ボタン電池

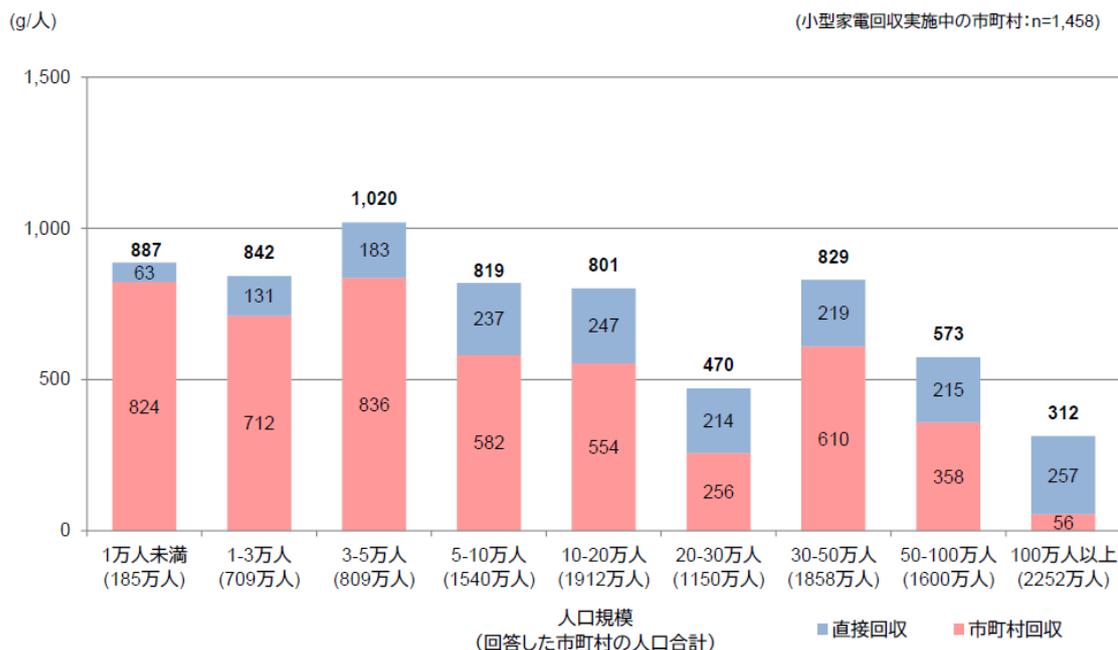
(注)1 回答数は処分量の数値の回答を得た数である。

2 一時ストックは調査時点のストック量であり、その他(年間のフロー)とは概念が異なる。

全国の市区町村における処分先別の処分量を推計するに当たっては、50 市調査の平均値等をそのまま全国平均として当てはめることは不適切な可能性が高い。例えば、小型家電の回収量は、人口規模が小さい市区町村ほど回収量が多い傾向があるため(図 4-6)、50 市調査(対象は人口 10 万人以上の市)の結果をそのまま全国値として用いることは難しい⁴¹。また、排出量と同様の統計的手法による推計を想定する場合には、これら処分量に影響を及ぼす要素の情報(共変量)が必要となるが、市区町村による処分量は、市区町村における処理過程(前処理の方法など)や近隣における処分事業者の存否等に大きく依存することが想定され、全国市区町村におけるこうした共変量について有効な情報は得られていない。

⁴¹ 実際、50 市調査における小型家電リサイクル認定事業者による処分量平均から全国値を形式的に算出すると 26,622t となり、後述の処分量実績(54,146t)に比べ約半分となる。なお、50 市調査の結果を人口規模別にみると、20~30 万人及び 100 万人以上の市における処分量が少なくなっており、マクロの小型家電回収量(図 4-6)と似通った傾向となっている。

図 4-6 市区町村の人口規模別の小型家電回収量（一人当たり）



(注) 産業構造審議会 イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会小型家電リサイクルワーキンググループ（第1回）及び中央環境審議会循環型社会部会小型家電リサイクル小委員会（第1回）（2025）による。

これらの状況を踏まえ、市区町村による処分量のうち、JBRC 及び小型家電リサイクル法認定事業者における処分量については、それぞれ全国のマクロの数値に相当する JBRC 及び環境省の公表資料等から推計した。

その他の処分事業者による処分量に関しては、類似の数値が存在しないため精度の高い推計が難しい。一般廃棄物最終処分場における処分（焼却・埋立てに相当）や一時ストックについても、類似のマクロの数値は存在しない上、50 市調査の回答数も少なく、直接推計することは困難である。したがって、これまでの分析において推計された市区町村へのリチウムイオン電池の排出量から、JBRC 及び小型家電リサイクル法認定事業者による処分量を控除することで、その他の処分事業者による処分、焼却・埋立て及び一時ストックの量をまとめて推測することとした。

これらの処分量及びそれに含まれるリチウムイオン電池の重量は、表 4-15 のとおり推計された。また、住民によるリチウムイオン電池の排出量・市町村による回収量と併せて整理すると、表 4-16 のとおりとなった。

表 4-15 市区町村によるリチウムイオン電池等及びその使用製品等の処分量の推計値

処分先	処分量計 (t) a	うち LIB 総量(t) b	出典及び算出方法
JBRC	201	122	a 一般社団法人 JBRC(2025) b JBRC 提供資料
小型家電リサイクル法認定事業者	54,146	187	a 産業構造審議会 イノベーション・環境分科会 資源循環経済小委員会 小型家電リサイクルワーキンググループ (第1回) 及び中央環境審議会 循環型社会部会 小型家電リサイクル小委員会 (第1回) (2025) b 小口・寺園・蓮沼(2024)
その他の処分事業者 一般廃棄物最終処分場 一時ストック		836	b 住民から市区町村への排出量の試算値 (1,144t) から上記を控除

- (注) 1 JBRC の処分量計は、2024 年度の蓄電池回収見込みである。うち LIB 総量は、同数値に同法人の 2023 年度回収実績の比率 (蓄電池 180.4t、うち LIB109.6t) を乗じて算出した。
- 2 小型家電リサイクル認定事業者の処分量計は、令和 5 年度実績である。うち LIB 総量は、小口・寺園・蓮沼 (2024) による推計値 (298t) に、令和 5 年度実績の市区町村回収分の比率 (合計 86,410t のうち市区町村回収分 54,146t) を乗じて算出した。なお、当該推計は、株式会社三菱総合研究所 (2020) に基づく令和元年度実績 (117t) を使用した場合と比べて過大となっている。
- 3 その他の処分事業者の処分量については、大手廃棄物処理事業者による回収実績と、50 市調査における各市の LIB 処分量及び令和 5 年一般廃棄物処理実態調査 (環境省) による処分事業者別の市区町村人口を加味して見積もれば、190t~250t と推測されたが、極めて粗い試算であるため表内では特記していない。なお、小型家電リサイクル法認定事業者が 60 社 (令和 7 年 1 月現在) に対し環境省「リチウム蓄電池等処理業者リスト」の掲載社は 12 社 (令和 7 年 4 月確認) であること等を踏まえると、その他の処分事業者の処分量が小型家電リサイクル法認定事業者による処分量 (187t) を大幅に上回る可能性は低いものと推測される。

表 4-16 リチウムイオン電池 (製品への残留分を含む) の排出量及び処分量の試算値

(単位 : t)

排出量・回収量			市区町村の処分量		
住民	2,044	市区町村計	1,144	市区町村計	1,144
		可燃ごみ	118	JBRC	122
		プラスチックごみ	89	小型家電認定事業者	187
		不燃ごみ	320	その他の処分事業者	} 836
		有害・危険ごみ	602	一般廃棄物最終処分場	
		回収ボックス	16	一時ストック	
		民間回収ボックス	434		
		販売店・メーカー	465		

(注) 拡大推計等に起因する統計的な誤差を含む粗い試算値であり、幅を持ってみる必要がある。

市区町村における処分については、市区町村で回収された製品等のうち相当量の LIB が、処分事業者等に引き渡されることなく、一般廃棄物最終処分場において焼却・埋立て (又は一時ストック) されている状況が推測された。焼却・埋立てによる処分の割合を直接算出することは困難であるが、既述のとおり市区町村回収の半分 (47.4%) が、LIB の再資源化が想定されない、可燃ごみ・プラスチックごみ・不燃ごみにおいて排出されている状況に照らすと、(これらのうち処分過程で選別され再資源化に回るものが一部あるとしても)、半分弱に近い水準で焼却・埋立て (又は一時ストック) され

ている状況と推測される⁴²。

また、この点に関し、50市に対する実地調査や統計調査において、リチウムイオン電池等の使用製品の定日回収を行わない理由として「適切な処分事業者が見当たらない」との意見が相当数みられたことも合わせて考慮すると、再資源化はもとより、定日回収の推進による火災発生抑止のためにも、処分事業者の育成及び周知等の重要性が示唆された。

(6) 感度分析

これまでの全国推計は、様々な仮定の下で多段階の推計を経て得られたものであるため、各推計値に誤差が存在することは避けられない。

そこで、これまでの推計プロセスにおける誤差の発生要因を検証し、推計値がどの程度の誤差を含み得るか、すなわち推計値の不確実性の評価（感度分析）を行った。

(不確実性の発生要因)

推計の起点となっているのは、不燃ごみ及びプラスチックごみへのLIBの混入量の全国推計である。これについては、組成分析調査において算出した各市の年間排出量に含まれる誤差と、標本調査から全国値を拡大推計したことに伴う統計的な誤差が含まれているが、前者の誤差はDR推計によって一定程度抑制⁴³できているものと考えられる。

他のごみ区分へのLIB混入量については、上記の誤差に加えて、消費者アンケートがやはり標本調査であることに伴う誤差や、当該アンケートに内在する偏りに伴う誤差も想定される。

市区町村における処分量のうち、JBRC及び小型家電リサイクル認定事業者による処分量に関しては、マクロの実績値をベースに算出していることから、誤差は比較的小さいとみられる。

LIB製品等の重量からLIB量を算出するに当たっては、各品目に含まれるLIBの重量を仮定していることから、その仮定（原単位）が実態と異なる場合には誤差が生じている。なお、LIB量の算出に当たって用いている品目別内訳に関しては、組成分析調査の混入内訳を全国値とみなしてそのまま用いていることから、この点に関しても誤差を含み得るが、5000超の製品が全国から無作為に抽出されたとみなせば、製品数としては十分なサンプルサイズであり、上記の拡大推計に伴う誤差に吸収し得る範囲と見積もられる⁴⁴。

以上のことから、不確実性の評価のためには、原単位（各品目に含まれるLIBの重量）に起因する部分と、標本抽出に起因する部分の評価が重要と考えられる。

⁴² 50市調査の結果によると、リチウムイオン電池等を埋立て・焼却・ストックのいずれかを行っている市は、23市（46%）であり、水準として整合している。他方、環境省「令和5年度一般廃棄物処理実態調査」によると、「自ら処分」「処分を行っていない」（混入を意識せず処分）、「保管」を合わせると323市区町村（1,741市区町村中19%）であり、これとの水準差については今後の検証を待つ必要がある。

⁴³ DR推定におけるアウトカムモデルでRidge回帰を用いることで、一部の市の年間排出量に大きな誤差があったとしても、それへの過剰適合を抑制している。

⁴⁴ 一般に、サンプルサイズ5,000の場合の比率の標準誤差は最大で約0.7%であり、品目別内訳の誤差は後述の分析における誤差の範囲と比較して十分小さい。

(不確実性の評価 1)

まず、原単位（各品目に含まれる LIB の重量）に関して、仮定の置き方によってどの程度数値が変わり得るか、推計の安定性を確認するため、下位及び上位シナリオを設定(表 4-17)して、それぞれのシナリオにおける全国推計結果を算出した(表 4-18)。

表 4-17 原単位（1 製品に残留するリチウムイオン電池の重量）に係る下位・上位シナリオ
(単位：g)

	本試算で 用いた数値 (再掲)	下位 シナリオ	上位 シナリオ	参考値 (再掲)		
				組成分析 調査 平均	環境省 (2019)	寺園ほか (2024)
電気掃除機	409	200	427	409	500	228 (コードレス) 194 (ロボット)
電動工具	388	346	430	388		
ノートパソコン	236	216	256	236	500	259
タブレット	99	89	109		200	99
携帯電話	28	24	32	28	200	
モバイルバッテ リー	104	94	114			104
その他	10	9	11		10	

(注) 下位・上位シナリオは、組成分析調査結果に基づき想定されるそれぞれ品目の重量の下限・上限を、平均±1.64×標準偏差／(該当数の平方根)により算出したものである(原単位の90%信頼区間に相当)。電気掃除機の下位シナリオは同式によれば391と算出されたが、先行研究を踏まえて200とした。タブレット、モバイルバッテリー及びその他については、組成分析調査による結果ではなく、不確実性の度合いが不明であるため、暫定的に1割減・1割増を下限・上限とした。

表 4-18 リチウムイオン電池（製品への残留分を含む）の排出量及び処分量
(感度分析 1)

		排出量・回収量		市区町村の処分量	
住民	1,808~2,137	市区町村計	1,044~1,176	市区町村計	1,044~1,176
		可燃ごみ	95~123	JBRC	122
		プラスチックごみ	84~91	小型家電認定事業者	187
		不燃ごみ	261~332	その他の処分事業者	} 741~874
		有害・危険ごみ	587~614	一般廃棄物最終処分場	
		回収ボックス	16~16	一時ストック	
		民間回収ボックス	390~447		
		販売店・メーカー	374~513		

(注) 表 4-17 の各品目の下位・上位シナリオが同時に起こるときの推計値を下限・上限として表示したものである。

(不確実性の評価 2)

次に、結果数値の推計幅に最も影響が大きいと想定される、標本抽出に起因する不確実性を、次の方法により評価した。

不燃ごみへの混入量の推計は IPW 法を応用した DR 推計を用いており、これについては理論的な漸近分布が知られていることから、当該統計理論に基づき誤差の程度を推計⁴⁵した。プラスチックごみへの混入量については、8 市の平均値を全国の平均値とし

⁴⁵ ブートストラップ法による誤差の評価も試算したが、ほぼ漸近理論に従う結果となった。なお、単純無作為抽出を仮定した標準的な標本理論を適用したシミュレーションも可能であるが、その場合は不確実性の範囲がより広く推定される。

て用いたことから、標準的な標本理論を用いて誤差の程度を評価した。他のごみ区分への混入量については、上記の誤差に加えて、消費者アンケートがそれぞれ所定のサンプルサイズの無作為抽出によるものとみなし、標準的な標本理論を適用した⁴⁶。

これらの不確実性の具体的な評価は、各変数がそれぞれの統計理論に基づき推定される標準偏差をもつ正規分布に従うと仮定⁴⁷したシミュレーション（モンテカルロシミュレーション）により行った。1000回のモンテカルロシミュレーションの結果、主な推定値の分布を図示すると図4-7及び4-8のとおりである。また、推定の不確実性の範囲として、このシミュレーションにおいて算出された各推定値の90%が含まれる区間を算出すると、表4-19のとおりとなる。

⁴⁶ シミュレーションは、推計結果に大きな影響を与える、リチウムイオン電池、モバイルバッテリー、電気掃除機及び携帯電話の4品目（これらによりLIB量全体の90%超）の排出先割合について行った。

⁴⁷ 各変数は独立とみなしてシミュレーションをしたが、特にアンケートの変数については、独立性の仮定は現実的でない可能性がある。仮に独立でない場合は、不確実性がさらに拡大することとなるが、独立性を仮定した場合でもかなり不確実性が広いことや、演算の簡便性の観点から、独立とみなした。

図 4-7 モンテカルロシミュレーションによる LIB 混入量の推定値の分布 (1)

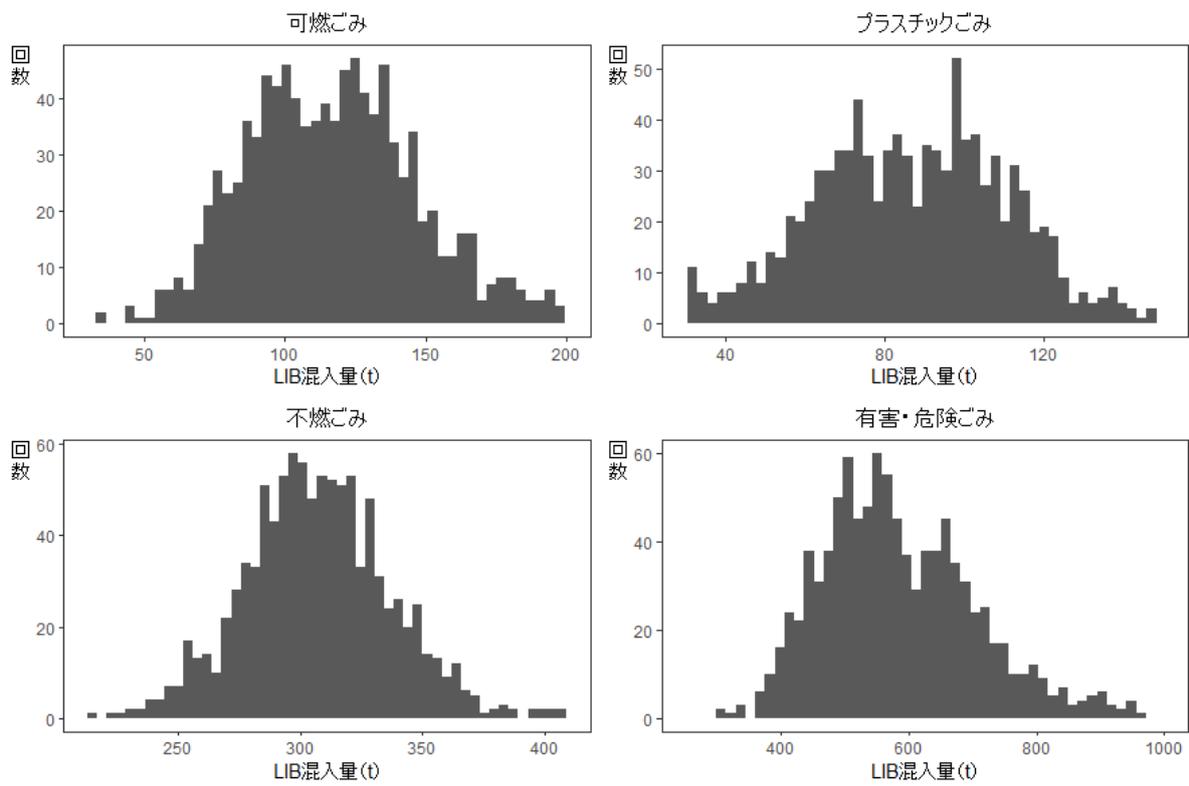


図 4-8 モンテカルロシミュレーションによる LIB の排出先割合の推定値の分布 (2)

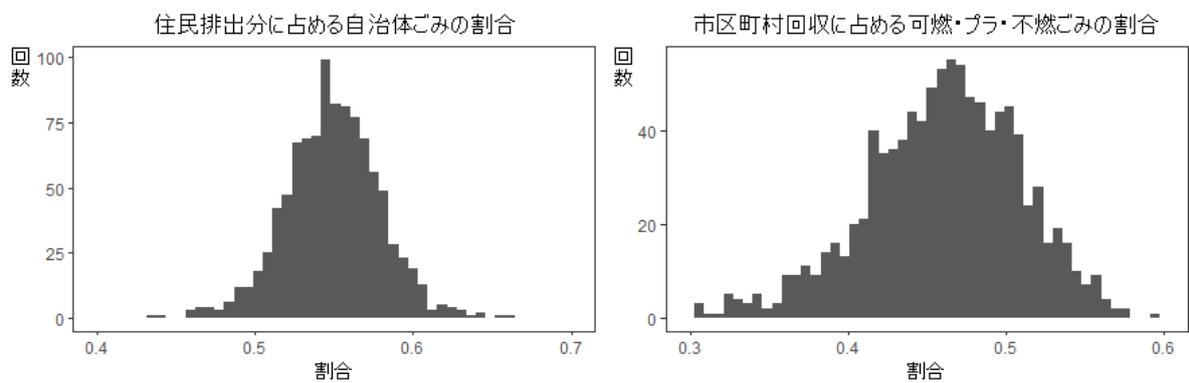


表 4-19 リチウムイオン電池（製品への残留分を含む）の排出量及び処分量

（感度分析 2）

（単位：t）

		排出量・回収量		市区町村の処分量	
住民	1,646~2,525	市区町村計	908~1,441	市区町村計	908~1,441
		可燃ごみ	72~178	JBRC	122
		プラスチックごみ	43~126	小型家電認定事業者	187
		不燃ごみ	257~357	その他の処分事業者	} 599~1,132
		有害・危険ごみ	412~884	一般廃棄物最終処分場	
		回収ボックス	11~22	一時ストック	
		民間回収ボックス	304~618		
		販売店・メーカー	361~591		

（注） 標本理論に基づいた 1000 回のモンテカルロシミュレーションによる推定値の 5 パーセンタイル点及び 95 パーセンタイル点を下限・上限（90%信頼区間に相当）として表示している。

また、同シミュレーションにより、リチウムイオン電池の重量に換算して、

- ・ 住民排出分のうち、過半（50.0~59.7%）がメーカーや小売店等に排出されず、市区町村ごみとして排出
- ・ 市区町村回収のうち 4 割から 5 割程度（37.0~53.6%）が、再資源化が想定されない可燃ごみ・プラスチックごみ・不燃ごみに排出

と試算され、特に後者の状況から、

- ・ 市区町村による処分量の 4 割から 5 割に近い水準で、焼却・埋立て又は一時ストックされている状況

と試算された。

(7) まとめ

以上を総合すると、リチウムイオン電池の住民からの排出量及び市区町村の処分量は、表 4-20 及び 4-21 並びに図 4-9 のとおり推計された。

表 4-20 リチウムイオン電池（製品への残留分を含む）の排出量及び処分量の試算値

（点推定）（表 4-18 再掲）

（単位：t）

		排出量・回収量		市区町村の処分量	
住民	2,044	市区町村計	1,144	市区町村計	1,144
		可燃ごみ	118	JBRC	122
		プラスチックごみ	89	小型家電認定事業者	187
		不燃ごみ	320	その他の処分事業者	} 836
		有害・危険ごみ	602	一般廃棄物最終処分場	
		回収ボックス	16	一時ストック	
		民間回収ボックス	434		
		販売店・メーカー	465		

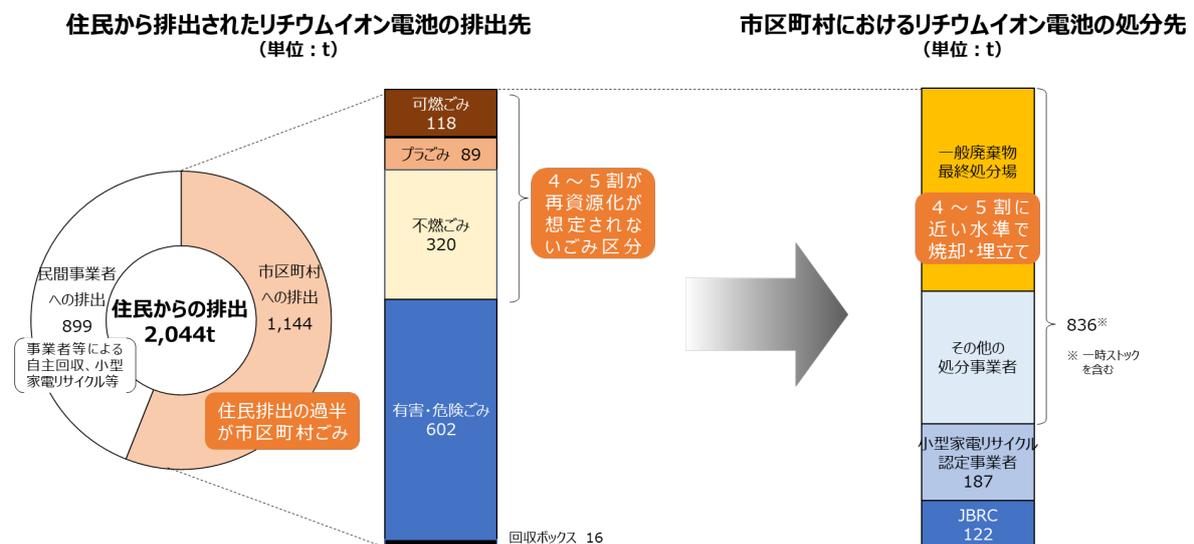
（注） 拡大推計等に起因する統計的な誤差を含む粗い試算値であり、少なくとも表 4-21 で示した程度の幅を持つてみる必要がある。

表 4-21 リチウムイオン電池（製品への残留分を含む）の排出量及び処分量の試算値
（区間推定）（表 4-19 再掲） （単位：t）

排出量・回収量		市区町村の処分量	
住民	1,646～2,525	市区町村計	908～1,441
		可燃ごみ	72～178
		プラスチックごみ	43～126
		不燃ごみ	257～357
		有害・危険ごみ	412～884
		回収ボックス	11～22
		民間回収ボックス	304～618
		販売店・メーカー	361～591
		市区町村計	908～1,441
		JBRC	122
		小型家電認定事業者	187
		その他の処分事業者	} 599～1,132
		一般廃棄物最終処分場	
		一時ストック	

（注） 標本理論に基づいた 1000 回のモンテカルロシミュレーションによる推定値の 5 パーセントイル点及び 95 パーセントイル点を下限・上限（90%信頼区間に相当）として表示している。

図 4-9 リチウムイオン電池（製品への残留分を含む）の排出量及び処分量の試算値



（注） 各数値は拡大推計等に起因する統計的な誤差を含む粗い試算値であり、少なくとも表 4-21 で示した程度の幅を持つ必要がある。

ここで区間推定に関しては、二通りの感度分析のうち、標本抽出に起因する不確実性が大きいことから、当該評価を再掲した⁴⁸。

既述のとおり、点推定（表 4-20）は、一部の市を対象に実施した組成分析調査及び消費者アンケート等を基に形式的に算出したものであり、拡大推計等に起因する誤差を含む粗い試算値である。今後、分析手法の更なる改善によって点推定値の精度向上の可能性があるととしても、現状の組成分析調査やアンケート等の情報を基にする限りにおいては、標本抽出に起因する誤差の存在は不可避であることから、本分析の結果や数値の利用に当たっては、少なくとも表 4-21 で示した程度の不確実性を織り込んだ上で、利用することが求められる。

また、これらの推計の妥当性については、今後の研究の蓄積を待つ必要がある。

⁴⁸ もっとも、二通りの感度分析を同時に実施すること（原単位が一定の範囲で一様分布するものと仮定して、後者と併せてシミュレーションを実施する等）も可能であるが、後者の推定幅が既に広く、更に推定幅が広がるシミュレーションは実益が乏しいと判断し、後者の感度分析をそのまま再掲した。

5 結論

今般、リチウムイオン電池等及びその使用製品について、市区町村における定日回収を始めとした回収施策の効果及び回収量・処分量の全国推計を行った。その結果得られた政策含意等を要約すると次のとおりである。

(1) 市区町村における回収施策の効果の分析

- ◎ リチウムイオン電池等の危険ごみ等の区分による定日回収は、不燃ごみ等への混入を抑制する効果が示唆された。その抑制効果は、リチウムイオン電池等及びその使用製品全体の混入量の1割程度に相当する。また、電池単体の混入抑制だけでなく、電池使用製品の排出時における電池の取り外し促進を通じ、電池が入った状態での製品の混入抑制にも一定程度寄与することが示唆された。
- ◎ リチウムイオン電池等が取り外せない電気かみそりなどについては、電池あるいは製品の定日回収による不燃ごみ等への混入抑止効果は確認できなかった。
- ◎ JBRC回収ボックスの設置や、JBRCの回収の利用案内等に関する内容の周知は、既に定日回収を行っている場合でも、電池単体や（電池の取り外し促進を通じた）電池使用製品の混入抑制効果が示唆された。
- ◎ 定日回収の効果は品目によって異なる上、定日回収単独で混入の大半を抑制できるほど効果が大きいとはいえない。

したがって、事業者による回収及びその周知・啓発を併せて推進し、消費者に対してより多くの適切な排出ルートを示す重要性が示唆された。

(2) 市区町村における回収量・処分量の全国推計

- ◎ 住民が排出したリチウムイオン電池及びその使用製品のうち、リチウムイオン電池の重量に換算して過半で、事業者の自主回収や小型家電リサイクル等の枠組みが利用されることなく、市区町村ごみとして排出されていると推測された。
- ◎ 市区町村で回収されたもののうち、リチウムイオン電池の重量に換算して4割から5割程度が、リチウムイオン電池の再資源化が想定されない、可燃ごみ・プラスチックごみ・不燃ごみに排出されていると推測された。
- ◎ リチウムイオン電池の重量に換算して、市区町村における処分量の4割から5割に近い水準が、処分業者に引き渡されることなく、焼却・埋立て又は一時ストックされている状況がうかがえた。
- ◎ これらのことから、事業者等による回収及び市区町村による分別回収の推進とともに、処分事業者の育成、周知等の重要性が示唆された。

(3) 更なる実態解明の推進

- ◎ 本分析において混入抑止効果が定量的に確認できなかった取組であっても、分析の改善による効果算出の可能性や、住民の排出の利便性向上等のメリット等も考えられることから、各市区町村における施策の判断等に資する観点から、引き続き多様な分析の蓄積が重要と考えられる。
- ◎ 市区町村における回収量・処分量の全国推計に関しては、先行研究が極めて少なく今回初めて試算したマテリアルフローの箇所も多いことから、今回の推計結果の

妥当性の検証は現時点では難しく、今後の研究を待つ必要がある。資源循環施策の立案・評価等の基礎資料として、引き続き多様な手法によりマテリアルフロー算出を継続していくことが重要と考えられる。

- ◎ 今回の回収施策や全国推計の分析結果は、全国 43 市において実施した組成分析調査のデータに大きく依存しており、サンプルサイズの制約等から確度の高い分析は技術的に困難であった⁴⁹。一層の精度向上のためには、組成分析調査の継続的な実施及びその蓄積が望まれるが、市区町村職員の作業負担等の観点からは、詳細な組成分析調査の大規模な実施は現実的でないことも想定される。
- ◎ 今後の回収施策の効果検証や回収量等の推計に当たっては、市区町村職員の負担にも鑑み、詳細な組成分析調査は一部市町村で行いつつ、回収量に影響を与え得る基本的な政策要因・地域要因のみを全国で調査し、組成分析調査結果を補正して拡大推計する今回の分析方法を含めて、有効かつ現実的な方法論について研究を継続していく必要があると考えられる⁵⁰。

以上

⁴⁹ 例えば、今般行ったりチウムイオン電池等の定日回収についての t 検定（表 3-1）では、検出力（有意水準 10% の片側検定で有意差を検出できる確率）は 49% である。同検定で 80% の検出力を確保するためには、85 市以上のサンプルサイズを要する。

⁵⁰ 環境省は、令和 5 年度一般廃棄物処理実態調査において、市区町村におけるリチウム蓄電池等の回収量を直接尋ねる設問を設けた。しかしながら、当該調査結果からは、製品残留分や不燃ごみ等への混入物も含めて、電池の回収量を正確に把握している市区町村は限られていることがうかがえ、この回答から直接全国の回収量を把握するのは困難とみられる。

参考文献

- 1) 一般社団法人 JBRC (2025), JBRC リチウムイオン蓄電池等の自治体からの回収状況について, 第 5 回リチウムイオン電池トラブル防止に関するマルチステークホルダー検討会合資料
- 2) 一般社団法人 JBRC (2023), リサイクル実績 (2023 年度), 同社ウェブサイト
- 3) 岩崎 (2015), 統計的因果推論, 朝倉書店
- 4) 岩波データサイエンス刊行委員会 (2016), 岩波データサイエンス vol.3 特集:因果推論, 岩波書店
- 5) 岩波データサイエンス刊行委員会 (2017), 岩波データサイエンス vol.5 特集:スパースモデリングと多変量データ解析, 岩波書店
- 6) 小口・寺園・蓮沼 (2024), 小型リチウムイオン電池の排出量推計と排出後フローの分析, 第 35 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集
- 7) 株式会社三菱総合研究所 (2020), 令和元年度地球温暖化問題等対策調査(使用済小型電子機器等の再資源化事業調査)報告書
- 8) 株式会社三菱総合研究所 (2022), 令和 3 年度小型家電リサイクル法施行支援及びリチウムイオン電池等処理困難物適正処理対策検討業務報告書
- 9) 環境省・株式会社三菱総合研究所 (2021), 令和 2 年度リチウムイオン電池等処理困難物適正処理対策検討業務結果(業務報告書等抜粋)
- 10) 環境省 (2025), 市区町村におけるリチウム蓄電池等の適正処理に関する方針と対策集
- 11) 環境省 (2022), リチウム蓄電池等処理困難物対策集
- 12) 国立研究開発法人国立環境研究所 (2024), 自治体の不燃系廃棄物処理施設および小型家電リサイクル施設におけるリチウムイオン電池に起因した発火・火災対策に関する技術資料ーリチウムイオン電池起因の発火・火災対策ガイドラインー
- 13) 笹尾 (2000), 廃棄物処理有料化と分別回収の地域的影響を考慮した廃棄物減量効果に関する分析, 廃棄物学会論文誌 Vol. 11, No. 1, pp. 1-10
- 14) 産業構造審議会 イノベーション・環境分科会 資源循環経済小委員会 小型家電リサイクルワーキンググループ (第 1 回) 及び中央環境審議会 循環型社会部会 小型家電リサイクル小委員会 (第 1 回) (2025), 小型家電リサイクル制度の施行状況について (令和 7 年 2 月)
- 15) 産業構造審議会産業技術環境分科会廃棄物・リサイクル小委員会小型家電リサイクルワーキンググループ 中央環境審議会循環型社会部会小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会合同会合 (2022), 小型家電リサイクル制度の施行状況の評価・検討に関する報告書 (令和 2 年 8 月)
- 16) 田畑・中谷・林・藤田 (2024), 全国市町村における廃プラスチックの発生量推計と要因分析, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 35, pp. 96-106
- 17) 寺園 (2022), リチウムイオン電池の循環・廃棄過程における火災等の発生と課題, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 33, No. 3
- 18) 苗 (2006), 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 No. 33, pp. 189-198

- 19) 中村・川瀬(2021), 市町村における家庭ごみ収集政策の実証分析, 会計検査研究 No. 43, pp. 111-123
- 20) 中村・川瀬・宮下(2007), ごみ減量政策とリサイクル促進政策の効果, 計画行政 30(4)
- 21) 星野(2009), 調査観察データの統計科学—因果推論・選択バイアス・データ融合, 岩波書店
- 22) 星野・繁柘(2004), 傾向スコア解析法による因果関係の推定と調査データの調整について, 行動計量学第 31 巻第 1 号, 43-61
- 23) 星野・岡田(2006), 傾向スコアを用いた共変量調整による因果効果の推定と臨床医学・疫学・薬学・公衆衛生分野での応用について, 保健医療科学, 55(3), 230-243
- 24) 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング(2023), 令和 4 年度地球温暖化問題等対策調査(我が国における資源効率性の向上に関する調査)報告書
- 25) Austin(2011), An Introduction to Propensity Score Methods for Reducing the Effects of Confounding in Observational Studies, Multivariate behavioral research 46.3
- 26) Stuart(2010), Matching Methods for Causal Inference: A Review and a Look Forward, Statistical science: a review journal of the Institute of Mathematical Statistics 25.1
- 27) Terazono et al. (2024), Ignition and fire-related incidents caused by lithium-ion batteries in waste treatment facilities in Japan and countermeasures, Resources, Conservation & Recycling, 202, 107398