

生活行動に基づく家庭ごみの減量シナリオに関する研究

○塩川史也 Shuang Chang 出口弘 (東京工業大学)

A Study on Weight Loss Scenario of Household Garbage Based on Living Behaviors

* F. Shiokawa and S. Chang and H. Deguchi (Tokyo Institute of Technology)

概要一 本研究では、家庭内における多様な生活行動を表現し各行為ごとにごみが発生するごみ発生モデルと、発生したごみの分別を行うごみ分別モデルを構築し、シミュレーションを通じて、よりミクロな視点からごみの発生及び減量シナリオを分析した。シミュレーション実験では、ごみ減量政策の一例として世田谷区へのコンポストの導入事例を取り上げ、定量的な効果検討を行い、政策としての有用性について言及した。

キーワード: 家庭ごみ, 生活行動, コンポスト

1 研究背景

1.1 背景

現在、我々は日々の生活の中で大量の資源を消費し、大量の廃棄物を排出している。2017年に環境省が発表した一般廃棄物処理実態調査結果¹⁾によると、全国のごみ総排出量は4398万トンで、2000年代に入って以降、ごみの総排出量及び1人1日当たりのごみ排出量ともに減少傾向にある。しかし、ごみ処理経費の増加に加え、最終処分場の残余容量は17年連続で減少するなど、更なるごみの減量を必要とする課題は多い。

このような現状から、循環型社会を目指す様々な政策が実施されてきた。循環型社会の基本原則は廃棄物の発生抑制(リデュース)、再使用(リユース)、再資源化(リサイクル)であり、3R原則(Reduce, Reuse, Recycle)と呼ばれている。容器包装や家電のリサイクル法が進められてきた中で、家庭部門においては全国の自治体で家庭ごみの有料化が進展している。これまで導入されてきた自治体の多くが中小規模であったが、一部の政令指定都市や県庁所在都市などの大都市でも導入が進み、2017年4月時点での全国の市町村における有料化実施率は約63%²⁾に達している。家庭ごみの有料化は経済的インセンティブの活用により、ごみ削減への意識転換を促すものである。

リサイクルなどの回収政策や家庭ごみの有料化による効果やその影響に関しての研究は行われている。苗³⁾は248の市町村を実証的に分析し、廃棄物の分別数が1%増加するとリサイクル率は2.1%増加することや、回収頻度が月1回増加することで資源系廃棄物のリサイクル率が9.1%増加することを示している。山中²⁾は全国の市区町村における家庭ごみ有料化導入率やその減少効果について調査し、有料化における手数料によってその減少効果も異なることを示している。

廃棄物の分野において、家庭部門でごみの有料化やその減少効果に関しての調査は行われている。その多くはその実施率や減少量の議論に留まっており、実際の家庭内におけるごみの発生行為や生活行動までは十分な分析がなされていない。しかしながら、篠木⁴⁾

宮城県仙台市における10年間のごみ問題に対する住民の意識や行動の変化を分析し、家庭ごみの減量政策は住民の意識や生活に影響を与え、変化させることを示している。ごみの有料化だけではなく、今後の資源循環型社会の形成を目指した資源再利用や回収、ごみ自体の減量に関する有効な諸政策を検討する上で、ごみの発生行為やその生活行動などのミクロ部分を明らかにしていくことが必要であると考えられる。

1.2 研究目的

家庭ごみの減量を目指す諸政策を市町村が検討していく上で、実際にいくつかの政策を試験的に実施するということは、住民へのストレスに加え、多大な費用と時間を要するため困難であると考えられる。そこで、シミュレーション上で仮想的に社会実験を行う手法をとることでこの問題を解決する。

本研究の目的は、家庭ごみの発生と分別を表現するモデルを構築し、様々なごみの減量シナリオを明らかにすることである。本研究では、家庭内でのごみの発生及びその重量や組成を決定する内的メカニズムとして、生活行動に着目する。特にごみの発生を伴うとされる家庭内行為に焦点を当て、ごみの発生をミクロな部分から明らかにすることで、各世帯及び市区町村におけるごみの減量シナリオを分析する。

具体的には、既存の生活行動や廃棄物の重量・組成分析調査を活用し、多様な生活行動を表現し各行為ごとにごみが発生するごみ発生モデルと、発生したごみの分別を行うモデルを構築する。シミュレーションを通じて、ごみの発生行動の可視化を行うことで家庭内におけるごみの発生・減量シナリオを明らかにし、各主体での意思決定、各政策の定量的な効果検討を行う。

2 研究方法

本研究では、多様な生活行動を表現し各行為ごとにごみが発生するごみ発生モデルと、発生したごみの分別を行うごみ分別モデルを構築する。構築にあたり、既存の生活行動や廃棄物の重量・組成分析調査を活用する。

2.1 研究対象・生活行動利用データ

本研究では、家庭内でのごみの発生を研究対象とする。そこで日常的に家庭内で発生する行為全てではなく、特にごみの発生を伴うと考えられる家庭内行為に着目する。その際、生活行動に関する参考データとしてNHK放送文化研究所による2015年国民生活時間調査⁹⁾を用いる。この生活時間統計調査は5年毎に行われており、国民の1日の生活における各行為の時間の配分や、余暇時間における活動の状況など、生活実態を明らかにする基本データとして調査されているものである。具体的には、調査対象の性、年齢、職業、在学状態、都市規模の個人属性集合のもと、行動分類ごとのデータが存在する。

行動分類をまとめたものをTable 1に示す。全29種類の行為分類がなされている。今回はこの中からごみの発生を伴うと考えられる行為（以後、ごみ発生行為）を抜粋しモデル内で表現する。抜粋したごみ発生行為をTable 1中に赤字で示す。具体的には、“食事”、“身の回りの用事”、“炊事・掃除・洗濯”、“買い物”、“家庭雑事”、“新聞”、“雑誌・マンガ・本”、“休息”である。今回のモデル内では、“食事”及び“炊事”は1日3食（朝食、昼食、夕食）で区別する。“身の回りの用事”については、国民生活時間調査の具体例から、“洗顔”、“入浴”を抜粋し分類する。同様に“家庭雑事”行為に関しても、具体例よりごみ発生行為である“整理・片付け”行為を抜粋し分類する。“炊事・掃除・洗濯”行為に関しても、それぞれの発生するごみの種類が異なるため、モデル中では区別して扱う。また、この行動分類以外に不定期で行われる“資源回収”や多種多様なゴミが発生すると考えられる“大掃除”などの行為を“その他”行為に分類しごみ発生行為として導入する。Table 2にごみ発生行為をまとめたものを示す。

Table 1: 生活行動分類

大分類	小分類	分類数
必需行動	1. 睡眠 2. 食事 3. 身の回りの用事 4. 療養・静養	4種類
拘束行動	5. 仕事 6. 仕事の付き合い 7. 授業・学内の活動 8. 学校外の学習 9. 炊事・掃除・洗濯 10. 買い物 11. 子どもの世話 12. 家庭雑事 13. 通学 14. 通学 15. 社会参加	11分類
自由行動	16. 会話・交際 17. スポーツ 18. 行楽・散歩 19. 趣味・娯楽・教養 20. 趣味・娯楽・教養のインターネット 21. テレビ 22. ラジオ 23. 新聞 24. 雑誌・マンガ・本 25. CD・テープ 26. ビデオ・HDD・DVD 27. 休息	12分類
その他	28. その他 29. 不明	2分類

Table 2: ごみ発生行為分類

大分類	小分類	分類数
必需行動	1. 食事(朝食、昼食、夕食) 2. 洗顔 3. 入浴	3種類
拘束行動	4. 炊事(朝食、昼食、夕食) 5. 掃除 6. 洗濯 7. 買い物 8. 整理・片付け	5分類
自由行動	9. 新聞 10. 雑誌・マンガ・本 11. 休息	3分類
その他	12. 資源回収 13. 冷蔵庫整理 14. 大掃除	3分類

2.2 ゴミ発生行為の発生重量・組成定義

本研究では、ごみ発生行為において発生するごみの重量及び組成の定義に関して、世田谷区清掃・リサイクル部事業課による平成28年度世田谷区家庭ごみ組成分析調査及び計量調査報告書⁶⁾を用いる。この調査は、家庭から排出されるごみの組成や分別状況、資源分別回収によって回収されている資源の分別状況と排出状況、1人1日あたりのごみ・資源の排出量を分析したものである。具体的には、世帯人数、一戸建て・アパートなどの住居情報、年齢などの個人属性集合のもと、排出されたごみの全60分類のごみの組成、可燃ごみ・不燃ごみ・資源の排出量のデータが存在する。

今回は、資源分別やリサイクルの選択肢があると考えられる可燃ごみ26分類、不燃ごみ16分類、全42分類を調査対象として定義する。Table 3に定義するごみの分類を示す。世田谷区調査における分類において“調理くず”と“食べ残し”は同分類とされているが、本研究ではそれぞれごみの発生元となる行為が異なると想定し区別して2分類とした。その際、それぞれの発生重量や混入率に関しては世田谷区の調査に加え、農林水産省による第1回食品ロス削減に向けた検討会資料⁷⁾を用いて按分する。

Table 3: ごみ詳細分類

種別	大分類	小分類	分類数
可燃	紙類	1. 新聞(きれいなもの) 2. 新聞(汚れたもの) 3. 折込広告 4. 雑誌・本 5. 段ボール 6. 紙パック 7. 紙パック(アルミ付) 8. 容器包装の紙類(リサイクル可) 9. 容器包装の紙類(リサイクル不可) 10. その他の紙類(リサイクル可) 11. その他の紙類(リサイクル不可)	11分類
	生ゴミ	12. 未使用食品 13. 調理くず 14. 食べ残し	3分類
	プラスチック類	15. ペットボトル 16. 白色トレイ 17. 色・柄付き発泡トレイ 18. 食品用透明プラスチック容器 19. レジ袋 20. その他の容器包装のプラスチック類 21. その他プラスチック類	7分類
不燃	その他	22. 布類 23. 木・草類 24. ゴム類 25. 皮革類 26. その他可燃	5分類
	金属類	27. アルミ缶(飲料用) 28. アルミ缶(その他) 29. スチール缶(飲料用) 30. スチール缶(その他) 31. 缶類以外の金属類	5分類
	ガラスびん	32. ワンウェイびん(無色) 33. ワンウェイびん(茶色) 34. ワンウェイびん(その他の色)	3分類
	その他	35. 電池 36. ガラス製品 37. 陶磁器 38. 小型家電 39. 傘 40. 蛍光灯 41. 電球 42. その他不燃	8分類

また、今回研究対象とする家庭属性分類をTable 4に示す。a~eの世帯人数・年齢ごと、各2種類の住居種類が存在し、計10分類となる。

Table 4: 家庭属性分類

家庭人数・年齢	住居種類
a. 1人世帯・若年 b. 1人世帯・若年以外 c. 2人世帯 d. 3人世帯 e. 4人以上世帯	1. 一戸建て 2. アパート混在

Table 3 に記載した細かな組成分類を用いて、家庭内でのごみ発生行為において発生するごみの組成及び重量を定義する。下記に例として、Table 4 に記載した家庭属性分類中の 2 人世帯・一戸建て属性の炊事行為における新聞（汚れたもの）を算出し定義する流れを説明する。

新聞（汚れたもの）の種別である可燃ごみの排出源単位調査結果より、可燃ごみの排出源単位は 220.5 g/人日である。また可燃ごみの組成分析結果より、可燃ごみ中の新聞（汚れたもの）割合は 0.5% である。よって、1 人 1 日あたりの新聞（汚れたもの）の重量は 1.1025 g/人日と算出できる。更に 1 日 3 食とした場合、1 回の炊事行為で発生する新聞（汚れたもの）の重量は、0.3675 g/人日と算出できる。よって、2 人世帯・一戸建て属性の 1 人あたり 1 回の炊事行為における新聞（汚れたもの）の発生量は 0.3675 g と定義する。同様に算出し、一回の炊事行為において発生するごみの組成と重量をまとめたものを例として Table 5 に示す。

Table 5: 1 回の炊事行為で発生するごみ

行為	分類	発生量 (g)
一回の炊事行為	新聞(汚れたもの)	0.367
	紙バック	0.196
	紙バック(アルミ付き)	0.098
	容器包装の紙類(リサイクル可)	1.433
	調理くず	14.61
	白色発泡トレイ	0.147
	色・柄付き発泡トレイ	0.073
	食品用透明プラスチック容器	1.249
	その他の容器包装のプラスチック類	0.166
	その他の可燃	4.214
	スチール缶(飲食用)	1.134
	ワンウェイびん(無色)	3.072

3 モデル

本研究では多様な生活行動を表現し各行為ごとにごみが発生するごみ発生モデルと、発生したごみの分別を行うごみ分別モデルを構築する。なお、本モデルは Java ベースで構築された開発環境である SOARS (Spot Oriented Agent Role Simulator) ⁸⁾を用いてモデリングを行う。SOARS はエージェントベースシミュレーションのフレームワークであり、プログラミングの知識や経験を必要としないため、誰でも簡単に使用することができる ⁹⁾。

3.1 ごみ発生モデル

ごみ発生モデルは、世帯各人の属性 a_{ij} ごとのごみ発生行動 b_{kl} (行為分類) からごみを発生させるモデルである。この属性分類には Table 2.4 に示すように、家庭人数・年齢・住居種類が含まれている。ごみの発生量には、このように世帯状況や年齢、住居種類などの各人の属性が大きく影響することがわかっている ¹⁰⁻¹²⁾。前節でNHK放送文化研究所による2015年国民生活時間調査による生活行動分類から、ゴミ発生行為を抜粋した。その行為ごとに発生するごみの重量及び組成を、世田谷区清掃・リサイクル部事業課による平成28年度世田谷区家庭ごみ組成分析調査及び計量調査報告書より定義する。

属性分類集合 $Att = \{a_{ij} | i=1,2,\dots,n_att \in \mathbb{N}^+\} (= \{1 \text{人世帯} \cdot \text{若年} \cdot \text{一戸建て}, 1 \text{人世帯} \cdot \text{若年} \cdot \text{アパート混在}, \dots, 4 \text{人以上世帯} \cdot \text{アパート混在}\})$, 行為分類集合 $Beh = \{b_{kl} | l=1,2,\dots,n_beh \in \mathbb{N}^+\} (= \{\text{食事}, \text{洗顔}, \dots, \text{休息}\})$, ごみ分類集合 $Ger = \{g_k | k=1,2,\dots,n_ger \in \mathbb{N}^+\} (= \{\text{新聞(きれいなもの)}, \text{新聞(汚れたもの)}, \dots, \text{その他不燃}\})$ とする時、属性分類行為別ごみ発生量を $Prod(a_i, b_j, g_k)$ とする。この時、世帯ごみ総量 $Total(a_i, b_j, g_k)$ とすると(1)式で算出することができる。

$$Total(a_i, b_j, g_k) = \sum_{i=1}^{n_att} \sum_{j=1}^{n_beh} \sum_{k=1}^{n_ger} Prod(a_i, b_j, g_k) \quad \dots (1)$$

3.2 ごみ分別モデル

ごみ分別モデルは、ごみ発生モデルによって発生したごみの中で分別可能であるもの、または資源化できるルートが存在しているものを、世田谷区清掃・リサイクル部事業課による平成28年度世田谷区家庭ごみ組成分析調査及び計量調査報告書より算出した分別可能物の分別率 t_s 及び世帯各人の所有する分別意識 α の値によって分別を行うモデルである。

リサイクルやリデュース、リユースといった行動は環境制度や市民意識などから影響を受ける ¹³⁾。これまで分別行動に与える要因として、ごみや環境問題に対する意識 ¹⁴⁾、規範意識 ¹⁵⁾ など様々な要因が検討されてきた。本モデルでは、そういった分別行動に影響を与える個人属性ごとの変数を分別意識という変数として導入する。この分別意識によって、家庭内のゴミ発生行動によって発生した各ごみの分別比率を決定する。分別意識 α は 0~1 の一様乱数で決定される。この数値が 1 に近いほど、分別意識は高くなり、基準値は 0.5 である。

まず、前節で示した全 42 種類の可燃ごみ及び不燃ごみ集合 Ger の中で、世田谷区で資源の回収品目として指定されている品目（以後、分別可能品目 x_s ）と、

世田谷区の調査報告書に記載されている集団回収や販売店回収など、現在資源化するルートがある品目（以後、リサイクル可能品目 y_r ）を定義する。具体的な品目をまとめたものを Table 6 に示す。

Table 6: 分別可能品目及びリサイクル可能品目

対象	分類	分類数
分別可能品目	1. 新聞(きれいなもの) 2. 雑誌・本 3. 段ボール 4. ペットボトル 5. アルミ缶(飲食用) 6. スチール缶(飲食用) 7. ワンウェイびん(無色) 8. ワンウェイびん(茶色) 9. ワンウェイびん(その他の色)	9分類
リサイクル可能品目	10. 折込広告 11. 紙パック 12. 容器包装の紙類(リサイクル可) 13. その他の紙類(リサイクル可) 14. 布類 15. 白色発泡トレイ 16. 色・柄付き発泡トレイ 17. 食品用透明プラスチック容器 18. 小型家電	9分類

分別可能品目集合 $X = \{x_s | s=1, 2, \dots, n_x \in N^+\} (= \{\text{新聞(きれいなもの)}, \text{雑誌・本}, \dots, \text{ワンウェイびん(その他の色)}\})$, リサイクル可能品目集合 $Y = \{y_r | r=1, 2, \dots, n_y \in N^+\} (= \{\text{折込広告}, \text{紙パック}, \dots, \text{小型家電}\})$, 分別率集合 $\text{Ratio} = \{t_s | s=1, 2, \dots, n_x \in N^+\} (= \{\text{新聞(きれいなもの)の分別率}, \text{雑誌・本の分別率}, \dots, \text{ワンウェイびん(その他の色)の分別率}\})$ とし, 属性分類別分別率集合を $\text{AttRatio}(a_i, t_s)$ とする時, 分別意識 α を $\{0 \sim 1\}$ の一様乱数とすると, 個別分別量 $\text{Sep}(a_i, b_j, x_s, t_s)$ は(2)式で算出することができる。

$$\text{Sep}(a_i, b_j, x_s, t_s) = \left((1 - \text{AttRatio}(a_i, t_s)) \times (\alpha - 0.5) + \text{AttRatio}(a_i, t_s) \right) \times \text{Prod}(a_i, b_j, x_s) \quad \dots (2)$$

また, 個人資源化量 $\text{Rec}(a_i, b_j, y_r)$ は(3)式で算出することができる。

$$\text{Rec}(a_i, b_j, y_r) = \alpha \times \text{Prod}(a_i, b_j, x_s) \quad \dots (3)$$

以上より, ごみ分別モデルにおける世帯ごみ排出量を $\text{Dump}(a_i, b_j, g_k, x_s, y_r, t_s)$ は(4)式で算出することができる。

$$\text{Dump}(a_i, b_j, g_k, x_s, y_r, t_s) = \text{Total}(a_i, b_j, g_k) - \sum_{i=1}^{n_{att}} \sum_{j=1}^{n_{beh}} \sum_{s=1}^{n_x} \text{Sep}(a_i, b_j, x_s, t_s) - \sum_{i=1}^{n_{att}} \sum_{j=1}^{n_{beh}} \sum_{r=1}^{n_y} \text{Rec}(a_i, b_j, y_r) \quad \dots (4)$$

4 モデルの妥当性評価

今回は, 世田谷区家庭ごみ組成分析調査及び計量調査報告書を用いて, ごみの発生重量や組成を定義した。そこで, モデルの妥当性評価として世田谷区調査のデータと比較する。

まず, ごみの発生量の妥当性評価を行う。Fig. 1 に各家庭属性のひと月あたりに発生した可燃ごみと不燃ごみ, 及びその総量の平均値を棒グラフで示す。折れ線グラフは, 世田谷区調査のデータから算出した値を示す。この結果より実データとほとんど一致することが確認できる。

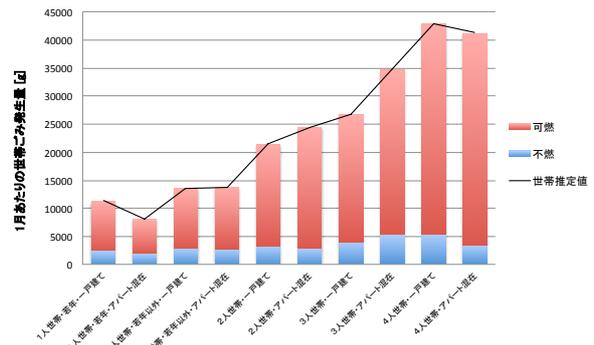


Fig. 1: シミュレーション結果・ゴミ発生量

次にごみの組成について妥当性評価を行う。Fig. 2 に各家庭属性のひと月あたりに発生した可燃ごみの平均割合のシミュレーション結果を示す。Fig. 3 には世田谷区調査のデータから算出した可燃ごみの組成を示す。この結果より, ほとんどの値が一致することが確認できる。同様に不燃ごみの組成結果に関して, シミュレーション結果を Fig. 4 に, 世田谷区調査のデータから算出した不燃ごみの組成を Fig. 5 に示す。この結果より, 不燃ゴミもほとんどが実データと近似していることが確認できる。

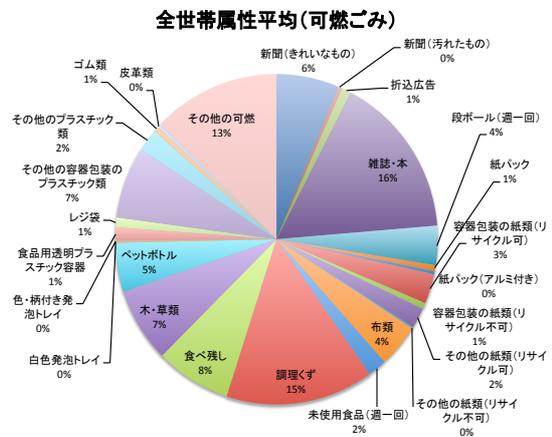


Fig. 2: シミュレーション結果・可燃ごみの組成

5 シミュレーション実験

ここでは、本研究で構築したモデルの有用性を検討するためのシミュレーション実験を行う。ごみの減量を目指す政策をシミュレーションに導入し、シナリオを分析することで定量的な効果検討を行う。

5.1 実験方法

5.1.1 実験条件

まず、今回のシミュレーション実験で想定する条件を説明する。今回は仮想世田谷区でのごみ減量政策の効果検討を行う。モデル内に世帯数 1/1 スケールの世田谷区を表現し、30日間のごみ発生量をシミュレーションする。その際に、まず世田谷区、政策経営部、政策研究・調査課による平成27年国勢調査結果（人口等基本集計）¹⁶⁾を用いて、各世帯属性の割合を設定する。この調査は、10年ごとに実施されている人口・世帯の大規模実態調査であり、対象者の人口や年齢、世帯の種類、家族類型、住居の種類などが含まれている。モデル内の世帯人数割合に関しては、世田谷区清掃・リサイクル部事業課による平成27年3月発行の世田谷区一般廃棄物処理基本計画¹⁷⁾を参考に各世帯人数比を決定する。また、単身世帯の住居状況に関しては、平成25年住宅・土地統計調査（総務省）¹⁸⁾を参考に決定する。決定した具体的な各世帯属性数は Table 7 に示す。なお、世田谷区のデータから世帯や住居状況が不明な世帯に関しては、全体の平均値をとったごみ発生量のパラメータで実験を行う。

Table 7: 各世帯属性数（世田谷区 1/1 スケール）

家庭属性	世帯数	
1人世帯(若年)	一戸建て	1100
	アパート混在	42000
1人世帯(若年以外)	一戸建て	92000
	アパート混在	92000
2人世帯	一戸建て	32000
	アパート混在	74000
3人世帯	一戸建て	20000
	アパート混在	46000
4人以上世帯	一戸建て	18000
	アパート混在	41000

5.1.2 シナリオ設定

シナリオ設定として、世田谷区にごみの減量政策を導入した場合を検討する。具体的には、ごみの減量政策としてコンポストの導入を設定する。

コンポストとは、生ゴミ等の有機ごみを微生物の活動を利用して分解し、有用な堆肥に変える仕組みである。家庭から出る可燃ごみの大部分を占める生ゴミを適切に処理し、資源化することができれば大幅にごみの削減を図ることができる。今回のシミュレーション

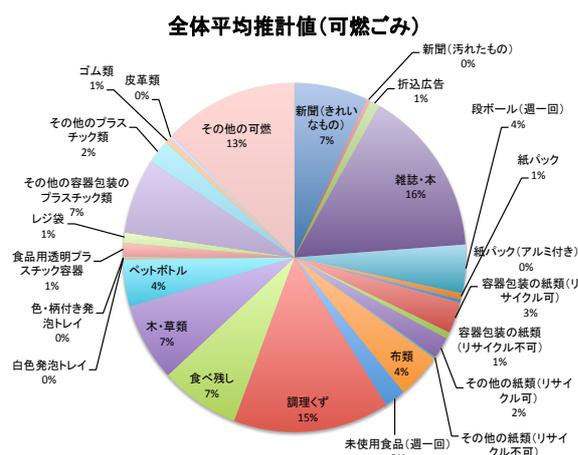


Fig. 3: 世田谷区推計・可燃ごみの組成

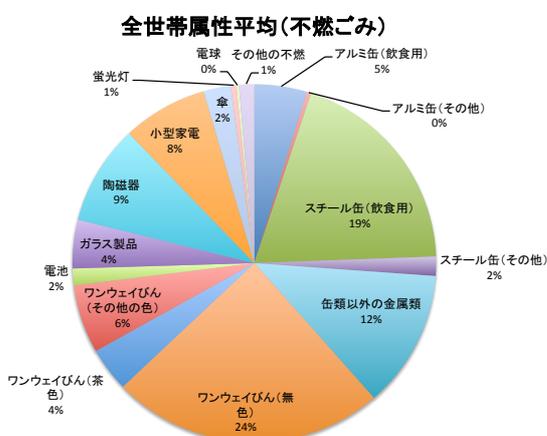


Fig. 4: シミュレーション結果・不燃ごみの組成

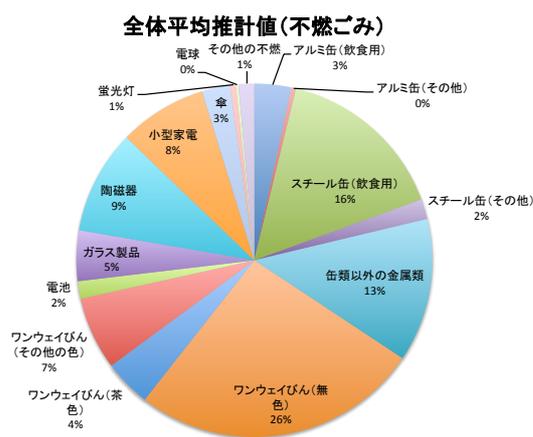


Fig. 5: 世田谷区推計・不燃ごみの組成

以上の結果より、ごみ発生行為における発生ごみ重量及び組成の設定及び、本モデルの妥当性が確認できる。

実験ではこのコンポストを世田谷区に導入した場合のシナリオを分析する。

今回のシナリオでは、コンポストを利用し、資源化可能な品目を Table 3 に示したごみ詳細分類中の大分類”生ゴミ”に含まれる”未使用食品”，”調理くず”，”食べ残し”の3品目とする。コンポストの利用に関しては、リサイクル可能品目と同様に前述の(3)式を用いて資源化量を決定する。

5.2 実験結果(コンポスト導入前)

コンポスト導入前のシミュレーション結果を示す。まず、Table 8 にシミュレーションによって発生した各ごみの重量及びその値から推計した年間のごみ排出量を示す。Fig. 6 にはその組成を円グラフで示す。

Table 8: 実験結果 (コンポスト導入前)

分類	実験結果(t)	推計年間排出量(t)
その他の紙類	80.750	969.01
ペットボトル	386.65	4639.8
容器包装の紙類	119.82	1437.8
布類	170.47	2045.7
折込広告	38.880	466.55
新聞	571.70	6860.4
段ボール	354.63	4255.5
白色発泡トレイ	5.9815	71.778
柄・色付き発泡トレイ	2.9907	35.889
紙パック	35.889	430.67
雑誌	1285.7	15428
食品用透明プラスチック	50.843	610.11
その他可燃	4372.4	52469
ガラス瓶	431.56	5178.7
缶	336.49	4037.9
その他不燃	544.73	6536.8

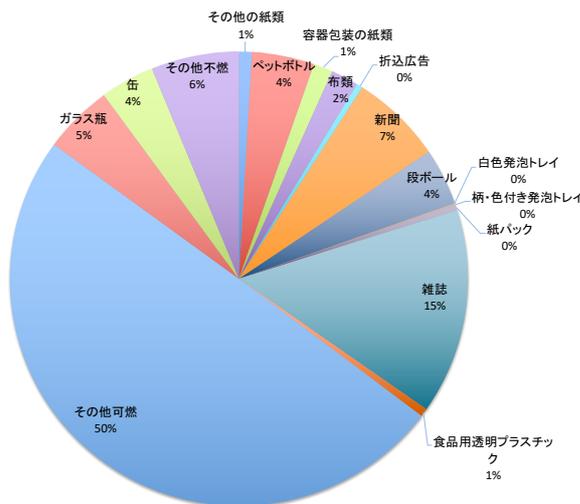


Fig. 6: コンポスト導入前 (発生ごみ組成)

今回の結果を世田谷区で実際に調査されたデータ¹⁹⁾と比較する。しかしながら、世田谷区のデータには家

庭ごみだけではなく、事業系ごみも混入されている。このように家庭ごみの事業系ごみの混入により、実質的な家庭ごみ収集量の把握が困難で、家庭ごみの増減の正確な把握が難しいという問題がある。今回使用するデータにも事業系ごみが混入しているので、文献²⁰⁾を参考に20%の混入を考慮する。また、シミュレーション内では小型家電も不燃ごみに含まれる設定だったが、比較する世田谷区のデータにおいては粗大ゴミに含まれることも考慮する。Table 9 にその結果を示す。

Table 9: 世田谷区調査との比較

分類	年間ごみ重量(t)	
	シミュレーション結果	世田谷区調査
可燃ごみ	121588	129773
不燃ごみ	5133	5067

上記より今回のシミュレーション結果と世田谷区による調査結果はおおよそ近い値であることが確認できる。多少の値の差が生じた要因としては、世田谷区のデータはあくまで市区町村が回収した全体ごみの総量であり、実質的な家庭から出るごみの総量ではないという点が考えられる。事業系のごみが混入していることは考慮しているが、あくまで推定の割合で行っているため、差が生じてしまったと考えられる。また、世田谷区の清掃・リサイクル部事業化事業計画担当へのヒアリングから、この世田谷区のデータは資源物として回収されているいくつかの品目も一部含まれているということがわかっている。その品目の混入率が不明であるも、今回のシミュレーション結果と世田谷区調査のデータ値に多少の差が出てしまった要因の一つであると考えられる。

分別行動に関しては、Table 8 の実験結果が示すように、全体可燃ごみ総量の約37%が適切に分別・資源化ルートに排出されている。また、全体不燃ごみ総量においては約55%が適切に分別・資源化ルートに排出される結果となった。分別可能品目に関しては、実際の世田谷区の各リサイクル率を算出し、モデル内でも適用しているため、ある程度妥当性があると考えられる。リサイクル可能品目に関しては、今回はあくまで独自のルートで資源化が可能なるものをそれぞれの分別意識によって分別されているものではあるが、可燃ごみは資源化総量の約16%、不燃ごみは資源化総量の約7%がリサイクル可能品目である。このことから、個人・世帯の分別意識によって十分に家庭内からごみとして排出される重量を減少させることが可能であると考えられる。

5.3 実験結果(コンポスト導入後)

次にコンポスト導入後のシミュレーション結果を示す。まず、Table 10 にシミュレーションによって発生した各ごみの重量及びその値から推計した年間のごみ排出量を示す。Fig. 7にはその組成を円グラフで示す。

Table 10: 実験結果 (コンポスト導入後)

分類	実験結果(t)	推計年間排出量(t)
その他の紙類	80.768	969.22
ペットボトル	386.66	4639.9
容器包装の紙類	119.80	1437.6
布類	170.51	2046.1
折込広告	38.888	466.66
新聞	571.71	6860.5
段ボール	354.63	4255.6
白色発泡トレイ	5.9828	71.794
柄・色付き発泡トレイ	2.9914	35.897
紙パック	35.897	430.76
雑誌	1285.7	15429
食品用透明プラスチック	50.854	610.25
その他可燃	3399.6	40796
ガラス瓶	431.62	5179.4
缶	336.50	4038.0
その他不燃	545.15	6541.8
コンポスト	972.80	11673

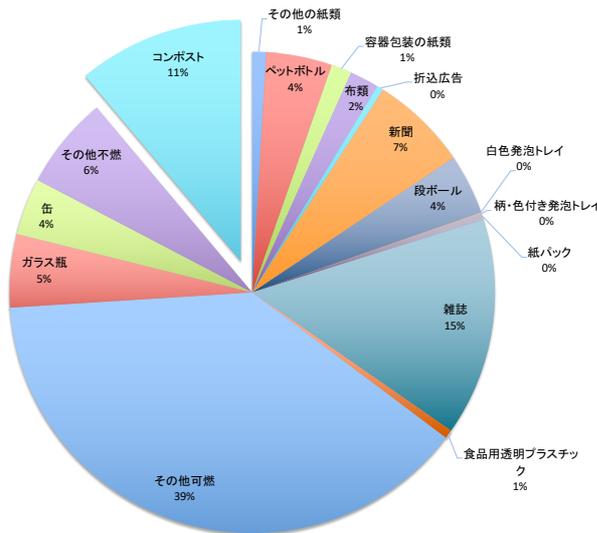


Fig. 7: コンポスト導入後 (発生ごみ組成)

シミュレーション実験ではコンポストを導入することで、導入前の総量から約 11%のごみの削減が可能であることがわかる。また、コンポストに排出された資源量は資源化総量の約 20%を占めることから、ごみ減量施策としては非常に有効な政策であると考えられる。モデル内では、あくまで世帯の分類意識によってコンポストの利用率が決定されており、生ゴミの発生総量の約 41%が分別された。つまり、実際に市区町村にコンポストを導入する場合には、市民の分別意識を向上させることで、可燃ごみとして排出された残りも資源化する道が残されていると言える。

6 まとめ, 考察

本研究では、多様な生活行動を表現し各行為ごとにごみが発生するごみ発生モデルと、発生したごみの分別を行うごみ分別モデルを構築した。その際、本モデルは java ベースで構築された開発環境である SOARS(Spot Oriented Agent Role Simulator)を用いてモデリングを行った。今回は、平成 28 年度における世田谷区のごみ組成・重量調査を用いたが、ごみ発生量の各パラメータを最新のものに置き換えることによって、推定を行うことができるモデルとなっている。世帯数等のパラメータに関しても同様に、これからの世田谷区の人口の変動や、世田谷区以外の市区町村でもある程度の世帯各人の属性データさえあれば容易に適応することが可能である。今回のシナリオ分析では、コンポストの導入事例のみだったが、他のごみの減量を目指した政策の効果検討も可能である。コンポスト政策のようにこれまで可燃ごみとして排出されていた品目を資源化することは大きな減量政策に繋がる。Fig. 8 に、シミュレーション実験において最終的に可燃ごみとして排出された可燃ごみの組成分析結果を示す。コンポストの対象品目である生ゴミ以外にも、木・草類やその他の容器包装のプラスチック類は全体の約 10%を占めている。また、その他の可燃ごみに至っては全体の約 20%をしめる結果となった。

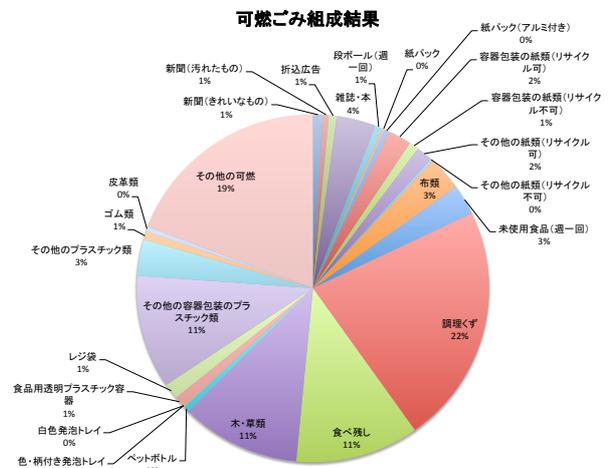


Fig. 8: 廃棄された可燃ごみの組成分析結果

今回使用した世田谷区の調査⁶⁾において、その他の可燃ごみは、ティッシュ、紙おむつ、タバコの吸い殻、割り箸等が例として挙げられている。この中にも資源化可能であると考えられる品目は含まれている。例えば、高齢化社会の進む現代において大人の利用も増加している紙おむつをリサイクルしようとする動き²¹⁾や、食事の際に使い捨てている割り箸をリサイクルする動き²²⁾がある。このように可燃ごみには資源化可能となる品目が混在していることに着目することで、よ

り資源化を進めることができるのではないかと考える。エージェントベースシミュレーションを用いた意義としても、今後、各エージェントのごみ発生時における廃棄方法の選択等の意思決定を詳細に表現することで、より現実的なごみ減量施策の効果検討が行えるのではないかと考える。また、ある程度の対象市区町村の個人属性データが収集できれば逆推計モデルとしても有効であると考えられる。

前節にも示した問題の1つである、事業系ごみの混入により家庭実質的な家庭ごみ収集量の把握が困難で、家庭ごみの増減の正確な把握が難しいという問題に対してもこのモデルは有用である。使用した世田谷区のごみ組成・重量調査のような世帯ごとのデータを用いてシミュレーションを行うことで、実質的な家庭ごみの重量や組成推定を行うことが可能であり、より精度の高い家庭ごみの増減状況などの把握が実現できると考えられる。更に言えば、今回使用した世田谷区の重量及び組成分析調査のように、個人属性ごとのごみ発生データを収集することで実質的な市区町村全体の推計が行えるため、市区町村は全体だけでなく個人に着目したミクロな部分でのデータ収集や調査を行うことが、ごみに関する諸問題を検討していく上で重要であると考えられる。

7 今後の課題

本研究では、分別可能品目においては世田谷区の調査より実際のリサイクル率を導入し、分別行為を表現した。また、リサイクル可能品目については分別意識を一様乱数により設定し、その値に応じて分別行為を表現した。課題として、この分別行為の記述をより現実的に精度を高める必要がある。そのために、分別行為における人間の意思決定について、より詳細なモデルの設計・構築が必要である。

今回は、実際に発生したごみのデータから各行為の発生ごみ量を定義した。今後は、さらに上流である家庭内流入の部分モデル内に表現することで、新たな政策検討に繋がるのではないかと考える。ごみの減量には、適切な分別で資源化を進めるというルートと、家庭内に流入してくる部分から抑えるルートの2つがあると考えられる。今後は、後者の家庭内流入部分の抑制行為についてもモデルに反映することで、さらなる政策の効果検討が可能になると考える。例えば、今回は買い物行為において非常に単純なごみの発生量及びフローを定義したが、その際に各エージェントが保有するごみ減量化意識等の値から発生するごみの量や品目に応じて、商品選択等の意思決定を表現することができれば、より日常生活に近いモデルを構築することができるのではないかと考える。

8 参考文献

- 1) 環境省：一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成27年度）について。(2017).
<http://www.env.go.jp/press/103839.html>, last accessed 2018/01/17.
- 2) 山谷修作：家庭ごみ有料化の取組とその成果, アカデミア, vol.107, 20/25. (2013)
- 3) 苗建青：一般廃棄物の回収政策によるリサイクル率の影響効果に関する計量分析, 会計検査研究, no.33, 189/198. (2006)
- 4) 篠木幹子：ごみの分別行動と減量行動に影響を与える要因の検討 -仙台市民の10年間の変化-, 廃棄物資源循環学会論文誌, vol.28, 58/67. (2017)
- 5) NHK放送文化研究所：2015年国民生活時間調査報告書(2016). https://www.nhk.or.jp/bunken/research/yoron/pdf/20160217_1.pdf, last accessed 2018/01/14.
- 6) 世田谷区清掃・リサイクル部事業課：世田谷区家庭ごみ組成分析調査及び計量調査報告書（平成28年度版）(2016). <http://www.city.setagaya.lg.jp/krashi/101/113/263/265/d00007885.html>, last accessed 2018/01/14.
- 7) 農林水産省：第1回食品ロス削減に向けた検討会資料(2008). http://www.maff.go.jp/j/study/syoku_loss/01/, last accessed 2018/01/14.
- 8) SOARS project: <http://www.soars.jp> (2016)
- 9) Manabu, Ichikawa., Yuhsuke, Koyama., Hiroshi, Deguchi.: Virtual City Model for Simulating Social Phenomena, In K. Takadama., C. Cioffi-Revilla., G. Deffuant., S.-H. Chen., N. Gilbert., H. Kita., T. Terano., editors, Simulating Interacting Agents and Social Phenomena, vol. 7 of Agent-Based Social Systems, 253/264, Springer Japan, (2010)
- 10) Saltzman, Cynthia., Vijaya G. Duggal., Mary L. Williams.: Recycling: An Economic Analysis, Eastern Economic Journal, vol.16, no.3, 351/358. (1991)
- 11) Jenkins, R. Robin.: The Economics of Solid Waste Reduction: The Impact of User Fees, Edward Elgar Press, Brookfield, VT. (1993)
- 12) Reschovsky D. James., Sarah E. Stone.: Market Incentives to Encourage Household Recycling: Paying for What You Throw Away, Journal of Policy Analysis and Management, vol.13, no.1, 120/139. (1994)
- 13) Michel S. Barr.: Factors Influencing Environmental Attitudes and Behaviors: A U. K. Case Study of Household Waste Management, Environment and Behavior, vol.39, no.4, 435/473. (2007)
- 14) Linda, Derksen., John, Gartrell.: The Social Context of Recycling, American Sociological Review, vol.58, no 3, 434/442. (1993)
- 15) Christopher, Bratt.: The Impact of Norms and Assumed Consequences on Recycling Behavior, Environment and Behavior, vol. 31, no.5, 630/656. (1999)

- 16) 世田谷区・政策経営部・政策研究・調査課：平成 27 年国勢調査結果 (人口等基本集計) (2017). <http://www.city.setagaya.lg.jp/krashi/107/157/692/694/1890/d00050934.html>, last accessed 2018/01/10.
- 17) 世田谷区清掃・リサイクル部事業課：世田谷区一般廃棄物処理基本計画. (2015). <http://www.city.setagaya.lg.jp/kurashi/101/113/269/d00027853.html>, last accessed 2018/01/17.
- 18) 総務省：平成 25 年住宅・土地統計調査 (2013). <http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2013/tyousake.htm>, last accessed 2018/01/14.
- 19) 世田谷区清掃・リサイクル部事業課：世田谷区ごみ収集量の推移・23 区とのごみ量比較 (1 人 1 日あたりのごみ排出量・収集量) . <http://www.city.setagaya.lg.jp/krashi/101/113/263/265/d00005136.html>, last accessed 2018/01/10.
- 20) 天野耕二・松浦篤史・渥美史陽：事業系家庭ごみの排出特性と家庭ごみ収集への混入について, 廃棄物学会論文誌, 13 巻 1 号, 22/30. (2002)
- 21) 福岡県リサイクル総合研究事業化センター：紙おむつリサイクル. <http://www.recycle-ken.or.jp/katsudo/kamiomutsu.html>, last accessed 2018/01/25.
- 22) 調布市市民プラザあくろす 市民活動支援センター：わりばしリサイクルグループ「くるりん」. <http://chofu-npo-supportcenter.jp/waribashi-kururin/>, last accessed 2018/01/25.

付録 入力データの1部

ここでは、入力データの一例として、世帯属性 a:2 人世帯・一戸建てに対応するごみ発生行為ごとの発生ごみ重量・組成を記載する。これらのデータは筆者により加工されたデータである。

行為	分類	発生量 (g)
一回の食事行為	紙パック	0.196
	紙パック(アルミ付き)	0.098
	食べ残し	7.438
	ペットボトル	2.101
	その他の容器包装のプラスチック類	5.742
	その他の可燃	4.214
	アルミ缶(飲食用)	0.243
	ワンウェイびん(無色)	3.072
	ワンウェイびん(茶色)	1.005
	ワンウェイびん(その他の色)	0.782

行為	分類	発生量 (g)
洗顔	その他の容器包装のプラスチック類	0.5

行為	分類	発生量 (g)
入浴	その他の容器包装のプラスチック類	1.5

行為	分類	発生量 (g)
一回の炊事行為	新聞(汚れたもの)	0.367
	紙パック	0.196
	紙パック(アルミ付き)	0.098
	容器包装の紙類(リサイクル可)	1.433
	調理くず	14.61
	白色発泡トレイ	0.147
	色・柄付き発泡トレイ	0.073
	食品用透明プラスチック容器	1.249
	その他の容器包装のプラスチック類	0.166
	その他の可燃	4.214
	スチール缶(飲食用)	1.134
	ワンウェイびん(無色)	3.072

行為	分類	発生量 (g)
掃除	木・草類	21.61
	その他の可燃	12.64

行為	分類	発生量 (g)
洗濯	その他の容器包装のプラスチック類	1

行為	分類	発生量 (g)
買い物	レジ袋	2.866

行為	分類	発生量 (g)
整理・片付け	折込広告	2.866
	その他の紙類(リサイクル可)	5.953
	その他の紙類(リサイクル不可)	0.441
	布類	12.56

行為	分類	発生量 (g)
新聞	新聞(きれいなもの)	27.56

行為	分類	発生量 (g)
雑誌・マンガ・本	雑誌・本	34.35

行為	分類	発生量 (g)
休息	紙パック	0.588
	紙パック(アルミ付き)	0.294
	容器包装の紙類(リサイクル可)	4.299
	容器包装の紙類(リサイクル不可)	1.764
	ペットボトル	6.301
	アルミ缶(飲食用)	0.729
	スチール缶(飲食用)	3.404
ワンウェイびん(その他の色)	2.346	

行為	分類	発生量 (g)
資源回収(週一回)	段ボール(週一回)	164.8

行為	分類	発生量 (g)
冷蔵庫掃除(週一回)	未使用食品(週一回)	41.67

行為	分類	発生量 (g)
大掃除(月1回)	その他のプラスチック類	198.4
	ゴム類	46.31
	皮革類	26.46
	アルミ缶(その他)	5.775
	スチール缶(その他)	25.57
	缶類以外の金属類	182.3
	電池	22.27
	ガラス製品	64.35
	陶磁器	132.1
	小型家電	111.3
	傘	35.47
	蛍光灯	7.425
	電球	3.301
	その他の不燃	19.81