

[研究報告]

# サーマルリサイクルに向けた中小都市の ごみ発熱量予測手法に関する研究

Estimation of Calorific Value of MSW Discharged from Small or Intermediate Cities

秋月祐司\*<sup>1</sup>、大森伸二\*<sup>2</sup>、持田武信\*<sup>1</sup>

Hiroshi AKIZUKI\*<sup>1</sup>, Shinji OHMORI\*<sup>2</sup>, Takenobu MOCHIDA\*<sup>1</sup>

**【要約】** 平成元年度から10年度にかけて採取、分析を行ったごみ質データと、ごみの排出元である市町村の特性値を関連づけることにより、ある特性を持った自治体を想定し、そこから排出されるごみ質を推定する手法、並びにその自治体において、紙類や合成樹脂類を分別収集した場合に低位発熱量がどのように変化するかを予測する手法を開発した。しかし、前者については実測ごみ質との残差が大きく、自治体固有の事情によるごみ質の変動をどのように扱うか検討すること、また、後者については、紙類や合成樹脂類の分別収集によるごみ中の水分の変化を的確に予測することが今後の課題である。

キーワード：サーマルリサイクル、廃棄物発電、ごみ発熱量、分別収集

## 1. 研究目的

循環型社会の形成に向けて、廃棄物の3R（減量化、再利用、再資源化）が様々な形で試みられている。しかし、最終的に発生する廃棄物量を完全にゼロにすることは困難であり、この廃棄物の安定化、減容化の手段として、焼却処理は依然として重要な役割を担っている。ごみを焼却処理する場合は、発生する膨大な熱エネルギーをサーマルリサイクルという形で有効利用することが非常に重要な課題である。その利用手段として最も有効とされるのが廃棄物発電であるが、従来中・小型施設では技術的に困難とされ、発電設備の設置は主として大型の焼却施設に限られていた。一方、ごみ焼却施設は、ごみ処理の広域化による大型化の方向性が示されているものの、諸般の事情から現実的には、中小都市を中心として中・小型の焼却施設が数の上では圧倒的に多い。このような背景の中で、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、これまで廃棄物発電がほとんど行われてこなかった中・小型焼却施設に対する発電の導入を検討している。

廃棄物発電の検討に当たっては、ごみ発熱量に関する情報が必要であるが、中小都市に関するデー

タは乏しく、今後小規模ごみ発電の導入を検討する上では、とくに中小都市のごみ性状を把握しておくことが重要である。本研究は、NEDOの委託を受け、中小都市を中心にごみの発熱量に関するデータを収集、整理し、あるモデル的な都市を想定したとき、そこから排出されるごみの発熱量を予測する手法を開発し、もって廃棄物発電の普及促進に資することを目的としたものである。

## 2. 調査の方法

平成元年度から平成10年度において、日本環境衛生センターが精密機能検査等を通じてごみ焼却施設の主としてごみピットから採取し、分析を行った焼却対象ごみのごみ質データと、その施設の管理主体である市町村の特性（人口、産業別人口比、ごみの分別収集の方法等々）との関係を整理、検討し、ある特性を持つモデル自治体を想定したとき、焼却対象となるごみの発熱量を推定する手法を検討した。さらに、その自治体において分別収集が強化され、紙ごみやプラスチックごみが減少した場合におけるごみ質の変化を推定する手法も合わせて検討した。

調査対象範囲は、兵庫県以东の本州各都府県及

\*<sup>1</sup> 財団法人日本環境衛生センター 東日本支局環境工学部  
Dept. of Environmental Engineering, East Branch, JESC

\*<sup>2</sup> 財団法人エネルギー総合工学研究所プロジェクト試験研究部  
Research and Development Division, The Institute  
of Applied Energy

び北海道で、施設の管理主体が市町村であるもの（管理主体が一部事務組合であるものは調査対象外）とした。調査施設数は延べ429施設である。なお、同一年度、同一施設から複数のごみ質データを採取したものは平均して一つのデータとした。また、調査期間内に複数回の精密機能検査を実施しているもの、及び同一市町村内に複数の施設があるものについては、それぞれ別施設として集計した。図-1に調査対象市町村の人口の度数分布図を示す。人口5万人から30万人までの中規模市町村が多い。

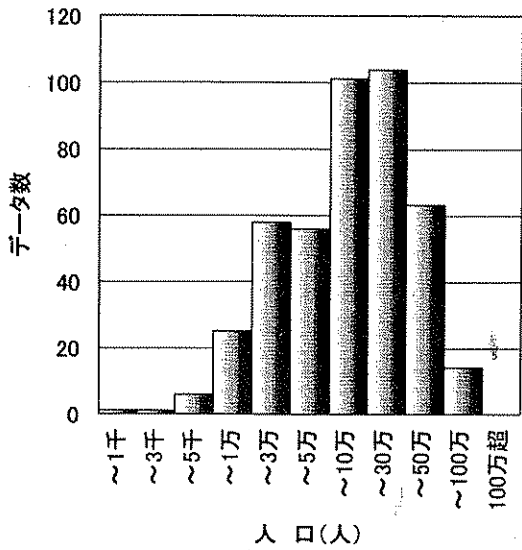


図-1 調査対象市町村の人口

### 3. 調査結果

#### 3.1 自治体の特性とごみ質との関係

人口、産業別人口比、分別収集方法など自治体の特性と、ごみ質との間の相関性（単相関）について検討した。総人口、人口密度、産業別人口比は、平成9年版市町村要覧のものを、排出原単位は平成9年度の厚生省実態調査結果<sup>1)</sup>を用いた。ごみ試料採取年度とこれらの調査年度が異なるものが多いが、これらのデータは経年的にそれほど大きく変動するものではないことから、解析を簡略化するため、単一年度の調査結果をそのまま用いた。なお、分別収集については試料採取時点における各施設の精密機能検査報告書の内容に基づいて解析を行った。

各特性値とごみ質との相関係数は表-1に示すとおりである。ごみ質と相関が高いと判断される特性値は、総人口、人口密度、処理能力、産業別人口比（一次と三次）、年度の6項目である。分別収集については、何種類に分別しているか、分別の種数との相関を検討したがごみ質との明確な相関は認められなかった。これは、分別収集を実施していない自治体でも別途集団回収等の資源化ルートを持つところが多く、また、分別収集の徹底度には自治体によって差があるためと考えられる。なお、人口密度、処理能力は総人口との関係が強く、各特性値との相関は総人口とよく似た傾向が認められた。

表-1 自治体の特性とごみ質との相関

	総人口	人口密度	排出原単位	産業別人口比			処理能力	分別収集	年度
				一次	二次	三次			
紙・布類	*	*			**	**			
	0.120	0.126	0.077	-0.085	-0.165	0.211	0.082	0.083	0.083
合成樹脂類			**		**	*			**
	0.067	0.032	-0.175	-0.092	0.198	-0.103	0.022	-0.004	0.281
ちゅう芥類	**	**		**		**	**	*	**
	-0.392	-0.392	0.056	0.344	0.030	-0.293	-0.315	-0.113	-0.314
可燃分	**	**		**		**	**	*	**
	0.260	0.250	0.030	-0.281	-0.093	0.300	0.199	0.098	0.210
水分	**	**		**	*	**	**	*	**
	-0.327	-0.323	0.042	-0.307	0.097	-0.324	-0.291	-0.101	-0.164
低位発熱量	**	**		**		**	**		**
	0.252	0.235	-0.007	-0.273	-0.040	0.246	0.193	0.086	0.247

注) 総人口、人口密度は常用対数との相関、 \*：危険率5%で相関あり \*\*：危険率1%で相関あり

3.2 ごみ質推定方法の検討

低位発熱量は、推定しようとする自治体の特性値から重回帰分析によって直接導くこともできるが、ここでは、種類組成（紙・布類と合成樹脂）、三成分（水分と可燃分）を導き、これらの数値から推定式を用いて低位発熱量を推定することとした。これは、想定した自治体において、紙やプラスチック類が分別収集等で回収された場合にごみ質がどのように変化するかを予測できるようにするためである。

前項で検討した自治体の特性のうち、比較的ごみ質との相関があると認められる総人口（の常用対数）、一次産業人口比、三次産業人口比、年度を説明変数、種類組成（紙・布類及び合成樹脂類）、三成分（水分、可燃分）を目的変数として、重回帰分析を行った。総人口、人口密度、処理能力についてはいずれもごみ質との相関があると認められるが、それぞれ相互に相関が高い変数であるので、総人口のみを説明変数とした。

また、参考として低位発熱量を目的変数とした重回帰分析も行った。

目的変数によって相関の小さな説明変数もあるが、全ての目的変数に対し、同じ説明変数を用いた。重回帰分析の結果を表-2に示す。重相関係数は0.227~0.402であった。なお、重回帰式は以下のとおりである。

$$y = a + b1x1 + b2x2 + b3x3 + b4x4$$

y : 目的変数

a : 定数項

b1 : 総人口に対する偏回帰係数

x1 : 総人口の常用対数

b2 : 一次産業人口比に対する偏回帰係数

x2 : 一次産業人口比 (%)

b3 : 三次産業人口比に対する偏回帰係数

x2 : 三次産業人口比 (%)

b4 : 年度に対する偏回帰係数

x4 : 年度 (平成)

低位発熱量の推定式としてはいろいろなものがあるが、狩郷の式の推定精度が高く<sup>2)</sup>、三成分と合成樹脂類の組成比から推定できるので、これを用いることとした。

<狩郷の式>

低位発熱量 (kJ/kg)

$$= \{368R + 188(100 - R)\} \times B / 100 - 25.1W$$

R : 合成樹脂類 (%) B : 可燃分 (%)

W : 水分 (%)

先の重回帰式で推定した種類組成と三成分から狩郷の式を用いて求めた低位発熱量と実測値との散布図を図-2に示す。推定精度はあまり高くなく、実測値の変動範囲に対して、推定値の変動範囲が小さい。各自治体のごみ質は個別の事情によりかなり変動するようであるが、自治体モデルを想定した場合、少なくとも平均的なごみ質を推定することは可能と考えられる。

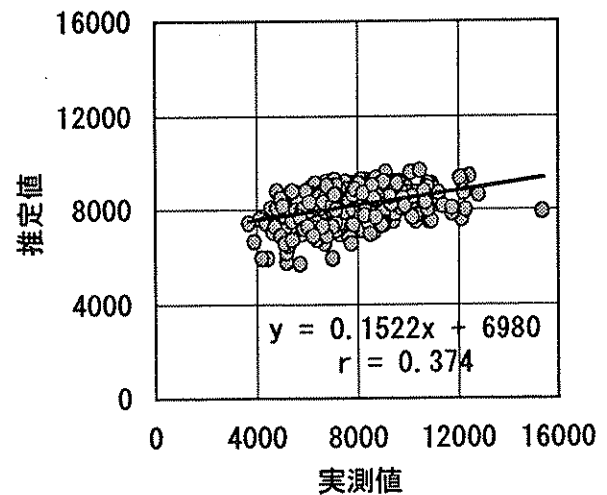


図-2 実測値と狩郷式による推定値との相関

表-2 重回帰分析結果

目的変数 (y)	定数項 (a)	各説明変数の偏回帰係数				重相関係数
		総人口 (b1)	一次産業 (b2)	三次産業 (b3)	年度 (b4)	
紙・布類	33.70	0.791	0.082	0.204	0.237	0.227
合成樹脂類	21.12	0.727	-0.112	-0.141	0.609	0.346
水分	68.47	-2.134	0.085	-0.128	-0.316	0.402
可燃分	29.86	0.891	-0.088	0.114	0.394	0.381
低位発熱量	5,053	127	-27.0	18.4	275	0.374

注) 総人口は常用対数に対して分析を行った。

なお、低位発熱量の推定値と実測値との相関係数は0.374と、自治体の特性値から直接低位発熱量を推定した場合(表-2参照)と同程度であり、狩郷の式を用いることによる推定精度の低下はない。

### 3.3 分別収集の徹底に伴うごみ質変化

分別収集システムに影響を与える因子として、平成13年4月から完全施行される「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律(容器包装リサイクル法)」が挙げられる。また、従前から存在する古紙回収も景気の動向や再生利用技術の進歩等により回収量が微妙に変化することが予想される。

しかし、分別収集が徹底されても紙ごみやプラスチックごみが全く排出されなくなることはない。ここでは、これらの動きにより、プラスチックごみや紙ごみが最大でどこまで減量する可能性があるかを検討する。

まず、容器包装リサイクル法による減量であるが、家庭ごみ中に含まれる容器包装は、紙が7.4%、プラスチックが10.4%(湿重量基準、平成10年度調査結果<sup>3)</sup>)であり、ごみ総量に占める家庭ごみの割合(総発生量に対する一般収集ごみ量の比率)は、87.6%(平成9年度厚生省調査結果<sup>1)</sup>)である。したがって、ごみ総発生量に対する容器包装リサイクル法による減量の最大値は、紙が6.5%、プラスチックが9.1%と想定される。

一方、古紙回収による減量は以下の通りである。平成10年度における、未回収古紙量は13,336千t<sup>3)</sup>であるが、平成9年度におけるごみ発生量は総量51,200千t<sup>1)</sup>であり、水分を49.5%、紙・布類の組成比を54.4%(平成9年度日本環境衛生センター分析結果の平均値)とすると紙ごみ量(布を含む、乾燥重量)は次のように計算される。

$$51,200 \times (100 - 49.5) / 100 \times 54.4 / 100 \\ = 14,066 \text{ 千 t}$$

調査年度が若干違うが、両者は概ね一致することから、未回収の古紙はほとんどが一般廃棄物として焼却対象となっているものと考えられる。紙ごみのすべてが再生利用可能なわけではなく、再生可能な古紙量を未回収古紙量の2分の1とすると、紙ごみの2分の1は再生利用可能と推定される。

これらのことから、プラスチックについてはごみ総発生量の9.1%(湿ベース)、紙については

紙ごみ量の50%(乾ベース)が減量可能と考えられる。(現実には再生利用可能な量が限られているため、実際に全国の市町村で最大限の減量を行うことは困難である)

ごみとして捨てられる紙中の水分を23.8%、プラスチック中の水分を21.0%(いずれも水分を目的変数、種類組成を説明変数とした重回帰分析より推定)、乾燥ベースにおける紙中の可燃分を90%、同じくプラスチック中の可燃分を95%と仮定すると、回収後の種類組成、三成分は表-3に示す計算式により計算できる。

これらの手法を用いて、人口5万人及び20万人規模の都市を想定し、推定年度、産業別人口比、分別収集の程度を変えて計算した結果を表-4に示す。発熱量推定値に対する人口規模の影響は大きくないが、推定年度や産業別人口比の影響は比較的大きい。また、紙ごみを25%(乾燥状態の紙ごみに対する割合)分別すると発熱量が300~400kJ/kg低下し、量が7~10%減少するが、これに加えてプラスチックを5%(ごみ量全体に対する割合)分別すると、発熱量がさらに1,000kJ/kgほど低下し、当然ながら量が5%減少する。

## 4. 考 察

ある特性を持った自治体を想定し、そこから排出されるごみ質を推定する手法を開発したが、この手法を元のデータに適用し、実測ごみ質と比較すると、残差がかなり大きいことがわかった。また、紙類や合成樹脂類を分別収集した場合に低位発熱量がどのように変化するかを予測する手法については、分別収集によって取り除かれる紙類や、合成樹脂類に含まれる水分をどのように設定するかについて課題が残っている。これらについては次のように考えられる。

### 4.1 推定誤差の要因

誤差要因としてまず考えられるのは、サンプリング誤差である。ごみの採取はごみピットから、150~200kgのごみをクレーンでつかみ上げ、ホップステージに広げて、細かく切断しながら縮分し、最終的に5~10kg程度の分析用試料として持ち帰るが、ごみは非常に不均一であるため、サンプリングに誤差を生じることは避けられない。とくに、ピット内のどの部分から採取すれば代表的試

表-3 分別収集に伴うごみ質変化の計算式

ごみ組成・量						減量率		
分別前	紙	PprB	分別後	紙	PprS	紙	DecP	乾ベース 最大50%
	合成樹脂	ResB		合成樹脂	ResS	合成樹脂	DecR	湿ベース 最大9.1%
	水分	MoiB		水分	MoiS	定数	紙の水分:23.8%、可燃分:90%	
	可燃分	CmbB		可燃分	CmbS		合成樹脂の水分:21.0%、可燃分:95%	
	処理ごみ量	WWB		処理ごみ量	WWS			
名称			記号		計算式			
分別前水分量			WMB		$WWB \times MoiB / 100$			
分別前可燃分量			WCB		$WWB \times CmbB / 100$			
分別前紙量(乾物)			WPBd		$(WWB - WMB) \times PprB / 100$			
分別収集紙量(乾物)			WPRd		$WPBd \times DecP / 100$			
分別収集紙中水分量			WPMR		$WPRd \times 23.8 / (100 - 23.8)$			
分別収集紙中可燃分量			WPCR		$WPRd \times 90 / 100$			
分別前合成樹脂量(乾物)			WRBd		$(WWB - WMB) \times ResB / 100$			
分別収集合成樹脂量(湿物)			WRRw		$WMB \times DecR / 100$			
分別収集合成樹脂量(乾物)			WRRd		$WPRw \times (100 - 21.0) / 100$			
分別収集合成樹脂中水分量			WRMR		$WRRw - WRRd$			
分別収集合成樹脂中可燃分量			WRCR		$WRRd \times 95 / 100$			
分別後の処理ごみ量			WWS		$WWB - (WPRd + WPMR + WRRw)$			
分別後の水分			MoiS		$\{Wmb - (WPMR + WRMR)\} / WWS \times 100$			
分別後の可燃分			CmbS		$\{WCB - (WPCR + WRCR)\} / WWS \times 100$			
分別後の紙組成(乾物)			PprS		$(WPBd - WPRd) / \{WWS \times (100 - MoiS) / 100\} \times 100$			
分別後の合成樹脂組成(乾物)			ResS		$(WRBd - WRRd) / \{WWS \times (100 - MoiS) / 100\} \times 100$			

表-4 低位発熱量推定結果

人口	推定年度	産業別人口比		推定低位発熱量(kJ/kg)		
		一次	三次	分別なし	分別A	分別B
50,000人	平成10	30%	30%	7,560	7,170(7.3)	6,110(12.3)
		10%	50%	8,550	8,190(8.4)	7,160(13.4)
	平成20	30%	30%	9,000	8,700(8.2)	7,690(13.2)
		10%	50%	10,020	9,770(9.3)	8,810(14.3)
200,000人	平成10	30%	30%	7,740	7,350(7.6)	6,300(12.6)
		10%	50%	8,730	8,360(8.7)	7,360(13.7)
	平成20	30%	30%	9,200	8,890(8.5)	7,890(13.5)
		10%	50%	10,240	10,000(9.6)	9,050(14.6)

注) 分別A: 紙の分別25%、プラスチックの分別0%  
 分別B: 紙の分別25%、プラスチックの分別5%  
 ( )内はごみ総量の減量率

料が得られるかを、クレーン操作室からの目視で判断することは難しく、この段階での誤差は非常に大きいものと考えられる。

次に考えられる誤差要因は、自治体固有の事情である。ごみの焼却処理をめぐって、自治体にはいろいろな事情があり、それが搬入されるごみ質に影響を与える場合が少なくない。たとえば以下のようなものがある。

- 地場産業を保護・育成するため、繊維くずや廃プラスチックなどの産業廃棄物を廃棄物処理法第十条第2項の規定により受け入れる。(いわゆる合わせ産廃処理)
- 周辺住民との申し合わせにより、受け入れに制限を設ける。(合成樹脂類を焼却しない、事業系廃棄物を焼却しないなど)
- 観光地、商・工業地域など産業形態により、ちゅう芥類や紙類等が極端に多くなることもある。
- 自治体が保有する他の処理システム(破碎・選別施設、RDF、コンポスト等)との関係で焼却対象ごみ質が偏る。
- 自家処理分が多く、その方法(焼却かコンポストか)によってごみ質に偏りを生じる。

これらは自治体の個別事情であり、一般化することは困難であるが、どのような事情でどの程度ごみ質が変化しうるか、限界点を求めることができればシミュレーションが可能であり、これについては今後の課題と言える。

#### 4.2 分別収集される紙類や合成樹脂類の水分

今回の調査では、どのような使用形態の紙や合成樹脂であっても水分含有率を一律として計算を行った。しかし、液体や水分の多い食品の容器と

して使用されていたもの(ジュースの紙パックや豆腐のパック、食品トレー等)は、ごみとなる段階である程度の水分が付着しているが、菓子類の包装、新聞や雑誌などの古紙については廃棄段階においてほとんど水分を含んでいないと考えられるため、水分含有量を一律とすることには少々無理がある。水分は、低位発熱量に対して大きく影響するため、分別後の低位発熱量を正確に予測するには、分別によりごみ中の水分がどのように変化するかを的確に推定する必要がある。したがって、分別収集に伴う水分量の変化を予測する手法について、その必要とされる精度を含めて、検討していく必要がある。

## 5. 謝 辞

本研究は、平成12年度業務として財団法人エネルギー総合工学研究所から委託を受けた「我が国の廃棄物の発熱量変化に関する調査」の一環として行ったものである。本研究を行うに当たりご指導をいただき、また、本論文の発表をご快諾いただいた、同研究所の浅見直人専門役、並びに小川紀一郎副主席研究員に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 厚生省生活衛生局環境整備課(2000):日本の廃棄物処理 平成9年度版
- 2) 秋月ほか(1997):第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp32-34
- 3) (財)日本環境衛生センター(2000):Fact Book 廃棄物基本データ集1999