

2004 年度卒業論文

食品廃棄物の循環資源化
～メタン発酵によるバイオガス化事業～

慶應義塾大学経済学部
大沼あゆみ研究会
学籍番号 20109963 小林 弘明

Man is only a reed, the weakest thing in nature; but he is a thinking reed.

Blaise Pascal

目次

序章 はじめに

第1章 日本における廃棄物処理の現状

1-1 廃棄物の種類と排出状況

1-2 食品廃棄物の発生及び処理状況

第2章 食品廃棄物に関わる諸問題

2-1 最終処分場の逼迫

2-2 焼却処分の問題

2-3 処理費用の高騰

第3章 法的背景

3-1 食品廃棄物リサイクル法

3-2 食品廃棄物リサイクル法と関連法の関係

第4章 食品廃棄物のリサイクル

4-1 食品廃棄物リサイクルの方法

4-2 食品資源バイオマス

4-3 メタン発酵によるバイオガス化

第5章 バイオガス事業の経済性

5-1 モデルの設定

5-2 費用便益分析による事業評価

5-3 考察

終章 結論

序章 はじめに

現在、私たち人類は多くの環境問題を抱えている。地球温暖化やオゾン層の破壊など、地球規模での問題も多い。それらの問題の多くは、環境という限りある資源を、あたかも無限であるかのように利用してきた結果である。近年、様々な問題に対して、人々は法的、あるいは経済的措置をとり、改善を図っている。しかしその中で、私たちにとっても身近な問題でありながら、対策が不十分なものがある。それがごみ問題である。私たちの生産・消費活動の副産物として排出される廃棄物に関する問題はローカルな要素の強い問題だが、日本においては深刻な問題になっている。不法投棄など産業廃棄物に関する問題はニュース等でも多く取り上げられ、法律による規制によって、排出者（事業者）に責任を負わせることで、改善の道を辿っている。その一方で私たち消費者の家庭から排出される「ごみ」に関しては、排出主体である市民の問題意識が低いこともあって、未だ多くの問題を抱えているのが現状である。

本論文では、そのような家庭ごみの中でも食品廃棄物を扱う。本論中でも述べるが、食品廃棄物が一般廃棄物に占める割合は高く、その排出量は増加している。また農林水産省による 2000 年度食品ロス統計調査によると、日本における、世帯の食品ロス率¹は全体で 7.7%であり、その内訳は廃棄が 4.8%、食べ残しが 2.9%となっている。一方、外食産業の食品ロス率は全体で 5.1%である²。飽食の果てに、多くの食品を廃棄し、ただごみにしてしまっている現実には真剣に受け止めなければならない。

国民に食生活を変えさせるのは難しい。しかし、廃棄される食品を有効に利用し、無駄にしない方法ならば、近く実現できるような状態にあるのではないだろうか。そのような発想から、本論文は出発する。最後には意義ある結果を示したいと思う。

第1章 日本における廃棄物処理の現状

本論文では食品廃棄物を扱うが、背景となる廃棄物事情全般は、後に示す分析や結論における仮定や論拠として有用となるため、まず初めに取り上げることにする。

1-1 廃棄物の種類と排出状況

(1) 廃棄物の定義

「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（以下「廃棄物処理法」）によると、廃棄物とは、自ら利用したり他人に有償で譲り渡したりすることができないために不要になったものであり、ごみ、粗大ごみ、燃えがら、汚泥、ふん尿などの汚物又は不要物で、固形状又は液状のものを指す。ただし、放射性物質及びこれに汚染されたものはこの法律の対象外となっており、ここからは除かれている。

¹ 世帯の食品ロス率 = $\frac{\text{廃棄重量} + \text{食べ残し重量} + \text{過剰除去重量}}{\text{食品の使用重量}} \times 100$

² 宴会では 15%、結婚披露宴では 23%を超えている。

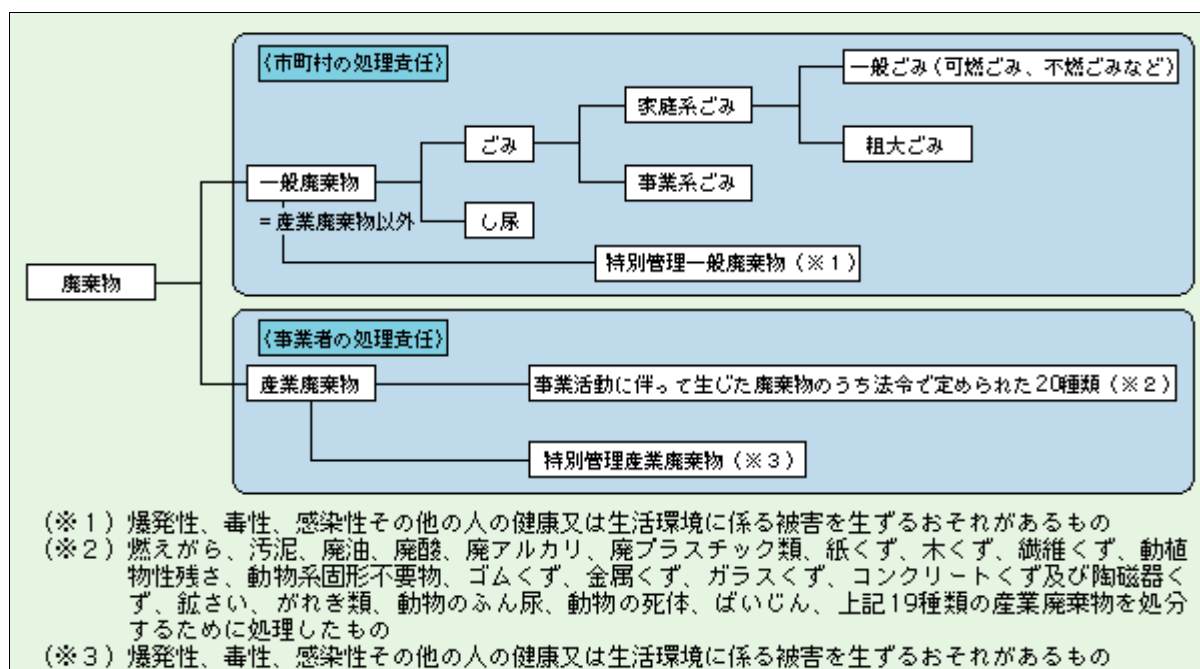
(2) 廃棄物の区分

廃棄物は処理責任の体系から一般廃棄物と産業廃棄物に分類される。

一般廃棄物とは、ごみやし尿等の産業廃棄物以外の廃棄物であり、市町村によって処理されることになっている。ごみには家庭系ごみの他に、オフィスや飲食店から発生する事業系ごみも含んでいる。

産業廃棄物とは、事業活動に伴って生ずる廃棄物であって、燃えがら、汚泥、廃油、廃プラスチック類、鉱さい(スラグ)等の法及び政令で定められた 20 種類の廃棄物であり、事業者の処理責任に基づき処理されることになっている。

また廃棄物のうち爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有するものを特別管理廃棄物（特別管理一般廃棄物又は特別管理産業廃棄物）として指定している。処理に当たっては、特別管理廃棄物の種類に応じた特別な処理基準を設けることなどにより、適正な処理を確保している。また、その処理を委託する場合は、特別な業の許可を有する業者に委託することとなる。例えば、一定の焼却施設から生ずるばいじん、病院等から生ずる感染性廃棄物、廃 PCB、廃石綿、水銀等の重金属を含む汚泥、著しい腐食性を有する廃酸及び廃アルカリ等の有害な産業廃棄物がこれに該当するものである。



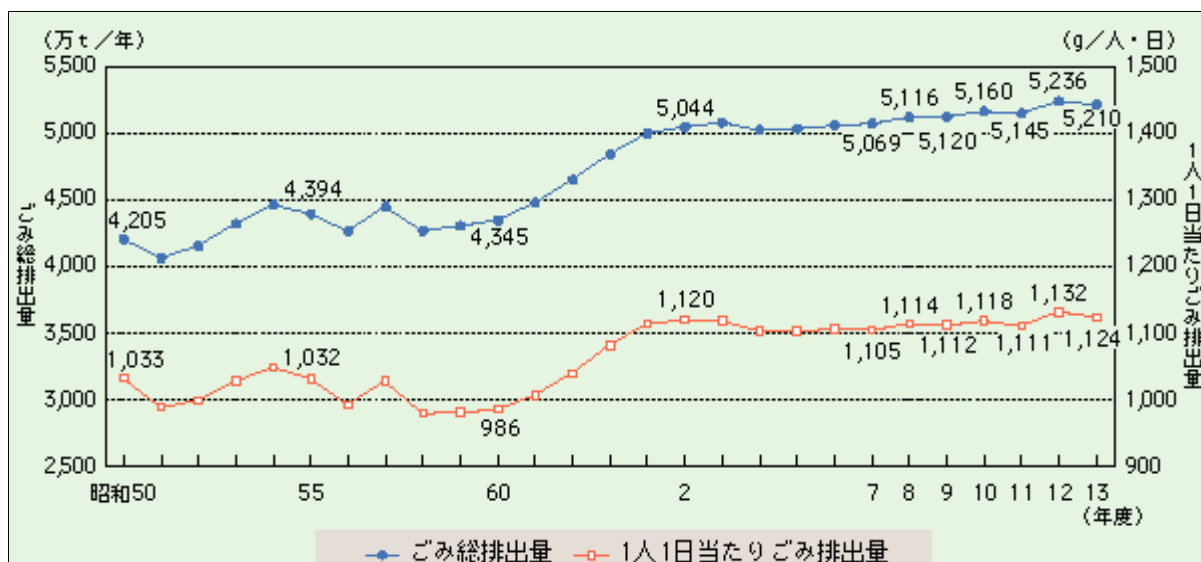
<資料 1.1 廃棄物の区分> 出所：平成 16 年度版「循環型社会白書」

次節で詳しく取り上げるが、本論文で扱う食品廃棄物にも、家庭系ごみに含まれるもの、事業系ごみに含まれるもの、産業廃棄物に含まれるものの3種類があり、それぞれ処理主体が違っている。

(3) 廃棄物の排出状況

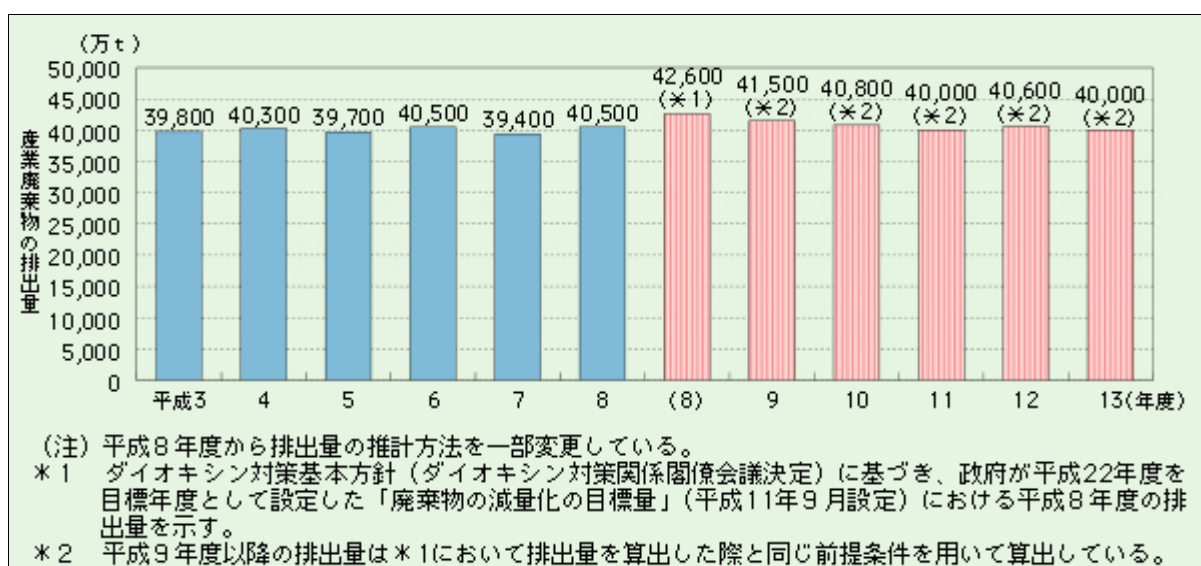
食品廃棄物に絞って見ていく前に、廃棄物全体の排出状況を示す。

し尿を除く一般廃棄物(ごみ)の総排出量及び1人1日当たりの排出量は、第二次石油危機の昭和54年度以降に減少傾向が見られたものの、昭和60年度前後からバブル経済とともに急激に増加し、平成2年度から平成13年度にかけてはほぼ横ばい傾向が続いている。



<資料 1.2 一般廃棄物(ごみ)の排出量の推移> 出所：平成16年度版「循環型社会白書」

また、産業廃棄物の総排出量は平成3年度以降4億t前後で大きな変化はなく、こちらもバブル崩壊後は横ばい傾向が続いていると言える。

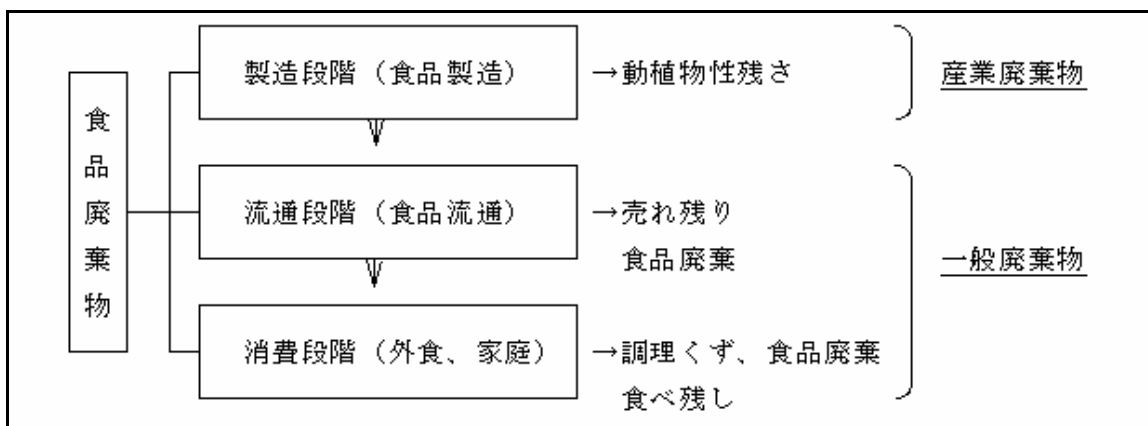


<資料 1.3 産業廃棄物の排出量の推移> 出所：平成16年度版「循環型社会白書」

1-2 食品廃棄物の発生及び処理状況

(1) 食品廃棄物の分類

前節でも述べたように、食品廃棄物には、産業廃棄物に属するものと、一般廃棄物に属するものがある。産業廃棄物としては食品製造業から、一般廃棄物としては事業系は食品流通業及び外食産業から、家庭系は家庭から排出されている。表にまとめると<資料 1.4>のようになる。



<資料 1.4 食品廃棄物の分類> 出所：農林水産省 HP

(2) 食品廃棄物の発生及び処理状況

(上段:平成 8 年、下段:平成 13 年)

	発生量	処分量				
		焼却・埋立量	再生利用量			
			肥料化	飼料化	その他	計
一般廃棄物	1,600	1,595 (99.7%)	5 (0.3%)	-	-	5 (0.3%)
	1,793	1,713 (96%)	-	-	-	80 (4%)
うち家庭系	1,000	997 (99.7%)	3 (0.3%)	-	-	3 (0.3%)
	1,241	1,232 (99%)	-	-	-	9 (1%)
うち事業系	600	598 (99.7%)	2 (0.3%)	-	-	2 (0.3%)
	522	481 (87%)	44 (8%)	17 (3%)	10 (2%)	71 (13%)
産業廃棄物	340	177 (52%)	47 (14%)	104 (31%)	12 (3%)	163 (48%)
	405	219 (54%)	91 (22%)	88 (22%)	7 (2%)	186 (46%)
合計	1,940	1,772 (91%)	-	-	-	168 (9%)
	2,198	1,932 (88%)	-	-	-	266 (12%)

(単位:万t、カッコ内:発生量に占める割合%)

<資料 1.5 食品廃棄物の発生及び処理状況> 農林水産省・環境省資料より作成

食品廃棄物の発生量とその処分量は〈資料 1.5〉に示したとおりである。発生量で見ると、一般廃棄物が全体の約 8 割（平成 8 年、平成 13 年とも 82%）を占めており、その中でも家庭系が多くの割合（平成 8 年：52%，平成 13 年：56%）を占めていることが分かる。

また、平成 8 年と平成 13 年の発生量を比較すると、一般廃棄物の事業系に限り減少は見られるものの、全体では 5 年間でおよそ 13%（一般廃棄物：12%，産業廃棄物：19%）増加していることも注目すべき点である。前節で一般廃棄物、産業廃棄物の総排出量はほぼ横ばいであることを示したことから分かる通り、この数字はかなり大きなものである。

次に処分状況についてだが、平成 8 年から平成 13 年で再生利用量にわずかな伸びが見られるものの、依然として産業廃棄物で 54%、一般廃棄物で 96%、全体では 88%が再生利用されることがなく、焼却埋め立て処分されていることが分かる。

食品廃棄物は、産業廃棄物では総排出量の 1%程度に過ぎないが、一般廃棄物においては総排出量の 34%、実に 3 分の 2 を占めている。その一般廃棄物で、特にリサイクルが進んでいないという現状は特筆すべき点である。よって次章以降では、食品廃棄物の中でも一般廃棄物に注目し、何故リサイクルが進まないのか、効果的なリサイクルの道はあるのかを検討していくこととする。

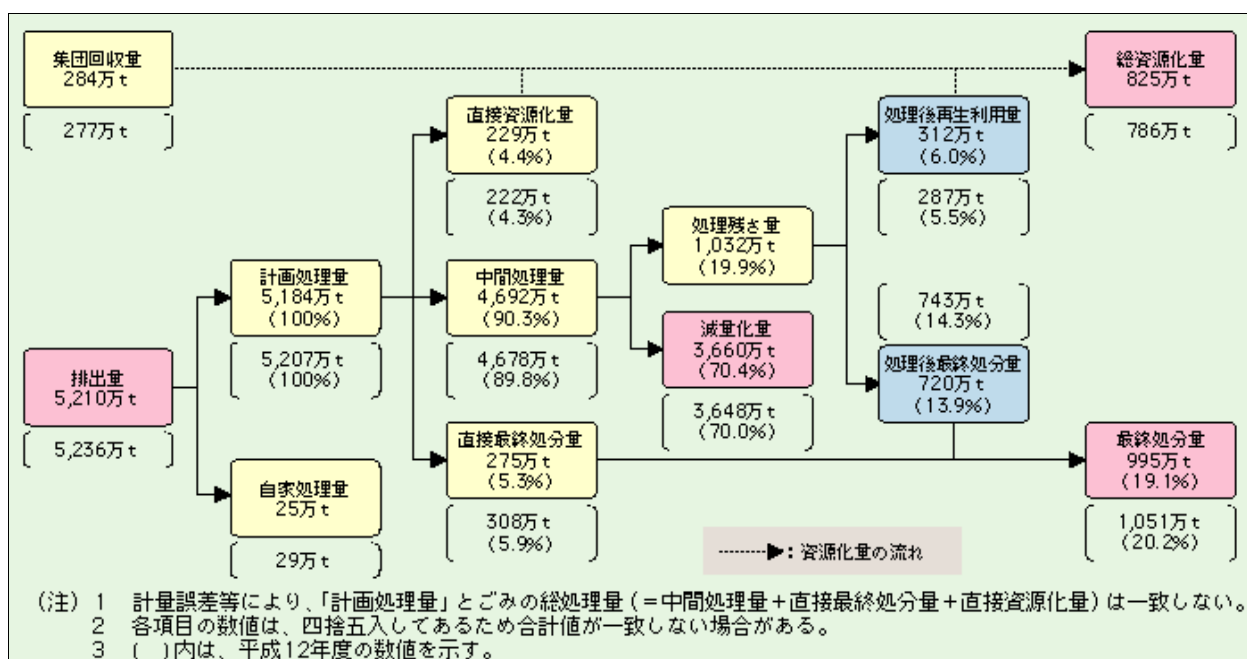
第2章 食品廃棄物に関わる諸問題

この章では、食品廃棄物に関わる諸問題を取り上げ、食品廃棄物処理の現状にどのような問題があるのかを確認する。

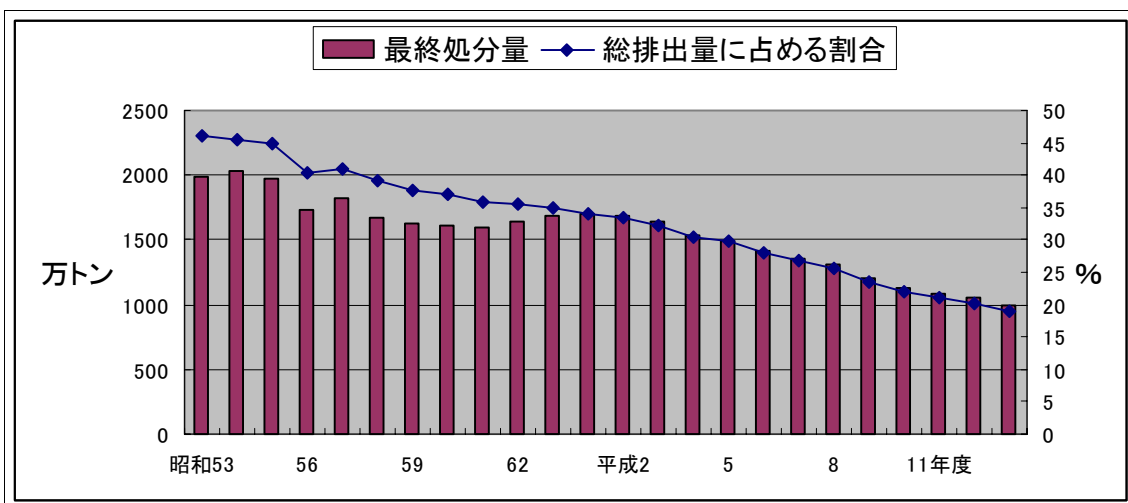
2-1 最終処分場の逼迫

一般廃棄物は<資料 2.1>に示すような流れで処理されている。資料から分かるとおり、ごみは、直接あるいは処理を行って資源化されるもの、焼却などによって減量化されるもの、処理せずに直接埋め立てられるものに大別される。そして、直接埋め立てられる廃棄物、焼却残さ（ばいじんや焼却灰）、焼却以外の中間処理施設の処理残さを合わせたものが最終処分場に埋め立てられる量となっている。

次に埋め立て総量及び一般廃棄物総排出量に占める最終処分量の割合を<資料 2.2>に示す。埋め立て処分量は年々減少しているが、割合としては総排出量の 19.1%と、産業廃棄物の 10%に比べると高い数字を示している。<資料 2.1>に示したとおり、最終処分場に埋め立てられる最終処分量の多くは中間処理を経た焼却灰などの処理残さであり、今後これ以上の最終処分量削減は厳しいものであると予測できる。そしてこの埋め立てを行う最終処分場の逼迫が近年深刻な問題となっているのである。



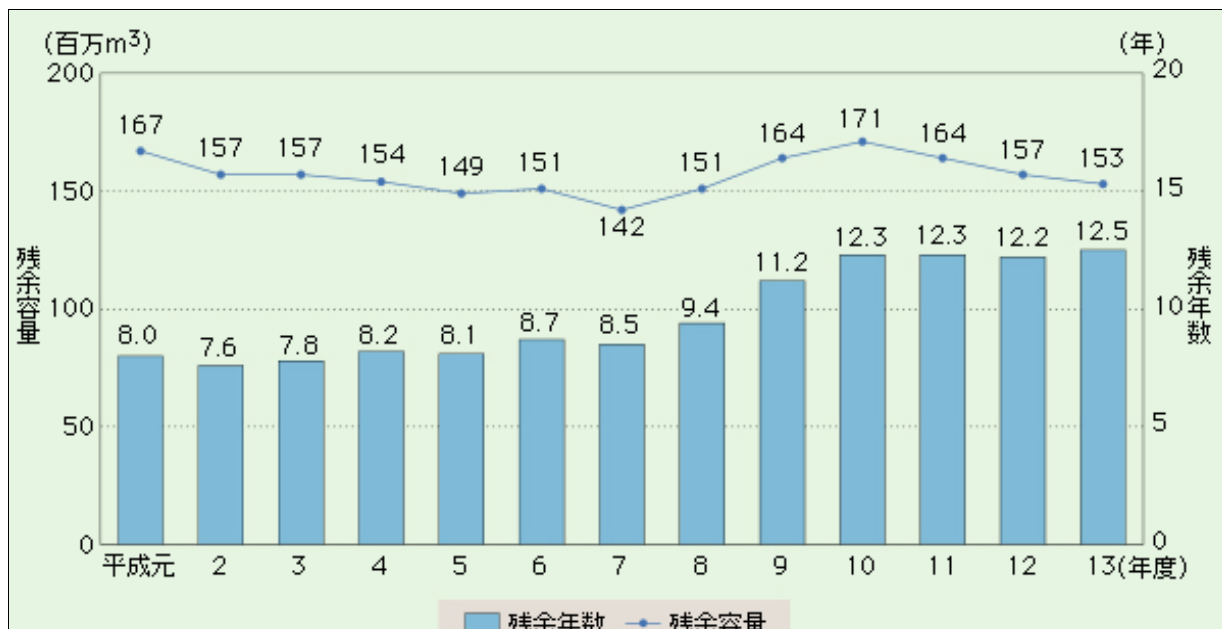
<資料 2.1 一般廃棄物の処理フロー> 出所：平成 16 年度版「循環型社会白書」



＜資料 2.2 一般廃棄物最終処分量＞ 平成 16 年度版「環境統計集」より作成

平成 13 年度末時点で一般廃棄物の最終処分場は全国に 2,059 施設存在している。そして＜資料 2.3＞に示したように、その残余容量は 1 億 5,261 万 m³（前年比 2.9%減）であり、残余年数は全国平均で 12.5 年分になる。

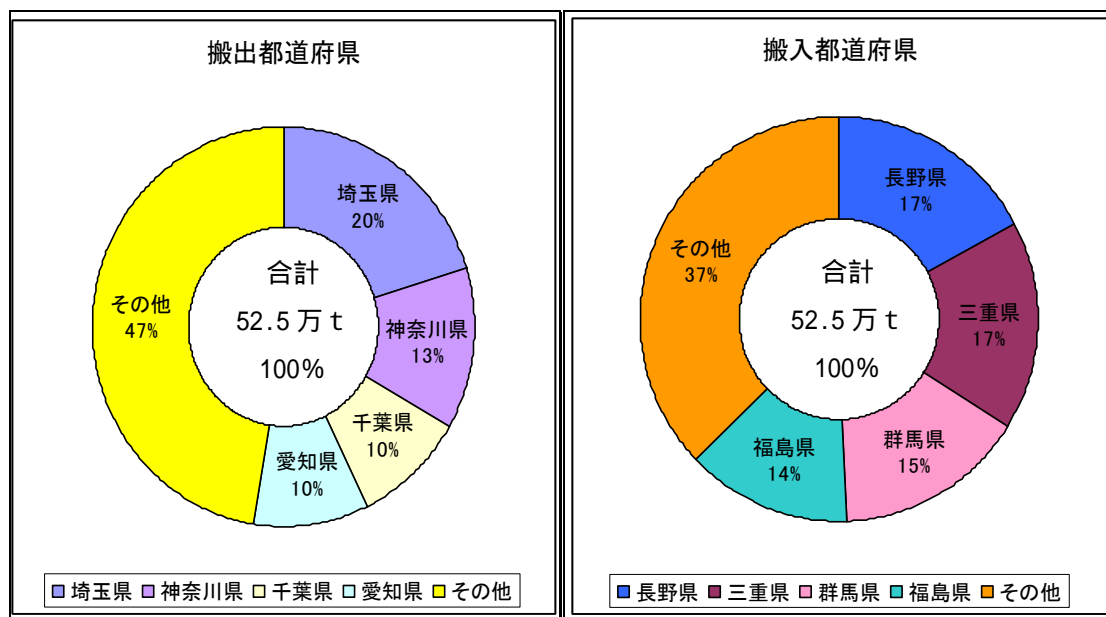
最終処分量の減少によって、最終処分場の残余年数は増えているように見えるが、地域住民の反対などから最終処分場の新規建設は難しいため、残余容量の大幅な増加は見込めない状態である。



＜資料 2.3 一般廃棄物最終処分場の残余容量及び残余年数＞

出所：平成 16 年度版「循環型社会白書」

また、都道府県によっては既に残余容量が 0³に近いところも珍しくない。県内で処分しきれないものは近隣の最終処分場に受け入れてもらっているのだが、＜資料 2.4＞のように他の都道府県への広域移動は平成 13 年度で 52.5 万 t も見られる。最終処分場の設置に都道府県による偏りがあることが分かる。搬出都道府県に名前の挙がっている都道府県は、特に最終処分場が不足しているということであり、都市部において、特に最終処分場の不足が顕著であると言える。



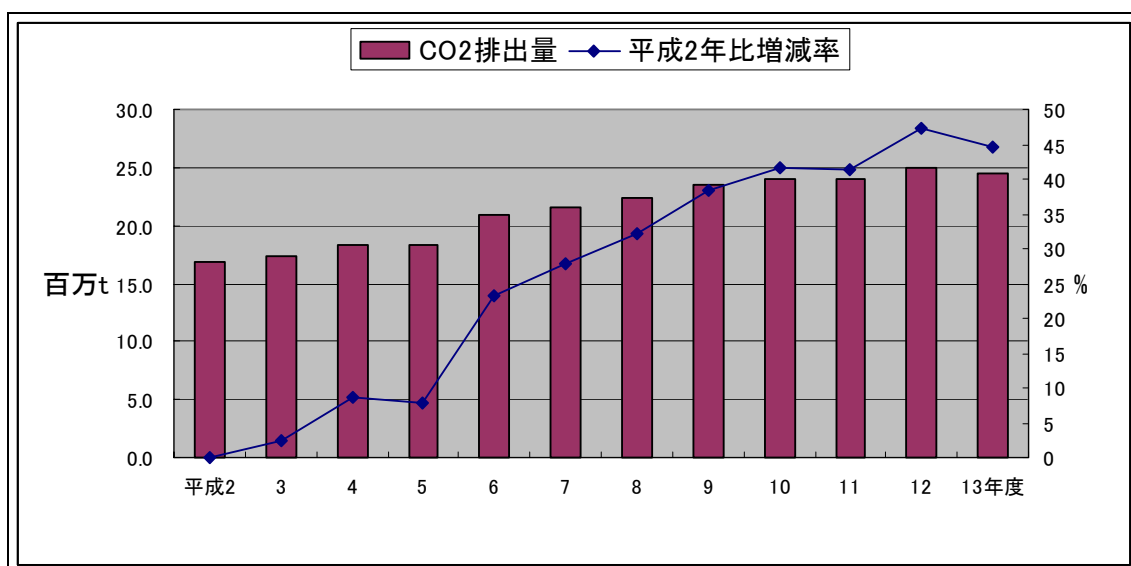
＜資料 2.4 最終処分の広域移動の状況＞ 平成 13 年度版「日本の廃棄物処理」より作成

³ 環境省がまとめる平成 13 年度版「日本の廃棄物処理」＜最終処分場（市町村・事務組合設置分）の整備状況＞によると、山梨県の残余容量は 0、埼玉県は 1,618（単位：千 m³）。

2-2 焼却処分の問題

次章でも述べるが、ダイオキシン問題を背景に1997年12月1日からダイオキシン類法が施行された。焼却処分とはダイオキシンを初め、NO_xやSO_x⁴、SPM⁵など多くの有害物質を大気中に放出させることに他ならない。

また、生ごみ類は特徴として水分を多く含んでいるので、その焼却処理には多量の補助燃料を必要とする⁶。補助燃料の投入は地球温暖化の原因となるCO₂の発生量を増やすこととなる。地球温暖化は環境問題の中でも地球規模であり、その被害が甚大になりかねないことから、近年特に問題視されている。発効も近い京都議定書など対策が進む中で、CO₂に代表される温室効果ガスの削減に日本でも力を入れている。しかし、そのような状況にありながら、〈資料2.5〉のように、廃棄物処理に起因する温室効果ガスの量は増加の一途を辿っている。それには補助燃料の大量投入が少なからず影響していると考えられる。



〈資料2.5 廃棄物処理起因の二酸化炭素排出量推移〉

平成16年版「環境統計集」及び平成13年度版「日本の廃棄物処理」より作成

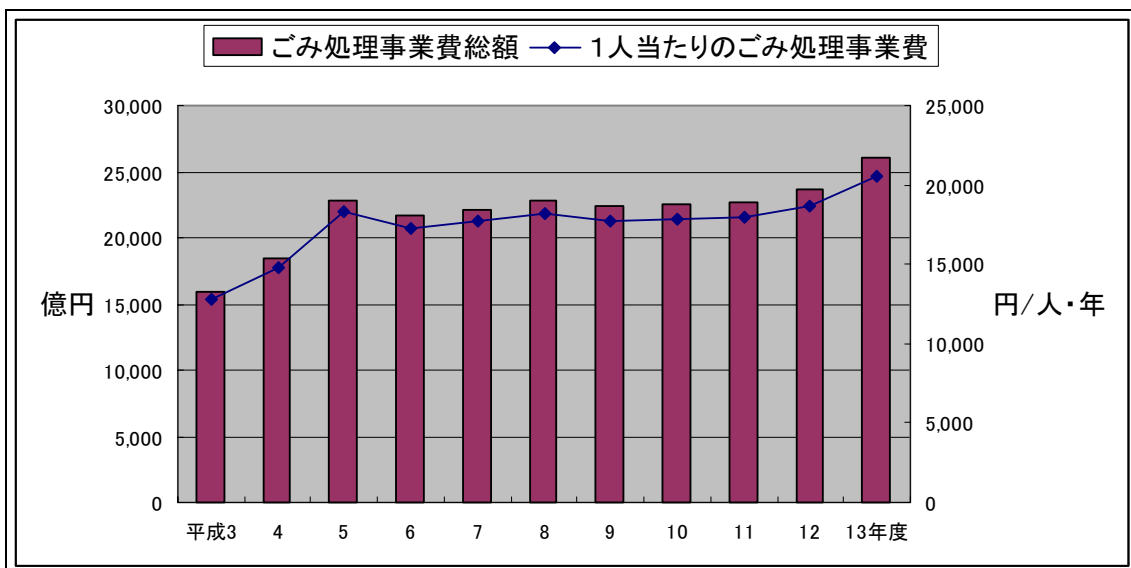
⁴ 窒素酸化物及び硫黄酸化物。燃焼の工程で生じ、酸性雨の原因として知られている。

⁵ Suspended Particulate Matter の略で浮遊粒子状物質を意味する。粒径10 μ m以下の微細な物質の総称であり、特定の化学物質ではない。肺炎などの原因になる。

⁶ 次章でも説明するが、燃焼温度が低温になると、ダイオキシンを生成してしまうため、焼却処分場では焼却温度を高温に保たなければならない。

2-3 処理費用の高騰

前節、前々節に述べた問題から派生する問題として、処理費用の高騰がある。最終処分場の枯渇によって、埋め立て費用は増加し⁷、近隣の都道府県で埋め立てをする場合は、そのための運搬距離が伸び、運搬費用も増加する。さらに、焼却施設に対する規制が強化されたことによる対策費もかかることになる。平成13年度ごみ処理事業の歳出のおよそ37%が処理施設の建設改良費である。以上より推測できるように、一般廃棄物の処理費用は近年上昇の一途を辿っている。〈資料2.6〉に示したとおり、平成3年から平成13年の10年間で、約4割も費用は上昇しているのである。一般廃棄物の処理責任は市町村にあるため、この問題が財政を悪化させることになり、経済成長の妨げになるなど、市民にもその影響は及ぶことになる。



〈資料2.6 ごみ処理事業費の推移〉

平成16年版「環境省統計集」及び平成13年度版「日本の廃棄物処理」より作成

⁷ この考えは、最終処分場は一種の枯渇性資源と捉えられることに起因する。枯渇性資源の価格は利率に等しい割合で上昇していくと言われている。(ホテリング・ルール)

第3章 法的背景

家電リサイクル法や自動車リサイクル法など、法の強制力によって、リサイクルが進んでいる品目も多い中、食品廃棄物のリサイクルは未だ進んでいない。本章では、食品廃棄物に関わる法律の果たす役割や問題点について検討していく。

3-1 食品廃棄物リサイクル法

「食品循環資源の再生利用の促進に関する法」の略称であり、2001年4月25日に公布され、同5月1日から施行されたものである。以下に概要を示す。

(1) 趣旨

食品の売れ残りや食べ残しにより、又は食品の製造過程において大量に発生している食品廃棄物について、発生抑制と減量化により最終的に処分される量を減少させるとともに、飼料や肥料等の原材料として再生利用するため、食品関連事業者（製造、流通、外食等）による食品循環資源の再生利用等を促進する。

(2) 法律の概要

(2)-1 基本方針の策定等

① 主務大臣は、食品循環資源の再生利用等を総合的かつ計画的に推進するため、基本方針を定める。基本方針では、再生利用等を実施すべき量に関する目標を、平成18年度までに20%と定めている。

※ 食品循環資源：食品廃棄物であって、飼料・肥料等の原材料となるなど有用なもの
再生利用：食品循環資源を飼料・肥料・油脂及び油脂製品・メタンとして使用し、又は利用する者に譲渡すること
再生利用等：再生利用、発生抑制、減量（乾燥・脱水・発酵・炭化）

② 国は、食品循環資源の再生利用等を促進するために必要な資金の確保、情報の収集、整理及び活用、広報活動等に努めるものとする。

(2)-2 食品関連業者による再生利用等の実施

① 食品関連事業者は、主務大臣が定める判断の基準となるべき事項に従い、再生利用等に取り組むものとする。判断の基準となるべき事項では再生利用等の実施の原則、発生抑制の方法、特定肥飼料等の製造基準等について定める。

② 主務大臣は、食品関連事業者に対し、必要があると認めるときは、指導、助言を行うことができる。

③ 主務大臣は、再生利用等が基準に照らして著しく不十分であると認めるときは、食品関連事業者（年間の食品廃棄物等の発生量が100t以上のもの）に対し、勧告、公表及び命令を行うことができるものとする。

(2) - 3 再生利用を実施するための措置

- ① 食品循環資源の肥飼料化等を行う事業者についての登録制度を設け、委託による再生利用を促進。この場合、廃棄物処理法の特例等（運搬先の許可不要、料金の上限規制をやめ事前の届出制を採用、差別的取扱の禁止）及び肥料取締法・飼料安全法の特例（製造・販売の届出不要）を講ずる。
- ② 食品関連事業者が、農林漁業者等の利用者や肥飼料化等を行う者と共同して再生利用事業計画を作成、認定を受ける仕組みを設け、三者一体となった再生利用を促進。この場合、廃棄物処理法の特例等及び肥料取締法・飼料安全法の特例を講ずる。

<資料 3.1 食品廃棄物リサイクル法の概要> 農林水産省資料より作成

法対象の業種は食品製造・加工業、食品卸売業、食品小売業、飲食店業、沿海旅客海運業、内陸水運業、結婚式場業、旅館業になる。また、資料からも分かるとおり、この法律は現在未利用の食品廃棄物中の事業系及び産業廃棄物系のものを再生利用しようとするものであり、対象はあくまで食品関連事業者であって、家庭にまでは及んでいない。このことはたいへん重要である。前章で示したように、食品廃棄物の総発生量の5割強を占め、かつ増加傾向にある家庭系を対象外にしていることが、この法律の欠点になっている。

3-2 食品廃棄物リサイクル法と関連法の関係

前節で見たように、家庭系を対象外としていることから、食品廃棄物リサイクル法に食品廃棄物リサイクル促進の大きな効果は期待できない。したがって、これを補う法律が必要となる。食品廃棄物リサイクル事業の形成に効果を発揮し得る法律を以下に紹介する。

(1) 廃棄物処理法

第1章でも示したが、正式名称は「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」であり、昭和45年に他の公害関係立法とともに成立してから、改正を重ね現在に至っている。

廃棄物の排出抑制、廃棄物の適正な処理（運搬、処分、再生等）、生活環境の清潔保持により、生活環境の保全と公衆衛生の向上を図ることを目的とし、一般廃棄物、産業廃棄物に関わらず、廃棄物全般の処理制度等を規定している。具体的には、原則として、一般廃棄物及び産業廃棄物の区分に応じて、それぞれ処理責任の主体を明確に規定するとともに、廃棄物の適正処理を確保するため、その処理に当たっての基準や処理を委託する際の基準等が定められている。廃棄物の処理を業として行うことのできる者についても、一定の資格要件を規定するとともに、廃棄物処理施設についても、構造上の基準や施設を維持管理するための基準等が設けられている。

また本法では、廃棄物の処理に関して、国民、事業者、市町村、都道府県、国の各主体の責務が規定されている。その中で、国民に関する規定は以下のとおりである。

「国民は、廃棄物の排出を抑制し、再生品の使用等により廃棄物の再生利用を図り、廃棄物を分別して排出し、その生じた廃棄物をなるべく自ら処分すること等により、廃棄物の減量その他その適正な処理に関し国及び地方公共団体の施策に協力しなければならない。」このことは食品廃棄物の分別回収にも効果を果たすと思われる。

食品廃棄物リサイクルに関して、本法に期待される役割は、食品廃棄物リサイクル法の対象外となる一般廃棄物（家庭系）についての規定により、同法の欠点をカバーすることと、食品廃棄物の分別回収を促進することで、後の再生利用に関する事業において分別コストがかからないようにすることである⁸。

(2) 容器包装リサイクル法

正式名称は「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」であり、平成9年4月1日から施行された。容器包装廃棄物の分別収集及びこれにより得られた分別基準適合物の再商品化を促進するための措置を講ずること等により、一般廃棄物の減量および再生資源の十分な利用等を通じて、廃棄物の適正な処理及び資源の有効な利用の確保を図り、もって生活環境の保全及び国民経済の健全な発展に寄与することを目的とする。

⁸ 生ごみなどに紙片、プラ片、ガラス片、金属片などの異物が混入すると、製造される「堆肥」や「飼料」の品質が低下してしまい、使用できずに廃棄することになる場合がある。また機械の故障につながる恐れもある。

平成9年4月の段階では、ガラスびん、PETボトル、金属缶（アルミ、スチール）、牛乳パックのみがリサイクルの対象であったが、平成12年4月からは、段ボールその他のプラ容器、紙容器なども法対象となった。金属缶、牛乳パック以外のものは市町村が分別収集し、市町村の委託によって、「財団法人日本容器包装リサイクル協会」が再商品化することになっている⁹。

平成13年度の収集状況は、ガラスびんは約88%、PETボトルは84%、プラ容器は50%、紙容器は30%の市町村¹⁰で分別収集されている。プラ容器、紙容器の分別収集はまだ進んでいないことが分かる。今後これらの容器の分別収集を進めば、食品廃棄物の収集に際して異物が混入する可能性が低くなると期待できる。

（3）ダイオキシン類法

正式名称は「ダイオキシン類対策特別措置法」であり、平成12年1月1日から施行された。ダイオキシン類¹¹による環境の汚染の防止及びその除去等をするため、ダイオキシン類に関する施策の基本とすべき基準を定めるとともに、必要な規制、汚染土壤に係る措置等を定めることにより、国民の健康の保護を図ることを目的とする。

具体的には、この法律の施行により、環境省は大気汚染防止法、および水質汚濁防止法にダイオキシンの規制値を定め、基準を守れない施設等の使用を禁止した。日本におけるダイオキシンの最大の発生源が廃棄物の焼却処理¹²であり、本法は50kg/時以上の焼却能力を持つ焼却炉に対し、厳しい排ガス基準値を適用し、年1回のダイオキシン類の測定も義務化した。さらに厚生労働省は、ダイオキシン類の発生抑制上、バッチ炉などの小型炉を廃止し、100トン/日以上のごみ焼却が可能で、24時間連続稼働のできる大型全連炉への集約を求めている。

小型炉の廃止は日本全体で見た焼却能力の低下を意味し、ごみの焼却処分量減少のために食品廃棄物リサイクルの追い風となるに違いない。また焼却処理施設の大型化、集約化によって、廃棄物も必然的に各焼却施設に集積されることとなる。そのことが、広く浅く発生する食品廃棄物を収集する上でも効果を発揮するはずである。

（4）家畜排せつ物の管理の適正化に関する法律

正式名称は「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」であり、平成11年11月1日から施行された。

本法は畜産排せつ物のふん尿の管理強化を目的とし、一切の「野積み」、「素掘り処理」を禁止して、リサイクルを求めたものである。

⁹ 市町村が独自のルートで処理することもできる。

¹⁰ 全国3,230の市町村のうち、分別収集を行っている市町村の割合。

¹¹ 急性毒性、慢性毒性、発がん性、生殖機能への影響などが指摘されており、非常に毒性が強い。

¹² 参考として生成のプロセスを本章最後に示す。

畜産廃棄物も食品廃棄物と同様にリサイクルが可能であり、食品廃棄物の収集量が少ない場合は、重要な原料として利用が可能である。安定した供給も約束されることから、食品廃棄物と共に投入することで、規模の大きなリサイクル事業を可能にすると考えられる。

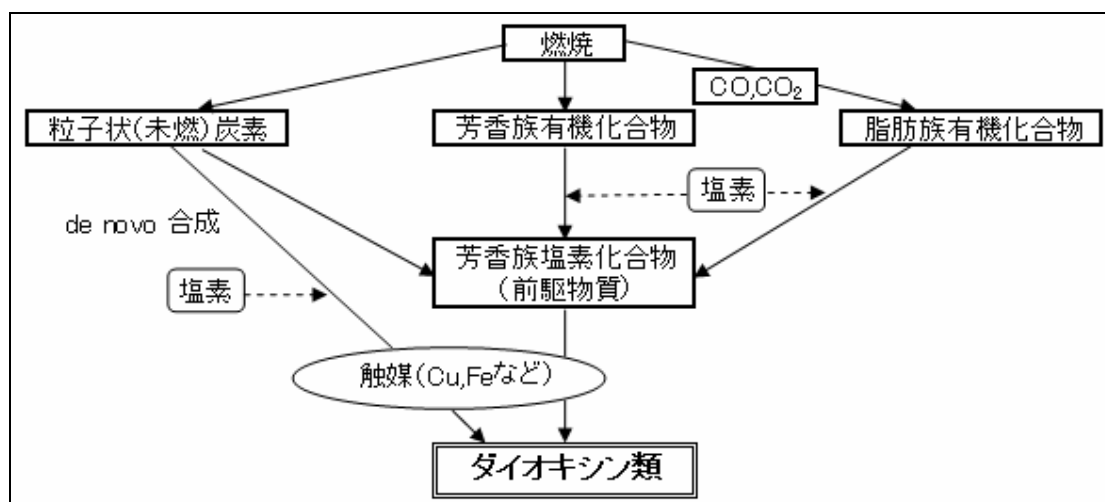
(5) 新エネルギー特別措置法（RPS法）

正式名称は「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」であり、平成15年4月1日¹³から施行された。本法は電力の小売を行う事業者（一般電気事業者、特定電気事業者、特定規模電気事業者）に対し、その販売する電力量に応じて、新エネルギー等電気（新エネルギー等により発電された電気）を一定割合利用することを義務付けるものである。義務付けられた割合の利用を達成できない事業者は、他の発電事業者から新エネルギー等電気を購入する、あるいは「新エネルギー等電気相当量」を購入することで義務を履行することができる。

本法の対象となり得るエネルギー源は、風力、太陽光、地熱（熱水を著しく減少させないもの）、中小水力（水路式で1000kW以下）、バイオマスの5種類であり、経済産業大臣の認定を受ける必要がある。次章で取り上げる食品廃棄物のメタン発酵によるバイオガス化で得られたメタンガスによって発電された電力はこの対象に含まれる。

本法がより強化されれば、新エネルギーによって発電された電力の「価値」はより一層高まる。したがって、バイオガス化事業の収入面にプラスの効果を与えることが期待できるのである。

参考：ごみ焼却におけるダイオキシン類の生成機構 出所：「新版 ごみ読本」



¹³ 一部については、平成14年12月6日より先行施行されており、新エネルギー等発電設備の認定を受けることが可能となっている。

第4章 食品廃棄物のリサイクル

本章では、現在行われている主な食品廃棄物のリサイクル方法を紹介するとともに、焼却埋め立て処理に変わる処理方法として、何が望ましいのかを見ていく。

4-1 食品廃棄物のリサイクル方法

(1) 肥料化处理

現在の食品廃棄物リサイクル方法の主流となっている方法であり、生ごみ類を発酵菌などを用いて、自然または機械的方法で分解し、堆肥にするというものである。現在、多くの自治体でごみの減量化方法として、住民の簡易コンポスターや電動式コンポスターの購入に際して助成金制度を採用し、補助金を出している。

一般的に生ごみの堆肥化は優れたリサイクルだと言われているが、生産されるコンポストの量が増えると、その需要面の問題が出てくる。また、需要があったとしても、生ごみの大量に発生する場所と、堆肥の需要がある農村とが距離的に離れていることが多いため、輸送コストの問題もある。さらに、良質コンポストの製造には原料とする生ごみの厳選が必要であり、徹底した分別が要求される。このことも導入の枷となっている。

(2) 飼料化处理

生ごみ類を家畜に与える飼料としてリサイクルする方法がこれである。

日本の飼養家畜数は、平成13年2月1日現在で乳用牛が1,726千頭、肉用牛が2,804千頭、豚が9,785千頭、鶏類が292百万羽である。このように膨大な家畜類が国内で飼育されているため、必然的に多量の飼料が必要になっている。

生ごみを飼料にするには、まず脱水・乾燥させ、その後に粉碎し、他の飼料と配合する必要がある。脱水・乾燥方法には発酵・乾燥方法と蒸煮・乾燥方法があり、前者は堆肥の場合、発酵促進剤（微生物）を添加し、発酵熱で脱水・乾燥させて粉末化するものである。そして後者は動物系飼料製造に用いられるもので、専用の蒸煮装置（クッカー）を使用して、固形分（ミール）を乾燥粉末にし、その際発生する液状分から抽出された油脂類はボイラー燃料他飼料に供される。

生ごみ類の飼料化で最も重要なことは、腐敗などの変質を受けない状態で収集・運搬することである。また、飼料化の過程では悪臭や汚水処理が重要になる。さらに、生ごみの場合、「塩分濃度」や「脂質分」の高いことが知られており、飼料を与える対象畜産物によっては、それらの調整も必要となる。飼料需要は非常に大きなものであるが、現在その90%は輸入品で構成されており、食品廃棄物の飼料化でも、すでに醸造業で生じる「酵母粕」などは100%飼料に利用されている。これだけ成熟している飼料需要市場に、品質的に不安定な生ごみからの飼料が参入する余地があるかどうか、最大の問題となっている。

(3) 炭化処理

炭化処理とは、有機系廃棄物を酸欠状態で 500℃前後で加熱分解し、発生する CO ガスなどを加熱エネルギーとして利用して、生ごみを炭化するもので、減量効果が非常に大きなものである。この炭化方式をさらに進めたものが、現在都市ごみ焼却炉に「熱分解ガス化方式」として実用化されている。この熱分解ガス化方式は、炭化処理の前段階のみを適用したもので、熱分解には外部熱が必要であるが、分解された CO ガスをこの熱源に使用する装置も開発されている。

問題としては、水分の多い生ごみなどでは、ある程度の脱水・乾燥処理が必要で、悪臭対策も強く求められることが挙げられる。また、生ごみの炭化処理の場合、製造された炭化物の品質が不安定で、その有効利用法が確立していないということも欠点となっている。

(4) 廃油脂、廃食用油リサイクル

廃食用油等を精製することで再生利用する方法である。精製された製品は良質で安価な軽油代替品としてディーゼル車に利用されるなどしている。

「全国油脂事業協同組合連合会」によると、全国で消費される食用油は年間約 240 トンで、うち約 45 万トンが廃油となり、その内訳は外食店系約 25 万トン、家庭系約 20 万トンとなっている。外食店系など事業系の廃油の回収、再生利用は進んでいるが、家庭用は、家庭ごとの発生量が少ないことや、液体という特性から回収は困難であると考えられる。

(5) バイオガス化

バイオガス化とは、生ごみ類を嫌気性状態で発酵させ、嫌気性バクテリアの作用でバイオガス（メタンガスと CO₂）を発生させて、生じるメタンガスを熱源として発電や暖房などに利用しようというものである。次節でも述べるが、この技術は「新エネルギー特別措置法」でも取り上げられている。

メタンガスを発生させる方法には、有機物の発酵・分解を 37℃前後で起こす「中温発酵法」と 51℃前後を適温とする「高温発酵法」がある。また、有機物の分解過程は、酸生成菌の作用で廃棄物・汚水・汚泥中の有機物類を有機酸・アルコール・アルデヒドなどに分解する「液化過程」と、それからメタン生成菌でメタン・CO₂に分解する「ガス化過程」の 2つからなっている。

この方法の問題点は、汚水処理の問題や、技術が未発達ゆえに効率が悪いこと、設備にかかる費用が高いことなどであるが、悪臭や再生製品の需要面の問題はなく、近年ヨーロッパを中心に普及してきた、発酵効率が良く、メタンガスの発生量も多い「高温発酵法」に注目が集まり、日本でも厚生労働省や農林水産省が積極的にこの技術を取り込む計画¹⁴を打ち出している。

¹⁴ 厚生労働省の「ゼロエミッション構想」に基づく「エコ・タウン計画」「汚泥再生処理センター構想」、農林水産省の「ゼロエミッション計画」など

4-2 食品資源バイオマス

ここからは、前節で紹介した 5 つのリサイクル法の中で、最も未発達でありながら、一番の可能性を秘めていると思われる、バイオガス化に絞って、その仕組みや現在の導入状況、導入に際した問題などを取り上げていく。

(1) バイオマスとは

バイオマスとは、生物資源 (bio) の量 (mass) を表す概念で、「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」を意味する。バイオマスは、地球に降り注ぐ太陽のエネルギーを使って、無機物である水と二酸化炭素 (CO₂) から生物が光合成によって生成した有機物であり、私たちのライフサイクルの中で、生命と太陽エネルギーがある限り持続的に再生可能な資源である。前章で出てきたように「新エネルギー特別措置法」の中で、新エネルギーの一つに数えられている。

19 世紀までは薪炭としてエネルギーの主流であったものの、20 世紀には石炭、石油によって変わられたバイオマスが、現在になってエネルギー・環境問題軽減に貢献できると見直されるようになった理由はバイオマスの有する以下の特性によるものである。

まず、先に述べたようにバイオマスは再生可能なエネルギーである。太陽と水と大気によって再生されるため、再生量を超えて利用しなければ、持続可能なエネルギーとなる。賦存量も莫大であり、森林樹木の年間成長量だけで、世界の一次エネルギーの 7~8 倍に相当すると言われている。

また、バイオマスは有機性資源であるので、原料として、あるいは生産物である液体・気体燃料として貯蔵が可能である。液体・気体燃料は石炭、石油を動力源とする既存のシステムに投入可能である。

さらに、バイオマスを燃焼すること等により放出される CO₂ は、生物の成長過程で光合成により大気中から吸収した CO₂ であることから、バイオマスは私たちのライフサイクルの中では大気中の CO₂ を増加させることはない。この特性は「カーボンニュートラル」と呼ばれている。このため、化石資源由来のエネルギーや製品をバイオマスで代替することにより、地球温暖化を引き起こす温室効果ガスのひとつである CO₂ の排出削減に大きく貢献することができるのである。

(2) バイオマスの分類

バイオマスの分類方法には、生物学的観点からの分類と利用・用途による分類がある。ここでは、後者の中の発生源による分類を取り上げる。農林水産省によると廃棄物系バイオマス・未利用バイオマス・資源作物の 3 種類に大きく分けることができる。その中でも <資料 4.1> のように更に細かく分けられている。本論文で扱う食品資源は廃棄物系バイオマスに属しており、経済プロセスの副産物として得られるため、安価に、場合によっては逆有償で入手できることになる。



<資料 4.1 バイオマスの分類>

農林水産省「バイオマス・ニッポン」パンフレットより作成

(3) バイオマス利用の現状

近年、日本でも注目を集めているバイオマスだが、その利用に関しては、未だ十分とは言えないものがある。<資料 4.2>のようにバイオマス利用の先進国とも言える EU では日本の約 10 倍、米国では日本の約 16 倍のバイオマスが利用されている。中でもデンマークやスウェーデンでは特に利用が進んでおり、利用率は実に 15%を超えているのに対し、日本の利用率は平成 11 年現在で 0.8%と 1%にも満たない。

エネルギー種	1999 年度実績	2010 年	
	(石油換算万kℓ)	現行対策維持ケース (石油換算万kℓ)	目標ケース (石油換算万kℓ)
バイオマス発電	5.4	13	34(約 6 倍)
バイオマス熱利用	-	-	67(-)
黒液・廃材等	457	479	494(約 1.1 倍)
バイオマス計	462(0.8%)	493(0.8%)	595(1.0%)
【参考】 米国(バイオマス計)	7400(68.6Mtoe)	2010 年導入目標 22,200(205.8Mtoe) (大統領令 13134 号 1998.8 より)	
【参考】 EU(バイオマス計)	4,800(44.8Mtoe)	2010 年導入目標 14,500(135.0Mtoe) (欧州委員会「再生可能エネルギーに関する白書」1997.11 より)	

* Mtoe:百万石油換算トン

<資料 4.2 わが国のバイオエネルギー導入目標> 出所: NEDO 資料

次に、日本でのバイオマスの利用状況を種類ごとに示したものが<資料 4.3>である。第 2 章でも見たとおり、食品廃棄物の発生量は約 2,200 万トンにも上りながら、その利用状況は、わずか 10%弱が肥料や飼料として利用されているに過ぎず、他のバイオマスに比べ利用が進んでいないことがわかる。

対象バイオマス	年間発生量	バイオマスの利活用の状況
家畜排せつ物 	約9,100万トン	たい肥等での利用 約80% 未利用 約20%
食品廃棄物 	約2,200万トン	┌ 肥飼料利用 10%未満 焼却・埋却処理 90%以上
廃棄紙 	約1,400万トン	古紙として回収されず、その大半が焼却
パルプ廃液(乾燥重量) 	約1,400万トン	ほとんどがエネルギー利用(主に直接燃料)
製材工場等残材 	約 610万トン	エネルギー・たい肥利用 約90% 未利用 約10%
建設発生木材 	約 480万トン	┌ 製紙原料、ボード原料、家畜敷料等への利用 約40% 未利用 約60%
林地残材 	約 390万トン	ほとんど未利用
下水汚泥(濃縮汚泥ベース) 	約7,600万トン	建築資材・たい肥利用 約60% 埋め立て 約40%
農作物非食用部 (稲わら、もみから等) 	約1,300万トン	┌ たい肥、飼料、畜舎敷料等への利用 約30% 未利用 約70%

<資料 4.3 主なバイオマスの賦存量と利用状況>

出所：農林水産省「バイオマス・ニッポン」パンフレット

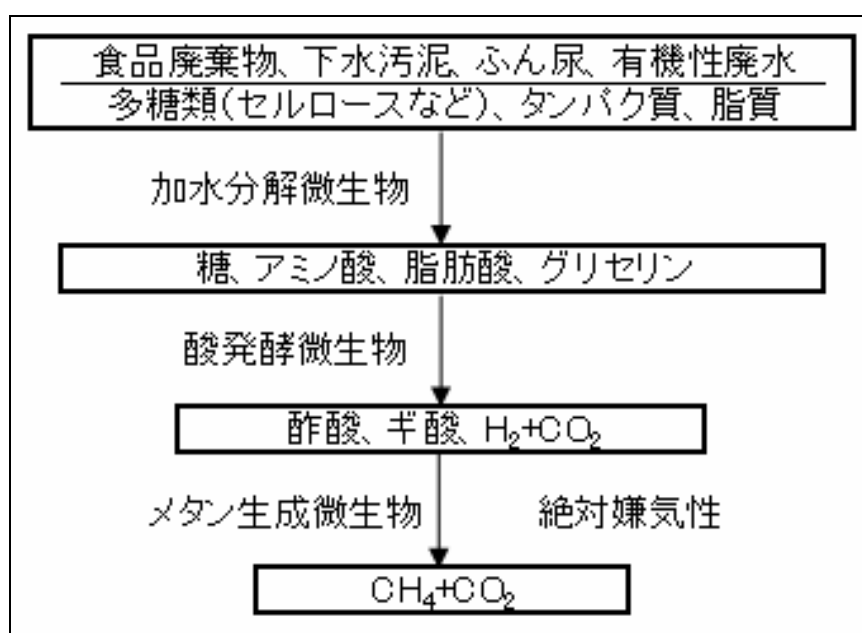
利用が進まない理由としては、広く浅く分布しているうえに、時間が経つと腐敗を始めるため、収集が困難なことや、再生利用のシステムが構築されていないことが挙げられる。しかし、収集面の問題は前章で扱った法律によって解決の可能性があり、今回取り上げているバイオガス化のように、技術は十分に実用的なレベルに達しているため、システムの構築も可能であると考えられる。

4-3 メタン発酵によるバイオガス化

ここからはメタン発酵によるバイオマス化の具体的な手法、及び導入例を見ていく。

(1) メタン発酵の原理

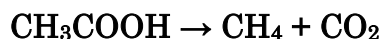
前節でも軽く触れたが、有機物と多種多様な嫌気性微生物が共存し、嫌気性¹⁵、温度が5～70℃¹⁶、pHが中性付近などの条件が満たされると、自然に有機物の分解が進み、最終的にメタンとCO₂が生成する反応をメタン発酵と言う。そのプロセスを分かりやすく示したものが<資料 4.4>である。



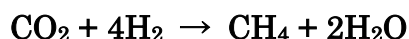
<資料 4.4 メタン発酵プロセスの概要> 出所：「バイオマスハンドブック」

メタン発酵の最終段階では、酸発酵で生成した酢酸や水素を原料として、メタン生成微生物によりメタンとCO₂が生成する。通常メタン発酵では、生成するメタンの70%程度は酢酸から生成し、残りの大部分はCO₂が水素によって還元され生成すると考えられている。それぞれのメタン生成は以下の式で表される。

[酢酸からのメタン発酵]



[CO₂と水素からのメタン発酵]

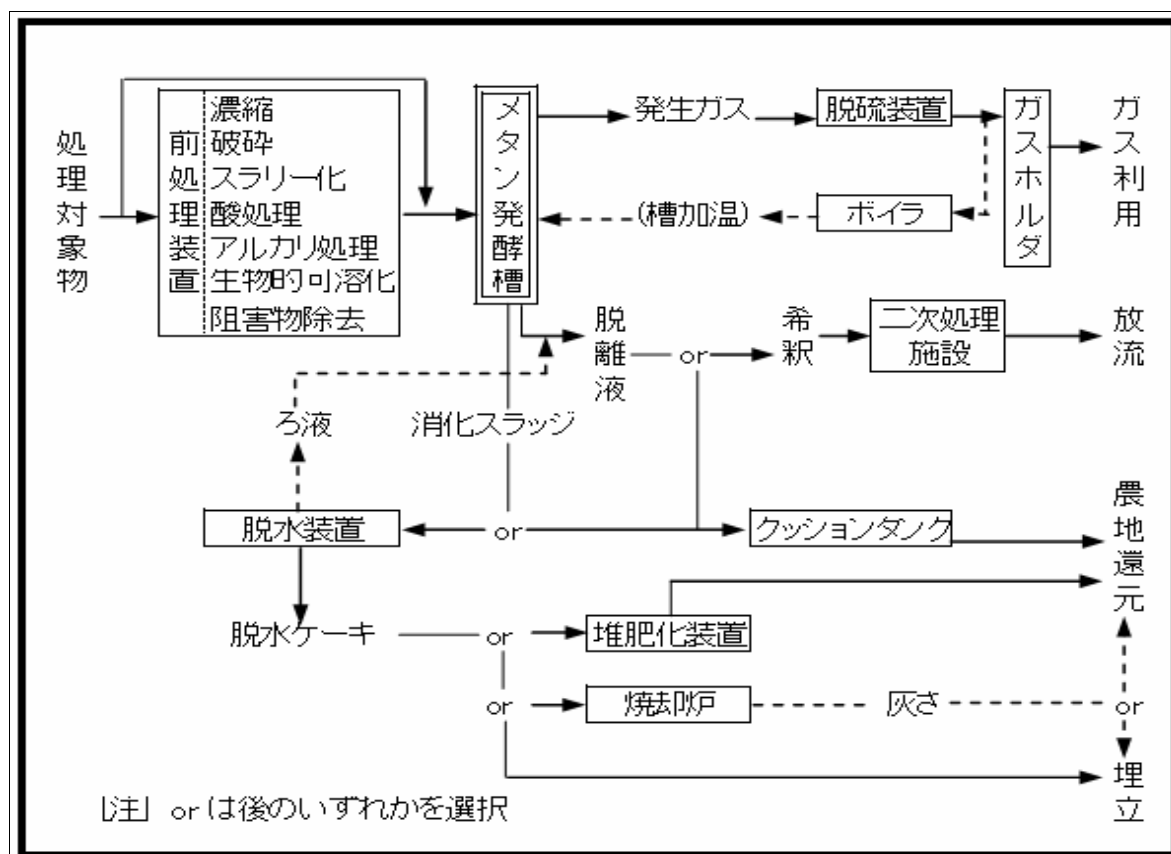


¹⁵ 酸素のない状態を嫌気性という。

¹⁶ 高温 (55℃)・中温 (35℃)・低温に分けられる。中温よりも高温発酵の方が、より有機物分解速度が速く、新しいメタン発酵システムは高温発酵を採用したことが多い。

(2) メタン発酵の装置

現在、日本で実用に供されているシステムは、下水処理場から発生する汚泥消化を目的とするもの、畜産廃棄物の処理に伴うもの、食品製造工場からの加工残さ・濃厚廃液・汚泥の処理を目的とするもの、そして一般廃棄物の生ごみ、およびこれらの廃棄物を混合するシステムなどがあるが、どのシステムも基本は<資料 4.5>のような処理フローとなる。



<資料 4.5 メタン発酵処理の基本フロー> 出所:「バイオマスハンドブック」

システムに投入された処理対象物は、まず前処理装置に送られる。食品廃棄物の場合、食品製造工場からの食品残さなどは、破碎してからスラリー化され、一般廃棄物の生ごみなど異物が混入するようなものは、スクリーンや磁選機などで異物の除去が行われる。

全処理過程が済むと、原料はメタン発酵槽に移される。ここで、(1)で述べたメタン発酵により、メタンと CO₂ が生成される。日本では中温発酵がほとんどであったが、欧州諸国が技術革新により、断熱技術、熱交換技術、発酵槽の温度制御技術を飛躍的に進歩させたことを背景に、高温発酵によるプラントも増えてきている。高温発酵は、処理能力が中温発酵の 2~2.5 倍と高く、発酵槽から排出される脱離液¹⁷の殺菌効果も期待できる。

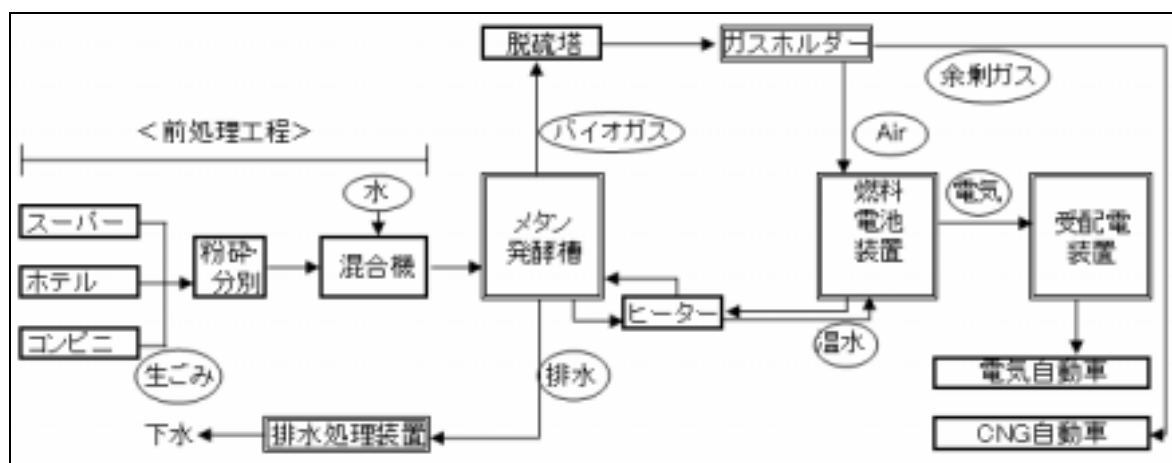
また、バイオガス中には有毒な硫化水素が 0.1~0.5%含まれており、脱硫装置によって除

¹⁷液肥として農地に還元されることもある。

去する必要がある。そうして利用できる状態になったバイオガスは、ボイラで燃焼させ、発生蒸気を使って発酵槽の加温に使われる他、ガスエンジンやガスタービンなどの内熱機関の燃料としても利用される。近年ではガスの改質によって、燃料電池による発電も可能になった。

(3) 具体事例

食品廃棄物のメタン発酵事例として、神戸市のバイオガス化プラントを紹介する。循環型エネルギー政策の一環として、環境省、兵庫県・神戸市が共同で進めている「生ごみのバイオガス化・燃料電池プラント」が完成し、平成13年9月から神戸市の人工島、ポートアイランド内の事業系生ごみを使った実証テストが始まり、同11月からは、さらに家庭系生ごみも追加して、本格的稼働を開始した。メタン発酵で生成されるバイオガスを原料にする燃料電池システムで、鹿島と新エネルギー・産業技術総合開発機構が共同開発したものである。システムの概略図を<資料4.6>に示す。



<資料4.6 バイオガス・燃料電池のシステム>

出所：「食品廃棄物リサイクルの実態と展望」

燃料電池は都市ガスなどから得られる水素ガスと、空気中の酸素を化学反応させて電気を発生させるもので、発電効率が非常に高い上に、電気化学反応のプロセスで発生する熱もコージェネレーションシステムで活用すると、80%以上の高い総合エネルギー効率を発揮すると期待されている。NO_xの発生もほとんどなく、低騒音、低振動で稼働部分がほとんどない点も特徴である。発生するCO₂もバイオマス起源で、カーボンニュートラルなので、大変環境に良いシステムだと評価できる。

発生するバイオガスは65%がメタン、35%がCO₂であり、熱量は5,500kcal/m³と想定される。生ごみ6トン/日から、約1,200m³/日のメタンガスが作られ、これらの水素を使って燃料電池で酸素と反応すると、約2,400kWhの電力が得られる。

第5章 バイオガス事業の経済性

前章ではメタン発酵による食品廃棄物のバイオガス化の仕組みや現在の導入状況などを紹介し、環境という面から見たとき、メリットを持っていることを示しました。本章では現実経済に合わせて、バイオガス化が事業として成立するか、しない場合はどのような政策が有効か等を、モデルを立て検討していきます。

先に見てきたように、生ごみのおよそ9割が焼却埋め立て処理されているのが現状です。しかし、第2章で取り上げたように、その処理費用は右肩上がりです。一方、生ごみのバイオガス化においては、未だ技術が成熟しきってはいないことから、今後の建設費等の削減が見込める他、バイオガス、堆肥といった変換製品からも収益を得ることができます。対象となる自治体から、生ごみにかかっていた処理費用を受けると仮定すれば、時間経過と共に、各期の順便益は上昇するはずで、そのような仮定のもと、バイオガス事業の経済性を検討していきます。

5-1 モデルの設定

まずは、メタン発酵によるバイオガス化施設を導入する主体として、住民10万人規模の地方自治体を考える。さらに導入方法としては、民間に委託することとする。その他、細かいモデルの設定を、〈資料 5.1〉に示す。

導入方法	自治体が民間委託
事業着手	平成17年
施設操業開始	平成18年
処理対象	家庭系食品廃棄物(生ごみ)
施設処理能力	33t/日
施設建設地	焼却施設に隣接
施設建設費	約12億円
施設耐用年数	20年
処理方法	メタン発酵によりバイオガスと堆肥を得る。また、バイオガスを利 燃料電池による発電を行い得られた電力及び堆肥を売却する。

〈資料 5.1 モデルの設定¹⁸⁾〉

以上のようなモデルケースにおいて、事業者にはこの事業を行うインセンティブが働くのであろうか。次節ではその分析を行う。

18・平成17年に事業に着手するとし、翌年から操業を開始できるとする。
・残さ処理の関係から、建設地は焼却施設に隣接しているとする。
・建設費は同規模の施設の建設費を調べ、平均的な費用を選んだ。

5-2 費用便益分析による事業評価

この節では以下の式 (5.1) で示す事業の計画期間における純便益が正の値をとり得るかを検証していく。

$$N = \sum_{t=1}^T \rho^t N_t \quad (5.1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \rho &= 1/(1 + \delta) \\ N_t &= B_t - Cm_t \\ B_t &= X_t \cdot r_t (Cf_t \cdot v + Cp_t + Ym \cdot e \cdot i \cdot Pe_t + Yc \cdot Pc_t) \\ Cm_t &= Cd_t + Cu_t + X_t \cdot Cp_t \end{aligned}$$

したがって、

$$N = \sum_{t=1}^T \rho^t \left[\underbrace{X_t \cdot r_t}_{\text{投入量}} \underbrace{(Cf_t \cdot v + Cp_t + Ym \cdot e \cdot i \cdot Pe_t + Yc \cdot Pc_t)}_{\text{自治体からの委託料+商品売上/トン}} - \underbrace{(Cd_t + Cu_t)}_{\text{事業費}} \right] \quad (5.2)$$

N_t : 第 t 期におけるメタン発酵事業の純便益(円)

B_t : 第 t 期におけるメタン発酵事業の収入(円)

Cm_t : 第 t 期におけるメタン発酵事業の費用(円)

ρ : 割引因子

δ : 割引率

X_t : 第 t 期における家庭系一般廃棄物発生量(トン)

r_t : ごみ発生総量に対する収集(投入)された食品廃棄物の割合

Cf_t : 第 t 期におけるごみ1単位あたりの収集運搬費を除く焼却処理費(円)

v : ごみの量に起因する焼却処理費の割合

Cp_t : 第 t 期における1単位あたりの収集運搬費(円)

Ym : 食品廃棄物1単位あたりのバイオガス発生量($\text{m}^3/\text{トン}$)

e : 電力化設備におけるバイオガスの電力化率 (kWh/m^3)

i : 電力販売率 $(1-i)$: 電力施設内利用率

Pe_t : 第 t 期における電力価格(円)

Yc : 食品廃棄物1単位から生成される堆肥の割合

Pc_t : 第 t 期における堆肥価格(円)

Cd_t : 第 t 期におけるメタン発酵施設の減価償却費(円)

Cu_t : 第 t 期における維持管理費(円)

式の設定において、自治体がそれまで負担していた処理費用の減額分を委託料として支払うものと仮定した。

(1) 数値の設定

前節で設定したとおり施設の耐用年数が20年なので、この事業の計画期間は20年とし、(5.1)式において $T = 20$ とする。また、割引率は $\delta = 0.05$ であると仮定する。家庭系一般廃物の発生量は t に関わらず一定であるとし、 $X_t = 110 \times 365$ ($t = 1, \dots, 20$)¹⁹とする。 r は一定とし、一般廃物に占める食品廃物の割合がおよそ3割であり、そのうち2/3を収集可能と仮定し $r_t = 0.2$ ($t = 1, \dots, 20$)とする。

また、焼却費用は、(焼却処理費) = (ごみ処理事業費総額) - (収集運搬費)と仮定すると、平成4年から平成13年においては下表のようになる。

年度	平成4	平成5	平成6	平成7	平成8	平成9	平成10	平成11	平成12	平成13
ごみ1単位あたりの焼却処理費	35149	43690	41197	41981	43028	42091	42001	42488	43754	48396

このデータより平成4年を $t = 0$ としたとき、 Cf_t は以下の近似曲線で示すことができる。

$$Cf_t = 759.04t + 38962$$

モデルでは事業着手が平成17年なので

$$Cf_t = 759.04(t + 13) + 38962$$

と定義する。

収集運搬費は焼却処理、メタン発酵によるバイオガス化処理共に同じであると仮定し、分析に際しては必要にならないので、特に数値は定めないこととする。

さらに、減価償却は施設の残存価値を購入価額の10%とし、定額法にて行う。耐用年数が20年なので償却率は0.05となる。よって、償却額は t に関わらず一定で、モデルの施設建設費が12億円なので、

$$Cd_t = 1,200,000,000 \times 0.9 \times 0.05 = 54,000,000 \quad (t = 1, \dots, 20)$$

となる。

また、その他の変数に関しては、簡略化のため、以下のような定数²⁰と仮定する。

$$\left\{ \begin{array}{l} v = 0.2 \\ Ym = 200 \\ e = 2 \\ i = 0.7 \\ Pe_t = 10 \quad (t = 1, \dots, 20) \\ Yc = 0.1 \\ Pc_t = 5000 \quad (t = 1, \dots, 20) \\ Cu_t = 100000000 \quad (t = 1, \dots, 20) \end{array} \right.$$

¹⁹ 国民1人あたりの1日のごみ排出量は約1.1kg。10万人規模の自治体を想定しているので、1日のごみ排出量は110トン。年間排出量なので365を掛けている。

²⁰ v はごみ処理にかかる総費用に占める、中間・最終処理施設に関わる費用や人件費の割合から予測し、 Ym, e は前章の事例の値を利用、 Pe_t, Yc, Pc_t, Cu_t は様々なデータから平均的な数値を選んだ。ただし i はデータがなく予測でしかない。

(2) 分析 [ケース1]

設定した数値における N の値を求めると、(ワークシート 5.1) のようになる。

	A	B	C
1	$\delta =$	0.05	
2	$\rho =$	0.952381	
3	$X =$	40150 トン/年	
4	$r =$	0.2	
5	$v =$	0.2	
6	$Y_m =$	200 m ³ /トン	
7	$e =$	2 kwh/m ³	
8	$i =$	0.7	
9	$p_e =$	10 円/kwh	
10	$Y_c =$	0.1	
11	$P_c =$	5000 円/トン	
12	$C_d =$	54000000 円	
13	$C_u =$	100000000 円	
14			
15	t	Cft	Nt
16	1	49588.56	-45582640.6
17	2	50347.6	-42306353.2
18	3	51106.64	-39238731.2
19	4	51865.68	-36367330.8
20	5	52624.72	-33680420.5
21	6	53383.76	-31166940.8
22	7	54142.8	-28816467.2
23	8	54901.84	-26619175
24	9	55660.88	-24565805.2
25	10	56419.92	-22647633.5
26	11	57178.96	-20856440
27	12	57938	-19184481.2
28	13	58697.04	-17624463.1
29	14	59456.08	-16169515.9
30	15	60215.12	-14813170.4
31	16	60974.16	-13549335
32	17	61733.2	-12372274.9
33	18	62492.24	-11276591.7
34	19	63251.28	-10257204.3
35	20	64010.32	-9309330.81
36			
37		N=	-476404305

(ワークシート 5.1)

見てわかるように、事業の純便益は $N = -476404305$ と、負の値を示してしまった。前章で示したように、現在行われているメタン発酵事業はその財源の多くが補助金によって賄われている。その事実からも、この値はある程度信頼できるものだと考えられる。

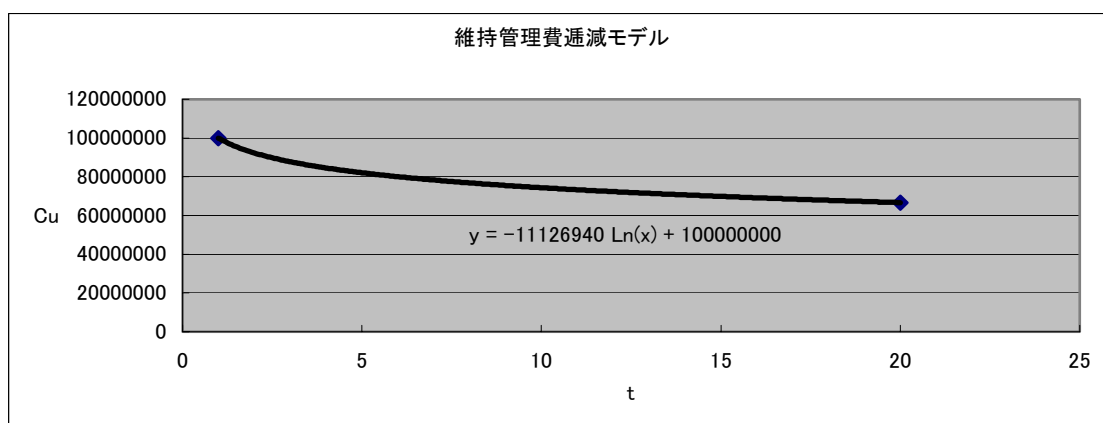
このケースにおいて事業の純便益 N を正の値にするためには、純便益を割引現在価値で求めていることから、事業着手時第 0 期に $S = 476404305$ (円) の補助金が必要となる。

しかし、事業化が進み、技術が修練されていけば、建設費及び維持管理費は今よりも抑えられるのではないだろうか。実際に、最近では従来比2/3の費用で建設可能な施設も紹介されている。維持管理費に関しても、廃水処理技術の発達や管理システムの成熟などで、時間経過と共に削減が期待できる。次のケースではそのような現状を考慮に入れ分析を行う。

(2) 分析 [ケース 2]

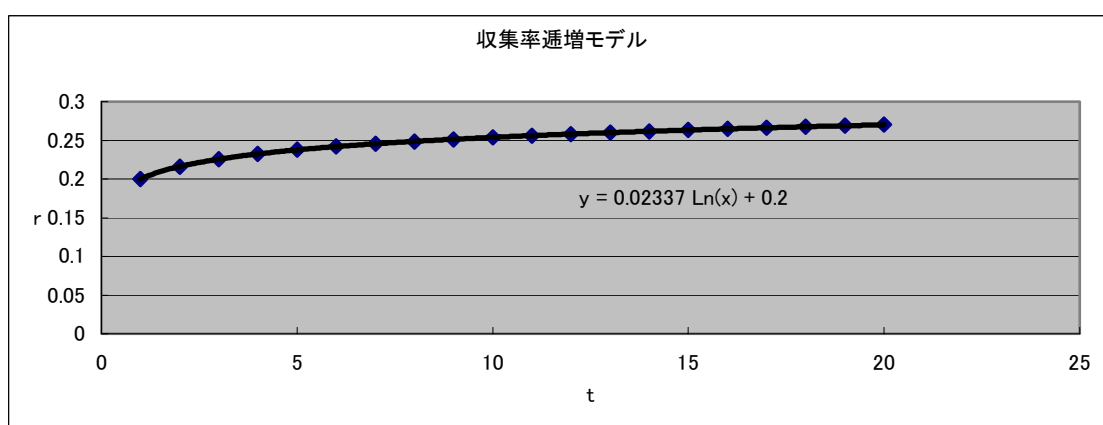
ケース 1 に加えて、維持管理費が 20 年間で 2/3 まで削減できると仮定し、以下の式²¹で表す。ただし、平成 17 年を $t = 0$ とし、平成 18 年の維持管理費 $Cu_1 = 100000000$ とする。

$$Cu_t = -11126940 \ln(t) + 100000000 \quad (5.3)$$



さらに収集率の向上も期待できることから、20 年後には食品廃棄物の 9 割が収集可能になると仮定し、 r_t を以下の式²²で表す。

$$r_t = 0.3 \times [0.0779 \ln(t) + 0.6667] = 0.02337 \ln(t) + 0.2 \quad (5.4)$$



²¹ 費用の削減が進むと、さらなる削減は難しくなっていくので、限界削減率の逡減する対数関数を用いた。

²² (5.3) 式同様、限界収集率は逡減するという考えから、対数関数を用いた。

以上の仮定の下に N を求めると、(ワークシート 5.2) のように正の値をとり、事業として成り立つことになる。

	A	B	C	D	E
1	$\delta =$	0.05			
2	$\rho =$	0.952381			
3	$X =$	40150 トン/年			
4	$v =$	0.2			
5	$Y_m =$	200 m ³ /トン			
6	$e =$	2 kwh/m ³			
7	$i =$	0.7			
8	$p_e =$	10 円/kwh			
9	$Y_c =$	0.1			
10	$Y_p =$	5000 円/トン			
11	$C_d =$	54000000 円			
12					
13					
14					
15					
16					
17	t	Cft	rt	Cut	Nt
18	1	49588.56	0.2	100000000	-45582641
19	2	50347.6	0.216199	92287393	-27423880
20	3	51106.64	0.225675	87775807	-16638634
21	4	51865.68	0.232398	84574786	-9044734.3
22	5	52624.72	0.237613	82091881	-3290745.8
23	6	53383.76	0.241873	80063200	1244748.79
24	7	54142.8	0.245476	78347975	4904489.56
25	8	54901.84	0.248597	76862179	7900297.01
26	9	55660.88	0.251349	75551614	10373764.4
27	10	56419.92	0.253811	74379274	12425129.8
28	11	57178.96	0.256039	73318763	14128520.4
29	12	57938	0.258072	72350593	15540656.8
30	13	58697.04	0.259943	71459962	16706140.1
31	14	59456.08	0.261675	70635367	17660824.4
32	15	60215.12	0.263287	69867688	18434060.3
33	16	60974.16	0.264795	69149572	19050238.2
34	17	61733.2	0.266212	68475005	19529883
35	18	62492.24	0.267548	67839007	19890449.6
36	19	63251.28	0.268812	67237404	20146915.6
37	20	64010.32	0.27001	66666667	20312230
38					
39				N=	116267712

(ワークシート 5.2)

5-3 考察

施設の建設費や維持管理費を時間に関係なく一定にし、食品廃棄物の回収率も時間に関わらず一定とした場合では、確かに事業は赤字になるとの結果が出たが、時間の経過によって費用は逡減し、回収率が向上していくと仮定した場合、最終期にまでに期ごとの純便益が黒字に転じ、結果として事業全体としても純便益を上げることとなった。後者〔ケース2〕の方が現実在即しているため、各事業者はメタン発酵によるバイオガス化事業に乗り出すべきである。

また、モデルでは費用に収入面に占める委託料の割合が、第1期で93.7%、第20期では95.1%にもなる。分析における Cf, ν の決定の重要性を意味している。しかし、将来的に見ると、RPS法によって今後バイオマスによって発電された電力が高い価値を持つ可能性もあるため、電力や堆肥などの商品から得られる収入の伸びも期待でき、委託料に依存する割合を減らすことも考えられる。

費用面では、一つの事業だけでなく、平行して複数個所で事業を行う、あるいは2期間に渡って事業を続けることで、建設費用を抑えたり、技術革新につながったりと、さらに削減を進めることもできる。

今述べたとおり、委託料に依存する割合が高いため、その設定方法などは再考の必要があるかもしれない。今回は生ごみの処理を事業で行うことによって、自治体の処理費用が1トンあたりで20%削減される²³と仮定したが、実際に委託料を決める際には、処理過程を委託することで、削減される費用がどの程度になるかの予測は難しく、分析で用いた数値程の委託料の支払いは実現不可能かもしれない。

²³ 処理費用 Cf 円/トンを決める際のごみ総排出量には生ごみも含めた。また、生ごみがなくなっても処理設備費などはかかるため、生ごみを依然処理しているが、 ν だけその処理にかかる費用は削減できたと仮定した上で、分析を行った。

終章 結論

第 5 章で示した通り、食品廃棄物のメタン発酵によるバイオガス化は事業としても経済性を有している。下水汚泥や畜産廃棄物との互換性もあることから原料も豊富であり、生成されバイオガスを使った燃料電池による発電が進めば、その電力には大きな需要も期待できる。平成 17 年 2 月 16 日に京都議定書が発効したことも、バイオガスによって発電された電力の価値を高める追い風になるだろう。

自治体にとっても、分析では費用の削減分すべてを委託料に回すとしたが、事業が経済性を持つのであれば、全てを委託料として支払う必要はなく、ごみ処理政策を何も行わない場合に比べれば、財政支出を抑えられることになる。さらに、将来的に新たな焼却処分場や最終処分場が必要なくなれば、それらの建設費など、分析で仮定した以上の費用削減が可能となるかもしれない。そうなれば財政悪化の問題を改善できる可能性は高い。技術の成熟や規模の経済による費用の低減を考えると、広くこの処理法が普及し、企業間競争が起こることが望ましい。

また、最終処分量の減少による最終処分場の延命や、焼却をしないことによる有害物質および温室効果ガス発生抑制など、多くの正の外部性を持っており、環境に良いことも高く評価できる。

現時点ではイニシャル・コストが高額であることや、建設地や収集面の問題もある。導入際にかかるイニシャル・コストに関しては、行政が低金利融資をすることも、中小企業の参入を促し事業を活性化させる意味で有効であると考えられる。収集面の問題は、既存のシステムを転用できるので、自治体との協力により解決が期待できる。また、原料となるごみの分別や、生産された堆肥や液肥の需要の問題については、法律の徹底、あるいは規制緩和が必要となるであろう。

もちろん企業が事業をすすめ、政府が法的枠組みをつくっても、排出主体である家庭での意識が変わらなければ意味はない。廃棄物処理法によれば、国民は国や地方公共団体の廃棄物関連の施策に協力する義務があるが、徹底されていないのが現状である。罰則規定がないために、このような義務は軽視されてしまっているのかもしれないが、廃棄物は我々の贅沢の産物に他ならない。その処理を国や自治体に任せ、協力しないことは倫理的にも問題である。本論のテーマにおいては、国民は食品廃棄物の分別回収に協力する義務を果たさなければならない。幸いにも家庭における食品廃棄物（生ごみ）の発生場所は、主に台所に限定されるため分別は容易である。各自治体の広報や、メディアを利用することで、各家庭に意識を根付かせさえすれば、分別収集のシステムができたときの収集率には期待が持てるであろう。

以上のように、メタン発酵による食品廃棄物のバイオガス化は、事業者にとっても自治体にとっても好条件であり、環境にも良い。さらに、抱えている問題も多くは解決の見込みがある。したがって、飽食が進み食品廃棄物の溢れる日本において、大きな成果を生むであろうこの技術を積極的に導入するべきである。

参考文献、URL

- 社団法人日本エネルギー学会 編「バイオマスハンドブック」 オーム社 (2002)
廃棄物学会 編「新版 ごみ読本」 中央法規出版 (2003)
島 健太郎「食品廃棄物リサイクルの実態と展望」 シーエムシー出版 (2002)
北野 大、及川 紀久雄、久保田 正明「資源エネルギーと循環型社会」 三共出版 (2003)
駒橋 徐、玉置 真章「ダイオキシン ゼロへの挑戦」 日刊工業新聞社 (1997)
山本 節子「ごみを燃やす社会」 築地書館 (2004)
Catherine de Silguy「人間とごみ」 新評論 (1999)
J.M.コンラッド「資源経済学」 岩波書店 (2002)

環境省 <http://www.env.go.jp/>

(環境白書・循環型社会白書 <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/>)

(環境統計集 <http://www.env.go.jp/doc/toukei/index.html>)

(廃棄物処理技術情報 http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/index.html)

農林水産省 <http://www.maff.go.jp/index.html>

(食品リサイクル法関連 http://www.maff.go.jp/sogo_shokuryo/kankyoku.htm)

(バイオマス・ニッポン <http://www.maff.go.jp/biomass/index.htm>)

経済産業省 <http://www.meti.go.jp/>

(エネルギー白書 <http://www.enecho.meti.go.jp/hokoku/index.html>)

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) <http://www.nedo.go.jp/>

鹿島建設(株) <http://www.kajima.co.jp/welcome-j.html>

NPO ふうど <http://www.foodo.org/>

JFE ホールディングス(株) <http://www.jfe-holdings.co.jp/release/index.html>