

コストおよびエネルギー消費量による 一般廃棄物広域化シナリオの比較に関する研究

羽原 浩史¹・松藤 敏彦²・田中 信壽³・井上 真智子⁴

¹正会員 北海道大学大学院工学研究科博士後期課程(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²正会員 工博 北海道大学大学院助教授 工学研究科環境資源工学専攻廃棄物処分工学分野(同上)

³正会員 工博 北海道大学大学院教授 工学研究科環境資源工学専攻廃棄物処分工学分野(同上)

⁴非会員 工修 (株)東京設計事務所(〒100-0013 東京都千代田区霞が関3-7-4)

本研究ではまず広域化の制約条件となる収集輸送条件を検討した。次に広域化を想定した場合の中心都市や周辺自治体の人口規模、中心都市から周辺自治体までの距離を定めた広域モデルを設定し、現在考えられる主なごみ処理シナリオについて、LCA的な観点から広域化によるコスト、エネルギー消費量の変化を計算した。これらによって、広域処理によるコスト(コストの内訳を含む)、エネルギー消費量を比較検討し、リサイクル型のごみ処理シナリオが成立する条件を検討した。最後に標準広域モデルのパラメータ感度分析を行った。

Key Words : Regional solid waste management system, waste collection and transport, cost and energy consumption

1. はじめに

平成9年1月「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」の制定に続いて、①公共事業の費用削減、②リサイクルの推進、③余熱利用の推進と地球温暖化防止、④ダイオキシン類の効率的な削減等の課題に対応するため、平成9年5月厚生省(当時)は「ごみ処理の広域化計画について」を都道府県に通知した¹⁾。このため、各都道府県では従来の自区内処理から経済的、効率的な処理への転換の検討をはじめ、概ね10~20年後を目標年次とした広域化計画を策定している。しかし、策定された広域化計画は今後の施設整備(更新、統合、廃止)の具体的計画を示したものから、広域化の圏域を決めただけのものまであり、全体として十分なものとなっていない²⁾。

さらに、平成13年5月には環境省より「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な指針」が発表され、広域化を前提として、焼却中心の処理方法からさまざまなリサイクルを行う処理方法を検討し、地域における最適な処理シナリオを選択するよう要請されている³⁾。

ごみ処理の広域化に関する研究としては、焼却処理の広域化をエネルギー消費量、CO₂、NO_x、SO_x排出量、あるいはコストで評価した仁井本ら⁴⁾、中野ら⁴⁾の研究、ブロック割方法の比較をエネルギー消費量、CO₂、ある

いはダイオキシン類、ばいじん発生量、コストなどで比較した谷口ら⁵⁾、清水ら⁶⁾の研究があり、いずれも対象地域の範囲を固定し、処理方法も一定としている。しかし広域化に関してコスト、資源保全や環境影響を考慮して、処理施設の設置方法(処理処分施設を1箇所を集約するか、一部を分散するか等)、広域化が可能となる収集輸送の条件、広域化の適正規模、広域化によるメリットとデメリット、また処理シナリオの選択方法などに関する一般性のある研究は行われていない。

本研究では、まず広域化によってコストやエネルギー消費量の増大が懸念される収集輸送について、必要収集車両台数を検討し、ごみ量、輸送距離をパラメータとして施設までの直接輸送と中継輸送を比較した。次に、広域化を想定した場合の中心都市や周辺自治体の人口規模、中心都市から周辺自治体までの距離をモデル化して、現在考えられる主なごみ処理シナリオについて、LCA的な観点からコスト、エネルギー消費量を計算し、処理シナリオの比較およびリサイクル型処理シナリオの実施可能性を検討した。最後にモデル化した中心都市や周辺自治体の人口規模、中心都市から周辺自治体までの距離については、それらの影響について感度分析を行った。

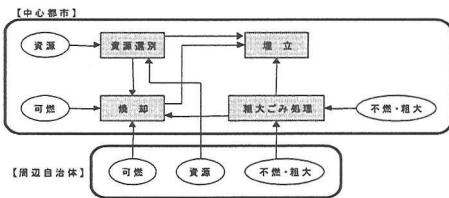
2. 処理シナリオとごみ処理量の設定

(1)処理シナリオ

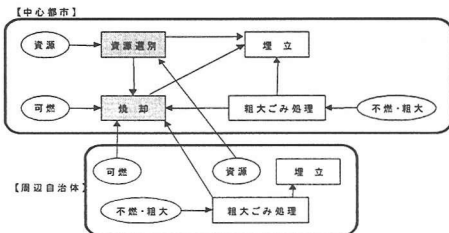
本研究では、処理シナリオを表-1のように設定する。処理方法としては、焼却、埋立、堆肥化、RDF（ごみ燃料）化を考え、可燃ごみをさらに厨芥とそれ以外の可燃物に分けて堆肥化と焼却、堆肥化とRDF化を行うケースも考える。RDF化の場合、製造されたRDFによって発電を行うとする。表-1には、各シナリオにおけるごみの分別方法（不燃・粗大ごみ等）とおのおのごみがどのように処理されるかを示している。なお、資源ごみの資源選別処理、粗大ごみの破碎選別処理は各シナリオに共通して実施する。

広域化を考えると、処理施設を1都市に設置して周辺自治体のごみを集中処理するシナリオが考えられる（以下では、集中処理する施設を設置する都市を広域化の中心都市という意味で「中心都市」と呼ぶ）。一方ですべてのごみ処理施設を中心都市に設置することは、負担が集中し、住民合意を得にくい。粗大ごみ処理施設と埋立地を自治体個々に設置することも考えられる。図-1(a)(b)に焼却についての2つのシナリオを示す。

「焼却1」はすべての自治体のごみを中心都市1箇所に輸送して集中処理する（以下「集中処理シナリオ」と呼ぶ）もので、広域化の最も単純な処理方法と考えられる。一方「焼却2」は焼却を1箇所で行うのは(a)と同じだが、不燃・粗大ごみの処理とその残渣の埋め立てを個々の自治体で行う（以下「個別埋立シナリオ」と呼ぶ）。なお、焼却残渣をそれぞれ持ち帰るケースもあり得るが、効率性を考えて中心都市に埋め立てるとする。表-1では、各処理施設が1箇所か、個別に設けるかを○および●で示した。



(a) 「焼却1」シナリオ



(b) 「焼却2」シナリオ（粗大ごみ処理、埋立を個々の自治体で行う）

表-1 本研究で検討対象とした処理シナリオと各処理の対象ごみ

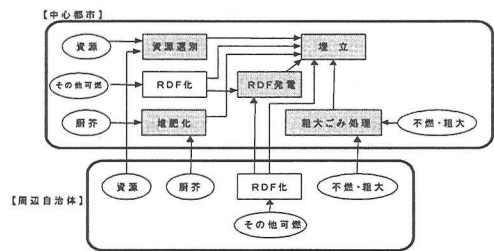
処理施設	処理シナリオ											
	焼却		埋立		堆肥化		堆肥化 + 焼却		RDF化		堆肥化 + RDF化	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
資源選別施設	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
粗大ごみ処理施設	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
堆肥化施設	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RDF化施設	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○
RDF発電施設	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○
焼却施設	○	○	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-
埋立地	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注1) ○:中心都市1箇所で処理を行う。●:自治体ごとに処理を行う。

注2) 各処理シナリオの表-2は粗大ごみ処理、埋立を個々の自治体で行う。

埋立、堆肥化、RDF化の場合にも、それぞれ「1」

「2」のシナリオを考える。ただしRDF化はRDF製造を各自治体が個別に行い、RDFを1箇所に集めて発電するシナリオを「RDF化1」とする。堆肥化については、人口規模の小さい自治体からの厨芥排出量は少ないため集中処理が望ましいが、生産される堆肥の需要先は①使いやすさ（夾雑物がない、悪臭がない等）、②有効性と安全性、③適正価格での安定供給の面から現状では限定されるため、製品堆肥の販売・使用は厨芥発生自治体の責務と考えて、個々の自治体に堆肥化施設を設置する「堆肥化1」シナリオも考える。図-1(c)（堆肥化+RDF化）1は、リサイクルを徹底推進した事例として堆肥化とRDF化を行うシナリオを示す。



注) 1施設に集めて処理

図-1 処理シナリオとごみ流れの例

(2)ごみ処理量

各収集ごみ種ごとの組成別年間ごみ量を人口1万人当たりとして表-2のように設定した。

筆者らは自治体が行うごみ処理評価プログラムを作成し^{8),9)}、ホームページでも公開しており、表-2の数値はそこで用いたものである。またこの数値は容器包装リサイクル法(通称)実施後を想定しているが、家電リサイクル法(通称)実施後の影響は考慮していない。

表-1に示した処理シナリオごとに異なった分別をするので、収集区分ごとのごみ量を以下のように与えた。表-3に堆肥化、RDF化の例を示す。堆肥化の場合は可燃ごみの中から厨芥が分別され、焼却処理を行わないので残りの可燃ごみと不燃ごみを埋め立てる(表-1参照)。事業系ごみは一部の厨芥を堆肥化原料とし、残りは埋め立てる。RDF化の場合は、資源ごみ、RDF化ごみ以外は埋め立てる。なお表-2、表-3のごみ量、および家庭系ごみに対する事業系ごみの割合は札幌市の実績に基づいており、自治体によらず一定として計算する。

3. 収集輸送の検討

(1)収集車両による収集可能人口と輸送距離の計算方法

広域化の実施においては、輸送距離が主要な検討因子である。船や鉄道を使用するならば範囲を広げることができるが、ここでは一般的な車両による収集輸送を考える。例として可燃ごみを週2回の頻度で収集した場合の、収集可能なごみ量に対する人口と処理施設までの距離の関係を計算する。

収集車両1台が1日にλ回の作業(1回の収集を「トリップ」と呼ぶ)で収集可能な人口は、次式で計算される。仮定した数値を共に示す(表-2と同様に以前作成したプログラムから引用した)。

$$V_C \lambda \rho = 4/3 \times q \times P/365 \quad \text{式(1)}$$

V_C : 荷箱の容積[m³]=8

q : 可燃ごみ発生量[l/(人・年)]=0.186

P : 1トリップで収集可能な人口[人]

ρ : ごみのかさ密度[t/m³]=0.36

式(1)右辺の4/3は、週6日収集のとき収集区域を3分割し、1日で収集輸送すべき地域は全体の1/3となり、最大4日分のごみを収集するためである。収集作業時間は以下のように計算できる。

i) 積み込み・積みおろし時間[h/日]

$$t_2 = 0.18 V_C \lambda \rho + 0.08 \lambda \quad \text{式(2)}$$

0.18: ごみを積み込むのに必要な時間[h/t]

0.08: 処理処分施設内の計量・積みおろし時間[h/回]

ii) ステーション間の移動時間[h/日]

$$t_3 = (100 \times 10^{-3}) \times (n_s - 1) / s_m \quad \text{式(3)}$$

表-2 収集形態別のごみ組成(人口1万人当たり)

ごみ組成	家庭系ごみ				事業系ごみ	
	資源ごみ	可燃ごみ	不燃ごみ	粗大ごみ	焼却ごみ	埋立ごみ
厨芥	0	844	92	0	159	18
紙	139	613	63	0	398	44
プラスチック	32	214	105	0	103	11
金属	89	25	33	0	56	6
ガラス	125	20	27	0	40	4
布	0	128	28	0	40	4
粗大物	0	17	13	100	0	0
合計	386	1860	361	100	796	88

表-3 人口1万人当たりごみ処理量

ごみ種	各処理シナリオ時のごみ量[t/年]			収集時かさ密度[t/m ³]
	「焼却」	「堆肥化」	「RDF化」	
家庭系	資源ごみ	←	←	0.20
	可燃ごみ	1860	1860-1846	0.36
	不燃ごみ	361	←	0.25
	粗大ごみ	215	←	0.17
	厨芥ごみ	←	←	←
	RDFごみ	793	1846	←
事業系	焼却ごみ	796-44	796-138	0.28
	厨芥ごみ	44	←	←
	RDFごみ	←	138	←
	埋立ごみ	88	←	0.28

注1) 資源ごみはびん、缶、PETボトルを回収すると仮定

注2) 「←」は「焼却」と同じであることを示す。

100: ステーション間距離[m]

n_s : 収集ステーション数=($P/60$)/3 (60人に1箇所)

s_m : ステーション間の移動速度[km/h]=15

iii) 輸送のために残された時間[h/日]

$$t_1 = t_d - t_2 - t_3 = 2L/s_H \times \lambda \quad \text{式(4)}$$

L : 処理施設までの輸送距離(最長輸送可能距離)

t_d : 1日作業時間(休憩、洗車、準備を除く)[h/(台・日)]=5

s_H : 輸送速度[km/h]=40

L は、作業時間をちょうど使い切る輸送距離である。

(2)必要収集車両台数の計算例

式(1)~(4)で $\lambda=1, 2 \dots$ として計算すると、1台が1日に収集可能な人口と輸送距離の関係が図-2のプロット点のように求まる。図中の太線は、車両1台のとき、所定作業時間ちょうどに作業を終了できる人口と輸送距離の関係(式(1)~(4)の解)を示している。図中の①、②はそれぞれ1トリップ、2トリップの作業を、車両が満載状態で所定時間に終了する条件にあり、時間および収集車容量の使用効率が最大である。図より輸送距離が短くなれば最大7回の作業が可能である。太線より右になるともう1台の収集車が必要になる。

図-2の図中の「×」印は、参考として北海道帯広市周辺自治体の人口と帯広市までの距離をプロットしたものである。ごみ量が少なく収集車1台にも満たない効率の悪いケースについての計算を避けるため、自治体配

置のモデル化のときは最小人口を1万人とした。ただし不燃ごみ、粗大ごみはごみ量が少ないために可燃ごみと較べて、1トリップに相当する人口が4～5倍となる。すなわち1万人を最小自治体人口としても、不燃ごみ、粗大ごみ収集については、効率の悪い条件で計算を行うことになる。

(3) 直接輸送と中継輸送の比較検討

家庭からの排出されたごみは、収集車によってそのまま直接処理施設へ搬入することが一般的である。しかし、図-2に示したように輸送距離が長くなると必要な車両数が増えて、収集輸送の効率は急激に低下し、中継施設を設けて大型の車両に積み替える中継輸送を行う必要が生じる。収集輸送コストがごみ処理全体に占める割合は、20万人都市の周辺に1万人の自治体が20あるとしたとき50%程度以上である（後述する図-7のRDF化を除く各処理シナリオの2段階参照）。したがってコストが制約となると考え、可燃ごみについて輸送距離を変数とし、直接輸送と中継輸送のコストを比較した。なお計算条件は、中継輸送車（容量16m³、輸送速度50km/h、購入費10百万円/台）、収集車（購入費5百万円/台、その他の条件は3. (1)参照）とする。

計算結果を図-3に示す。直接輸送の場合、人口が多いときは車両数も多いので輸送距離に対して収集輸送コストは直線的に増加するが、人口が少ないときには車両数が1→2→3台と変化するため階段状になる。中継輸送を行う場合は、中継施設のコストがごみ量によって大きくは変化せず、ごみ1t当たりの収集輸送コストは主に中継輸送車両の台数に依存し、積載量が大きいいため輸送距離に対してコストはなだらかに増加する。

図-3によると人口が少ないときを除き、概ね輸送距離20km以上で中継輸送が有利となることがわかる。以降の計算においては各周辺自治体ごとに直接輸送と中継輸送のコストを計算し、有利な方を採用することとした。

4. コストおよびエネルギー消費量の計算方法

(1) 計算に用いた近似式

前述のように筆者らは自治体内の都市ごみ処理を評価するプログラムを作成している。しかし、広域化処理の場合について計算を行うときには自治体間の輸送があり、また一部のごみ種を各自治体で単独処理することもあるため、処理パターンは複雑になる。収集輸送は各自治体ごとに計算しなければならないし、処理処分施設ごとの計算が必要になる。本研究で目的とするのは、自治体の地理的人口分布、広域化の範囲が、表-1に示す処理シナリオを選択したときどのような影響を与えるのか、各処理シナリオの適正な広域化規模あるいは限界はどの

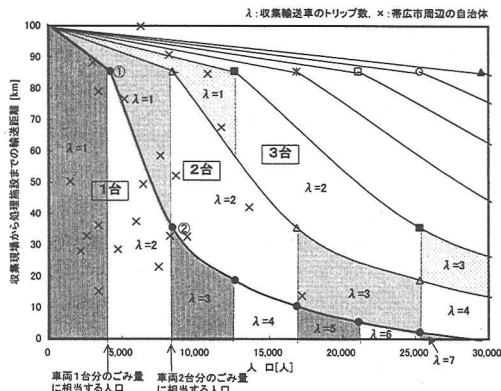


図-2 輸送距離と収集・輸送車両必要台数の関係(可燃ごみ、週2回収集の場合)

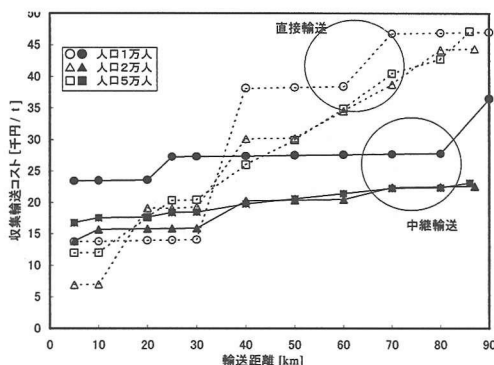


図-3 処理施設までの輸送距離と収集輸送コストの関係(可燃ごみ)

くらいかといった概略を知ることである。そのため、評価プログラムを用いて人口、処理方法などの条件を変えて多数回の計算を行い、コストおよびエネルギー消費量を計算する近似式を作成した。

収集輸送に関するコストおよびエネルギー消費量の近似式は、焼却シナリオの下で人口、輸送距離を変えて計算を繰り返して得た。可燃ごみの場合のコストは図-3に示されており、これを1次式で近似した。ごみ種によってかさ密度が異なるが、定数項の異なる式で近似することができた。処理に関するコストおよびエネルギー消費量は、ごみ量だけに依存するので表-1の処理シナリオに対して人口を変えて計算を行い、ごみ処理量に対して最もよく一致する式 ($y=ax+b$ あるいは $y=ax^b$, ここでy; コスト[百万円/年]またはエネルギー消費量[Gcal/年], x; ごみ処理量[t/年]) を求めた。式の記述は省略するが、これを用いるとごみ処理量当たりのコストおよびエネルギー消費量は図-4(a)(b)に示ようになる。

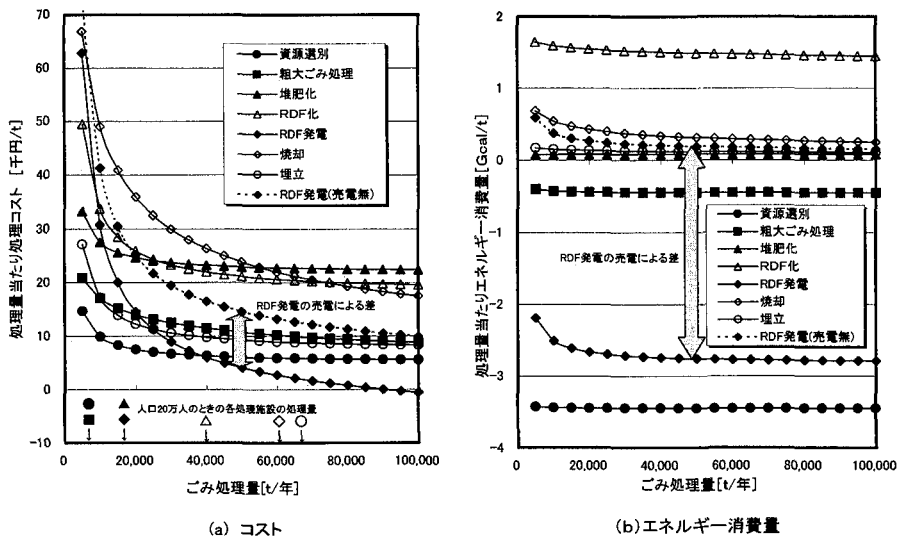


図-4 計算に用いた処理施設のコスト・エネルギー消費量

(2) 処理施設の計算条件

各処理には多くの施設設計条件があるが、主なものを挙げると以下ようになる。

- ・資源選別施設： スチール缶、アルミ缶、びん、PETを回収
- ・焼却施設： ストーカ炉（2炉）、燃焼ガス冷却方式はボイラ式、場内利用分のみ発電、集塵灰処理方式は熔融固化（焼却灰を含む）
- ・最終処分場： 山間埋立地、計画使用期間10年、埋立区画は2区画
- ・残渣処理： RDF化残渣は全て埋立、それ以外の残渣は焼却施設があるときには焼却
- ・RDF発電施設： 所内利用率17%、発電効率30%、売電単価8円/kWh

また、コストには以下のものを含めている。

- ・土木建設費（国庫補助を含めない、耐用年数20年）
- ・運搬費（人件費、電力費、燃料費、水道費、薬品費、整備補修費）
- ・回収資源、熱・電気等の売却利益

土木建設費は耐用年数で割り、運搬費、売却利益（負値）を加えてごみ処理量当たりのコストとした。一般廃棄物処理事業実態調査（平成7年版）¹⁰より算出した全国平均の中間処理コストは約18千円/t、埋立コストは約7千円/tであり、図-4に示した各処理のコストはほぼ一致している。エネルギー消費量については、電力、燃料等の使用量、および回収資源量にエネルギー原単位

をかけて算出した。施設建設に伴うエネルギー消費は厳密には積み上げ法によるべきであるが、井村ら¹¹の研究を参考として土木建築・整備補修のエネルギー原単位を土木建築15.1Mcal/千円、整備補修11.5Mcal/千円とし、工事費を乗じて求めた⁸。RDF発電施設については、文献¹²を参考として算出した。

(3) 処理施設のコストおよびエネルギー消費量

図-4(a)で処理施設別のコストをみると、焼却施設、堆肥化施設、RDF化施設の3施設が高い。この内焼却施設はスケールメリットが大きく、広域化によって処理量を増やすことによりコストは低下する。RDF発電施設のコストが低いのは、売電による収益をマイナス分として含めているため、図には売電収益を除いた場合のコストも破線で示している。RDF処理量50,000t/年のときの売利益は10千円/tとなっている。RDF発電施設は図-4(b)のエネルギー消費量もマイナスであるが、やはり売電によって発電に消費されるエネルギーが削減されると考えるためである。処理量50,000t/年のとき3Gcal/tの削減となる。RDF化施設は逆にエネルギー消費量が大いだが、ごみの乾燥用に燃料を消費するためである。資源選別施設は回収資源が金属製品と同等の価値を持ち、天然資源からの製造エネルギーを削減できると考えている。設定したエネルギー削減原単位は、スチール缶2,930Mcal/t、アルミ缶50,200Mcal/t、びん1,950Mcal/t、PETボトル2,820Mcal/tである⁸。回収後のリサイクルプロセスを考慮していないので高目の見積りだが、今回考慮する全ての処理シナリオに共通しているので処理シナリオを比較する際には問題とならない。

なお、図中には 20 万人の場合のごみ処理量を処理方法別に示した。

(4) 処理シナリオごとの計算方法

処理については 1 箇所に集めて処理する場合には広域ブロック内の合計ごみ処理量を求め、また自治体ごとに個別に処理する場合はそれぞれのごみ処理量を求めて、図-4 に示した関数を用いて計算する。収集輸送については、周辺自治体からの輸送距離が異なるので、自治体ごとにごみ種別の計算を行う。以上のごみ種別の処理・処分、収集輸送をすべて合計し、広域ブロック全体のコスト、エネルギー消費量を求めた。収集輸送は家庭ごみのみを、処理は事業系ごみを含めた全ごみを対象とする。

(5) 自治体配置のモデル化

中心都市と周辺自治体の位置関係を、北海道帯広市の周辺自治体分布（図-5(a)）を参考にして図-5(b)のようにモデル化した。図中の①中心都市人口、②周辺自治体人口、③中心都市から周辺自治体までの距離がこのモデルのパラメータである。図-5(a)の帯広市周辺の場合、図-2 に示したように人口が少ないと収集車 1 台でも余裕があり、無駄が大きくなる。そのため以下の計算では周辺自治体の最小人口を 1 万人とし、中心都市 20 万人に対して人口 1 万人の自治体が中心都市から 5km、10km、15km... の位置にある配置を標準広域モデルとして計算を行った。

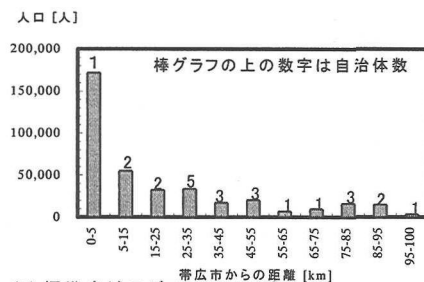
5. コスト・エネルギー消費量の計算結果

(1) 処理シナリオのコスト比較

表-1 に示した処理シナリオのうち、1 箇所に集中して処理する 6 つの集中処理シナリオ（「焼却 1」、「埋立 1」など）、および粗大ごみ処理と埋立を個々の自治体が行う個別埋立シナリオの例として「焼却 2」、堆肥化を個別に行う「堆肥化 1」のコスト計算結果を図-6(a)に示す。標準広域モデルに従い横軸は 20 万人の中心都市に順次 1 万人の周辺自治体を加えた場合のブロック内合計人口、縦軸は広域ブロック内の全ごみ量 1 t 当たり平均コストである。すなわち図の左端は 20 万人都市の単独処理、右端は 20 万人 + 1 万人 × 20 自治体（計 40 万人）の広域処理を示す。

図-6(a)より集中処理シナリオの平均コストは「埋立 1」 < 「堆肥化 1」 < 「焼却 1」 < 「(堆肥化+焼却) 1」 < 「RDF化 1」 < 「(堆肥化+RDF化) 1」の順となる。「焼却 1」は広域化に伴ってやや平均コストが減少するが、この理由は図-4(a)に示すように、焼却施設のスケールメリットによるコストダウンが輸送距離の増加に伴う収集輸送コストの増加を上回るためである。

(a) 北海道帯広市およびその周辺自治体の人口分布



(b) 標準広域モデルのイメージ

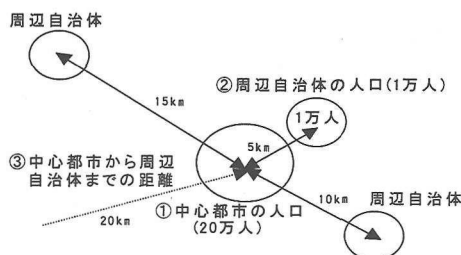


図-5 自治体配置の標準広域モデル

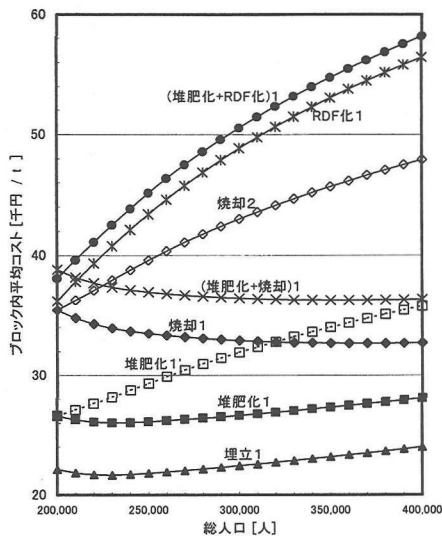
「焼却 1」のほか、全ての施設を 1 箇所に集中する「埋立 1」、「堆肥化 1」、「(堆肥化+焼却) 1」は広域化によって平均コストに大きな差がなく、収集輸送コストは制約にはならない。一方、「焼却 2」の場合は、個々の自治体に処理量当たり処理コストの高い（図-4(a)参照）小規模の粗大ごみ処理施設や埋立地を設置するため、広域化するほど平均コストが増加する。他の個別埋立シナリオの結果は省略したが、集中処理シナリオとの差は「焼却 1」と「焼却 2」の差とほぼ同じである。

「RDF化 1」と「(堆肥化+RDF化) 1」の平均コストは高く、20 万人 + 1 万人 × 20 自治体のとき「焼却 1」の約 2 倍になる。これは RDF 化施設を各自治体に置くためである。堆肥化を各自治体で行う「堆肥化 1」の場合も、やはり同様の傾向がある。

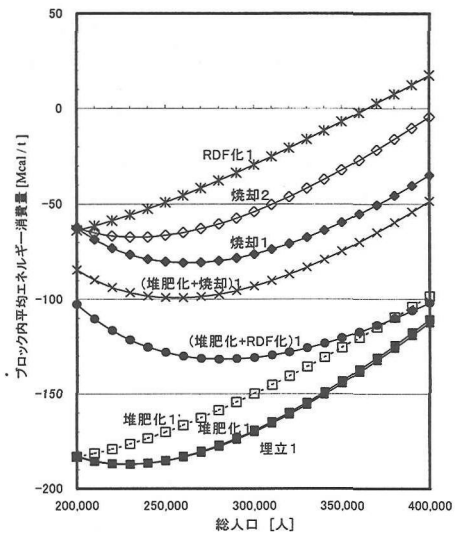
(2) 処理シナリオのコスト内訳

各処理シナリオごとの処理コストの内訳を詳細に見るために、図-7 に中心都市のみ（図-6(a)左端、20 万人）と中心都市 + 周辺自治体（図-6(a)右端、20 万人 + 1 万人 × 20 自治体（計 40 万人））のコスト内訳を示す。図に示したのは集中処理シナリオであり、焼却と埋立のみ個別埋立シナリオの場合を示した。

「焼却 1」（40 万人）の場合、最も遠い自治体は中心都市から 100km 離れているが、前述したように焼却のスケールメリットが収集輸送コストの増加（中継輸送することで低くおさえられる）を上回るため、20 万人単独処理よりコストは低下する。「焼却 2」（40 万人）は、埋立



(a) コスト



(b) エネルギー消費量

図-6 処理シナリオによるコストおよびエネルギー消費量の違い(標準広域モデルに対して)

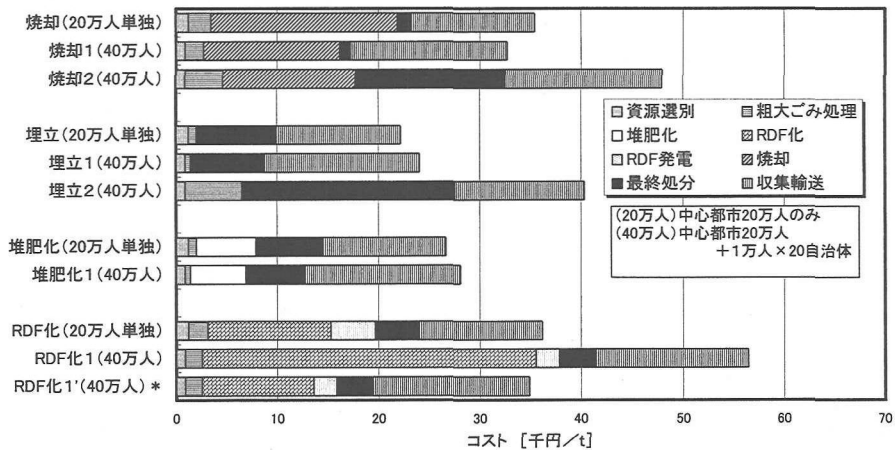


図-7 処理シナリオごとの処理コストの内訳

* RDF1': RDF製造を中心都市に集約

地と粗大ごみ処理施設を各自治体個別に設けるため、処理コストの大幅な増加になる。このことは「埋立2」(40万人)でも同様である。

「埋立1」、「堆肥化1」のコストが広域化によって増加するのは、スケールメリットが小さく、コストに占める収集輸送の割合が高いことが原因である。「RDF化1」は個々の自治体がRDF製造を行うとしているので、広域化による処理コストの増加はきわめて大きい。

図-8にRDF化施設、RDF発電施設の処理量当たりコストを人口に対して示すが、RDFの製造段階で最低5万人程度の中間的広域化を行い、10万人以上の規模で発電するのがよいことがわかる。周辺自治体5万人×4自治体とすれば「RDF化1」の平均コストは中心都市20万人単独の平均コストとほぼ同じとなる。また、すべてのごみを中心都市に集めてRDF化を行う場合の平均コストも、20万人単独処理の場合とほぼ同じとなる(図

－7の「RDF1」シナリオ参照）。

(3) 処理シナリオのエネルギー消費量比較

図－6(b)にはエネルギー消費量の計算結果を示した。図－4(a)に示したように、RDF発電は規模によらず発電効率30%、年間負荷率86%として実際の施設より発電量を多めに計算しているため、「RDF化1」はRDF発電によるエネルギー消費量の削減が大きい。しかし、RDF製造のエネルギー消費量によってその効果がうち消され焼却シナリオよりも劣っている。

エネルギー消費量が最も小さいのは、「埋立1」，「堆肥化1」シナリオである（図－6(b)では両者はほとんど重なっている）。

(4) 自治体間のコスト負担格差

5.(1)では1箇所処理を集中する処理シナリオの場合、平均コストは広域化によって変化しないことを述べた。したがって、輸送が可能な範囲まで広域処理の規模を拡大することが考えられる。ただし、広域処理の場合、処理コストは広域ブロックを構成する自治体が平均的に負担するのに対して、収集輸送コストは各自治体がそれぞれ負担する方法が一般的と考えられる。すなわち、両者の合計が各自治体の負担コストとなる。図－9に「焼却1」シナリオのときの自治体ごとの収集輸送コストを、ブロック内平均処理コストと共に示す。中心都市から約20km程度（直接輸送コスト<中継輸送コストの限界）の自治体では、収集輸送コストが中心都市に一番近い自治体に比べて約2倍になり、100km離れると2.5倍程度にまで増加している。つまり、広域化することによって全体の平均コストは低減されるものの、自治体間のコスト負担格差が問題となる可能性がある。

6. 自治体配置パラメータの感度解析

広域化自治体配置のパラメータとした①中心都市人口規模、②周辺自治体人口規模、③中心都市から周辺自治体までの距離のコストに対する影響を、広域化計画で選択されることの多い焼却シナリオについて検討した。

図－10に検討結果を示す。(a)はある中心都市人口に対し、人口1万人の周辺自治体を10自治体（計10万人）または20自治体（計20万人）加えて広域化を行った場合について比較した。周辺自治体の配置は中心都市から5km、10km、15km...とした。中心都市から「中心都市のみ」との差が広域化によるコスト変化を表すが、まず集中処理シナリオ「焼却1」についてみると、中心都市の人口規模が小さいときほどコスト低減効果は大きい。しかし、合計人口が30万人を越えるとあまり変化はない。個別埋立シナリオ「焼却2」の場合は、図－6の説明でも

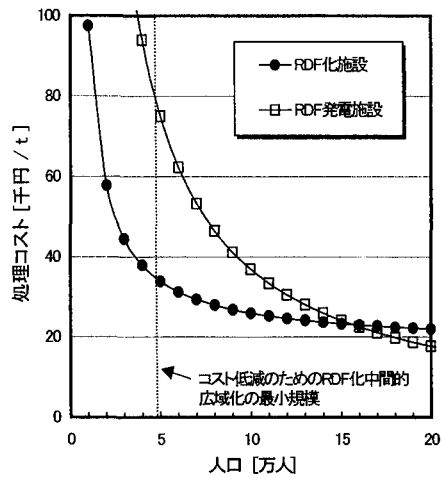


図-8 RDF化施設およびRDF発電施設の処理コスト

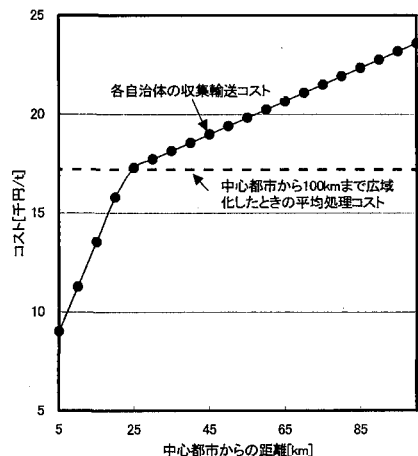
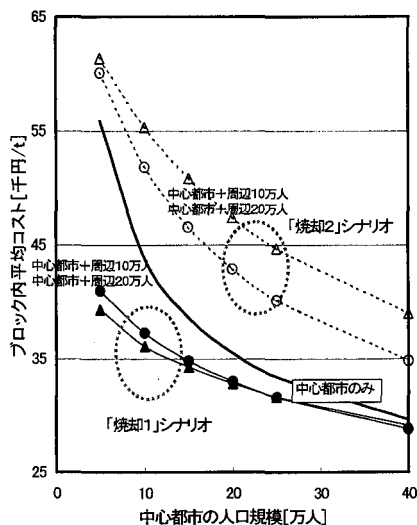
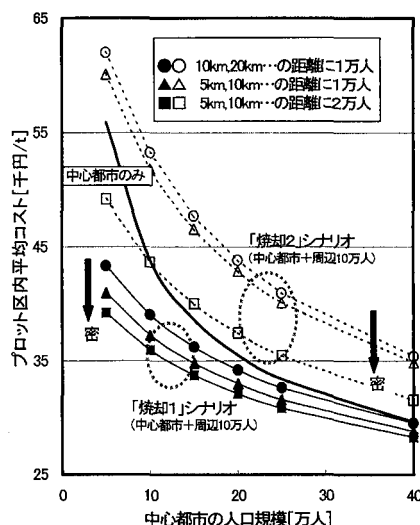


図-9 自治体ごとの収集輸送コストとブロック内平均処理コスト（「焼却1」シナリオ、標準広域モデルに対して）

述べたように広域化するほど逆にコストが増大してしまう。一方、(b)は中心都市に周辺自治体10万人を含めて広域化を行うとき、周辺自治体の人口分布が異なる場合の影響を見た。図中の矢印は、周辺自治体の配置を中心都市から10km、20km、30km...の距離に1万人、5km、10km、15km...の距離に1万人、5km、10km、15km...の距離に2万人とし、後者ほど中心都市に対する広域化の密度が高い。中心都市の人口規模とともに平均コストが減少するのは(a)と同様であり、広域化の密度が高い（中心都市の近くに人口の多い自治体がある）ほど平均コストが小さくなる。また個別埋立シナリオ「焼却2」の場合



(a) 中心都市の人口規模と広域化規模による影響



(b) 周辺自治体の配置による影響

図-10 広域化自治体配置パラメータの影響(焼却シナリオ)

であっても、中心都市の人口が10万人以下で広域化密度の高いときは中心都市単独での平均コストを下回ることがある。

以上のことから、①中心都市人口規模、②周辺自治体人口規模、③中心都市から周辺自治体までの距離の3つのパラメータでは、①が計算に最も影響が大きい因子であり、また広域化の適正規模を検討するうえで重要であることがわかる。

7. おわりに

本研究では広域化の制約となる収集輸送の条件を検討し、現実的に考えられるさまざまな処理シナリオに対し広域化によるコスト、エネルギー消費量の変化を計算した。近似式の作成により複雑な処理パターンの計算が可能であり、ごみ処理量や自治体配置が変化しても容易に計算できる。また、コスト、エネルギー消費量の計算結果は現状を表すのに十分と考えるが、計算に用いた近似式を修正したとしても容易に再計算が可能であり、各処理シナリオの比較検討を行ううえで実用的な方法といえる。本研究によって明らかとなった点をまとめると以下のようなになる。

- 1) すべての処理施設を1箇所に集中する場合、広域化の範囲を広げてもコストに大きな変化はなく、収集輸送コストは制約とはならない。
- 2) しかし埋立地、粗大ごみ処理施設、堆肥化施設、RDF化施設を自治体が個別に設ける場合、広域化

の範囲を広げるに従ってコストが増加し、広域化シナリオとしては望ましくない。

- 3) RDF化シナリオは、RDF発電のエネルギー削減効果が極めて大きいものの、製造段階のエネルギー消費のため、結果として他の処理シナリオよりもエネルギー消費量の点でも有利とはならない。
- 4) 広域化を行うことの効果は、中心都市の人口規模が小さいほどおおい。

コスト、エネルギー消費量によって上記のような評価が得られたが、それ以外に住民の意識や理解などの諸問題がある。そうした現実上の問題を考慮して、最後にわが国の廃棄物処理の実状から広域化の実現に関する課題を以下に示す。

コスト、エネルギー消費量から最も有利な処理シナリオは「埋立1」であるが、埋立地の確保難が大きな問題となっているわが国では、選択される可能性の低いシナリオといえる。一方、粗大ごみ処理施設と埋立地を個別に設ける「焼却2」は、集中処理と較べて広域化によるコスト増は大きい。しかし、他の自治体のごみを受け入れることに対する住民の不満、ごみ処理施設建設に対する反対を考えると、現実的に選択される可能性が高いと考えられ、小規模埋立地の低コスト化が課題である。

またRDF化シナリオは焼却シナリオによる広域化が困難である場合に選択され、個々の自治体でRDF製造を行うことが多い。この場合広域化によってRDF製造に係るコストが増加するため、RDFを製造する段階でごみを数箇所に集約する等の対策が必要である。また収

集輸送コストも増加するが、RDF発電の建設・運営を別途設立した第三セクター（都道府県、関係自治体等の出資による）が行う新しい方式^{10),14)}が始められており、第三セクター側が必要に応じてRDFの収集輸送を行うなどの自治体の負担軽減対策が必要である。

参考文献

- 1) 秦 泰之：ごみ処理の広域化について，都市清掃，第51巻第224号，pp.222-225，1998.
- 2) 環境大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な指針」について一国の基本方針について，都市清掃，第54巻，第243号，pp.415-418，2001.
- 3) 仁井本貴庸，岩淵善美，東野 達，笠原三紀夫：ごみ処理・処分広域化に関するエネルギー及び環境への影響，第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.171-173，2000.
- 4) 中野加都子，和田安彦：広域化が環境に与える影響の評価，環境管理，Vol.38，No.4，pp.324-331，2002.
- 5) 谷口正修，中野加都子，三浦浩之，和田安彦：ごみ広域処理の環境負荷の低減に関する研究，第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.168-170，2000.
- 6) 清水 剛，内海秀樹，寺島 泰：ごみ処理の広域化の環境・経済面からの評価に関する研究，環境システム研究，Vol.27，pp.429-434，1999.
- 7) 有機質資源化推進会議：有機廃棄物資源化大事典，農山村文化協会，pp.51-64，2000.
- 8) 松藤敏彦，田中信壽：一般廃棄物処理システムのコスト・エネルギー消費量・二酸化炭素発生量評価手法の提案，土木学会論文集，No.678/VII-19，pp.49-60，2001.
- 9) 北海道大学工学研究科廃棄物処分工学分野：都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究，1998.
- 10) (財)日本環境衛生センター「一般廃棄物処理事業実態調査（平成7年度）CD-ROM」，2000.
- 11) 井村秀文，銭谷賢治，中嶋芳紀，森下兼年，池田秀昭：下水道システムのライフサイクルアセスメント：LCE及びLC-CO2による評価，土木学会論文集，No.552/VII-1，pp.75-84，1996.
- 12) 北海道企業局：高効率廃棄物発電（一廃等RDF利用）事業化及びRDF製造から発電までを一貫して行う事業（公設民営方式）の可能性調査報告書，pp.59-95，1998.
- 13) 広島県：循環型経済拠点構想—びんごエコタウン構想—，pp.25-29，2000.
- 14) 大牟田市ホームページ：広域的なダイオキシン対策を目指すRDF発電計画
(<http://www.city.omuta.fukuoka.jp/chliiki/kankyousuisin>)

COMPARATIVE STUDY ON REGIONAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN TERMS OF COST AND ENERGY CONSUMPTION

Hiroshi HABARA, Toshihiko MATSUTO, Nobutoshi TANAKA and Machiko INOUE

Using a computer model, studies were conducted on the regional solid waste management system, in which collected wastes of several member municipalities are transferred to a central treatment/disposal facility. First, the waste collection and transport activities, which are considered constraints for an extending service area, were scrutinized. Then, with a model made up of location, population, etc. of each member municipality, the cost and the energy consumption were calculated for a typical solid waste management scenario. Each scenario is composed of the activities such as incineration, landfill, composting, RDF, etc. as principal treatment processes, and modified cases in which each municipality has a landfill were also included. Finally, the sensitivity analysis for location parameters was carried out.