

中国における都市生活廃棄物処理の需要の 将来予測と整備戦略に関する研究

左健¹・今井晃²・中山裕文³・松本亨⁴・井村秀文⁵

¹学生員 九州大学大学院博士後期課程 工学府 (〒812-8581福岡市東区箱崎6-10-1)

²非会員 三菱重工業(株) 長崎造船所 (〒850-8610長崎市飽の浦町1-1)

³正会員 博工 九州大学大学院助手 工学研究院 (〒812-8581福岡市東区箱崎6-10-1)

⁴正会員 博工 北九州市立大学助教授 国際環境工学部 (〒808-0135北九州市若松区ひびきの1-1)

⁵正会員 工博 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 (〒464-8603名古屋市千種区不老町)

近年急速な経済発展を遂げてきたアジアの諸都市においては、環境インフラの整備は経済活動に直結するインフラに比して後回しにされている場合が多いと言える。このため本論文では、都市環境インフラ整備戦略の予備的検討として、中国都市における都市生活廃棄物処理・処分のためのインフラ需要予測とその充足度に関する分析を行った。具体的には、中国の主要都市における都市生活廃棄物の排出特性及びその変化パターンについて分析を行った上で、中国北京市における都市生活廃棄物排出量の今後の変化について、現状維持型と先進国追従型の2種類のシナリオを設定し、2020年までに必要となる都市生活廃棄物処理施設とその投資額を算定した。

Key Words: municipal solid waste, need prediction, investment, disposal strategies, China

1. はじめに

近年のアジア諸国の急速な経済発展と都市化の進展は、自動車による大気汚染、生活排水及び廃棄物による汚染等、都市の環境問題にとって大きな圧力となっている。それらを改善するためには、交通、下水道、廃棄物収集・処理・処分などのインフラを整備することが不可欠である。しかし、近年急速な経済発展を遂げてきたアジアの諸都市では、経済活動に直結する業務用ビルや道路、発電設備の建設は進行しても、都市環境の改善を主目的とする環境インフラの整備は後回しにされる場合が多い。仮に、現在の日本に近い水準まで都市環境インフラを整備しようとする、その資金需要は膨大である。また、インフラ整備のための資源消費、インフラが長期にわたって規定してしまう環境負荷発生構造を考えると、今後のアジア諸都市の環境インフラ整備のためには、先進国の経験を活かした上で、効果的、効率的な戦略を提示する必要があるといえる。

このような背景から、本研究では中国都市における廃棄物処理・処分のためのインフラ需要予測とその充

足度に関して分析を行う。具体的には、中国主要都市における都市生活廃棄物^{注1)}排出特性を概観した上で、北京市における都市生活ごみ発生量の将来予測を行う。次にそこから求められるインフラの需給ギャップをもとにインフラ整備とその資金需要の将来予測を行うことで、都市インフラ整備戦略の予備的検討とする。

2. 中国主要都市における都市生活廃棄物の排出特性

ここでは中国都市における都市生活廃棄物の排出特性を考える。中国では一般的に生活廃棄物の収集、処理サービスの対象は都市住民であり、都市住民一人当たり都市生活廃棄物発生量を分析対象とする。

1996年時点で、中国には666の都市があり、約2億8百万の都市部人口(非農業人口)^{注2)}を対象に年間約1億8百万トンの都市生活廃棄物が収集された。一人当たりの都市生活廃棄物収集量は全国平均でおよそ1400 g/dayである。図-1は中国30省・直轄市の一人あたり都市生活廃棄物排出量を示したものである¹⁾。これによると、北部地域に比べ、南部地域における都市

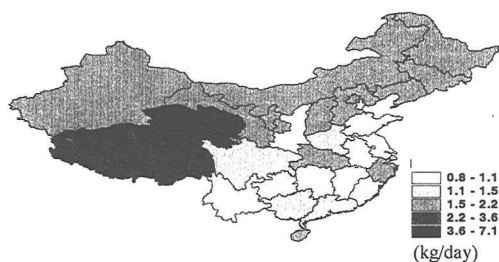


図-1 中国における省別一人当たり
都市生活廃棄物収集量

出所：参考文献(1)

生活廃棄物排出量は比較的小さいことがわかる。中国では家庭燃料として未だに石炭が使われているところもあり、寒冷な気候の北部地域と高原地区は南部地域より練炭灰が多く排出されていると考えられる。

1995年における中国主要35都市のデータ²⁾³⁾から、一人当たり都市生活廃棄物収集量を目的変数に、一人当たりGDP、都市化率、ガス普及率、年平均気温の4指標を説明変数に選り重回帰分析を行った。その結果、以下のような重回帰係数0.8以上の回帰式が得られた。

$$Wp = 710.8 \times Gp^{0.25} \times Purb^{0.43} \times Pgas^{-0.49} \times T^{-0.52}$$

(2.17*) (2.69*) (2.28*) (3.78**)

R=0.8068 (1)

注)**1%有意、*5%有意

ここに、

Wp : 1人当たり都市生活廃棄物収集量 (g/day)

Gp : 1人当たりGDP (中国元, 1995年価格)

$Purb$: 都市化率 (非農業人口/総人口, %)

$Pgas$: ガス人口普及率 (%)

T : 年平均気温 (°C)

式(1)は、一人当たり都市生活廃棄物発生量は所得水準、都市化の度合いといった増加要因とエネルギー源、気候条件といった減少要因の二種類の要因で規定されることを示している。中国では最近まで家庭用燃料として石炭が多く使用されており、都市生活廃棄物は有機物よりも練炭灰や残土を主成分とする無機物を多く含んでいた。しかし近年都市ガスが整備されるようになり、ガスを燃料として使用する家庭が増えてきた。燃料・暖房としてのガス普及率が高い都市では、都市生活廃棄物中の無機物の含有率が低く、反対にガス普及率が低い都市では無機物の含有率が高い。特に、暖房を多用する北部でその傾向が顕著である。さらに、所得水準の上昇による生活レベルの向上に伴い、厨芥をはじめとする有機ごみの発生量が年々増加しつつある。つまり、経済発展や都市化に伴い生活レベルが向上し、家庭用エネルギー源がガスに転換されるに連れ、都市生活廃棄物中の無機物が減少し、厨芥などの有機物が年々増加して行くものと考えられる⁴⁾。

次に、一人あたり都市生活廃棄物排出量とその要因及び総人口の6種類のデータ²⁾³⁾を用いてクラスター分析を行い、35都市の類型化を行った。その結果を集計したものと各グループの特性を表-1に示す。これによると、35の都市は4つの生活ごみ排出特性にグループ化された。グループ1は経済発展とそれに伴う都市化の進展、人口増加が生活ごみ発生量の増大をもたらしていると思われる。このグループに属する都市は、北京、天津、上海などである。グループ2は、今後、経済発展、都市化の進展によりグループ1と同様に一人あたり生活ごみ排出量が増大すると考えられる。グループ3は、ガス普及率の増大による練炭灰等の減少と経済発展による廃棄物増加の相殺効果によってグループ1の状態に近づくと思われる。フホト、蘭州、西寧などの都市がこのグループに属している。グループ4に属する都市は深せんのみである。深せんは香港に隣接する経済特区の一つとして特異な発

表-1 都市生活廃棄物排出特性による中国都市の類型化

排出要 都市類型	収集量 (g/pers/day)	ガス普及 率(%)	年平均気温 (°C)	都市化率 (%)	一人あたり GDP(元)	総人口 ^{注2)} (100万人)	特徴
グループ1 (7)	1285	87	18	62	15750	6.8	すべての指標において全体平均を上回るグループ
グループ2 (17)	778	79	16	34	8034	6.2	ガス普及率が平均程度。一人あたり収集量、都市化率、一人あたりGDPが平均以下。
グループ3 (10)	1340	76	8	59	7511	3.1	年平均気温が8.3°Cと非常に低く、ガス普及率も全体平均を下回っている。
グループ4 (7)	1753	52	22	76	80373	1.0	深せんのみ。ガス普及率、総人口が平均値以下。一人あたり収集量、年平均気温、都市化率、一人あたりGDPが特に大きい。
平均 (35)	1068	79	15	48	11494	5.3	

注：中国元から日本円の換算レートは14.95日本円/元 (時価、2001年8月) である。

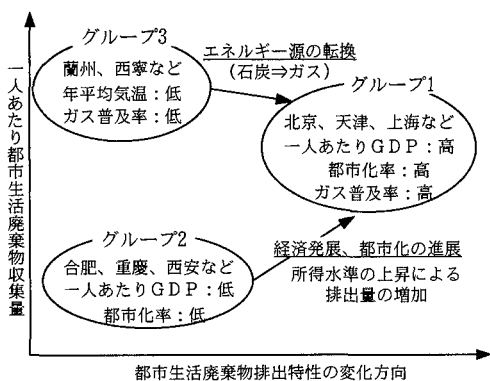


図-2 都市生活廃棄物排出特性と一人当たり収集量変化に関する概念図

異なる発展を遂げているため、生活廃棄物排出特性も他の都市とは大きく異なっていると言える。図-2は生活廃棄物排出特性と一人あたり生活廃棄物収集量の変化を概念的に示したものである。グループ4は他のグループと比較して特性が大きく異なるため省略した。前述したように、グループ2、グループ3は今後予想される排出特性の変化によってグループ1の状態に近づくことがある程度予測できる。したがって今でも急速な都市化、経済発展を続けているグループ1の変化方向が今後の中国都市における生活ごみの問題を左右するといえよう。そこで、グループ1に属し、中国の中で廃棄物対策が進んでいる都市の一つである北京市を対象に、さらに詳細な生活廃棄物排出量の分析を行う。

3. 北京市の都市生活廃棄物及び処理システムの特徴

(1) 都市生活廃棄物の特徴

都市化、経済発展、人口増加などの要因により都市生活廃棄物の収集量は概ね増加し続けている。図-3は北京市における都市生活廃棄物の総収集量と都市人口の1949年から1998年までの変化を示したものである。都市生活廃棄物の収集量の変化は次の三段階に分けることができる。1949年から1965年までの年平均人口増加率は16%であった。一方都市生活廃棄物の総収集量の年平均増加率は10%であり、人口増加率を下回っていた。1965年から1977年までの12年間は年平均0.7%の割合で人口が増加したのに対し都市生活ごみの総収集量は増減を繰り返した。増減幅はおよそ50万トンである。1978年以降都市生活廃棄物の収集量は人口増加を上回る年率18%の割合で急速に増加し始めた。

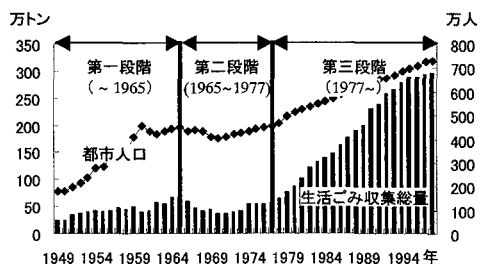


図-3 北京市における都市生活廃棄物実質収集総量^{注4)}と都市人口の経年変化(1949年～1998年)

出所：参考文献(5)より作成

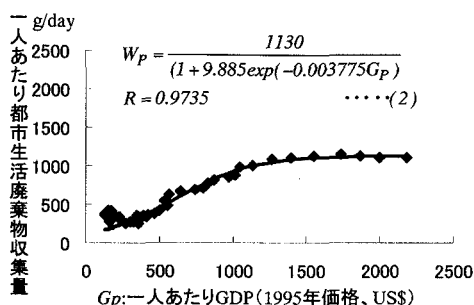
97年に北京で収集された都市生活廃棄物は297万トンであり、その発生源別に見ると、家庭が総量の53%、商業33%、業務用ビル10%であった⁶⁾。排出地域別で見ると、市区(市の中心部)、近郊区、遠郊区及び県城鎮(北京に所属する県が管轄する町)の割合がそれぞれ36%、51%、13%であった⁷⁾。

90年と98年における都市生活廃棄物(物理的組成)を比較すると、厨芥類、紙・布類・プラスチック類の割合がそれぞれ12%(28%→35%)、21%(11%→32%)増大したのに対して、練炭灰・残土類の割合は47%(53%→6%)減少した⁸⁾。

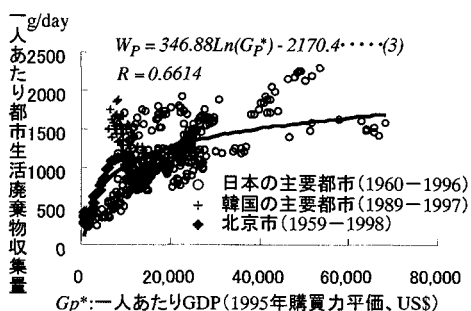
質の変化にともない、都市生活廃棄物の発熱量は増大し続けている。都市生活廃棄物の平均低位発熱量は1986年時点の800kcal/kgから、1995年の1,000kcal/kgへと増加した⁹⁾、日本主要都市の1970年代および現在の日本中小都市の水準に相当する(日本の現在の平均的なごみ質は、大都市で1,600～2,200 kcal/kg、中小都市で1,200～1,800kcal/kg、郡部では900～1,500kcal/kg程度である¹⁰⁾)。収集地域内の生活形態や経済活動状況などに起因しており、排出源別に都市生活廃棄物の発熱量は大きく異なる。1996年の低位発熱量で比較すると、普通住宅485kcal/kg、高級住宅1,353kcal/kg、学院区824kcal/kg、商業区1,571kcal/kg、ホテル1,913kcal/kg、病院934kcal/kg、公園1,119kcal/kgである¹¹⁾。ごみが補助燃料なしに焼却炉で燃え続けるために必要なごみ自身が持つ発熱量は、約1,000kcal/kg以上とされているが¹²⁾、現在の北京市の都市生活廃棄物の平均発熱量はこの値を超えている。

(2) 都市生活廃棄物処理システムの現状

過去10年間で、北京市政府は都市生活廃棄物処理・処分施設に約13.6億円を投入した。1999に北京の環境衛局(都市生活廃棄物と尿を処理する)の年間運営費用は約5億元であり、1998年北京市政府予算の約3.7



(a) 現状維持型シナリオ



(b) 先進国追従型シナリオ

図-4 北京市における一人あたり都市生活廃棄物収集量の変化シナリオ

出所：参考文献(5)[中国]、参考文献(14)[日本]、参考文献(15)(16)[韓国]より作成

%に相当する。2000年における北京市の都市生活廃棄物の88%以上が密閉収集され、都市生活ごみの無害化処理率^{注5)}は90年の2%から2000年の82%に達した。1991～2000年の10年間に約1,000万トンの都市生活廃棄物が無害化処理され、その内埋め立て、総合利用^{注6)}、焼却の割合はそれぞれ88%、7%、6%である¹³⁾。

北京市には大屯、五路居、小武基、馬家楼の4箇所にゴミ中継ステーションがある。大屯、五路居の各ステーションに集められたごみは阿蘇衛、六里屯の埋め立て場に運搬される。各埋め立て場の処理能力は2,000 t/day、1,500 t/dayである。一方小武基、馬家楼の各ステーションに集められた廃棄物は分別され、粒径15mm以上60mm以下のものは南宮、石景山の2箇所の堆肥場に運搬される。それぞれの処理能力は280 t/day、300 t/dayである。その他の廃棄物は北神樹、安定の埋め立て場に運搬される。各埋め立て場の処理能力は980 t/day、700 t/dayである^{7) 9) 13)}。

適正な埋立用土地取得が困難になったこと、都市生活廃棄物の焼却処理が容易になったことなどの理由から、北京市は2010年までに4つの都市生活廃棄物焼却施設の建設を計画している。現在、処理能力1,300 t/dayの高安屯ごみ焼却発電施設(建設投資7.0億円)の建設が進められており、2002年からの使用を予定している¹³⁾。

直接埋め立てを主とする現在の都市生活廃棄物処理・処分システムでは、都市生活廃棄物を収集・運搬・処理するのに1トンあたり80～100円のコストがかかる。運搬費用が総コストに占める割合は大きく、総コストの半分以上が運搬費用に充てられている¹³⁾。

4. 北京市の都市生活廃棄物収集量の予測

図-4は北京市の一人あたり都市生活ごみ収集量と

一人あたりGDPとの関係を示したものである。

図-4(a)は、1959年から1998年の期間における一人あたり都市生活廃棄物収集量と一人あたりGDPとの関係を分析したものである。ロジスティック成長曲線を用いて得られた回帰式が式(2)である。ここには、経済が発展するに従い一人あたり都市生活廃棄物収集量の増加率が鈍化し、一定値に収束している傾向が現れている。これは、比較的早い経済発展段階で一人あたり都市生活廃棄物発生量の増大を抑制できるとするシナリオであり、これまで先進国が経験してきた生活ごみの増大パターンとは一線を画す。ここでは、「現状維持型シナリオ」とする(SI)。

一方、図4(b)は、北京市のデータを、日本及び韓国の主要都市における過去のデータとともに回帰させたものである。得られた回帰式が、式(3)である。これは、今後の北京市における一人あたり都市生活廃棄物発生量が、先進国の経験してきた生活ごみの増大パターンを追従するシナリオと捉えることができる。今後北京市が先進国の経験をフィードバックさせた有効な政策をとらず、経済発展に伴って一人あたり生活ごみ発生量が増大し続けた場合である。これを「先進国追従型シナリオ」と呼ぶこととする(SII)。

次に、図4で得られた2つの1人あたり都市生活廃棄物収集量と1人あたりGDPの回帰式を用いて、北京市の都市生活廃棄物収集量の将来予測を行う。予測に用いた将来人口は、2010年までは北京市政府による計画値(年間10万人の増加¹⁷⁾)を用い、それ以降2020年までも同様の増加率を想定した。また、将来のGDPについては、2010年までは中国政府による計画値(年間8%の増加¹⁸⁾)を用い、それ以降2020年までの年平均増加率を5%と設定した。図5に、その予測結果と、北京市で現在稼働中(2000年時点)のごみ処理施設の処理能力を示す。処理能力は1991年から2020年の各

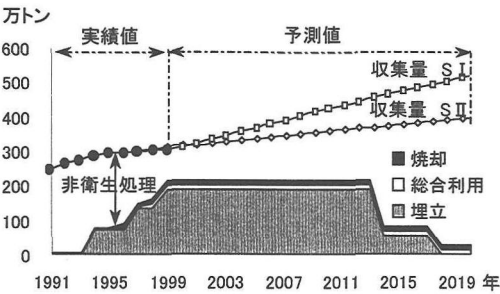


図-5 北京市における現有都市生活廃棄物処理施設の処理能力、使用期限及び収集量の将来予測
 非衛生処理：付録注7)
 収集量 S I：現状維持型シナリオである
 収集量 S II：先進国追従型シナリオ

出所：参考文献(7)～(9)、(16)、(18)より作成

年における生活ごみの無害化処理量を処理方式別に示している。

現有(2000年)都市生活廃棄物処理施設の総処理能力は214万トン(その内、4ヶ所の埋立場214万トン、2ヶ所の堆肥場14万トン、1ヶ所の焼却場11万トン)であるが、2014年に80万トン、2018年には25万トンに減少する。

収集量に関する現状維持型シナリオ(S I)では北京市の都市生活廃棄物収集量は年間平均1.2%で増加し、2001年の313万トンから、2005年の330万トン、2010年の351万トン、2015年の371万トン、2020年の392万トンに達すると予測される。一方、収集量に関する追従先進国シナリオ(S II)では年間3.2%で増加し、2001年の317万トンから、2005年の362万トン、2010年の421万トン、2015年の468万トン、2020年の519万トンに到達すると予測される。

2014年、2018年にそれぞれ2ヶ所で埋立が完了するため、都市生活廃棄物の年間収集量と現有処理施設の処理能力のギャップが急速に増大し、これは2014年時点で年間281～373万トン、2018年時点で351～487万トンに達する。

5. 北京市における新規都市生活廃棄物処理施設の需要及びその建設投資の予測

前章5.では、既存施設では処理しきれない都市生活廃棄物量を推定値した。ここでは、この推定値をもとに、新規に必要な処理施設数及び建設投資額を算定する。本論では、廃棄物処理の方式として、欧米型(全都市生活廃棄物量の3割を焼却)、北京型(全都市

表－2 2001～2020年の間に北京市における都市生活廃棄物の収集・処理量の変化傾向及び新規施設の需要考察

項目		→2001年→	→2005年→	→2010年→	→2015年→	→2020年→	20年間累計 (万トン)
現有施設の処理能力 (トン/日) A		6030	6030	6030	2350	880	3300
都市生活廃棄物無害化処理目標 b		85%	100%	100%	100%	100%	99%
収集量S I (トン/日)	都市生活廃棄物収集予測量 C_I	8600	9000	9600	10200	10700	7100
	無害化処理計画量 $D_I = b \times C_I$	7300	9000	9600	10200	10700	7000
	現有施設能力を超える量 $E_I = D_I - A$	1300	3000	3600	7800	9900	3700
	欧米型						
	焼却量(新規施設) F_I^E	** 1890	* 2410	2580	2750	2920	1900
	埋立場量(新規施設) G_I^E	180	# 1450	1860	#### 5950	## 7840	2400
	北京型						
	焼却量(新規施設) F_I^B	**** 3350	* 4220	4500	4790	5070	3300
	埋立場量(新規施設) G_I^B	0	0	130	#### 4120	## 5900	1300
	日本型						
	焼却量(新規施設) F_I^J	***** 4800	* 6030	6420	6820	7200	4700
	埋立場量(新規施設) G_I^J	0	0	0	### 2290	## 3970	800
収集量S II (トン/日)	ごみ収集量 C_{II}	8700	9900	11500	12800	14200	8400
	ごみ無害化処理量 $D_{II} = b \times C_{II}$	7400	9900	11500	12800	14200	8300
	現有施設能力を超える量 $E_{II} = D_{II} - A$	1400	3900	5500	10500	13300	5000
	欧米型						
	焼却量(新規施設) F_{II}^E	** 1920	* 2670	* 3160	3550	3970	2300
	埋立場量(新規施設) G_{II}^E	250	## 2080	# 3270	#### 7900	### 10380	3400
	北京型						
	焼却量(新規施設) F_{II}^B	**** 3400	** 4650	* 5470	* 6120	6810	3900
	埋立場量(新規施設) G_{II}^B	0	# 300	# 1190	#### 5590	## 7820	2000
	日本型						
	焼却量(新規施設) F_{II}^J	***** 4880	** 6640	* 7770	* 8680	* 9650	5600
	埋立場量(新規施設) G_{II}^J	0	0	0	#### 3280	## 5260	1100

注：(1) 収集量S I, S IIは現在維持型シナリオ、先進国追従型シナリオである。(2) 欧米型、北京型、日本型はそれぞれごみの30%、50%、70%を直接焼却とする。焼却残灰は焼却量の10%とする。(3) * は新規焼却施設(1000トン/日)、# は新規埋立場(1000トン/日)、マークの数が施設数を意味する。(4) 2000年に北京市のごみ焼却施設の処理能力は300トン/日である。

生活廃棄物量の5割を焼却)、日本型(全都市生活廃棄物量の7割を焼却)三種類、施設規模として大型(焼却施設一箇所1,000 t/day、埋立場一箇所総容量1,000万立方メートル)、中型(焼却施設一箇所500 t/day、埋立場一箇所総容量500万立方メートル)二種類の処理施設規模を検討する。

表-2には、2001年から2020年までの間の北京市における都市生活廃棄物の収集・処理量の変化傾向、新規施設が必要となる時期、施設処理量の推定結果を示している。推定式(6)~(10)を以下に示す。

$$A = \sum_{k=1}^3 A_k \quad \dots\dots (6)$$

ここに、

- A: 現有都市生活廃棄物処理施設の総処理能力 (t/day)
- A₁: 現有都市生活廃棄物焼却施設の処理能力 (t/day)
- A₂: 現有都市生活廃棄物埋立場の処理能力 (t/day)
- A₃: その他都市生活廃棄物処理施設の処理能力 (t/day)

$$C_i = 10^{-6} PW_p^i \quad i=I, II \quad \dots\dots (7)$$

ここに、

- I: 都市生活廃棄物集量の現状維持型シナリオ
- II: 都市生活廃棄物収集量の先進国追従型シナリオ
- C_i: 都市生活廃棄物収集量 (t/day)
- W_p^I: 一人当たり都市生活廃棄物発生量 (g/day)
- (W_p^I: 図-4の式(2); W_p^{II}: 図-4の式(3))
- P: 北京市の都市人口

$$D_i = bC_i \quad i=I, II \quad \dots\dots (8)$$

ここに、

- D_i: 都市生活廃棄物無害化処理計画量 (t/day)
- b: 都市生活廃棄物無害化処理目標 (%)

$$F_i^j = m_j D_i - A_i \quad i=I, II; j=E, B, J \quad \dots\dots (9)$$

ここに、E、B、J: 欧米、北京、日本型処理方式

- F_i^j: 新規施設に焼却する都市生活廃棄物量 (t/day)
- m_j: 焼却される都市生活廃棄物量の割合 (%)
- (m_E=30%; m_B=50%; m_J=70%)

$$G_i^j = (1 - m_i) D_i + n F_i^j - A_2 \quad i=I, II; j=E, B, J \quad \dots\dots (10)$$

ここに、

- G_i^j: 新規埋立場で処理する都市生活廃棄物量 (t/day)
- n: 焼却残灰の割合 (10%)

これをみると、焼却施設の建設は2000年から2005年までの間に集中すること、埋立場の建設は2010年から2015年までの間に集中することが分かる。収集シナリオ I (現状維持型) では、北京の新規都市生活廃棄

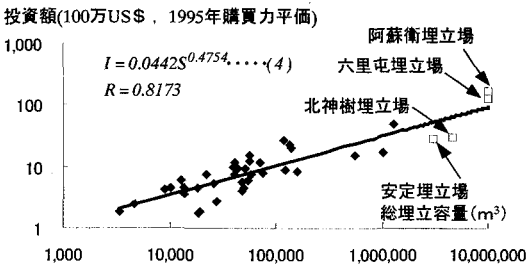


図-6 日本と中国の埋立場処理容量と投資額
出所: 参考文献 (13)、(19) より作成

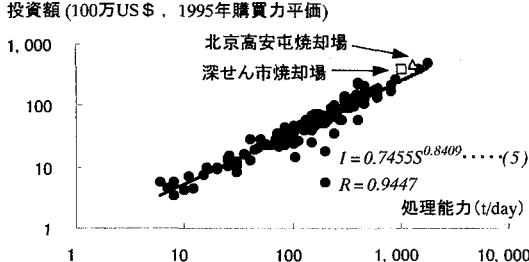


図-7 日本の焼却施設処理能力と投資額
出所: 参考文献 (13)、(19) より作成

物焼却施設は2020年までに3,000~7,200 t/dayの総処理能力に達する必要がある。一方、収集シナリオ II (先進国追従型) の場合、北京の新規都市生活廃棄物焼却施設は2020年までに4,000~10,000 t/dayの総処理能力が必要になるという結果が得られている。

図-6、7は、日本の埋立場規模、焼却施設処理能力と投資額との関係を示したものである。深セン市の焼却場、および現地調査に基づいた北京市埋立場と建設中の焼却場のデータと比較すると、購買力平価⁸⁾で換算した場合には日本と中国の施設当たりの建設投資額に大きな違いは見られない。本論では、日本におけるごみ処理施設の規模と投資額の実績データを、中国のごみ処理施設の建設費用の予測に摘要する。

都市生活廃棄物収集量に関する二つのシナリオごとに将来必要となる都市生活廃棄物処理施設の投資額の算定結果を表-3に示している。推定式(11)~(14)を本章の最後に示す。

現在稼働中の各種都市生活廃棄物処理施設で、2001年から2020年の期間に処理容量を越える都市生活ごみ量は、現状維持型シナリオ (S I) で約3,700万トン、先進国追従型シナリオ (S II) では5,000万トンに達する。もし、これらを10メートルの高さで郊外に野積みすれば、それぞれ925万平方メートル、1250万平方メートル (比重を0.4 t/m³と仮定) の土地が必要となり、汚染の危険にさらされることになる。これを処理

表－3 北京市における生活廃棄物処理施設の需要及びその建設投資額の予測結果（2001年～2020年）

収集量	処理方式	施設規模ケースL（大型）					施設規模ケースM（中型）				
		新增施設数		建設投資額（億元）			新增施設数		建設投資額（億元）		
		焼却 (M)	埋立 (N)	合計	焼却 (Q)	埋立 (R)	焼却 (M)	埋立 (N)	合計	焼却 (Q)	埋立 (R)
シナリオ I (現状維持)	E 欧米型（焼却30%）	3	3	16.2	11.7	4.4	6	5	18.4	13.1	5.3
	B 北京型（焼却50%）	5	2	22.5	19.6	3.0	10	3	25.1	21.9	3.2
	J 日本型（焼却70%）	8	1	32.8	31.3	1.5	15	2	34.9	32.8	2.1
シナリオ II (先進国追従)	E 欧米型（焼却30%）	4	4	21.6	15.7	5.9	8	7	24.9	17.5	7.5
	B 北京型（焼却50%）	7	2	30.4	27.4	3.0	13	4	32.7	28.4	4.3
	J 日本型（焼却70%）	10	1	40.6	39.2	1.5	20	2	45.8	43.7	2.1

注：（1）施設規模ケースAは1000トン/日の焼却施設、1000万立方メートルの埋立場を基準にする；施設規模ケースBは500トン/日の焼却施設、500万立方メートルの埋立場を基準にする。（2）建設投資額は1995年価格である。

する場合、現状維持型収集量シナリオ(SI)では最少投資は欧米型・大型施設選択ケースの約16.2億元、最高投資は日本型・中型施設選択ケースの約34.3億元である(2.12倍)。一方、先進国追従型収集量シナリオ(SII)では最少投資は欧米型・大型施設選択ケースの約21.6億元、最高投資は日本型・中型施設選択ケースの約45.8億元である(約2.12倍)。大型施設より、中型施設の投資額は約6-15%高いことになる。

$$M_{ij}^k = CE \left(\frac{\text{Max} \{ F_i^j(t), t = 2001, 2002, \dots, 2020 \}}{s_k}, 1 \right) \quad k=L, M \quad \dots \quad (11)$$

ここに、

CE：CEILING関数（数値を挟む基準値の倍数のうち、0 から遠い方の値を返す）

Max { }：2001～2020年の間における都市生活廃棄物焼却処理の最大需要量（t/day）

M_{ij}^k ：新規大規模或は中規模焼却施設数

s：焼却施設の処理能力（t/day）

($s_L=1000$ t/day, $s_M=500$ t/day)

$$N_{ij}^k = CE \left(\frac{365 \sum_{t=2001}^{2020} G_i^j(t)}{10^{-4} u_k}, 1 \right) \quad \dots \quad (12)$$

ここに、

N_{ij}^k ：新規大規模或は中規模埋立場数

u：埋立場の総処理容量（10⁴ t）

($u_L=1000 \times 10^4$ t, $u_M=500 \times 10^4$ t)

$$Q = 10^{-2} v_k^{\text{焼却}} M_{ij}^k \quad \dots \quad (13)$$

ここに、

Q：2001～2020年の間に新規焼却施設の総投資（億元）

$I_k^{\text{焼却}}$ ：焼却施設の投資費用（100万US\$, 1995年購買力平価）図－7の式（5）

v：1995年購買力平価の換算係数^{注3)}

$$R = 10^{-2} v_k^{\text{埋立}} N_{ij}^k \quad \dots \quad (14)$$

ここに、

Q：2001～2020年の間に新規埋立場の総投資（億元）

$I_k^{\text{埋立}}$ ：埋立場の投資費用（100万US\$, 1995年購買力平価）（図－6の式（4））

6. 整備戦略に関する考察

5.では、一人当たり都市生活廃棄物発生量を、現状維持型と先進国追従型の二種類のシナリオを想定して予測した。さらに6.において、それぞれの収集量シナリオ、処理方式、施設規模の仮定をもとにごみ処理施設及びその資金需要の将来予測を行った。今後北京市が二つの収集量シナリオのいずれを辿るかは、今後の都市生活廃棄物減量政策の如何にかかっている。効果的な政策を推し進めることが、ひいては資金需要の増大を抑えることに繋がる。

（1）都市生活廃棄物の減量

5.6.の分析によると、北京市で将来20年間に収集される都市生活廃棄物量は約7,100～8,400万トンであり、現在の処理施設の能力を超える量は3,700～5,000万トンに達する。処理用地、資金等の様々の問題のために、都市生活廃棄物の減量化が不可欠となる。減量化の方法は、野菜などの食品の高加工化を図るなど、都市内に入る前に厨芥類の発生を極力防ぐようにすることが考えられる。北京市の厨芥ごみの割合は98年に35.5%であり⁶⁾、日本における割合が1975で18.6%、1998年で8.9%であること²⁰⁾と比較するとかなり高い。また、現在の北京市では都市生活廃棄物に含まれるガラス・金属類は約8%であるが、所得水準が高くなるにつれ、増加する傾向にある⁶⁾。これらのごみは日本と違って分別収集されていない（一部資源ごみの回収を生業とする者もいる）。都市生活廃棄物処理減量化、処理の効率化及び再資源化を促進す

るために、ビン・缶などを分別収集する必要に迫られると考えられる。

(2) 都市生活廃棄物処理方法

3章で考察したように北京市における都市生活廃棄物の質が変化するにつれ、焼却処理も可能になると考えられる。焼却処理は、用地取得が容易、運搬距離の短縮・減量化・無臭化・エネルギー回収が可能という利点があるが、本論における資金需要の予測結果によると、ごみ焼却施設の建設投資額は埋立場と比較して数倍に高く、費用の調達が困難である。また、現在北京市のごみ収集ステーションから埋立場までの距離は、最短で15 km、最長で40 kmであり、運搬費用は総処理コストの半分以上を占め、大きな負担となっている。処理方法を選択するときは長期的視点に立ち、運搬費用をも考慮に入れなくてはならない。

北京市では、日処理量1,300トンの大型焼却発電所が建設中であり、スケールメリットによってトン当たりごみ処理の建設投資は低くなる。しかし大量のごみを一箇所に収集することは運搬費用の増大を招く。さらに総処理コストを増大させることにつながる恐れがある。適切な規模の処理施設を適切な空間に分散、配置することで運搬費用の低減を図ることも視野に入なくてはならない。

(3) 都市生活廃棄物処理資金

北京市は90年代以前の都市生活廃棄物処理施設が地方政府による投資で建設されたものであるが、90年代以降、都市生活廃棄物処理・処分施設建設のための膨大な費用を賄うために、北京市政府は新たな資金源として、世界銀行から約0.37億円のローン、ドイツから約2.36億円の無償資金援助を受けた。北京市の都市生活廃棄物処理施設の投資額(95年価格)は1986～1990年1.38億元、91～95年3.72億元だったが、96～2000年に11.02億元に急増した。本研究の予測結果では、北京市で将来20年間に収集される都市生活廃棄物を全て衛生処理するためには、約16～48億元の建設投資が新たに必要になる。これは約1999年に北京市の都市維持費の1～3倍に相当する。

99に北京の環衛局(都市生活廃棄物とし尿を処理する)の年間運営費用は約5億元であり、当年北京財政支出の約1.4%に相当する。

1999年から、市内の各家庭を対象にごみ処理料金の徴収制度が開始された。この料金は戸籍によって区別されており、常住人口は一世帯当たり3元/月であり、常住流動人口は(半年以上)一人当たり2元/月である。99年9月から2000年8月までの処理費として1億～1.2億元の徴収が見込まれていたが、実際は600万元

程度に留まった⁹⁾。支払い拒否を始めとする様々な問題が生じており、計画通りに徴収されていないのが実情である。

7. まとめ

本研究では、中国主要都市について都市生活廃棄物発生量の要因分析を行った。また北京市を対象として、都市生活廃棄物の発生量予測及び処理・処分施設整備の需要予測を行った。これによって、以下の結果が得られた。

- 1) 1995年における中国主要35都市のデータから、一人当たり都市生活廃棄物収集量を目的変数に、一人当たりGDP、都市化率、ガス普及率、年平均気温の4指標を説明変数に選び重回帰分析を行った。その結果、中国都市の生活廃棄物ごみは所得水準、都市化という増加要因と民生用ガス普及率、気候条件という減少要因で規定されることがわかった。
- 2) 一人あたり都市生活廃棄物排出量とその要因及び総人口の6種類のデータを用いてクラスター分析を行い、中国主要35都市の類型化を行った。その結果から、都市生活廃棄物排出特性が石炭からガスへの民生用エネルギーの転換と、経済成長とそれに伴う都市化の進展によって変化するという仮説を提示した。
- 3) 北京市における都市生活廃棄物排出量の今後の変化について、現状維持型と先進国追従型の2種類のシナリオを設定し、北京市における都市生活廃棄物排出量の将来予測を行った。その結果、2020年の都市生活廃棄物収集量が前者のシナリオで約400万トン、後者で約520万トンとなった。
- 4) 北京市の都市生活廃棄物収集・処理システムに関する既存施設及び新設計画と、都市生活廃棄物収集量の予測結果からインフラ需給ギャップを算定した。2020年までに必要となるごみ処理施設の投資額を焼却率や施設規模等のシナリオのもとで予測した結果、最低で16.2億元、最高で45.8億元となった。
- 5) 今後の都市生活廃棄物処理システムの整備戦略に関して、都市生活廃棄物の減量化、処理方法、資金調達メカニズムの面から考察した。

今後の研究課題としては、以下のような点が考えられる。

- 1) 処理・処分施設だけではなく、収集運搬過程を含む都市生活廃棄物処理システム全体に関する総合的な予測・評価が不可欠である。
- 2) 経済発展にしたがって、都市生活廃棄物の多様化

に伴う問題が発生する。例えば廃家電や廃自動車のような処理困難な廃棄物の発生量増大が予想され、それへの対処も想定する必要がある。

- 3) 資金調達メカニズムについても、民間資金導入を視野に入れたさらなる検討が必要である。
- 4) 中国では、都市生活廃棄物発生量の増加と処理システムの整備が進展する前に、循環型社会形成への早期移行を実行する可能性を有しており、そのための戦略立案も大きな課題である。

付録

- 注1) 都市生活廃棄物：都市部において発生している一般廃棄物及び建設廃棄物の合計。中国では一般的に、都市部における都市人口あるいは非農業人口が行政による廃棄物処理システムの対象となっている。
- 注2) 総人口：中国の人口は、職種によって非農業人口と農業人口に分けられ、戸籍によって都市人口と農村人口に分けられている。都市の総人口とは、都市部で生活している都市人口と農村人口の合計あるいは非農業人口と農業人口の合計を指す。
- 注3) MSW清運量：トラックトンで集計された都市生活廃棄物収集量
- 注4) 都市生活廃棄物の実質収集総量：MSW清運量×0.60
- 注5) 無害化処理：廃棄物の衛生埋立、堆肥、リサイクル及び焼却処理
- 注6) 総合利用：堆肥及びリサイクル処理
- 注7) 非衛生処理：野積み、投棄、簡易焼却等
- 注8) 1995年購買力平価の換算係数：1.576円/US\$

参考文献

- 1) Zuo, J., Matsumoto, T. and Imura H.: Study on features of municipal solid waste generation in China, *Proceeding of the Asian Pacific Landfill Symposium Fukuoka 2000*, pp.54-61,

2000.

- 2) 中国国家統計局：中国統計年鑑1996、中国統計出版社
- 3) 中国国家統計局：中国城市統計年鑑1996、中国統計出版社。
- 4) 井村秀文、勝原健：中国の環境問題、東洋経済新報社、1996。
- 5) 中国国家統計局：北京50年、中国統計出版社、2000。
- 6) 李国学等：北京市生活ごみ処理及び利用現状の調査と評価、中国農業大学学报、第4巻増刊、1999。
- 7) 北京市環境保護局：北京市固体廃棄物污染防治目標と対策(1998～2002)、1999。
- 8) Jiang, Y. and Kang, M.Y.: Urban domestic garbage disposal and its management in China, *Urban Environmental Challenge in Asia: Current Situations and Management Strategies*, Hayama, IGES, pp. 367-390, 2001.
- 9) Shi, Y.: Current status and countermeasures of refuse in Beijing, *Research of Environmental Sciences*, pp.40-41, 1998.
- 10) タクマ環境技術研究会編：ごみ焼却技術絵とき基本用語、オーム社、1998。
- 11) 中国環境科学研究院提供データ、2000。
- 12) 石川禎昭：ごみ焼却排熱のおもしろ科学、理工図書、1997。
- 13) 北京市市政管理委員会提供データ、2000。
- 14) 大都市統計協議会：大都市比較統計年表、昭和35年～平成9年版。
- 15) Ministry of Home Affairs, Republic of Korea: Municipal Statistic of Korea, 1990-1998.
- 16) National Statistical Office, Republic of Korea: Gross Regional Domestic Product 1999.
- 17) 首都計画建設委員会事務局北京城郷計画委員会：北京城市総体規則（1991～2010年）総則、<http://www.bjsgwb.gov.cn/fgwj/ztgh.htm>, 2001。
- 18) 中国國家計画委員会：第9次5カ年計画と2010年への長期目標、1995。
- 19) 産業タイムズ社：環境設備計画レポート、1995。
- 20) 日本環境衛生センター：廃棄物基本データ集、1999。

NEED PREDICTION AND STRATEGIES FOR DISPOSAL OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN CHINA

Jian ZUO, Akira IMAI, Hirofumi NAKAYAMA,
Toru MATSUMOTO and Hidefumi IMURA

The paper forecasts demand for disposal of municipal solid wastes and explores strategies in China. Based on an analysis on exhaust characteristics of municipal solid waste at the city level, Beijing was chosen for the case study on disposal demand forecasting. Demand for the new waste disposal facilities and requisite investment for new facilities in the next 20 years (2001 to 2020) in Beijing were estimated for various scenarios of waste generation rate, disposal method and scale. It is estimated that Beijing will require 1,620 to 4,580 million Yuan of capital investment to build 8 to 22 new facilities, providing capability to dispose of the 37 to 50 million tons of municipal solid waste exceeding the disposal capacity of existing facilities in the next 20 years.