

北京市の都市生活廃棄物処理の評価システム に関する研究

本坊紀史¹・松本亨²・左健³・王琪⁴

¹学生会員 北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科 環境工学専攻
(〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

²正会員 博(工) 北九州市立大学助教授 国際環境工学部環境デザイン学科

³非会員 博(工) 北九州市立大学研究員 国際環境工学部環境デザイン学科

⁴非会員 中国環境科学研究院廃棄物研究所 所長

北京市は、近年の急速な経済発展と人口増大による廃棄物要処理量の急増に対して、資金不足もあり処理・処分施設の整備が十分ではない。都市生活廃棄物による都市部の環境汚染は、重大な環境問題、社会問題になっている。本研究では、都市環境インフラ整備戦略の予備的検討として、北京市における都市生活廃棄物収集量の将来予測、都市生活廃棄物処理・処分インフラ需要予測とその充足度に関するシナリオ分析を行った。具体的には、①埋立場の新設のみ、②主に焼却場の新設、③2020年処理計画に則した場合の3種類のシナリオを設定し、各シナリオの2020年までに必要となる都市生活廃棄物処理施設量と処理フローを推計した。

Key Words: municipal solid waste, need prediction, disposal strategies, Beijing

1. はじめに

中国の大都市は、経済発展による都市への人口集中や消費の活性化、所得向上等によって生活廃棄物発生量が増加している。さらに、プラスチック類と紙類の増加をはじめとした質的多様化が、適正処理をより一層困難にしている。このような急激な変化に対して、市政府は収集範囲の拡大を進めているが、資金不足による処理・処分施設の整備の遅れ、城郷結合部のごみ収集体制整備の遅れから、ごみによる都市部の環境汚染は重大な社会問題になっている。

人口増加と社会経済的制約の中で都市生活廃棄物処理システムの最適化を考えるには、省エネルギー性、環境適合性、経済性等の面から統合的に検討を行う必要がある。本研究では、都市生活廃棄物処理システムの最適化を検討する第一歩として、中国都市の都市生活廃棄物収集量のトレンドを概観した後、都市生活廃棄物収集量の将来予測及び都市生活廃棄物処理に関わる物質フローモデルの構築とそれによるシミュレーションやシナリオ分

析を行うことで、都市インフラ整備戦略の予備検討とする。対象都市としては、1986年に人口1,000万人を超え、今後も人口増加が続くと予想されている北京市とする。

2. 北京市の都市生活廃棄物特徴及び処理現状

図-1は、財団法人地球環境戦略研究機関(IGES)¹⁾のデータを用いて、一人当たり都市生活廃棄物収集量及び都市生活廃棄物収集量の経年変化を示したものである。ソウル、東京の一人当たり都市生活廃棄物収集量は、減少傾向である。理由として、ソウルに関しては、1988年に開催されたオリンピック以後、生活レベルが向上し、家庭用エネルギー源がガス利用に変化していったためであると考えられる。北京市は年平均約0.05トン/人ずつ増加しており、ソウル、東京に追いつく勢いである。都市生活廃棄物の組成を3都市で比較したものを図-2に示す。北京市は、割合の高い順に厨芥36%、紙類21%、プラスチック15%となっ

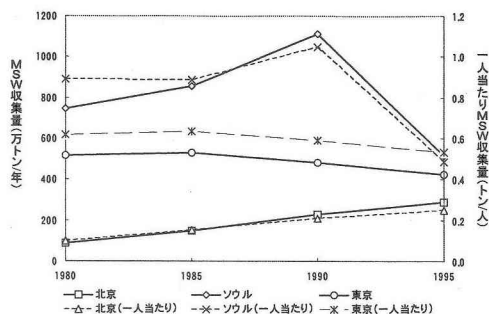


図-1 北京、ソウル、東京のMSW収集量経年変化¹⁾

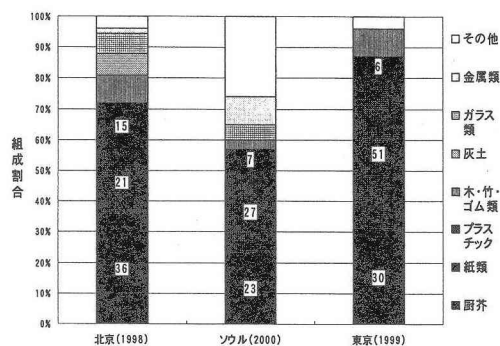


図-2 北京、ソウル、東京のMSW組成

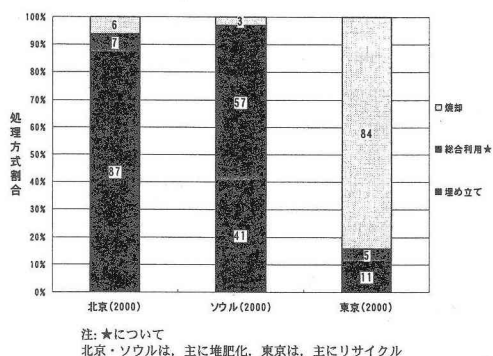


図-3 北京、ソウル、東京のMSW処理方式⁴⁾

ている¹⁾。東京は、紙類51%、厨芥30%で全体の約8割を越えている²⁾。ソウルは、紙類27%、厨芥23%で全体の半数を占めている³⁾。都市生活廃棄物の処理方式を見ると(図-3)、総合利用、焼却の割合が、7%、6%である一方、埋め立ての割合が87%と大変高く、都市生活廃棄物の有効利用という面では物質、熱ともに進んでいないことがわかる⁴⁾。

3. 北京市の都市生活廃棄物収集量の将来予測

まず、発生量と収集量の概念を説明する。日本のように住民に対してごみの収集が100%保証されていない中国都市では、発生量の伸びと収集率の伸び双方を考慮する必要がある。収集率については、市環境衛生管理局の収集範囲が該当するが、現時点では正確な情報がないため、収集範囲の変化は考慮しないこととする。具体的には、北京市全域(中心区、近郊区、遠郊区)を対象とし、2003年から2020年については、都市部と農村部の境界域(城郷結合部)も含める。一方、発生量に関しては、所得上昇と都市化の進展及び人口増加と大きな関わりがあると考えられている⁵⁾ため、それを基本とした重回帰モデルを構築する。構築されるモデルは、発生量の変化と収集率の変化を同時に予測することになる。1991年から1999年までの収集量は、北京市環境衛生設計科学研究所の収集量換算係数(0.60)を用いてトラック積載量から都市生活廃棄物収集量を推計した。また、2000年から2002年までは、実データを使用した。

2003年以降の北京市の都市生活廃棄物収集量の将来予測値を推計するために、目的変数に一人当たり都市生活廃棄物収集量を、説明変数に、一人当たりGDPと都市化率(非農業人口/総人口)^{6),7)}を取り上げて重回帰分析を行った。GDPは、2010年まで増加率10%で伸び、その後8%の増加率⁸⁾で成長すると仮定する。説明変数に用いる人口の予測は、すべて近似曲線($r^2=0.95$ 以上)を用いて推計した。その結果、以下のような重回帰係数0.8478の回帰式が得られた。

$$W_p = 0.0205P_{urb} - 0.0002G_p - 0.2250 \quad (1)$$

$$r^2 = 0.8478$$

W_p : 一人当たり都市生活廃棄物収集量 (kg/day)

P_{urb} : 都市化率(非農業人口/総人口, %)

G_p : 一人当たりGDP(1978年=100, 実質価格)

式(1)により求めた一人当たり都市生活廃棄物収集量に、非農業人口と暫住人口の合計人口を乗じて都市生活廃棄物収集量を求めた。この都市生活廃棄物収集量には、城郷結合部の生活廃棄物収集量が含まれていないため、城郷結合部の生活廃棄物収集量を足し合わせる必要がある。そのため、城郷結合部の収集量については、最大収集ポテ

ンシャルを100万t/yとし、その収集率を0%（2003年）から100%（2008年）まで変化させることで推計した。図-4は、北京市の都市生活廃棄物収集量の将来予測結果を示している。都市生活廃棄物収集量については、2004年以降2008年まで対前年比で約20%の増加率を示し、2008年に423.5万トンでピークとなることが予想される。主な増加要因は、非農業人口・暫住人口の増加と城郷結合部における収集率向上である。2008年を境に一人当たり都市生活廃棄物収集量は、対前年比で15%から30%の減少傾向がみられ、都市生活廃棄物収集量についても同様に減少しているが、これは、2008年以降、都市生活廃棄物として収集されない、総合利用として資源回収されるごみ量の増大が要因である。

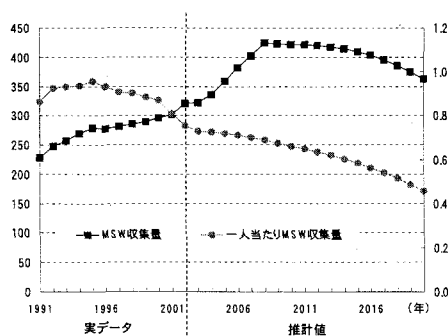


図-4 MSW収集量の将来予測結果

図-5(a)は、都市生活廃棄物収集量の推移と既存施設の処理能力を示している。処理能力は、1991年～2020年の各年の無害化処理量を処理方式別に累積して表現している。ここで、既存処理施設とは、2007年までの北京市の施設整備計画を参考に、建設年次と耐用年数を考慮して算出したものである。都市生活廃棄物処理施設の総処理能力は、2007-08年が最大で425.2万トン（埋立場194.5万トン、総合処理138.7万トン、焼却施設92.0万トン）であるが、2017年以降には250.8万トンに減少する。2003年と2005年～2008年は処理施設が都市生活廃棄物収集量を上回り必要な処理・処分能力を満たしているといえる。2008年以降については、主に埋立場の処分容量の不足から都市生活廃棄物約110万トンを処分できない状況に陥ることがわかる。

4. 処理・処分施設整備と処理フローに関するシナリオ分析

(1) シナリオの設定

2007年までは、北京市の計画が概ね既定路線となっているので、2008年から2020年の13年間を対象に、以下の3つのシナリオについてシミュレーションを行った。共通の設定として、処理施設使用期限の予定が記載されていない処理施設は、2020年まで稼働すると仮定した。無害化処理率について、2000年から2007年は、データの存在する年の無害化処理率をもとに、比例するものとして計算した。総合利用は、現状に則して主に堆肥化を仮定する。総合利用残渣と焼却残渣を、中間処理残渣と位置づけ、共に埋立処理とする。中間処理残渣発生率の内訳は、北京市での現状が把握できていないため、日本の事例を参考に、総合利用残渣率を10%（堆肥の収率を20%⁹⁾で、堆肥の含水率を0.5¹⁰⁾とした）、焼却残渣率を15%⁹⁾と仮定する。

各シナリオの設定の詳細は下記のとおりである。

①シナリオ1（埋立場新設のみの場合）

シナリオ1では、2008年以降の新設設置を埋立場のみとする。埋立場1カ所の処理能力を1,000t/dayとし、総合利用施設、焼却施設新設を考慮しない。

②シナリオ2（主に焼却施設の新設の場合）

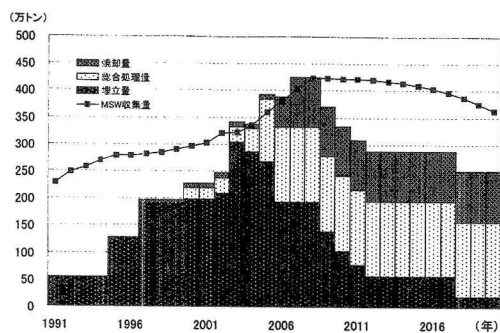
シナリオ2では、2008年以降の中間処理不足分を全て焼却とする。焼却残渣埋立のための埋立場建設も必要となる。新設埋立場1カ所の処理能力を1,000t/day、新設焼却施設1カ所の処理能力を1,000t/dayとし、総合利用施設の新設は考慮しないものとする。

③シナリオ3（北京市の2020年処理計画に則した場合）

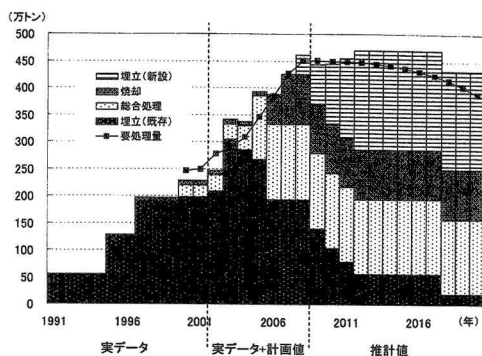
シナリオ3では、2020年の処理割合を埋立場30%、総合利用35%、焼却35%と北京市の計画に則した設定とする。施設を新設する場合、新設埋立場1カ所の処理能力1,000t/day、新設焼却施設1カ所の処理能力1,000t/dayとする。

(2) 計算結果と考察

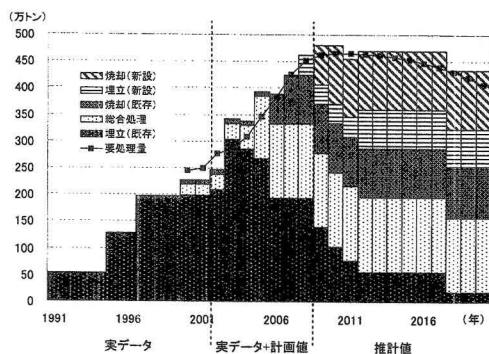
各シナリオについての推計結果を図-5(b)～図-5(d)に示す。図-5(b)はシナリオ1を示しているが、要処理量は2008年の451.2万トンを境に、対前年比0.1%～2.0%の減少傾向で2020年の要処理量は390.0万トンという推計結果となった。要処



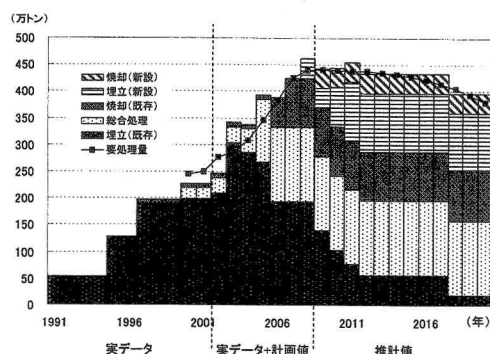
(a) MSW収集量と既存施設+2008年までの計画値の処理能力



(b) シナリオ1 (埋立場新設のみの場合)



(c) シナリオ2 (主に焼却施設の新設の場合)



(d) シナリオ3 (2020年処理計画に則した場合)

注：要処理量＝中間処理量＋最終処分量

図-5 シナリオ別の要処理量と必要施設の推計結果

理量と処理能力の最大差は2018年に生じ、163.6万トンである。この差を埋めるために、2008年～2012年まで毎年36.5万トン/年規模の埋立場を5カ所新設することを想定した。一次処理割合は、2020年に埋立36%、総合処理38%、焼却26%となった。

図-5(c)はシナリオ2を示している。要求処理量のピークは2010年で、465.4万トンである。以後、対前年比0.1%～2.0%の減少傾向で、2020年の要処理量は406.4万トンと見込まれる。処理能力450万トンを軸に増減する予測となった。要処理量と処理能力の最大差は2018年に生じ、180.0万トンである。この差を埋めるために、2009年に36.5万トン/年規模の埋立場を1カ所、2010年に36.5万トン/年規模の焼却施設を2カ所新設し、2011年にも同等規模の焼却施設を1カ所新設することを想定した。2020年の焼却施設処理能力は、201.5万トンである。一次処理割合は、2020年に埋立6%、総合処理38%、焼却56%となった。

図-5(d)はシナリオ3を示している。要求処理量のピークは2009年で、440.7万トンである。以後、対前年比0.1%～2.0%の減少傾向で、2020年の要処理量は180.1万トンと見込まれる。処理能力450万トンを軸に増減する予測となった。要処理量と処理能力の最大差は2018年に生じ、153.6万トンである。この差を埋めるために、2008年に36.5万トン/年規模の埋立場を1カ所、2010年と2011年にも同規模の埋立場を1カ所ずつ新設し、2009年に36.5万トン/年規模の焼却施設を1カ所新設することを想定した。2020年の焼却施設処理能力は、128.5万トンである。

2008年～2020年の新設処理施設の需要(表-1)は、シナリオ1で、新設埋立場5カ所、シナリオ2で、新設埋立場1カ所、新設焼却場3カ所、シナリオ3で、新設埋立場3カ所、新設焼却場1カ所必要となった。なお、この推計には都市生活廃棄物として収集される量のみを想定しており、それ以外の総合利用を含んでいないことは注意が必要である。

表-1 処理施設の新設需要 (2008年～2020年)

年	シナリオ1		シナリオ2		シナリオ3	
	埋立	焼却	埋立	焼却	埋立	焼却
2008	1	-	-	-	1	-
2009	1	-	1	-	1	-
2010	1	-	-	2	-	1
2011	1	-	-	1	1	-
2012	1	-	-	-	-	-
2013	-	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	-	-	-
2015～	-	-	-	-	-	-
合計	5	-	1	3	3	1

(カ所)

5. 北京市のMSW処理フロー

Excel上に2002年と2008年と2020年の都市生活廃棄物収集から埋立、再資源化(堆肥化含む)までの都市生活廃棄物処理フローモデルを構築し⁹⁾、¹¹⁾、量データと割合データをリンクさせながら都市生活廃棄物収集量から埋立量、再資源化量を算出した。都市生活廃棄物処理フローは、直接埋立、焼却、総合利用を中間処理、焼却残渣、総合利用残渣を含む埋立を最終処分として、二段階の工程を踏む仕組みとした。中間処理工程の割合は、直接埋立率 a 、焼却率 b 、総合利用率 c とし、その設定には北京市の処理計画を参考に設定した($a+b+c=100\%$)。焼却残渣率は $d=15\%$ ¹⁰⁾、総合利用残渣は $e=10\%$ 、再資源化率は、 $f=20\%$ ⁹⁾とした。なお、再資源化率は、堆肥化を想定し、含水率の減少を考慮している。

以上に従って推計した処理フローの結果を図-6に示す。2002年は、都市生活廃棄物収集量321.4万トンに対し、埋立量は285.1万トンとなった。2008年は、都市生活廃棄物収集量551.2万トンに対し、埋立量は283.9万トン、2020年は、都市生活廃棄物収集量362.4万トンに対し、埋立量は140.4万トンとなった。2002～2020年の都市生活廃棄物収集量に対する埋立量の割合の変化を見ると、2002年が約89%、2008年が約52%、2020年が約39%となった。

6. おわりに

本研究では、中国の大都市を代表して北京市を対象に、都市生活廃棄物収集量将来予測とシナリオ別の処理・処分施設の整備必要量予測、処理フローモデルの構築を行った。これらにより、以下の結果が得られた。

1) 一人当たりGDPと都市化率(非農業人口/総人

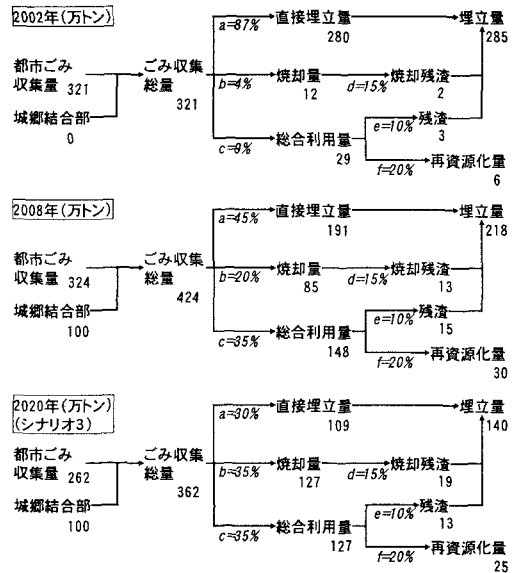


図-6 北京市のMSW処理フロー

口)を説明変数に採用して一人当たり都市生活廃棄物収集量を重回帰分析により予測するモデルを構築した。これと城郷結合部の収集量予測を合計した値を北京市の収集量として予測した。その結果、2008年以降について、主に埋立場の処分容量の不足から都市生活廃棄物約110万トンを処分できない状況に陥ることがわかった。

2) 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、埋立場の新設のみの場合(シナリオ1)、主に焼却場の新設の場合(シナリオ2)、2020年処理計画に則した場合(シナリオ3)の3種類のシナリオを設定し、中間処理量と最終処分量の合計値として要処理量を推計した。その結果、2020年値は、シナリオ1で390.0万トン、シナリオ2で406.4万トン、シナリオ3で380.1万トンとなった。また、2008年～2020年の新設処理施設は、シナリオ1で、新設埋立場5カ所、シナリオ2で、新設埋立場1カ所、新設焼却場3カ所、シナリオ3で、新設埋立場3カ所、新設焼却場1カ所必要となった。

3) 中間処理工程、最終処分工程を考慮して埋立量、再資源化量を都市生活廃棄物処理フローモデルを構築した。

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) より詳細な都市生活廃棄物処理フローモデルの構築を行う。今回は固定して扱った変数も動的に変化させることも必要であり、システムダイナミクスに基づいたシミュレーションモデルを構築する。
- 2) 廃棄物の発生分布と収集・中継ルートを用いて詳細に分析し、分別・収集形態の変化を評価できるようにする。さらに、GISを用いた廃棄物焼却熱の需給バランスの解析と、それを用いた最適な廃棄物処理施設配置の提案を行う。

謝辞：本研究は、科学技術振興調整費若手任期付研究員支援「東アジア都市のための環境評価ツールの開発（平成13-17年度）」（代表：松本亨）の一環として行った成果の一部である。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 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, pp367-390, 2001.
- 2) 廃棄物情報研究会編:Fact Book 廃棄物基本データ集, 日本環境衛生センター, 2000.
- 3) Information System Planning Division:STATISTICAL YEARBOOK SEOUL 2001, Seoul Metropolitan Government
- 4) 左健, 松本亨:中国における都市生活廃棄物の需要の将来予測と整備戦略に関する研究,環境システム研究論文集, pp.273-281, vol.29, 2001.
- 5) 丹保憲仁:人口減少下の社会資本整備, pp185-189, 2002.
- 6) 中国国家统计局:北京50年, 中国統計出版社
- 7) 中国国家统计局:北京統計年鑑 1997-2003, 中国統計出版社
- 8) 中国国家計画委員会:第9次5ヵ年計画と2010年への長期目標, 1995.
- 9) 汪群慧:中国都市ごみの処理現状と対策, 2002.
- 10) 松藤敏彦, 田中信壽:家庭系ごみ流れの推定に関する研究, 廃棄物学会論文誌, pp214-223, vol.11, 2000.
- 11) 定方正毅:中国環境ハンドブック, pp329-342, 1997.

STUDY ON ASSESSMENT SYSTEM FOR BEIJING'S MUNICIPAL SOLID WASTE DISPOSAL

Norifumi HOMBO, Toru MATSUMOTO, Jian ZUO and Qi WANG

Beijing's MSW amount has increased rapidly with the rapid economic development and population increase in recent years, however, MSW treatment and disposal facilities are not enough due to the reasons such as financial deficit. Environmental pollution in the urban area resulted from MSW has become serious environmental and social problems. Environmental pollution in the city part with the city life waste is serious environmental problems, and a social problem. In this study, forecast for MSW collection, and scenario analysis on demand and satisfaction for MSW treatment and disposal facilities in the future was done as a preliminary discussion of improvement strategies for Beijing's MSW treatment and disposal. In particular, three scenarios are set under the three conditions respectively, i) all new facilities are landfills, ii) new facilities are incinerators mainly, iii) new facilities are planned with satisfying Beijing's MSW strategies on disposal rates of landfill and incineration in 2002. Number of facilities required by MSW treatment and disposal and material flow of MSW disposal until 2020 are estimated by the three scenarios.