

バンコク首都圏の廃棄物処理に関する 環境影響評価・環境会計に基づく環境経済評価

京都大学大学院 稲積真哉 ^{*1}
 京都大学大学院 大津宏康 ^{*2}
 京都大学大学院 塩谷智基 ^{*3}
 京都大学大学院 勝見 武 ^{*4}
 ケミカルグラウト(株) 石川憲俊 ^{*5}

By Shinya INAZUMI, Hiroyasu OHTSU, Tomoki SHIOTANI,
 Takeshi KATSUMI and Kazutoshi ISHIKAWA

バンコクを含めた開発途上国の多くでは、各々の地域内で廃棄物を収集した後、直接埋立処分することが廃棄物処理の主流を占めている。ただし、未処理で有機物を多量に含む廃棄物は、汚水や悪臭の発生等の埋立処分地における環境悪化をもたらすとともに、嫌気分解によってメタンガス等の温室効果ガスが発生する。

本研究は、タイ王国・バンコク首都圏における現状の廃棄物処理システムならびにシナリオとして想定した廃棄物処理システムに対して、環境影響評価および環境会計を適用し、当該廃棄物処理システムに伴う処理コスト、環境負荷ならびに環境コストを定量的に評価する。さらに、処理コストならびに環境コストを総合的に最適化し得るバンコク首都圏における廃棄物処理システムを議論している。

【キーワード】温室効果ガス、環境影響評価、環境コスト、処理コスト、廃棄物処理

1. はじめに

現在、開発途上国の多くは社会資本整備の遅れ等によって、大気汚染や水質悪化等、様々な環境問題が深刻化しており、国土政策としての課題が顕在している。ここで、本研究は開発途上国の内、タイ王国を対象としており、バンコク首都圏における環境問題の中でも自然環境と密な関係にある廃棄物処理に着目している。なお、バンコク首都圏とは、バンコク都にサムートプラカン、パトンタニ、サムートサコン、ナコンパトムおよびノンタブリの周辺 5 県を加えた地域の総称である。

現状、開発途上国の多くにおいて、各々地域内で収集された廃棄物は無処理のまま、直接埋立処分さ

れており、これが廃棄物処理の主流を占めている。ただし、当該廃棄物処理において未処理で有機物を多量に含む廃棄物が埋め立てられると、汚水や悪臭の発生で埋立処分地の環境悪化をもたらすとともに、嫌気分解によってメタンガス (CH₄) 等の温室効果ガスが発生する。よって、開発途上国の多くにおいて主流の廃棄物処理は、地球温暖化の一因や自然発火の原因となり、さらに埋立処分地 (廃棄物処分場) の環境悪化をもたらしている。

近年、日本をはじめとする先進諸国では、地球温暖化で代表される環境問題に対する関心の高まりに伴い、廃棄物処理等に対する各々自治体の活動を環境影響評価ならびに環境会計を用いて評価する方針

^{*1} 京都大学大学院工学研究科	075-383-3262	inazumi.shinya.3c@kyoto-u.ac.jp
^{*2} 京都大学大学院工学研究科	075-383-3260	ohtsu@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp
^{*3} 京都大学大学院経営管理研究部	075-383-3261	shiotani.tomoki.2v@kyoto-u.ac.jp
^{*4} 京都大学大学院地球環境学堂	075-753-9205	katsumi.takeshi.6v@kyoto-u.ac.jp
^{*5} ケミカルグラウト(株)	03-5575-0511	k-ishikawa@chemicalgrout.co.jp

へ転換している^{1), 2)}。すなわち、各々自治体の諸活動は財務的な費用便益に加え、社会環境に対する見かけの費用便益をも計上されることで社会的な評価が下されることになる。ここで、評価主体によって環境負荷や評価手法が異なるため、その社会的信頼性の程度を示すこと自体は困難であるものの、財務的な費用便益ならびに社会経済的な費用便益も計上することで、より良い社会経済活動を選択することができると考えられる。

本研究は、タイ王国・バンコク首都圏における廃棄物処理に着目している。具体的には、バンコク首都圏における現状の廃棄物処理システムならびにシナリオとして想定した廃棄物処理システムに対して、環境影響評価および環境会計を適用し、当該廃棄物処理システムに伴う処理コスト、環境負荷ならびに環境コストを定量的に評価する。さらに、処理コストならびに環境コストを総合的に最適化（最小化）し得るバンコク首都圏における廃棄物処理システムを議論している。

2. バンコク首都圏における廃棄物処理システムに対する LCA-EA モデルの設定・検討

(1) LCA-EA モデルの概要

廃棄物を処理する際には、環境負荷を可能な限り抑制した処理システムを選択する必要がある。しかしながら、廃棄物処理の運営コスト（処理コスト）は多くの場合、住民から徴収された税金が投入されている。すなわち、限りなく環境負荷の抑制された廃棄物処理システムであっても、莫大な処理コストが必要な場合、その実現は極めて困難である。一般的に“環境負荷が小さい”且つ“処理コストが安い”が廃棄物処理システムの理想ではあるものの、両者は別の次元であるため、単純に比較することができない。よって、廃棄物処理システムを評価する際には、環境負荷の削減に対して要した処理コストの妥当性を検討するため、環境負荷量を貨幣換算し、処理コストと同じ次元（貨幣単位）において両者を比較する必要があると考えられる。

本研究において設定・検討する LCA-EA モデルは、環境影響ならびに処理コストを考慮し得る廃棄物処理システムの評価モデルであり、環境負荷ならびに処理コストを定量的に評価し、最終的には環境コス

トならびに処理コストを総合的に最適化する廃棄物処理システムを検討することができる。なお、当該モデルでは環境負荷量として、廃棄物処理過程における温室効果ガス排出量および廃棄物の最終処分量に着目している。さらに、温室効果ガスは二酸化炭素（CO₂）、メタンガス（CH₄）および亜酸化窒素（N₂O）を対象としている。

LCA-EA モデルの評価フローは以下に示す。

- ① 対象地域における廃棄物処理フローを設定する。
- ② 廃棄物処理フローを、収集運搬過程、中間処理過程および最終処分過程に区分する。
- ③ 各過程において、年単位の収集運搬車両の稼働状況、中間処理施設の稼働状況および埋立処分地の廃棄物処分状況等を推計する。
- ④ 各過程において推計された稼働状況、施設規模および廃棄物処分量等を基本に、年単位の処理コストを算出する。
- ⑤ 各過程において推計された稼働状況、施設規模および廃棄物処分量等に対して CO₂、CH₄ および N₂O の排出係数もしくは排出原単位、および貨幣価値原単位を乗じ、年単位の環境負荷量と環境コストを算出する。
- ⑥ 各過程において算出された環境コストおよび処理コストを加算することで廃棄物処理フロー全体における年単位の環境コストおよび処理コストを検討する。

(2) 排出係数、排出原単位および貨幣価値原単位

a) 排出係数ならびに排出原単位

LCA-EA モデルを用いて廃棄物処理システムから排出される環境負荷物質を推定するためには、構成するエネルギー原料、材料、製品ならびに土木・建築工事等に関する環境負荷物質（本研究では CO₂、CH₄ および N₂O）の排出係数もしくは排出原単位を用いる必要がある。ここで、排出係数とは主としてエネルギー原料（単位量あたり）に対して用いられ、一方、排出原単位とは材料、製品ならびに土木工事等、複合的な対象（単位量あたり）に対して用いられる。

元来、材料、製品ならびに土木・建築工事等における環境負荷物質の排出原単位は、各々の製造および資源採取まで遡って設定しなければならない。すなわち、ある材料、製品および土木・建築工事等に

対するプロセスフローを作成し、順次上流側へ遡って環境負荷物質の収支表を作成する必要がある、このような排出原単位の設定方法は積上げ法と呼ばれている³⁾。ただし、積上げ法による排出原単位の設定は理想的であるものの、作業量が膨大になる。そこで、「温室効果ガスの排出・吸収に関する国家目録作成のための IPCC ガイドライン（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change、1996 年改定）」⁴⁾ならびに「温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン（環境省、2007 年）」⁵⁾の中では、最も上流側に位置するエネルギー原料に対して、その使用用途に基づく排出係数のデフォルト値を定めている。さらに、当該ガイドライン⁴⁾、⁵⁾で示されたエネルギー原料の排出係数のデフォルト値を基に、日本をはじめとする先進諸国では産業界（日本では 400～500 部門）の生産活動に伴う取引金額をまとめた産業連関表を分析し、単位量あたりの材料、製品ならびに土木・建築工事等における環境負荷物質の排出原単位を求める方法が広く用いられている。このような排出原単位の設定方法は産業連関分析法として呼ばれている³⁾。

本研究の対象であるタイ王国においても、IPCC ガイドラインに示されたエネルギー原料の排出係数に関するデフォルト値を基にした産業連関分析法によって、材料ならびに製品における CO₂ 排出量の推計が試みられている⁶⁾。表-1 はタイ王国と日本におけるエネルギー原料の CO₂ 排出係数⁴⁾、⁶⁾、ならびに製品や土木・建築工事等に関する CO₂ 排出原単位⁶⁾、⁷⁾の一例を示している。これより、エネルギー原料の排出係数に関しては、日本ならびにタイ王国とも IPCC ガイドラインを基準にしているため、両国間に大きな相違が認められないと判断できる。一方、材料や製品における排出原単位の推計には、両国間における生産構造ならびに販売構造等、経済構造の相違が産業連関分析法に反映される結果、CO₂ 排出原単位として差が生じることになる。

本研究はタイ王国を対象としているため、エネルギー原料、材料、製品および土木・建築工事等に関する CO₂、CH₄ および N₂O 排出係数および排出原単位の設定には、IPCC ガイドラインに示された排出係数のデフォルト値⁴⁾およびタイ王国を対象とした産業連関分析法によって推定された各々排出原単位⁶⁾を引

表-1 日本とタイ王国における CO₂ 排出係数
および CO₂ 排出原単位の一例

種類	日本	タイ
エネルギー原料		
電力 (kg-CO ₂ /kWh)	0.473	0.688
重油 (kg-CO ₂ /L)	2.585	3.080
軽油 (kg-CO ₂ /L)	2.713	2.700
土木工事 (kg-CO ₂ /円)		
建築工事 (kg-CO ₂ /円)	5.647	1.906
自動車製造 (kg-CO ₂ /円)	4.400	0.957
	3.150	0.973

用ならびに設定している（後出の表-4 参照）。ただし、当該排出原単位を用いて推計される CO₂、CH₄ および N₂O 排出量の絶対値は、精度において未だ課題が残るものの、排出量の絶対値に関する比較評価は可能であると考えられる。

b) 貨幣価値原単位

環境負荷物質、特に CO₂ の排出量を貨幣換算するためには、「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針」（国土交通省、2004 年）⁸⁾において以下に示す貨幣価値原単位計測の考え方が示されている。

① 被害費用に基づく計測

② 対策費用に基づく計測

③ 排出権取引価格に基づく計測

上記①～③において、①被害費用に基づく計測は政策動向の影響を受け難く、外部要因に対して比較的安定であり、且つ国際的な公平性にも配慮できる計測である。また、①被害費用に基づく計測は、気候変動の経済的影響を分析した世界的に著名な報告においても引用されている⁹⁾。当該文献⁹⁾は 103 個の計測事例を基に、CO₂ 排出の限界被害費用をとりまとめており、現時点で最も信頼できる文献の 1 つとして考えられる。より具体的には、CO₂ 排出の限界被害費用（CO₂ が 1 単位増加した場合の海面上昇等による被害を貨幣換算したもの）について、既往の計測事例（103 個）を収集し、計測値の平均や分散を分析しており、全計測値の平均値は 3.03 円/kg-CO₂ であった。

本研究では上記を踏まえ、CO₂ の貨幣価値原単位の設定に対して①被害費用に基づく計測の方法を採用し、文献⁹⁾で報告された 3.03 円/kg-CO₂ を設定する。さらに、CH₄ および N₂O に関する貨幣価値原単位の設定には、各々の温暖化係数が 21 および 310 であることを考慮し、63.63 円/kg-CH₄ および 939.3 円/kg-N₂O としている。

一方、廃棄物等が不法に投棄された現場、土壌汚染が確認された現場、および廃棄物が直接埋め立てられた衛生埋立処分地において、当該土地を再び利用するためには何らかの対策を講じる必要がある。その対策コストについて、本研究では貨幣価値原単位を設定することで表す。具体的にはバンコク首都圏と日本の物価の相違（1baht=3 円）を考慮した上、衛生埋立された最終処分量に対して、貨幣価値原単位を 1,000 円/m³ として設定する。ここで、当該設定は文献¹⁰⁾に記載された土壌汚染対策に関する貨幣価値原単位 3,000 円/m³に基づいている。なお、準好気性埋立および嫌気性埋立については、最終処分量に関する適正な管理が施されていると仮定した上、最終処分量に対する貨幣価値原単位を設定しない。

(3) バンコク首都圏の廃棄物処理（入力情報）

表-2 および表-3 は、LCA-EA モデルの入力情報として用いたバンコク首都圏における廃棄物の発生量および組成割合を示している¹¹⁾。

バンコク首都圏では地域内の廃棄物の大部分が毎日収集され、図-1 に示す各地域における 3 つの中継基地施設（OnNut、Nongkhaem および Tharaeng）に収集管理される。中継基地施設では中間処理が実施されることなく、収集された廃棄物はコンテナに詰め替えられ、中継基地施設毎に埋立処分地（Phanomsarakam および Kamphaengsaen）へ運搬・処分される¹²⁾。ただし、埋立処分地は簡易な覆土が設置されるのみであり、衛生埋立処分場として考えられる¹³⁾。よって、バンコク首都圏において収集された廃棄物は、郊外の衛生埋立処分場において単に捨てられる簡易な処理・処分であり、収集された廃棄物が適切に管理されているとは言い難い。

(4) 想定する廃棄物処理過程と処理システム

図-2 はバンコク首都圏における廃棄物処理システムに対して LCA-EA モデルを適用するため、想定する各々の廃棄物処理過程を示している。なお、廃棄物処理システム全体としての処理コスト、環境負荷量および環境コストは、各過程において推定された処理コスト、環境負荷量および環境コストを全過程として加算することで求められる。

表-2 バンコク首都圏における地域別の廃棄物発生量

対象地域	地域人口 (人)	一般廃棄物発生量 (ton/year)
OnNut	1,917,773	985,500
Nongkhaem	2,583,824	1,314,000
Tharaeng	1,151,902	985,500
計	5,653,499	3285000

表-3 廃棄物発生量に対する組成割合

組成	割合 (%)
Food scraps (生ごみ類)	35.89
Paper (紙類)	13.58
Cloth (布類)	4.58
Plastic and foam (プラスチック類・発砲体類)	20.76
Leather and rubber (皮類およびゴム類)	2.19
Wood and leaves (木類および葉類)	6.59
Metal (鉄類)	2.19
Glass (ガラス類)	5.07
Stones and ceramics (石類およびセラミック類)	0.58
Unclassifiable (未分類)	8.57

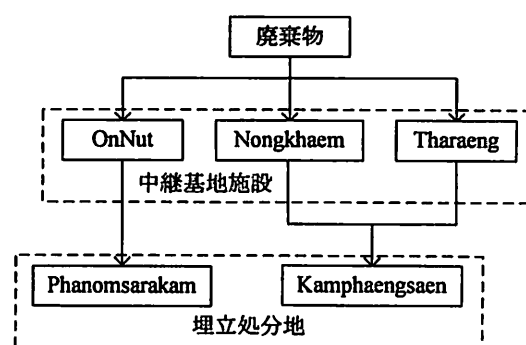


図-1 バンコク首都圏における廃棄物処理流れ（中継基地施設→埋立処分地）

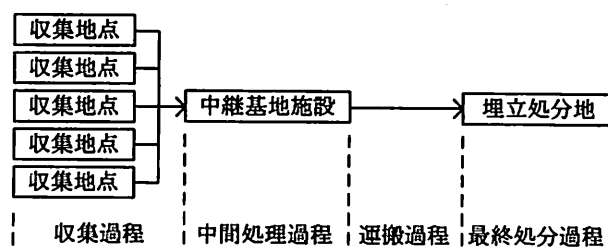


図-2 想定する廃棄物処理フロー

a) 収集過程

収集過程では、対象地域内の廃棄物を各収集地点から中継基地まで収集および運搬するフローを検討する。

収集過程における主な作業として、廃棄物の収集車両は各々対象地域ならびに特定収集日において各

収集地点に廃棄された廃棄物を収集して回る。また、収集車両は満杯になった時点で一旦、中継基地まで廃棄物を運搬する。廃棄物収集車両の収集地点と中継基地の往復回数は、各々地域において廃棄物の体積と収集車両の体積から求め、さらに、収集地点と中継基地の距離から収集車両の走行距離を推計する。

b) 中間処理過程

中間処理過程では、中継基地に集められた廃棄物を中間処理施設において減量化、減容化および安定化を目的とした処理を実施するフローを検討する。なお、中間処理過程においては、資源分別施設、堆肥処理施設および焼却処理施設を対象とする。

資源分別施設では、廃棄物中の各々組成においてリサイクル可能な組成成分に各々リサイクル率を設けることで、廃棄物搬入量からリサイクル量と処理残渣量を推計する。さらに、廃棄物搬入量から施設建設コスト、使用燃料量および使用人員等を推計する。なお、リサイクル可能な廃棄物が有償である場合には、売却益を処理コストに含める。

堆肥処理施設では、堆肥処理可能な廃棄物の分別率を設け、廃棄物搬入量から堆肥量と処理残渣量を推計する。さらに、廃棄物搬入量から施設建設コスト、使用燃料量および使用人員等を推計し、処理コストならびに CO_2 、 CH_4 および N_2O 排出量を推計する。

焼却処理施設では、廃棄物中の各々組成物において灰分率を設けることで、廃棄物搬入量から焼却灰量を推計する。さらに、廃棄物搬入量から施設建設コストおよび使用人員等を推計し、処理コストおよび CO_2 排出量を推計する。

c) 運搬過程

運搬過程では、中間処理後の処理残渣を中継基地から埋立処分場へ運搬するフローを検討する。選択した中間処理方法によって処理残渣の容積が異なるため、中間処理過程と連動して推計を行う。

収集過程と同様に、処理残渣の体積と運搬車両の体積から中継基地と埋立処分場の往復回数を推計し、中継基地と埋立処分場の距離から運搬車両の走行距離を推計する。

d) 最終処分過程

最終処分過程では、埋立処分場に搬入された廃棄物を自然や生物に害をなさないように最終的な処分をするフローを検討する。本研究では、主に衛生埋

表－4 設定した排出係数および排出原単位

(a) CO_2		
項目	単位	排出係数・排出原単位
電力	($\text{kg-CO}_2/\text{kWh}$)	0.69
重油	($\text{kg-CO}_2/\text{L}$)	3.08
軽油	($\text{kg-CO}_2/\text{L}$)	2.70
土木工事	($\text{kg-CO}_2/1,000 \text{ 円}$)	1.91
建築工事	($\text{kg-CO}_2/1,000 \text{ 円}$)	0.96
整備補修	($\text{kg-CO}_2/1,000 \text{ 円}$)	1.16
重機	($\text{kg-CO}_2/1,000 \text{ 円}$)	0.97
収集車	($\text{kg-CO}_2/1,000 \text{ 円}$)	0.97
運搬車	($\text{kg-CO}_2/1,000 \text{ 円}$)	0.97
消石灰	($\text{kg-CO}_2/\text{ton}$)	1,096
浸出水処理薬品	($\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$)	0.11

(b) CH_4		
項目	単位	排出係数
Food (食物類)	($\text{kg-CH}_4/\text{ton}$)	4
Paper (紙類)	($\text{kg-CH}_4/\text{ton}$)	10
Cloth (布類)	($\text{kg-CH}_4/\text{ton}$)	10
Wood (木類)	($\text{kg-CH}_4/\text{ton}$)	10
Food (食物類)	($\text{kg-CH}_4/\text{ton}$)	0.223
Paper (紙類)	($\text{kg-CH}_4/\text{ton}$)	0.210
Cloth (布類)	($\text{kg-CH}_4/\text{ton}$)	0.232
Wood (木類)	($\text{kg-CH}_4/\text{ton}$)	0.231

(c) N_2O		
項目	単位	排出係数
Food (食物類)	($\text{kg-N}_2\text{O}/\text{ton}$)	0.3
Paper (紙類)	($\text{kg-N}_2\text{O}/\text{ton}$)	0.6
Cloth (布類)	($\text{kg-N}_2\text{O}/\text{ton}$)	0.6
Wood (木類)	($\text{kg-N}_2\text{O}/\text{ton}$)	0.6

立処分、準好気性埋立処分および嫌気性埋立処分を最終処分方法として検討する。また、埋立処分場への搬入廃棄物の容積を最終処分量とする。

衛生埋立処分では、埋立処分場への廃棄物搬入量から施設建設コスト、使用燃料量および使用人員等を推計し、加えて、埋立処分場運転の推計値をもとに処理コストおよび温室効果ガス排出量を推計する。

準好気性および嫌気性埋立処分では、埋立処分場への廃棄物搬入量から埋立容積を推計し、浸出水処理施設規模を推計する。加えて、廃棄物搬入量から施設建設コスト、使用燃料量および使用人員等を推計し、また、埋立処分場運転の推計値をもとに処理コストおよび温室効果ガス排出量を推計する。埋立終了後も数年間管理を行うとし、処理コストおよび温室効果ガス排出量を推計し加える。

一方、準好気性もしくは嫌気性埋立処分では CO_2 および CH_4 が排出されると仮定する。

表－4 は本研究で用いた CO_2 、 CH_4 および N_2O に関する排出係数および排出原単位を示している ^{4), 6), 7)}。

表－5 設定した価格原単位

(a) 価格原単位		
項目	単位	価格原単位
人件費	(円/人)	720,000
電力	(円/kWh)	9
重油	(円/L)	18
軽油	(円/L)	30
重機	(円/台)	10,666,667
収集車	(円/台)	1,666,667
運搬車	(円/台)	3,333,333
消石灰	(円/ton)	6,667
浸出水処理薬品	(円/m ³)	6

(b) 売却価格原単位		
項目	単位	売却価格原単位
紙類	(円/ton)	-28
プラスチック類	(円/ton)	1,019
ガラス類	(円/ton)	155
鉄類	(円/ton)	1,125

また、各々の価格原単位および売却価格原単位は、バンコク首都圏と日本の物価の相違（1baht=3 円）を考慮した上、文献⁷⁾に記載された諸値を引用、ならびにバンコク首都圏を対象とした換算を行っている（表－5 参照）。なお、LCA-EA モデルの適用において必要となる原単位以外の設定諸量は莫大に及ぶため、記述を省略している。ただし、それら設定諸量は、文献⁷⁾に記載された種々の現場調査ならびに施設担当者へのヒアリングから得られた推奨値を採用している。

e) シナリオ設定

本研究では、前項で説明した中間処理過程および最終処分過程の組合せにより、バンコク首都圏における廃棄物処理システムのシナリオを数通り設定し、各々シナリオに伴う処理コスト、環境負荷および環境コストを LCA-EA モデルを用いて評価する。具体的に、中間処理過程では、“処理なし”、“資源分別施設”、“堆肥処理施設”、“焼却処理施設”、“資源分別施設+堆肥処理施設”および“資源分別施設+焼却処理施設”の 6 通りを設定し、さらに、最終処分過程では、“衛生埋立処分”、“準好気性埋立処分”および“嫌気性埋立処分”の 3 通りを仮定する。また、設定した全シナリオを示した表－6 のとおり、シナリオは各々の組合せにより全 18 通り設定している。なお、中間処理過程において“処理なし”および最終処分過程において“衛生埋立処分”の組合せは、バンコク首都圏における廃棄物処理システムの現状を最も反映していると考えられるため、

表－6 シナリオの設定

	収集	中間処理	運搬	最終処分
1	同一	なし	同一	衛生埋立処分
2		資源分別		
3		堆肥処理		
4		焼却処理		
5		資源分別+堆肥処理		
6		資源分別+焼却処理		
7		なし		準好気性埋立処分
8		資源分別		
9		堆肥処理		
10		焼却処理		
11		資源分別+堆肥処理		
12		資源分別+焼却処理		
13		なし		嫌気性埋立処分
14		資源分別		
15		堆肥処理		
16		焼却処理		
17		資源分別+堆肥処理		
18		資源分別+焼却処理		

(備考) シナリオ 1：ベースラインシナリオ
シナリオ 2～18：対策シナリオ

表－7 タイ王国における廃棄物処理に関する国家政策・指針（マスタープラン）

目標	指針
バンコク首都圏における一般廃棄物の発生量を、1.0kg/day/人以下にする。	収集、運搬、処理および処分を含む効率的な一般廃棄物の管理体制を確立する。
バンコク首都圏における一般廃棄物のリサイクル率を、15%以上にする。	一般廃棄物発生量を管理し、リサイクル・再利用を促進する。
バンコク首都圏における一般廃棄物を全て管理し、未処理廃棄物を 10%以下にする。	一般廃棄物を処理するための施設建設・運営において、民営活力の導入を促進する。
各地域において衛生的な一般廃棄物管理のマスタープランの確実に策定し、適切な処理を実施する。	一般廃棄物の監視において、民間や市民の参加を促す。

表－6 におけるシナリオ 1 をベースラインシナリオとする。ベースラインシナリオ（シナリオ 1）以外のシナリオは、対策シナリオと呼称する。

バンコク首都圏における廃棄物処理システムの対策シナリオにおいて、中間処理過程および最終処分過程を設定することの妥当性は次のように考えられる。中間処理過程において、“資源分別施設”はリサイクルを促進するため、タイ王国のマスタープラン（表－7 参照）¹⁴⁾と合致する。さらに、“堆肥処理施設”は、バンコク首都圏において発生する廃棄物に占める有機系廃棄物の割合が高いため、CH₄削減が見込まれると考えられる。また、“焼却処理施設”は廃棄物の減量効果が高いため、埋立処分地の延命化が見込まれる。一方、最終処分過程において、簡

易な覆土が施された“衛生埋立処分”はバンコク首都圏の現状を反映している。さらに、“準好気性埋立処分”は廃棄物の安定化を促進し、日本でも導入されている¹⁵⁾。また、“嫌気性埋立処分”は廃棄物を封じ込めるため、汚染物質の漏洩を防ぎ、CH₄ エネルギーの回収・有効利用が望める。

3. バンコク首都圏における廃棄物処理システム に対する環境影響評価と環境会計

(1) シナリオの設定に基づく評価

a) 処理コスト

図-3 は、各シナリオにおける処理コストを示している。これより、ベースラインシナリオにおける処理コストの内訳は、収集過程約 53%、運搬過程約 37%および最終処分過程約 10%である。すなわち、バンコク首都圏における現状の廃棄物処理システムでは、廃棄物の収集に多くのコストが費やされている結果である。そこで、収集過程における処理コストは、廃棄物の収集効率を増大することで抑制できる余地があり、LCA-EA モデルにおいては収集作業効率をもパラメーターとして組み込むことが重要であると考えられる。

中間処理過程において堆肥処理施設や焼却処理施設を選択した対策シナリオ（シナリオ 3～6、9～12 および 15～18）では、他の対策シナリオと比較して、当該施設の建設コストに多額を要するため、全体として処理コストが高くなる結果である（図-3 参照）。ただし、本研究において中間処理施設の建設コストとして設定した諸値は、バンコク首都圏と日本の物価の相違（1baht=3 円）は考慮しているものの、日本における当該処理施設のヒアリング調査を基本にしている。そのため、バンコク首都圏において中間処理施設を実際に建設する場合は、建設コスト等が大幅に異なる可能性があると考えられる。ただし、開発途上国における中間処理施設の建設は、他国から導入する建設技術の選択ならびに経済的支援によってコストを削減することが可能である。そのため、LCA-EA モデルでは、建設コストの設定に導入技術の考慮や、他国の資金援助を考慮する必要がある。

図-3 において最終処分過程の種類に応じて処理コストが異なる要因は、埋立処分地を一定容量に設定しているため、最終処分量に応じて埋立処分地の使

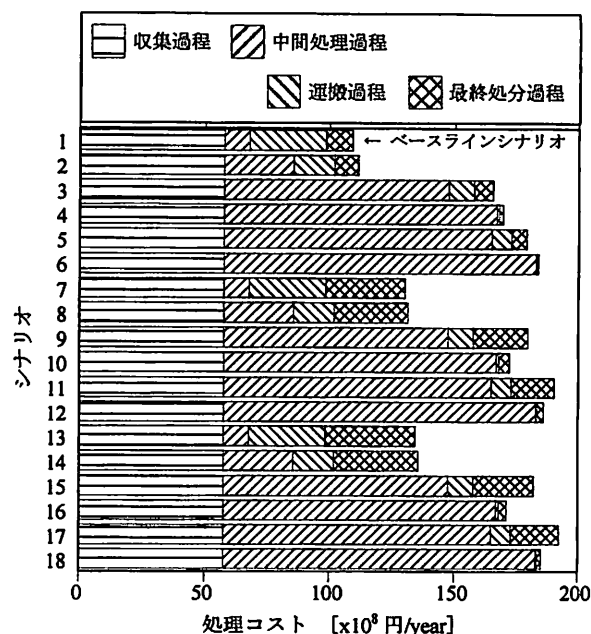


図-3 各シナリオにおける処理コスト

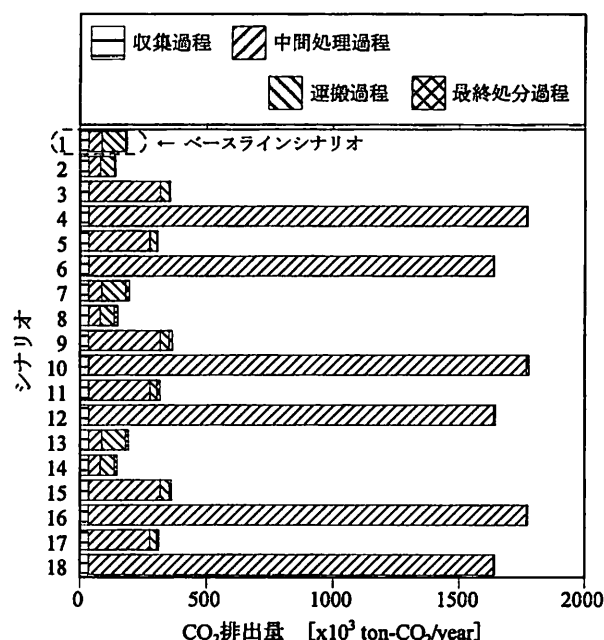


図-4 各シナリオにおける CO₂ 排出量

用年数が異なるためである。

b) CO₂ 排出量

図-4 は各シナリオにおける CO₂ 排出量を示している。これより、中間処理過程として堆肥処理施設や焼却処理施設を選択した対策シナリオ（シナリオ 3～6、9～12 および 15～18）は、ベースラインシナリオならびに他の対策シナリオと比較して格段に多くの CO₂ を排出する。これは、堆肥処理施設の運転に伴う電力消費量が多いこと、ならびに焼却処理施設にお

けるバイオマス由来を除いた廃棄物自体の燃焼による CO₂ 排出量が原因と考えられる。すなわち、各過程における CO₂ 排出量を比較した場合、収集・運搬過程に比べて、中間処理過程である中間処理施設の建設や運転によって排出される CO₂ 排出量が多い。

c) CH₄ 排出量

図-5 は各シナリオにおける CH₄ 排出量を示している。これより、ベースラインシナリオでは、CH₄ が約 120,000ton/year 排出される結果である。ここで、文献¹⁶⁾によると、1994 年度のバンコク首都圏における廃棄物関連から排出される CH₄ 量も同じく約 120,000ton/year であった。本研究においては、時間的考慮を含めず最終処分された廃棄物量から発生する全 CH₄ 排出量を推計しているため、一概に両者を比較することはできないものの、LCA-EA モデルによる推計は、概ね確からしい値であることが考えられる。中間処理過程において焼却処理施設を選択した対策シナリオ（シナリオ 4、6、10、12、16 および 18）は、CH₄ 排出削減量が大きく、廃棄物を無害化する効果がある（図-5 参照）。さらに、最終処分過程においては準好気性埋立（シナリオ 7~12）の CH₄ 排出削減効果が顕著である。一方、嫌気性埋立（シナリオ 13~18）では CH₄ 排出量が多く推計されているが、CH₄ はエネルギーとして回収利用できる可能性も有しているため、今後は LCA-EA モデルに CH₄ をエネルギーとして利用することも考慮する必要がある。

d) 温室効果ガス排出量

図-6 は各シナリオにおける温室効果ガス排出量を示している。ここで、温室効果ガス排出量とは、各シナリオにおいて排出される CO₂、CH₄ および N₂O 量に関する CO₂ 換算での総和である。なお、CH₄ および N₂O に対する CO₂ 換算には、各々の温暖化係数が 21 および 310 であることを用いている。図-6 より、ベースラインシナリオは他の対策シナリオと比較して、多量の温室効果ガスを排出している。なお、CO₂ のみの排出では、焼却処理施設を選択した対策シナリオ（シナリオ 4、6、10、12、16 および 18）が最も CO₂ 排出量が多い結果であったが、温室効果ガス排出量としてはベースラインシナリオが他の対策シナリオと比べ多い結果である。これは、ベースラインシナリオにおいて排出される CH₄ に関する CO₂ 換算排出量が、例えば焼却処理施設を選択した対策シナリオに

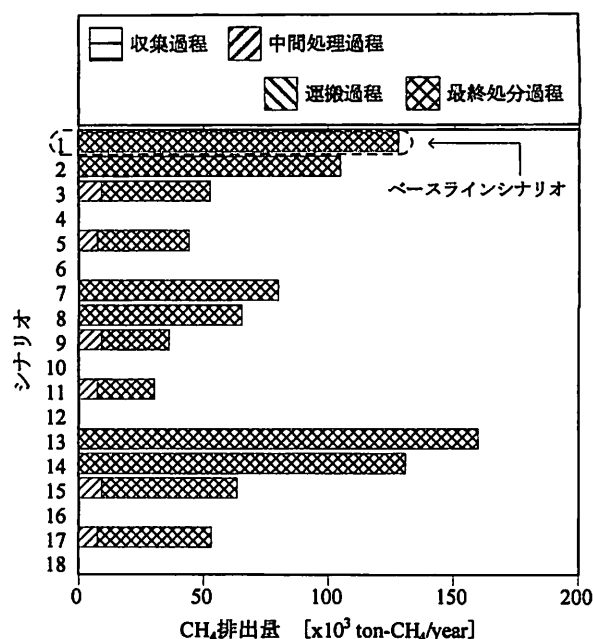


図-5 各シナリオにおける CH₄ 排出量

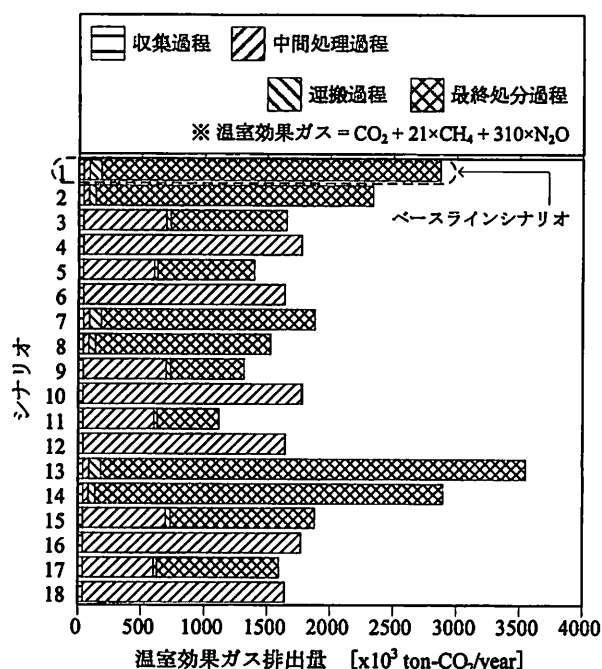


図-6 各シナリオにおける温室効果ガス排出量

において排出される CO₂ 排出量よりも多いためである。よって、地球温暖化に対する影響の観点で各シナリオを評価した場合、バンコク首都圏における現状の廃棄物処理システム（ベースラインシナリオ）では温暖化に対する影響が大きく、何らかの処理処分を採用した対策シナリオの方が、温暖化に対する影響を比較的低減することができると推測される。

なお、ベースラインシナリオでは約

3,000,000ton/year の温室効果ガスが排出されている（図-6 参照）。ここで、バンコク首都圏の人口を6,000,000 人と仮定した場合、1 人あたり約500kg/year の温室効果ガスを排出していることに相当する。一方、一般廃棄物処理に関連して排出された温室効果ガス排出量（2007 年度調査）¹⁷⁾を用い、日本における 1 人あたりの温室効果ガス排出量を推計すると、約 77kg/year である。すなわち、バンコク首都圏における現状の廃棄物処理システムは、日本と比べて環境負荷が大きい。

e) 最終処分量

図-7 は各シナリオにおける廃棄物の最終処分量を示している。これより、最終処分量は中間処理の選択によって対策シナリオ間で大きく異なる。中間処理過程において焼却処理施設を選択した対策シナリオ（シナリオ 4、6、10、12、16 および 18）では、廃棄物の減量効果が特に大きいため、ベースラインシナリオと比較した場合、最終処分量に関して約 87%の削減効果を有する。また、他の中間処理過程を選択した対策シナリオにおいても、ベースラインシナリオに対して最終処分量の削減効果を有する。

f) 環境負荷量

各シナリオにおける温室効果ガス排出量と最終処分量との相関を環境負荷量として定義し、図-8 は各シナリオにおける温室効果ガス排出量と最終処分量を示している。なお、環境負荷量は、図-8 において各プロットの原点からの距離として表現される。これより、何らかの対策シナリオを講じることで、環境負荷量はベースラインシナリオと比較して削減される。特に、中間処理過程として焼却処理施設を選択した対策シナリオは、温室効果ガスならびに最終処分量ともに高い削減効果を示す。また、焼却処理施設を選択した対策シナリオでは、焼却処理後の残渣から CH_4 が発生しないと仮定しているため、最終処分過程の違いに伴う対策シナリオ間のばらつきも少ない。

(2) 環境コストに基づく評価

a) トータルコストによる評価

各シナリオにおけるトータルコストとは、処理コストと環境負荷量を貨幣換算した環境コストの総和として定義している。図-9 は各シナリオにおけるト

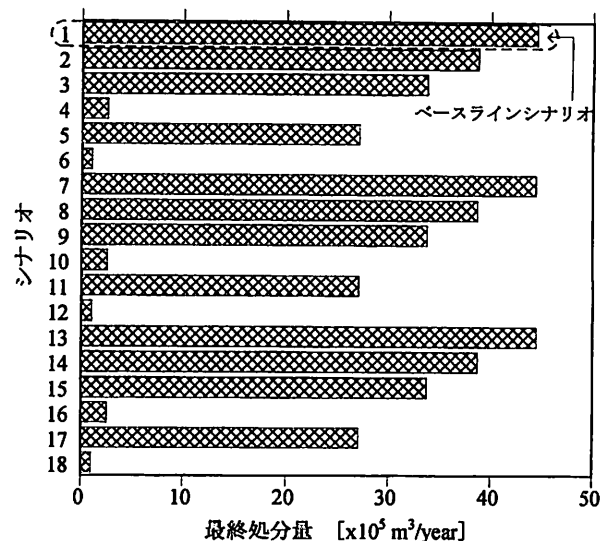


図-7 各シナリオにおける最終処分量

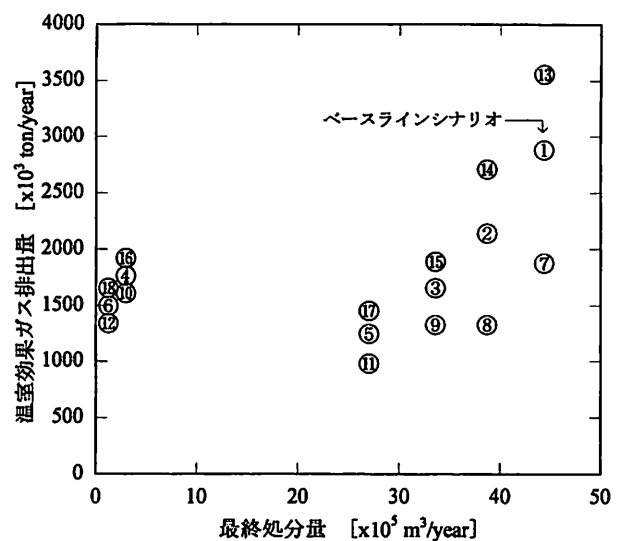


図-8 各シナリオにおける最終処分量と温室効果ガス排出量の関係

ータルコストを示している。これより、中間処理過程として堆肥処理施設、ならびに最終処分過程として衛生埋立処分を選択したシナリオ（シナリオ 3 および 5）を除き、全ての対策シナリオはベースラインシナリオと比較してトータルコストを削減することができる。ここで、各シナリオを処理コストのみで評価する場合には、図-3 で示されたとおり、ベースラインシナリオにおける処理コストが最も安価であった。しかしながら、処理コストと環境コストの総和であるトータルコストに基づく評価では、対策シナリオの選択がトータルコストの低減に効果的である。よって、廃棄物処理システムにおける中間処理

過程ならびに最終処分過程等、対策シナリオの導入は処理コストを要するものの、環境コストを削減することができる。換言すれば、トータルコストにおける環境コストの占める割合が大きいため、対策シナリオの導入はトータルコストの低減に有効である。

図-9 において、中間処理過程として資源分別施設、ならびに最終処分過程として準好気性埋立を選択した対策シナリオ（シナリオ 8）は、トータルコストを最も削減できる。また、中間処理過程において焼却処理施設を選択した対策シナリオ（シナリオ 4、6、10、12、16 および 18）は、比較的多額な処理コストを要するものの環境コストの大幅削減に効果的であり、トータルコストにおいても環境コスト削減の効果が現れる。さらに、最終処分過程においては埋立処分方法に伴う処理コストと比較して、衛生埋立処分地における未処理の廃棄物に起因する環境コストが高い。

b) タイ王国におけるマスタープランとの比較

タイ王国における「第 9 期国家経済社会発展計画」（2002 年）では、廃棄物発生量の抑制を最優先事項の 1 つとして掲げている（表-7 参照）¹⁴⁾。そこで、バンコクの廃棄物発生量が、現状の 9,000ton/day から 8,000ton/day、7,000ton/day および 6,000ton/day に抑制される場合を想定し、廃棄物発生量が廃棄物処理システムのトータルコストに及ぼす影響を評価する。

図-10 は、ベースラインシナリオにおいて廃棄物発生量が抑制された際のトータルコストを示しており、対策シナリオにおけるトータルコストも付記している。これより、マスタープランに従った廃棄物発生量の抑制は、トータルコストの削減に効果的である。一方、現状の廃棄物発生量（9,000ton/day）において中間処理過程ならびに最終処分過程の導入を想定する対策シナリオは、マスタープランに掲げられた廃棄物発生量が抑制されたベースラインシナリオ（例えば、廃棄物発生量 8,000ton/day）と比較して、トータルコストを同程度まで抑えられる結果である。すなわち、廃棄物処理システムに対する処理コストからの評価では、廃棄物発生量の抑制を掲げるマスタープランが有効な手段の 1 つであるものの、未処理の廃棄物に起因する環境負荷が大きい。よって、廃棄物発生量を抑制することは重要な政策の 1 つで

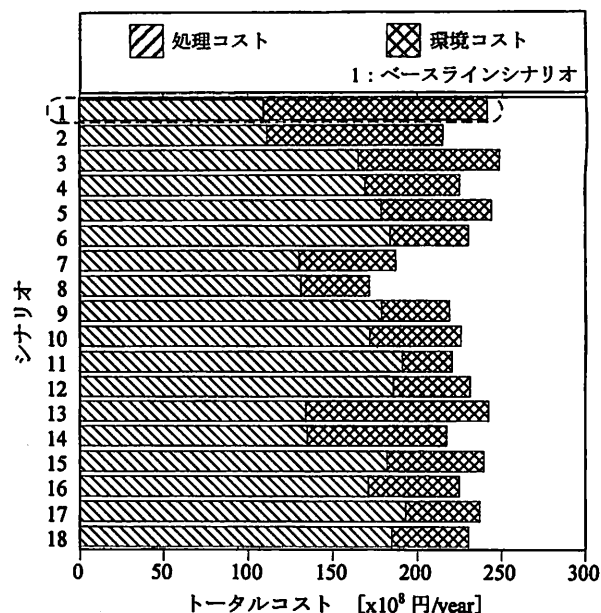


図-9 各シナリオにおけるトータルコスト

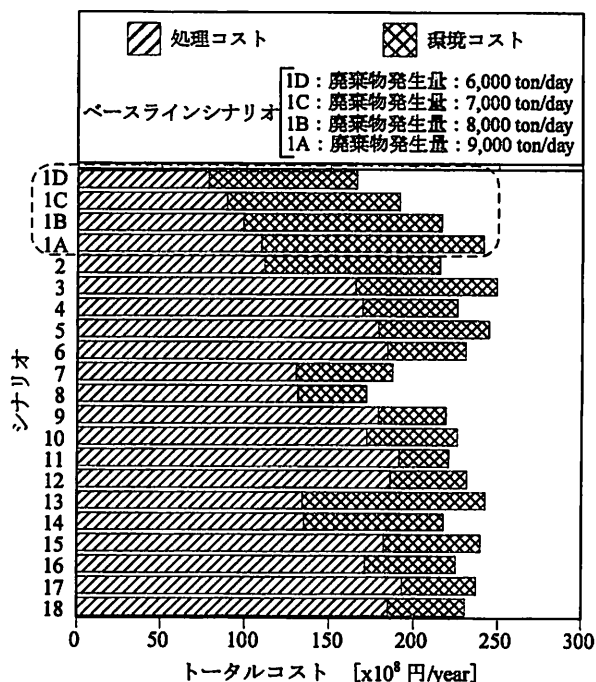


図-10 廃棄物発生量が抑制されたベースラインシナリオおよび各対策シナリオにおけるトータルコスト

あることに違いないが、廃棄物処理の最終目標である処理コスト、環境負荷ならびに環境コストの低減の観点においては、現状の廃棄物処理システムに対して何れかの対策シナリオを導入することが望ましい。

c) 環境効率による評価

一般的に環境効率は社会的便益／環境負荷で表さ

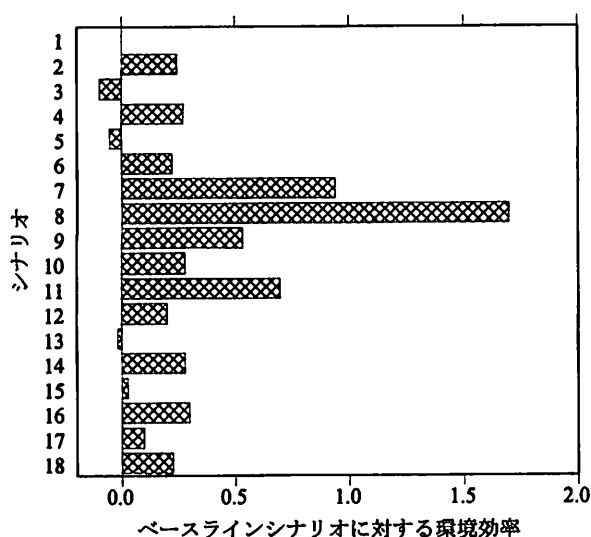


図-11 ベースラインシナリオに対する各シナリオの環境効率

れ、環境負荷を最小化しつつ価値を最大化する考え方を意図したものである。なお、環境効率に関する統一的な基準は確立されていないものの、企業活動を決定する指標の1つとして環境効率の概念は注目されている¹⁸⁾。

本研究では社会的便益を対策シナリオとベースラインシナリオとのトータルコストの差、および環境負荷を対策シナリオにおける環境コストとして設定し、ベースラインシナリオに対する各々対策シナリオの環境効率（＝社会的便益／環境負荷）を求めている。図-11は各シナリオにおけるベースラインシナリオに対する環境効率を示している。これより、バンコク首都圏における廃棄物処理システムへの対策シナリオの導入は、現状のベースラインシナリオに対して環境効率を有することが確認できる。特に、最終処分過程において準好気性埋立処分を選択した対策シナリオ（シナリオ7～12）の環境効率が高い。さらに、中間処理過程として資源分別を選択したシナリオ（シナリオ8）の環境効率は、想定した全対策シナリオの中で最も高い環境効率を示している。すなわち、中間処理過程として資源分別、ならびに最終処分過程として準好気性埋立処分を選択した対策シナリオは、処理コストおよび環境コスト削減の両観点においてバランスが良いことを示している。一方、最終処分過程として衛生埋立処分や嫌気性埋立処分を選択した対策シナリオでは、中間処理過程において焼却処理施設を選択した対策シナリオ（シナ

リオ4、6、16および18）の環境効率が比較的高い。以上より、廃棄物処理システムに対する環境効率は、収集過程、中間処理過程および最終処分過程の各々過程において独立的に決定される指標でなく、各々過程の組合せによる廃棄物処理システム全体の包括的な環境経済性として表わされる。

4. おわりに

本研究では、バンコク首都圏における現状の廃棄物処理システムならびにシナリオとして想定した廃棄物処理システムに対して、LCA-EAモデルを適用し、処理コスト、環境負荷ならびに環境コストを定量的に評価した。得られた成果は以下のとおりである。

- (1) バンコク首都圏における現状の廃棄物処理システムでは、廃棄物の収集に多くの処理コストが費やされている。
- (2) CO₂排出は焼却処理施設を選択した対策シナリオが最も多いが、温室効果ガス排出量（CO₂、CH₄およびN₂Oの総排出量）としてはベースラインシナリオが対策シナリオと比較して多い。
- (3) 廃棄物処理システムにおける中間処理過程ならびに最終処分過程等、対策シナリオの導入は処理コストを要するものの、環境コストを削減することができる。さらに、トータルコストにおいて環境コストの占める割合が大きいため、対策シナリオの導入はトータルコストの低減に有効である。
- (4) バンコク首都圏において廃棄物発生量を抑制することは重要な政策の1つであることに違いないが、廃棄物処理の最終目標である処理コスト、環境負荷ならびに環境コストの低減の観点においては、現状の廃棄物処理システムに対して何れかの対策シナリオを導入することが望ましい。
- (5) バンコク首都圏における現状の廃棄物処理システム（ベースラインシナリオ）に対して、対策シナリオの導入は環境効率を向上する。

本研究の課題として、廃棄物処理は長期において継続されるため、時間の経過に伴う環境負荷ならびに環境影響領域の変化を考慮する必要があると考えられる。よって、今後は、より長期間においてLCA-EAモデル評価を実施し、環境影響に対する時間的な要因を考察する必要がある。

謝 辞

本研究は、京都大学グローバル COE プログラム「アジア・メガシティの人間安全保障工学拠点」の一環として援助を受け、実施したものである。ここに記して謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 國部克彦・伊坪徳宏・水口 剛：環境経営・会計，有斐閣，2007.
- 2) 鷺田豊明：環境評価入門，頸草書房，2005.
- 3) 稲葉 敦：LCA の実務，産業環境管理協会，2005.
- 4) Intergovernmental Panel on Climate Change: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, NGGIP Publications, 1997.
- 5) 環境省：温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン，環境省地球環境局，2007.
- 6) 森泉由恵・本藤祐樹：タイの産業連関表を用いた CO2 原単位の推計，エネルギー・資源学会論文誌，Vol. 29, No. 4, pp. 1-7, 2008.
- 7) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価，技報堂出版，2005.
- 8) 国土交通省：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針，2004.
- 9) Tol, R.S.J.: The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties, Energy Policy, Vol.33, pp.2064-2074, 2005.
- 10) 環境省：「低コスト・低負荷型土壤汚染調査対策技術検討調査及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査」対象技術の評価結果等について，環境省報道発表資料，2008.
- 11) Muttamara, S. and Leong, S.T.: The evolution of solid waste management in Bangkok, Thammasat Int. J. Sc. Tech., Vol.9, No.1, 2004.
- 12) Pollution Control Department (PCD), Ministry of Natural Resources and Environment: Thailand State of Pollution Report 2005, Ministry of Natural Resources and Environment, 2005.
- 13) (独)国際協力機構：タイ国バンコク首都圏及び周辺における産業廃棄物管理マスタープラン調査，国際協力機構，2002.
- 14) 佐々木創：バンコクにおける一般廃棄物管理の現状と課題－レジーム・アクター分析を応用して－，タイ研究，第 4 号，pp. 21-39, 2004.
- 15) 花嶋正孝・古市 徹：日本の最終処分場，環境産業新聞社，2004.
- 16) Ministry of Science, Technology and Environment, Bangkok: Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change, 2000.
- 17) 環境省：地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン（第 3 版），環境省地球環境局，2007.
- 18) 伊坪徳宏・稲葉 敦：ライフサイクル環境影響評価手法，産業環境管理協会，2005.

Environmental Economics based on Environmental Assessment and Accounting for Waste Management in Bangkok, Thailand

By Shinya INAZUMI, Hiroyasu OHTSU, Tomoki SHIOTANI, Takeshi KATSUMI and Kazutoshi ISHIKAWA

It is very important that waste should be controlled and appropriately handled in a waste treatment system in consideration of its impact on the environment. This study quantitatively evaluates the current waste treatment system and respective countermeasures based on impacts on reducing the environmental load to solve waste treatment problems in Bangkok, Thailand. As a result of this study, it showed that in the current waste treatment system in Bangkok, the carbon dioxide and methane gases contribution to greenhouse was large. The study was able to provide the reduction effect of environmental load quantitatively in the countermeasure scenarios using the baseline scenario as a standard.