

温室効果ガスの排出量予測に基づく
バンコク首都圏の廃棄物処理に関する研究

平成 22 年 2 月 23 日

京都大学工学部地球工学科土木工学コース

藤田洋平

要旨

本研究は、途上国における廃棄物の処理に伴う環境問題への対処を目標として、当該廃棄物処理が環境に与える影響の定量的評価と、それを踏まえた「環境に優しい」廃棄物処理を追究していくこととする。

本研究では一見相反すると思われる環境配慮と事業性、それらのバランスをいかにして取るかということを探る。具体的には、廃棄物処理における費用や環境影響を長期的に評価するモデルをバンコク首都圏に適用し、バンコクにおける現状の廃棄物処理の実態と問題点を明確にする。さらに、オプションとして付随的に導入することのできる廃棄物処理モデルについて、そのコストや環境負荷量の評価することで最適な廃棄物処理を検討するとともに、多角的な視点からその事業性について考察する。

目次

第 1 章 序論	4
1.1 研究の背景	4
1.2 研究の目的	5
1.3 既往研究との関連	5
1.4 内容と構成	5
第 2 章 廃棄物処理問題	7
2.1 環境問題の特性	7
2.2 途上国の廃棄物処理	7
2.3 途上国の廃棄物処理における環境問題	8
第 3 章 廃棄物処理システムの長期的コスト推計モデル	10
3.1 概要	10
3.2 廃棄物処理評価モデル	10
3.3 シナリオ設定	11
3.3.1 廃棄物処理システムの現状	12
3.3.2 ベースラインシナリオ	13
3.3.3 対策シナリオ	15
1) A シナリオ	15
2) B シナリオ	16
3.4 長期的コスト推計手法	16
3.4.1 廃棄物発生量の将来推計手法	17
3.4.2 マスタープランに基づく将来推移モデル	17
3.4.3 将来人口推計手法	17
3.4.4 シミュレーションによる将来廃棄物発生量推移予測	18
3.4.5 社会的割引率	18
3.5 廃棄物処理に伴う環境影響の定量化	19
3.5.1 CO ₂ 排出係数	19
3.5.2 温室効果ガスの貨幣価値	20
第 4 章 廃棄物処理システム評価及び考察	21
4.1 各シナリオのコスト推計	21

4.1.1	ベースラインシナリオ	21
4.1.2	Aシナリオ	21
4.1.3	Bシナリオ	21
4.2	シナリオ評価の比較	22
4.2.1	各シナリオの特徴	22
4.2.2	中位の廃棄物量予測シナリオにおける比較	23
4.2.3	異なる廃棄物量予測シナリオにおける比較	23
4.2.4	CO ₂ 換算排出量	24
4.2.5	最終処分場面積	24
4.2.6	環境効率性指標	25
4.3	廃棄物処理システム最適化に関する提言	26
4.3.1	概要	26
4.3.2	環境税	26
4.3.3	環境補助金	27
第5章	結論	28
5.1	本研究の成果	28
5.2	本研究の課題	29
参考文献	30
謝辞	31
付録	32
添付図表	42

第1章 序論

1.1 研究の背景

現在、日本では環境保全の概念及び考えが定着しつつある。“環境に配慮した”、“環境負荷の小さい”など、環境とつく名の製品や広告が頻繁に目に付く。ところが、実際に世界全体に目を向けると環境保全に対する温度差を認識することになる。先進国と途上国において経済的及び社会的理由から、環境対策レベルに大きな差が存在する。現在、開発途上国の多くで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。今後、途上国において開発を進めるにあたり、いかに環境に配慮した社会を形成するか、ということは大きなテーマと言える。そのテーマの1つとして、廃棄物処理に起因する環境問題が挙げられる。

現状、開発途上国の多くにおいて、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。しかし、未処理で有機物を多量に含む廃棄物が埋め立てられることで、汚水や悪臭の発生により埋立処分地の衛生状態の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。また、未処理の廃棄物は容積が大きく、直接的な処分では埋立処分地が早期に飽和するため、継続的に新規埋立処分地を整備しなければならない。しかしながら、開発途上国においても埋立処分地の新規確保は近隣住民の反対等から容易でなく、結果的に埋立処分地空間の消失といった問題も生じている。なお、上記に伴う被害は、主として社会的弱者が被ることになる。特に、開発途上国においてバンコク首都圏のように人口が集中する都市部では、廃棄物の発生量も多く、当該廃棄物処理によって被害を受ける社会的弱者も多い。よって、環境に配慮した包括的な廃棄物処理を早急に検討する必要がある。

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へ転換している。すなわち、各々自治体の諸活動は私的費用だけでなく、社会環境に対する社会的費用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。さらに、地球環境問題の特性上、それらの活動が現時点で及ぼすと考えられる環境影響だけでなく、将来的に発生する社会的費用も考慮する必要がある。将来的に、人口や生活様式、その他多くのファクターの変化によって廃棄物発生量やその質が変化する可能性があり、それが処理費用及び環境汚染物質の発生量の変化へとつながると考えられる。そのため、環境への影響を正しく加味した評価を下すには、長期的な費用便益に基づいて評価していくことが要求される。

1.2 研究の目的

本研究は、未開の分野である開発途上国の廃棄物処理システム最適化に関して一つの指標を作る。尚、廃棄物処理の分野に限らず、そのような指標を示していくことで、問題が指摘される各国各都市に向けて、その解決の重要性と方法論を示していくことができる。

途上国の1つであるタイ王国のバンコク首都圏における現状の廃棄物処理も環境に多大な負荷をかけていると考えられ、可能な限り環境負荷を削減した廃棄物処理システムを構築することが求められる。そのため、対策としての2つの廃棄物処理シナリオを適用し、現状あるいは対策を適用した廃棄物処理における環境影響を定量的に評価し、さらにそれを処理費用（私的コスト）との関連性を持たせて評価することが必要となる。図 1.1 はタイ、図 1.2 はバンコク首都圏の地図である。

本研究の目的は以下に大別される。

- I. 廃棄物処理システムに関する私的費用及び社会的費用を長期的に評価するモデルの構築
- II. 廃棄物処理システムが及ぼす環境影響の長期的な定量化
- III. 私的費用と社会的費用を総合的に踏まえた廃棄物処理システムの評価
- IV. 最適な廃棄物処理に向けた提言

1.3 既往研究との関連

環境影響を考慮したバンコクの廃棄物処理システムの評価に関しては、稲積ら¹⁾によってその評価モデルの作成、またそれを用いて様々な廃棄物処理技術の組み合わせによる評価が行われている。しかしながら、当該評価モデルにおいては将来的に変化する要素を加味しておらず、長期的な評価とは言えない。そこで本研究においては、上記の既往研究の評価モデルをベースにし、長期的要素を加味してそれを再構築することとする。

1.4 内容と構成

本研究の内容と構成を以下に示す。また、図 1.3 は本研究をまとめたフローである。

- (1) 環境問題の現状と、その性質に関する調査とを行う：

環境問題の定義と、その特徴や問題点を述べる。その上で、廃棄物処理との関連性とその解決方法の糸口を模索する。

- (2) バンコク首都圏における廃棄物処理に関する調査を行う：

バンコク首都圏における廃棄物処理の現状とその問題点を把握する。その上で、改善すべき点とその方法を提示する。

- (3) 廃棄物処理システムの長期的評価モデルの構築：

廃棄物処理システムの長期的評価を行うためのモデルを作成する。バンコクにおける廃棄物処理の現状に適用できるよう、パラメータ等の設定を行う。現行の廃棄物処理モデルと、提案すべきオプションの処理システムに関してのモデルも同様に作成する。

(4) モデルの適用と推計結果の考察：

作成した評価モデルを実際にバンコク首都圏に適用して評価を行う。現状の廃棄物処理システムの評価と同時にオプションの処理を加えた場合の評価を行い、それらの比較・検討を行う。費用を具体的に数値として算出し、私的費用・社会的費用という両面からの検討を行う。

(5) 推計結果を踏まえた最適な廃棄物処理システム導入の提言：

数値として算出された費用を考察した上で、環境負荷量などその他の要因を加味し、どのような廃棄物処理システムが、社会にとって最適なものであるか考察し、その導入のための方法論を見出す。

第2章 廃棄物処理問題

2.1 環境問題の特性

“環境問題”とは、人間活動の水準が自然の浄化能力を超えた汚染を生み出すことで引き起こされる、環境破壊を表す。環境問題は大きく二種類に分類することができる。

一つは、工場からの汚染による大気汚染、水質汚染、土壌汚染に代表されるものであり、これらは環境破壊による損失が国内や一定地域に限定されるものである。このようなものは公害、あるいは地域環境問題と呼ばれる。他方、二酸化炭素等の温室効果ガスによる地球温暖化、フロンガス排出によるオゾン層破壊、国境を越えて被害を及ぼす酸性雨、熱帯林の破壊による生態系の破壊など、環境破壊の影響が国境を越え、地球全体に及ぶものもある。これらは一般的に地球環境問題と言われる。公害あるいは地域環境問題は、企業などの経済合理性の追求を目的とした社会経済活動によってもたされる場合が多い。それらは一般的に、特定の発生源と被害者、またはその間の因果関係を特定しやすく、発生源の責任を問うことができる。

それに対し、地球環境問題においては、発生源と被害者の因果関係が特定し難い。例えば温室効果ガスの排出に関して、どの国で排出されたものであっても地球全体の温暖化に寄与することになるように、特定の排出が特定の被害者を生むものではない。よって、ある国あるいは地域の責任を追及することは重要でなく、地球全体としてその解決を図っていくことが重要となる。つまり、地球環境問題は、地球という広がりをもった問題であり、その対処においても地域間、国家間の広い協力体制が必要となる。それは、現在でいうところのクリーン開発メカニズムや共同実施に代表されるものである。これは、「空間軸の問題」ということができ、地球環境問題の大きな特徴の一つである。

また、もう一つの大きな特徴として、「時間軸の問題」が挙げられる。これは、ある時点で発生した環境汚染が、将来世代に被害をもたらすという問題である。温室効果ガスの排出を例にとると、ある時点で排出された温室効果ガスが直ちに人間活動の妨げとなり、生物種に影響を与えるような気温の上昇を引き起こすわけではない。幾年にも渡る温室効果ガス排出が蓄積され、それが将来のある時点で悪影響を引き起こすと考えられる。このような問題に対処するためには、様々な人間活動の経済的評価を行う際に、将来世代にあたえらるる影響を費用として計上する必要があると言える。また、時間軸の問題には地球温暖化のように不可逆性をもつケースも多く、この場合は被害者と言える将来世代による対策は不可能である。この場合は、現在世代の早急な対策が功を奏することになる。

2.2 途上国の廃棄物処理

途上国では、経験や技術、人材や資金等の欠乏、あるいは住民意識の低さから、廃棄物処理が適正に

行われていないことが多い。以下、途上国における廃棄物処理の問題について述べる。²⁾

一般に、途上国のごみ収集率は低く、収集サービスを享受できる人口も50%を下回る場合が少なくない。これは、廃棄物処理に関する法整備の不備や、ごみ処理の責任主体の不明瞭、機材や予算の不足等が原因である。

また、清掃行政の成熟度の低さが際立つ。一般に自治体の全収入の20~30%が清掃予算となるにも関わらず費用対効果が悪く、また財政基盤が脆弱なため単体量廃棄物量あたり及び単位人口あたりの廃棄物処理費用が非常に少なくなっている。

途上国の清掃事業の中に資源化事業が取り込まれる例は未だ多くはない。その代わりに、スカベンジャーと呼ばれる人々の活動が見られる。スカベンジャーとは、有価物を回収し、リサイクルする事で生計を立てる人々のことだ。インドネシアのBantarGebang最終処分場におけるスカベンジャーによるリサイクル量は、搬入されるリサイクル可能な廃棄物可能量の0.4%程度となっている³⁾。このように、リサイクルが貧困という社会環境に維持されたものとなっている。

中間処理に関しては医療廃棄物の焼却炉が導入される例はあるものの、都市ごみの焼却施設が稼働している例はごく稀である。代わりにコンポスト施設を建設・稼働する例はあるが、コンポストの質も悪く、市場性、公害対策、コスト面等の問題から、稼働は不安定である。

中間処理の導入が進んでいないために途上国の最終処分は埋立処分に頼らざるを得ない状況にある。しかし、そのほとんどが開放投棄（オープンダンプ）方式であるため、ごみの飛散、ハエや蚊の繁殖、悪臭等の発生がごく一般的に見られる。

2.3 途上国の廃棄物処理における環境問題

途上国の開発には、「後発性の利益」がある⁴⁾。それは、後発で経済発展を進めていく際に、既に発展しているところの進んだ技術やノウハウを安価に活用できることを言う。確かに、途上国の開発は先進国の場合と比べて相対的に早い段階で進む。しかし、現状では、先進国の技術やノウハウを活用しやすいという利益になる側面があるとともに、開発志向をより強く持つという側面を併せ持つことになる。その結果、先進国にも見られた環境破壊とそれにとまなう人間破壊が繰り返されつつある。これは「後発性の不利益」と言え、バンコクの廃棄物問題も例外ではない。

廃棄物の処理においても、その他の社会活動と同様、その仮定で温室効果ガスが排出される。しかしながら、途上国の廃棄物処理は上記の通り、環境配慮型とは言えないものとなっている。その原因として、上記のような地球環境問題の特徴が深く関わっている。

上記の、空間軸、時間軸の両問題を考慮すると、地球温暖化の被害者が、その発生主体となることはないと言える。しかし、途上国においては、事業が経済的な合理性の追求の下に行われている場合が多

く、その結果として環境破壊を発生させている場合がある。つまり、事業を評価する際、温室効果ガス排出が社会に与える悪影響が事業者自らの私的費用として計上されない。そのため、言わば環境影響を無視した形の事業が会計的な合意の下で行われることとなる。

このような環境破壊型の廃棄物処理事業が行われている現状を打破するためには、その事業の経済的な評価に環境影響を適切に組み込むことが重要である。

第3章 廃棄物処理システムの長期的コスト推計モデル

3.1 概要

人間の経済活動、または日々の生活の中で廃棄物の発生は避けられないものであり、その処理を行うことも、人間活動の一環として必須である。その活動は、これからの時代も長く続くものであり、経済効率的かつ環境保全的な廃棄物処理活動を模索していくことは、人間の課題であるといえる。その観点から見ると、廃棄物処理費用と環境負荷の両者ともを低減させるような処理システムを追及すべきであるが、一般的に環境負荷低減にはコストが伴うものであるため、経済的効率性と環境負荷量はトレードオフの関係にあたると言える。そのため、両者をともに低減させることは困難である。つまり、社会的に最適な廃棄物処理システムを追求する際には、費用と環境負荷量の総合的なバランスを評価することが重要である。

そのための手段として、環境負荷を処理における費用と同じ次元、つまりコストベースにして評価することが有効である。この手法により、環境負荷量を経済的な費用効率性という観点から評価することができるようになる。

さらに、廃棄物発生量やその組成などは当該地域における生活環境や社会状況の変化によって変化すると考えられ、それに伴って廃棄物処理に伴う費用や環境負荷量も変化していくと考えられる。また廃棄物処理施設は単年でなく長期的スパンで運用していくものである。これらのことを考慮すると、廃棄物処理システムの評価は長期的なコストの推計に基づくものでなければならない。よって、将来的なコストも推計し評価の対象とする。その上で、それらを合計した費用を最小化するような廃棄物処理システムが社会的に効率的なものであるということが出来る。

本章では、コストの長期的推計モデルの構築と、構築したモデルのバンコク首都圏に対する適用を行う。

3.2 廃棄物処理評価モデル

廃棄物の処理には、その処理施設の建設や運用に関して、様々なコストを費やす必要がある。それらのコストを本研究では処理コストと呼ぶ。処理コストは、従来途上国における事業の際の意思決定基準の中心とされていたものである。廃棄物処理システムにおける処理コストは、イニシャルコストとランニングコストに大別できる。イニシャルコストは、施設の建設費や車両の購入費など、一度コストを費やせばその耐用年数を経るまで費やす必要のないコストであり、ランニングコストは施設の維持費用や人件費、燃料費、電力費など、施設を運転していく上で毎年計上する必要のあるコストである。

廃棄物処理の過程において発生する環境汚染物質の社会的悪影響を費用と考えて加味するため、その

費用を本研究では環境コストと呼ぶ。本研究においては、廃棄物処理過程における温室効果ガスの排出量をコストとして換算する。具体的には、温室効果ガス排出量に貨幣価値原単位を乗じる。その設定値は後述の通りである。

処理コスト、環境コストの和をトータルコストと定義する。トータルコストは環境影響を考慮した社会的な費用であると換言することができ、事業決定の際の合意形成の基準とされるべきものである。各種コストについて図 3.1 にまとめる。

さらに、本研究では処理コスト及び環境コストが、廃棄物の処理量に依存していることに着目し、処理コスト及び環境コストは図 3.2 のように廃棄物処理量すなわち廃棄物発生量を変数として経年変化する量であると考えた。よって、コストの推計を廃棄物総量の推計に帰着し、本研究におけるコスト評価モデルは廃棄物発生量のみを変数とし、コストを算出するものとする。廃棄物組成については、バンコクの近年の安定な経済状況から経年変化を考慮しないこととする。バンコクにおける廃棄物組成を表 3.1 に示す。

本研究では廃棄物処理システムを、収集、中間処理、運搬、最終処分の四つの過程に分け、それぞれの処理コスト、環境コストを求める。

本研究における廃棄物処理システム評価モデルのフローを示す。

- ① 廃棄物処理の現状を踏まえた上で、モデル構築のための廃棄物処理シナリオを設定する。
 - ② 収集過程、中間処理過程、運搬過程、最終処分過程のそれぞれについて環境影響を考慮したコスト推計のモデルを構築する。
 - ③ ②のモデルにおけるコストの推計を長期的に行うことができるモデルの構築をする。
 - ④ 各シナリオにおいて収集過程、中間処理過程、運搬過程、最終処分過程のそれぞれにおける処理コスト、環境コストの長期的推計を行う。
- ①～④を設定した各シナリオに対して行う。

3.3 シナリオ設定

廃棄物処理システムのコストベースにおける評価するにあたり、現状の処理システムを絶対的に評価すると同時に、現状に変化を加えた処理システムを仮定の廃棄物処理シナリオとして設定し、現状の処理システムの相対的評価を試みる必要があると考えられる。それらを総括して対策シナリオと呼ぶ。相対的な評価によって、現状の処理システムと仮定として設定した処理システムの優劣を唱えることができ、現状が劣る場合には処理システム改善の必要性を示すことが可能になる。よって、本研究では現状の処理システムと対策シナリオのそれぞれを個別にコスト評価し、相対的な比較、検討を行うものとする。

シナリオとしてまず設定すべきであるバンコク首都圏における現状の廃棄物処理システムをベースラインシナリオ（以下、便宜上 BL シナリオと表すことにする）と定義する。本研究においては、BL シナリオに中間処理のオプションを加えた対策シナリオを 2 種類仮定し、それぞれを A シナリオ、B シナリオと名づける。それぞれのシナリオのコスト推計に用いるパラメータの入力値は、文献^{5),6)}調査により設定、あるいはその他必要な情報は日本における値を参照した上でバンコクにおける入力値を仮定して入力するものとする。

以下に、バンコクにおける現状の廃棄物処理の流れを示し、それを基に設定した BL シナリオと、A シナリオ、B シナリオの詳細について以下に述べる。

3.3.1 廃棄物処理システムの現状

バンコクの廃棄物処理に関する現状を知るために文献⁷⁾調査した結果、バンコクにおける廃棄物処理フローを以下に示す。

- (1) バンコクにおける廃棄物の収集は、交通渋滞を避けるため午後 6 時以降に行われている。収集率は、他の途上国と異なり中心市街地ではほぼ 100%を達成している。ただし、バンコクの道路には、多くの小道が行き止まりとして存在するため収集効率は悪い。加えて、収集効率が悪い理由として収集作業員の業務内容が挙げられる。収集作業員の多くは副収入を得るため、収集作業時に廃棄物の中から有価物として取引されるリサイクル可能物を回収するのでとても作業効率が悪くなっている。また、161ヶ所当たりの作業時間の内、こうした行為は作業時間の半分以上を占めている。
- (2) 収集された廃棄物は地域ごとに On-Nut、Nongkhaem、及び Tharaeng の各中継基地施設に 1 度集められ、スカベンジャーによりリサイクル可能廃棄物が回収される。この中継基地施設において中間処理を行うことも考えられてはいるが、地域住民の反対や財政的な理由などにより実現してはいない。
- (3) 中継基地施設を経て、On-Nut に集められた廃棄物は Phanomsarakam へ、Nongkhaem と Tharaeng に集められた廃棄物は Kamphaengsaen へ、BMA (Bangkok Metropolitan Area ; バンコク都) が許可した民間業者の最終処分場で全量埋立処分される。近年では、行政による新規埋立地の確保が地価の高騰と周辺住民の反対により困難となったため、BMA では 94 年以降許可した民間業者の入札によって業務委託するようになった。
- (4) BMA はバンコクの公共サービスを担っている。以前は BMA の清掃局(DPC)が都市廃棄物の収集をしていたが、最近では各区の清掃部に業務を移管した。現在では各区の清掃部が廃棄物収集にあたり、DPC は清掃に関する政策を立案し、予算を管理している。一方で、バンコク都の住民からの料金徴収はわずかで、廃棄物管理運営費のごくわずかしかなかまかなえないのが現状である。

3.3.2 ベースラインシナリオ

バンコクにおける廃棄物処理システムの現状を踏まえ、ベースラインシナリオを次のように設定する。対象地域は BMA とよばれるバンコク都の中心地域とする。バンコク都を基地施設が存在する 3 つの地域に区別し、それぞれ On-Nut, Nongkhaem, Tharaeng をモデルとする。それぞれの地域ごとに収集車による収集を行い、On-Nut 地域から収集された廃棄物は Phanomsarakam、Nongkhaem 地域と Tharaeng 地域から収集された廃棄物は Kamphaengsaen をモデルとした中間基地施設に運び込まれる。その際、BL シナリオにおいては一切の中間処理は施されないものとする。そこから運搬車によってそれぞれの最終処分場まで運搬され、衛星埋立処分による最終処分が行われる。図 3.3 はベースラインシナリオの流れを示している。また、各過程で要する処理コストや排出される温室効果ガスを付録に示した手順で推計する。

(ア) 収集過程

本研究においては、収集サービスが対象地域全域において行われ、かつ廃棄物の収集率が限りなく 100%に近い状態であるという前提のもと推計を行う。収集過程は、各地点に廃棄された廃棄物を収集し基地施設まで運搬する過程であるとし、収集車両の燃料消費などから環境負荷量及び処理コストを推計する。また、主な推計手順は次のとおりである。

1. 収集車両の作業状況の推計
2. 必要人員、燃料使用量などの推計
3. 処理コストの推計
4. 環境負荷量の推計

推計に用いた設定値を表 3.2 に示す。

(イ) 中継基地過程

中継基地の役割は、収集された廃棄物あるいは中間処理後の廃棄物を一時的に貯蓄することであり、基地内に貯蓄された廃棄物を運搬車に積み入れ、最終処分場へと運搬することとなる。途上国では、中継基地施設においてスカベンジャーと呼ばれる人々によって廃棄物の分別回収が行われている場合がある。スカベンジャーはウェストピッカーとも呼ばれ、廃棄物中の有価物を選別、回収することにより生計を立てている人々である。路上のごみ収集場、あるいは中継基地におけるごみ集積場においてその活動が行われるが、収集過程と同様、中継基地においてもその活動の影響は考えないものとする。

主な推計手順は次のとおりである。

1. 施設運転状況の推計

2. 必要人員、使用電力などの推計
3. 処理コストの推計
4. 環境負荷量の推計

推計に用いた設定値を表 3.3 に示す。

(ウ) 運搬過程

運搬過程は、廃棄物を基地施設から埋立地まで運搬する過程であるとし、運搬車両の燃料消費などから環境負荷量や処理コストを推計する。

主な推計手順は次の通りとする。

1. 収集車両の作業状況の推計
2. 必要人員、燃料使用量などの推計
3. 処理コストの推計
4. 環境負荷量の推計

推計に用いた設定値を表 3.4 に示す。

(エ) 最終処分過程

最終処分過程では、収集された廃棄物や中間処理をした後の廃棄物残渣を最終的に埋立地で処分を行う過程であるとする。本研究における最終処分は全シナリオにおいて衛生理立処分を行うものとする。最終処分過程における衛生理立処分とは、一定の運営管理上のもと、重機によるごみの移動や転圧、ごみの散逸や悪臭を避けるための覆土が行われる埋立処分のこととする。バンコクにおける現状を考慮して、多くの場合問題になる浸出水の管理は含めないものとする。本過程においては、埋立地建設や最終覆土工事にかかわる燃料消費などから環境負荷量及び処理コストを推計する。

1. 衛生理立処分に必要な情報の推計
2. 必要人員、燃料使用量などの推計
3. 処理コストの推計
4. 環境負荷量の推計

推計に用いた設定値を表 3.5 に示す。

3.3.3 対策シナリオ

対策シナリオとして、BL シナリオに中間処理を加える 2 種類のシナリオ、A シナリオと B シナリオを設定する。A シナリオにおいては、収集された廃棄物に焼却処理を加えた後に中継基地に貯蓄するものとする。また、B シナリオにおいては、収集された廃棄物に資源分別処理を行った後に中継基地に貯蓄するものとする。以下、それぞれの対策シナリオの詳細を示す。

1) A シナリオ

A シナリオの流れを図 3.4 に示す。焼却処理について、現在タイには数ヶ所存在し、減量効果も高いことから中間処理対策としては妥当であると判断する。また、バンコク都内においても導入の動きが見られるが、住民の反対や財政上の問題により実際には進んでいない。

● 焼却処理

歴史的に見ると、焼却の主要な目的は、環境的・経済的な理由のための減量化とごみの殺菌であった。しかし将来は、埋立のためにごみの安定化が重要度を増し、都市ごみの焼却割合は増えると考えられる。未処理の都市ごみ埋立によるガス発生や浸出水中の有機化合物に対する関心が高まっており、埋立前にごみを安定化することはいくつかの国で重要な目標となっている。埋立ガスや浸出水は都市ごみ中の有機成分によるもので、焼却はこれをガスと無機化された灰に変える。

本シナリオでは、搬入された廃棄物を全量焼却するものとする。焼却処分によって発生した焼却処理残渣は、焼却灰と集塵灰に分類され、そのうち集塵灰は電気集塵機により集められ、熔融固化してスラグにする。電気集塵機は粒子状物質の除去に使われ、電気力粒子状物質を排ガスの流れから集塵電極へと移動させるものである。焼却処理後、焼却灰とスラグを中継基地に集積し、最終処分場へと運搬する。また、焼却処理施設では、ボイラなどを用いて熱量を回収し発電電気を場内使用することができる。ただし、運転形態や炉の形式による違いは加味していない。

焼却処理においては、廃棄物中に含有される炭素が全て二酸化炭素へと変換されて排出されるものとする。ただし、IPCC ガイドラインによる国際的な取り決めでは、食物くず（生ゴミ）や紙くず等のバイオマス（生物体）起源の廃棄物を焼却する際に発生する二酸化炭素は温室効果ガス排出量に含めないこととされている⁸⁾。これは、バイオマス起源の廃棄物から排出される二酸化炭素は植物の光合成により大気中から吸収され除去されていたものが再び大気中に排出されているものだという考え方に基づいている。よって焼却処理過程で排出される二酸化炭素は、衣類・プラスチック類及び発砲体類・ゴム類及び皮類から排出されるもののみを計上することとする。

焼却処理施設において、処理及び環境コストを付録に示した手順で推計する。また、推計に用いた設

定値を表 3.6 に示す。

2) B シナリオ

B シナリオの流れを図 3.5 に示す。現在、タイにおいては非公式ではあるがリサイクル市場が存在する。また、リサイクルされた廃棄物が有償であることや、国の政策としてリサイクル率を上げることがあげられていることを考えると、資源分別施設において効率的にリサイクルを行うことは妥当であると判断する。

● 資源分別処理

中間処理過程における資源分別とは、施設内に搬入された廃棄物を手選別や磁選別によって、再び資源として使えるもの(有価物)とそうでないもの(選別残渣)に分ける処理のこととする。手選別は最も簡単で広く用いられている選別技術であり、ベルトコンベアからの手選別である。手選別は労働集約的作業であるが、雇用の創出や、社会的弱者の訓練の機会として使われることもある(例:英国の Milton Keynes 市、米国のネブラスカ州 Omaha 市)。磁選別は、機械選別のひとつであり、磁場の力を使った廃棄物からの鉄の選別プロセスである。国や地域によって回収の対象となるものは異なるが、本研究においては、選別し回収の対象となる有価物を、紙類、ガラス類、鉄類、及びプラスチック類とする。また、各有価物の選別手法は、鉄類を磁選別、それ以外は手選別とする。図 3.6 は施設内物質収支を示している。

資源分別の過程で回収された有価物は、それらの貨幣的価値を収入と考えることができるため、実際の処理コストからそれらの貨幣的価値(あるいは売却額)を差し引いたものを「実質処理コスト」として評価する。また、分別によって回収した廃棄物の資源化による CO₂ の排出削減効果を考慮して、削減されると考えられる CO₂ の量を、資源分別過程において推計される排出量から差し引き貨幣価値換算したものを、「実質環境コスト」として評価することとする。資源分別処理後、選別残渣を中継基地に集積し、最終処分場へと運搬する。

資源分別施設において、処理及び環境コストを付録に示した手順で推計する。また、推計に用いた設定値を表 3.7 に示す。また、有価物の売却価格原単位を表 3.8 に示す。

3.4 長期的コスト推計手法

廃棄物処理システムの評価を行う上で、単年ではなく、将来に渡って長期的な評価を行う必要性については前述した。将来のコストを推計するためには、将来の廃棄物発生量を推計する必要があるため、将来の廃棄物発生量予測の手法について以下に述べる。

3.4.1 廃棄物発生量の将来推計手法

本研究においては、バンコク首都圏における廃棄物発生量の将来推移モデルを4種類用意する。そのうち3種類は過去の実測データに基づくシミュレーションによる将来予測モデル、1種類はタイの廃棄物に関するマスタープランに基づく廃棄物発生量推移モデルとする。全モデルにおいて、将来30年間の推移を推計するものとする。30年という期間は、本研究において焼却処理施設等の大規模施設の耐用年数を20年と設定しているため、その建替えによるコストへの影響を観察するための10年間を付け加えたものである。ここで、過去の実測データに関して2006年までのデータを用いるため、2007～2037年の推計値を求めるものとする。過去のバンコク首都圏における廃棄物発生量の実測データを基に、将来30年間の廃棄物発生量推移をシミュレーションすることとする。

3.4.2 マスタープランに基づく将来推移モデル

タイの環境保全及び推進の指針・枠組みを示すものとして、国家環境委員会（National Environmental Board）により内閣に提案され、1996年11月に承認された国家環境質向上政策・計画（Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Policy and Plan）における一般廃棄物に関する目標・指針（マスタープラン）の一つとして「一般廃棄物の発生量を1.0kg/person/day以下とする」というものが挙げられている⁷⁾。表3.9はタイの廃棄物に関するマスタープランをまとめたものである⁸⁾。しかし、現時点でタイにおいてこの目標は達成されていない。そこで、マスタープランの意義と、それが達成された場合のコストあるいは環境負荷に対する影響を観察するために、上記の目標を達成している場合の廃棄物発生総量の将来的な推移を求めることとする。具体的には、下記のように算出する。

$$\begin{aligned} & \text{(廃棄物発生量将来推計値)}[\text{kg} / \text{year}] \\ & = (\text{人口将来推計値})[\text{person} / \text{year}] \times 1.0[\text{kg} / \text{person} / \text{day}] \times 365[\text{day}] \end{aligned}$$

本研究では上記の方法によって求められた廃棄物発生量の将来推計を、便宜上「MP予測」と呼ぶ。

3.4.3 将来人口推計手法

人口の将来推計には回帰分析によるトレンド推計を行う。過去50年間のバンコク首都圏の人口のトレンドから、将来の推計値を算出する。具体的には、1950,1960,1970,1980,1990,2000,2003年の人口の実測値のトレンドを回帰分析によって求め、将来推計を行う。用いた実測値を表3.10に示す。トレンド推計に用いる回帰式は、表3.11に示した中から自然対数式を用いる。バンコク首都圏においては経済状況も近年比較的安定しており、人口も安定に向かっていると考えられるため、負の増加率を表現できる対数関数式が適切であると判断した。

実測データに基づく回帰分析の結果、対数関数式が以下のように求まる。

$$Y = 1751670.824 + (1006873.415 \times \ln(X - 1960))$$

上式に基づいて求めた将来人口推移を図 3.6 に、さらに廃棄物総量の推移モデルを図 3.7 に示す。

3.4.4 シミュレーションによる将来廃棄物発生量推移予測

下式の幾何ブラウン運動によるシミュレーションを実施する。

$$S(t) = S(0) \cdot \exp\left\{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot t + \sigma \cdot \varepsilon\right\}$$

ε : 標準正規乱数

μ : ドリフト

σ : ボラティリティ

ドリフト、ボラティリティは、過去 5 年間の廃棄物発生量の実測値より算出する。使用した実測値を表 3.12 に示し、算出したパラメータを表 3.13 に示す。尚、シミュレーションの試行回数は 100 回とする。シミュレーションの結果を図 3.8 に示す。

シミュレーションを基に、3 つの廃棄物総量将来予測モデルを設定する。その設定方法はそれぞれ、

- ① 各年毎に、100 個のサンプルの中から最大値をピックアップする
- ② 各年毎に、100 個のサンプルの中から最小値をピックアップする
- ③ 各年毎に、100 個のサンプルの平均値を求める。

とし、本研究ではこれらの廃棄物発生量将来推計を

- ① 上位予測
- ② 下位予測
- ③ 中位予測

と呼ぶことにする。それぞれの予測モデルを図 3.9 に示す。

3.4.5 社会的割引率

コストの長期的視点に基づく推計を行う際に、割引率の概念を導入する。

事業には費用あるいは便益が将来時点において発現すると考えられる場合がある。このような事業の評価において費用便益分析を行う際、発現時点の異なる費用や便益を適切に足し合わせて評価する必要がある。しかし、貸借において利息が生じることに見られるように、経済的には将来時点における 1 円の価値は現在時点における 1 円の価値と異なる。その価値の差異を定式化して表すものが社会的割引率である。

社会的割引率を用いた将来時点の費用あるいは便益の現在価値化は以下の式に従って行う。

- 社会的割引率を考慮した N 年間の総コスト

$$C = \sum_{t=1}^N \frac{c(t)}{(1+r)^t}$$

C : 合計コスト
c(t) : t 年目のコスト
r : 社会的割引率

社会的割引率は費用や便益の評価値に対して級数として影響することから、その効果が非常に長期にわたる事業の費用便益を行う際には、社会的割引率がわずかに異なるだけでその結果も大きく異なる結果となり得る。そのため、社会的割引率の設定値に関しては費用便益手法における主要検討課題の一つとなっており、十分な検討のもとに適切に設定されることが望まれる。

日本においては、国土交通省が公共事業に関する社会的割引率を 4%と定めている⁹⁾。しかし、途上国では、有利な投資機会が残されていることを対外的に示す必要があること、資金を外国に頼ることが多く、その場合、為替相場変動のリスクを考慮する必要があること、投資対象国自体に関する情報不足に起因して投資リスクが高いこと、等を考慮して先進国の場合よりは高い割引率が用いられるのが通常である。本研究では、2005 年時点でタイ国の公共事業に対して適用されている 12%の割引率を適用することとした¹⁰⁾。

また、社会的割引率の適用範囲は処理コストのみとし、環境コストには割引率を適用しないこととする。環境コストは、確かに貨幣価値の次元で考えてはいるが、そもそもは環境影響を数値化したものと考えることができる。環境影響は、その発現がいかなる将来の時点であろうとも被害は絶対的なものであり、その被害は貨幣価値と同様に現在価値へ割り引かれるべきではないと判断した。

3.5 廃棄物処理に伴う環境影響の定量化

廃棄物の処理のプロセスにおいて、人為的あるいは非人為的に温室効果ガスが排出される。1980 年代末頃から環境問題として地球温暖化が急速にクローズアップされて始め、現代は温室効果ガスの人為的排出の抑制によって温暖化の防止を図ることが人類の義務であるという共通認識ができつつある。そして、あらゆる経済活動においてその環境影響を評価する動きが見られる。廃棄物の処理事業に関しても同様にその責任があり、環境影響を加味した正当性を考える必要がある。

3.5.1 CO₂排出係数

環境負荷量の定量化は、ある活動量に対して環境負荷排出係数を乗じることで行う¹¹⁾。環境負荷排出係数とは、活動量単位に対して排出される環境負荷量を表した指標である。廃棄物処理過程における燃料等の使用における二酸化炭素の排出量の算定のために CO₂排出係数を用いることとする。ただし、計

上する CO₂排出量は廃棄物処理過程において直接排出されるもののみし、建築材料の製造過程や購入する車両の製造過程など、間接的な排出量は考慮しないものとする。

排出係数は、その設定に関して地域性を考慮する必要がある。本研究においては、文献¹²⁾調査からタイの産業連関表から算出した値を用いることとする。

焼却による CO₂の排出量や、最終処分場における CH₄の排出量の推計方法に関しては付録に示す。また設定した排出係数を表 3.14、価格原単位を表 3.15 に示す。

3.5.2 温室効果ガスの貨幣価値

温室効果ガスの排出を環境コストの次元に変換するために、温室効果ガスの貨幣価格原単位を設定する。温室効果ガスの貨幣価値原単位に関しては様々な評価手法があり、既往の研究によって様々な値が算出されている。本研究においては国土交通省がとりまとめた技術指針において示した考え方を参考に¹³⁾する。

貨幣価値原単位の計測には以下の3つの視点がある。

- 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

このうち1) 被害費用に基づく計測は、外部要因に対して比較的安定と言え、且つ国際的な公平性にも配慮できる計測であると言える。この計測は、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。当該論文では、二酸化炭素排出の限界被害費用（二酸化炭素が1単位増加した場合の海面上昇などによる被害を貨幣換算したもの）について、既往の103個の計測事例を収集し、計測値の平均や分散について分析している。その全計測値（103個）の平均値は3.03円/kg-CO₂であった。

本研究では上記の妥当性より、1) 被害費用に基づく計測を採用することとし、その値として上記の文献に基づく3.03円/kg-CO₂を採用する。また、メタンガスの貨幣価値原単位には、メタンガスの地球温暖化係数が21であることから、63.63円/kg-CO₂とする。地球温暖化係数とは、二酸化炭素を基準に、その気体の大気中における濃度あたりの温室効果の100年間の強さを比較して表したものである。

第4章 廃棄物処理システム評価及び考察

4.1 各シナリオのコスト推計

4.1.1 ベースラインシナリオ

中位予測における30年間の各年コストの推移は図4.1のようになった。イニシャルコストにより一年目に処理コストが大きくかかるが、その後数年で逆転、環境コストが台頭するようになる。

中位予測における処理コスト、環境コスト、トータルコストの推計結果を表4.1に示すとともに、その詳細を図4.2に示す。BLシナリオの場合、処理コストの約3.5倍の環境コストがかかることになる。処理コストの内訳としては、総処理コストの約50%が収集過程におけるものである。また、環境コストの内訳としては、そのほとんどが最終処分過程（埋立過程）におけるものである。これは、21の地球温暖化係数をとるメタンが原因である。トータルコストで見ても、その約72%が埋立過程においてかかったコストになっていることから、BLコストに関しては、最終埋立処分におけるメタンの排出が最大のネックになっていると結論付けることができる。

4.1.2 Aシナリオ

中位予測における30年間の各年コストの推移は図4.3のようになった。イニシャルコストのために一年目に莫大な処理コストがかかっている。これは、焼却処理施設の建設（三基）が原因と考えられる。また、21年目（2027年）にも、焼却処理施設の再建設が行われているため、処理コストが多くかかっている。その他の年に関しては環境コストが台頭している。

中位予測における処理コスト、環境コスト、トータルコストの推計結果を表4.2に示すとともに、その詳細を図4.4に示す。Aシナリオの場合、処理コストがわずかに環境コストを上回る結果となった。処理コストの内訳としては、総処理コストの約27%が収集過程、約68%が焼却処理過程においてかかるものとなっている。環境コストの内訳としては、その約97%が焼却処理過程においてかかる。これは、焼却処理の際に排出される二酸化炭素が原因である。トータルコストの内訳としては、約14%が収集過程、約82%が焼却処理過程におけるコストであり、その他の過程におけるコストは相対的に微小であると言える。

4.1.3 Bシナリオ

中位予測における30年間の各年コストの推移は図4.5のようになった。イニシャルコストのために一年目に大きな処理コストがかかり、その数年後から環境コストが処理コストを上回るようになる。

中位予測における処理コスト、環境コスト、トータルコストの推計結果を表4.3に示すとともに、そ

の詳細を図 4.6 に示す。処理コストについては、収集過程と共に、分別過程に占める割合が大きくなっている。収集過程、分別過程における処理コストはそれぞれ総処理コストの約 38%、30%を占めている。分別過程における処理コストは、施設の建設費用が大きくなっている。環境コストについては、最終処分過程におけるコストがその約 93%を占めており、メタンの発生が原因と考えられる。その影響で、トータルコストにおいても、約 65%が最終処分過程におけるものという結果となる。

以上の結果は、実際に処理過程においてかかるコストによる評価であるが、さらに B シナリオの評価には、前述の実質 CO₂排出量と実質処理コストを用いたものも考慮する。図 4.7 に CO₂資源化削減量と実質 CO₂排出量の関係を示す。資源化削減量と実質 CO₂排出量の和が、B シナリオにおける実際の CO₂排出量である。資源化によって CO₂排出量は約 7%削減されると評価された。また、図 4.8 に実質処理コストと売却収入分、環境コストとの関係を示す。実質処理コストと売却収入の和が、B シナリオにおいて実際にかかる処理コストである。売却収入によって、処理コストは約 10%削減されるものと評価された。

4.2 シナリオ評価の比較

4.2.1 各シナリオの特徴

図 4.1、図 4.2、図 4.3 の比較を行うと、以下のような特徴が挙げられる。

- A シナリオは BL シナリオと比べ、焼却処理施設建設に伴うイニシャルコストが大きいですが、減容化により運搬・最終処分過程における処理コストを削減できる。また、A シナリオは焼却過程にて多くの CO₂が排出され環境コストが嵩むが、最終処分場でのメタン発生を防ぐため環境コストが大幅に低減する。
- B シナリオは BL シナリオと比較して資源分別処理施設建設に伴うイニシャルコストが増大し、結果として処理コストが増大する。しかし、分別処理による減容化のため埋立地でのメタンの排出が抑制され、環境コストは低減する。

また、図 4.9 は各シナリオのトータルコストの経年推移を表したものである。この図から、以下のことが読み取れる。

- A シナリオは BL シナリオや B シナリオと比較して莫大なイニシャルコストがかかるものの低コストで運転できるシステムである。
- B シナリオの推移は BL シナリオのものと類似しているが、BL シナリオよりも高イニシャルコストかつ低ランニングコストであり、BL シナリオと A シナリオの中間という位置づけとなっている。

図 4.10 は、各シナリオの経年による累積トータルコストを示している。イニシャルコストの大小が縦軸の切片として現れており、ランニングコストの大小が勾配として現れていると言える。上に述べた各シナリオの特徴を可視化していると言える。図 4.10 から、短期的な視野で評価するか、長期的な視野で評価するかによって、結果に違いが出てくることが分かる。おおよそ 10 年程度のスパンで考えると社会的に見ても焼却処理や資源分別処理が有効とは言えないが、30 年のスパンで見ると現状と比べ大きな社会的便益（社会的コストの削減）が生じている。

4.2.2 中位の廃棄物量予測シナリオにおける比較

中位の廃棄物量予測シナリオにおける各処理システムの比較・考察を行う。

図 4.11 は、各シナリオのトータルコスト、及び処理コストと環境コストの割合を示している。同位廃棄物量予測シナリオにおいては、環境コスト、及びトータルコストに占める環境コストの割合は、 $BL > B > A$ である。対して、処理コスト、及びトータルコストに占める処理コストの割合は、 $A > B > BL$ である。よって、処理コストと環境コストがトレードオフの関係にあるということが示された。しかし、トータルコストの推計値は $BL > B > A$ という結果が出ている。

この結果から、私的費用最小化を目的とすれば BL シナリオが最も優良な廃棄物処理システムであるが、社会的費用最小化の観点からは A シナリオが最も優良であり、 BL シナリオはその逆であると言える。また同様に、 A シナリオが最も環境配慮型であり、 BL シナリオは相対的に環境破壊型廃棄物処理システムであると結論付けることができる。また、 B シナリオは、私的費用最小化と社会的費用最小化のジレンマの中で、妥協点と言える位置取りをしているということもできる。

4.2.3 異なる廃棄物量予測シナリオにおける比較

異なる廃棄物量予測シナリオに関する比較・考察を行う。

図 4.11 において、同処理システムにおける廃棄物量の推計値の差によるトータルコストの比較をすると、 BL 、 A 、 B 、いずれのシナリオにおいても、上位 $>$ 中位 $>$ 下位 $>$ MP となっている。また、 BL （下位）、 A （中位）及び B （中位）を比較すると、 B （中位） $>$ BL （下位） $>$ A （中位）である。これは、廃棄物発生量抑制の促進と、処理システムの転換の比較の議論になる。尚、下位予測はシミュレーションの範囲内であることから実行可能な将来廃棄物量推移であるという仮定のもとで議論をする。この結果から、資源分別処理システムを導入するよりも廃棄物量の抑制を進める方が社会効率的であり、さらに廃棄物量抑制よりも焼却処理システムを導入する方が効率的であると言える。ただし、下位予測は本シミュレーションにおける最下端値であることを考えると、資源分別処理システムの導入を検討する際には、廃棄物総量の抑制にどの程度力を入れるか、あるいはどの程度抑制可能であるかということ、

十分に検討する必要がある。

また、BL (MP) のトータルコストを A (下位) 及び B (下位) と比較すると B (下位) > A (下位) > BL (MP) であり、マスタープランの実行がいかなる将来廃棄物量推移あるいは処理システムの導入よりも効果的であることを証明している。しかし、マスタープランの推移予測がシミュレーションにおける下位予測よりも大きく下回ることから、マスタープランの実行可能性については疑問である。

4.2.4 CO₂換算排出量

図 4.12 は各シナリオにおける CO₂換算排出量を表している (B シナリオについては、資源化削減量を加味している)。CO₂換算排出量は、地球温暖化係数を加味することでメタンの排出量を CO₂排出量に換算し、実際の CO₂排出量と足したものである。図 4.12 から、A シナリオは、BL シナリオのみならず B シナリオと比較しても大幅な温室効果ガス抑制を実現していると言える。表 4.4 に、BL (MP)、A (中位)、B (中位) シナリオにおける BL (中位) シナリオからの CO₂換算排出量削減率を示す。焼却処理施設が、マスタープランの実行よりもさらに大きく温室効果ガス排出削減を可能とすることがわかる。

本研究における廃棄物処理システムでは、資源分別における有価物を除く廃棄物に含まれる炭素は全て温室効果ガスへ変化することになるが、炭素が二酸化炭素となるか、メタンガスとなるかに依って環境コストが大きく異なる結果となった。温暖化係数が二酸化炭素の 21 倍であるメタンガスが発生するのは最終処分場であるため、中間処理によって二酸化炭素が排出されることはメタンガスの排出の防止という面では温暖化防止策であると言える。

4.2.5 最終処分場面積

最終埋立処分において、本研究では一つの最終処分場面積を 1428571.43[m²]と設定している。これは、埋立地面積として設定した 1000000.00[m²]を最終処分場の有効利用率として設定した 0.70 で除することによって求められる¹³⁾。埋め立てる廃棄物量に因り、埋立地は数年で満たされ、新たな最終処分場を建設する必要が出てくる。表 4.5 は、各シナリオで 30 年間に必要となる埋立処分場の数と必要面積を示している。また、図 4.13 においてグラフ化した。A シナリオでは、他のシナリオに比べて最終処分場の必要面積が非常に小さい。さらに、A シナリオにおいては、廃棄物総量の不確実性に対し、最終処分場の必要面積が左右されていないことに着目でき、A シナリオは最終処分場面積に関して不確実性に強いシステムであると言える。

本研究では、コストの中に土地の利用面積に関するファクターを入れていない。つまり、処分場の建設あるいは維持費用という面で、A シナリオと他シナリオのコストに差がつくことになるものの、他シナリオにおいて「広大な土地面積が必要である」という事実はコストに反映されていない。しかし、土

地の有限性を考慮すると、必要となる土地面積の大小は廃棄物処理システムを評価する上で重要な要素であることは間違いない。この要素は国・地域によって国土面積、経済状況、現在の土地利用状況、将来の国づくりビジョン等を考慮・検討して、その重要性について議論すべきである。土地の浪費というだけでなく、土地を開拓するために森林を切り開き、環境破壊に結びつくという可能性もある。また、タイにおいては廃棄物処理施設のための用地取得に対する住民の協力が得られ難いという状況がある¹⁵⁾。よって、廃棄物処理システムを評価する際には、コストという指標だけでなく、将来的な国づくりのビジョンとの兼ね合いを考慮し、住民の理解と協力得るための説明責任を果たさなければならない。

土地の利用面積というファクターをコストベースで評価に組み込む場合の方法論として、まず地価による評価が考えられる。利用面積を地域毎に地価に乗じるという方法であるが、この場合、途上国においては評価し難いものとなるだろう。途上国において、廃棄物の最終処分場となる土地は郊外の地価が低い地区が該当すると考えられ、特に国土面積の大きい途上国においてはデータの不足も相まって地価の計測は非常に困難であると言える。

そこで、途上国という性質を考慮して、土地を有効利用した場合の便益を基に土地の価値を評価する方法が考えられる。現在特別な用途のない土地において、途上国であるが故に開発の余地は大いにあると考えられ、その土地に、廃棄物の最終処分場ではなく別の開発を施した場合の便益を相対的に計測するという方法が可能であると考えられる。例えば住宅用地や工業用地などの、廃棄物処理事業以外の事業を展開した場合の便益を推計することで、土地の価値を割り出すというものだ。

上記のような方法で、土地の価値を評価することで、利用面積の小さいコンパクトな廃棄物処理システムが歓迎されることとなり、途上国にとっても負担にならない廃棄物処理を進めていくことができると考えられる。

4.2.6 環境効率性指標

BL シナリオに中間処理を導入することは、処理コストの増大を招くという意味で投資であり、またそのリターンは環境負荷の低減である。本研究においては、A シナリオが最も費用効率的な投資であることを示したが、本研究ではCO₂の価格原単位を3.03[円/kg-CO₂]と設定してあくまでコストベースでの評価を行ったので、その投資が環境効率的であるどうかは議論していない。例えば、CO₂の価格原単位を別の値に設定すると、各シナリオの費用効率性つまりトータルコストの上下関係も変わるようになる。よって、環境投資を行う上ではあくまで環境効率性について考察すべきである。そこで、環境効率性指標を考える¹⁶⁾。

環境効率性指標とは、投資規模に対する環境負荷の改善量の割合であり、環境投資プロジェクト選択の一つの指標となる。環境効率性指標は次式で表される。

$$\text{(環境効率性指標)} = \frac{\text{(環境負荷低減効果)}}{\text{(設備の投資費用)}}$$

本研究では、分母に対策シナリオによる処理コストの増加分、分子に CO₂換算排出削減量を用いるとする。A シナリオ、B シナリオの導入（中位推計に基づく）における環境効率性指標は、A シナリオが 0.71[kg-CO₂/円]、B シナリオが 0.95[kg-CO₂/円]であり、B シナリオに対する投資の方が環境効率的だと言える。

この指標が、廃棄物処理を始め様々な環境投資事業において重要となる。その代表として CDM（クリーン開発メカニズム）事業が挙げられる。日本では現政権が「CO₂を 2020 年までに 1990 年比で 25%削減、2050 年までに 60%を超える削減」という環境政策目標を掲げている¹⁷⁾。しかし、日本では目標達成に要する費用が諸外国に比べて高いとされ、国内対策に依存した目標達成への取り組みが、国際的な競争力低下、ひいては国内経済への大きな影響が懸念されており、目標達成のハードルは高いとされる。このような状況では CDM を活用することの重要性は高いと言える。CDM 事業の中でも、特にメタン排出抑制プロジェクトは事業性に優れているとされている¹⁸⁾。このような現状を考えると、廃棄物処理事業において環境効率性指標は事業の評価において無視できない指標と言える。

4.3 廃棄物処理システム最適化に関する提言

4.3.1 概要

実際に、廃棄物処理システムの環境影響評価を行い、その結果を提示しただけでは事業決定に関する合意決定には結びつかない。なぜなら、環境コストはあくまで社会的費用であり、事業者が負担するコストではないからだ。よって、環境配慮型の廃棄物処理システムの導入を進めるには、そのインセンティブ付けが不可欠となる。そこで、社会的費用最小化のための動機付けとしての環境政策に関する提案をする。以下に述べる環境政策に、本研究において算出した値を活用することができる。

4.3.2 環境税

ここで、BL シナリオから A シナリオへの移行を例に取る。尚、両シナリオ共中位予測に基づくものとする。トレードオフの関係にあると言える処理コストと CO₂換算排出量の間関係を見ると、A シナリオに移行することは、79,681,640,594 円の投資によって 56,888,680,644kg の CO₂換算排出量を削減することであるから、CO₂換算排出削減量 1kg あたりの投資額は約 1.40 円である。また、B シナリオに関しては

約 1.06 円である。詳細を表 4.6 及び表 4.7 に示す。

環境税は、実際に環境コストを事業者に負担させる政策手法であり、ある環境基準を超える環境負荷量に対して定められるものである。これは汚染者負担原則(polluter-pays principle)に即している。仮に税率を「58,201,696,942kg を超える CO₂換算排出量 1kg につき 1.50 円の課税を行う」とすると、A シナリオ移行へのインセンティブとなり、同様に「90,860,630,176kg を超える CO₂換算排出量 1kg につき 1.10 円の課税を行う」とすると B シナリオ移行へのインセンティブとなるだろう。

このようなメカニズムで環境配慮型の廃棄物処理システムへの移行を促すのが環境税であり、単位排出量削減のための投資額を上回る環境税を設定することで、当該廃棄物処理システム移行へのインセンティブとなる。

4.3.3 環境補助金

環境税は、国あるいは自治体が、事業者から徴税するものであり、特に途上国においては反発を招くこととなり得る。そのような場合には、環境補助金という概念が有効である。環境税は、事業者が政府に納税するのに対し、環境補助金は政府が事業者に支払うものであるから対症的なものと言える。また、汚染者負担原則には即していない。

環境補助金は、環境税とは異なり、ある環境基準を下回る環境負荷量に対して定められる。表 4.7 を例にとると、「115,090,377,586kg を下回る CO₂換算排出量 1kg につき 1.10 円の補助金を支払う」といったように設定される。この場合は、B シナリオに移行するインセンティブとなり得る。

ここで、環境税との性質の違いを挙げる。環境税の場合は、環境基準を満たすための強いインセンティブが生じるが、設定された環境基準を満たしている場合には課税されないので、それ以上の排出削減のインセンティブは生じない。しかし、環境補助金の場合は、排出削減を進めるほど補助金が支払われるので、排出削減のインセンティブは常に生じる。上記の「115,090,377,586kg を下回る CO₂換算排出量 1kg につき 1.10 円の補助金を支払う」という条件の場合には、現状で B シナリオに移行する動機付けとなっているが、さらに A シナリオへの移行を CO₂換算排出削減量 1kg あたりの投資額 1.10 円以下で行うための技術革新の動機付けとなり得るのだ。このように、環境補助金は環境税とは異なる効果を持っており、これらを効果的に活用することが重要である。

第5章 結論

5.1 本研究の成果

1. 環境問題の特性を考察し、途上国の廃棄物問題との関連付けを行った。途上国の廃棄物処理と、その事業選択は近視眼的な視点に基づくことが多く、それが環境問題の解決のための考え方とは相反するものになっていると言える。
2. 廃棄物処理システムの長期的コスト評価のモデルを作成した。それに基づいて、バンコクにおける現状の廃棄物処理システムの環境影響を評価した。その中で、現状の廃棄物処分において、排出されるメタンガスが環境コストとしてトータルコストの大部分を占めることを示した。
3. 対策シナリオとして設定した A、B の両シナリオに関してコスト評価を行い、中間処理導入におけるコストの経年変化の特徴について把握した。A シナリオは BL シナリオに比べて初期コストが莫大に大きくなるが、運転コストが小さくなるためトータルコストとしてコスト削減が行われる。B シナリオに関しては、高イニシャルコスト、低ランニングコストというイメージである A シナリオと BL シナリオの妥協点と言える位置取りをする形となった。トータルコストの面では A シナリオより高コスト、BL シナリオより低コストである。
4. また、廃棄物総量の予測自体に幅を持たせたシナリオにより、廃棄物総量の将来の不確実性が廃棄物処理コストにどのような影響を与えるかを定量的に示した。将来における廃棄物総量の推移は、廃棄物処理の社会的費用に直接的に影響することが言える。実行可能と考えられる範囲で廃棄物抑制を行うよりも、焼却処理施設導入の方がコストの低減が可能であることが示された。また、タイの廃棄物に関するマスタープランに基づくシナリオを作り、マスタープランの意義について考察した。マスタープランを実行した場合、どのような中間処理を導入した場合よりも低コストを実現でき、その意義に関しては認められるが、実現可能性については疑問が残る。
5. トータルコスト以外の、廃棄物処理システム評価基準として、CO₂換算排出量、最終処分地面積、環境効果性指標を挙げた。最終処分地面積の議論に関しては簡単に結論を与えることはできないと言うことができ、廃棄物処理システムの評価における国づくりの将来的ビジョンとの関連性について述べた。また、環境効果性指標については、費用効率性の議論とは異なり、環境効率性の上では A シナリオ導入よりも B シナリオ導入のための投資の方が優れていることを示した。
6. 以上の結果を踏まえた上で、実際に環境配慮型の廃棄物処理システムの追求のための提言として、環境政策について述べた。環境税あるいは環境補助金といった手段が考えられ、それぞれの税率等の設定方法について考察し、また環境税と環境補助金の性質の相違について述べた。

本研究においては、廃棄物処理システムをいくつかの指標を用いて評価した。それらの指標による評価から、廃棄物処理システムの最適化は、それをどの視点から考えるかということが重要となってくると言える。

トータルコストの最小化または環境コストの最小化という面での焼却処理の評価は、その初期投資額を考えると資金的に余裕のある投資主体に向けたものであると言える。具体的には、先進国による CDM などの環境投資の際に有用な評価であると言える。また、環境効率的投資という面で資源分別処理は費用対効果に優れていると評価することができ、初期投資を抑え効率的に環境コストを抑制する場合や、一定の環境基準を達成するという目的においては有用である。

しかし、これらはいずれも「環境に優しい」廃棄物処理の達成を目指すものである。今日において、環境保全を進めるトレンドは主に先進国において見られるものであり、上記の評価はどれも先進国の視点に立ったものと言わざるを得ない。そもそも環境保全的廃棄物処理システムの導入を行うためには、環境保全の動機が前提となる。

途上国の、特に住民にとっては、資金は生活していくためのものであり、環境保全のためにそれを費やすということは現状考えにないと言えるだろう。そのため、前述のような環境政策によりインセンティブ付けをすることも考えられるが、いずれの環境政策も費用を伴うものであり実行は難しい可能性がある。先進国においても、環境保全のインセンティブは重要と考えられるが、それ以前に先進国と途上国の住民にはその思考に相違がある。日本において住民は非常に協力的にごみ排出時の分別作業を行い、また企業は環境保全活動に寄与することで企業イメージのアップを試みる。日本におけるこのような現状は、住民に環境保全の考えが浸透している、つまり環境教育が適切に行われていることの効果が現れているためと言える。日本においては 1960 年前後から顕在化した公害を含む環境問題の原因・実態・防止策を教育に組み込んでいるため、住民に環境保全の意識が芽生えている。タイのような途上国では、住民はそのような教育を受けておらず、環境に協力的な意識を持つ動機がないと考えられる。そのような場合は、廃棄物処理施設の導入や環境政策を行う大前提として、環境教育を取り入れることが有効な手段と言える。廃棄物処理における環境汚染の実態、あるいは土地を浪費することのデメリットなどを住民に教育し、環境保全の動機を持たせることが重要である。本研究における環境影響を考慮した廃棄物処理システムの評価は、その前提の下で有用となり、合意形成の手段となり得る。それが達成されることで、環境影響を考慮した廃棄物処理の評価は決して先進国目線のものではなくなる。

5.2 本研究の課題

本研究では、中間処理システム導入の効果と意義を考察するために各シナリオに一つの中間処理を導入したのみであったが、実際の廃棄物処理システムにおいては、収集・中間処理・運搬・最終処分

の各過程において様々な技術とシステムが適用されており、その組み合わせによる評価の検討を行っていないことは、廃棄物処理システムの最適化の追求には添っていないという可能性もある。しかし、組み合わせの前に、個々の処理システムの特性と導入の余地を検討することは必要な考察であった。

焼却処分シナリオにおいては、バイオマス由来の廃棄物から発生する二酸化炭素を計上しないこととしたが、実際には二酸化炭素が排出されているので、計上されていない二酸化炭素分に対してもその発生抑制の手段を考えていく必要があると考えられる。

また、シナリオの比較・考察段階で述べたように、廃棄物処理システムはコストという指標によってのみ評価されるべきものではない。事業者自身の経済的状況から、国の経済状況、法制度や風土、あるいは住民との調和など、様々な側面から評価されるべきものであり、それらをファクターとしてモデルに組み込むことができれば、モデルの精度は向上していくと考えられる。

最後に、本研究においては温室効果ガスの排出をその被害費用を基に貨幣価値化しているが、前述のように温暖化の被害は絶対的なものであり、そもそも私的費用と同じ次元で考えるべきものではない。しかし、本研究において示されたように環境問題と開発は往々にしてトレードオフの関係にあるため、環境問題を見捨てて開発を進めることが問題とされるように、開発を見捨てて環境問題に取り組むこともまた問題である。現在、先進国が環境保全に取り組むことがトレンドとなっているが、今日顕在化している環境問題は先進国の開発過程における弊害であって、その処理として途上国に環境保全の態度を強制することは横暴であるとも言える。よって、このような問題を考える際には先進国の視点と途上国の視点を同時に考慮する必要がある。本研究のように途上国における開発が環境破壊的であることに警鐘を鳴らすだけでなく、次の段階として、ノウハウや技術力のある先進国が環境保全的開発を途上国に提供するようなシステムができ、南北で協力する体制ができることで環境問題への取り組みは前進すると考えられる。

参考文献

- 1) 稲積真哉・大津宏康・塩谷智基・勝見武・石川憲俊：バンコクの都市廃棄物処理に関する環境影響評価，第8回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，地盤工学会，pp.405-408, 2009-7.
- 2) 株式会社イーエヌツープラス 池口孝：開発途上国のごみ処理—現状と課題、そして解決策—
- 3) 福田彩：開発途上国廃棄物最終処分場に住むスカベンジャーのリサイクルへの関与及び、属性・生活の現状～インドネシア BantarGebang 最終処分場を事例として～,2003.
- 4) 植田和弘：環境経済学,1996.
- 5) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価-マテリアルフロー・LCA 評価プログラム-, 技法堂出版, 2005.
- 6) 田中信壽：環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理, 2000.
- 7) S.Muttamara and Shing Tet Leong, Chairat Somboonjaroensri and Wicha Wongpradit:The Evolution of Solid Waste Management in Bangkok, Thammasat Int. J. Sc. Tech., Vol.9, No.1, 2004.
- 8) 環境省 温室効果ガス排出量算定方法検討会：廃棄物分科会 報告書,2002.
- 9) 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
- 10) 國光洋二・塩田克郎・片山茂・ウィワタナパン ジュンラット：タイ国における農業関係公共事業の費用効果分析,2005.
- 11) 独立行政法人 国立環境研究所：日本国温室効果ガスインベントリ報告書,2008.
- 12) 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，29(4),2008.
- 13) 前出 8)
- 14) 前出 5)
- 15) 日本貿易振興機構（JETRO）：アジア各国における産業廃棄物・リサイクル政策情報提供事業報告書,2007.
- 16) 國部克彦：環境管理会計入門,2004.
- 17) 民主党：民主党の政権政策 Manifesto2009,2009.
- 18) 株式会社 大林組：タイにおける廃棄物処理場から発生するメタンガスを利用した発電施設の事業性調査 報告書,2002.

謝辞

本論文を締めくくるにあたり、研究・執筆に関してお世話になった方々に感謝の意を表したいと思います。

まずは、素晴らしい研究の環境を与えて下さった京都大学工学研究科・大津宏康教授に心から感謝の意を表したいと思います。お忙しい中幾度もゼミを開いてくださり、またその度に学生の私からは思いもよらないような貴重なアドバイスを頂きました。研究を進める上で、非常に為になりました。短い間でしたが心から感謝致します。

京都大学工学研究科・西山哲助教授には副査を務めて頂き、様々な点でご指摘を頂いたおかげで論文を充実させることができました。心から感謝致します。

京都大学工学研究科・塩谷智基准教授には、ゼミの際、非常に私の研究に興味を持って頂き、鋭い質問を投げかけて頂きました。おかげ様で、軌道修正を重ね論文を書き上げることができました。心から感謝いたします。

京都大学工学研究科・稲積真哉助手には、幾度となくミーティングを重ねて頂き、その度に真摯に話を聞いて頂きました。研究はもちろんその他の面でも非常に目をかけていただき、とてもお世話になりました。深く感謝の意を表します。

伊東宏美秘書には、様々な面からサポートして頂きました。心からお礼申し上げます。

また、一から研究を教えて下さり、アドバイスを下さった京都大学工学研究科大津研究室の諸先輩方と、共に励んだ同期の方々に深く感謝致します。

最後に、勉学に励むことのできる環境を与えて下さり、サポートをして下さった両親に深く感謝の意を表したいと思います。

付録

廃棄物処理における処理コスト及び環境コストの長期的推計算出手法の概要を数式にて示す。各パラメータに関して、大文字で示してあるものは廃棄物量の入力値によって変動する量であり、小文字は定数として設定する値である。

- 処理コストの割引を加味した長期的トータルコスト算出式（ベースラインシナリオの場合）

$$\sum_i^{t_0} T_i = \sum_i \left(C_i / (1+i)^{i-1} \right) + \sum_i E_i$$

T : トータルコスト[yen]

C : 処理コスト[yen]

E : 環境コスト[yen]

r : 割引率

t_0 : 推計年数

- I. 処理コスト将来推計式を各過程に分割

$$\sum_i \left(C_i / (1+r)^{i-1} \right) = \sum_i \left(C\langle col \rangle_i + C\langle rel \rangle_i + C\langle tra \rangle_i + C\langle fil \rangle_i \right) / (1+r)^{i-1}$$

col : 収集

rel : 中継基地

tra : 運搬

fil : 最終処分

1. 収集過程

$$\sum_i^{t_0} C\langle col \rangle_i / (1+r)^{i-1} = \sum_i^{\lfloor t_0/t_1 \rfloor} C_B (Q(t_1 \cdot i)) + \sum_i^{t_0} (C_{Pi} + C_{Oi} + C_{Mi})$$

C_B : 車両購入費[yen]

C_O : 燃料費[yen]

C_P : 人件費[yen]

C_M : 車両維持補修費[yen]

t_1 : 収集車耐用年数

2. 中継基地過程

$$\sum_i^{t_0} C\langle rel \rangle_i / (1+r)^{i-1} = \sum_i^{\lfloor t_0/t_2 \rfloor} C_T(Q(t_2 \cdot i)) + \sum_i^{t_2} (C_{Pi} + C_{Ei} + C_{Mi})$$

C_E : 電力費[yen]

C_T : 施設建設費[yen]

t_2 : 基地施設耐用年数

C_M : 施設維持補修費[yen]

C_P : 人件費[yen]

C_B : 車両購入費[yen]

C_O : 燃料費[yen]

3. 運搬過程

$$\sum_i^{t_3} C\langle tra \rangle_i / (1+r)^{i-1} = \sum_i^{\lfloor t_0/t_3 \rfloor} C_B(Q(t_3 \cdot i)) + \sum_i^{t_3} (C_{Pi} + C_{Oi} + C_{Mi})$$

t_3 : 運搬車耐用年数

C_M : 施設維持補修費[yen]

C_P : 人件費[yen]

C_B : 車両購入費[yen]

C_O : 燃料費[yen]

4. 最終処分過程

$$\sum_i^{t_4} C\langle fil \rangle_i / (1+r)^{i-1} = \sum_i^{\lfloor t_0/t_4 \rfloor} (C_C(Q(t_4 \cdot i)) + C_F(Q(t_4 \cdot i))) + \sum_i^{\lfloor t_0/t_5 \rfloor} C_B(Q(t_5 \cdot i)) + \sum_i^{t_0} (C_{Pi} + C_{Oi} + C_{Mi})$$

C_F : 最終覆土工事コスト[yen]

C_C : 埋立地建設コスト[yen]

- t_4 : 計画埋立地の使用期間[年]
- t_5 : 重機耐用年数
- C_M : 施設維持補修費[yen]
- C_P : 人件費[yen]
- C_B : 車両購入費[yen]
- C_O : 燃料費[yen]

II. 環境コスト将来推計式を各過程に分割

$$\sum_i^{t_0} E_i = \sum_i (E\langle col \rangle_i + E\langle rel \rangle_i + E\langle tra \rangle_i + E\langle fil \rangle_i)$$

- 各過程におけるコスト算出方法

I. 処理コスト

1. 収集過程

$$C\langle col \rangle = C\langle col \rangle_I + C\langle col \rangle_R$$

$$C\langle col \rangle_I = C_B$$

$$C_B = \psi_1 V_S$$

C_B : 車両購入費[yen]

ψ_1 : 収集車両購入価格原単位

V_S : 車両必要台数

$$C\langle col \rangle_R = C_P + C_O + C_M$$

$$C_P = \psi_P (N_{PS} + N_{PD})$$

$$C_O = \psi_O U_O$$

$$C_M = a_1 V_S$$

- C_P : 人件費[yen]
 C_M : 施設維持補修費[yen]
 C_O : 燃料費[yen]
 ψ_P : 一人当たり人件費[yen]
 ψ_O : 軽油価格原単位[yen]
 N_{PS} : 収集人員[人]
 N_{PD} : 運転人員[人]
 a_1 : 収集車両一台あたり整備補修費
 V_S : 車両必要台数
 U_O : 燃料使用量[L]

2. 中継基地過程

$$C\langle rel \rangle = C\langle rel \rangle_I + C\langle rel \rangle_R$$

$$C\langle rel \rangle_I = C_T$$

$$C_T = C_{T0}(S/s_{T0})^{0.7}$$

- C_T : 施設建設費[yen]
 S : 稼働規模[ton/day]
 s_{T0} : 基準稼働規模[ton/day]
 C_{T0} : 基準建設コスト[yen]
 0.7 : スケールメリット

$$C\langle rel \rangle_R = C_P + C_E + C_M$$

$$C_P = \psi_P N_P$$

$$C_E = \psi_E U_E$$

$$C_M = a_2 C_T$$

- C_P : 人件費[yen]
 C_E : 電力費[yen]
 C_M : 施設維持補修費[yen]
 N_P : 人員[人]
 ψ_P : 一人当たり人件費[yen]
 ψ_E : 電力使用価格原単位[yen]
 U_E : 電力使用量[kWh]

a_2 : 基地建設コストに対する整備補修費の割合

C_T : 施設建設費[yen]

3. 運搬過程

$$C\langle tra \rangle = C\langle tra \rangle_I + C\langle tra \rangle_R$$

$$C\langle tra \rangle_I = C_B$$

$$C_B = \psi_2 V_T$$

C_B : 車両購入費[yen]

ψ_2 : 運搬車両購入価格原単位[yen]

V_T : 車両必要台数

$$C\langle tra \rangle_R = C_P + C_O + C_M$$

$$C_P = \psi_P N_{PD}$$

$$C_O = \psi_O U_O$$

$$C_M = a_3 V_T$$

C_P : 人件費[yen]

C_M : 施設維持補修費[yen]

C_O : 燃料費[yen]

ψ_P : 一人当たり人件費[yen]

N_{PD} : 運転人員[人]

ψ_O : 軽油価格原単位[yen]

U_O : 燃料使用量[L]

a_3 : 運搬車両一台あたり整備補修費

V_T : 車両必要台数

5. 最終処分過程

$$C\langle fil \rangle = C\langle fil \rangle_I + C\langle fil \rangle_R$$

$$C\langle fil \rangle_I = C_C + C_F + C_B$$

$$C_C = C_{C0} (A_L / a_{L0})^{0.9}$$

$$C_F = c_1 A_L$$

$$C_B = \psi_3 V_F$$

C_B : 重機購入費[yen]

- C_C : 埋立地建設コスト[yen]
 C_{C0} : 埋立地建設基準コスト[yen]
 a_{L0} : 衛生埋立処分地の基準面積[m²]
 A_L : 衛生埋立処分地の計画面積[m²]
 c_1 : 最終覆土工事単価[yen]
 C_F : 最終覆土工事コスト[yen]
 ψ_3 : 重機購入価格原単位[yen]
 V_F : 重機必要台数

0.9 : スケールメリット

$$C\langle fil \rangle_R = C_P + C_O + C_M$$

$$C_P = \psi_P N_P$$

$$C_O = \psi_O U_O$$

$$C_M = c_2 V_F$$

- C_P : 人件費[yen]
 C_O : 燃料費[yen]
 C_M : 施設維持補修費[yen]
 N_P : 人員[人]
 ψ_P : 一人当たり人件費[yen]
 ψ_O : 軽油価格原単位[yen]
 U_O : 燃料使用量[L]
 c_2 : 重機整備補修コスト[yen]
 V_F : 重機必要台数

5. 焼却処分過程

$$C\langle bur \rangle = C\langle bur \rangle_I + C\langle bur \rangle_R$$

$$C\langle bur \rangle_I = C_T$$

$$C_T = C_{T0} (S/s_{T0})^{0.7}$$

- C_T : 施設建設費[yen]
 S : 稼動規模[ton/day]
 s_{T0} : 基準稼動規模[ton/day]
 C_{T0} : 基準建設コスト[yen]

0.7 : スケールメリット

$$C\langle bur \rangle_R = C_P + C_O + C_H + C_M$$

$$C_P = \psi_P N_P$$

$$C_O = \psi_O U_O$$

$$C_H = \psi_H U_H$$

$$C_M = a_3 C_T$$

C_P : 人件費[yen]

N_P : 人員[人]

ψ_P : 一人当たり人件費[yen]

C_O : 燃料費[yen]

C_M : 施設維持補修費[yen]

C_H : 薬品費 [yen]

ψ_O : 燃料価格原単位[yen]

U_O : 燃料使用量[L]

ψ_H : 薬品価格原単位[yen]

U_H : 薬品使用量[L]

a_3 : 施設建設コストに対する整備補修費の割合

C_T : 施設建設費[yen]

$$Q_W = \sum Q_m \varepsilon_A / (1 - b)$$

Q_W : 焼却残渣量[ton]

ε_A : 組成ごとの灰分含有量

b : 強熱減量

6. 資源分別過程

$$C\langle cla \rangle = C\langle cla \rangle_I + C\langle cla \rangle_R - C\langle cla \rangle_{IN}$$

$$C\langle cla \rangle_I = C_T$$

$$C_T = C_{T0} (S / s_{T0})^{0.7}$$

C_T : 施設建設費[yen]

S : 稼動規模[ton/day]

s_{T0} : 基準稼動規模[ton/day]

C_{T0} : 基準建設コスト[yen]

0.7 : スケールメリット

$$C\langle cla \rangle_R = C_P + C_E + C_O + C_M$$

$$C_P = \psi_P N_P$$

$$C_E = \psi_E U_E$$

$$C_O = \psi_O U_O$$

$$C_M = a_4 C_T$$

C_P : 人件費[yen]

C_O : 燃料費[yen]

C_M : 施設維持補修費[yen]

C_E : 電力費[yen]

N_P : 人員[人]

ψ_P : 一人当たり人件費[yen]

ψ_O : 燃料価格原単位[yen]

U_O : 燃料使用量[L]

ψ_E : 電力使用価格原単位[yen]

U_E : 電力使用量[kWh]

a_4 : 施設建設コストに対する整備補修費の割合

C_T : 施設建設費[yen]

$$C\langle cla \rangle_{IN} = \psi_S^1 Q_P + \psi_S^2 Q_C + \psi_S^3 Q_{PT} + \psi_S^4 Q_G + \psi_S^5 Q_M + \psi_S^6 Q_A$$

$\psi_S^1 \sim \psi_S^6$: 紙類、布類、PETボトル、びん、スチール缶、アルミ缶の
売却価格[yen]

$Q_P, Q_C, Q_{PT}, Q_G, Q_M, Q_A, Q, Q_W$: 図 3.6 参照

II. 環境コスト

G : 排出量 (添え字はガスの種類を示す) [kg]

1. 収集過程

$$E\langle col \rangle = 3.03 [\text{yen/kg} - CO_2] \times G\langle col \rangle_{CO_2}$$

$$G\langle col \rangle_{CO_2} = \theta_o U_o$$

θ_o : 燃料排出原単位[kg-CO₂/L]

U_o : 燃料使用量[L]

2. 中継基地過程

$$E\langle rel \rangle = 3.03[\text{yen/kg} - CO_2] \times G\langle rel \rangle_{CO_2}$$

$$G\langle rel \rangle_{CO_2} = \theta_E U_E$$

θ_E : 電力排出原単位[kg-CO₂/kWh]

U_E : 電力使用量[kWh]

3. 運搬過程

$$E\langle tra \rangle = 3.03[\text{yen/kg} - CO_2] \times G\langle tra \rangle_{CO_2}$$

$$G\langle tra \rangle_{CO_2} = \theta_o U_o$$

θ_o : 燃料排出原単位[kg-CO₂/L]

U_o : 燃料使用量[L]

4. 最終処分過程

$$E\langle fil \rangle = 3.03[\text{yen/kg} - CO_2] \times G\langle fil \rangle_{CO_2} + 21 \times 3.03 \times G\langle fil \rangle_{CH_4}$$

$$G\langle fil \rangle_{CO_2} = \theta_o U_o$$

θ_o : 燃料排出原単位[kg-CO₂/L]

U_o : 燃料使用量[L]

$$G\langle fil \rangle_{CH_4} = \sum Q_m \sigma_m$$

q_m : 組成ごとの埋立量[kg]

σ_m : 組成ごとのメタン排出原単位[kg-CH₄/kg]

5. 焼却処分過程

$$E\langle bur \rangle = 3.03[\text{yen/kg} - CO_2] \times G\langle bur \rangle_{CO_2}$$

$$G\langle bur \rangle_{CO_2} = (1-b)(44/12) \sum q \varepsilon_c \times 1000 + \theta_o U_o$$

b : 強熱減量

q : 組成ごとの質量 [ton]

ε_c : 組成ごとの炭素含有率

θ_o : 燃料排出原単位[kg-CO₂/L]

U_o : 燃料使用量[L]

6.資源分別過程

$$E\langle cla \rangle = 3.03[\text{yen/kg} - CO_2] \times G\langle cla \rangle_{CO_2} - G_s$$

$$G\langle cla \rangle_{CO_2} = \theta_E U_E + \theta_o U_o$$

θ_o : 燃料排出原単位[kg-CO₂/L]

U_o : 燃料使用量[L]

θ_E : 電力排出原単位[kg-CO₂/kWh]

U_E : 電力使用量[kWh]

$$G_s = \theta_s^1 Q_P + \theta_s^2 Q_C + \theta_s^3 Q_{PT} + \theta_s^4 Q_G + \theta_s^5 Q_M + \theta_s^6 Q_A$$

G_s : 資源化による二酸化炭素削減量[kg-CO₂/year]

$\theta_s^1 \sim \theta_s^6$: 紙類、布類、PETボトル、びん、スチール缶、アルミ缶の回収による二酸化炭素排出削減量[kg-CO₂/year]



図 1.1 タイの地図



図 1.2 バンコク首都圏の地図

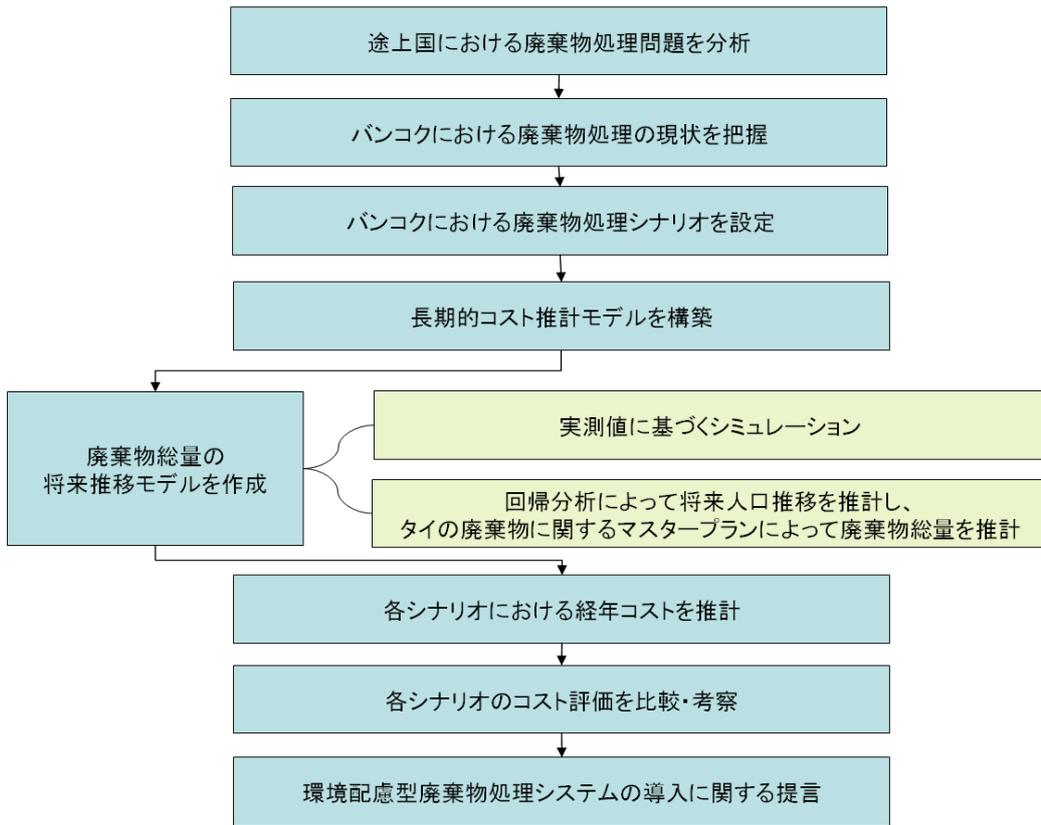


図 1.3 本研究のフロー

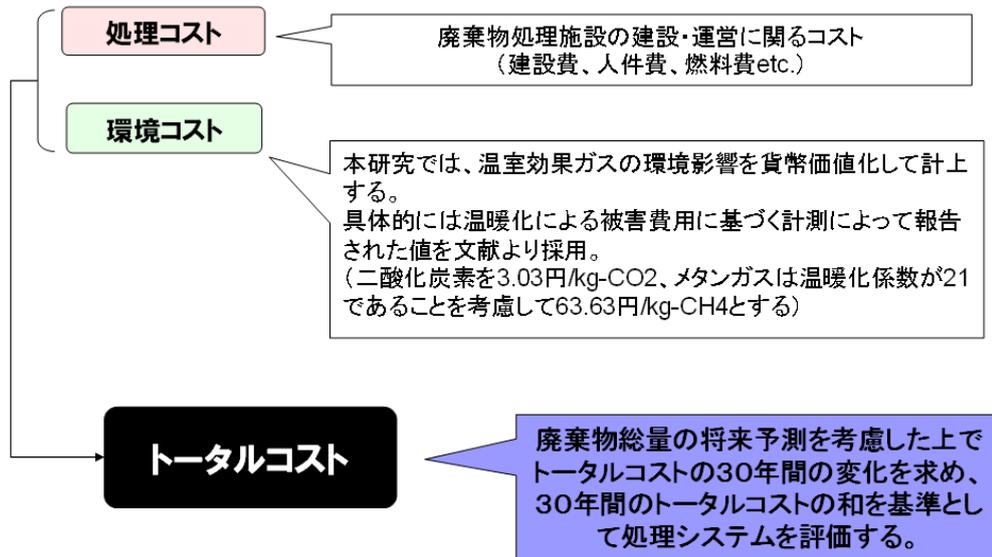


図 3.1 推計を行う各種コスト

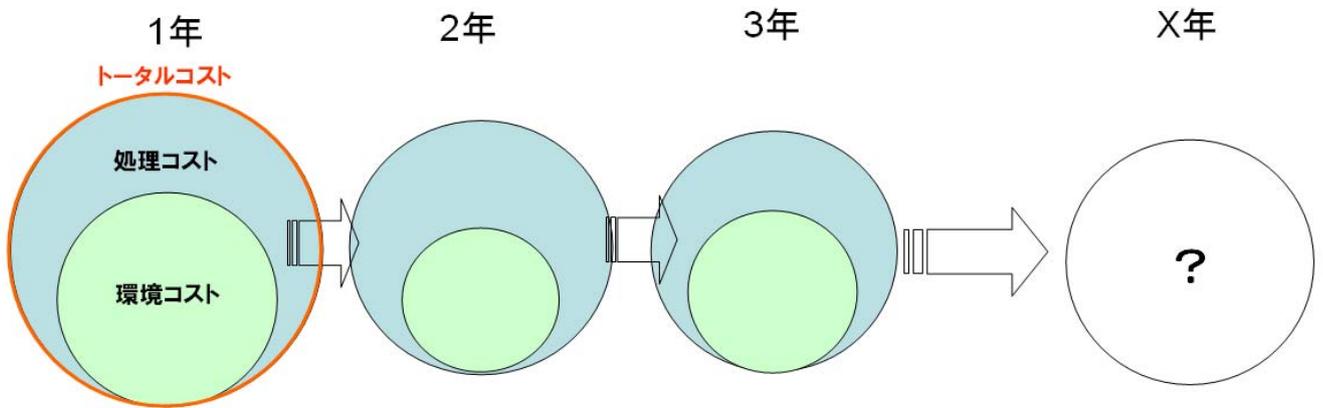


図 3.2 コストの経年変化のイメージ

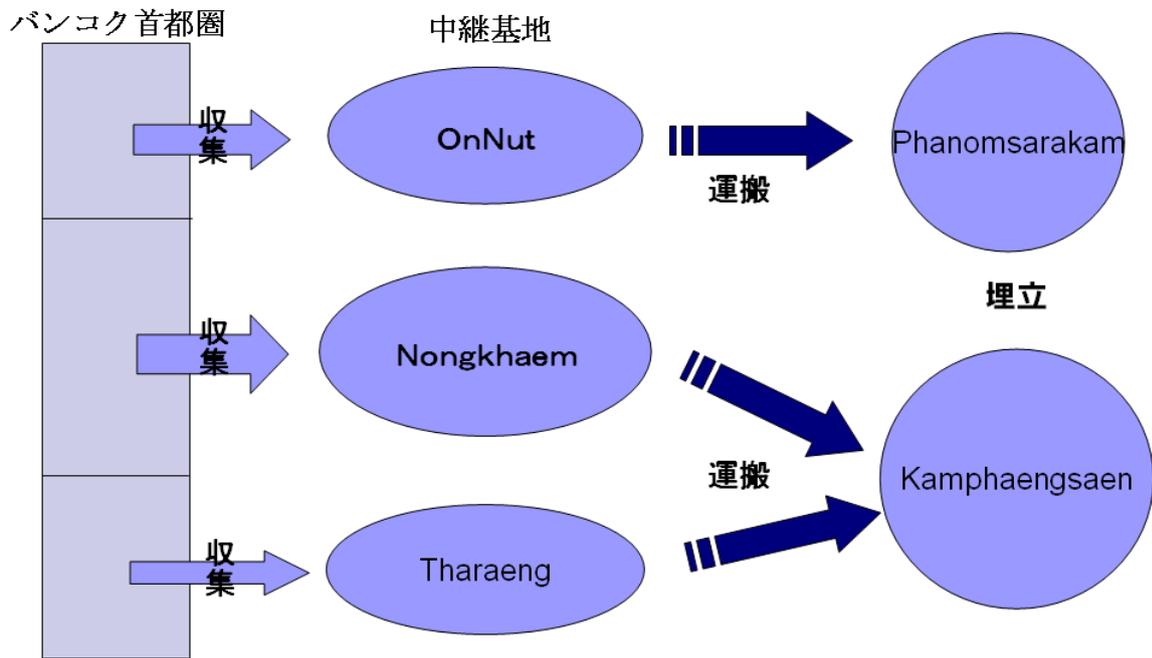


図 3.3 ベースラインシナリオの流れ

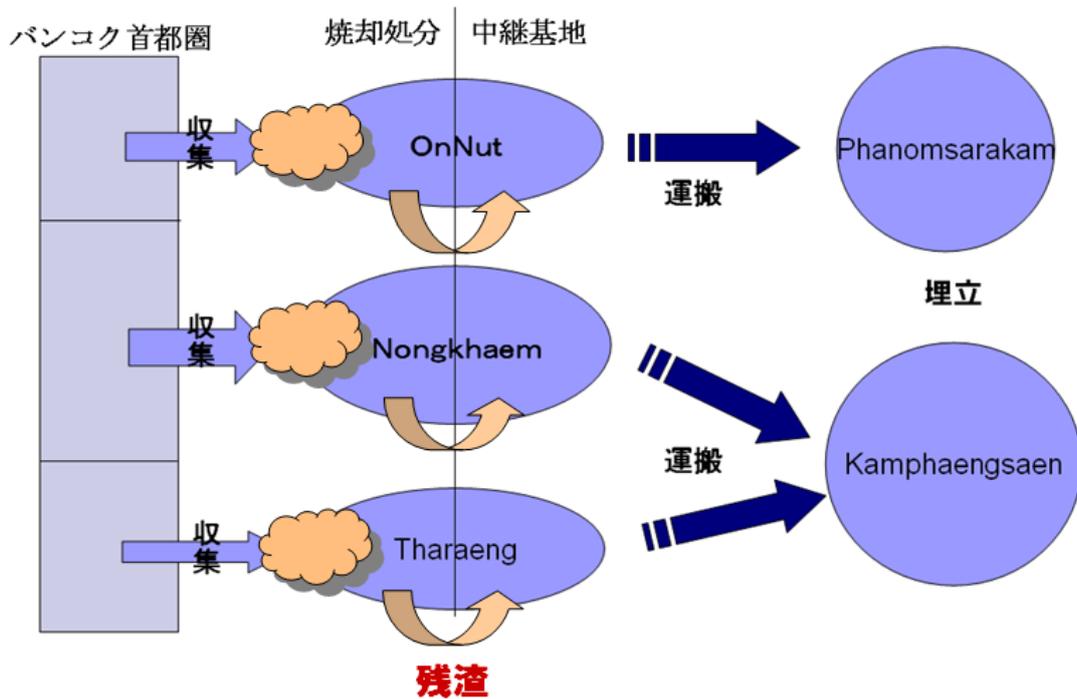


図 3.4 A シナリオの流れ

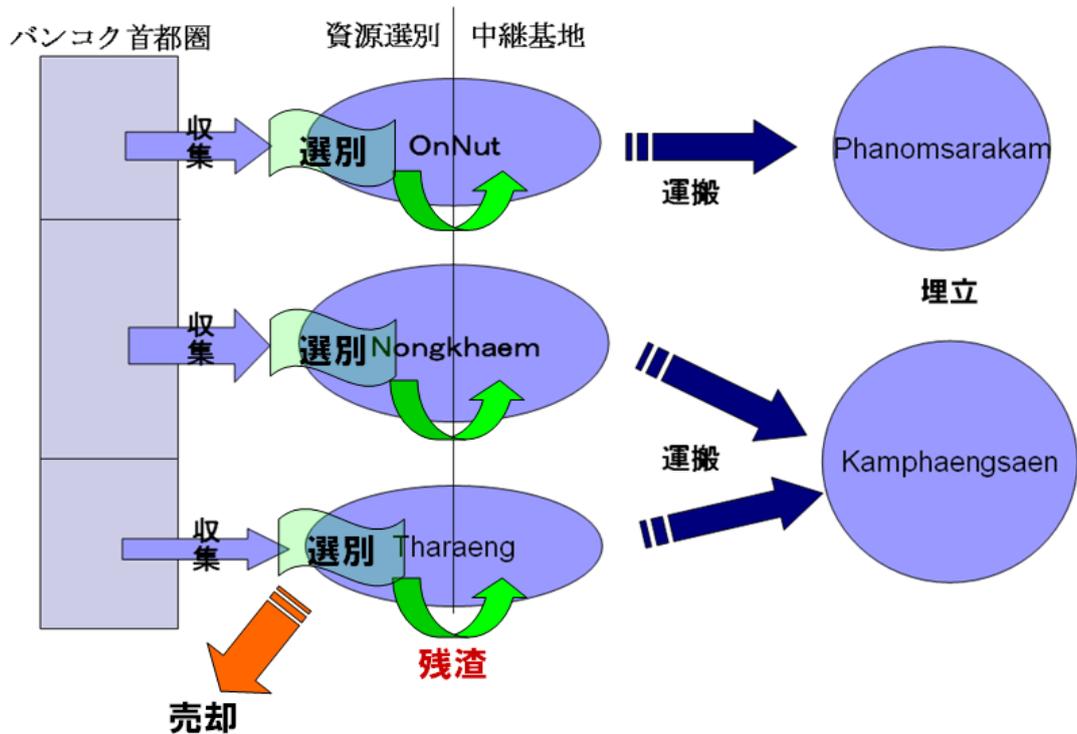


図 3.5 B シナリオの流れ

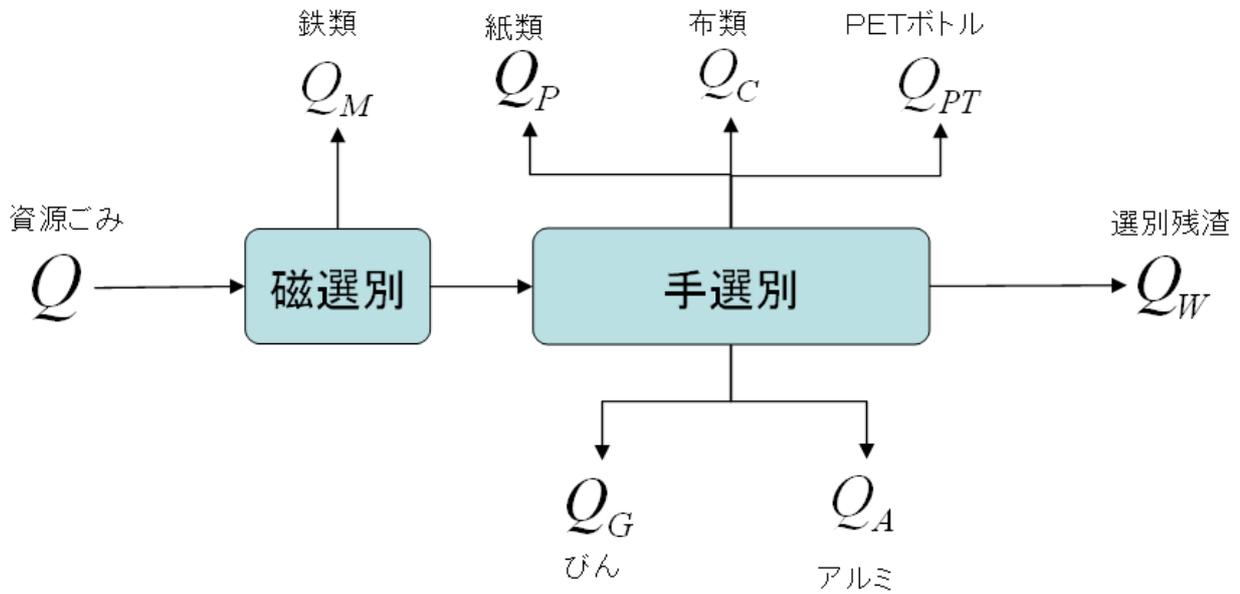


図 3.6 資源分別施設の物質収支

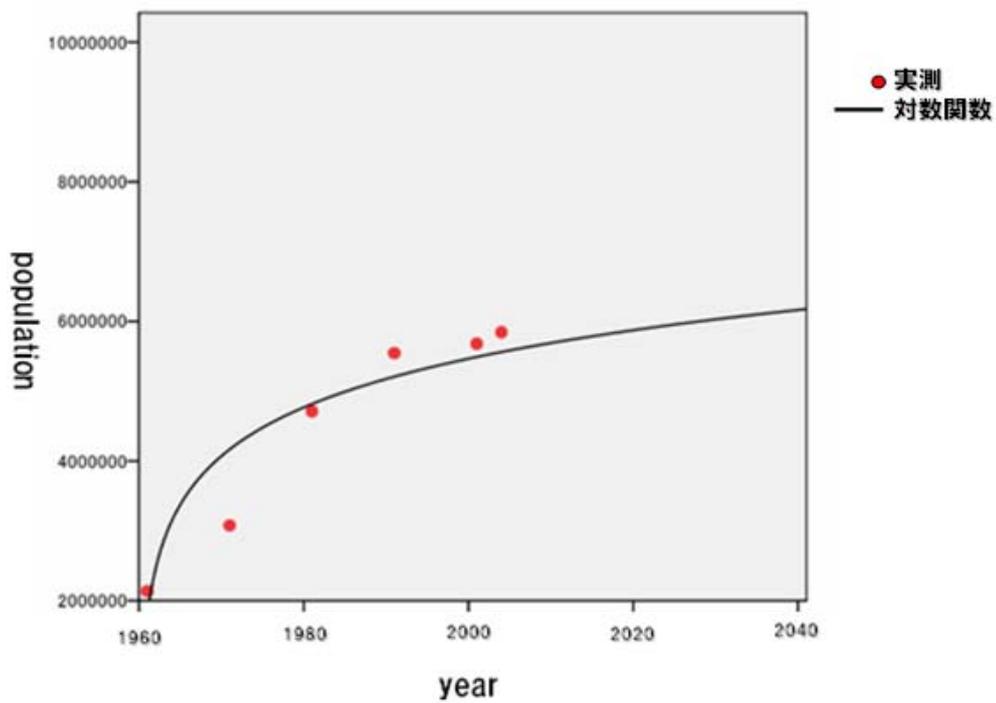


図 3.7 将来人口予測グラフ (対数)

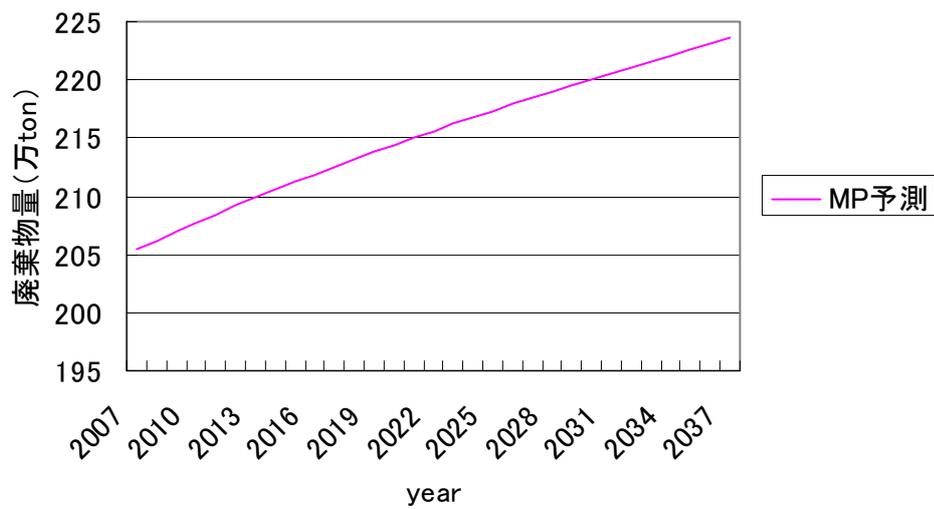


図 3.8 MP 予測による廃棄物量推移

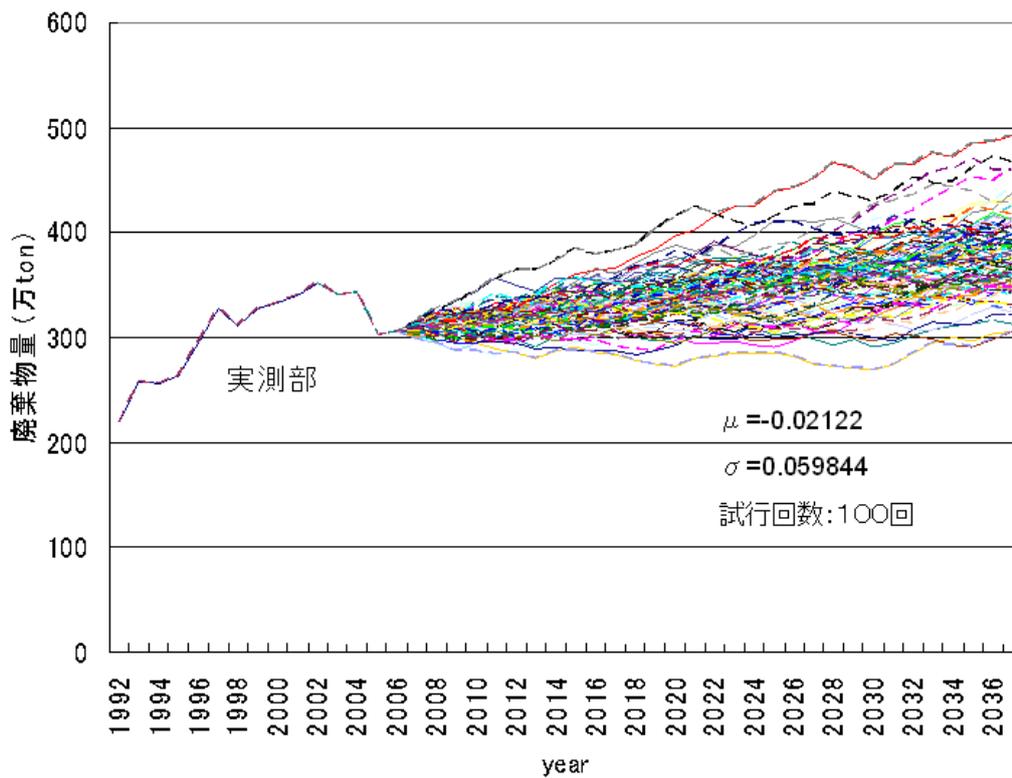


図 3.9 幾何ブラウン運動による将来廃棄物量シミュレーション結果

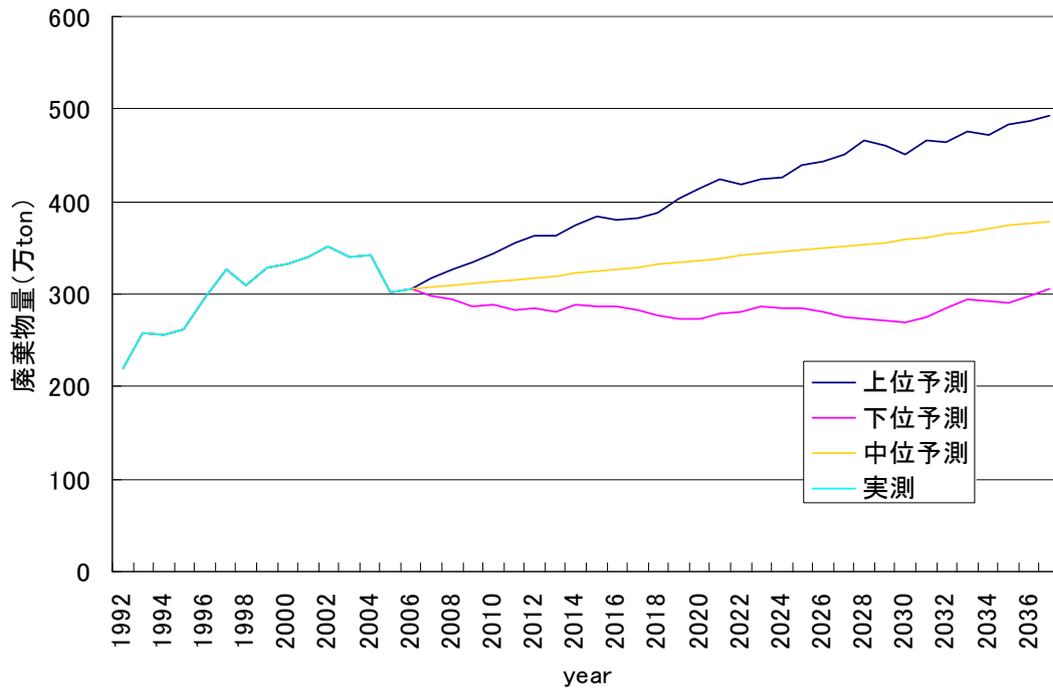


図 3.10 上位、下位、中位予測による廃棄物量推移

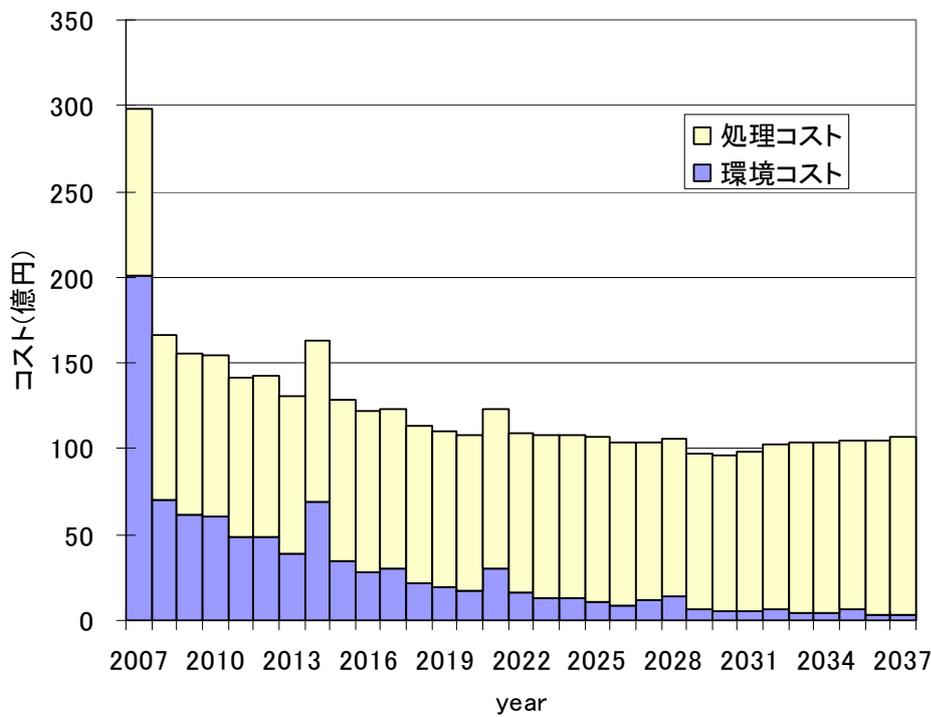


図 4.1 BL (中位) のコスト推移

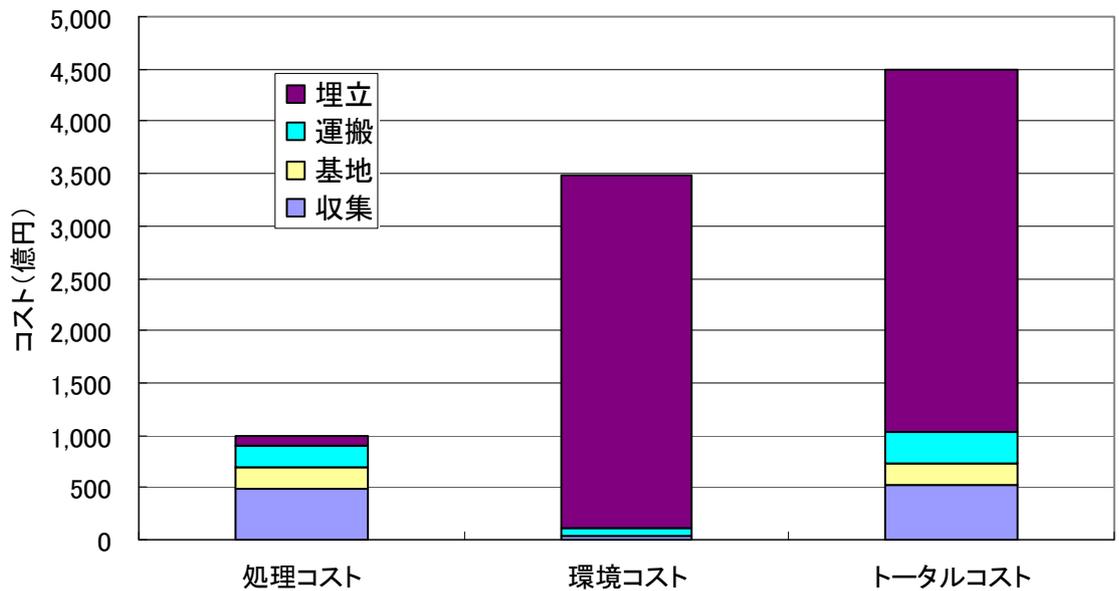


図 4.2 BL (中位) の累計コスト詳細

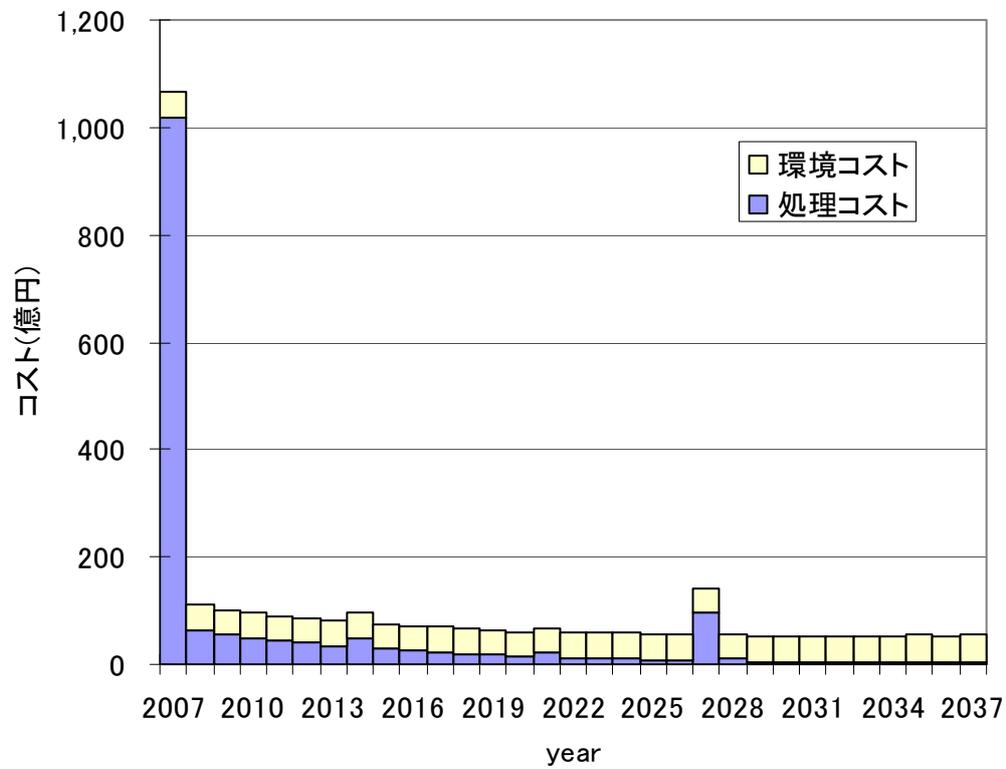


図 4.3 A (中位) のコスト推移

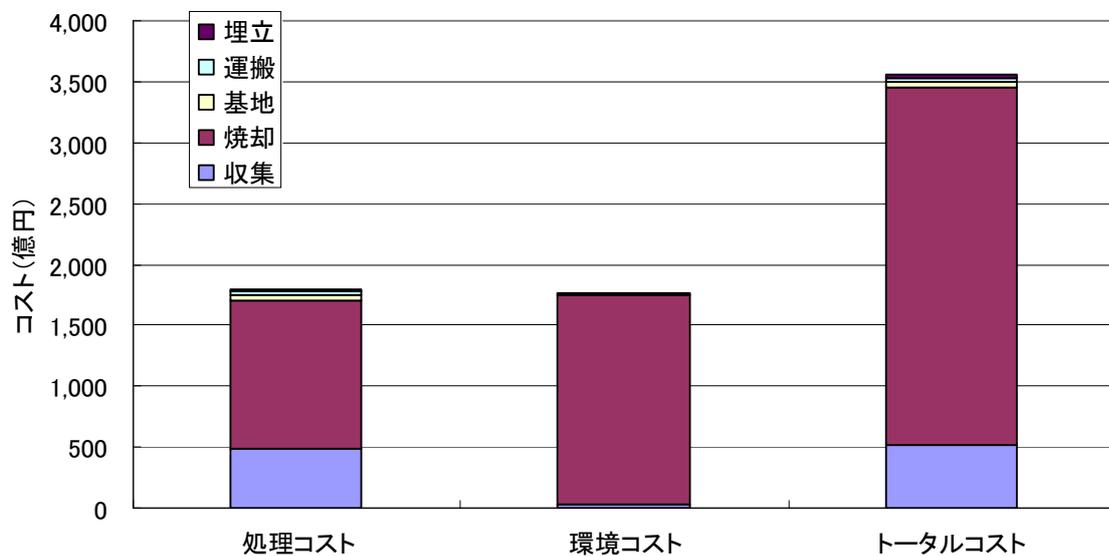


図 4.4 A (中位) の累計コスト詳細

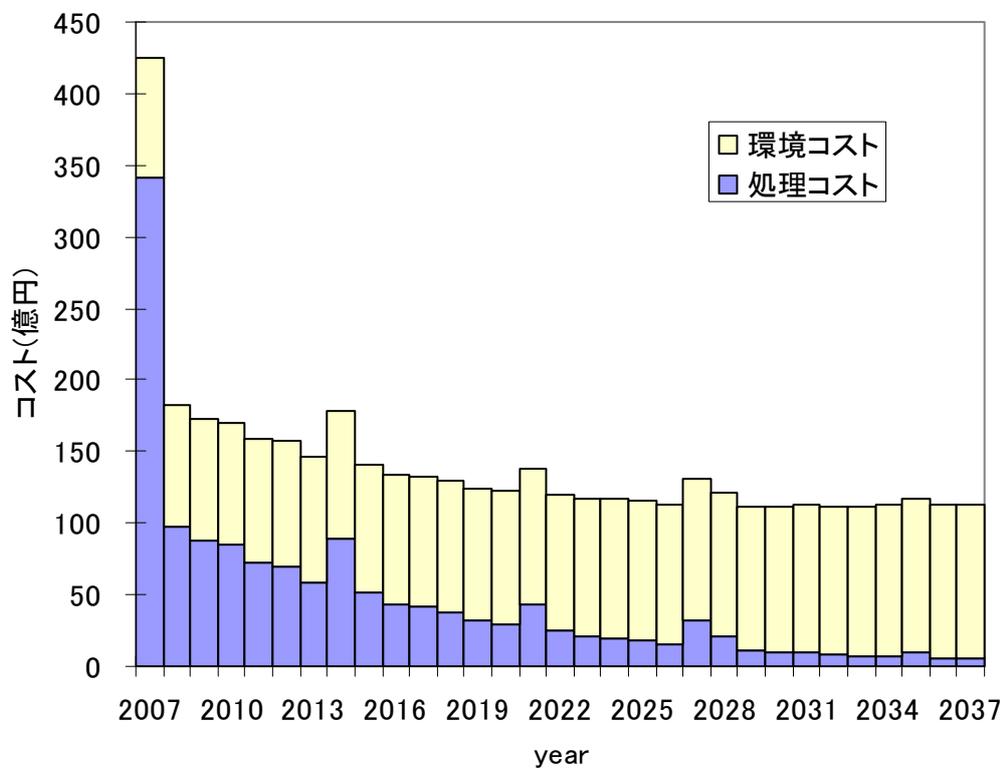


図 4.5 B (中位) のコスト推移

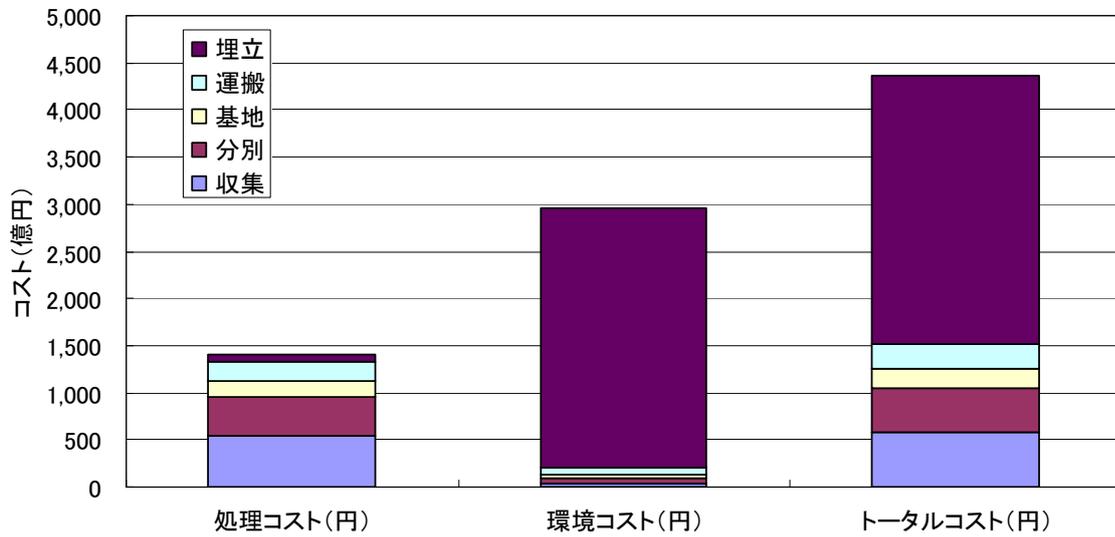


図 4.6 B (中位) の累計コスト詳細

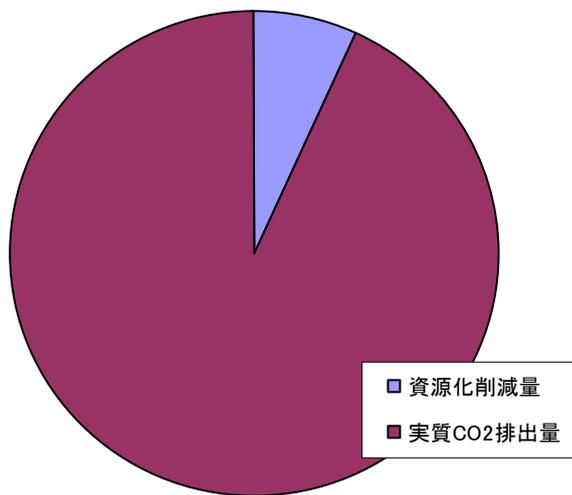


図 4.7 CO₂資源化削減量と実質 CO₂排出量の量的関係

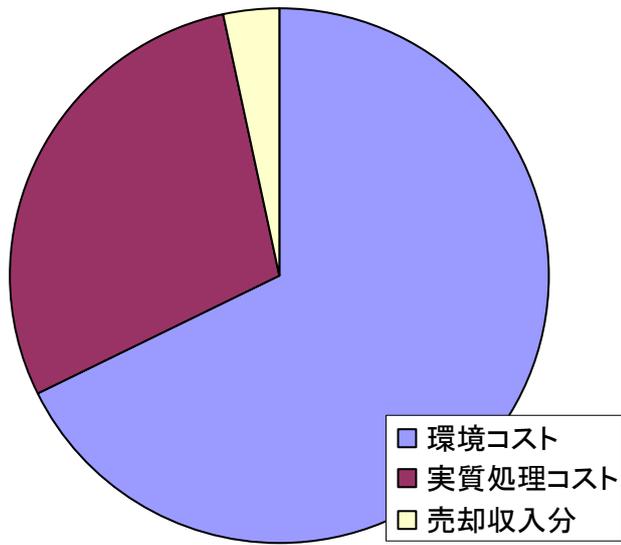


図 4.8 実質処理コスト、売却収入分及び環境コストの量的関係

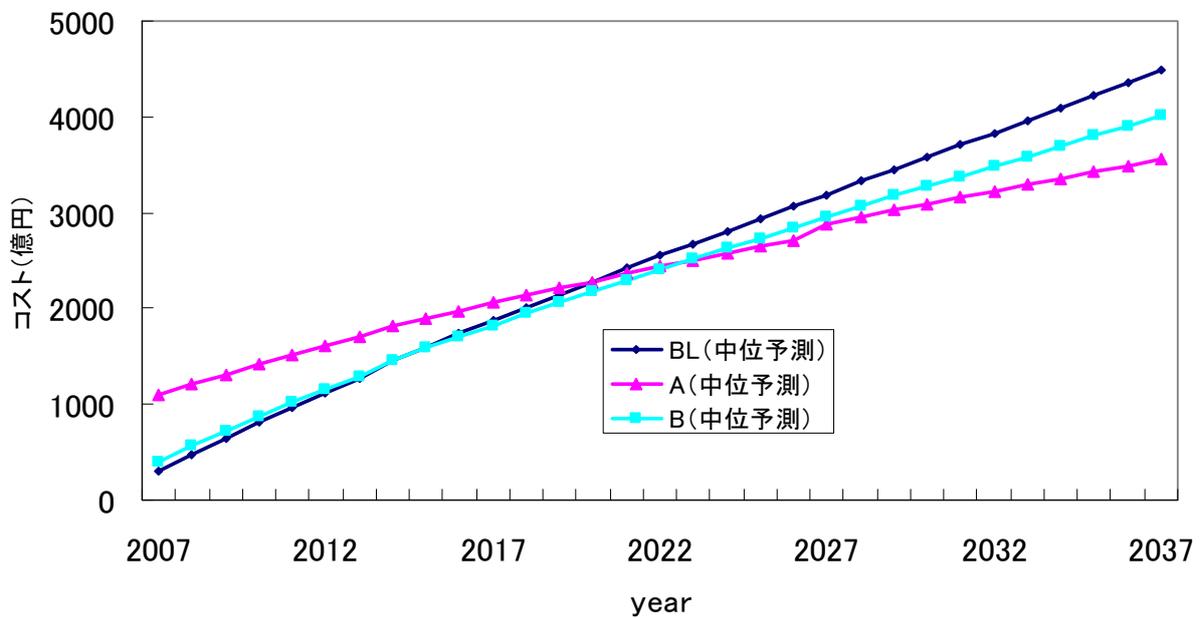


図 4.9 各シナリオ（中位）のトータルコスト経年推移

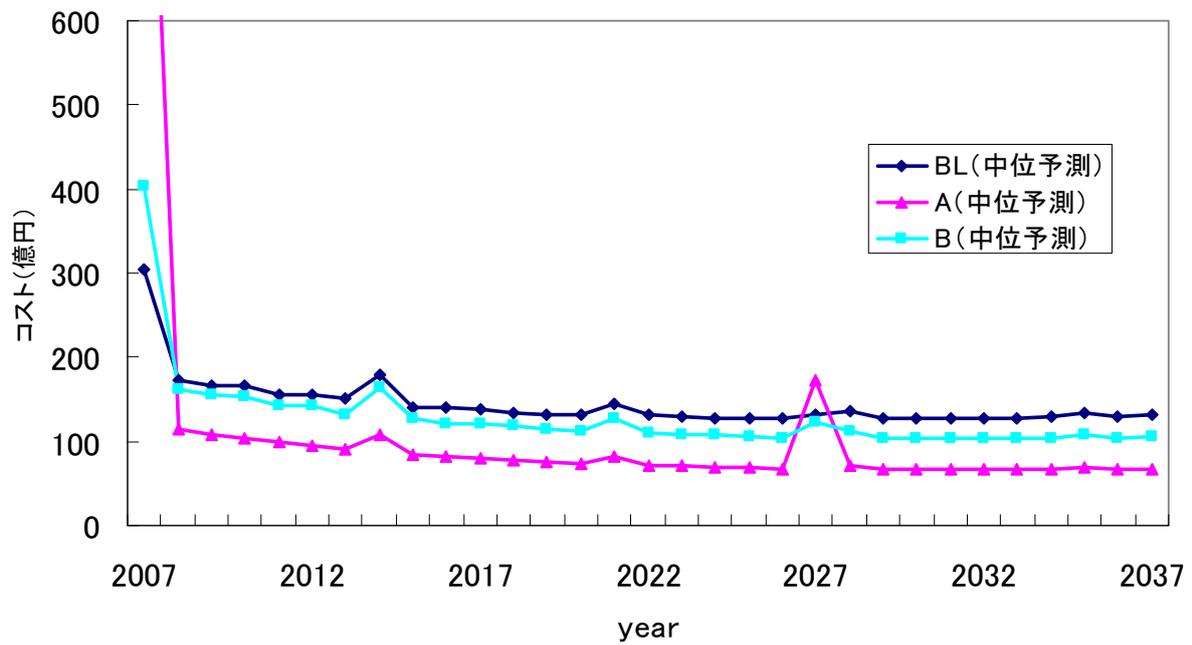


図 4.10 各シナリオ（中位）の経年累積トータルコスト

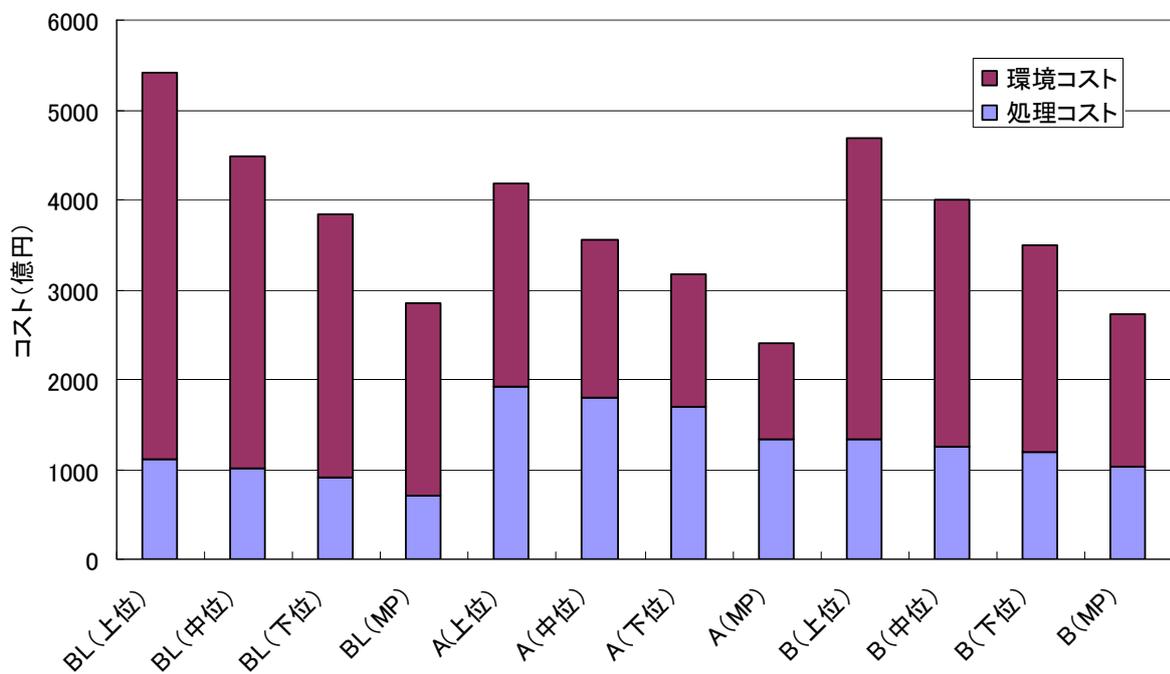


図 4.11 各シナリオの処理コスト、環境コスト及びトータルコスト

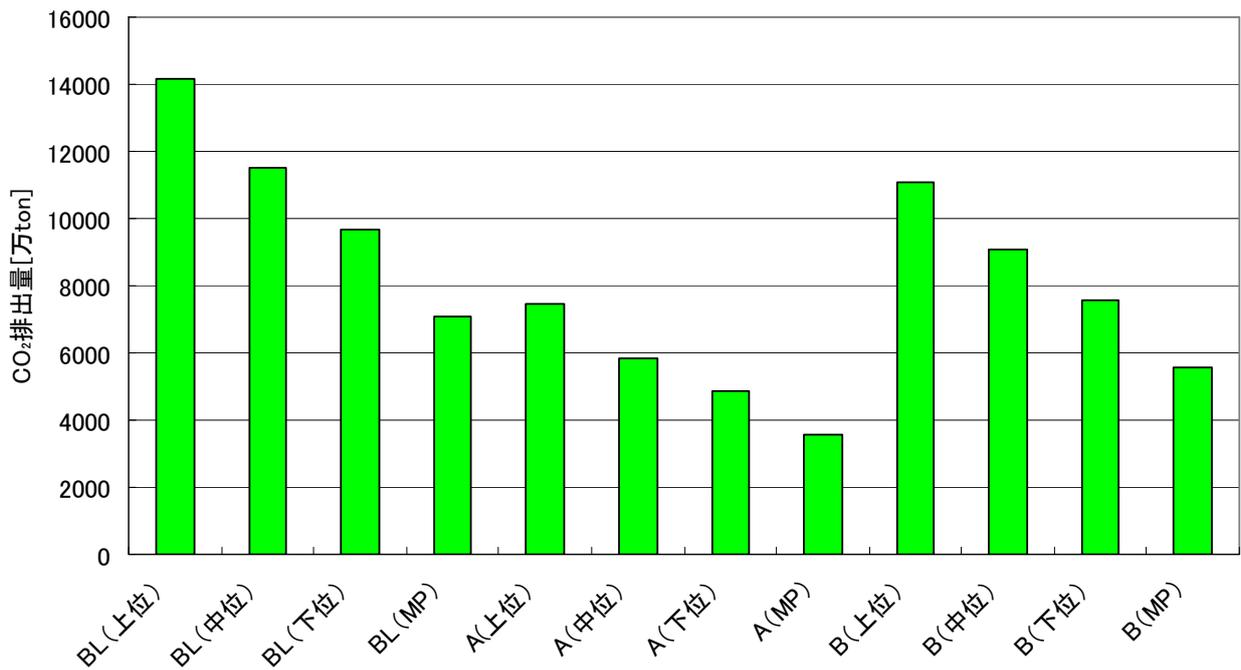


図 4.12 各シナリオの CO₂換算排出量

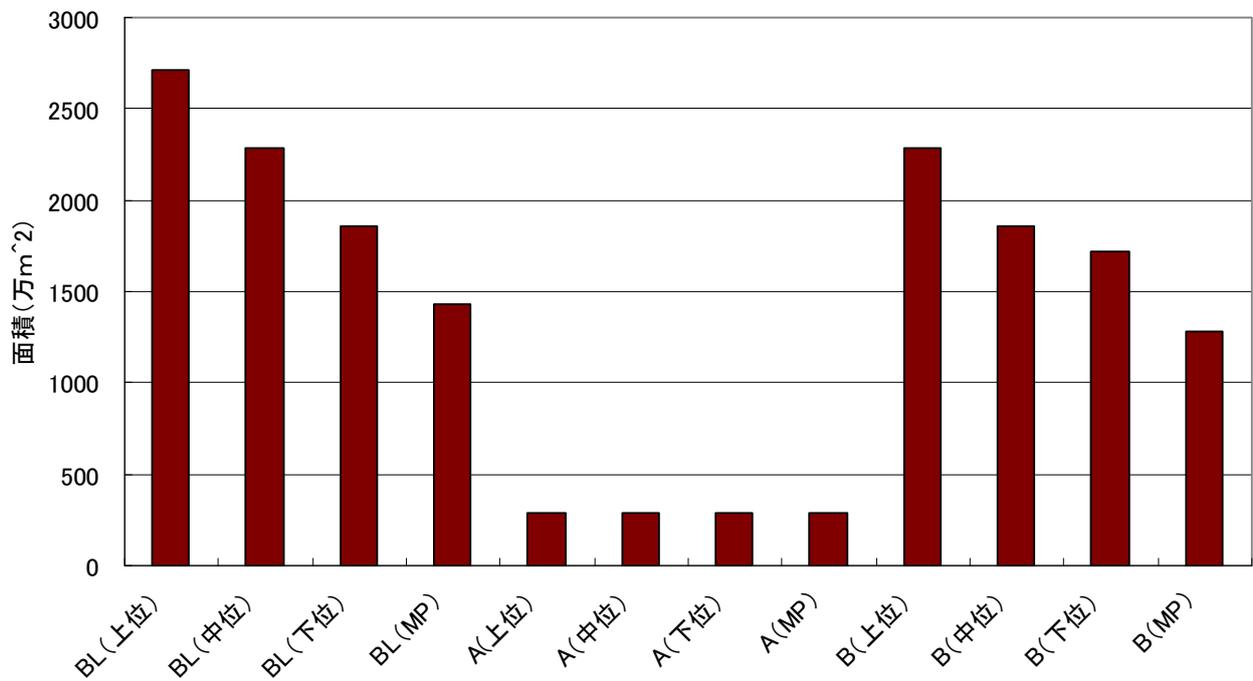


図 4.13 各シナリオの最終処分場必要面積

表 3.1 バンコクの廃棄物組成

Food Scraps	35.89	Wood and leaves	6.59
Paper	13.58	Unclassifiable	8.57
Cloth	4.58	Metal	2.19
Plastic and foam	20.76	Glass	5.07
Leather and Rubber	2.19	Stones and Ceramics	0.58

表 3.2 収集過程における各設定値

収集地点間距離	m	100	1日作業時間	hour/台/year	7
収集地点当たりの人口		40	年間作業日数	day	310
1週間当たりの収集回数		6	1台当たりの収集人員	人/台	2
収集車の荷箱容積	m ³	10	予備人員率		0.16
輸送速度	km/hour	30	収集車の燃料消費量	L/km	0.30
単位重量当たりの回収時間	hour/ton	0.18	予備車率		0.12
施設での作業時間	hour/回	0.08	収集車の耐用年数	year	7
収集地点間の移動速度	km/hour	5	1台当たりの整備補修費	円/台/year	333,333

表 3.3 中継基地過程における各設定値

基本人員	人	4
規模当たりの追加人員		3
規模当たりの電気使用量		6,200
基地施設の基準建設費	円	100,000,000
基準施設規模	ton/day	100
基地施設の耐用年数	year	20
建設費に対する整備補修費の割合		0.02

表 3.4 運搬過程における各設定値

運搬過程		
運搬車の荷箱容積	m ³	20
運搬車内の圧縮率		1.50
輸送速度	km/hour	50
積み下ろし時間	hour/回	0.33
1日作業時間	hour/台/year	7
年間作業日数	Day	310
予備人員率		0.16
運搬車の燃料消費量	L/km	0.40
予備車率		0.12
運搬車の耐用年数	Year	7
1台当たりの整備補修費	円/台/year	400,000

表 3.5 最終処分過程における各設定値

最終処分過程		
覆土割合		0.20
平均埋立深さ	m	10
計画面積	m ²	1,000,000
有効利用率		0.70
基準埋立量	ton/year	10,000
基準人員	人	5
作業車の作業能力	1,000ton/year/台	36
搬入量当たりの軽油使用量		0.62
基準工事費	円	5,248,896
基準面積	m ²	20,000
基準覆土工事費	円	667
作業車の耐用年数	year	5
1台当たりの整備補修費	円/台	1,333,333

表 3.6 焼却処理過程における各設定値

焼却処理		
年間稼働日数	day	365
施設の稼働率		0.96
強熱減量		0.03
重量変化割合		0.80
搬出時の含水率		0.20
基準人員	人	28
1 炉当たりの追加人員	人/炉	4
規模当たりの追加人員	人/ton/day	0.02
熔融固化に必要な重油使用量	L	250
基準建設費	円	3,333,333,333
基準施設規模	ton/day	200
建設費に対するガス処理設備の割合		0.10
施設耐用年数	year	20
建設費に対する整備補修費の割合		0.02

表 3.7 資源分別処理過程における各設定値

資源分別処理		
年間稼働日数	Day	310
基準人員	人	5
規模当たりの手選別の追加人員	人/ton/day	0.40
搬入量当たりの電力使用量	kWh/ton	13
搬入量当たりの重油使用量	L/ton	1.60
基準建設費	円	66,666,667
基準施設規模	ton/day	10
施設耐用年数	year	20
建設費に対する整備補修費の割合		0.02

表 3.8 有価物の売却価格原単位

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

表 3.9 タイの廃棄物に関する国家指針・政策（マスタープラン）

目標	指針
1. 一般廃棄物の発生量を 1.0kg/person/day 以下とする。	1. 収集・運搬・処理・処分を含む効率的な一般廃棄物管理体制の確立
2. バンコクと全国の市における一般廃棄物発生量のリサイクル率を 15%以上	2. 廃棄物発生率を管理し、リサイクルと再利用の促進
3. 市における一般廃棄物を全て管理する。市外での未処理廃棄物を 10%以下に	3. 一般廃棄物処理のインフラ建設・運営の民間活力の促進
4. 各県で衛生的な一般廃棄物管理のマスタープランの策定を確実にし、適切な処理を有する	4. 一般廃棄物監視に民間や市民の参加を促す

表 3.10 バンコクの人口推移実測値

Year	Population
1960	2136453
1970	3077361
1980	4711000
1990	5546937
2000	5680380
2003	5844607

表 3.11 回帰方程式の種類と特徴

	関数式(回帰方程式)	特徴
一次傾向線	$Y = a + bX$	直線式
二次傾向線	$Y = a + bX + cX^2$	二次曲線式
一次指数曲線	$Y = a \cdot b^X$	年次とともに緩やかに増加(減少)していく曲線式
べき曲線	$Y = a \cdot X^b$	年次とともに増加率(減少率)が増大していく曲線式
ロジスティック曲線	$Y = k / (1 + e^{(b-aX)})$	最初は増加(減少)し、中間でその増加(減少)率が最大になった後、無限年後に飽和に達する曲線式
自然対数曲線	$Y = a \cdot \log X + b$	年次とともに増加(減少)率が収縮していく曲線式

X:年次 Y:廃棄物量 a,b,c:回帰係数 k:定数

表 3.12 バンコクの廃棄物発生量実測値

Year	waste(ton)
1992	2190000
1993	2573250
1994	2555000
1995	2625080
1996	2955770
1997	3266385
1998	3101405
1999	3281350
2000	3332450
2001	3400705
2002	3510205
2003	3409100
2004	3414940
2005	3026215
2006	3058335

表 3.13 シミュレーションにて算定したドリフト μ とボラティリティ σ

μ	-0.02122
σ	0.059844

表 3.14 CO₂排出係数

CO ₂ 排出係数		
電力	kg-CO ₂ /kWh	7,896.67
重油	kg-CO ₂ /L	3.08
軽油	kg-CO ₂ /L	2.70
消石灰	kg-CO ₂ /ton	1,096.00

表 3.15 価格原単位

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

表 4.1 BL（中位）の推計コスト

BL(中位)	収集	基地	運搬	埋立
処理コスト(円)	48,600,067,283	19,966,183,750	22,204,136,056	9,295,143,967
環境コスト(円)	3,404,025,906	439,164,254	7,733,833,360	337,146,820,566
トータルコスト(円)	52,004,093,188	20,405,348,003	29,937,969,416	346,441,964,533

表 4.2 A（中位）の推計コスト

A(中位)	収集	焼却	基地	運搬	埋立
処理コスト(円)	48,600,067,283	121,327,589,350	4,350,150,104	3,012,078,524	2,457,286,390
環境コスト(円)	3,404,025,906	171,278,131,058	562,453,797	1,032,930,010	73,600,961
トータルコスト(円)	52,004,093,188	292,605,720,408	4,912,603,902	4,045,008,534	2,530,887,351

表 4.3 B（中位）の推計コスト

B(中位)	収集	分別	基地	運搬	埋立
処理コスト(円)	53,889,715,667	41,515,096,699	17,723,583,828	19,028,602,985	8,215,973,776
環境コスト(円)	3,404,025,906	5,696,436,837	3,989,381,835	6,961,801,829	275,703,066,477
トータルコスト(円)	57,293,741,572	47,211,533,536	21,712,965,664	25,990,404,814	283,919,040,253

表 4.4 BL（中位）からの CO₂ 換算排出量削減率

BL(MP)	38.5239362[%]
A(中位)	49.42957164[%]
B(中位)	21.05280035[%]

表 4.5 各シナリオの最終埋立処分に必要な総処分場面積

	最終処分場面積 (m ²)	処分場数(m ²)	必要総面積(m ²)
BL(上位)	1,428,571	19	27,142,857
BL(中位)	1,428,571	16	22,857,143
BL(下位)	1,428,571	13	18,571,429
BL(MP)	1,428,571	10	14,285,714
A(上位)	1,428,571	2	2,857,143
A(中位)	1,428,571	2	2,857,143
A(下位)	1,428,571	2	2,857,143
A(MP)	1,428,571	2	2,857,143
B(上位)	1,428,571	16	22,857,143
B(中位)	1,428,571	13	18,571,429
B(下位)	1,428,571	12	17,142,857
B(MP)	1,428,571	9	12,857,143

表 4.6 Aシナリオ移行の投資における各算出値

BL(中位)→A(中位)	
投資(円)	79,681,640,594
CO ₂ 換算排出量(BL)(kg)	115,090,377,586
CO ₂ 換算排出量(A)(kg)	58,201,696,942
削減量(kg)	56,888,680,644
kgあたり投資額(円)	1.4007
円あたり削減量(kg)	0.7139

表 4.7 Bシナリオ移行の投資における各算出値

BL(中位)→B(中位)	
投資(円)	25,590,945,858
CO ₂ 換算排出量(BL)(kg)	115,090,377,586
CO ₂ 換算排出量(B)(kg)	90,860,630,176
削減量(kg)	24,229,747,410
kgあたり投資額(円)	1.0562
円あたり削減量(kg)	0.9468