

地域循環圏検討に資する  
資源循環拠点立地モデルと総合評価手法の開発研究

北九州市立大学大学院

国際環境工学研究科 環境システム専攻

藤山 淳史

## 目次

### 1 章 序論

#### 1.1 研究背景

##### 1.1.1 地域循環圏

(1) 循環型社会形成推進基本計画における位置づけ

(2) 地域循環圏とは

##### 1.1.2 廃棄物等の流通実態

#### 1.2 研究目的

#### 1.3 既往研究のレビューと本研究の特徴

#### 1.4 本論文の構成

### 2 章 輸送問題を適用した廃棄物等の輸送距離最適化

#### 2.1 概説

#### 2.2 定式化

#### 2.3 使用データ

##### 2.3.1 廃棄物等の移動量

(1) 産業廃棄物の移動量

(2) 容器包装リサイクルの移動量

##### 2.3.2 移動距離

(1) 自動車輸送距離

(2) 鉄道輸送距離

(3) 海上輸送距離

##### 2.3.3 輸送機関別輸送分担率の推計

(1) 輸送距離区分の設定

(2) 輸送機関別輸送分担率の推計方法

(3) 輸送機関別輸送分担率の推計結果

#### 2.4 最適化結果

#### 2.5 本章のまとめ

### 3 章 廃棄物等の移動距離・移動量に関する要因分析

#### 3.1 概説

#### 3.2 廃棄物等の移動距離に関する要因分析

##### 3.2.1 分析フロー

##### 3.2.2 全国集計データを用いた要因分析

(1) 特性データの設定

- (2) 産業廃棄物最終処分場残余年数の算出
  - (3) 要因分析の結果
  - 3.2.3 都道府県データを用いた要因分析
    - (1) 特性データの設定
    - (2) 要因分析の結果
      - a) 燃え殻（排出側都道府県に関して）
      - b) 燃え殻（受入側都道府県に関して）
      - c) 品目別比較
  - 3.2.4 廃プラスチックと廃 PET ボトルの比較
    - (1) 特性データの設定
    - (2) 要因分析の結果
  - 3.3 廃棄物等の移動量に関する要因分析
    - 3.3.1 Gravity Model の概要
    - 3.3.2 産業廃棄物を対象とした分析
      - (1) 特性データの設定
      - (2) 品目横断による分析結果
      - (3) 品目別データによる分析結果
    - 3.3.3 産業廃棄物および廃 PET ボトルを対象とした分析
      - (1) 特性データの設定
      - (2) 品目横断による分析結果
      - (3) 品目別データを用いた分析結果
    - 3.3.4 再商品化手法の違いに関する分析
      - (1) 特性データの設定
      - (2) 分析結果
  - 3.4 本章のまとめ
- 4 章 犠牲量モデルを用いた輸送距離最適化モデルの改善
- 4.1 序論
  - 4.2 モデルの概要と定式化
  - 4.3 時間価値原単位概念と算出
  - 4.4 分析結果
  - 4.5 本章のまとめ
- 5 章 地域特性および品目特性を考慮した最適空間規模導出モデル
- 5.1 概説
  - 5.2 最適空間規模導出モデルの構築

- 5.2.1 支配パラメータ
    - (1) 発生密度
    - (2) 輸送効率
    - (3) スケールファクター
  - 5.2.2 パラメータの入手方法および推計方法
    - (1) アンケート調査・ヒアリング調査によるパラメータの入手および推計
      - a) アンケート調査・ヒアリング調査の概要
      - b) 調査データを用いたスケールファクターの推計
    - (2) 廃棄物の流通実態データを用いたスケールファクターの推計
      - a) 推計方法
      - b) 推計結果
  - 5.2.3 支配パラメータが空間スケールに与える影響
    - (1) スケールファクターと積載率の関係
      - a) スケールファクターと積載率を変化させたときの循環スケールの変化
      - b) スケールファクターと積載率の分布
  - 5.2.4 最適空間規模導出モデル
  - 5.3 最適空間規模導出モデルの感度分析
  - 5.4 中間処理の違いによるモデルの検証
  - 5.5 売却単価と有価物含有割合を用いたモデルの検証
  - 5.6 総費用最小化計算による資源循環拠点立地シミュレーション
    - 5.6.1 分析方法
      - (1) 設定パラメータ
      - (2) 対象地域区分
      - (3) 堆肥の需要量の推計
    - 5.6.2 分析結果
  - 5.7 本章のまとめ
- 6章 紙おむつ分別リサイクルを対象とした総合評価
- 6.1 概説
  - 6.2 使用済み紙おむつのマテリアルリサイクルのライフサイクルインベントリ分析
    - 6.2.1 紙おむつリサイクルの背景
    - 6.2.2 使用済み紙おむつのマテリアルリサイクルのライフサイクルインベントリ分析
      - (1) リサイクルシステムの概要
      - (2) 評価対象の設定とシステム境界
      - (3) 分析方法
        - a) 評価対象データ

- b) 二酸化炭素排出量原単位の設定
  - c) 輸送工程の設定
  - d) 焼却処理・埋立処分の設定
  - e) 石炭の代替必要量の設定
  - f) 肥料の代替必要量の設定
  - g) し尿の設定
  - h) パルプの設定
  - i) その他の温室効果ガス排出原単位の設定
  - (4) 分析結果
- 6.3 紙おむつ分別リサイクルを対象とした総合評価
- 6.3.1 評価対象の概要
  - 6.3.2 紙おむつ分別・リサイクル事業の総合評価
  - 6.3.3 紙おむつ分別・リサイクルの総合評価
    - (1) 分析手法
    - (2) 総合評価のフレーム
    - (3) アンケート調査概要
    - (4) 分析結果
      - a) 回答者属性
      - b) 総合評価
- 6.4 本章のまとめ

## 7章 結論

謝辞

## 1章 序論

### 1.1 研究背景

大量生産・大量消費の社会構造のもと、私たちの生活は豊かになり、高度な成長を遂げてきた。一方で、大量廃棄型の社会構造を形成し、地球環境問題を深刻化させている。廃棄物の分野をみると、廃棄物等の多様化に伴う処理の困難化、不適正処理による環境負荷の増大、最終処分場の逼迫など様々な問題が存在する。また、経済活動を維持・活性化させるため、化石資源を中心とした天然資源が大量に消費され、天然資源の枯渇化や温室効果ガスの排出に伴う地球温暖化、大規模な資源採取による自然破壊という重大な問題を引き起こしている。このような経済活動を続けた場合、最終的に廃棄物を受け入れる最終処分場などの処理施設の確保が困難であるという問題や、原燃料となる資源の枯渇という制約から、社会経済の持続的な発展は困難なものとなるおそれがある。

このような現状から脱却すべく、持続可能な社会の構築を目指し、低炭素社会や自然共生社会に向けた取組と統合し、天然資源の消費抑制と環境負荷の低減を目指した循環型社会の形成が重要な課題となっている。平成 20 年 3 月に閣議決定された第 2 次循環型社会形成推進基本計画<sup>1)</sup>には、地域の特性や循環資源の性質等に応じた最適な規模の循環を形成する「地域循環圏」の概念が新たに提示されている。この地域循環圏とは、廃棄物の適正処理を前提に、地域で循環可能な資源はなるべく地域で循環させ、地域で循環が困難なものは循環の環を広域化させていくという考え方を基本としている。

#### 1.1.1 地域循環圏

##### (1) 循環型社会形成推進基本計画における位置づけ

循環型社会形成推進基本法<sup>2)</sup>は、適正な物質循環を行うため、廃棄物等の①発生抑制、②再使用、③再生利用、④熱回収、⑤適性処分という対策の優先順位を定めている。これらの循環型社会の形成に関する施策を総合的かつ計画的に推進するために、循環型社会形成推進基本計画は策定され、概ね 5 年程度で見直しを行うこととされている。平成 15 年 3 月に閣議決定された第 1 次循環型社会形成推進基本計画<sup>3)</sup>では経済社会におけるものの流れ全体を把握するための物質フロー指標と、循環型社会の形成に向けた各主体の施策・取り組みの進展度を測るための取り組み指標を設定し、これらの目標の達成を図ることとされた。平成 20 年 3 月に閣議決定された第 2 次循環型社会形成推進基本計画ではこの第 1 次循環型社会形成推進基本計画を引き継いだものであり、その重点項目は以下に示す通りである。

- ① 環境の保全を前提とした循環型社会の形成
- ② 循環型社会と低炭素社会・自然共生社会への取組の統合
- ③ 地域再生にも寄与する「地域循環圏」の構築
- ④ 各主体が連携・協働した 3 R の取組
- ⑤ 3 R の技術とシステムの高度化
- ⑥ 国際的な循環型社会形成に向けた我が国の主導的な役割

平成 25 年 5 月 31 日に閣議決定された第 3 次循環型社会形成推進基本計画<sup>4)</sup>の重点項目は以下の通りである。

【質にも着目した循環型社会の形成】

- ① リサイクルにより優先順位の高い 2 R（リデュース・リユース）の取組がより進む社会経済システムの構築
- ② 小型家電リサイクル法の着実な施行など使用済製品からの有用金属の回収と水平リサイクル等の高度なリサイクルの推進
- ③ アスベスト、PCB 等の有害物質の適正な管理・処理
- ④ 東日本大震災の反省点を踏まえた新たな震災廃棄物対策指針の策定
- ⑤ エネルギー・環境問題への対応を踏まえた循環資源・バイオマス資源のエネルギー源への活用
- ⑥ 低炭素・自然共生社会との統合的取組と地域循環圏の高度化
  - 第 2 次循環基本計画に基づき、ガイドラインの整備やモデル事業を実施等を通じて、循環資源の種類に応じて適正な規模で循環させることができる仕組みづくりが進められてきたところである。今後は、これらの取り組みを拡充、発展させ、全国各地において生物多様性国家戦略 2012－2020 で示された自然共生圏の考え方も取り入れながら地域循環圏づくりを具体化させていく必要がある。

地域循環圏に関する政策の大きな方向性は、第 3 次循環型社会形成推進基本計画において、「地域循環圏の高度化」として引き続き盛り込まれており、政策的重要性が伺われる。

(2) 地域循環圏とは

地域循環圏は、平成 20 年 3 月に閣議決定された「第 2 次循環型社会推進基本計画」で、初めて記載され、平成 24 年 7 月には、地域循環圏の形成を推進するために、環境省が「地域循環圏形成推進ガイドライン」<sup>5)</sup>を策定した。

このガイドラインにおいて地域循環圏の基本的な考え方は、「地域で循環可能な資源はなるべく地域で循環させ、地域での循環が困難なものについては循環の輪を広域化させていくこと」として明示され、「取組みの方向性」と「目指すべき将来像」が以下のように明記されている。

【取組みの方向性】

- 循環資源の最適な循環規模を踏まえて、地域の特性を活かした地域循環圏をきめ細かく構築する。
- 地域循環圏形成の取組の推進をとおして、地域の活性化につなげていく。

【目指すべき将来像】

- 循環型社会の形成を担う人材の育成やネットワークの形成が促進

- 地域の様々な人々が地域コミュニティに積極的に参画  
→「地域コミュニティの創出」
- 地域社会に調和した健全な静脈産業などがコミュニティ・ビジネスとして雇用を創出  
→自立と共生を基本とした「地域再生」の原動力

このように、地域循環圏の考え方は、環境面だけでなく、経済面や社会面の効果も期待されており、循環型社会形成に向けた中核を担う政策となっている。今現在、地域循環圏の事例は提示されていないものの、対象となる地域の地域特性や既存のリサイクル関連施設、環境技術を保有している産業集積の配置によって、大きく4つの類型パターンが考えられている。

- ① 里地里山里海循環圏
  - 農林水産業に由来するバイオマス資源の地産地消により形成
- ② 都市・近郊地域循環圏
  - 都市と近郊の農村の連携も含め、エコタウン等の静脈産業集積地と工業団地等の動脈産業集積地の連携をはかることにより、効率的な資源循環を形成
- ③ 動脈産業地域循環圏
  - 基幹産業の基盤やインフラをこれまで以上に活用することで、より効率的な循環システムを形成
- ④ 循環型産業（広域）地域循環圏
  - エコタウン等が保有する転換技術や広域静脈物流などをより一層高度化させていくことで効率的な循環システムを形成

### 1.1.2 廃棄物等の流通実態

本節では、2つの統計データを用いて、廃棄物の流通実態を示す。

1つめの統計データは、環境省の「廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書」<sup>6)</sup>である。この統計データは、対象年度に排出された産業廃棄物（特別管理産業廃棄物を含む）のうち、排出都道府県外の産業廃棄物処理業者に中間処理、最終処分を委託している量について算定している。本研究では 報告書内に存在する中間処理施設への移動量と最終処分場への移動量を合わせてある総量のデータを使用した。

2つめの統計データは、「福岡県廃棄物処理・リサイクル現況調査報告書 平成12年度」<sup>7)</sup>である。この報告書は、排出事業者または再資源化事業所の両方またはどちらかが福岡県内に立地している事業所を対象に行われた調査で、主に「排出事業者名」「再資源化施設名」「排出事業者から再資源化施設へ運ばれた移動量」が記載されている。報告書では、58区分に分類されているが、本推計では、8区分（汚泥、廃油、化学系、廃プラ、資源系、金属、建設系、ばいじん・燃え殻）に集約して、示す。

環境省の統計データを用いて算出した平均距離を図1.1に、福岡県の調査データを用いて算出した平均距離を図1.2に示す。（使用した距離データについては2.2.2項に記す。）環境省の統計データを用いて産業廃棄物の広域移動の実態を概観してみると、平成16年度から平成18年度にか



けて、トンキロベースで約 8.9%増加している。環境省のデータにおいても福岡県のデータにおいても、燃え殻とばいじんのみが突出して平均輸送距離が長いことがわかる。燃え殻とばいじんは、有害物質であるダイオキシンを含む可能性があり、処理に際して厳しい環境基準があるために、処理可能施設が限られ、輸送距離が長くなっているのではないかと考えられる。この例から、廃棄物の性質によって、廃棄物・循環資源の発生場所から中間処理施設を経て二次製品として再商品化される、あるいは最終処分されるまでの距離は決まっていることが推測される。

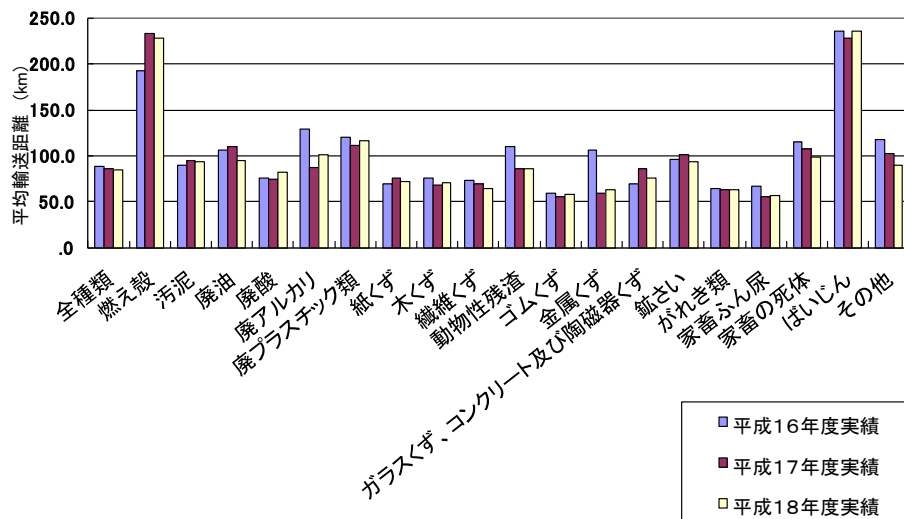


図 1.1 産業廃棄物品目別平均輸送距離 (平成 16, 17, 18 年度)

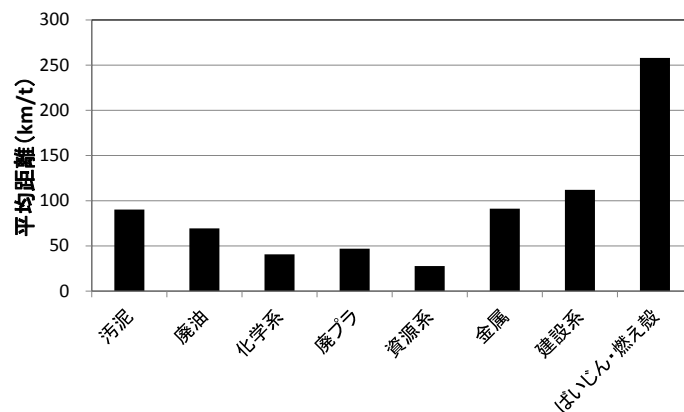


図 1.2 福岡県の廃棄物の流通実態 (平成 12 年度)

## 1.2 研究目的

本研究は、望ましい地域循環圏の構築を支援するモデルと評価手法の提案を行うことを目的に、大きく以下の2点を行う。

- 循環資源の品目特性と、地域特性に応じた最適な空間スケールを導出するための資源循環拠点立地モデルの開発
- 環境面・経済面に地域活性化や高齢者福祉への効果などの社会面を追加した総合評価手法の提案

### 1.3 既往研究のレビューと本研究の特徴

本論文に関連する主な既往研究を表 1.1 に示す。

広域移動の収集における最適化問題を解いた研究では、荒井ら<sup>8)</sup>の都市ごみに注目した研究、尹<sup>9)</sup>の共同輸送を考慮した研究があるが、いずれも目的関数には総費用を使用している。このように最適化問題を解く際の目的関数には総費用が用いられることが多い。Barros A.I.らは、建設廃棄物を対象に、固定費用と輸送費用などを考慮した総コスト最小化の施設配置問題としてモデルを検討し、Lu Z.らは、動脈物流と静脈物流の両方を同時に考慮したロジスティクスシステムの最適化を検討している。一方、佐藤ら<sup>12)</sup>や田畑ら<sup>13)</sup>、吉田ら<sup>14)</sup>、川端ら<sup>15)</sup>の研究では輸送量に輸送距離を乗じた輸送トンキロや輸送距離を目的関数としているが、一部の品目もしくはある特定の地域のみでの研究に留まっている。このように、産業廃棄物全体を通して最適化問題を解き静脈物流システムの構築に向けた研究は少ない。また産業廃棄物の輸送に関する要因を定量的に分析しているものは、ほとんどない。唯一あると言えるのは、尹<sup>9)</sup>の研究であるが、動脈物流と静脈物流に関して輸送機関連選択の要因を定量的に分析しているのみである。Gravity Model を国内での廃棄物の移動へ応用した例もなく、伊藤ら<sup>16)</sup>によって E-waste を対象に国際移動に関する研究が存在するのみである。地域循環圏の分析に繋げることを考慮すると、輸送トンキロを目的関数として最適化問題を解くことに加え、産業廃棄物 20 品目に加え、廃 PET ボトル等の循環資源を対象として最適化問題を解き、品目別の分析を実施する意義は大きいと考えられる。加えて、一般的な Gravity Model のみではなく、異なる要因分析モデルを試行することで、循環圏形成の要因を多面的に分析する意義も大きいと考えられる。

廃棄物の循環圏の規模に関する研究では、小笠原ら<sup>17)</sup>の焼却施設を対象として広域化に伴う費用と CO<sub>2</sub> の関係を分析した研究、佐々木ら<sup>18)</sup>のいくつかのモデル都市を設定し、広域化に伴い費用と環境負荷に加え、交通量の影響を分析した研究がある。いずれの研究においても、広域化には適正な規模が存在することが示されている。

廃棄物処理を対象とした評価モデルに H-IWM<sup>19)</sup>がある。このモデルは一般廃棄物を対象に収集運搬から中間処理を行う際のコストやエネルギー消費量、環境負荷を推計することができる。地域循環圏を構築する際の評価ツールとしては、近畿地方環境事務所が GHG 排出量、最終処分量、天然資源投入量を推計できる評価モデル<sup>20)</sup>を開発しているが、原単位やモデル構造の多くは H-IWM をそのまま援用している。地域循環圏を構築することにより、スケールメリットを生かすことで処理効率を向上させることも目指しているが、これらの評価ツールではスケールファクターは一定として扱われており、品目や中間処理手法の特性を反映させた空間スケールの導出を行うことはできない。今回支配パラメータとして設定した発生密度に関する既往研究としては、プラスチック製容器包装を対象として収集運搬に関する費用および環境負荷を算出するモデルを作成し、市町村面積別に費用等の原単位を算出した研究<sup>21)</sup>や都市の人口規模を変化させたときに費用等を推計した研究<sup>22)</sup>がある。輸送効率に関しては、複数の市区町村にアンケートおよびヒアリング調査を行い、現状を調査した研究<sup>23)</sup>がある。スケールファクターに関しては、広域処理を行うことで費用においてもエネルギーにおいてもスケールメリットが表れることを示した研究<sup>24)</sup>や、最終処分費用を対象にアンケート調査を行い、スケールファクターを算出した研究<sup>25)</sup>がある。

しかしながら、これらの研究は一般廃棄物の公的処理施設のみを対象としている。

望ましい地域循環圏を検討するためには、循環資源と地域の特性を考慮する必要があり、最適空間規模導出モデルを構築する際はそれぞれの特性を表すパラメータを導入することが重要である。本論文で提案するモデルは、地域特性に関して発生密度、品目特性に関して輸送効率とスケールファクターを支配パラメータとして採用しており、現実の政策決定での活用意義は大きいと考えられる。

総合評価に関する研究としては、LCA の概念に生態系サービスへの影響を導入した研究としては、ダム建設に伴う影響を評価した研究<sup>26)</sup>があるが、極めて限定された生態系サービス項目に留まっている。地域活性化を評価した研究としては、農山村を対象に評価した研究<sup>27)</sup>があるが、資源循環の分野では見あたらず、また環境側面との総合評価の研究事例はない。平成 24 年 7 月に公表された地域循環圏形成推進ガイドライン<sup>5)</sup>には、環境・経済・社会の総合評価の枠組みが提示されている。地域循環圏形成効果を示す評価指標として、最終処分量・天然資源投入量・CO<sub>2</sub> 排出量、コストのほか、地域循環活力が提示されている。地域循環活力については、民間企業における環境経営活力、地域環境活動、住民満足度等に対する効果を算定する手法として、21 の指標体系とその集約化による時系列変化の計測が例示されている。しかし、ガイドラインにおいても例示に留まっており、実際に評価された事例はない。

総合評価の手法の一つに、多基準分析がある。多基準分析の中では、AHP（階層分析法）が広く用いられているが、AHP による分析は基準間と代替案間における全ての対比較を行う必要があり、住民に対しアンケート調査を行う場合には回答者に大きな負担となる。そこで、本研究では多基準分析手法の一つであるコンコーダンス分析による分析手法を用いている。コンコーダンス分析は、配点法による基準間の重み付けと代替案間の対比較によって分析を行うという手法である。コンコーダンス分析を用いて分析を行った事例として、湿地のワイズ・ユースを推進するための地域計画手法の開発を試みた研究<sup>28)</sup>がある。これは、住民参加型計画手法により得た複数の計画案を「効果の大きさ」「実行のしやすさ」「住民参加の可能性」という 3 つの基準から評価を行い、複数案の優先順位付けを行ったものである。更に、「利用客の増加」「地域の活力向上」「財政の負担」等の指標を用いて、新規鉄道の開業による沿線地域の活性化と鉄道利用者の増加を図るための対策を評価した研究<sup>29)</sup>がある。これら 2 つの研究事例は、評価対象は複数であるが、評価基準が 1 段階で行われている事例である。評価基準を 2 段階に分けて適用している事例として、地域冷暖房の評価を行った研究<sup>30)</sup>がある。この研究では、「事業性」「省エネルギー・環境保全性」「アメニティー・防災性」の 3 つの基準の下にそれぞれ細かい基準を複数設定している。

本研究では、使用済み紙おむつの分別・リサイクル事業を対象に、経済面・環境面に高齢者福祉への副次的効果を表す社会面を含めた総合評価を行う手法を提示し、試行する。総合評価の枠組みは対象とする地域・品目によって異なることが考えられるため、特定の地域と品目を対象としたケーススタディの蓄積が重要である。今回の評価はその積み重ねの第一歩であり、今後の総合評価手法の開発に貢献する重要な事例になると考えられる。

望ましい地域循環圏形成の具現化を目的に行われた研究としては、資源循環の観点から概念整

理を行った調査<sup>31)</sup>や生態系サービスの観点から概念整理した研究<sup>32)</sup>、地域と品目を特定した研究<sup>33)</sup>、<sup>34)</sup>などがある。本研究は、これらの研究で定性的にしか示されていないものを定量的に示すことを行った研究であり、地域循環圏形成に向けた基礎的研究になるものと考えられる。

表 1.1 本論文に関連する主な既往研究

輸送問題の最適化計算を行った研究		
荒井ら	都市ごみを対象にごみ処理に要する総費用の最小化とごみ発電出力の最大化を同時に扱う多目的ファジィGAモデルの提案及びケーススタディによる検証	8)
尹	共同輸送による総費用最小化のモデルを構築	9)
Barros A.I. ら	建設廃棄物を対象に、固定費用と輸送費用などを考慮した層コスト最小化の施設配置問題としてモデルを構築	10)
Lu Z. ら	施設配置問題として、モデルの構築を行い、動脈物流と静脈物流の両方を同時に考慮しながらロジスティクスシステムの最適化を検討	11)
佐藤ら	広域移動マイレージを定義し、産廃7品目を対象に経年変化を分析するとともに、処理能力を変化させることで広域移動マイレージの変化を分析	12)
田畑ら	紙くずを対象に愛知県において、グラフ理論により廃棄物発生場所と再資源化施設間での最小輸送経路探索を行うとともに、輸送距離を最小化しつつ、再資源化施設1施設あたりの処理能力を考慮した再資源化施設の配置について遺伝的アルゴリズムの特性を利用して分析	13)
吉田ら	都道府県間の輸送トンキロを最小とする古紙移出入量を求め、現状のエネルギー消費との比較をし、古紙の都道府県間発生・購入可能量の将来変化が古紙原料の輸送量やエネルギー消費に与える影響について分析	14)
川端ら	古紙を対象として、輸送エネルギー消費量を求めるとともに、線形計画法を用いて最適解を算出	15)
廃棄物等の輸送に関する要因分析をした研究		
尹	物流センサ及び環境省のデータを利用して、動脈物流及び静脈物流の輸送機関選択の要因を定量的に分析	9)
伊藤ら	E-wasteの国際移動を対象に、Gravity Modelを用いて、輸入国が輸入している製品量と経済指標との関係を分析	16)
廃棄物の循環圏に関する研究		
小笠原ら	愛知県の一般廃棄物の可燃ごみを対象として、ごみ処理を段階的に広域化することによって、それぞれの規模で費用と環境負荷の変化を分析	17)
佐々木ら	廃棄物処理広域化モデルを構築し、モデル都市に適用することで、広域化の適正規模が存在することを明らかにした研究	18)
廃棄物処理を対象とした評価モデル		
H-IWM	一般廃棄物を対象に、収集運搬から中間処理を行う際のコストやエネルギー消費量、環境負荷を推計できるモデル	19)
近畿地方環境事務所	地域循環圏を構築する際の評価ツールとして、GHG排出量・最終処分量・天然資源投入量を推計できる評価ツール	20)
廃棄物等を対象に、発生密度・輸送効率・スケールファクターの影響を分析した研究		
藤井ら	プラスチック製容器包装を対象として、発生密度の影響を考慮し、収集運搬に関する費用および環境負荷を算出するモデルを作成し、市町村面積別に費用等の原単位を算出した研究	21)
地域循環圏に関する九州会議	都市の人口規模を変化させ、費用等を推計した研究	22)
藤井ら	複数の市区町村にアンケートおよびヒアリング調査を実施し、輸送に関する現状を調査した研究	23)
羽原ら	広域処理を行うことで、費用においてもエネルギーにおいてもスケールメリットが表れることを示した研究	24)
松藤ら	最終処分費用を対象にアンケート調査を行い、スケールファクターを算出した研究	25)

総合評価に関する研究		
名嘉ら	ダム建設に伴う大規模な土地改変と長期間の占有による生態系への影響を評価した研究	26)
橋詰	各統計調査データを用いて、定住・地域経済・農業・林業の4つのカテゴリーから農山村地域の活力を測定する枠組みを提示した研究	27)
環境省ガイドライン	環境・経済・社会の総合評価の枠組みを提示	5)
コンコーダンス分析を用いた総合評価に関する研究		
木南ら	佐潟を事例に、湿地のワイズ・ユースを推進するための地域計画手法の開発を試みた研究	28)
湯沢ら	新規鉄道の開業による沿線地域の活性化と鉄道利用者の増加を図るための対策を評価した研究	29)
韋	評価段階を2段階に分け、地域冷暖房の評価を行った研究	30)
地域循環圏の具現化を目的に行われた研究・調査		
環境省検討会	資源循環の観点から概念整理を行った調査	31)
齋藤	様々なスケールでの地域循環圏の構築が地域の生物多様性と生態系サービスにどのような影響を及ぼしうるのかを調査した研究	32)
本間ら	林地残材をペレットとして利用している足寄町を対象に、林地残材の拡大利用を目的に熱需構造を明らかにしたうえで、実行可能な事業規模の算出を試みた研究	33)
武部ら	離島であるA島B島の生ごみを、人口減少により処理量低下が見込まれるC市のバイオガス化施設で受け入れた際の効果を推計した研究	34)

#### 1.4 本論文の構成

図 1.3 に本論文の構成を示す。すでに本章では、研究背景、研究目的、既往研究のレビューと本研究の特徴について、述べた。本研究は、2～5章から構成される「中間処理施設立地モデルの開発」に関する研究と、6～7章から構成される「リサイクル事業の総合評価」に関する研究から大きく構成されている。各章の具体的な内容については以下に記す。

2章では、線形計画法の輸送問題を解くことで、最適輸送計画を示す。具体的には、対象地域の総発生量と総受入可能量を制約条件として、輸送トンキロの最適化計算を行うことで、現状と最適化した場合の輸送距離に差があることを示す。

3章では、2つの分析手法を用いて、廃棄物等の移動に影響を与えている要因を分析する。1つ目の手法は、数量化理論I類を用いて、廃棄物等の輸送距離に影響を与えている要因を処理拠点数や、地域の偏在性を表すジニ係数を用いて分析を行う方法である。2つ目の手法は、輸送に関する一般的なモデルである重力モデルを用いて、廃棄物等の移動量に影響を与えている要因を、人口等の活動量を説明変数に用いて行う方法である。

4章では、2章で示した最適輸送計画に、時間価値の概念を導入し、犠牲量モデルを構築することにより、より現実に近いモデルの開発を行う。

5章では、廃棄物等の循環の空間スケールが、循環資源が発生する市の発生密度、収集運搬工程の輸送効率、中間処理施設のスケールファクターによって決まるものと想定し、これらを支配パラメータとした資源循環の最適空間規模導出モデルを提案する。提案したモデルについては、感度分析とケーススタディを行うことで、モデルの有用性を検証し、更にケーススタディを通して、中間処理施設の最適な施設配置について検討を行う。

6章では、福岡県大木町で行われている使用済み紙おむつの分別・リサイクル事業を対象に、環境面・経済面に高齢者福祉への副次的効果を対象とした社会面を含めた総合評価を行う。まず、

使用済み紙おむつのマテリアルリサイクル（水溶化処理システム）と従来の焼却処理システムを対象に、ライフサイクルインベントリ分析を行うことで、マテリアルリサイクルの環境面の有効性を評価する。続いて、総合評価手法の枠組みを提示し、住民へアンケート調査を実施することで、その効果を定量的に示す。

第7章では、各章の結果を踏まえ、結論を示す。

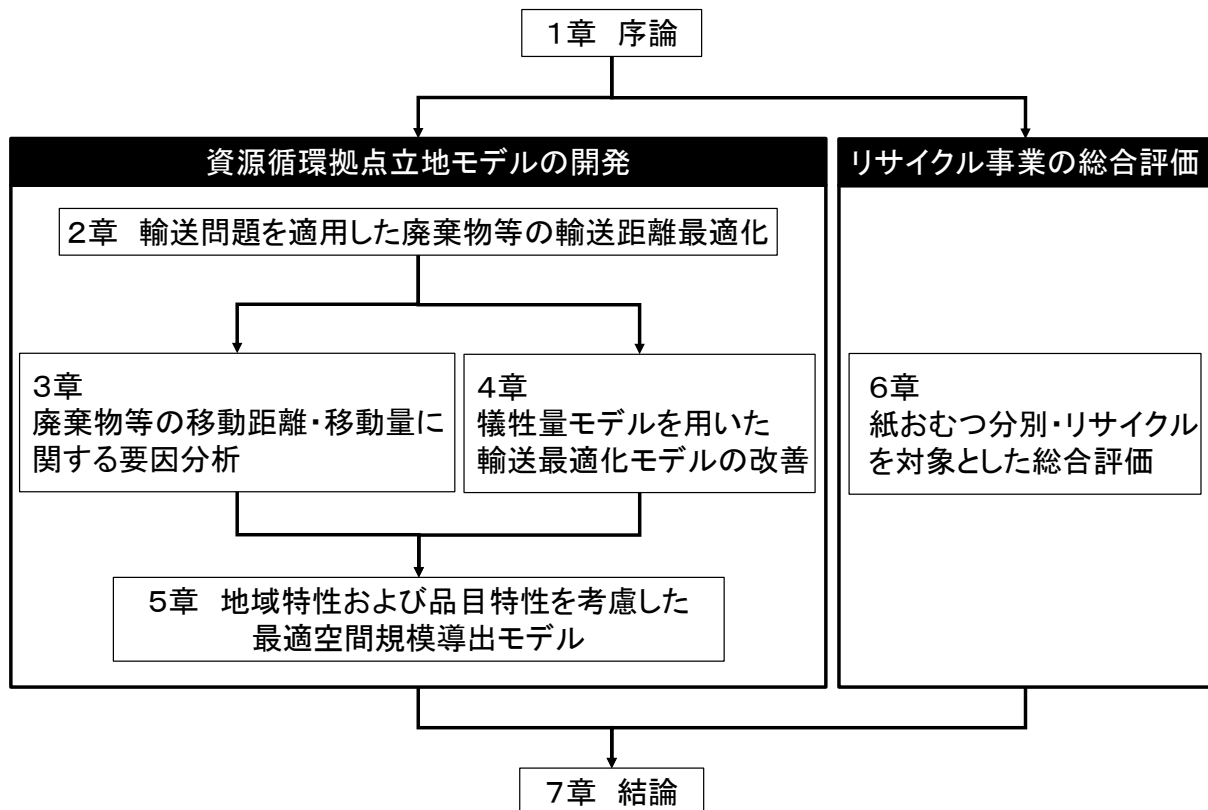


図 1.3 本論文の構成

#### 参考文献

- 1) 環境省：第2次循環型社会形成推進基本計画，2008
- 2) 循環型社会形成推進基本法，2000
- 3) 環境省：第1次循環型社会形成推進基本計画，2003
- 4) 環境省：第3次循環型社会形成推進基本計画，2013
- 5) 環境省：地域循環圏形成推進ガイドライン，2012
- 6) 環境省：廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書
- 7) 福岡県：福岡県廃棄物処理・リサイクル現況調査報告書，平成12年度
- 8) 荒井康裕・小泉明・稲員とよの・西出成臣：都市ごみの広域的処理システムの多目的最適化に関する研究，環境システム研究論文集，Vol.34，pp405-411，2006
- 9) 尹鍾進：静脈物流の現状分析に基づいた静脈物流の効率化方案に関する研究，土木学会論文

- 集G, Vol.63, No.4, pp332-344, 2007
- 10) Barros A.I., Dekker R. and Scholten V., A two-level network for recycling sand: A case study, *European Journal of Operational Research*, Vol.110, pp.199-214, 1998
  - 11) Lu Z. and Bostel N., A facility location model for logistics including reverse flows: The case of remanufacturing activities, *Computers & Operations Research*, Vol.34, pp.595-323, 2007
  - 12) 佐藤雅俊・吉田登：産業廃棄物広域移動マイレージの変化構造と施設能力増加によるマイレージ削減可能性の分析，第36回環境システム研究論文発表会講演集，pp.119-124，2008
  - 13) 田畑智博・後藤尚弘・藤江幸一・井村秀文・薄井智貴：発生源空間分布から見た廃棄物輸送・再資源化施設の適正配置に関する研究，*環境システム研究論文集*，Vol.30，pp.315-322，2002
  - 14) 吉田登・川端宏紀・金子泰純・日下正基：紙リサイクル原料古紙の地域間物流が輸送量及びエネルギー消費に及ぼす影響の分析，*環境システム研究論文集*，Vol.33，pp.259-266，2005
  - 15) 川端宏紀・吉田登・金子泰純・日下正基：紙パルプ需要の増加が地域内物流を通じて環境に及ぼす影響に関する研究，第32回環境システム研究論文発表会講演集，pp.431-436，2004
  - 16) 伊藤豊・真奈木俊介・寺園淳：環境経済の到達点と今後，*環境科学会誌*，22，pp.103-112，2009
  - 17) 小笠原洋介・辻岡信也・森杉雅史・井村秀文：一般廃棄物の広域処理のコストと環境負荷に関する研究，*環境システム研究論文発表会講演集*，Vol.30，pp.259-264，2002
  - 18) 佐々木努・藤原健史・松岡譲：環境負荷と費用からみた廃棄物処理広域化の規模に関する研究，*環境システム論文集*，Vol.31，pp.277-285，2003
  - 19) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価，*技報堂*，2005
  - 20) 近畿地方環境事務所：GHG 排出量等算定・評価ツール，2010
  - 21) 藤井実・村上進亮・南齋規介・橋本征二・森口祐一・越川敏忠・齊藤聡：家庭形容器包装プラスチックごみの収集と運搬に関する評価モデル，*廃棄物学会誌*，Vol.17, No.5, pp.331-341, 2006
  - 22) 地域循環圏に関する九州会議：市町村のための廃棄物政策力向上セミナー
  - 23) 藤井実・村上進亮・南齋規介・橋本征二・森口祐一・中村卓也・越川敏忠：家庭系ごみの分別収集に係る収集車の走行距離・台数等の調査，*廃棄物学会論文誌*，Vol.18, No.6, pp.443-453, 2007
  - 24) 羽原浩史・松藤敏彦・田中信壽・井上真智子：コストおよびエネルギー消費量による一般廃棄物広域化シナリオの比較に関する研究，*環境システム研究論文集*，Vol.30，pp.323-332，
  - 25) 松藤敏彦・大原佳祐：一般廃棄物最終処分コストの分析および標準費用モデルの作成，*廃棄物資源循環学会論文誌*，Vol.21, No.1, pp.30-43, 2010
  - 26) 名嘉佳太・秋本淳一・井坪徳宏：土地利用による生物多様性への影響を考慮したダムの環境影響評価，第7回日本LCA学会研究発表講演要旨集，pp.190-191，2012
  - 27) 橋詰登：農山村自治体の地域活性化診断，*農林水産政策研究所レビュー*，No.8，pp.10-17，2003
  - 28) 木南莉莉・木南章：佐潟のワイズ・ユースのための地域計画ー参加型計画策定へのコンコー

ダンス分析の適用－， 2003

- 29) 湯沢昭：中山間地域における新規鉄道開業による地域計画的課題－計画目標設定のための評価手法の比較－， 1999
- 30) 韋新東：多基準分析法による地域冷暖房の総合評価に関する考察 その1 既存 DHC の総合評価， 2000
- 31) 環境省：平成 23 年度地域循環圏形成推進に向けた検討会
- 32) 齋藤修：地域循環圏形成と生態系サービス管理をめぐるインターリンケージについての基礎研究，第 38 回環境システム研究論文発表会講演集， pp.365-372， 2010
- 33) 本間隆之・古市徹・石井一英：林地残材熱利用システムの事業規模の検討 - 足寄町を対象とした熱需要構造調査に基づく考察 - ，土木学会論文集G（環境）， pp.Ⅱ\_415-Ⅱ\_426， 2011
- 34) 武部玲央・古市徹・石井一英：離島地域を組み入れた生ごみ地域循環システムの検討，第 39 回環境システム研究論文発表会講演集， pp.335-340， 2011



## 2章 輸送問題を適用した廃棄物等の輸送距離最適化

### 2.1 概説

本章では、産業廃棄物とプラスチック製容器包装のデータを用いて、各都道府県（産業廃棄物の場合）および各市区町村（プラスチック製容器包装の場合）の総発生量と中間処理施設または再商品化施設の総受入量を制約条件として、輸送問題を解くことで最適輸送計画を示す。現状と最適解の比較においては、単位輸送量あたりの平均輸送距離を用いる。

### 2.2 定式化

$$\text{Minimize } L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} l_{ijk} \quad (2.1)$$

$$\text{Subject to } W_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (2.2)$$

$$W_j \geq \sum_{i=1}^n w_{ij} \quad (2.3)$$

式の変数を以下に説明する。

添え字  $i$  : 排出側都道府県

$j$  : 受入側都道府県

$k$  : 輸送機関（自動車輸送、鉄道輸送、海上輸送）

変数  $L$  : 総輸送トンキロ

$w_{ij}$  : 都道府県  $i$  から都道府県  $j$  への輸送量

$l_{ijk}$  : 都道府県  $i$  から都道府県  $j$  への輸送機関  $k$  で輸送したときの輸送距離

$W_i$  : 都道府県  $i$  の総発生量

$W_j$  : 都道府県  $j$  の総受入量

式 2.2 に示す各都道府県の現状の総発生量と、式 2.3 に示す各都道府県の現状の受入量を受入容量と考え、制約条件とした。これら2つの制約条件をもとに、発生都道府県から受入都道府県への輸送量にその都道府県間を輸送機関  $k$  で輸送したときの距離、および他の都道府県へ移動しない自都道府県内での輸送量にその都道府県内の自動車輸送距離を乗じて合計する値を最小化することを目的関数として定式化した。

### 2.3 使用データ

#### 2.3.1 廃棄物等の移動量

##### (1) 産業廃棄物の移動量

産業廃棄物の移動量に関しては環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部の「廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書」<sup>1)</sup>を用いた。これは平成18年度に排

出された産業廃棄物（特別管理産業廃棄物を含む）のうち、排出都道府県外の産業廃棄物処理業者に中間処理、最終処分を委託している量について算定している。本研究では 報告書内に存在する中間処理施設への移動量と最終処分場への移動量を合わせてある総量のデータを使用した。

## (2) 容器包装リサイクルの移動量

容器包装の移動量に関しては、日本容器包装リサイクル協会の「再商品化事業者落札結果」<sup>2)</sup>を用いた。これは排出側市町村または組合ごとに落札した再商品化事業者および工場、落札トン数、落札価格のデータが記載されたものである。容器包装リサイクルの品目は「PET ボトル」「ガラスびん（その他の色）」「ガラスびん（茶色）」「ガラスびん（無色）」「プラスチック製容器包装」「プラスチック製容器包装（白色トレイ）」の6区分であるが、本研究ではプラスチック製容器包装の再商品化手法区分である「マテリアルリサイクル」と「ケミカルリサイク」のデータも同時に記載している。再商品化手法区分のデータに関しては、再商品化手法ごと（材料リサイクル、油化、高炉還元剤、コークス炉化学原料化、ガス化、固形燃料等）の解析を行うことを試みたが、サンプル数が少なく、詳細な解析を行うことができなかったため、マテリアルリサイクルとケミカルリサイクルに統合して分析を行った。本研究では、材料リサイクルのみをマテリアルリサイクルとし、油化および高炉還元剤、コークス炉化学原料化、ガス化をケミカルリサイクルとした。なお、固形燃料等はデータを得ることができなかったため、今回は分析の対象から除外している。

産業廃棄物データの統計区分と合わせるため、産業廃棄物と比較をしている分析は、都道府県間のマトリックスに集計し、解析を行った。

### 2.3.2 移動距離

#### (1) 自動車輸送距離

都道府県間の輸送距離に関しては、国土交通省発行の道路時刻表「全国 TIMETABLE」<sup>3)</sup>を利用して算出した。各都道府県の中心地は都道府県庁とし、道路時刻表内に存在すればその地点を採用し、なければ都道府県庁に最も近い道路時刻表内に存在する交差点を中心地として採用した。距離算出の条件は、最短距離ルート探索とし、高速道路利用としている。

都道府県内距離に関しては、各都道府県の面積<sup>4)</sup>を正方形と考え、中心と頂点を結ぶ直線の距離を算出することで都道府県間距離として採用した。算出方法として、都道府県の面積を円と仮定し、半径を都道府県内距離と仮定する場合も考えられるが、本研究で採用した正方形と仮定し中心と頂点の距離を使用した場合、円の半径と比べて若干長い距離を採用していることになる。なお、都道府県間と同様に道路時刻表を使用して算出することも試みたが、基準とする位置（発地と着地）を決めることが困難だったため、この方法を採用した。

※ 全国時刻表は平成 20 年以降、発行停止・絶版となっており「全国 TIMETABLE」も平成 20 年 11 月 30 日をもってサービス終了となっている。

#### (2) 鉄道輸送距離

鉄道輸送距離に関しては、JR 貨物の「コンテナ時刻表」<sup>5)</sup>を利用して算出した。各都道府県において基準とする駅は JR 貨物廃棄物輸送ネットワークの「特別管理産業廃棄物及び廃棄物収

集運搬業許可取得駅」を対象に、都道府県内に複数貨物ターミナル駅がある場合は物流センサス<sup>6)</sup>において取扱量の多い駅を採用し、都道府県内に貨物ターミナル駅がない場合は貨物駅ネットワーク内にある駅で物流センサスを参考に取扱量の多い駅を採用した。なお、和歌山県、島根県、徳島県、高知県、長崎県はオフレールステーション（ORS）を採用して算出した。オフレールステーションとは、レールから離れた貨物駅として設置された拠点で、拠点駅との間をトラックによって輸送をしている施設である。また、滋賀県、奈良県、沖縄県は拠点がなかったため、都道府県間輸送において鉄道輸送はしないものと仮定した。距離算出の条件は、直行する便がある場合はその距離を採用し、ない場合は基準とした駅間の距離が最小となるように設定した。また、コンテナ時刻表から算出できない場合は、JR 貨物ホームページの「エネルギー使用・CO<sub>2</sub>排出量計算シート」<sup>7)</sup>より算出を行った。

### (3) 海上輸送距離

海上輸送距離に関しては、海上保安庁発行の「距離表」<sup>8)</sup>を利用して算出した。各都道府県の基準とする港はリサイクルポートとし、各都道府県内に複数リサイクルポートがある場合やリサイクルポートがない場合は、国土交通省の港湾統計年報（平成 20 年分）<sup>9)</sup>を利用して、港湾取扱量の多い港を採用した。距離算出の条件は、基準とした港間を最短経路で結んだ場合の距離とした。

## 2.3.3 輸送機関別輸送分担率の推計

### (1) 輸送距離区分の設定

輸送距離区分は貨物地域流動調査（平成 20 年度分）<sup>9)</sup>を参考に、以下のように設定した。

- 100km 未満
- 100km 以上 300km 未満
- 300km 以上 500km 未満
- 500km 以上 750km 未満
- 750km 以上 1,000km 未満
- 1,000km 以上

### (2) 輸送機関別輸送分担率の推計方法

輸送機関別分担率は第 8 回全国貨物純流動調査報告書（物流センサス）<sup>6)</sup>の「都道府県間流動量（代表輸送機関別）－重量－」における「排出物」の品類区分を利用して算出した。算出方法を下記に記す。

#### ① 距離帯別の分類

- 都道府県内および都道府県間の自動車輸送距離を基準として、2.2.3 項に示す輸送距離区分に分類する。

#### ② 自動車・鉄道・海上輸送機関別に集計

- 本研究では、自動車輸送を自家用トラック、宅配便混載、一車貸切及びトレーラーとし、鉄道輸送を鉄道コンテナ及び車扱い・その他とし、海上輸送をフェリー、コンテナ船、

RORO 船及びその他船舶とした。物流センサスにおいて、フェリーの輸送機関区分は自動車輸送であるが、本研究ではトラックはそのままフェリーに乗せ、フェリーで輸送しているため、移動中における CO<sub>2</sub> 排出などの環境負荷は海上輸送起源であると考え、フェリーは海上輸送機関としている。

### ③ 分担率の算出

- 各輸送機関区分において、輸送機関別の輸送量（トン）を用いて、輸送機関分担率を算出した。

### (3) 輸送機関別輸送分担率の推計結果

以上の設定を踏まえて推計した輸送距離帯別輸送機関分担率を図 2.1 に示す。推計結果より、輸送距離が 500km 以上になると海上輸送の割合が増え、1,000km を超えると鉄道輸送の割合が増えることがわかった。なお、100km 以上 300km 未満において海上輸送の割合が 1 割強を占めている理由は、瀬戸内海を中心に近距離の海上輸送があったためである。

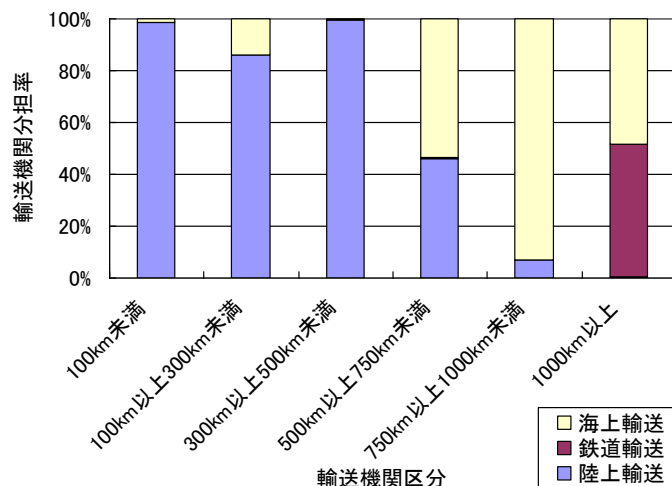


図 2.1 輸送機関別輸送分担率

## 2.4 最適化結果

最適化計算結果を図 2.2 に示す。図 2.2 より全ての品目において、最適結果の方が輸送距離が短くなることがわかった。産業廃棄物の全種類の総輸送距離は 1,666 千万 t・km、容器包装リサイクルの総輸送距離は 20,925 万 t・km であったが、最適化後の輸送距離はそれぞれ 1,077 千万 t・km、14,916 万 t・km、削減距離はそれぞれ約 588.6t・km、約 6,008 万 t・km となり、削減率もそれぞれ約 35.5%、約 28.7%であった。産業廃棄物を品目毎にみても、最も削減距離が長かったものはばいじん約 103.6km、最も短かったものは家畜の死体で約 4.8km であった。容器包装で最も削減距離の長かったものはプラスチック製容器包装で約 60.1km、最も短かったものはプラスチック製容器包装（白色トレイ）で約 4.9km であった。

最適化計算により、都道府県別の総発生量と総受入量のみを考慮した場合の、輸送距離の最適解と現状値の乖離を示すことができた。

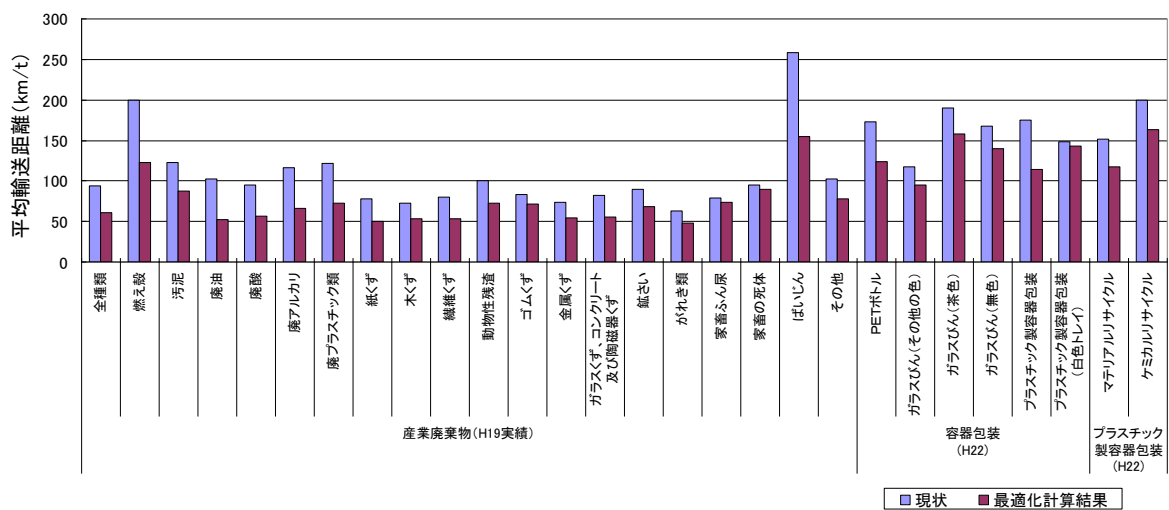


図 2.2 平均輸送距離および最適化の結果

(産業廃棄物については平成 18 年度実績、プラスチック製容器包装については平成 22 年度実績)

## 2.5 本章のまとめ

本章の最適化計算により、都道府県別または市区町村別の廃棄物等の発生量と受入可能量のみを考慮した場合の輸送距離の最適解と現実の乖離を示すことができた。この乖離は、制約条件（発生量、受入可能量）以外に影響を与えている要因があること、また、制約条件以外の要因を除去することで、輸送距離の削減可能性があることを示している。実際には、品目毎に様々な要因が関与しているため、品目についてもさらに細分化して考える必要がある。

3 章では、移動距離および移動量に与える要因を多面的に分析し、4 章では時間価値の考え方を導入し、本章で提示した輸送距離最適化モデルの改善を行う。

## 参考文献

- 1) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部：廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書
- 2) 日本容器包装リサイクル協会：再商品化事業者落札結果
- 3) 国土交通省：道路時刻表「全国 TIMETABLE」
- 4) 国土地理院 HP
- 5) JR 貨物 HP：コンテナ時刻表
- 6) 国土交通省：第 8 回全国貨物純流動調査報告書（物流センサス），2008
- 7) JR 貨物 HP：エネルギー使用量・CO<sub>2</sub> 排出量計算シート
- 8) 海上保安庁：距離表，2003
- 9) 国土交通省：貨物地域流動調査（平成 20 年度分），2008

### 3章 廃棄物等の移動距離・移動量に関する要因分析

#### 3.1 概説

本章では、2章の輸送問題で用いた制約条件（発生量、受入可能量）以外に、廃棄物等の移動距離・移動量に影響を与えている要因を定量的に分析することを目的とする。

まず、3.2節では数量化理論Ⅰ類を用いて、移動距離に影響を与えている要因の分析を行う。次に、3.3節では一般的なモデルである重力モデルを用いて、移動量に影響を与えている要因を定量的に分析する。3.2節および3.3節の構成、対象品目については以下に記す。

3.2節では、3.2.1項で数量化理論Ⅰ類を用いた輸送距離に影響を与えている要因の分析フローを示し、分析手法の方法について説明する。3.2.2項～3.3.3項の対象とした品目は以下に示す通りで、各項は(1)で特性データの設定について、説明を行い、その後、使用データの説明、分析結果という構成になっている。

- 3.3.2項：産業廃棄物 20品目を対象に全国の集計データを用いて品目を横断で分析
- 3.2.3項：産業廃棄物 20品目それぞれについて、品目毎に分析
- 3.2.4項：循環資源に着目した分析
  - 循環資源の中でも比較的データの入手しやすい廃PETを分析対象に選び、その対照品目として廃プラスチック類（産業廃棄物）を選択した。この2品目を対象に、それぞれ排出側都道府県に注目した分析と受入側都道府県に注目した分析を行う。

3.3節では、3.3.1項で Gravity Model について説明を行う。3.3.2項～3.3.4項の対象とした品目は以下に示す通りで、各項は(1)で特性データの設定について説明を行い、(2)以降分析結果を示す。

- 3.3.2項：産業廃棄物を対象に分析
- 3.3.3項：産業廃棄物と廃PETボトルを対象に分析
- 3.3.4項：プラスチック生容器包装を対象に再商品化手法の違いについて分析

#### 3.2 廃棄物等の移動距離に関する要因分析

##### 3.2.1 分析フロー

要因分析を行ったフロー図を図3.1に示す。被説明変数の設定については、環境省の報告書を利用して算出した移動距離を利用して、平均輸送距離を算出した。3.3.2項の全国集計データを用いた要因分析では、各品目別の平均輸送距離を被説明変数として設定した。3.3.2項の都道府県別集計データを用いた要因分析では、各品目それぞれに対して各都道府県別に平均輸送距離を被説明変数として設定した。説明変数の設定については、まず特性データを設定し、そのデータを集計する。この時点で非説明変数に関しても説明変数に関しても定量的データであるため、重回帰分析を試みたが、説明力の高いモデルを示すことが出来なかったため、数量化理論Ⅰ類を用いた。カテゴリを設定する際はクラスター分析を行い、その結果を参考に平均輸送距離との相関が高く、カテゴリ間の差が明確に表れるようにカテゴリの範囲を決定した。

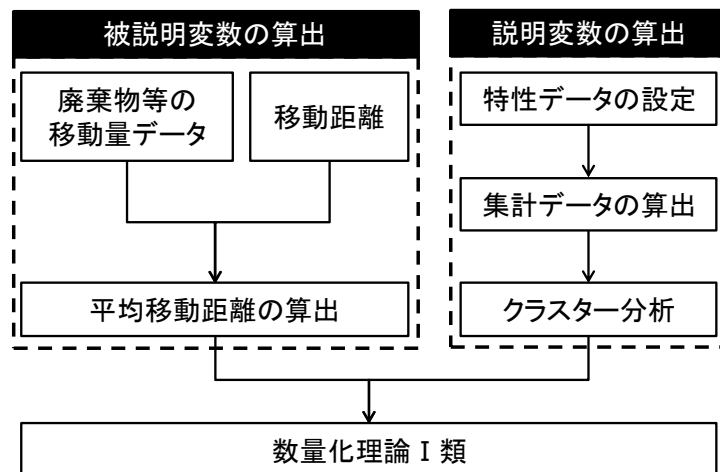


図 3.1 分析フロー

### 3.2.2 全国集計データを用いた要因分析

#### (1) 特性データの設定

環境省の中央環境審議会循環型社会計画部会第 40 回資料<sup>1)</sup>である「循環・適性処理の地理的な規模に対して影響を与える要因・配慮すべき要因」を参考に設定した。具体的には、統計データや公開情報の入手可能性を考慮して、再資源化・適性処理施設の立地を「処理拠点数」<sup>2)</sup>、大規模化による効率性を「処理プラントの平均規模」<sup>2)</sup>、資源の需要の偏在性を表す「ジニ係数」、処理コストを「処理施設の年間売上高」<sup>2)</sup>とした。

ここで、ジニ係数とはイタリアの数学者ジニが 1936 年に考案した偏在性を表す指標である。経済学の所得分配の不平等さを計る指標として用いられることが多い。0~1 の間の値で示され、1 に近いほど格差が大きいことを表している。異なる地域で考える際の比較には有効ではないという問題点があるが、今回の場合は全国の集計データとして用いているため、この問題点には当らないと考え採用した。

#### (2) 産業廃棄物最終処分場残余年数の算出

最終処分場の残余年数は全国、首都圏、近畿圏としての区分で公開している以外は、一部の都道府県がホームページで公開している以外は公開されていないのが現状である。そこで、本研究では平成 15 年版、産業廃棄物行政組織等調査報告書<sup>3)</sup>を利用して、推定した。

推計方法であるが、報告書内に記載されている都道府県・政令市別の最終処分場数と全国の残存容量を利用して、全国平均を算出し、この全国平均と都道府県毎の最終処分場数を利用することにより、各都道府県別の残存容量を算出した。次に環境省の広域移動量調査の都道府県別産業廃棄物処理量を利用して都道府県別の残余年数を算出した。計算過程では品目別に算出し、最後に合計している。行政組織等調査報告書の単位は体積であるが、広域移動量調査の単位は重量であったため、産業廃棄物の体積から重量への換算係数を利用することにより体積へと統一している。加えて、広域移動量調査では処理量を利用しているため、品目別の排出量に品目別の排出量を掛け合わせるにより、品目別の最終処分量を算出している。

### (3) 要因分析の結果

分析結果のアイテムレンジを表 3.1 に、カテゴリ数量のグラフを図 3.2 に示す。4 つの特性データの中ではジニ係数が最も大きな値を示しており受け入れ側の処理施設の分布の偏在性が輸送距離に最も影響を与えていることを示している。ジニ係数のカテゴリ数量に注目してみると、カテゴリ 1 と 3 の場合にマイナスの値を示しており、施設の分布の偏りが比較的小さい場合及び大きい場合に輸送距離が短くなる傾向にあることが分かった。ここでジニ係数と平均輸送距離の関係に注目してみると、平均輸送距離が 50km～120km でジニ係数が比較的小さいグループ、平均輸送距離が 200km を超えるグループ、平均輸送距離が 50km～100km でジニ係数が大きいグループの 3 つに分かれることがわかった (図 3.3)。これは、ジニ係数のカテゴリ 1～3 と、結果的に対応している。カテゴリ 1、つまりジニ係数が比較的小さい場合に輸送距離が短くなるのは、処理施設が日本全国均等に立地しているために発生場所から処理施設までの距離が短くなっていると推測される。また、ジニ係数が大きい場合に輸送距離が短くなっているのは、廃棄物が地理的に偏って発生しているが、処理施設も発生場所の近くに立地しているために、結果として発生場所と処理施設の距離が短くなるためと推測される。2 番目に影響を与えているのは処理プラントの平均規模である。カテゴリ数量に注目してみると、処理プラントの平均規模が 400t/日未満だとマイナスの値を示しているが、400t/日以上だとプラスの値を示している。処理プラントが大きくなるにつれて、集めてくる範囲も広くなるために輸送距離が長くなる傾向にあることを示している。3 番目に影響を与えているのは処理拠点数である。カテゴリ数量から明らかなように、処理拠点数が多くなるにつれて必然的に発生場所から処理施設までの距離が短くなるために、輸送距離も短くなる傾向にあることを示している。4 つの特性データの中で最も影響が少なかったのは平均処理コストであり、カテゴリ数量から明らかなように、平均処理コストが高くなるにつれて輸送距離が長くなる傾向にあることを示している。

表 3.1 数量化理論 I 類の分析結果：全国集計データ

特性データ	カテゴリ	データ数	カテゴリ数量	アイテムレンジ
処理拠点数	1: 1,500ヶ所未満	10	4.22	13.71
	2: 1,500ヶ所以上3,000ヶ所未満	4	1.29	
	3: 3,000ヶ所以上	5	-9.48	
処理プラントの平均規模	1: 250t/日未満	6	-3.28	55.55
	2: 250t/日以上400t/日未満	9	-15.58	
	3: 400t/日以上	4	39.97	
ジニ係数 受入量 (都道府県内+都道府県外)	1: 0.60未満	9	-7.60	68.81
	2: 0.60以上0.75未満	4	48.13	
	3: 0.75以上	6	-20.68	
平均処理コスト	1: 24.7万円/t未満	8	-0.41	1.58
	2: 24.7万円/t以上41.1万円/t未満	8	-0.03	
	3: 41.1万円/t以上	3	1.17	
定数項(19品目の平均輸送距離の平均)			97.23	
数量化の決定係数			0.67	
データ数 n			19	



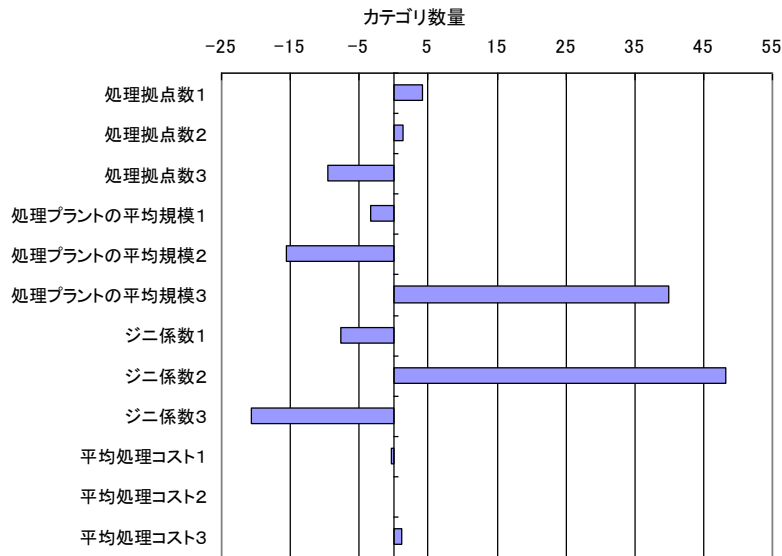


図 3.2 数量化理論 I 類の分析結果：全国集計データ（カテゴリ数量）

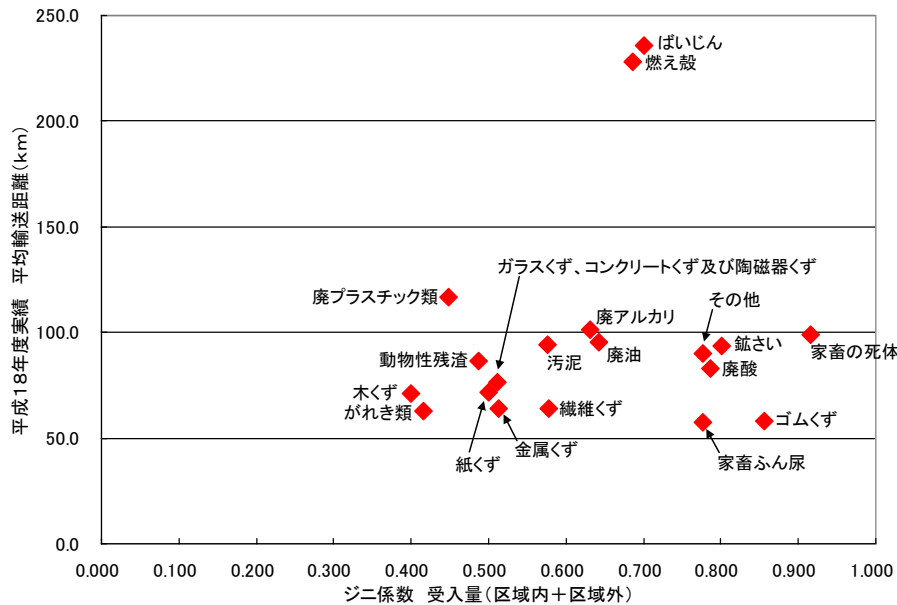


図 3.3 全国集計データにおけるジニ係数と輸送距離の散布図

### 3.2.3 都道府県データを用いた要因分析

#### (1) 特性データの設定

都道府県集計データを用いた品目別要因分析においても、全国集計データを用いた要因分析から「処理拠点数」、「処理プラントの平均規模」、「処理施設の年間売上」をそのまま採用している。ジニ係数に関しては都道府県毎の集計データを扱うため、異なる地域での比較となることから、都道府県の場合は除外した。加えて、次に示す 4 つの特性データを追加している。一つ目は、施設側に注目した受入側の偏在性を表す「受入可能量」であり、各都道府県毎に処理拠点数に処理プラントの平均規模を掛け合わせることで算出した。二つ目は、発生都道府県内で処理できるか否か、また他の都道府県の産業廃棄物を受け入れる余裕があるか否かを表す「処理可能量」であ

り、平成 18 年度実績データにおける産業廃棄物排出量から受入量を引いて算出した。三つ目は、産業廃棄物処理後の影響をみるために「産業廃棄物最終処分場の残余年数」であり、算出方法に関しては別途記載する。四つ目は海運の利用容易性をみる「海運」であり、海に面しているか否か、海に面している場合はリサイクルポートを持っているか否かということで判断し、海運に関してのみダミー変数に置き換えることにより算出した。

## (2) 要因分析の結果

(1)で示した特性データを基に数量化理論 I 類を用いて行った分析結果を示す。まず、a)、b)で燃え殻の例について詳しく示し、c)で全体を通しての分析結果を示す。なお、次節以降で示す排出側都道府県とは、産業廃棄物を排出した都道府県を基準として各都道府県毎に平均移動距離を算出し分析を行った結果であり、受入側都道府県とは、産業廃棄物を受け入れた都道府県を基準として各都道府県毎に平均移動距離を算出して分析を行った結果である。

### a) 燃え殻（排出側都道府県に関して）

分析結果のアイテムレンジを表 3.2 に、カテゴリ数量のグラフを図 3.4 に示す。アイテムレンジに注目してみると、処理可能量が最も大きな値を示している。アイテムレンジに注目してみると、20 千 t 未満つまり排出量の方が受入量より 20 千 t 上回っている場合、輸送距離は短くなる傾向にあり、20 千 t 以上つまり排出量よりも受入量の方が 20 千 t 上回っている場合に輸送距離は長くなる傾向にあることが分かる。アイテムレンジが 2 番目に大きな値を示しているのは平均処理コストである。処理コストが 54.8 万円/t 以上の場合に極端に輸送距離は短くなる傾向にあることが分かる。産業廃棄物最終処分場の残余年数に注目してみると残余年数が長くなるにつれて輸送距離は短くなる傾向にあることが分かる。

表 3.2 数量化理論 I 類の分析結果：排出側都道府県に関する都道府県データ

特性データ	カテゴリ	データ数	カテゴリ数量	アイテムレンジ
処理拠点数	1: 3 ヶ所未満	5	174.88	210.50
	2: 3 ヶ所以上	13	-33.32	
	3: 13 ヶ所以上	30	-35.62	
	4: 30 ヶ所以上	3	154.00	
処理プラントの平均規模	1: 100 t/日未満	14	32.84	119.09
	2: 100 t/日以上	500	-23.00	
	3: 500 t/日以上	1,000	96.09	
	4: 1,000 t/日以上	2	7.53	
平均処理コスト	1: 13.7 万円/t未満	12	4.42	225.23
	2: 13.7 万円/t以上	27.4	32.95	
	3: 27.4 万円/t以上	54.8	29.61	
	4: 54.8 万円/t以上	5	-192.28	
受入可能量	1: 1,200 t未満	17	-5.22	97.52
	2: 1,200 t以上	6,000	64.54	
	3: 6,000 t以上	10,000	-32.98	
	4: 10,000 t以上	3	33.83	
処理可能量	1: -20 千t未満	8	-72.01	231.43
	2: -20 千t以上	20	-57.33	
	3: 20 千t以上	70	159.42	
	4: 70 千t以上	12	104.74	
産業廃棄物最終処分場 残余年数	1: 3.0 年未満	7	33.39	194.78
	2: 3.0 年以上	13.0	18.80	
	3: 13.0 年以上	30.0	-33.31	
	4: 30.0 年以上	2	-161.39	
港湾	1: 海に面していない都道府県	8	35.78	98.82
	2: 海に面しているがリサイクルポートを持っていない都道府県	23	31.41	
	3: 海に面しておりリサイクルポートを持っている都道府県	16	-63.04	
定数項(19品目の平均輸送距離の平均)				168.97
数量化の決定係数				0.62
データ数 n				47

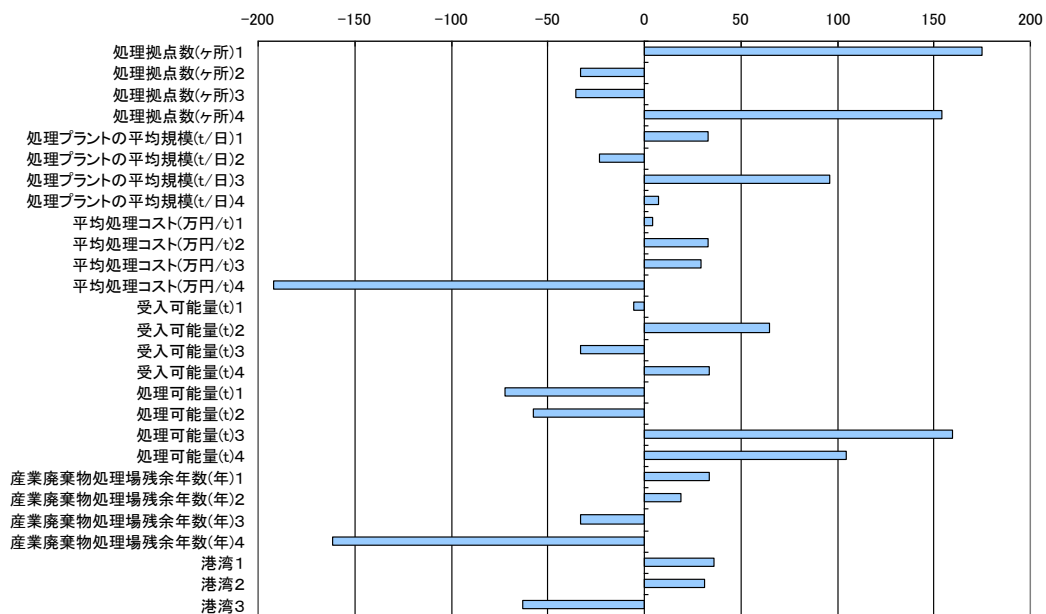


図 3.4 数量化理論 I 類の分析結果：排出側都道府県に関する都道府県データ  
(カテゴリ数量)

b) 燃え殻（受入側都道府県に関して）

分析結果のアイテムレンジを表 3.3 に、カテゴリ数量のグラフを図 3.5 に示す。アイテムレンジに注目してみると、処理プラントの平均規模が最も大きな値を示している。カテゴリ数量に注目してみると 500t/日未満つまり処理プラントが比較的小さい規模のときに輸送距離は短くなる傾向にあり、処理プラントが大きくなるにつれて輸送距離は長くなる傾向にあることがわかる。これは、処理プラントの規模が大きくなると集めてくる範囲も広くなるために輸送距離が長くなると解釈できる。アイテムレンジが 2 番目に大きな値を示しているのは処理拠点数である。拠点数が多くなれば、やはり輸送距離は長くなる。仮に、処理拠点数とプラントの平均規模が反比例の関係にあればこの結果は矛盾するが、実際にはそのような単純な関係にはない。福岡県や山口県のように、拠点数が多く、かつプラント平均規模が大きい都道府県があり、これがこのような結果をもたらしている（図 3.6、図 3.7）。例えば、福岡県にはセメント工場が多く、そこに燃え殻がセメントの原・燃料代替として投入される。このようなケースが多いために、処理拠点数が多かつ平均処理規模が大きくなり、輸送距離が長くなる傾向になっていると考えられる。

表 3.3 数量化理論 I 類の分析結果：受入側都道府県に関する都道府県データ

特性データ	カテゴリ		データ数	カテゴリ数量	アイテムレンジ
処理拠点数	1: 3	ヶ所未満	13	ヶ所未満	5 -34.14
	2: 3	ヶ所以上	30	ヶ所未満	23 -11.20
	3: 13	ヶ所以上	30	ヶ所未満	16 -8.94
	4: 30	ヶ所以上	3	ヶ所未満	3 190.44
処理プラントの平均規模	1: 100	t/日未満	500	t/日未満	14 -28.54
	2: 100	t/日以上	1,000	t/日未満	29 -5.80
	3: 500	t/日以上	1,000	t/日未満	2 23.46
	4: 1,000	t/日以上	2	t/日未満	2 260.36
平均処理コスト	1: 13.7	万円/t未満	27.4	万円/t未満	12 -21.65
	2: 13.7	万円/t以上	54.8	万円/t未満	6 36.88
	3: 27.4	万円/t以上	54.8	万円/t未満	24 5.41
	4: 54.8	万円/t以上	5	万円/t未満	5 -18.28
受入可能量	1: 1,200	t未満	6,000	t未満	17 28.31
	2: 1,200	t以上	10,000	t未満	9 -17.42
	3: 6,000	t以上	10,000	t未満	18 14.55
	4: 10,000	t以上	3	t未満	3 -195.44
処理可能量	1: -20	千t未満	20	千t未満	8 95.98
	2: -20	千t以上	70	千t未満	23 -21.88
	3: 20	千t以上	70	千t未満	4 -58.06
	4: 70	千t以上	12	千t未満	12 -2.70
産業廃棄物最終処分場 残余年数	1: 3.0	年未満	13.0	年未満	7 31.92
	2: 3.0	年以上	30.0	年未満	26 -0.85
	3: 13.0	年以上	30.0	年未満	12 -12.44
	4: 30.0	年以上	2	年未満	2 -26.02
港湾	1: 海に面していない都道府県				8 -50.80
	2: 海に面しているがリサイクルポートを持っていない都道府県				23 5.54
	3: 海に面しておりリサイクルポートを持っている都道府県				16 17.44
定数項 (19品目の平均輸送距離の平均)					92.86
数量化の決定係数					0.78
データ数 n					47

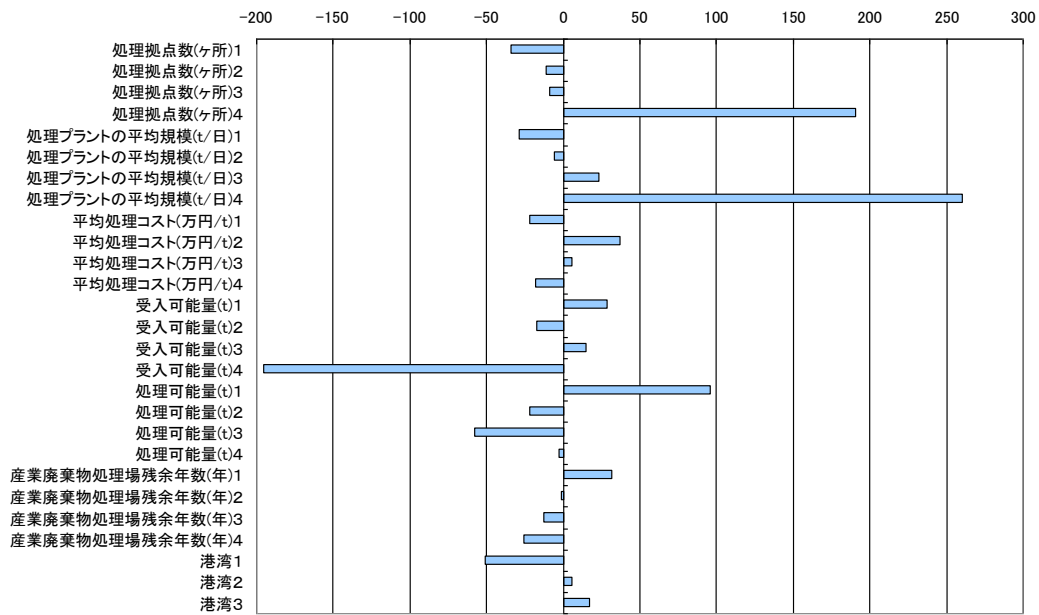


図 3.5 数量化理論 I 類の分析結果：受入側都道府県に関する都道府県データ  
(カテゴリ数量)

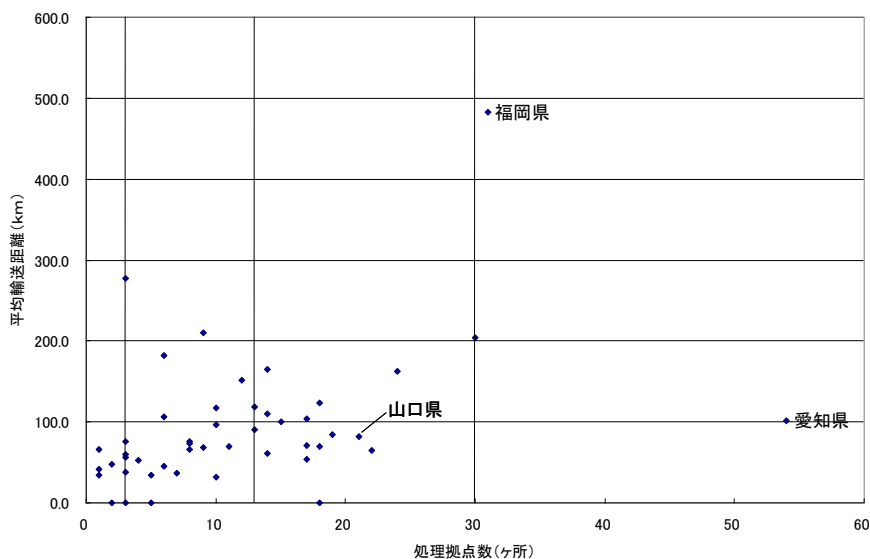


図 3.6 燃え殻における平均輸送距離と処理拠点数の散布図

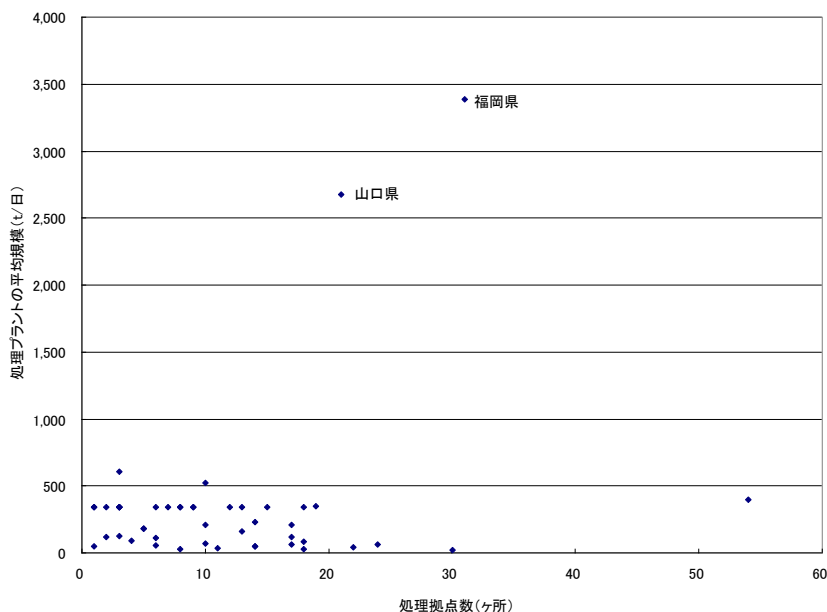


図 3.7 燃え殻における処理拠点数と処理プラントの平均規模の散布図

注：データがない部分は平均の値を使用

### c) 品目別比較

都道府県別集計データを用いた品目別要因分析の分析結果全てについて表 3.4 に集約して示す。影響の一番大きい特性データを左側に示し、右側にいくにつれて影響度が小さくなっている。全体的に見ると、排出側都道府県の分析結果では、「受入可能量」が比較的大きな影響を与えているが、反対に「港湾」はあまり影響を与えていないことがわかる。一方受入側都道府県の分析結果では、「処理可能量」が比較的大きな影響を与えているが、反対に「港湾」と「最終処分場の残余年数」はあまり影響を与えていないことがわかる。

品目別に見ると、排出側都道府県の分析では、「紙くず」「木くず」「繊維くず」の 3 品目、「が

れき類」「家畜ふん尿」の2品目の場合で、特性データが輸送距離に与える要因について比較的似た傾向を示した。受入側都道府県の分析では、「木くず」「金属くず」、「廃油」「家畜の死体」がやはり比較的似た傾向を示した。これらから、輸送距離が比較的近い傾向にある品目は、影響を与える特性データも似た傾向にあることがわかった。

表 3.4 都道府県別集計データを用いた品目別要因分析結果

影響	大 ←-----→ 小							
	搬出元	処理可能量	平均処理コスト	処理拠点数	最終処分場残余年数	処理プラントの平均規模	受入可能量	港湾
燃え殻	搬出先	処理プラントの平均規模	処理拠点数	受入可能量	処理可能量	港湾	平均処理コスト	最終処分場残余年数
	搬出先	処理可能量	受入可能量	港湾	処理プラントの平均規模	平均処理コスト	最終処分場残余年数	処理可能量
汚泥	搬出先	平均処理コスト	処理可能量	処理拠点数	受入可能量	処理プラントの平均規模	最終処分場残余年数	港湾
	搬出先	港湾	最終処分場残余年数	平均処理コスト	受入可能量	処理拠点数	処理可能量	処理プラントの平均規模
廃油	搬出先	平均処理可能量	平均処理コスト	処理プラントの平均規模	最終処分場残余年数	処理拠点数	受入可能量	港湾
	搬出先	受入可能量	処理プラントの平均規模	最終処分場残余年数	処理可能量	港湾	平均処理コスト	処理拠点数
廃酸	搬出先	処理可能量	受入可能量	最終処分場残余年数	処理プラントの平均規模	港湾	処理拠点数	平均処理コスト
	搬出先	受入可能量	平均処理コスト	処理可能量	最終処分場残余年数	処理プラントの平均規模	港湾	処理拠点数
廃アルカリ	搬出先	平均処理可能量	平均処理コスト	処理可能量	最終処分場残余年数	処理プラントの平均規模	港湾	平均処理コスト
	搬出先	処理プラントの平均規模	受入可能量	処理可能量	処理拠点数	平均処理コスト	最終処分場残余年数	港湾
廃プラスチック類	搬出先	処理拠点数	港湾	受入可能量	平均処理コスト	最終処分場残余年数	処理可能量	処理プラントの平均規模
	搬出先	処理可能量	平均処理コスト	受入可能量	最終処分場残余年数	処理拠点数	処理プラントの平均規模	港湾
紙くず	搬出先	処理拠点数	受入可能量	処理プラントの平均規模	港湾	平均処理コスト	最終処分場残余年数	処理可能量
	搬出先	処理可能量	受入可能量	処理プラントの平均規模	最終処分場残余年数	平均処理コスト	処理拠点数	港湾
木くず	搬出先	処理拠点数	受入可能量	処理プラントの平均規模	平均処理コスト	最終処分場残余年数	処理可能量	港湾
	搬出先	処理可能量	受入可能量	処理可能量	平均処理コスト	最終処分場残余年数	処理プラントの平均規模	港湾
繊維くず	搬出先	受入可能量	処理拠点数	処理プラントの平均規模	最終処分場残余年数	港湾	処理可能量	平均処理コスト
	搬出先	処理可能量	処理拠点数	平均処理コスト	処理プラントの平均規模	受入可能量	最終処分場残余年数	港湾
動物性残さ	搬出先	処理プラントの平均規模	受入可能量	平均処理コスト	最終処分場残余年数	処理可能量	港湾	処理拠点数
	搬出先	処理可能量	受入可能量	処理プラントの平均規模	平均処理コスト	処理拠点数	港湾	最終処分場残余年数
ゴムくず	搬出先	処理可能量	処理プラントの平均規模	受入可能量	処理拠点数	平均処理コスト	港湾	最終処分場残余年数
	搬出先	処理可能量	処理プラントの平均規模	受入可能量	処理拠点数	最終処分場残余年数	平均処理コスト	港湾
金属くず	搬出先	処理拠点数	受入可能量	処理可能量	平均処理コスト	処理プラントの平均規模	最終処分場残余年数	港湾
	搬出先	処理拠点数	受入可能量	処理可能量	港湾	平均処理コスト	処理プラントの平均規模	最終処分場残余年数
ガラスくず、コンクリートくず 及び陶磁器くず	搬出先	受入可能量	処理拠点数	平均処理コスト	最終処分場残余年数	処理可能量	港湾	処理プラントの平均規模
	搬出先	受入可能量	処理拠点数	処理プラントの平均規模	処理可能量	平均処理コスト	最終処分場残余年数	港湾
鋳さい	搬出先	処理プラントの平均規模	処理拠点数	処理可能量	平均処理コスト	港湾	最終処分場残余年数	処理可能量
	搬出先	処理可能量	処理プラントの平均規模	受入可能量	処理拠点数	最終処分場残余年数	港湾	平均処理コスト
がれき類	搬出先	受入可能量	処理プラントの平均規模	処理可能量	最終処分場残余年数	処理拠点数	港湾	平均処理コスト
	搬出先	受入可能量	処理可能量	処理プラントの平均規模	平均処理コスト	処理拠点数	最終処分場残余年数	港湾
家畜ふん尿	搬出先	受入可能量	処理プラントの平均規模	処理可能量	最終処分場残余年数	港湾	平均処理コスト	処理拠点数
	搬出先	平均処理コスト	受入可能量	処理拠点数	処理可能量	処理プラントの平均規模	最終処分場残余年数	港湾
家畜の死体	搬出先	平均処理可能量	平均処理コスト	処理可能量	処理プラントの平均規模	処理拠点数	最終処分場残余年数	港湾
	搬出先	処理可能量	平均処理コスト	処理プラントの平均規模	受入可能量	処理拠点数	最終処分場残余年数	港湾
ばいじん	搬出先	処理プラントの平均規模	平均処理コスト	受入可能量	処理可能量	処理拠点数	港湾	最終処分場残余年数
	搬出先	処理プラントの平均規模	処理可能量	受入可能量	平均処理コスト	港湾	処理拠点数	最終処分場残余年数

### 3.2.4 廃プラスチックと廃PETボトルの比較

#### (1) 特性データの設定

中央審議会循環型社会計画部会第40回資料<sup>1)</sup>を参考に、統計データや公開情報の入手可能性を考慮して設定した。1つめは再資源化・処理施設の立地を「処理拠点数」とし、統計データより算出した。2つめは処理施設の偏在性表を「処理可能量」とし、排出量から受入量を引いて算出した。3つめは中間処理残さの処分容易性を「最終処分場の残余年数」とし、3.2.2(2)で算出した値を使用した。4つめは海運の利用容易性を「リサイクルポートの立地」とし、海に面しているか否か、海に面している場合はリサイクルポートを持っているか否かということで判断し、ダミー変数に置き換えることにより算出した。

#### (2) 要因分析の結果

数量化I類による分析結果のアイテムレンジを表3.5に、カテゴリ数量を図3.8に示す。アイテムレンジに注目してみると、廃プラスチックの受入側都道府県の処理可能量が最も大きく影響していることがわかった。また、廃プラスチック類においても廃PETボトルにおいても排出側都

道府県の処理拠点数が大きく影響を与えていることがわかった。

カテゴリ数量に注目してみると、大きく次の3つの傾向がわかった。一つ目として、廃プラスチック類の排出側都道府県に注目してみると、処理拠点数が多くなるにつれて、輸送距離は長くなる傾向にあった。二つ目として、廃プラスチック類の受入側都道府県に注目してみると、受入量が多いほど輸送距離は長くなる傾向にあり、最終処分場の残余年数が長くなるほど輸送距離は長くなる傾向にあった。最後に、廃PETボトルの受入側都道府県に注目してみると、海運の利用容易性があるにつれて、輸送距離は短くなる傾向にあった。

表 3.5 移動距離に関する要因分析の結果（数量化 I 類）

		廃プラスチック類	廃PETボトル	アイテムレンジ				カテゴリ数量			
				廃プラスチック類		廃PETボトル		廃プラスチック類		廃PETボトル	
				排出	受入	排出	受入	排出	受入	排出	受入
処理拠点数1	カテゴリ1	65ヶ所未満	2ヶ所未満	83.75	28.35	123.39	56.71	-26.28	-15.10	15.98	-17.00
処理拠点数2	カテゴリ2	65ヶ所以上120ヶ所未満	2ヶ所以上3ヶ所未満					-2.77	13.25	-60.21	22.31
処理拠点数3	カテゴリ3	120ヶ所以上200ヶ所未満	3ヶ所以上4ヶ所未満					22.28	1.56	-19.91	6.44
処理拠点数4	カテゴリ4	200ヶ所以上	4ヶ所以上					57.47	7.56	63.17	39.71
処理可能量1	カテゴリ1	-33t/日未満	-5,000t/日未満	26.05	141.06	66.32	41.85	-2.79	86.80	-19.11	7.87
処理可能量2	カテゴリ2	-33t/日以上33t/日未満	-5,000t/日以上-50t/日未満					3.59	-49.10	18.82	-21.96
処理可能量3	カテゴリ3	33t/日以上300t/日未満	-50t/日以上1,200t/日未満					23.26	-54.26	20.39	-8.65
処理可能量4	カテゴリ4	300t/日以上	1,200t/日以上					-3.92	-37.46	-1.32	-43.99
最終処分場残余年数1	カテゴリ1	4年未満		17.44	87.81	33.42	58.81	2.44	-3.38	-8.47	14.82
最終処分場残余年数2	カテゴリ2	10年未満						5.35	0.88	-0.26	6.72
最終処分場残余年数3	カテゴリ3	16年未満						-12.09	50.35	24.94	-5.52
最終処分場残余年数4	カテゴリ4	16年以上						50.32	6.29	-19.58	24.04
リサイクルポートの立地1	カテゴリ1	海に面していない		62.00	15.79	38.76	50.71	-9.38	-7.77	19.17	14.47
リサイクルポートの立地2	カテゴリ2	海に面しているが、リサイクルポートがない						-11.68	8.02	-16.57	-26.67
リサイクルポートの立地3	カテゴリ3	海に面しており、リサイクルポートがある									

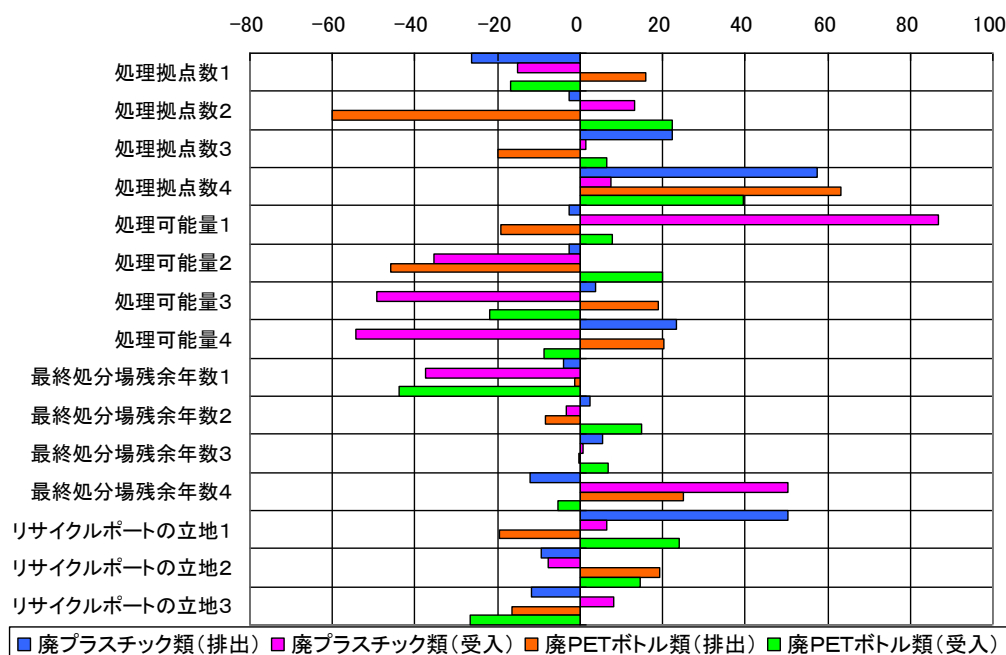


図 3.8 移動距離に関する要因分析の結果（カテゴリ数量）

### 3.3 廃棄物等の移動量に関する要因分析

#### 3.3.1 Gravity Model の概要

本章では、産業廃棄物及び廃PETボトルを対象とし、Gravity Model を用いて移動量に関する要因の分析を行う。

Gravity Model は経済規模や地理的規模を説明変数として2地域間の移動量を説明するモデルである。ニュートンの万有引力の法則に由来、移動量を説明する要因として2地域間の距離を導入できることが最大の特徴である。

### 3.3.2 産業廃棄物を対象とした分析

#### (1) 特性データの設定

被説明変数の設定については、環境省の報告書をそのまま利用して、都道府県間の輸送量として用いている。

被説明変数の設定についてであるが、産業廃棄物のみを対象とした場合については中央環境審議会循環型社会計画部会代40回資料3にある「循環・適性処理の地理的な規模に対して影響を与える要因・配慮すべき要因」<sup>1)</sup>を参考に、データや情報の入手可能性を考慮して設定した。加えて、他にも影響を与えていると思われる要因も追加している。以下に本研究で用いた重力モデルの式を示す。

$$M_{ij} = \beta C_i^{\alpha 1} C_j^{\alpha 2} S_i^{\alpha 3} S_j^{\alpha 4} T_i^{\alpha 5} T_j^{\alpha 6} D_i^{\alpha 7} D_j^{\alpha 8} O_i^{\alpha 9} O_j^{\alpha 10} R_i^{\alpha 11} R_j^{\alpha 12} d_{ij}^{\alpha 13} \quad (3.1)$$

モデル式に用いた変数を以下で説明する。

添え字  $i$  : 排出側都道府県

$j$  : 受入側都道府県

変数  $M_{ij}$  : 都道府県  $i$  から都道府県  $j$  へ輸送した廃棄物の輸送量

$C$  : 処理拠点数<sup>2)</sup>

$S$  : 処理プラントの平均規模<sup>2)</sup>

$T$  : 処理施設の年間売上高<sup>2)</sup>

$D$  : 最終処分場の残余年数

$O$  : 内陸ダミー

$R$  : リサイクルポートダミー

$d_{ij}$  : 都道府県  $i$  と都道府県  $j$  間の距離

中環審の資料に挙げられている要因である再資源化・適性処理施設の立地を「処理拠点数」で代替し、大規模化による効率性を「処理プラントの平均規模」、処理コストを「処理施設の年間売上高」とした。追加した項目の「最終処分場の残余年数」は廃棄物の中間処理残さに対する処分容易性を見るためのもので、算出方法に関しては別途記載する。「内陸ダミー」は海運の利用容易性を見るため、海に面している場合を1、面していない場合を0のダミー変数で表している。「リサイクルポートダミー」はリサイクルポートの影響を見るために導入し、リサイクルポートが都道府県内にある場合を1、ない場合を0のダミー変数で表している。なお、リサイクルポートとは広域的なリサイクル施設の立地等に対応した静脈物流の拠点となる港湾のことで、平成18年12月までに全国21港湾が指定されている<sup>4)</sup>。「距離」は輸送距離の影響をみるためのものであり、2章で算出した都道府県  $i$  と都道府県  $j$  間の距離をそのまま用いている。



## (2) 品目横断による分析結果

産業廃棄物を対象として、重力モデルを用いて分析した結果を表 3.6 に示す。ある程度説明力の高い分析結果が得られたので、ここでは全変数を利用して分析を行っている。表頭の「全種類」が品目横断による分析の結果である。分析結果から、距離が最も大きく影響を与えていることがわかる。これは、分析結果の標準偏回帰係数が負の値を示していることから、距離が長くなるにつれて輸送量に対しては負の影響を与えられていることを示している。続いて強く影響を与えているのは、受入側都道府県の処理プラントの平均規模であり、プラスの影響であった。これは処理プラントの規模が大きくなるにつれて集めてくる範囲が広がるために輸送量も多くなるということを示している。

表 3.6 産業廃棄物を対象とした移動量に関する要因の分析結果（重力モデル）

	全種類	燃え殻	汚泥	廃油	廃酸	廃アルカリ	廃プラスチック類	紙くず	木くず
処理拠点数(排出側)	0.098 (4.21) **	0.235 (2.63) **	0.129 (2.86) **	0.287 (5.05) **	0.171 (1.98) *	0.196 (2.67) **	0.144 (3.42) **	0.104 (0.94)	0.134 (2.22) *
処理拠点数(受入側)	0.079 (3.41) **	0.289 (3.12) **	0.239 (4.96) **	0.184 (3.13) **	0.401 (4.26) **	0.281 (3.27) **	0.006 (0.14)	0.004 (0.04)	0.118 (1.97) *
処理プラントの平均規模(排出側)	-0.006 (-0.32)	-0.102 (-1.24)	0.062 (1.50)	0.045 (0.94)	-0.031 (-0.40)	0.041 (0.57)	-0.040 (-1.04)	0.007 (0.07)	-0.070 (-1.23)
処理プラントの平均規模(受入側)	0.124 (6.46) **	0.261 (2.76) **	0.132 (3.08) **	0.097 (1.85)	0.074 (0.71)	0.126 (1.32)	-0.045 (-1.09)	0.104 (0.96)	0.025 (0.43)
処理施設の年間売上高(排出側)	0.043 (2.36) *	-0.045 (-0.52)	0.085 (1.81)	-0.094 (-1.53)	-0.016 (-0.22)	0.016 (0.20)	0.057 (1.37)	0.065 (0.61)	0.031 (0.52)
処理施設の年間売上高(受入側)	-0.057 (-3.10) **	-0.044 (-0.48)	-0.143 (-3.20) **	-0.042 (-0.73)	-0.135 (-1.35)	-0.110 (-1.14)	-0.072 (-1.64)	-0.025 (-0.25)	-0.104 (-1.79)
最終処分場残余年数(排出側)	0.003 (0.13)	0.183 (1.72)	-0.016 (-0.36)	-0.042 (-0.79)	0.059 (0.70)	0.058 (0.76)	-0.112 (-2.42) *	-0.028 (-0.24)	-0.016 (-0.24)
最終処分場残余年数(受入側)	-0.009 (-0.48)	0.138 (1.02)	-0.084 (-1.94)	0.175 (3.37) **	-0.005 (-0.05)	0.058 (0.68)	-0.018 (-0.41)	-0.025 (-0.22)	0.014 (0.23)
内陸ダミー(排出側)	0.019 (3.21) **	-0.259 (0.68)	0.020 (-0.16)	-0.011 (-1.83)	-0.059 (-0.60)	-0.033 (-0.03)	0.126 (0.48)	0.132 (0.60)	0.024 (0.92)
内陸ダミー(受入側)	0.019 (0.96)	-0.259 (-1.72)	0.020 (0.45)	-0.011 (-0.17)	-0.059 (-0.61)	-0.033 (-0.36)	0.126 (2.89) **	0.132 (1.05)	0.024 (0.38)
リサイクルポートダミー(排出側)	0.035 (1.91)	-0.026 (-0.28)	0.045 (0.98)	0.026 (0.45)	0.073 (0.98)	-0.009 (-0.13)	0.063 (1.39)	0.066 (0.55)	0.029 (0.44)
リサイクルポートダミー(受入側)	0.055 (3.18) **	0.050 (0.48)	0.065 (1.46)	0.093 (1.63)	0.035 (0.49)	0.032 (0.44)	-0.003 (-0.08)	0.044 (0.40)	0.026 (0.44)
距離	-0.484 (-30.83) **	-0.535 (-5.83) **	-0.680 (-16.90) **	-0.718 (-14.89) **	-0.599 (-8.54) **	-0.577 (-8.68) **	-0.601 (-14.98) **	-0.555 (-5.97) **	-0.651 (-12.16) **

	繊維くず	動物性残さ	ゴムくず	金属くず	ガラスくず、 コンクリートくず 及び陶磁器類	鋳さい	がれき類	ばいじん
処理拠点数(排出側)	-0.268 (-0.90)	0.126 (1.11)	-1.316 (-1.19)	0.126 (1.47)	0.128 (2.10) *	0.389 (4.93) **	0.130 (2.55) *	0.362 (4.08) **
処理拠点数(受入側)	0.512 (1.60)	0.230 (1.97)	1.319 (1.08)	-0.044 (-0.48)	0.151 (2.57) *	0.300 (3.31) **	0.148 (2.83) **	0.498 (4.64) **
処理プラントの平均規模(排出側)	0.257 (0.62)	0.054 (0.43)	-0.285 (-0.42)	0.028 (0.40)	-0.102 (-1.87)	-0.129 (-1.52)	-0.107 (-2.14) *	0.062 (0.53)
処理プラントの平均規模(受入側)	-0.257 (-0.62)	-0.074 (-0.62)	-0.350 (-0.30)	0.066 (0.87)	0.080 (1.52)	0.318 (3.24) **	0.075 (1.48)	-0.238 (-1.90)
処理施設の年間売上高(排出側)	-0.394 (-0.83)	-0.128 (-1.02)	0.762 (0.92)	0.038 (0.53)	0.036 (0.54)	-0.030 (-0.32)	-0.033 (-0.63)	-0.017 (-0.12)
処理施設の年間売上高(受入側)	0.325 (0.66)	0.125 (1.01)	-1.038 (-1.76)	-0.154 (-2.18) *	-0.162 (-2.83) **	-0.161 (-1.60)	0.006 (0.10)	-0.014 (-0.11)
最終処分場残余年数(排出側)	-0.239 (-0.88)	0.013 (0.11)	-1.312 (-0.86)	0.007 (0.09)	-0.063 (-0.93)	0.064 (0.56)	-0.109 (-1.87)	-0.137 (-0.96)
最終処分場残余年数(受入側)	0.117 (0.40)	0.278 (2.25) *	1.353 (0.93)	0.061 (0.78)	-0.166 (-2.82) **	0.061 (0.46)	0.033 (0.55)	0.136 (1.03)
内陸ダミー(排出側)	0.000 (0.14)	-0.117 (0.12)	-1.127 (0.55)	0.017 (0.37)	0.031 (1.86)	-0.172 (-0.31)	-0.047 (2.28) *	-0.325 (2.23) *
内陸ダミー(受入側)	0.000 (0.00)	-0.117 (-0.91)	-1.127 (-0.99)	0.017 (0.20)	0.031 (0.49)	-0.172 (-1.12)	-0.047 (-0.84)	-0.325 (-2.38) *
リサイクルポートダミー(排出側)	0.434 (1.54)	0.010 (0.10)	-0.587 (-0.85)	0.026 (0.34)	0.054 (0.93)	-0.016 (-0.17)	-0.027 (-0.49)	-0.271 (-2.72) **
リサイクルポートダミー(受入側)	-0.200 (-0.72)	0.034 (0.34)	1.060 (1.51)	0.123 (1.61)	-0.042 (-0.74)	0.014 (0.15)	-0.023 (-0.43)	0.047 (0.44)
距離	-0.359 (-2.13) *	-0.545 (-6.28) **	0.413 (0.52)	-0.611 (-9.47) **	-0.662 (-13.18) **	-0.719 (-7.98) **	-0.754 (-15.75) **	-0.399 (-4.24) **

\*\* 1%有意、\* 5%有意  
上段：標準偏回帰係数  
下段：T値

### (3) 品目別データによる分析結果

表 3.6には同時に品目別の分析結果も記載している。家畜のふん尿及び家畜の死体に関しては、データ数が少なかったため、計算を行うことができなかった。分析結果から、ゴムくず以外の品目において距離の影響が大きいことがわかった。しかし、燃え殻、廃酸、廃アルカリ、紙くず、繊維くず、動物性残さ、金属くず、鋳さい、ばいじんに関しては他の品目に比べると距離の影響は小さいことがわかった。全体的な傾向として、処理拠点数は多くの品目において影響を与えていることがわかったが、内陸ダミーやリサイクルポートダミーはあまり影響を与えていないことがわかった。

### 3.3.3 産業廃棄物および廃 PET ボトルを対象とした分析

#### (1) 特性データの設定

被説明変数の設定については、環境省の報告書及び日本容器包装リサイクル協会の結果をそのまま利用して、都道府県間の輸送量として用いている。

産業廃棄物及び廃 PET ボトルを対象とした場合について、用いた重力モデルの式を以下に示す。

$$M_{ij} = \beta N_i^{\alpha 1} N_j^{\alpha 2} G_i^{\alpha 3} G_j^{\alpha 4} W_i^{\alpha 5} W_j^{\alpha 6} Y_i^{\alpha 7} Y_j^{\alpha 8} K_j^{\alpha 9} d_{ij}^{\alpha 10} B_{ij}^{\alpha 11} \quad (3.2)$$

モデル式に用いた変数の説明を以下に示す。

添え字  $i$  : 排出側都道府県  
 $j$  : 受入側都道府県

変数  $M_{ij}$  : 都道府県  $i$  から都道府県  $j$  へ輸送した廃棄物の輸送量

$N$  : 人口<sup>5)</sup>

$G$  : 県内総生産<sup>6)</sup>

$W$  : 最終処分場の残余年数

$Y$  : 製造品出荷額 (合計)<sup>7)</sup>

$K$  : 製造品出荷額 (窯業・土石製品製造業)<sup>7)</sup>

$d_{ij}$  : 都道府県  $i$  と都道府県  $j$  間の距離

$B_{ij}$  : 都道府県境ダミー

説明変数の「人口」は人口が廃棄物の移動に与える影響をみるために導入し、「県内総生産」と「製造品出荷額 (合計)」は都道府県の経済規模が廃棄物の移動に与える影響をみるため、「最終処分場の残余年数」は中間処理残さの処分容易性をみるため、「製造品出荷額 (窯業・土石製品製造業)」は廃棄物のセメント原料等への再利用の影響をみるため、「距離」は輸送距離の影響をみるため、「都道府県境ダミー」は都道府県間の隣接が廃棄物の移動に影響を与えるかどうかを見るために、隣接している場合を 1、隣接していない場合を 0 のダミー変数として導入した。

## (2) 品目横断による分析結果

産業廃棄物及び廃 PET ボトルを対象として、重力モデルを用いて分析した結果を図表 4-2 に示す。ここでは、全変数を使用すると説明力の高い分析結果を示すことができなかつたため、重回帰分析を行う際に変数増減法を使用し、その際 F 値を 1.0 と設定して変数選択を行っている。表頭の「全種類」が品目横断による分析の結果である。産業廃棄物のみを対象とした場合と同様に、距離が負の値であり、かつ最も大きな影響を与えていることがわかつた。次に影響を与えているのは、都道府県境ダミーであり、負の値を示していることから、都道府県間が隣接していない場合、輸送量は減る傾向にあることがわかつた。

## (3) 品目別データを用いた分析結果

表 3.7 には、同時に品目別の分析結果も掲載している。分析結果から、産業廃棄物のみを対象とした場合と同様に、距離が大きく影響していることがわかつた。また、物質の性状が似ている産業廃棄物の廃プラスチック類と一般廃棄物の廃 PET ボトル類の輸送距離の影響に着目してみると、廃 PET ボトルの方が影響は小さいことがわかつた。これは、廃 PET ボトルの処理拠点が入札により決まっているため、このような差になっているのではないかと推測される。製造品出荷額（窯業・土石製品製造業）に関してしてみると、セメント工業における廃棄物のリサイクル減量・燃料として使用される燃え殻や汚泥などで輸送距離に大きく影響を与える要因として示された。

### 3.3.4 再商品化手法の違いに関する分析

#### (1) 特性データの設定

被説明変数の設定については、日本容器包装リサイクル協会の結果をそのまま利用して、都道府県間の輸送量として用いている。

プラスチック製容器包装の再商品化手法を対象とした場合に用いた重力モデルの式を以下に説明する。

$$M_{ij} = \beta P_i^{\alpha 1} N_j^{\alpha 2} S_j^{\alpha 3} O_i^{\alpha 4} O_i^{\alpha 5} d_{ij}^{\alpha 6} \quad (3.3)$$

モデルに使用した変数に説明する。

添え字  $i$  : 排出側都道府県

$j$  : 受入側都道府県

変数  $M_{ij}$  : 都道府県  $i$  から都道府県  $j$  へ輸送した廃棄物の輸送量

$P$  : 落札単価

$N$  : 人口<sup>5)</sup>

$S$  : 処理プラントの規模

$O$  : 海に面しているか否か

$d$  : 距離

表 3.7 産業廃棄物および廃 PET ボトルを対象とした移動量に関する要因分析の結果

	全種類	全種類 + 廃PET	燃え殻	汚泥	廃油	廃酸	廃アルカリ
人口(排出側都道府県)	0.104 (3.81) **	0.087 (3.17) **		0.258 (6.47) **			-0.368 (-1.20)
人口(受入側都道府県)	0.355 (4.54) **	0.316 (3.92) **		0.743 (3.75) **	0.407 (1.57)	0.906 (2.93) **	0.291 (2.75) **
県内総生産(排出側都道府県)						0.195 (1.80)	0.490 (1.61)
県内総生産(受入側都道府県)	-0.330 (-4.03) **	-0.249 (-3.01) **		-0.661 (-3.19) **	-0.325 (-1.26)		-0.710 (-2.29) *
最終処分場残余年数(排出側都道府県)	0.066 (4.08) **	0.055 (3.30) **	0.213 (3.20) **	0.066 (1.64)			0.109 (0.08)
最終処分場残余年数(受入側都道府県)		0.028 (1.69)	-0.098 (-1.43)		0.188 (3.66) **		0.084 (1.35)
製造品出荷額(合計)(排出側都道府県)	0.030 (1.11)	0.041 (1.49)			0.227 (4.56) **	-0.125 (-1.15)	0.119 (1.10)
製造品出荷額(合計)(受入側都道府県)	-0.079 (-2.16) *	-0.113 (-3.09) **	-0.325 (-2.34) *	-0.168 (-1.9171)			-0.355 (-2.60) *
製造品出荷額(窯業・土石製品製造業)(受入側都道府県)	0.063 (2.23) *	0.053 (1.86)	0.401 (2.97) **	0.227 (3.29) **	0.076 (1.13)		0.181 (1.66)
距離	-0.470 (-30.67) **	-0.433 (-28.16) **	-3.108 (-4.54) **	-0.618 (-15.39) **	-0.631 (-12.62) **	-0.466 (-7.97) **	-0.492 (-8.59) **
都道府県境ダミー	-0.184 (-12.14) **	-0.153 (-10.07) **	-0.186 (-2.83) **	-0.109 (-2.72) **	-0.088 (-1.80)	-0.167 (-2.88) **	-0.180 (-3.14) **

	廃プラスチック類	紙くず	木くず	繊維くず	動物性残さ	ゴムくず	金属くず
人口(排出側都道府県)	0.438 (2.42) *			0.230 (1.35)	0.745 (2.14) *		0.117 (1.78)
人口(受入側都道府県)		0.248 (3.25) **		0.342 (2.09) *		2.281 (1.85)	
県内総生産(排出側都道府県)	-0.227 (-1.27)	0.213 (1.96)	0.188 (2.20) *		-0.476 (-1.44)		
県内総生産(受入側都道府県)					-0.487 (-3.53) **	-1.741 (-1.38)	
最終処分場残余年数(排出側都道府県)	-0.046 (-1.13)	0.071 (1.03)			0.133 (1.71)		0.066 (1.04)
最終処分場残余年数(受入側都道府県)			0.053 (1.07)		0.085 (1.15)		
製造品出荷額(合計)(排出側都道府県)		-0.139 (-1.27)	-0.108 (-1.27)		-0.168 (-1.14)	-0.689 (-2.70) *	
製造品出荷額(合計)(受入側都道府県)					0.366 (1.98) *		
製造品出荷額(窯業・土石製品製造業)(受入側都道府県)	-0.066 (-1.83)				0.176 (1.38)		-0.111 (-1.88)
距離	-0.652 (-16.21) **	-0.617 (-9.10) **	-0.642 (-13.12) **	-0.401 (-3.74) **	-0.526 (-7.57) **		-0.629 (-11.02) **
都道府県境ダミー	-0.183 (-4.56) **	-0.602 (-9.08) **	-0.295 (-5.96) **	-0.495 (-4.35) **	-0.347 (-5.26) **		-0.372 (-6.64) **

	ガラスくず、 コンクリートくず 及び陶磁器類	鋳さい	がれき類	家畜ふん尿	家畜の死体	ばいじん	廃PETボトル
人口(排出側都道府県)	0.658 (2.73) **						-0.657 (-1.57)
人口(受入側都道府県)	-0.159 (-1.79)	0.836 (2.36) *				0.419 (1.14)	
県内総生産(排出側都道府県)	-0.346 (-1.53)	-0.152 (-1.29)	0.315 (4.36) **				0.982 (2.07) *
県内総生産(受入側都道府県)		-0.754 (-2.15) *				-0.644 (-1.75)	
最終処分場残余年数(排出側都道府県)	0.059 (1.10)	0.135 (1.88)	0.051 (1.16)	0.217 (1.52)		0.297 (4.48) **	-0.161 (-1.94)
最終処分場残余年数(受入側都道府県)	-0.122 (-2.37) *	0.077 (1.10)			0.428 (1.64)	-0.164 (-2.53) *	
製造品出荷額(合計)(排出側都道府県)	-0.167 (-2.09) *	0.417 (3.70) **	-0.213 (-3.10) **			0.092 (1.37)	-0.429 (-2.80) **
製造品出荷額(合計)(受入側都道府県)	0.191 (2.11) *			-0.223 (-1.56)			
製造品出荷額(窯業・土石製品製造業)(受入側都道府県)							0.280 (3.71) **
距離	-0.690 (-14.09) **	-0.432 (-6.37) **	-0.746 (-17.39) **			-0.233 (-3.47) **	-0.352 (-4.87) **
都道府県境ダミー	-0.290 (-6.04) **	-0.086 (-1.29)	-0.304 (-7.15) **	-0.238 (-1.75)		-0.119 (-1.80)	

\*\* 1%有意、 \* 5%有意  
 上段:標準回帰係数  
 下段:T値

説明変数の「落札単価」は落札単価が輸送量に与えている影響をみるために導入し、「人口」は人口の規模が廃棄物の移動に与えている影響をみるために、「処理プラントの規模」は大規模化による効率性をみるために、「海に面しているか否か」は海運の利用容易性を見るために、「距離」は輸送距離の影響をみるために導入した。さらに、「海に面しているか否か」についてはダミー変数を用い、海に面している場合を1、海に面していない場合を0として用いた。なお、本分析で

は、市町村レベルで解析を行っている。しかしながら、輸送距離のデータに関しては排出側市区町村が属している都道府県と受入施設が存在する都道府県の距離を採用している。距離のデータは自動車輸送距離を用いた。

## (2) 分析結果

分析結果を表 3.8 に示す。マテリアルリサイクルもケミカルリサイクルも、排出側市区町村の人口が増加するにつれて輸送量も増加する傾向が示された。マテリアルリサイクルとケミカルリサイクルで明確な違いが表れたのは落札単価の影響である。落札単価が上昇すると、マテリアルリサイクルでは輸送量に正の影響、ケミカルリサイクルでは負の影響があるという結果となった。日本容器包装リサイクル協会の公開資料<sup>8)</sup>によると、平成 22 年度の再生処理事業者による落札単価（加重平均）は、材料リサイクル（白色トレイ以外）が 74,498 円、ケミカルリサイクルが 38,646 円という結果である。このようにマテリアルリサイクルとケミカルリサイクルでは大きな価格差があり、この結果が大きく影響を与えていると考えられる。距離の影響が全く現れていないのは、市町村が保管している指定保管施設から再商品化事業者のリサイクル工場へ運ぶのに必要な経費は再商品化経費として指定法人から再商品化事業者へ支払われるため、距離の影響は少ないのではないかと推測される。

表 3.8 再商品化手法の違いに関する要因分析の結果

	マテリアル	ケミカル
落札価格(円/トン)	0.10 ( 3.45 ) **	-0.25 ( -4.96 ) **
排出側市区町村人口(人)	0.74 ( 25.06 ) **	0.62 ( 12.70 ) **
処理プラントの規模(t/年)	0.06 ( 1.89 )	
海に面しているか否か(排出市区町村) ダミー変数(1:面している,0:面していない)		0.06 ( 1.52 )
海に面しているか否か(処理施設) ダミー変数(1:面している,0:面していない)		-0.08 ( -2.04 ) *
距離(km)		
決定係数	0.56	0.60
重相関係数	0.75	0.77

\*\* 1%有意、\* 5%有意

上段:標準偏回帰係数

下段:T値

## 3.4 本章のまとめ

本章では、2章の輸送問題で用いた制約条件（発生量、受入可能量）以外に、廃棄物等の移動距離に影響を与えている要因を数量化理論 I 類を用いて、移動量に影響を与えている要因を重力モデルを用いて、定量的に分析を行った。

移動距離に影響を与える要因を分析した結果、産業廃棄物に対しては、産業廃棄物処理施設の偏在性や処理プラントの平均規模が移動距離に大きく影響を与えていることを示した。似た性質の品目である廃プラスチックと廃 PET ボトルでは、移動距離の影響は廃 PET ボトルの方が小さいことを示した。

移動量に影響を与えている要因を分析した結果、産業廃棄物に対しては、輸送距離が大きく影

響を与えており、次いで受入側都道府県の処理プラントの平均規模が影響を与えていることを示した。また、産業廃棄物及び廃 PET ボトルを対象に分析した結果、移動量には移動距離が大きく影響を与えており、次いで移動する都道府県間が隣接しているか否かが大きく影響を与えていることを示した。プラスチック製容器包装の再商品化手法の違いに着目して分析した結果、再商品化手法に関わらず排出側市区町村の人口が増加すると、輸送量には正の影響があることを示した。また、落札単価はマテリアルリサイクルでは正、ケミカルリサイクルでは負の影響を与えていることを示した。

これまで、廃棄物等の移動に影響を与えている要因を定量的に分析した研究はほとんどないのが現状である。本章では、廃棄物等の移動に影響を与えている要因を定量的に示し、今後、廃棄物等の望ましい空間スケールを検討する際の判断材料の一つを示した。

## 参考文献

- 1) 環境省：中央環境審議会循環型社会計画部会，第 40 回，資料 3
- 2) 日報アイ・ビー編：2005 全国産廃処分業中間処理・最終処分企業 名覧・名鑑，日報企画販売，2005
- 3) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部：平成 16 年度事業 産業廃棄物行政組織等調査報告書，平成 15 年度実績
- 4) 国土交通省：リサイクルポート（総合静脈物流拠点港）
- 5) 総務省統計局・政策統括官・統計研修所：統計でみる都道府県のすがた 2009
- 6) 内閣府経済社会総合研究所：平成 17 年度県民経済計算年報，平成 20 年版，2008
- 7) 経済産業省経済産業政策局調査統計部：平成 18 年度工業統計表 市区町村編
- 8) 日本容器包装リサイクル協会 HP

## 4章 犠牲量モデルを用いた輸送距離最適化モデルの改善

### 4.1 序論

本章では、現状の輸送パターンを表現できるモデルの構築を行うことを目的とする。具体的には、2章で示した輸送距離最適化モデルに、時間価値の概念を導入した犠牲量モデルの構築を行う。モデルの妥当性については、総費用最小化計算を行うことで、確認を行う。

### 4.2 モデルの概要と定式化

犠牲量モデル<sup>1)</sup>とは、選択する交通手段のうち利用者が失う損失が少ないほうを選択するだろうと仮定し、交通手段の損失量を求め、その選択を予測するものである。

以下に本研究で用いた式と変数を説明する。

$$\text{Minimize } C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ijk} l_{ijk} c_k + \gamma_{ijk}) + \sum_{i=1}^n w_{ijk} l'_i + \sum_{j=1}^n (w_{ijk} l''_j + w_{ij} d_n) \quad (4.1)$$

$$\text{Subject to } W_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (4.2)$$

$$W_j \geq \sum_{i=1}^n w_{ij} \quad (4.3)$$

添え字  $i$  : 排出側都道府県

$j$  : 受入側都道府県

$k$  : 輸送機関 (自動車輸送、鉄道輸送、海上輸送)

$n$  : 地域ブロック (北海道、東北、関東、中部、近畿、中国・四国、九州)

変数  $C$  : 総コスト

$w_{ijk}$  : 都道府県  $i$  から都道府県  $j$  へ輸送機関  $k$  で運んだときの輸送量

$l_{ijk}$  : 都道府県  $i$  から都道府県  $j$  へ輸送機関  $k$  で運んだときの輸送距離

$c_k$  : 輸送機関  $k$  の輸送単価

$\gamma$  : 時間価値原単位

$t_{ijk}$  : 都道府県  $i$  から都道府県  $j$  へ輸送機関  $k$  で運んだときの輸送時間

$l'_i$  : 鉄道輸送又は海上輸送を行う場合に、発生場所から駅又は港までの距離

$l''_j$  : 駅又は港から中間処理及び最終処分場までの距離

その距離はそれぞれ各都道府県において都道府県内輸送距離と同様の値を使用

$d$  : 中間処理及び最終処分単価

### 4.3 時間価値原単位概念と算出

時間価値原単位とは、自動車1台の走行時間が1分短縮された場合におけるその時間の価値(機会費用)を貨幣評価したものである。廃棄物の時間価値に関しては、時間経過とともに価値が低下する生鮮食料品などとは異なるが、時間経過とともに費用が上昇するという考え方をもとに概念の導入を行った。対象区間に3つの輸送機関がある場合の各輸送機関の犠牲量、時間価値分布、各輸送機関の選択確率を示した犠牲量モデルの概念図を図4.6に示す。なお、時間価値原単位の算出に当たっては、各輸送機関の所要時間、費用と時間価値のみを対象に算出を行った。時間価値の算出方法であるが、正規分布などに比べ精度の高い推計が期待されることから対数正規分布を用いた。平均を $\mu$ 、標準偏差を $\sigma$ とおくと、対数正規分布の確率密度関数 $f(x)$ は下記のようになる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (4.4)$$

確率 $x$ までの累積密度関数を $P$ とすると、

$$P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (4.5)$$

さらに、 $s = \frac{\ln x - \mu}{\sigma}$ とおき、 $\Phi$ を標準正規累積分布関数とおくと、

$$\begin{aligned} P(X \leq x) &= \int_{-\infty}^{\frac{\ln x - \mu}{\sigma}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \exp\left[-\frac{1}{2}s^2\right] \sigma x \cdot ds \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{\ln x - \mu}{\sigma}} e^{-\frac{1}{2}s^2} ds \\ &= \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\Phi^{-1}(P(X \leq x)) = \frac{\ln x - \mu}{\sigma} \quad (4.7)$$

式(4.7)の関係を利用して、輸送機関の選択確率の実績値と、複数の選択肢の時間価値の境界値の実績値を用いて、最小二乗法を適用してパラメーターを求める。

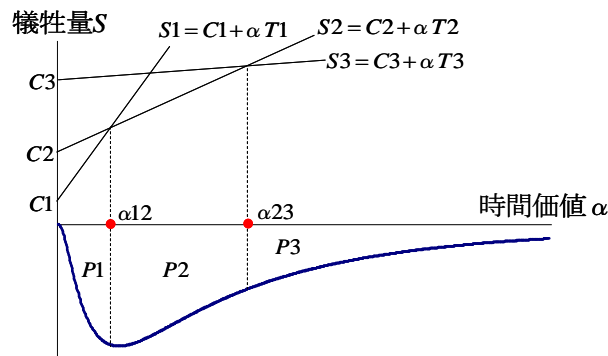


図 4.6 犠牲量モデルの概念図

以上の推計方法を利用して、第8回物流センサス<sup>2)</sup>を用いて算出を試みたが、説明変数が少なかつたため算出できなかった。そのため、今回は第7回物流センサスデータ<sup>3)</sup>を用いて算出を行



った。廃棄物等を含んでいる特殊品のデータを対象に、自動車輸送、鉄道輸送、海上輸送を対象に算出を行ったところ、16.94 円/h であることがわかった

#### 4.4 分析結果

犠牲量モデルを用いて費用最小化計算を行った結果を図 4.7 に示す。全ての品目において最適化ケースの方が一般化費用は小さくなることがわかった。また、現状と最適化ケースの乖離を見ると、大きいものでもばいじんの約 4.5%で、残りのほとんどが 1%以下と乖離が小さいことを示した。

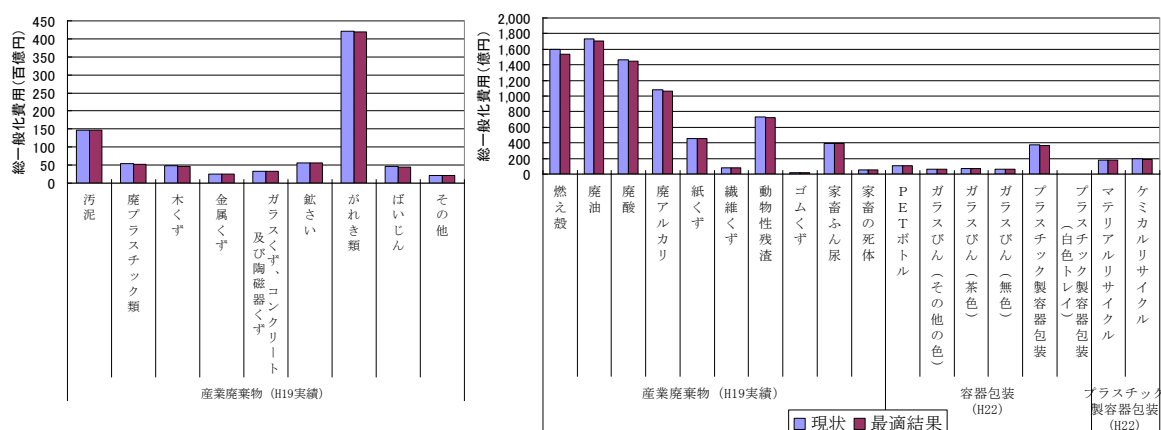


図 4.7 犠牲量モデルによる費用最小化の計算結果

#### 4.5 本章のまとめ

本章では、2章で示した輸送距離最適化モデルに、時間価値の概念を導入した犠牲量モデルの構築を行った。物流センサスのデータを用いて、時間価値原単位を算出した結果、16.94 円/h であることがわかった。この算出結果を用いて、輸送費用最小化計算を行った結果、現状と最適化ケースの乖離が小さくなることを示すことができたため、初期の目的である現状を表現できるモデルを構築できたものと考えられる。

構築した犠牲量モデルの各種パラメータの感度分析を行うことにより、輸送単価、時間価値原単位、炭素税などの望ましい値を検討することが可能となった。

#### 参考文献

- 1) 井山繁・渡部富博：犠牲量モデルを用いてコンテナ貨物の時間価値に関する一考察，国土技術政策総合研究資料，No.589，2010
- 2) 国土交通省：第8回全国貨物純流動調査報告書（物流センサス），2007
- 3) 国土交通省：第7回全国貨物純流動調査報告書（物流センサス），2000

## 5章 地域特性および品目特性を考慮した最適空間規模導出モデル

### 5.1 概説

望ましい地域循環圏を検討するためには、循環資源の品目特性、地域特性に応じた最適な空間スケールを導出するための理論を構築する必要がある。

本章では、空間スケールは循環資源が発生する際の発生密度、収集運搬工程の積載率、中間処理施設のスケールファクターによって決まると想定し、これらを支配パラメータとした最適空間規模導出モデルを構築することを目的とする。なお、感度分析を行うことにより、支配パラメータと空間スケールの関係を把握し、モデルの検証とシミュレーションを通してモデルの有用性を確認する。

本章の構成を図 5.1 に示す。

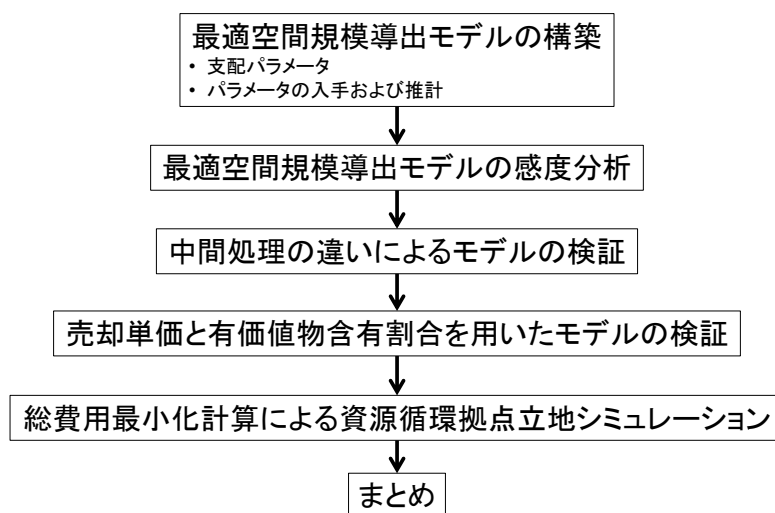


図 5.1 5章の構成

### 5.2 最適空間規模導出モデルの構築

#### 5.2.1 支配パラメータ

##### (1) 発生密度

発生密度は動脈産業と静脈産業の大きな違いの一つである。動脈産業では工場で製品が製造されるため、特定の限られた場所から、ある程度まとまった量で発生する。しかし、静脈産業では、産業廃棄物などのある程度限定的な場所からある程度まとまった量で発生するものもあるが、一般廃棄物のように広い地域に分散し、1 ヶ所あたりの発生量も少ない品目もある。広く薄く分布していることにより、それらを収集する際の手間がかかり、収集運搬費用が増加するという傾向にある。

##### (2) 輸送効率

輸送効率に影響する要因として、積載率、空隙率、含水率、腐敗および悪臭など様々なものが挙げられる。積載率は輸送車の最大積載量に対し、実際に積載した量の割合のことであり、積載率が高いほど輸送効率を高めることができる。空隙率は輸送車の積載部分の総体積に占める空隙

部分の割合のことであり、空隙率が高いほど輸送効率は低くなる。含水率は輸送品目に含まれる水分の割合であり、含水率が高いほど輸送効率は低くなる。腐敗や悪臭のするものは、輸送段階において周囲へ悪影響を及ぼす恐れがあるため、長距離輸送には向かないという傾向がある。仮に、しっかりとした密閉や特殊車両などを使用する輸送方法も考えられるが、特殊な対策をとるために輸送費用が上昇し、結果的に長距離輸送には向かない傾向にある。

### (3) スケールファクター

動脈産業において、一般的に生産費用は生産量に関係のない固定費と生産量に比例する変動費に分けられる。規模の経済とは、生産量の増加に伴い、一単位あたりの固定費が低減されることである。スケールファクターはこの規模の経済が働くときの割合のことであり、施設  $a$  の設備規模を  $S_a$ 、施設  $a$  の建設費を  $C_a$ 、施設  $b$  の設備規模を  $S_b$ 、施設  $b$  の建設費  $C_b$  を、スケールファクターを  $\alpha$  とおくと、以下のような関係式となる。

$$C_b = \frac{C_a}{\left(\frac{S_a}{S_b}\right)^\alpha} \quad (5.1)$$

装置産業において、スケールファクターは一般的に 0.6 乗を用いられることが多いが、施設に導入されている機器や手法、製造品目によっても異なるため、規模の経済を厳密に反映させた解析を行うためには、個別のデータを用いる必要がある。また、規模の経済は資本集約的な産業では働きやすく、労働生産的な産業では働きにくいという傾向がある。静脈分野においては、手選別などを行う施設で、施設規模が拡大したからといって手選別のようなプロセスがなくなるわけではないため、規模の経済は働きにくい傾向にある。

装置産業において、スケールファクターは一般的に 0.6 乗を用いられることが多いが、施設に導入されている機器や手法、製造品目によっても異なるため、規模の経済を厳密に反映させた解析を行うためには、個別のデータを用いる必要がある。また、規模の経済は資本集約的な産業では働きやすく、労働生産的な産業では働きにくいという傾向がある。静脈分野においては、手選別などを行う施設で、施設規模が拡大したからといって手選別のようなプロセスがなくなるわけではないため、規模の経済は働きにくい傾向にある。

式 5.1 に  $C_a = 1$ 、 $S_a = 1$  を代入し、スケールファクター 0.2、0.5、0.7 と設定し、施設規模  $S_b$  を変化させたときの変化を図 5.2 に示す。図 5.2 から分かるように、スケールファクターが小さいほど、規模の経済が働き、スケールファクターが大きいほど、規模の経済が働かない傾向にある。

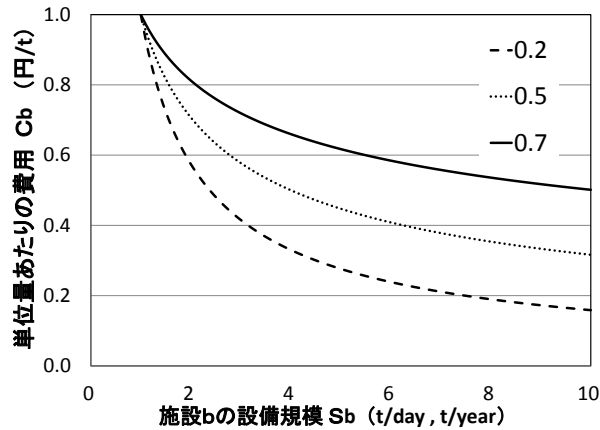


図 5.2 スケールファクターの影響

### 5.2.2 パラメータの入手方法および推計方法

本研究では、実態に則した解析を行うため、2つの方法でパラメータの入手を行った。1つめは、福岡県の産業廃棄物処理事業者を主な対象としたアンケート調査およびヒアリング調査である。2つめは、福岡県の廃棄物流通実態調査報告書データを用いた推計である。以下にその詳細を示す。

#### (1) アンケート調査・ヒアリング調査によるパラメータの入手および推計

##### a) アンケート調査・ヒアリング調査の概要

本アンケート調査では、「福岡県産業廃棄物処理協会の会員企業」及び「福岡県が優良産廃処理業者の認定をしている企業」に対し、収集運搬のみを行っている企業には収集運搬に関するアンケートのみ、中間処理のみを行っている企業には中間処理に関するアンケートのみ、収集運搬も中間処理も行っている企業には、両方のアンケートを送付した。調査期間は、平成24年6月20日から平成24年7月13日である。アンケートの送付数、回収数および回収率は表5.1に、アンケートの主な内容については表5.2に示す。なお、対象品目は金属、古紙、廃プラスチック、建設系、化学系、その他である。

表 5.1 アンケートの送付・回収実績

		中間処理業 のみの企業	収集運搬業 のみの企業	中間処理・収集運搬 兼業の企業	計
配布 状況	福岡県産業廃棄物協会会員企業	32	215	185	432
	福岡県の産業廃棄物処理業者名簿で、 事務所の所在地が県外の優良企業様	0	10	1	11
	計	32	225	186	443
回収 状況	回収数	7	37	24	68
	回収率	21.9%	16.4%	12.9%	15.3%

表 5.2 主なアンケート内容

収集運搬に関する調査票	①事業所の概要、②経営状況について、③大量輸送機関の利用状況について、④収集運搬車輛について
中間処理に関する調査票	①事業所の概要、②受入先（搬入元）・売却先の状況について、③事業規模について、④施設の概要、⑤データの対象期間、⑥廃棄物・循環資源の受入状況、⑦その他の原材料、⑧施設稼働に伴うユーティリティ、⑨有償売却品目の状況、⑩処理残渣の処分状況

ヒアリング調査については、主にアンケートを回答して頂いた企業を中心に、内容の確認及び未回答部分について追加のヒアリングを実施した。

b) 調査データを用いたスケールファクターの推計

アンケート調査およびヒアリング調査データを用いて、スケールファクターを推計する。

まず、推計に使用するデータは正規分布を仮定し、スミルノフ・グラブス検定を行い、外れ値は除外した。なお、廃プラと建設系以外のデータに関してはサンプル数が少なく、近似した推計式を導出することができなかった。

建設費のスケールファクターを推計した結果を表 5.3 に、散布図を図 5.3～5.5 に、近似した推計式と決定係数を以下に示す。

$$\text{全サンプル} \quad y = 34.152x^{0.5458} \quad R^2 = 0.4658 \quad (5.2)$$

$$\text{廃プラ} \quad y = 133.07x^{0.3825} \quad R^2 = 0.6881 \quad (5.3)$$

$$\text{建設系} \quad y = 157.73x^{0.3819} \quad R^2 = 0.3915 \quad (5.4)$$

表 5.3 スケールファクターの推計結果

	スケールファクター	サンプル数
全サンプル	0.55	16
廃プラ	0.38	3
建設系	0.38	7

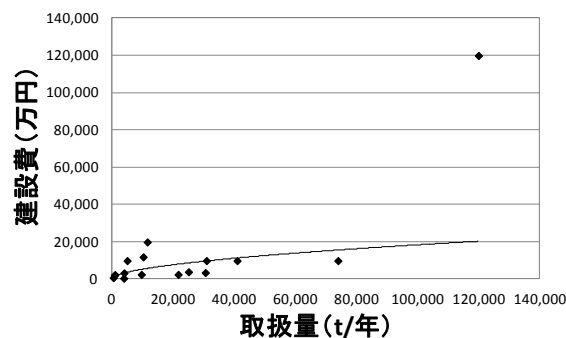


図 5.3 スケールファクターの推計結果（全サンプル）

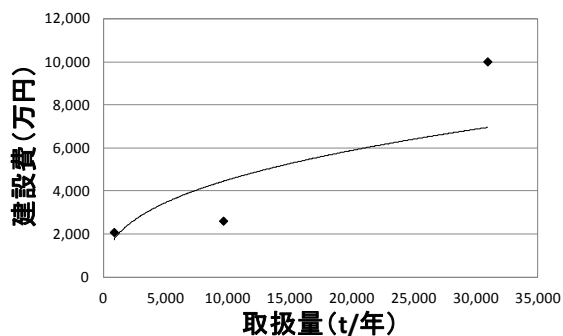


図 5.4 スケールファクターの推計結果  
(廃プラ)

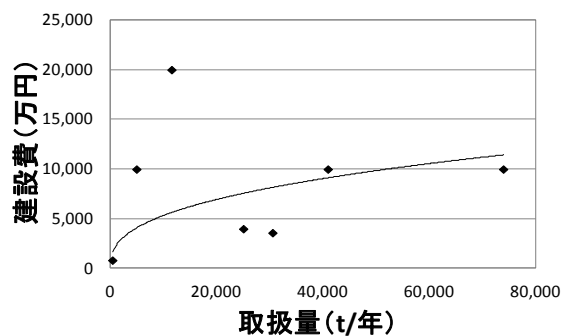


図 5.5 スケールファクターの推計結果  
(建設系)

## (2) 廃棄物の流通実態データを用いたスケールファクターの推計

### a) 推計方法

推計フローを図 5.6 に示す。報告書に記載されている施設を対象に、各施設の総費用（処理費用と輸送費用の合計）を推計する。輸送費用については、排出事業者と再資源化施設の緯度経度データをもとに輸送距離を推計した。処理量については、この報告書に記載されているデータは施設が処理した全量ではないため、全国産廃処分業<sup>1)</sup> または各施設のホームページよりデータを入手した。また、輸送費用および処理費用については、独自に実施したアンケート調査およびヒアリング調査のデータを用いた。処理費用においてはスケールファクターを変数とし、スケールファクターを 0.01 から 0.99 まで 0.01 刻みで変化させることで、各施設の総費用を推計し、これを用いて域内合計値を算出した。結果で示すスケールファクターは域内合計値が最小となる場合の値であり、ここで導出したスケールファクターは社会的にみて最適な状態のスケールファクターを算出したことになる。

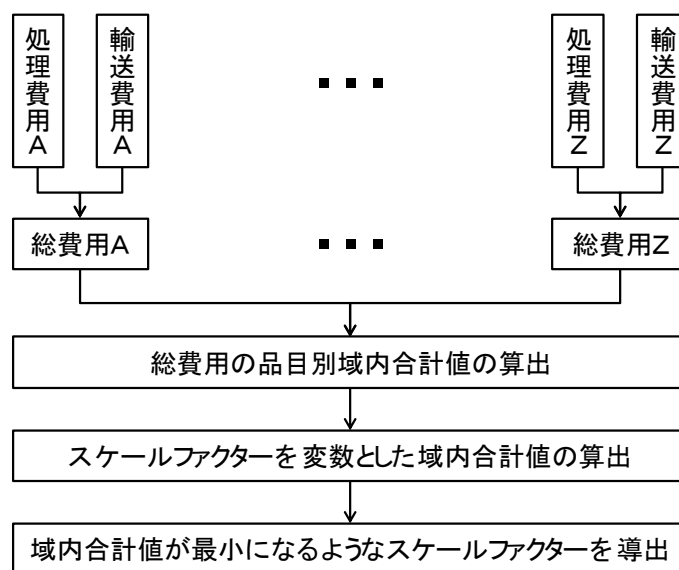


図 5.6 推計フロー

b) 推計結果

推計結果を表5.4に、推計した輸送費用および処理費用、総費用の散布図を図5.7～5.11に示す。なお、ここに示すことのできなかった、汚泥、廃油、金属に関してはサンプル数が少なかったために、スケールファクターを推計することができなかった。

表 5.4 スケールファクターの推計結果

	スケールファクター	サンプル数
化学系	0.50	2
廃プラ	0.36	7
資源系	0.44	3
建設系	0.51	26
ばいじん・燃え殻	0.42	5

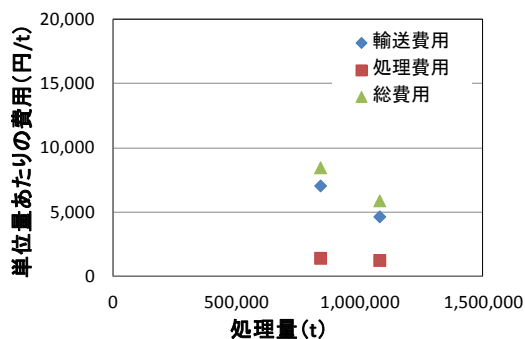


図 5.7 推計結果 (化学系)

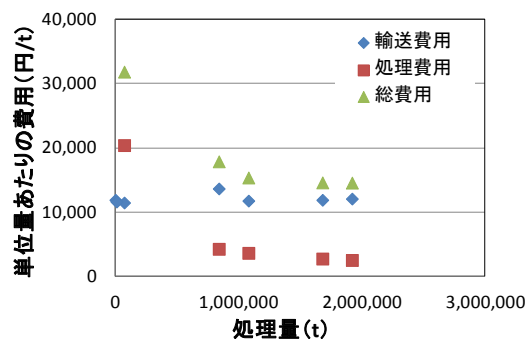


図 5.8 推計結果 (廃プラ)

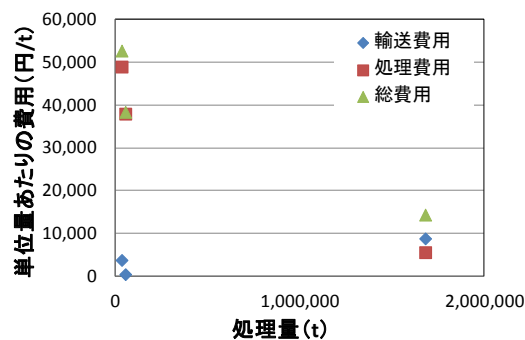


図 5.9 推計結果 (資源系)

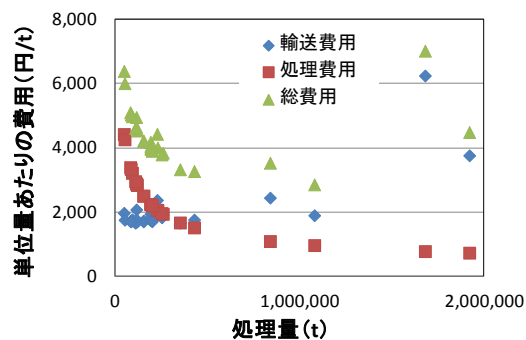


図 5.10 推計結果 (建設系)

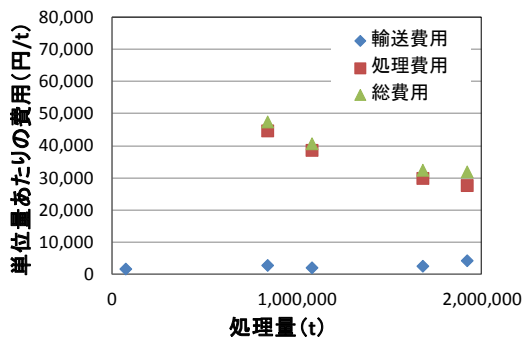


図 5.11 推計結果 (ばいじん・燃え殻)

### 5.2.3 支配パラメータが空間スケールに与える影響

本論で提案する最適空間規模導出モデルは規模の経済に関する考え方を基本として、循環圏の広域化による輸送工程の輸送費用の上昇と、処理量の増加に伴う処理工程の効率向上の関係をともに構築した。

#### (1) スケールファクターと積載率の関係

##### a) スケールファクターと積載率を変化させたときの循環スケールの変化

本節では、輸送工程の支配パラメータである輸送効率と処理工程の支配パラメータであるスケールファクターが空間スケールに与える影響を考察する。なお、本モデルでは、基本単位を単位処理量当たりの費用としている。横軸に施設規模、縦軸に単位処理量当たりの費用をとったときに、下記4パターンにおける単位処理量当たりの処理費用および輸送費用、総費用（総費用は処理費用と輸送費用の合計）の変化を図5.12に示す。なお、4つのグラフにおいて、輸送効率とスケールファクター以外のパラメータは全て同じとしている。

- ・輸送効率が良く、規模の経済が働くケース
- ・輸送効率が良く、規模の経済が働かないケース
- ・輸送効率が悪く、規模の経済が働くケース
- ・輸送効率が悪く、規模の経済が働かないケース

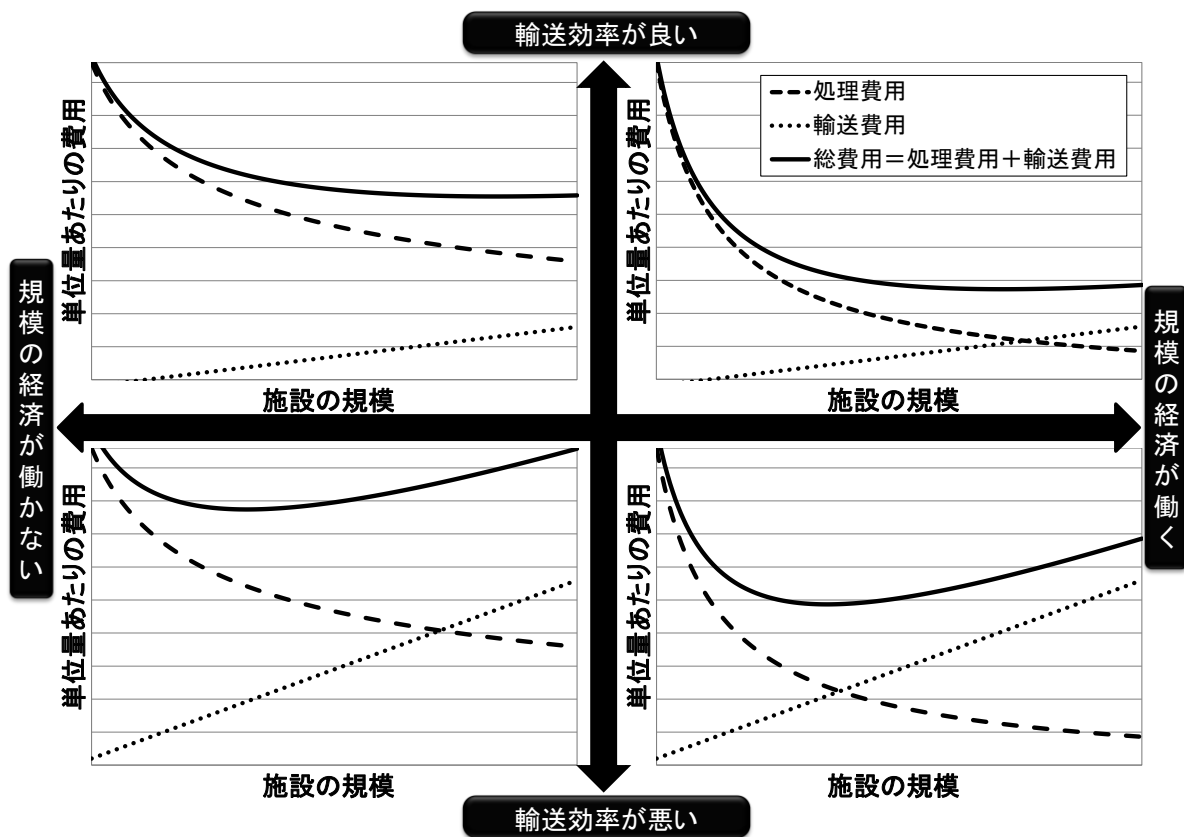


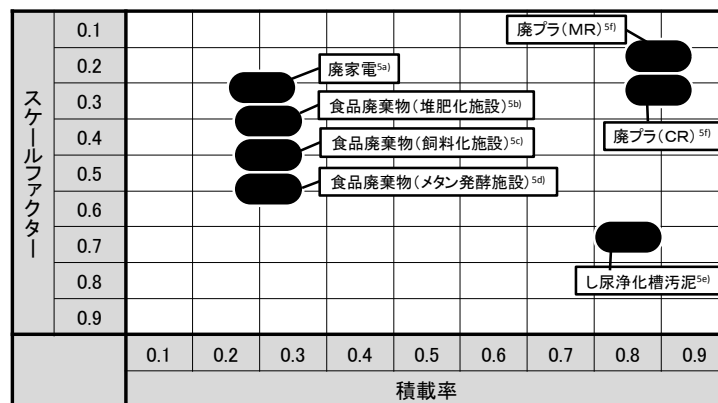
図 5.12 輸送効率とスケールファクターを変化させたときの循環スケールの変化



施設の規模が大きくなるにつれ、処理量が増加することから、収集範囲も拡大する。そのため、単位量あたりの輸送費用も施設の拡大とともに増加する。輸送効率が良い場合は輸送効率が悪い場合に比べて、一度に運ぶことのできる量は多くなる。そのため、輸送回数を減らすことができるために、単位量あたりの費用も低減する。しかし、輸送効率が悪い場合、一度に運ぶことのできる量が少ないために単位量あたりの費用も増加する。規模の経済についても輸送効率の場合と同じように、規模の経済が働くものは単位量あたりの処理費用がより低減され、規模の経済が働かないものは単位量あたりの処理費用が増加する。総費用が最小になったときの空間スケールを考えると、図 5.12 から明らかなように、輸送効率が良く規模の経済が働くほど、空間スケールは大きくなる傾向にあり、輸送効率が悪く規模の経済が働かないほど、空間スケールは小さくなる傾向にある。

### b) スケールファクターと積載率の分布

図 5.13 にスケールファクターと積載率の分布を示す。スケールファクターと費用効率の関係は、スケールファクターの値が小さいほど単位量あたりの費用は低減される。積載率は値が大きいほど、単位量あたりの費用は低減される。そのため、スケールファクターの値が小さくかつ積載率が大きいほど、単位量あたりの費用は低減され、最適な空間スケールは大きくなる傾向にある。分布から明らかなように、品目によって大きな違いがあるのはもちろんのこと、同じ品目であっても処理方法の違いにより、スケールファクターで差が現れるために、空間スケールは異なることがわかった。



- 5a) 「リサイクル料金の透明化について」<sup>2)</sup> を用いて、スケールファクターを推計し、積載率に関しては記載のデータを使用。
- 5b) 北大報告書<sup>3)</sup> 中の堆肥化施設を対象とし、「生ごみ」と「生ごみ (50%) + その他」のデータよりスケールファクターを推計。積載率は国土技術政策総合研究所<sup>4)</sup> に記載の湿ベースのデータを使用。
- 5c) データベース<sup>5)</sup> の食品廃棄物を対象とし、飼料化処理施設のデータから推計。積載率は国土技術政策総合研究所<sup>4)</sup> に記載の湿ベースのデータを使用。
- 5d) 北大報告書<sup>3)</sup> 中のメタン発酵施設を対象とし、「生ごみ主体」と「食品加工残渣」のデータよりスケールファクターを推計。積載率は国土技術政策総合研究所<sup>4)</sup> に記載の湿ベースのデータを使用。
- 5e) 北大報告書<sup>3)</sup> 中のメタン発酵施設を対象とし、「し尿浄化槽汚泥」のデータよりスケールファクターを推計。積載率は国土技術政策総合研究所<sup>4)</sup> に記載のデータを使用。
- 5f) スケールファクターは既報<sup>6)</sup> で筆者らが 2 社のデータを用いて算出した値を使用。廃プラスチックの積載率は比較的よいため、0.85~0.95 と仮定。

図 5.13 スケールファクターと積載率の分布

#### 5.2.4 最適空間規模導出モデル

本モデルは輸送工程と処理工程を基本に構築していることから、単位量あたりの輸送費用を  $COST_{transport}$  (円/t・処理量)、単位量あたりの処理費用を  $COST_{disposal}$  (円/t・処理量) とおくと、総費用  $COST_{total}$  (円/t・処理量) は以下のようなになる。

$$COST_{total} = COST_{transport} + COST_{disposal} \quad (5.5)$$

輸送費用は使用する車両トン数を  $T$  (t)、積載率を  $r$  (%) としてパラメータを導入することにより、輸送効率を考慮した推計を行う。

$$COST_{transport} = \frac{1}{D} \times \left\{ \sum_{i=1}^n \left( a \times T \times r \times \left( \left[ \frac{d_i}{T \times r} \right] \times l_i \right) \right) \right\} \quad (5.6)$$

ここで、 $i$  は対象地域、 $n$  は対象地域総数、 $a$  は輸送単価 (円/t・km)、 $l_i$  は対象地域  $i$  と処理施設間の距離 (km)、 $d_i$  は対象地域  $i$  の廃棄物排出量 (t/年)、 $D$  は処理施設で処理を行った総量 (t/年) である。排出量  $d_i$  と総量  $D$  は 1 人あたりの排出原単位  $\theta$  (t/人・年) と対象地域  $i$  の人口  $\psi_i$  (人) を用いて以下のようなになる。

$$d_i = \theta \times \psi_i \quad (5.7)$$

$$D = \sum_{i=1}^n d_i = \sum_{i=1}^n (\theta \times \psi_i) \quad (5.8)$$

処理工程はスケールファクターを用いて以下の式から推計する。

$$COST_{disposal} = \frac{1}{D} \times \left\{ COST_{disposal}^{ref} \times \left( \frac{D}{D^{ref}} \right)^X \right\} \quad (5.9)$$

ここで、 $D^{ref}$  は基準とした処理施設  $ref$  の設備規模 (t・処理量/year)、 $COST_{disposal}^{ref}$  は基準とした処理施設  $ref$  の処理費用 (円/year)、 $X$  はスケールファクターである。 $COST_{disposal}^{ref}$  は処理施設  $ref$  の処理単価  $COST_{disposal}^{ref\_unit}$  (円/t・処理量) を用いて以下のようなになる。

$$COST_{disposal}^{ref} = COST_{disposal}^{ref\_unit} \times D^{ref} \quad (5.10)$$

輸送工程の費用に運搬の困難さに伴う費用やドライバーの人件費などを追加するため、時間費用の概念を導入した。ドライバーの人件費は輸送単価の中にも含まれるが、積み荷の積載率に比例するのではなく、実際には運転などの拘束時間に比例するため、輸送車1台の走行時間が1時間短縮された場合の時間の価値 (機会費用) を貨幣評価した時間価値原単位  $\alpha$  (円/h) を用いて表現している。式5.6に示す輸送費用  $COST_{transport}$  は時間価値原単位  $\alpha$  (円/h) と輸送車の速度  $v$

(km/h) を用いて時間費用を導入することにより、以下のようなになる。

$$COST_{transport} = \frac{1}{D} \times \left\{ \sum_{i=1}^n \left( a \times T \times r \times \left( \left[ \frac{d_i}{T \times r} \right] \times l_i \right) + \alpha \times \left( \frac{l_i}{v} \right) \times \frac{d_i}{T \times r} \right) \right\} \quad (5.11)$$

処理施設へ搬入された循環資源は全てが再生品として搬出されるのではなく、水分は排水として処理され、再生品として使用できないものは残渣として、処理される。単位処理量あたりの含水率を  $w$  (%)、リサイクル残渣率を  $re$  (%) とし、排水処理単価を  $\varepsilon$  (円/t・排水処理量)、リサイクル残渣処分単価を  $\beta$  (円/t・リサイクル残渣) とおくと、排水・リサイクル残渣処理費用  $COST^{re}$  (円/t・処理量) は以下ようになる。

$$\begin{aligned} COST^{re} &= \frac{1}{D} \times \{ (\varepsilon \times D \times w) + (\beta \times D \times (1-w) \times re) \} \\ &= \varepsilon \times w + \beta \times (1-w) \times re \end{aligned} \quad (5.12)$$

中間処理を経て抽出された再生品は中間処理施設から再生品利用施設へ輸送する工程が必要である。今回のモデルのように経済性を考慮している場合、再生品利用施設が中間処理施設の近くに立地していると、中間処理後の輸送工程の影響は小さいが、遠方に立地している場合、影響は大きいことが考えられる。そのため、中間処理後の輸送単価を  $a'$  (円/t・km)、輸送に使用する車両のトン数を  $T'$  (t)、積載率を  $r'$  (%)、距離を  $l'$  (km)、時間価値原単位を  $\alpha'$  (円/h)、輸送車の速度を  $v'$  (km/h) とおいて、式8に中間処理後の輸送費用およびそのときの時間費用を追加した。

$$\begin{aligned} COST_{transport} &= \frac{1}{D} \times \left\{ \sum_{i=1}^n \left( a \times T \times r \times \left( \left[ \frac{d_i}{T \times r} \right] \times l_i \right) + \alpha \times \left( \frac{l_i}{v} \right) \times \frac{d_i}{T \times r} \right) \right\} \\ &+ \left\{ a' \times T' \times r' \times \left( \left[ \frac{D \times (1-w) \times (1-re)}{T' \times r'} \right] \times l' \right) + \alpha' \times \left( \frac{l'}{v'} \right) \times \frac{D \times (1-w) \times (1-re)}{T' \times r'} \right\} \end{aligned} \quad (5.13)$$

以上より、輸送・処理費用を以下の式から推計できるように定義した。この式の最小化計算を解くことにより、輸送・処理費用が最小になる際の空間スケールを求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{Min } COST_{total} &= \frac{1}{D} \times \left\{ \sum_{i=1}^n \left( a \times T \times r \times \left( \left[ \frac{d_i}{T \times r} \right] \times l_i \right) + \alpha \times \left( \frac{l_i}{v} \right) \times \frac{d_i}{T \times r} \right) \right\} \\ &+ \left\{ a' \times T' \times r' \times \left( \left[ \frac{D \times (1-w) \times (1-re)}{T' \times r'} \right] \times l' \right) + \alpha' \times \left( \frac{l'}{v'} \right) \times \frac{D \times (1-w) \times (1-re)}{T' \times r'} \right\} \\ &+ \left\{ COST_{disposal}^{ref} \times \left( \frac{D}{D^{ref}} \right)^x \right\} + \{ \varepsilon \times w + \beta \times (1-w) \times re \} \end{aligned} \quad (5.14)$$

本モデルでは再生品の付加価値（処理後の売却益）とリサイクル料金による収入を加味し、リサイクル事業による収益を定義した。リサイクル料金による収入単価を  $R$  (円/t・処理量)、再生品の付加価値単価を  $\gamma$  (円/t・再生品量) とおくと、再生品単位量あたりの付加価値とリサイクル料金  $COST_{added\_value}$  (円/t・処理量) は以下ようになる。

$$\begin{aligned}
COST_{added\_value} &= \frac{1}{D} \times \{R \times D + \gamma \times D \times (1-w)(1-re)\} \\
&= R + \gamma \times (1-w)(1-re)
\end{aligned}
\tag{5.15}$$

以上のように、処理費と収益を定義することにより、利益（収益から処理費を引いた額）を推計することが可能となった。収益が処理費を上回っているという制約条件のもと、利益の最大化計算を以下のように定義する。この利益最大化計算を行うことにより、利益が最大になる際の空間スケールを推計することができる。

Subject to  $COST_{added\_value} > COST_{total}$  のとき、

$$COST_{added\_value} - COST_{total} > 0 \text{ の範囲内で、}$$

$$\text{Max } (COST_{added\_value} - COST_{total}) \times D \tag{5.16}$$

### 5.3 最適空間規模導出モデルの感度分析

本章では 5.1 節で構築した最適空間規模導出モデルの支配パラメータと空間パラメータの関係を、輸送効率とスケールファクターに関しては感度分析を行うことにより、発生密度に関してはクリスタラーの都市システムを適用することにより、把握した。なお、輸送効率に関しては積載率を対象として考察を行った。

適用したクリスタラーの中心地理論の図を図 5.14 に示す。本節の解析では、都市 A に中間処理施設が立地した場合、都市 B に中間処理施設が立地した場合、都市 C に中間処理施設が立地した場合の 3 パターンを想定する。なお、都市 A の人口は 100 万人、都市 B の人口は 10 万人、都市 C の人口は 1 万人とした。

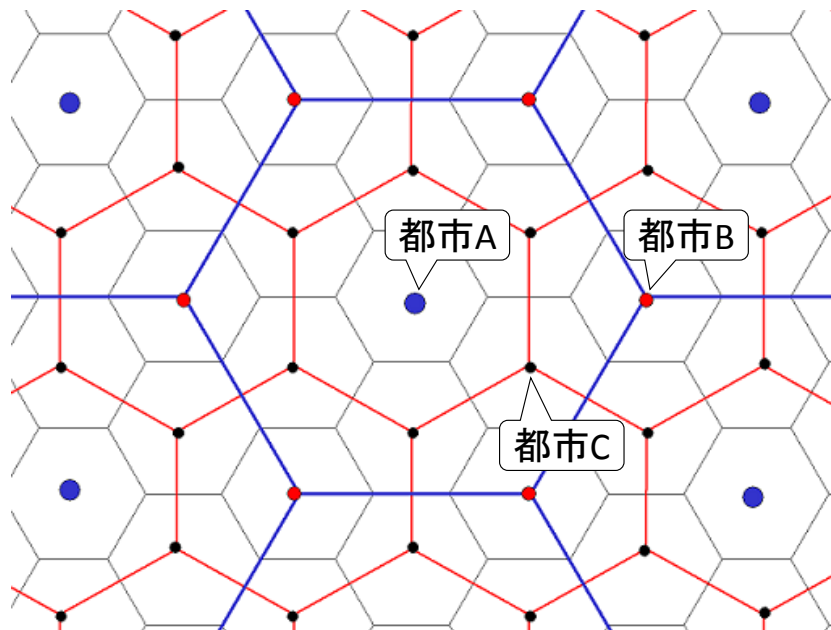


図 5.14 想定した都市システム

モデルへ適用するパラメータは表 5.5 に示す通りとした。なお、パラメータの設定が結果に大きく影響を与えることが考えられるが、表 5.5 に示すパラメータを 10%~20%程度変化させても考察に対して大きな変化が表れなかったため、この値を使用した。なお、含水率  $w=0$ 、リサイクル残渣率  $re=0$ 、中間処理後の輸送  $l'=0$  と設定したため、排水処理およびリサイクル残渣処理、中間処理後の輸送は対象外としている。

表 5.5 設定したパラメータ一覧

1人あたりの排出原単位	1 kg/人・年
車両トン数	10 t車
輸送単価	10 円/t・km
基準とした処理施設の規模	10 t/year
基準とした処理施設の処理単価	1,000 円/t
時間価値原単位	500 円/h
速度	41.6 km/h
含水率	0 %
リサイクル残渣率	0 %
リサイクル料金による収入単価	0 円/t
再生品の付加価値単価	100 円/t

表 5.6 人口密度とスケールファクター、積載率の感度分析の結果

表 5.6a 都市 A に中間処理施設が立地し、総費用が最小になったときの距離										表 5.6e 都市 B に中間処理施設が立地し、総費用が最小になったときの距離										表 5.6i 都市 C に中間処理施設が立地し、総費用が最小になったときの距離									
スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
表 5.6b 都市 A に中間処理施設が立地し、総費用が最小になったときの処理量										表 5.6f 都市 B に中間処理施設が立地し、総費用が最小になったときの処理量										表 5.6j 都市 C に中間処理施設が立地し、総費用が最小になったときの処理量									
スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
表 5.6c 都市 A に中間処理施設が立地し、利益が最大になったときの距離										表 5.6g 都市 B に中間処理施設が立地し、利益が最大になったときの距離										表 5.6k 都市 C に中間処理施設が立地し、利益が最大になったときの距離									
スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
表 5.6d 都市 A に中間処理施設が立地し、利益が最大になったときの処理量										表 5.6h 都市 B に中間処理施設が立地し、利益が最大になったときの処理量										表 5.6l 都市 C に中間処理施設が立地し、利益が最大になったときの処理量									
スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	スケールファクター	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	積載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

※ “-” は利益が出ないために、最適な空間スケールを算出することができないことを意味する。  
 ※ 表の色はそれぞれ横 3 つの表を比較したときに、数値が大きいところほど、赤く、小さくなるにつれて黄色となるように示している。

図 5.14 に示す仮想の都市システムと表 5.5 に示すパラメータを最適空間規模導出モデルに適用した結果を表 5.6 に示す。その結果、人口密度分布の異なる都市システムを適用することで、都市の人口密度分布と空間スケールを定量的に示し、以下のことが示唆された。

- ▶ 処理施設の近くに人口密度の高い都市が立地しているほど、処理量が増え、大きな施設を立地させることができるため、規模の経済が働くことで単位量あたりの輸送・処理費用が低減するが、結果として空間スケールも大きくなることがわかった。(表 5.6a と表 5.6e・5.6i、表 5.6b と表 5.6f・5.6j、表 5.6c と表 5.6g・5.6k、表 5.6d と表 5.6h・5.6l の比較)

#### 5.4 中間処理の違いによるモデルの検証

本章では構築したモデルに食品廃棄物のデータを適用することで、食品廃棄物を対象とした場合の空間スケールの推計を行った。なお、中間処理施設は堆肥化施設、メタン発酵施設、飼料化施設を対象とした。使用したデータは表 5.7 に示す。

表 5.7 設定パラメータ

工程	パラメータ	変数	単位	堆肥化施設		メタン発酵施設		飼料化施設	
				設定値	出所	設定値	出所	設定値	出所
発生	排出量原単位	$\theta$	t/人・年	0.0916	3)	0.0916	3)	0.0916	3)
収集工程	可住地面積率	$A''$	%	27.3		27.3		27.3	
	収集回数	$n''$	回/年	96	週 2 回と仮定	96	週 2 回と仮定	96	週 2 回と仮定
	車両トン数	$T''$	t 車	2		2		2	
	積載率	$k''$	%	90		90		90	
	時間価値原単位	$\alpha''$	円/h	16.8	5a)	16.8	5a)	16.8	5a)
	速度	$v''$	km/h	41.6	9)	41.6	9)	41.6	9)
運搬工程	輸送単価	$a$	円/t・km	28.5	8)	28.5	8)	28.5	8)
	車両トン数	$T$	t 車	2		2		2	
	積載率	$k$	%	90		90		90	
	時間価値原単位	$\alpha$	円/h	16.8	5a)	16.8	5a)	16.8	5a)
	速度	$v$	km/h	41.6	9)	41.6	9)	41.6	9)
処理工程	基準とした処理施設の規模	$D^{ref}$	t-処理量	1	5b)	1	5b)	1	5f)
	基準とした処理施設の処理単価	$D^{ref}_{unit disposal}$	円/t-処理量	482,341	5b)	206,995	5b)	356,285	5f)
	スケールファクター	$X$		0.36	5b)	0.62	5b)	0.43	5f)
	含水率	$w$	%	75	5b)	75	5b)	75	
	排水処理単価	$\varepsilon$	円/t-排水処理量	300	5c)	300	5c)	300	5c)
	リサイクル残渣率	$re$	%	15	3)	10	5c)	10	
	リサイクル残渣処分単価	$\beta$	円/t-残渣処理量	10,000	5d)	16,000	5c)	10,000	5d)
中間処理後の輸送	輸送単価	$a'$	円/t・km	28.5	8)	28.5	8)	28.5	8)
	車両トン数	$T'$	t 車	2		2		2	
	積載率	$k'$	%	100		100		100	
	時間価値原単位	$\alpha'$	円/h	16.8	5a)	16.8	5a)	16.8	5a)
	速度	$v'$	km/h	41.6	9)	41.6	9)	41.6	9)
利益	リサイクル料金による収入単価	$R$	円/t-処理量	9,843	5e)	9,843	5e)	9,843	5e)
	再生品の付加価値単価	$\gamma$	円/t-再生品量	7,000	3)	3	5c)	15,000	13)

5a) 物流センサス<sup>8)</sup>より算出

5b) 北大報告書<sup>3)</sup>より、算出または記載データ

5c) 環境省の報告書<sup>10)</sup>記載データより推計または記載データ使用

5d) 北九州市の自己搬入処理費用<sup>11)</sup>を適用

5e) 北九州市の家庭ごみ袋単価<sup>12)</sup>と仮定

5f) バイオマス利活用技術情報データベースデータ<sup>5)</sup>より推計

構築したモデルにおいて、中間処理施設搬入前の輸送は対象地域の収集拠点からのみしか考慮していないが、本章のケーススタディでは家庭から排出される食品廃棄物を想定したため、一般的なステーション収集を想定し、地域内収集工程（収集工程）を追加した。表 5.7 では、収集工程と区別するため、収集拠点から中間処理施設までの輸送を運搬工程と記載している。収集工程の

輸送費用算出方法は、grid city modelを用いて総輸送距離を算出することにより、収集費用を推計した。grid city modelは可住地面積と人口から、総収集距離を推計できるよう簡略化を行った。対象地域*i*を対象としたgrid city modelの関数を  $GCM_i$  とおくと、以下のようになる。

$$GCM_i = \sqrt{area_i \times A''} \times \left( n'' \times \sqrt{station_i} + \frac{2 \times d_i}{T'' \times r''} \right) \quad (5.17)$$

ここで、 $area_i$ は対象地域*i*の面積(km<sup>2</sup>)であり、本章のケーススタディでは、全ての都市を100km<sup>2</sup>として計算を行っている。面積が同じで人口密度の異なる都市を想定しているため、当然ながら収集距離が変化し、収集費用に影響するが、それは式5.17で計算される。 $A''$ は可住地面積率(%)であり、日本の平均値27.3%を用いた。 $n''$ は年間の収集回数(回)であり、全地域で週2回と仮定している。 $station_i$ は対象地域*i*のステーション数(箇所)であり、ステーション数と対象地域*i*の人口  $population_i$  (人) から求めた以下の近似直線を用いた。

$$station_i = 0.014 \times population_i \quad (5.18)$$

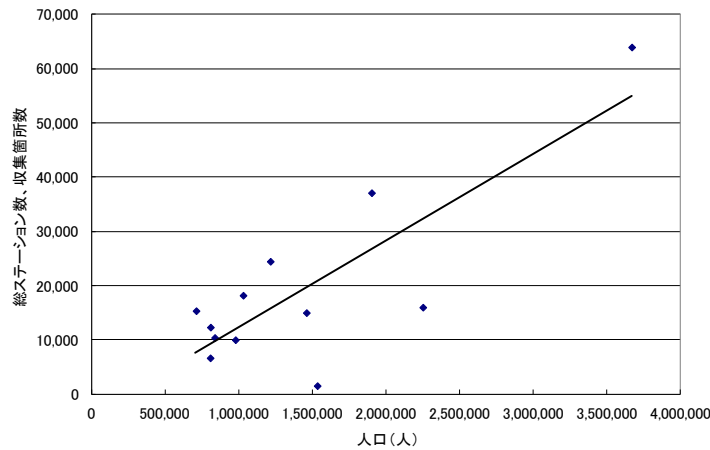


図5.15 人口とステーション数の散布図

$T''$ は収集工程で使用する車両のトン数(t)、 $r''$ は積載率(%)である。収集費用は式5.17で求めた総輸送距離を用いて、藤井らの論文<sup>14)</sup>を参考に以下の式より対象地域*i*の収集費用  $COST_{transport''_i}$  (万円/t・処理量) を推計した。

$$COST_{transport''_i} = 0.19 + 0.14 \times \frac{GCM_i}{d_i} \quad (5.19)$$

時間費用に関しては、収集工程時の時間価値原単位  $\alpha''$  (円/h)、速度  $v''$  (km/h) を用いて、式5.19に追加すと、以下のようになる。

$$COST_{transport''_i} = \left( 0.19 + 0.14 \times \frac{GCM_i}{d_i} \right) + \frac{1}{d_i} \times \left( \alpha'' \times \frac{GCM_i}{v''} \right) \quad (5.20)$$

対象地域を  $n$  まで拡大したときの収集費用を  $COST_{transport''}$  (円/t・処理量) とすると、以下の式

で収集費用を求めることができ、これを式5.20に追加することにより、本章のケーススタディにおける輸送・処理費用を定義した。

$$COST_{transport} = \frac{1}{D} \times \sum_{i=1}^n (COST_{transport\_i} \times d_i) \quad (5.21)$$

堆肥化施設と飼料化施設に関して、再生品である堆肥および飼料は中間処理施設の近郊に立地する地域から供給し、堆肥や飼料を全てまかなうことができるまで、供給する地域を拡大するとした。一般的に、都市の中心部ほど、堆肥を施用する田畑面積は小さく、飼料を給餌する家畜の頭数は少なく、郊外ほど田畑面積は広く、家畜は多い傾向にある。そこで、堆肥の需要量に関しては福岡県の市区町村の人口<sup>15)</sup> および面積<sup>15)</sup>、田畑面積<sup>15)</sup> から、人口密度と田畑面積率の散布図(図5.16)を作成し、以下の近似式を求めた。サンプル数は66、近似式の決定係数は0.38である。

$$Area_{field} = 0.421036e^{-0.00016Density} \quad (5.22)$$

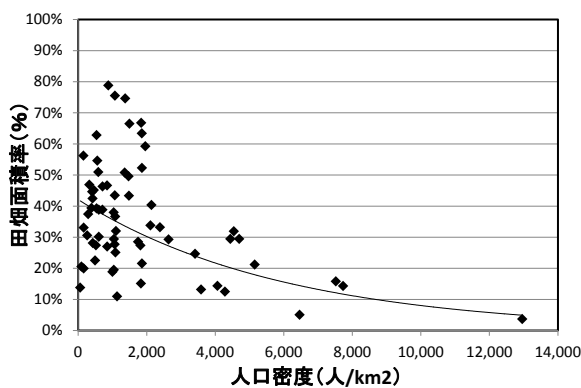


図5.16 人口密度と田畑面積率の関係

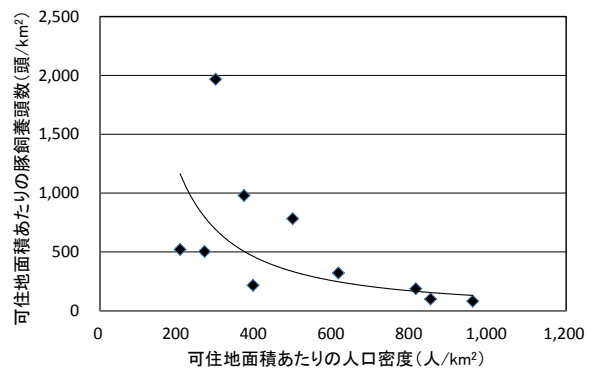


図5.17 可住地面積あたりの豚の飼養頭数と人口密度の散布図

ここで、 $Area_{field}$  は田畑面積率で、 $Density$  は人口密度である。対象地域の田畑面積は、対象地域の人口密度を式5.22に乗じることにより、対象地域の田畑面積率を算出し、さらに対象地域の面積を乗じることにより推計することができる。食品廃棄物から作った堆肥の単位面積あたりの施用量は、地域循環圏に関する九州会議の資料<sup>16)</sup> から、1アールあたり20~40kgであるため、その平均の30kg/aとした。堆肥の需要量は、推計した田畑面積に30kg/aを乗じることにより推計できる。

宮崎県の養豚業が盛んな10都市を対象に、各市町村の人口<sup>17)</sup> および、可住地面積<sup>17)</sup>、豚の飼養頭数<sup>18)</sup> から、可住地面積あたりの人口密度と可住地面積あたりの豚の飼養頭数の散布図(図5.17)を作成し、以下の近似式を推計した。決定係数は0.54である。

$$Pig\_in = 2,295,364Density\_in^{-1.4238} \quad (5.23)$$

$Pig\_in$  は可住地面積あたりの豚の飼養頭数(頭/km<sup>2</sup>)、 $Density\_in$  は可住地面積あたりの人口密度(人/km<sup>2</sup>)である。対象地域の豚の飼養頭数は式5.23に可住地面積あたりの人口密度を乗じることにより人口密度あたりの飼養頭数を算出し、さらに対象地域の可住地面積を乗じること



より推計することができる。豚1頭の飼料給餌量は、農林水産省の資料<sup>19)</sup>より3.2kg/日とした。飼料の需要量は推計した豚の飼養頭数に3.2kg/日を乗じることにより、推計できる。

メタン発酵施設に関しては、中間処理を行うことで得られたメタンガスは中間処理施設内で発電燃料として使用されると設定したため、輸送距離は全て0とした。

なお、中間処理施設の立地場所により地価が異なることが考えられるが、今回は地価は同じと仮定し、計算の対象外とした。

仮想都市システムの総人口は500万人とし、人口密度分布の異なる3つの都市システム(図5.18)を想定した。人口分布①の都市システムは処理施設から距離が離れても人口密度は一定である都市を想定している。人口密度分布②の都市システムは、処理施設から離れるに従い、徐々に人口密度が低下する都市を想定しており、処理施設が都市の中心部に立地している設定となっている。人口密度分布③の都市システムは、処理施設から離れるに従って、徐々に人口密度が増加する都市を想定しており、人口密度分布②の場合とは逆に処理施設が都市の郊外に立地しているという設定となっている。なお、実際の都市では、人口密度が一定または単調増加、単調減少の都市ばかりではなく、人口密度が増減を繰り返すものや、処理施設が都市の中心部と郊外の間位置する場合などもある。しかし、今回のケーススタディでは、仮想の都市システムを設定し、人口密度の違いによる影響が表れやすいと思われる3パターンの人口密度分布を想定した。

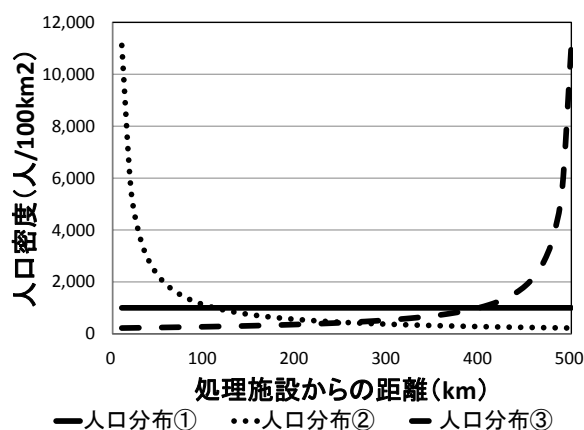


図5.18 仮想都市システムの人口密度分布

人口密度分布①、②、③それぞれを適用し、費用最小化計算、利益最大化計算を行った結果を表5.8に、人口密度分布②のときに空間スケールを拡大したときの各費用と利益の推移のグラフを図5.19～5.21に示す。分析の結果、同じ品目であってもリサイクル手法の違いによって、空間スケールが大きく異なることを定量的に示し、以下のことが示唆された。

- 処理費用最小化計算と利益最大化計算を行った結果、利益最大化計算を行った方が空間スケールは大きくなることが示された。
- 堆肥化施設と飼料化施設に関しては、中間処理施設が都市の中心部に立地する場合と郊外に立地する場合では、利益最大化を想定した場合の空間スケールに関してはそれほど大きな違いはないが、中間処理後の輸送距離が空間スケールに大きく影響を与えることが示された。

- メタン発酵施設に関しては、都市中心部に中間処理施設が立地した方が空間スケールは大きくなることが示された。

表 5.8 費用最小化計算・利益最大化計算を行ったときの結果

食品廃棄物（堆肥化施設）		人口密度分布①	人口密度分布②	人口密度分布③	
処理費用 最小化	総費用が最小になったときの処理費用	円/t-搬入量	2,017	1,358	3,048
	総費用が最小になったときの処理量	t-搬入量	36,646	152,719	15,191
	総費用が最小になったときの収集運搬距離	km	40	20	70
	総費用が最小になったときの中間処理後の輸送距離	km	10	10	10
利益 最大化	利益が最大となったときの利益	百万円	1,675	3,416	508
	利益が最大となったときの処理量	t-搬入量	338,976	427,774	120,237
	利益が最大となったときの収集運搬距離	km	370	370	350
	利益が最大となったときの中間処理後の輸送距離	km	50	20	20
食品廃棄物（メタン発酵施設）		人口密度分布①	人口密度分布②	人口密度分布③	
処理費用 最小化	総費用が最小になったときの処理費用	円/t-搬入量	4,855	3,138	6,830
	総費用が最小になったときの処理量	t-搬入量	73,292	212,109	27,621
	総費用が最小になったときの収集運搬距離	km	80	40	120
	総費用が最小になったときの中間処理後の輸送距離	km	0	0	0
利益 最大化	利益が最大となったときの利益	百万円	828	2,250	145
	利益が最大となったときの処理量	t-搬入量	256,522	399,836	69,562
	利益が最大となったときの収集運搬距離	km	280	280	250
	利益が最大となったときの中間処理後の輸送距離	km	0	0	0
食品廃棄物（飼料化施設）		人口密度分布①	人口密度分布②	人口密度分布③	
処理費用 最小化	総費用が最小になったときの処理費用	円/t-搬入量	2,505	2,492	3,233
	総費用が最小になったときの処理量	t-搬入量	18,323	101,812	15,191
	総費用が最小になったときの収集運搬距離	km	20	10	70
	総費用が最小になったときの中間処理後の輸送距離	km	70	260	10
利益 最大化	利益が最大となったときの利益	百万円	1,360	3,345	758
	利益が最大となったときの処理量	t-搬入量	238,199	425,023	181,363
	利益が最大となったときの収集運搬距離	km	260	360	420
	利益が最大となったときの中間処理後の輸送距離	km	870	470	90

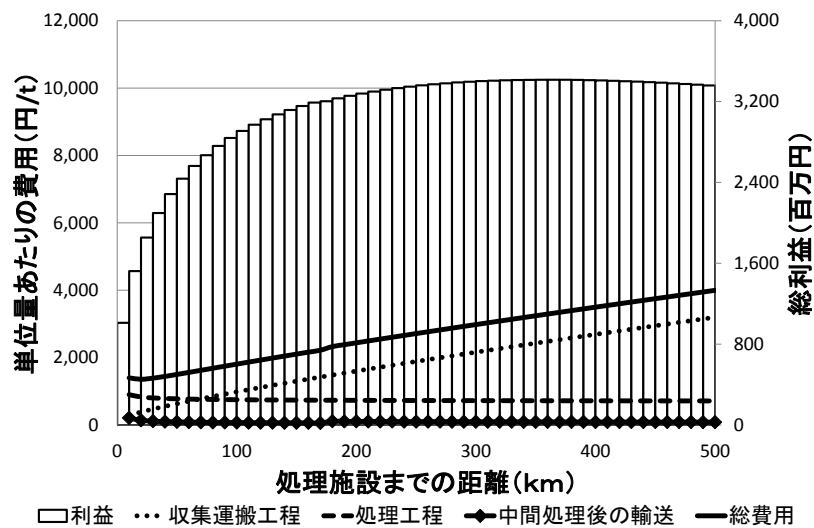


図 5.19 堆肥化の結果（人口密度分布②）

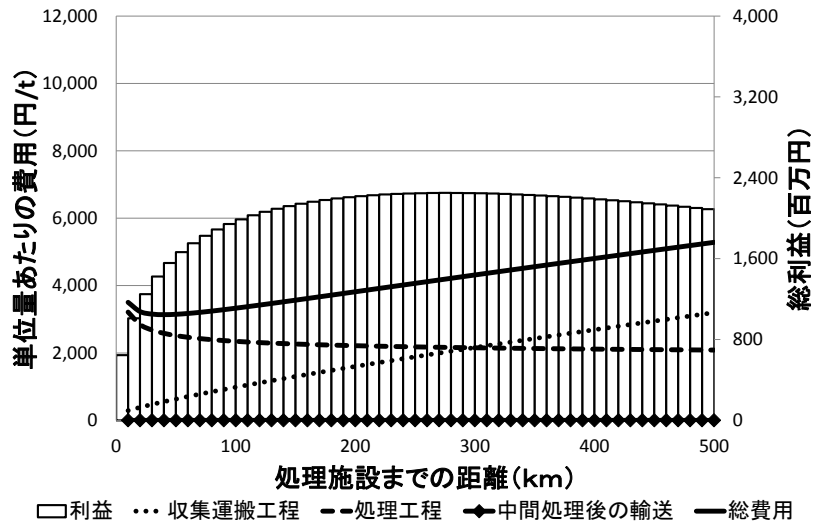


図 5.20 メタン発酵の結果（人口密度分布②）

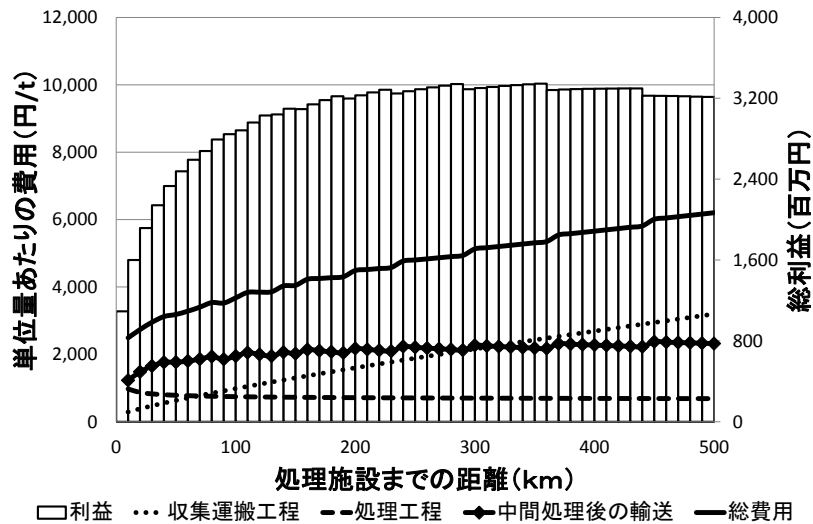


図 5.21 飼料化の結果（人口密度分布②）

### 5.5 売却単価と有価物含有割合を用いたモデルの検証

アンケート調査及び既存の統計データより入手したデータを用いて、図 5.22 に廃棄物中に含まれる価値のないものの含有割合と売却単価の分布を示す。分布から明らかなように、品目によって大きな違いがあり、これらの特性が空間スケールに影響を与えていることが考えられる。そこで、本章では、構築したモデルに入手した上記のパラメータを適用することで、福岡県を対象としたケーススタディを実施し、品目間比較を行うとともに、モデルの有用性を検証する。

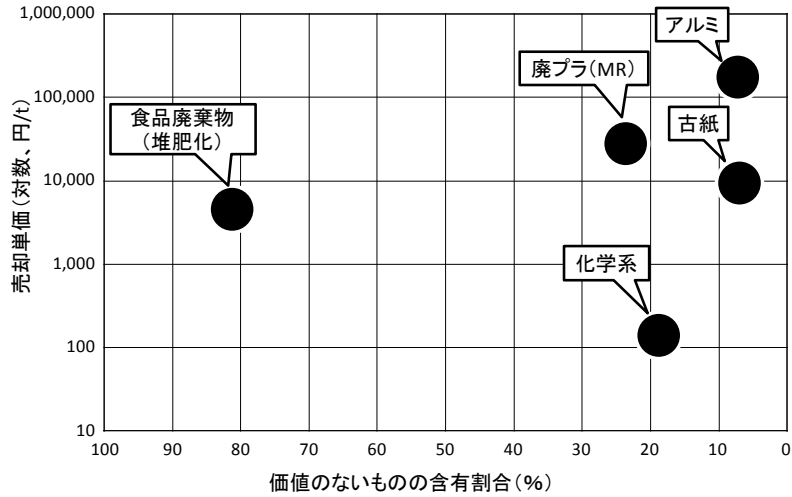


図 5.22 売却単価と価値のないものの含有割合の分布

ケーススタディでは、処理拠点が北九州市に立地した場合、福岡市に立地した場合、豊前市に立地した場合を想定し、近隣の市区町村から集めて行き、対象地域を拡大するものとした。中間処理施設からの距離と人口の関係を図 5.23 に示す。なお、北九州市、福岡市については区レベルで、それ以外の地域については市町村レベルで分析している。アルミ、廃プラ、古紙の再生品利用施設については北九州市、飯塚市、久留米市、大牟田市に立地しているものとした。食品廃棄物は堆肥を想定しているため、中間処理施設の近郊に立地する地域から供給し、堆肥を全てまかなうことができるまで、供給する地域を拡大するものとした。なお、堆肥の需要量は人口密度から田畑面積を推計し、これに堆肥の施用量を乗じることで需要量を推計した。

使用したデータは表 5.9 に示す。なお、廃棄物の発生量は人口比例、中間処理施設のスケールファクターは全て 0.6 乗、表 5.9 に示した以外のパラメータについても全て同じ値とした。なお、本ケーススタディでは、基本単位を単位処理量あたりの費用とした。

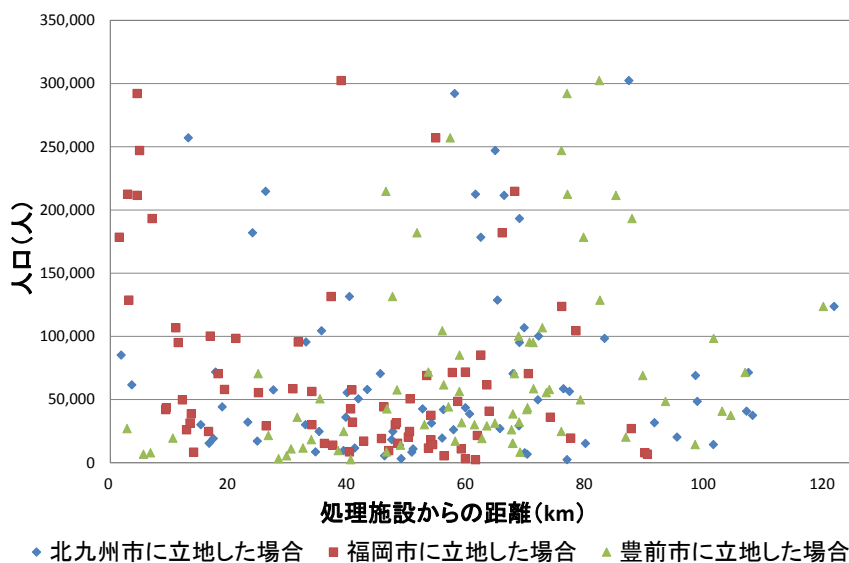


図 5.23 処理施設からの距離と人口の関係

表 5.9 設定パラメータ

	含水率	残渣率	売却単価	輸送単価
アルミ	0%	10%	139,000 円/t	214.6 円/tkm
廃プラ	0%	21%	30,000 円/t	174.5 円/tkm
古紙	0%	10%	10,000 円/t	153.5 円/tkm
食品廃棄物	75%	15%	7,000 円/t	219.5 円/tkm

費用最小化計算、利益最大化計算を行った結果を図 5.24～5.26 に示す。分析の結果、品目の特性と空間スケールとの関係を定量的に示し、以下のことが示唆された。

- 費用を最小化した際の循環スケールで比較すると、輸送単価が安い品目ほど、循環スケールが大きくなることが示された。
- 利益を最大化した際の循環スケールで比較すると、売却単価が高い品目ほど、循環スケールが大きくなることが示された。

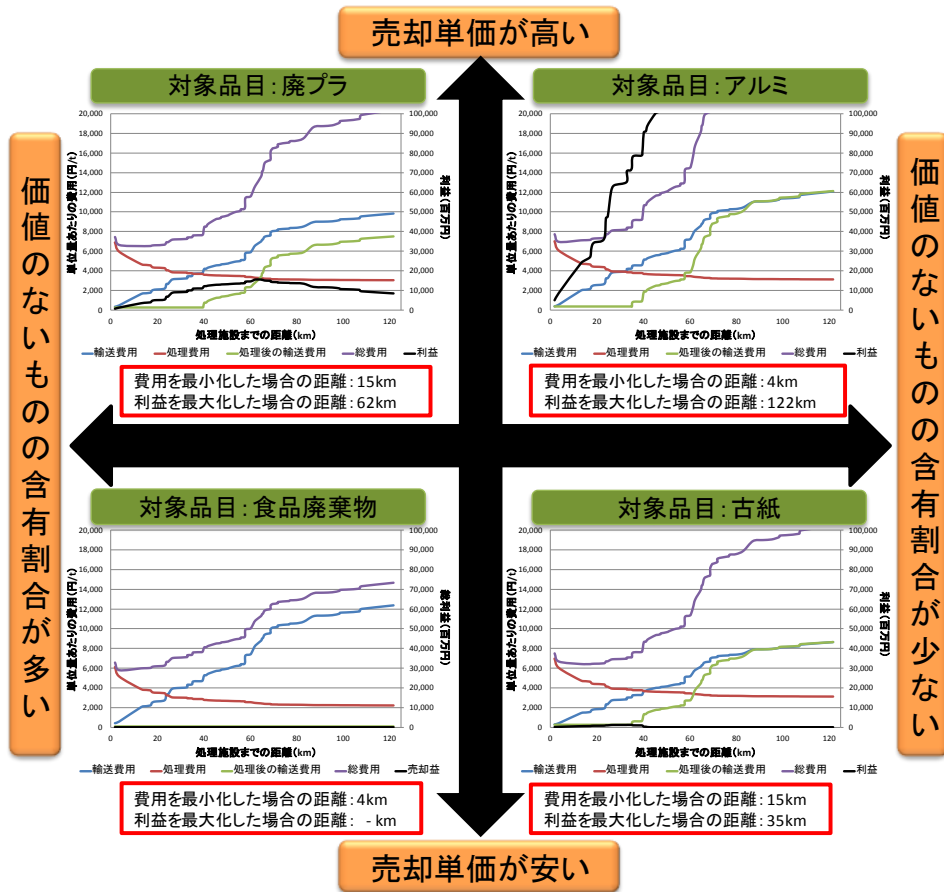


図 5.24 費用最小化計算・利益最大化計算を行ったときの結果  
(処理施設が北九州市に立地した場合)

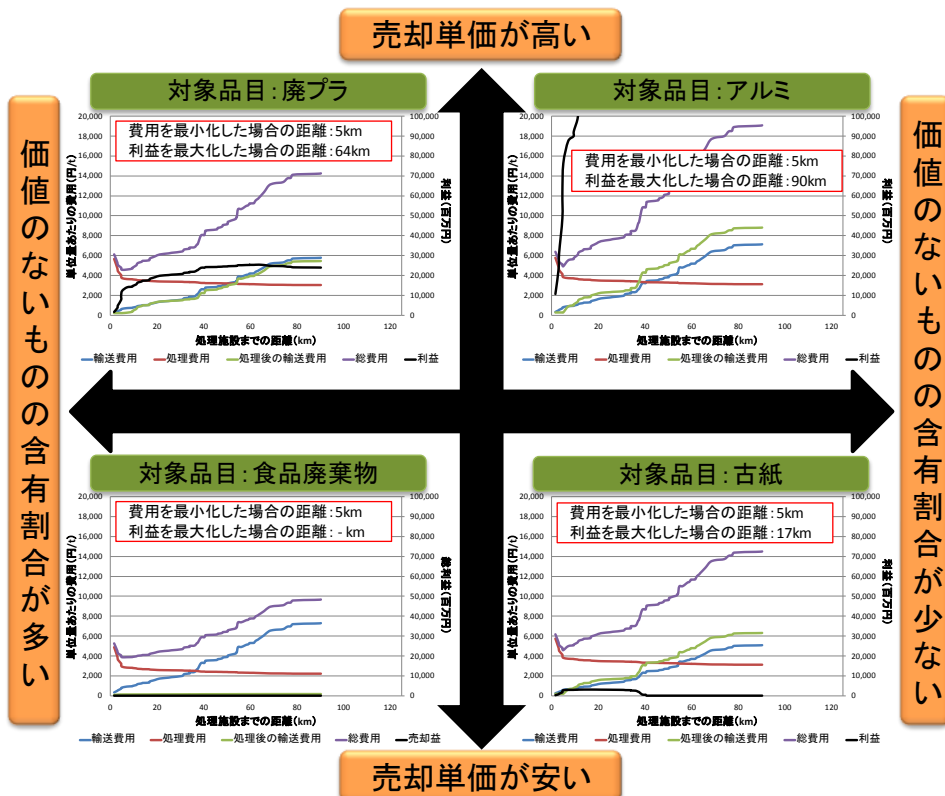


図 5.25 費用最小化計算・利益最大化計算を行ったときの結果(処理施設が福岡市に立地した場合)

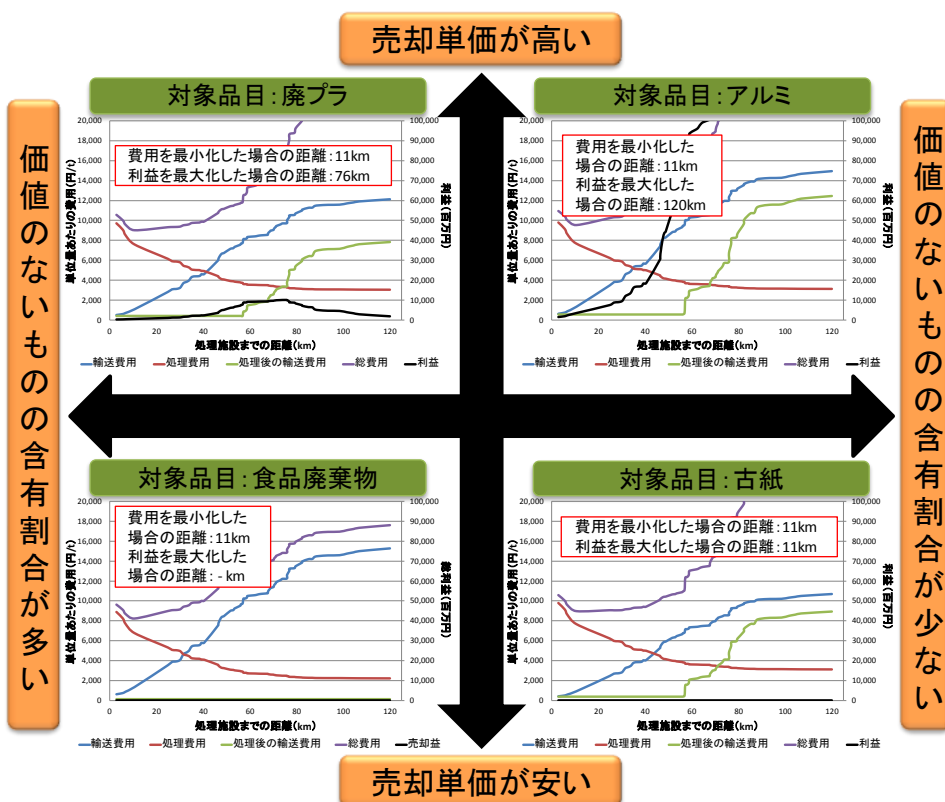


図 5.26 費用最小化計算・利益最大化計算を行ったときの結果(処理施設が豊前市に立地した場合)  
 ※なお、“-km”は、利益がでなかったことを意味している。

## 5.6 総費用最小化計算による資源循環拠点立地シミュレーション

### 5.6.1 分析方法

本章では、構築したモデルを用いて、九州地域（沖縄県を除く）を対象にシミュレーションを行った。シミュレーションでは、処理施設の数や初期条件として与えた場合の、各処理施設の総費用が最小になるときの費用、処理施設の立地場所と処理量を求めるプログラムを構築した。施設の立地場所は九州内のどこでも立地可能とし、施設の処理量もどのような値も取り得ると設定した。なお、プログラムの構築には、最適化計算ソフト NUOPT<sup>20)</sup> を用いた。

#### (1) 設定パラメータ

本章で実施するシミュレーションの対象品目は、食品廃棄物とし、堆肥化を行う施設を想定して表 5.10 に示すパラメータを設定した。

パラメータはケースAとケースBの2通りを設定しており、両ケースの違いは輸送工程の輸送単価のみである。ケースAは物流センサス<sup>8)</sup>に記載されている廃棄物全般の輸送単価 28.1 円/t・km を設定した。ケースBは独自にアンケート調査・ヒアリング調査を実施して得たデータを用いて、食品廃棄物を輸送することを想定し、4t 車（保冷車）の輸送単価 221 円/t・km を設定した。

処理工程に関して、基準とした中間処理施設の施設規模および処理単価、スケールファクターは、北海道大学で実施された調査報告書<sup>3)</sup>中に記載されている「生ごみ」「生ごみ（50%）+その他」を対象に堆肥化している施設のデータをもとに推計した。

表 5.10 設定パラメータ

		ケースA		ケースB	
		設定値	出所	設定値	出所
発生	排出原単位	0.0916 t/人・年	7)	0.0916 t/人・年	7)
	輸送単価	28.1 円/t・km	8)	221 円/t・km	
輸送工程	車両トン数	2 T車		4 T車	
	積載率	90 %		90 %	
	時間価値原単位	16.8 円/h	5g)	16.8 円/h	5g)
	速度	41.6 km/h	9)	41.6 km/h	9)
	基準とする中間処理施設の規模	1 t/年	5h)	1 t/年	5h)
処理工程	基準とする中華処理施設の処理単価	482,341 円/t	5h)	482,341 円/t	5h)
	スケールファクター	0.36	5h)	0.36	5h)
	含水率	75 %	5h)	75 %	5h)
	排水処理単価	300 円/t・排水処理量	5i)	300 円/t・排水処理量	5i)
	リサイクル残渣率	15 %	7)	15 %	7)
処理後の輸送工程	リサイクル残渣処分単価	10,000 円/t・残渣処理量	5j)	10,000 円/t・残渣処理量	5j)
	輸送単価	28.1 円/t・km	8)	179 円/t・km	
	車両トン数	2 T車		4 T車	
	積載率	90 %		90 %	
	時間価値原単位	16.8 円/h	5g)	16.8 円/h	5g)
	速度	41.6 km/h	9)	41.6 km/h	9)

5g) 物流センサス<sup>8)</sup>より算出

5h) 北大報告書<sup>3)</sup>より、算出または記載データ

5i) 環境省の報告書<sup>10)</sup>記載データより推計または記載データ使用

5j) 北九州市の自己搬入処理費用<sup>11)</sup>を適用

#### (2) 対象地域区分

対象地域は表 5.11 に示す 22 地域とした。

対象地域の人口および面積については、総務省の統計データ<sup>17)</sup>を使用し、対象地域に該当する市町村の実数を集計することで、対象地域毎の人口および面積を算出した。なお、各地域からの食品廃棄物の排出量は人口に比例すると設定した。

表 5.11 対象地域区分

福岡県	北九州地方	福岡地方	筑豊地方	筑後地方
佐賀県	北部	南部		
長崎県	北部	南部		
熊本県	熊本地方	阿蘇地方	天草・芦北地方	球磨地方
大分県	北部	中部	西部	南部
宮崎県	北部山沿い	北部海沿い	南部山沿い	南部平野部
鹿児島県	薩摩地方	大隅地方		

(3) 堆肥の需要量の推計

再生品である堆肥は、中間処理施設近郊の市町村から供給し、堆肥を全てまかなうことができるまで、供給する地域を拡大するとした。なお、中間処理後の需要量は 5.4 節の考え方と同じとして、田畑面積率を式 5.22 から推計し、堆肥の単位面積あたりの施用量は 30kg/a とした。

5.6.2 分析結果

シミュレーションを実施した結果を図 5.27 に、輸送費用と処理費用を合計した総費用が最小になったときの施設の分布を図 5.28 に示す。シミュレーションを行った結果、ケースAの場合、九州に 12 施設中間処理施設が立地する際に総費用が最小になることがわかった。輸送工程においても処理工程においても食品廃棄物を堆肥化する場合を想定したパラメータを適用しているケース B は、一定条件下での堆肥化施設の最適配置であり、総費用が最小となる施設数は九州に 19 施設が立地する場合であることを示した。

地域循環圏に関する九州会議<sup>21)</sup>の資料によると、九州には 43 箇所の堆肥化施設が稼働している。そのうち、一般廃棄物である家庭系生ごみを対象（一部の施設では、飲食店・食品製造業などからの生ごみも対象）とした堆肥化施設は 7 箇所のみである。残りの 36 箇所の施設に関しては、主に産業廃棄物である食品製造業からの生ごみや下水汚泥、一般廃棄物である飲食店等からの生ごみを対象としている。本シミュレーションでは、生ごみの排出量を人口から推計しており、対象としているのは一般廃棄物の家庭系生ごみである。家庭系生ごみを対象としている施設のみで比較すると、現状とある一定条件下でシミュレーションを行った結果の施設数について、大きな乖離があることを示した。

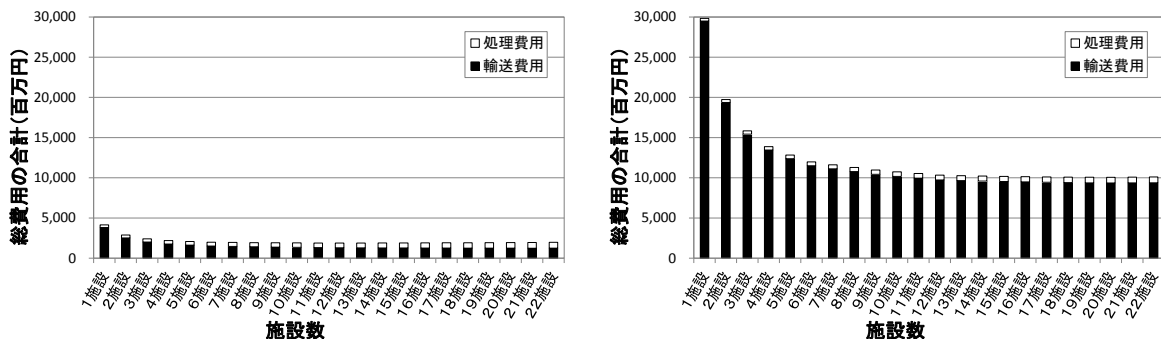


図 5.27 シミュレーションの結果（左：ケースA、右：ケースB）



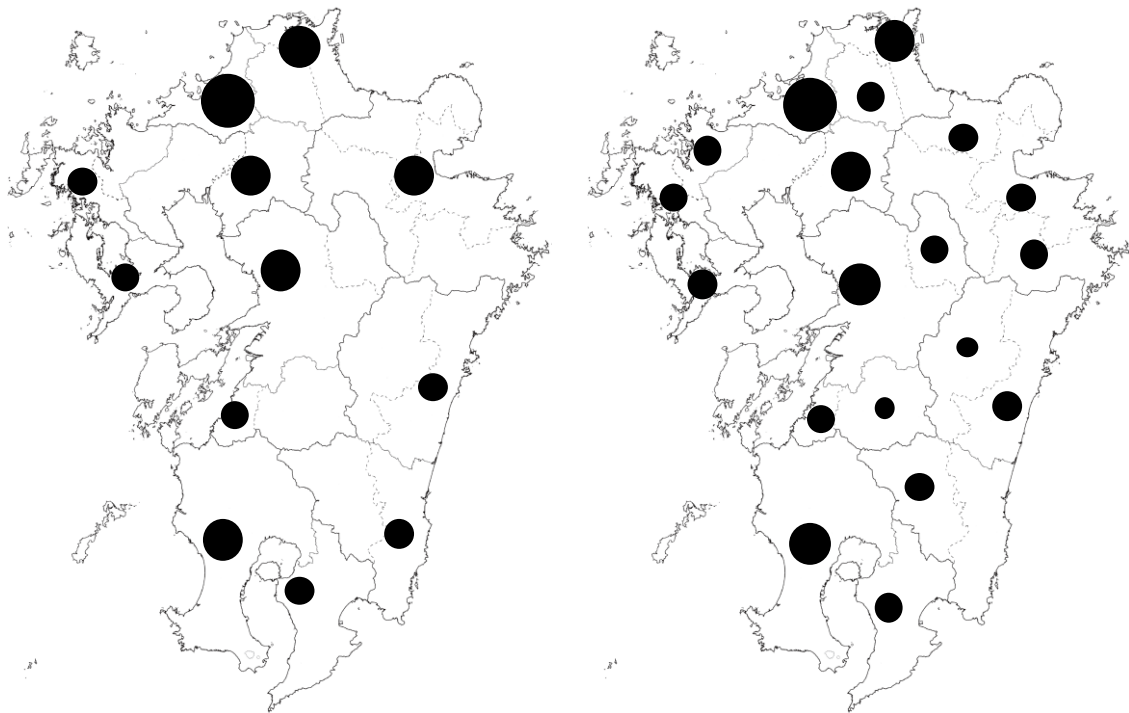


図 5.28 施設分布（左：ケースA、右：ケースB）  
 ※図中の“●”の大きさは施設規模を示す。

## 5.7 本章のまとめ

本章では、発生密度、輸送効率、スケールファクターを空間スケールを決める支配パラメータと設定し、支配パラメータと空間スケールの関係を定量的に把握できる循環圏の最適空間規模導出モデルの構築を行った。輸送効率とスケールファクターに関しては、感度分析を行うことにより、空間スケールとの関係を把握し、発生密度に関しては、人口密度分布の異なる都市データを適用することで、空間スケールとの関係を把握した。更に、食品廃棄物を対象とした中間処理の違いによるモデルの検証を通して、以下の結果を得た。

- 処理費用最小化計算と利益最大化計算を行い、それぞれの区間スケールを示せた。結果を比較すると、利益が最大となった方が循環圏は広くなることが示唆された。
- 人口密度の高い都市中心部に処理施設が立地することで、処理量が増え、規模の経済が働くことにより単位量あたりの費用は低減されることが示された。
- 食品廃棄物について、転換技術の違い（堆肥化、飼料化、メタン発酵）による空間スケールの違いを示せた。

次に、「売却単価」と「価値のないものの含有割合」をパラメータとして設定し、福岡県を対象としたモデルの検証を実施することで、以下のことを定量的に示した。

- 費用を最小化した際の循環スケールで比較すると、輸送単価が安い品目ほど、循環スケールが大きくなることが示された。
- 利益を最大化した際の循環スケールで比較すると、売却単価が高い品目ほど、循環スケールが大きくなることが示された。

5.6 節では、構築した最適空間規模導出モデルに、食品廃棄物の堆肥化施設を想定した場合のパ

ラメータを代入し、九州を対象にシミュレーションを実施した。その結果、輸送費用と処理費用を合計した総費用が推計され、社会的にみて最適な施設規模と施設分布を明らかにした。ただし、以下の点が課題として残されている。

- 今回対象とした品目は、家庭系一般廃棄物の生ごみのみである。しかしながら、現状の施設においても、外食産業、食品小売・卸売業や、食品製造業などからの食品廃棄物も混合処理している事例はあり、今後より現実に近い解析を行うためには、受入対象を拡大して解析を行うことが必要である。
- 生ごみのリサイクルを検討する際、処理後の再生品の需要先の確保は重要な課題である。今回の解析では、全てを堆肥とし、畑に施用するという想定で試算した。しかしながら、九州という広範囲を対象とした場合、再生品の需要先の確保という観点で考えると、資料化またはメタン化など他の処理を行った方がよい場合も考えられる。今後、再生品の需要先の観点からも解析を行うことが必要である。
- 望ましい地域循環圏を検討するためには、今回試算した費用だけでなく、環境面の指標や地域活性化などの社会面の指標を導入することにより、総合的視点からの最適な空間スケールを検討することが必要である。

これまでの評価ツールでは、品目や中間処理手法の特性を反映させた空間スケールを導出することはできない。本章では、地域特性に関して発生密度、品目特性に関して輸送効率とスケールファクターを支配パラメータとして採用しており、社会的必要性の高いモデルの構築を行った。

## 参考文献

- 1) 日報アイ・ビー：2005 全国産廃処分業中間処理・最終処分企業 名覧・名鑑，2005
- 2) 産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会電気・電子機器リサイクルワーキンググループ 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会家電リサイクル制度評価検討小委員会：リサイクル料金の透明化について，2007
- 3) 北海道大学廃棄物処分工学研究室：さまざまな有機性廃棄物を対象とする堆肥化施設・メタン発酵施設に関する調査分析，2011
- 4) 国土技術政策総合研究所：ディスプレイ導入社会実験に関する調査報告書 No.226，pp.169，2005
- 5) 社団法人 地域環境資源センター：バイオマス利活用技術情報データベース，<[http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/prefectures\\_search\\_fodder.php](http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/prefectures_search_fodder.php)>，(2012/3/16 最終アクセス)
- 6) 藤山淳史・松本亨：容器包装を対象とした循環資源の広域移動に関する構造分析，環境科学会誌，Vol.24，No.2，pp.103-113，2011
- 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，2005
- 8) 国土交通省：第7回全国貨物純流動調査報告書（物流センサス），2000
- 9) 国土交通省道路局：高速自動車道路の総合評価手法について報告書，pp.57，2004
- 10) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：メタンガス化（生ごみメタン）施設整備マニュアル，2008

- 11) 北九州市 HP : ごみの自己搬入について,  
<[http://www.city.kitakyushu.lg.jp/kankyou/file\\_0054.html](http://www.city.kitakyushu.lg.jp/kankyou/file_0054.html)>, (2012/3/19 最終アクセス)
- 12) 北九州市 HP : 家庭ごみ,  
<[http://www.city.kitakyushu.lg.jp/kankyou/file\\_0002.html](http://www.city.kitakyushu.lg.jp/kankyou/file_0002.html)>, (2012/3/19 最終アクセス)
- 13) 第7回ひょうごエコタウン推進会議研究発表会 : 食品残渣飼料化モデル事業検討例, 2006
- 14) 藤井実・村上進亮・南齋規介・橋本征二・森口祐一・中村卓也・越川敏忠 : 家庭系ごみの分別収集に係る収集車の走行距離・台数等の調査, 廃棄物学会論文誌, Vol.18, No.6, pp.443-453, 2007
- 15) 福岡県 HP : 福岡 Dataweb, <<http://www.pref.fukuoka.lg.jp/dataweb/>>, (2012/7/5 最終アクセス)
- 16) 平成21年度地域循環圏に関する九州会議 : 生ごみ資源化事例報告 (九州地域生ごみ対策研究会成果), 2009
- 17) 総務省 HP : 統計でみる市区町村のすがた 2012, <<http://www.stat.go.jp/data/ssds/5b.htm>>, (2012/7/5 最終アクセス)
- 18) 農林水産省 HP : 農林業センサス, <<http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/index.html>>, (2012/7/5 最終アクセス)
- 19) 農林水産省 : 畜産用飼料の暫定許容値設定に関する Q&A, 2012
- 20) 株式会社数理システム : NUOPT (汎用数理計画法パッケージ)
- 21) 九州地方環境事務所 : 地域循環圏に関する九州会議, 平成21年度 第2回会議 資料 1-2, 2009

## 6章 紙おむつ分別リサイクルを対象とした総合評価

### 6.1 概説

福岡県三潴郡大木町では、2011年10月から「家庭系使用済み紙おむつの分別回収」を開始し、2012年8月から「高齢者等ごみ出しサポート事業」を開始している。これらは、環境と高齢者福祉の融合施策といえ、環境側面と社会側面（高齢者福祉への貢献）に対する効果が見込まれている。地域循環圏の考え方をもとに、地域活性化への貢献度を評価するには適した事例であると考えられるため、本研究の総合評価対象事例に、大木町の「紙おむつ分別・リサイクル事業」を設定とした。総合評価を実施するにあたり、6.2章でまず使用済み紙おむつのマテリアルリサイクルによる環境面への効果について、ライフサイクルアセスメント（LCA）を用いて評価を行う。対象とした施設は、大牟田エコタウンに立地しているトータルケア・システム株式会社の水溶化処理システム（マテリアルリサイクル）である。なお、大木町で回収した使用済み紙おむつは、この施設でリサイクルをされている。次に、6.3章では、大木町の使用済み紙おむつの分別・リサイクル事業を対象に、環境面、経済面に加え、社会面の指標を追加した総合評価の枠組みを提示する。その効果については、住民に対するアンケート調査を行い、その結果を多基準分析手法の一つであるコンコーダンス分析を用いて、定量的に示す。

よって、本章の目的は以下の2点である。

- 使用済み紙おむつの水溶化処理システムと従来の焼却処理を対象にライフサイクルインベントリ分析を行うことにより、マテリアルリサイクルの有効性を評価すること
- 住民に対するアンケート調査を行い、大木町の使用済み紙おむつ分別・リサイクル事業の効果を、環境面・経済面に加え、社会面の指標を追加した総合評価を行う手法を提示し、試行すること

### 6.2 使用済み紙おむつのマテリアルリサイクルのライフサイクルインベントリ分析

#### 6.2.1 紙おむつリサイクルの背景

1940年頃にスウェーデンで誕生した紙おむつは、1960年代に日本でも販売が開始された。当初、性能的な問題や使い捨てへの抵抗感からあまり普及はしなかったが、高分子吸収剤が開発され、1983年に高分子吸収剤入りの紙おむつが販売されると女性の社会進出の影響もあり急速な普及を遂げた。一方、大人用紙おむつは高齢者人口の増加とともに様々なタイプの紙おむつ（フラットタイプ、テープタイプ、パンツタイプ、パッドタイプ）が登場し、普及してきた。現在では紙おむつは介護の必需品として広く普及しており、その結果、使用済み紙おむつの排出量は年々増加傾向にある。日本衛生材料工業連合会（以下、日衛連）の資料<sup>1)</sup>によると、2010年に乳幼児用紙おむつは8,630百万枚（29.5万t）で、大人用紙おむつは5,445百万枚（28.1万t）生産されている。2015年には乳幼児用紙おむつは8,297百万枚（28.3万t）、大人用紙おむつは7,000百万枚（33.9万t）生産されると予測されており、大人用紙おむつはこの5年間で約28.6%伸びるとされている。現在の紙おむつの処理状況をみると、日衛連の調査<sup>2)</sup>によると、家庭から排出される使用済み紙おむつの約90%の自治体が家庭系一般廃棄物の可燃ごみとして焼却処理されていることが明らかになっている。一方介護施設や病院等から排出される使用済み紙おむつは、事

業系一般廃棄物としてやはり焼却処理されているケースが多いが、一部の自治体では産業廃棄物に区分されているケースもある<sup>3)</sup>。紙おむつのリサイクルとしてはサーマルリサイクルやマテリアルリサイクルが考えられるが、汚物の付着による衛生的・感情的問題、複合素材であるため分離選別が難しいという問題から、自治体の清掃工場におけるごみ発電を除くと、現状ではほとんど実施されていないのが現状である。一部の事業者において、固形燃料化（RPF 製造）によるボイラーの燃料利用というサーマルリサイクルを行なっている事例がある。紙おむつは、主にパルプ、プラスチック、高分子吸収剤の複合素材で構成されており、吸水性や強度に優れているという特徴から針葉樹から抽出された良質なパルプが使用されている。マテリアルリサイクルとしては、使用済み紙おむつからパルプを取り出し、建築資材等へ再利用することは行われているが、現在「紙おむつ to 紙おむつ」というクローズドリサイクルのための技術開発が進められているところである。実現すれば、紙おむつの生産量増加に伴う森林伐採の抑制や、使用済み紙おむつの増加による廃棄物処理に伴う環境負荷の抑制に貢献できると考えられる。現在、水溶化処理によるマテリアルリサイクルシステムにより、使用済み紙おむつを素材毎に分離する技術が開発され、2005 年より大牟田エコタウン内で稼働している。この技術は、紙おむつを素材別に分離することでマテリアルリサイクルを可能にするため、従来の焼却・埋立量を減少させることができ、また天然資源抑制効果が期待できる。一方で、水消費量の増大とそれにとまなう排水処理が必要となる。このようにメリット・デメリットがあるため、ライフサイクル的観点から環境評価を実施する必要がある。

## 6.2.2 使用済み紙おむつのマテリアルリサイクルのライフサイクルインベントリ分析

### (1) リサイクルシステムの概要

本研究で対象とした水溶化処理システムの概要を説明する。リサイクルプラントの諸元を表 6.1 に、プロセスフローを図 6.1 に示す。病院・福祉施設から搬出された使用済み紙おむつは、収集・運搬業者によってリサイクルプラントへ搬入される。プラントではエネルギー、水、薬剤が投入され、再生パルプおよび低質パルプ、プラスチック、及び汚泥に分離される。分離工程において大量の水を使用するが、今回の評価対象プラントでは、約 80%の水が循環利用されている。回収された再生パルプは、現在では防火板等の建築資材の原料としてリサイクルされている。「紙おむつ to 紙おむつ」のクローズドリサイクルの検討も進められているが、実現にはまだ至っていない。また、低質パルプおよび脱水汚泥は土壌改良剤へと再利用され、プラスチック類は RPF 燃料として利用されている。

なお、今回対象としたリサイクルプラントの処理能力は 20t/日で、1 日 10 万枚の使用済み紙おむつのリサイクル処理を行い、紙おむつ約 8 万枚に相当するパルプが回収されている。現在は、主に病院および福祉施設から排出される事業系の使用済み紙おむつを回収しているが、2011 年 10 月からは福岡県大木町の家庭から排出される使用済み紙おむつの回収・リサイクルを開始した。自治体が家庭から排出される使用済み紙おむつのリサイクルを行うのは全国初の取り組みである。2008 年に大木町を対象として実施された可燃ごみ組成調査によると、焼却ごみの 11%（重量比）を紙おむつが占め、賦存量は町内で年間 100t を超えると推定されている<sup>4)</sup>。

表 6.1 リサイクル施設の概要

事業者	トータルケア・システム株式会社
施設所在地	大牟田エコタウン
対象廃棄物	病院・介護施設等から排出される使用済み紙おむつ。2011年10月から福岡県大木町から回収される使用済み紙おむつも対象。
処理方法	水溶化処理による素材別分離
処理規模	20t/日 (約 10 万枚)

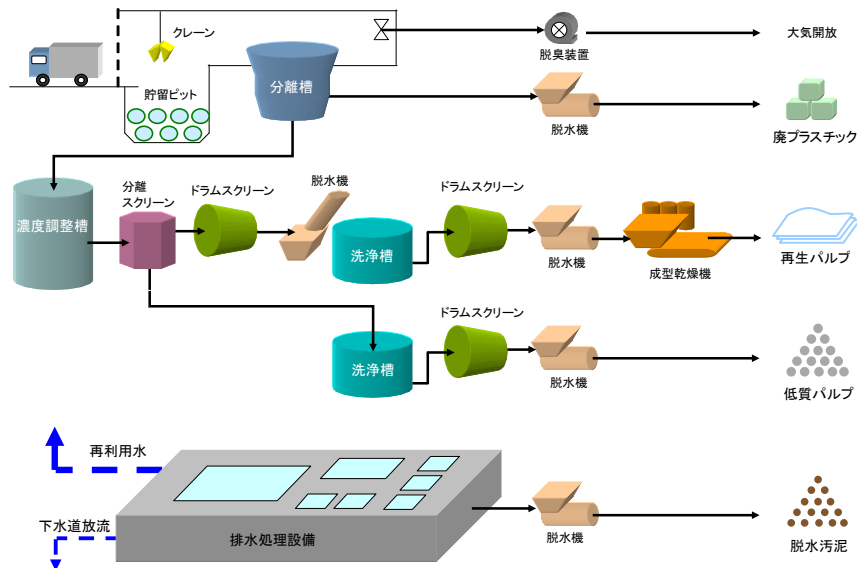


図 6.1 リサイクルプラントのプロセスフロー

## (2) 評価対象の設定とシステム境界

使用済み紙おむつのリサイクルシステムによりプラスチックとパルプが回収・再資源化される。そのため、特に地球温暖化との関連が大きいものと判断し、ライフサイクルにおける温室効果ガス排出量を評価指標として選定する。本研究で対象とした評価対象システムを図 6.2 に、比較対照の従来システムを図 6.3 に示す。評価範囲は、使用済み紙おむつがリサイクルプラントに搬入されてから、各種素材に分解され、二次利用可能な状態に再生されるまでとする。つまり、再生パルプが防火板製造工場へ搬入されるまで、廃プラスチックが RPF に加工され燃料として使用されるまで、低質パルプおよび脱水汚泥が発酵肥料へと再商品化されるまでとする。なお、リサイクルプラントに搬入されるまでの使用済み紙おむつの回収プロセスは対象外とするが、リサイクルプラントから再商品化工場までの輸送は評価に含める。

比較対照としては、従来の使用済み紙おむつ処理を想定し、一般廃棄物として焼却処理、埋立処分されるものとする。再生パルプの比較対照はやはり防火板製造に用いられるバージンパルプとし、廃プラスチック類は RPF としてサーマルリサイクルされることから、比較対照を石炭の燃焼とし、低質パルプおよび脱水汚泥の比較対照は単質肥料（化学肥料）とする。なお、紙おむつに関する研究の多くは布おむつを比較対照としているが、本研究では紙おむつの従来処理と水溶化処理システムの比較評価に焦点を当てているため、布おむつは評価の対象としない。

なお、機能単位は評価対象リサイクルプラントに搬入される使用済み紙おむつ 1 年間分の処理量（約 4,400 トン）とする。

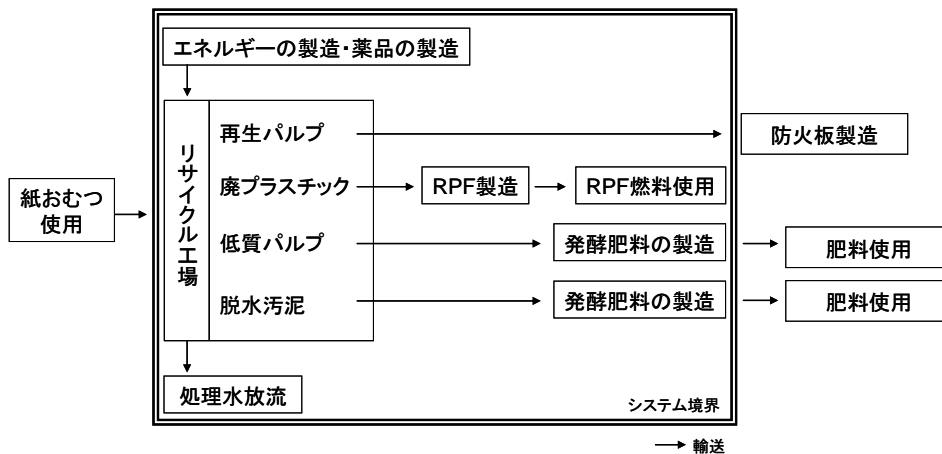


図 6.2 使用済み紙おむつリサイクルシステム境界

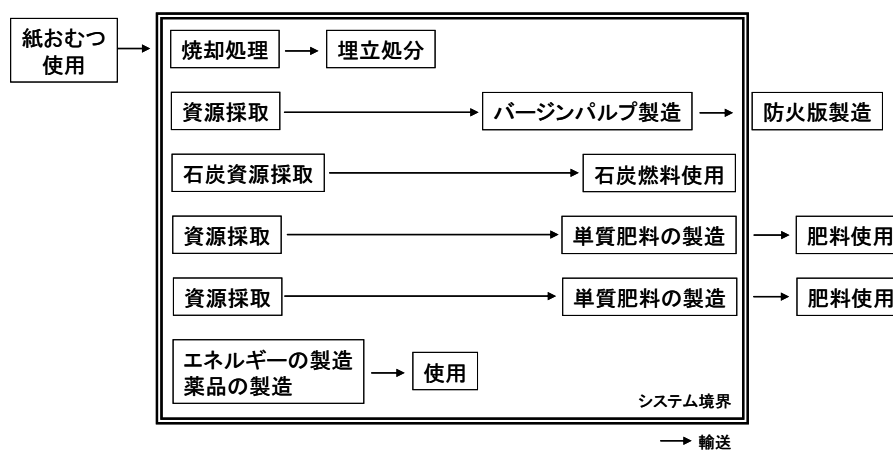


図 6.3 比較対照とした従来システム

### (3) 分析方法

#### a) 評価対象データ

本研究では、2009年10月から2010年9月までの1年間を調査期間とし、期間内に処理した紙おむつの量および投入した薬剤、エネルギー量を実測し、それを用いて評価を行った。なお、調査項目は受入量および処理量、投入エネルギー（電力、工業用水、ガス）、廃棄量（放流水）、薬品使用量（塩化カルシウム、メタノール、次亜塩素酸ソーダ、苛性ソーダ、高分子凝集材）である。

#### b) 二酸化炭素排出量原単位の設定

本研究では、日本建築学会の「建物のLCA指針」<sup>5)</sup> および産業環境管理協会の「JEMAI-LCA Pro」<sup>6)</sup>、「LCAデータベース」<sup>7)</sup>、「MiLCA」<sup>8)</sup>、環境省・経済産業省の「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」<sup>9)</sup>のCO<sub>2</sub>排出原単位を用いた。リサイクルプラントの排水汚泥からの肥料製造については、橘らの下水汚泥の分析結果<sup>10)</sup>を用いた。使用したCO<sub>2</sub>排出原単位を表6.2に示す。

表 6.2 CO<sub>2</sub>排出原単位の設定

		CO <sub>2</sub> 排出量原単位	出典
水溶化処理システム	電力	0.564 kg-CO <sub>2</sub> /kwh	①
	工業用水	0.070 kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	①
	放流水	3.061 kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	①
	ガス	0.176 kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	①
	塩化カルシウム	0.744 kg-CO <sub>2</sub> /kg	②
	メタノール	2.228 kg-CO <sub>2</sub> /kg	③
	次亜塩素酸ソーダ	0.789 kg-CO <sub>2</sub> /kg	①
	苛性ソーダ	1.677 kg-CO <sub>2</sub> /kg	②
	高分子凝集剤	2.660 kg-CO <sub>2</sub> /kg	④
廃プラスチック	直接排出分	2.770 kg-CO <sub>2</sub> /kg	⑤
	RPF 製造	0.137 kg-CO <sub>2</sub> /kg	③
汚泥発酵肥料の製造		40.500 kg-CO <sub>2</sub> /t	⑥
比較項目	焼却	0.192 kg-CO <sub>2</sub> /kg	⑦
	直接排出分 (プラスチック)	2.770 kg-CO <sub>2</sub> /kg	⑤
	埋立	0.261 kg-CO <sub>2</sub> /kg	⑦
	上質パルプ	1.054 kg-CO <sub>2</sub> /kg	②
	石炭燃焼	0.097 kg-CO <sub>2</sub> /MJ	①
	単質肥料	0.458 kg-CO <sub>2</sub> /kg	①

- ① 日本建築学会：建築の LCA 指針<sup>5)</sup>  
 ② 社団法人 産業環境管理協会：MiLCA<sup>8)</sup>  
 ③ 社団法人 産業環境管理協会：LCA データベース<sup>7)</sup>  
 ④ 北海道大学大学院工学研究科廃棄物資源講座廃棄物処理工学分野：都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究<sup>11)</sup>  
 ⑤ 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル<sup>9)</sup>  
 ⑥ 下水汚泥発酵肥料の製造に関する LCA<sup>10)</sup>  
 ⑦ 社団法人 産業環境管理協会：JEMAI-LCA Pro<sup>6)</sup>

#### c) 輸送工程の設定

輸送工程における CO<sub>2</sub>排出量は物流分野の CO<sub>2</sub>排出量に関する算定方法ガイドライン<sup>12)</sup>を参考に、改良トンキロ法を用いて推計した。輸送は全て 4t の営業用トラック（軽油）とし、平均積載率を 62%と仮定した。輸送距離に関しては NAVITIME<sup>13)</sup>を用いてリサイクルプラントから再商品化工場までの実際の距離を算出し、同一品目が複数の再商品化工場へ搬送している場合はその平均値を用いた。

#### d) 焼却処理・埋立処分の設定

焼却施設までの輸送については、両システムともに同条件であると仮定して、評価対象外とした。従来システムでは、焼却され、焼却灰は埋立処分される。この埋め立て量は、使用済み紙おむつの各構成材料の量と灰分から推計する。対象としたリサイクルプラントでは、使用済み紙おむつを 20t 処理した場合、乾燥重量で再生パルプが 3.18t、廃パルプが 0.58t、廃プラスチックが 1.69t 回収されるので、同量を焼却処理することを想定する。パルプとプラスチックの灰分比は、H-IWM<sup>11)</sup>を参考に、それぞれ乾ベースで 0.0742、0.0557 と設定した。このデータを用いて焼却後の埋立量を推計した。前述したとおり、事業系の使用済み紙おむつの処理は一般廃棄物か産業



廃棄物として焼却処分されているため、CO<sub>2</sub> 排出原単位は一般廃棄物処理を対象として焼却・埋立する場合の原単位を用いた。

#### e) 石炭の代替必要量の設定

RPF を石炭で代替する際、発熱量 (kcal/kg) ベースで石炭の必要量を等価換算した。今回対象とした RPF 製造工場で製造される RPF の単位発熱量は 5,000kcal/kg~6,000kcal/kg であるため、中間の 5,500kcal/kg とした。この値に RPF の製造量を乗じることで RPF の総発熱量を算出した。石炭の発熱量は経済産業省の資料<sup>14)</sup> より 25.7MJ/kg とし、単位換算を行うことによって石炭の必要量を推計した。

#### f) 肥料の代替必要量の設定

低質パルプおよび脱水汚泥を単質肥料で代替する際、窒素含有量をベースに肥料の必要量を設定した。食品残渣および下水汚泥から作られた発酵肥料と化学肥料の物質構成を窒素分を比較すると、重量あたり窒素含有率で化学肥料の方が発酵肥料の場合に比べて約 5~10 倍多く含んでいるとされる<sup>15)、16)</sup>。そこで、本研究では発酵肥料と化学肥料の窒素含有率比を 1:5 と仮定し、重量比で化学肥料に対してコンポストは 5 倍で機能を同等とした。

#### g) し尿の設定

紙おむつをリサイクルした場合、し尿は汚泥に取り込まれ土壌改良剤の原料となっている。その後、永久的に炭素が土壌中に固定されているとは考えづらく、時間とともに大気中へ放出される。また、比較対照である焼却処理を行なう場合は、焼却時に大気中に放出される。そのため、リサイクルケースにおいても焼却ケースにおいても大気中への放出と条件が同じため、今回、し尿中の炭素分については考慮にいていない。

#### h) パルプの設定

水溶化処理システムにより抽出される再生パルプの比較対照として、パルプを原料から製造した場合を設定している。原料由来の CO<sub>2</sub> については、カーボンニュートラルを考慮して計算の対象外とした。

#### i) その他の温室効果ガス排出原単位の設定

リサイクルシステムでは、RPF 燃料使用時にメタンと亜酸化窒素が発生し、下水汚泥発酵肥料製造時にメタンが発生する。従来システムでは、使用済み紙おむつの焼却時にメタンと亜酸化窒素が発生し、埋立処分時にメタンが発生する。そこで、それらを推計し、GWP (地球温暖化係数) を用いて CO<sub>2</sub> 等価換算する。計算には、温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル (環境省・経済産業省)<sup>9)</sup> の温室効果ガス排出原単位を用いた (表 6.3)。また、表 6.4 に示す GWP を使用して、温室効果を等価換算した。

表 6.3 CH<sub>4</sub>及び N<sub>2</sub>O 温室効果ガス排出量原単位係数の設定

	メタン (CH <sub>4</sub> )	亜酸化窒素 (N <sub>2</sub> O)
RPF 使用	0.00035 t-CH <sub>4</sub> /t	0.00017 t-N <sub>2</sub> O/t
下水汚泥発酵肥料の製造 (低質パルプ、乾燥ベース)	0.136 t-CH <sub>4</sub> /t	
下水汚泥発酵肥料の製造 (脱水汚泥、乾燥ベース)	0.133 t-CH <sub>4</sub> /t	
一般廃棄物の焼却処分	0.00000095 t-CH <sub>4</sub> /t	0.0000567 t-N <sub>2</sub> O/t
下水汚泥の埋立処分	0.133 t-CH <sub>4</sub> /t	

表 6.4 温室効果ガスの温暖化係数

物質名	温暖化係数
二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	1
メタン (CH <sub>4</sub> )	21
亜酸化窒素 (N <sub>2</sub> O)	310

#### (4) 分析結果

図 6.4 に対象としたリサイクルプラント及び比較対照の CO<sub>2</sub> 排出量算出結果と CO<sub>2</sub> 換算の温室効果ガス排出量を示す。結果から分かるように、CO<sub>2</sub> 排出量においても CO<sub>2</sub> 換算の温室効果ガス排出量においてもリサイクルシステムの方が環境負荷は小さいことがわかった。使用済み紙おむつ 1 年間分を処理した結果、リサイクルプラントからは 2,397t-CO<sub>2</sub> 排出されることがわかった。同じ量を従来の方法である焼却処理、埋立処分を行なった場合、3,820t-CO<sub>2</sub> が排出されることがわかった。その結果、焼却処理、埋立処分を行なうよりも対象プラントでマテリアルリサイクルを行った方が、年間 1,423t の CO<sub>2</sub> 削減効果があり、その削減率は約 37% であることがわかった。リサイクルシステムと比較対照の CO<sub>2</sub> 排出量の内訳を図 6.5 と図 6.6 に示す。部分的に見てみると、リサイクルシステムにおける水溶化システムに対応するのは、比較対照では焼却処理・埋立処分である。敢えて直接比較すると、焼却処理・埋立処分の CO<sub>2</sub> 排出が約 1.5 倍多い。リサイクルシステムにおける RPF (製造・燃焼) に対応するのは、比較対照における石炭燃料 (採掘・燃焼) の部分である。つまり、リサイクルシステムの方の廃プラも燃焼時に CO<sub>2</sub> を排出するが、同時に石炭と同等の仕事をすることになる。この比較では、リサイクルシステムの CO<sub>2</sub> 排出は約半分となる。なお、石炭は RPF に比べ発熱量が高く、必要重量は RPF に比べ少なくなるが、単位重量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量は RPF に比べ石炭の方が大きいため、この両者はほぼ同量となる。比較対照におけるバージンパルプ製造工程からの CO<sub>2</sub> 排出も目立つが、これに対応するのはリサイクルシステムでは上質パルプ再資源化工程であり、後者が圧倒的に小さいことがわかる。

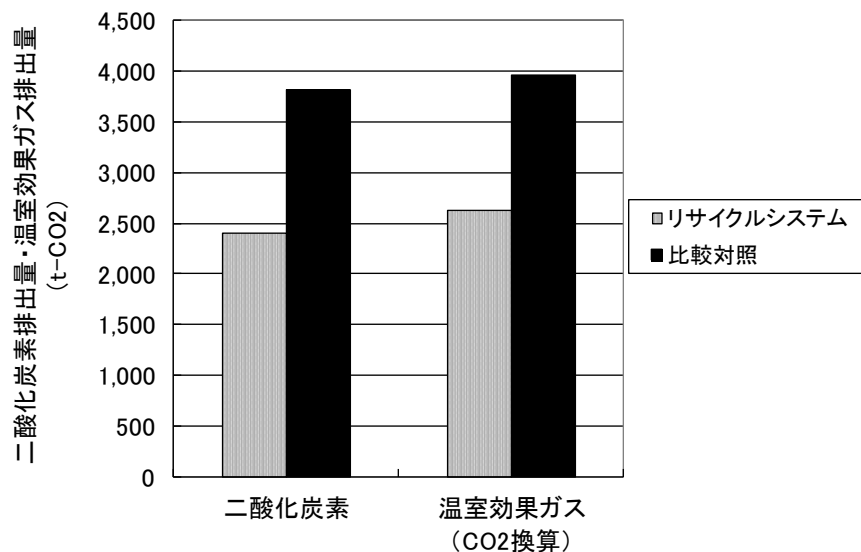


図 6.4 LCI 分析による比較結果

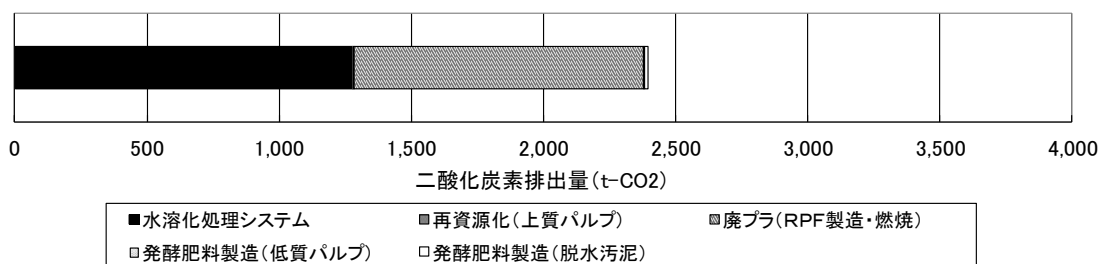


図 6.5 水溶化処理システムの CO<sub>2</sub> 排出量の内訳

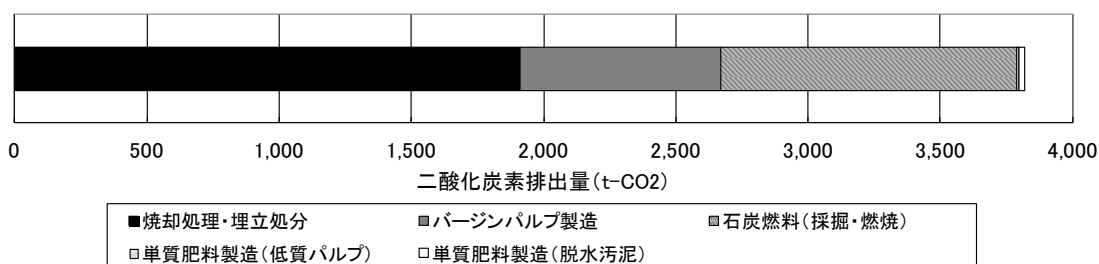


図 6.6 従来システムの CO<sub>2</sub> 排出量の内訳

### 6.3 紙おむつ分別リサイクルを対象とした総合評価

#### 6.3.1 評価対象の概要

福岡県三潴郡大木町で取り組まれている紙おむつのリサイクル事業は、家庭から排出される使用済み紙おむつを町内に設置された回収ボックスで回収し、回収された使用済み紙おむつを、大牟田エコタウン内に立地するラブフォレスト大牟田でマテリアルリサイクルを行い、建築資材や RPF (固形燃料) 等に分別し、リサイクルを推進しようとする取り組みである。また、2012 年 8 月から試行されている「高齢者等ごみ出しサポート事業」とは、家庭ごみの分別や排出が困難な

高齢者や心身障害者等を対象に、分別作業の負担軽減と安否確認を同時に行うために開始された事業である。現在、大木町には 75 歳以上高齢者のみ世帯は 300 世帯あり、そのうち民生委員の選出により 20 世帯への訪問が行われている。訪問は、大木町シルバー人材センターにより行われており、週一度の訪問時にごみ出しだけでなく、電球の取り換えなど軽微の困りごとへの対応も行われている。本研究で調査研究事業を行った時点では、「高齢者等ごみ出しサポート事業」は事業開始から半年しか経っていなかったことから、「紙おむつの分別・リサイクル事業」のみを評価対象とした。

### 6.3.2 紙おむつ分別・リサイクル事業の総合評価

住民に対するアンケート調査をもとに、多基準分析手法を用いて、環境、経済、社会の各側面の評価の総合化を試みた。多基準分析の中では、AHP（階層分析法）が広く用いられているが、AHP による分析は、基準間および代替案間におけるすべての一対比較を行う必要があり、本研究のように住民へのアンケート調査を行うには回答者の大きな負担となる。多基準分析手法の 1 つにコンコダンス分析<sup>17)</sup>がある。コンコダンス分析手法は、配点法による基準間の重み付けと代替案間の一対比較によって分析ができる。

コンコダンス分析の特徴として、複数案の一対比較の結果から、コンコダンス優先指標・ディスコダンス優先指標を求め、優位点だけでなく劣位点を考慮して総合得点を計算することができる点である。計算方法については、6.3.3 項で説明する。ここで、コンコダンス優先指標では、ある代替案が全体の中でどの程度優れているかを示す指標であり、ディスコダンス優先指標は、ある代替案が全体の中でどの程度問題があるかを示す指標である。

本研究では、コンコダンス分析を用いて、優位点だけでなく、劣位点も考慮して「紙おむつの分別・リサイクル」の評価を実施した。なお、本研究では、評価基準を 2 段階設定し、評価を行った。

### 6.3.3 紙おむつ分別・リサイクルの総合評価

#### (1) 分析手法

本研究で用いたコンコダンス分析法の流れを、図 6.7 に示す。

任意の一対の代替案  $i$  と  $i'$  ( $i, i' = 1, 2, \dots, n; i \neq i'$ ) に対して、コンコダンス集合  $C_{ii'}$  およびディスコダンス集合  $D_{ii'}$  を以下のように定義する。ただし、 $P_{ij}$  を代替案  $i$  の基準  $j$  に関する評価値とする。

$$C_{ii'} = \{j \mid P_{ij} > P_{i'j}\} \quad (6.1)$$

$$D_{ii'} = \{j \mid P_{i'j} > P_{ij}\} \quad (6.2)$$

次に、合計が 1 に基準化された評価基準の重みを  $W_j$  として、コンコダンス指標  $C_{ii'}$  を次式によって定義する。

$$C_{i'j} = \sum_{j \in C_{i'}} W_j \quad (6.3)$$

すなわち、基準となる代替案*i*と比較対象となる代替案*i'*に対して各評価指標を比較し、評価指標*j*に関して*i*が*i'*より優れている（あるいは同じ）場合に、その重みを可さんすることによって作成される。一方、ディスコーダンス指標*d<sub>i'</sub>*は、代替案*i*について、比較対象の代替案*i'*に対して劣っている度合いを計算することによって作成される。各評価基準の評価値の最大値と最小値と

の差を*d<sub>i,max</sub>*とし、代替案*i*が代替案*i'*よりも劣っている指標について  $\frac{(P_{ij} - P_{i'j})W_j}{d_{i,max}}$  を計算し、そ

の値が最大のものをディスコーダンス指標とする。

以上のコンコーダンス指標とディスコーダンス指標を用いて、次式によってコンコーダンス優先指標*c<sub>i</sub>*、ディスコーダンス優先指標*d<sub>i</sub>*、総合指標*e<sub>i</sub>*を計算する。

$$c_i = \sum_{i'=1}^n c_{i'i} - \sum_{i'=1}^n c_{i'i} \quad (6.4)$$

$$d_i = \sum_{i'=1}^n d_{i'i} - \sum_{i'=1}^n d_{i'i} \quad (6.5)$$

$$e_i = c_i - d_i \quad (6.6)$$

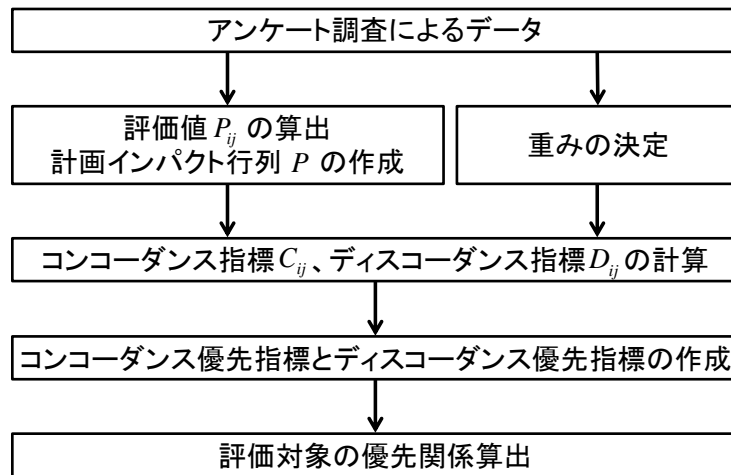


図 6.7 コンコーダンス分析の分析フロー

## (2) 総合評価のフレーム

本研究では、使用済み紙おむつの分別・リサイクルの評価基準を 2 段階に分けた。評価指標の全体像を図 6.8 に示す。

まず、基準 1 に、社会側面として「A ごみ出しの利便性・快適性」と「D 地域活力・福祉力」、経済側面として「B 経済面」、環境側面として「C 環境面」の 4 つを設定した。基準 2 には、基準 1 の下にそれぞれ、「A1 衛生面」、「A2 分別の手間」、「A3 ごみの出しやすさ」、「B1 家計」、「B2 行政の費用」、「B3 地域経済への影響」、「C1 地球温暖化」、「C2 天然資源への影響」、「C3 埋立量」、

「D1 意識啓発」、「D2 高齢者にとっての暮らしやすさ」、「D3 地域の活力」の計 12 項目を設定した。

### (3) アンケート調査概要

紙おむつの分別・リサイクルに関して、どのような観点（評価基準）を重要視するか、住民にアンケート調査を実施した。本調査では、紙おむつの分別回収に取り組んでいる、あるいは関心の高いと考えられる住民を対象とするべく、乳幼児のいる家庭として町の子育て支援センターの利用者、高齢者として、町のシルバー人材センターの利用者にアンケート調査を実施した。調査内容は、図 6.8 に示す基準 1 間と基準 2 間の重要度比較、基準 2 に関して評価対象に対する一対比較を問うた。調査内容の一覧を表 6.5 に示す。

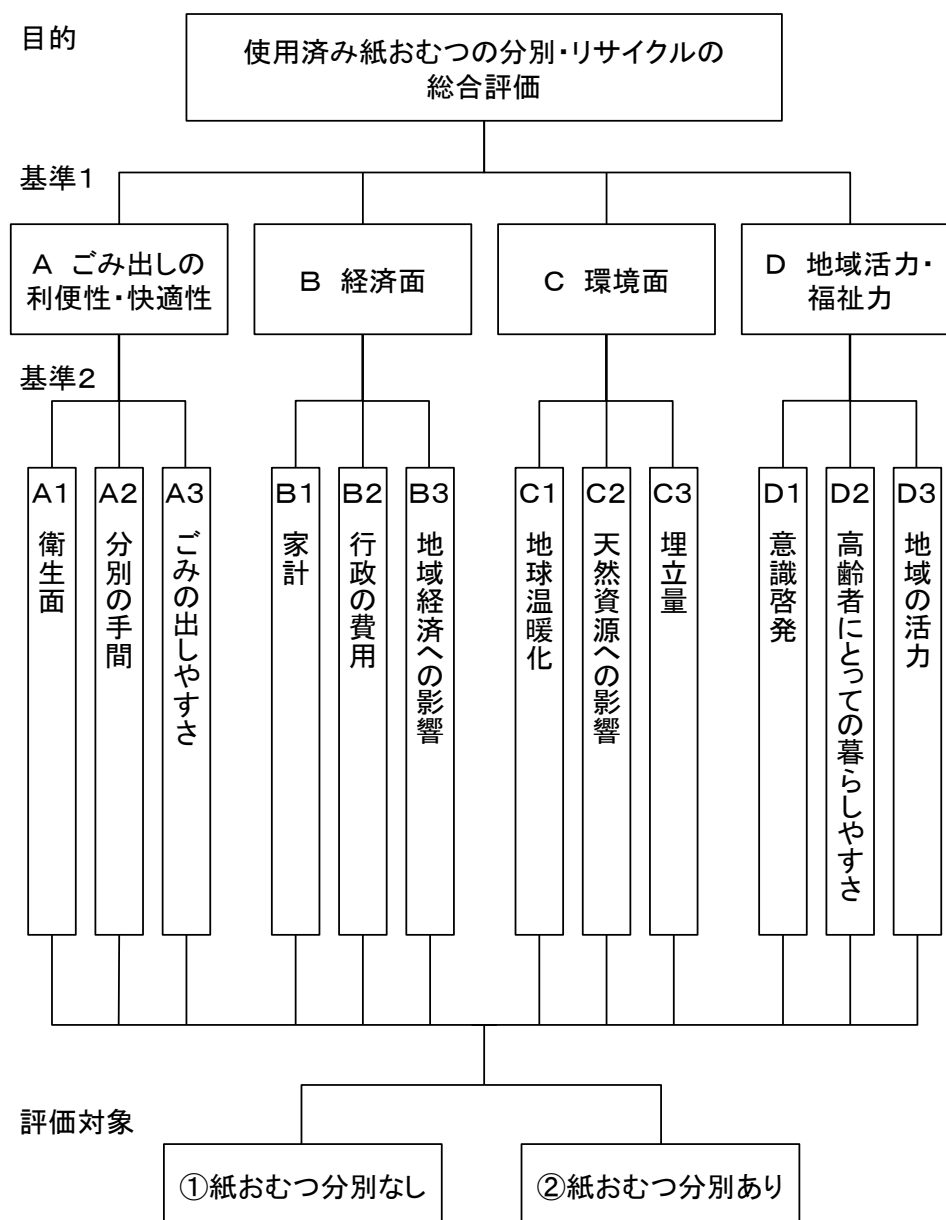


図 6.8 評価指標の全体像

表 6.5 紙おむつの・分別リサイクルに関する住民意識調査内容

項目		内容	
基準 1	A	ごみ出しの 利便性・快適性	ごみ処理システムを利用する立場からの評価。ごみが回収されるまでの衛生面の状態、分別の手間、ごみ袋の使いやすさ、ごみの回収方法、回収場所の利用しやすさ等を含む。
	B	経済面	ごみ処理システムの、家計や行政の費用、地域経済などに与える影響という観点からの評価。
	C	環境面	ごみ処理システムが、地域や地球の環境に与える影響という観点からの評価。地球温暖化、ごみの最終処分場、資源枯渇等を含む。
	D	地域活力・福祉力	ごみ処理システムが、地位や福祉に与える影響という観点からの評価。地域の活力、住民同士のつながり、高齢者の暮らしやすさ、ごみの分別を通しての学びなどを含む。
基準 2	A1	衛生面	収集日までごみを家庭に保管している間や、使用済み紙おむつ回収ボックスに出す際の衛生、清潔さ。
	A2	分別の手間	ごみの分け方のルールに従って、ごみを分別する際の負担感（手間、時間）。
	A3	ごみの出しやすさ	指定ごみ袋の使いやすさ、ごみの回収方法、収集場所の数、収集場所までの距離などにおける利用のしやすさ。
	B1	家計	指定ごみ袋購入費用など。
	B2	行政の費用	家庭ごみの収集運搬、処理・処分にかかる費用。
	B3	地域経済への影響	家庭ごみの処理・リサイクルによる地域への波及効果（地産地消、雇用創出、観光など）。
	C1	地球温暖化	ごみ処理の過程で発生する二酸化炭素等の温室効果ガス、それによる地球温暖化への影響。
	C2	天然資源への影響	ごみ処理によって失われる資源の量。
	C3	埋立量	ごみ焼却後の灰などを埋め立てる量。これにより埋立場の残りの容量が減少する。
	D1	意識啓発	ごみの分別や紙おむつリサイクルから、寛容問題や高齢者福祉問題に関する興味・関心をもつこと、教育への貢献。
	D2	高齢者にとっての 暮らしやすさ	プライバシーの維持（紙おむつを使っていることが他人へ知られないこと）
	D3	地域の活力	まとづくりへの参加度、住民同士のコミュニケーション等。
	自由回答欄		紙おむつの分別・リサイクル全般に関して自由記述
個人属性		性別、年齢、職業、家族構成、同居している家族（紙おむつ利用する乳幼児・高齢者、近い将来紙おむつを利用する乳幼児・高齢者）の有無、居住形態、町での居住年数。	

#### (4) 分析結果

##### a) 回答者属性

シルバー人材センター、子育て支援センターの利用者に実施したアンケート調査の概要を表 6.6 に示す。

個人属性の性別については図 6.9 に、年齢については図 6.10 に、同居している人については図 6.11 に示す。両センターとも回答者の性別は女性が多い結果となった。年齢に関しては、シルバー人材センターが 40 代以上で、60～74 歳の回答者が多く、子育て支援センターでは、20 代 30 代の回答者が多い結果となった。また、同居している家族の紙おむつの使用状況については、子育て支援センターでは、大半が乳幼児であり、高齢者の使用者も少数見られた。シルバー人材センターでは、乳幼児の使用と近い将来使う可能性のある高齢者がいるという回答が多く、実際に現在使用している高齢者がいるという回答は見られなかった。

表 6.6 アンケート調査概要

対象者	大木町の住民	
	シルバー人材センター	子育て支援センター
配布数	35 件	29 件
配布回収方式	直接配布・回収方式	
実施期間	2013 年 1 月 15 日～1 月 23 日	
回収率（有効回答率）	91.4%（84.4%）	100%（79.3%）

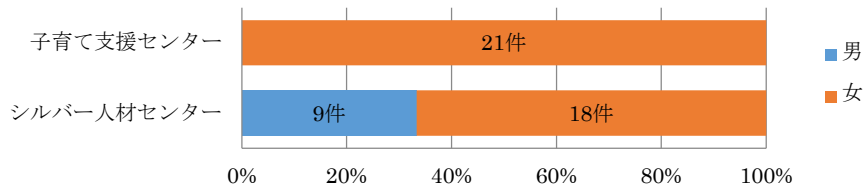


図 6.9 アンケート調査における回答者の男女比

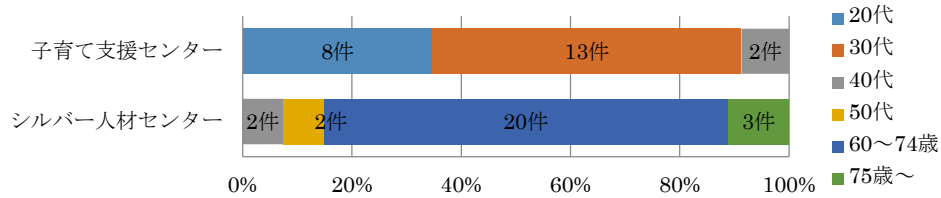


図 6.10 アンケート調査における回答者の年齢比

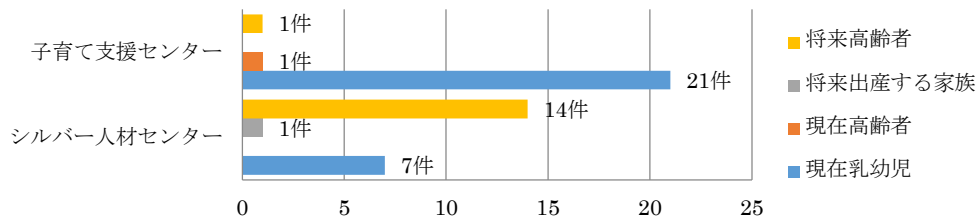


図 6.11 アンケート調査における回答者の家族

## b) 総合評価

アンケート調査で得られた各基準の重要度と一対比較の結果を用いて、コンコーダンス行列とディスコーダンス行列を作成し、「紙おむつ分別あり」と「紙おむつ分別なし」の総合評価値を算出した。「紙おむつ分別あり」の算出した結果を図 6.12 に、「紙おむつ分別なし」の算出した結果を図 6.13 にそれぞれ年代別の総合評価値の分布を示す。

「紙おむつ分別あり」と「紙おむつ分別なし」を比較すると、「紙おむつ分別あり」の評価値が高いことが分かる。このことから、どの年代も「紙おむつ分別あり」の方を良いと評価していることが分かる。また、年代別に注目すると、年代があがるごとに高く評価していることが分かる。図 6.14～6.17 に、基準 1 ごとの評価値の分布（紙おむつ分別ありのケース）を示す。社会側面とした、A ごみ出しの利便性・快適性と D 地域活力・福祉力の評価値の分布においてもプラスの評価値であることから、紙おむつの分別・リサイクルに関して社会側面の好評価がされていることがわかる。A ごみ出しの利便性・快適性において 20 代よりも 50 代以上の住民の評価が良い。これは、20 代には、紙おむつを使用する乳幼児を持つ回答者が多く、実際に分別回収に取り組んでいることから現れる結果と考える。また、D 地域活力・福祉力において、同様の傾向がみられる。これは、D に高齢者にとっての暮らしやすさ（D1）という指標を取り入れたことで、より自分に身近となる年齢の高い評価を得たことからと考えられる。



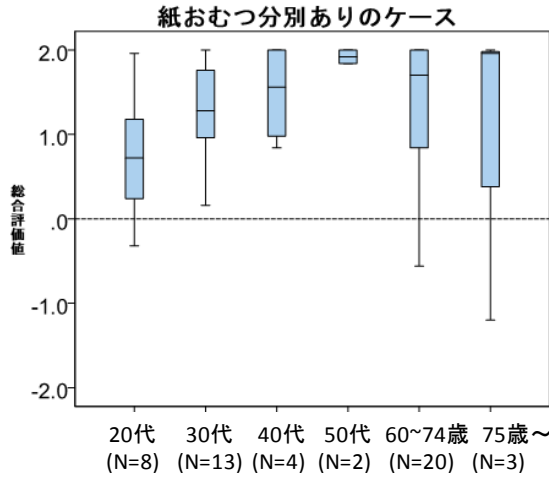


図 6.12 年代別の総合評価の分布 (分別あり)

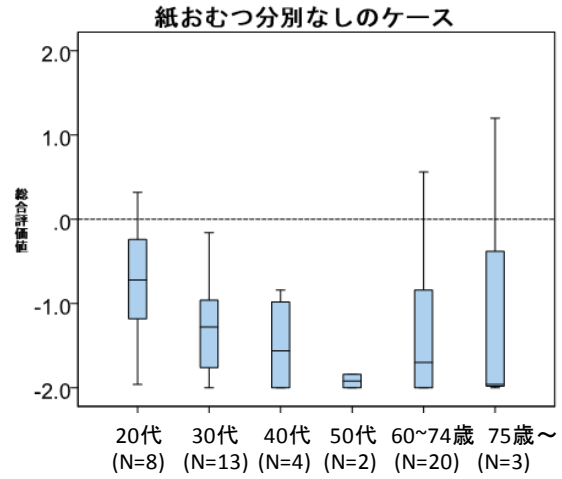


図 6.13 年代別の総合評価の分布 (分別なし)

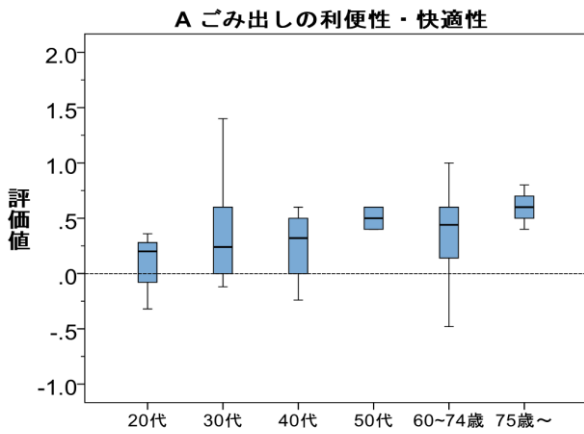


図 6.14 基準 1-A におけるの評価値分布 (分別あり)

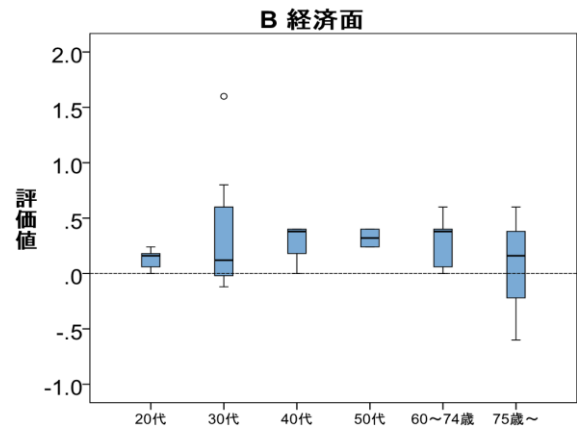


図 6.15 基準 1-B におけるの評価値分布 (分別あり)

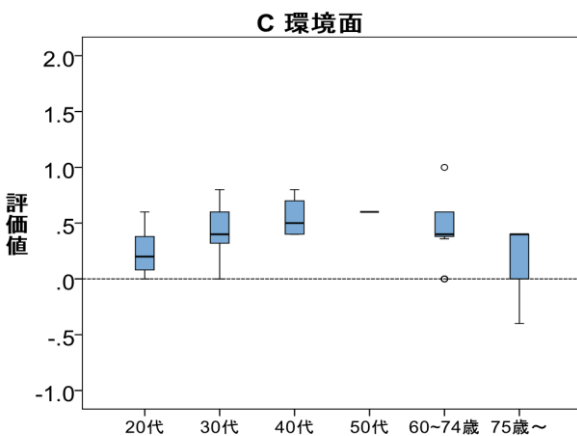


図 6.16 基準 1-C におけるの評価値分布 (分別あり)

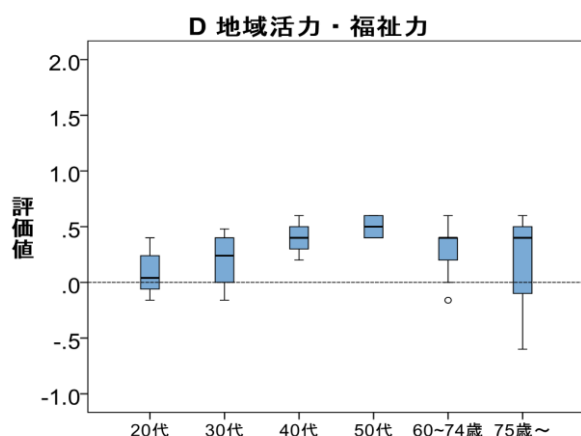


図 6.17 基準 1-D におけるの評価値分布 (分別あり)

## 6.4 本章のまとめ

本章ではまず、使用済み紙おむつの水溶化処理によるマテリアルリサイクルの効果を、ライフサイクルインベントリ分析を用いて評価した。これにより、現状の焼却処理に比べ、リサイクルシステムの方が CO<sub>2</sub> 排出量が少なく、その削減率は約 37%であることがわかった。従来の処理方法における焼却処理から排出される CO<sub>2</sub> の削減や、RPF 製造による石炭代替、パルプの再生利用によるバージンパルプ製造工程の代替等による CO<sub>2</sub> 削減量が多いため、リサイクルシステムを構築することにより、CO<sub>2</sub> 排出量の削減に大きく貢献するものと考えられる。

次に、福岡県大木町で取り組まれている使用済み紙おむつの分別・リサイクル事業を対象に、環境面・経済面に高齢者福祉に対する副次的効果を含めた社会面を追加することにより、総合評価の枠組みを提示し、住民にアンケート調査を実施することで、その効果を定量的に把握した。その結果、「紙おむつ分別あり」と「紙おむつ分別なし」を比較すると、「紙おむつ分別あり」の評価値が高く、どの年代においても「紙おむつ分別あり」の方がよいと評価していることがわかった。更に、「ごみ出しの利便性快適性」「地域活力・福祉力」の評価値の分布においても、プラスの評価値であることから、紙おむつの分別・リサイクルに関して社会側面が好評価されていることがわかる。

総合評価の枠組みは対象とする地域・品目によって異なるため、特定の地域と品目を対象としたケーススタディの蓄積が重要である。本章で構築した総合評価の枠組み、手法、結果は、今後の総合評価手法の開発に貢献する重要な先進事例になるものと考えられる。

## 参考文献

- 1) 社団法人日本衛生材料工業連合会：日衛連 NEWS, No.72, pp.2-3, 2011
- 2) 社団法人日本衛生材料工業連合会：日衛連 NEWS, No.36, pp.6, 2001
- 3) 社団法人日本衛生材料工業連合会：日衛連 NEWS, No.58, pp.6, 2007
- 4) 大木町役場：広報おおき, No.366, pp.2-3, 2011
- 5) 日本建築学会：LCA データベース 1995 年産業連関分析データ版, Ver.3.1, 2006-3-17
- 6) 独立行政法人産業技術総合研究所：社団法人産業環境管理協会, JEMAI-LCA Pro, オプションデータパック, 東京, 社団法人 産業環境管理協会, 2006-4-24
- 7) 社団法人産業環境管理協会：JLCA-LCA データベース - インパクト評価用データベース, 社団法人産業環境管理協会ホームページ, 入手先 <<http://www.jemai.or.jp/lcaforum/>>, (参照 2011-1-8)
- 8) 社団法人産業環境管理協会：MiLCA, 東京, 社団法人産業環境管理協会, 2010-12-7
- 9) 環境省・経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル, II 62-II 167, 2010
- 10) 橋隆一・蒲原弘継・後藤尚弘・藤江幸一：第 3 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.26-27, 2008
- 11) 北海道大学大学院工学研究科廃棄物資源工学講座廃棄物処理工学分野：都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究, pp.26, 1998
- 12) 経済産業省・国土交通省：物流分野の CO<sub>2</sub> 排出量に関する算定方法ガイドライン, 経済産業

- 省資源エネルギー庁ホームページ,  
入手先<<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/images/060518pamph.pdf>>, (参照 2011-1-11)
- 13) ナビタイムジャパン: NAVITIME ナビゲーション総合サイト (車ルート検索), NAVITIME ナビゲーション総合サイトホームページ, 入手先 <<http://www.navitime.co.jp/>>, (参照 2010-12-28)
- 14) 経済産業省資源エネルギー庁: 2005 年度以降適用する標準発熱量の検討結果と改定値について, 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ,  
入手先<<http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/jukyu/resource/pdf/070601.pdf>>, (参照 2011-1-11)
- 15) 社団法人日本下水道協会: 下水汚泥処理総合計画策定マニュアル, pp.132-134, 1991
- 16) 肥料協会新聞部: 肥料年鑑, pp.214-248, 2008
- 17) P.ネイキャンプ・ヴァン デルフト・P.リートヴェルト: 多基準分析と地域的意思決定, pp.28-56, 勁草書房, 1989

## 7章 結論

本研究は、循環型社会形成に向けた大きな柱の一つである「地域循環圏」の構築に対し、望ましい地域循環圏の構築を支援するためのモデルの構築と総合評価手法の提案を行うことを目的に、2章～5章を通して、循環資源の品目特性と、地域特性に応じた最適な空間スケールを導出するための資源循環拠点立地モデルの開発を行い、6章では環境面・経済面に地域活性化や高齢者福祉への効果などの社会面を追加した総合評価手法の提案を行った。本論文の総括を以下に記す。

第1章では、本研究の背景として、地域循環圏の概要について説明を行い、廃棄物の流通実態、既往研究と本論文の特徴について述べた。廃棄物の流通実態に関しては、環境省と福岡県の流通実態データを用いて、産業廃棄物の平均輸送距離(km/t)を算出し、燃え殻とばいじんが200kmを越えている以外は70km～100km程度であることを定量的に示した。廃棄物等の広域移動の実態を示すことで、「廃棄物の性質」によって、廃棄物・循環資源の発生場所から中間処理施設を経て二次製品へと再商品化される、あるいは最終処分されるまでの距離は決まっていることを定量的に示した。

第2章では、産業廃棄物とプラスチック製容器包装のデータを用いて、対象地域の総発生量と総受入可能量を制約条件として、線形計画法における輸送問題を解くことで最適輸送計画を示した。平成18年度実績をもとに都道府県別発生量と受入可能量を制約条件として、移動距離が最小となるよう最適化計算を行うことで、現状と最適化後の乖離を示すことができた。これは、産業廃棄物の移動距離、つまり受入場所が必ずしも距離最小化という条件のみで決定されているのではない可能性を示唆する。なお、産業廃棄物を19分類という分類で分析したが、現実的にはさらに細かい分類の中で処理方法・場所が決定されていると考えられ、そのためにはさらに細分化した分析が必要となる。ただし、それはデータ入手の可能性からすると実現可能性は低いのが現状である。

第3章では、2章の輸送問題で用いた制約条件(発生量、受入可能量)以外に、廃棄物等の移動距離に影響を与えている要因を数量化理論I類を用いて定量的に分析し、廃棄物等の移動量に影響を与えている要因を、重力モデルを用いて定量的に分析を行った。産業廃棄物の移動距離に関する要因を定量的に分析した結果、産業廃棄物処理施設の偏在性や処理プラントの平均規模が輸送距離に大きく影響を与えていることを示すことができた。産業廃棄物及び廃PETボトルに関する分析結果を踏まえて総合的に考察すると、循環圏形成には発生場所と処理施設の地理的偏在性が与える影響が大きいこと、またそれらの要因が与える影響度には品目によって相違があることも明らかにできた。適切な地域循環圏を構築するためには、処理プラントを適切な場所に配置する必要があるが、そのためには品目別に、処理プラントの経済的・環境的適正規模、収集に要する範囲と輸送の実現可能性など、さまざまな角度からさらに分析を行っていく必要があるといえる。

第4章では、2章で示した最適輸送計画に時間価値と処理費用等を導入した犠牲量モデルの構築を行い、現状の輸送パターンを説明できるモデルの構築を行った。時間価値や処理費用の精度向上という課題はあるが、このモデルを用いて、各種パラメータの感度分析を行うことにより、輸送単価、時間価値原単位、炭素税などの望ましい値を検討すること、処理拠点の立地や規模を変化させた場合等のシナリオ分析が可能となった。更に詳細な解析を行うためには、それに対応する変数を用いたモデルの開発が必要となってくる。また、今回のモデルでは一般化費用を中心とした評価に留まっているが、環境負荷や影響、安全性の他、雇用創出やソーシャルキャピタルなどをも考慮した手法を検討することも必要であると考えている。

第5章では、発生密度、輸送効率、スケールファクターを空間スケールを決める支配パラメータと設定し、支配パラメータと空間スケールの関係を定量的に把握できる循環圏の最適空間規模導出モデルの構築を行った。構築した最適空間規模導出モデルを用いて、感度分析を行うことにより、輸送効率とスケールファクターが空間スケールに与える影響を定量的に示した。次に、食品廃棄物を対象に中間処理手法の違いによる分析と、売却単価と有価物含有割合を対象とした分析を行うことで、モデルの有用性を検証した。食品廃棄物を対象に中間処理手法の違いに着目した分析では、空間スケールは処理費用を最小化した場合よりも利益を最大化した場合の方が広くなること、堆肥化施設と飼料化施設に関しては、中間処理後の輸送距離が空間スケールに大きな影響を与えることを定量的に示した。売却単価と有価物含有割合を対象とした分析では、費用を最小化した際の空間スケールは、輸送単価が安い品目ほど空間スケールが大きくなること、利益を最大化した際の空間スケールは、売却単価が高い品目ほど、空間スケールが大きくなることを定量的に示した。更に、構築した最適空間規模導出モデルに、食品廃棄物の堆肥化施設を想定した場合のパラメータを代入し、九州を対象にシミュレーションを実施した。その結果、輸送費用と処理費用を合計した総費用が推計され、社会的にみて最適な施設規模と施設分布を明らかにした。

第6章では、使用済み紙おむつの水溶化処理によるマテリアルリサイクルの効果を、ライフサイクルインベントリ分析を用いて評価した。これにより、現状の焼却処理に比べ、リサイクルシステムの方がCO<sub>2</sub>排出量が少なくなることを示した。循環型社会の構築に貢献するためにも、使用済み紙おむつのリサイクルシステムを構築する意義は大きいと考えられるが、リサイクルが事業として成立し継続していくためには、事業としての採算性が重要な課題となってくる。サーマルリサイクルは衛生面の問題をクリアでき、また複合素材をそのまま処理できるというメリットがある半面、再生資源の付加価値の面でマテリアルリサイクルに劣るという側面がある。その一方で、マテリアルリサイクルは解決すべき課題は多いものの、分離選別による再生資源の高付加価値化が見込め、事業として成立する可能性が高い。事業の継続性や展開という点から考えると、使用済み紙おむつの安定的な回収システムの構築が重要といえる。使用済み紙おむつの発生場所としては、病院や介護施設、保育所に加え、一般家庭も大きく、今後重要な回収拠点となりうる。しかし、廃棄物処理法では一般廃棄物は自区内処理が原則とされており、自治体の枠を超えての処理は困難を伴うのが現状である。環境負荷・影響の削減効果とともに、事業の継続性という面

から、紙おむつリサイクルの広域化の効果を評価することが今後の課題である。

次に、紙おむつ分別・リサイクルの効果を評価するにあたり、住民意識による環境・経済・社会面からの総合評価を行うことで、リサイクル事業の環境面のみならず地域福祉に対する副次的効果を評価する手法を提示した。その結果、分別・リサイクルをする方が高い評価が得られた。また、地域福祉力の構造化を実施した結果、ごみの分別による人々のつながりへの効果も地域福祉力の形成に強く寄与していることがわかった。これらのことより、ごみの分別・リサイクルへの取り組みが、利便性等の他、地域活力や福祉にも好影響を及ぼすことで、総合評価が高くなり、同時に地域福祉力の向上にも寄与していることの一旦が明らかになった。今後は、調査対象（サンプル数）を拡大し、より精緻に評価を実施することが課題である。さらに、「高齢者等ごみ出しサポート事業」の総合評価についても実施する必要があると考える。

以上より、望ましい地域循環圏の構築を支援するための資源循環拠点立地モデルと総合評価手法の開発ができた。

## 謝 辞

本博士論文は、2008年4月から2013年9月までの5年6ヵ月間、私が北九州市立大学松本亨研究室で実施した研究成果を取りまとめたものです。この間、北九州市立大学国際環境工学部環境生命工学科教授 松本亨先生には本研究を遂行し、本論文を執筆するにあたり終始丁寧なご指導を賜りました。本当にありがとうございました。これからも、様々な場面でお世話になることが多いと思いますが、よろしく願い申し上げます。

大変ご多忙中にもかかわらず、北九州市立大学国際環境工学研究科の乙間末廣先生、二渡了先生、デワンカー・バート先生には副査を快く引き受けて頂きました。学位論文の審査を通して、貴重なご助言を頂き、深く感謝を申し上げます。

私は2013年4月より、北海道大学大学院工学研究院の寄附講座 エコセーフエナジー分野で特任助教として働いております。学位を取得していない私に、大学という場で働く機会を与えて下さり、また仕事と博士論文執筆を両立する環境を与えて下さいました北海道大学大学院工学研究院の古市徹先生、石井一英先生、翁御棋先生、後藤雅史先生には大変感謝申し上げます。

本研究は、環境省環境総合研究推進費補助金「K2413, K2351, K22013: 望ましい地域循環圏形成を支援する評価システムの構築とシナリオ分析 (代表: 松本亨)」の補助を受けて実施した研究成果の一部です。本プロジェクトの共同研究者である国立環境研究所 藤田壮先生、藤井実先生、名古屋大学 谷川寛樹先生、北海道大学 石井一英先生、国連大学 齊藤修先生、研究協力者の名古屋大学 奥岡桂次郎先生には、様々な場面でご助言・ご指導を頂きました。貴重なご意見と研究の機会を与えて下さりまして、誠にありがとうございました。

また、本研究を遂行する過程で、多くの方にアンケート調査およびヒアリング調査にご協力を頂きました。この場をお借りして、改めて御礼申し上げます。

加えて、本研究を遂行する過程で、多くの論文執筆、学会発表の機会を頂きました。査読付論文を投稿した際には査読者の方々から大変貴重なご意見を、学会発表の際には貴重なご質問やご意見を頂きました。改めて、この場をお借りして、御礼申し上げます。

5年6ヵ月という長い間、高いモチベーションを保ち、研究に取り組めたのも、身近によい環境があったことに疑いの余地はありません。松本亨研究室および周囲の研究室の先輩・同級生・後輩・秘書の方々には、特に大学生活の様々な場面で支えて頂きました。本当にありがとうございました。

最後になりましたが、両親には私の大学で研究を続けたいというわがままを受け入れ、博士課程への進学を許し、特に金銭面において、これまでの長い学生生活を支えて頂きました。精神的な面においては、就職と学位取得を期に結婚した嫁の希世美に支えて頂きました。本当にありがとうございました。これからも、よろしく願いいたします。

私の研究者としての人生は、ようやくスタート地点に立てたという状態に過ぎません。これからの環境システム研究に、少しでも貢献できるよう今後とも精進していきたいと考えております。

2013年9月19日 藤山淳史