

平成 24 年度  
環境研究総合推進費補助金 研究事業  
総合研究報告書

# 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

(K2413, K2351, K22013)

平成 25 年 3 月

北九州市立大学 松本 亨

補助事業名 環境研究総合推進費補助金研究事業  
(平成 22 年度～平成 24 年度)

所 管 環境省

国庫補助金 30,191,000 円

研究題目名 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

研究期間 平成 22 年 4 月 1 日～平成 25 年 3 月 31 日

研究代表者名 松本 亨 (北九州市立大学)

研究分担者名 藤田 壮 (国立環境研究所)  
藤井 実 (国立環境研究所)  
谷川寛樹 (名古屋大学)  
齊藤 修 (国際連合大学)  
石井一英 (北海道大学)

研究協力者名 藤山淳史 (北九州市立大学)  
奥岡桂次郎 (名古屋大学)

#### 執筆分担

|      |             |
|------|-------------|
| 松本 亨 | 第 1 章、第 6 章 |
| 藤田 壮 | 第 2 章       |
| 藤井 実 | 第 2 章       |
| 谷川寛樹 | 第 3 章       |
| 齊藤 修 | 第 4 章       |
| 石井一英 | 第 5 章       |

#### 執筆協力

|       |             |
|-------|-------------|
| 藤山淳史  | 第 1 章、第 6 章 |
| 奥岡桂次郎 | 第 3 章       |

## 目 次

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 概要                                  | 1  |
| 第1章 循環圏の最適空間規模導出モデルの提案とその適用         |    |
| 1.1 はじめに                            | 11 |
| 1.2 最適空間規模導出モデル                     | 11 |
| 1.2.1 支配パラメータ                       | 11 |
| 1.2.2 最適空間規模導出モデル                   | 12 |
| 1.3 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     | 13 |
| 1.3.1 使用データ                         | 13 |
| 1.3.2 推計方法                          | 13 |
| 1.3.3 推計結果                          | 13 |
| 1.4 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 | 14 |
| 1.4.1 アンケート調査・ヒアリング調査の概要            | 14 |
| 1.4.2 調査データを用いたスケールファクターの推計         | 15 |
| 1.5 福岡県を対象としたケーススタディ                | 15 |
| 1.6 まとめ                             | 18 |
| 第2章 地域循環圏の形成方策の検討                   |    |
| 2.1 地域循環圏形成の動向調査                    | 19 |
| 2.1.1 国内における地域循環圏形成の進展と検討状況         | 19 |
| 2.1.2 地域循環の拠点としての日本のエコタウン事業         | 19 |
| 2.2 高効率・低コストで、持続的（頑強）なりサイクル・処理システム  | 20 |
| 2.2.1 検討の背景と持続的なシステムの定義             | 20 |
| 2.2.2 システムに求められる要件                  | 20 |
| 2.2.3 動脈産業の活用拡大の技術調査と地域シミュレーション     | 22 |
| 2.3 まとめ                             | 23 |
| 第3章 都市のマテリアルフロー・ストック分析を用いた持続可能性評価   |    |
| 3.1 建設副産物の循環利用                      | 25 |
| 3.2 建設副産物を対象とした地域循環圏の検討             | 25 |
| 3.2.1 建設副産物循環利用の既往研究                | 25 |
| 3.2.2 建設副産物需給推計モデル                  | 26 |

|                                    |                                     |    |
|------------------------------------|-------------------------------------|----|
| 3.2.3                              | 分析結果                                | 27 |
| 3.2.4                              | まとめ                                 | 29 |
| 3.3                                | 関与物質総量(TMR)を用いたリサイクル性の定量評価          | 29 |
| 3.3.1                              | リサイクル性指標                            | 29 |
| 3.3.2                              | 建設副産物量のリサイクル性評価                     | 29 |
| 3.3.3                              | 北九州におけるケーススタディ                      | 31 |
| 3.3.4                              | まとめ                                 | 33 |
| 3.4                                | 結論                                  | 33 |
| 第4章 木質系バイオマスの利活用と生態系サービスの評価        |                                     |    |
| 4.1                                | 研究目的                                | 35 |
| 4.2                                | 研究方法                                | 36 |
| 4.2.1                              | インターリンケージ分析と空間スケール構造                | 36 |
| 4.2.2                              | 森林系木質バイオマスと生態系サービスの評価方法             | 36 |
| 4.2.3                              | 将来シナリオの設定と定量化                       | 37 |
| 4.2.4                              | 市町村スケールでの事例研究                       | 38 |
| 4.3                                | 研究結果と考察                             | 39 |
| 4.3.1                              | インターリンケージ分析と空間スケール構造                | 39 |
| 4.3.2                              | 森林系木質バイオマスと生態系サービス                  | 39 |
| 4.3.3                              | 将来シナリオの定量化と将来シナリオごとの生態系サービス評価結果     | 40 |
| 4.3.4                              | 自治体スケールでの事例研究結果                     | 40 |
| 4.4                                | 結論                                  | 41 |
| 4.4.1                              | マルチスケールでの生態系サービスインベントリ構築            | 42 |
| 4.4.2                              | 国全体（マクロスケール）生態系サービスの将来シナリオ研究        | 42 |
| 4.4.3                              | 市町村（ミクロスケール）での森林系木質バイオマスの生態系サービス評価  | 42 |
| 第5章 北海道におけるバイオマスを対象とした地域循環圏シナリオの検討 |                                     |    |
| 5.1                                | 既存施設の有効活用による生ごみの地域循環圏の検討            | 44 |
| 5.1.1                              | 研究目的                                | 44 |
| 5.1.2                              | 研究方法                                | 44 |
| 5.1.3                              | 結果と考察                               | 45 |
| 5.1.4                              | まとめ                                 | 45 |
| 5.2                                | バイオガス化による広域的耕種－畜産農家連携による牛ふんの地域循環圏形成 | 46 |



|       |                                             |    |
|-------|---------------------------------------------|----|
| 5.2.1 | 研究目的                                        | 46 |
| 5.2.2 | バイオガス化プラントの成功要因の抽出                          | 46 |
| 5.2.3 | 広域的耕種－畜産農家連携による牛ふんの地域循環圏形成するためのスケール         | 47 |
| 5.2.4 | 事業採算が成立するための要因                              | 47 |
| 5.2.5 | 牛ふんの地域循環圏形成の標準的な評価モデルのプロトタイプの構築             | 47 |
| 5.2.6 | コンジョイント分析に基づいた牛ふんスラリーの適正処理と資源化のための酪農家のニーズ解析 | 49 |
| 5.2.7 | まとめ                                         | 51 |
|       |                                             |    |
| 第6章   | 環境・経済・社会指標を用いた紙おむつリサイクルの総合評価                |    |
| 6.1   | はじめに                                        | 53 |
| 6.2   | 研究の概要                                       | 53 |
| 6.2.1 | 評価対象の概要                                     | 53 |
| 6.2.2 | 紙おむつ分別・リサイクル事業の総合評価                         | 53 |
| 6.3   | 紙おむつ分別・リサイクルの総合評価                           | 54 |
| 6.3.1 | 分析手法                                        | 54 |
| 6.3.2 | 総合評価のフレーム                                   | 54 |
| 6.3.3 | アンケートの調査概要                                  | 54 |
| 6.3.4 | 分析結果                                        | 55 |
| 6.4   | まとめ                                         | 56 |
|       |                                             |    |
|       | 研究発表一覧                                      | 58 |
|       | 知的所有権の取得状況                                  | 64 |
|       | ポンチ絵                                        | 65 |
|       | 英文概要                                        | 66 |

- ・研究課題名＝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
- ・研究番号＝K2413, K2351, K22013
- ・国庫補助金精算所要額（円）＝30,191,000 円
- ・研究期間（西暦）＝2010-2012
- ・研究代表者名＝松本 亨（北九州市立大学）
- ・研究分担者名＝藤田 壮（国立環境研究所）、藤井 実（国立環境研究所）、  
谷川寛樹（名古屋大学）、石井一英（北海道大学）、齊藤 修（国際連合大学）

・研究目的

第2次循環型社会形成推進基本計画で提示された「地域循環圏」の概念の具現化のためには、望ましい循環圏を導出する理論の構築と、実態に基づく現状分析の両輪が必要である。しかし、循環利用目的の物質移動データの整備が十分でないこと、循環圏の「望ましさ」を評価する概念と手法の体系化が十分進んでいないこと等から、循環圏形成という政策目標に向けた情報整備としては不完全な状況にある。そこで、マクロデータを用いた要因分析と、地域と資源を特定したミクロ分析を実施することで、循環圏が形作られている決定要因の解明を行う。次に、コスト、環境負荷、環境リスク、さらには生態系サービスの視点からの評価手法を提示し、具体的な地域を対象に理論と評価手法を適用することで、その有効性を検証する。さらに、望ましい姿に接近させるための政策シナリオの検討を行う。

・研究方法

（1）循環圏の最適空間規模導出モデルの提案とその適用

循環の空間スケールが、循環資源が発生する際の発生密度、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の構築を行った。廃棄物の流通実態調査報告書および独自のアンケート調査・ヒアリング調査を実施することにより、品目固有パラメータを入手した。入手したパラメータを最適空間規模導出モデルに適用することで、モデルの有用性を検証するとともに、品目固有パラメータと空間スケールの関係を把握した。

（2）地域循環圏の形成方策の検討

(a) 地域循環圏形成に関する動向調査

欧州で注目されてきた「産業共生」にくわえて、産業施設群が周辺の都市から発生する廃棄物を化石燃料の代替資源として受け入れる「都市産業共生（urban symbiosis）」の概念を提案した。また、環境省での「地域循環圏形成推進に向けた検討会」（以下、「検討会」）に本研究課題の代表者及び分担者も座長・委員として参画し、地域循環圏構築に向けての考え方の整理を行うとともに、エコタウン施設へのアンケート調査を行った。

(b) 高効率・低コストで、持続的（頑強）なりサイクル・処理システム

リサイクルを拡大し維持するには、低コストで資源消費や環境負荷削減効果の高いリサイクルと、残りの廃棄物の適正処理が、持続的に機能するシステムが重要である。そのための要件として、既存の高効率施設の活用、異なる機能を持つ施設整備のバランス、（準）閉ループリサイクルの構築、廃棄物の質を活かす高エクセルギーエネルギー利用を抽出した。これらのうち、既存の高効率施設

の大幅な利用拡大に向けた技術的検討として、火力発電所や製鉄メーカー等にヒアリング調査を実施した。また、具体的地域に対して GIS（地理情報システム）を活用した収集・運搬モデルと、地域拠点のプロセスモデル等を組み合わせた地域シミュレーションモデルを構築、適用し、上記要件を満たすシステムの頑強性について評価した。

### （３）都市のマテリアルフロー・ストック分析を用いた持続可能性評価

建設副産物の循環圏については、建物が廃棄されることに伴い建設副産物として排出されたコンクリート塊を、再生砕石として道路着工に投入することを、コンクリート塊の循環利用として、その時空間の分布を評価した。推計モデルでは、建築物の解体に伴い発生するコンクリート塊と、道路改良の際に必要な砕石を全国市町村ごとに推計することにより、コンクリート塊の形成する地域循環圏を受給の面から把握を行った。また、コンクリート塊需要供給比と地域循環圏の圏域の規模をリサイクル性指標として、コンクリート塊の循環利用最適化モデルを適用することで、コンクリート塊の循環利用について評価を行った。

また、リサイクル性指標として、関与物質総量（TMR）の観点から、発生した建設副産物をリサイクルする際の環境影響について経年的に評価を行い、1km メッシュ単位でより細かい地域レベルのリサイクル性を検討した。TMR の観点からリサイクルの環境影響を評価する手法を用いて、自然鉱石から生産する場合の TMR(NO-TMR)と都市鉱石を用いた場合の TMR(UO-TMR)を比較することで評価した。

### （４）木質系バイオマスの利活用と生態系サービスの評価

本研究では、森林系木質バイオマス利用とそれに伴う生態系サービスに着目し、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や生態系サービスにどのような影響を及ぼしうるか、そして多様な生態系サービスの損なわずに地域循環圏を形成するための方策を明らかにすることを試みた。平成 22 年度は、分析のための概念枠組みを検討したうえで、森林系木質バイオマス利用の場合への適用と生態系サービスのマルチスケールでの定量的評価を行った。次いで平成 23 年度は特に、木質バイオマスバイオマス利用の方法や土地利用規制等の政策介入に関して複数の将来シナリオを設定し、資源循環だけでなく、生物多様性や生態系サービスへの影響の視点から定量評価と比較分析を行った。最終の平成 24 年度は、前年度までのマクロスケールでの成果を踏まえて、同様の手法を市町村（ミクロスケール）に適用し、森林系木質バイオマスを軸とした地域循環圏形成を生態系サービス管理と調和的に進めるための具体的な政策目標設定に資する知見を明らかにした。

### （５）北海道におけるバイオマスを対象とした地域循環圏シナリオの検討

#### (a) 既存施設の有効活用による生ごみの地域循環圏の検討

北海道のある 4 市 1 町からなる総人口 15 万人弱の地域を対象とし、従来の広域処理を想定した焼却炉の新設する代替案Ⅰ、及び既存施設を最大限利用し、

足りない施設のみ新設する代替案Ⅱを概要表-1 のように構築し、コスト比較を試みた。コストは、焼却施設・バイオガス化施設・堆肥化施設の建設費（補助金考慮せず）<sup>1)</sup>及び維持管理費、各地域での収集費、広域移動における運搬費、既存施設に処理委託する場合にはその委託費を計上し

概要表-1 代替案の構築

| 市町 | 対象廃棄物の収集量       |                           |                          | 代替案Ⅰ                                    |                                        | 代替案Ⅱ                                        |                   |                             |                                       |                                      |                                       |
|----|-----------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
|    | 可燃ごみ+生ごみ<br>t/y | 可燃ごみ <sup>※2</sup><br>t/y | 生ごみ <sup>※1</sup><br>t/y | 可燃ごみ                                    | 生ごみ                                    | Ⅱ-①                                         |                   | Ⅱ-②                         |                                       | Ⅱ-③                                  |                                       |
|    |                 |                           |                          |                                         |                                        | 可燃ごみ                                        | 生ごみ               | 可燃ごみ                        | 生ごみ                                   | 可燃ごみ                                 | 生ごみ                                   |
| I市 | 27,984          | 14,075                    | 13,908                   | 焼却炉新設(I市)<br>規模 165 t/day <sup>※4</sup> | 焼却炉新設(I市)<br>規模 94 t/day <sup>※4</sup> | バイオガス化施設新設(I市)<br>規模 56 t/day <sup>※5</sup> | 堆肥化 <sup>※3</sup> | 焼却炉新設(I市)<br>規模 38 t/day    | バイオガス化施設新設(I市)<br>規模 38 t/day         | ガス化溶融処理委託(E, U市)<br>E.30, U.17 t/day | バイオガス化施設新設<br>規模 43 t/day             |
| Y市 | 6,770           | 4,902                     | 1,869                    |                                         |                                        |                                             |                   | 堆肥化施設新設<br>規模 5 t/day       | 堆肥化施設新設<br>規模 5 t/day                 | 焼却処理委託(C市)<br>16 t/day               |                                       |
| B市 | 9,350           | 5,184                     | 4,166                    |                                         |                                        |                                             |                   | ガス化溶融処理委託(U市)<br>31 t/day   | バイオガス化委託処理(K, S市)<br>K.5.4, S.6 t/day | ガス化溶融処理委託(U市)<br>48 t/day            | バイオガス化委託処理(K, S市)<br>K.5.4, S.6 t/day |
| T町 | 1,641           | 1,188                     | 453                      |                                         |                                        |                                             |                   | バイオガス化委託処理(S市)<br>1.2 t/day |                                       |                                      | バイオガス化委託処理(S市)<br>1.2 t/day           |
| M市 | 3,790           | 2,820                     | 970                      |                                         |                                        |                                             |                   | 堆肥化 <sup>※3</sup>           | 堆肥化 <sup>※3</sup>                     |                                      | 堆肥化 <sup>※3</sup>                     |

※1 分別率80%と仮定  
※2 20%の生ごみが混入と仮定  
※3 すでにM市は生ごみ堆肥化を行っているため、生ごみリサイクルの広域化には参加しない。  
※4 焼却・ガス化溶融施設は、年間収集量を300日で除して規模を算出  
※5 バイオガス化施設は、年間収集量を365日で除して規模を算出

た。さらに、温室効果ガス排出量削減に関しては、運搬費の増分、焼却炉・ガス化溶融炉処理に伴う増分、生ごみ等の直接埋立廃止による削減分を考慮した。

## (b) バイオガス化による広域的耕種一畜産農家連携による牛ふんの地域循環圏形成

家畜糞尿のバイオガス化事業普及のために、特に集中型システムに焦点を当て、①事例調査を行うことによりその成功要因を明らかにし、②広域的耕種一畜産農家連携による牛ふんの地域循環圏形成するためのスケールについて言及し、そして③事業採算が成立するための要因を解析した。最後に、④牛ふんの地域循環形成の標準的な評価モデルのプロトタイプの構築を試み、⑤さらに、構築した評価モデルの、特に集中型システムに参加する（費用負担する）酪農家に対して、コンジョイント分析を適用し、酪農家の評価項目に対する相対的重要度（酪農家のニーズ）について考察を行った。

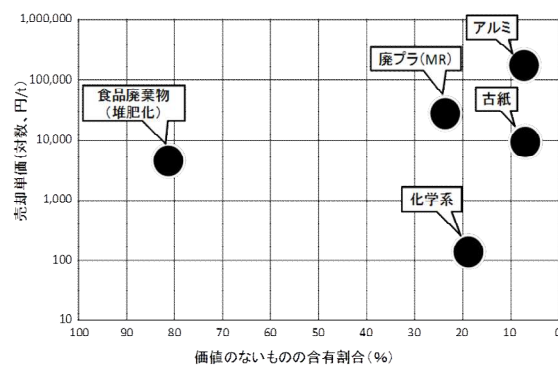
## (6) 環境・経済・社会指標を用いた紙おむつリサイクルの総合評価

福岡県三潁郡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・経済面に地域活性化や高齢者福祉への効果などを表す社会面を含めた総合評価のフレームを提示した。大木町の住民へアンケート調査をもとに、多基準分析手法の一つであるコンコルダンス分析手法を用いて、総合評価を行った。なお、コンコルダンス分析は、評価対象間の優劣を仮定し、その仮定をデータが指示する度合い、不支持する度合いを指標化する手法で、優位性のみならず、劣位性も考慮した評価が行えるという特徴がある。

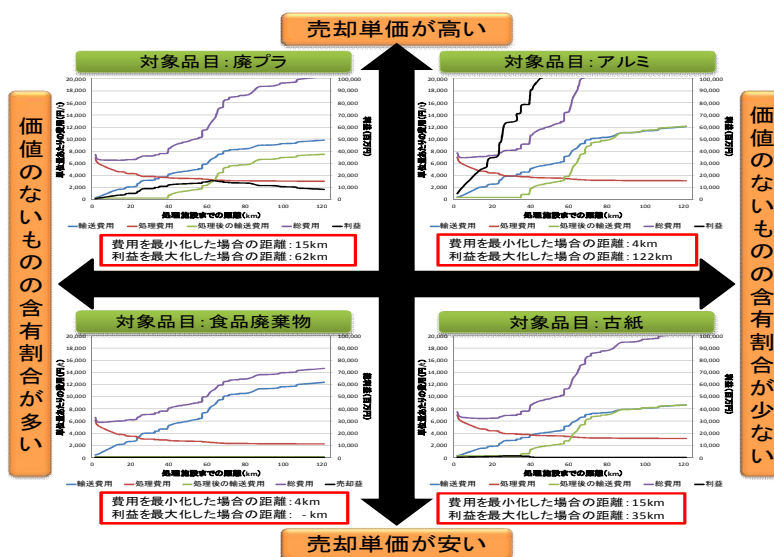
### ・結果と考察

#### (1) 循環圏の最適空間規模導出モデルの提案とその適用

廃棄物及び循環資源の空間スケールは循環資源が発生する際の発生密度、収集運搬行程の輸送効率、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の構築を行った。品目固有パラメータの入手方法として、廃棄物の流通実態調査報告書を用いたスケールファクターの推計を試みた。更に、アンケート調査・ヒアリング調査を実施することで品目固有パラメータの入手とスケールファクターの推計に必要なパラメータの入手を行い、入手した品目固有パラメータと空間スケールの関係を把握した（概要図-1）。さらに、福岡県を対象としたケーススタディを実施することで、品目の特性と空間スケールの関係を定量的に示し、モデ



概要図-1 売却単価と価値のないものの含有割合の分布



概要図-2 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ている場合)

※「-km」は、利益が出なかったことを示している。

ルの有用性を検証するとともに、以下のことが示唆された（概要図-2）。

- ・費用を最小化した際の循環スケールを比較すると、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せた。
- ・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。

## （２）地域循環圏の形成方策の検討

### （a）地域循環圏形成に関する動向調査

アンケート調査の結果、有効回答を得た 90 施設では、全国年間約 90 万トンの新規資源の消費の削減が実現しており、エコタウン施設での副産物の再生利用率は 92%に達しており、年間で 50 万トンの CO<sub>2</sub> 削減効果があることがわかった。また 2012 年には検討会の成果として、地域循環圏形成推進ガイドラインが公表された。

### （b）高効率・低コストで、持続的（頑強）なりサイクル・処理システム

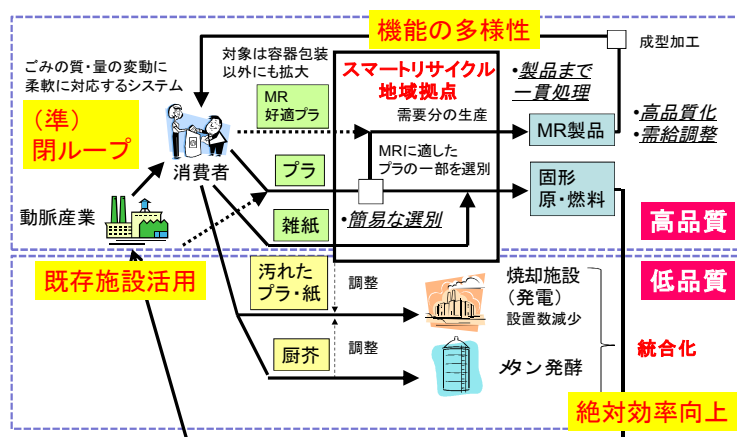
上述の持続的なりサイクル・処理システムに求められる 4 つの要素を包含するシステム、例として、これまでの研究蓄積も考慮して、

概要図-3 に示すように、高品質なプラスチック、雑紙類を分別して地域の拠点に収集し、一部のプラスチックはマテリアルリサイクルを実施し、残りは固形原・燃料に加工して、素材産業や発電所等に輸送して利用することを想定した（スマートリサイクル）。素材産業や発電所の既存炉の大幅な利用拡大については、廃棄物の適切な前処理や炉の構造の改修等により、廃プラスチックの大幅な利用拡大に加えて、紙や木についても利用可能であることが示されたが、安定供給の仕組みを含め、

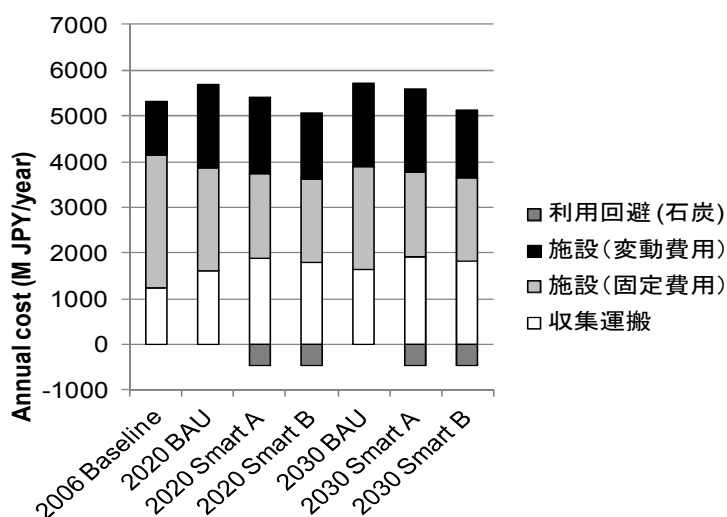
経済的な利点が重要である。廃棄物の素材産業等への供給拡大と受け入れ拡大は表裏一体の関係にあり、両者を並行して進めることが重要である。

スマートリサイクルの地域シミュレーションでは、費用面での優位性が確認されるとともに（概要図-4）、変動要素の 1 つとして廃棄物量が減少した場合の評価結果より、従来の焼却発電への依存度を軽減することで、スマートリサイクルでは単位処理費用の増加が大幅に抑制され、処理コスト面で頑強性を備えていることが確認された。

## （３）都市のマテリアルフロー・ストック分析を用いた持続可能性評価

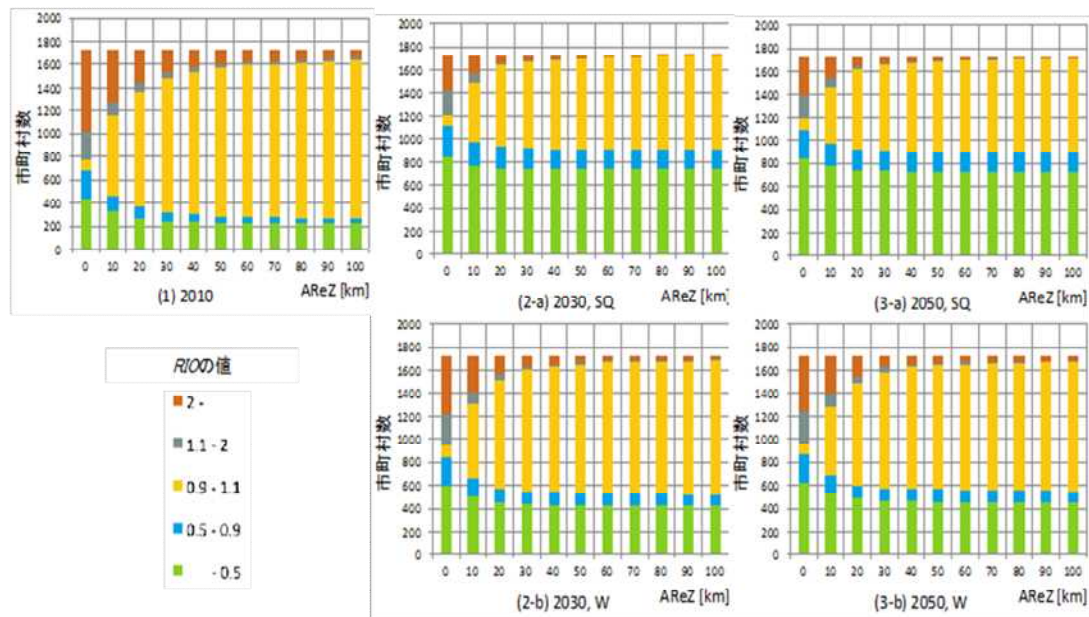


概要図-3 高効率・低コストで、持続的（頑強）なりサイクル・処理システムの例



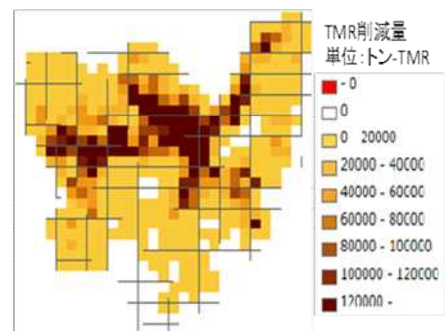
概要図-4 シミュレーション対象地域における現状傾向（BAU）およびスマートリサイクル（Smart）の各費用変化



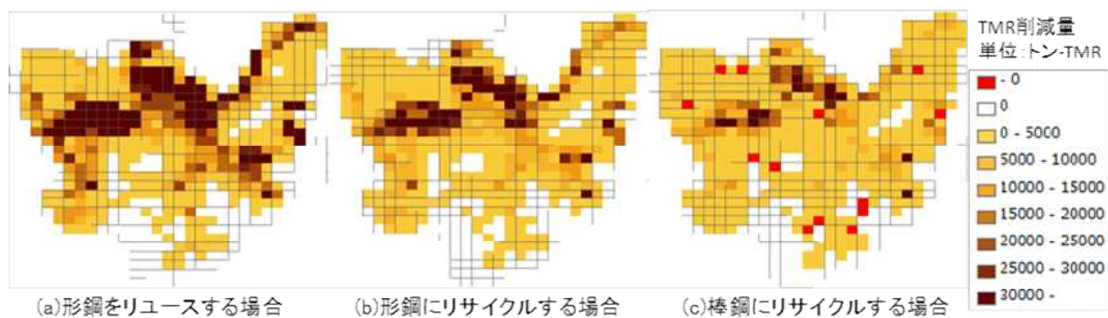


概要図-5 AREZ と RIO 別の市町村数の関係

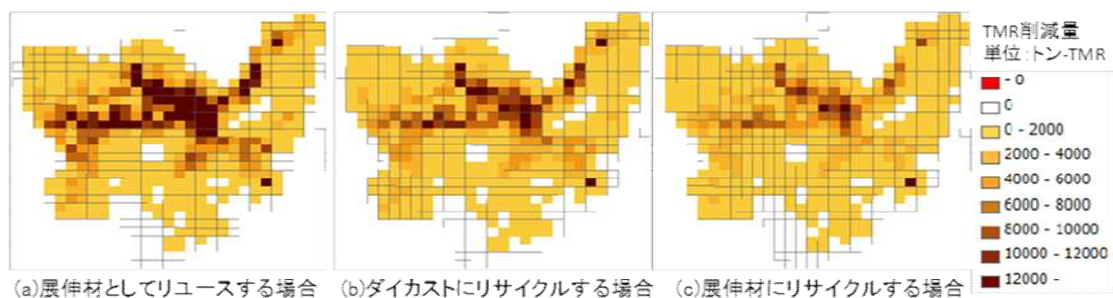
概要図-5 に、コンクリート塊の循環圏域の規模 (AREZ) とその需要供給比 (RIO) について市町村の数を示した。結果は、時系列で 2010 年、2030 年、2050 年の 3 種類、シナリオで、耐用年数現状維持 (SQ) と耐用年数 2 倍 (W) の 2 種類、組み合わせて 5 種類の結果とした。(1)2010 の結果からは、10km の循環圏を形成することで RIO が大きく改善されていることが示された。(3-a)、(3-b)からは、耐用年数を 2 倍にすることにより、現状維持シナリオと比較して大きく改善されていることが示された。循環圏も AREZ が 40km あたりまでは RIO の改善が期待できるため、将来の循環圏構築に



概要図-6 コンクリート塊 TMR 削減量の空間分布



概要図-7 鉄の TMR 削減量の空間分布



概要図-8 アルミニウムの TMR 削減量の空間分布

望ましい結果となった。

評価対象地域を 1km メッシュのグリッドで見た、地域レベルでのリサイクル性について評価を行った結果を概要図-6、図-7、図-8 に示した。どの場合でも、建設副産物が発生した全ての地域でリサイクルの有効性が示され、特に建築物が集積している都市中心部での TMR 削減量が大きい値となった。また、年代が進むにつれ建設副産物量が増加するのに伴い、TMR の削減量も増加しており、2025 年から 2030 年の 5 年間は合計で 720 万トン-TMR 削減される結果となった。資材別にみると、コンクリートで 500 万トン-TMR、鉄スクラップで 180 万トン-TMR、アルミスクラップで 40 万トン-TMR 削減されており、これはそれぞれコンクリート 200 万トン、鉄 23 万トン、アルミ 0.8 万トンを新たに生産する際の TMR に相当する。「量」に焦点を当てて考慮すると、建設副産物量が多いことから、コンクリートをリサイクルする際の TMR 削減量が一番大きく、そのリサイクル性は大きいと考えられる。しかし、同じ 2025 年から 2030 年の 5 年間で排出された建設副産物量をみると、コンクリート 340 万トン、鉄 30 万トン、アルミ 0.7 万トンである。この値と削減された TMR に相当する資材量をそれぞれ比較してみると、アルミや鉄の方がコンクリートより排出量に対する割合が大きくなっており、単位重量当たりの削減量が多い。そのため、リサイクルの「質」に焦点を当てて考慮すると、コンクリートよりもアルミや鉄の方が効率よく TMR を削減できると考えられる。

#### (4) 木質系バイオマスの利活用と生態系サービスの評価

本研究では、森林系木質バイオマス利用とそれに伴う生態系サービスのトレードオフやシナジーといったインターリンケージ（相互連関）の概念に着目し、分析のための概念枠組みと評価方法を検討したうえで、マルチスケールでの生態系サービスのインベントリを構築した。また、既存の定性的な将来シナリオの作成から主な供給サービス（食糧や水、木材、燃料などの供給）、調整サービス（洪水・気候調整）、文化的サービス（レクリエーションや精神的・教育的な恩恵）について、全国規模（マクロ）スケールで 2050 年まで定量化するモデルを構築した。さらに、マクロな成果を踏まえて、同様の手法を特性が異なる市町村（ミクロスケール）に適用し、森林系木質バイオマスを軸とした地域循環圏形成を生態系サービス管理と調和的に進める方策を検討した。本研究結果で明らかになった主な点と示唆される政策的含意を以下に示す。

##### (a) マルチスケールでの生態系サービスインベントリ構築

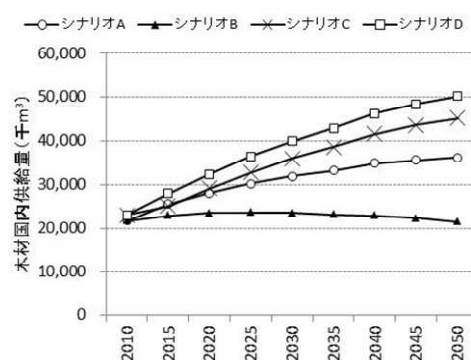
①地域循環圏の空間単位には、農業集落、地域（市区町村、都府県）、広域ブロック、全国、国際の 5 つの空間スケールがあり、森林系木質バイオマスの供給サービスはそのすべてのスケールに関連するが、調整サービスと文化的サービスは空間的にはより小さいスケール、属地的な性格が強いなど、生態系サービスの種類に応じたガバナンスの空間スケールを考慮する必要がある。

②農業集落あたりの平均面積は 1.2（都市・平地）～5.3km<sup>2</sup>（山地）であり、市区町村単位での地域循環圏形成にあたっては、大きくとも第三次メッシュ（約 1 km<sup>2</sup>）程度を単位とする土地利用や自然環境情報と連動した事前調査・計画策定が望ましい。

③広域ブロック別の森林系木質バイオマスの賦存量は、九州圏、東北圏、北海道の順に多く、これらの広域ブロックでは森林系木質バイオマスの利用が地域循環圏形成のための重点資源になると考えられるほか、地域の森林系木質バイオマスの資源循環（供給サービスの維持・拡大）は、調整サービスへの影響が大きいことから、地域循環圏の形成にあたっては、特に調整サービスとの関係に留意する必要がある。

##### (b) 国全体（マクロスケール）生態系サービスの将来シナリオ研究。

①木材の国内供給量（供給サービス）については、グローバル化と技術導入・開発を進めるシナリオ（シナリオ B）では、自給率を高める施策を講じない限り、国内の人口減少に伴い 2020 年頃をピークに減少に転



概要図-9 国内木材供給量

じ、漸減していくと予測された（概要図-9）。他のシナリオでは、自給率を高めることで人口減少下でも木材の国内供給量を増やしていくことが可能であることが示唆された。

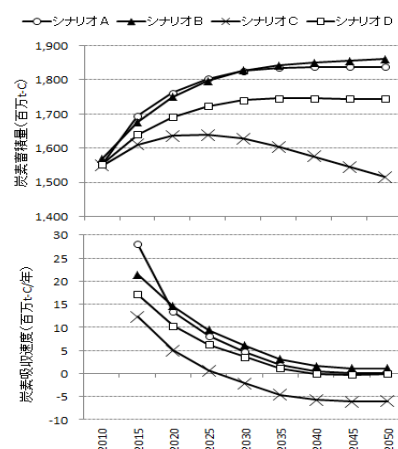
②調整サービスのうち炭素蓄積量に関して、地域内の森林木質バイオマス利用を積極的に促すシナリオ（シナリオC：ローカル化×自然志向）では、木材利用量が森林蓄積量を上回り、森林蓄積が2025年頃から減少に転ずるおそれがあることが示唆された（概要図-10）。

③調整サービスのうち炭素吸収スピードは、いずれのシナリオでも減少し、若齢林をさらに増やす政策オプションを組み込まないと、中長期的には吸収源としての効果が十分に担保できないおそれがある（概要図-11）。

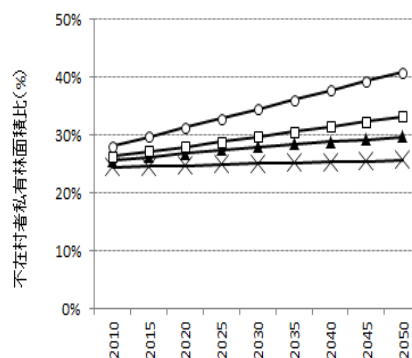
(c) 市町村（ミクروسケール）での森林系木質バイオマスの生態系サービス評価

国レベルでのシナリオ分析を踏まえて、市町村スケールでの木質バイオマス利用について、供給サービスと調整サービスとの間で調整を考慮した場合の利用ポテンシャルの推計モデルを構築した。森林資源が豊富な北海道下川町と政令指定都市である福岡県北九州市を対象として事例解析を行った。その結果、下川町では年成長量から推定される利用可能量によって町全体の熱エネルギー需要 80～131%を供給可能であること、産業・民生エネルギー需要の大きい北九州市では、家庭部門の熱エネルギー（灯油、重油及びLPGの需要）の1.0～3.6%の供給能力にとどまること明らかにした。さらに、北九州市の事例では、空間スケールを隣接市町村（周辺約8km圏）に拡大させた場合の利用ポテンシャル推計も行った。その結果、当該地域の森林資源によって家庭部門の熱エネルギーの15.2～43.2%を供給可能であることがわかった。下川町のような山間地域とは異なり、都市域で森林系木質バイオマスの地域循環圏を森林の過剰利用を避けつつ形成する場合、対象市域を越えて隣接市町村を含むかたちで検討することが必要であることが示唆された。

これらの研究成果は、市町村スケールで供給サービスと調整サービスの調和を考慮した森林系木質バイオマス利用を促すための政策目標と空間スケールの検討に有益な知見となる。



概要図-10 調整サービス  
上：炭素蓄積量、下：炭素吸収



概要図-11 文化的サービス

## (5) 北海道におけるバイオマスを対象とした地域循環圏シナリオの検討

### (a) 既存施設の有効活用による生ごみの地域循環圏の検討

コストの試算結果を概要表-2に示す。いずれの代替案においても、ヒアリングでえられた現状のコストよりも、1.5～2.0倍に増加してしまう。増加が懸念された市町間の輸送にかかるコストは、各市町内の収集にかかるコストにくらべて、小さいことが分かった。ただ、中継輸送施設の建設費や維持管理コストは、今回は算出していないので、今後、さらなる

概要表-2 コスト比較（単位 百万円/年）

| 項目       | 現状    | 代替案Ⅰ  | 代替案Ⅱ-① | 代替案Ⅱ-② | 代替案Ⅱ-③ |
|----------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 収集       |       | 576   | 697    | 697    | 697    |
| 運搬(可燃ごみ) |       | 52    | 40     | 44     | 71     |
| 運搬(生ごみ)  |       | 0     | 28     | 27     | 37     |
| 焼却       |       | 445   | 309    | 236    | 0      |
|          |       | 479   | 405    | 364    | 0      |
| バイオガス化   |       | 0     | 147    | 110    | 121    |
|          |       | 0     | 261    | 199    | 218    |
| 堆肥化      |       | 0     | 0      | 15     | 0      |
|          |       | 0     | 0      | 30     | 0      |
| 委託費      |       | 0     | 0      | 0      | 103    |
|          |       | 0     | 0      | 221    | 594    |
|          |       | 0     | 0      | 67     | 67     |
| 合計       | 1,042 | 1,552 | 1,889  | 2,010  | 1,909  |



検討が必要である。また、全量焼却の代替案Ⅰと生ごみ分別-バイオガス化の代替案Ⅱでは、代替案Ⅰの方がコスト的に低い結果となった。現状の補助率である、焼却処理施設のみであれば1/3補助、焼却施設にバイオガス化施設併設の場合であれば1/2を考慮すると、建設費のコストの差は縮まるものとする。委託処理を中心に据えた代替案Ⅱ-③のコスト削減効果はそれほど大きなものではなかった。つまり、処理委託料の設定は、その施設にかかっている建設費＋維持管理費から、処理委託単価を出していることが原因であると考えられる。

#### (b) バイオガス化による広域的耕種－畜産農家連携による牛ふんの地域循環圏形成

バイオガス化プラントの成功要因の抽出に関しては、主な成功要因として以下の3つを明らかにすることができた。

①インプットとして有機系廃棄物（産業廃棄物）の受入

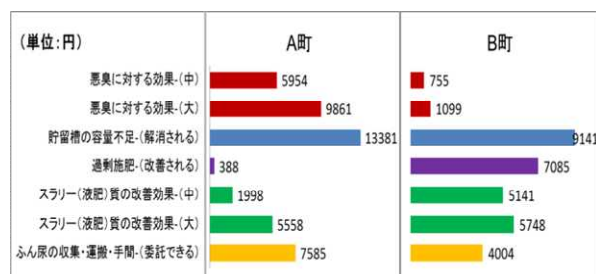
②液肥の販売（特に、契約外農家への販売）

③バイオガスの利用方法（より収入源となりうる、効率的な利用方法の選択）

牛ふんの地域循環圏形成するためのスケール

については、集中型バイオガス化プラントの場合、ふん尿の運搬は半径4km圏内が運搬コスト等を考慮すると限界の距離であること、そして、液肥の運搬・散布を考えると、半径10km圏内であれば、十分採算性がとれることを明らかにした。

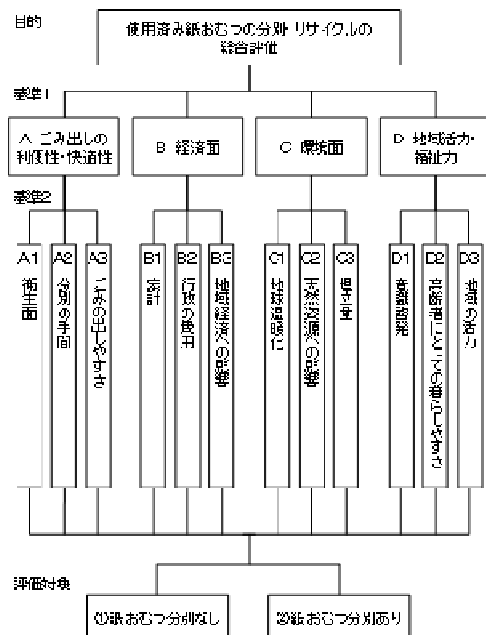
コンジョイント分析に基づいた、牛ふんスラリーの適正処理と資源化のための酪農家のニーズ解析を、酪農が盛んであり、かつ調査協力の得られた道内のA町・B町・C町の酪農家を対象に調査を行った。コンジョイント分析により得られた酪農家が感じる効用の相対的重要度を示す限界評価額の推定結果を概要図-12に示す。これより、A・B両町ともに、「貯留槽の容量不足解消」、「スラリー質の改善」、「ふん尿の収集・運搬・手間削減」に対して比較的高い価値が見られた。特に「貯留槽の容量不足解消」に関しては全属性中、最大の限界評価額が見られ、飼養頭数増大に伴う貯留槽の容量不足解消に高いニーズがあることが示された。また、A町では「悪臭に対する効果大」に9,861円の限界評価額が得られているのに対し、B町では1,099円とそれほど高い価値を感じていないことが分かる。これは、A町では市街地近くでの営農が多いのに対し、B町では市街地から離れた場所での営農が多いことが影響していると考えられる。一方で、B町では過剰施肥の改善に対して、A町よりもかなり高い価値があることが分かった。これは、B町には、耕作農家が少なく、余剰なふん尿を自己経営外に散布しづらいという事情が、酪農家の過剰施肥に対する意識を過敏にしているからであると考えられる。



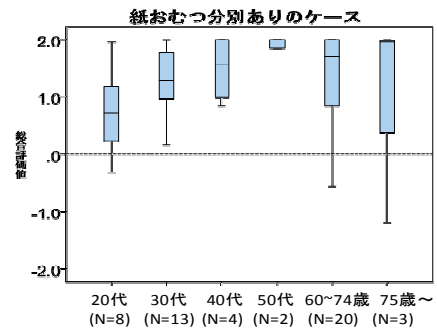
概要図-12 限界評価額の推定結果

#### (6) 環境・経済・社会指標を用いた紙おむつリサイクルの総合評価

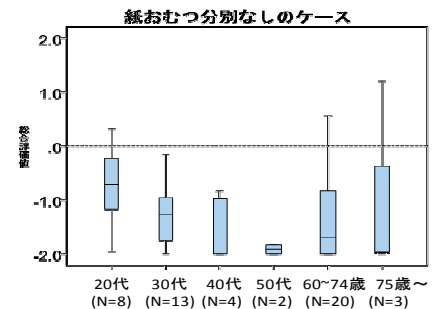
福岡県三潴郡大木町で行われている使用済み紙おむつの分別・リサイクル事業を事例に、「紙おむつ分別なし」の場合、「紙おむつ分別あり」の場合を対象に、環境面・経済面に地域活力・福祉力、ごみ出しの利便性・快適性を表す社会面を含めた総合評価のフレームを提示した(概要図-13)。大木町の住民(シルバー人材センター、子育て支援センター)を対象に、コンコダンス分析を実施し、住民が「紙おむつ分別あり」の方が良いと評価していることを示した(概要図-14と概要図15の比較)。なお、基準毎に詳細に解析することで、社会側面である「ごみ出しの利便性・快適性」および「地域活力・福祉力」の評価値がプラスであることを示し、紙おむつの分別・リサイクル事業の社会的効果を定量的に把握した。



概要図-13 総合評価のフレーム



概要図-14 年代別の総合評価値の分布（分別あり）



概要図-15 年代別の総合評価値の分布（分別なし）

## ・環境政策への貢献

### （１）循環圏の最適空間規模導出モデルの提案とその適用

廃棄物・循環資源の空間スケールが、発生密度、輸送効率、中間処理施設のスケールファクター、再生品の売却単価によって決まるものとし、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の構築を行った。アンケート及びヒアリング調査を実施することで品目固有パラメータの入手を行い、品目と地域（発生密度）が決まれば最適な循環スケールを算出できるようになった。これは、今後地域循環圏を議論する上での一次近似として、重要な意味を持つことが想定される。

### （２）地域循環圏の形成方策の検討

有機系一般廃棄物を対象とし、既存施設を活用することで、資源消費と環境負荷の大幅な削減を実現しながら、廃棄物のリサイクル・処理費用を長期的な視点においても安定して持続的に削減し得るシステムの提案を行い、その有効性をモデルにより検証した。またシステムを技術的、制度的な側面から補強する調査を行った。これらは、社会的なニーズに答える研究成果であり、実用化に繋がる可能性は高いと考えられる。

### （３）都市のマテリアルフロー・ストック分析を用いた持続可能性評価

建設副産物の循環利用を対象に、マテリアルストックフロー解析を用いることで、循環圏域の評価とリサイクル性指標による空間的な持続可能性について評価を行った。建設副産物は地域・年代によって異なる発生パターンがあり、特に量の多いコンクリート塊は、今後50年間で循環圏の規模は20~40kmとなり、廃棄物処理業者を認可する地方自治体の管轄区域を柔軟に運用することが重要となることを提示した。

### （４）木質系バイオマスの利活用と生態系サービスの評価

森林系木質バイオマス利用とそれに伴う生態系サービスのトレードオフやシナジーといったイ

ンターリンクージ（相互連関）の概念に着目し、分析のための概念枠組みと評価方法を検討したうえで、マルチスケールでの生態系サービスのインベントリを構築した。この手法を用いれば、生態系サービスの調和を考慮した森林系木質バイオマス利用を促すための政策目標のシナリオ分析が、コミュニティレベルから全国レベルまでマルチスケールで可能である。

#### （５）北海道におけるバイオマスを対象とした地域循環圏シナリオの検討

循環型社会の地域計画を策定にあたって、その対象地域内のみで、施設整備を考えるのではなく、近隣地域の既存施設の利用を考慮した新たな計画構築例を示すことができた。今回のケーススタディでは、既存施設利用についてのコスト的メリットは、想定よりも小さかったが、今後処理委託料の地域間での交渉を踏まえ、また住民合意など施設新設にかかる時間を考慮、社会インフラとしての既存施設の有効利用することのメリットを評価することが重要である。

バイオガス化による広域的耕種－畜産農家連携による牛ふんの地域循環圏形成を推進するためには、①特に牛ふん集中型バイオガス化プラントの事業採算性が成り立つ要件を明らかにした。そして、②地域循環圏形成を担う酪農家のニーズを明らかにし、悪臭問題や液肥の散布などの地域によって異なる酪農家のニーズに応じて、かつエネルギー回収による経済的負担減を考慮した集中型バイオガスプラントの導入策を図る必要があることを示した。

#### （６）環境・経済・社会指標を用いた紙おむつリサイクルの総合評価

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・経済面に加え、地域活力・福祉力、ごみ出しの利便性・快適性を表す社会面を含めた総合評価のフレームを構築し、ケーススタディを実施した。これにより、地域における資源循環の副次的効果を評価する手法を提示できた。

##### ・研究成果の実行可能性

発生密度、積載効率、スケールファクター、売却単価の４つを主な支配パラメータとし、循環スケールと品目特性・地域特性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を構築したが、品目と地域（発生密度）が決まれば最適な循環スケールを算出できるようになった。これは、今後地域循環圏を議論する上での一次近似として、重要な意味を持つと考えている。

有機系一般廃棄物、建設副産物・廃棄物、木質系バイオマス、畜産廃棄物をそれぞれ対象としたマルチスケールの循環圏評価システムを構築した。評価指標には、CO<sub>2</sub> 排出量、コスト、生態系サービス、TMR、資源の需給バランス（リサイクル性）、社会的側面を用いた。この手法は、地域循環圏形成の有効性評価、シナリオ分析に有効である。

##### ・結論

廃棄物等の移動量、移動距離に関する要因分析を行い、輸送量には距離と処理プラントの規模が大きく影響を与えていること、輸送距離には受入側の施設の偏在性が大きく影響を与えていることを示した。また、発生密度、積載効率、スケールファクター、売却単価の４つを主な支配パラメータとし、循環スケールと品目特性・地域特性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を構築した。

有機系一般廃棄物（生ごみ、紙、プラスチック）、建設副産物・廃棄物、木質系バイオマス、畜産廃棄物（牛ふん）をそれぞれ対象とした、マルチスケールの循環圏評価システムを構築した。この評価システムを用いて、CO<sub>2</sub> 排出量、コスト、生態系サービス、TMR、資源の需給バランス（リサイクル性）、社会的側面を指標として、望ましい循環圏形成・拠点整備のあり方と、実現に向けた社会システムの課題を提示した。

## 第1章 循環圏の最適空間規模導出モデルの提案とその適用

(執筆者：北九州市立大学 松本 亨)

### 1.1 はじめに

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。本報告では、空間スケールは循環資源が発生する際の発生密度、収集運搬行程の輸送効率、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の提案を行う。次に、既存の統計データを用いて、支配パラメータとして設定したスケールファクターの推計を行う。更に、廃棄物の収集運搬業者・中間処理業者にアンケート調査・ヒアリング調査を実施することで、スケールファクターの推計に必要なデータや積載率など品目固有のパラメータを入手する。最後に、構築したモデルに入手したパラメータを適用することで、福岡県を対象にケーススタディを実施し、モデルの有用性を検証した。

### 1.2 最適空間規模導出モデル

#### 1.2.1 支配パラメータ

##### a) 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、産業廃棄物などのように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ヵ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がある。

##### b) 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。

##### c) 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の建設費を $C_b$ 、スケールファクターを $X$ とおくと、以下のような関係式となる。

$$C_b = \frac{C_a}{\left(\frac{S_a}{S_b}\right)^X} \quad (1.1)$$

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

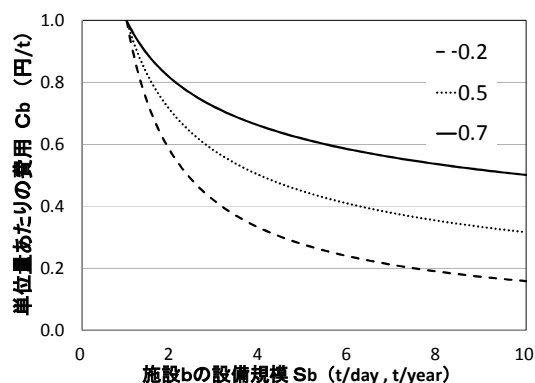


図-1-1 スケールファクターの影響

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(1.1)に $c_a=1$ 、 $s_a=1$ を代入し、スケールファクター $X$ を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-1-1示す。図-1-1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。

### 1.2.2 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(図-1-2)。単位量あたりの輸送費用と、単位量あたりの処理費用により、総費用 $COST_{total}$ は式(1.2)のようになる。輸送費用 $COST_{transport}$ は、輸送工程で使用する車輛の車輛トン数、積載率により、式(1.3)のように輸送効率を考慮した推計を行う。

また、処理施設で処理を行った総量 $D$ は、対象地域 $i$ の1人あたりの廃棄物排出原単位、人口を用いて、式(1.5)のように定義する。処理費用 $COST_{disposal}$ は、スケールファクターを用いて、式(1.6)

から推計する。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、リサイクル残渣率、排水処理単価、リサイクル残渣処分単価を用いると、排水・リサイクル残渣処理費用 $COST^{re}$ は式(1.8)のように表せる。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、輸送に使用する車輛のトン数、積載率、距離、時間価値原単位、輸送車の速度を用いると、中間処理後の輸送費用および時間費用 $COST_{transport}'$ は式(1.9)のようになる。

以上より、輸送・処理費用を式(1.10)から推計できるように定義した。この式の最適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。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、再生品の付加価値単価を用いると、再生品単位量あたりの付加価値とリサイクル料金 $COST_{added\_value}$ は式(1.11)のようになる。このように、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式(1.12)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。

$$COST_{total} = COST_{transport} + COST_{disposal} \quad (1.2)$$

$COST_{total}$ : 単位量あたりの総費用 (円/t・処理量)  
 $COST_{transport}$ : 単位量あたりの輸送費用 (円/t・処理量)  
 $COST_{disposal}$ : 単位量あたりの処理費用 (円/t・処理量)

$$COST_{transport} = \frac{1}{D} \times \sum_{i=1}^n \left\{ a \times T \times r \times \left[ \left( \frac{d_i}{T \times r} \right) \times l_i \right] + \alpha \times \left( \frac{l_i}{v} \right) \times \frac{d_i}{T \times r} \right\} \quad (1.3)$$

$$d_i = \theta \times \psi_i \quad (1.4)$$

$$D = \sum_{i=1}^n d_i = \sum_{i=1}^n (\theta \times \psi_i) \quad (1.5)$$

$D$ : 処理施設で処理を行った総量 (t/年)  
 $i$ : 対象地域  
 $n$ : 対象地域総数  
 $a$ : 輸送単価 (円/t・km)  
 $T$ : 車輛トン数 (t)  
 $r$ : 積載率 (%)  
 $d_i$ : 対象地域 $i$ の廃棄物排出量 (t/年)  
 $l_i$ : 対象地域 $i$ と処理施設間の距離 (km)  
 $\alpha$ : 時間価値原単位 (円/h)  
 $v$ : 輸送速度 (km/h)  
 $\theta$ : 1人あたりの廃棄物排出量 (t/人・年)  
 $\psi_i$ : 対象地域 $i$ の人口 (人)

$$COST_{disposal} = \frac{1}{D} \times \left\{ COST_{disposal}^{ref} \times \left( \frac{D}{D^{ref}} \right)^X \right\} \quad (1.6)$$

$$COST_{disposal}^{ref} = COST_{disposal}^{ref\_unit} \times D^{ref} \quad (1.7)$$

$COST_{disposal}^{ref}$ : 基準とした処理施設 $ref$ の処理費 (円/年)  
 $X$ : スケールファクター  
 $D^{ref}$ : 基準とした処理施設 $ref$ の設備規模 (t・処理量/年)  
 $D_{disposal}^{ref\_unit}$ : 処理施設 $ref$ の処理単価 (円/t・処理量)

$$COST^{re} = \frac{1}{D} \times \{ \varepsilon \times D \times w + (\beta \times D \times (1-w) \times re) \} = \varepsilon \times w + \beta \times (1-w) \times re \quad (1.8)$$

$COST^{re}$ : 排水・リサイクル残渣処理費用 (円/t・処理量)  
 $\varepsilon$ : 排水処理単価 (円/t・排水処理量)  
 $w$ : 含水率 (%)  
 $\beta$ : リサイクル残渣処分単価 (円/t・リサイクル残渣量)  
 $re$ : リサイクル残渣率 (%)

$$COST_{transport}' = \frac{1}{D} \times \sum_{i=1}^n \left\{ a' \times T' \times r' \times \left[ \left( \frac{D(1-w)(1-re)}{T' \times r'} \right) \times l' \right] + \alpha' \times \left( \frac{l'}{v'} \right) \times \frac{D(1-w)(1-re)}{T' \times r'} \right\} \quad (1.9)$$

$COST_{transport}'$ : 中間処理後の輸送費用及び時間費用 (円/t・処理量)  
 $a'$ : 中間処理後の輸送単価 (円/t・km)  
 $T'$ : 中間処理後に使用する車輛のトン数 (t)  
 $r'$ : 中間処理後の積載率 (%)  
 $l'$ : 中間処理後の輸送距離 (km)  
 $\alpha'$ : 中間処理後の輸送に対する時間価値原単位 (円/h)  
 $v'$ : 中間処理後の輸送速度 (km/h)

$$\text{Min } COST_{total} = COST_{transport} + COST_{disposal} + COST^{re} + COST_{transport}' \quad (1.10)$$

$$COST_{added\_value} = \frac{1}{D} \times \{ R \times D + \gamma \times D(1-w)(1-re) \} = R + \gamma \times (1-w)(1-re) \quad (1.11)$$

$COST_{added\_value}$ : 再生品単位量あたりの付加価値とリサイクル料金 (円/t・処理量)  
 $R$ : リサイクル料金による収入単価 (円/t・処理量)  
 $\gamma$ : 再生品の付加価値単価 (円/t・再生品量)

$$\text{Subject to } COST_{added\_value} > COST_{total} \text{ のとき、 } COST_{added\_value} - COST_{total} > 0 \text{ の範囲内で、} \quad (1.12)$$

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

図-1-2 資源循環の最適空間規模導出モデル

### 1.3 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

#### 1.3.1 使用データ

本推計では、「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>1)</sup>に記載されているデータを用いた。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輸送量」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、分析する。

表-1-1 廃棄物の流通実態 (福岡県)

|          | 総量<br>t/年 | 平均距離<br>km/t | 施設数<br>ヶ所 | 1施設あたりの<br>平均処理量<br>t/年 |
|----------|-----------|--------------|-----------|-------------------------|
| 汚泥       | 2,412,572 | 90.3         | 19        | 126,977                 |
| 廃油       | 24,326    | 69.4         | 9         | 2,703                   |
| 化学系      | 148,491   | 40.6         | 10        | 14,849                  |
| 廃プラ      | 70,024    | 46.9         | 21        | 3,334                   |
| 資源系      | 71,630    | 27.7         | 10        | 7,163                   |
| 金属       | 1,888     | 91.2         | 1         | 1,888                   |
| 建設系      | 2,563,792 | 112.1        | 40        | 64,087                  |
| ばいじん・燃え殻 | 395,666   | 258.0        | 6         | 65,547                  |

集計結果を見ると(表-1-1)、品目によって、1施設あたりの平均処理量(t/年)、施設あたりの平均輸送距離ともに大きく差があることがわかる。様々な要因によって空間スケールが決まっていることが推測される。特徴的な品目として、ばいじん・燃え殻は平均距離が長く、かつ施設あたりの平均処理量が多い傾向にある。これは、特別管理産業廃棄物として、処理に際し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。

#### 1.3.2 推計方法

推計フローを図-1-3 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が施設が処理した全量ではないため、全国産廃処分業<sup>2)</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(4 節)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。

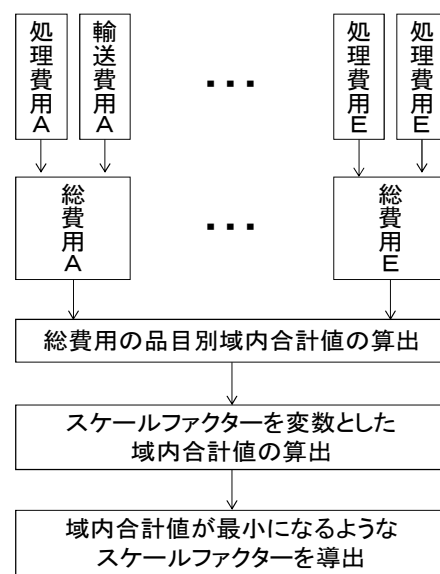


図-1-3 推計フロー

#### 1.3.3 推計結果

推計結果を表-1-2 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-1-4 a ～図-1-4e 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-1-2 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     |



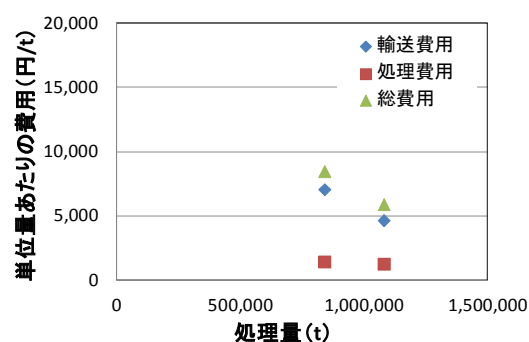


図-1-4 a 推計結果（化学系）

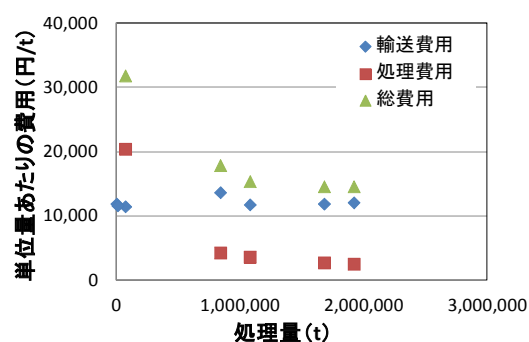


図-1-4 b 推計結果（廃プラ）

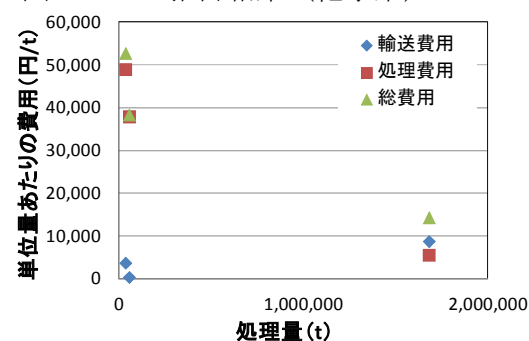


図-1-4 c 推計結果（資源系）

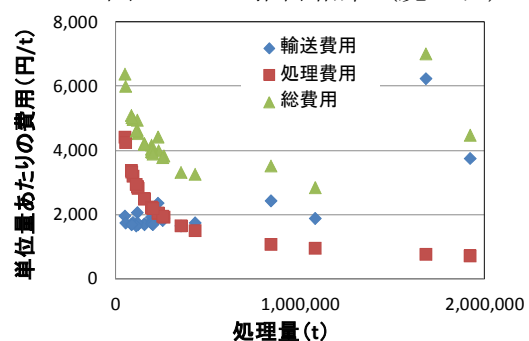


図-1-4 d 推計結果（建設系）

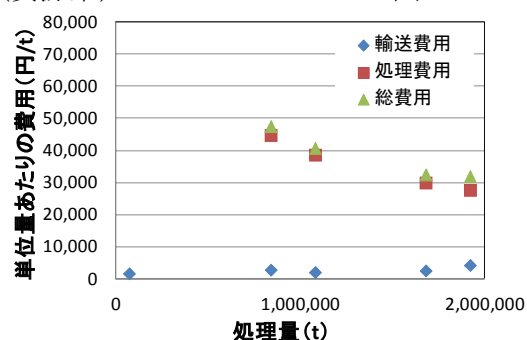


図-1-4 e 推計結果（ばいじん・燃え殻）

## 1.4 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

### 1.4.1 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、2012年6月20日から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-1-3に、アンケートの主な内容については表-1-4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-1-3 アンケートの送付・回収実績

|          |                                           | 中間処理業<br>のみの企業 | 収集運搬業<br>のみの企業 | 中間処理・収集運搬<br>兼業の企業 | 計     |
|----------|-------------------------------------------|----------------|----------------|--------------------|-------|
| 配布<br>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<br>で、<br>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<br>状況 | 回収数                                       | 7              | 37             | 24                 | 68    |
|          | 回収率                                       | 21.9%          | 16.4%          | 12.9%              | 15.3% |

表-1-4 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。

#### 1.4.2 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より建設費のスケールファクターを推計した結果を表-1-5に、散布図を図-1-5 a～図-1-5 cに示す。

表-1-5 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     |

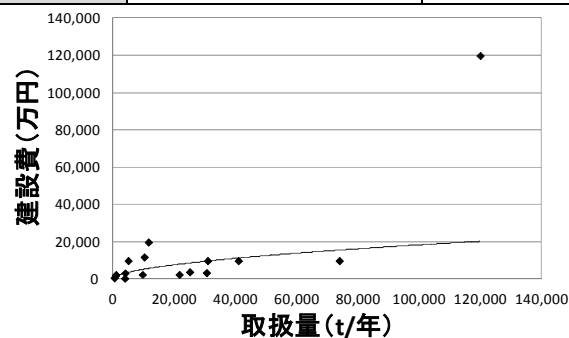


図-1-5 a 推計結果（全サンプル）

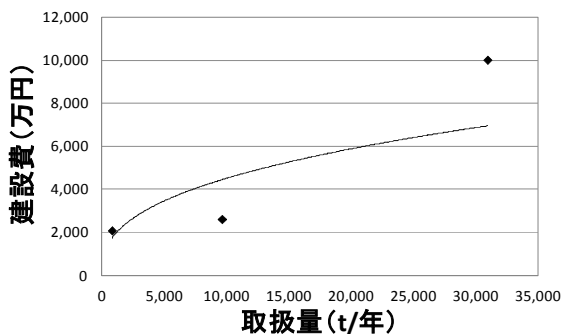


図-1-5 b 推計結果（廃プラ）

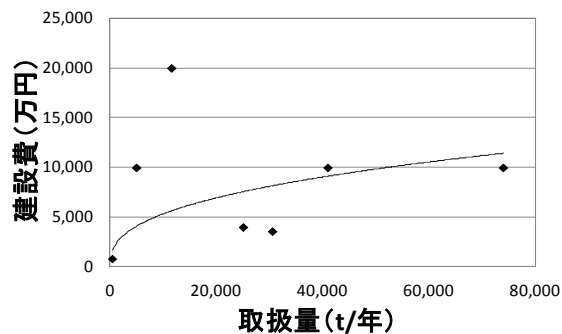


図-1-5 c 推計結果（建設系）

#### 1.5 福岡県を対象としたケーススタディ

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-1-6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

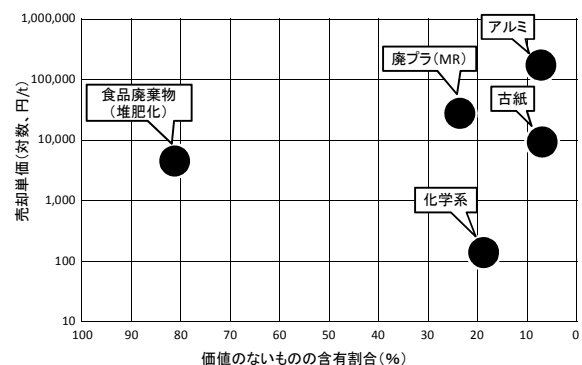


図-1-6 売却単価と価値のないものの含有割合の

もに、モデルの有用性を検証する。

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-1-7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-1-6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-1-6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。

表-1-6 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    | 10% | 0%  | 10,000 円/t  | 153.5 円/tkm |
| 食品廃棄物 | 75% | 15% | 7,000 円/t   | 219.5 円/tkm |

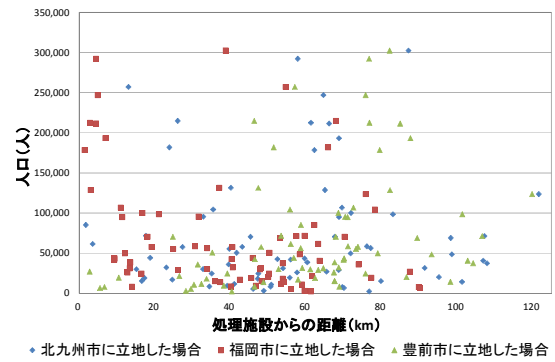


図-1-7 処理施設からの距離と人口の関係

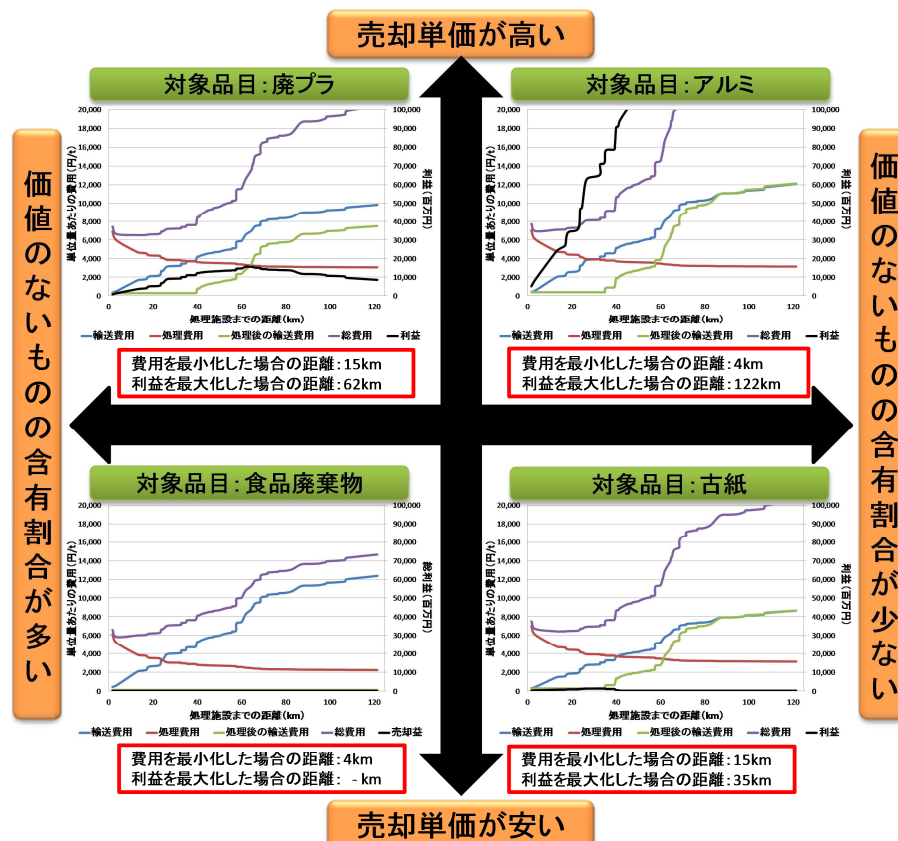


図-1-8 費用最小化計算・利益最大化計算を行ったときの結果（処理施設が北九州市の場合）  
 ※なお、「- km」は、利益が出なかったことを意味している。

費用最小化計算、利益最大化計算を行った結果を図-1-8～図-1-10に示す。分析の結果、品目の特性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。

- ・ 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。

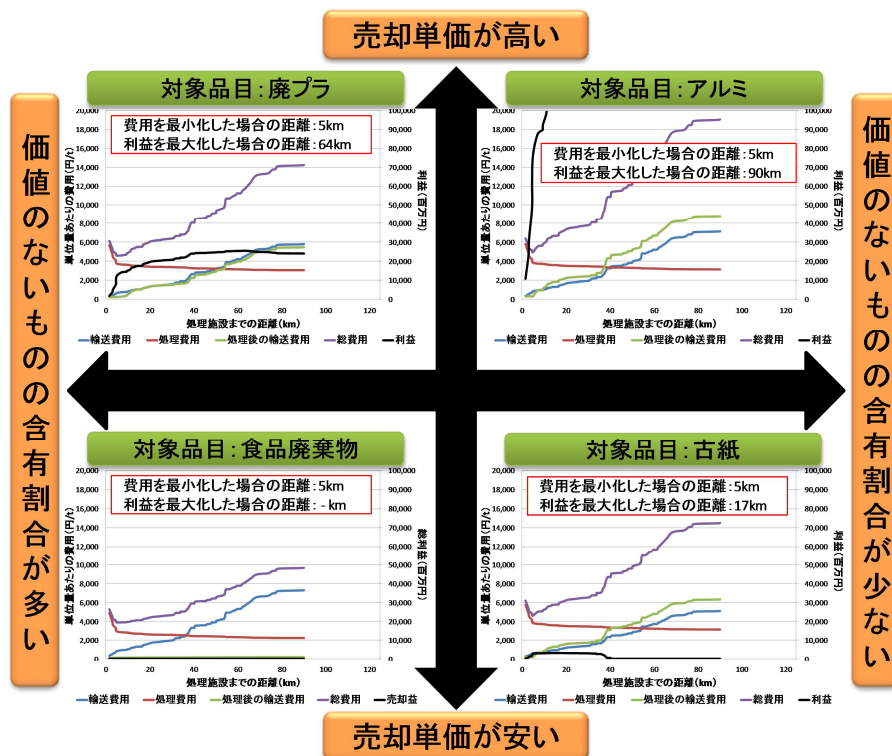


図-1-9 費用最小化計算・利益最大化計算を行ったときの結果（処理施設が福岡市の場合）

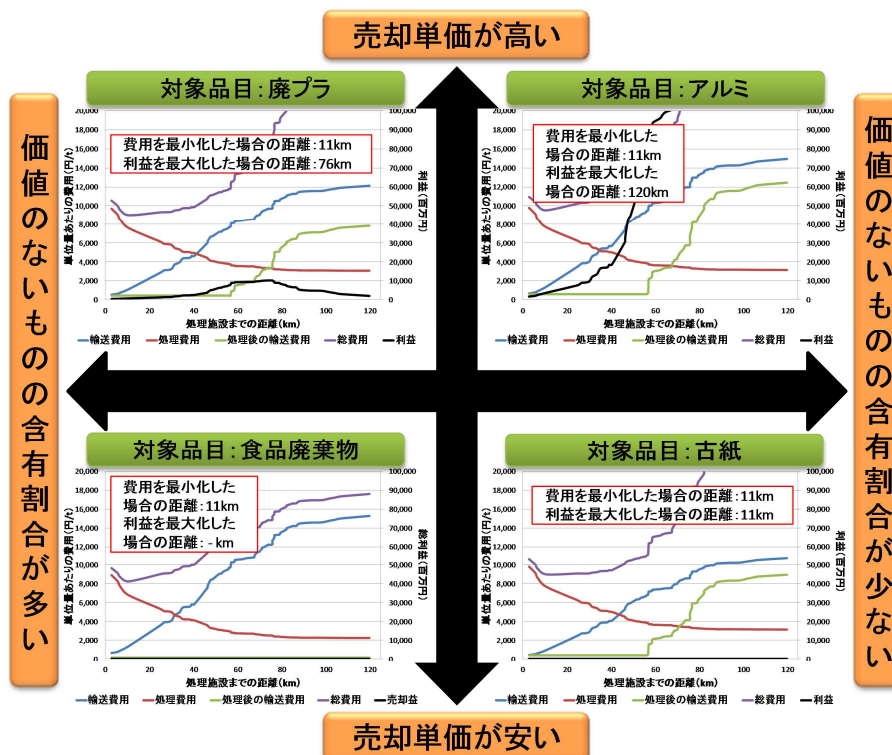


図-1-10 費用最小化計算・利益最大化計算を行ったときの結果（処理施設が豊前市の場合）

## 1.6 まとめ

本研究では、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。輸送効率やスケールファクターなど品目固有パラメータについては、既存の文献データを用いてパラメータの推計を行うと共に、アンケート調査・ヒアリング調査を実施することにより、パラメータの入手を行った。入手したパラメータを最適空間規模導出モデルに適用することで、モデルの有用性を検証するとともに、品目特性と空間スケールの関係を定量的に示した。

品目特性・地域特性を表現する発生密度・輸送効率・スケールファクターを考慮した最適空間規模導出モデルを構築したことで、物質固有・地域固有のデータを用いて望ましい地域循環圏を検討することが可能となった。しかしながら、望ましい地域循環圏の更なる詳細な検討を行うためには、モデルの精緻化と使用データの精査も必要であり、そのためには以下のような課題が存在している。

- ・ 輸送工程において、輸送に要する時間とそれに応じたトリップ数を考慮に入れることである。それをコストに反映させるためには、輸送単価を輸送人員、車両、燃料等に分解する必要がある。
- ・ 廃棄物によっては、季節により発生と需要に量的・質的変動があり、それらが中間処理施設の稼働率や廃棄物の保管等にも影響することがある。しかし、本モデルでは季節変動による時間的変動の要素を取り込んでいないため、これらのパラメータをモデルへ取り込むことが必要である。
- ・ 収集範囲の拡大に伴い、業許可の取得や保管・積替の発生等による取引費用増大等の影響があると考えられる。より現実に近い解析を行うためには、広域化に伴う取引費用の影響をモデル中に取り込む必要がある。
- ・ 望ましい地域循環圏を検討するためには、環境負荷と費用のみでなく、地域活性化などの社会的影響等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提示する必要がある。
- ・ 対象品目と転換技術のオプションを拡大すること、さらに特定の資源・地域に適用しケーススタディを蓄積することで、更にモデルの有用性を検証することも課題である。その結果は地域循環圏の検討プロセスに重要な示唆を与えることが期待される。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 日経アイ・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

## 第2章 地域循環圏の形成方策の検討

(執筆者：国立環境研究所 藤田 壮、藤井 実)

### 2.1 地域循環圏形成の動向調査

#### 2.1.1 国内における地域循環圏形成の進展と検討状況

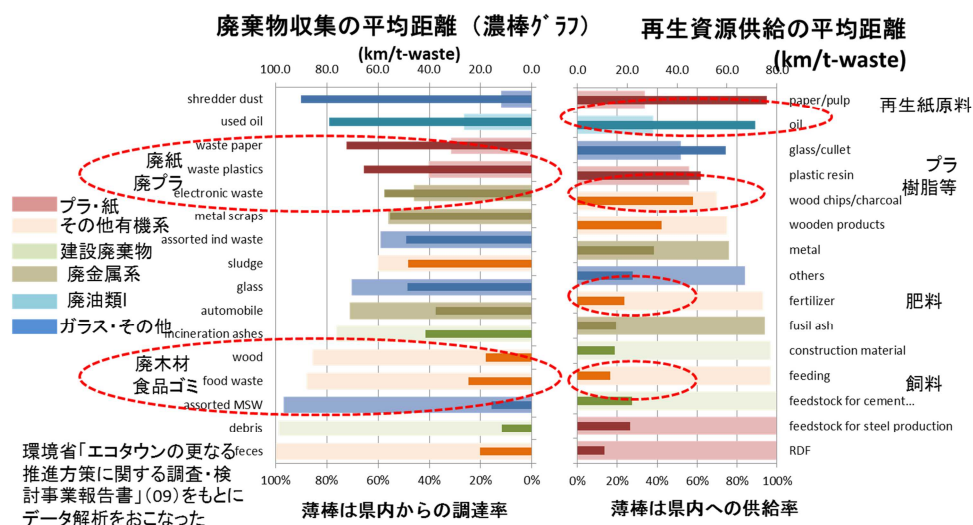
はじめに地域循環圏の形成に向けた、国内での取り組み状況を整理する。個別リサイクル法の整備を進めるとともに、各地に資源循環「拠点」を形成する、エコタウン事業も全国で進められてきた。環境省では、地域循環圏の望ましい姿について議論をするために2010年より「地域循環圏形成推進に向けた検討会」（以下、「検討会」）を開催してきた。本研究課題の代表者及び分担者も座長・委員として参画し、各地における地域循環圏の構築にむけての取り組みや事例の整理を通して、地域循環圏形成の課題と、解決のための方向性を提示した。2012年には検討会の成果として、地域循環圏形成推進ガイドラインが公表された。

#### 2.1.2 地域循環の拠点としての日本のエコタウン事業

エコタウン事業を対象にして分担者らは、自治体や企業等と連携して循環活動の定量的な解析を進めてきた。そのなかで、欧州で注目されてきた「産業共生」にくわえて、産業施設群が周辺の都市から発生する廃棄物を化石燃料の代替資源として受け入れる資源循環の効果に注目した。この効果の定量的な解析を進めることで、産業共生が発展する次の概念として、「都市産業共生（urban symbiosis）」を提案している<sup>1)</sup>。都市産業共生によって、都市からの副産物を産業活動にのっての資源やエネルギーとして代替利用することで、各地域の産業プロセスで新規の天然資源の消費を抑制して、都市全体としての環境負荷を削減できる効果を明らかにしてきた<sup>2)</sup>。

2007年に分担者らも参画し、環境省がおこなった「エコタウン等の更なる推進方策に関する調査」では、2008年にエコタウン承認自治体への事前調査を行ったうえで、エコタウン施設へのアンケート調査を行った。国が指定して、補助対象としたリサイクル施設62箇所にくわえて、各自治体が指定し、あるいは民間事業に支援リサイクル事業を含めると、全国で170のリサイクル施設が現在稼働中であることがわかった。この施設へのアンケート調査の結果、有効回答を得た90施設で集計すると、全国年間約90万トンの新規資源の消費の削減が実現している。エコタウン施設での副産物の再生利用率は92%に達しており、くわえて、新規資源の代替などの間接削減も含めると年間で50万トンのCO<sub>2</sub>削減効果があることがわかった。

この調査を通じて、資源循環規模にも定量的な解析をおこなった。循環の空間規模が拡大することによって、利用できる資源量とともに受け入れるが需要量が増加して、資源循環の供給と需要の安定性がもたらされることは、ストーリーとしては明快ではある。





今回の調査で、循環資源の種類別に資源の回収調達と再生品の供給・利用の平均距離を算定した結果を整理したところ（図-2-1）、例えば、自動車、廃家電・機器類、シュレッダーダストではエコタウン都市を超える広域での循環が形成されていることがわかった。廃プラスチックや廃油では製品調達は広域化しているが、再生品の供給面では地域内循環の割合が高い傾向がある。また、がれき類に加え、木材やRDF、とくに、食品廃棄物については調達・供給ともにエコタウン地区・都市内での循環を形成している傾向があった<sup>3)</sup>。また、地域循環での資源の調達と再生製品の供給の地域循環率を高めると事業効率が向上する傾向も見られた。たとえば、自動車と家電・機器類、廃プラスチックについては、地域調達率が高いほど、施設の稼働率が高くなっている。

## 2.2 高効率・低コストで、持続的（頑強）なリサイクル・処理システム

### 2.2.1 検討の背景と持続的なシステムの定義

温暖化問題や資源枯渇問題への対応のため、循環可能な資源を効率的に利用できる資源循環システムの構築が急務となっている。リサイクルの効果を高めるには、循環資源の単位重量当たりの効果を高めるとともに、リサイクルの実施量を拡大する必要がある。特に実施量を拡大するには、地域循環圏を構成するリサイクルシステムが、費用対効果に優れ、それが持続的な仕組みとなっていることが、重要な要件の1つになると考えられる。これまでも、廃棄物のリサイクル・処理分野において、情勢変化に対する対策はある程度採られてきているが、個々の対策となり得る要素を整理し、頑強なリサイクル・処理システムの設計指針として構造化することが重要である。これにより、不確定な情勢変化が生じる得る中、また資源循環と並行して実施され、リサイクルの阻害要因ともなり得る2Rの推進や省エネルギー化、再生可能エネルギーの導入が進展した際にも、資源循環を通して達成される環境負荷削減量や資源消費削減量の将来に渡る時間積分値の期待値を拡大できることが期待される。

高効率・低コストで、持続的（頑強）なリサイクル・処理システムとは、投入する費用（初期費用と運転費用）に対して、現時点だけでなく、長期的（施設の一般的な耐用年数である数十年の期間を想定）にも高いリサイクル効果が得られるシステムである。

情勢の変化には、廃棄物発生量が人口減少や2Rの進展によって漸減したり、組成が変化する場合、大きな経済変化によって廃棄物発生量が急激に減少したり、リサイクル製品の需要が大幅に落ち込む場合、省エネルギー技術や太陽光、太陽熱等の導入の進展に伴って、エネルギー回収の意義が相対的に低下する場合、大規模災害によって廃棄物発生量が大きく増加する場合など、様々なケースが想定される。

### 2.2.2 システムに求められる要件

まず、定性的、半定量的な考察から、情勢変化に強いリサイクル・処理システムの構築にとって重要と思われる要素を整理する。現時点では、以下に述べる4つの要素を挙げるが、今後の検討により拡充し、構造化することが必要である。

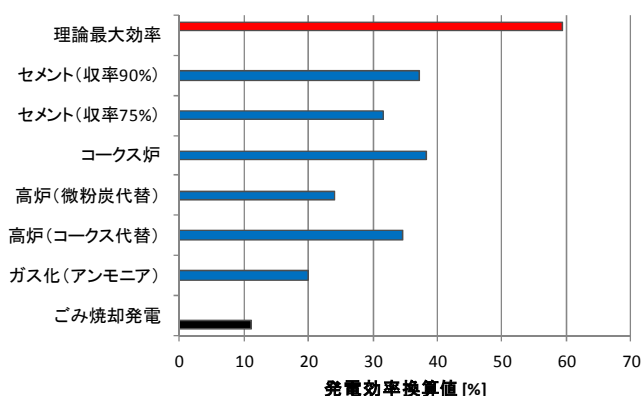


図-2-2 素材産業等の既存炉を活用するリサイクルの効率（発電効率換算値）<sup>4)</sup>

### (1) 既存施設の活用

初期投資を抑制するには、既存の施設を利用することが有効である。ただし、リサイクルの最大理論効率<sup>4)</sup>に照らして効率的な施設のみを選択的に活用する。図-2-2は素材産業等の既存炉（ガス化は一部新設）を用いて、プラスチック製容器包装をリサイクルする場合の効率を、理論最大効率と比較したものである。異種のプラスチックの混合物である点と、ごみ焼却発電の平均効率と対比を考えると、十分に高効率と判断される。

### (2) 施設（機能）の多様性

廃棄物のリサイクル・処理に係わる各施設は、それぞれ長所と短所を併せ持っている。焼却炉は低品質な廃棄物も幅広く受入れ適正処理できるのが長所だが、建設費が高額であるために、廃棄物量が減ると単位費用（1kgの処理当たりの費用）が容易に増加する点が短所となる。また、発電効率は平均的に10数パーセントであり、効率を高めるには廃棄物の安定供給が必要で、情勢変化への追随性が低下する。選別施設の長所は、ベルトコンベアー式の工程のため、処理速度調節が容易であり、建設コストもかなり安価である。また、選別・前処理された廃棄物を適切に利用することで、高いリサイクル効果が得られる。ただし、ある一定品質以上の廃棄物のみが処理対象となる。それぞれ、どちらか一方に偏ると、短所を相互に補完することができない。将来の情勢変化を考慮し、各施設の長所を活かし、施設整備のバランスも重要であると考えられる。

### (3) 環境負荷削減確率の高いリサイクル

元と同じ製品に戻す閉ループのリサイクルと、違う製品を作る、開ループのリサイクルが存在する。また、元と同じ製品でなくても、生活に必要性の高い製品を製造するための原料や燃料として用いる場合を、準閉ループリサイクルと呼ぶものとする（図-2-3）。閉ループや準閉ループのリサイクルは、再生品に常に高い需要があることが期待できる。一方、開ループのリサイクルは、条件次第で効率的となるが、常に需要が見込めるとは限らない。廃棄物の性状によっては、閉ループリサイクルが難しい場合もあるが、同程度の効果やコストが見込まれる場合には、常に高い競争力を保てる可能性の高い、閉ループ、準閉ループのリサイクルを選択することが望ましいと考えられる。

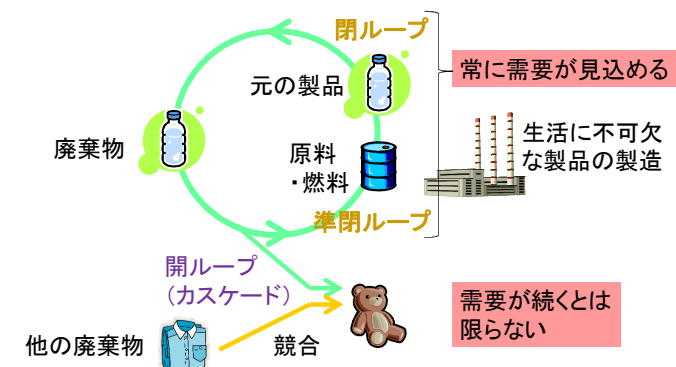


図-2-3 閉ループリサイクルと開ループリサイクル

### (4) エネルギー・資源の質の考慮と絶対効率の向上

今後社会でエネルギーシステムの効率化が進んだ際にも、高い競争力を保つリサイクル方法であることが重要である。リサイクルの環境負荷や資源消費削減の効果は、ライフサイクルアセスメント（LCA）の方法論に基づいて評価されるのが一般的である（図-2-4）。その際、廃棄物1kgがどのような種類の新規資源を何kg代替したかの相対的な関係（代替効果）でリサイクルの効果が決まる。この場合、エネルギー効率やエクセルギー効率が悪いリサイクルプロセスでも、従来の新規資源も同様に低い効率で利用されていた場合、結果的に新規資源の削減効果は大きくなるため、代替効果は高くなる。一方、廃棄物がどのようなエクセルギー効率で利用されたのかを考えれば、相対的な関係によらずに、絶対的な利用効率を算出することができる。リサイクルは、まず代替効果の高い利用方法を選択することが必要条件であるが、将来の変化にも備える上では、代替効率が高く、かつ絶対効率も高い利用システムを選択することがより望ましい。

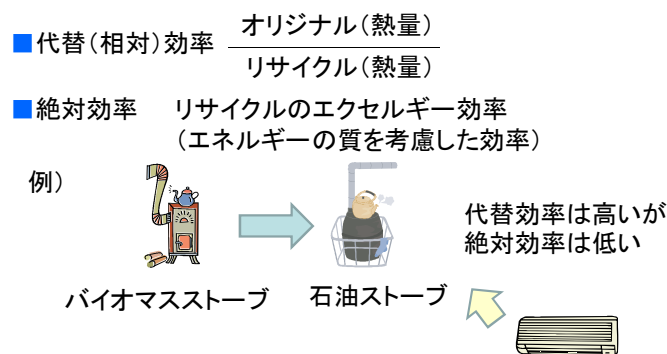


図-2-4 リサイクルの代替効率と絶対効率

## 2.2.3 動脈産業の活用拡大の技術調査と地域シミュレーション

### (1) 検討事例：有機系一般廃棄物の分別リサイクル拡大

上述の持続的なリサイクル・処理システムに求められる4つの要素を包含するシステム例として、研究蓄積のある一般廃棄物中の混合プラスチック、雑紙の分別リサイクルを拡大するケース（便宜上、スマートリサイクルと呼ぶ）<sup>4）5）</sup>を検討事例とする。

（概要図 2-1）に示すように、高品質なプラスチック、雑紙類を分別して地域の拠点に収集し、一部のプラスチックはマテリアルリサイクルを実施し、残りは固形原・燃料に加工して、素材産業や発電所等に輸送して利用することを想定する。低品質の廃棄物（厨芥等）の高効率利用法については、複合拠点化を他課題（K113002）で検討中である。評価では、古い焼却炉も存在する東京都の3市域（人口115万人）（図-2-5）を対象とし、GIS（地理情報システム）を活用した分別収集モデルと、地域拠点に関する設計情報（マテリアルリサイクルと固形原燃料化：Smart A、固形原燃料化のみ：Smart B）、焼却炉のモデル（北海道大学モデル）、素材産業等への輸送と化石資源の代替効果を算定した。簡易な計算は既に実施していたが、収集モデルを精緻化するとともに、施設の建設・運転に関する固定的費用、変動的費用を区別してモデル化し、廃棄物量変化に対する応答予測を可能とした。地域内の人口変化や資源化の進展を考慮し、5基の焼却炉のうち2020年に1基を廃止、1基を縮小して更新するケース（BAU）と、1基の縮小更新施設の代わりに、スマートリサイクルの地域拠点を建設するケース（Smart）を比較した。他の計算方法は文献<sup>5）</sup>に準じ、情勢の変化の事例として2030年に廃棄物発生原単位が減少した際の、BAU及びSmartにおける費用変化を評価した。

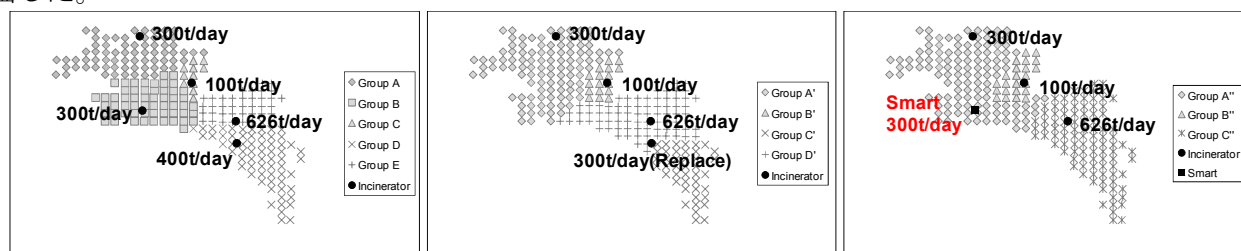


図-2-5 対象地域の焼却施設・リサイクル拠点の空間分布

左から現状、BAU、Smartの各施設利用状況。凡例は、焼却施設の管轄範囲を示す

### (2) 技術調査

上述の素材産業や発電所などの既存施設を活用する高効率リサイクルの大幅な拡大に向けた、技術的側面からの調査として、石炭火力発電所及び、鉄鋼メーカー等に対するヒアリング調査を行った。一部の調査結果は他課題（K113002）にも出力し活用した。石炭火力発電所では、微粉炭吹き込みの場合、既存の石炭微粉化設備では木くずの投入量が限られ、廃プラスチックや古紙の微粉化も難しいが、専用の粉碎施設により、投入量は大幅に拡大可能である。また、微粉炭バーナーと、固形廃棄物燃焼のハイブリッド構造については、技術的には可能であるが、廃棄物の安定供給を含め、経済的なメリットとが必要である。循環流動床では、廃棄物の受け入れは容易で、発電所に特別な受け入れ施設等も不要であるが、低位品位な石炭を利用する場合には、発熱量の点では制限を受け得る。また、コークス炉における廃棄物の利用拡大については、廃棄物の高密度化により利用

量の拡大が可能であり、現状はプラスチックの利用が大部分であるが、木や紙の利用も可能であり、混合プラスチック、雑紙の利用拡大が可能な内容であった。

### (3) 評価結果

対象地域に BAU と Smart の各ケースにおける、費用の変化（概要図-2-2）と CO<sub>2</sub> 排出量の変化（図-2-6）を示す。Smart では、分別収集費用が増加するが、施設建設に関わる固定的費用が低下する効果と、素材産業等における石炭使用の回避効果によって、全体としては費用が低減する結果となった。また、石炭使用の回避によって、CO<sub>2</sub> 排出量は大幅に削減されることが分かる。対象地域では、2030 年まで大幅な人口減少は予想されていないが、今後 2R（リデュース、リユース）が大きく進展した場合を想定し、2030 年にごみ発生原単位が大幅に減少した場合を想定した計算結果（図-2-7）では、廃棄物量が減少しても、スマートリサイクルにおいては、BAU と比較して単位処理費用の増加が大幅に抑制できることが示され、頑強性を備えていることが確認された。

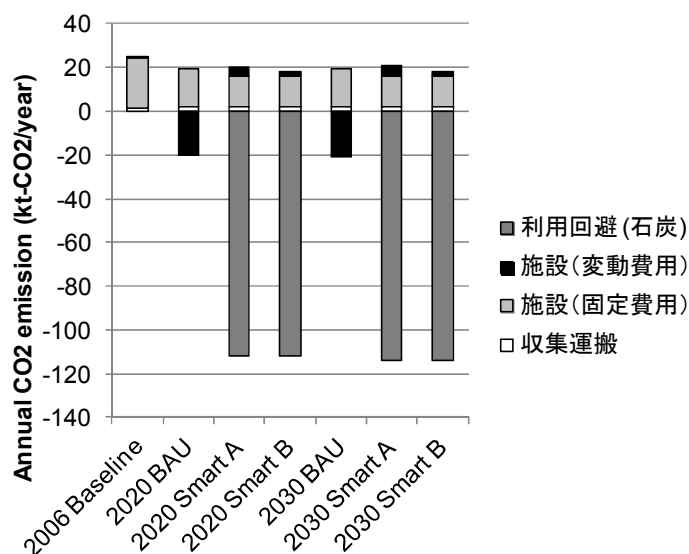


図-2-6 シミュレーション対象地域における BAU 及び Smart の各 CO2 排出量変化

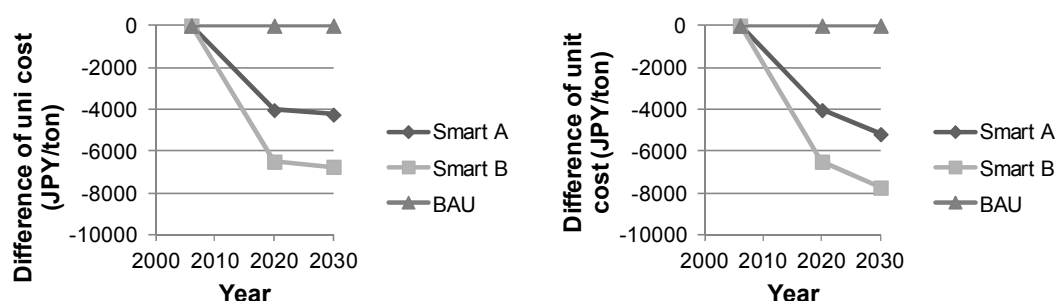


図-2-7 廃棄物量減少（2030 年）時の単位処理費用の変化（Smart - BAU の差分）

左：BAU に対し廃棄物量 80%に減少、右：同 60%に減少

### 2.3 まとめ

近年の地域循環圏形成に関する動きを調査するとともに、高効率・低コストで、持続的（頑強）なリサイクル・処理システムについて条件を整理し、望ましいと考えられるシステム例を具体的地域に当てはめてシミュレーションを実施した。これにより、

- ・ その効率性や頑健性を確認。
- ・ 実現可能性を検討するためのヒアリング調査を実施。
- ・ 既存の高効率施設の活用、異なる機能を持つ施設整備のバランス、（準）閉ループリサイクルの構築、廃棄物の質を活かす高エクセルギーエネルギー利用により構成される。
- ・ 既存施設として、大規模・高効率で廃棄物を活用できる、発電所・素材産業へのヒアリング調査により、廃棄物の大幅な活用拡大が技術的に可能であることを確認した。

また、リサイクル・処理の地域シミュレーションについて、

- ・ リサイクル・処理を実施する上で、コスト面で大きな割合を占める収集プロセスを、GIS を利用して高精度に推計した。
- ・ 廃プラスチックや雑紙を現状よりも大幅に分別・リサイクルを行うケースについて、焼却施設、リサイクル前処理拠点、素材産業等を活用するリサイクル工程を含めて、評価を実施
- ・ 高いCO<sub>2</sub>削減効果、経済的なコスト低減の可能性、ごみ量変動に対する頑健性を確認した。

このようなシステムの導入を進めることで、リサイクル効果を大幅に高めるとともに、将来の廃棄物処理コストの増加防止にも貢献し得ると考えられる。今後、技術的検討の更なる高精度化とともに、導入のための制度上の問題解決や、ステークホルダー間の利害調整等が課題である。

#### 参考文献

- 1) Berkel, Rene, Fujita, Tsuyoshi, et. al., Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-Town, Journal of Environmental Management, 90, pp.1544-1556, 2009b.
- 2) X. Chen, T. Fujita et.al., The Impact of Scale, Recycling Boundary and Type of Waste on Urban Symbiosis: An Empirical Study of Japanese Eco-Towns, J. of Industrial Ecology, 2010.
- 3) 大西・陳・藤田:エコタウン事業の地域循環特性に関する実証研究環境システム研究論文, 2010.
- 4) 藤井実, 藤田壮, 陳旭東, 大西悟, 大迫政浩, 森口祐一, 山口直久, 長期的視点からのプラスチック及び雑紙のリサイクルシステムの検討, 環境システム研究論文集, 39, pp.II\_439-447, 2011.
- 5) Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen, Satoshi Ohnishi, Naohisa Yamaguchi, Smart recycling of organic solid wastes in an environmentally sustainable society, Resources, Conservation and Recycling, 63, pp.1-8, 2012.



#### 3.1 建設副産物の循環利用

都市に蓄積されたマテリアルストックは、我々に多くのサービスを提供することで利便性や快適性をもたらしてきたが、同時に開発に伴い地球環境に多大なる影響を及ぼしてきた。資源・エネルギーの枯渇問題をはじめ、廃棄物の増大に伴う最終処分場の残余容量の減少など、多くの問題に直面している。例えば、産業廃棄物の最終処分場に関して、1996年には残余年数が2.7年になるなど、2009年に13.2年に持ち直したとは言え、危機的な状況である。国土面積が小さい我が国において、新たな最終処分場の確保は難しいのが現状である。2009年の産業廃棄物の排出量3億9,000万トンのうち、建設分野の排出量は7,400万トンで、全体の18.9%を占めている(環境省、2012)。また、建設分野における廃棄物の最終処分量は400万トンであり、産業廃棄物の最終処分量1,700万トンの24%を占めている(国土交通省、2010)。1970年代以降に大量に建設された建築物が更新期を迎えるにあたり、今後とも発生量が増加することが予想される。このように排出される廃棄物の中でも多くを占める建設分野においても、2000年に制定された「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律(建設リサイクル法)」により、建設副産物の抑制とリサイクル率の向上が図られている。同法では一定規模以上の工事について、コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊、建設発生木材の再資源化等が義務づけられている。その内のコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊で建設副産物の排出量の8割を占めており、その循環利用率は95%以上となっている(国土交通省、2010)。

しかし、建設副産物の循環利用に関しては地域によっては新規資源を投入している場合もあり、地域別にその構造は異なる。そのため、地域循環圏についてはあまり検討が進んでおらず、将来にわたって循環利用される圏域を評価することは重要である。また、環境影響評価として新規資源からの生産と循環利用の比較を行うことも有効であるがこれまでの検討は十分でなく、その充実が望まれることが指摘されている(森口、2007)。そのため、循環型社会形成を目指す上で、マテリアルストックフロー解析による物質代謝構造の把握および再資源化の影響を評価し、適切な循環利用を行うことが求められている。

#### 3.2 建設副産物を対象とした地域循環圏の検討

##### 3.2.1 建設副産物循環利用の既往研究

建設副産物の発生や再利用量の予測に関する研究は以前から行われてきた。橋本ら(2000)は、建築物解体廃棄物の発生予測において、解体建築物量の予測手法を、既存の統計データおよび建築物の寿命変化に対応できるものとして、コンクリート塊の発生が解体廃棄物量の主な増加原因として挙げている。藤川ら(2006)は、建設廃棄物の排出量および再生利用量の予測に関する研究において、山口県を対象として2020年までの排出量とその再生利用量の予測を行っており、コンクリート塊の排出量は今後建築解体の増加に伴い増加するが、コンクリート塊の主な需要源である公共土木工事は減少傾向にあるため、再生砕石が供給過多になる可能性が高いと指摘している。

建築物の廃棄物発生量の将来推計については、萩島ら(2002)が東京都26市・23区、鳥取県・島根県の全市町村及び福岡県全市町村の3つの地域を対象として、建築解体廃棄物発生量の将来予測を行っている。建築物の寿命と人口密度などの関係について検討し、人口変化に応じた一人あたりの延べ床面積から、将来の人口構造に応じた立て替え・廃棄物発生を推計している。

コンクリート塊リサイクルの評価は、橋本ら(2000)がコンクリート塊リサイクルの環境面からの評価において、コンクリート塊を道路路盤材用再生砕石としてリサイクルすることをLCA的に評価し、その有効性を示した上で、環境負荷を低減させるためには輸送距離が重要であることを示した。

以上のように、コンクリート塊の供給過多を都道府県以上の単位で言及しているものが一般的である。しかしながら、再生砕石はその利用に関して空間的な制約が存在しており、バーゲン材の利用が多い都道府県も存在する。(経済産業省、2011) 循環型社会の構築を目指すなか、このような現状がLCAの観点から許容されるものなのか評価するためにも、より小さな単位で分析し、空間分布を把握することを検討した。



### 3.2.2 建設副産物需給推計モデル

推計モデルでは、建築物の解体に伴い発生するコンクリート塊と、道路改良の際に必要な砕石を全国市町村ごとに推計することにより、コンクリート塊の形成する地域循環圏を受給の面から把握を行った。モデルの概要を図-3-1に示す。市町村データベースは、コーホート法を用いることで、2005年と2010年の国勢調査(2005、2010)から2050年まで5年ごとの将来人口を推計した値である。市町村の数は1720であり、男女別、5歳階級別のデータを集計している。人口から、世帯数と建物面積需要量を推計する。建物面積需要量は、構造別に住宅と業務建物を推計しており、その総計を用いている。建物着工量から建物面積供給量を推計し、建物面積需要量と重ねることで、建物面積の需要と供給から当該5ヶ年に着工・廃棄される建物面積を推計する。廃棄については、小松ら(1992)や小見ら(2012)を参考に既存の廃棄率曲線を作成し、そちらの平均耐用年数を2050年時点で、現状維持、または2倍となるように、各年次に対応した廃棄率を推計することで、その値を用いた。ここでは、廃棄された構造別の建物面積より、資源投入原単位を乗じて再生砕石として用いるコンクリート塊を再生砕石用コンクリート塊排出量として、需給バランスの計算に用いた。一方、道路については、現在のトレンドから道路着工量の回帰曲線を作成し、一人あたり道路需要量を下回らないように、当該5ヶ年に着工される道路面積を推計する。着工量は、奥岡(2012)より耐用年数を30年とし、資源投入原単位を乗じて再生砕石用コンクリート塊投入量を推計した。

再生砕石用のコンクリート塊の排出量と投入量の比率である需要供給比は、地域のマテリアルバランスを示す重要なリサイクル性指標である。また、循環利用を行う圏域の大きさについても、同様に重要な指標として扱った。ここで、需要供給比をRIO (Ratio by value of Input to Output of concrete mass)、圏域の大きさをAReZ (Aresize of Regional Resource Recycling Zone)とそれぞれ指標化して、地域循環圏の検討を行った。

RIOは、コンクリート塊投入量を排出量で除した値で、以下の式で定義した。

$$RIO_i = \frac{IC_i}{OC_i} \quad (3.1)$$

ただし、IC: コンクリート塊投入量[Mt]、OC: コンクリート塊排出量[Mt]、i: 市町村コード、である。RIOはコンクリート塊の循環利用のポテンシャルを示しており、1.0に近いほど適した需給バランスを示す。1.0より大きいと、コンクリート塊投入量が過剰であることを示す一方、1.0より小さい場合は、コンクリート塊排出量による再生砕石が余っていることが示される。これらの地域が、協力してコンクリート塊を過剰と不足の偏在を解消する「輸送」を行うことにより、全体のマテリアルバランスは改善する。

一方で、輸送によりマテリアルバランスを改善は可能であるが、長距離の輸送はコンクリート塊を収集するための効率など他の問題を発生させる。循環利用の促進のために、輸送をすることで形成される地域循環圏により適した圏域の大きさを明らかにすることは重要である。本研究では、圏域の大きさをAReZとして、日本全国における適した値を以下の式で検討した。

$$AReZ = \frac{\sum dist_j}{n} \quad (3.2)$$

ただし、dist: 圏域における中央から最遠市町村までの距離[km]、n: 圏域の数、j: 圏域コード、である。AReZは、コンクリート塊を輸送する距離を最小から大きくしていく段階で形成される、全国の地域循環圏の平均の圏域の大きさを示す。輸送を始めた最初の段階では、AReZは十分に小さいが、輸送を多く行うにつれて、AReZの値は大きくなる。輸送されるコンクリート塊の量の増加と圏

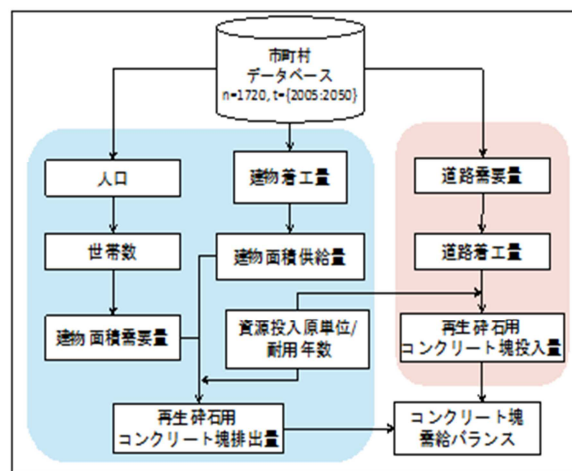


図-3-1 モデルフレームワーク

域の拡大を比較することで、リサイクル性を評価することが可能である。

地域循環圏における循環利用のリサイクル性を評価するためには、コンクリート塊の輸送による、*RIO*の改善と *AReZ*の変化から、最適な圏域の規模が検討可能となる。田畑ら(2002)、橋本ら(2000)は、コンクリート塊の輸送・再利用に関する分析を行っており、リサイクル評価の要因として輸送距離を指摘している。本節では、コンクリート塊の輸送を循環利用最適化モデルとしてモデル化を行った。図-3-2に、モデルのフレームワークを示した。循環利用最適化モデルは、(a)輸送拠点の生成、(b)輸送拠点の統合、によって構成されており、(a)において作成された輸送拠点を、(b)において輸送距離を拡大することで統合し、初期に多数生成された輸送拠点が減少していくことで圏域の拡大を表現するモデルである。生成された輸送拠点を統合することで、コンクリート塊の地域循環圏を決定する。モデル内では、輸送拠点は両地域の間で交換する場所であると仮定し、交換量を増大させるために他の輸送拠点との統合を、マルチエージェントシステム(Multi-Agent System: MAS)によってモデル化する。MASとは、シミュレーションの手法のひとつで、エージェント指向によるモデルである。従来のオブジェクト指向のモデルと異なり、個々のエージェントの振る舞いに応じて、自己組織的なモデル化を可能とし、近年研究が進んでいるシミュレーションである。これらの手順において、輸送を行う際の圏域の拡大についてモデル化を行った。

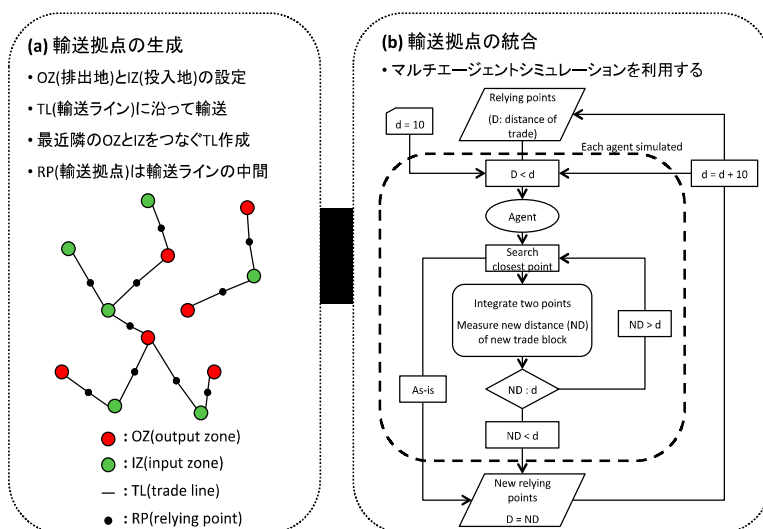


図-3-2 循環利用最適化モデル概要

### 3.2.3 分析結果

対象地域は日本全国にある 1720 の市町村であり、対象期間は 2005 年から 2050 年まで 5 年ごとである。シナリオとして、2050 年に達成する建物の耐用年数が、1) 現状維持 (Status Quo: SQ)、2) 2.0 倍 (double: W) の場合の 2 種類を仮定した。これらのシナリオにおける推計結果を比較することで、コンクリート塊の循環利用のリサイクル性の評価を行った。

図-3-3 に日本全国におけるコンクリート塊の排出量と投入量をシナリオ別に 2010 年から 2050 年までの推計結果を 5 年ごとに示す。コンクリート塊の排出量は、耐用年数現状維持シナリオでは 2040 年まで増加を示すが、耐用年数 2 倍シナリオではほぼ横ばいである。再生砕石投入量は 2025 年まで減少しており、以降 2050 年までおよそ一定の値となっている。コンクリート塊の排出地域の全体に対する割合は、両シナリオとも増加傾向にあり、特に現状維持シナリオでは、70% 近くまで推移し、地域のマテリアルバランスは偏っていることが示される。

コンクリート塊の輸送を考慮することで地域循環圏の検討を行った。方法としては、前述したコンクリート塊の循環利用最適化モデルを利用して、輸送拠点を生成・統合することにより、地域循環圏における圏域規模の大きさを算出した。輸送を多く行くと、圏域は大きくなり *AReZ* は高い値を示すため、

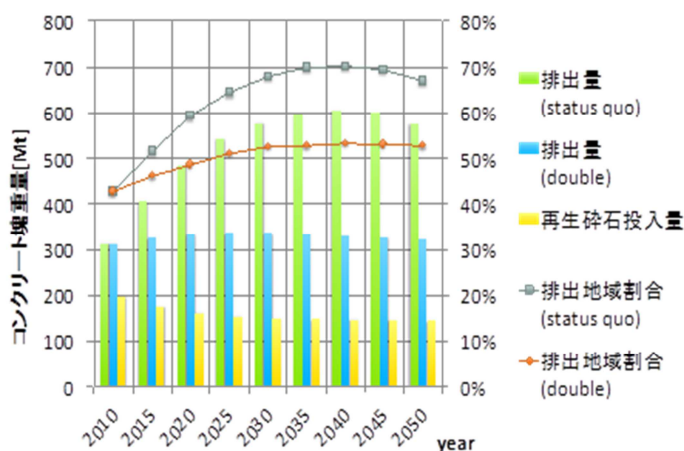


図-3-3 コンクリート塊の排出量と投入量将来推計結果

適切な輸送量を検討することで、適切な圏域の規模を明らかにする。分析では、ステップ毎に 10km ずつ圏域の最大値を変化させることで、最大 100km までを対象とした。

図-3-4 にシナリオ別の分析結果を示す。横軸は  $AReZ$  の値、つまり日本全国での平均的な圏域の規模である。縦軸は、シミュレーションの結果輸送されたコンクリート塊の日本全国の総量であり、大きいほど  $RIO$  の改善が期待できる。結果は、時系列で 2010 年、2030 年、2050 年の 3 種類、シナリオで、耐用年数現状維持(SQ)と耐用年数 2 倍(W)の 2 種類、組み合わせて 5 種類の結果とした。2010 年では、 $AReZ$  が 40km 程度までは総輸送量は大きく増加し、以降は微増となっている。耐用年数現状維持シナリオでは、2030 年、2050 年共に、総輸送量は大きく減少しており、 $AReZ$  が 20km 程度以下でしか総輸送量はほとんど増加しない。また年次の違いはあまりなく、コンクリート塊の排出が多いため、多くの地域で再生碎石過剰となっており、循環利用のポテンシャルがそれほど大きくないことが示される。一方、耐用年数 2 倍シナリオでは、現状維持に比べて改善しており、およそ 1.5 倍程度総輸送量が増加している。また、 $AReZ$  についても、40km あたりまでは総輸送量の増加が見られ、より多くの循環が可能であることが示された。全体としては、20km から 40km 以上の輸送をすることで、総輸送量はほぼ飽和してしまうことが示されたが、2010 年に関しては大きい循環圏が形成される可能性は存在する。

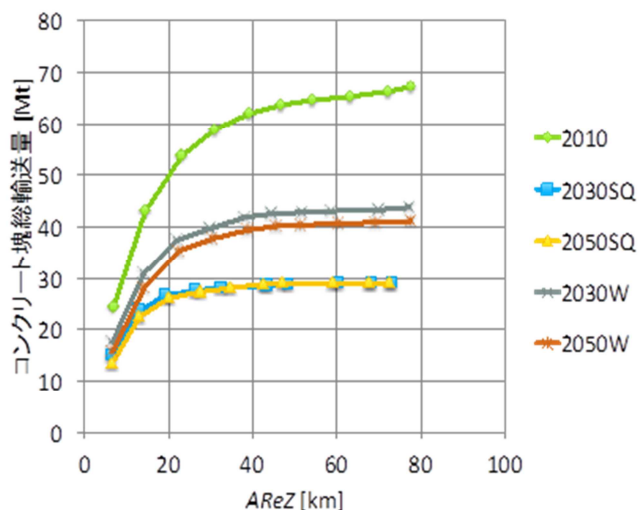


図-3-4  $AReZ$  と輸送されたコンクリート塊総量

次に、圏域の規模を大きくしたことによる  $RIO$  の改善を評価する。図-3-5 に、 $AReZ$  と  $RIO$  別の市町村数の関係を示した。結果は、時系列で 2010 年、2030 年、2050 年の 3 種類、シナリオで、耐用年数現状維持(SQ)と耐用年数 2 倍(W)の 2 種類、組み合わせて 5 種類の結果とした。(1) 2010 の結果からは、10km の循環圏を形成することで  $RIO$  が大きく改善されていることが示された。特に、 $RIO$  が 0.5 以下と 2.0 以上の偏在地域について、両者バランスよく改善が出来る結果となった。 $AReZ$  を大きくすることで、およそ 80% の市町村を  $RIO$  の値が適正となるよう改善された。一方で、図-3-5(2-a)、(2-b)に示す耐用年数現状維持シナリオにおいては、およそ 50% の市町村が  $RIO$  の値が

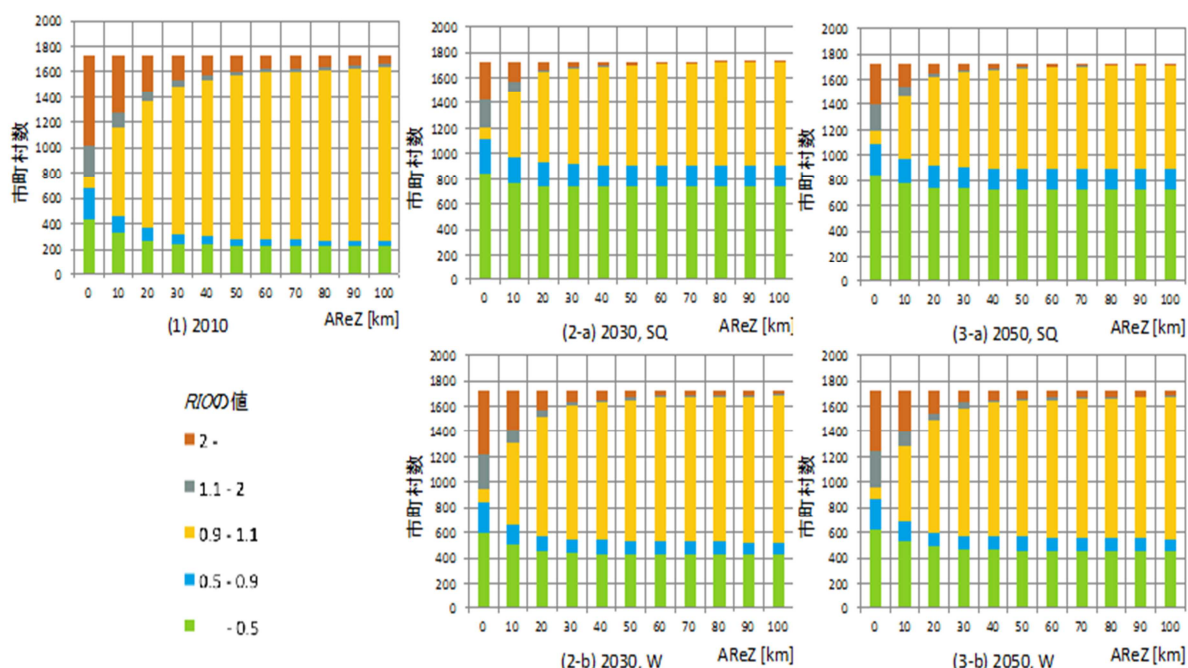


図-3-5  $AReZ$  と  $RIO$  別の市町村数の関係

1.0 より小さい範囲にあり、再生砕石が過剰であることが示された。また、循環圏を拡大して改善を図るにも、投入地域が少なく *AReZ* が 20km 程度で飽和してしまうことがわかる。図-3-5(3-a)、(3-b)からは、耐用年数を 2 倍にすることにより、現状維持シナリオと比較して大きく改善されていることが示された。循環圏も *AReZ* が 40km あたりまでは *RIO* の改善が期待できるため、将来の循環圏構築に望ましい結果となった。

### 3.2.4 まとめ

本章では、コンクリート塊の地域循環圏構築に向けた最適規模の検討を行った。コンクリート塊の循環利用最適化モデルを構築することで、コンクリート塊の輸送をモデル化し、*AReZ* が変化することに対して *RIO* が改善される可能性を示した。これらはリサイクル性指標として将来の循環圏構築の参考になり、現在の規模の地域循環圏は、耐用年数を現状維持としたシナリオのケースでは維持できないことを示した。耐用年数を 2 倍とするシナリオを導入することで、現在の循環圏とあまり変わらない規模の圏域を維持できる可能性が示された。

今回の分析では、将来の人口分布については仮想都市モデルを用いているため現在の傾向を継続する仮定を設定しており、将来的に人口分布が集積・分散した場合の地域のマテリアルバランスを考慮することはできていない。しかし、輸送の拠点を仮定して、地域循環圏の時空間的分布を検討したことは既往研究にも見られない点であるため、分析の改善によってさらなる結果が見込まれる。

## 3.3 関与物質総量(TMR)を用いたリサイクル性の定量評価

### 3.3.1 リサイクル性指標

南條(1998)は、工業製品の中に含まれるレアメタル類の成分比が鉱山品位(粗鋼品位)より高い場合が多いこと、また金属として組み込まれることが多く製錬・精製に要するエネルギーが少なくてすむことを特徴として指摘し、地上に蓄積された工業製品を「都市鉱山(Urban mine)」と名付けた。つまり、都市内に蓄積している資源を用いることで新たな天然資源を利用せずにすみ、環境負荷が小さくなることを示唆している。建設分野において、建築物に含まれる素材の量的なポテンシャルは非常に高い。解体された建築物からは、コンクリート塊や鉄スクラップやアルミスクラップが多く排出され、再資源化される。これらを循環利用することで、建設副産物の排出抑制、新たな物質投入の抑制が期待されるが、その環境影響はどの程度なのかを評価する必要がある。

山末ら(2009)は関与物質総量(Total Material Requirement: TMR)の観点からリサイクルの環境影響評価を行う手法を開発している。TMR とは、Friedrich Schmidt Bleek(1997)が提唱した「製品のライフサイクルにわたるサービス単位あたりの物質投入量(Material Input)」、すなわち物質集約度(Material Intensity)を示す指標の一つで、直接物質投入量、間接物質投入量だけでなく隠れたフローも考慮した指標である。TMR の観点から評価することで、直接投入だけでなく経済活動に表れない隠れたフローも考慮することができ、自然界に及ぼしている環境インパクトに関する 1 つの評価指標(代理指標)を提示することが可能となる。山末らの手法では、TMR を応用した指標を用い、都市鉱山からリサイクルによって元素 1kg を得る際に必要な TMR を「都市鉱石 TMR、Urban ore TMR(UO-TMR)」[kg/kg]、自然鉱石から製錬によって元素 1kg を得る際に必要な TMR を「自然鉱石 TMR、Natural ore TMR(NO-TMR)」[kg/kg]と定義している。この UO-TMR と NO-TMR とを比較することで、リサイクル製品から資源を回収する際における環境へのインパクトについて議論することが可能となる。TMR という手法を用いることで、自然鉱石と都市鉱石に含まれる元素を、その存在形態の違いや製錬(リサイクル)手法の違いを加味して、「拡張した鉱石品位」という観点から評価できるようになる。山末ら(2010)は建築物から回収される鉄スクラップ、アルミニウムスクラップ、再生路盤材の都市鉱石 TMR を推算し、整備を行っている。

### 3.3.2 建設副産物量のリサイクル性評価

TMR を考慮に入れた推計を行うため、天然資源からセメント・コンクリート・モルタル・砂利・木材・鉄・アルミニウムをそれぞれ 1kg 得るのに必要な TMR を定量化した。

セメント・コンクリートおよびモルタルの主な原料となるのはセメントの材料である石灰石・粘土・ケイ石・および骨材である。石灰石・粘土・ケイ石といった無機素材の TMR は、平成 20 年度



埋蔵量統計調査を用いて石灰石・粘土・石膏の TMR を式(3.3)より推計した。骨材の TMR は中島ら(2006)の研究のヒヤリング調査より 1.5kg/kg とした。それら値を用いてコンクリートの TMR を推計した。木材・鉄およびアルミニウムの TMR は原田ら(2007)の推計結果を用い、それぞれ 8.0kg/kg、8.0kg/kg、48kg/kg とした。

$$TMR = \frac{1}{Qu \cdot Or \cdot (1 - Sr)} \quad (3.3)$$

ただし、 $Qu$ ：鉱石品位、 $Or$ ：採鉱実収率、 $Sr$ ：ずり混入率、である。

コンクリートの UO-TMR については、平成 20 年度建設副産物実態調査によると、日本全体での建築物解体に伴い発生する建設副産物のうち約 80% をコンクリートが占めており、そのうちの約 98% がリサイクルされている。その用途としては多くが再生砕石として路盤材等に利用されている。そこで、コンクリートを再生砕石としてリサイクルする場合のリサイクル性について TMR の観点から評価を行った。使用する UO-TMR の値はコンクリートのリサイクルフローと建築物の資材蓄積原単位を用いて、建築構造別・木材リサイクル率別に推計した値を利用した。木材リサイクル率は 78% である。これと建設副産物中のコンクリート塊の量を乗じることで、都市鉱石を用いた場合の TMR を求めた。

鉄の UO-TMR の値は、建築構造別、木材リサイクル率別、希釈量別に推計された値を利用した。鉄スクラップは不純物の濃度の低い純鉄を加え希釈することでリサイクルできるが、それは新たに物質を投入することになるので、UO-TMR は増加する。山末ら(2010)が推計した値を用い、棒鋼 6.9kg/kg、形鋼 10.3kg/kg と鉄スクラップ量を乗じることで、自然鉱石を用いた場合の TMR を求めた。鉄スクラップをリサイクルする際、その「質」という点を考慮すると、全てを棒鋼として再資源化するより、鋼材の品質を考慮してソーティングを行ない、比較的品质の高いスクラップは棒鋼よりも高品質な形鋼として再利用できるのであればその方が望ましいと考えられる。そこで、本研究では、鉄の品質を考慮にいれてリサイクル性の評価を行えるように、排出される鉄スクラップについて建築構造をもとに分類する。鉄骨構造の建物の地上部分から排出された鉄スクラップを形鋼、鉄骨構造の基礎部分およびその他の構造の建物から排出された鉄スクラップを棒鋼と仮定した。分類したスクラップについて、1) 形鋼をそのまま形鋼にリユース、2) 形鋼を希釈し再び形鋼にリサイクル、3) 形鋼・棒鋼を合わせて希釈し棒鋼にリサイクル、の 3 つのケースで TMR を推計した。

アルミニウムの UO-TMR の値は、鉄スクラップと同様に建築構造別、木材リサイクル率別、希釈量別に推計された値を利用し、建設副産物中のアルミスクラップ量を乗じることで、都市鉱石を用いた場合の TMR を求めた。木材リサイクル率は鉄スクラップの評価と同様に 78% とする。原田ら(2007)による報告値である 48kg/kg とアルミスクラップ量を乗じることで、自然鉱石を用いた場合の TMR を求めた。アルミスクラップを溶解再生する際のエネルギーは鉱石から製錬する際のエネルギーの約 3% で済むため、アルミニウムをリサイクルし有効活用することは重要である。本研究では、発生したアルミスクラップを展伸材スクラップとし、1) そのまま展伸材(アルミサッシ等の建設資材)としてリユース、2) アルミニウムダイカストとしてリサイクル、3) 伸材に再びリサイクル、の 3 つのケースで、TMR を推計した。

以上の値より、TMR の観点からリサイクルの環境影響を評価する手法を用いる。自然鉱石から生産する場合の TMR (NO-TMR) と都市鉱石を用いた場合の TMR (UO-TMR) を比較することで評価した。TMR が大きい値の場合、環境に対して大きな攪乱(影響)を与えていることを意味している。このことから、UO-TMR が NO-TMR よりも小さい場合、自然鉱石を用いた場合に比べリサイクルすることで、TMR が削減でき、環境に対して与える影響が小さくなり、有効である。この TMR 指標に基づくリサイクルの有効性を「リサイクル性」と定義し評価を行った。リサイクル性を以下の式(3.4)によって評価した。

$$Recyclability = NOTMR \cdot S - \sum_i UOTMR_i \cdot S_i \quad (3.4)$$

ただし、 $S$ ：各資材の建設副産物量、 $i$ ：建築構造種、である。その差が大きいほど、リサイクルにおける TMR 削減量が多いことを示す。発生した建設副産物をリサイクルすることで、同じ量の製品を自然鉱石から生産した場合と比べ、どの程度 TMR を削減できるのか推計する。物質量という代理指標を用いることで、相対的に環境へのインパクトが大きさを評価することができる。

本研究では、建設副産物の中で割合の高いコンクリート塊および、リサイクル材としての「質」が高い鉄スクラップ・アルミスクラップのリサイクルの環境影響評価を行う。また、TMR 削減量について他の結果との混同を防ぐため、その単位に[トン-TMR]を用いることとする。

### 3.3.3 北九州におけるケーススタディ

対象地として、福岡県北九州市を選定した。1997 年には「北九州エコタウン」に選定され、資源循環型社会の構築を目指したエコタウン事業を行なっている。2008 年には日本政府から環境モデル都市に選定され、低炭素社会を実現するストック型社会への転換を目指した建物の長寿命化等の対策も行なっている。以上より、将来における都市の物質代謝構造を把握し、循環型社会形成を考慮する上で適した地域であるといえる。使用するデータは北九州市都市計画 GIS データで、2000 年、2005 年の 2 ケ年である。

図-3-6 にコンクリート塊をリサイクルした際の 2010 年から 2030 年までの 5 年ごとの評価結果を示す。これは各 5 年間で TMR の削減量を示している。発生したコンクリート塊を路盤材等の再生砕石としてリサイクルすることでの 2030 年までの TMR 削減量の総和は、2,200 万トン-TMR であることがわかった。これは約 870 万トンのコンクリートを新たに生産する際の TMR に相当する。鉄スクラップやアルミスクラップに比べ、単位重量あたりでの TMR 削減量はあまり大きくないものの、建設副産物量の多くがコンクリート塊であるため、全体での TMR 削減量は大きい値となった。

図-3-7 に分類した形鋼・棒鋼スクラップの 3 つのケースで鉄スクラップをリサイクルした際の 2010 年から 2030 年までの 5 年ごとの評価結果を示す。これは各 5 年間で NO-TMR に建設副産物量に乗じたものと、UO-TMR に建設副産物量に乗じたものの差分、すなわち各 5 年間で TMR の削減量を示している。その値が大きいほど、環境への影響が小さいことを意味する。形鋼をリユースする場合で一番 TMR 削減量が大きく、そのリサイクル性が高いことが示された。その場合の 2030 年までの削減量の総和は 850 万トン-TMR であった。これは約 83 万トンの形鋼を自然鉱石から得る際の TMR に相当する。また、棒鋼にリサイクルするより形鋼にリサイクルする方が削減できる TMR が大きく、そのリサイクル性は高いことが示された。UO-TMR のみを考えると、棒鋼へリサイクルする場合の方が、形鋼にするより希釈量が少ないので TMR は小さい値となる。しかし、自然鉱石から生産する場合の TMR との差分は、形鋼にリサイクルする方が大きく、TMR の削減量も大きい値となった。そのため、本研究の推計結果からは、全てを棒鋼としてリサイクルするより、スクラップの分類を行ない、品質を考えてリサイクルした方がリサイクル性は高く、環境への影響が小さくなることが示された。

図-3-8 にアルミスクラップをリサイクルした際の 2010 年から 2030 年までの 5 年ごとの評価結果を示す。これは各 5 年間で TMR の削減量を示している。展伸材をリユースする場合で一番 TMR 削減量が

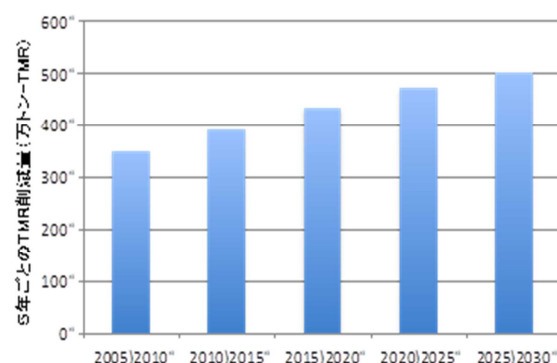


図-3-6 コンクリート塊の 5 年ごとの TMR 削減量

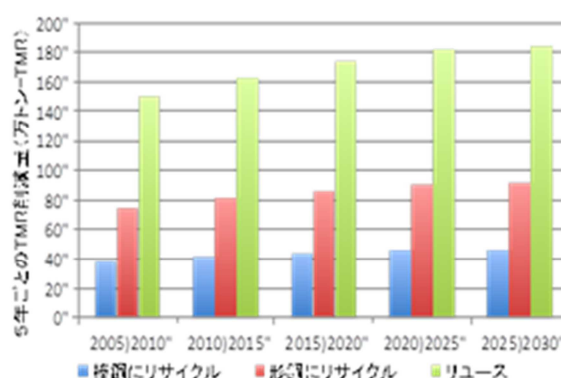


図-3-7 鉄の 5 年ごとの TMR 削減量

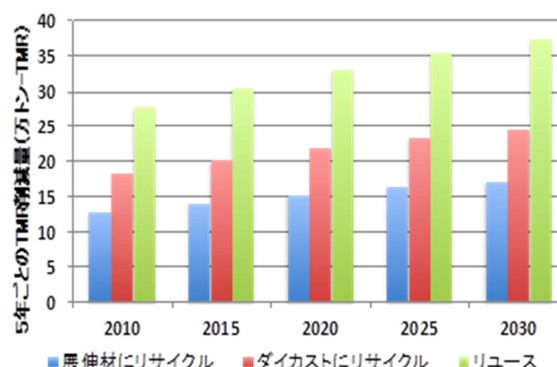


図-3-8 アルミニウムの 5 年ごとの TMR 削減量



大きく、そのリサイクル性が高いことが示された。その場合、2030年までの削減量の総和は160万トン-TMRであった。これは約3.4万トンの展伸材を自然鉱石から得る際のTMRに相当する。また、展伸材としてリサイクルするよりダイカストとしてリサイクルする方がTMR削減量が大きく、TMRの観点からみるとリサイクル性が高いことが示された。

次に、評価対象地域を1kmメッシュのグリッドで見た、地域レベルでのリサイクル性について評価を行なった結果を示す。図-3-9にコンクリートの、図-3-10に鉄の、図-3-11にアルミニウムの、2030年における1kmメッシュごとの累計でのTMR削減量の空間分布を示した。3種類とも、建築物が多く存在する都市中心部でのTMR削減量が大きいことがわかった。また再資源化する種類毎には、図-3-10(a)に形鋼をリユースする場合、図-3-10(b)に形鋼を希釈し再び形鋼にリサイクルする場合、図-3-10(c)に形鋼・棒鋼を合わせて希釈し棒鋼にリサイクルする場合の、TMR削減量を示した。形鋼をリユースする場合と形鋼にリサイクルする場合では、建設副産物が発生した全ての地域でリサイクルの有効性が示され、特に都市中心部でのTMR削減量が大きい値となった。棒鋼にリサイクルする場合でも、多くの地域でリサイクルの有効性が示されたものの、スクラップのうちの棒鋼の割合が高い地域で、リサイクルした方が環境への影響が大きい場合がみられた。図-3-11(a)にそのまま展伸材としてリユースする場合、図-3-11(b)にダイカストとしてリサイクルする場合、図-3-11(c)に希釈し再び展伸材にリサイクルする場合の、TMR削減量を示した。どの場合でも、

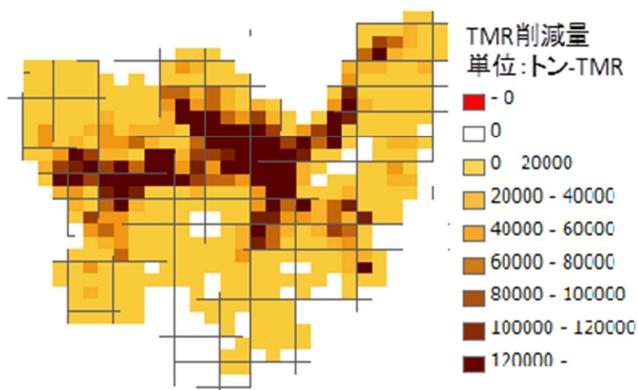


図-3-9 コンクリート塊のTMR削減量の空間分布

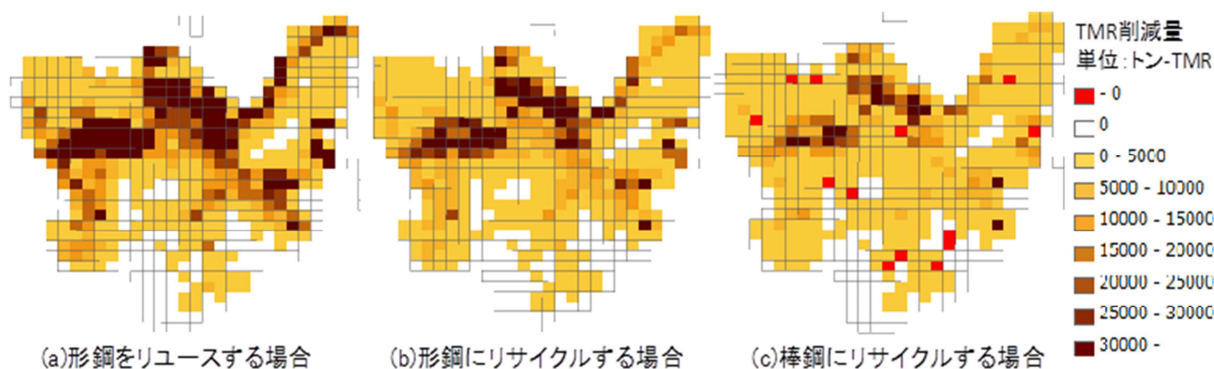


図-3-10 鉄のTMR削減量の空間分布

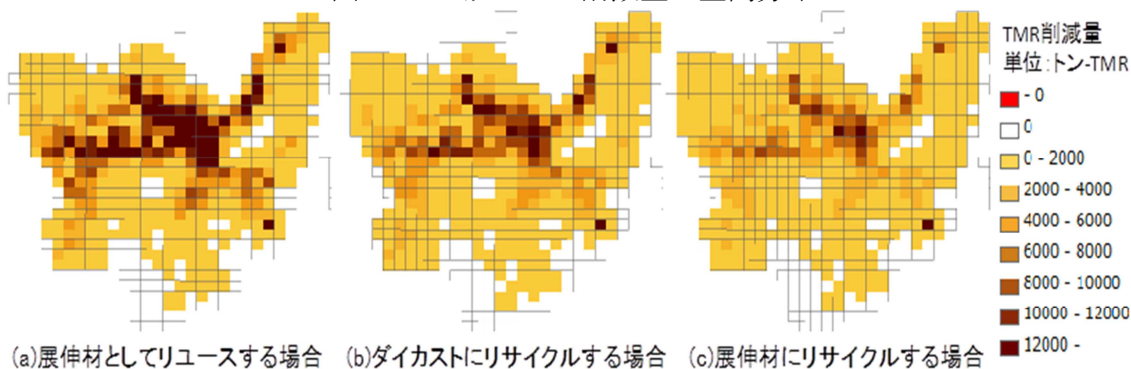


図-3-11 アルミニウムのTMR削減量の空間分布

建設副産物が発生した全ての地域でリサイクルの有効性が示され、特に建築物が集積している都市中心部でのTMR削減量が大きい値となった。

### 3.3.4 まとめ

本章では、北九州市を対象地として、循環型社会形成を考える上で重要な都市内における建設ストック量の把握と、今後発生する建設副産物量の推計について GIS を用いて行なった。その上で、建設副産物のリサイクル性について TMR の観点から、鉄スクラップとアルミスクラップとコンクリート塊の評価を行なった。また、1km メッシュ単位で評価を行うことで、地域レベルでの検証が可能となった。年代が進むにつれ建設副産物量が増加するのに伴い、TMR の削減量も増加しており、2025 年から 2030 年の 5 年間では合計で 720 万トン-TMR 削減される結果となった。資材別にみると、コンクリートで 500 万トン-TMR、鉄スクラップで 180 万トン-TMR、アルミスクラップで 40 万トン-TMR 削減されており、これはそれぞれコンクリート 200 万トン、鉄 23 万トン、アルミ 0.8 万トンを新たに生産する際の TMR に相当する。「量」に焦点を当てて考慮すると、建設副産物量が多いことから、コンクリートをリサイクルする際の TMR 削減量が一番大きく、そのリサイクル性は大きいと考えられる。しかし、同じ 2025 年から 2030 年の 5 年間で排出された建設副産物量を見ると、コンクリート 340 万トン、鉄 30 万トン、アルミ 0.7 万トンである。この値と削減された TMR に相当する資材量をそれぞれ比較してみると、アルミや鉄の方がコンクリートより排出量に対する割合が大きくなっており、単位重量当たりの削減量が大きい。そのため、リサイクルの「質」に焦点を当てて考慮すると、コンクリートよりもアルミや鉄の方が効率よく TMR を削減できると考えられる。

### 3.4 結論

本研究では、建設副産物の循環利用を対象に、マテリアルストックフロー解析を用いることで、循環圏域の評価とリサイクル性指標による持続可能性について、以下の 2 点で示される評価を行った。

(1) 循環圏域の評価として、建設副産物から発生量の多い建築物のコンクリート塊を対象に、地域循環圏の検討を行った。建物が廃棄されることに伴い建設副産物として排出されたコンクリート塊を、再生砕石として道路着工に投入することを、コンクリート塊の循環利用として、その時空間の分布を評価した。また、コンクリート塊需要供給比(*RIO*: Ratio by value of Input to Output of concrete mass)と地域循環圏の圏域の規模(*AReZ*: Aresize of Regional Resource Recycling Zone)をリサイクル性指標として、コンクリート塊の循環利用最適化モデルを適応することで、コンクリート塊の循環利用について評価を行った。

(2) リサイクル性指標として、関与物質総量(Total Material Requirement: TMR)の観点からリサイクルの環境影響評価を行った。GIS を用いて建築物の建設ストック量および建設副産物量を資材ごとに TMR を考慮に入れて定量化し、発生した建設副産物をリサイクルする際の環境影響について経年的に評価を行なった。GIS を用いることで、都市内に存在するストックや今後発生する建設副産物量の空間分布を把握することが可能となり、TMR を考慮して推計を行なうことで、経済活動には表れない資源消費量及び資源採掘に伴う自然改変量を把握することが可能となる。さらに 1km メッシュ単位での評価も行うことで、より細かい地域レベルでのリサイクル性について考察した。

以上の点から、建設副産物を対象とした地域循環圏を検討するには、将来の排出される副産物量を空間的に把握することが重要であることが示された。特に、都市部と周辺部では、建設副産物が集中して発生する傾向が年代ごとに異なるため、排出のペースに応じた処理が必要である。

### 参考文献

- 1) 環境省：平成 24 年度版環境・循環型社会・生物多様性白書，2012.
- 2) 国土交通省：平成 20 年度建設副産物実態調査，2010.
- 3) 森口祐一：循環型社会の理念，実践と研究展望，土木学会論文集，vol. 63, No. 4, pp. 286-293, 2007.
- 4) 橋本征二：建築物解体廃棄物の発生予測，廃棄物学会論文誌，Vol. 11, No. 5, pp. 271-279, 2000.
- 5) 藤川洋平，樋口隆哉，浮田正夫，関根雅彦，今井剛：建設廃棄物の排出量および再生利用量の予測に関する研究，土木学会論文集 G, 62-1, pp. 53-60, 2006.
- 6) 萩島理，谷本潤，片山忠久，熊本健：地域特性を考慮した建築解体廃棄物の発生量の将来予測

- に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 562 号, pp. 75-82, 2002.
- 7) 橋本征二, 広池秀人, 寺島泰: コンクリートがらリサイクルの環境面からの評価, 土木学会論文 No. 657, pp. 75-80, 2000.
  - 8) 総務省統計局: 国勢調査, 2005, 2010.
  - 9) 小松幸夫, 加藤裕久, 吉田倬郎, 野城智也: わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 439 号, pp. 101-110, 1992.
  - 10) 小見康夫, 栗田紀之: 長寿命化トレンドを考慮した建物残存率のシミュレーション, 日本建築学会計画系論文集, 第 75 巻 第 656 号, pp. 2459-2464, 2010.
  - 11) 奥岡桂次郎, 三宅悠介, 大西暁生, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 東海三県における建設系廃棄物の地域循環圏に関する基礎的研究: 土木学会論文集 G (環境) (環境システム研究論文集 第 40 巻) vol. 68, No. 6, pp. 147-154, 2012.
  - 12) 田畑智博, 後藤尚弘, 井村秀文, 薄井智樹: 発生源空間分布から見た廃棄物輸送・再資源化施設の適性配置に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol. 30, pp. 315-322, 2002.
  - 13) 国土交通省: 平成 20 年度建設副産物実態調査, 2010.
  - 14) 経済産業省: 砕石等統計年報, 2011.
  - 15) 南条道夫: 都市鉱山開発-包括的資源観によるリサイクルシステムの位置付け, 東北大学選鑛製錬研究所彙報, Vol. 43, No. 2, pp. 239-251, 1988.
  - 16) 山末英嗣, 南埜良太, 奥村英之, 石原慶一: 関与物質総量 TMR を用いた使用済み製品に含まれる元素・素材のリサイクル性評価, 軽金属, 第 59 巻, 第 11 号, pp. 620-626, 2009.
  - 17) 山末英嗣, 南埜良太, 谷川寛樹, 醍醐市朗, 奥村英之, 石原慶一, Paul H. Brunner: TMR を用いた都市建築物から排出されたスクラップの再生に関する評価, 日本 LCA 学会研究発表講演要旨集, Vol. 5, pp. 204-205, 2010.
  - 18) F. Schmidt-Bleek: ファクター10, シュプリンガー・フェアラーク東京社, 373p, 1997.
  - 19) 中島謙一, 原田幸明, 井島清, 長坂徹也: 関与物質総量(TMR)の算定-エネルギー資源および工業材料の TMR-, Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 2, No. 2, pp. 152-158, 2006.
  - 20) 原田幸明: 希少資源・元素の現状, まてりあ, 第 46 巻, 第 8 号, pp. 543-548, 2007.
  - 21) 稲津亮・谷川寛樹・大西暁生・東修・石峰・井村秀文: 複数年の空間情報を用いた都市重量の変化に関する研究-建築物・道路を対象とした和歌山市中心部でのケーススタディ, 環境情報科学論文集, Vol. 23, pp. 89-91, 2009.
  - 22) 長岡耕平, 稲津亮, 東岸芳浩, 谷川寛樹, 橋本征二: 全国の都道府県における地上と地下のマテリアルストック推計に関する研究, 環境システム研究論文集 Vol. 37, pp. 213-219, 2009.

## 4.1 研究目的

日本の国土は3,778万haで、そのうち66.5%にあたる2,512万haが森林である<sup>1)</sup>。日本には森林系木質バイオマスが豊富に存在する。気候変動問題がグローバルな課題として議論されるようになってからは、二酸化炭素吸収源としての森林の持続可能な管理と木質バイオマスの利用促進に関心が高まってきた。一方、2007年11月に策定された第三次生物多様性国家戦略では、里地里山・田園地域や森林の目指す方向として、バイオマスを含む地域の自然資源の積極的な有効利用があげられている。特に、日本では、耕作放棄や人工林の管理不足など農林業活動の停滞・縮小が引き起こす生物多様性への悪影響が深刻化しており、これが同戦略では第2の危機（人間活動の縮小による危機）として位置付けられている。木質バイオマス利用は、この危機への有効な対応策としても期待されている。

2009年3月に閣議決定された第二次環型社会形成推進基本計画では、新たに「地域循環圏」の概念が導入された。この「地域循環圏」の基本的な考え方は、循環資源の性質と地域の特質に応じて、コミュニティ、地域、広域ブロック、全国規模、そして国際的なレベルに至る最適な規模の「地域循環圏」を構築していくことで、よりきめ細かく、効果的な循環型社会の形成を目指すものである。また同基本計画では、循環型社会づくりにおいて、低炭素社会だけでなく、自然共生社会形成との統合的な取組の推進が強調されている。

他方、国連ミレニアム生態系評価（MA, 2005）<sup>2)</sup>では、生態系から人々が得る恵みが「生態系サービス」と定義され、生態系サービスの変化がどのように人間に影響するかが検証され、グローバルスケールでの評価書が2005年に発表された。このなかで、生態系サービスは、①供給サービス（食糧や水、木材、燃料などの供給）、②調整サービス（洪水・気候調整）、③文化的サービス（レクリエーションや精神的・教育的な恩恵）、④基盤サービス（栄養塩循環や土壌形成等）の4種類で定義されている（図-4-1）<sup>2)</sup>。

本章では、森林系木質バイオマス利用とそれに伴う生態系サービスに着目し、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や生態系サービスにどのような影響を及ぼしうるか、そして多様な生態系サービスの損なわずに地域循環圏を形成するための方策を明らかにすることを試みた。平成22年度は、分析のための概念枠組みを検討したうえで、森林系木質バイオマス利用の場合への適用と生態系サービスのマルチスケールでの定量的評価を行った。次いで平成23年度は特に、木質バイオマスバイオマス利用の方法や土地利用規制等の政策介入に関して複数の将来シナリオを設定し、資源循環だけでなく、生物多様性や生態系サービスへの影響の視点から定量評価と比較分析を行った。最終の平成24年度は、前年度までのマクロスケールでの成果を踏まえて、同様の手法を市町村（ミクロスケール）に適用し、森林系木質バイオマスを軸とした地域循環圏形成を生態系サービス管理と調和的に進めるための具体的な政策目標設定に資する知見を明らかにした。

なお本研究では、「森林系木質バイオマス」には、林地残材（丸太伐採時残渣を含む）、間伐材、未利用樹が含まれることとし、製材残渣、建築廃材などの産業廃棄物系木質バイオマスや古紙のような製紙系バイオマスと区別する。

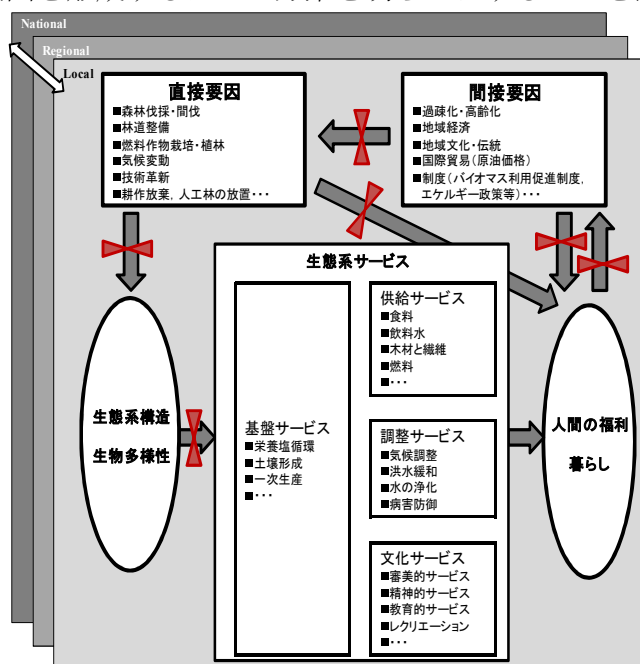


図-4-1 MAの分析枠組み

（直接要因と間接要因は森林系木質バイオマス用に著者が改変）



## 4.2 研究方法

MA<sup>2)</sup>の分析枠組みを踏まえて、本研究では森林系木質バイオマス利用に伴う生態系サービスと人間の福利との関係を図-4-2のように整理した。生態系サービスのうち供給サービスとしては、木材生産と林地残材・未利用間伐材・未利用樹を評価対象とした。また、調整サービスについては、気候調整（炭素吸収・固定）と洪水緩和・水資源貯留によって、文化サービスについては、ツーリズム・環境教育と社会関係によって評価しようと考えた。

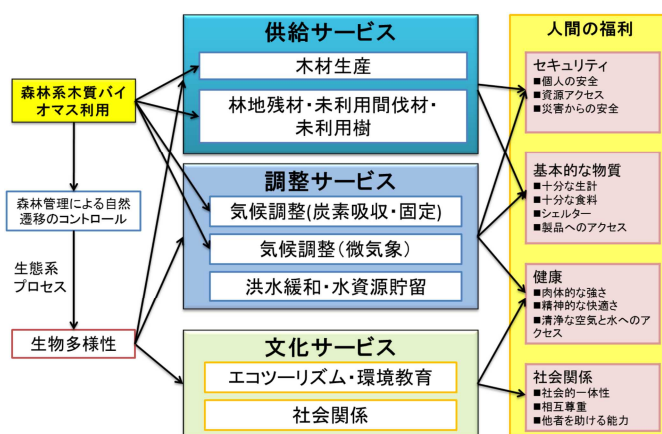


図-4-2 森林系木質バイオマス利用と森林の生態系サービス、人間の福利の関係

### 4.2.1 インターリンケージ分析と空間スケール構造

インターリンケージ（相互連関）という概念は、気候変動レジームとオゾン層、生物多様性（吸収源関連）、自由貿易の各レジームとの相互連関のように政策間の関係を分析する概念として、地球環境問題のようなグローバルで複雑な問題の政策研究において主として使われてきた<sup>3)</sup>。一般にインターリンケージの分析対象には政策やレジームだけでなく、人間社会と環境、生態系との間のインパクトレベルでのインターリンケージ、社会システム内の成員・アクター間のインターリンケージ、環境や生態系のシステム構成要素内のインターリンケージが含まれる。

一方、森林系木質バイオマスを含む農林産物資源を空間スケールの階層構造で整理すると、最初に①産地である「農山村」（農業集落、基礎自治体）があり、次に②隣接する農山村や市街化地域（都市）が包含される「地域」がある。この地域は、広域自治体（都道府県）単位で扱われることもあれば、複数の都道府県にまたがる流域圏として扱われることもある。さらに、国土形成計画では全国計画と並んで道州制を見据えた広域地方計画が検討され、そこでは③「広域ブロック」の概念が導入されている。その上位の空間スケールには④「全国」スケールと⑤国際的な輸出入（流通）を考慮する必要がある。国土地理院による全国都道府県市区町村別面積調（2009年10月1日現在）と農林水産省による農林業センサス（2005年）の面積データを用いて上記の①～④それぞれの空間スケールとそこで考慮すべきインターリンケージについて検討した。

### 4.2.2 森林系木質バイオマスと生態系サービスの評価方法

自然環境保全基礎調査、農林業センサス等の関係統計資料を用いて、日本全体での1960年以降の森林系木質バイオマス利用に係る生態系サービスの変化傾向を把握した。森林系木質バイオマスとしては、林地残材（末木、枝条、根元部）、未利用間伐材、未利用樹を対象とし、林地残材は電力中央研究所（2006）<sup>4)</sup>で示されている算定式（林地残材賦存量(t/年)＝当該地域の木材生産量(m<sup>3</sup>/年)÷利用率(%)×林地残材率(%)×木材比重(t/m<sup>3</sup>)）に従い、算定には現状で手に入る最新のデータを用いた。ここで、木材生産量としては、通常の用材生産量のほか、シイタケ原木、木炭、薪の生産量をそれぞれ材積換算して用いた。利用率と材積率は電力中央研究所（2006）<sup>4)</sup>と同じく、針葉樹の利用率0.8599、残材率0.15、広葉樹の利用率0.7951、残材率0.35を用いた。木材比重は、松本（2001）<sup>5)</sup>で示されている針葉樹0.37t/m<sup>3</sup>、広葉樹0.49t/m<sup>3</sup>を用いた。

未利用間伐材積量については、森林・林業白書で報告されている間伐材積量から利用間伐材積量を差し引いて求め、それを木材比重を用いて重量換算(t/年)した。

一方、森林・林業基本計画で定めている機能に応じた森林の3区分には、「資源の循環利用林」（木材等生産機能を重視する森林であり、木材を安定的に供給する観点から、成長量程度の伐採の持続的な実施を基本として、若齢林の主伐の回避、適切な更新及び間伐の実施が計画されている森林）がある。この循環利用林4,267千haには、天然林が1,664千haが含まれる<sup>6)</sup>。本研究では循環利用林に区分されている天然林を「未利用樹」として賦存量の算定を行った。なお、この未利用樹の伐採



周期は50年と仮定し、容積比重は0.45<sup>9)</sup>とした。

さらに、未利用樹として竹林の賦存量も算定した。まず2000年農林業センサスにおける竹林面積に単位面積あたりの稈と枝の現存量95.2t/ha<sup>7)</sup>を乗じて現存量を求め、それに竹林の伐採周期10年間（仮定値）で割り戻した数値を賦存量とした。

調整サービスの森林による炭素蓄積と吸収速度については、国の温室効果ガスインベントリオフィス<sup>8)</sup>によって提示されている手法に基づいて算定した。文化的サービスとしては、森林と社会との関係の代替指標として、森林スポーツ・レクリエーション施設の利用者数(人)と民有林における不在村所有者面積(ha)とを採用した。両指標とも2000年農林業センサスの値を用いた。

#### 4.2.3 将来シナリオの設定と定量化

シナリオとは、もっともらしい将来の選択肢をあらわし、特定の仮定のもとで起こり得る結果を示すものである。MAでは、シナリオ分析は、生態系が将来たどりうる変化の様々な方向性や可能性を議論し、検討するために使われた。日本の里山・里海生態系評価<sup>9), 10)</sup>においても、国内外の多数の研究者の参加のもと、シナリオ分析が試みられ、「地球環境市民社会」、「グローバル・テクノトピア」、「地域自立型技術社会」、「里山・里海ルネサンス」という4つの将来シナリオが提示された。これらは、生態系の保全・管理を自然志向・適応重視で行うか、それとも技術志向・自然改変重視で進めるか（横軸）、また、ガバナンスや経済開発に関してローカル化を進めるか、それともグローバル化を進めるか（縦軸）、の2つの軸で区別される4象限に対応する（図-4-3）<sup>10)</sup>。これら4つの定性シナリオをベースに、各シナリオに木質バイオマス関係の政策オプションを設定するとともに、人口、土地利用、森林林齢構成の3つの定量化サブモデルを開発した（図-4-4）。政策オプションについては、JSSAでの議論や本研究プロジェクトグループ内での討論に基づいて表-4-1のとおり整理した。また、シナリオ定量化サブモデルでの主な想定は表-4-2のとおりである。

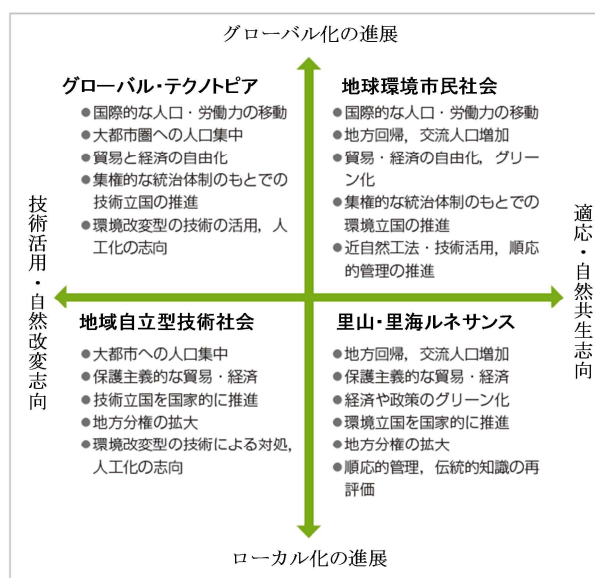


図-4-3 JSSAの4つの将来シナリオの位置づけ

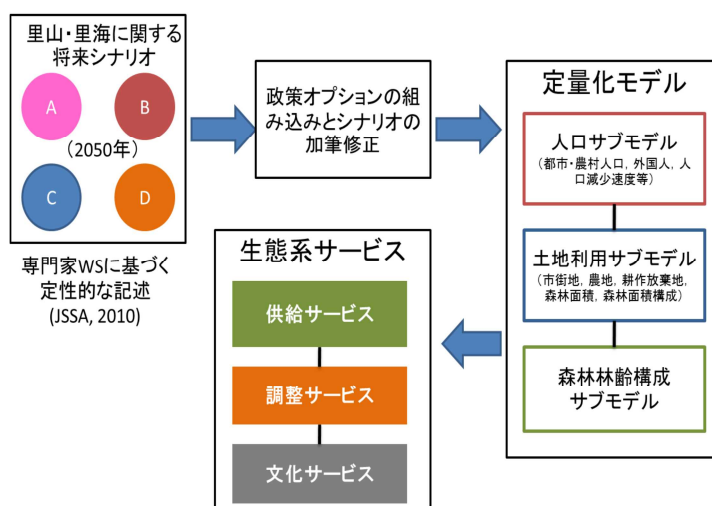


図-4-4 将来シナリオ分析の構造とプロセス

表-4-1 4つの将来シナリオのストーリーラインと政策オプション

| シナリオ            | シナリオA                                                                                                                                                                      | シナリオB                                                                                                                                                                                 | シナリオC                                                                                                                                          | シナリオD                                                                                                                                                                   |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | グローバル化×<br>自然志向管理                                                                                                                                                          | グローバル化×<br>技術志向                                                                                                                                                                       | ローカル化×<br>自然志向管理                                                                                                                               | ローカル化×<br>技術志向                                                                                                                                                          |
| ストーリーライン        | <ul style="list-style-type: none"> <li>国際的な人口・労働力の移動、交流の拡大</li> <li>貿易と経済の自由化、グリーン化</li> <li>低投入型の環境保全型経営</li> <li>自然再生技術や伝統的技術、順応的管理</li> <li>多様な利害関係者の参加による対処</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>国際的な人口・労働力の移動、交流の拡大</li> <li>貿易と経済の自由化、グリーン化</li> <li>科学技術開発への積極的な投資</li> <li>自然の改変や人工化、生産・管理技術の高度化による効率化</li> <li>技術による画一的管理</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>地方への人口回帰と権限委譲の進展</li> <li>低投入型の環境保全型経営</li> <li>自然再生技術や伝統的技術、順応的管理</li> <li>多様な利害関係者の参加による対処</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>都市への人口集中</li> <li>貿易と経済では保護主義の志向が強まる</li> <li>科学技術開発への積極的な投資</li> <li>自然の改変や人工化、生産・管理技術の高度化による効率化</li> <li>技術による画一的管理</li> </ul> |
| 規制的手段           | <ul style="list-style-type: none"> <li>自由化・規制緩和</li> <li>国際協調の下での制度整備</li> <li>生態系管理のための市場形成・誘導策の整備</li> </ul>                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>自由化・規制緩和</li> <li>国際協調の下での制度整備</li> </ul>                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>保護、安全、規制制や</li> <li>生態系管理のための規誘導策の整備</li> <li>耕作放棄地の再森林化（人工林と天然林を半々）</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>保護、安全、規制</li> <li>生態系管理のための規制や誘導策の整備</li> <li>耕作放棄地の再森林化（人工林化）</li> </ul>                                                        |
| 経済的手段           | <ul style="list-style-type: none"> <li>外国人労働者の受け入れ</li> <li>環境支払い、吸収減カーボンクレジット、生物多様性オフセット制度、市場アプローチの導入</li> </ul>                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>重点化・技術の高度化による競争力強化</li> <li>技術開発 R&amp;D 支援策強化</li> <li>高度化設備導入支援策の強化</li> <li>木質資源の海外（途上国）への輸出強化</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>環境支払い、吸収源カーボンクレジット、生物多様性オフセット制度の導入</li> <li>生態系サービス活用型ビジネスの拡大（エコツーリズム等）・事業化支援策の導入・強化</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>外国人労働者の受け入れ</li> <li>重点化・技術の高度化による競争力強化</li> <li>技術開発 R&amp;D 支援策強化</li> <li>高度化設備導入支援策の強化</li> </ul>                            |
| 連携手段            | <ul style="list-style-type: none"> <li>都市・農村連携、農林漁業者と都市住民の連携・協定による生態系管理</li> </ul>                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>農林漁業者と商工事業者の連携強化</li> </ul>                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>地域コミュニティの再生と強化</li> <li>地域社会や NGO、NPO、市民団体の活動・連携の拡大</li> </ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>専門知識・技術を有する市民団体、NPO、NGO 等の活動の拡大</li> <li>農林漁業者と商工事業者の連携強化</li> </ul>                                                             |
| コミュニケーション・情報的手段 | <ul style="list-style-type: none"> <li>人工林から天然林への誘導</li> <li>森林認証、製品認証（カーボンフットプリント等）の制度導入</li> <li>生態系サービスの価値に関する情報キャンペーン、教育等</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>森林認証、製品認証（カーボンフットプリント等）の制度導入</li> <li>ICT によるサプライチェーン管理、トレーサビリティ確保の拡大</li> <li>養殖、栽培、生産・管理等の機械化、技術の高度化、低環境負荷化</li> <li>技術者・専門家の育成強化</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>地場産物の差別化・ブランド化</li> <li>生態系サービスの価値に関する情報キャンペーン、教育等</li> </ul>                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>地場産物の差別化・ブランド化</li> <li>ICT によるサプライチェーン管理、トレーサビリティ確保の拡大</li> <li>養殖、栽培、生産・管理等の機械化、技術の高度化、低環境負荷化</li> <li>技術者・専門家の育成強化</li> </ul> |
| 購買的手段           | <ul style="list-style-type: none"> <li>認証製品、再生可能エネルギーの買い取り制度の導入・強化</li> </ul>                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>認証製品、再生可能エネルギーの買い取り制度の導入・強化</li> </ul>                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>地場産品の買い取り制度の導入</li> </ul>                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>地場産品の買い取り制度の導入</li> </ul>                                                                                                        |

表-4-2 シナリオ定量化サブモデルでの主な想定

|          | 現状延長                                                                                           | シナリオA                                    | シナリオB                                                          | シナリオC                                                                                                                  | シナリオD                                                                                                                           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | ベースシナリオ                                                                                        | グローバル化×自然志向管理                            | グローバル化×技術志向                                                    | ローカル化×自然志向管理                                                                                                           | ローカル化×技術志向                                                                                                                      |
| 都市と農村の人口 | United Nations Population Division (2009) <sup>13)</sup> の“Constant-fertility variant”ケースを用いた。 | 都市と農村の人口はベースシナリオと同じ                      | ITC 技術による農地の遠隔管理や都市内での施設農業生産の拡大に伴い、農村人口がベースシナリオよりも各年で10%少なくなる。 | 地方への人口回帰により、2010年から2030年まで5年ごとに5%ずつベースシナリオよりも農村人口が多くなり、それ以降は2030年のレベルが維持される(2015年で5%、2020年で10%、2025年は15%、2030年以降は20%)。 | 都市への人口のさらなる集中により、2010年から2030年まで5年ごとに5%ずつベースシナリオよりも農村人口が少なくなり、それ以降は2030年のレベルが維持される(2015年で-5%、2020年で-10%、2025年は-15%、2030年以降は-20%) |
| 外国人人口    | 法務省入国管理局統計 <sup>12)</sup> の外国人登録者数と不法残留者数の1990年から2011年のトレンドから単回帰式( $R^2=0.9016$ )を求めて算定した。     | 外国人人口がベースシナリオより30%多く流入する                 | 外国人人口がベースシナリオより30%多く流入する                                       | 外国人人口はベースシナリオと同じ。                                                                                                      | 外国人人口はベースシナリオと同じ。                                                                                                               |
| 市街地面積    | 市街地面積は2005年の水準で変化しない                                                                           | 市街地面積はベースシナリオと同じ                         | 市街地面積はベースシナリオと同じ                                               | 市街地面積は年率1.0%ずつ減少                                                                                                       | 市街地面積はベースシナリオと同じ                                                                                                                |
| 耕作放棄地    | 耕作放棄地面積は線形回帰式での予測値                                                                             | 耕作放棄地面積は線形回帰式と対数回帰式の予測値の中央値              | 耕作放棄地面積はベースシナリオよりも10%少なくなるかと仮定(外国人による利用を含む)                    | 耕作放棄地面積は対数回帰式での予測値<br>・耕作放棄地の30%を再森林化(人工林と天然林で半々)                                                                      | 耕作放棄地面積は対数回帰式の予測値(シナリオC)より10%多くなると仮定(都市への人口流出による)<br>・耕作放棄地の30%を再森林化(人工林化)                                                      |
| 森林面積     | 森林面積とその内訳構成は2010年以降変化しない                                                                       | 森林面積はベースシナリオと同じだが、人工林の0.2%が毎年天然林への転換が進む。 | 森林面積はベースシナリオと同じ。                                               | 森林面積とその内訳構成はベースシナリオと同じだが、不在村者私有林の40%は2050年までに天然林に転換される(40%/40年)。                                                       | 森林面積とその内訳構成はベースシナリオと同じ                                                                                                          |
| 不在地主私有林  | 不在地主私有林面積は線形回帰式での予測値                                                                           | 不在地主私有林面積は対数回帰式での予測値                     | 不在地主私有林面積はベースラインシナリオと同じ                                        | 不在地主私有林面積は対数回帰式での予測値                                                                                                   | 不在地主私有林面積はベースラインシナリオと同じ                                                                                                         |
| 木材自給率    | 木材自給率は対数回帰式での予測値                                                                               | 木材自給率は線形回帰式と対数回帰式の予測値の中央値                | 木材自給率はベースシナリオと同じ                                               | 木材自給率は線形回帰式での予測値より10%少ない(回帰予測値×0.9)                                                                                    | 木材自給率は線形回帰式での予測値                                                                                                                |

#### 4.2.4 市町村スケールでの事例研究

前節までは全国スケールでの森林系木質バイオマス供給とそれに関係する生態系サービスのインベントリ構築と将来シナリオ分析を行う方法を説明した。本節では、具体的な市町村スケールで森林バイオマス利用によるエネルギー供給可能量を森林の年成長量ベースで推定し、それによって森林の調整サービスである炭素吸収・固定化能力を損なわない範囲内での供給サービスのポテンシャルを推定した。また、対象自治体において木質バイオマスをエネルギー（熱）利用した場合の

利用可能量を推定し、当該自治体のエネルギー需要と比較することによって、森林が有するエネルギー自給ポテンシャルも明らかにした。本事例解析は北海道下川町と福岡県北九州市を対象として行った。

4.3 研究結果と考察

4.3.1 インターリンクージ分析と空間スケール構造

農業集落は、立地する地域に応じて山間農業地域、中間農業地域、平地農業地域、都市的農業地域の4地域類型に区分され、1集落あたりの平均面積は1.2(都市・平地)～5.3km<sup>2</sup>(山地)であった(図-4-5)。山地を多く含む地域ほど1農業集落あたりの面積は大きい。一方、市区町村は市町村合併が進んだことにより、規模の大きい市区町村が増え、面積規模としては10～1,000km<sup>2</sup>と分布範囲が広い。都府県は約2,000～15,000km<sup>2</sup>であり、広域ブロックは13,000(北陸圏)～83,000km<sup>2</sup>(北海道)である。

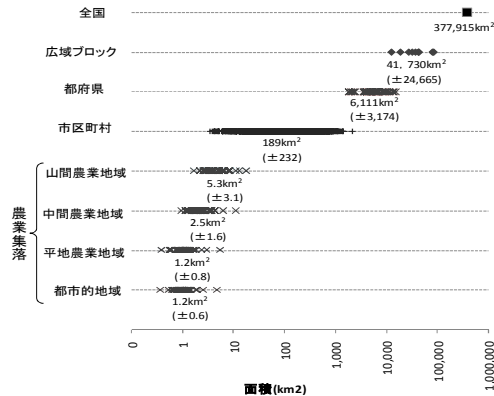


図-4-5 農業集落から全国までの空間スケール

(注) 図中の数値は全国を除いてそれぞれのスケールの平均値(±標準偏差)。農業集落については、膨大な数にのぼることから、都道府県別の1集落あたり集落あたりの値(n=48)を散布図にプロットした。

空間領域内と領域間にはそれぞれトレードオフやシナジーの関係がありうる。たとえば、ある農村集落内で画一的な植林面積を拡大させたり、逆に放置された人工林や竹林を拡大させたりすることは、その生態系の生物多様性や調整サービスを損ねるおそれがある。また、農山村(上流域)における森林管理は、洪水緩和や土砂流出抑制などを介して、同じ流域圏の下流域に分布する都市に影響を及ぼす。さらに、用材、木質チップ、木質ペレットなどの広域的な流通によって、他の地域や他国との間でトレードオフとシナジーが生じうる。たとえば、ある地域におけるペレット生産の大規模生産によって、または単に輸入によって、ペレット利用が広域的に普及した結果、隣接する他の地域の森林系木質バイオマスは利用されないまま放置されるということも考えられる。

4.3.2 森林系木質バイオマスと生態系サービス

森林系木質バイオマスの賦存量(全国計)は、林地残材(末木、枝条、根元部)161万t、未利用間伐材200万t、未利用樹(未利用天然林と竹林)345万tの計706万tにのぼると推計された(表-4-3)。林地残材と未利用間伐材の合計は361万tであり、これは新たなバイオマス・ニッポン総合戦略の林地残材(未利用間伐材を含む)の推計値370万t(2005年)にほぼ一致する。本研究ではさらに345万tが未利用樹として存在することを明らかにした。また、広域ブロック別の賦存量では、九州圏の賦存量が最も多く、ついで東北圏、北海道と続くことがわかった。この内訳構成をみると、北海道や東北圏では未利用天然林が占める割合が大きく、近畿圏から九州圏にかけては竹林の比率が大

表-4-3 広域ブロック単位での森林系木質バイオマスの供給力と他の生態系サービス

|            |                                     |                    | 北海道                | 東北圏             | 首都圏             | 北陸圏            | 中部圏             | 近畿圏            | 中国圏            | 四国圏            | 九州圏             | 沖縄県          | 全国               |         |
|------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|------------------|---------|
| 土地面積       |                                     |                    | (km <sup>2</sup> ) | 83,455          | 79,472          | 36,889         | 12,622          | 42,901         | 27,335         | 31,916         | 18,804          | 42,176       | 2,274            | 377,915 |
| 人口         |                                     |                    | (千人)               | 5,628           | 12,066          | 42,379         | 3,107           | 17,217         | 20,893         | 7,676          | 4,086           | 13,353       | 1,362            | 127,768 |
| 森林面積       |                                     |                    | (km <sup>2</sup> ) | 53,390          | 53,651          | 17,335         | 8,277           | 29,398         | 18,135         | 23,105         | 13,893          | 26,486       | 1,060            | 244,730 |
| 森林率        |                                     |                    | (%)                | 64.0%           | 67.5%           | 47.0%          | 65.6%           | 68.5%          | 66.3%          | 72.4%          | 73.9%           | 62.8%        | 46.6%            | 64.8%   |
| 供給<br>サービス | 木材生産量(素材, 薪炭, シイタケ原木)               | (千m <sup>3</sup> ) | 3,329              | 4,242           | 1,228           | 305            | 1,305           | 698            | 1,183          | 1,133          | 3,866           | 3            | 17,292           |         |
|            |                                     | 林地残材               | (千t)               | 338             | 432             | 113            | 23              | 105            | 56             | 122            | 89              | 333          | 0                | 1,611   |
|            | 森林系木質<br>バイオマス<br>賦存量               | 未利用間伐材             | (千t)               | 277             | 303             | 99             | 47              | 279            | 200            | 170            | 239             | 386          | 0                | 2,000   |
|            |                                     | 未利用樹(未利用天然林と竹)     | (千t)               | 499             | 523             | 248            | 115             | 330            | 282            | 493            | 189             | 759          | 15               | 3,454   |
|            |                                     | 計                  | (千t)               | 1,114           | 1,258           | 460            | 185             | 714            | 537            | 784            | 517             | 1,479        | 16               | 7,065   |
| 調整サービス     | 炭素蓄積量                               | (千t-C)             | 228,485            | 310,697         | 110,296         | 52,135         | 174,370         | 124,283        | 129,518        | 93,585         | 196,922         | 5,196        | 1,425,487        |         |
|            | 炭素吸収速度                              | (千t-C/年)           | -597               | 4,282           | 1,386           | 653            | 3,254           | 1,789          | 1,902          | 1,710          | 3,545           | 67           | 84,042           |         |
|            | 洪水緩和<br>(スコア)                       |                    | 21.28              | 20.76           | 20.64           | 20.91          | 20.97           | 20.69          | 20.23          | 20.60          | 20.39           | 20.17        | 20.64            |         |
| 文化サービス     | 森林スポーツ・レクリエーション施設利用者数<br>不在村者私有林面積比 | (千人/年)<br>(%)      | 35,566<br>53.2%    | 35,496<br>13.6% | 20,856<br>25.4% | 5,323<br>21.1% | 29,881<br>26.0% | 9,514<br>31.1% | 7,363<br>14.0% | 4,508<br>27.2% | 19,428<br>18.1% | 465<br>32.6% | 168,399<br>24.4% |         |

広域ブロック区分：北海道、東北圏(青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県及び新潟県)、首都圏(茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県及び山梨県)、北陸圏(富山県、石川県及び福井県)、中部圏(長野県、岐阜県、静岡県、愛知県及び三重県)、近畿圏(滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県及び和歌山県)、中国圏(鳥取県、島根県、岡山県、広島県及び山口県)、四国圏(徳島県、香川県、愛媛県及び高知県)、九州圏(福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県及び鹿児島県)、沖縄県

きくなっている。

調整サービスとして、広域ブロック別での森林炭素蓄積（2005年）をみると、蓄積量が最も多いのは東北圏であり、次いで北海道、九州圏であった。文化的サービスとして、広域ブロック別の森林スポーツ・レク施設をみると、利用者数が最も多いのは、北海道であり、次いで東北圏、首都圏になった。一方、不在村者私有林面積比は、北海道が53%で最大で、次いで沖縄33%、近畿圏31%、首都圏25%となっていた。

#### 4.3.3 将来シナリオの定量化と将来シナリオごとの生態系サービス評価結果

木材の国内供給量（供給サービス）については、シナリオ D（ローカル化×技術志向）で供給量を最も増やすことが可能になるが、シナリオ B（グローバル化×技術志向）では人口減少に伴い、2020 年頃をピークに減少に転じ、漸減していくと予測された（図-4-6(a)）。

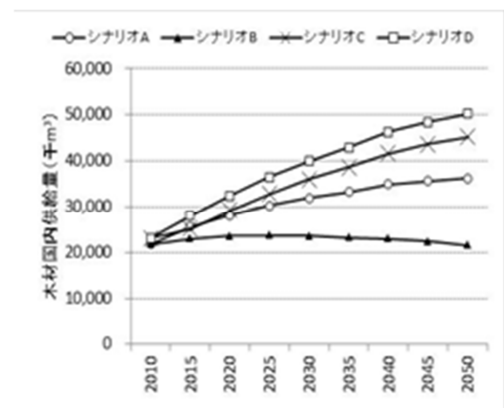
一方、調整サービスのうち炭素蓄積量は、シナリオ A, B, D では 2030 年頃からほぼ横ばいになり、地域内の森林木質バイオマス利用を積極的に促すシナリオ C（ローカル化×自然志向）では、利用量が蓄積量を上回り、蓄積量が 2025 年頃から減少に転ずるおそれがあることが示唆された（図-4-6(b)）。また、炭素吸収スピード（年間炭素蓄積量）は、いずれのシナリオでも減少し、若齢林をさらに増やす政策オプションを組み込まないと、吸収源としての効果が十分に担保できない可能性があることが明らかになった（図-4-6(b)）。

文化サービスを社会関係（不在村者私有林面積比）で評価すると、シナリオ A で最も不在村者市有林面積比が高くなり、社会関係の希薄化が進むが、シナリオ C では社会関係はある程度現状に近い水準で維持しうると予測された（図-4-6(c)）。

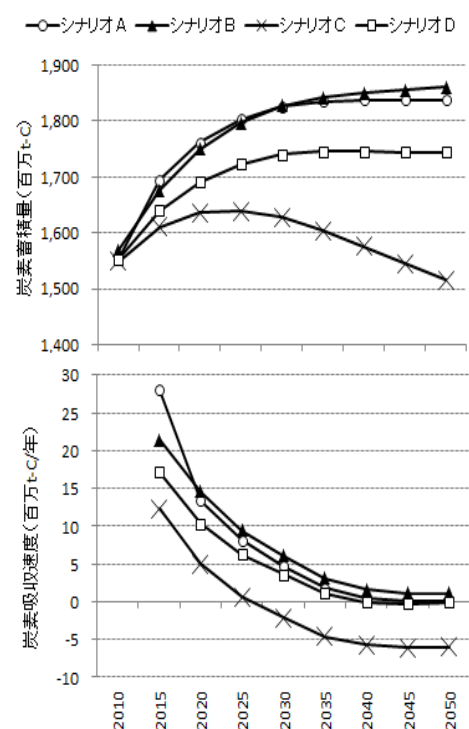
#### 4.3.4 自治体スケールでの事例研究結果

##### a) 北海道下川町

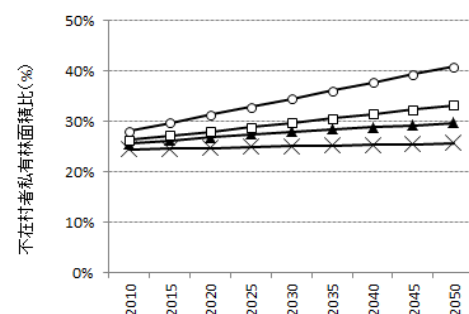
2000 年農林センサスにおける民有林の林齢別樹林地面積を基に、森林総合研究所北海道支所研究レポートから林齢別のカラマツ、トドマツの幹材積表<sup>13), 14)</sup>に基づき、森林蓄積量及び蓄積速度（年成長量）を推定した。その結果、森林蓄積量は 540, 291t-d. m. /年、蓄積速度（年成長量）は 27, 342t-d. m. /年となった。下川町の年間素材供給量に基づいてマテリアル利用量を推定すると 10, 771t-d. m. /年となることから、これを年間成長量から差し引くと理論上の利用可能量は 16, 572t-d. m. /年と算定された。次に、下川町における傾斜区分ごとの植林地面積の全体の植林地面積に対する割合を求め、その割合をバイオマス利用可能量に乗ずることで、地理的条件を考慮した森林バイオマス利用可能量を求めた。さらに、得られた利用可能量(t/年)をチップ化、ペレット化の二



(a) 国内木材供給量



上：炭素蓄積量、下：炭素吸収速度  
(b) 調整サービス



(c) 文化的サービス

図-4-6 異なる将来シナリオ下での生態系サービス評価結果

表-4-4 下川町における森林バイオマス利用によるエネルギー自給ポテンシャル

| 傾斜度   | 利用可能量<br>(t/年) | チップ化           |                       | ペレット化      |                       |
|-------|----------------|----------------|-----------------------|------------|-----------------------|
|       |                | エネルギー<br>量(GJ) | エネルギー<br>自給率(熱<br>のみ) | エネルギー<br>量 | エネルギー<br>自給率(熱<br>のみ) |
| 制限なし  | 16,572         | 211,417        | 124%                  | 226,038    | 133%                  |
| 20度未満 | 10,637         | 135,710        | 80%                   | 145,094    | 85%                   |
| 40度未満 | 16,391         | 209,114        | 123%                  | 223,575    | 131%                  |

つの技術オプションで変換した場合に得られるエネルギー供給量(GJ)を求めた(表-4-4)。

その結果、年成長量から現状マテリアル利用分を差し引いた理論上の利用可能量は、80~131%のエネルギー自給ポテンシャル(熱のみ)に相当することがわかった。言い換えれば、下川町の民有林の年成長量だけで、下川町の木材マテリアル利用及び熱エネルギー利用(現在の灯油、重油及びLPGの需要を全て)は、理論上は供給しうることが明らかとなった。現在の森林の持続可能性を損なわず、つまり森林の年間成長量の範囲内で、下川町には森林資源をさらに利用する余地があることが示唆された。

#### b) 福岡県北九州市

下川町と同様に、北九州市に関しても森林蓄積量及び蓄積速度(年成長量)を推定した。その結果、森林蓄積量は697,625t-d.m./年、蓄積速度(年成長量)は20,805t-d.m./年となった。北九州市のマテリアル利用量(素材生産量)は191t-d.m./年であり、これを年成長量から差し引くと20,614t-d.m./年が理論上の利用可能量となる。次に地形傾斜区分を考慮した森林バイオマス利用可能量を求め、それをチップ化、ペレット化の二つの技術オプションで変換した場合に得られるエネルギー量(GJ/年)を推定すると、家庭部門の熱エネルギー(灯油、重油及びLPGの需要)の自給ポテンシャルが1.0~3.6%となることがわかった(表-4-5、上段)。

同様の推計を、北九州市の隣接する約8km圏の市町村(芦屋町、水巻町、遠賀町、中間市、鞍手町、直方市、福智町、香春町、みやこ町、行橋市、荏田町)を対象に行った。その結果、隣接市町村を含めた圏域での森林蓄積量は2.15百万t-d.m.であり、蓄積速度(年成長量)は34万t-d.m./年と推定された。隣接市町村でのマテリアル利用量(素材生産量)を差し引いたうえで、地形傾斜区分とエネルギー変換技術オプション毎に家庭部門の熱エネルギーの自給ポテンシャルを推定した(表-4-5、下段)。自給ポテンシャルは15.2~43.2%となることがわかった。下川町のような山間地域とは異なり、都市域で森林系木質バイオマスの地域循環圏を森林の過剰利用を避けつつ形成する場合、対象市域を越えて隣接市町村を含むかたちで検討することが必要であることが示唆された。

表-4-5 北九州市及び近隣市町村における森林バイオマス利用によるエネルギー自給ポテンシャル

|                 | 傾斜度   | 利用可能量<br>(t/年) | チップ化           |                       | ペレット化          |                       |
|-----------------|-------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
|                 |       |                | エネルギー<br>量(GJ) | エネルギー<br>自給率(熱<br>のみ) | エネルギー<br>量(GJ) | エネルギー<br>自給率(熱<br>のみ) |
| 北九州市のみ<br>の場合   | 制限なし  | 20,614         | 257,539        | 3.3%                  | 275,348        | 3.6%                  |
|                 | 20度以下 | 6,082          | 75,990         | 1.0%                  | 81,245         | 1.1%                  |
|                 | 40度以下 | 17,425         | 217,700        | 2.8%                  | 232,755        | 3.0%                  |
| 北九州市及び<br>隣接市町村 | 制限なし  | 339,914        | 4,246,705      | 40.6%                 | 4,540,377      | 43.2%                 |
|                 | 20度以下 | 127,940        | 1,598,407      | 15.2%                 | 1,708,941      | 16.3%                 |
|                 | 40度以下 | 306,359        | 3,827,479      | 36.5%                 | 4,092,161      | 39.0%                 |

#### 4.4 結論

本研究では、森林系木質バイオマス利用とそれに伴う生態系サービスのトレードオフやシナジーといったインターリンケージ(相互関連)の概念に着目し、分析のための概念枠組みと評価方法を検討したうえで、マルチスケールでの生態系サービスのインベントリを構築した。また、既存の定



性的な将来シナリオの作成から主な供給サービス、調整サービス、文化的サービスについて、全国規模（マクロ）スケールで 2050 年まで定量化するモデルを構築した。さらに、マクロな成果を踏まえて、同様の手法を特性が異なる市町村（ミクロスケール）に適用し、森林系木質バイオマスを軸とした地域循環圏形成を生態系サービス管理と調和的に進める方策を検討した。本研究結果で明らかになった主な点と示唆される政策的含意を以下に示す。

#### 4.4.1 マルチスケールでの生態系サービスインベントリ構築

- ①地域循環圏の空間単位には、農業集落、地域（市区町村、都府県）、広域ブロック、全国、国際の 5 つの空間スケールがあり、森林系木質バイオマスの供給サービスはそのすべてのスケールに関連するが、調整サービスと文化的サービスは空間的にはより小さいスケール、属地的な性格が強いなど、生態系サービスの種類に応じたガバナンスの空間スケールを考慮する必要がある。
- ②農業集落あたりの平均面積は 1.2（都市・平地）～5.3km<sup>2</sup>（山地）であり、市区町村単位での地域循環圏形成にあたっては、大きくとも第三次メッシュ（約 1 km<sup>2</sup>）程度を単位とする土地利用や自然環境情報と連動した事前調査・計画策定が望ましい。
- ③広域ブロック別の森林系木質バイオマスの賦存量は、九州圏、東北圏、北海道の順に多く、これらの広域ブロックでは森林系木質バイオマスの利用が地域循環圏形成のための重点資源になると考えられるほか、地域の森林系木質バイオマスの資源循環（供給サービスの維持・拡大）は、調整サービスへの影響が大きいことから、地域循環圏の形成にあたっては、特に調整サービスとの関係に留意する必要がある。

#### 4.4.2 国全体（マクロスケール）生態系サービスの将来シナリオ研究

- ①木材の国内供給量（供給サービス）については、グローバル化と技術導入・開発を進めるシナリオ（シナリオ B）では、自給率を高める施策を講じない限り、国内の人口減少に伴い 2020 年頃をピークに減少に転じ、漸減していくと予測された。他のシナリオでは、自給率を高めることで人口減少下でも木材の国内供給量を増やしていくことが可能であることが示唆された。
- ②調整サービスのうち炭素蓄積量に関して、地域内の森林木質バイオマス利用を積極的に促すシナリオ（シナリオ C：ローカル化×自然志向）では、木材利用量が森林蓄積量を上回り、森林蓄積が 2025 年頃から減少に転ずるおそれがあることが示唆された。

調整サービスのうち炭素吸収スピードは、いずれのシナリオでも減少し、若齢林をさらに増やす政策オプションを組み込まないと、中長期的には吸収源としての効果が十分に担保できないおそれがある。

#### 4.4.3 市町村（ミクロスケール）での森林系木質バイオマスの生態系サービス評価

国レベルでのシナリオ分析を踏まえて、市町村スケールでの木質バイオマス利用について、供給サービスと調整サービスとの間で調整を考慮した場合の利用ポテンシャルの推計モデルを構築した。森林資源が豊富な北海道下川町と政令指定都市である福岡県北九州市を対象として事例解析を行った。これにより、森林の過剰利用を避けながらエネルギー利用の自給ポテンシャルを導いた。この成果は、市町村スケールで供給サービスと調整サービスの調和を考慮した森林系木質バイオマス利用を促すための政策目標と空間スケールの検討に有益な知見となる。

#### 参考文献

- 1) 林野庁：森林・林業統計要覧 累年版 2007，林野弘済会，2007。
- 2) Millennium Ecosystem Assessment: *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC, 137pp, 2005.
- 3) 石井敦：生物多様性保全と気候変動対策の相互関連—国際制度と国内政策を比較・評価する，環境経済・政策学会年報，第 11 号，pp. 227-243，2006。

- 4) 電力中央研究所：林地残材賦存量・利用可能量の推計方法（H18改訂版），2008.
- 5) 松本光朗：日本の森林による炭素蓄積量と炭素吸収量，森林科学，33，pp. 30-36，2001.
- 6) 林野庁：森林・林業白書平成21年版，2009.
- 7) 井鷲裕司：竹林の生産カーバイオマス資源として，林業試験場関西支部研究情報，No. 5，1987.
- 8) 温室効果ガスインベントリオフィス (GIO) 編：日本国温室効果ガスインベントリ報告書，地球環境研究センター・国立環境研究所，2012.
- 9) 日本の里山・里海評価：里山・里海の生態系と人間の福利：日本の社会生態学的生産ランドスケープー 概要版ー，国際連合大学，36pp，2010.
- 10) 国際連合大学高等研究所日本の里山里海評価委員会 編：里山・里海：自然の恵みと人々の暮らし，朝倉書店，201pp，2012.
- 11) United Nations Population Division (2009) World Population Prospects: The 2008 Revision, available at: <http://esa.un.org/UNPP/p2k0data.asp>
- 12) 法務省入国管理局統計：外国人登録者数，available at: [http://www.moj.go.jp/nyuukokukanri/kouhou/nyuukokukanri01\\_00013.html](http://www.moj.go.jp/nyuukokukanri/kouhou/nyuukokukanri01_00013.html)
- 13) 石橋聡・鷹尾元・高橋正義・猪瀬光雄：長伐期化に対応したカラマツ人工林収穫予想表，森林総合研究所北海道支所 研究レポート，No. 82，2005.
- 14) 猪瀬光雄・佐野真・石橋聡：新しい密度管理図を用いたトドマツの収穫予想表，森林総合研究所北海道支所研究レポート，No. 29，1993.（トドマツ材積データ：地位指数 21、収穫比数 0.7（ともに中庸）を採用）

5.1 既存施設の有効活用による生ごみの地域循環圏の検討

5.1.1 研究目的

我が国は平成19年に閣議決定された「21世紀環境立国戦略」で、持続可能な社会の実現に向けた低炭素社会、循環型社会、自然共生社会という3つの社会システムの構築を提唱している。そのうち循環型社会については、平成20年3月25日閣議決定された第二次循環型社会形成推進基本計画において、地域と廃棄物の特性に応じて最適な規模で資源循環を行う”地域循環圏”による循環型社会形成の推進が示されたが、具体的に未だ実現されていない。

従来の広域化では、複数の市町村が、ほぼ同様の廃棄物収集区分に調整し、可燃ごみを大型の焼却炉で処理するといった方式が多かった。しかし、このような画一的なシステムはどの地域でも適用がベターという訳ではない。その一つとして、周辺に処理能力に余裕のある施設がある場合には、その施設を有効利用する必要がある。また、広域化の検討段階においては、他地域の廃棄物の受入、特に、生ごみの持ち込みに反対という事例が多いことから、生ごみを分別収集し、残った可燃物をまとめて焼却するシステムの方が、住民合意が得られやすいとも考えられる。このように、広域化は、その地域条件を十分に考慮しながら、構築する必要がある。

さらに、地域循環圏の考え方に従えば、資源である生ごみのリサイクルを推進する上で、従来の広域化にこだわった方策よりも、既存施設の利用も含めた柔軟な計画を構築した方が、効率的なリサイクルが推進できると考える。

そこで、本研究では、ある地域の循環型社会地域計画のために、先に述べた既存施設の有効利用と生ごみの分別収集・リサイクルの視点を考慮した廃棄物管理システムの構築を念頭に下記を研究目的とした。①周辺地域との廃棄物処理の連携、②生ごみの資源化の2点を軸として、その地域で実行可能な、地域循環圏を考慮した廃棄物管理システムの代替案を構築する。そして、コスト、温室効果ガス、最終処分量の視点から、代替案の評価を試みることにする。

5.1.2 研究方法

北海道のある4市1町からなる総人口15万人弱の地域を、本研究の対象とした(図-5-1)。ダイオキシン問題による小型焼却炉の廃止により、直接埋立をせざるを得ない地域、あるいは、従来より、紙や木などの生ごみを除く廃棄物のみを焼却してきた地域、従来から直接埋立してきた地域であり、結果として、現在は、ペット、びん、缶と一部の容器包装プラスチックが資源化されている以外の廃棄物の処理は、埋立に依存している状況である。このような現状に対し、従来の広域処理を想定した焼却炉の新設する代替案Ⅰ、及び既存施設を最大限利用し、足りない施設のみ新設する代替案Ⅱを表-5-1のように構築し、コスト比較を試みた。

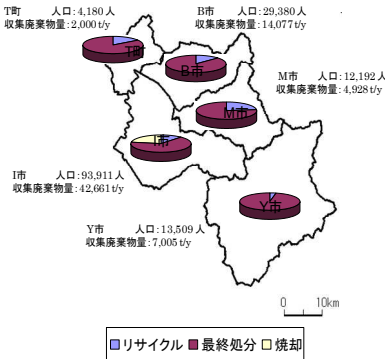


図-5-1 各市町の廃棄物処理の現状(2007年度時点)

コストは、焼却施設・バイオガス化施設・堆肥化施設の建設費(補助金考慮せず)<sup>1)</sup>及び維持管理費、各地域での収集費、広域移動における運搬費、既存施設に処理委託する場合にはその委託費を計上した。さらに、温室効果ガス排出量削減に関しては、運搬費の増分、焼却炉・ガス化溶融炉処理に伴う増分、生ごみ等の直接埋立廃止に

表-5-1 代替案の構築

| 市町 | 対象廃棄物の収集量       |                           |                          | 代替案Ⅱ                                   |                                            |                           |                                         |                                        |                                         |
|----|-----------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
|    | 可燃ごみ+生ごみ<br>t/y | 可燃ごみ <sup>※2</sup><br>t/y | 生ごみ <sup>※1</sup><br>t/y | Ⅱ-①                                    |                                            | Ⅱ-②                       |                                         | Ⅱ-③                                    |                                         |
|    |                 |                           |                          | 可燃ごみ                                   | 生ごみ                                        | 可燃ごみ                      | 生ごみ                                     | 可燃ごみ                                   | 生ごみ                                     |
| I市 | 27,984          | 14,075                    | 13,908                   | 焼却炉新設(I市)<br>規模165 t/day <sup>※4</sup> | バイオガス化施設新設(I市)<br>規模94 t/day <sup>※5</sup> | 焼却炉新設(I市)<br>規模63 t/day   | バイオガス化施設新設(I市)<br>規模38 t/day            | ガス化溶融処理委託(E, U市)<br>E: 30, U: 17 t/day | バイオガス化施設新設<br>規模43 t/day                |
| Y市 | 6,770           | 4,902                     | 1,869                    |                                        |                                            | 堆肥化施設新設<br>規模5 t/day      | 堆肥化施設新設<br>規模5 t/day                    | 焼却処理委託(C市)<br>16 t/day                 |                                         |
| B市 | 9,350           | 5,184                     | 4,166                    |                                        |                                            | ガス化溶融処理委託(U市)<br>31 t/day | バイオガス化委託処理(K, S市)<br>K: 5.4, S: 6 t/day | ガス化溶融処理委託(U市)<br>48 t/day              | バイオガス化委託処理(K, S市)<br>K: 5.4, S: 6 t/day |
| T町 | 1,641           | 1,188                     | 453                      |                                        |                                            | 堆肥化 <sup>※3</sup>         | 堆肥化 <sup>※3</sup>                       | バイオガス化委託処理(S市)<br>1.2 t/day            | バイオガス化委託処理(S市)<br>1.2 t/day             |
| M市 | 3,790           | 2,820                     | 970                      |                                        |                                            | 堆肥化 <sup>※3</sup>         | 堆肥化 <sup>※3</sup>                       | 堆肥化 <sup>※3</sup>                      | 堆肥化 <sup>※3</sup>                       |

※1 分別率80%と仮定  
※2 20%の生ごみが混入と仮定  
※3 すでにM市は生ごみ堆肥化を行っているため、生ごみリサイクルの広域化には参加しない。  
※4 焼却・ガス化溶融施設は、年間収集量を300日で除して規模を算出  
※5 バイオガス化施設は、年間収集量を365日で除して規模を算出

よる削減分を考慮した。

### 5.1.3 結果と考察

#### (1) 最終処分量

表-5-2 に現状、及び各代替案の最終処分量を示す。現状では、ほとんどの廃棄物の処理を、最終処分に頼っていたので、どの代替案も最終処分量は減少する。代替案別にみると、埋立も含めて処理委託するガス化溶融炉を選択する代替案の最終処分量が少ない傾向にはある。

#### (2) コスト

次に、コストの試算結果を表-5-3 に示す。いずれの代替案においても、ヒアリングでえられた現状のコストよりも、1.5～2.0 倍に増加してしまう。

現状の年間の最終処分量である

47,273t/y が、8,430t/y にまで削減可能である(表-5-2)とすると、38,843t/y の削減になる。比重を 1.2 t/m<sup>3</sup> とすると、約 32,400m<sup>3</sup> のスペースが確保でき、延命化につながる。最終処分場の建設コスト<sup>2)</sup>を、5,000～20,000 円/m<sup>3</sup> (規模によって異なる)とすると、年間 162～648 百万円となる。つまり、今回の代替案のコストと現状のコストの差は、削減される可能性はある。

また、増加が懸念された市町間の輸送にかかるコストは、各市町内の収集にかかるコストにくらべて、小さいことが分かった。ただし、中継輸送施設の建設費や維持管理コストは、今回は算出していないので、今後、さらなる検討が必要である。

一方、全量焼却の代替案Ⅰと生ごみ分別・バイオガス化の代替案Ⅱでは、代替案Ⅰの方がコスト的に低い結果となった。現状の施設建設費補助率(焼却処理施設のみであれば 1/3、焼却施設にバイオガス化施設併設の場合であれば 1/2)を考慮すると、建設費のコストの差は縮まるものと考えられる。

委託処理を中心に据えた代替案Ⅱ-③のコスト削減効果はそれほど大きなものではなかった。つまり、処理委託料の設定は、その施設にかかっている建設費+維持管理費から、処理委託単価を出していることが原因であると考えられる。

#### (3) 温室効果ガス発生量

表-5-4 に温室効果ガス発生量の比較を示す。

現状の直接埋立から、各代替案へ切り替えた時の削減分がかなりの量を占めていることが分かる。一方、既存施設の有効利用の観点から考慮されたガス化溶融処理委託に関しては、今回は、コークスの投入により温室効果ガスが、膨大な量になってしまった。

今回は、収集回数の増加による温室効果ガスの増分は、データ欠損により考慮することができなかった。ちなみに、Y 市の、一般ごみ(週 1or 2 回収集)の年間の走行距離は、65,645km であり、360g/km(4t 車)を用いると、約 24t/y となる。収集回数の増分は、市町間の運搬段階で発生する温室効果ガス量よりも小さいと推測される。

### 5.1.4 まとめ

循環型社会の地域計画を策定にあたって、その対象地域内のみで、施設整備を考えるのではなく、近隣地域の既存施設の利用を考慮した新たな計画構築例を示すことができた。

今回のケーススタディでは、既存施設利用についてのコスト的メリットは、想定よりも小さかったが、今後処理委託料の地域間での交渉を踏まえ、また住民合意など施設新設にかかる時間を考慮、社会インフラとしての既存施設の有効利用することのメリットを評価することが重要である。

表-5-2 最終処分量

|        | 最終処分量 (t/y) |
|--------|-------------|
| 現状     | 47,273      |
| 代替案Ⅰ   | 8,430       |
| 代替案Ⅱ-① | 8,430       |
| 代替案Ⅱ-② | 7,511       |
| 代替案Ⅱ-③ | 6,103       |

焼却残渣発生割合:0.1

生ごみ分別協力率:0.8

リサイクル残渣割合:0.1

(バイオガス化・堆肥化共通)

表-5-3 コスト比較 (単位 百万円/年)

| 項目       | 現状     | 代替案Ⅰ  | 代替案Ⅱ-① | 代替案Ⅱ-② | 代替案Ⅱ-③ |
|----------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 収集       |        | 576   | 697    | 697    | 697    |
| 運搬(可燃ごみ) |        | 52    | 40     | 44     | 71     |
| 運搬(生ごみ)  |        | 0     | 28     | 27     | 37     |
| 焼却       | 建設費    | 445   | 309    | 236    | 0      |
|          | 維持管理費  | 479   | 405    | 364    | 0      |
| バイオガス化   | 建設費    | 0     | 147    | 110    | 121    |
|          | 維持管理費  | 0     | 261    | 199    | 218    |
| 堆肥化      | 建設費    | 0     | 0      | 15     | 0      |
|          | 維持管理費  | 0     | 0      | 30     | 0      |
| 委託費      | 焼却     | 0     | 0      | 0      | 103    |
|          | ガス化溶融  | 0     | 0      | 221    | 594    |
|          | バイオガス化 | 0     | 0      | 67     | 67     |
| 合計       | 1,042  | 1,552 | 1,889  | 2,010  | 1,909  |

表-5-4 各代替案の温室効果ガスの内訳

| CO2 t-CO2/年 | 代替案Ⅰ   | 代替案Ⅱ-① | 代替案Ⅱ-② | 代替案Ⅱ-③ |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| 運搬          | 200    | 177    | 248    | 453    |
| 焼却          | 183    | 104    | 70     | 18     |
| ガス化溶融       | 0      | 0      | 3199   | 8097   |
| 埋立          | -7,528 | -7,528 | -7,528 | -7,528 |
| 合計          | -7,145 | -7,247 | -4,011 | 1,040  |

## 5.2 バイオガス化による広域的耕種－畜産農家連携による牛ふんの地域循環圏形成

### 5.2.1 研究目的

家畜糞尿のバイオガス化事業普及のために、特に集中型システムに焦点を当て、①事例調査を行うことによりその成功要因を明らかにし、②広域的耕種－畜産農家連携による牛ふんの地域循環圏形成するためのスケールについて言及し、そして③事業採算が成立するための要因を解析することを目的とする。最後に、④牛ふんの地域循環形成の標準的な評価モデルのプロトタイプの構築を試みる。⑤さらに、構築した評価モデルの、特に集中型システムに参加する（費用負担する）酪農家に対して、コンジョイント分析を適用し、酪農家の評価項目に対する相対的重要度（酪農家のニーズ）について考察を行う。

### 5.2.2 バイオガス化プラントの成功要因の抽出

本研究では、北海道に存在する牛ふんの集中型バイオガス化プラント3箇所について、事例調査を行った。これより、道内でのふん尿の地域循環圏、またはふん尿から得られたエネルギーの地域循環圏を形成するためのバイオガス化プラントの事業採算性からみた成功要因を整理する。

まず、図-5-2に示すように、既存の集中型バイオガス化システムでは、ドイツとは異なり、売電価格も低いのでエネルギー収入もわずかなことから酪農家が負担できるふん尿処理金では、施設の運転に必要な経費はまかなうことができない。すなわち、他の収入源の確保が重要となる。そこで、地域特性を活かした事業を展開することが重要となる。本研究では、図-5-3に示すように、主な成功要因として以下の3つを明らかにすることができた。

- ①インプットとして有機系廃棄物（産業廃棄物）の受入
- ②液肥の販売（特に、契約外農家への販売）
- ③バイオガスの利用方法（より収入源となりうる、効率的な利用方法の選択）

①インプットとしては、有機系廃棄物を受け入れることにより、収入を確保し、事業採算性を改善する方策が考えられる。この場合、ふん尿以外の有機系廃棄物を受け入れることが、液肥利用の妨げにならぬよう、契約酪農家との事前調整が必要となる。有機系廃棄物を受け入れることで、液肥の処理が必要なるのでは本末転倒である。

②液肥は、悪臭の発生が少ない、またアンモニア性窒素が豊富な速効性のある有機肥料であることから、その肥料価値を契約酪農家だけではなく、契約外の農家（酪農家、畑作農家）にも認めてもらい、有料販売することにより収入を確保することが可能である。この場合は、液肥運搬コストも含めた適正な費用の設定がポイントとなる。

③電力全量買取制度(FIT)が平成24年7月から開始されたことを受けて、売エネルギーによる収入を確保することも今後考えられる。また、近隣にエネルギー需要施設が存在すれば、直接パイプラインにてバイオガスをそのまま運搬し利用してもらう、或いは、ボンベや低圧容器輸送により運搬し利用してもらう、さらに Compressed Natural Gas (CNG) 車に利用してもらうなど、様々な有効利用方法があり、売エネルギー単価の設定次第によっては、これらも収入源として考えることが可能となる。

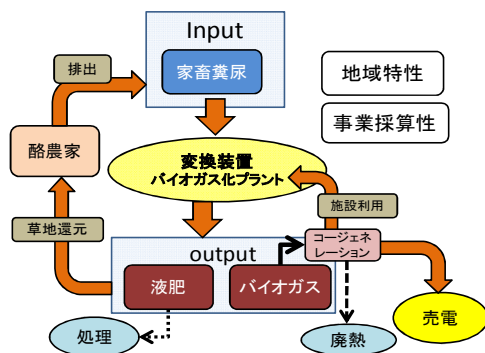


図-5-2 集中型バイオガスシステム（既存システム）

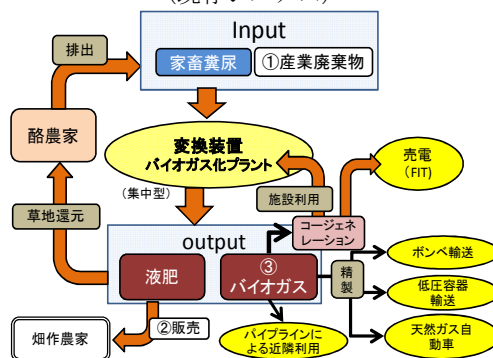


図-5-3 事業成立しうるバイオガス化システム



### 5.2.3 広域的耕種一畜産農家連携による牛ふんの地域循環圏形成するためのスケール

今回のヒアリング調査により、複数の酪農家からふん尿を運搬し、一カ所で集中してふん尿をバイオガス化する集中型バイオガス化プラントの場合、ふん尿の運搬は半径 4km 圏内が運搬コスト等を考慮すると限界の距離であること、そして、液肥の運搬・散布を考えると、半径 10km 圏内であれば、十分採算性がとれることを明らかにした。

### 5.2.4 事業採算が成立するための要因

#### (1) 解析条件

家畜糞尿受入規模および単位面積当たりの飼養頭数を与条件として与え、ふん尿および有機廃棄物をバイオガス化する。液肥は契約酪農家が有する草地に必要量散布し、残りは非契約農家の畑地・草地に散布する。散布できなかった液肥は、水処理設備を設置し処理してから放流することにした。発生したバイオガスはコージェネレーションにより電気と熱に変換される。電気の半分は施設利用し、残りの半分を売電することにした。一方、熱については施設利用した残りは廃熱することにした（今回は、コストの計算を目的にしているので、廃熱量は計算していない）。また、売電以外のシナリオとして前述したように、パイプラインにて近隣のエネルギー需要施設まで運搬するシナリオも考慮した（詳細な解析条件は、参考文献 3）を参照されたい）。

本研究では、自治体によるサポートを考慮した組合運営方式を想定した。施設のイニシャルコストを半額補助となる国や自治体を含めた事業主体として固定して考え、事業採算性の評価として、事業の成立条件を事業開始から 15 年後の初期投資回収率（以下、B/C とする）として  $B/C \geq 1$  の時、事業の成立条件を満たすものとする。

#### (2) 結果と考察

本ケーススタディでは、図-5-2 に示した、いわゆる事業採算成立が困難なシステムをベース（ベースシナリオと呼ぶ）に、事業採算性を満足するためのオプションを追加していくことにした。表-5-5 に示すように、ベースシナリオの場合の B/C は -1.23 となり事業としては全く成立しない。

次にケース 1 として液肥の全量散布が可能な場合でかつ液肥の販売価格を、草地・畑地共に 1500 円/t にした場合の表-5-5 に示す。この場合、 $B/C = 1.01$  となり、事業の成立条件を満たす。すなわち、液肥の効果を、契約酪農家以外の農家にも理解してもらうことが重要である。

また、地域によっては、液肥の販売という形での酪農家への負担をこれ以上増やすことは難しい場合も考えられる。このような場合をケース 2 として同様に表-5-5 に示す。液肥販売価格の引き上げではなく、有機性廃棄物の受入を考慮する。この場合、有機性廃棄物を最大量の 15% 受け入れることで  $B/C = 1.05$  となり、事業成立条件を満たすことが分かる。

表-5-5 解析シナリオと B/C の計算結果

| シナリオ                |              | 数値    | 単位    | B/C   |
|---------------------|--------------|-------|-------|-------|
| ベースシナリオ             |              |       |       |       |
|                     | 単位面積当たりの飼養頭数 | 4     | 頭/ha  | -1.23 |
|                     | 家畜飼養規模       | 1500  | 頭     |       |
|                     | 液肥           |       |       |       |
|                     | 草地散布量（関係酪農家） | 13125 | t/年   |       |
|                     | 液肥処分量        | 19725 | t/年   |       |
|                     | 販売価格（関係酪農家）  | 50    | 円/t   |       |
|                     | アウトプット       |       |       |       |
|                     | 売電（現行法）      | 8     | 円/kWh |       |
| ケース 1：液肥全量散布可能な場合 1 |              |       |       |       |
|                     | 液肥           |       |       | 1.01  |
|                     | 草地散布量（関係酪農家） | 13125 | t/年   |       |
|                     | 液肥処分量        | 0     | t/年   |       |
|                     | 畑地散布量        | 19725 | t/年   |       |
|                     | 販売価格（関係酪農家）  | 1500  | 円/t   |       |
|                     | 販売価格（畑地）     | 1500  | 円/t   |       |
|                     | 有機性廃棄物受入割合   | 1     | %     |       |
| ケース 2：液肥全量散布可能な場合 2 |              |       |       |       |
|                     | 液肥           |       |       | 1.05  |
|                     | 草地散布量（関係酪農家） | 13125 | t/年   |       |
|                     | 液肥処分量        | 0     | t/年   |       |
|                     | 畑地散布量        | 19725 | t/年   |       |
|                     | 販売価格（関係酪農家）  | 50    | 円/t   |       |
|                     | 販売価格（畑地）     | 100   | 円/t   |       |
|                     | 有機性廃棄物受入割合   | 15    | %     |       |

### 5.2.5 牛ふんの地域循環圏形成の標準的な評価モデルのプロトタイプの構築

#### (1) 考慮すべき事項の整理

牛ふんの地域循環圏形成を構築するための評価モデルを構築するにあたって、いくつか考慮すべき事項を整理する。

## 1) 地域循環圏構築の目的

これまで述べてきた集中型牛ふんのバイオガス化システム構築の動機付けは、エネルギー回収や液肥を生産することではなく、まず環境対策、特に悪臭対策である。フリーストールを採用している酪農家では、スラリー状のふん尿の保管、そして草地へ散布する際の悪臭による周辺住民や観光客からの苦情に苦勞してきた経緯がある。悪臭を改善するシステム構築が望まれていたし、地域の悪臭問題を解決することが、その地域の活性化にもつながるものと考えられる。また、スラリーを直接草地へ散布することは、牧草そのものにも悪影響を及ぼすと考えられる（C/N比が高すぎる）。バイオガス化により、悪臭が軽減された、またC/N比が低くなった残渣を液肥として利用することが、酪農家にとっても重要となる。

## 2) 事業採算が成立する条件

本研究により、①有機性廃棄物受入による処理収入の確保、②液肥販売による収入の確保、③売エネルギーによる収入の確保、のいずれかが地域特性に応じてシステムに組み入れなければ、事業採算性をとることが不可能であることを示した。これらの条件が、システム成立の前提条件となる。

## 3) 連携の必要性

このような点から、耕種農家との連携、乳製品工場との連携、エネルギー需要施設との連携が地域循環圏には不可欠である。特に、耕種農家との連携は、耕種農家がこれまで使用してきた化学肥料を、液肥によって代替することにより、費用面で削減することができるだけでなく、地域全体でみれば、輸入化学肥料の購入量を削減できることから、窒素やリンの適正な循環に貢献できること、また多大なエネルギーが利用された化学肥料の購入量を削減できることから、化石燃料の使用削減、ひいては温室効果ガス排出量の抑制にもつながる。

## (2) 総合評価モデルのプロトタイプの構築

ここで、図-5-4のように牛ふんの地域循環圏の総合評価モデルのプロトタイプの構築を試みた。今後は、これらの評価モデルの定量化と総合化を検討することになる。

### 1) 環境の保全・改善

スラリー状で排出される牛ふんは、従来はスラリー溜めで保管され、一定期間保管された後、草地へ還元されていた。開放形で保管されるため、悪臭はもとより、嫌気発酵が進み、メタンが大気中に放出される。また、易生物分解性の有機物が大量に残存したC/N比が高い牛ふん尿は、スラリー溜めに貯留されると腐敗して更に悪臭が強くなり、そのまま草地に還元されると、悪臭の発生や酸素欠乏症など健全な牧草の育成に障害が生じる恐れがある。また、スラリーは耕種農家の利用が敬遠されることも多いことから、自経営内の草地に散布せざるを得ない場合が多い。その場合は、草地面積に対して過剰の窒素分が還元されることもあるため地下水窒素汚染が生じる恐れがある。牛ふんのバイオガス化による耕種一畜産連携が図られれば、このような問題の改善が図られる。

### 2) コスト

牛ふんは産業廃棄物であり、牛ふんの適正処理や再利用にかかるコストは、本来は酪農家が負担すべきコストである。しかし、酪農家は基本的には個人経営であることや、本来牛ふんは草地など土壌に還元される資源であるという酪農家の認識から、牛ふんの処理や再利用にコストを負担するという事は、酪農経営上、困難であった。このような理由から、酪農家に多大な金銭的負担をかけることは現状では、難しい。

一方、酪農地域では、酪農が主要産業であることから、酪農を地域として支えることはそれなりに意味を持つ。すなわち、地域の悪臭対策や主要産業発展による観光などの地域活性化につながれば、自治体や国がバイオガス化事業をサポートする意義は十分にある。

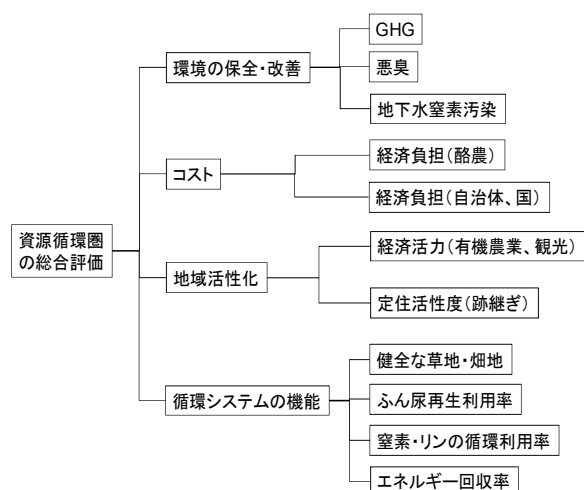


図-5-4 総合評価のプロトタイプ

### 3) 地域活性化

前述したように、酪農による悪臭問題が軽減され、また乳製品、肉、野菜などの農作物のブランド化が進めば、農作物販売や観光収入による地域経済が活性化する。また、地域活性化すれば、農業従事者の跡継ぎ問題も改善され、持続的な地域の活性に大きく寄与する。

### 4) 循環システムの機能

牛ふんを、生スラリーでなく、バイオガス化により液肥として草地や畑地に散布することにより、健全な草地・畑地の維持に大きく貢献するばかりか、これまで輸入に頼ってきた窒素やリンの肥料成分を、液肥で代替することができるので、化学肥料購入料金を軽減できるだけでなく、窒素・リンの循環に大きく寄与できる。また、地下水窒素汚染の問題を引き起こさない適正な再生利用が実現できる。そして、牛ふんからバイオガスとしてエネルギー回収が可能となるので、地域エネルギーとして利用することが可能である。

## 5.2.6 コンジョイント分析に基づいた牛ふんスラリーの適正処理と資源化のための酪農家のニーズ解析

### (1) 研究方法

本研究の調査手順を図-5-5に示した。はじめに、スラリー不適正管理の実態とそれに対する問題意識と改善の意志を明らかにするために、1次アンケートを実施した(調査1)。その結果に基づきコンジョイント分析の設計を行った後、コンジョイント分析のインプットデータを収集するために、1次アンケート対象酪農家の内「2次アンケート調査に協力可能」と回答した酪農家に対して2次アンケートを実施した(調査2)。収集されたデータをもとに解析を行い、限界評価額を推定した。

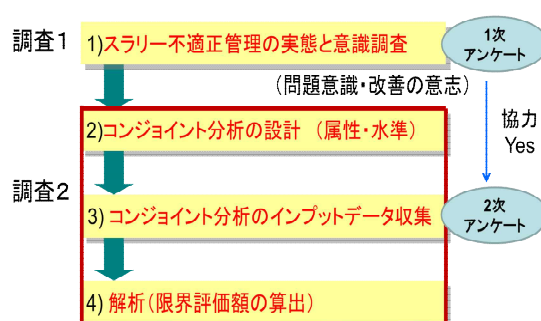


図-5-5 本研究の調査手順

### (2) 1次アンケート調査

対象地域は、酪農が盛んである内のA町・B町・C町の酪農家、計801軒である。A町では、町の協力を得て農家の定例集会にて直接配布を行い、B町は農協を介して郵送、C町は町の協力のもと直接郵送を行い、同封の返信用封筒にて返送していただいた。調査期間は11月下旬から12月下旬の約1カ月である。回答締め切りに合わせてすべての各農家にお礼状を兼ねた催促状を送付した。表-5-6に、計801軒の内訳及び最終的な回収数・回収率を示す。

表-5-7に、貯留槽当時の飼養頭数に対する現在の飼養頭数の割合及び単位面積当たりのふん尿の散布量に対する全回答酪農家の平均値を示す。A町とB町でそれぞれ、貯留槽を設置した当時よりも14%、27%飼養頭数が増大し、貯留槽が不足している状況がうかがえる。過剰施肥に関しては、適正散布量2~4t/10a（適正散布量は1頭/ha<sup>4)</sup>を基準として算出した場合、牛ふん尿排出原単位58.9kg/頭/日<sup>5)</sup>を使用すると2.1t/10aと算出される。また、北海道道東地方の施肥基準<sup>6)</sup>によるとスラリー4~5t/10aであることから、本研究では2~4t/10aを適正散布量としたと比較すると、A・Bの両町で基準値以内ではあるが、飼養頭数の増大により今後過剰になってしまう恐れがあることが分かった。以上より、少

表-5-6 1次アンケートの実施概要

|                     | A町        | B町        | C町        | 住所未記入 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 送付数                 | 112       | 605       | 84        | —     |
| 回収数                 | 22(16)    | 88(32)    | 12(5)     | 16(4) |
| 回収率                 | 19.6%     | 14.5      | 14.3      | —     |
| 内、バイオガスプラント参加・導入農家数 | 集中型<br>2件 | 個別型<br>1件 | 個別型<br>1件 | 0件    |

0内の数値は、解析に使用したフリーストール農家の数

表-5-7 飼養頭数増加割合と単位面積当たりのふん尿散布量

|    | 現在の飼養頭数/貯留槽設置当時の頭数 | 散布量/散布面積<br>(適正量2~4[t/10a]) |
|----|--------------------|-----------------------------|
| A町 | 1.27               | 2.57                        |
| B町 | 1.14               | 2.90                        |
| C町 | 1.02               | 1.70                        |

なくとも「貯留槽の容量不足」という点からは、牛ふんスラリーの不適正処理の実態を示すことができた。

次に「スラリー管理に関して、実際に困っていること、特に問題だと感じていること」の回答結果を図-5-6(A)に示す。貯留槽の容量不足、悪臭、過剰施肥に問題を感じていた。また、図表には示していないが、9割以上の酪農家が「改善の意志がある」あるいは「コスト次第では考える」と回答し、改善の意志があることが確認できた。

図-5-6(A)の問題がバイオガス化導入により解決されると想定して、さらに+αの効果として期待される点についての回答結果を図-5-6(B)に示す。スラリー質の改善、運搬等にかかる手間の削減に期待していることが分かった。一方で、自律分散型のエネルギーや売電収入などのエネルギー面での効果に対しては期待が薄いことが分かった。これは、集中型バイオガスプラントの場合、そもそも事業採算性が厳しく、さらに売電等のエネルギー収入は、バイオガス化プラント運営費に比べてかなり小さいため、参加した酪農家に還元される場合はほとんどないということを反映しているものと考えられる。

### (3) コンジョイント分析を用いたスラリー適正管理に対する農家の選好調査（調査2）

#### 1) コンジョイント分析の方法

図-5-6の結果とヒアリング調査より、図-5-7のように属性と水準を設定し、それらを組み合わせて合計16通りのプロフィールを作成した。そして、3つのプロフィールから好ましいものを1つ選択してもらう選択型コンジョイント分析を行うこととした。そして、1次調査において、2次調査に協力可能と回答した酪農家に直接郵送により回答を得た。

#### 2) 解析結果と考察

回答者  $i$  が管理方法  $j$  を選択した時の効用  $U_{ij}$  に、以下のランダム効用モデルを想定する。

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_j \quad (5.1)$$

$V_{ij}$ : 効用のうち観察可能な部分

$\varepsilon_j$ : 観察不可能な部分

本研究では、 $V_{ij}$  を以下の式(5.2)のような線形モデルで表した。

$$V = \beta_{cost} X_{cost} + \sum_{a=1}^2 \beta_{A_a} X_{A_a} + \beta_B X_B + \beta_C X_C + \sum_{d=1}^2 \beta_{D_d} X_{D_d} + \beta_E X_E \quad (5.2)$$

$X_{ij}$ : 各属性 ( $X_{cost}$ : 経済負担、 $X_A$ : 悪臭、 $X_B$ : 貯留槽の容量不足、 $X_C$ : 過剰施肥、 $X_D$ : スラリー質の改善効果、 $X_E$ : ふん尿の収集・運搬・散布)

$\beta$ : 各属性水準  $X$  の評価ウェイト

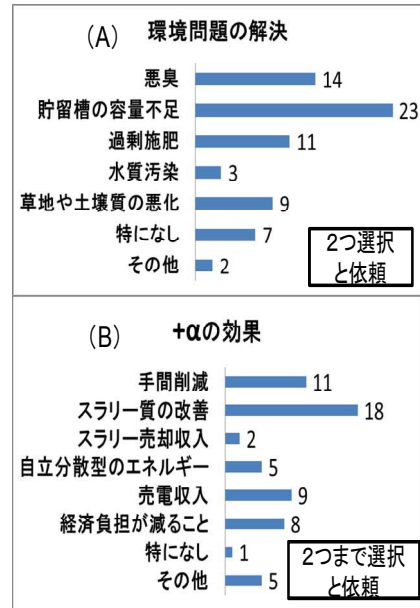


図-5-6 スラリー適正管理に対する酪農家のニーズ

(A)困っていること、問題だと感じていること  
(B)バイオガス化を導入することで期待する効果(+αの効果)

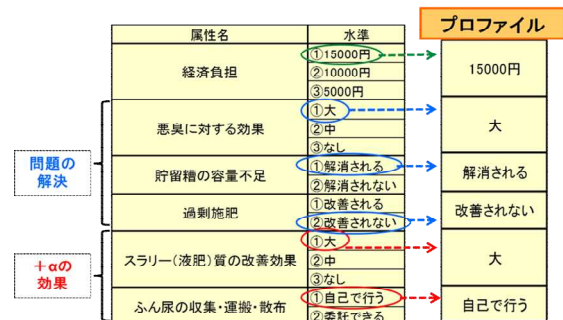


図-5-7 属性と水準の設定とプロフィール作成



$X_{cost}$  は量的な変数なので、水準である金額がそのまま代入される。その他の属性は質的な変数なので、ダミー変数を用いて数量化する。例えば、「貯留槽の容量不足」に関しては、評価対象プロファイル中の該当する属性水準が「解消される」であれば「1」が、「解消されない」であれば「2」が代入される。また、悪臭の場合は、 $(X_{A1}, X_{A2})$  に対して、効果なしの場合は (0, 0)、効果中の場合は (1, 0)、効果大の場合は (0, 1) が代入される。

表-5-8 推定された評価ウェイト  $\beta$  とモデルの適合度

| 属性            | 水準           | A町             |             |          | B町        |             |          |
|---------------|--------------|----------------|-------------|----------|-----------|-------------|----------|
|               |              | 評価ウェイト         | p値          | 限界評価額(円) | 評価ウェイト    | p値          | 限界評価額(円) |
| 経済負担          | - $X_{cost}$ | $\beta_{cost}$ | -0.00017599 | ***      | -         | -0.00013904 | ***      |
| 悪臭に対する効果      | 中 $X_{A1}$   | $\beta_{A1}$   | 1.048       | ***      | 5954      | 0.105       | 755      |
|               | 大 $X_{A2}$   | $\beta_{A2}$   | 1.735       | ***      | 9861      | 0.153       | 1099     |
| 貯留槽の容量不足      | 解消される $X_B$  | $\beta_B$      | 2.355       | ***      | 13381     | 1.271       | 9141     |
| 過剰施肥          | 改善される $X_C$  | $\beta_C$      | 0.068       |          | 388       | 0.985       | 7085     |
| スラリー(液肥)質の改善  | 中 $X_{D1}$   | $\beta_{D1}$   | 0.352       |          | 1998      | 0.715       | 5141     |
|               | 大 $X_{D2}$   | $\beta_{D2}$   | 0.978       | **       | 5558      | 0.799       | 5748     |
| ふん尿の収集・運搬・散布  | 委託できる $X_E$  | $\beta_{E1}$   | 1.335       | ***      | 7585      | 0.557       | 4004     |
| データ数          |              | 80             |             |          | 180       |             |          |
| McFaddenの決定係数 |              | 0.368          |             |          | 0.23      |             |          |
| 尤度比検定のカイ2乗値   |              | 64.646***      |             |          | 91.002*** |             |          |

\*\*\* 1%有意 \*\*5%有意

次に、3つの管理方法の中からプロファイル  $j$  が選ばれる確率を定義し、条件付きロジットモデルより、価ウェイト  $\beta$  を推定した。表-5-8 には、モデルの適合度の高かった A 町と B 町の各属性の評価ウェイトの推定結果を示した。ほとんどの評価ウェイトの p 検定で 1%有意であるという結果が得られた。モデルの適合度を表す McFadden の決定係数は、A 町では 0.368、B 町では 0.23 となり、これは 0.2~0.4 のときには十分高い適合度をもつと判断できる<sup>7)</sup>ため、両地域ともにモデルの適合度は良好と言える。また、尤度比検定の結果、このモデルは有意水準 1%で有意であった。評価ウェイトは、コストのみ負の値で算出され、残りはプラスで算出されている。次に、(5.3)式に示すように限界評価額算出した。

$$\frac{dx_{cost}}{dx_n} = - \frac{\partial V}{\partial X_n} \bigg/ \frac{\partial V}{\partial x_{cost}} = - \frac{\beta_n}{\beta_{cost}} \quad (5.3)$$

限界評価額の推定結果を表-5-8 及び図-5-8 に示す。これより、A・B 両町ともに、「貯留槽の容量不足解消」、「スラリー質の改善」、「ふん尿の収集・運搬・散布の手間削減」に対して比較的高い価値が見られた。特に「貯留槽の容量不足解消」に関しては全属性中、最大の限界評価額が見られ、飼養頭数増大に伴う貯留槽の容量不足解消に高いニーズがあることが示された。また、A 町では「悪臭に対する効果大」に 9,861 円の限界評価額が得られているのに対し、B 町では 1,099 円とそれほど高い価値を感じていないことが分かる。これは、A 町では市街地近くでの営農が多いのに対し、B 町では市街地から離れた場所での営農が多いことが影響していると考えられる。一方で、B 町では過剰施肥の改善に対して、A 町よりもかなり高い価値があることが分かった。これは、B 町には、耕作農家が少なく、余剰なふん尿を自己経営外に散布しづらいという事情が、酪農家の過剰施肥に対する意識を過敏にしているからであると考えられる。

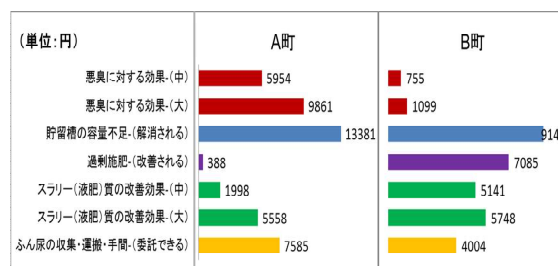


図-5-8 限界評価額の推定結果

## 5.2.7 まとめ

バイオガス化による広域的耕種一畜産農家連携による牛ふんの地域循環圏形成を推進するために、特に牛ふん集中型バイオガス化プラントの事業採算性が成り立つ要件について検討した。その結果、酪農家の負担のみならず、売エネルギー、液肥の販売や産廃受入による収入が不可欠ことを示した。さらに、集中型バイオガス化プラントに参加する酪農家のニーズとしては、「貯留槽の容量不足解消」「スラリー(液肥)質の改善」「ふん尿の収集・運搬・散布の手間の削減」に対して価値を示し、「貯留槽の容量不足解消」に対するニーズは特に高いことを示した。そして、A 町では「悪臭の低減」、B 町では「過剰施肥の改善」に対するニーズが高く、これは両地域の地域特性を反映していると考えられた。すなわち、牛ふんスラリーの適正処理と資源化のためのバイオガス化普及促進に向けては、地域によって異なる酪農家のニーズに応じて、かつエネルギー回収による経済的負担減を考慮した集中型バイオガスプラントの導入策を図る必要があることを示した。



#### 参考文献

- 1) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価－マテリアルフロー・LCA 評価プログラム－，技報堂出版，2005
- 2) 小谷克己，古市 徹，石井一英：最終処分場の機能向上と建設費の低減化に関する研究，廃棄物学会論文誌，Vol. 12, No. 4, pp. 153-162, 2001.
- 3) 矢萩 健太・古市 徹・石井 一英・翁 御棋：地域特性と事業採算性を考慮した集中型家畜糞尿バイオガス化施設のシステム化の検討、第 40 回環境システム研究論文発表会講演集，pp. 153-162, 2012.
- 4) 市川治：資源循環型酪農・畜産の展開条件，pp. 9 農林統計協会，2007.
- 5) 農文協編：畜産環境対策大事典，農村漁村文化協会，p. 8, 2004.
- 6) 北海道農政部：北海道施肥ガイド，pp. 202-224, 2002.
- 7) 土木学会：非集計行動モデルの理論と実際，pp. 51 土木学会 2007.

### 6.1 はじめに

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>1)</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、実際に評価が行われた事例はない。

福岡県三潁郡大木町では、平成23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、平成24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、本研究において大木町の紙おむつの分別・リサイクル事業を対象とした。なお、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は、著者らが既にライフサイクルアセスメント（LCA）を用いて評価を行っている<sup>2)</sup>。本研究では、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の分別・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、試行することを目的とする。

### 6.2 研究の概要

#### 6.2.1 評価対象の概要

福岡県三潁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、平成24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いことから、「紙おむつの分別・リサイクル」を評価対象とした。

#### 6.2.2 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つにコンコーダンス分析<sup>3)</sup>がある。コンコーダンス分析手法は、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。

コンコーダンス分析の特徴として、複数案の一対比較の結果から、コンコーダンス優先指標・ディスコー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、3節で説明する。ここで、コンコー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、ディスコーダンス優先指標は、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。

本調査では、コンコー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 紙おむつ分別・リサイクルの総合評価

### 6.3.1 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-6-1に示す。

任意の一对の代替案  $i$  と  $i'$  ( $i, i' = 1, 2 \cdots n: i \neq i'$ ) 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。

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

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

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。

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

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、その重みを加算することによって作成される。一方、ディスコダンス指標  $d_{ii'}$  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  $d_{imax}$  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  $(P_{ij} - P_{i'j})W_j/d_{imax}$  を計算し、その値が最大のものをディスコダンス指標とする。

以上のコンコダンス指標とディスコダンス指標を用いて、次式によってコンコダンス優先指標  $c_i$ 、ディスコダンス優先指標  $d_i$ 、総合指標  $e_i$  を計算する。

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

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

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

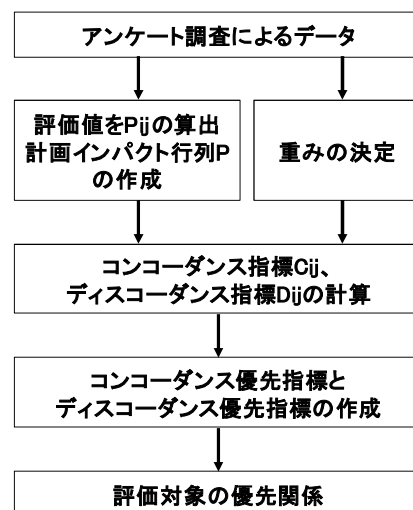


図-6-1 分析フロー

### 6.3.2 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-6-2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。

### 6.3.3 アンケートの調査概要

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

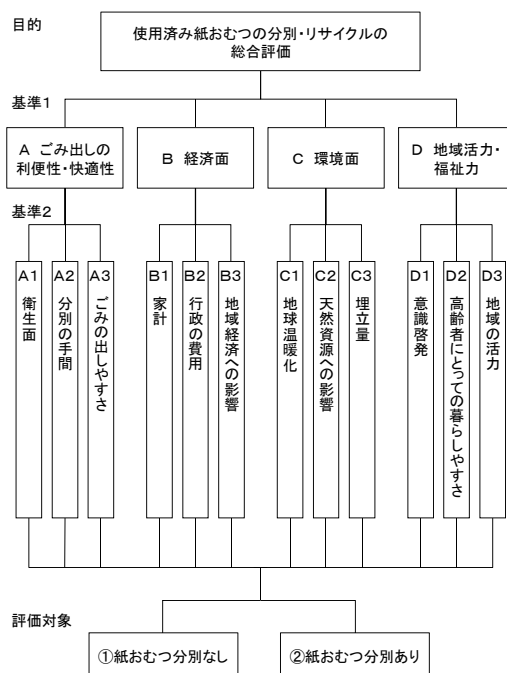


図-6-2 総合評価のフレーム

者にアンケート調査を実施した。調査内容は、図-6-2 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-6-1 に示す。

表-6-1 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<br>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 | 高齢者にとつての<br>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    |

#### 6.3.4 分析結果

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概要を表-6-2 に示す。

表-6-2 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         |
| 配布回収方法     | 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%） |

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イ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-6-3 a に、「紙おむつ分別なし」の算出した結果を図-6-3-b 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-6-4 a ～図-6-4 d 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。

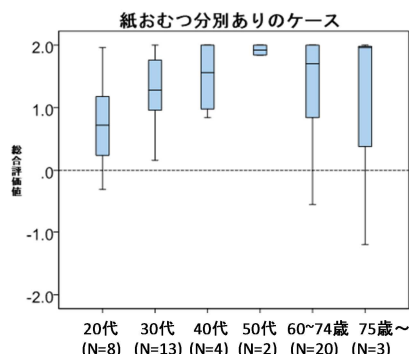


図-6-3 a 年代別の総合評価の分布 (分別あり)

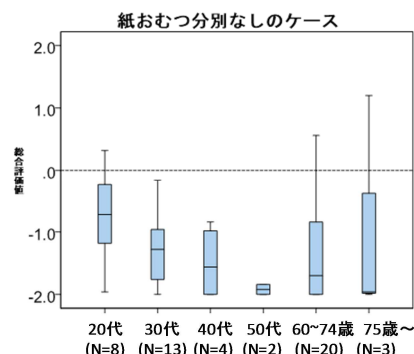


図-6-3 b 年代別の総合評価の分布 (分別なし)

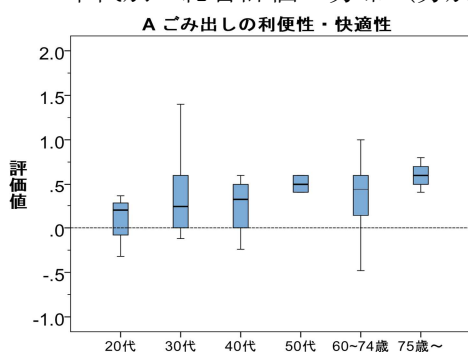


図-6-4 a 基準 1-A における評価値分布 (分別あり)

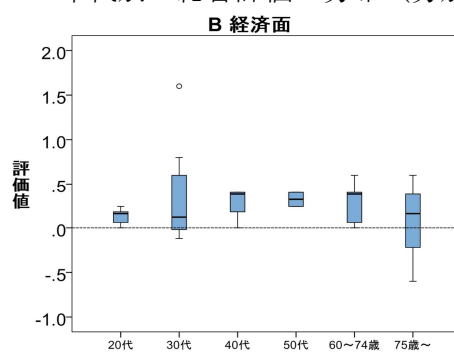


図-6-4 b 基準 1-B における評価値分布 (分別あり)

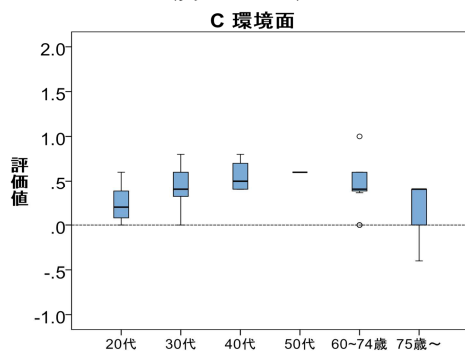


図-6-4 c 基準 1-C における評価値分布 (分別あり)

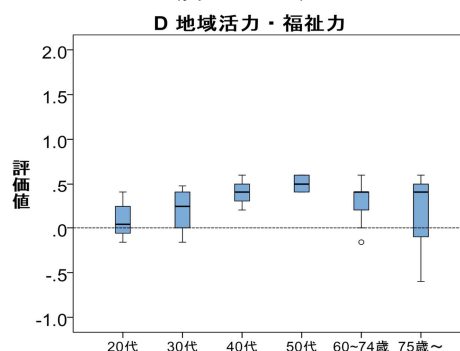


図-6-4 d 基準 1-D における評価値分布 (分別あり)

#### 6.4 まとめ

本研究では、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。この結果より、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となった。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。更に、「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していきたいと考えている。



参考文献

- 1) 環境省：地域循環圏形成推進ガイドライン、2012
- 2) 藤山淳史、櫻井利彦、松本亨、長武志：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、日本 LCA 学会誌、8(1)、pp. 37-44、2012
- 3) 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、勁草書房、pp. 28-56、1989

## 研究発表一覧

### 論文発表

- ・ 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
- ・ 藤山淳史, 松本亨: 循環圏形成の要因分析と最適パターン導出に関する研究, 第38回環境システム研究論文発表会講演集 pp.379-388, 2010
- ・ 寶 応瑛 1・松本 亨: 都市規模を考慮した食品廃棄物の再資源化システムのライフサイクルインベントリ分析, 第38回環境システム研究論文発表会講演集, pp.353-358, 2010
- ・ 藤田壮, 陳旭東, 鵜飼隆広, 新井理恵: 地域循環圏形成に向けての考察とシステム提案, 第38回環境システム研究論文発表会講演集, pp.145-148, 2010
- ・ 五島典英, 古市徹, 石井一英, 谷川昇: 動脈系・静脈系連携によるエネルギー循環のための廃棄物バイオガス化システムの提案ー石狩湾新港地域でのバイオガス直接利用システムの検討ー, 土木学会環境システム研究論文集, Vol. 38, pp.389-400, 2010
- ・ 谷川寛樹, 山末英嗣, 稲津亮, 前新将, 4D-GIS を用いた都市重量の変化と建設資材の TMR 指標によるリサイクル性に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.38, 413-419, 2010
- ・ 奥岡桂次郎, 大西暁生, 白川博章, 東修, 谷川寛樹, 井村秀文, 都市圏における人口配分と二酸化炭素排出構造の関係, 環境システム研究論文集, Vol.38, 277-288, 2010
- ・ D. T. Tu, O. Saito, Y. Yamamoto and A. Tokai (2010) Scenarios for Sustainable Biomass Use in the Mekong Delta, Vietnam, *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 1:137-148
- ・ 日本の里山・里海評価 (2010) 里山・里海の生態系と人間の福利: 日本の社会生態学的生産ランドスケープー 概要版ー, 国際連合大学, 東京
- ・ 齊藤修 (2010) リスクトレードオフ分析の概念枠組みと分析方法 1: リスクトレードオフ分析の概念枠組み, 日本リスク研究学会誌, 20(2): 97-106
- ・ 齊藤修 (2010) リスクトレードオフ分析の概念枠組みと分析方法 2: リスクトレードオフ分析の方法論, 日本リスク研究学会誌, 20(2): 107-114
- ・ 藤山淳史, 櫻井利彦, 松本亨, 長武志: 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, 日本 LCA 学会誌, Vol. 8, No. 1, pp37-44, 2012
- ・ Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen, Satoshi Ohnishi, Naohisa Yamaguchi; Smart recycling of organic solid wastes in an environmentally sustainable society, *Resources Conservation & Recycling*, accepted 0314, 2012
- ・ Xudong Chen, Tsuyoshi Fujita, Satoshi Ohnishi, Minoru Fujii, Yong Geng ; The Impact of Scale, Recycling Boundary, and Type of Waste on Symbiosis and Recycling: An Empirical Study of Japanese Eco-Towns, *Journal of Industrial Ecology*, Vol.16(1), pp.129-141, February, 2012
- ・ Satoshi Ohnishi, Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen, Minoru Fujii ; Econometric Analysis of the Performance of Recycling Projects in Japanese Eco-Towns, *Journal of Cleaner Production*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.027>, 2012
- ・ 有川美穂, 妙中佐由理, 谷川寛樹: 木造住宅の寿命変化による木材需給と炭素固定料への影響に関する研究 - 地理情報を用いた和歌山県域でのケーススタディー - : 土木学会論文集 G(環境) (環境システム研究論文集 第39巻) vol. 67, No. 6 , pp513-522, 2011.
- ・ Keijiro Okuoka, Akio Onishi, Hiroaki Shirakawa, Hiroki Tanikawa : The study on optimization of proper size of sound material cycle area-material stock intensity per person with virtual urban area model, Proceedings of the thirteenth international summer symposium, pp.313-316, 2011.
- ・ 齊藤修・橋本禅・高橋俊守: 東日本大震災による里山・里海の生態系サービスへの影響評価, ランドスケープ研究, 2012
- ・ 藤山淳史, 松本亨: 地域特性および品目特性を考慮した資源循環の最適空間規模導出モデルの提案, 土木学会論文集 G (環境), Vol.68, No.6, (環境システム研究論文集第40巻), II\_127-II\_138, 2012

- 竇応瑛, 松本亨: 集合住宅への生ごみ発酵分解装置導入による環境負荷削減効果の推計, 土木学会論文集 G (環境), Vol.68, No.6, (環境システム研究論文集第 40 巻), II\_237-II\_243, 2012
- 竇応瑛, 松本亨, 松尾康志: 生ごみ処理機の導入による環境負荷削減効果の感度分析, 環境共生, Vol.22, pp.64 - 73, 2013
- Ohnishi S., Fujita T., Chen X., Fujii M.: Econometric analysis of the performance of recycling projects in Japanese Eco-Towns. Journal of Cleaner Production, 33, 217-225, 2012
- Ma Z., Xue B., Geng Y., Ren W., Fujita T.: Co-benefits analysis on climate change and environmental effects of wind-power: A case study from Xinjiang, China. Renewable Energy, 57 (September), 35-42, 2013
- Huijuan Dong, Yong Geng, Fengming Xi, Fujita T.: Carbon footprint evaluation at industrial park level: A hybrid lifecycle assessment approach. Energy Policy, 2013
- Chin X., Fujita T., Hayashi Y., Kato H., Geng Y.: Determining optimal resource recycling boundary at regional level: A case study on Tokyo Metropolitan Area in Japan. European Journal of Operational Research, 2013
- 奥岡桂次郎, 三宅悠介, 大西暁生, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 東海三県における建設系廃棄物の地域循環圏に関する基礎的研究: 土木学会論文集 G(環境)(環境システム研究論文集 第 40 巻) vol.68, No.6, pp147-154, 2012.
- 土屋翔, 古市徹, 石井一英, 翁御棋, 金相烈: コンジョイント分析に基づいた牛ふんスラリーの適正処理と資源化のための酪農家のニーズ解析, 土木学会環境システム委員会第 41 回研究発表会全文審査部門論文 (投稿中)
- 竹内奈穂, 齊藤修: 森林バイオマス利用によるエネルギー自給ポテンシャルの推定—北海道下川町を事例として—, 土木学会論文集部門 G (環境), 環境システム研究論文集, (2013, 投稿中)

#### 学会発表

- 藤山淳史, 松本亨: 一般化費用を用いた産業廃棄物の広域移動の実態分析, 平成 22 年度廃棄物資源循環学会九州支部ポスター発表会, 2010
- 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要因分析, 社団法人環境科学会 2010 年会, pp31, 2010
- 藤山淳史, 松本亨, 瀬脇康弘: 容器包装を対象とした循環圏の実態と最適規模に関する研究, 第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 2010
- 藤田壮: エコタウンの達成とこれからの期待, 平成 22 年度全国エコタウン会議, 2011
- 藤田壮: 地域循環圏とその拠点形成の展望について, 循環型社会形成推進基本法制定 10 周年記念シンポジウム「循環型社会形成推進基本法の成果と展望」(主催: 環境省, 環境法政策学会), 2011
- Kazuei Ishii, Toru Furuichi, Norihide Goshima and Noboru Taniawa; Proposal of Waste Biomass Biogasification for an Energy Cycle by Partnership between Arterial and Venous Industries: Utilization System of Upgraded Biogas in Ishikari Bay New Port Area in Japan, Proceedings of The 6th Internatinal Conference on Biomass for Energy, CD-ROM, 2010
- Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Syo Watanabe, Development of an estimation method for the collectable bio-wastes as inputs of regional biogasification systems, Proceedings of Twenty-Fifth International Conference on Solid Waste Technology and Management, CD-ROM, 2011
- 奥岡桂次郎, 大西暁夫, 谷川寛樹, 白川博章, 井村秀文, 都市の人口分布による二酸化炭素排出構造の検討, 平成 22 年度土木学会中部支部研究発表会, pp.573-574, 2011
- 石原和弥, 前新将, 谷川寛樹, 深堀秀敏, MIPS 評価指標を用いた下水道ネットワークの評価に関する研究-北九州市を対象としたケーススタディ-, 平成 22 年度土木学会中部支部研究発表

会, pp.605-606, 2011

- 前新将, 谷川寛樹, 山末英嗣, 深堀秀敏, GIS に TMR 指標を重畳した建設ストックのリサイクル性評価に関する研究, 平成 22 年度土木学会中部支部研究発表会, pp.641-642, 2011
- 荒川祐至, 早川容平, 石峰, 谷川寛樹, 都道府県におけるインフラストックの形成と産業構造の変化の関連性についての分析, 平成 22 年度土木学会中部支部研究発表会, pp.649-650, 2011
- 山下睦, 石峰, 韓驥, 谷川寛樹, 建設ストックの充実とライフスタイルとの関係性に関する基礎的研究, 平成 22 年度土木学会中部支部研究発表会, pp.653-655, 2011
- 児森崇志, 奥岡桂次郎, 白川博章, 谷川寛樹, 環境と経済からみた最適都市規模に関する研究, 平成 22 年度土木学会中部支部研究発表会, pp.667-668, 2011.
- 前新将, 谷川寛樹, 山末英嗣, 井村秀文, TMR 指標を用いた建設副産物のリサイクル性評価に関する研究ー北九州市を対象としたマテリアルストック分析ー, 第 24 回環境研究発表会, 環境情報科学, vol.40-1, 2010
- 荒川祐至, 早川容平, 石峰, 谷川寛樹, 都道府県における道路ネットワークの形成と産業構造の変化の関連性についての分析, 第 24 回環境研究発表会, 環境情報科学, vol.40-1, 2011
- 都市地下部におけるマテリアルフロー・ストック推計に関する研究ー北九州市を対象としたケーススタディ, 石原和弥, 前新将, 谷川寛樹, 第 24 回環境研究発表会, 環境情報科学, vol.40-1
- 齊藤修 (2011) 里山の生態系サービスのインベントリ整備とダウンスケーリング, 第 58 回日本生態学会大会, 札幌, 2011 年 3 月 8-12 日, A1-08 (口頭発表)
- 齊藤修 (2010) 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, 365-372
- Osamu Saito (2010) Changes in the interlinkage between wood resources provision and the associated ecosystem services in satoyama, Japan, International Society of Industrial Ecology (ISIE), MFA-ConAccount Meeting, Tokyo, Nov.8-9, 2010
- 齊藤修 (2010) バイオマス利用と生態系サービスのマルチスケール相互連関分析, 環境科学会 2010 年会, 東京, 2010 年 9 月 16-17 日
- Atsushi Fujiyama, Toru Matsumoto: Theoretical Analysis for Deciding Scale of Preferable Material-cycle Blocks, 6<sup>th</sup> International Conference on Industrial Ecology Science, System and Sustainability, 2011
- 松本亨, 藤山淳史, 鶴田直: 北九州エコタウンを介した物質循環の変遷, 環境科学会 2011 年会, シンポジウム 4 「地域物質循環の評価と適正規模」, pp124-125, 2011
- 藤山淳史, 松本亨: 循環資源の品目特性と処理効率に基づいた最適循環圏に関する分析, 環境科学会 2011 年会, pp37, 2011
- 藤山淳史, 松本亨: 容器包装を対象とした循環圏の要因分析と最適規模に関する研究, 第 60 回高分子討論会, 2011
- 藤山淳史, 松本亨: 処理効率と収集範囲を考慮した最適循環圏導出モデルの検討, 第 39 回環境システム研究論文発表会, pp329-333, 2011
- Atsushi Fujiyama, Toru Matsumoto: Analysis of Preferable Spatial Scale of a Sound Material Cycle of Waste and Recyclable Waste, the 11<sup>th</sup> International Symposium on East Asia Resources Recycling Technology, pp80, 2011
- 藤山淳史, 松本亨: 循環資源の品目特性を考慮した地域循環圏評価モデルの構築, 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会, 296-297, 2012
- Xudong Chen, Tsuyoshi Fujita, Hayashi, Yoshitsugu Hayashi, Hirokazu Kato, ; Spatial Analysis of the Life Cycle of Recycling: Needs for and Optimization of Regional Recycling Networks, the 6<sup>th</sup> International Conference of the International Society for Industrial Ecology, Abstract Book-Oral Session, Berkeley, California, USA, June 9th, 2011
- Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen, Satoshi Ohnishi ; Cost Effective Recycling System Utilizing Unused Local Resources and Facilities, the 6<sup>th</sup> International Conference of the International Society for Industrial Ecology, Abstract Book-Oral Session, Berkeley, California, USA, June 10th, 2011
- Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen, Satoshi Ohnishi ; Planning System of Eco-industrial

Developments for Low Carbon Urban Districts, the 6th International Conference of the International Society for Industrial Ecology, Abstract Book-Poster Session, Berkeley, California, USA, June 10th, 2011

- Xudong Chen, Tsuyoshi Fujita, Yoshitsugu Hayashi, Hirokazu Kato, Minoru Fujii ; Exploring Determinants of Waste Recycling Boundary, 第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, pp.288-289, 0309,2012
- 藤井実, 藤田壮, 陳旭東, 大西悟 ; 外部要因の変化に対して頑強なりサイクルシステムの検討, 第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, pp.294-295, 0309,2012
- 有川美穂, 妙中佐由理, 谷川寛樹 : 木造住宅の寿命変化による木材需給と炭素固定料への影響に関する研究-地理情報を用いた和歌山県域でのケーススタディー -, 第39回環境システム研究論文発表会, 2011.
- 三宅悠介, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹 : 名古屋都市圏における建設系排出物の地域循環圏構築に関する基礎的研究, 第39回環境システム研究論文発表会, 2011.
- 有川美穂, 妙中佐由理, 谷川寛樹 : 人口林管理と木造住宅の木材利用による炭素固定効果の空間分析, 第25回環境研究発表会(第8回環境情報科学ポスターセッション), 2011.
- 三宅悠介, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹 : 名古屋都市圏における建設系排出物の地域循環圏構築に関する基礎的研究, 第25回環境研究発表会(第8回環境情報科学ポスターセッション), 2011.
- 奥岡桂次郎, 大西暁生, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹 : 名古屋都市圏における低物質社会へ向けた人口分布の検討, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, 2012.
- 有川美穂, 妙中佐由理, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹 : 木造住宅の寿命変化による木材需給と炭素固定料への影響に関する研究 - 地理情報を用いた和歌山県域でのケーススタディー -, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, 2012.
- 三宅悠介, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹 : 東海三県における建設廃棄物の地域循環圏構築に関する基礎的研究, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, 2012.
- 山下陸, 韓驥, 谷川寛樹 : 産業関連表を用いた時間投入原単位の推計に関する研究, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, 2012.
- 齊藤修・橋本禅・高橋俊守: 東日本大震災による里山・里海の生態系サービスへの影響評価と将来復興シナリオ, 土木学会第39回環境システム研究論文発表会講演集, pp.203-208, 2011.
- 齊藤修: IPBES のアセスメントの最新動向と社会・生態システム研究の挑戦, 第59回日本生態学会大会, 自由集会「IPBES と生態系サービス評価の国際動向」, W24, 2012年3月19日.
- 土屋翔, 古市徹, 石井一英, 金相烈: 排出実態調査に基づく牛ふん尿の適正管理方法の提案ー窒素土壌還元量推定と地下水汚染評価ー, 第39回環境システム研究論文発表会講演集, pp.321-328, 2011 藤山淳史, 松本亨: 廃棄物の流通実態にもとづく輸送・再資源化パラメータの推計, 環境科学会2012年会, 2012
- 藤山淳史, 松本亨: 望ましい地域循環圏検討に資する中間処理施設立地モデルの開発研究, 日本環境共生学会第15回学術大会, 2012
- 寶応瑛, 松本亨, 松尾康志: 生ゴミ処理機の導入による環境負荷削減効果の感度分析, 日本環境共生学会第15回学術大会, 2012
- Atsushi Fujiyama, Toru Matsumoto: Proposition and Application of Theoretical Model for Appropriate Sound Material-cycle Blocks Considering the Properties of Circulative Resources, The 7th Asian Pacific Landfill Symposium, 2012
- Yingying Dou, Toru Matsumoto: Environmental Evaluation of A Recycling System For Kitchen Waste From Restaurants and Hotels in An Urban Area, The 7th Asian Pacific Landfill Symposium, 2012
- 藤山淳史, 松本亨: 地域特性および品目特性を考慮した資源循環の最適空間規模導出モデルの提案, 第40回環境システム研究論文発表会, 2012
- 寶応瑛, 松本亨: 集合住宅への生ごみ発酵分解装置導入による環境負荷削減効果の推計, 第40



回環境システム研究論文発表会，2012

- Atsushi Fujiyama, Toru Matsumoto: Development of Theoretical Model for Appropriate Sound Material-cycle Blocks Considering the Properties of Recyclable Resources、Ecobalance2012、2012
- 松本亨，藤山淳史：資源循環の最適空間規模の導出と地域循環圏への含意，第34回全国都市清掃研究・事例発表会，2013
- 藤山淳史，松本亨：地域特性と品目特性を考慮した最適空間規模導出モデルとその適用，第8回日本LCA学会研究発表会，2013
- 竇応瑛，松本亨，松尾康志：廃プラ油化と生ごみ堆肥化を用いた外食産業の資源有効利用システムの環境負荷削減評価，第8回日本LCA学会研究発表会，2013
- 岩根早紀，藤山淳史，松本亨：紙おむつの配布・回収とマテリアルリサイクルを組み合わせた高齢者見守り事業の総合評価，第8回日本LCA学会研究発表会，2013
- 佐藤太平，松本亨，藤山淳史，吉村英俊，内田裕之：太陽光パネル廃棄量の将来推計と再資源化のための最適輸送計画，第8回日本LCA学会研究発表会，2013
- Dong Liang, 张辉, 藤田壮, 藤井実, 戸川卓哉, 大西悟, DONG Huijuan: Life Cycle Thinking for Industrial Symbiosis: Case Study in China's Iron/Steel Industrial Park Using SFA and Value Chain Analysis, 第8回日本LCA学会研究発表会，第8回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，300-301, 2012
- Fujii M., Fujita T., Ohnishi S., Dong L. (2012) Study on a Robust and Cost Effective Recycling System of Organic Municipal Solid Wastes. The Third ISIE Asia-Pacific Meeting, Abstracts
- Ohnishi S., Fujita T., Fujii M. (2012) Evaluation System for Regional Circulation Centered Around Energy Intensive Industry. The Third International Society of Industrial Ecology Asia-Pacific Meeting,
- 大西悟，藤田壮，藤井実，戸川卓哉，Dong Liang：地域循環による各主体のGHG アカウンティングへの影響分析，第8回日本LCA学会研究発表会，第8回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，262-263, 2013
- Togawa T., Fujita T. (2012) Estimation model of regional energy supply and demand management system, 2012 China-US Joint Symposium, Land Use, Ecosystem Services, and Sustainable Development, September 17-19, 2012, Shenyang, China.
- 戸川卓哉，藤田壮，谷口知史，藤井実，大西悟：地域特性を考慮したエネルギー需給マッチングの計画支援システム，第8回日本LCA学会研究発表会，第8回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，252-253, 2013
- Dong Liang, Fujita Tsuyoshi, Dai Ming. Urban energy conservation planning and CO2 mitigation: a case study in Chinese heavy industrial city using hybrid energy input-output model. ISIE-MFA 2012 "Socio-Economic Metabolism", Darmstadt University of Technology, Germany. September, 2012.
- Dong Liang, Fujita Tsuyoshi, Ohnishi Satoshi. Co-benefit Opportunity of Industrial Symbiosis in Iron and Steel Industry: Kawasaki's Experience and China's Practice. The Third ISIE Asia-Pacific Meeting, Tsinghua University, Beijing, China, October, 2012.
- Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Designing and evaluation of complex recycling system for high-efficiency organic wastes use, The 2012 China-US Joint Symposium, September 17-19, 2012, Shenyang, China
- 岡崎奈津子，有川美穂，韓驥，白川博章，谷川寛樹：各都道府県における木造住宅の寿命変化による炭素固定量の木材需供量のシナリオ分析，平成24年度土木学会関西支部年次学術講演会，2012.
- 高木溪太，平川隆之，谷川寛樹：物質ストックデータを用いた大規模地震における建築物被害量の推計，平成24年度土木学会関西支部年次学術講演会，2012.
- 奥岡桂次郎，谷川寛樹：都市圏の低物質・低炭素化に向けた人口規模とその分布の検討，環境科学会2012年会，2012.
- 田中健介，奥岡桂次郎，韓驥，谷川寛樹：マテリアルストック勘定の視点からの資源生産性評

価に対する検討, 環境科学会 2012 年会, 2012.

- ・ 奥岡桂次郎, 三宅悠介, 大西暁生, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 東海三県における建設系廃棄物の地域循環圏に関する基礎的研究, 第 40 回環境システム研究論文発表会, 2012.
- ・ 田中健介, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 都道府県における建築資材を対象とした投入量と供給量の整合性評価, 第 40 回環境システム研究論文発表会, 2012.
- ・ 鬼頭祐介, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 時間の投入構造に関する基礎的研究, 第 9 回環境情報科学ポスターセッション, 2012
- ・ 岡崎奈津子, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 地理情報を考慮した木造住宅寿命の変化による木材需供量と炭素固定量へのシナリオ分析, 第 9 回環境情報科学ポスターセッション, 2012
- ・ 鬼頭祐介, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 社会基盤整備と産業構造を考慮した地域間の時間投入に関する構造, 平成 24 年度土木学会中部支部, 2013
- ・ Kyaw Nyunt Maung, Cherry Myo Lwin, Kenji Sugimoto, Hiroki Tanikawa, David Fleming, Tom Measham, Heinz Schandl : Evaluation of land use change and its implications using GIS data: Case study in Queensland in Australia, 平成 24 年度土木学会中部支部, 2013
- ・ 田中健介, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: マテリアルストックの充実による地域の産業ごとの生産性変化に関する研究, 平成 24 年度土木学会中部支部, 2013
- ・ 岡崎奈津子, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 各都道府県における木材需供バランスと炭素固定量のシナリオ分析, 平成 24 年度土木学会中部支部, 2013
- ・ Kazuei Ishii, Toru Furuichi, Norihide Goshima and Noboru Taniawa ; Proposal of Waste Biomass Biogasification for an Energy Cycle by Partnership between Arterial and Venous Industries: Utilization System of Upgraded Biogas in Ishikari Bay New Port Area in Japan, Proceedings of The 6th Internatinal Conference on Biomass for Energy, CD-ROM, 2010
- ・ Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Syo Watanabe, Development of an estimation method for the collectable bio-wastes as inputs of regional biogasification systems, Proceedings of Twenty-Fifth International Conference on Solid Waste Technology and Management, CD-ROM, 2011
- ・ 矢萩健太, 古市徹, 石井一英, 翁御棋: 地域特性と事業採算性を考慮した集中型家畜糞尿バイオガス化施設のシステム化の検討, 第 40 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.153-162, 2012
- ・ 齊藤修: IPBES をふまえた野生生物管理の課題と社会対応, 第 60 回日本生態学会静岡大会, 自由集会「負の生態系サービス: 中山間地における野生動物被害の要因と社会経済的分析」, W10, 2013 年 3 月 5 日.

#### その他

- ・ 藤山淳史, 松本亨: 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, 第 2 回資源循環に関する研究交流会, 2011 年 2 月 25 日, 西南学院大学
- ・ 土木学会環境システム委員会 第 38 回環境システム研究論文発表会, 企画セッション「資源特性・地域特性から地域循環圏を考える」2010 年 10 月 23-24 日, 広島修道大学
- ・ 土木学会環境システム委員会 第 29 回環境システムシンポジウム ((社)日本環境アセスメント協会 平成 22 年度公開セミナー)「里山里海の生態系サービスを評価する」, 2010 年 12 月 13 日 13:30~16:30, 土木学会 講堂
- ・ 藤山淳史, 松本亨: 循環資源の品目特性と処理効率に基づいた最適循環圏に関する分析, 環境科学会 2011 年会, 最優秀発表賞 (富士電機賞), 2011.
- ・ 三宅悠介, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 名古屋都市圏における建設系排出物の地域循環圏構築に関する基礎的研究, 環境情報科学ポスターセッション 学生の部, 学術委員長賞受賞, 2011.
- ・ Osamu Saito and Hideaki Shibata: Satoyama-satoumi and ecosystem services: A conceptual framework (Chapter 2), pp.17-59. In Anantha Kumar Duraiappah, Koji Nakamura, Kazuhiko Takeuchi, Masataka Watanabe, Maiko Nishi (ed):

Satoyama-Satoumi Ecosystems and Human Well-Being: Socio-Ecological Production Landscapes of Japan, United Nations Press, 480pp, 2012.

- 齊藤修・柴田英明：里山・里海と生態系サービス—概念的枠組み（第Ⅰ編2章），pp.13-34. In 国際連合大学高等研究所日本の里山里海評価委員会（編）：里山・里海：自然の恵みと人々の暮らし，朝倉書店，201pp，2012
- 藤山淳史，松本亨：望ましい地域循環圏検討に資する中間処理施設立地モデルの開発研究、日本環境共生学会第15回学術大会，ポスター優秀発表賞，2012
- 高木溪太，平川隆之，谷川寛樹：物質ストックデータを用いた大規模地震における建築物被害量の推計，平成24年度土木学会関西支部年次学術講演会，第Ⅵ部門 優秀発表賞，2012.
- 奥岡桂次郎，三宅悠介，大西暁生，韓驥，白川博章，谷川寛樹：都市圏の低物質・低炭素化に向けた人口規模とその分布の検討，環境科学会2012年会，ポスドクおよび博士課程学生の部 優秀発表賞，2012
- 岡崎奈津子，奥岡桂次郎，韓驥，白川博章，谷川寛樹：地理情報を考慮した木造住宅寿命の変化による木材需供量と炭素固定量へのシナリオ分析，第9回環境情報科学ポスターセッション，ポスターセッション学生の部 理事長賞，2012
- 松本亨・藤山淳史：資源循環の最適空間規模の導出と地域循環圏への含意、第34回全国都市清掃研究・事例発表会、2013

知的所有権の取得状況

なし

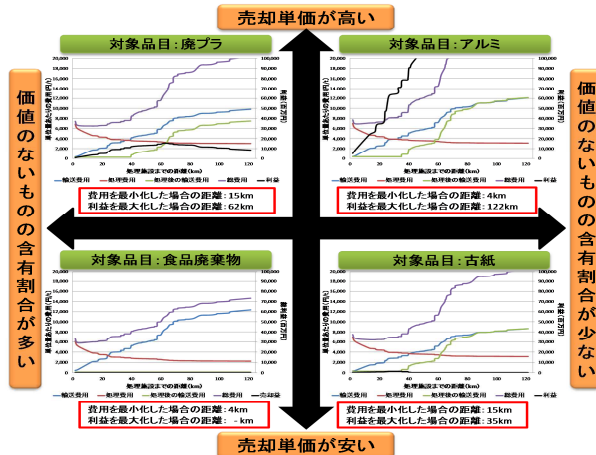
# 望ましい地域循環圏形成を支援する評価システムの構築とシナリオ分析

## 目的

- ・マクロデータを用いた要因分析と、地域と資源を特定したミクロ分析を実施することで、循環圏が形作られている決定要因の解明
- ・環境負荷、コスト、リサイクル性、生態系サービス、さらには循環の副次的効果を包含した評価手法を提示
- ・具体事例で有効性を検証、望ましい姿に接近させるための政策シナリオの検討

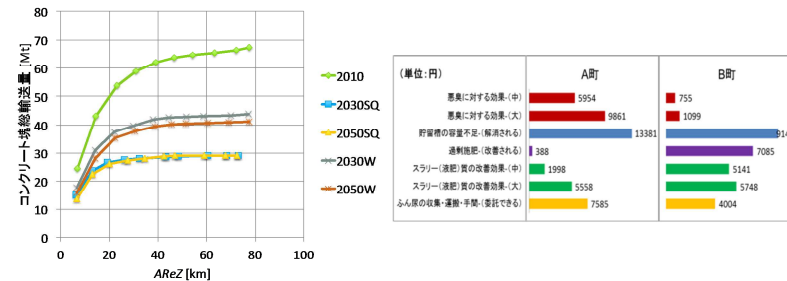
## 循環圏の最適空間規模導出モデルの提案

- ・廃棄物・循環資源の空間スケールが、発生密度、輸送効率、中間処理施設のスケールファクター、再生品の売却単価によって決まるものとし、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構築
- ・品目と地域(発生密度)が決まれば最適な循環スケールを算出できるようになった。これは、今後地域循環圏を議論する上での一次近似として、重要な意味を持つ



## 品目別に評価システムを構築→シナリオ分析

- ・有機系一般廃棄物(生ごみ、紙、プラスチック)、建設副産物・廃棄物、木質系バイオマス、畜産廃棄物(牛ふん)をそれぞれ対象とした、マルチスケールの循環圏評価システムを構築
- ・CO2排出量、コスト、生態系サービス、資源の需給バランス(リサイクル性)、TMR(関与物質総量)、資源循環の副次的効果(社会的側面)を指標として採用
- ・望ましい循環圏形成・拠点整備のあり方と、実現に向けた社会システムの課題を、上記の評価システムを用いてシナリオ分析



循環圏の規模(ARZ)と輸送されたコンクリート塊総量...20-40kmで循環量は飽和している

牛ふんスラリーの適正処理と資源化のための酪農家のニーズ解析: 限界評価額の推定結果

## 結論

- ・既存施設を活用することで、高効率・低コストで持続的(頑強)なりサイクル・処理システムの構築が可能
- ・資源循環の効率を考えた一体処理(①プラ、紙、生ごみ、②畜産廃棄物、生ごみ)についても有効
- ・廃コンクリート塊の今後50年間の循環圏の規模は20km~40km
- ・生態系サービスの調和を考慮した森林系木質バイオマス利用を促すための政策目標のシナリオ分析が、コミュニティレベルから全国レベルまでマルチスケールで可能なシステムを構築
- ・副次的効果(①バイオガス化プラントの悪臭防止、地下水汚染の緩和、窒素・リンの循環、②紙おむつリサイクルの高齢者見守りサービス)を適切に評価

## 英語概要

・ 研究課題名 = 「Development of Assessment Methodology for Preferable Sound Material-cycle Blocks and Scenario Analysis」

・ 研究代表者名及び所属（研究分担者も同様に記入すること）＝

■ 研究代表者

Toru Matsumoto, University of Kitakyushu

■ 研究分担者

Tsuyoshi Fujita, National Institute for Environmental Studies

Minoru Fujii, National Institute for Environmental Studies

Hiroki Tanikawa, Nagoya University

Osamu Saito, United Nations University

Kazuei Ishii, Hokkaido University

・ 要旨（200 語程度）＝

The second phase of the Basic Plan for Establishing a Recycling-Based Society introduced the concept of sound material cycle (SMC) blocks, by means of which a material cycle of optimal size is created in accordance with the characteristics of a region and the properties of recyclable resources. In this research project, the following results were obtained by quantitative analysis were adopted for this issues. (i) The theoretical model constructed with generation density, transportation efficiency and scale factor of intermediate waste processing as governing parameters. The causal linkage between governing parameter and SMC blocks was understood by sensitivity analysis. (ii) The logics to create sound material-cycle blocks were summarized through the discussion in a committee held by the Ministry of Environment. In addition, the introductory examination was done in order to develop a design guide for establishing cost-effective and robust recycling system. (iii) Accumulation of construction materials in urban area shown with multivariate analyses is estimated based on statistical data. The model of estimation of recycling concrete block is established. The results indicate that there will be overmuch concrete block output in core cities in urban area. It is shown that the small clusters with satellite cities and periphery cities. (iv) Necessary conditions on financial feasibility of cow manure biogas plant and scale of sound material-cycle blocks for cow manure were clarified by systems analysis of cow manure biogas plants. In addition, a comprehensive evaluation model for regional sound material-cycle of cow manure was developed. (v) Based on the assessment framework and future scenarios proposed by Japan Satoyama Satoumi Assessment (JSSA), this study developed a prototype model to quantify various ecosystem services provided from forests in Japan under four different future scenarios with potential policy measures up to the year of 2050.

・ キーワード（5 語以内）＝

sound material-cycle blocks, scenario analysis, material flow and stock, ecosystem service, regional material cycle