

Environment Research and Technology Development Fund

環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書

地域インベントリ解析による環境成長拠点の計画と評価モデルの開発
(2-1404)

平成26年度～平成28年度

Planning and Evaluation Model for Green Growth Centers
based on Spatial Inventory Analysis

国立研究開発法人国立環境研究所
名古屋大学

平成29年5月

環境省
総合環境政策局総務課環境研究技術室
環境保健部環境安全課環境リスク評価室
地球環境局総務課研究調査室

地域インベントリ解析による環境成長拠点の計画と評価モデルの開発

(2-1404)

I. 成果の概要	・ ・ ・ ・ ・	i
1. はじめに（研究背景等）		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発の方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた主な成果		
6. 研究成果の主な発表状況		
7. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
（1）地域の関係主体と協働する社会実装システムの開発 （国立研究開発法人国立環境研究所）	・ ・ ・ ・ ・	1
要旨	・ ・ ・ ・ ・	1
1. はじめに	・ ・ ・ ・ ・	1
2. 研究開発目的	・ ・ ・ ・ ・	2
3. 研究開発方法	・ ・ ・ ・ ・	2
4. 結果及び考察	・ ・ ・ ・ ・	4
5. 本研究により得られた成果	・ ・ ・ ・ ・	10
6. 国際共同研究等の状況	・ ・ ・ ・ ・	10
7. 研究成果の発表状況	・ ・ ・ ・ ・	11
8. 引用文献	・ ・ ・ ・ ・	15
（2）都市・地域のインベントリ解析モデルの開発 （国立研究開発法人研究所）	・ ・ ・ ・ ・	16
要旨	・ ・ ・ ・ ・	16
1. はじめに	・ ・ ・ ・ ・	16
2. 研究開発目的	・ ・ ・ ・ ・	17
3. 研究開発方法	・ ・ ・ ・ ・	17
4. 結果及び考察	・ ・ ・ ・ ・	20
5. 本研究により得られた成果	・ ・ ・ ・ ・	28
6. 国際共同研究等の状況	・ ・ ・ ・ ・	28
7. 研究成果の発表状況	・ ・ ・ ・ ・	28
8. 引用文献	・ ・ ・ ・ ・	30
（3）地域エネルギー・資源マネジメントのプロセスモデル （国立研究開発法人国立環境研究所）	・ ・ ・ ・ ・	31
要旨	・ ・ ・ ・ ・	31
1. はじめに	・ ・ ・ ・ ・	31
2. 研究開発目的	・ ・ ・ ・ ・	31
3. 研究開発方法	・ ・ ・ ・ ・	32
4. 結果及び考察	・ ・ ・ ・ ・	39
5. 本研究により得られた成果	・ ・ ・ ・ ・	50
6. 国際共同研究等の状況	・ ・ ・ ・ ・	50
7. 研究成果の発表状況	・ ・ ・ ・ ・	50
8. 引用文献	・ ・ ・ ・ ・	56

(4) フロー効率化を可能にする都市ストック更新システム (名古屋大学)	・ ・ ・ ・ ・ 57
要旨	・ ・ ・ ・ ・ 57
1. はじめに	・ ・ ・ ・ ・ 57
2. 研究開発目的	・ ・ ・ ・ ・ 58
3. 研究開発方法	・ ・ ・ ・ ・ 58
4. 結果及び考察	・ ・ ・ ・ ・ 61
5. 本研究により得られた成果	・ ・ ・ ・ ・ 68
6. 国際共同研究等の状況	・ ・ ・ ・ ・ 69
7. 研究成果の発表状況	・ ・ ・ ・ ・ 69
8. 引用文献	・ ・ ・ ・ ・ 72
(5) 地域における環境経済価値のための統合評価モデルの開発 (国立研究開発法人国立環境研究所)	・ ・ ・ ・ ・ 73
要旨	・ ・ ・ ・ ・ 73
1. はじめに	・ ・ ・ ・ ・ 73
2. 研究開発目的	・ ・ ・ ・ ・ 74
3. 研究開発方法	・ ・ ・ ・ ・ 74
4. 結果及び考察	・ ・ ・ ・ ・ 80
5. 本研究により得られた成果	・ ・ ・ ・ ・ 86
6. 国際共同研究等の状況	・ ・ ・ ・ ・ 87
7. 研究成果の発表状況	・ ・ ・ ・ ・ 87
8. 引用文献	・ ・ ・ ・ ・ 89
III. 英文Abstract	・ ・ ・ ・ ・ 90

課題名 2-1404 地域インベントリ解析による環境成長拠点の計画と評価モデルの開発

課題代表者名 藤田 壮 (国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター
研究センター長)

研究実施期間 平成26～28年度

累計予算額 162,041千円 (うち平成28年度: 49,487千円)
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 空間アセスメント、地域エネルギー、福島環境創生、人口分布、
統合評価モデル、将来シナリオ、環境成長拠点

研究体制

- (1) 地域の関係主体と協働する社会実装システムの開発 (国立研究開発法人国立環境研究所)
- (2) 都市・地域のインベントリ解析モデルの開発 (国立研究開発法人国立環境研究所)
- (3) 地域エネルギー・資源マネジメントのプロセスモデル (国立研究開発法人国立環境研究所)
- (4) フロー効率化を可能にする都市ストック更新システム (国立大学法人名古屋大学)
- (5) 地域における環境経済価値のための統合評価モデルの開発 (国立研究開発法人国立環境研究所)

研究概要

1. はじめに (研究背景等)

本研究では、地域環境特性を活かす環境成長プロセスを計画してその効果を算定するため、空間情報を活用する地域インベントリ分析モデルと、統合評価モデルを組み合わせるマルチスケールの評価モデルを開発する。実際の環境都市の政策に反映するためには地域の条件を定量的に解析する「地域インベントリ解析モデル」とともに、地域特性に応じて都市の環境価値、社会価値を創造する技術と政策を組み合わせる都市の環境成長の拠点地区計画のための「環境成長拠点のプロセスモデル」を、資源循環を基調にする産業モデルと地域のエネルギーモデル等の組み合わせで構築する。地域の環境資源を活用して製品とエネルギー、交通のフローを最適化する都市ストックの更新システムを構築することで、環境成長拠点の長期的、広域的な効果を算定するプロセスを構築する。そのうえで、短期的な経済価値と長期的な環境価値を統合的に評価する地域統合解析モデルを構築する。環境都市の将来ターゲットを同定し、そこに至る環境施策、都市施策の組み合わせとロードマップを定量的に明らかにする環境都市の評価モデルとそれを社会実装するプロセスを学術的に開発してきた。さらにその手法の有用性、論理性を検証するために福島県、および新地町との連携を進めてそれぞれ野復興計画、事業計画への研究情報出力を通じて社会実装研究のプロセスを開発するとともに具体的な地域環境事業の推進に貢献することを目指した。

2. 研究開発目的

サブテーマ2で都市・地域インベントリ (地域環境たな卸し) 解析モデルを開発し、サブテーマ3で地域産業と都市との連携により地域エネルギーの供給と需要を連動して適正運用する「地域エネルギー・資源マネジメントのプロセスモデル」を開発することによって、地域の環境資本の支持基盤を同定するモデルを構築する。さらにサブテーマ4で地域の資源、エネルギーと交通のフローを最適化する「都市ストック更新モデル」を構築し、サブテーマ5で、これらのプロセスモデル群から導かれる環境都市の将来シナリオの評価を政策につなげる「地域における環境経済価値のための統合評価モデル」による指標算定プロセスを開発したうえで、さらに地域の関係主体と協働するサブテーマ1で社会実装システムの開発を推進する。

3. 研究開発の方法

(1) 地域の関係主体と協働する社会実装システムの開発

地域データベースと解析モデルを用いた将来ターゲットとロードマップを環境都市の計画で活用することを目的として、地域の関係主体と協働する社会実装システムを開発する。地域ICTネットワークの構築等を進めることで、地域の主体との相互理解を進め、住民、企業、行政間での意思決定を支援

する枠組みを構築する。

第一に、将来ターゲットを実現する探索的シナリオの検討プロセスを開発する。各サブテーマにおける検討成果を社会に実装していくためには、各アウトプットの空間的・時間的な相互関係を整理・統合するとともに、地域主体にとって受け入れ可能な形式で提示する。第二に地域ICTネットワークの利用を促進する。多様化、複合化する事業や地域のニーズを収集することのできる双方型のICTネットワークを構築する。第三に地域住民の双方向調査を実施する基礎自治体内における旧村レベルの地域差が、当該地域住民の環境評価及びソーシャル・キャピタルの形成等に及ぼす影響を、アンケート調査に基づいた多変量解析によって明らかにし、地域環境施策や事業の実施に対する要因の影響構造を定量的に示す。

（２）都市・地域のインベントリ解析モデルの開発

メッシュ人口の将来推計とシナリオ構築を核として、運輸部門と民生部門に関するCO2排出量等の推計とシナリオ分析を可能とする。具体的には、生活圏別の人口分布の変化分析とシナリオ構築および平成22年の市区町村別自動車CO2排出量推計の改良、建物データを用いた民生部門CO2等の推計から構成される。これまでの研究成果を踏まえて進める。まず、地域の人口コーホートおよび複数のシナリオにもとづく将来的な人口分布および移動に関する推計データを整備する。さらに、平成22年度道路交通センサス自動車起終点調査のオーナーインタビュー調査データに基づき、使用の本拠地ベースで平日休日別・車種別に走行量を積算し、年間の平日／休日日数およびCO2排出係数を乗じることにより推計した市区町村別CO2年間排出量を改良する。また建物単位の詳細データを活用し、民生エネルギー消費量と空家率の地域内分布を求める手法を開発する。

（３）地域エネルギー・資源マネジメントのプロセスモデル

産業地区や住宅・商業地区等におけるエネルギー・資源の高効率受給システムを計画し、評価できるモデル群を構築することが、本サブテーマの目的である。その際、エネルギーの供給、利用技術の現在および将来の動向も踏まえて、適切なシステムを選定することが必要である。技術を選定する際に重要な視点となるのが、エネルギーの質である。無駄な放熱のように、エネルギーの量的な損失を削減する必要性に加えて、エネルギーの質的な損失にも配慮する必要がある。社会においてエクセルギー効率を高める観点から、再生可能資源であるバイオマスや、循環資源である廃棄物（燃料代替になるもの）の産業における大規模高効率利用、温度帯の高い熱需要のある、産業におけるコジェネレーションや熱のカスケード利用の実施、産業の最終的な廃熱の都市での活用、都市内での効率的なエネルギー需給等について、その概略を示したものである。これらの基本方針に従い、産業間の連携及び産業と都市との連携、都市のエネルギーマネジメント、森林資源の活用を対象に、拠点となる地区の設計・評価の研究を進める。

（４）フロー効率化を可能にする都市ストック更新

都市・地域における資源・エネルギー効率向上や環境負荷削減を図り、入出力フローをなるべく小さくしていくには、資材ストックやエネルギーを有効活用し循環利用できる仕組みの整備が必要である。そのために、様々な技術を導入し組み合わせ、空間的にどのように配置していくことが最適かを分析する方法が必要である。そこで、都市・地域の資源・エネルギーおよび環境負荷のストックとフローを時系列的に推計でき、経年的なインベントリとして提示できることはもとより、空間構造の変化によるストック・フローへの影響をも表現できるモデルシステムを構築する。その上で、モデルシステムを用いて資源・エネルギー効率を高めることができる空間構造を提示する。同時に、そこに移行していくために必要な建設ストックの更新・整備ロードマップを見いだせるようにする。

（５）地域における環境経済価値のための統合評価モデルの開発

地域スケールを対象として環境と経済の関係を明らかにし、環境経済価値を評価するための統合評価モデルの開発を目的としている。具体的には、以下の3つのモデルで構成されている。

- ① 都道府県や国とも連携して、市町村や街区スケールを対象に、エネルギー需給や再生可能エネルギー供給をはじめとした地域システムに焦点を当てたエネルギーシステムモデル
- ② 市町村スケールにおける人口、経済、交通、土地利用、農林業、エネルギーのマクロ的な将来像を整合的、定量的に描写する地域スナップショットモデル
- ③ 都道府県ないしは地方を対象に、国との連携も踏まえた施策の検討や分析を整合的に行うための応用一般均衡モデル

これらの3つのモデルを用いて、福島県浜通り地域あるいは福島県新地町を対象に、震災からの復興と環境経済価値を高めるための将来シナリオの検討を行う。

4. 結果及び考察

(1) 地域の関係主体と協働する社会実装システムの開発

本プロジェクトの重点検討地区である福島県新地町における、探索的シナリオの検討状況について示す。まず、環境経済価値の側面から、将来ターゲットを実現するために必要となる施策実施量等を検討する。現在、進行している新地駅周辺市街地整備事業を核として、各時期に実施可能と考えられる施策を検討した。産業振興シナリオからさらに人口を増加し、2050年までに人口が9000人を超えるシナリオを作成する。新地町の進める「スマート・ハイブリッド・ネットワーク」構想により地域がスマートグリッド化され、地域エネルギー関連産業の立地が進むと想定した。また地域の利便性の向上により定住が促進され、域内雇用率が高まる。発電所を含む工場間で熱を高度利用する産業共生によりさらに製造業の立地が進むとし、このシナリオを環境産業共生シナリオを構築した。さらに、福島県と新地町を対象として、地域ICTネットワークシステムの実装を推進している。現在、50世帯に対して、タブレット端末および電力モニタリングのための計測装置を配備しており、地域のエネルギー需要データ等の実態情報を収集して、地域ICTシステムを基盤として開発した地域アプリケーションを開発して、タブレット端末を用いて各家庭のエネルギーの利用状況を「見える化」することで、節電を促すシステムを開発した。さらに、地域意識を被説明変数、地域環境に対する満足度及びソーシャル・キャピタルを説明変数として地区毎に重回帰分析を行った結果、新地地区において有意な関係が確認された($R^2=0.774$)。具体的には、町の復興状況に対する評価に対して、「津波や洪水などへの安全性」「地元での就業機会」「河川や海辺などの水辺環境」の満足度が正の影響を持つ一方で、「年間の観光来訪者数」「生涯学習・生涯スポーツの数」「公共交通の運行頻度」の満足度が負の影響を持つことが明らかとなり、同地区における復興環境施策ではこれら要因に留意することで住民の施策満足度が向上する可能性が示された。

さらに、各サブテーマのモデルの解析等の情報を活用して、福島県、新地町及び関係する企業の中で環境省グリーンプラン・パートナーシップ事業のFS調査の申請と採択、経済産業省のスマートコミュニティ事業のFS事業の申請と採択を達成することができた。「地産地消型エネルギー利用を核とした、復興まちづくり実現可能性調査事業」では新地駅周辺における再生可能エネルギーやLNG等を活用した地域エネルギーマネジメント事業の事業性評価・検証（公共施設・民間施設へのエネルギー供給／エネルギーセンター構築運営など両事業を連携して、復興拠点開発事業の中核事業となる地域エネルギー会社の連携に向けて、ICT企業、エネルギー企業と連携する事業検討体制の主導的な役割をはたすことができた。

(2) 都市・地域のインベントリ解析モデルの開発

1980（昭和55）年から2010（平成22）年の国勢調査3次メッシュ人口データに対し、全国207生活圈データを関連付けて生活圈における人口分布の集約・分散の度合いを表す「人口分布ジニ係数」を算出するとともに、メッシュ人口規模別の性別5歳階級別人口変化率を算出した。

また、メッシュ人口規模を9ランクに分け、全国207生活圈別のメッシュ人口規模ランク別の人口構成や人口変化率の比較分析を行った。生活圈の性質によって構成するランクの範囲が異なること、すなわち、大都市圏都市部の生活圈では人口規模が大きいメッシュから構成される一方、地方圏郊外部の生活圈では、人口規模の小さいメッシュから構成されることを確認した。また、一定規模のシェアを持つランクでは5年間の人口変化率が3～5%前後に収まること、両端のランクの変化率は必ずしも大きくないことを明らかにして、この結果を踏まえて、政策的なマネジメントを行った場合のシナリオを構築する手法を開発した。その上で市区町村別自動車CO2排出量推計の改良を行った。中核市を除いては、都市規模が大きいほど排出量が小さい傾向が見られる。中核市は、小規模自治体を含む広域合併が行われた場合があるため、小規模自治体の特徴が強く影響したものと考えられる。

さらに、建物単位の属性を持つ全国建物ポイントデータを活用することで、全国3次メッシュ別の建て方別建物数および住宅戸数や、建て方別・用途別の床面積を求めた。この際に、戸数や床面積の都道府県別の集計値が、住宅・土地統計調査や固定資産概要書等の統計値と合致するように、類型の対応付けを行い、床面積の補正を行った。政令指定都市を対象とした電力消費量の推計と統計値との比較を行ったところ、補正済み建物床面積を用いて市町村域内の電力消費量を按分で求める手法は、電力供給範囲と行政界が異なる際の推計にも有効と考えられた。

全国建物ポイントデータの住宅戸数と国勢調査の3次メッシュ別あるいは基本単位区別の人口およ

び世帯数とを比較して、住宅戸数に対する居住世帯数および空家数・空家率を求めた。また、住宅戸数が将来変わらないと仮定して、将来世帯数と比較して、将来の空家率を求めた。市区町村内で傾向が一樣でなく、海岸沿いの空家率が増え、鉄道沿いの空家率が相対的に低くなる傾向が示された。このために、建物ポイントデータと住宅・土地建物調査の建て方別住宅戸数の対応付けを行ったところ、建物ポイントデータが住宅戸数の約95%をカバーしており、住宅地図に名称不明や戸数不明の建物が多い地域・地区については、空家の把握にこれらの統計調査を活用できる可能性が伺われた。さらに、市町村の人口変化率、調査区別の年齢階層別人口、基本単位区別人口、都道府県別年齢五歳階級別世帯主率を用いて、現況および将来の基本単位区別の世帯数を求めた。集合住宅では、住棟ごとの世帯数を推計することができ、これと住宅戸数を比較することで、住棟ごとの空家率を推計することができる。千葉県内の旧市街地を対象としたまちあるき地図と、団地を例に住棟ごとに現況と将来の空家率を示す地図を作成し、将来のまちづくりを考えるワークショップに提供し、資料として活用した。

（３）地域エネルギー・資源マネジメントのプロセスモデル

「地域エネルギー・資源マネジメントのプロセスモデル」では、低炭素な環境成長拠点を志向して、バイオマス・廃棄物等の高効率活用、産業共生、都市のエネルギーシステムのプロセスモデルを構築し、望ましいシステムを提示するとともにその環境や経済面からのポテンシャルを評価した。本研究成果に基づき、新地町による環境省グリーンプラン・パートナーシップ補助事業及び経産省スマートコミュニティ導入促進事業への申請を支援し、採択に至るなど、政策や社会実装支援に繋がる成果を得た。具体的には、産業集積地域（相馬中核工業団地をケーススタディとして採り上げる）において、地域資源として、火力発電所の蒸気、廃棄物焼却施設からの熱エネルギー、液化天然ガスの冷熱等が期待できる。熱需要の温度帯が高い産業地域においては、ヒートポンプの適用が難しいため、熱供給を低炭素化する方法として、個々のプロセスのエネルギーの量的ロスの削減に加えて、再生可能エネルギーや廃棄物のエネルギーを活用することと、コジェネレーションやカスケード利用により、エクセルギー効率を高める熱エネルギーをネットワーク化して、周辺施設に熱供給することの効果を算定した。また、分散型エネルギーシステムの計画プロセスをモデル化するとともに、福島県奥会津地域の温浴施設を対象としたケーススタディを通じて、木質バイオマス資源を活用したエネルギー供給システムの実現可能性を環境・経済・社会の側面から検討した。

・計画プロセスモデルは混合整数計画の枠組みの下で技術・制度・地域条件および規範に基づいた、分散型エネルギーシステムの設計と運転計画を導出可能である。また、導入効果を環境・経済・社会の側面から定量的に評価できる。

本研究で開発した計画プロセスモデルを奥会津地域の平均的な温浴施設のエネルギーシステムの計画問題に適用した。その結果、コスト最小化を目指す場合はオール電化が、CO₂最小化を目指す場合はバイオマスボイラーが、支援制度が利用可能な場合はBCHPシステムが選択された。ただし、支援制度の実施は社会的な負担も大きく、現行の制度下においては、BCHPシステムの普及や地域資源の利用は促進されるものの、社会的なコストがその便益を上回る可能性があることが示唆された。また、バイオマス利用ライフサイクルから評価した場合、標準シナリオでは、森林炭素蓄積も建築材蓄積も平衡状態に達するため炭素吸収の効果は低い。エネルギー利用した場合（オフセット）の代替効果が大きい。一方建築材で利用した場合（ストック）、加工時の排出量が大きく標準シナリオと同じかそれより低くなる傾向は昨年と同じであった。廃材をエネルギー利用（カスケード）した場合の効果は、ストックシナリオの状況を若干改善するに留まることを明らかにした。

（４）フロー効率化を可能にする都市ストック更新

本研究で想定した人口シナリオは、将来の集約型都市構造を実現するためのシナリオでコントロールされており、都心・近郊地区では人口増加、郊外地区では人口減少が想定されている。

将来人口や延床面積の増減に伴う床面積によりマテリアルストックの変化が生じるが、床需要が増加する場合には地区のストックは逡増する。例えば、都心地区では2050年までに2010年の約45%増となり、40年間で地区内の建物の8割が更新される結果となっている。特に地区の建築物が高層化することによってRC造の増加が見込まれ、コンクリートだけで400千トンの増加が予想される。集約中層化により周囲の建物をまとめて更新するため、期間内にすべての建物が更新され、高層化に比較してよりストック量が増加傾向にある。新築建築物のすべてにおいて3層部分を木造とした場合、延床面積は4割以上増加するのに対して蓄積されるストックは約17%増にとどまり、コンクリート投入量の減少に起因して大幅な重量削減に繋がることが示された。したがって、一部改装の木質化などの実施によりコン

クリート等の資材投入量が減少するとともに、大幅な木材使用量の増加が期待できる。一方で、近郊地区、郊外地区、ニュータウン地区では人口が減少する期間までは建物除去による廃棄ストックが投入ストックより大きくなるが、それ以降は廃棄ストックが多くなると推計された。近郊地区では建物除去により蓄積ストック量は29%減少するが、郊外地区とニュータウン地区では人口が減少している一方で空き家が増加するためにストックが留まり続け、床面積が減少するものの蓄積ストック量が増加する結果が得られた。

エネルギー消費量は都心地区では建物性能の向上により、単位面積あたりのエネルギー量はやや低減している。これは建物の大型化や一部の混在によりエネルギー消費効率が向上したためと考えられる。それ以外の地区では、人口減少に伴いエネルギー消費量は減少傾向にあるが、世帯人員の減少や、ニュータウン地区のように集合住宅から広い戸建住宅への移転によって1人あたりの床面積が増加することによって、1人あたり消費量は増加する。すなわち、建物の大型化や一部の混在によりエネルギー消費効率が向上するが、建物更新により1人あたりの床面積が増加することで、その効果が相殺されている可能性がある。

推計結果のうち特に、高蔵寺ニュータウンを対象に、システムを用いてエネルギー・CO₂の将来動向について分析を行った結果を示す。対象地区は、1968年から入居開始した中部地区最大のニュータウンである。近年、人口減少と高齢化が進み、集合住宅を中心に老朽化や空家率の上昇といったオールドニュータウン化が問題となっている。ニュータウン全体での空家率は9.2%と全国平均よりも低い、集合住宅では16.9%と高い水準となっている。また、高蔵寺ニュータウンは土地区画整理事業により計画的に開発されたが、ニュータウンの周辺地域には都市計画区域外の土地もあり、人口密度が低く、インフラや土地利用が非効率なスプロールした地区が広がっている。以上のように、一体的に開発された大規模住宅団地において生じる問題に、他地域に比べ先行的にかつ顕著に直面しており、研究により得られた知見は、他の住宅団地に有用な示唆を与えることが期待できる。

また、今後全国で進展する人口減少・超高齢化に対応するために必要となる、都市域縮退やインフラ・建築物更新に合わせたエネルギー技術の導入と都市構造変更策の導入に伴う資源・エネルギー消費やCO₂排出量の長期変化の推計が可能となった。これによって、都市域縮退とともに低炭素化を進めるための施策ロードマップを検討することに活用できる可能性が生まれた。さらに、東日本大震災後の復興におけるコンクリート投入を取り上げ、フライアッシュセメント導入による投入量削減効果を推定し、その大きさを把握することができた。

(5) 地域における環境経済価値のための統合評価モデルの開発

エネルギーシステムモデルによる分析では、市町村を対象としたエネルギーバランス表など、対象地域の統計情報、技術情報等を整備、推計した。また、エネルギーシステムモデルの一部を構成する多地域電源計画モデルを用いて、将来の火力発電所排熱ポテンシャルを全国レベルで推計するとともに、こうした情報も踏まえて、地域特性を考慮した技術選択型のモデル開発を行った。こうしたモデルをもとに、福島県新地町における2050年のCO₂排出量を80%削減する場合の最終エネルギー消費の変化について分析し、地域熱供給や太陽光発電の導入により2050年のCO₂排出量を80%削減しうることを明らかにした。また、多地域電源計画モデルによる将来の火力発電所排熱ポテンシャル推計では、全国を60地域に分割し、2050年までの最適電源立地、電源構成を推計するモデルを用いて分析を行った。CO₂排出削減ケース（CO₂排出量を80%削減するケースに相当）では、2050年の火力発電所の設備容量は縮小するとともに、その立地が大都市部近傍に集中する結果となった。こうした結果から、火発排熱を用いた産業共生の計画時には、長期の立地計画も検討することが必要となることを示唆している。

地域スナップショットモデルの開発では、モデルを新地町に適用するための情報収集を行うとともに、モデル開発、予備的な試算を行い、復興事業、産業立地、定住促進、省エネ等の課題に対応した4つのシナリオの検討を行った。なりゆきでは、過疎等の影響で人口減少が続くのに対して、計画されているLNG基地の活用とそれを活用した産業振興、さらには環境産業共生を目指して活動する場合の経済活動への波及について検討した。LNG立地により町内総生産は一時的に増加するが、適切に産業振興を行わない限り生産や人口は縮減する可能性があり、そうしたことを防ぐ対策としての環境産業共生の有効性を示した。開発した地域スナップショットモデルを用いて、福島県内59市町村を対象とした将来シナリオの推計を行った。推計期間を2010年から2050年までとし、なりゆきおよび人口維持の2シナリオを推計した。いずれのシナリオにおいても全体的に減少傾向にあるが、減少率には市町村ごとに大きな差異があることが分かる。地域スナップショットモデルは産業と人口の相互効果を推計しており、高齢化が比較的進んでおり経済基盤の弱い地域では自然減、社会減の双方が大きく、このよう

に大きな差が推計されるものと考えられる。

応用一般均衡モデルによる分析としては、福島県を6つの地域に分割し、93部門91財からなるモデルを開発し、なりゆきシナリオ、CO2対策シナリオの検討を行った。前提とする将来人口は、国立社会保障・人口問題研究所の福島県を対象とした予測（平成25年3月推計）に対して、平成20年12月推計の市町村別人口予測をもとに想定している。なりゆきケースにおいても福島県のCO2排出量は2005年から2040年にかけて27%削減される。対策ケースでは、福島県の県内総生産はなりゆきケースと比較して2020年に0.24%、2040年に6.6%減少する結果となった。本モデルでは、革新的な技術の導入を前提とした構造ではなく、また、家計における消費構造も現状をもとにしているために、2040年の経済影響が比較的大きくなるという結果となった。

5. 本研究により得られた主な成果

（1）科学的意義

これまで空間特性を解析する現状の技術適性分析や、空間特性を単純化したマクロな将来解析が個別に行われてきたが、本研究手法群を組み合わせることにより、将来政策に基づく具体的な地域拠点事業の計画を可能にする方法論を構築して、福島県新地町での社会実装を通じてその有用性が明らかになった。

市区町村別自動車CO2排出量の平成22年度の推計値を改良、建物ポイントデータの用途別建て方別床面積を固定資産概要書等により補正し、市町村別やメッシュ別や建物別の民生エネルギー消費量およびCO2排出量の推計を可能とした。また、建物ポイントデータの建て方別住宅戸数を住宅・土地統計調査等と対応付け、メッシュ別や小地域別の空家率の現況と将来推計値を推計可能とした。

さらに、技術・制度・地域条件や規範に基づいて最適な地域エネルギーシステムを特定し、環境・経済・社会への各側面へ与える影響を評価するためのフレームワークを開発することで、CO2削減に向けた対策メニューに地域エネルギーを位置づけるための基礎情報を提供することが可能となった。

くわえて、地方自治体の温室効果ガス排出削減に関する計画は、国の想定をもとにしたものがほとんどであったが、本サブテーマにおけるモデルを用いることで、国で想定されている技術等を活用しつつ、地域における環境資源を活用した独自の計画を立案することが可能となった。また、電力需要の予測など、ミクロな予測手法を適用することで、今後大幅な温室効果ガス排出量の削減が求められる民生・家庭部門に対して、きめ細かい対策の提示が可能となり、実効性のある施策の提示が、科学的根拠をもってできるようになった。

（2）環境政策への貢献

地域の将来シナリオの作成したうえで地域の拠点について空間特性を生かす事業計画とその効果を算定する方法論を開発して、環境省温暖化対策地方実行計画のマニュアル等への貢献を想定している。特に、東日本大震災から五年以上が経過し、復興や環境回復の取り組みが進められている。一方で震災前の姿を取り戻すだけではなく、高齢化や人口減少などの地域が抱える課題に取り組み、気候変動への対応や資源循環の実現による新しい成長のモデルを復興から発信することの期待も大きくなっている。福島県の温暖化対策地域実行計画の見直し、内閣官房環境モデル都市の支援等で活用することができた。各府省の復興事業の支援を超えて復興を地方創生、成長戦略などにつなげる取り組みが進められてきた中で、福島県の浜通りの北端、宮城との県境に位置する新地町で、エネルギーとまちづくりが一体化した未来型の取り組みを支援することでして環境省のグリーンプラン・パートナーシップ事業のFS計画の採択につなげることができた。また、地球温暖化対策地方公共団体実行計画に関する市区町村別自動車CO2排出量の更新業務に関して、技術的な助言を行った。

人口減少下の建物利用状況を推計して、空家発生の確率的状況および住棟ごとに現況と将来の空家率を図示する方法を確立し、千葉県下の自治体2市において、将来のまちづくりを考えるワークショップに提供し、ビジョン策定の資料として活用した。

福島県新地町における総合計画において、地域スナップショットモデルに入力する人口データ等を新地町の担当者と連携して検討するとともに、その結果は総合計画の審議過程において利用された。

また、本研究の枠組を活用して、環境省「東京都市圏における環境対策のモデル分析」が行われ、東京五輪を契機として東京都市圏（東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県）において地域エネルギー対策、資源循環対策、建築・建設ストック対策を同時並行的に実施することにより、東京都市圏を低炭素化するための対策を分析した。

福島県での復興を通じて、地域のインベントリと将来シナリオの定量的な解析に基づく地域エネルギー等の拠点事業の具体的計画の策定を支援する科学的な手法を開発したことにより、今後内閣官房

環境モデル都市や国土交通省低炭素まちづくり、環境省の温暖化対策地方実行計画の策定支援に活用することを予定している。国際的な研究活動としてのFutureEarthでの社会実装研究の具体例として紹介するとともに、日独環境大臣協定の下での、ドイツと福島都市間連携を支援することを予定している。将来の技術動向も踏まえて、産業や都市における効率的な地域エネルギー利用の対策の立案、評価が可能な検討の枠組み及び評価モデル群を作成した。これらの成果を活用して、地域エネルギー政策の方向性の提示や、スナップショットモデルは、福島県新地町のみならず福島県内のその他の自治体にも適用されており、今後、新地町と同様に総合計画等への活用が見込まれている。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文 34編>

- 1) 大西悟、藤田壮、Dong Liang、藤井実：環境共生，Vol.25, pp.33-44(23) (2014)
「都市と産業の共生に向けた研究のこれまでの流れと今後の展開」
- 2) 松橋啓介、米澤健一、有賀敏典：都市計画論文集，49(3)，891-896 (2014)
「地域別乗用車起因 CO2 排出量の 2010 年版の推計と考察」
- 3) 戸川卓哉、藤田壮、藤井実、大西悟、平野勇二郎、大場真：土木学会論文集 G (環境)，Vol.70, No.6, (環境システム研究論文集第 42 巻)，pp.Ⅱ_33-Ⅱ_43 (2014)
「都市・地域の空間特性を考慮した資源循環・エネルギー施策の計画支援システム」
- 4) Togawa T., Fujita T., Dong L., Fujii M., Ooba M.: Journal of Cleaner Production, Volume 81, pp. 60-69, (2014)
"Feasibility Assessment of Power Plant Source Waste Heat to Plant Factory Considering Spatial Configuration"
- 5) 石河正寛、松橋啓介、金森有子：都市計画論文集，50(3)，838-843(2015)
「世帯規模別建て方別世帯数の都道府県別将来推計とエネルギー消費に及ぼす影響」
- 6) Yujiro Hirano, Tsuyoshi Fujita : Available online 23 June 2015,doi:10.1016/j.enbuild.2015.06.033 (2015)
"Simulating the CO2 reduction caused by decreasing the air conditioning load in an urban area. Energy and Buildings"
- 7) 戸川卓哉、藤田壮、芦名秀一、藤井実、Dong L.(Liang Dong)：土木学会論文集 G(環境)，71(6)，(環境システム論文集，43)，Ⅱ_139-Ⅱ_149 (2015)
「地域特性に応じた分散型エネルギーシステムの設計支援フレームワーク」
- 8) 木下卓大、奥岡桂次郎、谷川寛樹：土木学会論文集 G(環境)，71 (6)，Ⅱ_133-Ⅱ_138 (2015)
「福島県北部沿岸地域におけるフライアッシュのクリンカー代替利用に関する地域循環圏の検討」
- 9) Shiraki H., Ashina S., Kameyama Y., Hashimoto S., Fujita T: Journal of Cleaner Production, 1-14 (2015)
"Analysis of optimal locations for power stations and their impact on industrial symbiosis planning under transition toward low-carbon power sector in Japan"
- 10) Huijuan Dong, Tsuyoshi Fujita, Yong Geng, Liang Dong, Satoshi Ohnishi, Lu Sun, Yi Dou, Minoru Fujii : Ecological Indicators, 60, 1184-1191 (2016)
"A review on eco-city evaluation methods and highlights for integration "
- 11) Yong Geng, Tsuyoshi Fujita, Hung-suck Park, Anthony S.F. Chiu, Donald Huisinigh : Journal of Cleaner Production, 114, 1-10 (2016)
"Recent progress on innovative eco-industrial development"
- 12) Zhe Liu, Yong Geng, Hung-Suck Park, Huijuan Dong, Liang Dong, Tsuyoshi Fujita :Journal of Cleaner Production, 114, 132-140 (2016)
"An emergy-based hybrid method for assessing industrial symbiosis of an industrial park"
- 13) Ariga T., Matsushashi K.: Urban and Regional Planning Review, 3, 109-122, (2016)
"Urban Structure and the Number of Seniors with Poor Access to Transit: Spatial Analysis of the Greater Tokyo Region"
- 14) 石河正寛、松橋啓介、有賀敏典、金森有子、栗島英明：都市計画論文集，51(3)，833-838 (2016)
「空家の地域内分布に関する現況および将来推計―世帯数と住宅数の差分に着目して」

- 15) 石河正寛、松橋啓介、有賀敏典：土木学会論文集 G, 72(6), II_87-II_94 (2016)
「建物ポイントデータの床面積補正を通じた民生部門エネルギー消費量の推計」
- 16) Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Liang Dong, Chengpeng Lu, Yong Geng, Shishir Kumar Behera, Hung-Suck Park, Anthony Shun Fung Chiu :Journal of Cleaner Production, 114, 376-386 (2016)
“Possibility of developing low-carbon industries through urban symbiosis in Asian cities”
- 17) Takuya Togawa, Tsuyoshi Fujita, Liang Dong, Satoshi Ohnishi, Minoru Fujii : Journal of Cleaner Production, 114, 224-232 (2016)
“Integrating GIS databases and ICT applications for the design of energy circulation systems”
- 18) Y. DOU, T. TOGAWA, L. DONG, M. FUJII, S. OHNISHI, H. TANIKAWA, T. FUJITA: Resources, Conservation and Recycling (2016)
“Innovative planning and evaluation system for district heating using waste heat considering spatial configuration: a case in Fukushima, Japan”(in press)
- 19) M.OOBA, K.HAYASHI and M.FUJII: Journal of Cleaner Production, 130, 35-44 (2016)
“Geospatial Distribution of Ecosystem Services and Biomass Energy Potential in Eastern Japan“
- 20) Ohnishi S., Fujii M., Ohata M., Inaba R., Fujita T.: Resources, Conservation and Recycling, (2016)
“Efficient energy recovery through a combination of waste-to-energy systems for a low-carbon city“ (in press)
- 21) Kim, H.W., Ohnishi S., Fujii M. , Fujita T., and H.S. Park.: Journal of Industrial Ecology, (2016)
“Evaluation and allocation of greenhouse gas (GHG) reductions in industrial symbiosis using GHG protocol and life cycle approaches“ (in press)
- 22) HirotoShiraki, Shuichi Ashina, Yasuko Kameyama, Seiji Hashimoto, Tsuyoshi Fujita : Journal of Cleaner Production, 114, 81-94 (2016)
“Analysis of optimal locations for power stations and their impact on industrial symbiosis planning under transition toward low-carbon power sector in Japan”
- 23) ShirakiH.,Nakamura S.,Ashina S.,Honjo K.: Energy, 114, 478-491 (2016)
“Estimating the hourly electricity profile of Japanese households-Coupling of engineering and statistical methods“
- 24) Ohnishi S., Dong H., Geng Y., Fujii M., Fujita T.: Journal of Ecological Indicators, 73, 513–524 (2017)
“A comprehensive evaluation on industrial & urban symbiosis by combining MFA, carbon footprint and emergy methods—Case of Kawasaki, Japan“

<査読付論文に準ずる成果発表 101編>

(2)主な口頭発表(学会等)

- 1) L.Dong, T.Fujita, M.Fujii, S.Ohnishi, T.Togawa and H.Dong: EcoBalance 2014: The 11th International Conference on EcoBalance, Tsukuba, Japan (2014)
"Life-cycle co-benefit of industrial and regional symbiosis: Environmental input-output analysis on typical resource dependent city in China"
- 2) T.Fujita : International Conference on Eco-Industrial Development, Shanghai China, (1029, 2014)
"Innovative monitoring and modelling approach for eco-city renovation and management"
- 3) 藤田 壮：東北復興シンポジウム～復興まちづくりと環境未来都市～，第4回環境未来都市構想推進国際フォーラム，主催：内閣官房・内閣府・「環境未来都市」構想推進協議会，東松島（2014年12月15日）
- 4) T.Fujita : ISAP(International Forum for Sustainable Asia and the Pacific) 2014, 第6回持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム，International Climate Regime in 2020 and Initiatives in Asia: Mitigation Actions and a Measuring, Reporting and Verification (MRV) System, IGES/NIES Collaborative Session, Yokohama,Japan, (0723,2014)
"International Collaborative Research for Innovative Modelling and Monitoring for Low Carbon Society and Eco-Cities in Indonesia"
- 5) T.Togawa, T.Fujita, M.Fujii, Y.Hirano, S.Ohnishi and L.Dong: The Joint 11th International

Society For Industrial Ecology Socio-Economic Metabolism Section Conference and The 4th ISIE Asia-Pacific Conference, Melbourne, Australia (2014)

"Development of integrated GIS database and its application to energy-material circulation system design"

- 6) H.Shiraki, S.Ashina: Grand Renewable Energy 2014 (2014)
"Assessment of Large Scale Penetration of Variable Renewables in Japan Considering Suppression of Power Fluctuation"
- 7) Tsuyoshi Fujita, Minoru Fujii, Shuichi Ashina, Kei Gomi: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Innovative Modelling and Monitoring Research Initiative for Eco-cities and Regions "
- 8) Dong L., Fujita T., Fujii M., Ohnishi S.: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Towards regional low-carbon eco-industrial development: Modeling integrating material and energy circulation in an industrial and urban symbiosis"
- 9) Huijuan Dong, Yong Geng, Tsuyoshi Fujita: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Three accounts for regional carbon emissions from both fossil energy consumption and industrial process"
- 10) Ohnishi S., Dong H., Fujita T., Dong L., Fujii M.: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Evaluation methodology comparison on industrial and urban symbiosis in Kawasaki Eco Town, Japan"
- 11) Fujii M., Fujita T., Ohnishi S., Dong L., Togawa T., Dong H.: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Smart eco-industrial city supported by apparent energy upgrade and innovative monitoring"
- 12) Togawa T., Fujita T., Dong L., Fujii M., Oba M., Ohnishi S., Dou Y.: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"An integrated framework for regional energy symbiotic design by locational suitability analysis of technologies: de-carbonization planning system for Fukushima revitalization"
- 13) Remi Chandran, Tsuyoshi Fujita, Minoru Fujii, Shuichi Ashina, Kei Gomi: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Bridging Monitoring Reporting Verification (MRV) with the Concepts of Social Monitoring and Participatory approaches. "
- 14) M. Ooba, F. Fujita, M. Fujii: 10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia, 28 September, (2015)
"Evaluation of carbon footprint of woody biomass production by the "upstream to downstream" model"
- 15) M. Ooba, T. Fujita, M. Fujii, T. Togawa: Global Cleaner Production and Sustainable Consumption Conference, Sitges, Barcelona, Spain, Nov. 1-4, (2015)
"Assessment of woody biomass life cycle by an ecological footprint-like index"
- 16) Minoru Fujii, Dong Liang, Tsuyoshi Fujita, Takuya Togawa, Makoto Ooba: Global Cleaner Production and Sustainable Consumption Conference, Sitges, Barcelona, Spain, Nov. 1-4, (2015)
"Upgrade use of wastes,biomass and waste heat in industries "
- 17) Fujita T., Fujii M., Ashina S., Gomi K.: the 8th Conference of the International Society for Industrial Ecology, Guildford, UK (2015)
"Innovative Modelling and Monitoring Research Initiative for Eco-cities and Regions"
- 18) 藤田 壮 : EcoLeaD プレミアムサマースクール 2016, 東京 (2016) <招待講演>

「持続可能な社会への転換を実現するスマート地域システム」

- 19) Tsuyoshi Fujita: 35th Annual Meeting Low Carbon Asia Research Network (LoCARNet), Bandung, Oct. (2016) <招待講演>
“Regional Low Carbon Innovation through Hybrid Approach with Monitoring and Modelling”
- 20) 藤田 壮：第 2 回小国町環境にいいことフォーラム，熊本 (2016) <招待講演>
「小国の恵みを活かす環境モデルまちづくりへの期待」
- 21) 藤田 壮：環境情報科学センター創設 45 周年記念シンポジウム，東京 (2016) <招待講演>
「気候変動時代の社会・環境研究に向けて」
- 22) Ooba M., Fujii M., Togawa T.: 11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Lisbon, Sep. (2016)
“Regional-scale assessment about reduction of carbon emission considering harvested wood products”
- 23) Dou Y., Togawa T., Fujii M., Ohnishi S., Okuoka K., Tanikawa H., Fujita T.: The 12th Biennial International Conference on EcoBalance, Kyoto, Oct. (2016)
“Regional Planning and Evaluation System for Industrial and Urban Symbiosis considering Land Use Changes”
- 24) Gomi K.: 22nd Annual International Sustainable Development Research Society Conference, Lisbon, Portugal (2016)
“Long-term population dynamics after evacuation from nuclear accident and tsunami disaster considering willingness to return of the residents”
- 25) 五味馨、藤田 壮、芦名秀一、平野勇二郎、大場真、奥岡桂次郎、文屋慎太郎、越智雄輝：第 33 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，エネルギー・資源学会，東京 (2017)
「地域特性と将来の社会構造変化を考慮した CO2 排出抑制技術評価手法の開発」
- 26) 藤野純一，グエン・タイ・ホア，越智雄輝，藤原和也：第 33 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，エネルギー・資源学会，東京 (2017)
「パリ協定と途上国自治体における低炭素シナリオ開発」

7. 研究者略歴

課題代表者：藤田 壮

東京大学工学部卒業、米国ペンシルバニア大学大学院修士課程修了、博士（工学）
現在（国研）国立環境研究所 社会環境システム研究センター 研究センター長

研究分担者

- 1) 松橋 啓介
東京大学大学院工学研究科 修士課程修了、博士（工学）
現在（国研）国立環境研究所 社会環境システム研究センター 環境政策研究室室長
- 2) 藤井 実
東京大学大学院工学系研究科 単位取得退学、博士（工学）
現在（国研）国立環境研究所 社会環境システム研究センター 環境社会イノベーション研究室室長
- 3) 加藤 博和
名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士（工学）
現在、国立大学法人名古屋大学 環境学研究科 教授
- 4) 増井 利彦
大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士（工学）
現在（国研）国立環境研究所 社会環境システム研究センター 統合環境経済研究室室長

2-1404 地域インベントリ解析による環境成長拠点の計画と評価モデルの開発

(1) 地域の関係主体と協働する社会実装システムの開発

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター 研究センター長 藤田 壮

社会環境システム研究センター 環境社会イノベーション研究室 藤野 純一

〈研究協力者〉

国立研究開発法人国立環境研究所

福島支部 地域環境創生研究室

中村 省吾

平成26～28年度累計予算額：162,041千円（うち平成28年度：49,487千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究により提示する将来シナリオを社会実装するために、地域の主体の理解を進め、住民、企業、行政間での意思決定を支援する枠組みを構築した。具体的に福島県新地町との連携研究を通じて、地域ICTシステムを活用して地域の実態情報を収集するとともに、主体間の相互コミュニケーションを促進することで、環境意識を高めるメカニズムについて検討を実施した。福島県新地町ではスマートエネルギーシステムの機能を含む「くらしアシストタブレット」を自治体、企業とともに開発し、利用世帯のエネルギー消費や二酸化炭素排出の見える化とともにこれまで統計データでしかわからなかった福島県のエネルギー特性の解析を進めた。この「地域エネルギーアシスト機能」とともに、復興に向けての地域の暮らしに役立つ情報をリアルタイムで双方向に「生活情報アシスト機能」等を提供することで、環境にも配慮した地域コミュニティの支援研究を進めた。

また、自治体の総合計画や拠点計画の事業化を科学的なモデルシステムにより支援していくための指針を構築した。具体的に関係者の議論から課題を抽出、モデル・シナリオを改良し、分析結果を総合計画へフィードバック自治体が掲げる人口維持目標に必要な各分野の施策の目標水準を分析し、結果を提供した。環境成長をとりこむ事業計画について、2016年度に復旧予定のJR新地駅周辺の地域開発事業について、地域エネルギー事業の設計を支援して、実施設計に向けて、グリーンプラン・パートナーシップ事業（環境省）、スマートコミュニティ導入促進事業（経済産業省）への提案、採択に至った。地域エネルギーシステムの本運用開始にむけ民間企業、福島県および/新地町との連携体制の構築を支援した。

[キーワード]

空間アセスメント、地域エネルギー、統合モデル、社会実装、福島環境創生

1. はじめに

地域の多様な問題に対応し、地域の活力を高めるまちづくりの実現するため、自治体および企

業担当者との定期的な会合を設けて、インベントリ解析結果、エネルギー・循環のプロセスモデルの算定、都市更新の効果算定、統合評価モデルによる将来シナリオの研究出力を適宜、出力して自治体の政策と事業計画の推進に反映した。

2. 研究開発目的

福島県・新地町を対象として、地域ICTネットワークシステムの実装を推進している。現在、50世帯に対して、タブレット端末および電力モニタリングのための計測装置を配備しており、地域のエネルギー需要データ等の実態情報を収集している。このシステムをインフラとして活用することで環境に関連する様々な実証事業を展開している。例えば、各家庭のエネルギーの利用状況をタブレット端末上に「見える化」することで節電を促すことや、双方向通信機能を活用しキャンペーン形式による節電実験やそれと連動した報奨付与等のインセンティブモデルの導入効果に関する実証的な検証を進める。

タブレットの操作方法等について、定期的にワークショップを開催しており、それは、住民・行政・企業の間において、地域環境やエネルギーに関する話題を中心としたコミュニケーションが促進されるチャンネルの一つとして機能していると考えられる。今後は、このような意識変容やコミュニケーション形成効果を活用しつつ、自治体の総合計画や拠点計画等に関する情報共有・相互理解を促進し、それらの計画を地域参画型でデザインしていくシステムを実践的に検証する。

これらの手法をパッケージ化することで、自治体等に対して、産官学が連携して地域参画型の低炭素まちづくりを支援するためのフレームワークを提供する。

3. 研究開発方法

地域データベースと解析モデルを用いた将来ターゲットとロードマップを環境都市の計画で活用することを目的として、地域の関係主体と協働する社会実装システムを開発する。地域ICTネットワークの構築等を進めることで、地域の主体との相互理解を進め、住民、企業、行政間での意思決定を支援する枠組みを構築する。

（1）将来ターゲットを実現する探索的シナリオ

各サブテーマにおける検討成果を社会に実装していくためには、各アウトプットの空間的・時間的な相互関係を整理・統合するとともに、地域主体にとって受け入れ可能な形式で提示することが重要となる。ここでは、地域将来ターゲットの検討より導出される、各時点における目標と現実のギャップを解消するための施策複合化方法について探索的に検討し、シナリオを構成する方法について検討する。

（2）地域 ICT ネットワークの活用

多様化、複合化する事業や地域のニーズを収集することのできる双方型の ICT ネットワークを構築する。需要と供給のミスマッチの解消が重要となる地域のエネルギー制御の基本ネットワークとして活用するとともに、高齢化支援や新しい復興環境での健康情報などを自治体や、地域主体と市民、町民が共有できる機能を提供する。具体的には、主要施設・住宅・公共施設等にタブ

レット端末を整備してスマートメーターと連動するとともに、エネルギー、健康・福祉及び交通等の地域経済にかかわる情報をネットワーク化し、役所等に設置する地域環境ナレッジハブサーバーと連結することで双方向情報ネットワーク基盤を構築することを目指している。この基盤を活用し、エネルギー・福祉、経済活動支援等に関連する複合的なサービス情報を共有することで、住民、役所、NPO、企業間の情報の「絆」の強化を深める。また、開発段階から関係者との連携によるコンテンツづくりを志向し、利用頻度をあげ、相互に発展できるプロセスをデザインしている。

地域の多様な問題に対応し、地域の活力を高めるまちづくりの実現するため、自治体および企業担当者との定期的な会合を設けて、インベントリ解析結果、エネルギー・循環のプロセスモデルの算定、都市更新の効果算定、統合評価モデルによる将来シナリオの研究出力を適宜、出力して自治体の政策と事業計画の推進に反映した。福島県新地町ではスマートエネルギーシステムの機能を含む「くらしアシストタブレット」を自治体、企業とともに強化して、タブレットとの住民コミュニケーションを通じて世帯のエネルギー消費や二酸化炭素排出の見える化とともに自治体精度でのエネルギー特性の解析を進めた。自治体との協議の中でこのタブレットへの展開する地域生活支援情報の協議を進めて、新たな地域情報インフラネットワークとして活用する検討を進めた。さらに、これらのシステムを地域エネルギー消費特性の解析を地域エネルギー事業の基本設計にも活用した。

（３）地域住民アンケートの実施

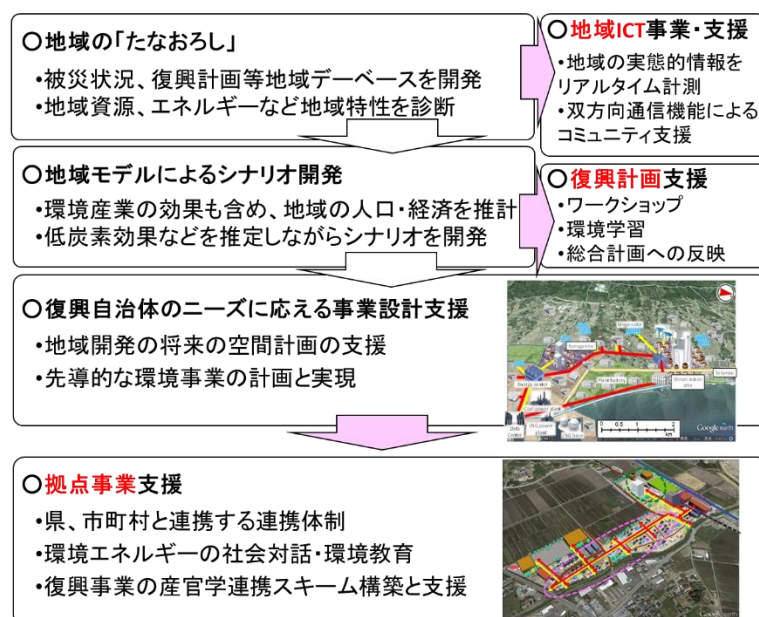
基礎自治体内における旧村レベルの地域差が、当該地域住民の環境評価及びソーシャル・キャピタルの形成等に及ぼす影響を、アンケート調査に基づいた多変量解析によって明らかにし、地域環境施策や事業の実施に対する要因の影響構造を定量的に示す。

地域の多様な問題に対応し、地域の活力を高めるまちづくりの実現するための、専門家と地域の自治体、企業、住民の情報ネットワークを形成する社会実装研究を引き続き推進した。福島県新地町ではスマートエネルギーシステムの機能を含む「くらしアシストタブレット」を自治体、企業とともに開発し、このタブレットを通じて利用世帯のエネルギー消費や二酸化炭素排出の見える化とともにこれまで統計データでしかわからなかった福島県のエネルギー特性の解析を進めた。この「地域エネルギーアシスト機能」とともに、復興に向けての地域の暮らしに役立つ情報をリアルタイムで双方向に「生活情報アシスト機能」を提供することで、環境にも配慮した地域コミュニティの支援研究を進めた。また、双方向型の市民・企業コミュニケーションシステムについて、地域情報システムの開発改良を継続的に実施し、モニター75世帯を対象に社会モニタリングを実現して、参加型の省エネ行動促進実験により、世帯ごとの省エネ行動の定量評価をおこなった。

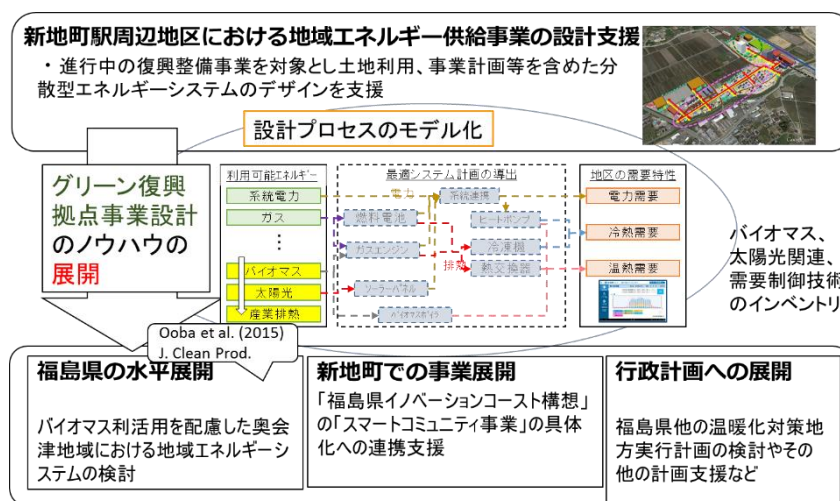
（４）環境成長の地域拠点事業の計画の支援

さらに、環境成長をとりこむまちづくりを福島県新地町担当者との連携で進めた。関係者間の議論から課題を抽出、モデル・シナリオを改良し、分析結果を総合計画へフィードバック自治体が掲げる人口維持目標に必要な各分野の施策の目標水準を分析し、結果を提供してきた。さらに、環境成長をとりこむ事業計画について、2016年度に復旧予定のJR新地駅周辺の地域開発事業につ

いて、地域エネルギー事業の設計を支援して、実施設計に向けて、グリーンプラン・パートナーシップ事業（環境省）、スマートコミュニティ導入促進事業（経済産業省）へ提案を支援した。



図(1)-1 社会実装支援の手法の体系



図(1)-2 社会実装支援の手法の体系

4. 結果及び考察

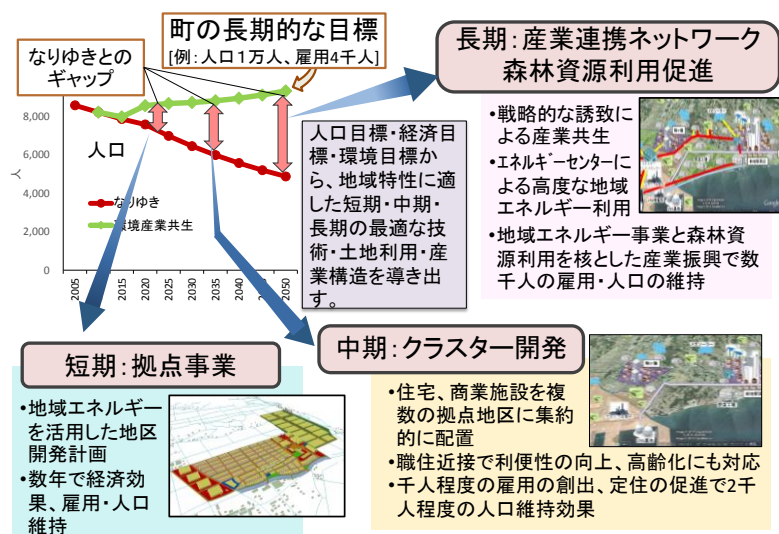
(1) 将来ターゲットを実現する探索的シナリオ

本プロジェクトの重点検討地区である福島県新地町における、探索的シナリオの検討状況について示す。まず、環境経済価値の側面から、将来ターゲットを実現するために必要となる施策実施量等を検討する。現在、進行している新地町周辺市街地整備事業を核として、各時期に実施可

能と考えられる施策を検討した。新地町において追加的に 3 つのシナリオを構築した。新地町では LNG 基地の建設が行われているが、事業者（（株）石油資源開発）の報道発表資料によれば 2018

年には稼働する予定である。そこでなりゆきシナリオに対し、建設に伴う建設業付加価値の増加、稼働後の電気・ガス・水道・熱供給業の付加価値とそれによる当該産業の雇用の増加を反映した LNG 立地シナリオを構築した。まず建設段階においては上記報道発表資料によると建設投資が 600 億円であることから、これを新地町での建設業の 3 年間分の粗生産額増加分と仮定、建設業の付加価値率は 2010 年の全国産業連関表によると約 50%であることから、なりゆきシナリオに対し、2015 年における建設業の付加価値を 100 億円増加させた。また LNG 基地稼働後の同産業の就業者数増加について、同社に対するヒアリングより約 100 人との回答を得たのでこれを利用する。また付加価値額について、2010 年国勢調査及び産業連関表から就業者一人当たりの付加価値額を算出しこれを就業者数に乘じると約 100 億円となったことから、稼働後(2020 年以降)は同産業の付加価値額を 100 億円増加させた。さらに LNG 立地に関連してコジェネレーションを行い隣接する相馬工業団地に供給するといった産業の立地、それに伴う工場立地(ないし撤退の回避)などが起きると想定し、2020 年以降年約 0.2%で製造業の付加価値を増加させた。ただしこれらの数値には根拠はなく、仮に LNG 基地以外の産業が全く立地しない場合も合わせて検討する。残る二つのシナリオでは、目標としての人口水準を定め、それを満たすような外生変数(基盤産業付加価値、域内雇用率)を与える。ここではその値を試行錯誤的に決定した。まず産業振興シナリオとして、LNG 立地シナリオに加え、新地町の 2010 年の人口(約 8200 人)を維持するシナリオを考える。ここでは従前どおりの産業誘致を行うものとして、人口が維持されるような産業の成長水準を求める。農業及び製造業の成長率をなりゆきよりも増加させるが、製造業の成長率を農業よりも高く設定することとする。これは工場立地による生産の増大が明確な製造業に対して、農業の付加価値の成長には製造業に比べるとより大きな面積と多数の事業主体の行動が必要なことを考慮して低めに設定することが自治体にとって受け入れられやすいと考えたためである。

最後に産業振興シナリオからさらに人口を増加し、2050 年までに人口が 9000 人を超えるシナリオを作成する。ここでは新地町の進める「スマート・ハイブリッド・ネットワーク」構想により地域がスマートグリッド化され、地域エネルギー関連産業の立地が進むと想定した。また地域の利便性の向上により定住が促進され、域内雇用率が高まる。発電所を含む工場間で熱を高度利用する産業共生によりさらに製造業の立地が進むとし、このシナリオを環境産業共生シナリオと呼ぶ。まず一律に域内雇用率を数%高め、農業及び製造業の成長率を、産業振興シナリオを基準として、人口水準の目標が達成されるまで引き上げる。ただしここでの想定にも明確な定量的根拠はなく、地域エネルギー関連産業が立地すればエネルギー産業の付加価値額は増大すること、産業共生によるエネルギーコストの削減 12)は工場立地の誘因になるという定性的な仮定にもとづく。図(1)-3 にその概要を示す。

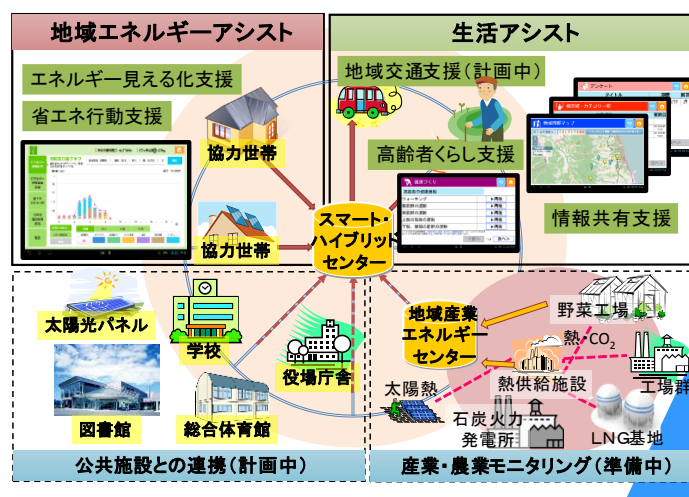


図(1)-3 将来シナリオの長期目標から空間計画・拠点地区事業へ

(2) 地域 ICT ネットワークの活用

福島県・新地町を対象として、地域 ICT ネットワークシステムの実装を推進している。現在、50 世帯に対して、タブレット端末および電力モニタリングのための計測装置を配備しており、地域のエネルギー需要データ等の実態情報を収集して、地域 ICT システムを基盤として開発した地域アプリケーションを開発して、タブレット端末を用いて各家庭のエネルギーの利用状況を「見える化」することで、節電を促すシステムを開発した。さらに、双方向通信機能を活用し、キャンペーン形式による節電実験やそれと連動した報奨付与等のインセンティブモデルの導入効果を実証的に検証することで、ディマンド・レスポンスによるエネルギー需要制御に向けた基礎データの収集を進めた。

地域連携を双方向のモニタリングシステムの整備を通じて地域住民、自治体とのコミュニケーションの機会を形成することについて、ほかの地域への展開も視野に入れて定式化した。社会コミュニケーション方法論を開発災害環境研究の成果を地域に還元するための地域研究連携ネットワークの構築についての準備を進めた。節電情報を提供した時の節電効果について 4 週間（2015/12/4~2015/12/31）の調査を行い、計 4 回町民への情報提供のために「かわら版」を配布した。27 日間で電力消費量を 1.58%抑制（2014 年 12 月の電力消費パターン比）することが確認できた。期間前半は予測値より消費量が下回ったが、後半はむしろ増加して、今後環境意識の変化、節電の取り組み等を調査する。2014 年 12 月の電力データ、温度、湿度を元に予測式を導出して、2015 年 12 月の温度、湿度から、2015 年 12 月の電力消費量を予測する精度の高い推計式が導出できた。



図(1)-4 新地町における地域 ICT システムの概要

(3) 地域住民アンケートの実施

また、イベント情報、復興まちづくり情報などの地域情報を自治体から発信できる仕組みを実現するとともに、地域サービスへの要望の利用者からの発信することが可能となるフィードバック機能を開発し、住民の意向に関するアンケート調査等を実施した。福島県新地町における復興まちづくり事業であるスマート・ハイブリッドタウン事業にモニターとして参加している50世帯を対象にアンケート調査を実施した(回収率70%)。アンケート調査項目は、大きく地域意識(生活満足度や復興感等で構成)、地域環境に対する満足度、ソーシャル・キャピタルで構成されている。新地町は旧村レベルで見た場合、福田、新地、駒ヶ嶺の3地区からなり、各地区のサンプル数はそれぞれ8人、17人、10人であった。

分析はこれら3地区の区分に基づいて行った。各項目の地域差を一元配置分散分析により確認した結果、地域環境に対する満足度とソーシャル・キャピタルに関する項目群において、駒ヶ嶺地区の値が高く、福田地区の値が低いという有意な差が確認された(表(1)-1)。

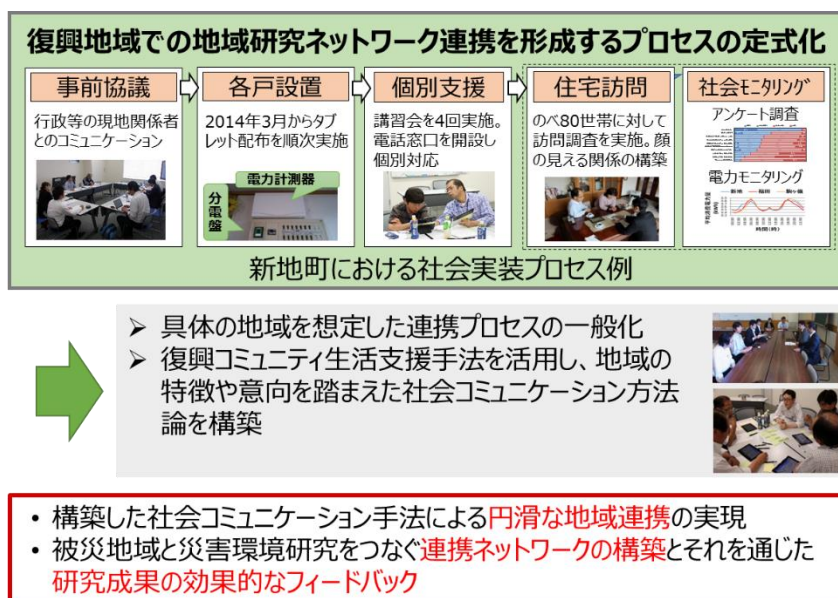
表(1)-1 一元配置分散分析結果

	差違の確認された項目	有意確率	地区間の関係
地域環境に対する満足度	高度な医療機関へのアクセス	*	新地>駒ヶ嶺>福田
	年間の観光来訪者数	**	新地=駒ヶ嶺>福田
	公共交通の運行頻度	***	駒ヶ嶺>新地=福田
ソーシャル・キャピタル	相談相手(近所)	***	駒ヶ嶺>新地=福田
	おつきあいの程度(近所)	*	駒ヶ嶺>新地=福田
	おつきあいの程度(友人知人)	*	駒ヶ嶺>新地=福田

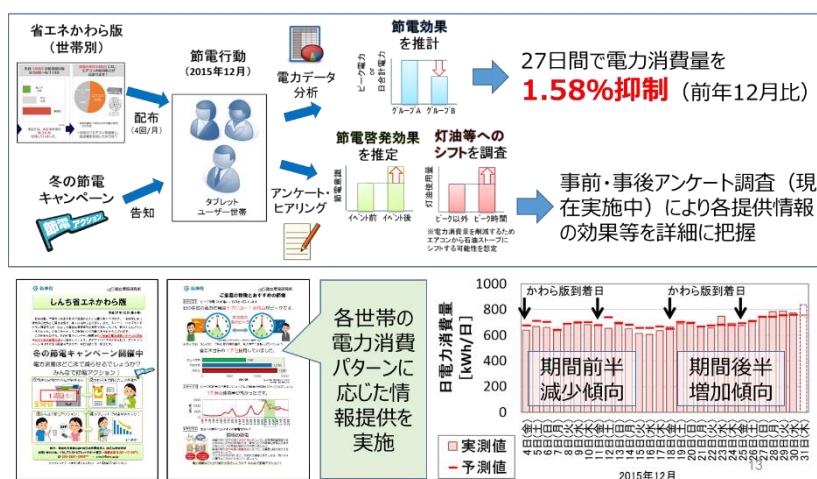
注): *: 10%有意 ** : 5%有意 *** : 1%有意

また、地域意識を被説明変数、地域環境に対する満足度及びソーシャル・キャピタルを説明変数として地区毎に重回帰分析を行った結果、新地地区において有意な関係が確認された($R^2=0.774$)。具体的には、町の復興状況に対する評価に対して、「津波や洪水などへの安全性」「地元での就業機会」「河川や海辺などの水辺環境」の満足度が正の影響を持つ一方で、「年間

の観光来訪者数」「生涯学習・生涯スポーツの数」「公共交通の運行頻度」の満足度が負の影響を持つことが明らかとなり、同地区における復興環境施策ではこれら要因に留意することで住民の施策満足度が向上する可能性が示された。



図(1)-5 双方向コミュニケーションシステムを活用する地域連携プロセス



図(1)-6 地域エネルギー特性の解析例

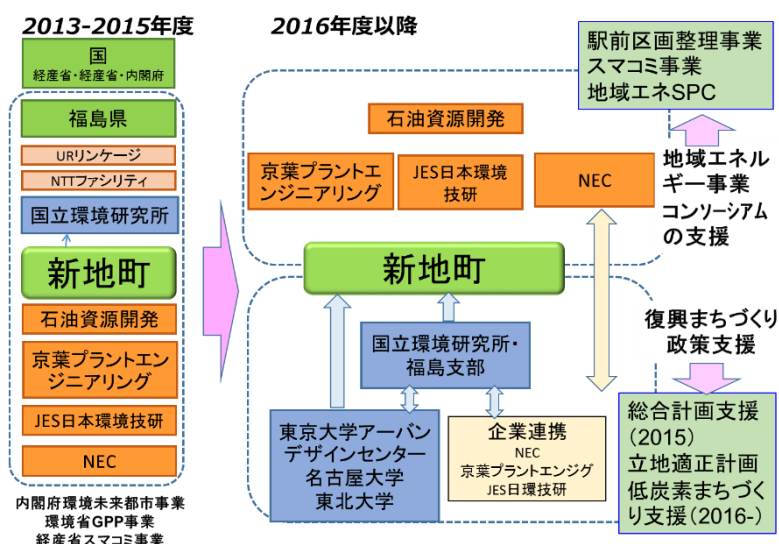
(4) 環境成長の地域拠点事業の計画の支援

各サブテーマのモデルの解析等の情報を利用して、福島県、新地町及び関係する企業の中で環境省グリーンプラン・パートナーシップ事業のFS調査の申請と採択、経済産業省のスマートコミュニティ事業のFS事業の申請と採択を達成することができた。「地産地消型エネルギー利用を核

とした、復興まちづくり実現可能性調査事業」では新地駅周辺における再生可能エネルギーやLNG等を活用した地域エネルギーマネジメント事業の事業性評価・検証（公共施設・民間施設へのエネルギー供給／エネルギーセンター構築運営など両事業を連携して、復興拠点開発事業の中核事業となる地域エネルギー会社の連携に向けて、ICT企業、エネルギー企業と連携する事業検討体制の主導的な役割をはたすことができた。

環境成長をとりこむまちづくりの拠点事業として地域エネルギー施設の計画と周辺のまちづくりをそれぞれ福島県新地町産業振興課、都市計画課の担当者との連携で進めてきた。環境成長をとりこむ事業計画について、平成28年12月に復旧したJR新地駅周辺の区画整理事業の中核施設となる分散型の地域エネルギー事業の設計を支援して、熱電併給のエネルギー事業の基本検討などを行うとともに、周辺まちづくりの検討の議論の体制を構築して研究成果の社会実装に反映した。これらの連携研究はグリーンプラン・パートナーシップ事業FS調査（環境省）、スマートコミュニティ導入促進事業マスタープラン策定（経済産業省）事業の完成に貢献したとともに、スマコミ事業については平成28年度に構築事業の採択につながった。平成29年度に地域エネルギー会社の設立とエネルギー施設の着工に貢献した。

新地町でのまちづくりとエネルギー、産業政策が相互に連兼する新しいまちづくりはこれからの福島県、全国での新しい環境創生型のまちづくり「イノベーションコースト」事業のひな型となることも期待される。将来的に、情報システムは地域交通、地域エネルギーシステムで有機的に町内をネットワークしてそれぞれの機能が相互に高めあう未来型のまちづくりが検討された。これからの復興まちづくりでこの仕組みを地域の新しいエネルギーインフラを交通インフラとともに、情報インフラとして先導的に整備する事業を駅前での実現を目指している。



図(1)-7 社会実装の体制づくり

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまで空間特性を解析する現状の技術適性分析や、空間特性を単純化したマクロな将来解析が個別に行われてきたが、本研究手法群を組み合わせることにより、将来政策に基づく具体的な地域拠点事業の計画を可能にする方法論を構築して、福島県新地町での社会実装を通じてその有用性が明らかになった。

(2) 環境政策への貢献

地域の将来シナリオの作成したうえで地域の拠点について空間特性を生かす事業計画とその効果を算定する方法論を開発して、環境省温暖化対策地方実行計画のマニュアル等への貢献を想定している。

特に、東日本大震災から五年以上が経過し、復興や環境回復の取り組みが進められている。一方で震災前の姿を取り戻すだけではなく、高齢化や人口減少などの地域が抱える課題に取り組み、気候変動への対応や資源循環の実現による新しい成長のモデルを復興から発信することの期待も大きくなっている。

<行政が既に活用した成果>

福島県の温暖化対策地域実行計画の見直し、内閣官房環境モデル都市の支援等で活用することができた。各府省の復興事業の支援を超えて復興を地方創生、成長戦略などにつなげる取り組みが進められてきた中で、福島県の浜通りの北端、宮城との県境に位置する新地町で、エネルギーとまちづくりが一体化した未来型の取り組みを支援することとして環境省のグリーンプラン・パートナーシップ事業のFS計画の採択につなげることができた。

<行政が活用することが見込まれる成果>

福島県での復興を通じて、地域のインベントリと将来シナリオの定量的な解析に基づく地域エネルギー等の拠点事業の具体的計画の策定を支援する科学的な手法を開発したことにより、今後内閣官房環境モデル都市や国土交通省低炭素まちづくり、環境省の温暖化対策地方実行計画の策定支援に活用することを予定している。国際的な研究活動としてのFutureEarthでの社会実装研究の具体例として紹介するとともに、日独環境大臣協定の下での、ドイツと福島都市間連携を支援することを予定している。

6. 国際共同研究等の状況

- ・インドネシア、ボゴール農業大学Rizaldi教授との協働での低炭素都市のモニタリング事業（環境省委託事業）の一環として国内の低炭素事業の解析研究として本件級の内容を共有。
- ・日独環境大臣協定の下での環境技術協力連携の一環として新地町とドイツザーベック氏との連携の中で本研究の解析結果を共有。
- ・国際産業エコロジー学会産業共生部会での協議の中で本研究の内容を国際的に発信。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 大西悟、藤田壮、Dong Liang、藤井実：環境共生，Vol.25, pp.33-44(23) (2014)
「都市と産業の共生に向けた研究のこれまでの流れと今後の展開」
- 2) Huijuan Dong, Tsuyoshi Fujita, Yong Geng, Liang Dong, Satoshi Ohnishi, Lu Sun, Yi Dou, Minoru Fujii : Ecological Indicators, 60, 1184-1191 (2016)
“A review on eco-city evaluation methods and highlights for integration ”
- 3) Liang Dong, Tsuyoshi Fujita, Ming Dai, Yong Geng, Jingzheng Ren, Minoru Fujii, Yi Wang, Satoshi Ohnishi :Journal of Cleaner Production, 114, 387-400 (2016)
“Towards preventative eco-industrial development: an industrial and urban symbiosis case in one typical industrial city in China”
- 4) Liming Zhang, Yong Geng, Huijuan Dong, Yongguang Zhong, Tsuyoshi Fujita, Bing Xue, Hung-suck Park : Journal of Cleaner Production, 114, 150-159 (2016)
“Emergy-based assessment on the brownfield redevelopment of one old industrial area: a case of Tiexi in China”
- 5) Lu Sun, Huijuan Dong, Yong Geng, Zhaoling Li, Zhe Liu, Tsuyoshi Fujita, Satoshi Ohnishi, Minoru Fujii : Journal of Cleaner Production, 114, 171-179 (2016)
“Uncovering driving forces on urban metabolism—A case of Shenyang”
- 6) Rui Wu, Yong Geng, Huijuan Dong, Tsuyoshi Fujita, Xu Tian : Journal of Cleaner Production, 112(5), 4151-4158 (2016)
“Changes of CO2 emissions embodied in China-Japan trade: Drivers and implications ”
- 7) Wanxia Ren, Bing Xue, Yong Geng, Chengpeng Lu, Yunsong Zhang, Liming Zhang, Tsuyoshi Fujita, Han Hao :Journal of Cleaner Production, 114, 412-419 (2016)
“Inter-city passenger transport in larger urban agglomeration area: emissions and health impacts”
- 8) Xu Tian, Yong Geng, Huijuan Dong, Liang Dong, Tsuyoshi Fujita, Yutao Wang, Hongyan Zhao, Rui Wu, Zhe Liu, Lu Sun : Journal of Cleaner Production, 114, 401-411 (2016)
“Regional household carbon footprint in China: A case of Liaoning province”
- 9) Yong Geng, Tsuyoshi Fujita, Hung-suck Park, Anthony S.F. Chiu, Donald Huisigh : Journal of Cleaner Production, 114, 1-10 (2016)
“Recent progress on innovative eco-industrial development”
- 10) Zhe Liu, Yong Geng, Hung-Suck Park, Huijuan Dong, Liang Dong, Tsuyoshi Fujita :Journal of Cleaner Production, 114, 132-140 (2016)
“An emergy-based hybrid method for assessing industrial symbiosis of an industrial park”
- 11) Zhe Liu, Yong Geng, Sergio Ulgiati, Hung-Suck Park, Fujita Tsuyoshi, Hui Wang :Journal of Cleaner Production, 114, 141-149 (2016)
“Uncovering key factors influencing one industrial park’s sustainability: a combined evaluation method of emergy analysis and index decomposition analysis”

- 12) Liu Z., Geng Y., Ulgiati S., Park H.S., Fujita T., Wang H. : Journal of Cleaner Production, 114, 141-149 (2016)
 “Uncovering key factors influencing one industrial park's sustainability: a combined evaluation method of emergy “
- 13) Ren W., Xue B., Geng Y., Lu C., Zhang Y., Zhang L., Fujita T., Hao H : Journal of Cleaner Production, 114, 412-419 (2016)
 “Inter-city passenger transport in larger urban agglomeration area: emissions and health impacts“

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 藤田壮、大西悟、秋山浩之：都市清掃, 67 (321), 498-502 (2014)
 「環境都市の拠点としてのエコタウン事業の展開（特集地域循環圏の高度化とエコタウン事業）」
- 2) Liang Dong, Tsuyoshi Fujita : World Scientific Reference on Asia and the World Economy, 3, 257-279.(2015)
 “Promotion of Low-Carbon City Through Industrial and Urban System Innovation: Japanese Experience and China's Practice”
- 3) 藤田壮, Huijuan Dong : 都市計画(City Planning Review), 313 号, 64(1), 都市の評価とランキング, 14-17 (2015)
 「環境都市にむけての評価論の展開(Development of Evaluation Theory and Methodology for Eco-City Innovation)」
- 4) 藤田壮 : アジ研ワールド・トレンド, 235, 1, 巻頭エッセイ, 日本貿易振興機構(ジェトロ) アジア経済研究所 (2015)
 「国際環境協力を地方創生につなげる 3 つの鍵」
- 5) 藤田壮 : 富士通グループ環境報告書 2015, pp.14, 07, 2015 (2015)
 「ICT が実現するグリーン成長都市に向けて」
- 6) 藤田壮 : サステナ, 35, 17-32, 特集 : サステイナビリティと都市, サステイナビリティ・サイエンス・コンソーシアム一般公開講演会「サステイナビリティと環境未来都市」サステイナビリティ学連携研究機構(IR3S) (2015)
 「環境都市への転換を通じての複合的な価値創造への期待」
- 7) 藤田壮, 平野勇次郎 : 土木学会誌, Vol.101, No.12 (2016)
 「福島からの新しいまちづくり ―新地町の地域イノベーション―」
- 8) 藤野純一 : Planners 83 号東北復興特集-震災 5 年の現状と展望-, 22 (2017)
 「飯舘村の復興計画づくりにかかわって」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) S.Ohnishi, T.Fujita, M.Fujii, L.Dong and H.Dong : The joint 11th International Society for Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism section conference and the 4th ISIE Asia-Pacific Conference, Melbourne, Australiaon, 67, 498-502.(2014)
"Social transitions in eco-industrial development: From eco-towns to a regional symbiosis in Japan,"
- 2) L.Dong, T.Fujita, M.Fujii, S.Ohnishi, T.Togawa and H.Dong: EcoBalance 2014: The 11th International Conference on EcoBalance, Tsukuba, Japan (2014)
"Life-cycle co-benefit of industrial and regional symbiosis: Environmental input-output analysis on typical resource dependent city in China"
- 3) 藤田壮 : 第 11 回日韓中三カ国環境研究機関長会合(TPM11)国際ワークショップ, Japan, (1113,2014)
「日本の環境都市政策と都市シミュレーション,」
- 4) T.Fujita : International Conference on Eco-Industrial Development, Shanghai China, (1029, 2014)
"Innovative monitoring and modelling approach for eco-city renovation and management"
- 5) 藤田壮 : 東北復興シンポジウム～復興まちづくりと環境未来都市～, 第 4 回環境未来都市構想推進国際フォーラム, 主催 : 内閣官房・内閣府・「環境未来都市」構想推進協議会, 東松島 (2014 年 12 月 15 日)
「環境未来都市構想について」
- 6) T.Fujita : アジア生産性機構, 「日本の太陽エネルギー技術をアジア太平洋地域へ紹介」, Japan, (0728, 2014)
「アジア都市への日本の環境技術・政策の活用」
- 7) T.Fujita : ISAP(International Forum for Sustainable Asia and the Pacific) 2014, 第 6 回持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム, International Climate Regime in 2020 and Initiatives in Asia:Mitigation Actions and a Measuring, Reporting and Verification (MRV) System, IGES/NIES Collaborative Session, Yokohama,Japan, (0723,2014)
"International Collaborative Research for Innovative Modelling and Monitoring for Low Carbon Society and Eco-Cities in Indonesia"
- 8) Tsuyoshi Fujita, Minoru Fujii, Shuichi Ashina, Kei Gomi: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Innovative Modelling and Monitoring Research Initiative for Eco-cities and Regions "
- 9) Dong L., Fujita T., Fujii M., Ohnishi S.: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Towards regional low-carbon eco-industrial development: Modeling integrating material and energy circulation in an industrial and urban symbiosis"
- 10) Huijuan Dong, Yong Geng, Tsuyoshi Fujita: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Three accounts for regional carbon emissions from both fossil energy consumption and industrial process"
- 11) Ohnishi S., Dong H., Fujita T., Dong L., Fujii M.: International Society for Industrial

- Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
 “Evaluation methodology comparison on industrial and urban symbiosis in Kawasaki Eco Town, Japan”
- 12) Remi Chandran, Tsuyoshi Fujita, Minoru Fujii, Shuichi Ashina, Kei Gomi: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
 “Bridging Monitoring Reporting Verification (MRV) with the Concepts of Social Monitoring and Participatory approaches.”
- 13) Huijuan Dong, Zuoxi Liu, Yong Geng, Tsuyoshi Fujita, Fujii Minoru, Lu Sun: Joint 12th International Society for Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism Section conference and the 5th ISIE Asia-Pacific Conference, Nagoya, Sep. (2016)
 “Revealing the evolution characteristics and driving forces of China’s industrial parks: a case of Shenyang“
- 14) 藤田壮：EcoLeaD プレミアムサマースクール 2016, 東京 (2016)<招待講演>
 「持続可能な社会への転換を実現するスマート地域システム」
- 15) Tsuyoshi Fujita: 35th Annual Meeting Low Carbon Asia Research Network (LoCARNet), Bandung, Oct. (2016) <招待講演>
 “Regional Low Carbon Innovation through Hybrid Approach with Monitoring and Modelling“
- 16) 藤田壮：第 2 回小国町環境にいいことフォーラム, 熊本 (2016)<招待講演>
 「小国の恵みを活かす環境モデルまちづくりへの期待」
- 17) 藤田壮：2016 年度第 2 回 3R・適正処理セミナー, 三重 (2016)<招待講演>
 「循環圏形成を通じての地域活性化に向けて」
- 18) 藤田壮：環境情報科学センター創設 45 周年記念シンポジウム, 東京 (2016)<招待講演>
 「気候変動時代の社会・環境研究に向けて」
- 19) 藤野純一, グエン・タイ・ホア, 越智雄輝, 藤原和也：第 33 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, エネルギー・資源学会, 東京 (2017)
 「パリ協定と途上国自治体における低炭素シナリオ開発」

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 国立研究開発法人国立環境研究所公開シンポジウムにて災害環境研究への取組みに関するポスター発表
 (2015 年 6 月 19 日、東京都メルパルクホール、来場者 435 名、2015 年 6 月 26 日大阪府大阪市松下 IMP ホール、来場者 253 名)
- 2) 国立研究開発法人国立環境研究所一般公開にて災害環境研究への取組みに関するポスターを展示

(2015 年 7 月 18 日、来場者 4,433 名)

- 3) 土木学会第 43 回環境システム研究論文発表会にて企画セッション「復興自治体における環境創生に関する社会実装研究」を主催 (2015 年 11 月)
- 4) 川崎市アジア太平洋エコビジネスフォーラム (共催) 「日本発信の環境成長システムのアジアへの発信」 (2016 年 2 月)
- 5) 川崎エコビジネスフォーラムにて NIES セッションを開催(2 月)
- 6) NIES 災害環境研究特別セミナー東京大学出口敦教授、阪南大学渡辺和之准教授を招聘 (8/8, 創造センター職員約 30 名参加)
- 7) 新地町地域エネルギー国際ワークショップ(新地町)を開催(10/30, 参加者約 50 名)
- 8) 国立環境研究所福島環境創生研究セミナー(新地町、新地町立地企業講演会と併催)を開 (11/2, 参加者約 100 名)
- 9) 上海交通大学との共催で Eco City Symposium, 11 月、上海。

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 土木学会平成 28 年度全国大会(仙台)パネル展示、パンフレット配布(9/8)
- 2) JST サイエンスアゴラで福島の未来についてのパネルディスカッション (11/3)
- 3) spff サイエンス屋台村 in コミュタン福島にてポスター展示、研究所ツアー(11/26)

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

（２） 都市・地域のインベントリ解析モデルの開発

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター	環境政策研究室	松橋 啓介
地域環境研究センター	広域大気環境研究室	近藤 美則

〈研究協力者〉

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター	地域環境影響評価研究室	有賀 敏典
社会環境システム研究センター	環境政策研究室	石河 正寛

平成26～28年度累計予算額：19,707千円（うち平成28年度：6,018千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

低炭素都市、地域循環や環境成長の計画と事業に科学的で信頼性の高い根拠を与える評価研究への期待が国内外で急速に高まっている。この期待に応えるためには、環境への物理的影響とその社会価値を科学的に定量化する理論と手法を開発し、それによる持続可能な環境都市の将来ターゲットを設計するとともに、そこに至るロードマップを設計するプロセスの構築が不可欠となる。しかしながら、都市・地域内での人口分布の変化については十分に把握されておらず、市町村別の特性を反映した運輸交通部門からの最近のCO2排出量の推計や、民生家庭部門からのCO2排出量の推計は、十分に活用されていない。また、将来の人口分布をシナリオ化して、望ましい都市像の設計に用いるシナリオ分析の方法も確立していない。

そこで、地域環境特性を活かす環境成長プロセスを計画してその効果を算定するため、空間情報を活用する都市・地域インベントリ分析モデルを開発する。具体的には、近年の国勢調査データを用いて生活圏別の人口分布の動態分析と偏在化／均一化シナリオの構築に加えて、都市空間マネジメントを行った場合の代替的な人口分布シナリオの構築を行うとともに、近年の市区町村別自動車CO2排出量推計の改良と、民生家庭部門に関するCO2排出量等の推計を行った。この結果を用いて、都市・地域における市民生活に密接に関連する部門からのCO2排出量等の定量化と、望ましい都市・地域の人口分布を提示する手法の確立につなげたい。

〔キーワード〕

運輸部門、民生部門、二酸化炭素、人口分布、コーホート

1. はじめに

低炭素都市、地域循環や環境成長の計画と事業に科学的で信頼性の高い根拠を与える評価研究への期待が国内外で急速に高まっている。この期待に応えるためには、環境への物理的影響とその社会価値を科学的に定量化する理論と手法を開発し、それによる持続可能な環境都市の将来ターゲットを設計するとともに、そこに至るロードマップを設計するプロセスの構築が不可欠となる。

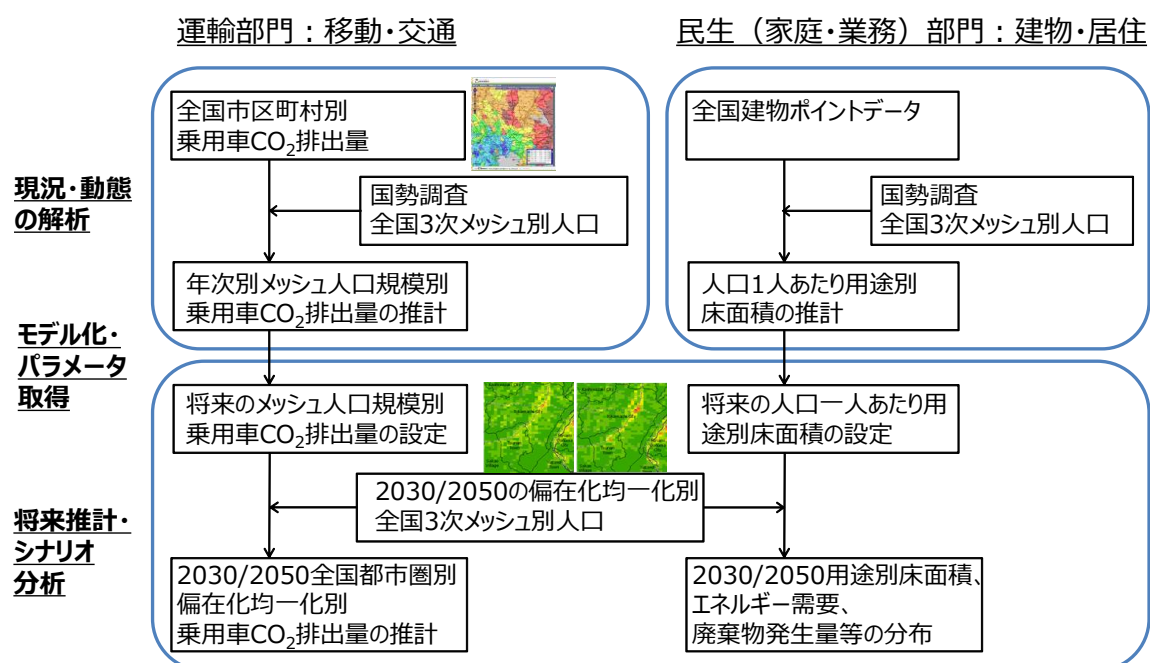
しかしながら、都市・地域内での人口分布の変化については十分に把握されておらず、市町村別の特性を反映した運輸交通部門からの最近のCO₂排出量の推計や、民生家庭部門からのCO₂排出量の推計は、十分に活用されていない。また、将来の人口分布をシナリオ化して、望ましい都市像の設計に用いるシナリオ分析の方法も確立していない。

2. 研究開発目的

地域環境特性を活かす環境成長プロセスを計画してその効果を算定するため、空間情報を活用する都市・地域インベントリ分析モデルを開発する。具体的には、近年の国勢調査データを用いて生活圏別の人口分布の動態分析と偏在化／均一化シナリオの構築に加えて、都市空間マネジメントを行った場合の代替的な人口分布シナリオの構築を行うとともに、近年の市区町村別自動車CO₂排出量推計の改良と、民生家庭部門に関するCO₂排出量等の推計を行うことで、都市・地域における市民生活に密接に関連する部門からのCO₂排出量等の定量化と、望ましい都市・地域の人口分布を提示する手法の確立を目指す。

3. 研究開発方法

都市・地域のインベントリ解析モデルの全体像を図(2)-1に示す。メッシュ人口の将来推計とシナリオ構築を核として、運輸部門と民生部門に関するCO₂排出量等の推計とシナリオ分析を可能とすることを目標とする。



図(2)-1 都市・地域のインベントリ解析モデルの全体像

具体的には、生活圏別の人口分布の変化分析とシナリオ構築および平成 22 年の市区町村別自動車 CO₂ 排出量推計の改良、建物データを用いた民生部門 CO₂ 等の推計から構成される。これまでの研究成果を踏まえつつ、以下の手順で進める。

（１）生活圏別の人口分布の変化分析とシナリオ構築

地域の人口コーホートおよび複数のシナリオにもとづく将来的な人口分布および移動に関する推計データを整備する。昭和 55 年から平成 22 年の国勢調査 3 次メッシュ人口データより、国土交通省が第 5 回（2010 年度）全国幹線旅客純流動調査にて定義する全国 207 生活圏における人口分布の集約・分散の度合いを表す「人口分布ジニ係数」を算出するとともに、メッシュ人口規模別の性別 5 歳階級別人口変化率を算出する。あわせて、国土交通省が第 5 回全国幹線旅客純流動調査にて定義する全国 207 生活圏の名称と平成 22 年市区町村界、3 次メッシュ（日本測地系および世界測地系）の対応テーブルおよび生活圏のポリゴンデータを作成する。次に、過去 7 時点について、207 生活圏の人口分布ジニ係数を求める。生活圏の人口分布ジニ係数の求め方は、基本的には有賀ら(2011)「自然増減と社会増減を明示的に考慮した地域内人口分布の変化」（都市計画論文集 46(3),847-852）で用いた方法と同様である。また、過去 6 時点間（昭和 55 年から平成 22 年まで）について、207 生活圏のメッシュ人口規模別の性別 5 歳階級別人口変化率を算出する。

得られた分析結果から、生活圏別の特性を把握し、類型化する。この結果を踏まえて、将来推計に適用する生活圏類型別の集約化・分散化シナリオ別の性別 5 歳階級別人口変化率を設定する。決定した人口変化率を用い、コーホート変化率法により、2015 年から 2100 年までの 5 年毎について、3 次メッシュ別の性別 5 歳階級別人口を算出し、生活圏別の人口分布シナリオを構築する。なお、各年次の推計値の生活圏別トータルは、当該生活圏内にある市区町村別の性別 5 歳階級別人口の和に一致するように補正を行う。また、今後のシナリオ構築の参考とするため、昭和 55 年から平成 22 年の国勢調査 3 次メッシュ人口について、子ども女性比および 15-49 歳女性人口比率を算出する。

（２）都市空間マネジメントを行った場合の代替的な人口分布シナリオの構築

地域の人口コーホートとトレンドにもとづく将来的な人口分布の現状水準シナリオおよび偏在化／均一化のシナリオを踏まえて、コンパクト都市拠点の形成や人口減少地区の再生などの政策的な都市空間マネジメントを行った場合の代替的な将来都市像を予測する。

これまでに構築したシナリオでは、過去のメッシュ別性別 5 歳階級別人口データを用いた人口変化率を大都市圏内外別地域人口増減別偏在均一傾向別の類型別にメッシュ規模別に集計した値を用いていたが、メッシュ規模別の構成割合が類型別の平均的な構成と異なる生活圏や市区町村に対して適用することで、偏在化／均一化のシナリオを正しく構築できない場合があった。

そこでまず、生活圏別の政策的な人口分布シナリオを検討するために、メッシュ人口規模を 1 人～,100 人～,200 人～,500 人～,1000 人～,2000 人～,5000 人～,10000 人～,20000 人～の 9 ランクに分け、全国 207 生活圏別のメッシュ人口規模ランク別の人口構成と累積人口および人口変化率を比較分析する。

次に、生活圏別の類型と変化率の幅を考察した結果を踏まえ、また政策的な議論やその効果に関する議論を参考として、コンパクト都市拠点の形成や人口減少地区の再生などの政策的な都市

空間マネジメントを行った場合の代替的な将来人口分布シナリオの構築手法を開発する。

さらに、開発した手法を適用して、2050 年の代替的人口分布シナリオを構築する。同時に、都道府県別性別 5 歳階級別家族類型別世帯主率を推計・適用し、民生家庭部門の推計精度向上のためにメッシュ別家族類型別世帯数を推計する。

（３）平成 22 年の市区町村別自動車 CO₂ 排出量推計の改良

平成 22 年度道路交通センサス自動車起終点調査のオーナーインタビュー調査データに基づき、使用の本拠地ベースで平日休日別・車種別に走行量を積算し、年間の平日／休日日数および CO₂ 排出係数を乗じることにより推計した市区町村別 CO₂ 年間排出量を改良する。平成 22 年については詳細調査票と簡易調査票の 2 本立てとなり、トリップ長がわかるサンプル数が少ないため、簡易的な推計を行ったものを、詳細な推計に変更する。

まず、市区町村別推計の他に、全国 6 地域区分（東京特別区、指定都市、中核市、特例市、一般市、町村）別に一台あたり走行距離の算出を行ったが、これらの一部を大都市圏の内外等にさらに分類して、その信頼性と地域特性の違いを把握する。以降の推計に用いる地域区分を決定し、大都市圏内外別地域区分別の一台あたり走行距離の値を求める。

次に、従来推計において、全国一台あたり走行距離を用いた推計パターンについては、上記の地域区分別の一台あたり走行距離を適用する。同じく、生活圏別一台あたり走行距離を用いた推計パターンについては、上記の地域区分別の一台あたり走行距離を補正した値を適用する。補正においては、まず、その市区町村に該当する地域区分別に一台あたり走行距離を適用して市区町村別車種別の総走行距離を求める。次に、その市区町村と同じ生活圏に属する市区町村の車種別の総走行距離および総車両数を合計する。ここから求めた車種別一台あたり走行距離が、生活圏別一台あたり走行距離と合致するように、補正係数を求める。この補正係数を用いて、車種別に生活圏別地域区分別の一台あたり走行距離を求める。

推計された一台あたり走行距離（平日休日別・車種別）に対し年間の平日休日日数および車種別 CO₂ 排出係数を乗じることにより、年間 CO₂ 排出量を算出する。また、1 人あたり年間 CO₂ 排出量を算出する。なお、車種区分は 3 車種区分（全車、乗用車類、貨物車類）および 8 車種区分（軽乗用車、乗用車、バス、軽貨物車、小型貨物車、貨客車、普通貨物車、特種車）で集計する。

また、旅客輸送を行う自動車、鉄道等の交通手段に関するデータベースの構築と更新を行う。

（４）民生部門に関する CO₂ 排出量等の推計

これまでに、乗用車 CO₂ 排出量については、将来人口分布シナリオによる違いを反映できる推計手法を開発してきた。しかし、民生部門や建物に起因する環境負荷については、都道府県別統計値を、市町村別の人口や世帯数で按分する手法が主に用いられてきて、地域特性を反映した地域内分布の評価や計画の立案を十分に行うことができなかった。そこで、建物単位の詳細データを活用し、民生エネルギー消費量と空家率の地域内分布を求める手法を開発する。

まず、建物単位の属性を持つ全国建物ポイントデータを活用することで、全国 3 次メッシュ別の建て方別建物数および住宅戸数や、建て方別・用途別の床面積を求める。なお、この際に、戸数や床面積の都道府県別の集計値が、住宅・土地統計調査や固定資産概要書等の統計値と合致す

るように、類型の対応付けを行い、床面積の補正を行う。

次に、これと国勢調査の3次メッシュ別あるいは基本単位区別の人口および世帯数を比較して、住宅戸数に対する居住世帯数と空家数、および人口一人当たり用途別床面積を求める。また、3次メッシュ別あるいは基本単位区別の将来人口・世帯数の推計値およびシナリオ値と組み合わせて将来の空家数を求め、用途別エネルギー消費原単位を掛け合わせて民生エネルギー消費量の3次メッシュ別および建物別分布を求める。

さらに、市町村別の民生二酸化炭素排出量の現況値を求め、既往手法との比較を行う。

4. 結果及び考察

(1) 生活圏別の人口分布の変化分析とシナリオ構築

1980（昭和55）年から2010（平成22）年の国勢調査3次メッシュ人口データに対し、全国207生活圏データに関連付けて生活圏における人口分布の集約・分散の度合いを表す「人口分布ジニ係数」を算出するとともに、メッシュ人口規模別の性別5歳階級別人口変化率を算出した。そして、算出した人口変化率を地域別に類型化し、得られた結果を踏まえて将来人口推計に適用する地域区分別人口分布シナリオ別性別5歳階級別人口変化率を設定した。この人口変化率を用いて、コーホート変化率法により2015年から2100年までの5年毎について3次メッシュ別性別5歳階級別人口の推計を行い、その結果をデータベースに収めた。

ジニ係数は、下記の式で求めた。

$$G = 1 - \frac{\sum_i a_i(p_i + p_{i-1})}{10000}$$

G=ジニ係数

a_i =i番目に人口密度が低いメッシュの可住地面積に占める割合

p_i =人口密度が最も低い単位からi番目までのメッシュまでの累積人口の割合

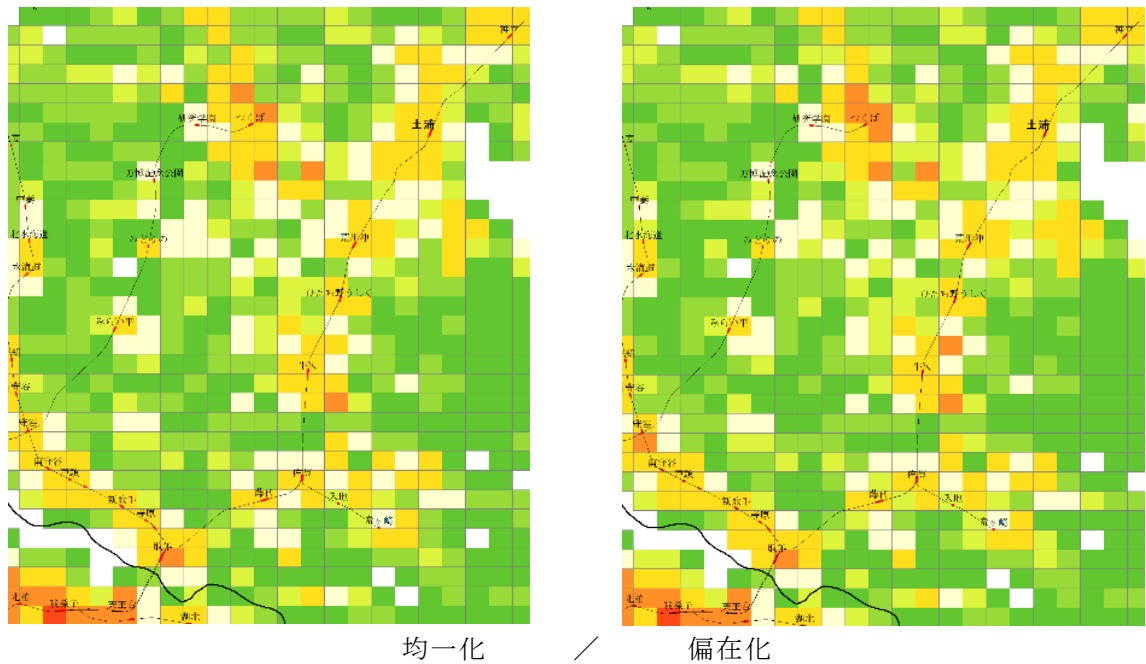
なお、ジニ係数を算出する際に、可住地面積が絶対値に与える影響が大きく、経年比較および地域間比較が行いにくいことが分かったため、可住地のうち総人口200人未満のメッシュについては可住地に算入せずに計算することとした。

メッシュ人口規模別の性別5歳階級別人口変化率は、各生活圏の中心都市について、三大都市圏の内外別、地域区分（政令市、中核市、特例市、一般市）別に区分し、偏在化、均一化、変化なしの別に分類し、パラメータを求めた。これを用いて、人口シナリオを構築した。

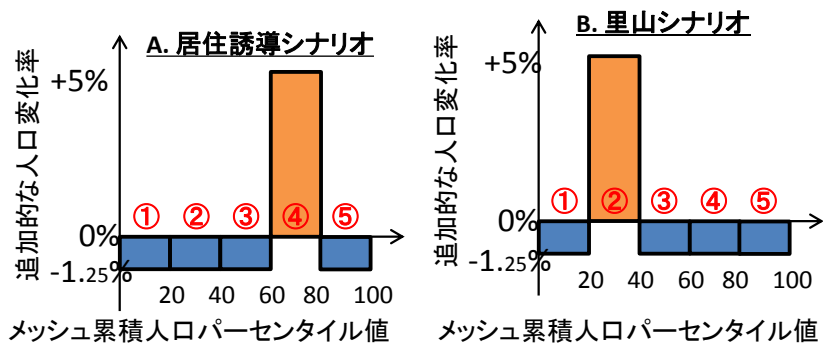
図(2)-2に人口分布シナリオの例を示す。生活圏別のシナリオとすることにより、市区町村別にコントロールトータルを取る場合に比較して、生活圏内の人口分布の違いがより大きくなる傾向にある。

(2) 都市空間マネジメントを行った場合の代替的な人口分布シナリオの構築

メッシュ人口規模を9ランクに分け、全国207生活圏別のメッシュ人口規模ランク別の人口構成や人口変化率の比較分析を行った。生活圏の性質によって構成するランクの範囲が異なること、すなわち、大都市圏都市部の生活圏では人口規模が大きいメッシュから構成される一方、地方圏郊外部の生活圏では、人口規模の小さいメッシュから構成されることを確認した。また、一定規



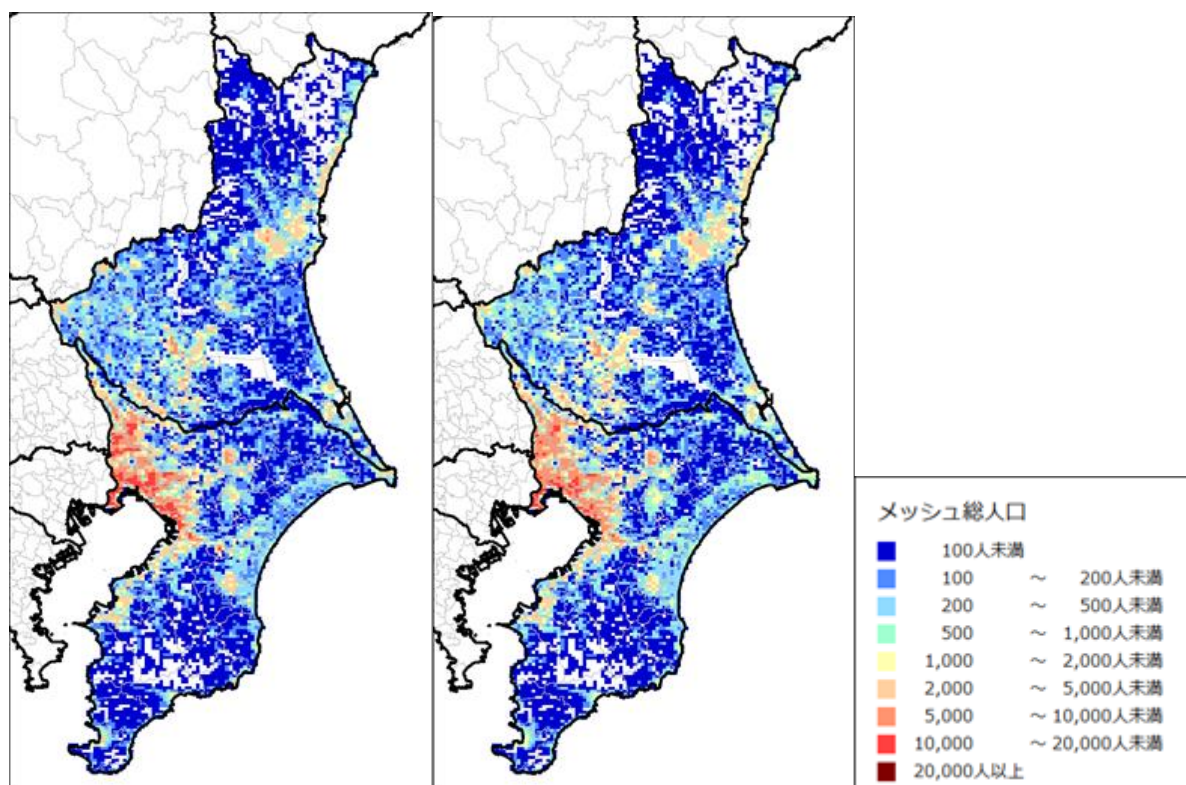
図(2)-2 生活圏別に作成した人口分布シナリオの例



図(2)-3 居住誘導シナリオと里山シナリオの追加的な人口変化率の設定

模のシェアを持つランクでは5年間の人口変化率が3~5%前後に収まること、両端のランクの変化率は必ずしも大きくないことを明らかにした。

この結果を踏まえて、政策的なマネジメントを行った場合のシナリオを構築する手法を開発した。生活圏ごとにメッシュ人口規模の小さい順に累積人口を求め、生活圏内における相対的なメッシュ累積人口のパーセンタイル値で区切って、人口変化率を与える手法を適用することを考案した。次に、立地適正化計画における居住誘導区域を想定して、累積人口が下位から60~80パーセンタイルに相当するメッシュの人口を追加的に増加させる「居住誘導シナリオ」、これに対をなすものとして、里山や家庭菜園の活用を想定して、累積人口が下位から20~40パーセンタイルに相当するメッシュ人口を追加的に増加させる「里山シナリオ」を設定することとした。人口コーホートを用いた将来推計人口に対して、追加的に増加させる人口変化率は、人口減少を回避する取り組みとして目標とされている年1%も参考に、5年間で5%とした。その分の人口は、同じ生活圏の他のメッシュを減少させることでつりあわせることとした。政策的な都市空間マネジメントを行った場合の代替的な将来人口分布シナリオ構築手法の人口変化率の設定イメージは図



図(2)-4 2050年の居住誘導シナリオと里山シナリオの出力例

(2)-3 に示す通りとなる。

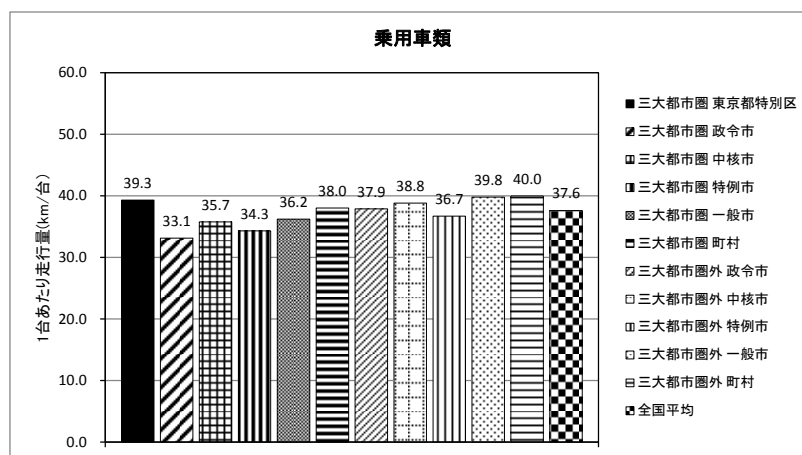
これにより、代替の人口分布シナリオを計算した。2050 年の茨城県および千葉県下の生活圏に適用した出力例を図(2)-4 に示す。地図で見て視覚的に大きな差はないが、都心部の赤色や郊外部の水色に変化が生じている。また、生活圏によっては、構成する人口ランクがシナリオ間で約 10 ～30%異なる結果を出力することができている。あわせて、世帯数を推計した。

成果の活用として、世帯の小規模化に伴う一人あたり家庭部門エネルギー消費量への影響を明らかにした成果を公表した。

(3) 平成 22 年の市区町村別自動車 CO₂ 排出量推計の改良

平成 22 年度道路交通センサス自動車起終点調査のオーナーインタビュー調査データに基づき、使用の本拠ベースで平日休日別・車種別に走行量を積算し、年間の平日／休日日数および CO₂ 排出量を乗じることにより推計した市区町村別 CO₂ 年間排出量を推計した。ただし、平成 22 年度の OD 調査は詳細調査票と簡易調査票の 2 本立てとなり、トリップ長がわかるサンプル数が少ないため、簡易的な推計に留まる。そこで、地域特性に応じた地域区分別車種別の一台あたり走行距離を推計し、これに車種別の排出係数を乗じてより詳細な自動車 CO₂ 排出量の推計を行った。

図(2)-5 に、地域区分別の一台あたり日走行距離を示す。全体的に、都市規模の小さい区分ほど走行距離が長い傾向にある。都区部は、例外的に走行距離が大きい。休日の長距離の利用が占める割合が高いためと考えられる。特例市は、規模の割に走行量が小さい。移動範囲が狭くて用事を済ませることができている可能性があると考えられる。排出量の推計にあたって、排出係数を 8



図(2)-5 地域区分別一台あたり日走行距離（乗用車）

車種別にまとめなおした。この推計により、同一生活圏内での地域区分別の違いを反映した市区町村別の排出量の推計が可能となった。

これを用いて、指定都市等の地域区分別に求めた乗用車CO₂排出量およびトリップ長等の傾向を図(2)-6に示した。

図(2)-6a)をみると、一人あたりCO₂排出量は、指定都市と中核市と特例市と一般市では、1999年以降の減少傾向を2010年までも継続した。特に、指定都市と特例市は、1990年の水準近くまで減少している。一方で、町村と東京特別区は、2010年にかけてわずかながら増加した。

中核市を除いては、都市規模が大きいほど排出量が小さい傾向が見られる。中核市は、小規模自治体を含む広域合併が行われた場合があるため、小規模自治体の特徴が強く影響したものと考えられる。

一人あたりCO₂排出量は、排出係数と一人あたり走行台キロの積で求められる。それぞれの動向を把握するため、順に示す。

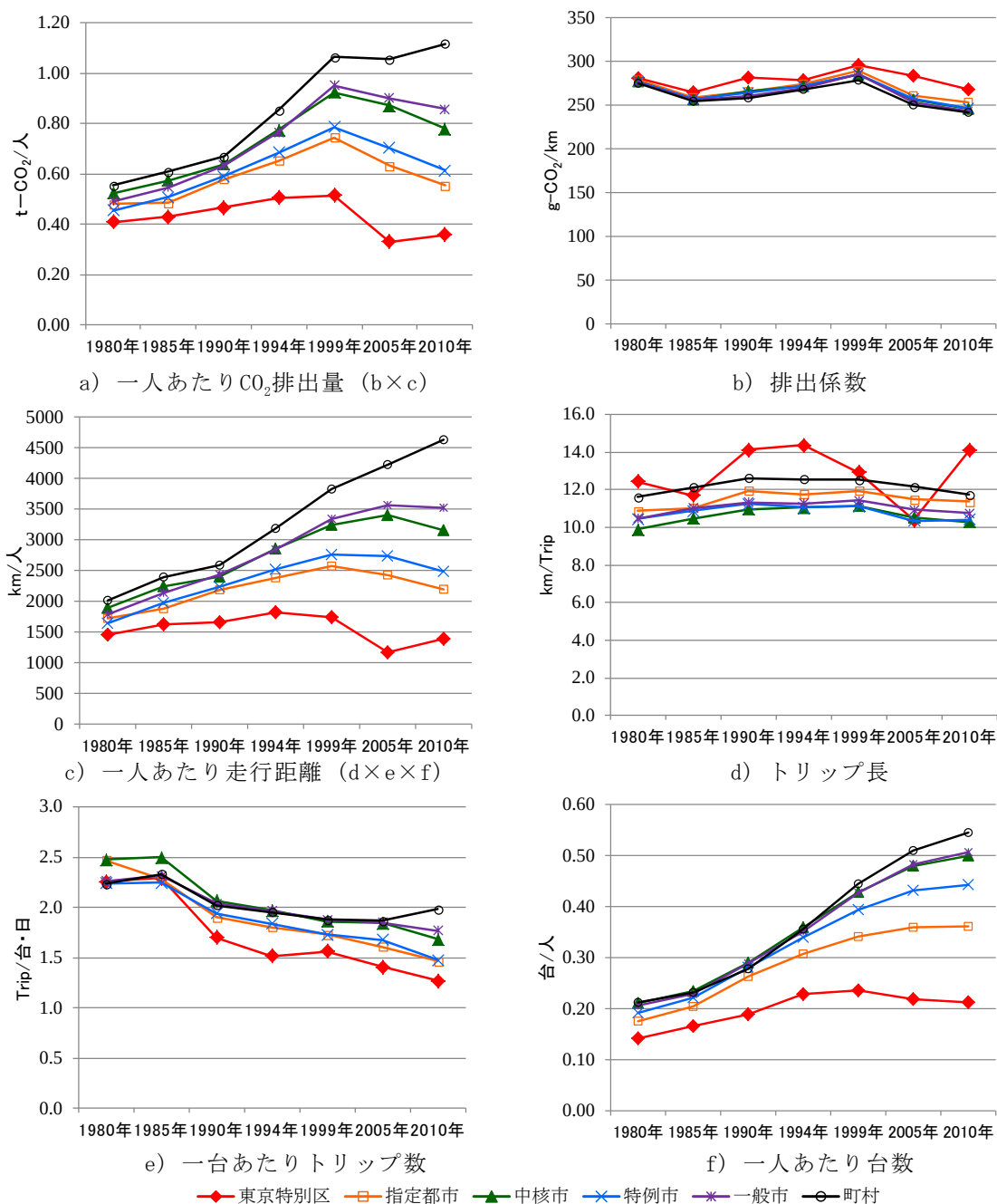
図図(2)-6b)をみると、排出係数は、変化の幅が比較的小さい。1985年から1999年に車両の大型化や安全性能向上に伴う重量増加等により悪化したが、2010年にかけて継続的に改善したことが分かる。この推計の手法では旅行速度等を考慮できないため、地域差に影響するのは、車種構成のみである。東京特別区でやや高いのは、軽乗用車の比率が他地域より小さいことが影響しているためと考えられる。

図(2)-6c)をみると、一人あたり走行距離は、地域によって動向が大きく異なることが分かる。東京特別区は2005年に大きく減少したが、2010年には1980年の水準に戻ったようにもみえる。指定都市と特例市は1999年をピークに減少傾向にある。中核市も遅れて2005年をピークに減少に転じており、一般市も横ばいになった。町村は増加を続けている。

すなわち、中核市を除いては、都市規模が大きいほど早期に一人あたり走行距離が減少に転じる傾向がみられる。町村で一人あたり走行距離が伸び続けた理由として、人口減少によって、分母が小さくなっただけでなく、公共交通手段がなくなり、乗用車の利用を前提とする人だけが選択的に居住する状況が生じていることが考えられる。施設が少なくなったことで遠隔化が進んだ可能性もあるが、トリップ長はやや減少しているため、自動車利用の頻度が増加した影響が大きい。

一人あたり走行距離は、トリップ長と一台あたりトリップ数と一人あたり台数の積で求められる。それぞれの動向を順に示す。

図(2)-6d)をみると、トリップ長は、東京特別区を除いて安定しており、継続的に減少している傾向が分かる。東京特別区は、2005年が小さいが、1990年の水準に戻っている。公共交通機関が選択しやすいため、変動しやすいことが考えられる。一般市、特例市、中核市でトリップ長が比較的小さいことから、近場の目的地に日常的に乗用車を利用すると考えられる。



図(2)-6 地域区分別CO₂排出量等の動向

(既存研究データに2010年分を追加して作成)

図(2)-6e)をみると、一台あたりトリップ数は、町村を除いて微減の傾向にある。乗用車が「一世帯一台」から「一人一台」に普及するにしたがって、送迎等の利用が減るとともに目的に応じた車両の使い分けが進み、一人あたりトリップ数が比較的安定的に推移した状況が続いていると考えられる。中核市と特例市で減少幅がやや大きく、自動車利用頻度の減少が一人あたり走行距離の減少に影響しているようすがみられる。

図(2)-6f)をみると、一人あたり台数は、東京特別区は既に横ばいから減少を続けている一方、それ以外の地域区分では引き続き増加している。高齢化が進む中で、免許保有率が比較的高い世代が全高齢者に占める比率が高くなり、一人あたり台数を押し上げたと考えられる。指定都市や特例市では、一人あたり台数が一般市等よりも少なく、一台あたりトリップ数も少ない。そのため、指定都市のトリップ長がやや長くても、一人あたり走行台キロはやや少ない状態につながると考えられる。中核市の一人あたり台数が横ばいに近づきつつあるため、今後の動向を注視する必要がある。

また、旅客輸送を行う自動車、鉄道等の交通手段に関するデータベースの構築と更新を行った。自動車や鉄道等に関して新たに157種のデータを追加した。特に、自動車はハイブリッド車を中心に追加し、国内の水上旅客輸送を行う船舶については、5トン未満から約20000トンまでの389隻分のデータを収集・登録した。結果として、699種の旅客輸送に関するデータベースとなった。短距離移動手段の性能評価とあわせて、自動車の代替交通手段としてを選択する場合のCO2削減効果の評価の幅を広げた。

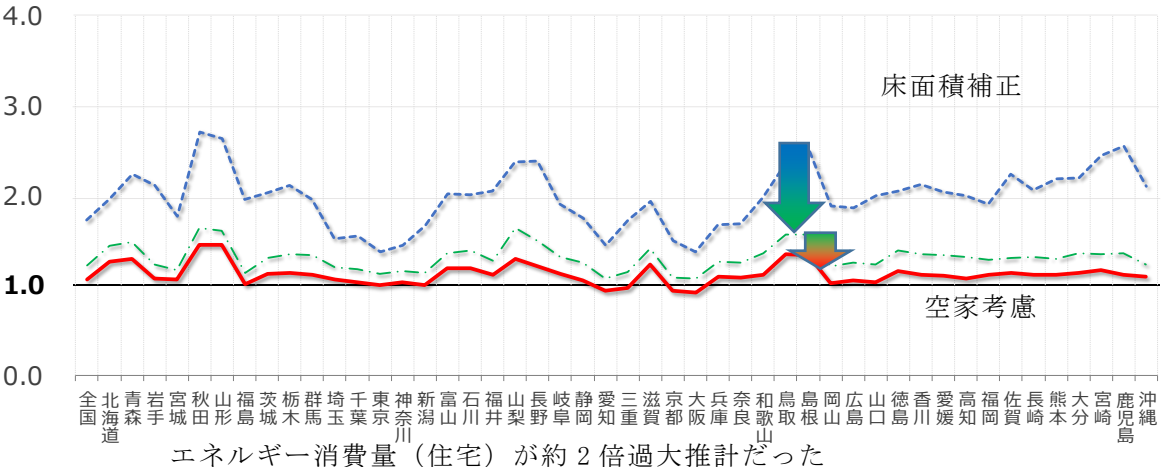
(4) 民生部門に関する CO2 排出量等の推計

建物単位の属性を持つ全国建物ポイントデータを活用することで、全国3次メッシュ別の建て方別建物数および住宅戸数や、建て方別・用途別の床面積を求めた。この際に、戸数や床面積の都道府県別の集計値が、住宅・土地統計調査や固定資産概要書等の統計値と合致するように、類型の対応付けを行い、床面積の補正を行った。

図(2)-7には、統計値と合致するように補正済みの床面積を用いて、住宅エネルギー消費量原単位を乗じて集計した住宅エネルギー消費量を、都道府県別住宅エネルギー消費量の統計値で除した比を示した。都道府県ごとのばらつきはあるが、概ね2倍程度の過大見積値だったものは、床面積の補正と空家の考慮により、統計値に近い値になることが分かる。残る誤差は、都道府県別統計が持つ誤差、10地方区分別の原単位と各都道府県の特徴が完全には一致しないことの誤差、本手法の推計誤差等が考えられる。

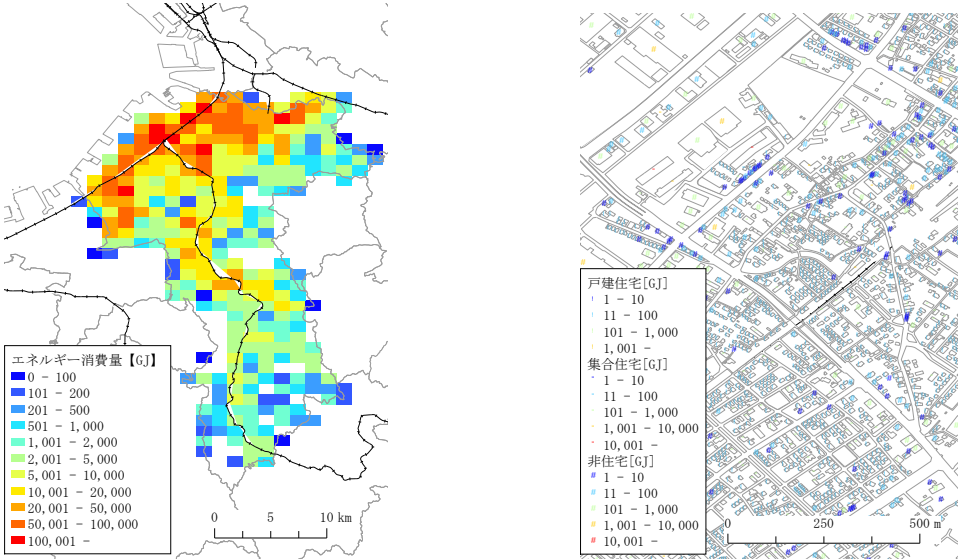
なお、住宅・土地統計調査では、固定資産概要書等と異なり、集合住宅の共用部の床面積を含まないことから、共用部の割合を独自に推定し、建て方別の床面積を求めた。

図(2)-8には、これらの補正した用途別床面積と用途別エネルギー消費原単位を掛け合わせて、3次メッシュ別および建物別の民生エネルギー消費量の分布を示した。これにより、たとえば、再生可能エネルギーの供給と、民生エネルギー消費量の3次メッシュ別あるいは建物別あるいは地区・地域別のバランスの評価をより正確に行うことができる。なお、都市計画基礎調査等の床面積データを有しない市町村であっても、民間の建物データを利用するこの手法により推計することができる。



図(2)-7 建物データによる都道府県別住宅エネルギー消費量の積上げ値と統計値の比較

都道府県別住宅エネルギー消費量の積上げ値／統計値の比

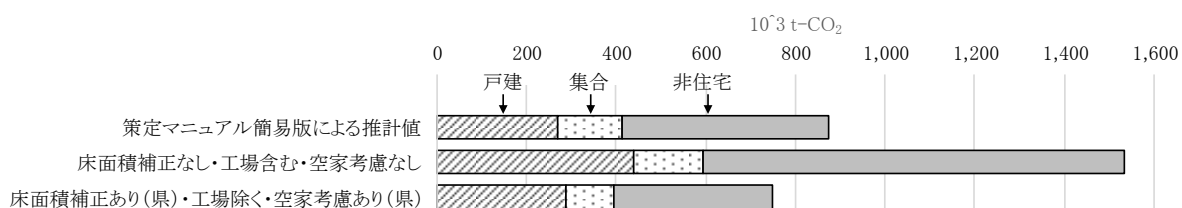


図(2)-8 市内3次メッシュ別および建物別のエネルギー消費量の分布（市原市の例）

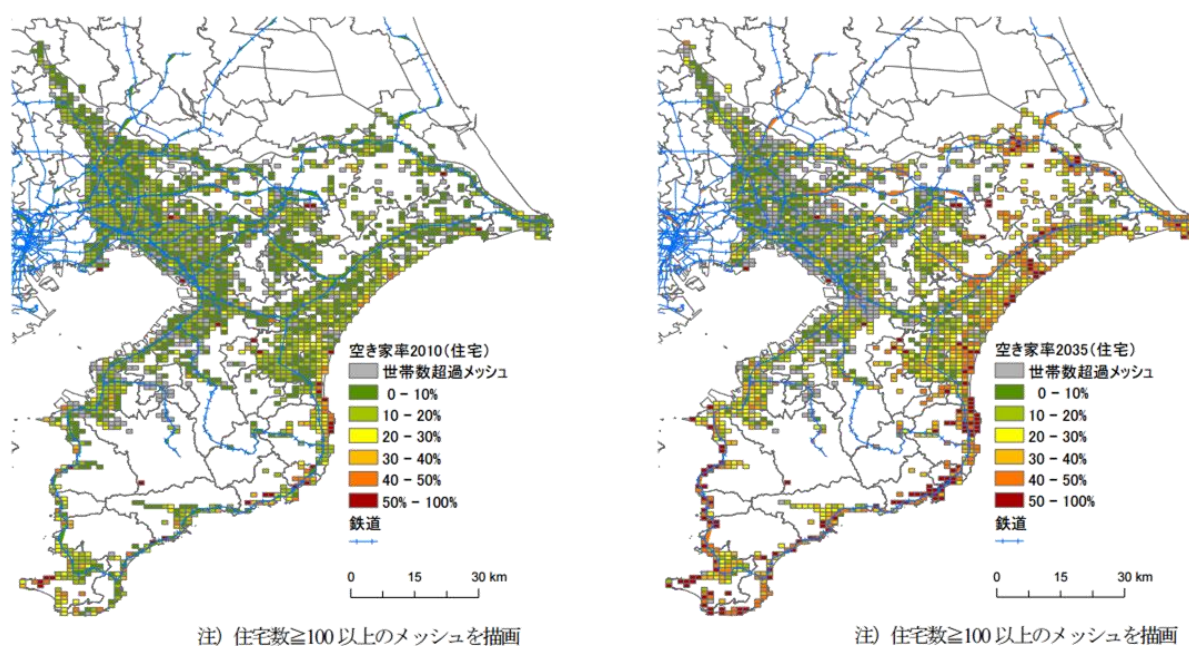
図(2)-9 には、このエネルギー消費量を元にして、市原市の民生部門二酸化炭素の現況値を推計した結果を示す。一番下に示す本研究による推計値は、床面積補正等が無い場合の推計値の約半分となっていることが分かる。策定マニュアル簡易版を用いた推計と比較して大きな違いはないが、非住宅については6用途別の原単位の違いを反映した値となっている点で、本研究による推計値の方が、実態を反映している可能性がある。

なお、政令指定都市を対象とした電力消費量の推計と統計値との比較を行ったところ、補正済み建物床面積を用いて市町村域内の電力消費量を按分で求める手法は、電力供給範囲と行政界が異なる際の推計にも有効と考えられた。

同様に、全国建物ポイントデータの住宅戸数と国勢調査の3次メッシュ別あるいは基本単位区別の人口および世帯数とを比較して、住宅戸数に対する居住世帯数および空家数・空家率を求め



図(2)-9 建物データによる都道府県別住宅エネルギー消費量の積上げ値と統計値の比較
(市原市の例)



図(2)-10 現況の空家分布と将来の空家分布 (千葉県の例)

た。また、住宅戸数が将来変わらないと仮定して、将来世帯数と比較して、将来の空家率を求めた。図(2)-10に示す通り、市区町村内で傾向が一様でなく、海岸沿いの空家率が増え、鉄道沿いの空家率が相対的に低くなる傾向が示された。このために、建物ポイントデータと住宅・土地建物調査の建て方別住宅戸数の対応付けを行ったところ、建物ポイントデータが住宅戸数の約95%をカバーしており、住宅地図に名称不明や戸数不明の建物が多くない地域・地区については、空家の把握にこれらの統計調査を活用できる可能性が伺われた。

さらに、市町村の人口変化率、調査区別の年齢階層別人口、基本単位区別人口、都道府県別年齢五歳階級別世帯主率を用いて、現況および将来の基本単位区別の世帯数を求めた。集合住宅では、住棟ごとの世帯数を推計することができ、これと住宅戸数を比較することで、住棟ごとの空家率を推計することができる。千葉県内の旧市街地を対象としたまちあるき地図と、団地を例に住棟ごとに現況と将来の空家率を示す地図を作成し、将来のまちづくりを考えるワークショップに提供し、資料として活用した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

市区町村別自動車CO2排出量の平成22年度の推計値を改良した。

建物ポイントデータの用途別建て方別床面積を固定資産概要書等により補正し、市町村別やメッシュ別や建物別の民生エネルギー消費量およびCO2排出量の推計を可能とした。

建物ポイントデータの建て方別住宅戸数を住宅・土地統計調査等と対応付け、メッシュ別や小地域別の空家率の現況と将来推計値を推計可能とした。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

地球温暖化対策地方公共団体実行計画に関する市区町村別自動車CO2排出量の更新業務に関して、技術的な助言を行った。

人口減少下の建物利用状況を推計して、空家発生の確率的状況および住棟ごとに現況と将来の空家率を図示する方法を確立し、千葉県下の自治体2市において、将来のまちづくりを考えるワークショップに提供し、ビジョン策定の資料として活用した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

地球温暖化対策地方公共団体実行計画において、民生家庭部門のCO2排出量の都市内分布を把握し、特徴を踏まえた政策立案に活用すること。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 松橋啓介、米澤健一、有賀敏典：都市計画論文集，49(3)，891-896(2014)
「地域別乗用車起因 CO2 排出量の 2010 年版の推計と考察」
- 2) 石河正寛、松橋啓介、金森有子：都市計画論文集，50(3)，838-843(2015)
「世帯規模別建て方別世帯数の都道府県別将来推計とエネルギー消費に及ぼす影響」
- 3) Ariga T., Matsushashi K.: Urban and Regional Planning Review, 3, 109-122, (2016)
“Urban Structure and the Number of Seniors with Poor Access to Transit: Spatial Analysis of the Greater Tokyo Region“
- 4) 石河正寛、松橋啓介、有賀敏典、金森有子、栗島英明：都市計画論文集，51(3)，833-838(2016)
「空家の地域内分布に関する現況および将来推計一世帯数と住宅数の差分に着目して」
- 5) 石河正寛、松橋啓介、有賀敏典：土木学会論文集 G, 72(6)，II_87-II_94 (2016)
「建物ポイントデータの床面積補正を通じた民生部門エネルギー消費量の推計」

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 土木学会編：市民生活行動学． 丸善，83-86（2015）
「世帯エネルギー消費に関する社会的・政策的課題（松橋啓介）」
- 2) 倉阪秀史，松橋啓介：環境科学会誌，28(6)，448-450(2015)
「地域の持続可能性を支える資本ストックの未来を考える」，
- 3) 室町泰徳編：交通システムに対する気候変動の長期的影響評価とその対策に関する研究．日本交通政策研究会，日交研シリーズA -652，19-30（2016）
「地域別乗用車起因CO2排出量の2010年度版の推計と改良（松橋啓介，有賀敏典）」
- 4) 倉阪秀史，松橋啓介：環境科学会誌，29(6)，329-331（2016）
「地域の資本ストックの将来を展望するー2040年の未来シミュレーターの結果からー」
- 5) 松橋啓介，石河正寛：公共研究，13(1)，69-75（2017）
「八千代市内の団地の人口構造を反映した空家地図の作成」
- 6) 土木学会編：土木計画学ハンドブック．コロナ社，333-338（2017）
「環境負荷と交通システム（松橋啓介）」

（２）口頭発表（学会等）

- 1) 中川喜夫，松橋啓介，谷口守：第50回土木計画学研究発表会，同研究・講演集，鳥取（2014）
「都市構造からみる余剰電力の街区間融通と電力価格政策との連携可能性」
- 2) 松橋啓介，石河正寛，有賀敏典：環境科学会2015年会講演要旨集，107（2015.9）
「市原市での資本ストック配置の将来シナリオ」
- 3) 松橋啓介，石河正寛，有賀敏典：環境科学会2016年会，横浜（2016）
「八千代市の小地域における居住世帯と建物ストックの将来像」

（３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 環境首都創造 公開セミナー（主催：環境首都創造NGO全国ネットワーク2017.3.1、京都池坊短期大学 洗心館、参加者約30名）にて講演「持続可能な地域に向けた交通と都市の計画」
- 2) 国立環境研究所公開シンポジウム（2014.6、東京と奈良、参加者約600名+300名）にてポスター発表「都市のコンパクト化で乗用車からの二酸化炭素排出量はどれだけ減るか」

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

(3) 地域エネルギー・資源マネジメントのプロセスモデル

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター	環境社会イノベーション研究室	藤井	実
福島支部	地域環境創生研究室	平野	勇二郎
福島支部	地域環境創生研究室	大場	真
福島支部	地域環境創生研究室	戸川	卓哉

<研究協力者>

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター	環境社会イノベーション研究室	牧	誠也
社会環境システム研究センター	環境社会イノベーション研究室	Dou	Yi
社会環境システム研究センター		大西	悟(平成25～26年度)

平成26～28年度累計予算額：67,441千円（うち平成28年度：20,598千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

「地域エネルギー・資源マネジメントのプロセスモデル」では、低炭素な環境成長拠点を志向して、バイオマス・廃棄物等の高効率活用、産業共生、都市のエネルギーシステムのプロセスモデルを構築し、望ましいシステムを提示するとともにその環境や経済面からのポテンシャルを評価した。本研究成果に基づき、新地町による環境省グリーンプラン・パートナーシップ補助事業及び経産省スマートコミュニティ導入促進事業への申請を支援し、採択に至るなど、政策や社会実装支援に繋がる成果を得た。

[キーワード]

空間アセスメント、地域エネルギー、バイオマス、エクセルギー、コジェネレーション

1. はじめに

サブテーマ3「地域エネルギー・資源マネジメントのプロセスモデル」では、バイオマス・廃棄物等の活用や、産業共生等のプロセスモデルを構築し、これらを組み合わせて環境成長拠点の望ましいシステムを提示し、そのポテンシャルを評価する。環境効果や経済効果を定量的に示すことで、地域特性に応じた拠点事業の選定と設計の方法論を提示する。

2. 研究開発目的

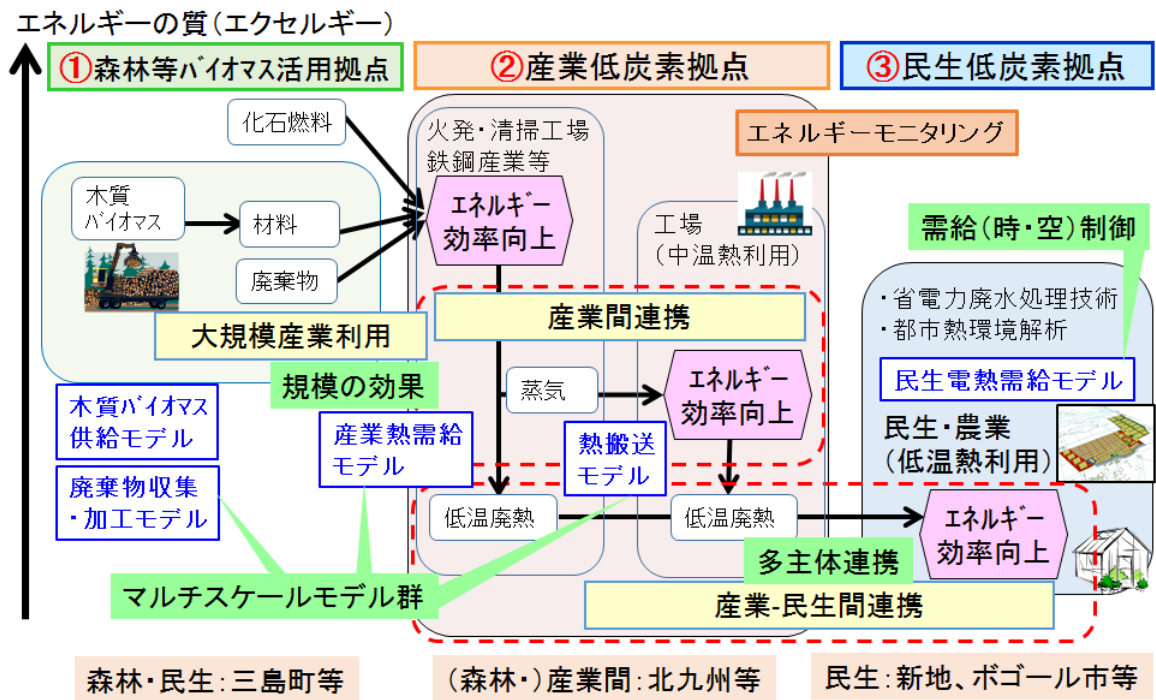
環境成長にとって重要な、エネルギー・資源の需要と供給の質的、時空間的な分布やその変動を考慮しながら、地域特性に合わせたエネルギー・資源の効率的な利用方法を提案、評価できるモデル群を作成する。これらのモデルを活用して、森林バイオマスや循環資源の活用を視野に入れ、産業や都市の拠点規模での低炭素なエネルギーシステムを設計・評価して、低炭素な仕組み

の社会実装の推進を後押しすることを目的とする。

3. 研究開発方法

産業地区や住宅・商業地区等におけるエネルギー・資源の高効率受給システムを計画し、評価できるモデル群を構築することが、本サブテーマの目的である。その際、エネルギーの供給、利用技術の現在および将来の動向も踏まえて、適切なシステムを選定することが必要である。技術を選定する際に重要な視点となるのが、エネルギーの質である。無駄な放熱のように、エネルギーの量的な損失を削減する必要性に加えて、エネルギーの質的な損失にも配慮する必要がある。エネルギーの質はエクセルギーという指標で表され、エネルギーのうち熱力学的な意味での仕事として取り出せる最大エネルギー量を指す。エクセルギー率が大きいほど、質の高いエネルギーであり、電気は理論的には100%仕事に変換できることから、エクセルギー率は100%である。化石燃料などが持つ化学エネルギーのエクセルギー率は90%を超え、質の高いエネルギーである。一方、いわゆる環境温度に近い熱エネルギーほどエクセルギー率が低く、外気温20℃のときに40℃のお湯の持つエクセルギー率はわずかに3%しかない。エネルギーの量的な面からのみエネルギー効率が議論される場合があるが、近年熱供給のシステムが多様化、高効率化しており、エクセルギーを高めることに配慮してシステムを設計する必要がある。特に電力を消費してその何倍かの熱を供給する、ヒートポンプの適用領域が拡大、高効率化しているため、従来のように電力と熱を同時供給するコージェネレーションにより、総合効率（電力のエネルギー＋熱エネルギー）を向上させることの意義が、特に環境温度に近い温度帯の熱供給において、希薄になりつつある。

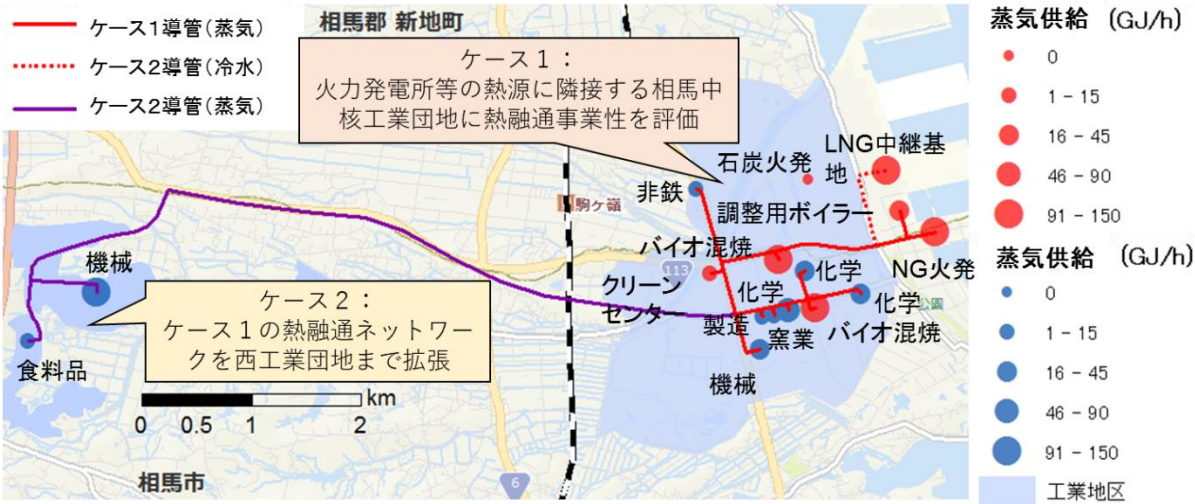
図(3)-1は、社会においてエクセルギー効率を高める観点から、再生可能資源であるバイオマスや、循環資源である廃棄物（燃料代替になるもの）の産業における大規模高効率利用、温度帯の高い熱需要のある、産業におけるコージェネレーションや熱のカスケード利用の実施、産業の最終的な廃熱の都市での活用、都市内での効率的なエネルギー需給等について、その概略を示したものである。これらの基本方針に従い、以下に(1)産業間の連携及び産業と都市との連携、(2)都市のエネルギーマネジメント、(3)森林資源の活用を対象に、拠点となる地区の設計・評価の観点から実施した研究の方法及び結果について示す。



図(3)-1 エネルギーの質を考慮したエネルギー需給システムの概略図

(1) 産業集積地区における産業排熱の面的利用のための需給分析

産業集積地域（相馬中核工業団地をケーススタディとして採り上げる。図(3)-2に概要を示す）において、地域資源として、火力発電所の蒸気、廃棄物焼却施設からの熱エネルギー、液化天然ガスの冷熱等が期待できる。熱需要の温度帯が高い産業地域においては、ヒートポンプの適用が難しいため、熱供給を低炭素化する方法として、個々のプロセスのエネルギーの量的ロス削減に加えて、再生可能エネルギーや廃棄物のエネルギーを活用することと、コージェネレーションやカスケード利用により、エクセルギー効率を高めることである。そのため、熱エネルギーをネットワーク化して、周辺施設に熱供給することを検討する。



図(3)-2 ケーススタディ地域の概要

1) 地区内の熱需要・熱供給可能量の推計

相馬中核工業団地内に立地する工場の熱需要に関する統計資料から熱需要の候補施設を表(3)-1に示す。この資料にはエネルギー消費量(燃料+電力消費量)が試算されているが、その内、蒸気の使用状況は不明なため、各企業のホームページから相馬中核工業団地内の工場の生産品を特定し、マーケット要覧¹⁾に示される各製造プロセスで必要とされる温度やエネルギー消費量割合の情報から、蒸気で供給可能な熱量の情報を推計した。

熱利用は300℃以下の温度域とし、焼成など500℃以上での熱利用の工程は対象外とした。その結果、エネルギーの消費量が多いが蒸気の使用がないと判断される工場もあり、これらは除外した。

表(3)-1 熱需要施設

地区	NO.	企業(業種)	燃料+電力消費量(TJ/年)	蒸気使用割合(%)	蒸気使用量(MJ/h)	蒸気使用量(t/h)
東	D1	無機化学	842.3	12.07	17,649	6.20
	D2	有機化学	395.3	47.37	32,511	11.41
	D3	電子部品製造	474.9	23.00	18,964	6.66
	D4	プラスチック製品製造	5.7	12.04	120	0.04
	D5	無機化学	61.0	12.07	1,277	0.45
	D6	無機化学	1457.0	注1)	88,074	30.92
	D7	機械器具製造	17.4	10.00	302	0.11
西	D8	輸送用機械製造	1380.1	50.98	122,145	42.88
	D9	食材加工品製造	109.5	15.22	2,893	1.02
熱量の合計			ケースⅠ(東地区のみ)		159,000	55.9
			ケースⅡ(東地区+西地区)		284,000	99.7

また、熱供給可能な施設を表(3)-2に示す。

表(3)-2 熱供給可能な施設 ^{2) 3) 4) 5)}

NO.	施設名称	供給熱量 (MJ/h)	蒸気供給量 (t/h)	熱供給情報
S1	相馬港天然ガス発電所	96,800	34.00	・川崎スチームネット(600MW)と同じ蒸気供給量34t/h(最大供給量の50%)
S2	相馬共同火力発電所	0	0	
S3	光陽クリーンセンター	13,100	4.60	
S4	相馬共同自家発電開発合同会社	142,400	50.00	・発電量が低下しない範囲で蒸気供給
S5	オリックス・バイオマス混焼発電	142,400	50.00	・発電量が低下しない範囲で蒸気供給
S6	熱量調整用ボイラー	34,600	12.16	・熱供給事業会社が管理 ・バランスする熱量を供給できる として試算
熱量の合計(設備能力)		429,300	150.76	
C1	LNG中継基地	134,500	4,017	

2) 抽気による発電量の減少量の推計

熱力学的な計算により、蒸気の抽気に伴う発電の減少量を推計する。計算方法の一例の概略を以下に示す。

- ① 取り出す蒸気(抽気)の条件(量、圧力、温度)を決める。

温度、圧力条件より、抽気蒸気の比エンタルピー ($h_{\text{抽気入}}$)を求める。

- ② 最終のタービン出口条件(圧力、温度)をもとに比エンタルピーを計算する。可能であれば直接乾き度を知る。

温度圧力条件より、飽和蒸気($h_{\text{出}}$)、飽和水($h'_{\text{出}}$)の比エンタルピーを求める。

乾き度 $x_{\text{出}}$ を0.91と仮定(数値がわかっている場合はその数値を投入)し、最終のタービンの出口の比エンタルピーを求める。

$$h_{\text{出}} = h'_{\text{出}} + (h_{\text{出}} - h'_{\text{出}}) * x_{\text{出}}$$

- ③ 蒸気数値より流量 $W[\text{kg/h}]$ とともに出力低下を計算する。

$$P[\text{kw}] = W[\text{kg/h}] * (h_{\text{抽気入}} - h_{\text{出}}) [\text{kJ/Kg}] \div 3,600 [\text{kw/kJ}]$$

通常タービン効率および発電機効率が存在するが、タービン効率はタービン出口条件に含まれており、発電機は100%に近いことから上記式となっていると考えてよい。

- ④ 一方、抽気が減少したとことにより、投入されなければならない熱量は、抽気後の給水の比エンタルピー ($h'_{\text{抽気後給水}}$) となるので、その値を入手する。

一般的には抽気蒸気の飽和温度に近いものとなるので、簡易的には抽気蒸気の圧力条件を使

用して、その飽和水の比エンタルピーを使用することができる。

- ⑤ プラントに供給する水の比エンタルピー（ $h'_{\text{給水}}$ ）を入手する。

この比エンタルピーはほぼ給水温度にて算出できる。

- ⑥ 蒸気を取り出したために補償する燃料の熱量を求める。

$$Q_{\text{補償}}[\text{kJ/h}] = W[\text{kg/h}] * (h'_{\text{抽気後給水}} - h'_{\text{給水}})[\text{kJ/kg}] \quad [\text{kJ/h}]$$

- ⑦ 最終的には $P[\text{kw}]$ の出力低下と $Q_{\text{補償}}[\text{kJ/h}]$ の燃料補償が必要となる。

- ⑧ 一方で、同じ蒸気を効率（ η ）のボイラで製造した場合に必要な熱量 $Q_{\text{ボイラ}}[\text{kJ/h}]$ は

$$Q_{\text{ボイラ}}[\text{kJ/h}] = W[\text{kg/h}] * (h_{\text{抽気入}} - h'_{\text{給水}}) \div \eta \quad [\text{kJ/kg}]$$

であらわされる。

3) 熱融通ネットワークの設計

熱融通のネットワークのモデルを設定するにあたり、2ケースを設定する。

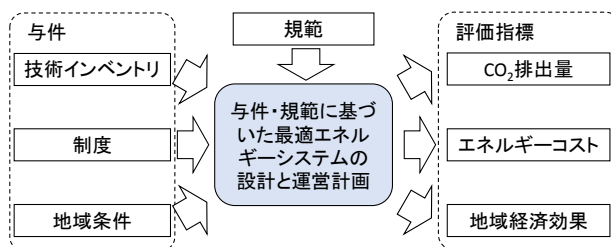
ケースⅠ：相馬中核工業団地東地区のみでネットワーク化

ケースⅡ：相馬中核工業団地東地区、西地区で一体とした熱ネットワーク化

ネットワーク化による統一の蒸気供給条件として、現状の熱利用施設における蒸気温度の中で一番高い温度は200℃であるため、230℃の加熱蒸気として蒸気圧力は2.0MPa（飽和温度212.4℃）とする。各需要先では必要に応じて減温減圧して使用することとする。

（2）地域エネルギーシステムデザインに関する研究

本研究では技術・制度・地域条件や事業主体の行動規範に基づいて導入された分散型エネルギーシステムが、環境・経済・社会の各側面へ与える影響を評価するためのフレームワークを開発する。図(3)-3に基本的なフレームワークの概要を示す。与件や規範の影響を評価するためには、それらの境界条件の下での最適な設計・運転計画を導出した上での比較が必要である。そのため、分散型エネルギーシステムの最適設計に関する既往研究のフレームワークを援用する。これまで、最適設計アプローチは主に設計支援の観点から実施されていたが、本研究では、与件・規範が与える影響の比較評価を目的とした政策分析の観点からモデルを開発する。



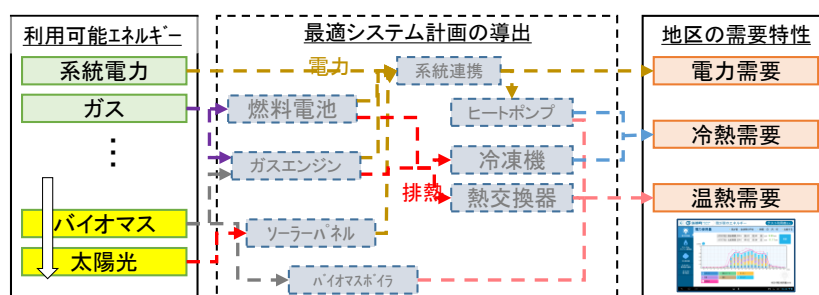
図(3)-3 研究のフレームワーク

エネルギーシステムは外部から供給される系統電力や燃料（ガス、灯油、バイオマス系資源等）を需要側で利用可能な電力、温熱、冷熱に変換するシステムである。ハードウェアの設計のみで

はなく、季節時間ごとの需給変動に合わせてそれをどのように運用するかというソフトウェアの計画もパフォーマンスを大きく左右する。したがって、本研究ではこの地域エネルギーシステムの計画プロセスを設計と運用の階層的関係に基づいて捉えており、その具体的な流れを以下に述べる。

まず、地域エネルギーシステムの検討フレームワークを設定する。これは候補となり得る全てのエネルギーシステムを含んだ一般構造を示すもので、ここでは既往研究に従い「スーパーストラクチャー」と呼ぶこととする。スーパーストラクチャーは、システムを構成する候補機器を表すサブシステムと、その間のエネルギーの潜在的な流れ（入出力関係）により表現する。なお、このエネルギーの流れは、電力、ガス等の類型ごとの値を要素とするベクトルで表現する。

その上で、地域条件や技術情報を反映した様々な制約条件の下で、燃料消費量などフローの値と設備容量などのストックの値を組み合わせた目的関数を最小化（ケースによっては最大化）するシステム構成とその季節・時間別の運用計画を同時に特定する。以上の計画プロセスの概要を図(3)-4に示す。目的に応じて、スーパーストラクチャーの中から、サブシステムを選択するとともに、選択された機器の中から季節・時間ごとに、運用する機器や運用する入出力レベルを決定する。したがって、ある季節・時間において一度でも運用する必要がある機器は、設計段階で選択されている必要があり、機器の容量は年間最大出力値以上である必要がある。



図(3)-4 地域エネルギーシステムデザインのフレームワーク

福島県奥会津地域を対象として、エネルギーシステムの計画問題を検討する。2015年国勢調査によると対象地域全体の人口は13,185人であり、高齢化率は5町村の全てで既に35%以上に達している。（日本全国の平均は26.6%）さらに、人口減少・少子高齢化が進みつつある。また、冬季は夜間の平均気温が氷点下に低下し、例年60cm程度の積雪が記録される豪雪地帯である。面積は1,518km²であり、その約84%が森林に覆われている。NEDOによる推計によるとバイオマス資源の賦存量は38,876[ton/年]である。木質バイオマス資源をエネルギーとして有効活用することによる地域振興が課題となっている。

また、対象地域は自然環境・温泉資源等の観光資源を有しており、温浴施設・宿泊施設が多数立地している。図(3)-5に対象地域の温浴施設・宿泊施設の分布状況を示す。全体で58の施設があり、延床面積の平均値は591m²である。これらの施設では、温泉水は活用されているが、加温・給湯・空調等を目的としたボイラーが設置されており、灯油等の化石燃料が消費されている。象地域において集中的にエネルギーが消費される拠点であると考えられる。機器更新のタイミングに

させる、Promoting Production (b) 2035年までに主伐1.50%, 間伐6%へ増加させると)、(3)また Promoting Production (b)シナリオを伐期のみ80年に延長したシナリオ(Promoting Production with Long-term rotation length)とした。

また、それぞれが適正にバイオマスとして利用された場合の4評価シナリオ(標準、オフセット、ストック、カスケード: 表(3)-3における正味の炭素蓄積速度を推定した。本調査では各段階の炭素吸収・排出量が計算できるため、各段階での吸収量(代替効果を含む)・排出量を積み上げて推定を行っている。バイオマス利用はエネルギー向けと建築向けとした。ここでは最大の効果を評価するとして、利用可能量すべてがエネルギーか建築へ仕向けられるとした。どちらの利用でも想定拠点まで運搬されると仮定した。想定拠点としては各町村の町村庁舎を仮定した。

表(3)-3 多様なバイオマス利用を想定したカーボンフットプリント評価シナリオ

シナリオ名	評価方法
標準評価	森林生態系吸収、林業機械・輸送による排出
オフセット評価	標準評価に加えエネルギー利用による代替オフセット効果
ストック評価	標準評価に加え伐採木材製品による炭素ストック効果
カスケード評価	ストック評価に加え、ストック廃材がエネルギー利用された場合の効果

4. 結果及び考察

(1) 産業集積地区における産業排熱の面的利用のための需給分析

1) 熱ネットワークモデルの設定結果

熱の需要量と供給可能量から各ケースの熱バランスを設定した。その結果を表(3)-4、(3)-5に示す。熱量合計の欄で、「需要先」の値は熱利用先における実際の利用可能な熱量を示す。これは熱供給施設出口の熱量に熱損出10%を見込んだ熱量である。

a. ケース I

- ・相馬中核工業団地（東地区）内でネットワーク化する。LNG火力S1が全体の熱供給量の55%を占める。
- ・石炭火力S4、S5から発電に影響しない10t/hの抽気蒸気を供給する。これは全体の熱供給量の32%に相当する。
- ・S6でバランスする熱量を供給する。

表(3)-4 ケースⅠ（東地区ネットワーク化）の熱バランス

需給	工場	熱量(MJ/h)	熱量合計(MJ/h)	蒸気量 (t/h)	備考
需要	D1	17,600	158,900	6.20	
	D2	32,500		11.41	
	D3	19,000		6.66	
	D4	100		0.04	
	D5	1,300		0.45	
	D6	88,100		30.92	
	D7	300		0.11	
供給	S1	96,800	176,600		
	S2	0	需要先 158,900		バックアップ用熱源
	S3	13,100			
	S4	28,500			
	S5	28,500			
	S6	9,600			バランスする熱量を供給

b. ケースⅡ

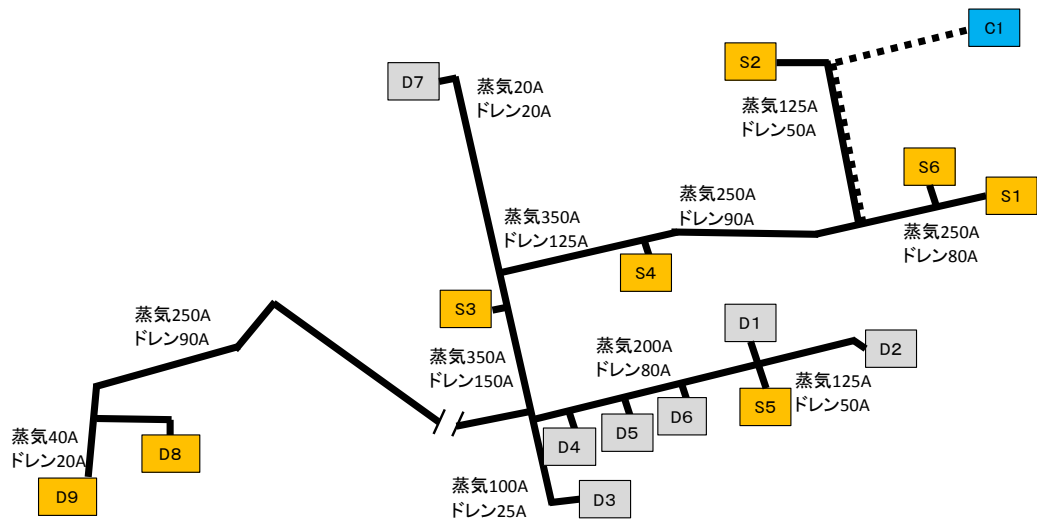
- ・相馬中核工業団地（西地区）もネットワーク化され、D8、D9が追加される。
- ・石炭火力S4、S5から発電に影響しない30t/hの抽気蒸気を供給する。LNG火力S1が全体の熱供給量の31%に減少し、石炭火力S4、S5が54%を占める。
- ・S6でバランスする熱量を供給する。

表(3)-5 ケースⅡ（地域全体ネットワーク化）の熱バランス

需給	工場	熱量(MJ/h)	熱量合計(MJ/h)	蒸気量(t/h)	備考
需要	D1	17,600	283,900	6.20	
	D2	32,500		11.41	
	D3	19,000		6.66	
	D4	100		0.04	
	D5	1,300		0.45	
	D6	88,100		30.92	
	D7	300		0.11	
	D8	122,100		42.88	
	D9	2,900		1.02	
供給	S1	96,800	需要先 283,900		
	S2	0			バックアップ用熱源
	S3	13,100			
	S4	85,500			
	S5	85,500			
	S6	34,600			バランスする熱量を供給
	C1		冷熱 需要先	冷水 5,360 m ³ /h	冷熱は冷熱用配管で供給
		179,000 161,100			

2) 配管ルートの計画

各ケースの熱バランスと配管ネットワーク図から配管ルート計画を図(3)-6に示す。配管は将来の蒸気消費量増加と緊急用として使用する蒸気量も考慮して、全ケースで最大の蒸気量において配管径を算出した。



図(3)-6 配管ルート計画図：ケースⅠ（東側）及びケースⅡ(西側を含む)

3) 化石燃料消費削減効果の算定

エネルギー効率面での評価を行うために、化石燃料消費削減効果を算定する。ケースごとの熱供給施設の発電量を表(3)-6に示す。ここでS3、S6では発電をせずに熱供給だけであるため、0と表示した。また、熱利用施設における熱使用量を表(3)-7に示す。

表(3)-6 熱供給施設の発電量 単位:kWh/h

NO.	熱供給なし (全量発電)	熱供給あり(抽気発電)	
		ケースⅠ	ケースⅡ
S1 ¹⁾	1,200,000	1,190,000	1,190,000
S2	0	0	0
S3	0	0	0
S4 ²⁾	113,000	112,000	109,000
S5 ²⁾	113,000	112,000	109,000
S6	0	0	0

注1) S1の熱供給なし発電量は中部電力新名古屋火力発電所、8号系列(1,600MW)の情報⁶⁾から出力の比で算出した。熱供給ありの場合は中圧蒸気タービン入口から蒸気を抽気し、減温減圧して外部に熱供給するものとした。

表(3)-7 熱利用施設における熱使用量 単位: MJ/h

NO.	ケースⅠ	ケースⅡ
D1	17,600	17,600
D2	32,500	32,500
D3	19,000	19,000
D4	100	100
D5	1,300	1,300
D6	88,100	88,100
D7	300	300
D8	—	122,000
D9	—	3,000

a. 評価指標Ⅰ：化石燃料の熱量換算

各ケースの化石燃料の熱量換算を図(3)-7に示す。

- ・ 熱供給のため減少した電力量

$$= (\text{熱供給なしの場合の全量発電量}) - (\text{熱供給ありの場合の発電量})$$
- ・ 熱供給で削減された燃料（都市ガス、電力）

$$= \text{熱利用量（熱損出を含む熱供給量）に相当する燃料の量}$$

削減効果は下記の式で求められ、グラフの差分に相当する。

- ・ 化石燃料の熱量換算値による削減効果

$$= (\text{熱供給で削減された燃料分（赤）}) - (\text{熱供給のため減少した電力分（青）})$$

ケースⅠからケースⅡに移行した場合、熱供給量が増加するためスケールメリットにより、熱ネットワークによる削減効果が増加する。これは、LNG火力より発電効率が低い石炭火力からの熱供給が増加したため、犠牲にした電力量が減少したことによる。発電効率の高いLNG火力では発電を優先させ、比較的発電効率の低い施設から熱供給することで、熱ネットワーク全体のエネルギー効率を高めることになる。

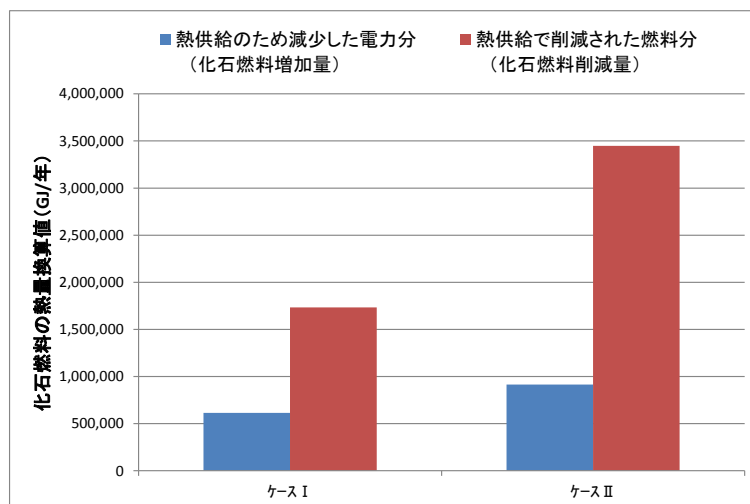
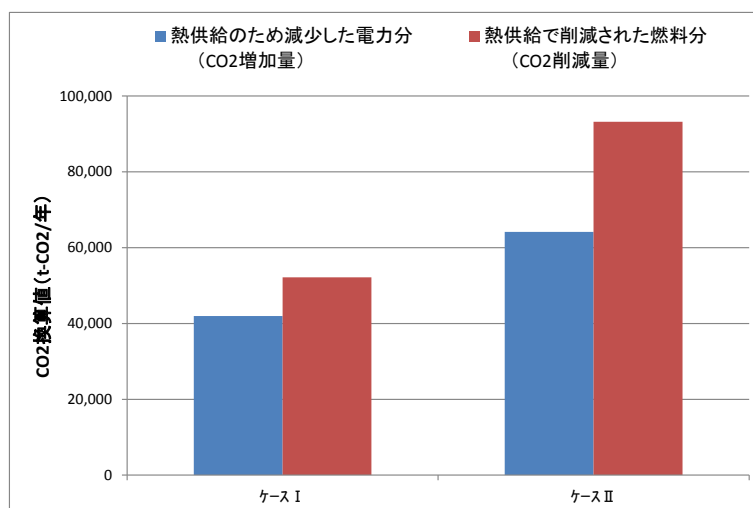


図 (3)-7 化石燃料の熱量換算

＊「熱供給のため減少した電力分」には熱量調整用ボイラーの熱量による相当量を含む。

b. 評価指標Ⅲ：CO₂換算

各ケースのCO₂換算値を図(3)-8に示す。ケースⅡでは発電効率の低い石炭火力からの熱供給の割合が増加するため、単位供給熱量当たりの犠牲にした発電量がLNG火力より少なくなり、この発電量に全国平均の係数を乗じて算出するCO₂排出量も少なくなる。このため、全体のCO₂削減量（＝熱供給により削減された燃料に相当するCO₂削減量－供給熱量により犠牲にした発電量に相当するCO₂）は、LNG火力からの熱供給の割合が多いケースⅠより多くなるものと考えられる。すなわち、高効率のLNG発電よりも発電効率が比較的低い石炭火力から熱供給した方がよりCO₂削減量が多くなることが分かる。

図 (3)-8 各ケースのCO₂換算

注) 1. 「熱供給のため減少した電力分」に熱量調整用ボイラーS6のCO₂量が含まれる。

2. S4, S5は木質ペレット30%を含むためこのバイオマス分は除く。廃棄物焼却施設S3もCO₂換算から除く。

以上のように、エクセルギー効率の向上に配慮しながら、産業地区におけるエネルギーの面的利用による低炭素化計画作成とその評価手法を構築した。他に、産業地区から住宅・商業地区や、農業地区（温室）への廃熱供給についても検討を行ったが、これらの成果は論文（Dou et al., Resources Conservation and Recycling, in pressなど）を参照されたい。

（２）地域エネルギーシステムデザインに関する研究

本研究では、コスト最小化、CO₂最小化の各規範に基づいたケースについて検討する。さらに、コスト最小化に関しては、現状の日本において適用される可能性の高い、発電電力の固定価格による買い取り（FIT）と設備投資に対する補助金の助成という2つの補助制度を検討対象とする。表(3)-8に検討ケースの概要を示す。ケース3での売電価格はFIT制度に基づき太陽光24円/kWh、バイオマス発電40円/kWhとする。また、ケース4ではBCHP(Biomass Combined Heat and Power)ユニットの設備投資に対して50%の補助金が助成される状況を検討する。

表(3)-8 検討ケースの設定

	規範	制度
ケース1	コスト最小化	-
ケース2	CO ₂ 最小化	-
ケース3	コスト最小化	FIT価格で売電
ケース4	コスト最小化	BCHPユニットに50%の補助

1）システム設計と運用（技術選択の結果）

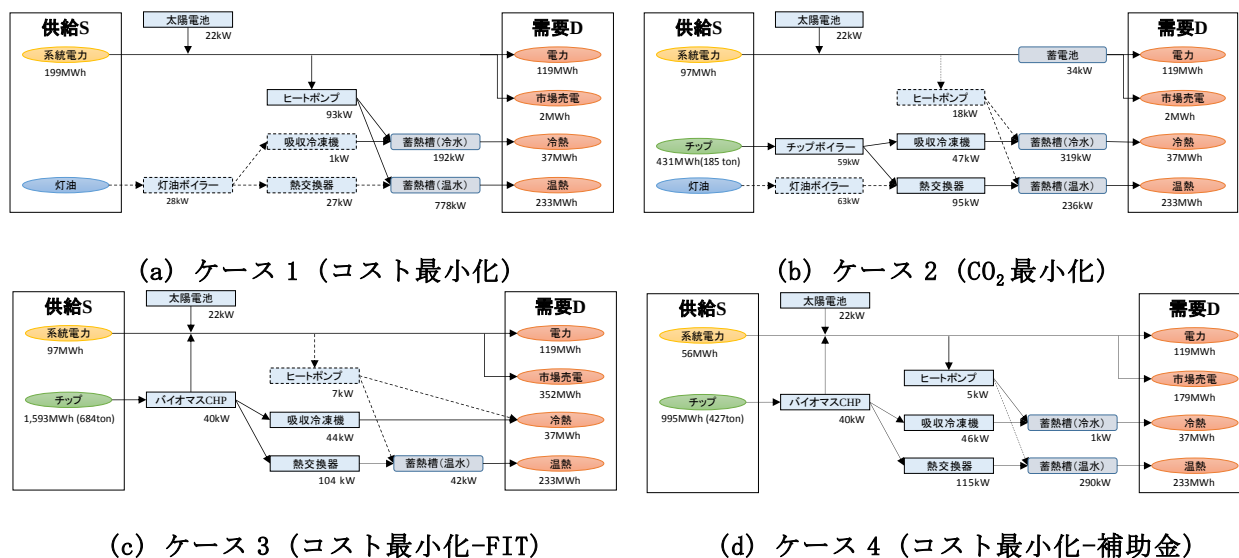
図(3)-9にシステム設計の結果を示す。ケース1では系統電力や太陽電池による発電電力を基にヒートポンプを利用することで全ての電力と熱を供給する「オール電化システム」が選択されている。特に大容量の蓄熱槽が採用されており、夜間電力を積極的に活用するシステムとなっている。一方、ケース2では、電力はケース1と同様に系統電力と太陽電池により賄われるが、熱の生成には木質チップボイラーを用いるシステムが選択された。

また、補助制度が適用されるケース3とケース4はどちらもBCHPを中心としたシステムが選択されている。ただし、BCHPユニットの稼働状況に関しては、ケース3では季節・時間を問わずに運転されているが、ケース4では全ての季節において深夜から早朝の時間帯は運転を停止するという結果となっている。さらに、ケース3では、BCHPユニットにより発電される電力は全量売電されているが、ケース4では発電電力の一部は施設内にて自家消費されている。これは、ケース4ではFIT制度が適用されないため売電時の買い取り価格が高くないためである。また、ケース3・4では熱は基本的にはBCHPユニットの排熱により供給されているが、ケース4では夏季の冷熱供給はBCHPユニットの排熱利用に加えてヒートポンプが利用されている。これは、日間を通じた排熱の余剰であるものの、この時間帯のBCHPユニットは停止しており、温水に対して冷水の蓄熱槽の設置コスト

が高額であるためである。なお、ケース3においてもBCHPから生成される熱の有効利用率は33%とあまり高くないが、バイオマスチップに対してFITでの電力買い取り価格（40[円/kWh]）が十分に高いためBCHPシステムが採用されている。

また、全ケースを通じて、太陽電池は制約の上限値まで導入されている。一方、BCHPやバイオマスボイラーはケースに応じて導入の有無や容量が選択されている。太陽電池は熱を含むエネルギー供給のコストを削減する効果を持つことで、バイオマスボイラーやBCHPと競合関係にある。つまり、バイオマス関連技術の導入の検討においては、既存の灯油ボイラーより、太陽電池やヒートポンプ等の電化システムとの比較検討が重要となる。

なお、図(3)-9におけるケース1、2では灯油ボイラーがケース2、3ではヒートポンプが導入されているが、運用履歴からは、これらの機器が稼働している状況は確認できない。これより、これらの機器は容量あたりの設備投資費用が比較的小さいため、年間ピーク負荷に対応する補助目的で導入されたものであることが分かる。



図(3)-9 システム設計の結果

2) システム導入効果の定量的評価

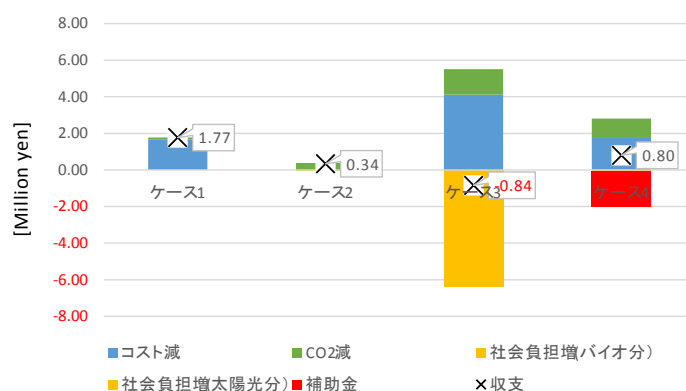
エネルギーシステム設置と運転にかかるコストと売電収入の収支を推計した。実績では電気代・灯油代の合計で5.80[百万円/年]のコストがかかっているためこの値を基準として考える。ケース2は制約条件により実績と同じ値となっているが、それ以外のケースではコスト削減が達成されている。特に、FIT認定の下での高い単価（40[円/kWh]）での売電が可能なケース3では、15[百万円/年]の売電収入が得られるため、73%の大幅なコスト削減となった。

次に、CO₂排出量を推計した。現況の燃料消費量に基づくCO₂排出量は131[ton-CO₂/年]であり、この値を基準とする。全ケースでCO₂排出量の削減が達成されている。ケース1においてもコスト削減と同時に16%のCO₂排出削減が達成されている。さらに、CO₂最小化を目的とするケース2では

59%のCO2削減となる。また、BCHPで発電した電力の市場売電が発生するケース3とケース4では、BCHPでの発電電力が系統電力を置換することによるCO2のオフセット量が直接排出量を上回るため、削減率は100%以上となり、それぞれ145[ton-CO2/年]と70[ton-CO2/年]のCO2を吸収することと同値となる。

また、ケースごとのバイオマス資源の消費量について推計した。BCHPユニットを導入し全ての季節と時間を通じて稼働するケース3では、687[ton/年]のバイオマス資源が消費される。単一の施設で地域全体のバイオマス資源の賦存量である38,876[ton/年]の2%程度を消費することになる。

最後に、コスト削減効果とCO2削減効果、および制度実施に伴い発生する社会的費用を総合して評価した「社会的便益」を図(3)-10に示す。ここでは、CO2削減に関する便益は炭素排出権の取引価格を参考に5,000[円/ton-CO2]と設定した。また、FIT制度下における価格（バイオマス40円/kWh、太陽光24円/kWh）での買い取りに伴う社会的費用は系統電力価格との差分に基づき季節・時間別に設定し、BCHPユニットへの設備補助に関しては補助分が直接、社会的費用になると設定した。図(3)-10を見るとケース1に対してケース2では社会的便益が縮小している。このことより、CO2削減を目的として分散エネルギーを導入することのコスト効率は必ずしも高くはなく、コスト削減とのコベネフィットの追求が重要であることが分かる。また、制度実施を伴うケース3とケース4でもケース1よりも社会的便益が小さい値となった。これは、事業者の経済的便益やCO2削減便益に対して、制度実施に伴って発生する社会全体にかかる負担が大きいためである。したがって、現状で運用されている施策の下では、BCHPの導入、および地域のバイオマス資源の利活用は進む可能性は高いものの、それを上回る社会的負担の発生が示唆される。



図(3)-10 社会的収支の推計結果

3) 技術システムの導入基準

前節では、対象地域における平均的な規模の温浴施設を対象に検討した。ここでは、施設の需要規模と燃料である木質チップの価格がシステム選択に与える影響を分析する。需要規模は、前章での議論から地域の平均規模（年間熱需要が270MWh）を分散型エネルギーシステム導入の最小ケースと考え、対象地域の規模別の施設の分布状況を考慮して405MWh（地域平均規模の1.5倍）と541MWh（同2.0倍）のケースを対象とする。木質チップ価格は実績値に関する検討に基づいて3.7

円～6.0円を評価対象とした。また、BCHPによる発電電力の買い取り価格についても40円/kWhのケースに加えて32円/kWhと24円/kWhの場合を考慮して検討した。なお、目的関数や制約条件はコスト最小化とする。

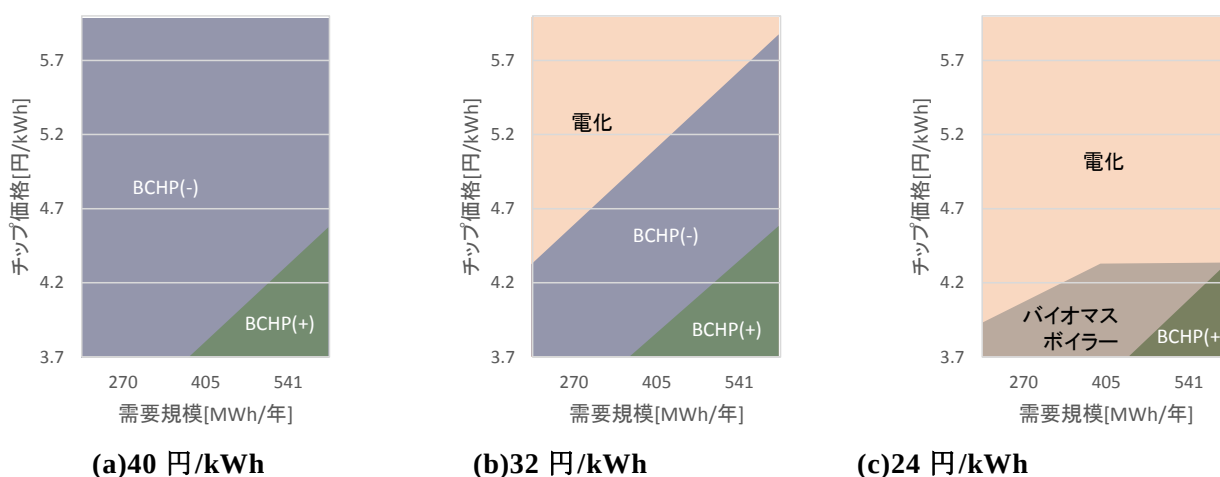
需要規模と燃料チップ価格に応じた技術選択の結果を図(3)-11に示す。前章で見たようにBCHPシステムを採用する場合は社会的な負担が発生するため、図では社会的便益を最大化する解と一致している場合はBCHP(+)、一致していない場合はBCHP(-)と表記している。なお、BCHP(-)となる領域では前節で示した状況の様に電化した方が社会的便益が高いことを意味している。一方、BCHP(+)となっている領域では、チップ価格の減少により施設でのコスト削減効果が大きくなったため、収支が電化するケースを上回っている状況に対応している。

電力買い取り価格が40円/kWhの場合は、需要規模やチップ価格に関わらずBCHPシステムが採用される結果となった。ただし、ほとんどのチップ価格と需要規模の組み合わせにおいてBCHP(-)となっている。チップ価格や需要規模と無関係にBHCPが導入され、非効率な状況に陥る危険性が高いことになる。また、需要規模が同等であっても、チップ価格の上昇に伴いBCHP(+)からBCHP(-)へ変化する。このとき、発電電力量等は一定であるが、燃料であるチップ価格の上昇により事業主体のコスト削減効果が減少するため社会的便益が電化ケースに比べて小さくなる。

一方、買い取り価格が32[円/kWh]の場合は、チップ価格や需要規模に応じて、BCHPシステムやと電化システムが選択的に導入される。チップ価格が低く、需要規模が大きくなるほどBHCPが選択される傾向がある。ただし、BHCPシステムが採用される領域においてはBCHP(-)となる割合が大きい。

さらに、電力買い取り価格が24円/kWhのケースでは、チップ価格が低下した場合、BCHPシステムではなく、バイオマスボイラーが導入される領域がある。また、買い取り価格も低く社会的負担も小さいことから、チップ価格と需要規模のいずれの組み合わせにおいても事業主体のコスト最小解は社会的最適解と一致する。

以上より、BHCP(+)となる領域は限定的であるため、BCHPを効率的に普及させるためには、チップ価格を低減させる努力や周辺施設と併せた需要規模拡大の必要があることが示唆された。また、FIT制度の運用においては、現行の買い取り価格40円/kWhが適用される場合、多くの施設でのBCHPの導入が進み木質チップの需給は逼迫することも懸念される。今後、地域全体での需給バランスを考慮した上で木質バイオマス資源の適正な利用方法を検討することが課題である。



図(3)-11 地域地区特性と技術選択の関係

4) まとめ

本研究では、分散型エネルギーシステムの計画プロセスをモデル化するとともに、福島県奥会津地域の温浴施設を対象としたケーススタディを通じて、木質バイオマス資源を活用したエネルギー供給システムの実現可能性を環境・経済・社会の側面から検討した。

- ・計画プロセスモデルは混合整数計画の枠組みの下で技術・制度・地域条件および規範に基づいた、分散型エネルギーシステムの設計と運転計画を導出可能である。また、導入効果を環境・経済・社会の側面から定量的に評価できる。
- ・本研究で開発した計画プロセスモデルを奥会津地域の平均的な温浴施設のエネルギーシステムの計画問題に適用した。その結果、コスト最小化を目指す場合はオール電化が、CO₂最小化を目指す場合はバイオマスボイラーが、支援制度が利用可能な場合はBHPシステムが選択された。ただし、支援制度の実施は社会的な負担も大きく、現行の制度下においては、BHPシステムの普及や地域資源の利用は促進されるものの、社会的なコストがその便益を上回る可能性があることが示唆された。
- ・さらに、「チップ価格」「需要規模」に関する感度分析を行い、BHPシステム等が導入される条件等を検討した。その結果、社会的便益を損なわないようにBHPシステムを導入するためには、チップ価格を低い水準に押さえる必要があるとともに、エネルギー需要施設の集約等が有効であることが示唆された。

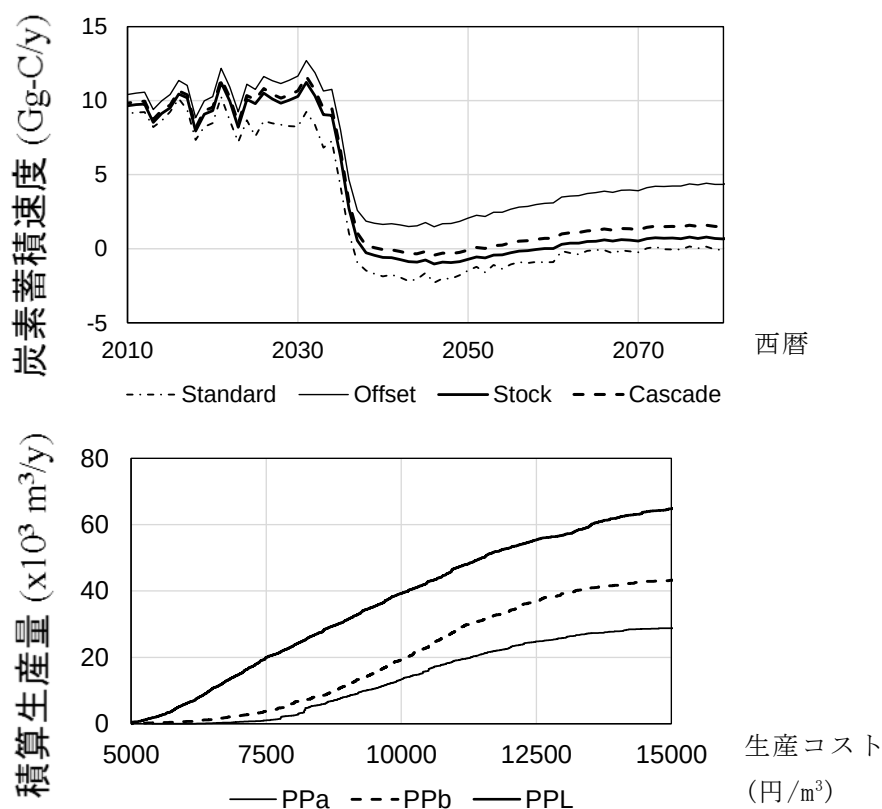
(3) 森林バイオマスの物質フローモデル

両対象地域で同じ傾向が見られたため、奥会津における結果を示す。林生態系による二酸化炭素吸収は、2000年代に減少する傾向が見られた。伐採面積を現在より増加させる3 Promotingシナリオでは施業によるかく乱のため吸収量は低いか放出となる(図(3)-12)。

素材生産量は、Promoting Production (b)シナリオ(PPb)が持続的な生産のためのほぼ上限の伐採率であり、これ以上の伐採率では生産量が不安定になる(伐採が多く育成が間に合わないため、生産量が減少する時期が発生する)。年間の生産量はPPbとPromoting Production with Long-term rotation length(PPL)シナリオで51.2 and 71.7 ×10³ m³/yであった。

施業シナリオごと10年ごとの生産コストを計算した(図(3)-12)。固定買い取り価格制度での木質チップの上限価格12,000円/1,000kgを材積単位へ変換すると約7,000円/m³(スギの絶乾重量を316 kg/m³, 含水量を45%と仮定)となるが、PPa, PPbではこのコストで生産できるバイオマスはごく限られている。しかし、長伐期にした場合はコスト低減効果がみられ、約11×10³m³/y(約6,000トン)の持続的な生産が可能と考えられた。

バイオマス利用ライフサイクルから評価した場合、標準シナリオでは、森林炭素蓄積も建築材蓄積も平衡状態に達するため炭素吸収の効果は低い。エネルギー利用した場合(オフセット)の代替効果大きい。一方建築材で利用した場合(ストック)、加工時の排出量が大きく標準シナリオと同じかそれより低くなる傾向は昨年と同じであった。廃材をエネルギー利用(カスケード)した場合の効果は、ストックシナリオの状況を若干改善するに留まった。



図(3)-12 バイオマス利用シナリオごとの生態系-社会システムでの正味の炭素蓄積速度(上)と森林シナリオごとの生産コストと生産可能量の関係(下)

(4) 今後の課題

電力、熱の供給、利用方法を、経済的な面にも配慮しながら、将来の技術動向も踏まえて低炭素や省資源の観点から最適化することが求められる。近年、建物用のヒートポンプでは、給湯と冷房など、温熱と冷熱の供給を同時に行うことで、成績係数が大幅に改善されたものも普及し始めており(ヒートポンプは熱を汲み上げる装置であり、必ず冷熱と同時に温熱が得られる)、熱

供給が効率化されつつある。また、再生可能エネルギーの大幅な利用拡大が重要な要素となるが、出力変動の緩和対策として、現在では依然として高額な蓄電池を補完するものとして、より安価にエネルギーの保存ができる蓄熱を利用し、ヒートポンプの稼働時間帯をシフトすることで、出力変動の緩和に寄与することもできる。これら将来の技術動向を踏まえて、より最適なシステム選定を行える方法論を構築することが求められており、今後の課題である。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

技術・制度・地域条件や規範に基づいて最適な地域エネルギーシステムを特定し、環境・経済・社会への各側面へ与える影響を評価するためのフレームワークを開発することで、CO2削減に向けた対策メニューに地域エネルギーを位置づけるための基礎情報を提供することが可能となった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

新地駅周辺地区での地域エネルギー事業について本研究成果にもとづいてCO2削減量やエネルギーコスト削減量を提示することで、新地町の環境省グリーンプラン・パートナーシップ補助事業（実現可能性調査）、経産省スマートコミュニティ導入促進事業（設備投資補助）への提案を支援した（新地町が作成したグリーンプラン・パートナーシップ事業交付申請に係る普及方針等表明書に試算結果が採用されている）。なお、両事業ともに採択されている。

<行政が活用することが見込まれる成果>

将来の技術動向も踏まえて、産業や都市における効率的な地域エネルギー利用の対策の立案、評価が可能な検討の枠組み及び評価モデル群を作成した。これらの成果を活用して、地域エネルギー政策の方向性の提示や、詳細な対策計画の立案とその効果の予備的検討に資することができる。

開発したモデルにより福島県奥会津地域での木質バイオマス生産とエネルギーシステム導入について評価を行った。その結果はH29年度より開催される予定の福島県三島町における林業とバイオマスに関する検討会で検討される予定である。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 戸川卓哉、藤田壮、藤井実、大西悟、平野勇二郎、大場真：土木学会論文集 G（環境），Vol. 70, No. 6,（環境システム研究論文集第 42 巻），pp. II_33-II_43（2014）
「都市・地域の空間特性を考慮した 資源循環・エネルギー施策の計画支援システム」
- 2) 大西悟、藤田壮、Dong Liang、藤井実：環境共生，Vol. 25, pp. 33-44(23)（2014）

「都市と産業の共生に向けた研究のこれまでの流れと今後の展開」

- 3) Togawa T., Fujita T., Dong L., Fujii M., Ooba M.: Journal of Cleaner Production, Volume 81, pp. 60-69, (2014)
"Feasibility Assessment of Power Plant Source Waste Heat to Plant Factory Considering Spatial Configuration"
- 4) Yujiro Hirano, Tsuyoshi Fujita : Available online 23 June 2015,doi:10.1016/j.enbuild.2015.06.033 (2015)
"Simulating the CO2 reduction caused by decreasing the air conditioning load in an urban area. Energy and Buildings"
- 5) 戸川卓哉, 藤田壮, 芦名秀一, 藤井実, Dong L. (Liang Dong) : 土木学会論文集 G(環境), 71(6), (環境システム論文集, 43), II_139-II_149 (2015)
「地域特性に応じた分散型エネルギーシステムの設計支援フレームワーク」
- 6) Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Liang Dong, Chengpeng Lu, Yong Geng, Shishir Kumar Behera, Hung-Suck Park, Anthony Shun Fung Chiu :Journal of Cleaner Production, 114, 376-386 (2016)
"Possibility of developing low-carbon industries through urban symbiosis in Asian cities"
- 7) Takuya Togawa, Tsuyoshi Fujita, Liang Dong, Satoshi Ohnishi, Minoru Fujii : Journal of Cleaner Production, 114, 224-232 (2016)
"Integrating GIS databases and ICT applications for the design of energy circulation systems"
- 8) Y. DOU, T. TOGAWA, L. DONG, M. FUJII, S. OHNISHI, H. TANIKAWA, T. FUJITA: Resources, Conservation and Recycling (2016)
"Innovative planning and evaluation system for district heating using waste heat considering spatial configuration: a case in Fukushima, Japan"(in press)
- 9) M.OOBA, K.HAYASHI and M.FUJII: Journal of Cleaner Production, 130, 35-44 (2016)
"Geospatial Distribution of Ecosystem Services and Biomass Energy Potential in Eastern Japan"
- 10) Ohnishi S., Fujii M., Ohata M., Inaba R., Fujita T.: Resources, Conservation and Recycling, (2016)
"Efficient energy recovery through a combination of waste-to-energy systems for a low-carbon city" (in press)
- 11) Kim, H.W., Ohnishi S., Fujii M., Fujita T., and H.S. Park.: Journal of Industrial Ecology, (2016)
"Evaluation and allocation of greenhouse gas (GHG) reductions in industrial symbiosis using GHG protocol and life cycle approaches" (in press)
- 12) Ohnishi S., Dong H., Geng Y., Fujii M., Fujita T.: Journal of Ecological Indicators, 73, 513-524 (2017)
"A comprehensive evaluation on industrial & urban symbiosis by combining MFA, carbon footprint and emergy methods—Case of Kawasaki, Japan"
- 13) 戸川卓哉, Dou Yi, 大場真, 根本和宜, 中村省吾, 藤井実: 土木学会論文集 G(環境) (2017)
「中山間地域における分散型エネルギーシステムのデザインと導入基準」(投稿中)

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) M.Ooba, T.Fujita, T.Togawa, Y.Hirano, M.Fujii, K.Hayashi: The 9th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Venice-Istanbul 20-27 Sep (2014)
"Geospatial distribution of ecosystem services and renewable energy potential within eastern Japan"

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 戸川卓哉、藤田壮、藤井実、大西悟、平野勇二郎：第49回土木計画学研究発表会（春大会），土木計画学研究・講演集，Vol.49，CD-ROM，東北工業大学（2014.6）
「統合型GIS データベースの構築とエネルギー・資源循環システム設計への適用」
- 2) T.Togawa, T.Fujita, M.Fujii, Y.Hirano, S.Ohnishi and L.Dong: The Joint 11th International Society For Industrial Ecology Socio-Economic Metabolism Section Conference and The 4th ISIE Asia-Pacific Conference, Melbourne, Australia (2014)
"Development of integrated GIS database and its application to energy-material circulation system design"
- 3) M.Fujii, T.Fujita, S.Ohnishi, T.Togawa, L.Dong, H.Dong: The Joint 11th International Society For Industrial Ecology Socio-Economic Metabolism Section Conference and The 4th ISIE Asia-Pacific Conference, Melbourne, Australia (2014)
"A study on the cost-effective energy recovery system from municipal solid wastes"
- 4) S.Ohnishi, T.Fujita, M.Fujii, L.Dong and H.Dong : The joint 11th International Society for Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism section conference and the 4th ISIE Asia-Pacific Conference, Melbourne, Australiaon, 67, 498-502.(2014)
"Social transitions in eco-industrial development: From eco-towns to a regional symbiosis in Japan,"
- 5) K.Tatebayashi, M.Ooba, T.Matsui, T.Machimura, Y.Tani, A.Nakao, and Y.Yamamoto: International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM) 2015, Tsukuba, 18 Mar. (2015)
"Demand matching of woody biomass by forest ecosystem model -A case study of Arida and Hidaka River Basin, Japan-"
- 6) M.Ooba, K.Hayashi, T.Suzuki and R.Li,: The 6th International Conference on Environmental and Rural Development, Tagbilaran , 7 Mar. (2015)
"Analysis of urban ecosystem services considering conservation priority"
- 7) M.Ooba: Low Carbon Asia Research Network (LoCARNet) 3rd Annual Meeting, Bogor, 26 Nov. (2014)
"Eco system research: Assessment research based on remote sensing data"
- 8) M. Ooba: International Conference on Eco-Industrial Development, Shanghai, 30 Oct. (2014)

- "Biomass and ecosystem: Impact assessment of woody biomass production from the view of ecosystem services"
- 9) T.Togawa : International Conference on Eco-Industrial Development, Shanghai, 30 Oct. (2014)
"A study on multi-scale urban planning method considering regional energy characteristics"
 - 10) M. Ooba, K. Hayashi, T. Machimura, T. Matsui: 9th IALE World Congress, Portland, USA, July 5-10, (2015)
"Landscape-level evaluation of ecosystem services: Urban, plantation, and natural forests in the central part of Japan"
 - 11) Ohnishi S., Dong H., Fujita T., Dong L., Fujii M.: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Evaluation methodology comparison on industrial and urban symbiosis in Kawasaki Eco Town, Japan"
 - 12) Fujii M., Fujita T., Ohnishi S., Dong L., Togawa T., Dong H.: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Smart eco-industrial city supported by apparent energy upgrade and innovative monitoring"
 - 13) Togawa T., Fujita T., Dong L., Fujii M., Oba M., Ohnishi S., Dou Y.: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"An integrated framework for regional energy symbiotic design by locational suitability analysis of technologies: de-carbonization planning system for Fukushima revitalization"
 - 14) Remi Chandran, Tsuyoshi Fujita, Minoru Fujii, Shuichi Ashina, Kei Gomi: International Society for Industrial Ecology(ISIE) Conference 2015 Taking Stock of Industrial Ecology, Guildford, UK, July 7-10, (2015)
"Bridging Monitoring Reporting Verification (MRV) with the Concepts of Social Monitoring and Participatory approaches. "
 - 15) 戸川卓哉, 藤田壮, 平野勇二郎, 藤井実: 環境科学回2015年会, 大阪大学 (2015年9月7-8日)
「地域特性に応じた分散型エネルギーシステムの最適設計手法」
 - 16) 大場真, 藤井実, 林希一郎: 環境アセスメント学会2015年度研究発表会要旨集, 219 (2015. 9)
「東日本における再生可能エネルギー利用と生態系影響」
 - 17) M. Ooba, F. Fujita, M. Fujii: 10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia, 28 September, (2015)
"Evaluation of carbon footprint of woody biomass production by the "upstream to downstream" model"
 - 18) Yi Dou, Takuya Togawa, Liang Dong, Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Satoshi Ohnishi, Hyeonwoo Kim: 環境システム研究論文発表会講演集, 43, 111-116 (2015)

- “Development of a land use planning method for district heating system using waste heat: a case study in Fukushima, Japan ”
- 19) M. Ooba, T. Fujita, M. Fujii, T. Togawa: Global Cleaner Production and Sustainable Consumption Conference, Sitges, Barcelona, Spain, Nov. 1-4, (2015)
“Assessment of woody biomass life cycle by an ecological footprint-like index”
 - 20) Minoru Fujii, Dong Liang, Tsuyoshi Fujita, Takuya Togawa, Makoto Ooba: Global Cleaner Production and Sustainable Consumption Conference, Sitges, Barcelona, Spain, Nov. 1-4, (2015)
“Upgrade use of wastes, biomass and waste heat in industries ”
 - 21) Takuya Togawa, Makoto Ooba, Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita: Global Cleaner Production and Sustainable Consumption Conference, Sitges, Barcelona, Spain, Nov. 1-4, (2015)
“An optimal design framework for distributed energy system corresponding to regional characteristics: Decarbonizing planning system for Fukushima revitalization”
 - 22) M. Ooba, M. Fujii, K. Hayashi, H. Ito: International Symposium on EcoTopia Science 2015, Nagoya, Japan, Nov. 27-29, (2015)
“Conservation both of biomass energy and ecosystem services by geospatial analysis”
 - 23) 大場真, 林希一郎, 伊東英幸: 日本生態学会第63回全国大会 (2016) web要旨集, 仙台 (2016. 3)
「古土地利用図とプロセスモデルを用いた広域生態系サービス評価」
 - 24) 藤井実, 大西悟, 稲葉陸太, 田崎智宏, 藤田壮: 第11回日本LCA学会研究発表会講演要旨集 (2016)
「廃棄物からのエネルギー回収の高度化に関する検討」
 - 25) 大西悟, Kim Hyeongwoo, 藤井実, 藤田壮: 第11回日本LCA学会研究発表会講演要旨集 (2016)
「産業共生によるライフサイクル効果の蒸気価格への影響分析」
 - 26) Ooba M., Hayashi K., Ito H.: 36th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment, Nagoya, May. (2016)
“Assessment of ecosystem services with land use maps: Conservation priority under several greening scenario in Nagoya City“
 - 27) Togawa T., Ooba M., Yoshioka A., Tamaoki M., Mishima Y., Kumada N., Fukasawa K., Dou Y.: 2016 United Nations/Kenya Conference on Space Technology Applications for Wildlife Management and Protecting Biodiversity, Nairobi, June. (2016)
“Spatial assessment of land-use change and biomass distribution for effective utilization of ecosystem services in Fukushima“
 - 28) Ooba M., Fujii M., Togawa T.: 11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Lisbon, Sep. (2016)
“Regional-scale assessment about reduction of carbon emission considering harvested wood products“
 - 29) 平野勇二郎, 吉田友紀子, 鳴海大典: 平成28年度空気調和・衛生工学会大会, 鹿児島 (2016)
「地域・年による気温条件の民生業務部門エネルギー消費量への影響に関する検討」

- 30) 平野勇二郎、一ノ瀬俊明：環境科学会2016年会，横浜（2016）〈招待講演〉
「都市熱環境に関する様々なスケールの解析事例」
- 31) Remi Chandran, Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Shuichi Ashina, Kei Gomi, Kengo Aizawa, Kenji Uchida: Joint 12th International Society for Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism Section conference and the 5th ISIE Asia-Pacific Conference, Nagoya, Sep. (2016)
“Application of a Multifaceted MRV System for Supporting the Development of a Low Carbon Society“
- 32) Yi Dou, Satoshi Ohnishi, Minoru Fujii, Liang Dong, Takuya Togawa, Hiroki Tanikawa, Tsuyoshi Fujita: Joint 12th International Society for Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism Section conference and the 5th ISIE Asia-Pacific Conference, Nagoya, Sep. (2016)
“Regional Planning and Assessment System for Heat Exchange Network between Incineration Facilities and Industries: Case of Tokyo Metropolis“
- 33) Lu Sun, Minoru Fujii, Satoshi Ohnishi, Huijuan Dong, Yi Dou, Zhaoling Li, Tsuyoshi Fujita: Joint 12th International Society for Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism Section conference and the 5th ISIE Asia-Pacific Conference, Nagoya, Sep. (2016)
“Evaluation of cost-benefit and GHG emission reduction potentials of regional municipal solid waste (MSW) management system - case of Tokyo Metropolis“
- 34) Dou Y., Togawa T., Fujii M., Ohnishi S., Okuoka K., Tanikawa H., Fujita T.: The 12th Biennial International Conference on EcoBalance, Kyoto, Oct. (2016)
“Regional Planning and Evaluation System for Industrial and Urban Symbiosis considering Land Use Changes“
- 35) Hyeong-Woo Kim, Satoshi Ohnishi, Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Hung-Suck Park: The 12th Biennial International Conference on EcoBalance, Kyoto, Oct. (2016)
“Evaluation and Allocation of Greenhouse gas (GHG) emission reductions of industrial symbiosis (IS) networks using life cycle approaches “
- 36) 平野勇二郎：2016年日本地理学会秋季学術大会，仙台（2016）〈招待講演〉
「環境工学分野における都市熱環境の解析事例」
- 37) 平野勇二郎、五味馨、芦名秀一、中村省吾、藤田壮、井上剛：第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，エネルギー・資源学会，東京（2017）
「地域条件を考慮した家庭部門CO2排出量の詳細推計モデル」

（３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 国立研究開発法人国立環境研究所公開シンポジウムにて災害環境研究への取組みに関するポスター発表
(2015年6月19日、東京都メルパルクホール、来場者435名、2015年6月26日大阪府大阪市松下IMPホール、来場者253名)

- 2) 国立研究開発法人国立環境研究所一般公開にて災害環境研究への取組みに関するポスターを展示
(2015年7月18日、来場者4,433名)
- 3) 土木学会第43回環境システム研究論文発表会にて企画セッション「復興自治体における環境創生に関する社会実装研究」を主催(2015年11月)
- 4) 川崎市アジア太平洋エコビジネスフォーラム(共催)「日本発信の環境成長システムのアジアへの発信」(2016年2月)
- 5) 川崎エコビジネスフォーラムにてNIESセッションを開催(2月)
- 6) NIES災害環境研究特別セミナー東京大学出口敦教授、阪南大学渡辺和之准教授を招聘(8/8、創造センター職員約30名参加)
- 7) 新地町地域エネルギー国際ワークショップ(新地町)を開催(10/30、参加者約50名)
- 8) 国立環境研究所福島環境創生研究セミナー(新地町、新地町立地企業講演会と併催)を開(11/2、参加者約100名)
- 9) 上海交通大学との共催でEco City Symposium, 11月、上海。

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 土木学会 平成28年度全国大会(仙台)パネル展示、パンフレット配布(9/8)
- 2) JSTサイエンスアゴラで福島の未来についてのパネルディスカッション(11/3)
- 3) spffサイエンス屋台村inコミュタン福島にてポスター展示、研究所ツアー(11/26)

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 「エネルギー需要家別マーケット調査要覧2010(産業分野編)」富士経済、2010.10.18
- 2) 「相馬港天然ガス発電所(仮称)設置計画 環境配慮書」経済産業省、2014.12.26
- 3) 「火力・原子力発電所設備要覧(平成23年度改訂版)」(社)火力原子力発電技術協会2013.2
- 4) 環境省「一般廃棄物処理事業実態調査(平成26年度版)」平成28年3月
- 5) 環境省「公表されている小規模火力発電事業計画一覧」平成27年11月18日
- 6) (社)火力原子力発電技術協会「火力発電所(全体計画と附属設備)(改訂版)Ⅰ.火力発電所の計画(事業用)3.コンバインドサイクル火力発電所」火力原子力発電、2013.5

（４）フロー効率化を可能にする都市ストック更新システム

国立大学法人 名古屋大学

環境学研究科

環境学研究科

加藤 博和

谷川 寛樹

〈研究協力者〉

国立大学法人 名古屋大学

環境学研究科

奥岡 桂次郎

平成26～28年度累計予算額：23,649千円（うち平成28年度：7,222千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

今後 20 年、日本では人口減少・超高齢化の急速な進展によって都市域や住宅が過剰となり、一方で大量のインフラ・建築物が耐用年数に達する。それに対応するための都市域縮退やインフラ・建築物更新策を進める際に資源・エネルギー・環境負荷の観点から評価が可能となるモデルシステムの開発を進めた。住宅の滅失・更新と人口構成の将来変化を予測することで空家発生をシミュレートするモデルや、家族構成・エネルギー技術導入・混合用途といった要素を考慮できるエネルギー・CO₂ 推計モデルを構築し、それに必要なデータ整備も進め、実際の地域を対象に政策分析を実施した。一部については対象地域の自治体やディベロッパーに結果を示し、結果を得ることの意義や値の妥当性、政策への適用可能性について意見交換を行った。研究によって、インフラ・建築物更新時における資材リサイクル・減量策やエネルギー技術導入、そして縮退策の実施によるコンパクト化を進めることが、環境負荷やマテリアルストック・フローの観点から重要であることが明らかにされた。

〔キーワード〕

コンパクトシティ、都市空間構造、マテリアルストック・フロー、人口減少、空家

1. はじめに

都市・地域において資源利用率・エネルギー効率の向上や環境負荷軽減を図るためには、資源ストックやエネルギーを有効活用し、循環利用できるような仕組みを整備する必要がある。そのためには、単に要素技術を導入するのみならず、都市・地域活動の空間的な配置・展開についても考慮し、適切な形へ変更していく必要がある。都市構造に直接的に影響を受ける交通活動はその典型である。そして、日本のように今後人口減少・超高齢化とインフラ・建築物ストック劣化が進展するところでは、都市域の縮退を通じてインフラ・建築物の更新を効率化していくことが必須である。合わせて、東日本大震災のような巨大災害における廃棄物発生と復興時のストック建設のインパクトを評価しておくことも重要である。これらを進めるための施策を分析するには、都市・地域における資源とエネルギー、および環境負荷のストックとフローを時系列的に推計でき、空間構造の変化によるストック・フローへの影響が表現できるモデルシステムが必要となる。

このようなモデルシステムを用いることで、資源・エネルギー効率を高めることができる空間構造を提示することも可能であり、そこに移行していくために必要な建設ストックの更新・整備ロードマップを見いだすことができる。

2. 研究開発目的

本研究では、都市・地域の空間構造に応じた効率的な資源・エネルギー収支を実現するための施策を分析するため、空間情報を活用して地域の条件を定量的に解析する地域環境インベントリ解析モデルとともに、都市・地域を対象として、環境価値・社会価値を創造する技術と政策を組み合わせて導入する施策を検討できる資源・エネルギー・環境負荷推計モデルシステムを構築することを目的とした。このモデルシステムを用いて、都市・地域のインフラ・建築物ストックの更新のプロセスを明らかにし、施策の採用による長期的効果を算定することができる。その上で、日本の実際の都市・地域にモデルシステムを適用し、人口減少・少子高齢化に合わせたインフラ・建築物更新と都市域縮退のシナリオと、それを支援する環境施策・都市施策の組み合わせとロードマップを定量的に明らかにすることを試みた。

3. 研究開発方法

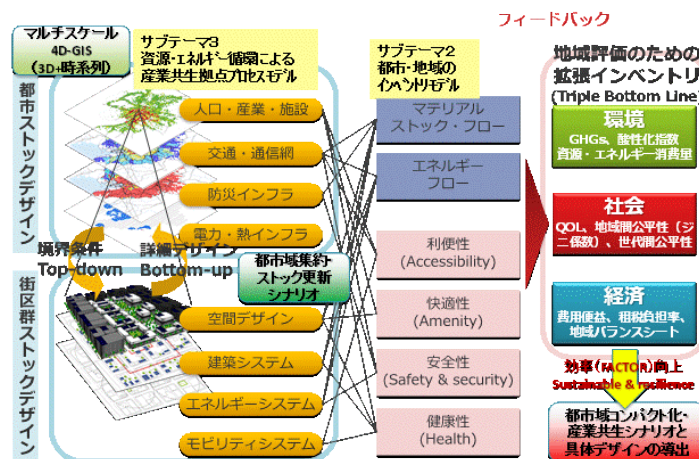
(1) 開発するモデルシステム

都市・地域における資源・エネルギー効率向上や環境負荷削減を図り、入出力フローをなるべく小さくしていくには、資材ストックやエネルギーを有効活用し循環利用できる仕組みの整備が必要である。そのために、様々な技術を導入し組み合わせ、空間的にどのように配置していくことが最適かを分析する方法が必要である。そこで、都市・地域の資源・エネルギーおよび環境負荷のストックとフローを時系列的に推計でき、経年的なインベントリとして提示できることはもとより、空間構造の変化によるストック・フローへの影響をも表現できるモデルシステムを構築する。その上で、モデルシステムを用いて資源・エネルギー効率を高めることができる空間構造を提示する。同時に、そこに移行していくために必要な建設ストックの更新・整備ロードマップを見いだせるようにする。

このモデルシステムにとって不可欠な要素は、建設ストックの経年変化を推計・予測できる手法の組み込みである。本研究では、人口予測に用いられるコーホートモデルを適用し、建築物や道路インフラについて、更新パターンに関するパラメータを実データから推計し用いることとした。今年度では住宅と道路（資材は鋼やコンクリートなど大まかな種類別に推計可能）について、全国レベルでの概略推計・予測を可能とするための各種データを GIS 上に換装するとともに、重点的に評価する地域（名古屋市とその周辺 20km 圏、福島県新地町周辺）については自治体との協働によって詳細なデータベースの整備を進めた。整備するデータの単位については、国勢調査等から得られる 500m や 100m の詳細なメッシュで全国的に統一し、市区町村単位などそれより大きな単位でしかデータがないものについては配分ルールを決めてメッシュデータを整備した。それとともに、建物単位でのデータ推計結果をまとめたデータベースも活用できるようにした上で、建物単位で建替や新規建設・更地化といった事象を予測するモンテカルロシミュレーションモデルを構築し将来予測する手法を開発し、住宅ストックの存在量や建設・取り壊しによる鋼・コンクリート等の入出力フローの推計とともに、住宅立地状況の変化を住宅地図形式や 3D 表現で

追っていきけるようにした。

さらに、各メッシュにおいて必要となるインフラ・公共サービス維持費用や、住民が得られる Quality Of Life(QOL)水準、および消費されるエネルギーと排出される CO₂ の量を推計するモデルを既に研究分担者が開発していることからそれを組み込み、「環境」に加え「社会」「経済」の Triple Bottom Line(TBL)で各メッシュを評価できるようにした。



図(4)-1 フロー効率化を可能にする都市ストック更新システム

(2) 地域環境インベントリ解析モデルの構築

将来の資源・エネルギー消費及び環境負荷発生状況を把握するため、建築LCA原単位を用いた地区環境インベントリデータベースを作成するためのモデルを構築し、それを用いて実際の都市の現在から将来への推移を明らかにすることを可能とした。具体的には人口変化を加味したインフラ・建築物更新の予測結果に合わせ、更新に伴う物質投入・廃棄物量(マテリアルストック・フロー量)を推計するとともに、種別に応じたエネルギー消費・CO₂排出量の推計を行えるようにした。

マテリアルストック・フローは、各地区の建物更新予測結果を用いて、2010年から2050年まで5年ごとの地区内建物に係る建設資材投入量、蓄積量、廃棄量を推計することとした。推計にあたっては、既往研究で整理された延床面積あたりの投入原単位を活用する。また、エネルギー消費量については同様に各地区の建物更新予測結果にもとづき、2010年から2050年まで5年ごとの地区内建物の運用に係るエネルギー消費量を推計した。取り扱うエネルギー種別は都市ガス、電力とし、個々のエネルギー消費量のほか、一次エネルギー消費量(原油換算)を合わせて推計した。特にニュータウン地区では、業務機能誘致による職住近接、近隣スプロール地区からの住宅移転、様々な世代と一緒に住める住宅の提供といった、都市域縮退の受け皿となる空間構造変化を想定し、それによるエネルギー消費・CO₂排出量への影響評価を行えるようにした。

(3) 実際の都市・地域を対象としたケーススタディ

モデルシステムを用いて、名古屋市とその周辺にある4つの異なった地区を分析した。具体的には、①都心地区(名古屋市中区錦二丁目)、②近郊地区(名古屋市瑞穂区御剣町)、③郊外地区(西春日井郡豊山町)、④ニュータウン地区(春日井市高蔵寺ニュータウン)、である。

1) 将来的な住宅需給状況のシミュレーションとそれに伴う空家増加の予測

住宅ストックの将来変化を予測するために、建物単位でのデータを利用して滅失・建替プロセスをモンテカルロシミュレーションによって再現し、住宅ストック量と、廃棄や新築に伴う資材フロー発生量を推計するための基本フレームを構築した。さらに、日本で既に問題となっており今後深刻化が予想される空家の増加を予測する手法となるようにモデルを構築し、市街地コンパクト化施策によって土地の有効活用が促進され空き家が発生しにくくなる施策の実施効果について試行的な検討を行った。

2) 住宅属性と家族構成とのマッチングに基づくエネルギー消費・CO₂排出量推計

民生部門のエネルギー消費・CO₂排出量は居住する住宅の属性と家族構成に強く依存することが知られている。そこで、1) で構築した住宅ストックモデルに加え、人口コーホートに基づいた世帯構成予測モデルを構築し、その両者の推計結果を重ね合わせて民生エネルギー消費・CO₂排出量を推計することを、名古屋都市圏を対象に試みた。この推計では、家族構成員のライフスタイル類型を定義し、行動を時間単位で与えているため、時間帯別排出量の推計が可能である。そこでピーク課金等を実施した場合のデマンドレスポンス効果についても試行的に予測した。

3) エネルギー技術と都市構造変更策の導入に伴うエネルギー消費・CO₂排出量の長期変化の推計

民生・交通部門のエネルギー消費・CO₂排出量は、都市・地域の空間構造によって異なってくる。インフラ・建築物更新過程においてそれを考慮することで、長期的な削減を見込むことができる。さらに、更新時に創・蓄・省エネルギー技術を導入することでより大きな削減効果が得られる。これらの効果を評価することができるよう、様々な技術と都市構造のオプションを考慮できる推計システムを構築し、実際の地域に試行的に適用した。

4) 過去から将来までの住宅・道路ストック量とその入出力フローの推計

全国データや重点対象地域のデータを用いて、過去から現在までの住宅・道路ストック量の推移を資材別に推計し、その入出力フローも合わせて推計した。さらに1) で得られた将来予測結果を元にストック・フロー量の推計も試みた。

(4) 東日本大震災被災地を対象としたケーススタディ

東日本大震災の際に発生した津波により、東北地方沿岸地域の建設物は大きな被害を受けた。その復興には大量の建設資材が必要となる。その被害による建設廃棄物量と復興に投入される建設資材量を推計することで、防災・減災施策の実施による膨大なストック損失・投入削減効果を評価することが可能となる。そこで、被災地を対象として評価を実施した。

構造物へ投入される資材の中でもセメントは大きな割合を示す。このセメントをフライアッシュセメント(FA)により代替し、復興建設に投入することで、大量の排出物の再資源化とCO₂削減が期待される。そこで、福島県北部沿岸地域を対象に、福島県新地町の相馬共同火力発電所から排出されるフライアッシュを再資源化し、建築物や海岸保全施設の建設資材へ循環利用するポテンシャル及び循環圏域の検討を行った。

FAの循環圏については、新地町から南方への輸送は原発事故の警戒区域が存在し困難であるため、道路の復興が進んでおり発電所からの資源輸送が容易でと考えられる発電所以北の福島県、宮城県の計18市町村を対象範囲として設定した。建物着工量は復興目標年(2020年)までに震災前

の状況まで復興することを想定し、各年次に対応した構造別(木造、S造、SRC造)の廃棄率を年齢別マテリアルストックに乗じることで建築物の年間廃棄量を推計した。建築物量の総量を現状維持していくシナリオを設定し、年間着工量の推計を行った。着工量にコンクリートおよびモルタルの資材投入原単位を乗じることでセメント需要の推計を行い、建設資材としてポルトランドセメントを使用した場合と、FAを使用した場合との差分をCO₂排出削減ポテンシャルとする。また、堤防のコンクリートブロック、消波堤、離岸堤の消波ブロックへのFA投入ポテンシャルについても推計を行った。Google Earth Proの衛星画像をもとに作成した各堤防の延長に、構造種別原単位を乗じることで圏域内の海岸保全施設のマテリアルストックを推計した。

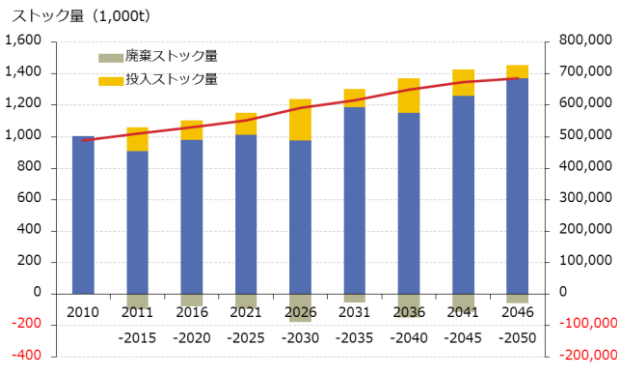
4. 結果及び考察

(1) 将来予測に基づいた地区環境インベントリデータベースの作成

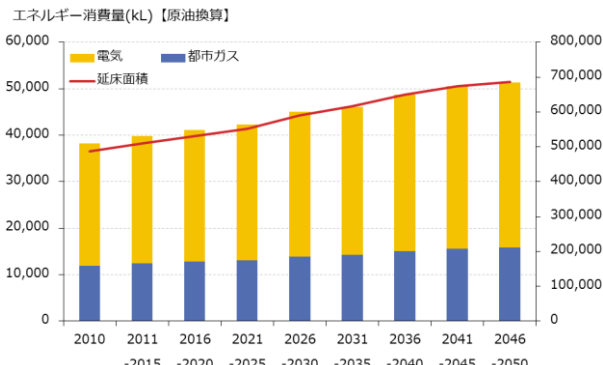
本研究で想定した人口シナリオは、将来の集約型都市構造を実現するためのシナリオでコントロールされており、都心・近郊地区では人口増加、郊外地区では人口減少が想定されている。

将来人口や延床面積の増減に伴う床面積によりマテリアルストックの変化が生じるが、床需要が増加する場合には地区のストックは逡増する。例えば、都心地区では2050年までに2010年の約45%増となり、40年間で地区内の建物の8割が更新される結果となっている。特に地区の建築物が高層化することによってRC造の増加が見込まれ、コンクリートだけで400千トンの増加が予想される。集約中層化により周囲の建物をまとめて更新するため、期間内にすべての建物が更新され、高層化に比較してよりストック量が増加傾向にある。新築建築物のすべてにおいて3層部分を木造とした場合、延床面積は4割以上増加するのに対して蓄積されるストックは約17%増にとどまり、コンクリート投入量の減少に起因して大幅な重量削減に繋がることが示された。したがって、一部改装の木質化などの実施によりコンクリート等の資材投入量が減少するとともに、大幅な木材使用量の増加が期待できる。一方で、近郊地区、郊外地区、ニュータウン地区では人口が減少する期間までは建物除去による廃棄ストックが投入ストックより大きくなるが、それ以降は廃棄ストックが多くなると推計された。近郊地区では建物除去により蓄積ストック量は29%減少するが、郊外地区とニュータウン地区では人口が減少している一方で空き家が増加するためにストックが留まり続け、床面積が減少するものの蓄積ストック量が増加する結果が得られた。

エネルギー消費量は都心地区では建物性能の向上により、単位面積あたりのエネルギー量はやや低減している。これは建物の大型化や一部の混在によりエネルギー消費効率が向上したためと考えられる。それ以外の地区では、人口減少に伴いエネルギー消費量は減少傾向にあるが、世帯人員の減少や、ニュータウン地区のように集合住宅から広い戸建住宅への移転によって1人あたりの床面積が増加することによって、1人あたり消費量は増加する。すなわち、建物の大型化や一部の混在によりエネルギー消費効率が向上するが、建物更新により1人あたりの床面積が増加することで、その効果が相殺されている可能性がある。



図(4)-2 ストックと延床面積の推移
(都心地区)



図(4)-3 エネルギー消費量の推移
(都心地区)

(2) オールドニュータウン更新を対象とした低炭素化の検討

推計結果のうち特に、高蔵寺ニュータウンを対象に、システムを用いてエネルギー・CO₂の将来動向について分析を行った結果を示す。対象地区は、1968年から入居開始した中部地区最大のニュータウンである。近年、人口減少と高齢化が進み、集合住宅を中心に老朽化や空家率の上昇といったオールドニュータウン化が問題となっている。ニュータウン全体での空家率は9.2%と全国平均よりも低いが、集合住宅では16.9%と高い水準となっている。また、高蔵寺ニュータウンは土地区画整理事業により計画的に開発されたが、ニュータウンの周辺地域には都市計画区域外の土地もあり、人口密度が低く、インフラや土地利用が非効率なスプロールした地区が広がっている。以上のように、一体的に開発された大規模住宅団地において生じる問題に、他地域に比べ先行的にかつ顕著に直面しており、本研究により得られた知見は、他の住宅団地に有用な示唆を与えることが期待できる。

本研究では対策として、空家の増加している集合住宅エリアを集約し、余剰となった土地に業務施設を誘致することを想定する。用途地域を商業地域に変更することで多様な業務施設の誘致が可能となる。その上で、新たなエネルギー技術を導入することについても盛り込む。なお、建ぺい率および容積率は、土地利用変更前の用途地域と同値に設定している。業務施設の延床面積は誘致地区面積に容積率を乗じて算出する。

コーホート要因法によって推計した将来世帯数変化を表(4)-1に示す。人口のみならず世帯も着実に減少していくと見込まれる。

表(4)-1 将来世帯数予測結果

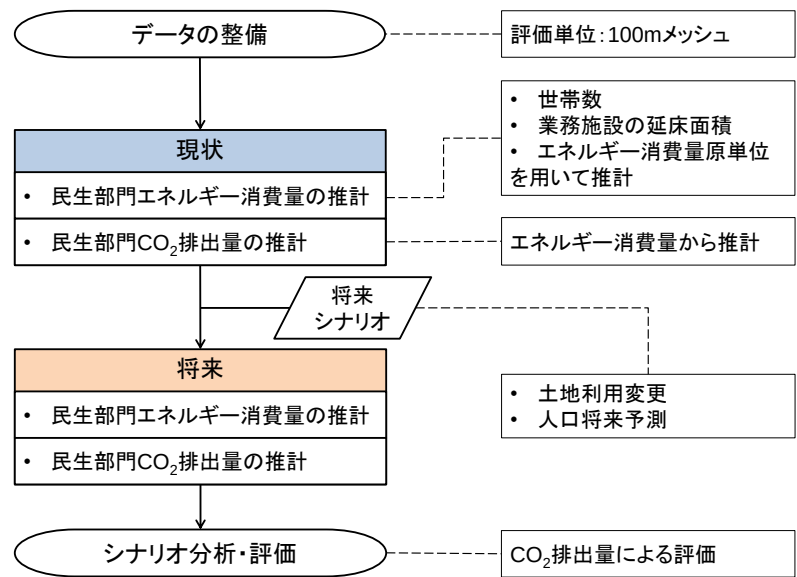
	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
ニュータウン	19,853	19,766	19,445	18,941	18,303	17,627
周辺地域	500	484	466	448	428	410
合計	20,353	20,249	19,911	19,389	18,731	18,037

エネルギー・CO₂推計のためのモデルシステムの全体フローを図(4)-4に示す。まず、地理空間情報を用いて100mメッシュ単位で、ニュータウンおよびその周辺地域における現状の都市環境

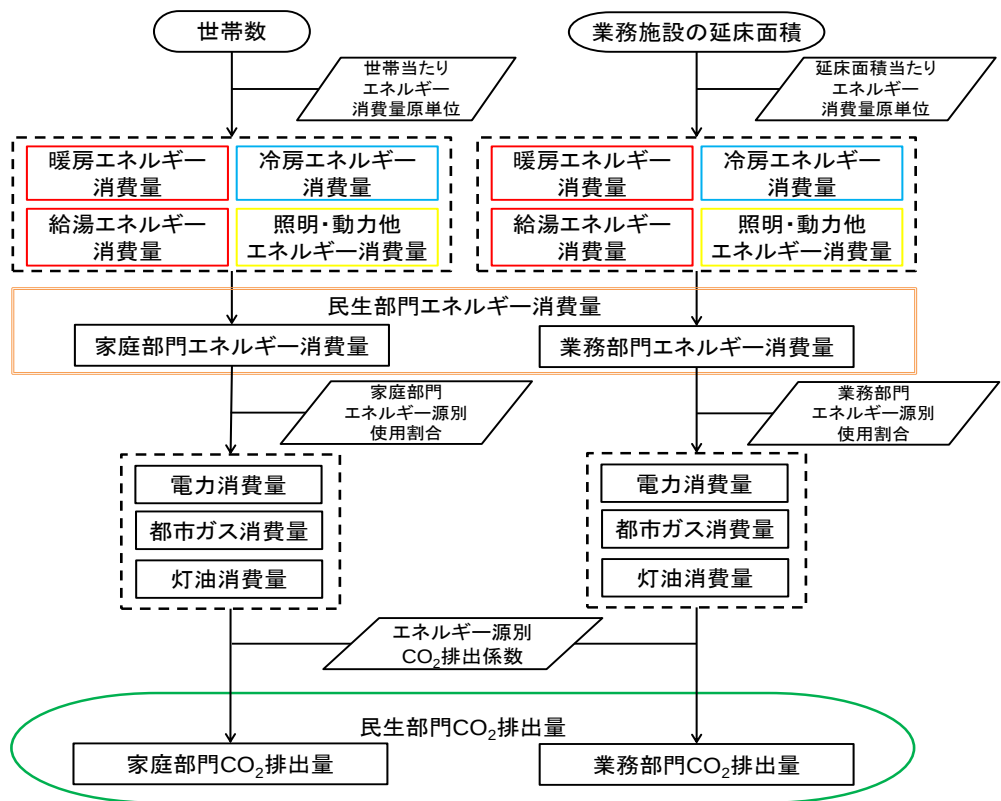
のデータの整備を行う。このうち詳細建物ポイントデータは、建物ごとに建物用途・床面積・階数・築年代・居住者情報などを割り当てた推定データを用いる。その他100mメッシュ単位での情報が得られないものについては、対象地域の属する市町村の値を用いる。

このデータを現状評価として民生部門CO₂排出量を推計する。次に、ニュータウンを集約拠点として維持更新していく方針に基づき将来シナリオを設定し、民生部門CO₂排出量を算出する。最後に民生部門CO₂排出量によって各シナリオの分析・評価を行う。

民生部門CO₂排出量の推計フローを図(4)-5に示す。まず世帯数および業務施設の延床面積から民生部門エネルギー消費量を推計し、次に民生部門エネルギー消費量にCO₂排出係数を乗じて民生部門CO₂排出量を推計する。



図(4)-4 全体フロー



図(4)-5 民生部門CO₂推計フロー

地域レベルで導入する低炭素技術として、熱の面的利用による省エネルギー化が期待できる「集中プラント型」という熱供給システムを想定する。このシステムでは、通常建物ごとにある熱エネルギー供給の熱源機を一箇所に集約することにより、導入エリア内で効率的に熱を利用する仕組みである。

将来シナリオの概要を表(4)-2に示す。①土地利用変更(LU[集合住宅]、MLU[集合住宅+業務施設])、②市街地撤退・集約(OR)、③集約地区へのエネルギーシステム導入(EMS)の3施策を組み合わせた9種類のシナリオを設定する。それぞれ施策は2015年時点で導入したと仮定して将来予測を行う。その上で、各シナリオについて、100mメッシュごとに人口および延床面積を割り当て、コーホート法を用いて将来予測を行う。

表(4)-2 シナリオの種類

施策 シナリオ	集合住宅撤去・建替後の 土地利用方針	市街地撤退の 誘導対象	集約地区への エネルギーシステム導 入
BAU	実施しない	×	×
LU	集合住宅	×	×
LU+EMS	集合住宅	×	○
LU+OR	集合住宅	住宅	×
LU+OR+EMS	集合住宅	住宅	○
MLU	集合住宅+業務施設	×	×
MLU+EMS	集合住宅+業務施設	×	○
MLU+OR	集合住宅+業務施設	住宅+業務施設	×
MLU+OR+EMS	集合住宅+業務施設	住宅+業務施設	○

将来の社会変化への対応として、ニュータウン周辺の都市計画区域外で、かつ宅地造成がなされていない地域から撤退を行い、それ以外の地域においても集約するシナリオを設定する。ニュータウン内での集約により確保できた土地を「商業地域」に指定し、福祉施設・病院・事務所などの業務施設を誘致することとする。

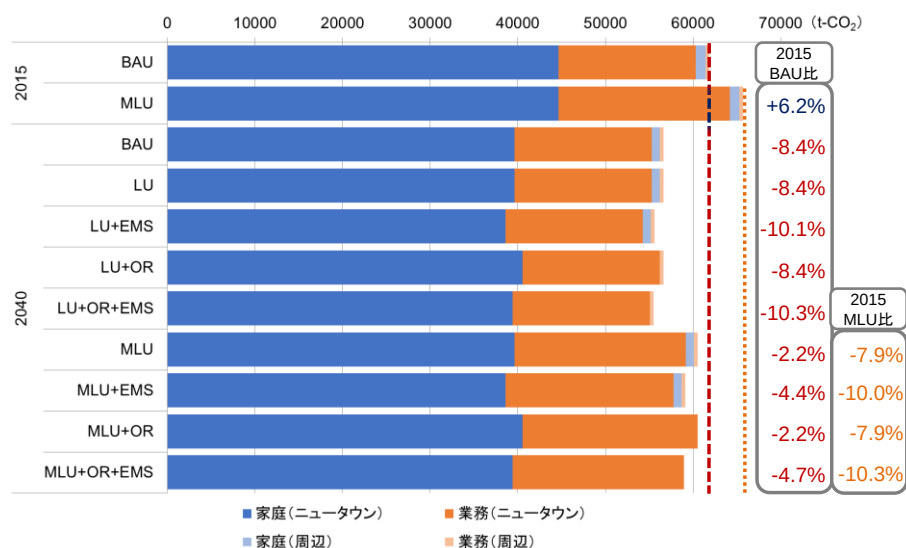
シナリオ別のCO₂排出量推計結果を示す。図(4)-6、図(4)-7では対象地域全体における民生・家庭部門CO₂を、図(4)-8、図(4)-9では撤退・集約地区の民生・家庭部門CO₂排出量を示している。各シナリオの2040年の排出量を2015年のBAU（なりゆき）およびMLU（業務施設誘致）シナリオの排出量と比較評価する。

まず、図(4)-8に示す対象地域全体での民生部門の排出量についてみると、すべてのシナリオで削減となった。これは人口減少が起因していると考えられる。LU+EMS（土地利用：集合住宅+エネルギーシステム導入）シナリオで10.1%の削減効果が得られることが明らかとなった。さらにOR（市街地撤退・集約）を組み合わせることでLU+OR+EMSシナリオでは10.3%の削減効果が期待できる。一方で、MLUシナリオ系列では新たに業務施設の誘致を行ったが、MLUシナリオで2.2%削減されることが明らかになった。これは業務施設誘致による業務部門CO₂排出量の増加分が、人口減少による家庭部門CO₂排出量の減少により打ち消されたためだと考えられる。同様にMLU+EMS、MLU+OR、MLU+OR+EMSシナリオではそれぞれ4.4%、2.2%、4.7%削減となる。MLU系シナリオについては同様の条件化の2015年のMLUシナリオと比較すると、MLU+EMS、MLU+OR+EMSシナリオで10.0%、10.3%削減となった。

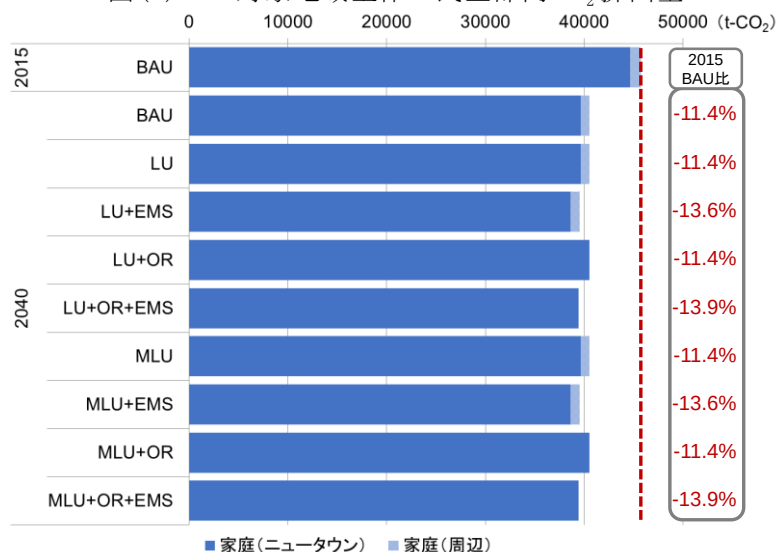
次に図(4)-8に示す対象地域全体での家庭部門の排出量をみると、BAUシナリオでは11.4%削減だが、LU/MLU+EMS（エネルギーシステム導入）では13.6%削減、さらにORを組み合わせることでLU/MLU+OR+EMSシナリオでは13.9%削減となる。

この推計結果を、施策を適用する撤退・集約地区について詳しく検討する。まず、図(4)-9に示す民生部門CO₂排出量は、LU+EMS、LU+OR+EMSシナリオでそれぞれ17.1%、18.0%の削減が期待できる。一方で、MLUシナリオでは新たに業務施設を誘致するため、当然ながらBAUと比較する

とすべて増加する。MLUシナリオでは業務施設の誘致により20.7%増加しているが、MLU+OR+EMSシナリオでは8.8%増加に抑えられている。同様条件下のMLU比で考えるとMLU+EMS、MLU+OR+EMSでそれぞれ15.2%、16.1%削減となる。

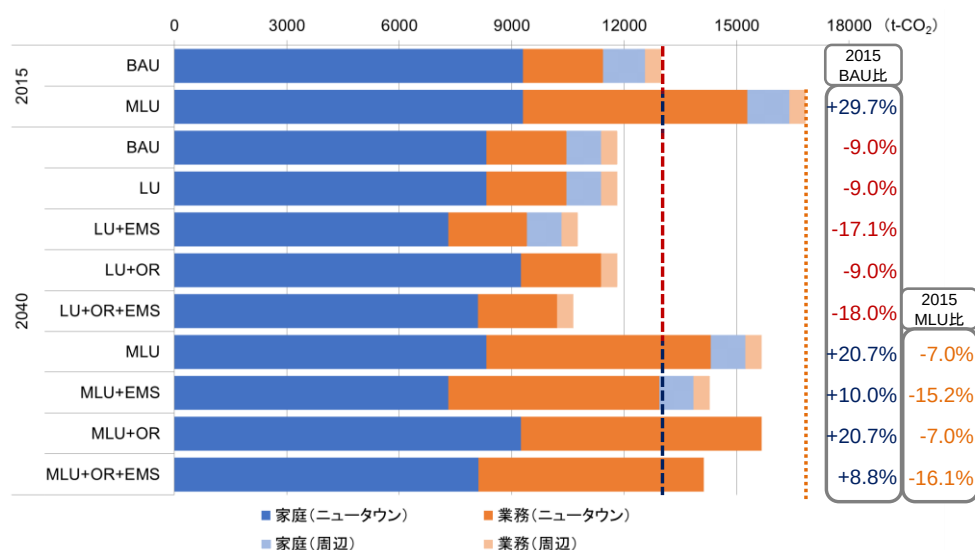
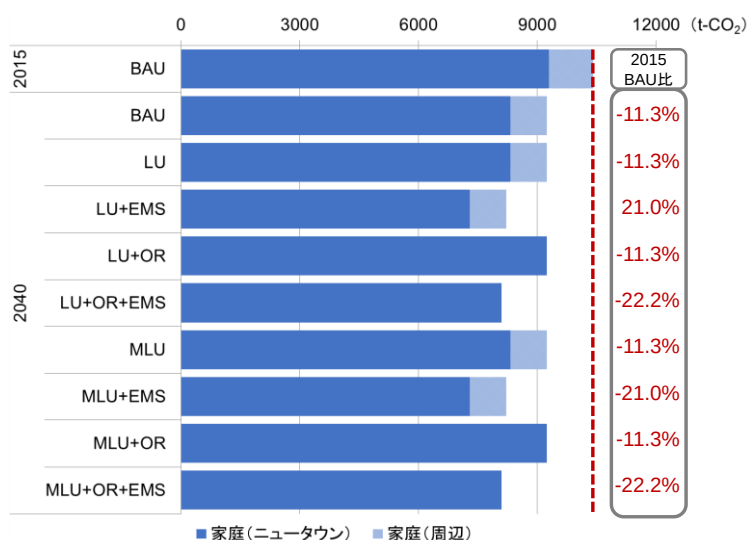


図(4)-6 対象地域全体の民生部門 CO₂ 排出量



図(4)-7 対象地域全体の家庭部門 CO₂ 排出量

最後に図(4)-10に示す家庭部門CO₂排出量では、LU/MLU+EMS、LU/MLU+EMSシナリオで21.0%、22.2%の削減効果が期待できる。また、世帯当たりのCO₂排出量はBAUシナリオで2.25 (t-CO₂/年・世帯)であるが、LU/MLU+EMSシナリオでは2.06 (t-CO₂/年・世帯)で世帯あたり0.19 (t-CO₂/年・世帯)削減、LU/MLU+OR+EMSシナリオ2.03 (t-CO₂/年・世帯)で世帯あたり0.22 (t-CO₂/年・世帯)削減となる。

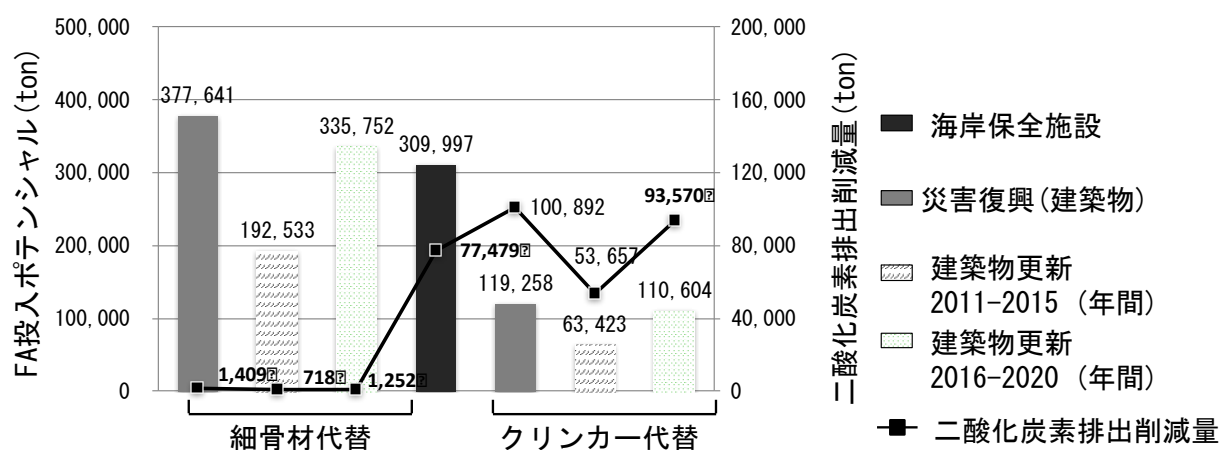
図(4)-8 撤退・集約地区の民生部門CO₂排出量図(4)-9 撤退・集約地区の家庭部門CO₂排出量

(3) 東日本大震災被災地を対象としたケーススタディ

相馬共同火力発電所は年間450万トンの石炭を使用し、発電事業に伴いフライアッシュセメント(FA)が50万トン、クリンカアッシュが5万トン排出される。圏域内の東日本大震災の津波被害により、本来提供すべきサービスを失った建物に存在していたセメント量は合計約80万トンであった。これらの建物を、FAセメントB種(混合率15%)で代替して復興する場合、政府が公表する復興目標年の2020年までに、およそ12万トンのFAが投入可能となる。圏域全体のFA投入ポテンシャルは2011-2015年で年間約6万トン、2016-2020年で年間約11万トンとなった。構造別ではコンクリート基礎への投入ポテンシャルが大半を占め、コンクリート上部、モルタル上部の投入ポテンシャルは、コンクリート基礎と比べ小さい。また循環圏域に発電所から50kmの地域を含めることで、

FA投入ポテンシャルの大幅な増加が示された。また2011-2015年で年間約6万トン、2016-2020年で年間約11万トンのFA投入により、それぞれ約8千トン、1万4千トンの二酸化炭素削減効果がある。発電所からセメント需要量の空間分布についてみると、発電所から北へ約50kmに位置する仙台市にセメント更新需要が特に集中していることがわかる。発電所から北西へ40kmの白石市にも更新需要が集中している地域が存在する。また2011-2015年と比べ、2016-2020年では需要量を示す色の濃い地域の範囲が増加しており、2011-2015年よりも2016-2020年の期間でより多くの建物が更新期を迎えることが示された。

海岸保全施設へFA投入ポテンシャル量は、消波堤は142万トン、離岸堤は15.5万トン、堤防は1.3万トンであり、消波堤と離岸堤に比べ堤防のFA投入ポテンシャルが低いことが示された。消波ブロックにはネオ・アッシュクリートを用いることで、1m³あたり500kgのFAが投入可能であるが、コンクリートブロックへFAセメントを投入した場合はわずか45kgしか投入できないことに起因する。結果より、コンクリート製品のFA含有率が、FA投入ポテンシャルに大きく影響することが明らかとなった。また、圏域内の海岸保全施設についてフライアッシュコンクリートを用いて施工した場合、堤防でおよそ11.0万トン、消波堤40.0万トン、離岸堤43.0万トンの二酸化炭素削減効果が示された。



図(4)-10 FA循環利用効果推計結果

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

1) 実際の都市・地域において、人口および住宅の将来推移を予測し、それによって住宅需給状況のシミュレーションとそれに伴う空家増加の予測が建物単位で可能となった。この結果、住宅ストック量と、廃棄や新築に伴う資材フロー発生量やエネルギー消費・CO₂排出量の推計が可能となった。推計によって、特に対応策を講じなければ資材の廃棄・投入量は2020～30年代にピークを迎えることが明らかにでき、空家活用や都市域コンパクト化、資源再利用といった策の重要性が示された。

2) 人口コーホート推計をもとに、住宅属性と人口構成の変化を予測し、両者のマッチングに基づくエネルギー消費・CO₂排出量の違いを分析することが可能となった。さらに、この予測は1日

の中の各時間単位で推計できることから、ピーク課金等を実施した場合のデマンドレスポンス効果についても予測可能となった。この結果、家族構成に合わせた住宅を供給することがエネルギー・CO₂削減に資する効果も表現できるようになった。

3) 今後全国で進展する人口減少・超高齢化に対応するために必要となる、都市域縮退やインフラ・建築物更新に合わせたエネルギー技術の導入と都市構造変更策の導入に伴う資源・エネルギー消費やCO₂排出量の長期変化の推計が可能となった。これによって、都市域縮退とともに低炭素化を進めるための施策ロードマップを検討することに活用できる可能性が生まれた。

4) 東日本大震災後の復興におけるコンクリート投入を取り上げ、フライアッシュセメント導入による投入量削減効果を推定し、その大きさを把握することができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

・高蔵寺ニュータウンを対象とした推計については、地元自治体に推計可能な施策や結果例を示して活用方を議論し、今後進められるニュータウン再生の進め方の検討に必要な応じて活用されることとなった。

<行政が活用することが見込まれる成果>

・日本の都市政策における重要課題である、都市域コンパクト化（縮退）やインフラ・建築物更新を低炭素かつ省資源で進められるための施策を検討する手法を提供することができた。また、モデルの一部をとっても、空家発生予測モデルやデマンドレスポンス効果推計モデルなど、諸施策に活用できる手法が開発できた。

・インフラ・建築物のストック・フロー分析が容易となった。更新や縮退の進展、巨大災害の被害による廃棄物発生量や復興資材投入量を推計できることから、リサイクル材活用や廃棄物受け入れについてあらかじめ検討するにあたっての資料として活用できる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 森田紘圭、金岡芳美、加藤博和、柴原尚希、林良嗣：土木学会論文集D3(土木計画学)、70(5)、I_415-I_422 (2014)
「家族構成と住宅性能を考慮した街区群単位の世帯起源CO₂排出量の将来推計」
- 2) 森田紘圭、石田千香、大西暁生、川原志郎、井村秀文、加藤博和：土木学会論文集G(環境)、71(5)、I_357-I_368 (2015)
「デマンドレスポンス制度導入による居住者行動とエネルギー消費量変化の推計」
- 3) 木下卓大、奥岡桂次郎、谷川寛樹：土木学会論文集 G(環境)、71(6)、II_133-II_138 (2015)
「福島県北部沿岸地域におけるフライアッシュのクリンカー代替利用に関する地域循環

圏の検討」

＜査読付論文に準ずる成果発表＞

特に記載すべき事項はない。

＜その他誌上発表（査読なし）＞

特に記載すべき事項はない。

（２）口頭発表（学会等）

- 1) 奥岡桂次郎、谷川寛樹：平成 26 年度廃棄物資源循環学会春の研究発表会，川崎市産業振興会館（2014 年 5 月 29 日）
「建設副産物の循環利用効率と地域循環圏の検討」
- 2) 青柳淳之介、奥岡桂次郎、杉本賢二、谷川寛樹：平成 26 年度廃棄物資源循環学会春の研究発表会，川崎市産業振興会館（2014 年 5 月 29 日）
「4d-GISを用いた名古屋市中心部の建築物における物質フロー推計」
- 3) 青柳淳之介、奥岡桂次郎、杉本賢二、谷川寛樹：第 10 回 GIS コミュニティフォーラム，東京ミッドタウン（2014 年 5 月 29-30 日）
「4d-GISを用いた名古屋市中心部の建築物における物質フロー推計」
- 4) 木下卓大、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会 2014 年会，つくば国際会議場（2014 年 9 月 18-19 日）
「建設資材投入に関する地域循環圏の検討ー福島県沿岸地域におけるケーススタディー」
- 5) 陳暢、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会 2014 年会，つくば国際会議場（2014 年 9 月 18-19 日）
「中国瀋陽市を対象とした4D-GISを用いた都市のメタボリズムに関する研究」
- 6) 山下剛弥、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会 2014 年会，つくば国際会議場（2014 年 9 月 18-19 日）
「海岸構造物を対象としたマテリアルストックデータベースの拡充に関する研究」
- 7) 松井健吾、長谷川正利、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会 2014 年会，つくば国際会議場（2014 年 9 月 18-19 日）
「混合セメント導入による都道府県別の二酸化炭素排出削減量の推計」
- 8) K.Okuoka, H.Tanikawa：EcoBalance2014，つくば国際会議場（2014 年 10 月 27-30 日）
"Evaluation of the Recyclability of Concrete Rubble Using Total Material requirement Index"
- 9) 木下卓大、奥岡桂次郎、谷川寛樹：平成 26 年度土木学会中部支部研究発表会、豊橋技術科学大学（2015 年 3 月 6 日）
「福島県沿岸地域におけるフライアッシュの建築資材利用に関する地域循環圏の検討」
- 10) 石田千香、森田紘圭、大西暁生、井村秀文、加藤博和、川原志郎：土木計画学研究・講演集、Vol.49, CD-ROM(346) (2014.6)
「電気料金へのデマンドレスポンス制度導入による夏季エネルギー消費量変化の推計」

- 11) 石田千香、森田紘圭、加藤博和：第10回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, pp.146-147 (2015)
「低炭素街区群構築によるライフサイクルCO2削減効果の分析」
- 12) C.Ishida, H.Morita, Y.Kanaoka and H.Kato : dioxide emissions: Proceedings of the 11th International conference on EcoBalance (2014.10)
"Analysis of the effects of low-carbon technologies and individual activity schedule on carbon dioxide emissions"
- 13) 石田千香、森田紘圭、杉本賢二、加藤博和、林良嗣：第51回土木計画学研究発表会，九州大学(2015年6月6-7日)
「建物の立地誘導による街区群の低炭素化効果の検討」
- 14) 佐藤大起、奥岡桂次郎、谷川寛樹、深堀秀敏：環境科学会2015年会，大阪大学（2015年9月7-8日）
「都市計画の変遷と建設系マテリアルストック・フローとの関係性」
- 15) 山下剛弥、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会2015年会，大阪大学（2015年9月7-8日）
「一都三県を対象とした建築物・インフラストラクチャーの変遷に関する基礎的研究」
- 16) 木下卓大、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会2015年会，大阪大学（2015年9月7-8日）
「建設資材の地域循環圏形成に関わるフライアッシュの多様な地域循環利用オプションの検討」
- 17) 野中一鴻、青柳淳之介、木下卓大、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会2015年会，大阪大学（2015年9月7-8日）
「用途地域の違いによる都市構造物の物質代謝特性に関する基礎的研究 -4d-GISを用いた和歌山市中心部におけるケーススタディ」
- 18) 稲垣空、松井健吾、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学回2015年会，大阪大学（2015年9月7-8日）
「建設部門の低物質・低炭素化に向けたセメントのマテリアルストック・フロー分析」
- 19) 小野聡、宮川結衣、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学回2015年会，大阪大学（2015年9月7-8日）
「高速道路整備に関わる草本資源の有効利用ポテンシャル評価」
- 20) 小岩穂菜美、林良嗣、森田紘圭、杉本賢二、加藤博和：平成27年度土木学会中部支部研究発表会，豊田工業高等専門学校(2016年3月4日)
「都市域のクオリティ・ストック度評価手法の提案」
- 21) 佐藤大起、奥岡桂次郎、谷川寛樹、深堀秀敏：平成27年度土木学会中部支部研究発表会，豊田工業高等専門学校(2016年3月4日)
「北九州市における地域特徴と建築物平均年齢の関係性」
- 22) 稲垣空、松井健吾、奥岡桂次郎、谷川寛樹：平成27年度土木学会中部支部研究発表会，豊田工業高等専門学校(2016年3月4日)
「土石系資源の都道府県別循環利用量と二酸化炭素排出量の推計」
- 23) 小野聡、宮川結衣、奥岡桂次郎、谷川寛樹：平成27年度土木学会中部支部研究発表会，豊田工業高等専門学校(2016年3月4日)

「高速道路整備事業に関わる草本資源の処理方法と再資源化の有効利用評価」

- 24) 野中一鴻、青柳淳之介、木下卓大、奥岡桂次郎、谷川寛樹：平成27年度土木学会中部支部研究発表会，豊田工業高等専門学校(2016年3月4日)

「用途地域の経年変化による都市構造物の物質蓄積量・物質代謝の定量化」

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

（５）地域における環境経済価値のための統合評価モデルの開発

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター	統合環境経済研究室	増井 利彦
社会環境システム研究センター	広域影響・対策モデル研究室	芦名 秀一
福島支部 地域環境創生研究室		五味 馨

<研究協力者>

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター	広域影響・対策モデル研究室	白木 裕斗
----------------	---------------	-------

平成26～28年度累計予算額：35,472千円（うち平成28年度：10,832千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

本サブテーマでは、地域スケールを対象として環境と経済の関係を明らかにし、環境経済価値を評価するための統合評価モデルの開発を目的としている。具体的には、①都道府県や国とも連携して、市町村や街区スケールを対象に、エネルギー需給や再生可能エネルギー供給をはじめとした地域システムに焦点を当てたエネルギーシステムモデル、②市町村スケールにおける人口、経済、交通、土地利用、農林業、エネルギーのマクロ的な将来像を整合的、定量的に描写する地域スナップショットモデル、③都道府県ないしは地方を対象に、国との連携も踏まえた施策の検討や分析を整合的に行うための応用一般均衡モデル、の3つのモデルで構成されている。これらの3つのモデルを用いて、福島県全域、福島県浜通り地域あるいは福島県相馬郡新地町を対象に、震災からの復興と環境経済価値を高めるための将来シナリオの検討を行う。①では、詳細な電力需要の推計を行うとともに、どのような省エネ行動が適切かを評価した。また、深層学習を使って、短期的な将来の電力需要を精度よく推計推計することが可能となった。②では、福島県新地町を対象に人口を維持するシナリオを解析し、それに伴うCO2排出量の推計を行うとともに、新地町の総合計画にも情報を提供した。③では、福島県全域を対象に温室効果ガス排出削減や再エネ導入目標等を実現する場合の影響について評価を行った。

〔キーワード〕

地域スケール、統合評価モデル、エネルギーシステム、将来シナリオ、経済発展

1. はじめに

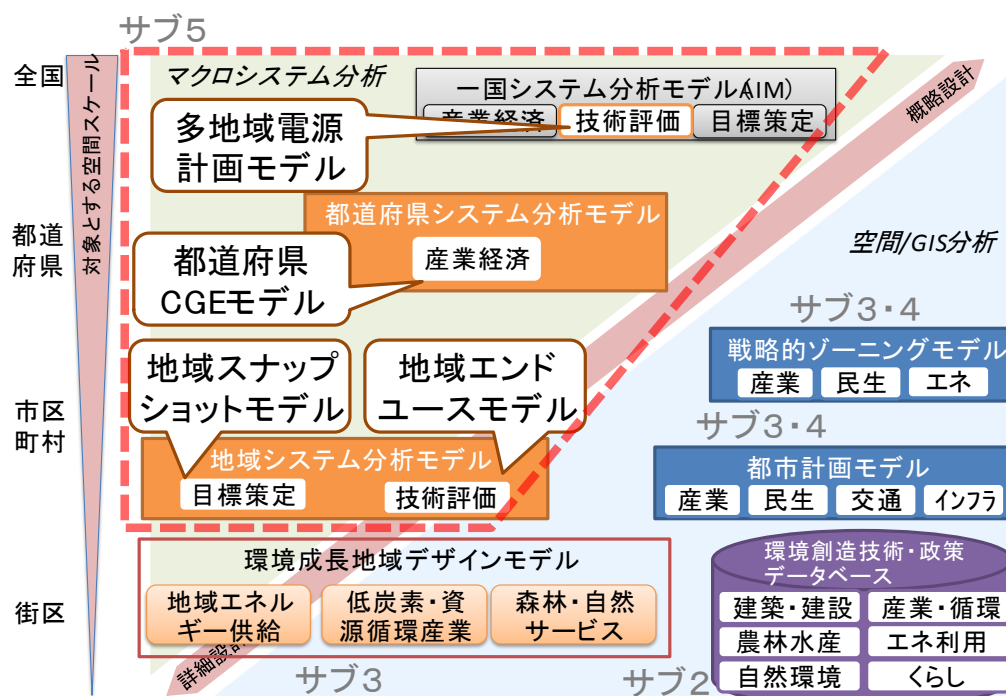
2015年にパリで行われた気候変動枠組条約第21回締約国会議では、すべての国が産業革命前からの世界平均気温の上昇を2℃より十分に低い水準に安定化するという、いわゆる2℃目標を含んだパリ協定に合意し、米国、中国、インド等の締結によって2016年11月4日にパリ協定が発効した。日本も2016年11月8日にパリ協定を締結し、今後、排出削減目標のさらなる深掘りや低炭素戦略の策定が求められるようになったが、そうした行動に実際に取り組む地域スケールでの活動は十分であるとはいえない。一方で、地域的な取り組みがなく温室効果ガス排出目標を実現することは

不可能であり、トップダウンとボトムアップの両面から連携して取り組むことが求められている。

2. 研究開発目的

国立環境研究所では、京都大学、みずほ情報総研と協力して、総合評価モデルの1つであるAIM（Asia-Pacific Integrated Model；アジア太平洋統合モデル）の開発を行ってきた。これまでは、主として国や世界を対象にモデル開発を行っており、日本における地域や都市を対象とした分析は、十分ではなかった。一方、温室効果ガス排出量の削減を実行するには、地域的な取り組みが欠かせない。

こうしたことを踏まえ、本サブテーマでは、日本における排出削減目標に対して、地域スケールの解析が可能となるとともに、地域が抱える課題を同時に解決することができるように拡張した統合評価モデルや、エネルギー需給の時空間分析を定量化できるプロセスモデルの開発を通じて、地域を対象に環境経済価値を最大限に高める将来シナリオを定量化することを目的としている。課題全体に対する本サブテーマの位置付けを図(5)-1に示す。



図(5)-1 研究課題全体に対する本サブテーマの位置づけ

3. 研究開発方法

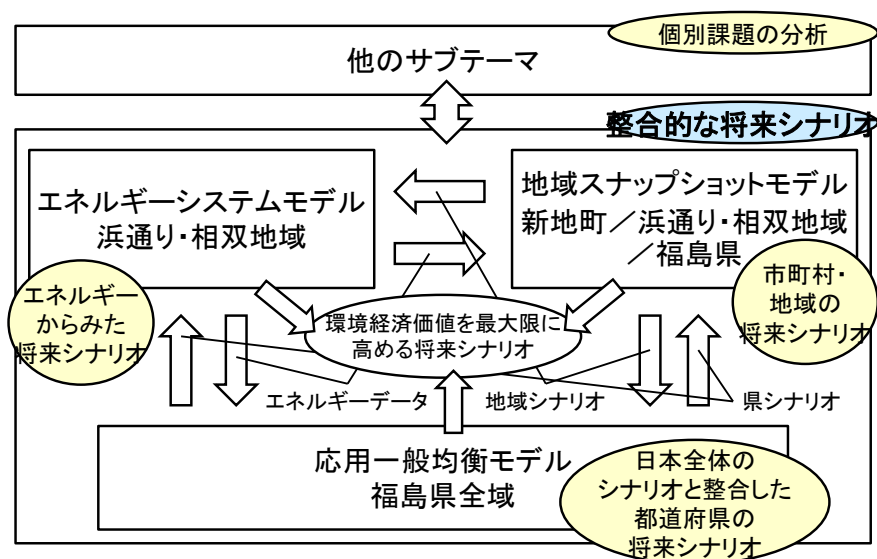
本サブテーマでは、地域スケールを対象として環境と経済の関係を明らかにし、環境経済価値を評価するための統合評価モデルの開発を目的としている。具体的には、以下の3つのモデルで構成されている。

- ①都道府県や国とも連携して、市町村や街区スケールを対象に、エネルギー需給や再生可能エネルギー供給をはじめとした地域システムに焦点を当てたエネルギーシステムモデル
- ②市町村スケールにおける人口、経済、交通、土地利用、農林業、エネルギーのマクロ的な将来

像を統合的、定量的に描写する地域スナップショットモデル

③都道府県ないしは地方を対象に、国との連携も踏まえた施策の検討や分析を統合的に行うための応用一般均衡モデル

これらの3つのモデルを用いて、福島県浜通り地域あるいは福島県新地町を対象に、震災からの復興と環境経済価値を高めるための将来シナリオの検討を行う。図(5)-2に各モデル間の関係を示す。応用一般均衡モデルから県レベルの将来シナリオが提示されるとともに、地域スナップショットモデルでは、より詳細な市町村レベルのシナリオが示される。また、エネルギーシステムモデルでは、こうした地域シナリオと整合したエネルギーシナリオや家庭の電力需要が示される。なお、分析にあたっては、他のサブデータで分析されるデータや情報を反映させたシミュレーションを行うとともに、他のサブテーマに対して将来シナリオの提供を行う。



図(5)-2 サブテーマ5を構成する3つのモデルとその関係

(1) エネルギーシステムモデル

エネルギーシステムモデルの開発では、①地域エンドユースモデルの開発、②モデルへの入力データとなる火力発電所の排熱ポテンシャルの推計、③モデルへの入力データとなる用途別エネルギー需要推計手法の開発、④深層学習を用いた電力需要推計モデルの開発、を行った。

地域エンドユースモデルの構造を図(5)-3に示す。構築したモデルは、与えられたエネルギーサービス需要（暖房需要、給湯需要など）やCO2排出量目標の達成などの制約条件を満たしつつ、期間内の費用が最小となるような技術選択及びそれに伴うエネルギー消費量の変化を分析できる最適化型エネルギーモデルである。1年間のエネルギーシステムを対象とした最適化計算を繰り返す逐次動学最適化手法により、2005年から2050年までのエネルギーシステムを推計できる。将来のエネルギーサービス需要の根拠となる社会経済シナリオは、地域スナップショットモデルの推計結果を利用できる。既に市区町村スケールでの分析を目的としたエネルギーシステムモデルを開発し、ケーススタディとして福島県相馬郡新地町に適用した。

地域レベルでの低炭素化の際には、地域内に賦存するエネルギー源の積極的な活用が求められ

るため、地域内で利用可能なエネルギーのポテンシャルは、地域エンドユースモデルの入力データとして、極めて重要な要素となる。地域内に賦存するエネルギー源のうち、火力発電所の排熱は大規模な未利用熱源であり、産業共生計画の中心となりうる熱源と位置づけられるが、火力発電所の将来の立地や稼働状況は、日本国全体の電力システムの動向に依存するため、地域エンドユースモデル単独では検討できない。そこで、日本国全体のエネルギーシステム像と地域エンドユースモデルを整合的に連携させるため、日本国全体の電力システムを考慮可能なモデルにより、各地域の火力発電所の排熱ポテンシャルを推計した。推計には、地域別の発電容量等を推計可能な多地域電源計画モデルを用いた。日本全国を対象にしたモデルにより将来の火力発電所の立地、稼働状況を推計することで、日本国全体での将来の電源立地状況のもとでの、地域別の火力発電所の排熱ポテンシャルが推計できる。これにより、地域レベルでの産業共生の計画時に考慮すべき、地域内の大規模排熱源のポテンシャルを推計した。

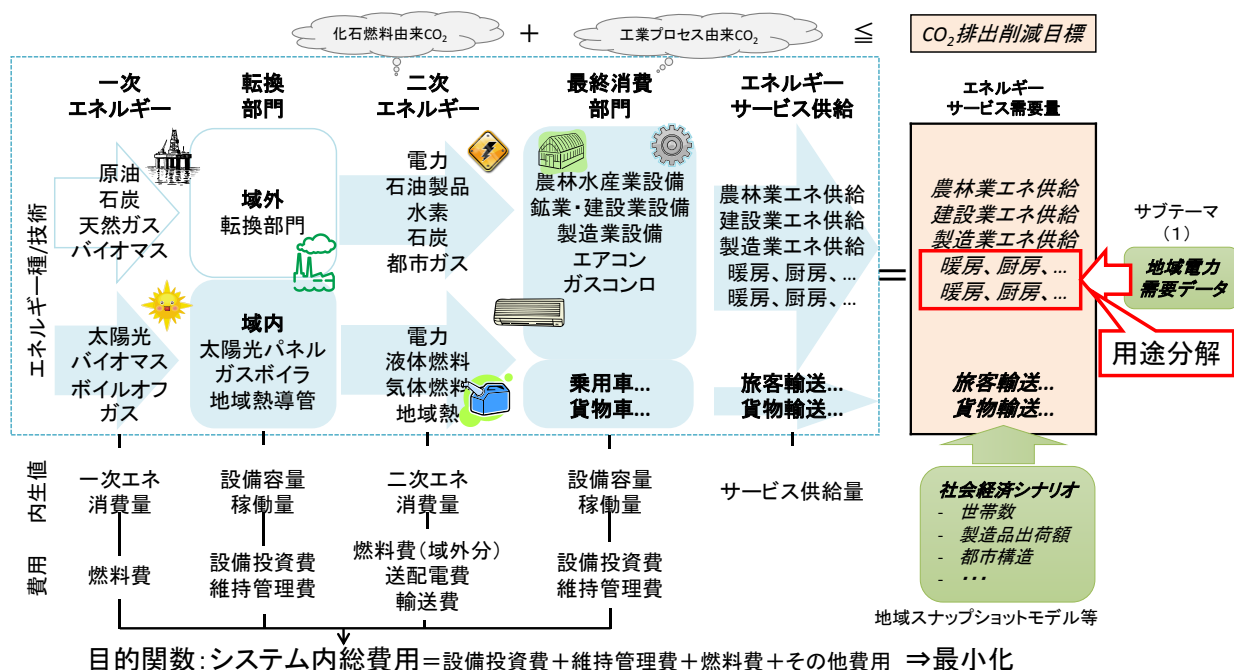
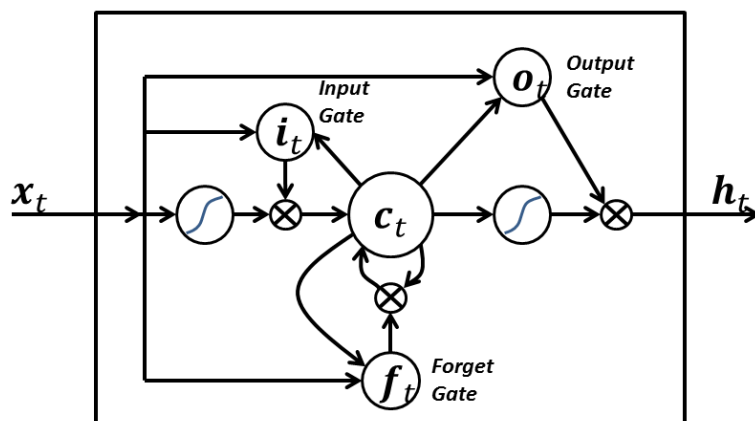


図 (5)-3 地域エンドユースモデルの構造

加えて、エネルギーシステムモデルの高精度化を目指して、用途別エネルギー需要推計手法を開発した。具体的には、サブテーマ 1 より得られる地域の電力需要データを分析し、エネルギーシステムモデルの入力データとなる用途別のエネルギーサービス需要を推計する手法を開発した。具体的には、世帯人員の時刻別の行動や機器の使用状況から機器の電力消費量を推計する工学的手法と世帯総電力需要量や各世帯の家電補充状況などから重回帰分析により電力需要を推計する統計学的手法を組み合わせることにより、総電力需要やその季節変動の推計精度が高く、かつ、主要な電力消費機器を用途分解可能な手法（ハイブリッド手法）を開発した。開発した手法を、サブテーマ 1 で整備した地域 ICT ネットワークシステム（タブレット端末および電力モニタリングシステム）より得られた家庭の電力消費データに適用して、地域内の時刻別用途別の電力需要を明らかにした。

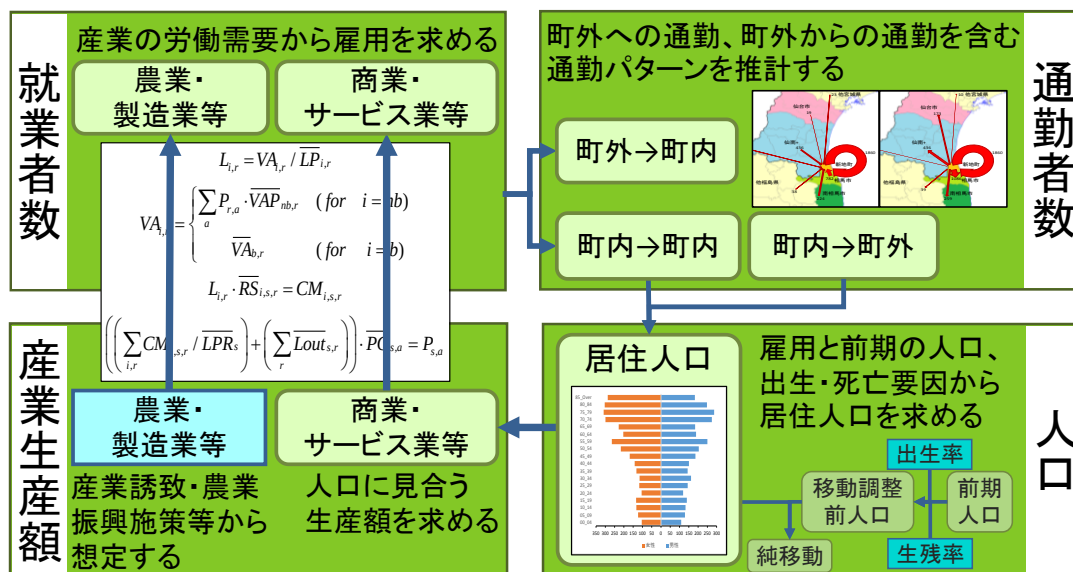
このほか、エネルギーシステム分析として、深層学習を用いた電力需要推計手法の検討も行った。分析に用いたモデルは、人間の記憶回路を模擬したLSTMモデル(Long Short-Term Memory)と呼ばれるもので、その構造を図(5)-4に示す。LSTMモデルは、時系列データの分析に適した方法で、長期記憶(Long-term Memory)と短期記憶(Short-term Memory)から構成される。短期記憶は、任意の期間の入力 x_t で表現され、その一部が f_t として記憶され、長期記憶はあるロジックで忘却される(ForgetGate)。最終的な出力は図(5)-4の h_t で示される。本分析では、過去の電力消費データを学習することで将来需要の予測が可能かどうかを評価した。



図(5)-4 深層学習を用いた電力需要推計モデルの構造

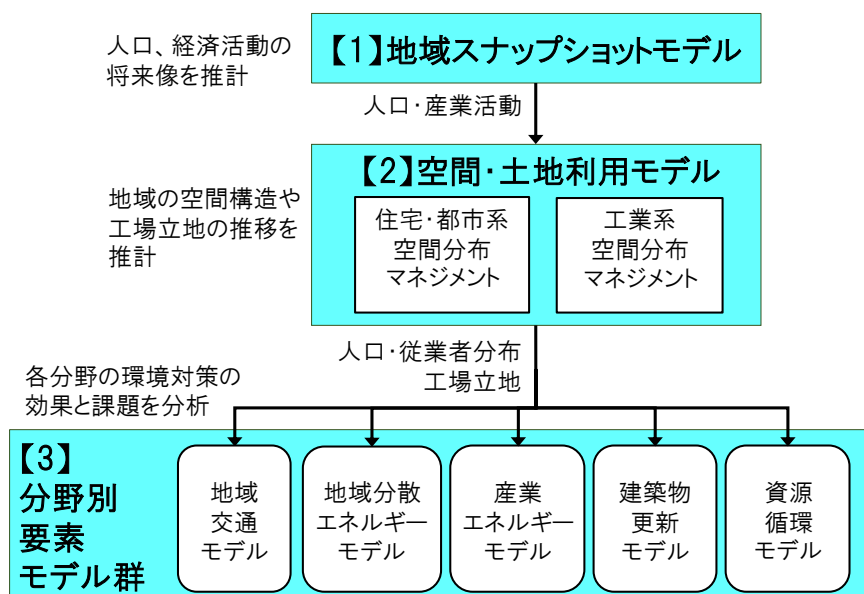
(2) 地域スナップショットモデル

地位スナップショットモデルの構造を図(5)-5に示す。ある地域が「人口維持」「産業の活力向上」のような目標を掲げたとき、本モデルを利用することでそれらを整合的に定量化し、それらの目標が達成される条件を求め、そのような条件を達成するための施策の検討を支援するためのモデルである。また、比較的小規模(例えば人口1万人程度)の基礎自治体での活用を念頭におき、多くの市町村で入手可能な統計データ(例えば国勢調査、市町村民経済計算、工業統計等)によって構築可能なモデルとした。また、より小規模な自治体では経済の開放性も高まるため、地域内で産業関連構造を検討する意義が小さく、産業関連データ入手が困難であることも考慮して産業関連分析や応用一般均衡モデルのような構造には依拠しない。一方で、一般に経済がより開放的であれば域外(例えば隣接する市町村)へ、あるいは域外から、通勤通学する者の割合が高くなることから、域外との通勤関係は明示的に考慮した。このモデルを用いることで、当該地域の現状、傾向、現行の計画、今後についての意向、首長や地方議会の意志、地域住民の意向等から方向性を見出し、それらをパラメータの値に翻訳し、産業構造、成長率、人口構成、通勤関係等について、試行錯誤的に様々なシナリオを作成することで、その地域の将来についての目標を明示的に定量化し、その達成に必要な条件を求め、地域の総合計画等の策定において重要な情報を提供することが出来るものと考えられる。



図(5)-5 地域スナップショットモデルの構造

また、地域スナップショットモデルの出力をさらに詳細な空間スケールに配分し、様々な環境分野の詳細モデルと連携させ、総合的な環境価値の分析を行うフレームワークを開発した。図(5)-6にそのフレームワークを示す。第1層目の地域スナップショットモデル、第2層目の空間・土地利用モデル、そして第3層目の分野別要素モデル群の三層からなる。第2・3層目の「モデル」は概念であり、実装される際にはそれぞれ定式化されたモデルが適用されることとなる。第2層目の空間・土地利用モデルは社会経済マクロモデルによって推計された人口や従業者数をフレーム値としてその空間配置を推計する。典型的には1辺1kmのグリッド程度の解像度が想定される。ここでは住宅や業務建物等の集約といった空間分布の変化をシナリオとして推計することが出来るモデルを適用することで、コンパクトシティ等の土地利用施策を反映することが可能となり、これを第3層目の要素モデルに与えることで、要素モデルでは明示的に空間構造の変化をも考慮した環境価値を検討することが出来る。第3層目には例として5つの分野の要素モデルを示した。これらのモデルは空間分布を共有することで一定の整合性を確保した各分野の環境対策の効果を推計する。

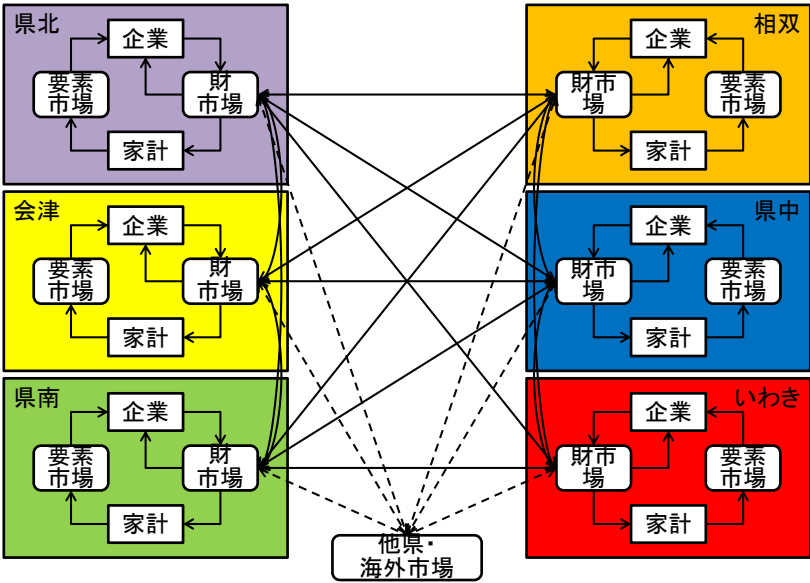


図(5)-6総合的な環境価値の分析を行うモデル連携のフレームワーク

（３）応用一般均衡モデル

福島県を、県北、県中、県南、相双、いわき、会津の6地域に分割した応用一般均衡モデルを開発し、環境省(2013)「平成24年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書¹⁾」に基づいて、再生可能エネルギーの地域別供給ポテンシャルを適用し、CO2排出削減による影響の分析を行った。開発した応用一般均衡モデルでは、2005年の福島県地域産業連関表²⁾をもとに93部門91財（電力部門を原子力、火力、その他に細分化）に分割した産業部門と、家計と政府を統合した最終需要部門を想定し、それぞれ生産技術を前提に利潤最大化、所得と消費選好を前提に効用最大化を行い、各財と生産要素の市場において、価格メカニズムを通じてそれぞれの財の需給が均衡するように活動水準や価格が計算される（図(5)-7）。データの制約から県外との移出入、海外との輸出入については区別せずに取り扱っているが、前述の6地域間における財の取引については明確に定義している。

分析対象期間は2005年から2040年までであり、逐次均衡によって計算が行われる。東日本大震災による影響は、様々な統計情報をもとに資本ストックの損失として表現している。このほか、将来人口の推移については、国立社会保障・人口問題研究所³⁾⁴⁾の予測値をもとに想定した。

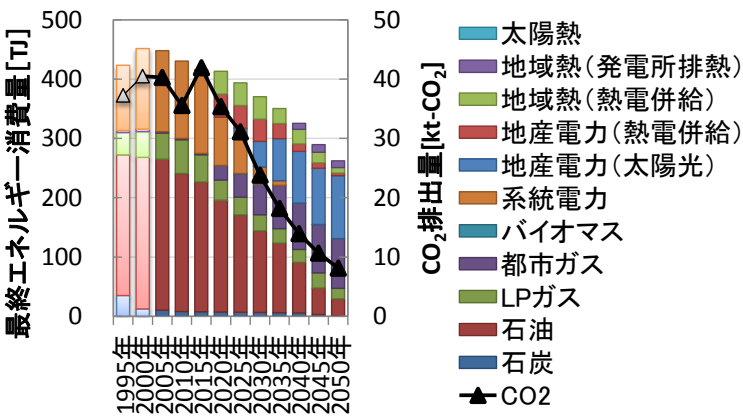


図(5)-7 福島県を対象とした応用一般均衡モデルの概要

4. 結果及び考察

(1) エネルギーシステムモデル

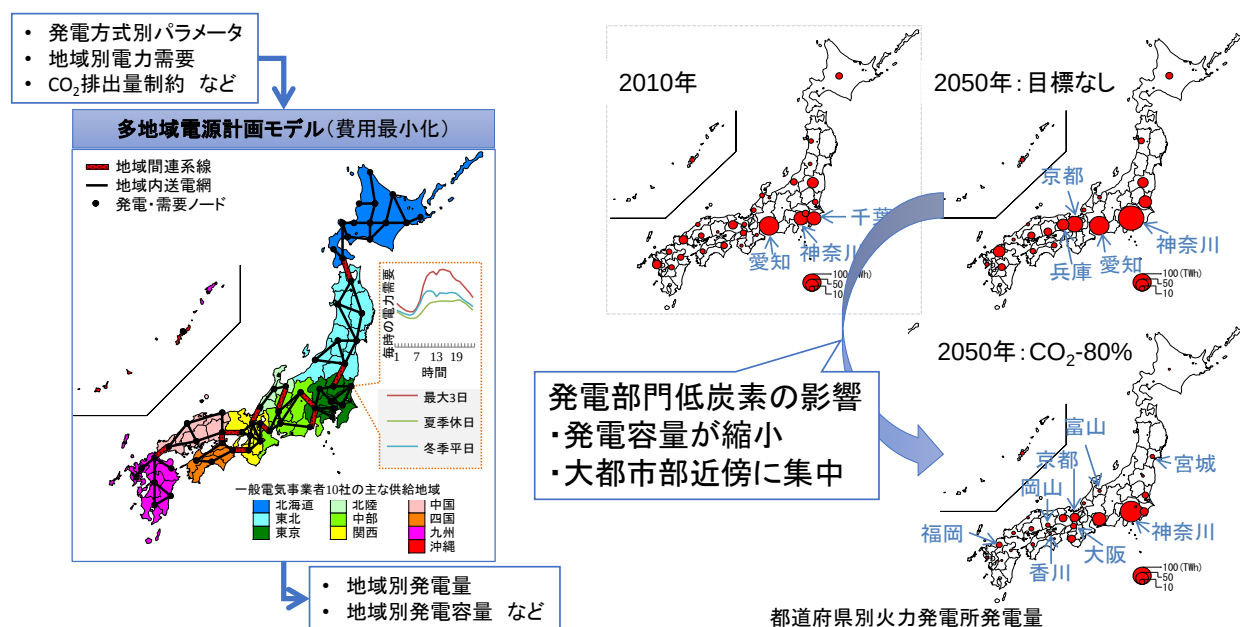
エネルギーシステムモデルによる分析では、市町村を対象としたエネルギーバランス表など、対象地域の統計情報、技術情報等を整備、推計した。また、エネルギーシステムモデルの一部を構成する多地域電源計画モデルを用いて、将来の火力発電所排熱ポテンシャルを全国レベルで推計するとともに、こうした情報も踏まえて、地域特性を考慮した技術選択型のモデル開発を行った。こうしたモデルをもとに、福島県新地町における 2050 年の CO₂ 排出量を 80%削減する場合の最終エネルギー消費の変化について分析し、図(5)-8 に示すように、地域熱供給や太陽光発電の導入により 2050 年の CO₂ 排出量を 80%削減しうることを明らかにした。



図(5)-8 福島県新地町を対象とした 2050 年 CO₂ 排出量を 80%削減するための技術シナリオ

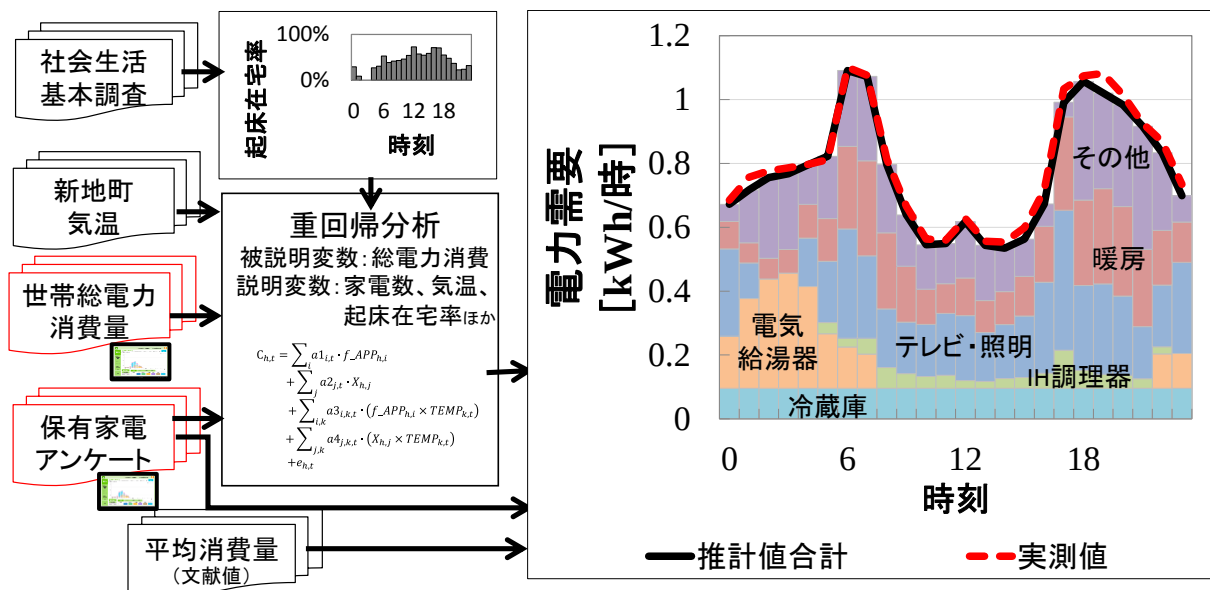
多地域電源計画モデルによる将来の火力発電所排熱ポテンシャル推計では、全国を 60 地域に分割し、2050 年までの最適電源立地、電源構成を推計するモデルを用いて分析を行った。図(5)-9

に結果を示す。CO₂ 排出削減ケース（CO₂ 排出量を 80%削減するケースに相当）では、2050 年の火力発電所の設備容量は縮小するとともに、その立地が大都市部近傍に集中する結果となった。こうした結果から、火発排熱を用いた産業共生の計画時には、長期の立地計画も検討することが必要となることを示唆している。



図(5)-9 多地域電源モデルの概要と 2050 年における火力発電所の立地と発電規模の結果

また、エネルギーシステムモデルに対する時刻別用途別の電力需要データの提供を目的として、世帯総電力需要から用途別の電力需要を推計する用途分解手法を開発した。開発したハイブリッド手法は、工学的手法と比較して時刻別の世帯電力需要量の推計精度が高く、また、統計学的手法では分解できなかった機器の用途分解が可能であった。推計精度の改善に関する定量分析のため、計測した機器別電力消費量データを用いてRMSE(Root Mean Squared Error)、および、MAE(Mean Absolute Error)を算出した結果、両指標とも大部分の機器において、既存手法の推計精度と比べて、11%から71%の改善が見られた。開発した手法を、サブテーマ1で整備した地域ICTネットワークシステム（タブレット端末および電力モニタリングシステム）より得られた家庭の電力消費データに適用して、地域内の時刻別用途別の電力需要を明らかにした（図(5)-10）。本推計より得られた地域独自の用途別電力需要データをエネルギーシステムモデルに適用することで、地域の需要特性を踏まえたエネルギーシステムが検討できるようになった。このほか、節電効果に対して経済インセンティブの有無がどの程度影響を及ぼすかについて検証を行った。経済インセンティブを与えた場合の電力消費量の削減効果は最大2.76%であるのに対して、経済インセンティブを与えずに省エネ情報のみの提供を行った場合の節電効果は1.58%となることを確認した。

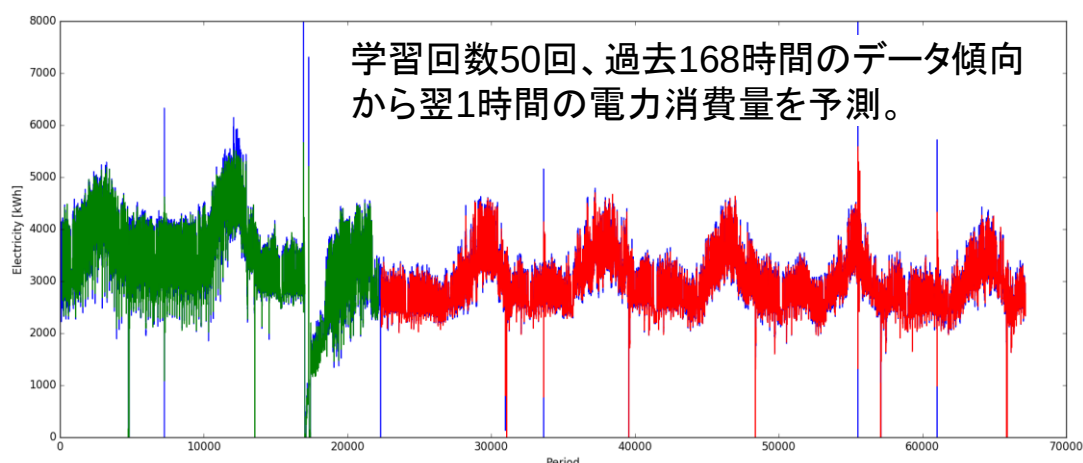


注：世帯総電力消費量、保有家電アンケートは、サブテーマ1との連携により収集した。

図(5)-10 用途別電力需要の推計フローと実需要データに基づく冬季の電力需要の推計結果

さらに、構築したLSTMモデルを用いて、電力消費量の予測が可能かを評価する。使用したデータは環境研における電力需要量である。図(5)-11は、学習回数50回、学習期間を33%として、168時間（1週間）前のデータから1時間後の電力消費量の予測を行ったものである。長期的な周期性（週単位）を持つ点など、実測データをきれいに再現できていることがわかる。このことから、過去のデータをもとに現在の電力消費量の予測が可能であることが明らかとなった。また、環境研における電力消費量には周期性があることから、予測モデルの構築には、周期成分と誤差成分の両方が必要となることが明らかとなった。

一方、同じ手法をインドネシアの家庭を対象に適用したところ、上記と異なり、過去の電力消費パターンから現在の電力消費量のパターンを説明することは出来なかった。これは、過去のパターンと現在のパターンが異なることを示唆しており、省エネ等による効果やライフスタイルの変化などの検証と組合わせて評価することが必要である。今後は、モニタリングをもとに、ビッグデータと統計を組み合わせることで将来予測が可能になるとともに、需要制御のための方策メニュー検討と統合したエネルギー需要量の総合解析が可能であると考えている。

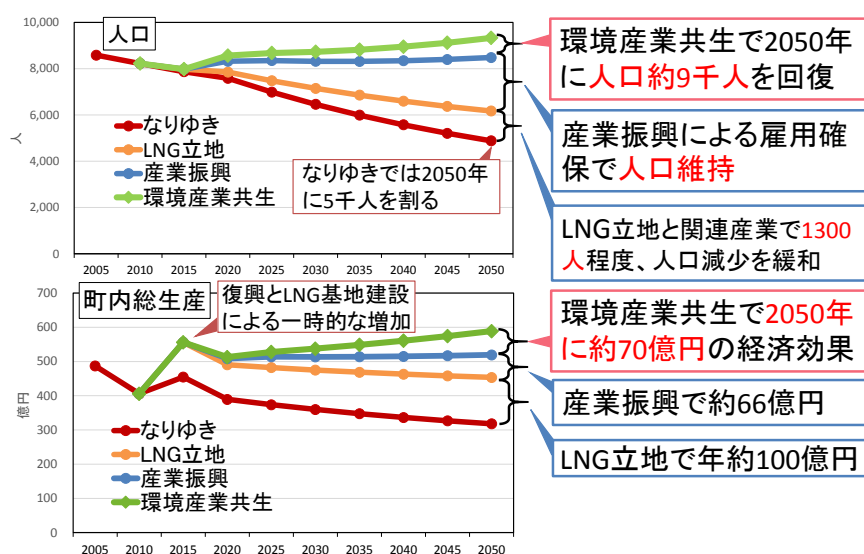


青線：実測データ 緑：学習に用いたデータ 赤：深層学習を通じた予測結果

図(5)-11 深層学習を用いた電力需要推計の結果

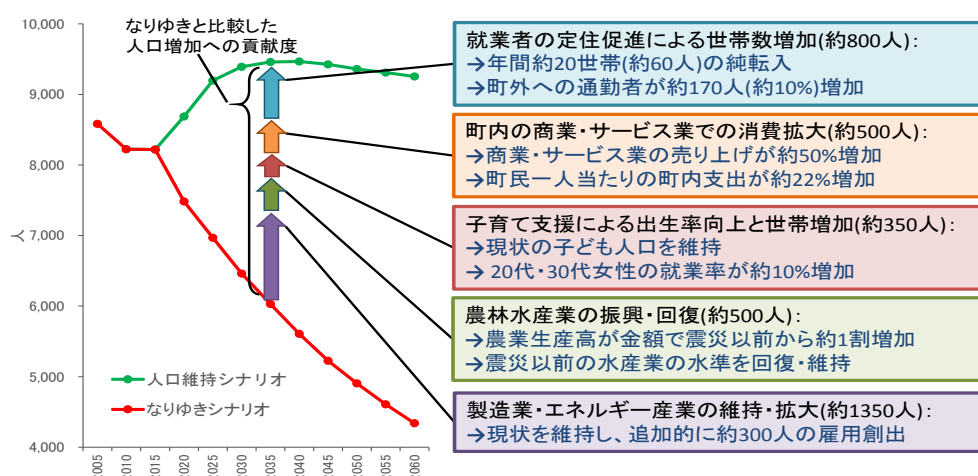
(2) 地域スナップショットモデル

地域スナップショットモデルの開発では、モデルを新地町に適用するための情報収集を行うとともに、モデル開発、予備的な試算を行い、復興事業、産業立地、定住促進、省エネ等の課題に対応した4つのシナリオの検討を行った。図(5)-12に人口及び町内総生産の推移を示す。なりゆきでは、過疎等の影響で人口減少が続くのに対して、計画されているLNG基地の活用とそれを活用した産業振興、さらには環境産業共生を目指して活動する場合の経済活動への波及について検討した。LNG立地により町内総生産は一時的に増加するが、適切に産業振興を行わない限り生産や人口は縮減する可能性があり、そうしたことを防ぐ対策としての環境産業共生の有効性を示した。



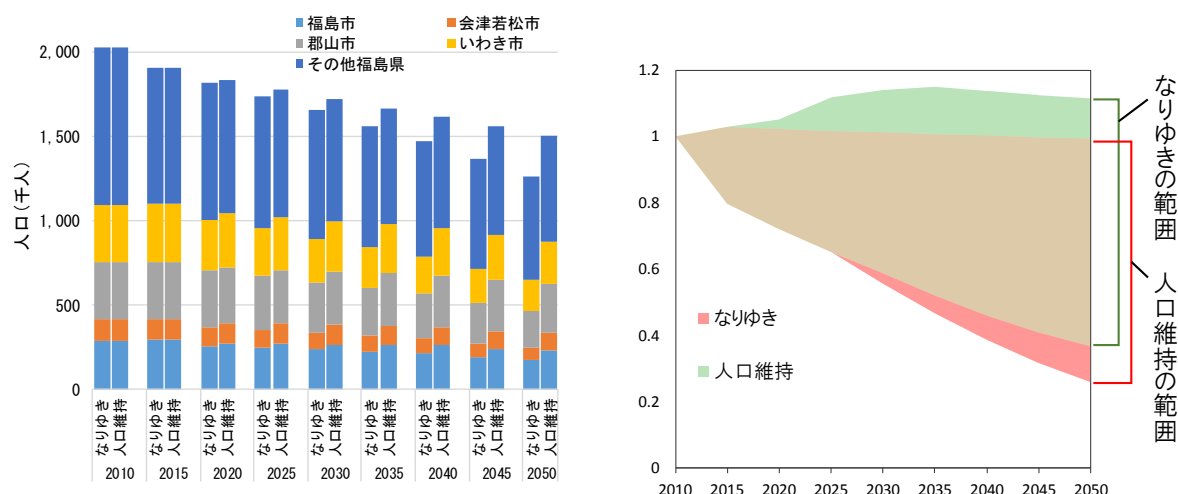
図(5)-12 福島県新地町を対象としたスナップショットモデルによる将来シナリオの検討結果

また、地域の課題として重要となっている人口維持に着目し、人口変数に関する要因の詳細を分析できるようモデルを改良した。これにより、環境産業等の立地による雇用増加の人口維持への貢献のほか、住環境の整備による定住・移住施策や、子育て支援の効果等も分析する。図(5)-13に福島県新地町において開発した手法を適用し、同町の人口維持目標を達成するために必要な施策例を示し、その要件と貢献度を分析した。同町では、2035年時点において、なりゆきの人口推計から約3500人の人口増加（2015年からは約1200人）が目標とされている。これを達成するためには図中に示した製造業・エネルギー産業の維持・拡大、農林水産業の震災からの回復・振興、就業者の定住促進、町内の消費拡大、子育て支援の各分野において図中に青字で示した施策効果が実現される必要がある。ここでは環境面の直接的な影響として地域エネルギー事業による雇用の増加と、震災・原子力災害からの環境回復による農業・漁業の回復を検討に入れている。



図(5)-13 地域スナップショットモデルによる人口維持シナリオの分析結果

さらに、開発した地域スナップショットモデルを用いて、福島県内59市町村を対象とした将来シナリオの推計を行った。人口の推計結果を図(5)-14の左に示す。推計期間を2010年から2050年までとし、なりゆきおよび人口維持の2シナリオを推計した。推計は59市町村で行ったがここでは人口の多い福島市、郡山市、いわき市、会津若松市を特出し、他の地域はその他として示す。また図(5)-14の右に各市町村の2015年比人口の包絡線を示す(福島第一原子力発電所事故により住民の大部分が避難している8町村を除く)。いずれのシナリオにおいても全体的に減少傾向にあるが、減少率には市町村ごとに大きな差異があることが分かる。地域スナップショットモデルは産業と人口の相互効果を推計しており、高齢化が比較的進んでおり経済基盤の弱い地域では自然減、社会減の双方が大きく、このように大きな差が推計されるものと考えられる。

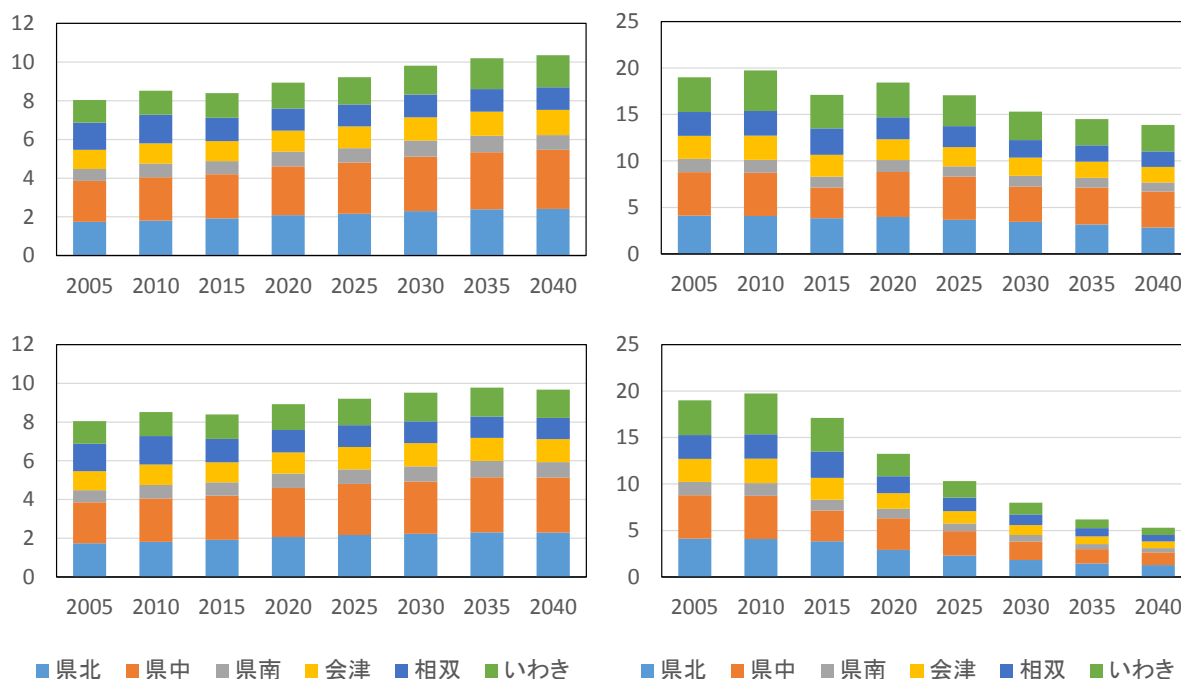


図(5)-14 福島県における人口の推計結果(左)とシナリオ毎の基準年比包絡線(右)

(3) 応用一般均衡モデル

応用一般均衡モデルによる分析としては、福島県を6つの地域に分割し、93部門91財からなるモデルを開発し、なりゆきシナリオ、CO₂対策シナリオの検討を行った。前提とする将来人口は、国立社会保障・人口問題研究所の福島県を対象とした予測（平成25年3月推計）に対して、平成20年12月推計の市町村別人口予測をもとに想定している。また、経済成長については1人あたり成長率を年率2%と想定した。福島県における温室効果ガス排出削減目標として、2020年は1990年比10-15%削減、2040年は1990年比80%削減が示されている。これに基づき、エネルギー転換部門を除く最終エネルギー需要部門からの二酸化炭素の排出を削減対象とした。あわせて、環境省が行った「平成24年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」に基づいて、地域別の再生可能エネルギーの導入を前提とした。

なりゆきシナリオにおける福島県の6つの地域における推移を図(5)-15の棒グラフで示すとともに、2040年のCO₂を80%削減するCO₂対策ケースにおける福島県全体の推移を図(5)-15の折れ線グラフで示す。なりゆきケースにおいても福島県のCO₂排出量は2005年から2040年にかけて27%削減される。対策ケースでは、福島県の県内総生産はなりゆきケースと比較して2020年に0.24%、2040年に6.6%減少する結果となった。本モデルでは、革新的な技術の導入を前提とした構造ではなく、また、家計における消費構造も現状をもとにしているために、2040年の経済影響が比較的大きくなるという結果となった。こうした点の改善は、相双地域で行われている廃炉処理に向けた活動の定量化とともに今後の課題である。



図(5)-15 福島県における県内総生産(左;2005年価格兆円)とCO2排出量(右;MtCO2)の推移(上段:なりゆきケース、下段:対策ケース)

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまで、地方自治体の温室効果ガス排出削減に関する計画は、国の想定をもとにしたものがほとんどであったが、本サブテーマにおけるモデルを用いることで、国で想定されている技術等を活用しつつ、地域における環境資源を活用した独自の計画を立案することが可能となった。また、電力需要の予測など、ミクロな予測手法を適用することで、今後大幅な温室効果ガス排出量の削減が求められる民生・家庭部門に対して、きめ細かい対策の提示が可能となり、実効性のある施策の提示が、科学的根拠をもってできるようになる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

福島県新地町における総合計画において、地域スナップショットモデルに入力する人口データ等を新地町の担当者と連携して検討するとともに、その結果は総合計画の審議過程において利用された。

また、本研究の枠組を活用して、環境省「東京都市圏における環境対策のモデル分析」が行われ、東京五輪を契機として東京都市圏(東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県)において地域エネルギー対策、資源循環対策、建築・建設ストック対策を同時並行的に実施することにより、東京都市圏を低炭素化するための対策を分析した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

スナップショットモデルは、福島県新地町のみならず福島県内のその他の自治体にも適用されており、今後、新地町と同様に総合計画等への活用が見込まれている。

6. 国際共同研究等の状況

エネルギーシステムモデルの開発に当たっては、環境省「二国間クレジット（JCM）推進のためのMRV等関連するインドネシアにおける技術高度化事業」を通じて、インドネシア・ボゴール農業大学（Rizaldi Boer教授）、バンドン工科大学（Ucok Welo Risma Siagian教授、Retno Gumilang Dewi教授）と共同で行った電力需要の計測データを本研究においても使用している。

地域スナップショットモデルは、ベトナム（ハノイ、ダナン）やマレーシア（イスカンダール開発特区）においてモデルが適用されており、人材育成を目的としたトレーニングワークショップを行ってきた。

7. 研究成果の発表状況

（１）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Hiroto Shiraki, Shuichi Ashina, Yasuko Kameyama, Seiji Hashimoto, Tsuyoshi Fujita : Journal of Cleaner Production, 114, 81-94 (2016)
“Analysis of optimal locations for power stations and their impact on industrial symbiosis planning under transition toward low-carbon power sector in Japan”
- 2) Shiraki H., Ashina S., Kameyama Y., Hashimoto S., Fujita T: Journal of Cleaner Production, 1-14 (2015)
“Analysis of optimal locations for power stations and their impact on industrial symbiosis planning under transition toward low-carbon power sector in Japan”
- 3) 戸川卓哉, 藤田壮, 芦名秀一, 藤井実, Dong Liang : 土木学会論文集 G(環境), 71 (6), II_139-II_149 (2015)
「地域特性に応じた分散型エネルギーシステムの設計支援フレームワーク」
- 4) Shiraki H., Nakamura S., Ashina S., Honjo K.: Energy, 114, 478-491 (2016)
“Estimating the hourly electricity profile of Japanese households-Coupling of engineering and statistical methods“

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

（２）口頭発表（学会等）

- 1) 白木裕斗, 芦名秀一：エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス第31回大会，同コンファレンス講演論文集(2015)

「市区町村スケールでの低炭素社会シナリオ分析と地域比較」

- 2) 岩渕裕子、増井利彦：第42回環境システム研究論文発表会，同講演集，317-321(2015)
「中学生を対象とした未来のまちづくりワークショップからみた持続可能社会の実現の可能性－福島県相馬郡新地町のケーススタディ－」
- 3) 芦名秀一，白木裕斗，戸川卓哉：第23回日本エネルギー学会大会，福岡（2014.7）
「市町村スケールを対象とした低炭素型エネルギーシステムの実現可能性検討：福島県相双地域におけるケーススタディ」
- 4) H.Shiraki, S.Ashina: Grand Renewable Energy 2014 (2014)
"Assessment of Large Scale Penetration of Variable Renewables in Japan Considering Suppression of Power Fluctuation"
- 5) H.Shiraki.: The 20th AIM International Workshop, Tsukuba (2015)
"Comparison of Municipal Scale Energy System Analysis"
- 6) Masui T., Kainuma M., Fujita T: Our common future under climate change, Paris, France, July 7-10, (2015)
“Development of scientific tools and their application to Asian countries toward low carbon society”
- 7) Fujita T., Fujii M., Ashina S., Gomi K.: the 8th Conference of the International Society for Industrial Ecology, Guildford, UK (2015)
“Innovative Modelling and Monitoring Research Initiative for Eco-cities and Regions”
- 8) 今野伊吹，森俊介，金森有子，増井利彦：環境科学会2015年会，東京（2015）
「東京電力管内における地域特性を考慮した分散型電源の導入評価及び電源計画への影響分析」
- 9) 五味馨、藤田壮：環境経済・政策学会2016年大会，東京（2016）
「What factors energy saving behaviour in Indonesia? Results of a logit regression study in Bogor.」
- 10) 五味馨，藤田壮，増井利彦，藤井実，芦名秀一，大場真，戸川卓哉：第44回環境システム研究論文発表会，東京（2016）
「モデル連携による総合的な環境対策分析フレームワークの開発」
- 11) Masui T.: International Workshop on Integrated Modeling, Seoul, Korea (2016)
“Top-down/Bottom-up Integration with AIM (Asia-Pacific Integrated Model)”
- 12) Gomi K.: 22nd Annual International Sustainable Development Research Society Conference, Lisbon, Portugal (2016)
“Long-term population dynamics after evacuation from nuclear accident and tsunami disaster considering willingness to return of the residents”
- 13) 五味馨、藤田壮、芦名秀一、平野勇二郎、大場真、奥岡桂次郎、文屋慎太郎、越智雄輝：第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，エネルギー・資源学会，東京（2017）
「地域特性と将来の社会構造変化を考慮したCO2排出抑制技術評価手法の開発」

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 国立研究開発法人国立環境研究所公開シンポジウムにて災害環境研究への取組みに関するポスター発表
(2015年6月19日、東京都メルパルクホール、来場者435名、2015年6月26日大阪府大阪市松下IMPホール、来場者253名)
- 2) 国立研究開発法人国立環境研究所一般公開にて災害環境研究への取組みに関するポスターを展示
(2015年7月18日、来場者4,433名)
- 3) 土木学会第43回環境システム研究論文発表会にて企画セッション「復興自治体における環境創生に関する社会実装研究」を主催(2015年11月)
- 4) 川崎市アジア太平洋エコビジネスフォーラム(共催)「日本発信の環境成長システムのアジアへの発信」(2016年2月)
- 5) 川崎エコビジネスフォーラムにてNIESセッションを開催(2月)
- 6) 新地町地域エネルギー国際ワークショップ(新地町)を開催(10/30、参加者約50名)
- 7) 国立環境研究所福島環境創生研究セミナー(新地町、新地町立地企業講演会と併催)を開(11/2、参加者約100名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 環境省(2013) 平成24年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書,<http://www.env.go.jp/earth/report/h25-03/>
- 2) 福島県企画調整部統計分析課(2011)平成17年福島県生活圏別産業連関表,アナリーゼふくしま,No.19, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/11045b/34970.html>
- 3) 国立社会保障・人口問題研究所(2013) 日本の地域別将来推計人口(平成25年3月推計),<http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson13/t-page.asp>
- 4) 国立社会保障・人口問題研究所(2008)『日本の市区町村別将来推計人口』(平成20年12月推計),<http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson08/t-page.asp>

Planning and Evaluation Model for Green Growth Centers based on Spatial Inventory Analysis.

Principal Investigator: Tsuyoshi FUJITA

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)
16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN
Tel: +81-29-850-2119 / Fax: +81-29-850-2572
E-mail: fujita77@nies.go.jp

Cooperated by: Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

[Abstract]

Key Words: Integrated model, Demonstration projects, Future scenario, Fukushima rebuilding, Spatial data base

Integrated models are developed consisting of spatial population analysis, process models for local energy and resource utilization, urban stock management and macro-future scenario models. The models are collectively applied to support demonstrative rebuilding planning process in Fukushima to provide sustainable future scenarios for policy alternatives of the stakeholders and demonstrative projects to start the rebuilding process was planned. ICT supported communication network was used to assemble data and share the analytical results. In sub-theme one, the models are collectively shared with public-private stakeholders in the township and it provided comprehensive future green growth scenario, utilization on dual directive communication system with ICT and design of green growth center projects. Communication process and stakeholder dialogue system was organized as a demonstration knowledge for action research through Fukushima recovery. The outcome from this subtheme have supported the related policy making and implementation, including the application and adoption of the subsidized projects on Green Plan Partnership (GPP) by the Ministry of Environment as well as the program for promoting smart communities by the Ministry of Economy, Trade and Industry.

Each sub-theme developed from spatial and microscopic analysis model in sub-theme two, sub-theme three, and intermediate meso-scale was dealt in sub-theme four and macroscopic model was down scaled in sub-theme five.

In sub-theme two, population distribution scenarios were developed considering the land use enhancement plans in suburbs or urban areas. The estimation of municipal car CO₂ emissions was revised and the household CO₂ emissions in 1km square mesh resolutions were newly estimated.

Sub-theme three, the Process Model of Regional Energy and Resources Management, is

targeting at forming an environment-oriented low-carbon development. In this subtheme, a process model combining the high-efficiency utilization of biomass and waste, Industrial Symbiosis with urban energy system is developed to indicate an expected optimal system and evaluate its potential impacts on the environment and socio-economy.

Sub-theme four developed low carbon building stock management for cities and towns. Alternative policies such as local circularization of solid waste and strategic building transition were quantitatively investigated.

In sub-theme five, the localized integrated assessment model is developed and applied to Fukushima Area in order to assess the future scenarios on renovation from Great East Japan Earthquake. The model and its numerical results for Shinchi-Town were provided to the process instituting the master plan.