

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

「基礎自治体レベルでの低炭素化政策検討支援ツールの開発と社会実装に関する研究」

(2-1910)

令和元年度～令和3年度

Research on Development and Social Implementation of  
Supporting-tools for Municipalities towards Low Carbon Society

〈研究代表機関〉  
千葉大学

〈研究分担機関〉  
東京大学  
芝浦工業大学

〈研究協力機関〉  
NPO法人環境エネルギー政策研究所  
早稲田大学公共政策研究所

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ. 成果の概要」の図表番号は「0. 通し番号」としております。なお、「Ⅱ. 成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ. 成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号. 通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和4年5月

## 目次

|  |    |
|--|----|
| I. 成果の概要   | 1  |
| 1. はじめに（研究背景等）                                       |    |
| 2. 研究開発目的  |    |
| 3. 研究目標  |    |
| 4. 研究開発内容  |    |
| 5. 研究成果  |    |
| 5-1. 成果の概要   |    |
| 5-2. 環境政策等への貢献                                       |    |
| 5-3. 研究目標の達成状況                                       |    |
| 6. 研究成果の発表状況   |    |
| 6-1. 査読付き論文  |    |
| 6-2. 知的財産権   |    |
| 6-3. その他発表件数   |    |
| 7. 国際共同研究等の状況  |    |
| 8. 研究者略歴   |    |
| II. 成果の詳細  |    |
| II-1 低炭素化社会経済オプション導入シナリオ作成と低炭素政策検討支援ツールの開発<br>（千葉大学） | 15 |
| 要旨   |    |
| 1. 研究開発目的  |    |
| 2. 研究目標  |    |
| 3. 研究開発内容  |    |
| 4. 結果及び考察  |    |
| 5. 研究目標の達成状況   |    |
| 6. 引用文献  |    |
| II-2 低炭素化技術システムオプション導入シナリオの作成<br>（東京大学）              | 28 |
| 要旨   |    |
| 1. 研究開発目的  |    |
| 2. 研究目標  |    |
| 3. 研究開発内容  |    |
| 4. 結果及び考察  |    |
| 5. 研究目標の達成状況   |    |
| 6. 引用文献  |    |
| II-3 低炭素化政策検討支援ツールの社会実装<br>（芝浦工業大学）                  | 42 |
| 要旨   |    |

- 1. 研究開発目的
- 2. 研究目標
- 3. 研究開発内容
- 4. 結果及び考察
- 5. 研究目標の達成状況
- 6. 引用文献

|                   |       |    |
|-------------------|-------|----|
| III. 研究成果の発表状況の詳細 | ..... | 55 |
| IV. 英文Abstract    | ..... | 64 |

## I. 成果の概要

課題名 2-1910 基礎自治体レベルでの低炭素化政策検討支援ツールの開発と社会実装に関する研究

課題代表者名 倉阪 秀史 (千葉大学大学院社会科学研究院教授)

重点課題 主：【重点課題⑤】低炭素で気候変動に柔軟に対応する持続可能なシナリオづくり  
副：【重点課題②】持続可能な社会の実現に向けた価値観・ライフスタイルの変革

行政要請研究テーマ（行政ニーズ） 非該当

研究実施期間 令和元年度～令和3年度

### 研究経費

82,273千円

(各年度の内訳：令和元年度：28,415千円、令和2年度26,677千円、令和3年度：27,181千円)

### 研究体制

(サブテーマ 1) 低炭素化社会経済オプション導入シナリオ作成と低炭素政策検討支援ツールの開発 (千葉大学)

(サブテーマ 2) 低炭素化技術システムオプション導入シナリオの作成 (東京大学)

(サブテーマ 3) 低炭素化政策検討支援ツールの社会実装 (芝浦工業大学)

### 研究協力機関

NPO 法人環境エネルギー政策研究所、早稲田大学公共政策研究所

本研究のキーワード 基礎自治体、脱炭素政策、バックキャスティング型政策形成、脱炭素技術情報、学校教育プログラム、気候変動適応策

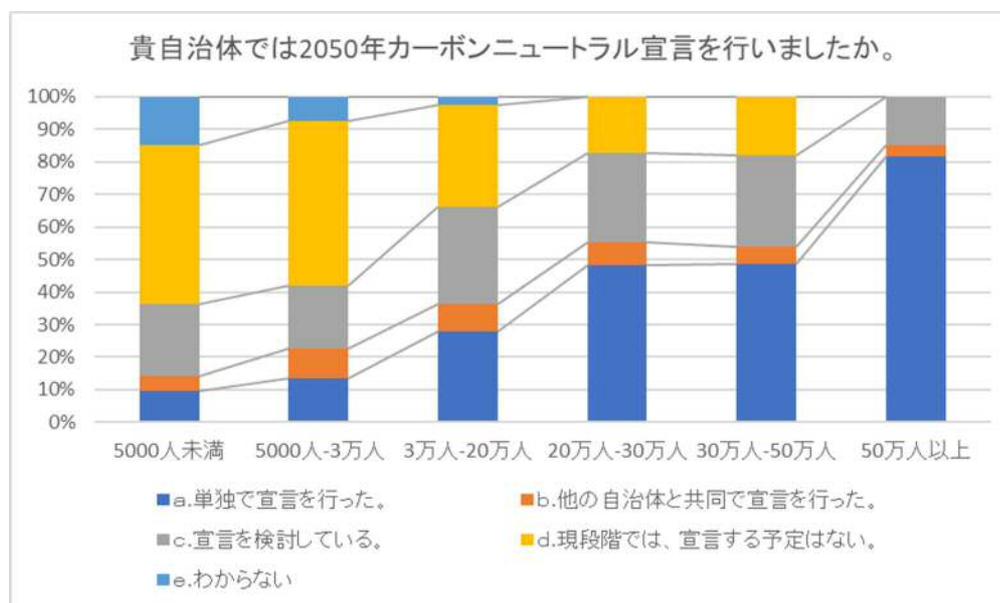
## 1. はじめに（研究背景等）

IPCC1.5℃特別報告書において、工業化以降の地球の平均気温の上昇を1.5℃以内に抑えるためには、2040年から2055年までの間に、二酸化炭素の排出量を正味ゼロまで削減することが必要であることが述べられた。2020年3月30日時点でのパリ協定に基づく日本国として定めた貢献（NDC）においては、2050年のできるだけ近い時期に「脱炭素社会」を実現していくことが盛り込まれていたが、2020年10月の菅総理（当時）の所信表明演説において、日本における2050年カーボンニュートラルが宣言されて以来、急速に脱炭素に向けた動きが展開した。2021年の地球温暖化対策推進法の改正において、2050年カーボンニュートラルが法制化され、2021年10月22日時点でのパリ協定に基づく日本国として定めた貢献（NDC）では、「2050年カーボンニュートラル」の実現を目指すとともに、「2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指し、さらに、50%の高みに向けて挑戦を続けていく」旨が盛り込まれた。このような中、2050年までに二酸化炭素排出実質ゼロを表明する自治体も急速に増加しており、2020年3月時点で63市町村、17都道府県であったところ、2022年4月28日時点では、654市町村、42都道府県に増加している。

脱炭素社会づくりにあたっては、基礎自治体レベルでの取り組みが必須であるが、申請者の倉阪らが2011年以来隔年で実施してきた地方自治体再生可能エネルギー政策調査によると、財源、知

見、人員不足などから、人口の少ない基礎自治体を中心に関連政策が進展していない。本研究を通じて実施した最新の政策調査では、カーボンニュートラル宣言についての意向も確認したが、図0-1のとおり、人口の少ない自治体ほど、動きが鈍いことが確認できている。

図0-1 人口規模別の2050年カーボンニュートラル宣言の意向



注) 回答自治体数に対する割合。回答自治体数：5000人未満132、5000人-3万人330、3万人-20万人409、20万人-30万人29、30万人-50万人40、50万人以上27

(出典) 倉阪研究室「再生可能エネルギー政策に関する自治体調査2021年度」

宣言を行った自治体においても、どのように二酸化炭素排出実質ゼロを実現するのかを具体的に明らかにしている自治体は少ない。また、政令市などでも、国の目標を人口などで割り戻す形の目標設定を行うなど、地域に応じた計画づくりとはいえない自治体も見受けられる。さらに、今後、気候変動適応法に基づく政策も進める必要がある。この状況を打開するためには、基礎自治体の状況に応じた脱炭素型の技術や社会経済政策の導入シナリオを簡易に描くことができる支援ツールを開発するとともに、それらの社会実装を進めることが必要である。

申請者のうち倉阪らは、2005年から各自治体の再生可能エネルギー供給量を推計する「永続地帯研究」を実施してきた。菊池らは、2015年～2016年度に環境研究総合推進費(1RF-1503)において、地域の風土に合わせた低炭素技術導入シナリオの設計手法を開発した。また、倉阪らは、2014～2019年度にJST/RISTEX 委託研究において、各種統計を加工して、このまま人口減少が進んだ場合に、2040年時点で医療・介護や、農地・人工林・公有施設・道路のメンテナンスが実施可能かどうかを、基礎自治体別に提供する「未来カルテ発行プログラム」を開発した。同委託研究では、栗島らが未来カルテを用いた中高生対象のワークショップの効果検証などをおこなった。

このため、本研究では、基礎自治体レベルで、地域の社会経済的データに即して、地域で導入可能な技術を実現可能な形で導入するための戦略を検討できるように支援するツール(低炭素化戦略検討支援ツール<sup>注)</sup>)を開発し、その社会実装を図るものである。

<sup>注)</sup> 採択時名称は「低炭素化政策検討支援ツール」であるが、その後の脱炭素政策の進展に従い、対外的な提供ツールの名称は「地域脱炭素政策検討支援ツール」とした。課題名、サブテーマ名は変更しない。

## 2. 研究開発目的

本研究は、申請者らがこれまで開発してきた基礎自治体別の社会経済シナリオを提示する情報基盤と地域に即した低炭素技術システムオプションの選択を組み合わせ、基礎自治体別に低炭素化政策を検討するための支援ツールを開発するとともに、自治体の気候変動対策（実行計画・適応計画等）の検討や学校教育などの地域人材育成の場において社会実装を図ることを目的とする。

## 3. 研究目標

|                |  |
|----------------|--|
| 全体目標           | 2050年までの脱炭素戦略を自治体別に検討できるよう低炭素化政策検討支援ツールを全自治体に提供するとともに、自治体や地域人材育成の現場において社会実装を図る。支援ツールは、「低炭素政策シミュレータ」と「気候変動リスク情報」からなる。さらに、さまざまな技術オプションも見られるようにする。  |
| サブテーマ1         | 低炭素化社会経済オプション導入シナリオ作成と低炭素政策検討支援ツールの開発  |
| サブテーマリーダー/所属機関 | 倉阪秀史/千葉大学  |
| 目標             | 低炭素化政策検討支援ツールを使用マニュアルとともに2022年2月までに公開する。このツールにおいては、2050年までの脱炭素戦略を、表計算ソフトを用いて簡易に基礎自治体別にシミュレーションできるようにする。  |
| サブテーマ2         | 低炭素化技術システムオプション導入シナリオの作成   |
| サブテーマリーダー/所属機関 | 菊池康紀/東京大学  |
| 目標             | 地域に賦存する低炭素化に応用可能な未利用資源（再生可能資源、社会・産業インフラなど）と技術・インフラを組合わせて技術システムオプションとする低炭素化技術オプションデータベースおよび付随するシミュレータを2022年2月までに開発、プロトタイプを実装し、ユーザとなる自治体等がアクセス可能な形で共有する。   |
| サブテーマ3         | 低炭素化政策検討支援ツールの社会実装   |
| サブテーマリーダー/所属機関 | 栗島英明/芝浦工業大学  |
| 目標             | 自治体や地域人材の現場への社会実装のために、ツールを用いて脱炭素の課題と人口減少などに伴う地域の持続可能性に関する課題の同時解決について考えるワークショップ（将来世代ワークショップ「WS」）の手法を構築するとともに、2022年2月までに、区域施策編策定マニュアルと連動させたツール・ワークショップ導入マニュアルや、新学習指導要領に沿った正課（「総合的な学習／探究の時間」）で実施可能な学校教育プログラム、職員・教員研修プログラムなどを開発し、公開する。 |

#### 4. 研究開発内容

本研究では、第一に、基礎自治体別にカスタマイズされた「低炭素化政策検討支援ツール」を開発する。支援ツールは、「低炭素政策シミュレータ」と「気候変動リスク情報」からなる。このうち「低炭素政策シミュレータ」は、選択した基礎自治体の人口、土地利用・建造物、産業構造等の現状と将来見通しを用いて、当該自治体の風土・連繫線などの状況に応じた低炭素化技術システムオプションの導入シナリオを提供するものである。地域の雇用創出・人口維持への寄与、地域の放置林や耕作放棄地の解消など、地域課題に関する結果も出力可能とする。また、「気候変動リスク情報」は、温暖化に伴う気温や降水量の変化によって生産量低下が予測される作物に関する情報や、熱中症に関するリスク情報をまとめたものとなる。「低炭素化政策検討支援ツール」は、ワークショップの場面でインタラクティブに用いることができる簡易版も作成する。

第二に、「低炭素化政策検討支援ツール」の自治体や地域人材育成の現場での社会実装を図る。まず、自治体職員など緩和・適応政策形成に携わる人々が「低炭素化政策検討支援ツール」を用いて政策オプションを検討する手法を提案する。また、地域を担う若者や中高生を対象として、簡易版を用いた「将来世代ワークショップ(WS)」の手法を開発する。WSを核として、学習指導要領における位置づけを明確化した教育プログラムも併せて開発する。

「低炭素化政策検討支援ツール」は全自治体に適用可能なものとするが、その社会実装を個別フィールドで試行する。2019～20年度は、個別フィールドにおける試行を行いつつ、「低炭素化政策検討支援ツール」の設計・開発を進める。フィールドは、これまでの研究プログラムで交流のある鹿児島県西之表市、千葉県八千代市、山形県置賜地域、和歌山県とする。最終年度は、全国の基礎自治体別に適用可能な「低炭素化政策検討支援ツール」と、その活用マニュアルを公開する。

#### 5. 研究成果

##### 5-1. 成果の概要

本研究開発において、以下の成果が得られた。

###### 【サブテーマ1】

- ① 未来カルテ2050の公開
- ② カーボンニュートラルシミュレーターの公開
- ③ 気候変動気象データ提供システムの公開

###### 【サブテーマ2】

- ④ 技術システムオプションのシミュレータ開発
- ⑤ RE-CODE 地域資源データ可視化ツールの公開

###### 【サブテーマ3】

- ⑥ 脱炭素と地域課題の同時解決について検討する将来世代ワークショップの手法構築
- ⑦ 「総合的な探究の時間」を活用した学校教育の正課授業プログラムの構築

###### 【全体】

- ⑧ 地域脱炭素政策検討支援ツールの実装・普及啓発を目指したマニュアル等の開発・普及

##### ① 「未来カルテ2050」の公開

「未来カルテ」は、基礎自治体別の人口・産業構造・保育・教育・医療・介護・食料自給率・エネルギー自給率・人工資本の維持更新費の将来予測を行うソフトであり、本研究プロジェクトの前身とな

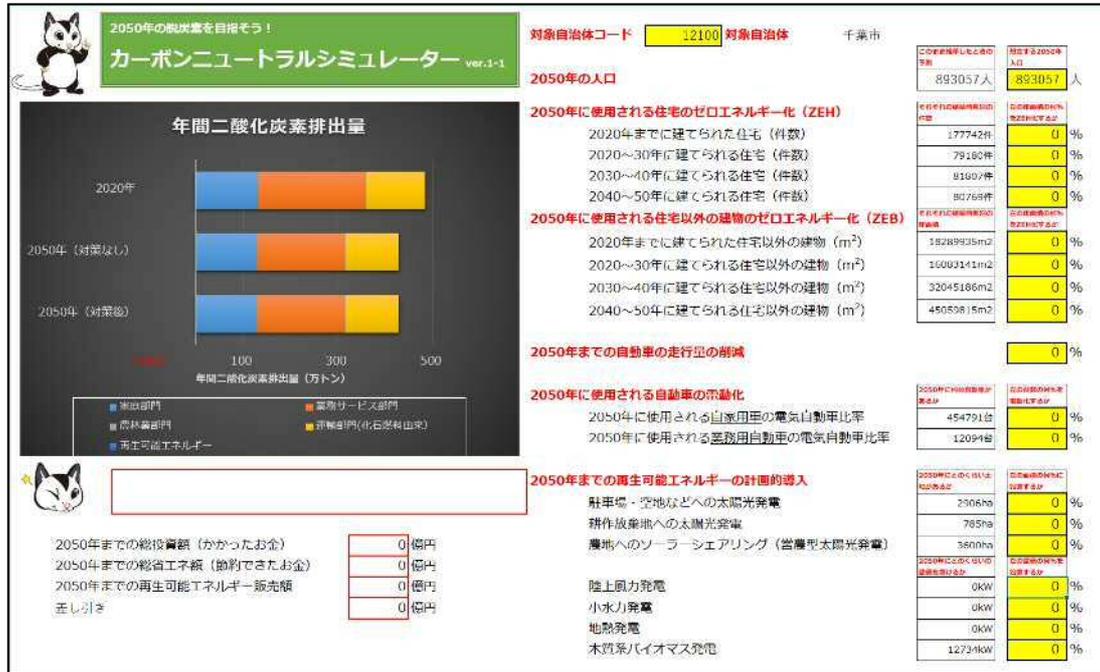
った JST/RISTEX の研究プロジェクト「多世代参加型ストックマネジメント手法の普及を通じた地方自治体での持続可能性の確保」（研究代表者：倉阪秀史・千葉大学教授）（2014-2019）で開発されたものである。本研究において 2050 年までの脱炭素社会の実現を基礎自治体別に検討するシミュレータを開発する過程でこのソフトを更新し、2050 年まで予測できるようにした。未来カルテ 2050 は、2020 年 7 月 7 日に公開された。

## ② カーボンニュートラルシミュレーターの公開

「カーボンニュートラルシミュレーター（CNS）」は、基礎自治体別の脱炭素のしやすさを簡易に把握するためのシミュレータである。CNSでは、自治体コードを入力すると、まず、現状のまま推移した場合のその自治体の2050年の姿（人口、建造物、自動車台数など）を予測する（この予測は未来カルテ2050の予測と同じものとなる）。この2050年の人口は自由に変更することができる。次に、2050年の人口規模に応じて、CNSは、対象自治体の2050年の民生部門（家庭・業務）、輸送部門（自家用・業務用）、農林水産業部門のエネルギー需要を推計する。CNSでは、2050年にその自治体の区域に建っている建造物の何%を、ゼロエネルギーハウス（ZEH）やゼロエネルギービルディング（ZEB）にするのかを建築時期別に入力する。次に、2050年にその自治体で稼働する自動車量の削減比率を入力する。さらに、2050年に稼働する自動車のうち何%が電気自動車になっているのかを入力する。ここまでで、2050年の民生部門・輸送部門のエネルギー消費量をどこまで削減できるのかが実感できる。そして、残るエネルギー消費量について、それに相当するエネルギー量の再エネ導入が対象自治体内でできるかどうかを検討する。再エネ種は、太陽光発電、陸上風力発電、小水力発電、地熱利用、木質バイオマス発電である。太陽光発電は、すでに開発されている低・未利用地に置くことと、農地でのソーラーシェアリング（営農型太陽光発電）を対象とする。それぞれの再生可能エネルギーのポテンシャルのうち何%を実現するのかをCNSに入力する。以上の結果、省エネを努めてもまだ残るエネルギー需要に相当する再エネが域内で生み出されていれば「カーボンニュートラル達成！」という表示ができる。このようにして、CNSによって、自治体別に、この表示を出す容易さが異なることが実感できる。

CNSの作成に当たっては、サブテーマ2から、再エネポテンシャルデータのインプットを受けるとともに、サブテーマ3における脱炭素・未来ワークショップでの試行を通じた改良提案を受けた。CNSは、全自治体について作動することを確認して2021年9月30日に公開された。

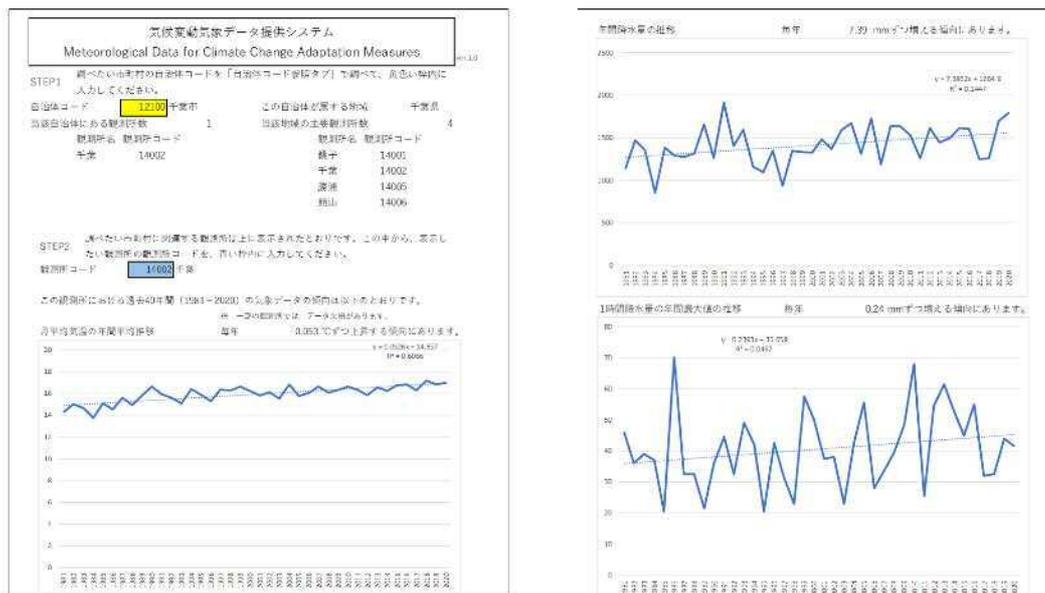
図1.4 改良後のCNSのインターフェイス



③ 気候変動気象データ提供システムの公開

気候変更リスク情報については、気象庁が公開している過去40年間（1981年～2020年）の気象データを、全国760の主要観測所について入手し、そのデータから、平均気温、年間降水量、一時間降水量の年間最大値の3つの項目について、その土地の傾向（回帰直線の傾き）を算出するとともに、グラフ化するプログラムを作成した。このとき、市町村と気象庁の観測所を紐付けるため、調べたい市町村のコードを入力すると、参照すべき観測所の候補が複数示されるようにした。この候補は、調べたい市町村に存在する観測所と、その市町村が属する地域に存在する主要観測所となる。そして、その観測所のコード番号を入力することで、上記のデータを入手することができる形である。気候変動気象データ提供システムは、2022年2月10日に一般公開した。

図1.7 気候変動気象データ提供システム



#### ④ 技術システムオプションのシミュレータ開発

脱炭素の実現に向けて重要性を増すエネルギー需給のギャップ解消に資する個別技術群について、電力系統では吸収しきれない太陽光発電量を水素に変換する技術システムオプション、風力発電について溶融塩蓄熱システムを介して安定的に発電する風力熱発電システムオプション、サトウキビの製糖工場の未利用熱を融通するための蓄熱輸送システムオプション、パーム椰子殻（PKS）と国産木質バイオマス発電のLCAによる比較検討などの個別のケーススタディを行った。そして、それぞれの技術システムオプションの性能予測に必要なデータ項目とその構造を抽出・整理し、技術システムオプションの導入計画を策定するために必要なデータ構造を、統一モデリング言語（UML）クラス図を用いて整理し、検討に必要なデータ項目とそれらデータ間の連関を整理した。

#### ⑤ RE-CODE 地域資源データ可視化ツールの公開

未来ワークショップや地域との対話を通じた考察から、④で開発したシミュレータをそのまま他者の利用を想定して展開することは専門知識の必要性などから困難を伴うことから、多様な条件での計算結果をあらかじめ研究者側でデータベース化したものを地域の資源等の条件に合わせて抽出する形式が簡便性や高速化において効果的である可能性が見いだされた。このため、これまでに収集を進めた地域の再生可能エネルギー資源ポテンシャル（環境省）と設備認定・導入状況（経済産業省）のデータについて、ウェブブラウザ上で簡易かつ高速にグラフとして可視化できるウェブアプリケーション（RE-CODE 地域資源データ可視化ツール）を構築し、<https://re-code.app/>にて2022年3月に一般公開した。



図2.8 開発したウェブアプリケーションによる都道府県単位の再生エネの導入ポテンシャルと導入量の表示例 (<https://re-code.app/>)



図2.9 開発したウェブアプリケーションによる市区町村別の再エネ導入ポテンシャル表示例  
(<https://re-code.app/>)

### ⑥ 脱炭素と地域課題の同時解決について検討する将来世代ワークショップの手法構築

全基礎自治体に対するアンケート調査（回収率79.9%）を踏まえて、脱炭素と地域課題の同時解決について検討するワークショップ手法の開発が有効であることが示唆された。このことなどを踏まえて、サブテーマ1で開発された各種支援ツールを用いて、脱炭素の課題と人口減少などに伴う地域の持続可能性に関する課題の同時解決（コベネフィット）について検討する将来世代ワークショップ（以下、脱炭素・未来ワークショップ）の手法構築を行った。脱炭素・未来ワークショップは、自治体での部局横断的な研修や実際の脱炭素戦略の検討プロセス、地域の市民参加プロセスにおいて実施するほか、次節で述べる中学校や高等学校用の教育プログラムに組み込むことを想定した。表3.6に本研究で実施した脱炭素・未来ワークショップを示す。

表3.6 本研究で実施した脱炭素・未来ワークショップ（将来世代ワークショップ）

| 実施日                  | 実施自治体         | 対象      | 人数         | 方法 | 支援ツールの使用 |
|----------------------|---------------|---------|------------|----|----------|
| 2019年8月20日           | 鹿児島県西之表市      | 中学生、高校生 | 47 対面      |    | 無        |
| 2019年10月15日          | 鹿児島県西之表市      | 市職員     | 12 対面      |    | 無        |
| 2020年8月19日           | 鹿児島県西之表市      | 中学生、高校生 | 51 ハイブリッド  |    | 有 (改良前)  |
| 2021年1月27日           | 千葉県白井市        | 市職員     | 16 オンライン   |    | 有 (改良前)  |
| 2021年2月22日           | 和歌山県          | 大学生     | 8 オンライン    |    | 有 (改良前)  |
| 2021年2月24日、3月8日      | 鹿児島県西之表市      | 市職員、市民  | 13 ハイブリッド  |    | 有 (改良前)  |
| 2021年3月8日            | 山形県置賜地域       | 高校生     | 29 ハイブリッド  |    | 有 (改良後)  |
| 2021年4月17、18、25日     | 千葉県白井市        | 市民      | 60 対面      |    | 有 (改良後)  |
| 2021年4月30日           | 東京都葛飾区        | 中学生     | 100 対面     |    | 有 (改良後)  |
| 2021年6月21日           | 千葉県白井市        | 中学生     | 108 対面     |    | 有 (改良後)  |
| 2021年6月29日、7月6日      | 鹿児島県西之表市      | 高校生     | 39 ハイブリッド  |    | 有 (改良後)  |
| 2021年7月1、8日          | 鹿児島県西之表市      | 中学生     | 133 ハイブリッド |    | 有 (改良後)  |
| 2021年8月3日            | 鹿児島県中種子町・南種子町 | 中学生、高校生 | 32 ハイブリッド  |    | 有 (改良後)  |
| 2021年12月7日、2022年1月7日 | 山形県置賜地域       | 高校生     | 44 ハイブリッド  |    | 有 (改良後)  |
| 2022年2月22日           | 高知県室戸市        | 高校生     | 47 オンライン   |    | 有 (改良後)  |

2020年度末～2021年度の一連の脱炭素・未来ワークショップを通じて、支援ツールを用いた脱炭素と地域課題の同時解決について検討する将来世代ワークショップの手法構築が進み、手法そのものだけでなく、普及拡大にむけたファシリテータ養成プログラムなども同時に開発された。表3.7に構築したワークショップの手順を示す。

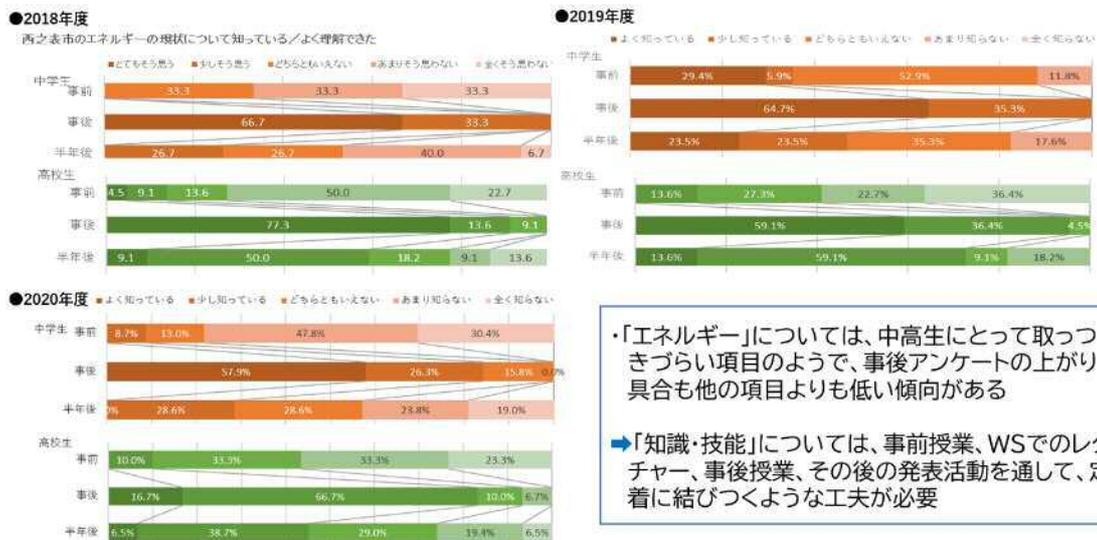
表3.7 脱炭素・未来ワークショップ（将来世代ワークショップ）の手順

| 項目            | 内容                            | 時間     |
|---------------|-------------------------------|--------|
| 計画の説明         | 環境基本計画や地方公共団体実行計画の説明          | 20分    |
| 未来の〇〇地域       | 「未来カルテ2050」の説明                | 20～50分 |
| 気候変動と〇〇地域     | 気候変動のしくみと地域への影響、緩和策・適応策の説明    | 20～40分 |
| CNSによる脱炭素検討   | 支援ツール（CNS）を使用した地域脱炭素の検討       | 20～40分 |
| 2050年の課題抽出    | KJ法による2050年の課題（地域課題・気候変動等）の抽出 | 20～30分 |
| グループ間の課題レベル調整 | 他グループの抽出した課題とのレベル合わせ          | 5～10分  |
| 課題解決のための政策検討  | KJ法による課題解決のための政策検討            | 30～40分 |
| グループ間の評価      | 他グループの提言を評価                   | 10～20分 |
| 首長等への政策提言     | グループごとに首長に提言                  | 10～50分 |

⑦ 「総合的な探究の時間」を活用した学校教育の正課授業プログラムの構築

日本全国の中学校、高等学校を対象としたESDの実施状況についてのアンケート調査などを踏まえて、「総合的な学習/探究の時間」を活用することを前提とし、多忙な学校教員の負担にならないような配慮をしつつ、研究者としての観点から専門的な知識を提供し、教育方法としては、学校教員のプロフェSSIONALに任せられることができることを優先した教育プログラムの開発を行った。開発した教育プログラムは、鹿児島県立種子島高等学校と西之表市立種子島中学校、山形県米沢市の私立九里学園高等学校の協力のもと、学校教育の正課の一部として、「総合的な学習/探究の時間」で実施した。また、その教育効果の測定のためのアンケート調査も実施した。

Q 西之表市のエネルギーについて知っている



Q 未来の種子島や西之表市を自分たちの手でよくしていきたい



Q 将来は種子島のためになる仕事や活動をやりたいと思っている

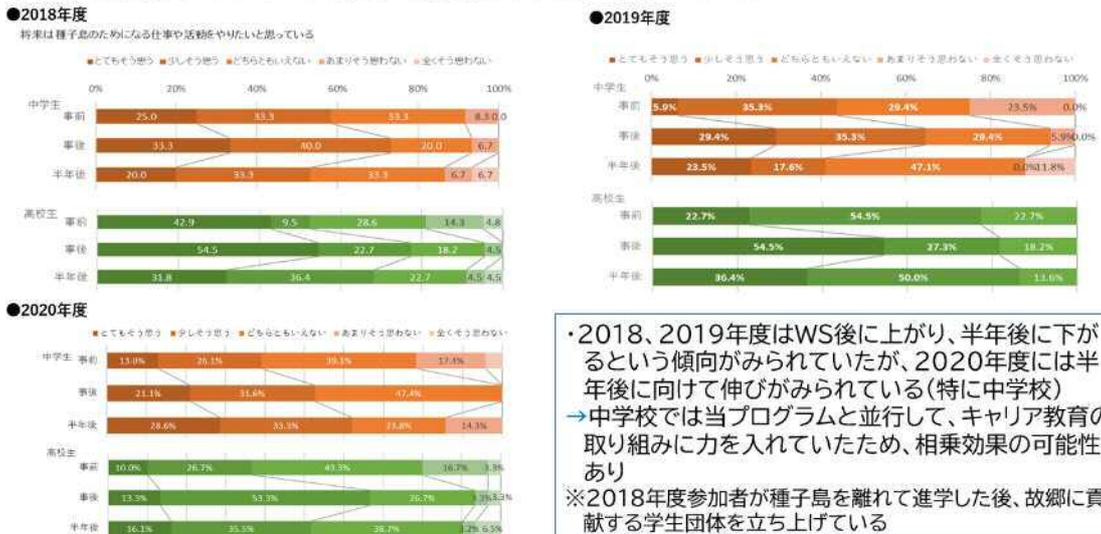


図3.3 種子島中学校、高等学校における教育プログラムの効果測定 (2019、2020、2021年度)

本研究が始まる前の2018年度においては、単発のワークショップのみの開催であり、教育効果は一時的、限定的であった。しかし、学校教育の正課として試行、本格実施と移行した2019年度、2020年度においては、ワークショップから半年後の定着が改善していることが見て取れる。このことから、本プロジェクトで目指した継続的に学校教育の正課のプログラムに入れることの意義が確認できた。

④ 地域脱炭素政策検討支援ツールの実装・普及啓発を目指したマニュアル等の開発・普及

未来カルテ2050、カーボンニュートラルシミュレーター、気候変動気象データ提供システムはそれぞれ表計算ソフトExcelで作成されている。そのデータをCD-ROMに入れたものと、それぞれの使用方法・留意事項についてとりまとめた「地域脱炭素政策検討支援ツール使用マニュアル」を2022年3月に全市町村の企画・総合計画・温暖化対策担当課、全都道府県の温暖化対策担当課に当てて発送した。

また、完成した新学習指導要領に沿った正課（「総合的な学習／探究の時間」）で実施可能な中学校や高等学校用の地域人材育成プログラム（探究教育プログラム）の紹介冊子（図3.4）を作成し、全国の基礎自治体（市町村および特別区）および都道府県の教育委員会（1,788団体）、ESD全国アンケートの回答校（2,451校）、ヒアリング調査等での研究協力者等に送付した。また、開発した教材や指導案等についてもwebサイトを立ち上げ、公開を行っている。

図3.4 作成した地域人材育成プログラムの紹介冊子

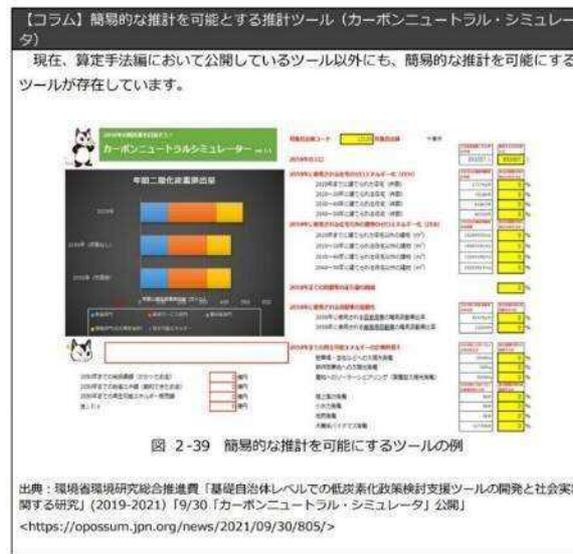


## 5-2. 環境政策等への貢献

### <行政等が既に活用した成果>

環境省大臣官房環境計画課「地方公共団体実行計画（区域施策編）策定・実施マニュアル（本編）」令和4年3月のp.88において、本研究成果であるカーボンニュートラルシミュレーターが、簡易的な推計を可能とする推計ツールとして紹介されている（図1-8）。

図1-8 区域施策編策定・実施マニュアル（本編）抜粋



（出典）環境省大臣官房環境計画課「地方公共団体実行計画（区域施策編）策定・実施マニュアル（本編）」令和4年3月p.88

総務省「地域の未来予測に関する検討ワーキンググループ報告書」（2021年3月）においては、少子高齢化、温暖化など長期的な課題に各自治体が適切に対応できるよう、地域の未来予測をどのように活用するかについて検討を行ったものである。その際、目指すべき未来を考えるための気づきのための予測として地域の未来予測を活用すること、その未来予測を、市民ワークショップなどを通じた市民参加の場面でも活用することが盛り込まれ、本研究の一環として開発してきた「未来ワークショップ」「未来カルテ」が参考事例として紹介されている（図1-9）。

図1-9 総務省「地域の未来予測に関する検討ワーキンググループ報告書」抜粋



（出典）総務省「地域の未来予測に関する検討ワーキンググループ報告書」令和3年3月p.45、p.51

## <行政等が活用することが見込まれる成果>

人口規模の小さい基礎自治体においては、温暖化に関する政策を実施する独立の部署を持たないところが多く、とくに、脱炭素政策が十分に浸透していない状況にある。総務省の地域の未来予測に関するワーキンググループで、本研究成果が、人口減少・少子高齢化に関する対応という文脈で取り上げられたことによって、今後、人口減少・少子高齢化という課題と、脱炭素社会の実現という課題を同時に検討することができる「脱炭素未来ワークショップ」がさらに活用されていくことが期待される。

### 5-3. 研究目標の達成状況

以下のように、目標どおりの成果をあげたものと考えている。

まず、全体目標で実行することが掲げられた事項については、すべて実施することができた。具体的には、① 研究代表者の倉阪が2017年10月に公開した「未来カルテ発行プログラム」をベースとした「低炭素社会経済オプション導入シナリオ」として「未来カルテ2050」を公開した。② サブテーマ2の菊池らのグループの「低炭素化技術システムオプション導入シナリオ」のデータを踏まえて開発する基礎自治体ごとにカスタマイズされた「低炭素化政策シミュレータ」として、「カーボンニュートラルシミュレーター（CNS）」を開発して公開した。③ 「気候変動リスク情報」として、基礎自治体別に最寄りの観測所の過去40年間の気象データを提供する「気候変動気象データ提供システム」を開発して公開した。④ 自治体の政策検討の場や、中高生や20代の若手社会人を対象とした「将来世代WS」を進めるといふ目標については、「脱炭素・未来ワークショップ」（将来世代ワークショップ）手法を開発し、当初予定されていた実施地域を含め、全国各地で当該手法を実施することができた。⑤ 将来世代WSを核とする教育プログラムを開発し学習指導要領との接続を図るといふ点については、オンライン授業等を駆使しながら、複数の中学校・高等学校での実証を進め、正課である「総合的な学習／探究の時間」において地域人材育成プログラム（探究学習プログラム）を開発することができた。

また、① 環境省が2022年3月に発表した「環境省大臣官房環境計画課「地方公共団体実行計画（区域施策編）策定・実施マニュアル（本編）」（2022年3月）で「カーボンニュートラルシミュレーター」が、総務省「地域の未来予測に関する検討ワーキンググループ報告書」（2021年3月）で「未来カルテ」「未来ワークショップ」が紹介されるなど、行政が本研究成果を活用するようになってきている点、② 2019年度末から新型コロナウイルス感染症の感染拡大という障害はあったものの、そのことが対面とオンラインを組み合わせたハイブリッド型や、オンラインホワイトボードを利用するオンライン型でのワークショップ実施手法の開発につながった点は、当初の目標を超えた成果が得られた部分である。

以上を通じて、基礎自治体の状況に応じてカスタマイズされた形で、低炭素型の技術や社会経済政策の導入シナリオを簡便に描けるようになり、地域の将来を担う地域人材育成も進められ、地域からの低炭素化の取組が促進・拡大するという、本研究の最終目標は達成できたものと考えている。

## 6. 研究成果の発表状況

### 6-1. 査読付き論文

#### <件数>

16件

#### <主な査読付き論文>

- 1) Hidefumi Kurasaka (2019) “Notion of capital bases: What lessons are learned about ecological economics from Japan’s experience as a population declining society?” David Barkin Rappaport, D.B., Aciela Carrillo González, G.C. eds. Ecological Economics and Social-Ecological Movements. Science, policy and challenges to global processes in a troubled world, Universidad Autónoma Metropolitana, pp. 57-70

- 2) 宮崎文彦：地球環境 24 (2) 119-126 (2019) 「未来の市長になって政策提言を考える「未来ワークショップ」の熟議の場の形成効果と課題」
- 3) Yasunori Kikuchi, Miwa Nakai, Yuichiro Kanematsu, Kazutake Oosawa, Tatsuya Okubo, Yuko Oshita, Yasuhiro Fukushima, Sustainability Science, 15, (2020), Application of technology assessments into co-learning for regional transformation: A case study of biomass energy systems in Tanegashima (IF:6.4)
- 4) Ayumi Yamaki, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi, Energy, 205, 118056 (2020), Lifecycle greenhouse gas emissions of thermal energy storage implemented in a paper mill for wind energy utilization (IF:7.1)
- 5) Narihisa Sako, Michihisa Koyama, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi, Journal of Cleaner Production 298, 126809 (2021), Techno-economic and life cycle analyses of battery-assisted hydrogen production systems from photovoltaic power (IF:9.2)
- 6) Teruyuki Shimizu, Yasunori Kikuchi, Journal of Cleaner Production, 318. 128461 (2021), Regional suitability for energy carriers in Japan considering socioeconomic conditions and environmental performance (IF:9.2)
- 7) Disni Gamaralalage, Yuichiro Kanematsu, Denny K. S. Ng, Steve Z. Y. Foong, Viknesh Andiappan, Dominic C. Y. Foo, Yasunori Kikuchi, Waste and Biomass Valorization, 13, 2717-2733 (2022), Life cycle assessment of international biomass utilization: A case study of Malaysian palm kernel shells for biomass power generation in Japan (IF:3.7)
- 8) 栗島英明, 谷田川ルミ, 倉阪秀史：公共研究、18(1)、60-80 (2022)、気候変動緩和策に関する基礎自治体の現状と課題。
- 9) 谷田川ルミ, 栗島英明：公共研究、18(1)、81-99 (2022)、学校教育におけるESD の実施状況と教員の意識—中学校、高等学校に対する全国調査の結果から。
- 10) 谷田川ルミ, 栗島英明：地球環境、24(2)、137-144 (2019)、学習指導要領における持続可能な開発のための教育の位置づけと今後の課題。

## 6-2. 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

## 6-3. その他発表件数

|                  |     |
|------------------|-----|
| 査読付き論文に準ずる成果発表   | 1件  |
| その他誌上発表（査読なし）    | 28件 |
| 口頭発表（学会等）        | 53件 |
| 「国民との科学・技術対話」の実施 | 37件 |
| マスコミ等への公表・報道等    | 6件  |
| 本研究に関連する受賞       | 1件  |

## 7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 8. 研究者略歴

### 研究代表者

倉阪 秀史

東京大学経済学部卒業、環境庁企画調整局環境影響評価課課長補佐、現在、千葉大学大学院社会科学  
研究院教授

### 研究分担者

#### 1) 李 想

東京大学大学院農学生命科学研究科修了、博士（農学） / Ph. D、現在、千葉大学大学院社会科学研  
究院准教授

#### 2) 岡山 咲子

千葉大学大学院人文社会科学研究科修了、博士（公共学）、現在、千葉大学国際未来教育基幹助教

#### 3) 宮崎 文彦

東京工業大学大学院社会理工学研究科価値システム専攻博士課程満期退学修了、博士(公共学)(千葉  
大学)、現在、千葉大学大学院社会科学研究院特任研究員

#### 4) 菊池 康紀

東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻修了、博士(工学)、現在、東京大学未来ビジョン  
研究センター准教授

#### 5) 兼松 祐一郎

東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻修了、博士(工学)、現在、東京大学総長室総括プ  
ロジェクト機構「プラチナ社会」総括寄付講座特任講師

#### 6) 栗島 英明

筑波大学大学院地球科学研究科修了、博士（理学）、現在、芝浦工業大学建築学部教授

#### 7) 谷田川 ルミ

上智大学大学院総合人間科学研究科満期退学、博士（教育学）、現在、芝浦工業大学工学部教授

## II. 成果の詳細

### II-1 低炭素化社会経済オプション導入シナリオ作成と低炭素政策検討支援ツールの開発

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 千葉大学大学院社会科学研究院 教授   | 倉阪 秀史 |
| 千葉大学大学院社会科学研究院 准教授  | 李 想   |
| 千葉大学国際未来教育基幹 助教     | 岡山 咲子 |
| 千葉大学大学院人文公共学府 特任研究員 | 宮崎 文彦 |

#### 【要旨】

サブテーマ1「低炭素化社会経済オプション導入シナリオ作成と低炭素政策検討支援ツールの開発」では、以下の内容の研究開発を実施した。第一に、基礎自治体別の社会経済シナリオ関連情報の整理である。全自治体の再生可能エネルギー設備の設置状況の把握などを進めるとともに、関連する社会統計（国勢調査、住宅土地統計調査、人口予測、各種センサス等）情報を自治体コードによってピックアップできる形に整理した。第二に、その内容などを含めて、2050年の人口減少のインパクトを視覚化する「未来カルテ2050」を公開した。第三に、「未来カルテ2050」でのシミュレーションを含める形で、各自治体の脱炭素可能性を簡易に把握することができる「カーボンニュートラルシミュレーター（CNS）」を開発し公開した。CNSの開発に当たっては、サブテーマ2から再エネポテンシャルデータを自治体別に整理したデータのインプットを受けた。また、サブテーマ3からは、インターフェイスの改良を含む具体的な提案のインプットを受けた。CNSによって、現在カーボンニュートラル宣言を行っている自治体が脱炭素に近いとは言えないことと、人口の大きな都会型の自治体においては、脱炭素の実現のためには、人口の少ない再エネ豊かな自治体との連携を進めることが求められることなどがわかった。第四に、過去40年間の気象データと市町村コードを紐付けて、気候変動適応策を検討する際に参照すべき気象データが容易に入手できるよう「気候変動気象データ提供システム」を作成し、公開した。このシステムにおいては、全国的な温暖化傾向が確認できた。第五に、「未来カルテ2050」「カーボンニュートラルシミュレーター」「気候変動気象データ提供システム」の使用法などを記載した「地域脱炭素政策検討支援ツール使用マニュアル」を作成し、全自治体に送付するとともに、公開した。

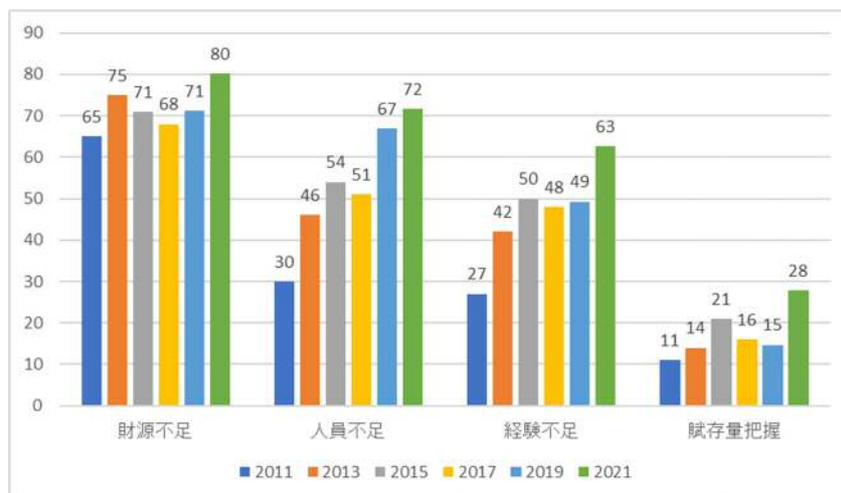
#### 1. 研究開発目的

脱炭素社会への転換にあたっては、各地域における将来の人口構造に応じてどのような建築物・耐久消費財の更新需要が2050年までに見込まれるのか、各地域においてどのような再生可能エネルギーのポテンシャルが存在するのかなど、地域に即した情報を踏まえて、各地域が主体的に当該地域での社会資本投資を進めていくことが必要となる。

しかしながら、財源、人員、知見の不足などから、人口の少ない基礎自治体を中心に関連政策が進展していない。倉阪研究室が2011年から隔年で行っている市町村の再生可能エネルギー政策調査においても、各地域での再エネ政策の障壁として、財源不足、人員不足、経験不足を選択する自治体が多く、近年、それらの障壁を感じる自治体の比率が増加しつつある（図1.1）。また、目標設定を行っている自治体においても、国の目標に合わせたり、国の比率を人口などで割り戻したりする形での目標設定を行うなど、地域に即した情報を必ずしも踏まえていない自治体も見受けられる。さらに、今後、気候変動適応法に基づく政策を進める必要がある。

この状況を打開するためには、基礎自治体の状況に応じた低炭素型の技術や社会経済政策の導入シナリオを簡易に描くことができる支援ツールを開発するとともに、それらの社会実装を進めることが必要である。

図 1.1 再エネ政策を行うにあたり貴自治体において問題となっていること（複数回答）



（出典）倉阪研究室「再生可能エネルギー政策に関する自治体調査2021年度」

## 2. 研究目標

低炭素化政策検討支援ツールを使用マニュアルとともに2022年2月までに公開する。このツールにおいては、2050年までの脱炭素戦略を、表計算ソフトを用いて簡易に基礎自治体別にシミュレーションできるようにする。

## 3. 研究開発内容

2019年度は、全自治体に広げることを想定しつつ、先行して脱炭素未来ワークショップを行う地域（種子島、和歌山、白井市）のデータに基づき、低炭素型の社会経済シナリオを構築した。社会経済シナリオには、建物更新にあわせたZEH・ZEB普及シナリオ、輸送ニーズに応じた低炭素モビリティ普及シナリオ、空き地、低・未利用地の存在量に応じた野立て太陽光発電、農地の存在量に応じた営農型太陽光発電シナリオ、経済効果算出シナリオ等を盛り込んだ。再エネポテンシャルについては、サブテーマ2の成果を統合して、先行試行地域における「低炭素化政策検討支援ツール」を開発した。なお、当初の研究計画では、千葉県八千代市を対象地域としていたが、コロナ対応により八千代市でワークショップが実施できず、八千代市の区域施策編の策定スケジュールと合わなくなったため、千葉県白井市を対象地域を変更している。

2020年度は、全市町村に適用可能な「低炭素化政策検討支援ツール」を設計するとともに、各自治体の統計データの整理と入力、気候変動リスク情報の組み入れを進めた。まず、2050年の人口減少インパクトを自治体別に視覚化する「未来カルテ2050」を公開した。また、サブテーマ3からのフィードバックに基づき、「低炭素化政策検討支援ツール」を改善した。

2021年度は、全自治体別にカスタマイズされる形で情報提供する「低炭素化政策検討支援ツール」を開発し、「カーボンニュートラルシミュレーター」「気候変動気候データ提供システム」をそれぞれ公開し、その使用マニュアルを全自治体に送付するとともに公開した。

## 4. 結果及び考察

### 4-1 社会経済シナリオ関連情報の整理

#### 1) 現状の自治体別再生可能エネルギー供給量を基礎自治体別に把握した。

2019年3月末における、太陽光発電、風力発電、水力発電、地熱発電、バイオマス発電、太陽熱供給、地熱供給、バイオマス熱供給の各設備の設備容量を、基礎自治体別に把握した。この作業は、研究協力機関のNPO法人環境エネルギー政策研究所とともに実施し、「永続地帯2019年度版報告書」とし

て、2020年4月7日に公表した（文献1））。

## 2) エネルギー需要（民生・農林水産・輸送）を基礎自治体別に推計した。

①電力は、資源エネルギー庁の「都道府県別エネルギー消費統計」の都道府県別の民生（家庭、業務）部門の年間電力使用量データを、「家庭用」については世帯数（2015年国勢調査世帯数を住民基本台帳での世帯数の変化率で補正）、「業務用」および「農林水産業」については、市区町村毎の業務部門の従業員数で、それぞれ市区町村に按分した。②熱については、「都道府県別エネルギー消費統計」から都道府県別の民生（家庭、業務、農林水産業）部門の化石燃料（石炭、軽質油、重質油、都市ガス、石油ガス）消費量および地域熱供給のデータを得て、「家庭」部門については世帯数、「業務」部門と「農林水産業」部門については従業員数によって、市区町村別に按分した。なお、都市ガスについては都市ガス供給のある市町村において人口集中地区の人口のみで按分を行い、それ以外の地域では石油ガス（LPG）を使用していると仮定した。さらに、これらの熱需要に、区域ごとに推計した自然エネルギーによる熱供給量を熱需要に加えた。③輸送部門におけるエネルギー消費量は、自動車燃料消費量統計年報から得られる都道府県のガソリン・軽油・LPG消費量を、当該自治体の自動車保有車両数（自動車検査登録情報協会発行）の都道府県の自動車保有車両数に対する比率で按分して推計した。

## 3) 住宅・法人所有建築物の現存量・更新量・屋根面積を基礎自治体別に把握した。

①建築物の新築時の省エネ・再エネ投資可能性を把握するために、当該自治体での民生部門に関係する建築物の新築件数と床面積を、建築着工統計調査（市区町村別、用途別（大分類）／建築物の数、床面積、工事費予定額）から把握した。次に、②既設の住宅への省エネ・再エネ投資可能性を把握するために、土地・住宅統計調査（H30の結果が公表されない間はH25を使用。以下同じ。）から、太陽熱、太陽光、二重サッシ・複層ガラスが導入されていない住宅数を把握した。このとき、太陽熱・太陽光を今後搭載可能な住宅数は、まだ、太陽熱・太陽光がそれぞれ導入されていない住宅であって、1996年以前の住宅を除外した上で、耐震性が確保されていない住宅比率を差し引いて算出した。耐震性が確保されていない住宅比率は、土地・住宅統計調査の平成21年以降における住宅の耐震診断の有無の統計から、建築時期別に、耐震診断をした住宅であって、耐震性が確保されていなかった住宅の比率で把握した。二重サッシ・複層ガラスを今後搭載可能な住宅数は、まだ、二重サッシ・複層ガラスがそれぞれ導入されていない住宅であって、1996年以前の住宅を差し引いて把握した。なお、1住宅あたりの屋根面積は、土地・住宅統計調査の「1住宅当たり延べ面積」と「階数（5区分）別住宅数」から概算した。③既設建築物（住宅以外）への省エネ・再エネ投資可能性を把握するために、法人土地・建物基本調査（H30の結果が公表されない間はH25を使用。以下同じ。）から、法人業種（61区分）別の所有建物（工場敷地以外）の1法人当たり総延べ床面積を得て、当該自治体の業種別法人数を乗じることによって、当該自治体の法人が所有する建物の総延べ床面積を推計した。工場敷地内についても同様に推計した。法人が所有する建物の屋根面積は該当自治体の平均階数で除して、概算した。

## 4) 法人所有低・未利用地・耕作放棄地の面積を基礎自治体別に把握した。

土地基本調査から、法人業種別の1法人当たりの低・未利用地（駐車場・資材置き場・水路等・廃建物・空き地）面積を得て、当該自治体の業種別法人数を乗じることによって、当該自治体の法人が所有する低・未利用地面積を推計した。耕作放棄地面積については、2015年農林業センサスデータを用いた。

## 5) 農業生産量を把握し、基礎自治体別の食料自給率を算出した。

作物統計、特産果樹生産動態等調査、畜産物流通統計、食鳥流通統計、鶏卵流通統計、牛乳乳製品統計、海面漁業生産統計などのデータを用いて、米、小麦、大麦、裸麦、雑穀、大豆、ばれいしょ、てんさい、かんしょ、その他豆類、野菜、みかん、りんご、その他果実、牛肉、豚肉、鶏肉、鶏卵、生乳、魚介類、海藻類、さとうきびに関する市町村別の生産量を推計し、農林水産省「地域食料自給率計算シート」によって基礎自治体別の食料自給率を推計した。この結果は、上記の「永続地帯報告書2019年度版」に収録した。

## 6) 基礎自治体別のエネルギー支出を推計した。

平成26年全国消費実態調査を用いて、世帯別の1ヶ月の消費支出・光熱水費・電気代・ガス代を、基礎自治体別に把握した。

#### 6) 人口・世帯数の将来シナリオを作成した。

国立社会保障・人口問題研究所の基礎自治体別の人口についての2045年までの将来推計を延長する形で、2050年までの人口の将来推計を作成した。また、同研究所の2040年までの平均世帯人員の将来推計を延長する形で、2050年までの平均世帯人員を作成し、2050年までの世帯数を推計した。

#### 7) 住宅・建築物の将来シナリオを作成した。

住宅・建築物については、現存する住宅・建築物の建築年代別の床面積を把握し、将来の建て替えシナリオを基礎自治体別に作成した。

### 4. 2 未来カルテ2050の作成

「未来カルテ」は、基礎自治体別の人口・産業構造・保育・教育・医療・介護・食料自給率・エネルギー自給率・人工資本の維持更新費の将来予測を行うソフトであり、本研究プロジェクトの前身となったJST/RISTEXの研究プロジェクト「多世代参加型ストックマネジメント手法の普及を通じた地方自治体での持続可能性の確保」（研究代表者：倉阪秀史・千葉大学教授）（2014-2019）で開発されたものである。このソフトを更新し、2050年まで予測できるようにした。

その際、国立社会保障・人口問題研究所の2045年までの市町村別の人口予測における、市町村別男女5歳区分別人口のトレンド（2020-2045）をそれぞれ2050年まで延長させたものを集計して、2050年の当該市町村の人口予測を作成した。

未来カルテ2050には、持続地帯2019年度版報告書で把握した、市町村別の再生可能エネルギー供給量、エネルギー自給率、食料自給率などのデータも掲載した。未来カルテ2050は、2020年7月7日に公開された（文献2）。

### 4. 3 カーボンニュートラルシミュレーターの開発

#### 1) 低炭素政策検討支援ツール簡易版のプロトタイプを作成した

2019年度には、表計算ソフトを用いて4. 1で整理したデータと未来カルテで掲載したデータを集約し、市町村コードを入力すれば、該当する市町村の関連データがピックアップできるように整備した。また、このデータを活用して、低炭素政策検討支援ツール簡易版（脱炭素シミュレータ）のプロトタイプを作成した。

表1.1 低炭素政策検討支援ツール簡易版（脱炭素シミュレータ）の出力画面例

| 西之表市 46213                    |                | 太陽光設置上<br>限比率仮定      |          |
|-------------------------------|----------------|----------------------|----------|
| 消費支出                          | 2,058,149 100% | 民生・農林水産業用電力需要        | 658 TJ・年 |
| うち電気代                         | 91,735 4.5%    | 民生・農林水産業用熱需要         | 240 TJ・年 |
| うちガス代                         | 43,895 2.1%    | ガソリン消費熱量(2018)       | 269 TJ・年 |
| 電気ガス計                         | 135,630 6.6%   | 軽油(輸送)消費熱量(2018)     | 148 TJ・年 |
|                               |                | LPG(輸送)消費熱量(2018)    | 5 TJ・年   |
| 既築住宅省エネ改修可能件数概算               |                | 再生可能エネルギー供給(2018.3)  |          |
| 既築住宅総数                        | 7,230 軒        | 太陽光発電                | 75 TJ・年  |
| 一部のみ改修済み                      | 230 軒          | 地熱発電                 | 0 TJ・年   |
| 省エネ改修無し                       | 1,600 軒        | 風力発電                 | 0 TJ・年   |
| 新築住宅件数概算                      | 31 軒           | 小水力発電(3万kW以下)        | 0 TJ・年   |
|                               |                | バイオマス発電              | 0 TJ・年   |
|                               |                | 太陽熱利用                | 14 TJ・年  |
|                               |                | 地熱利用                 | 0 TJ・年   |
|                               |                | バイオマス熱利用             | 1 TJ・年   |
|                               |                | エネルギー自給率(民生+農林水産+輸送) |          |
|                               |                | 2018.3               | 6.84 %   |
|                               |                | 太陽光最大設置ケース           | 494.45 % |
| 新築建築物屋根面積                     | 5,070 m2       | 0.0%                 | 50%      |
| 既築住宅太陽光設置可能屋根面積               |                |                      |          |
|                               | 96,326 m2      | 0.0%                 | 50%      |
| 法人所有既築(1996年以降)建物(工場外非住宅)屋根面積 |                |                      |          |
|                               | 441,313 m2     | 0.2%                 | 50%      |
| 法人所有既築(1996年以降)建物(工場内)屋根面積    |                |                      |          |
|                               | 542,311 m2     | 0.3%                 | 50%      |
| 駐車場面積                         | 324,093 m2     | 0.2%                 | 50%      |
| 資材置き場面積                       | 212,975 m2     | 0.1%                 | 50%      |
| 貯水路・水路面積                      | 307,266 m2     | 0.1%                 | 50%      |
| 利用できない建物面積                    | 35,745 m2      | 0.0%                 | 50%      |
| 空き地面積                         | 637,830 m2     | 0.3%                 | 30%      |
| 田耕地面積(2018)                   | 5,810,000 m2   | 2.8%                 | 15%      |
| 畑耕地面積(2018)                   | 25,700,000 m2  | 12.5%                | 15%      |
| 耕作放棄地面積(2015)                 | 2,430,000 m2   | 1.2%                 | 30%      |
| 区域面積                          | 205,660,000 m2 | 100.0%               |          |
| 太陽光最大設置ケース                    | 553,362 kW     | 稼働率仮定                |          |
| 年間発電可能量                       | 6,436 TJ       | 14%                  |          |

| 西之表市        |        | 46,213  |         |         |         |  |
|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|--|
|             | 2020年  | 2030年   | 2040年   | 2050年   | 2060年   |  |
| 人口          | 14,830 | 12,505  | 10,361  | 8,231   | 6,101   |  |
| 世帯数         | 6,962  | 6,130   | 5,181   | 4,194   | 3,150   |  |
| 住宅数         | 7,230  | 6,365   | 5,380   | 4,355   | 3,271   |  |
| 世帯数/住宅数     | 1.04   |         |         |         |         |  |
| 必要住宅床面積     |        | 880,153 | 743,835 | 602,122 | 452,271 |  |
| 必要建て替え住宅床面積 |        | 315,873 | 253,119 | 168,902 | 65,258  |  |

| 建築物(床面積)                   | 2020年     | 2030年     | 2040年     | 2050年     | 2060年     |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 既設住宅(2018.9まで)             | 634,968   | 564,280   | 490,716   | 433,221   | 387,013   |
| 既設法人所有建築物(工場外/非住宅)(2014まで) | 2,351,174 | 2,082,424 | 1,715,461 | 1,345,275 | 1,154,090 |
| 既設法人所有建築物(工場内)(2014まで)     | 1,649,693 | 1,443,382 | 1,182,148 | 955,263   | 864,667   |
| 既設建築物計                     | 4,635,835 | 4,090,086 | 3,388,325 | 2,733,759 | 2,405,770 |

| うち、減失分       |  | 2030まで  | 2040まで  | 2050まで  | 2060まで  |
|--------------|--|---------|---------|---------|---------|
| 住宅           |  | 70,688  | 73,564  | 57,495  | 46,207  |
| 法人所有(工場外非住宅) |  | 268,750 | 366,963 | 370,186 | 191,185 |
| 法人所有(工場内)    |  | 206,311 | 261,234 | 226,884 | 90,596  |

| 減失率     |                |
|---------|----------------|
| 築41-50年 | 0.4 築51年以上 0.6 |

## 2) エネルギー自給率向上ゲームを作成し試行した。

低炭素政策検討支援ツール簡易版のプロトタイプを用いて、2020年1月7日に千葉県八千代市環境保全課環境政策室において八千代市における脱炭素戦略の検討に関するミーティングを実施した。また、市町村アカデミー「環境保全の推進」研修(2019年12月6日)において、全国の市町村からの受講生37名を対象として、低炭素政策検討支援ツール簡易版のプロトタイプを用いた脱炭素ワークショップを実施した(図1.2)。このワークショップでは、タブレット12台を持ち込んで、インタラクティブに将来のエネルギー自給率向上戦略を検討した。この段階では、2020年代、2030年代、2040年代の3回にわたって、当該市町村の消費支出の1%以内の予算を用いて、当該市町村における省エネ・再エネオプションの物理的限界の範囲内で省エネ・再エネ投資を行い、2050年のエネルギー自給率100%を目指すという形の「エネルギー自給率向上ゲーム」を参加者に体験させる形であった。しかし、消費支出の1%以内という誓約の根拠が薄い上、入力すべき項目が多岐にわたるため中高生を含めた想定参加者には適していないのではないかと考えられた。また、このゲームでは、2050年の脱炭素社会の構築からバックキャストで考えるという趣旨もうまく伝わらなくなるのではないかと考えられた。

図1.2 市町村アカデミーにおけるワークショップの様相



## 3) カーボンニュートラルシミュレーターを開発した。

エネルギー自給率向上ゲームの反省を踏まえて、以下の方向でカーボンニュートラルシミュレーターを開発することとした。第一に、工場などの産業部門、発電所などのエネルギー転換部門については、国の役割分担として、民生部門(家庭・業務)、輸送部門(自家用・業務用)、農林水産業部門のエネルギー需要を対象とすることを明確にしたことである。第二に、2050年の当該市町村の人口規模を支えるための住宅・非住宅の床面積と業務用・自家用の自動車台数を自動計算し、その脱炭素化が図られう

るのかを確認するシミュレータとしたことである。第三に、脱炭素化のオプションとして、ゼロエネルギー住宅（ZEH）の普及、ゼロエネルギービル（ZEB）の普及、自動車台数の削減、電気自動車の普及という省エネオプション、空き地・耕作放棄地等での太陽光発電、ソーラーシェアリング（営農型太陽光発電）、風力、水力、地熱、バイオマスの再エネオプションに絞ったことである。第四に、コスト面については、投資額、省エネによる電力節減額、再エネ電力販売額を概算して示す形にしたことである。

このことによって、以下の内容のシミュレータとなった。なお、再エネポテンシャルについては、環境省のREPOSデータをベースにして整理したデータを、サブテーマ2からインプットを受けてシミュレータに組み込んだ。

カーボンニュートラルシミュレーター（CNS）では、自治体コードを入力すると、まず、現状のまま推移した場合のその自治体の2050年の姿（人口、建造物、自動車台数など）を予測する（この予測は未来カルテ2050の予測と同じ）。この2050年の人口は自由に入力することができる。それにしたがって2050年の姿も変化する。2050年に存在する建造物は、それらが建てられた時代も示される。そして、CNSは、2050年の民生部門（家庭・業務）、輸送部門（自家用・業務用）、農林水産業部門のエネルギー需要を推計する。

CNSでは、2050年にその自治体の区域に建っている建造物の何%を、ゼロエネルギーハウス（ZEH）やゼロエネルギービルディング（ZEB）にするのかを入力する。建築時期別に入力する。ZEH/ZEBは、建物断熱を強化し、省エネ機器を入れ、再エネ設備を建物に付けることによって、その建物で消費されるエネルギー量以上のエネルギーを生み出す建物である。このため、建築物に附帯する太陽光発電・太陽熱利用機器などは、ZEB/ZEH化の中で取り扱われる。

次に、CNSでは、2050年にその自治体で稼働する自動車量の削減比率を入力する。このとき、人口や就業者の減少による自動車減少はすでに2050年の台数予測の方に盛り込まれているので、入力される削減比率は、公共交通機関や公共的なモビリティの確保といった追加的な対策によって得られるものとなる。

さらに、CNSでは、2050年に稼働する自動車のうち何%が電気自動車になっているのかを入力する。電気自動車によるエネルギー消費については、民生用と業務用のエネルギー消費量を増加させて対応している。

ここまでで、2050年の民生部門・輸送部門のエネルギー消費量をどこまで削減できるのかを実感していただく。そして、残るエネルギー消費量については、それに相当するエネルギー量の再エネ導入ができるかどうかを検討していただく。

再エネ種は、太陽光発電、陸上風力発電、小水力発電、地熱利用、木質バイオマス発電である。太陽光発電は、すでに開発されている土地で低・未利用地に置くことを検討する。林地開発は対象としない。農地でのソーラーシェアリング（営農型太陽光発電）は対象とする。建物上の太陽光発電はZEB/ZEHで取り扱う。それぞれの再生可能エネルギーのポテンシャルのうち何%を実現するのかを入力する。

以上の結果、省エネを努めてもまだ残るエネルギー需要に相当する再エネが域内で生み出されていれば「カーボンニュートラル達成！」という表示がでる。CNSによって、自治体別に、この表示を出す容易さが異なることが実感できるものとなる。

CNSでは、2050年までの総投資額（かかったお金）、2050年までの総省エネ額（節約できたお金）、2050年までの再生可能エネルギー販売額も推計する。

投資スケジュールは、建物の省エネ投資については、新設の建物については、その建物が建てられる時に追加的に投資がされるものとした。2020年に既設の建物については、2050年までの期間にならして投資がされるものとした。再エネ投資については、2050年に必要な再エネ設備量が確保されるように、それぞれの設備の耐用年数を考慮して、投資スケジュールを組んだ。たとえば、建物外の太陽光発電設備については、2050年の設備量を25分の1ずつした量を2025年以降に導入していくこととした。

省エネ・再エネ投資額については、後で投資した方が、徐々にコストが下がる形で試算した。総省エネ額は、その自治体におけるエネルギーに対する支出額を反映させて概算している。再生可能エネルギー

一販売額は、固定価格買取制度などのプレミアム分を考慮しない電気料金ベースで試算している。

4) CNSのインターフェイスを改良して公開

CNSについては、種子島、和歌山について、まず図1-3のようなインターフェイスで作成したが、サブテーマ3において試行したところ、入力場所やその効果がわかりにくいという指摘があったため、サブテーマ3からのアドバイスを踏まえて、インターフェイスを図1-4のように改良した。

その後、サブテーマ2から提供を受けた全国の再エネポテンシャルデータを組み込む形で、全市町村において作動することを確認して、2020年9月30日に無料公開した（文献3）。

図1.3 改良前のCNSのインターフェイス

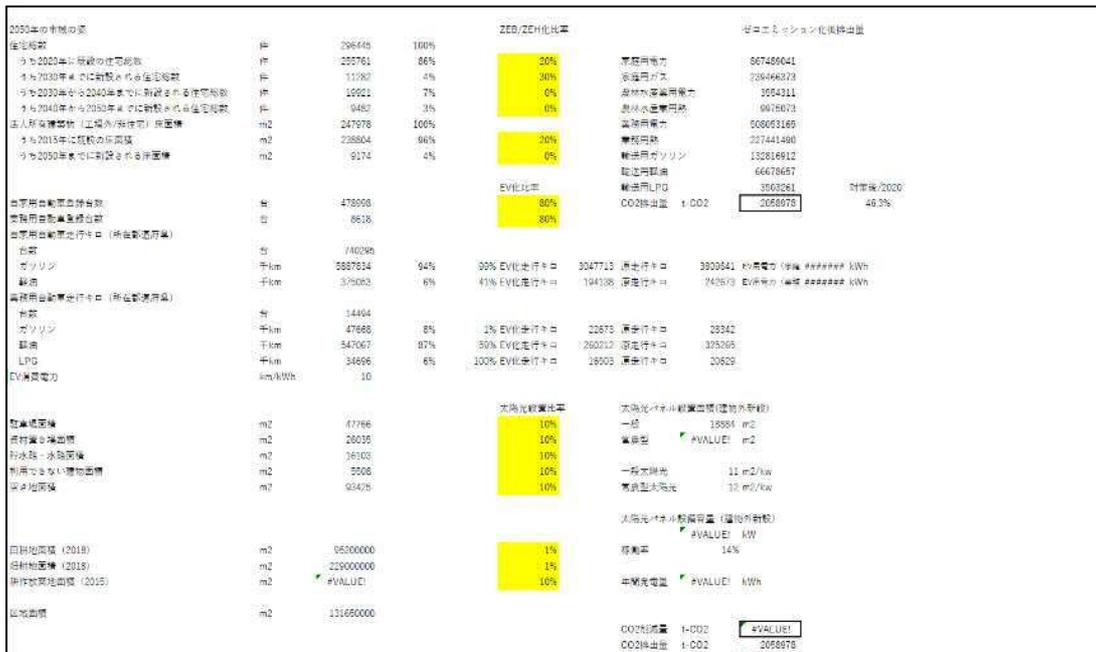
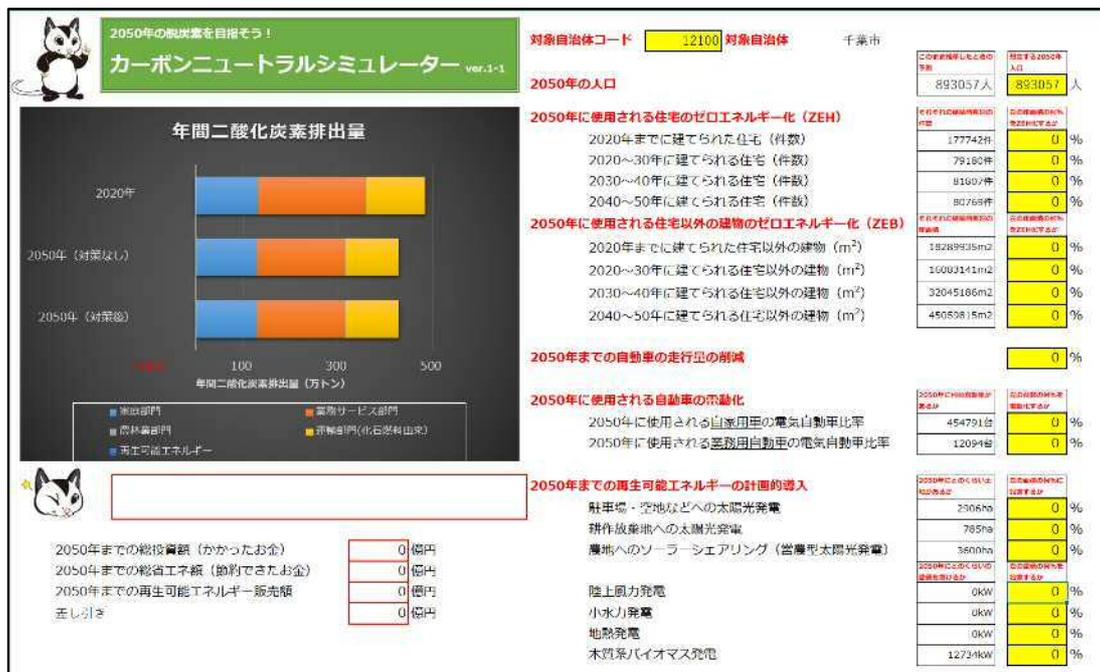


図1.4 改良後のCNSのインターフェイス



4-4 カーボンニュートラルシミュレーターからわかること（文献4）

(1) 脱炭素宣言自治体がカーボンニュートラルしやすいとは限らない

カーボンニュートラルシミュレーター（CNS）からは、民生部門、運輸部門、農林水産業部門における各自治体の脱炭素のしやすさが読み取れる。これは、地方自治体の政策分野に限定して、脱炭素の可能性を評価するという趣旨である。

表1.2は、CNSに同じ強度の対策セットを入れて脱炭素を達成できるかどうかを確認した結果である。CN宣言自治体は、2022年1月末現在で2050年カーボンニュートラル宣言を行っている557自治体である。同じ強度の対策セットとしては、図1.5に示すものを採用した。その結果、CNSにおいてカーボンニュートラルを達成できた自治体は、CN宣言自治体の50.1%の279自治体、全自治体の66.0%の1149自治体であった。つまり、脱炭素宣言を行っている自治体がカーボンニュートラルしやすいとは限らないことがわかった。ただ、前述のように、CNSでは産業部門、エネルギー転換部門は国主導の対策が必要として試算の対象から除外していることに留意すべきである。

表1.2 脱炭素宣言自治体の脱炭素のしやすさ

|         | CN達成 | 総数   | 達成比   |
|---------|------|------|-------|
| CN宣言自治体 | 279  | 557  | 50.1% |
| 全自治体    | 1149 | 1741 | 66.0% |

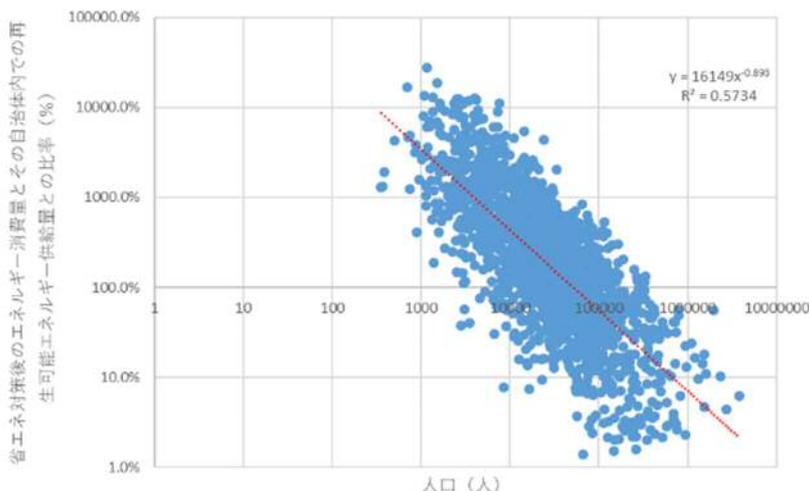
図1.5 採用した対策セット



## (2) 人口の少ない自治体ほどカーボンニュートラルを達成しやすい

おそらく脱炭素宣言を行っている自治体は、人口が大きく、政策余力の高い自治体が多いのではないかと考えられる。このため、人口とカーボンニュートラル可能性の相関を取ってみた結果が、図1.6である。横軸に人口、縦軸にはCNSにおいて建物のゼロエネルギー化や自動車の電動化などの対策を行った後のエネルギー消費量とその自治体内での再エネ供給量との比率を、それぞれ対数表示で示している。後者が100%を超える自治体がカーボンニュートラル達成自治体である。明らかに人口が少ないほどカーボンニュートラルを達成しやすい傾向が読み取れる。

図1.6 人口とカーボンニュートラル可能性の相関（両対数表示）



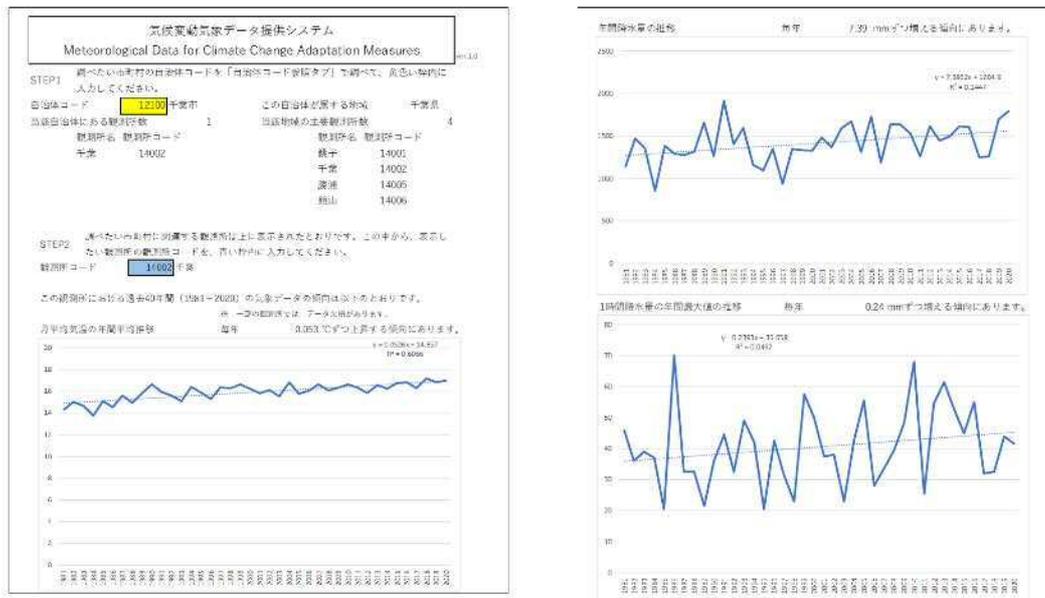
4-5 気候変動気象データ提供システムの開発

気候変動リスク情報については、気象庁が公開している過去40年間（1981年～2020年）の気象データを、全国760の主要観測所について入手し、そのデータから、平均気温、年間降水量、1時間降水量の年間最大値の3つの項目について、その土地の傾向（回帰直線の傾き）を算出するとともに、グラフ化するプログラムを作成した。

このとき、市町村と気象庁の観測所を紐付けるため、調べたい市町村のコードを入力すると、参照すべき観測所の候補が複数表示されるようにした。この候補は、調べたい市町村に存在する観測所と、その市町村が属する地域に存在する主要観測所となる。そして、その観測所のコード番号を入力することで、上記のデータを入手することができる形である。

気候変動気象データ提供システムは、2022年2月10日に一般公開した（文献5）。

図1.7 気候変動気象データ提供システム



4-6 気候変動気象データ提供システムからわかること（文献4）

気候変動気象データ提供システムからは、全国的に年平均気温、年降水量、1時間値最大降水量ともに上昇傾向にあることがわかった。全国的な温暖化の影響が把握できる。40年間の観測データが把握できる709観測所について各項目の傾向を把握したところ、年平均気温が減少傾向にあったのはわずかに4箇所(0.6%)であった。各観測所の傾向をさらに平均したところ40年間で1.26℃上昇する傾向にあっ

た。年降水量、1時間値最大降水量ともに増加傾向にあった（表1.3）

表1.3 年降水量、年平均気温、1時間値最大降水量の過去40年間の傾向

| 対象観測所数<br>709 | 年降水量<br>(mm) | 年平均気<br>温 (°C) | 1時間値最大<br>降水量(mm) |
|---------------|--------------|----------------|-------------------|
| 40年間の傾向       | 9.99         | 1.26           | 184.18            |
| 減少観測所数        | 59           | 4              | 83                |
| 減少観測所割合       | 8.3%         | 0.6%           | 11.7%             |

#### 4-7 地域脱炭素政策検討支援ツール使用マニュアルの作成・送付

未来カルテ2050、カーボンニュートラルシミュレーター、気候変動気象データ提供システムはそれぞれ表計算ソフトExcelで作成されている。そのデータをCD-ROMに入れたものと、それぞれの使用方法・留意事項についてとりまとめた「地域脱炭素政策検討支援ツール使用マニュアル」を2022年3月に全市町村の企画・総合計画・温暖化対策担当課、全都道府県の温暖化対策担当課に当たって発送した（文献6））。

この使用マニュアルの作成に先立って、2022年3月1日に、環境省大臣官房環境計画課とonlineで「低炭素化政策検討支援ツールの開発と社会実装に関する研究に関する意見交換会」を開催し、その内容について意見交換を行った。

使用マニュアルにおいては、CNSの適用範囲として、① 自治体内での職員研修ツール、② 市民参加の脱炭素ワークショップ、③ 中高生の環境・持続可能性教育ツールの三つを掲げた。①については、部局横断的な職員研修をCNSで実施し、全庁的に取り組むきっかけとする。普及啓発だけで脱炭素ができないものであることを認識したり、将来的に自治体間連携を進めることが必要であることを認識したりする契機となる。②については、温暖化対策実行計画を策定するプロセスで、CNSを用いた市民ワークショップを行う。2050年という長期的な脱炭素の必要性やそのためのプロセスをこのワークショップで伝えてから、意見を出してもらうことによって、計画原案を公表してパブリックコメントを求める場合に比べて、より深く、より幅広い意見を集めることができる。③については、中学校や高等学校での総合的な学習の時間などを活用して、CNSを用いた「脱炭素未来ワークショップ」を行う。このまま何もしない場合の2050年の各自治体の姿を「未来カルテ」で伝達し、2050年の脱炭素の可能性をCNSで把握した上で、未来の市町村長の立場から今の市町村長に政策提言をしてもらうのが「脱炭素未来ワークショップ」。2050年を自分ごととして考えられる世代の気づきと行動促進につながる。

また、自治体での計画策定にあたって留意すべきこととして、以下の3つを掲げた。① CNSは産業部門を除外していること、② 計画策定にはさらなる具体化が必要であること、③ 今のCNSは2030年の中間目標の算出ができないこと。①については、CNSでは、国と地方の役割分担の考え方に沿って、農林水産業以外の産業部門のエネルギー消費量は対象としていない。実際の計画策定に当たっては、産業部門のエネルギー消費量分についても、脱炭素を図るよう働きかけるとともに、その対策効果を把握することが必要となる。②については、CNSは、全自治体について概算するものであり、実際の自治体での計画策定に当たっては、建築物の更新時期を各自治体が保有する建築確認情報に基づいて把握するなど、さらなる具体化が求められる。また、CNSでは、面的な街づくり対策（コジェネを活用する脱炭素街区の拡大など）、家庭の耐久消費財の買い換え対策（古い冷蔵庫・エアコン・照明などを買い換えて省エネを行うなど）、廃棄物処理場での熱回収などの脱炭素対策、剪定樹・食品などバイオマス廃棄物の有効利用などさまざまな対策が盛り込まれていないので、各自治体の状況に応じた対策メニューの追加が必要となるという説明を加えている。

使用マニュアルにおいては、サブテーマ3で得られた知見なども踏まえて、未来ワークショップ、脱炭素未来ワークショップについての進め方についても解説した。また、サブテーマ2で開発したRE-CODE 地域資源データ可視化ツールについても紹介した。





<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000421.000015177.html>

3) 国立大学法人千葉大学「どうすれば2050年に脱炭素が実現できる？ 全国の市町村ごとのカーボンニュートラルシミュレーターを無料ダウンロード開始 基礎自治体での脱炭素政策を検討するためのツール」PRtimes 2021年10月12日

<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000531.000015177.html>

4) 倉阪秀史：公共研究、18（1）16-26（2022）「地方自治体の持続可能性を確保するための各種情報提供システムからわかること」

5) 国立大学法人千葉大学「全国760地点の過去40年間の気候変動の状態が見える「気候変動気象データ提供システム」無料公開 地球温暖化に対する適応策の検討を進めるために」PRtimes 2022年2月10日 <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000566.000015177.html>

6) 「地域脱炭素政策検討支援ツール使用マニュアル」<https://opossum.jpn.org/news/2022/03/31/865/>

7) 環境省大臣官房環境計画課「地方公共団体実行計画（区域施策編）策定・実施マニュアル（本編）」令和4年3月

8) 総務省「地域の未来予測に関する検討ワーキンググループ報告書」令和3年3月

## II-2 低炭素化技術システムオプション導入シナリオの作成

東京大学

未来ビジョン研究センター  
「プラチナ社会」総括寄付講座  
＜研究協力者＞

菊池 康紀  
兼松 祐一郎

未来ビジョン研究センター  
「プラチナ社会」総括寄付講座

藤井 祥万  
五十嵐 悠

### 〔要旨〕

地域ごとに異なる資源特性に適した技術・システムオプションの導入に向けて、自然資本や産業特性に特徴のある西之表市、八千代市、山形県置賜地域、和歌山県、上士幌町、岩手県に対して、その特徴や課題の整理に基づいて、特定の技術・システムオプションを実際に生成した。これは研究者や専門家の知見を用いたオプション生成であったが、これを複数の地域に展開するためのシミュレータについて、上記の分析に基づいて汎用的アルゴリズムの概念的な設計を行うことができた。

脱炭素の実現に向けて重要性を増すエネルギー需給のギャップ解消に資する個別技術群について、地域や産業への導入を想定した物質フロー、エネルギーフローの計算とライフサイクル評価を可能とするシミュレータを構築した。これらを活用するには専門的知識を必要とすることと、外部ユーザーも利用可能なツールとしてインターフェイスを整えるためには長期の開発期間を要することがわかり、上記で開発したシミュレータは専門家向けのツールとして将来的に利用可能とする計画とした。一方、本研究期間では幅広いユーザーが利用可能なものとして、複数の条件に対して予めシミュレーションを実行した結果を格納することで、技術オプション情報を提供できるデータベースを開発する方針とした。既に導入が進む太陽光、風力等については公開済みのオープンデータを用いて、その導入ポテンシャルと導入実績について迅速な可視化が可能なウェブインターフェイスを構築、公開した。また導入ポテンシャルのオープンデータが存在しない木質バイオマスに関して、持続可能な林業から得られる燃料による熱電併給を地域に導入したときのエネルギー供給量をデータベースとして整備した。

### 1. 研究開発目的

再エネを主力化するには、従来の大規模で集中型の電源からエネルギーが供給されるネットワークに加え、中小規模で分散型の電源や蓄エネ・変動調整施設が連系された分散型ネットワークが必要とされている。従来型の大規模集中型エネルギー源は、輸入されるバイオマスや再エネ由来エネルギーキャリアなどによる稼働があり得るため、全てが分散型エネルギーシステムになるとは言えない。ただし、国内再エネを最大限利用するための分散型エネルギーシステムが存在するべきであり、ここでは変動性再エネ、調整力、地域産業由来資源などが接続されている。変動性再エネは設置によってエネルギーを供給できるようになる。ただし、変動を調整する能力がエネルギーシステムに必要となるため、蓄エネ等の技術が必要になりうる。このとき、農林業由来バイオマスや廃棄物など、地域産業由来の資源も存在するため、単純に太陽光・風力を蓄エネで調整する系における最適化では、地域として全体最適を目指したことになる。また、再エネを利活用するエネルギーネットワークの地理的範囲は必ずしも基礎自治体の範囲とは限らず、広域的な連携が必要となる場合が多い。このため、特定の自治体や地方公共団体における検討委員会だけでは検討が不十分になる可能性もある。しかし、エネルギー技術システムオプションは日進月歩であるとともに、多様化しており、既存の俯瞰報告書でもすべてを記載することは難しい。そのため、特定の主体が単独で技術システムオプションの全体を把握することは困難である。大学等研究機関や産業といった産学公が協創できるプラットフォームにより、こうしたエネルギーシステムの改革が実行できるようになるといえる。

こうした背景から、サブテーマ2では、地域の現状を把握し、新規に開発中であつたり、将来導入

が期待されたりしているような技術・システムオプションを含めて、地域における選択肢を提示できる、情報基盤を開発する。

## 2. 研究目標

地域に賦存する低炭素化に応用可能な未利用資源（再生可能資源、社会・産業インフラなど）と技術・インフラを組合わせて技術システムオプションとする低炭素化技術オプションデータベースおよび付随するシミュレータを2022年2月までに開発、プロトタイプを実装し、ユーザとなる自治体等がアクセス可能な形で共有する。

## 3. 研究開発内容

1年度目では、資源の地域偏在性・遍在性を考慮した技術システムオプションを生成させる機構を開発するために、マイクログリッドとして独立する西之表市、都市近郊である八千代市、寒冷地域である山形県置賜、都市近郊で産業が多い和歌山に加え、エネルギー自給率が100%を超える上士幌町、広大な土地を有する岩手県を対象とした、地域資源を有効活用する技術システムオプションを実際に生成させ、汎用的なアルゴリズムを開発する。

2年度目では、サブテーマ3で実施される政策検討支援に対して2019年度に開発したアルゴリズムに従ったオプション生成、シミュレーション、シナリオ分析を行い、地域資源に合わせた技術システムオプションを提示し、開発しているデータベースの要件を確認・実証する。これを通し、各地域で対象を変更した際にどの程度詳細な情報や緻密なシミュレーションが支援に必要なかを定義する。

3年度目では、「低炭素化技術システムオプションデータベース」と付随するシミュレータを完成させ、他のサブテーマ1におけるプログラムに提供する。

## 4. 結果及び考察

### 4-1. 地域の資源特性に応じた技術オプション生成の汎用的アルゴリズムの検討

資源の地域偏在性・遍在性を考慮した技術システムオプションを生成させる機構を開発するために、マイクログリッドとして独立する西之表市、都市近郊である八千代市、寒冷地域である山形県置賜、都市近郊で産業が多い和歌山に加え、エネルギー自給率が100%を超える上士幌町、広大な土地を有する岩手県を対象とした、地域資源を有効活用する技術システムオプションの生成を試行し、オプション生成のアルゴリズムを汎用化するための検討を行った。

まず、再生可能資源の地域偏在性・遍在性を考慮した技術システムのオプションを生成させるために、状況が異なるこれらの地域についてエネルギーシステムに関する現状を調査した。結果を表2-1にまとめ、以下で各地域における現状とオプションとして生成できた技術システムの一部を解説する。

北海道上士幌町は、畜産廃棄物由来のメタン生産による発電プラントを複数有しており、既にエネルギー自給率が100%を越える、実質的にエネルギー供給地域となっている。畜産廃棄物は、堆肥等の生産にも用いられているが、それに必要な量は地域にて管理されており、堆肥用・メタン発酵用の廃棄物が競合しない形となっている。メタン発酵に活用できる畜産廃棄物はまだ存在しているが、送配電網の限界から、接続回答保留となり、固定価格買取制度の枠組みの中ではこれ以上のメタン発電が実施できず、未利用の余剰資源が存在している。実質エネルギー供給地域であったとしても、暖房や給湯、運輸などには依然として化石資源が必要であり、これを代替するための新たな技術システムの検討が必要といえる。北海道全体の需要の減少と変動性再エネの導入による影響で、各振興局別に、局所的に、地域資源由来のエネルギーが溢れ系統等の既存インフラで活用できないという事態が起きている。そのため、従来の送配電網やガスインフラだけでは全ての資源を活用しきれない。一方、北本連系による東北・関東への送電は、当該地域においては重要な高セキュリティを期待できるエネルギー源となりうるため、連系線を経由した送電を増加できる場合には、他の地域へ脱炭素化が可能な電源を供給できる可能性がある。道内でのエネルギー需要を地域資源に合わせた形に変換することができるかどうか重要

であり、需要側技術システムの変革による資源の有効利用が必要である。例えば、都市部における地域熱供給システムなどの熱技術の導入ポテンシャルは高く、余剰メタンや余剰電力由来水素をエネルギーキャリアとした地域資源の利用は一部地域で活用しうる。家庭用燃料電池や、地域で共有する数百kW程度の中規模燃料電池を組み合わせることも可能である。寒冷地であることから、電気自動車等の採用は必ずしも効率的ではないとされてきたが、これも、需要低迷による出力制御や余剰が安定して発生するようになるのであれば、逆にこれを利用できる技術として導入が可能といえる。

岩手県は広大な面積を有する県であり、地域資源も豊富に得られる自治体であり、北いわてをはじめとし、県内にてシステム改革を目指している。一方、需要が集中している県の南北中央地域以外の地域では、再生可能資源由来電源の系統接続について回答保留となっている地域もあり、固定価格買取制度の枠組みの中で、県内に賦存する再生可能資源を最大限に利用することは困難になっている。岩手県として水素利用構想を立ち上げるなど、対策を検討しており、新たな技術システムの導入について、多様なオプションを必要とする状況にある。資源の需要と供給の空間的なズレがあり、主な需要が集中する中央から南部と、供給ポテンシャルを有する北部で、需給マッチング必要であり、エネルギーキャリアによる需給の時空間ギャップ解消は一つのオプションと考えられる。一方、中小規模ながら、産業が点在することから、産業を拠点化し、地域資源由来のエネルギー源を集約して活用する地域熱供給システムも可能性としてありうる。ここで資源として消費されるべきものには、製材端材等、林業へも循環が起こるオプションの生成が重要である。

山形県置賜郡は山形県南部に位置する3市5町（米沢市、長井市、南陽市、高島町、川西町、白鷹町、飯豊町、小国町）で構成された地域である。また、東日本大震災において仙台市内のガス供給を1か月以内に多くの地域で再開させることに貢献した新潟-仙台間天然ガスパイプラインが通る地域であり、人口と産業が集中する地域を除くと、国内で数少ない天然ガスパイプラインへアクセス可能な地域ともいえる。固定価格買取制度により複数のバイオマス発電所が建設される中、一部地域では系統接続について回答保留となっている。人口集中地区へとつながるガスパイプラインを有する地域であり、水素等のガスへ地域の再エネから変換・製造ができれば、当該地域だけでなく、仙台の脱炭素化にも貢献しうる。比較的供給力が需要よりも多く賦存している地域では、エネルギーキャリアによる輸送を行うよりも、こうした地域を横断するインフラを活用したオプションの生成が必要である。

佐渡市は佐渡島にあり、島には唯一の自治体であるため、島全体のシステム改革に介入できるプレイヤーである。佐渡島は本土と系統が接続しておらず、独立したマイクログリッドとなっている。太陽光を中心とした地域新エネルギー導入促進計画が策定されていたが、独立したグリッドであるため、需要とのバランスで導入に限界がくる可能性がある。現在、洋上風力をはじめとした自然エネルギーを水素変換等の技術により活用する取り組みが始まっている。水素への変換は国内外における実績と国内における研究成果の蓄積が重要であるが、物理化学的な機構は十分に知られており、技術システムとしての実装性は低くない。一方、水素を需要する技術については、意図的に導入を増加させていかない限り、水素が供給されても使用しきれない。佐渡も寒冷地であり、熱需要も多く存在している。マイクログリッドであることから電力グリッドコストも低くないため、水素を用いた熱電併給による脱炭素化が可能なオプションを生成させる必要がある。

種子島には1市2町（西之表市、中種子町、南種子町）があり、国内で最初の出力制御が実施されるほど、需要に対する太陽光発電の割合がすでに飽和した独立マイクログリッドを有している。島内資源を用いたエネルギーシステムの提案がなされており、市場の形成とともに技術導入の計画が必要となっている。製糖工場を有している島であり、海外で多くの実績を有するバガスによる発電・熱供給が可能な地域でもある。地域産業であるサトウキビ産業とも紐づいた技術システムオプションであり、社会経済的な受容性が高いことも確認できていることから、関連するオプションの生成が重要である。

以上まとめると、今回調査した地域において脱炭素化技術システムオプションの生成には、以下の要素が重要であった。これらの項目は決して斬新な観点ではないが、多様に存在する地域のエネルギーシステム更新における障壁の多くが、下記のものに帰着することが多いということが明らかになった。

- ・ 既存のエネルギーインフラの稼働率、空き状況、連系可能性

- ・ 需要と供給の時空間的ギャップ
- ・ 地域産業との関連性
- ・ ユーザーの選好性
- ・ 住民とのコミュニケーションと合意形成

表2.1 2019年度における各地の課題等の把握

|      | 現状の課題   | 事例  | 要望 (一期待されている機能)   |
|------|---|---|---|
| 北海道  | <ul style="list-style-type: none"> <li>再エネの系統連系回答保留</li> <li>風力ポテンシャルが活かしきれず</li> <li>土地が広大でインフラの維持が困難</li> <li>熱需要の再エネ化が不足</li> <li>計画段階から実証段階への進展が限定的</li> <li>その他の手段が不足</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>特定振興局における風力由来水電解水素+メタネーションのエネルギー地産地消計画</li> <li>帯広地域の畜産廃棄物を利用したメタン発酵由来のエネルギー地産・地消計画と一部実証・実用</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>安価かつ安定に水素を生産するシステムの設計</li> <li>広域での連携を促すための Concept の論理補強・検証と、Data 作成、基礎自治体の動機付け、住民共有</li> <li>畜産廃棄物・風力以外の資源の利用方法の提案</li> <li>導入順序、規模、適用する補助、巻き込むべきプレイヤー、などシナリオプランニング</li> </ul>           |
| 岩手県  | <ul style="list-style-type: none"> <li>振興局間での格差ができています</li> <li>県央以外の場所でも再エネの系統連系回答保留</li> <li>個別事業者による計画が多く県全体としてのまとまりがない (久慈市におけるバイオマス事業、紫波町における地域熱供給など)</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>いわて県民計画 (2019~2028) における水素戦略の提案</li> <li>北いわて産業・社会革新ゾーンプロジェクトの開始 (2019~)</li> <li>岩手県内エネルギー概況の調査事業 (2019)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>広域連携を前提としたシステム設計 (北いわて 13 市町村の連携の促進)</li> <li>導入効果の高い技術システムオプションの提案</li> <li>導入順序、規模、適用する補助、巻き込むべきプレイヤー、などシナリオプランニング</li> </ul>  |
| 和歌山県 | <ul style="list-style-type: none"> <li>県全体のエネルギー基本計画が存在しない</li> <li>個別事業者による計画が多く県全体としてのまとまりがない</li> <li>梅調味液等の未利用資源が存在</li> <li>食品産業と市町村の連携が不足</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>世界農業遺産関連で県内資源の循環を促進</li> <li>中小化学産業・食品産業を中心とした事業が点在</li> <li>公共インフラを用いた再エネ技術システムの計画</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>和歌山市雇用圏 (産業)、田辺市雇用圏 (農業+林業)、新宮市雇用圏 (農業+林業) ごとに適用可能な技術システム候補の探索</li> <li>広域での連携を促すための Concept の論理補強・検証と、Data 作成、基礎自治体の動機付け、住民共有</li> <li>導入順序、規模、適用する補助、巻き込むべきプレイヤー、などシナリオプランニング</li> </ul> |
| 置賜郡  | <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄道・新幹線沿線地域以外における再エネの系統連系回答保留</li> <li>個別事業者による計画が多く県全体としてのまとまりがない</li> <li>地域資源の統合利用が促進されていない</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>3 市 5 町のそれぞれの市町村内で地域産業由来の廃棄物を利用するバイオマス構想の計画</li> <li>大規模バイオマス発電所が輸入材により稼働</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>広域での連携を促すための Concept の論理補強・検証と、Data 作成、基礎自治体の動機付け、住民共有</li> <li>導入順序、規模、適用する補助、巻き込むべきプレイヤー、などシナリオプランニング</li> </ul>   |
| 種子島  | <ul style="list-style-type: none"> <li>再エネの出力抑制</li> <li>マイクログリッドにより再エネの系統連系回答保留</li> <li>人口減による将来システムの在り方が不明</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>地域資源を循環利用させた農林工横断型の分散型エネルギーシステムの設計と一部実証</li> <li>地域資源を用いた新規製品製造技術システムの提案と一部実証</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>より詳細な技術システムの設計と実証試験</li> <li>広域連携に基づく地域循環共生圏の創出</li> <li>出力抑制になっている VRE のオフグリッド利用技術システムの設計・実証</li> <li>導入順序、規模、適用する補助、巻き込むべきプレイヤー、などシナリオプランニング</li> </ul>                                  |
| 上士幌町 | <ul style="list-style-type: none"> <li>再エネの系統連系回答保留</li> <li>地域資源としての畜産廃棄物の余剰</li> <li>畜産廃棄物以外の再エネ技術システムの不足</li> <li>人口減による将来システムの在り方が不明</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>畜産廃棄物由来のメタン発酵発電によりジュール換算自給率が 100% 超</li> <li>国内の著名研究者等を招いたかみしほる塾を開講し、知的交流の促進</li> <li>廃熱等を利用する新規産業の誘致</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>最先端技術システムの知的交流の促進</li> <li>過剰に存在する地域資源の有効利用法の探索と実証</li> <li>教育への波及施策に関する提案</li> <li>導入順序、規模、適用する補助、巻き込むべきプレイヤー、などシナリオプランニング</li> </ul>   |
| 八千代市 | <ul style="list-style-type: none"> <li>都市部として分散した小規模需要の集合であり、対策の中心に選好性や行動変容といった住民の意識が関わる部分が多く、技術システムの導入だけで改善ができない可能性がある</li> <li>2010 年のエネルギービジョンに対し、具体的なアクションプランを立てる必要がある</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>都市部として分散型の再エネ技術システムの導入が個別に実施</li> <li>市民協議会等を通じた住民普及のための活動を実施</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>改革推進のための技術システム案の生成と検討</li> <li>大都市近郊型の地域としての Concept の論理補強・検証と、Data 作成、基礎自治体の動機付け、住民共有</li> <li>導入順序、規模、適用する補助、巻き込むべきプレイヤー、などシナリオプランニング</li> </ul>   |

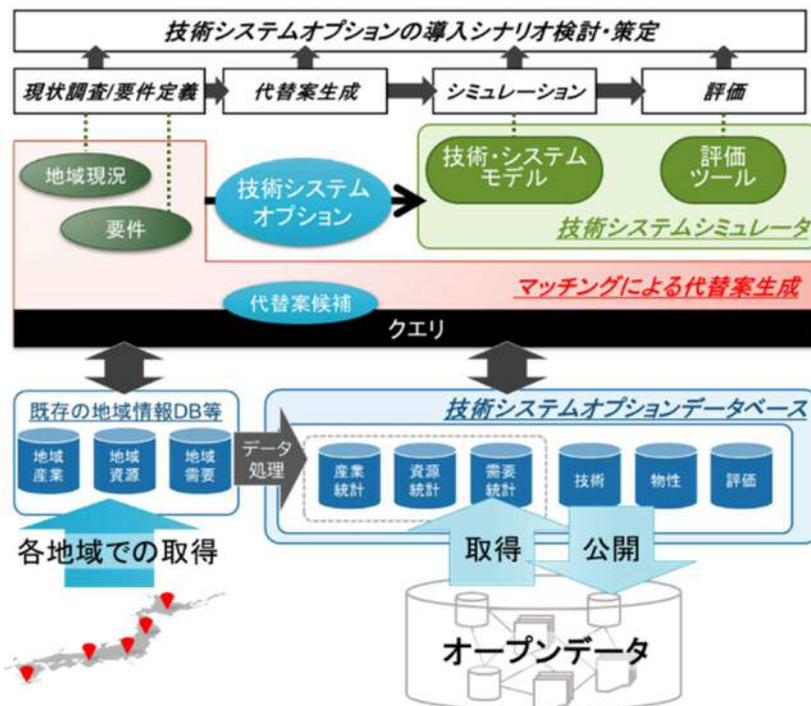


図2-1 技術システムオプション生成のアルゴリズムとオープンデータ化の可能性

これらの要素を、データベース、クエリ、アルゴリズムとして取り込むことが汎用的なシステムに

不可欠といえる。これらのシステムは全基礎自治体で共通して用いることができる基盤となるべきものであり、使用する各種統計データやツール、評価手法などへアクセスできるようにすべきである。そのため、図2.1に示す通り、オープンデータ化による公開・共有を前提としたアルゴリズム開発を検討すべきである。既に、一部の自治体においてオープンデータ化の試みがなされており、2030年、2050年における脱炭素化技術システムオプションの生成において、基盤となるべきものといえる。

## 4-2. 技術システムオプションのシミュレータ開発とデータベースの要件定義

### 4-2-1. 技術システムオプションのシミュレータ

脱炭素シミュレーションに組み込む技術システムオプションを検討する上で、特に重要となるのが需給ギャップを埋める技術への対応である。供給側の資源は各種再生可能エネルギーや廃棄物、化石燃料などがあり、それらを必要に応じて水素などへの変換も介しながら電力や熱を生成する。供給側と需要側では時空間的なミスマッチや、資源ポテンシャルと導入予測値とのミスマッチなどが存在し、それらを解消する蓄エネルギー技術も含めたシミュレーション基盤を整備する必要がある。

まず、地域への技術の社会実装に向けたライフサイクルアセスメント（LCA）の要件を分析し、技術のシミュレーションにおける課題と方針を確認した。地域資源を用いた水素エネルギーキャリアに関する地域別の導入における課題の解析を行った。その上で、1次資源として太陽光、風力、バイオマスに着目し、太陽光については電解装置と蓄電池を組み合わせた水素製造システム、風力については熔融塩蓄熱を用いた風力熱発電システム、バイオマスについてはゼオライトを用いた蓄熱輸送システムについてそれぞれ検討した。さらにバイオマスについては近年利用が増えているパーム椰子殻（PKS: Palm Kernel Shell）の輸入に関し、その導入に関するLCAを行い、地域においてバイオマスを活用することの意義について考察した。なお、いずれもLCAによる温室効果ガス排出量（LC-GHG）を評価できるように設計、開発を進めた。

地域への技術の社会実装に向けたLCAの要件分析として、脱炭素に向けて今後の必要性が増している技術群の多くは発展途上の新興技術と言えるが、技術発展や社会変化に伴う不確実性を考慮したProspective LCAの適用が不可欠であり、新興技術の地域への社会実装における技術評価の在り方を整理した（図2.2）。具体的には、新興技術の評価では、技術性能の不確実性、データの不足、スケールアップ問題、これらに由来する評価結果の不確実性等の課題に直面するが、スケールアップのためのデータ補足、多面的なシナリオ分析を行うことが有効となりうる。このような検討を限られた時間と人材の制約下で実行可能とするためにはシミュレータやデータベースといった情報基盤の開発と統合が不可欠と言える。

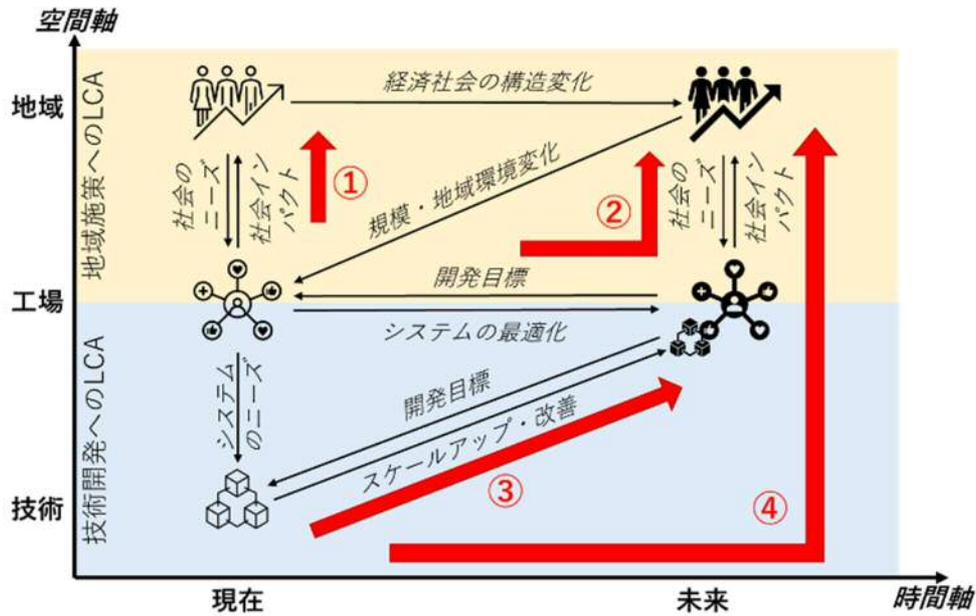


図2.2 各種LCA手法の位置付け：①-地域LCA；②-プロスペクティブ地域LCA；③-新興技術のプロスペクティブLCA；④-新興技術の普及を考慮したプロスペクティブ地域LCA（賣ら、2021<sup>1)</sup>）

地域特性をパラメータとして、地産地消を前提としてエネルギーキャリアを導入した際の地域別のエネルギーキャリア製造、輸送、利用をシミュレーションできるモデルを構築した。新たな技術導入により既存システムが代替されることを想定し、構成する設備の容量・数量に応じた、技術導入前後でのライフサイクル温室効果ガスの変化量や、その他、日本版被害算定型ライフサイクル影響評価手法（LIME）において算定可能な影響領域について評価を行った（図2.3）。結果として、地域の資源量や需要量、需要パターン、既存の系統電力の排出係数の影響を定量的に解析できることを確認し、地域別エネルギーキャリア導入分析手法を開発し、分析に基づくエネルギーシステムの計画により、エネルギーキャリア導入の全体像を理解して、多様な活動を効果的に進めることができるようになった。地域別エネルギーキャリア導入分析として、エネルギーキャリア地産地消シミュレーションを行い、地域の社会経済的指標と組み合わせた解析が可能であることを明らかにした。結論として、水素エネルギーキャリアの導入効果は地域により差があり、条件によっては導入効果が十分に得られにくい地域があることが明らかになった。すなわち、すべての地域で一律した技術システムオプションの導入が、それぞれの地域で必ずしも環境影響の低減効果等を持つわけではないことが明らかとなり、地域別の技術システムシミュレーションを行う必要があることが明らかとなった。

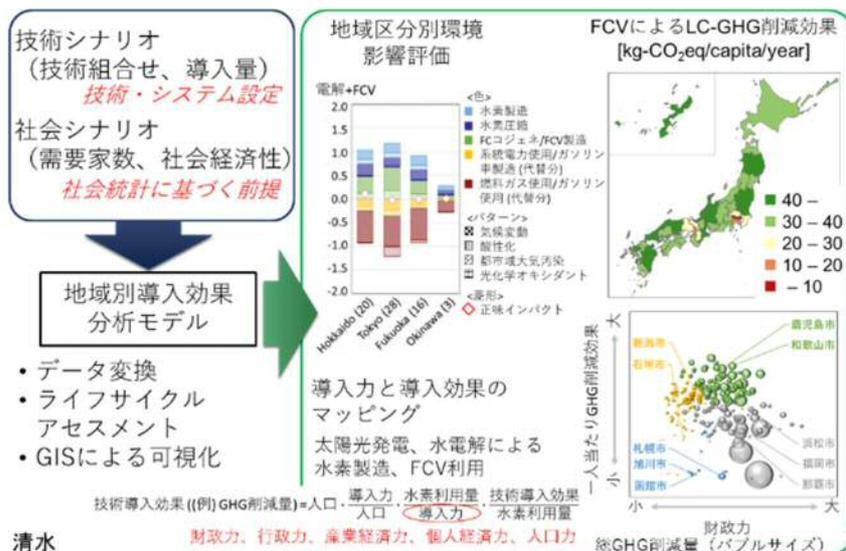


図2.3 地域別水素エネルギーキャリアの導入効果分析（研究成果<sup>1)</sup>・既往研究<sup>3)4)</sup>より作成）

太陽光発電は固定価格買取制度（FIT）により、他の再エネに比べて導入が進んでいる。しかし九州電力では出力抑制が頻発するなど、系統接続の問題から回答保留となっているなど、導入速度が鈍化している地域が既に発生しており、今後、太陽光発電の導入障壁として顕在化しはじめています。そこで過去のFITによる導入容量および導入速度をパターンに応じて回帰し、2050年における導入容量を予測、環境省の再生可能エネルギー情報提供システムREPOSで公開されている各基礎自治体レベルの導入ポテンシャルと比較した。その結果、2050年における導入予測値は、ポテンシャルに到達しない自治体がほとんどであり、その未導入の資源ポテンシャルを水素に変換する技術システムオプションを検討した。

そのオプションとして、日射量により変動する太陽光発電を安定的に供給するために、太陽光発電と蓄電池、電解装置を組み合わせるEMS（Energy Management System）で制御し、安定的に水素を供給する蓄電池援用の水素製造システムを検討した。各装置のエネルギー入出力の挙動と装置間のやりとりを計算可能なシミュレータを構築した。電力単価、電解セルコストを設定し、均等化水素製造コストを最小化するようにPV容量と蓄電池容量の変数を決定した。その結果、2030年の均等化発電単価の目標値とした場合、均等化水素製造コストは政府の2030年の目標(30 JPY/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>)よりも下回りうるということがわかった。同時に、LC-GHGが削減できる条件を探索可能とし、任意の日照条件や技術条件におけるLC-GHG削減のための設計制約を明らかにできるようにした。（図2.4）

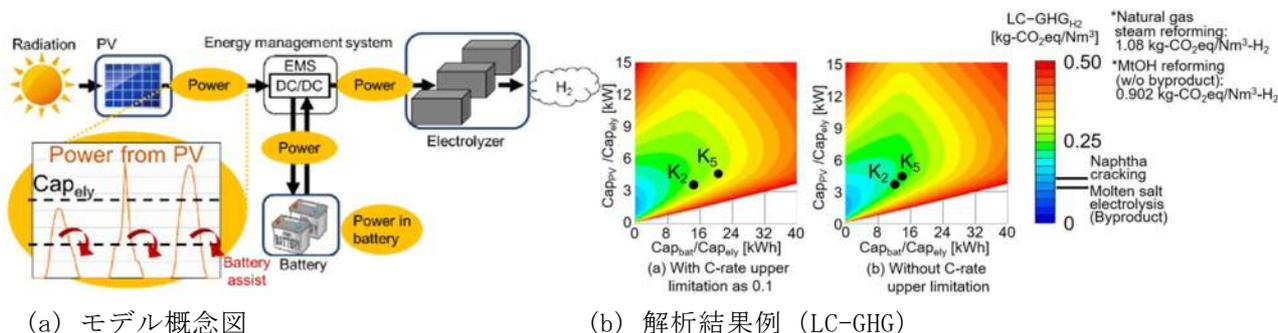


図2.4 オフグリッド太陽光パネルを使用した蓄電池援用型水素製造システムのモデリング<sup>5)</sup>

次に風力発電について、系統に直接接続するのではなく、熔融塩蓄熱を介して安定的に発電する風力熱発電システム(図2.5 (a))を検討した。また、各地域の基幹産業で、既にエネルギー設備を所有している工場がある場合にはそれらがエネルギー供給の拠点となる可能性がある。そこで本検討では、全国各地に点在しており、自家用熱電併給設備を持つ製紙工場に着目した。風力により発生した熱と、製紙工場で従来から燃料として使っていた黒液などの燃焼熱を熔融塩に蓄熱し、熱交換により蒸気を生成、

既設のコジェネレーション設備で発電、製紙プロセスへ熱供給するシステムを検討した。製紙プロセスの生産スケジュールと風況データから1時間ごとのエネルギー収支のシミュレーションが可能な数理モデルをExcel上で実装し、一定の売電により系統の石炭火力を代替することが可能であること、製紙工場の規模に応じてライフサイクルでの温室効果ガス排出量が最小となる蓄熱の規模が存在することがわかった(図2.5 (b))。

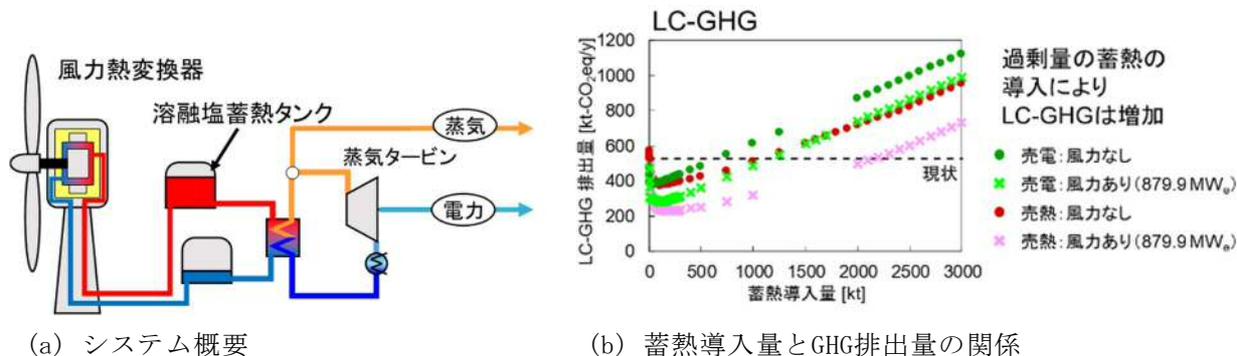


図2.5 溶融塩蓄熱を介した風力熱発電システム<sup>6)</sup>

また、季節性バイオマスの検討として南西諸島、先島諸島の基幹産業であるサトウキビに着目した。サトウキビの製糖工場はサトウキビの圧搾残渣であるバガス燃料として、製糖に必要な熱電需要を供給している。しかしバガスは必要以上に発生するため、200℃程度の未利用熱が大量に発生している。一方、近隣産業ではサトウキビの輪作作物である芋を加工するデンプン工場や焼酎工場などの食品加工業を中心とした100~120℃程度の熱需要がある。この時空間的なギャップを解消して熱融通するために、ゼオライトの水蒸気吸脱着サイクルを用いた蓄熱輸送システムを考案した。図2.6 (a)に種子島における検討事例の概要を示す。製糖工場での蓄熱過程では、煙道ガスと熱交換した温風を、移動床直接接触式を採用した蓄熱装置に導入し、蓄熱する。蓄熱したゼオライトは保管し、需要に合わせて熱需要地では移動床・間接熱交換式を採用することで加圧蒸気の連続生成が可能となった蒸気発生装置を用いて、重油ボイラーの燃料を削減する<sup>7)</sup>。これら装置の性能を数値解析により予測し、システム規模により線形回帰することで、複雑な数値解析を経ずとも、システムのコストや温室効果ガス排出量の評価が可能となった(図2.6 (b))。

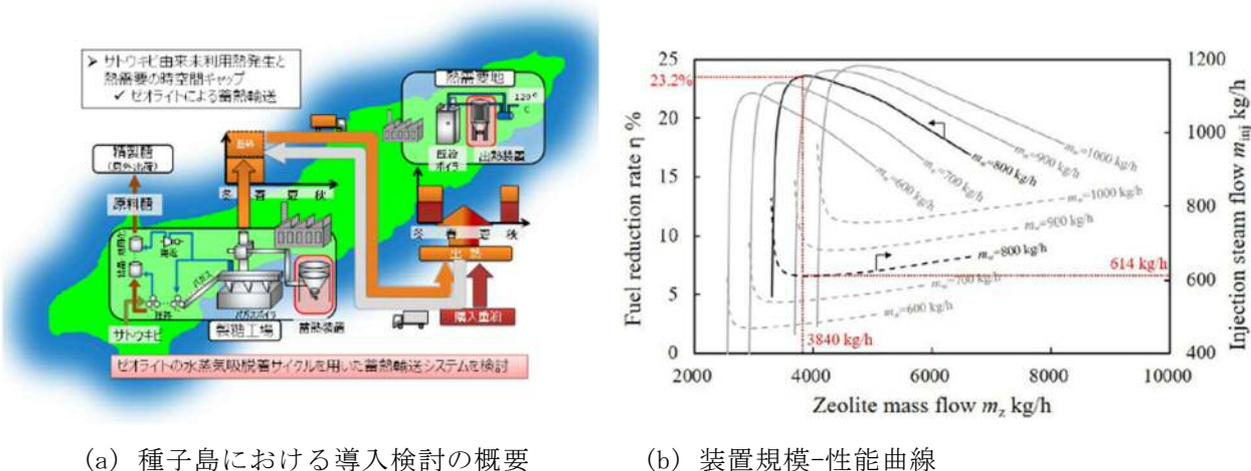


図2.6 サトウキビ由来未利用熱の蓄熱輸送システム<sup>7)</sup>

パーム椰子殻 (PKS) を用いたバイオマス発電については、パーム栽培やパーム油生産の方法によって大きく環境負荷が異なることが示唆されており、ここでは生産プロセスや発電プロセスをモデル化し、国内木質バイオマスとの比較や組合せ利用におけるGHG排出量の変化をLCAに基づいて、多様な生産条件を考慮した評価を実施した。パーム栽培を新規に行う場合、土地利用変化を伴うが、栽培開始前の

土地について、熱帯林、ゴム栽培、泥炭地のケースを比較し、GHG排出量に大きな影響があることを明らかにした。また、パーム油工場排水の処理池には開放型と閉鎖型があり、開放型ではメタンが排出されるため、GHG排出量が大きく変わるため、土地利用変化の差に次いで影響が大きかった。パーム油生産においてPKSは廃棄物であることから、これらを組み合わせたシナリオのうち、国産木質バイオマス発電よりもGHG排出量が小さくなるシナリオも多かったが、熱帯林からパーム栽培への転換を伴うケースや、開放池による工場排水処理が行われているケースではGHG排出が国産材による発電よりも高くなるため、PKS輸入においては調達先やパーム工場の方式を注意深く選定する必要があることが示唆された。また、国内森林は高樹齢化が進んでおり、適度な伐採と新植による更新を進めなければ、CO<sub>2</sub>吸収効果は漸減していく。PKSの過剰な利用は、国産木質バイオマス需要の抑制につながりうるため、当面の間は適度なPKS利用を通してバイオマス発電の基盤整備を促進する効果も考えられるが、並行して林業の体制を強化しながら、国産材利用へとシフトしていくような計画が望まれる。(図2.7)

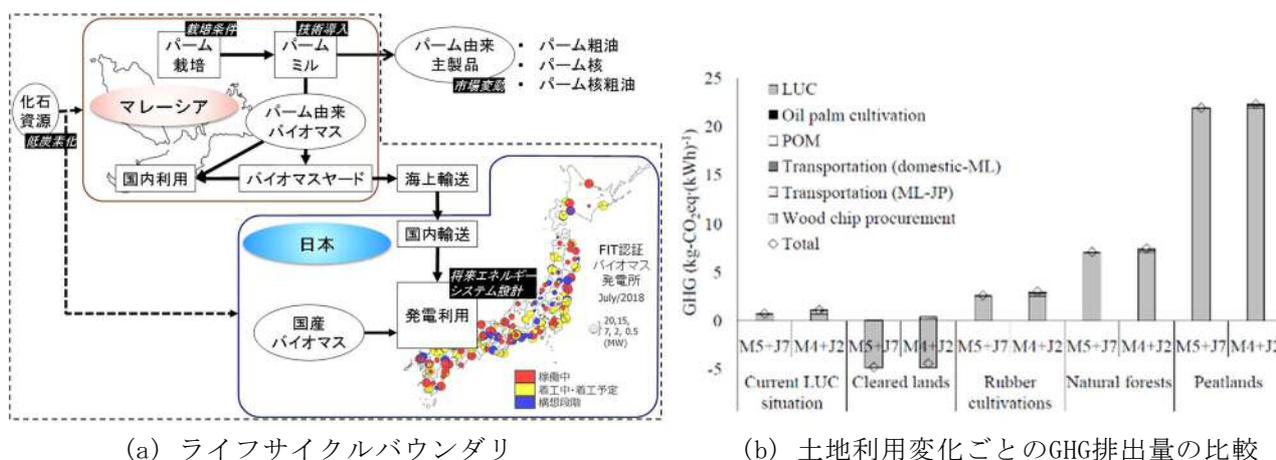


図2.7 輸入パーム椰子殻と国産木質バイオマスを用いた発電のLCA<sup>8)</sup>

以上の技術システムオプションの検討は、個別のケーススタディを基にした試算である。各自治体には固有の地域特性があるため、これらの個別の検討ケースを一律に全基礎自治体に適応することは困難であり、それぞれの地域特性に合わせた技術システムオプションの提案が必要である。既に情報が集まっている地域については個別の検討が可能であり、上記の技術システムオプションの解析が進んでいる地域もある。しかしすべての基礎自治体において個別にデータを収集し、導入シナリオを検討・策定していくことは、時間、労力の観点で現実的ではない。そこで、それぞれの技術システムオプションの性能予測に必要なデータ項目とその構造を抽出・整理する必要がある。また、それらの必要データ項目のうち、オープンデータから取得できるデータについては統合化を進め、取得不可能なデータはデータベースに登録するための取得支援の枠組みを作る必要がある。既往の研究にて農林業地域における産業共生を対象として、技術システムオプションの導入計画を策定するために必要なデータ構造を、統一モデリング言語 (UML) クラス図を用いて整理し、検討に必要なデータ項目とそれらデータ間の連関を整理しているが<sup>9)</sup>、このデータ構造の大部分が低炭素化技術オプションの検討でも適用可能であることが確認できた。

#### 4-2-2. データベースの要件定義

上記のようなシミュレータ開発やデータベース構造の設計と並行して、これらが提供する技術システム情報に求められる詳細度や内容について要件を検討した。地方自治体における計画を支援する技術システム情報の詳細度は、策定する計画や年次、プロジェクトの具体性によって、要求される仕様が異なっている。具体的には、基礎自治体の最上位計画である「基本構想」や「長期振興計画」は、約8年から10年の期間を対象として策定される。これらの比較的長期の計画においては、地域ビジョンや再生

可能資源のポテンシャルなどが検討対象となり、地域の将来的な方向性や、そのために必要なアクションを策定するための情報が求められる。例えば、岩手県では、長期ビジョンのいわて県民計画(2019—2028)の中で、北いわて地域を「北いわて産業・社会革新ゾーンプロジェクト」と名付け、再生可能エネルギー資源の産業分野、生活分野での利用促進を目指した内容となっている<sup>10)</sup>。計画策定の実際のタスクの中で、その初期には地域資源や全国の先行事例の調査が行われている。特に地域資源の調査に関しては、提示すべき情報の大部分が、オープンデータを駆使しつつデータ処理を自動化することで、このタスク実行にかかる労力や時間を大幅に削減しうることを見出した。

約4年から5年の期間を対象として検討される計画には、「基本計画」や2014年から始まった「まち・ひと・しごと(地方)創生法」の「地方版総合戦略」がある。これら計画は、基本構想や長期振興計画に比べ、期間が短い分、より計画に具体性が求められる。基本構想や長期振興計画の段階では、利用可能な地域資源や地域内のエネルギー需要について、より定量的なデータが必要である。再生可能エネルギーについては、賦存量などの供給面に着目した調査が行われることは多い。一方で、エネルギー需要についての議論がなされていないケースも多い。脱炭素に向けては需要の実態を把握し、重点的に対策を実施すべき地域や部門(民生、運輸、産業など)を検討する必要がある一方で、データ整備が十分でないことがその障壁となっていると考えられる。具体的には、エネルギー消費の実態に関するデータは全国版<sup>11)</sup>と都道府県版<sup>12)</sup>は公開されているが、市区町村単位では調査プロジェクトなどが実施された実績のあるようなごく少数の自治体でしかデータが存在しない。スマートメーター等の普及により、市区町村単位での実測データが得られる可能性もあるが、それには長い年月を要すると考えられ、公開済みデータを駆使したデータ処理に基づく整備を行うことが現実的だと考えられる。

1年から3年のプロジェクトに対しては「事業計画」や「実施計画」が策定され、プロジェクトの実現に必要な具体的な情報が求められる。例えば種子島ではサトウキビ農業および製糖業が基幹産業であるが、サトウキビ製糖工場を電力、排熱などのエネルギー利用等の多面的な利用を目指すプロジェクトが開始されている。この段階では、既に実施内容は決められているため、プロジェクトを動かすために必要となる人的資源、物的資源、資金などに関する情報がより重要となる。

以上より、アウトプットとしての技術システムオプションの要件として、大きく以下の3点を満たさなければならないと考える。

1点目が、生成される技術システム候補案の粒度を、自治体における計画に合わせて調整する仕組みである。10年後に到達してきたいエネルギーシステムの議論において、個別のボイラーやバイオマス利用技術に関する分析では粒度が細かすぎる。一方、1年～3年の事業計画において、漠とした水素社会システムや脱化石システムの議論では具体性に欠け、行動を開始できない。計画期間の範囲によって、技術システム候補案に関する情報の粒度を変え、提供できる必要がある。分析に用いる手法や指標は、技術システムの特徴を表すだけでなく、地方自治体が事業に対する評価を行う際に用いる評価指標についても、可視化される必要がある。当該指標では改善が見られない場合にはさらなる代替案の生成が必要となる。

2点目が、地方自治体以外の主体との協働に関する候補案を案として盛り込み、新規技術・システムの導入に関するシナリオを組むことである。特に環境エネルギー分野においては、自治体が単独で計画・設計・運用などまでを担当することは容易ではない。既存のエネルギー事業体を含め、産学公を含めた様々なステークホルダーが連携して事業に取り組む必要がある。導入を具体的に検討する技術やシステムを特定することができると、科学的な分析手法や関連するステークホルダー、解決すべき課題などを挙げることは可能である。各ステークホルダーの役割とアクション候補を案として整理することが事前に可能であれば、より実践的な技術システムオプションの導入シナリオ策定となりうる。

3点目が、過去の事例を蓄積させることにより得られる、地域エネルギーシステムの導入検討事例の体系的整理とオープンデータ化である。地域における取組は既に多様化しており、内閣府をはじめとする各種省庁から多様な事業が公募されプロジェクト化されている。これらの補助事業の計画や状況、個別成果については、必ずしも容易にアクセスできる形で共有化されておらず、グッドプラクティスの

水平展開が阻害されている。事業の共有に加え、各種技術開発とも紐づけることで、デジタルトランスフォーメーションをはじめとする最新の取り組みや可能性をいち早く地域で試すことが可能となりうる。

#### 4-3. 技術システムオプションデータベースの実装

ここまでの検討では、蓄電池援用型太陽光電解水素生産、風力蓄熱経由の熱電併給、バイオマス由来未利用熱の蓄熱輸送など、各技術の詳細を考慮したモデリングとシミュレーションを実施してきた。前節での考察に加え、未来ワークショップや地域との対話を通じた考察から、ここで開発したシミュレータをそのまま他者の利用を想定して展開することは専門知識の必要性などから困難を伴うと考えられ、簡易化したモデル上で条件に応じたシミュレーションを実施可能とする形式、または多様な条件での計算結果をあらかじめ研究者側でデータベース化したものを地域の資源等の条件に合わせて抽出する形式が簡便性や高速化において効果的である可能性が見いだされた。前者はより広い条件に適応可能だが開発期間を要するため、本研究では後者の開発方針を採用した。特に、脱炭素は長期的取組を必要とし、シミュレーションの精度よりも広範で多角的な検討が有効である可能性が、前節でも示されている。

既に導入が進む太陽光、風力、中小水力などに関しては、公開が進むオープンデータの活用が効果的である。これまでに収集を進めた地域の再生可能エネルギー資源ポテンシャル(環境省)<sup>13)</sup>と設備認定・導入状況(経済産業省)<sup>14)</sup>のデータについて、ウェブブラウザ上で簡易かつ高速にグラフとして可視化できるウェブアプリケーション(RE-CODE 地域資源データ可視化ツール)を構築し、<https://re-code.app/>にて一般公開した。異なる省庁から個別サイト、個別フォーマットで公開されているデータをひとつのインターフェイス上で即時に可視化できる(図2.8、図2.9)。ユーザー側で特殊なソフトウェア等の環境構築を必要としないよう、標準的なウェブブラウザで利用可能な形式としている。これらの情報はサブテーマ1とも連携をして共通で活用可能な形となっている。

また、上記で使用した再エネポテンシャルデータに含まれていない木質バイオマスの基礎自治体単位のデータについて、森林資源シミュレーションを介した木材生産量データの整備を進めた。国内の森林は更新が進まず高樹齢化が問題となっており、民有林を対象として齢級分布の平準化を指向した長期施業(100年間)によって収穫しうる木材量とその年次変化を、各都道府県の齢級分布データを用いて全都道府県に対して計算した。市区町村単位では齢級分布データは一部しか入手可能でなく、市区町村別民有人工林面積データに基づく面積率による按分から市区町村単位の木材生産量を計算した。さらに、これを燃料とした場合の熱電併給時のエネルギー供給可能量を、燃料利用率(生産量に対する燃料利用量の割合)および発電効率の仮定値を置いて計算し、データベースコンテンツとして整備した。ウェブアプリケーションへの反映は未実施だが、2022年中には公開可能とする予定である。併せて製紙工場への風力蓄熱導入について、全国の工場のGHG排出削減量評価結果が得られており、整備と公開を進める。



図2.8 開発したウェブアプリケーションによる都道府県単位の再エネの導入ポテンシャルと導入量の表示例 (https://re-code.app/)



図2.9 開発したウェブアプリケーションによる市区町村別の再エネ導入ポテンシャル表示例 (https://re-code.app/)

### 5. 研究目標の達成状況

地域に賦存する低炭素化に応用可能な未利用資源（再生可能資源、社会・産業インフラなど）と、

それを活用する技術・システムオプションのマッチングについては、自然資本や産業特性に特徴のある西之表市、八千代市、山形県置賜地域、和歌山県、上土幌町、岩手県に対して、その特徴や課題の整理に基づいて、特定の技術・システムオプションを実際に生成できた。これは研究者や専門家の知見を用いたオプション生成であったが、これを複数の地域に展開するためのシミュレータについて、上記の分析に基づいて汎用的アルゴリズムの概念的な設計を行うことができた。

オフグリッド化など、最先端研究成果を含めた将来の地域技術システムの性能情報の格納、および導入シナリオをその性能とともに分析できるようなシミュレータの開発については、脱炭素の実現に向けて重要性を増すエネルギー需給のギャップ解消に資する個別技術群について、地域や産業への導入を想定した物質フロー、エネルギーフローの計算とライフサイクル評価を可能とするシミュレータを構築できた。併せて、既に導入が進む太陽光、風力等については公開済みのオープンデータを用いて、その導入ポテンシャルと導入実績について迅速な可視化が可能なウェブインターフェイスを構築、公開した。また導入ポテンシャルのオープンデータが存在しない木質バイオマスに関して、持続可能な林業から得られる燃料による熱電併給を地域に導入したときのエネルギー供給量をデータベースとして整備した。このデータは2022年内にはウェブインターフェイスからも利用可能とする予定である。

以上を鑑みて、サブテーマ2においては、目標どおりの成果をあげたものとする。

## 6. 引用文献

- 1) 寶毅, 兵法彩, 諏訪出, 兼松祐一郎, 菊池康紀, 日本LCA学会誌, 17, 3, 167-173, (2021) 地域への社会実装に向けた新興技術のライフサイクルアセスメント
- 2) Teruyuki Shimizu, Yasunori Kikuchi, Regional suitability for energy carriers in Japan considering socioeconomic conditions and environmental performance, *Journal of Cleaner Production*, 318. 128461 (2021)
- 3) Teruyuki Shimizu, Kei Hasegawa, Manabu Ihara, Yasunori Kikuchi, A Region-Specific Environmental Analysis of Technology Implementation of Hydrogen Energy in Japan Based on Life Cycle Assessment, *Journal of Industrial Ecology*, 2020;24:217-233
- 4) Teruyuki Shimizu, Yohei Tsukushi, Kei Hasegawa, Manabu Ihara, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi, A region-specific analysis of technology implementation of hydrogen energy in Japan, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(35) 19434-19451 (2019)
- 5) Narihisa Sako, Michihisa Koyama, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi, Techno-economic and life cycle analyses of battery-assisted hydrogen production systems from photovoltaic power, *Journal of Cleaner Production* (2021) 298, 126809
- 6) Ayumi Yamaki, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi, Lifecycle greenhouse gas emissions of thermal energy storage implemented in a paper mill for wind energy utilization, *Energy*, (2020) 205, 118056
- 7) Shoma Fujii, Naoyuki Horie, Ko Nakaibayashi, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi, Takao Nakagaki, Design of zeolite boiler in thermochemical energy storage and transport system utilizing unused heat from sugar mill, *Applied Energy*, (2019) 238, 561-571
- 8) Disni Gamaralalage, Yuichiro Kanematsu, Denny K. S. Ng, Steve Z. Y. Foong, Viknesh Andiappan, Dominic C. Y. Foo, Yasunori Kikuchi, Waste and Biomass Valorization, 13, 2717-2733 (2022), Life cycle assessment of international biomass utilization: A case study of Malaysian palm kernel shells for biomass power generation in Japan
- 9) 兼松祐一郎, 大久保達也, 菊池康紀, 農林業地域における産業共生の計画プロセスのアクティビティモデルとデータモデル, *化学工学論文集* (2017) 43(5), 347-357

- 10) 岩手県「いわて県民計画（2019-2028）」  
([https://www.pref.iwate.jp/\\_res/projects/default\\_project/\\_page\\_/001/019/685/010long-term-vision.pdf](https://www.pref.iwate.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/019/685/010long-term-vision.pdf)、2020年3月8日アクセス)
- 11) 経済産業省 資源エネルギー庁（2022）総合エネルギー統計  
([https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/)、2022年5月6日アクセス)
- 12) 経済産業省 資源エネルギー庁（2021）都道府県別エネルギー消費統計  
([https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy\\_consumption/ec002/](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/)、2022年5月6日アクセス)
- 13) 環境省（2022）再生可能エネルギー情報提供システム[REPOS（リーポス）]  
(<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/>、2022年1月31日アクセス)
- 14) 経済産業省 資源エネルギー庁（2022）固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト  
(<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>、2022年1月31日アクセス)

## II-3 低炭素化政策検討支援ツールの社会実装

芝浦工業大学

建築学部 建築学科 栗島 英明  
工学部 土木工学科 谷田川 ルミ

### 〔要旨〕

サブテーマ3においては、サブテーマ1・2で開発される低炭素化政策検討支援ツール（以下、支援ツール）の基礎自治体での脱炭素戦略検討の場と脱炭素化を進めるための地域人材育成の場への実装手法を開発した。

第一に、基礎自治体に対する調査を実施し、基礎自治体での支援ツールの実装方法を検討した。その結果、「区域施策編を策定していない自治体における地域脱炭素の道すじの把握」「市民や庁内の環境関連部署以外との対話やワークショップにおけるコミュニケーションツール」「中学・高等学校での気候変動教育での地域脱炭素の理解」という3つの実装方法が有効であるとの結論に至った。

第二に、基礎自治体における気候変動対策の政策的優先順位が必ずしも高くないことから、支援ツールを用いた脱炭素の課題と人口減少などに伴う地域の持続可能性に関する課題の同時解決について検討する脱炭素・未来ワークショップを各地で実施しながら、その手法を構築した。

第三に、地域レベルの気候変動対策を進めるには、それらを担う人材育成が必要不可欠であるため、気候変動教育・持続可能な開発に関する教育（ESD）や「総合的な学習／探究の時間」の実態調査を実施したうえで、支援ツールやワークショップを用いた中学校・高等学校の正課で実施可能な地域人材育成プログラムを開発した。

第四に、これらの成果をマニュアル化・教材化し、それらを全国の基礎自治体や学校等に対して普及啓発を実施した。

### 1. 研究開発目的

本研究課題の全体目標は、基礎自治体レベルでの低炭素化政策検討支援ツールの開発と社会実装を行うことである。これまでも地方公共団体実行計画策定マニュアルなど、基礎自治体の低炭素化政策を検討するためのガイドラインやマニュアル、支援ツールなどが開発されているが、地域の脱炭素化に十分な効果を上げているとはいえない。こうした状況を改善するためには、基礎自治体の脱炭素に向けた取り組みの意識・現状、計画策定や進捗管理における情報ニーズを把握し、これを支援ツール開発に反映させることが必要である。また、開発したツールの具体的な使用方法を検討するとともに、実際の現場での実証がツールの普及には必要不可欠である。さらに、地域の脱炭素化を進めるためには、地域住民や環境部署以外の庁内の部署との連携は必要不可欠であり、こうした場面でのツールの使用についても検討する必要がある。特に、地域の将来を担う世代に対する気候変動教育は、地域の脱炭素化を進めるための基盤となる。

以上を踏まえ、サブテーマ3では、地域脱炭素化における基礎自治体の情報ニーズの把握や、開発した支援ツールの利用方法の検討、地域住民や環境部署以外の行政職員との連携手法としての支援ツールを利用したワークショップ手法の開発、地域の脱炭素化を担う人材への支援ツールを用いた教育プログラムの開発を行うことで、サブテーマ1・2で開発する低炭素化政策検討支援ツールを社会実装していくことを研究開発の目的とする。

### 2. 研究目標

自治体や地域人材の現場への社会実装のために、ツールを用いて脱炭素の課題と人口減少などに伴う地域の持続可能性に関する課題の同時解決について考えるワークショップ（将来世代ワークショップ「WS」）の手法を構築するとともに、2022年2月までに、区域施策編策定マニュアルと連動させたツール・ワークショップ導入マニュアルや、新学習指導要領に沿った正課（「総合的な学習／探究の時間」）で実施可能な学校教育プログラム、職員・教員研修プログラムなどを開発し、公開する。

### 3. 研究開発内容

サブテーマ3においては、サブテーマ1・2で開発される低炭素化政策検討支援ツールの基礎自治体での脱炭素戦略検討の場と脱炭素化を進めるための地域人材育成の場への実装手法を開発する。

第一に、「地方公共団体実行計画（区域施策編）」や再生可能エネルギー政策などに関する事項に関する基礎自治体調査（ヒアリング調査・アンケート調査）を実施し、自治体での低炭素化政策検討へのツールの実装方法を検討する。

第二に、基礎自治体における気候変動対策の政策的優先順位が必ずしも高くないことから、ツールを用いた脱炭素の課題と人口減少などに伴う地域の持続可能性に関する課題の同時解決（コベネフィット）について検討する将来世代ワークショップ（脱炭素・未来ワークショップ）の手法を構築する。

第三に、地域レベルの気候変動対策を進めるには、環境部署以外の自治体職員や多くの市民・事業者の理解が必要不可欠であるため、国内外の気候変動教育・持続可能な開発に関する教育（ESD）や「総合的な学習／探究の時間」の実態調査（文献調査・ヒアリング調査・アンケート調査）を実施し、ツールやワークショップを用いた地域人材育成手法を検討する。

第四に、ツールやワークショップの実装・普及を目指して、区域施策編策定マニュアルと連動させたツール・ワークショップ活用マニュアルや、新学習指導要領に沿った正課（「総合的な学習／探究の時間」）で実施可能な中学校や高等学校用の教育プログラム、職員研修プログラムなどを開発する。

### 4. 結果及び考察

#### 4-1. 基礎自治体の気候変動戦略の調査およびツールの実装方法の検討

サブテーマ1・2で開発する低炭素化政策検討支援ツール（以下、支援ツール）の基礎自治体への実装方法について検討を行うため、2019年度は基礎自治体への地方公共団体実行計画（区域施策編）や適応計画、再生可能エネルギー計画策定への取り組みの意識・現状、計画策定や進捗管理における情報ニーズの調査を実施した。調査は、郵送法によるアンケート調査および現地での聞き取り調査で実施した。郵送法によるアンケート調査は、2019年11月に市町村および特別区の全1,741団体に発送し、1,391団体より回答を得た（回収率79.9%）。調査項目を表3-1に示す。なお、本調査結果は、栗島ほか(2022)<sup>1)</sup>にその詳細と分析・考察を掲載しているが、ここではその概要について述べる。

表3.1 基礎自治体アンケート調査の調査項目

|   |
|---|
| 温暖化対策の担当部署  |
| 実行計画（区域施策編）の策定の有無、策定無の理由                                      |
| 区域施策編策定にあたって考慮した自然的・社会的条件                                     |
| 区域施策編策定にあたってのコベネフィット検討の有無、検討無の理由、検討したコベネフィット                  |
| 区域施策編策定にあたって連携した部署・組織・ステークホルダー                                |
| 区域施策編策定にあたって参照した資料・情報・データ・マニュアル・ツール                           |
| 区域内の温室効果ガス排出量削減に関する中期目標、長期目標の設定状況、設定方法                        |
| 温室効果ガス削減のための具体的な施策の検討・実施の有無、検討無の理由、検討にあたって参照した資料・情報・データ・マニュアル |
| 基礎自治体の地球温暖化対策の担当者の立場から、貴自治体の地球温暖化対策に役立つと思われるツールの機能            |
| 再生可能エネルギーの担当部署  |
| 再生可能エネルギー導入推進計画の有無、導入を進めている再生可能エネルギー種                         |
| 再生可能エネルギー導入目標値設定の有無   |
| 公共施設への再生可能エネルギー導入の有無、導入を進めている再生可能エネルギー種                       |
| 再生可能エネルギー導入の設置補助・助成等の有無、実施している再生可能エネルギー種                      |
| その他、再生可能エネルギー導入にむけた施策   |

調査を実施した2020年1月末時点では、区域施策編の策定率は23.8%であり、約6割以上の自治体は策定の検討すらしていなかった。また、区域内の温室効果ガス削減のための具体的な施策についても、検討・実施している自治体は約4割であり、約6割の自治体が検討・実施をしていなかった。その直接的な理由

は、人員や財源、気候変動対策に関する専門的な知識の不足である（表3.2、表3.3）。自治体規模別に区域施策編の策定や温室効果ガス削減施策の実施、庁内の気候変動に関する部署について分析したところ、自治体規模が小さくなるにつれて計画策定・施策実施の割合は減少し、中規模以下の自治体では気候変動の専従部署、小規模以下の自治体では専従職員も配置できていないことがわかった。以上から、基礎自治体の脱炭素戦略を支援するマニュアルやツール、データベースの整備、とりわけ区域の自然的・社会的条件を踏まえた温室効果ガス削減につながる施策・技術・システムを検討するためのツールやデータベースの整備が必要であることが、示唆された。

表3.2 区域施策編を策定しない理由（複数回答可）

|                             | 団体数 | %     |
|-----------------------------|-----|-------|
| 中核市（旧特例市）未滿であり、策定義務がないため    | 605 | 71.0  |
| 策定のための人員配置が困難なため            | 491 | 57.6  |
| 庁内に温暖化対策に関する専門的な人材が不足しているため | 457 | 53.6  |
| 策定のための予算措置が困難なため            | 331 | 38.8  |
| （同規模の）他の自治体が策定していないため       | 187 | 21.9  |
| 庁内における温暖化対策の政策的優先順位が低い      | 163 | 19.1  |
| 温暖化問題・対策に関する住民の関心が低い        | 24  | 2.8   |
| 温暖化問題・対策に関する首長・議会の関心が低い     | 20  | 2.3   |
| 温暖化問題・対策に関する地元企業・事業所の関心が低い  | 19  | 2.2   |
| その他                         | 14  | 1.6   |
| 無回答                         | 0   | 0.0   |
| 計                           | 852 | 100.0 |

表3.3 温室効果ガス削減のための具体的な施策を検討・実施していない理由（複数回答可）

|                                   | 団体数 | %     |
|-----------------------------------|-----|-------|
| 実施のための人員配置が困難なため                  | 585 | 71.6  |
| 実施のための予算措置が困難なため                  | 408 | 49.9  |
| 施策実施による区域内の温室効果ガス削減量が明確でない        | 263 | 32.2  |
| 庁内における温暖化対策の政策的優先順位が低い            | 233 | 28.5  |
| 区域内の温室効果ガス削減につながる具体的な削減施策のアイデアがない | 187 | 22.9  |
| （同規模の）他の自治体が検討・実施していない            | 175 | 21.4  |
| 区域内に導入可能な削減施策が見当たらない              | 132 | 16.2  |
| 温暖化問題・対策に関する住民の関心が低い              | 37  | 4.5   |
| 温暖化問題・対策に関する首長・議会の関心が低い           | 29  | 3.5   |
| 温暖化問題・対策に関する地元企業・事業所の関心が低い        | 22  | 2.7   |
| その他                               | 28  | 3.4   |
| 無回答                               | 1   | 0.1   |
| 計                                 | 817 | 100.0 |

加えて、計画策定や施策実施が進まない間接的な理由としては、人口減少・超高齢化といった数多くの地域課題を抱える地域において気候変動対策の政策的優先度が必ずしも高くないことが挙げられた。こうした問題に対して、国や環境省は、気候変動と地域課題の同時解決を目指す「コベネフィット」を掲げているが、区域施策編の策定におけるコベネフィットの反映や検討状況について尋ねたところ、「具体的な施策として反映させた」39.7%、「検討したが、具体的な施策として反映させなかった」15.3%、「検討しなかった」42.9%という結果であった。また、実際に計画に反映されたコベネフィットについても、その多くが環境部署の業務内に留まっており、地域課題との同時解決を目指すものになっていなかった（表3-4）。気候変動対策を環境部署だけで検討するのではなく、庁内の他部署や庁外のステークホルダーと連携し、彼らも含めて計画策定や施策検討をすすめる必要がある。そのため、基礎自治体への支援ツールの実装にあたっては、そうした庁内の他部署や庁外のステークホルダーとの合意形成等に資するものであると同時に、次節で述べる行政・市民協働で脱炭素と地域課題の同時解決について検討するワークショップ手法の開発が有効であることが示唆された。

表3.4 計画に反映されたコベネフィットの内容（複数回答可）

|                                | 団体数 | %     |
|--------------------------------|-----|-------|
| 自然環境の保全                        | 101 | 67.3  |
| 温暖化以外の環境負荷（廃棄物、大気汚染、水質汚濁など）の低減 | 88  | 58.7  |
| 教育・学習の充実                       | 83  | 55.3  |
| 防災・減災・災害時対応                    | 71  | 47.3  |
| 地域経済の活性化                       | 64  | 42.7  |
| 社会活動の活性化                       | 36  | 24.0  |
| 持続可能な開発目標（SDGs）の促進             | 35  | 23.3  |
| 雇用の創出                          | 20  | 13.3  |
| 人口減少・過疎化への対応                   | 20  | 13.3  |
| 行財政コストの削減                      | 19  | 12.7  |
| 超高齢化への対応                       | 18  | 12.0  |
| その他                            | 14  | 9.3   |
| 無回答                            | 0   | 0.0   |
| 計                              | 150 | 100.0 |

表3.5 計画にコベネフィットを反映させなかった理由（複数回答可）

|  | 団体数 | %     |
|--|-----|-------|
| コベネフィットにつながる対策・施策についての知見や定量的なエビデンスが不足していた          | 110 | 50.0  |
| コベネフィットを検討する時間がなかった                                | 61  | 27.7  |
| コベネフィットにつながる対策・施策が想像できなかった                         | 58  | 26.4  |
| 計画策定にあたって、コベネフィットの検討に必要な庁内の他部署との連携が少なかった（ほとんどなかった） | 36  | 16.4  |
| コベネフィットを検討するの必要を感じなかった                             | 18  | 8.2   |
| その他  | 34  | 15.5  |
| 無回答  | 0   | 0.0   |
| 計  | 220 | 100.0 |

コベネフィットを具体的な施策として計画に反映させなかった理由として最も多かった回答は、「コベネフィットにつながる対策・施策についての知見や定量的なエビデンスが不足していた」であったこと（表3.5）から、温室効果ガスの排出に関わる情報だけでなく、コベネフィットな対策・施策に関わる情報や定量的データについても提供されることが望ましいことがわかった。

また、調査時点において2050年カーボンニュートラル表明自治体や気候非常事態宣言自治体では、必ずしも気候変動緩和策が進んでいるとは言えない一方で、環境未来都市・環境モデル都市・SDGs未来都市の自治体については、多くの自治体が気候変動緩和策の計画・施策の実進を進めていることがわかった（図3.1）。このことから、カーボンゼロ表明や気候非常事態を宣言しながらも十分に気候変動緩和策が進んでいない基礎自治体への支援ツールの普及が重要であることがわかった。

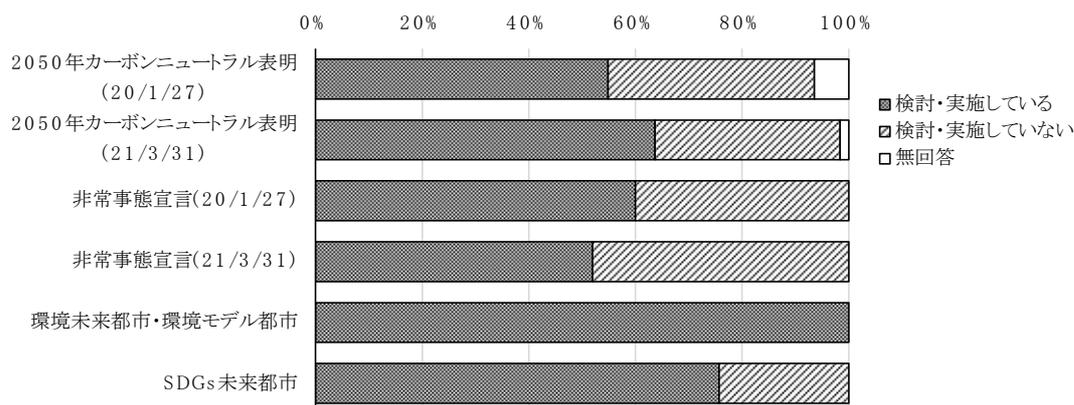


図3.1 温室効果ガス削減のための具体的な施策実施・検討に関する状況と2050年カーボンニュートラル表明、気候非常事態宣言、環境モデル都市等との関係

さらに、支援ツールに搭載してほしい機能を尋ねたところ、「将来人口・世帯数と連動した民生部門の温室効果ガス将来推計機能」、「地域特性を考慮した区域内に導入可能な施策の選択肢提示とその温室効果ガス削減効果・コスト推計」、「地域特性を考慮した区域内に導入可能な技術システムの選択肢提示とその温室効果ガス削減効果・コスト推計」、「教育・人材育成に使用可能な簡易的なコミュニケーションツール」が上位となった。

現地での聞き取り調査は、佐賀県佐賀市（18年度に区域施策編・適応計画を策定）、熊本県熊本市・菊池市を対象に実施した。特に熊本市・菊池市は、熊本連携中枢都市圏として、広域連携で区域施策編の策定や2050年二酸化炭素排出実質ゼロ（以下、カーボンゼロ）を表明している。聞き取り調査からは、アンケート調査結果と同様、温室効果ガス排出量を推計するためのエネルギー消費量の把握が困難であること、広域策定であっても気候変動に関する専門部署や専門的知見は必要であること、そのため中小規模自治体のみでの広域連携ではなくそうした専門部署・職員のいる自治体を中心とした連携を検討する必要があることなどが知見として得られた。これに加えて、名古屋大学の杉山範子氏に欧米の自治体の気候変動対策についてのヒアリングを行ったうえで、Climate Alliance等に照会し、国外の先進的な自治体を対象に、地域レベルの気候変動対策に関する聞き取り調査を進める予定であったが、新型コロナウイルス感染症の拡大とそれに伴う渡航禁止のため、何度か延期は行ったものの、研究期間中に実施することはついにできなかった。

これらの基礎自治体への調査結果は、サブテーマ1.2にフィードバックされ、支援ツールおよびデータベース開発方針に反映された。

2021年9月に支援ツール（＝カーボンニュートラルシミュレータ）が公開されたことを受け、2021年度にも、長野県、北海道札幌市、京都府京都市、山形県西置賜郡飯豊町、鹿児島県西之表市、千葉県白井市に聞き取り調査を実施した。公開された支援ツールに対する主な意見を以下に示す。

- ・ 市民や庁内の環境関連部署以外との対話は必要であり、ツールの有効性は高い。
- ・ 区域施策編を策定していない自治体は、「何をどうしたらよいか」が十分わかっていないため、データに基づいた本ツールは有効。
- ・ 京都市や札幌市、長野県など先進自治体の担当職員にとっては、このツールは「ものたりない」し、これだけでは計画は作れない。
- ・ 地域連携や2050年に至るロードマップ・マイルストーンが検討できるとよい。
- ・ ツール内で住宅用太陽光などを省エネで扱うのは疑問がある。
- ・ 地域によってZEHやZEBもやりやすさが違う。
- ・ ツールの使い方マニュアル・操作動画などがあるとよい。
- ・ 中高生への気候変動教育へのツールの使用は興味深い。

先の基礎自治体へのアンケート・聞き取り調査の結果および、カーボンニュートラルシミュレーターに対する自治体への聞き取り調査での意見を踏まえつつ、基礎自治体での支援ツールの実装方法を検討した結果、

- ・ 区域施策編を策定していない自治体における地域脱炭素の道すじの把握
  - ・ 市民や庁内の環境関連部署以外との対話やワークショップにおけるコミュニケーションツール
  - ・ 中学・高等学校での気候変動教育での地域脱炭素の理解
- という3つの実装方法が有効であるとの結論に至った。

#### 4-2. 脱炭素と地域課題の同時解決について検討する将来世代ワークショップの手法構築

前節での基礎自治体調査で明らかになったように、区域施策編等でのコベネフィットに関する検討はほとんど進んでいない。また、前節で検討した支援ツールの実装方法として、市民や庁内の環境関連部署以外との対話やワークショップにおけるコミュニケーションツールとしての実装が有効であることがわかった。そこで、支援ツールを用いて、脱炭素の課題と人口減少などに伴う地域の持続可能性に関する課題の同時解決（コベネフィット）について検討する将来世代ワークショップ（以下、脱炭素・未来ワークショップ）の手法構築を行った。脱炭素・未来ワークショップは、自治体での部局横断的な研修や実際の脱炭素戦略の検討プロセス、地域の市民参加プロセスにおいて実施するほか、次節で述べる中学校や高等学校用の教育プログラムに組み込むことを想定した。表3.6に本研究で実施した脱炭素・未来ワークショップを示す。

表3.6 本研究で実施した脱炭素・未来ワークショップ（将来世代ワークショップ）

| 実施日                  | 実施自治体         | 対象      | 人数  | 方法     | 支援ツールの使用 |
|----------------------|---------------|---------|-----|--------|----------|
| 2019年8月20日           | 鹿児島県西之表市      | 中学生、高校生 | 47  | 対面     | 無        |
| 2019年10月15日          | 鹿児島県西之表市      | 市職員     | 12  | 対面     | 無        |
| 2020年8月19日           | 鹿児島県西之表市      | 中学生、高校生 | 51  | ハイブリッド | 有（改良前）   |
| 2021年1月27日           | 千葉県白井市        | 市職員     | 16  | オンライン  | 有（改良前）   |
| 2021年2月22日           | 和歌山県          | 大学生     | 8   | オンライン  | 有（改良前）   |
| 2021年2月24日、3月8日      | 鹿児島県西之表市      | 市職員、市民  | 13  | ハイブリッド | 有（改良前）   |
| 2021年3月8日            | 山形県置賜地域       | 高校生     | 29  | ハイブリッド | 有（改良後）   |
| 2021年4月17、18、25日     | 千葉県白井市        | 市民      | 60  | 対面     | 有（改良後）   |
| 2021年4月30日           | 東京都葛飾区        | 中学生     | 100 | 対面     | 有（改良後）   |
| 2021年6月21日           | 千葉県白井市        | 中学生     | 108 | 対面     | 有（改良後）   |
| 2021年6月29日、7月6日      | 鹿児島県西之表市      | 高校生     | 39  | ハイブリッド | 有（改良後）   |
| 2021年7月1、8日          | 鹿児島県西之表市      | 中学生     | 133 | ハイブリッド | 有（改良後）   |
| 2021年8月3日            | 鹿児島県中種子町・南種子町 | 中学生、高校生 | 32  | ハイブリッド | 有（改良後）   |
| 2021年12月7日、2022年1月7日 | 山形県置賜地域       | 高校生     | 44  | ハイブリッド | 有（改良後）   |
| 2022年2月22日           | 高知県室戸市        | 高校生     | 47  | オンライン  | 有（改良後）   |

2019年度は、支援ツールがまだ完成していなかったため、気候変動リスクに関する情報提供を行ったうえで、2000～2015年の各種統計データの傾向を踏まえて2050年の人口減少や各種資本基盤の状況を予測した「未来カルテ」を用いてプロトタイプのワークショップを、2019年8月に鹿児島県西之表市の中高生を、10月に西之表市職員を対象にして実施した。なお、気候変動リスクに関する情報提供については、中高生には、ワークショップの約2か月前に気候変動に関する50分の事前授業を、市職員にはワークショップの直前に50分の気候変動に関する講演を行った。市職員ワークショップでは、最初は気候変動対策と地域課題解決とがなかなか結び付かなかったが、エネルギー・観光・交通の課題をつなげる地域通貨の利用であったり、出力抑制によって使われない太陽光発電の電力利用を利用した通学用電気スクーターなどの同時解決のアイデアが次第に出るようになった。一方、中高生・職員ともに事前授業や講演だけでは、具体的な気候変動対策について十分に検討できず、それらを体験できる支援ツールの活用が必要であった。

2020年度は、新型コロナウイルスの感染拡大により、ワークショップのように多くの人々が議論を交わしたり、模造紙などを使ったグループワークを実施することが難しくなった。また、緊急事態宣言等の発出や都道府県境をまたいだ移動の自粛により、現地での対面でのワークショップ実施が極めて難しい状況となった。そのような中で、2020年8月には鹿児島県西之表市の中高生に、2021年2～3月には鹿児島県西之表市の市職員・住民、2021年3月には山形県置賜地域の高校生を対象に、遠隔地からのオンライン（zoomやteams）によるレクチャーやファシリテーションと、現地での限られた参加者での対面によるグループワークとを組み合わせたハイブリッド型のワークショップを実施し、その手法を確立した。また、2021年1月には千葉県白井市の市職員、2021年2月には和歌山県の大学生を対象に、グループワークについてもオンラインホワイトボード(Miro)で実施する完全オンライン型のワークショップを実施し、その手法を確立した。また、これらのワークショップでは、開発中であった支援ツールを使用した。2020年8月の西之表市中高生、2021年2～3月の西之表市職員・住民、2021年2月和歌山県大学生や千葉県白井市職員のワークショップではインターフェイス改良前のバージョンの支援ツールを使用した。 「操作が難しい」「何を入力すればよいかわかりづらい」「内容の理解が困難」との回答が寄せられた。それらの意見を参考にしながら、操作性やわかりやすさを重点に置いた暫定的なインターフェイスの改良を行った。その結果、2021年3月の山形県置賜地域高校生のワークショップでは、「脱炭素に向けたイメージがつかみやすい」「結果が視覚的に分かりやすく、かつ数字で示されるのでリアリティがある」「脱炭素と地域課題解決のコベネフィットについて考えられた」などの好意的な評価を得られた。これを踏まえ、暫定的なインターフェイスを改良した最終的なインターフェイスがサブテーマ1で開発された。

2021年度も新型コロナウイルス感染症の影響は残っていたが、2021年4月には、環境基本計画および地方公共団体地球温暖化対策実行計画の策定にあたって市職員・住民協働の対面のワークショップが実施できた。このワークショップには市議会議員を含めて延べ60人の市民がこれに参加した。ワークショップでは、前年度末にインターフェイスの改良を行った支援ツールのプロトタイプを使用した。参加者のアンケートでは、96.1%が「気候変動が市に与える影響について理解できた」、81.1%が「支援ツールで

脱炭素に向けた道すじがより深く理解できた」と回答し、気候変動に関する計画策定時の合意形成等における支援ツールを用いたワークショップ手法の有効性が示された。また同じく2021年4月には、東京都葛飾区の中学生、2021年6月には千葉県白井市の中学生を対象に対面型の脱炭素・未来ワークショップを実施し、支援ツールも使用した。その後、新型コロナウイルス感染症の状況が悪化したため、2021年には鹿児島県西之表市の中高生、2021年8月には鹿児島県中種子町・南種子町の中高生、2021年12月には山形県置賜地域の高校生を対象としてハイブリッド型で、2022年2月には高知県室戸市の高校生を対象としてオンライン型で脱炭素・未来ワークショップを実施した。

2020年度末～2021年度の一連の脱炭素・未来ワークショップを通じて、支援ツールを用いた脱炭素と地域課題の同時解決について検討する将来世代ワークショップの手法構築が進み、手法そのものだけでなく、普及拡大にむけたファシリテータ養成プログラムなども同時に開発された。表3.7に構築したワークショップの手順を示す。

表3.7 脱炭素・未来ワークショップ（将来世代ワークショップ）の手順

| 項目            | 内容                            | 時間     |
|---------------|-------------------------------|--------|
| 計画の説明         | 環境基本計画や地方公共団体実行計画の説明          | 20分    |
| 未来の〇〇地域       | 「未来カルテ2050」の説明                | 20～50分 |
| 気候変動と〇〇地域     | 気候変動のしくみと地域への影響、緩和策・適応策の説明    | 20～40分 |
| CNSによる脱炭素検討   | 支援ツール（CNS）を使用した地域脱炭素の検討       | 20～40分 |
| 2050年の課題抽出    | KJ法による2050年の課題（地域課題・気候変動等）の抽出 | 20～30分 |
| グループ間の課題レベル調整 | 他グループの抽出した課題とのレベル合わせ          | 5～10分  |
| 課題解決のための政策検討  | KJ法による課題解決のための政策検討            | 30～40分 |
| グループ間の評価      | 他グループの提言を評価                   | 10～20分 |
| 首長等への政策提言     | グループごとに首長に提言                  | 10～50分 |

#### 4-3. ツールやワークショップを用いた地域人材育成手法の開発

地域レベルの気候変動対策を進めるには、環境部署以外の自治体職員や多くの市民・事業者の理解が必要不可欠であるため、支援ツールの社会実装先として学校教育等の地域人材育成の場を想定した。特に、単なる気候変動教育における支援ツールの活用方法ではなく、新学習指導要領に準拠し、将来世代ワークショップと気候変動教育を織り込んだ「総合的な学習／探究の時間」の単元そのもの（指導案、授業計画、教材、評価方法等）の開発を行うことで、これからの気候変動対策を担う生徒の気候変動リテラシーの向上と支援ツールの社会実装を目指した。そのために、学校教育の正課での運用を目指した学校向けの脱炭素化・教育プログラムの開発と、教育現場での生徒に対する教育実践を行った。

気候変動や脱炭素を含んだ教育は、世界的にも取り組まれてきたESD（Education for Sustainable Development）の一環として学校教育で実施されているため、まず日本全国の中学校、高等学校を対象としたESDの実施状況についてのアンケート調査を実施した。調査は2020年9月下旬～10月下旬にかけて全国の国公私立の中学校、高等学校15,294校から9,000校をランダムサンプリングで抽出し、郵送で調査票を送付した。有効回答数は2,456校、回収率は27.3%であった。回答校の内訳は、中学校1,395校（公立1309校、国立12校、私立44校、その他4校）、義務教育学校17校（公立16校、国立1校）、高等学校888校（公立715校、国立1校、私立163校）、中等教育学校13校（公立7校、国立1校、私立5校）、その他111校（公立20校、私立91校）、無回答32校となっている。アンケート調査票は次の2部構成とした。第1部は学校全体でのESDの取組状況についての調査票であり、学校全体の教育活動を把握している管理職（校長、副校長、教頭）に回答を依頼した。第2部は教員によるESDの取組状況についての調査票であり、ESD担当教員、または教科教育を担当している教員に回答を依頼する形式で調査を実施した。質問内容としては、①ESDの認知度と取組状況はどのようになっているのか、②教科指導におけるESDの実施状況と教員の負担、不安はどの程度か、③ESDに関する研修の状況はどのようになっているのか、の3つの観点から、現在の日本のESDの現状と課題について明らかにした。本調査結果は、谷田川・栗島(2022)<sup>2)</sup>にその詳細と分析・考察を掲載しているが、ここでは調査結果の概要を述べる。

まず、学校調査の結果であるが、全国の中学校、高等学校におけるESDの取り組み状況としては、「とても取り組んでいる」が5.5%、「少し取り組んでいる」が38.5%、「あまり取り組んでいない」が30.9%、

「まったく取り組んでいない」が23.8%となっている。ESDに積極的に取り組んでいる学校は5.5%にとどまっており、一方で「まったく取り組んでいない」学校は23.8%と全体の4分の1近くとなっていることから、日本の学校教育におけるESDの浸透状況はまだ十分とはいえない状況であった。

ESDに取り組んでいると回答した1,841校の学校にESDの取組内容について聞いたところ、「総合的な学習の時間で取り組んでいる」「教科教育で取り組んでいる」と回答した割合が多く、正課に取り入れられていた(表3-8)。一方、教科横断的なカリキュラムを実施している学校は5.0%に過ぎなかった。ESDで取り組んでいるテーマとしては、最も実施している割合が高かったのは「国際理解」、次いで「減災・防災」「気候変動(地球温暖化)」「資源・エネルギー」「働き方・キャリアの順となっており、国際理解と環境に関するテーマが多く取り上げられていた(表3.9)。

表3.8 ESDの取組内容 (N=1841 複数回答)

| ESDの取組状況                    | (%)  |
|-----------------------------|------|
| 総合的な学習/探究の時間で取り組んでいる        | 65.3 |
| 教科教育で取り組んでいる                | 63.9 |
| 正課外(特別活動を含む)で取り組んでいる        | 22.2 |
| 学校教育目標や学校経営方針にESDを位置付けている   | 14.8 |
| 学校内にESDの担当を置いている            | 9.6  |
| 学校外のESDに関する教員研修に参加している      | 6.7  |
| 学校内でESDに関する教員研修を実施している      | 5.6  |
| ESDに関する横断的なカリキュラムに取り組んでいる   | 5.0  |
| ESD活動支援センターや大学・企業などと連携している  | 3.4  |
| ESDカレンダーもしくはそれに準じるものを作成している | 1.8  |
| その他                         | 5.4  |
| 無回答                         | 0.9  |

表3.9 ESDで取り組んでいるテーマ (N=1841 複数回答)

| ESDで取り組んでいるテーマ | (%)  |
|----------------|------|
| 国際理解           | 43.1 |
| 減災・防災          | 42.8 |
| 気候変動(地球温暖化)    | 41.7 |
| 資源・エネルギー       | 40.8 |
| 働き方・キャリア       | 40.8 |
| 健康・福祉          | 38.6 |
| 平和教育           | 34.3 |
| 持続可能な地域        | 30.9 |
| 水・食糧           | 28.6 |
| 持続可能な生産・消費     | 27.6 |
| ジェンダー          | 26.5 |
| 生物多様性・自然資本     | 25.8 |
| コミュニティ         | 25.0 |
| 格差・平等          | 24.0 |
| 貧困             | 22.2 |
| 世界遺産・地域の文化財等   | 21.3 |
| 文化的多様性         | 19.7 |
| 技術革新           | 12.9 |
| その他            | 3.0  |
| 無回答            | 1.6  |

続いて、教員調査の結果を示す。ESDの認知度については、「内容をよく知っている」が9.7%、「内容を少し知っている」が47.8%、「言葉だけは聞いたことがある」24.5%、「聞いたことがない」が15.4%との回答が得られた。回答者全体の半数近くがESDの内容をよく知らないと回答しており、教員のESDの認知度は高いとはいえない。これを教育重点指定校別に見てみると、「ESD重点指定校」では、半数以上の教員がESDの内容を「よく知っている」と回答しているのに対し、教育重点校に指定されていない学校の教員では、「よく知っている」と回答しているのは8.4%にとどまっていた。「ESD重点指定校」などにおける教員の認知度が高いのは当然のことではあるが、日本における大半の学校は教育重点指定校に指定されていないことを考えると、教育重点指定校ではない学校の教員において、ESDの認知度が低いことは大きな課題であるといえる。

授業を行う際にESDを意識しているかどうかを担当教科別に見てみると、「とても意識している」の割合が高いのは「美術」、「英語」、「社会」、「情報」の順となり、「やや意識している」を加えると、「家庭科」、「技術」の担当教員もESDを意識して授業をしていると回答している割合は高かった(図3.2)。いわゆる主要教科(「国語」、「数学」、「理科」、「社会」、「英語」)以外の教科において、

ESDを意識した授業が展開されていることが見て取れる。一方、ESDを意識していない割合が高い教科では、「数学」や「体育」が挙げられた。ESDが射程にしている内容には、体育で扱うような健康や食事の内容も含まれているし、エネルギーや科学技術、環境など、数学的な視点からアプローチすることができる内容もある。こうした内容を広く教員に周知していく機会が必要であると考えられる。

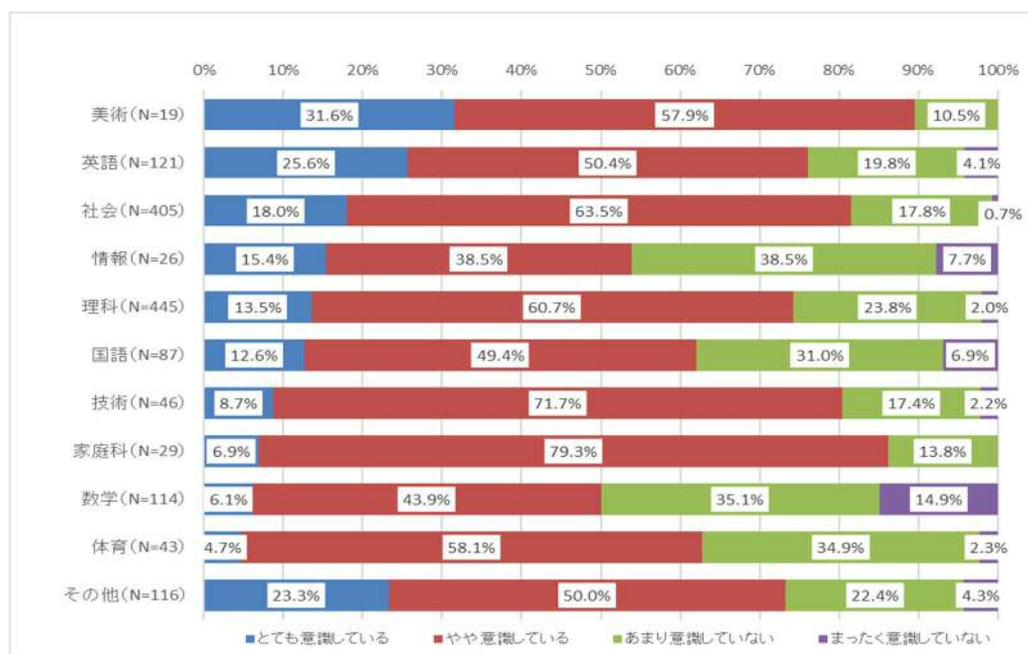


図3.2 担当教科別 授業内におけるESDの実施状況

ESDを授業に取り入れる際に最も困っていることとしては「評価が難しい」が40.4%、次いで「自分自身のESDに充てる学習時間が確保できない」が37.5%、「単元によってESDとの結び付け方がわからない」が31.5%となっていた(表3.10)。その他にも「ESDを取り入れることで教科書の内容がすべて終わるか不安」「ESDの取り入れ方が合っているか不安」などが挙げられていた。一方、ESDを授業に取り入れる際に困っていることが「特にない」と回答している割合は15.2%にとどまっており、多くの教員は、ESDを授業に取り入れるにあたって、何らかの困難を感じていることがうかがわれる。ESDを学校教育に根差すものにするためには、こうした教員の悩みごとをどう解消していくかが重要となる。

表3.10 ESDを授業に取り入れる際の困りごと、悩みごと (N=1305 複数回答)

| ESDを授業に取り入れる際の困りごと・悩み        | (%)  |
|------------------------------|------|
| 評価が難しい                       | 40.4 |
| 自分自身のESDに充てる学習時間が確保できない      | 37.5 |
| 単元によってESDとの結び付け方がわからない       | 31.5 |
| ESDを取り入れることで教科書の内容がすべて終わるか不安 | 24.1 |
| ESDの取り入れ方が合っているか不安           | 24.0 |
| 受験に専念した授業にするべきかわからない         | 12.5 |
| 特にない                         | 15.2 |
| その他                          | 2.7  |
| 無回答                          | 0.5  |

教科の授業を行う際にESDを「全く意識していない」と回答した人に対して、「ESDを授業に取り入れられない理由」を聞いたところ、最も多かったのが「SDGsやESDに対する自分の見識が浅いと感じているから」が52.4%、次いで「具体的な授業展開が分からないから」が45.2%となっており、ESDの内容と授業での使い方を教員向けに分かりやすく伝える工夫が必要であると考えられた。また、「自分自身のESDに充てる学習時間が確保できないから」が35.7%、「授業内でESDを展開する時間的余裕がないから」が33.3%となっており、教員としての授業準備の時間の確保と授業内における時間的余裕のなさがESDを授業に取り入れる際の障壁となっていることが伺われた。

表3.11 ESDを授業に取り入れない理由 (N=42)

| ESDを授業に取り入れない理由               | (%)  |
|-------------------------------|------|
| SDGsやESD に対する自分の見識が浅いと感じているから | 52.4 |
| 具体的な授業展開が分からないから              | 45.2 |
| 自分自身のESD に充てる学習時間が確保できないから    | 35.7 |
| 授業を展開する上で、ESD を行う時間的な余裕がないから  | 33.3 |
| ESD の効果がわかりにくいから              | 9.5  |
| その他                           | 2.4  |

これらのESDアンケート調査の結果をもとにして、ひとまずは「総合的な学習/探究の時間」を活用することを前提とし、多忙な学校教員の負担にならないような配慮をしつつ、研究者としての観点から専門的な知識を提供し、教育方法としては、学校教員のプロフェッショナルに任せることができることを優先した教育プログラムの開発を行った。開発した教育プログラムは、鹿児島県立種子島高等学校と西之表市立種子島中学校、山形県米沢市の私立九里学園高等学校の協力のもと、学校教育の正課の一部として、「総合的な学習/探究の時間」で実施した。

2019年度は、作成した脱炭素化・学校教育プログラムの試作版を作成し、その一部を種子島中学校および種子島高等学校で実施した。具体的には、2019年7月にワークショップの事前授業として中学校において「持続可能な社会とバックキャスティング」、高校において「種子島と地球温暖化」を、7～8月にかけての高校生が地域の調べ学習、8月に中高合同のワークショップ、1月にワークショップの事後授業として高校において政策提案と振り返りを実施した。その後、2020年3月に市主催のシンポジウムにおいて高校生による成果発表会を実施する予定であったが、新型コロナウイルス感染症の影響で中止となった。

2020年度は、種子島中学校でも事前授業に加えて事後授業「未来を変える仕組みを考えよう」を実施し、11月の学習発表会で本プログラムの成果発表を行った。種子島高校では、2019年度と同様に事前授業、事後授業を実施、2019年度にコロナ禍で中止となった成果発表会も開催された。加えて、「自分の進学希望の専門分野からみて、持続可能な種子島のために何ができるか」というテーマのレポートを実施した。なお2020年度は、新型コロナウイルスの影響で、8月の中高合同のワークショップはオンライン（大学・レクチャー側）と対面（生徒、ファシリテーター）のハイブリッド形式で実施、事前授業、事後授業は、中高と大学を結んだオンラインにて実施した。

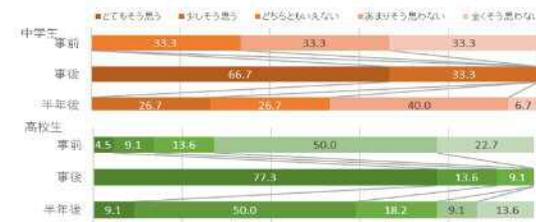
2021年度より、種子島中学・種子島高校ともに1年生から3年生までで学ぶ学校教育プログラムの完成版を実施した。それに伴い、これまで8月に実施していた中高合同のワークショップとは別に、学校単位でのワークショップを授業内で実施するカリキュラムに移行した。これまでのワークショップには一部の生徒のみしか参加できなかったが、これによって生徒全員がワークショップを経験することが可能となった。これら学校教育プログラムは、新型コロナウイルスの感染拡大状況を見ながら、オンライン、ハイブリッド、対面を組み合わせ実施した。また2021年度は、山形県米沢市の私立九里学園高等学校において、「総合的な探究の時間」を活用して、地球温暖化と脱炭素、エネルギーなどを中心とした教育プログラムを実施した。事前授業、ワークショップ、事後授業のほか、2月の成果発表会での政策提言のプレゼンテーションに向けたグループワークなどを実施した（一部オンラインにて実施）。

これらの教育効果の測定のため、2019年度より、生徒に対して事前アンケート調査（7月事前授業前）、事後アンケート調査（8月未来ワークショップ後）、定着アンケート調査（3月）の3時点の調査を実施した。アンケート調査では、教育プログラム実施による地域課題および温暖化、持続可能性に関するリテラシー（知識）の定着、地域や地球環境に対する意識・行動の変容について、事前、事後、半年後で比較可能な23項目で測定している。本研究開始前の2018年度を含む3年間に及ぶ調査の結果の一部を図3.3に示した。なお、2021年度分は、2022年3月末に半年後調査を実施したばかりのため、現在集計中である。

Q 西之表市のエネルギーについて知っている

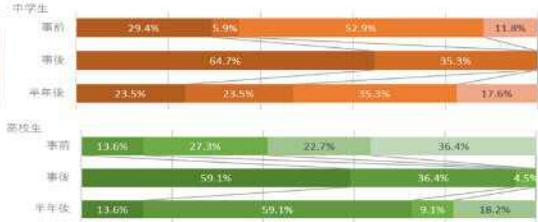
●2018年度

西之表市のエネルギーの現状について知っている／よく理解できた



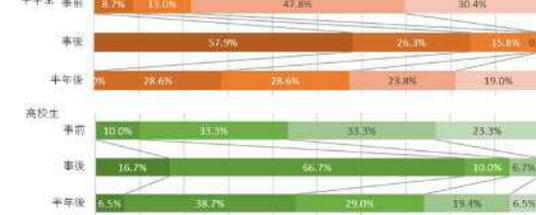
●2019年度

西之表市のエネルギーの現状について知っている／よく理解できた



●2020年度

西之表市のエネルギーの現状について知っている／よく理解できた



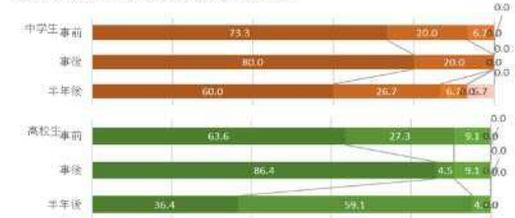
・「エネルギー」については、中高生にとって取っつきづらい項目のようで、事後アンケートの上がり具合も他の項目よりも低い傾向がある

➡「知識・技能」については、事前授業、WSでのレクチャー、事後授業、その後の発表活動を通して、定着に結びつくような工夫が必要

Q 未来の種子島や西之表市を自分たちの手でよくしていきたい

●2018年度

未来の種子島や西之表市を自分たちの手でよくしていきたいと思う



●2019年度

未来の種子島や西之表市を自分たちの手でよくしていきたいと思う



●2020年度

未来の種子島や西之表市を自分たちの手でよくしていきたいと思う



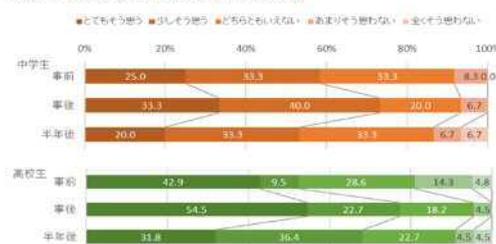
・自ら地域の公的な活動に参画する意欲である「主権者意識」は、WS後に大きく伸び、半年後に下がる傾向がある

➡ 中高生であっても、持続可能な地域社会のためにできることがあるという主体的な意識を育てる必要性(なかなか自分事にならない…)

Q 将来は種子島のためになる仕事や活動をやりたいと思っている

●2018年度

将来は種子島のためになる仕事や活動をやりたいと思っている



●2019年度

将来は種子島のためになる仕事や活動をやりたいと思っている



●2020年度

将来は種子島のためになる仕事や活動をやりたいと思っている



・2018、2019年度はWS後に上がり、半年後に下がるという傾向がみられていたが、2020年度には半年後に向けて伸びがみられている(特に中学校)

➡ 中学校では当プログラムと並行して、キャリア教育の取り組みに力を入れていたため、相乗効果の可能性あり

※2018年度参加者が種子島を離れて進学した後、故郷に貢献する学生団体を立ち上げている

図3.3 種子島中学校、高等学校における教育プログラムの効果測定 (2019、2020、2021年度)

本研究が始まる前の2018年度においては、単発のワークショップのみの開催であり、教育効果は一時的、限定的であった。しかし、学校教育の正課として試行、本格実施と移行した2019年度、2020年度に

においては、ワークショップから半年後の定着が改善していることが見て取れる。このことから、本プロジェクトで目指した継続的に学校教育の正課のプログラムに入れることの意義は大きかったものと思われる。

学校教育プログラムに入れてもなお、ワークショップ実施の半年後には、特にリテラシーにおいては一定の低下がみられる状況である。「思考・判断・表現」「学習意欲」「地域貢献意識」といったコンピテンシーについては育成と定着がうまくいっているが、エネルギーなどの「知識・技能」といったリテラシーについては、WS直後の伸びがなかなか定着しない傾向がみられる。持続可能な社会のための人材育成としては、気候変動や脱炭素に至る道筋についての正しい知識を持つことも重要である。そのため、今回開発した当教育プログラムの内容を教科教育の中で実施できるような工夫も今後は必要であると考えられる。

#### 4-4. ツール・ワークショップの実装・普及啓発を目指したマニュアル等の開発・普及

前節までに述べた成果を踏まえ、支援ツール・ワークショップの実装・普及啓発を目指した以下のマニュアル等の開発と普及を行った。

基礎自治体における地方公共団体実行計画（区域施策編）策定マニュアルと連動させたカーボンニュートラルシミュレーター（支援ツール）と脱炭素・未来ワークショップ（将来世代）活用マニュアルを作成し、「地域脱炭素政策検討支援ツール使用マニュアル」に盛り込んだ。「地域脱炭素政策検討支援ツール使用マニュアル」は、全国の基礎自治体（市町村および特別区）の全1,741団体に送付した（サブテーマ1の記述参照）。

また、完成した新学習指導要領に沿った正課（「総合的な学習／探究の時間」）で実施可能な中学校や高等学校用の地域人材育成プログラム（探究教育プログラム）の紹介冊子（図3.4）<sup>3)</sup>を作成し、全国の基礎自治体（市町村および特別区）および都道府県の教育委員会（1,788団体）、4-3で実施したESD全国アンケートの回答校（2,451校）、ヒアリング調査等での研究協力者等に送付した。また、開発した教材や指導案等についてもwebサイト<sup>4)</sup>を立ち上げ、公開を行っている（順次更新中）。



図3.4 作成した地域人材育成プログラムの紹介冊子

## 5. 研究目標の達成状況

基礎自治体の気候変動戦略の調査および支援ツールの実装方法の検討においては、全国の基礎自治体へのアンケート調査や聞き取り調査によって、基礎自治体の気候変動対策の現状や課題、地域脱炭素における情報ニーズを明らかにし、これをサブテーマ1・2の支援ツール開発に反映させた。また、開発さ

れた支援ツール（カーボンニュートラルシミュレータ）に関する自治体への聞き取り調査を行い、ツールの実装方法の検討を行った。新型コロナウイルス感染症の拡大により、国外事例の収集はできなかったが、研究目標はほぼ達成されたと考えている。

脱炭素と地域課題の同時解決について検討する将来世代ワークショップの手法構築においては、2019年度末から新型コロナウイルス感染症の感染拡大という障害はあったものの、そのことが対面とオンラインを組み合わせたハイブリッド型や、オンラインホワイトボードを利用するオンライン型でのワークショップ実施手法の開発につながった。これにより気候変動に関する知見や人員が不足しがちの基礎自治体であっても、外部の有識者とオンラインでつながりながらワークショップを実施できることとなった。コロナ禍にも関わらず15回の脱炭素・未来ワークショップを開催し、ワークショップ手法の構築だけでなく、支援ツールの開発にも寄与できたという点で、研究目標を上回ったと考えている。

支援ツールや脱炭素・未来ワークショップを用いた地域人材育成手法の開発については、まず国内の優良事例の収集に加えて、全国の中学校・高等学校に対する気候変動教育・ESDアンケートを実施した。これらの結果は非常に貴重なデータであり、気候変動教育やESDを進めている有識者や団体から高い評価を受けている。またコロナ禍にも関わらず、オンライン授業等を駆使しながら、複数の中学校・高等学校での実証を進め、正課である「総合的な学習／探究の時間」において地域人材育成プログラム（探究学習プログラム）を開発することができた。開発したプログラムを含む鹿児島県西之表市の西之表市立種子島中学校が、キャリア教育の文部科学大臣表彰を受けたり、プログラムをきっかけに高校卒業後に地域に貢献する学生団体を立ち上げる大学生が生まれるなど、開発した地域人材育成プログラムは大きな成果をあげているほか、推進費終了後も多くの学校から実施の問い合わせもある。このことから、研究目標を大きく上回ったと考えている。

以上総合すると、サブテーマ3としては、当初の研究目標を上回る成果を得たと考える。

## 6. 引用文献

- 1) 栗島英明，谷田川ルミ，倉阪秀史：公共研究、18(1)、60-80（2022）、気候変動緩和策に関する基礎自治体の現状と課題.
- 2) 谷田川ルミ，栗島英明：公共研究、18(1)、81-99（2022）、学校教育におけるESDの実施状況と教員の意識—中学校、高等学校に対する全国調査の結果から.
- 3) 「未来とつながる授業—バックキャスト思考を柱とした探究学習プログラム」  
[http://kurigeo.sakura.ne.jp/edu\\_material/mirai/mirai\\_pamphlet.pdf](http://kurigeo.sakura.ne.jp/edu_material/mirai/mirai_pamphlet.pdf)
- 4) 「芝浦工業大学地域人材育成・キャリア教育ラボ」<https://sit-kurumi-lab.org/>

### Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

#### (1) 誌上発表

##### <査読付き論文>

##### 【サブテーマ1】

- 1) Hidefumi Kurasaka(2019) “Notion of capital bases: What lessons are learned about ecological economics from Japan’s experience as a population declining society?” David Barkin Rappaport, D.B., aciel Carrillo González, G.C.eds. Ecological Economics and Social-Ecological Movements. Science, policy and challenges to global processes in a troubled world, Universidad Autónoma Metropolitana, pp.57-70
- 2) 倉阪秀史：地球環境 24 (2) 111-117 (2019) 「資本基盤のケア労働と人口減少社会の持続可能性」
- 3) 宮崎文彦：地球環境 24 (2) 119-126 (2019) 「未来の市長になって政策提言を考える「未来ワークショップ」の熟議の場の形成効果と課題」
- 4) 李想：地球環境 24 (2) 179-184 (2019) 「食料生産と農業のサステナビリティ」
- 5) 岡山咲子、倉阪秀史：地球環境 24 (2) 185-194 (2019) 「持続可能な地域の実現に必要なケア労働量：人口減少社会における持続可能な地域を目指して」

##### 【サブテーマ2】

- 1) Yasunori Kikuchi, Miwa Nakai, Yuichiro Kanematsu, Kazutake Oosawa, Tatsuya Okubo, Yuko Oshita, Yasuhiro Fukushima, Sustainability Science, 15, (2020), Application of technology assessments into co-learning for regional transformation: A case study of biomass energy systems in Tanegashima (IF:6.4)
- 2) Ayumi Yamaki, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi, Energy, 205, 118056 (2020), Lifecycle greenhouse gas emissions of thermal energy storage implemented in a paper mill for wind energy utilization (IF:7.1)
- 3) Narihisa Sako, Michihisa Koyama, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi, Journal of Cleaner Production 298, 126809 (2021), Techno-economic and life cycle analyses of battery-assisted hydrogen production systems from photovoltaic power (IF:9.2)
- 4) 藤井 祥万, 宮川 大河, 中垣 隆雄, 兼松 祐一郎, 菊池 康紀, 濱田 洋輔, 化学工学論文集, 47 (6) 191-199, (2021), 製糖工場の未利用エネルギーを蓄熱する向流接触式ヒートチャージャーのベンチスケール実証試験と設計
- 5) Teruyuki Shimizu, Yasunori Kikuchi, Journal of Cleaner Production, 318. 128461 (2021), Regional suitability for energy carriers in Japan considering socioeconomic conditions and environmental performance (IF:9.2)
- 6) Disni Gamaralalage, Yuichiro Kanematsu, Denny K. S. Ng, Steve Z. Y. Foong, Viknesh Andiappan, Dominic C. Y. Foo, Yasunori Kikuchi, Waste and Biomass Valorization, 13, 2717-2733 (2022), Life cycle assessment of international biomass utilization: A case study of Malaysian palm kernel shells for biomass power generation in Japan (IF:3.7)
- 7) S.Fujii, Y. Kanematsu, Y. Kikuchi, T. Nakagaki, Journal of Energy Storage (2022), Effect of bagasse drying on thermal energy storage utilizing zeolite water vapor ad/desorption at a sugar mill (in press) (IF:6.5)

##### 【サブテーマ3】

- 1) 栗島英明, 谷田川ルミ, 倉阪秀史: 公共研究, 18(1), 60-80 (2022)、気候変動緩和策に関する基礎自治体の現状と課題.
- 2) 谷田川ルミ, 栗島英明: 公共研究, 18(1), 81-99 (2022)、学校教育におけるESD の実施状況と教員の意識—中学校、高等学校に対する全国調査の結果から.
- 3) 栗島英明, 中村昭史: 地球環境, 24(2), 127-135 (2019)、人口減少社会における地域のソーシャルキャピタルの傾向と対策: リソースジェネレータ調査を踏まえて.
- 4) 谷田川ルミ, 栗島英明: 地球環境, 24(2), 137-144 (2019)、学習指導要領における持続可能な開発のための教育の位置づけと今後の課題.

### <査読付論文に準ずる成果発表>

#### 【サブテーマ1】

倉阪秀史『持続可能性の経済理論 SDGs時代と「資本基盤主義」』（東洋経済新報社）2021.7.9（2021）総256ページ

#### 【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

#### 【サブテーマ3】

特に記載すべき事項はない。

### <その他誌上発表（査読なし）>

#### 【サブテーマ1】

- 1) 倉阪秀史: 地方自治 (863) 2-14, 2019-10 (2019) 「二〇四〇年の未来市長の立場で政策提言を考える: 未来ワークショップ手法の展開」
- 2) 倉阪秀史: 住民と自治 (686) 40-43, 2020-06 (2020) 「2050年脱炭素社会にどの程度近づいているのか: 永続地帯2019年度版報告書から」
- 3) 倉阪秀史: 公共研究 16 (1), 28-39, 2020-03-31 (2020) 「脱炭素地域戦略支援ツールの開発について」
- 4) 倉阪秀史: 実践自治 86 6-11, (2021) 「特集 2050年の自治体の姿を想定して政策を考える: 『未来カルテ』活用の政策づくり」
- 5) 倉阪秀史: 世界 940 94-102, (2021) 「持続可能性の確保から自治の確立へ」
- 6) 倉阪秀史: アカデミア 137 20-25, (2021) 「環境の保全の推進: SDGsとカーボンニュートラルを踏まえて: 市町村アカデミー講義Again」
- 7) 倉阪秀史: 隔月刊地球温暖化 2021年1月号 6-7 (2021) 「SDGs時代のエネルギー戦略～脱炭素地域のはじめ方 第1回 2050年脱炭素に向かう社会」
- 8) 倉阪秀史: 隔月刊地球温暖化 2021年3月号 6-7 (2021) 「SDGs時代のエネルギー戦略～脱炭素地域のはじめ方 第2回 脱炭素社会とはどのような社会か」
- 9) 倉阪秀史, 李想, 岡山咲子, 宮崎文彦: 公共研究 17 (1), 80-89, 2021-03-31 (2021) 「低炭素化社会経済オプション導入シナリオ作成と低炭素政策検討支援ツールの開発」
- 10) 倉阪秀史: 自治体法務研究 (66) 23-27 (2021) 「地方自治体における脱炭素戦略はいかにあるべきか: 再生可能エネルギーの導入を中心として (特集 脱炭素社会の実現と地方自治体の役割)」
- 11) 倉阪秀史: 隔月刊地球温暖化 2021年5月号 6-7 (2021) 「SDGs時代のエネルギー戦略～

- 脱炭素地域のはじめ方 第3回 自治体は脱炭素社会に向かっているか」
- 12) 倉阪秀史：隔月刊地球温暖化 2021年7月号 6-7 (2021) 「SDGs時代のエネルギー戦略～脱炭素地域のはじめ方 第4回 各自治体で2050年に脱炭素を行うには」
- 13) 倉阪秀史：隔月刊地球温暖化 2021年9月号 6-7 (2021) 「SDGs時代のエネルギー戦略～脱炭素地域のはじめ方 第5回 地域の課題解決と脱炭素を同時に考える」
- 14) 倉阪秀史：隔月刊地球温暖化 2021年11月号 6-7 (2021) 「SDGs時代のエネルギー戦略～脱炭素地域のはじめ方 第6回 地域による脱炭素のしやすさの違いを考える」
- 15) 倉阪秀史：月刊民商 63 (13), 27-32, 2021-12 (2021) 「地域の持続可能性を保障するエネルギー政策とはどのようなものか」
- 16) 倉阪秀史：隔月刊地球温暖化 2022年1月号 6-7 (2022) 「SDGs時代のエネルギー戦略～脱炭素地域のはじめ方 第7回 地域脱炭素ロードマップを読み解く」
- 17) 倉阪秀史：地方自治 (891) 2-17, 2022-02 (2022) 「人口減少・脱炭素時代における地方自治のあり方について」
- 18) 倉阪秀史：隔月刊地球温暖化 2022年3月号 6-7 (2022) 「SDGs時代のエネルギー戦略～脱炭素地域のはじめ方 第8回 気候変動への適応策を考える」
- 19) 倉阪秀史：公共研究、18 (1) 16-26 (2022) 「地方自治体の持続可能性を確保するための各種情報提供システムからわかること」
- 20) LI, Xiang, SUZUKI, Nobuhiro : 公共研究、18 (1) 16-26 (2022) ” Risk factors affecting feed rice production in the Kyushu region of Japan”

### 【サブテーマ2】

- 1) 菊池康紀・五十嵐悠・兼松祐一郎『地球環境』Vol. 24, No. 2pp. 151-158 (2019) 「地域における再生可能エネルギーの主力化に向けた技術システム案の生成」
- 2) 五十嵐悠、兼松祐一郎、菊池康紀、『公共研究』, 16, 1, (2020) [特集2 基礎自治体レベルでの低炭素化政策検討支援ツールの開発と社会実装に関する研究]地域における脱炭素化技術システムオプションの導入計画支援
- 3) 藤井祥万、五十嵐悠、兼松祐一郎、山木亜由美、佐孝成寿、菊池康紀、『公共研究』, 17, 1, [特集3 基礎自治体レベルでの低炭素化政策検討支援ツールの開発と社会実装に関する研究] 技術システムオプションの検討と必要なデータ整備 (2021)
- 4) 寶毅, 兵法彩, 諏訪出, 兼松祐一郎, 菊池康紀, 日本LCA学会誌、17, 3, 167-173, (2021) 地域への社会実装に向けた新興技術のライフサイクルアセスメント
- 5) 兼松祐一郎、藤井祥万、尾下優子、五十嵐悠、菊池康紀、『公共研究』, 18, 1, (2022) [特集2 脱炭素政策検討支援ツールの開発と地域将来ビジョンの共創に関する研究] 地域のカーボンニュートラルに向けた技術オプションの導入を支援する情報基盤の開発

### 【サブテーマ3】

- 1) 宮崎文彦：公共研究、18(1)、27-37 (2022)、脱炭素と地域課題の同時解決を考えるワークショップー未来ワークショップから脱炭素・未来ワークショップへ。
- 2) 栗島英明, 谷田川ルミ：公共研究、17(1)、107-116 (2021)、基礎自治体の脱炭素化に向けた支援ツールの実装に関する研究：2020年度。
- 3) 栗島英明, 谷田川ルミ：公共研究、16(1)、53-65 (2020)、脱炭素化戦略検討支援ツールの社会実装について。

## (2) 口頭発表 (学会等)

### 【サブテーマ1】

- 1) 倉阪秀史：環境科学会 2021年会企画シンポジウム「地域から脱炭素社会を構築するには－脱炭素政策検討支援ツールの開発と社会実装」（2019）「カーボンニュートラルシミュレーター の考え方とその構造」
- 2) 李 想：環境科学会 2021年会企画シンポジウム「地域から脱炭素社会を構築するには－脱炭素政策検討支援ツールの開発と社会実装」（2019）「気候リスク情報の活用－千葉県を事例として」
- 3) 倉阪秀史、馬上丈司、浅井綾介、石塚郁海、江原荘麻、中村巧：環境経済・政策学会2019年大会（2019）「ソーラーシェアリング（営農型太陽光発電）を巡る課題と政策－農業委員会全国調査結果から－」
- 4) 倉阪秀史：第12回未来戦略室フォーラム「エネルギーと未来社会」（理化学研究所）（2020）、「地域の持続可能性を支える資本基盤の豊かさを増やす－資本基盤マネジメント・未来カルテ・永続地帯研究から」
- 5) 倉阪秀史：日本計画行政学会第43回全国大会（2020）「近未来の予測を活用したバックキャスト型政策立案手法－未来カルテと未来ワークショップ－」
- 6) 倉阪秀史：環境経済・政策学会2020年大会（2020）「市町村に再生可能エネルギー政策がどの程度浸透したか－再生可能エネルギー政策隔年調査結果より－」
- 7) Hidefumi Kurasaka：International Society for Ecological Economics 2021、online（2021）Capital bases, care works, and the capability approach
- 8) 倉阪秀史：日本計画行政学会第44回全国大会（2021）「地域の未来予測にもとづくバックキャスト型政策形成について－脱炭素社会の実現を題材として」
- 9) 倉阪秀史：環境経済・政策学会2021年大会2021.9.25-26online（2021）「持続可能性の経済理論と『資本基盤主義』」
- 10) 倉阪秀史：LCAフォーラム自治体気候計画立案支援プロジェクトセミナー（2021）「カーボンニュートラルシミュレーターを活用した地方自治体での脱炭素政策の検討」
- 11) 倉阪秀史：第47回千葉県経営研究集会（千葉県中小企業家同友会）（2021）「環境経営とはどのようなものか」
- 12) 宮崎文彦：日本行政学会分科会C2「ワークショップと行政学」（2021）「バックキャスト型による計画策定の可能性と行政職員への影響－『未来カルテ』『未来ワークショップ』の職員研修での活用－」
- 13) 倉阪秀史：水素・燃料電池等活用による再生可能エネルギー普及拡大セミナー応用編（主催内閣府沖縄総合事務局経済産業部エネルギー・燃料課）（2022）2022.1.21online参加、「地方自治体の再生可能エネルギー導入および脱炭素へ向けた現状と政策・支援動向・展望」

## 【サブテーマ2】

### 招待講演・依頼講演

- 1) Yasunori Kikuchi：[招待講演] (Plenary Lecture) The Network for Advancing and Evaluating the Societal Impact of Science, Berlin, Germany (2019) “An open platform for transformation in regional energy systems towards sustainability”
- 2) Yasunori Kikuchi：[招待講演] (Invited Lecture) Tokyo Forum (2019) ” An open platform for transformation in regional energy systems towards sustainability”
- 3) Yasunori Kikuchi：[招待講演] (Keynote Speech) Asian/Europe Climate Change Forum, オンライン (2020), “Regional transformation towards sustainability: A trial to create open platform in Tanegashima, Japan”
- 4) 菊池康紀：[依頼講演] 自治体の気候行動計画立案支援プロジェクト設立セミナー：気候行動計画とライフサイクルアセスメント (LCA)、オンライン (2020), 「産学公の協創を活用した地域での取組：事例紹介と方法の提案」

- 5) 兼松 祐一郎：[依頼講演]サイエンティフィック・システム研究会HPCフォーラム2021 (2021)「地域資源を活用した物質・エネルギー生産システム設計のためのシミュレーション基盤の開発」
- 6) 菊池康紀：[依頼講演]データ活用社会創成シンポジウム2021 (2021)「地域システム設計を駆動するデータ利活用の在り方について」
- 7) 菊池康紀：[依頼講演]化学工学会 秋田大会(2021)「産学公の協創で目指す再生可能エネルギーの主力エネルギー源化」
- 8) 菊池 康紀：化学工学会第52回秋季大会 (2021) 種子島におけるイノベーションエコシステムの醸成にむけた産学公共創
- 9) 菊池康紀：[依頼講演]超異分野学会 環境革命 ～2030年に向けたESG新戦略～(2021)「産学公の協創とイノベーションエコシステム」
- 10) Yasunori Kikuchi：[招待講演] STS Forum Annual Meeting 2021, Online (2021), “Co-Learning for Regional Transformation: A Case Study in Tanegashima”
- 11) 菊池康紀：[依頼講演] LCA日本フォーラム セミナー (2021)「産学公の共創に基づく地域におけるLCAの活用」
- 12) 菊池康紀：[依頼講演]東京大学柏キャンパス公開2021、オンライン (2021)「地域資源とイノベーションエコシステム：種子島における例」
- 13) 菊池康紀：[依頼講演]北いわて産業・社会革新推進コンソーシアム 設立総会・シンポジウム, オンライン (2022)「共創による北いわての地域資源を生かした持続可能な地域づくり」
- 一般講演**
- 14) 山木 亜由美, 藤井 祥万, 兼松 祐一郎, 菊池 康紀：化学工学会第51回秋季大会 (2020) 蓄熱による変動性再エネの出力調整:風力熱発電を導入した全国の製紙工場のライフサイクル評価
- 15) Ayumi Yamaki, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi: 9th Asian Symposium on Process Systems Engineering (2020), Simulation of energy flows at a paper mill with thermal energy storage for reducing greenhouse gas emissions by wind energy
- 16) Shoma Fujii, Yuichiro Kanematsu, Takao Nakagaki, Yasunori Kikuchi: The 14th Biennial International Conference on EcoBalance (2021), Techno-economic and environmental aspects of thermochemical energy storage system to utilize unused energy of sugarcane: A case study at sugar mill
- 17) 山木 亜由美, 藤井 祥万, 兼松 祐一郎, 菊池 康紀：第17回日本LCA学会研究発表会 (2021) 蓄熱を経由した変動性再エネ由来の熱電併給：製紙工場と風力熱発電の例
- 18) 佐孝 成寿, 藤井 祥万, 兼松 祐一郎, 下野 僚子, 菊池 康紀：第17回日本LCA学会研究発表会 (2021) 技術ロードマップに基づく地域の再エネ利用技術の導入分析手法の検討
- 19) 藤井 祥万, 兼松 祐一郎, 中垣 隆雄, 菊池 康紀：化学工学会第86年会 (2021), 製糖工場の未利用熱蓄熱輸送システムのライフサイクルGHG排出量評価
- 20) 菊池 康紀：環境科学会 (2021)、シンポジウム「地域から脱炭素社会を構築するには—脱炭素政策検討支援ツールの開発と社会実装」、 「地域の資源を活用する技術・システムオプションの生成」
- 21) 兼松 祐一郎：環境科学会 (2021)、シンポジウム「地域から脱炭素社会を構築するには—脱炭素政策検討支援ツールの開発と社会実装」、 「地域の資源を活用する技術・システムオプションの生成を支援する情報基盤」
- 22) 兼松 祐一郎、藤井 祥万、菊池 康紀、化学工学会第87年会 (2022) 技術の地域へのマッチングと実装を加速するデータ利活用基盤の開発
- 23) Y.Kanematsu, S.Fujii, Y.Kikuchi, the 14th International Symposium on Process Systems Engineering - PSE 2021+ (2022), Design support toolbox for renewable-based

regional energy systems; The concept, data integration, and simulator development  
(予定・発表受理済み)

- 24) S.Fujii, Y.Kanematsu, Y.Kikuchi, the 14th International Symposium on Process Systems Engineering - PSE 2021+ (2022), Integration of experimental study and computer-aided design: A case study in thermal energy storage (予定・発表受理済)
- 25) S.Fujii, Y.Kanematsu, Y.Kikuchi, THE 32nd European Symposium on Computer Aided Process Engineering(ESCAPE32) (2022), Polygeneration from sugarcane industries enhanced by functionalizing novel cultivars and excess thermal energy (予定・発表受理済み)

### 【サブテーマ3】

- 1) H. Kurishima, R. Yatagawa and H. Kurasaka: 11th WEEC, 2022 “Development and Trial of Climate Change Education Program Featuring “Carbon-neutral Simulator” for School.”
- 2) R. Yatagawa and H. Kurishima: 11th WEEC, 2022 “Introduction of the Carbon-Neutral Simulator (CNS) to School Education in Japan and its Educational Effect.”
- 3) 谷田川ルミ: 2022年自然と共生するスマートエコアイランド種子島シンポジウム (2022) 「未来人材育成教育における成果報告」
- 4) 栗島英明, 谷田川ルミ: 日本環境教育学会「気候変動教育」研究会研究集会 (2022) 「脱炭素と地域課題の同時解決をテーマにした中学・高校での探究学習プログラムの開発と実践」
- 5) 栗島英明: LCA日本フォーラム自治体の気候行動計画立案支援プロジェクトセミナー (2021) 「脱炭素・未来ワークショップで地域脱炭素を考える」
- 6) 谷田川ルミ, 栗島英明: 第11回ジオパーク全国大会 (2021) 「新学習指導要領で目指される教育の方向性と学校教育への導入アプローチ」
- 7) 谷田川ルミ: 環境科学会2021年会 (2021) 「脱炭素政策支援ツールの学校教育への導入と効果」
- 8) 栗島英明: 環境科学会2021年会 (2021) 「気候変動戦略策定プロセスへの脱炭素政策検討支援ツールの実装と課題」
- 9) 栗島英明, 谷田川ルミ: 環境科学会2021年会 (2021) 「脱炭素と地域課題の同時解決をテーマにした中学・高校での総合的な学習／探究学習の試み」
- 10) 栗島英明, 谷田川ルミ: 第32回日本環境教育学会年次大会 (2021) 「未来ワークショップを中心とした「総合的な学習／探求の時間」プログラムの開発と実践－鹿児島県種子島の中学校、高等学校での取り組み」
- 11) 谷田川ルミ, 栗島英明: 第32回日本環境教育学会年次大会 (2021) 「未来ワークショップを中心とした「総合的な学習／探求の時間」プログラムの教育効果の検証－鹿児島県種子島の中学校、高等学校での取り組み」
- 12) 栗島英明: 2021年自然と共生するスマートエコアイランド種子島シンポジウム(2021) 「未来ワークショップを中心とした「総合的な学習/探求の時間」プログラムの実践」
- 13) 栗島英明: LCA日本フォーラム自治体の気候行動計画立案支援プロジェクトセミナー(2020) 「気候変動施策に関する基礎自治体の現状と課題～アンケート調査に基づいて～」
- 14) R. Yatagawa, H. Kurishima, H. Kurasaka and F. Miyazaki: 10th WEEC (2019) “Development of an Educational Program for Sustainable Community on a Remote Island in Japan.”

### (3) 「国民との科学・技術対話」の実施

### 【サブテーマ共通】

- 1) 脱炭素地域戦略研究の公開セミナー「地域での脱炭素をどのように進めていくのかー脱炭素検討支援ツールの活用」をonlineで開催。2021.11.26、参加者120名。
- 2) Webサイトを継続的に維持 <https://opossum.jpn.org/>
- 3) Facebookページにて継続的に情報提供 <https://www.facebook.com/opossum.chiba>

### 【サブテーマ1】

- 1) 宮崎文彦：江戸川区子ども未来館の「子どもアカデミーゼミ 社会のしくみく政治学入門>シチズンシップを考えよう」の第6回（2019年9月14日）にて「『公共』について考えるワークショップ」と題する講義。
- 2) 倉阪秀史：市町村アカデミー2020年度「環境保全の推進」研修（2019年12月6日）において、カーボンニュートラルシミュレーターのプロトタイプを実施、37名受講
- 3) 倉阪秀史、宮崎文彦：君津市にて「きみつ未来ワークショップ」を実施（2020年12月19日）、完全オンライン、中学生、高校生 27名参加。
- 4) 未来ワークショップファシリテーター養成講座開催、online、2021.2.2、2.9、2.16、8名受講
- 5) 倉阪秀史：『持続可能性の経済理論 SDGs時代と「資本基盤主義」』刊行記念セミナー、主催東洋経済新報社、東京スクエアガーデン+onlineにて講演、2021.9.29、「SDGsを支える新しい経済理論」、40名参加
- 6) 宮崎文彦：流山未来会議にて未来ワークショップを実施（2021年9月29日レクチャー、同年10月3日ワークショップ、ともにオンライン）。22名参加
- 7) 倉阪秀史：全国市町村国際文化研究所主催「人口減少社会における議会の役割」研修にて未来ワークショップを実施、2021.10.14、全国市町村議員49名参加
- 8) 倉阪秀史：令和3年度千葉県市長会副市長会議（online開催）にて講演、2021.11.8、「地方自治体とカーボンニュートラル」、千葉県下自治体の副市長33名参加
- 9) 倉阪秀史：次代を担う鳥取県西部圏域市町村職員ワークショップ（主催鳥取西部地域協議会）2021.10.8にて、鳥取西部圏域市町村9市町村をonlineで結んで未来ワークショップを実施、41名参加
- 10) 倉阪秀史、宮崎文彦：千葉市夜間講座にて脱炭素未来ワークショップを実施、2021.10.27、11.10、11.17、市職員14名参加
- 11) 未来ワークショップファシリテーター養成講座開催、online、2022.2.9及び2.16、24名受講
- 12) 倉阪秀史：市町村アカデミー2021年度「環境保全の推進」研修（2021.10.22）にて、カーボンニュートラルシミュレーター体験を実施、12名受講
- 13) 倉阪秀史、宮崎文彦：千葉県大多喜町において未来ワークショップを実施、2021.11.19、若手職員25名参加
- 14) 倉阪秀史、宮崎文彦：鳥取県境港市において未来ワークショップを実施（onlineファシリテーション）、2021.11.4、中学生18名、高校生9名、市職員4名参加
- 15) 倉阪秀史、宮崎文彦：兵庫県神戸市（KIITO）において未来ワークショップを実施、2021.12.27、高校生19名参加
- 16) 倉阪秀史：三重県立上野高校同窓生有志の会主催「秘蔵のくに伊賀のキュレーション」2022.2.23（三重テラスからonline配信）にて講演、「地域社会の未来カルテ2050ー伊賀市を事例としてー」

### 【サブテーマ2】

- 1) 大久保達也、菊池康紀、2022年 自然と共生するスマートエコアイランド種子島シンポジウム～プラチナ社会の実現に向けて～ 2022年3月12日、オンライン開催、未来社会における地域と大学の協創・今後の取り組みについて

- 2) 菊池康紀、尾下優子、藤井祥万、五十嵐悠、鹿児島県立国分高等学校・舞鶴最先端サイエンス研修、2022年1月31日

### 【サブテーマ3】

- 1) 鹿児島県西之表市にて、中学生、高校生対象の脱炭素・未来ワークショップを実施、2019.8.20、47名参加
- 2) 鹿児島県西之表市にて、市職員対象の脱炭素・未来ワークショップを実施、2019.10.15、12名参加
- 3) 鹿児島県西之表市にて、中学生、高校生対象の脱炭素・未来ワークショップを実施、2020年8月19日、51名参加、ハイブリッド（ファシリテーターのみonline）
- 4) 千葉県白井市にて、市職員対象の脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年1月27日、16名参加
- 5) 和歌山大学にて、大学生対象の脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年2月22日、8名参加、オンライン
- 6) 鹿児島県西之表市にて、市職員、市民対象の脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年2月24日、3月8日、13名参加、ハイブリッド
- 7) 山形県米沢市九里学園高校にて、高校生向けの脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年3月8日、高校生29名参加、ハイブリッド
- 8) 千葉県白井市にて、市民向けの脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年4月17日、18日、25日、市民が延べ60名参加
- 9) 東京都葛飾区水元中学校にて、中学生向けの脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年4月30日、中学生100名参加
- 10) 千葉県白井市白井中学校にて、中学生向けの脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年6月21日、中学生108名参加
- 11) 鹿児島県西之表市種子島高校にて、高校生向けの脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年6月29日、7月6日、高校生39名参加、ハイブリッド
- 12) 鹿児島県西之表市種子島中学校にて、中学生向けの脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年7月1日、8日、中学生133名参加、ハイブリッド
- 13) 鹿児島県中種子町、南種子町において、中学生、高校生向けの脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年8月3日、32名参加、ハイブリッド
- 14) 山形県米沢市九里学園高校にて、高校生向けの脱炭素・未来ワークショップを実施、2021年12月7日、2022年1月7日、高校生44名参加、ハイブリッド
- 15) 高知県室戸市にて、高校生向けの脱炭素・未来ワークショップを実施、2022年2月22日、47名参加、オンライン
- 16) 「芝浦工業大学地域人材育成・キャリア教育ラボ」<https://sit-kurumi-lab.org/>

## (4) マスコミ等への公表・報道等

### 【サブテーマ1】

- 1) 国立大学法人千葉大学「固定価格買取制度の導入後はじめて風力発電・地熱発電の伸び率が太陽光発電を上回る 「永続地帯2020年度版報告書」の公表」 PRtimes 2021年4月15日  
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000485.000015177.html>
- 2) 国立大学法人千葉大学「2050年の全国の各市町村の姿が一瞬でわかる「未来カルテ2050」無料ダウンロード開始 人口・高齢化・産業・医療・介護・保育など、地方自治体の将来を見据えた政策に活かす情報基盤「未来カルテ」更新版」 PRtimes 2020年7月7日  
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000421.000015177.html>
- 3) 国立大学法人千葉大学「どうすれば2050年に脱炭素が実現できる？ 全国の市町村ごとのカ

ーボンニュートラルシミュレーターを無料ダウンロード開始 基礎自治体での脱炭素政策を検討するためのツール」PRtimes 2021年10月12日

<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000531.000015177.html>

4) 国立大学法人千葉大学「全国760地点の過去40年間の気候変動の状態が見える「気候変動気象データ提供システム」無料公開 地球温暖化に対する適応策の検討を進めるために」PRtimes

2022年2月10日 <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000566.000015177.html>

#### 【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

#### 【サブテーマ3】

1) 成果の記者発表（2022年2月8日、於芝浦工業大学、「西之表市立種子島中学校と開発した探究教育プログラム「未来とつながる授業」の取り組みが第14回「キャリア教育優良教育委員会、学校及びPTA団体等文部科学大臣表彰」を受賞」）

2) 成果の記者発表（2021年11月17日、於芝浦工業大学、「芝浦工業大学が脱炭素化施策を考える探究授業をデザイン」）

### (5) 本研究費の研究成果による受賞

#### 【サブテーマ1】

特に記載すべき事項はない。

#### 【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

#### 【サブテーマ3】

1) 西之表市立西之表中学校：第14回キャリア教育優良教育委員会、学校及びPTA団体等文部科学大臣表彰（本研究費で開発した地域人材育成プログラムを含む中学校でのキャリア教育に対する表彰）

## IV. 英文Abstract

**Research on Development and Social Implementation of Supporting-tools for Municipalities towards Low Carbon Society**

Principal Investigator: Hidefumi KURASAKA

Institution: Chiba University

1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522 JAPAN

Tel: +81-43-290-3585 / Fax: +81-43-290-3585

E-mail: kurasaka@chiba-u.jp

Cooperated by: University of Tokyo, Shibaura Institute of Technology

[Abstract]

Key Words: Municipalities, Decarbonization policy, Backcasting policy formation, Decarbonization technology information, School education programs, Climate change adaptation measures

In order to achieve carbon neutrality by the year 050, it is essential to promote energy conservation and renewable energy investment at municipal level in a regionally appropriate manner, but due to lack of financial resources, knowledge, and personnel, related policies have not progressed, especially in municipalities with small populations. Therefore, this study aims to develop and disseminate a "regional decarbonization policy support tools" to facilitate the development of regional decarbonization policies at the local level in a region-specific manner. Through this research, we will develop and disseminate the following "regional decarbonization policy support tools": (1) The "Future Chart 2050," which visualizes the impact of population decline in 2050 for each municipality; (2) The "Carbon Neutral Simulator," which allows each municipality to check the possibility to decarbonization in 2050; and (3) The "Climate Change Weather Data Provision System," which provides weather data for the past 40 years for each basic municipality, has been developed. In addition, we developed the "Decarbonization and Future Workshop" methodology using these tools and established a workshop procedure. In addition, we have developed and implemented a teaching program in "Integrated Studies/Hours of Inquiry," a regular school curriculum, at several junior high and high schools, making full use of online classes, etc. A "Manual for Utilization of Regional Decarbonization Policy Support Tools" for local governments and The "Lessons Leading to the Future" pamphlet for school personnel were published, sent to relevant parties nationwide, and made publicly available, respectively. The "Carbon Neutral Simulator" was introduced in the "Manual for Formulation and Implementation of Local Government Action Plans (Area Policies)" published by the Ministry of the Environment (March 2022), and the "Report of the Study Working Group on Regional Future Projections" (March 2021) introduced the "Future Chart" and "Future Workshop". Thus the government has already begun to utilize the results of this research.