

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

2-2103 「2050 年実質ゼロカーボン／地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」研究
(JPMEERF20212003)

令和 3 年度～令和 4 年度

Roadmap toward the substantially zero-carbon and self-supportive local energy system in the year
2050

〈研究代表機関〉

国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学

〈研究分担機関〉

中部大学

○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 5 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 サブテーマ1「2050年実質ゼロカーボン/地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」研究 （国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学、中部大学）	7
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	32
IV. 英文 Abstract	34

I. 成果の概要

課題名 2-2103 「2050 年実質ゼロカーボン／地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」研究
 課題代表者名 高野雅夫 （国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学大学院環境学研究科教授）

重点課題 主：【重点課題⑦】気候変動の緩和策に係る研究・技術開発

副：

行政要請研究テーマ（行政ニーズ） (1-1)持続的な脱炭素社会の実現に必要な革新的技術・社会
 変革の実現 可能性評価に関する研究

研究実施期間 令和 3 年度～令和 4 年度

研究経費

54,945 千円（合計額）

（各年度の内訳：令和 3 年度：28,497 千円、令和 4 年度：26,448 千円）

研究体制

代表機関 国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学

分担機関 中部大学

サブテーマ 1 「2050 年実質ゼロカーボン／地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」研究
 リーダー

高野雅夫 名古屋大学大学院環境学研究科教授・附属持続的共発展教育研究センター長

研究分担者

谷川寛樹 名古屋大学大学院環境学研究科教授

杉山範子 東海学園大学教育学部教授、名古屋大学大学院環境学研究科特任教授

竹内恒夫 名古屋大学大学院環境学研究科特任教授（令和 5 年 3 月まで）

福井弘道 中部大学教授・副学長・中部高等学術研究所長・国際GISセンター長

他のサブテーマはない

研究協力機関

研究協力機関はない

本研究のキーワード 気候変動、カーボンニュートラル、再生可能エネルギー、地方自治体、ロード
 マップ、シナリオ分析、GIS、エネルギー貧困

1. はじめに（研究背景等）

「2050 年までに二酸化炭素排出実質ゼロ」を表明した自治体が増えている。2023 年 3 月 31 日現在、表明自治体数は 934 である。しかし、表明した自治体のゼロカーボンへ向けたロードマップは見当たらない。

「『レジリエントシティ政策モデル』の開発とその実装化に関する研究」（環境研究総合推進費 H25-H27, 1-1304）を実施した名古屋大学は、実装化のため、2015 年に EU の Covenant of Mayors をモデルに「『日本版』首長誓約」を開始し、2017 年からは、EU の支援を得て、世界首長誓約傘下の「世界首長誓約/日本」へと発展した。世界では 1 万以上、日本では 2023 年 3 月末現在、42 の自治体が誓

約し、行動計画策定・実施等に取り組んでいる。日本事務局（名古屋大学）では、全市区町村のエネルギー生産・消費量、CO₂排出量、シナリオ別の2030年削減量等を推計し、自治体をサポートしている。

ゼロカーボン社会の実現のためには、日本全体で再エネ発電を中長期的に主力電源化し、再エネ電力によって、自動車も動かし、家庭や業務における熱も賄うなどの方法が有効であろう。しかしながら自治体にとってこのようなシナリオを描いてゼロカーボンへのロードマップを描くことは非常に困難である。それは、これまで自治体にエネルギー政策の権限がほとんどない時代が長く続いたため、専門の担当部署がなくエネルギー政策に専門性を持った職員がいないという事情がある。そこで、市区町村ごとに、高い専門性を持った職員でなくても、簡単にシナリオのパラメータを設定して地域内のエネルギー需給やCO₂排出量のシミュレーションができるツールが必要とされている。またそのツールはビジュアルにわかりやすいものである必要がある。

また、ヨーロッパの環境・エネルギー政策の中で、エネルギー貧困に関する取り組みが進んでいる。これはエネルギー消費に関わる貧困状態が人々のウェルビーイングにとって深刻な問題を引き起こすという認識のもとに、環境・エネルギー政策としてエネルギー貧困の解消に取り組むというもので、日本では非常に立ち遅れている分野である。自治体としてはこの問題を認識するとともに、ゼロカーボンへのロードマップを描く中でエネルギー貧困の解決の展望を描く必要がある。

2. 研究開発目的

本研究では、市区町村ごとにエネルギー需給シナリオと再生可能エネルギー導入のシナリオを設定して、エネルギー需給とCO₂排出量のシミュレーションができるツールを作成すること、それをビジュアルにわかりやすく提示する手法を開発すること、エネルギー貧困に関するヨーロッパの動向を整理し日本の政策課題を明らかにすること、などを通じて自治体によるゼロカーボン社会に向けてのロードマップ作成を支援するツールを開発することを目的とする。

3. 研究目標

全体目標	市区町村ごとのロードマップ（系統電力活用型）作成ツールの開発、同ロードマップ（地域自立型）類型別モデルの開発、エネルギー貧困への対応のグッドプラクティスの整理を行い、これらを活用して市区町村ごとの「2050年実質ゼロカーボン/地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」を作成し、提示する。
サブテーマ1	「2050年実質ゼロカーボン/地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」研究
サブテーマリーダー/所属機関	高野雅夫/名古屋大学
目標	全体目標と同様

4. 研究開発内容

4-1 ゼロカーボン地域シナリオ分析ツールの開発

市区町村ごとに2030年、2040年、2050年における2013年からのCO₂削減量を算定し、以下のステップで市区町村ごとのロードマップを作成するツールを開発する。エクセルファイルの形式で作成し自治体に提供する。

1 エネルギー消費量の推計（2013～2019年）

2013～18年の総合エネルギー統計（詳細表）から、各種指標を用いて市区町村ごとの部門・業種別、エネルギー種別の消費量を推計。

2 エネルギー消費量の予測（2030,40,50 年）

全国又は都道府県別の 1990 年-2019 年の部門・業種、エネルギー種別の消費量データを用いて、トレンドによって将来の消費量を予測し、2013 年の消費量との倍率を算定、市区町村の 2013 年の部門別・エネルギー種別消費量に乗ずる。

3 各年の買取再エネ施設の導入累積容量・発電電力量の算定（2013,2018,2030,2040,2050 年）。将来についてはデフォルト値として FIT 認定量のトレンドによって予測。

4 系統電力の電源構成及び CO₂ 排出係数の設定(2030,2040,2050 年)。電力供給についてまず再エネによる発電量を当て、予測された電力需要から不足する分は 10 電力の LNG 火力と石炭火力を当てるとした。

5 市区町村内の以下のパラメータを入力することでシナリオを設定する(2030,2040,2050 年)。デフォルト値は主に過去のトレンドを使用し、ツールでは利用者がデフォルト値を変更できるようにする。
太陽光発電導入量（10kW 未満・10-50kW・50kW 以上）、陸上風力導入量、洋上風力導入量、中小水力導入量、地熱発電導入量、メタン発酵ガス発電導入量、未利用木質発電導入量（2000kW 未満、2000kW 以上）、一般木質発電導入量、建設廃材発電導入量、一般廃棄物発電導入量、バイオマス熱導入量、太陽熱導入量、電気自動車台数、自動車の化石燃料から電気への転換率、製造業における化石燃料から電気への転換率、化石燃料自家発電から系統電力への転換率、石油から天然ガス（都市ガス）への転換率、化石燃料からバイオマス原料への転換率、セメント製造業における化石燃料から未利用エネルギー・廃棄物への転換率、製鉄業における電炉への転換率および水素・メタンへの転換率、船舶・航空の化石燃料から水素・メタンへの転換率、都市ガスのメタネーションへの転換率、コージェネレーションの拡充率、非 FIT 発電量、卒 FIT 調達量

6 シナリオに基づいて地域内のエネルギー需給の総量と内訳、CO₂ 排出量を算出し、2013 年度からの削減率を計算する(2030,2040,2050 年)。

当初の研究計画では、地域内活用型再エネ及びコージェネ等を前提として、アグリゲーション事業、小売事業、配電事業を一体的に運用することによる地域自立型でエネルギーレジリエンスの高い地域エネシステムのモデルを提示するとしていた。しかしながら、予備的な調査として自治体へのアンケート調査及びヒアリング調査を行ったところ、電力価格高騰によって新電力会社の経営が困難になる事例が多く出ていることもあり、自治体主導の地域新電力などへの関心は非常に低く、このようなモデルを具体的な自治体において構築することは難しいと判断された。そこで上記の分析ツールの中に、すべての市区町村について、地域内での再生可能エネルギー供給量を設定するシナリオを組み込み、その結果をグラフで可視化することで、地域の自立度を考察できるようにした。

4-2 GIS を利用したカーボンニュートラル・ロードマップ作成支援・可視化ツールの開発

4-1 で作成したツールはエクセルファイルの形式で提供されるため、エクセルの取り扱いに慣れていないと使うことが難しく、またビジュアルな結果を対話型で表示することができない。また過去のエネルギー需給や CO₂ 排出量のトレンドを確認しながら将来のロードマップを描くことができない。そこで GIS をベースに対話型で結果を表示できるツールの開発を行った。インターネットで誰もがアクセスできる Web アプリケーションとして構築した。海外では、Drawdown Europe や Drawdown Georgia というサイトが構築されており、それらに続く日本版 Drawdown Japan を作成した。

4-3 地域エネルギーマネジメントに関する 500m メッシュデータベース構築とその応用

4-1 で作成したツールにおいてはエネルギー需要はシナリオとしておらず、将来のエネルギー需要は基本的に過去のトレンドを伸ばしたものとなっている。その需要量を前提にエネルギー供給について

のシナリオを設定して将来のエネルギー需給と CO₂ 排出量を算定するものになっている。したがって、本研究で作成したツールではエネルギー需要の将来予測をさらに精緻化することが課題となる。そこで、予備的な試みとして、家庭部門のエネルギー需要の将来予測をより精緻化するために、500m メッシュでのエネルギー需給を推定できるツールの開発を行った。また、世帯人数や一戸建てもしくは集合住宅によって、一人当たり CO₂ 排出量は変わると考えられるため、それらが将来変化すると想定した場合に、エネルギー消費量や CO₂ 排出量がどの程度変わるのかを確かめた。

4-4 エネルギー貧困政策についてのヨーロッパの動向と日本における課題

エネルギー貧困政策が進んでいるヨーロッパ諸国の政策動向について、インターネット・文献調査とともに、欧州委員会の担当部局や自治体を訪問してインタビュー調査を行った。また日本の自治体におけるエネルギー貧困についての認識や課題意識を調査するために、世界首長誓約/日本に参加している自治体にアンケート調査を行った。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

ゼロカーボン地域シナリオ分析ツールの開発に成功し、エクセルファイル形式での配布を開始した。以下の Web サイトから自治体関係者を対象にダウンロードできるようにしている。2023 年 3 月 31 日現在で 58 件のダウンロードがあった。

<https://zerocarbon.jp/>

またこのツールを組み込んだ GIS ベースの Web アプリケーション Drawdown Japan を作成することに成功した。

<http://de14.digitalasia.chubu.ac.jp/>

これらのツールを使って 1741 のすべての市区町村について、2030 年、2040 年、2050 年のエネルギー種別・部門別・業種別のエネルギー消費量、CO₂ 排出量などがグラフによって示すことができるようになった。エクセルファイルのツールではシナリオのパラメータを変更することによって、これらの値がどう変わるかをシミュレーションすることができ、それぞれの自治体でカーボンニュートラル社会に向けてのロードマップを描くことができるようになった。

試行的に愛知県について、500m メッシュでエネルギー消費量を推定するデータベースを構築することができた。データベース中の項目として戸建て住宅、集合住宅ごとの世帯人数が得られる。そこでそれぞれの世帯形態ごとに一人当たり CO₂ 排出量を推定した。さらに将来の人口減少に伴う世帯形態の変化についてのシナリオに基づいて一人当たり CO₂ 排出量の変化を推定したところ、いずれの人口減少シナリオでもそれほど大きな違いはないことが示唆された。

エネルギー貧困政策についてヨーロッパの動向を詳細に把握した。特にエネルギー貧困世帯を認定するための各種指標について、多様な指標が使われており、それらの指標についての調査・把握が進んでいることが明らかになった。またエネルギー貧困対策としてさまざまな施策が実施されていることが明らかになった。一方、日本の自治体関係者へのアンケート調査では、福祉政策ではなくエネルギー政策として考えることへの戸惑いの声が聞かれた。また、まずは実態把握を行うところからやらなければならないのであるが、そのための調査やデータが皆無であることも明らかになった。日本での取り組みはヨーロッパに比べて立ち遅れており、問題意識を高めるところからの啓発活動が必要なことが明らかになった。

5－2．環境政策等への貢献

<行政等が活用することが見込まれる成果>

本研究によって開発されたゼロカーボン地域シナリオ分析ツール及び Drawdown Japan を活用して、市区町村ごとに地域内の将来のエネルギー供給シナリオを設定しシミュレーションを繰り返すことで、現実的な成果が期待できるゼロカーボン社会に向けたロードマップを作成することができる。そのプロセスを住民や企業とともに実施することで、ゼロカーボン社会実現に向けた合意形成と担い手育成に役立たせることができる。またエネルギー貧困についての問題意識を持ち、対策を考えるきっかけとなることが期待される。

5－3．研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
市区町村ごとのロードマップ（系統電力活用型）作成ツールの開発、同ロードマップ（地域自立型）類型別モデルの開発、エネルギー貧困への対応のグッドプラクティスの整理を行い、これらを活用して市区町村ごとの「2050 年実質ゼロカーボン/地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」を作成し、提示する。	市区町村のロードマップ（系統電力活用型）作成ツールの開発に成功し、結果を可視化する Web アプリケーションの開発にも成功した。また家庭部門のエネルギー消費の予測の精緻化をはかる方法論を開発した。この点については目標を上回る成果を上げることができた。一方、地域自立型類型別モデルの開発については、新型コロナウイルス感染拡大、ウクライナ戦争とともに国内での電力市場の制度的な未成熟もあり、電力価格が高騰したことで新電力会社が経営に行き詰まる事例が多数見られたことを背景に、自治体の地域新電力などへの関心が非常に低いことが明らかになったため、現実的なモデル構築は困難と判断し、目標を達成することはできなかった。エネルギー貧困対策についてのヨーロッパにおけるグッドプラクティスを把握することができ、日本の自治体の課題も明らかになった。これについては目標どおりの成果を達成することができた。これらの結果として、「2050 年実質ゼロカーボン/地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」を作成し、提示するという目標どおりの成果を達成できたものと考えられる。

6．研究成果の発表状況

6－1．査読付き論文

<件数>

0 件

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	0 件
その他誌上発表（査読なし）	1 件
口頭発表（学会等）	6 件
「国民との科学・技術対話」の実施	0 件
マスコミ等への公表・報道等	0 件
本研究費の研究成果による受賞	0 件
その他の成果発表	2 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

高野雅夫：名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程修了、博士（理学）、名古屋大学大学院理学研究科助手、准教授、現在、環境学研究科教授、附属持続的共発展教育研究センター長

研究分担者

- 1) 谷川寛樹：九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士（工学）、和歌山大学工学部助教、講師、准教授、名古屋大学大学院工学研究科准教授、現在、環境学研究科教授
- 2) 杉山範子：名古屋大学大学院環境学研究科博士後期課程修了、博士（環境学）、名古屋大学大学院環境学研究科特任准教授、現在、東海学園大学教育学部教授
- 3) 竹内恒夫：名古屋大学経済学部卒業、環境庁・環境省、名古屋大学大学院環境学研究科教授、令和5年3月まで名古屋大学大学院環境学研究科特任教授
- 4) 福井弘道：名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程修了、博士（理学）、現在、中部大学副学長（特命担当、恵那 SDGs 先端研究拠点長）・中部高等学術研究所長・国際GISセンター長（デジタルアース共同利用・共同研究拠点）

Ⅱ．成果の詳細

サブテーマ 1 「2050 年実質ゼロカーボン/地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」研究
リーダー

高野雅夫 名古屋大学大学院環境学研究科教授・附属持続的共発展教育研究センター長
研究分担者

谷川寛樹 名古屋大学大学院環境学研究科教授

杉山範子 名古屋大学大学院環境学研究科特任准教授（令和 5 年 3 月まで）、東海学園大学教育学部教授（令和 5 年 4 月から）、名古屋大学大学院環境学研究科特任教授（令和 5 年 4 月から）

竹内恒夫 名古屋大学大学院環境学研究科特任教授（令和 5 年 3 月まで）

福井弘道 中部大学教授・副学長・中部高等学術研究所長・国際GISセンター長

【要旨】

本研究は、市区町村ごとにエネルギー需給シナリオと再生可能エネルギー導入のシナリオを設定して、エネルギー需給と CO₂ 排出量のシミュレーションができるツールを作成すること、それをビジュアルにわかりやすく提示する手法を開発すること、エネルギー貧困に関するヨーロッパの動向を整理し日本の政策課題を明らかにすること、などを通じて自治体によるゼロカーボン社会に向けてのロードマップ作成を支援するツールを提供することを目的として開発を行った。その結果、ゼロカーボン地域シナリオ分析ツールの開発に成功し、エクセルファイル形式での配布を開始した。またこのツールを組み込んだ GIS ベースの Web アプリケーション Drawdown Japan を作成することに成功した。これらのツールを使って 1741 のすべての市区町村について、2030 年、2040 年、2050 年のエネルギー種別消費量、エネルギー種別 CO₂ 排出量、部門別・業種別 CO₂ 排出量などがグラフによって示すことができるようになった。エクセルファイルのツールではシナリオのパラメータを変更することによって、これらの値がどう変わるかをシミュレーションすることができ、それぞれの自治体でカーボンニュートラル社会に向けてのロードマップを描くことができるようになった。

1. 研究開発目的

本研究では、市区町村ごとにエネルギー需給シナリオと再生可能エネルギー導入のシナリオを設定して、エネルギー需給と CO₂ 排出量のシミュレーションができるツールを作成すること、それをビジュアルにわかりやすく提示する手法を開発すること、エネルギー貧困に関するヨーロッパの動向を整理し日本の政策課題を明らかにすること、などを通じて自治体によるゼロカーボン社会に向けてロードマップ作成を支援するツールを開発することを目的とする。

2. 研究目標

市区町村ごとのロードマップ（系統電力活用型）作成ツールの開発、同ロードマップ（地域自立型）類型別モデルの開発、エネルギー貧困への対応のグッドプラクティスの整理を行い、これらを活用して市区町村ごとの「2050 年実質ゼロカーボン/地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」を作成し、提示する。

3. 研究開発内容

3.1 ゼロカーボン地域シナリオ分析ツールの開発

3.1.1 研究開発目的

「2050 年までに二酸化炭素排出実質ゼロ」を表明した自治体は、2023 年 3 月 31 現在、934 である。しかし、表明した自治体の 2050 年までのゼロカーボンへの数量的なロードマップは見当たらない。ゼロカーボンのためには、日本全体で再エネ発電を中長期的に主力電源化し、再エネ電力によっ

て、自動車も動かし、家庭・業務・一部の産業における熱も賄うなどの方法が有効であろう。また、エネルギー多消費産業（製紙、セメント、化学、製鉄）においては、化石燃料から、バイオマス、水素、メタネーションなどへの転換が不可欠であろう。

これが、「2050 年までに二酸化炭素排出実質ゼロ」の基本シナリオである。自治体における 2050 年ゼロカーボンのシナリオも基本は同じである。

本研究で開発するシナリオ分析ツールは、市区町村による 2030 年、2040 年、2050 年における CO₂ 削減目標の見極め、目標達成のためのポリシーミックスの検討に際して活用され、ゼロカーボン・ロードマップ策定に資することを目的とする。

3.1.2 研究開発内容

3.1.2.1 「ゼロカーボン地域シナリオ分析ツール」作成

①市区町村の基準年（2013 年）のエネルギー別、部門・業種別エネルギー消費（転換部門への投入量を含む。）の推計

②市区町村の 2030/2040/2050 年のエネルギー別、部門・業種別エネルギー消費量（BAU）の推計

③再生可能エネルギー導入量などのシナリオ（約 30 種類）の設定

④再生可能エネルギー導入量などのシナリオに応じた系統電力の CO₂ 排出係数の算定

⑤シナリオに応じた市区町村の 2030/2040/2050 年のエネルギー別、部門・業種別エネルギー消費量の推計

⑥シナリオに応じた市区町村の 2030/2040/2050 年のエネルギー別、部門・業種別 CO₂ 排出量の算定

3.1.2.2 市区町村の基準年（2013 年）のエネルギー別、部門・業種別エネルギー消費（転換部門への投入量を含む。）の推計

全国のエネルギーバランス表（詳細表）¹⁾ の転換部門および最終消費部門のデータから、エネルギー別（16 種類）、部門・業種別に以下の方法によって、市区町村に按分した。

a 農林水産業・鉱業・建設、製造業（製紙、化学、セメント、製鉄、機械、その他）、業務、鉄道業、海運業および航空業は、経済センサス²⁾ の市区町村別の業種別（小分類）従業者数により按分。

b 家庭は市区町村別の世帯数（家庭）で按分。なお、業務と家庭の都市ガスの按分は、都市ガス供給区域のみとし、供給区域外に按分された都市ガス消費量は LPG と灯油に追加した。

c 自動車（ガソリン、軽油、都市ガス、LPG）は、市区町村別の登録車保有台数³⁾ で按分。

d 転換部門の投入量（自家消費分）は、発電所、製油所の立地の有無・発電能力など調査したうえで、これに応じて立地市区町村に按分。

3.1.2.3 市区町村の 2030/2040/2050 年のエネルギー別、部門・業種別エネルギー消費量（BAU）の推計

2013 年の市区町村別の消費量に、全国エネバラ表の 2000 年からの消費量の近似曲線によって推計された各年の部門・業種別の 2013 年比減少率を市区町村ごとにあてはめて推計した（表 1-1）。

表 1-1 全国エネバラ表の 2000 年からの消費量の近似曲線によって推計された各年の部門・業種別の 2013 年比減少率

	2030/2013	2040/2013	2050/2013
農・鉱・建	0.76	0.64	0.52
製紙	0.53	0.40	0.37
化学	0.78	0.70	0.65
セメント	0.87	0.78	0.55
製鉄	0.89	0.78	0.64
機械	0.74	0.62	0.54
その他製造業	0.69	0.54	0.43
業務	0.77	0.61	0.41
家庭	0.88	0.56	0.49
運輸	0.75	0.63	0.47

転換自家消費

0.82

0.32

0.29

3.1.2.4 再生可能エネルギー導入量などのシナリオ（約 30 種類）の設定

再生可能エネルギー導入量などのシナリオ（約 30 種類）を設定した（表 1-2 参照）。多くのシナリオは、トレンド型（22 年/13 年の比率で比例計算）とした。分析ツールでは、自治体が独自のシナリオの値を持っている場合は、トレンド型の値を変更することができる。表 1-2 の各年の値は愛知県美浜町を対象にした算定結果である。

表 1-2 再生可能エネルギー導入量などのシナリオ（各年の値は愛知県美浜町を対象にした算定結果）

再エネなど	10kW未満太陽光発電	
シナリオ	22年/13年の比率で比例計算した各年の導入量(GJ)	自家消費割合(現状全国平均43.4%)の倍数(PV電気は熱需要にも対応するので自家消費割合は高まる)
2030年	49,150	1.10
2040年	27,196	1.20
2050年	36,370	1.30

10-50kW太陽光発電		50kW以上PV
21年/13年の比率で比例計算した各年の導入量(GJ)	自家消費割合(屋根設置は0.3程度、屋根設置以外は0。地域の状況に応じて0.3-0の間に設定)	22年/13年の比率で比例計算した各年の導入量(GJ)
155,516	0.20	22,213
253,110	0.20	30,158
337,143	0.20	30,190

陸上風力	洋上風力(沿岸)
30年: 22年3月の認定量+移行導入量 (GJ)	30年: 22.3の認定量+移行導入量 (GJ)
40年: 環境省ポテンシャルの0.03	40年: 30年の5倍
50年: 環境省ポテンシャルの0.04	50年: 30年の20倍
250	0
1,575	0
182,909	0

中小水力	地熱計
30年: 22年3月の認定量+移行導入量 (GJ)	30年: 22年3月の認定量+移行導入量 (GJ)
40年: 環境省ポテンシャルの0.15	40年: 環境省ポテンシャルの0.015
50年: 環境省ポテンシャルの0.2	50年: 環境省ポテンシャルの0.02
0	0
0	1
0	2

メタン発酵ガス	未利用木質2,000kW未満	未利用木質2,000kW以上
30年: 22年3月の認定量+移行導入量 (GJ)	30年: 22年3月の認定量+移行導入量 (GJ)	30年: 22年3月の認定量+移行導入量 (GJ)
40年: 30年の1.2倍	40年: 30年の1.2倍	40年: 30年の1.2倍
50年: 30年の2倍	50年: 30年の2倍	50年: 30年の2倍
0	0	0
0	0	0
0	0	0

一般木材	建設廃材	一般廃棄物
30年: 22年3月の認定量+移行導入量 (GJ)	30年: 22年3月の認定量+移行導入量 (GJ)	30年: 22年3月の認定量+移行導入量 (GJ)
40年: 30年の1.0倍	40年: 30年の1.2倍	40年: 30年の0.9倍
50年: 30年の1.0倍	50年: 30年の2倍	50年: 30年の0.8倍
0	0	0
0	0	0
0	0	0

バイオマス熱(業務)	太陽熱(家庭)
20年/13年の比率で比例計算した各年のGJ (マイナスになるので2020年のレベルに維持)	20年/13年の比率で比例計算した各年の台数
5	11,266
5	11,173
5	11,080

自動車における化石燃料から電気への転換 (2035年からガソリン車など販売禁止。以降、車齢に応じてEVに転換)		
EV推定台数	ガソリン・LPG・都市ガスから電気への転換率	軽油から電気への転換率
361	-	-
-	0.57	0.44
-	1.00	1.00

業務、家庭、農林漁・建鉱・機械製造・その他製造業における化石から電気への転換		
20年/13年の比率で比例計算した業務電力化率	同左家庭電力化率	同左農林漁/建鉱/機械/他製造業)の電力化率
20年/13年の比率で比例計算した業務電力化率*1.5	同左家庭電力化率*1.5	同左農林漁/建鉱/機械/他製造業)の電力化率
20年/13年の比率で比例計算した業務電力化率*2	同左家庭電力化率*2	同左農林漁/建鉱/機械/他製造業)の電力化率
0.608	0.598	0.381
0.912	0.897	0.649
1.000	1.000	0.969

化石自家発から系統電力への転換 (製紙/化学/機械製造/その他製造業)	石炭から天然ガス・都市ガスへの転換 (製造業(除:製紙/セメント/製鉄(石炭製品)))	化石燃料からバイオマス燃料への転換
化石自家発から系統電力への転換率 (製紙/化学/機械製造/その他製造業)	石炭から天然ガス・都市ガスへの転換率 (製造業(除:製紙/セメント/製鉄(石炭製品)))	20年/13年の比率で比例計算した各年の製紙業のバイオマス化率
0.500	0.50	0.000
0.800	0.80	0.000
1.000	1.00	0.000

石炭・重油から未利用エネ(廃棄物等)への転換 (セメント)		
20年/13年の比率で比例計算した各年のセメント業の石炭消費量(GJ)	20年/13年の比率で比例計算した各年のセメント業の石炭製品消費量(GJ)	20年/13年の比率で比例計算した各年のセメント業の重油消費量(GJ)
0	0	0
0	0	0
0	0	0

製鉄:電炉への転換、水素・メタンへの転換		
製鉄:電炉への転換の場合(下のセルに「1」を入力)	製鉄:電炉への転換の場合(下のセルに「1」を入力)	製鉄: 化石燃料消費量のうち水素・メタン等に転換する割合(40年代以降)
0	0	
高炉から電炉への転換の場合の系統電力消費量	高炉から電炉への転換の場合の石炭・石炭製品の消費量	0.00
0	0	0.00
0	0	0.30

水素・メタンへの転換		コジェネの拡充
船舶/航空： 化石燃料消費のうち水素・メタン 等転換する割合（40年代以降）	都市ガスのメタネー ションガスへの転換	コジェネ [都市ガス区域のみ] 2013年の発電電力量の倍数
0.00	0.01	1.20
0.00	0.01	1.30
0.20	0.20	1.50

非FIT発電		
10kW未満PV	10-50kWPV	50kW以上PV
各年の戸建住宅へ の設置のうちオンサ イトPPAの割合	各年の導入量のう ちオンサイトPPAの 割合	各年の導入量のうち 域内オフサイトPPA の割合
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50

卒FIT調達・小売の有無（1：あり、0：なし）						
太陽光発電			陸上風力	中小水力	地熱	バイオマス
10kW未満 PV	10-50kW PV	50kW以上 PV				
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

配電事業/マイクログリッド*	再エネ出力調整電源	
（1：あり、0：なし）	蓄電池	コジェネ
域内の全FIT電力買取 （PPAを除く）	（1：あり、0：なし）	（1：あり、0：なし）
1	1	0
1	1	0
1	1	0

3.1.2.5 再生可能エネルギー導入量などのシナリオに応じた系統電力のCO₂排出係数の算定

10 電力ごとに、系統電力需要量及び水素・メタンの製造のための再生可能電力需要量には、まず、再エネ発電電力量を充て、不足分は 10 電力の LNG 火力、石炭火力がカバーする。これにより、系統電力の CO₂ 排出係数が決定される。表 3 のうち、系統電力（30 年）、系統電力（40 年）、系統電力（50 年）は、本ツールにおいて算定された値である。

表 3 全国排出係数(CO₂-t/GJ)

系統電力(2013 年)	0.1424
系統電力(2020 年)	0.1758
系統電力(2030 年)	0.0575
系統電力(2040 年)	0.0333
系統電力(2050 年)	0.0264
一般炭	0.0906
A 重油	0.0693
灯油	0.0678
ガソリン	0.0667
LPG	0.0590
都市ガス	0.0499

3.1.3 結果及び考察

3.1.3.1 シナリオに応じた市区町村の 2030/2040/2050 年のエネルギー別、部門・業種別エネルギー消費量の推計

本ツールでは、対象となる市区町村を選ぶことによって、シナリオに応じた 2030/2040/2050 年のエネルギー種別エネルギー消費量が計算される。図 1-2 の各年の値は愛知県美浜町を対象にした算定結果である。

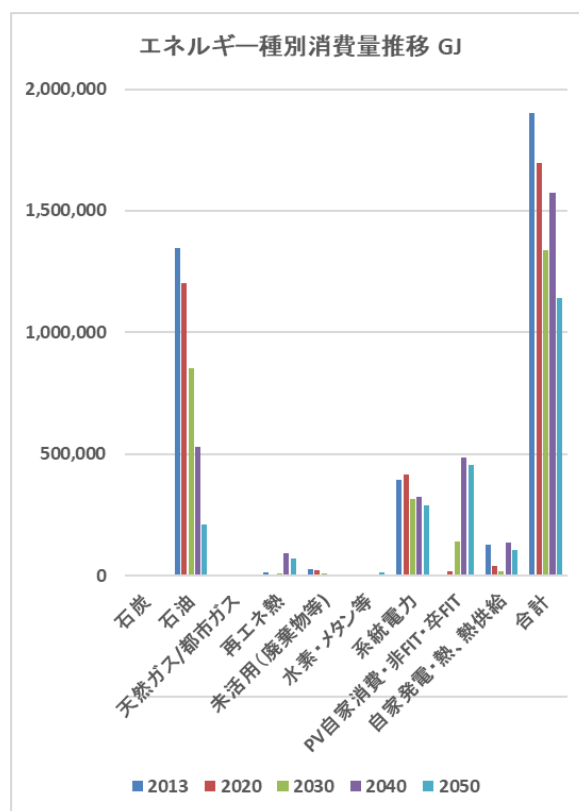


図 1-2 エネルギー種別消費量推移（愛知の推計結果）

県美浜町

3.1.3.2 シナリオに応じた市区町村の 2030/2040/2050 年のエネルギー別、部門・業種別 CO₂ 排出量の算定

本ツールでは、対象となる市区町村を選ぶことによって、シナリオに応じた 2030/2040/2050 年のエネルギー種別、部門・業種別 CO₂ 排出量が計算される。図 1-3、図 1-4 の各年の値は愛知県美浜町を対象にした算定結果である。

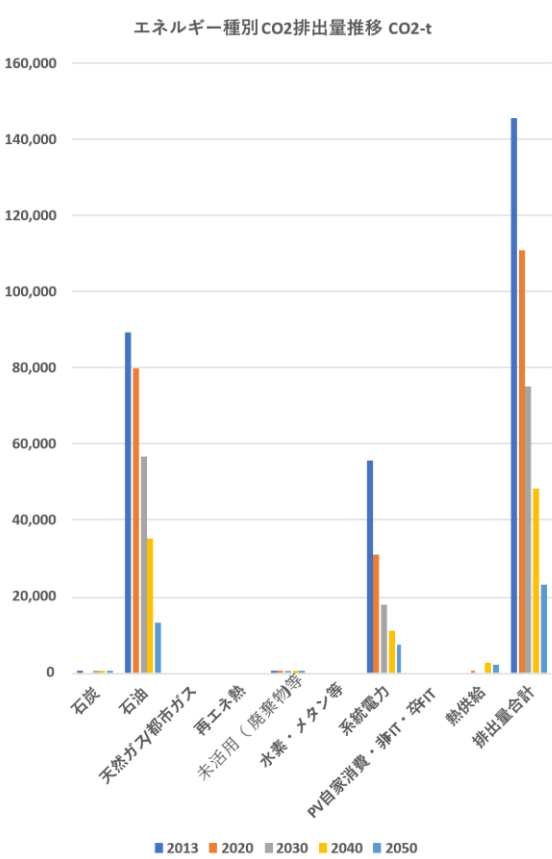


図 1-3 エネルギー種別 CO₂ 排出量推移
(愛知県美浜町の推)

当初の研究計画では、地域内活用型再エネ及びコジェネ等を前提として、アグリゲーション事業、小売事業、配電事業を一体的に運用することによる地域自立型でエネルギーレジリエンスの高い地域エネルギーシステムのモデルを提示するとしていた。しかしながら、予備的な調査として自治体へのアンケート調査及びヒアリング調査を行ったところ、電力価格高騰によって新電力会社の経営が困難になる事例が多く出ていることもあり、自治体主導の地域新電力などへの関心は非常に低く、このようなモデルを具体的な自治体において構築することは難しいと判断された。そこで上記の分析ツールの中に、すべての市区町村について、地域内での再生可能エネルギー供給量を設定するシナリオを組み込み、その結果をグラフで可視化することで、地域の自立度を考察できるようにした。

3.2 GIS を利用したカーボンニュートラル・ロードマップ作成支援・可視化ツールの開発

3.2.1 背景

気候変動の影響が深刻化し、カーボンニュートラル（CN）への対応が加速している。大手企業をはじめ、中小企業においても、CO₂ 排出量の見える化や削減対策が要求され、例えば財務諸表だけではなく TCFD 提言への対応など具体的なアクションが行われつつある。自治体においても、ゼロカーボンシティが多くの自治体で宣言されているように、その取組意欲は高まっている。しかし具体的に気候変動に対応した緩和策と適応策を実施するには、総合的なリスク分析や詳細な部門ごとの排出量を算出せねばならず、多様な情報の収集とその管理更新、削減目標の設定のための複雑の計算などが必要である。さらにその情報をわかりやすく時空間で可視化して、様々なステークホルダーに説明・開示することも求められ、担当部局の負担は大きくなっている。

一方、最近の自治体では、税務や都市計画、環境など部署ごとにバラバラに整備してきた地図情報の統合は加速している。統合型の地理情報システム（GIS）は行政デジタルトランスフォーメーション（DX）の要の一つとなっており、全 1741 市区町村の 6 割で導入されている⁴⁾。地理情報システム

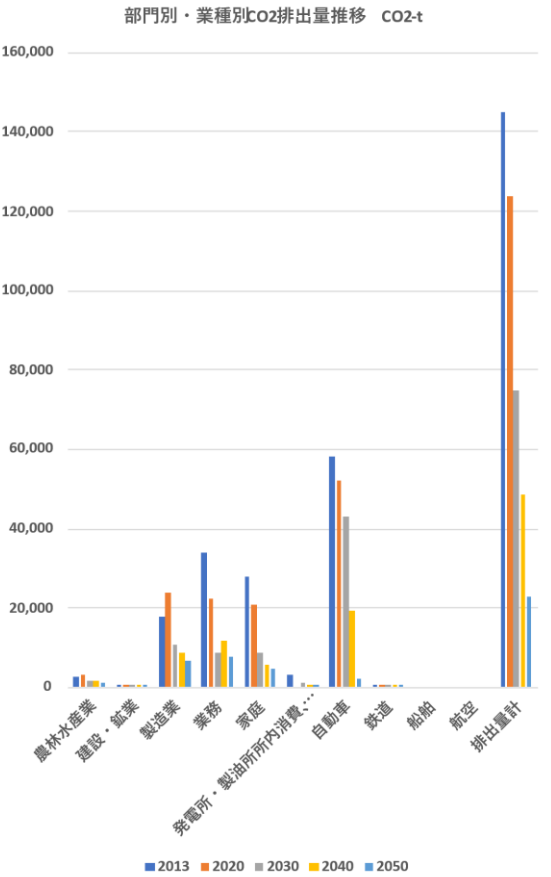


図 1-4 部門別・業種別 CO₂ 排出量推移
(愛知県美浜町の推)

(GIS)は、多様な要素の横断的な分析を可能にし、特に意思決定につながる効果的な可視化が行えることが普及の原動力となっていて、気候変動やCN対応のためにも重要なツールである。GISを用いることで、地域のCN関連の政策立案者は、地域社会における産業、電力、運輸、建物や住宅（民生）といった部門ごとのエネルギー消費やCO₂の排出量をWebGISの機能を有したGeoポータルサイトに統合して、その実態をより深く理解するとともに、再生可能エネルギーの導入や排出を削減するための適切な計画を立てることが可能になる。しかしながら、例えば全国のエネルギー使用量と発電量については、それぞれ地域エネルギー需給データベース⁵⁾と電力データベース⁶⁾から分かるものの、これらのデータベースの可視化システムは個別に開発されているため、政策立案者が統合して包括的に分析することは難しいのが現状である。

このような背景から、本章ではGISを利用した包括的な「CNロードマップ作成支援・可視化ツール」の開発とGeoポータルサイトの構築を行った。

CNを達成するには、それぞれの地域・自治体レベルでその特性に基づいた費用対効果の高いロードマップ（シナリオ）を作成する必要がある。このようなシナリオを作成するには、まず各部門におけるエネルギーの使用とCO₂排出のパターンを包括的に理解する必要がある。この分野で先進的な取組であるProject Drawdown⁷⁾では、地球温暖化を停止しさらに逆転させるための最も効果的な解決策を特定・促進することを目的とした科学者、研究者、実務家、および政策立案者からなる研究組織を構築して、温室効果ガスの排出を削減するために実装可能な多数のソリューションが設計、提案されている。このProject Drawdownの原則と研究に基づいて、例えばDrawdown Europe⁸⁾やDrawdown Georgia⁹⁾といった、地域的な実装すなわちヨーロッパと米国ジョージア州で地球温暖化を逆転させるための解決策を特定して実施することに焦点を当てた、地域の将来のゼロエミッション達成に向けたロードマップを描く取り組みが具体的に始まっている。

わが国でも同様のイニシアチブが注目されるとともに、研究されている^{10) 11)}。その最終的な目標は、自治体レベルで包括的な排出削減目標を決定し、各部門の統合的な取組を検討する政策立案者を支援して、地域の合意形成を推進するために、目標達成のロードマップを公開することである^{12) 13)}。しかしながらこれらのツールは、いずれもGISプラットフォームに統合されていない。またエネルギー関連データや排出量だけでなく、森林等による生態システムのCO₂吸収量が検討されておらず、政策立案者の要求には不十分なものであるといえる。温室効果ガス（GHG）のモニタリングとゼロカーボンロードマップ・シミュレーションのGISプラットフォームへの統合については、デジタルアースプラットフォームで検討されている¹⁴⁾。したがって本章では、政策立案者にロードマップ、目標達成に向けた進捗状況、およびその他の関連情報をすべて1つの統合GISプラットフォームで提供するデジタルアースベースのプラットフォームを開発することを目指して研究開発を行った。これにより、必要なすべての情報が1つの場所ですぐに利用できるようになるため、より効率的な意思決定と政策の社会実装が可能になることが期待される。

3.2.2 方法

図1-5は、今回構築したGISプラットフォームのアーキテクチャとその開発に用いたコア技術を示している。まず、複数の情報源からのCO₂排出量と関連データの収集、前処理、およびアーカイブを行う。このデータは、アプリケーション・プログラミング・インターフェイス(API)の開発を通じて、エンドユーザーが可視化等に利用できる。APIは、大きくCO₂排出量トラッカーとゼロカーボン・モデリング（ドローダウン）の二つに設計されている。CO₂排出量セクションでは、CO₂排出量の傾向とパターンを調べることができる。ゼロカーボン・モデリング（ドローダウン）セクションでは、1741の自治体がそれぞれ2050年までにCO₂排出量を効果的に削減するためのロードマップを提示する。

最先端のGIS技術を利用することで、意思決定者が各部門のGHG排出量データを視覚化して、その全体像を把握するとともに、特徴を分析、理解できるようにし、気候変動の影響を緩和することを目指した統合的な情報に基づいて政策決定を可能にしていることが特徴である。

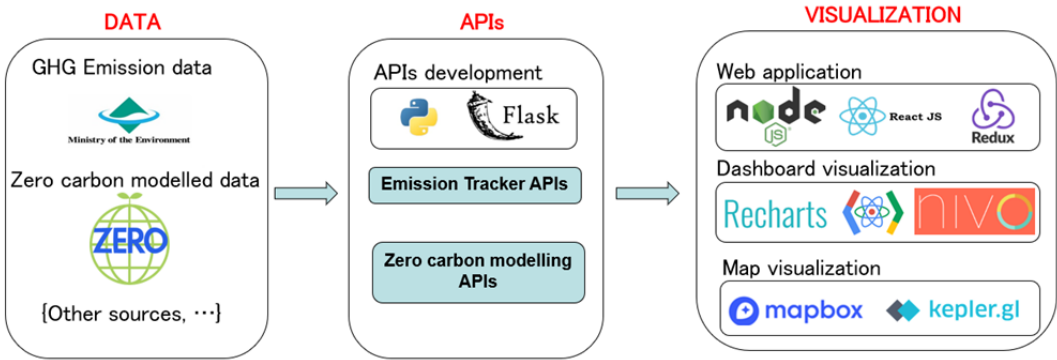


図 1-5 プラットフォーム アーキテクチャと、GIS プラットフォームの開発に用いた技術

3. 2.2.1 データ収集

表 1-4 に本 GIS プラットフォームに導入したデータセットの詳細について、それぞれ対応するデータソースとそれぞれの使用目的、開発したプラットフォームでの表示ページなどをまとめた。

表 1-4 GIS プラットフォームの開発に使用されるデータセット

データセット	情報元	目的
部門別 CO2 排出量の現況推計	環境省 (https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/suikei2.html)	排出量トラッカーページの開発
エネルギー消費統計	地域エネルギー需給データベース (https://energy-sustainability.jp/consumption/)	エネルギー消費ページの開発
発電施設	国土数値情報ダウンロードサービス (https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P03.html) 北海道電力 (https://denkiyoho.hepco.co.jp/) 東北電力 (https://setsuden.nw.tohoku-epco.co.jp/) 東京電力 (https://www.tepco.co.jp/forecast/) 中部電力 (https://powergrid.chuden.co.jp/) 北陸電力 (https://www.rikuden.co.jp/nw/denki-yoho/) 関西電力 (https://www.kansai-td.co.jp/) 中国電力 (https://www.energia.co.jp/nw/) 四国電力 (https://www.yonden.co.jp/nw/denkiyoho/) 九州電力 (https://www.kyuden.co.jp/td_power_usages/pc.html) 沖縄電力 (https://www.okiden.co.jp/denki2/)	発電所の配置 - 電力統計ページ
エリアのでんき予報		ほぼリアルタイムの電力使用量、予測、推定供給能力 - 電力統計ページ
全国特定事業所 CO2 排出量	環境省地球環境局地球規模化対策課、経済産業省産業技術環境局経済室	産業排出ページの開発
総一次生産	Vegetation Integrative SIMulator for Trace Gas	Forest Sinks ページの開発
正味の生態系生産	(VISIT) モデルの出力[12]	

生態系の呼吸	(https://db.cger.nies.go.jp/DL/10.17595/20210521.001.html.ja)	
ゼロ・カーボン地域分析ツール	ゼロ・カーボン地域分析ツール Excel ファイル形式で提供されたもの (https://zerocarbon.jp/)	ドローダウンページ 開発

3.2.2.2 Web アプリケーション

Web アプリケーションには、(1) CO₂ 排出量の実態把握 – 排出量 Tracker と (2) 炭素排出量ゼロのシナリオ (Drawdown) のモデル化の 2 つの主な機能がある。まず CO₂ 排出トラッカーでは、地方自治体レベルでの排出量の把握と森林吸収量の概要が提供される。さらに、現在の状況を理解するのに役立つように、電力等のエネルギー消費に関するデータも提供している。具体的には、(1)の CO₂ 排出トラッカーは 5 つの機能をもったタブから構成されており、それぞれ、排出の概要、森林吸収、エネルギー消費、電力統計、産業部門（特定事業所）排出とした。(2)のドローダウン・モデリングでは、2050 年までに排出量の削減を最大化するためのロードマップを描いたシミュレーション結果を提供している。インタラクティブな GIS ダッシュボードを構築するために、プラットフォーム開発にあたって具体的には次の技術を用いた。

- ・ Web アプリケーション: Node.js、ReactJS、Redux
- ・ インタラクティブチャート: Rechart、React Google Charts、NIVO
- ・ インタラクティブ マップ: Mapbox と Kepler.gl

3.2.3 結果と考察

3.2.3.1 結果

開発した GIS プラットフォームの利用シーンの概要を以下に示し、プラットフォームのメインページのインターフェイスを表示した (図 1-6 を参照)。GIS プラットフォームでは、マップとチャートを用いた視覚化を行っている。

排出量トラッカーは、自治体レベルの排出量とエネルギー消費に関する情報を提供する。視覚化されたデータはそれぞれ、排出の概要、エネルギー消費、電力統計、産業排出、森林吸収の各タブに整理される。ユーザーは、最初にドロップダウン選択ボックスまたはマップを使用して関心のある自治体を選択し、関連情報にアクセスを開始する。

[排出量の概要] タブでは、1990 年から 2019 年までのセクター (産業、民生、輸送、廃棄物) ごとに分類された排出量データが表示され、排出量の現在の状態と経時的な変化が分かる。

[エネルギー消費] タブでは、2013 年から 2019 年までの日本の地方自治体レベルで消費されたエネルギー量に関する詳細情報を、エネルギーの種類と部門別に集計して提供する。わが国のエネルギーの消費構造が分かるだけでなく、自治体は具体的にエネルギーの効率的な利用、節約といった意思決定も支援できる。

[電力統計] タブでは、発電所の種類別に集計された、日本の発電所の空間分布に関する情報を提供するとともに、Web スクレーピング技術によって国内の主要電力会社 10 社の電力使用実績、使用量予測、供給力予測の最新データを提供している。このタブでは、ユーザーが電力使用量をリアルタイムでモニタリングできるとともに、日本の電力供給の現状をより深く理解するために役立つ。

[産業排出] タブは、産業部門排出の包括的なビューを提供し、2009 年から 2017 年までの各企業 (いわゆる省エネ法における特定事業者 (事業全体のエネルギー使用量 (原油換算値) が合計して 1500kl/年度以上) を対象としている) の排出プロファイルを提示する。この省エネ法に基づいた届出情報を用いて、自治体レベルの排出量を集計し、また日本全体の産業排出量の分布も俯瞰できるようにした。さらに、自治体内の年間排出量で企業をランク付けし、自治体が産業部門の排出実態をモニタリングする際の参考情報も提供している。

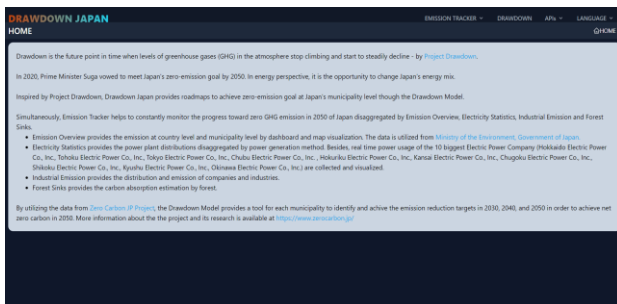
[森林吸収] タブには、3 つの主要な森林吸収に関わる変数、総一次生産量 (GPP)、純生態系生産量 (NEP)、および生態系呼吸を表示している。これらの変数は、グローバルなモデルである Vegetation

Integrative Simulator for Trace Gas (VISIT) のシミュレーションから導出されたものを用いた。これは 1901 年から 2020 年までの長期にわたりその傾向が把握できるとともに、自治体レベルでマップに視覚化し、5 年間のデータをローリング表示している。

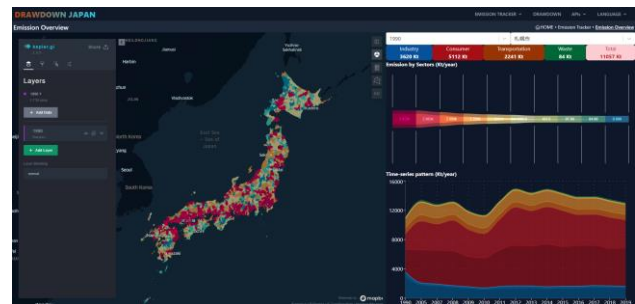
「ドローダウン」のページでは、日本の自治体レベルで 2050 年までに CO₂ 排出量を削減するための包括的なロードマップを紹介している。具体的には ①エネルギー別の消費動向、②エネルギー別の CO₂ 排出量の推移、③分野・産業別の CO₂ 排出量の推移、④地域の再生可能エネルギー電力、⑤地産地消計画、⑥総地産地消／総エネルギー使用量の割合など、さまざまなパラメータでロードマップを提示できる。さらに、2030 年、2040 年、2050 年までに削減された CO₂ 排出量の合計を示すマップも視覚化している。これにより、自治体の担当者は、自分の自治体のデータを詳細に把握だけでなく、他の類似自治体とマルチ画面で比較するなど、データをよりパーソナライズすることにより、理解が深化することが期待される。

図 1-6 に、各機能に対応するインターフェイスをまとめた。本 GIS プラットフォームは、排出量トラッカーのページで英語と日本語の両方で利用できるが、ドローダウンページは、現在日本語でのみ利用可能となっている。また、ユーザーがプログラムでデータにアクセスし、それを独自のアプリケーションまたはソフトウェアに統合できるようにする API URL も同時に提供している。これにより、今後プラットフォームの全体的な機能が強化されるだけでなく、現在進行中の気候危機への対処に役立つ知識の共有と新しいアプリケーションの開発なども促進されることが期待されている。

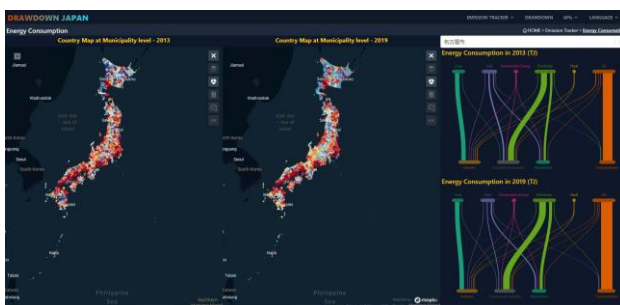
本 GIS プラットフォームは <http://de14.digitalasia.chubu.ac.jp/> で利用できる。



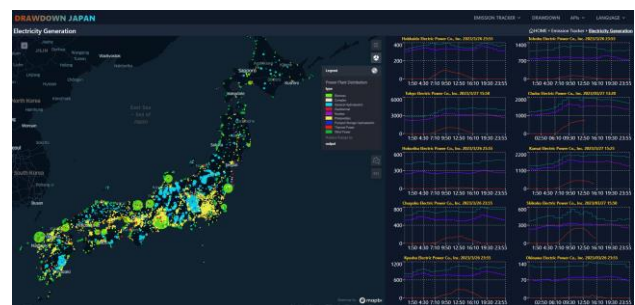
a) ホームページのインターフェイス



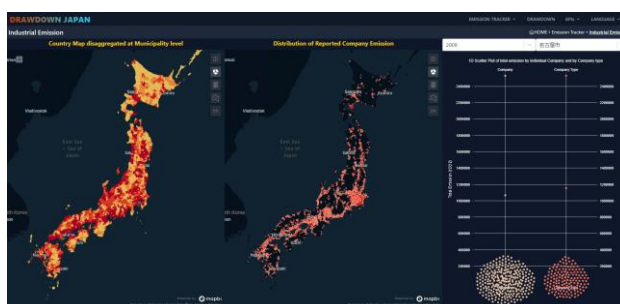
b) 排出量トラッカー タブのインターフェイス



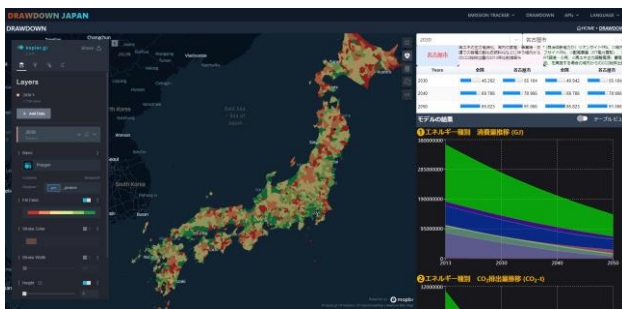
c) エネルギー消費タブのインターフェイス



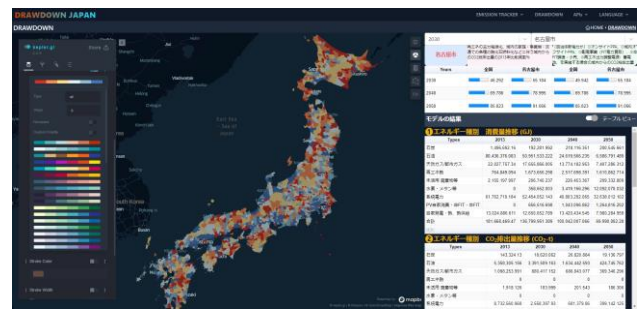
d) 電気統計タブのインターフェイス



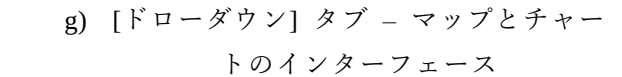
e) 産業排出タブのインターフェース



f) フォレスト シンク タブのインターフェース



g) [ドローダウン] タブ – マップとチャートのインターフェース



h) [ドローダウン] タブ – マップとテーブルのインターフェース

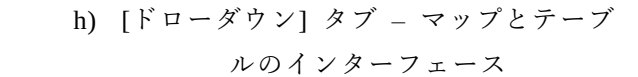


図 1-6 GIS プラットフォームのメインタブのインターフェイス

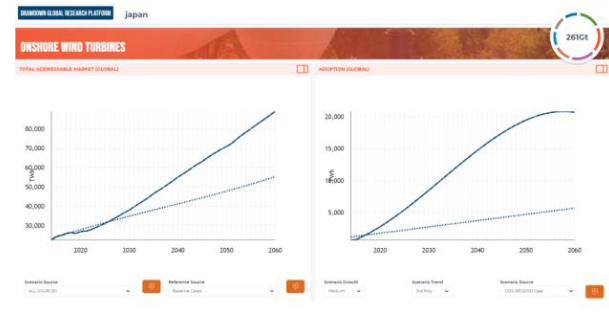
3.2.3.2 議論

本 GIS プラットフォームを Project Drawdown⁷⁾ (図 1-7a を参照) や Drawdown Georgia⁸⁾ (図 1-7b を参照) などの既存のプラットフォームと比較すると、インターフェイスのデザインは多少異なるが、チャートとマップが基本的なコンポーネントであることは共通している。

本 GIS プラットフォームとこれらの既存のプラットフォームとの主な違いは、本プラットフォームでは排出量トラッカーからドローダウンまで、GIS をすべてのコンポーネントに用いて、排出量データの包括的な表現とシミュレートされたロードマップを同時に提供することを可能にした統合的な Geoポータルになっていることである。



a) The Drawdown modelling interface of the Project Drawdown



b) The GHG Tracker interface of the Drawdown Georgia project

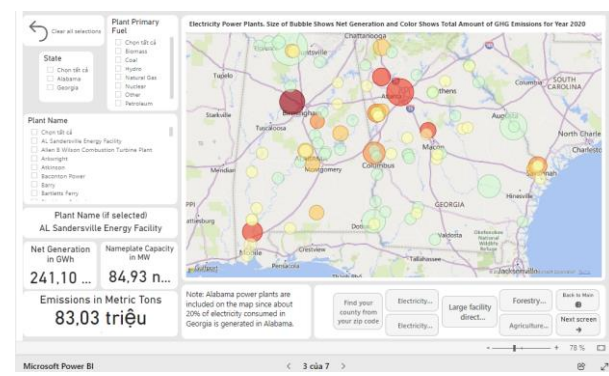
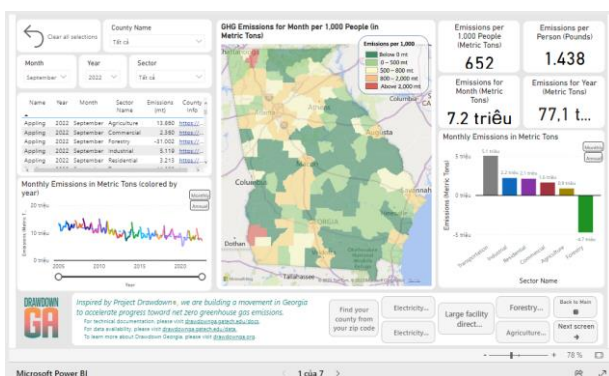


図 1-7 類似の事例
(The GHG Tracker (Drawdown Georgia) and the Project Drawdown)

今後、ユーザーの利用体験に基づく要望を、システム開発にフィードバックしながらユーザーインタフェースを改善するとともに、グローバルな視点も加えていく予定である。

3.3 地域エネルギーマネジメントに関する 500m メッシュデータベース構築とその応用

3.3.1 背景・目的

住宅・建築物の利用に関する低炭素化は特に注目されている分野の一つであり、住宅・建築物の利用に伴う CO₂排出量は全体の約 3 分の 1 を占めるといわれている¹⁵⁾。加えて、住宅・建築物は一度建築されると長期にわたって利用され、影響をもたらすという特徴もある。現在、高度成長期に建築された建物の多くが更新時期を迎えており、その更新時期に合わせて、建物の省エネ対策の促進などが検討されている。しかし、住宅・建築物に関する低炭素化に関しては、既に様々な研究が行われているが、建築物の新築・更新・廃棄の詳細な空間分布の把握に基づく議論はまだ行われていないのが現状である。

本研究の目的は、詳細解像度でのエネルギー消費量を空間的に把握するための手法を考案し、推計されたエネルギー消費量と建物の建て方、人口・世帯構成との比較分析を行うことである。具体的には、愛知県を対象として、①国勢調査とエネルギー原単位に基づくエネルギー消費量の 500m メッシュでの推計、②世帯と住宅の空間分布の変化傾向の把握し、それに基づいて作成したシナリオによる将来推計を行った。

3.3.2 方法

(1) 家庭部門のエネルギー消費量および CO₂ 排出量の 500m メッシュでの推計方法

まず、家庭部門エネルギー消費量の推計式を（式 1）に示す。

$$E_e = \sum_i (u_{i,e} \times S_{i,pop}) \quad (\text{式 1})$$

ここで、 E_e は当該メッシュにおけるエネルギー種別エネルギー消費量を示し、 e はエネルギー種（電気、都市ガス、LP ガス、灯油）、 i は世帯属性（戸建 1 人世帯、戸建て 2 人世帯、戸建て 3-5 人世帯、集合 1 人世帯、集合 2 人世帯、集合 3-5 人世帯）、 $u_{e,i}$ はエネルギー種別・世帯属性別 1 人あたりエネルギー消費量（以下エネルギー消費量原単位とする。）、 $S_{i,pop}$ は、世帯属性別の対象地域の人口をそれぞれ示す。

エネルギー種別・世帯属性別 1 人あたりエネルギー消費量は、環境省「令和 3 年度家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査」¹⁶⁾ における東海地方の値を用いた。また、世帯属性別の対象地域の人口は、令和 2 年度国勢調査の小地域集計¹⁷⁾ をもちいて、メッシュ単位で集計した。ただし、統計資料では、世帯人員の人数別世帯数と住宅の建て方別一般世帯数が別々に集計されており、世帯人員の人数別住宅の建て方別一般世帯数の値は公表されていない。そこで本研究では、世帯人員の人数別世帯数と建て方別世帯数の双方が元の集計結果を満たす組合せを検討し、世帯人員の人数別住宅の建て方別一般世帯数を推計した。

CO₂ 排出量は推計したエネルギー種別消費量に排出係数を乗じて求めた。

(2) 住宅ストックの変化と将来シナリオ

住宅ストックの変化傾向の分析のために、朝隈ら¹⁸⁾ が都市構造物の時空間変化を把握するために開発した建物の同一性判定の手法を用いて作成された建物の GIS データベース（4d-GIS）を構築した。このデータベースを利用することで、建物一棟単位の建てかわりを分析することができる。この GIS データベースは、株式会社ゼンリンが提供する住宅地図データベース「Zmap-TOWN II」（2003 年、2009 年、2014 年、2016 年、2020 年）を元に作成したものであり、2003 年-2009 年、2009 年-2014 年、2014 年-2016 年、2016 年-2020 年における住宅の新築・廃棄を 1 棟単位で把握した。

将来推計には、人口と住宅の変化を考慮した。まず、人口については、国立環境研究所日本版 SSP 開発チームが開発した日本版 SSP 別人口シナリオ^{1 9)} のメッシュ別人口シナリオ(1km メッシュ)を、2020 年国勢調査の 500m メッシュ人口の構成比で按分して、500m メッシュの人口を設定した。次に、住宅については、戸建と集合住宅に住む人口の比率が 2020 年で固定したケースと集合住宅に居住する人口が増加することを考慮し過去のトレンドが 2050 年まで維持すると仮定したケースを検討した。

3.3.3 結果と考察

図 1-8 に、国勢小地域集計の建て方別世帯数と世帯人数別世帯数から推計した建て方別世帯人数別人口分布を示す。戸建世帯に関しては、3-5 人世帯が広く分布しており、集合世帯に関しては、特に単身世帯が名古屋市中心部に突出して集中している。また、集合 3-5 人世帯は名古屋市郊外に比較的多く存在する。

図 1-9 にエネルギー消費量・CO₂ 排出量の推計結果を示す。CO₂ 排出量は、人口の集中する名古屋市に集中した。ただし、1 人あたり CO₂ 排出量は名古屋市で約 1.1t-CO₂ 前後と他の地域の約 1.0t 前後と比べやや小さくなった。本研究で設定した原単位元では、地域の世帯特性の違いにより 1 人あたり CO₂ 排出量に約 0~0.2t-CO₂ 程度の差が出ることが判明した。

愛知県全体のエネルギー消費量は 9960TJ、CO₂ 排出量は 919 万 t-CO₂ と推計された。エネルギー種別で見ると電気、都市ガスが統計値より小さく推計され、LP ガス、灯油が統計値より大きく推計されたが、概ね合致することが確認された。

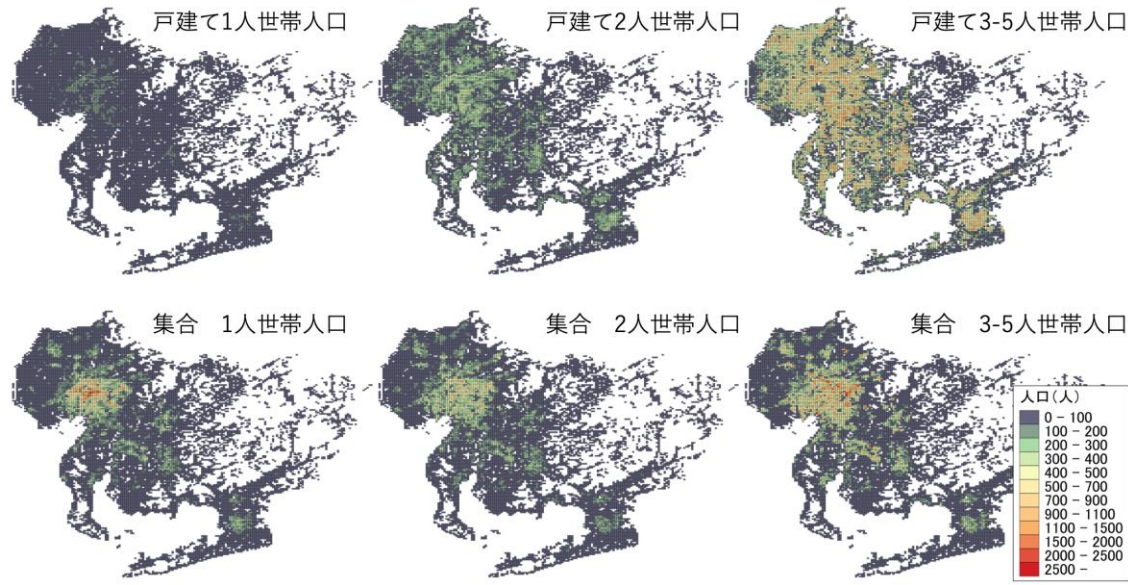


図 1-8 建て方別世帯人数別人口分布

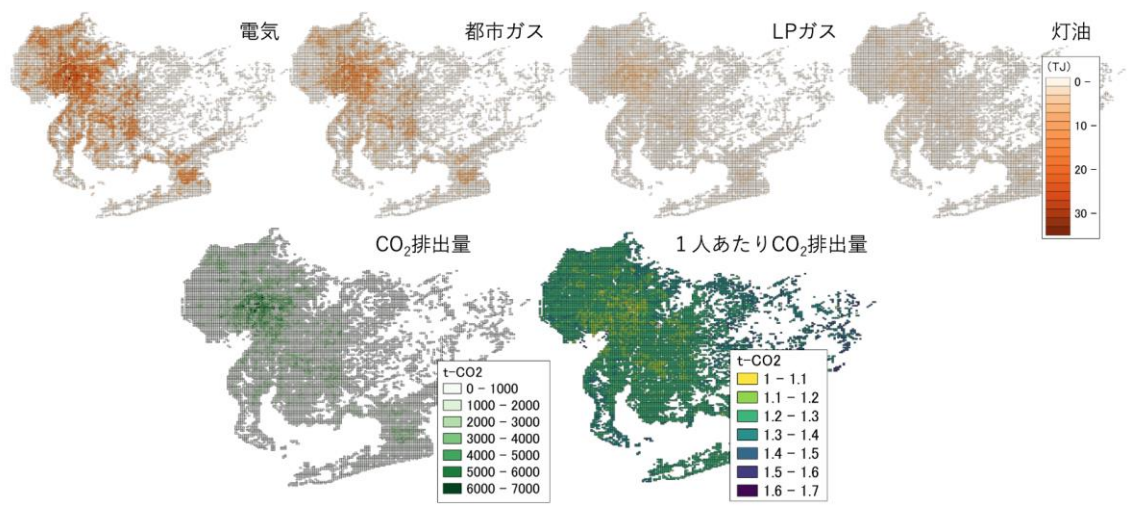


図 1-9 エネルギー消費量・CO₂排出量の推計結果

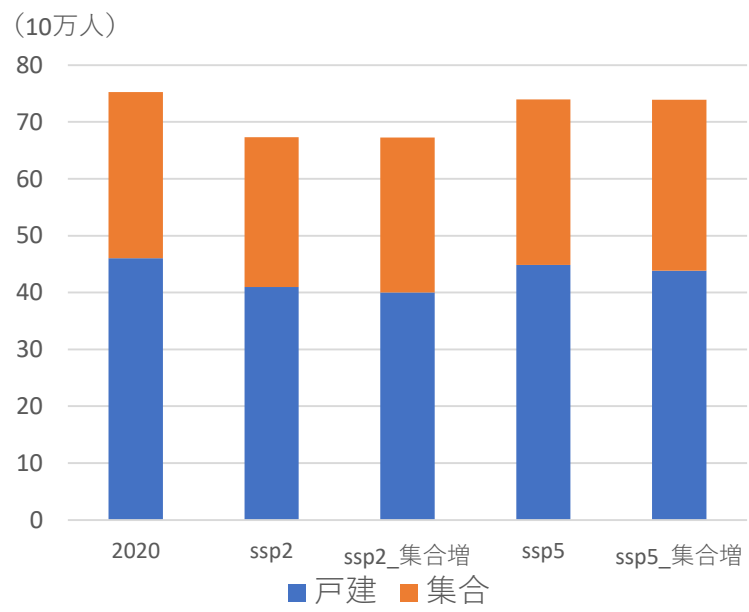


図 1-10 人口シナリオ別の戸建て住宅人口と集合住宅人口

戸建・集合世帯の構成比率の変化の可能性を考慮し、構成比率の変化として、集合住宅に住む人口が増える状況を想定した将来推計をおこなった。各メッシュで、平成 22 年と令和 2 年における集合住宅に住む人口と戸建住宅に住む人口の比率を求め、集合住宅人口のメッシュの人口に対する構成比が増加傾向にあるメッシュでは 2050 年まで集合住宅の比率が増加していくとして、2050 年の集合住宅の構成比率を決定し、戸建住宅の構成比が増加している地域では 2050 年

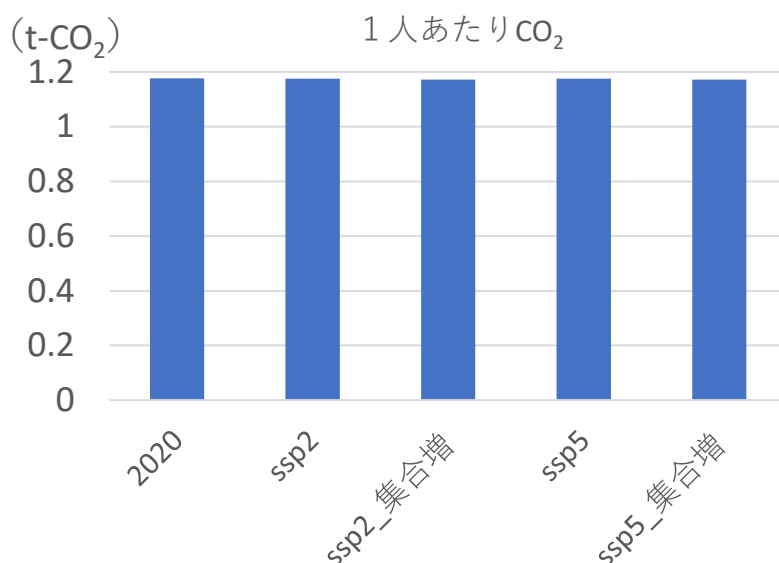


図 1-11 人口シナリオ別の一人あたり CO₂ 排出量

における戸建住宅と集合住宅の構成比は 2020 年と等しいとすることで推計した建て方別の構成比を図 1-10 に示す。各メッシュで構成比の変化を設定したが、全体の構成比の変化はわずかであった。このシナリオの元での一人あたり CO₂ 排出量の推計結果を図 1-11 に示す。集合住宅が増加するシナリオでは 1 人あたり CO₂ は僅かに減少したが、減少量は小さい。本研究で設定した条件の元での将来推計では、エネルギー消費構造に大きな変化がないといえる。このシナリオは各メッシュでの過去の傾向を強く反映したものであることから、現状のペースの構成比の変化の場合、エネルギー消費構造には大きく影響しないといえる。

3.4 エネルギー貧困政策についてのヨーロッパの動向と日本における課題

3.4.1 背景・目的

2015 年に採択された「国連持続可能な開発目標」（SDGs）のゴール 7 は「すべての人に手頃な価格で信頼性が高く、持続可能で近代的なエネルギーへのアクセス」を求めている。国連は近代的なエネルギーサービスへの普遍的なアクセスを確保することを目的とした「持続可能なエネルギー

（SEforALL）イニシアチブ」を進めている。国際エネルギー機関（IEA）では、エネルギーへのアクセスについて「世帯が、信頼性が高く手頃な価格で、クリーンな調理設備および電気の両方にアクセスできること」と定義している。このように、エネルギーのアクセスの課題には、主に発展途上国や最貧国においてガスや電気といった近代的なエネルギーを使用できない状態と、主に先進国において低所得や失業などにより生活のための十分なエネルギーが使用できない「エネルギー貧困」状態がある。

「エネルギー貧困」研究の祖ともいえる Boardman (1991)²⁰⁾ は、「エネルギー支出額/所得」が 10%を上回る世帯ないしは個人を「エネルギー貧困」と定義した。その後、多くの批判を受けながらもいまだ国際的に最も使用されている。なお、エネルギー支出額に含まれるものは電気代、ガス代、灯油その他エネルギー代であり、ガソリン代は含まれない。

奥島 (2017)²¹⁾ は、日本におけるエネルギー貧困（10%定義）は、2000 年代、特に東日本大震災後悪化し、特に、母子世帯、単身高齢者世帯で影響が深刻化していると報告した。また、「10%指標」では定義上、エネルギーを単に過剰に消費しているだけの中高所得世帯もエネルギー貧困と判定してしまうとも指摘している。

Okushima(2017)²²⁾ は、特に先進国におけるエネルギー貧困を評価するために「多次元エネルギー貧困指標」（Multidimensional Energy Poverty Index、MEPI）を開発した。MEPI は、いわゆる多次元貧困指標の一種であり、①エネルギー費用、②所得、③住宅の質、という三次元を考慮した新しいエネル

ギー貧困指標である。しかし、これらを直接的に分析するためのデータがないため、それぞれにおいて分析のためのデータセットの作成が必要となる。Okushima は、MEPI 指標を用いて世帯類型別のエネルギー貧困率の推移を算出し、母子世帯や単身高齢者世帯において、エネルギー貧困の脆弱性があることを指摘した。

Castaño-Rosa and Okushima (2021)²³⁾では、エネルギー貧困の日本の地域特性を明らかにし、エネルギー貧困リスクに影響を与えると考えられる 12 の要因を抽出し考察している。

欧州では早くから「エネルギー貧困」の課題に注目し取り組んできた。欧州委員会が 2008 年に立ち上げた「市長誓約」(Covenant of Mayors)は、2017 年から全世界の自治体のネットワーク「世界気候エネルギー首長誓約」(Global Covenant of Mayors for Climate & Energy、以下、GCoM という。)へ発展し、その 3 つの誓約の柱の 1 つに「エネルギーアクセスとエネルギー貧困」を掲げている。GCoM は 2022 年 11 月、「Energy Access and Poverty Pillar (EAPP) Annex Common Reporting Framework」を発表し、エネルギー貧困の評価指標、目標やモニタリングについてのフレームワークを提示した。

本研究では、「エネルギー貧困」について、GCoM のフレームワークやヨーロッパの先進事例を考察し、日本における今後の課題を明らかにすること、さらに、エネルギー貧困対策による CO2 削減効果について開発したシナリオツールに組み込むことを目的とした。

3.4.2 方法

- Web・文献調査
- アンケート：「世界首長誓約/日本」参加自治体 (42)
- インタビュー：①欧州委員会「エネルギー貧困アドバイザリーハブ」事務局 (ブリュッセル、ベルギー) Dora Biondani 氏、②ヘント市 (ベルギー)、エネルギー貧困担当 Joris Gansemans 氏

3.4.3 結果と考察

3.4.3.1 世界気候エネルギー首長誓約 (GCoM) のグローバル指標

GCoM は 2022 年 11 月に「Energy Access and Poverty Pillar (EAPP) Annex Common Reporting Framework」(エネルギーアクセスと貧困の柱(EAPP)共通報告フレームワーク)を示し、国や地域の状況を考慮し、3 つの属性から目標と指標を選択できるようにした(表 1-5、表 1-6)。属性とは、①エネルギーの確保、②持続可能なエネルギー、③手ごろな価格のエネルギー、である。GCoM 誓約自治体は、国や地域ごとに定めた 1 つの属性から、少なくとも 1 つの目標と指標を選択して報告する(2023 年から開始)。

表 1-5 「世界気候エネルギー首長誓約」の「エネルギーアクセスと貧困」における
3つの属性と目標リスト

属性	目標
エネルギーの確保	●2030年までに、利用可能な電力の平均期間を基準年と比較して増加させる。
	●2030年までに、電気にアクセスできる人口または世帯の割合を基準年と比較して増加させる。
	●一人当たりの年間エネルギー消費量を「改善」する(使用するエネルギーサービスのレベルと質に影響を与えることなく)。
	●地域内の再生可能エネルギー源の設置容量を増やす。
持続可能なエネルギー	●地域内の再生可能エネルギー源から生成される総エネルギー量を増やす。
	●再生可能エネルギー源からのエネルギー消費量を増やす。
	●クリーンな調理用燃料と技術にアクセスする自治体内の世帯を増やす。
	●地域内で消費される熱エネルギー(暖房と冷房)の資源ミックスの「グリーンネス」を改善する。

- 手ごろな価格のエネルギー
- エネルギー貧困に直面している自治体境界内の世帯または人口の割合を減らす。
 - 建物のエネルギー効率を高める。

出典:GCoM、Energy Access and Poverty Pillar (EAPP) Annex Common Reporting Framework

表 1-6 「世界気候エネルギー首長誓約」の「エネルギーアクセスと貧困」における3つの属性とグローバル指標

	必須のグローバル指標	必須ではないグローバル指標
エネルギーの確保	● 電気を利用できる自治体の人口、または、世帯の割合 ● 電力の平均使用可能時間 ● 一人当たりの平均年間エネルギー消費量	● 自治体内で消費されているが請求されていない電力の推定シェア(非技術的損失、違法接続) ● 典型的な月(または年)の電力供給中断の平均回数 ● 1)電気、2)ガス、3)他の資源からの一人あたりのエネルギー消費量の割合
持続可能なエネルギー	● 地域の境界内の再生可能エネルギー源の設置容量 ● 地域の境界内の再生エネルギー源から生成される総エネルギー量 ● 再生エネルギー源からのエネルギー消費量 ● 地域の境界内で消費される熱エネルギー(冷暖房)の供給源ミックス ● クリーンな調理用燃料や技術にアクセスできる自治体内の世帯の割合	● 地域の境界内の総エネルギー設備容量 ● 地域のエネルギー効率化プログラムの数 ● 地域の再生エネルギープログラムの数
手ごろな価格のエネルギー	● 地域内の人口または世帯のうち、収入の最大 X%をエネルギーサービスに費やしている割合	● 自治体内で暖房や冷房の不快感を経験したことのある世帯の割合 ● 地域レベルのクリーンエネルギー投資のうち、低所得および中所得世帯に回された割合 ● グリーン電力の価格

出典:GCoM、Energy Access and Poverty Pillar (EAPP) Annex Common Reporting Framework

表 1-6 に示した指標について、世界首長誓約/日本の誓約自治体 42 にその把握の可能性についてアンケート調査を行い、17 自治体から回答を得た。結果を図 1-12 に示す。①エネルギーの確保について、電力の供給は 100%達成していると思われるが、2016 年 4 月以降の電力小売全面自由化に伴い把握ができない、または、既存データの人口による按分、事業者のデータ提供によるが、全ては把握できないとの回答が多かった。②持続可能なエネルギーについては、固定価格買取制度(FIT・FIP)以外のものは情報が得られないなど、取り組みを進めるための指標が把握できない自治体が多いことがわかった。③手頃な価格のエネルギーについては、回答したほぼすべての自治体がこのようなデータは得られない、不明との結果であった。エネルギー価格の高騰の影響が日本国内でも当研究期間中に表れているが、「エネルギー貧困」について十分に認識されていないと思われる。

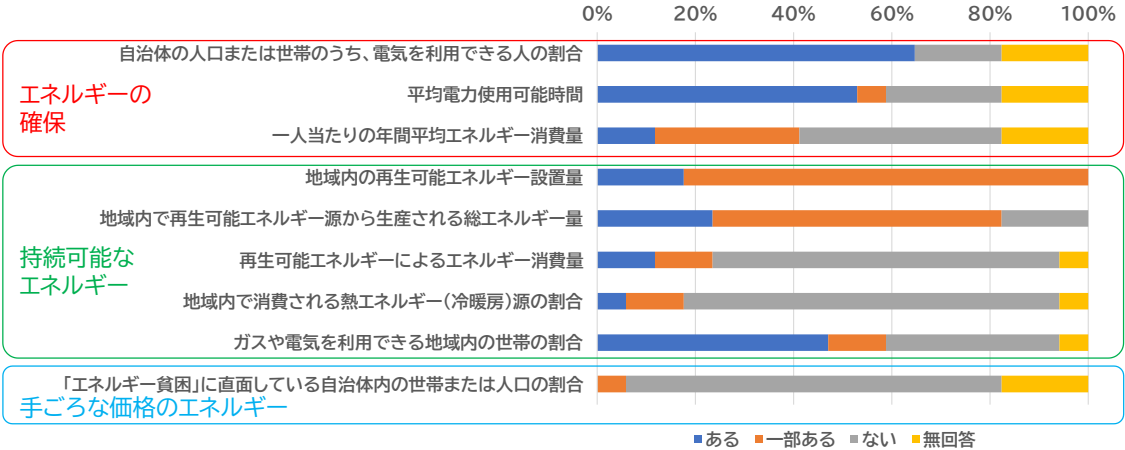


図 1-12 世界首長誓約の「エネルギーアクセスと貧困」の評価指標に関する
日本の誓約自治体の指標把握の可能性調査(N=17)

3.4.3.2 欧州の先進事例①「エネルギー貧困アドバイザーハブ」 (Energy Poverty Advisory Hub(EPAH))

欧州委員会では EPAH をエネルギー貧困のプラットフォームとして設立した。EPAH は、直接支援、オンライントレーニング、調査・情報提供および自治体や関係者のネットワーク構築などを行っている。EPAH は、2022 年に発行したエネルギー貧困のガイドブック「Introduction to the Energy Poverty Advisory Hub (EPAH) Handbooks: A Guide to Understanding and Addressing Energy Poverty」で、エネルギー貧困に取り組むためのステップとして、①診断：地域レベルでのエネルギー貧困評価、②計画策定：情報に基づいた計画の策定、③実施：インパクトのあるエネルギー貧困のプロジェクトの実施、を推奨している。また、この中でエネルギー貧困の要因や脆弱性を明らかにしている。

エネルギー貧困の影響は多岐にわたる。個人の健康やウェルビーイング、極端な室内温度は呼吸器系や循環器系の病気の悪化、熱中症、早期の死亡につながる。子どもに対しては低い教育達成度や学校の欠席率に影響し、幼少期には寒さに関連した疾患になることが多く、ウェルビーイングを低下させる。エネルギー貧困は気候変動やその他の環境問題とも相互に関連しているため、これに対処することは、個人の健康状態の改善、健康に対する政府支出の減少、教育達成度の向上、経済発展、二酸化炭素排出量の削減など、さまざまな利益をもたらすと考えられる。エネルギー貧困に影響を与える要因（表 1-7）は特に家庭の状況に起因しており、地方自治体はこの対処の最前線と言える。

表 1-7 エネルギー貧困の3大要因

要因	エネルギー貧困に関連する事項
低所得	低賃金や雇用不安、失業や社会的保護の低さ、これらが複合的に影響し経済的な貧困を招く。さらに、自らを養い、光熱費を支払うのに十分な収入が得られない状況は、一人親、障がい者、高齢者などの社会的弱者によくみられる。
家のエネルギー効率	建物のエネルギー性能の低さ、燃料の種類、使用する機器のエネルギー効率。質の悪い住宅や家電製品はより多くのエネルギーを消費する必要がある。
エネルギー価格	エネルギー価格は、生活を保障するのに十分なエネルギーを使用できるかどうかに影響する。世帯あたりのエネルギー価格は、特別なニーズを持つ社会的弱者に特に影響を与える。地政学的・経済的な要因だけでなく、気候変動に関する政策や対策によっても影響を受ける。

出典:EPAH“Introduction to the EPAH Handbooks: A Guide to Understanding and Addressing Energy Poverty”

EPAH のインタビュー（2023 年 1 月）で、Dora Biondani 氏はエネルギー貧困の単一の定義を採用しておらず、自治体が独自に定めることを推奨している。エネルギー貧困は複数の要因による複雑なものであるため、EPAH は自治体が地方レベルでのエネルギー貧困を理解し、自ら実態分析を行い、対応できるようになるよう支援することに注力している。国の統計データの使用について非常に慎重になっている理由として、平均化されたデータは地方レベルには適さずリスクがあるとのことだった。

3.4.3.3 欧州の先進事例②ONPE（l’Observatoire National de la Précarité Énergétique：国立エネルギー貧困観測所、フランス）

ONPE は 2011 年 3 月に設立され、エネルギー貧困の現状分析、指標やツールの開発を行ってきた。指標を基にエネルギー貧困の状況を各機関と連携してモニターし、「エネルギー貧困に関するダッシュボード（Tableau de bord de la précarité énergétique）」を毎年発行している。また、エネルギー貧困は個人や世帯に起因する要因と共に、地理的な特性など外的な要因によっても生じるため、ONPE は 2021 年に GEODIP（Géolocaliser et Diagnostiquer la Précarité énergétique：エネルギー貧困の地理的位置特定と診断ツール）を開発した。GEODIP では以下のような指標を取り入れ、地図上にマッピングしている（図 1-13）。

- 人口：地域内人口、年齢層別の人口
- 住居：住宅タイプ別、築年数別、敷地面積別の住居数、暖房種（ガス、電気など）別の住宅数
- 世帯：家族構成、住居状況、平均人数/世帯、貧困ライン以下の世帯数
- 移動：毎日の車での移動に関連する平均費用
- エネルギー貧困：所得が国内の下位 30% にあり、エネルギー支出が収入の 8% を超えている世帯数

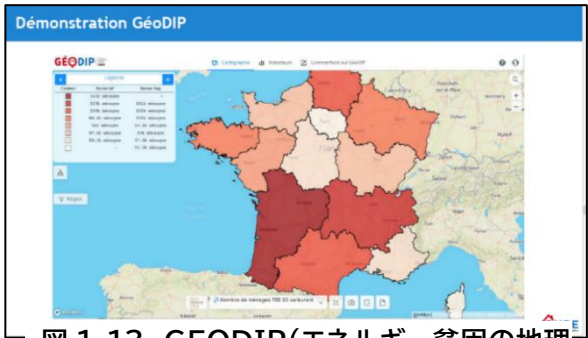


図 1-13 GEODIP(エネルギー貧困の地理的位置特定と診断ツール) 出典:ONPE

GEODIP の開発により、地域ごとにエネルギー貧困の状況が異なることが可視化され、各ステークホルダーとの対話のきっかけとなった、それぞれの要因とエネルギー貧困の関連について考えるデータを提供したなどの成果が得られている。実際には、より詳細で細かいメッシュでのデータ解析などが求められるが、地域特性を鑑みた政策議論を促すきっかけにもなっている。

ONPE が 2021 年に欧州 10 か国におけるエネルギー貧困の状況と対策について調査(Fiches descriptives sur les dispositifs de lutte contre la précarité énergétique dans 10 pays d'Europe) した結果、エネルギー貧困の状況を把握するために収集している指標は各国で異なり、ベルギー、スペイン、フランス、ギリシア、イタリア、イギリスの 6 か国で公的に収集されている指標を表 1-8 に示す。

表 1-8 各国で収集されているエネルギー貧困の指標

指標のタイプ	実施国
「エネルギー消費/可処分所得」の比率	ギリシア、イギリス(北アイルランド、ウェールズ)
「収入とエネルギー関連支出」の指標	ベルギー、スペイン、フランス、イタリア、イギリス(スコットランド)
寒冷への感覚(寒さ)に関する指標	ベルギー、スペイン、フランス
暖房措置への制限に関する指標	ベルギー、スペイン、ギリシア、イタリア
低収入、低エネルギー効率	イギリス(イングランド)

エネルギー貧困ギャップ(快適な室温を維持するために追加に必要なエネルギー消費量)
未払いの請求書

イギリス(イングランド、スコットランド)

スペイン

出典:ONPE “*Brochure Contexte et dispositifs de lutte contre la précarité énergétique*”¹⁾

3.4.3.4 欧州の先進事例③ヘント市（ベルギー）の取組み

ヘント市（ベルギー、人口約 26 万人）のエネルギー貧困の現状と取組みについて、担当の Joris Gansemans 氏にインタビューした（2023 年 1 月）。ヘント市は 2009 年に「Covenant of Mayors（市長誓約）」に署名、欧州域内で先進的に様々なプログラムを実施している。

Gansemans 氏は、エネルギー貧困の状況把握として次の 3 つのいずれかに、フランダース地域で 5 軒に 1 軒が該当すると推定している。

- 測定されたエネルギー貧困: エネルギーコストに可処分所得の多くを費やしている。
- 隠れたエネルギー貧困: エネルギー消費が大幅に削減され、エネルギーコストが非常に低いことを意味する。
- 主観的なエネルギー貧困 : 暖房に十分な住宅を提供することが財政的に困難であると宣言している。

ベルギーでは冬が長く寒さが厳しいため、冬の期間中は仮にエネルギー料金の支払いが滞ってもエネルギー供給を停止してはならないと法律で定めている。ヘント市ではこうした世帯を対象に、プリペイド式の電力スマートメーターを設置し、返済のローンを組むアドバイスをしている。

ヘント市は 19 世紀に発展した際にできた歴史的な街であり、石造りの建物が多く、エネルギー効率がとても低いことが、エネルギー貧困の大きな要因となっている。市では、住宅の改修や公営住宅の増加に取り組んでいる。エネルギー改修のアドバイザーとして、失業者をトレーニングして派遣するなど福祉施策との融合もユニークである。

From analog to prepaid digital budget meter

写真：ヘント市における施策の予算メーター（Budget meter）
出典：ヘント市資料より引用



とつ「予

- Prepaid (online or in the office)
- Minimum energy delivery from 1/11 until 31/3
- Never

3.4.4 考察

日本の誓約自治体のアンケートで、「貧困対策は福祉関係の部署で実施しているため、なぜ、エネルギー貧困に狭めて扱うのかわからない。」との回答があった。この疑問に対し EPAH の Biondani 氏は、「エネルギー貧困は、表向きは貧しくない人も陥る可能性がある」と話した。例えば、家族から相続した古い家に住み、断熱が施されていない家で古い家具や家電を使用する人々は、貧しいとは判断されない。しかし、膨大な回収費用を賄えるほど裕福ではないため、エネルギー脆弱性に晒されることとなる。こうしたエネルギー貧困に陥るリスクに晒される人を明らかにするためにも、「エネルギー貧困」を用いている。さらに、「隠れたエネルギー貧困」の存在も強調した。エネルギー貧困に直面する人々は、多くがウェルビーイングを下げることで対応して表面化しないため認知が難しい。

エネルギー貧困の対策が CO₂ 削減と目指す方向が同じとは限らないと断ったうえで、Biondani 氏は、エネルギー貧困を正しく扱う必要がある、補助金や生活費の負担軽減は緊急措置として講じられても長期的な問題解決にはならないため、住宅のエネルギー効率の改善や再生可能エネルギー導入など構造的変化をもたらす対策をすべきだとした。

日本においては基礎自治体で把握できるデータが十分なく、EAPP が求める必須のグローバル指標ですら収集が困難である（データが存在しない）ことが明らかとなった。家計調査は全国の市区町村から選定された一部の地域においてのみ実施されるものであり、非対象地区にとっては有益な情報とはならない。また第3節では奥島による日本のエネルギー貧困の測定を紹介したが、いずれも対象や地域をある程度絞り込むことは出来ても、概要・潮流をとらえるに留まっている。エネルギー貧困は特定の指標のみで評価・判断することが難しく、収集されたデータを加工・分析することが必要であり、匿名性の高いデータだけでは、各情報を紐づけ立体的にエネルギー貧困の状況を把握するのが難しいことが起因している。

研究計画では、エネルギー貧困対策による CO₂ 削減効果について、シナリオツールに組み込むことを目的としていたが、日本国内ではエネルギー貧困世帯を表すデータが的確に得られないこと、ヘント市の Gansemans 氏が指摘したように、エネルギー貧困の世帯からの CO₂ 排出量は多くないことから、シナリオツールへの組み込みは行わず、今後の研究課題とした。

日本においてエネルギー貧困の議論を進め、具体的な取り組みを実施していくに際しては、①基礎自治体レベルでエネルギー貧困の現状を把握できるためのデータ収集のありかたを検討する、②エネルギー貧困の定義またはターゲットとなる層を定める、③エネルギー貧困の現状を把握し、効果的な対策を検討する必要がある。ターゲット層の特定、データ収集においては、行政のみでは難しく、電力供給事業者や NPO、市民団体などと連携し、複数のチャンネルから取り組むことが必要となる。またエネルギー貧困は経済的な要因に留まらず、健康被害や住環境整備など行政機関においても複数の部署にまたがるため、行政内での横断的な連携も不可欠である。

既に欧州ではエネルギー貧困を自治体レベルで把握し、エネルギー貧困対策に特化した取り組みが行われている。日本の政府、自治体がこれらグッドプラクティスから学ぶことは多い。しかしながら、いずれにしても、地域特性を考慮したエネルギー貧困を定義し、対象となる層を特定することが、具体的かつ効果的な施策を実施するためには不可欠であろう。そのための現状把握のための取り組みが、エネルギー貧困への第一歩になると考えられる。

4. 結果及び考察

本研究では、全体目標であったゼロカーボン地域シナリオ分析ツールの開発に成功し、エクセルファイル形式での配布を開始した。以下の Web サイトから自治体関係者を対象にダウンロードできるようにしている。2023 年 3 月 31 日現在で 58 件のダウンロードがあった。

<https://zerocarbon.jp/>

またこのツールを組み込んだ GIS ベースの Web アプリケーション Drawdown Japan を作成することに成功した。

<http://de14.digitalasia.chubu.ac.jp/>

これらのツールを使って 1741 のすべての市区町村について、2030 年、2040 年、2050 年のエネルギー種別、部門別・業種別のエネルギー消費量、CO₂ 排出量などがグラフによって示すことができるようになった。エクセルファイルのツールではシナリオのパラメータを変更することによって、結果がどう変わるかをシミュレーションすることができ、それぞれの自治体でカーボンニュートラル社会に向けてのロードマップを描くことができるようになった。

現在公表されている類似のツールには以下のようなものがあり、それぞれ特徴をまとめる。

千葉大学 カーボンニュートラルシミュレータ <https://opossum.jpn.org/news/2021/09/30/805/>

市区町村ごとに、まず 2050 年の人口、建造物数、自動車台数などを推定し、それに基づいて民生部門（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推計。シナリオのパラメータとしては、建物のゼロエネルギーハウスなどの比率、自動車量の削減比率、電気自動車の割合、再生可能エネルギーの寄与などで、地域内の需要を満たすような組み合わせをシミュレーションによって探索するもの。農林水産業以外の産業部門、発電などエネルギー転換部門などは「国などの広域的な取り組みが行われるもの」としてシミュレーションの対象としていない。エネルギーに関する投資額、コスト、販売額など経済指標も算出する。

東北大学 地域エネルギー需給データベース

<https://energy-sustainability.jp/>

市区町村ごとにエネルギーの需給構造をエネルギーフロー図として可視化。将来の需給については、再生可能エネルギー導入量、部門別電化率、水素などの燃料代替率、社会経済指標、地域間エネルギー融通量などをパラメータとしてシナリオ分析ができる。地域エネルギーに関する経済収支を計算するところに特徴がある。

これらのツールと比較して本研究で開発したツールは自治体ユーザー側から見て以下のような特徴があると考えられる。

- 1) 地域のエネルギー需給の全体像を把握できる。産業部門を含めて特にエネルギー種別、部門別にエネルギー需給が把握されるので、地域の全体像をつかみやすい。
- 2) デフォルト値として過去のトレンドに基づいたパラメータがあらかじめ入力されているので将来ロードマップがすぐに出力される。ユーザーはデフォルト値を基準に必要なパラメータを動かしてシミュレーションできるので、より将来の姿を把握しやすい。
- 3) Drawdown Japan を用いれば、結果がビジュアルにわかりやすく表示される。
- 4) 経済指標の計算はしないので、ゼロカーボンへの取り組みの地域経済に対するインパクトを知りたいときには他のツールを使う必要がある。

本研究で開発されたツールの課題として、エネルギー需要の将来推計を精緻化する必要がある。この点で家庭部門のエネルギー消費の予測を精緻化するために、試行的に名古屋市について 500m メッシュでエネルギー消費量を推定するデータベースを構築することができた。データベース中の項目として戸建て住宅、集合住宅ごとの世帯人数が得られる。そこでそれぞれの世帯形態ごとに一人当たり CO₂ 排出量を推定した。さらに将来の人口減少に伴う世帯形態の変化についてのシナリオに基づいて一人当たり CO₂ 排出量の変化を推定したところ、いずれの人口減少シナリオでもそれほど大きな違いはないと示唆された。

エネルギー貧困政策についてヨーロッパの動向を詳細に把握した。特にエネルギー貧困世帯を認定するための各種指標について、多様な指標が使われており、それらの指標についての調査・把握が進んでいることが明らかになった。またエネルギー貧困対策としてさまざまな施策が実施されていることが明らかになった。一方、日本の自治体関係者へのアンケート調査では、福祉政策ではなくエネルギー政策として考えることへの戸惑いの声が聞かれた。また、まずは実態把握を行うところからやらなければなら

ないのであるが、そのための調査やデータが皆無であることも明らかになった。日本での取り組みヨーロッパに比べて立ち遅れており、問題意識を高めるところからの啓発活動が必要ことが明らかになった。

5. 研究目標の達成状況

市区町村のロードマップ（系統電力活用型）作成ツールの開発に成功し、結果を可視化する Web アプリケーションの開発にも成功した。また家庭部門のエネルギー消費の予測の精緻化をはかる方法論を開発した。この点については目標を上回る成果を上げることができた。一方、地域自立型類型別モデルの開発については、新型コロナウイルス感染拡大、ウクライナ戦争とともに国内での電力市場の制度的な未成熟もあり、電力価格が高騰したことで新電力会社が経営に行き詰まる事例が多数見られたことを背景に、自治体の地域新電力などへの関心が非常に低いことが明らかになったため、現実的なモデル構築は困難と判断し、目標を達成することはできなかった。エネルギー貧困対策についてのヨーロッパにおけるグッドプラクティスを把握することができ、日本の自治体の課題も明らかになった。これについては目標どおりの成果を達成することができた。これらの結果として、「2050 年実質ゼロカーボン/地域自立エネルギーシステム・ロードマップ」を作成し、提示するという目標どおりの成果を達成できたものと考えられる。

6. 参考文献

- 1) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」
https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html
https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html
- 2) 総務省統計局「経済センサス」<https://www.stat.go.jp/data/e-census/index.html>
- 3) 国土交通省「市区町村別自動車保有車両数」
https://www.tb.mlit.go.jp/kanto/jidou_gian/toukei/tiiki_betu.html
- 4) <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCC314EI0R30C23A1000000/>（2023 年 2 月 10 日の日経新聞配信記事，2023 年 3 月 28 日アクセス）
- 5) Energy Sustainability Laboratory, Tohoku University（中田研究室），“地域エネルギー需給データベース”<https://energy-sustainability.jp/>（2023 年 3 月 28 日アクセス）
- 6) 北本朝展“エレクトリカル・ジャパン（Electrical Japan）”<http://agora.ex.nii.ac.jp/earthquake/201103-eastjapan/energy/electrical-japan/>（2023 年 3 月 28 日アクセス）
- 7) “Project Drawdown.”<https://drawdown.org/>（2023 年 3 月 28 日アクセス）
- 8) “Drawdown Europe.”<https://drawdowneurope.org/>（2023 年 3 月 28 日アクセス）
- 9) “Drawdown Georgia.”<https://www.drawdownga.org/>（2023 年 3 月 28 日アクセス）
- 10) 竹内恒夫. 広域的地域における長期的 CO₂ 削減ロードマップ作成の試み. 環境科学会誌, vol. 23, pp. 307–313, 2010.
- 11) 竹内恒夫, 激論!! どうする原発~存続か廃止か~脱原発で CO₂ 大幅削減-脱原発・脱温暖化ロードマップ提案- 月刊ビジネスアイ エネコ, vol. 44, pp. 24–27, 2011.
- 12) 高野雅夫, 谷川寛樹, 杉山範子, 竹内恒夫, 2050 年実質ゼロカーボン/地域エネルギーシステム・ロードマップ」研究.<https://zerocarbon.jp/>（2023 年 3 月 28 日アクセス）
- 13) 千葉大学大学院社会科学研究院（倉阪研究室）“カーボンニュートラル・シミュレータ”
<https://opossum.jpn.org/news/2021/09/30/805/>（2023 年 3 月 28 日アクセス）
- 14) H. Fukui, D. C. Man, and A. Phan. Digital Earth: A platform for the SDGs and green transformation at the global and local level, employing essential SDGs variables. Big Earth Data, vol. 5, pp. 476–496, 2021.

- 15) 秋山宏, 伊香賀俊治, 木俣信行. 地球環境問題への建築学会としての取組みと展望 地球環境委員会の活動. 建築雑誌, 114(1444), 1999.
- 16) 環境省, 家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査,
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html>
- 17) 「令和 2 年国勢調査小地域集計」 <https://www.e-stat.go.jp/statistics/00200521>
- 18) 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹. 建築物の年代間での同一性判定を用いた東京都市圏における更新量の推計. 環境情報科学論文集, ceis32, pp.13-18, 2018.
- 19) 日本版 SSP 開発チーム, 国立環境研究所. (2020). 日本版 SSP 市区町村別人口推計について.
- 20) B. Boardman, “Fuel poverty: from cold homes to affordable warmth”, Policy Studies, 12. 4, pp. 30-41, 1991.
- 21) 奥島真一郎「『エネルギー貧困』・『エネルギー脆弱性』・『エネルギー正義』——日本における現状と課題」, 科学, vol.87, 1019-1027, 2017
- 22) S.Okushima. Gausing energy poverty: A multidimensional approach. Energy, vol. 137, pp.1159-1166, 2017.
- 23) R. Castaño-Rosa and S. Okushima. Prevalence of energy poverty in Japan: A comprehensive analysis of energy poverty vulnerabilities. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 145, 111006, 2021.

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

特に記載すべき事項はない。

<査読付き論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

【サブテーマ1】

- (1) 永田 聡太、蛭田 有希、白川 博章、谷川 寛樹、災害被害削減・GHG 排出削減の住宅ストック更新からの検討，環境システム研究論文発表会講演集，50，pp.37-42（2022）

(2) 口頭発表（学会等）

【サブテーマ1】

- (1) 永田聡太、白川博章、谷川寛樹（2022）住宅ストックの更新を適応策・緩和策双方から評価するための地理情報システムを用いた基盤構築，2022年度 土木学会関西支部年次学術講演会 2022年5月29日（日） 関西大学
- (2) 杉山範子、世界気候エネルギー首長誓約における「エネルギーアクセスとエネルギー貧困」、世界首長誓約/日本セミナー（オンライン開催）主催：世界首長誓約/日本事務局（名古屋大学）2022年7月26日
- (3) 杉山範子、地域から始める本気の気候政策～世界気候エネルギー首長誓約～
JST「顕在化する社会課題の解決」領域公開シンポジウム『複雑化する社会課題解決の道筋を探して』基調講演、主催：国立研究開発法人科学技術振興機構、2023年3月26日
- (4) Masato MORITA, Hiroaki SHIRAKAWA, Hiroki TANIKAWA, 2022, Future simulation of urban metabolism considering in-use and obsolete stock: Case study on Kitakyushu City, Japan, the 14th ISIE Socio-Economic Metabolism section conference. 19-21 September 2022, Vienna University of Economics and Business (WU), Vienna.Austria
- (5) Naho Yamashita, Hiroaki Shirakawa, Hiroki Tanikawa, 2022, Material stock and flow analysis and resource efficiency assessment of non-metallic minerals in Japan, the 14th ISIE Socio-Economic Metabolism section conference. 19-21 September 2022, Vienna University of Economics and Business (WU), Vienna.
- (6) Ruirui Zhang, 2022, What matters most to building material intensity? Random forest based evidence from China, the 14th ISIE Socio-Economic Metabolism section conference. 19-21 September 2022, Vienna University of Economics and Business (WU), Vienna.Austria

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(4) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(5) 本研究費の研究成果による受賞

特に記載すべき事項はない。

(6) その他の成果発表

ゼロカーボン地域シナリオ分析ツールは以下の Web サイトから自治体関係者を対象に公開した。

<https://zerocarbon.jp/>

またこのツールを組み込んだ GIS ベースの Web アプリケーション Drawdown Japan を公開した。

<http://de14.digitalasia.chubu.ac.jp/>

IV. 英文 Abstract

Roadmap toward the substantially zero-carbon and self-supportive local energy system in the year 2050

Principal Investigator: Masao TAKANO

Institution: Nagoya University, Chikusa, Nagoya, JAPAN

Tel: +81-52-789-2518 E-mail: masao@nagoya-u.jp

Cooperated by: Chubu University

[Abstract]

Key Words: Climate change, Carbon-neutral, Renewable energy, Municipality, Roadmap, Scenario analysis, GIS, Energy poverty

This research aims to create a tool that can simulate energy supply and demand and CO₂ emissions by setting energy supply and demand scenarios and renewable energy implementation scenarios for each municipality, and to develop a method to visually present it in an easy-to-understand manner. We also aim to provide the information of the trends on the policy concerning energy poverty in Europe. As a result, we succeeded in developing a zero-carbon regional scenario analysis tool and started distributing it in Excel file format. We have also succeeded in creating a GIS-based web application Drawdown Japan with incorporating this tool. Using these tools, it is possible to show graphs of energy consumption and CO₂ emissions by energy type as well as by sector and industry in 2030, 2040, and 2050 for all 1741 municipalities. The Excel file tool can simulate how these values change by changing the parameters of the scenario, and each municipality can now draw a roadmap for a carbon-neutral society.