

2-1711

資源・エネルギーの統合利用による「低炭素型地域再構築」の計画分析モデル開発と実証

課題代表者
累計予算額

芦名秀一（国立環境研究所）
141,010千円


- | | |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| サブテーマ1 | 資源・エネルギー利用を統合化した都市・地域レベルでの低炭素施策評価モデル及び都市・自治体向け簡易評価モデルの開発
（国立環境研究所 芦名秀一・藤田壮・藤井実・五味馨） |
| サブテーマ2 | 低炭素な都市空間構築に向けた運輸旅客・民生家庭部門二酸化炭素排出量推計手法の開発
（国立環境研究所 松橋啓介・有賀敏典） |
| サブテーマ3 | 低炭素でレジリエントな都市空間構築に向けた建設ストック更新評価システムの開発
（名古屋大学大学院 谷川寛樹・奥岡桂次郎*） |
| サブテーマ4 | 持続可能な資源・エネルギー利用に向けた地域拠点設計手法の開発と実証
（東北大学大学院 中田俊彦・古林敬顕**・ドラージュ・レミ***） |

*平成29年度～令和元年度9月、**平成29年度～平成30年度、***令和元年度（いずれも人事異動による変更）

本研究課題の背景

- **パリ協定**で合意された長期目標実現に向け、国全体と同様に**都市や地域でも技術と制度・政策を組み合わせた具体的に将来像、目標及び実現する道筋を設計**することが必要。

[研究課題開始以降の社会情勢の変化]

- **第五次環境基本計画**では、**地域循環共生圏**の創造と、それに向けた重点戦略③『**地域資源を活用した持続可能な地域づくり**』と同②『**国土のストックとしての価値の向上**』で低炭素化も含めた都市や地域での取組の強化を提示。
 - **気候変動適応法**にて、地方自治体による**地方気候変動適応計画**の立案及び推進を位置づけ。
 - **SDGs未来都市**などの内閣府等による環境面も含めた**地方創生の先導モデル構築**の推進。
- 
- **都市・地域での気候変動の取り組み強化**がますます重要に。

- 都市・地域で、抜本的な温室効果ガス削減のための**計画づくり・政策立案を支援**し、先導モデルの水平展開を後押しできる**モデル・ツール**が必要。

+

- 一部要素では検討の前提となる現況把握・情報が十分整備されていない。

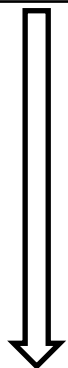
本研究課題の目標及び実施内容

目標

1. 資源・エネルギー利用を中心に、わが国の都市や地域を低炭素でレジリエントな「低炭素型地域再構築」する計画分析モデルの理論及び手法の確立。
2. 開発した手法の複数都市を対象とする実証。
3. 簡易手法を開発し、温暖化対策実行計画立案等を通じた、地方自治体の地域再構築に向けた政策立案支援。

実施内容

空間情報を活用した個別部門での詳細検討(サブ2、3、4)

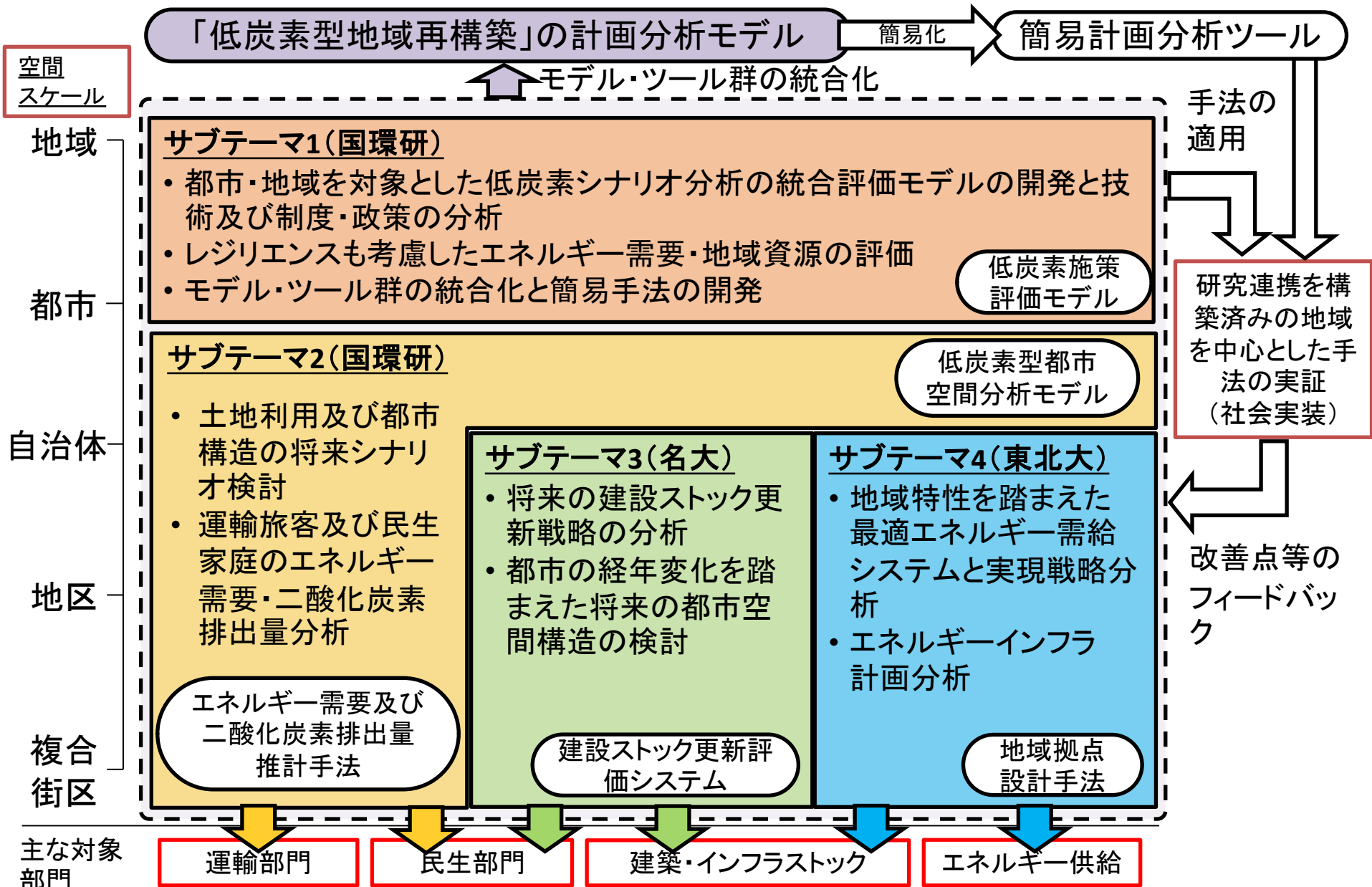
- 
1. 土地利用・都市構造(サブ2)と建設ストックの持続的な更新(サブ3)を評価し、低炭素でレジリエントな都市空間像を分析。
 2. 民生・運輸部門のエネルギー需要・二酸化炭素排出量の詳細分析(サブ2)と都市内の低炭素なエネルギー需給システム(サブ4)を検討。

都市・地域全体での総合分析及び簡易手法開発・社会実装(サブ1)

1. 地域特性を踏まえた技術及び制度・政策の評価と実現の道筋を検討。
2. 開発した一連の手法を統合的に連携させた計画分析モデル構築と、ExcelやWebで検討可能な簡易手法を開発・提供。

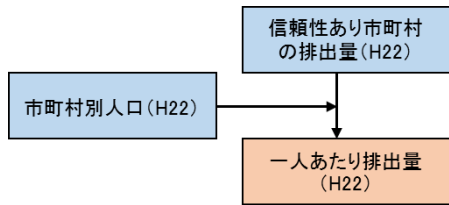
本研究課題の構成

分析のコアとなる
モデル・ツール

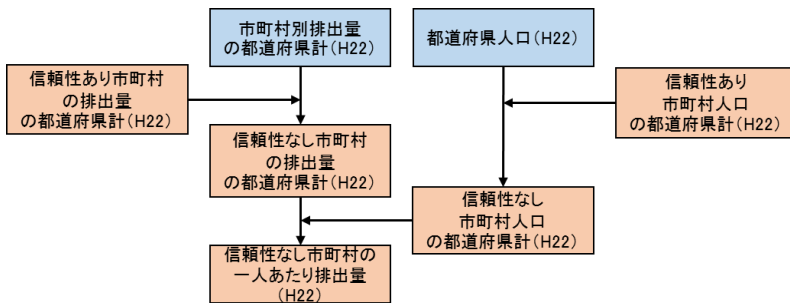


一人あたり乗用車CO₂排出量推計の改良

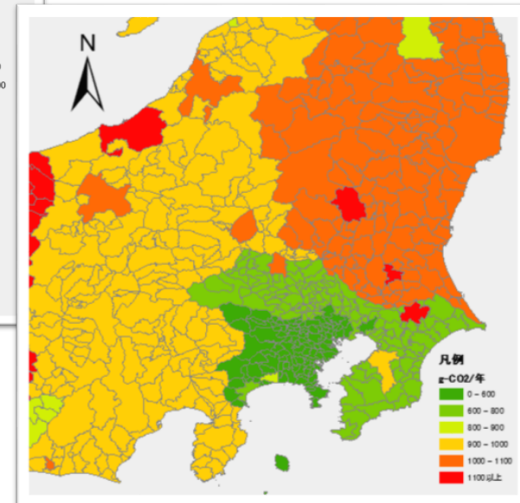
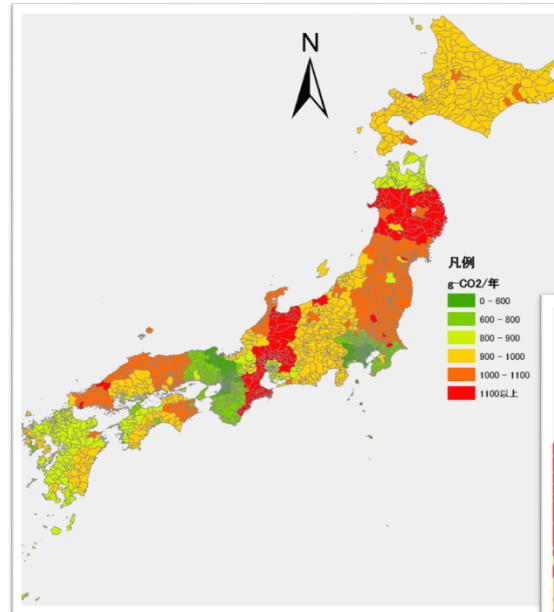
- 推計の元データとしてきた全国道路・街路交通情勢調査(道路交通センサス)の方法が変更となり、**2010年以降はサンプル数が従来の約6分の1に減少し、排出量推計が困難**となっていた。そこで、**道路交通センサスデータのサンプル数の観点から求める推計値の信頼性**を考慮した評価手法を開発。
- 今回の推計手法を用いることにより、都道府県別のCO₂排出量を前提に、一部の市町村については信頼性を有し、かつ地域の特徴を反映した値が提供可能となった。



(a) 信頼性ありの場合



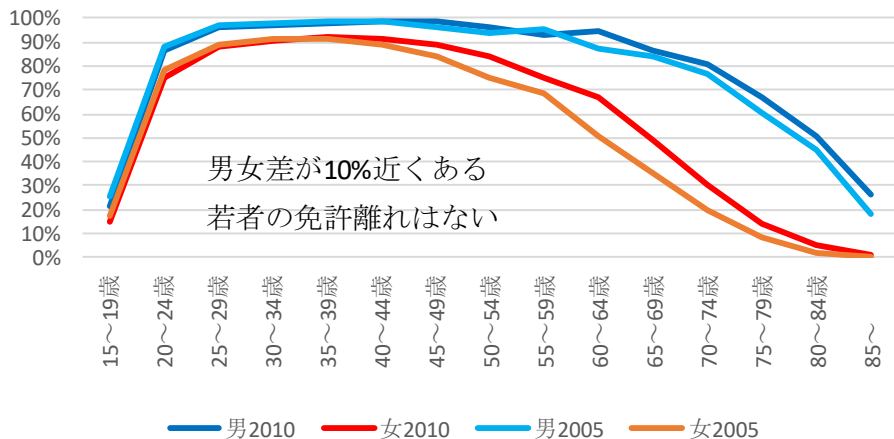
(b) 信頼性なしの場合



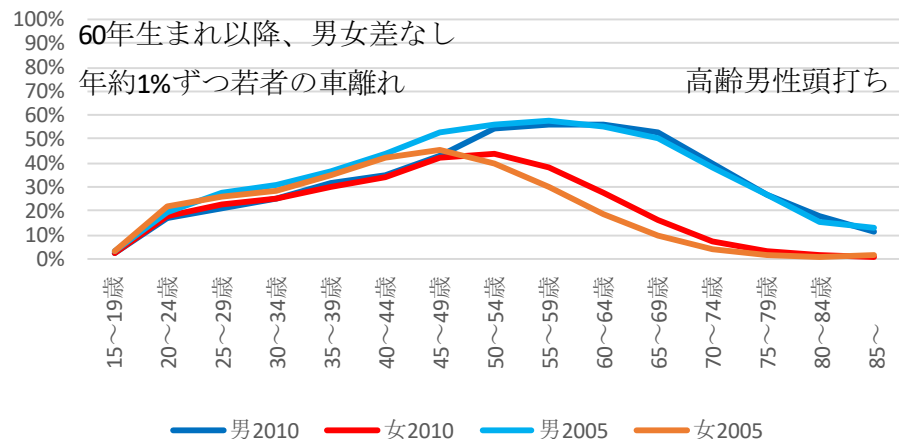
免許保有率と平日運転率の推移の分析

- 高齡化が将来走行量に与える影響について検討するために、免許保有率と平日運転率の推移に着目。
- 免許保有率に着目した分析より、保有率の高い年齢層において男性100%、女性90%と約10%の男女差があること、若者の免許離れは観察されないこと、80～84歳において男性も50%であること、女性の免許保有率の高い世代が高齡期の保有率を押し上げつつあること等が分かる。
- 一方、人口に対する運転率を見ると、男性平日運転者率の高い年齢層は50～69歳であり免許保有率よりも高齡化していること、1960年生まれ以降の世代では男女差が無くそれ以前では男女の運転率に明確な差があること、年約1%ずつの若者の運転離れが観察されること、男性70歳以降の運転取り止め状況等が分かる。

免許保有率の推移

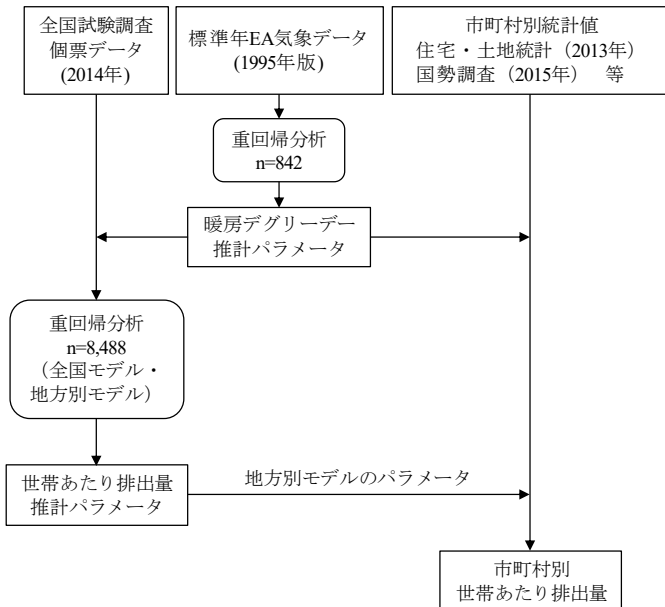


平日運転率の推移

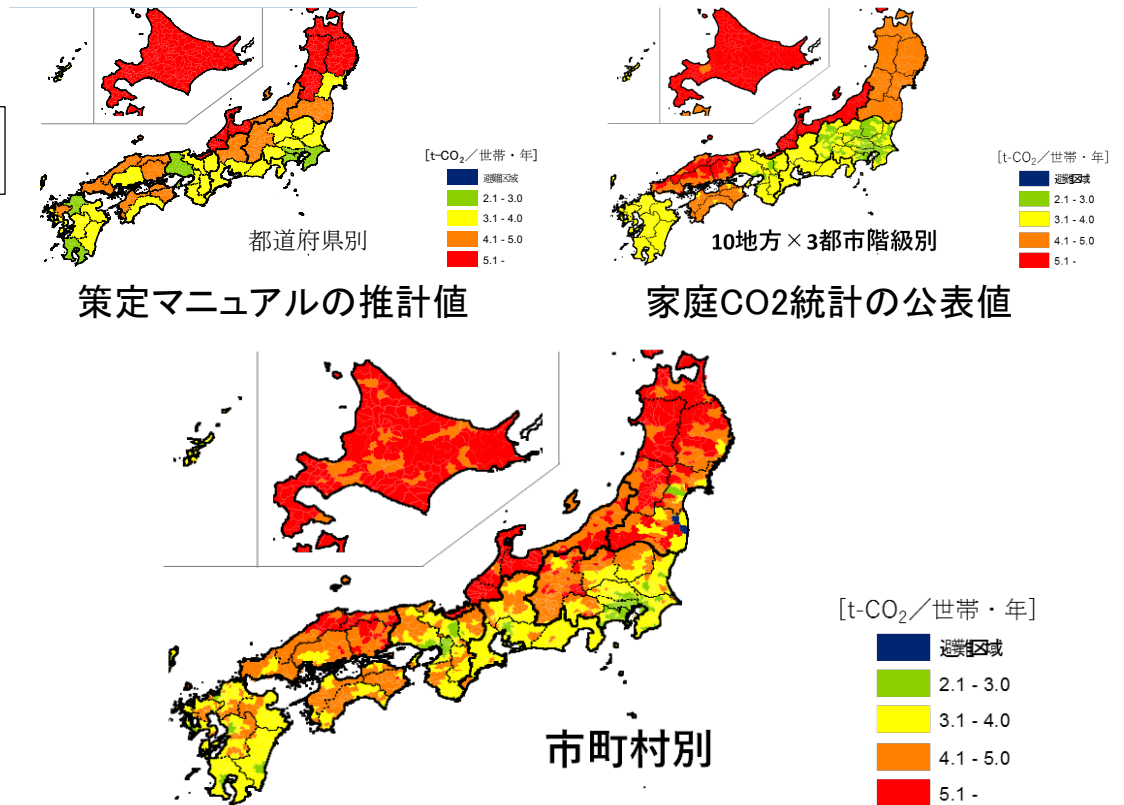


気候地域区分と建て方及び世帯規模等を考慮した市町村別民生家庭CO₂の推計

- 環境省による家庭部門のCO₂排出実態統計調査の全国試験調査(2014-2015年)の個票データを用いて、調査市町村の暖房デGREEデーを推計・追加し、**建て方および世帯規模等との重回帰モデルを構築**するとともに、市町村別の世帯あたり排出量を求める
- 区域施策編の手法等と比較すると、**本研究の回帰モデルを用いることによって、より実態に近い市区町村別家庭CO₂排出量推計が可能**となる。



推計モデルの全体像



本研究の回帰モデルを用いた推計結果

市町村別民生家庭CO₂の推計モデルに基づく地域間分析

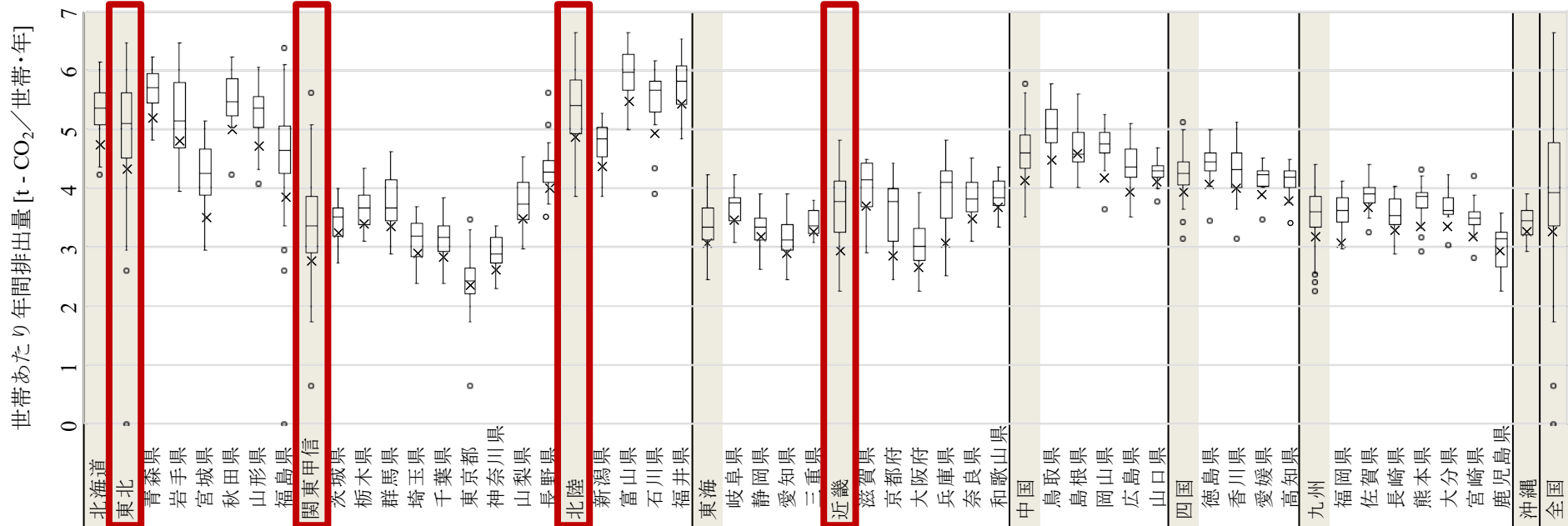
- 回帰モデルを用いた分析より、**家庭CO₂排出量には、北海道、東北、関東甲信、九州では暖房デグリーデーが説明力を持ち、同じ地方内の市町村においても気温差の影響が無視できないことが分かった**
- 全国モデルよりも地方別モデルを用いる方が重相関係数で1-3ポイント程、精度が向上する

	全国	地方別モデル									
	モデル	北海道	東北	関東甲信	北陸	東海	近畿	中国	四国	九州	沖縄
サンプル数	8,306	756	819	1,470	725	920	987	716	657	763	493
自由度修正済み決定係数	0.539	0.468	0.531	0.475	0.511	0.480	0.504	0.508	0.448	0.481	0.519
世帯人数[人]	0.374 **	0.22 **	0.44 **	0.431 **	0.396 **	0.407 **	0.48 **	0.47 **	0.453 **	0.437 **	0.471 **
延床面積[百平米]	0.168 **	0.081 *	0.165 **	0.184 **	0.187 **	0.277 **	0.219 **	0.155 **	0.134 **	0.096 **	0.133 **
世帯主年齢[十歳]	0.131 **	0.091 **	0.146 **	0.153 **		0.155 **	0.169 **	0.143 **	0.197 **	0.154 **	0.158 **
世帯年収[百万円]	0.107 **	0.2 **	0.086 **	0.145 **	0.09 **	0.177 **	0.083 **	0.161 **	0.113 **	0.059 *	0.091 **
築年数[十年]		-0.06 +		0.061 **		0.065 *		0.141 **			
建て方ダミー[戸建=1]	0.099 **	0.3 **	0.085 **	0.154 **	0.1 *	0.062 *	0.089 **		0.13 **		0.186 **
所有関係ダミー[持家=1]	0.03 **				0.077 +					0.164 **	
窓断熱ダミー[有=1]	-0.02 +				0.049 +		-0.05 *	0.086 **			
太陽熱利用ダミー[有=1]	-0.02 *		-0.07 **	-0.04 +							
太陽光発電ダミー[有=1]	-0.09 **			-0.08 **		-0.11 **	-0.05 *	-0.13 **	-0.15 **	-0.11 **	
オール電化ダミー[有=1]	0.194 **	0.26 **	0.227 **	0.09 **	0.196 **		0.072 *	0.27 **	0.135 **	0.255 **	0.233 **
ガス種別ダミー[都ガス=1]	-0.02 *					-0.07 **	-0.16 **		-0.07 *	-0.08 **	
大都市ダミー[該当=1]								-0.06 *			
中都市ダミー[該当=1]										0.047 +	
電力排出係数[kg-CO ₂ /kWh]	0.263 **				0.104 **						
暖房デグリーデー[千度日]	0.264 **	0.058 *	0.188 **	0.103 **						0.055 *	

有意水準：**<.01,*<.05,+<.10

各地方の標準化係数上位3つに網掛け

- 10地方区分別のうち、**東北、関東、北陸、近畿**の4地方において、**排出原単位のばらつき（市町村別の差異）**が大きい（四分位偏差>0.3）
- 特にこれらの地方では、公表されている全国試験調査の地方区分別排出原単位を用いる代わりに、**本推計による市町村別排出原単位を用いることで地域特性をより反映した排出量を求めることにつながる**と考えられる



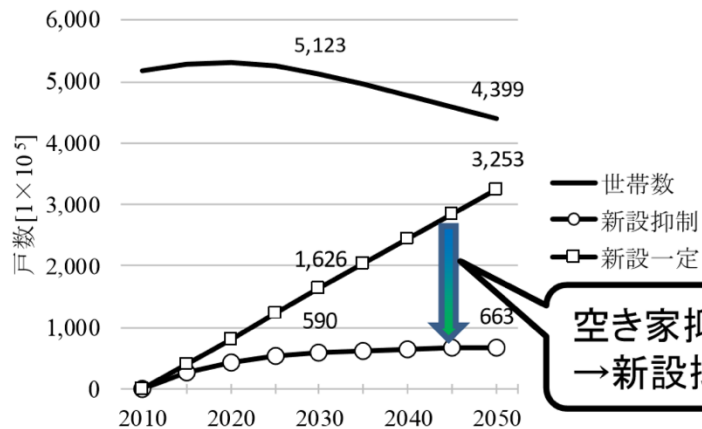
市町村別推計値の都道府県ごとのばらつき

石河正寛, 松橋啓介, 金森有子, 有賀敏典「家庭CO₂統計に基づく全国10地方別の排出要因分析と市町村別世帯あたり排出量の推計」土木学会論文集G, 74(6), II_193-II_201 (2018)

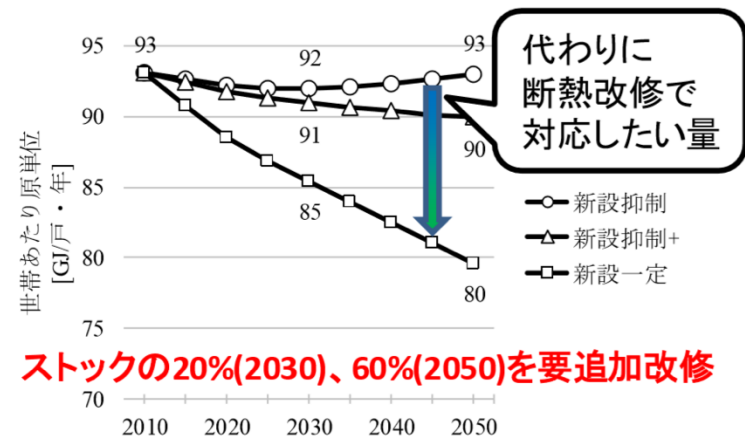
【民生家庭部門の詳細分析】

空き家対策と住宅の高断熱化の両立に関する分析

- 住宅の高断熱化と空き家対策を両立させることを念頭に置いて、新設住宅の着工数を空き家率が増加しない範囲に抑制した場合の、断熱性能向上による世帯あたりのエネルギー消費量の削減見込み量を推計。
- 多くの自治体において世帯数が減少に転じることから、空き家抑制策を積極的に行う場合には、新設着工数は累積でストックの10%程度にとどまる。
- 住宅の断熱性能の向上と空き家対策を同時に行うと、地球温暖化対策計画が目標とする2030年に新設住宅着工数の全数ならびに既存住宅数の30%を改正省エネ基準に適合させるだけでは不十分であり、2030年には追加的に20%の断熱改修が、2050年には追加的に60%のストックへの断熱改修が必要となる可能性がある。



ケース別の累積新設住宅戸数



ストックの20%(2030)、60%(2050)を要追加改修

世帯あたりエネルギー消費量の将来変化

【主要成果】

- 石河正寛, 松橋啓介, 堀星至, 有賀敏典(2017)高断熱住宅への建替えによる民生家庭部門世帯あたり一次エネルギー消費量の削減見通し, 土木学会論文集G, Vol.73(6), pp.II_45-II_52.

【運輸部門×民生家庭部門の詳細分析】

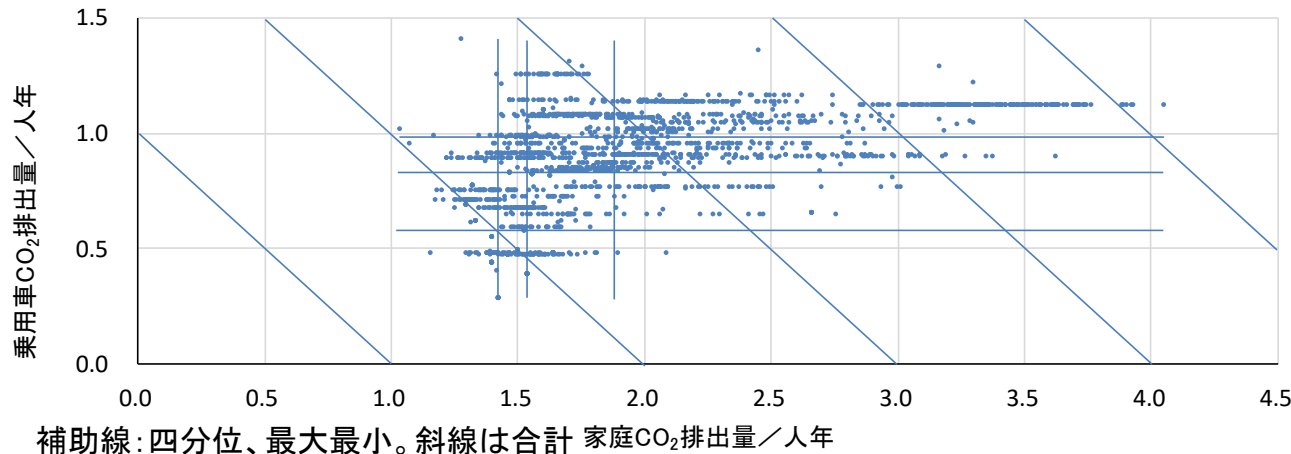
家庭と乗用車から生じる市区町村別CO₂排出量に関する考察

- 本研究で分析した乗用車CO₂排出量と家庭CO₂排出量をもとに、両者の関係を全国市区町村別に推計・比較考察。

[t-CO ₂ /世帯・年]	北海道	東北	関東甲信	北陸	東海	近畿	中国	四国	九州	沖縄
戸建 単身	5.17	3.14	2.29	3.56	2.29	2.39	3.15	2.83	2.71	2.47
戸建 2人以上	7.34	5.93	4.07	6.63	4.11	4.20	5.92	5.32	4.64	4.92
集合 単身	2.42	1.59	1.39	1.89	1.58	1.49	1.88	1.83	1.48	1.72
集合 2人以上	4.33	3.30	2.85	3.58	2.88	3.00	3.89	3.23	3.06	3.19

※e-stat[家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査 全国試験調査]
各地域の表5-4-1からエネルギー種合計(電気、都市ガス、LPガス、灯油)

- 約2.0~3.0t-CO₂を中心に分布
- 緩やかな相関関係にある
- 家庭排出の分布の幅が大きい
- 乗用車排出が占める割合は、17~53%
- 乗用車が直線上に並ぶ→データ不足



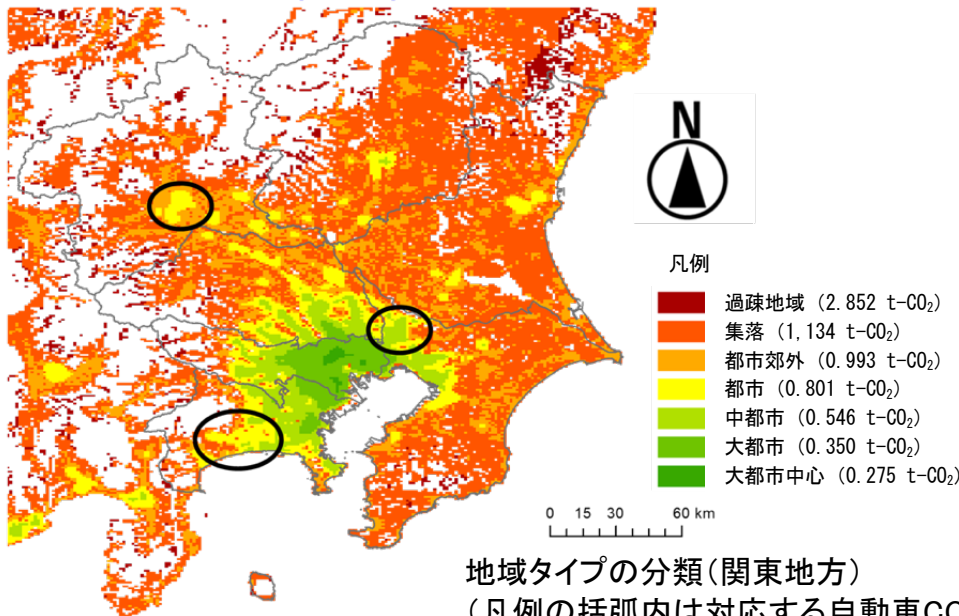
- 北海道・東北地方、北陸から山陰地方と、瀬戸内の一部で多い
→大都市から遠い、寒冷、戸建てが多い
→そのうち小規模な467市区町村1210万人には、国や都道府県による削減策の支援が重要

松橋啓介, 石河正寛「家庭と乗用車から生じる市区町村別CO₂排出量に関する考察」
都市計画論文集, 53(3), 913-918 (2018)【2018年年間優秀論文賞】

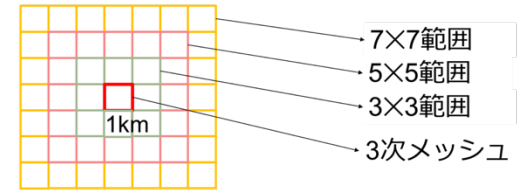
【都市構造の詳細分析】

圏域人口に基づく都市構造の評価

- 将来の土地利用及び都市構造を定量的に評価するため、**圏域人口に着目して**全国を地域タイプに分類。
- 圏域人口は、該当メッシュとその周辺のメッシュ人口の合計で、どの範囲で何人(人口)という情報をもとに過疎～大都市中心まで分類。
- メッシュ人口規模で把握する場合と異なり、**境界地域において、周辺圏域を含む人口集積の違いをより明確に把握することが可能**となった。

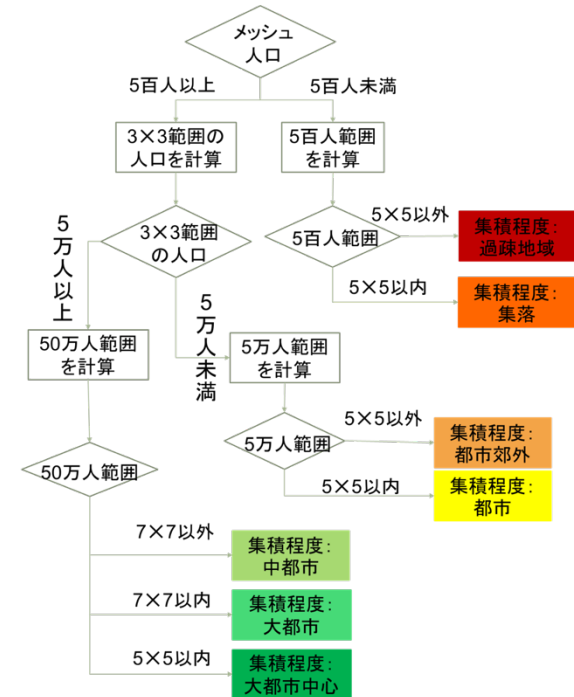


✓ メッシュ範囲のイメージ図



✓ 地域タイプ別メッシュと周辺人口集積度によって分類:

圏域人口の範囲のイメージ



地域タイプの類型化フロー

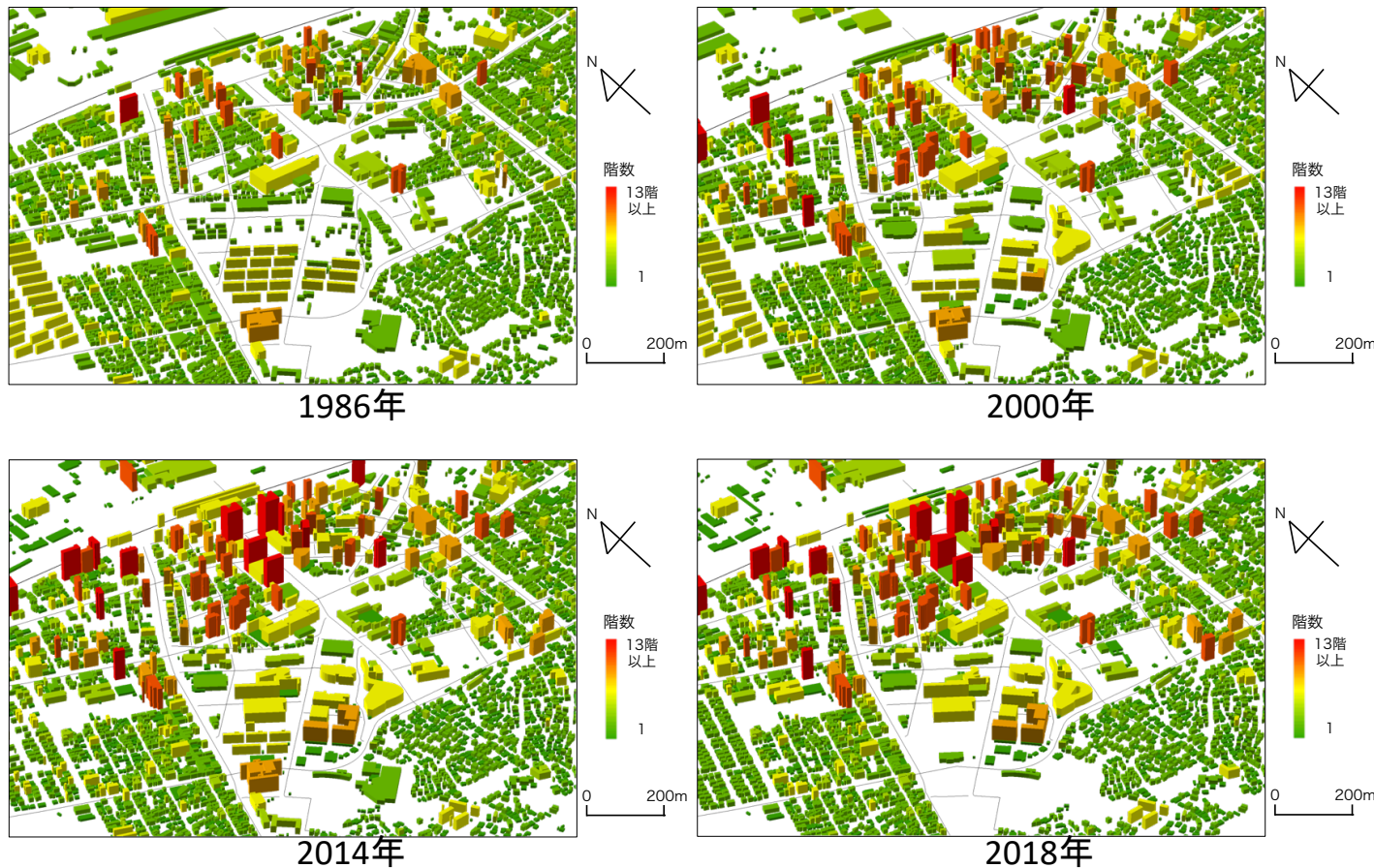
[主要成果]

- 陳 鶴, 有賀 敏典, 松橋 啓介: メッシュ周辺人口集積度に基づいた乗用車CO₂排出量の推計, 土木学会論文集D3, 74(5), I_101-I_107 (2018)

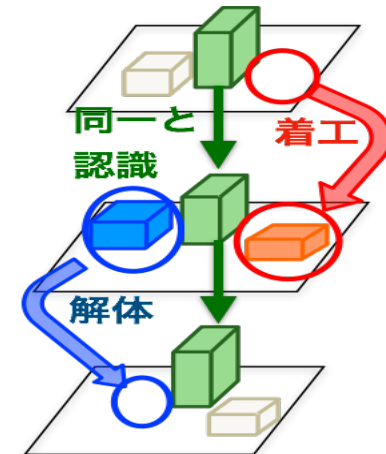
【都市構造の詳細分析】

都市構造分析のための建築物データベース（4d-GIS）の概要

- 対象地域において都市構造の将来シナリオやそれによるマテリアルストック・フローの変化を検討するために、過去の建設ストックに関するデータベース(4d-GIS)を開発。
- 4d-GISでは、建物の位置、形、高さ、用途、構造等の情報を経年的に格納。建築物の建築・解体は、建築物同一性判定システムで評価。



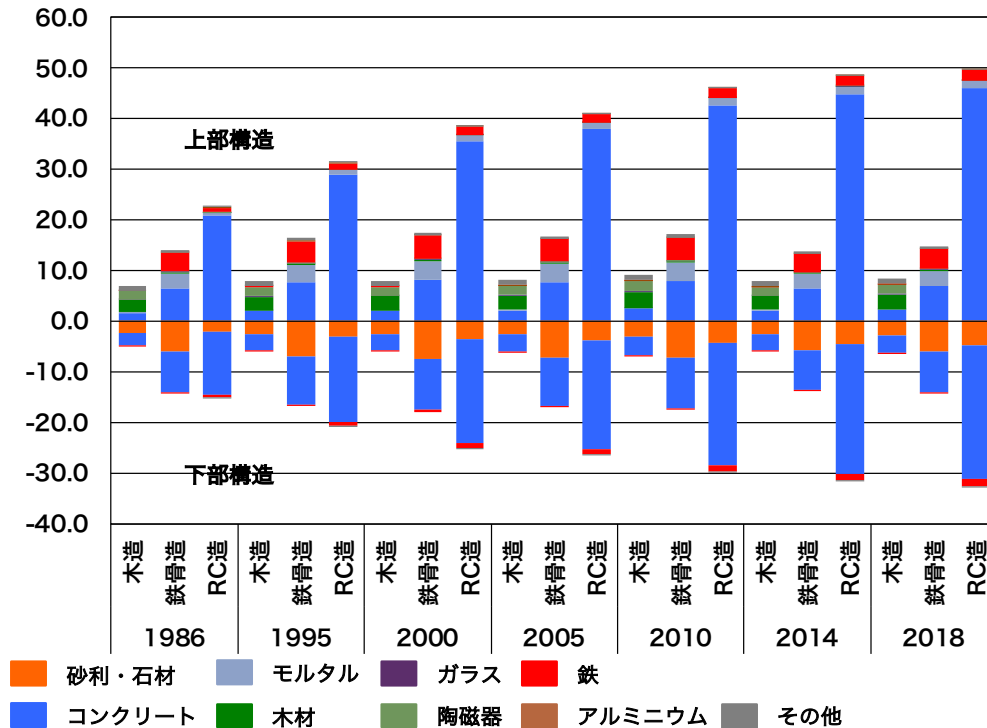
(福岡県北九州市八幡駅周辺)

建築物同一性
判定システム

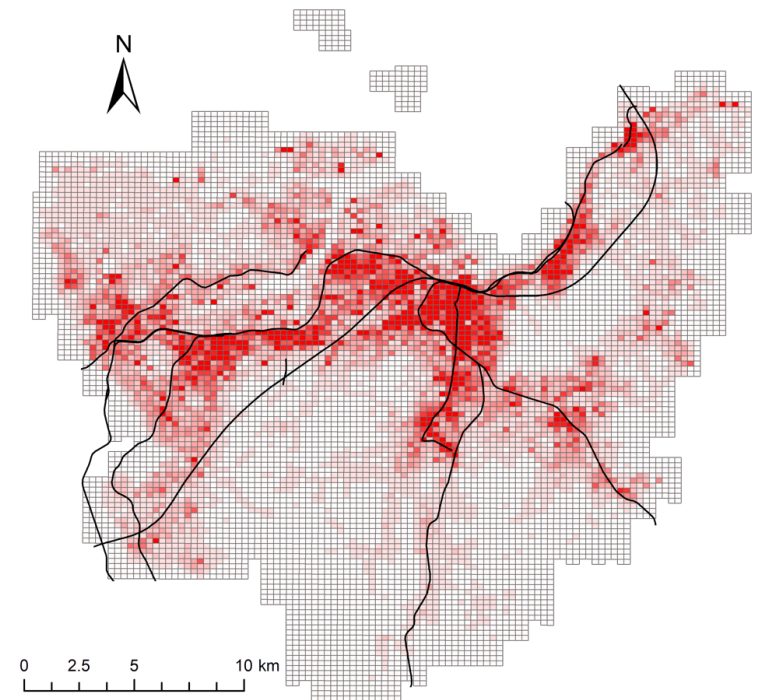
【都市構造の詳細分析】

4d-GISを用いた現在のマテリアルストックの分析

- 木造建築物や鉄骨造建築物と比較して、RC造建築物の棟数はストック量に影響。
- 資材別では、コンクリートが大部分を占める。立地適正化計画等の都市計画による都市の集約化・立体化によるRC造建築物の増加により、さらにコンクリートのストック量の増加が見込まれる。
- 建築物ストックの大部分は鉄道付近及び沿岸部に集積。



資材別マテリアルストック(上部・下部構造別)推計結果

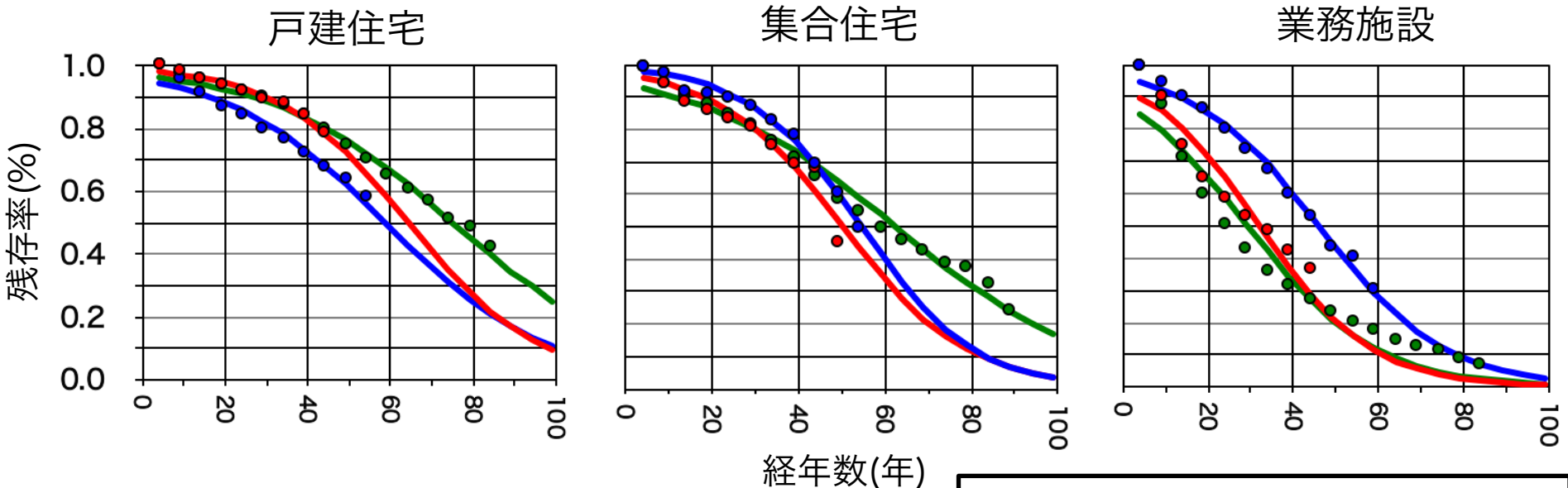


マテリアルストックの空間分布(2018年)

【都市構造の詳細分析】

建築物の滞留年数の推計：区間残存率法の廃棄率曲線を用いた推計

- 都市空間検討には、対象地域にどの建物が残っているか(残存率)の検討が重要。
- 4d-GISを用い建築物の構造別(木造・鉄骨造・RC造)、用途別(戸建住宅・集合住宅・業務施設)に9種類の廃棄率曲線を推計、残存率50%の経年を滞留年数として推計。
- 木造・戸建が滞留年数が長く、木造・業務施設が最短の滞留年数と推計。



平均滞留年数(年)	戸建住宅	集合住宅	業務施設
木造	75.1	62.3	29.3
鉄骨造	64.3	50.3	32.1
RC造	58.7	54.6	46.0



2000年-2005年

[主要成果]

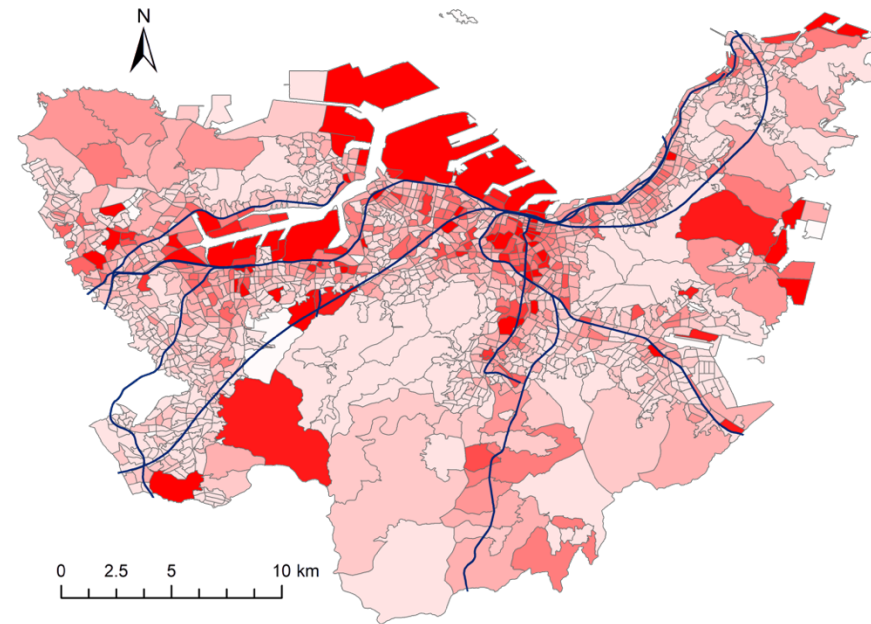
- 正木ら：建物解体時の築年数に基づく物質滞留年数の要因分析- 北九州市 4d-GISを用いて, 第31回環境情報科学学術研究論文発表会第14回環境情報科学ポスターセッション, 2017.12.8. 環境情報科学ポスターセッション 学生の部 学術委員長賞 受賞

【都市構造の詳細分析】

区間残存率法に基づく建設副産物発生量の将来推計

- 戸建住宅の建設副産物発生量は、いずれの期間でも木造が最も大きく、増加傾向がある。集合住宅については、全期間においてRC造が最も大きな値を示す。
- 建設副産物発生量の合計でも増加傾向を示し、2005年における建築物ストック量の約8-10%に相当する建築物が毎期間解体される。
- 建設副産物発生量の町丁目別分布に着目すると、沿岸部や鉄道沿線において建設副産物発生量が大きく分布。北九州市南西部、東部、小倉駅付近等でも建設副産物発生量が多くなると推計。

		2006-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030
戸建住宅	木造	416	473	532	592	650
	鉄骨造	88	113	142	174	207
	RC造	138	158	177	194	209
集合住宅	木造	44	47	50	52	53
	鉄骨造	233	261	287	310	326
	RC造	1,677	2,082	2,507	2,915	3,266
業務施設	木造	131	121	111	104	99
	鉄骨造	4,037	4,001	3,903	3,781	3,670
	RC造	2,448	2,675	2,846	2,950	2,990
合計		9,212	9,932	10,556	11,072	11,470



資材別建設副産物発生量の将来推計結果

建築副産物の将来推計結果(2026年～2030年)
(町丁目別分布)

【都市構造の詳細分析】

将来の都市構造変化推計の改善：解体確率を考慮した評価

- ・ 滞留年数推計に用いる関数を、廃棄率曲線から解体確率関数に改善。これにより、社会経済や地理に関わる説明変数など、複数の変数を加味した関数を推計可能になり、地域内の場所ごとに異なる解体確率を推計可能。
- ・ 将来の建設副産物発生量は、2017年度の実績値よりも大きくなると推計。この差分の量を適切に処理できるような計画が必要であることが示唆。

建築物の解体確率密度関数

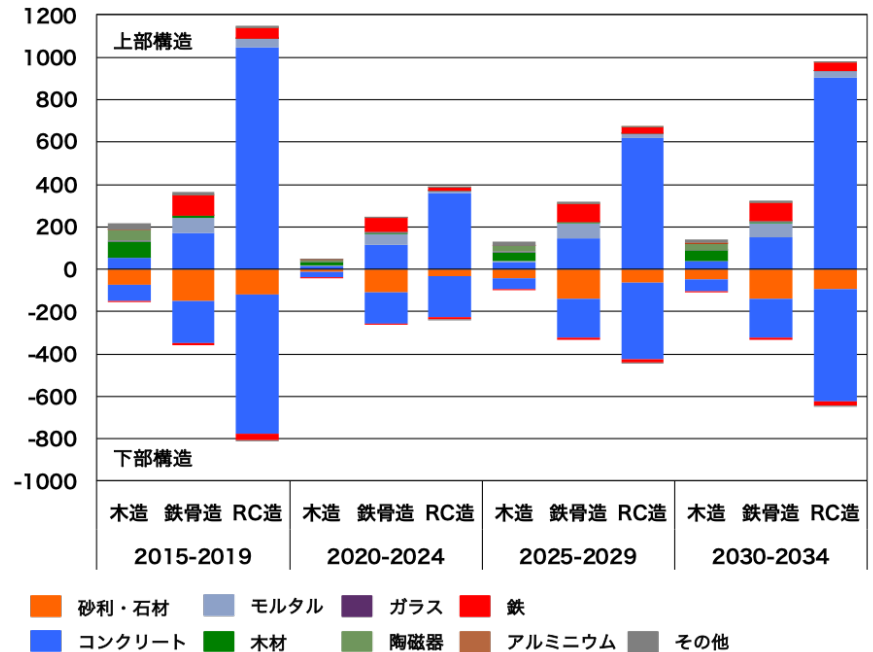
$$R = \frac{1}{1 + \exp\{-(\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5)\}}$$

1
 地理的条件
 建物年齢
 建物工法
 社会経済的条件
 (人口変化率や公定歩合など)

	考慮無し 偏回帰係数 P値	立地適正化計画 偏回帰係数 P値
定数項	2.238 ***	1.869 ***
建物年齢(年)	0.03992 ***	0.04266 ***
構造ダミー(RC=1, その他=0)	0.3208 ***	0.2036 ***
構造ダミー(W=1, その他=0)		
建物階数(階)	-0.1111 ***	
駅orバス停からの距離(m)	-0.001601 ***	
傾斜角度(度)	0.1074 ***	0.09028 ***
標高(m)		
人口密度(人/km2)		
人口増減率(%)		
高齢化率(%)	-0.2298 ***	-0.2313 ***
立地適正化計画 (都市機能誘導区域・居住誘導区域=1, 区域外=0)		-0.2083 ***

解体確率関数 P値<0.001 ***

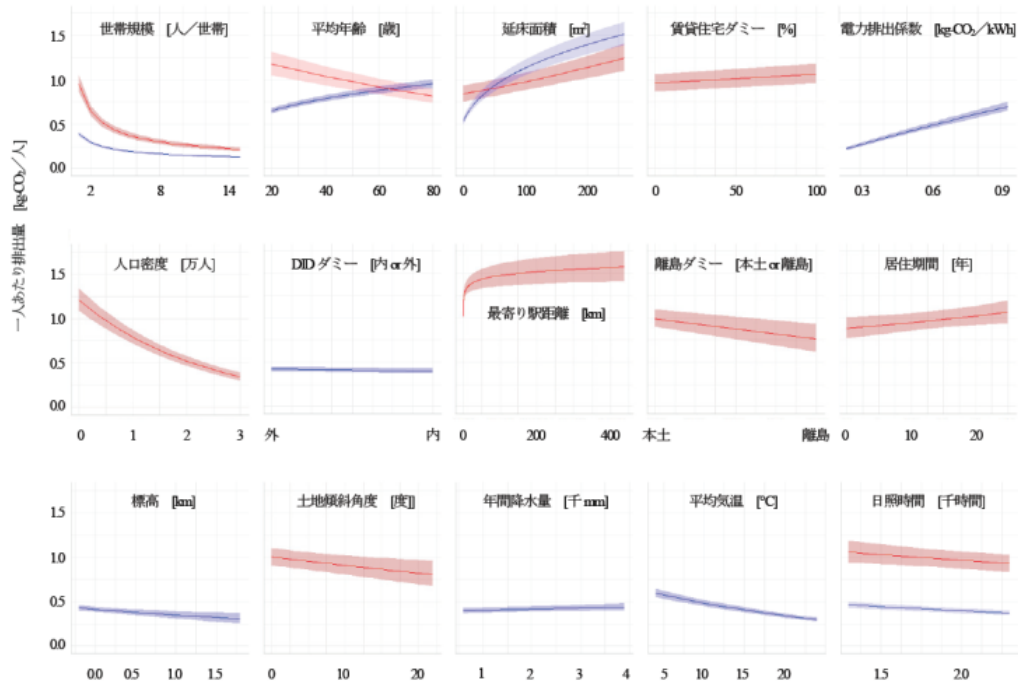
(パラメータは最尤法により推定)



建築副産物の将来推計結果
(立地適正化考慮シナリオ)

圏域人口に基づく都市構造の評価

- メッシュ別の人口等の属性と家庭CO₂統計調査データとの連関分析を実施し、家庭CO₂排出量と自動車CO₂に影響する要因を検討。
- 家庭CO₂排出量へは平均年齢、電力排出係数、年平均気温、世帯規模、延床面積、年合計日照時間、人口集中地区ダミー、平均標高、年間降水量が影響し、個別世帯排出量のこれらの9変数で個別世帯の排出量の差異を5割ほど説明することができる。
- 自動車排出量は、世帯規模、人口密度、平均年齢、延床面積、最寄り駅距離、賃貸住宅ダミー、離島ダミー、日照時間、土地傾斜角度、居住期間が影響するが、個別世帯の排出量の差異を2割弱しか説明することができず、走行距離や自動車保有率などのメッシュ統計データと組み合わせた分析が必要。

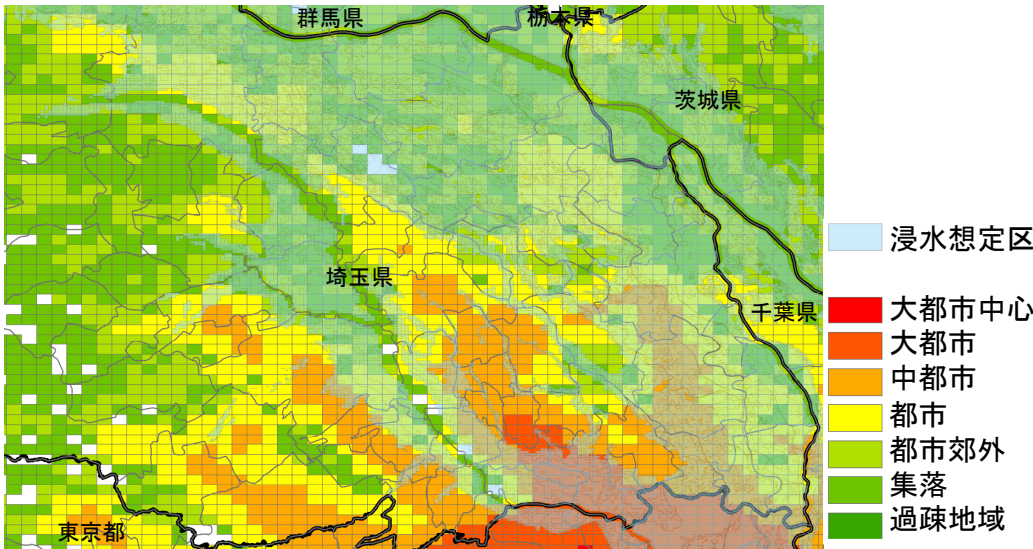


【都市構造の詳細分析 × 気候変動】

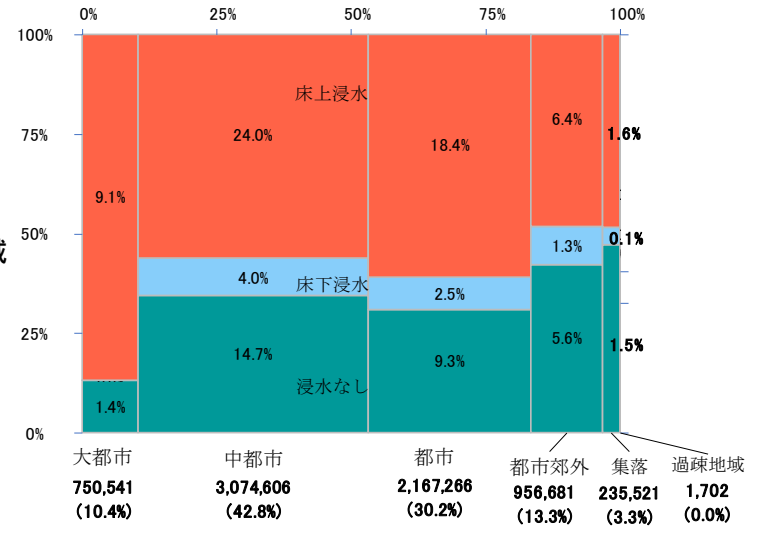
圏域人口に基づく都市構造評価と浸水被害の影響

- 圏域人口に基づく都市構造評価をもとに、**気候変動の影響も考慮した低炭素型都市の検討にも役立てることが可能**。その一例として、圏域人口と浸水想定をあわせた分析を実施。
- 浸水想定範囲と大都市や中都市、都市が重複しており、仮に浸水被害が生じた場合には**リスクとなりうる**ことがわかり、将来の都市構造を検討するうえでは、**浸水が想定されていない地域への都市機能の移転や、既存の都市を低炭素型に転換する場合でも、浸水を想定した対策を同時に考慮、実施していくことが重要である**ことが示唆。

圏域人口と浸水想定区域(埼玉県東部)



浸水想定人口(埼玉県全域)

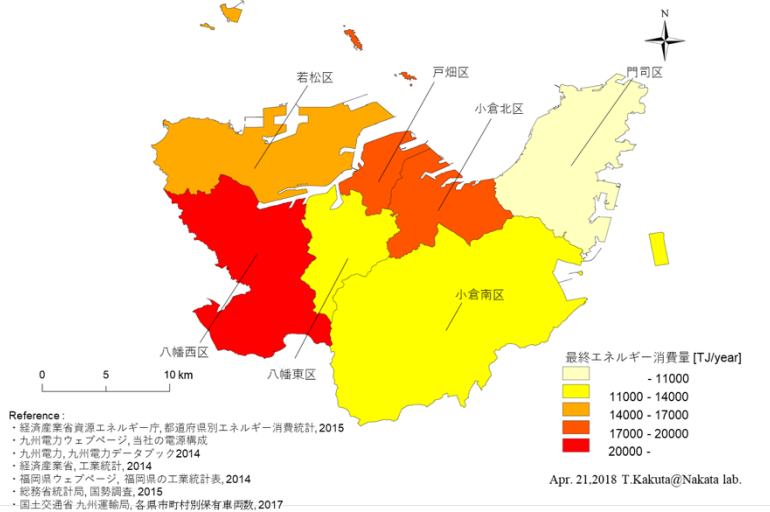
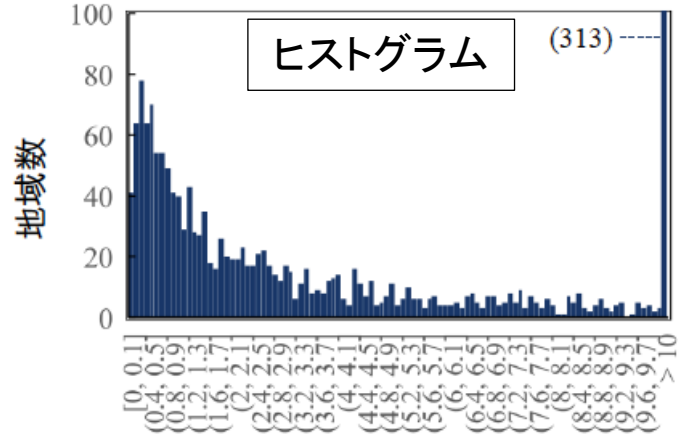


注) 1kmメッシュに浸水想定区域の一部がかかっている場合も、全域を浸水想定区域としたため、実際より浸水人口がやや多く見積もられている

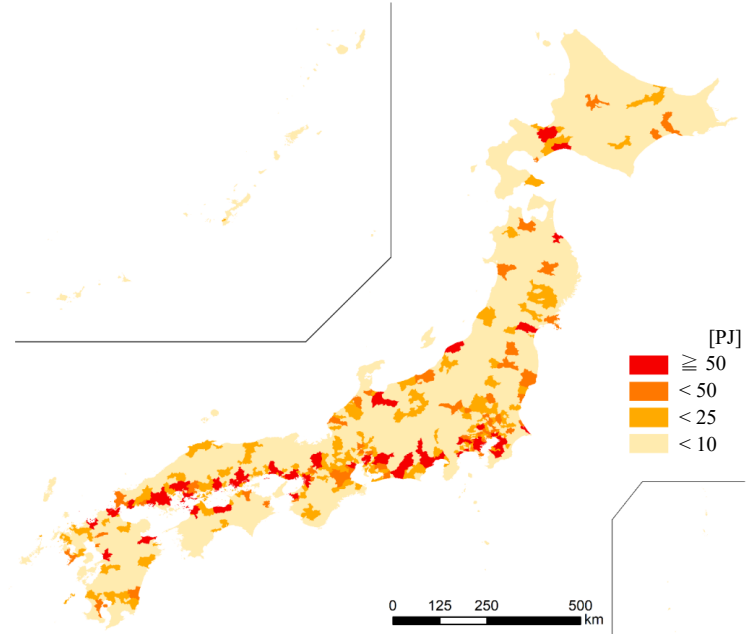
【エネルギーの詳細分析】

最終エネルギー消費の全国推計結果(合計)

- 全国を対象に、**市区町村別の最終エネルギー消費量**を分析。一部については地域内詳細の分析を実施。
- 市区町村別の最終エネルギー消費量の分布は対数正規分布。大消費地域(≥100PJ)は全体の1.3%ほどだが、全国の最終エネルギー消費量の約33%を占める。
- 小消費地域(<10PJ)は同規模の地域が多い。



地域内の最終エネルギー消費分析結果 (北九州市)

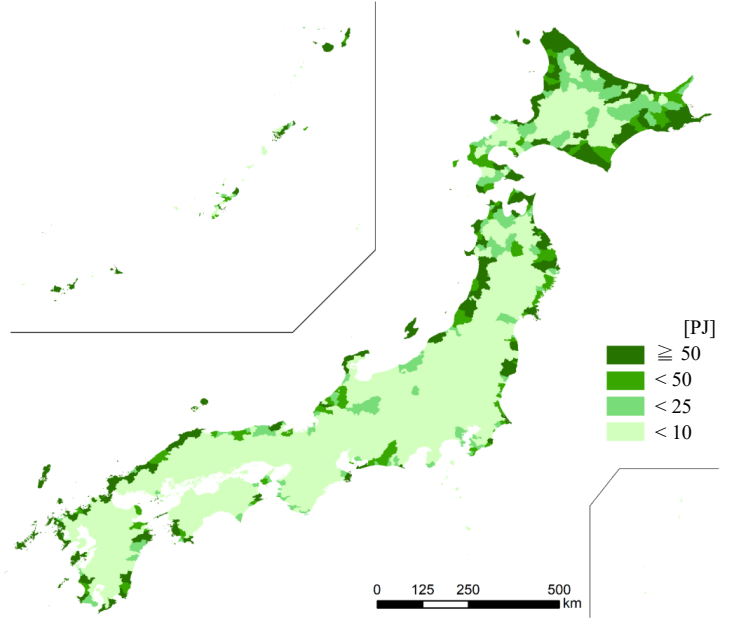
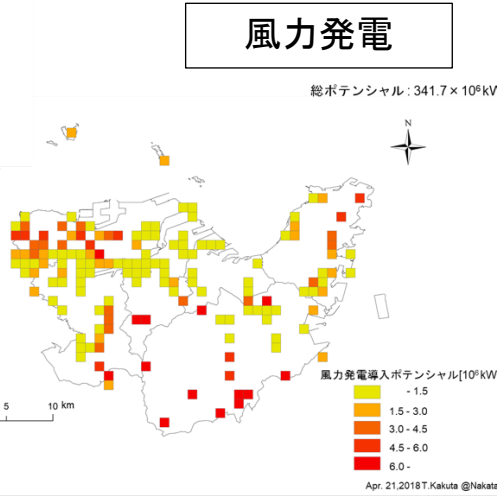
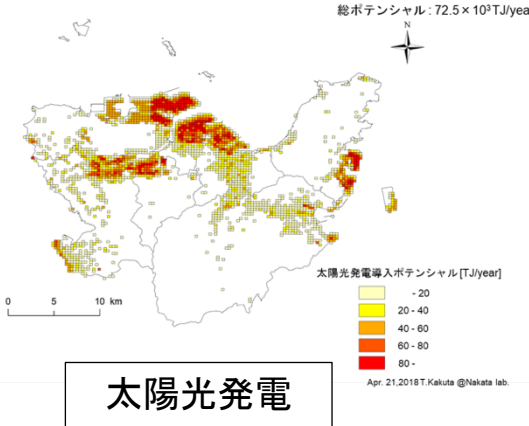


市区町村別最終エネルギー消費量

【エネルギーの詳細分析】

再生可能エネルギーポテンシャルの全国分析

- 全国を対象に、再生可能エネルギーとして陸上風力・洋上風力、木質バイオマス、太陽光、地熱、中小水力発電のポテンシャルを市区町村別に分析。
- **太陽光、風力発電は三次メッシュ単位**での日射、風速等の情報をもとに評価。
- **木質バイオマスは、未利用間伐材の材積と森林成長量**に基づき評価。その他は、環境省の分析結果を活用。

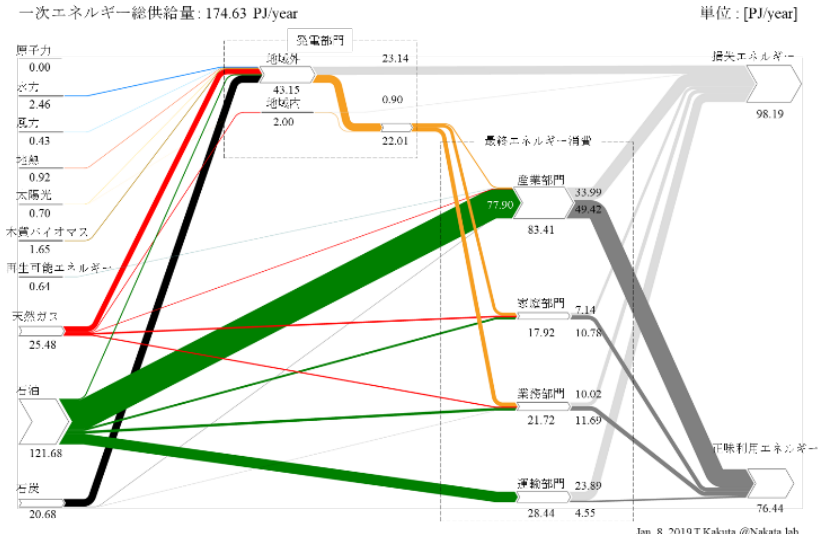


地域内の太陽光・風力ポテンシャル分析結果 (北九州市)

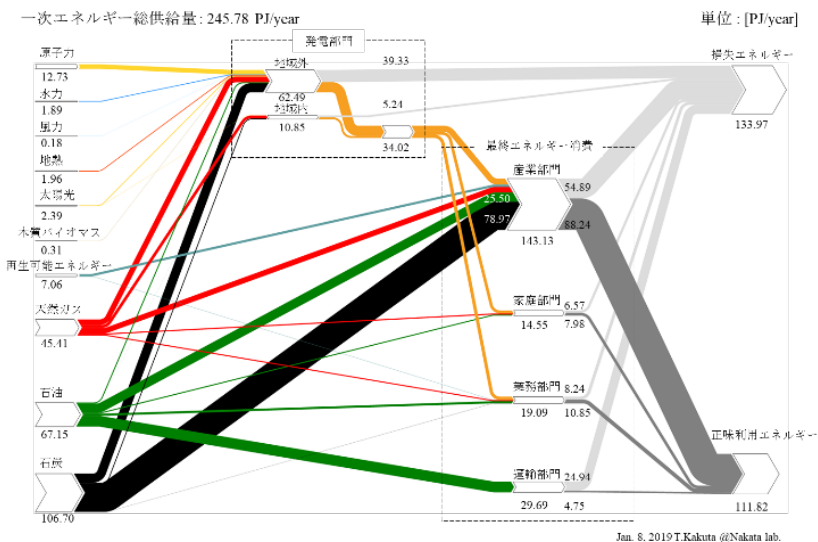
市区町村別再エネポテンシャル(合計)

【エネルギーの詳細分析】 地域のエネルギーフローの分析

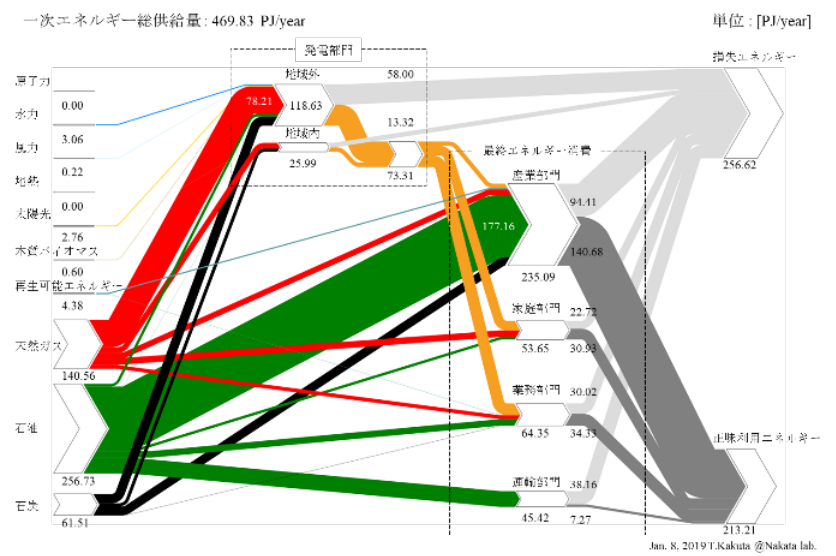
- 最終エネルギー消費量と再生可能エネルギー分析の結果をもとに、各種インフラも考慮して**エネルギーフロー図**を作成。
- エネルギー需給構造や地域ごとのエネルギーインフラの**地域ごとの違い**を視覚的に把握できる**基礎情報**とできる。



仙台市



北九州市

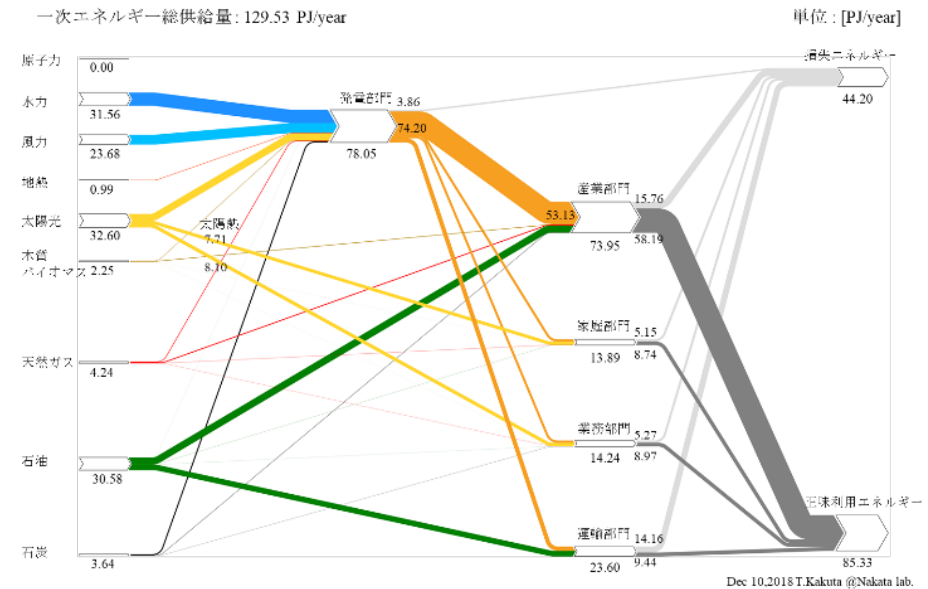
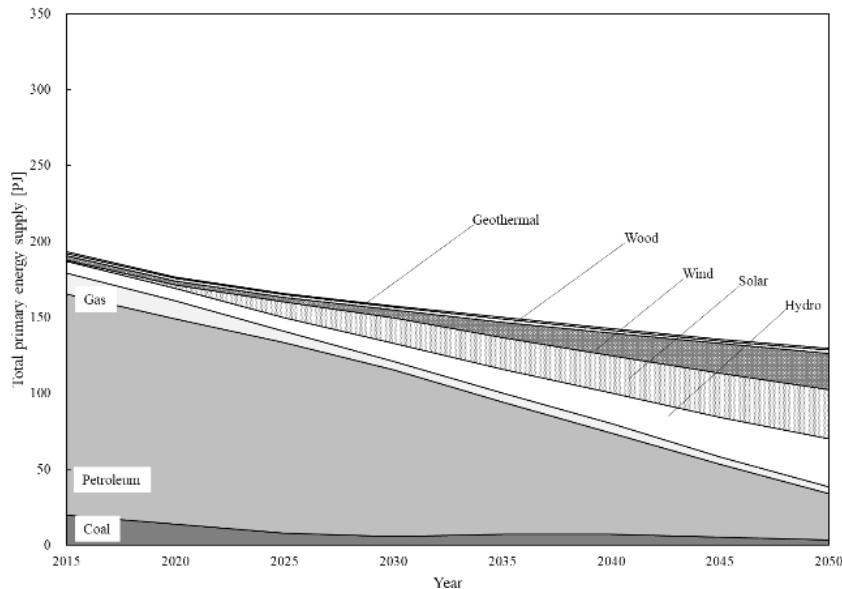


横浜市

【エネルギーの詳細分析】

地域拠点設計手法による地域エネルギーシステム設計

- 市場均衡にもとづくエネルギー供給量、供給価格を算出する部分均衡型エネルギー・経済モデルを用いて地域エネルギーシステムを設計。
- 具体都市でエネルギーインフラも含めた設計を実施。
- CO₂排出量の80%削減を想定することで、一次エネルギー総供給量が減少し、内訳としての再生可能エネルギーの割合は増加する。
- 旅客運輸ではハイブリット自動車、電気自動車の導入が進むが、貨物運輸では内燃機関自動車とハイブリット自動車の代替は大きく進まない。

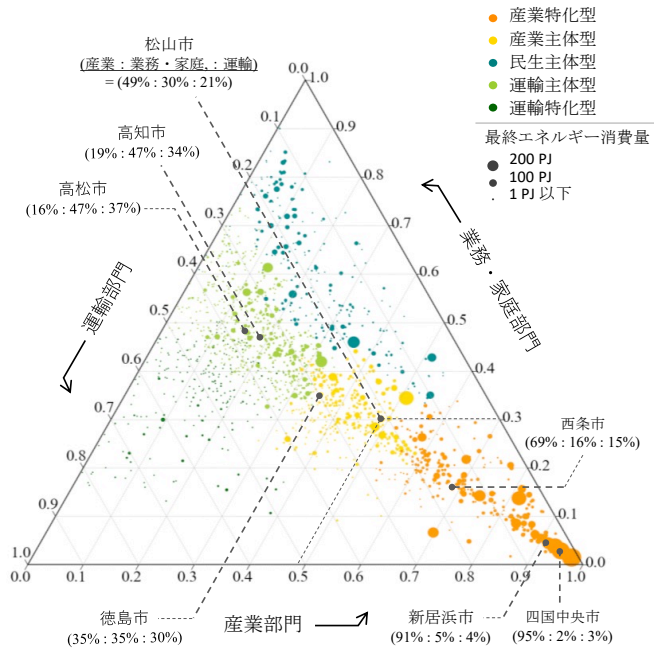


仙台市での分析結果 (CO₂ マイナス80% ケース)

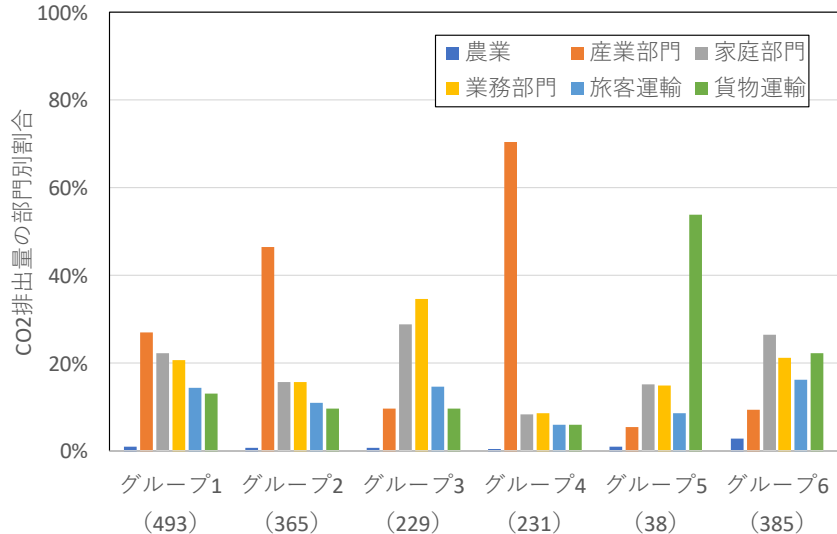
【エネルギーの詳細分析】

エネルギー・CO₂排出特性に基づく地域分類

- エネルギー消費量やCO₂排出量の部門別構成をもとに、市区町村を分類。
- 最終エネルギー消費に基づく、産業特化型、産業主体型、民生主体型、運輸主体型、運輸特化型の5分類に分けられる。民生主体型は都市部と製造業が少なく観光業が発展した離島などが混在しているため、エネルギー消費量の大小が大きい。運輸特化型は、中山間地域等が多く分布する。
- CO₂排出量に着目すると、全部門同程度型(グループ1)、産業主体型(グループ2)、民生主体型(グループ3)、産業特化型(グループ4)、運輸特化型(グループ5)、民生・運輸主体型(グループ6)に分けられる。



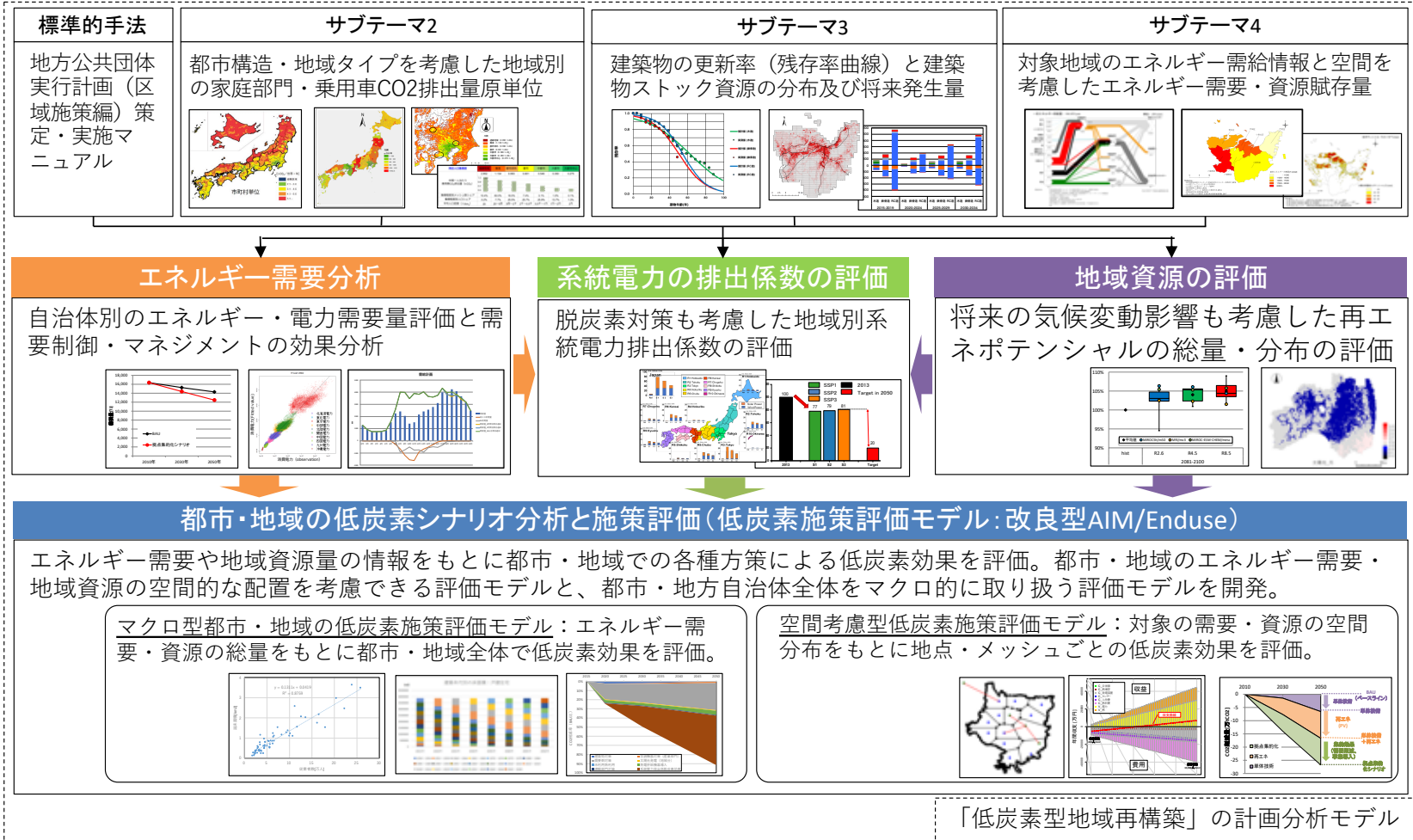
エネルギー消費構成と地域分類



グループ別の平均的なCO₂排出量部門別割合 (括弧内はグループに含まれる市区町村数)

【統合的なシナリオ分析】

都市・地域の低炭素シナリオ分析フレームワーク



都市・地域の低炭素施策簡易分析ツールの開発

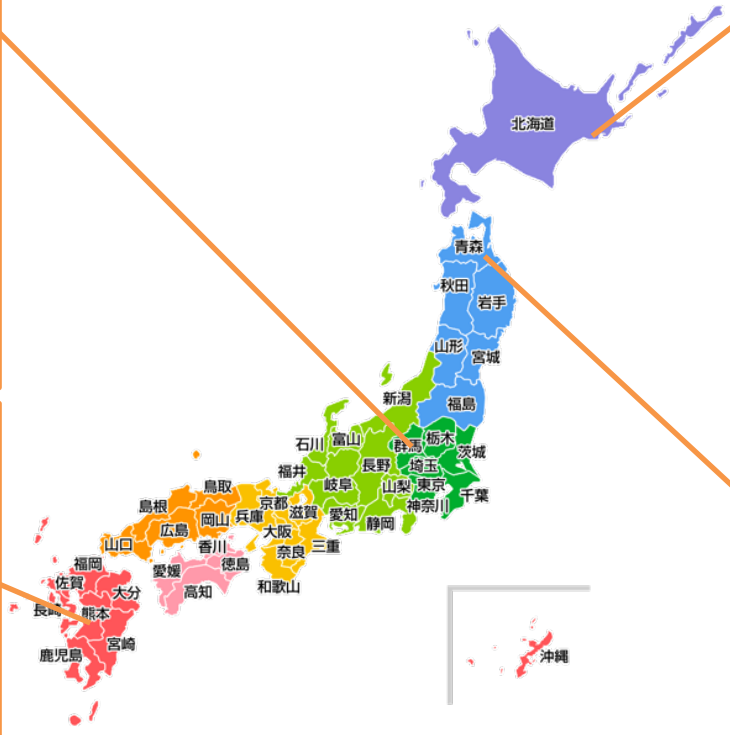
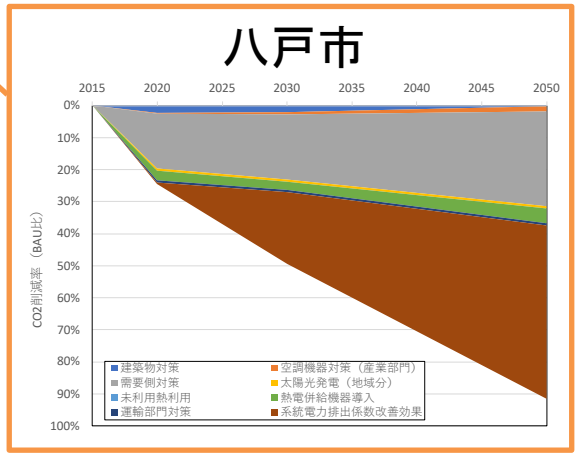
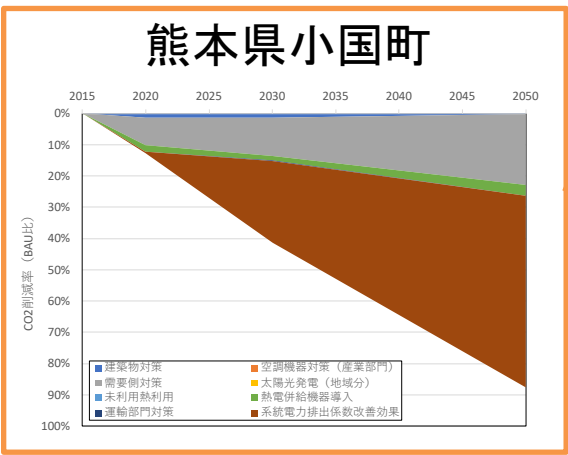
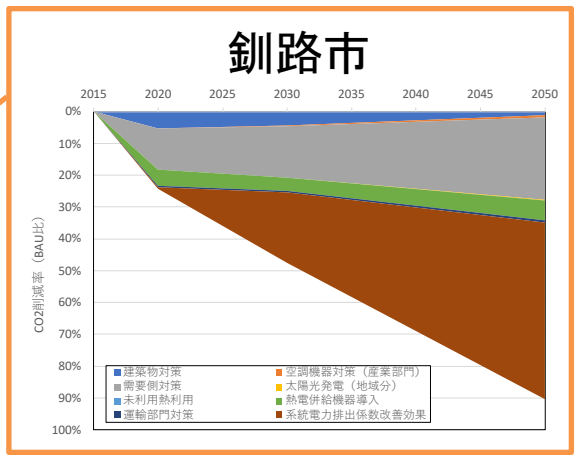
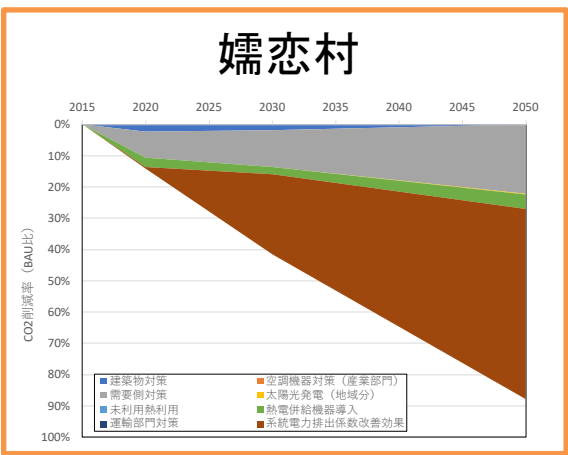
対策ごとの実施レベル (実施しない～推進する、等) を設定することで現在から将来のエネルギー需給やGHG排出量の変化を分析・表示。

研究成果の政策立案等への活用プロセス検討

モデル的に自治体と連携した研究成果を活用した事例の構築やワークショップ方式でのステークホルダーと連携した低炭素シナリオ開発手法の検討・実施と、それらの経験に基づく一連のプロセスの体系化。

都市・地域を対象とした低炭素シナリオ分析

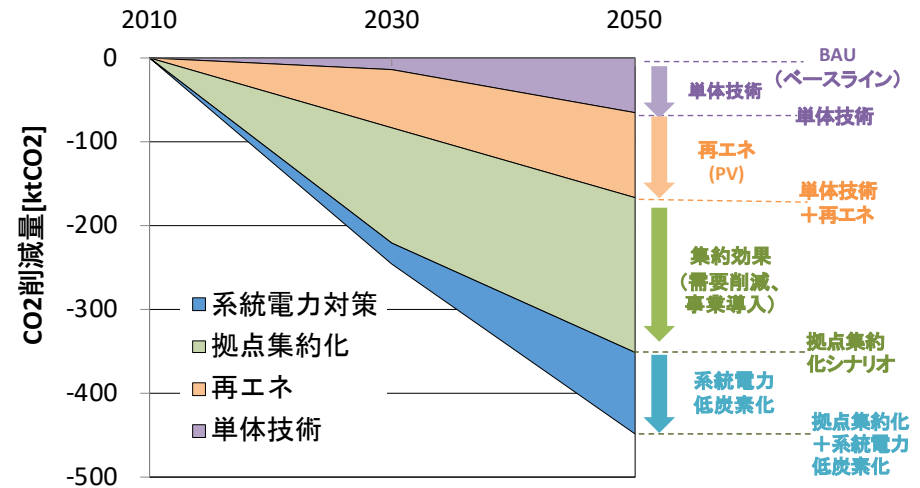
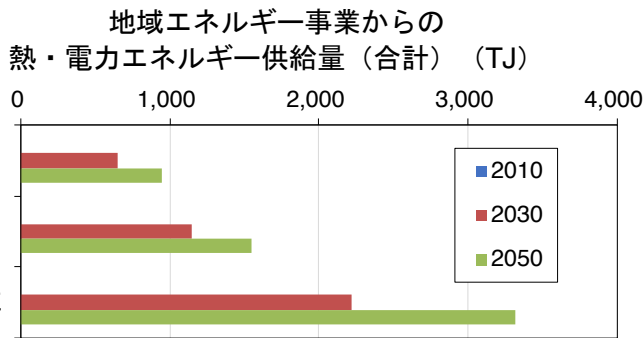
- AIM/Enduseモデルと同様に、対象とする都市・地域全体の社会・経済条件とサービス需要を所与として低炭素方策や技術導入の効果を評価するモデルを適用。
- 地域分類と人口密度も踏まえて検討した14都市を対象に分析。
- 大幅削減には、**自治体内での技術的な対策と電力の低炭素化が重要。**



その他、桐生市、つくば市、旭川市、札幌市、熱海市、那覇市、室蘭市、四日市市、仙台市、南大隅町での分析を実施。

【統合的なシナリオ分析】(空間考慮型低炭素施策評価モデル) 都市構造を考慮した低炭素シナリオ分析

- 空間を考慮できるように改良したAIM/Enduseモデルを東北地域(福島県郡山市)に適用し、将来の低炭素シナリオを検討。
- 分析では、サブ2-4との連携として、都市構造が変わらないBAUシナリオと都市計画等に示された市街化区域へ人口等の集約が進む集約化シナリオの2つを想定。
- 拠点集約化シナリオでは、対象地域内の需要総量はBAUと大きく変わらないが、市街化区域内では大幅に増となる。また、集約化による需要減、供給の効率化等により技術的対策のみよりもCO₂削減量は増。
- 都市・地域で将来の低炭素シナリオを検討するに際しては、エネルギー需要・供給ともに集約化等の都市構造変化を明示的に取り扱うことが重要であることを示唆。



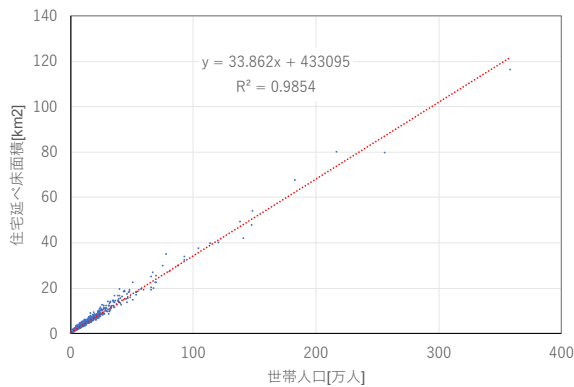
地域エネルギー事業からの熱・電力供給量

対策別CO₂削減効果
(拠点集約化シナリオとBAUシナリオの差分)

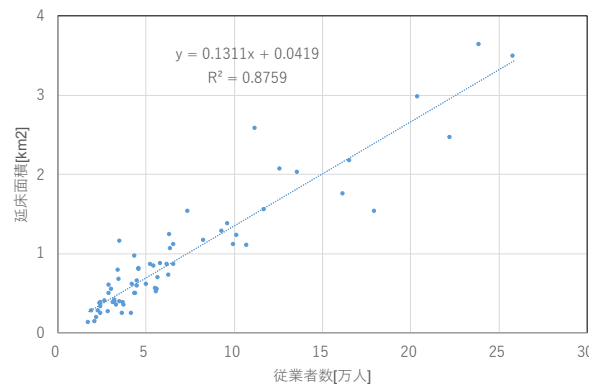
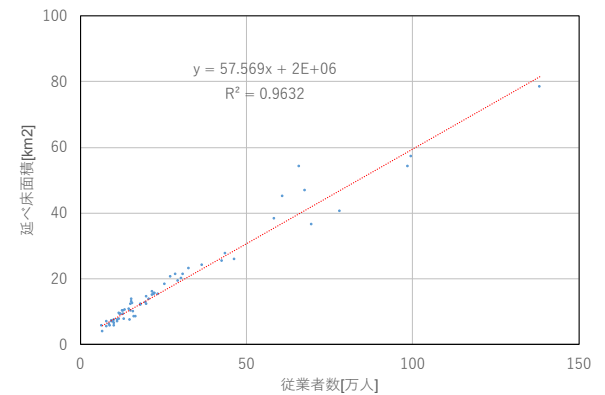
【需要分析】

人口・従業者数に基づく床面積推計式の検討

- 用途別原単位はもっぱら床面積あたりで提供されているが、**将来の都市・地域の住宅や事務所等の床面積の将来見通し情報は利用できない**場合が多い。
- 「住宅土地統計調査」、「法人土地・建物基本調査」等の統計情報を用いて**人口、世帯数及び従業者数から住宅と非住宅の床面積を算出する推計式**を検討。



世帯人口と住宅床面積

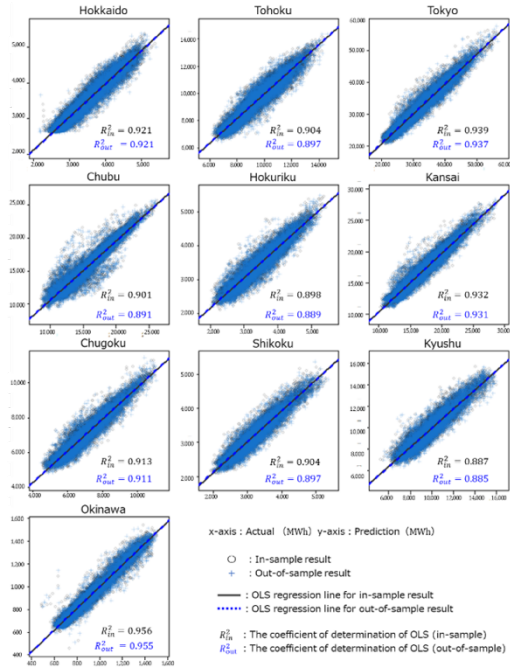
従業者数と非住宅床面積
(第二次産業)従業者数と非住宅床面積
(第三次産業)人口・従業者数に基づく床面積推計式 ($y=ax+b$)

		傾きa[m ² /人]	切片b[m ²]
住宅床面積		33.9	433095.0
非住宅床面積		19.4	-4105.8
第一次産業	4千人未満	46.7	-105315.7
	4千人以上	13.1	41945.9
第二次産業(製造業を除く)		37.5	-265364.5
第三次産業(運輸業を除く)		54.6	2242418.3

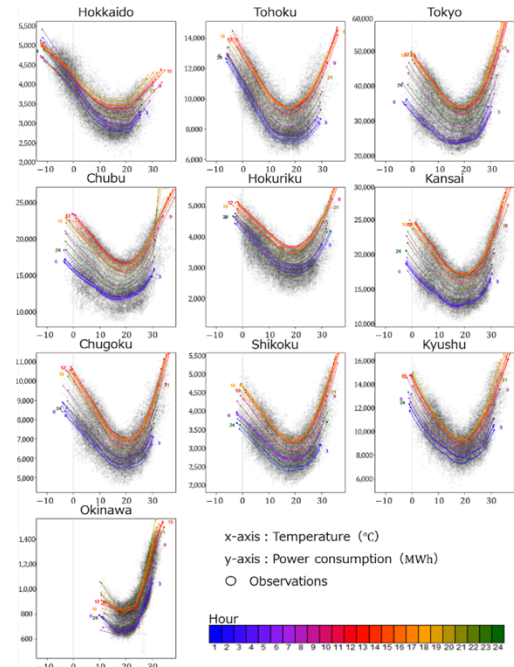
【需要分析×気候変動】

地域特性を考慮できる将来需要推定手法の開発

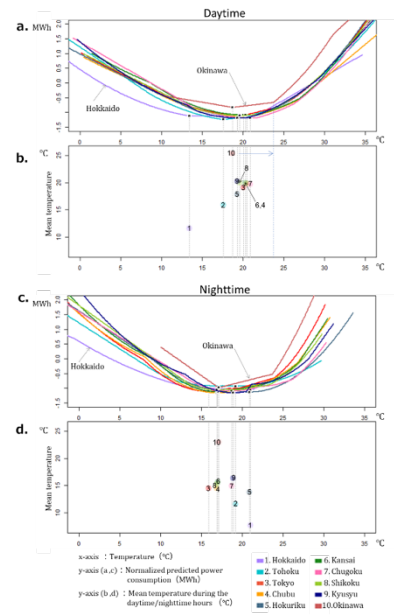
- 地域ごとの社会経済要因や地域の気候条件、刻々と変化する気象条件による影響を考慮して将来の需要を推定するために、電力需要を対象に定量モデルを構築。
- 共通要因として3つの気象関連要因(気温、湿度、日射)と4つの人間活動(働いている人の割合、眠っている人の割合、在宅し起きている人の割合、平日休日の別)が、地域固有の要因(地域要因)として3つの気象関連要因(風速、降雨、積雪)を特定。
- 気温感応度は地域や時間帯によって異なり、また、地域的にも北海道、本州、沖縄で明確に異なり、年平均気温の高い地域ほど電力需要が下降から上昇に転ずる気温であるBPT(Balance Point Temperature)が高くなる傾向が確認された。



構築したモデルの評価結果(10地域別)



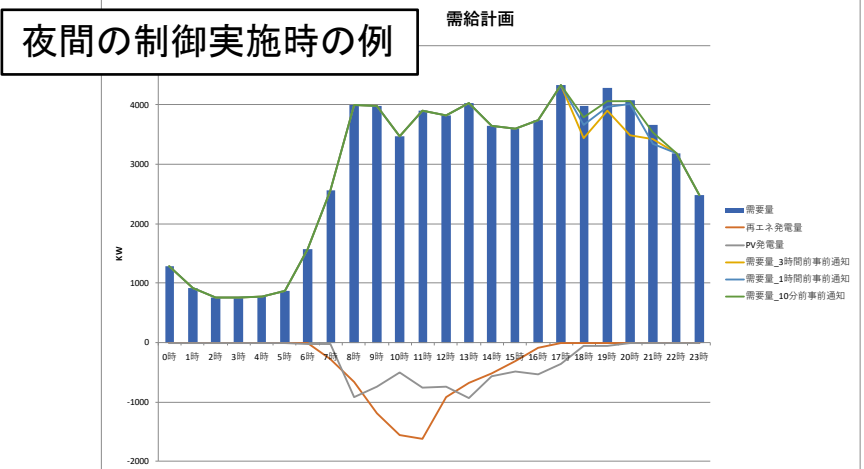
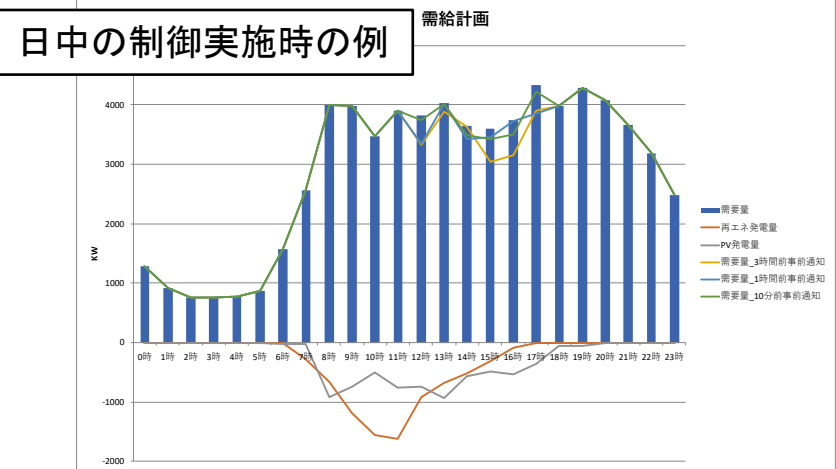
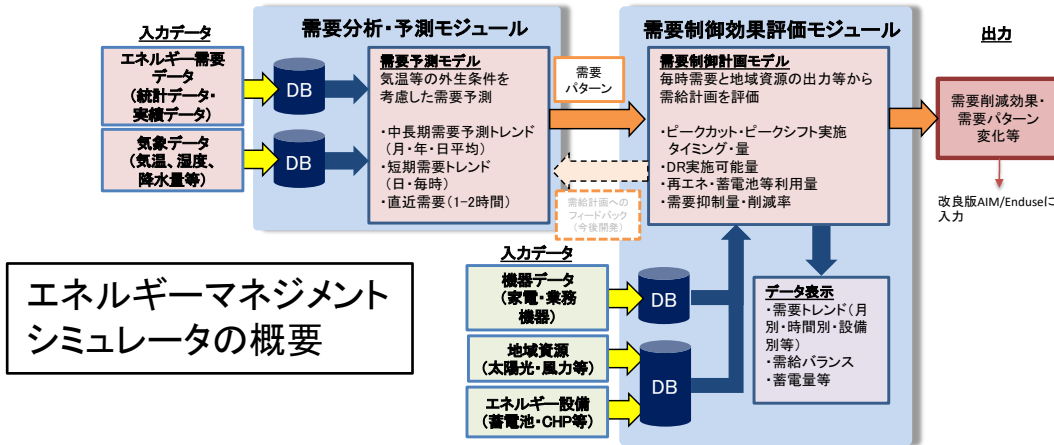
気温感応度の分析結果(10地域別)



【需要分析 × Society 5.0】

需要制御を考慮した需要パターン変化手法の開発

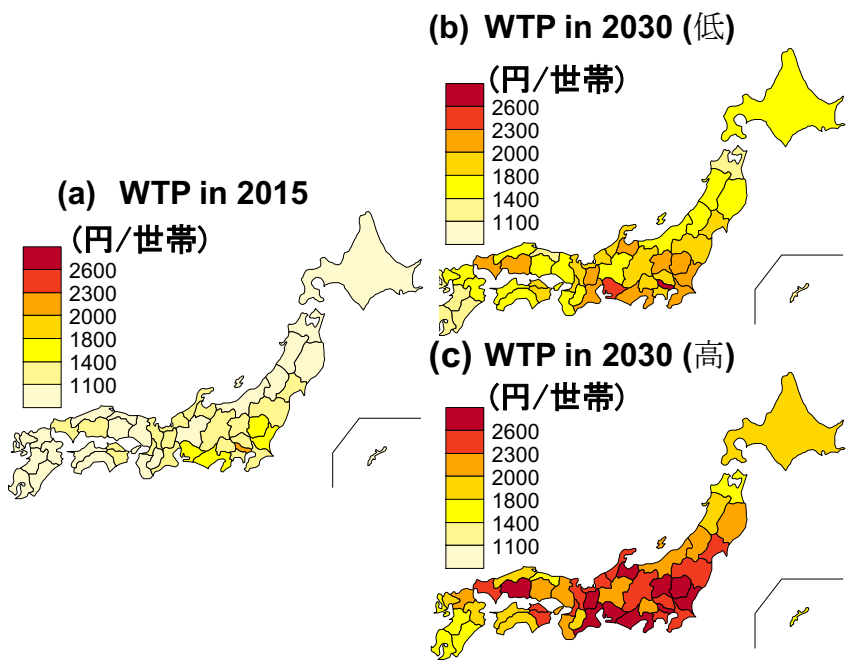
- ピークカット・シフト等のエネルギーマネジメント(EMS)やディマンドレスポンス(DR)の効果を評価できる**エネルギーマネジメントシミュレータを開発**。
- 毎時の需要と地域資源(再生可能エネルギー出力)の情報をもとに、**エネルギーマネジメントや需要制御の効果を評価**。削減効果としては日中の実施の方が大きいですが、需要平滑化効果としては夜間の実施が効果的であることを確認。



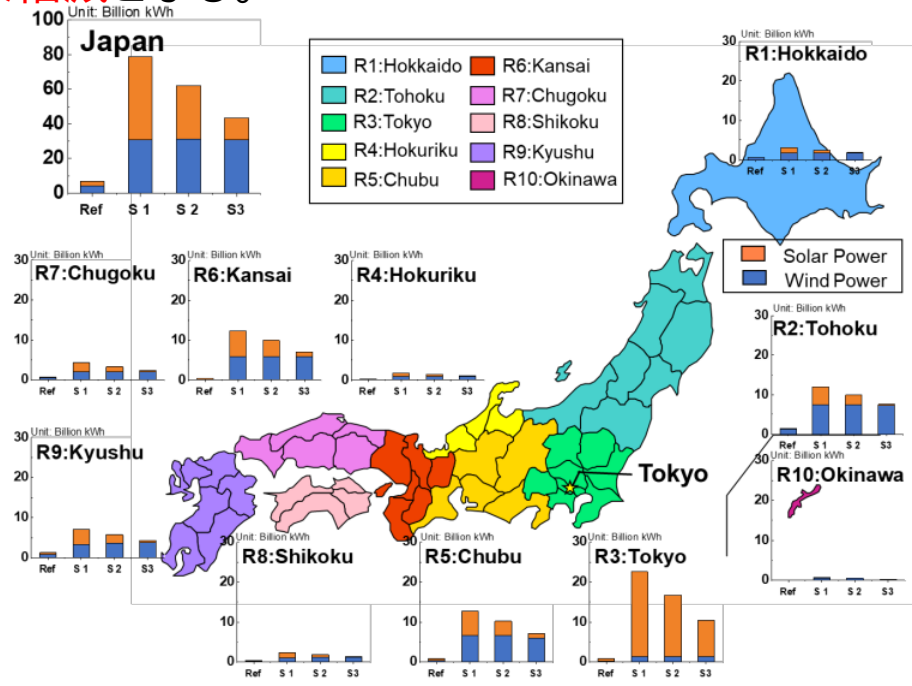
【供給分析×系統電力】

WTPを考慮した系統電力での再エネ導入分析

- 再生可能エネルギーへの**費用負担許容額(支払意思額、WTP)**を**メタ分析手法**を用いて地域毎に評価し、**多地域電源計画モデル**と組み合わせてWTPが系統電力での**再生可能エネルギー普及**に与える影響を評価。
- 都道府県別のWTPは、一人当たりの収入が高い地域では高くなる傾向があり、経済が高成長となるケースでは1,521-4,482円/(月・世帯)まで増加する。
- WTPを考慮することで**CO₂排出量に制約を課さずとも太陽光発電と風力発電の導入量が増加**し、CO₂も減少するが、**国全体の目標には達しない**。しかし、**地域別に見ると東京や中部ではCO₂排出量や排出係数は大幅減**となる。



WTPの都道府県別推定結果(中央値)



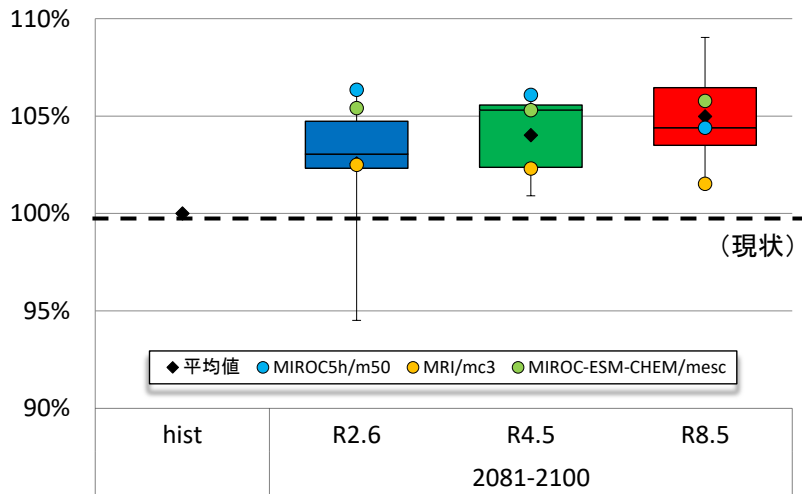
地域別・シナリオ別の再エネ導入量

【供給分析×気候変動】

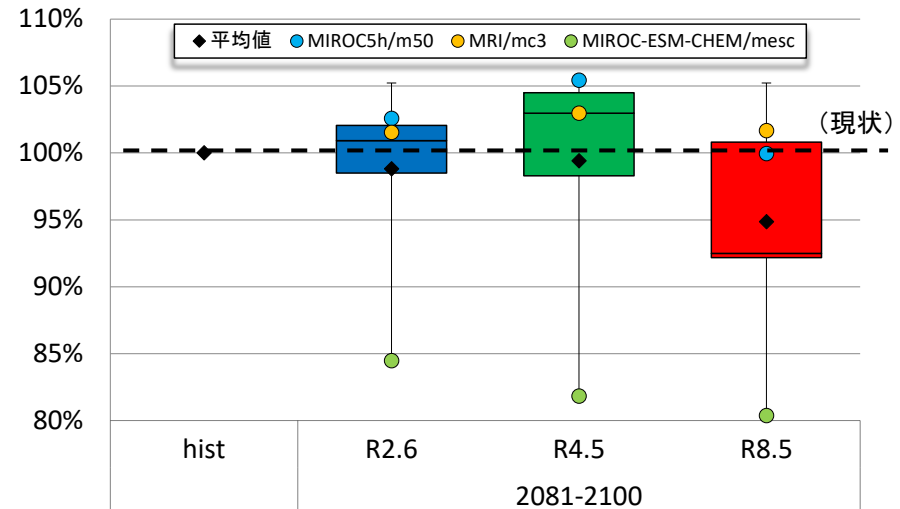
気候変動を考慮した再生可能エネルギー出力評価

- 太陽光及び風力発電を対象に、**GCMの結果を用いて将来の出力変化を評価**。なお、気候変動の寄与を分析するために、太陽光発電については発電効率は現在の水準(18.5%)に固定。
- 太陽光発電**は、いずれのRCP・気候モデルも**将来の増加傾向**を示し、効率向上も勘案すると将来の**重要な基幹エネルギー源**と期待される。
- 風力発電**は、年間で見た場合には**総じて発電量の減少傾向**が見られ、**気候変動がリスク**となる可能性が示唆された。

太陽光発電ポテンシャル(日本全体)



風力発電ポテンシャル(日本全体)

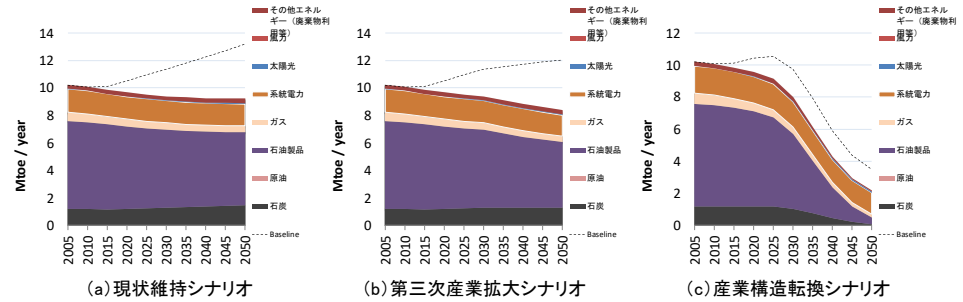
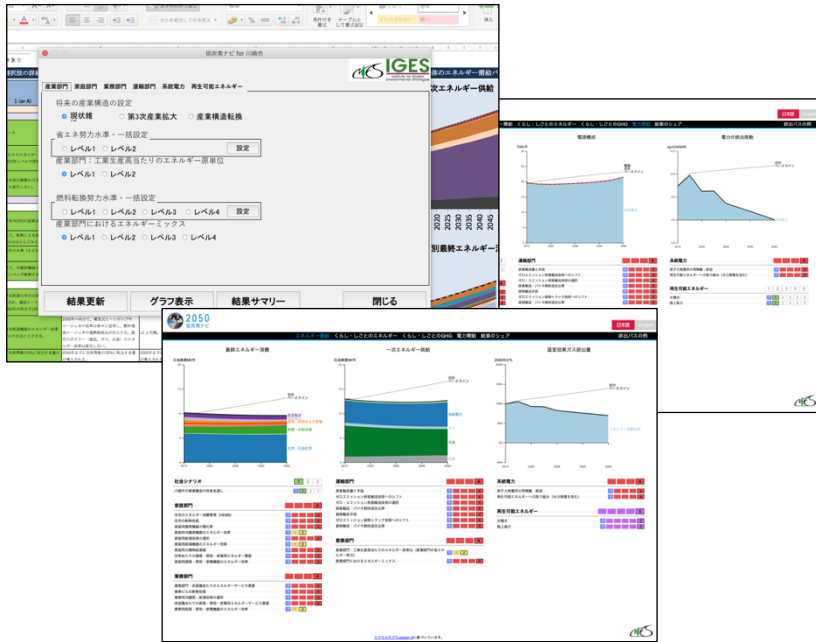


分析に用いたGCM: GFDL-CM3, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-LR, HadGEM2-ES, MIROC-ESM-CHEM, MIROC5, MRI-CGCM3.0

【簡易手法開発】

低炭素施策簡易分析ツールの開発と実証

- 低炭素施策評価モデルをもとに、ExcelやWebの操作で様々な低炭素対策をどこまで実施するか(努力レベル)を選択することで、2050年までのエネルギー需給や温室効果ガス(GHG)排出量を簡易に分析できるツールを開発。
- ワークショップ形式で将来のエネルギー選択を考える場における将来の低炭素シナリオ検討における有効性の検証や、地球温暖化防止活動推進センター、環境NGO、大学・研究機関の研究者による議論を行い、改良点を抽出。



ツールを用いた分析結果例(一次エネ)



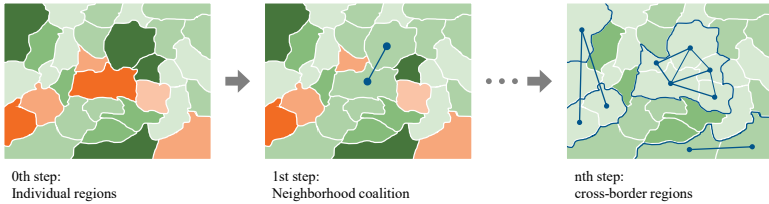
低炭素施策簡易分析ツールのインターフェース
(Excel・Web(オンライン・オフライン))

ツールを用いた議論の様子

【エネルギーの詳細分析×地域循環共生圏】

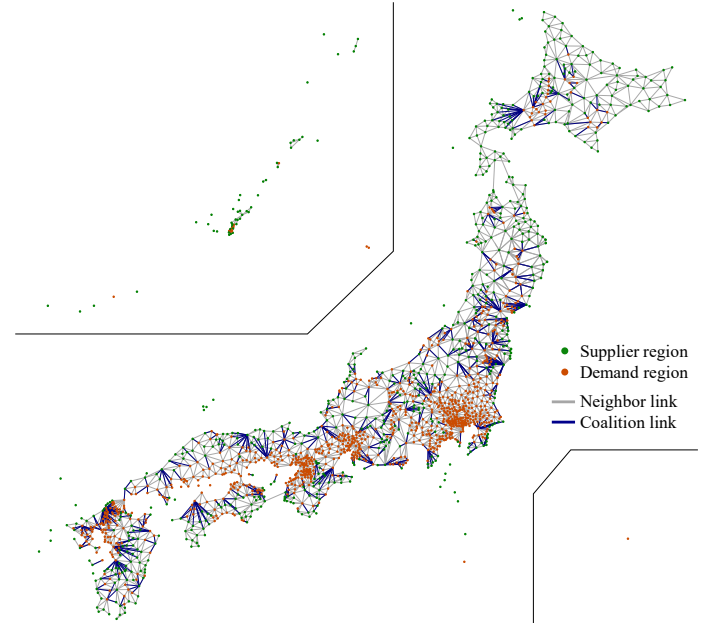
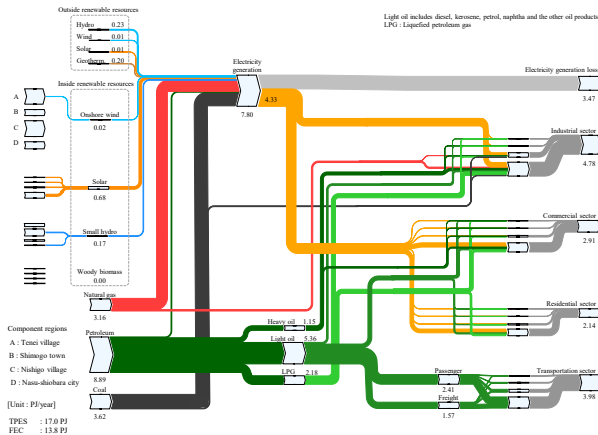
広域的な地域間連携による低炭素エネルギーシステムの検討

- 再エネは、地域内利用だけではなく、他地域と連携した活用（**地域間連携**）も重要となることから、**試行的に広域的な連携（広域圏）を考慮**した検討を実施。
- 広域圏は、洋上風力等の資源が豊富な沿岸地域や財政基盤の安定した地方の県庁所在地などを中心として形成。

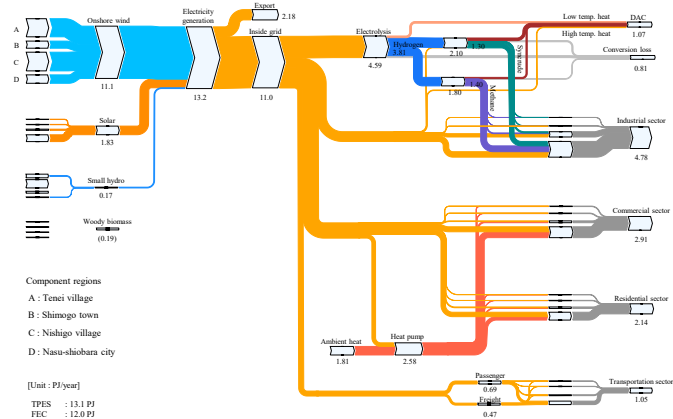


Supplier region (green) Demand region (orange)

地域間連携の検討方法



試設計した地域間連携ネットワーク



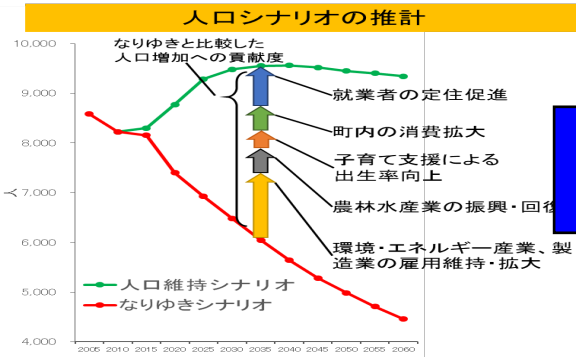
地域間連携によるエネルギーフローの変化(那須塩原広域圏)

【社会実装】

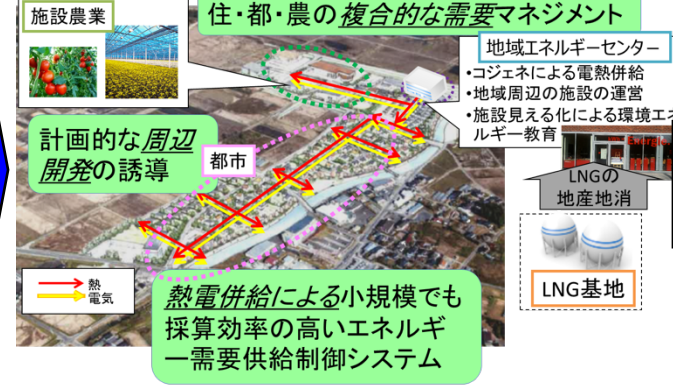
モデル自治体との連携による先導事例の構築

- シナリオ解析から拠点事業の異なるシナリオ下での効果算定と、低炭素都市等の将来計画での位置づけを行う理論と手法を、**連携する自治体の計画、事業に実装**した。

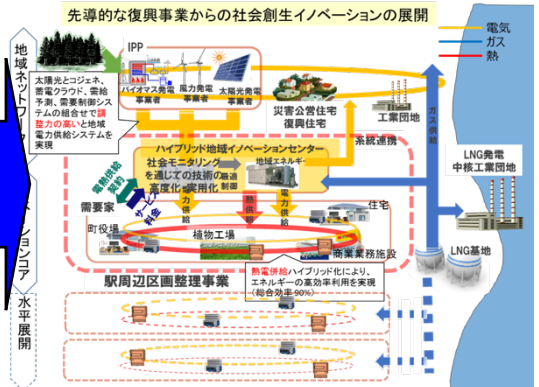
モデル都市の低炭素シナリオの算定



環境エネルギー拠点の計画評価



拠点事業から面的展開



新地町でのスマートコミュニティ構築支援

- 【2017-】**経産省**スマートコミュニティ事業マスタープランへの研究シミュレーションの出力
- 【2017-】**地域エネルギー会社(SPC)**と連携するまちづくり検討会の運営と研究出力
- 【2017-】ドイツザーベック町との連携；**日独環境省**地域エネルギー連携

福島県イノベーションコーストの先導事業の支援

- 【2017-】**福島イノベーションコースト事業**としてのプロセス共有
- 【2018】**東京大学新領域研究科、新地町**との研究協定締結
⇒福島イノベーションコースト教育拠点事業としての採択

都市・地域の低炭素シナリオ検討への貢献

1. 対象地域全域のシナリオ検討から、運輸旅客・民生家庭、建築物やインフラ、エネルギーシステムの詳細分析まで重層的な手法を開発した。これら手法を連携させ、あるいは特に詳細な分析を要する分野については個別に各部門等へ適用して分析することにより、都道府県や市町村等の地方自治体や都市・地域を対象に土地利用や建築物、エネルギーなどの地域特性を勘案して独自の低炭素シナリオを分析できる。
2. 人口密度が家庭CO₂排出量と相関することを示すとともに、都市の集約化効果(コンパクトシティ化)によりエネルギー需要及び供給の効率化と追加的なCO₂削減が期待できることを示した。また、立地適正化を進めることで建築物の滞留年数が延び、建設副産物発生量の低減が図れることも示し、都市・地域において低炭素化対策を効果的に推進するためには、土地利用の誘導等によるコンパクト化など、土地利用や都市構造変化も含めて検討することが重要であることを明らかにした。
3. 都市・地域が単独で低炭素化を推進するには系統電力などの地域外の主体の低炭素化も重要となるが、エネルギー需給の補完関係を考慮した広域圏を構築することで地域間の再生可能エネルギー資源の融通による地域内資源の活用と低炭素化が進むことを示し、地域内だけではなく特に近隣の地域との広域的な連携も含めて低炭素方策を考えることの重要性を示した。

本研究課題の成果(ii): 科学的意義(続)

低炭素と地域固有の課題・気候変動等の同時解決方策立案への貢献

1. 住宅の空き家を抑制することで低炭素に必要な断熱改修量が増加するなどのトレードオフがあるいっぽう、過疎地域での立地適正化は乗用車CO₂削減にも効果があることを明らかにした。また、高齢化により建築物の滞留年数は増加するなど示し、検討した低炭素シナリオを着実に進めるためには、検討段階で社会的な課題の解決も考慮することが重要であることを示した。
2. 気候変動による気温や湿度の上昇により電力消費が増加することや日射量や風速などの自然条件変化により太陽光発電ポテンシャルは増加するが風力発電ポテンシャルは減少する可能性が高いこと、低炭素の観点のみで現在の都市域に集約化することは浸水被害の増加が見込まれるなどを示した。このことから、都市構造を含め、低炭素と気候変動へのレジリエンスとを考慮することの重要性を示した。

研究成果に基づく国内外の科学的議論・政策立案等への貢献

1. 研究成果をもとにした複数の自治体の計画検討等の場で低炭素社会に向けた自治体の計画作りや実施の後押しや、IPCCの地域の気候情報分析に関する専門家会合(IPCC Expert Meeting on Assessing Climate Change Information for the Regions)での本研究課題の成果を含めた地域の低炭素シナリオについてのモデル分析の成果報告や、参画者それぞれが環境省や内閣府等の政府審議会等において委員として活動し、本研究を通じて得た知見をもとに議論へ貢献することなどを通じて、我が国及び国際的な環境政策への貢献を行っている。

本研究課題の成果(iii):環境政策への貢献

地域の現況把握や地域特性を考慮したシナリオ検討への貢献

1. 本研究で明らかにした**家庭部門CO₂排出原単位や乗用車のCO₂排出量、部門別最終エネルギー消費量データベース、再生可能エネルギーポテンシャルマップ、エネルギーフロー図等の市区町村単位の情報や、建築物データベースや人口・従業者数からの床面積推計式、気候も考慮した電力需要推計式等の成果を活用することで、全国一律の係数を乗じるなどの手法と比較して、より都市・地域の特性を反映した現況把握や将来シナリオの検討を行うことができる。**

都市・地域の特徴を踏まえた将来像・シナリオ検討に対する貢献

1. 区域施策編では、対象とする区域の特性を踏まえて望ましい地域の将来像を構想し、提示することが推奨されているが、上記成果や、**圏域人口に基づく地域タイプ分類、エネルギー消費・CO₂排出量の部門別構成に基づく地域の類型化**を活用することで、**他と比較した地域の特徴を検討したり、方策や取組の検討にあたっての参考を類似地域から得るなどが可能となる。**
2. これらの情報は地方自治体だけではなく**住民等にとっても地域特性を把握することに役立ち**、地方自治体にて幅広いステークホルダーが関与しての温暖化対策策定及び実施の助けとなりうる。

本研究課題の成果(iv):環境政策への貢献(続)

優先的に取組を進めるべき都市・地域の把握と政策の優先順位検討への貢献

1. わが国全体が低炭素社会に移行するためには、それぞれの地方自治体や都市・地域での取組が重要となるが、具体的に低炭素施策を講じていくためには、国・地方自治体ともに人的・財政的なキャパシティ等の制約があるなかで進める必要がある。本研究成果より、**実行計画策定義務のある特例市の人口要件20万人に満たないが排出量が多い市区町村(467市区町村1210万人)や建設ストックの情報に基づく地区の建築物の年数等を活用することで、国や都道府県の支援も含め、低炭素方策立案や地域再構築を優先的に進める市区町村や都市・地域の検討等に役立つことが期待される。**

地方自治体自身による低炭素シナリオ検討の促進への貢献

1. **モデル等をもとにExcelやWebの操作により簡易に自治体の長期の低炭素シナリオ分析を行うことができるツールとして開発した簡易低炭素効果評価ツール(地域版低炭素ナビ)では、地域の人口推移や経済成長等の見通しをもとに、需要側、供給側それぞれに想定した対策の導入量を選択することで、エネルギー需給やCO₂排出量を評価、可視化できる。環境省の『地方公共団体実行計画(区域施策編)策定・実施マニュアル』とともに、地方自治体のニーズや政策立案キャパシティに合わせた適切な手法を提供することにより、地方自治体自らによる地域特性を考慮した低炭素シナリオの策定や実施の後押しすることができるものと考えられる。**

本研究から得られた成果：政策決定者向けサマリーについて

1. 地域の情報・データ基盤の整備と活用

- 1-1. 地方自治体ごとのエネルギー・CO₂排出量情報の整備と活用について
- 1-2. 建物ストックの空間的な情報整備と将来廃棄量の把握について
- 1-3. 地方自治体の資源・エネルギーデータに基づく類型化とその活用について

2. 低炭素型の地域デザインに向けて

- 2-1. エネルギー需給の可視化の低炭素方策検討への応用について
- 2-2. 地域の社会課題解決と両立する低炭素方策の検討の重要性について
- 2-3. 都市構造・建築物の変化を考慮した低炭素シナリオ検討の重要性について
- 2-4. エネルギー需給への気候変動も考慮した検討の重要性について

3. 簡易手法の活用によるステークホルダーとの対話型将来シナリオ検討について

成果発表状況

- 論文(査読あり): 延べ35本(なお、サブテーマ1と3の共同での研究成果が含まれる)
 1. K. OKA, W. MIZUTANI and S. ASHINA: Renewable Energy, 153, 249-260 (2020) “Climate change impacts on potential solar energy production: A study case in Fukushima, Japan”
 2. 蛭田有希, L. GAO, 芦名秀一: 土木学会論文集G(環境), 75, 17-27 (2019)「気温と湿度に対する消費電力の感応度 —一般送配電事業者ごとの毎時電力消費量に着目して—」
 3. 石河正寛, 松橋啓介, 金森有子, 有賀敏典: 土木学会論文集G, 75(5), I_89-I_98 (2019)「市町村別家庭部門CO₂排出量推計モデルの改良-欠測データ処理と非線形回帰の適用-」
 4. 陳鶴, 有賀敏典, 松橋啓介: 土木学会論文集D3, 74(5), I_101-I_107 (2018)「メッシュ周辺人口集積度に基づいた乗用車CO₂排出量の推計」
 5. 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 環境情報科学, 32, 13-18 (2018)「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」
 6. Y. DOU, M. FUJII, T. FUJITA, K. GOMI, S. MAKI and H. TANIKAWA: Journal of Japan Society of Civil Engineers, 73, 6, II_353-II_363 (2017) “Potential of Waste Heat Exchange Considering Industrial Location Changes: A Case of Shinchi-Soma Region in Fukushima, Japan”
 7. S. FUJII, T. FURUBAYASHI and T. NAKATA: Energies, 12(7), 1-14 (2019) “Design and analysis of district heating systems utilizing excess heat in Japan”
 8. 古林敬顕, 佐藤雄治, 中田俊彦, 河西英一: 日本機械学会論文集, 84(860), 17-00565 (2018)「施設配置問題を考慮した持続可能な木質バイオマスサプライチェーンの設計」
- 等
- その他誌上発表(査読なし): 11本
- 口頭発表(学会等): 延べ165件(サブテーマ1と3の共同での研究成果が含まれる)

国民との科学・技術対話の実施について(合計32件)

一般公開シンポジウムでの報告

1. 藤田壮: 第16回環境研究シンポジウム「福島での環境創生のスマート復興まちづくり研究」(主催: 環境研究機関連絡会, 2018年11月13日, 東京, 聴講者約120名)
2. 芦名秀一: 2050年の八幡東区の描き方を考えるフォーラム「都市の変容を考慮した脱炭素シナリオの描き方」(主催: 次世代システム研究会、2018年11月10日, 北九州市, 聴講者約100名)
3. 藤田壮: JSTサイエンスアゴラ国研協による科学技術の連携で目指すSDGs「SDGsがつくる未来都市-科学から社会への発信にむけて-」(主催: JST・国立研究開発法人協議会(国研協), 2019年11月15日, 聴講者約100名)

等

地域の科学講座・市民講座での研究成果の講演

1. 芦名秀一: 柏市の環境施策と2050低炭素ナビ「2050低炭素ナビ開発の経緯」(主催: NPOかしわ環境ステーション, 2017年10月7日, 柏市, 聴講者約30名)
2. 芦名秀一: 令和元年度川崎市地域環境リーダー育成講座(第22期)「脱炭素社会の最新動向」(主催: 川崎市, 2019年7月13日, 川崎市, 聴講者約20名)

等

一般市民を対象とした研究成果の報告 (サブテーマ1と2で同じ)

1. 国立環境研究所夏の大公開(2017年7月22日, 参加者約5,000名)
2. 国立環境研究所夏の大公開(2018年7月21日, 参加者約5,000名)
3. 国立環境研究所夏の大公開(2019年7月20日, 参加者約6,000名)