

Environment Research and Technology Development Fund

## 環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

2-2008 暗示的炭素価格を踏まえたカーボンプライシングの制度設計：  
効率性と地域経済間の公平性を旨して  
(JPMEERF20202008)

令和2年度（2020年度）～令和4年度（2022年度）

Designing Carbon Pricing Instruments with Consideration of the Effective Carbon Rate:  
Reconciliation of Efficiency and Regional Equity

<研究代表機関>  
早稲田大学

<研究分担機関>  
京都産業大学  
法政大学  
金沢星稜大学  
青山学院大学

<研究協力機関>  
佐賀大学  
室蘭工業大学  
札幌学院大学  
東北学院大学  
日本福祉大学

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
2. 研究開発目的 .....	2
3. 研究目標 .....	2
4. 研究開発内容 .....	3
5. 研究成果 .....	7
5-1. 成果の概要 .....	7
5-2. 環境政策等への貢献 .....	12
5-3. 研究目標の達成状況 .....	14
6. 研究成果の発表状況 .....	17
6-1. 査読付き論文 .....	17
6-2. 知的財産権 .....	17
6-3. その他発表件数 .....	17
7. 国際共同研究等の状況 .....	18
8. 研究者略歴 .....	18
II. 成果の詳細 .....	19
II-1 【サブテーマ1】 事業所データを用いた暗示的炭素価格・自治体制度の効果分析と国際展開 .....	19
[要旨] .....	19
1. 研究開発目的 .....	20
2. 研究目標 .....	21
3. 研究開発内容 .....	21
4. 結果及び考察 .....	22
5. 研究目標の達成状況 .....	31
6. 引用文献 .....	32
II-2 【サブテーマ2】 地域 CGE モデルを用いた CP 制度の分析 .....	34
[要旨] .....	34
1. 研究開発目的 .....	34
2. 研究目標 .....	35
3. 研究開発内容 .....	35
4. 結果及び考察 .....	39
5. 研究目標の達成状況 .....	43
6. 引用文献 .....	43
II-3 【サブテーマ3】 地域産業連関分析を用いた燃料税改革の分析 .....	44
[要旨] .....	44
1. 研究開発目的 .....	44
2. 研究目標 .....	44
3. 研究開発内容 .....	44
4. 結果及び考察 .....	45
5. 研究目標の達成状況 .....	47
6. 引用文献 .....	47

II-4	【サブテーマ4】電力部門における暗示的炭素価格とCPの関係	48
	[要旨]	48
	1. 研究開発目的	48
	2. 研究目標	49
	3. 研究開発内容	49
	4. 結果及び考察	50
	5. 研究目標の達成状況	54
	6. 引用文献	55
II-5	【サブテーマ5】家計のCP負担の地域格差問題の分析	56
	[要旨]	56
	1. 研究開発目的	56
	2. 研究目標	56
	3. 研究開発内容	56
	4. 結果及び考察	57
	5. 研究目標の達成状況	63
	6. 引用文献	64
II-6	【サブテーマ6】スマート社会の形成とカーボンプライシングの関係	65
	[要旨]	65
	1. 研究開発目的	65
	2. 研究目標	65
	3. 研究開発内容	66
	4. 結果及び考察	69
	5. 研究目標の達成状況	75
	6. 引用文献	75
III.	研究成果の発表状況の詳細	77
	(1) 誌上发表	77
	(2) 口頭発表(学会等)	83
	(3) 「国民との科学・技術対話」の実施	87
	(4) マスコミ等への公表・報道等	88
	(5) 本研究費の研究成果による受賞	89
	(6) その他の成果発表	89
IV.	英文 Abstract	90

## I. 成果の概要

課題名 2-2008 暗示的炭素価格を踏まえたカーボンプライシングの制度設計：効率性と地域経済間の公平性を目指して

課題代表者名 有村 俊秀（早稲田大学政治経済学術院教授）

重点課題 主：【重点課題⑦】気候変動の緩和策に関する研究・開発  
副：【重点課題②】ビジョン・理念の実現に向けた研究・技術開発

行政要請研究テーマ（行政ニーズ）（1－4）地域循環共生圏・Society5.0を踏まえた新たな長期シナリオによる脱炭素社会への道筋の研究

研究実施期間 令和2年度～令和4年度

### 研究経費

88,117千円（合計額）

（各年度の内訳：令和2年度：33,092千円、令和3年度：27,606千円、令和4年度：27,419千円）

### 研究体制

（サブテーマ1）事業所データを用いた暗示的炭素価格・自治体制度の効果分析と国際展開  
（早稲田大学）

（サブテーマ2）地域CGEモデルを用いたCP制度の分析（京都産業大学）

（サブテーマ3）地域産業連関分析を用いた燃料税改革の分析（法政大学）

（サブテーマ4）電力部門における暗示的炭素価格とCPの関係（金沢星稜大学）

（サブテーマ5）家計のCP負担の地域格差問題の分析（青山学院大学）

（サブテーマ6）スマート社会の形成とカーボンプライシングの関係（早稲田大学）

### 研究協力機関

佐賀大学、室蘭工業大学、札幌学院大学、東北学院大学、日本福祉大学

### 本研究のキーワード

カーボンプライシング、暗示的炭素価格、炭素税、排出量取引、効率性、地域間公平性、制度設計、Society 5.0

## 1. はじめに（研究背景等）

日本の国内での排出削減のために、新たなカーボンプライシング（CP）の導入が議論されてきた。申請代表者も環境省中央環境審議会の地球環境部会「カーボンプライシングの活用に関する小委員会」に参加し、CPの意義・メリットについて議論してきた。一方、CPを導入する際の課題として、石油石炭税などを始めとする燃料税や固定価格買取制度（FIT）等の（明示的な炭素価格（円/tCO<sub>2</sub>）を有していない）暗示的炭素価格の存在が挙げられていた。さらに、東京都や埼玉県では排出量取引制度も既に導入されていた。これらの既存の各種制度とCPとの整合性が議論され、「カーボンプライシングの活用の可能性に関する議論の中間的な整理」としてまとめられた。特に、暗示的炭素価格の定量的な効果が明らかになっていないことがステークホルダーから課題とされた。また、CPの経済影響やイノベーションとの関係、地域間の経済不均衡も課題として挙げられていた。CPがもたらす経済影響は地域経済によって異なる可能性があるが、それらの分析は十分に行われていなかった。他方、国際的にみると新興国での排出量の大幅な増加に対し、対策が求められている。新興国でのCP導入も始まっているが、その広がりには限定的である。長期的には Society5.0（スマート社会の構築）と CPの関係を明らかにすることも求められていた。

## 2. 研究開発目的

本研究課題では、暗示的炭素価格を踏まえた上での効率性と公平性を考えたCPを理論的、定量的に明らかにする。特に、FITや既存の化石燃料への課税、地域レベルのETSを踏まえ、効果的なCPの制度を考える。その際、証拠に基づく政策立案（Evidence Based Policy Making: EBPM）の視点でCPの評価を行う。その上で、経済モデルを活用し、CPがもたらす効果や影響の地域間不均衡を定量的に明らかにする。CPの経済影響の地域間格差が大きければ、それを緩和する方策を考える。つまり、効率性と公平性のバランスを考えた短中期CPの在り方を考える。また、日本の成功例である自主参加型の埼玉県ETSやオフィスビルを対象とした東京都ETSについて、ASEANなど新興国への適用可能性を考える。さらに、長期的に見た新しい経済：Society 5.0とCPの関係を明らかにする。

## 3. 研究目標

全体目標	暗示的炭素価格や自治体が導入した排出量取引制度等のこれまでの効果を踏まえて、効率性と公平性のバランスを考慮したCP制度を提案する。そして、日本での経験を踏まえてCPを新興国で導入するための課題と方策を整理する。
サブテーマ1	事業所データを用いた暗示的炭素価格・自治体制度の効果分析と国際展開
実施機関	早稲田大学
目標	暗示的炭素価格と明示的炭素価格の事業所における複合的な効果を定量的に明らかにする。自治体排出量取引制度について、イノベーションへの効果を検証すると共に新興国への適用可能性を検討する。効率性と公平性に配慮したCP制度を提案する。
サブテーマ2	地域CGEモデルを用いたCP制度の分析
実施機関	京都産業大学
目標	地域CGEモデルによるシミュレーションにより、CP導入、および燃料税改革が日本各地域のCO <sub>2</sub> 排出量、および経済活動に与える影響を定量的に明らかにする。その上で地域間格差への影響について分析し、必要であれば是正策を提示する。
サブテーマ3	地域産業連関分析を用いた燃料税改革の分析
実施機関	法政大学

目標	CP がもたらす短期的な費用負担の地域間不均衡を是正しうる政策オプションの提示とともにその効果を明らかにする。また、地域循環共生圏における農村部と都市部それぞれの役割を明らかにする。
サブテーマ 4	電力部門における暗示的炭素価格と CP の関係
実施機関	金沢星稜大学
目標	暗示的炭素価格と CP を併用した包括的な手法による電力部門の低炭素化について、定量的な分析の基礎となり得る理論的条件を整理し、最終的に政策提言につなげることを目標とする。
サブテーマ 5	家計の CP 負担の地域格差問題の分析
実施機関	青山学院大学
目標	CP が導入された場合の家計負担を地域別に推計し、負担の公平化に関する政策の対案を提示する。
サブテーマ 6	スマート社会の形成とカーボンプライシングの関係
実施機関	早稲田大学
目標	2015 年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (IONGES) を作成し公表する。 2011 年版地域間 IONGES を作成し公表する。 2015 年版スマート社会分析用 IONGES を作成し公表する。 上記データベースを用いて、再生可能エネルギーとスマート社会技術導入下で、炭素税課税がもたらすコストプッシュ効果の分析を行う。

#### 4. 研究開発内容

本研究課題の研究体制は、事後検証・制度研究グループ（サブテーマ 1、4、5）、モデル構築グループ（サブテーマ 2、3、6）から構成される（図 0.1）。各グループの研究開発内容は以下のとおりである。

##### 【事後検証・制度研究グループ】

事後検証・制度研究グループでは、これまでに実施されている CP の一つである東京都・埼玉県 ETS による効果を事業所データから検証し、新興国で展開する可能性を検討した（サブテーマ 1）。また、固定価格買取制度（FIT）の効果（サブテーマ 1）について、電力部門における CP と FIT の理論的な分析（サブテーマ 4）をインプットしつつ検証した。一方、CP による家計への影響についても実証分析を行った（サブテーマ 5）。なお、データ分析においては、PD、助手、大学院生 RA を活用しながら事業所データを整備し、計量分析を行った。分析手法としては、エビデンスに基づく政策立案（EBPM）の分野で用いられる標準的な手法である差の差分分析（Difference in differences, DID）<sup>1</sup>や傾向スコアマッチング（Propensity score matching、PSM）<sup>2</sup>などを活用した。それぞれの内容は以下のとおりである。

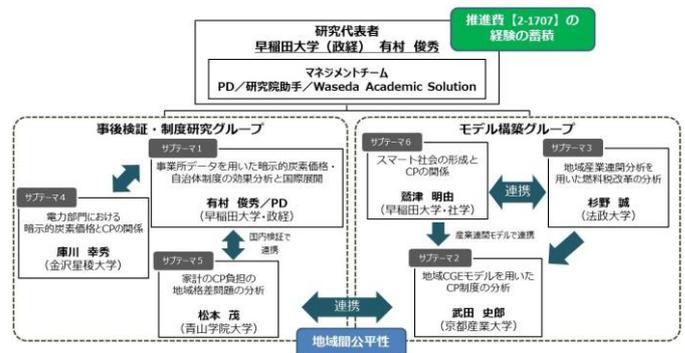


図 0.1 本研究課題の研究体制

<sup>1</sup> 差の差分分析（Difference in differences, DID）とは、「処置群の結果変数の前後差から対照群の結果変数の前後差を引くことでプログラム効果を推定する手法」のことである（西山他, 2019, p.427）。

<sup>2</sup> 傾向スコアマッチング（Propensity score matching、PSM）とは、プログラム参加者と不参加者の属性を傾向スコア（属性から予測されるプログラム参加確率）によって条件付けて分析することであり、「あたかもプログラム参加者と不参加者を傾向スコアでマッチして分析を行うような趣」があることからこのように呼ばれている（西山他, 2019, pp.411-412）。

### 事業所データを用いた自治体排出量取引制度の効果分析と国際展開（サブテーマ1）

事業所データを用いた自治体排出量取引制度の効果の分析においては、東京都・埼玉県の ETS を対象として、多様な側面から政策評価を行った。具体的には、東京都・埼玉県 ETSにおける削減効果の持続可能性や経済影響、イノベーション効果、さらにはカーボンリーケージの検証を行った。検証にあたっては、環境省から地球温暖化対策の推進に関する法律に基づいて作成されている事業所データ、資源エネルギー庁からエネルギー消費統計調査のデータを入手し、計量分析を行った。また、企業の流動性制約が排出削減に影響するかどうかの検証も行った。さらに、埼玉県の協力に基づき排出量取引制度で事業所が提供するデータおよび「事業所の省エネ対策の実施状況等に関する書面調査（平成30年度）」を入手し、統計解析を行った。そして、イノベーション効果の分析として R&D への影響を検証するため、経済産業省から企業活動基本調査を入手し、分析を行った。

さらに、日本の成功例である東京都、埼玉県が実施する排出量取引について、排出増加の著しい新興国での展開の可能性があるか、関連専門家と国際ワークショップ・シンポジウムを開催し、議論を行った。具体的には、米国のシンクタンク Asia Society Policy Institute に Steering Committee のメンバーとしてワークショップの企画から参加し、6回にわたる国際ワークショップ（オンライン）を開催した。そのうえで、東京都および埼玉県の制度及び効果について発表し、国際展開について議論を行った。

### 暗示的炭素価格としての固定価格買取制度（FIT）及び減免制度の経済分析（サブテーマ1&4）

固定価格買取制度（FIT）は、再生可能エネルギーの普及を促進する政策である。FITにかかる費用の一部は、再生可能エネルギー促進賦課金（賦課金）によって電力需要家の負担となっているため、暗示的な CP と考えられる。近年では FIT の需要家への影響について関心が高まっており、電力価格を上昇させたことが明らかになっている。この電力価格の上昇は、エネルギー集約的な産業部門が最も影響されやすいと見込まれている。また、電力集約産業は、申請を行うことで FIT の賦課金の減免を受けられるが、減免を受けることで電気使用量ならびに排出量の増加につながる可能性もある。

そこで、FIT の導入に伴う産業部門への経済影響について、資源エネルギー庁から石油等消費動態統計調査のデータを入手して研究を行った。具体的には、FIT の賦課金負担がもたらす電気料金上昇の効果、および FIT で導入された電力集約産業への減免措置の効果について実証分析した（サブテーマ1）。

なお、FIT の経済分析を行うにあたっては、電力部門における暗示的炭素価格と CP の関係に関する理論的研究（サブテーマ4）をインプットした。本研究では、暗示的炭素価格と CP を併用した包括的な手法による電力部門の低炭素化について、定量的な分析の基礎となり得る理論的条件を整理し、政策提言につなげることを目標としている。

社会の低炭素化を推進する主な政策的なアプローチとして、CP 以外にも、1) 代替エネルギーの導入支援、2) エネルギー効率の改善、が考えられる。これらのアプローチが排出量（化石燃料の利用量）に与える間接的な影響を明らかにするために、以下の2つの研究テーマ（課題）に取り組んだ。

- 研究項目1：電力部門の低炭素化における発電効率改善の効果に関する理論的考察
- 研究項目2：電力部門と非電力部門の相互効果を考慮した分析

研究項目1では、火力発電プラントの発電効率が改善した場合の総排出量への影響について、火力発電と再エネ発電が競合関係にあるクールノー市場のモデルを用いて理論的な検証を行った。

研究項目2では、電力部門に非電力部門を加えたモデルを構築し、両部門の相互関係を考慮した分析を行った。大幅な削減目標を考える場合、非電力部門のエネルギー源を化石燃料から電力へ転換（電化）することが重要な選択肢になる。一次エネルギーとしての再生可能エネルギーの主な利用形態は電気もしくは水素（グリーン水素）であり、現時点では電気としての利用が主流になる。従って、再エネ支援策の影響が及ぶ範囲は、非電力部門における電力の利用範囲に限定されることになる。電力価格の低減（上昇）は非電力部門における電力利用を促進（抑制）する要因になり、非電力部門におけるエネルギー源としての化石燃料利用を間接的に抑制（促進）する効果をもつことが考えられる。一方、電化に伴う電力需要の増大は電力価格上昇を招き、電力部門における排出量を増加させる要因になり得る。逆に、電力部門において電力供給を増やす策が実施されれば、電力市場価格の低減によって非電力部門におけ

る化石燃料の利用を間接的に抑制できる。このように、電力価格を介した両部門間の相互関係が、全体の排出削減において重要な意味を持つことになる。本研究項目では、電力価格と、非電力部門における電力と化石燃料の利用量の配分が内生的に決まるモデルを考え、再エネ支援策（FIT/FIP）や電力への補助金（もしくは賦課金）が、電力部門と非電力部門それぞれの排出源に与える効果を理論的に検証した。

### 家計の CP 負担の地域格差問題の分析（サブテーマ 5）

CP が導入されると家計はエネルギーを使用する際に税を負担するようになるが、負担の程度は世帯の家族構成や居住場所により異なる。サブテーマ 5 では、CP が課された場合の家計負担を世帯タイプ別・地域別に比較した上で、一部の世帯や地域が過度な負担を負わないためのスキームを提案した。

エネルギー価格上昇時に、実際にどれ位の省エネ効果が期待できるかを推し量るためには、「エネルギー需要の価格弾力性」の情報が必要である。しかし、日本ではこれまで県別レベルなどのマクロレベルデータによるエネルギー需要の価格弾力性しか推計されてこなかった。エネルギー利用方法が世帯間で大きく異なるという事実を踏まえると、ミクロレベルデータによる分析の有効性は高い。そこで、本調査では家計単位のミクロレベルデータを利用し、地域別・世帯別・季節別に電力需要の価格弾力性を推計した。その結果、電力需要の価格弾力性が地域間・世帯間・季節間で大きく異なることが示された。

家計のエネルギー消費の分析で大きな制約となるのは、家計がエネルギーをどのような用途に利用しているかが分からないことである。しかしながら、エネルギーは必需品であるという事実を踏まえると、家計がどのような用途にエネルギーを利用しているかを知ることは大切である。上述の制約下で、家計の耐久消費財の保有状況とエネルギー消費状況から、どの様な用途にどれ位のエネルギーが利用されているかを調べるための Conditional Demand Analysis と呼ばれる手法が開発されてきた。この手法を改良し、家族構成の違いがエネルギー消費の違いに及ぼす影響を補足する方法を提案した。更に、CP が導入された場合の「冬場の暖房費の増加額」を世帯タイプ別・地域別に比較した。

多くの家計は電気・ガス・灯油といった複数のエネルギー源を併用している。これらのエネルギー源の間には一定の代替性があるものの、完全に代替的であるわけではない。また、灯油については主に暖をとるために使われるため、公平性の目的からこれまで税率を低く抑える措置がとられてきた。以上を踏まえた上で、CP が強化された時に、家計の「エネルギー源の選択状況・利用状況」がどのように変化するかを調べた。その結果、都市部の世帯は CP 強化後にガスへの切り替えをすすめるが、電気と灯油に頼らざるを得ない地方部の世帯はそうした対応をとれないため CP 負担が重くなることが確認された。

これらの実証研究の結果をもとに、CP の負担が重くなると予想される寒冷地に居住する世帯を対象にしたアンケート調査を行った。さらに、自治体や商工会議所などでヒアリング調査を行った上で、既存のスキームを利用して負担を軽減するための提案を行った。

### **【モデル構築グループ】**

一方、モデル構築グループでは、産業連関表を用いた CP による産業別・地域別の影響の分析（サブテーマ 3）、応用一般均衡（CGE）モデルによる CP 導入や（暗示的炭素価格を踏まえた）燃料税改革による地域経済への影響の分析（サブテーマ 2）、環境税制改革（サブテーマ 1 及び 2）再生可能エネルギーを組み込んだ産業連関表の作成とそれを用いたスマート社会の形成と CP の関係に関する分析（サブテーマ 6）を行った。それぞれの内容は以下のとおりである。

### 地域産業連関分析を用いた燃料税改革の分析（サブテーマ 3）

燃料税を所与とした CP の短期的な影響を、2005 年地域間産業連関表を用いて分析した。また 2005 年地域間産業連関表と 2011 年国内産業連関表を用いて細分化された 2011 年地域間産業連関表の作成を試みた。しかし、細分化に必要なデータが入手できなかったため、（株）三菱総合研究所、（株）ケー・シー・エス、南山大学石川良文氏が開発した 47 都道府県間産業連関表を代用した。47 都道府県産業連関表を 地域間産業連関表に組み換え、CP の短期的な影響を評価した。また、地域循環共生圏に資するシナリオを設定し、影響を分析した。具体的には、地域の特徴に即した費用緩和措置や雇用対策等の分析

を行った。さらに、分析結果および得られた結果の内容をサブテーマ 2 にインプットした。

さらに、地域の電力構成を考慮した地域間産業連関表を新たに作成し、これまでに行った分析を再度行った。これにより、地域の電力源の違いによる影響をとらえた分析を行った。また、費用緩和措置や雇用対策の手法を比較し効果的な費用緩和措置・雇用対策を明らかにし、地域循環共生圏における農村部と都市部の関係性について整理した。

### 地域 CGE モデルを用いた CP 制度の分析（サブテーマ 2）

サブテーマ 2 では「地域 CGE モデルによる CP 導入の地域別の分析」（テーマ 2-1）、「CGE モデルによる燃料税改革と CP 導入の分析」（テーマ 2-2）の二つのテーマをとりあげている。また、サブテーマ 1 と連携し、CP の効率性の面から炭素税の二重の配当の可能性を分析した。

テーマ 2-1 では、日本における CP（炭素税）の導入が日本の各地域にどのような経済的影響をもたらすかを、日本を複数の地域に分割した応用一般均衡モデル（computable general equilibrium model、以下 CGE モデル）によるシミュレーションで分析している。CGE モデルの基準データには「（株）三菱総合研究所、（株）ケー・シー・エス、南山大学石川良文氏の共同作成による 47 都道府県間表（37 部門表）」を 10 地域、19 財に統合して利用している。また、CO<sub>2</sub> 排出量のデータには産業連関表の 2011 年全国表と 3EID データを利用している。地域の分類は電力会社（10 電力）を基準に分割している。

CGE モデルには Yamazaki and Takeda (2013) のモデルを改良したものを利用している。シミュレーションでは CP 導入の効果を分析するが、CP としては炭素税を想定している。また、ここでは CO<sub>2</sub> 削減率をターゲットとして外生的に設定し、その削減率が実現されるように炭素税率を調整するという方法をとっている。ターゲットとする削減率としては基準年（2011 年）の排出量から 20% 削減という値を想定している。今回は短期を分析するということを想定し、20% という低めの削減率を選択している。炭素税という政策を利用する際には、その税収の用途が重要なポイントとなる。様々な用途が考えられるが、ここでは炭素税収は各地域の家計に分配すると想定する。ただし、その分配の方法として複数のシナリオを想定し、分配方法の変更が炭素税の効果にどのような影響を与えるかを分析する。

テーマ 2-2 では、既存の燃料税の改革と CP（炭素税）を組み合わせる（税で見た実効炭素価格の均一化）という政策を分析する。テーマ 2-2 についても CGE モデルによるシミュレーションを利用している。ただし、テーマ 2-2 については、テーマ 2-1 で利用した日本を複数地域に分割した地域 CGE モデルではなく、産業連関表の全国表に基づく日本全体を一つの地域とした CGE モデルを利用する。これは、現実の燃料税（エネルギー税）をできる限り詳細に捉えるためには、エネルギー財を非常に細かく分割している全国表を利用することが望ましいからである。CGE モデルには Takeda and Arimura (2021) のモデルを修正したモデルを利用している。燃料税の改革を分析するが、燃料税としては、「揮発油税」、「軽油引取税」、「石油ガス税」、「航空燃料税」、「石油石炭税（地球温暖化対策のための税を含む）」、「電源開発促進税」を考慮している。

シミュレーションでは、テーマ 2-1 と同様に CO<sub>2</sub> 排出量を 20% 削減するという想定を置くが、その際に、既存の燃料税はそのままで炭素税を上乗せするというシナリオと、既存の燃料税を考慮した上で、実効炭素価格が均一になるように炭素税を導入するというシナリオをとりあげ、燃料税改革型炭素税として、その効果にどのような違いをもたらすかを分析する。

### CGE モデルを用いた環境税制改革（炭素税の二重の配当）の分析（サブテーマ 1 & 2）

サブテーマ 1 と連携し、CP の効率性の面から排出削減と経済成長との両立の可能性を探る研究を行った。欧州や北米では「二重の配当」という、炭素税で得られた税収を法人税や所得税、消費税の減税に用いることにより、炭素税による排出削減（一つ目の配当）と経済活動の活性化（二つ目の配当）の両立を図る政策が実施されている。ただし、減税によって経済活動が歪む可能性も指摘されているため、本当に二重の配当が実現するのかを検討する必要がある。そこで、炭素税の税制改革（二重の配当政策）を経済モデル及び制度面から分析を行った。特に、炭素税の二重の配当における公平性の視点として、減税だけでなく雇用保険制度及び介護保険制度を通じて還元した場合の経済影響も検討した。

## スマート社会の形成とカーボンプライシングの関係（サブテーマ6）

まず、2015年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（IONGES）を作成し公表した。IONGESとは、総務省の産業連関表に再生可能エネルギー部門の施設建設と発電の生産活動を追加した表である。IONGESには、対象とする2015年に実際に存在した再生可能エネルギー部門の活動を組み込んだ表（組込表）と、2030年の目標水準にまで再生可能エネルギー部門の比率が高まったと想定した表（想定表）の2種類がある。2015年版IONGESでは2021年10月に公表された「第6次エネルギー基本計画」の野心的水準まで再生可能エネルギーが導入されるとして想定表を作成した。また、2021年6月に公表された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」をふまえ電動自動車部門とそれを支える車載用Liイオン電池部門、充電設備建設部門などを新設したことも2015年版想定表の特徴である。

次に、環境研究総合推進費（2-1707）において開発した2011年版IONGES想定表を活用し、地域間IONGESを作成し公表した。地域間IONGESは全国を9地域に分割し、再生可能エネルギーの普及が地域間の相互依存関係にもたらす効果分析を行うためのデータベースである。その際、再エネ導入比率を2015年の長期エネルギー需給の見通しの水準とし、地域間送電の状況は2011年の実態と仮定した表（保守的ケース）と、第6次エネルギー基本計画の野心的水準の再生可能エネルギーの導入水準と工学モデルに基づく最適な地域間送電を仮定した表（野心的ケース）を作成した。それにより、地域間送電を活発化することで再生可能エネルギーのより一層の促進がもたらす効果の分析が可能となる。

家庭および業務その他部門の太陽光発電装置等のエネルギーリソースを統合的に運用することで、社会全体の再エネ利用率の向上に貢献するスマートビジネスとして、バーチャルパワープラント（VPP）ビジネスが注目されている。そこで、同ビジネスがもたらす経済・環境効果を定量的にとらえるために、2015年版想定表を拡張することでVPPビジネスの事業化効果分析用産業連関表（VPPIO）を開発し、3番目の研究目標である、Society 5.0の下でスマート社会がもたらす低炭素効果の分析を行った。

### **【CPの制度オプション検討】**

各サブテーマの分析結果を踏まえ、地域間公平性も考慮したCPの制度オプションについて、サブテーマ1を中心に各サブテーマと連携しながら検討した。学会で企画セッションを3度開催して、専門家から意見を受けながら行った。検討ではFITなどの暗示的炭素価格を考慮し、暗示的炭素価格とCPを同時に導入している欧州なども参考にした。また、負担が大きくなりうる地域への配慮として、鉄鋼産業への依存度が高い北海道室蘭市や、県全体で化学コンビナート等の重化学工業や鉄鋼業を多く抱えている山口県など、地方自治体のヒアリング等も行いながら、制度設計を検討した。

## 5. 研究成果

### 5-1. 成果の概要

#### **【事後検証・制度研究グループの研究成果】**

#### 事業所データを用いた自治体排出量取引制度の効果分析と国際展開（サブテーマ1）

東京都・埼玉県の排出量取引は排出削減を促進する政策として有効であることが示された。まず、排出削減効果は、導入当初だけではなく長期的に持続している。ただし、罰則のない埼玉県制度での削減効果が弱い可能性も示された。一方、どちらの制度も事業所における雇用の減少は観測されず、負の経済影響は確認できなかった。次に、埼玉県制度について、事業所が生産活動のアウトソーシングを通じたカーボンリーケージを起こしているかを検証したが、リーケージの証拠は得られなかった。むしろ、東京都・埼玉県で排出削減している企業は他地域でも削減を行うスピルオーバー効果があることが示された。その削減率は、製造業で2.5%、サービス業で2.3%ほどであった（Sadayuki and Arimura, 2021）。さらに、埼玉県制度について対象企業の研究開発費（R&D）を検証したところ、非対象企業よりR&Dが21.4%増加し、イノベーションに貢献していることが示された（Lu et al., 2023）。

一方、日本の自治体制度をアジアの新興国へ国際展開することについては、複数の国際ワークショップを通じて議論した結果から容易ではないという印象を得た。翻って、日本の国際プレゼンスを高めるには、国レベルでの排出量取引制度の導入が必要であるとも考えられる。まず、アジアでも中国、韓国

が国レベルの制度を導入しており、自治体排出量取引制度のインパクトは相対的に弱い。次に、東京都・埼玉県制度は電力部門からの排出（Scope 2）も含めた制度であり、（EUETSなどのScope 1のみを対象とした制度と異なり）全国制度として導入する際に電力部門がダブルカウントとなる可能性がある。

## 暗示的炭素価格としての固定価格買取制度（FIT）及び減免制度の経済分析（サブテーマ1&4）

### 1. 事業所データを用いた固定価格買取制度の分析（サブテーマ1）

固定価格買取制度については、電力価格の上昇を通じて製造事業所で排出削減されていることが示された。一方で、電力集約産業に対する減免措置は、優良基準導入によってリバウンドは限定的であることが示された。これは、排出量取引制度などのカーボンプライシングの導入において重要な含意を持つ。つまり、エネルギー集約産業に対する負担軽減の観点から減免措置を行っても、排出削減は一定程度行われ、全体的な有効性を損なわないということである。排出量取引導入における負担軽減策としての減免措置の有効性を支持する結果といえる。

### 2. 電力部門における暗示的炭素価格とCPの関係（サブテーマ4）

再エネ支援策（FIT/FIP）の効果は、再エネを促進すること自体の効果と、財源を確保する手段（電力への賦課金等）により生じる効果を分けて考える必要がある。再エネの支援自体は電力供給の増加（供給曲線の右方への移動）により電力価格を低下させる効果を持つ。電力価格（火力発電の限界収入）を低下させる効果は火力発電の抑制につながる。非電力部門では電力価格の低減による化石燃料から電力への移行（電化）が促されることで、間接的に化石燃料の利用を抑制する。つまり、再エネ支援により電力の低炭素化と（電力価格の低減による）非電力部門の電化を同時に促進する効果が働くことになる。

電力への賦課金（課税）は電力消費者価格を上昇させるので、非電力部門において電力から化石燃料への（電化と逆方向の）移行が促され、非電力部門において化石燃料の利用が増加する要因になる。同時に電力需要を抑制する（需要曲線を左方に移動させる）ことで電力市場価格を低下させる効果が働く。電力市場価格の低減は再エネ発電と火力発電の双方にとって限界収入の低下を意味するので、電力部門では再エネと火力の双方の発電量を抑制する効果が働く（ただし、FIT制度の場合は再エネの買い取り価格が固定されているので、再エネ発電を抑制する効果は働かない）。このように、電力への賦課金（課税）は、電力部門の排出量を減少させる一方で、非電力部門の排出量を増加させる効果を持つため全体としての排出削減効果は不明瞭である。また、電力の消費者価格の増大によってエネルギーサービスの利用が抑制され、非電力部門におけるエネルギーサービスの便益を減少させる要因になる。（なお、研究項目1については、成果の詳細を参考にされたい）。

## 家計のCP負担の地域格差問題の分析（サブテーマ5）

### 1. 個票データを利用した地域・世帯タイプ別のエネルギー価格弾力性の推計

CPが導入されると家計はエネルギーを使用時に税を負担するようになるが、負担の程度は世帯の家族構成や居住場所により異なってくる。初めに、個票データを利用し、地域・世帯タイプ別のエネルギー価格弾力性を推計し、CPが強化された場合の負担額を推計した。寒冷地、低所得世帯で弾力性が低いことが示された。また、独自のアンケート調査から入手した世帯の電力消費データを分析し、電気を沢山使う世帯と余り使わない世帯の間で、電力需要の価格弾力性がどの程度異なるかを示した。

### 2. CPが家計のエネルギー源の選択に及ぼす影響の分析

家計は複数のエネルギー源を併用して生活しているが、CPが強化されるようになるとエネルギー源の変更を行うようになるかもしれない。初めに、CPの強化を通じて、家計のエネルギー源の選択がどのような影響を受けるか予測した。エネルギー源の変更はエネルギーの総消費量にも影響を及ぼすこととなる。また、家計のエネルギー源の選択を考慮した上で、CPの強化が家計のエネルギー総消費量にどのような影響をもたらすかを示した。寒冷地では灯油からの転換が行われにくいことなどが示された。

### 3. アンケート調査とヒアリング調査をもとにしたCP負担平準化策の提案

一連のデータ分析の結果から、寒冷地に住む小規模世帯の負担が相対的に大きくなることが確認され

た。それらの世帯を対象としたアンケート調査を実施しどのような負担軽減策が望まれているかを確認した。さらに、関連自治体を訪問してヒアリング調査を行い、一部世帯に過度な負担を集中させないために、「寒冷地手当」や「福祉手当」など既存の支援策を活用できることを提言した。

### 【モデル構築グループの研究成果】

#### 地域産業連関分析を用いた燃料税改革の分析（サブテーマ3）

CPの強化の方法として、①暗示的炭素価格のみを考慮したものと②既存のエネルギー税（暗示的炭素価格）を考慮したものの2種類が考えられる。①の場合、産業間の負担の公平性に問題を起す可能性がある。また、産業の分布は一律ではなく、地域によって産業の集積・特徴がある。

そこで、地域産業を考慮した分析および既存のエネルギー税を考慮した場合と考慮しなかった場合の2つのシナリオを分析した。分析の結果、①単純なCPでは地域間の不平等が大きいこと、②地域間の格差よりは産業間の格差の方が大きいことが明らかとなった。

さらに、CPの短期的な費用負担を軽減する方法として、①既存のエネルギー税を考慮、②炭素集約的な産業に対して雇用調整助成金を実施の2つが有効となることが示された。

#### 地域CGEモデルを用いたCP制度の分析（サブテーマ2）

「地域CGEモデルによるCP導入の地域別の分析」というテーマ（テーマ2-1）と、「CGEモデルによる燃料税改革とCP導入の分析」というテーマ（テーマ2-2）を研究している。また、サブテーマ1と連携し、炭素税の二重の配当の可能性についても研究した。

まず、テーマ2-1では、日本を複数地域に分割したCGEモデルを利用し、炭素税導入の経済的影響を地域別に分析した。その結果、まず、炭素税導入の一人当たり域内総生産（GRP）、一人当たり所得への影響は地域間で大きく異なることがわかった。特に、一人当たり所得については、増加する地域もあることから、地域間での差が非常に大きいことが示された。以上の結果は、CP導入による経済的負担が地域間で大きく異なる可能性が高いということを示唆している。

テーマ2-1における主な研究成果と政策への含意は次の二つである。

第一に、炭素税収の分配方法を変更しても、一人当たりGRPへの影響はほとんど変わらないが、一人当たり所得への影響が大きく変わってくるということがわかった。これは、炭素税収を適切に分配することで、家計の負担を調整することができるということである。以上の結果は次のような政策的な含意を持つ。まず、CP導入の経済的負担が地域間で非常に大きく異なる可能性が高いが、これは公平性の観点から望ましくないと考えられる。CP導入においては、それがもたらす可能性が高い地域間格差を是正する対策も同時に検討するべきである。

第二に、炭素税のような政府に収入が生じるCP政策を利用するのなら、その税収の利用方法が非常に重要な意味を持つということである。分析では、税収を家計に適切に再分配することで、（生産における格差は解消することはできないが）家計の所得における格差を解消できるという結果が出た。現実にはシミュレーションのように簡単には再分配はできないが、CPの税収の用途を上手く設計することが地域間格差の是正に大きく寄与する可能性があるということは確かであるので、CPの制度設計においてその点を今後深く検討していくべきだと思われる。

次に、テーマ2-2では、炭素税導入と燃料税の改革の組み合わせという政策を分析した。温暖化対策として炭素税導入が検討されているが、既に日本には多数のエネルギー関連税（以下、燃料税）が存在しており、それらの既存税と新たな炭素税をどのように組み合わせるべきかが課題になっている。分析の結果、同じだけCO<sub>2</sub>を削減するとしても、既存の燃料税に加えて炭素税を導入するのではなく、実効炭素価格が均等になる炭素税を導入することで、むしろGDPや所得を増加させることができるということがわかった。

テーマ2-2で明らかになった、実効炭素価格が均等になる炭素税を導入することでGDPや所得が増加するという事は、その分を地域間の経済格差を小さくするような再分配政策にも利用できるということで、地域間の公平性を改善することにもつながる。従って、単なるCPの導入だけではなく、既存の

燃料税の改革ということも検討すべき重要な政策オプションとなる。現在の温暖化対策の議論では新たな CP の導入が主な政策オプションとして認識されているが、本研究の分析は、CP 導入に際しては既存の燃料税の改革もセットで考慮すべきということを示唆している。

最後に、炭素税の二重の配当については、その効果が最も出にくいとされる、排出削減を費用と考える新古典派の経済モデルを想定し、サブテーマ 1 と連携して分析を行った。分析の結果、日本においても炭素税収を法人税減税や消費税減税に用いることにより、排出削減と経済成長の両立が可能であることが示唆された (Takeda and Arimura, 2021)。

さらに、二重の配当政策の中でも公平性を考えるため、雇用保険制度及び介護保険制度を通じた還元を検討した。雇用保険制度については、①補償としての役割 (雇用保険制度の負担および政策に起因する失業者への補償)、②経済の下支え、③環境フレンドリーな産業構造への転換といった点から、還元が正当化できるという結論に至った。一方、介護保険制度については、介護保険制度の仕組みに忠実に従うと、所得水準が高いほど還元額も高くなることが示された。つまり、介護保険制度を通じた還元方法では、制度の仕組みに忠実に従うのではなく、低所得者に配慮した仕組みを模索していく必要がある。

## スマート社会の形成とカーボンプライシングの関係 (サブテーマ 6)

### 1. 2015 年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (IONGES) を用いた分析結果

想定表に新たに追加した再生可能エネルギー部門について、当該財のサプライチェーンにおける生産誘発効果のうち、海外へのリーケージを計算した。このリーケージが大きい部門としては、陸上風力設備・施設建設、EV、住宅用太陽光発電設備・施設建設、太陽電池モジュール、FCV、着床式洋上風力および下水メタン発電設備・施設建設、車載用リチウムイオン電池、PHV、メガソーラー発電設備・施設建設等であり、太陽光モジュール、風車、リチウムイオン電池の輸入依存が大きいことが示された。

想定表 (2030 年) では組込表 (2015 年) と比べ、廃棄物発電の比重が相対的に低くなり、中小水力、洋上風力、木質バイオマス発電 B 級の相対的比重が高まっている。各再エネ種について、その発電設備・施設建設時と発電時のコストの波及効果を、それぞれ生み出される電力 1 単位当たりの大ききでみると、最も比重の大きいメガソーラー発電は設備・施設建設時、発電時の生産誘発がともに低く、再生可能エネルギー発電のコスト低下に貢献していると考えられる。中小水力および洋上風力発電は、メガソーラーに比べると、発電時の生産誘発がやや高いが、スマート技術を用いたメンテナンスの効率化等によるマネジメントの改善により、発電時の生産誘発 (コスト誘発) を逡減させていくことが期待される。

木質バイオマス発電は発電時の生産誘発は高いものの、設備・施設建設に伴う生産誘発は、他の再生可能エネルギーに比べても低い値である。また、バイオマス燃料の調達に伴い発電時の生産誘発が大きくなることに関して、その調達を通じて新たな地域循環共生圏の形成がみられている可能性がある。

最終需要が誘発する CO<sub>2</sub> 排出量は、組込表 (2015 年) では 11.72 億 t-CO<sub>2</sub> あるのに対し、想定表 (2030 年) のでは 22.7% 減少する。これは再エネおよび電動車の導入効果である。想定表では 2 次産業と消費による誘発の比率が下がり、3 次産業と輸出及び投資による誘発比率が増える。想定表で追加した自動車部門でみると、ガソリン車は自動車部品、EV はリチウムイオン電池、FCV はプラスチック製品と化学最終製品が主たる投入財である。その結果、ガソリン車に比べて電動車種では生産額単位当たりの波及額が大きく低下する。車種別の走行時と製造時の走行距離 1km 当たりライフサイクル (LC) CO<sub>2</sub> 排出量を計算したところ、ガソリン車、HEV、PHV、EV の順に LC-CO<sub>2</sub> が低下するが、FCV については車両製造や水素製造に関する想定置き方によって、LC-CO<sub>2</sub> 排出の振れ幅が大きいことが分かった。

### 2. 2011 年版地域間 IONGES の結果を用いた、各地域の消費がもたらす CO<sub>2</sub> 誘発効果

2011 年版地域間 IONGES の結果を用いた分析の結果、全地域の最終消費が引き起こす CO<sub>2</sub> 排出の総量は、保守的ケースから野心的ケースにかけて 4.3% 減少する。また、各地域の最終消費が誘発する CO<sub>2</sub> 排出量は、保守的ケースから野心的ケースにかけて 2.9%~10.7% 減少する (連系のない沖縄を除く)。一方、関東の最終消費が東北に誘発する CO<sub>2</sub> 排出量が増加する等の分布の変化が確認された。同様のことは個別財のサプライチェーンでも当てはまり、野心的ケースにかけて、同排出量は減少し、特に複合財 (産業用電気機器) や軽工業品 (飲食料品) において効果が大きいことが分かった。

### 3. VPP ビジネスの事業化効果分析用産業連関表（VPPIO）を用いた分析結果

Society 5.0 の下で社会のスマート化が進展すると低炭素化がもたらされることの実証例として行った VPPIO の研究では、VPP 事業を太陽光発電の電力を火力発電の電力に置き換えることを目的にエネルギーマネジメントのアドバイザー・サービスを行う部門としていることが特徴である。そして、VPP 事業サービスを、インバランス防止機能、調整電源や調整力を確保する機能、デマンド・レスポンスを実施する機能、と整理し、市場の「潜在的な」規模（最大値）をインバランス確報値、電源I、I'の公募情報、3次調整力②の市場規模、電力・ガス取引監視等委員会の取引情報を用いて定量的に推定した。

データ整理の結果、近年、インバランスが発生しやすくなり、調整力調達コストがかさむなどの傾向が確認された。また、地域間には調整力の需給の乖離があり、これらの問題点を解決し再生可能エネルギーの導入促進をさらに進めるには、VPP 事業の重要性が増しつつあると考えられた。

その他、VPP 事業化に伴い、産業部門ではパルプ・紙・板紙・加工紙、商業、廃棄物処理部門の DR への協力度が高いことが分かった。VPP 事業化により、事業用火力発電の CT（2030 年想定値）の 31.5% が太陽光発電に置き換えられ、既存送配電事業の CT の 33.2% が VPP 事業サービスに置き換えられるとされた。VPP 事業化によって節約可能な送配電コストは既存送配電事業の CT の 17.7% であった。

#### 【CP の制度オプション提示】公平性と効率性のバランスを考慮した CP の制度オプション

本研究課題では、全体の成果として『カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術』を日本評論社から出版した。そのうえで、各サブテーマの研究結果を反映し、公平性と効率性のバランスをとる短期的・中長期的な CP の制度オプションを表 0.1 のように提案する。

表 0.1 公平性と効率性のバランスを考慮した CP の制度オプション

CP の制度オプション		事業所向け政策	家庭向け政策	
短期的	①	義務型排出量取引 (減免措置導入)	排出量取引を全国展開 エネルギー集約産業へ減免措置	オークション収入の 一部を家計へ還元
	②	炭素税 (地域税込還元型)	炭素税込を CP 負担の大きい地域へ分配	炭素税込の一部を 家計へ還元
	③	炭素税・燃料税改革 (地域税込還元型)	化石燃料種ごとの実効炭素価格が均等となるように炭素税導入、②同様に分配	
中長期的	④	環境税制改革 (二重の配当)	炭素税込を用いて法人税や消費税を減税 (炭素税込の二重の配当)	炭素税込の一部を 家計へ還元

#### 短期的な CP の制度オプション

##### ① 義務型排出量取引（減免措置導入）

政府が全国的な排出量取引を義務付ける形で導入する。ただし、エネルギー集約産業への排出枠の配分を減免方式（あるいはアップデート方式）とし、当該産業への短期的な負担を緩和させる。結果的に、当該産業が集中する地域の経済負担を緩和させ、効率性と公平性のバランスをとることができる。

また、公平性の観点から、CP の負担が大きい家計に対して、排出枠をオークションとすることで、その収入を用いた直接的な所得補償を行う。その際、「寒冷地手当」といった従来のスキームを活用する。電力・燃料を購入する際に CP が反映された価格へ直面させ、家計が省エネルギーの意欲を持ち続けるようにする。

##### ② 炭素税（地域税込還元型）

政府が全国的な炭素税を導入する。公平性の観点から、負の経済影響が大きい地域へ税込を多めに還元し、短期的な負担の公平性を担保する。家計に対しても炭素税込の一部を①と同様の方法で還元する。

### ③ 炭素税・燃料税改革（地域税収還元型）

炭素税導入と同時に燃料税も改革し、各燃料種の炭素トン当たり税率を統一する。環境省の審議会でも議題になったように、既存の燃料税は炭素トンあたりにすると大きなばらつきがあり、排出削減の観点からは非効率であることが指摘されている。サブテーマ2での定量的な分析からは、炭素税導入と同時に燃料税も改革し、各燃料種の炭素トン当たり税率を統一することで、経済影響を抑えながらも排出削減が可能であると示唆されている。なお、①②と同様に、家計に対しても炭素税収の一部を還元する。

#### 中長期的なCPの制度オプション

### ④ 炭素税を用いた環境税制改革（二重の配当）

中長期的なオプションとして、炭素税収を法人税減税や消費税減税に用いることを提案する。本研究課題によって、日本においても炭素税収を法人税減税や消費税減税に用いることで排出削減と経済成長を両立できる可能性が示唆された。また、公平性を考慮すると、雇用保険制度及び介護保険制度を通じた還元も検討に値する。ただし、介護保険制度を通じた還元方法では、制度の仕組み上、所得水準が高くなるほど還元額も高くなるため、低所得者に配慮した仕組みを模索していく必要がある。なお、このオプションは、炭素税を従来の目的税から一部を一般財源に変更することを提案するものである。

本研究課題において、代表者及びサブテーマ2および5の分担者は、市村清新技術財団から市村地球環境学術賞（功績賞）を受賞した。また、多数の市民、企業向けの講演を実施しただけでなく、メディアにも成果が紹介され、社会へのインパクトも大きかった。さらに、研究代表者が環境省、経済産業省の検討会の委員となり、今後導入されるカーボンプライシングの方向性に研究成果をインプットできた。そして、関連成果はIPCCのAR6に引用されたことも付記する。

## 5-2. 環境政策等への貢献

### <行政等が既に活用した成果>

政府がGX実行会議のもとでカーボンプライシングの導入を決定したことは、排出量取引や炭素税の有効性のエビデンスを提供してきた本研究課題の研究成果が一定程度受け入れられたものと考えている。実際、代表者は環境省の「カーボンプライシングの活用に関する小委員会」の審議委員、および、経済産業省の「世界全体でのカーボンニュートラル実現のための経済的手法等のあり方に関する研究会」の委員を務め、カーボンプライシングの有効性及び必要性を訴えてきた。その後、後者の検討会から生まれたGXリーグの下で開始される自主的な排出量取引、GX-ETSの有識者委員として、制度設計に研究成果をインプットした。さらに、経済産業省の「カーボンニュートラルの実現に向けたカーボン・クレジットの適切な活用のための環境整備に関する検討会」の座長を務め、本研究課題から得られた知見を反映させる方向で「カーボン・クレジット・レポート」をとりまとめた。

### <行政等が活用することが見込まれる成果>

#### 【サブテーマ1】

本サブテーマでは、排出量取引の削減効果を実証した。しかし、流動性制約のある企業では、排出削減が進みにくいことも示された。つまり、排出量取引が十分に効果を発揮するには、企業の流動性制約、資金制約を緩和することが重要なことを実証した。企業の排出削減促進にあたっては、行政の資金面での援助が重要なことを示す内容であり、今後、行政で活用されることが見込まれる。

また、義務的な東京都制度に比べ、罰則のない（自主的な）埼玉県の排出量取引制度では削減効果が弱い可能性が示された。つまり、排出量取引が効果を発揮するには、義務的な制度が望ましい。今後、GXリーグでのGX-ETSが自主的なものから、義務的なものに早期に移行することが見込まれる。

FITの事後検証から、電力集約産業の減免措置が必ずしも排出増加につながらないことが示された。従って、排出量取引導入時におけるエネルギー集約産業に対する減免措置も制度して検討が重要だ。

さらに、GX実行会議で賦課金制度の導入の方向性が示されている。これは経済学的には炭素税と同じ効果、影響をもたらすと考えられる。本サブテーマの研究では、炭素税導入において、燃料税改革の

導入が望ましいとされた。今後、炭素賦課金が導入される中、化石燃料に対する課税を炭素トン当たり均一化するなどの燃料税改革の活用が望ましい。

また、中長期的には、炭素税を含めた環境税制改革も考えるべきである。炭素税の税収を法人税や消費税減税、あるいは社会保障の財源にすることにより、温室効果ガス排出削減と経済成長の二重の配当が見込まれる。この視点も、将来的には行政で活用されると考えている。

### 【サブテーマ2】

今後、温暖化対策を進めていくにあたって様々な政策オプションがある。様々な政策オプションから適切なものを選択していくには、その政策の効果についての定量的な情報が必要になる。サブテーマ2では、CP（炭素税）導入の効果をシミュレーションによって定量的に分析している。具体的には、CPの導入によって、日本の各地域の域内総生産、所得、各部門の生産などの様々な経済変数がどのような影響を受けるかを明らかにしている。このような定量的な情報はCPの制度を設計していくにあたって有用な情報になると考えられる。

特に、サブテーマ2では、日本を複数地域に分割した分析をおこなっているため、国全体としての効果だけではなく、地域別の効果を明らかにすることができ、その結果、地域間での公平性に対する含意にもつながる分析になっている。地域間の公平性は政治的には非常に重要な基準であるので、政策決定の際に有用な情報になると思われる。

また、サブテーマ2では既存の燃料税（エネルギー税）の改革の分析が含まれている。日本には既に様々な燃料税が存在しているが、温暖化対策の議論においては、その燃料税とは別に新たに炭素税などのCPを導入するという方向に議論が進んでいる。しかし、本テーマの分析では、炭素税の導入に際しては既存の燃料税の改革をセットにすることが望ましいという結果が出ている。通常の温暖化対策の議論では見落とされている部分を扱っているという点でも政策立案上、重要な意味を持つと考えられる。

### 【サブテーマ4】

#### ● 火力発電の排出枠／技術基準の設定

火力発電プラントの発電効率改善は必ずしも確実な削減策にならず、排出を増加させるケースもあり得る施策であり、技術基準の適切な設定や排出枠の設定（CP）と併用する必要がある。発電効率の改善によりCPの社会的受容性が低下することが考えられるため、排出枠を事前に設定しておく必要がある。

#### ● CPと再エネ支援策の併用

本研究では再エネ支援策（FIT/FIP）、電力への補助金、電力への賦課金の個別の政策効果を理論的に検証した。その結果、電力への賦課金は電力部門の排出削減を促す一方で、電力の消費者価格を上昇させる効果が働き、非電力部門において電力の利用を抑制し化石燃料の利用が促進される可能性が示された。つまり、CPと再エネ支援策の併用より、非電力部門における総生産量を維持しながら排出削減することが可能になることが示された。

#### ● 非電力部門の電力利用（電化）への補助金

電力への補助金は、非電力部門において化石資源から電力移行による排出削減効果をもたらす一方で、電力部門では電力需要（価格）上昇に伴う火力発電増加の要因になり、排出量が電力部門に偏る。したがって、全体の削減効果については不明瞭な面がある。電力への補助金（支援策）の政策的評価では、非電力部門における電力の利用促進（電化）自体が、何らかの追加的な価値（正の外部性）を生み出すか否かが問題になる。その可能性として以下の要素を挙げる。

##### ➤ 電力を用いる設備機器の調整力としての価値：

非電力部門の電力関連の設備機器は再エネの変動性に対応する調整力として、電力システム全体の安定に寄与する価値を持つことが考えられる。これらの調整力の確保は電力システムの安定化に加えて、調整力としての火力電源の代替（調整力の低炭素化）としての意味を持つ。

##### ➤ 排出源の集約と排出削減における規模の経済性：

社会全体の排出量を電力部門に集約させることで、効果的な排出削減策の実施が可能になると考え

られる。非電力部門に小規模に分散している排出源が電化されれば、社会全体の排出源を電力部門の大規模な火力発電所だけに集約させることができ、CCS や CCUS 等と組み合わせることで、排出削減策において規模の経済性を活かした効果的な施策の余地が生まれる可能性が考えられる。

➤ 電力インフラのネットワーク外部性：

EV の充電ステーション等のインフラはネットワーク外部性を持つと考えられるので、社会全体として利用技術を転換するためには何らかの政策的支援が必要になる。

【サブテーマ 5】

本調査では、CP 導入のための基礎資料が提供されている。示された推計結果を用いることで、CP が強化後にどの地域に住むどの様なタイプの家計がどれ位の負担を負うかを確認できる。また、「寒冷地手当」や「福祉手当」など既存のスキームを利用しつつ、特定の世帯や地域に過度な負担を負わせないための施策が可能である。

【サブテーマ 6】

環境省の「令和 4 年度カーボンニュートラルに向けた再エネ水素のあり方検討等評価・検証委託業務」に係る有識者会合の委員として、水素社会のあり方および水素事業効果の定量化の方法論の検討において、成果である次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の分析結果を示して意見を述べた。

- 2015 年版 IONGES の分析結果から、
  - 再エネ導入は炭素税負担を 22.7%軽減することで経済の効率性を促進。
  - 再エネ導入は都市と地方の間の地域間公平性に貢献する。
  - 再エネ導入下での電動車普及は家計等の炭素税負担を 45%軽減することで経済の効率性を促進。
- 地域間 IONGES の野心的ケースと保守的ケースの比較から、
  - 再エネ導入下での野心的な地域間送電の実現は炭素税負担を 4.3%軽減して経済の効率性を促進。
  - 野心的な再エネ導入で CO<sub>2</sub>削減が実現されるが、再エネバックアップ電源の供給地域等で CO<sub>2</sub>増となる可能性もあり、これら地域での炭素税負担について地域間公平性の観点から配慮が必要。
- VPPIO の分析結果から
  - エネルギーマネジメントサービス（VPP サービス）の充実により調整力の円滑な取引を促進することが、太陽光発電の導入促進と CO<sub>2</sub>炭素税負担の削減を通じて、経済の効率性を促進する。
  - 再生可能エネルギー導入下でのエネルギーマネジメントサービスの充実は送電費用の 17.7%削減や、火力発電の 31.5%の削減による CO<sub>2</sub>炭素税負担の削減を通じて、経済の効率性を促進する。
  - 紙パルプ産業などのデマンド・レスポンスに協力的な産業が多く立地している地域はエネルギーマネジメント事業に貢献度が大きいと評価できる。

5-3. 研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
<p>暗示的炭素価格や自治体が導入した排出量取引制度等のこれまでの効果を踏まえて、効率性と公平性のバランスを考慮した CP 制度を提案する。そして、日本での経験を踏まえて CP を新興国で導入するための課題と方策を整理する。</p>	<p><u>目標を大きく上回る</u>成果をあげた。</p> <p>本研究課題は、暗示的炭素価格や自治体排出量取引制度の事後検証や、経済モデルを用いた将来展望の研究を行い、多数の論文を国際学術雑誌中心に発表できた。そして、全サブテーマの成果をまとめて、経済分析から地域間の公平性についての検討を行うこともできた。各研究成果は、代表者と分担者が編者となり全分担者で執筆した『カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術』として、日本評論社から出版した。</p>

	<p>さらに、代表者及びサブテーマ2および5の分担者は、市村清新技術財団から<b>市村地球環境学術賞（功績賞）</b>も受賞した。また、多数の市民、企業向けの講演を実施し、メディアにも成果が紹介され、社会へのインパクトも大きかった。加えて、環境省、経済参照の検討会の委員として、今後導入されるカーボンプライシングの方向性に研究成果をインプットできた。そして、関連成果は、IPCCのAR6にも引用されたことも付記する。</p>
--	--

サブテーマ1目標	目標の達成状況
<p>暗示的炭素価格と明示的炭素価格の事業所における複合的な効果を定量的に明らかにする。自治体排出量取引制度について、イノベーションへ効果を検証すると共に新興国への適用可能性を検討する。効率性と公平性に配慮したCP制度を提案する。</p>	<p><u>目標を大きく上回る成果をあげた。</u></p> <p>本サブテーマは目標以上の成果を上げることができた。各種マイクロデータから自治体排出量取引制度の影響（削減量、経済影響、リーケージ、イノベーション）を研究し、多数の論文を国際学術雑誌中心に発表した。また、暗示的炭素価格としての固定価格買取制度についても減免値を含めて頑健な分析結果を得た。さらに、新興国関係者ともオンラインで議論でき、自治体制度の海外展開の論点も明らかになった。また、想定以上のアウトリーチ、社会還元ができた。</p>

サブテーマ2目標	目標の達成状況
<p>地域CGEモデルによるシミュレーションにより、CP導入、および燃料税改革が日本各地域のCO2排出量、および経済活動に与える影響を定量的に明らかにする。その上で地域間格差への影響について分析し、必要であれば是正策を提示する。</p>	<p><u>目標を上回る成果をあげた。</u></p> <p>CGEモデルによるシミュレーション分析によって、CP導入、及び燃料税改革がもたらす経済的影響について多様な観点から明らかにしており、ほぼ目標どおりの成果をあげた。燃料税改革の分析については、日本全国を対象とした分析になっているが、これは国レベルのデータを利用した方が燃料税について精緻な分析が可能になるためである。</p>

サブテーマ3目標	目標の達成状況
<p>CPがもたらす短期的な費用負担の地域間不均衡を是正する政策オプションの提示とともにその効果を明らかにする。また、地域循環共生圏における農村部と都市部それぞれの役割を明らかにする。</p>	<p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <p>短期的費用負担の分析から、地域間不均衡よりは産業間の不均衡の方が大きいことが明らかとなった。具体的には、エネルギー集約産業ほど費用負担が大きく表れた。そのため、地域経済衰退を防ぎながらエネルギー集約産業の費用負担を軽減する方法として、雇用維持を条件とした補助金（雇用調整助成金）の分析を行った。同制度は生産活動とリンクしないため、産業の費用負担を間接的に抑える効果が認められた。</p>

サブテーマ 4 目標	目標の達成状況
<p>暗示的炭素価格と CP を併用した包括的な手法による電力部門の低炭素化について、定量的な分析の基礎となり得る理論的条件を整理し、最終的に政策提言につなげることを目標とする。</p>	<p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <p>政策効果の理論的な整理について概ね研究目標どおりの成果が得られたと考える。一方で、定量的に意味のある議論については今後の課題である。</p>
サブテーマ 5 目標	目標の達成状況
<p>CP が導入された場合の家計負担を地域別に推計し、負担の公平化に関する政策の対案を提示する。</p>	<p><u>目標を上回る成果をあげた。</u></p> <p>CP が導入された場合の負担を世帯類型別・地域別に推計し、その結果を複数の学術誌で報告した。その後、CP の負担が相対的に重くなると予想される寒冷地の自治体や商工会議所などでヒアリング調査を行い、既存スキームを活用しつつ、一部の家計に過度な CP の負担が発生しないための提案を行った。実証研究の成果に基づき、最終的な政策提案まで行えた。</p>
サブテーマ 6 目標	目標の達成状況
<p>2015 年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表(IONGES)を作成し公表する。 2011 年版地域間 IONGES を作成し公表する。 2015 年版スマート社会分析用 IONGES を作成し公表する。 上記データベースを用いて、再生可能エネルギーとスマート社会技術導入下で、炭素税課税がもたらすコストプッシュ効果の分析を行う。</p>	<p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <p>2015 年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (IONGES) を作成し公表した。2011 年版地域間 IONGES を作成し公表した。2015 年版 IONGES を拡張してバーチャルパワープラントビジネス事業化効果分析用産業連関表 (VPPIO) を作成し、スマート社会における再エネ導入促進について分析をした。</p> <p>再エネとスマート社会技術の導入の CO<sub>2</sub> 削減効果を導出し、炭素賦課金導入に伴う負担の軽減効果を試算した。太陽光発電大量導入に伴う調整コストは送電事業の大きな負担となっているため、VPPIO による分析が重要との評価を内閣府戦略的イノベーション創造プログラム「IoE 社会のエネルギーシステム」サブ・プログラムディレクター浅野浩志氏より頂いた。</p>

## 6. 研究成果の発表状況

### 6-1. 査読付き論文

<件数>

29 件

<主な査読付き論文>

- 1) Abe, T., Arimura, T. H.: Energy Policy, 168, 113151, 1-10, (2022)  
Casual effects of the Tokyo emissions trading scheme on energy consumption and economic performance. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113151>
- 2) Matsumoto, S.: Energy Strategy Reviews, Vol.40, 100823 (2022)  
How will a carbon tax affect household energy source combination? <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100823>
- 3) Matsumoto, S.: Frontiers in Climate, 40, 847851 (2022)  
How much difference does household energy source selection make in winter CO2 emissions? <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.847851>
- 4) Matsumoto, S. and Sugeta, H.: Environmental and Resource Economics, 83, 759–789 (2022)  
Efficiency investment and curtailment action. <https://doi.org/10.1007/s10640-022-00709-7>
- 5) Nakano, S. and Washizu, A.: Cities, 115, 103244 (2021)  
Will smart cities enhance the social capital of residents? The importance of smart neighborhood management. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103244>
- 6) Sadayuki, T. and Arimura, T. H.: Energy Economics, 104, 105664, 1-15 (2021)  
Do regional emission trading schemes lead to carbon leakage within firms? Evidence from Japan. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105664>
- 7) Takeda, S. and Arimura, T. H.: Sustainability Science, 16(2), 503-521 (2021)  
A computable general equilibrium analysis of environmental tax reform in Japan with a forward-looking dynamic model. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00903-4>
- 8) Washizu A. and Nakano, S.: Computers and Electronics in Agriculture, 198, 107001 (2022)  
Exploring the characteristics of smart agricultural development in Japan: Analysis using a smart agricultural kaizen level technology map, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107001>
- 9) Yajima, N. and Arimura, T. H.: Energy Economics, 114, 106253 (2022)  
Promoting energy efficiency in Japanese manufacturing industry through energy audits: Role of information provision, disclosure, target setting, inspection, reward, and organizational structure. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106253>
- 10) 有村俊秀：環境科学会誌，35(1)，1-9（2022）  
カーボンプライシングの現状と展望—排出量取引の事後検証と日本における可能性について—。  
<https://doi.org/10.11353/sesj.35.1>

### 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	5 件
その他誌上発表（査読なし）	52 件
口頭発表（学会等）	57 件
「国民との科学・技術対話」の実施	17 件

マスコミ等への公表・報道等	13 件
本研究費の研究成果による受賞	2 件
その他の成果発表	0 件

## 7. 国際共同研究等の状況

代表者は以下の共同研究を実施した。第1に、中国・清華大学・段教授、韓国・慶熙大学・呉教授と Environmental Economics and Policy Studies に Carbon Pricing in East Asia という特集号をまとめた。第2に、アジア開発銀行（ADB）と連携して、アジアのカーボンプライシングについて情報収集を行い、ディスカッションペーパーを発行した。

さらに、以下の3つの国際共同研究を開始した。第一に、韓国・慶熙大学・呉教授と日韓の脱炭素戦略について、比較研究を新たに開始した。第二に、代表者（有村）は、ドイツ・カッセル大学アンドレアス・ジューグラー教授とカーボンプライシングの社会的受容に関する研究を行った。現在、研究論文はワーキングペーパーとして取りまとめている段階である。第三に、代表者（有村）は、家計部門の低炭素行動について、国際エネルギー機関のニック・ジョンストン博士と共同研究を開始した。

## 8. 研究者略歴

研究代表者

有村 俊秀

ミネソタ大学経済学研究科修了、Ph.D. in Economics、現在、早稲田大学政治経済学術院教授、同大学・環境経済・経営研究所 所長

研究分担者（サブテーマリーダーのみ）

(1) 武田 史郎

早稲田大学経済学研究科修士課程修了、博士（経済学、一橋大学）、現在、京都産業大学経済学部教授

(2) 杉野 誠

上智大学経済学研究科修了、博士（経済学）、現在、法政大学人間環境学部教授

(3) 庫川 幸秀

東京工業大学社会理工学研究科修了、博士（工学）、現在、金沢星稜大学経済学部経済学科准教授

(4) 松本 茂

ノースカロライナ州立大学経済学研究科修了、Ph.D. in Economics、現在、青山学院大学経済学部教授

(5) 鷺津 明由

慶應義塾大学経済学研究科単位取得、博士（商学）、スマート社会技術融合研究機構（ACROSS）次世代科学技術経済分析研究所長、先端社会科学研究所長、現在、早稲田大学社会科学総合学術院教授

## II. 成果の詳細

### II-1 【サブテーマ1】事業所データを用いた暗示的炭素価格・自治体制度の効果分析と国際展開

早稲田大学

政治経済学術院

有村俊秀

矢島猶雅

遠山祐太

阿部達也

環境経済・経営研究所

呂冠宇

<研究協力者>

早稲田大学

商学学術院

環境経済・経営研究所

Joel Malen（令和4年度）

Mortha Aline

楊 心悅

森村 将平

井山 智資（令和4年度）

谷口みゆき（令和4年度）

佐賀大学 経済学部

室蘭工業大学 ひと文化系領域 人間・社会ユニット 木元浩一

#### 【要旨】

本サブテーマは、東京都及び埼玉県の排出量取引制度の事後評価と新興国での適用可能性、暗示的炭素価格としての固定価格買取制度の事後評価、炭素税込による二重の配当政策の可能性について、各種マイクロデータを活用して分析した。事後評価においては、エビデンスに基づく政策立案 (EBPM) の考え方でよく用いられる差の差分析や、傾向スコアマッチングの手法を用いた。そのうえで、各サブテーマの分析結果をまとめ、連携しながら CP の制度オプションの検討 を行った。

東京都及び埼玉県の排出量取引制度の事後検証では、その効果とともに負の影響がなかったことも示された。まず、排出量取引制度の削減効果は確実にあり、第二計画期間にわたっても確認することができた。ただし、罰則のない埼玉県では、東京都に比べて削減効果が弱い可能性も示された。一方で、雇用で計測した経済影響について、両制度ともに負の影響は確認されなかった。さらに、アウトソーシングで計測したカーボンリーケージが確認されなかっただけでなく、東京都・埼玉県 ETS に直面する企業内では他地域でも排出を削減するスピルオーバー効果があることも分かった。そして、埼玉県の製造業では、排出量取引制度の導入によって研究開発が活発になっており、イノベーションにつながる可能性が示された。これらの分析結果から、排出量取引を全国制度として実施することの有効性が示唆されたといえる。なお、両制度を通じて、流動性制約に直面する企業では排出の削減が進みにくいことも示された点は留意が必要である。

このように排出規制として有効な日本の自治体の排出量取引制度であるが、新興国への展開は容易ではないということも示された。アジアの新興国の専門家とのワークショップを通じて、やはり、国レベルの政策が各国へ影響が大きいことが示唆された。また、**Scope 1** だけではなく **Scope 2** も対象としている制度設計も、新興国への展開では課題である可能性が示唆された。

暗示的炭素価格の一つである固定価格買取制度の事後検証では、賦課金負担による電気代上昇がもたらす事業所での排出削減と、電力集約産業に対して行われてきた減免措置について分析した。分析の結果、賦課金による電力上昇でエネルギー集約産業の排出削減が進んだことが示された。また、電力集約事業所で行われている減免措置については、必ずしも排出増加につながっていないことも示された。減免措置が導入されても排出増加（リバウンド）につながらないということは、排出量取引制度においても、エネルギー集約産業に対して減免措置が導入されることの妥当性を示している。

最後に、炭素税の二重の配当については、その効果が最も出にくいとされる、排出削減を費用と考え

る新古典派の経済モデルを想定し、サブテーマ2と連携して分析を行った。分析の結果、日本においても炭素税収を法人税減税や消費税減税に用いることにより、排出削減と経済成長の両立が可能であることが示唆された。

本研究課題では、各サブテーマと連携を取りつつ研究成果をまとめ、『カーボンプライシングのフロンティア：脱炭素社会のための制度と技術』（日本評論社）という書籍を出版した。その上で、各サブテーマの分析結果を踏まえ、公平性と効率性の観点から以下のようなCPの制度オプションを提示した。

まず、短期的な制度については、以下を提案した。

- ① 義務型排出量取引（エネルギー集約産業への減免措置導入）
- ② 炭素税（地域税収還元型）
- ③ 燃料税改革型炭素税（地域税収還元型）

CPの負担が大きいと予測される地域や家計に対しては、オークション収入や炭素税収の一部を還元する。特に、家計に対しては、省エネのインセンティブを確保するため、直接補償する形で行う。

そして、中長期的な制度として、④炭素税による環境税制改革（二重の配当政策）を提示した。炭素税収で法人税や消費税を減税し、排出削減と経済成長を両立できる可能性がある。

なお、本研究課題の研究成果について、多数の市民、企業向けの講演の実施、メディアへの紹介等により、社会へのアウトリーチを活発にできた。また、環境省、経済産業省の検討会の委員として、今後導入されるカーボンプライシングの方向性に研究成果をインプットできた。さらに、研究成果が IPCC AR6のWG3で引用され、かつ、代表者は IPCC AR6の査読者として貢献した。

## 1. 研究開発目的

気候変動対策のために温室効果ガス削減が求められており、その効率的な政策手段として、カーボンプライシング（CP）に注目が集まってきた。日本国内でも、東京都が2010年、埼玉県が2011年から自治体による排出量取引制度が導入された。しかし、CPの経済影響、産業の国際競争力及びカーボンリーケージの観点から、国レベルのCP導入は遅れている。

一方、CPの事後検証は海外と比べると進んでいない。欧州で導入されたEUETSは、削減効果、カーボンリーケージ、経済影響などさまざまな面から事後検証を受けている（Ellerman and Buchner, 2006<sup>1)</sup>、Colmer et al., 2022<sup>2)</sup>）。こうした事後検証は、欧州のみならず中国でも進んでいる（Shen et al., 2020<sup>3)</sup>）。日本では、本研究課題の前に行った環境省総合究推進費（2-1707）「カーボンプライシングの事後評価と長期的目標実現のための制度オプション検討」において、東京都排出量取引制度の削減効果が検証された。しかし、他の検証は少なく、東京都・埼玉県排出量取引制度の長期的な削減効果やイノベーションへの効果は明らかにされてこなかった。さらに、排出量取引で削減を進めるために、（暗示的炭素価格も含めた）どの政策が補完的に機能するかも研究されてこなかった。そして、東京都・埼玉県の排出量取引制度が、負の経済影響やカーボンリーケージをもたらしたかも明らかにされてこなかった。

こうした背景を踏まえ、サブテーマ1では以下の三つの研究開発目的を設定した。

第一の目的は、東京・埼玉の自治体制度の効果を削減効果、イノベーション、経済影響、炭素リーケージなどの多面的な側面から、証拠に基づく政策立案（EBPM）の視点で分析することである。また、これらの自治体制度について、排出量増加の著しい新興国での適用可能性についても検討した。

第二の目的は、暗示的炭素価格の一つである固定価格買取制度について、証拠に基づく政策立案（EBPM）の視点で分析することである。日本国内でも暗示的炭素価格についての議論が盛んに行われてきたが、その排出削減効果については十分に検証されてこなかった。再エネ促進のために導入された固定価格買取制度も同様である。特に、固定価格買取制度においては、電力集約産業への減免措置が導入されており、明示的なカーボンプライシングを導入する際にも、参考になると考えられる。

第三の目的は、各サブテーマの結果を踏まえ、CPの制度設計のオプションを検討・提示することである。CPは理論的に効率的な制度として知られている。しかし、現実的な政策手段として導入される際は、公平性についても配慮が求められると考えられる。そのため、公平性を踏まえながら、効率的なCPの制度オプションを検討した。

## 2. 研究目標

暗示的炭素価格と明示的炭素価格の事業所における複合的な効果を定量的に明らかにする。自治体排出量取引制度について、イノベーションへ効果を検証すると共に新興国への適用可能性を検討する。効率性と公平性に配慮した CP 制度を提案する。

## 3. 研究開発内容

サブテーマ 1 では、まず、事業所データを用いて自治体排出量取引制度の効果を検討し、それらの政策の新興国への国際展開の可能性を検討した（研究項目 1-1）。次に、暗示的炭素価格としての固定価格買取制度（研究項目 1-2）の効果を多面的に分析した。そして、CP の効率性の面から炭素税の二重の配当の可能性（研究項目 1-3）を検討した。最後に、各サブテーマの分析結果を踏まえて CP の制度オプションを提案した（研究項目 1-4）。なお、研究項目 1-1、1-2 の分析では、PD、助手、大学院生 RA を活用して事業所データを整備し、計量分析を行った。また、分析では、エビデンスに基づく政策立案（EBPM）の分野での標準的な手法である差の差分分析（Difference in differences, DID）<sup>3</sup>や傾向スコアマッチング（Propensity score matching, PSM）<sup>4</sup>などを活用した。以下、主要研究項目ごとに詳細を記述する。

### 1.1. 自治体排出量取引の効果分析と国際展開

先述のとおり、日本では CP の事後検証が海外と比べると進んでいない。そこで、本研究項目では、東京都・埼玉県の排出量取引を分析対象に、多様な側面から評価を行った。具体的には、(1)東京都及び埼玉県 ETS の排出削減効果の持続可能性や(2)経済影響、(3)イノベーション（R&D）の有無、(4)カーボンリーケージの有無、さらには、(5)自治体排出量取引制度の国際展開について検討を行った。

(1)排出削減効果の持続可能性の検証では、地球温暖化対策の推進に関する法律（温対法）に基づいて作成されている事業所データを用いて分析を行った。東京都の排出量取引制度は対象事業所が規制を遵守できないと罰則がある一方で埼玉県のそれは罰則がない（つまり、自主的な制度とみなせる）ため、罰則のある排出量取引制度と自主的な排出量取引制度による産業部門への影響を比較することができる。また、カリフォルニアの排出量取引制度における企業の資金制約の重要性を示した先行研究（Bartram et al.(2022)<sup>5)</sup>）を参考にしながら、企業の流動性制約が排出削減に影響するかどうかを検証を行った。その際、Joel Malen 氏（早稲田大学商学学術院教授）の協力により入手した東京商工リサーチのデータを活用した。これに関連して、排出量取引導入以前の様々な施策（事業所が自治体に提出する排出削減計画書、表彰等）の排出削減効果について、自治体レベルのデータを用いて検証した。埼玉県の排出量取引制度では、埼玉県の協力に基づき、事業所が提供するデータおよび「事業所の省エネ対策の実施状況等に関する書面調査（平成 30 年度）」を入手し、エネルギー消費に注目して分析を行った。

(2)経済影響の分析では、国からエネルギー消費統計調査のデータを入手し、雇用への影響について計量分析を行った。さらに、(3)イノベーション効果の分析として R&D への影響を検証するため、国から企業活動基本調査のデータを入手し、分析を行った。(4)カーボンリーケージの有無については、温対法の事業所データ、企業活動基本調査を用いて分析した。

最後に、(5)自治体制度のアジア新興国での適用可能性の検討は次のように行った。まず、サブテーマ 3 と連携しながら文献調査等を実施し、アジアの CP の導入状況についてまとめた。次に、日本の成功例である東京都・埼玉県排出量取引制度を排出増加の著しい新興国で展開できる可能性について、関連専門家と国際ワークショップ・シンポジウムで議論を行った。具体的には、米国のシンクタンク Asia Society Policy Institute に Steering Committee のメンバーとしてワークショップの企画から参加し、6 回（2021 年 1 月、6 月、10 月、2022 年 4 月、12 月、2023 年 2 月）にわたる国際ワークショップ（オンライン）に参

<sup>3</sup> 差の差分分析（Difference in differences, DID）とは、「処置群の結果変数の前後差から対照群の結果変数の前後差を引くことでプログラム効果を推定する手法」のことである（西山他, 2019, p.427）<sup>4)</sup>。

<sup>4</sup> 傾向スコアマッチング（Propensity score matching, PSM）とは、プログラム参加者と不参加者の属性を傾向スコア（属性から予測されるプログラム参加確率）によって条件付けて分析することであり、「あたかもプログラム参加者と不参加者を傾向スコアでマッチして分析を行うような趣」があることからこのように呼ばれている（西山他, 2019, pp.411-412）<sup>4)</sup>。

加した。その上で、東京都・埼玉県の制度及び効果について発表し、国際展開について議論を行った。

なお、本研究項目のマイクロデータ分析については、Joel Malen 氏（早稲田大学）、谷口みゆき氏（佐賀大学）の研究協力を仰いだ。

### 1.2. 固定価格買取制度（FIT）及減免制度の経済分析

固定価格買取制度（FIT）は、再生可能エネルギーの普及を促進する政策である。しかしながら、同制度は、再生可能エネルギー促進賦課金（賦課金）によって電力価格を上昇させることが明らかになった（Costa-Campi and Trujillo-Baute, 2015<sup>6)</sup>; Clò et al., 2015<sup>7)</sup>; Paraschiv et al., 2014<sup>8)</sup>）。省エネへのインセンティブになって排出削減に貢献することから、FIT は暗示的な CP であると考えられる。一方、この電力価格の上昇は電力需要家の負担となり、エネルギー集約的な産業部門が最も影響されやすいと見込まれている（星野, 2013<sup>9)</sup>）。他方、電力集約産業は、申請によって FIT の賦課金の減免を受けることができる。これは、電気使用量の増加ならびに排出量増加につながる可能性もある。

そこで、本サブテーマでは、FIT の導入に伴う産業部門への経済影響について、資源エネルギー庁から石油等消費動態統計調査のデータを入手して研究を行った。具体的には、FIT の賦課金負担がもたらす電気料金上昇による効果、電力集約産業への減免措置の効果の二つについて実証分析を行った。

### 1.3. 炭素税の二重の配当に関する分析

CP の効率性を考えると、排出削減と経済成長との両立の可能性も探ることの意義も大きい。欧州や北米では「二重の配当」という、炭素税で得られた税収を法人税や所得税、消費税の減税に用いることにより、炭素税による排出削減（一つ目の配当）と経済活動の活性化（二つ目の配当）の両立を図る政策が実施されている。ただし、減税によって経済活動が歪む可能性も指摘されているため、本当に二重の配当が実現するのかを検討する必要がある。

そこで、サブテーマ2と連携し、応用一般均衡分析を用いて炭素税の税制改革（二重の配当政策）を経済面、制度面から分析を行った。特に、炭素税の二重の配当における公平性の視点も入れ、分析を進めた。具体的には、減税だけでなく雇用保険制度及び介護保険制度を通じた還元を検討した。

### 1.4. カーボンプライシング（CP）の制度検討

本研究課題における各サブテーマの分析結果を踏まえ、CP の特徴性である効率性だけではなく、公平性に配慮した CP 制度を提案した。その際、FIT などの暗示的炭素価格についても検討しながら制度設計を検討し、暗示的炭素価格と CP を同時に導入している欧州なども参考にした。

また、負担が大きくなりうる地域については、地方自治体のヒアリングなども行いながら制度設計を検討した。具体的には、鉄鋼産業への依存度が高い室蘭市や、県全体で化学コンビナート等の重化学工業や鉄鋼業を多く抱えている山口県等へのヒアリング等を行った。なお、本研究項目では、木元浩一氏（室蘭工業大学）に研究協力を仰いだ。

## 4. 結果及び考察

### 1.1. 自治体排出量取引の効果分析と国際展開

#### (1) 東京都及び埼玉県 ETS の削減効果の持続可能性

東京都・埼玉県の排出量取引制度の削減効果について、温対法の事業所データを用いて分析を行った。表 1.1 には 2009 年から 2014 年までのデータを用いた政策効果を示している。

表 1.1 東京・埼玉の排出量取引の削減効果

Industry:	[4-1] 全産業	[4-2] 製造業	[4-3] サービス部門
ETS の削減効果			
東京	-0.059** (0.007)	-0.108** (0.016)	-0.029** (0.010)
埼玉	-0.016+ (0.009)	-0.025* (0.011)	0.006 (0.016)

他地域 (リーケージ)	-0.025** (0.005)	-0.025** (0.006)	-0.023** (0.008)
----------------	---------------------	---------------------	---------------------

注) \*\*, \*, +は、それぞれ1%、5%、10%有意水準を満たしていることを示す  
カッコ内の数字は標準誤差、他の説明変数は省略

出典：Sadayuki and Arimura (2021)<sup>10)</sup>

全般では、製造業でより削減が明確に示された。また、自主的な取り組みである埼玉県でも効果はあるものの、東京都に比べて削減効果は弱い可能性も示された。東京都では全産業平均で5.9%の削減効果があることが示されている。業種別でみると、製造業で10.8%、サービス部門で2.9%であった。一方、埼玉県では全産業平均で1.6%の削減効果となった。業種別には、製造業で2.5%の効果があることが示されたが、サービス部門での明確な削減効果は確認できなかった。

次に、分析期間を2018年まで延長して自治体排出量取引制度の削減の長期的な効果を分析した。この際、アメリカ・カリフォルニア州の排出量取引を分析したBartram et al. (2022)<sup>5)</sup>を参考にして、企業の流動性（資金）制約が排出削減に影響するかどうかを差の差分分析を用いて検証した。流動性制約を測る尺度としては、Schauer et al. (2019)<sup>11)</sup>を参考にして、金融経済学などで用いられるFCP指標<sup>5)</sup>を用いた。

分析の結果、資金制約のない企業の事業所では排出削減が進んでいる一方で、資金制約に直面する企業では排出削減を確認できなかった。つまり、流動性制約がある場合は、排出量取引下でも削減が進まない可能性が示されたといえる。

この流動性制約の重要性は、埼玉県から入手した「事業所の省エネ対策の実施状況等に関する書面調査（平成30年度）」からも確認できる。図1.1は同調査で聞いた省エネ政策の阻害要因を企業規模別でまとめたものである（矢島・有村, 2021<sup>12)</sup>）。

どの企業規模でも、「資金」が省エネ機器導入の最も重要な阻害要因であることがうかがえる。排出量取引で排出削減を進めるにあたって、資金制約を緩和する政策が有効なことが示されたといえる。

これに関連して、事業所での排出削減について、排出量取引導入以前の様々な施策の効果も自治体レベルのデータを用いて検証した。その結果、排出量取引導入前の排出削減に関する計画書の作成や、良好なパフォーマンスの事業所に対する表彰、監査などが排出削減に有効なことが示された（Yajima and Arimura, 2022<sup>13)</sup>）。

続いて、埼玉県ETSの削減効果をエネルギー消費に注目して分析を行った。第1フェーズ（2011年から2014年）と第2フェーズ（2015年から2018年）の最初の4年間における対象事業所のエネルギー消費と経済活動に対する政策影響を分析した。図1.2、図1.3、図1.4はそれぞれ年平均電力消費量、都市ガス消費量と重油消費量の推移を表している（楊・有村, 2023<sup>14)</sup>）。

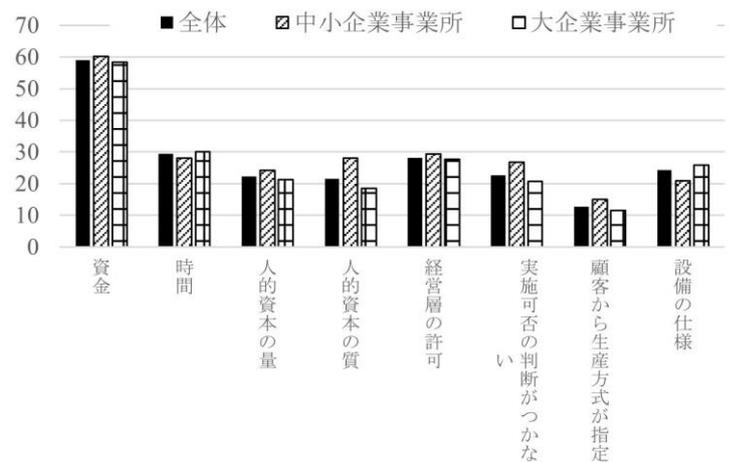


図 1.1 省エネ対策の阻害要因（矢島・有村, 2021<sup>12)</sup>）

<sup>5)</sup> FCP 指標は、前期における、総資産の対数、期首総資産における保有現金、ROA、利払額と利払前・税引前利益の比率に基づいて作成されている。

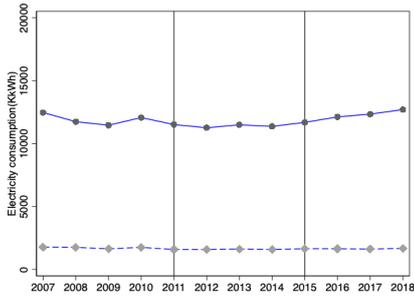


図 1.2 年平均電力消費量推移  
(単位：千 kWh)

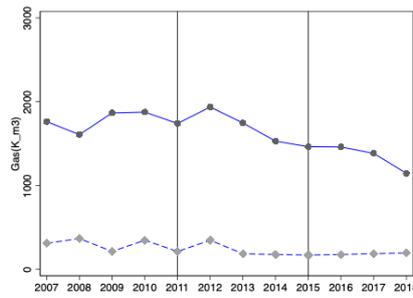


図 1.3 年平均都市ガス消費量推移  
(単位：千 m³)

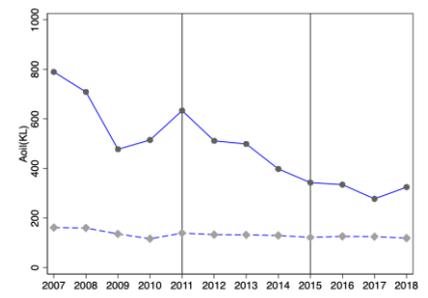


図 1.4 年平均重油消費量推移  
(単位：KL)

まず、図 1.2 よりすべての事業所の電力消費量の変化は限定的と見られる。ETS 対象事業所の電力消費量は非対象事業所と比較して、第 2 フェーズ中に若干の増加傾向が見られる。一方、図 1.3 より都市ガス消費量は電力消費量に比べてより変動が大きい。第 1 フェーズの 2 年目には、全事業所で消費量が減少傾向を示し始めたが、その減少傾向は対象事業所の方がより顕著である。また、第 2 フェーズでは、非対象事業所における都市ガス消費量の減少がほぼ見られない一方で、対象事業所における消費量の減少が続いている。さらに、図 1.4 より重油消費量は前述の 2 つのエネルギーよりも変化が著しい。非対象事業所における ETS 政策の開始前後での消費量に大きな変化はないが、対象事業所は政策開始後に消費量を大幅に減少させている。

## (2) 東京都及び埼玉県 ETS の経済影響

経済影響については、エネルギー消費統計のデータを用いて分析を行った。具体的には、同データで収集されており、欠損値が比較的少ない雇用データに注目して、経済影響の評価を行った。まず、東京都の排出量取引の経済影響を分析した。対象年としては、2007 年から 2018 年の事業所データを傾向スコアマッチングの方法で分析した。その結果、図 1.5 で示されるように、東京都の排出量取引は、(非対象事業所と比べても) 対象事業所で雇用数が減少していないことが分かった (Abe and Arimura, 2022<sup>15)</sup>)。

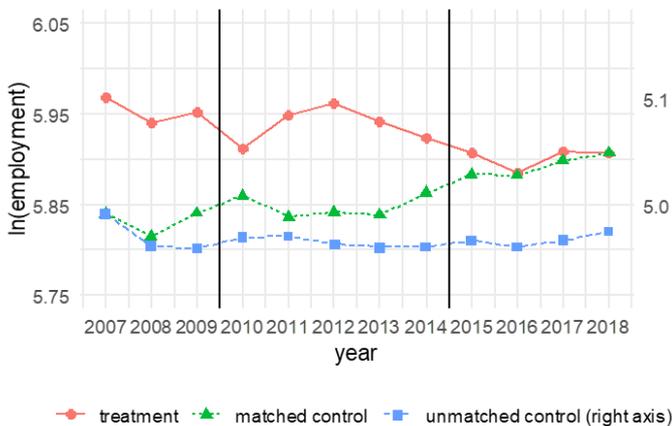


図 1.5 東京都排出量取引制度の雇用への影響  
(Abe and Arimura, 2022<sup>15)</sup>)

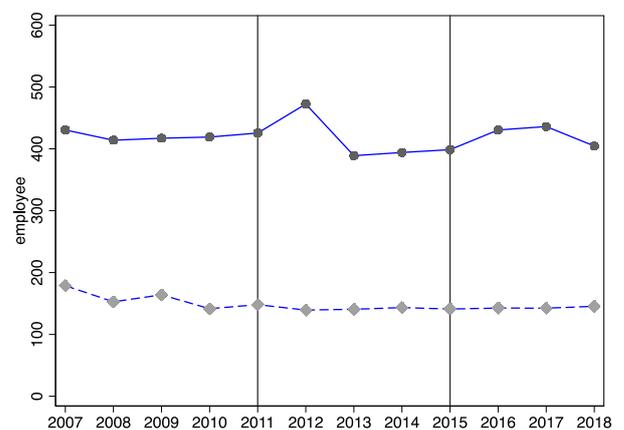


図 1.6 埼玉県 ETS 対象・非対象企業の従業員数の推移 (楊・有村, 2023<sup>14)</sup>)

埼玉県制度についても、雇用への影響を分析した。対象事業所と非対象事業所の従業員数の推移は、図 1.6 に表されている。政策開始前後の従業員数の減少傾向が見られず、第 2 削減期間に対象事業所の

従業員数がわずかに増加している。また、差の差分析を用いた従業員数に関する実証結果が表 1.2 にまとめられている。ここでは、ETS は失業をもたらす証拠は確認できなく、事業所の経済活動パフォーマンスに負の影響がないとは言える（楊・有村, 2023<sup>14)</sup>）。

### (3) イノベーション分析

排出量取引制度がイノベーションに影響したかを検証するにあたって、企業活動基本調査を活用し、排出量取引の導入が対象事業所を持つ企業の研究開発費 (R&D) が増加したかどうかを検証した。東京都 ETS の対象はオフィスビル中心であるという特徴がある。これは、研究開発を行うのが排出規制を受けた対象企業ではなく、オフィスビルの建築業者であるため、政策効果の検証が難しいことを意味

している。そこで、分析の対象を製造業とし、製造業が対象の中心である埼玉県 ETS を用いて分析を行った。埼玉県 ETS のフェーズ I とフェーズ II における製造業の R&D と外注について計量分析を行った結果を表 1.3 に示す。同表一列目(1)の推定結果から、埼玉県 ETS の影響により、第一計画期間において、対象企業において非対象企業に比べて研究開発費 (R&D) が 21.4% 高くなることが示された。それに対して、第二計画期間において、対象企業と非対象企業の間にイノベーションの差がないことが示された。つまり、埼玉県 ETS は第一計画期間において、対象企業のイノベーションを促進したことを明らかにした (Lu et al., 2023<sup>15)</sup>)。

次に、イノベーション促進がどのような企業から貢献したかについて分析を行った。表 1.3 二列目(2)の分析では、埼玉県 ETS 実施前から R&D をしていた企業だけに絞っている。同表二列目(2)の推定結果から、第一計画期間において、埼玉県 ETS によるイノベーション促進が、埼玉県 ETS 実施前から R&D を実施していた企業で研究開発が増加したことが分かった (Lu et al., 2023<sup>15)</sup>)。

表 1.2 差の差分析による埼玉県 ETS による従業員数実証結果 (楊・有村, 2023<sup>14)</sup>)

	(1) 全事業所	(2) 製造業
第一削減期間	-0.0003 (0.0248)	-0.0063 (0.0204)
第二削減期間	0.0542** (0.0265)	0.0144 (0.0277)
床面積	0.1281* (0.0688)	-0.0174 (0.0750)
_cons	3.8381*** (0.6246)	5.1239*** (0.6854)
N	5916	3979
R <sup>2</sup> Adjust	0.8929	0.9339
F	3.0949	0.4135
Facility FE	YES	YES
Year FE	YES	YES

注) \*\*、\*、\*は、それぞれ 1%、5%、10% 有意水準を満たすことを示す他の説明変数は省略

している。そこで、分析の対象を製造業とし、製造業が対象の中心である埼玉県 ETS を用いて分析を行った。埼玉県 ETS のフェーズ I とフェーズ II における製造業の R&D と外注について計量分析を行った結果を表 1.3 に示す。同表一列目(1)の推定結果から、埼玉県 ETS の影響により、第一計画期間において、対象企業において非対象企業に比べて研究開発費 (R&D) が 21.4% 高くなることが示された。それに対して、第二計画期間において、対象企業と非対象企業の間にイノベーションの差がないことが示された。つまり、埼玉県 ETS は第一計画期間において、対象企業のイノベーションを促進したことを明らかにした (Lu et al., 2023<sup>15)</sup>)。

次に、イノベーション促進がどのような企業から貢献したかについて分析を行った。表 1.3 二列目(2)の分析では、埼玉県 ETS 実施前から R&D をしていた企業だけに絞っている。同表二列目(2)の推定結果から、第一計画期間において、埼玉県 ETS によるイノベーション促進が、埼玉県 ETS 実施前から R&D を実施していた企業で研究開発が増加したことが分かった (Lu et al., 2023<sup>15)</sup>)。

表 1.3 企業活動基本調査データを使用した推定結果 (Lu et al., 2023<sup>15)</sup>)

被説明変数 (対数値) 分析期間	(1) R&D 2003-2018	(2) R&D (ETS 実施前より R&D していた企業) 2003-2018	(3) 外注 (カーボン リーケージ) 2009-2018
	第一期間 ETS ダミー	0.214** (0.0972)	0.288** (0.117)
第二期間 ETS ダミー	0.168 (0.144)	0.251 (0.174)	0.189 (0.290)
年度ダミー	○	○	○
企業固定効果	○	○	○
その他コントロール変数	○	○	○
Observations	89,051	58,123	55,571
R-squared	0.017	0.023	0.020

注) \*\*は 5% 有意水準を満たしていることを示す他の変数は省略

#### (4) リークージ分析

東京都及び埼玉県排出量取引制度が炭素リークージをもたらしたかについても分析を行った。最初に、温対法の事業所データを用いて分析を行った。具体的には、東京、埼玉での排出量取引制度対象を持つ企業が、他道府県で持つ事業所で排出量を増やしたかどうかを検証した。その結果、想定に反して、東京都・埼玉県で排出量取引制度に直面する企業は他地域の事業所で排出を削減していることが分かった（表 1.1 の三列目）。つまり、世界で初めて排出量取引が、他地域にある関連事業所でのスピルオーバー効果（削減効果）を持つことを示した。従来研究は、規制対象事業所のみ焦点を当てていた。これに対し、東京・埼玉の規制対象の企業が他地域で事業所を持っている場合、エネルギー効率性のギャップ解消を通じて、他地域でも 2.5%程度の削減が進んだことが示された（Sadayuki and Arimura, 2021<sup>10)</sup>（図 1.7）。

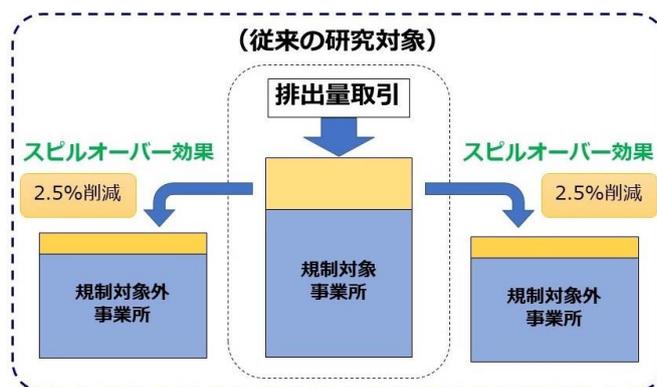


図 1.7 排出量取引のスピルオーバー効果

さらに、企業活動基本調査を用いて、埼玉県排出量取引制度の対象企業が生産活動をアウトソーシング（外注）してカーボンリークージを起こしていないか検証した。企業活動基本調査のデータで利用可能な 2009 年から 2018 年までを分析対象とした。表 1.3 三列目(3)の推定結果から、埼玉県 ETS 実施したフェーズ I とフェーズ II において、対象企業と非対象企業の間には外注の差がないことが示された（Lu et al., 2023<sup>15)</sup>）。つまり、CO<sub>2</sub> 排出量を抑えるために埼玉県 ETS 実施しても、企業は自らの生産をほかの会社へ外注することで排出量の削減目標を達成する、という選択肢を選んでいないことがわかる。

結論として、埼玉県 ETS はイノベーションを促進し、特に ETS 実施前より R&D をしていた企業へよりイノベーションを促す傾向にあることが明らかになった。そして、外注によるカーボンリークージが発生していないことも示された。

結論として、埼玉県 ETS はイノベーションを促進し、特に ETS 実施前より R&D をしていた企業へよりイノベーションを促す傾向にあることが明らかになった。そして、外注によるカーボンリークージが発生していないことも示された。

#### (5) 自治体排出量取引制度の国際展開

東京都、埼玉県が実施する排出量取引について成功例として、排出増加の著しい新興国での展開の可能性について検討した。まず、サブテーマ 3 と連携してアジア各国の CP 導入の情報及び先行研究をまとめ、論文を公刊した（Arimura and Sugino, 2021<sup>16)</sup>；有村・杉野, 2020<sup>17)</sup>）。

さらに、米国のシンクタンク Asia Society Policy Institute に Steering Committee のメンバーとして、6 回にわたる国際ワークショップ（オンライン）で、東京都および埼玉県の制度及び効果について発表し、国際展開について議論を行った。韓国が 2015 年に排出量取引の全国制度を導入したのに続き、中国も試行実施を踏まえて 2021 年に電力部門で排出量取引を全国展開した。さらに、ベトナムやインドネシアも排出量取引の実施に向けた具体的に動き始め、フィリピン議会でも提案されたことが分かった。ASEAN でも CP 導入が検討されていることが示された。ワークショップでは、日本の自治体制度の全国展開について、新興国での展開の可能性を探ったが、国レベルでの制度導入をしている韓国、中国の存在感が強く、日本の地方自治体制度の成功体験を受け入れてもらえるような素地は強くなかった。

また、東京・埼玉制度は、電力消費からの排出削減を進めるために、化石燃料消費などの Scope 1 だけではなく、電力からの間接排出である Scope 2 までカバーする制度となっている。しかし、これは Scope 1 のみを対象とする EUETS などと異なる制度であり、諸外国から独特な制度として受け止められた。実際に、東南アジアでも電力会社を直接対象とするカーボンプライシング制度の検討が始まっており、その点では、東京・埼玉型制度の適応は難しい面があることが分かった。

#### ● 自治体排出量取引制度の分析結果に基づく考察

東京都、埼玉県とも排出量取引制度の効果は持続的であることが示された。これは排出量取引制度の排出削減政策としての有効性を示すものである。一方で、罰則のある東京都制度に比べると、罰則のな

い埼玉県制度は効果が弱い可能性も示された。従って、排出量取引制度は、自主的なものよりも義務的なものの方が強い削減効果を持つ可能性が示された。これは、自主的な制度として始まった GX-ETS への政策的示唆をもつと考えられる。

また、排出量取引制度で排出削減の成功には、個別企業が置かれている状況も影響することが示された。本サブテーマの分析により、企業が資金制約に直面している場合は排出削減が進みにくいことも示された。排出削減を促すうえでの政策的な介入の必要性が認められたと考えられる。

さらに、排出量取引については、負の経済影響がみられないことも示された。また、企業内の排出移転、および、アウトソーシングで計測すると、カーボンリーケージが起きていないことも示された。これは、現状では、懸念された排出量取引の負の影響は確認できていないということであり、政策として CP の導入を急ぐべきということを示唆していると考えられる。

加えて、埼玉県制度の導入によって、企業が研究開発を促進する可能性も示された。さらには、企業内ではスピルオーバー効果があり、東京都、埼玉県以外でも排出削減が進む可能性も示された。つまり、排出量取引がイノベーションに正の影響を及ぼす可能性が示された。

以上の研究成果を基に、日本の自治体排出量取引制度の国際展開に関して検討した。しかし、日本が排出増加の著しい新興国へ環境政策において存在感を示すためには、自治体より国レベルの政策の導入が重要であることが明らかになった。国レベルの義務的な CP の導入を進めるべきだろう。

## 1.2. FIT 及び減免制度の経済分析

本研究テーマでは、FIT がエネルギー消費に与える影響を評価し、CO<sub>2</sub> 排出量に及ぼす影響を算出することを目的としている。具体的には鉄鋼業、化学業、紙・パルプ業という代表的であるエネルギー集約的な3部門を選択し、事業所レベルのデータを分析した。そして、エネルギー消費の詳細を含む石油等消費動態統計調査の事業所レベルデータを用いて、実証分析を行った。

まず、賦課金がエネルギー消費とその構成要素（電力、化石燃料など）に与えた影響を分析した（図 1.8）。さらに、FIT 賦課金に対する減免制度が電気及び化石燃料の消費へ与えた影響を分析し（図 1.8）、CO<sub>2</sub> 排出量に対する減免措置の効果も計算した（表 1.4）。

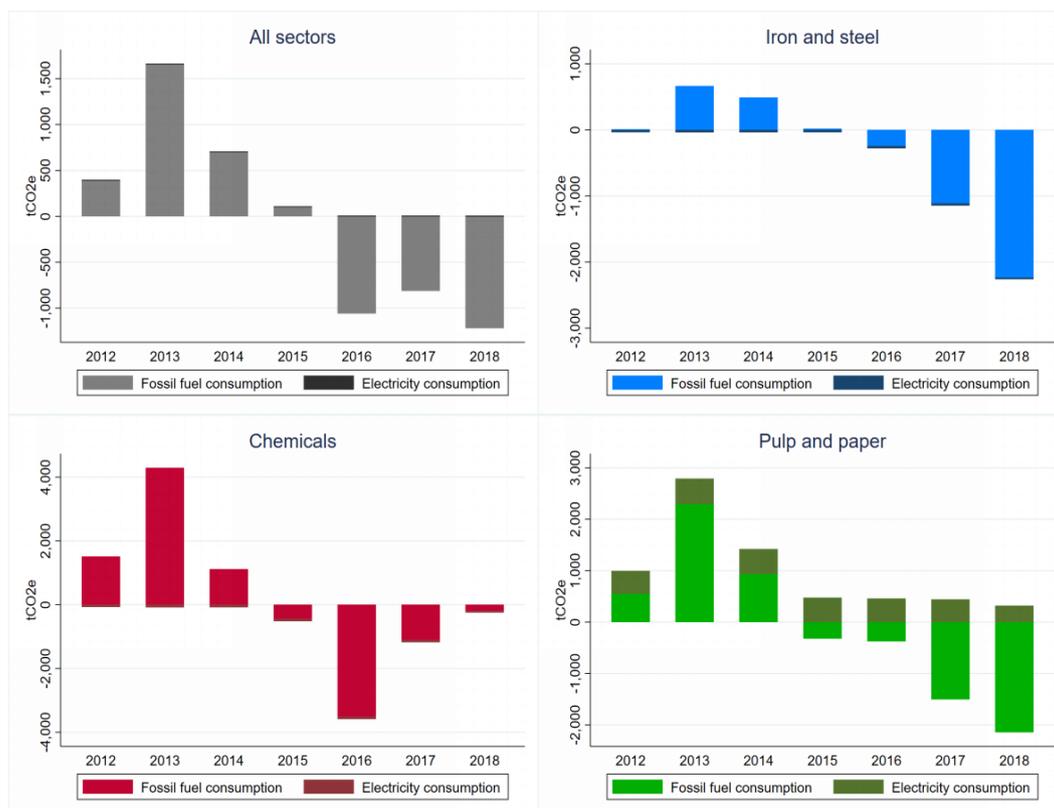


図 1.8 賦課金による電気及び化石燃料の消費変動（事業所当たりの平均効果）

表 1.4 CO<sub>2</sub> 排出量に対する減免措置の効果

単位: tCO <sub>2</sub>	鉄鋼産業		化学産業		パルプ・紙産業	
	第1段階 (認定基準のみ)	第2段階 (優良基準導入)	第1段階 (認定基準のみ)	第2段階 (優良基準導入)	第1段階 (認定基準のみ)	第2段階 (優良基準導入)
電気購入 (総計)	0	-6,962,710.09	0	0	0	0
電気消費 (総計)	0	-7,185,022.98	0	0	0	993,705.86
化石燃料消費 (総計)	0	0	0	0	182.12	0

注) 他の変数は省略

分析結果から、賦課金の導入はエネルギー消費の減少につながるということが明らかになった。まず、賦課金が1%増加することは3,755tCO<sub>2</sub>eの排出削減をもたらす。また、電力消費も賦課金によって減少する一方で、化石燃料消費は賦課金導入後の数年間において若干のリバウンド効果も確認された。しかし、その後のリバウンド効果は薄れているようである。

また、FIT 減免措置についても政策評価を行った。減免を受けるための優良基準が導入されたことで、事業所の電力購入と消費の削減が促され、鉄鋼産業の工場から合計約700万tCO<sub>2</sub>の排出削減が推定されることが明らかになった。

#### ● 固定価格買取制度の分析結果に基づく考察

本研究により、固定価格買取制度の電力価格上昇が排出削減に効果があることが示された。また、電力集約産業への減免措置については、必ずしもリバウンド（電力消費の増加）につながっていないことも示された。これは、今後の排出量取引制度に大きな含意を持つ。排出量取引制度についても、エネルギー集約産業への減免措置が議論されてきた（Sugino et al., 2013<sup>18)</sup>；有村・川瀬・蓬田, 2012<sup>19)</sup>）が、これらの減免措置を導入しても、排出削減効果が維持される可能性が示された。同時に既に固定価格買取制度のもとで、減免措置を導入しているため、排出量取引制度においても限目措置の政治的、行政的な実行可能性は高いということを示している。

#### 1.3. 炭素税の二重の配当に関する分析

CPの効率性を考えると、排出削減と経済成長との両立の可能性も探ることの意義も大きい。そこで、二重の配当と呼ばれる考え方にも注目し、分析を行った。炭素税収を使って既存税を軽減すれば、経済活動が活発になる。サブテーマ2と連携して行った研究では、効果が少ないとされる、排出削減を費用と考える新古典派の経済モデルでも、炭素税収を法人税減税や消費税減税に用いることにより、排出削減と経済成長の両立が可能であることが示唆されている（図1.9）。

さらに、二重の配当政策の中でも公平性を考えるため、雇用保険制度及び介護保険制度を通じた還元を検討した。雇用保険制度については、①補償としての役割（雇用保険制度の負担および政策に起因する失業者への補償）、②経済の下支え、③環境フレンドリーな産業構造への転換といった点から、還元が正当化できるという結論に至った。一方、介護保険制度については、所得水準が高くなるほど還元額も高くなることが示された。これは、介護保険制度の仕組みに忠実に従って還元方法の設定をしたことによるものであり、低所得者ほど保険料計算基準を算定するための係数が小さくなるからである。つまり、介護保険制度を通じた還元方法では、制度の仕組みに忠実に従うのではなく、低所得者に配慮した仕組みを模索していく必要がある。

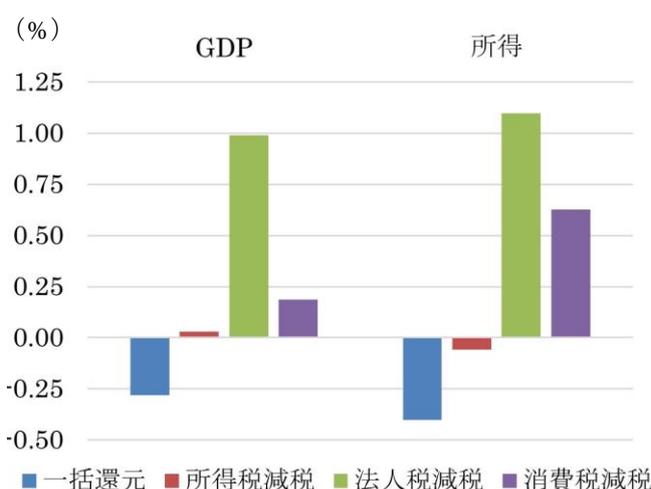


図 1.9 炭素税の二重の配当政策の経済効果  
(Takeda and Arimura, 2021<sup>20)</sup>)

#### 1.4. カーボンプライシング（CP）の制度検討

本サブテーマおよび、各サブテーマの分析結果をとりまとめ、『カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術』（有村・杉野・鷺津（編著））を日本評論社から出版した。そして、その各サブテーマの知見を基に CP 制度オプションの検討を行った。その際、CP の特徴性である効率性だけでなく、公平性に配慮した CP 制度を検討・提案した。そこで、(1)事業所を対象とする政策と(2)家計に対する政策の二側面について議論する。そのうえで、(3)CP の短期的なオプションと中長期的なオプションについて、政策を提示する。

##### (1) 事業所を対象とする制度

CP は、理論上、資源配分を効率的に行う制度である。また、サブテーマ 1 での研究により、排出量取引の有効性も示された。一方、サブテーマ 2 の研究からは、CP が短期的にもたらす経済負担が地域によって大きく異なることが示された。例えば、あるシナリオでは地域経済の減少幅が、最大の中国地方と最小の沖縄で約 5.4 倍もの差があるが示された。すなわち、中国地方では、経済に占めるエネルギー集約産業（鉄鋼、石油化学等）の割合が高いため、短期的には CP による負担の増加が予測される。これは、CP の導入にとまなう個々の地域の経済的負担に非常に大きな差が生じることを示唆している。

では、CP を導入しつつも、この地域間の公平性の差にどう対処すればよいか。公平性の観点からは、業種間の負担の公平性と地域間の負担の公平性という（少なくとも）二つの軸が考えられる。以下では、この二つについてそれぞれ検討する。

業種間の公平性については、従来から、エネルギー集約産業への炭素価格の減免措置（Sugino et al., 2013<sup>18)</sup>）や産出量に基づく排出枠の配分方法（アップデート方式：Takeda et al., 2014<sup>21)</sup>）などが考えられており、環境省の国内排出量取引制度小委員会（2010 年）でも取り上げられてきた。アップデート方式とは、生産一単位当たりの排出枠を配分し、生産量が増えた場合に無償排出枠を追加する（アップデートする）方式である。しかし、これらの減免措置は理論的には可能なものの、実際の政策として実施可能なのが不安視されてきた。また、減免措置が排出増加に繋がるという懸念もあった。しかし、サブテーマ 1 での FIT における電力集約産業への減免措置の分析結果は、減免措置が実施可能であり、排出量のリバウンドが起らないことも分かった。以上より、エネルギー集約産業への減免措置が（少なくとも短期的には）CP 導入時における不公平緩和策として有効であることを示唆していると考えられる。

なお、エネルギー集約産業への対応策としては、EU が提案している国境炭素調整（CBAM）も考えられ、日本の産業への影響も懸念されている。同じアジアである中国や韓国でも懸念され、EU の CBAM による影響が分析されているため、それらの状況も分析した。一方、日本でも、かつて、国境炭素調整の導入が財務省で検討されており、日本での国境炭素調整の導入効果の分析がなされている（有村・川瀬・蓬田, 2012）。しかし、それらの分析結果によれば、日本においては国境炭素調整よりも上記のアップデート方式の方がエネルギー集約産業の負担緩和では効果が大きいことが示されている。そのため、エネルギー集約産業の負担の公平性への配慮としては、炭素価格の減免か、排出枠のアップデート方式の配分を制度オプションとして提案したい。

一方で、地域間の公平性問題については、サブテーマ 2、3 の分析結果から、エネルギー集約産業が集中している地域への炭素価格が（少なくとも短期的には）大きな経済影響をもたらすことが示された。これは、中国地方のように鉄鋼や石油化学コンビナートなどが集約している地域の CP による負担が大きくなる可能性を示唆している。この地域間の負担の格差に対して、サブテーマ 2 では、炭素税収を負の経済影響の大きい地域へ再分配することで負担を緩和することが可能であることが示されている。

##### (2) 家計に対する制度

CP はエネルギーの価格上昇を通じて、企業及び家計に排出削減のインセンティブをもってもら制度である。しかし、家計についても炭素税の負担が特定の地域で大きくなることがサブテーマ 5 で示された。特に、寒冷地で（少なくとも短期的には）大きな負担になる可能性が示されており、公平性の観点から CP の導入の仕方が課題になる。しかし、エネルギー価格を従前のままに据え置く施策をとる場合、家計はエネルギー使用を抑えようとする意欲は持たなくなってしまう。

従来の「寒冷地手当」のスキームの下では、家計はエネルギー価格に必要とされるエネルギー量を掛けた手当を直接受け取ることができる。そのため、CPによるエネルギー価格上昇の影響を受けずに、暖房のために必要なエネルギーを購入できる。エネルギーを購入するための資金は手当されるものの、実際に電力・燃料を購入する時には高い価格を支払わないといけないため、家計は省エネルギーの意欲を持ち続けるようになる。

また、これまでもエネルギー価格が高騰した時は、生活困窮世帯などを対象として、「福祉手当」という暖房代が支給されてきた。北海道では殆どの地域で「福祉手当」が利用されているものの、必要な予算は自治体が出しているようである。多くは暖房用のエネルギーの購入費であり、必要不可欠なものであることに鑑みると、本来は国の予算から手当されるべきものと思われる。炭素税収をこのような形で社会保障のための地域財源とすることが考えられる。

以上から、炭素税収を用いた家計負担緩和策として、寒冷地手当といった従来のスキームを使った負担緩和策を提案したい。CPを強化していく際は、負担が大きくなると予想される家計に対して、直接的な所得補償をするスキームを導入する方が望ましいだろう。

### (3) 中長期的な視点からの環境税制改革

中長期的な視点においても、CO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減は経済全体にかかわる課題である。そのため、経済成長と排出削減のバランスを考える必要もあり、経済全体を考慮する制度が必要である。

サブテーマ1と2で連携して行った分析によって、日本でも炭素税収を法人税や消費税の減税に用いることで排出削減と経済成長を両立できる可能性が示唆された。また、公平性を考慮すると、雇用保険制度及び介護保険制度を通じた還元も検討に値する。ただし、介護保険制度を通じた還元方法では、制度の仕組み上、所得水準が高くなるほど還元額も高くなるため、低所得者に配慮した仕組みを模索していく必要がある。

### (4) CPの短期的、中長期的なオプション

本研究課題におけるこれまでの検討を基に、公平性と効率性のバランスをとる短期的・中長期的なCPの制度オプションをそれぞれ表1.5のように提案する。

表 1.5 公平性と効率性のバランスを考慮したCPの制度オプション

CPの制度オプション			事業所向け政策	家庭向け政策
短期的	①	義務型排出量取引 (減免措置導入)	排出量取引を全国展開 エネルギー集約産業へ減免措置	オークション収入の 一部を家計へ還元
	②	炭素税 (地域税収還元型)	炭素税収をCP負担の大きい地域へ分配	炭素税収の一部を 家計へ還元
	③	炭素税・燃料税改革 (地域税収還元型)	化石燃料種ごとの実効炭素価格が均等となるように炭素税導入、②同様に分配	
中長期的	④	環境税制改革 (二重の配当)	炭素税収を用いて法人税や消費税を減税 (炭素税の二重の配当)	炭素税収の一部を 家計へ還元

#### 短期的な制度オプション

##### ① 義務型排出量取引（減免措置導入）

政府が全国的な排出量取引を義務付ける形で導入する。ただし、エネルギー集約産業への排出枠の配分を減免方式（アップデート方式）にする。このことにより、エネルギー集約産業の短期的な負担を緩和することができる。結果的に、エネルギー集約産業が集中する地域の経済負担を緩和して、効率性と公平性のバランスをとることができる。

また、公平性の観点から、寒冷地等における家計の負担緩和策として、炭素税収を用いた地域別の手

当（家計負担緩和策）も提案する。直接的な所得補償をするスキームを導入することで、家計は省エネルギーの意欲を持ち続けるようになる。ただし、①において家計負担緩和策を行うためには、排出枠をオークションとし、その収入を活用する必要がある。

## ② 炭素税（地域税込還元型）

政府が全国的な炭素税を導入する。公平性の観点から、負の影響の地域に税込を多めに還元して、短期的負担の公平を担保する。また、①と同様、家計負担緩和のために、炭素税込を用いた地域別の手当（家計負担緩和策）も提案する。炭素税を課す場合、①の排出量取引と異なり、炭素税込を用いることで、家計負担緩和策は常に実行可能である。

## ③ 燃料税改革型炭素税（地域税込還元型）

炭素税導入と同時に燃料税も改革し、各燃料種の炭素トン当たり税率を統一する。③においても、①や②と同様の家計負担緩和策を実行可能である。

暗示的炭素価格として燃料税に注目し、燃料税改革を行う炭素価格導入も重要な視点である（サブテーマ 2）。「カーボンプライシングの活用に関する小委員会」でも議題になったように、既存の燃料税は炭素トンあたりにすると大きなばらつきがあり、排出削減の観点から非効率と指摘されている。

サブテーマ 2 での定量的な分析からは、炭素税導入と同時に燃料税も改革し、各燃料種の炭素トン当たりの税を統一することで、経済影響を抑えながら排出削減することが可能であることが分かった。また、分析では CO<sub>2</sub> を削減するにもかかわらず、むしろ GDP や所得が増加するという結果も示されている。つまり、増加した分の GDP や所得を再分配することで地域間の格差を縮小することが可能となる。このような意味で、炭素税導入と燃料税改革を組み合わせるといふ政策は、CO<sub>2</sub> を削減しつつ、地域間の公平性を改善する政策にもなりうる。

## 中長期的な CP の制度オプション

### ④ 炭素税を用いた環境税制改革（二重の配当）

中長期的な視点においても、CO<sub>2</sub> 排出量の大幅な削減は経済全体にかかわる課題である。そのため、経済成長と排出削減のバランスを考える必要もあり、経済全体を考慮する制度が必要である。本研究課題では、中長期的なオプションとして炭素税込を法人税減税や消費税減税に用いることを提案する。なお、このオプションは炭素税の一部を従来の目的税から一般財源に変更することを提案するものである。

本サブテーマで行った二重の配当に関する分析からは、日本でも炭素税込で法人税や消費税を減税することで、排出削減と経済成長を両立できる可能性が示唆された。炭素税込を法人税や消費税の減税に用いるか、社会保険の原資に使うことで、排出削減と経済成長のバランスが取れると考えられる。

## 5. 研究目標の達成状況

本サブテーマでは、当初の研究計画通り、東京都・埼玉県の排出量取引の削減効果や経済影響、さらにイノベーションの有無、カーボンリーケージを定量的に分析できた。特に、カーボンリーケージの実証分析を通じて、想定していなかった排出量取引のスピルオーバー効果を検証することができた点は、当初の計画以上の成果といえる。また、排出削減における資金制約がないことの重要性を示すことができた点も、当初の計画以上の成果であった。暗示的炭素価格としての固定価格買取制度についても、減免措置も含めた排出削減効果を検証できた。特に、減免措置が排出増加につながらないことも示され、排出量取引でも適用可能なことを示すことができた。

これらの研究成果は、多数の論文を国際学術雑誌へ公表できただけでなく、多方面から高い評価を得た。また、各サブテーマのとりまとめとして、『カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術』（有村・杉野・鷲津（編著））<sup>22)</sup>を日本評論社から出版できた。さらに、関連業績である英文書籍 Carbon Pricing in Japan や Arimura and Abe (2021)<sup>23)</sup> は、IPCC の AR6 で引用されており、国際的な波及効果ももたらした。そして、サブテーマ 1 の研究成果をベースに、代表者（有村）は、サブテーマ 2 研究分担者・武田史郎、サブテーマ 6 研究分担者・松本茂と、市村清新技

術財団から市村地球環境学術賞(功績賞)を共同受賞した。同賞で功績賞が出されたのは初めてであり、かつ、社会科学分野での受賞も初めてであった。Carbon Pricing in Japan においても、環境経済・政策学会において論壇賞を獲得した。こうした評価も、当初の計画を大きく上回る成果であった。

さらに、環境政策等への反映においても、本研究課題の成果は大きく貢献できたと考えられる。サブテーマリーダーの有村は、環境省の「カーボンプライシングの活用に関する小委員会」の委員、経済産業省の「世界全体でのカーボンニュートラル実現のための経済的手法等のあり方に関する研究会」の委員を務め、研究成果の政策へのインプットに貢献できた。これらの研究成果がGXリーグでのカーボンプライシングの導入にも貢献していると考えられる。さらに、GXリーグのもとで2023年度に稼働する「GX-ETS」の有識者委員として詳細な制度設計に参画した。同時に、「カーボンニュートラルの実現に向けたカーボン・クレジットの適切な活用のための環境整備に関する検討会」の座長を務め、カーボンプライシングの活用の準備へ向けた取り組みにも貢献した。

そして、本研究課題の研究成果は、社会への還元にも成功した。サブテーマリーダーの有村は、一般市民、企業向けの多数の講演依頼を受けた。プロジェクト実施中にも国内外で合計85の講演を行い、研究成果を国民に還元することができた。また、多くの原稿も依頼され、雑誌「世界」で執筆した「カーボンプライシング：脱炭素への選択肢」は、朝日新聞にも取り上げられた。さらに、国際的にも多くの講演を依頼され、韓国、台湾、フィリピン、英国、フランス、米国の大学やシンクタンクなど向けに講演を行った。毎年開催した国民対話シンポジウムも、初年度と次年度はオンラインでそれぞれ約240名、180名の参加があった。最終年度は、国民対話シンポジウムを日本証券業協会との共催でハイブリッド開催し、会場80名、ZOOM150名、ニコニコ生放送で2500超のアクセスを獲得した。

以上より、本サブテーマでの研究成果は学術的、環境政策的に大きな貢献ができた。そして、目標を大きく上回る成果をあげたと考える。

## 6. 引用文献

- 1) Ellerman, A.D. and Buchner, B.K.: Environmental and Resource Economics 41, 267-287 (2008)  
Over-Allocation or Abatement? A Preliminary Analysis of the EU ETS Based on the 2005-06 Emissions Data. <https://doi.org/10.1007/s10640-008-9191-2>
- 2) Colmer, J., Martin, R., Muûls, M. and Wagner, U. J.: CEPR Discussion Paper, DP16982 (2022)  
<https://ssrn.com/abstract=4026889>
- 3) Shen, J., Tang, P., and Zeng, H.: Energy for Sustainable Development, 59, 120-129 (2020)  
Does China's carbon emission trading reduce carbon emissions? Evidence from listed firms. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.09.007>
- 4) 西山慶彦・新谷元嗣・川口大司・奥井亮：計量経済学，有斐閣（2019）
- 5) Bartram, S. M., Hou, K. and Kim, S.: Journal of Financial Economics, 143(2), 668-696 (2022)  
Real effects of climate policy: Financial constraints and spillovers. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.06.015>
- 6) Costa-Campi, M. T., and Trujillo-Baute, E.: Energy Economics, 51, 157-165 (2015)  
Retail price effects of feed-in tariff regulation. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.06.002>
- 7) Clò, S., Cataldi, A. and Zoppoli, P.: Energy Policy, 77, 79-88 (2015)  
The merit-order effect in the Italian power market: The impact of solar and wind generation on national wholesale electricity prices. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.038>
- 8) Paraschiv, F., Erni, D., and Pietsch, R.: Energy Policy, 73, 196-210 (2014)  
The impact of renewable energies on EEX day-ahead electricity prices. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.004>
- 9) 星野優子：エネルギー・資源学会論文誌，34(1)，15-24（2013）  
日本の製造業業種別エネルギー需要の価格弾力性の推計—国際比較のための分析枠組みの検討—。  
[https://doi.org/10.24778/jjser.34.1\\_15](https://doi.org/10.24778/jjser.34.1_15)

- 10) Sadayuki, T. and Arimura, T. H.: *Energy Economics*, 104, 105664, 1-15 (2021)  
Do regional emission trading schemes lead to carbon leakage within firms? Evidence from Japan. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105664>
- 11) Schauer, C., Elsas, R. and Breitkopf, N.: *Journal of Banking & Finance*, 101, 270-295 (2019)  
A new measure of financial constraints applicable to private and public firms. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2019.01.008>
- 12) 矢島猶雅・有村俊秀：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア—カーボンニュートラル社会のための制度と技術，第5章，81-95（2022）  
カーボンプライシング制度下で省エネ対策はどのように進んだか—埼玉県目標設定型排出量取引制度の事例から
- 13) Yajima, N. and Arimura, T. H.: *Energy Economics*, 114, 106253 (2022)  
Promoting energy efficiency in Japanese manufacturing industry through energy audits: Role of information provision, disclosure, target setting, inspection, reward, and organizational structure. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106253>
- 14) 楊心悅・有村俊秀：WINPEC Working Paper Series, J2205, Waseda Institute of Political Economy, Waseda University, 1-15（2023）  
埼玉県排出量取引制度が事業所エネルギー消費及び経済パフォーマンスに対する影響研究。  
<https://www.waseda.jp/fpse/winpec/assets/uploads/2023/03/J2205.pdf>
- 15) Lu, G., Sadayuki, T. and Arimura, T. H.: WINPEC Working Paper Series, E2217, Waseda Institute of Political Economy, Waseda University, 1-32 (2023)  
Does Emissions Trading Scheme Induce Innovation and Carbon Leakage? Evidence from Japan. <https://www.waseda.jp/fpse/winpec/assets/uploads/2023/03/E2217.pdf>
- 16) Arimura, T. H. and Sugino, M.: *Asian Economic Policy Review*, 16, 44-61 (2021)  
Energy-Related Environmental Policy and its Impacts on Energy Use in Asia. <https://doi.org/10.1111/aepr.12319>
- 17) 有村俊秀・杉野誠：環境経済・政策研究，13(2)，70-74（2020）  
アジアにおける脱炭素社会に向けた国際協力の可能性—カーボンプライシング・市場メカニズムの視点—。 [https://doi.org/10.14927/reeps.13.2\\_70](https://doi.org/10.14927/reeps.13.2_70)
- 18) Sugino, M., Arimura, T. H. and Morgenstern, R. D.: *Energy Policy*, 62, 1254-1267. (2013)  
The effects of alternative carbon mitigation policies on Japanese industries. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.074>
- 19) 有村俊秀・蓬田守弘・川瀬剛志編：地球温暖化対策と国際貿易—排出量取引と国境調整措置をめぐる経済学・法学的分析，東京大学出版会（2012）
- 20) Takeda, S. and Arimura, T. H.: *Sustainability Science*, 16(2), 503-521 (2021)  
A computable general equilibrium analysis of environmental tax reform in Japan with a forward-looking dynamic model. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00903-4>
- 21) Takeda, T., Arimura, T. H., Tamechika, H., Fischer, C. and Fox, A. K.: *Environmental Economics and Policy Studies*, 16(1), 89-110 (2014)  
Output-Based Allocation of Emissions Permits for Mitigating the Leakage and Competitiveness Issues for the Japanese Economy. <https://doi.org/10.1007/s10018-013-0072-8>
- 22) 有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著）：カーボンプライシングのフロンティア—脱炭素社会のための制度と技術，日本評論社（2022）
- 23) Arimura, T. H., and Abe, T.: *Environmental Economics and Policy Studies*, 23, 517-533 (2021)  
The impact of the Tokyo emissions trading scheme on office buildings: what factor contributed to the emission reduction? <https://doi.org/10.1007/s10018-020-00271-w>

## II-2 【サブテーマ2】地域 CGE モデルを用いた CP 制度の分析

京都産業大学 経済学部 武田史郎

### 【要旨】

サブテーマ2では、「地域 CGE モデルによる CP 導入の地域別の分析」（テーマ2-1）、「CGE モデルによる燃料税改革と CP 導入の分析」（テーマ2-2）二つのテーマを扱っている。

炭素税や排出量取引制度のようなカーボンプライシング（以下、CP）が効率的に温室効果ガスを削減する手段として注目をされている。どのような形で CP を導入していくべきかが既存のシミュレーション研究（CGE 分析による研究）でも分析されているが、それらのほとんどは日本全体を一つの地域として扱ったモデルを利用している。しかし、1) 地域によって生産構造が異なる、2) 地域によって消費構造が異なる、3) 地域によって発電の電源構成が異なるなどの理由から、温暖化対策の効果は、国内のどの地域かによって大きく変わる可能性があり、CP のような効率的な政策手段であっても、それが地域間で公平な影響をもたらすかは不明である。そこで、テーマ2-1として、日本における CP の導入が日本の各地域にどのような経済的影響をもたらすかを、日本を複数の地域に分割した CGE モデルによるシミュレーションで分析する。

テーマ2-2では、既存の燃料税の改革と CP の導入の組み合わせを分析する。日本には既に多数の燃料税が存在しているが、テーマ2-1の分析では地域間産業連関表というデータの制限のため、既存の燃料税の存在を明示的には考慮していない。既存の燃料税は CO<sub>2</sub> を削減する効果はあるが、炭素税と比較し、非効率的な方法である。そこでテーマ2-2として、既存の燃料税の改革（燃料税の撤廃）と炭素税を組み合わせるといふ政策を分析する。燃料税改革の有無が経済的影響にどのような差を生むかを明らかにした上で、燃料税改革と CP の望ましい在り方について明らかにする。

分析からは以下のような結果、考察が導かれた。まず、テーマ2-1の分析からは、CP 導入による経済的負担が地域間で大きく異なる可能性が高いということがわかった。さらに、炭素税収の分配方法が家計の所得に強い影響を与えることもわかった。以上の結果は、CP の導入の際には地域間の負担の格差を是正する政策も同時におこなうべきということと、炭素税収の分配方法を上手く設計することで地域間の負担の格差を是正することができるということを示唆している。

テーマ2-2の分析からは、CP を導入する際に既存の燃料税を考慮して、（税に関する）実効炭素価格が均一になる形で炭素税を導入する、つまり、燃料税改革型の炭素税の導入によって経済的な負担が軽くなるということがわかった。現在の温暖化対策の議論では新たな CP の導入が主な政策オプションとして認識されているが、以上の結果は CP 導入の際には既存の燃料税の改革もセットで考慮すべきということを示している。

### 1. 研究開発目的

サブテーマ2ではその中で研究内容を大きく二つに分けている。それぞれをテーマ2-1、2-2として、順にその研究開発目的を説明する。

#### 【テーマ2-1：地域 CGE モデルによる CP 導入の地域別の分析】

日本は温室効果ガス（greenhouse gas、以下、GHG）の排出量を2030年までに2013年比で46%削減し、2050年までにネットでゼロにするという目標を持っている。しかし、その目標をどのような政策手段によって達成していくかは今後の課題となっている。GHG削減の政策手段の選択は、様々な基準を考慮して決定すべきものであるが、その基準の一つが経済的な影響である。温暖化対策（GHGの削減）は、これまで比較的自由であった化石燃料の利用に一定の制約を課すことを意味するので、経済活動を抑制する効果を持ち、その結果、経済的な負担をもたらすことになる。そのため、経済的な観点からは、できる限り経済的負担を小さくする政策手段を用いることが望ましいと言える。そのような政策手段を検討するには、GHG削減手段の経済的影響を事前的、かつ定量的に分析する必要があるが、そのためのアプローチの一つが「応用一般均衡分析（computable general equilibrium analysis、以下 CGE 分析）」であ

る。CGE 分析は、ミクロ経済学で利用される一般均衡モデルとデータを組み合わせたシミュレーションの手法であり、個々の財の価格・生産量への効果など、個々の経済主体への影響を分析できると同時に、GDP (gross domestic product、国内総生産) や所得など経済全体への効果も分析することが可能である。

温暖化対策の分析でも CGE 分析は幅広く用いられており、世界各国の様々な研究者、研究機関が独自の CGE モデルを利用して温暖化対策、特に CP 政策の分析を行っている。筆者もこれまで CGE モデルを用いて CP の分析を行ってきた<sup>1) 2) 3) 4)</sup>。これらの既存の分析では、日本全体を一つの地域として扱い、CP の国全体への影響を分析することが多い。しかし、CP の効果は、同じ国の中であってもどの地域かによって大きく変わる可能性がある。第一に、地域によって生産構造が異なるためである。GHG 削減では、CO<sub>2</sub> を大量に排出するエネルギー集約産業が重要な意味を持つが、日本ではエネルギー集約産業の地域的な分布に偏りがある。第二に、消費構造が地域によって異なるためである。化石燃料を多く消費している地域は GHG 削減の影響を強く受けやすいが、日本では寒冷地で暖房用の化石燃料消費が多い傾向にあり、さらに公共交通機関の普及が進んでいない地域では自動車用の燃料消費が多くなる。そして、第三に、地域間で発電の電源構成も異なるからである。GHG 削減に際しては、火力発電への依存度が高い地域が影響を受けやすいが、地域間で火力発電依存度には大きな差がある。以上のような地域間の差により、CP の経済的影響に大きな差が生じうる。

CP が地域間で大きく異なる経済的影響をもたらすとすると、それは政策立案において考慮すべき重要な点であると考えられる。そこで、サブテーマ 2-1 では日本における CP (具体的には炭素税) の導入が日本の各地域にどのような経済的影響をもたらすかを CGE モデルによるシミュレーションで分析する。2011 年の 47 都道府県間表のデータを利用し、日本を 10 地域に分割した静的な CGE モデルを構築した上で、CO<sub>2</sub> 排出量を 20%削減するという炭素税の導入を想定し、それが各地域の CO<sub>2</sub> 排出量、生産、所得などに与える影響を分析する。その上で、CP 導入が日本の各地域に与える影響を公平性という観点から考察する。

#### 【テーマ 2-2 : CGE モデルによる燃料税改革と CP 導入の分析】

サブテーマ 2 のもう一つのテーマは燃料税改革の分析である。テーマ 2-1 で炭素税 (CP) の導入の効果を分析したが、日本には既に暗示的炭素価格と言える多数の燃料税が存在している。2-1 の分析では、そのような既存の燃料税を明示的には扱わずに、新たな CP を導入するという政策を想定した。燃料税は暗示的炭素価格であることから CO<sub>2</sub> 削減の効果がある。しかし、CO<sub>2</sub> 削減という観点からは、全ての CO<sub>2</sub> 排出に対して一律の炭素税を適用することが最も効率的だと考えられている。既存の燃料税は CO<sub>2</sub> 当たりの税率が燃料ごとに異なっているため、既存の燃料税を残したまま、炭素税を導入することは非効率な政策になっている可能性がある。

そこでテーマ 2-2 として、既存の燃料税を改革するタイプの炭素税 (税に関する実効炭素価格の均等化) の導入を分析する。燃料税改革の有無が経済的影響にどのような差を生むかを明らかにした上で、燃料税改革と CP の望ましい在り方について明らかにする。

## 2. 研究目標

地域 CGE モデルによるシミュレーションにより、CP 導入、および燃料税改革が日本各地域の CO<sub>2</sub> 排出量、および経済活動に与える影響を定量的に明らかにする。その上で地域間格差への影響について分析し、必要であれば是正策を提示する。

## 3. 研究開発内容

テーマ 2-1、2-2 の順で研究開発内容を記載する。まとめて書き、最後にどの部分をどの年度に行ったかを説明する。

### 3.1 テーマ 2-1：地域 CGE モデルによる CP 導入の地域別の分析

以下では、テーマ 2-1 でおこなうシミュレーション（CGE 分析）について説明する。

#### 3.1.2 基準データの説明

CGE 分析では、ある年のデータの下で経済が均衡状態になっているという前提で分析がおこなわれる。そのデータ（基準データ）には、「（株）三菱総合研究所、（株）ケー・シー・エス、南山大学石川良文研究室の共同作成による 47 都道府県間表（37 部門表）」を利用する。ただし、元のデータの 47 地域、37 部門を 10 地域、19 財に統合して利用している。表 2.1 が財の分類、表 2.2 が地域の分類である。

電力部門については、さらに「火力発電」、「水力発電」、「原子力発電」、「再エネ発電」の 4 つに分割しているが、それには『電力事業便覧（平成 24 年版）』の一般電気事業者の発電データの情報を利用している。また、CO<sub>2</sub> 排出量は、産業連関表の 2011 年全国表と 3EID データから 4 つの排出源財の排出係数を導出し、その排出係数を 47 都道府県間表に適用して CO<sub>2</sub> 排出量を導出している。

地域の分類は表 2.2 の通りであるが、これは電力会社（10 電力）の分類に従ったものである。現在、電力自由化が進み、以前の 10 電力という区切りが持つ実質的な意味は低下してきているが、今回は 2011 年のデータを用いることから、この分類を採用している。

表 2.1 財の分類

統合後の部門		統合前の部門		統合後の部門		統合前の部門	
1 農林水産業	農林水産業	11 電気機械	電気機械	12 輸送機械	輸送機械		
2 化石燃料	化石燃料（石炭・原油・天然ガス）					繊維製品、パルプ・紙・木製品、プラスチック・ゴム、窯業・土石製品、金属製品、情報・通信機器、その他の製造工業製品	
3 その他の鉱業	その他の鉱業	13 その他の製造業		14 建設	建設		
4 飲食料品	飲食料品	15 電力	電力（部門としては、火力、水力、原子力、再エネの4部門）	16 ガス・熱供給	ガス・熱供給		
5 化学	化学	17 商業	商業	18 運輸・郵便	運輸・郵便		
6 石油製品	石油製品	19 その他サービス	水道、廃棄物処理、金融・保険、不動産、情報通信、公務、教育・研究、医療・福祉、その他の非営利団体サービス、対事業所サービス、対個人サービス、事務用品、分類不明				
7 石炭製品	石炭製品						
8 鉄鋼	鉄鋼						
9 非鉄金属	非鉄金属						
10 一般機械	はん用機械、生産用機械、業務用機械、電子部品、電気機械						

表 2.2 地域の分類

地域	含まれる都道府県
1 北海道	北海道
2 東北	青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県
3 関東	茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県
4 北陸	新潟県、富山県、石川県
5 中部	長野県、静岡県、岐阜県、愛知県、三重県
6 近畿	福井県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県
7 中国	鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県
8 四国	徳島県、香川県、愛媛県、高知県
9 九州	福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県
10 沖縄	沖縄県

### 3.1.3 モデルの説明

以下で、分析に利用している CGE モデルについて説明する。基本的にモデルは Yamazaki and Takeda (2013)<sup>9)</sup>のモデルを改良したものを利用している。図 2.1 は、モデルにおける財・サービス、お金の流れを表現した概念図である。

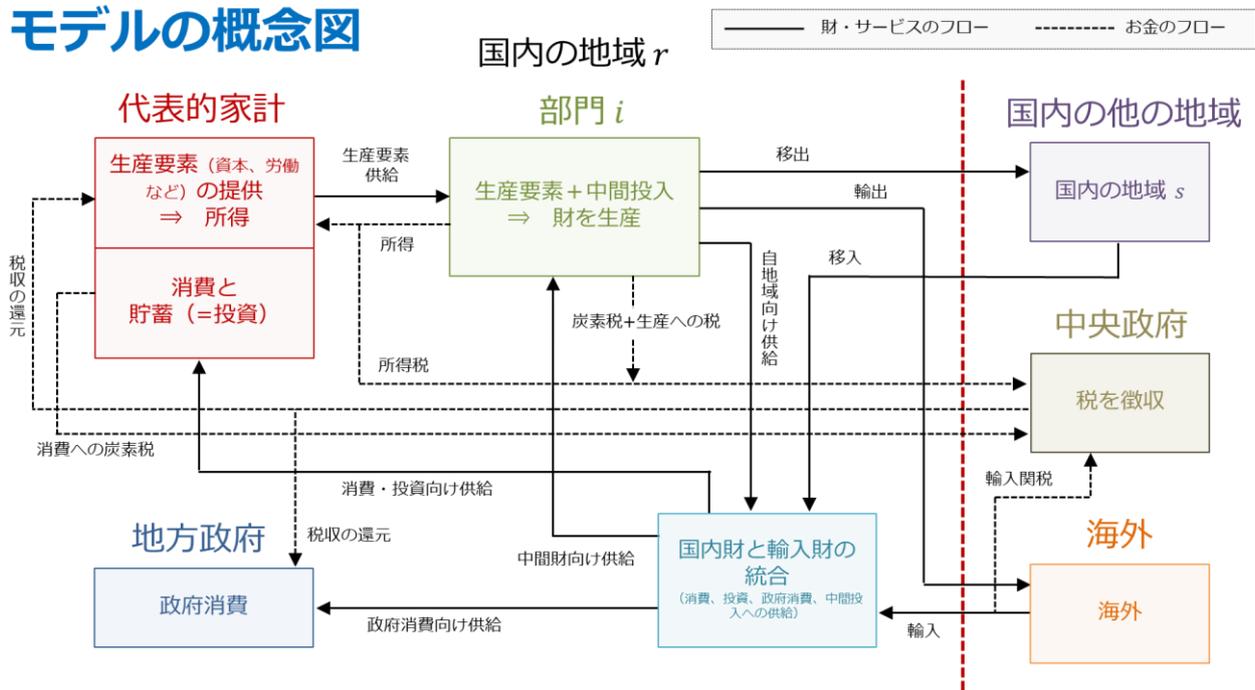


図 2.1 モデルにおける財・サービスとお金の流れ

#### 【生産サイド】

温暖化対策を分析する多くの CGE モデルと同様に、全ての市場は完全競争で、価格が伸縮的に調整され、均衡すると想定する。各部門は多段階の CES 関数で表される生産関数を持ち、利潤を最大にするよう生産物、投入物の量を決定する。投入物には中間財と生産要素（労働、資本、土地、天然資源）がある。22 の部門を以下の 4 つのタイプに分割し、タイプ別に異なる生産関数を想定している：1) 一般的な部門、2) 石炭・原油・天然ガス部門、3) 農林水産業部門、4) 4 つの電力部門。

#### 【モデルのその他の要素】

モデルでは各地域に一つの代表的家計が存在していると仮定する。この代表的家計は生産要素を保有し、それを生産部門に提供することで（生産）要素所得を得て、消費と貯蓄に振り分ける。家計の効用は消費と貯蓄に依存し、消費（とその内訳）と貯蓄の水準は、効用を最大化するように決定される。家計の貯蓄によって投資がファイナンスされる。

政府には各地域の政府と中央政府があるが、前者は政府消費の支出を行うのみである。その政府消費の水準は基準均衡の値に固定する。一方、中央政府は徴収した税金を各地域に割り振るという役割のみを果たす。炭素税を導入した場合には、炭素税収も生じるが、これも中央政府が各地域に分配する。

国際間の取引（貿易）については、日本のみを明示的に扱う小国モデルを仮定している。各財の輸出入の量は変化するが、多くの小国 CGE モデルと同様に、貿易収支が基準年の値に常に等しくなるように為替レートが調整されると仮定している。また、多くの CGE モデルと同様に、同じ財であっても国内財と輸入財は不完全代替であるという Armington 仮定を置いている。

#### 【排出規制】

モデルでは「化石燃料」、「石油製品」、「石炭製品」、「ガス・熱供給」の 4 つの財の消費・利用から CO<sub>2</sub> が排出される。CO<sub>2</sub> を削減する政策には明示的 CP の一つである炭素税を想定する。ここでは、CO<sub>2</sub> 削減率をターゲットとして外生的に設定し、その削減率が実現されるように炭素税率を調整すると

いう方法をとっている。炭素税は全ての CO<sub>2</sub> 排出源財が対象で、全国どの地域でも共通の税率が適用されるとする。

ターゲットとする削減率としては基準年（2011 年）の排出量から 20%削減という値を想定している。日本は 2030 年までに 2013 年比 46%の削減、2050 年までに排出量をゼロにするという目標を持っている。この政策目標をそのまま分析することも一つの選択肢であるが、ここでのモデルは、静学モデルで、かつ技術進歩などの要素を考慮していないということで、長期的な視野の分析には適していない。そこで、今回は短期を分析するということを想定し、20%という低めの削減率を選択している。

### 3.1.4 分析するシナリオ

炭素税という政策を利用する際には、その税収の用途が重要なポイントとなる。様々な用途が考えられるが、ここでは炭素税収は各地域の家計に分配すると想定する。ただし、その分配の方法として複数のシナリオを想定する。具体的には表 2.3 の 4 つのシナリオを想定する。

表 2.3 シナリオ

シナリオ	削減方法	炭素税収の分配
ST	日本全体で 20%削減	炭素税収は人口比に応じて地域に分配
STA	日本全体で 20%削減	炭素税収は徴収した地域に分配
STE	日本全体で 20%削減	炭素税収は一人当たりの所得の変化が均等化するように分配
SRA	各地域で 20%削減	炭素税収は徴収した地域に分配

ST は炭素税収を人口シェアに応じて、各地域に振り分けるというシナリオである。この場合、人口一人当たりの炭素税収の分配額がどの地域でも等しくなるので、ある意味公平な分配方法と言える。一方、STA は税を徴収した地域にそのまま分配するというシナリオである。「支払う地域＝税収を受け取る地域」となるので、ST とは異なった意味でこれも公平な方法と言える。

ST や STA というシナリオでは、各地域の家計の負担（各地域の家計の所得の変化）に差が生じる可能性がある。そこで、シナリオ STE では各地域の家計の負担が等しくなるように、炭素税収の分配額を調整するというシナリオを想定する。具体的には、各地域の家計の一人当たり所得の変化額が等しくなるように税収の分配を調整している。

ここまでのシナリオでは、どの地域に対しても一律の炭素税率を設定し、日本全体として CO<sub>2</sub> 排出量を 20%削減するという想定であった。しかし、このような想定の下では、地域によって CO<sub>2</sub> 削減率に大きな差が生じる可能性がある。そこで、SRA では各地域で 20%ずつ CO<sub>2</sub> 排出量を削減するというシナリオを考えている。このシナリオでは炭素税収は STA と同様の処理をしている。シミュレーションでは、炭素税導入の CO<sub>2</sub> 排出量、一人当たり域内総生産、一人当たり所得、各部門の生産などへの影響を分析している。

### 3.1.5 テーマ 2-1 についての研究の進捗

テーマ 2-1 については、まず令和 2 年度にデータとモデルの構築の作業をおこなった。令和 3 年度にも引き続きデータとモデルの構築の作業を進め、その上で試行的なシミュレーションをおこなった。令和 4 年度には前年度までに作成したデータとモデルを利用して、シミュレーション分析をおこなった。

## 3.2 テーマ 2-2：「CGE モデルによる燃料税改革と CP 導入の分析」

次にテーマ 2-2 のシミュレーション方法について説明する。

### 3.2.1 CGE モデル

テーマ 2-2 の燃料税改革の分析にも CGE モデルを利用する。ただし、テーマ 2-2 については、テーマ 2-1 で利用したような日本を複数地域に分割した地域 CGE モデルではなく、日本全体を一つの地域とし

た CGE モデルを利用する。地域 CGE モデルでは地域間産業連関表をデータとして利用するが、そこではエネルギー財がかなり統合されてしまっており 5 種類にしか分かれていない（「化石燃料」、「石油製品」、「石炭製品」、「電力」、「ガス・熱供給」のみ）。一方、産業連関表の全国表ではエネルギー財は 16 財と非常に細かく分割されている。現実の燃料税（エネルギー税）をできる限り正確にモデルに組み込むためには、全国表レベルのデータを利用する必要がある。そこで、テーマ 2-2 ではモデルも国全体のモデルを利用することにした。シミュレーションの基準データには 2015 年の日本の産業連関表（全国表）を利用し<sup>6)</sup>、CO<sub>2</sub> 排出量には 2015 年の 3EID データ<sup>7)</sup>を利用している。モデルには Takeda and Arimura (2021)のモデルを修正したモデルを利用している。

### 3.2.2 既存の燃料税

分析では、既存の燃料税（エネルギー税）として、「揮発油税」、「軽油引取税」、「石油ガス税」、「航空燃料税」、「石油石炭税（地球温暖化対策のための税を含む）」、「電源開発促進税」を考慮している。税のデータには基本的に国税庁のデータを利用しているが、軽油引取税のみ地方税であるので、総務省のデータを利用している。産業連関表では「間接税」や「輸入品商品税」の項目に他の税とともにまとめられてしまっている上記の燃料税を分離し、独立した税としてモデルでは扱うようにしている。

### 3.2.3 分析するシナリオ

シミュレーションでは表 2.4 の 2 つのシナリオを分析している。どちらのシナリオもテーマ 2-1 のときと同様に、炭素税の導入によって日本全体の CO<sub>2</sub> 排出量を 20%削減するという前提であるが、E20 は既存の燃料税をそのまま残したまま炭素税を導入する形を想定する一方、C20 ではモデル上では既存の燃料税を全て撤廃した上で炭素税を導入している。これにより税に関して実効炭素価格が均等化される。

表 2.4 分析するシナリオ

記号	シナリオ
E20	既存の燃料税を維持したまま、炭素税を導入し、CO <sub>2</sub> を20%削減するシナリオ
C20	既存の燃料税を撤廃した上で、炭素税を導入し、CO <sub>2</sub> を20%削減するシナリオ

### 3.2.4 テーマ 2-2 についての研究の進捗

テーマ 2-2 については、令和 3 年度にまずデータの構築の作業をおこなった。そして、令和 4 年度にシミュレーション分析をおこなった。

## 4. 結果及び考察

### 4.1 テーマ 2-1 の結果と考察

#### 【炭素税率と CO<sub>2</sub> 排出量】

まず、テーマ 2-1 のシミュレーション分析から得られた結果を説明したい。図 2 の左側は各シナリオにおける炭素税率の水準（円/トン）のグラフである。ST、STA、STE は全国一律の税率を設定するシナリオであるので全国での水準しかない。この 3 つのシナリオでは炭素税率は「約 17,000 円/トン」となっており、3 つのシナリオの間での差は小さい。これは炭素税収の分配方法の違いは削減に必要な炭素税率にほとんど影響を与えないということを意味している。一方、地域ごとに炭素税率を変更する SRA では、最低の北海道で「8,710 円」となる一方、最高の沖縄で「29,895 円」となっているように、地域によって炭素税率が大きく異なってくる。この結果は地域間で削減の限界費用に大きな差が存在することを示している。

図 2.2 の右側は各地域の CO<sub>2</sub> 排出量の減少率（%）である。SRA では全地域で一律 20%の削減であったが、ST、STA、STE では地域によって削減率が変わってくる。シナリオ ST では北海道の削減率が約 34%となるのに対し、北陸では約 6%と、同じ炭素税率に直面していても地域間で削減率が大きく異なってくるのがわかる。一方、ST、STA、STE における CO<sub>2</sub> 排出量の減少率にほとんど差はないので、炭

素税収の分配方法の違いは CO<sub>2</sub> 排出量に対してもほとんど影響しないことがわかる。

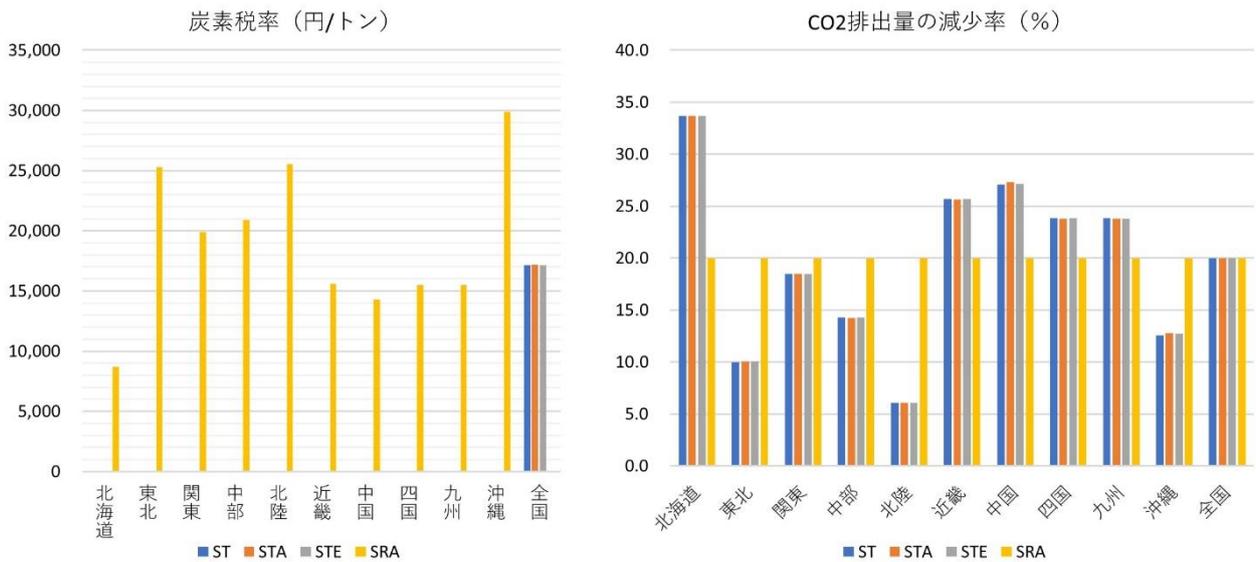


図 2.2 炭素税率 (円/トン) と CO<sub>2</sub> 排出量の減少率 (%)

#### 【一人当たり GRP と一人当たり所得】

以上のように、地域間で削減率に大きな差が出ることから、炭素税の経済的影響も地域によって大きく変わってくることが予想される。それを確認するため、以下では各地域の「一人当たり域内総生産 (gross regional products、以下 GRP)」と「一人当たり所得」への影響を見ることにする。GRP はその地域の生産活動の水準を表現する指標であるので、GRP を見ることで生産活動への影響を見ることができる。一方、ここでの所得とは「家計の可処分所得 (=消費額+貯蓄額)」を指している。家計は所得の多くの部分を生産からの要素所得 (労働所得や資本所得など) として得ているので、生産水準と家計の所得の水準はある程度連動する。しかし、所得については政府からの移転所得も関係してくるので、必ずしも GRP と一致して動くわけではない。特に、今回の炭素税のシミュレーションでは中央政府が徴収した炭素税収を各地域の家計に分配するという想定をしており、その分配の仕方によって家計の所得への影響が大きく変わりうる。生産側ではなく、家計側に対する影響を見るために、ここでは所得への影響にも着目している。

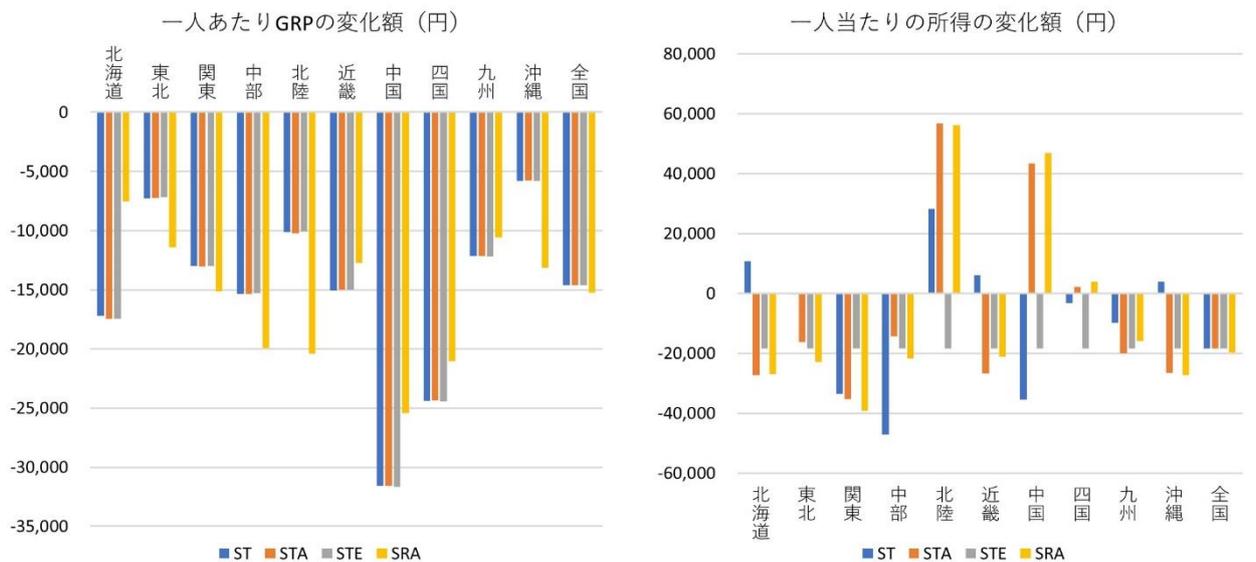


図 2.3 一人あたり GRP の変化額と一人当たり所得の変化額

図 2.3 の左側は、各地域の「一人当たり GRP」の変化額（円）を表している。まず、全ての地域の値がマイナスになっており、どの地域でも一人当たり GRP が減少していることがわかる。CP の導入は基本的に各地域の生産活動を抑制する効果を持つということである。また、炭素税率、CO<sub>2</sub> 排出量と同様に、ST、STA、STE の 3 つのシナリオの間で一人当たり GRP への影響はほとんど変わらないことがわかる。そして、注目すべき点は、どのシナリオでも一人当たり GRP の減少幅に地域間で非常に大きい差があるということである。例えば、シナリオ ST では減少幅が最大の中国と最小の沖縄で約 5.4 倍もの差がある。これは CP の導入に伴う個々の地域の経済的負担に非常に大きな差が生じることを示唆している。

シナリオ SRA では、どの地域でも 20% ずつ CO<sub>2</sub> を削減する。よって、個々の地域の負担に大きな差が生じにくいと考えられる。結果を見ると、確かに ST～STE よりも地域差は小さくなっているが、それでも大きな地域差が生じている。これは、単に削減率を同じにするだけでは、CP の負担における格差を解消することが難しいことを意味している。

次に、各地域の家計の「一人当たり所得」への影響を確認しよう。図 2.3 の右側に各地域の家計の「一人当たり所得」の変化額（円）を掲載している。国全体として家計の所得が減少する結果となっており、この点は GRP への影響と同じであるが、一人当たり所得は地域によっては増加するところもあり、一人当たり GRP 以上に地域間の差が大きいことが確認できる。例えば、シナリオ ST では、「北陸」で 26,306 円増加する一方、「中部」では 45,540 円減少しており、その差は「71,846 円」に及ぶ。一人当たり所得への影響という点では、炭素税導入がもたらす地域間格差は一層大きいということが確認できる。

また、一人当たり GRP とは異なり、一人当たり所得では、ST、STA、STE の 3 つのシナリオの間でも影響が大きく異なっている。これは、炭素税収の分配方法により所得への効果が大きく変わることを意味する。特に、シナリオ STE では全ての地域の所得変化額が均等化しており、炭素税収の分配を上手く調整することで、各地域の家計の負担を均等化することが可能であることがわかる。

#### 4.2 テーマ 2-2 の結果と考察

次にテーマ 2-2 の分析結果について説明する。表 2.5 はシナリオ E20 と C20 の結果を掲載したものである。初期時点とは炭素税が導入される前の時点であり、利用しているデータの年である 2015 年時点を指す。特に単位の明記がない数値は初期時点からの変化率（%）を表している。「所得」は国全体としての家計の所得を表し、消費、投資、輸出、輸入も全て国全体としての値である。

表 2.5 シミュレーション結果

	初期時点	E20	C20
CO <sub>2</sub> 排出量 (MtCO <sub>2</sub> )	1,222	978	978
CO <sub>2</sub> 排出量	0.00	-20.00	-20.00
炭素税率 (円/トン)	0	3,879	6,397
燃料税収 (10億円)	4,731	4,563	0
炭素税収 (10億円)	0	3,794	6,256
所得		-0.26	0.04
GDP		-0.12	0.01
消費		-0.26	0.04
投資		0.05	-0.20
輸出		-1.40	-0.09
輸入		-1.29	-0.07

注：単位の明記がない数値は初期時点からの変化率（%）

シナリオ E20 では炭素税率は 3,879 円/トンという水準となり、燃料税の税収と新たに導入された炭素税の収入を合わせると 8 兆 3,570 億円となる。所得と GDP は初期時点の値よりもそれぞれ 0.26%、0.12% 減少する。炭素税を導入することで初期時点よりも 20% も CO<sub>2</sub> を削減しているため、所得や GDP が減少することはある意味当然の結果である。

一方、C20 では炭素税率は 6,397 円/トンとなり、E20 よりも大幅に高い水準となる。C20 では既存の燃料税を撤廃しており、それは CO<sub>2</sub> 排出を増加させる効果を持つため、同じ 20%削減という条件であっても C20 の方が必要な炭素税率の水準は高くなる。炭素税収は 6 兆 2,560 億円となり、初期時点での燃料税収よりも少なくなる。

C20 で注目すべき点は、20%も CO<sub>2</sub> を削減しているにもかかわらず、所得や GDP が初期時点よりも増加するという点である。これは既存の燃料税が CO<sub>2</sub> を削減するという観点からは非常に非効率な仕組みになっているということであり、燃料税を炭素税に置きかえることによる効率性改善の効果が CO<sub>2</sub> 削減のマイナスの効果をむしろ上回るということである。この結果は、CO<sub>2</sub> を削減するという政策目標を達成するのなら、既存の燃料税を残したまま新たに炭素税を導入するのではなく、効率的に CO<sub>2</sub> を削減できる炭素税に全て置き換えることが望ましいということを示している。

テーマ 2-1 では、炭素税導入の地域別の効果を分析した。しかし、ここでは既存の燃料税のことは考慮せずに、新たに炭素税を導入しており、いわばシナリオ E20 のような政策になっている。このテーマ 2-2 の分析結果は、既存の燃料税をそのまま残すのではなく、撤廃した上で炭素税を利用することで、全体としての経済負担を軽減することができるということを示しており、実際、上のシミュレーションでは CO<sub>2</sub> を削減するにもかかわらずむしろ GDP や所得が増加するという結果となっている。以上のような結果が成り立つのであれば、増加した分の GDP や所得を再分配することで地域間の格差を縮小することも可能になる。このような意味で、炭素税導入と燃料税改革を組み合わせるといふ政策は、CO<sub>2</sub> を削減しつつ、地域間の公平性を改善する政策にもなりうる。

#### 4.3 サブテーマ 2 の結果と考察（まとめ）

テーマ 2-1 では、日本を複数地域に分割した CGE モデルを利用し、炭素税導入の経済的影響を地域別に分析した。ここでは以下のような結果を得ることができた。まず、炭素税導入の一人当たり GRP、一人当たり所得への影響は地域間で大きく異なることがわかった。特に、一人当たり所得については、増加する地域もあることから、地域間で差が非常に大きい。以上の結果は、CP 導入による経済的負担が地域間で大きく異なる可能性が高いということを示唆している。

第二に、炭素税収の分配方法を変更しても、一人当たり GRP への影響はほとんど変わらないが、一人当たり所得への影響が大きく変わってくるということがわかった。これは、炭素税収を適切に分配することで、家計の負担を地域間で均等（公平）にできるということである。

以上の結果は次のような政策的な含意につながる。まず、CP 導入の経済的負担が地域間で非常に大きく異なる可能性が高いという結果が出たが、このように居住している地域により経済的負担が大きく異なるというのは公平性の観点から望ましくないと思われる。従って、CP を導入するのであれば、それがもたらす可能性が高い地域間格差を是正する対策も同時に検討するべきである。

第二に、炭素税のような政府に収入が生じる CP 政策を利用するのなら、その税収の利用方法が非常に重要な意味を持つということである。シミュレーションでは、税収を家計に適切に再分配することで、（生産における格差は解消することはできないが）家計の所得における格差を解消できるという結果が出た。現実にはシミュレーションのように簡単には再分配はできないが、CP の税収の用途を上手く設計することが地域間格差の是正に大きく寄与する可能性があるということは確かであるので、CP の制度設計においてその点を今後深く検討していくべきだと思われる。

テーマ 2-2 では、CP（炭素税）導入と燃料税の改革の組み合わせという政策の効果を分析した。温暖化対策として炭素の導入が検討されているが、既に日本には多数のエネルギー関連税が存在しており、それらの既存の税と新たな炭素税をどのように組み合わせるべきかが課題になっている。テーマ 2-2 の分析の結果、同じだけ CO<sub>2</sub> を削減するとしても、既存の燃料税に加えて炭素税を導入するのではなく、燃料税を撤廃してから炭素税を導入することで、むしろ GDP や所得を増加させることができるということがわかった。GDP や所得が増加するということは、地域間の経済格差を小さくするような再分配政策も可能になるということである。従って、単なる CP の導

入だけではなく、既存の燃料税の改革ということも検討すべき重要な政策オプションとなる。現在の温暖化対策の議論では新たなCPの導入が主な政策オプションとして認識されているが、本研究の分析は、CP導入に際しては既存の燃料税の改革もセットで考慮すべきということを示唆している。

## 5. 研究目標の達成状況

研究目標としていた、「CP導入の経済的影響を地域別に分析する」という点を達成できた。また、「燃料税改革の分析」も達成できた。ただし、燃料税改革については、既存の燃料税をより正確に反映するために、日本全体を対象としたシミュレーション分析とした。上記の分析の結果を反映した上で、地域格差の是正策も提案することができた。市村清新技術財団から市村地球環境学術賞（功績賞）を受賞できたこともあり、目標を上回る成果をあげることができたと考える。

## 6. 引用文献

- 1) Takeda, S.: *Journal of the Japanese and International Economies*, 21(3) 336-364 (2007)  
The double dividend from carbon regulations in Japan. <https://doi.org/10.1016/j.jjie.2006.01.002>
- 2) Takeda, S., Arimura, T. H., Tamechika, H., Fischer, C., Fox, A.K.: *Environmental Economics and Policy Studies*, 16, 89–110 (2014)  
Output-based allocation of emissions permits for mitigating the leakage and competitiveness issues for the Japanese economy. <https://doi.org/10.1007/s10018-013-0072-8>
- 3) Takeda, S., Arimura, T. H., Sugino, M.: *Environmental and Resource Economics*, 74, 271–293 (2019)  
Labor Market Distortions and Welfare-Decreasing International Emissions Trading. <https://doi.org/10.1007/s10640-018-00317-4>
- 4) Takeda, S., Arimura, T. H.: *Sustainability Science* 16, 503–521 (2021)  
A computable general equilibrium analysis of environmental tax reform in Japan with a forward-looking dynamic model. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00903-4>
- 5) Yamazaki, M., Takeda, S.: *Journal of Integrated Disaster Risk Management*, 3, 36–55 (2013)  
An assessment of nuclear power shutdown in Japan using the computable general equilibrium model. <https://doi.org/10.5595/idrim.2013.0055>
- 6) 南齋規介・森口祐一・東野達：産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）2015年，国立環境研究所，（2018）。
- 7) 総務省（編）：平成27年（2015年）産業連関表—総合解説編—，（2020）。[https://www.soumu.go.jp/toukei\\_toukatsu/data/io/015index.html](https://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/015index.html).

## II-3 【サブテーマ3】地域産業連関分析を用いた燃料税改革の分析

法政大学 人間環境学部 杉野誠

### 〔要旨〕

本テーマでは、2005年以降作成されていない地域間産業連関表の作成を行い、エネルギー起源CO<sub>2</sub>のデータとリンクさせ、環境分析用地域間産業連関表を開発した。そして、開発した地域間産業連関表を用いて、カーボンプライシング政策の短期的な影響を分析した。地域によって主産業が異なるため、CPの影響は全国一律にならない可能性がある。エネルギー集約的な産業が多く集積している地域ほど、CPの負担が大きくなることが予想され、生産活動が縮小し地域経済に大きな悪影響が及ぶ恐れがある。過度な費用負担を軽減する方法として、既存エネルギー税を考慮した（実効炭素税率）CPや雇用調整助成金など雇用維持を前提とした措置が考えられる。

また、本テーマでは、単純な新規CP政策導入による影響を分析し、短期的な費用負担軽減措置の有効性を検証した。分析結果から以下の3点が明らかとなった。第1に、地域間の負担の不均衡よりも産業間の負担の不均衡の方が大きいことが明らかとなった。第2に、実効炭素税率を用いることで、CPの影響を一部軽減できる。第3に、雇用調整助成金の効果は大きく、短期的な費用負担を軽減することが明らかとなった。

### 1. 研究開発目的

CPがもたらす短期的な費用負担の地域間不均衡を是正する政策オプションの提示とともにその効果を明らかにする。また、地域循環共生圏における農村部と都市部それぞれの役割を明らかにする。さらに、産業間の不均衡を是正する政策オプションの提示とともにその有効性を明らかにする。

### 2. 研究目標

CPがもたらす短期的な費用負担の地域間不均衡を是正する政策オプションの提示とともにその効果を明らかにする。また、地域循環共生圏における農村部と都市部それぞれの役割を明らかにする。

### 3. 研究開発内容

炭素税の増税や排出量取引制度の導入は、炭素排出に対する負担を上昇させる恐れがある。特に炭素集約的な産業（エネルギー集約的な産業）では、コンプライアンス費用が増加することが予想されている。この費用上昇により、当該産業の国際競争力が失われ、結果として経済および雇用への影響が及ぶ可能性がある。既存研究の多くは、産業の分布を考慮せずに分析を行っている。しかしサブテーマ3では、産業の地域偏在を考慮して、短期的に特定地域・産業に過度な負担にならないための方法を提案した。

産業の地域偏在を考慮する方法として、地域産業連関表が必要となる。地域産業連関表は、産業連関表の全国表（全国表）と整合的となるように、9地域に細分化しものである。全国表は2011年を除き末尾が0年と5年に作成されている。一方、地域産業連関表を作成するために必要な統計調査（移出・移入に関する調査）が実施されていないため、2005年以降の表が作成されていない。そこで、最新の2011年国内産業連関表（全国表）から2011年地域間産業連関表の作成を試みた。地域間表を作成するには、各産業の地域間交易（移出と移入）の情報が重要となる。この情報は、流通やサプライチェーンを捉えているため、地域間の関わり合いを表す重要である。そこで、2つの方法によって移出・移入の推定を行った。1つは、2005年と変化していないと仮定して推定する方法である。もう1つは、地域間の距離によって移出・移入を推定する方法である。両方の方法によって2011年地域間産業連関表を作成した。

先行研究の多くは、新規の炭素税を前提に分析を行っている。先行研究との比較として、新たに4000円の炭素税を導入した際の影響を分析した。しかし、既存の燃料税は暗示的炭素価格として定義されるため、費用緩和措置として、既存の燃料税を考慮した分析も行った。具体的には、既存の燃料税をもと

に産業別の CP を算出し、2030 年までに必要とされる CP として算出されている 30 ユーロ (4000 円) との差を新規の CP として導入した場合の影響を分析した。

シミュレーション分析では、①2005 年地域間産業連関表、②作成した 2 つの 2011 年地域間産業連関表、および③(株)三菱総合研究所、(株)ケー・シー・エス、南山大学石川良文研究室の共同作成に係る地域間産業連関表の 4 つを比較検討した。

また、地域循環共生圏に資するシナリオを設定し、影響を分析した。具体的には、地域の特徴に即した費用緩和措置や雇用対策等の分析を行った。分析結果をサブテーマ 2 にインプットした。最後に、費用緩和措置や雇用対策の手法を比較し効果的な費用緩和措置・雇用対策を明らかにし、地域循環共生圏における農村部と都市部の関係性について整理した。

#### 4. 結果及び考察

今回検証した 4 つの地域間産業連関表を用いた分析を比較した結果、(株)三菱総合研究所、(株)ケー・シー・エス、南山大学石川良文研究室の共同作成に係る地域間産業連関表が最も適切と判断した。その理由として、以下の 2 点が挙げられる。まず、産業構造が 2005 年と 2011 年では異なっているため、2005 年の移出・移入をもとに作成した 2011 年産業連関表は適切ではない可能性が高い。特に東日本大震災の影響により 2005 年と異なる産業構造になっていることが感ぜられる。次に、地域間の距離に基づいた移出・移入の推計は、地域内では一定の係数を用いることになり仮定が強すぎる。これらの理由から、新たに作成した地域間産業連関表の信憑性が疑われる。

次に、既存エネルギー税を考慮しなかった場合、すべての産業において同額の炭素税 (3808 円) を課すことになる。費用上昇の地域間の差は存在することが明らかとなった (表 3.1)。例えば、東北の鉄鋼業と沖縄の鉄鋼業では 1.83% の差 (6.30%-4.47%) が認められた。また、産業間の費用上昇率の差も明らかとなった。両者を比較すると、地域間の差よりも産業間の差の方が大きいことが示された。

表 3.1 新規炭素税導入による費用上昇率

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
1 農林水産業	1.14%	1.15%	1.13%	1.10%	1.07%	1.13%	1.21%	1.21%	1.28%
2 鉱業	1.26%	1.78%	1.65%	1.89%	1.59%	1.85%	1.84%	1.80%	1.26%
3 飲食料品	0.91%	0.85%	0.74%	0.74%	0.68%	0.79%	0.83%	0.80%	0.82%
4 繊維製品	0.86%	0.88%	0.94%	1.02%	1.00%	1.02%	1.00%	0.92%	0.80%
5 パルプ・紙・木製品	1.77%	1.77%	1.73%	1.76%	1.70%	1.73%	1.73%	1.71%	1.52%
6 化学製品	1.69%	1.58%	1.78%	1.68%	1.67%	1.91%	1.64%	1.77%	1.45%
7 石油・石炭製品	1.40%	1.54%	1.36%	1.36%	1.33%	1.34%	1.44%	1.44%	1.29%
8 プラスチック・ゴム	1.06%	1.09%	1.11%	1.15%	1.10%	1.15%	1.20%	1.12%	1.13%
9 窯業・土石製品	2.49%	2.55%	2.52%	2.44%	2.43%	2.47%	2.69%	2.47%	2.80%
10 鉄鋼	4.94%	4.47%	5.22%	5.08%	5.30%	5.37%	4.90%	5.11%	6.30%
11 非鉄金属	0.99%	0.89%	1.04%	1.05%	1.03%	0.84%	0.96%	0.83%	0.97%
12 金属製品	2.13%	1.77%	1.86%	1.88%	1.84%	2.00%	1.95%	1.88%	1.66%
13 はん用機械	1.25%	1.27%	1.25%	1.26%	1.26%	1.28%	1.39%	1.12%	1.01%
14 生産用機械	1.08%	0.98%	1.09%	1.06%	1.05%	1.09%	1.09%	1.01%	0.84%
15 業務用機械	0.71%	0.76%	0.77%	0.85%	0.70%	0.82%	0.65%	0.68%	0.60%
16 電子部品	0.91%	0.94%	0.92%	0.90%	0.92%	0.92%	0.70%	0.83%	0.28%
17 電気機械	0.99%	0.87%	0.87%	0.94%	0.90%	0.93%	0.80%	0.82%	0.78%
18 情報・通信機器	0.60%	0.71%	0.61%	0.61%	0.62%	0.62%	0.53%	0.65%	0.05%
19 輸送機械	1.13%	1.14%	1.18%	1.18%	1.15%	1.34%	1.82%	1.40%	0.73%

費用緩和措置として、既存エネルギー税を考慮した CP の導入が考えられる。この場合、既存のエネルギー税を炭素ベースに換算した税制改革を前提としたシナリオである。既存のエネルギー税を考慮した場合、一部の産業 (特に鉄鋼業などのエネルギー集約的な産業) を除き、費用上昇率を小さく抑える効果が認められた (表 3.2)。一方、エネルギー集約的な産業では、費用上昇率が高くなっていることが明らかとなった。現行の石油石炭税にはエネルギー集約的な産業に対して免税や減税の措置設けられているため、対象となる産業の費用上昇率が高くなった。したがって、短期的な費用上昇率を抑える措置

が必要となる。

表 3.2 既存エネルギー税を考慮した CP 導入による費用上昇率

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
1 農林水産業	0.16%	0.17%	0.19%	0.17%	0.17%	0.17%	0.19%	0.17%	0.19%
2 鉱業	0.14%	0.10%	0.12%	0.10%	0.12%	0.09%	0.08%	0.11%	0.09%
3 飲食物品	0.37%	0.36%	0.38%	0.38%	0.37%	0.37%	0.38%	0.35%	0.39%
4 繊維製品	0.59%	0.59%	0.63%	0.68%	0.67%	0.66%	0.67%	0.61%	0.55%
5 パルプ・紙・木製品	1.27%	1.30%	1.34%	1.36%	1.32%	1.28%	1.28%	1.26%	1.24%
6 化学製品	1.27%	1.28%	1.40%	1.37%	1.35%	1.45%	1.29%	1.36%	1.17%
7 石油・石炭製品	0.02%	0.03%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.01%
8 プラスチック・ゴム	0.76%	0.76%	0.80%	0.83%	0.80%	0.82%	0.86%	0.76%	0.84%
9 窯業・土石製品	1.92%	1.96%	1.96%	1.92%	1.94%	1.92%	1.98%	1.92%	2.23%
10 鉄鋼	4.54%	4.02%	4.80%	4.65%	4.87%	4.97%	4.41%	4.70%	5.89%
11 非鉄金属	0.69%	0.62%	0.73%	0.74%	0.72%	0.57%	0.58%	0.53%	0.69%
12 金属製品	1.79%	1.43%	1.52%	1.54%	1.51%	1.66%	1.56%	1.54%	1.36%
13 はん用機械	1.01%	1.01%	1.00%	1.01%	1.01%	1.04%	1.09%	0.89%	0.87%
14 生産用機械	0.87%	0.76%	0.86%	0.83%	0.83%	0.88%	0.85%	0.78%	0.71%
15 業務用機械	0.50%	0.51%	0.53%	0.60%	0.48%	0.56%	0.43%	0.44%	0.42%
16 電子部品	0.63%	0.66%	0.64%	0.61%	0.64%	0.64%	0.49%	0.55%	0.25%
17 電気機械	0.76%	0.62%	0.64%	0.70%	0.66%	0.69%	0.56%	0.59%	0.58%
18 情報・通信機器	0.40%	0.46%	0.40%	0.40%	0.41%	0.41%	0.35%	0.44%	0.05%
19 輸送機械	0.87%	0.85%	0.89%	0.89%	0.87%	1.05%	1.47%	1.09%	0.55%

エネルギー集約的な産業に対して短期的な費用緩和措置として、雇用調整助成金が考えられる。このシナリオでは、炭素税をすべての産業が同率（3808 円）のものを負担し、影響が大きい産業（今回のシナリオでは鉄鋼業のみ）に対して、雇用維持を条件として助成金を与えている。これにより、実質的な負担が減少することで、費用上昇率を抑える効果が認められた（表 3.3）。

表 3.3 CP 導入による税収の一部を雇用調整助成金とした場合の費用上昇率

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
1 農林水産業	1.10%	1.11%	1.09%	1.06%	1.03%	1.09%	1.17%	1.17%	1.23%
2 鉱業	1.18%	1.71%	1.57%	1.82%	1.52%	1.78%	1.78%	1.73%	1.21%
3 飲食物品	0.87%	0.81%	0.70%	0.70%	0.64%	0.75%	0.79%	0.76%	0.77%
4 繊維製品	0.83%	0.85%	0.91%	0.99%	0.97%	0.98%	0.96%	0.89%	0.78%
5 パルプ・紙・木製品	1.71%	1.69%	1.62%	1.63%	1.59%	1.64%	1.66%	1.62%	1.46%
6 化学製品	1.63%	1.52%	1.72%	1.62%	1.61%	1.85%	1.59%	1.71%	1.40%
7 石油・石炭製品	1.36%	1.49%	1.33%	1.33%	1.30%	1.31%	1.40%	1.40%	1.25%
8 プラスチック・ゴム	1.01%	1.04%	1.06%	1.09%	1.05%	1.10%	1.15%	1.07%	1.09%
9 窯業・土石製品	2.36%	2.44%	2.41%	2.34%	2.33%	2.36%	2.58%	2.36%	2.59%
10 鉄鋼	1.86%	1.75%	1.97%	1.93%	2.00%	2.00%	1.93%	1.91%	2.31%
11 非鉄金属	0.95%	0.84%	1.00%	1.01%	0.99%	0.81%	0.92%	0.81%	0.94%
12 金属製品	1.11%	1.00%	1.02%	1.04%	1.01%	1.06%	1.10%	1.02%	0.96%
13 はん用機械	0.72%	0.74%	0.73%	0.74%	0.73%	0.73%	0.82%	0.67%	0.55%
14 生産用機械	0.62%	0.61%	0.65%	0.63%	0.63%	0.63%	0.66%	0.62%	0.46%
15 業務用機械	0.54%	0.64%	0.63%	0.65%	0.56%	0.67%	0.56%	0.58%	0.48%
16 電子部品	0.82%	0.86%	0.84%	0.82%	0.84%	0.84%	0.64%	0.78%	0.27%
17 電気機械	0.66%	0.69%	0.66%	0.69%	0.67%	0.67%	0.67%	0.61%	0.56%
18 情報・通信機器	0.52%	0.62%	0.53%	0.52%	0.53%	0.53%	0.46%	0.53%	0.05%
19 輸送機械	0.77%	0.81%	0.82%	0.83%	0.77%	0.86%	1.01%	0.92%	0.56%

上記の結果より、CP による「公平な負担」を求める方法として、①既存のエネルギー税を改革し、暗示的炭素価格から明示的炭素価格に変更する、②税収の一部を雇用調整助成金に活用し、地域経済（特に雇用）への影響を抑えることが有効である。今回の分析では、鉄鋼業のみを対象とした雇用調整助成金を分析したが、どの程度の負担が公平であるかが課題として残された。

## 5. 研究目標の達成状況

当初の目標どおりの成果をあげた。具体的には、短期的な費用負担の分析結果から、地域間の不均衡よりは産業間の不均衡の方が大きいことが明らかとなった。具体的には、エネルギー集約産業ほど費用負担が大きく表れた。そのため、地域経済の衰退を防ぎながらエネルギー集約産業の費用負担を軽減する方法として、雇用維持を条件とした補助金（雇用調整助成金）の分析を行った。同制度は、生産活動とリンクしないため、産業の費用負担間接的に抑える効果が認められた。

## 6. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

## II-4 【サブテーマ4】電力部門における暗示的炭素価格とCPの関係

金沢星稜大学 経済学部 庫川幸秀

### 【要旨】

本サブテーマの研究目標を達成するために、以下の2つの研究テーマ（課題）に取り組んだ。

- 研究項目1：電力部門の低炭素化における発電効率改善の効果に関する理論的考察
- 研究項目2：電力部門と非電力部門の相互効果を考慮した分析

研究項目1では、火力発電プラントの発電効率の改善が、発電部門全体の排出量に与える影響を分析した。火力発電の発電効率の改善は、火力発電の限界費用の低減と同じ意味をもつため、経済主体の行動を考えれば生産量（発電量）の増加要因になる。一方で、同量の発電を行うのに必要な燃料を節約できる効果も発生するので、どちらの効果が相対的に大きいかで排出量の増減が決まる。これらの結果は市場構造にも影響される要因であるため、個々のプラントの性能向上自体は、必ずしも確実な削減策にはならず、排出枠や技術基準の設定をあらかじめ行うことが必要であることが示唆される。また、燃料効率の改善は同量の燃料を削減するのに伴う発電量の縮小幅が大きくなることを意味するので、CPの社会的受容性の低下をもたらすことが考えられる。

研究項目2では、電力部門と非電力部門から成るモデルにより、両部門間の相互効果を考慮した政策効果の検証を行った。非電力部門では電力をエネルギー源とする生産と化石資源をエネルギー源とする生産が競合する状況を想定し、化石資源から電力への移行（電化）の動向を内生化したモデルを構築した。電力部門の排出源として火力発電、非電力部門の排出源として、化石資源を用いた生産を想定しており、これら2つの排出源からの排出量を合計したものが全体の排出量になる。カーボンプライシング（CP）と、再エネ支援策（FIT/FIP）、電力への課税（賦課金）、電力利用への補助金（支援策）を併用する場合に、CP以外の政策が両部門の排出源に対してどのような削減負荷（暗示的炭素価格）を与えるのかを理論的に検証した。再エネ支援策は、電力部門において火力発電（限界収入/限界利潤の低減を介して）排出削減を促す効果があり、トータルの電力供給も増加（電力供給曲線を右方にシフト）させるので、電力の排出係数と電力価格を同時に低減させる効果がある。電力価格の低減は非電力部門における化石資源から電力への移行を促進させるので、非電力部門における排出削減効果も働く。以上から、再エネ支援策は電力部門と非電力部門の双方の排出源に対して、限界利潤/限界収入を低下させることによる生産量（排出量）削減効果をもたらすことが示された。電力への賦課金は、電力需要の減少（需要曲線の左方向へのシフト）による電力市場価格の低下をもたらし、電力部門の発電事業に対しては限界収入/限界利潤の低減による抑制効果をもたらす一方、非電力部門では電力から化石資源への移行を促進する要因になり、非電力部門の排出源については排出量（生産量）を増加させる効果を持つことが示された。電力への補助金の場合は、賦課金の逆の効果になる。また、本サブテーマでは再エネ支援策がCPの社会的受容性に与える影響についても理論的な考察を行った。

### 1. 研究開発目的

社会の低炭素化を推進する主な政策手段は、以下のように大別できる。

- (1) 代替エネルギーの導入支援
- (2) カーボンプライシング
- (3) エネルギー効率の改善

これら(1)~(3)の施策の効果は個別に捉えるのではなく、複数を併用する場合の相互効果や複合効果を考慮したうえで効果的かつ効率的な制度の設計につなげることが求められる。本研究では、上記(1)~(3)の政策手段の相互効果や複合効果を考慮した包括的視点から、暗示的炭素価格とCPの複合効果を明らかにし、効果的な施策について理論に検証することを目的とする。

## 2. 研究目標

暗示的炭素価格と CP を併用した包括的な手法による電力部門の低炭素化について、定量的な分析の基礎となり得る理論的条件を整理し、最終的に政策提言につなげることを目標とする。

## 3. 研究開発内容

サブテーマ 4 においては、以下の 2 つの研究項目に沿って研究を行った。

### 【研究項目 1：電力部門の低炭素化における発電効率改善の効果に関する理論的考察】

電力部門の排出量について、個々の発電プラントの性能向上が発電部門全体の排出削減に直結するとは限らず、各経済主体の戦略的な行動を介した市場全体の排出量への影響を考える必要がある。本サブテーマでは上記(3)、とくに供給側のエネルギー効率改善の効果に焦点を当て、化石燃料発電における燃料効率の改善が、電力部門全体の低炭素化に与える影響について、理論的に検証した。

### 【研究項目 2：電力部門と非電力部門の相互効果を考慮した分析】

電力部門と非電力部門の相互関係を明確にしたうえで、カーボンプライシング (CP) や再エネ普及策といった代表的な政策が排出削減に与える効果を理論的に検証するために、電力部門のモデルに非電力部門を加えたモデルを構築し、分析を行った。

非電力部門のエネルギーの利用形態は、運輸部門における EV とガソリン車、鉄鋼業における電炉と高炉、暖房のためのエアコンと灯油の利用のように、電力と化石資源が混在している状況が多くみられる。本研究課題で構築したモデルでは、非電力部門におけるエネルギー源として、①電力の利用、②化石資源の利用、という選択肢が存在し、両者が代替可能な状況を分析対象として想定している。このような状況下で、カーボンプライシング (CP) や電力部門における再エネ支援策、電力への賦課金（もしくは補助金）の各政策効果の包括的な影響を分析することが目的である。非電力部門の市場構造が明確に組み込まれており、電力部門（電力供給）における再エネと火力発電の量、非電力部門における電力（電力需要）と化石資源の利用状況によって電力市場の均衡価格が決まるプロセスを内生化しているので、電力価格を介した両部門間の相互関係を理論的な視点から分析することができる（図 4.1）<sup>6</sup>。

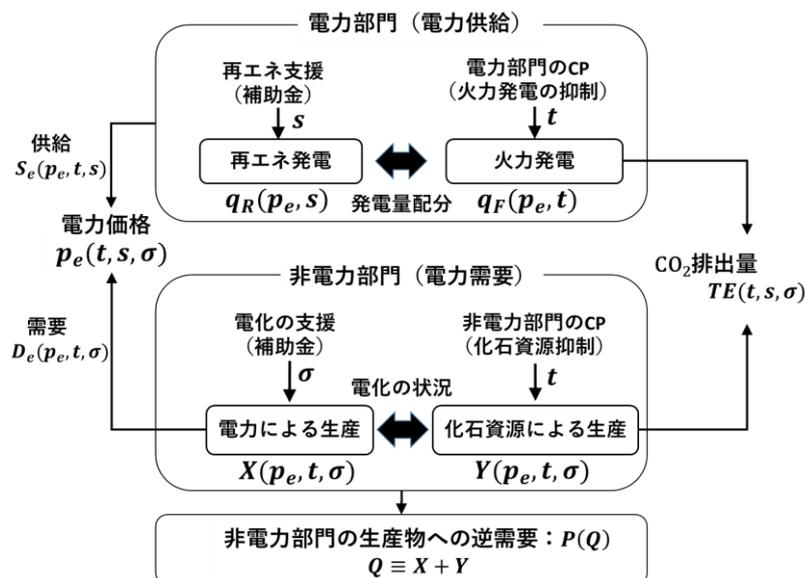


図 4.1 モデルの概要 (庫川 (2022) <sup>2)</sup>より加筆)

<sup>6</sup> Hutchinson (2010)では、相対的に排出係数の低い(クリーンな)燃料と高い燃料がある場合に、クリーンな燃料への補助金の支出は価格低下に伴う消費拡大効果をもたらし、総排出量が増えるケースがあることを指摘している<sup>1)</sup>。本研究課題のモデルでは、電力部門(再エネと火力発電)と非電力部門(電力と化石資源)の双方で Hutchinson (2010)のモデルと同様の構図が成り立っており、電力価格を介して相互に影響する状況を考えている。

暗示的炭素価格については、全体の削減における費用効率性の指標になり得ると考えられる一方<sup>7</sup>、定量化に関する課題も指摘されている（木村他, 2017<sup>4</sup>）。本研究では電力価格の動向を内生化したモデルを考えることで、各経済主体（排出源）に対してどのように実質的な削減効果が働いているのか、理論面から検証する。

#### 4. 結果及び考察

上記の研究項目 1 および 2 のそれぞれについて、主な結果と考察を述べる。

##### 【研究項目 1：電力部門の低炭素化における発電効率改善の効果に関する理論的考察】

###### <分析結果および考察（Kurakawa, 2021<sup>5</sup>）>

火力発電プラントの発電効率改善は、同量の燃料で発電できる電力量を増やす（同量の発電量に必要な燃料を削減できる）ことで、火力発電の限界費用を低減させる。これによって、相対的に再エネ発電に対する火力発電のシェアを拡大させる要因になる。クールノー寡占市場を想定したモデルで分析した結果、火力発電プラントの燃料効率の閾値があり、閾値未満での燃料効率の改善は、火力発電の限界費用の低減によって発電量を増やす効果が、燃料を節約できる効果を上回り、結果的に排出量の増加につながることを示された<sup>8</sup>。

このような逆効果を回避するには、技術基準の適切な設定や排出枠の設定（CP）と適切に組み合わせる必要があり、これらが達成されなければ逆に総排出量は増加するため、必ずしも確実な削減手段とはいえない。

また、燃料効率の改善によって、一定量の燃料で発電できる発電量が増えることは、逆に排出量（使用する燃料の量）を減らす場合に、それに伴って削減される発電量（エネルギーサービスの量）が増大することを意味する。つまり、燃料効率の改善がすすむほど、同じ量の排出量を削減するのに伴う経済的影響は大きくなるため、CP の社会的受容性が低下すると考えられる。特に上述のように燃料効率の改善によって総排出量が増えるようなケースでは、CP に対する社会的受容性の低下（排出削減に伴う経済的影響の増大）も同時に発生していることになるので、全体の排出削減を困難にする要因になり得る。

##### 【研究項目 2：電力部門と非電力部門の相互効果を考慮した分析】

###### <主な分析結果>

各政策変数の効果について得られた結果を表 4.1 に示す。表に示しているのは各政策変数の個別の効果であり、複数の政策を併用する場合はそれらを重ね合わせた複合効果によって実際の増減が決まることになる<sup>9</sup>。したがって CP（炭素税）が導入されている状態を基準として考えれば、併用する政策の効果が炭素税の効果に追加されることになる。

表 4.1 政策変数の効果

	再エネ支援	電力補助金	電力賦課金
排出量（電力部門）	減少	増加	減少
排出量（非電力部門）	減少	減少	増加
電力供給	増加	不変	不変
電力需要	不変	増加	減少

<sup>7</sup> 例えば Marcantonini and Ellerman (2015)では、ドイツの電力部門において再エネの導入によって削減された CO<sub>2</sub> 排出量を再エネの導入コストで除した値（再エネサーチャージ）と、火力発電事業者によって支払われた EU 排出権価格の平均額を合計したものを暗示的炭素価格として算出し、再エネ導入政策による排出削減の効率性を評価する指標と捉えている<sup>3</sup>。

<sup>8</sup> リバウンド効果およびジェヴォンズ・パラドックス（Alcott, 2005<sup>6</sup>; Sorrel, 2009<sup>7</sup>）の一種と解釈できる。

<sup>9</sup> このモデルの均衡解が線形のシステムになっていることに依存している。

電力市場均衡価格	減少	増加	減少
総生産量（非電力部門）	増加	増加	減少

※電力供給/需要の増減は、供給曲線/需要曲線の右（左）方向へのシフトの有無を示している

電力部門における政策の効果は電力供給曲線に影響し、非電力部門における政策の効果は電力需要曲線に影響する。電力市場では電力の需要と供給のバランスによって均衡価格が決まるので、電力価格を介して電力部門と非電力部門の間に相互関係が発生する。

再エネ支援策（FIT/FIP）は電力供給を増やす（供給曲線を右方向にシフトさせる）政策であるため、電力価格を低減させる効果をもつ。また、電力供給増加に伴う電力価格の低減によって火力発電を（間接的に）抑制する効果が同時に働く。非電力部門への影響としては、電力価格の低減によって電力利用が促進され、化石資源から電力への移行を促進する効果が働くことで、化石資源の利用量を抑制する間接的な効果が働く。電力価格の低減は、化石資源から電力への移行を促進しながら、非電力部門における総生産量を増加させる効果も併せて持つ。以上から、再エネ支援策は総生産量（エネルギーサービスの量）の減少を伴わずに、電力の低炭素化と非電力部門における電化の促進（化石資源の利用抑制）を同時に進めることを可能にする政策といえる。

電力への補助金は、非電力部門における電力の利用コストを下げることで、化石資源から電力への移行を促し、電力需要を増加させる効果を持つ。その結果、非電力部門における化石資源の利用が抑制される効果が働く。一方で、電力需要の増加に伴う電力価格の上昇によって、火力発電を間接的に促進する効果が同時に働く<sup>10</sup>。以上から、非電力部門では電化の促進による排出削減効果をもつ一方で、電力部門では排出量を増加させる効果が働く。

電力への賦課金（課税）は、上で述べた電力への補助金と逆の効果をもたらす。非電力部門において電力の利用を抑制し、化石資源への移行を促すことで、電力需要を減少（需要曲線を左方にシフト）させる効果をもつ。非電力部門における電力から化石資源への移行は排出増加の要因になる。電力需要の減少（需要曲線の左方へのシフト）に伴い電力価格を低減させる効果が働き、火力発電を（間接的に）抑制する効果が生じるので、電力部門での排出量を減少させる要因になる<sup>11</sup>。

### <分析結果から得られる考察>

再エネ支援策（FIT/FIP）の効果は、再エネを促進すること自体の効果と、財源を確保する手段（電力への賦課金等）の効果に分けて考える必要がある。前述のように、このモデルでは複数の政策を併用した場合の複合効果に重ね合わせの原理が成立するため、各政策の効果（表 4.1）を個別に考えることができる。以下では、排出源である火力発電（電力部門）と非電力部門における化石資源に対して一律に炭素税が導入されている状態を基準と考えて、各政策を導入した場合の影響について、暗示的炭素価格との関係を含めながら考察する。

#### ● 電力への課税（賦課金）と暗示的炭素価格

電力賦課金（マイナスの補助金）は電力の利用を抑制する効果を持つので、火力発電（電力部門）に対する抑制効果が働く一方で、非電力部門では化石燃料の利用が電力に比べて相対的に有利になり、排出量を増加させる効果が働く。したがって、炭素税のみが課されている状態に比べて、電力部門では火力発電に対して追加的な削減（負担）が発生する一方で、非電力部門の排出源に対する炭素価格は（炭素税のみの場合に比べて）実質的に軽減されていることになり、排出量が非電力部門に偏る。このメカニズムについては次のように説明できる。電力賦課金によって電力需要が減少（需要曲線が左方にシフト）することで、電力価格が低下し、火力発電の限界収入の低下につながる。限界収入の低下は火力発

<sup>10</sup> 均衡価格から補助金額を引いた消費者価格は低減しているので、電力の消費者にとっては実質的に価格が下がっているのと同じ状況になる。

<sup>11</sup> 均衡価格に賦課金を加えた消費者価格は増加する。

電量の決定において限界費用の増加と同等の効果（限界利潤の低下）を持つので、火力発電事業に対して実質的に炭素税率が上昇するのと同じ意味を持つことが考えられる。

加えて、電力価格の低下による再エネ発電量への影響にも注意する必要がある。この点については、FIT（固定価格買取制度）とFIP（再エネ補助金）もしくは再エネ支援策なしのケースを区別して考える必要がある。FITの場合、再エネの買取価格は市場価格と連動しないため、電力価格低下の影響を受けない。一方、FIPもしくは支援策なしのケースでは、再エネの発電量が市場価格に影響されるため、電力賦課金による価格低下は再エネによる発電量を抑制する働きをする。

このように、電力賦課金は（炭素税のみの場合を基準として）電力部門の排出を抑制し、非電力部門の排出量を増加させるという偏りを生む。この場合、排出源に対する追加的負担という意味では、火力発電の限界収入の低減分を実質的な負担増と考えて、暗示的炭素価格と捉えることもできる。しかし、（FITの場合を除いて）再エネによる発電に対しても同様の影響が及ぶことを考えると、必ずしも排出源に対する「炭素価格」の枠組みにはなっていない点に注意が必要である。

#### ● 再エネ支援策と暗示的炭素価格

再エネ支援（FIT/FIP）は電力部門と非電力部門の双方において、排出源に対して追加的な削減効果を生じさせる（表 4.1）という意味で、明示的炭素価格（CP）の削減効果/負担を増幅させる性質を持つといえる。電力への賦課金もしくは補助金のように排出量をどちらかの部門に偏らせるのではなく、化石燃料の利用を全体的に抑制する働きをする。市場のメカニズムとしては、再エネ（電力）によるエネルギー供給が増えることで、供給増による市場価格の低下を促し、化石燃料による生産（発電）事業の限界収入が低減することになる。電力部門と非電力部門の双方の排出源にとって、限界収入の低下は限界費用の上昇（CP）と同様に限界利潤を下げる効果をもち、生産（発電）量の縮小につながる。このような価格（限界収入）の低下分を暗示的炭素価格の増加と考えれば、双方に対して暗示的炭素価格の増加が生じていることになる。

#### ● 再エネ支援策と CP の社会的受容性

再エネは化石燃料の代替エネルギーであり、再エネの支援策は社会全体で一定量の削減目標を達成するという制約条件の中で利用可能なエネルギーサービスの量を増やす効果を持つ政策といえる<sup>12</sup>。したがって、再エネ支援策の政策的な評価においては、一定量の排出削減を達成する前提の下で、（支援策がない場合と比べて）追加的に生み出されるエネルギーサービスの便益を考慮する必要がある。カーボンプライシングは化石燃料の利用を抑制すると同時に、代替エネルギーへの転換を促す効果も併せもつが、（少なくとも短期的には）排出削減に伴い、最終的に利用できるエネルギーサービス量の減少を伴う。したがって、比較的短期間に大幅な排出削減を行う場合に、投資のタイムラグによって、社会的に削減が困難であるような（限界便益が大きい）エネルギーサービスの供給にも支障が生じる可能性が生じ、そのことが CP に対する社会的受容性の低下の要因になっていると考えられる。これは一般的に化石燃料に由来して生み出されているエネルギーサービスの範囲（便益）が大きく、削減が困難な範囲を含んでいることを反映している（図 4.2）。再エネ支援策をカーボンプライシングと併用することで、一定量の化石燃料の利用削減に伴い失われるエネルギーサービスの範囲を、比較的重要度の低い（限界便益が小さい）範囲に限定することができる（図 4.3）。

本研究のモデルでは、非電力部門の総生産量が最終的に供給されるエネルギーサービスの量を表していると解釈できる。総生産量によってエネルギーサービスが生み出す便益の大きさが決まる。CP（炭素税）は非電力部門において、化石燃料から電力への移行を伴いながら総生産量を減少させる効果をもつ。したがって、（少なくとも短期的には）化石燃料の利用量の削減に伴い、非電力部門で供給されるエネルギーサービスの量は減少することになる。図 4.2 は、非電力部門の需要曲線を表している。需要曲線の

<sup>12</sup> 再エネの（二次エネルギーとしての）主な利用形態は電気もしくは水素であるため、非電力部門でのエネルギー源として再エネの利用を増やすためには、電気の利用範囲の拡大（電化）が必要になる。

高さはエネルギーサービスの限界便益の大きさを表し、左側の領域には社会的に削減が困難であるような範囲が存在することが考えられる。炭素税による化石燃料の削減により、化石燃料から電力への移行は生じるが、トータルの生産量は減少する。したがって、大幅な削減が必要な場合は、社会的に削減が困難であるようなエネルギーサービスの削減も必要になり、失われる便益が大きくなる。

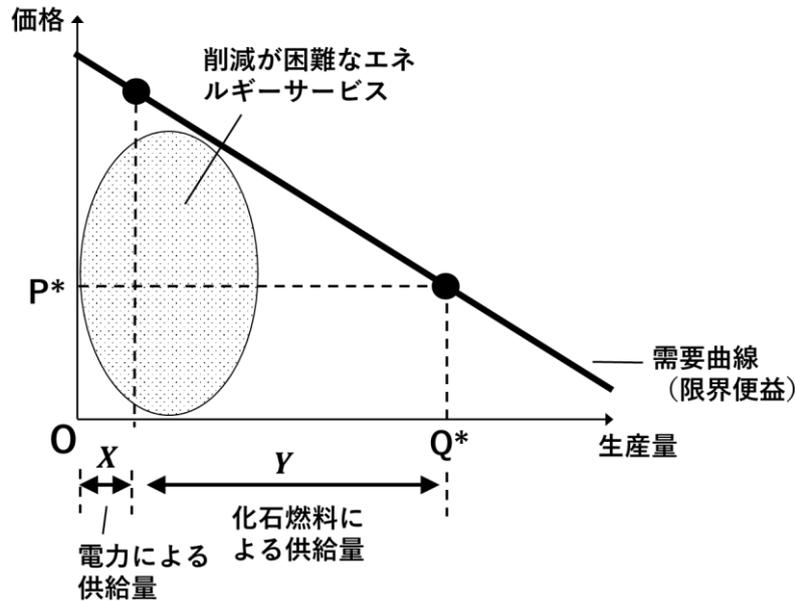


図 4.2 非電力部門の需要曲線（化石燃料による供給量が多い場合）

再エネ支援策（FIT/FIP）は電力による供給量を増加、化石燃料による供給量を減少させながら、総生産量を増加させる効果を持つ（表 4.1）。この状況を表したのが図 4.3 である。電力に由来するエネルギーサービスによって、社会的に削減が困難であるような領域をカバーすることができれば、化石燃料の削減に伴い失われる便益の大きさは高々、台形(a)の面積の範囲内に限定される<sup>13</sup>。再エネ支援策のこのような働きは、カーボンプライシングの社会的受容性の向上にも寄与するものと考えられる。ここで、電力部門にも排出源である火力発電が存在するが、再エネ支援は電力部門と非電力部門の双方において排出量を減少させる効果を持つため（表 4.1）、再エネ支援に伴う電力の利用範囲拡大によって総排出量が増加することはない。

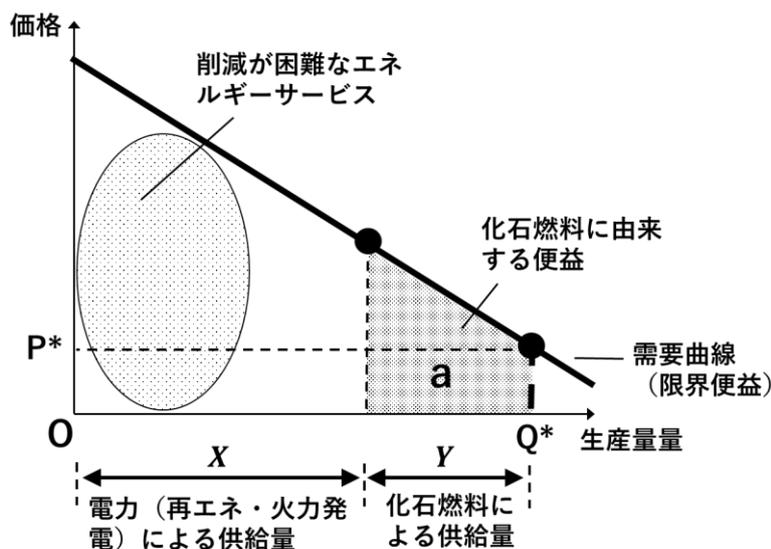


図 4.3 非電力部門の需要曲線（化石燃料による供給量が少ない場合）

<sup>13</sup> 本研究のモデルでは技術的に電化が可能な生産量の範囲を分析対象として考えているため、技術的に電化が不可能である範囲については、グリーン水素の利用やCCUSの利用等を含めた別の検討が必要になる。

- 電力利用への補助金／支援策

電力への補助金（マイナスの賦課金）は賦課金と逆の効果を生み出す。非電力部門において化石燃料から電力への移行による排出削減効果をもたらす一方で、電力部門では電力需要（価格）上昇に伴う火力発電増加の要因になるため、排出量が電力部門に偏る。また、全体の削減効果も不明瞭な面がある。

電力利用への補助金（支援策）の政策的な評価については、非電力部門における電力の利用促進（電化）自体が、何らかの追加的な価値（正の外部性）を生み出すか否かが問題になる。その可能性として、以下のような要素が考えられる。

- 電力を用いる設備機器の調整力としての価値：

非電力部門の電力関連の設備機器は再エネの変動性に対応する調整力として、電力システム全体の安定に寄与する価値を持つことが考えられる。これらの調整力の確保は電力システムの安定化に加えて、調整力としての火力電源の代替（調整力の低炭素化）としての意味を持つ<sup>14</sup>。

- 排出源の集約と排出削減における規模の経済性：

例えば社会全体の排出量を電力部門に集約させることで、効果的な排出削減策の実施が可能になるような状況が考えられる。非電力部門に小規模に分散している排出源が電化されることによって、社会全体の排出源を電力部門の大規模な火力発電所だけに集約させることができれば、CCS や CCUS 等と組み合わせることで、排出削減策において規模の経済性を活かした効果的な施策の余地が生まれる可能性が考えられる。

- 電力インフラのネットワーク外部性：

EV の充電ステーション等のインフラはネットワーク外部性を持つと考えられるので、社会全体として利用技術を転換するためには何らかの政策的支援が必要になる。

#### <まとめ>

- 再エネ支援策と電力への課税（賦課金）は、どちらも電力部門の排出源（火力発電）への削減効果を持つ政策である。削減効果の背景にある CP 以外の要因（メカニズム/負担）を「暗示的炭素価格」と考えれば、CP に加えてこれらの（FIT と再エネ賦課金の組み合わせのような）政策を組み合わせることで、電力部門の排出源（火力発電）に対して個々の政策の暗示的炭素価格が積み重なり、負担を増大させていることになる。非電力部門の排出源に対しては、再エネ支援策が負担増、電力への賦課金が負担減の効果を持つので、互いに減殺する状況が生まれる。
- 電力への賦課金については、財源確保の目的以外に政策的な合理性が見当たらない。CP を課した状態を基準として、排出量を電力部門から非電力部門にシフトさせるような歪みを生み出し、全体としての削減効果についても不明瞭である。非電力部門については、電力の利用を促進（電化）すること自体の価値も考えられるが、電力への賦課金は電力の利用を抑制し、化石資源の利用を促進する要素になるので、その影響も考慮する必要がある。
- 電力への補助金（電化の支援）については、前述のように政策的な合理性が成り立つ条件がいくつか考えられる。CP と再エネ支援策の実施を前提に考えると、電力への補助金を加えることで、これらの政策による削減負担が非電力部門の排出源に集中する状況が生まれる。また、再エネ支援自体にも、電力供給の増加（電力価格の低減）を介して電力の利用を促す効果があるため、電力の利用促進という面で政策効果が重複することになる。再エネ支援策と異なる点は火力発電に対する負担であり、電力への補助金は火力発電の増加（負担減）要因になる。

## 5. 研究目標の達成状況

以下の2点において、概ね研究目標を達成できたと考える。

<sup>14</sup> 調整力としての火力電源の価値は、電力システムが不安定化することによるコストが背景にあるため、削減が困難な（限界削減費用が非常に大きい）部類に含まれると考えられる。火力電源以外の調整力の確保は、このような火力電源の限界削減費用を低減させる効果をもつと考えられる。

- CP 以外の政策（発電効率の改善、再エネ支援策、電力への課税もしくは補助金）の政策効果の理論的な検証を行い、これらの政策が排出量に与える間接的な影響を示した。また、複数の政策を併用する場合の複合効果についても分析を行った。
- パラメータのカリブレーションを伴う定量的な議論には至らなかったものの、パラメータに数値を設定することで定量的なシミュレーションが可能であるモデルを示した。

## 6. 引用文献

- 1) Hutchinson, E., Kennedy, P. W. and Martinez, C.: The BE Journal of Economic Analysis & Policy, 10(1). (2010)  
Subsidies for the production of cleaner energy: when do they cause emissions to rise? <https://doi.org/10.2202/1935-1682.2506>
- 2) 庫川幸秀：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著）『カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術』第6章, 97-116, 日本評論社, (2022)  
再生可能エネルギー利用社会の構築に向けて。
- 3) Marcantonini, C. and Ellerman, A. D.: The Energy Journal, 36(4). (2015)  
The implicit carbon price of renewable energy incentives in Germany. <https://doi.org/10.5547/01956574.36.4.cmar>
- 4) 木村幸・上野貴弘・若林雅代：電力中央研究所報告, (研究報告：Y16002) (2017)  
暗示的炭素価格とは何か—明示的炭素価格より優れた指標になり得るか—。 <https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDetail?reportNoUkCode=Y16002>
- 5) Kurakawa, Y.: T. H. Arimura and S. Matsumoto ed. Carbon Pricing in Japan, 79-95, open access (2020)  
Climate Policy in Power Sector: Feed-in Tariff and Carbon Pricing. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-15-6964-7>
- 6) Alcott, B.: Ecological economics, 54(1), 9-21 (2005)  
Jevons' paradox. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020>
- 7) Sorrell, S.: Energy policy, 37(4), 1456-1469 (2009)  
Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.003>

## II-5 【サブテーマ5】家計のCP負担の地域格差問題の分析

青山学院大学 経済学部 松本茂

<研究協力者>

札幌学院大学 経済学部 王佳星

### 〔要旨〕

CPが導入された場合の負担を世帯類型別・地域別に推計し、どのような地域に住むどのようなタイプの世帯がどれ位の負担を負うこととなるかを調べた。研究成果は国内外の複数の学術誌に掲載したが、分析の結果は、寒冷地に住む単身高齢の低所得世帯の負担が相対的に重くなることを示している。そうした分析結果を踏まえて、寒冷地の自治体や商工会議所などを訪問し、エネルギー価格が上昇した時の補償スキームについてヒアリング調査を行った。そして、既存スキームを活用しつつ、一部の世帯に過度なCP負担を負わせないための提案を行った。

### 1. 研究開発目的

CPが強化されると世帯はエネルギー使用時にすべからず負担を負うようになるが、エネルギーの利用の仕方は家計ごとに大きく異なるため、CP負担の程度は地域間および家計間で大きく異なる。違いを考慮しないまま一律にCPを強化すると、特定地域や一部世帯に過度な負担が偏ることとなり、CPを利用した省エネ化に賛同が得られなくなる。以上の点を踏まえて、地域間及び家計間でCP負担の平準化を目指すための提案を行う。

### 2. 研究目標

CPが導入された場合の家計負担を地域別に推計し、負担の公平化に関する政策の対案を提示する。

### 3. 研究開発内容

#### テーマ1： ミクロデータを用いた家計のエネルギー需要の価格弾力性の推計

CPの効果はエネルギー価格を上昇させた時に実際に家計がどれ位の省エネを行うことができるかに依存する。経済学の分野では、これは通常、「エネルギー需要の価格弾力性」を用いて議論する。近年まで、エネルギー需要の価格弾力性はマクロレベルデータを用いて推計されてきた。しかし、エネルギーの利用方法は世帯間で大きく異なるという事実を踏まえると、ミクロレベルデータを用いた分析の有効性は高い。かかる理由から、諸外国ではミクロレベルデータを用いたエネルギー需要の価格弾力性が推計されるようになってきている。本研究では、環境省の家計CO<sub>2</sub>調査のミクロレベルデータを利用し、地域別・世帯別・季節別に電力需要の価格弾力性を推計した。 引用文献 7

#### テーマ2： 用途別のエネルギー消費の推計と暖房需要の推計

家計は様々な用途にエネルギーを使用しているが、既存調査では用途の違いを十分に把握した分析が行われてこなかった。しかしながら、使用目的の違いはCPの負担と省エネ効果に大きな影響力をもつと予想される。こうした点を考慮し、Conditional Demand Analysis と呼ばれる手法を改良し、家族構成の違いがエネルギー消費の違いに及ぼす影響を補足する方法を提案した上で家計の用途別のエネルギー消費量を推計した。更に、冬場の暖房用のエネルギーの利用状況について着目し、CPが強化された時に、世帯のタイプ別・地域別に負担額にどの程度差異が生ずるかを調べた。 引用文献 2, 3, 6, 8, 12

#### テーマ3： エネルギー源の代替性の差がCP負担に及ぼす影響

多くの家計は電気・ガス・灯油といった複数のエネルギー源を併用し生活している。これらのエネルギー源の間には一定の代替性があるものの、完全に代替的であるわけではない。また、それぞれのエネルギー源については用途に向き不向きがある。例えば、電気はほぼ全ての用途に利用できるが、灯油はもっぱら熱源としてしか利用できない。そうした理由から、温対税の導入以前は灯油に対するエネルギー

一関係税は低く抑えられてきた。他方、CPは、エネルギーの用途は考慮せずに、炭素含有量に応じて課税する制度となっている。従って、今後CPが強化されるようになると、世帯のエネルギー源の選択・利用状況が影響を受けるようになるはずである。本調査では、CPが世帯のエネルギー源の選択・利用状況にどのような影響を及ぼすかを実証的に調べた。引用文献 4, 5, 9, 10

#### テーマ4： アンケート調査とヒアリング調査によるCP負担の軽減策の提案

テーマ1-3の一連の実証研究から、CPの税負担の程度は家計間・地域間で大きく異なることが確認された。分析結果は、CPの税負担は寒冷地に住む小規模世帯に取り分け大きくなることを示しており、これらの世帯が過度な負担を負わないようする仕組みを提案することが大切である。こうした問題意識の下で、CPの負担が特に大きくなると予想される北海道と北陸地方の世帯を対象としたアンケート調査を行い、省エネ対策を行う上での障壁について調べた。更に、北海道の市区町村や商工会議所などを訪問し、ヒアリング調査を実施した。具体的には、冬場に支給される寒冷地手当の支給状況や生活保護世帯に対する福祉灯油の支給状況などの仕組みについて調査した。

## 4. 結果及び考察

### テーマ1： ミクロデータを用いた家計のエネルギー需要の価格弾力性の推計

環境省の家計CO<sub>2</sub>調査のデータを用いて、地域別・世帯別・季節別に電力需要の価格弾力性（および支出弾力性）を推計した（引用文献7）。その結果、電力需要の価格弾力性が、地域間・世帯間・季節間で異なることが確認された。電力需要の価格弾力性が低い地域・世帯・季節では、電力使用を減らしてCPの負担軽減をはかることが難しいことを意味する。

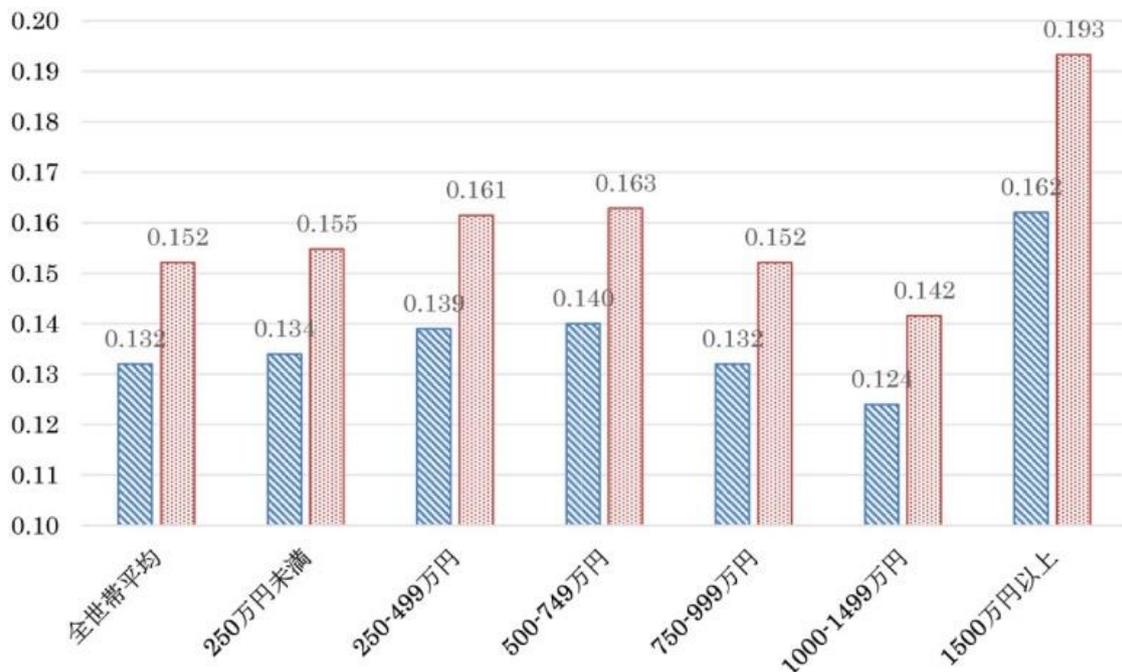


図 5.1 所得階層別の支出弾力性と価格弾力性（引用文献7）

図 5.1 では電力需要の価格弾力性が異なる所得階層間でどのように異なるかが示されている。所得階層別では、1,500万円を超える高所得世帯の弾力性が0.193と最も大きい。また、250万円未満の世帯から1,500万円未満までの世帯では、弾力性の値が逆U字のような傾向となる。この所得階層の中では、500-749万円の所得の世帯の弾力性が最も高く0.163となっており、平均的な所得階層の世帯が一番エネルギー価格の上昇に敏感であることが示された。

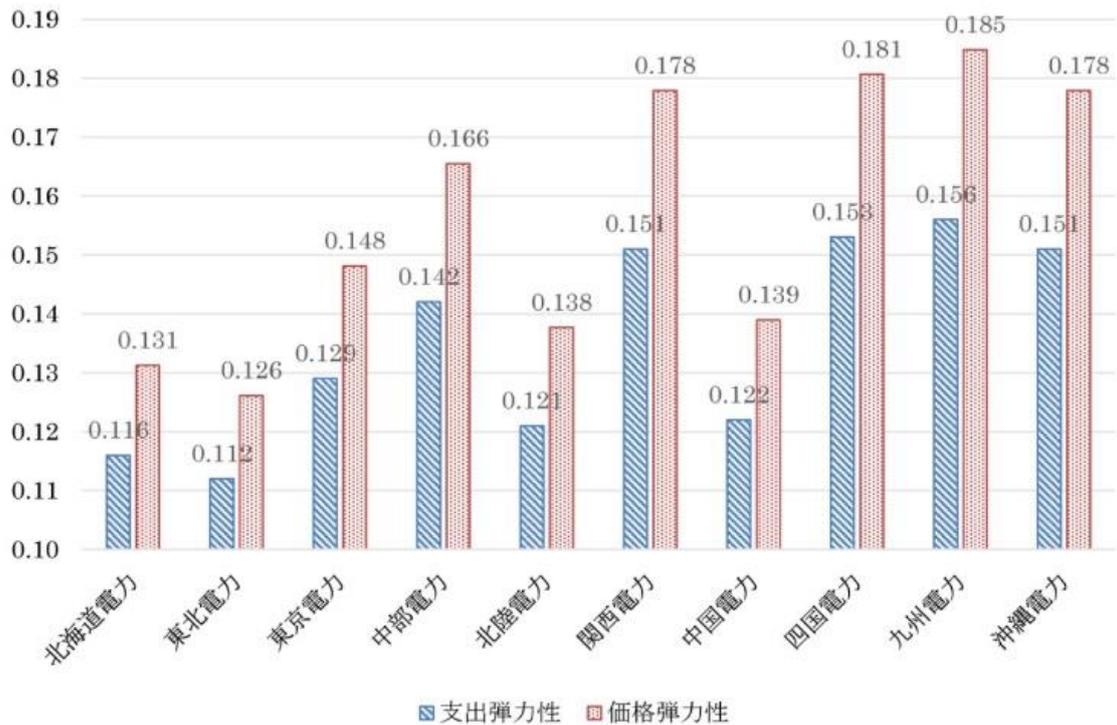


図 5.2 地域別の支出弾力性と価格弾力性（引用文献 7）

図 5.2 では、電力会社の管轄地域別に世帯を 10 地域に分けて、地域別に弾力性を比較した。推計結果は上図に示されているが、全体の傾向として、東日本及び日本海側では弾力性が相対的に小さい一方で、西日本及び太平洋側の地域では弾力性が大きいことが確認された。この結果とは、東日本及び日本海側では、CP が強化された場合に節電をすることが難しいことを示唆している。

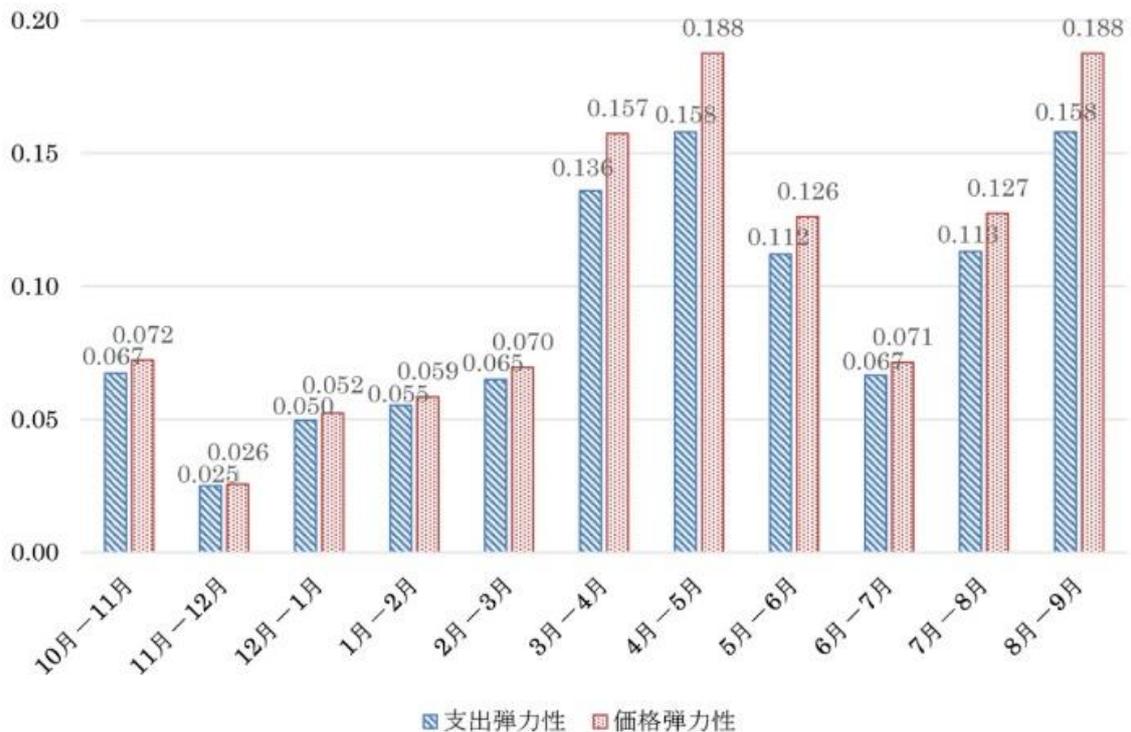


図 5.3 月別の支出弾力性と価格弾力性（引用文献 7）

更に、季節による弾力性の違いも確認された。図 5.3 に示された通り、各地域において電力需要が高く（低く）なる季節に弾力性が小さく（大きく）なる傾向が観察されている。端的に言えば、冬場に節電を行うことが困難であることが示されている。

## テーマ2： 用途別のエネルギー消費の推計と暖房需要の推計

家計はエネルギーを様々な用途に使用しているが、CP が強化された際にどのような用途に使用しているエネルギー使用を減らすことができるのかは良く知られていない。また、もともと余りエネルギーを使用していない世帯と沢山のエネルギーを使用している世帯の間で省エネ余地がどの程度異なるかも知られていない。

表 5.1 暖房のための CP 負担額の地域間・世帯間格差（現行制度 289 円/ton、単位：円/年）

世帯種別	その他単身	高齢単身	夫婦二人	夫婦と子供2人	片親と子供2人	夫婦、子供2人、両親	
世帯主年齢	30 歳	75 歳	45 歳	45 歳	30 歳	45 歳	
都市名	札幌市	262.82	339.86	430.72	486.36	402.14	586.96
	仙台市	232.19	300.25	380.52	429.67	355.27	518.55
	東京都 23 区	215.13	278.18	352.56	398.10	329.16	480.44
	金沢市	234.80	303.62	384.79	434.50	359.26	524.37
	名古屋市	230.95	298.64	378.48	427.37	353.37	515.77
	大阪市	233.38	301.78	382.46	431.87	357.08	521.20
	広島市	229.11	296.26	375.47	423.97	350.56	511.67
	福岡市	204.17	264.01	334.60	377.81	312.39	455.97
	那覇市	137.87	178.28	255.94	255.13	210.95	307.90

出典： 引用文献 1

エネルギーは様々な用途に使われているが、暖房・給湯のために使われる冬季のエネルギー消費は、おそらく最も必要性の高い消費活動だとみなされる。引用文献 2 の調査では、CP が課された時に家計が何ら省エネ対策を取らなかった場合、冬場のエネルギー負担がどれくらい増加するかを家計 CO<sub>2</sub> 調査のデータを用いて推計した。

表 5.1 は現行税率の下で家計が負担している温対税の金額を都市別・世帯別に示している。また、同表の値を定数倍することで、CP が強化された場合の税負担額の上限值を確認できる。表 5.1 から大きく 2 つの傾向を見て取れる。第 1 は、寒冷地に居住する世帯は温暖地に居住する世帯よりもかなり多くの温対税を負担しているということである。第 2 に、負担額を一人当たり直すと、高齢単身世帯の負担額がかなり大きくなるということである。

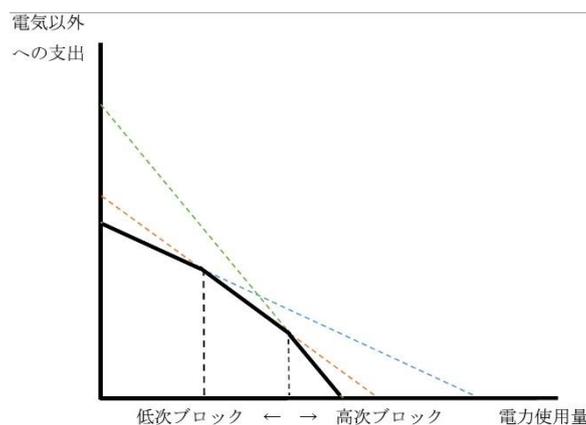


図 5.4 ブロックプライシングの下での予算制約線

日常生活を送る上で電気は必須なものであるため、その料金設定にはブロックプライシングと呼ばれる制度が適用されてきた。ブロックプライシングの下では、使用量が少ない間は電気を安価に使えるが、使用量が多くなると高い料金を支払わなければならない（図 5.4）。

電気を沢山使っている世帯の間では色々と節電余地がありそうだが、電気を余り使っていない世帯の間では節電余地は少なさそうである。引用文献 6 では、独自のアンケート調査により集めた東京電力管

内在住の約 140 世帯の 4 年間に渡る電力消費データを用いて、夏場に月に 300kWh を超える電気を利用している世帯（高次ブロック世帯）と 300kWh 未満の電気しか利用していない世帯（低次ブロック世帯）の間で、電力需要の価格弾力性を比較した。なお、上図に示されているように、ブロックプライシングの下では、予算制約線が線形にならないため、やや複雑な最適化問題を解かなければならなくなる。

高次ブロック世帯の電力需要の価格弾力性は $-0.693$ 、低次ブロック世帯は $-0.241$  となり、両世帯の間で節電の余地が大きく異なることが確認された。一方、夜間電力などを利用している世帯と一般世帯の間では、電力需要の価格弾力性に差はみられなかった。

### テーマ 3 : エネルギー源の代替性の差が CP 負担に及ぼす影響

移動用の燃料を除くと、家計が家の中で使用する主な燃料は、電気・都市ガス・LP ガス・灯油であり、各家計はこれらの中からエネルギー源を選択して使っている。このうち、都市ガスと LP ガスについては異なった種類の機器を準備しなければならないため、世帯は通常いずれか一方のガスしか使わない。また、全ての世帯が電気は利用していると思われるので、考えられるエネルギー源の組み合わせは、①電気のみ、②電気と都市ガス、③電気と LP ガス、④電気と灯油、⑤電気と都市ガスと灯油、⑥電気と LP ガスと灯油となる。

表 5.2 Change in energy source combination

Table 6. Change in energy source combination

Energy source combination	Urban grid area			Rural non-grid area		
	Present 289/ton	Scenario 1 3000/ton	Scenario 2 6000/ton	Present 289/ton	Scenario 1 3000/ton	Scenario 2 6000/ton
1 = electricity only	11.0%	10.2%	9.3%	15.6%	15.5%	15.3%
2 = electricity and city gas	31.9%	37.8%	44.2%			
3 = electricity and LP gas	11.4%	10.5%	9.4%	19.7%	22.0%	24.5%
4 = electricity and kerosene	9.2%	8.1%	7.0%	18.5%	18.8%	19.1%
5 = electricity, city gas, and kerosene	19.4%	19.2%	18.6%			
6 = electricity, LP gas, and kerosene	17.1%	14.2%	11.5%	46.2%	43.7%	41.1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

出典：引用文献 5

CP が強化されると炭素含有量の多いエネルギー源の価格は相対的に高くなるため、家計のエネルギー源の選択も変化するようになる。本調査では、Multinomial Logit Model を用いて、CP の強化がエネルギー源の選択にどのような影響を及ぼすかを調べた。表 5.2 に推計結果を示しているが、CP の強化は、灯油を利用する世帯を減らす、都市部では都市ガスを利用する世帯が増やす、オール電化の世帯はむしろ減らす、農村部では LP ガスを利用する世帯を増やす、といった予測結果が得られた。

表 5.3 Determinants of winter CO<sub>2</sub> emissionsTABLE 4 | Determinants of winter CO<sub>2</sub> emissions.

Urban grid area		Energy source combination										
Variable	1	2	3	4	5	6						
Temperature	29.55*	1.00	12.59*	0.25	10.96*	0.40	25.84*	1.33	16.72*	0.60	16.87*	0.64
Income	2.9E-03*	5.2E-04	5.1E-04*	1.5E-04	7.9E-04*	3.3E-04	1.6E-03*	6.0E-04	1.6E-03*	4.3E-04	5.1E-04	4.9E-04
*temperature												
Persons	1.84*	0.16	1.11*	0.05	0.99*	0.11	2.05*	0.19	1.39*	0.09	1.47*	0.11
*temperature												
Floor	8.0E-03	5.8E-03	2.2E-02*	1.7E-03	1.1E-02*	3.0E-03	4.0E-02*	5.6E-03	2.9E-02*	3.7E-03	1.8E-02*	3.5E-03
*temperature												
Ownership	1.02	0.88	1.19*	0.14	1.61*	0.38	-1.43	1.01	1.08*	0.48	3.21*	0.48
*temperature												
Intercept	312.24*	63.84	-148.48*	6.59	-125.81*	9.49	194.89*	92.73	140.21*	30.28	52.80	39.88
# observations	11,860		32,368		13,092		7,272		15,776		13,656	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.38		0.31		0.29		0.33		0.31		0.30	
Rural nongrid area		Energy source combination										
Variable	1	2	3	4	5	6						
Temperature	22.87*	1.83		9.11*	0.55	22.43*	1.83				17.28*	0.88
Income	4.3E-03*	1.4E-03		1.1E-03*	5.2E-04	2.9E-03	1.2E-03				3.1E-03*	6.8E-04
*temperature												
Persons	1.47*	0.26		0.95*	0.12	2.21*	0.27				1.66*	0.16
*temperature												
Floor	4.0E-02*	9.4E-03		2.3E-02*	4.5E-03	5.1E-02*	7.5E-03				2.6E-02*	4.1E-03
*temperature												
Ownership	1.10	1.21		1.34*	0.55	-0.40	1.13				2.61*	0.49
*temperature												
Intercept	452.15*	93.61		-126.46*	10.06	-417.09*	112.02				128.21*	30.31
# observations	4,816			6,880		3,900					9,928	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.35			0.27		0.30					0.26	

出典： 引用文献 4

異なるエネルギー源の選択をしている世帯は、気温の低下時に同じように CO<sub>2</sub> 排出量を増やすのだろうか。家庭の社会経済的特性は、エネルギー源の選択とエネルギー消費の両方に影響を与えるため、エネルギー源の選択が CO<sub>2</sub> 排出量に及ぼす差は、異なるエネルギー源を使用している世帯の CO<sub>2</sub> 排出量を単純に比較するだけでは調べられない。そのため、本調査ではエネルギー源の選択とエネルギー消費の 2 段階で特徴付けられる選択バイアス補正モデルを使い、エネルギー源の選択が CO<sub>2</sub> 排出量に及ぼす差を調べた。

推計結果は表 5.3 に示されているが、さまざまなエネルギー源の組み合わせを使用する家庭が、気温の低下に応じてさまざまな速度で CO<sub>2</sub> 排出量を増加させることを明らかにしている。上表は、気温の低下に伴って、電気と灯油を主に使用する世帯はガスを同時に使用する世帯よりも素早く CO<sub>2</sub> 排出量を増加させることを示している。この結果は、住宅の完全電化の推進に疑問を投げかけると同時に、冬季のガス使用を奨励するものとなっている。（なお、電気を利用した場合の CO<sub>2</sub> 排出量は電源構成に依存するため、本調査ではサーベイが実施された年度の電源構成を前提に議論している。）

#### テーマ 4： アンケート調査とヒアリング調査による CP 負担の軽減策の提案

テーマ 3 の調査から、CP を強化して家計に灯油から電気やガスへのエネルギー転換を促しても、寒冷地ではそうした対応を取ることが難しいという結果が得られた。エネルギー転換が行われにくい具体的な理由を調べるために、日本リサーチセンターに依頼し、北海道と北陸に居住する人に対して灯油を利用し続ける理由を尋ねた（なお、単身世帯は生活行動様式が他の世帯と大きくことなるため調査対象から除いている。）。

表 5.4 灯油を利用し続けたいと考える理由

表. 灯油を利用し続けたいと考える理由 (N = 291)

	灯油の利用をやめるとエネルギー代が高くなるから	灯油の利用をやめるとなるとリフトーム代がかかるから	灯油を使わないと十分な暖を取ることができないから	灯油が利用できないと停電の時に心配だから	これまで灯油を使ってきたので、変えるのが面倒だから	その他 (具体的に)
全体	13.2%	12.2%	32.3%	11.6%	27.5%	3.2%
北海道	9.8%	16.7%	28.4%	6.9%	34.3%	3.9%
北陸・新潟	17.2%	6.9%	36.8%	17.2%	19.5%	2.3%

アンケート調査で、「灯油を今後も利用したい」と答えた人にその理由を尋ねた結果を表 5.4 に示した。なお、設問形式は複数回答可となっている。「灯油を使わないと十分な暖を取ることができないから」と回答した人が多く、特に北陸地域では 36.8% に達している。次に多かった回答は、「これまで灯油を使ってきたので、変えるのが面倒だから」というものであり、慣習を変えることが難しいことが伺われる。エネルギー源間の代替性について調査した分析では、電気とガスの代替性に比べて、電気と灯油やガスと灯油の代替性が低いことが確認されている(参考文献 9)。その結果は、灯油を利用している世帯がエネルギー転換を行うことで、CP 強化の負担を軽減することが難しいことを意味しており、CP が強化された場合には寒冷地の農村部の負担が大きくなることを予測している。

表 5.5 CP 強化に対する負担軽減策として望む支援策

寒冷地在住の方を対象とした負担軽減策として、最も適切だと思われる施策 (N = 482)

1. 寒冷地のエネルギー税を低くする	204
2. 寒冷地に在住する世帯の基礎控除額を増額する	63
3. 寒冷地に在住する世帯に暖房代を給付する	155
4. 高性能な暖房機器の購入のための補助金を支給する	26
5. 住宅リフォームのための補助金を支給する	34

低所得世帯の負担軽減策として、最も適切だと思われる施策 (N = 482)

電気やガスの料金体系を見直し、エネルギーを少ししか使わない世帯は電気やガスを安く利用できるようにする	149
暖房費が増える分だけ、基礎控除額を増額する	100
暖房費が増える分だけ、暖房費を支給する	168
高性能な暖房機器の購入のための補助金を支給する	21
住宅リフォームのための補助金を支給する	44

「CP が強化されエネルギー税の負担が増すようになった場合、その負担を軽減するために、どのような支援策を望むか」についても、寒冷地在住の世帯に対するアンケート調査で尋ねてみた。

アンケートでは、寒冷地在住の人を対象とした負担軽減策としては 5 種類の案を提示した上で最も適切だと思うものを一つ選択して貰った。表 5.5 に結果が示されているが、「寒冷地のエネルギー税を低くする」を選択した人が最も多く、続いて「寒冷地に在住する世帯に暖房代を給付する」を選択した人が続いた。暖房機器の購入や住宅のリフォーム補助の支給よりも、エネルギー代が安くなることや直接現金を貰えることを望む人が多いようである。

次に、低所得世帯の負担の軽減策として最も適切だと思うものを一つ選択して貰ったが、暖房費の増加分だけ暖房費を支給する施策とエネルギーの価格を使用量に応じて変える施策が望ましいと答える世帯が多かった。先程と同様に、暖房機器の購入費やリフォームの補助の支給を選ぶ世帯は少ない。

上述の調査結果を踏まえた上で、2022年3月から7月にかけて以下の北海道の機関でヒアリング調査を実施した。お時間を割いてアンケートにご協力頂いたことに対して、この場を借りてご協力に謝意を述べたい。

オンサイトでのヒアリング調査： 北海道庁、北海道環境財団、網走市役所、網走商工会議所、北見商工会議所、釧路市役所、釧路商工会議所、厚岸町役場、白糠町役場、弟子屈町役場、旭川市役所、名寄市役所、士別市役所、美瑛町役場、上富良野町役場、富良野市役所

書面によるヒアリング調査： 斜里町役場、北見市役所、帯広市役所

初めに、CPが強化されエネルギー価格が上昇した時に、自治体としてどのような対応をとっていくのか方針があるのかを尋ねてみたが、「余りはっきりと方針は定めてはいない」という回答を述べる自治体が大多数であった。各自治体にCPの強化に応じて、エネルギー支出がどれだけ増加すると見込まれているかをきちんと示した上で、まずは取りうる対応策を考えて貰うことが大切だと思われる。

次に、「現在導入されている省エネ支援策は自治体間でかなり異なる」ということが確認された。北海道は広く、気象条件や自然エネルギーの分布状況やライフスタイルにもかなりのばらつきがある。そうした多様性が自治体間で導入される省エネ支援策に違いをもたらしており、今後とも自治体間の違いを省エネ支援策に的確に反映させることが大切である。一方で、自治体のキャパシティを考えると各自治体が単独で省エネ支援策を考えるのはなかなか難しいように見える。人口規模が1万人程度を超える自治体になると環境課を設けて同課で省エネ支援策を考えていくことができるようになるが、小規模な自治体の場合では省エネ化問題は建築課の中で考える位しかできておらず、具体的にはリフォームの補助位に留まっている。隣接する幾つかの自治体で協力して共通の支援策を策定するようにすることが現実的だと思われる。

寒冷地における冬場の暖房は必須なものだという判断から、これまでも他の地域では見られないような支援策が設けられてきた。その一つは「寒冷地手当」である。昔は暖を取るための石炭を直接家計に配っていたりしたようであるが、石炭が利用されなくなっからは、灯油の単価に予め決められた使用量をかけた金額を渡すようにしてきた。しかし昨今では、内地の企業などを中心に寒冷地手当を支給しない企業が増えてきたり、灯油の単価とは連動させずに決められた金額だけを支給する企業が増えてきたりしているとのことである。（北見の商工会議所に詳細な資料を提供いただけた。）

従来の「寒冷地手当」のスキームの下では、エネルギー価格変動の影響を受けずに、家計は暖房のために必要となるエネルギーを購入できる。エネルギー購入のためのお金は手当して貰えるものの、実際にエネルギーを購入する時には、高い価格を支払わないといけないため、家計はエネルギー使用を抑えようとする意欲を持ち続けるようになる。一方、エネルギー価格を従前のままに据え置く施策をとる場合には、家計はエネルギー使用を抑えようとする意欲は持たない。以上を考慮すると、CPを強化していく時にも、直接的な所得補償をするスキームを導入する方が望ましい。

エネルギー価格が高騰した時、生活困窮世帯などを対象として、これまでも暖房代が支給されてきた。北海道ではそうした「福祉手当」は殆どの地域で利用されているが、必要な予算は自治体が出しているようである。多くは暖房用のエネルギーの購入費であり、必要不可欠なものであることに鑑みると、本来は国の予算から手当されるべきものだと思う。CPを強化していく時に社会保障費を積み増すことが望まれる。

## 5. 研究目標の達成状況

マイクロデータを用いてCPが導入された場合の負担を世帯類型別・地域別に推計し、どのような地域

に住むどのようなタイプの世帯がどれ位の負担になるかを示した。その結果は国内外の複数の学術誌に掲載した。分析の結果から寒冷地に住む、単身世帯、高齢世帯、低所得世帯の負担が相対的に重くなることが予測された。この分析結果を踏まえて、寒冷地の自治体や商工会議所などを訪問し、エネルギー価格が上昇した時の保証スキームについてヒアリング調査を行った。そして、既存スキームを活用することで一部の世帯に過度な CP 負担を負わせないための提案を行った。市村清新技术財団から市村地球環境学術賞（功績賞）を受賞できたこともあり、当初の計画を上回る成果を得られたと判断する。

## 6. 引用文献

### 書籍

- 1) Arimura, T. H. and Matsumoto, S. (ed.): Carbon Pricing in Japan. Springer. Open Access (2020). 環境経済政策学会 論壇賞受賞 2021 年
- 2) 松本茂：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術，第 4 章，日本評論社，63-80（2022），CP 導入に伴う地域間・世帯間格差とその是正施策。

### 専門誌

- 3) Matsumoto, S. and Sugeta, H.: Environmental and Resource Economics, 83, 759–789 (2022)  
Efficiency investment and curtailment action. <https://doi.org/10.1007/s10640-022-00709-7>
- 4) Matsumoto, S.: Frontiers in Climate, 40, 847851 (2022)  
How much difference does household energy source selection make in winter CO<sub>2</sub> emissions?  
<https://doi.org/10.3389/fclim.2022.847851>
- 5) Matsumoto, S.: Energy Strategy Reviews, Vol.40, 100823 (2022)  
How will a carbon tax affect household energy source combination? <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100823>
- 6) 松本茂：環境科学会誌，35(1)，10-18 (2021)  
段階料金制度下での家計の電力需要の価格弾力性。 <https://doi.org/10.11353/sesj.35.10>
- 7) 尾沼広基・松本茂：環境科学会誌，34(4)，172-183 (2021)  
個票データを用いた日本の電力需要の価格弾力性推計—所得階層別・地域別・季節別の比較—。  
<https://doi.org/10.11353/sesj.34.172>
- 8) 松本茂：環境経済・政策研究，13(2)，31-43 (2020)  
個人の時間利用と環境負荷。 [https://doi.org/10.14927/reeps.13.2\\_31](https://doi.org/10.14927/reeps.13.2_31)

### 学会報告

- 9) Matsumoto, S.: The 41st Eurasia Business and Economics Society Conference: 2022 年 10 月 12 日 (University of Applied Sciences, Berlin) (2022)  
Is the substitutability of energy sources affected by weather condition? Evidence from the analysis of Japanese household data.
- 10) Yang, X. and Matsumoto, S.: 環境経済・政策学会. 2022 年 10 月 1 日（オンライン開催）共著者による報告（2022）  
To use or not to use, that is the question: Income and substitution effect in the feed-in tariff system for solar photovoltaic power.
- 11) Matsumoto, S., Hoang, V. N. and Wilson, C.: 環境経済・政策学会. 2021 年 9 月 26 日（オンライン開催）（2021）  
Impact of COVID-19 on household electricity consumption.
- 12) 松本茂：環境経済・政策学会. 2020 年 9 月 27 日（オンライン開催）（2020）  
段階料金制度下での家計の電力需要の価格弾力性。

## II-6 【サブテーマ6】スマート社会の形成とカーボンプライシングの関係

早稲田大学 社会科学総合学術院 鷲津明由

<研究協力者>

早稲田大学

スマート社会技術融合研究機構 吉田彬（令和3～令和4年度）

高等研究所 居又義（令和3～令和4年度）

東北学院大学 経済学部 板明果（令和3～令和4年度）

日本福祉大学 経済学部 中野諭（令和2～令和3年度）

### 【要旨】

サブテーマ6ではまず、2015年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（IONGES）を作成した。IONGESとは総務省が公表する産業連関表に再生可能エネルギー部門の施設建設と発電の生産活動を追加した表である。IONGESには、対象とする暦年（2015年）に実際に存在した再生可能エネルギー部門の活動を組み込んだ表（組込表）と、2030年の目標水準にまで再生可能エネルギー部門の比率が高まったと想定した表（想定表）の2種類がある。2015年版IONGESの分析結果から得られた環境政策等への示唆は次の通りである；(1)再生可能エネルギー導入は炭素税負担を22.7%軽減することで経済の効率性を促進する、(2)再生可能エネルギー導入は都市と地方の間の地域間公平性に貢献する、(3)再生可能エネルギー導入下での電動車の普及は家計等の炭素税負担を45%軽減することで経済の効率性を促進する。

次に、環境研究総合推進費（2-1707）において開発した2011年版IONGES想定表を、地域間表に展開し、地域間IONGESを作成し公表した。地域間IONGESは全国を9地域に分割し、再生可能エネルギーの普及が地域間の相互依存関係にもたらす効果の分析を行うためのデータベースである。その際、再生可能エネルギーの導入比率を2015年の長期エネルギー需給の見通しの水準とし、地域間送電の状況は2011年の実態と仮定した表（保守的ケース）と、第6次エネルギー基本計画の野心的水準の差一斉可能エネルギーの導入水準と工学モデルに基づく最適な地域間送電を仮定した表（野心的ケース）の2通りの表を作成した。地域間IONGESの野心的ケースと保守的ケースの比較から得られた環境政策等への示唆は次の通りである；(1)再生可能エネルギー導入下での野心的な地域間送電の実現は炭素税負担を4.3%軽減することで経済の効率性を促進する、(2)野心的な再生可能エネルギー導入により、全国的にはCO<sub>2</sub>削減が実現されるが、再生可能エネルギーのバックアップ電源の供給地域などでCO<sub>2</sub>増となる可能性もあり、これらの地域への炭素税負担について地域間公平性の観点から配慮が必要である。

3番目にバーチャルパワープラント（VPP）ビジネスがもたらす経済・環境効果を定量的にとらえるために、2015年版想定表を拡張することでVPPビジネスの事業化効果分析用産業連関表（VPPIO）を開発した。VPPIOの分析結果から得られた環境政策等への示唆は次の通りである；(1)エネルギーマネジメントサービス（VPPサービス）の充実により調整力の円滑な取引を促進することが、太陽光発電の導入促進とCO<sub>2</sub>炭素税負担の削減を通じて、経済の効率性を促進する。(2)再生可能エネルギー導入下でのエネルギーマネジメントサービスの充実は送電費用の17.7%削減や、火力発電の31.5%の削減によるCO<sub>2</sub>炭素税負担の削減を通じて、経済の効率性を促進する、(3)紙パルプ産業などのデマンド・レスポンスに協力的な産業が多く立地している地域はエネルギーマネジメント（したがって再生可能エネルギーの導入促進及び社会の低炭素化）事業に貢献度が大きいと評価できる。

### 1. 研究開発目的

地域循環共生圏や Society 5.0 社会の形成と再生可能エネルギー利用の促進がもたらす低炭素化効果の実証分析を行う。

### 2. 研究目標

2015年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（IONGES）を作成し公表する。

2011年版地域間 IONGES を作成し公表する。

2015年版スマート社会分析用 IONGES を作成し公表する。

上記データベースを用いて、再生可能エネルギーとスマート社会技術導入下で、炭素税課税がもたらすコストプッシュ効果の分析を行う。

### 3. 研究開発内容

本研究では(1)2015年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (IONGES) (令和2~3年度)、(2)2011年版地域間IONGES (令和3~4年度)、(3)2015年版スマート社会分析用IONGESの作成・分析 (令和3~4年度) により、再生可能エネルギーの普及とスマート社会技術の浸透がもたらす低炭素効果および地域循環効果を分析した。そこで、(1)~(3)のIONGESごとに研究開発内容を報告する。なお、(3)のスマート社会分析用IONGESについては、スマート化内容をより具体化・明確化し、「バーチャルパワープラント (VPP) 事業化効果分析用産業連関表 (VPPIO)」として研究開発を行った。

#### (1)2015年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (IONGES) の開発と分析

再生可能エネルギーを導入した次世代エネルギーシステムが、環境、経済、社会にもたらす効果を包括的に分析するために、早稲田大学・次世代科学技術経済分析研究所では、総務省の産業連関表に再生可能エネルギー部門を付け加えた「次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (IONGES)」の作成を行ってきた。これまでに2005年版IONGES[1-3]、2011年版IONGES [4-6]を作成し、さらに全国を9地域に分割した地域間IONGESの2005年版[7-9]や、2011年版[10]を作成し、さらに水素関連部門追加した表[11]も作成してきた。それらの研究に続き、本研究課題の下で2015年版IONGES、および(2)で説明する2011年版地域間IONGESと(3)で説明するVPPIOの作成および分析を行った。

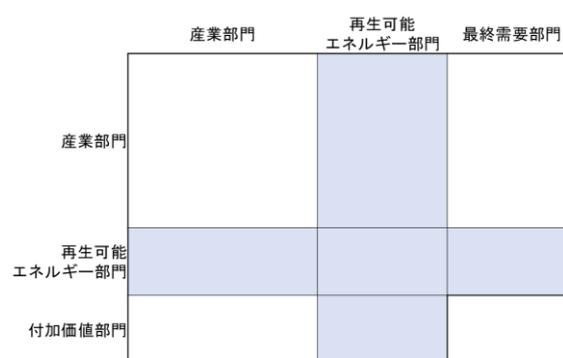


図 6.1 IONGES の概念図

図 6.1 は IONGES の概念図である。IONGES には、該当する暦年に実際に存在した再生可能エネルギーの経済活動を、公表されている発電施設建設部門および発電部門から分離別掲して示した「組込表」と、発電施設建設および発電量の総額は、該当する暦年と同じであるが、発電施設の分布や発電構成比が 2030 年に想定されている状況との仮定の下で作成した「想定表」との 2 種類がある。2015 年版 IONGES 最大の特徴は、想定表において 2030 年の再生可能エネルギーの導入比率に関する仮定を、2021 年 10 月に公表された、「第 6 次エネルギー基本計画」における「野心的取り組み」に基づいていることである。また、2021 年 6 月に公表された「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では、「2035 年までに、乗用車新車販売で電動車（電気自動車、燃料電池自動車、プラグインハイブリッド自動車、ハイブリッド自動車）100%を実現できるように、包括的な措置を講じる。」とされたことから、電動自動車部門とそれを支える車載用 Li イオン電池部門、充電設備建設部門などを新設したことも特徴である。

表 6.1 総務省表の統合中分類に対して 2015 年版 IONGES に追加された部門

No.	部門コード	IONGES部門名
1	161001	木材チップ（発電用）
2	291001	風車・同部品
3	291002	ブレード（風力発電）
4	339001	車載用リチウムイオン蓄電池
5	339002	太陽電池モジュール
6	351001	ガソリン車
7	351002	HEV車
8	351003	EV車
9	351004	PHV車
10	351005	FCV車
11	412001	急速EV充電設備建設

12	412002	普通EV充電設備建設
13	419002	太陽光（住宅用）発電設備・施設建設
14	419003	太陽光（メガソーラー）発電設備・施設建設
15	419004	陸上風力発電設備・施設建設
16	419005	着床式洋上風力発電設備・施設建設
17	419006	中小水力発電設備・施設建設
18	419007	地熱・補充井発電設備・施設建設
19	419008	大規模地熱発電設備・施設建設
20	419009	バイナリー発電設備・施設建設
21	419010	木質バイオ_A級タイプ発電設備・施設建設
22	419011	木質バイオ_B級タイプ発電設備・施設建設
23	419012	木質バイオ_C級タイプ発電設備・施設建設
24	419013	生ごみメタン発電設備・施設建設
25	419014	下水メタン発電設備・施設建設
26	419015	家畜糞尿メタン発電設備・施設建設
27	419016	廃棄物焼却施設発電（大都市）設備・施設建設
28	419017	廃棄物焼却施設発電（地方中核都市）設備・施設建設
29	461004	太陽光発電（住宅設置用）
30	461005	太陽光発電（メガソーラー）
31	461006	陸上風力発電
32	461007	着床式洋上風力発電
33	461008	中小水力発電
34	461009	大規模地熱発電
35	461010	バイナリー地熱発電
36	461011	木質バイオ_A級タイプ発電
37	461012	木質バイオ_B級タイプ発電
38	461013	木質バイオ_C級タイプ発電
39	461014	生ごみメタン発電
40	461015	下水メタン発電
41	461016	家畜糞尿メタン発電
42	461017	大都市廃棄物焼却施設発電
43	461018	地方中核都市廃棄物焼却施設発電
44	462001	家畜糞尿メタン発酵熱供給
45	663001	機械修理（住宅用）
46	663002	機械修理（メガソーラ）
47	663003	機械修理（風力発電）

(2)2011年版地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（地域間IONGES）の開発と分析

2011年版地域間IONGESとは、2011年版IONGES（想定表）を9地域に分割した産業連関表であり、再生可能エネルギー導入下での地域間および産業間の相互依存関係の分析が可能である。地域間IONGESの概念図を図6.2に、また、地域区分を表6.2に示す。

		北海道	東北	...	沖縄	最終需要	国内総生産額
		部門1...部門n	部門1...部門n	...	部門1...部門n		
北海道	部門1 ... 部門n						
東北	部門1 ... 部門n						
...							
沖縄	部門1 ... 部門n						
付加価値							
国内総生産額							

表 6.2 地域区分

図 6.2 地域間IONGESの概念図

地域名	地域に対応する都道府県							
1 北海道	01 北海道							
2 東北	02 青森県 03 岩手県 04 宮城県 05 秋田県 06 山形県 07 福島県							
3 関東	08 茨城県 09 山梨県 10 群馬県 11 埼玉県 12 千葉県 13 東京都 14 神奈川県							
4 中部	15 新潟県 19 山梨県 20 長野県 22 静岡県							
5 近畿	16 富山県 17 石川県 21 岐阜県 23 愛知県 24 三重県							
6 中国	18 福井県 25 滋賀県 26 京都府 27 大阪府 28 兵庫県 29 奈良県 30 和歌山県							
7 四国	31 鳥取県 32 島根県 33 岡山県 34 広島県 35 山口県							
8 九州	36 徳島県 37 香川県 38 愛媛県 39 高知県							
9 沖縄	40 福岡県 41 佐賀県 42 長崎県 43 熊本県 44 大分県 45 宮崎県 46 鹿児島県							
	47 沖縄県							

2011年版IONGES（想定表）の再生可能エネルギー部門の地域間分割および地域間送電の在り方については以下の2通りの仮定に基づいた表を作成した。

(1)保守的ケース：電源種別の発電構成比は長期エネルギー需給見通しの仮定に従う。電力の需給調整は原則として10電力管内を中心で行われ、地域間送電は限定的である。再生可能エネルギーを最優

先としない給電ルールのもとで、太陽光や風力発電の出力制御が発生している。保守的ケースにおける再生可能エネルギーの地域分布、変動電源（太陽光・風力）の地域別出力抑制率、地域間送電量についてはそれぞれ電力広域的運営推進機関、系統ワーキンググループ、資源エネルギー庁の資料を参照している。

(2)野心的ケース：再生可能エネルギーの最大利用を目指した矢部・林<sup>18)</sup>の研究成果に従って、電源種別の発電構成比、再生可能エネルギーの地域分布と地域間送電量に関する想定をおいたケースである。矢部・林<sup>18)</sup>では、原子力・火力発電の設備量と地域分布および再生可能エネルギー発電の設備分布の想定については電力広域的運営推進機関の資料に従った想定を、また再生可能エネルギー発電の設備量（全国計）の構成比については「第6次エネルギー基本計画」における2030年の「野心的取り組み」の想定をおいている。また、地域間連系容量については、2022年度の運用容量（東北-東京間、東京-中部間は予定されている増容量を反映）を想定している。そのうえで、地域毎の需給一致や周波数調整力の確保等の制約、および地域間連系線の容量制約の下で、沖縄以外の9地域の合計火力発電費を最小化するように、電力需給最適化モデルを解き、各地域の発電量の分布と地域間送電量を求解している。

**(3)パーチャルパワープラント（VPP）事業化効果分析用産業連関表（VPPIO）の開発と分析**

Socirty5.0 の下で社会のスマート化が進展すると低炭素化がもたらされることの実証例の分析のために作成した VPP 事業化効果分析用産業連関表（以下 VPPIO）の概念図を図 6.3 に示す。VPPIO は 2015 年版の IONGES を概念拡張した表である。すなわち、既存の送配電事業をアシストし社会における電力供給の低炭素化を実現する産業として「VPP 事業」部門を定義し、想定表に部門を追加した。

	No.	部門	中間需要						最終需要	総生産額
			1	2	3	4	5 送配電	6 VPP		
中間投入	1	産業部門					$-x_{16}$	$x_{16}$		
	2	事業用火力	$-\delta_{21}$	$-\delta_{22}$	$-\delta_{23}$	$-\delta_{24}$	$-\delta_{25} - x_{26}$	$x_{26}$	$-\delta_{2f}$	$-\sum \delta_{2c}$
	3	住宅用太陽光	$\delta_{31}$	$\delta_{32}$	$\delta_{33}$	$\delta_{34}$	$\delta_{35} - x_{36}$	$x_{36}$	$\delta_{3f}$	$\sum \delta_{3c}$
	4	メガソーラー	$\delta_{41}$	$\delta_{42}$	$\delta_{43}$	$\delta_{44}$	$\delta_{45} - x_{46}$	$x_{46}$	$\delta_{4f}$	$\sum \delta_{4c}$
	5	送配電	$-\varepsilon_{51}$	$-\varepsilon_{52}$	$-\varepsilon_{53}$	$-\varepsilon_{54}$	0	0	$-\varepsilon_{5f}$	$-x_{5c}$
	6	VPP 事業	$\varepsilon_{61}$	$\varepsilon_{62}$	$\varepsilon_{63}$	$\varepsilon_{64}$	0	0	$\varepsilon_{6f}$	$x_{6c} = \sum \delta_{6c}$
付加価値						$-v_6$	$v_6$			
総生産額=総投入						$-x_6$	$x_6$			

図 6.3 VPP 事業化効果分析用産業連関表（VPPIO）の概念図

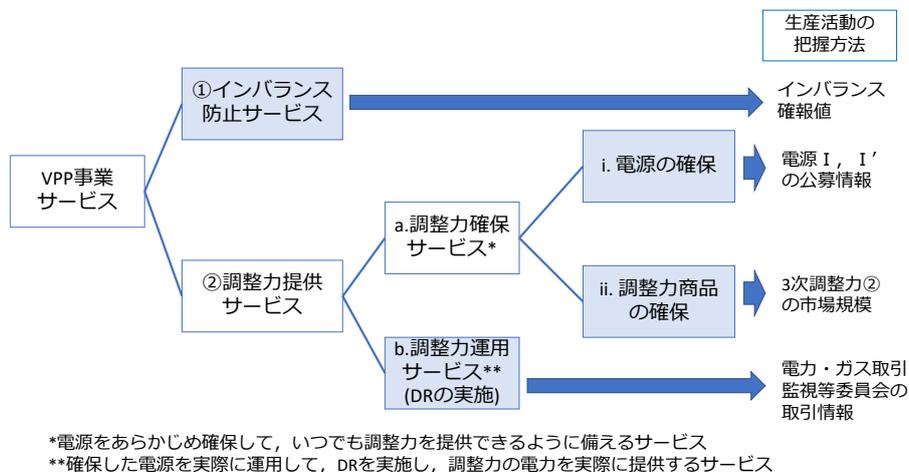


図 6.4 VPP 事業サービスの分類

再生可能エネルギーの利用促進のために提供される VPP 事業サービスには①インバランスの発生防

止サービスと②調整力提供サービスの2種類があると考え（図 6.4 を参照）。VPP 事業サービスは現状では、既存の送配電部門の生産活動に含まれ、電気料金に上乗せされて販売されていると解釈できる。しかし、再生可能エネルギー（とりわけ現状では太陽光発電）が普及しつつある社会では VPP 事業の役割が重要化することを踏まえ、既存の産業連関表では「送配電部門」に埋没している VPP サービス活動を図 11 に示す資料を用いて定量的に捉え、「VPP 事業部門」の生産活動を「見える化」することを行った。本研究では VPP 事業を、太陽光発電の電力を火力発電の電力に置き換えることを目的に、上記の①と②の VPP 事業サービス提供する部門と単純化している。

#### 4. 結果及び考察

カーボンプライシングの制度設計における効率性と地域間の公平性について、サブテーマ 6 の研究では主に再生可能エネルギーとスマート社会技術導入が、それらにもたらす影響を考察した。

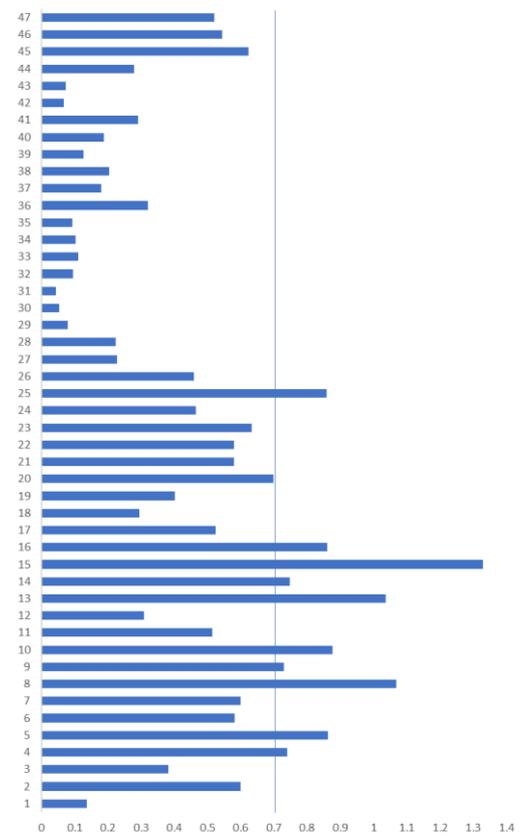
##### (1) 2015年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (IONGES) の開発と分析

2015年版 IONGES の主な推計結果は次のとおりである。

図 6.5 は想定表に新たに付け加えた部門について計算した  $[I - A]^{-1}$  型と  $[I - (I - \hat{M})A]^{-1}$  型のレオンチェフ逆行列の列和の差分である。この差分は、当該財のサプライチェーンにおける生産誘発効果のうち、海外へのリーケージを示す。差分が大きい部門（例えばサプライチェーン全体のリーケージが 0.7（100 万円分の生産あたり 70 万円）以上の部門）を取り上げると、陸上風力設備・施設建設、EV、住宅用太陽光発電設備・施設建設、太陽電池モジュール、FCV、着床式洋上風力および下水メタン発電設備・施設建設、車載用リチウムイオン電池、PHV、メガソーラー発電設備・施設建設等であり、太陽光モジュール、風車、リチウムイオン電池の輸入依存が大きいことが示唆される。

各再生可能エネルギーの設備・施設建設部門および、発電部門の  $[I - (I - \hat{M})A]^{-1}$  型レオンチェフ逆行列係数の列和は、その再生可能エネルギーの設備・施設建設または発電に伴うコストの国内全体への波及効果である。そこで各再生可能エネルギー種について、その発電設備・施設建設時と発電時のコストの波及効果を、それぞれ生み出される電力 1 単位当たりの大きさを図示したのが図 6.6 のバブル図である。横軸は各再生可能エネルギー種の発電設備・施設が耐用年数の期間にわたって生涯に発電する電力 1 単位当たりの生産誘発（=社会的コスト）を示し、縦軸は発電時の電力 1 単位当たり生産誘発を示す。横軸の大きさは、各再生可能エネルギーの発電設備・施設建設部門  $[I - (I - \hat{M})A]^{-1}$  型逆行列係数の列和と、それぞれの設備利用率、建設単価、耐用年数より計算した値である。また、縦軸の大きさは、各再生可能エネルギー発電部門の  $[I - (I - \hat{M})A]^{-1}$  型逆行列係数の列和そのものである。バブルの円の直径は、各発電の CT の相対的な大きさを示す。

組込表について描いた同様のバブル図と比較すると、廃棄物発電の比重が相対的に低くなり、中小水力、洋上風力、木質バイオマス発電 B 級の相対的比重が高まっていることが大きな特徴である。最も比重の大きいメガソーラー発電は設備・施設建設時、発電時の生産誘発がともに低く、再生可能エネルギー発電のコスト低下に貢献していると考えられる。中小水力および洋上風力発電は、メガソーラーに比



縦軸の番号は表 6.1 の部門番号である。

図 6.5  $[I - A]^{-1}$ 型と  $[I - (I - \hat{M})A]^{-1}$ 型の  
レオンチェフ逆行列の差分

べると、発電時の生産誘発がやや高いが、スマート技術を用いたメンテナンスの効率化等によるマネジメントの改善により、発電時の生産誘発（コスト誘発）を逡減させていくことが期待される。なお、生ごみメタンによる発電施設が生み出す生涯電力1単位当たりの生産誘発が極めて大きくなるため、図3には含まれていない。同値が大きくなるのは、想定されている建設単価が高く、設備利用率が低いためである。廃棄物焼却発電、家畜糞尿メタン発電も建設単価は高めであるが、想定されている設備利用率が比較的大きい値であるため、発電設備・施設が生み出す生涯電力1単位当たりの生産誘発が抑えられた結果となった。同じメタンガス発電でも、下水メタンは建設単価が低いために同値が抑えられている。家畜糞尿メタン発電は発電時の生産誘発が高いが、これは原料搬入に伴うコストが関係している。木質バイオマス発電も発電時の生産誘発は高いものの、設備・施設建設に伴う生産誘発は、他の再生可能エネルギーに比べても低い値である。バイオマス燃料の調達に伴い発電時の生産誘発が大きくなることに関して、その調達を通じて新たな地域循環共生圏の形成がみられている可能性が考えられる。

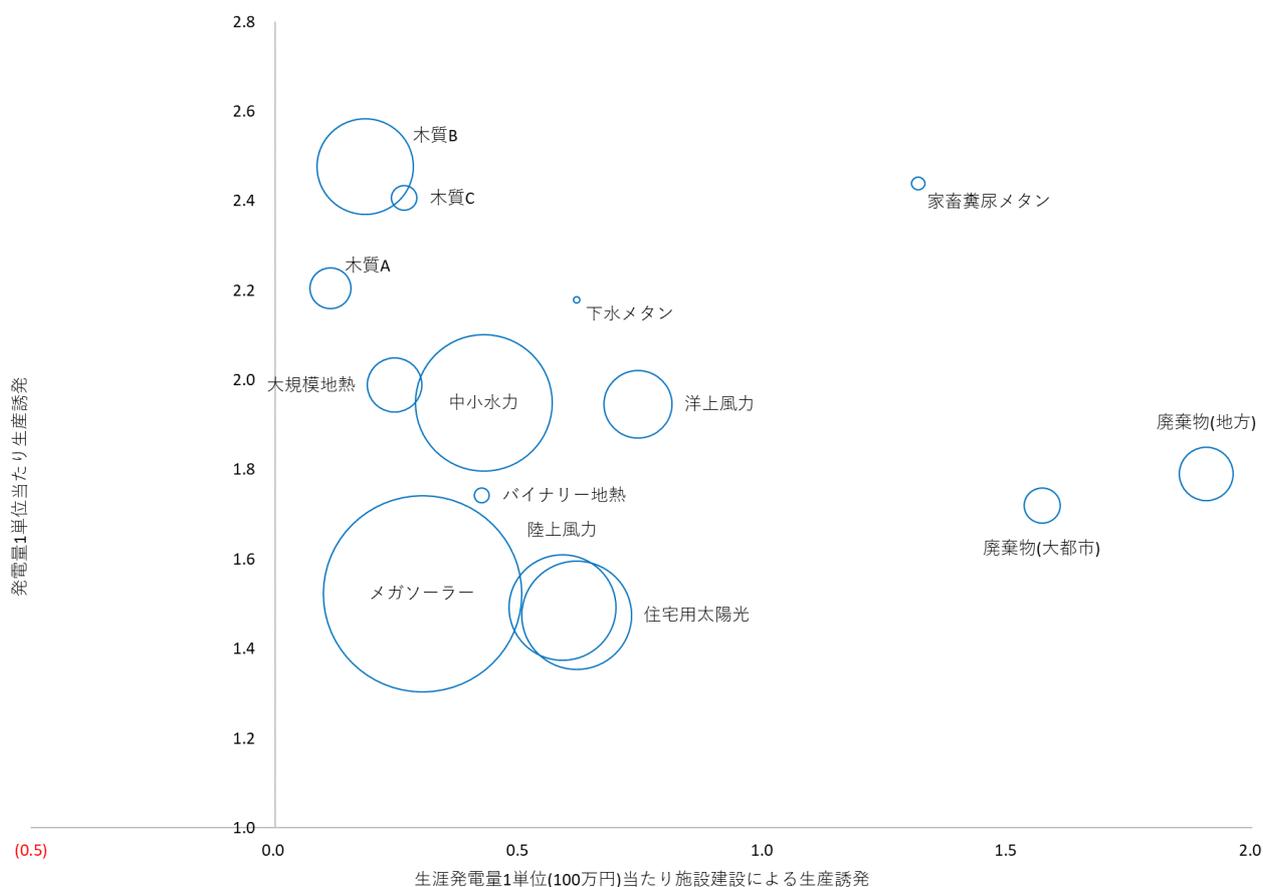


図 6.6 建設時と発電時の波及効果の大きさ

各車種の投入ベクトルの構成比をみると、ガソリン車、EV、FCV でそれぞれ投入係数が大きく異なる。ガソリン車は自動車部品、EV はリチウムイオン電池、FCV はプラスチック製品と化学最終製品が主たる投入財である。各車種の単位当たり生産が経済にもたらす間接波及効果 $(\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A})^{-1}$ 型逆行列係数の列和から1を引いた値)をみると、ガソリン車に対して電動車種の波及効果が下がるが、その要因として自動車部品・同付属品への波及が大きく低下することがある。中間投入比率の差異に比べて波及効果の差異が大きいことが注目される。FCV ではプラスチック製品への波及効果が大きいことが特徴である。このように電動車とガソリン車では投入構成が大きく異なり、サプライチェーンの波及プロセスも大きく変化することから、自動車工場の立地が集中している地域では、電動化が地元経済にもたらす効果分析に関心が集まっている。

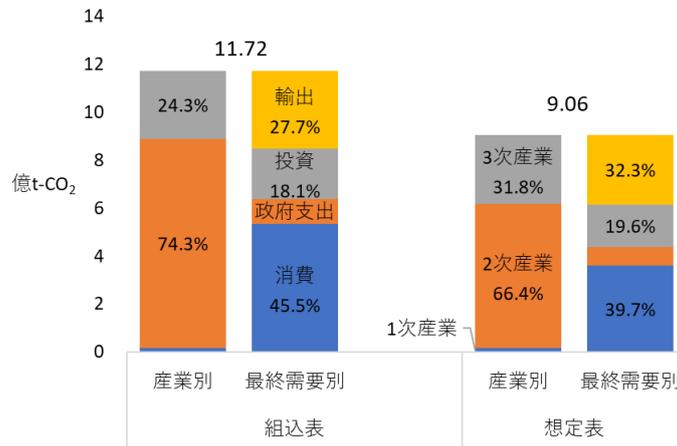


図 6.7 最終需要による CO<sub>2</sub> 誘発排出量 (億 t-CO<sub>2</sub>)

これまでの IONGES と同様に、部門分類別にエネルギー起源の CO<sub>2</sub> 排出係数表を作成した。IONGES の部門分類のうち、総務省表の統合中分類と概念の変わらない部門については、国立環境研究所の産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) を統合中分類に集計した値である。新たに追加した部門については、3EID の燃料別原単位データに基づいて独自に CO<sub>2</sub> 排出係数を作成した。

図 6.7 は最終需要が誘発する CO<sub>2</sub> 排出量の大きさを、産業別 (左の棒グラフ) または最終需要項目別 (右の棒グラフ) に分解して示している。最終需要が誘発する CO<sub>2</sub> 排出量は組込表の計算結果では 11.72 億 t-CO<sub>2</sub> あるのに対し、想定表の計算結果では 9.06 億 t-CO<sub>2</sub> と 22.7%減少する。これは再生可能エネルギーおよび電動車の導入効果とみなせる。組込表に比べて想定表では 2 次産業と消費による誘発の比率が下がり、3 次産業と輸出及び投資による誘発比率が増える。

表 6.3 車種別製造時のライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出

	t-CO <sub>2</sub> /100 万円*	t-CO <sub>2</sub> /台**
ガソリン車	1.94	2.4027
HEV	1.68	3.2934
EV	1.29	4.6410
PHV	1.53	4.0026
FCV	1.80	12.0340

\* 100 万円当たり LC-CO<sub>2</sub> は  $[I - (I - \hat{M})A]^{-1}$  型レオンチェフ逆行列の計算結果に CO<sub>2</sub> 排出係数をかけて算出したものである。

\*\* 1 台当たり LC-CO<sub>2</sub> は 100 万円当たり LC-CO<sub>2</sub> と、完成車生産者価格を用いて計算した。

次に自動車部門について、車種別の製造時のライフサイクル (LC) CO<sub>2</sub> 排出量 (表 6.3) を検討した。100 万円当たり排出量はガソリン車で最も大きく、FCV がそれに次ぎ、EV が最も少ないという結果である。図 6.8 は自動車 100 万円当たり排出量の部門別内訳である。電動車では鉄鋼製品の排出が少なくなることが 100 万円当たり排出量低下の要因である。FCV では鉄鋼製品による排出は少なくなる一方、化学製品による誘発が大きくなる。FCV とその他の電動車では、低炭素化に力を入れるべき産業分野に違いがあることは興味深い。1 台当たり LC-CO<sub>2</sub> を見ると、車両単価の高さを反映して、FCV や EV による LC-CO<sub>2</sub> は大きく計算される。

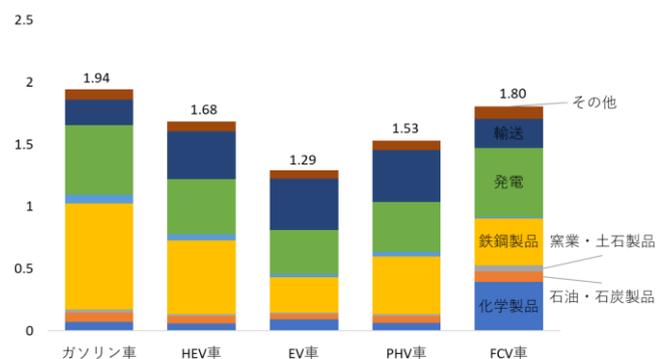


図 6.8 車種別 100 万円当たりの自動車製造による CO<sub>2</sub> 排出量 (t-CO<sub>2</sub>)

また、車種別の走行時と製造時の走行距離 1km 当たりライフサイクル (LC) CO<sub>2</sub> 排出量について、自動車のライフサイクル走行距離を 10 万 km と想定して検討した (図 6.9)。図中、赤字で示した%の数字は、ガソリン車の LC-CO<sub>2</sub> に対する増減の比率である。図 6.9 によると FCV の製造時と走行時に引き起こされる LC-CO<sub>2</sub> 排出量は、他の車種に比べて大きい。製造時の LC-CO<sub>2</sub> 排出量が大きくなる要因は、FCV に想定している単価が大きいことであることは否めない。また、走行時の LC-CO<sub>2</sub> 排出量を計算するための水素製造の LCA-CO<sub>2</sub> について、中野・鷺津<sup>11)</sup>で計算した 2 通りの値 (水素製造に既存電力を利用する場合と洋上風力発電を利用する場合) を試算値として用いているが、この大きさは海外での水素製造～タンカー輸送で発生している CO<sub>2</sub> 排出を含んでいる。そこで、図 6.9 では、やや大胆な設定に基づいて FCV の LC-CO<sub>2</sub> 排出量を試算し、感度分析を試みた。すなわち FCV の単価が EV 並みに抑えられたとして、製造時の LC-CO<sub>2</sub> 排出量を割り引いた上、走行時に使用する水素製造時の CO<sub>2</sub> 排出を、輸入水素の陸揚げ以降の排出に限定して試算した結果を図 6.9 の右端の二つの棒グラフで示した。その場合には、FCV の走行時と製造時の走行距離 1km 当たり LC-CO<sub>2</sub> 排出量は、ガソリン車と比べて 33–36%減少する。FCV については車両製造ばかりでなく、水素製造に関する想定によって LC-CO<sub>2</sub> 排出の振れ幅が大きいことが分かった。

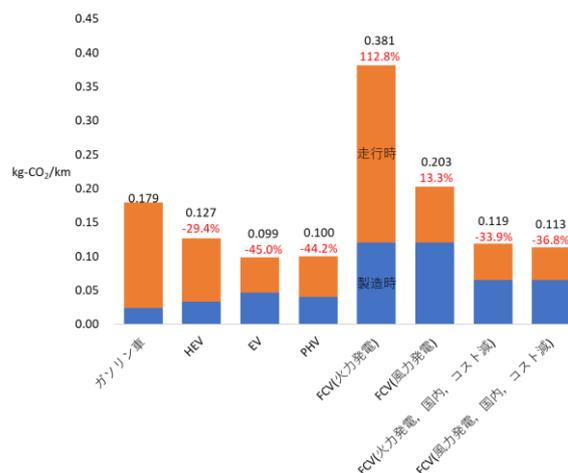


図 6.9 車種別走行時と製造時のライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量 (走行距離 1km 当たり)

## (2) 2011年版地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (地域間IONGES) の開発と分析

図 6.10 は地域別再生可能エネルギーの電源種別構成比である。保守的ケースにくらべて野心的ケースでは、関東以西の太陽光発電 (メガソーラー) の比率が顕著に上昇している 2030 年における日本の再生可能エネルギー利用状況は大きくメガソーラーに偏っている。

各地域の最終消費による CO<sub>2</sub> 誘発排出量を計算すると、保守的ケースでは 4 億 4229 万 t-CO<sub>2</sub>、野心的ケースでは 4 億 2348 万 t-CO<sub>2</sub> という結果であった。発電総量の想定は両ケースで同じであるが、電源構成と地域間潮流が変化することで同じ最終消費でも CO<sub>2</sub> 誘発排出量は 4.3%削減される。図 6.11 はこの計算結果を、やや異なる視点から地域別に集計した結果である。図 6.11 の左側の図は、ある地域の最終消費が自地域または他地域に引き起こす CO<sub>2</sub> 排出量を保守的ケースと野心的ケースで比較している。一方、図 6.11 右側の図は、自地域または他地域の最終消費からある地域に引き起こされる CO<sub>2</sub> 排出量を両ケースで比較している。図 6.11 の左側の図が示す通り、どの地域の最終消費が域内外に誘発する CO<sub>2</sub> 排出量も、必ず保守的ケースから野心的ケースにかけて減少する。減少率は九州の最終消費による誘発の 10.7%減が最も大きい一方、四国による誘発は 2.9%の減である。連系のない沖縄の最終消費による全国への CO<sub>2</sub> 誘発排出量も、間接波及の影響で 0.6%減少する。最終消費による CO<sub>2</sub> の誘発先は、関東、近畿、中国では自地域の排出構成比が大きく下がる一方、東北では自地域構成比が大きく上昇する。

一方、図 6.11 の右側の図で、全国の最終消費からある地域に誘発される CO<sub>2</sub> 排出量を両ケースで比較した場合には、保守的ケースから野心的ケースにかけて、排出量が減る場合と増える場合がある。野心的ケースにおいて誘発される CO<sub>2</sub> 排出量が増えるのは、東北、中部、四国であるが、とりわけ東北の増加量が 2935 万 t-CO<sub>2</sub> と大きい。一方、関東に誘発される CO<sub>2</sub> 排出量は野心的ケースにおいて 3781 万 t-CO<sub>2</sub> だけ大きく減少する。

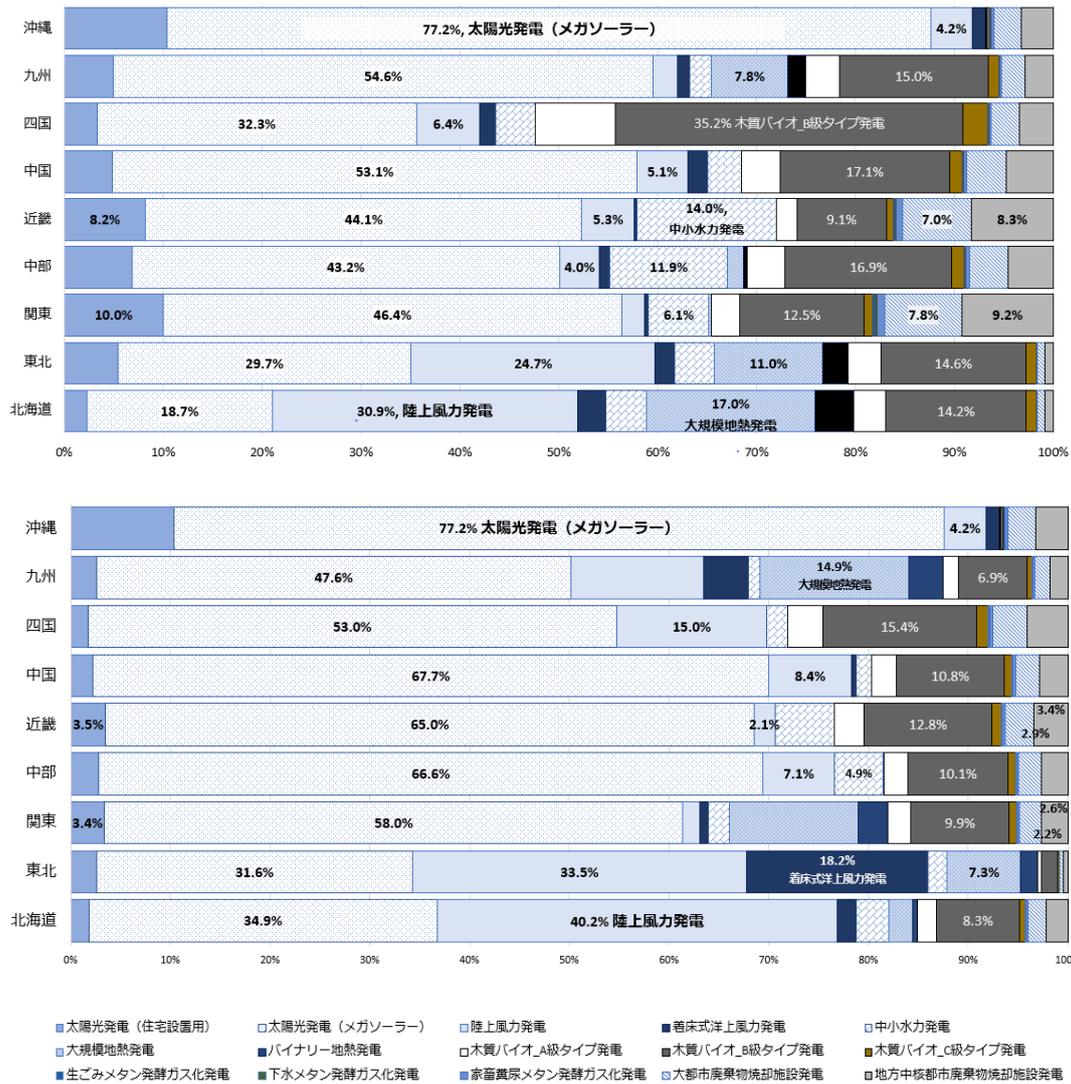


図 6.10 地域別再生可能エネルギー電源種別構成比 (上: 保守的ケース、下: 野心的ケース)

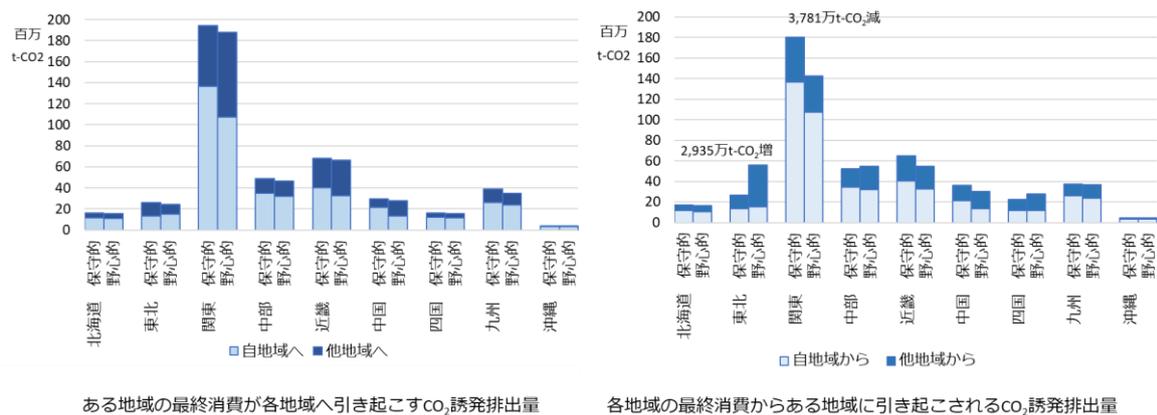


図 6.11 各地域の最終消費による CO<sub>2</sub> 誘発排出量

このように、全国の最終消費からある地域に誘発される CO<sub>2</sub> 排出量は、野心的ケースにかけて、排出量が減る場合と増える場合があった。野心的ケースにおいて誘発される CO<sub>2</sub> 排出量が増えるのは、電力の大消費地で需要家サイドに大量導入された太陽光発電装置をバックアップする役割を担う地域（東北など）であった。つまり、火力発電を含めた全体最適によって電源構成が変化すると、日本全体に誘発される CO<sub>2</sub> 排出量は減少する一方で、局所的には最終消費に誘発される CO<sub>2</sub> 排出量が大きくな

る地域も出てくるということが分かった。この場合、CO<sub>2</sub>排出量が大きくなる地域は、電力の大消費地の太陽光発電をバックアップするための火力発電を担うことで系統全体の低炭素化に貢献しているが、その地域自身のCO<sub>2</sub>排出量は、野心的ケースにかけて増える結果となった。これはCO<sub>2</sub>排出責任の分担および炭素税の制度設計を考えるうえで、重要な配慮事項であると考えられる。

同様のことは個別財のサプライチェーンで誘発されるCO<sub>2</sub>排出についても当てはまる。野心的ケースにかけて、個別財のサプライチェーンで誘発されるCO<sub>2</sub>排出量は減少する。また、サプライチェーン上で誘発されるCO<sub>2</sub>排出量が中程度である複合財（産業用電気機器）と軽工業品（飲食料品）において、野心的融通にかけてサプライチェーン上のCO<sub>2</sub>削減効果が大きかった。

### (3)バーチャルパワープラント（VPP）事業化効果分析用産業連関表（VPPIO）の開発と分析

VPP事業の生産活動の規模感を表6.4に示す。分析の結果、VPP事業化により、事業用火力発電のCT（2030年の想定値）の31.5%が太陽光発電に置き換えられる。また、既存送配電事業のCTの33.2%がVPP事業サービスに置き換えられる。また、VPP事業化によって節約可能な送配電コストは、既存送配電事業のCTの17.7%である。

表 6.4 VPP 事業サービスの規模

	億円	変化率
事業用火力発電	86,405	
太陽光発電に置き換えられる火力発電量 ( $\delta_{2i}$ )	23,755	27.5%
太陽光発電（住宅設置用）	7,896	
太陽光発電（メガソーラー）	25,823	
送配電事業	43,174	
VPP事業のCT	14,351	33.2%
送配電コストの軽減額 ( $\Delta_i$ )	7,624	17.7%

### (4)考察

以上(1)~(3)の結果からの考察は、以下のとおりである。

- 2015年版 IONGES の分析結果から、
  - 再エネ導入によって、電力需要が全く変わらなくても22.7%のCO<sub>2</sub>削減効果が見込まれると計算された。⇒再生可能エネルギー導入は炭素税負担を22.7%軽減することで経済の効率性を促進する。
  - 再エネの中で比重が大きいのはメガソーラーであるが、伸び率が大きいのは中小水力、洋上風力、木質バイオマス発電B級であり、これらは地域への波及効果が大きい電源である。⇒再生可能エネルギー導入は都市と地方の間の地域間公平性に貢献する。
  - 車両の電動化によって走行時と製造時のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量(走行距離1kmあたり)は、45%減少すると試算された。⇒再生可能エネルギー導入下での電動車の普及は家計等の炭素税負担を45%軽減することで経済の効率性を促進する。
- 地域間 IONGES の野心的ケースと保守的ケースの比較から、
  - 同じ電力需要の下で、野心的な地域間送電を行うことによる再エネ導入比率の増加によって、4.3%のCO<sub>2</sub>削減効果が見込まれると計算された。⇒再生可能エネルギー導入下での野心的な地域間送電の実現は炭素税負担を4.3%軽減することで経済の効率性を促進する。
  - ただし、関東の最終消費が東北に誘発するCO<sub>2</sub>排出量が増加することが確認された。これは、関東の低炭素化に貢献するために、東北バックアップ電源の稼働によるCO<sub>2</sub>排出増が発生するためと考えられた。⇒野心的な再生可能エネルギー導入により、全国的にはCO<sub>2</sub>削減が実

現されるが、再生可能エネルギーのバックアップ電源の供給地域などで CO<sub>2</sub> 増となる可能性もあり、これらの地域への炭素税負担について地域間公平性の観点から配慮が必要である。

- Society5.0 の下でのスマート化に関して、VPPIO の分析結果から
  - ▶ 太陽光発電の大量導入に不可欠な調整力について、東京エリアが安価な調整力を周辺地域に大量に供給している実態が読み取れた。⇒エネルギーマネジメントサービス (VPP サービス) の充実により調整力の円滑な取引を促進することが、太陽光発電の導入促進と CO<sub>2</sub> 炭素税負担の削減を通じて、経済の効率性を促進する。
  - ▶ 太陽光発電の変動性を緩和するためのエネルギーマネジメントサービスの重要性が高まっている。VPP サービスの充実により、送電費用が 17.7%削減され、火力発電のさらに 31.5%が太陽光発電に置き換えられる可能性が示唆された。⇒再生可能エネルギー導入下でのエネルギーマネジメントサービスの充実は送電費用の 17.7%削減や、火力発電の 31.5%の削減による CO<sub>2</sub> 炭素税負担の削減を通じて、経済の効率性を促進する。
  - ▶ VPP 事業に協力的な産業（紙・パルプ産業）で送電費用の削減効果および CO<sub>2</sub> 削減効果が大きい。⇒紙パルプ産業が多く立地している地域はエネルギーマネジメント（したがって再生可能エネルギーの導入促進及び社会の低炭素化）に貢献度が大きいと評価できる。

## 5. 研究目標の達成状況

目標どおりの成果をあげた。具体的な理由・根拠は以下のとおりである。

- 2015年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (IONGES) を作成し、分析結果を発表した。
- 2011年版地域間IONGESを作成し分析結果を発表した。
- 2015年版IONGESを拡張してバーチャルパワープラントビジネス事業化効果分析用産業連関表 (VPPIO) を作成して、スマート社会における再生可能エネルギーの導入促進について分析結果を発表した。
- 上記のデータベースを用いて、再生可能エネルギーの導入とスマート社会技術の導入がもたらす CO<sub>2</sub>削減効果を導出し、炭素賦課金の導入に伴う負担の軽減効果を試算した。VPPIOによるの重要性を、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「IoT社会のエネルギーシステム」サブ・プログラムディレクター浅野浩志氏より評価いただいた。

## 6. 引用文献

- 1) 鷲津明由・中野諭・朝倉啓一郎・高瀬浩二・古川貴雄・新井園枝・林和弘・奥和田久美：文部科学省 科学技術・学術政策研究所 科学技術動向研究センター DISCUSSION PAPER, (96), 1-56 (2013) 拡張産業連関表による再生可能エネルギー発電施設建設の経済・環境への波及効果分析. <http://hdl.handle.net/10119/11708>
- 2) 鷲津明由・中野諭・新井園枝：経済統計研究, 43(3), 12-31 (2015) スマートエネルギー社会の産業連関分析に向けて一次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の作成と応用一。
- 3) Nakano, S., Arai, S. and Washizu, A.: Environmental Economics and Policy Studies, 19(3), 555-580 (2017) Economic impacts of Japan's renewable energy sector and the feed-in tariff system: using an input-output table to analyze a next-generation energy system. <https://doi.org/10.1007/s10018-016-0158-1>
- 4) Nakano, S. and Washizu, A.: Environmental Economics and Policy Studies, 23, 535-556 (2020) Analysis of inter-regional effects caused by the wide-area operation of the power grid in Japan: an implication for carbon pricing schemes. <https://doi.org/10.1007/s10018-020-00274-7>
- 5) 中野諭・鷲津明由：産業連関, 27(1), 90-105 (2020) 2011年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の作成とその応用. [https://doi.org/10.11107/papaios.27.1\\_90](https://doi.org/10.11107/papaios.27.1_90)

- 6) Washizu, A. and Nakano, S.: Arimura T. H., Matsumoto S. (ed.) Carbon Pricing in Japan, Economics, Law, and Institutions in Asia Pacific. Springer”, Singapore. (2021)  
An Assessment of Carbon Taxation by Input-Output Analysis: Upstream or Downstream? [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6964-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6964-7_9)
- 7) 鷺津明由・中野諭・新井園枝：経済統計研究，44(3)，21-38（2016）  
再生可能エネルギーの高度利用に向けて—地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の作成と応用—.
- 8) Nakano, S., Arai. S. and Washizu, A.: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 2834-2842, (2018)  
Development and Application of an Inter-Regional Input-Output Table for Analysis of a Next Generation Energy System. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.011>
- 9) 鷺津明由・中野諭：経済統計研究，46(3)，13-28（2018）  
変動電源の出力抑制を考慮した地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表と応用.
- 10) 新井園枝・鷺津明由：経済統計研究，49(2)，14-37（2021）  
2011年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表・地域間表（地域間IONGES）の作成について.
- 11) 中野諭・鷺津明由：産業連関，26(1)，35-49（2018）  
政府見通しに基づく大規模水素利用の波及効果の分析. [https://doi.org/10.11107/papaios.26.1\\_35](https://doi.org/10.11107/papaios.26.1_35)
- 12) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2021-J002, 1-15（2021）  
2015年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（組込表）の作成. [https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/05/washizu-nakano\\_2021-J002.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/05/washizu-nakano_2021-J002.pdf)
- 13) 鷺津明由・中野諭：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア，日本評論社，第7章，117-139（2022）  
次世代エネルギーシステム分析用産業連関表について，
- 14) Nakano, S. and Washizu, A.: Energies, 15(6), 2162 (2022)  
A Study on Energy Tax Reform for Carbon Pricing Using an Input-Output Table for the Analysis of a Next-Generation Energy System. <https://doi.org/10.3390/en15062162>
- 15) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2022-J001, 1-31（2022）  
2015年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（想定表）の作成. [https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2022/04/washizu-nakano\\_2022-J001.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2022/04/washizu-nakano_2022-J001.pdf)
- 16) 経済産業省：2030年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）. <https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-3.pdf>
- 17) 内閣官房・経済産業省・内閣府・金融庁・総務省・外務省・文部科学省・農林水産省・国土交通省・環境省：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略. <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf>
- 18) 矢部邦明・林泰弘：第38回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス 講演論文集，691-696（2022）  
2030年における電源種別ごとの地域間潮流の試算.

### 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) Abe, T., Arimura, T. H.: *Energy Policy*, 168, 113151, 1-10, (2022)  
Casual effects of the Tokyo emissions trading scheme on energy consumption and economic performance. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113151>
- 2) Arimura, T. H., Iwata, K., Katayama, H. and Sakudo, M.: *Environmental and Resource Economics*, 80, 761-794 (2021)  
Seemingly Unrelated Interventions: Environmental Management Systems in the Workplace and Energy Saving Practices at Home. <https://doi.org/10.1007/s10640-021-00609-2>
- 3) Arimura, T. H. and Sugino, M.: *Asian Economic Policy Review*, 16, 44-61 (2021)  
Energy-Related Environmental Policy and its Impacts on Energy Use in Asia. <https://doi.org/10.1111/aepr.12319>
- 4) Kunugi, Y., Arimura, T. H. and Nakai, M.: *Energies*, 14(13), 3984, (2021)  
The Long-Term Impact of Wind Power Generation on a Local Community: Economics Analysis of Subjective Well-Being Data in Choshi City. <https://doi.org/10.3390/en14133984>
- 5) Lu, G., Sugino, M., Arimura, T. H. and Horie, T.: *Energy Policy*, 163, 112850, 1-10 (2022)  
Success and failure of the voluntary action plan: Disaggregated sector decomposition analysis of energy-related CO<sub>2</sub> emissions in Japan. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112850>
- 6) Miyamoto, T., Yajima, N., Tsukahara, T. and Arimura, T. H.: *Sustainability*, 12(21), 1-24 (2020)  
Advancement of Green Public Purchasing by Category: Do Municipality Green Purchasing Policies Have Any Role in Japan?
- 7) Sadayuki, T. and Arimura, T. H.: *Energy Economics*, 104, 105664, 1-15 (2021)  
Do regional emission trading schemes lead to carbon leakage within firms? Evidence from Japan. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105664>
- 8) Takeda, S. and Arimura, T. H.: *Sustainability Science*, 16(2), 503-521 (2021)  
A computable general equilibrium analysis of environmental tax reform in Japan with a forward-looking dynamic model. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00903-4>
- 9) Yajima, N. and Arimura, T. H.: *Energy Economics*, 114, 106253 (2022)  
Promoting energy efficiency in Japanese manufacturing industry through energy audits: Role of information provision, disclosure, target setting, inspection, reward, and organizational structure. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106253>
- 10) 有村俊秀：環境科学会誌，35(1)，1-9(2022)  
カーボンプライシングの現状と展望—排出量取引の事後検証と日本における可能性について—。  
<https://doi.org/10.11353/sesj.35.1>
- 11) 有村俊秀・杉野誠：環境経済・政策研究，13(2)，70-74(2020)  
アジアにおける脱炭素社会に向けた国際協力の可能性—カーボンプライシング・市場メカニズムの視点—。  
[https://doi.org/10.14927/reeps.13.2\\_70](https://doi.org/10.14927/reeps.13.2_70)
- 12) 木元浩一：環境科学会誌，35(1)，28-33(2021)  
環境税収を雇用保険制度の財源に充当することの政策的意義の検討。  
<https://doi.org/10.11353/sesj.35.28>
- 13) 鷺津明由・尾沼広基・有村俊秀：環境科学会誌，35(1)，19-27(2022)  
大規模オフィスビルにおけるゼロ・エネルギー・ビルディング対策の浸透状況。  
<https://doi.org/10.11353/sesj.35.19>

## 【サブテーマ 2】

- 1) Takeda, S. and Arimura, T. H.: *Sustainability Science*, 16(2), 503-521 (2021)  
A computable general equilibrium analysis of environmental tax reform in Japan with a forward-looking dynamic model. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00903-4>

## 【サブテーマ 3】

- 1) Arimura, T. H. and Sugino, M.: *Asian Economic Policy Review*, 16, 44-61 (2021)  
Energy-Related Environmental Policy and its Impacts on Energy Use in Asia. <https://doi.org/10.1111/aepr.12319>
- 2) Lu, G., Sugino, M., Arimura, T. H. and Horie, T.: *Energy Policy*, 163, 112850, 1-10 (2022)  
Success and failure of the voluntary action plan: Disaggregated sector decomposition analysis of energy-related CO2 emissions in Japan. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112850>
- 3) 有村俊秀・杉野誠：環境経済・政策研究，13(2)，70-74（2020）  
アジアにおける脱炭素社会に向けた国際協力の可能性—カーボンプライシング・市場メカニズムの視点—。 [https://doi.org/10.14927/reeps.13.2\\_70](https://doi.org/10.14927/reeps.13.2_70)

## 【サブテーマ 4】

特に記載すべき事項はない。

## 【サブテーマ 5】

- 1) Matsumoto, S.: *Energy Strategy Reviews*, Vol.40, 100823 (2022)  
How will a carbon tax affect household energy source combination? <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100823>
- 2) Matsumoto, S.: *Frontiers in Climate*, 40, 847851 (2022)  
How much difference does household energy source selection make in winter CO2 emissions? <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.847851>
- 3) Matsumoto, S. and Onuma, H.: *Journal of Cleaner Production*, 277, 123323 (2020)  
Measuring household ability to adopt new technology: The case of light-emitting diodes (LEDs). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123323>
- 4) Matsumoto, S. and Sugeta, H.: *Environmental and Resource Economics*, 83, 759-789 (2022)  
Efficiency investment and curtailment action. <https://doi.org/10.1007/s10640-022-00709-7>
- 5) Onuma, H., Matsumoto, S. and Arimura, T. H.: *Economic Analysis and Policy*, 68, 224-238 (2020)  
How much electricity is actually saved by the replacement with Light-Emitting Diodes (LEDs)? <https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.09.015>
- 6) Wang, J. and S. Matsumoto: *Environmental Economics and Policy Studies*, 24, 29-48 (2020a)  
An economic model of home appliance replacement: Application to refrigerator replacement among Japanese households. <https://doi.org/10.1007/s10018-020-00295-2>
- 7) Wang, J. and S. Matsumoto: *Research in Transportation Economics*, 91, 101066 (2020b)  
Can subsidy programs change the customer base of next-generation vehicles? <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2021.101066>
- 8) 尾沼広基・松本茂：環境科学会誌，34(4)，172-183（2021）  
個票データを用いた日本の電力需要の価格弾力性推計—所得階層別・地域別・季節別の比較—。  
<https://doi.org/10.11353/sesj.34.172>
- 9) 松本茂：環境経済・政策研究，13(2)，31-43（2020）  
個人の時間利用と環境負荷。 [https://doi.org/10.14927/reeps.13.2\\_31](https://doi.org/10.14927/reeps.13.2_31)
- 10) 松本茂：環境科学会誌，35(1)，10-18（2021）

段階料金制度下での家計の電力需要の価格弾力性. <https://doi.org/10.11353/sesj.35.10>

【サブテーマ 6】

- 1) Nakano, S. and Washizu, A.: *Energies*, 13(14), 3665, (2020)  
On the Acceptability of Electricity Demand Side Management by Time of Day. <https://doi.org/10.3390/en13143665>
- 2) Nakano, S. and Washizu, A.: *Cities*, 115, 103244 (2021)  
Will smart cities enhance the social capital of residents? The importance of smart neighborhood management. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103244>
- 3) Nakano, S. and Washizu, A.: *Energies*, 15(6), 2162 (2022)  
A Study on Energy Tax Reform for Carbon Pricing Using an Input-Output Table for the Analysis of a Next-Generation Energy System, <https://doi.org/10.3390/en15062162>.
- 4) Washizu A. and Nakano, S.: *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107001 (2022)  
Exploring the characteristics of smart agricultural development in Japan: Analysis using a smart agricultural kaizen level technology map, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107001>
- 5) 鷺津明由・尾沼広基・有村俊秀：環境科学会誌，35(1)，19-27 (2022)  
大規模オフィスビルにおけるゼロ・エネルギー・ビルディング対策の浸透状況. <https://doi.org/10.11353/sesj.35.19>
- 6) 鷺津明由・中野諭：エネルギー・資源学会論文誌，41(6)，282-289 (2020a)  
社会統計に基づく住宅のエネルギー消費原単位の推計. [https://doi.org/10.24778/jjser.41.6\\_282](https://doi.org/10.24778/jjser.41.6_282)
- 7) 鷺津明由・中野諭：エネルギー・資源学会論文誌，43(1)，15-24 (2022)  
地域別家庭 CO<sub>2</sub> 排出量の推定手法の開発：地域別環境政策立案にむけて. [https://doi.org/10.24778/jjser.43.1\\_15](https://doi.org/10.24778/jjser.43.1_15)

<査読付き論文に準ずる成果発表>

【サブテーマ 1】

- 1) Arimura, T. H., Duan, M. and Oh, H.: *Environmental Economics and Policy Studies*, 23, 495–500 (2021)  
EEPS Special Issue on “Carbon Pricing in East Asia”. <https://doi.org/10.1007/s10018-021-00313-x>
- 2) Mortha, A., Yajima, N. and Arimura, T. H.: TCER Working Paper, E-169 (2022)  
Impact of the Feed-in-Tariff Exemption on Energy Consumption in Japanese Industrial Plants. <https://www.tcer.or.jp/wp/pdf/e169.pdf>
- 3) Lu, G., Sadayuki, T. and Arimura, T. H.: WINPEC Working Paper Series, E2217, Waseda Institute of Political Economy, Waseda University, 1-32 (2023)  
Does Emissions Trading Scheme Induce Innovation and Carbon Leakage? Evidence from Japan. <https://www.waseda.jp/fpse/winpec/assets/uploads/2023/03/E2217.pdf>
- 4) Mortha, A., Arimura, T. H.: TCER Working Paper Series, E-181 (2023)  
Purchase or generate? An analysis of energy consumption, co-generation and substitution Possibilities in energy intensive manufacturing plants under the Japanese Feed-in-Tariff. <https://www.tcer.or.jp/wp/pdf/e181.pdf>
- 5) 楊心悅・有村俊秀：WINPEC Working Paper Series, J2205, Waseda Institute of Political Economy, Waseda University, 1-15 (2023)  
埼玉県排出量取引制度が事業所エネルギー消費及び経済パフォーマンスに対する影響研究. <https://www.waseda.jp/fpse/winpec/assets/uploads/2023/03/J2205.pdf>

<その他誌上発表（査読なし）>

【サブテーマ1】

- 1) Arimura, T. H., Chattopadhyay M., Dendup, N. and Tian, S.: BACKGROUND PAPER, Asian Development Outlook 2022, 1-58 (2022.4)  
Green Revenues for Greener Asia. <https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/782851/ado2022bp-green-revenues-greener-asia.pdf>
- 2) Arimura, T. H. and Matsumoto, S. (ed.): Springer, (2020), Carbon Pricing in Japan. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-15-6964-7>.
- 3) Lu, G., M. Sugino, T. H. Arimura, and T. Horie: Discussion Paper Series, 2101, Research Institute for Environmental Economics and Management, Waseda University, 1-37 (2021)  
Success and Failure of the Voluntary Action Plan: Disaggregated Sector Decomposition Analysis of Energy-related CO<sub>2</sub> Emissions in Japan. <http://www.waseda.jp/prj-rieem/dp/dp2101.pdf>
- 4) 有村俊秀：経済セミナー（2020年10・11月号通巻716号），39-44（2020）  
実証環境経済学のフロンティア。
- 5) 有村俊秀：気候変動リスクと銀行経営（金融調査研究会第1研究グループ令和2年度報告書），69-81（2021）  
第3章 脱炭素社会に向けたカーボンプライシングの役割と論点：リスクと機会。
- 6) 有村俊秀：ガスレビュー（2021年4月15日号、No. 958），3-4（2021）  
カーボンプライシング、国内で導入検討本格化。
- 7) 有村俊秀：日経 ESG（2021年5月号、第263号）34-35（2021）  
最初は低率の炭素税が現実的。
- 8) 有村俊秀：運輸と経済（2021年5月号、第887号）16-21（2021）  
環境と経済学—カーボンプライシングの役割と論点。
- 9) 有村俊秀：電機連合 NAVI（2021年III号、No.79）20-24（2021）  
カーボンプライシング：期待と課題への対処法。
- 10) 有村俊秀：世界 2021年8月号（岩波書店），60-70（2021）  
カーボンプライシング：脱炭素への選択肢。
- 11) 有村俊秀・森村将平：環境技術会誌（2021年10月号、No. 185）  
24-26、カーボンプライシングと二酸化炭素回収・貯留技術の促進。
- 12) 有村俊秀・森村将平：化学物質管理（2021年10月号、No. 6, Vol. 3），45-49（2021）  
欧州における国境炭素調整へ向けた動向と諸産業への影響。
- 13) 有村俊秀：日本貿易会月報（2021年10月号、No. 801）26-29（2021）  
解説：カーボンプライシングの最前線。
- 14) 有村俊秀：化学技術のフロンティアシリーズ①：サーキュラー・バイオエコノミーを支える分離技術（新化学技術推進協会グリーンサステイナブルケミストリーネットワーク会議編），190-193（2022.4）  
第4部第1章：カーボンプライシングの動向とこれからの展望。
- 15) 有村俊秀：租税研究（第872号、2022年6月10日発行），105-118（2022）  
さまざまなカーボンプライシング手法の位置付けと評価：日本での導入に向けて。
- 16) 有村俊秀：Phronesis（No.23, 2022年11月16日発行），36-39（2022）  
カーボンニュートラル実装社会で日本に生まれるイノベーションとビジネス。
- 17) 有村俊秀：日経 ESG（第284号、2023年1月8日発行），19（2023）  
GX 実行会議がカーボンプライシング方針「30年目標」に間に合うか。
- 18) 有村俊秀：改革者（政策研究フォーラム2月号），52-55（2023.2）  
COP27の成果と課題—分断する世界での気候変動をめぐる国際交渉。
- 19) 有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著）：カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュート

ラル社会のための制度と技術. 日本評論社 (2022)

- 20) 有村俊秀・森村将平・木元浩一：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術，日本評論社，第1章，1-23（2022）  
カーボンプライシングの基本的な考え方と論点.
- 21) 有村俊秀・森村将平：野村サステナビリティクォーターリー（2022年11月30日発行，第3巻第4号），6-7（2022）  
カーボンニュートラル達成へ向けたカーボン・クレジットの活用：カーボン・クレジット・レポートを読み解く.
- 22) 有村俊秀・森村将平：PETROTECH, 46(2), 70-74 (2023.2)  
カーボンプライシングの現状と展望.
- 23) 木元浩一：城西現代政策研究, 14(1), 39-56 (2020)  
環境税の「二重の配当」における税収の使い道—租税制度、社会保険制度および社会政策上での還元—.
- 24) 木元浩一：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術，日本評論社，第11章，265-274（2022）  
カーボンニュートラルに向けた室蘭市の取り組み.
- 25) 矢島猶雅・有村俊秀：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア—カーボンニュートラル社会のための制度と技術，第5章，81-95（2022）  
カーボンプライシング制度下で省エネ対策はどのように進んだか—埼玉県目標設定型排出量取引制度の事例から

#### 【サブテーマ2】

- 1) 武田史郎：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術，日本評論社，第2章，25-41（2022）  
応用一般均衡モデルによるカーボンプライシングの地域別経済効果の分析.

#### 【サブテーマ3】

- 1) Lu, G., M. Sugino, T. H. Arimura, and T. Horie: Discussion Paper Series, 2101, Research Institute for Environmental Economics and Management, Waseda University, 1-37 (2021)  
Success and Failure of the Voluntary Action Plan: Disaggregated Sector Decomposition Analysis of Energy-related CO<sub>2</sub> Emissions in Japan. <http://www.waseda.jp/prj-rieem/dp/dp2101.pdf>
- 2) 有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著）：カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術. 日本評論社（2022）
- 3) 杉野誠：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術，日本評論社，第3章，43-62（2022）  
カーボンプライシングによる地域経済への影響：2011年地域間産業連関表を用いた分析.
- 4) 杉野誠：人間環境論集, 23(1), 51-73 (2022)  
カーボン・プライシングによる産業への短期的な影響：2011年規模別産業連関表を用いた分析.

#### 【サブテーマ4】

- 1) Kurakawa, Y.: Arimura, T. H. and Matsumoto, S. (ed.), Carbon Pricing in Japan, 79-95, (2020)  
Climate Policy in Power Sector: Feed-in Tariff and Carbon Pricing. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-15-6964-7>
- 2) 庫川幸秀：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術，日本評論社，第6章，97-116（2022）

再生可能エネルギー利用社会の構築に向けて.

【サブテーマ 5】

- 1) Inoue, N., Matsumoto, S. and Morita, M.: Arimura, T. H. and Matsumoto, S. (ed.), Carbon Pricing in Japan, 217-234 (2020)  
Inequalities in the Impact of the Carbon Pricing in Japan. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-15-6964-7>
- 2) Wang, J. and Matsumoto, S.: Arimura, T. H. and Matsumoto, S. (ed.), Carbon Pricing in Japan, 45-60, (2020)  
Climate Policy in Household Sector. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-15-6964-7>
- 3) 松本茂：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術，日本評論社，第4章，63-80（2022）  
CP 導入に伴う地域間・世帯間格差とその是正施策.

【サブテーマ 6】

- 1) Nakano, S. and Washizu, A.: RIEEM Discussion Paper Series, No.2103, 1-25 (2022)  
Creation and Application of the 2015 Input-Output Table for Analysis of Next-generation Energy Systems: Analysis of the Effects of Introducing Carbon Tax. <http://www.waseda.jp/prj-rieem/dp/dp2103.pdf>
- 2) Washizu A. and Nakano, S.: Arimura T. H. and Matsumoto, S. (ed.), Carbon Pricing in Japan, Economics, Law, and Institutions in Asia Pacific. Springer, Singapore (2021)  
An Assessment of Carbon Taxation by Input-Output Analysis: Upstream or Downstream?  
[https://doi.org/10.1007/978-981-15-6964-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6964-7_9)
- 3) Washizu, A., Nakano, S.: Urata, S., Akao, K., Washizu, A. (ed.), Sustainable Development Disciplines for Society. Sustainable Development Goals Series. Springer, Singapore. (2023)  
Structure of Development in a Smart Society: An Application of Input-Output Analysis. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-5145-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-19-5145-9_10)
- 4) 新井園枝・鷺津明由：経済統計研究，49(2)，14-37（2021）  
2011 年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表・地域間表（地域間 IONGES）の作成について.
- 5) 有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著）：カーボンプライシングのフロンティア：カーボンニュートラル社会のための制度と技術．日本評論社（2022）
- 6) 中野諭・鷺津明由：吉野孝・山崎眞次（編著），北米移民メキシコ人のコミュニティ形成，東信堂，第4章，208（2022）  
世界産業連関表（WIOD）を用いた米墨間相互依存関係の分析
- 7) 鷺津明由：早稲田社会科学総合研究，19(1)，83-101（2022）  
スマート社会の産業構造分析に向けて
- 8) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP，2020-J001，1-27（2020）  
日本における ICT を活用したスマート農業の実態把握に向けたパイロット・スタディ．  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2020/04/washizu\\_nakano\\_-2020\\_J001.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2020/04/washizu_nakano_-2020_J001.pdf)
- 9) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP，2020-J002，1-29（2020）  
スマートシティのソーシャル・キャピタル分析：横浜みなとみらい 21 地区を事例として．  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2020/04/washizu\\_nakano\\_-2020\\_J002.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2020/04/washizu_nakano_-2020_J002.pdf)
- 10) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP，2020-J003，1-26（2020）  
時間帯別ダイヤモンドサイドマネジメント（DSM）の受け入れ意思に関するアンケート調査結果分析．  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2020/04/washizu\\_nakano\\_-2020\\_J003.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2020/04/washizu_nakano_-2020_J003.pdf)

- 11) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2020-J004, 1-27 (2020)  
スマート社会がもたらす経済・環境効果の産業連関分析に向けて：企業活動基本調査を用いた分析。  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/01/washizu\\_nakano\\_-2020\\_J004.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/01/washizu_nakano_-2020_J004.pdf)
- 12) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2020-J005, 1-21 (2020)  
世界産業連関表（WIOD）を用いた米墨間相互依存関係の分析。  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/01/washizu\\_nakano\\_-2020\\_J005.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/01/washizu_nakano_-2020_J005.pdf)
- 13) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2021-J001, 1-23 (2021)  
家庭内生産関数に基づく食生活のスマート化についての考察。  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/05/washizu-nakano\\_2021-J001.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/05/washizu-nakano_2021-J001.pdf)
- 14) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2021-J002, 1-15 (2021),  
2015年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（組込表）の作成。  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/05/washizu-nakano\\_2021-J002.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/05/washizu-nakano_2021-J002.pdf)
- 15) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2021-J003, 1-33 (2021)  
スマート農業の実情調査の分析：SAKL (Smart Agricultural Kaizen Level) 技術マップに基づく分析。  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/08/washizu-nakano\\_2021-J003.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2021/08/washizu-nakano_2021-J003.pdf)
- 16) 鷺津明由・中野諭：有村俊秀・杉野誠・鷺津明由（編著），カーボンプライシングのフロンティア，日本評論社，第7章，117-139 (2022)  
次世代エネルギーシステム分析用産業連関表について
- 17) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2022-J001, 1-31, (2022)  
2015年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（想定表）の作成 Creation of 2015.  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2022/04/washizu-nakano\\_2022-J001.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2022/04/washizu-nakano_2022-J001.pdf)
- 18) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2022-J002, 1-17 (2022)  
スマートシティの効果分析のための家庭による住宅と自動車のCO<sub>2</sub>排出量原単位の作成：環境省平成30年度家庭部門のCO<sub>2</sub>排出実態統計調査を用いた分析。  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2022/04/washizu-nakano\\_2022-J002.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2022/04/washizu-nakano_2022-J002.pdf)
- 19) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2022-J003, 1-20 (2022)  
マネジメントの高度化がエネルギー消費にもたらす効果の実証分析：鉄鋼産業を事例として。  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2022/06/washizu-nakano\\_2022-J003.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2022/06/washizu-nakano_2022-J003.pdf)
- 20) 鷺津明由・中野諭：早稲田大学先端社会科学研究所ワーキングペーパー IASS WP, 2022-J004, 1-15 (2022)  
スマート社会分析用産業連関表の作成。  
[https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2022/09/nakano-washizu\\_2022-J004.pdf](https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2022/09/nakano-washizu_2022-J004.pdf)

## (2) 口頭発表（学会等）

### 【サブテーマ1】

- 1) Abe, T.: The 30th Anniversary International Academic Conference of the Korea Environmental Economic Association, ONLINE, (2020)  
The Impact of the Tokyo Emissions Trading Scheme on Economic Performance: Empirical Study Using

## Facility-level Data.

- 2) Arimura, T. H.: The 30th Anniversary International Academic Conference of the Korea Environmental Economic Association, ONLINE, (2020).  
Energy Related Environmental Policy and Its Impact on Energy Use in Asia.
- 3) Arimura, T.: Asia Society Policy Research Institute.  
Energy Related Environmental Policy and Its Impact on Energy Use in Asia.
- 4) 有村俊秀：第7回化学工学ビジョンシンポジウム「2050年 脱炭素社会への道」(2020)  
脱炭素社会へ向けたカーボンプライシングの役割について
- 5) 有村俊秀・鷺津明由(オーガナイザー)：環境科学会2020年会 オンライン開催(2020)  
学術賞受賞記念シンポジウム「カーボンプライシング本格導入に向けた検討：事後評価と制度オプション提案」
- 6) 阿部達也：環境科学会2020年会 オンライン開催(2020)  
東京都排出量取引の事後評価—事業所データを用いた実証分析—
- 7) 木元浩一：環境科学会2020年会 オンライン開催(2020)  
環境税収の雇用保険制度を通じた還元に関する研究
- 8) 木元浩一：日本財政学会第77回大会(2020)  
介護保険制度を通じた環境税収の還元—ケーススタディを踏まえた議論—
- 9) 木元浩一：多摩財政研究会(2020)  
介護保険制度を通じた環境税収の還元—ケーススタディを踏まえた議論—
- 10) 矢島猶雅：環境経済・政策学会(2020)  
Advancement of Green Public Purchasing by Category: Do green purchasing policies have any role?
- 11) 呂冠宇：環境科学会2020年会 オンライン開催(2020)  
Decomposition of total CO<sub>2</sub> emission at Japan's sectoral level using the LMDI method.
- 12) 呂冠宇：環境経済・政策学会(2020)  
Decomposition of total CO<sub>2</sub> emission at Japan's sectoral level using the LMDI method.
- 13) 有村俊秀：公益社団法人石油学会第63回年会 オンライン開催(2021)  
世界のカーボンプライシングの動向と日本における展望 Carbon Pricing in the world and its prospects in Japan.
- 14) 呂冠宇：The 10th Congress of the AAERE, Online or hybrid, 2021  
Success and Failure of the Voluntary Action Plan: Disaggregated Sector Decomposition Analysis of Energy-related CO<sub>2</sub> Emissions in Japan.
- 15) 有村俊秀：環境経済・政策学会2021年大会 オンライン開催(2021)  
企画セッション(暗示的炭素価格を踏まえたカーボンプライシングの制度設計：効率性と地域経済間の公平性を目指して)  
日本におけるカーボンプライシングの制度設計の論点—炭素税・排出量取引を中心として
- 16) 有村俊秀：環境科学会2022年会 オンライン開催(2022)  
シンポジウム「次世代エネルギーと公共調達の視点から考える」  
再生可能エネルギー普及における地域コミュニティとの対立とその克服について
- 17) 矢島猶雅：環境科学会2022年会 オンライン開催(2022)  
シンポジウム「次世代エネルギーと公共調達の視点から考える」  
グリーン調達方針における学習効果と家庭での消費行動との関係性

## 【サブテーマ2】

- 1) 武田史郎：環境経済・政策学会、2022年大会 オンライン開催(2022)  
企画セッション「カーボンニュートラル：カーボンプライシングと地域の視点」  
応用一般均衡モデルによる炭素税導入の地域別効果の分析

- 2) 武田史郎：神戸大学セミナー オンライン開催（2022）  
応用一般均衡モデルによる炭素税導入の地域別効果の分析
- 3) 武田史郎：「応用一般均衡モデルによる日本の環境税制改革の分析」，環境科学会 2020 年会，2020 年 9 月 19 日（土），オンライン開催。

#### 【サブテーマ 3】

- 1) Sugino, M.: Pan Pacific Association of Input-Output Studies 5th International Conference on Economic Structures, Kobe, Japan, 2021.  
Effects of a nation-wide carbon pricing scheme on regional industry.
- 2) 杉野誠：環境経済・政策学会 2021 年大会 オンライン開催（2021）  
カーボンプライシングによる地域経済への影響 2005 年地域産業連関表を用いた分析

#### 【サブテーマ 4】

- 1) 庫川幸秀：環境経済・政策学会 2020 年大会 オンライン開催（2020）  
電力部門の低炭素化における発電効率改善の効果に関する理論研究

#### 【サブテーマ 5】

- 1) 松本茂：環境科学会 2020 年会 オンライン開催（2020）  
段階料金制度下での家計の電力需要の価格弾力性

#### 【サブテーマ 6】

- 1) 吉田彬・田山真史・鷺津明由・天野嘉春：第 41 回エネルギー・資源学会 研究発表会 オンライン開催（2022 年 8 月 8 日～9 日）  
産業用エネルギー供給システム評価指標の提案と初期的検討
- 2) 板明果・鷺津明由：第 9 回 BECC JAPAN 2022 気候変動・省エネルギー行動会議 オンライン開催（2022 年 7 月 28 日）  
日本における 1990 年から 2020 年までの家計消費による炭素排出インベントリーの時間的変動
- 3) Ju, Y., Washizu, A., Yoshida, A., Tayama, M.: AAERE (Asian Association of Environmental and Resource Economics), 2022.08, Ho Chi Minh City, Vietnam (remote) (2022).  
Economic and environmental impacts of energy management instruments: the Virtual Power Plant business in Japan.
- 4) Ju, Y., Washizu, A., Ita, S.: International Conference on EcoBalance, 2022.11, Fukuoka, Japan (2022).  
Results of a fact-finding survey on the sustainable diets and smart food services: a case of Japan.
- 5) 鷺津明由・板明果：環境科学会 2022 年会 オンライン（2022 年 9 月 8 日～9 日）  
最適な地域間潮流がもたらす効果の産業連関分析：地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の応用
- 6) 鷺津明由・中野諭：環太平洋産業連関分析学会 第 33 回（2022 年度）全国大会（2022 年 10 月 29 日～30 日），桃山学院大学和泉キャンパス  
2015 年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表・想定表の作成
- 7) 鷺津明由・板明果：エコデザイン・プロダクト&サービスシンポジウム 2022（2022 年 12 月 1 日），大阪大学会館  
スマート社会における食生活の実証分析
- 8) 鷺津明由・吉田彬・居又義・田山真史・天野嘉春：第 39 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2023 年 1 月 26 日～27 日），東京大学生産技術研究所（駒場IIキャンパス）  
VPP 事業化効果分析用産業連関表の開発
- 9) 鷺津明由・板明果・居又義：第 18 回日本 LCA 学会研究発表会 オンライン（2022 年 3 月 8 日～3

月 9 日)

スマートで持続可能な食生活についての実証分析

- 10) Ju Y., A. Washizu, S. Ita: The 7th International Conference on Economic Structures (ICES 2023), March 18-19, 2023, Hosei University (Ichigaya campus, Tokyo, Japan)  
The impact of sustainable diets and smart food services on environment and well-being: a case of Japanese household.
- 11) 鷺津明由・中野諭：第 40 回エネルギー・資源学会 研究発表会 オンライン (2021 年 8 月 2 日～3 日)  
地域別家庭 CO2 排出量の推定手法の開発：地域別環境政策立案にむけて
- 12) 鷺津明由・中野諭：第 30 回日本エネルギー学会大会 オンライン (2021 年 8 月 4 日～5 日)  
再生可能エネルギーが地域間の経済・環境構造にもたらす影響分析：地域間次世代エネルギーシステム分析用：産業連関表の推計結果
- 13) 板明果・鷺津明由：第 8 回 BECC JAPAN 2021 気候変動・省エネルギー行動会議 オンライン (2021 年 8 月 31 日)  
長期環境家計簿でみる消費者のライフスタイルおよび省エネ技術変化の効果分析
- 14) 鷺津明由・中野諭：環境経済・政策学会 2021 年大会 オンライン (2021 年 9 月 25 日～26 日)  
2015 年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (組込表) の作成
- 15) 中野 諭・鷺津 明由：環太平洋産業連関分析学会 第 32 回 (2021 年度) 全国大会 (2021 年 10 月 30 日～31 日), 中野サンプラザ  
2015 年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表 (組込表) の作成と応用
- 16) Washizu A., S. Nakano Going Green-EcoDesign 2021, December 1-3, 2021, Online conference  
Consideration on the desirable way of smart agriculture in Japan.
- 17) 鷺津明由・吉田彬・居又義：第 38 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス オンライン (2022 年 1 月 25 日～26 日)  
VPP 事業化効果の産業連関分析
- 18) 板明果・鷺津明由：第 17 回日本 LCA 学会研究発表会 オンライン (2022 年 3 月 2 日～3 月 4 日)  
長期環境家計簿でみる消費者のライフスタイルおよび省エネ技術変化の効果分析(2)
- 19) Ju Y., A. Washizu, A. Yoshida, M. Tayama: The 6th International Conference on Economic Structures (ICES 2022), March 19-20, 2022, Hotel Plumm Yokohama, Japan  
Compilation and Application of a National Input-Output Table Extended in Virtual Power Plant Business.
- 20) Washizu, A., S. Nakano.: 33rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS), Osaka, Japan, June 29 - July 3, 2020.  
An analysis of the renewable energy supply chain using an input-output table for the analysis of a next-generation energy system (IONGES).
- 21) Washizu, A., S. Nakano: International Conference on Economic Structures (ICES) 2021, Kobe International House, Japan, March 19-21, 2021.  
An analysis of the carbon taxation method using the 2011 input-output table for the next-generation energy system.
- 22) Washizu, A., S. Nakano: The 14th Biennial International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2020), ONLINE, March 4-5, 2021.  
Unit structures of renewable energy activities: An analysis using the 2011 input-output table for the next-generation energy system.
- 23) 鷺津明由・中野諭：第 36 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス オンライン (2020 年 1 月 26 日～27 日)  
スマートシティのソーシャル・キャピタル：横浜みなとみらい 21 を事例として
- 24) 鷺津明由・中野諭：第 16 回日本 LCA 学会研究発表会 オンライン (2020 年 3 月 3 日～3 月 5 日)

スマート農業がもたらす経済・環境影響の分析に向けて

- 25) 鷺津明由・中野諭：第 39 回エネルギー・資源学会 研究発表会 大阪大学 オンライン (2020 年 7 月 28 日～29 日)  
社会統計に基づく住宅のエネルギー消費原単位の推計
- 26) 鷺津明由・中野諭：第 29 回日本エネルギー学会大会 富山 (講演要旨集のみ) (2020 年 8 月 5 日～7 日)  
生活者のダイヤモンドサイドマネジメント (DSM) 受け入れ意思額の測定
- 27) 鷺津明由・中野諭：第 7 回 BECC JAPAN 2020 気候変動・省エネルギー行動会議 オンライン (2020 年 8 月 25 日)  
ダイヤモンドサイドマネジメント (DSM) に対する意識調査結果報告
- 28) 鷺津明由・中野諭：環境科学会 2020 年会 オンライン (2020 年 9 月 19 日～20 日)  
炭素税課税段階の検討：2011 年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の応用分析
- 29) 鷺津明由・中野諭：エコデザイン・プロダクツ&サービス 2020 シンポジウム オンライン (2020 年 11 月 17 日)  
スマート農業の現状分析
- 30) 鷺津明由・中野諭：第 37 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス オンライン開催 (2021 年 1 月 26 日～27 日)  
スマートシティのソーシャル・キャピタル：横浜みなとみらい 21 を事例として
- 31) 鷺津明由・中野諭：第 16 回日本 LCA 学会研究発表会 オンライン (2021 年 3 月 3 日～3 月 5 日)  
スマート農業がもたらす経済・環境影響の分析に向けて
- 32) Washizu, A., S. Nakano: The 14th Biennial International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2020), ONLINE, March 4-5, 2021  
Unit structures of renewable energy activities: An analysis using the 2011 input-output table for the next-generation energy system
- 33) Washizu, A., S. Nakano: International Conference on Economic Structures (ICES) 2021, Kobe International House, Japan, March 19-21, 2021  
An analysis of the carbon taxation method using the 2011 input-output table for the next-generation energy system

### (3) 「国民との科学・技術対話」の実施

#### 【サブテーマ 1】

- 1) 有村俊秀：国民対話シンポジウム「カーボンプライシングとグリーンリカバリー」 (主催：早稲田大学総合研究機構環境経済・経営研究所、2021 年 3 月 4 日、オンライン、聴講者約 250 名)  
カーボンプライシングの効果と展望：東京・埼玉そしてアジア
- 2) 茨城県立土浦第一高等学校における特別授業「環境問題を経済学で解決：カーボンプライシングによる脱炭素」 (2021 年 7 月 30 日、聴講者約 300 名)
- 3) 一般公開シンポジウム「第 65 回生活と環境全国大会」 (主催：一般財団法人日本環境衛生センター、2021 年 10 月 13 日、オンライン) にて講演「カーボンプライシングの活用について」
- 4) 一般公開シンポジウム「VACUUM2021 真空展」 (主催：日本真空工業会、2021 年 12 月 2 日、東京ビックサイト) にて講演「カーボンプライシング：脱炭素への選択肢」
- 5) 早稲田摂陵高等学校『知に触れる 2021』特別授業「環境問題を経済学で解決：カーボンプライシングによる脱炭素」 (2021 年 12 月 9 日、聴講者約 40 名)
- 6) 三鷹市市民大学における講義「環境問題を経済学で解決：カーボンプライシングによる脱炭素」 (2022 年 2 月 25 日、聴講者 15 名)
- 7) 学生ワークショップ「気候変動の課題解決に取り組む」 (主催：カーボンニュートラル学生ワークショップ実行委員会、2022 年 3 月 13 日、代々木八幡コミュニティセンター、聴講者 30 名) にて講

演「脱炭素の日本を作るための手段（価格、社会、システム）」

- 8) 有村俊秀：国民対話シンポジウム「『研究』×『行政』×『経済』の結末：脱炭素社会の実現へ向け  
て」（主催：早稲田大学・日本証券業協会、2022年12月2日、早稲田大学国際会議場／オンライ  
ン、オンライン聴講数146名、オンライン配信接続数2500名以上）  
脱炭素社会とカーボンプライシング：実現に向けた研究、行政、経済の結末
- 9) 取手市市民大学における講義「脱炭素社会におけるエネルギーと経済の未来：カーボンプライシ  
ングの役割」（2022年12月23日、聴講者100名）
- 10) 動画「東京リカレントナビ」にて講演「環境問題を経済学で解決～カーボンプライシングによる脱  
炭素～」（2022年12月28日）
- 11) 埼玉県立伊奈学園中学校への成果紹介（2023年2月28日、聴講者4名）

#### 【サブテーマ2】

- 1) 武田史郎：国民対話シンポジウム「カーボンプライシング：脱炭素への選択肢」（主催：早稲田大  
学総合研究機構環境経済・経営研究所、2021年11月26日、オンライン、聴講者180名）  
カーボンプライシングの地域的公平性

#### 【サブテーマ3】

- 1) 杉野誠：国民対話シンポジウム「カーボンプライシング：脱炭素への選択肢」（主催：早稲田大学  
総合研究機構環境経済・経営研究所、2021年11月26日、オンライン、聴講者180名）  
カーボンプライシングと地域産業：公平な負担を求めて

#### 【サブテーマ4】

- 1) 市民講座（金沢星稜大学総合研究所主催）「わたしたちの暮らしとエネルギー」（2022年5月14  
日、金沢星稜大学、聴講者9名）<https://www.seiryu-u.ac.jp/u/new/2022/0513.html>

#### 【サブテーマ5】

- 1) 松本茂：国民対話シンポジウム「カーボンプライシングとグリーンリカバリー」（主催：早稲田大学  
総合研究機構環境経済・経営研究所、2021年3月4日、オンライン、聴講者250名）  
世帯のエネルギー使用の地域差と温暖化対策

#### 【サブテーマ6】

- 1) 鷺津明由：国民対話シンポジウム「カーボンプライシングとグリーンリカバリー」（主催：早稲田大  
学総合研究機構環境経済・経営研究所、2021年3月4日、オンライン、聴講者250名）  
スマート社会がもたらす経済と環境効果
- 2) 鷺津明由：国民対話シンポジウム「カーボンプライシング：脱炭素への選択肢」（主催：早稲田大学  
総合研究機構環境経済・経営研究所、2021年11月26日、オンライン、聴講者180名）  
次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（IONGES）とカーボンプライシング

### （4）マスコミ等への公表・報道等

#### 【サブテーマ1】

- 1) 有村俊秀：JAPAN NRG WEEKLY（2021年3月29日）  
Combined Heat and Power (CHP) Market in Japan: A Way to Increase Efficiency and Help both Renewables  
and LNG.
- 2) 有村俊秀：建設通信新聞（2021年5月27日号、8面）  
環境特集2021：脱炭素がもたらす未来-環境経済学からとらえるビジネスチャンス-
- 3) Arimura, T. H.: NHK WORLD-JAPAN News 出演（2021年7月15日、EUの国境炭素調整についてコ

メント)

EU Carbon Tax to Ignite Global Agenda.

- 4) Arimura, T. H.: NIKKEI Asia (2021年7月19日)  
China fires up carbon trading as Asia turns onto greener path.
- 5) 有村俊秀：日本経済新聞（日経電子版, 2021年8月2日）  
カーボンプライシングすぐ導入を
- 6) 有村俊秀：日本経済新聞（2021年8月11日, 4版, 25面）  
国境炭素調整の課題：域外のCO<sub>2</sub>排出抑制促す
- 7) 有村俊秀：日本海新聞（2021年8月28日）  
脱炭素社会を問う-炭素の価格付けを早期に-
- 8) 有村俊秀：毎日新聞（2021年9月28日付, 13版, 15面）  
カーボンプライシングって何？
- 9) 有村俊秀：読売新聞（2021年12月15日付, 13版, 6面）  
潮流深層：再エネ促進 低コスト化急務
- 10) 有村俊秀：日本経済新聞（2022年2月11日付, 14版, 1面）  
削減量取引 質より安さ
- 11) 有村俊秀：週刊循環経済新聞（2022年6月27日付, 1面）  
カーボンプライシング：脱炭素の切り札
- 12) 有村俊秀：電気新聞（2022年9月15日付, 1面）  
脱炭素の実像 炭素の値段（下）：成長志向のシナリオ
- 13) 有村俊秀：電気新聞（2022年12月23日付, 1面）  
炭素価格、予見性確保を

#### （5）本研究費の研究成果による受賞

- 1) 環境経済・政策学会, 2021年度 論壇賞「Carbon Pricing in Japan」
- 2) 公益財団法人市村清新技術財団, 第55回市村地球環境学術賞（2022年3月）「脱炭素にむけたカーボンプライシングの経済分析：定量的・実証的アプローチ」有村俊秀・松本茂・武田史郎

#### （6）その他の成果発表

特に記載すべき事項はない。

#### IV. 英文 Abstract

### **Designing Carbon Pricing Instruments with Consideration of the Effective Carbon Rate: Reconciliation of Efficiency and Regional Equity**

Principal Investigator: Toshi H. ARIMURA

Institution: Research Institute for Environmental Economics and Management

Faculty of Political Science and Economics

Waseda University, 1-6-1 Nishi-Waseda, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan 169-8050

Tel/Fax: +81-3-3208-0724

E-mail: arimura@waseda.jp

Cooperated by: Faculty of Social Sciences, Waseda University, Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University, Faculty of Sustainable Studies, Hosei University, College of Economics, Aoyama Gakuin University, Department of Economics, Kanazawa Seiryō University

[Abstract]

Key Words:

Carbon pricing, Implicit carbon pricing, Carbon tax, Emissions trading schemes, Efficiency, Regional equity, Policy design, Society 5.0

In recent years, there has been much discussion around carbon pricing as a means to reduce domestic emissions in Japan. However, stakeholders have raised the following concerns. First, the impacts of the regional emissions trading system in Tokyo and Saitama Prefectures both on emissions reductions and the economy have been insufficiently scrutinized. In particular, the economic impact of carbon pricing and its effect on innovation have been contentious. Second, the emissions reduction impacts of such existing and implicit carbon prices as fuel taxes and feed-in tariffs (FIT) have yet to be examined. Third, the economic impact of carbon pricing may be disproportionately borne by regions where energy-intensive industries are concentrated.

In this study, we have attempted to theoretically and quantitatively address the above-mentioned concerns. First, we evaluated the regional emissions trading schemes from the perspective of evidence-based policy making (EBPM). We found that the two regional ETS have been effective at reducing emissions, though their impact may be weaker for Saitama because the scheme does not provide penalties. On the other hand, we did not find evidence of carbon leakage when we measured the outsourcing of economic activities. Surprisingly, we found spillover effects of ETS to the facilities in non-regulated regions. Further, we found that the Saitama ETS simulated innovation by increasing R&D expenditures. Through empirical studies of household micro data, we determined that the burden of carbon pricing fell disproportionately on colder regions such as Hokkaido.

We also constructed computable general equilibrium (CGE) models that served several purposes. First, by examining the impacts of carbon pricing on regional economies, we determined the negative impact to be much larger in areas with heavy industries. However, the model indicates that such regional imbalances in the impact of carbon pricing can be addressed by redistributing carbon tax revenue. Second, using the newly created CGE model, we also examined the impact of fuel tax reform both on the Japanese economy and on CO<sub>2</sub> emissions. By equalizing the effective carbon rate across different fuel types, we can reduce CO<sub>2</sub> emissions while increasing GDP. Finally, we explored the possibility of introducing a double dividend for carbon taxes in the Japanese economy. We found that we could reduce CO<sub>2</sub> emissions while increasing GDP by recycling the carbon tax revenue to reduce the corporate tax or consumption tax.

On the basis of the above-mentioned findings, we proposed several carbon pricing options for the Japanese economy.