

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

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
の検討

(2-1707)

平成29年度～令和元年度

An ex-post Analysis of Carbon Pricing and the Proposal of Policy Options to Achieve the Japanese
Long-term GHG Emissions Reduction Target

(英文パンフレット等 : https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/english/gaiyou/gaiyou_6.html)

〈研究代表機関〉

早稲田大学

〈研究分担機関〉

地球環境戦略研究機関

京都産業大学

山形大学

獨協大学

青山学院大学

〈研究協力機関〉

労働政策研究・研修機構

令和2年5月

目次

I. 成果の概要	・・・・・・・・ p. 1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発の方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた主な成果	
6. 研究成果の主な発表状況	
7. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
II-1 東京都排出量取引制度の効果の事後検証とカーボンプライシングの制度設計 （早稲田大学） 要旨	・・・・・・・・ p. 17
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた成果	
6. 国際共同研究等の状況	
7. 研究成果の発表状況	
8. 引用文献	
II-2 再生可能エネルギー普及のためのカーボンプライシングの研究：産業関連アプローチ （早稲田大学） 要旨	・・・・・・・・ p. 44
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた成果	
6. 国際共同研究等の状況	
7. 研究成果の発表状況	
8. 引用文献	
II-3 欧米各国カーボンプライシングの事後検証と日本の制度オプション検討 （地球環境戦略研究機関） 要旨	・・・・・・・・ p. 59
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発方法	

- 4. 結果及び考察
- 5. 本研究により得られた成果
- 6. 国際共同研究等の状況
- 7. 研究成果の発表状況
- 8. 引用文献

Ⅱ－４ 環境税改革の経済分析 ・・・・・・ p. 70
 (京都産業大学)

要旨

- 1. はじめに
- 2. 研究開発目的
- 3. 研究開発方法
- 4. 結果及び考察
- 5. 本研究により得られた成果
- 6. 国際共同研究等の状況
- 7. 研究成果の発表状況
- 8. 引用文献

Ⅱ－５ カーボンプライシングの産業連関分析：国際競争力を中心に ・・・・・・ p. 85
 (山形大学)

要旨

- 1. はじめに
- 2. 研究開発目的
- 3. 研究開発方法
- 4. 結果及び考察
- 5. 本研究により得られた成果
- 6. 国際共同研究等の状況
- 7. 研究成果の発表状況
- 8. 引用文献

Ⅱ－６ 排出量取引のイノベーションへの影響分析：埼玉県の制度を中心として ・・・・・・ p. 99
 (獨協大学)

要旨

- 1. はじめに
- 2. 研究開発目的
- 3. 研究開発方法
- 4. 結果及び考察
- 5. 本研究により得られた成果
- 6. 国際共同研究等の状況
- 7. 研究成果の発表状況
- 8. 引用文献

Ⅱ－7 カーボンプライシングの家計影響：温暖化対策税を中心として	・・・・・・・・ p. 112
----------------------------------	-----------------

(青山学院大学)

要旨

1. はじめに
2. 研究開発目的
3. 研究開発方法
4. 結果及び考察
5. 本研究により得られた成果
6. 国際共同研究等の状況
7. 研究成果の発表状況
8. 引用文献

Ⅲ. 英文Abstract	・・・・・・・・ p. 126
---------------	-----------------

I. 成果の概要

課題名 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の検討

課題代表者名 有村俊秀（早稲田大学政治経済学術院教授、同環境経済・経営研究所所長）

研究実施期間 平成29～令和元年度

研究経費（累計額） 128,998千円

（平成29年度：43,728千円、平成30年度：41,542千円、令和元年度：43,728千円）

本研究のキーワード カーボンプライシング、排出量取引、炭素税、事後評価、計量分析、応用一般均衡分析、産業連関分析、政策シミュレーション、制度設計

研究体制

- （1）東京都排出量取引制度の効果の事後検証とカーボンプライシングの制度設計（早稲田大学）
- （2）再生可能エネルギー普及のためのカーボンプライシングの研究：産業連関アプローチ（早稲田大学）
- （3）欧米各国カーボンプライシングの事後検証と日本の制度オプション検討（地球環境戦略研究機関）
- （4）環境税改革の経済分析（京都産業大学）
- （5）カーボンプライシングの産業連関分析：国際競争力を中心に（山形大学）
- （6）排出量取引のイノベーションへの影響分析：埼玉県の制度を中心として（獨協大学）
- （7）カーボンプライシングの家計影響：温暖化対策税を中心として（青山学院大学）

研究協力機関

労働政策研究・研修機構

1. はじめに（研究背景等）

（1）パリ協定を機に、排出量取引制度（ETS）、炭素税、暗示的炭素価格等のカーボンプライシング（炭素価格）が重要な政策手段として注目されている。欧州ではEU ETSの導入に加え、一部で高率な炭素税も導入されている。米国でも地域レベルのETSが導入されている。アジアでも韓国がETSを導入し、中国も7地域の試行に続き全国展開を計画している。日本でも地球温暖化対策税に加え、東京都・埼玉県がETSを導入した。また、世界銀行やOECDをはじめとして、エネルギー課税も含めた炭素税の実効炭素価格が注目されている。

（2）政府は、2050年80%排出削減の長期削減目標を掲げているが、道筋は明らかではない。

目標達成に効率的に取り組まなければ、必要以上の費用を社会が負担する可能性もある。また、現状の地球温暖化対策税は欧州各国に比べて低率であり、今後、長期目標の達成には税率引上げの可能性も検討する必要がある。

(3) 日本では2010年に審議会・排出量取引制度小委員会が開かれ、中間とりまとめが行われたが、産業競争力に与える影響や炭素リーケージが懸念され、その後、ETSの議論は進んでいない。今後、国全体のETS導入時の経済分析が必要である。

2. 研究開発目的

目的

- (1) 炭素価格による排出削減効果、経済影響、低炭素技術促進効果、低炭素消費行動促進効果等の事後評価を日本の実証分析や欧米の研究レビューを通じて明らかにする。欧米でもETSの実証的な事後評価は限定的であり、東京都・埼玉県のETSの実証分析は国際的な学術的貢献となる。
- (2) 長期目標達成のための炭素価格の制度オプションを検討し、低炭素社会への道筋を明らかにする。精緻化された応用一般均衡（CGE）モデルを構築し、炭素税収を既存税制の減税および社会保障負担の軽減にあてる二重の配当や、エネルギー集約産業への緩和措置等の制度オプションを検討し、低炭素社会への現実的な移行の実現可能性を明示する。近年注目されている炭素税の実効税率の改革を分析して整理し、国際的な知見の蓄積に貢献する。

3. 研究開発の方法

(1) 東京都排出量取引制度の効果の事後検証とカーボンプライシングの制度設計

まず、排出量取引制度(ETS)に関する先行研究を整理した。それを踏まえて、東京都で実際に実施されたETS(東京都ETS)の効果により、CO₂がどれだけ削減されたかの計量分析を行った。具体的にオフィスビル、大学などの事業所の効果をアンケート調査や温対法のデータを用いた分析も行った。さらに、製造業の燃料消費への影響分析については、石油等消費動態統計調査及び温対法データを用いて行った。ETSが実施されると、経済活動にも影響が及ぶ。そこで、エネルギー消費統計調査を用いて、東京都ETSによる経済活動への影響も計量分析した。また、ETSが実施されれば、排出抑制のために、省エネ技術の普及・促進が期待される。そこで、オフィスビルに着目して、東京都ETSによる省エネ技術普及の可能性について検討した。なお、ETSが実施されると、対象の域外にて排出を行うという、いわゆるカーボンリーケージが生じると懸念される。そこで、ETSが実施された東京都と埼玉県以外の道府県において事業所の排出量がどのような影響を受けたかも検討した。以上のETSの分析の他に、一般の市民がカーボンプライシングに対してどれだけの知見を有し、どのような態度を示しているかのアンケート分析も行った。さらに、全サブテーマの知見を総合した制度オプションの検討として、(ア) 排出量取引を導入する場合の自治体制度全国展開、(イ) 炭素税を導入する場合の二重の配当政策、(ウ) 排出量取引・炭素税に共通する国際競争力配慮方策、についても、取り上げて検討した。

（２）再生可能エネルギー普及のためのカーボンプライシングの研究：産業連関アプローチ

本テーマでは、長期目標達成のための炭素価格の制度オプションを検討するため、2011年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表(IONGES: Input-Output table for analysis of Next Generation Energy System)を作成し、同表を用いて、再生可能エネルギー普及がカーボンプライシング実施の下で経済にもたらす効果分析を行った。IONGESとは、総務省の産業連関表に再生可能エネルギーの発電施設建設部門と経常運転(発電)部門を付け加えた表のことである。完成した表を用いて、各再生可能エネルギー設備が火力発電所に対して生涯的に削減できるCO₂排出量(炭素税負担の減少による費用抑制効果)を推算した。また、3つの炭素税課税方法(上流・中流・下流)の想定のもとで、家計消費が誘発するCO₂排出量を推算し、課税方法の違いが家計にもたらす炭素税負担の相違を検討した。

（３）欧米各国カーボンプライシングの事後検証と日本の制度オプション検討

本サブテーマでは、1990年代よりカーボンプライシングを導入しており、かつ近年は二酸化炭素1トンあたり数十ドルから100ドル以上といった高水準のカーボンプライシングを導入しているスウェーデンなどの先進的事例に関する事後評価について現状を把握する目的で、特に計量経済的手法を用いた事後評価を行った研究をレビューした。また、パリ協定やIPCC1.5度特別報告書などにより世界的潮流となっている脱炭素化に必要となるカーボンプライシング水準に関し知見を得る目的で、脱炭素化に関する定量的研究につきレビューを行った。

また本サブテーマでは、炭素税による産業分野への影響を把握することを目的として、経済モデルシミュレーションにより定量化された炭素税による産業部門ごとに対する影響を、特定の分野における個社レベルの財務関係に反映させ、炭素税と合わせて導入される法人税減税による二重の配当効果が個社レベルの利益にどのように影響を与えるかを分析した。

（４）環境税改革の経済分析

本サブテーマでは日本において2050年までに80%削減という目標を達成するために環境税制改革が行われた場合に二重の配当が生じるかどうかを、応用一般均衡モデル(CGEモデル)によるシミュレーションで分析している。分析には日本を対象としたCGEモデルを用いている。具体的には以下のようなモデルを用いている(二重の配当とは、炭素税収を、既存税の減税や社会保障負担の削減に用いて、税によって抑制されていた経済活動を活性化させ、排出削減と同時に、経済全体にもプラスの効果をもたらすことである)。

モデルは多数の財、多数の部門に日本を分割したモデルであり、47財、39部門としている。温暖化対策を分析する際に重要な意味を持つエネルギー財、エネルギー部門を詳細に分割したモデルにしている。モデルの全ての市場を完全競争とし、各部門は規模に関して収穫一定の技術を用いて生産活動をするという多くのCGEモデルと同様の設定にしている。

需要側は一つの代表的家計を想定し、その効用最大化行動によって描写している。本研究のモ

デルの大きな特徴は（マクロ経済学でよく用いられる）forward-looking型の動学モデルをCGEに用いているということである。ここでは資本課税である法人税を適切に扱うためにforward-lookingモデルを採用している。長期の分析では新しい技術やエネルギーが重要な役割を果たすので、本研究では再生可能エネルギーによる発電と炭素回収・貯留（CCS）も考慮している。

シミュレーションでは、明示的な排出規制（炭素税）を導入しないBusiness as Usualシナリオをまず計算し、それに加え炭素税により80%削減をおこなうシナリオを考える。炭素税のシナリオとしては、炭素税収入を一括で家計に還元、社会保障負担削減、所得税減税、法人税減税、消費税減税の5つを分析している。後者4シナリオが環境税制改革のシナリオになる。炭素税の導入が日本経済、特にGDP、所得、効用などにどのような影響を与えるかを分析している。

（5）カーボンプライシングの産業連関分析：国際競争力を中心に

長期目標達成のための炭素価格の制度オプションを検討のため、3種類の国内産業連関表（全国表）を用いてカーボンプライシングによる経済影響を分析した。また、費用緩和措置の効果について分析を実施した。具体的には、分析に用いた産業連関表は、①2005年国内産業連関表（全国表）による分析、②2011年国内産業連関表（全国表）による分析、③2011年規模別産業連関表（全国表）による分析を実施した。全国表を用いることにより、日本経済全体への影響を明らかにすることができる。しかし、全国表では、1つの業種が1つの企業によって構成されているのを前提としている。すなわち、業種内での企業規模が考慮されていない。一方、温暖化対策の多くは、排出量が多い事業者を対象としている。そこで、規模別産業連関表を用いることにより、より現実的な政策に近い分析が可能となる。

また、シナリオとして、①明示的な炭素税を新たに導入するケース（4,000円/t-CO₂）、②地球温暖化対策税の税率（289円/t-CO₂）、③暗示的なカーボンプライシングを考慮して実効炭素税率（effective carbon rate）を4,000円/t-CO₂以上を実現するケースを分析した。同時に、国際競争力に配慮した制度がどの程度、効果が見込まれるかを分析した。

（6）排出量取引のイノベーションへの影響分析：埼玉県制度を中心として

埼玉県では、目標設定型排出量取引が始まる1年前の2010年度より計画書制度を実施しており、目標設定型排出量取引制度の対象事業所は埼玉県の計画書制度の対象でもある。こうした埼玉県の温暖化対策の状況を考慮し、埼玉県と同様に計画書提出を義務付ける制度を導入しているが、排出量取引制度は実施していない近隣県に立地する事業所との比較を通して分析を行った。そうした近隣県として、ここでは群馬県を取り上げた。このような設定の下で、目標設定型排出量取引制度がもたらした排出削減効果および低炭素技術普及促進効果を定量的に把握するために、マッチング法などを用いて平均処置効果を計測した。なお、低炭素技術普及促進効果に関する分析では、目標設定型排出量取引制度の第1削減計画期間において対象になった製造業の事業所、および群馬県計画書制度の対象である製造業の事業所に対して行ったアンケートにより収集した高効率機器導入への投資額などのデータを使用した。

(7) カーボンプライシングの家計影響：温暖化対策税を中心として

炭素価格による排出削減効果や経済影響をみるため家計の分析を行った。カーボンプライシングが家計の電力消費に与える影響を家計レベルのマイクロデータ分析により検証した。具体的には、3年間の研究期間で二種類の調査を実施した。

最初の調査では、政府統計データを用いた分析を行った。「全国消費実態調査」と「家庭部門のCO₂排出実態統計調査」のマイクロデータを入手し、(1) 家計におけるエネルギー消費の実態、(2) 人口動態変化のエネルギー消費への影響、(3) 政府が導入した省エネ政策の効果、(4) 家計の省エネ行動の阻害要因、について定量的な分析を行った。

二つめには、アンケート調査によるエネルギー課税の影響予測を行った。温暖化対策を目的に2012年に導入された環境税は現在低率だが、将来的には温暖化対策の強化のために増税される可能性がある。しかし、実際に課税をしたり、エネルギー価格を変化させたりすることで、増税に対する世帯の反応を調べることはできない。そこで、本研究では、2018年度の電力消費量をベースに2019年度に節電取り組み応じた謝礼額を変化させる節電インセンティブ実験を行い、増税に対して世帯がどの様に対応するか調査した。

4. 結果及び考察

(1) 東京都排出量取引制度の効果の事後検証とカーボンプライシングの制度設計

以下に示すように、研究計画書で提示した目標を全て達成した。特に、複数の学術賞を受賞するとともに、国際共同研究・発信については、サブテーマ1およびプロジェクト全体として想定以上の成果を得た。

まず、フェーズI(2010年～2014年)におけるオフィスビルについて計量分析を行った結果を表4.0.1に示した(固定効果モデル)。表の一行目の推定結果から、東京都ETSの影響により、対象事業所が2009年比でCO₂排出量を6.7%程度削減したことが示された。電力価格の対数ln(power price)の弾力性(0.52)から試算すると、削減の半分弱が電力価格上昇、半分強がETSの効果であることが示された(表4.0.1)。大学の場合にも、2009年以降の削減の半分は排出量取引の効果であることが示された。また、温対法データの分析からは概ねサービス業で5%、製造業で10%近い排出削減がETSによって実現していることが示された。石油等消費動態統計調査の分析からは製造業において電力消費が10%以上減少したことが示された。エネルギー消費統計調査」の分析からは、ETSは雇用への負の影響を示さないことが示された。

表4.0.1 オフィスビル・大学のアンケート調査データを使用した推定結果

被説明変数	オフィスビル		
	ln(CO ₂ 排出量)	ln(電力消費量)	ln(エネルギー消費量)
東京都ETSダミー	-0.067***	-0.058***	-0.037*
ln(電力価格)	-0.520***	-0.452***	-0.355**
輪番停電ダミー	-0.006	-0.014	-0.022
ln(CO ₂ 強度)	0.754***		
事業所固定効果	○	○	○
年度ダミー	○	○	○
その他コントロール変数	○	○	○
自由度調整済みR ²	0.352	0.276	0.259
観測数	1,177	1,199	1,199

次に、温対法データを用いて、東京ETS、埼玉ETSの削減効果だけではなく、他地域へのリーケージの大きさの分析を行った。推計の結果、予想とは逆の結果が得られた。つまり、第2次産業部門において、東京都もしくは埼玉県に事業所を有する事業者では、ETS制度導入に伴い、他道府県に有する事業所の排出量が1.7%減少した。第3次産業部門においては、3.7%の減少が確認された。この結果は、東京・埼玉ETSはリーケージをもたらしたのではなく、非規制地域の事業所で「エネルギー効率ギャップ」（本来なら採算の取れる省エネ技術でも、不確実性や知識不足で導入されないこと）が解消され省エネ技術の導入が進んだ可能性を示している。つまり、都内事業所で実施されたエネルギー使用の効率化や省エネ設備の投資が、事業者の統率により他道府県の事業所へ波及した可能性がある。

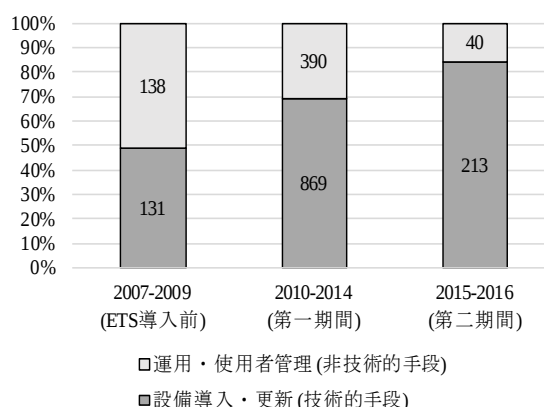


図4.0.1a 照明関連対策

また、オフィスビルにおける省エネ対策を、「技術的手段（設備導入・更新）」と「非技術的手段（運用管理、使用者管理）」に分け、ETSの効果をアンケート調査から分析した。図4.0.1aから図4.0.1bは、東京都の地球温暖化対策計画書から集計したデータを用いて、照明、空調に関する「技術的手段」と「非技術的手段」の比率を示している。棒グラフはそれぞれ左から、東京都ETS導入前（2007年～2009年）、東京都ETS第1期間（2010年～2014年）、東京都ETS第2期間（2015年～2016年）において、事業所が技術的手段と非技術的手段をどのような割合で採用してきたかを示している。図から明らかなように、ETS導入前は「技術的手段」と「非技術的手段」が同じような割合で取り組まれている。しかしETSの導入後は、照明と熱源に関しては「技術的手段」による対策の比率が「非技術的手段」に対して増している。空調につ

いても、第2期間においては同様の傾向がある。これらからわかるように、最初は「技術的手段」と「非技術的手段」が同じような割合で実施されており、その後「技術的手段」の割合が増えていく傾向が見て取れる。この結

果は、東京都内外のオフィスビルのヒアリングで得た情報と整合的であり、事業所は「非技術的手段」による省エネ化を優先的に取り組み、「技術的手段」は設備更新時期や費用対効果を見ながら判断しているようである。今後、オフィスビルの省エネ技術の普及を支援していくにあたり、事業所の省エネ対策手段の戦略を把握していくことは重要である。2050年80%削減を目指す

していくうえで、さらなる省エネ技術普及が必要になるため、費用対効果の観点から技術導入に対する支援が求められる。

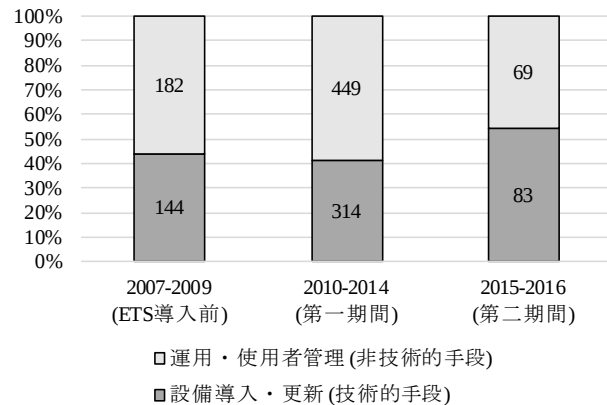


図4.0.1b 空調関連対策

最後に、各サブテーマの知見を総合し政策オプションを検討した。一つのオプションは自治体排出量取引制度の全国展開である。事後検証グループの研究から ETS は大きな経済影響がなく5-10%の排出削減を実現していることが示された。しかも、制度は既に構築されており、かつ、少人数での運営も可能であることが示されている。他道府県で、東京・埼玉制度を展開するのが脱炭素社会に向けた最初の一步として考えられる。特に、埼玉の罰則のない制度は注目に値する。

もう一つのオプションは、炭素税を導入し、税収を法人税等既存税制の減税に用いることである（環境税制改革）。社会保障負担の軽減に用いれば、国民から炭素税支持を得られる可能性が示された。法人税減税に用いれば、企業からもより多くの支持を得られるとともに、経済成長にも資することが分かった。従って、長期目標達成のためには炭素税導入と環境税制改革（二重の配当）が重要な選択肢である。

最後に、ETS も炭素税も、導入初期にエネルギー集約産業に費用緩和措置（減免）を実施し、国際競争力・炭素リーケージに一定程度、対処可能であることが示された。また、インターネット調査からカーボンプライシングの導入に一定の支持があることが分かった。

（２）再生可能エネルギー普及のためのカーボンプライシングの研究：産業関連アプローチ

サブテーマ2では、研究計画書で示された目標をほぼ達成した。

再生可能エネルギーの火力発電に対する生涯的なCO₂削減量の推算結果によれば、地熱、木質バイオマス、中小水力、廃棄物発電のように設備稼働率が高く、耐用年数の長い発電施設によるCO₂削減効果が大きいことが分かった。メタン発酵ガス発電によるCO₂削減効果も太陽光や風力に比較すると大きい。CO₂削減量に想定される炭素税(円/CO₂-t)を乗ずれば、各再生

可能エネルギー発電施設の発電容量(kW)あたりで見た、炭素税負担の減少による費用抑制効果を具体的に知ることができる。また、課税方法の違いが家計にもたらす炭素税負担の違いについては、中流・下流課税の場合に課税対象CO₂が多費目に分散する傾向が確認され、直接的な省エネばかりでなく、なるべく炭素税転嫁分が少ない商品選びを消費者に促すインセンティブとなることがうかがわれた。なお、再生可能エネルギー導入により家計の炭素税負担は約16%軽減されると推算した。

(3) 欧米各国カーボンプライシングの事後検証と日本の制度オプション検討

サブテーマ3では、研究計画書で示した目標を全て達成した。

本サブテーマでは、①欧米のカーボンプライシングの評価のレビューと、②日本における制度オプションとして、環境税制改革（二重の配当政策）が導入された場合の、法人税減税の企業影響のケーススタディを行った。

①先進的カーボンプライシングに関する事後評価

ドイツ・北欧を中心とするグリーン税制改革やEU ETSなどの先進事例に対する実証研究に関する文献レビューの結果、炭素税に関する計量経済学的事後評価研究は限定的であるものの、北欧4カ国およびオランダの炭素税による排出削減効果について、ノルウェー以外の4カ国での炭素税導入はCO₂排出の削減につながったが、統計的に有意となったのはフィンランドのみであった。また英国気候変動税に関する計量経済分析によると、有意な排出削減効果は検出され、かつ競争力への負の影響は検出されなかった。これらの事後検証によると、全般的な傾向として炭素税により競争力を阻害することなく排出が削減された。排出量取引に関しては、EU ETSによる競争力影響に関する計量的事後評価によると、現時点での価格水準においては、EU ETSにおける炭素価格は競争力を阻害していないと結論付けている。なお、高い炭素税率で知られる北欧諸国でも減免措置などにより産業界への実質的な炭素税率は比較的低いことが明らかとなっており、現時点では脱炭素化を目指した高率のカーボンプライシングについては事後検証が難しい。脱炭素社会移行と炭素価格を扱った既存研究の中で、移行実現の政策ツールとして明示的カーボンプライシングを扱ったものは限られており、明示的カーボンプライシングによる脱炭素技術の急速な普及といった、カーボンプライシングがシステム転換に与える影響に関する動学的な分析を含めていくことが大きな課題である。既存研究による脱炭素経路に沿った限界削減費用の推計値には大きな幅があり、高い推計値だと2050年に二酸化炭素1トンあたり1万ドルを超えると推計する研究もある。一方、脱炭素移行のための政策手段として明示的カーボンプライシングを扱った研究では二酸化炭素1トンあたり100ドル～500ドルと推計されていることが分かった。

②炭素税の導入に伴う法人税減税による二重の配当効果の企業経営に与える影響分析

陸運部門と建設部門について、他の部門への参入が少なく当該部門に専業している割合が高い2社を選択し、炭素税の税収を法人税減税に充てた場合の炭素税の営業利益に対する影響を分析したところ、いずれのケースも炭素税により営業利益額がマイナスになることはなかったが、売上高の増大にも影響され、営業利益率は低下した。法人税減税の場合には、炭素税による営業

利益額の減少を、減税効果により相殺する可能性が確認でき、営業利益率についてもBAUとのギャップを実質的に解消することが期待できた。また、法人税減税の営業利益に与える効果は、法人税額の営業利益に対する比率が高いほど大きな効果が期待される。

（４）環境税改革の経済分析

サブテーマ4では、研究計画書で示した目標について、負担の軽減措置の分析を除いて、ほぼ達成した。

排出規制を導入するシナリオでは、2050年時点にネットのCO₂排出量が2億1,740万トンまで削減されることになる。ただし、CCSが1億8,000万トン分行われるので、グロスの排出量は3億9,740万トンまで減らせばよい。この大幅な削減を実現するために必要な炭素税率は2050年時点でおおよそ6万円である。80%削減の実現にはかなり高い炭素税率が必要だと示された。

二重の配当については以下のような結果が得られた。まず、2030年時点では、法人税減税シナリオ、消費税減税シナリオでGDPや所得の強い二重の配当が実現した。さらに、他の環境税制改革でも多くのケースで弱い二重の配当が実現した。2050年時点については、強い二重の配当が生じるケースはなくなるが、それでも全てのケースで弱い二重の配当は生じた。一方、生涯効用の観点では必ずしも二重の配当が生じるシナリオは多くなかった。

以上の結果の政策的なインプリケーションは次のようにまとめられる。まず、純粋な炭素税（＝税収の家計への一括還元）よりは、環境税制改革という形の方の方が望ましい結果をもたらすことが多いということである。特に、法人税減税についてはGDPや国民所得が増加するという強い二重の配当が生じるケースが観察されるとともに、多くの基準、時点において他の政策より望ましい結果をもたらしている。よって、CO₂の削減手段として、純粋な炭素税よりは、環境税制改革、特に法人税減税というアプローチを検討すべきと言える。ただし、環境税制改革が必ず望ましい結果を出しているわけではないことに注意する必要がある。政策シナリオや評価基準の変数によっては環境税制改革の方が望ましくない場合もある。法人税減税についても生涯効用という基準では必ずしも望ましいわけではない。

（５）カーボンプライシングの産業連関分析：国際競争力を中心に

サブテーマ5では、研究計画書で示した目標を全て達成した。

短期的な費用緩和措置の効果は認められる。そのため、国際競争力の喪失を小さく抑えることが可能である。ただし、EU ETS方式の場合、多くの業種が対象候補となるため、それらの業種の実効炭素税率（ECR）を引き下げる。よって、業種間（対象業種と非対象業種）のECRを歪めることになる。一方、地球温暖化対策税方式では、一部の業種のみを対象とするため、ECRを一部の業種を除き大きく変化させない。したがって、費用緩和措置は、ECRの観点から、慎重に決定することが望ましい。

また、企業規模によってカーボンプライシングの影響が異なることが明らかとなった。具体的には、中小企業（中小排出者）は、大企業（大排出者）よりも生産額当たりの中間投入額が

多いため、カーボンプライシングによる影響が大きいことが分かった。これは、中小企業の生産効率が大企業と比較して低いことを反映していると考えられる。

(6) 排出量取引のイノベーションへの影響分析：埼玉県の制度を中心として

サブテーマ6は、研究計画書で示された目標を全て達成した。

排出削減効果に関しては、2012～2014年度の期間に目標設定型排出量取引が対象事業所におけるCO₂排出削減を促したことが見出された。加えて、目標設定型排出量取引制度の対象でない事業所に対しても、この制度は排出削減を促す効果を有しているという結果が得られた。これについては、目標設定型排出量取引の対象となっていない事業所が、対象となるのを回避するためにエネルギー使用量の抑制・削減に努めたことが理由として考えられる。この点は、エネルギー使用量の変化の関係について行った分析の結果からも確認された。

低炭素技術普及促進効果に関しては、第1削減計画期間と第2削減計画期間との比較において、目標設定型排出量取引が高効率機器導入への投資を増加させたという結果が得られた。具体的には、第2削減計画期間の前半の3年間に於いて、第1削減計画期間の4年間と比べて平均で1億円ほど投資額を増加させる効果を有したことが示された。それに対して、第1削減計画期間においては、それ以前の3年間との比較でみると投資を押し上げる効果は見られなかった。これは、制度導入初期にあたる第1削減計画期間においては既存の設備・機器の改修という比較的安価な削減手段の採用が促されたのに対して、第2削減計画期間では、目標削減率が強化されたこともあって、高効率機器導入という、より高い費用を要する排出削減手段を採用する必要が生じたことを示唆していると考えられる。

なお、アンケートへの回答の分析から、カーボンリーケージは発生したもののごく少数の事例に過ぎなかったこと、また多くの事業所がCO₂排出削減は企業利益に結び付く活動であると認識していることが示された。後者は、目標達成が義務ではない制度の下で事業所が排出削減に向けた活動に取り組んだ理由として指摘できる。

(7) カーボンプライシングの家計影響：温暖化対策税を中心として

サブテーマ7では、研究計画書で示された目標について、ほぼ達成した。

マイクロデータを利用した分析の結果、家計のエネルギー消費について、以下の新たな知見が得られた。(A) 家電の省エネ性能が向上すると、世帯は家電を大型化させたり、保有台数を増やしたりするようになる。(B) エネルギー消費には規模の経済性が働くため、世帯規模が小さくなるにつれ、一人当たりのエネルギー消費量は増加する。実際、(A) や (B) といった要因が強くきいていたため、2000年代前半位まで家計の電力消費量が低下しなかった。省エネ政策の効果予測においては、(A) のリバウンド効果や (B) の人口動態効果を踏まえた上での分析が必要である。

(C) 電力需要の価格弾力性と所得弾力性はそれぞれ-1.32と0.07と推計された。本調査ではマイクロレベルデータを利用した分析を行ったが、得られた推計値は、諸外国の先行研究の

推計値やマクロレベルのデータを用いた国内調査の推計値に比べて、平均的な値となっている。一方、ミクロレベルのデータ分析を行った結果、(D) 電力需要の価格弾力性は所得階層や居住地域によって異なることが明らかになった。(C)の結果から、カーボンプライシングを導入することで、日本においても一定の省エネ効果が期待できることが分かる。しかしながら、(D)の結果から、その効果が世帯間および地域間で異なることが予想される。省エネ政策を策定する際に、世帯差や地域差をどの様に考慮するかが今後の研究課題となる。

(E) 省エネ投資に消極的な世帯と積極的な世帯があり、その違いは世帯属性により一定程度説明できる。前者は、単身世帯、低所得世帯、借家世帯などである。対象者を絞った対策をとることで、省エネ製品の普及策の効果を向上させることが望める。世帯のライフスタイルなどを反映した政策を見つけ出すことは今後の研究課題となる。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

本課題の科学的意義を事後検証とモデル分析（政策シミュレーション）に分けて記す。

事後検証：排出量取引（ETS）が、サービス部門においても、省エネを通じた排出削減に貢献していることが科学的に示された最初の研究である。さらに、国内においては、炭素リーケージは発生しておらず、むしろ企業内のスピルオーバー効果をもたらし、規制対象地域外でも排出削減が起きていることが示された。埼玉県では、計画書制度と目標設定型ETSという2つの柱が存在するが、群馬県では計画書制度のみ実施されている。この違いを活用して、目標設定型ETSがもたらした効果を抽出した。東京都、埼玉県両制度とも、ETSが新技術の普及に貢献した点を明らかにした点でも科学的意義がある。特に、罰則のないETSでも削減効果があるのを確認したのも貢献である。

家計部門については、**Top Runner Program**でも、家計の省エネ化が進展していないことが示された。省エネ予測で捨象されてきた人口動態の変化がエネルギー消費に及ぼす影響がかなり大きいことを示した。世帯レベルのデータを用いてLEDの節電効果を実証したことも新しい。

モデル分析（政策シミュレーション）：炭素税によって2050年までにCO₂を80%削減するために、炭素税収入の用途として複数のシナリオ（環境税制改革）を考え、経済的影響を分析した。2050年までに80%削減するという日本の削減目標をシナリオとした上で、法人税減税及び社会保障負担減少の環境税制改革を分析した研究は初めてで、科学的な意義がある。

産業連関分析では、企業規模別のカーボンプライシングの影響を規模別産業連関表の作成・利用によって行った最初の研究である。有効炭素税率の計算を細分化された業種で行ったことも意義がある。また、2030年に想定される水準にまで再生可能エネルギー比率が上昇した場合の効果を定量的に分析する産業連関表を構築し、炭素税が課税方法（上流・中流・下流）の下で想定されるCO₂排出原単位を用いて、家計消費が誘発するCO₂排出量を計算した点でも科学的意義がある。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

代表者は、「カーボンプライシングの在り方に関する検討会」（平成29年度）、地球環境審議会・カーボンプライシング小委員会に委員（平成30年度、令和元年度）として参加し、東京都排出量取引の定量的な削減効果や、他地域への削減効果のスピルオーバー効果について、研究成果を紹介し、議論に貢献した。欧州での先行研究を紹介し、委員会資料に反映された。また、新興国での炭素価格普及に伴い、炭素リーケージや国際競争力問題の懸念が低下傾向にあることを述べた。さらに、炭素税収の活用により、排出削減と経済成長の両立が可能（二重の配当）であることを、カナダのブリティッシュコロンビアを実例とした既往研究（Yamazaki, 2017）を紹介しながら主張した。

また、環境省市場メカニズム室からの依頼によりサブテーマ5の分析結果および国際競争力に配慮が必要となる業種の情報を提供した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

以下の制度オプション案が、カーボンプライシングの制度設計に寄与することができる。

- 1) 国際競争力・炭素リーケージに配慮した炭素価格制度設計：エネルギー集約産業へ緩和措置がもたらす削減・経済効果を明らかにし、実際の制度設計に活用可能である。
- 2) 自治体排出量取引制度の全国展開：ETSの事後評価を行い、有効性と実行可能性を示した。東京都、埼玉県以外の道府県での同制度の活用は、中期的な削減手段として現実的である。
- 3) 目標設定型ETSの可能性：埼玉県の目標設定型ETSでは、不遵守でも罰則がないが、排出削減が進んだ。他の道府県でも、目標設定型ETSのように「緩やかな」ETSも、最初のオプションとして検討すべきである。
- 4) 環境税制改革（二重の配当等）の制度オプション提示：炭素税収のリサイクル方法を比較し、排出削減と経済成長の両立を実現しうる税の制度設計のオプションを提示した。家計や企業への具体的な負担改善も示したので、カーボンプライシングのサポーターを増やせることも示した。二重の配当は長期目標達成のための有効なオプションである。
- 5) 家計に対するカーボンプライシングの可能性：家計のエネルギー消費削減が省エネ技術だけでは難しいことが確認された一方で、その価格弾力性は諸外国と同程度の水準であることも確認され、家計部門での炭素価格導入の有効性が示された。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) S. Nakano, A. Washizu: Journal of Environmental Management, 225, 84-92 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.082>,

- Acceptance of energy efficient homes in large Japanese cities: Understanding the inner process of home choice and residence satisfaction.
- 2) S. Takeda, T.H. Arimura and M. Sugino: *Environmental and Resource Economics*, 74, 271-293 (2019)
Labor Market Distortions and Welfare-Decreasing International Emissions Trading.
 - 3) 亀岡濤, 有村俊秀: *環境科学会誌*, 32, 4, 103-112 (2019)
炭素税・FIT賦課金による産業・家計への影響-産業連関分析による定量的評価-.
 - 4) S. Nakano, A. Washizu: *Sustainability* 2019, 11(16), 4444, 1-19 (2019)
<https://doi.org/10.3390/su11164444>
In Which Time Slots Can People Save Power? An Analysis Using a Japanese Survey on Time Use.
 - 5) 小嶋公史, 浅川賢司: *環境経済・政策研究*, 12(2), 1-8 (2019)
脱炭素社会実現に向けたカーボンプライシング研究の方向性.
 - 6) N. Inoue and S. Matsumoto: *Energy Policy*, (124), 312-319. (2019)
An examination of losses in energy savings after the Japanese Top Runner Program?
doi: 10.1016/j.enpol.2018.09.040
 - 7) T.H. Arimura and T. Abe: *Environmental Economics and Policy Studies*, published online, 1-17 (in press)
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>
 - 8) M. Hamamoto: *Environmental Economics and Policy Studies* (in press)
Impact of the Saitama Prefecture Target-Setting Emissions Trading Program on the Adoption of Low-Carbon Technology.
<https://doi.org/10.1007/s10018-020-00270-x>
 - 9) T.H. Arimura H. Oh and M. Duan as Guest Editor: (2020年刊行予定)
Special Issue of “Carbon Pricing in East Asia” *Environmental Economics and Policy Studies*.

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 有村俊秀: *エネルギー・資源*, 38, 5, 261-267 (2017)
カーボンプライシングの経済分析: 事前評価と事後評価 Review of Economic Analyses on Carbon Pricing: Ex-Ante and Ex-Post Assessments.
- 2) S. Takeda and T. H. Arimura: *International Cooperation in East Asia to Address Climate Change*, Edited by Robert N. Stavins and Robert C. Stowe, Harvard Project on Climate Agreements with the support of The Harvard Global Institute, 23-26 (2018)

International Cooperation on Climate Policy from the Japanese Perspective.

- 3) 有村俊秀, 阿部達也 : 環境情報科学, 48, 1, 35-42 (2019)
世界で進むカーボンプライシングと日本での論点-Overview of Carbon Pricing Instruments in the World: Challenges and Opportunities for Japan-.
- 4) T. H. Arimura & T. Abe: T.H. Arimura S.Matstumo ed. Carbon Pricing in Japan, Springer, forthcoming.
An Empirical Study of Tokyo Emission Trading Scheme: An Ex-post Analysis of Emissions from University Buildings.
- 5) T. H. Arimura & M. Sugino: Asian Economic Policy Review, Japan Center for Economic Research (2020)
Energy-Related Environmental Policy and its Impacts on Energy Use in Asia.
- 6) T.H. Arimura S.Matstumo ed: Springer (2020年刊行予定)
“Carbon Pricing in Japan.” .

(2) 主な口頭発表 (学会等)

サブテーマリーダーによる発表

- 1) T.H. Arimura: 15th IAEE European Conference 2017, Austria (2017)
“An Empirical Study of Tokyo Emission Trading Scheme: An Expost Analysis of Emission from Commercial and University Buildings.”
- 2) S. Takeda: International Cooperation in East Asia to Address Climate Change Research Workshop Sponsored by the Harvard Project on Climate Agreements September 27, 2017, at Harvard Center Shanghai (2017)
“Comments on “Heterogeneous linkage and the Paris Agreement” by Michael Mehling and Robert Stavins.”
- 3) M. Sugino : 2nd Forum of Carbon Pricing Mechanism in Korea, China and Japan (2017)
“The effects of carbon pricing on Japanese industries: An input-output analysis separating large and SME.”
- 4) T.H. Arimura: The 8th Congress of EAAERE, Beijing, China (2019)
“The Impact of Tokyo Emission Trading Scheme on Commercial Buildings: What factor contributed the emission reduction?”
- 5) S. Takeda, T.H. Arimura: The 8th Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics (EAAERE), August 2-4, 2019, Beijing, China (2019)
“A Computable General Equilibrium Analysis of Environmental Tax Reform in Japan.”

- 6) 小嶋公史・環境経済・政策学会2018年大会, 2018年9月8日～9日, 上智大学 四谷キャンパス (2018)

「カーボンプライシングによる価格効果の事後評価に向けたカーボンプライシングの定義の再検討」

- 7) T.H. Arimura: The 3rd Annual Innovate4Climate Conference, Singapore (2019)
“Carbon Pricing in Japan: Experiences of Tokyo ETS and the future prospects.”

- 8) 浅川賢司 環境経済・政策学会2019年大会, 2019年9月28日～29日, 福島大学 (2019)
「炭素税の企業経営に与える影響分析」

- 9) S. Matsumoto: International Conference on Sustainable Development. Rome.
2019. 09. 04. (公刊済)

“Daily Habits and Energy Consumption: Go to Bed Earlier for Environmental Protection.”

共著者による報告

- 1) T. Abe: The 24th Annual Conference of European Association of Environmental and Resource Economists, United Kingdom (2019)
“An Empirical Study of Tokyo Emission Trading Scheme: An Ex-post Analysis of Emission from Commercial Buildings.”

7. 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

研究分担者

- 1) 宮本 拓郎

ブリティッシュコロンビア大学経済学研究科修了、Ph.D. in Economics、現在、東北学院大学経済学部准教授 (2017年4月1日～2018年3月31日)

- 2) 森田 稔

上智大学経済学研究科博士後期課程修了、博士 (経済学)、現在、高崎経済大学地域政策学部准教授 (2017年4月1日～2018年3月31日)

- 3) 鷺津 明由

慶應義塾大学経済学研究科単位取得、博士 (商学) (慶應義塾大学)、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、現在、早稲田大学社会科学総合学術院教授

4) 小嶋 公史

ヨーク大学環境学研究科修了、Ph.D. in Environmental Economics and Environmental Management、現在、地球環境戦略研究機関プリンシパルコーディネーター

5) 浅川 賢司

早稲田大学理工学部卒業、法務博士、現在、地球環境戦略研究機関都市タスクフォースプロジェクトマネージャー

6) 昔 宣希

京都大学経済学研究科経済学専攻（博士課程）修了、博士（経済学）、現在、長崎大学環境科学部准教授（2017年4月1日～2019年3月31日）

7) 武田 史郎

早稲田大学政治経済学部卒業、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

8) 杉野 誠

上智大学経済学研究科修了、博士（経済学）、現在、山形大学人文社会科学部准教授

9) 浜本 光紹

京都大学大学院経済学研究科修了、京都大学博士（経済学）、現在、獨協大学経済学部教授

10) 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

II. 成果の詳細

II-1 東京都排出量取引制度の効果の事後検証とカーボンプライシングの制度設計

早稲田大学政治経済学術院	有村 俊秀
早稲田大学重点領域研究機構	尾沼 広基（平成29年度～令和元年 度）
東北学院大学経済学部	宮本 拓郎（平成29年度のみ）
高崎経済大学地域政策学部	森田 稔（平成29年度のみ）
<研究協力者>	
早稲田大学政治経済学術院	定行 泰甫
早稲田大学経済学研究科	阿部 達也
早稲田大学経済学研究科	矢島 猶雅
早稲田大学重点領域研究機構	木元 浩一（令和元年度のみ）

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）：65,187千円（研究経費は間接経費を含む）
（平成29年度：20,172千円、平成30年度：18,177千円、令和元年度：26,838千円）

【要旨】

本サブテーマではまず、文献調査については、カーボンプライシングに関する各国の制度について情報を収集し、事後検証を行っている論文を調査した。その結果、各国 ETS で排出削減が実現したこと、負の経済影響はほとんど確認されないことが示された。

次に、東京都排出量取引制度（以下、東京都 ETS）の事後検証をするために、計量経済学的手法によって排出削減について複数の分析を行った。第1に、オフィスビルと大学を対象として、東京都 ETS による CO₂ 削減効果を定量的に明らかにした。第2に、石油等消費動態統計調査を用いた分析より、製造事業所で大幅に電力消費が削減されたことが示された。第3に、エネルギー消費統計調査より、雇用へ負の効果が無いことが示唆された。第4に、ETS を導入した東京都ならびに埼玉県に加えて、制度対象外に立地する事業所の削減パフォーマンスへの影響について分析を行い、国内では炭素リーケージではなく、スピルオーバー効果により、同一企業の他地域事業所でも排出削減が行われたことが明らかになった。第5に、ETS の技術普及効果について、オフィスビルを対象としたアンケート調査を行った。その結果、ETS を実施した東京都では、費用の高い省エネ技術が進んだことを示唆された。

また、今後の制度オプションの検討に向けて、東京都と埼玉県の職員や、制度設計に関わっている中国、韓国、カナダの専門家を招待して意見交換を行った。さらに、ETSを施行・実施している北京でETS対象企業のヒアリングを行った。

最後に全サブテーマの結果を総合し、政策オプションを提示した。第 1 のオプションとしては、中期的な削減目標達成のために、自治体 ETS の全国展開を検討した。第 2 のオプションとしては、長期削減目標を達成するため、炭素税導入とその税収を利用した税制改革による経済成長と排出削減の両立（二重の配当）を提案した。第 3 に、国際競争力・炭素リーケージへの配慮（減免措置）の導入を提言した。また、インターネット調査からカーボンプライシングの導入に一定の支持があることが分かった。

〔キーワード〕

排出量取引制度、削減効果、東京都、技術普及、炭素リーケージ、事業所、アンケート調査、制度オプション、二重の配当

1. はじめに

パリ協定が締結され、温室効果ガス削減のための政策手段として、排出量取引制度（ETS）や炭素税などカーボンプライシングがあらためて注目されている。日本においては、これまでに東京都（2010年から）や埼玉県（2011年から）がETSを導入しており、現在は国としてカーボンプライシングの本格導入に向けた議論が進められている。日本は2030年までに温室効果ガス排出量を2013年比で26%削減することを掲げており、特に、オフィスビル等の業務部門は39.8%と他の部門よりも高い削減目標が設定されている。今後、2050年の長期削減目標を達成していくにあたり、カーボンプライシングをはじめとする温室効果ガスの削減が期待される政策の有効性を検証していくことが求められている。

サブテーマ1は、東京都ETSの環境・経済への効果検証と、政策オプション提示が主な研究テーマである。東京都では、中期削減目標を達成するための一つ的手段としてETSが2010年度より導入された。東京ETSは、複数期間から成り立っている。2010年度から2014年度までの第一計画期間と、2015年度から2019年度までの第二計画期間である。すでに第三計画期間の実施が東京都によって発表されており、その期間は2020年度から2024年度までとなっている。

規制対象となる業種は製造業と商業部門である。これらの業種に属する事業所のうち、原油換算エネルギー消費量が年間1,500k1を超える事業所が規制対象事業所である。第一計画期間の開始時点における規制対象事業所の数は約1,300であり、これは東京都の製造業・商業事業所全体の約40%を占める。特に特徴的なのが、規制対象事業所の約8割が商業施設である点であり、これはエネルギー多消費産業を規制対象とする他国の制度とは異なる点である。

東京都ETSは、各規制対象業種に対して、それぞれ異なる原油換算エネルギー消費量の削減義務率を設定している。例えば、第一計画期間において、製造業は基準値から6%、商業は基準値から8%削減することが義務づけられた。第二計画期間からは製造業が15%、商業が17%となり、次第に厳しくなっている点も特徴である。

この制度はクレジットの取引について相対取引しか認めていない。取引されるクレジットを排出削減クレジットという。このクレジットは第一計画期間を通して約9百万トンCO₂が発行さ

れている。東京都の排出量取引制度は、他にも規制対象事業所の義務履行の負担を軽減するために3つのオフセット・クレジットと、埼玉県の実排出量取引制度で発行される埼玉県クレジットを取引対象として認めている。また、クレジットのバンキングも認められており、削減義務以上に削減をした事業所は、次の計画期間にその分を持ち越すことが可能である。

実際、第一計画期間において、自らの排出削減で目標を達成する事業所が全体の約90%を占めた。原因として、この計画期間に制度以外の要因、電力価格の上昇や、東日本大震災やその後の経済停滞などが生じたことが考えられる。そのため、排出削減はETSではなく、外圍部要因によるものだという声もあった。東京都が公表している情報によると、クレジットへの需要が伸びなかったため、制度開始時点で約1万円の値で取引されていた排出削減クレジットは、第一計画期間終了時点では約4500円程度にまで値を下げた。

サブテーマ1では、まず、世界のカーボンプライシング制度の動向や、ヨーロッパなどですでに実施されているETSが温室効果ガス削減をはじめとする環境や経済に及ぼした効果に関する情報を整理した。次に、東京都で実施されているETSが、事業所の環境・経済パフォーマンスにどのように影響したのかについて検証した。アンケート調査や政府統計を利用して計量経済学の分析手法により分析を行った。そして最後に、これまでのETSに関する科学的知見を踏まえて、今後の政策展開の方向性や制度オプションについて検討した。具体的には、東京ETSや埼玉ETSの全国展開の可能性について提言を行った。さらに、二重の配当について、その概念と世界でどのように取り組まれているのか整理するとともに、アンケート調査によって国民がどのようなカーボンプライシングによる収入の使い道を望んでいるのかについて検討した。

また、カーボンプライシング制度の導入にあたっての批判として、経済への負の影響や国際競争力の低下、炭素リーケージについて指摘があるため、そうした懸念の緩和との両立可能性についても示した。

2. 研究開発目的

東京都が第一計画期間終了時点で公表した資料によれば、規制対象事業所からのCO₂排出量は基準排出量と比較して25%削減されたことになる。しかし、2011年に生じた福島原子力発電所事故を起因とする、東京電力管内での大規模な電力供給不足による電力価格の上昇を考慮すれば、報告された削減実績値がETSのみの成果であるとは言えないかもしれない。様々な要因の中からETSの政策効果を抽出するためには事業所単位の排出実績を示すデータが必要である。そこで本サブテーマでは、事業所レベルのアンケート調査や既存統計データを用いて、東京都ETSの削減効果及び技術普及への影響を明らかにする。

後述する欧米の文献レビューによれば、ヨーロッパの排出量取引制度（EU ETS）など他国ですでに実施されているETSの事後検証を行った研究の多くは、ETSの導入による温室効果ガスの削減効果があったことを明らかにしている。東京都ETSの特徴は、商業施設が規制対象の大半を占めていることである。EU ETSなど、東京都ETS以前に導入されている制度の規制対象は主に製造業などのエネルギー集約産業であった。本サブテーマでは、エネルギー集約産業以外の業種

に対してもETSによる削減効果を明らかにする。この点は、国際的に見ても非常に独創性が高く、興味深い研究になっている。

また、前述のように東京都では事実としてCO₂排出量が基準排出量と比較して25%削減されている。この削減は何によってもたらされたのかを明らかにすることも重要な課題である。そこで、本サブテーマでは、全国のオフィスビルを対象にCO₂削減対策実施状況に関するアンケート調査を行い、どのような対策・技術が普及しているのかについて明らかにする。具体的には、東京都とその他道府県に立地する事業所のCO₂削減対策実施状況を比較し、ETSによる対策促進効果を明らかにする。

また、全サブテーマの成果を活かして、長期削減目標達成のための制度オプションの検討を行う。オプションとしては、主に三つ検討する。第1は、自治体ETSの全国展開である。第2は、炭素税を導入し、その税収を用いて既存税制の削減によって経済成長も目指す、環境税制改革（二重の配当）である。そして、第3に、カーボンプライシング導入の支持を拡大するため、産業の国際競争力配慮について、現状の影響を欧米の炭素価格制度に関するレビューより明らかにするとともに、炭素税の場合、上・中・下流課税ごとの差異を明示し、加えて、排出枠の無償配分及び炭素税の減免という費用負担緩和措置の効果を明らかにする。

3. 研究開発方法

本サブテーマでは、上記の目的を達成するため、以下の7つの項目ごとに研究を遂行した。

- A. 先行研究レビューを踏まえた東京都ETSによるCO₂削減効果分析
- B. 東京都ETSによる経済活動への影響：エネルギー消費統計調査
- C. 東京都ETSが製造事業所の電力及び燃料消費量へもたらした影響分析：石油消費統計
- D. 東京都ETSによるオフィスビルの省エネ技術普及の可能性
- E. 東京都・埼玉県のETSが制度対象外道府県の事業所の排出量に及ぼす影響
- F. カーボンプライシング政策に対する市民の認知度や態度
- G. 制度オプションの検討

以下では、項目ごとの研究方法について述べる。

A. 先行研究レビューを踏まえた東京都ETSによるCO₂削減効果分析

まず、欧州及び米国の排出量取引制度の事後検証に関する研究のレビューを行った。

次に、全国の商業施設と大学のエネルギー使用量と温室効果ガス排出量を把握するため、早稲田大学が行った調査データを利用した（2015年実施）。この調査の対象になったのは、国が定める温室効果ガス排出算定報告書制度の報告対象となっているオフィスビルと大学である。調査の結果、414のオフィスビルと271の大学から有効な回答を得た。それぞれの回答率は50.2%と79.7%である。

調査対象となったオフィスビルと大学には、2009年度から2013年度の過去5年間のCO₂排出量、電力消費量、エネルギー消費量を回答してもらった。その他、事業所の属性に加え、輪番停電と電力使用制限令を経験したかどうかを併せて回答してもらった。

調査の結果、東京都とそれ以外の地域にある事業所と大学の違いがそれぞれ明らかとなった。2009年度のデータを調べると、東京都の事業所は平均して7,463トンCO₂、それ以外の事業所では6,918トンCO₂が排出されていることがわかった。同様に大学については、東京都で6,748トンCO₂、その他の県で9,583トンCO₂が平均して排出されていた。ここから、東京都とその他の県の事業所と大学の排出量には大きな違いが存在し、単純にその大きさを比較しても排出量取引制度の政策効果は推定できないことがわかる。

そこで、事業所と大学単位の5年間のパネルデータを利用して、差の差推定法によって政策効果の推定を行った。この手法は、政策の因果推論でよく用いられる分析手法である。具体的には、事業所と大学別に以下の式を回帰分析によって推定した。

$$y_{it} = \tau \cdot Tokyo_i \cdot I(t \geq 2010) + \alpha_1 Tokyo_i + \alpha_2 I(t \geq 2010) + x'_{it} \beta + \eta_t + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

ここで、左辺の変数 y_{it} は、事業所 i もしくは大学 i の t 年度におけるCO₂排出量、電力消費量、エネルギー消費量のいずれかを表す。右辺の変数 $Tokyo_i$ は、事業所 i もしくは大学 i が東京都にある場合に1、それ以外には0をとる変数である。また、関数 $I(\cdot)$ は括弧の中の条件が真の場合に1、それ以外には0をとる指示関数である。これら $Tokyo_i$ と $I(t \geq 2010)$ の交差項の係数 τ が、差の差推定法により導かれる、東京都排出量取引制度の政策効果になる。変数ベクトル x_{it} は、電力価格、事業所と大学の規模を表す変数、また電力制限令等を経験したかどうかを示す変数から成っている。年度の固定効果と事業所・大学の固定効果が、それぞれ η_t と μ_i であり、誤差項が ε_{it} である。

被説明変数をCO₂排出量、電力消費量、エネルギー消費量として、事業所と大学別に上式を回帰分析によって推定した。推定には固定効果モデルを用いた。

B. 東京都ETSによる経済活動への影響：エネルギー消費統計調査

利用したデータは、資源エネルギー庁が管理する「エネルギー消費統計調査」である。同調査は、全国の一定規模以上の事業所を対象に毎年行われる調査である。その調査項目には、電力消費量や重油、ガソリンなどのエネルギー消費量、また従業員数や売上高なども含まれている。今回、その調査のうち、2007年度から2015年度までの約18万事業所のデータを使用した。

東京都ETSの導入による従業員数への影響を推定するために、次のような方法を用いた。はじめに、東京都ETSの規制対象である事業所と同じような属性を持つ非規制対象事業所をマッチングさせる。その後、そのマッチングのペアについて、東京都ETSが導入される前後の期間の従業員数を比較した。その差を東京都ETSの因果効果とするこの分析手法は、マッチングの手法と差の差推定法を組み合わせたものであり、政策の因果効果を推定するときによく用いられる手法

である。具体的に以下の式を用いた。

$$ATT = \frac{1}{N_1} \sum ((Y_{i1} - Y_{i0}) - \sum w_{ij}(Y_{j1} - Y_{j0}))$$

ここで、 N_1 は規制対象の事業所数、 w_{ij} は重み付け関数である。インデックス i と j はそれぞれ、規制対象事業所と非規制対象事業所を表す。また、 Y_0 と Y_1 はそれぞれ規制前後の従業員数を表している。

C. 東京都ETSが製造事業所の電力及び燃料消費量へもたらした影響分析：石油消費統計

本項では、資源エネルギー庁の「石油等消費動態統計調査」を使用し、ETSにより製造事業所において、電力消費、燃料消費量がどのように変化したかを明らかにする。この資料は、エネルギー集約産業における、燃料消費量の一次統計資料である。調査対象は、製造業部門のうち、「パルプ・紙・板紙製品」、「化学工業製品」、「化学繊維製品」、「石油製品」、「窯業・土石製品」、「ガラス製品」、「鉄鋼」、「非鉄金属地金」、「機械器具」の9業種である。各業種により、調査対象となる条件は異なるが、概ね従業員30人から500人以上である。

D. 東京都ETSによるオフィスビルの省エネ技術普及の可能性

オフィスビルの技術普及に関する研究では、アンケート調査を実施して集計したデータを用いて計量分析を行った。アンケート調査は、2018年10月から12月にかけて実施した。調査対象は、平成27年度時点で温対法に基づき温室効果ガス排出量の報告が義務付けられている事業所¹のうち、総務省の日本標準産業分類をもとに選定を行った。選定の結果、906事業所が本調査の対象となった。回答方法は紙もしくは電子調査票で回答してもらい、郵送もしくはメールで返送してもらった。最終的に167事業所（東京都65事業所）から回答があった（回収率18.4%）。

本分析は、東京都の事業所とその他道府県（ETSを導入している埼玉県は除く）の事業所で、CO₂削減対策の実施率が異なるかどうか分析した。分析手法は、被説明変数が0から1の間の値をとる変数であるため、Fractional logitモデルを採用し、以下の式により検証した。

$$E(Adoption_i | Tokyo_i, X_i) = G(\alpha + \beta Tokyo_i + \gamma' X_i)$$

被説明変数 $Adoption_i$ は、各CO₂削減対策の実施率を用いた。本調査におけるCO₂削減対策とは、照明関連、断熱関連、空調関連、ビルエネルギーマネジメントシステム（BEMS）など29項目である。本研究の主目的となるCO₂削減対策の実施状況に関する質問は、それぞれ「該当箇所・設備には全て実施・導入している」、「80%以上100%未満」、「60%以上80%未満」、

¹ 今回の調査で対象となった事業所は、エネルギー使用量（燃料、熱及び電気等）が原油換算で年間1,500 kL以上の事業所であり、いわゆる大規模排出事業所のことである。

「40%以上60%未満」、「20%以上40%未満」、「0%超20%未満」、「実施・導入していない」の7段階で聞いている（ZEBロードマップフォローアップ委員会(2018)の省エネ対策項目を参考に抽出）。これらの対策実施状況について、「該当箇所・設備には全て実施・導入している」と回答した事業所を「100%の実施率=1」とし、「80%以上100%未満」と回答した事業所を「90%=0.9」、…、「0%超20%未満」と回答した事業所を「10%=0.1」、「実施・導入していない」と回答した事業所を「0%=0」の実施率として、0から1の間をとる変数として数値化した。

説明変数は、東京都に所在する事業所を1とするダミー変数に加えて、本調査によって得られた情報を変数として用いた。具体的には、築年数、自社ビルである場合に1をとるダミー変数、建物の総階数、オフィス用途部分の延べ床面積、大規模修繕を実施したことがある場合に1をとるダミー変数、省エネ会議を定期的に実施している場合に1をとるダミー変数を用いた。

CO₂削減対策は、「技術的手段（設備導入・更新）」と「非技術的手段（運用管理、使用者管理）」の二つに大別した。技術的手段（設備導入・更新）は、主に高効率な新規設備の導入や既存設備を高効率なものに更新することである（例、高効率な照明や空調の導入等）。非技術的手段は、既存設備を効率の高い状態で運用することや、設備利用者の省エネ行動を実施させることなどである（例、不要照明の間引きやエアコン温度設定の緩和、エレベーターの運転台数調整など）。分析では特にこの二つの区分けによる結果の違いに注目した。

E. 東京都・埼玉県のETSが制度対象外道府県の事業所の排出量に及ぼす影響

現時点では、国内では東京都及び埼玉県のみでETSが導入されている。そのため、事業者（企業や研究機関など）が東京都と埼玉県に有する事業所（工場やオフィスビル、大学など）でのエネルギー消費を抑制する一方で、ETS制度の規制が適応されない他道府県に有する事業所での生産や経済活動を促進することで、いわゆる、東京都や埼玉県から他道府県への「カーボンリーケージ」が生じているのではないかといった懸念が指摘されている。そのリーケージ問題の有無を検証するために、「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度（以下、温対法と略す）」に基づいて公表開示されている2009年から2013年の事業所ごとの年別CO₂排出量データ（以下、温対法データと略す）を用いて、同一事業者（企業や研究機関など）内で、東京都や埼玉県の事業所（工場やオフィスビル、大学など）でのCO₂排出量が減少する代わりに、他道府県に立地する事業所による排出量の増加が起きているかどうかについて分析した。温対法データは、上記のアンケート調査で得られた床面積や従業員数などの事業所に関する詳細な変数はないが、製造業を含めた全産業部門の大規模事業所をカバーしており、サンプル数が多く、リーケージの検証に適している。リーケージの検証にあたって、以下の式を推計する：

$$y_{jit} = \tau_T \cdot Tokyo_i \cdot ETS_{jt} + \tau_S \cdot Saitama_i \cdot ETS_{jt} + \tau_O \cdot Other_i \cdot ETS_{jt} + x'_{it}\beta + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it}$$

ここで、 ETS_{jt} は、年度tに事業所iを所有する事業者jが、ひとつでも東京都ETSもしくは埼玉県ETSの規制下にある事業所を有している場合に1をとるダミー変数である。 $Tokyo_i$ 、 $Saitama_i$ 、

$Other_i$ は、それぞれ、事業所*i*が東京都内、埼玉県内、東京・埼玉以外の道府県内、にある場合に1をとるダミー変数である。もし、東京都・埼玉県から他道府県へのリーケージが起きている場合、 τ_0 の推計値は正の符号を示すと予想される。

F. CP政策に対する市民の認知度や態度

環境政策に対する市民の認知度や考えを確認するため、2020年2月に全国アンケート調査を実施した。調査項目は次の通りである。政策の認知度として、炭素税、排出量取引制度、固定価格買取制度についてどの程度知っているか、また、それらの政策に関する情報をどこから入手している（いた）かについても質問している。さらに、具体的な政策として日本で現在実施されている政策（地球温暖化対策のための税、東京都排出量取引制度、埼玉県排出量取引制度、固定価格買取制度）を知っているかどうかについても確認した。

そして説明文を読んでもらったうえで、各政策（炭素税、排出量取引制度、固定価格買取制度）の支持度合い、カーボンプライシングのうち炭素税と排出量取引制度のどちらを支持するか、について聞いた。

また、カーボンプライシングが施行された場合の税収の使途について選択肢を提示して、望ましいと思うものを3つ順位付けして選択してもらった。選択肢は、先行研究を参考にし、エネルギー関連、法人税減税、所得税減税、災害対策、年金の11項目をあげた。

他にも、地球温暖化問題に対する考え方や態度について把握するため、地球温暖化に関する科学的知見についてどのように考えているか、温暖化現象の原因についてどのように考えているか、地球温暖化対策の重要度についてどのように考えているか、地球温暖化は異常気象（台風、洪水、夏の高温等）の原因だと思うか、について質問した。また、異常気象によって被害を直接受けた経験があるかどうかについても細かな選択肢を提示して回答を得ている。

G. 制度オプションの検討

本サブテーマ及び、全体の成果を活かして、制度オプションの検討を行う。オプションとしては、3つ検討する。1つは、排出量取引を導入する場合としての自治体制度全国展開である。サブテーマ1および、サブテーマ6の成果を活かし、地方制度の全国展開を検討する。2つ目は、炭素税を導入し、その税収を用いて既存税制の削減によって経済成長も目指す、二重の配当政策について検討する。特に、サブテーマ1は、炭素税収の家計還元について検討する。3つ目は、排出量取引・炭素税に共通する国際競争力配慮方策である。排出量取引や炭素税といったカーボンプライシングを導入すると、生産費用が上昇し、輸入品との市場競争が不利になる。こうした国際競争力の問題について配慮の方策を検討する。

4. 結果及び考察

以下に示すように、研究計画書で示された目標を全て達成した。特に、複数の学術賞を受賞

するとともに、国際共同研究・発信については、サブテーマ1およびプロジェクト全体として想定以上の成果を得た。

A. 先行研究レビューを踏まえた東京都ETSによるCO₂削減効果分析

(ア) 各国成果のレビュー

他国ですでに実施されている排出量取引制度の事後検証を行っている研究の調査を行った。主にヨーロッパで2005年から開始されている制度を中心に調査を行った。以下がその調査内容である（詳細は、有村・阿部（2019）参照）。ヨーロッパの排出量取引制度（EU ETS）の、排出削減効果と生産量や雇用量などへの影響という点について事後検証をしている研究に焦点を絞って紹介する。フェーズI が開始された2005年から2006年までの最初の2年間について、制度対象国全体での削減効果を分析した研究にEllerman and Buchner（2008）がある。同研究は、CO₂排出量が2005年から2006年までにEU全体で年間50Mtから100Mt削減されたことを明らかにした。また、Ellerman et al.（2010）とAnderson and Di Maria（2011）はそれぞれ、2005年から2007年の間で年間70Mt、58Mtの削減効果があったことを報告している。これらの文献から、EU ETSにはフェーズIにおいて温室効果ガスの削減効果があったと言える。

国別の事業所レベルのデータを使用し政策効果を分析した論文にPetrick and Wagner（2014）とWargner et al.（2014）がある。Petrick and Wagner（2014）は、マッチングの手法を利用し、ETS規制対象事業所と非規制対象事業所の排出量を比較することによって、ドイツでのCO₂削減効果について分析し、フェーズIIの2008年から2010年までの3年間に25%から28%のCO₂削減効果があったことを示している。同様に、フランスのデータで削減効果を分析したWargner et al.（2014）によると、同期間のフランスでの効果は14%から20%であったことがわかる。

生産量や雇用量などへの影響について分析を行った研究もある。Abrell et al.（2011）は、フェーズIの企業の付加価値、雇用や利益への影響を、2005年から2008年までの企業レベルのデータを分析し、EU ETSによる負の影響は見出せないと結論づけている。またCommins et al.（2011）は、欧州企業のデータを使用し分析し、雇用量への影響は見られないとしている。

ドイツのデータを使用したPetrick and Wagner（2014）では、フェーズIとフェーズIIともに雇用への影響はなく、フェーズIIにおいてのみ生産量に4%から7%、輸出量に7%から18%の正の影響があったとしている。同様にドイツの製造業のデータを使用したLösche et al.（2018）は、確率生産フロンティア・モデルを推定した結果、経済パフォーマンスへの影響は統計的に有意には観測されなかった。ただし、フェーズIに規制対象事業所が経済パフォーマンスを改善させたことを支持する結果も出ている。

フランスのデータを用いたWargner et al.（2014）によると、2000年と比較して、雇用に関しては、ETSの導入が告知されてから運用されるまでの2000年から2004年までのアナウンスメント期間では2%、フェーズII開始からはじめの3年間にあたる2008年から2010年までには7%、減少したとしている。しかし、従業員一人当たりの排出量はフェーズIIにおいて8%から12%減少していることとしており、生産規模の変化を上回る排出量の改善が行われたことも示されている。

(イ) 東京都ETSによるCO₂削減効果：オフィスビル、大学サーベイ調査分析

推定の結果、東京ETSダミーの係数は、どの推定式においても符号がマイナスであり、統計的に有意に推定された。これは、東京都ETSで規制対象となった事業所と大学は、それ以外のところに比べて、CO₂排出量、電力消費量、エネルギー消費量それぞれを削減したことを意味する。特に、CO₂排出量についての東京都ETSの削減効果を見ると、(2009年の排出量に比べて) オフィスビルでは6.9%、大学では3.7%の削減効果があったことがわかる。これらの値から、ETSは大学よりもオフィスビルの方が、効果が大きかったことになり、このことは電力消費量、エネルギー消費量についても言える。

また、電力価格の係数の推定値に注目すると、事業所では符号がマイナスで統計的に有意である。オフィスビルでは、電力価格上昇によっても排出削減が進んだことが確認された。

排出量取引制度や電力価格とは異なり、輪番停電や電力使用制限令の影響は、オフィスビルよりも大学で大きかった。輪番停電や電力使用制限令の係数の推定値を見ると、オフィスビルでは統計的に有意ではないが、大学では統計的に有意であり、その値はマイナスの0.07から0.05であることがわかる。このことから、大学は輪番停電や電力使用制限令などの規制の影響が規制終了後も残り、その後の電力・エネルギー使用の仕方に変化をもたらしたといえる。

表4.1.1

		オフィスビル	大学
二酸化炭素排出量	東京都排出量取引制度	6.90%	3.70%
	電力価格	5.20%	-
	輪番停電／電力使用量	-	7.30%
電力消費量	東京都排出量取引制度	5.80%	4.90%
	電力価格	4.50%	-
	輪番停電／電力使用量	-	4.90%
エネルギー消費量	東京都排出量取引制度	3.70%	4.20%
	電力価格	3.60%	-
	輪番停電／電力使用量	-	5.20%

B. 東京都ETSによる経済活動への影響：エネルギー消費統計調査

推定の結果、非規制対象事業所からなるコントロール群をどのように定めても、東京都ETSの従業員数に対する負の影響は見られなかった。現状では、東京都ETSが、経済に負の影響は与えていないことが示された。

表4. 1. 2

	モデル1	モデル2	モデル3
ATT	0. 034	0. 019	0. 035
s.e.	0. 046	0. 047	0. 051
コントロール群	全サンプル (東京都, 埼玉県 以外)	三大都市圏 (東京都, 埼玉県 以外)	三大都市圏 (関東地方以外)

C. 東京都ETSが製造事業所の電力及び燃料消費量へもたらした影響分析：石油消費統計

図4. 1. 1は、2004年から2016年における、調査対象事業所数の推移を示している。この図から、当該産業の事業所数はほぼ一貫して減少傾向が見て取れる。また、この傾向は東京都の事業所数だけを見たときも同様に観察される。また、各燃料消費量の原油換算合計値の主要地域別推移をみると、各地域で、燃料消費量も同様に減少傾向にある。

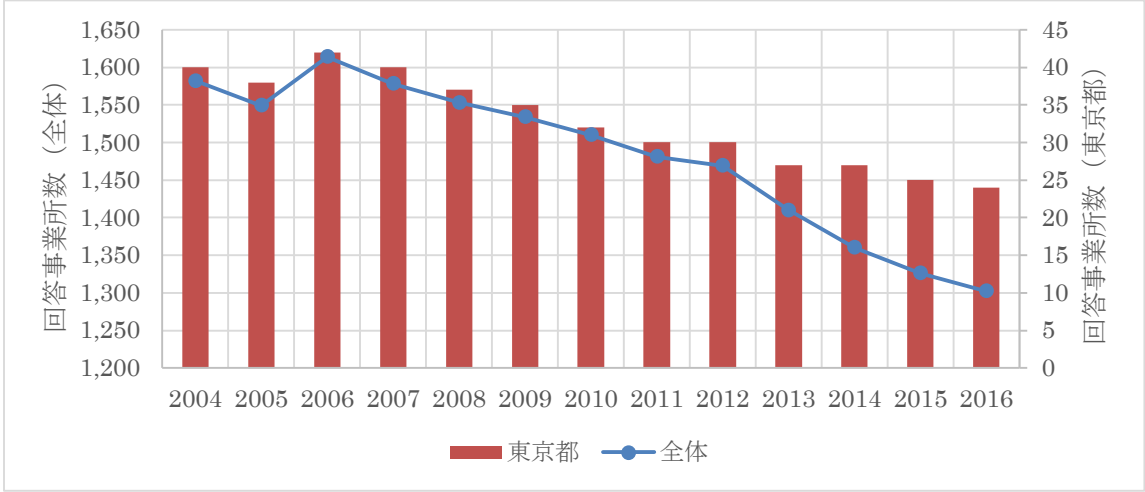


図4. 1. 1 回答事業所数の推移

事業所固定効果モデルによる回帰分析を行い、表4. 1. 3に、電力及び原油換算エネルギー消費量の対数についての分析結果を示した。東京都ETS対象事業所（製造業）において、有意な削減が確認された。電力消費量では約16%の削減（5%の有意水準）、エネルギー消費量に対しては、10%の有意水準で約12%の削減効果がみられる。

本分析より、燃料消費量を見ても、ETSの削減効果がある程度確認できることがわかった。燃料別の代替関係が生じているかどうかなどを明らかにすることが、今後の課題である。

表4. 1. 3 主要な分析結果		
	[1]	[2]
被説明変数（対数）		
	電力	エネルギー消費量 (原油換算)
固定効果モデル		
東京都ETS	-0.16** (0.08)	-0.12* (0.07)
サンプルサイズ	198,023	198,472

D. 東京都ETSによるオフィスビルの省エネ技術普及の可能性

表4.1.4と表4.1.5は分析結果を示している。これらの結果より、ETSの実施地域である東京都の事業所は、制度が無い道府県の事業所と比べ、「人感センサー」、「明るさ検知制御」、「高性能断熱材」、「デマンドコントロール（警報等）」といった比較的ハイテクな技術（技術的手段）の実施状況が進んでいることが示された。一方で、「不要照明の間引き」など、比較的費用のかからないローテクな対策（非技術的手段）については差が見られなかった。こうした結果から、CO₂削減対策・技術の普及については、一部の技術的手段においてETSによって導入が進んだ可能性が示唆される。

表4.1.4 照明関連の分析結果

	人感センサー・在室検知制御	明るさ検知制御(昼光利用照明制御等)	タイムスケジュール制御	初期照度補正制御	不要照明の間引き	執務室照度調整(500ルクス以下)
東京都ダミー	0.563*	1.006***	0.451	0.297	-0.00612	0.921**
	(0.318)	(0.385)	(0.407)	(0.547)	(0.388)	(0.403)
建物竣工年	0.0428***	0.0381*	0.0147	0.0567	0.0188	0.0440***
	(0.0161)	(0.0207)	(0.0146)	(0.0372)	(0.0122)	(0.0159)
自社ビルダミー	0.274	0.150	-0.479	1.118**	0.729**	0.0406
	(0.312)	(0.444)	(0.375)	(0.539)	(0.347)	(0.456)
建物延階数	0.00680	0.00283	0.00850	0.0317	0.0101	0.00783
	(0.0143)	(0.0183)	(0.0195)	(0.0200)	(0.0142)	(0.0140)
建物延床面積（オフィス用途部）	-0.00633	0.365*	0.807***	0.195	-0.168	-0.109
	(0.107)	(0.209)	(0.249)	(0.167)	(0.110)	(0.131)
修繕ダミー	-0.121	0.115	-0.539	1.074	0.437	0.804*
	(0.388)	(0.510)	(0.418)	(0.677)	(0.353)	(0.428)
省エネ会議定期実施ダミー	0.179	0.649	-0.637	1.273*	1.105***	1.236*
	(0.397)	(0.421)	(0.405)	(0.683)	(0.403)	(0.641)
定数項	-3.442***	-7.782***	-8.898***	-8.536***	-0.717	-3.911***
	(1.256)	(2.527)	(2.399)	(2.680)	(1.161)	(1.385)
事業所数	95	96	95	88	94	92
補正R ²	0.067	0.147	0.213	0.153	0.061	0.116

※ ***は $p < 0.01$ 、**は $p < 0.05$ 、*は $p < 0.1$ の有意水準を示している。括弧内はロバスト標準誤差を示している。

表4.1.5 BEMS関連と断熱関連の分析結果

	BEMS関連			断熱関連	
	計量と実績データの蓄積	蓄積データの活用	デマンドコントロール（警報等）	高性能断熱材	高性能遮熱・断熱窓
東京都ダミー	0.650	0.733	1.087**	1.608**	0.414
	(0.520)	(0.556)	(0.545)	(0.640)	(0.606)
建物竣工年	0.0555***	0.0409**	0.00286	0.136***	0.0946***
	(0.0185)	(0.0180)	(0.0187)	(0.0323)	(0.0249)
自社ビルダミー	0.223	0.303	-0.596	-0.255	0.460
	(0.518)	(0.538)	(0.572)	(0.709)	(0.541)
建物延階数	0.0103	0.0460**	0.0514	0.0415*	0.0507**
	(0.0259)	(0.0208)	(0.0343)	(0.0235)	(0.0210)
建物延床面積（オフィス用途部）	0.188	0.0839	-0.291	-0.275	-0.158
	(0.167)	(0.147)	(0.220)	(0.187)	(0.188)
修繕ダミー	-0.439	-1.021**	0.292	-0.245	0.155
	(0.509)	(0.498)	(0.579)	(0.859)	(0.598)
省エネ会議定期実施ダミー	1.164**	1.085*	0.506	0.499	-0.125
	(0.551)	(0.599)	(0.544)	(0.807)	(0.504)
定数項	-4.215**	-3.468**	2.218	-6.388***	-4.501**
	(1.702)	(1.681)	(2.002)	(2.447)	(2.175)
事業所数	90	88	88	86	87
補正R ²	0.172	0.189	0.132	0.360	0.240
※ ***は p<0.01、**は p<0.05、*は p<0.1の有意水準を示している。括弧内はロバスト標準誤差を示している。					

E. 炭素リーケージの検証：東京・埼玉ETSが制度対象外道府県事業所の排出量に及ぼす影響

次に、表4.1.6に温対法データを用いた(2)式の τ_T 、 τ_S 、 τ_O の推計結果を示した。ここでは3種類のサンプルを使った推計結果を示している（それぞれ左列から、全産業、製造業[第2次産業]、サービス業[第3次産業]のサンプルを用いた分析結果）。推計の結果、予想に反して、 τ_O が負の符号を示した。第2次産業部門において、東京都もしくは埼玉県に事業所を有する事業者では、ETS制度導入に伴い、他道府県に有する事業所の排出量が1.7%減少した。第3次産業部門においては、3.7%の減少が確認された。

τ_O が負の符号を示した理由として、2点ほど考えられる。ひとつは、都外クレジット・県外クレジットの活用である。これは排出量削減義務を履行するためのオフセット・クレジットの

1つで、東京都や埼玉県以外の道府県にある大規模事業所でCO₂排出量を多く削減した場合に、超過削減分を東京都及び埼玉県内の事業所における削減分として充当できる。もう1つは、東京ETSの導入に伴って、「エネルギー効率ギャップ」が解消されたというものである。「エネルギー効率ギャップ」とは、本来なら採算の取れる省エネ技術でも、不確実性や知識不足で導入されないことである。ETSが技術導入を促進し、この「ギャップ」が解消され、非規制地域での事業所でも省エネ技術の導入が進んだ可能性がある。つまり、同一企業内でリーケージは発生せず、都内事業所で実施されたエネルギー使用の効率化や省エネ設備の投資が、事業者の統率により他道府県の事業所へ波及した可能性がある。

表4.1.6 温対法データを使用した推定結果

被説明変数：ln(CO ₂ 排出量)			
対象業種	産業全体	製造業	サービス業
(τ_R) 地域ダミー×ETS対象ダミー			
(τ_T) 東京都ダミー	-0.103** (0.008)	-0.101** (0.023)	-0.046** (0.010)
(τ_S) 埼玉県ダミー	0.003 (0.009)	-0.006 (0.010)	0.001 (0.017)
(τ_S) その他道府県ダミー	-0.046** (0.005)	-0.017* (0.007)	-0.037** (0.009)
事業所固定効果	○	○	○
年度固定効果	○	○	○
その他コントロール変数	○	○	○
観測数	32,319	19,775	12,628
特定排出事業所数(本社がETS対象)	3,430	1,444	1,997
東京都所在	703	128	589
埼玉県所在	539	374	164
その他道府県所在	2,188	942	1,244
特定排出事業所数(ETS対象外)	2,785	2,257	542
$R^2(\text{within})$	0.249	0.241	0.279

F. カーボンプライシング政策に対する市民の認知度や態度

アンケート調査の回収世帯数は1,322世帯であった。以下では、日本で実際に実施されている政策の認知度、カーボンプライシング手段として環境税と排出量取引制度のどちらを支持するか（しないか）、二重の配当による税収の還元を行う場合の望ましい使途、の3つの集計結果について検証する。

図4. 1. 2は、日本で実際に実施されている政策を知っているかどうかについての結果を示している。「知っていた」と回答した世帯の割合は、固定価格買取制度が最も高く38.5%、次いで地球温暖化対策のための税が27.3%、東京都ETSが18.8%、埼玉県ETSに至っては7.2%であった。

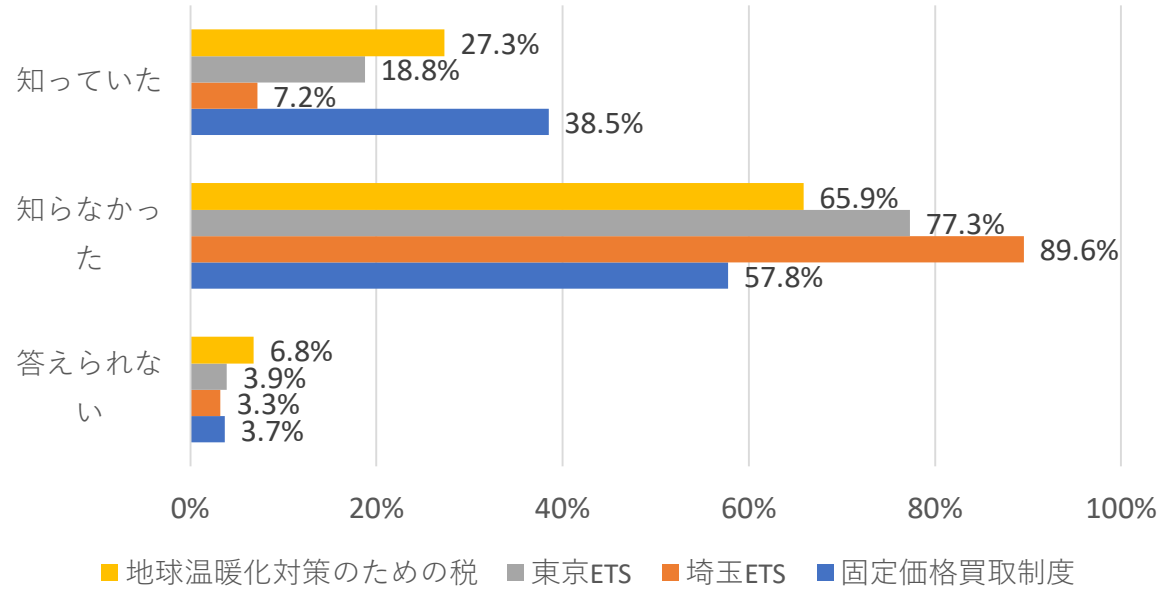


図4. 1. 2 日本で実際に実施されている政策の認知度

次に、図4. 1. 3は環境税と排出量取引制度どちらを支持するかについての結果を示している。全体の16.4%の人が、環境税（炭素税）を支持すると回答した。排出量取引制度については14.3%であった。どちらも支持するが9.4%であった。これら支持する側は、全体のうち4割程度であることがわかった。「どちらとも言えない」、「わからない」と回答した人はそれぞれ32.1%と19.1%であったが、積極的に支持しない（「どちらも支持しない」）人は8.7%にとどまった。これらの結果から、カーボンプライシングの導入について一定の支持があることが示唆された。

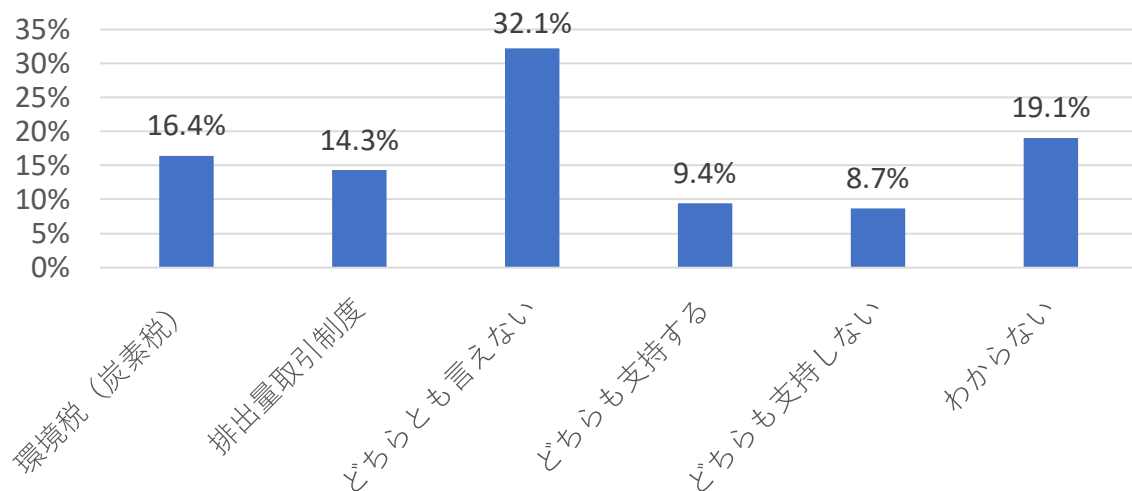


図4.1.3 望ましい気候変動の緩和政策

最後に、カーボンプライシングによる税収の使途について図4.1.4の中の選択肢から上位3番目までの優先順位を回答してもらった。最も望ましい使途としては、「再エネ技術・省エネ技術の開発・普及に使う」ことが望ましいと考えている人が最も多く29%であった。次いで「社会保障の充実や年金負担の軽減のために使う」が18.2%、「温暖化被害への適応のために使う」が17.7%、「所得税減税のために使う」が14.4%であった。上位三番目までの回答を総合的に見ると、「再エネ技術・省エネ技術の開発・普及に使う」や「温暖化被害への適応のために使う」が、他の選択肢よりも優先度が高いことが示された。

回答の傾向として、気候変動対策に直接関連する対策に税収を使用することが望ましいと考えている傾向が強いことが示された。また、それ以外の使途としては個人が直接恩恵を感じられるような社会保障費や所得税の減税を望ましいと考えていることがわかった。

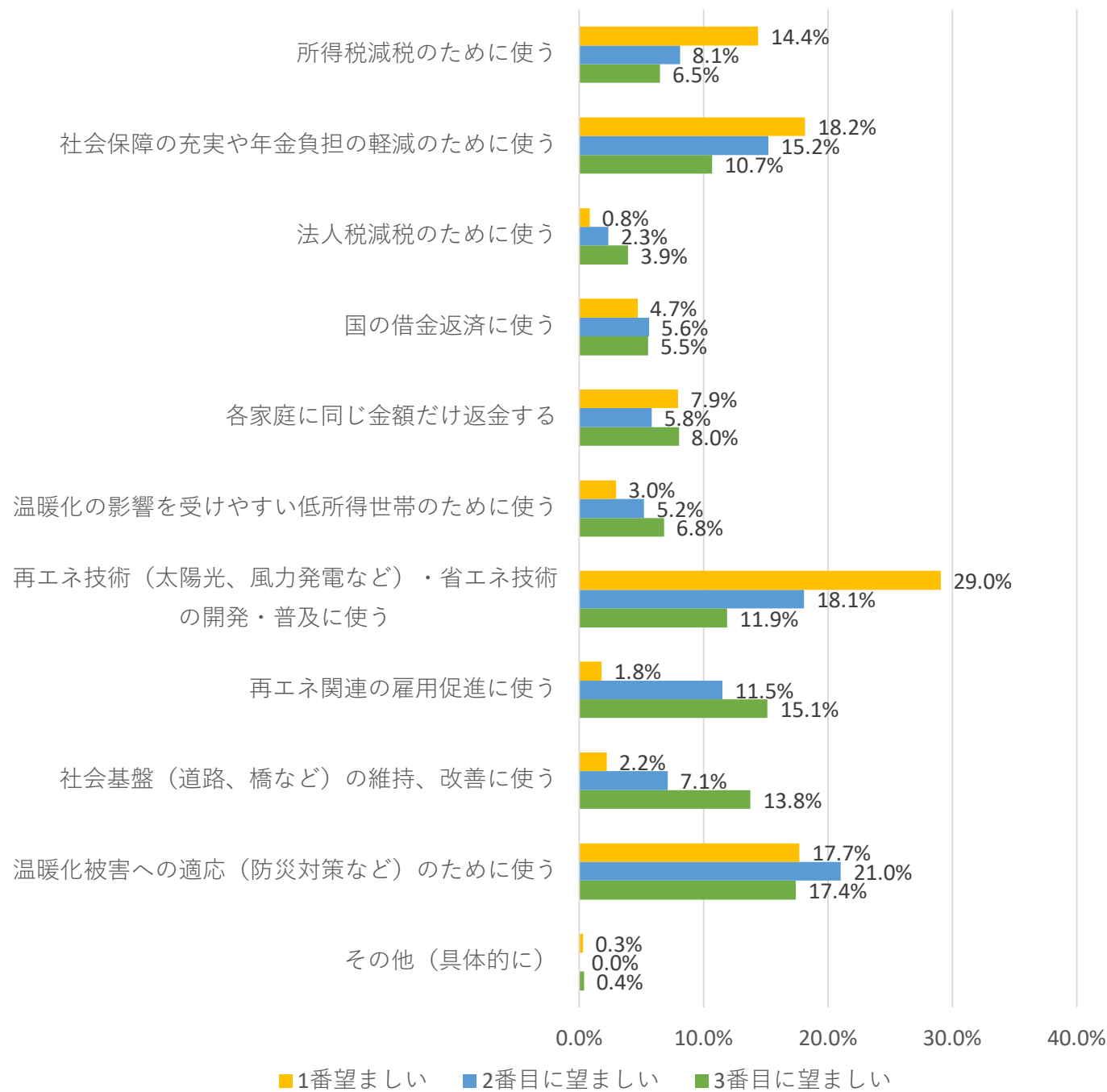


図4.1.4 税収の望ましい使途

G. 制度オプションの検討

本サブテーマとしては、全サブテーマのとりまとめとして、制度オプションの検討を行った。具体的には、以下の3つの点から検討した。

- (ア) 排出量取引を導入する場合としての自治体制度全国展開
- (イ) 炭素税を導入する場合の二重の配当政策
- (ウ) 排出量取引・炭素税に共通する国際競争力配慮方策

(ア) 排出量取引を導入する場合としての自治体制度全国展開

まず、サブテーマ1とサブテーマ6(浜本)から、東京都及び埼玉県の排出量取引制度の効果を定量的に確認した。その効果は業種によって異なるが、5%～10%であることが示唆された。そのため、自治体制度を全国展開して実施することを検討した。代表者は、東京都及び埼玉県の排出量取引制度の第三計画期間の制度設計に、委員として参加し、実際の制度設計及び運用に関わった。同時に、担当職員のヒアリングを行い、以下のことが示唆された。

制度の立ち上げ、詳細な設計にはかなりの人的資源が必要である。実際、東京都はかなりの人員を投入してこの制度を立ち上げた。一方、埼玉県は、東京都の制度枠組みを使うことにより、かなり効率的に制度を開始した。また、現状、埼玉県はかなりの少数で制度を運用し、排出削減を実施している。以上のことから、他道府県も、東京都制度の枠組みを使うことにより、ETSの導入、運営が可能であると考えられる。効果としては、東京都、埼玉県同様、5%～10%の削減は可能であると考えられる。

また、埼玉県は罰則のない自主的な制度でありながら効果が確認できたことも注目に値する。強制力を持つ制度は経済界の反対も大きく導入が困難になる可能性があるが、罰則のない制度では導入も容易になると考えられる。

以上のことから、中短期の削減目標実現のためには、自治体制度の全国展開は非常に有望な政策手段であると考えられる。

(イ) 炭素税を導入する場合の二重の配当政策

カーボンプライシング（炭素税・排出量取引）による温室効果ガスの排出削減と経済活動の両立の架け橋となる概念として、炭素価格の「二重の配当」という考え方がある。カーボンプライシングは炭素に価格をつけ、市場メカニズムを使いながら効率よく排出削減を行う政策である。しかし、単に効率的に温室効果ガスを削減するだけでなく、その収入を上手く活用することにより、経済成長を促進することも可能である。これが炭素価格の「二重の配当」である。

「二重の配当」は、どのように実現可能なのだろうか。環境税、あるいは排出量取引等の炭素価格は政府に新たな収入をもたらす。政府は総収入を一定に保ちつつ他の既存の税を削減することができる。例えば、所得税、法人税等の既存税は経済活動を歪める効果を持つため、これらの税を削減することで経済の効率性を改善できる可能性が高い。排出規制にともない既存税を削減することで、実際に経済の効率性を改善することができるのなら、排出規制の導入は環境の質の改善という「第一の配当」だけでなく、経済効率性の改善という「第二の配当」をももたらすことになる。これが「二重の配当」という考え方である。

では、実際に各国の炭素税収入はどのように活用されているのだろうか。カーボンプライシングによる収入（税収、オークション収入）の活用方法は、所得税や法人税などの減税、家計への還元、企業への支援、気候変動対策への投資、公的債務・財政赤字の削減、一般財源化など大きく分けて6つの方法が考えられる（Carbon Pricing Leadership Coalition, 2016）。カーボンプライシングから得られる収入の使途は、国によって様々であることがわかる（詳細は有村、武田、尾沼、2018）。

このように、実際の政策として税収を様々な使途で還元しているものの、どの活用方法が二重の配当の観点からより効果的であるのかについては、これまでの実証研究ではあまり示されていない。最近の研究では、Yamazaki（2017）において、2008年に導入されたブリティッシュコロンビア州の炭素税が雇用に及ぼした影響について検証されている。同州の炭素税収入の使途は、税収相当分の所得税・法人税の減税である。このように歳入中立的な仕組みを取り経済への影響を緩和する措置が取られている。この仕組みの結果として、サービス産業では雇用が増加した。産業全体で見ると、年間0.74%雇用が増加しており、2007年から2013年にかけて総計で4.5%の雇用増加を生み出している。つまり、雇用に関して二重の配当が生じていることを示している。

サブテーマ4では、炭素税導入における日本における二重の配当の政策の効果について、応用一般均衡分析を行い、2030年には、いわゆる新古典派の経済モデルでも、経済成長と排出削減の両立が一定程度、可能なことが示された。また、サブテーマ3では、二重の配当政策が法人税減税として実施された場合の影響を企業レベルで分析し、法人税減税で大いに企業負担が減少することが示された。

本サブテーマ1では、「二重の配当」として、炭素税収を社会保険制度の仕組みを通じて家計に還元するケースについて分析した。最終報告書として、社会保険制度を通じた還元の意義と分析内容と結果について簡潔に記述する。

社会保険制度を通じた還元の意義としては、労働市場の効率性の促進が挙げられる。効率性の促進は、企業の採用インセンティブおよび家計の労働供給インセンティブの両面から生じる。日本の社会保険制度においては、被保険者が被雇用者の場合、保険料負担は労使折半となり、企業側の人件費負担が生じている。この人件費負担は企業の採用インセンティブを損なうことになる。一方、家計側にとっても、社会保険料の存在は手取り賃金を減少させるため、労働供給インセンティブを損なう。そこで、炭素税収を社会保険料の軽減に用いた場合、企業の採用インセンティブと家計の労働供給インセンティブが促進され、労働市場の効率化が促進される。

本研究では、社会保険制度として公的年金制度を取り上げて、炭素税収を用いた社会保険料の軽減について分析した。公的年金制度の中でも、国民に最も還元が広く行き渡る、国民年金制度を分析の対象とした。税収還元の方法として、基礎年金拠出金の仕組みを援用し、被保険者数に応じて厚生年金被保険者（第2号被保険者）と国民年金制度の第1号被保険者に按分する。なお、基礎年金拠出金の仕組みにしたがい、第3号被保険者数は厚生年金保険制度の被保険

者数としてカウントされる。使用したデータは2019年に公表された財政検証結果である。還元
に用いる税收規模については、別途シミュレーションの結果を用い、2030年で8.5兆円、2050年
で7.6兆円となっている。

試算結果によると、2030年（2050年）において、第1号被保険者への還元は13万7,346円（15
万9,069円）、第2号被保険者への還元は7万8,710円（9万0,186円）、雇用主部門への還元は約3
兆4,000億円（約3兆1,000億円）となる。

まず、第1号被保険者への還元と第2号被保険者への還元を比較すると、第1号被保険者への還
元の方が大きくなる。第2号被保険者の場合、第3号被保険者の分も含めて還元されるが、還元
が雇用主と折半となるためである。また、社会保障全体への還元額自体は2030年と比較して、
2050年の方が低くなるが、家計への還元は第1号被保険者と第2号被保険者ともに2050年の方が
大きくなる。これは、単純に少子化を背景として被保険者数そのものが少なくなり、一人当
りで見ると還元額は大きくなるからである。ただし、雇用主部門への還元自体は少子化の影響
を受けないので、2030年よりも2050年の方で還元額が小さくなっている。なお、2030年を例と
して、亀岡・有村(2019)の議論を参考に、炭素税による家計費用の上昇分をも考慮すると、夫
婦で自営業を営む家計では120,239円のプラス、夫婦共に常勤の被雇用者では2,967円のプラ
ス、夫が常勤の雇用者で妻が専業主婦の家計では75,743円のマイナスになる。

以上のように、炭素税收を国民年金制度の仕組みを通じて還元した場合、第1号被保険者およ
び第2号被保険者への還元（家計への還元）、労使折半を反映して雇用主への還元が生ずる。先
に示した労働市場の効率化のみならず、企業や家計の炭素税の負担を緩和する効果も期待でき
る。家計へのネットでみた負担の緩和効果は世帯タイプによって異なる。

サブテーマ7からは、長期削減目標には家計部門のカーボンプライシング、炭素税が必要な
ことが示された。

以上の各サブテーマからの考察を踏まえると、長期削減目標達成には、炭素税を導入し環境
税制改革（二重の配当政策）を行うことが有力なオプションであることが示された。

（ウ）排出量取引・炭素税に共通する国際競争力配慮方策

まずは、サブテーマ1とサブテーマ3の欧米の炭素価格制度に関するレビューより、現状で
は、国際競争力に対して大きな影響が出ていないということが示された。また、サブテーマ6よ
り、埼玉県から他地域へのリーケージもほとんど行われていないことが示された。

サブテーマ2では、炭素税の場合、中・下流課税に比べて、上流課税の場合には、（輸出比率
の高い）機械を含むエネルギー集約的な産業にCO₂排出が偏り、これらの産業が生産する財が誘
発するCO₂排出量の値が大きくなることが伺われた。つまり、課税段階が企業の国際競争力に影響
することが示された

また、サブテーマ5では、排出枠の無償配分及び炭素税の減免を国際競争力に配慮した費用緩
和措置として分析した。その結果、長期的な影響を抑える効果があることを確認した。一方、
経済効率性を低下させることが明らかとなった。さらに、業種間の有効炭素税率の差を拡大さ

せることが示された。そのため、慎重に費用緩和措置を講じることが求められる。例えば、費用緩和措置を時限的なものにし、長期的な排出削減につながるカーボンプライシングとなるように行うことが求められる。

以上のことより、減免措置を通じて、国際競争力に一定程度対応可能ことが示された。

研究計画書で示した、欧米の先行研究レビューを踏まえて、東京都および埼玉県ETSに関して計量分析を行い、導入効果の有効性を、炭素リーケージの問題もクリアする形で明らかにした。こうした研究結果、および各サブテーマでの分析結果を踏まえて、国内の制度設計として、短中期の視点からETSの全国展開を行い、長期的な観点からは、法人税を前提に、二重の配当を伴う本格的な炭素税の導入が望ましいという道筋を示した。なお、これらの研究結果は6および7で示すように、国内外の学会、学術雑誌、ワークショップ等で公表した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本サブテーマの研究により、排出量取引制度が、サービス部門（オフィスビルや大学）においても、省エネを通じた排出削減に貢献していることが科学的に示された。また、排出量取引が省エネ技術の普及に貢献している可能性も示された。さらに、国内においては炭素リーケージは発生しておらず、むしろ企業内でのスピルオーバー効果をもたらし、規制対象地域外でも排出削減が起きている可能性が示された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

東京都排出量取引の定量的な削減効果や、他地域への削減効果のスピルオーバー効果については、代表者が、環境省のカーボンプライシング小委員会のメンバーとして、研究成果を紹介し、議論に貢献した。同様に、二重の配当についても、カナダのブリティッシュコロンビアの研究（Yamazaki, 2017）を審議会で紹介するなど、本研究で蓄積されたレビューは、審議会へインプットされた。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本サブテーマが、本研究全体をとりまとめた炭素税の二重の配当政策は、長期削減目標達成に向けた重要な政策手段であると考えられる。新たに導入する炭素税の税収の利用方法としては、法人税減税、あるいは社会保険料負担が考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

中国・清華大学と相互訪問を行い、早稲田大学でのワークショップ、並びに、清華大学（北京）でのワークショップを開催した。また、韓国・慶熙大学校でのワークショップにも参加し

た。

さらに、中国・清華大学・Maosheng Duan教授および、韓国・慶熙大学校・Hyungna Oh教授と、共同研究を実施し、東アジア環境資源経済学会の年次大会（北京）において、Carbon Pricing in Asia(東アジアのカーボンプライシング)という企画セッションを共同実施した。本セッションは、多数の参加者を得て盛況であった。その結果を、現在、国際学術雑誌 Environmental Economics and Policy StudiesのSpecial Issueとして、取りまとめている。

また、国民対話では、2017年にカナダ・アルバータ大学のDavid Brown助教授、中国・清華大学の周劍准教授、2019年には、韓国・慶熙大学校のHyungna Oh教授を招聘し、国際交流を行った。毎回、前後にワークショップを行い、国際共同研究についての議論を行った。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 陳 舒蕾・功刀祐之・有村俊秀：環境科学会誌, Vol. 31, No. 3, (2018)
事業所データを用いたポーター仮説の検証－環境規制と日本企業の研究開発・経営業績－
- 2) S. Takeda, T.H. Arimura and M. Sugino: Environmental and Resource Economics, 74, 271-293 (2019)
Labor Market Distortions and Welfare-Decreasing International Emissions Trading.
- 3) 亀岡濤, 有村俊秀：環境科学会誌, 32, 4, 103-112 (2019)
炭素税・FIT賦課金による産業・家計への影響-産業連関分析による定量的評価-
- 4) T.H. Arimura and T. Abe: Environmental Economics and Policy Studies, published online, 1-17 (2020)
The impact of the Tokyo emissions trading scheme on office buildings: what factor contributed to the emission reduction?

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 有村俊秀：公衆衛生, 81, 12(巻, 号), 1008-1013 (2017)
新興国・途上国の地球温暖化対策：クリーン開発メカニズムから二国間クレジット制度とカーボンプライシングへ
- 2) 有村俊秀：エネルギー・資源, 38, 5 (巻, 号) , 261-267 (2017)
カーボンプライシングの経済分析：事前評価と事後評価 Review of Economic Analyses on Carbon Pricing: Ex-Ante and Ex-Post Assessments.
- 3) S. Takeda and T. H. Arimura: International Cooperation in East Asia to Address Climate Change, Edited by Robert N. Stavins and Robert C. Stowe, Harvard Project

- on Climate Agreements with the support of The Harvard Global Institute, 23-26 (2018)
- International Cooperation in East Asia to Address Climate Change.
- 4) T. H. Arimura: Carbon Market Cooperation in Northeast Asia: Assessing Challenges and Overcoming Barriers, Asia Society Policy Institute (ASPI) report, 103-113 (2018)

The Potential of Carbon Market Linkage between Japan and China.

 - 5) 有村俊秀, 阿部達也: 環境情報科学, 48, 1, 35-42 (2019)

世界で進むカーボンプライシングと日本での論点-Overview of Carbon Pricing Instruments in the World: Challenges and Opportunities for Japan-

 - 6) H. Onuma & T. H. Arimura: T.H.Arimura & S.Matstumo ed. *Carbon Pricing in Japan*, Springer, (in press).

Climate policy in commercial sector: A survey on commercial building in Japan.

 - 7) T.H. Arimura and T. Abe: T.H.Arimura & S.Matstumo ed. *Carbon Pricing in Japan*, Springer, (in press).

An Empirical Study of Tokyo Emission Trading Scheme: An Ex-post Analysis of Emissions from University Buildings.

T.H. Arimura S.Matstumo ed. *Carbon Pricing in Japan*, Springer. (in press)

 - 8) N. Yajima, T. H. Arimura & T. Sadayuki: T.H. Arimura S.Matstumo ed. *Carbon Pricing in Japan*, (in press).

Energy Consumption in Transition: Evidence from Facility Level Data.

 - 9) K. Asakawa, K. Kimoto, S. Takeda & T. H. Arimura:

T.H. Arimura S.Matstumo ed. *Carbon Pricing in Japan*. (in press)

Double Dividend of the Carbon Tax in Japan: Can we increase public support for carbon pricing?

 - 10) T.H. Arimura S.Matstumo ed: Nature-Springer(2020年刊行予定)

Carbon Pricing in Japan.

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 有村俊秀: 日経エコロジー、2017年7月号, 46-47 (2017)

「炭素価格の利点と難点: 技術開発の促進に期待「暗示的価格」の考慮必要」

- 2) 有村俊秀: 月刊ビジネスアイ エネコ、2018年5月号(通巻603号)、16-19 (2018)

「カーボンプライシングをめぐる内外の動向と日本での可能性」

- 3) 有村俊秀: 週刊エコノミスト、2020年3月17日号、70-71 (2020)

「EUが「輸入品に炭素税」日本製品にも影響する可能性」

(2) 口頭発表 (学会等)

国際会議

サブテーマリーダーによる発表

- 1) T.H. Arimura: 15th International Association for Energy Economics European Conference 2017, Austria (2017)
 “An Empirical Study of Tokyo Emission Trading Scheme: An Expost Analysis of Emission from Commercial and University Buildings.”
- 2) T.H. Arimura: The 5th Asian Energy Modeling Workshop, Singapore (2018)
- 3) T.H. Arimura: The 3rd Annual Innovate4Climate Conference, Singapore (2019)
 “Carbon Pricing in Japan: Experiences of Tokyo ETS and the future prospects.”
 “An Economic Evaluation of Tokyo Emission Trading Scheme.”
- 4) T.H. Arimura: The 24th Annual Conference of European Association of Environmental and Resource Economists, United Kingdom (2019)
 “Subjective Probabilistic Expectations, Indoor Air Pollution and Health: Evidence from Cooking Fuel Use Pattern in India.”
- 5) T.H. Arimura: The 8th Congress of The East Asian Association of Environmental and Resource Economics, Beijing, China (2019)
 “The Impact of Tokyo Emission Trading Scheme on Commercial Buildings: What factor contributed the emission reduction?”

共著者による報告

- 1) T. Abe: The 24th Annual Conference of European Association of Environmental and Resource Economists, United Kingdom (2019)
 “An Empirical Study of Tokyo Emission Trading Scheme: An Ex-post Analysis of Emission from Commercial Buildings.”
- 2) T. Sadayuki: The 8th Congress of The East Asian Association of Environmental and Resource Economics (2019)
 “Carbon Leakage or Bridging the Energy Efficiency Gap?: A case of Japanese Emission Trading Scheme.”

国内会議

サブテーマリーダーによる発表

- 1) 有村俊秀: 日本学術会議公開シンポジウム「パリ協定の下での長期温室効果ガス排出削減戦略を考える」 (2017)
 「カーボンプライシング: 削減効果とグリーン成長」
- 2) 有村俊秀: 環境経済・政策学会 2018 年大会、上智大学 (2018)
 「カーボンプライシングの事後評価と削減のための制度オプションの検討」 (企画セッション・座長)
- 3) 有村俊秀: 環境経済・政策学会2019年大会、福島大学 (2019)

「カーボンプライシングの制度オプションの検討：二重の配当の可能性」（企画セッション・座長）

- 4) 有村俊秀：環境経済・政策学会2019年大会、福島大学（2019）
「日本における環境税制改革と家計への還元」
- 5) 有村俊秀：一般公開シンポジウム「環境研究総合推進費令和元年度研究成果報告会」（主催：ERCA）、名古屋大学（2019）
「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の検討」
- 6) 有村俊秀：環境研究総合推進費セミナー「環境研究の国際展開推進に向けて」（主催：ERCA）、ビジョンセンター永田町（2019）
「早稲田大学・環境経済経営研究所の国際共同研究について」

共著者による発表

- 1) 宮本拓郎：環境経済・政策学会2017年大会、高知工科大学（2017）
“Supplier’s green R&D oriented by Green Supplier Development.”
- 2) 阿部達也：環境経済・政策学会2017年大会、高知工科大学（2017）
「東京都排出量取引制度の事後検証」
- 3) 尾沼広基：第5回気候変動・省エネルギー行動会議 BECC Japan 2018、一橋大学（2018）
「照明のLED化は家計の電力消費量をどれくらい削減しているのか？」（ポスター発表）
- 4) 尾沼広基：環境経済・政策学会 2018 年大会、上智大学（2018）
「照明のLED化は家計の電力消費量をどれくらい削減しているのか？」
- 5) 尾沼広基：環境科学会2019年会、名古屋大学（2019）
「オフィスビルにおけるCO₂削減対策の実施状況：東京都排出量取引制度に着目して」
- 6) 矢島猶雅：環境科学会2019年会、名古屋大学（2019）
「東京都排出量取引制度が事業所へ及ぼした影響：石油等消費動態統計による分析」
- 7) 矢島猶雅：環境科学会2019年会、名古屋大学（2019）
「住環境における心理的瑕疵物件の実態調査」（ポスター発表）
- 8) 尾沼広基：環境経済・政策学会2019年大会・福島大学（2019）
「世帯レベルデータを用いた日本の電力需要の価格弾力性推計」
- 9) 矢島猶雅：環境経済・政策学会2019年大会・福島大学（2019）
“Incentive and Barriers and for Energy Efficient Investment: Evidence from Japanese Firms”

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

以下のように「国民との科学・技術対話」を実施した。毎年、100名を超える参加者を得て、

大変盛況であった。

- 1) 環境研究総合推進費2-1707国民対話シンポジウム/早稲田大学研究院フォーラム, 『パリ協定とカーボンプライシングー各国の政策動向と日本の長期削減目標に向けてー』, 2017年12月15日(金), 早稲田大学 WASEDA NEOホール (COREDO日本橋)
- 2) 環境研究総合推進費2-1707国民対話シンポジウム「カーボンプライシングとエネルギーマネジメント」2018年10月26日(金) 早稲田大学 WASEDA NEOホール (COREDO日本橋)
- 3) 環境研究総合推進費2-1707国民対話シンポジウム/早稲田大学研究院フォーラム, 『カーボンプライシングの制度オプションの検討: 二重の配当と国際競争力配慮』, 2019年11月7日(木), 早稲田大学 WASEDA NEOホール (COREDO日本橋)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- ・有村俊秀「論点: カーボンプライシング」『毎日新聞』7月13日付(2019年)
- ・有村俊秀「カーボンプライシング その課題と展望」『環境会議』(事業構想大学院大学出版部) (2019. 3) 2019年春号, pp. 44-49.
- ・有村俊秀・武田史郎「脱炭素社会への切り札: カーボンプライシング(第28回経済学者が読み解く現代社会のリアル)」『週刊東洋経済』第6871号(2019年8月3日号), pp. 114-115.
- ・有村俊秀「地球温暖化対策と日本の課題-形骸化するエネルギー基本計画」『改革者』(政策研究フォーラム) (2019. 6) 6月号, pp. 10-15.

(6) その他

- ・プロジェクトの成果全体をまとめた“Carbon Pricing in Japan”がNature Springer社から出版予定である(編者・有村俊秀・松本茂)。
- ・環境科学会学術賞2020年度(有村俊秀)
- ・環境経済・政策学会学術賞2018年度(有村俊秀)
- ・環境科学会論文賞受賞: 亀岡濤, 有村俊秀: 環境科学会誌, 32, 4, 103-112 (2019)
炭素税・FIT賦課金による産業・家計への影響-産業連関分析による定量的評価-
- ・有村俊秀「日中韓カーボンプライシングフォーラム」2018年10月22日~24日(紀尾井町・東京ガーデンテラス)にて、モデレーター、パネリストとして参加。

8. 引用文献

- ・ 有村俊秀, 阿部達也, (2019) 「世界で進むカーボンプライシングと日本での論点」, 環境情報科学, Vol. 48, No. 1, 35-42, 2019.
- ・ 有村俊秀, 武田史郎, 尾沼広基, (2018) 「炭素価格の二重の配当: 環境と経済の同時解決に向けて」, 環境経済・政策研究, Vol. 11, No. 2, 73-78, 2018.

- Carbon Pricing Leadership Coalition (2016) “What Are the Options for Using Carbon Pricing Revenues?”
<http://pubdocs.worldbank.org/en/668851474296920877/CPLC-Use-of-Revenues-Executive-Brief-09-2016.pdf> (最終閲覧日：2018年6月7日)
- 環境省 (2018) 「カーボンプライシングのあり方に関する検討会 取りまとめ 参考資料集」https://www.env.go.jp/earth/cp_report_ref.pdf (最終閲覧日：2018年6月7日)
- Yamazaki, A. (2017) “Jobs and climate policy: Evidence from British Columbia’s revenue-neutral carbon tax,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 83, 197-216.
- ZEBロードマップフォローアップ委員会：“ZEB設計ガイドライン—中規模事務所編—”，(2018)

Ⅱ－２ 再生可能エネルギー普及のためのカーボンプライシングの研究：産業連関アプローチ

早稲田大学社会科学総合学術院

鷺津 明由

労働政策研究・研修機構

中野 諭

平成29(開始年度)～令和元年度研究経費（累計額）：16,194千円（研究経費は間接経費を含む）

（平成29年度：6,668千円、平成30年度：4,976千円、令和元年度：4,550千円）

【要旨】

本テーマでは、2011年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、同表を用いて、炭素税の課税段階と家計負担との関係を、再生可能エネルギーの普及状況もふまえて分析した。IONGESとは、総務省の産業連関表に再生可能エネルギーの発電施設建設部門と経常運転(発電)部門を付け加えた表のことである。2011年IONGESでは、対象とするバイオマス発電部門を細分化し、同発電活動が地域経済に及ぼす影響をより正確に分析できるように関連部門を表章した。完成した表を用いて、各再生可能エネルギー設備が火力発電所に対して生涯的に削減できるCO₂排出量を推算した。また、3つの炭素税課税方法(上流・中流・下流)がもたらす負担の違いについて検討した。その結果、設備稼働率が高く耐用年数の長いバイオマス発電施設などによるCO₂削減効果が大きいことが分かった。また、再エネ導入によって家計の課税対象CO₂は約16%削減されることが分かった。そして、中流・下流課税の場合に課税対象となるCO₂が多費目に分散する傾向が確認され、直接的な省エネばかりでなく、なるべく炭素税転嫁分が少ない商品選びを消費者に促すインセンティブとなることがうかがわれた。

【キーワード】

次世代エネルギーシステム分析用産業連関表(IONGES)、炭素課税段階、家計負担、CO₂誘発

1. はじめに

気候変動問題への対応策として、再生可能エネルギーを活用した新しいエネルギーシステムを構築することは喫緊の課題である。サブテーマ2の研究グループでは、そのような新しいエネルギーシステムがもたらす経済、環境効果の分析ツールとして、次世代エネルギーシステム分析用産業連関表(Input-Output table for analysis of Next Generation Energy System, IONGES)を開発し、これまでに2005年表を作成してきた(鷺津他(2015)、Nakano et al. (2017))。再生可能エネルギーの有効利用を図るには、原子力や火力を主力電源とした、既存のエネルギーシステムを次世代に向けて変革する必要がある。IONGESはそのような変革に伴う、様々な影響を予測的に分析するためのツールである。さらにそのような予測分析には、地域的な視点も不可欠なことから、全国を9つの地域に分けた2005年地域間IONGESの作成も行ってきた(鷺津他(2016)、鷺津・中野(2018)、Nakano et al. (2018))。地域間IONGESにより、地域内および地域間の再生可能エネ

ルギー部門を含む部門間相互依存関係を明らかにできる。

2. 研究開発目的

以上の背景の下で本研究では新たに2011年IONGESを作成し、その応用分析を行い、以下の[1]、[2]で示す課題の検証を行う。固定価格買取制度の施行から7年以上が過ぎ、最近では再生可能エネルギー導入に伴って議論すべき視点が明確になってきている。そこで、2011年表の作成と分析は、それらの論点に配慮することに注力する。論点は次の2つに大別できる。

- [1] 地産地消可能な再生可能エネルギー導入によって、地域経済に新たな経済活動が誘発され、地域経済の活性化につながる。
- [2] 再生可能エネルギーの有効利用のためには、情報通信技術を活用したスマートエネルギーシステムの構築が必要で、そのために構築されるインフラが新たなエネルギービジネスを生み出す。

そこで2011年IONGESでは、[1]の課題を踏まえバイオマス部門を細分化し、また[2]の課題に対しては、特に太陽光や風力発電施設のメンテナンス・マネジメントを行う部門としての機械修理部門を詳しく記述する。

さらに、完成した表を用いて、各再生可能エネルギー設備が火力発電所に対して生涯的に削減できるCO₂排出量を推算する。この結果は、炭素税が導入された場合に、社会的な炭素税の負担削減に各発電技術がどの程度貢献するかを推し量る目安となる。また、つぎの3つの炭素税課税方法がもたらす負担の違いを明らかにする。

上流課税：山元(国産燃料)または港(輸入燃料)での炭素課税

中流課税：化石燃料使用時点での炭素課税(発電燃料については電力部門に課税する)

下流課税：エネルギー使用時点での炭素課税(化石燃料と電力の使用者に課税する)

すなわち国立環境研究所が作成した「産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)」における各部門のCO₂排出原単位を、上記3つの概念に合うようにそれぞれ組み換え、それぞれの前提の下で各消費財が誘発するCO₂排出量を計算する。このCO₂排出量に炭素税率を乗じた場合に、各課税方法の下で家計が直面する炭素税負担の大きさを推算することができる。

3. 研究開発方法

3-1. 2011年IONGESの作成方法

2011年IONGESとは、総務省による2011年産業連関表に、表 3.2.1 に記載した再生可能エネルギーの発電施設建設部門と、経常運転(発電)部門を付け加えた表である。2011年IONGESには、2011年組込表と2030年想定表がある。2011年組込表は、2011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表である。2030年想定表とは、発電施設建設および発電の総額は2011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表である。なお、再生可能エネルギーの発電施設建設部門は、土木工事である電力施設建設と電力

設備機器の設置を組み合わせた部門である。

表3.2.1 2030年想定表における電源構成比

	施設建設 ¹⁾	運転(発電) ²⁾
事業用原子力発電	14.73%	21.00%
事業用火力発電	30.07%	56.00%
事業用水力及びその他の発電(除, 別掲)	16.51%	8.23%
太陽光発電(住宅設置用)	3.01%	0.90%
太陽光発電(メガソーラー)	12.13%	6.16%
陸上風力発電	2.55%	1.51%
着床式洋上風力発電	0.55%	0.21%
中小水力発電	2.54%	0.82%
大規模地熱発電	1.11%	0.82%
バイナリー地熱発電	0.37%	0.19%
木質バイオ_A級タイプ発電	0.26%	0.52%
木質バイオ_B級タイプ発電	2.19%	2.29%
木質バイオ_C級タイプ発電	0.21%	0.16%
生ごみメタン発酵ガス発電	0.61%	0.02%
下水メタン発酵ガス発電	0.02%	0.01%
家畜糞尿メタン発酵ガス発電	0.24%	0.05%
大都市廃棄物焼却施設発電	5.27%	0.51%
地方中核都市廃棄物焼却施設発電	7.63%	0.61%
Total	100.00%	100.00%

1) 施設建設の構成比は、想定される設備稼働率から割り戻して計算した各発電の設備容量に、想定される建設単価をかけて算出した、発電施設建設費用の構成比である。

2) 「長期エネルギー需給の見通し」における発電構成比。

2011年IONGESでは、2005年表と同様に、電力の価額への換算は、原子力、火力、一般水力等の既存電源の電力も、再生可能エネルギー電源の電力も、一律に総務省の産業連関表で用いられている生産者価格(17 JPY/kWh)を用いて行っている。これは、産業連関表における一物一価の原則に従った仮定であり、電力価額は生産者価格で割り戻すことによって、電力量(kWh)に簡単に変換できる。再生可能エネルギーの固定価格買い取り(FIT)制度における買取価格と電力の生産者価格の差額を、本研究では「経常補助金」と同等のものとみなし、総務省の産業連関表の経常補助金と同様の方法(付加価値部門における負の値として)で表章している。具体的には、付加価値部門に「FITとの差額」という行を設け、差額を負値で記載している。これは、補助金が与えられることにより、市場取引価格が下がることを示す表章方法である。

2011年IONGESにおける2030年想定表は、長期エネルギー需給の見通しにおける再生可能エネルギー発電構成比(表3.2.1)の想定に従っている。ただし、バイオマス発電の構成比は補足資料も参照している。また、発電施設建設の構成比は、設備稼働率から割り戻して計算した各発電の設備容量に、発電コスト検証WG参考資料 または平成30年度調達価格及び調達期間に関する意

見 で得られる建設単価をかけて算出した発電施設建設費用の構成比である。

2011年IONGESでは、木質バイオマス発電部門を、2000kW級、5000kW級、30000kW級に、メタン発酵ガス発電部門を下水汚泥由来、生ごみ由来、家畜糞尿由来に、それぞれ3分割することとした。また、総務省表に対し、バイオマス部門と周辺産業との連関関係を明確に記述する工夫を加えた。そして、2011年IONGESでは、総務省の産業連関表に対して再生可能エネルギー部門の他に太陽電池モジュール、乗用車(EV)部門に加え、風車部門および、3種類(住宅用/事業用太陽光パネル、風力発電設備)の機械修理部門を設置した。風車部門は付加価値を持たない仮設部門であり、風車部門の総生産額は、陸上または洋上の風力施設部門へ産出される。これは、風車が部品単位ではなく躯体全体として輸入されているという実態を踏まえ、風車の輸入比率を分析に取り入れやすくするためである。

表3.2.2は、2011年IONGESにおける再生可能エネルギー発電施設建設部門および発電部門の投入係数ベクトルを推計するために用いた発電諸元である。

3-2. 再生可能エネルギー発電施設による誘発CO₂排出量の推算方法

再生可能エネルギーの発電施設建設および発電活動1単位(100万円)当たりが経済全体に誘発するCO₂排出量 (t-CO₂) の計算式は次のとおりである。

$$SCO2_{k,m} = \sum_i e_i \cdot b_{ik,m}, \quad m = C \text{ or } G \quad (1)$$

ここで k は再生可能エネルギーのタイプを示し、Cは発電施設建設、Gは発電活動であることを示す添え字である。電力の生産者価格は17 JPY/kWhであるので、 $SCO2_{k,G}$ (t-CO₂)は、 $1 \times 10^6 \div 17 = 5.88 \times 10^4$ kWhの電力を発電することによる誘発 CO₂排出量である。したがって k 番目の再生可能エネルギーによる発電1kWh当たり誘発排出量は

$$\widehat{SCO2}_{k,G} = SCO2_{k,G} \cdot \frac{100}{5.88} \quad (\text{g-CO}_2/\text{kWh}) \quad (2)$$

となる。一方 k 番目の再生可能エネルギー発電施設建設100万円が、ライフサイクル的に生み出す電力量単位当たりの誘発 CO₂排出量は、発電施設の建設単価 α_k (万円/kW)、設備利用率 β_k 、耐用年数 γ_k (年)とすると、年間の総時間を8760時間として、次のように計算される。

$$\widehat{SCO2}_{k,C} = SCO2_{k,C} \times \frac{10}{8.76 \beta_k \gamma_k} \quad (\text{g-CO}_2/\text{kWh}) \quad (3)$$

建設単価 α_k 、設備利用率 β_k 、耐用年数 γ_k の大きさは表3.2.2のとおりである。

表 3.2.2 再生可能エネルギー発電施設に想定された諸元

	施設発電容量		発電量 (MWh/年)	設備利 用率	建設単価 (万円/kW)	運転維持費(万 円/kW/年)	買取価格 税抜(円/kWh)	耐用 年数
太陽光(住宅用)	4	kW	5	0.137	32.70	0.30	26.50	30
太陽光(メガソーラー)	1,200	kW	1,798	0.171	23.85	0.50	18.00	30
陸上風力	20,000	kW	43,450	0.248	29.70	1.03	20.00	20
着床式洋上風力	150,000	kW	394,200	0.3	56.50	2.25	36.00	20
中小水力発電	199	kW	1,046	0.6	132.00	5.40	25.00	40
大規模地熱発電	30,000	kW	218,124	0.83	79.00	3.30	26.00	40
バイナリー発電	50	kW	394	0.9	123.00	想定値は用い ず、表3のそれ ぞれの原典に基 づいて運転費を 推計	40.00	40
木質バイオ_A級タイプ	30,000	kW	217,016	0.826	29.67		24.00	40
木質バイオ_B級タイプ	5,000	kW	34,164	0.780	53.00		32.00	40
木質バイオ_C級タイプ	1,990	kW	13,474	0.773	71.36		40.00	40
生ごみメタン発酵ガス	50	t/日	785	0.300	803.46		39.00	30
下水メタン発酵ガス	161	m³/日	1,486	0.355	53.58		39.00	30
家畜糞尿メタン発酵ガス	95	t/日	1,977	0.752	265.00		39.00	30
廃棄物焼却施設(大都市)	600	t/日	26,685	0.650	474.43		17.00	40
廃棄物焼却施設(地方中核都市)	300	t/日	13,350	0.650	578.59		17.00	40
(参考)								
EV	354	万円/台	(備考)ガソリン車想定価格 180万円/台					

* 発電容量と耐用年数の想定はコスト等検証委員会、設備利用率、建設単価、運転維持費、買取価格は2018(平成30)年度調達価格等算定委員会報告書の想定値。ただしバイナリー、各種バイオマス発電の想定値はそれぞれの出典に基づく。イタリックは、逆算された値であることを示す。

k 番目の再生可能エネルギーが1kWhの発電ごとに、火力発電に対して削減することのできる誘発CO₂排出の大きさは(4)式の右辺のカッコ内で計算され、これにこの発電設備の生涯稼働時間に乗ずれば、 k 番目の再生可能エネルギー発電施設1kWあたりの火力発電に対する総誘発CO₂削減量となる((4)式)。

$$T\widehat{SCO2}_k = \frac{8.76 \times \beta_k \gamma_k}{1000} (\widehat{SCO2}_{Thermal_G} - \widehat{SCO2}_{k_G} - \widehat{SCO2}_{k_C}) \text{ (t-CO}_2\text{/kW)} \quad (4)$$

ただし、 $\widehat{SCO2}_{Thermal_G}$ は1 kWh の火力発電が誘発するCO₂排出量である。

3-3. 炭素課税段階の効果分析モデル

2011年 IONGESを使用して、経済社会に対する3つの炭素課税方法(上流課税、中流課税、下流課税)の影響を分析した。分析の概要は表3.2.3のとおりである。2通りの産業連関表と3通りの課税方法の前提の下で、最終需要がどれだけの炭素税を直接(最終需要(家計消費)されるエネルギーにかかる炭素税)・間接(最終需要財に最終的に転嫁される炭素税)に負担しているかを計算した。分析では、国立環境研究所の3EIDデータベースをもとに各課税方法の下でそれぞれの産業部門でカウントされるCO₂排出量を集計し、3種類のCO₂排出単位ベクトルを作成した。なおIONGESの再生可能エネルギー部門のCO₂排出原単位は独自に推計した値である。

表3.2.3 炭素税の課税方法の違いについての分析概要

用いる産業連関表	2011組込表	2011年の実際の電源構成
	2030想定表	2030年の長期エネルギー需給の見通しの想定まで再生可能エネルギー導入
課税方法	上流課税	山元または輸入元で徴収された炭素税が最終需要される財に順次転嫁される。家庭は直接には炭素税を払わないが、財に転嫁された分を間接的に支払う。
	中流課税	原燃料を精製する時点で課された炭素税が最終需要される財に転嫁される。電気について、発電事業者が炭素税を支払い、それを電気代に転嫁する。最終需要される(=家庭で消費される)エネルギーについて、家庭は転嫁された炭素税の間接的支払いのほかに、灯油、ガソリンやガスを使用するとき直接炭素税を支払う。
	下流課税	中流との違いは、電気について発電事業者には炭素税を課さない。家庭は転嫁された炭素税の間接的支払いのほかに、灯油、ガソリンやガスに加え、電気を使用するとき、その電力に含まれる化石エネルギー分の炭素税を支払う。

i 番目の課税方法の下で、最終需要(家計消費)が直接間接に誘発するCO₂排出量は、IONGESの2011年組込表または2030年想定表の逆行列係数を用いて、次のように計算される。

$$E^{FD} = \widehat{E}^{(i)} (I - (I - \widehat{M})A)^{-1} F + D^{(i)} \quad i = \text{i, ii, iii} \quad (5)$$

E^{FD} : 最終需要が誘発する課税対象となる財別の誘発CO₂ 排出量を要素とするベクトル

$\widehat{E}^{(i)}$: i 番目の課税方法の下でのCO₂ 排出原単位を対角要素とする行列

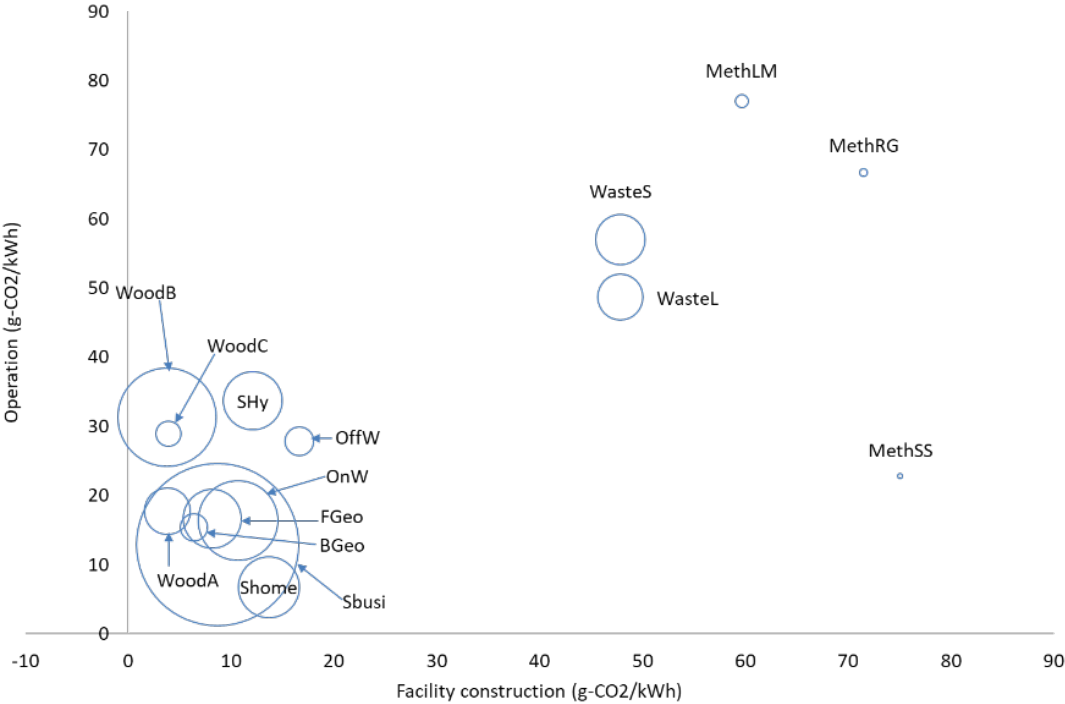
F : 最終需要ベクトル

$D^{(i)}$: i 番目の課税方法の下での最終需要されるエネルギーによる直接CO₂ 排出原単位

4. 結果及び考察

以下に示すように、サブテーマ2では、一部変更点があるものの、研究計画書の目標をほぼ達成した。

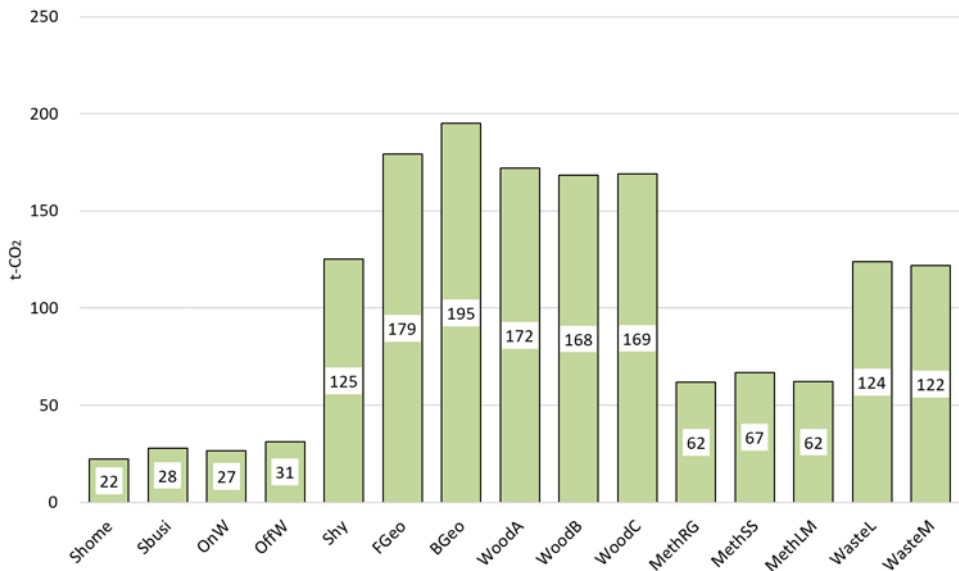
図4. 2. 1は、各再生可能エネルギー発電1kWh当たりの誘発CO₂排出量について、運転時の排出量((2)式の計算結果)を縦軸に、建設するときの排出量((3)式の計算結果)を横軸に示した図である。バブル図の直径は、表3. 2. 1に示した2030年想定表における発電構成比を示す。図によれば、メタン発酵ガス発電や廃棄物発電による運転時、建設時の誘発CO₂排出量が多い。ただしこれらの発電を行う施設では廃棄物処理も行っており、それにかかわる誘発CO₂排出も含まれることに注意をしなければならない。また火力発電(運転)による誘発CO₂排出は641 g-CO₂/kWhなので、縦軸方向の値はいずれもこれを大きく下回っている。



Shome太陽光発電(住宅設置用)、Sbusi太陽光発電(メガソーラー)、OnW陸上風力発電、OffW着床式洋上風力発電、SHy中小水力発電、FGeo大規模地熱発電、BGeoバイナリー地熱発電、Wood木質バイオマス発電、Methメタン発酵ガス発電、Waste廃棄物発電
(参考) 火力発電による誘発CO₂排出量：641 g-CO₂/kWh

図4. 2. 1 発電施設建設および発電活動1単位(100万円)当たり誘発CO₂排出量

図4. 2. 2 に、各再生可能エネルギー発電施設が火力発電に対して生涯にわたってもたらすCO₂削減効果((4)式の計算結果)を示す。すると、地熱、木質バイオマス、中小水力、廃棄物発電のように設備稼働率が高く、耐用年数の長い発電施設によるCO₂削減効果が大きいことが分かった。メタン発酵ガス発電によるCO₂削減効果も太陽光や風力と比較すると大きい。図4. 2. 2のCO₂削減量に想定される炭素税(円/CO₂-t)を乗ずれば、各再生可能エネルギー発電施設の発電容量(kW)あたりで見た、炭素税負担減少による費用抑制効果を知ることができる。



再生可能エネルギーを示す略語は図4. 2. 1と同じ。

図4. 2. 2 再生可能エネルギー発電施設による生涯CO₂削減量(火力発電に対する効果)

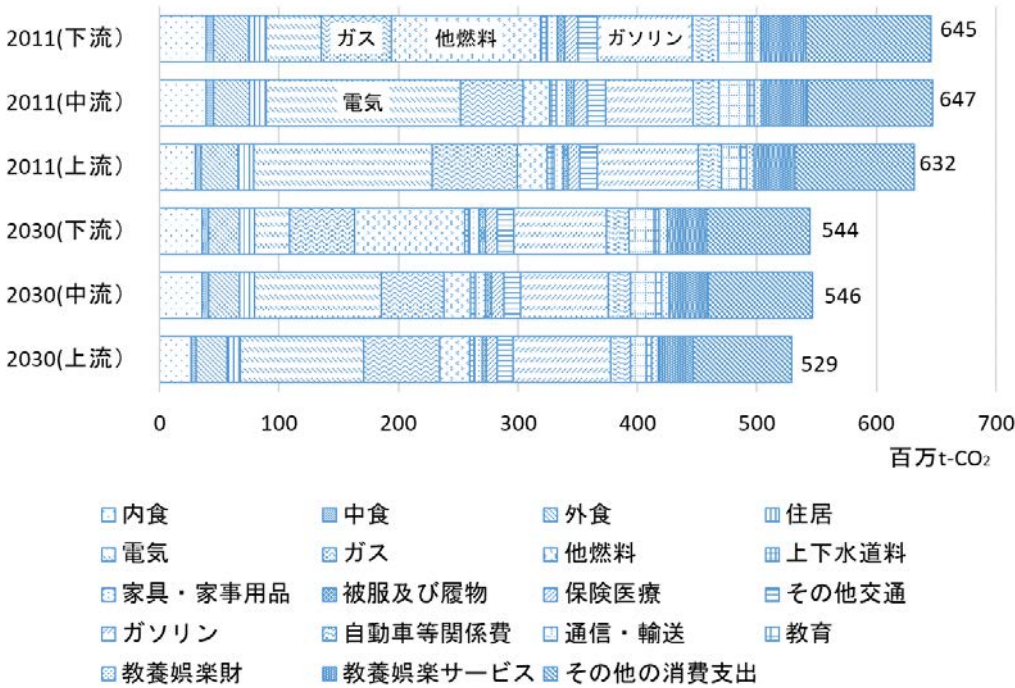


図4. 2. 3 課税方法の想定別にみた家計消費が誘発する費目別CO₂排出量

図4. 2. 3は3つの課税方法の下で想定されるCO₂排出原単位を用いて家計消費が誘発するCO₂排出量を(5)式を用いて計算し、費目別に集計した結果である。この計算結果は、家計が消費する財・サービスのサプライチェーンを通じて誘発されるすべてのCO₂排出量を示す。そしてそれは同時に、炭素税が課せられた場合に最終的に家計に転嫁される費用の大きさを、費目の使用した財・サービスごとに示している。

まず2030年に想定される程度にまで再生可能エネルギーが普及すると、家計消費が誘発するCO₂排出量は、いずれの課税方法の想定の下でも約16%減少する。もし、炭素税の税率が変わらないとすれば、再生可能エネルギー普及は家計に同率の費用削減効果をもたらすことになる。中・下流課税に比べて、上流課税の場合には、(輸出比率の高い)機械を含むエネルギー集約的な産業にCO₂排出が偏り、これらの産業が生産する財が誘発するCO₂排出量の値が大きくなった。そのため、上流課税の想定の下では、輸出が

誘発するCO₂排出量が大きくなる一方、図4. 2. 3にみるように、家計消費が誘発するCO₂排出量は小さく計算される結果となった。上流課税に比べて、中・下流課税では、CO₂排出がいろいろな財に分散して誘発されるということである。各財が誘発するCO₂排出量に、想定される炭素税率を乗ずれば、その財に究極的に転嫁されて家計が負担しなければならない炭素費用となる。すなわち中・下流課税であるほど、家計はいろいろな財の購入時に炭素費用を負担することになるが、これは家計に直接的な省エネばかりでなく、なるべく炭素税転嫁分が少ない商品選びを促すインセンティブとなると思われる。特に下流課税の場合には、発電に使われるエネルギーも見かけ上、直接家計消費に配分される。その結果、下流課税の場合には、家計は(電力に転換されるエネルギーも含めて)見かけ上、多様なエネルギー消費を行うことになるので、家計が電源別の電力消費に関心を持つきっかけになると期待できる。

以上、研究計画書で提示したように、エネルギー効率化に関する国内の先進的取組のレビュー、エネルギー利用のスマート化を担う次世代技術のメニュー調査を踏まえ、分析ツールとして2011年IONGESを構築した。ただしそれを用いたCPの効果分析について他グループとの協調を図り、海外文献ではなく環境省「カーボンプライシングの活用に関する小委員会」における議論を踏まえた内容に変更した。2011年IONGESによる分析を基にして、再生可能エネルギー発電施設による生涯CO₂削減量(火力発電に対する効果)、課税方法の想定別にみた家計消費が誘発する費目別CO₂排出量を明らかにした。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では次世代エネルギーシステム分析用産業連関表(IONGES)を作成して、2030年に想定される水準にまで再生可能エネルギー比率が上昇した場合の効果を定量的に分析するデータベースを得た。それを用いて各再生可能エネルギー発電1kWh当たりの電力を提供するための施設の運転時と建設時に誘発されるCO₂排出量を計算した。そして各再生可能エネルギー発電施設が火力発電に対して生涯にわたってもたらすCO₂削減効果を推算し、発電施設の発電容量(kW)あたりで見た、炭素税費用抑制効果を比較した。また3つの課税方法(上流・中流・下流)の下で想定されるCO₂排出原単位を用いて、家計消費が誘発するCO₂排出量を計算した。産業連関分析の利点は、経済の一部に発生した条件変化が部門間の相互依存関係を通じて経済全体に伝播していくメカニズムを詳細に解明できること、あるいは細かい部門分類でそれら変化の影響を定量的にシミュレーションできることである。本研究成果は政策立案のための具体的、定量的エビデンスそのもの、またはエビデンス提供のための分析手法を提示したとの科学的意義を持つ。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

① 炭素税の二重の配当に関連して

武田(2007)は強い二重の配当仮説が資本課税の置き換えで成立することを指摘しているが、再生可能エネルギー発電施設に対する課税置き換えはわかりやすい施策である。その際、図4. 2. 2に示したように同じ容量の再生可能エネルギー発電施設の生涯的なCO₂削減貢献量は大きく異なるので、現実の制度設計においてはこの違いを考慮する必要がある。

② 排出量取引の全国展開に関連して

環境省(2018)によれば、多量排出事業者に対して確実な排出削減を求める施策として排出量取引が位置付けられており、電気事業者に再生可能エネルギー導入を促進するための手法にも活用されるべきである。その際、再生可能エネルギー発電に関する図4. 2. 1～2の定量的エビデンスが制度設計に寄与する。加えて図4. 2. 3(特に下流課税のケース)のように、家計消費に伴う炭素税負担発生メ

カニズムを明確化することは、取引の成果の見える化に貢献する。

③ カーボンプライシングの国際競争力に関連して

課税方法の検討結果から、中・下流課税に比べて、上流課税の場合には、(輸出比率の高い)機械を含むエネルギー集約的な産業にCO₂排出が偏り、これらの産業が生産する財が誘発するCO₂排出量の値が大きくなることが伺われた。

その他、次世代エネルギーシステム分析用産業連関表(IONGES)は地域循環共生圏の効果分析など、カーボンプライシング以外の環境政策分野にも応用可能性がある。

6. 国際共同研究等の状況

2019年12月6日に早稲田大学において『科学技術イノベーションの戦略的思考と管理能力の向上』を主題とする訪日研修団一行12人（団長：劉育新中国科学技術部辦公庁副主任（大臣官房次長相当））に、” Toward a smart technology society using renewable energy: Analyses using input-output tables” について講演した。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) S. Nakano, S. Arai, A. Washizu: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 2834-2842, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.011> (2018)
Development and Application of an Inter-Regional Input- Output Table for Analysis of a Next Generation Energy System.
- 2) 中野諭, 鷺津明由: 産業連関, 26, 1, 35-49, https://doi.org/10.11107/papaios.26.1_35 (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.
- 3) S. Nakano, A. Washizu: Journal of Environmental Management, 225, 84-92, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.082> (2018)
Acceptance of energy efficient homes in large Japanese cities: Understanding the inner process of home choice and residence satisfaction.
- 4) S. Nakano, A. Washizu: Telecommunications Policy, 42, 10, 824-835, <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2018.08.001> (2018)
Induced Effects of Smart Food/Agri-Systems in Japan: Towards a Structural Analysis of Information Technology.
- 5) S. Nakano, A. Washizu: Sustainability 2019, 11(16), 4444, 1-19, <https://doi.org/10.3390/su11164444> (2019)
In Which Time Slots Can People Save Power? An Analysis Using a Japanese Survey on Time Use.
- 6) A. Washizu, S. Nakano, H. Ishii, Y. Hayashi: Sustainability 2019, 11(17), 4790, 1-20; <https://doi.org/10.3390/su11174790> (2019)
Willingness to Pay for Home Energy Management Systems: A Survey in New York and Tokyo.
中野諭, 鷺津明由『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』産業連関 27(1), 90-105, 2020, https://doi.org/10.11107/papaios.27.1_90..

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 鷺津明由, 中野諭, 新井園枝: スマートグリッド, 58, 10 (通巻745号), 13-18 (2017)

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.

- 2) 鷺津明由, 中野諭, 平湯直子: 住総研研究論文集, 44, 157-168 (2018)
住宅の省エネ改修がもたらす社会経済効果の分析—計量経済学的手法を用いて.
- 3) 中野諭, 鷺津明由: 日本エネルギー学会誌, 97, 205-215, <https://doi.org/10.3775/jie.97.205> (2018)
HEMSに対する消費者の導入意思についての要因分析.
- 4) 鷺津明由・中野諭: 経済統計研究, 46, III, 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.
- 5) 鷺津明由, 中野諭: スマートグリッド, 60, 4 (通巻236号), 26~29 (2019)
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分析: 消費者視点からのスマートグリッド普及への期待.
- 6) 鷺津明由, 近藤康之: 日本エネルギー学会機関誌 えねるみくす, 98, 4, 429 (2019)
研究グループ紹介(早稲田大学 スマート社会技術融合研究機構 次世代科学技術経済分析研究所)
- 7) 鷺津明由: エネルギー・資源, 40, 10 (通巻779号), 78 (2019)
スマート!

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 鷺津明由, 平湯直子: 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 2017-J001, 1-35 (2017)
「家庭における時間帯別省エネポテンシャルデータベースの作成方法—『社会生活基本調査』と「家庭の省エネ百科」による—」
https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2017/05/washizu_hirayu_2017_J001.pdf
- 2) 平湯直子, 鷺津明由: 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 2017-J002, 1-24, (2018)
「時間帯別家庭の省エネポテンシャル量の推計: 社会生活基本調査B票集計結果に基づいて」
https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2017/04/hirayu_washizu_2017-J002.pdf
- 3) 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 2017-J003, 1-10 (2018)
「東京都の建築物による一次エネルギー消費データベースの作成」,
https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2017/04/washizu_nakano_2017-J003.pdf
- 4) 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 2017-J004, 1-14 (2018)
「2011年版次世代エネルギーシステム分析用産業連関表・再生可能エネルギー部門の投入係数ベクトルの作成」
https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2017/04/washizu_nakano_2017-J004.pdf
- 5) 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 2018-J001, 1-20
「政府見通しに基づく水素関連部門の投入係数ベクトルの作成」,
https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2017/04/washizu_nakano_2018-J001.pdf
- 6) A. Washizu, S. Nakano: Waseda university, IASS WP IASS WP 2019-E001, 1-18 (2019)
“Creation and application of the 2011 input-output table for the next-generation energy system.” <https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2019/10/IASS-WP-2019-E001-1.pdf>

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 鷺津明由, 中野諭: 第36回エネルギー・資源学会研究発表会 2017年6月7日～8日 砂防会館 (2017)
「省エネ住宅改修による消費者の便益分析—全国消費実態調査のマイクロデータを用いて—」
- 2) 中野諭, 鷺津明由: 第26回日本エネルギー学会大会 2017年8月1日～2日 名古屋 ウィンクあいち (2017)
「水素・燃料電池の政府見通しがもたらす効果の産業連関分析」
- 3) 鷺津明由・中野諭: 第4回Behavior, Energy & Climate Change Conference (BECC JAPAN 2017) 2017年9月5日 JA共済ビル カンファレンスホール (2017)
「省エネ住宅改修の費用便益分析—全国消費実態調査とエネルギー消費性能計算プログラム(住宅版)を用いて—」
- 4) 平湯直子・鷺津明由: 第4回Behavior, Energy & Climate Change Conference (BECC JAPAN 2017) 2017年9月5日 JA共済ビル カンファレンスホール (2017)
「社会生活基本調査に基づく家庭の省エネポテンシャル」
- 5) 鷺津明由・中野諭: 環太平洋産業連関分析学会第28回(2017年度)大会 2017年10月21日～22日 立命館大学大阪いばらきキャンパス (2017)
「スマートフード・アグリシステムの波及効果分析—情報化の産業構造分析に向けて—」
- 6) 鷺津明由・中野諭・Chien-fei Chen・石井英雄・林泰弘: 第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス 2018年1月25日～26日 砂防会館 (2018)
「HEMSに対する支払い意思額の日米比較: 大規模日米共通アンケート調査結果をふまえて」
- 7) 中野諭・鷺津明由第13回日本LCA学会研究発表会 2018年3月7日～3月9日 早稲田大学, 「スマートフード・アグリシステムの俯瞰的検証手法の提案」
- 8) 鷺津明由・中野諭・Chien-fei Chen・石井英雄・林泰弘: 第13回日本LCA学会研究発表会 2018年3月7日～3月9日 早稲田大学 (2018)
「HEMSに対する消費者受容性の日米比較: 仮想評価法によるアプローチ」
- 9) 鷺津明由・中野諭: 第37回エネルギー・資源学会 研究発表会2018年6月11日～12日 大阪(2018)
「大都市における高性能住宅の受容可能性についての一考察」
- 10) A. WASHIZU, S. NAKANO : Grand Renewable Energy 2018 International Conference, June 17-22, 2018, Pacifico Yokohama, Japan (2018)
“Analysis of regional induced effect caused by liberalization of the electricity market.”
- 11) X. Xu, C. Chen, A. Washizu, H. Ishii, Y. Hayashi: 2018 IEEE PES General Meeting, August 5 - 10, Portland, OR, USA (2018)
“Willingness to Pay for Home Energy Management System: A Cross-Country Comparison.”
- 12) 鷺津明由・中野諭: 第27回日本エネルギー学会大会, 2018年8月8日～9日, 東京(日大理工学部駿河台キャンパス) (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の作成」
- 13) 鷺津明由・中野諭・石井英雄・林泰弘: 第5回 BECC JAPAN 2018 気候変動・省エネルギー行動会議, 2018年8月23日, 一橋大学一橋講堂(2018)
「機能別HEMS需要関数測定結果の日米比較」
- 14) 鷺津明由・中野諭: 環境経済・政策学会2018年大会, 2018年9月8日～9日, 上智大学 四谷キャンパス (2018)
「電力システムの広域化とカーボンプライシング地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表に基づく考察」
- 15) A. WASHIZU, S. NAKANO, C. Chen, H. Ishii, Y Hayashi : EcoBalance 2018, October 9-12, 2018, KFC Hall & Rooms, Ryogoku, Japan (2018)
“Measurement of demand function for HEMS: comparison between Japan and the United States.”

- 16) 鷺津明由・中野諭： 環太平洋産業連関分析学会大会第29回（2018年度）全国大会，11月3日～4日，愛知学院大学 名城公園キャンパス（2018）
「豊かさと便利さを兼ね備えた食卓の実現にむけて-スマートフードチェーンシステム構築のための一考察-」
- 17) 中野諭・鷺津明由： エコデザイン・プロダクツ&サービス2018シンポジウム 2018年12月5日 早稲田大学 西早稲田キャンパス(2018)
「生活時間を考慮した家庭の省エネポテンシャルの推計：社会生活基本調査個票を用いた分析」
- 18) 鷺津明由・中野諭： 第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス 2019年1月29日～30日 東京大学生産技術研究所(2019)
「消費者視点に立った次世代エネルギーシステムのサプライチェーンについての評価」
- 19) 鷺津明由・尾沼広基・有村俊秀： 第14回日本LCA学会研究発表会 2019年3月5日～3月7日 九州大学 伊都キャンパス(2019)
「大規模オフィスビルにおける省エネの実態およびポテンシャル量の推計：カーボンプライシング制度への示唆」
- 20) A. Washizu, S. Nakano : International Conference on Economic Structures (ICES) 2019, March 18-19, 2019, Ritsumeikan university Osaka, Japan(2019)
“Analysis of inter-regional effects caused by the wide-area operation of the power grid in Japan.”
- 21) 鷺津明由・尾沼広基，有村俊秀： 第38回エネルギー・資源学会 研究発表会2019年8月5日～6日 東京大学生産技術研究所(2019)
「大規模オフィスビルにおける省エネ対策・技術の普及状況」
- 22) A. Washizu, S. Nakano : Sustainable Built Environment Conference (SBE) 2019, August 6-7, 2019, The University of Tokyo Komaba Campus, Japan (2019)
“Who can respond to Power Savings? Estimation of Energy Saving Potential Curves” (Poster)
- 23) 鷺津明由・中野諭： 第28回日本エネルギー学会大会，2019年8月7日～8日，大阪（関西大学千里山キャンパス）（2019）
「2011年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表による再生可能エネルギー導入効果の分析」
- 24) 鷺津明由・中野諭： 第6回 BECC JAPAN 2019 気候変動・省エネルギー行動会議，2019年8月23日，東京大学生産技術研究所（2019）
「社会生活基本調査を用いた節電ポテンシャルの推計」
- 25) 鷺津明由・尾沼広基，有村俊秀： 環境科学会2019年会，2019年9月13日～14日，名古屋大学東山キャンパス（2019）
「東京都オフィスビルにおける省エネ取組の効果推計An estimation of effects of energy saving measures in office buildings in Tokyo」
- 26) 鷺津明由・中野諭： 環境経済・政策学会2019年大会，2019年9月28日～29日，福島大学（2019）
「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応用分析：炭素税課税方法の検討」
- 27) A. Washizu, S. Nakano: 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2019), November 25-27, Yokohama, Japan (2019)
“Effect of introducing renewable energy: An analysis using the input-output table for next-generation energy system for 2011.” (Poster)
- 28) 中野諭・鷺津明由： 環太平洋産業連関分析学会 第 30 回(2019 年度)全国大会 2019 年 11 月 1 日～ 3 日 九州大学 伊都キャンパス（2019）
「2011年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表による再生可能エネルギー発電の 比較分析」
- 29) 鷺津明由・中野諭： 第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス 2020年1月28日～29日

東京大学生産技術研究所 (2020)

「再生可能エネルギーのサプライチェーン分析：2011年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表を用いて」

- 30) 鷺津明由・中野諭： 第15回日本LCA学会研究発表会 2020年3月10日～3月12日 武蔵野大学有明キャンパス (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について」

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 国民対話シンポジウム「カーボンプライシングとエネルギーマネジメント」2018年10月26日(金) 14:00~17:00, COREDO日本橋, 「地域の消費と電気 エネルギーシステムを知ろう！」

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 鷺津明由・中野諭・新井園枝(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」『経済統計研究』, 第43巻Ⅲ号, 12-31ページ.
- 鷺津明由・中野諭・新井園枝(2016)「再生可能エネルギーの高度利用に向けて一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」『経済統計研究』, 第44巻Ⅲ号, 21-38ページ.
- 鷺津明由・中野諭(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」『経済統計研究』, 46巻Ⅲ号, 13-28ページ.
- Nakano S., Arai S. and Washizu A. (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”, Environmental Economics and Policy Studies, 19(3), pp. 555-580.
- Nakano S., Arai S. and Washizu A. (2018) “Development and Application of an Inter-Regional Input- Output Table for Analysis of a Next Generation Energy System,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, pp. 2834-2842.
- 武田史郎(2007)「二酸化炭素の排出規制における二重の配当の可能性：動学的応用一般均衡分析による評価」mimeo <http://shirotakeda.org/ja/research-ja/dd-carbon-ja.html>, アクセス日2019/12/30.
- 環境省(2018)「カーボンプライシングのあり方に関する検討会」取りまとめ, https://www.env.go.jp/earth/cp_report.pdf, アクセス日2019/12/30.

Ⅱ－３ 欧米各国カーボンプライシングの事後検証と日本の制度オプション検討

(公益財団) 地球環境戦略研究機関

小嶋 公史、浅川 賢司

平成29(開始年度)～令和元年度研究経費(累計額)：22,178千円(研究経費は間接経費を含む)
(平成29年度：8,840千円、平成30年度：6,669千円、令和元年度：6,669千円)

[要旨]

ドイツ・北欧を中心とするグリーン税制改革やEU ETSなどの先進事例に対する実証研究に関する文献レビューを行い、全般的な傾向として炭素税により競争力を阻害することなく排出が削減されることが確認された。また、排出量取引に関しては、EU ETSによる競争力影響に関し計量的事後評価によると、現時点での価格水準においては、EU ETSにおける炭素価格は競争力を阻害していないことが分かった。脱炭素化を目指した高率のカーボンプライシングについての既存研究による脱炭素経路に沿った限界削減費用の推計値には大きな幅があり、高い推計値だと2050年に二酸化炭素1トンあたり1万ドルを超える推計する研究がある一方、脱炭素移行のための政策手段として明示的カーボンプライシングを扱った研究では二酸化炭素1トンあたり100ドル～500ドルと推計されていることが分かった。炭素税の導入に伴う法人税減税による二重の配当効果の企業経営に与える影響分析に関しては、陸運部門と建設部門について、他の部門への参入が少なく当該部門に専業している割合が高い2社を選択し、炭素税の税収を法人税減税に充てた場合の炭素税の営業利益に対する影響を分析したところ、いずれのケースも炭素税により営業利益額がマイナスになることはなかったが、売上高の増大にも影響され、営業利益率は低下した。法人税減税の場合には、炭素税による営業利益額の減少を、減税効果により相殺する可能性が確認でき、営業利益率についてもBAUとのギャップを実質的に解消することが期待できた。

[キーワード]

明示的炭素価格、二重配当、国際競争力

1. はじめに

本研究では、様々なカーボンプライシングの概念につき整理したうえで、既存の明示的炭素価格(炭素税およびETS)が排出削減およびGDPや雇用といった経済指標に対しどのような影響をおよぼしたのかについての事後検証を行うために、ドイツ・北欧を中心とするグリーン税制改革やEU ETSなどの先進事例に対し計量経済分析に基づく事後検証を行った文献をレビューし、評価結果を整理した。特に、1990年代よりカーボンプライシングを導入しており、かつ近年は二酸化炭素1トンあたり数十ドルから100ドル以上といった高水準のカーボンプライシングを導入しているスウェーデンなどの先進的事例に関する計量経済的手法を用いた事後評価を行った研究をレビューした。また、パリ協定やIPCC1.5度特別報告書などにより世界的潮流となっている脱炭素化に必要なカーボンプライシング水準に関し知見を得る目的で、脱炭素化に関する定量的研究につきレビューを行った。

また本研究では、炭素税による産業分野への影響を把握することを目的として、経済モデルシミュレーションにより定量化された炭素税による産業部門ごとに対する影響を、特定の分野における個社レベルの財務関係に反映させ、炭素税と合わせて導入される法人税減税による二重の配当効果が個社レベルの利益にどのように影響を与えるかを分析した。

2. 研究開発目的

2-1. カーボンプライシング概念整理および先進事例の事後検証レビュー

本分析では、カーボンプライシングにつき様々な概念が提示され、場合によっては用語につき定義が異なっている場合も見られることから、カーボンプライシングが意思決定主体に働きかけるメカニズム

に着目しつつ概念整理し、今後の議論の在り方に一石を投じる。さらに、脱炭素社会を目指すうえで有効とされる高率のカーボンプライシングを念頭に、先進事例を対象とした事後評価研究のうち、特に実測値に基づく計量経済分析文献をレビューするとともに、2030年あるいは2050年といった中長期的な脱炭素経路に必要となるカーボンプライシングの価格水準につき既存研究の分析を行い、推計されるカーボンプライシングの価格水準の違いを明らかにする。

2-2. 経済モデルシミュレーション結果の企業会計への反映

本分析では、カーボンプライシングとして炭素税を想定し、炭素税が企業経営に与える影響を表す指標として、営業利益額（または営業損失額）及び営業利益率に着目する。もっとも、営業利益額及び営業利益率は、企業の意思決定に影響する本業の財務指標であり、本業以外の財務要素である法人税などの影響を受けない指標であることから、炭素税の税収を法人税の軽減に充てたとしても営業利益額及び営業利益率は変動しない。

そこで、本分析では、営業利益額の変動額に加え、法人税減税額を試算することにより、営業利益額が減少した場合に法人税減税がどの程度の効果があるかを比較する。

3. 研究開発方法

3-1. カーボンプライシング概念整理および先進事例の事後検証レビュー

カーボンプライシング先進事例の事後評価に関しては、実測値に基づく計量経済分析に焦点を当て、炭素税およびETSのそれぞれについて排出削減効果、経済影響、社会影響の各項目について評価結果をとりまとめた。脱炭素経路にそったカーボンプライシングに関する既存研究レビューに関しては、既存研究が静学的な観点で限界削減費用の推計を行った研究と、明示的炭素価格に対するステークホルダーの反応に着目した動学的観点を取り入れた研究に分類し、それぞれの推計値のレンジにおける違いについて分析した。

3-2. 経済モデルシミュレーション結果の企業会計への反映方法

炭素税による産業分野への影響を把握する方法としては、経済モデルシミュレーションにより、産業部門ごとにその影響を定量化する方法が用いられることが一般的であり、各部門に対する全体的な影響は、減免措置の制度設計などにおいて有益な情報となりうる。

しかし、浅川(2016)における「日本での本格的炭素税導入をめぐる議論」では、炭素税は、個々の企業にとって短期的にエネルギー及び原材料の調達コストの上昇のみを意味すると受け止められることが多い。これは、経済モデルシミュレーションで収益が増大しうる部門が発生しうると予測されたとしても同様であり、個社レベルで経済効果や税収還元により利益が増大すると意識されることは少なく、このような懸念は炭素税の導入における大きな障害となっていると考えられる。そこで、本研究では、経済モデルシミュレーションにより予測された炭素税による経済影響を個社レベルの財務会計に反映させることで、個社の利益に対する影響を分析した。

本研究では、カーボンプライシングとして炭素税を想定し、炭素税が企業経営に与える影響を表す指標として、営業利益額（または営業損失額）及び営業利益率に着目した。もっとも、営業利益額及び営業利益率は、企業の意思決定に影響する本業の財務指標であり、本業以外の財務要素である法人税などの影響を受けない指標であることから、炭素税の税収を法人税の軽減に充てたとしても営業利益額及び営業利益率は変動しない。

そこで、本分析では、営業利益額の変動額に加え、法人税減税額を試算することにより、営業利益額が減少した場合に法人税減税がどの程度の効果があるかを比較することにした。

経済モデル（CGEモデル）シミュレーション結果の企業会計への反映方法を図3-3-1に示す。

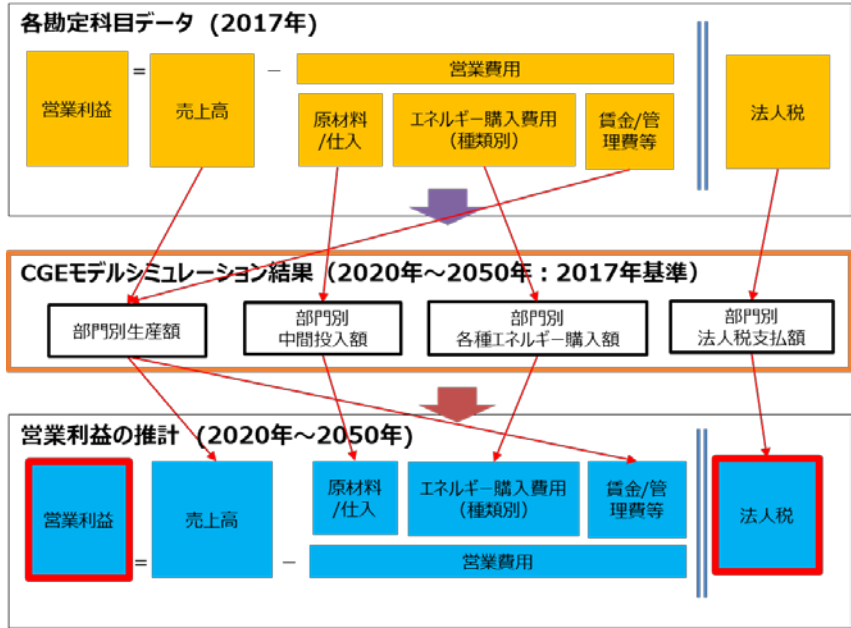


図3-3-1 経済モデルシミュレーション結果の企業会計への反映方法

まず、分析対象となる企業の有価証券報告書をもとに、営業利益の構成要素である売上高や営業費用の構造を把握し、特に営業費用のうちエネルギー購入費用については当該企業のCSRレポートから各種エネルギーの費用構成を把握した。

次に、部門ごとの生産額、中間投入額、各種エネルギー購入額及び法人税支払額について、経済モデルシミュレーションにより算出された2017年を基準とした2020年から2050年までの変化率（10年間隔）を用い、たとえば売上高については部門生産額の変化率を用いるなど、図1に示すような対応関係により、営業利益の各構成要素について2020年から2050年（10年間隔）の金額を試算した。

また、炭素税自体の効果と税収還元方法の効果进行分析するため、炭素税（CP）を導入しないBAUシナリオ（CP無）、CPを導入して税収を家計に一括返還するシナリオ（CP一括）、CPを導入して税収により法人税を軽減するシナリオ（CP法人）の3つのシナリオを検討した。

本分析の入力データを算出する経済モデルシミュレーション（CGEモデル）が扱っている部門（17部門）のうち、化石燃料の消費が比較的多く、炭素税の負担を直接受けやすい部門である道路貨物輸送部門（陸運）と電力部門（電力）の2部門を扱った。

上記2部門において市場シェアが高く、他部門にまたがる事業が少なく当該部門により専業している企業1社ずつをサンプル企業として選択した。

分析対象企業の2017年における財務データを表3-3-1に示す。営業利益に対するエネルギー購入費用についてみると、陸運部門のサンプル企業ではエネルギー購入費用が営業利益を下回っているのに対し、電力部門のサンプル企業ではエネルギー購入費用が営業利益を大きく上回っており、炭素集約度が高いという特徴がある。また、営業利益に対する法人税の支払額についてみると、陸運部門のサンプル企業よりも電力部門のサンプル企業の方が、法人税支払額の割合が小さいという特徴がある。

表3-3-1 分析対象企業の財務データ（2017年）

単位：百万円						
業種	営業利益率	営業利益	売上高合計	エネ購入費用	その他営業費用	法人税
陸運	2.3%	40,000	1,540,000	30,000	1,470,000	10,000
電力	4.4%	110,000	2,600,000	710,000	1,770,000	20,000

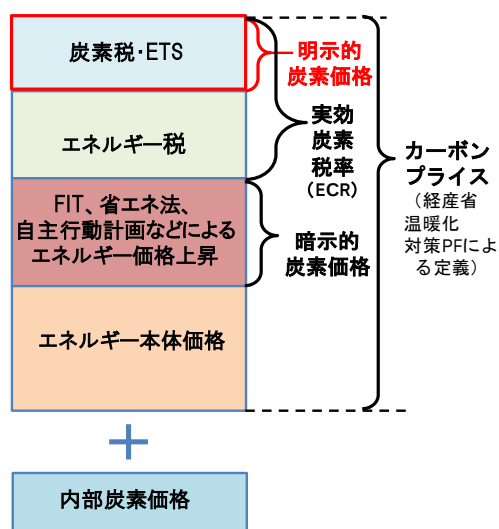
4. 結果及び考察

4-1. カーボンプライシングの概念整理

以下に示すように、サブテーマ3では、研究計画書で示した目標を全て達成した。

まず、本研究の基礎的概念整理として、広義のカーボンプライシングを対象に、分析目的に見合った定義の整理を行った。基本的な整理は以下のようになる（図4-3-1）。

- 排出削減効果（価格効果）の分析：明示的炭素価格、実効炭素税率
- 排出削減策としての効率性の分析：明示的炭素価格
- 低炭素技術・投資促進効果の分析：明示的炭素価格、ECR、エネルギー税、内部炭素価格、エネルギー本体価格
- 排出削減対策全体の効率の（国別・部門別）比較：削減対策によるエネルギーコスト上昇（暗示的炭素価格）



出典：著者

図4-3-1 広義のカーボンプライスの概念整理

4-2. 先進的カーボンプライシング事例の事後検証

ドイツ・北欧を中心とするグリーン税制改革やEU ETSなどの先進事例に対する実証研究に関する文献レビューの結果、炭素税に関する計量的事後評価研究は限定的であるものの、以下のような知見が得られた。Lin and Li (2011) は、1981–2008年パネルデータを用い、北欧4カ国およびオランダの炭素税による排出削減効果を計量経済分析で検証した結果、ノルウェー以外の4カ国で炭素税導入はCO₂排出に負（削減）の影響があったが、統計的に有意となったのはフィンランドのみであった。Martin et al. (2014) は、2001–2004年英国気候変動税による排出削減効果および競争力への影響を英企業レベルデータを用いて計量経済分析で検証し、有意な排出削減効果を検出する一方、競争力関連指標（エネルギー支出、雇用およびTFP）への負の影響は検出されなかった。Flues and Lutz (2015) は、1999–2004年の製造業企業データを用いて、ドイツエネルギー税による競争力への影響を検証したところ、統計的に有意な影響は検出されなかった。これらの計量経済分析に基づく事後検証によると、これらの先事例ではおおむね炭素税により競争力を阻害することなく排出が削減された。

炭素税に関する事後評価事例に比べ、EU ETSに関する計量的事後評価研究は比較的多く存在しており、Arlinghaus (2015)はEU ETSによる競争力影響に関し計量的事後評価を行った17論文をレビューした結果、現時点での価格水準においては、EU ETSにおける炭素価格は競争力を阻害していないと結論付けている。なお、対象17論文のうち、排出削減効果を合わせて検証しているのはそのうち3論文のみであった。

一方、これらの文献レビューから、高い炭素税率で知られる北欧諸国でも、減免措置などにより産業

界への実質的な炭素税率は比較的低いことが明らかとなった。このことは、大幅排出削減を目的とした高率のカーボンプライシングについては事後検証が難しいことを示している。

4-3. 脱炭素経路に沿ったカーボンプライシング水準の分析

パリ協定あるいは1.5度目標に対応した脱炭素化に必要な高率のカーボンプライシングについての既存研究は、大きく2つのアプローチに分類できる。1つ目のアプローチは、静学的枠組みの中ではある削減目標に対応した限界削減費用を炭素価格として徴収することでその削減目標が達成されることから、限界削減費用の推計値を炭素価格とするアプローチであり、2つ目は明示的カーボンプライスに対する各ステークホルダーの反応を通じてどれだけ削減されるかをモデル化したうえで、削減目標に対応する明示的カーボンプライスを推計するアプローチである。例えばKesicki and Ekins (2012) は、前者のアプローチでは動学的プロセスに付随する様々な相互作用を反映していないため、炭素税や排出量取引制度(ETS)などの明示的カーボンプライスと限界削減費用を分けて考える必要があると指摘している。脱炭素社会実現のためのカーボンプライシング活用の観点からは、カーボンプライシングが生産者、消費者、投資家などのすべてのアクターの意思決定に与える影響を通じて、排出を伴う活動量の減少を通じて総排出量および目標削減量を引き下げる可能性や、限界削減費用曲線そのものを大きく変化させるプロセスに対する動学的な分析が重要な意味を持つと考えられる。

これらの2つのアプローチに基づく既存研究をレビューした結果、2つのアプローチでは推計されるカーボンプライシングの価格水準に違いがみられた。

前者の限界削減費用アプローチの例として、IPCC (2018) では、世界全体で2度目標を達成する排出経路における限界削減費用が、2030年で15-220ドル/t-CO₂eq (2010年価格)、2050年で45~1050ドル/t-CO₂eq (2010年価格) であるのに対し、1.5度目標を達成する排出経路における限界削減費用は、2030年で135~6,050ドル/t-CO₂eq (2010年価格)、2050年で245~14300ドル/t-CO₂eq (2010年価格) と推計している。Oshiro et al. (2017) は、2度目標および1.5度目標に対応する日本の脱炭素経路につき、原子力発電およびバイオエネルギーCCS (BECCS) による炭素吸収を活用するか否かなどの7通りのシナリオについて、逐次動学ボトムアップエネルギーモデルを用いて限界削減費用を推計し、BECCSを活用した場合、2050年の限界削減費用を2度目標達成シナリオで520~570ドル/t-CO₂ (2010年価格)、1.5度目標達成シナリオで2,200~3,150ドル/t-CO₂ (2010年価格) と推計している。なお、BECCSを活用しない場合は1.5度目標は達成できず、2度目標達成シナリオにおける2050年の限界削減費用は860ドル/t-CO₂に上昇するとしている。Sugiyama et al. (2019) は、2030年NDC達成、2050年80%削減という脱炭素経路につき、逐次動学とフル動学、世界モデルと日本一国モデル、一般均衡モデルと部分均衡モデル、といった様々な特徴を持つ7種類のモデルにより分析し、2030年における限界削減費用を44~346 ドル/t-CO₂ (中央値150ドル)、2050年における限界削減費用を273~7,730 ドル/t-CO₂ (中央値2,818ドル) と推計している。

後者の脱炭素移行のための政策手段として明示的カーボンプライシングを扱うアプローチとして、DDPP (2015) では、カーボンプライシングをすべての政策パッケージにおいて重要な要素と位置付けているが、DDPPの国別報告書において明示的カーボンプライシングを政策パッケージに位置付けているのはカナダとフランスである (Bataille et al., 2015; Criqui et al., 2015)。カナダでは、2050年までにGHG排出を2005年比で90%削減するための政策の一環として、重工業を対象としたETS制度と、それ以外のステークホルダーを対象とした上流でのETSまたは炭素税を選択できる柔軟なカーボンプライシング制度の併用により、2020年に50カナダドル/t-CO₂のカーボンプライシングを導入し、以降2050年に350カナダドル/t-CO₂に達するまで毎年10カナダドル/t-CO₂ずつ引き上げるとしている。カーボンプライシングからの収入は、個人および法人の所得税減税に充当すると想定されている (Bataille et al., 2015)。フランスでは、2050年までにGHG排出を1990年比で75%削減するための政策の一環として、2050年の電源構成にしめる原子力発電シェア50%、再生可能エネルギーシェア40%のシナリオで2030年に90ユーロ/t-CO₂、2050年に280ユーロ/t-CO₂の炭素税をすべての部門に対し導入し、2050年の電源構成にしめる原子力発電シェア25%、再生可能エネルギーシェア70%のシナリオでは2030年に120ユーロ/t-CO₂、

2050年に360ユーロ/t-CO₂の炭素税をすべての部門に対し導入し、炭素税収は家計に対し均等に返還するとしている (Criqui et al., 2015)。Rockström et al. (2017) は、世界全体で2050年までにCO₂排出正味ゼロを達成する「迅速な脱炭素のためのロードマップ」を達成するための取り組みとして、現状で年間5千億～6千億ドルに達している化石燃料補助金を2020年までに全廃するとともに、すべてのCO₂排出に対し2020年で最低でも50ドル/t-CO₂の明示的カーボンプライスを国際的なETS制度および空運・海運に対する炭素税として導入し、2050年までに段階的に400ドル/t-CO₂以上の水準に引き上げるとしている。このロードマップでは、2050年時点で5ギガトン程度と推定されるCO₂排出を全量BECCSで回収することで、CO₂排出正味ゼロを達成する想定となっている。

日本を対象とした脱炭素社会実現に向けた明示的カーボンプライシング活用に関しては、小嶋他(2018)が、2030年NDC目標および地球温暖化対策計画の長期目標である2050年80%削減の実現に向けて、炭素税および炭素税収の一部をエネルギー効率改善投資に充当する政策パッケージを提案している。この研究では、現行の温暖化対策税の免税対象を踏襲しており、大規模排出源である製鉄やセメント製造における石炭利用は免税されているため、排出削減目標を達成するにはすべての部門に課税した場合に比べ高い炭素税率が必要となるが、税収の一部を用いてエネルギー効率改善投資を行うことで過度に高い税率となることを避けている。E3MEマクロ計量モデルによる分析に基づき、2030年に11400円/t-CO₂、2050年に57300円/t-CO₂の炭素税を、2021年から2050年にかけて段階的に引き上げる形で導入し、炭素税収の2～4%をエネルギー効率改善投資に充当し、税収の残りを家計に還流する政策パッケージを提案している。分析に用いたE3MEモデルでは家計部門が5つの所得階層に区分されており、カーボンプライシングの問題点として指摘される逆進性についての検討を行っている。また、政策を導入しなかったBAUシナリオとの比較ではなく、政策により達成すべき政策目標を設定した上で、目標達成度の観点から政策評価を行っている点もこの研究の特徴である。

小林他(2019)は、人口知能(AI)、モノのインターネット(IoT)、ビッグデータが広く普及したデジタル経済へ全面的に移行すると想定した上で、2度目標に対応する2050年CO₂排出80%削減(2013年比)および1.5度目標に対応する2050年CO₂排出ゼロを達成するための炭素税率を、静学応用一般均衡(CGE)モデルを用いて推計している。炭素税導入にあたっては、既存エネルギー税と二重課税にならないよう、既存エネルギー税分を減税している。また、炭素税収はすべて家計に還流されると想定している。この研究では、デジタル経済への移行により製造業が減りサービス業主体の産業構造に転換されることや、人口減少や高齢化が進む影響もあり、カーボンプライシングを導入しない場合でも2050年のCO₂排出量は2013年比で61%削減されると想定しており、そこからさらに19%の削減を上積みし80%削減を実現するためには、カーボンプライシングによりCCSおよび追加的な再生可能エネルギーの導入が誘発されると想定した場合、9,700円/t-CO₂の炭素税を導入する必要があるとしている。一方、カーボンプライシングにより誘発されるCCSおよび追加的な再生可能エネルギー導入を想定しない場合には、2050年80%削減実現に必要な炭素税率は30000円/t-CO₂以上に跳ね上がると推計している。また、排出削減をさらに推し進め、2050年排出ゼロを実現するためには、カーボンプライシングによるCCSおよび追加的な再生可能エネルギーの導入を前提として、21,400円/t-CO₂の炭素税導入が必要になると推計している。

4-4. 炭素税の導入に伴う法人税減税による二重の配当効果の企業経営に与える影響分析

炭素税の導入とともに法人税減税という二重の配当効果を営業利益などの金額と比較するため、法人税減税の場合について、2030年と2050年における炭素税に伴う損益の営業利益との比較を分析した。

まず、陸運部門(図4-3-2)については、2030年においては、エネルギー購入費用の増大が、その他損益(売上高の増加に伴う増益)及び法人税減税により相殺されており、特に法人税減税による利益の増大が見込まれたが、2050年においては、炭素税率の増大によりエネルギー購入費用がさらに増大するため、営業利益率はBAUを下回るものの、法人税減税により減少が19%程度に緩和されることが確認された。

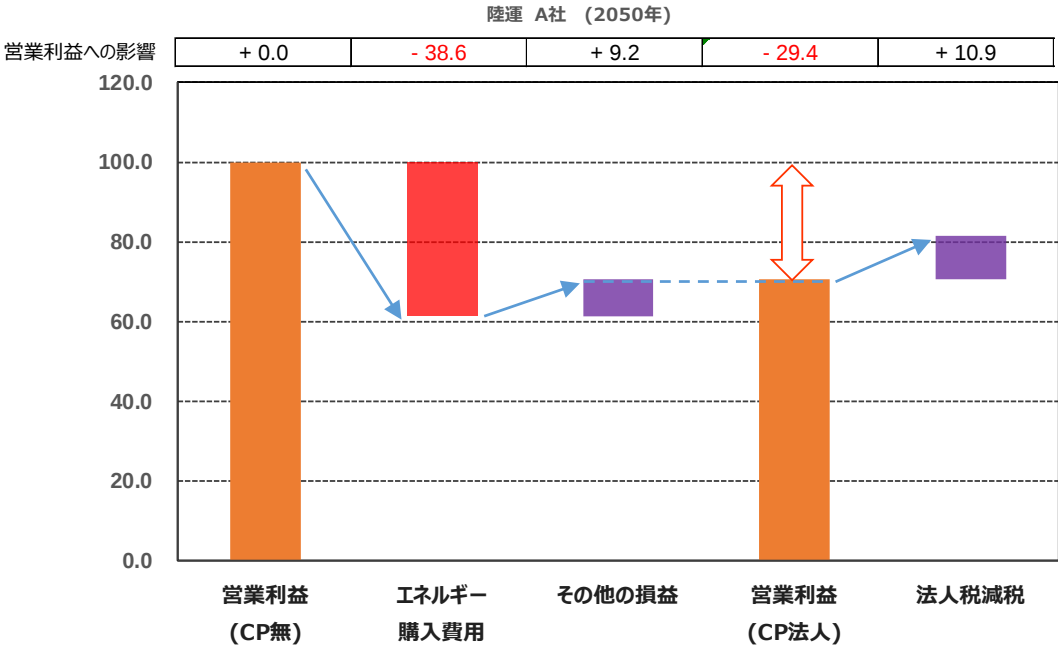
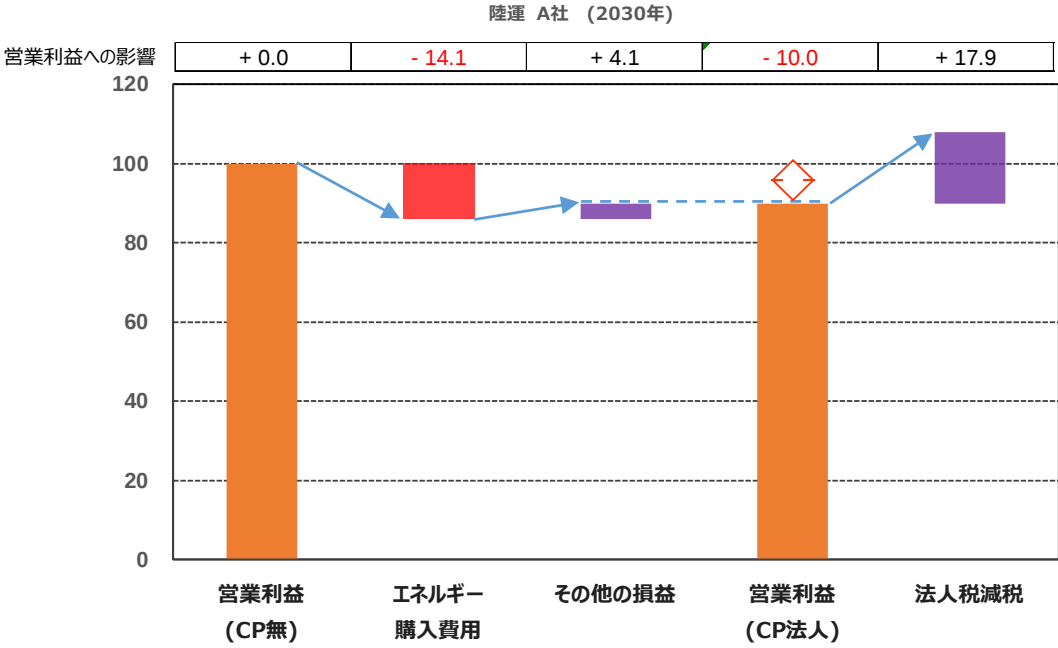


図4-3-2 炭素税に伴う損益の営業利益 (BAU) に対する影響 (陸運)

つぎに、電力部門（図4-3-3）については、2030年においては、エネルギー購入費用の増大が大きく、その他損益（売上高の増加に伴う増益）及び法人税減税によっても利益の減少があまり抑えられないが、2050年においては、CCSの導入により炭素税支払額が減少し、エネルギー購入費用が抑えられるため、率の増大によりエネルギー購入費用がさらに増大するため、営業利益率はBAUを下回るものの、法人税減税により減少が31%程度に緩和されることが確認された。

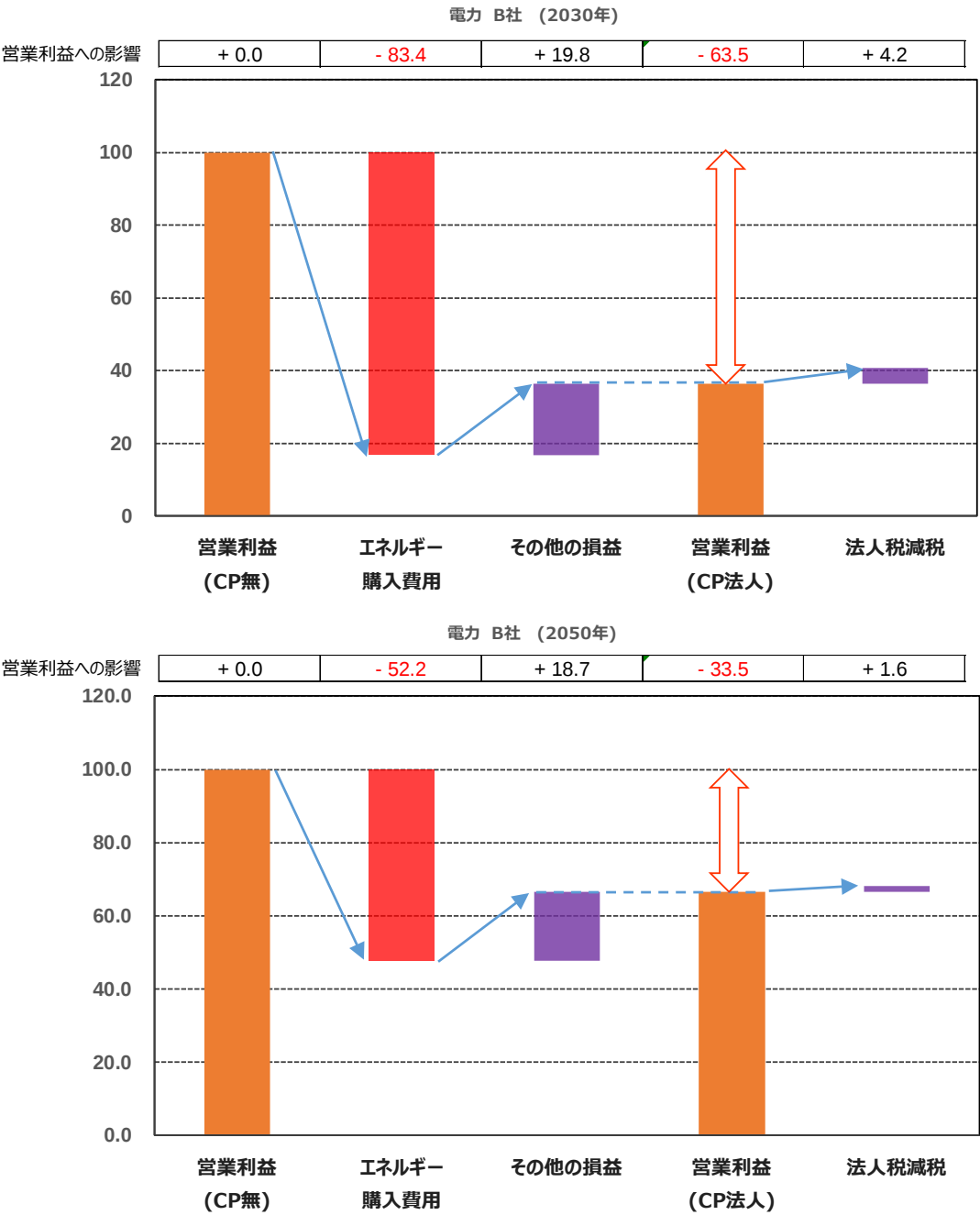


図4-3-3 炭素税に伴う損益の営業利益（BAU）に対する影響（電力）

以上、いずれのケースも炭素税により営業利益率は低下したが、法人税減税による二重の配当効果により営業利益の減少を緩和することが確認でき、法人税減税の営業利益に与える効果は、法人税額の営業利益に対する比率が高いほど大きな効果が確認された。

以上、カーボンプライシングの概念整理を踏まえたうえで、研究計画書で提示したように、先進的カーボンプライシング事例の事後検証を行い、先行事例ではおおむね炭素税により競争力を阻害すること

なく排出が削減された点が明らかになった。EU ETSに関する分析結果では、現時点での価格水準においては、EU ETSにおける炭素価格は競争力を阻害していないと結論付けられていることが明らかになった。脱炭素経路に沿ったカーボンプライシング水準の分析に関するレビューでは、限界削減費用アプローチと脱炭素移行のための政策手段として明示的カーボンプライシングを扱うアプローチでは、推計されるカーボンプライシングの価格水準に違いがみられることが明らかとなった。こうしたカーボンプライシングの事後評価、他のサブテーマの知見を踏まえつつ、炭素税の二重の配当による企業経営に与える影響分析を行った。その結果、炭素税による営業利益への影響を緩和できることが示された。以上より、サブテーマ3は当初計画を全て達成した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、上述の考察に加え炭素税による負担は炭素集約度が高いほど大きいことを考慮すると、炭素税と法人税減税の場合には、法人税額の営業利益に対する比率と炭素集約度の組み合わせで、純負担の大小（減税効果の方が負担より大きく純負担がマイナスとなる場合も含む）が表5-3-1に示すとおりパターン化されると考える。たとえば、本分析では陸運部門のケースは電力部門のケースよりも炭素集約度が低く炭素税による負担が小さいだけではなく、法人税支払額の営業利益に対する割合が大きかったため、法人税減税の利益に対するプラスの効果がより大きく、純負担の差はより大きくなったと考える。本研究は、炭素税による純負担に着目した減免措置を検討する際には、このような視点も炭素税による負担の転嫁能力とあわせて検討すべきという政策的示唆を提示したという科学的意義はある。

表5-3-1 炭素税と法人税減税の場合における営業利益に対する純負担

(CP+法人税減税)による 利益に対する純負担		炭素集約度		
		低	中	高
法人税／営業利益	高	マイナス	小	中
	中	小	中	大
	低			
	(ゼロ)			

(CP+法人税減税)により、営業利益が増大するグループ

陸運部門のケース

電力部門のケース

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

①炭素税の二重の配当に関連して

炭素税の税收を法人税減税にあてることにより、個社レベルの利益に対する炭素税の負担を緩和することが確認でき、炭素税を社会実装するうえでの論点の解消に貢献する。

②排出量取引の全国展開に関連して

炭素税と同様にカーボンプライシングの一種である排出量取引において、追加的な財務的負担を「コスト」として直接受けやすい企業を対象として無償割当などの減免措置を検討する際、従来は直接的な負担の軽減を主な目的として議論する傾向が強いが、本研究のように追加的な財務的負担を、二重の配当による緩和効果を加味した純負担という視点により総合的に分析することによっ

て、減免措置を最小限に抑え、排出量取引の導入効果を大きくすることができる。

③カーボンプライシングの国際競争力に関連して

欧米の先進事例による事後評価研究からは、炭素税の導入による国際競争力への負の影響は検出されていない事例が多いことが分かった。また、炭素税についてカーボンプライシングの財務的負担の企業会計に与える影響を分析したことによって、追加的な財務的負担の増大に伴う国際競争力の減少という問題についても、二重の配当による緩和効果を加味した純負担という視点により総合的に分析することによって、国際競争から保護すべき企業の範囲を最小限に抑え、カーボンプライシングの導入効果を大きくすることができる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 小嶋公史, 浅川賢司: 環境経済・政策研究, 12, 2, 1-8 (2019)
脱炭素社会実現に向けたカーボンプライシング研究の方向性.
- 2) 小嶋公史, 浅川賢司, 李秀澈, 昔宣希: 環境経済・政策研究, 11, 2, 82-86 (2018)
長期低炭素ビジョン実現にむけたグリーン税制改革提案..

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 浅川賢司: 環境経済・政策学会2019年大会, 2019年9月28日~29日, 福島大学(2019)
「炭素税の企業経営に与える影響分析」
- 2) 小嶋公史, 浅川賢司, 昔宣希: 環境経済・政策学会2018年大会, 2018年9月8日~9日, 上智大学 四谷キャンパス(2018)
「カーボンプライシングによる価格効果の事後評価に向けたカーボンプライシングの定義の再検討」
- 3) 浅川賢司: 環境経済・政策学会2018年大会, 2018年9月8日~9日, 上智大学 四谷キャンパス (2018)
「製造業の価格転嫁傾向を考慮した炭素税の激変緩和措置の制度設計のあり方」
- 4) 浅川賢司: 環境経済・政策学会2017年大会, 2017年9月9日~10日, 高知大学 (2017)
「炭素税等の先進事例におけるステークホルダー(家庭/産業部門)への影響を踏まえた制度設計のあり方」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 国民対話シンポジウム「カーボンプライシングの制度オプションの検討」2019年11月7日(木)

14:00~17:00, COREDO日本橋, 「炭素税は企業にとって負担だけなのか？」

- 2) 国民対話シンポジウム「カーボンプライシングとエネルギーマネジメント」2018年10月26日(木)
14:00~17:00, COREDO日本橋, 「カーボンプライシングは一石二鳥？欧米の先進事例より」

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- Arlinghaus, Johanna. (2015). Impacts of carbon prices on indicators of competitiveness. OECD.
- Bataille, C., Sawyer, D., and Melton, N. (2015) Pathways to Deep Decarbonization in Canada, SDSN - IDDRI.
- Criqui, P., Mathy, S., and Hourcade, J.C. (2015) Pathways to Deep Decarbonization in France, SDSN - IDDRI.
- Flues & Lutz 2015, "Competitiveness Impacts of the German Electricity Tax", OECD Environment Working Papers, No. 88, OECD Publishing, Paris.
- IPCC (2018) Global Warming of 1.5° C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5° C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty, Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kesicki, F. and Ekins, P. (2012) "Marginal abatement cost curves: a call for caution," Climate Policy, 12(2), 219-236.
- Lin, Boqiang, and Xuehui Li. "The effect of carbon tax on per capita CO₂ emissions." Energy policy 39.9 (2011): 5137-5146.
- Martin, R., Preux, L.B., and Wagner, U. (2014) The impact of a carbon tax on manufacturing: Evidence from microdata, Journal of Public Economics, 117 (2014) 1-14
- Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., and Schellnhuber, H.J. (2017) "A roadmap for rapid decarbonization," Science, 355(6331), 1269-1271.
- Sugiyama, M., Fujimori, S., Wada, K., Endo, S., Fujii, Y., Komiyama, R., Kato, E., Kurosawa, A., Matsuo, Y., Oshiro, K., Sano, F., and Shiraki, H. (2019) "Japan's long-term climate mitigation policy: Multi-model assessment and sectoral challenges," Energy, 167, 1120-1131.
- 浅川賢司 (2016) 「炭素税等に関する先進事例における政治的プロセス分析と日本における議論の論点構造の分析」環境経済・政策学会2016年大会, 2016年9月10日~11日, 青山学院大学
- 小嶋公史 (2017) 「カーボンプライシングをめぐる概念整理：建設的なカーボンプライシング議論に向けて」『クライメートエッジ』第27号, 11-15頁.
- 小嶋公史・浅川賢司・李秀澈・Unnada Chewpreecha・昔宣希 (2018) 「長期低炭素ビジョン実現にむけたグリーン税制改革提案」『環境経済・政策研究』第11巻第2号, 82-86頁.
- 小林辰男・田原健吾・川崎泰史・落合勝昭・鈴木達治郎・小林光・猿山純夫・岩田一政 (2019) 「デジタル経済への移行, 温暖化ガスは6割減——2050年8割削減には1万円の環境税」『日本経済研究センター報告』2019年5月7日.

Ⅱ－４ 環境税改革の経済分析

京都産業大学経済学部

武田史郎

平成29(開始年度)～令和元年度研究経費(累計額)：4,934千円(研究経費は間接経費を含む)
(平成29年度：1,856千円、平成30年度：1,516千円、令和元年度：1,562千円)

〔要旨〕

日本は今後大幅にCO₂を削減していく必要がある。実際、2050年までにCO₂排出量を80%削減するという目標を持っている。しかし、その削減を具体的にどのような政策手段によって実現していくかは今後の課題になっている。CO₂の排出規制は経済的負担を伴う可能性が高いことから、経済的な負担をできる限り抑えるような政策手段が望ましい。そのためには、どのような政策を用いるとどのような経済的な負担が生じるかを定量的に明らかにする分析が必要になる。

本研究は、応用一般均衡モデルによるシミュレーションを用いて、炭素税という政策手段によって2050年までにCO₂を80%削減するという政策が日本経済にどのような影響をもたらすかを定量的に分析した研究である。炭素税の導入方法としては特にその用途について複数のシナリオ(環境税制改革のシナリオ)を考慮した。

本研究の分析により得られた結果は次のようにまとめられる。まず、純粋な炭素税より環境税制改革という形の政策の方が望ましい経済的な影響をもたらすことが多いということがわかった。よって、政策としては純粋な炭素税ではなく、環境税制改革という形でCO₂削減を検討することが望ましいと言える。ただし、環境税制改革といっても、その中身によって効果がかなり異なってくることも明らかになったため、単に環境税制改革をするべきかというだけではなく、どのような環境税制改革をするべきかを慎重に検討する必要がある。

また、どの変数を政策評価の基準とするかで結果が大きく変わるということもわかった。例えば、GDPを基準にすると法人税減税が望ましいが、期間効用や生涯効用という変数を基準にすると消費税減税が望ましく、法人税減税はむしろ望ましくない。このように基準によって望ましい政策も変わるため、政策の決定においてどの変数を重視するべきかも重要である。

〔キーワード〕

炭素税、経済モデル、応用一般均衡モデル、二重の配当、環境税制改革

1. はじめに

日本は2050年までに温室効果ガス(greenhouse gases、GHG)を80%削減し、2050年以降の早い段階で排出量を実質的にゼロにすることを目標としている。このように、削減量については明確な目標を既に持っているが、それをどのように達成するかについてはまだ明確な決定がなされておらず、今後検討すべき課題となっている。GHGを削減するといっても多様な手段があり、どのような手段を用いるかによって、その経済的な影響が大きく変わる可能性がある。GHGの削減には様々な追加的費用がかかるため、GHGの削減は通常経済的な負担を生む。その経済的な負担を理由に、積極的な温暖化対策に取り組むことに反対する意見も少なくない。したがって、今後大幅なGHG削減を実現していくのであれば、できる限り経済的な負担が小さい政策手法を用いることが望ましい。

本研究は、経済モデルによるシミュレーションを用いて、温暖化対策がどのような経済的影響をもたらすかを定量的に分析する研究である。2050年までに80%を削減するという政策が経済活動にどのような影響を与えるのか、また、どのような政策手段を使えば経済的な負担が最も小さくなるのかということ进行分析することが主な目的である。本研究では特に環境税制改革という形式の温暖化対策を分析する。

環境税制改革とは、GHGの排出規制の導入とともに、既存の税制を変更するような政策をいう。GHGの排出規制の手段としては、炭素税や（オークション方式による）排出量取引制度のように政府に新たな収入をもたらす方法がある。新たな収入が生じることで、政府は総税収を一定に保ちながら、他の税を減税することができる。このように炭素税などの導入にともない既存の税を減税し、税体系を改革する政策が環境税制改革である。

環境税制改革という手法は、「二重の配当」をもたらす可能性があることから多くの研究がおこなわれてきた^{1), 2)}。GHGの排出規制を導入すれば、それは温暖化の防止につながり、環境に望ましい効果をもたらす。これを「第一の配当」という。さらに環境税制改革では、既存の税を減税するという政策をとる。所得税、法人税、消費税などの既存の税は経済活動を抑制する効果を持っていると言われる。例えば、所得税は労働者の勤労意欲を低下させ、労働供給を減少させる。法人税は企業の利益への課税であり、投資を減少させる効果を持つ。消費税は名前の通り、消費を抑制する効果を持つ。したがって、このような税を減税することは経済活動を活発化し、経済成長を促すことにつながる。もし減税によるプラスの効果が、排出規制がもたらすマイナスの経済効果を相殺するほど大きければ、経済的には全体としてプラスの効果が働くことになる。これを「第二の配当」と呼ぶ。第二の配当が実現できるのであれば、排出規制は環境を改善するだけでなく、経済的にもプラスの便益をもたらすことになる。これが「二重の配当」の考え方である。

二重の配当が生じるかどうかは経済の状況、排出規制の性質などに依存しており、環境税制改革をおこなったとしても必ず二重の配当が生じるわけではない。しかし、もし二重の配当を実現できるのであれば、経済的な負担をもたらさず（あるいは、経済的な負担を小さくした形で）排出規制を導入することができるということになる。これは温暖化対策を積極的に進めることに対する強いサポートになる。このため、「二重の配当仮説」について多数の研究がおこなわれることとなった。二重の配当という考え方が最初に注目された当初は理論的な研究が多かったが、その後、各国における現実の排出規制において二重の配当が生じる可能性があるかどうかを分析する実証的な研究も増加した。後者の分析の多くは応用一般均衡モデル（computable general equilibrium model、CGEモデル）によるシミュレーションを用いておこなわれたものである。これまで、多くの国を対象として環境税制改革の二重の配当の分析がおこなわれており、Freire-Gonzálezによるサーベイがその結果をまとめている³⁾。Freire-Gonzálezのサーベイによると、これまでの研究からは次のようなことが言える。

- 多くの分析において二重の配当が生じるという結果が導かれており、二重の配当の可能性は小さくはない。
- ただし、二重の配当の可能性について単純な傾向が存在するわけではなく、どのようなタイプの環境税制改革であれば二重の配当が生じる可能性が高いというようなことは言えない。

二つめの結論は、ある国のある環境税制改革において二重の配当が生じるかどうかは、それを分析するためのCGEモデルを構築し、実際に分析してみなければわからないということを意味する。日本に関してCO₂の排出規制の二重の配当を分析した研究は少ないので、本研究では現在の日本の削減目標である2050年までに80%の削減という目標を前提とし、それを環境税制改革という形で達成しようとした場合の二重の配当の可能性について分析する。

2. 研究開発目的

本研究では、環境税制改革の経済的影響を定量的に分析し、二重の配当の観点から、いずれの環境税制改革が有効かを明らかにする。今後の2050年までの政策を分析するため、経済モデルを用いたシミュレーション分析を用いる。シミュレーションのための経済モデルとしては様々なタイプのモデルがあるが、本研究ではCGEモデルを利用する。CGEモデルは以下のような特徴を持つ⁴⁾。

- 1) 特定の財（部門）ではなく、複数の財、生産要素を想定し、経済全体を包括的に捉えようとする。
- 2) ミクロ経済学で利用される一般均衡モデルをベースにしており、ミクロ経済学のモデルと同様に、

経済主体の最適化行動を仮定する。

3) 通常、価格が伸縮的で市場が均衡することを仮定する。

1つの目の特徴により、CGEモデルを用いることで、ある政策が個々の財、生産要素、産業、家計に対してもたらす影響を分析することができることに加え、その個々の経済主体への影響の結果として、経済全体（例えば、GDP、国民所得、雇用量など）にどのような影響が生じるかも分析できる。

また、複数の財や部門を考慮できるという点は温暖化対策の分析をおこなう際には非常に大きな利点となる。CO₂は主に化石燃料の利用から排出されるため、温暖化対策ではエネルギーを詳細に捉える必要があるが、CGEモデルであれば多様なエネルギーを細かく分割した形で扱うことができるからである。実際、本研究のCGEモデルではエネルギー財・部門が非常に細かく分割されており、化石燃料、再生可能エネルギー、原子力など多様なエネルギーを扱っている。

CGEモデルは以上のようなメリットを持つが、デメリットもある。CGEモデルは基本的には完全競争市場を仮定するので、規模の経済性や不完全競争といった現代の産業において重要となっている要素を考慮することは難しい。また、経済に含まれる全ての産業を同時に捉えるモデルであることは同時に個々の部門や経済主体についてはかなり単純化して扱うということを意味するので、個々の部門や経済主体の観点からはかなり分析が粗くなってしまうという問題もある。このように問題点、限界はあるが、温暖化対策をシミュレーションで分析するためのモデルとして世界的に幅広く用いられている。代表的なCGEモデルには例えば、MITによるEPPAモデル、OECDによるENV-Linkagesモデルなどがある^{5), 6)}。

はじめに述べたように、本研究では環境税制改革の分析をおこなう。環境税制改革は、炭素税によってCO₂の削減をおこなうのと同時に炭素税の収入を用いて、経済の既存の税を減税するという政策であった。このような政策を分析するには次の二つの機能を有するモデルが必要になる。

1) CO₂の削減の経済的影響を捉えることが可能なモデル

2) 既存の税を捉えるモデル

まず、1についてであるが、本研究では2050年までのCO₂削減策を分析し、パリ協定の遵守を目指して有効な環境税制改革を提示する。よって、長期における経済活動を描写するとともに、長期的なCO₂削減の効果を分析可能な動学モデルを用いる必要がある。CO₂は化石燃料から排出されることから、化石燃料を詳細に捉えると同時に、化石燃料に代わるエネルギーも考慮する必要がある。また、長期の分析をおこなうことから、省エネルギー技術、脱炭素技術の動向が重要になる。本研究のモデルでは再生可能エネルギーとともに、温暖化対策として重要な位置づけにある「炭素回収・貯留 (CCS)」活動も考慮する。

次に2であるが、これは環境税制改革が既存の税の減税という政策を含むために必要になる。二重の配当が生じるかどうかは、既存の税の減税がどれだけプラスの効果を持つにかかっている。よって、既存の税を税に組み込み、そのマイナス面の効果を適切に捉えることが必要になる。

はじめに述べたように、環境税制改革による二重の配当については多くの研究がおこなわれている。しかし、日本を対象とした分析はあまり多くない。比較的新しい研究としてはTakeda (2007) による研究とLee et al. (2015)による研究がある^{7), 8)}。Takeda (2007)は動学的なCGEモデルを用いて、日本の環境税制改革を分析している。環境税制改革としては、炭素税の導入に対し、労働課税、資本課税、消費税を軽減するというシナリオをとりあげ、資本課税の減税をおこなうというシナリオで二重の配当が生じるという結果を導いている。Lee et al. (2015)はCambridge EconometricsによるE3MEというマクロ計量モデルを用いて、やはり二重の配当を分析し、炭素税の導入にともない消費税を減税することで二重の配当が生じることを示している。

これらの分析は日本の環境税制改革を考えるにあたり有用な情報を提供してくれるが、問題点もある。まず、Takeda (2017)はシミュレーションの基準データに1995年のデータというかなり古いデータを用いている。また、2100年までをカバーするモデルで、CO₂の削減シナリオも2100年までを分析しているが、その削減のシナリオが現時点で予定されている削減計画よりもかなり緩いシナリオとなっている。具体的には、現在の日本は2050年までに80%の排出削減をし、2000年代後半には実質的に排出量をゼロにするという目標を掲げているが、Takeda (2007)では最も削減率が高いシナリオであっても95年レベルを

維持するというシナリオであり、80%削減というシナリオより大幅に削減率は小さい。また、Takeda (2007) では再生可能エネルギーやCCS活動が考慮されていないという問題もある。一方、Lee et al (2015) については、日本においても重要な位置を占めている法人税（資本課税）の減税を分析していないという問題がある。

本研究は以上のような先行研究の問題点を改善しながら、今後のCO₂削減策の分析をおこない、有効な環境税制改革を提示する。具体的には以下のようなアプローチで分析をおこなう。まず、CGEモデルのモデルとしてはTakeda (2007) のモデルをベースにしている。日本一国を対象とし、2050年までをカバーする動学モデルである。本研究のモデルの大きな特徴は、forward-looking型の動学モデルという点である。温暖化対策で利用されるCGEモデルには動学モデルが多いが、そのほとんどは逐次動学モデルというタイプのモデルである。これは静学的、あるいは近視眼的なモデルを繰り返し解くことで、経済の時間的な変遷を描写するようなモデルである。このタイプのモデルはモデルを解きやすく、扱いやすいという利点があることから多くの分析で用いられている。例えば、MITのEPPAモデル、OECDのENV-Linkagesモデルも逐次動学モデルを利用している。このタイプのモデルでは投資の決定が現在、あるいは過去の情報のみに依存するという仕組みになっている。

一方、forward-looking型とはマクロ経済学で通常利用されているようなモデルのことであり、この種のモデルでは将来を見据えた経済主体が動学的な最適化に基づいて行動（消費、投資など）を決定する。動学的な最適化行動をベースにしていることから、投資も将来の経済状態を反映して決定されることになる。

このforward-looking型のタイプを利用する理由は、資本課税を適切に考慮したいためである。経済学のモデルでは資本課税（法人の利益、配当、利子、キャピタルゲインなどへの課税）は主に投資からの収益に対する税として扱われる。現在投資をおこなうことで将来得られる収益に対する課税ということなので、その資本課税の効果を適切に捉えるにはforward-looking型のモデルが必要になる。

本研究では環境税制改革を分析するが、減税する税としては、企業による「社会保障負担」、「所得税」、「法人税」、「消費税」の4つを考慮している。企業による社会保障負担は厳密には税金ではないが、労働コストを上昇させるという意味では労働に対する課税とほぼ同じであるので、ここでも取り上げる。実際、企業による社会保障負担の支払額は（産業連関表のデータに従えば）金額として20兆円を超える額であり、むしろ税金よりも規模が大きい。残りの3つは日本を代表する税であるので全て分析の対象とする。炭素税の導入にともない、既存の税を減税しないケース、減税するケースでどう影響が異なるのか、また減税するケースではどの税の場合に最も望ましい結果となるのかを分析し明示する。

3. 研究開発方法

3.1. モデルの説明

ここでは分析に用いるモデル、データ、シナリオについて説明する。モデルはTakeda (2007) をベースにした動学的なCGEモデルである。日本一国を対象としたモデルであり、表3.4.1のような47財、39部門のモデルである。

表 3.4.1 : 財と部門の分類

財	説明	部門	説明
1 agr	農林水産業	1 agr	農林水産業
2 min	鉱業(化石燃料以外)	2 min	鉱業(化石燃料以外)
3 coa	石炭	3 f_f	鉱業(化石燃料)
4 oil	原油		
5 gas	天然ガス		
6 foo	食料品	4 foo	食料品
7 txt	繊維製品	5 txt	繊維製品
8 ppp	パルプ・紙・木製品	6 ppp	パルプ・紙・木製品
9 chm	化学製品	7 chm	化学製品
10 gso	ガソリン	8 pet	石油製品
11 jet	ジェット燃料油		
12 ker	灯油		
13 loi	軽油		
14 hoi	重油		
15 nap	ナフサ		
16 lpg	液化石油ガス(LPG)		
17 opp	その他の石油製品		
18 cok	コークス	9 cop	石炭製品
19 cop	その他の石炭製品		
20 csc	窯業・土石製品	10 csc	窯業・土石製品
21 cem	セメント	11 cem	セメント
22 i_s	鉄鋼	12 i_s	鉄鋼
23 nfm	非鉄金属	13 nfm	非鉄金属
24 met	金属製品	14 met	金属製品
25 gma	一般機械	15 gma	一般機械
26 ema	電気機械	16 ema	電気機械
27 teq	輸送機械	17 teq	輸送機械
28 oma	その他の製造工業製品	18 oma	その他の製造工業製品
29 con	建設	19 con	建設
30 ely	電力	20 e_f	事業用火力発電
		21 e_n	事業用原子力発電
		22 e_h	水力・その他の事業用発電
31 g_h	ガス・熱供給	23 g_h	ガス・熱供給
32 wwm	水道	24 wwm	水道
33 com	商業	25 com	商業
34 fin	金融・保険	26 fin	金融・保険
35 res	不動産	27 res	不動産
36 rai	鉄道輸送	28 rai	鉄道輸送
37 r_p	道路旅客輸送	29 r_p	道路旅客輸送
38 r_f	道路貨物輸送	30 r_f	道路貨物輸送
39 wat	水運	31 wat	水運
40 air	航空輸送	32 air	航空輸送
41 otr	運輸付帯サービス	33 otr	運輸付帯サービス
42 c_b	情報通信	34 c_b	通信・放送
43 e_r	教育・研究	35 e_r	教育・研究
44 mhs	医療・保険・社会保障・介護	36 mhs	医療・保険・社会保障・介護
45 bus	対事業所サービス	37 bus	対事業所サービス
46 per	対個人サービス	38 per	対個人サービス
47 ggo	政府サービス	39 ggo	政府サービス

基本的には一つの部門が一種類の財を生産・供給する。ただし、一部の部門は複数の財を生産し、逆に一部の財は複数の部門によって生産される。例えば、「石油製品」部門は「ガソリン」、「ジェット燃料油」など複数の財を生産している。また、「電力」という財は「火力発電」、「原子力発電」など複数の部門によって生産されている。

生産部門についてはオーソドックスなCGEモデルでよく利用される想定をそのまま用いており、全ての市場は完全競争で、各部門は規模に関して収穫一定の技術を用いて生産をしていると仮定する。利潤最大化行動を仮定し、各部門は自らの利潤を最大化するように、生産量と中間財、生産要素の投入量を決定する。生産要素は労働、資本に加え、一部の部門では資源、土地を用いる。

生産はCES (constant elasticity of substitution) 型の生産関数に従っておこなわれる。生産関数

の形については、主にMITのEPPAモデル（Chen et al. 2015）を参考に設定し、部門によって生産関数をいくつかのタイプに分けている。生産された財は輸出されるか国内に供給される。輸出向けと国内向けの配分はCET（constant elasticity of transformation）型関数に従って行われると仮定している。

需要サイドを表現するために、一つの代表的家計が存在していると仮定している。この代表的家計は生産要素を生産部門に提供することで所得を得て、それを消費、貯蓄に支出している。この代表的家計のある時点 t における効用、つまり期間効用（period utility）は次のような式で与えられるとする。

$$u_t = \left[\alpha^c c_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \alpha^l l_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

ただし、 c_t は消費、 l_t は余暇である。期間効用は消費と余暇に依存しているということである。消費はさらに各消費財のCES関数によって決まってくる。この期間効用を使うと、生涯効用を以下のように定義できる。

$$u^{LT} = \left[\sum_{t=0}^L \beta_t u_t^{\frac{\sigma^L-1}{\sigma^L}} \right]^{\frac{\sigma^L}{\sigma^L-1}}$$

家計はこの生涯効用を最大化するように、消費、余暇、貯蓄を決定する。「余暇＝利用可能時間－労働時間」という関係があるので、余暇を決めるということは同時に労働供給を決めるということを意味している。よって、このモデルでは労働供給量が内生的に変化することになる。

日本一国を対象としたモデルであるが、海外との貿易は存在している。本研究では、「小国」の仮定を採用し、一定の交易条件のもとで輸出、輸入がおこなわれ、貿易収支が一定に保たれるように為替レートが調整されるという想定を置いている。利用するデータでは、同じ財が輸出も輸入もされているというクロスホーリングが観察される。これを説明するため、多くのCGEモデルと同様に、輸入された財（輸入財）と国内で生産された財（国内財）は同じ財であっても不完全代替とみなすという「アーミントン仮定」を採用する⁹⁾。

モデルはforward-looking型の動学モデルであるので、家計の動学的な最適化行動により投資が決定され、資本が蓄積される。投資は家計の貯蓄によってファイナンスされる。通常、1年を1期として扱うことが多いが、forward-looking型モデルでは全期間を同時に解くことになるので、1年1期では変数の数が非常に多くなり、モデルが解きにくくなる。そこで、モデルの変数を削減するため、一期間5年とし、5年おきにモデルを解くというアプローチを採用している。ただし、データの基準年を2011年としているため、最初の期間のみ4年とし、2011年、2015年、2020年、．．．2050年という形にしている。

政府は様々な税金を徴収するとともに、政府消費をおこなっている。モデルでは所得税、法人税、消費税、関税、生産物に課される税を考慮している。さらに、厳密には税ではないが、税と同じような効果を持つものとして、企業から社会保障負担を徴収している。また、排出規制は炭素税という形式をとるので、排出規制が導入されたのちは炭素税を徴収することとなる。

モデルでは「火力発電」、「原子力発電」、「水力発電」などの従来型の発電に加え、再生可能エネルギーによる発電も考慮している。再生可能エネルギーによる発電も他の発電部門と同様に一定の生産関数に従っておこなわれる。再生可能エネルギーによる発電は火力発電とは異なり、化石燃料の投入がないためCO₂の排出がない。ただし、従来型の発電と比較し、相対的にコストが高いという設定にしているため、最初の時点ではその発電量は多くない。排出規制が導入され電力価格が上昇するのとともに採算が合うようになり供給が増えていくという想定になっている。

本研究では日本のCO₂削減政策を分析するが、そのための規制手法としては既に述べたように炭素税を

想定する。つまり、企業、家計による化石燃料の利用に対して、そのCO₂排出量に応じて税金をかけるという政策である。税率の設定が重要となるが、ここではターゲットとなるCO₂排出量を設定し、その排出量まで削減が進むように税率を決定するという方法をとる。つまり、炭素税率を外生的に決定するのではなく、CO₂排出量を外生的に設定し、その排出量が実現されるように炭素税率を決定するという方法である。炭素税を導入することで政府には税収が生じる。税収の利用についてはまた後ほど説明する。

2050年までの長期を分析するため、脱炭素技術の動向が重要になる。特にCCSはその注目度が高く、2050年までの大幅なCO₂の削減には不可欠と言われている。本研究のモデルでもCCS活動を考慮する。CCSは本来、鉄鋼の生産、石炭火力発電などのCO₂の大量排出活動と関連した形でおこなわれるものであるが、本研究では独立した活動として扱っている。他の生産部門と同じように、生産要素と中間財を利用して、生産関数に従って、CO₂を回収・貯留するサービスを提供するという形でモデルに取り込んでいる。ただし、CCSは費用が高いので、炭素税率が上昇するにつれて、CCS活動が内生的に増加していくという形にしている。CCSの費用については1トンあたり10,000円を想定している。CCS活動の存在により、「ネットのCO₂の排出量＝グロスの排出量－CCSの量」という関係が生じる。

3.2. データの説明

CGE分析ではある年のデータをベンチマークデータとして利用する。本研究では日本の産業連関表（2011年度産業連関表）を主なベンチマークデータとして利用している¹⁰⁾。総務省の産業連関用表を表1の部門・財の分類になるように統合して利用している。また、CO₂データについては、やはり2011年の3EIDデータのCO₂データを用いている¹¹⁾。後に税金のデータについては、『財政金融統計月報第722号』のデータを用いている¹²⁾。

3.3. シナリオの説明

表3.4.2：シミュレーションのシナリオ

シナリオ名	説明
BAU	レファレンスケース
LMP	一括の還元
SSC	社会保障負担の削減
INC	所得税の減税
COR	法人税の減税
CON	消費税の減税

シミュレーションでは表3.4.2の6つのシナリオを想定する。まず、BAUは基準となるシナリオであり、このシナリオでは明示的な排出規制（炭素税）は導入しない。このBAUシナリオでの均衡がInternational Energy Agency（IEA）のWorld Energy Outlook 2018の想定する状況に近くなるようにモデルの設定をおこなっている¹³⁾。具体的には、BAUシナリオから導出される日本のGDPとCO₂排出量がWorld Energy Outlookのcurrent policies scenarioにおけるGDPとCO₂排出量に近い値になるようにTotal Factor Productivity (TFP) 成長率とAutonomous Energy Efficiency Improvement (AEEI) の率を調整している。

その他の5つのシナリオでは2050年までに（ネットの）CO₂排出量を80%削減するという炭素税を導入する。「80%」という率は2020年時点での排出量を基準とした値とする。例えば、2020年時点の排出量が8億トンであるなら、2050年までに（ネットの）排出量を1.6億トンまで削減することになる。

LMPは炭素税収をそのまま一括で家計に還元してしまうというシナリオである。既存の税の税率は全く変化させないため、これは純粋な炭素税を想定したシナリオと言える。その他の4つのシナリオでは、炭素税収入の分だけ既存の税を軽減するという環境税制改革を想定する。まず、SSCでは企業の社会保障

負担の支払を削減する。企業の社会保障負担は厳密には税ではないが、雇用に関するコストを上昇させるという意味で労働に対する税と同じような効果を持っている。社会保障負担が軽減されることで、企業にとっての雇用のコストが低下し、より多くの労働を雇用することにつながる。

二つ目のINCは所得税を減税するというシナリオである。このモデルにおける所得税は主に家計の労働所得に対する税となっている。従って、効果としては社会保障負担の支払いと同じような効果を持っている。所得税が減税されることで、相対的に余暇の価値が下がり、家計の労働意欲が上昇するため、労働供給が増加する。それは生産を増加させ、経済にとってはプラスの効果をもたらす。

CORは法人税の減税のシナリオである。このモデルでは法人税は資本からの収益に対する税として組み込まれているため、投資を抑制する効果を持っている。法人税の減税をおこなうことで投資が促進され、それは資本ストックの増加を通じて、生産を増加させる効果を持つ。最後のCONは消費税を減税するシナリオである。日本では既に消費税が主要な税となっており、さらに2019年10月からは10%（軽減税率は8%）に増税されることとなった。消費税の減税をすることで消費を活性化し、生産を刺激する効果がある。

分析は主にBAUシナリオとの比較という形でおこなう。つまり、炭素税の導入によって経済がBAUシナリオの状態からどれだけ変化するかということをシミュレーションによってチェックする。

3.4. 二重の配当の基準

環境税制改革によって二重の配当が生じるかどうかは多くの研究によって分析されてきた。分析の結果は多様であり、二重の配当が生じるという結果もあれば、生じないという結果もある。結果が多様であることの一つの原因は二重の配当が生じているかどうかを判断する基準が研究によって異なっていることにある。

二重の配当の理論的な分析では、（代表的家計の）効用を基準にしていることが多いが、雇用量を基準にするものもある。また、CGE分析などのシミュレーションではGDPや所得を基準にしていることも多い。さらに、動学的なモデルについては効用といっても一時点の効用（期間効用）ではなく、期間全体の期間効用から計算される生涯効用を利用している場合もある。

これらの変数は当然異なる動き方をするため、どの変数を基準にするかで二重の配当の有無も変わってくる。理論的な観点からは効用を基準として用いることが重要かもしれないが、効用は直接観察可能な変数ではないことから、現実の政策の評価基準としてはほとんど用いられていない。どの基準にも一長一短があることから、本研究では複数の変数を判断の基準として用いることにする。具体的には、GDP（国内総生産）、国民所得、（代表的家計の）期間効用、生涯効用の4つを用いる。

また、二重の配当については、「強い二重の配当（strong double dividend）」と「弱い二重の配当（weak double dividend）」の二つの考え方がある¹⁴⁾。前者は環境税制改革をおこなう（つまり、炭素税の導入に伴い既存の税を減税する）ことで、プラスの影響が生じる状況を指す。例えば、GDPを基準にすると、環境税制改革によりGDPが増加するというケースである。一方、弱い二重の配当は環境税制改革はマイナスの効果をもたらすが、炭素税収入を一括で家計に還元してしまうよりは望ましい状況を指す。強い二重の配当の方が望ましいが、弱い二重の配当しか生じないとしても、環境税制改革という形式のCO₂削減策が望ましいということになる。

4. 結果及び考察

以下に示すように、サブテーマ4では、研究計画書で示した目標について、負担の軽減措置の分析を除いて、達成した。

この節で分析結果を説明する。まず、BAUシナリオの結果を説明し、その後、その他のシナリオでの結果を説明する。

4.1. BAU均衡の状況

表4.4.3はBAUシナリオにおけるGDPとCO₂排出量を掲載している。BAUシナリオでは、GDPは徐々に増加し、2050年ではおよそ700兆円という水準に達する。これは年率0.7%～0.8%程度で成長していくということを意味する。一方、CO₂排出量は徐々に減少し、2050年には約830 MtCO₂となる。BAUシナリオでは明示的な排出規制（炭素税）の導入がないにもかかわらずCO₂排出量が減少するのは、主にエネルギー効率の上昇と再生可能エネルギー利用の拡大のためである。

図4.1.1はBAUシナリオにおける発電量と電源構成の推移を表している。BAUシナリオでは発電量自体は長期的には減少する。さらに、火力発電がかなり減少し、再生可能エネルギーが増加することになる。これが上記のようにCO₂が減少する一つの理由である。表4.4.4はBAUシナリオにおける税収（後に削減をおこなう税）の推移を表している。消費税を除き、どの税についても税率は基準年の値から変わらないと仮定しているが（消費税は2020年以降は10%と想定）、BAUではGDPが上昇していくという想定をすることもあり、税収は増加していく。以上のようなBAUシナリオの状況に対し、80%削減のための炭素税を導入することで、経済にどのような影響が出るかを以下で確認する。

表4.4.3：BAUシナリオでのGDPとCO₂排出量

	GDP（兆円）	CO ₂ （MtCO ₂ ）	GDP変化率 （年率、%）	CO ₂ 変化率 （年率、%）
2020	561.4	997	0.6	-1.7
2025	581.9	961	0.7	-0.7
2030	599.7	925	0.6	-0.8
2035	622.0	894	0.7	-0.7
2040	646.1	869	0.8	-0.6
2045	671.7	849	0.8	-0.5
2050	698.2	834	0.8	-0.4

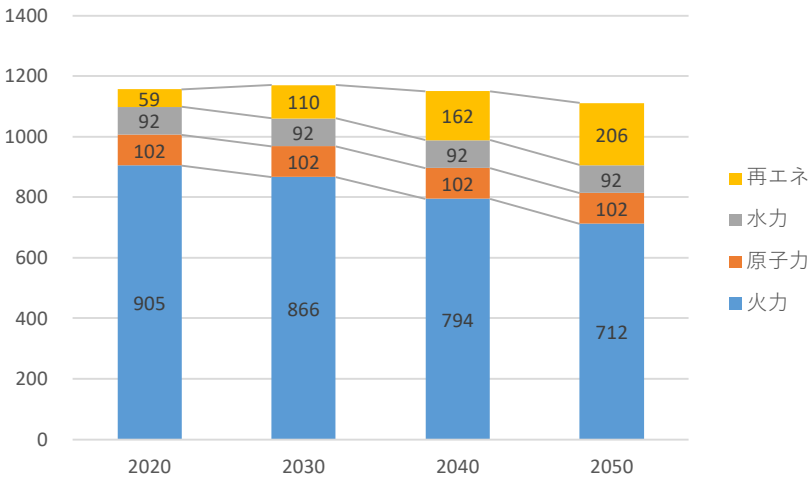


図4.1.1：BAUシナリオでの発電量と電源構成（TWh）

表4. 4. 4 : BAUシナリオにおける税収の推移 (10億円)

	社会保障雇主負担	所得税	法人税	消費税
2020	26,521	13,841	10,033	6,321
2025	27,455	14,363	10,598	6,587
2030	28,277	14,816	10,956	6,788
2035	29,300	15,383	11,482	7,081
2040	30,420	16,003	12,017	7,404
2045	31,607	16,659	12,567	7,755
2050	32,830	17,336	13,135	8,129

4. 2. 排出規制の効果

それでは以下で排出規制の導入の効果を見る。表4. 4. 5は各シナリオにおける2030年時点と2050年時点での、CO₂排出量（グロスとネット、MtCO₂）、CCSの量（MtCO₂）、炭素税率（円/トン）を掲載している。BAUシナリオではネットのCO₂排出量は2030年時点、2050年時点で、それぞれ9億2,520万トン、8億3,360万トンであるが、排出規制を導入したシナリオではそれぞれ6億5,210万トン、2億1,740万トンまで削減される。2050年時点で80%削減というのは2020年を基準とした値であるので、80%削減されているわけではないが、大幅に削減されることになる。また、これはあくまでネットのCO₂排出量であり、CCS活動の存在によりグロスの排出量はそこまで減少しているわけではない。CCSは2030年時点ではほとんどおこなわれていないが、2050年時点ではどのシナリオでも上限に設定している1億8,000万トン分おこなわれるという結果になっており、そのため、グロスの排出量はネットの排出量よりも1億8,000万トン分多い、3億9,740万トンである。

このような大幅な削減は炭素税の導入によって実現しているが、そのために必要な炭素税率は2030年時点ではおよそ15,000円、2050年時点ではおよそ60,000円である。80%の削減を実現するには、かなり高い炭素税率が必要になるという結果となっている。

表4. 4. 5 : CO₂排出量と炭素税率

		BAU	LMP	SSC	INC	COR	CNT
2030	CO ₂ (グロス、MtCO ₂)	925.2	652.1	652.4	652.5	657.8	652.9
	CO ₂ (ネット、MtCO ₂)	925.2	652.1	652.1	652.1	652.1	652.1
	CCS (MtCO ₂)	0.0	0.0	0.3	0.4	5.7	0.8
	炭素税率 (円/トン)	0	15,054	15,489	15,463	15,230	15,698
2050	CO ₂ (グロス、MtCO ₂)	833.6	397.4	397.4	397.4	397.4	397.4
	CO ₂ (ネット、MtCO ₂)	833.6	217.4	217.4	217.4	217.4	217.4
	CCS (MtCO ₂)	0.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0
	炭素税率 (円/トン)	0	60,140	61,411	61,385	62,307	61,210

表4. 4. 6は各シナリオにおける2050年時点での電源別の発電量（TWh）と電力料金（円/kWh）の値を掲載している。BAUシナリオでは発電量は2050年時点で1,111TWh（=1兆1,110億kWh）まで増加するが、CO₂削減シナリオではおよそ952TWhにとどまる。この発電量は炭素税の用途を変更しても、つまり環境税制改革か否かではほとんど変わらない。電力料金はBAUシナリオではおよそ21円だが、CO₂削減シナリオでは炭素税の導入により大幅に上昇し、およそ28円となる。BAUシナリオでも再エネによる発電は2050年時点ではかなり増加するが、CO₂削減シナリオではさらに再エネによる発電量が増加する。

表4.4.6：2050年時点での発電構成（TWh）と電力料金（円/kWh）

	火力	原子力	水力	再エネ	合計	電力料金
BAU	712	102	92	206	1,111	20.8
LMP	535	102	92	223	951	27.9
SSC	535	102	92	223	952	28.3
INC	535	102	92	224	952	28.3
COR	534	102	92	224	952	28.6
CNT	535	102	92	223	952	28.4

表4.4.7はマクロ経済に対する影響をまとめている。全てBAUシナリオの値からの変化率の値であり、GDP、国民所得、期間効用については2030年と2050年時点での値である。生涯効用は全ての期間から1つの値しか計算できないので、全体としての値となる。

まず、2030年時点を確認しよう。2030年時点ではLMPではGDP、国民所得、期間効用の全てBAUよりは減少する。CO₂を大幅に削減しているのでこれは当然の結果と言える。一方、環境税制改革のシナリオではGDPや国民所得が増加しているケースがある。例えば、CORシナリオのGDP、国民所得、CONシナリオの国民所得である。これは「強い二重の配当」が生じているということを意味している。また、SSC、INCの二つのシナリオでもGDP、国民所得へのマイナスの効果はLMPよりも小さくなっている。これは「弱い二重の配当」が生じているということである。期間効用については、環境税制改革の方が悪い結果となっているケースもあるが、全体的には環境税制改革の方が望ましい結果が出ている。

2050年時点については、強い二重の配当が生じるケースはなくなるが、それでも全てのケースで弱い二重の配当は生じているので、やはり純粋な排出規制よりも環境税制改革の方が望ましいという結果である。最後に生涯効用という観点では、強い二重の配当が生じるケースはなく、さらに弱い二重の配当もSSCとCONの二つでしか生じない。生涯効用という基準では、環境税制改革は必ずしも望ましくないということになる。

環境税制改革のタイプ別ということで見ると、GDPや国民所得への影響という観点では2030年時点で強い二重の配当が生じることからも、法人税減税（COR）という政策が最も望ましい。法人税減税がGDPや国民所得を増加させる（あるいは、その減少を小さくさせる）のは、投資を大幅に増加させ、資本ストックの蓄積を加速させるという効果を持つためである。消費税減税（CON）は期間効用という基準では最も望ましいが、GDPや国民所得という基準では逆に望ましくない結果が多い。社会保障負担削減と所得税減税は（その課税ベースが似ていることから）同じような効果を持っているが、期間効用という基準では最も望ましくない政策となっている。

表4.4.7：マクロ的な影響（全てBAU値からの変化率、%）

		LMP	SSC	INC	COR	CNT
2030	GDP	-0.59	-0.10	-0.10	0.38	-0.14
	国民所得	-0.83	-0.34	-0.33	0.44	0.37
	期間効用	-0.91	-1.05	-1.05	-0.89	-0.58
2050	GDP	-2.06	-1.44	-1.45	-0.95	-1.95
	国民所得	-2.93	-2.25	-2.25	-1.51	-2.41
	期間効用	-2.69	-2.64	-2.64	-2.47	-2.51
	生涯効用	-0.98	-0.98	-0.98	-1.10	-0.93

青いセル→強い二重の配当、オレンジのセル→弱い二重の配当

最後に以上の結果の政策的なインプリケーションをまとめよう。まずわかるのは、純粋な炭素税という政策よりは、環境税制改革という形の政策の方が望ましい結果をもたらすことが多いということである。特に、法人税減税、消費税減税というシナリオでは、GDPや国民所得が増加するという強い二重の配当が生じるケースも観察された。よって、CO₂の削減手段として、純粋な炭素税よりは、環境税制改革というアプローチを検討すべきと言える。ただし、これについては以下のような留意点がある。第一に環境税制改革といっても、その中身によって効果がかなり異なってくるということである。例えば、2030年時点のGDPは消費税減税では減少するが、法人税減税なら増加する。このように環境税制改革のタイプによって結果が大きく変わりうるため、単に環境税制改革をすべきかだけでなく、どのような環境税制改革をすべきかを慎重に検討する必要がある。

第二に、どの変数を二重の配当の基準とするかで結果が変わってくる問題もある。例えば、GDPを基準にすると法人税減税が望ましいが、期間効用や生涯効用を基準にすると消費税減税が望ましく、法人税減税はむしろ望ましくない。このようにどの変数への影響を重視するかによって望ましい政策が異なるので、どの変数を重視すべきかを考える必要がある。

なお、炭素価格の国際競争力問題を分析するため、世界モデルの構築も行った。2050年に80%削減を達成することの影響を分析した。様々な国境措置の効果も分析した。詳細は、Takeda(2020)を参照されたい。

以上、研究計画書に基づき、環境税制改革に関する先行研究について定量的な分析も含めてレビューを行い、他のサブテーマの分析結果を参考にデータ収集・作成をし、日本の環境税制改革を分析するためのCGEモデルを構築した。CGEモデルによる、主要な分析結果として、強い二重の配当という観点からは、法人税の減税が最も望ましいことが明らかとなった。以上、サブテーマ4は負担の軽減措置の分析を除いて、当初計画をほぼ達成した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

日本は今後大幅にCO₂を削減していく必要がある。実際、2050年までにCO₂排出量を80%削減するという目標を持っている。しかし、その削減を具体的にどのような政策手段によって実現していくかは今後の課題になっている。CO₂の排出規制は経済的負担を伴う可能性が高いことから、経済的な負担をできる限り抑えるような政策手段が望ましい。そのためには、どのような政策を用いるとどのような経済的な負担が生じるかを定量的に明らかにする分析が必要になる。本研究はそのような定量的な情報を提供するものである。

本研究は、炭素税という政策手段によって2050年までにCO₂を80%削減するという政策を前提とし、炭素税の収入の用途として複数のシナリオ（環境税制改革のシナリオ）を考え、その経済的影響を分析した。特に、CO₂削減のGDP、国民所得、効用への影響について分析した。日本の環境税制改革を定量的に分析した研究は非常に少ない。特に、2050年までに80%削減するという現在の日本の削減目標をシナリオとした上で、法人税減税の環境税制改革を分析した研究は初めてと言ってよい。このような点が本研究の科学的な意義である。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究は、現在の日本が掲げている2050年までに80%のGHG (CO₂) を削減するという削減目標を、様々な政策手段で達成しようとしたときに、どのような経済的な影響が生じるかを定量的に明らかにする研究である。温暖化対策の経済的な影響はそれ自体政策当局にとって重要な情報であるし、本研究は様々な政策手段を比較していることから、どの温暖化対策を採用すべきかを選択する場合にも有用な情報となると考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) S. Takeda, T. H. Arimura, and M. Sugino: Environmental and Resource Economics, 74, 1, 271-293 (2019)
 ” Labor Market Distortions and Welfare-Decreasing International Emissions Trading.”
 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10640-018-00317-4>
- 2) 有村俊秀・武田史郎・尾沼広基: 環境経済・政策研究, 11, 2, 73-78 (2018)
 「炭素価格の二重の配当」, <https://doi.org/10.14927/reeps.11.2.73>.

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) S. Takeda: T.H. Arimura S. Matsumoto ed. Carbon Pricing in Japan, Springer, forthcoming.
 The Competitiveness Issue of the Japanese Economy under Carbon Pricing: A Computable General Equilibrium Analysis of 2050.
- 2) S. Takeda: RIEEM Discussion Paper Series, No.2002 (2020)
 A Computable General Equilibrium Analysis of Environmental Tax Reform in Japan.

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) S. Takeda and T. H. Arimura: Robert N. Stavins and Robert C. Stowe (eds) International Cooperation in East Asia to Address Climate Change, pp.23-26, Harvard Project on Climate Agreements, February 2018 (2018)
 “International Cooperation on Climate Policy from the Japanese Perspective.”

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) S. Takeda, T.H. Arimura: 京都大学経済研究所先端政策分析研究センター研究会, January 30, 2020. 京都大学経済研究所北館N-101 (2020)
 “A Computable General Equilibrium Analysis of Environmental Tax Reform in Japan.”
- 2) S. Takeda, T.H. Arimura: Kassel-Waseda RIEEM Workshop, October 11, 2019, Musubiwaza-kan, Kyoto Sangyo University (2019).
 ” A Computable General Equilibrium Analysis of Environmental Tax Reform in Japan.”
- 3) 武田史郎: 環境経済・政策学会2019年大会, 2019年9月27日・28日, 福島大学 (2019)
 「応用一般均衡モデルによる日本の環境税制改革の分析」
- 4) S. Takeda, T.H. Arimura: The 8th Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics (EAAERE), August 2-4, 2019, Beijing, China (2019)
 ” A Computable General Equilibrium Analysis of Environmental Tax Reform in Japan.”
- 5) 武田史郎(共著者: 有村俊秀): 環境経済・政策学会 2018 年大会, 2018年9月8日・9日, 上智大学

(2018)

「応用一般均衡モデルによる日本の環境税制改革の分析」

- 6) S.Takeda, T.H. Arimura: Workshop of Carbon Pricing Mechanism in China and Japan, Monday, March 12, 2018 at Tsinghua University(2018)
“A Computable General Equilibrium Analysis of Environmental Tax Reform in Japan.”
- 7) S.Takeda, T.H. Arimura: Carbon Pricing Workshop, Saturday, December 16, 2017 at 11th Floor (Rm#1102) Okuma. Memorial Tower (Building # 26) (2017)
“A Computable General Equilibrium Analysis of Environmental Tax Reform in Japan.”
- 8) S.Takeda: International Cooperation in East Asia to Address Climate Change Research Workshop Sponsored by the Harvard Project on Climate Agreements September 27, 2017, at Harvard Center Shanghai(2017)
” Comments on “Heterogeneous linkage and the Paris Agreement” by Michael Mehling and Robert Stavins.”
- 9) 武田史郎：環境経済・政策学会 2017 年大会，2017年9月9日・10日，高知工科大学(2017)
「日本の CO₂ 排出規制の二重の配当：動学的な応用一般均衡モデルによる分析」

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 「環境税制改革：CO₂削減と経済成長の両立」，環境研究総合推進費2-1707国民対話シンポジウム/早稲田大学研究院フォーラム，『カーボンプライシングの制度オプションの検討：二重の配当と国際競争力配慮』，2019年11月7日（木），早稲田大学 WASEDA NEOホール。
- 2) 「環境税制の改革：どうなる経済影響」，環境研究総合推進費2-1707国民対話シンポジウム/早稲田大学研究院フォーラム，『パリ協定とカーボンプライシングー各国の政策動向と日本の長期削減目標に向けてー』，2017年12月15日（金），早稲田大学 WASEDA NEOホール（旧早稲田大学日本橋キャンパス）。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1). 有村俊秀・武田史郎・尾沼広基（2018）「炭素価格の二重の配当」，『環境経済・政策研究』，11巻，2号，p.73-78, DOI: 10.14927/reeps.11.2_73.
- 2). Bovenberg, A.L., Goulder, L.H., (2002) Environmental Taxation and Regulation, in: Auerbach, A.J., Feldstein, M. (Eds.), *Handbook of Public Economics*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1471-1545.
- 3). Freire-González, J. (2017) “Environmental taxation and the double dividend hypothesis in CGE modelling literature: A critical review,” *Journal of Policy Modelling*, 40 (1), 194-223.
- 4). 武田史郎（2012）「応用一般均衡モデルによる地球温暖化対策の分析：有用性と問題点」，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，第1章，pp.15-36.
- 5). Chen, Y.-H.H., S. Paltsev, J.M. Reilly, J.F. Morris and M.H. Babiker (2015) “The MIT EPPA6 Model: Economic Growth, Energy Use, and Food Consumption.” Joint Program Report Series Report 278, 43. <http://globalchange.mit.edu/publication/16262>
 - 6). Chateau, J., R. Dellink and E. Lanzi (2014), “An Overview of the OECD ENV-Linkages Model: Version 3”, OECD Environment Working Papers, No. 65, OECD Publishing, Paris, DOI: 10.1787/5jz2qck2b2vd-en
 - 7). Shiro Takeda (2007) “The double dividend from carbon regulations in Japan”, *Journal of the Japanese and International Economies*, Volume 21, Issue 3, September 2007, Pages 336-364. DOI: 10.1016/j.jjie.2006.01.002
 - 8). Lee, S., Pollitt, H. and Park, S.-J. (eds.) (2015) Low-carbon, Sustainable Future in East Asia: Improving energy systems, taxation and policy cooperation, Routledge Studies in the Modern World Economy.
 - 9). Armington, P. S. (1969), “A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production.” IMF Staff Papers 16.
 - 10). 総務省 (2015) 「平成23年 (2011年) 産業連関表」
 - 11). 南斉規介, 川島一真, 森本高司 (2018), 第13回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 114-115.
 - 12). 財務総合政策研究所 (2012) 『財政統計金融月報722号』
 - 13). IEA, (2018). World Energy Outlook 2018, OECD. International Energy Agency, https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2018_weo-2018-en
 - 14). Goulder, L. H. (1995). “Environmental taxation and the ‘double dividend’ : A reader’s guide.” *International Tax and Public Finance*, 2(2), 157-183.

Ⅱ－５ カーボンプライシングの産業連関分析：国際競争力を中心に

山形大学

人文社会科学部

杉野誠

平成29年度(開始年度)～令和元年度研究経費(累計額)：6,145千円(研究経費は間接経費を含む)
(平成29年度：2,545千円、平成30年度：1,800千円、令和元年度：1,800千円)

【要旨】

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次報告書では、産業革命以前と比較して、地球の平均気温を $+2^{\circ}\text{C}$ 以内に抑えることを推奨している。これを受け、2015年に採択されたパリ協定では、 $+1.5^{\circ}\text{C}$ 目標を達成するために各国に気候変動対策の早期履行を求めている。各国の気候変動対策の柱として、カーボンプライシング(CP)が導入・議論されている。日本国内でもカーボンプライシングの検討が行われている。そこで本サブテーマでは、CP導入による短期的な影響を分析し、多大な影響を受ける業種に対する特別措置の有効性について分析した。短期的な影響を分析する際には、生産技術を固定したモデルが用いられる。そこで、本サブテーマでは、環境分析用産業連関表の開発および各国の費用緩和措置をシミュレーションできるモデル・データを作成した。

分析では、CPの制度設計に寄与すると考えられる複数の分析シナリオを設定した。分析の結果、費用緩和措置は短期的な影響を抑える効果がある反面、経済効率性を低下させることが明らかとなった。さらに、業種間の有効炭素税率の差を拡大させることが示された。そのため、慎重に費用緩和措置を講じることが求められる。例えば、費用緩和措置を時限的なものにし、長期的な排出削減につながるCPとなるように行うことが求められる。

【キーワード】

有効炭素税率、産業連関分析、国際競争力、費用緩和措置、カーボンプライシング

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次報告書では、産業革命以前と比較して、地球の平均気温を $+2^{\circ}\text{C}$ 以内に抑えることを推奨している。これを受け、2015年に採択されたパリ協定では、 $+1.5^{\circ}\text{C}$ 目標を達成するために各国に気候変動対策の早期履行を求めている。各国の気候変動対策の柱として、カーボンプライシング(CP)が導入・議論されている。

Carbon Pricing Leadership Coalition(2017)¹⁾は、パリ協定の目標を達成するには、2030年までに 1t-CO_2 当たり $\$50$ のCPが必要であると主張している。同様に、OECD(2016)²⁾は、 CO_2 1トンあたりの有効炭素税率(effective carbon rate, ECR)が30ユーロ以上必要であると報告している。

CPは、明示的なCPと暗示的なCPの2つに類される。明示的CPとは、炭素税や排出量取引などによって、エネルギー利用から排出される二酸化炭素(CO_2)に応じて加算される価格である。一方、暗示的CPとは、エネルギー税などエネルギーの消費単位に応じて加算される価格である。有効炭素税率は、明示的なCPと暗示的なCPを、 1t-CO_2 当たり換算後、合計したものである。

OECD(2016)は、OECD加盟国を含む41か国の2012年におけるECRの計算結果を公表している。同報告書によると、 CO_2 排出量の約60%が、炭素価格がゼロとなっている。また、30ユーロ以上のECRを課せられた排出量が10%に過ぎないと指摘している。OECD(2018)³⁾は、2015年のデータを用いた、ECRの計算結果を報告している。OECD(2018)によると、多くの国で、ECRが上昇している。これは、各国の気候変動対策がECRを上昇させていることを示唆しているが、さらなるCPの必要性も示唆している。

各国の気候変動対策としてCPが重視されているが、CPの導入により、2つの問題が危惧されている。1つ目は、炭素リーケージ問題である。2つ目は、国際競争力問題である。前者は、温暖化対策を実施し

ている国の削減量の一部または全部が温暖化対策を実施していない国の排出量の増加で相殺される問題である。一方、後者は、CPが国内産業の生産費用を上昇させることにより、国内外の市場で価格競争上不利な状況になる問題である。Reinaud (2008)⁴⁾は、EU ETSのデータを用いて、炭素リーケージと国際競争力問題を分析している。分析の結果、炭素リーケージが少なく、産業の国際競争力にも大きな影響がないことが示された。

国際競争力問題と炭素リーケージ問題に対する対策として、排出枠の無償配分やリバートなどが考えられる。そのほかに、Houser et al. (2008)⁵⁾では、キャップ・アンド・トレード型の排出量取引制度に、①価格の上限設定 (price cap)、②バンキング・ボローリング (banking and borrowing)、③オフセットの利用 (offsets) などの措置を設けることで、上記の問題に対処できる。さらに炭素税の場合は、免税や減税措置が有効であるとしている。また、エネルギー集約度と貿易依存度が共に高い産業 (energy-intensive trade-exposed, EITE産業) を規制から除外したり、CP以外の費用を軽減したりすることも有効である。

国際競争力問題に対して、各国の気候変動対策では、CPが産業に及ぼす短期的な影響を緩和する方法として、排出枠の無償配分や免税措置など費用緩和措置が議論・実施されている。例えば、EU ETSでは、EITE産業に対して、排出枠の無償配分を実施している。韓国の排出量取引制度もEU ETSと同様なEITE対策を予定している。米国の「American Clean Energy and Security Act of 2009」では、EITE業種に対して、生産量に応じた無償配分 (output-based allocation) を議論した。オーストラリアの気候変動対策やニュージーランドの気候変動対策もEITE産業への配慮を行う予定となっている。一方、地球温暖化対策税は、特定の業種が使用する特定のエネルギー原に対して、免税・減税措置を設けている。

2. 研究開発目的

上述のように、各国のCP導入と同時に、費用緩和措置が実施されている。そこで、本サブテーマでは、UNFCCCが目標としている産業革命以降の気温上昇率を2℃に抑えるために必要なCPが日本の産業にどのような短期的な影響を与えるのかを分析し、明らかにする。

具体的には、3つの産業連関表を用いた分析を行う。①2005年国内産業連関表 (全国表) による分析、②2011年国内産業連関表 (全国表) による分析、③2011年規模別産業連関表 (全国表) による分析を実施し、短期的なCPの影響を明らかにする。

2005年と2011年の国内産業連関表 (全国表) を用いることにより、日本経済全体への影響を明らかにすることができる。また、両方の産業連関表を用いることにより、日本の産業構造の変化を観察することができる。

全国表のみを用いた分析は、CPによる影響を過大評価する可能性があるため、問題がある。全国表では、1つの業種が1つの企業によって構成されているのを前提としている。すなわち、業種内での企業規模や企業別の投入物の違いが考慮されていない。一方、温暖化対策の多くは、排出量が多い事業者を対象としている。例えば、環境省の「カーボンプライシングのあり方に関する検討会」が取りまとめた中間報告では、多量排出事業者とその他の事業者を分けた案を提示している。規模別産業連関表は、同一業種内の企業を規模によって異なる扱いをしている。具体的には、異なる業種としてとらえている。そのため、規模別産業連関表を用いることにより、より現実に近い政策を分析することが可能である。

規模別産業連関表は、中小企業庁が独自に作成・公表しているが、2005年表が最新版となっている。したがって、CP政策による影響を分析するには2011年表を作成する必要がある。本研究の目的の1つは、2011年企業規模別産業連関表の作成である。

なお、上記の3種類の環境分析用産業連関表を作成する必要がある。そこで、本サブテーマでは、分析に必要な環境分析用産業連関表を作成する。

また、本サブテーマでは、CPのシナリオとして、①明示的な炭素税を新たに導入するケース (4,000 円/t-CO₂)、②地球温暖化対策税の税率 (289円/t-CO₂)、③暗示的なCPを考慮して有効実行税率

(effective carbon rate) を4,000円/t-CO₂以上を実現するケースを明示する。同時に、国際競争力に配慮した制度がどの程度、効果が見込まれるかを明示する。

これにより、CP政策のオプションとそれらオプションによる影響を細かく分析することが可能である。

3. 研究開発方法

企業レベルのエネルギー消費量や温室効果ガス排出量の調査が数多く行われている。しかし、これらの調査は、生産額や輸出額など企業属性に関するデータを報告していない。さらに、産業分類は粗く、詳細な分析が不可能である。また、多くの調査では、大規模排出者が調査対象となっており、中小排出者のデータが不足している。そこで、本研究では、国内産業連関表のデータを用いて環境分析用産業連関表を作成した。

産業連関表は、5年毎に計算・公表される。最新版の産業連関表は、2011年国内産業連関表である。産業連関表は、CO₂排出量などの環境負荷に関する情報は収録されていないものの、生産額・輸出入額など有益な情報を有している。さらに、産業分類は約400業種あり、うち製造業は約200業種ある。そのため、CPによる詳細な分析が可能である。なお、CO₂排出量データは、産業連関表の物量表から計算することが可能である。しかし、産業連関表の付帯表を用いた場合でも、石炭に関する情報が不完全なため、厳密なCO₂排出量の計算が困難である。

そこで本サブテーマでは、南斉（2018）⁶⁾と産業連関表の物量表の2つを用いて、部門別直接・間接排出量の計算を行った。南斉（2018）は、産業連関表と同一年度・同一部門分類を用いたデータとなっているため、部門別直接排出量をそのまま利用することができる。一方、電力利用に伴う間接排出量は、別途計算する必要がある。そこで、物量表の部門別電力使用量・自家発電消費量・熱利用量をもとに、部門別間接排出量を計算した。ただし、企業規模別に排出原単位を正確に計算できないため、本サブテーマでは大企業と中小企業の排出原単位が同じであると仮定した。

2011年規模別産業連関表は、作成・公表されていない。そこで、本サブテーマでは、2005年規模別産業連関表と2011年国内産業連関表（全国表）の情報を活用して、2011年規模別産業連関表を作成した。2005年と2011年の部門分類が異なるため、2011年国内産業連関表（全国表）が提供している対応表をもとに部門分類を統一した。次に、2005年の規模別産業連関表の部門別中間財の投入割合（投入係数）および同一部門内の大企業・中小企業の生産額比率を計算した。2011年の部門別投入係数は、2005年の投入係数を用いた。また、2011年国内産業連関表（全国表）の部門別生産額と同一部門内の大企業・中小企業の生産額比率を掛け合わせることで、2011年規模別産業連関表の部門別生産額が求まる。最後に、中間財投入金額、付加価値額、最終需要を計算する。具体的には、投入係数に生産額を掛け合わせると、部門別の中間投入額が求まる。部門別の投入係数を列方向に合計し、1から引くと、付加価値率が求まる。この部門別の付加価値率と部門別の生産額の積は、付加価値額となる。なお、最終需要額は、部門別の中間投入額を行方向に合計し、部門別の生産額から引くことによって求まる。以上の手順を行うことにより、2011年規模別産業連関表を作成した。

作成した2011年規模別産業連関表は、559業種を含む表となった。559業種のうち399業種が製造業となった。なお、大企業と中小企業は、それぞれ211業種と231業種となった（うち、195業種が製造業かつ大企業、204業種が製造業かつ中小企業）。すなわち、CPの影響を受ける可能性が高い製造業を細分化した産業連関表となった。

排出量取引制度および炭素税を導入する際に実施されている各国の費用緩和措置は、2種類存在する。1つは、エネルギー集約度または炭素集約度と貿易依存度を指標とし、排出枠の無償配分を行う方法である。もう1つは、事前に費用緩和措置の対象となる業種および免税・減税対象エネルギーを決定する方法である。前者は、EU ETS、米国のACES2009、韓国ETS、オーストラリアETSおよびニュージーランドETSに用いられている。一方、後者は、日本の地球温暖化対策税で用いられている方法である。以下では、各制度を簡単に紹介する。

EU ETS型費用緩和措置および地球温暖化対策税の費用緩和措置

EUは、域内排出量取引制度（EU ETS）の第3フェーズ移行時に、排出枠をオークションで配分することを行った。オークションによる生産費用上昇を緩和する方法として、EITE産業に対し、排出枠の無償配分をベンチマーク方式によって行われている。

EITE産業を特定する方法として、以下の2つの指標が用いられている。

$$\text{CO}_2\text{集約度} = \frac{\text{炭素価格} \times (\text{直接排出量} + \text{間接排出量})}{\text{粗付加価値}}$$

$$\text{貿易集約度} = \frac{\text{輸入額} + \text{輸出額}}{\text{輸入額} + \text{総売上額}}$$

CO₂集約度は、CP導入による費用負担を表している。この指標が大きくなると、CPによる影響が大きい産業であることを表している。一方、貿易集約度は、当該産業の貿易依存度を表しており、国際競争の度合いを表している。EU ETSでは、この2つの指標を用いて、EITE産業を3つの条件の1つに該当した場合、費用緩和措置の対象としている。

- ① CO₂集約度 > 5% かつ 貿易集約度 > 10%
- ② CO₂集約度 > 30%
- ③ 貿易集約度 > 30%

第1の基準は、CPによる費用負担と貿易依存度の2つによって構成されている。この条件は、狭義の意味でのEITE産業と整合的である。すなわち、エネルギー多消費かつ貿易量が多い財を生産しており、激しい国際競争に晒されている可能性がある。第2の基準は、CP導入によって高い費用負担を強いられる可能性がある産業を表している。そのため、これらの業種は、公平な費用負担の観点から費用緩和措置の対象となっている。第3の基準は、輸出・輸入が多い産業を求めている。したがって、第2と第3の基準は、広義の意味においてCPによる影響を受ける可能性がある産業を特定化している。

European Commission (2010)⁷⁾、域内のデータを用いて146業種が上記の3つの基準のいずれかに当てはまったことを報告している。これらの結果は、多くの業種に対して軽減措置の可能性を認めているため、厳密なEITE産業のみならず、国際競争に晒されている産業とエネルギー集約的な産業を保護の対象に入れている可能性がある。

日本の地球温暖化対策税（温対税）は、事前に費用緩和措置の対象業種とエネルギー源を決定している。温対税で用いられている費用緩和措置は、免税・還付制度である。

温対税は、石油石炭税の対象外の措置はそのまま用いている。具体的には、（イ）輸入・国産石油化学製品製造用揮発油・軽油・灯油、（ロ）輸入特定石炭、（ハ）沖縄発電用特定石炭、（ニ）輸入・国産農林漁業用A重油、（ホ）国産石油アスファルト・石油コークスである。さらに、2017年3月末まで温対税の上乗せされる税率のみ免税・還付する措置が導入されている。具体的には、（イ）苛性ソーダ製造業において苛性ソーダ製造用の電力の自家発電に利用される輸入石炭、（ロ）内航運送用船舶、一定の旅客定期航路用船舶に利用される重油及び軽油、（ハ）鉄道事業に利用される軽油、（ニ）国内定期運送事業用航空機に積み込まれる航空機燃料、（ホ）イオン交換膜法による塩製造業において塩製造用電力の自家発電に利用される輸入石炭、（ヘ）農林漁業に利用される軽油である。

南斉（2018）のデータには、エネルギー種類別のCO₂排出量が記載されているため、上記の免税措置を反映することができる。しかし、沖縄発電用特定石炭、苛性ソーダ製造業と塩製造用の自家発電は、このデータには含まれていない。

そこで、沖縄発電用特定石炭は、『電気事業便覧 平成24年度版』（電気事業連合会統計委員会編）の「7. 燃料実績 (1) 火力発電用燃料消費実績」から求めた。具体的には、沖縄とその他地域で消費される石炭の比率（2.8%）を求め、事業用発電部門の直接CO₂排出量に0.972をかけて免税措置を反映させた。

次に、苛性ソーダ製造業と塩製造用の自家発電は、以下のように免税措置を反映させた。産業連関表では、自家発電部門から電力を購入している形になっている。そこで、この2つの業種について、自家発電の間接CO₂排出量を0（ゼロ）に修正した。

分析モデル

本サブテーマでは、Sugino et al. (2013)⁸⁾のモデルを用いてCPの短期的な影響を分析した。当モデルは、CP導入による影響を費用上昇率によって捉えている。費用上昇率は、CPによる直接的な影響だけでなく、中間投入財の価格上昇による間接的な影響を含んでいる。そのため、環境負荷原単位概念を用いて、各業種の費用上昇率を以下のように求める。

まず、業種別の直接・間接排出量を以下のように求める。

$$Emission_j^{DC} = \sum_{f \in DC} e_f \theta_{jf} Y_{jf} \quad (1)$$

ここで、 e_f は燃料 f のCO₂排出係数、 θ_{jf} は産業 j が消費した燃料 f の燃焼率、 Y_{jf} は産業 j が購入した燃料 f の量を表している。

間接排出量は、以下の式によって計算可能である。

$$Emission_j^{INDC} = \sum_{i \in INDC} e_i Q_{ji} \quad (2)$$

ここで、 e_i はエネルギー i （事業用電力、自家発電、熱供給）の排出係数、 Q_{ji} は産業 j が消費したエネルギー i の消費量を表している。

次に、排出原単位は、1式と2式で求めた値を用いて計算する。具体的には、以下の通りである。

$$Emission\ Intensity_j = \frac{Emission_j^{DC} + Emission_j^{INDC}}{Total\ Domestic\ Production_j} \quad (3)$$

ここで、 $Total\ Domestic\ Production_j$ は産業 j の国内生産額となっている。

CPの短期的な影響は、産業連関分析の一般的な価格決定モデルを応用して求める。まず、レオンチェフの逆行列は、以下の式で求められる。

$$\text{レオンチェフの逆行列} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{A}$ は $(n \times n)$ の投入係数行列、 $\mathbf{I}$ は $(n \times n)$ の単位行列である。

最後に、カーボンプライス（炭素税率）、排出原単位およびレオンチェフの逆行列を用いて産業別の費用上昇率を求める。

$$COST_j = tE = tD(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{i}_i \quad (5)$$

ここで、 t は1t-CO₂当たりのカーボンプライス、 $\mathbf{E}$ は $(1 \times n)$ のCO₂環境負荷原単位行列、 $\mathbf{D}$ は3式の $(1 \times n)$ のCO₂排出原単位行列、 $\mathbf{i}_i$ は i 産業の場合1、その他の産業の場合0となるベクトルである。

分析シナリオ

3種類の環境分析用産業連関を用いて、表3.5.1のシナリオ分析を実施した。分析に用いるカーボンプライス t は、1t-CO₂当たり4,000円とした。この値は、OECDが2050年までに1990年比50%削減に最低限必要なカーボンプライス、30ユーロと同等程度である。

2005年環境分析用産業連関表を用いた分析は、2011年環境分析用産業連関表の分析結果を確認するための基準となるものである。そこで、EU ETS型の費用緩和措置は、費用緩和措置の対象業種（EITE業種）が直面する価格を、2005年の分析と2011年の分析では、それぞれ15%および40%に設定した。後者の値は、温対税の費用緩和措置を実施した際に見込まれる税収と同額になるように求めた。したがって、産業部門が支払う税金は、モデル上、EU ETS方式と温対税方式ともに3.44兆円 となっている。

有効炭素税率の分析では、各業種が負担している各種エネルギー税と電源開発促進税を求め、最低限4,000円/t-CO₂となるように、カーボンプライスを調整した。また、費用緩和措置の方法として、温対税の免税・減税方法を用いた。そのため、追加されるカーボンプライスは、業種によって大きく異なる。

2011年環境分析用規模別産業連関表を用いた分析では、すべての業種に対して4,000円/t-CO₂の明示的カーボンプライスを課している。しかし、中小企業（中小規模排出者）は、CPの影響を大きく受ける可能性がある。そこで、大企業（多量排出者）のみがCPの対象となるシナリオを設けた。さらに、EITE業種に分類される多量排出者が対象となる費用緩和措置のシナリオも分析した。

表3.5.1 分析シナリオ （単位：円/t-CO₂）

	2005年国内産業連関表（全国表）		2011年国内産業連関表（全国表）		2011年規模別産業連関表	
	EITE業種	その他業種	EITE業種	その他業種	EITE業種	その他業種
① CP導入ケース	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
②CP+EU型費用緩和	600		1,595		600	
③CP導入ケース（多量排出者のみ）	-	-	-	-	多量排出者 4,000 その他 0	多量排出者 4,000 その他 0
④CP（多量排出者のみ）+EU型費用緩和	-	-	-	-	多量排出者 600 その他 0	多量排出者 4,000 その他 0
⑤地球温暖化対策税	-	-	289	289	-	-
⑥地球温暖化対策税+費用緩和措置	-	-	業種別に決定	289	-	-
⑦有効炭素税率（均等化ケース）	-	-	最低4,000	最低4,000	-	-
⑧有効炭素税率+費用緩和措置	-	-	業種別に決定	最低4,000	-	-

4. 結果及び考察

以下に示すように、サブテーマ5では、研究計画書で示した目標を全て達成した。

結果1 2011年国内産業連関表による分析

表4.5.1は、明示的CPの導入による各業種の費用上昇率をまとめている（2011年環境分析用産業連関表（全国表））。費用上昇率上位15業種には、鉄鋼業関連業種、セメント、塩、石炭製品などエネルギー多消費業種が含まれている。この結果は、2005年環境分析用産業連関表を用いた分析結果と概ね類似している。したがって、この結果は、2005年と2011年では大きな変化がなかったことを示唆している。

表4.5.1 分析結果（2011年環境分析用産業連関表（全国表））

業種	費用上昇率	順位
セメント	19.109%	1
塩	17.131%	2
銑鉄	14.080%	3
外洋輸送	13.080%	4
粗鋼(転炉)	10.581%	5
その他の鉄鋼製品	10.365%	6
熱間圧延鋼材	8.150%	7
フェロアロイ	8.083%	8
ソーダ工業製品	8.031%	9
石炭製品	8.022%	10
レーヨン・アセテート	7.999%	11
圧縮ガス・液化ガス	6.735%	12
合成繊維	6.346%	13
冷間仕上鋼材	6.308%	14
染色整理	5.907%	15

表4.5.2は、EU ETS型費用緩和措置の対象業種とCO₂集約度、貿易集約度をまとめている。今回の分析では、123業種がEU ETSが定義しているEITE業種として認められた。しかし、一部の業種を除き、CO₂集約度が5%未満となっている。すなわち、多くの業種は、貿易集約度が高いため、EITE業種として認められている。一方、石油化学基礎製品、石炭製品、セメント、銑鉄の4業種は、貿易集約度が10%未満となっており、CO₂集約度が非常に高いことが分かる。

表4.5.2に記載された123業種に対して、約60%の軽減税率を適応した結果が表4.5.3である。CP導入による費用上昇率が高い、セメント、塩、銑鉄の費用上昇率は、費用緩和措置により、約50%費用を抑えられていることが表4.5.3から見てとれる。同様に、ほかのEITE業種の費用上昇率も約50%抑えられている。

一方、費用緩和措置を受けられない業種も費用緩和措置による間接効果（費用上昇率を抑えられている）が見られる。例えば、ソーダ鉱業製品は、費用緩和措置を受けられないが約12%費用上昇率を抑えている。さらに、鉄鋼関連業種の費用上昇率は、大きく抑えられている。例えば、粗鋼（転炉）の費用上昇率は、約50%抑えられている。その反面、外洋輸送の費用上昇率は、ほとんど変化していない。そのため、費用緩和措置は、一部の業種を除き直接・間接的な費用上昇率を抑える効果があることが明らかとなった。この結果は、2005年のデータを用いても同様の結果となった。

温対税の費用緩和措置は、費用上昇を抑える効果があるだろうか。表4.5.4は、温対税方式の費用緩和措置の効果をまとめている。最も費用上昇率が高い業種は、塩製造業であり、16.818%であった。塩製造業は、免税対象の業種ではあるものの、自家発電に使用する石炭のみが対象となるため、費用緩和効果がほとんど認められなかった。

一方、セメント、銑鉄、ソーダ工業製品の費用上昇率は、免税措置によって、大きく抑えられている。さらに、費用緩和措置対象業種から中間財を多く購入している業種の費用上昇率が抑えられている。例えば、粗鋼（転炉）は、約64%の費用上昇率を抑えられている。

温対税方式の費用緩和措置は、一部の産業の一部のエネルギーのみを費用緩和措置の対象としているため、緩和措置の効果が一部の業種に偏っているが、費用緩和措置の効果が認められた。

表4. 5. 2 EU ETS型費用緩和措置対象業種一覧

業種	CO2集約度	貿易集約度	業種	CO2集約度	貿易集約度
食肉	0.77%	36.61%	鉛・亜鉛(再生を含む。)	16.01%	17.42%
冷凍魚介類	1.05%	50.99%	アルミニウム(再生を含む。)	3.82%	52.65%
農産びん・かん詰	1.21%	36.03%	その他の非鉄金属地金	1.24%	88.18%
農産保存食料品(びん・かん詰を除く。)	0.80%	40.05%	電線・ケーブル	1.20%	34.64%
ウイスキー類	0.41%	58.97%	光ファイバケーブル	2.38%	33.91%
たばこ	0.04%	43.79%	その他の非鉄金属製品	2.02%	55.04%
紡績系	7.12%	47.15%	タービン	0.29%	47.23%
綿・スフ織物(合繊短繊維織物を含む。)	4.38%	79.43%	原動機	0.41%	43.98%
絹・人絹織物(合繊長繊維織物を含む。)	2.39%	85.16%	ポンプ・圧縮機	0.36%	44.74%
ニット生地	1.48%	69.54%	ベアリング	0.80%	46.11%
その他の繊維工業製品	1.74%	50.33%	その他のはん用機械	0.43%	48.58%
織物製衣服	1.15%	63.43%	建設・鉱山機械	0.29%	37.70%
ニット製衣服	0.99%	78.76%	繊維機械	0.58%	75.07%
その他の衣服・身の回り品	1.13%	69.25%	生活関連産業用機械	0.29%	38.46%
寝具	0.51%	60.92%	化学機械	0.27%	51.25%
じゅうたん・床敷物	2.75%	32.44%	鍛造装置・プラスチック加工機械	0.31%	54.81%
その他の繊維既製品	0.60%	40.03%	金属工作機械	0.39%	44.83%
製材	0.64%	35.05%	金属加工機械	0.36%	37.09%
合板・集成材	0.79%	34.71%	機械工具	0.51%	56.21%
木材チップ	1.69%	74.65%	半導体製造装置	0.35%	70.31%
木製家具	0.48%	34.03%	真空装置・真空機器	0.43%	32.29%
パルプ	32.42%	35.44%	その他の生産用機械	0.49%	75.67%
洋紙・和紙	6.49%	10.21%	計測機器	0.24%	50.06%
塗工紙・建設用加工紙	1.97%	30.14%	医療用機械器具	0.38%	49.36%
化学肥料	10.54%	24.95%	光学機械・レンズ	0.68%	74.01%
無機顔料	2.62%	41.01%	半導体素子	1.24%	82.86%
塩	40.22%	48.76%	集積回路	1.55%	76.81%
その他の無機化学工業製品	2.42%	44.06%	液晶パネル	1.58%	45.07%
石油化学基礎製品	37.09%	7.39%	磁気テープ・磁気ディスク	1.12%	85.66%
石油化学系芳香族製品	9.82%	21.94%	その他の電子部品	1.21%	39.23%
脂肪族中間物	11.95%	29.26%	回転電気機械	0.99%	46.56%
環式中間物	13.43%	65.31%	変圧器・変成器	0.34%	30.24%
合成染料・有機顔料	6.26%	68.89%	開閉制御装置・配電盤	0.45%	41.94%
合成ゴム	12.40%	40.85%	配線器具	0.43%	86.06%
メタン誘導品	4.47%	51.70%	その他の産業用電気機器	0.43%	60.44%
その他の有機化学工業製品	8.38%	37.42%	電子応用装置	0.22%	46.05%
熱硬化性樹脂	2.50%	46.21%	電気計測器	0.29%	90.17%
高機能性樹脂	2.67%	52.80%	電池	0.87%	39.50%
その他の合成樹脂	2.48%	84.73%	その他の電気機械器具	0.82%	66.94%
レーヨン・アセテート	22.85%	52.78%	ビデオ機器・デジタルカメラ	0.25%	70.89%
合成繊維	15.26%	43.04%	電気音響機器	0.34%	40.92%
写真感光材料	1.78%	78.02%	ラジオ・テレビ受信機	0.44%	43.88%
その他の化学最終製品	1.46%	49.20%	有線電気通信機器	0.38%	60.94%
石炭製品	105.59%	4.65%	携帯電話機	0.25%	47.85%
タイヤ・チューブ	1.71%	47.91%	パーソナルコンピュータ	0.09%	51.16%
ゴム製・プラスチック製履物	1.42%	84.96%	電子計算機本体(パソコンを除く。)	0.27%	75.17%
革製履物	0.35%	56.78%	電子計算機附属装置	0.45%	90.54%
製革・毛皮	1.78%	38.80%	乗用車	0.71%	55.64%
かばん・袋物・その他の革製品	0.32%	79.78%	トラック・バス・その他の自動車	1.02%	31.66%
板ガラス・安全ガラス	1.29%	32.78%	二輪自動車	0.54%	90.24%
ガラス繊維・同製品	6.11%	26.66%	鋼船	0.83%	86.29%
その他のガラス製品	2.31%	35.53%	その他の船舶	0.68%	54.26%
セメント	55.67%	6.75%	航空機	0.84%	63.99%
炭素・黒鉛製品	6.68%	47.77%	航空機修理	0.16%	41.95%
鋳鉄	54.66%	0.77%	自転車	1.75%	54.16%
フェロアロイ	15.88%	57.82%	がん具	0.34%	65.90%
粗鋼(電気炉)	6.36%	21.43%	運動用品	0.34%	39.08%
熱間圧延鋼材	5.58%	21.61%	身辺細貨品	0.28%	82.65%
鋼管	1.93%	35.81%	時計	0.79%	71.90%
めっき鋼材	5.45%	30.19%	楽器	0.17%	50.98%
その他の鉄鋼製品	22.69%	33.22%	筆記具・文具	0.47%	44.10%
銅	3.06%	34.84%			

表4.5.3 EU ETS型費用緩和措置の効果（上位15業種）

業種	CP導入ケース		EU-ETS措置		EITE 緩和措置対象
	費用上昇率	順位	費用上昇率	順位	
外洋輸送	13.080%	4	13.039%	1	0
セメント	19.109%	1	9.217%	2	1
塩	17.131%	2	7.442%	3	1
ソーダ工業製品	8.031%	9	7.048%	4	0
圧縮ガス・液化ガス	6.735%	12	6.619%	5	0
銑鉄	14.080%	3	6.518%	6	1
染色整理	5.907%	15	5.632%	7	0
自家輸送（貨物自動車）	5.697%	18	5.594%	8	0
粗鋼（転炉）	10.581%	5	5.196%	9	0
沿海・内水面輸送	5.104%	24	5.037%	10	0
その他の鉄鋼製品	10.365%	6	5.001%	11	1
フェロアロイ	8.083%	8	4.996%	12	1
熱間圧延鋼材	8.150%	7	4.411%	13	1
レーヨン・アセテート	7.999%	11	4.235%	14	1
粗鋼（電気炉）	5.729%	16	4.188%	15	1

表4.5.4 温対税型費用緩和措置の効果（上位15業種）

業種	CP導入ケース		温対税措置	
	費用上昇額	順位	費用上昇額	順位
塩	17.131%	2	16.818%	1
外洋輸送	13.080%	4	12.986%	2
石炭製品	8.022%	10	7.908%	3
レーヨン・アセテート	7.999%	11	7.249%	4
圧縮ガス・液化ガス	6.735%	12	6.576%	5
ソーダ工業製品	8.031%	9	5.976%	6
染色整理	5.907%	15	5.742%	7
自家輸送（貨物自動車）	5.697%	18	5.554%	8
合成ゴム	5.595%	20	5.243%	9
合成繊維	6.346%	13	5.178%	10
化学肥料	5.392%	23	4.927%	11
その他の鉄鋼製品	10.365%	6	4.820%	12
銑鉄	14.080%	3	4.781%	13
フェロアロイ	8.083%	8	4.775%	14
環式中間物	5.045%	25	4.667%	15

費用緩和措置は、以上の結果から、CPの影響を緩和する効果があることが示された。しかし、本分析の留意点する必要がある。第1に、費用緩和措置がないケースにおいて、最も費用上昇率が高い業種が銑鉄ではなくセメントであった。これは、銑鉄業が2005年から2011年の間に大幅なエネルギー改善が行われたと解釈することができる。データを確認すると、2011年の排出量は2005年よりも少なくなっている。これは、東日本大震災の影響によって、生産量が減少した結果の可能性がある。また、売上高は、2005年から2011年にかけて、増加している。したがって、CO₂排出原単位が小さくなり、費用上昇率も抑えられる。2015年国内産業連関表（全国表）および2015年のCO₂排出量データによって、エネルギー効率の改善（排出原単位の改善）が確認される。検証されるまでは、東日本大震災による外的ショックの影響の可能性も残される。

結果2 2011年規模別産業連関表による分析

表4.5.5は、CPによる費用上昇率上位20業種を示している。銑鉄は、最も費用上昇率が高く23.803%

となっている。上位20業種には鉄鋼業、セメント、石炭製品が入っている。これは、炭素集約的な産業が高い費用上昇率を経験すること示唆している。一方、最も費用上昇率が低い住宅賃貸料は、0.063%の費用上昇率であった。なお、平均的な費用上昇率は、1.946%であり、多くの業種の費用上昇率が低いことが示された。

表4.5.5 分析結果（2011年環境分析用規模別産業連関表）

業種	費用上昇率
銑鉄（大）	23.803%
セメント（小）	16.769%
セメント（大）	16.533%
塩（小）	14.985%
粗鋼（転炉）（大）	14.391%
外洋輸送	13.970%
石炭製品（大）	13.759%
石炭製品（小）	13.726%
その他の鉄鋼製品（小）	10.609%
その他の鉄鋼製品（大）	10.284%
フェロアロイ（小）	9.162%
熱間圧延鋼材（大）	9.127%
フェロアロイ（大）	8.650%
レーヨン・アセテート（小）	8.499%
レーヨン・アセテート（大）	8.470%
冷間仕上鋼材（小）	7.440%
ソーダ工業製品（小）	6.912%
圧縮ガス・液化ガス（小）	6.771%
鋼管（小）	6.604%
圧縮ガス・液化ガス（大）	6.587%

同一業種であっても、規模によって費用上昇率は異なる。費用上昇率は、大規模よりも中小規模の方が高い傾向を示している。本分析では、規模にかかわらず同じ業種の場合、同じ排出原単位を用いている。すなわち、エネルギー効率が同一業種内では同じであると仮定している。中小規模の費用上昇率が高い要因は、投入物の量である。すなわち中小規模の投入係数が大規模の投入係数よりも高いことが原因となっている。

表4.5.6は、EU ETS型の費用緩和措置を実施した場合の費用上昇率を示している。費用緩和措置の対象業種の費用上昇率は、大きく抑えられている。例えば、銑鉄は、23.8%から4.6%まで費用上昇を緩和している。費用緩和措置の間接的な影響を受ける業種は、費用緩和措置の対象となる業種から多くの中間投入財を購入している業種である。例えば、銑鉄を中間投入物として多く投入している粗鋼（転炉）業の費用上昇率は、14.3%から3.3%まで下がっている。一方、費用緩和措置の直接的・間接的な影響を受けない業種も存在する。

表4.5.6 EU ETS型費用緩和措置の効果

業種	費用上昇率	緩和措置 前順位	緩和措置 対象業種
外洋輸送	13.915%	6	0
圧縮ガス・液化ガス（小）	6.551%	18	0
圧縮ガス・液化ガス（大）	6.391%	20	0
ソーダ工業製品（小）	5.843%	17	0
ソーダ工業製品（大）	5.539%	22	0
銑鉄（大）	4.603%	1	1
沿海・内水面輸送	4.301%	51	0
染色整理（大）	3.926%	48	0
染色整理（小）	3.740%	56	0
セメント（小）	3.462%	2	1
粗鋼（転炉）	3.300%	5	0
セメント（大）	3.260%	3	1
鋳鍛鋼（大）	3.246%	27	0
石炭製品（小）	3.216%	8	1
石炭製品（大）	3.206%	7	1
板紙（小）	3.194%	53	0
鋳鍛鋼（小）	3.172%	29	0
板紙（大）	3.166%	55	0
鋳鉄品及び鍛工品（鉄）（大）	2.984%	41	0
鋳鉄品及び鍛工品（鉄）（小）	2.892%	45	0
航空輸送	2.815%	82	0

本シナリオ分析によって得られた結果を考慮すると、中小企業に対する配慮が必要となる可能性が高い。1つの方法として考えられるのが、明示的CPを変更することである。すなわち、中小企業を対象とした炭素税と大企業を対象としたETSを導入することである。経済効率性を重視した場合、両制度のCPが同じ金額となることが望ましい。しかし、中小企業のCPを大企業のCPよりも低く抑えることにより、費用上昇率を抑える効果が期待される。

本シナリオでは、大企業と中小企業のCO₂排出原単位が同じであると仮定した。しかし、大企業は、中小企業よりもエネルギー効率が高い可能性がある。この場合、中小企業の費用上昇率は、さらに高くなることが予想される。中小企業のエネルギー効率が低い要因として、流動性の制約が考えられる。そのため、中小企業の費用上昇率を抑える策として、中小企業と大企業のCPを異なるものにするだけでなく、中小企業向けの融資制度（流動性制約への対策）の活用も効果的となり得る。

結果3 2011年国内産業連関表（全国表）による有効炭素税率の分析

表4.5.7は、有効炭素税率を4,000円/t-CO₂以上となるシミュレーション分析の結果を示している。エネルギー税や電源開発促進税などの暗示的CPを考慮して、有効実行税率を4,000円/t-CO₂とした場合、鉄鋼関連業種や石油化学製品など費用上昇率が高くなっている。この結果は、現状のエネルギー関連税制では、これらの業種に対して配慮が行われている結果である。

一方、現状のエネルギー関連税制の特別配慮を受けられていない業種でも、費用上昇率が高くなる可能性がある。例えば、自家輸送（旅客自動車）業の有効炭素税率は、2万円/t-CO₂を超えているため、追加的なCPは付加されない。しかし、同部門の中間投入財の費用上昇により、間接的に影響を受けるため、費用上昇率は約7.7%となった。全業種平均費用上昇率が3.789%を考慮すると、自家輸送（旅客自動車）の費用上昇率は高い。

表4.5.7 有効炭素税率の均等化ケース

業種	費用上昇率
銑鉄	40.383%
外洋輸送	35.545%
粗鋼（転炉）	29.996%
熱間圧延鋼材	24.730%
冷間仕上鋼材	18.891%
石油化学基礎製品	17.370%
鋼管	16.019%
石油製品	15.891%
鉄鋼シャースリット業	15.351%
石油化学系芳香族製品	14.143%
めっき鋼材	13.836%
脂肪族中間物	12.763%
鋳鉄品及び鍛工品（鉄）	12.703%
その他の鉄鋼製品	12.009%
環式中間物	11.940%

現状のエネルギー関連税制や温対税は、一部の有効炭素税率を引き下げる効果を持っている。温対税の導入は、有効炭素税率の差を拡大していることが本シミュレーションから得られた。そのため、費用緩和措置の導入は、業種間の費用負担の格差を拡大していることが認められた。一方、有効炭素税率の導入は、各業種の費用上昇を招く可能性がある。その費用上昇は、有効炭素税率が低い業種だけでなく、高い有効炭素税率を持つ業種にも影響を与える。したがって、有効炭素税率の急激な引き上げは望ましくなく、段階的に引き上げられることが望ましい。段階的に有効炭素税率を引き上げることにより、エネルギー効率を引き上げる準備機関を与えることになる。温対税では2回にわたり税率が引き上げられた。この点は、評価できるが、2℃目標を達成するには、更なる有効炭素税率の引き上げが必要である。その際、長期的な税率引き上げ戦略を元を実施されることが、産業の国際競争力に配慮する結果となる可能性がある。

以上、研究計画書に基づき、環境分析用産業連関表を構築して、カーボンプライシングの影響を分析した。分析結果として、費用上昇率、費用緩和措置の効果を業種、規模別に明らかにした。費用上昇率で見ると、中小企業の方が大きくなるため、国際競争力配慮の観点から何らかの措置が必要となることが明らかとなった。この様に、サブテーマ5は当初計画を全て達成した。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

これまで研究の対象となつてこなかった、企業規模別のCPの影響を規模別産業連関表の作成・利用によって行ったことが本サブテーマの最大の貢献となっている。また、有効炭素税率の計算を細分化された業種で行ったことも科学的な意義がある。

（2）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

なお、環境省市場メカニズム室より、国際競争力問題に関する情報開示の依頼を受け、本サブテーマの分析結果および国際競争力に配慮が必要となる業種の情報を提供した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

カーボンプライシング導入する際、費用緩和措置のオプションとしてEU ETS型または温対税型を

比較検討に利用されることが期待される。また、多量排出者と少量排出者の取り扱いについて基礎的な情報として利用されることが期待される。

6. 国際共同研究等の状況

「特に記載すべき事項はない。」

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) J. Wang, M. Sugino & S. Matsumoto: Journal of Economic Policy Studies, 13, 2, 389-402 (2019)
Determinants of household energy efficiency investment: analysis of refrigerator purchasing behavior. International.
- 2) 杉野誠: 山形大学大学院社会文化システム研究科紀要, 15, 19-29 (2018)
炭素価格政策における費用緩和措置: 2011 年国内産業連関表を用いた EITE 産業の特定化.

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) T. H. Arimura & M. Sugino: Asian Economic Policy Review, Japan Center for Economic Research (2020)
Energy-Related Environmental Policy and its Impacts on Energy Use in Asia.

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 杉野誠: 山形大学大学院社会文化システム研究科, 31, 19-29 (2018)
「炭素価格政策における費用緩和措置: 2011年国内産業連関表を用いた EITE 産業の特定」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 杉野誠: 環境経済政策学会 2017 年大会 (2017)
「カーボンプライシングによる産業への短期的な影響: 2011 年国内産業連関表を用いた分析」
- 2) M. Sugino: 2nd Forum of Carbon Pricing Mechanism in Korea, China and Japan (2017)
“The effects of carbon pricing on Japanese industries: An input-output analysis separating large and SME.”
- 3) 杉野誠: 環境経済政策学会 2018 年大会 (2018)
「カーボンプライシングによる産業への短期的な影響」
- 4) 杉野誠: 環境経済政策学会 2019 年大会 (2019)
「暖化対策における短期的費用緩和措置の効果の比較～2011年国内産業連関表を用いた分析～」
- 5) M. Sugino: 4th Forum of Carbon Pricing Mechanism in Korea, China and Japan (2019)
“Comparing short-term cost containment measures when introducing carbon pricing Analysis using 2011 domestic IO table.”

(3) 知的財産権

「特に記載すべき事項はない。」

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 一般公開シンポジウム「カーボンプライシングの制度オプションの検討」（主催：RIEEM、2019年11月7日、早稲田大学WASEDA NEOホール、観客約100名）にて講演

(5) マスコミ等への公表・報道等

「特に記載すべき事項はない。」

(6) その他

「特に記載すべき事項はない。」

8. 引用文献

- 1) Carbon Pricing Leadership Coalition: (2017)
“Report of the High-Level Commission on Carbon Prices”
https://static1.squarespace.com/static/54ff9c5ce4b0a53decccfb4c/t/59b7f2409f8dce5316811916/1505227332748/CarbonPricing_FullReport.pdf
- 2) Organization for Economic Co-operation and Development (OECD): OECD (2016)
“The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution”
<https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/Policy-Highlights-Economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-web.pdf>.
- 3) Organization for Economic Co-operation and Development (OECD): OECD (2018)
“Pricing Carbon Emissions Through Taxes and Emissions Trading”
<https://www.oecd.org/tax/effective-carbon-rates-2018-9789264305304-en.htm>
- 4) Reinaud, Julia: IEA/OECD (2008)
“Issues Behind Competitiveness and Carbon Leakage: Focus on Heavy Industries”
- 5) Houser, T., R. Bradley, B. Childs, J. Werksman and R. Heilmayr: Peterson Institute for International Economics and World Resources Institute, Washington D.C. (2008)
“Leveling the carbon playing field”
- 6) 南斉規介、川島一真、森本高司：第13回日本LCA学会研究発表会講演要旨集、114-115、(2018)
「2011 年産業連関表に基づく3EID の開発」
- 7) European Commission: Official Journal of the European Union, L 1, 53, 10-18 (2010)
“Commission Decision of 24 December 2009 determining, pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council, a list of sectors and subsectors which are deemed to be exposed to a significant risk of carbon leakage”
- 8) Sugino, Makoto, Toshi H. Arimura, Richard D. Morgenstern: Energy policy, 62, 1254-1267, (2013)
“The effects of alternative carbon mitigation policies on Japanese industries”

Ⅱ－６ 排出量取引のイノベーションへの影響分析：埼玉県の制度を中心として

獨協大学経済学部

浜本 光紹

平成29年度(開始年度)～令和元年度研究経費（累計額）：6,812千円（研究経費は間接経費を含む）
（平成29年度：1,714千円、平成30年度：4,098千円、令和元年度：1,000千円）

〔要旨〕

埼玉県は、2011年度より目標設定型排出量取引制度を開始した。この制度の特徴は、目標削減率の設定は強制的になされるが、その達成は義務付けられてはいないという点にある。このような特徴が排出量取引のもたらす削減効果やイノベーションにいかなる影響を及ぼすのかは検討すべき重要な論点である。本サブテーマでは、①目標設定型排出量取引制度が排出削減にどの程度寄与したのか、②この制度が低炭素技術の普及を促進する効果を持ちえたのか、という2つの論点について実証的に検討した。この検討を通して、目標設定型排出量取引が事業所に対して排出削減に取り組むインセンティブを与えたこと、また低炭素技術の普及促進というイノベーションの面でも効果を有していることが明らかになった。この分析結果を踏まえるならば、目標設定は強制的になされるが、その達成は義務ではないという目標設定型排出量取引の仕組みは、対象となる産業界の制度導入に対する抵抗感を緩和しつつ、排出削減に向けた活動を促しうる排出量取引の制度設計の1つとして捉えることができる。このような制度設計は、排出量取引制度の全国展開をめぐる議論において検討に値すると考えられる。

〔キーワード〕

排出量取引、排出削減効果、低炭素技術、技術普及

1. はじめに

近年、排出量取引制度は脱炭素化に向けた社会・経済の構造転換を実現するための具体的な政策手段の1つとして位置づけられるようになってきている。2000年代には、欧州連合において域内排出量取引制度（European Union Emissions Trading Scheme: EU ETS）が導入され、米国では北東部諸州が地域温室効果ガス・イニシアティブ（Regional Greenhouse Gas Initiative: RGGI）を立ち上げて排出量取引を活用した排出削減の取り組みを開始するなどの動きがみられた。2010年代に入ると、韓国をはじめとするアジアのいくつかの国や地域で排出量取引制度の導入が進んだ。こうして排出量取引の導入が進展していく中、EU ETSやRGGIに関して、排出削減効果や経済への影響、イノベーション促進効果といった面での評価が試みられるようになってきている。

日本では、東京都が温室効果ガス排出総量削減の義務付けと排出量取引制度を2010年度より実施している。また埼玉県は、2009年に策定した「ストップ温暖化・埼玉ナビゲーション2050（埼玉県地球温暖化対策実行計画）」の中で重点施策として位置付けた目標設定型排出量取引制度を2011年度より開始した。この制度では、原油換算で年間1,500kL以上のエネルギーを3カ年度連続して使用する事業所を対象に、エネルギー起源のCO₂排出に対して目標削減率が設定される。目標設定型排出量取引制度の最大の特徴は、目標削減率を事業所自らの削減努力で達成できず、排出量取引などの遵守に向けた対応を行わなかった場合でも罰則を受けることがない、という点にある。すなわち、目標削減率の設定は強制的になされるが、その達成は義務付けられてはいないのである。このような特徴が排出量取引のもたらす削減効果やイノベーションにいかなる影響を及ぼすのかは、検討すべき重要な論点である。そこで本サブテーマでは、埼玉県で実施されている目標設定型排出量取引制度が排出削減に向けた行動を促す機能を有しているのか否かについて分析する。

2. 研究開発目的

本サブテーマにおいて主に検討されるのは、①目標設定型排出量取引制度が排出削減にどの程度寄与したのか、②この制度が低炭素技術の普及（イノベーション）を促進する効果を持ちえたのか、という2つの論点である。これらの論点に関する検討を通して、目標設定型排出量取引制度が排出削減に向けた行動を促す機能を有していることが明らかになった場合、削減目標の達成が義務でないにもかかわらず対象事業所が削減に努めたのはどのような理由によるのか、ということについての考察が必要となる。また、埼玉県外にも事業所を保有する事業者は、埼玉県内での生産を県外の事業所に移すことで排出削減を実現した可能性もある。こうしたいわゆるカーボンリーケージが起こったか否かについての検討も重要である。

以上のような点について実証的に検討するためには、目標設定型排出量取引制度の下での事業所の行動に関する詳細なマイクロデータが不可欠である。こうしたデータを収集することを目的として、目標設定型排出量取引制度対象事業所の行動に関するアンケートを2018年度に実施した。これによって得られたデータは、目標設定型排出量取引制度がもたらした低炭素技術普及促進効果や、この制度の下での事業所の行動とその背景にある意識、およびカーボンリーケージに関する分析において用いられる。

3. 研究開発方法

3.1 基本となる分析手法

目標設定型排出量取引制度は、埼玉県内において一定の条件を満たす事業所のみを対象に実施されている。したがって、この制度がもたらした排出削減効果や低炭素技術普及促進効果については、制度の対象となっている主体（処置群）と対象ではない主体（対照群）のデータを利用して検証するという方法を採用することができる。埼玉県では、目標設定型排出量取引が始まる1年前の2010年度より「地球温暖化対策計画制度」（以下、埼玉県計画書制度）を実施している。この制度は、県内の原油換算エネルギー使用量の合計が年間1,500kL以上の事業者、および店舗面積10,000㎡以上の事業所を有する事業者に対して、温室効果ガス排出削減の目標を設定し、削減活動に関する計画を作成し県に報告することを義務付けている。目標設定型排出量取引制度の対象事業所は、埼玉県計画書制度の対象でもある。このような埼玉県の温暖化対策の状況を考慮し、埼玉県と同様に計画書提出を義務付ける制度を導入しているが、排出量取引制度は実施していない近隣県に立地する事業所との比較を通して分析を行う。そうした近隣県として、ここでは群馬県を取り上げる。

群馬県は、2010年度に施行した地球温暖化防止条例において、「温室効果ガス排出削減計画等提出・公表制度」（以下、群馬県計画書制度）を定めている。この制度の対象となるのは、県内に立地するすべての事業所における前年度のエネルギー使用量が原油換算で1,500kL以上の事業者である（フランチャイズ事業者の場合はその本部が連鎖化事業者となり、加盟店を含む事業全体のエネルギー使用量で判断される）。事業者は排出削減活動に関して単年度ごとに計画を立てることとされ、計画書には前年度排出実績や排出目標（総量）などが記載される。なお、計画書に記載される排出目標は、事業者が自主的に設定するものである。

以上を踏まえ、目標設定型排出量取引制度の対象事業所および群馬県計画書制度の対象事業所に関するデータを用いて、目標設定型排出量取引制度がもたらした排出削減効果および低炭素技術普及促進効果を定量的に把握する。具体的には、これらの効果を検証するために、マッチング法により平均処置効果（average treatment effect on the treated: ATET）の計測を行う。ATETは、以下の式にしたがって測定される。

$$ATET = E [y_1 - y_0 \mid D = 1]$$

ここで、 D は処置の有無を表すインディケーター（処置を受けた場合は1、受けていない場合は0）であ

る。また、 y_1 は処置群が処置を受けた場合の結果（成果変数）、 y_0 は、処置群が処置を受けていなかった場合の結果をそれぞれ示している。後者の y_0 は現実には観察されない変数である。このとき、一定の条件の下で、 y_0 を対照群のデータで代用する方法を採用することができる。

ATETをマッチング法により推計する場合、対照群と処置群との間で「似た者同士」を何らかの方法で探し出し、それらの成果変数を組み合わせる必要がある。その方法として傾向スコアマッチング（propensity score matching: PSM）を採用する。これは、共変量から推測される「処置を受ける確率」が同程度のものをマッチングさせるというものである。ここでは、処置を受ける確率について、ロジットモデルを用いて推計する。

3.2 排出削減効果に関する分析の方法

排出削減効果に関する分析では、以下のようなデータおよび方法を用いる。目標設定型排出量取引制度の対象となる事業所のデータに関しては、埼玉県がとりまとめた「目標設定型排出量取引制度における第1計画期間の大規模事業所の状況」がある。この中には、基準排出量、実績排出量、区分（目標削減率）、排出量取引実施の有無、削減目標の達成などについて、第1削減計画期間に排出量取引の対象となった事業所のデータが記載されている。また、群馬県計画書制度の対象事業者に関しては、同県が公開しているデータが入手可能である。なお、群馬県が公表しているのは事業者レベルのデータであるため、埼玉県についてもこれにあわせ、目標設定型排出量取引制度の対象事業所を複数持つ事業者に関しては、保有する対象事業所のデータを集計したものを使用する。

傾向スコアマッチングを行う際に使用する共変量は、「各年の排出目標」と「事業者種別ダミー」（工場保有事業者、水道関連事業者、廃棄物処理関連事業者、教育関連事業者、医療関連事業者、教育・医療複合事業者を区別するダミー変数）である。これらの共変量から得られた「処置を受ける確率」に基づいてマッチングを行いながら、差分の差分法（difference-in-differences: DID）により削減効果を推計する。具体的には、第1削減計画期間の各年度の排出量について、マッチングさせた事業所間で2010年度の排出量との差をとったデータを比較しATETを計測する。ここでは、排出量の対数値をとって分析を行うので、排出量の変化率の差が定量的に示されることになる。

3.3 低炭素技術普及促進効果に関する分析の方法

低炭素技術普及促進効果に関する分析では、以下のようなデータおよび方法を用いる。まず、低炭素技術の導入にかかわるデータについては、目標設定型排出量取引制度の第1削減計画期間において対象になった製造業の事業所、および群馬県計画書制度の対象である製造業の事業所に対して行ったアンケートにより収集した。この事業所アンケートは株式会社サーベイリサーチセンターに委託して実施された。2018年7月20日に調査票が発送され、その後未返送分を回収するために調査員が事業所を訪問した（9月7日まで実施）。発送された調査票の数は727（埼玉県が402、群馬県325）、そのうち回収された調査票（有効票）は332（回収率：45.7%）であった。なお、埼玉県および群馬県で回収された調査票の数はそれぞれ201（回収率：50.0%）および131（回収率：40.3%）であった。

このアンケートでは、低炭素技術の普及にかかわる事業所の活動に関する情報を得る目的で、2008～17年度の各年度における高効率機器導入への投資額、延床面積、従業員数などについて尋ねた。なお、高効率機器の定義に関しては、以下のような記述を回答者に提示した。

「ここでいう高効率機器とは、トップランナー制度対象機器を導入した場合はトップランナー基準を満たす機器を指します。また、その対象ではない機器の場合はその機器の導入を検討した当時、利用可能な最高水準の技術を持つ高効率設備・機器を指します。なお、機器の例としては、工業炉、熱源機器、空調設備、受変電設備、配電設備、発電専用設備、コジェネレーション設備、ポンプ、コンプレッサ等の送風設備、電動応用設備、電気加熱設備、照明設備、昇降機、給湯設備などが含まれます。」

アンケートによって得られたデータを基に、目標設定型排出量取引制度が製造業の事業所による高効率機器導入への投資に与えた影響を分析する。その具体的な手順は次のとおりである。各事業所が回答した高効率機器導入への投資額に関して、第0期間（2008～10年度）、第1期間（2011～14年度：第1削減計画期間）、第2期間（2015～17年度：第2削減計画期間の3年間）のそれぞれの期間ごとに投資金額の合計を算出する。このデータを用いて、DIDの設定の下で第0期間と第1期間の比較、および第1期間と第2期間の比較を通してATETを計測する。対照群は群馬県計画書制度の対象事業所、処置群は目標設定型排出量取引制度の対象事業所である。

ATETの計測方法として、ここでは先に述べた傾向スコアマッチングに加えて、逆確率による重み付け（inverse-probability weighting: IPW）を採用する。低炭素技術普及促進効果の分析で用いるデータはアンケートによって得られたものであるため、使用するサンプルが母集団をどの程度代表しているかという点で問題が生じる可能性がある。そうしたことから、傾向スコアを用いて重み付けを行うことによりこの問題に関して一定の調整を施すことができるIPWもあわせて採用する。こうしてIPWによる推計を行うことにより、傾向スコアマッチングによって得られたATETの推計結果の頑健性について確認を行うことが可能となる。

傾向スコアの推計に使用する共変量は、第0期間と第1期間の比較については2010年度の、第1期間と第2期間の比較については2014年度の延床面積と従業員数である。また、ここでは次のような2つのサンプル（サンプルAとサンプルB）を用意した。サンプルAは、2008～2017年度の間のすべての年度に関して投資額を回答した事業所で構成される。ただし、アンケート全体の回答状況をみると、年度を遡るほど投資額については無回答となっている事業所が多くなっており、それによってサンプルAはサイズが限定されている。そこで、無回答となっている場合の投資額についてはゼロ円としてデータに含めることでサイズをいくぶん大きくしたものをサンプルBとして用いる。

4. 結果及び考察

以下に示すように、サブテーマ6は、研究計画書で示された目標を全て達成した。

4.1 目標設定型排出量取引の排出削減効果

前節で解説した方法により排出削減効果に関して平均処置効果を推計した結果が表4.6.1に示されている。この結果からは、2012年度から2014年度にかけて目標設定型排出量取引による削減効果がみられることが示唆される。具体的には、処置群と対照群の間の排出削減率（%）の差が、2012年度には11.7ポイント、2013年度には15.9ポイント、2014年度には18.9ポイントとなっている。このことから、目標設定型排出量取引の対象事業所は第1削減計画期間中に削減量を深掘りしていった様子が窺われる。

表4.6.1 平均処置効果：排出量取引対象事業所と群馬県事業所との比較

	ATET	処置群の数	対照群の数
A：2010年度と2011年度の排出量比較			
	0.0274	480	307
	(0.0141)		
B：2010年度と2012年度の排出量比較			
	-0.1167***	480	303
	(0.0271)		
C：2010年度と2013年度の排出量比較			
	-0.1586***	472	299
	(0.0264)		
D：2010年度と2014年度の排出量比較			
	-0.1894***	457	293
	(0.0288)		

括弧内はrobust Abadie-Imbens standard errorを示している。***は1%水準で有意であることを意味す

る。

埼玉県内には、計画書制度の対象ではあるが、目標設定型排出量取引制度の対象事業所を保有していない事業者が存在する。こうした事業者もATETの推計の際に対照群に含めることが可能である。そこで、これらの事業者も対照群に加えたうえで、目標設定型排出量取引制度に関する平均処置効果を計測してみた。なお、この制度の対象となっていない事業所の計画書には、単年度での目標設定が行われていないものが多い。また、総量ではなく原単位で目標が設定されている場合もある。そうしたことから、マッチングの際には「2010年度の排出量」と「事業者種別ダミー」を共変量に用いた。

埼玉県および群馬県の計画書制度対象事業者をサンプルとする平均処置効果の推計結果が表4.6.2に示されている。ここでも、目標設定型排出量取引の対象事業所は、2012～2014年度において対照群の事業所と比較してより多くの排出削減を行っていることが示唆されている。ただし、2014年度における処置群と対照群との間にみられる排出量の変化率の差は、表4.6.1に示される数値よりも縮小している。この結果から、計画書制度の対象ではあるが目標設定型排出量取引制度の対象事業所を保有していない埼玉県内の事業者も、群馬県の計画書制度対象事業者と比較してより多くの排出削減を行っている可能性が考えられる。

表4.6.2 平均処置効果：排出量取引対象事業所と群馬県事業所および
埼玉県非対象事業所との比較

	ATET	処置群の数		対照群の数	
A：2010年度と2011年度の排出量比較					
	0.0078	479		476	
	(0.0134)				
B：2010年度と2012年度の排出量比較					
	-0.1001***	479		471	
	(0.0208)				
C：2010年度と2013年度の排出量比較					
	-0.1742***	474		467	
	(0.0317)				
D：2010年度と2014年度の排出量比較					
	-0.1626***	460		462	
	(0.0283)				

括弧内はrobust Abadie-Imbens standard errorを示している。***は1%水準で有意であることを意味する。

この点を確認するために、目標設定型排出量取引の対象事業所を保有していない埼玉県の計画書制度対象事業者が処置群であったと想定して、群馬県の計画書制度対象事業者を対照群に用いて、両群の間にある排出量の変化率についてATETを推計してみた。なお、この場合もマッチングの際に使用する共変量を「2010年度の排出量」と「事業者種別ダミー」とした。

排出量取引の対象事業所を保有しない埼玉県計画書制度対象事業者を処置群に想定した場合の平均処置効果の推計結果を表4.6.3に示している。この結果は、2012年度から2014年度の期間において、目標設定型排出量取引の対象ではない事業所も、対照群と比較してより多くの排出削減を行っていたことを示唆している。このような結果が得られた理由については、目標設定型排出量取引の対象となる条件が「原油換算で年間1,500kL以上のエネルギーを3カ年度連続して使用する大規模事業所」とされている点が指摘できるであろう。排出量取引の対象事業所を保有していない埼玉県内の計画書制度対象事業者も、この条件を満たせば排出量取引対象事業所を抱えることになる。これらの事業者は、それを回避するためにエネルギー使用量の抑制・削減に努めていたと考えられる。

表4.6.3 平均処置効果：排出量取引の非対象事業所と群馬県事業所との比較

	ATET	処置群の数		対照群の数	
A：2010年度と2011年度の排出量比較					
	0.0224	167		309	
	(0.0298)				
B：2010年度と2012年度の排出量比較					
	-0.0925***	167		304	
	(0.0313)				
C：2010年度と2013年度の排出量比較					
	-0.1468***	167		300	
	(0.0370)				
D：2010年度と2014年度の排出量比較					
	-0.1999***	167		295	
	(0.0459)				

括弧内はrobust Abadie-Imbens standard errorを示している。***は1%水準で有意であることを意味する。

このように、目標設定型排出量取引制度の対象となる条件や、この制度の対象から除外されるための条件は、事業所による削減目標達成に向けた行動に影響を与えることが考えられる。目標設定型排出量取引制度では、年間使用エネルギーが1,000kLを下回った場合、あるいは3カ年度継続して1,000～1,500kLとなった場合はこの制度から離脱することができる。すでに対象となっている事業所（埼玉県計画書制度の分類ではC事業所とされる）は、エネルギー使用量の規模からみてこの条件を満たす可能性がある場合には、エネルギー消費の削減により努めるかもしれない。一方、対象となっていない事業所（埼玉県計画書制度の分類ではA事業所およびB事業所とされる）は、年間エネルギー使用量が3カ年度連続して1,500kLを超える可能性がある場合には、制度の対象になるのを回避しようとしてエネルギー使用量の抑制により努力することがありうる。以下では、目標設定型排出量取引制度における対象事業所の範囲設定のあり方が排出削減行動にいかなる影響を及ぼしたかを検討するために、A事業所・B事業所およびC事業所のエネルギー使用量の削減動向について定量的に分析する。

地球温暖化対策計画制度の対象事業所のエネルギー使用量については、2010年度からのデータが「事業所の地球温暖化対策計画・実施状況報告」（以下、計画・実施状況報告書）に記載されている。このデータを基に、エネルギー使用量の変化の関数に関して、次のような関係があるものと想定して計量分析を試みる。

$$emission_change_i = \beta_0 + \beta_1(\log(emission_2010_i))^2 + \beta_2\log(emission_2010_i) + \varepsilon_{it}$$

ここで、 $emission_change_i$ は事業所の2014年度におけるエネルギー使用量の変化率（2010年度比）、 $emission_2010_i$ は2010年度のエネルギー使用量、 ε_{it} は誤差項である。

A事業所のデータについては、ある事業者が複数のA事業所を保有している場合、計画・実施状況報告書には集計値のみが記載されているため、個々の事業所のデータが不明である。ただし、計画・実施状況報告書には、保有するA事業所の数が記載されているので、それを参考に、ここではある事業者が保有するA事業所の数が1とされているデータのみを用いている。また、A事業所・B事業所のデータに関しては、2010年度のエネルギー使用量が2,000kL未満の事業所のデータに限定している。これは、エネルギー使用量の規模が元々大きいために、エネルギー消費の節減に努力しても将来的に目標設定型排出量取引制度の対象となるのを回避することが難しい事業所を除外するためである。

上のモデルを推定した結果が表4.6.4に示されている。なお、C事業所のデータを用いた回帰分析では、目標削減率の差異の影響を捉えるために、目標削減率が8%に設定されている事業所を1、6%に設定

されている事業所を0とするダミー変数 (*target_8*と表記) を説明変数に加えている。表4.6.4の結果は、2010年度のエネルギー使用量の2次の項と1次の項はともに、A・B事業所のデータを用いた場合とC事業所のデータを用いた場合の双方において統計的に有意であることを示している。これは、エネルギー使用量の変化の関数が下に凸の2次関数で表現できることを意味している。

表4.6.4 エネルギー使用量の変化率と規模に関する回帰分析

A事業所・B事業所	
説明変数	係数
$(\log(emission_{2010}))^2$	0.0261 (0.0105)**
$\log(emission_{2010})$	-0.2516 (0.1012)**
定数	0.4252 (0.2205)*
R-squared	0.0543
N	112
C事業所	
説明変数	係数
$(\log(emission_{2010}))^2$	0.0877 (0.0437)**
$\log(emission_{2010})$	-0.6974 (0.3389)**
<i>target_8</i>	-0.0889 (0.0178)***
定数	1.3229 (0.6495)**
R-squared	0.0544
N	555

括弧内の数値は標準誤差である。***は1%水準、**は5%水準、*は10%水準でそれぞれ有意であることを意味する。

図4.6.1および図4.6.2は、表4.6.4に示す回帰係数を用いて、A・B事業所とC事業所のそれぞれに関して、エネルギー使用量の変化の関係をグラフで表したものである。図4.6.1にあるA・B事業所に関するグラフをみると、エネルギー使用量が大きいかほど削減率が大きいかことがわかる。目標設定型排出量取引制度の対象になるのを回避するには、年間エネルギー使用量が1,500kL（図4.6.1の横軸では約3.18）を3カ年度連続して超えてはならない。図4.6.1のグラフは、1,500kLの近傍からこれを超える水準のエネルギー使用量を有する事業所が、エネルギー使用量の削減により努力したことを示唆している。この結果から、目標設定型排出量取引制度の下での対象事業所の範囲設定は、制度の対象になる可能性のある事業所に対しても、エネルギー消費の抑制に向けた活動を促す機能を有していると推察される。

図4.6.2にあるC事業所のグラフは、横軸の数値でみて約3.976において最小値をとる形になっている。これは、2010年度のエネルギー使用量で9,500kL前後の事業所のエネルギー使用量削減率が最も大きく、エネルギー使用量がこれを超えてより大きくなるほど、あるいはこれをより下回るほど、エネルギー使用量の削減率が小さいということを示している。エネルギー消費規模が1,500kLに近い対象事業所であれば、エネルギーの節減に努めることで目標設定型排出量取引制度から除外される可能性は高いと考えられる。しかし、エネルギー使用量の変化率でみた場合に、そうした事業所がエネルギーの節減に最も努力したという証拠は、図4.6.2のグラフからは見出すことができない。なお、目標削減率の差異の影響については、6%に設定されている事業所と比較して、8%に設定されている事業所の方が2014年度におけるエネルギー使用量の節減分が9ポイントほど大きいという傾向が示されている。

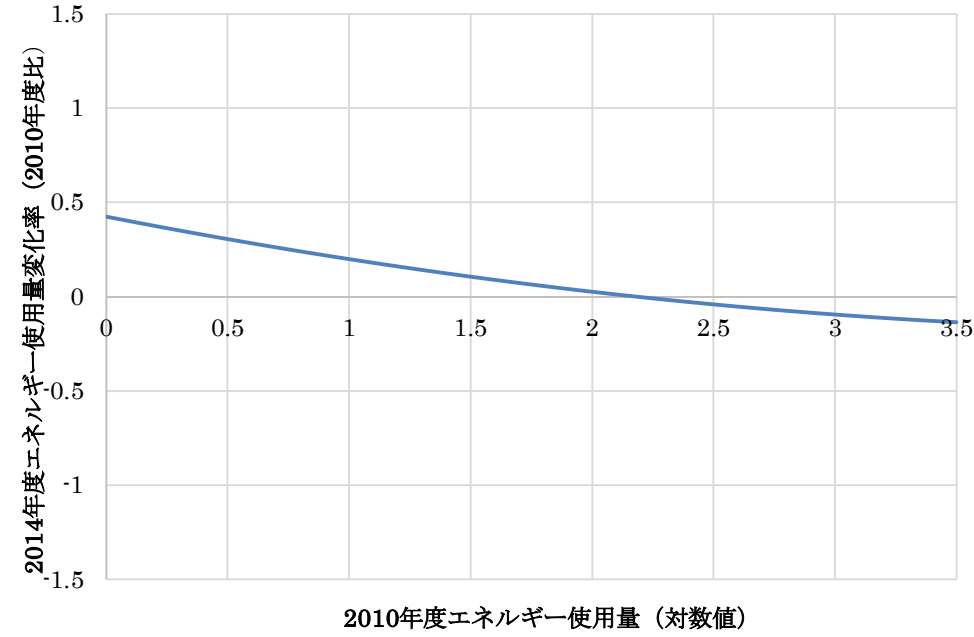


図4.6.1 A・B事業所におけるエネルギー使用量変化率の関係

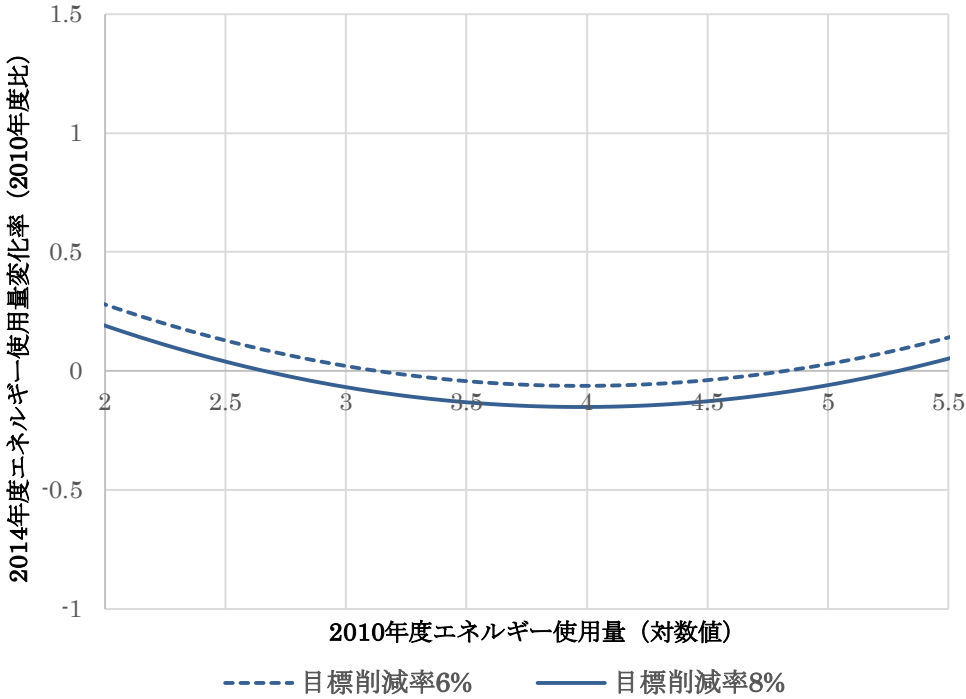


図4.6.2 C事業所におけるエネルギー使用量変化率の関係

4.2 目標設定型排出量取引の低炭素技術普及促進効果

低炭素技術普及促進効果に関して平均処置効果を推計した結果が表4.6.5に示されている。PSMによるATETの計測では、サンプルA、サンプルBいずれを使用した場合も、第0期間と第1期間を比較した場合には投資額の有意な変化はないが、第2期間において、第1期間と比較した場合に投資額が増加したという結果が得られている。第2期間における高効率機器への投資の平均的な増加額は、サンプルAの場合は

1.1億円、サンプルBの場合は1.3億円となっている。IPWによる平均処置効果の推計においても、PSMの場合と同様、第0期間と第1期間の比較では投資額に有意な変化はみられないものの、第1期間と第2期間の比較では投資額が増加したことが示されている。投資額の増分については、サンプルAの場合は1億円、サンプルBの場合は0.97億円と、PSMによる計測の結果よりも小さくなっている。

表4.6.5 目標設定型排出量取引による高効率機器導入への影響

	第0期間と第1期間の比較				第1期間と第2期間の比較		
	ATET	処置群の数	対照群の数		ATET	処置群の数	対照群の数
サンプルA							
PSM	-61.45	125	78		111.35**	131	97
	(67.32)				(45.09)		
IPW	-37.30	125	78		101.60**	131	97
	(52.06)				(43.49)		
サンプルB							
PSM	-56.78	157	90		131.10***	173	115
	(61.21)				(45.15)		
IPW	-36.90	157	90		96.92***	173	115
	(41.08)				(30.25)		

括弧内は、PSMについてはrobust Abadie-Imbens standard errorを、IPWについてはbootstrapped standard errorを示している。***は1%水準で、**は5%水準で有意であることを意味する。

以上の結果は、目標設定型排出量取引制度が、第2削減計画期間の前半の3年間に於いて、第1削減計画期間の4年間と比べて平均で1億円ほど高効率機器導入への投資を増加させる効果を有したことを示している。それに対して、第1削減計画期間においては、それ以前の3年間との比較でみると投資を押し上げる効果は見られなかった。後者の結果の背景にある要因を考察する際には、以下に述べるように、上記の分析で用いたデータを得るために実施したアンケートの他の質問項目への回答が参考になると思われる。

アンケートでは、排出削減につながる活動として「既存の設備・機器の改修」「省エネルギー性能向上に向けた技術開発」「生産管理体制の改善」の3つを取り上げ、それぞれに対して目標設定型排出量取引制度の導入がどの程度影響を与えたかを尋ねた。その回答結果を表4.6.6に示している。これによれば、「すでに保有している設備・機器の改修によるCO₂の排出削減」に「大きく影響を与えている」あるいは「ある程度影響を与えている」と回答した事業所は7割を超えている。このことは、目標設定型排出量取引制度導入初期にあたる第1削減計画期間における削減活動が既存の設備・機器の改修という比較的安価な削減手段の採用を促したことを示唆している。一方、第2削減計画期間では、目標削減率が強化されたこともあって、高効率機器導入という、より高い費用を要する排出削減手段を採用する必要が生じたと考えられる。

表4.6.6 目標設定型排出量取引制度が事業所にもたらした影響

	大きく影響を 与えている	ある程度影 響を与えて いる	あまり影響 を 与えていな い	全く影響を 与えていない	(回答 数)
すでに保有して いる設備・機器 の改修によるCO ₂ の排出削減	18.2%	54.0%	20.2%	7.6%	(198)
省エネルギー性 能を高めるため の新たな生産技 術の開発	4.1%	31.5%	50.3%	14.2%	(197)
CO ₂ の排出削減を 目的とした生産 管理体制の改善	9.1%	43.7%	37.6%	9.6%	(197)

4.3 カーボンリーケージは起こったか

アンケートでは、目標設定型排出量取引制度の第1削減計画期間においてどのような排出削減方法を採用したかを尋ねた。回答は、「事業所内での取り組みだけで排出を削減した」「事業所の生産量の一部を埼玉県外にある生産拠点に移す方法だけで排出を削減した」「事業所内での取り組みと、県外の生産拠点への生産量移転を組み合わせることで排出を削減した」「第1削減計画期間において排出削減に向けた取り組みを実施しなかった」「その他」から選択する形式をとった。この質問は、目標設定型排出量取引制度がカーボンリーケージを引き起こしたか否かを検証することを目的とするものである。

その回答結果を表4.6.7にまとめている。これをみると、約87%の事業所が所内での取り組みのみで排出削減を行っていたことがわかる。また、2%の事業所が、排出削減の一部あるいは全部を県外への生産移転という方法で実現していたことも示されている。このことから、目標設定型排出量取引制度の下でカーボンリーケージをもたらす行動をとった事業所が、第1削減計画期間において存在したことは間違いないものの、それはごく少数の事例に過ぎなかったことが窺われる。

表4.6.7 第1削減計画期間における排出削減方法

回答	事業所数	割合 (%)
事業所内での取り組みのみ	171	86.8
県外への生産移転のみ	1	0.5
事業所内での取り組みと県外への生産移転の組み合わせ	3	1.5
排出削減の取り組みを実施せず	8	4.1
その他	14	7.1
合計	197	100.0

注：「その他」のうち、6事業所が排出量取引を活用したと回答。

4.4 目標達成は義務でないのに削減に努めたのはなぜか

表4.6.7に示すように、第1削減計画期間において自ら削減に取り組んだ事業所の数は、県外への生産移転を組み合わせた場合も含めると、174であった。アンケートでは、この174の事業所に対して、所内で排出削減に取り組んだ理由を尋ねた。回答に際しては、4つの理由を設定し、それぞれに関して「よくあてはまる」「ある程度あてはまる」「あまりあてはまらない」「全くあてはまらない」のうちから1つを選択する方式を採用した。

表4.6.8はその回答結果である。この表によれば、「CO₂の排出削減はエネルギー費用の節約になり、収益力向上にもつながるから」という理由に対して、ほぼ9割の事業所が「よくあてはまる」あるいは「ある程度あてはまる」と回答している。この結果は、多くの事業所がCO₂排出削減は企業利益に結び

付く活動であると認識しており、目標設定型排出量取引制度の下での削減活動を企業にとって負担にしなければならないものとは捉えていないことを示唆している。このことが、目標達成が義務ではない埼玉県
の排出量取引制度であっても高効率機器導入への投資の促進要因となりえたことの背景に存在していると考えられる。

表4.6.8 第1削減計画期間において事業所内での削減に取り組んだ理由

	よく あてはまる	ある程度 あてはまる	あまり あてはまら ない	全く あてはまら ない	(回答 数)
CO ₂ の排出削減はエネルギー費用の節約になり、収益力向上にもつながるから	43.7%	46.0%	9.8%	0.6%	(174)
CO ₂ 排出の削減に向けた対策のノウハウや技術力を蓄積しておきたかったから	6.9%	42.8%	43.4%	6.9%	(173)
目標設定型排出量取引制度の対象から早く除外されるようにしたかったから	5.8%	17.4%	35.5%	41.3%	(172)
第2削減計画期間でできるように、クレジットを確保しておきたかったから	7.5%	33.5%	45.7%	13.3%	(173)

以上、研究計画書に基づき、埼玉県の目標設定型ETSに焦点を当てて、実証分析を行った。分析の結果、罰則が伴わない目標設定型排出量取引であっても排出削減効果が確認できた。アンケート結果から、目標設定型排出量取引の低炭素技術普及促進効果としては、第1削減計画期間における削減活動が既存の設備・機器の改修という比較的安価な削減手段の採用となり、第2削減計画期間では、高効率機器導入という、より高い費用を要する排出削減手段を採用する必要性が生じた点が明らかとなった。また、アンケート結果から、カーボンリーケージが生じたのはごくわずかであることが明らかとなった。さらに、多くの事業所がCO₂排出削減は企業利益に結び付く活動であると認識しており、目標設定型排出量取引制度の下での削減活動が、企業利益と両立していることが明らかとなった。以上、サブテーマ6は当初計画を達成した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

埼玉県内に立地する事業所を対象とする地球温暖化対策に関しては、地球温暖化対策計画制度（いわゆる計画書制度）と目標設定型排出量取引制度という2つの柱が存在する。目標設定型排出量取引制度の排出削減効果および低炭素技術普及促進効果について検証することを目的とする本サブテーマでは、以下のような方法を考案した。埼玉県北部に位置する群馬県では、埼玉県計画書制度の開始年度と同じ2010年度より計画書制度が実施されているが、排出量取引といったカーボンプライシングの仕組みは導入されていない。こうした両県の温暖化対策上の差異を利用し、群馬県の事業所を埼玉県の事業所と比較するという分析手法を採用した。このような方法により、埼玉県の目標設定型排出量取引制度がもたらした効果のみを抽出することが可能となった。

また、本サブテーマの中心的検討課題であるイノベーションへの影響を分析するために必要なデータは、とくに事業所レベルで入手できるものは存在しない。そのため、低炭素技術普及促進効果に関する検証では、アンケートを実施することにより高効率機器導入への投資額に関する事業所レベルのデー

タを入手した。これにより、既存の公表データでは分析することが困難な低炭素技術の普及に及ぼした影響に関して実証的に検討することが可能となった。

（２）環境政策への貢献

埼玉県目標設定型排出量取引制度では、東京都の排出量取引制度と異なり、目標を自らの削減努力で達成できず、排出量取引などの遵守に向けた対応を行わなかった場合でも罰則を受けることがない。本サブテーマの分析では、このように未達成の際の罰則を伴わない排出量取引制度でも、事業所に対して排出削減に取り組むインセンティブを与えうることが示された。

加えて、本サブテーマでは、目標設定型排出量取引制度が低炭素技術の導入を促進する機能を有しているのかについても検証を試みた。その結果、目標設定型排出量取引制度の下で、製造業の対象事業所は、第1削減計画期間との比較でみて、第2削減計画期間の3年間（2015～17年度）において高効率機器導入への投資を増加させたことが示された。このように、削減目標を達成できなくても罰則を受けることがない目標設定型排出量取引制度は、低炭素技術の普及促進というイノベーションの面でも効果を有していることが明らかになった。

本サブテーマの研究結果を踏まえるならば、目標設定は強制的になされるが、その達成は義務ではないという目標設定型排出量取引の仕組みは、対象となる産業界の制度導入に対する抵抗感を緩和しつつ、排出削減に向けた活動を促しうる排出量取引の制度設計の1つとして考えることができる。

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

日本における地球温暖化対策の今後の展開としては、東京都や埼玉県に続いて、他の道府県でも排出量取引制度の導入が検討されることが予想される。また国レベルでの排出量取引制度をめぐる議論も進展していくことが期待される。しかし、排出量取引の導入は、対象となる主体、特に産業界の抵抗が強いために政策形成の過程において困難に直面することが少なくない。

本サブテーマでの分析では、目標設定型排出量取引制度が排出削減効果や低炭素技術普及促進効果を発揮しうることが示された。これを踏まえるならば、目標設定型排出量取引制度のように、目標設定は強制的になされるが、それが未達成であっても罰則がないという、いわば「緩やかな」排出量取引の制度設計は、導入戦略も考慮した排出量取引制度のあり方として、この制度の全国展開をめぐる議論において検討に値すると考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

（１）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) M. HAMAMOTO: Environmental Economics and Policy Studies (in press)
Impact of the Saitama Prefecture Target-Setting Emissions Trading Program on the Adoption of Low-Carbon Technology.

＜査読付論文に準ずる成果発表＞

- 1) 浜本光紹：環境共生研究，（第 11 号），1-14（2018）
埼玉県における排出量取引制度とその成果 ―第 1 削減計画期間に関する分析
- 2) 浜本光紹：環境共生研究，（第 12 号），1-10（2019）
埼玉県目標設定型排出量取引制度と事業所の対応
- 3) M. HAMAMOTO: Research Institute for Environmental Economics and Management Discussion Paper Series No.1909（2019）
Impact of the Saitama Prefecture Target-Setting Emissions Trading Program on the Adoption of Low-Carbon Technology.
- 4) 浜本光紹：環境共生研究，（第 13 号）（2020 年 3 月刊行予定）
排出量取引の制度設計と排出削減行動 ―目標設定型排出量取引を事例に―

＜その他誌上発表（査読なし）＞

特に記載すべき事項はない。

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 浜本光紹：環境経済・政策学会2017年大会（2017）
「民間事業所による省エネルギー投資行動に関する実証分析」
- 2) 浜本光紹：環境経済・政策学会2018年大会（2018）
「埼玉県における排出量取引制度とその成果 ―第1削減計画期間に関する分析―」
- 3) 浜本光紹：環境経済・政策学会2019年大会（2019）
「埼玉県の排出量取引が技術普及に及ぼした影響に関する実証分析」

（3）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 環境研究総合推進費2-1707国民対話シンポジウム『カーボンプライシングとエネルギーマネジメント』2018年10月26日、WASEDA NEO ホール、参加者約100名）にて成果紹介

（5）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（6）その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

Ⅱ－７ カーボンプライシングの家計影響：温暖化対策税を中心として

青山学院大学 経済学部

松本 茂

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）：7,547千円（研究経費は間接経費を含む）
（平成29年度：1,933千円、平成30年度：4,306千円、令和元年度：1,308千円）

【要旨】

これまでの家計のエネルギー消費動向の研究では、データ制約上の理由から、主としてマクロデータを利用した分析が行われていた。或いは、カーボンプライシングの導入や省エネ家電の普及後も、家計のエネルギー消費行動は変化しないと仮定し、省エネ効果の予測が行われてきた。これらの問題点を克服し、カーボンプライシングが世帯の電力消費に及ぼした影響を評価するため、本研究では家計レベルのエネルギー消費のマイクロデータを分析した。

具体的には、3年間の研究期間で二種類の調査を実施した。一種類目の調査は、政府統計データを利用した分析である。環境省の協力の下、「全国消費実態調査」と「家庭部門のCO₂排出実態統計調査」のマイクロデータを入手し、（１）家計におけるエネルギー消費の実態、（２）人口動態変化のエネルギー消費への影響、（３）政府が導入した省エネ政策の効果、（４）家計の省エネ行動の阻害要因、について定量的な分析を行った。

二種類目の調査では、アンケート調査によるエネルギー課税の影響予測を行った。温暖化対策を目的に2012年に導入された環境税は現在低率だが、将来的には温暖化対策の強化のために増税される可能性がある。しかしながら、実際に課税をしたり、エネルギー価格を変化させたりすることで、増税に対する世帯の対応を調べることはできない。そこで、本研究では、調査会社に依頼を行い、2018年度の電力消費量をベースに2019年度に節電取り組みに応じた謝礼額を変化させる節電インセンティブ実験を行い、増税に対して世帯がどの様に対応するか調査した。

マイクロデータを利用した分析の結果、家計のエネルギー消費について、以下の新たな知見が得られた。

- （１） 家電の省エネ性能が向上すると、世帯は家電を大型化させたり、保有台数を増やしたりするため、期待したほどの省エネ効果は得られない。
- （２） エネルギー消費には規模の経済性が働くため、世帯規模が小さくなるにつれ、一人当たりのエネルギー消費量は増加する。
- （３） 日本人世帯の電力需要の価格弾力性と所得弾力性はこれまでの先行研究と同水準であり、それぞれ-1.32と0.07となった。
- （４） 電力需要の価格弾力性は所得階層や居住地域によってばらつきがみられる。
- （５） 省エネ投資や省エネ行動に消極的な世帯と積極的な世帯があり、その違いは世帯属性により一定程度説明できる。

【キーワード】

家計のエネルギー消費、省エネ投資、省エネ行動、弾力性、マイクロデータ

1. はじめに

わが国では地球温暖化対策を目的とした環境税が2012年度に導入された。現在、その税率は低い水準に維持されているものの、対策強化を目的に将来的には増税が行われる可能性がある。環境税（カーボンプライシング）の強化は、家計の日常生活にも様々な影響を及ぼすようになると予想されているが、エネルギー価格の変化が家計の行動をどの様に改変するかは、データ制約上の理由から、これまで十分に検証されてこなかった。また、環境税の導入に先立ち、政府は耐久消費財の性能を向上させることで

家計部門の省エネ化を目指してきたが、そうした政策が家計部門の省エネにどの程度寄与しているかも十分に検証されていなかった。カーボンプライシングが今後強化されることが予測されているならば、これらの知見の不足を補う調査が必要である。

2. 研究開発目的

(1) カーボンプライシング（エネルギー価格の変化）が家計のエネルギー消費行動をどの様に改変したか、

(2) カーボンプライシング以外の省エネ政策が家計のエネルギー消費行動をどの様に改変したか、を調べるために、本調査では世帯レベルのエネルギー消費のマイクロデータ分析を行い、次の3.の(A)―(C)の論点を明らかにするとともに、(D)の考察によりLED化の進行状況の世帯間のばらつきを考慮して重点的に支援すべき世帯タイプを明らかにする。

3. 研究開発方法

「全国消費実態調査：1989―2014年度」および「家庭部門のCO₂排出実態統計調査：平成26年10月～平成27年9月実施分」の世帯レベルのマイクロデータを利用して、複数の調査を実施した。以下、(A)―(D)の4つの主だった調査の内容に絞って報告を行う。

(A) 技術革新による省エネ化の限界とカーボンプライシングの必要性

Inoue and Matsumoto (Energy Policy 2019)

(B) 人口動態の変化がエネルギー消費に及ぼした影響

Inoue and Matsumoto (Conference paper for CPS, 2019)

(C) カーボンプライシングが世帯の電力消費に及ぼす影響

Onuma, Matsumoto, Arimura (RIEEM Discussion Paper, 2018)

(D) 省エネ製品の導入状況に関する考察

Onuma and Matsumoto (Conference paper for BECC Japan, 2019)

(A) 技術革新による省エネ化の限界とカーボンプライシングの必要性

耐久消費財の省エネ性能を向上させることで、家計のエネルギー消費量を減らすことができるならば、技術革新を重点的にを行い、わざわざ抵抗の多いカーボンプライシングを導入しなくても済むかもしれない。しかしながら、「耐久消費財の省エネ性能が向上すると、人々が安価になったエネルギーサービスをより多く利用するようになるため、エネルギー消費量は期待した程低下しない」という「ジェヴオンズ・パラドクス（或いは、リバウンド効果）」として知られた予測がある。耐久消費財の性能向上による省エネ効果を予測する際には、このリバウンド効果の大きさを把握することが必要であり、これまで海外では数多くの調査が実施されてきた。一方、わが国では、データ制約のため、これまで余り調査がなされてこなかった。

わが国では、Top Runner Program が導入されて以降、家電の省エネ性能は大幅に向上したが、果たしてそうした大幅な省エネ性能の向上に対して、人々はどのような対応をとったのだろうか。この質問にこたえることは、今後の技術革新の効果予測を行う上でとても重要である。

本調査では世帯が各家電に使う電力消費量が Top Runner Program の前後でどの様に变化したかを、Conditional Demand Analysis (CDA) と呼ばれる統計分析手法を用いて調べた。図3.7.1にCDAの概念図を示しているが、CDAでは家電の所有を所与のものとして、各家電に対してどれ位のエネルギーが利用されているかを調べる手法である。なお、この分析には全国消費実態調査のデータを利用した。

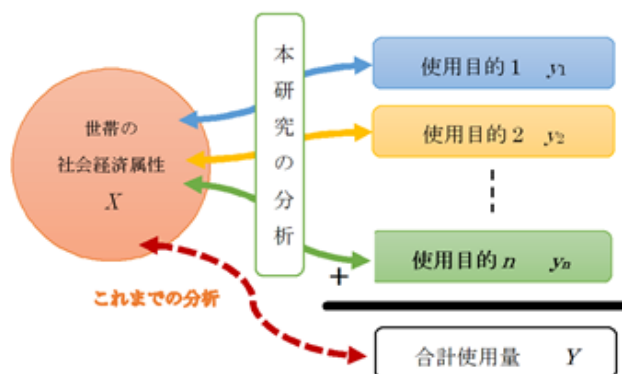


図3. 7. 1 CDAの概念図

(出典：筆者作成)

TOP Runner Program の導入により家電の省エネ性能が大幅に向上すると、人々はサイズの大きな家電を購入したり、家電の保有台数を増やしたりするようになる。そのため、家電の省エネ性能の向上による便益が失われてしまう可能性がある。

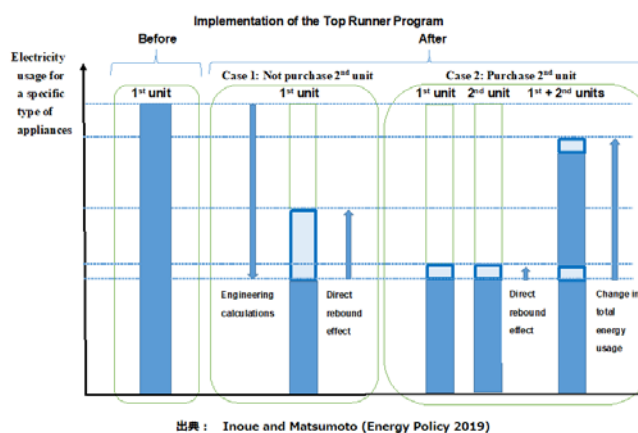


図 3. 7. 2 リバウンド効果の概念図

(出典： Inoue and Matsumoto, Energy Policy 2019)

家電の性能が向上しても家電の使用状況が変わらないなら、図3. 7. 2に示したEngineering Estimationで示された省エネが期待される。しかし実際には、リバウンド効果が存在するため、家電の利用頻度が増加したり、家電が大型化したりするようになり、節電効果の一部が失われてしまう。これは図の Case 1 に相当する。また、世帯によっては家電の保有台数を増やしたりする。これは図の Case 2 に相当する。

本調査では、世帯のエネルギー消費、家電保有、社会経済属性データを利用し、1989年から2004年の期間に渡って各種家電へのエネルギー使用量がどの様に変化したかをCDAにより推計し、家電の大型化や保有台数の増加の影響を調べた。

(B) 人口動態の変化がエネルギー消費に及ぼした影響



図 3.7.3 平均世帯のエネルギー消費量の経年変化 (MJ)
(出典: Inoue and Matsumoto, 2019)

省エネ政策の効果を推測するためには、人口動態の変化が家計部門のエネルギー消費の変化とどのように関連しているのかについて理解することも必要である。第二番目の調査では、全国消費実態調査と小売物価統計のデータを組み合わせ、各世帯が各エネルギーをどれだけ消費していたか計算した。次に、環境省が提供している数値表を利用し、各エネルギーの推定消費量をメガジュール (MJ) 単位に換算した。図3.7.3に、各県の平均世帯のエネルギー消費量が1989年から2014年にどのように変化したかが示されているが、エネルギー消費量が1989年から1999年に増加し、その後の1999年から2014年にかけて減少したことがみてとれる。

次に、世帯タイプごとのエネルギー消費量の変化を調べるため、世帯を9つのタイプ、(1) single, (2) couple only, (3) couple and one child, (4) couple and two children, (5) couple and more two children, (6) single parent and children, (7) couple and parents, (8) couple and children, and parents, (9) others に分類し、エネルギー消費量の変化を世帯タイプごとに比較した。

表 3.7.1 東京都における世帯タイプ別のエネルギー消費量の経年変化 (MJ)

Tokyo area example	1989	1994	1999	2004	2009	2014	Change (1989-2014)
All	3,893	3,577	3,465	3,589	3,345	3,327	-14.6%
(1) Single	2,437	2,010	2,248	2,124	2,325	2,357	-3.3%
(2) Couple only	3,412	3,009	3,008	3,247	3,165	3,026	-11.3%
(3) Couple and one child	3,762	3,400	3,506	3,716	3,377	3,660	-2.7%
(4) Couple and two children	4,108	3,943	3,799	3,969	3,580	3,618	-11.9%
(5) Couple and three children	4,699	4,465	4,334	4,624	4,114	4,087	-13.0%
(6) Single parent and children	3,159	3,526	3,371	3,138	2,805	2,767	-12.4%
(7) Couple and parents	4,008	3,580	5,150	3,963	3,865	3,915	-2.3%
(8) Couple, children, and parents	4,914	5,134	5,177	5,673	5,084	4,955	0.8%
(9) Others	4,610	4,765	4,044	4,226	3,831	3,461	-24.9%

(出典: Inoue and Matsumoto, 2019)

表3.7.1は、世帯タイプによって省エネ化の程度が異なることを示しているが、子供と同居している世帯が高いレベルの省エネ化を実現できている一方で、高齢の両親と一緒に住んでいる世帯や単身世帯は低いレベル省エネ化しか実現できていないことが分かる。

この結果を1999年から2014年における各県の人口統計データと組み合わせることで、家計部門のエネルギーの消費量がどの程度変化したかを調べた。また、そのエネルギー消費量の変化分のうち、省エネ化と人口動態変化に起因する分がそれぞれどの程度の大きさになるかを計算した。この調査を行った理由は、人口動態変化が家計部門のエネルギー消費量の変化にどれ位の影響力を持つかわかるためである。

(C) カーボンプライシングが世帯の電力消費に及ぼす影響

エネルギー価格の変化が需要に及ぼす影響を調べる際には、一般的には需要の価格弾力性を用いて議論が行われることが多い。電力需要の価格弾力性は、ガソリン需要の価格弾力性とともこれまで非常に多くの推計が行われてきており、Espey and Espey (2004) の Meta analysis を行ったサーベイ論文も存在する。わが国でも、谷下 (2009)、溝端ら (2011)、大塚ら (2013) などの先行研究が存在する。

これまでの研究は、マクロレベルのデータを利用した分析が主であったが、昨今の海外の研究では世帯単位のマクロレベルのエネルギー消費データを用いた分析が実施されるようになっている。そこで、本研究では環境省の家庭部門のCO₂排出実態統計調査のマクロデータを利用し、電力需要の価格弾力性を推計した。我々の知る限り、現在までのところ、わが国において、マクロデータを用いた調査は実施されていない。(本調査では、電力料金を電力使用量で除した値を電力価格として利用しているため、正確には価格弾力性の近似値を推計している。)

また、家庭部門のCO₂排出実態統計調査では、家電の保有状況やLEDの使用状況についても調査がされているので、各種家電への電力使用量とLED化による節電効果についても同時に推計した。各種家電への電力使用量については、資源エネルギー庁による「平成22年度□□部□エネルギー消費実態調査」がしばしば引用されているが、調査時期が2009年度とかなり古く、より新しい調査が必要となっていた。また、LEDの節電効果については、環境省の「省エネルギー・低炭素化推進に関する取組み」で報告があるが、同報告での評価は技術的な予測値であり、実際にLEDを導入した世帯でどれ位の省エネ化が実現できたかを調査したものではない。

(D) 省エネ製品の導入状況に関する考察

カーボンプライシングが強化されるようになると、世帯はその影響を緩和するため、省エネ投資を強化するようになる。しかしながら、省エネ投資への取り組み状況は世帯の間でかなり異なることが知られており、更には、同じ世帯でも異なった省エネ投資に対しては異なった対応を取ることも知られている (Karlinら 2014)。

表 3.7.2 LEDの利用状況

LED installation in specific rooms	Share
Living	28.7%
Dining	25.0%
Bed	15.5%
Kitchen	14.2%
Other	18.2%
LEDization stage	Share
Complete	4.5%
Partial	49.8%
Zero	45.7%

(出典: Matsumoto and Onuma, 2019)

平成28年5月13日に閣議決定された地球温暖化対策計画では、2020年までにフローベースで、2030年までにストックベースで100%のLED化を目指すことが述べられている。LEDの普及のために、東京都では

家計にLEDの無償配布なども行ってきたが、世帯レベルのデータを用いて、実際にどれ位のLED化が実現できているかは検証されていない。環境省の家庭部門のCO₂排出実態統計調査では、各世帯が部屋ごとにどの程度LEDを利用しているかが調査されているが、表3.7.2に示された通り、アンケート調査で、LEDだけを利用していると答えた世帯が4.5%、一部LEDを利用していると答えた世帯が49.8%いる一方で、全くLEDを利用していないと答えた世帯も45.7%いる。更に、表はLEDの利用状況が部屋ごとに大きく異なることも示している。本研究では、LED化に積極的な世帯と消極的な世帯がどのようなタイプの世帯であるかを調べるため、項目応答モデルを利用した分析を行った。

4. 結果及び考察

以下に示すように、サブテーマ7では、コロナウイルスの影響で電力価格上昇の省エネ効果の検証を完了できなかったが、研究計画書で示された目標について、それ以外達成した。

(A) 技術革新による省エネ化の限界とカーボンプライシングの必要性

表4.7.1 Top Runner Program 導入期のエアコンと冷蔵庫の電力消費量の変化

Appliances	Year	Average electricity usage	Coefficient	Electricity usage per appliance	Average Ownership	Average electricity usage per household	Share in household electricity usage
		kWh/month		kWh/month		kWh/month	
Air conditioner	1989	296.83	10.80	32.06	1.06	33.98	11.4%
	1994	375.68	10.58	39.75	1.57	62.40	16.6%
	1999	394.63	8.92	35.20	1.94	68.29	17.3%
	2004	410.91	6.76	27.78	2.25	62.50	15.2%
Small refrigerator (< 300 L)	1989	296.83	6.29	18.67	0.54	10.08	
	1994	375.68	7.03	26.41	0.59	15.58	
	1999	394.63	5.09	20.09	0.52	10.45	
	2004	410.91	7.46	30.65	0.48	14.71	
Large refrigerator (= 300L)	1989	296.83	11.04	32.77	0.67	21.96	
	1994	375.68	13.29	49.93	0.65	32.45	
	1999	394.63	13.10	51.70	0.76	39.29	
	2004	410.91	12.94	53.17	0.79	42.01	
Refrigerator sum	1989					32.04	10.8%
	1994					48.04	12.8%
	1999					49.73	12.6%
	2004					56.72	13.8%

(出典： Inoue and Matsumoto Energy Policy, 2019)

1989年から2004年の Top Runner Program の導入期に、エアコンと冷蔵庫の電力使用量がどの様に変化したかをCDAにより推計した。結果を表4.7.1に示している。表は、エアコンに対する平均世帯の一月当たりの電力使用量が保有台数の増加のため、33.98kWhから62.50kWhへと増加したことを示している。一方、冷蔵庫に対する電力使用量は、大型化のために、32.04kWhから56.72kWhへと増加したことを示している。

経済産業省（2007）の調査によれば、Top Runner Program の導入期、エアコンの性能は1997年から2004年の期間で67.8%、冷蔵庫の性能は1998年から2004年の期間で55.2%も向上している。上述の分析結果は、家電の省エネ性能を向上させるだけでは、世帯のエネルギー消費を減らすことが難しいことを示している。

(B) 人口動態の変化がエネルギー消費に及ぼした影響

表4.7.2は、1999年から2014年までの家計部門のエネルギー消費量の変化を省エネ効果と人口動態効果に分けて示している。表の最終行には、総エネルギー消費量が全国レベルで11,366ペタジュール (PJ) 減少したことが示されている。人口動態の変化がなかった場合、27,090 PJのエネルギー削減が実現でき

ていたはずだが、人口動態が変化したため、実際には15,724 PJの省エネ効果が失われてしまっている。同様に、首都圏では、人口動態の変化がなければ、147 PJの省エネ化が実現できていたはずだが、人口動態の変化により、エネルギー消費量が3,142 PJ 増加してしまっている。その結果、東京都のエネルギー消費量は合計で2,995 PJ増加した。

表4.7.2 エネルギー消費の変化の要因分析

	全国			東京都		
	合計	省エネ効果	人口効果	合計	省エネ効果	人口効果
(1) Single	13,403	-2,559	15,962	2,527	346	2,181
(2) Couple only	1,754	-5,626	7,381	702	21	680
(3) Couple and one child	-2,779	-4,018	1,239	490	124	366
(4) Couple and two children	-7,647	-4,539	-3,108	-209	-111	-98
(5) Couple and three children	-2,658	-1,414	-1,245	-99	-36	-64
(6) Single parent and children	1,541	-3,011	4,552	65	-304	369
(7) Couple and parents	-1,019	-634	-385	-86	-43	-44
(8) Couple, children, and parents	-12,382	-2,009	-10,372	-386	-16	-370
(9) Others	-1,580	-3,281	1,701	-7	-127	120
Total	-11,366	-27,090	15,724	2,995	-147	3,142

(出典：Inoue and Matsumoto, 2019)

以上の分析結果は、沢山の子供と同居している世帯で高い省エネ化が実現されているため、そうした世帯の割合が減少すると、余り省エネ化が望めなくなることを示唆している。また、高齢世帯や単身世帯の増加は省エネ化にはマイナスに作用することも示唆している。

(C) カーボンプライシングが世帯の電力消費に及ぼす影響

家庭部門のCO₂排出実態統計調査のミクロデータを利用して推計した電力需要の価格弾力性と所得弾力性の値が表4.7.3に掲載されている。All households、Multiple-person、Single-personの列には、それぞれ、全世帯、複数人世帯、単身世帯のデータを利用した場合の結果が掲載されている。全世帯のデータを利用した場合の、価格弾力性は-1.31、所得弾力性は0.07となっているが、この値は先述したEspey and Espey (2004) のサーベイ論文で紹介されている諸外国の推計値とほぼ同等である。また、日本におけるマクロデータを利用した先行研究の推計結果ともほぼ同等である。また、表から、単身世帯の価格弾力性が複数人世帯の弾力性よりも（絶対値が）大きいことが分かる。

LEDの使用状況に応じて、世帯を、全くLEDを利用していない世帯、一部LEDを利用している世帯、LEDだけを利用している世帯、の3タイプに分け、これらの世帯の間で電力消費量に差があるかを調べた。表4.7.3の結果は、LED化を進めている世帯の方が進めていない世帯に比べ、電力消費量が少ないことを示している。なお、表4.7.3には、各種家電に対する消費電力も推計結果も記載されているが、これについては、環境政策への貢献のセクションで後述する。

表4. 7. 3. ミクロデータを用いた電力需要の価格・所得弾力性

Variables	All households		Multiple-person		Single-person	
	Coeff.	Std Err.	Coeff.	Std Err.	Coeff.	Std Err.
Ln (Electricity price)	-1.314***	-0.0337	-1.316***	-0.0319	-1.392***	-0.0963
Ln(income)	0.0654***	-0.00779	0.0397***	-0.00839	0.0424**	-0.0175
Apartment house	-0.130***	-0.0132	-0.112***	-0.0133	-0.143***	-0.0343
Construction after 2011	-0.110***	-0.0179	-0.122***	-0.0193	-0.0374	-0.0417
Floor area	0.102***	-0.014	0.0816***	-0.0142	0.05	-0.0309
Complete-LEDization	-0.0825***	-0.0214	-0.0928***	-0.0226	-0.0296	-0.0599
Partial-LEDization	-0.0153*	-0.00832	-0.0176**	-0.00856	-0.00691	-0.0218
Age of head of household	0.00391***	-0.00044	0.00285***	-0.00047	0.00503***	-0.00105
Presence of children (10-19 years)	0.0283**	-0.0126	0.0435***	-0.0122		
Presence of elderly person (> 75 years)	-0.0402***	-0.0134	-0.0186	-0.0138	0.000471	-0.0435
Number of persons	0.117***	-0.00513	0.0846***	-0.00524		
Stay at home on weekdays in daytime	0.0469***	-0.00918	0.0236**	-0.0095	0.0500*	-0.0259
Vacancy of house more than 5 days during the month	-0.217***	-0.017	-0.174***	-0.0186	-0.201***	-0.0268
Television	0.0238***	-0.00516	0.0276***	-0.00519	0.0137	-0.0193
Refrigerator	0.0993***	-0.012	0.102***	-0.0124	0.213***	-0.0343
Air conditioner	0.0581***	-0.00349	0.0554***	-0.00353	0.101***	-0.013
Dishwasher with dryer	0.109***	-0.0106	0.108***	-0.0108	0.053	-0.0369
Microwave & oven	0.0457**	-0.0204	0.0307	-0.0192	0.129**	-0.0546
Electronic bidet	0.0532***	-0.00702	0.0449***	-0.0073	0.125***	-0.0219
Electric pot	0.0317***	-0.00755	0.0337***	-0.00763	0.00756	-0.0215
Humidifier	0.0424***	-0.00687	0.0426***	-0.00685	0.0659**	-0.0274
Air cleaner	0.0259***	-0.00709	0.0166**	-0.00718	0.0642***	-0.0214
Personal computer	0.0203***	-0.00447	0.0151***	-0.00447	0.0768***	-0.0181
DVD player	0.0145***	-0.00539	0.00847	-0.00569	0.0443***	-0.016
Constant	7.966***	-0.132	8.439***	-0.134	8.217***	-0.364
Observations	102,062	8,506	85,229	7,107	16,833	1,399
# of households	8,506	0.602	7,107	0.549	1,399	0.474
Adjusted R2		0.602		0.549		0.474

Note: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. Robust standard errors in parentheses.

Regional and monthly dummies are included in the analysis.

(出典：Onuma, Matsumoto, and Arimura, 2019)

(D) 省エネ製品の導入状況に関する考察

部屋ごとのLED化の進行度合いの違いを評価するため項目応答モデルを利用し、各世帯のLED化能力を推計した。その後、各世帯の属性とLED化能力の関係について調べたが、その結果を表4. 7. 4に掲載している。表から、多人数世帯はLED化能力が高いこと、所得が低い世帯はLED化能力が低いこと、世帯主の年齢が50-64歳位の世帯のLED化能力が高いこと、持ち家の新しい住居に住んでいる世帯はLED化能力が高いことが示されている。

以上の結果から、LED化の進行状況には世帯間でばらつきがあり、LED化対応が遅れがちな世帯（低所得の借家世帯、あるいは、単身世帯）に対する重点的な支援が必要であることが分かる。

表4.7.4 世帯のLED化能力

Variables	Coefficient	Standard Error
Socioeconomic characteristics		
Person	0.04*	(0.02)
Age Group		
10-19	0.09	(0.18)
20-29	-0.03	(0.08)
30-39	0.11	(0.06)
50-59	0.21**	(0.08)
60-64	0.31***	(0.10)
65-74	-0.02	(0.12)
> 74	-0.01	(0.07)
Child	-0.05	(0.06)
Youth	-0.07	(0.08)
Senior	0.06	(0.05)
Daytime use	-0.07	(0.06)
Job	0.09	(0.18)
Income		
< 2500	-0.41***	(0.07)
2500-4999	-0.09*	(0.05)
7500-9999	0.05	(0.06)
10000-14999	0.00	(0.08)
15000-19999	-0.29	(0.18)
> 19999	0.27	(0.27)
Housing structure characteristics		
Owner	0.47***	(0.07)
Apart	0.01	(0.07)
New house	1.09***	(0.07)
Floor area	0.05	(0.06)
Housing location characteristics		
Medium city	-0.07	(0.04)
Small city	-0.08	(0.06)
Price of electricity	-0.01	(0.01)
Constant	-1.16	(0.32)
Note: *** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.1. Prefecture dummies are included in the analysis. N = 8,696		

(出典： Matsumoto, and Onuma, 2019)

以上、研究計画書に基づき、世帯のエネルギー消費調査を実施して、調査結果をもとに計量分析を行った。分析結果として、技術革新による省エネ化の限界とカーボンプライシングの必要性が明らかとなった。人口動態の変化がエネルギー消費に及ぼした影響についても分析し、高齢世帯や単身世帯の増加は省エネ化にはマイナス、子供が沢山いる世帯ほど省エネであることが明らかとなった。カーボンプライシングが世帯の電力消費に及ぼす影響として、価格弾力性は-1.31、所得弾力性は0.07、単身世帯の価格弾力性が複数人世帯の弾力性よりも（絶対値が）大きい点、LED化を進めている世帯の方が電力消費量が少ない点を明らかにした。また、省エネ製品の導入状況に関しては、LED化対応が遅れがちな世帯（低所得の借家世帯、あるいは、単身世帯）に対する重点的な支援の必要性を明らかにした。なお、研究結果は、国内外の学会、学術雑誌、ワークショップ等で公表（※コロナウイルスの影響で一部中止あり）した。コロナウイルスの影響で電力価格上昇の省エネ効果を検証を完了できなかったが、それ以外の目標を達成した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

(A) 技術革新による省エネ化の限界とカーボンプライシングの必要性

従来の省エネ予測では、性能の良い家電を利用できるようになっても、世帯の家電の使用パターンは

変化しないと仮定して分析が行われてきた。しかしながら、性能の良い家電が手に入るようになると、人々は家電の使用パターンも変えるようになる。性能の良い家電が利用できるようになった後に人々が実際に家電にどれ位の電気を利用するようになっているかを調べるため、本調査では世帯レベルのミクロデータをを用いたCDA分析を行った。そして、技術革新により大幅な省エネ化が実現した Top Runner Program の時期でも、家計の省エネ化が実現されていないことを示した。

耐久消費財の性能向上に伴う世帯行動パターンの変化を踏まえ、単に技術進歩に基づいた省エネ予測を行うと、かなり過大な予測が行われてしまう。以上の内容は Energy Policy に掲載した。

(B) 人口動態の変化がエネルギー消費に及ぼす影響評価

異なったタイプの世帯は異なったパターンでエネルギーを消費する。従って、人口動態が変化するとエネルギーの使用状況も変化する。しかしながら、従来の省エネ予測では、人口動態の変化の影響については捨象されてきた。この研究では人口動態の変化がエネルギー消費に及ぼす影響について調べ、その影響がかなり大きいことを示した。分析結果は、カナダの人口学会の年次大会で報告し、今後専門誌に投稿することを予定している。

(C) カーボンプライシングが世帯の電力消費に及ぼす影響

電気の利用パターンは世帯の間で異なるにも関わらず、既存研究ではマクロデータを利用した分析が行われてきた。本研究ではミクロデータを利用することで、家計の電力消費パターンの違いを生み出す要因が明らかにされた。また、世帯レベルのデータを用いたLEDの節電効果については、これまで国内外で実施されておらず、その点でも本研究の新規性がある。分析結果は、RIEEMのDiscussion Paperにまとめ、現在専門誌に投稿中である。

(D) 省エネ製品の導入状況に関する考察

世帯の省エネ投資については、これまで多数の研究が進められてきているが、LED化についての分析は国内外でも実施されていない。研究結果は、英文査読誌に投稿中で改訂要求を受け、再投稿の準備をしている段階である。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特になし。

<行政が活用することが見込まれる成果>

カーボンプライシングを利用することの理論づけ

家計が決められた所得の一定割合をエネルギー消費に回すように行動しているならば、節電で得られた余剰電力を別の用途に利用できるようになる。実際、本研究の (A) の分析結果は、Top Runner Program の導入時期でさえ、こうしたリバウンド効果のために家計部門の省エネ化が実現できなかったことを示している。この結果は、耐久消費財の技術革新だけに頼って家計部門の省エネ化を実現することが難しいことを意味しており、家計の省エネ化のためには、エネルギーサービスの利用価格を増加させるような政策（カーボンプライシング）が必要であることを意味している。以上の知見は、何故カーボンプライシングを強化する必要があるかを国民に説明する際に利用しうる。

ミクロデータ分析による電力需要の価格弾力性

カーボンプライシングを増加し、電力価格を上昇させた時に、どれ位の節電効果が見込まれるかを

議論するためには、電力需要の価格弾力性の知見が必要になる。本研究の（B）の分析結果によれば、価格弾力性の値は-1.31であり、電力価格を増加させた場合、おおよそ諸外国と同程度の省エネ効果が望めることを示している。

表5.7.1 所得階層別の電力需要の価格弾力性

世帯所得（万円）						
	< 250	250-500	500-750	750-1000	1000-1500	> 1500
価格弾力性	-1.229***	-1.346***	-1.383***	-1.337***	-1.288***	-1.027***
標準誤差	-0.111	-0.0539	-0.0491	-0.0599	-0.0755	-0.166

注: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.

（出典：Onuma, Matsumoto, and Arimura 2019）

一方、価格の弾力性の大きさが所得階層間や地域間で異なることもデータ分析により確認されている。例えば、表5.7.1示されているように、電力価格の弾力性は、中間所得世帯で高く、低所得世帯と高所得世帯では低い。つまり、中所得世帯が電力価格の上昇に強く反応することが予想される。

各種家電への電力使用量の推計

	Our estimate	2009 estimate*
Air conditioner	13.4%	7.4%
Refrigerator	12.3%	14.2%
Microwave & oven	4.8%	1.8%
Electronic bidet	4.8%	3.7%
Television	4.5%	8.9%
Dishwasher with dryer	3.0%	3.7%
Personal computer	2.9%	2.5%
Electric pot	1.7%	3.2%
Humidifier	1.4%	-
DVD player	1.4%	1.6%
Air cleaner	1.1%	-

図5.7.1 各種家電への電力消費内訳

（出典：Onuma, Matsumoto, and Arimura 2019）

どのような家電にどれ位の電力が利用されているかを知ることは、省エネ政策を考えていく際に重要であり、例えば、アメリカ合衆国エネルギー情報局も5年ごとに実施されるResidential Energy Consumption Surveyの結果をもとに、その推計結果を報告している。しかしながら、日本では、資源エネルギー庁による2009年度の□□部□エネルギー消費実態調査による推計以降、類似の調査が行われてきていなかった。図5.7.1、本調査と資源エネルギー庁の調査結果を比較しているが、近年になってエアコンの電力消費量が相対的に増加している一方で、冷蔵庫やテレビの電力消費量は減少していることが分かる。

LED化の効果推計

我々の推計結果によれば、調査年の2014年度までのLED化で、家計の電力使用量は約1.96%削減されている。世帯がLED化を完了したあかつきには、家計の電力使用量を更に約6.99%減少させることができる

と予測される。ここで示されているデータは、世帯の行動パターンの変化を含めた数値であり、単に技術的な評価値を用いた値よりも信頼性の高い結果であると判断される。LED化を奨励する際の基礎資料として利用できるだろう。

6. 国際共同研究等の状況

最終年度の2020年度3月6日に、スペインとオーストラリアから研究者を招聘し、国際ワークショップを開催して、報告論文を専門誌の特集号として組む予定をしていたが、残念ながらコロナウイルスの影響でワークショップの開催は見合わせることになった。特集号自体は組む予定で進めている。

7. 研究成果の発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) S. MATSUMOTO: European Journal of Sustainable Development, (8, 4), 54-63 (2019)
Daily Habits and Energy Consumption: Go to Bed Earlier for Environmental Protection.
doi: 10.14207/ejsd.201
- 2) N. INOUE and S. MATSUMOTO: Energy Policy, (124), 312-319 (2019)
An examination of losses in energy savings after the Japanese Top Runner Program?
doi: 10.1016/j.enpol.2018.09.040

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) H. ONUMA, S. MATSUMOTO, and T.H. ARIMURA: RIEEM Discussion Paper Series, No.1803 (2018)
How much household electricity consumption is actually saved by replacement with Light-Emitting Diodes (LEDs)?
- 2) J. WANG, and S. MATSUMOTO: RIEEM Discussion Paper Series, No.1904 (2019)
Can Subsidy Programs Change the Customer Base of Next-Generation Vehicles?

(2) 主な口頭発表（学会等）

国際会議

サブテーマリーダーによる報告

- 1) J. WANG and S. MATSUMOTO: IIES International Academic Conference. Dubrovnik. 2019.08.28. (投稿中)
“Did the Eco-Car Program Change the Customer Base of HVs?”
- 2) S. MATSUMOTO: International Conference on Sustainable Development. Rome. 2019.09.04. (公刊済)
“Daily Habits and Energy Consumption: Go to Bed Earlier for Environmental Protection. International Conference on Sustainable Development.”

共著者による報告

- 1) N. INOUE and S. MATSUMOTO: The 16th International Conference of the Japan Economic Policy Association. Okinawa. 2017.11.04. (公刊済)
“Did the energy efficiency improvement of home appliances lead to the reduction of household electricity consumption? Experience from Japanese Top Runner Program.”

- 2) N. INOUE and S. MATSUMOTO: The annual conference of Canadian Population Society (CPS). 2019.06.05. (投稿予定)
“The impact of demographic change on residential energy consumption: Evidence from Japanese household survey between 1989 to 2014.”
- 3) J. WANG and S. MATSUMOTO: The 8th Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics (EAAERE). Beijing. 2019.08.04. (投稿中)
“Did the Eco-Car Program Change the Customer Base of HVs?”

国内会議

サブテーマリーダーによる発表

- 1) S. MATSUMOTO and H. SUGETA: 環境経済・政策学会. 福島大学. 2019.09.29. (投稿予定)
“Efficiency investments and curtailment actions: complement or substitute?”

共著者による報告

- 1) H. ONUMA, S. MATSUMOTO, and T.H. ARIMURA: BECC Japan 2018. 東京. 2018.08.23. (投稿中)
“How much household electricity consumption is actually saved by replacement with Light-Emitting Diodes (LEDs)? “
- 2) S. MATSUMOTO and H. ONUMA: BECC Japan 2019. 東京. 2019.08.22. (査読結果を受けて改訂中)
“Measuring household ability to adopt new technology: The case of the light-emitting diode (LED). “

(3) 出願特許

特になし

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

研究代表者の主催による国民対話に毎年1回ずつ、計3回参加した。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特になし。

(6) その他

特になし。

8. 引用文献

記載している自身の発表論文以外で、本文中で引用した文献は以下のとおりである。

- 1) 経済産業省. 2007. トップランナー基準の現状等について.
https://www.jraia.or.jp/member/seifu/pdf/meti20110124_5.pdf
- 2) 谷下雅義 (2009) 世帯電力需要量の価格弾力性の地域別推定. Journal of Japan Society of

Energy and Resources, 30 (5), 1-7.

- 3) 溝端幹雄, 神田慶司, 真鍋裕子, 小黒由紀子, 鈴木準 (2011) 電力不足のカギは家計部門にある. Economic Report. 大和総研.
- 4) 大塚章弘, 田口裕史, 林田元就, 間瀬貴之 (2013) 地域別電灯・電力需要の価格弾力性の分析. 電力中央研究所. 研究報告: Y12015.
- 5) 資源エネルギー庁. 平成22年度省エネルギー政策分析調査事業 「家庭におけるエネルギー消費実態について」 (調査概要) .
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/more/pdf/h22_bunsekityosa.pdf
- 6) 環境省. 「省エネルギー・低炭素化推進 に関する取組み」. 平成27年1月20日.
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/pdf/009_03_02.pdf
- 7) Espey, J.A. and Espey, M. 2004. Turning on the lights: A Meta-analysis of residential electricity demand elasticities. Journal of Agricultural and Applied Economics, 36(1): 65-81.
- 8) Karlin, B., Davis, N., Sanguinetti, A., Gamble, K., Kirkby, D., and Stokols, D. 2014. Dimensions of conservation: Exploring differences among energy behaviors. Environmental Behavior, 46(4): 423--452.

III. 英文Abstract

An ex-post Analysis of Carbon Pricing and the Proposal of Policy Options to Achieve the Japanese Long-term GHG Emissions Reduction Target

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 169-8050, Japan

Tel/Fax: +81-3-5286-1220

E-mail: arimura@waseda.jp

Cooperated by: Faculty of Social Sciences, Waseda University, Institute for Global Environmental Strategies, Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Yamagata University, Faculty of Economics, Dokkyo University, College of Economics, Aoyama Gakuin University

[Abstract]

Key Words: Carbon Pricing, Emissions Trading Schemes, Carbon Tax, Ex-post Analysis, Econometric Analysis, Computable General Equilibrium Model, Input-Output Analysis, Policy Simulation, Policy Design

The Japanese government plans to reduce greenhouse gas (GHG) emissions by 80% by 2050. However, it remains unclear which policy measures the government will adopt to achieve this goal. To reduce the economic burden of GHG regulation, it is reasonable to use efficient carbon pricing policy measures, such as carbon taxes or emissions trading schemes (ETSs).

This project consists of two teams: the empirical analysis team and the economic modeling team. We aim to contribute to Japanese environmental policy and institutional design to achieve the long-term goal.

In the empirical analysis, we assessed the impacts of carbon tax and two local ETSs implemented in Japan, i.e., the Tokyo ETS and Saitama ETS. We found that the Tokyo ETS reduced CO₂ emissions from office buildings by 7% office buildings and from university buildings by 4% relative to 2009. We also found that the Tokyo ETS reduced CO₂ in the manufacturing sector by 10%. Moreover, the Saitama ETS successfully reduced emissions, even though the program imposes no penalty for facilities that do not meet the emission goals. On the basis of these findings, we propose to expand the two local ETS systems to 45 other prefectures as a first step: ETS would reduce emissions by several percent without economic damage.

In the empirical analysis of households, we found that technological progress alone cannot reduce CO₂ emissions from households sufficiently to achieve the long-term emissions target. Furthermore, the price elasticities of electricity demand in Japanese households are similar to those in other countries, implying that a carbon tax is necessary to achieve the long-

term goal.

In the model analysis, we examined the role of the carbon tax in achieving the long-term emission reduction goal. Specifically, we examined the effects of environmental tax reform in Japan, i.e., the double dividend of a carbon tax. Moreover, we constructed a dynamic computable general equilibrium (CGE) model to analyze the quantitative impacts of a carbon tax. Among the four types of environmental tax reform analyzed in the CGE simulation, we show that a cut in corporate taxes leads to the most desirable policy in terms of GDP and national income. Additionally, our input-output analysis implies that competitiveness issues under carbon pricing can be mitigated to a certain degree. These combined findings indicate that Japan should adopt a carbon tax through environmental tax reform to achieve the long-term goal.