

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 —

浜本 光紹

1. はじめに

2005年より欧州連合（European Union：EU）の域内において開始されたEU-ETS（EU Emissions Trading Scheme）は、国際的温室効果ガス排出量取引制度の構築に向けたモメンタムとして重要な存在であり、その制度設計のあり方や成果に関する調査研究を通じて排出量取引制度にかかわる知見が多く得られている。温室効果ガスの主要排出国の1つである米国では、連邦レベルでの気候政策は進展を見せていないものの、州レベルでの政策措置の策定が進んでいる。2005年、北東部諸州は火力発電所からの二酸化炭素（CO₂）排出量の削減を目指して「地域温室効果ガス・イニシアティブ（Regional Greenhouse Gas Initiative：RGGI）」と呼ばれる共同プロジェクトに合意した。このRGGIには、削減目標を達成するための政策手段として排出量取引制度が盛り込まれており、2009年から制度が開始されている。また、西部諸州も排出量取引を活用した気候政策の策定に動き出し、2007年に「西部気候イニシアティブ（Western Climate Initiative：WCI）」を立ち上げた。

グローバルな炭素市場の創設に向けた国際的連携も進展しつつある。2007年10月、温暖化対策として義務的な国内排出量取引制度を策定、あるいは実施している国や州（EU主要国、RGGIやWCIに参加する米国やカナダの諸州、オーストラリア、ニュージーランド、ノルウェーなど）は、国際炭素行動パートナーシップ（International Carbon Action Partnership：ICAP）を発足させた。このICAPは各国の排出量取引制度の国際的リンクにかかわる諸課題を議論するための場として設けられた。

日本は現在、国レベルでは義務的な排出量取引制度の導入に至っていない。しかし、地方自治体レベルで見ると、2つの排出量取引制度導入の動きが注目され

る。1つは、東京都が2008年に「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」を改正し、温室効果ガス排出総量削減の義務付けと排出量取引の導入を決定したことである。この条例改正に基づき、東京都は排出量取引制度を2010年より実施している。なお、東京都は2009年にICAPの正式メンバーとなっている。

もう1つは、埼玉県における排出量取引制度の導入である。同県では2009年に「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）」が策定され、その中に重点施策として目標設定型排出量取引制度が盛り込まれた。この埼玉県の排出量取引は未達成の場合の罰則がないため、東京都とは異なり義務的な制度ではない。このような特徴が排出量取引のもたらす削減効果にいかなる影響を及ぼすのかということは、検討すべき重要な論点の1つであると考えられる。

本稿では、目標設定型排出量取引制度が導入された経緯とその制度設計について概観したうえで、排出削減インセンティブを与えるという機能をこの制度が有しているのか否かを検証する。具体的には、埼玉県などが公表しているデータを用いた計量分析により、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を定量的に把握することを試みる。

2. 埼玉県における地球温暖化対策と排出量取引の導入

2.1 埼玉県の地球温暖化対策の経緯

埼玉県は、「生活環境保全条例」に基づき、エネルギーを多く使用する事業所に対してCO₂などの削減を自主的に進めさせるための政策措置として環境負荷低減計画（彩の国エコアップ宣言）制度を2002年度より実施してきた。この制度の対象となるのは、燃料・熱・電気の使用量が原油換算で年間1,500kL以上、または店舗面積10,000㎡以上の事業所である。対象事業

所は、CO₂や廃棄物などの削減計画を作成・提出し、その計画や削減への取り組みの実施状況を公表しなければならない。この公表を通じて、地域住民や環境保護団体、投資家や取引先などと事業者との間で環境にかかわるコミュニケーションが促進されるとともに、企業が環境保護の観点から社会の評価を受けることが可能になると期待された。しかし、この環境負荷低減計画制度では、自主目標の達成期限や設定方法（総量目標とするか、原単位目標とするか）は任意とされていた。また、2008年度の時点で提出事業所は県全体のCO₂排出量の約1/4を占めるに過ぎなかった。

こうしたことから、埼玉県は、CO₂の継続的な削減を実施するためにはさらなる政策措置が必要と判断し、2010年度に地球温暖化対策計画制度を開始した。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。そして、この計画制度に加えて、埼玉県地球温暖化対策実行計画において重点施策として位置付けられていた目標設定型排出量取引制度が2011年度より開始されたのである。

2.2 目標設定型排出量取引制度の概要

目標設定型排出量取引制度の対象となるのは、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である。目標が設定されるガスはエネルギー起源のCO₂であり、2011年度から2014年度が第1削減計画期間、2015年度から2019年度が第2削減計画期間とされ、第3削減計画期間およびそれ以降の削減計画期間は、2020年度より5カ年度ごとに設定される。対象となる事業所は、表1に示すように第1

区分①、第1区分②、第2区分の3つに分類されており、第1区分①に含まれる事業所（外部からの熱供給が少ないオフィス・商業施設・教育施設・病院など）は他の2つの区分に属する事業所よりも目標削減率がやや厳しくなっている。なお、目標設定型排出量取引制度の対象となっていた事業所の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、当該事業所はこの制度から離脱することができる。

各事業所の削減目標量は、目標削減率に基準排出量を乗じて算定される。その基準排出量については、既存事業所（2006～2010年度まで5カ年度連続で原油換算で1,500kL以上のエネルギーを使用した大規模事業所）の場合、2002～2007年度までの任意の連続する3カ年度の排出量の平均をとることによって算定される。新規事業所（既存事業所以外の大規模事業所）の基準排出量は、過去の排出量の平均（削減計画期間の開始年度の4年度前から前年度までのうち連続する3カ年度の排出量の平均）か、排出標準原単位（床面積当たりなどで、県が設定）を用いた算出値のいずれかで設定される。

事業所内での努力では削減目標が達成できない場合、他の事業所の超過削減量をクレジットとして購入し、それを目標達成に利用することができる。表2に示すように、目標達成に利用できるクレジットとしては、目標設定型排出量取引制度の対象事業所における超過削減量のほかにも、埼玉県内の中小規模事業所や県外の大規模事業所における削減量、再生可能エネルギーの環境価値換算量や森林吸収量などが認められる。

目標設定型排出量取引制度の運営にあたって、埼玉県は、2010年9月に東京都と協定を締結し、都の排出量取引制度との連携・協力を図っており、目標達成に

表1 事業所の区分と削減目標

事業所区分	含まれる施設	目標削減率	
		第1削減計画期間	第2削減計画期間
第1区分①	オフィス・商業施設・教育施設・病院など	8%	15%
第1区分②	①のうち、事業所外から供給された熱が使用エネルギーの2割以上である事業所	6%	13%
第2区分	工場・廃棄物施設・上下水道施設など	6%	13%

出典：埼玉県ホームページ (<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0502/torihikiseido.html>)。

表2 目標達成に利用できるクレジット等

大規模事業所での取り組み	
超過削減量	大規模事業所（制度対象事業所）において、削減目標量を上回って削減された量（超過削減量としてクレジット化できる量は事業所ごとに上限あり）
その他ガス削減量	大規模事業所（制度対象事業所）において、その他ガス（エネルギー起源CO ₂ 以外の温室効果ガス）について削減された量の一部を、その事業所の削減として認めたもの（その事業所の削減量としてのみ認められる。他事業所への振替は不可）
オフセットクレジット	
県内中小クレジット	埼玉県内の中小規模事業所（大規模事業所以外の事業所）において、エネルギー起源CO ₂ について削減された量（対象とできる削減対策内容等に制限あり）
県外クレジット	大規模事業所に相当する規模の埼玉県外の事業所において、エネルギー起源CO ₂ について削減目標量を上回って削減された量（対象とできる事業所の規模、クレジット化できる量、充実に利用できる量等に制限あり）
再エネクレジット（環境価値換算量）	この制度で設備認定を受けた太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスの再エネ発電設備において創出された再生可能エネルギーの環境価値換算量
再エネクレジット（その他削減量）	他制度で認証された再生可能エネルギー環境価値（グリーンエネルギー証書等）を、この制度で利用できるクレジットにしたもの
森林吸収クレジット	埼玉県森林CO ₂ 吸収量認証制度およびJ-クレジット制度等（森林管理に係るもの）に基づく認証吸収量を、この制度で利用できるクレジットにしたもの（埼玉県森林CO ₂ 吸収量からのクレジットは、発行した事業者が設置する事業所の目標達成にしか利用できない）
東京連携クレジット	東京都「総量削減義務と排出量取引制度」で創出されたクレジットを、この制度で利用できるクレジットにしたもの（「東京連携クレジット」として埼玉県制度で利用できるクレジット等の種類には制限あり）

出典：表1に同じ。

都の排出量取引制度で創出されたクレジットを利用することも認めている（表2参照）。しかし、埼玉県の排出量取引制度では、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。これが東京都の排出量取引制度と異なる点である。目標設定型排出量取引制度は義務的なものではなく、対象となる事業所側の理解と協力に基づいて実施されているのである。

2.3 第1削減計画期間の達成状況

第1削減計画期間における基準排出量からの削減率は、表3に示すように全体で22%となっており、目標を上回る削減が実現した。第1削減計画期間に目標設定型排出量取引制度の対象となった608の事業所のうち、削減目標を達成できた事業所は599であった。また、533の事業所が自らの削減努力で目標を達成し、

66の事業所が排出量取引を活用した（表4参照）。したがって、9の事業所が自らの努力では削減目標を達成できず、排出量取引による遵守に向けた対応も行わなかったということになる。こうした事業所が存在することは、目標設定型排出量取引が義務的な制度ではないことに起因すると考えられる。

表5は排出量取引の実施状況をまとめたものである。この表からは、多くの取引が仲介業者や同一企業の所有する他の事業所との間で実施されており、他企業の事業所との取引やオフセットクレジットの取得は比較的少なかったことが窺われる。

表3 第1削減計画期間における排出量取引対象事業所のCO₂排出量等の状況

区分	事業所数	基準排出量	実績排出量	削減量	基準排出量に対する削減率
工場等	428	3,041万トン	2,373万トン	668万トン	22%
業務ビル等	180	514万トン	402万トン	112万トン	22%
合計	608	3,555万トン	2,775万トン	780万トン	22%

出典：表1に同じ。

表4 第1削減計画期間の削減目標を達成した事業所の状況

区分	対象事業所数	削減目標を達成した事業所数		
		自らの削減で達成	排出量取引を活用	合計
工場等	428	371	50	421
業務ビル等	180	162	16	178
合計	608	533	66	599

出典：表1に同じ。

表5 排出量取引の実施状況

取引の相手方等	取引事業所数
仲介事業者	24
同一事業者の大規模事業所	23
他事業者の大規模事業所	16
オフセットクレジットの取得	3
合計	66

出典：表1に同じ。

3. 温室効果ガス排出量取引に関する実証研究の動向

先にも述べたように、欧米では2000年代半ばより温室効果ガス排出削減のための政策手段として排出量取引が活用されている。本節では、地球温暖化対策として導入された排出量取引制度の成果について分析を行った諸研究を概観しておきたい。

温室効果ガス排出量取引制度に関しては、EU-ETSを考察対象としたものを中心に近年実証研究が盛んに行われるようになってきている。EU-ETS導入の初期における企業行動に関しては、サーベイによって得られた情報に基づく研究がいくつかある。Sandoff and Schaad (2009) は、スウェーデンのEU-ETS対象企業の排出量取引に関する実態調査を行っている（2006年にサーベイを実施）。この研究では、回答した企業の多くが年に取引を1回しか行っておらず、遵守に際して排出量取引をあまり活用していないという実態が報告されている。Engels (2009) は、ドイツ、英国、オランダ、デンマークのEU-ETS対象企業に対するサーベイ（2006～2008年に実施）で得られたデータから、約3分の1の企業が自身の削減費用について把握していないということを明らかにしている。EU-ETS対象企業の行動に関するこうした実態は、サーベイが実施されたEU-ETS導入の初期には排出量取引の経験が企業にまだ蓄積されていなかったことが影響していると考えられる。

排出量取引制度が実際にどの程度の排出削減効果を有しているのか、という論点は、この政策手段の有効性を評価するうえで重要である。EU-ETSの対象とされる産業部門ごとの集計データを用いて削減効果を分析したいくつかの研究の結果からは、EU-ETSがフェイズI（2005～2007年）において3%ほどの排出削減をもたらしたことが示唆されている（Ellerman and Buchner, 2008; Ellerman, et al., 2010; Anderson and Di Maria, 2011)¹⁾。ただし、EU-ETSは施設を対象として排出許可証を配分するようになってきているため、EU-ETS対象部門の集計データを用いた場合、その中にはEU-ETSの対象とはなっていない施設も含まれてしまうことになる（Martin, et al., 2016）。こうした問題を解決するために、以下の2つの研究は、企業レベルあるいはプラントレベルのパネルデータを用いて、EU-ETSの排出削減効果に関してより信頼性の高い推計を試みている。

Petrick and Wagner (2014) は、EU-ETSがドイツの製造業に与えたインパクトについて、企業レベルのデータを用いて考察している。そこではマッチング法による定量的評価が行われており、フェイズIIの前半（2008～2010年）において、EU-ETS対象企業（処置群）のCO₂削減量が非対象企業（対照群）のそれと比較して25%ほど多かったことが明らかにされている。ただし、フェイズI（2005～2007年）の期間については、EU-ETSによるCO₂削減効果は見出されていない。なお、この研究によれば、EU-ETSが雇用や生産、輸出に対してネガティブな影響をもたらしたことを示す証拠は得られなかったという。

Wagner, et al. (2014) は、フランス製造業に対するEU-ETSの影響について検討するために、プラントレベルのデータを用いてマッチング法による定量分析

を行っている。この分析では、EU-ETSがCO₂削減に及ぼした影響はフェイズ I においては見出されなかったものの、フェイズ II の前半（2008～2010年）ではEU-ETSがCO₂を16%ほど削減させる効果を有したという結果が得られている。加えて、2008～2010年の期間については、EU-ETSが雇用を7%ほど押し下げたことも示されている。

RGGIの排出削減効果に関しては、Murray and Maniloff (2015) による分析がある。彼らの研究は、RGGIによってもたらされた排出削減について、景気低迷や天然ガス価格の動向、RPS (renewable portfolio standards) などの影響も考慮したうえで定量的に把握しようと試みたものである。この分析では、もしRGGIがなかった場合には2009年以降の対象地域におけるCO₂排出量は24%多くなっていたであろうという結果が得られている。

EU-ETSがイノベーションに与えた影響について実証的に検討を試みた研究も存在する。Borghesi, et al. (2012) は、2006～2008年におけるイタリア製造業の企業レベルのデータを用いて、環境イノベーションの導入に対してEU-ETSが影響を及ぼしたか否かをプロビットモデルにより分析している。その分析結果からは、EU-ETSの対象企業であることがエネルギー効率性やCO₂削減の分野における環境イノベーション導入の要因となっていることが示唆されている。Löfgren, et al. (2013) は、2002～2008年におけるスウェーデンの企業レベルのデータを用いて、EU-ETSがCO₂削減技術への投資の意思決定に与えた影響についてロジットモデルによる分析を行っている。この研究では、EU-ETSによる投資の意思決定への有意な影響は見出されていない。

Martin, et al. (2013) は、EUに加盟する6カ国の企業経営者へのインタビューによって得たデータに基づき、気候変動緩和技術にかかわるイノベーションに関して考察している。これによると、企業の7割がプロセスイノベーションに取り組んでいる一方、プロダクトイノベーションに取り組む企業は4割以下にとどまっているという。またこの研究では、フェイズ III (2013～2020年) においてオークションによる初期配

分が実施される対象から除外されている企業は、その対象となっている企業と比較してイノベーションに向けた活動のレベルが低い傾向にあることも見出されている。

Calel and Dechezleprêtre (2016) は、低炭素技術におけるイノベーションに対してEU-ETSが与えたインパクトに関し、特許データを用いて検討している。この研究では、差分の差分法 (difference-in-differences) により、低炭素技術分野の特許申請件数についてEU-ETSの対象企業と非対象企業との間で比較分析が行われている。その分析結果では、EU-ETSが2005～2009年における対象企業の特許申請件数を9.1%増加させたことが示されている。ただし、同期間にEPO (European Patent Office) に申請された低炭素技術分野の特許件数全体でみると0.83%の増加に過ぎないことも指摘されている。なお、EU-ETSがもたらした低炭素技術分野の特許申請件数の増加は、クラウドインク・アウト (他の分野の特許申請件数の減少) を伴うものではなかったことが示されている。

4. 目標設定型排出量取引制度の排出削減効果に関する分析

4.1 データについて

埼玉県の地球温暖化対策計画制度および目標設定型排出量取引制度の対象となる事業所に関しては、主に次の2つのデータが入手可能である。1つは、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」である。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608の事業所のデータが記載されている。もう1つは、地球温暖化対策計画制度で提出が義務付けられている計画書である。これには、原油換算エネルギー使用量、事業内容、従業員数、延床面積、削減目標、温室効果ガスの排出の抑制等に関する措置の計画および実施状況などが記載されている。

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。具体的には、埼玉県内の計画書提出事業所のうち、排出量取引の対象事業所と非対象事業所のデータを用いた計量分析が検証方法の1つとして考えられる。これに加えて、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目標設定型排出量取引制度の対象事業所のデータを用いて計量分析を行うという方法もある。ここでは、そうした近隣県として群馬県を取り上げる。群馬県は、「地球温暖化防止条例」（2010年度施行）において温室効果ガス排出削減計画等提出・公表制度を定めている。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。

以下では、埼玉県地球温暖化対策計画制度の対象事業所および群馬県温室効果ガス排出削減計画等提出・公表制度の対象事業者に関してそれぞれの県が公開しているデータを用いて、目標設定型排出量取引制度がもたらした排出削減効果について定量的に把握することを試みる。なお、これ以降、埼玉県地球温暖化対策計画制度および群馬県温室効果ガス排出削減計画等提出・公表制度をともに「計画書制度」と簡略化して呼ぶこととする。

4.2 埼玉県計画書制度対象事業所のデータに基づく分析

ここでは、埼玉県の計画書制度の対象事業所をサンプルとして、目標設定型排出量取引制度の排出削減効果に関する回帰分析を行う。各事業所の基準排出量や

実績排出量などのデータに関しては、2010年度（目標設定型排出量取引制度が始まる前年度）から入手可能である。回帰モデルの被説明変数には、2010年度の実績排出量を基準とした場合の各年度の削減量（単位は1,000トン）を用いる。説明変数については、2010年度の実績排出量（単位は1,000トン、*emission_10*と表記する）、電力の企業物価指数（2010年=100、*ele_price*と表記する）、施設種別ダミー（工場、水道関連施設、廃棄物処理関連施設、教育関連施設、医療関連施設について、それぞれのダミー変数を *factory*, *waterplant*, *wasteplant*, *education*, *hospital*と表記する）、第1削減計画期間において排出量取引制度の対象事業所であったことを表すダミー変数 (*trade*と表記する)、第2削減計画期間から排出量取引制度の対象となったことを表すダミー変数 (*trade_2*と表記する)、第1削減計画期間においてのみ排出量取引制度の対象であったことを表すダミー変数 (*trade_out*と表記する)を用いる。2010年度の実績排出量は事業所の規模をコントロールするための変数である。事業所の規模に関しては、各年度の排出目標をその代理変数とする方法もある。しかし、排出量取引制度の対象となっていない事業所については、排出総量の（自主的な）目標値が必ずしも各年度において設定されているわけではない²⁾。そのため、ここでは2010年度の実績排出量を用いることとした³⁾。なお、電力の企業物価指数については、日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編『EDMC/エネルギー・経済統計要覧』（2017年版）による。

以上の説明変数を含む回帰モデルをModel A1とする。このモデルの推定に加えて、施設の種類によって排出量取引制度の影響が異なるかどうかを検討するために、施設種別ダミーと第1削減計画期間において排出量取引制度の対象事業所であったことを表すダミー変数の交差項を説明変数に含む回帰モデル（これをModel A2とする）も推定する。分析期間は2011～2014年度である。

表6にはModel A1とModel A2の推定結果が示されている。第1削減計画期間に排出量取引制度の対象であったことを表すダミー変数 (*trade*) についてみると、

表6 埼玉計画書対象事業所：2010年度排出量からの削減に対する影響

説明変数	Model A1		Model A2	
	係数	標準誤差	係数	標準誤差
<i>emission_10</i>	-0.1135	0.0280 ***	-0.1145	0.0281 ***
<i>ele_price</i>	0.0061	0.0061	0.0061	0.0061
<i>factory</i>	-0.3078	0.0925 ***	-0.9148	0.1230 ***
<i>waterplant</i>	0.2804	0.3121	-0.3122	0.1802 *
<i>wasteplant</i>	-1.1268	0.1592 ***	-0.7509	0.1369 ***
<i>education</i>	-0.1322	0.1588	-0.0533	0.2231
<i>hospital</i>	-0.8919	0.1116 ***	-0.7194	0.1407 ***
<i>factory × trade</i>			0.9601	0.2278 ***
<i>waterplant × trade</i>			1.1305	0.5856 *
<i>wasteplant × trade</i>			-0.2752	0.1591 *
<i>education × trade</i>			-0.1832	0.2944
<i>hospital × trade</i>			-0.1478	0.1460
<i>trade</i>	0.7566	0.1323 ***	0.3879	0.1028 ***
<i>trade_2</i>	-1.4779	0.3982 ***	-1.1208	0.4430 **
<i>trade_out</i>	-0.1482	0.3464	-0.1159	0.3424
定数	0.4500	0.7331	0.5821	0.7325
	Adj R-squared = 0.2466		Adj R-squared = 0.2474	
N	4020		4020	

注：標準誤差はロバスト修正を施したものをを用いている。***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。

係数が正の値で有意となっていることから、排出量取引制度は2010年度の排出水準からの削減量を増加させる要因になっていたことが窺われる。また、Model A2の推定で得られた施設種別ダミーと*trade*の交差項の係数は、排出量取引制度によってもたらされた2010年度排出量からの追加的削減分が工場や水道関連施設において比較的大きかったことを示唆している。加えて、2010年度の実績排出量に関する係数が負の値で有意になっていることから、2010年度の排出量規模が大きかった事業所ほど、その年度の排出水準からの削減分が少ない傾向にあったことがわかる。第2削減計画期間から排出量取引制度の対象となった事業所に関しては、*trade_2*の係数から示唆されるように、第1削減計画期間において排出量が増加する傾向にあったものと思われる。

4.3 群馬県計画書制度対象事業者を対照群とする分析

ここでは、群馬県の計画書制度の対象となっている事業者を対照群として、目標設定型排出量取引制度の排出削減効果に関する回帰分析を行う。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、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⁴⁾。

まず、排出目標を基準とした場合の各年度の削減量（単位は1,000トン）を被説明変数とする回帰モデルを想定する⁵⁾。説明変数については、各年度の排出目標（単位は1,000トン、*target*と表記する）、電力の企業物価指数（2010年=100、*ele_price*と表記する）、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・医療複合事業者について、それぞれのダミー変数を*factory*、*waterplant*、*wasteplant*、*education*、*hospital*、*edu_hospital*と表記する）、排出量取引対象事業者ダミー（埼玉県に立地している場合に1、そうでない場合に0となるダミー変数、*saitama*と表記する）を用いる。各年度の排出目標は事業者の規模をコントロールするための変数である。また、事業者レベルのデータに集計したことで、医療関連施設と教育関連施設の双方を保有する事業者が出てきたため、事業者種別ダミーの1つに教育・医療複合事業者が含まれ

表7 埼玉取引対象事業者・群馬計画書対象事業者：排出目標からの削減に対する影響

説明変数	Model B1		Model B2	
	係数	標準誤差	係数	標準誤差
<i>target</i>	0.1144	0.0225 ***	0.1150	0.0228 ***
<i>ele_price</i>	0.0004	0.0098	0.0007	0.0098
<i>factory</i>	0.1483	0.1845	-0.9512	0.3434 ***
<i>waterplant</i>	-4.3780	2.0207 **	1.0926	0.4787 **
<i>wasteplant</i>	-0.7388	0.4475 *	-1.3131	0.8678
<i>education</i>	0.0156	0.2206	0.7642	0.2802 ***
<i>hospital</i>	-0.1507	0.2056	0.7839	0.2807 ***
<i>edu_hospital</i>	-1.3107	0.7650 *	-3.7390	1.2240 ***
<i>factory × saitama</i>			1.9326	0.4186 ***
<i>waterplant × saitama</i>			-9.0290	2.9543 ***
<i>wasteplant × saitama</i>			1.0757	0.8932
<i>education × saitama</i>			-1.1443	0.2755 ***
<i>hospital × saitama</i>			-1.3620	0.2697 ***
<i>edu_hospital × saitama</i>			3.8800	1.3108 ***
<i>saitama</i>	2.9863	0.2642 ***	1.7660	0.2215 ***
定数	-2.2465	1.1663 *	-1.6408	1.1630
	Adj R-squared = 0.2687		Adj R-squared = 0.2714	
N	3936		3936	

注：標準誤差はロバスト修正を施したものをを用いている。***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。

ている。

以上の変数を含むモデルをModel B1とする。この回帰モデルの推定に加えて、事業者の種類によって排出量取引制度の影響が異なるかどうかを検討するために、事業者種別ダミーと排出量取引対象事業者ダミーの交差項を説明変数を含む回帰モデル（これをModel B2とする）も推定する。分析期間は2010～2014年度である。

Model B1とModel B2の推定結果を表7に示している。排出量取引対象事業者ダミー (*saitama*) の係数は正の値で有意となっており、この結果は目標設定型排出量取引制度が排出目標からの追加的削減を増加させる要因になっていたことを示唆している。また、Model B2の推定結果にある事業者種別ダミーと排出量取引対象事業者ダミーの交差項の係数より、排出量取引制度がもたらした排出目標からの追加的削減は、工場保有事業者や教育・医療複合事業者において比較的大きく、水道関連事業者や教育関連事業者、医療関連事業者において比較的小さかったことが窺われる。加えて、*target*の係数より、目標に設定された排出量の規模が大きい事業者はそこからの削減量が多い

という傾向がみとれる。

次に、2010年度の実績排出量を基準とした場合の各年度の削減量（単位は1,000トン）を被説明変数とする回帰モデルを想定する。説明変数については、事業者の規模をコントロールするために2010年度の実績排出量（単位は1,000トン、*emission_10*と表記する）を使用する。これ以外の説明変数は、Model B1と同様に、電力の企業物価指数、事業者種別ダミー、排出量取引対象事業者ダミーを用いる。これらの変数を含むモデルをModel C1とする。このモデルの推定に加えて、事業者の種類によって排出量取引制度の影響が異なるかどうかを検討するために、事業者種別ダミーと排出量取引対象事業者ダミーの交差項を説明変数を含む回帰モデル（これをModel C2とする）も推定する。分析期間は2011～2014年度である。

表8にはModel C1とModel C2の推定結果が示されている。ここでも排出量取引対象事業者ダミーの係数は正の値で有意となっており、目標設定型排出量取引制度が2010年度の排出水準からの追加的削減を増加させる要因になっていたという結果が得られている。また、Model C2の推定結果にある事業者種別ダミーと

表8 埼玉取引対象事業者・群馬計画書対象事業者：2010年度排出量からの削減に対する影響

説明変数	Model C1		Model C2	
	係数	標準誤差	係数	標準誤差
<i>emission_10</i>	-0.1112	0.0325 ***	-0.1119	0.0327 ***
<i>ele_price</i>	-0.0193	0.0124	-0.0192	0.0124
<i>factory</i>	-0.0645	0.2714	0.5199	0.5508
<i>waterplant</i>	7.7805	2.1156 ***	4.6527	0.7901 ***
<i>wasteplant</i>	-0.4536	0.8327	0.7672	1.6515
<i>education</i>	-0.7666	0.3040 **	0.4346	0.5075
<i>hospital</i>	-1.2087	0.2783 ***	-0.3957	0.4568
<i>edu_hospital</i>	1.7238	1.2681	-0.6947	1.8271
<i>factory × saitama</i>			-1.0402	0.6142 *
<i>waterplant × saitama</i>			5.1901	3.2728
<i>wasteplant × saitama</i>			-2.3880	1.6968
<i>education × saitama</i>			-2.1227	0.5255 ***
<i>hospital × saitama</i>			-1.4335	0.4682 ***
<i>edu_hospital × saitama</i>			3.4840	2.1106 *
<i>saitama</i>	0.8746	0.3346 ***	1.6778	0.4246 ***
定数	3.6236	1.4860 **	3.1946	1.5423 **
	Adj R-squared = 0.2065		Adj R-squared = 0.2067	
N	3103		3103	

注：標準誤差はロバスト修正を施したものをを用いている。***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。

排出量取引対象事業者ダミーの交差項の係数は、排出量取引制度によってもたらされた2010年度排出量からの追加的削減分が教育関連事業者、医療関連事業者において比較的小さく、教育・医療複合事業者において比較的大きかったことを示唆している。なお、2010年度の実績排出量 (*emission_10*) の係数より、2010年度の排出量規模が大きかった事業者ほど、その年度の排出水準からの削減分が少ない傾向にあったことがみとれる。

上の2つの回帰分析で用いた排出量取引対象事業者ダミーは、実際上、保有する事業所が埼玉県に立地しているか、あるいは群馬県に立地しているかを区別するものになっている。この場合、仮にその係数が有意になったとしても、排出量取引制度の有無ではなく、それとは別の埼玉県と群馬県との間に存在する差異が影響している可能性が否定できない。この点を確認するために、ここで埼玉県の計画書制度対象事業者と群馬県の計画書制度対象事業者のデータを用いた回帰分析を行っておきたい。この場合、埼玉県の事業者データには、排出量取引制度の対象事業所を保有する事業者と、それを保有していない事業者のデータが含まれ

ることになる。この回帰分析では、排出量取引対象事業者ダミーとして、第1削減計画期間に排出量取引制度の対象となった事業所を保有している場合に1、そうでない場合に0となるダミー変数 (*trade_saitama* と表記する) を説明変数に盛り込む。このダミー変数は、排出量取引制度の対象となった事業所を保有していない埼玉県の事業者に加え、群馬県の計画書制度対象事業者も0の値をとることになる。また、立地県ダミー (埼玉県に立地している場合に1、群馬県に立地している場合に0となるダミー変数, *location* と表記する) も説明変数に含める。その他の説明変数については、先に推定したModel C1と同様に、2010年度の実績排出量、電力の企業物価指数、事業者種別ダミーを用いる。被説明変数は2010年度の実績排出量を基準とした場合の各年度の削減量である。以上の変数を用いた回帰モデル (Model D1) に加えて、排出量取引対象事業者ダミーと事業者種別ダミーの交差項を含むモデル (Model D2) も推定する。分析期間は2011～2014年度である。

表9はModel D1とModel D2の推定結果を示している。これを見ると、立地県ダミー (*location*) の係数

表9 埼玉・群馬計画書対象事業者：2010年度排出量からの削減に対する影響

説明変数	Model D1		Model D2	
	係数	標準誤差	係数	標準誤差
<i>emission_10</i>	-0.1029	0.0329 ***	-0.1050	0.0332 ***
<i>ele_price</i>	-0.0177	0.0104 *	-0.0177	0.0104 *
<i>factory</i>	-0.7529	0.2329 ***	-0.0178	0.3916
<i>waterplant</i>	3.0088	1.1192 ***	0.6322	0.4493
<i>wasteplant</i>	-0.4769	0.7418	0.1565	1.2942
<i>education</i>	-0.4910	0.2379 **	0.2900	0.2611
<i>hospital</i>	-0.3418	0.4062	-0.6623	0.3052 **
<i>edu_hospital</i>	0.6515	1.1344	-1.1884	1.8116
<i>factory × trade_saitama</i>			-1.4638	0.5222 ***
<i>waterplant × trade_saitama</i>			8.9049	3.5441 **
<i>wasteplant × trade_saitama</i>			-1.4746	1.3791
<i>education × trade_saitama</i>			-2.7799	0.4860 ***
<i>hospital × trade_saitama</i>			0.3970	0.7910
<i>edu_hospital × trade_saitama</i>			2.0939	2.1876
<i>location</i>	-0.1349	0.3685	0.2077	0.3221
<i>trade_saitama</i>	1.4556	0.2879 ***	2.1191	0.3582 ***
定数	3.7293	1.2748 ***	3.3030	1.2885 **
	Adj R-squared = 0.1848		Adj R-squared = 0.1886	
N	3768		3768	

注：標準誤差はロバスト修正を施したものをを用いている。***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。

は有意でないのに対して、排出量取引対象事業者ダミー (*trade_saitama*) の係数は正の値で有意になっている。この結果は、2010年度の排出水準からの削減量を増加させる要因となっていたのは目標設定型排出量取引制度であり、この制度の有無とは別の埼玉県・群馬県の間にある差異が削減量に影響を与えることはなかったということを示唆している。

4.4 平均差分法による分析

ここでは、差分の差分法を用いて、目標設定型排出量取引制度が事業者の排出量に及ぼした影響を定量的に把握してみたい⁶⁾。具体的には、平均差分法に基づいて、以下の回帰モデルを推定する。

$$\ln(emission_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(target_{it}) + \beta_2 \ln(ele_price_t) + \beta_3 \ln(gdp_prefec_t) + \beta_4 (saitama_i) + \beta_5 (imple_year_t) + \beta_6 (saitama_i \times imple_year_t) + \eta_i + \varepsilon_{it}$$

ここで、*emission_{it}* は事業者の各年度の実績排出量、*target_{it}* は事業者の各年度の排出目標、*ele_price_t* は電

力の企業物価指数 (2010年 = 100)、*gdp_prefec_t* は埼玉県あるいは群馬県の県内総生産、*saitama_i* は埼玉県内に事業所が立地していることを表すダミー変数 (排出量取引対象事業者ダミー)、*imple_year_t* は排出量取引制度開始後の年度であることを表すダミー変数、*η_i* は事業者ごとの個別効果、*ε_{it}* は誤差項である。上のモデルの推定においては、固定効果モデルによる推定方法と変量効果モデルによる推定方法の2つを実施する。サンプルは、目標設定型排出量取引制度の対象事業所を保有する事業者 (処置群) と群馬県の計画書制度の対象となっている事業者 (対照群) である。分析期間は2010~2014年度である。

平均差分法による分析の結果は表10に示されている。まず、モデルの選択 (プーリング推定か、固定効果推定か、変量効果推定か) に関しては、F検定、ブロイシュ・ペーガン検定、ハウスマン検定の結果より、固定効果モデルを採用すべきであることが示されている。上のモデルにおいて、目標設定型排出量取引制度がもたらした排出削減効果は、*saitama_i × imple_year_t* の係数によって把握される。推定結果をみると、この係

表10 目標設定型排出量取引がもたらした排出削減効果：平均差分法による分析

説明変数	Fixed Effect Model			Random Effect Model		
	係数	標準誤差		係数	標準誤差	
$\ln(target)$	0.5155	0.0715	***	0.9191	0.0166	***
$\ln(ele_price)$	-0.1430	0.0310	***	-0.1383	0.0320	***
$\ln(gdp_prefec)$	1.9014	0.2860	***	1.1527	0.2657	***
<i>saitama</i>				-1.1918	0.2603	***
<i>imple_year</i>	-0.0074	0.0150		0.0252	0.0130	*
<i>saitama</i> × <i>imple_year</i>	-0.1413	0.0146	***	-0.1438	0.0136	***
定数	-26.3480	4.2534	***	-16.9717	4.1029	***
Number of observations	3933			3933		
Number of groups	821			821		
F test	F(820, 3107) = 9.77 Prob > F = 0.0000					
Breusch and Pagan LM test for random effects	chibar2(01) = 2492.44 Prob > chibar2 = 0.0000					
Hausman test	chi2(5) = 576.14 Prob > chi2 = 0.0000					

注：標準誤差はロバスト修正を施したものをを用いている。***は1%水準，*は10%水準でそれぞれ有意であることを意味する。

数は負の値で有意となっており、この制度が第1削減計画期間において排出削減効果を有していたことが示唆されている。また、その係数の値より、排出量取引制度の対象事業者は対象でない事業者と比べて排出量が14%程度少なかったことがわかる。なお、表10にある電力の企業物価指数の係数は排出量の価格弾力性を意味している。ここでは、電力価格が1%上昇すると排出量は0.14%減少するという結果が得られている。

5. おわりに

本稿では、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インセンティブを与えるという機能を有しているのかについて、計量分析による検証を試みた。ここでは、埼玉県内の排出量取引制度の対象事業所と非対象事業所のデータを用いるだけでなく、それらに群馬県の計画書制度の対象となっている事業者のデータを組み合わせるなど、使用するサンプルに複数のパターンを用意して分析を行った。その結果、目標設定型排出量取引制度は、第1削減計画期間において削減量の増加をもたらす要因になっていたことが明らかになった。また、平均差分法による分析では、この制度が対象事業者の排出量を約14%押し下げた効果を有していたことが示された。第1節でも述べ

たように、埼玉県で実施されている排出量取引は義務的な制度ではない。本稿の分析結果が意味するのは、埼玉県は義務的ではない排出量取引制度の下でも事業者に対して追加的削減の誘因を与えることに成功した、ということである。ここで検討されるべき論点は、義務的な排出量取引制度ではないにもかかわらず対象事業者が削減目標を上回る削減に努めてきたのはどのような理由によるか、ということである。また、目標設定型排出量取引制度は、埼玉県から他県への生産の移転（すなわち他県での排出量の増加）をもたらすことはなかったのか、という点についても検討する必要があるだろう。これはすなわち、埼玉県の排出量取引制度がカーボン・リーケージを引き起こしたのか否かを検証することである。これらの論点についての実証的な検討は、今後の課題としたい。

謝辞

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(2-1707)により実施された。埼玉県環境部温暖化対策課の小西まどか氏・森田健司氏には、目標設定型排出量取引制度の詳細について解説していただいた。記して謝意を申し上げたい。

注

- 1) Ellerman and Buchner (2008) の分析対象期間は2005~2006年である。
- 2) 目標設定型排出量取引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。
- 3) 事業所の規模に関しては、従業員数や延床面積によって調整する方法も考えられるが、これらについては欠損値が少なくないため、本稿の分析では用いていない。
- 4) 使用するデータには埼玉県と群馬県の双方に事業所を保有する事業者も存在する。ただし、本稿では、例えば同一の事業者が保有する2つの事業所の立地する県が異なる場合、それらは別々の事業者に属する事業所として取り扱われることになる。
- 5) 目標設定型排出量取引制度開始前である2010年度の対象事業所の排出目標のデータについては、2011年度（あるいは排出目標が設定された年度で2010年度に最も近い年度）の排出目標で代用した。また、第1削減計画期間に排出量取引制度の対象となった事業所に関して、この期間中に制度の対象外となった年度がある場合（つまり排出目標が設定されなかった年度がある場合）、その年度の排出目標については、最も近い年度に設定された排出目標で代用した。
- 6) 差分の差分法については、Cameron and Trivedi (2005) を参照。

参考文献

Anderson, B., and C. Di Maria (2011) "Abatement and allocation in the pilot phase of the EU ETS," *Environmental and Resource Economics* 48 : 83-103.

Borghesi, S., G. Cainelli, and M. Mazzanti (2012) "Brown sunsets and green dawns in the industrial sector: Environmental innovations, firm behavior and the European emission trading," Fondazione Eni Enrico Mattei Working Papers, Paper 654,

Milan, Italy.

Calel, R., and A. Dechezleprêtre (2016) "Environmental policy and directed technological change: Evidence from the European carbon market," *Review of Economics and Statistics* 98 (1) : 173-191.

Cameron, A. C., and P. K. Trivedi (2005) *Microeconometrics: Methods and Applications*, Cambridge University Press.

Ellerman, A. D., and B. K. Buchner (2008) "Over-allocation or abatement? A preliminary analysis of the EU ETS based on the 2005-06 emissions data," *Environmental and Resource Economics* 41 : 267-287.

Ellerman, A. D., F. J. Convery, and C. de Perthuis (2010) *Pricing Carbon: The European Union Emissions Trading Scheme*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Engels, A. (2009) "The European Emissions Trading Scheme: An exploratory study of how companies learn to account for carbon," *Accounting, Organizations and Society* 34 (3-4) : 488-498.

Löfgren, Å., M. Wråke, T. Hagberg, and S. Roth (2013) "The Effect of EU-ETS on Swedish industry's investment in carbon mitigating technologies," Working Papers in Economics No. 565, Department of Economics, University of Gothenburg.

Martin, R., M. Muûls, and U. J. Wagner (2013) "Carbon markets, carbon prices and innovation: Evidence from interviews with managers," Paper presented at the Annual Meetings of the American Economic Association, San Diego.

Martin, R., M. Muûls, and U. J. Wagner (2016) "The impact of the European Union Emissions Trading Scheme on regulated firms: What is the evidence after ten years?" *Review of Environmental Economics and Policy* 10 (1) : 129-148.

Murray, B. C., and P. T. Maniloff (2015) "Why have greenhouse emissions in RGGI states declined?"

An econometric attribution to economic, energy market, and policy factors,” *Energy Economics* 51 : 581-589.

Petrick, S., and U. J. Wagner (2014) “The impact of carbon trading on industry: Evidence from German manufacturing firms,” Kiel Working Paper No. 1912, Kiel, Germany.

Sandoff, A., and G. Schaad (2009) “Does EU ETS lead to emission reductions through trade? The case of the Swedish emissions trading sector participants,” *Energy Policy* 37 : 3967-3977.

Wagner, U., M. Muûls, R. Martin, and J. Colmer (2014) “The causal effects of the European Union Emissions Trading Scheme: Evidence from French manufacturing plants,” Unpublished.

Target-Setting Emissions Trading Program in Saitama Prefecture: An Empirical Analysis of its Performance in the First Compliance Period

HAMAMOTO, Mitsutsugu

Saitama Prefecture started the “Target-Setting Emissions Trading Program (TSETP)” in April 2011 with the aim of reducing carbon dioxide (CO₂) emissions from large emitters such as factories and office buildings. This paper examines the impact of the TSETP on CO₂ emissions in the first compliance period (FY2011-FY2014) using regression analysis. The results suggest that the TSETP can provide an incentive to reduce CO₂ emissions despite the fact that the program includes no penalty for unachieved facilities. It is revealed that the TSETP caused a 14% reduction in CO₂ emissions from facilities covered by the program in the first compliance period.