

〈論 文〉

気候変動政策とイノベーション

——低炭素技術イノベーションの役割と促進のための視点——

井 上 恵美子*

I はじめに

気候変動対策の国際的枠組みとなる「パリ協定」が，2016年11月4日に発効した。日本の批准は遅れたものの，同年10月5日には批准国の温室効果ガスの合計排出量が発効条件を超え，採択から発効まで1年足らずのスピード発効となった。これは，温室効果ガスの2大排出国である米国と中国が，同年9月に協定の批准を同時に発表したことが功を奏したと言われている。7年余りかかった京都議定書と比べると，いかに迅速に発効までの手続きが進んだか理解できるが，一方で気候変動リスクに関する世界の認識が進んだことを反映した結果とも考えられる。

近年の締約国会議の交渉は暗礁に乗り上げ，あまり成果が出ていなかったが，今回のパリ協定は大きな成果として取り上げられている。最大の成果として挙げられるのが，主要排出国を含むすべての国が自主的に決定する約束草案（Intended Nationally Determined Contributions）を5年ごとに提出・更新して，その実施状況を報告する一方で，専門家のレビューを義務付ける（UNFCCC [2016]）など，すべての国が参加する法的拘束力のある枠組みが整備された点である。ただし，提出した目標の達成には法的義務が課せられたわけではない点に注意が必要である。

実は，米国，中国を含むすべての国々が参加し，先進国，途上国が緩和目標や行動を自主的に誓約して，それを計測・報告・検証するというボトムアップ型の枠組みは，2010年のCOP16で採択されたカンクン合意で既にその原型が作り上げられていた。しかし，カンクン合意は法的拘束力のないものであり，2020年以降の枠組みについては白紙のままであった。2011年のCOP17では，2020年以降の枠組みの交渉期限が合意され，「全ての締約国に適用される枠組条約の下での議定書，その他の法的文書あるいは法的効力を有する合意成果を2015年のCOP21で得る」とした。このような経緯もあり，COP21は注目を集めていたわけであるが，目標達成についての法的義務はないものの，法的拘束力のある枠組みが整備されたことは大きな前進である。

もう一つの大きな成果は，「産業革命以前からの温度上昇を2℃より十分下方にとどめること，可能ならば，15℃未満にとどめる努力を行うこと」（UNFCCC [2016]）という明確な温度目標が条約上初めて明記されたことである。ただ，気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）による第5次評価報告書によると，工業化以前と比べて温暖化を2℃未満に抑制する可能性の高いシナリオでは，温室効果ガスについて今後数十年間にわたり大幅に排出を削減し，21世紀末までに排出をほぼゼロにすることが必要だと述べられている。このような削減の実施は，かなりの技術的，経済的，社会的課題を提起し，2050年まで

* 京都大学大学院経済学研究科講師

にエネルギー効率のより急速な改善、温室効果ガスの排出量がゼロもしくは低排出の電力（例：再生可能エネルギー、原子力、CCS付き火力発電、バイオマスCCS）の供給の割合を2010年比で3倍から4倍近くまで増加させることを含むとされている（IPCC [2013]）。つまり、例えば二酸化炭素の回収・貯留技術であるCCS（Carbon dioxide Capture and Storage）の技術革新をさらに進め、またバイオマスCCSも十分に活用していくことをまず大前提としているわけで、現在の技術レベルでは2℃目標は非現実的な目標であるということが明確に分かる。

このように、実際に削減目標を実現していくには多くの困難が存在し、今後、技術面でのさらなる革新と発展、またそれを実現する低炭素技術イノベーションそのものの果たす役割がますます重要となってきた。パリ協定の技術開発・移転に関する条文である第10条にも、その重要性が述べられている。そこで、本論文では、今後の気候変動対策の中で低炭素技術イノベーションに焦点を当てて、その役割に注目するとともに、その促進にはどのような取り組みが重要となってくるのかについて議論する。

II 低炭素技術イノベーションの果たす役割と促進のための要件

気候変動リスクのもたらす影響は甚大で、その対策は不可避である。長期的な温室効果ガスの大幅削減には、低炭素技術イノベーションの果たす役割は大きい。低炭素技術イノベーションとは、文字通り、CO₂排出量の少ない社会を実現するための技術革新を指す。これまでの議論からも明らかかなように、現状の技術水準では到底十分でなく、低炭素技術のR&D（Research and Development）を推し進め、開発された技術を実用化して大規模に普及させるといったプロセスが不可欠となってくる。

海外の事例を見ても、低炭素技術イノベーションの促進は政策の重要な位置付けとなっている。欧州の事例に注目してみると、欧州連合では、2010年から10年間の欧州連合のエネルギー・気候変動政策における戦略的エネルギー技術計画“SET-Plan”を取り纏め、風力エネルギー、太陽光エネルギー、CCS、バイオエネルギー、電力グリッド、持続可能な核分裂（いわゆる第四世代原子炉に重点が置かれている）の6つの分野が有望な技術分野として取り上げられている（EC[2016]）。これらの分野は、技術開発への障害や投資の規模・リスクの観点から考察していくと、国々が個別に開発していくよりも、欧州連合で結束して取り組んで行った方が効率よく、また付加価値が高まる分野だと言える。SET-Planの実現には、10年間に官・民合わせて最大715億ユーロの投資が必要があると言われている（EC [2016]）。2014～2020年までの科学技術計画“Horizon 2020”では、失業率の改善と雇用の増大などの欧州諸国に根深く存在し続けている社会問題への対策と並び、優先的に取り組む社会的課題の一つとして、安全でクリーン、かつ効率的なエネルギーの普及を挙げている（EC [2015]）。関係者のインタビューによると、特に、蓄電池の技術開発や、集光型太陽熱発電の商業化に注力していく予定だという（EC [2015]）。本計画7年間の総予算である約800億ユーロのうち、35%程度が気候変動関連に投資される見通しである（EC [2015]）。

低炭素エネルギー技術への投資は、これまでの年間約30億ユーロから80億ユーロに引き上げられ、10年間で500億ユーロ以上が新たに投資されることになる（EC [2016]）。2016年11月29日の欧州委員会の広報によると、さらにイノベーションを進めるための計画を策定する予定であるという（EC [2016]）。

2016年6月の国民投票で欧州連合脱退が決まり、注目を浴びた英国は、風力や太陽光等に加え、政策として海洋エネルギーの開発にも力を入れている。北海に面する地理的な好条件を活かしたこの自然エネルギーは、長期的な温室効果ガス削減に貢献するポテンシャルが高く、実証実験が進められている。税制優遇なども功を奏し、2000年代に波力エネルギーと潮力エネルギー発電の双方において、世界で初のグリッド接続に成功するなど、実績を積み重ねている。

日本においても、低炭素技術イノベーションの促進は、気候変動政策の重要な柱となっている。2011年3月の東日本大震災と原発事故によって転換期を迎え、気候変動問題への対応を含めた計画や戦略を相次いでまとめているが、例えば、「地球温暖化対策計画」と「エネルギー・環境イノベーション戦略」などでは、低炭素技術イノベーションを重要な政策の要素として捉えている。2016年5月13日に閣議決定された「地球温暖化対策計画」は、2015年7月の「日本の約束草案」(2030年度の温室効果ガス排出量を2013年度比26%減とする中期目標)の達成に向けたロードマップを示したものである。日本全体として今後注力していくべき省エネルギー・低炭素化の取り組みを包括的に示し、目標達成に向けた国、地方公共団体、事業者および国民の基本的役割を明確にした上で、産官学の連携により低炭素技術の開発を強力に推進していくこと、「エネルギー・環境イノベーション戦略」に基づき、有望分野の革新的技術のR&Dを強化することを提案している。

「エネルギー・環境イノベーション戦略」では、2050年頃までを見据えて、気候変動対策に関する有望な技術分野が特定され、それらの分野での研究開発方針が示されている。パリ協定で掲げられた世界共通の長期目標である2℃目標の達成は、現状の削減努力の継続だけでなく、世界全体での抜本かつ大幅な温室効果ガス削減を可能とするイノベーションの創出が不可欠であるとする認識の下、策定されたものであるが、それを受けて重点的に進めていくべき8つの技術分野として、次世代太陽光発電、次世代地熱発電、次世代蓄電池、水素の製造・貯蓄・輸送・利用、超電導、革新的生産プロセス、CCU(Carbon dioxide Capture and Utilization)、システム基盤技術(システム統合技術、システム化のコア技術)を挙げている。なお、これらの8有望技術分野は、2013年9月に策定された「環境エネルギー技術革新計画」で特定された37の革新的技術を基に、実用化までの時間、日本の競争力への貢献、温室効果ガス削減ポテンシャルの大きさ、社会に革新的なインパクトをもたらすか、といった観点からさらに絞り込まれたものである。

このように日本でもその重要性が認識され、気候変動対策としてその役割に期待が高まる低炭素技術イノベーションであるが、まず、イノベーションそのものを生み出すためには、R&Dを進める主体のインセンティブを刺激し、R&Dを継続させることが重要である。また長期的な視点から、持続可能なR&Dに必要な投資の確保を進め、安定した投資を継続的に実現するための政策などの環境整備が必要である。

では、具体的には、さらなる促進にはどのような観点が重要となってくるのか。イノベーションを促進するための要件は、多岐に亘って様々なものが考えられるが、ここでは次の3つの観点到に注目したい。1つ目は、低炭素技術のR&Dの必要性の確認である。気候変動リスクの把握・情報開示と共有、また生産活動における自然資本などの資源制約の把握を通して、低炭素技術のイノベーションの必要性を認識し、R&Dインセンティブを継続的に刺激することである。2つ目は、イノベーションを継続的に生み出すことを可能とするツールの整備と確立である。例えば、カーボンプライシングを通して価格シグナルを与えた政策、炭素価格を安定させる施策の運用によりもたらされる環境は、長期的に安定した投資を可能とし、企業のR&Dを継続的に促進するためには重要な要素

である。政策がこれまで様々なタイプのイノベーションにもたらしてきた影響は大きく、特に両者の関係性はイノベーションの促進には不可欠である。3つ目としては、生み出された低炭素技術イノベーションの海外への技術移転を見据えた長期的戦略と環境整備である。パリ協定では、締約国同士が自主的に協力して温室効果ガスの排出削減に取り組み、その成果を国際的に移転することができるメカニズムの規定が盛り込まれている。このメカニズムは、日本がこれまで推進してきた途上国への技術移転や対策の実施を行う仕組みである二国間オフセットメカニズム（JCM: Joint Crediting Mechanism）に該当するものとして考えられている。イノベーションの実用化、海外への技術移転などは、イノベーションを促進する上で考慮すべき重要な観点になり得る。次節以降、これら3つの観点について議論していく。

Ⅲ 気候変動リスクの把握と低炭素技術 R&D の必要性の確認

まず、気候変動リスクの認識は、最初のステップだと考えられる。リスク認識が進まない場合、企業などの R&D インセンティブを刺激することは不可能だからである。そして気候変動リスクの開示は、様々なステークホルダー間の気候変動に対する認識を高める契機となる。R&D の主体である企業のリスクに関する理解は、R&D インセンティブを促進し、イノベーションの創出につながり、投資家のリスクに関する理解は、低炭素技術の R&D を進める企業への投資拡大につながり、低炭素市場の拡大にも寄与する。

国際機関や各国政府レベルでは、気候変動リスクの開示に向けた基盤整備が進んでいるが、例えば、国連では、2006年に ESG（Environment, Social, Governance）投資の促進を目的とした責任投資原則（PRI: Principles for Responsible Investment）を提唱した。この PRI とは、当時の国際連合事務総長であったコフィ・アナンが金融業界に対して提唱したイニシアティブで、投資家の意思決定プロセスに環境、社会、ガバナンスといった ESG 課題を受託者責任の範囲内で反映させるべきとしたガイドラインである。重点が置かれてきた投資収益だけでなく、社会問題の解決を図るという理念が根底にある。賛同する投資家等は、PRI への署名を通じて ESG 投資に対する取り組みや進捗状況を報告する。2016年11月現在、署名機関数は1611機関にのぼる。UNEP（United Nations Environment Programme）Financial Initiative による“Demystifying Responsible Investment Performance” [2007]によると、ESG 要素と投資パフォーマンスの関係には諸説あるが、ESG が投資パフォーマンスに正の影響を与えるとする先行研究の結果が多数あったという。企業においても、ESG への対応と持続的成長や収益との間には、強い相関があることが明らかになっている（e.g. Derwall et al. [2005]; Van de Velde et al. [2005]）。

UNEP 公認機関の一つである GRI（Global Reporting Initiative）も、民間企業等における持続可能性に関する報告の理解促進と、報告書作成のガイドラインを提唱している。これまでは各社がそれぞれのスタイルで公開していた情報、特に環境に関する情報の開示内容のレベルがこのガイドラインによって整理されてきた。

国際 NPO もこのような動きに重要な役割を担ってきた。元々英国で創設された CDP（Carbon Disclosure Project）は、世界の機関投資家（2016年11月現在、827投資家、総運用資金100兆米ドル）と連携して、2003年より世界中の上場企業等に対して気候変動関連の情報開示を求めるプロジェクトを展開している（CDP [2016]）。2016年11月時点、5600社を超える企業および533

市がアンケートに回答して、情報開示に応じている (CDP [2016])。

また、世界の金融機関の規制や監視に影響力のある金融安定理事会 (FSB: Financial Stability Board) は、2015年12月に、金融システムに対する気候変動リスクについて情報開示をさらに進めるためにタスクフォースを設置した (FSB [2016])。気候変動リスクが金融システムに与える影響を認識し、リスクをより明確に把握しようとしていることが窺える。このような動きが見られるのも、気候変動リスクを顕在的に定量的に評価することが可能となっており、その影響が意外と大きいこと、気候変動リスクを織り込んだ上で戦略を検討していった方が収益の増大につながるなどの理由も背景にあると考えられる。

この他にも、国ごとに情報開示の促進に向けた取り組みが行われており、気候変動リスクに関する情報開示とそれをグローバルな組織が介在して共有する基盤が世界的に整備されてきている。こうした状況を受けて、投資家はESG的視点を盛り込んだ長期的な投資を拡大しており、低炭素技術イノベーションのさらなる促進に貢献しているという (UNEP-FI, [2007]; FSB, [2016])。パリ協定が発効したことを受け、このグローバルな動きは今後ますます加速することが予想される。また企業は投資家等による開示の要請に積極的に応じるようになってきている。さらには低炭素技術を持っていること、気候変動問題に積極的に取り組み、協力していることを自らアピールし、投資を呼び込むための手段として情報開示を活用しようとする動きまである (CDP [2016])。このように、気候変動リスクの認識、情報開示と国際的な情報共有は、低炭素技術イノベーションを促進するための重要なインセンティブを刺激する要因となっていると考えられる。

Ⅳ カーボンプライシングを織り込んだ政策ツールの整備と確立

1 カーボンプライシング

今後、政策を通じてCO₂に正当な価格付けをすることで、その削減目標の達成のために市場メカニズムを活用することを可能とする「カーボンプライシング (carbon pricing)」という考え方はますます重要となってくる。カーボンプライシングとは、排出量取引制度や炭素税などを通じて、これまで明確な価格が付いていなかった排出されたCO₂に適正な価格を設定することで、企業の投資判断や消費者の消費行動に価格シグナルを与え、排出削減に対する経済的インセンティブを創出し、気候変動対応を促す仕組みのことを指す。カーボンプライシングの基本的理論は、CO₂排出で環境外部性が発生して市場の失敗が発生している状況で、カーボンプライシングという手法を用いることにより、CO₂に価格付けを行って市場に内部化し、市場の失敗を正すというものである。CO₂排出量を追加的に1トン削減するための費用、つまり限界削減費用がより低い企業において削減が進むため、社会全体では費用効率的に削減が可能である。

カーボンプライシングを織り込んで適切に設計された政策は、価格シグナルを通じた環境負荷の削減 (第1の配当) だけでなく、炭素税などによる政府への新たな歳入がもたらされ、その増収分が法人税等の経済に歪みをもたらすと考えられる税の減税に活用されることで経済効率の改善にもつながる (第2の配当) といった、いわゆる「二重の配当」と呼ばれる現象をもたらす、経済活性化につながることも先行研究で明らかになってきている。ただし、第1の配当は実現しても、第2の配当は実際には起こらないとする研究もあり、「二重の配当」については慎重な議論が必要である。

また、さらには企業の限界削減費用の逓減努力も刺激することができると考えられている。事実、米国におけるエネルギー価格の上昇という価格シグナルが省エネルギー技術に関わる特許の取得に正の影響を与えたことを明らかにした Popp [2002] から分かるように、価格シグナルを効果的に活用した政策の導入に対する反応として企業の R&D が活発化し、その結果としてイノベーションが誘発されることが示唆されている。この点からも、カーボンプライシングは、低炭素技術のイノベーションを持続的に生み出すために必要不可欠なものであると考える。

多くの国際機関では、報告書を通じて、カーボンプライシングの積極的導入を推奨している。例えば、World Bank による“State and Trends of Carbon Pricing 2015”では、カーボンプライシングは、「政府にとっては二重の配当をもたらす」、「企業が社内炭素価格の考え方を導入すれば、効率のよい経営を行える」、「投資家にとっては、長期的な視点からの投資判断に役立つとともに、より低炭素な企業等への投資拡大につながる」と述べている。各ステークホルダーへの詳細な影響については、もう少し慎重に研究で検証していかなくてはならないと思うが、カーボンプライシングがしっかりと実施され、炭素価格の長期的な見通しが立って、価格シグナルが適切に効果的に作用する状況を作っていくことは、長期的に安定した投資を呼び込み、企業や投資家の気候変動下における活動において有益であろう。

2. 政策とイノベーションの関係性

2-1. 環境政策とグリーン・イノベーション

前節の議論を踏まえると、カーボンプライシングの浸透は、人々や企業の活動に価格シグナルを通じて影響を与えることが分かる。これまでの政策がイノベーションの誘発に密接に関わってきたことから、カーボンプライシングによる価格シグナルでその実効性や費用効率がより高まった政策は、イノベーションのさらなる促進に寄与する可能性は高い。

そこで、カーボンプライシングの具体的な導入事例を見ていく前に、環境政策と低炭素技術イノベーションを含んだグリーン・イノベーションの関係を整理し、これまで政策がいかにイノベーションと密接に関わっているのかを明らかにする。ここでグリーン・イノベーションとは、「環境負荷を逓減するための革新的な製品・サービスまたは環境負荷逓減を実現するための業務の改善を目的としたプロセスの開発に必要とされる設計や研究開発」と定義する。

グリーン・イノベーションの社会にもたらす影響は大きく広範であるが、その費用は最初は研究開発する企業が負わなくてはならない。そのため、いくら社会全般にとって有益な技術開発投資であっても、市場任せにするだけでは投資が十分に行われず、イノベーションを促進する十分なインセンティブを提供することにはならなかった。一方、環境政策や公的な研究開発基金などの存在がイノベーションを促進する重要な要素として作用してきた (Popp *et al.* [2010])。このような背景から、グリーン・イノベーションは、環境政策との関連で研究されてきており、環境政策の影響抜きには語ることはできない。

実際、環境政策とグリーン・イノベーションとの関係は興味深いトピックとして1970年代より注目されている。当初の研究は、どの政策がイノベーションを創出する R&D インセンティブを刺激するのか、という研究トピックに注目が集まっていた。理論研究である Downing and White [1986] は、単一の汚染物質排出者の場合において、4つの政策手段（直接規制、賦課金、補助金、排出権取引）のインセンティブ効果を分析したところ、想定した3つのシナリオにおいて常に賦課金はイ

ンセンティブ効果が大きく、直接規制が最も小さかったとの結論を出している。5つの政策手段(直接規制, 環境税, 環境補助金, 無償での初期配分による排出権取引(以下, 無償配分方式排出権取引)およびオークションを通じた初期配分による排出権取引(以下, オークション方式排出権取引))を比較した Milliman and Prince [1989] でも, 環境税, 環境補助金, 無償配分方式およびオークション方式排出権取引が, 直接規制と比較して優位であることが明らかになった。Newell et al. [1999] や Lange and Bellas [2005] も, 直接規制よりも柔軟性の高い政策がイノベーションを誘発することを明らかにしている。このように, 完全競争市場では, ほとんどのケースにおいて, 税・課徴金やオークション方式排出権取引などの経済的手法を用いた方が, 直接規制よりも効果的だとの結論が導かれている。

しかしながら, 上記のような環境政策手段のもたらす効果の優劣関係は必ずしも一般的に成立する結論ではないという点もいくつかの研究によって示されている。例えば, Montero [2002] は不完全競争市場を想定して異なる政策手法(直接規制, 環境税, 無償配分方式排出権取引, オークション方式排出権取引)を比較した。クールノー競争¹⁾下では, 直接規制, 環境税, オークション方式排出権取引の方が, 無償配分方式排出権取引よりも効果的であり, ベルトラン競争²⁾下では環境税とオークション方式排出権取引が最も有効であり, 次に直接規制, 最後に無償配分方式排出権取引という順でインセンティブを高めることを明らかにした。さらに, Fischer *et al.* [2003] のように, 仮に完全競争市場の前提を維持したとしても, 新技術が他の企業に模倣されることを考慮した場合には, Milliman and Prince [1989] の示したような結論にはならず, 政策手段のインセンティブ効果の優劣関係は市場構造のあり方や新技術の模倣の可能性といった諸要因に依存することを示した。

また, 政策によって促進されるイノベーションの種類が異なることも様々な研究で示されている。例えば, Bauman *et al.* [2008] は, 直接規制が限界削減費用曲線の傾きを変化させることができた特定の条件下では, 直接規制の方が経済的手法よりも「エンド・オブ・パイプ」³⁾的なイノベーションを生み出すインセンティブを刺激するとした。Matsuno *et al.* [2010] では, 主に1960年代後半～70年代前半に日本で独自に開発されたSO_x削減のための排煙脱硫技術開発に着目して公害防止協定や自治体の先駆的規制, 法的規制等の直接規制がイノベーション促進に有益な役割を果たしたこと, またその技術の普及と改善には公健法賦課金といった経済的手法が活躍したことを示した。Johnstone *et al.* [2010] は, OECD 25カ国の再生可能エネルギー技術に関する特許パネルデータを用いて分析した結果, 太陽光発電や廃棄物エネルギー関連技術の開発促進には固定価格買取制度⁴⁾, 競争力がある風力発電関連技術の開発促進にはグリーン電力証書⁵⁾が有効であることを示し, イノベーションのタイプに応じて最適な政策手段は異なると主張している。Popp [2003] もそれぞれの政策で創出されるイノベーションは異なってくることを示している。

政策手段の比較ではなく, 具体的に実施されている政策がイノベーションにどのような影響をもたらすのかという点に注目した実証研究(表1)では, イノベーションの代理変数としてR&D支出や特許が使われていることが多い。1990年代半ばから2000年代半ばまでのLanjouw and Mody [1996], Jaffe and Palmer [1997], Brunnermeier and Cohen [2003], Hamamoto [2006]などの研究では, 公害防止対策費用(PACE: Pollution Abatement Costs and Expenditures)に注目した研究が多く, PACEがイノベーションに正の影響をもたらしていることが示されている。例えば, Jaffe and Palmer [1997]の研究では, 1974～91年の米国製造業の特許やR&D支出に関するデー

表 1 実際の環境政策がイノベーションに与える影響

研究	データ	イノベーション(代理変数)	イノベーション誘発要因	結果
Lanjouw and Mody [1996]	米国、日本、ドイツ他14か国の特許データ	環境技術の特許	環境規制の強制度(公害防止対策費用(Pollution abatement costs and expenditures: PACE))	+
Jaffe and Palmer [1997]	米国の産業別の特許およびR&D費用に関するデータ(1974~91)	R&D支出、特許	環境規制の強制度(PACE)	R&D支出(+)
Popp [2002]	米国のエネルギー関連の特許データ(1970~94)	省エネ技術の特許	エネルギー価格、技術知識ストックへのアクセス可能性や助成金など政策	+
Brunnermeier and Cohen [2003]	米国の環境関連の特許データ	環境技術の特許	環境規制の強制度(PACE、立入検査回数)	わずかに(+)(0.04%/\$1million)
Hamamoto [2006]	日本の製造業データ(1966~76)	R&D支出	環境規制の強制度(PACE)	+
Arimura et al. [2007]	OECD事業所サーベイデータ(2004) (日本、米国、カナダ、ドイツ、ノルウェー、ハンガリー、フランス)	環境R&D支出	・環境政策 ・環境マネジメント ・環境規制の強制度(立入検査回数など)	・環境会計は環境R&Dを促進 ・柔軟な環境政策および厳しい環境規制は環境会計・マネジメントの導入を促進⇒環境R&Dを促進
Demirel and Kesidou [2011]	DEFRAサーベイデータ 英国企業(289社)の個票データ (2005&2006)	①end-pipe ②cleaner production ③環境R&D	・環境政策 ・企業のモチベーション ・その他の要因(コスト削減目的等)	・①(+)直接規制、効率性改善モチベーションが有効 ・②(+)効率性改善に対するモチベーションが有効 ・③(+)直接規制、経済的要因(コスト削減)が有効 ・ISO14001は①と③に関わる環境マネジメントシステムに有効
Inoue et al. [2013]	OECD事業所サーベイデータ(2004) (日本の製造業)	環境R&D支出	・環境政策 ・ISO 14001の習熟度(取得からの年数)	+(ISO 14001の習熟度は環境R&Dを促進)

出典：筆者作成

タを用いて分析し、PACEの増加に伴い、R&D支出が増加したことを示した。PACE以外には、エネルギー価格などを用いた前述のPopp [2002]のような研究もある。

2000年代半ば以降になると、Arimura *et al.* [2007] や Demirel and Kesidou [2011], Inoue *et al.* [2013] などのように、環境政策などの外生的要因だけでなく、環境マネジメントシステム、企業内部の組織構造や企業のモチベーションといった内生的要因がイノベーションに与える影響について検証していこうとする動きが見られるようになる。OECDが行った7か国の事業所レベルのサーベイデータを用いて分析した Arimura *et al.* [2007] は、環境会計の導入が環境R&D支出を増加させたこと、柔軟性が高く、厳格な強制力のある環境政策は環境会計の導入を促進すること、環境会計導入の促進を通じて環境R&Dが促進されたことを明らかにした。Demirel and Kesidou [2011] は、英国企業のデータを用いて、環境政策や企業のモチベーションと3種類のイノベーション(エンド・オブ・パイプ型技術、クリーナー・プロダクション、環境R&D)の関係について分析し、誘発されるイノベーションのタイプによって最適な政策や要因が異なることを示した。Inoue *et al.* [2013] では、日本企業のISO 14001の取得とそれを保持し続けるという企業の自主的な行動がイノベーション(環境R&D支出)に与える影響を検証した。企業がISO 14001を取得してから期間をISO 14001の習熟度と捉えて分析した結果、ISO 14001の習熟度が環境関連R&D支出に正の影響を与えることを明らかにしている。

政府による政策のような外生的要因だけでなく、このような内生的要因がイノベーションに正の

影響を与えていることは興味深い。企業の自主的な環境対応や環境マネジメントシステムなどの自主的取組は、これまで直接規制や経済的手法を補完する役割として見なされてきたが、これらの先行研究が示すように、イノベーションへの影響に焦点を当てると、その有効性は注目に値する。また、パリ協定の締結、批准、発効のプロセスで、自主的に立ち上がった多くのイニシアティブが果たす役割は大きかったということが言われているように、自主的取組は、世界全体を巻き込む大きな潮流を作り上げ、その流れを促進する役割を果たしている。法的強制力がないにも関わらず、なんらかの拘束感をもたらす、いわゆるソフトローの存在が企業の R&D 活動に影響を与えているという事実は、政策的インプリケーションをもたらすだけでなく、今後の研究にも重要な示唆を与える。

では、イノベーションの普及についてはどうであろうか。イノベーションは生み出されて終わりではなく、それらが普及し社会に貢献することで意味を成すため、普及についても検討していくことは重要である。Milliman and Prince [1989] の理論研究では、新技術の採用インセンティブは、直接規制よりも経済的手法の下で高まることが明らかになった。ただし、各政策のもたらす効果の優劣関係については一意的な結論は存在しないと示した。例えば、前述の 5 つの政策手段に関して比較した場合、オークション方式排出権取引が最も優れており、次に環境税と環境補助金、続いて直接規制、最もインセンティブが低くなるのが無償配分方式排出権取引であることを示した。オークション方式排出権取引の下では、排出企業は新技術の採用により汚染削減費用の低下という便益に加えて、排出権価格の低下という便益も享受できるので、新技術の採用インセンティブは環境税よりも大きくなるという。また、オークション方式排出権取引の方が無償配分方式よりもインセンティブ効果が高いと述べている。しかし、前述の Fischer *et al.* [2003] は、排出権価格の低下という便益は、新技術を採用しない排出企業にも同様の便益をもたらすということを指摘し、その分だけ各排出企業の新技術採用インセンティブは小さくなるとした。また、もし各排出企業がプライステイカーならば、オークション方式排出権取引の方が無償配分方式よりもインセンティブ効果が高いとは必ずしも言えないことから、環境税の方が排出権取引よりも新技術採用のインセンティブ効果は高くなることを示した。

実際の具体的な新技術の普及例に注目した Jaffe and Stavins [1995] は、米国における 1979～1988 年までの新規の住宅建設における断熱技術の普及に関して、環境税や技術導入に対する補助金が有効で、直接規制の有効性は証明されなかったとしている。Kerr and Newell [2003] は、米国石油精製プラントでの鉛低減技術の導入に関して分析した結果、新技術の採用インセンティブは規制の強制度に大きく影響されること、また規模が大きく、かつ最先端の技術を結集している精製所ほど、導入コストを小さく抑えられるために新技術を採用する傾向にあることを明らかにした。また新技術導入には排出権取引が有効な政策であるということも示された。Frondel *et al.* [2007] では、OECD 7 カ国のアンケートデータを用いて分析した結果、直接規制はエンド・オブ・パイプ型の対策をより促進する傾向があり、経済的手法は革新的な技術の導入に影響を与えることが観察された。これらの研究により新技術の普及においてもその技術のタイプによって適切な環境政策が異なることが示唆されている。

このように、環境政策はそれ自体イノベーションの誘発と普及に影響を与えていることが明らかであるが、カーボンプライシングによる適正な価格シグナルは、炭素排出削減のインセンティブを与え、企業の R&D に関する判断にインパクトを与える重要な役割を果たすことが予測できる。

2-2. ポーター仮説とイノベーション

環境政策のイノベーションへの影響について整理する上で、興味深い視点を提示したのが、ポーター仮説 (Porter Hypothesis) である。米国の経営学者マイケル E. ポーターにより紹介されたポーター仮説では、適切な環境政策が設定されるならば、環境規制の強化によって費用節約・品質向上をもたらすイノベーションが促進され、規制遵守費用が相殺されるのみならず、生産性の向上に寄与することで企業の競争力を強化し得ると述べられている (Porter [1991]; Porter and van der Linde [1995])。その根拠として、1970年代に厳格な環境規制を実施していた日本やドイツにおいて米国を上回る生産性上昇率が達成されたこと、大きな環境保全費用が強いられている米国の化学産業の国際競争力が、米国内の他の産業と比較して高いことを挙げた。さらに環境規制への対応を通してイノベーションを創出して利益を獲得している企業の具体的な事例を挙げて、環境規制が汚染削減のみならず企業の利益にもつながり得るという見解を提示した。

その後、Jaffe and Palmer [1997] によってポーター仮説は3つに分類された。1つ目は、「強いポーター仮説 (strong version)」であり、「新しい環境規制という外的なショックが良い意味で企業の R&D 活動を刺激してイノベーションを創出し、政策の遵守と利潤の増加の両立を実現させる新しい製品またはプロセスを生み出して企業の競争力を拡大する」というものである。イノベーションは追加的な規制コストを相殺し、結果的に環境規制は企業の競争力を高めるわけである。この仮説によると、新しい環境規制が企業にそれまで全く思い付かなかった新しい製品や製造プロセスを気付かせるという。これについては、Andersen and Sprenger [2000] は時には成立する、Lanoie *et al.* [2011] は成立しないと示した。2つ目は、「弱いポーター仮説 (weak version)」で、「適切に設計された環境規制はなんらかのイノベーションをもたらす」という内容であり、そのイノベーション自体が必ずしも企業の競争力に貢献するものとは言及していない点に注意が必要である。これについては、Lanoie *et al.* [2011] など、成立を支持する研究成果が複数存在する。最後に挙げる「狭義のポーター仮説 (narrow version)」は、「柔軟な規制は直接規制などと比べて、企業のイノベーションに対するインセンティブを促進する」というものである。この仮説によると、イノベーションの促進には、環境政策が製造プロセスを規制するのではなく、環境パフォーマンスを規制するべきであり、政策選択が重要であるという。Andersen and Sprenger [2000] は、ケーススタディーより成立するとし、Lanoie *et al.* [2011] は、条件付きで成立するとした。

当時の経済学者は、環境規制が設定もしくは強化された場合、規制遵守に伴う環境対応費などの費用負担が生じることから、企業の生産性を低下させ、その結果として国際競争力を損なわせると考えていたため、ポーター仮説を相次いで批判した。例えば Palmer *et al.* [1995] は、イノベーションによって私的純便益が発生するのならば、利潤最大化行動を実施する企業は、政策がなくても企業自らが R&D を実施しているはずだと主張した。これは、企業が完全情報を持っていて常に合理的な行動を取ることを前提としている。また先行研究のレビューや米国やスウェーデンの実証分析に基づき、ポーター仮説は限定的な条件の下でのみ成立、もしくは全く成立しないと結論付けた Filbeck and Gorman [2004] や Brännlund and Lundgren [2009] などの研究もある。

短期的にポーター仮説が成立するケースは、先行研究より極めて稀であるとされているが、次のケースでは例外的に実現させることができるという。まず挙げられるのが「組織の構造的な問題が存在するケース」である。Gabel and Sinclair-Desgagne [1998] によると、企業内に組織の失敗に起因する資源利用の非効率性が存在している場合、環境規制の強化は企業組織の再構築を促す外生

的なショックとして機能し、汚染削減と効率性改善を実現するという。また、Ambec and Barla [2002] は、情報の非対称性や、欠陥のあるガバナンス体制など企業内部に問題がある場合、政府による環境規制の強化がそれらの問題を是正する契機となり、ポーター仮説を実現できる状況をもたらすという。Ambec and Barla [2006] では、企業はトップの判断ミスにより最適な投資チャンスを見誤る場合も言及されている。

次に、「資本構成が最適でないケース」である。例えば、Xepapadeas and de Zeeuw [1999] は win-win な状況の実現は必ずしも期待できなかつとも、環境規制という外生的ショックによって企業が環境負荷の大きい旧式の生産設備を廃棄して資本ストックの近代化を行い、平均設備年数を低下させるならば、資本の生産性上昇がもたらされ、環境規制の強化に伴って発生する対策コストの負担を小さくすることができるとした。

このように、経営学的視点からのポーター仮説からも明らかなように、環境政策がイノベーションの促進に影響を与えるという点で重要であることが示されているが、少なくとも上記の2つのケース（「組織の構造的な問題が存在するケース」と「資本構成が最適でないケース」）において、カーボンプライシングによる価格シグナルは、炭素排出削減のインセンティブを与え、直接もしくは間接的に状況の改善に貢献し、短期的にポーター仮説を成立させる可能性がある。この点からもカーボンプライシングを織り込んだ政策の実施は、重要な役割を果たすだろう。

3. カーボンプライシングの導入事例

これまでの先行研究やポーター仮説に言及することにより、政策とイノベーションの関係を分析してきたが、炭素価格を反映させた適切な政策は、イノベーションにさらなる影響をもたらしていくだろう。一般に、技術開発の初期段階では資金提供などの「供給プッシュ」型が有効であり、それ以降では、規制やカーボンプライシングなどの「需要プル」型の措置が有効であるとされている。

カーボンプライシングの主な手法として注目されるのが、排出量取引制度と環境税である。2005年から開始した欧州排出量取引制度（EU ETS: European Union Emissions Trading System）は、現在、欧州連合加盟国28カ国に加えて、欧州経済領域参加の3カ国を加えた31カ国が参加している（EC [2016]）。これは、欧州連合の排出量の45%をカバーする世界最大の国際的な排出量取引制度だが、開始から2014年までの間で24%の温室効果ガス削減に貢献してきた。対象となるのは、発電所、石油精製、製鉄、セメント等の大規模排出施設だったが、2012年からは航空部門、第3フェーズからは、アルミ、化学産業も対象となっている（EC [2016]）。開始当初は、各国が国別割当計画（NAP: National Allocation Plan）を策定することになっており、排出枠は過去の排出実績に基づく無償割当がほぼ100%であったが、炭素価格の不安定な変動と落ち込みを受けて、第2フェーズ以降、オークションによる有償割当も一部の国で導入されてきた。2008年以降、経済不況もあり、価格は低迷し、2009～2011年頃には15EUR/tCO₂程度であったが、2012～2013年にはさらに低迷を続け、3～7EUR/tCO₂程度で推移した（EC [2016]）。これは、排出枠の余剰が要因の一つと考えられ、制度に関していろいろな見直しが実施されている。例えば、2013年からの第3フェーズ以降は、NAP方式を廃止し、欧州連合全体で上限を設定し、2020年の総排出枠が2005年比-21%となるように、2010年から毎年1.74%減少させている。排出枠は、オークションによる有償割当の割合を段階的に増やしている。

国内排出量取引の例としては、2008年から森林部門を対象に開始したニュージーランド排出量

取引制度がある。2010年よりエネルギー部門、産業プロセス部門、液体化石燃料部門、廃棄物部門を対象を拡大している。排出枠の無償割当の対象となっているのは、森林部門、漁業部門、産業プロセス部門、農業部門であり、有償割当の対象は、液体化石燃料部門、エネルギー部門、廃棄物部門となっている(MOE-NZ [2016])。2020年までに1990年比5%減を目指しているが、現在のところ、総量規制は行っていない。排出枠の割当および償却は毎年実施されている。将来的には、オークション方式による排出枠の有償配分が検討されており、導入に際しては排出枠総量に対するキャップが設定されることが想定されている(MOE-NZ [2016])。他にも、韓国では2015年1月より排出量取引制度が開始されているが、開始時点から排出量の割当を巡って企業側が激しく反発し、大企業の訴訟が相次ぐなど混乱が生じた。第1計画期間の2015~2017年は全量無償での割当であるが、全体で年度2%排出削減を実行するための割当総量を設定し、また2030年までにBAU比37%削減(2012年比22%削減)を目指していることから、今後に備えて排出枠の取引を控える企業が続出し、取引が停滞している(ICAP [2016])。中国では、2017年より、排出量取引制度が開始される予定であり、本番に向けてパイロットプロジェクトが実施されている。

米国東部の9州からなる“Regional Greenhouse Gas Initiative”(以下、RGGI)は、2009年から発電部門を対象に域内排出量取引制度を実施している。2015年9月時点、対象は設備容量2.5kW以上の化石燃料発電163施設となっている。排出総量の上限を絶対量のキャップで設定し、排出枠総量は第1遵守期間および第2遵守期間中は各年一定で推移していたが、2012年時点で大幅な排出量削減を達成したため、2014年以降の上限値は下方修正されている。削減目標は、2020年までに2005年比50%削減である(RGGI [2016])。2014年時点の取引価格は4.8USD/tCO₂程度であった(RGGI [2016])。2009~2013年においては、RGGIによると、9.2%のGDP成長(他州では平均8.8%)と18%のCO₂削減(他州では平均4%)を実現し、合計13億米ドルの経済的便益もたらされたという。他にも、域内排出量取引制度の例としては、2013年から開始された米国カリフォルニア州排出量取引制度や、カナダケベック州排出量取引制度などがある。

炭素税は、日本の他、主にヨーロッパを中心に、フィンランド、スウェーデン、デンマーク、スイス、アイルランド、フランス、ポルトガル、そして北米ではカナダのブリティッシュコロンビア州などで導入されている。1990年代初頭から炭素税(CO₂税という名称で運用されている国もある)が導入されているスウェーデンやフィンランド等の北欧諸国では、炭素税の税率が段階的に引き上げられるとともに、法人税率や所得税率等が段階的に引き下げられてきており、温室効果ガス削減とGDP成長の両立が実現されてきた。1990年に世界初の炭素税が導入されたフィンランドでは、1997年および2011年に実施されたエネルギー税制改革によって、所得税の減税や企業の社会保障費削減による税収減の一部を炭素税収により補填することにした。さらに、2011年以降、暖房用燃料(54EUR/tCO₂)と輸送用燃料(58EUR/tCO₂)の税率を分離した。EU ETS対象企業は免税、産業用電力・CHP(Combined Heat and Power)は減税、エネルギー集約型産業・農業に対しては還付措置、バイオ燃料についてはバイオ燃料含有割合に応じて減税がなされるなど、一部の対象には優遇措置が講じられている。現在、世界で最も高い税率(119EUR/tCO₂)のスウェーデンは、1991年にCO₂税を導入し、法人税の大幅減税を伴う環境税制改革を実施した。CO₂排出量の削減とGDP成長の両立を達成し、環境と経済のデカップリングに成功した例として注目を浴びた。スウェーデンの場合も、EU ETS対象企業は免税、CHPについても免税、産業・農業の税率は本則税率の60%とされている。日本は、2012年10月に「地球温暖化対策税」という名称で導入し、全

化石燃料に対してCO₂排出量に応じた税率（289円/tCO₂）を上乗せし、3年半かけて税率を段階的に引き上げてきた。ただし、輸入・国産石油化学製品製造用揮発油等の石油石炭税に係る免税・還付措置が設けられている分野については、上乗せされる税率についても、免税・還付措置が適用されている。税金は、省エネ対策、再生可能エネルギー普及、化石燃料クリーン化など、CO₂排出抑制施策に充当されてきた（MOE [2016]）。

国以外にも、前述したように企業で独自に社内炭素価格を導入している例もある。2010年から少しずつ増えてきた社内炭素価格であるが、CDPによると、2015年時点では437社、2017年までに追加的に500社が導入予定だという（CDP [2016]）。例えば、Shellは40USD/tCO₂、Exxon Mobilは60~80USD/tCO₂の社内炭素価格を導入している。法規制等の外生的な圧力で強制的に社内炭素価格を導入するのではなく、長期的な投資環境を考える上で参考になるとして自主的に導入を試みる企業が年々増加していることは興味深い傾向である。かつて1990年代に環境マネジメントの導入と拡充が進んでいった道筋と同様の状況が、現在の気候変動への対応で顕著に観察される。

カーボンプライシングの事例を見ていくと、適正な炭素価格を知ることがいかに難しいかを考えさせられる。World Bankの“State and Trends of Carbon Pricing 2016”（p. 14）によると、各国における炭素価格に大きなばらつきがあることが分かる。税率を決定しなくてよい排出量取引制度も、最適な排出枠の割当に関する検討や、市場で決まる炭素価格の安定をいかにもたらすかなど、成功させるまでにはそれなりの試行錯誤が必要であることが分かる。適正な炭素価格の設定や制度の整備などまだまだ課題は多い。世界のCO₂排出トップ20カ国を対象に、CO₂排出削減によってもたらされる健康被害の削減、渋滞の緩和、交通事故による死亡の減少といったコベネフィットを定量化して2010年における各国の炭素価格を算出したParry et al. [2014]の研究によると、適正の炭素価格は20カ国平均で57.5USD/tCO₂で、各国の既存税制に基づく炭素価格は多くの国において不十分であるとされている。各国が適正な炭素価格を導入した場合、CO₂排出量はBAU比13.5%削減、20カ国平均でGDP比1.9%の税金をもたらすという（Parry et al. [2014]）。

さらに、企業等が価格シグナルに対して合理的に行動するとは限らないという行動経済学的視点も考慮に入れる必要があることも指摘されている。非合理的な行動を引き起こす要因の一つには情報の非対称性が挙げられるが、この是正には、気候変動リスクの開示と情報共有、そして直接規制や情報的措置などの他の政策手段も合わせて活用することなどが必要だと考えられる。

いろいろと考慮すべき点はあるものの、カーボンプライシングは、長期的な視点で見ると、将来の投資へのロードマップを明確にし、イノベーション促進の要因の一つとして機能していく可能性があるため、今後の政策に積極的に織り込んでいくことは有益である。

V 他国への技術移転を見据えた長期的戦略と環境整備

今後、日本で開発され普及した世界最先端の低炭素技術イノベーションは、途上国をはじめとする様々な国々へ技術移転され、世界の排出削減に貢献することが期待される。京都議定書の下では、先進国のみが排出削減目標を約束していたが、パリ協定の下では、先進国に加えて、途上国も削減目標を約束しており、パリ協定第6条に盛り込まれた締約国同士が自主的に協力して温室効果ガスの排出削減に取り組むJCMを含む市場メカニズムの活用に関する規定は、技術移転をさらに活発化させるであろう。

JCMなどの日本政府の事業による国際的な排出削減、吸収量の見込みは、2030年までで累計0.5～1億トンとされている。2050年を見据えては、「エネルギー・環境イノベーション戦略」によると、選定した革新技术分野の技術開発や適用等により、全世界で10～100億トン規模の削減ポテンシャルが期待できるという。

技術移転の促進には、移転する側が継続的にイノベーションを生み出していくことが前提となるが、多額の投資を経て生み出されたイノベーションの知的財産権の保護は、企業等のR&D主体にとって重要である。技術移転の促進には、R&D主体の権利が守られる強い知的財産権の保護がよいのか、比較的安価な技術の複製や模倣を可能にする弱い知的財産権の保護がよいのか、様々な見解があるが、Park and Lippoldt [2008] や Ockwell et al. [2008] では、知的財産権の強化は、先進国側や途上国側のR&D、技術移転、企業による技術移転インセンティブを促進することを明らかにしている。技術移転において障害となるのは、知的財産権そのものではなく、むしろ移転された技術を導入する上での知識やノウハウの欠如である場合が多い (Ockwell et al. [2010]) という議論もある。

また、イノベーションの実用化、海外への技術移転などを見据えた長期的な視点に立ってR&D戦略を考えていくことは、企業等のR&D主体にとって重要である。特に、将来の途上国への技術移転を前提にした技術開発は、単に日本の国内マーケットを見据えたものとは異なってくるのが容易に予想される。例えば、日本の国内マーケット用に開発された低炭素技術をそのまま途上国に移転した場合、その国の環境規制・政策、資源・エネルギー制約、文化慣習等が障壁となり、移転された技術の活用や普及が上手くいかないことが往々にしてあるからである。よって、途上国の状況や環境の特性等に応じた低炭素技術の再構成が必要であるとともに、キャパシティ・ビルディングが重要となる (Rai and Funkhouser [2015])。またそれを実現するための日本国内の環境整備、技術の再構築のプロセスで生み出された新たな低炭素技術のイノベーションを国内のさらなるイノベーションや普及につなげていく仕組みも必要だと考える。

VI おわりに

パリ協定が発効した今、世界が協力して温室効果ガスの削減方法を考え、連携していく必要がある。これまでの方法では明らかに限界があり、抜本的な取り組みが不可欠である。このような喫緊の課題を抱えている中、低炭素技術のイノベーションへの期待はますます高まっていることが、各国の気候変動政策などからも浮き彫りになった。

本論文では、今後の気候変動対策の中で、低炭素技術イノベーションに焦点を当て、その役割に注目するとともに、その促進にはどのような観点が重要となってくるのかについて議論してきた。イノベーションを誘発するためには、企業等のR&Dのインセンティブを刺激し、R&Dを進めていく上で必要な投資を積極的に呼び込んでいくことが必要となるが、それらを進めていくには、まず気候変動リスクを正確に把握し、それを織り込んで経営判断なり、投資判断なりを実施していくことが重要である。これは、気候変動リスクの開示、情報共有によりさらに促進されるだろう。さらに、生産活動をする上での資源制約を正確に認識することも、イノベーションを促進する一要因になると考える。

また、炭素価格を適正に評価し、価格シグナルを効果的に政策で活用するためにも、政策を通し

てカーボンプライシングを実行していくことは有益である。カーボンプライシングを織り込んで、気候変動政策を適切に設計できれば、削減効果だけでなく、イノベーションへのインセンティブを刺激することができるからである。

最後に、他国への技術移転などを見据えた長期的な視点と環境整備は重要である。国内マーケットだけを念頭に置いたR&Dと、他国のマーケットを念頭に置いたR&Dでは重視する観点が変わってくる。技術移転する低炭素技術が活用される社会システム、経済システム、環境規制・政策のシステムなどが異なってくると、それに合わせて再構成された技術開発が必要であり、そのプロセスなしで単に移転された技術は仮に最先端の技術であっても、それはその国で有効に活用されず、また普及もされない。だから、どこを見据えての技術開発なのか、長期的な視点を持ったR&D戦略が重要であり、それがイノベーション促進の一要因として重要な観点になり得る。

このような環境基盤の整備と視点は、互いに密接に関係し、今後の大規模な温室効果ガスの削減を可能とする画期的な低炭素技術のイノベーションを生み出す素地になるのではないかと期待する。

謝辞

「環境政策とイノベーション」という興味深い研究テーマに出会う機会を作って下さり、長きに亘りご指導頂きました植田和弘先生にこの場を借りまして深く御礼申し上げます。誠にありがとうございました。

注

- 1) クールノー競争とは、複占または寡占の企業が生産量を通じて競争する際、「次の期間において他のライバル企業は生産量を変えない」と仮定して利潤最大化を実現するように自社の生産量を決定するモデルのことである。
- 2) ベルトラン競争とは、複占または寡占の企業が価格を通じて競争する際、「次の期間において他のライバル企業は価格を変えない」と仮定して利潤最大化を実現するように自社の価格を決定するモデルのことである。
- 3) 「エンド・オブ・パイプ (End-of-Pipe)」とは、工場内または事業場内で発生した有害物質を最終的に外部に排出しないための末端での排出処理方法のこと。例えば生産設備から排出される環境汚染物質を固定化や中和化する公害対策技術を「エンド・オブ・パイプ技術」という。従来はこの手法により公害対策を実施してきたが、抜本的な改善を行うのではなく、問題が発生したら場当たり的に対応することが多く、長期的にはコストがかかり効率的でないことが多い。最近の環境対応に力を入れている企業においては、生産工程から根本的に環境対策を実施してエネルギーと原材料の使用量自体を削減する「クリーナー・プロダクション (Cleaner Production)」の導入が増えている。
- 4) 固定価格買取制度とは、再生可能エネルギーの買取価格を法律で定める方式の助成制度。
- 5) グリーン電力証書とは、再生可能エネルギーによって発電された電力の環境付加価値（化石燃料などに比較して排出量の少ない電力であることの価値）部分を証書化して、市場で取引可能にした制度、またこの環境付加価値を有する電力のこと。

参考文献

- Ambec, S. and P. Barla, "A Theoretical Foundation of the Porter Hypothesis," *Economics Letters*, Vol. 75, No. 3, 2002, pp. 355-360.
- Ambec, S. and P. Barla, "Can Environmental Regulations Be Good for Business? An Assessment of the Porter Hypothesis," *Energy Studies Reviews*, Vol. 14, No. 2, 2006, pp. 42-62.
- Andersen, M. S. and R. U. Sprenger, (Eds.), *Market-based Instruments for Environmental Management-politics and Institutions*, Cheltenham, UK., Edward Elgar publishing, 2000.

- Arimura, T. H., A. Hibiki, and N. Johnstone, "An Empirical Study of Environmental R&D: What Encourages Facilities to Be Environmentally-Innovative?," in *Environmental Policy and Corporate Behaviour*, ed. by Johnstone, N., Paris, Edward Elgar Publishing, 2007, pp. 142–173.
- Bauman, Y., M. Lee, and K. Seeley, "Does Technological Innovation Really Reduce Marginal Abatement Costs? Some Theory, Algebraic Evidence, and Policy Implications," *Environmental and Resource Economics*, Vol. 40, 2008, pp. 507–527.
- Brännlund, R. and T. Lundgren, "Environmental Policy Without Costs? A Review of the Porter Hypothesis," *International Review of Environmental and Resource Economics*, Vol. 3, No 2, 2009, pp. 75–117.
- Brunnermeier, S. B. and M. A. Cohen, "Determinants of Environmental Innovation in US Manufacturing Industries," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 45, No. 2, 2003, pp. 278–293.
- Cabinet Office, Government of Japan
内閣府 エネルギー・環境イノベーション戦略 (NESTI2050), 2016 年 (accessed 16.28.11).
<http://www8.cao.go.jp/cstp/nesti/index.html>
- Carbon Disclosure Project, 2016. (accessed 16.01.09; 16.20.11).
<https://www.cdproject.net>
- Demirel, P. and E. Kesidou, "Stimulating Different Types of Eco-innovation in the UK: Government Policies and Firm Motivations," *Ecological Economics*, Vol. 70, No. 8, 2011, pp. 1546–1557.
- Derwall, J., N. Guenster, R. Bauer, and K. Koedijk, "The eco-efficiency premium puzzle," *Financial Analysts Journal*, Vol. 61, No. 2, 2005, pp. 51–63
- Downing, P. B. and L. J. White, "Innovation in Pollution Control," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 13, No. 1, 1986, pp. 18–29.
- European Commission (EC), 2015. (interviewed)
- European Commission (EC), 2016. (accessed 16.20.11; 16.29.11)
<http://ec.europa.eu/clima/policies/>
- Filbeck, G. and R. Gorman, "The Relationship between Environmental and Financial Performance of Public Utilities: The Role of Regulatory Climate," *Environmental and Resource Economics*, Vol. 29, No. 2, 2004, pp. 137–157.
- Financial Stability Board (FSB) (accessed 16.29.11)
<http://www.fsb.org/>
- Fischer, C., I. W. H. Parry, and W. A. Pizer, "Instrument Choice for Environmental Protection When Technological Innovation Is Endogenous," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 45, No. 3, 2003, pp. 523–545.
- Frondel, M., J. Horbach, and K. Rennings, "End-of-pipe or Cleaner Production? An Empirical Comparison of Environmental Innovation Decisions across OECD Countries," *Business Strategy and the Environment*, Vol. 16, 2007, pp. 571–584.
- Gabel, H. L. and B. Sinclair-Desgagne, "The Firm, Its Routines and the Environment," in *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1998/1999: A Survey of Current Issues*, ed. by Tietenberg, T. and Folmer, H., Cheltenham, Edward Elgar, 1998, pp. 89–118.
- Global Reporting Initiative (GRI) (accessed 16.21.11).
<https://www.globalreporting.org/>
- Hamamoto, M., "Environmental Regulation and the Productivity of Japanese Manufacturing Industries," *Resource and Energy Economics*, Vol. 28, 2006, pp. 299–312.
- Inoue, E., T. H. Arimura, and M. Nakano, "A New Insight into Environmental Innovation: Does the Maturity of Environmental Management Systems Matter?," *Ecological Economics*, Vol. 94, 2013, pp. 156–163.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. IPCC fifth assessment report: climate change 2013

- (AR5).
<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wgl/> (accessed 16.20.11).
- International Carbon Action Partnership (ICAP) (accessed 16.01.12).
<https://icapcarbonaction.com/en/>
- Jaffe, A. B. and K. Palmer, "Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 79, No. 4, 1997, pp. 610-619.
- Jaffe, A. B. and R. N. Stavins, "Dynamic Incentives of Environmental Regulations: The Effects of Alternative Policy Instruments on Technology Diffusion," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 29, 1995, pp. 43-63.
- Johnstone, N., I. Hascic, and D. Popp, "Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts," *Environmental and Resource Economics*, Vol. 45, No. 1, 2010, pp. 133-155.
- Kerr, S. and R. G. Newell, "Policy-induced Technology Adoption: Evidence from the U.S. Lead Phasedown," *Journal of Industrial Economics*, Vol. 51, No. 3, 2003, pp. 317-343.
- Lange, I. and A. Bellas, "Technological Change for Sulfur Dioxide Scrubbers under Market-based Regulation," *Land Economics*, Vol. 81, No. 4, 2005, pp. 546-556.
- Lanjouw, J. O. and A. Mody, "Innovation and the International Diffusion of Environmentally Responsive Technology," *Research Policy*, Vol. 25, 1996, pp. 549-571.
- Lanoie, P., J. Laurent-Lucchetti, N. Johnstone, and S. Ambec, "Environmental Policy, Innovation and Performance: New Insights on the Porter Hypothesis," *Journal of Economics and Management Strategy*, Vol. 20, No. 3, 2011, pp. 803-842.
- Matsuno Y., T. Terao, Y. Ito, and K. Ueta "The impact of the SOx charge and related policy instruments on technological innovation in Japan," *OECD Environment Directorate Center for Tax Policy and Administration*, 2010.
- Milliman, S. R. and R. Prince, "Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 17, No. 3, 1989, pp. 247-265.
- Ministry of the Environment, Japan
環境省 地球温暖化対策計画, 2016年 (accessed 16.28.11).
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/102816.pdf>
- Ministry of the Environment, New Zealand (accessed 16.28.11).
<http://www.mfe.govt.nz/climate-change/reducing-greenhouse-gas-emissions/new-zealand-emissions-trading-scheme>
- Montero, J. P., "Market Structure and Environmental Innovation," *Journal of Applied Economics*, Vol. 5, No. 2, 2002, pp. 293-325.
- Newell, R.G., A.B. Jaffe and R. Stavins, "The induced innovation hypothesis and energy-saving technological change," *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 114, No.3, 1999, pp. 941-75.
- Ockwell, D. G., J. Watson, G. MacKerron, P. Pal and F. Yamin, "Key Policy Considerations for Facilitating Low Carbon Technology Transfer to Developing Countries," *Energy Policy*, Vol. 36, 2008, pp. 4104-4115.
- Ockwell, D. G., R. Haum, A. Mallett and J. Watson, "Intellectual Property Rights and Low Carbon Technology Transfer: Conflicting Discourses of Diffusion and Development," *Global Environmental Change*, Vol. 20, 2010, pp. 729-738.
- Palmer, K., W.E. Oates and P.R. Portney, "Tightening Environment Standards: The Benefit-Cost or the No-Cost Paradigm?," *Journal of Economic Perspectives*, No. 9, 1995, pp. 119-132.
- Park, W. G. and D. C. Lippoldt, "Technology Transfer and the Economic Implications of the Strengthening of Intellectual Property Rights in Developing Countries," *OECD Trade Policy Working Papers*, No. 62, 2008.
- Parry, I. C. Veung and D. Heine, "How much carbon pricing is in countries' own interests? The critical role of

- co-benefits,” *IMF Working Paper*, 2014, WP/14/174.
- Popp, D., “Induced Innovation and Energy Prices,” *American Economic Review*, Vol. 92, No. 1, 2002, pp. 160–180.
- Popp, D., “Pollution Control Innovations and the Clean Air Act of 1990,” *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 22, 2003, pp. 641–660.
- Popp, D., R. G. Newell, and A. B. Jaffe, “Energy, the Environment, and Technological Change,” in *Handbook of the Economics of Innovation Vol. II*, ed. by Hall, B. H. and Rosenberg, N., North-Holland, Amsterdam, 2010, pp. 873–937.
- Porter, M. E., “America’s Green Strategy,” *Scientific American*, Vol. 264, No. 4, 1991, p. 96.
- Porter, M. E. and C. van der Linde, “Toward a New Conception of the Environment - Competitiveness Relationship,” *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 9, No. 4, 1995, pp. 97–118.
- Rai, V. and E. Funkhouser, “Emerging Insights on the Dynamic Drivers of International Low-carbon Technology Transfer,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 49, 2015, pp. 350–364.
- Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI) (accessed 16.28.11).
<https://www.rggi.org/>
- United Nations Environment Programme Finance Initiative (UNEP-FI) and Mercer, “Demystifying Responsible Investment Performance,” 2007.
http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/Demystifying_Responsible_Investment_Performance_01. (accessed 16.20.11).
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 2016.
Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015 (Paris Agreement).
<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>
- Van de Velde, E., W. Vermeir and F. Corten, “Corporate Social Responsibility and Financial Performance,” *Corporate Governance*, Vol. 5, No.3, 2005, pp. 129–138
- World Bank (WB), “State and Trends of Carbon Pricing 2015,” 2015.
<http://documents.worldbank.org/curated/en/636161467995665933/State-and-trends-of-carbon-pricing-2015>. (accessed 16.20.11).
- World Bank (WB), “State and Trends of Carbon Pricing 2016,” 2016.
<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/25160/9781464810015.pdf> (accessed 16.20.11).
- Xepapadeas, A. and A. de Zeeuw, “Environmental Policy and Competitiveness: The Porter Hypothesis and the Composition of Capital,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 37, No. 2, 1999, pp. 165–182.