

環境規制が製造業の研究開発に及ぼす経済的影響

－日本の近年の製造業におけるポーター仮説の妥当性についての実証分析－

林田 明子^{*}

The Economic Impact of Environmental Regulations on R&D in Manufacturing Industry: An empirical analysis of the validity of the Porter Hypothesis about the recent Japanese manufacturing industry

Akiko Hayashida^{*}

Abstract

As Michael Porter insists, environmental regulations would induce environmental innovation. Well-designed environmental regulations could make industries or firms not only comply with legal obligations but also increase expenditure on environment-related research and development (R&D) for more efficient production. In successful cases, industries could develop new environmental technology, as well as diffuse the technology. As a result, domestic industries could get international competitiveness. The causality that environmental regulations could induce environment-related R&D or patents is called as the ‘weak’ Porter Hypothesis. Also, the causality that environmental regulations could finally lead to higher productivity is called as the ‘strong’ Porter Hypothesis.

This article empirically analyzes the ‘weak’ Porter Hypothesis, by using the panel data of Japanese domestic manufacturing sectors from 2002 to 2013, to consider whether environmental regulations have increased environment-related R&D in the recent years. In the analysis, this article uses the percentage of the environment-related plant and equipment investment in the total plant and equipment investment as the proxy for the stringency of environmental regulations, as well as uses the percentage of environment-related R&D expenditures in the total R&D expenditure as the proxy for the environmental innovation.

The result shows the possibility that environmental regulations have positively influenced environment-related R&D up to a point, but have gradually decreased environment-related R&D in the non-linear form. In other words, the ‘weak’ Porter Hypothesis is valid, to some extent, about the Japanese domestic manufacturing industries in the recent years. It means that although the Japanese domestic manufacturing industry has still room to increase the percentage of environment-related R&D for more efficient production, but the industry would gradually decrease the percentage of environment-related R&D when domestic environmental regulations become too stringent. It implies the possibility that the manufacturing industry would increase the percentage of non-environment-related R&D, as well as shift domestic investment to overseas.

^{*}早稲田大学大学院アジア太平洋研究科博士後期課程：Graduate School of Asia-Pacific Studies, Waseda University, Doctoral Program

1. はじめに

政府による環境規制について、その本来の目的は、市場の失敗により発生する外部不経済を内部化することによって、社会厚生を改善することである。しかし、経済活動を行う企業にとっては、利潤最大化が目的である。環境と経済のバランスを取るには、環境保護の観点からは企業が財やサービスの生産を行う際に発生する環境への負荷を小さくする必要があるが、企業の利潤最大化にできるだけ影響が少なく済む環境政策を実施することが重要である。

新古典派経済学の伝統的な考え方に従えば、環境規制により、経済活動の主体である企業は、汚染処理費用を負担することとなり、製造業であれば生産費用が上がり、汚染処理にかかった費用を製品販売価格に上乗せすれば、企業の競争力を低下させることとなり、生産性は低下することになる。あるいは、汚染処理費用を製品の販売価格に上乗せすることができないのであれば、企業の利益は減少することになる。つまり、短期的な視点からは、環境規制は企業にとって費用となり、利益を減少させることになる。

しかしながら、ある国において新たな法律が施行された等により環境規制が強化されたことで、汚染処理費用を負担せざるを得なくなった当該国の企業は、汚染処理費用の負担を減らすために、それまで非効率的¹だった生産工程を見直し生産性を向上させ、あるいは、研究開発（R&D）に係る支出を増やし、新たな技術を生み出し、イノベーション（技術革新）²を起こすことで生産性を向上させ、かえって当該国の産業の国際競争力が増す可能性もあり得る。つまり、中長期的な視点からは、環境規制が強化されたことで、生産費用が増加した企業は、環境規制の強化を契機に、生産プロセスや製品そのものについて、技術開発を行うインセンティブを持ち得る。マイケル・ポーターは、適切に設計された環境規制は企業の競争力を高めるとするポーター仮説を唱えた（Porter(1991)）。ポーター仮説を実証するため、様々な研究が行われてきており、ポーター仮説の考え方を肯定する結果を示した実証研究も多い。

本稿の分析の対象は日本の製造業である。日本の事例に関する先行研究として、浜本（1997）が、高度経済成長期の公害対策が行われた 1970 年代及び省エネ対策が進んだ 1980 年代について分析し、環境規制が研究開発支出を押し上げる効果をもったことを実証的に明らかにした。また、有村・杉野（2008）が、1992～2001 年までの日本のデータを使用し、環境規制の強化が研究開発全体に対する環境関連研究開発活動に配分される費用の割合を増やすことを明らかにしている。そこで、本稿では、2000 年代以降（2002～2013 年）について、製造業の業種ごとのデータを用い、パネル・データ分析を行う。その際、日本における環境規制が時代とともにどのような変遷を辿ったかについても概観しつつ、マイケル・ポーターにより提唱されて約四半世紀が経つポーター仮説が近年の日本経済にとってどのような意義があるのかについて考察する。

¹ 本稿において、効率性とは、生産における効率性を指し、資源・財の配分に無駄のないことを意味する。

² 本稿は、製造業を分析の対象としている。製造業におけるイノベーションは、プロセスイノベーション（製造方法や工程の改良によって費用を削減し競争優位を達成するイノベーション）とプロダクトイノベーション（新製品の開発によって差別化を実現し競争優位を達成するイノベーション）の両方を含む。計量分析においては、後述のとおり、環境関連の研究開発費を被説明変数としており、研究開発の中には製造工程におけるものと製品に関するものの両方を含んでいる。

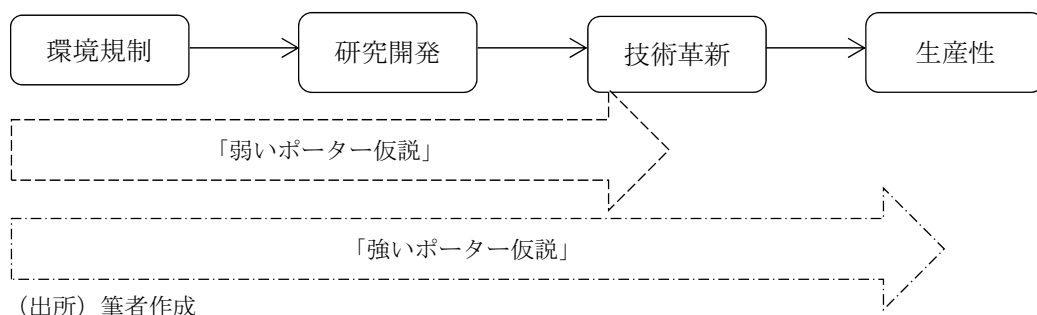
2. 先行研究のレビュー

(1) ポーター仮説

ポーター仮説は、環境規制が企業活動に対して正の効果を与えるという仮説である。適切にデザインされた環境基準は、環境基準を遵守するコストの一部もしくはそれを上回る利益をもたらすようなイノベーションを誘発すると考える。Jaffe and Palmer (1997)³は、環境規制がイノベーションを誘発する程度を考慮し、「弱いポーター仮説」と「強いポーター仮説」を説明している。

まず、「弱いポーター仮説」は、利潤最大化行動を行う企業に対し制約を課するような環境規制により、企業はその制約を満たすために、それまで必要としなかった研究開発などの投資活動を行うとするものである。環境規制により、ある種のイノベーションが促進されるとする。「環境規制は環境分野の研究開発や特許取得を増加させるか」、「環境規制は、研究開発投資のうち、環境向けのものの比率を増やすか」どうかと読み替えられる⁴。図1では、「環境規制→研究開発→技術革新」のロジックである。

次に、「強いポーター仮説」は、狭い利潤最大化のパラダイムを拒否し、通常の企業は新たな製品や製造工程のために、利益を得るあらゆる機会を必ずしも追及する必要はないとする。新しい環境規制によるショックが、企業の思考を広げ、規制を遵守し、かつ、利益を増加させるような製品や製造工程を見つけることを促進させるとする。「環境規制で生産性は上昇するか」と読み替えられる⁵。図1では、「環境規制→・・・→生産性」のロジックである。



(出所) 筆者作成

図1 環境規制が生産性を向上させるロジック

先行研究のうちポーター仮説を支持する結果を得ているものの多くは、「弱いポーター仮説」についてである。例えば、Lanoie et al. (2011) は、「強いポーター仮説」ではなく、「弱いポーター

³ Jaffe and Palmer (1997) は、「弱いポーター仮説」と「強いポーター仮説」に加え、「狭いポーター仮説」についても言及している。「狭いポーター仮説」は、技術革新を促進するためには、環境政策が、製造工程（process）を規制するのではなく、環境パフォーマンスの結果（outcome）を規制すべきであるとする。市場ベースの手法のように柔軟性のある環境規制の方が、パフォーマンス・ベースの基準や技術ベースの基準のような規範的な規制と比較し、イノベーションを促進するインセンティブを企業に与えると読み替えられる。一般的にも、直接規制は、企業の裁量の余地が小さいため、新たな環境イノベーションの余地は低いとされ、一方、排出権取引等の市場ベース型の規制は、企業の裁量の余地があり、技術開発による環境イノベーションの可能性が高いとされる。

⁴ 内閣府（2010）324 頁

⁵ 同上

仮説」を支持している。

なお、最終的に、環境規制により生産性が向上するケース（「強いポーター仮説」が妥当するケース）としては、2つのパターンが考えられ得る。すなわち、①非効率的な生産や経営を行っていた企業が、政府により環境規制が制定されたことを契機に、それまでの生産過程等を見直し、非効率的な部分を改善し、効率的な生産を行うことで、生産性を向上させることが考えられる。②既に効率的な生産や経営を行っていた企業は、それ以上は生産等における無駄がないため、生産要素である資本や労働が不変と仮定した場合、技術革新により新たな技術で生産性を向上させるしかない。

（２）諸外国の事例を取り上げた先行研究

近年の先進国の事例を取り上げた主な先行研究として、Jaffe and Palmer (1997)は、米国における環境規制とイノベーションの関係を分析した。環境規制の代理変数として汚染処理費用（PACE: pollution abatement cost and expenditure）を用い、研究開発支出（R&D）にはプラスの効果を与えているが、特許に対してはマイナスの効果を与えているとした。また Brunnermeier and Cohen(2003) は、米国を対象として分析を行い、同様の結果を示した。その他、「弱いポーター仮説」を支持する結果を示した先行研究は多い。

一方で、ポーター仮説を否定する結果となった先行研究として、Broberg et al.(2013) は、スウェーデンの製造業について、環境保全投資を環境規制の厳しさの代理変数として用い、1999～2004年のデータを使用し分析を行っている。結論として、対象とした時間枠ではポーター仮説を支持する結果とはならず、環境規制により効率性が損なわれ、特にその傾向はパルプ・製紙業で顕著だとしている。同様に、スウェーデンの事例として、Brännlund and Lundgren (2009) は、1990～2004年のデータを用い、ゴム・プラスチック産業以外では、炭素税が生産性を上昇させて費用を低下させた証拠はないとして、ポーター仮説を否定している。炭素税によりエネルギー効率性は向上するが、資本生産性が低下し、エネルギー効率性の向上を相殺してしまうとしている。

（３）日本の事例を取り上げた先行研究

日本の事例を取り上げた主な先行研究は、浜本（1997）、有村・杉野（2008）があり、いずれも「弱いポーター仮説」が妥当する可能性を肯定する結果を示している。浜本（1997）は産業レベルのデータを用い、有村・杉野（2008）は企業レベルのデータを用い、いくつかのモデルで分析を行い、環境規制によって、他の研究開発支出を減らして環境関連研究開発支出を増やしている可能性を示唆する結果を示した。

その他、内閣府（2010）は、1998～2008年の環境・エネルギー関連の設備投資割合、環境・エネルギー関連の研究開発費の割合のデータを対比し、「仮に環境・エネルギー関連設備投資の割合がその業種に対する環境規制の強さを示すとすれば、環境規制の強さが同分野での研究開発を促進するという形には必ずしもなっていないと解釈されよう」とし、「上記のような結果の説明として、環境・エネルギー関連の設備投資につながりにくい環境規制が存在する可能性も考えられ

る」として、自動車や家電等の製品への省エネ性能規制を例として挙げている⁶。しかし、製造業を素材型と加工型に分けて、企業データ（1999～2008 年）を用いて、有村・杉野（2008）と同じモデルでプロビット分析を行ったところ、加工型製造業では当期の環境関連設備投資（環境規制の代理変数）が当期の研究開発費総額に占める環境関連の割合（環境関連 R&D の割合）にマイナスの効果を与えているが、一方で、素材型製造業では一期前の環境関連設備投資が当期の環境関連の研究開発の比率を押し上げているとしている⁷。

（４）分析対象のレベル

先行研究の分析は、主に、産業レベル、企業レベルに分類できる。各レベルの分析にはそれぞれメリット、デメリットがあり、一概にどのレベルの分析が優れているとは断定しがたく、複数の分析によって全体の解明に近づき、各々の分析が互いに補完的であると言えよう。Koźluk and Zipperer (2013) は、先行研究を上記3つのレベルに分類し、各レベルの分析のメリット、デメリットを述べている。

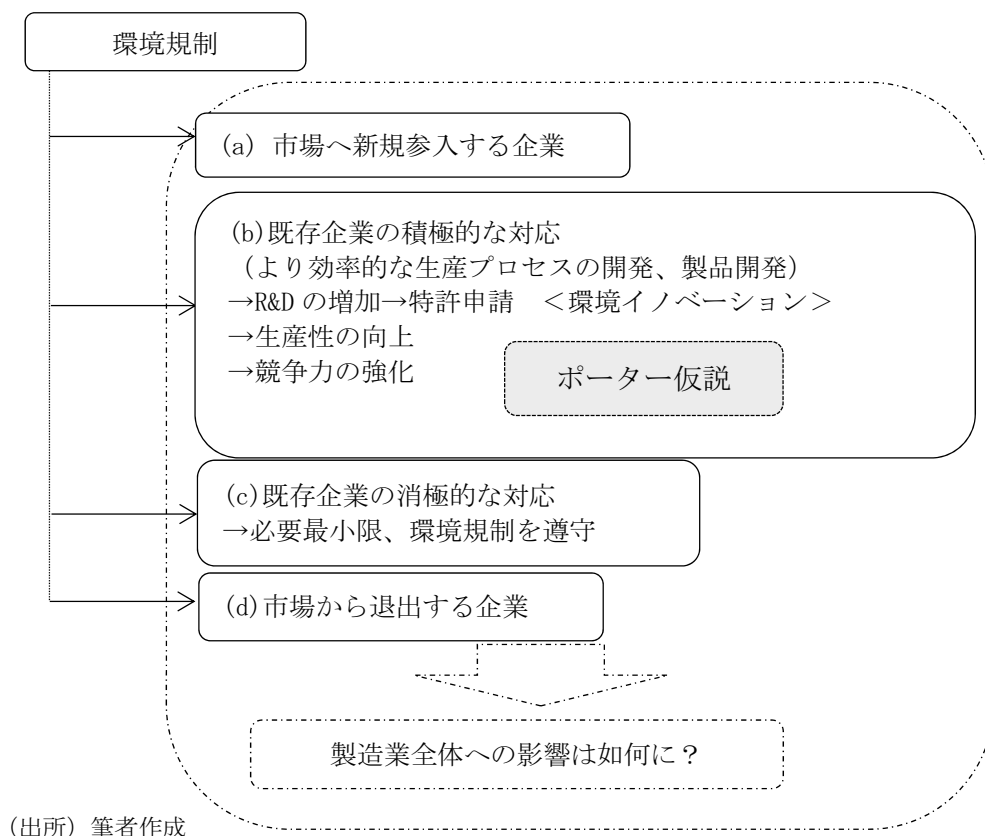


図2 環境規制が製造業全体に及ぼす影響についてのロジック

⁶ 内閣府（2010）328～329 頁

⁷ 同上 331 頁、438～440 頁

本稿では、産業レベルでの分析を行っているが、産業レベルでの分析は環境規制の強化による産業全体への影響を把握することができるというメリットがあろう。すなわち、図2のとおり、環境規制等の環境政策により、既存の企業の中には、消極的に法令遵守のための最小限の対応を行う企業（図2の(c)）も存在すれば、積極的に環境関連の研究開発を進め生産性を向上させる企業（図2の(b)）も存在するだろう。さらには、環境規制が強化されたことで、技術力に自信がある等の理由で環境関連の市場でビジネスチャンスを見出し、新たに市場に参入する企業（図2の(a)）も出てくるだろう。逆に、環境規制の強化により生産費用が増加したことにより損益分岐点を下回る状態が続くか、あるいは、操業停止点を下回り利益を出せないばかりか損失が生じるようになったために市場から退出せざるを得なくなる企業（図2の(d)）もあろう。

よって、個別企業の対応のみを見ていたのでは、産業全体として生産性が向上するか、低下するのかは捉えづらい。全ての企業が利益を上げ生産性を向上させるということは現実的ではなく、産業全体として生産性が向上すれば、政府の政策としては成功と言えるだろう⁸。政府の環境規制が、個別の企業にどのように影響を及ぼすかは個別企業の経営状態等にもより様々であるが、産業全体としてプラス、あるいは少なくともマイナスの影響にならないければ、良いであろう。そこで、本稿では、日本の製造業について、産業レベルでの分析を行う。

3. 日本の環境規制の変遷、環境経営の発展

（1）近年の日本における環境規制の制定及び改正

日本では、1950年代の水俣病の発生を受け、1967年に公害対策基本法が施行されたが、特に1970年代の高度経済成長時代、公害対策として多くの環境規制の制定が行われた。その後、先進国として成熟期を迎える中、新たな環境規制の制定はないのではないかと印象もあるかもしれないが、2000年代以降も環境規制の制定及び改正は行われている（表1参照）。

高度経済成長期に制定された各種環境法は、いわゆる直接規制（command & control）が主で、経済活動を行う企業の環境対応も末端処理（end of pipe）で、法令遵守のため規制対応型が主流であった。

しかし、国全体の経済の成熟とともに、社会の環境意識の高まりとともに、消費者の環境志向も徐々に高まり、企業も社会的責任（CSR）の一環として環境経営の視点を取り入れるようになった。大企業を中心に企業はより一層環境へ配慮した経営を行っていることをアピールするようになり、経団連も環境自主行動計画を公表するに至った。

政府による環境規制も、高度経済成長時代の公害対策としての直接規制から、地球温暖化問題への国際的関心の高まり、関連の国際条約の批准を受け、二酸化炭素等の温室効果ガスの削減を目的として国内で各種規制（企業の生産プロセスにおける規制に加え、消費段階での製品に関する環境規制も加わり）が制定され、市場型（market-based）のものも増えてきている。

近年は、地球温暖化問題への対応として温暖化ガスの削減義務が企業に与える影響も大きくなっており、地球温暖化対策推進法の成立及び数回の改正に並行して、経済界が自主的な行動計

⁸ 無論、規制強化によりマイナスの影響を受けると考えられる中小企業等に対しては、一時的に補助金を出す等の政府による対策が別途考えられ得る。

表 1 近年、新たに制定・改正された環境規制

改正省エネ法 2009 年施行（省エネ法 1979 年制定）
「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」（PRTR 法、化管法、化学物質排出把握管理促進法） 1999 年に法制化され、2001 年から実地されている。
循環型社会形成推進基本法（循環基本法）2000 年公布
資源有効利用促進法（改正リサイクル法）2001 年施行 再生資源利用促進法（1991 年制定）が大幅に改正された。
地球温暖化対策推進法 1998 年成立、2002 年、2005 年、2006 年、2008 年改正 1997 年に京都議定書が採択され、1998 年に同法が成立した。京都議定書の採択を受け、関連の国内法が制定される見込みとなったため、1997 年に日本経済団体連合会（経団連）は地球温暖化対策として「環境自主行動計画」を策定した。その後、同法が数回改正されるに至り、経団連は 2013 年に「低炭素社会実行計画」を発表するなどした。
ダイオキシン類対策特別措置法 1999 年
大気汚染防止法（1968 年制定）2004 年改正、2015 年改正 揮発性有機化合物（VOC）を規制するため、2004 年に改正が行われた。また、水銀等の排出規制に関し、2015 年に改正が行われた。
水質汚濁防止法（1970 年公布、1971 年施行）2011 年最終改正 有害物質を使用・貯蔵等する施設の設置者に対し、地下浸透防止のための構造、設備及び使用の方法に関する基準の遵守、定期点検及びその結果の記録・保存を義務付ける規定等が新たに設けられた。

（出所）環境白書等、政府資料より筆者作成

画を作成する等で対応を行うなど、国内法の強化が経済界にも大きな影響を与えている。また、希少な資源を有効に活用するため、3R（リデュース、リユース、リサイクル）が推進されており、循環型社会の形成に向けた政府の政策が、企業にも影響を与えている。

（２）企業の環境経営の発展段階

環境経営は、段階的に発展すると考えられる。金子（2008）は、企業の環境経営の発展を 4 段階に分けている。

第 1 段階は、企業の初期の環境対応は、公害発生による訴訟等のリスク回避のための法令遵守に限定され、企業は法令で定められた最低限の環境対応を行う。具体的な対応として、末端処理技術の導入が考えられる。環境管理部門のみが対応する。

第 2 段階は、法令遵守型から生産プロセスの環境効率改善への移行である。元々のポーター仮説は、この段階について、環境規制の強化が、資源利用の非効率な利用を改善するような取組を誘発し、企業のイノベーションをもたらし、生産性や環境効率を高め、国際競争力が高まるとする。具体的な対応として、クリーナー・プロダクション技術の導入が考えられ、生産プロセスの改善により省エネや資源生産性の向上につながる。末端処理を行う環境管理部門だけでなく、生産管理部門も対応する。

第 3 段階は、製品の設計段階から環境に配慮する。すなわち、製造、使用、廃棄といった製品のライフサイクル全体を通して、環境負荷を低減させる。この段階では、環境意識の高まった消費者や取引先の企業が当該企業の環境への取組や環境に優しい製品に対する需要を増やすことを

想定する。具体的な対応として、マーケティング、製品企画、製品設計、製造管理の段階で関連の部署が連携して対応する。

第4の段階は、環境経営が企業価値、企業のブランド価値を左右し、市場での競争力のみならず、企業の資金調達コストにも大きな影響を及ぼす。

以上のように、企業の環境経営の発展を4段階に分けるが、個別企業によって環境経営がどの段階にあるかは異なるだろう。また、一国の産業全体としては、一国の経済発展の段階により、どの環境経営の段階の企業が多いかは異なってくるだろう。日本のように、ある程度経済が発展した先進国では、特に大企業については第3の段階以降の環境経営を行う企業が多いと推測される。

4. 実証分析

(1) 分析の枠組み

本稿においては、「弱いポーター仮説」が近年の日本に妥当するかどうか、すなわち、環境規制が環境関連の研究開発にプラスの影響を及ぼすかどうかを検証するため、先行研究を参考に、日本の製造業の業種ごとのデータを用い、パネル・データ分析を行った。

浜本(1997)は、産業レベルのデータを用い、環境規制(公害防止投資支出)が研究開発に影響を及ぼしたかについて、最小二乗法による回帰分析モデルで分析を行っている。有村・杉野(2008)は、主に企業レベルのデータを用い、研究開発の実施の有無がどのような要因によって影響を受けるかについて、プロビット・モデル等で分析を行っている⁹。

本稿は、産業レベルのデータを用いたパネル・データ分析を行うため、被説明変数として、環境 R&D(環境関連研究開発費の割合)、説明変数として、環境規制(環境関連設備投資/全設備投資)、補助金(受入研究費/社内使用研究費)、利益(付加価値額－現金給与総額)(対数変換した値)を用いた。さらに、説明変数として、環境規制の二乗項、補助金等の二乗項も加えた。なぜなら、環境規制がある程度厳しくなれば、ある程度は企業の対応も進み、それ以上は環境 R&D の割合を増やすことは採算が合わないと判断し、環境以外の他の R&D への支出を増やすか、あるいは、国内の製造を海外に移転させる汚染逃避仮説(pollution haven hypothesis)のような状況が生じ、R&D に係る支出も含めた国内における支出そのものを減らす可能性もある。そのため、全体としては、環境規制の強化とともに、環境 R&D の割合が逡減することもあり得ると推測されるためである。同様に、補助金等についても増加しすぎると、かえって企業の自由な研究開発が阻害され、環境 R&D への意欲が削がれるなどにより、逡減することもあり得ると推測されるためである。

$$(\text{env_rd})_{it} = \alpha + \beta(\text{er})_{it} + \gamma[(\text{er})_{it}]^2 + \delta(\text{subsidy})_{it} + \zeta[(\text{subsidy})_{it}]^2 \\ + \eta \log(\text{profit})_{it} + \theta [\log(\text{profit})_{it}]^2 + \mu_{it}$$

⁹ 有村・杉野(2008)は、主に企業レベルのデータを用い分析を行っているが、環境規制の代理変数については産業レベルのデータを使用している。「同一産業に属する企業は同じ環境政策の基準に直面していると考えられる」ため、「同一産業に分類される企業は、各企業で計算された環境規制より、産業全体で同一の環境規制を用いることが望ましい」とし、また、「データの制約により企業レベルで環境保全割合を計算することは困難である」としている。

$(env_rd)_{it}$: i 業種の t 期の環境関連研究開発支出の割合（環境関連研究開発支出/研究開発支出）、 $(er)_{it}$: 環境関連設備投資支出の割合（環境関連設備投資支出/全設備投資支出）、 $(subsidy)_{it}$: 補助金（国・地方自治体等からの受入研究費/社内使用研究費）、 $(profit)_{it}$: 付加価値額－現金給与総額、 μ_{it} : 誤差項

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \zeta, \eta, \theta$: 定数

（２）変数選択の根拠と予想される符号条件

＜環境 R&D＞（被説明変数）

環境関連の研究開発（環境 R&D）の代理変数として、本稿では、社内研究費に占める環境分野の研究費の割合を計算し、使用する。

先行研究では、浜本（1997）が、環境関連に限定せず、研究開発支出（実数）を用いている。有村・杉野（2008）は、複数のモデルを使用し分析を行っているが、プロビット分析のモデルでは、一般及び環境関連研究開発の実施を表すダミー変数（0 または 1）を用い、その他のモデルでは、売上当りの研究開発費支出（実数）、及び、売上あたりの環境研究開発費支出（実数）を用いるほか、一般開発研究費に占める環境関連割合（環境関連 R&D／一般 R&D）（割合）を用いている。

本稿では、右辺の主な説明変数で割合を使用していることとの整合性を考慮し、左辺の被説明変数でも割合を使用することとし、データの利用可能性も踏まえ、社内研究費に占める環境分野の研究費の割合を使用することとした。

＜環境規制＞（説明変数）

環境規制の度合いをどのように数値化するかは重要であるが、一国内でも様々な環境規制があり、規制の度合いを定量的に示すのは難しい面もある¹⁰。

先行研究では、浜本（1997）が、公害対策が急激に進んだ時期である 1970 年代、省エネ投資が進んだ時期である 1980 年代を分析の対象としているため、環境規制の代理変数として、公害防止投資支出を用いている。一方、有村・杉野（2008）は、1990 年代を分析の対象としているため、全投資額に占める環境保全投資額の割合を用いている。先行研究の多くは、海外の先行研究も含め、環境規制の遵守に係る費用として、公害防止投資等の汚染処理費用（PACE: pollution abatement and control expenditures）を用いている。しかし、有村・杉野（2008）が指摘するように、「日本では、廃棄物問題が重要な環境問題」であり、「特に、1990 年代中頃からリサイクルに関連する法律が多数施行」されている。表 1 で示したとおり、2001 年には、再生資源利用促進法（1991 年制定）が大幅に改正され、資源有効利用促進法（改正リサイクル法）が施行されている。さらに、近年、国際社会において地球温暖化問題も重要な環境問題として関心を集め、日本でも、1998 年に地球温暖化対策推進法が成立し、その後 4 回（2002 年、2005 年、2006 年、2008 年）の改正を経て、国内における環境規制は強まっている。これらの動向を踏まえ、環境規

¹⁰ Brunel and Levinson(2013)は、主な先行研究で使用されている環境規制の厳しさの程度を測る指標を纏めている。環境規制の厳しさの程度を測る指標として、これまでの研究では、民間部門の汚染処理費用、1 ガロンのガソリンに含まれる鉛の量、環境関連条約、規制を受ける企業についての調査（WEF の指標）、汚染物質の排出量、エネルギー使用量、公的部門の環境関連支出と様々な代理変数が使用されている。

制の代理変数を適切に選ぶ必要がある。

よって、本稿は、2000 年代以降を分析の対象としていることから、公害防止投資支出は用いず、利用できる統計データも考慮し、設備投資に占める環境関連設備投資の割合を用いる。

なお、環境関連設備投資を環境規制の代理変数として用いるとしても、日本を含む先進国については、近年、企業による自主的な環境保全の取組が進んでいることに、留意する必要がある。すなわち、企業の環境関連設備投資は、環境規制への対応に加え、自主的な環境保全の取組による可能性も否定できず、企業の社会的責任（CSR）の一環として環境への取組の姿勢を株主や消費者にアピールしたい資本金のある大企業については、特に自主的な取組によるものもあり得ると考えられる。

＜補助金、利益＞（その他の説明変数）

その他、研究開発の誘因となり得るものとして、補助金（企業の社内使用研究費に占める国・地方公共団体からの受入研究費の割合）、利益（付加価値額から現金給与総額を引いた値を対数化した数値）を説明変数として回帰式に導入した。企業は、国や地方公共団体等から補助金という形で研究開発費を受入れれば、研究開発のインセンティブが出ると推測される。また、企業は利益が出れば、同時に、研究開発を行う余裕ができると推測される。

＜各説明変数の予想される符号条件＞

各説明変数について、定義及び予想される符号条件は表 2 のとおりである。

もし「弱いポーター仮説」が妥当する場合、これまでと同じ傾向であり、環境規制がイノベーションを誘発する可能性があると言えることになる。

逆に、「弱いポーター仮説」が妥当しない場合、日本の製造業は既に効率的な生産をしており、環境対策も十分行っており、効率化する余地は少ないと考えられる（但し、国内においては、省エネルギー等により生産を効率化させる余地はありえるだろう）。

＜データの出所＞

まず、被説明変数について、環境 R&D の代理変数として、総務省『科学技術研究調査』の「産業、特定目的（8 分野）別社内使用研究費」のデータを用い、社内使用研究費に占める環境分野の研究費の割合を計算し、使用した。次に、説明変数について、本稿の主要な関心である環境規制の代理変数として、経済産業省『企業金融調査』の「国内設備投資」の「投資目的別構成比」の「環境関連投資」の割合を用いた。その他の説明変数について、補助金の代理変数として、企業の「社内使用研究費」に占める「受入研究費」の割合を計算し、使用した。利益については、経済産業省『工業統計表（産業編）』の産業中分類別の「付加価値額」から「現金給与総額」を引いた額を計算し、さらに他の変数との桁数の違いを抑えるため、対数化した数値を用いた。

＜対象とした製造業の 10 業種＞

本稿で分析の対象とした製造業の業種は表 3 のとおりである。

経済産業省『企業金融調査』（2014 年の調査をもって中止）について、環境等の「目的別設備投資の構成比」のデータが存在する製造業の業種分類数が他の統計の業種分類数より少ないため、本稿で対象とした業種は、各統計上の業種分類が一致する 10 業種に絞った。

表2 変数の定義と予想される符号条件

被説明変数	定義	データの出所	
env_rd	環境関連研究費の割合 (環境分野の社内使用研究費／社内使用研究費)	総務省『科学技術研究調査』の「産業、特定目的(8分野)別社内使用研究費」	
(注) 総務省『科学技術研究調査』の「産業、特定目的(8分野)別社内使用研究費」の8分野は、「ライフサイエンス分野」、「情報通信分野」、「環境分野」、「物質・材料分野」、「ナノテクノロジー分野」、「エネルギー分野」、「宇宙開発分野」、「海洋開発分野」である。			
説明変数	定義	データの出所	予想される符号条件
er	環境規制(国内設備投資に占める環境関連投資の割合)	経済産業省『企業金融調査』の「国内設備投資」の「投資目的別構成比」(%)	プラス (二乗項：マイナス)
subsidy	補助金(受入研究費／社内使用研究費)	総務省『科学技術研究調査』	プラス (二乗項：マイナス)
profit	利益(付加価値額－現金給与総額)(対数化した値)	経済産業省『工業統計表(産業編)』	プラス (二乗項：マイナス)

(出所) 筆者作成

表3 分析対象の製造業の業種一覧

生活関連型産業
繊維工業
基礎素材型産業
パルプ・紙・紙加工品製造業
化学工業
石油製品・石炭製品製造業
窯業・土石製品製造業
鉄鋼業
非鉄金属製造業
加工組立型産業
電子部品・デバイス・電子回路製造業
電気機械器具製造業
輸送用機械器具製造業

(注) パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、鉄鋼業、電気機械器具製造業は、一般的に、環境負荷が大きい産業とされている。

(出所) 筆者作成

なお、業種ごとの違いを考慮するため、経済産業省『工業統計表』のデータの基となる「工業統計調査」で採用されている「産業 3 類型」（生活関連型産業、基礎素材型産業、加工組立型産業）の分類に基づき、本稿の実証分析の一部のモデルにおいて業種ダミー変数を導入した。すなわち、素材型業種ダミー（基礎素材型産業は 1、それ以外は 0 をとるダミー変数）、加工型業種ダミー（加工組立型産業は 1、それ以外は 0 をとるダミー変数）をそれぞれ導入した。但し、プーリング回帰モデルでの分析の際にのみ業種ダミーを導入した。なぜなら、固定効果モデルは、元々、分析者にとって観察不可能な個体（本稿では業種）の固有效果を考慮されたモデルであり、ダミー変数を挿入しても omit されて推定結果が出されるからである。また、変量効果モデルでも、各個体の属性を誤差項の一部と考えて、推定結果が出されるからである。

<その他留意点（企業の規模）>

環境 R&D に限らず、R&D を増やすか否かは、企業の規模で異なる。この点、企業規模を考慮した分析も重要性があると考えられる。しかし、本稿で用いた統計について、企業規模別のデータがある統計もあったが、事業所の規模別でデータを集計したものしかないものもあり、データの整合性を考慮し、また、産業レベルでの分析であったこともあり、企業規模別の分析は行っていない。

5. 分析結果

（1）記述的分析

各変数の記述統計は表 4 のとおり。被説明変数については、環境関連 R&D の割合は 0.03～32.98%である。各説明変数については、環境規制（設備投資に占める環境関連設備投資の割合）は 0.7～33%、補助金（社内使用研究費に占める国等からの受入研究費の割合）は 0.61～21.49%、利益（付加価値額から現金給与額を引いた額（単位：百万）を対数化した値）は 2.38～58.59 である。

被説明変数である環境関連 R&D と環境規制の関係について、散布図は図 3 のとおりである。正の関係、あるいは、逆 U 字のような関係があるようにも見えるが、散布図からだけでは明確な関係があると断定はできない。

被説明変数である環境 R&D の割合について、各年の平均値は表 5 のとおりであり、年々増加傾向にあることが分かる。

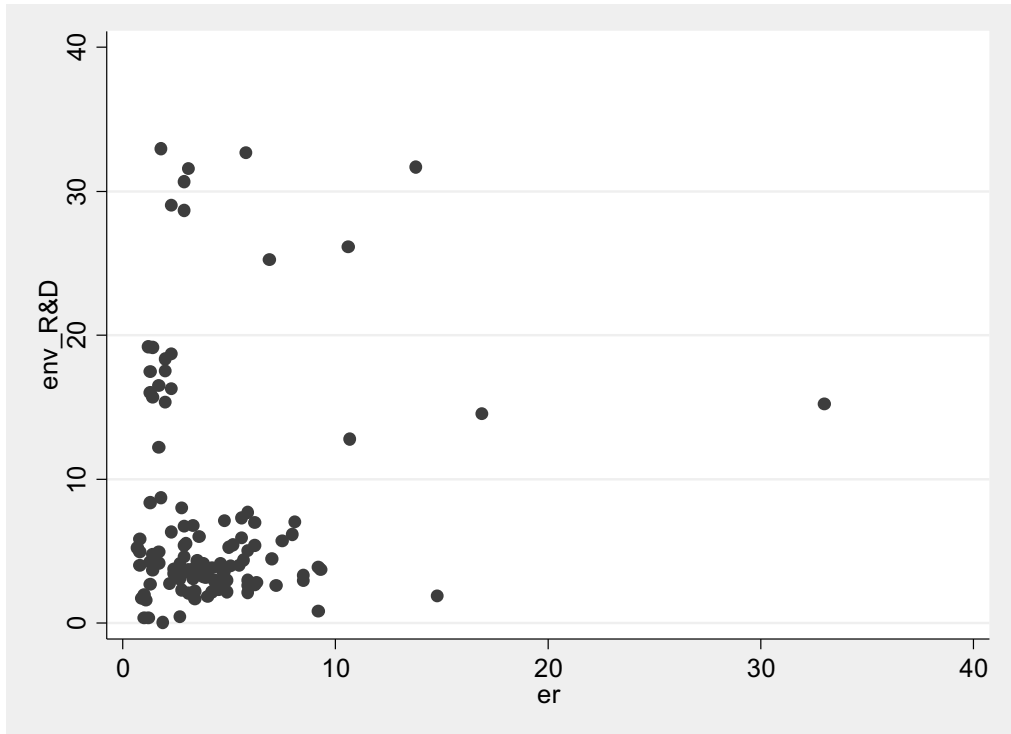
業種間でどのような違いがあるかについては、表 6 のとおり、環境 R&D の割合に関し、石油製品・石炭製品製造業 25%、輸送用機械器具製造業 16%と高くなっている。但し、素材型産業と組立産業で、環境 R&D の割合については大きな違いが見られるわけではない。

各変数間の相関を示す相関係数は、表 7 のとおりである。被説明変数である環境 R&D と、各説明変数については、環境規制が 0.1、補助金が 0.4、利益が 0.5 となっており、環境規制との相関は小さく、利益との相関が大きいように見える。しかし、相関は因果関係を示すものではないため、因果関係の有無については、以下のパネル・データ分析で検証することとなる。

表 4 記述統計

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
env_rd	120	7.400083	7.852339	.03	32.98
er	120	4.335833	3.900286	.7	33
subsidy	120	4.904417	4.381304	.61	21.49
profit	120	12.09174	9.290487	2.384567	58.59772

(出所) 筆者作成



(出所) 筆者作成

図 3 環境関連 R&D（割合）と環境規制の強さとの関係を示す散布図

表 5 環境関連 R&D の割合の年平均

year	mean
2002	4.846
2003	5.17
2004	5.486
2005	6.722
2006	7.832
2007	7.098
2008	7.634
2009	8.814
2010	8.918
2011	8.663
2012	8.625
2013	8.993
Total	7.400083

(出所) 筆者作成

表 6 環境関連 R&D の割合の業種ごとの平均

id	mean
2	4.668333
3	2.578333
5	3.863333
6	25.93167
9	4.285
10	4.566667
11	2.958333
13	3.655833
14	4.630833
16	16.8625
Total	7.400083

(注) 各業種 id が示す業種は以下のとおり。

2: 繊維工業

3: パルプ・紙・紙加工品製造業

5: 化学工業

6: 石油製品・石炭製品製造業

9: 窯業・土石製品製造業 10: 鉄鋼業

11: 非鉄金属製造業

13: 電子部品・デバイス・電子回路

14: 電気機械器具製造業

16: 輸送用機械器具製造業

(出所) 筆者作成

表 7 変数間の相関係数

	env_rd	er	subsidy	profit
env_rd	1.0000			
er	0.1032	1.0000		
subsidy	0.4843	0.4435	1.0000	
profit	0.5718	0.1686	0.4395	1.0000

(出所) 筆者作

(2) パネル・データ分析

日本の製造業について、環境規制が環境関連研究開発の誘因となっているか否かについて、計量分析を行った。説明変数の利用可能性を考慮した上で、できるだけ近年の状況を分析すべく、時系列で 2002～2013 年のデータ、クロス・セクションで製造業の 10 業種のデータを用い、プーリング回帰モデル、固定効果モデル、変量効果モデルの 3 つのモデルを用い推定を行った。それらのうちのどのモデルがより望ましいか決めるため、モデル選択のための各種検定を行い、結果を表 8 に示した。

表 8 推定結果

	pooling		fixed effect		random effect
er	.407 (0.275)		.196 (0.167)		.207 (0.155)
ersq	-.010 (0.405)		-.012 *** (0.006)		-.012 *** (0.007)
subsidy	1.013 ** (0.012)		1.406 *** (0.000)		1.451 *** (0.000)
subsidysq	-.025 (0.281)		-.092 *** (0.000)		-.093 *** (0.000)
profit	.381 * (0.046)		-.091 (0.444)		-.035 (0.765)
profitsq	.003 (0.389)		.001 (0.278)		.001 (0.413)
d_material	-5.078 ** (0.018)				
d_processing	2.486 (0.249)				
_cons	-.967 (0.695)		4.725 *** (0.002)		3.896 (0.126)
観測数 120					
F 値 = 0.0000					
Hausman test: Prob>chi2 = 0.0000					
Breusch and Pagan Lagrangian test: Prob > chibar2 = 0.0000					

*** は1%、**は5%、*は10%の有意水準で有意であることを示す。括弧内はP値を示す。

(出所) 筆者作成

モデルの選択について、まず、固定効果モデルで推計を行ったところ、F 値=0.0000 となり、プーリング回帰モデルよりも固定効果モデルが望ましいことが示された。次に、固定効果モデルと変量効果モデルのうち、いずれが望ましいモデルであるかを調べるため、ハウスマン検定を行ったところ、カイ二乗値が 0.0000 で、帰無仮説である「固定効果モデルよりも変量効果モデルが正しい」は棄却され、変量効果モデルよりも固定効果モデルの方が望ましいことが示された。なお、念のため、変量効果モデルとプーリング回帰モデルのうち、いずれがより望ましいかについて、ブルーシュ＝ペーガン検定を行ったところ、カイ二乗値が 0.0000 となり、「変量効果モデルよりもプーリング回帰モデルが正しい」という仮説は棄却され、プーリング回帰モデルよりは変量効果モデルがより望ましいことが示された。以上の結果、固定効果モデルが最も望ましいと判断した。

固定効果モデルによるパネル・データ分析の結果、説明変数の中で統計的に有意な変数は、環境規制の二乗項、補助金、補助金の二乗項であった。一方、環境規制、利益、利益の二乗項は統計的に有意でなかった。すなわち、本稿における関心の中心である環境規制は環境関連の R&D に線形の形では影響を及ぼさないものの、環境規制が強くなりすぎると環境関連の R&D には負の影響を及ぼすという逆 U 字の形での関係の可能性が示唆される。それほか、補助金は環境関連

の R&D に正の影響を及ぼすが、研究開発費に占める補助金の割合が高くなり、補助金に依存しすぎると、かえって R&D に負の影響を及ぼすことが示唆される。利益については、R&D への影響は確認されなかった。

なお、プーリング回帰モデルは、各種検定の結果、最も望ましいモデルとはならなかったものの、素材型業種ダミー変数（d_material）及び加工型業種ダミー（d_processing）を導入したモデルとしていたため、念のため推定結果を確認してみる。素材型業種ダミーについてのみマイナスとなり、素材型業種では環境関連 R&D の割合がマイナスとなることが示された。

6. 結論および考察

本稿においては、先行研究が 1970 年代から 1990 年代について分析済みであったことから、2000 年代以降の製造業を分析の対象とし、より社会が成熟化した近年において、ポーター仮説が示すように、環境規制が環境イノベーションを引き起こし得るかについて検証を行った。環境規制と環境 R&D の関係について、「弱いポーター仮説」が妥当するかどうか検証するため、計量分析を行った。具体的には、近年、日本の製造業は成熟段階を迎え、海外での生産比率も高まる中、国内に残った製造業について分析した。その際、統計資料の分類が変化したことも考慮し、日本の製造業のうち、データが揃った業種を対象として、パネル・データ分析を行った。

計量分析の結果、環境規制の一乗項は統計的に有意でなく、環境規制が環境 R&D の割合に常と同じ影響を及ぼしているとは言えないものの、環境規制の二乗項は統計的に有意であったことから、環境規制と環境 R&D の間には逆 U 字の関係が示され、環境規制の程度があまり強くなければ環境 R&D の割合を増やす（「弱いポーター仮説」が妥当する余地がある）が、環境規制が強くなりすぎると環境 R&D の割合を減減させることが示された。先行研究は、1990 年代以前を分析の対象としていたため、分析モデルも線形モデルを使用し、環境規制が強くなるほど環境 R&D が増えるとの結果となっていた。しかし、本稿では、環境規制が強くなりすぎると、かえって国内の産業の活力を阻害し、環境 R&D の割合も減少する可能性もあるのではないかと考え、非線形モデルを使用した。その結果、二乗項で統計的に有意であることが示されたことから、この点が先行研究との違いである。

つまり、先進国となった日本の製造業は、少なくとも国内においては既にある程度は効率的な生産を行っていると考えられるものの、環境規制の程度が強くなければ環境関連の R&D を促進させる余地は残っているが、環境規制の程度が強くなりすぎると、かえって環境関連の R&D を減少させると考えられる。

環境規制が強くなりすぎると、かえって環境 R&D の割合が減減することの理由の一つとして考えられ得るのは、あまりにも国内の環境規制が厳しくなりすぎると、国内で環境 R&D によりイノベーションを起こすよりも、汚染逃避仮説が主張するように、環境規制が相対的に緩いと考えられる途上国等の海外に生産拠点を移転することで、対応していることもあろう（汚染逃避仮説は本稿の分析の対象ではないが、別の機会の検討課題としたい）。実際に、日本の製造業については、年々海外生産比率が高まっている。海外の子会社や現地法人に技術輸出することで、海外生産における工場での生産プロセスにおいて環境保全対策を行いつつ生産の効率性を高め、製

品そのもので環境にやさしいデザインを取り入れるなどの環境対策を行う方向に移行しているのではないかと推測される。それは、近年の様々な研究で、グローバル化した製造業のサプライ・チェーン全体において、企業が環境保全対策を行っていることや、3. (2) で言及したとおり企業の環境経営も発展してきており、消費段階でのエコな製品を消費者が好むことによって、EU におけるような製品そのものに対する環境規制が企業の行動に影響を及ぼしていることから、十分に考えられる。

7. 今後の課題

(1) ポーター仮説の現代的意義の検討

ポーター仮説がマイケル・ポーターにより提唱されてから、約 25 年が経つ。日本経済は、1980 年代のバブル経済とその崩壊を経て、1990 年代及び 2000 年代には低迷した。そのような中で、はたしてポーター仮説が妥当するようなイノベーションが起こったのかについては、再考する必要がある。また、ポーター仮説は、元々企業の経営学的意味からのアイデアであったが、日本経済をはじめ、先進国の経済・産業構造自体が、低炭素社会を目指し試行錯誤をする中、ポーター仮説のようなアイデアが、持続可能な経済の発展にとってもつ意味を、今後も十分検証していく必要がある。

(2) 内生性の可能性

先行研究の多くは、Rubashkina, Galeotti and Verdolini(2015)(p8)も指摘するように、内生性の可能性を加味した分析モデルは使用していない。Rubashkina, Galeotti and Verdolini(2015) は、内生性の問題について、企業がロビー活動により環境規制の制定に影響を及ぼす可能性を指摘し、操作変数を導入したモデルを使用し、分析を行っている。中長期の観点からは、企業がロビー活動等により環境規制の制定や改廃に影響を及ぼすという内生性の可能性も否定できないため、厳密には内生性の可能性も考慮したモデルによる分析も必要だろう。

但し、本稿では、環境規制が環境関連の R&D に及ぼす短期の影響を分析としていることから、逆の影響はないと仮定し、内生性の可能性を考慮したモデルとはしなかった。

(受理日 2015 年 10 月 30 日)

(掲載許可日 2016 年 2 月 1 日)

参考文献

- Ambec, S., M. Cohen, S. Elgie, and P. Lanoie(2013) “The Porter Hypothesis at 20: Can environmental regulation enhance innovation and competitiveness?,” *Review of environmental economics and policy*, 7(1), 2-22.
- Arimura, T, A. Hibiki, and N. Jonhston(2007), “An empirical study of environmental R&D: What encourages facilities to be environmentally innovative?,” ‘Environmental policy and

corporate behavior', OECD.

有村俊秀・杉野誠 (2008) 「環境規制の技術革新への影響－企業レベル環境関連研究開発支出データによるポーター仮説の検証－」 『研究技術計画』第 23 巻 3 号, 201-211 頁。

Brännlund, R. and T. Lundgren (2009), "Environmental policy without costs? A review of the Porter Hypothesis," *International Review of Environmental and Resource Economics*, 3, 75-117.

Broberg, T., P. Marklund, E. Samakovlis, H. Hammar (2013) "Testing the Porter hypothesis: the effects of environmental investments on efficiency in Swedish industry," *Journal of Productivity Analysis*, 40(1), 43-56.

Brunel, C. and A. Levinson (2013) "Measuring environmental regulatory stringency," *OECD Trade and Environment Working Papers*, 2013/05, OECD Publishing.

Brunnermeier, S. and M. Cohen (2003), "Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries," *Journal of Environmental Economics and Management* 45, 278-293.

Esty, C. and M. Porter (2005) National environmental performance: An empirical analysis of policy results and determinants, *Environment and development economics*, 10.04, 391-434.

藤井秀道 (2013) 「日米製造業企業の環境経営と外部要因」 『組織化学』第 46 巻第 4 号, 83-101 頁。

Ford, J., J. Steen, and M. Verreyne (2014), "How environmental regulations affect innovation in the Australian oil and gas industry: going beyond the Porter Hypothesis," *Journal of Cleaner Production*, 84, 204-213.

浜本光紹 (1997) 「ポーター仮説をめぐる論争に関する考察と実証分析」 『経済論叢』第 160 巻第 5・6 号, 102-120 頁。

Hamamoto, M. (2006) "Environmental regulation and the productivity of Japanese manufacturing industries," *Resource and Energy Economics*, 28 (4), 299-312.

伊藤由宣・永田勝也 (2012) 「企業の環境イノベーションに関するモデル化検討と実証」 『日本印刷学会誌』第 49 巻第 6 号, 417-423 頁。

伊藤康・浦島邦子 (2013) 「ポーター仮説とグリーン・イノベーション - 適切にデザインされた環境インセンティブ環境規制の導入 - 」 『環境技術動向』2013 年 3・4 月号, 30-39。

Jaffe, A. and K. Palmer (1997) "Environmental Regulation and Innovation: A Panel data study," *The Review of Economics and Statistics*, 79(4), 610-619.

Johnstone, N., I. Haščič and M. Kalamova (2010) "Environmental policy characteristics and technological innovation," *Economia Politica*, 117(2) 277-302.

Johnstone, N., I. Haščič, J. Poirier, M. Hemar and C. Michel, (2012) "Environmental policy stringency and technological innovation: Evidence from survey data and patent counts," *Applied Economics*, 44(17), 2157-2170.

金子慎治 (2011) 「環境経営時代における環境政策と企業経営に関する研究」 『環境研究』no.161, 116-123 頁。

- 金子慎治・藤井秀道(2008)「日本の製造業企業における環境効率と経済効率」『環境科学会誌』第21巻第3号, 239-244頁。
- 金原達夫・藤井秀道・金子慎治(2007)「日本企業における環境行動と経済・環境パフォーマンスの関係—ポーター仮説の検証—」『国際協力研究誌』第13巻第1号, 29-37頁。
- 金原達夫・藤井秀道(2009)「日本企業における環境行動の因果的メカニズムに関する分析」『日本経営学会誌』第23号, 4-13頁。
- 広島大学・東北大学・広島修道大学(2012)『平成23年度 環境経済の政策研究：環境経営時代における環境政策と企業行動の関係に関する研究 最終研究報告書』環境省。
- 環境省(2014)『平成26年版 環境・循環型社会・生物多様性白書』環境省。
- Koźluk, T. and C. Zipperer(2013) “Environmental policies and productivity growth – A critical review of empirical findings,” *Economics department working papers*, No.1096, OECD documents ECO/WKP(2013)88.
- Lanoie, P., M. Patry and R. Lajeunesse(2008), “Environmental regulation and productivity: testing the porter hypothesis,” *Journal of Productivity Analysis*, 30(2), 121-128.
- Lanoie, P., J. Laurent-Lucchetti, N. Johnstone and S. Ambec(2011) “Environmental policy, innovation and performance: New insights on the Porter Hypothesis,” *Journal of Economics & Management Strategy*, 20(3), fall 2011, 803-842.
- 内閣府(2010)『平成22年度 年次経済財政報告(経済財政政策担当大臣報告)—需要の創造による成長力の強化—』内閣府。
- OECD(2010) “Linkages between environmental policy and competitiveness,” *OECD Environmental Working Papers*, no.13, OECD Publishing.
- OECD(2003), *Voluntary Approaches for Environmental Policy - Effectiveness, Efficiency and Usage in Policy Mixes*, OECD Publishing.
- Porter, M.(1991), “America’s green strategy,” *Scientific American*, 264(4), 33-35.
- Porter, M., C. van der Linde(1999) “Toward a new conception of the environment competitiveness relationship,” *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118.
- Porter, M.(2010), *Reflections on a Hypothesis, The Porter Hypothesis at 20 Conference*, Montreal, June 28, 2010.
- Rassier, D. and D. Earnhart(2010), “Does the Porter Hypothesis explain expected future financial performance? The effect of clean water regulation on chemical manufacturing firms,” *Environmental and Resource Economics*, 45(3), 353-377.
- Rexhäuser, S. and C. Rammer(2014) “Environmental innovations and firm profitability: unmasking the Porter Hypothesis,” *Environmental and Resource Economics*, 57(1), 145-167.
- Rubashkina, Y. , M. Galeotti and E. Verdolini(2015) “Environmental regulation and competitiveness: Empirical evidence on the Porter Hypothesis from European manufacturing sectors,” *Energy Policy*, 83, 288-300.
- 政策研究大学院大学・東北大学・国連大学(2012)『平成23年度 環境経済の政策研究：日本

の環境技術産業の優位性と国際競争力に関する分析・評価及びグリーン・イノベーション政策に関する研究 最終報告書』環境省。

Wagner, M. and P. Llerena(2011) “Eco-innovation through integration, regulation and cooperation: Comparative insights from case studies in three manufacturing sectors,” *Industry and Innovation*, 18(8), 747-764.