

環境政策手段の選択と排出削減技術開発のインセンティブ

Choice of Environmental Policy Instruments and the Incentives of Technological Development for Emission Reduction

公共システムプログラム

06M43195 西尾俊佑 指導教員 日引 聡

Public Policy Design Program

Shunsuke Nishio, Adviser Akira Hibiki

ABSTRACT

This paper examines the welfare effects and the incentive for innovation of emission reduction under different policy instruments such as emission taxes, auctioned emission permits, and free(grandfathered) permits, when two technologies imitating technology developed by the innovating firms are available for non-innovating firms. We find that there is no unambiguous case for preferring any of these policy instruments and that relative welfare ranking of instruments depends on the technological difference. We illustrate the type of situations when there can be significant change for policy ranking by numerical simulation.

1. 序論

1-1 研究の背景と目的

京都議定書で定められた温室効果ガス削減目標を達成するためにも環境税・排出権取引といった環境政策の整備が急務な課題となっている。このような環境政策を選択するにあたっては、環境政策が汚染物質削減技術、すなわち、クリーン・プロダクション技術に及ぼす影響を通じた経済厚生への効果を考慮することが重要となる。これは、長期的な視点で見たとき、技術革新の蓄積された効果が、短期的に見た経済厚生効果を補う可能性があるからである。

政策手段の選択が企業の R&D 活動に及ぼす影響を分析し、経済厚生に基づいて、政策手段の比較をした既存研究には、Milliman and Prince [1]、Jung et al. [2]、C. Fischer [3] などがある。中でも、C. Fischer [3] は、他の先行研究と異なり、技術開発を行う企業 (innovator) と、自らは技術開発を行わないが、その技術の特許料の支払によって利用、あるいは、模倣することによって排出削減を行う企業が存在するケースについて、排出税 (以下、Emission Tax)、排出権取引 (オークション、以下 Auctioned Permit)、排出権取引 (グランドファザリング、以下 Free Permit) の 3 つ政策に関して、政策手段の選択が技術開発に及ぼすインセンティブと経済厚生への影響を分析し、政策手段の順位付けを行っている。ただ、C. Fischer [3] は、非技術開発企業 (non-innovator) が技術を模倣する場合 (不完全な模倣、すなわち、模倣技術は効率性の

劣る技術であることを想定) の技術水準は同じであり、企業間に差異がないことを仮定した上で分析している。このため、均衡においては、innovator は、non-innovator のすべてが技術の模倣をせず、開発技術を利用するように特許料を設定するため、模倣企業は存在しなくなってしまう。しかし、模倣技術の利用による削減費用の低下が企業間で異なる場合、すなわち、企業の技術水準の違いによって、模倣による削減費用の低下の効果が異なる場合には、innovator は、必ずしも全企業に技術を利用させるように特許料を設定することは得策ではなくなるであろう。なぜなら、もし特許料が高ければ、non-innovator は、特許料を支払ってより効率性の高い技術を使用するよりは、技術は劣っても無料で模倣した方が利潤は高くなる。このため、模倣技術の高い non-innovator ほど、特許料の支払上限は低くなる。したがって、innovator が、全企業に自分が開発した技術を使わせようとする、差別的な特許料の設定が出来ない限り、模倣技術の高い non-innovator にあわせて特許料を設定せざるを得ず、特許料収入は低くなる可能性が高い。一方、模倣技術の低い non-innovator ほど、模倣せずに特許料を支払って技術を利用することのメリットが大きくなるため、特許料の支払上限額が高くなる。innovator にとっては、特許料を引き上げることで、模倣企業が発生したとしても、それによる収入低下が、特許料の引き上げによる収入増加効果を下回れば、高い特許料を設定し、模倣企業が発生することになる。

このように、もし模倣企業が出現すれば、技術開発の社会的利益の一部は開発企業に還元されないため、技術開発のインセンティブをより弱めてしまうかもしれない。

排出税の場合には、一旦設定されてしまうと、企業の削減行動の変化に応じて、税率が柔軟に変更されることはないが、排出権取引の場合には、技術開発によって排出権価格が低下する。このため、技術開発や排出削減のインセンティブは、選択手段の選択に影響を受け、その結果、経済厚生も影響を受ける。そこで、本研究では、C. Fischer【3】を拡張し、模倣技術の水準に企業間で差異がある場合に、政策手段の優先順位はどのような影響を受けるかについて分析する。

1-2 既存研究

Milliman and Prince【1】、Jung et al.【2】は、改善された汚染削減技術からの私的利益を、innovator と non-innovator の立場に分けて分析・評価している。innovator が技術革新からの利益をどのように専有するかが、技術革新にとっての政策インセンティブの順位付けにとって重要であることを証明した。

C. Fischer【3】は、【1】、【2】で使われている innovator が得る利益の仮定をより柔軟にした。また、non-innovator が、潜在的に特許技術の周辺で技術を模倣できるという仮定を用いている。そして特許販売という技術供給マーケットを組み込むことにより、環境政策の経済厚生効果を試算し、政策間での経済厚生の差異を分析するためにパラメーターシナリオの提供している。この結果、それぞれ三つの政策が、実質的に高い経済厚生を他の二つの政策よりも実現することがあるということを明らかにしている。得に、政策の相対的経済厚生順位は、①模倣技術の水準、②技術革新の費用、③限界環境便益関数の傾きと水準、④排出を行う企業数という四つの指標に大きく依存しているということを明らかにした。

2. 理論モデル

2-1 理論モデル概要

本研究で扱う理論モデルは、3つの政策手段、すなわち、Emission Tax、Free Permit、Auctioned Permit を対象に、C. Fischer【3】に従い、3段階ゲームを想定している。Stage.1で、innovator が限界削減費用を低下させるような技術革新を行い、Stage.2で innovator が特許料金を設定（同時に non-innovator による特許購入・非購入（開発された技術の模倣）の選択が決定される）、そして Stage.3において、各々が持つ技術水準の下で各企業（innovator、non-innovator）は汚染削減を行う。innovator は、1社であり、non-innovator は、 $n-1$ 社あるとする。Stage.2において特許購入を選択しない non-innovator は、市場から漏れた情報から特許技術を無料で模倣する。このモデルにおいて、模倣可能な度合いを模倣レベルと呼び、二種類の模倣レベル σ_A 、 σ_B ($0 \leq \sigma_A \leq \sigma_B \leq 1$) が存在しているものとする。この値が1のときは模倣が完全であり、0のときは模倣出来ないことを意味する。non-innovator は、どちらか一方の模倣レベルに該当するものとし、non-innovator の同質性の仮定を弱めている。 σ_A を持つ non-innovator と σ_B を持つ

non-innovator の割合は、 $\alpha : 1 - \alpha$ ($0 \leq \alpha \leq 1$) である。また模倣された特許技術を模倣技術と呼ぶこととする。特許技術水準を k とすると、模倣技術水準は、 $\sigma_i k$ ($i=A,B$) となる。模倣技術水準と企業数の関係は図1を参照。

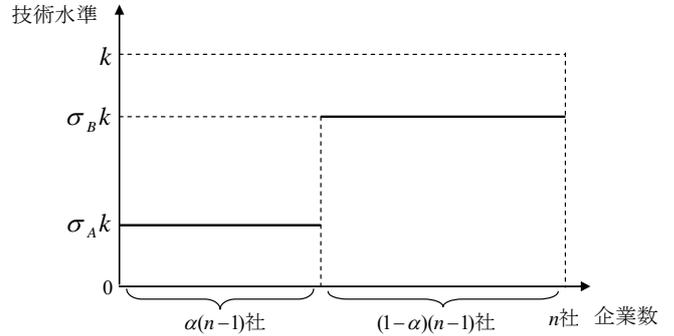


図1 模倣技術水準と企業数の関係

2-2 関数設定

表1：関数設定

汚染削減量	a	汚染削減費用	$C(a, k) = \frac{ne^{-k}}{2} a^2$
初期排出量	e	R&D 費用	$F(k) = f \frac{k^2}{2}$
環境便益	$B(A) = bA - \frac{\alpha}{2}(b-A)^2$ A : 総汚染削減量		

3. 分析

3-1 汚染削減費用最小化

Stage.3にて、innovator、non-innovator は、以下の費用最小化問題を解くことにより最適な汚染削減量を決定する。 t は、Emission Tax の下では排出税率、Emission Permit の下では、排出権価格を表すものとする。（ \bar{e} は排出権初期割当。Emission Tax、Auctioned Permit 下では、0）

(I)特許技術を保持する innovator・non-innovator

$$u(k, t) = \underset{a}{\text{Min}} \{c(a, k) + t(e - a - \bar{e})\} \quad (1)$$

費用最小化の一階条件より、

$$c_a(a, k) = t \quad (2)$$

汚染削減量、 $a = a_1$ が決定される。

(II)特許技術を保持しない non-innovator

$$u(\sigma_i k, t) = \underset{a}{\text{Min}} \{c(a, \sigma_i k) + t(e - a - \bar{e})\} \quad (i = A, B) \quad (3)$$

費用最小化の一階条件より、

$$c_a(a, \sigma_i k) = t \quad (i = A, B) \quad (4)$$

汚染削減量、 $a = a_i$ ($i = A, B$) が決定される。

排出税率や排出権総供給量は、技術革新前の経済厚生最大化条件から政府によって決定されるものである。（3-4 参照）一旦排出税率や排出権総供給量が決定されると、技術開発後も変更されることはないものと仮定して、分析を進める。排出権初期割当 \bar{e} は、排出権総供給量を企業数で割った、一企業当たりの排出権供給量である。

3-2 特許料金設定

Stage.2にて、non-innovator は、「特許料金と特許技術の下での環境保全費用の合計費用」と「模倣技術の下での環境保全費用」を比較して、特許購入・非購入を選択する。

Case.1 相対的に低い模倣レベルに合わせた特許料金設定

$$Y_A + u(k, t) = u(\sigma_A k, t) \quad (5)$$

$$Y_A = -c(a_1, k) + c(a_A, \sigma_n k) + t(a_1 - a_A) \quad (6)$$

Case.2 相対的に高い模倣レベルに合わせた特許料金設定

$$Y_B + u(k, t) = u(\sigma_B k, t) \quad (7)$$

$$Y_B = -c(a_1, k) + c(a_B, \sigma_n k) + t(a_1 - a_B) \quad (8)$$

innovator は、特許料金合計額の条件が、 $\alpha(n-1)Y_A > (n-1)Y_B$ であるならば特許料金を Y_A に設定し、相対的に模倣レベルの低い non-innovator に特許を販売。 $\alpha(n-1)Y_A \leq (n-1)Y_B$ であるならば特許料金を Y_B に設定し、全 non-innovator に対して特許を販売する。

3-3 技術革新

Stage.1にて、innovator は利潤(特許収入－汚染削減費用－R&D費用－排出税・排出権購入費/売却益)を最大化するように技術革新を行う。利潤最大化条件は、Case.1、Case.2 それぞれ以下になる。

Case.1 $\alpha(n-1)Y_A > (n-1)Y_B$

$$\pi_A(k) = \underset{k}{\text{Max}} \{ \alpha(n-1)Y_A(k) - c(a_1, k) - F(k) - t(k)(e - a_1 - \bar{e}) \} \quad (9)$$

Case.2 $\alpha(n-1)Y_A < (n-1)Y_B$

$$\pi_B(k) = \underset{k}{\text{Max}} \{ (n-1)Y_B(k) - c(a_1, k) - F(k) - t(k)(e - a_1 - \bar{e}) \} \quad (10)$$

(9)、(10)共に一階の条件を解くことにより最適な技術水準 k を決定する。

3-4 最適解

Innovator が、開発技術を無料で全 non-innovator に供給する状態が最適な状態である。以下の、経済厚生(環境便益－総汚染削減費用－R&D費用)最大化問題を解くことにより最適削減水準と最適技術水準を求めることが出来る。

$$W(a, k) = \underset{a, k}{\text{Max}} \{ B(na) - nC(a, k) - F(k) \} \quad (11)$$

経済厚生最大化の一階条件より、

$$C_a(a^*, k^*) = B'(na^*) \quad (12)$$

$$F'(k^*) = -nC_k(a^*, k^*) \quad (13)$$

(12)、(13)を同時に解くことにより技術開発後の最適解が決定される。技術開発前の最適解は、 $k=0$ を代入することによって最適解を求める。

4. 技術開発インセンティブ

4-1 政策別効果

innovator の技術開発インセンティブに与える、政策別の効果として、①abatement cost effect、②imitation effect、③emission payment effect、④adoption price effect の4つがある。(③、④は、Free Permit、Auctioned Permit 下のみである)①は、技術水準が上昇することによる汚染削減費用の減少効果を、②は、特許の模倣可能性が与える特許収入の減少効果を、③は、排出権価格下落による排出権購入料金の低下を、④は、特許ではなく模倣技術を使った場合に生じる追加の排出権支払い額の低下が生む特許料金の支払い意思の減少効果である。

Case.1 $\alpha(n-1)Y_A > (n-1)Y_B$

$$F'(k) = - \underbrace{\alpha(n-1)C_k(a_1, k)}_{\text{①abatement cost effect}} + \underbrace{\alpha(n-1)\sigma_A C_k(a_A, \sigma_A k)}_{\text{②imitation effect}} - \underbrace{t'(k)(e - a_1 - \bar{e})}_{\text{③emissions payment effect}} + \underbrace{\alpha(n-1)t'(k)(a_1 - a_A)}_{\text{④adoption price effect}} \quad (14)$$

Case.2 $\alpha(n-1)Y_A < (n-1)Y_B$

$$F'(k) = - \underbrace{nC_k(a_1, k)}_{\text{①abatement cost effect}} + \underbrace{n\sigma_B C_k(a_B, \sigma_B k)}_{\text{②imitation effect}} - \underbrace{t'(k)(e - a_1 - \bar{e})}_{\text{③emissions payment effect}} + \underbrace{\alpha(n-1)t'(k)(a_1 - a_B)}_{\text{④adoption price effect}} \quad (15)$$

表2：技術開発インセンティブに与える政策別効果

		①	②	③	④
Emission Tax	Case.1	+	-	0	0
	Case.2	+	-	0	0
Free Permit	Case.1	+	-	+	-
	Case.2	+	-	0	-
Auctioned Permit	Case.1	+	-	+	-
	Case.2	+	-	+	-

4-2 技術格差効果

innovator が、相対的に低い模倣レベルの non-innovator に特許料金設定を合わせると特許料金は高くなり、相対的に高い模倣レベルの non-innovator は特許を購入せずに市場の情報より技術模倣を行いフリーライドする。結果、特許料金の低下につながる。フリーライドが技術開発インセンティブを下げる効果、⑤free ride effect、 $R(\alpha)$ は、以下になる。

$$R(\alpha) = (1-\alpha)(n-1) \underbrace{\{ -C_k(a_1, k) + \sigma_A C_k(a_A, \sigma_A k) + t'(k)(a_1 - a_A) \}}_{\text{⑤free ride effect}} \quad (16)$$

表3：技術格差が政策別効果に与える効果

		α		
		小($0 \leq \alpha$)	中	大($\alpha \leq 1$)
⑤free ride effect	Case.1	- - -	- -	-
	Case.2	0	0	0

5. シミュレーション比較

5-1 比較指標

$$\text{経済厚生効率} : \frac{W_p - W_0}{W_* - W_0}$$

W_p : 技術開発後の経済厚生 (各政策の下で)

W_* : 技術開発後の経済厚生 (最適解)

W_0 : 技術開発前の経済厚生 (最適解)

$$\text{技術開発効率} : \frac{F'(k_p)}{F'(k_*)}$$

$F_p'(k)$: 技術開発インセンティブ (各政策の下で)

$F_*'(k)$: 技術開発インセンティブ (最適解)

5-2 シミュレーション結果

表4 Case.1 全 non-innovator が特許購入

		経済厚生効率	技術開発効率
$\alpha=0$	Emission Tax	0.42067	0.23964
	Free Permit	0.31154	0.18138
	Auctioned Permit	0.52978	0.37370
$\alpha=0.25$	Emission Tax	0.42067	0.23964
	Free Permit	0.31154	0.18138
	Auctioned Permit	0.52978	0.37370

表5 Case.2 相対的に技術水準が低い non-innovator のみ特許購入

		経済厚生効率	技術開発効率
$\alpha=0.5$	Emission Tax	0.49168	0.35918
	Free Permit	0.37565	0.25332
	Auctioned Permit	0.54262	0.41444
$\alpha=0.75$	Emission Tax	0.73903	0.58722
	Free Permit	0.51719	0.34014
	Auctioned Permit	0.67025	0.49353
$\alpha=1$	Emission Tax	0.95449	0.87835
	Free Permit	0.64506	0.40812
	Auctioned Permit	0.79176	0.55451

5-3 比較結果と考察

図2、3を見ると、技術格差の割合 α が、0.5 から 0.75 に変化するとき、経済厚生効率、技術開発効率それぞれの視点からみた政策順位は変動している。まず、 $\alpha=0.5$ において、フリーライダーが多いので、free ride effect が強く働く。よって各政策下における技術開発へのインセンティブは小さい。これは、低い技術開発効率・経済厚生効率をもたらす。しかし、Auctioned Permit の下においては、emission payment effect が free ride effect をカバーする。これは技術開発インセンティブの低下を抑えると同時に、技術開発効率・経済厚生効率の低下を抑える。よって Auctioned Permit は、他の二つの政策よりも高い効率を実現できると考えられる。一方、 $\alpha=0.75$ の時、Auctioned Permit と Emission Tax の政策順位が逆転している。これは、フリーライダーの数が減るために起こる free ride effect の低下が、技術開発インセンティブを大きなものとして、abatement cost effect から imitation effect と adoption price effect

を引いたものの効果を大きくし、相対的に emission payment effect の効果を小さなものとするためである。本来、排出税と排出権取引を比較した時、排出税は、排出権と異なり、技術開発によって価格が低下しない。したがって技術開発によって削減できる環境保全費用は排出税の方が、排出権よりも大きい。排出税の方が、排出権よりもより大きな技術開発インセンティブを持つ。この効果が、相対的に emission payment effect が低下した時に現れたものと考えられる。

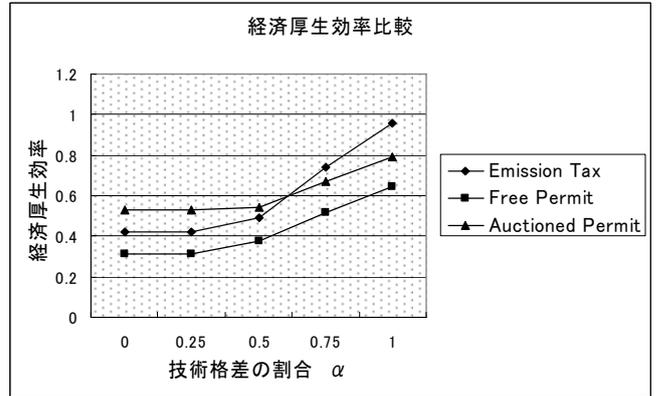


図2 経済厚生効率比較

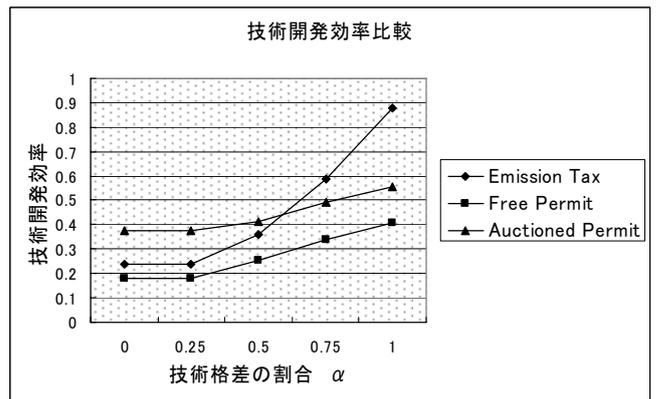


図3 技術開発効率比較

6. 結論と今後の課題

本研究では、シミュレーションを用いることにより、技術格差が政策順位に影響を与えるという結果を得ることが出来た。この結果は、技術格差の考慮が、環境政策を決定するにあたって重要性であるということを示唆するものであると解釈できる。今後の課題としては、①技術格差に変化を持たせた分析を行う、②蓄積される R&D の効果を時間的に追うことにより短期的だけではなく長期的にも詳細な分析を加える事等が挙げられる。

[参考文献]

【1】 S.R.Milliman,R.Prince, Firm incentives to promote technological change in pollution control, J.Environ.Econom.Manage. 17(1989)247-265.
 【2】 C.Jnung,K.Krutilla,R.Boyd, Incentives for advanced pollution abatement technology at the industry level: an evaluation of policy alternatives, J.Environ.Econom.Manage.30(1996)95-111.
 【3】 C.Fischer,Ian W.H.Parry,and William A.Pizer, Instrumental choice for environmental protection when technological innovation is endogenous, J.Environ.Econom.Manage. 45(2003)523-545