

エネルギー技術進歩の要因分析

横浜国立大学経営学部 八木 迪 幸
横浜国立大学経営学部 馬奈木 俊 介

(Michiyuki Yagi, Shunsuke Managi)

1. 研究の目的

1970年代の2度の石油危機で、中東石油に依存する経済が経済性、安定性においてリスクの高いものであることが明らかとなった。この時期から石油を用いない石油代替エネルギーおよびエネルギーの消費量自体を減らす省エネルギーが重要視されるようになった。2005年8月以降に見られたような1バレル70ドルを超える石油価格の高騰はこの石油代替エネルギーや省エネルギーの重要性を再認識させるものであったといえる。しかしこれらの重要性が増したのは石油の影響だけではなく、この技術の特性にも理由がある。石油代替エネルギー技術や省エネルギー技術は石油以外のエネルギーを使い、またエネルギー効率を上げることになるので、結果として二酸化炭素(CO₂)を削減することにつながる。このことより、今日問題となっている地球温暖化の原因とされているCO₂を削減する技術つまり環境技術として注目されるようになってきている。地球温暖化の原因がCO₂にある可能性が高いことは、2005年に発効した京都議定書がCO₂を含む6種類のガスの排出量を削減(たとえば日本では1990年水準から6%削減)しようとする内容であることにも表れている。このようなCO₂を削減しようとする動きやこれを受けて立案される環境政策により、さまざまな産業でCO₂を減らすような技術が注目されている。たとえば、既存のバッテリーより環境性の高い燃料電池や水素電池がそうである。このようにCO₂の削減には、CO₂削減に関わる技術開発や技術進歩が必須である。ここで日本のCO₂削減技術はいままでどのように発展して、さらに今後どのように発展していくのであろうか。この議論は日本の環境政策を技術の面から論じるうえで重要である。技

術進歩の要因はさまざまあると考えられる。まず技術開発は専ら企業によって行われることから、企業の研究開発状況および研究開発の能力に注目すべきである。また技術に対する政策にも注目すべきである。技術開発に対する政策には一般的に2種類のものと考えられる。一つは技術開発への資金面での援助であり、もう一つは法令の制定である。また原油価格などの物価の影響もあると考えられる。

前述のとおりCO₂排出を削減する技術は石油代替エネルギー技術や省エネルギー技術と関連があるといえる。この意味でCO₂削減技術の開発は近年になって初めて行われるようになったものではない。日本において石油代替エネルギー政策が重要な政策課題として提起されるようになったのは、第1次石油危機時である(鈴木、1985)。1974年7月の総合エネルギー調査会総合部会中間とりまとめでは、エネルギーの安定供給確保のための総合エネルギー政策の推進の必要性が指摘された。またIEA(International Energy Agency)により石油輸入消費削減と代替エネルギーの導入・開発を迫られたことなどが要因となり、石油代替エネルギー政策が推進されるようになった。この政策の一つが74年度から開始されたサンシャイン計画である。この計画は通産省工業技術院(現産業技術総合研究所)を中心に長期的な視点から豊富で無公害の新エネルギー技術開発を推進しようとするものであった。第2次石油危機のあった78年度には、省エネルギー技術の開発を目的としたムーンライト計画が同工業技術院を中心にして行われた。また工業技術院は、上記二つ計画と1989年から発足された地球環境技術開発計画の三つの計画・体制を一体化し、1993年にニューサンシャイン計画を発足させた。これは新エネルギー技術、省エネルギー技術および地球環境技

術の三つを総合的に開発するための計画で、2000年まで行われた。

日本における地球温暖化対策を目的とした法令は、1998年の地球温暖化対策の推進に関する法律など多くが近年に制定されている。一方で、CO₂削減に関する技術の開発を奨励する法令が制定されたのは、第1次石油危機後である。例として1974年のエネルギーの使用の合理化に関する法律や1975年の石油代替エネルギーの開発および導入の促進に関する法律が挙げられる。同時にこれら法令は前述の石油代替エネルギー政策を推進するためのものであるといえる。

既存の経済シミュレーションモデルにおいて、技術進歩を促す要因をモデルに組み込む重要性は認知されていたが、実際にモデル化に成功した事例は数少ない (Popp, 2004)。本研究の目的は、CO₂削減に関する技術進歩が研究計画予算、環境法令、企業の研究開発費の3要素によって促されるかの検証である。ここでCO₂削減に関する技術イノベーションの代替変数として、長期にわたって存在するデータを用いるため特許データを用いる。本研究では二つの手法を用いる。まず先行研究に従い、最小二乗法 (OLS) を用いてCO₂削減に関する技術イノベーションの要因が研究計画予算、環境法令、企業の研究開発費によるものであったかを検証する。またこれら要素の時間ラグをとることでどの程度の年数をかけて影響するかも検証する。しかしOLSやラグ項目の利用、自己相関の検証だけでは、因果性の判断ができない。つまり因果性を考えた場合、一つは研究計画、法令、研究開発費が技術進歩を促した場合がある。または逆の場合として、技術進歩が研究計画、研究開発費を増加させた、もしくは政策など政府の環境技術への着目を考慮して企業が環境技術開発を行い、結果として環境対策によりよい技術が生まれ、政府が更なる技術開発を期待して政策を行った場合がある。この因果性の検証のために、グランジャー因果性検定を行う (つまり、本研究ではグランジャーの意味での因果性を因果性と常に呼ぶ)。

ここで先行研究を紹介する。Jaffe and Palmer (1997) は、企業が環境規制を遵守する場合に生じる費用と特許取得には有意な関係性が見られなかったが、この費用と研究開発費に有意な関係性があることを示した。とくに産業ごとの影響を考慮した場合にこの費用と研究開発費には正の相関があることを示した。この研究により、特許つまり技術進歩と

研究開発費、環境法令との間に関連性がある可能性があることが分かる。しかし現在までの包括的なCO₂削減技術との因果性についてはあまり研究されていない。この因果性についての研究が本研究の目的である。またCO₂技術全般を分類するために、サンシャイン計画、ムーンライト計画およびニューサンシャイン計画における個別予算項目に従って技術分類を行う。そしてこの技術分類に基づき、特許数を調べる。またこの特許数を調べた後に、この特許取得の要因が研究計画予算、環境法令および企業の研究開発費の三つであるという仮説を立て、この仮説をOLSで検証する。しかしCO₂削減技術の進歩について、OLSでは相互の因果性について問題が残る (Managi *et al.* 2005)。そこで本研究では、OLSに加えて、Managi *et al.* (2005) でも用いられているようにグランジャー因果性を検証することでより詳細な分析を行う。

2. 要因分析の手順

(1) 分析方法

まずCO₂削減に関する技術を、日本の代表的な技術計画であるサンシャイン計画およびムーンライト計画、ニューサンシャイン計画の個別予算項目に基づいて分類する。次に分類した技術の特許数を、特許庁の特許データベースを用いて抽出する。そしてCO₂削減に関する技術研究に対する研究計画予算、環境法令、企業の研究開発費の正の影響を検証するために、OLSを用い、片側検定で検証する。説明変数として、研究計画予算と企業の研究開発費、環境法令、原油価格の計4種類を用いる。原油価格を用いる理由は、商品価格や投入価格の変化という経済的誘因を通じて、環境保全を促進するような技術進歩がどのように進むかについて分析するためである。被説明変数として、CO₂削減に関する技術の特許数を用いる。次に、有意な影響があった場合、研究計画予算、環境法令、企業の研究開発費とCO₂削減に関する技術のどちらが先であるかを検証するために、グランジャー因果性検定を行う。

(2) グランジャー因果性検定

ここではグランジャー因果性検定について説明する。以下を p 次の遅れを含んだ VAR(p) モデルとする。

$$PAT = \sum_{i=1}^{p_1} a_i (PAT_{t-i}) + \sum_{i=1}^{p_2} b_i (LAW_{t-i}) + \delta_{it} \quad (1)$$

$$LAW = \sum_{i=1}^{p_2} c_i(LAW_{t-i}) + \sum_{i=1}^{p_2} d_i(PAT_{t-i}) + \delta_{2t} \quad (2)$$

$$PAT = \sum_{i=1}^{p_3} e_i(PAT_{t-i}) + \sum_{i=1}^{p_3} f_i(BUD_{t-i}) + \delta_{3t} \quad (3)$$

$$BUD = \sum_{i=1}^{p_4} g_i(BUD_{t-i}) + \sum_{i=1}^{p_4} h_i(PAT_{t-i}) + \delta_{4t} \quad (4)$$

$$PAT = \sum_{i=1}^{p_5} j_i(PAT_{t-i}) + \sum_{i=1}^{p_5} k_i(R\&D_{t-i}) + \delta_{5t} \quad (5)$$

$$R\&D = \sum_{i=1}^{p_6} l_i(R\&D_{t-i}) + \sum_{i=1}^{p_6} m_i(PAT_{t-i}) + \delta_{6t} \quad (6)$$

PAT: 特許数、LAW: 環境法令、BUD: 研究予算、R&D: 企業の研究開発費、 δ : 攪乱項、 t : t 期

環境法令が特許に対して因果性があるならば、上式の係数 b の総計がゼロであるという帰無仮説は棄却される。この場合、環境法令は、技術の発展・普及に対してインセンティブを与えたといえる。逆に特許が環境法令に対して因果性があるならば、上式の係数 d の総計がゼロであるという帰無仮説は棄却される。この場合、環境技術への意識の高まりを受けてもたらされた技術の発展・普及によって、更に環境法令が改正されたといえる。同様に、研究予算が特許に対して因果性があるならば、上式の係数 f の総計がゼロであるという帰無仮説は棄却される。この場合、研究予算が技術の発展を促したといえる。逆に特許が研究予算に対して因果性があるならば、上式の係数 h の総計がゼロであるという帰無仮説は棄却される。この場合、技術の発展により、政府はその技術に発展の可能性があると判断し、研究予算を増加したといえる。また会社の研究開発費が特許に対して因果性があるならば、上式の係数 k の総計がゼロであるという帰無仮説は棄却される。この場合、企業の研究開発への資金投入力が技術の発展に影響を与えたといえる。逆に特許が会社の研究開発費に対して因果性があるならば、上式の係数 m の総計がゼロであるという帰無仮説は棄却される。この場合、技術の発展により、企業はその技術に発展の可能性があると判断し、投資を増やしたといえる。また、VAR モデルのラグを選択するために、修正赤池情報量基準 (AICc) を算出し、この AICc が最小のものを選択して検証する。

(3) 仮説

本研究では、以下の二つの仮説の検証を行う。一つ目は、研究計画予算、環境法令、企業の研究開発費それぞれが CO₂ 削減に関する技術を促すという

ものである。この検証は、OLS において説明変数である研究計画予算、環境法令、企業の研究開発費が有意に正に影響しているかどうかの片側検定で行う。二つ目は、研究計画予算、環境法令、企業の研究開発費が CO₂ 削減に関する技術進歩を促進させる因果要因であるというものである。この検証は、グランジャー因果性検定を用いて行う。最後に技術イノベーションが逆に更なる研究計画予算、環境法令、企業の研究開発費の増加を促したかについて検証する。

3. データ

本研究で用いる特許データは特許電子図書館のバテントマップガイダンス (<http://www5.ipdl.ncipi.go.jp/pmgs/PMGS/>) および FI/F-term Search (<http://www4.ipdl.ncipi.go.jp/Tokujitu/tjftermena.ipdl?N0000=114>) から抽出した。環境法令は経済産業省と関係法令一覧と環境省の法令データベース(それぞれ <http://www.meti.go.jp/intro/law/index.html>, <http://www.env.go.jp/hourei/>) より、各研究計画予算は工業技術院年報より、企業の研究開発費は科学技術白書の組織別研究開発費よりそれぞれ用いる。また原油価格の日本円換算は International Financial Statistics (<http://ifs.apdi.net/imf/logon.aspx/>) より用いる。また特許データはサンシャイン計画が始まった年度である 1974 年から、ニューサンシャイン計画が終了した 2000 年までを用いる。なおページ数の問題より本研究で用いるデータの詳細は (<http://www.k5.dion.ne.jp/~datas/datapatent20070214.pdf>) にまとめている。

4. 結果・考察

以下から結果・仮説検証に関する考察を行う。OLS の推定結果を表-1 から表-6 に、グランジャー因果性検定の推定結果を表-7 から表-9 にそれぞれ示す。

表-1 CO₂ 削減技術 (ラグなし) 推定結果^{※1,2)}

推定結果	1	2	3	4	5
	solar	Δ geo	coal	hyd	Δ wind
石油価格	917.6*	45.0*	273.8*	1046.0*	109.2*
環境法令	49.6*	-0.5	-6.4	53.9*	5.1*
R&D	0.0	0.0*	0.0*	0.0*	0.0*
サン		-0.0			
個別予算	0.2*			0.3*	-0.1
Δ 個別予算		0.0*	0.0*		0.0*
Adj. R ²	0.78	0.19	0.45	0.83	0.45

表-2 CO₂削減技術（ラグなし）推定結果^{注1,2)}

推定結果	6	7	8	9	10
	tidal	Δwaste	Δdis cell	cascade	cascade cell
石油価格	207.8*	12.0		36.4*	86.1*
環境法令	5.9	31.9*	-39.5	3.5*	2.3
R&D	-0.0	0.0*			0.0*
ΔR&D			0.0*	-0.0	
個別予算	-0.0		0.1*		
Δ個別予算		0.2*	0.3*	0.4	1.0
Adj. R ²	0.48	0.60	0.62	0.08	0.24

表-3 CO₂削減技術（ラグ1年）推定結果^{注1,2)}

推定結果	11	12	13	14	15
	solar	geo	gasturbine	fuel cell	Δfuel cell
石油価格	992.7*	59.4*	47.0	475.0*	442.6*
環境法令	87.7*	3.1*	0.1	51.8*	43.8*
R&D	0.0*	-0.0	0.0*	0.0	0.0*
Δ計画予算	0.0*				
ムーン				0.1*	
Δムーン			0.0*		
個別予算		0.0*			-0.1
Adj. R ²	0.53	0.55	0.82	0.90	0.51

表-4 CO₂削減技術（ラグ1年）推定結果^{注1,2)}

推定結果	16	17	18	19
	heatp	Δheatp	discell	stirling
石油価格	163.2*	115.3	-690.1	63.5*
環境法令	8.9*	7.8*	77.1*	-3.1
R&D	0.0*	0.0*		0.0*
ΔR&D			0.0*	
計画予算	0.0			
Δ計画予算		0.0*		
個別予算				0.0*
Δ個別予算			2.4*	
Adj. R ²	0.58	0.66	0.86	0.61

表-5 CO₂削減技術（ラグ2年）推定結果^{注1,2)}

推定結果	20	21	22	23
	newcell	super	super	Δsuper
石油価格	-5691.1	-646.7	-802.2	9613.4*
環境法令	317.4*	-216.5	-58.2	144.7
R&D		-0.0	0.0*	0.0
ΔR&D	0.0*			
計画予算		0.1*		
Δ計画予算	0.1*			
Δムーン				-0.2

個別予算	-1.4			
Adj. R ²	0.68	0.06	0.22	0.03

表-6 CO₂削減技術（ラグ2年）推定結果^{注1,2)}

推定結果	24	25	26	27
	gasturbine	stirling	mhd	Δmhd
石油価格	-308.1	107.1*	18.8**	0.5
環境法令	17.8*	7.0*	-0.1	-0.2
R&D		0.0*	0.0*	
ΔR&D	0.0*			0.0
Δ計画予算	0.0			
ムーン			-0.0	
個別予算		0.0		
Δ個別予算				0.0*
Adj. R ²	0.65	0.62	0.25	0.11

表-7 グランジャー因果性検定環境法令^{注3,4)}

Null Hypothesis	環境法令 ↗ Patent	Patent ↘ 環境法令	VAR
環境法令	Patent	χ ²	χ ²
環境法令	solar	27.24***	2.42* 2
環境法令	geo	7.22***	1.72 2
環境法令	coal	12.00***	1.85 2
環境法令	hyd	50.02***	4.72*** 2
環境法令	gasturbine	19.33***	7.77*** 2
環境法令	newcell	202.71***	7.36*** 2
環境法令	fuelcell	69.25***	6.19*** 2
環境法令	heatp	17.52***	1.75 2
環境法令	discell	251.30***	8.26*** 3
環境法令	stirling	9.48***	3.64** 2
環境法令	cascade	1.38	1.81 2
環境法令	Δgeo	0.83	1.42 2
環境法令	Δwind	4.00**	2.69* 2
環境法令	Δwaste	3.73**	2.13 2
環境法令	Δfuelcell	9.39***	3.01** 3
環境法令	Δdiscell	9.65***	11.10*** 3

表-8 グランジャー因果性検定 R&D^{注3,4)}

Null Hypothesis	R&D ↗ Patent	Patent ↘ R&D	VAR
R&D	Patent	χ ²	χ ²
R&D	solar	13.67***	729.38*** 3
R&D	geo	4.41***	603.16 3
R&D	coal	8.80***	831.12*** 3
R&D	hyd	34.67***	616.79*** 2
R&D	gasturbine	17.45***	681.97*** 3
R&D	fuelcell	39.98***	652.62*** 3
R&D	heatp	15.85***	649.48*** 2
R&D	super	1.28	596.21*** 3

R&D	stirling	4.29***	719.80***	3
R&D	mhd	1.87	571.92***	3
R&D	cascade	1.58	743.27***	3
R&D	Δ geo	0.32	579.42***	2
R&D	Δ wind	1.85	649.16***	2
R&D	Δ waste	5.77***	663.24***	3
R&D	Δ fuelcell	5.11***	457.07***	3
R&D	Δ super	1.76	543.87***	3
Δ R&D	newcell	226.83***	9.16***	2
Δ R&D	discell	218.41***	10.77***	2
Δ R&D	cascade	2.40*	10.54***	2
Δ R&D	Δ discell	4.06**	10.82***	2
Δ R&D	Δ mhd	4.05**	8.88***	2

表-9 グランジャー因果性検定研究計画予算^{注3,4)}

Null Hypothesis		研究予算 ↘ Patent	Patent ↘ 研究予算	VAR
開発予算	Patent	χ^2	χ^2	
計画予算	heatp	13.40***	37.86***	2
計画予算	super	1.41	42.25***	2
Δ 計画予算	solar	21.89***	0.63	2
Δ 計画予算	newcell	192.76***	0.75	2
Δ 計画予算	heatp	12.45***	0.55	2
ムーン	fuelcell	64.05***	11.73***	3
Δ ムーン	gasturbine	13.56***	0.60	2
個別予算	solar	16.78***	6.82***	2
個別予算	geo	6.64***	27.33***	2
個別予算	hyd	42.87***	80.52***	2
個別予算	stirling	5.90***	8.50***	2
個別予算	Δ discell	8.04***	579.30***	3
Δ 個別予算	coal	11.75***	2.85*	2
Δ 個別予算	discell	230.67***	13.71***	4
Δ 個別予算	Δ geo	0.40	1.80	2
Δ 個別予算	Δ waste	5.41***	2.53*	2
Δ 個別予算	Δ mhd	2.07	3.37**	2

まず石油価格について、これが有意に正に影響した技術は、太陽、地熱、石炭、水素、風力、潮力、ガスタービン、燃料電池、ヒートポンプ、超電導、スターリングエンジン、電磁流体、カスケードであった。年度ごとの特許数に対しては0から2年までのラグが有意に正に影響するものが多かった。前年度の差分を取った場合にはラグが有意に正に影響するものは少なかった。

次に環境法令について、これが有意に正に影響しかつ増加の要因となった技術は、太陽、地熱、水素、風力、廃棄物、ガスタービン、新型電池、燃料電池、ヒートポンプ、分散型電池、スターリングエンジン

であった。また太陽、水素、風力、ガスタービン、新型電池、燃料電池、分散型電池、スターリングエンジンに関しては逆の因果性も示された。次に環境法令が正に影響しかつ増加の要因とならなかった技術はカスケードであった。年度ごとの特許数に対して有意に正に影響したのは、0から2年までのラグを取った場合が多かった。前年度の差分をとった場合には有意に正に影響したのは、1、2年のラグをとった場合が多かった。

企業の研究開発費またはこの前年度との差分について、これらが有意に影響しかつ増加の要因となった技術は、太陽、地熱、石炭、水素、風力、廃棄物、ガスタービン、新型電池、燃料電池、ヒートポンプ、分散型電池、スターリングエンジンであった。またこれらすべての特許は逆の因果性も示された。企業の研究開発費またはこの前年度との差分が有意に正に影響しかつ増加の要因とならなかった特許は、超電導、電磁流体、カスケードであった。これら企業の研究開発費と特許の因果性に関しては、他の因果性の大半で2年のラグが影響したのに対して、3年のラグが影響するものが多かった。

最後に計画予算総額、サンシャイン計画予算、ムーンライト計画予算、個別予算項目またはこれらの前年度との差分について、これらが有意に影響しかつ増加の要因となった技術は、太陽、地熱、石炭、水素、廃棄物、ガスタービン、新型電池、ヒートポンプ、分散型電池、スターリングエンジンであった。このうち、太陽、地熱、石炭、水素、廃棄物、分散型電池、スターリングエンジンに対しては逆の因果性も示された。またこれらの予算が有意に影響しかつ増加の要因とならなかった技術は風力、超電導であった。各技術に有意に正に影響した予算は研究計画予算および個別予算が多く、サンシャイン計画予算およびムーンライト計画予算はあまり影響しなかった。

これらの結果より、一つ目の仮説つまり研究計画予算、環境法令、企業の研究開発費それぞれがCO₂削減技術を増加させることが示された。また二つ目の仮説つまり研究計画予算、環境法令、企業の研究開発費はCO₂削減に関する技術進歩を促進させる因果要因であることが示された。

研究計画予算がCO₂削減技術を進歩させる要因であることについて、これは投じた予算に対して技術進歩が起きた結果であるといえる。またCO₂削減技術の進歩がさらなる研究計画予算の増額に影響したことについて、技術の将来性や技術進歩という

成果が研究計画予算額の決定に影響したものと考えられる。

企業の研究開発費が更なるCO₂削減技術進歩を促す要因であることについて、これは日本企業において技術開発能力の向上がCO₂削減技術の進歩に短期に貢献した結果であると考えられる。またCO₂削減技術の進歩が企業の研究開発費を増加させる要因であることについて、これは二つの理由が考えられる。一つは、技術開発の成果が技術の更なる成長・成果を期待させ、技術投資を行わせたというものである。もう一つはエネルギー技術進歩が日本企業の財務面を良性させたためだと考えられる。

環境法令がCO₂削減技術進歩を促す要因であることについて、これは政府における環境問題への関心の高まりが企業に技術開発を行わせることにつながったものと考えられる。またCO₂削減技術進歩が更に環境法令を改正させる要因であることについて、これは政府の環境意識の高まりを受けて企業が開発した技術の進歩が、政府に更なる技術開発を期待させ、法令の改正を行わせる要因となったものと考えられる。

最後に地球温暖化対策として、環境対策の評価の高まりによって技術革新が促された太陽光、地熱、水素、風力、廃棄物、ガスタービン、新型電池、燃料電池、ヒートポンプ、分散型電池、スターリングエンジンの技術に注目すべきだと思われる。またこれらの技術で、太陽光、地熱、水素、廃棄物、ガスタービン、新型電池、ヒートポンプ、分散型電池、スターリングエンジンの各技術は、技術開発予算の増加により短期間で技術革新が現れる可能性がある。

5. ま と め

地球温暖化対策に関する政策を論じるうえで、CO₂削減技術の研究は重要である。本研究では、このCO₂削減技術の因果性を特許数を用いて分析した。またこの技術進歩が政策や企業の予算によって2年以内と短期間に促される可能性があることを実証できた。この研究より、他の国におけるCO₂削減技術の動向を調査し、また日本と比較をすることが可能になると考えられる。一方で環境政策とくにサンシャイン計画およびムーンライト計画、ニューサンシャイン計画が技術進歩に貢献したかどうかという政策評価は本研究では検証されておらず、今後の研究テーマであると考えられる。

—注—

- 注1) 前記の表-1から表-6は最小二乗法によって推定。
*は片側検定の統計的有意水準5%を表す。
- 注2) 各技術項目で、solarは太陽、geoは地熱、coalは石炭、hydは水素、windは風力、tidalは潮力、wasteは廃棄物、gasturbineはガスタービン、new-cellは新型電池、fuelcellは燃料電池、heatpはヒートポンプ、discellは分散型電池電力貯蔵技術、superは超電導、stirlingはスターリングエンジン、mhdは電磁流体、cascadeはカスケード利用をそれぞれ表す。環境法令は環境法令データ、R&Dは企業の研究開発費、サンはサンシャイン計画予算、ムーンはムーンライト計画予算、計画予算はサンシャイン計画とムーンライト計画、地球環境技術研究開発、ニューサンシャイン計画の総予算額、個別予算はこれら四つの計画における各技術の研究開発予算を示す。△は前年度との差分を表す。表のラグなし、1期、2期とはすべての説明変数に対し、ラグをそれぞれ0、1、2年取ることを表す。また推定結果は、有意なものが現れた結果のみ表にしており、空欄はOLSで推定しなかった項目であることを意味する。
- 注3) 前記の表-7から表-9はグランジャー因果性検定によって推定。***、**、*はそれぞれ統計的有意水準1%、5%、10%を表す。VARはAICcに基づく。
- 注4) グランジャー因果性検定は、OLSで有意な正の相関があった2変数に対し行った。表中の1行目の2、3列目は、因果要因であることの帰無仮説を示す。たとえば環境法令→Patentは、環境法令が特許数を増加させる要因であることの帰無仮説を示す。

—参考文献—

- 1) Jaffe, A.B., and K. Palmer, 1997. "Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study", *Review of Economics and Statistics* 79(4), pp.610-619
- 2) Kosugi, T., Tokimatsu, K., and Yoshida, H, 2005. "Evaluating new CO₂ reduction technologies in Japan up to 2030", *Technological Forecasting and Social Change* 72, pp.779-797
- 3) Managi, S., J.J. Opaluch, D. Jin, and T.A. Grigalunas, 2005. "Environmental Regulations and Technological Change in the Offshore Oil and Gas Industry", *Land Economics* 81(2), pp.303-319
- 4) Newell, R.G., A.B. Jaffe, and R.N. Stavins, 1999. "The Induced Innovation Hypothesis and Energy-Saving Technological Change", *Quarterly Journal of Economics*, 114(3), pp.941-975
- 5) Popp, D., 2004. "ENTICE: Endogenous Technological Change in the DICE Model of Global Warming", *Journal of Environmental Economics and Management* 48(1), pp.742-768
- 6) 鈴木茂(1985)『日本のエネルギー開発政策』ミネルヴァ書房