

環境影響物質の限界削減費用を用いた環境配慮商品の社会的効果の測定
Measurement of the Effects of Environmentally Friendly Commodities Using Social
Marginal Costs for Reducing Environmental Impacts

○岡敏弘(福井県立大学)*、藤井美文(文教大学)、石川雅紀(東京水産大学)、
須佐美周(荏原製作所)、加藤悟(東京大学)、松野裕(明治大学)

2002年9月28日 環境経済・政策学会2002年大会

目次

1	背景と目的	2
2	限界費用法	2
3	重み付けのための限界費用の推計	2
3.1	NO _x	3
3.1.1	自動車 NO _x 法による規制に伴う限界費用	3
3.1.2	その他の NO _x 削減対策	8
3.1.3	NO _x の限界削減費用	8
3.2	SO _x	8
3.2.1	SO _x 排出削減の物理的な方法	8
3.2.2	SO _x 排出限界削減費用の推定	9
3.2.3	トップダウンによる推定—公健法賦課金賦課料率	15
3.2.4	まとめ	15
3.3	CO ₂	16
3.3.1	推計方法	16
3.3.2	限界削減費用推計	16
3.3.3	まとめ	20
3.4	SPM(浮遊粒子状物質)	20
3.4.1	はじめに	20
3.4.2	埼玉県による SPM 対策調査	21
3.4.3	SPM 対策コストの試算	24
3.5	富栄養化原因物質	28
3.5.1	琵琶湖工場排水	28
3.5.2	荏原製作所データ	28
3.5.3	琵琶湖流域下水道	28
3.5.4	限界費用	29
3.6	TCE、PCE	29
3.7	重金属	30
3.7.1	調査の範囲	30
3.7.2	推計方法	30
3.7.3	計算結果と考察	31
3.7.4	結論	32
3.8	ダイオキシン	32
3.9	CFC	32
3.10	まとめ	33
4	商品への適用—環境配慮型ポンプの評価—	34

*福井県立大学大学院経済経営学研究所 〒 910-1195 福井県吉田郡松岡町兼定島 4-1-1 Tel 0776-61-6000 e-mail:oka@fpu.ac.jp.

1 背景と目的

公共部門を中心として、環境に配慮した商品を積極的に購入しようという動きが盛んになりつつあるが、商品の環境上の効果は多様であり、また、社会的なものであるために、どのような環境上の効果がどの程度あれば、商品の他の要素(価格など)での劣位にもかかわらず購入すべきかを決定するのは簡単ではない。LCAは、そうした環境効果を測ろうとする道具であるが、個別の環境項目の定量化はできても、それらを集計する手法は確立されていない。本研究は、LCAの諸項目を統合して単一の指標で表す手法を確立し、それを具体的な環境配慮商品の評価に適用することを目的とする。

はじめに、本研究で提案する集計の方法である「限界費用法」について説明する。次に、そのために必要になる、環境負荷項目削減の限界費用の実際の推計値とその計算根拠を、NO_x、SO_x、CO₂、SPM、富栄養化原因物質、TCE・PCE、重金属、ダイオキシン、CFCについて述べる。最後に、その結果を、環境配慮型ポンプの製品評価に適用する。

2 限界費用法

異質な環境上の効果を統合しようとする際の環境経済学の標準的な考え方は、環境負荷の限界被害費用を重みとして用いるというものである。そうすれば、環境上の効果は貨幣額で表現された「環境改善便益」と見なされるので、それを、そのためにかかった余分の費用と比較することによって、費用便益分析の論理で環境配慮商品の採否を決定することができる。しかし、この考え方には、計測の困難性や客観性の欠如といった問題がある。

そこで、我々は、評価対象とする商品の供給に先立って、社会のどこかで環境負荷の削減が現に行われており、それに費用がかかっているという事実に着目する。そのような既に行われている削減対策の限界費用を重みとして採用し、環境効果を集計しようというのである。これを環境効果の重み付けの「限界費用法」と呼ぶことにしよう。

この考え方で集計された結果には2とおりの解釈が可能である。1つは、この集計された効果が、貨幣額での環境改善便益を表しているというものである。この解釈は、評価対象となっている商品による環境負荷の削減によって、社会の他のところでの削減行為が現に節約されると見なされる場合には成立する。しかし、事実としてそれを仮定することには明らかに無理がある。

2つ目の解釈は、計算された集計値は、環境効果の重み付け集計値であるけれども、それに、環境改善の社会的便益を示したものという意味を認めないというものである。この解釈の下では、得られた結果に費用便益分析の論理を適用して、当該商品の採否を決定することはできない。むしろ、結果は、費用効果分析の材料として使えることになる。つまり、貨幣額として集計された環境効果が、当該効果を生み出すためにかかった費用を上まわる時、それは、当該商品を採用することによって、社会で現にかけている費用よりも小さい費用で同じ環境改善効果を生み出すことができるということの意味する。それは、社会で現にかけている環境負荷削減努力を削ってでも当該商品を導入する積極的な理由があることを示しており、それを根拠に、そうした他の場所での努力が現に削られるかどうかにかかわらず、当該商品の導入を提言するという論理で、その採否の基準を提供するのである。

現実への適用を正当化するためには、第2の解釈の方が強力であろう。我々は第2の解釈の立場に立つ。

3 重み付けのための限界費用の推計

CO₂、NO_x、SO_x、SPM、富栄養化物質(BTOD)、TCE、PCE、重金属、ダイオキシン、CFCについて、日本で現にとられている削減対策から、その限界費用を推定した。ここで限界費用とは、社会の様々な領域での削減のうち、技術的に1つのまとまりをもった削減分についての削減量1単位当たりの費用のう

ち、最も高いものを指す(ただし、例外的に高い費用単価をもったり、量的に取るに足りない削減分であったりするものを除く)。以下、個別にその詳細を述べる。

3.1 NO_x

3.1.1 自動車 NO_x 法による規制に伴う限界費用

自動車 NO_x 法による規制

大都市での二酸化窒素の環境基準の達成状況は悪く、従来の規制と対策では環境基準の達成が困難であることから、自動車排ガスの窒素酸化物について新たな対策が 1992 年に導入された。「自動車から排出される窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法(自動車 NO_x 法)」に基づく対策がそれである。この法律は、2001 年に改正され、「自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法(自動車 NO_x・PM 法)」となった。ここでは、NO_x 削減だけの限界費用を産出するため、旧自動車 NO_x 法による NO_x 削減量とその費用とを推計する。

この法制度の 1 つの柱は、二酸化窒素の環境基準の達成が従来の対策では困難な地域(「特定地域」)で使用される自動車(「特定自動車」)に、従来の大気汚染防止法による排ガス許容限度よりも厳しい規制を行なうというものである。具体的には、特定地域は、東京周辺(東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県)のそれぞれ一部と大阪周辺(大阪府および兵庫県の一部)である¹。特定自動車とは、トラック、バス、特殊自動車で特定地域に使用の本拠をおくものである。

この特定自動車に対しては、大気汚染防止法に基づく単体規制の内、車両総重量の区分ごとに最も厳しい基準と同等の排出基準が適用される。ガソリン車にもディーゼル車にも同じ基準が適用されるという点が重要であり、また、新しく生産され、新規に登録される自動車だけでなく、現に使用されている自動車(使用過程車)にもその基準が適用されるという点に、この法律に基づく規制の特徴がある。すなわち、基準に適合しない特定自動車(とりわけディーゼル車)は車検を通らず、使用できなくなる。ただし、影響の大きさに鑑みて、基準適用の猶予期間が設けてある。猶予期間は表 1 のとおりである。

表 1: 猶予期間

普通貨物車	初度登録日から 9 年
小型貨物車	初度登録日から 8 年
大型バス	初度登録日から 12 年
マイクロバス	初度登録日から 10 年
特殊自動車	初度登録日から 10 年

この猶予期間に加えて、「周知期間」と「激変緩和期間」とが設けられており、したがって、実際の使用過程車への規制の適用は、普通貨物車の場合、表 2 のようになる。

表 2: 使用過程車への規制の適用

年	使用できなくなる自動車
1995	1984 年以前に登録された特定自動車排出基準非適合車
1996	1985 年から 1987 年に登録された特定自動車排出基準非適合車
1997	1988 年に登録された特定自動車排出基準非適合車
Y(1998～)	Y-9 年に登録された特定自動車排出基準非適合車

猶予期間や周知期間や激変緩和期間があるとは言え、それを超えて基準に適合しない自動車の使用を継

¹自動車 NO_x・PM 法では、愛知・三重圏が特定地域に加えられた。

続することができないということは、自動車の使用者に費用を負わせる。それは、使用者が予定していた償却期間の強制的な短縮による損失分によって測られるであろう。その損失は、猶予期間等が短ければ短いほど大きくなる。したがって、猶予期間等が上で与えられた数であって、それよりも短くは設定されなかったということの中に、この政策に暗黙に含まれた、NO_x削減の限界費用の境界値を読みとることができるであろう。

NO_x 規制強化に伴う費用

使用期間が短縮されることは、買い替えの時期が早まることを意味するから、その費用は、自動車の価格を P 、短縮年数を t 、時間割引率を i とすると、

$$P(1 - e^{-it})$$

によって表される。

この式の変数のうち、短縮年数は、規制がなかった場合の自動車の平均的な残余使用年数によって与えられる。そして、残余使用年数は、自動車の車齢によって異なるであろう。それを次のように推定した。

表 3 は、普通ディーゼルトラックの車齢ごとの廃車率を示したものである。この表で、例えば、1989 年の車齢「1/4」の数値 0.55% は、1989 年 3 月末に車齢 1/4 年（つまり 3 ヶ月）から 5/4 年（つまり 1 年 3 ヶ月）であった普通ディーゼルトラックのうち 0.55% が 1 年間に廃棄されたということの意味する。この数値は、自動車検査登録協会編『自動車保有車両数』の、1989 年 3 月末の保有車両のうち、初度登録年が 1988 年であるものが 248,744 台であったが、1990 年 3 月末には初度登録年が 1988 年である車両の数が 247,378 台に減っていたというデータから $(248744 - 247378) / 248744 = 0.55\%$ と計算したものである。その他の数値も同様にして計算したものである。この表から、1989 年から 1999 年までの 11 年間で廃車率は低下する傾向があったことがわかる。

表 3: 普通ディーゼルトラックの車齢ごとの廃車率 (1989~1999)

車齢	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1/4	0.55%	0.41%	0.49%	0.59%	0.79%	0.86%	0.97%	0.92%	0.96%	0.79%	1.10%
1 1/4	0.63%	0.67%	0.68%	0.68%	0.77%	0.96%	1.29%	0.81%	1.22%	0.93%	0.66%
2 1/4	1.22%	1.16%	1.10%	0.94%	0.96%	1.01%	1.34%	1.39%	1.48%	1.51%	1.00%
3 1/4	2.18%	2.54%	2.27%	1.94%	1.57%	1.54%	1.69%	2.00%	2.32%	2.20%	1.54%
4 1/4	4.04%	4.12%	4.66%	3.83%	3.09%	2.52%	2.35%	2.61%	3.01%	3.18%	2.35%
5 1/4	6.84%	6.65%	7.06%	5.80%	5.72%	4.60%	3.94%	3.59%	3.45%	3.46%	2.83%
6 1/4	9.68%	11.11%	10.86%	9.40%	8.01%	8.14%	7.22%	6.56%	5.51%	4.69%	3.96%
7 1/4	11.89%	13.73%	15.47%	13.03%	11.50%	10.70%	11.01%	11.05%	9.72%	7.40%	5.53%
8 1/4	14.39%	16.25%	17.51%	16.74%	14.66%	13.98%	15.20%	16.35%	15.29%	12.26%	7.72%
9 1/4	18.09%	18.25%	19.02%	17.38%	17.01%	16.79%	17.02%	18.46%	14.80%	12.18%	9.71%
10 1/4	18.89%	20.14%	19.54%	17.76%	16.77%	17.86%	18.55%	18.67%	12.90%	12.22%	10.80%
11 1/4	19.20%	20.45%	20.59%	18.01%	17.14%	17.07%	17.81%	15.79%	13.43%	12.04%	11.44%
12 1/4	20.13%	19.94%	20.46%	19.43%	16.98%	17.28%	17.37%	16.12%	13.77%	12.59%	11.72%
13 1/4	19.97%	20.17%	20.15%	19.38%	18.36%	17.42%	17.45%	16.26%	14.87%	13.31%	12.85%
14 1/4	21.75%	20.31%	20.06%	18.56%	18.58%	18.10%	17.42%	16.45%	14.85%	14.32%	14.37%
15 1/4	22.87%	19.97%	19.74%	18.70%	17.73%	17.44%	17.21%	16.43%	14.68%	14.08%	15.64%
16 1/4	24.55%	20.28%	19.61%	19.00%	17.32%	17.03%	16.60%	16.25%	14.34%	13.67%	16.50%

注) 自動車検査登録協会編『自動車保有車両数』各年版の保有車両数から計算。

廃車率の数値から自動車の「生命表」とも言うべきものを作ることができ、それを基に、車齢別の「平均余命」を計算できる。一般に車齢 t の平均余命 $L(t)$ は、

$$L(t) = \frac{\sum_{k=t}^T s(k)}{s(t)}$$

によって与えられる。ここで、 $s(k)$ は車齢 k での生存率であり、

$$\begin{cases} s(0) = 1 \\ s(k) = s(k-1)[1 - d(k-1)] \end{cases}$$

によって定義される(ただし $d(k)$ は車齢 k での廃車率)。1994 年の廃車率を基にした車齢別の平均余命は表 4 のとおりである。ただし車齢 17 と 1/4 年以降廃車率は一定と仮定した。

表 4: 1994 年の廃車率を基にした車齢別平均余命

車齢	余命	車齢	余命	車齢	余命
1/4	11.60	7 1/4	5.96	14 1/4	4.49
1 1/4	10.69	8 1/4	5.55	15 1/4	4.27
2 1/4	9.78	9 1/4	5.29	16 1/4	3.96
3 1/4	8.87	10 1/4	5.16	17 1/4	3.56
4 1/4	7.99	11 1/4	5.06	18 1/4	3.09
5 1/4	7.17	12 1/4	4.90	19 1/4	2.52
6 1/4	6.47	13 1/4	4.71		

表 2 に書いたように、1995 年に使用できなくなる基準非適合車は、1984 年以前に登録されたものである。これは車齢 10 と 1/4 年以上の車に相当する。それらの平均残余使用年数は、表 4 の車齢 10 と 1/4 年以上の余命の重み付け平均値によって与えられるであろう。その際の重みとして、1995 年に現に存在していた全国の子齢別普通ディーゼルトラック保有車両数を用いた(自動車検査登録協会編『自動車保有車両数』から得られる)。1996 年に使用できなくなる車両は、車齢 8 と 1/4 年から 10 と 1/4 年のものであるが、その平均余命も同様にして求めた。1997 年以降に使用できなくなる車両は車齢 8 と 1/4 年のものである。1995 年から 1999 年までのそれらの車両の平均残余使用年数を表 5 に示す。

表 5: 自動車 NO_x 法によって使用できなくなる普通ディーゼルトラックの平均残余使用年数

1995	1996	1997	1998	1999
4.49	5.38	5.55	5.55	5.55

また、『機械統計年報』から普通ディーゼルトラックの平均価格が表 6 のように得られる。

表 6: 普通ディーゼルトラックの平均価格 (円/台)

1995	1996	1997	1998	1999
2549756	2472581	2205592	1927197	1871119

以上により、割引率が 3% のとき、例えば、1995 年の使用期間短縮による 1 台当たりの費用は、

$$2549756 \times (1 - e^{-0.03 \times 4.48865}) = 321235[\text{円}]$$

と計算できる。1996 年から 1999 年の使用期間短縮による費用も同様に計算できる。それらをまとめて表 7 に記す。

小型トラックとバスについても、同様の方法で 1 台当たりの使用期間短縮費用を計算できる。ただし、小型トラックとバスの使用できなくなる車両の車齢は普通トラックとは異なっており、各年ごとに表 8 に示すとおりである。ただし、バスについては、大型バスとマイクロバスとの中間をとっている。

小型トラックとバスの 1 台当たり使用期間短縮費用を表 9 に示す。

NO_x 削減量

特定自動車排出基準非適合車が廃棄されると、基準適合車に切り替わると予想される。それによって NO_x 排出量がどう変わるかを、以下のようにして推定した。

表 7: 普通ディーゼルトラックの使用期間短縮費用 (円/台)

1995	1996	1997	1998	1999
321235	368726	338392	295679	287075

表 8: 小型ディーゼルトラックとバスの使用できなくなる車両の車齢

	1995	1996	1997	1998	1999
小型トラック	9 と 1/4 年以上	7 と 1/4 年 ～9 と 1/4 年	7 と 1/4 年	7 と 1/4 年	7 と 1/4 年
バス	12 と 1/4 年以上	10 と 1/4 年 ～12 と 1/4 年	10 と 1/4 年	10 と 1/4 年	10 と 1/4 年

環境庁『自動車排出ガス原単位および総量に関する調査報告書』(1998年)によると、普通トラック、小型トラック、バスの1996年のNO_x排出原単位は表10のとおりである。

普通トラックとバスのうちの中軽量車、および小型トラックについては、特定自動車排出基準が最新のガソリン車の基準値と同等になるので、基準非適合車の廃棄によって、NO_xの排出が、年間1台当たり、普通トラックで112.5-35.0=77.5[g]、小型トラックで12.1-7.4=4.7[g]、バスで103.8-37.1=66.7[g]削減されると仮定する。普通トラックとバスの重量車については、特定自動車排出基準が最新のディーゼル車の排出基準と同等になることから、過去の排出基準経年の推移から推定して、廃棄される車の初度登録年ごとの削減率を表11のとおりに設定した。廃棄の年ごとに、どの初度登録年の自動車が廃棄されるかが決まっているが、その構成割合を、上の費用の計算のときと同様と仮定し、廃棄年ごとの平均NO_x削減率を表12のとおりと設定した。廃棄前の排出量原単位を表10のディーゼル車のそれとし、表12の削減率を適用して削減量を求めた。

普通トラックとバスでの、排出総量への重量車の寄与率を、『自動車排出ガス原単位および総量に関する調査』(環境庁1998)から、63.0%とすると、中軽量車と重量車とを合わせた平均の1台当たりNO_x排出量の削減量は表13のようになる。

これに、表5の平均残存使用年数を適用して、残存使用期間中の1台当たり総排出削減量の現在価値を求めると、表14のようになる。ただし、総排出削減量の現在価値は、

$$\int_0^T Qe^{-it} dt = \frac{Q}{i} (1 - e^{-iT})$$

によって求めた。ここで、 Q は1台当たり年間排出削減量、 i は年割引率、 T は残存使用年数である。

NO_x 排出削減単価と限界費用

表7と表9と表14とからNO_x排出削減単価を求めると、表15のようになる。

普通トラックと小型トラックとバスとを合わせた削減単価を求めるためには、表7、表9と表14の数値に、廃棄車両数を掛け合わせて集計したものの比をとればよい。そのためのデータと結果とを示したのが表16である。この表の中の廃棄台数は、全国のディーゼル車保有台数の初度登録年別構成比が特定地域に

表 9: 小型ディーゼルトラックとバスの使用期間短縮費用 (円/台)

	1995	1996	1997	1998	1999
小型トラック	127132	148424	162967	173746	180448
バス	435444	468880	470850	463492	462008

表 10: NO_x 排出原単位 (1996 年、単位:kg/台/年)

	ディーゼル	ガソリン
普通トラック	112.5	35.0
小型トラック	12.1	7.4
バス	103.8	37.1

表 11: 重量車の切り替えによる NO_x 削減率

初度登録年	削減率	初度登録年	削減率
1988	14.3%	1981	35.7%
1987	14.3%	1980	35.7%
1986	14.3%	1979	35.7%
1985	26.5%	1978	47.1%
1984	26.5%	1977	47.1%
1983	26.5%	1976	55.0%
1982	35.7%		

環境庁大気保全局 (1994)、7 頁の自動車排出ガス規制による NO_x 排出量低減効果の表から、副室式と直噴式の排出量の割合を半々と仮定して算出。

表 12: 重量車の廃棄年別 NO_x 削減率

	1995	1996	1997	1998	1999
普通トラック	35.5%	26.5%	14.3%	14.3%	14.3%
バス	38.9%	26.5%	26.5%	26.5%	14.3%

表 13: 特定自動車排出基準非適合車の廃棄による NO_x 削減量 (kg/台・年)

廃棄年	1995	1996	1997	1998	1999
普通トラック	53.8	47.5	38.8	38.8	38.8
小型トラック	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
バス	50.1	42.0	42.0	42.0	34.0

表 14: 特定自動車排出基準非適合車の廃棄による NO_x 削減量現在価値 (kg/台)

廃棄年	1995	1996	1997	1998	1999
普通トラック	226.1	236.0	198.4	198.4	198.4
小型トラック	19.3	21.7	22.4	22.4	22.4
バス	159.6	165.9	177.7	177.7	143.9

表 15: 特定自動車排出基準非適合車の廃棄による NO_x 削減削減単価一車両種類別一(万円/t)

廃棄年	1995	1996	1997	1998	1999
普通トラック	142	156	171	149	145
小型トラック	657	684	726	774	804
バス	273	283	265	261	321

も当てはまるとして、特定地域内のディーゼル車保有台数から初度登録年別保有台数を推定し、そのうち使用できなくなる初度登録年に関するものを合計したものである。この結果によると、NO_x 削減単価は、213万円/t～268万円/tである。

表 16: 特定自動車排出基準非適合車の廃棄による NO_x 削減削減単価—総合—(万円/t)

		1995	1996	1997	1998	1999
廃棄台数 (台)	普通トラック	94822	78912	44724	50854	55462
	小型トラック	169268	181131	84336	85812	85890
	バス	6899	7583	2841	2956	3283
費用 (億円)	普通トラック	305	291	151	150	159
	小型トラック	215	269	137	149	155
	バス	30	36	13	14	15
	計	550	595	302	313	329
NO _x 削減量 (t)	普通トラック	21437	18622	8873	10089	11003
	小型トラック	3274	3932	1892	1925	1927
	バス	1101	1258	505	525	472
	計	25812	23812	11270	12540	13402
単価 (万円/t)		213	250	268	250	246

3.1.2 その他の NO_x 削減対策

ガソリン自動車の 2000 年規制対策

日本総研「環境・経済統合勘定の推計にかんする研究」から、NO₂ トン当たり削減費用を約 200 万円と推計した。

固定発生源での排煙脱硝

排煙脱硝設備の建設費は、電力用の脱硝効率の高いアンモニア接触分解法(乾式)で 3000～6000 円/kW(産業機械工業会「排煙脱硝技術に関する調査研究」1993 年 12 月)とされ、NO₂ トン当たりの脱硝費用は 12～17 万円と推計される。排煙脱硝設備は処理されるガスのダークティー度や入口 NO_x 濃度で決まるため、都心近郊に立地している鉄鋼業の焼結炉、コークス炉の脱硝設備、ならびに新規の石炭火力発電所の脱硝設備費は 6500～8000 円/kW とされ(安藤 1990)、NO₂ トン当たりの処理費用は 20～28 万円である。また、製鉄所の焼結炉の脱硝費用は、設備投資が約 56 億円(建設以来の累計投資額)、ランニングコスト約 2 億円、年間 NO₂ 削減量 2000t から推計すると、削減 NO₂ 当たり 27～30 万円と推計できる。

3.1.3 NO_x の限界削減費用

以上から、自動車 NO_x 法の規制に関わる費用の平均的な値である 250 万円/t を NO_x 削減の限界費用としよう。

3.2 SO_x

3.2.1 SO_x 排出削減の物理的な方法

伝統的な大気汚染物質である硫黄酸化物は、原油、重油、石炭等の燃料や、鉄鉱石等の原料に含まれる硫黄分に由来する。それら原燃料が燃焼・焼結等される際に、硫黄分は空気中の酸素と反応して酸化物を構成するのである。それゆえ、ある排出源の SO_x 排出量についての次式のような理解は問題把握の助けとなる。

$$\text{SOx 排出量} = (\text{財の生産量}) \times (\text{原燃料使用量} / \text{財の生産量}) \times (\text{SOx 発生量} / \text{原燃料使用量}) \times (\text{SOx 排出量} / \text{SOx 発生量}) \cdots (1)$$

日本では1960年代後半から、SOxの排出削減が取り組まれ、1970年代後半には全国ほとんどの地点で環境基準が達成されるほどにSOx排出は減少した。そこで実際に用いられてきた物理的な手段は、上記(1)式に即して記述すると次のようである。

表 17: 概念的な SOx 排出削減手段とそれに対応した具体的削減手段

概念的な SOx 排出削減手段	具体的削減手段 (実際に観察されたもの)	SOx 削減目的か?
(財の生産量)の減少	生産量の減少	Yes or No or ?
(原燃料使用量/財の生産量)の減少	省エネルギー	No or ?
(SOx 発生量/原燃料使用量)の減少	原燃料の低硫黄化	Yes
(SOx 排出量/ SOx 発生量)の減少	排煙脱硫、流動床ボイラー	Yes

このうち、汚染削減に大きく寄与したのは、省エネ、原燃料の転換、排煙脱硫、であると考えられる。生産量の減少は、極めて緊急に、または/かつ、一次的に地域の汚染濃度を低減するために、地元自治体の要請に応えるなどの形でなされたことがある。また、国内および国際的な生産拠点の移動という形で、一つのサイトに着目した場合には汚染削減に寄与したケースがしばしば観察された。しかし、それはLCAの観点からの汚染削減とはいえぬであろう。また、生産量の減少は、不況時に非意図的ながら、実施された場合もある。(原燃料使用量/財の生産量)の減少については、生産の効率化、いいかえれば歩留まりの改善、ということも考えられ、多くの場面で取り組まれたようにも考えられるが、これとSOxの削減との定量的な関係に関する知見は見あたらない。省エネルギーは、SOx削減に大きく寄与しているものの、どの程度がSOx削減目的であったか、別の言い方をすれば、SOx削減の要求はどの程度省エネルギー対策を進展させたか、は不明である。一方、原燃料の低硫黄化と排煙脱硫は、SOx削減目的として取り組まれ、排出削減にもかなりの程度寄与したといえることができる(プロジェクトニュース社編 2001)。流動床(層)ボイラーや循環流動層ボイラーは1980年代中頃から導入されるようになり、主に石炭を燃料にした場合に使われているようであり、炉内脱硫が起こるため排煙脱硫装置を必要としないが、当初期待されたほどの普及はしていない。

3.2.2 SOx 排出限界削減費用の推定

限界削減費用は、個別の施設レベルの発生源毎に、上記の削減手段それぞれについて、まず汚染削減量と削減費用のスケジュールを推定し、つぎに、それぞれの汚染削減量毎に最も安価な削減手段とその費用を同定するなどして、先述のように求めることができる。もし、具体的な費用がわからなくても、必要なのは最も安価な削減手段の費用情報であるから、同じ削減量について、他の手段よりも費用が高つくことがわかる場合は当該手段に関する費用情報は不必要である。

生産量の減少による費用は単純には、最後の一単位の生産による利潤の逸失をもとに計算ができるように思われる。しかし、SOxを発生させる主な産業は、電力、鉄鋼、化学、等の素材産業・エネルギー転換産業である。電力は、負荷追従、いいかえれば、必要とされる電力は必ず供給すること、が地域独占の見返りの形で義務づけられている。また、素材産業は、最終製品メーカーへの安定的な供給が求められると考え、SOx削減コストの価格上乗せをしたとしても、自ら要求される生産量より少なく供給することは考えにくいように思われる。価格上乗せの結果、受容者側から要求される生産量が減る、ということはあるかも知れない。実際のところは、実証的なデータが必要であるが、生産量の減少によるSOx排出の限界削減費用は、一般に高いのではないかと推定される。気象条件などからごく一次的に対応する手段としては相対的に安価かも知れない。しかし、ここでは、より恒常的な汚染削減策に関する考察を行うこととし、やや乱暴ではあるが、生産量の減少によるSOx排出限界削減費用は高めである、それゆえ、具体的な費用

の算定は免れるものと推定する。

次に、省エネルギーについて考える。費用最小化主体は省エネルギーについて次の NB を最大化するように省エネルギーを行うであろう。

$$NB = p \times x - C(x) \quad \dots (2)$$

ここで、 p は削減対象のエネルギーの価格、 x は削減量、 $C(x)$ は省エネルギーのコストである。

$C(x)$ を、通常行われるように $C''(x) > 0$ であるように（限界省エネ費用が通増するように）定義すると、NB は $C'(x) = p$ のときに最大化される。すなわち、省エネルギーはその限界費用がエネルギー価格と一致するまで行われると考えられる。エネルギーを全く使用しないで従前と同じ仕事をなすことは困難と思われるので、限界費用は価格より大きくなることがあると考えられる。 $C'(0) > p$ ならば、まったく省エネをしない方がよいとなる。

しかし以上の議論は、SO_x 削減や CO₂ 削減の規制や要求の存在しない状況下でのそれであり、限界費用がエネルギー価格を上回るほどの省エネには何らかの汚染削減目的の可能性がある。その場合、省エネの限界削減費用からエネルギー価格を差し引いたものを $C'(x) - p$ を（正確にはそれを当該エネルギー一単位あたりに含有される硫黄分で除したものを）汚染削減の限界削減費用とみなすのが適当と考えられる。その省エネが SO_x ばかりでなく CO₂ や NO_x 削減目的である場合にも、どの部分が SO_x 削減のための限界削減費用であるかを分割することはできず、共通（単位換算はことなるが）の限界費用とみなすしかないと考えられる。

つぎに原燃料の低硫黄化について考察する。ここで、原料の低硫黄化といった場合、筆者の念頭にあるのは、鉄鋼業における鉄鉱石と原料炭の低硫黄化である。この手段による SO_x 削減については、それらが輸入される際の硫黄分についての保証品位を超過してしまった場合の出荷側の業者に課されるペナルティが、限界削減費用の上限と推定できることを、松野 (1997) で述べた。限界削減費用の上限は鉄鉱石で 7 ~ 110 円 / S 分-kg (1973-86)、原料炭で 300 円 ~ 1800 円 / S 分-kg (1973-86)、であって鉄鉱石の方が低く、実際、この期間に鉄鉱石の低硫黄化は 70 % 以上の幅で行われたが、原料炭の方は全く行われなかった。そして、世界のこれらの資源の貿易量における日本の輸入量の占める割合の大きさゆえに、さらなる低硫黄化が困難であろうことを述べた。これは、そうした事情を勘案した場合、限界削減費用は、直前で上げた数字よりも大きいものとなっているということである。

さて、燃料の低硫黄化であるが、この場合、SO_x の限界削減費用 (MAC) は、必要とされる同一熱量を発生するために必要な燃料の費用 (f) と経常費 (k)、それに燃焼施設の新増設が必要な場合はその投資額を耐用年数 (期間) で平準化 (平準化) した費用 (S)、を足しあわせたものの燃料種間の差額をそれぞれの燃料が含む硫黄分 (su) の量の差で除するなどして求めることができる。ただし、耐用年数前の燃焼施設を取り壊して新たな投資が行われる場合には、残った資産価値を先の投資額に含めて考えるべきであろう。結局、それぞれの SO_x 排出量毎の最安価の燃料種間において次式を適用すればよいのである。ただし、 i, j は燃料種を表す

$$MAC = \{(f_i + k_i + S_i) - (f_j + k_j + S_j)\} / (su_i - su_j) \quad \dots (3)$$

平準化された投資額 S とは、例えば、割引率を r 、耐用年数を n として、 n 年間にわたる同額 S の支払いの現在価値が投資額 C と等しくなるように考えて、

$$C = S \{1 + 1 / (1 + r) + \dots + 1 / (1 + r)^{n-1}\} \quad \dots (4)$$

より

$$S = C \times r \times (1 + r)^{n-1} / \{(1 + r)^n - 1\} \quad \dots (5)$$

とするのがよいであろう。この際、耐用年数 n については、法定耐用年数ではなく、実際の耐用年数を用いるべきである。特に脱硫装置などの公害防止投資については、タックス・ベネフィットを与えるために法定耐用年数が短く設定されているため、それを用いることは平準化された投資額 S を過大に評価することになるため注意すべきである。 m ($< n$) 年経過した時点での残っている資産価値 $C_n - m$ は、

$$C_n - m = S \{1 + 1 / (1 + r) + \dots + 1 / (1 + r)^{n-m-1}\} \quad \dots (6) = C \{(1 + r)^{n-m} - 1\} / [\{(1 + r)^n - 1\} (1 + r)^m]$$

であるといえる。新規投資のために取り壊す施設が耐用年数前である場合は、新規投資額を新たに C_{new} 、取り壊される施設が作られた当時の投資額を C_{old} 、その施設の耐用年数を p 、経過年数を q 、と書くことにすると、(4) 式と (5) 式の C は $(C_{new} + C_{old}p - q)$ で置き換えるべきである。

今回の研究においては、燃焼施設建設の投資額に関する情報を集めるにはいたらなかった。それゆえ、燃料転換という手段に限りつつも、あるべき手続きを踏んでの MAC を求めることはできない。そこで、考察が可能なのは、既存施設を前提にしての燃料種の実選による SO_x 排出の低減である。既存施設を前提とした場合には、どの燃料種を選んでも、燃料費以外の経常費に大きな差はでないと考えることは、ある程度妥当と思われるので、ここではそのように仮定する。

表 18 に同一熱量あたりの最近の燃料価格と、それぞれの燃料が含有する硫黄分との関係およびそれらの算出根拠を示し、図 1 にそれを図示する。ことなる業種が異なる種類の施設において使用する燃料について表示しており、また、当該価格のついた時期も若干異なるため、そのまま単純に比較することは危険である。また、大阪ガスの購入した LPG、LNG は自ら消費するためのものでないという点でその価格の意味が他と異なる。そうしたことを踏まえつつも、これらを見てわかることは、LNG を除けば、S 分の低い燃料は価格が高い傾向にあるということがわかる。電力やガスの LNG の価格が安いのは、その他のここに表示した価格と異なり、長期契約によるそれであるからと考えられる。また、それが可能であることの一つの理由として、圧倒的に大量に輸入するということが考えられる。その他の業種向けでは、ガスとして供給されるが、これは重油などと比べてやや割高であるとされている。またここには確定的なデータが得られず示していないが、原油の生焚きができる発電所であれば、硫黄分を低めた重油を使用するより安い費用で同じ SO_x 削減を実現することができる²。

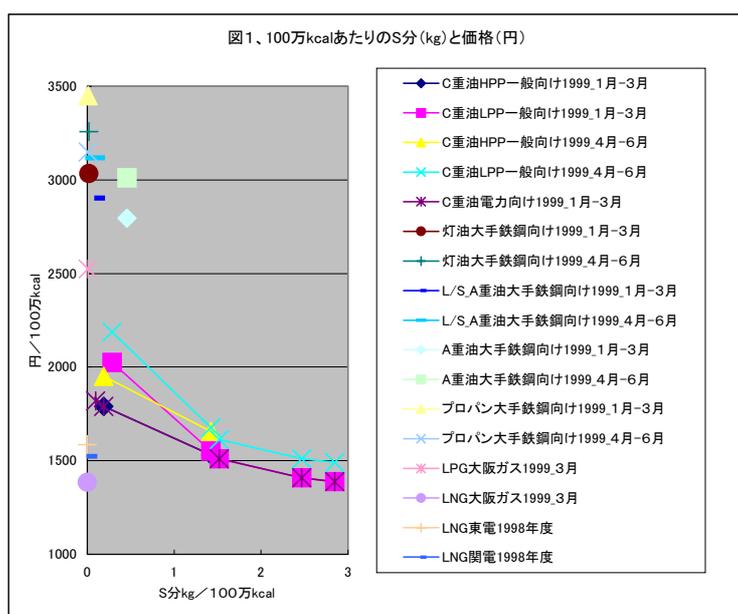


図 1: 100 万 kcal あたりの S 分 (kg) と価格 (円)

次に、既存施設を用いて、かつ、燃料転換に手段を限った場合の SO_x の限界削減費用の計算を試みる。表 18 に掲げた燃料種のみが使用可能であるような施設について行うことが適切である。そのような施設として、重油専焼の火力発電所を考慮することができる。火力発電所で用いられる重油は C 重油であるから、その S 分の違いによる価格差が限界削減費用である。を表 19 に示し、図 2 に図示した。

²松野・植田 (1997) では、関西電力の発電所を例に、そのような場合を示している。

表 18: 同一熱量あたりの燃料の価格と硫黄分含有量

	S 分重量%	比重	価格	価格単位	熱量 (高発熱量)	熱量単位	1000 万 kcal あたりの S 分-kg	1000 万 kcal あたり価格
C 重油 HPP 一般向け 1999 年 1 月-3 月	0.2	0.93	17540	円/kl	9800	kcal/l	0.19	1790
	1.5	0.93	15000	円/kl	9800	kcal/l	1.423	1531
C 重油 LPP 一般向け 1999 年 1 月-3 月	0.3	0.93	19840	円/kl	9800	kcal/l	0.285	2024
	1.5	0.93	15200	円/kl	9800	kcal/l	1.423	1551
	1.6	0.93	14800	円/kl	9800	kcal/l	1.518	1510
	2.6	0.93	13800	円/kl	9800	kcal/l	2.467	1408
	3	0.93	13600	円/kl	9800	kcal/l	2.847	1388
C 重油 HPP 一般向け 1999 年 4 月-6 月	0.2	0.93	19110	円/kl	9800	kcal/l	0.19	1950
	1.5	0.93	16220	円/kl	9800	kcal/l	1.423	1655
C 重油 LPP 一般向け 1999 年 4 月-6 月	0.3	0.93	21440	円/kl	9800	kcal/l	0.285	2188
	1.5	0.93	16420	円/kl	9800	kcal/l	1.423	1676
	1.6	0.93	15800	円/kl	9800	kcal/l	1.518	1612
	2.6	0.93	14800	円/kl	9800	kcal/l	2.467	1510
	3	0.93	14600	円/kl	9800	kcal/l	2.847	1490
C 重油電力向け 1999 年 1 月-3 月	0.1	0.93	17830	円/kl	9800	kcal/l	0.095	1819
	0.2	0.93	17540	円/kl	9800	kcal/l	0.19	1790
	1.6	0.93	14800	円/kl	9800	kcal/l	1.518	1510
	2.6	0.93	13800	円/kl	9800	kcal/l	2.467	1408
	3	0.93	13600	円/kl	9800	kcal/l	2.847	1388
灯油大手鉄鋼向け 1999 年 1 月-3 月	0.02	0.79	27000	円/kl	8900	kcal/l	0.018	3034
灯油大手鉄鋼向け 1999 年 4 月-6 月	0.02	0.79	29000	円/kl	8900	kcal/l	0.018	3258
L/S A 重油大手鉄鋼向け 1999 年 1 月-3 月	0.1	0.83	27000	円/kl	9300	kcal/l	0.089	2903
L/S A 重油大手鉄鋼向け 1999 年 4 月-6 月	0.1	0.83	29000	円/kl	9300	kcal/l	0.089	3118
A 重油大手鉄鋼向け 1999 年 1 月-3 月	0.5	0.85	26000	円/kl	9300	kcal/l	0.457	2796
A 重油大手鉄鋼向け 1999 年 4 月-6 月	0.5	0.85	28000	円/kl	9300	kcal/l	0.457	3011
プロパン大手鉄鋼向け 1999 年 1 月-3 月	0.01		41400	円/トン	12000	kcal/kg	0.008	3450
プロパン大手鉄鋼向け 1999 年 4 月-6 月	0.01		37800	円/トン	12000	kcal/kg	0.008	3150
LPG 大阪ガス 1999 年 3 月	0.01		30290	円/トン	12000	kcal/kg	0.008	2524
LNG 大阪ガス 1999 年 3 月	0.001		18000	円/トン	13000	kcal/kg	0.001	1385
LNG 東電 1998 年度	0.001		20614	円/トン	13000	kcal/kg	0.001	1586
LNG 関電 1998 年度	0.001		19797	円/トン	13000	kcal/kg	0.001	1523

セキツウ (1999) 『石油価格統計集 1999 年版』、石油連盟資料。

注) S 分別の価格差は経年的に大幅に低下している。例えば、C 重油 (電力向け) の最もクリーンな 0.1 % に至る価格勾配をみると、1980 年では 5000 円/0.1 % 前後であり、上の表の 290 円/0.1 % の 1.7 倍程度であった。

表 19: 電力向け C 重油の S 分別の価格差

	S 分 (重量 %) 区間	S 分 (kg/100 万 kcal)	S 分別価格差 (円/S 分 kg)
C 重油電力向け 1999 年 1 月-3 月	0.1-0.2	0.09 - 0.19	311.8
	0.2-1.6	0.19 - 1.52	210.4
	1.6-2.6	1.52 - 2.47	107.5
	2.6-3	2.47 - 2.85	53.8

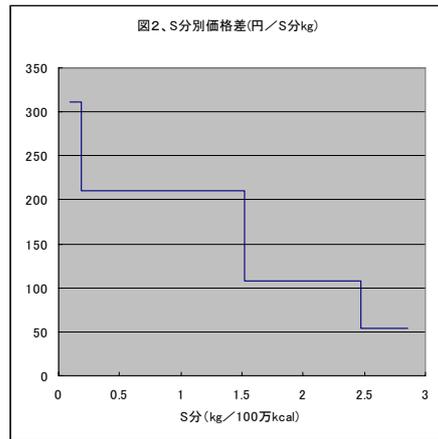


図 2: S 分別価格差 (円/S 分 kg)

これをみると、限界削減費用が S 分の低下に伴い逡増していることが、よりはっきりとわかる。この時期、S 分 0.1 % の C 重油を使用していた重油専焼の火力発電所の限界削減費用は 312(円 / S 分 kg) 程度であった³。時期は異なるものの、先ほど見た原料炭の硫黄分低下による SO_x 削減の困難さがあらためて予想される。もし、重量 S 分が 0.1 - 0.2 % の区間で図 1 における電力向けの C 重油の折線の下に来る、つまりよりやすい費用で燃料 (広くいえば手段) があるならば、限界削減費用はより高くなる。

ここで、S 分 0.1 % の C 重油を S 分 3 % のそれと直接比べた場合、S 分別の価格差は 156.8(円 / S 分 kg) となり、ほぼ半分であり、限界費用と平均費用の違いを具体的にみる事ができる。

ところで、重油の硫黄分を下げるといふ SO_x の削減手段の費用の推定方法として、石油精製会社における重油脱硫にかかる費用を用いる方法がしばしば用いられている。石油精製会社の数は少ないので、これらの企業における脱硫量の総計を知ることにより、日本全体の重油の脱硫量を比較的容易に知ることができ、また、聞き取り等によりその費用も知ることができるので、日本全体での重油脱硫の総費用や平均費用 (原単位) を確実に求める事ができる点でこの方法は優れている。上記に示したデータからはこれらを求めることはできない。しかしながら、重油は脱硫された後 (またされずとも)、様々な過程を経て、様々な費用が加算されてユーザーの手に渡るわけであり、また、SO_x 排出削減手段は重油脱硫だけでないものであり、その他の手段と比較する場合にも、排出源における削減にかかる費用として計上しないと比較できず、各種手段に関する情報を基礎として限界削減費用を算定することもできない。

例えば、財団法人日本総合研究所 (1998) 『環境・経済統合勘定の推計に関する研究報告書』平成 9 年度経済企画庁委託調査は、石油精製会社における重油脱硫の費用と排出源における排煙脱硫の費用とを求めて、これらを足しあわせるなどして、我が国における SO_x 除去の原単位を求めているが、この“足しあわせる”という作業が間違いであるわけである。ちなみに、この研究では、1990 年の重油脱硫の費用を 186.8 億円、SO₂ 換算の脱硫量を 2536 千トン (S 分 1268 千トン) と算定している⁴。すると、その平均費用 (原単位) は 14.7(円 / S 分 kg) と、排出現段階での費用に比べてかなり小さく見積もられていることがわかる。

次に、排煙脱硫及び流動床ボイラ等による脱硫の費用を検討する。流動床ボイラや循環流動層ボイラはかなり脱硫に寄与しているものと思われるが、その実績やその費用を表すデータを入手するに至らなかった。排煙脱硫装置は 1970 年頃から導入されており、主にボイラ向けであったが、最近では廃棄物焼却炉向けのもが増え、設置基数では 4 割を占めているが処理能力では 1 割を占めるにすぎない。逆に設置基数では 3 割弱を占めるにすぎないが、ボイラは処理能力では 7 割を占めている (プロジェクトニュース社編 2001)。

³表 18 で述べた 1980 年であれば 5376 円/S 分 kg である。

⁴この研究も減価償却費を短縮された法定耐用年数 (7 年) を用いて計算している。政策的に短縮されない場合の法定耐用年数 (14 年) を用いた場合に比べ 30 億円程度過大な見積もりとなっている。

脱硫コストについては社団法人日本産業機械工業会(1992)『ばい煙低減技術マニュアル(行政官用)』(平成3年度環境庁委託)、においていくつかのコスト例がでている。その中のデータを用いて、最も一般的と考えられる、石灰石・石膏法の平均費用を推定する。与えられたデータは表20のようである。

表 20: 排煙脱硫に関する費用等のデータ

	設備費 千円/(Nm ³ /h)	運転費 千円/年/(Nm ³ /h)	効率 %
石灰石石膏法	4~8	0.83	90~95
運転費算出条件			
処理能力	660,000 Nm ³ /h (20 万 KW)		
SO ₂ 濃度	2,000 ppm		
脱硫率	90 %		
稼働時間	6,100 h/年		

表 21: 排煙脱硫の平均費用の推定

費用			
年間の運転費用	547,800	千円/年	
設備費	3,960,000	千円	
設備費の平年化	340,354	千円/年	耐用年数 14 年、割引率 3 %
合計 (A)	888,154	千円/年	
S 削減量			
年間排煙量	4,026,000,000	Nm ³ /年	
うち SO ₂ 量	8,052,000	Nm ³ /年	
うち除去 SO ₂ 量	7,246,800	Nm ³ /年	
S 分 kg 換算 (B)	10,352,571	kg/年	
平均費用 (A / B)	85.79	円/kg	

設備費は 6 千円/(Nm³/h)。設備費の平年化は、(5) 式を用いた。

C 重油を焚くボイラーを想定すると、0.85kl が 1 万 Nm³ に対応する等と仮定すると、その S 分は 3.6 % であると計算され、かなりダーティーな燃料を想定しての計算であるといえる。これにより、データの時期が違うことに注意しつつも、86(円/S 分 kg) で 0.4(kg/100 万 kcal) 程度まで脱硫できるのであるから、図 2 と比較すると明らかなように、この程度までの脱硫であれば、排煙脱硫装置を用いた方が低硫黄分の重油を用いるよりも費用が少なくて済む。排煙脱硫装置の設置数が極めて多い理由であろう(2075 基、1998 年 3 月)。

日本総合研究所(1998)は、排煙脱硫についても、その累積投資額など集計されたデータをもとに、その平均費用を求めている。こちらは、排出源における費用であるから、我々が求めたデータと比較が可能である。それによれば、排煙脱硫による除去量 SO₂ 換算で 2666.7 千トン(S 分換算で、1333.35 千トン)で、その費用は 1398.8 億円としており、平均費用は 104.9(円/S 分 kg) と我々の結果ととても近い値となっている。しかも、ここでも当該研究は、短縮された法定耐用年数(7 年)を用いており、短縮されなかった場合の 14 年を用いた場合に比べて、194 億円過大に減価償却費を計上しているので、これを補正すると、90.4(円/S 分 kg) とほぼ我々の結果と一致する。当該研究が求めているのは排煙脱硫全体の平均費用であり、ある典型例のデータを試算している我々の研究の結果と一致する必要はないわけであるが、排煙脱硫による SO_x 低減の平均費用は、およそこの程度である可能性はかなり高いと思われる。

次に、排煙脱硫による SO_x の限界削減費用について考察する。排煙脱硫により SO_x の排出を下げるには、処理能力をあげるか(従前が 100 % 処理でない場合)、使用燃料の含有硫黄分を下げるという”燃料の低硫黄化”との手段ミックスが考えられる。しかし、ここで利用したデータでは、設備費も運転費も処理能力

に関して線形に増加するように与えられており、一方、除去される SO₂ の量も処理能力と線形の関係にあるから、処理能力の増加は平均費用に変化をもたらさず、それがそのまま一定な限界費用となる。ただし、これはあまり妥当とは思われない。例えば、同じ産業機械工業会の 1986 年の報告書では、事例からの帰納的な分析により設備費は処理能力の 0.8 乗に比例すると報告している。これは限界費用が低減することを意味する。それゆえ、効率等に変化を及ぼさないのであれば 100 % 処理が行われることが多いのかも知れない。

燃料の低硫黄化とのミックスを考えた場合、上記のように燃料の低硫黄化自身によりコストは硫黄分の低下に対して逡増するが、さらに、排煙脱硫の場合、硫黄分の除去は、燃料が低硫黄化した分×(1-脱硫効率)、というように燃料の低硫黄化分より少なくしか排出される SO_x は減らないので、コスト逡増は増幅されることになり、さらに、燃料の低硫黄化に伴い効率がさがらば、なおさらである。つまり、この方法による、SO_x 削減の限界費用は削減と共にかなり逡増していくことが予想される。

3.2.3 トップダウンによる推定—公健法賦課金賦課料率

表 22: 公健法現在分賦課料率

	円 / Nm ³			円 / S 分 kg		
	大阪	四日市、富士 福岡、岡山	その他地域	大阪	四日市、富士 福岡、岡山	その他地域
1987 年度	5362.9	2116.94	313.62	3754.03	1481.86	219.53
1996 年度	1850.08	816.21	120.92	1295.06	571.35	84.64

これをみると、これまでのボトムアップ的な計算に比べて、かなり高い値を示しており、日本の企業が直面している SO_x 排出削減の圧力はかなり高いといえる⁵。ただし、実際に企業が汚染削減措置の限界費用がこれらの値に一致するほどに汚染削減に取り組んでいるかはわからない。その理由として、公健法では 1988 年の法改正で大気汚染関係の新規患者の認定打ち切りを行っており、賦課料率はそれ以降減少していくことがわかっていることが関係すると思われる。また、電力などの場合、最も SO_x 排出の少ない LNG が最も安く入手できるといった事情もある。また経時的に見ると、1980 年頃は現在に比べて極めて高い限界削減費用の削減オプションも選択して SO_x の面での環境政策目標を達成し、それ以後、その環境状況を維持しつつも、おそらく技術革新などで削減費用の低下がおこり、図 2 に見るようなかなりの汚染削減レベルにおける限界削減費用でも公健法賦課料率よりかなり低いといった乖離が見られるようになったということも考えられる。

3.2.4 まとめ

推定された限界費用は、排煙脱硫で 85.79 円/S 分 kg、重油の脱硫で 312 円/S 分 kg である (平均費用なら 156.8 円/S 分 kg)。低い方の排煙脱硫の 85.79 円を採用するとして、S 分 kg を SO₂kg に換算して、43 円/kg を SO_x 削減の限界費用とする。

⁵特に大きな排出源に対しては、公害防止協定などを用いた地元自治体の要求が公健法賦課金のそれよりも厳しいものであることもあり得る。

3.3 CO₂

CO₂の限界削減費用については、削減目標を、昨年のCOP7合意に基づく2008-12年における森林のシンク、あるいは京都メカニズム分を含めて、1990年時点の6%削減とした際の値を求める。

すでにCO₂の限界削減費用あるいは損失費用推計は数多くなされており、IPCC第3作業部会報告の中間報告(97年)にはそれまでの内外の研究がレビューされ、まとめられている。

国内では、環境省(環境庁時代を含めて)において過去2回(1992.2001の両年)温暖化対策技術別の削減費用のデータ収集が行われている(1992年は環境庁『地球温暖化防止対策ハンドブック』、第一法規)に所収。2001年は、中央環境審議会中級環境部会、『「目標達成シナリオ小委員会」中間とりまとめ』2001年7月に所収)。この間、国立環境研究所主催のシンポジウム(93年)では国内の削減シナリオ別のマクロ計量モデルの経済インパクトの比較が行われた。同研究所のAIMモデルには、上記の92年データが反映されている。

3.3.1 推計方法

CO₂の限界削減費用推計には、二つの方法がある。一つは、環境省のデータに示されるような個別政策あるいは技術別に直接費用を推計する方法であり、もうひとつはCO₂排出量の需要関数推計を通じた間接的な推計である。

前者は、CO₂削減の個別技術ごとの積み上げによってコストを算出し、これから最も高い削減手段の費用を限界削減費用とするものである。後に示す2001年の環境省の推計はこの方法をとっている。

後者は、CO₂排出量を被説明変数、エネルギー価格(P)を含む説明変数とする対数モデルを設定して推計を行えば、推計された価格のパラメータ(α)が価格弾力性を表すことになる(下のモデルでは所得水準 I も説明変数に加えられている)。

CO₂排出量の対数線形モデル

$$\ln(CO_2) = \alpha \ln(P) + \beta \ln(I) + \dots$$

から

$$\alpha = \frac{\partial CO_2 / CO_2}{\partial P / P}$$

が得られる。

この弾力性をもとに、基準年とターゲット年の2点の排出量の比を決め、基準年のエネルギー価格を定めれば、モデルで得られた弾性値から排出抑制を可能にするエネルギー価格(これはエネルギー価格に炭素税を賦課した際の費用ともいえる)、すなわち削減の限界費用を導くことができる。

3.3.2 限界削減費用推計

積み上げ法

COP3における合意を実現するべく、国内のみのCO₂の抑制技術(狭義の技術のみならず「サマータイム導入」といった政策も含まれる)がどの程度の削減ポテンシャルを有しているかを示した2001年の中央環境審議会中級環境部会、『「目標達成シナリオ小委員会」中間とりまとめ』には、削減量とその費用の関係が示されている。

追加的削減費用の算定式は以下の通りであり、新規の技術の導入により削減された温暖化ガス単位当たりの(新規技術)と(既存技術)の割引差額費用となっている。

$$\begin{aligned} & \text{追加的削減費用 (tC 当たり)} \\ & = \text{削減費用 (tC 当たり)}C - \text{エネルギー軽減費用 (tC 当たり)}P \end{aligned}$$

+その他の利益(費用)・効果(tC 当たり)E

$$C = [(\alpha a \times C_{\text{ainv}} + C_{\text{aO\&M}}) - (\alpha b \times C_{\text{binv}} + C_{\text{bO\&M}})] / R$$

a : 新規技術

b : 既存技術

C_{inv} = 設備投資費用

C_{O&M} = 維持管理費用

R = 温室効果ガスの年間削減量

$$\alpha = r / (1 - (1 + r)^{-n})$$

r = 社会的割引率 = 4%

n = 耐用年数

$$P = \text{エネルギー軽減費用} = (P_b - P_a) / R$$

E = 快適性、輸送頻度、時間、安全性、リスク回避、大気汚染防止等の副次的効果を炭素トン当たりの費用に換算したもの。

ただし、一般的に、効用・利益・不利益は費用換算することが困難な場合が多いため、追加的費用のうち未算定の利益、費用、効果については、計算結果と併せて列挙している。

さて、積み上げの推計結果から、京都会議での合意を達成するために必要な技術的対応によって削減されるCO₂に対応した削減費用を求めてみよう。シナリオでは原発7基が建設されるとした際の2010年におけるCO₂排出量は90年基準値(3.3億炭素トン)の108%に相当する3.55億炭素トンである。また、2010年に達成しなければならない目標量は、90年比6%減の3.1億炭素トンとなる。

さて、報告書では明確に記していないが、いまCOP7で認められた3.7%の森林のシンク分と京都メカニズムによる1.8%のクレジット分を差し引くと、国内の技術的対応で削減する必要のあるCO₂は約2670万炭素トンとなる。これはCO₂トンに換算すると9800万トンとなる(同報告書の分析がこれ以降CO₂トンで書かれているので、ここでも以下の記述はCO₂トンで示す)。

さて、同報告書に削減ポテンシャルと費用が記載されている技術を費用の低い順にソートすると、図3のようになる。

対策技術には対策が代替あるいは補完の関係にあるものが含まれるため、それぞれのポテンシャルを足すことはできないが、これを承知で今それぞれの対策が独立であるものと考えて、目標達成の削減費用を推計すると、

1. 費用算定が不可能であった分をすべて目標達成に含めた場合
2. 費用算定が不可能であった分をすべて除外した場合

の2ケースについての最も高い削減費用を求められる。

目標削減量9800万CO₂トンを実現するためにあたって導入される最も高い技術対策費用は、ケース1で17,000円/CO₂トン(CO₂トンで4,600円)、ケース2で43,000円/CO₂トン(CO₂トンで11,700円)となる。

これらの算定は新技術による電力削減量を火力発電所からのCO₂を回避できたものとして評価したケースであり、これを原子力をも含めた全電源の平均的なCO₂排出量で評価した場合には、削減量は小さくなる。この全電源平均値でのケースでは、削減費用はさらに高くなる。

また、図3のように、削減量が6000万トンを超えるあたりから、削減費用は大きくなる(削減量5000万トンでは削減単価はゼロ、6000万トンで炭素トン当たり7000円、7000万トンで炭素トン当たり14000円、8000万トンで17000円、9000万トンで23000円、1億トンで44000円)ので、COP7達成を技術的対策に依存する場合には、導入技術の費用は相当デリケートに変動するものと考えられる。

以上のように、積み上げ法による評価からはCOP7の目標値を達成するためのCO₂の削減限界費用は、

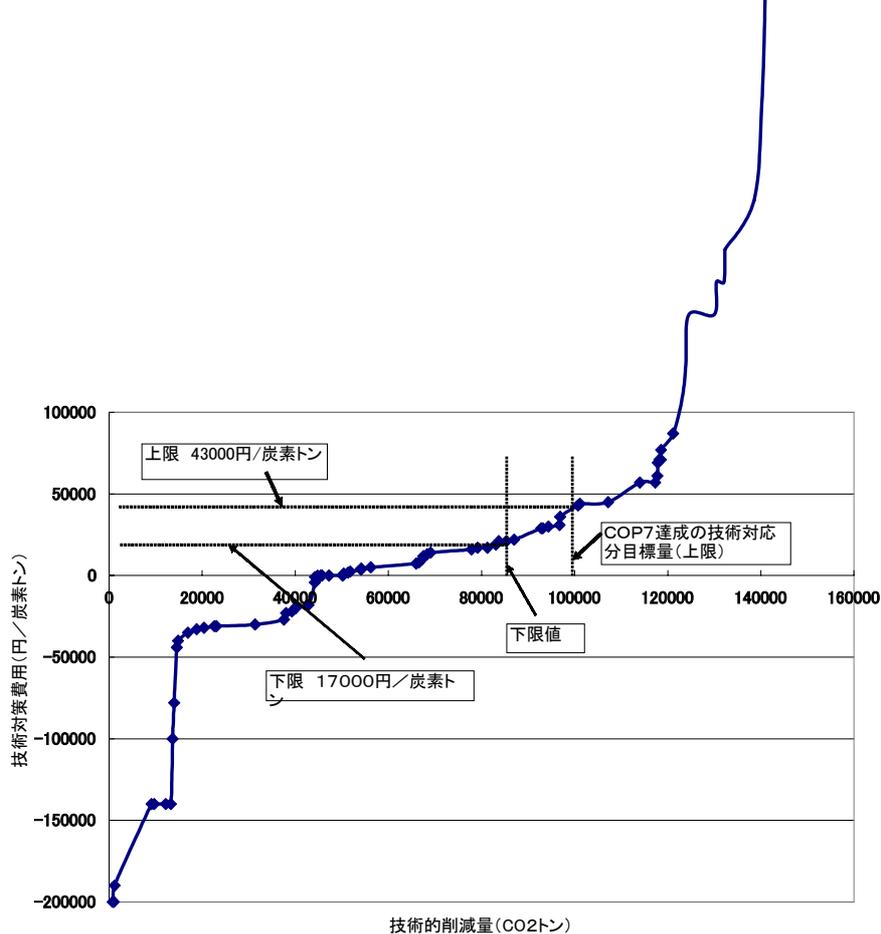


図 3: 環境省の技術削減ポテンシャル評価における CO₂ の限界削減費用推計

表 23: 環境審議会資料からの限界削減費用推計の仮定

	CO ₂ 量 (千トン)
1990 年基準排出量 (炭素トン)	330,000
a)2010 年の計画ケース排出量 (炭素トン)	355,000
b)2010 年の 6%削減時排出量 (炭素トン)	310,200
a)-b) 削減必要量 (炭素トン)	44,800
うち吸収源 (炭素トン)	12,200
うち京都メカニズム (炭素トン)	5,950
技術による削減量 (炭素トン)	26,740
技術による削減量 (CO ₂ トン)	98,050
上限 (算定不可能分を含めない)	98,050
下限 (算定不可能分を含める)	82,750

CO₂ トンにして4,600円(炭素トン当たり17,000円)から11,700円(炭素トンにして43,000円)ということになる。ここでは、その中間のトン当たり8000円程度(計算上は8,150円)としておく。

需要モデルから得られる限界削減費用

さて、マクロモデルなどのエネルギー需要モデルから得られる価格弾性値についても多くの推計例があるが、上で示した環境省の報告では、積み上げ以外にも6つのマクロモデルなどのモデルを用いた炭素税シミュレーションによる分析を行っている。これらのモデルは、上で示したCO₂排出量のシナリオに厳密には対応していないが、2010年時点での二酸化炭素排出量を1990年比2%減するために必要な炭素税を算定している。

各モデルのシミュレーション結果が示す2%削減を可能にする炭素税は、表の通り炭素トンあたり1万3千円から3万5千円の範囲であり、これはCO₂換算にすると3,500円～9,500円程度となる。ただし、これらのモデルでは、経済合理的な判断により、技術選択が行われること、エネルギー価格の変化がエネルギー効率を弾性的に改善させることなどを前提としており、個別の対策が有する社会的制約は反映されていない。

表 24: 各モデルの炭素税額

モデル名	ケース名	炭素税額(2010)
AIM/エンドユースモデル	技術一定ケース	-
	炭素税ケース	30,000
	炭素税+補助金ケース	3,000
GDMEEM	BaUケース	-
	炭素税導入ケース	34,560
MARIA	BaUケース	-
	炭素税導入ケース1	13,148
	炭素税導入ケース2	14,359
SGM	BaUケース	-
	政府支出増加ケース	20,424
	財政赤字削減ケース	21,100
	所得税還付ケース	21,080
AIM/ Materialモデル	BaUケース	-
	炭素税導入ケース	15,587
WWFモデル	WWFスタディ	-

単位:円/tC

積み上げ法と対比した場合二つの推計結果はそれほど大きくは乖離しておらず、下表のようにまとめられる。

表 25: 環境審議会の2001年推計にみる二つの方法のCO₂限界削減費用

	CO ₂ の限界削減費用(円/CO ₂ トン)
積み上げ法	4600～11700 (8,150)
需要モデル	3500～9500 (6,500)

かっこ内は上限、下限の単純平均値

海外での削減費用推計例

海外での推計例(対象は世界)としては、IPCCの中間報告(IPCC第3作業部会編、天野明弘、西岡秀三監訳『温暖化の経済・政策学』、中央法規1997年)が挙げられる。表26にはこの報告の代表的なCO₂削減の限界費用の推計例が示されている。表中、Nordhaus(1993a,b)では、彼の作成したDICEモデルに基づいて、1995年時における計算価格が炭素1トンあたり5ドルだったものが2025年には10ドル、2095年に

は 21 ドル (いずれも 1990 年価格) にまで上昇するという結果を得ている。一方、Fankhauser (1994,1995) では、DICE モデルとは異なった独自のモデルで推定を行っており、その結果によれば、1991~2000 年の炭素 1 トンあたりの計算価格は 20.3 ドルとなっており、2001~2010 年では 22.8 ドル、2011~2020 年では 25.3 ドル、2021~2030 年では 27.8 ドルという結果を得ている。全般的に海外の CO₂ の削減の限界費用は日本の推計より相当小さいことがわかる。最も高い Ayres & Walter の推計結果 (1991 年) においても炭素 t あたりで 3500 円程度であり、これまでに示した日本の推計値の 1/4~1/12 の水準である。

表 26: 大気 10 年毎の CO₂ 排出の限界費用 (1990 年 US ドル/t-C)

文献	1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030
Nordhaus(1991)	7.3			
Ayres and Walter(1991)	30-35			
Fankhauser(1994)	20.3	22.8	25.3	27.8

3.3.3 まとめ

以上の推計結果をまとめると、すでに 80 年代に大規模な省エネを達成し、国際的にも最もエネルギー消費効率が高いといわれる日本のエネルギー消費技術での限界削減費用は世界的な水準よりは相当高く、積み上げ法、需要モデルなどから得られる CO₂ トン当たりの削減費用は 7,000 円程度になっていると考えられる。

3.4 SPM(浮遊粒子状物質)

3.4.1 はじめに

大気中に浮遊する微細な粒子状物質 (PM) の総称を浮遊粉塵と呼び、光散乱法などで測定する。日本では、浮遊粉塵のうち粒径が 10 μ m 以下のものを重量表示したものを浮遊粒子状物質 (SPM, suspended particulate matter 浮遊粒子状物質) と定義している。

日本政府は第 151 回通常国会で自動車 NO_x 法を「自動車 NO_x・PM 法 (自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法)」に改正し、2001 年 6 月 27 日に公布した。

この改正は、大都市地域を中心とする窒素酸化物による大気汚染について、工場等の固定発生源や自動車排出ガスに対する規制に加え、自動車 NO_x 法 (1992 年) に基づいて特別の排出基準を定めての規制 (車種規制) をはじめとする施策を実施してきたが、自動車の交通量の増大等により、目標の大気環境基準をおおむね達成することは困難な状況にあること、一方で浮遊粒子状物質による大気汚染も厳しい状況にあることなどから、自動車交通に起因する粒子状物質の削減を図るために新たに施策を講ずることとなった。今回の自動車 NO_x 法の改正により、(1) 対策を行う対象物質に粒子状物質を追加し、(2) 対策地域を拡大し、(3) 自動車排出ガス対策の強化 (車種規制の導入・強化、事業者に対する措置の強化) を行った。

これを施行するため、窒素酸化物 (NO_x) と粒子状物質 (PM) の対策地域の指定や総量削減計画の達成期限について定める「自動車 NO_x 法施行令の一部改正政令」と、一部規定の施行期日を定める「自動車 NO_x 法の一部改正法の施行期日政令」を 2001 年 12 月 11 日に閣議決定した。

「自動車 NO_x 法施行令の一部改正政令」では、NO_x・PM 対策地域として 276 市区町村を指定した。また、「自動車 NO_x 法の一部改正法の施行期日政令」では、総量削減基本方針の策定・都道府県知事による PM 総量削減計画の策定を 2001 年 12 月 15 日の施行とすることなどを定めた。

3.4.2 埼玉県による SPM 対策調査

平成 8 年度実態調査

埼玉県によるこれまでの調査により、SPM の主要成分は一次物質として寄与する元素状炭素 (ばいじん、PM) と、二次生成物質の硝酸塩、硫酸塩、塩化物塩及び有機性炭素が主要成分であることが明らかになっている。埼玉県での平成 8 年の場合、ばいじん (PM) 排出量は、工場・事業所が約 25%、自動車が約 55%で、全体の約 8 割を占めている。また、二次生成粒子の前駆体物質である SO_x や NO_x についても、工場・事業所、自動車の占める割合が 80~90%となっていることが明らかになっている。

SPM 濃度に対する発生源別の寄与濃度割合 (全局平均) では、自然界由来が 19.7%となっているが、工場・事業所が 11.9%、自動車 26.5%となっており、この二つの発生源で 40%弱の寄与度となっていることが明らかになった。

表 27: 平成 8 年度ばいじん等排出量算定結果

発生源種類	浮遊粒子状物質に係る物質					
	ばいじん (PM)	NO _x	SO _x	HC	HCl	粉じん
工場・事業所	1,901 23.5%	19,991 31.9%	6,686 52.9%	76,294 81.7%	2,898 91.0%	819 55.6%
自動車	4,360 53.9%	33,104 52.8%	5,124 40.6%	15,852 17.0%	- -	654 44.4%
小型ボイラー	124 1.5%	979 1.6%	725 5.7%	- -	- -	- -
小型焼却炉	339 4.2%	128 0.2%	62 0.5%	- -	287 9.0%	- -
一般家庭	163 2.0%	2,941 4.7%	37 0.3%	- -	- -	- -
未規制自動車	311 3.8%	5,504 8.8%	- -	1,184 1.3%	- -	- -
稲わら焼き 11.0%	894 -	- -	- -	- -	- -	- -
合計	8,092	62,647	12,634	93,330	3,185	1,473

表 28: SPM 予測シミュレーションによる発生源種類別・粒子種類別寄与濃度

	ばいじん μ g/m ³	粉じん μ g/m ³	硫酸塩 μ g/m ³	凝縮性 μ g/m ³	硝酸塩 μ g/m ³	塩化物塩 μ g/m ³	HC 由来 μ g/m ³	その他 μ g/m ³	SPM 計 μ g/m ³
工場	0.7	0	1.3	0.2	0.7	0.7	2.8	0	6.3
自動車	6.9	1	0.9	0	4	0	1.2	0	14
その他	1.4	0.7	0.4	0	0.4	3.8	0	0	6.6
域外	1	0.1	1.5	0	1.2	0.2	0.6	0	4.6
自然界	0	0	2.8	0	0	0	0	7.7	10.4
合計	10	1.7	6.7	0.2	6.3	4.7	4.6	7.7	52.9

平成 17 年度 SPM 排出の単純将来予測

埼玉県では、平成 17 年度を環境基準達成のための目標年度として設定した。まず、平成 17 年度の単純排出予想を行った。

1. 固定発生源

廃掃法の改正により、平成 14 年度 12 月 1 日以降、構造基準を超過する施設においては、廃止されることから、対象となる施設を単純将来予測から除外した。

また、条例改正により、焼却能力が 30kg/h 以上の小型焼却炉については、廃掃法の構造基準の適用を受けるため、新設届出施設以外は廃止とし、条例対象外の小型焼却施設については、平成 11 年度小型焼却炉設置状況調査結果を基に施設数を予測した。

平成 12 年 4 月 1 日より、廃棄物焼却炉の塩化水素の排出基準は、上乘せ条例により規制強化されたため、実測値がこの基準を上回る施設については、排出濃度を上乘せ条例の基準値として設定した。これにより、焼却能力 200～500kg/h の焼却炉については、500mg/m³N とし、500kg/h 以上の焼却炉については、200mg/m³N とした。

平成 17 年度までに更新が予想されるボイラー等（廃棄物焼却炉以外のばい煙発生施設）については、NO_x およびばいじん対策施設が最新の設備に更新されることを想定して、施設種類別の排出実態からばいじん及び NO_x 目標濃度を設定し、更新前に目標濃度を超過している施設については、施設更新後に目標濃度まで排出濃度が低減されることとした（更新時期は施設設置後 30 年とした）。目標濃度は NO_x 濃度を施設種類別にソートし、下位 10%の範囲に該当する施設の平均濃度から設定した。

2. 自動車

平成 17 年度の将来走行量は、平成 2 年度、6 年度、9 年度のセンサス交通量の推移から推計された伸び率を用いて推計した。幹線道路の平成 17 年度のフレーム走行量は、センサスの交通量の推移から推計した車種別伸び率を乗じて算定した。なお、新設道路については、計画値をそのまま設定し、既存道路将来交通量については、フレーム走行量から新設道路計画値を差し引いたものを既存道路分として、既存道路の平成 6 年度から 17 年度の伸び率を算定し、平成 6 年度のリンク別・メッシュ別走行量に乗じて算定した。細街路については、平成 6 年度走行量に幹線道路の平成 6 年度から平成 17 年度走行量の車種別伸び率を乗じて算定した。

軽油中の硫黄分は 500ppm として算定した。

表 29: 平成 17 年度単純将来ばいじん等排出量算定結果

発生源種類	浮遊粒子状物質に係る物質					
	ばいじん (PM)	NO _x	SO _x	HC	HCl	粉じん
工場・事業所	1335 22.8%	14037 26.9%	7087 56.1%	76294 80.3%	2046 98.6%	819 47.0%
自動車	2962 50.6%	28511 54.6%	1896 15.0%	17555 18.5%	- -	925 53.0%
小型ボイラー	130 2.2%	1028 2.0%	761 6.0%	- -	- -	- -
小型焼却炉	44 0.8%	12 0.0%	6 0.0%	- -	28 1.4%	- -
一般家庭	174 3.0%	3143 6.0%	40 0.3%	- -	- -	- -
未規制自動車	311 5.3%	5504 10.5%	- -	1184 1.2%	- -	- -
稲わら焼き	894 15.3%	- -	- -	- -	- -	- -
合計	5850	52230	12634	95029	2074	1744

SPM 削減対策案の設定

1. 固定発生源対策

(a) ばいじん発生施設

i. 廃棄物焼却炉対策

表 30: SPM 予測シミュレーションによる発生源種類別・粒子種類別寄与濃度 (平成 17 年単純将来、全局)

	ばいじん μ g/m ³	粉じん μ g/m ³	硫酸塩 μ g/m ³	凝縮性 μ g/m ³	硝酸塩 μ g/m ³	塩化物塩 μ g/m ³	HC 由来 μ g/m ³	その他 μ g/m ³	SPM 計 μ g/m ³
工場	0.5	0	1.3	0.2	0.5	0.5	2.8	0	5.7
自動車	4.3	1.4	0.3	0	2.5	0	1.2	0	9.7
その他	1.3	0.7	0.4	0	0.4	0.4	0	0	3.1
域外	0.9	0.2	1.4	0	0.9	0.2	0.6	0	4.2
自然界	0	0	2.8	0	0	0	0	7.7	10.4
合計	6.9	2.2	6.1	0.2	4.3	1.1	4.6	7.7	42.3

注：全体合計 42.3 μ g/m³ には、不明・誤差分の 9.2 μ g/m³ を含む。

廃棄物焼却炉の一次粒子対策として、焼却能力 200kg/h 以上の廃棄物焼却炉のばいじんの排出基準を 0.04g/m³N とした。また、二次粒子対策として塩化水素濃度を上乘せ基準の半分とし、具体的には焼却能力 200～500kg/h の廃棄物焼却炉で 250mg/m³N、焼却能力 500kg/h 以上の廃棄物焼却炉で 100mg/m³N とした。

ii. NO_x 対策の条例化

「工場・事業場に係る窒素酸化物対策指導方針」の条例化による燃焼管理の徹底等の効果により、NO_x 排出量が 5%削減されるものとした。

iii. 液体専焼ボイラーのばいじん規制強化 (上乘せ条例の改正)

液体専焼ボイラーについては、特別排出基準を適用するものとした。具体的には、規模 20 万 m³N/h 以上の液体専焼ボイラーのばいじん排出規制を 0.04g/m³N、規模 4～20 万 m³N/h の液体専焼ボイラーのばいじん排出規制を 0.05g/m³N とした。

(b) 炭化水素類関係施設対策

現在実施されている「炭化水素類対策指導指針」の条例化により、平成 8 年度から平成 17 年までに 2 割の炭化水素排出量が削減されるものとする。これは平成元年度から平成 10 年度までに、測定局の非メタン炭化水素濃度が 2 割程度低減されたことから、この効果を見込むものとする。

(c) 小型焼却炉対策

条例の施行により、家庭等において使用が見込まれている処理能力 30kg/h 未満の小規模焼却炉約 17,000 施設を全廃とする。

(d) 稲わら焼き対策

改正廃棄物処理法及び条例の施行により、野外焼却は全面禁止される。稲わら焼きは例外行為であるが、対策強化で稲わら焼きを禁止することにより、稲わら焼きによる排出量を見込まないことにする。

2. 自動車対策－NO_x 法改正による車種規制の実施

車種規制の施行時期を、新車については平成 14 年 4 月、使用過程車については平成 15 年 4 月とする。規制の基準は長期規制以上とする (短期規制、元年規制車は買替対象)。なお、3.5t 以下の車両については、ガソリン車並みとする。

猶予期間については、小型貨物・乗用車は 8 年、普通貨物は 9 年、特種は 10 年、バスは 12 年とする。なお、この際、新長期規制の適用時期を 2 年前倒しの平成 17 年とし、さらに、軽油中の硫黄分も従来の 500ppm から 50ppm に低減するものとした。

3. 自動車対策－条例による車種規制の強化

(2) の自動車対策に加え、さらに条例の施行により、車種規制における猶予期間 (小型貨物・乗用車は 8 年、普通貨物は 9 年、特種は 10 年、バスは 12 年) を一律 7 年に短縮して、最新規制車への代替を促進する。

SPM 削減対策の評価

以上 3 つの対策を組み合わせ、下記の 3 つの評価ケースを設定する。

表 31: 対策評価ケースの設定

ケース名称	内容	対策組合せ
A. 単純将来	法律の改正、条例改正による規制強化や施設の更新に伴う排出量の低減効果のみを見込んでいる。	なし
B. 対策ケース 1	単純将来に、対策 (2) の NOx 法改正による車種規制の実施を考慮したケース。	(2)
C. 対策ケース 2	単純将来に、対策 (2) と対策 (3) 条例による車種規制の強化も行ったケース	(3)
D. 対策ケース 3	単純将来に、自動車対策の対策 (2) と対策 (3) に加えて、固定発生源対策の対策 (1) も行ったケース	(1)+(3)

3.4.3 SPM 対策コストの試算

自動車対策コストの推計

対策ケース 1 によって、使用できなくなる自動車は、全部で 7,215 台と推計される。これらの自動車は最新規制車への代替を行うか、対策機器を取り付けるかの選択となる。対策ケース 2 によって、使用できなくなる自動車は、全部で 21,102 台と推計される。これらの自動車は最新規制車への代替を行うか、対策機器を取り付けるかの選択となる。

対策機器について 2 社に対して価格調査したところ、下の表のようになった。また、一台あたりの平均自動車価格は通商産業省 (現、経済産業省) 大臣官房調査統計部の機械統計年報から、下表のように推計した。

この結果から、小型トラックと特種用途車についてはすべて最新規制車種に代替されるものとした。このときのコストは車両価格とする。普通トラックとバスについては、すべて対策機器を取り付けて使用するものと想定し、一台あたり一律 100 万円とした。これらのコストの償却年数は 7 年、均等割りとした。

固定発生源対策コストの試算

1. 廃棄物焼却炉のばいじん対策

廃棄物焼却炉のうち、対策規定値 0.04g/m³N 以上の濃度のばいじんを排出している廃棄物焼却施設は、焼却能力 2t/h 以上の焼却炉で 4 工場 12 施設ある。液体専焼ボイラーは県内に、廃棄物焼却施設の約 10 倍あることから、削減対象となる工場は 120 施設あるものとする。これらの合計 132 施設について、ばいじん対策装置を付加するか更新するものとする。最新で、通常の規模の廃棄物焼却炉に取り付けるバグフィルターは約 4,000 万円である。これが 120 施設であるから、4,800 百万円となる。償却年数 7 年とし、等価償却、金利なしとした場合、685.7 百万円/年となる。

2. 稲わら焼き対策

稲わら焼き対策として、稲わら焼きをやめ、廃棄物焼却炉で可燃ごみとして稲わらを焼却処理するものとする。稲作作付け面積 44,700ha、稲わら生産係数 50kg/a、焼却比率 5%とすると、埼玉県内で 11,175t の稲わらが焼却されていたこととなる。これを可燃ごみ処理費用 20 円/kg で焼却処理すると、毎年 223.5 百万円のコストが必要となる。

3. その他の扱い

それ以外の固定発生源対策も潜在的なコストが発生すると予想するが、予測することが大変困難なため、便宜的にコストはゼロとして計算を進める。

表 32: 対策評価ケースのばいじん等排出量推定結果

発生源種類	浮遊粒子状物質に係る物質					
	ばいじん (PM)	NOx	SOx	HC	HCl	粉じん
工場・事業所	1901	19991	6686	76294	2898	819
	1335	14037	7087	76294	2046	819
	1335	14037	7087	76294	2046	819
	1335	14037	7087	76294	2046	819
	1119	13809	7087	61035	1548	819
自動車	4360	33104	5124	15852	-	654
	2962	28511	1896	17555	-	925
	2776	27166	261	16214	-	925
	2529	26255	260	15664	-	925
	2529	26255	260	15664	-	925
小型ボイラー	124	979	725	-	-	-
	130	1028	761	-	-	-
	130	1028	761	-	-	-
	130	1028	761	-	-	-
	130	1028	761	-	-	-
小型焼却炉	339	128	62	-	287	-
	44	12	6	-	28	-
	44	12	6	-	28	-
	44	12	6	-	28	-
	0	0	0	-	0	-
一般家庭	163	2941	37	-	-	-
	174	3143	40	-	-	-
	174	3143	40	-	-	-
	174	3143	40	-	-	-
	174	3143	40	-	-	-
未規制自動車	311	5504	-	1184	-	-
	311	5504	-	1184	-	-
	311	5504	-	1184	-	-
	311	5504	-	1184	-	-
	311	5504	-	1184	-	-
稲わら焼き	894	-	-	-	-	-
	894	-	-	-	-	-
	894	-	-	-	-	-
	894	-	-	-	-	-
	0	-	-	-	-	-
合計	8092	62647	12634	93330	3185	1473
	5850	52230	9790	95029	2074	1744
	5664	50845	8155	93688	2074	1744
	5417	49974	8154	93138	2074	1744
	4263	49734	8148	77789	1548	1774

上段より、平成8年基準年、平成13年単純将来(A)、対策ケース1(B)、対策ケース2(C)、対策ケース3(D)を示す。

表 33: SPM 予測シミュレーションによる発生源種類別・粒子種類別寄与濃度 (全局)

	ばいじん μ g/m3	粉じん μ g/m3	硫酸塩 μ g/m3	凝縮性 μ g/m3	硝酸塩 μ g/m3	塩化物塩 μ g/m3	HC 由来 μ g/m3	その他 μ g/m3	SPM 計 μ g/m3
工場	0.7	0	1.3	0.2	0.7	0.7	2.8	0	6.3
	0.5	0	1.3	0.2	0.5	0.5	2.8	0	5.7
	0.5	0	1.3	0.2	0.5	0.5	2.8	0	5.7
	0.5	0	1.3	0.2	0.5	0.5	2.8	0	5.7
	0.4	0	1.3	0.2	0.5	0.4	2.2	0	5
自動車	6.9	1	0.9	0	4	0	1.2	0	14
	4.3	1.4	0.3	0	2.5	0	1.2	0	9.7
	4	1.4	0	0	2.4	0	1.1	0	8.9
	3.7	1.4	0	0	2.3	0	1.1	0	8.4
	3.7	1.4	0	0	2.3	0	1.1	0	8.4
その他	1.4	0.7	0.4	0	0.4	3.8	0	0	6.6
	1.3	0.7	0.4	0	0.4	0.4	0	0	3.1
	1.3	0.7	0.4	0	0.4	0.4	0	0	3.1
	1.3	0.7	0.4	0	0.4	0.4	0	0	3.1
	0.7	0.7	0.4	0	0.4	0	0	0	2.2
域外	1	0.1	1.5	0	1.2	0.2	0.6	0	4.6
	0.9	0.2	1.4	0	0.9	0.2	0.6	0	4.2
	0.9	0.2	1.4	0	0.9	0.2	0.6	0	4.2
	0.9	0.2	1.3	0	0.9	0.2	0.5	0	4
	0.9	0.2	1.3	0	0.9	0.2	0.5	0	4
自然界	0	0	2.8	0	0	0	0	7.7	10.4
	0	0	2.8	0	0	0	0	7.7	10.4
	0	0	2.8	0	0	0	0	7.7	10.4
	0	0	2.8	0	0	0	0	7.7	10.4
	0	0	2.8	0	0	0	0	7.7	10.4
合計	10	1.7	6.7	0.2	6.3	4.7	4.6	7.7	52.9
	6.9	2.2	6.1	0.2	4.3	1.1	4.6	7.7	42.3
	6.6	2.2	5.8	0.2	4.1	1.1	4.5	7.7	41.3
	6.2	2.2	5.8	0.2	4	1.1	4.4	7.7	40.8
	5.5	2.2	5.8	0.2	4	0.6	3.9	7.7	38.9

上段より、平成 8 年基準年、平成 13 年単純将来 (A)、対策ケース 1(B)、対策ケース 2(C)、対策ケース 3(D) を示す。

表 34: 環境基準超過局数

	一般局	自排局	合計
基準年	52	13	65
単純将来	21	7	28
対策将来ケース 1	15	6	21
対策将来ケース 2	11	4	15
対策将来ケース 3	3	1	4

表 35: DPF 装置の方式と価格

方式	使用燃料	価格
(1) 自動車を使用していないときにフィルターに捕集した物質を外部電源により車上で焼却する方式の DPF	現行軽油	約 80 万円
(2) フィルターをはずし、捕集した物質を外部電源により焼却する方法の DPF	現行軽油	DPF 約 100 万円 再生装置 約 60 万円
(3) 酸化触媒による酸化作用及び排気ガスの熱によりフィルターに捕集した物質を燃焼する方式の DPF	低硫黄軽油	約 100 万円

表 36: 一台あたり平均自動車価格の推定値

	価格 (円/台)
普通トラック	2,445,114
小型トラック	1,038,705
バス	4,282,386
特種用途車	816,487

表 37: 自動車対策において対象となる台数

		自動車対策 (2) の 対象台数	自動車対策 (2) の コスト (百万円)	自動車対策 (3) の 対象台数	自動車対策 (3) の コスト (百万円)
代替	小型トラック	194	2,015	438	4,550
	特種用途車	78	64	356	291
対策機器	普通トラック	6,924	6,924	20,182	20,182
	バス	19	19	126	126
合計 (台、百万円)		7,215	9,022	21,102	25,149
合計 (百万円/年)			1,289		3,593

SPM 削減の限界削減コストの試算

対策ケースによる SPM 濃度削減とコストの関係は次表のようになる。ただし、対策ケース 3 の固定発生源対策のコストはすべて推計できているわけではないので、もう少しコストがかかる可能性があることを+の記号を付して示した。

これによると、最も限界削減コストの高いのは、自動車対策の車種規制での猶予期間の短縮で、1 μ g/m³ あたり、2,395 百万円のコストが必要であった。逆に最も限界削減コストが低かったのは、固定発生源対策で、1 μ g/m³ あたり、478 百万円のコストであった。

表 38: SPM 濃度削減の限界削減コスト試算結果

	SPM 濃度 μ g/m ³	累積削減濃度 μ g/m ³	累積追加 コスト (百万円/年)	単独削減濃度 μ g/m ³	単独追加 コスト (百万円/年)	限界削減 コスト (百万円/ μ g/m ³)
平成 8 年基準年	52.9	-	-	-	-	-
平成 13 年単純将来	42.3	-	-	-	-	-
対策ケース 1	41.3	1.0	1,289	1.0	1,289	1,289
対策ケース 2	40.8	1.5	3,593	1.53	3,593	2,395
対策ケース 3	38.9	3.4	4,502+	1.9	909+	478+

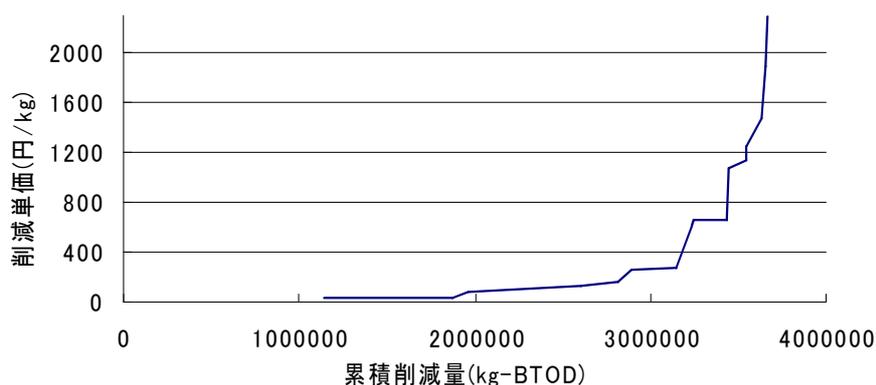
環境基準達成のシナリオを「対策将来ケース 3」であるとし、13 年度の単純ケースとの比較で費用推計を考える。両者の自動車からの PM 排出量削減量は、単純ケース 2962t に対してケース 3 が 2529t であるので、その差約 430t が PM として削減される。対策技術としては DPF 方式の付帯装置 (単価 100 万円) を想定し、これがケース 3 の場合すべての普通トラックとバスに取り付けられるとする (対象台数はそれぞれ 20182 台、126 台の合計 20,308 台)。装置の耐用年数を 7 年とすると、1 台当たりの単純年コストは 100 万円/7 であり、維持管理費はかからないとする。これによって 430t の PM が削減できるから、DPF 装置設置の平均費用は $1000000/7 \times (20182+126)/(2962-2519) = 670$ 万円/PM-t となる。これを SPM 削減の限界費用とする。

3.5 富栄養化原因物質

3.5.1 琵琶湖工場排水

日本で閉鎖性水域の富栄養化に対する政策が最も早くとられた地域は琵琶湖集水域である。そして、この地域がそれに最も大きな費用をかけていると思われる。琵琶湖集水域では、1980年に滋賀県琵琶湖富栄養化防止条例が制定され、世界で初めて、窒素・りんに関する工場排水規制が導入された。これに対応して、この地域の工場は、排水対策を行ったが、その費用と汚濁負荷の削減効果に関して、図4のようなデータがある。

図4: 琵琶湖工場廃水汚濁負荷排出削減費用



注)1991年度滋賀県琵琶湖研究所調査。

これは、琵琶湖集水域に立地する21の工場の排水処理にかかった費用とそれによる汚濁負荷削減効果とから、汚濁負荷1単位あたりの費用を工場ごとに算定し、その小さい順に並べて、累積削減量と負荷1単位あたり削減費用との関係をグラフ化したものである。ここで汚濁負荷はBTODという指標で測っており、BTODは

$$BTOD = 2COD + (21TN + 310TP)/2$$

と定義される(単位はkg)。

この図では、費用単価の上限値が2400円/kg程度(正確には2363円/kg)であるように描いているが、実際には、これよりも単価の高い削減費用をもっている工場が4つあり、単価の上限は42,314円/kgであった。しかし、これは例外的に高い値であり、CODでもTNでもTPでもないような汚染物質を減らすための費用が含まれているなどしたために、異常に高い値を示したものと考えられる。2400円/kg以下の範囲に全削減量の99.9%が入っている。さらに、1500円/kg以下の範囲に全削減量の99.0%が、1000円/kg以下の範囲に全削減量の93.6%が入っている。全体の平均費用は236円/kg-BTODである。

3.5.2 荏原製作所データ

工場排水の負荷削減単価については、荏原製作所の実績から得られた、表39のようなデータもある。

3.5.3 琵琶湖流域下水道

琵琶湖集水域では、工場排水だけでなく、生活排水その他の汚濁負荷削減対策も行われており、その中で最も大きな役割を占めているのが下水道である。4つの流域下水道と津市公共下水道が削減の大きな割合

表 39: 工場排水負荷削減単価

業種	削減負荷 (kg/年)				年費用 (千円/年)	削減単価 (円/kg-BTOD)
	COD	TN	TP	BTOD		
畜産加工	78750	14700	6300	1288350	28365	22
半導体	109760	49280	0	736960	62757	85
自動車	0	3141.6	0	32987	15362	466
計				2058296.8	106484	52

を占めているが、東北部流域下水道について、完成までの予想を含んだ、負荷削減単価を計算してみた結果が表 40 である。

表 40: 流域下水道の負荷削減単価 (琵琶湖東北部予想と実績)

項目	単価 (円/kg)
COD	9,319
窒素	82,873
りん	510,300
BTOD	1,550

注) 岡敏弘 (1992) 「生活排水処理システムの効率性評価の試み」琵琶湖研究所 10 周年記念シンポジウム記録集『琵琶湖研究 10 年の成果と今後の課題』228-238 から。

3.5.4 限界費用

琵琶湖工場排水負荷の 99.0%が 1500 円/kg-BTOD 以下で削減されていること、荏原製作所からの工場排水削減単価がすべて 1500 円/kg-BTOD よりも小さいこと、生活排水負荷削減単価が 1550 円/kg-BTOD であって、この程度の費用がかかる生活排水からの負荷削減は、当然のこととして大々的に行われていることを考慮し、富栄養化物質にかかわる環境負荷削減の限界費用を 1550 円/kg-BTOD とする。

3.6 TCE、PCE

「名水秦野盆地湧水群の復活に向けて」(秦野市環境部、平成 8 年 2 月)に基づき、トリクロロエチレン (TCE)、テトラクロロエチレン (PCE) の対策費用を算出した。

いずれの物質に関しても、処理対策メニューはほぼ同一であることから、平均処理単価 (単位回収量当たりの処理費用) は両者共通であるとした。回収量、費用 (調査費用、浄化費用) を浄化方法別にまとめて、それぞれの平均処理単価 (単位回収量当たりの処理費用) を算出した。同一場所において一つの物質を、同一方法で複数回に分けて処理している場合は、全体で 1 回の処理としてカウントした。また、両方の物質を同時に処理している場合は、処理量合計対全体費用について計算を行った (合計処理量だけが示され、個別の処理量が判らない場合も同様とした)。なお、調査費用、浄化費用の区分がされていないケースもあり、調査費用、浄化費用の内容について必ずしも明確には規定されていない。結果は、表 41 のとおりとなった。この表から、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンの限界費用を 1505.3 円/kg(堀上低温加熱処理) とする。

表 41: TCE、PCE 処理単価

処理方法	件数	平均単価 (万円/kg)		最大単価 (万円/kg)	
		浄化費用	合計費用	浄化費用	合計費用
原位置真空抽出法	20	136.2	313.8	2166.7	3166.7
原位置ガス吸引法	13	17.7	115.0	100.0	1000.0
堀上低温加熱処理	2	1505.3	1709.7	3000.0	3400.0
堀上産廃処分	4	276.7	558.0	1000.0	2000.0
堀上封じ込め処理	2	633.5	633.5	1034.5	1034.5
全処理方法	41	203.4	358.3	3000.0	3400.0

(合計費用は調査費用+浄化費用、堀上処理全体は堀上低温加熱処理、堀上産廃処理、堀上封じ込め処理の合計。)

3.7 重金属

3.7.1 調査の範囲

調査対象技術は、メッキ排水中の重金属処理技術と一般廃棄物埋立処分場の廃水処理技術である。対象とした事業所は、電子部品製造 3 工場、液晶製造 1 工場、プラスチックメッキ 1 工場、亜鉛メッキ 1 工場と一般廃棄物埋立処分場 1 箇所である。処理対象重金属種と重金属濃度は表にまとめた。

対象重金属と濃度

調査の対象とした重金属は、Fe,Cu,Zn,Ni,Sn,Pb,Sb,As,Cd,Cr,Hg,Mo である。排水中の濃度は 43ppm から 1,310ppm であった。表にみるように、電子部品製造業の中でも排水濃度の開きは 30 倍にも達していた。一般廃棄物埋立処分場からの対象金属類の排水濃度は 386ppm であり、電子部品製造業排水の濃度範囲に入っていた。

表 42: 重金属排水データ

事業所	重金属種	排水量 (m ³ /d)	総金属量 (kg/d)	排水濃度 (ppm)
液晶製造 A	Fe,Zn,Cu,Ni	46.1	22.9	497
電子部品製造 B	Fe,Pb,Cu,Sn	264	32.8	124
プラスチックメッキ C	Fe,Cu,Ni	46.1	13.8	300
電子部品製造 D	Ni,Sn,Pb,Cu	752.7	32.0	42.5
電子部品製造 E	Fe,Cu,Ni	67.2	88.5	1,310
亜鉛メッキ F	Fe,Zn	80	31.7	396
埋立処分場 G	Sb,As,Cd,Cr,Cu, Pb,Hg,Mo,Ni	756	291.8	386

3.7.2 推計方法

メッキ工場廃水処理技術に関しては、重金属廃液処理システムの製造企業から、物量、設備費に関する実績値をヒアリングし、共通の価格を乗じて経費を推計した。経費としては、薬品等の消耗品費、廃棄物処理費用、エネルギー費用 (電力費)、設備償却費、人件費を考慮した。処理費の中で、固形廃棄物処理費に関しては、廃棄物処理業者の引き取り費用を用いているので、産業廃棄物としての処理費用が社会的にみて適切であるという前提がおかれていることになる点に注意が必要である。

現段階で入手してきたデータ、価格等は付属資料にまとめた。

設備・工事の原価償却費の計算方法としては、年間稼働日数 275 日、割引率 7.2% とし、設備に関しては償却年数 7 年、スクラップバリュー 10%、建家・土木・工事に関しては 30 年、スクラップバリューなしで計算した。

一般廃棄物埋立処分場に関しては、施設建設費用 (水処理施設を含む) は水処理施設の費用を建屋と装置で 1/2 ずつとみなし、年間 365 日稼働で計算した。

計算式は以下の通りである。(自信がないので、確かめていただきたい。全体で標準化する必要もあると思う。)

$$\theta = \frac{(1 - v_s)(1 + r)^n}{\sum_{k=1}^n (1 + r)^k} \quad (1)$$

ここで、 θ , v_s , r , n は、それぞれ年間経費率、スクラップバリュー、割引率、償却年数である。考え方のベースは、毎年一定の金額 (名目) の償却費を積み上げてゆき、この償却費は割引率に相当する利率で運用できるものとする。償却年数すぎた時点で、設備の価値は当初の設備投資額スクラップバリューに相当する額となっている。スクラップバリューと積み立てた償却費用の合計額が当初の設備投資額に割引率に相当するインフレが起こったとしたときの金額と等しくなることを条件として経費率を求める。

3.7.3 計算結果と考察

計算結果を表にまとめた。重金属類の削減費用は 1,766 円/kg から 20,626 円/kg となり、調査した範囲内での最大値は 20,626 円/kg であった。サンプル数が多くないが、いくつかの示唆に富む情報がある。一般に”end of pipe”型の技術では費用が排出物質量によって支配される場合と、処理量に支配される場合がある。規制値と比較して処理前濃度が高い場合には前者となり、処理前濃度が比較的低い場合には、後者となる。メッキ工場廃液処理の場合には、前者であることがわかる。工場 D と E を比較すると、排水濃度は 300 倍異なっているにもかかわらず、処理単価は 3 倍しか違わない。一般廃棄物埋立処分場の排水処理施設の処理単価はメッキ工場の処理単価よりも低く、1,766 円/kg となった。

表 43: 重金属処理コスト

事業所	重金属種	排水濃度 (ppm)	処理コスト (円/kg)	人件費比率 (%)
液晶製造 A	Fe,Zn,Cu,Ni	497	20,626	54.1
電子部品製造 B	Fe,Pb,Cu,Sn	124	10,793	72.3
プラスチックメッキ C	Fe,Cu,Ni	300	7,572	61.0
電子部品製造 D	Ni,Sn,Pb,Cu	42.5	9,163	76.5
電子部品製造 E	Fe,Cu,Ni	1,310	3,192	68.3
亜鉛メッキ F	Fe,Zn	396	3,667	55.0
埋立処分場 G	Sb,As,Cd,Cr,Cu, Pb,Hg,Mo,Ni	386	1,766	N.A.

処理排水量、処理濃度に対するスケール効果を分析するために、重金属重量あたり処理費用 (Cost:円/kg) を被説明変数、1 日あたり排水量 ($Q:m^3/日$)、対象重金属総濃度 ($C:ppm$) を説明変数として、対数型多変量解析を試みた。

サンプル数が 7 と少ないが、t 値の大きさは 2 以上であり、符号条件も予想と一致した結果が得られた。

$$Cost = 10^{6.939} \cdot Q^{-0.6103} \cdot C^{-0.7403} \quad (2)$$

表 44: 回帰統計

回帰統計	
重相関係数 R	0.8109
重決定係数 R^2	0.6576
補正重決定係数 R^2	0.4864
標準誤差	0.2579
観測数	7

表 45: 回帰結果

	係数	標準誤差	t 値
切片	6.939	1.140	6.089
排水量	-0.6103	0.2513	-2.428
濃度	-0.7402	0.2875	-2.575

3.7.4 結論

今回調査した範囲では、重金属の削減費用は 20,626 円/kg が最も高く、限界削減費用は 20,626 円/kg よりも高いと推定される。

重金属重量あたり処理費用 (Cost:円/kg) を被説明変数、1 日あたり排水量 ($Q:m^3$)、対象重金属総濃度 ($C:ppm$) を説明変数として、対数型多変量解析を試みた結果、処理費用は排水量の -0.6103 乗、排水濃度の -0.7403 乗に比例する結果が得られ (式 2)、排水量、排水濃度に対する顕著なスケール効果が明らかとなった。

3.8 ダイオキシン

Kishimoto et al. (2001) から、ダイオキシン削減の限界費用を、1900 万円/g とする。

3.9 CFC

フロン削減対策として最も大きかったものは、モントリオール議定書に基づく、特定フロンの生産の中止 (1995 年限りでの) であつたろう。それにはもちろん費用がかかったが、代替物質の開発やフロンを使わない洗浄工程の開発や無洗浄工程の開発などによる対応の中には、非常に安い費用で、あるいはマイナスの費用で、つまりかえって利益を出しながら行われたものもあつたと思われる。

オリンパス光学工業辰野工場では、1986 年には洗浄用に CFC-113 を 44t/年—うち 8 割がレンズの洗浄、2 割が金属部品の洗浄—使っていた。フロン全廃をめざして洗浄剤の開発を進め、93 年にはフロン全廃を達成した。設備の改良に、レンズ用 1600 万円、金属用に 10 万円かかった。7 年償却利率 5% で 1 年あたりの費用に直すと、274 万円となる。洗浄剤の切替によってランニングコストは、1320 万円から 2700 万円へと 1380 万円増加した。したがって、1 年あたり 1654 万円の費用をかけて 44t の CFC-113 を削減したことになる。よってその単価は 376 円/kg である。オゾン層破壊係数 1 の CFC-12 の 1kg あたりに換算すると、470 円/kg である (鳶坂 1996)。

精工舎は、1987 年には洗浄工程に CFC-113 を年間 138t 使っていた。フロン規制をにらんで、代替技術 (ジェットエア、水洗浄) を開発するための投資を、91 年に 1 億 2400 万円、92 年と 93 年に 2 億 5400 万円

ずつ行った。開発投資の総額は6億3200万円になる。設備投資は2億円であったが、ランニングコストの低下でそれは相殺されてトータルコストはむしろマイナスであったという(日経マテリアル&テクノロジー編 1993)。そこで、開発投資だけがフロン削減のためにかかった費用であると見なせば、それは1年あたり8216万円(10年5%)となり、これで138t/年のCFC-113を削減したので、その削減単価は、595円/kgとなる。CFC-12に換算すると、744円/kg。

また、同社はトリエタンも113t/年使っていたが、これも2億円の設備投資を行って全廃した(日経マテリアル&テクノロジー編 1993)。設備投資の年価値は2600円となり、したがって、削減単価は230円/kgである。CFC-12に換算すると、2300円/kg。

キャノンは1986年にCFC-113を438t/年使っていたが、92年にはこれを全廃した。宇都宮光機工場では、89年の下半期に2.11使っていたが、1億7000万円かけてこれを全廃した(日経マテリアル&テクノロジー編 1993)。単価は5240円/kgである(CFC-12換算で6550円/kg)。

バルブ製造のユタカは、規制前、CFC-113を月25~50kg、トリエタンを月100kg使っていた。このうち、CFC-113を超純水洗浄の導入で全廃した。洗浄装置が2500万円で、従来の洗浄装置が800万円であったから、1700万円の増である。超純水の循環使用のランニングコストは100万円/月であり、これは従来の3~5倍であるという(日経マテリアル&テクノロジー編 1993)。設備投資の年価値が221万円、ランニングコストの増加分は、 $1200[\text{万円/年}] \times (3/4) = 900[\text{万円/年}]$ 。CFC-113の購入費の節約分 $640[\text{円/kg}] \times 450[\text{kg/年}] = 28.8[\text{万円/年}]$ を差し引くと、費用の増加分は1092.2円/年となる。これで年間450kgのCFC-113を削減したとすると、削減単価は24000円/kgとなる(CFC-12換算で30000円/kg)。

その他、7事例での削減単価は、CFC-12換算で、363~5000円/kgであるという(蔦坂 1996)。以上11社の削減単価を単純に平均すると、CFC-113で5420円/kg、トリエタンで7770円になる(蔦坂 1996)。

また、フロンの生産が止まってからもその需要はあり、フロンの価格は上昇していった。CFC-113の価格が210円/kgの価格が850円/kg程度まで上がったという情報がある(日経マテリアル&テクノロジー編 1993)。640円/kgの上昇である。CFC-113がこの価格で入手できたということは、それよりも安い費用でCFC-113の使用をやめることができるのなら、高くなったCFC-113を市場で調達することは利益でなかったであろうということの意味している。これは、CFC-113削減の限界費用がこれに近かったであろうと思われる証拠である。CFC-12換算では800円/kgである。

これらをまとめると、工場の洗浄工程でのフロン廃止の費用はCFC-12の1kgあたりに換算して数百円~数千円である(一例だけ3万円)。

さて、使われたフロンの回収には、フロンの生産をやめることよりもっと大きな費用をかけている。フロン回収費用について、表46のようなデータがある。

最も大きい値は、東京都の家庭用冷蔵庫からの回収費用47000円である。これを限界費用と見なしてよいかというと、必ずしもそうではない。もしかしたら、東京都のものは例外的に高い値かもしれないからである。しかし、この表からは、家庭用冷蔵庫からの回収費用は、他のものからの費用と比べて総じて高いことがわかる。しかも、家庭用冷蔵庫からのフロンの回収は多くの都府県で行われており、これを行うことは全国的趨勢であるようだ。これくらい費用をかけてもフロンを回収しようというのが、ほぼ合意事項のようなのである。そこで、この家庭用冷蔵庫からの回収費用を単純平均すると、24000円/kgとなる。これをCFC削減の限界費用と見なしてよいだろう。

3.10 まとめ

得られた限界費用の結果をまとめると、表47のようになる。

表 46: フロン回収費用

フロン回収費用 (円/kg)	対象	主体	年
47,367	家庭用冷蔵庫	東京都	1993
13,931~19,636	家庭用冷蔵庫	兵庫県	1993
19,460	家庭用冷蔵庫	山形県	1994
21,210	家庭用冷蔵庫	新潟県	1994
14,063~15,666	家庭用冷蔵庫	大阪府	1994
11,005	家庭用冷蔵庫	広島県	1994
37,017	家庭用冷蔵庫	大分県	1994
2,260	業務用エアコン	岐阜県	1993
1,367	業務用エアコン	大分県	1994
1,231	カーエアコン	兵庫県	1993
3,855	カーエアコン	山形県	1994
5,324~6,366	カーエアコン	大阪府	1994
7,264	カーエアコン	広島県	1994
801~3,301	カーエアコン	大分県	1994
6,392	自動販売機	広島県	1994

*）環境庁大気保全局企画課広域大気管理局編（1996）『フロン回収・破壊モデル事業事例集』日本環境衛生センター。

表 47: 環境負荷の限界削減費用 (単位:円/kg)

環境負荷項目	CO ₂	NO _x	SO _x	SPM	BTOD	TCE,PCE	重金属	DXN	CFC
限界費用	7.0	2500	43	6700	1600	1500 万	2.0 万	190 億	2.4 万

4 商品への適用—環境配慮型ポンプの評価—

上記の限界削減費用の結果を環境配慮型商品の評価に適用する。比較の対象は、従来型ポンプとインバータ制御の環境配慮型ポンプである。これらのポンプの LCA の結果は表 48 のとおりである。

この LCA の結果と上の表 47 とから、年割引率を 3%とした場合の、2つの型のポンプの環境費用が表 49 のように求まる。環境配慮型ポンプの環境負荷は、従来型のそれと比べて、貨幣額で 18.2 万円安い。これと電気代の節約分とをあわせると、環境配慮型ポンプの初期費用の高さを補ってあまりあることがわかる。

割引率を 5%とした場合には、表 50 のように、環境費用の節約分は 17.2 万円で、初期費用と電気代との合計の費用超過分 3500 円を上まわる。

割引率が 3%の場合も 5%の場合も環境配慮型ポンプの導入が正当化されるのであるが、その正当化は、次のような論拠に基づく。割引率が 5%の場合、環境配慮型ポンプを採用することによって、15 年間の割引現在価値で、CO₂ を 4800kg、NO_x を 11kg、SO₂ を 13kg、富栄養化原因物質を 1.4kg、SPM を 11kg、ダイオキシンを -6.2×10^{-9} kg、重金属を 1.8kg 削減できる。しかし、それと引き換えに、初期費用が 18 万円余分にかかるが、電気代が 15 年間の現在価値で 17 万 6500 円節約できるので、費用の純増加は 3500 円である。すなわち、この商品の採用は、3500 円の費用をかけて上記の数量の環境負荷を削減する活動であるということになる。他方、それだけの環境負荷の削減に社会は現に 17 万円の費用をかけている。それと比べると、3500 円の費用をかけることは社会的に正当であろう。

割引率が 3%の場合、削減される環境負荷は、現在価値で、CO₂ 5400kg、NO_x 12kg、SO₂ 15kg、富栄養化原因物質 1.5kg、SPM 11kg、ダイオキシン -6.3×10^{-9} kg、重金属 1.8kg となる。初期費用の増分は、やはり 18 万円であるが、電気代の節約分が 19 万 9100 円となって、初期費用の増分を上回り、環境負荷の削減のためにかかる純費用は負となるので、環境負荷削減のために社会がかけている費用の如何にかかわらず、この活動は正当化されることになる。

表 48: ポンプの LCA

	従来型ポンプ			インバータ制御ポンプ		
	製造	使用	廃棄	製造	使用	廃棄
CO ₂ (kg-CO ₂)	229	24300	0.210	78.4	18000	3.63
NO _x (kg-NO _x)	0.560	56.7	0.00130	0.220	41.9	0.00440
SO ₂ (kg-SO ₂)	2.60	72.0	0.000680	2.90	53.2	0.00291
COD(kg-COD)	0.220	0.0410	0.00430	0.0900	0.0303	0.000200
TN(kg-N)	0.00140	0.493	4.00×10^{-6}	6.00×10^{-4}	0.364	5.10×10^{-5}
TP(kg-P)	0.00120	8.10×10^{-5}	1.55×10^{-8}	3.00×10^{-4}	6.00×10^{-5}	2.99×10^{-6}
煤塵 (kg-dust)	9.43	10.5	9.00×10^{-5}	0.680	7.72	0.00123
DXN(kg-TEQ)	6.30×10^{-9}	-	-	1.21×10^{-8}	-	7.41×10^{-10}
重金属 (kg-HM)	3.0	0.081	0.051	1.3	0.060	1.5×10^{-7}
電力 (kWh)	27.4	46500	-	15.7	34300	-

注) 「使用」中の環境負荷は15年間の総量。

表 49: ポンプの環境負荷と費用 (割引率 3%の場合)

環境費用	従来型ポンプ		インバータ制御ポンプ	
	負荷量 (kg)	費用 (万円)	負荷量 (kg)	費用 (万円)
CO ₂	20200	14.1	14800	10.4
NO _x	47.0	11.8	34.5	8.64
SO ₂	61.6	0.265	46.5	0.200
BTOD	4.96	0.769	3.42	0.530
SPM	18.0	12.1	7.01	4.69
DXN	6.30×10^{-9}	0.0120	1.26×10^{-8}	0.0240
HM	3.17	6.34	1.36	2.72
環境費用計 (万円)		45.3		27.2
初期費用 (ポンプ価格、万円)		32.0		50.0
電気代 (万円)		76.2		56.3
総費用 (万円)		153.5		133.4

注) 負荷量も費用も年割引率 3%の下での 15 年間の現在価値。電気代は 20 円/kWh を仮定。

割引率について感度分析をしてみると、図 5 のようになり、割引率が 38%にまで上昇する時初めて、この活動の費用が同等の環境負荷を削減するのに社会が現にかけている費用を上回ることがわかる。

参考文献

- [1] 安藤淳平 (1990) 「世界の排煙浄化技術」石炭技術研究所。
- [2] 環境庁 (1992) 『地球温暖化防止対策ハンドブック』第一法規。
- [3] 環境庁 (1998) 『自動車排出ガス原単位および総量に関する調査報告書』。
- [4] 財団法人日本総合研究所 (1998) 『環境・経済統合勘定の推計に関する研究報告書』平成 9 年度経済企画庁委託調査。
- [5] 産業機械工業会 (1993) 「排煙脱硝技術に関する調査研究」
- [6] 自動車検査登録協会編 『自動車保有車両数』各年版。
- [7] 社団法人日本産業機械工業会 (1992) 『ばい煙低減技術マニュアル (行政官用)』(平成 3 年度環境庁委託)。
- [8] セキツウ (1999) 『石油価格統計集 1999 年版』。
- [9] 中央環境審議会中級環境部会 (2001) 『「目標達成シナリオ小委員会」中間とりまとめ』。
- [10] 通商産業大臣官房調査統計部 (各年版) 『機械統計年報』。
- [11] 秦野市環境部 (1996) 「名水秦野盆地湧水群の復活に向けて」平成 8 年 2 月。
- [12] プロジェクトニュース社編 (2001) 『排煙脱硫・脱硝装置の現状Ⅳ－導入実績と技術動向』

表 50: ポンプの環境負荷と費用 (割引率 5%の場合)

環境費用	従来型ポンプ		インバータ制御ポンプ	
	負荷量 (kg)	費用 (万円)	負荷量 (kg)	費用 (万円)
CO ₂	17900	12.5	13100	9.20
NO _x	41.7	10.4	30.7	7.66
SO ₂	54.9	0.236	41.6	0.179
BTOD	4.47	0.693	3.05	0.473
SPM	17.0	11.4	6.29	4.21
DXN	6.30×10^{-9}	0.0120	1.25×10^{-8}	0.0237
HM	3.15	6.30	1.35	2.71
環境費用計 (万円)		41.6		24.5
初期費用 (ポンプ価格、万円)		32.0		50.0
電気代 (万円)		67.5		49.9
総費用 (万円)		141.1		124.3

注) 負荷量も費用も年割引率 5%の下での 15 年間の現在価値。電気代は 20 円/kWh を仮定。

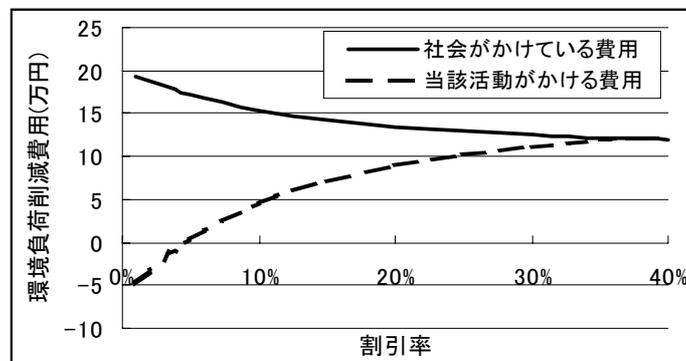


図 5: 割引率感度分析

- [13] 松野裕・植田和弘 (1997) 「公健法賦課金」植田他編著『環境政策の経済学』日本評論社, 79-96.
- [14] 鳶坂明美 (1996) 「廃冷蔵庫からのフロン回収の費用効果分析」福井県立大学卒業論文.
- [15] Kishimoto, A., Oka, T., Yoshida, K. and Nakanishi, J. (2001), 'Cost effectiveness of reducing dioxin emissions from municipal solid waste incineration in Japan', *Environmental Science and Technology*, **35**, 2861-2866.