

22. 環境汚染の不効用の評価に関する一考察

ESTIMATES OF WEIGHT ON ENVIRONMENTAL DISUTILITY DERIVED FROM AIR POLLUTANTS COMPARED WITH ECONOMIC UTILITY

増井 利彦* ・ 盛岡 通**

Toshihiko MASUI, Tohru MORIOKA

ABSTRACT; In this paper, the optimization model, which has two objective functions not only economic utility by consumption but also environmental disutility derived from pollution, is constructed. From sensitivity analyses on the weight of environmental disutility in Japan after the year of 1970, the weight of disutility caused by SOx and NOx emission compared with that of economic utility is evaluated about 10^{-3} . Even if this result is applied to the carbon emission in the future, effective carbon reduction cannot be realized. In order to stabilize carbon emission to the level in 1990, the weight is needed ten times more than that of the SOx and NOx results. From the results in this model, the feasible field of the optimal paths evaluating the trade off between carbon reduction and economic growth can be presented.

KEYWORDS; Environmental Utility, Optimization Model, Reduction of Pollutants

1. はじめに

わが国では、高度経済成長期において数々の公害を経験してきたが、公害防止投資をはじめとする数々の投資や規制により、完全ではないもののその被害の大部分を克服してきた。図1は公害防止投資額とそれが総投資に占

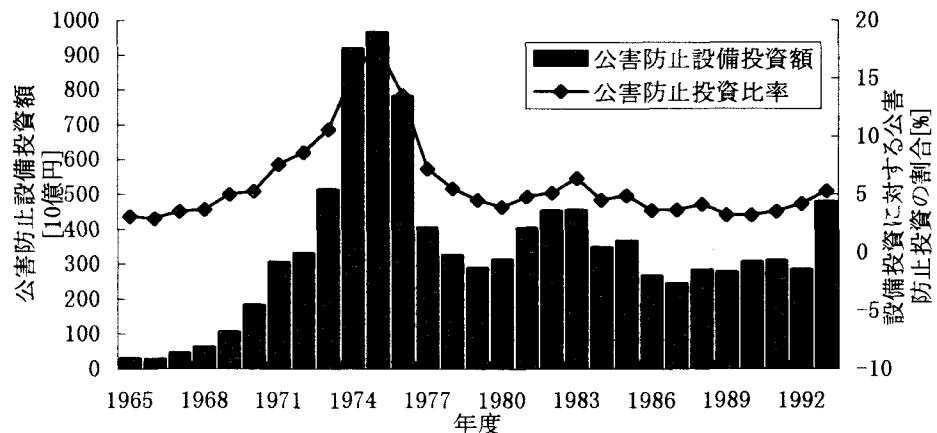


図1 公害防止設備投資とその比率の推移

める割合の推移¹を、図2は国及び地方における環境関連支出の推移²を示す。こうした事実は、社会全体の意思決定(社会評価関数)において、経済便益だけでなく環境便益をも併せて評価してきたことを示すものである。今日問題となっている地球環境問題に対して、様々なモデル分析が行われているが、そうした分析のほとんどは社会評価関数として経済便益のみを対象としたもので、環境便益を評価対象としたものはわずかである。また、環境便益の評価自身が困難なために、貨幣換算可能な財だけを取り入れたり、簡略化して表現されているなど、経済便益だけでなく環境便益も分析対象に含めた分析は初歩的な段階にあるといえる³。

*;大阪大学大学院工学研究科 Graduate School of Eng., Osaka Univ.,

**;大阪大学工学部環境工学科Dept. of Environmental Eng., Fac. of Eng., Osaka Univ.

本研究では経済便益と環境便益という2つの目的関数を有する社会評価関数を仮定し、過去の日本を対象に経済便益に対する環境便益のウェイトがどのように評価されてきたのかを推定するとともに、そこで得られた社会評価関数を温室効果ガスである二酸化炭素の排出に適應することにより、経済便益に対する環境便益のウェイトの違いによる二酸化炭素排出量の削減効果と汚染物質との違いを分析する。

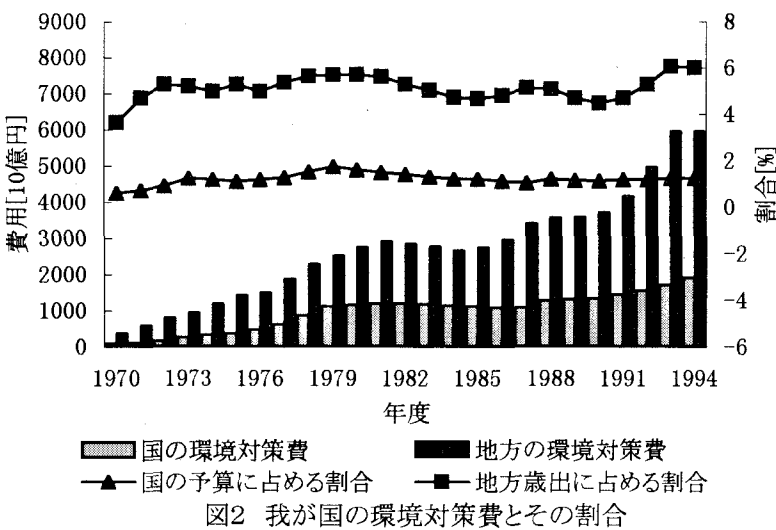


図2 我が国の環境対策費とその割合

2. 日本を対象にした経済便益に対する環境便益のウェイトの評価

複数の目的に対して同時に評価を行う場合には、数理計画問題の拡張である多目的評価と効用理論の拡張に相当する多属性効用理論の2つのアプローチがある⁴。ここでは多目的評価を用いて経済便益に対する環境便益のウェイトを評価する。

多目的評価の方法として、主要な評価以外はある程度以上でよいという満足度水準で置き換える方法と、価格などのように単一の尺度に還元する方法がある。経済便益と環境便益を考えたとき、第一番目の方法では汚染をある水準に抑えるという制約を課すことに等しくなり、環境と経済のトレードオフ関係を明示することはできない。また、第二番目の方法では汚染による被害を貨幣換算する必要があり、貨幣価値化できない財に対しては環境便益を過小評価することになる。そこで、環境便益と経済便益の2つの目的関数を設定し、これら2つの目的関数に対してウェイトを付加し、このウェイトの感度解析を行うことで、公害対策時に見られた経済便益に対する環境便益のウェイトの推測を試み、汚染を考慮に入れた最適経済成長経路を考察する。

2. 1 モデル構造

社会評価関数 U は、消費で規定される経済便益 u と汚染で規定される環境便益 v の線形結合 $U(C,P)=u(C)+x*v(P)$ で表されるものと仮定する。また、各便益の評価において、消費は $\partial u/\partial C>0$ 、 $\partial^2 u/\partial C^2<0$ を、汚染は $\partial v/\partial P<0$ 、 $\partial^2 v/\partial P^2<0$ をそれぞれ満たすものとする。これは各便益の凸性を保証するためであり、既存の理論研究の多くがこの仮定を設けている⁵。こうした条件を満たす関数型として、経済便益は従来の分

析にも用いられてきた対数関数 ($u(C)=\ln(C)$) を、環境便益に対しては指数関数 ($v(P)=\exp(P)$) をあてはめる。なお、各便益の評価において C と P をそのまま用いると、両者の単位の取り方や、複数の汚染を評価する

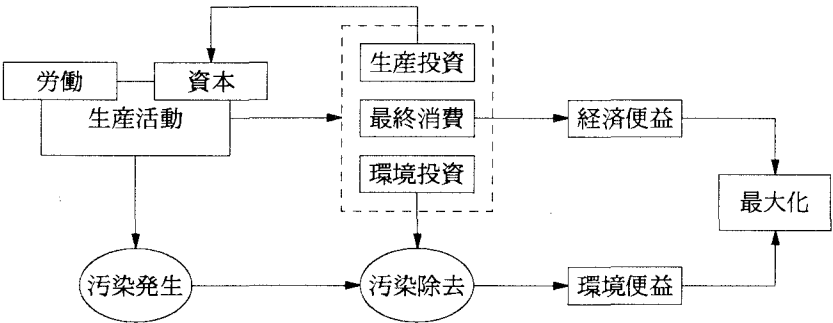


図3 経済便益と環境便益の2つの目標を持つ社会の構造

際の単位の取り方により、その傾き（限界値）が大きく変わり、その結果最適解が大きく異なるようになる。そこで、初期年におけるC、Pを基準値として関数型を設定する。

図3に本分析における社会の構造を示す。産業部門で生産された財は、最終消費、生産投資、環境投資の3つに配分される。最終消費は経済便益を増大させる要素であり、生産投資は将来の生産を通じて経済便益を増大させる要素、環境投資は汚染の削減を通じて環境便益を増大させる要素である。

2. 2 過去における経済便益に対する環境便益のウェイト評価モデル

モデルの対象期間は1970年以降とする。また、モデル構造の簡略化のため、国内産業を統合した一部門モデルとする。生産要素は、資本と労働とし、これらがコブダグラス型生産関数により結合されるものとする。このうち、労働はパラメータとして外生的に与えており、エネルギー供給も外生的に与えている。エネルギーの外生化は、例えば、硫黄酸化物の排出削減においては省エネルギーやエネルギー転換による寄与が高い⁶が、そうした寄与についても追加的な資本投入に置き換えて評価するためである。

ここでは、環境効用を評価する因子として大気環境を対象とする。これは、大気環境に影響を及ぼす汚染のほとんどがエネルギー起源であると考えられ、汚染物の排出状況を比較的詳細に検討できる点、大気と水、廃棄物のようにカテゴリーの異なる環境を取り上げた場合、その統合が困難な点、等の理由による。また、汚染物質を環境便益の損失として評価する場合、環境中への汚染排出量から環境による浄化量を差し引き、過去からの汚染物質の蓄積量をも評価に入れた汚染ストックが環境便益に影響を及ぼすが、ここでは簡略化のためにフロー量である汚染排出量が環境便益に影響を及ぼすものとしてモデル化を行っている。

以上を定式化すると以下のように表すことができる。

Max $\sum_t \{ \text{Ln}(C/C_0) + x \cdot \exp(P/P_0) \} \text{udf}$ (1) 【関数】 $f(\cdot)$: 生産関数, $g(\cdot)$: 汚染除去関数

s.t. $f(K) = C + I + J$ (2) 【変数】 C: 最終消費, I: 生産投資, J: 環境投資,

$\dot{K} = I - \delta K$ (3) P: 汚染排出量, K: 生産資本ストック,

$P = P_0 - g(N)$ (4) N: 環境改善資本ストック

$\dot{N} = J - \delta N$ (5) 【パラメータ】 t: 時間, δ : 減価償却率, udf: 割引因子,

x: 環境便益ウェイト, P_0 : 汚染発生量

(1)式より計画期間における経済便益と環境便益の加重和が最大となる実行可能解が求められる。

制約条件は、(2)式～(5)式の4つの式からなる。(2)式より、生産された財は、最終消費と生産投資と環境投資に配分され、消費は現在の経済便益を、生産投資は将来における消費を通じた経済便益を、環境投資は汚染除去を通じた環境便益をそれぞれ高める。(3)式は生産部門における資本ストックの蓄積過程を示す制約式である。(4)は汚染除去を示す制約式であり、(5)式は汚染除去に用いられる資本ストックの蓄積過程を示す制約式である。

汚染排出量は表1に示す原単位と外生的に与えたエネルギー供給から発生量を算出し、内生的に決定される環境資本による除去量を差し引き、硫黄酸化物と窒素酸化物の除去による環境便益をそれぞれ評価し、これらを足し合わせることで環境便益を定義する。一方、経済便益

表1 エネルギー源別の汚染物質排出原単位

	硫黄酸化物	窒素酸化物	二酸化炭素
石炭	92.09	10.26	1009.63
石油	20.09	6.49	834.66
ガス	0.00	4.81	575.14
電力	0.00	0.00	0.00
	t/10 ¹⁰ kcal	t/10 ¹⁰ kcal	t/10 ¹⁰ kcal

表2 汚染排出実績の推計式

	硫黄酸化物	窒素酸化物
汚染発生量 (t値)	8.96E-01 (2.02)	1.91E-01 (0.45)
除去装置台数 (t値)	-3.60E+04 (-6.13)	-3.47E+03 (-2.39)
定数 (t値)	-3.82E+06 (-0.89)	1.24E+06 (1.38)
重相関係数	0.97	0.77
観測数	6	6

潜在的排出量は、国内エネルギー需要に表1の排出原単位を乗じたもので算出する。
除去装置台数は環境白書による。
被説明変数はOECD ENVIRONMENTAL DATA 1993の国内総排出量を用いた。

は消費をもとに計算する。なお、各汚染除去投資には、他の汚染物の除去など本分析で対象とした以外の費用も含まれると考えられるので、各汚染除去投資の資本ストックへの寄与は各投資の2割と設定している。また、資本ストックに対する汚染除去量は、1990年において硫黄酸化物で1.8t/百万円、窒素酸化物で0.8t/百万円である⁷とし、対象期間において効率が2%/年ずつ改善されたされてきたものと設定している。

2. 3 大気汚染に伴う環境便益のウェイトの推定結果

図4、図5に各汚染排出量の推移を示す。図中の排出量（推定値）とはOECDの推計（1970年から約5年毎）を汚染発生量と汚染除去装置の設置台数から回帰させ（表2）、これを1970年以降の各年に適応することで推定した値である。硫黄酸化物と窒素酸化物ではウェイトの違いにより排出経路が異なるが、これは両汚染物の発生量自身の違い、発生量と排出量との差の違いによるものと考えられる。感度解析の結果から、環境便益は経済便益に対して低いウェイトで評価されてきたが0ではなく、経済便益に対する環境便益のウェイトを $10^{-3} \sim 10^{-2}$ と評価してきたことで、図4、5に示す汚染削減を実現させる支出を行ってきたといえる。

次に、図6から、汚染物質の排出経路が、本研究で示した社会評価関数に対してどのようなウェイトの経路をたどってきたかを考察する。本分析で対象とした硫

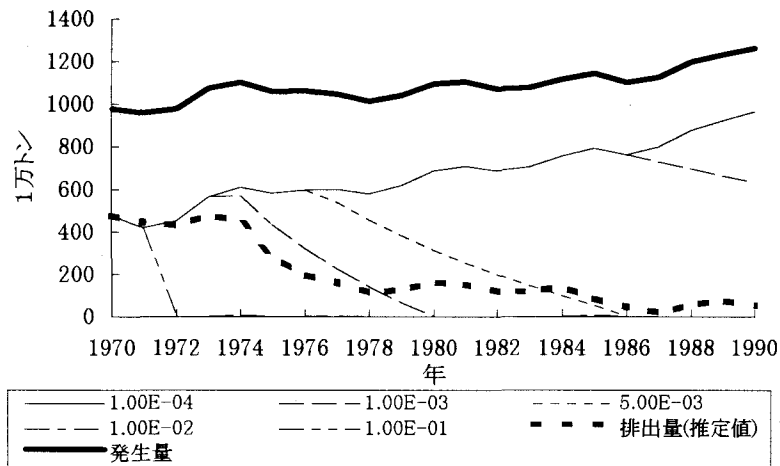


図4 硫黄酸化物の排出結果

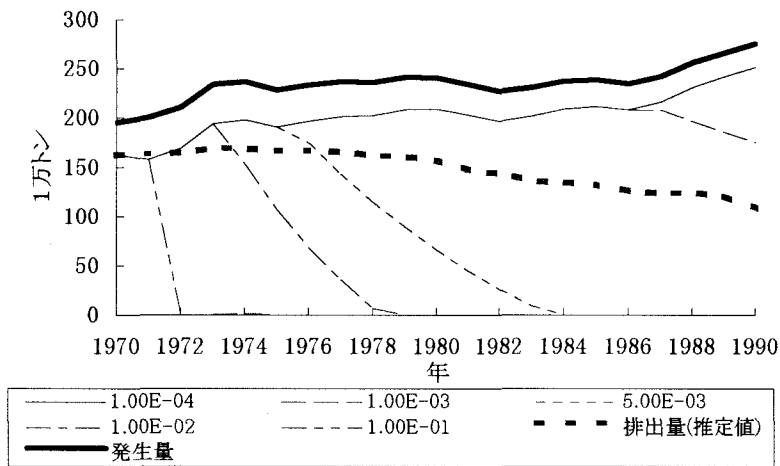


図5 窒素酸化物の排出結果

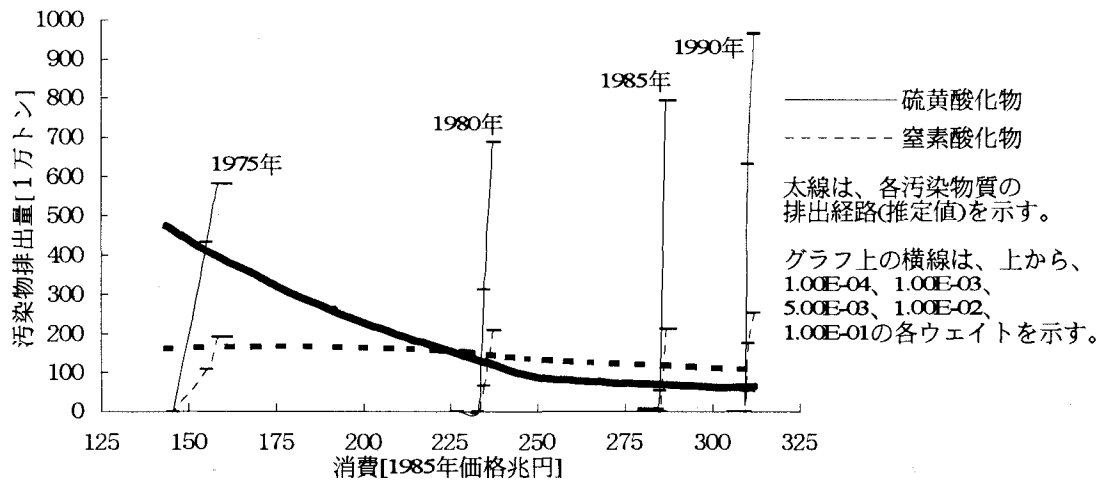


図6 過去における消費水準と汚染物質の排出経路

黄酸化物、窒素酸化物の排出経路とも、年が経つに従ってより高いウェイトに従った量の汚染物質を排出するようになっている。環境資本のストック効果の影響もあると考えられるが、年が経つにつれて環境便益に対するウェイトが高まってきたことを示すものである。

2. 4 社会評価関数の修正による温室効果ガスの削減

次に、環境便益を評価する要素として二酸化炭素を取り上げ、先のウェイトの結果を適用する。この分析にあたっては、資本、労働、エネルギーを投入要素とし、エネルギーの中間費用を含む国内総生産を産出するものとする。また、汚染は先程の窒素酸化物、硫黄酸化物に代えて二酸化炭素を用いる。二酸化炭素の場合、汚染の削減方法として炭素排出原単位の小さいエネルギーへの転換、要素投入の代替等が考えられるが、このときのエネルギー費用の増大が図3の環境投資に相当する。

このときの各ウェイトに対する二酸化炭素の排出経路を図7に示す。先の過去における汚染削減と同様に、環境便益に対するウェイトを上げることで二酸化炭素の排出量は大幅に削減される。ただし、過去に汚染削減を実現したウェイトの水準 ($10^{-3} \sim 10^{-2}$) では二酸化炭素はほとんど削減されていないことがわかる。地球温暖化は現在の我々の生活に直接影響するものではないことから、従来の公害問題と比べ

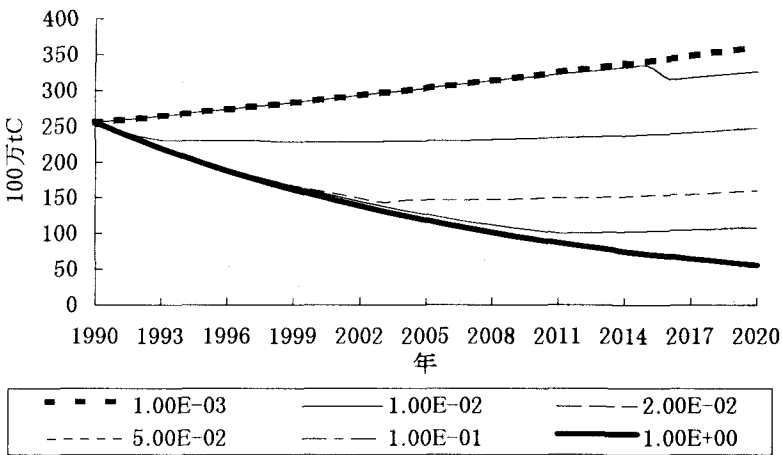


図7 二酸化炭素排出量

環境便益のウェイトが必然的に小さくなるといえ、二酸化炭素排出量の削減に関しては、かつて公害対策で経験してきた以上の取り組みが必要となることがわかる。

次に、将来の各年における消費と二酸化炭素の排出の関係を図8に示す。この図では、環境を視野に入れた政策を実行した場合と環境を全く無視した場合の二酸化炭素排出量と経済水準（消費）が両端に示されていることから、この図をもとに二酸化炭素排出量の抑制政策を考慮に入れた経済政策に関する様々なシナリオを描くことが可能となる。

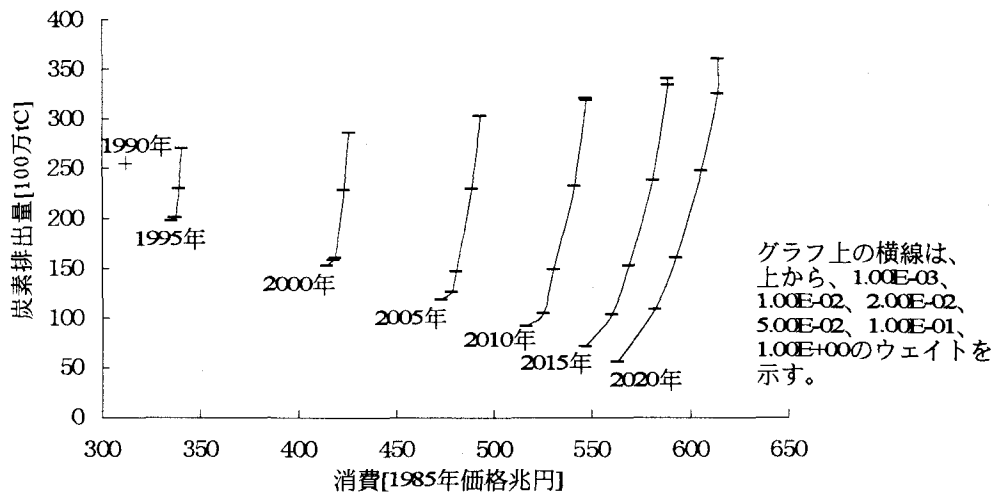


図8 経済便益に対する環境便益のウェイトの違いによる消費水準と炭素排出量の推移

3. 結論と今後の課題

日本を対象に経済便益だけでなく環境便益も目的関数とみなしたモデル化とその結果より、我が国の1970年以降における $\ln(C/C_0)$ で定義した経済便益に対して、 $\Sigma \exp(P/P_0)$ で定義した環境便益のウェイトは 10^{-3} 程度であると推測できた。この結果を二酸化炭素を環境便益の規定要因ととらえて適用したところ、将来において効果的な削減は見られず、炭素排出量の安定化を実現させるためには、さらに大きな環境便益のウェイトが必要であることが明らかとなった。こうした違いは、対象とした物質の特性（窒素酸化物等は汚染除去による排出抑制が可能であるが、二酸化炭素はそうした技術が実用化されておらず、現段階ではエネルギー転換や省エネルギーによる削減のみが有効である）にもよるものと考えられるが、それだけ、地球温暖化問題への対応が困難であることを示す結果となった。その一方で、こうした環境便益を評価対象に加えることで、図8に示したような経済便益と環境便益のトレードオフ関係を考慮に入れた経済成長のシナリオを描くことが可能となり、こうした経済便益をも評価対象に加えたモデルの有効性を提示することができた。

次に、本分析の課題として、過去の汚染除去投資とその効果を対象に、経済便益に対する環境便益のウェイトの感度解析的分析を行ったが、二酸化炭素排出量の安定化等を実現させるために必要なウェイトの評価を実現するために、経済活動をどのように転換することが望ましいかについて、その対応関係をより明確に提示する必要がある。環境便益のウェイトについても本分析においては対象期間において一定としたが、実際の汚染除去に対しては経済水準とともにそのウェイトは増加することが示されており、ウェイトの評価方法も検討課題の1つである。そのほか、簡略化したモデルに起因する課題もある。例えば、過去における汚染削減に対して、モデル上は資本配分によってのみ汚染除去を実現させたが、既に述べたように燃料転換や生産工程の改善など、除去装置の設置以外の要因も大きく、こうした要因も併せて評価する必要がある。また、本分析においては硫酸黄酸化物の除去による環境便益と窒素酸化物の除去による便益を加えることで環境便益と定義したが、こうした複数の汚染に対する評価方法の妥当性についても議論する必要がある。

¹ 通商産業省産業政策局編，主要産業の設備投資計画各年度版，大蔵省印刷局。

² 環境庁編，環境白書各年度版，大蔵省印刷局。

自治省編，地方財政白書各年度版，大蔵省印刷局。

³ 環境便益を導入した分析として以下の文献がある。

Manne,A. and Richels,R.(1995) The Gerrenhouse Debate: Economic Efficiency, Burden Sharing and Hedging Strategies, The Energy Journal, Vol.16, No.4, pp.1-37.

Tokai,A.(1995) Scenario Analysis on Climate Change Alternatives using Multiattribute Utility Function, Society for Risk Analysis, pp.10-104.

⁴ 石谷久・石川眞澄(1992) 社会システム工学，朝倉書店，pp.103-136.

⁵ Keeler,E., Spence,M., and Zeckhauser(1971) The Optimal Control of Pollution, Journal of Economic Theory, Vol.4, No.1, pp.19-34.

Forster,B.A.(1973) Optimal Consumption Planning in a Polluted Environment, The Economic Record, Vol.49, pp.534-545.

⁶ 環境庁編(1992) 平成4年版環境白書総説，大蔵省印刷局，p.165.

⁷ 本藤祐樹・内山洋司(1993) 火力発電プラントの環境対策コスト分析，電力中央研究所報告:Y92009.