総量規制における合意形成過程のモデリング[†]

—ゲーム理論によるアプローチ—

田 村 坦 之*・鈴木 尋 仁*

Modeling a Consensus Formation Process in Total Emission Control

—Game Theoretic Approach—

Hiroyuki TAMURA* and Hirohito SUZUKI*

This paper deals with a simple game theoretic model in total emission control of regional environmental pollution. It is assumed that upper limit of total amount of pollution emitted in a regional area is given. The problem is how to allocate this total amount to each polluter for obtaining consensus among the game players, that is, control agency and polluters. "Social benefit" and "impartiality" are considered as the criteria for allocation. Especially, for attaining "impartiality" a new concept of "equal individual satisfaction" is proposed for solving characteristic function games.

1. ま え が き

環境問題は、エネルギー・資源問題と共に、今日最も注目を集めている課題の一つである。環境保全を目的とした政策として考えられている主なものに

- 1) 環境基準・排出基準による直接規制
- 2) 公害という外部不経済を市場メカニズムに組み入れる公害課税制度の導入
- 3) 公害防止事業への公共投資

がある。わが国における公害規制は、ごく一部の例外を除いて、もっぱら 1) による法的規制によって行われており、その規制の方式は「濃度規制」、「量規制」さらに「総量規制」へと進展している¹⁾。「総量規制」とは、ある領域内に許される汚染負荷総量(環境容量)を定め、この総量を越えないように各排出源に対する排出量を割り当てることにより、その領域における環境汚染を防ぐ規制方式を意味している。しかし、各排出源に排出量を公正に割り当てるシステム的な方法論は未開発である。

本論文では、ある領域における環境容量はすでに算定されているものとして、各排出源に排出量を公正に割り当てるシステム的方法論を開発することを目的としている。その際に、1) による法的な直接規制だけでなく、2) による公害課税制度を導入することによって、当該地域の「社会的経済性」と複数の排出源の間の「公平性」を同時に満足する割り当て方法を見つけることを試みる。本論文ではこれを単なる数理計画問題としてモデル化するのではなく、特性関数形ゲーム²⁾によるアプローチにより当事者(環境管理者と複数の排出源)間の「合意形成過程」をモデル化する。その際、ゲーミングにおいて「個人的満足度等価法」という新しい概念のもとで解を得る方法を導入する。具体的な数値例によって、方法論の有効性と方法論がもっている実質的な意味を検討する。なお、これまでの法的な直接規制だけでは、企業の生産活動の「社会的経済性」や汚染排出割り当てに関する「公平性」を実現することはおよそ不可能であるが、法的規制に加えて経済学者が提唱している公害課税制度を導入することによってこれらが始めて可能となる。

2. モデリングの方法論

ある領域内において、複数の企業が生産活動を行うと同時に環境に有害な汚染物質を排出している状況を想定する。さらに、この汚染物質の排出を規制する環境管理者としての地域当局(control agency)を想定する。いま、地域当局と企業とが協力して汚染物質の総量を削減する状況を一種のゲームによってモデル化する。これにより、総量規制における合意形成を容易に実現可能にしようと試みる。

一般に、ゲームはそれを構成する構成員(プレイヤー)の集合と、そのプレイヤーの取り得る行動の集合によって表現される。総量規制をゲームによってモデル化するとき、プレイヤーとして複数の企業と、地域当局とを考える。いま、企業に番号を打って $i=1, 2, \dots, n$

[†] 第6回システムシンポジウムで発表(昭55・7)

* 大阪大学工学部 吹田市山田丘 2-1

* Faculty of Engineering, Osaka University, Suita
(Received July 23, 1980)
(Revised April 9, 1981)

- (a) Treatment network is included in the control agency
 (b) Treatment network is included in the firms

Fig. 1 Two possible way of treatment

で表わし、企業の集合を $N = \{1, 2, \dots, n\}$ で表わす。地域当局を「0」で表わし、地域当局と企業すなわちプレイヤー全体の集合 $\bar{N} = \{0, 1, 2, \dots, n\} = NU \cup \{0\}$ をで表わす。さらに、汚染処理設備 (treatment network) を考え、企業における生産活動、汚染処理、環境の三つの間の関係を Fig. 1 に示す。ここで、 U_i は i 企業から処理設備への汚染排出量を、 u_i は処理設備から環境への汚染排出量を表わす。Fig. 1(a) は、処理設備を地域当局が運営し、Fig. 1(b) は、処理設備を企業が運営する状況を示す。この相違により、地域当局は、企業に対して、(a) の場合 U に (b) の場合に u 公害税を課すことになる。Rinaldi ら^{3), 4)} は、Fig. 1(a) の状況を想定して U_i に対する課税の方法を、特性関数形ゲームを使って議論している。そこでは、汚染物質の排出量に関する規制は考えていない。本論文では、Fig. 1(b) の状況を想定して、領域内に許容される汚染物質の総量 $u_T (\geq \sum_{i \in N} u_i)$ が与えられたときに、これをいかにして各企業に割り当てるか、さらに各企業すなわち排出源に対する公害税 (または排出を大幅に削減する場合には助成金) をいかにして決めるかを特性関数形ゲームによって議論する。

モデリングに際して、つぎの三つの仮定を置く。

- (1) 汚染物質は、環境に対して総量の形で影響を与える。
- (2) 企業の生産利益は、汚染物質排出量の関数として表わせる。
- (3) 地域当局は汚染物質を排出するような生産活動を行わない。

つぎに、モデリングに必要な関数と基準値をつぎのように定義する。

$D_i(U_i)$: 企業が、処理設備へ汚染物質を排出するような生産活動を行うことによって得る利益の関数

$C_i(U_i, u_i)$: 処理設備 i が、汚染物質 U_i を u_i に処理するために必要な費用の関数

$E(u)$: 環境に汚染物質が u 排出されることによってこうむる環境損害を金銭的に表現した関数 (社会的費用関数)

$\tau(u_i)$: 企業が環境に汚染物質を u_i 排出することに対して、地域当局が課する税の関数。ただし、これは総量規制を実施する前に用いられた税関数。

$\bar{u}_i$: 企業 i に許される汚染排出量の総量の上限值 (量規制値)。

u_T : 領域内に許される汚染排出量の総量の上限值 (総量規制値)。

2.1 汚染排出量の割り当て

まず、プレイヤーが取る行動を考えてみる。Fig. 1(b)において、企業 i は汚染処理費用を考慮したうえで最大利益が得られるように U_i を決定するものと仮定すると、二つの関数 $D_i(U_i)$ と $C_i(U_i, u_i)$ は、 u_i だけの関数として

$$B_i(u_i) \triangleq \max_{U_i} \{D_i(U_i) - C_i(U_i, u_i)\} \quad (1)$$

に集約される。 $B_i(u_i)$ は企業 i の税引き前の生産利益を表わす。さらに、総量規制を実施する前の状況では、各企業は汚染排出に課せられる税を考慮したうえで最大利益が得られるように環境への汚染排出量 u_i を決定するものと仮定する。つまり

$$\begin{aligned} & \max_{u_i} \{B_i(u_i) - \tau(u_i)\} \\ & \text{sub. to } u_i \leq \bar{u}_i \end{aligned} \quad (2)$$

を解くことにより、企業 i は環境への汚染排出量 u_i を決める。このとき、環境へ排出される汚染物質の総量は $\sum_{i \in N} u_i$ となる。

いま、汚染総量 $\sum_{i \in N} u_i$ が多すぎるために、環境損害が著しく、地域当局はこの総量を削減してある値 u_T 以下に規制しようと試みるものとする。この規制に対して、各企業の取りうる行動としては、「協力」・「非協力」の二つの行動が考えられ、おのおのの状態に対して獲得可能な利益の最大値を与える特性関数 (characteristic function) v を定義することができる。ただし、特性関数は総量規制に対して非協力の場合には、各企業が単独行動によって得る利益の最大値を表わし、総量規制に協力する場合には、地域当局と企業

との協力の結果獲得可能となる利益の総和の最大値を表わす。ただし、地域当局は総量規制に協力しない企業に対して、税の関数 $\tau(u)$ を $\tau'(u)$ ($\tau'(u) > \tau(u)$, $u \geq 0$) に変更するものとする。状況に応じてつぎの三つの場合を考える。

i) 全企業が総量規制に協力しないで単独行動をとる場合

企業 $i \in N$ が得る税引き後の利益を

$$A_i(u_i) \triangleq B_i(u_i) - \tau(u_i)$$

と定義する。企業 i の汚染排出量 u_i' ($i \in N$) は

$$\begin{aligned} \max_{u_i} A_i(u_i) \\ \text{sub. to } u_i \leq \bar{u}_i \end{aligned} \quad (3)$$

の解として決定されるものとする。このとき企業 i の特性関数 $v(i)$ は

$$v(i) = \max A_i(u_i) = A_i(u_i') \quad (4)$$

と表わされる。

ここで、税関数 $\tau'(u_i)$ は $\tau(u_i)$ よりも厳しく設定されているので、各企業は汚染排出量を削減するものと期待される。このときには $u_i' \leq u_i$ ($i \in N$) を満たし、汚染総量は $\sum_{i \in N} u_i$ から $\sum_{i \in N} u_i'$ に削減される。

したがって、全企業が総量規制に協力しない場合にも環境汚染は改善されることになる。

ii) 一部の企業が総量規制に協力する場合

総量規制に協力する企業の集合を S とする。非協力企業の集合 ($N-R$) のメンバーの特性関数は、 $i \in N-S$ に対して (4) 式で表わされる。そして、非協力企業 i の汚染排出量 u_i' ($i \in N-S$) は、i) と同様に (3) 式の解として決定される。

協力企業と地域当局が得る利益の和を

$$\begin{aligned} A(u_i | i \in S) \triangleq \sum_{i \in S} B_i(u_i) - E \left(\sum_{i \in S} u_i + \sum_{i \in N-S} u_i' \right) \\ + \sum_{i \in N-S} \tau'(u_i') \end{aligned}$$

と定義する。右辺第1項は、協力企業の税引き前の生産利益、第2項は環境損害、第3項は非協力企業から地域当局が徴収する税を表わす。 S に属する協力企業 i の汚染排出量 u_i' ($i \in S$) は

$$\begin{aligned} \max_{u_i} A(u_i | i \in S) \\ \text{sub. to } \sum_{i \in S} u_i \leq u_T - \sum_{i \in N-S} u_i', u_i \leq \bar{u}_i, i \in S \end{aligned} \quad (5)$$

の解として地域当局によって決定され割り当てられるものとする。このとき協力企業と地域当局の特性関数は

$$v(SU\{0\}) = \max A(u_i | i \in S) = A(u_i' | i \in S) \quad (6)$$

と表わされる。

iii) 全企業が総量規制に協力する場合
全企業と地域当局が得る利益の総和を

$$A(u_i | i \in N) \triangleq \sum_{i \in N} B_i(u_i) - E \left(\sum_{i \in N} u_i \right)$$

と定義する。

各企業の汚染排出量 u_i' は

$$\begin{aligned} \max_{u_i} A(u_i | i \in N) \\ \text{sub. to } \sum_{i \in N} u_i \leq u_T, u_i \leq \bar{u}_i, i \in N \end{aligned} \quad (7)$$

の解として、「社会的総利益」が最大になるように地域当局によって決定され、各企業に割り当てられるものとする。このとき全企業と地域当局の特性関数は

$$v(\bar{N}) = \max A(u_i | i \in N) = A(u_i' | i \in N) \quad (8)$$

と表わされる。

以上の三つの状態のうち、どの状態が実現するかによって総量規制の実現可能性が決る。つまり、ii) や iii) の状態が実現すれば領域内の汚染物質の総量は u_T 以下におさえられる。このとき、総量規制に協力した企業に対する公害税の割り当てが問題となる。この課税を「公平性」の概念に従って行う。

2.2 課税

ここでは、話を簡単にするために、全企業が総量規制に協力した場合を考える。このとき、社会的総利益の最大値 $v(\bar{N})$ の地域当局および各企業に対する配分額を決定する必要がある。この利益配分額が決ると、その結果として各企業が支払う公害税額が決る。(公害税 = 税引き前の利益 - 利益配分) 利益配分額 (またはその結果として求まる公害税額) を決定する際、利益追求を目的とする企業をゲームのプレイヤーと考えることは当然であるが、総量規制が実現した場合に金銭的な利益よりも環境が保全されることによる便益を望んでいる地域当局を、企業と同列のプレイヤーとして考えるのは不適當である。そこで、地域当局は、総量規制が実現した場合の目標利益 (地域当局の必要経費) を前もって決めておくものとする。また、この目標利益は、地域当局が現在得ている利益すなわち総量規制を実施する前に得ている税収入よりも少ないか、または同程度で十分であると考えられる。 x_0 を地域当局の目標利益とすると、全企業の特性関数の値は

$$v(N) = v(\bar{N}) - x_0 = A(u_i' | i \in N) - x_0 \quad (9a)$$

一部の企業のみが協力するとき、協力企業の特性関数の値は

$$v(S) = v(SU\{0\}) - x_0 = A(u_i' | i \in S) - x_0 \quad (9b)$$

となる。この $v(N)$ を全企業に配分することになる。

特性関数形ゲームにおける解 (ここでは各企業が受け取る税引き後の利益配分額) は、その解を得るとき

に用いられる概念によって値が異なる。本論文では、ゲームの解を得るための概念としてあらたに個人的満足度等価法 (equal individual satisfaction) を提案する。そして、従来よく使われてきた解の概念、Shapley 値⁵⁾、仁 (nucleolus)²⁾ および分裂傾向度等価法 (equal propensity to disrupt)⁶⁾ を用いた場合と数値例によって比較する。紙数の都合上、これらの概念の説明は参考文献にゆずる。

個人的満足度 $R(i)$ をつぎのように定義する。

(a) $v(N) > v(N-i) + v(i)$ のとき

$$R(i) = \frac{x_i - v(i)}{v(N) - v(N-i) - v(i)} \quad (10a)$$

(b) $v(N) < v(N-i) + v(i)$ のとき

$$R(i) = \frac{-\{v(N) - v(N-i) - v(i)\} + x_i - v(i)}{-\{v(N) - v(N-i) - v(i)\}} \quad (10b)$$

(c) $v(N) = v(N-i) + v(i)$ のとき

$$x_i = v(i) \quad (10c)$$

ここで、 x_i はプレイヤー i が「協力」に参加したときに受けとる税引き後の利益配分額を表わす。(c)の場合には配分の値が直接決定されるが、これは、このときゲームが非本質的ゲーム¹⁾となるためである。このように定義された個人的満足度を各プレイヤーに対して等しくすること

$$R(1) = R(2) = \dots = R(n) = \text{const.} \quad (11)$$

および全体的合理性の条件

$$\sum_{i \in N} x_i = v(N) \quad (12)$$

を満たすように、各プレイヤーへの配分額 $x_i (i \in N)$ を決定するのが個人的満足度等価法である。

(12)式は、「他人の利益を減少させることなく、何人の利益も増加させることができない」というパレート最適性の条件を表わしている。個人的満足度を等しくする規準(11)式はつぎのように解釈できる。各プレイヤーの「協力」による社会的総利益に対する貢献の度合いを、全てのプレイヤーに対して「公平に」等しくしている。その理由はつぎのように説明することができる。個人的満足度(10a)式または(10b)式の分母は、プレイヤー i が「協力」に参加することによって全体が得る利益の増分(または減少分)を表わす。これに対して(10a)式の分子はそのときにプレイヤー i が得る利益の増分を表わし、(10b)式の分子は他のプレイヤーがこうむる利益の減少分の総和を表わしている。したがって、個人的満足度 $R(i)$ が1に近いほどプレイヤー i は満足で、0に近いほど不満であることを示す。

個人的満足度等価法によって求めた配分は、後の数

値例にも示すように、(a)の条件を満たす場合、分裂傾向度等価法による配分と一致する。しかし、(b)の条件を満たす場合、分裂傾向度等価法では配分を決定することができないが、個人的満足度等価法を用いれば決定できる。つまり、個人的満足度等価法は分裂傾向度等価法を拡張した方法になっている。

以上のようにして、総量規制に協力する企業が「協力」に参加しなかった場合を規準にして、各協力企業が受けとる税引き後の利益配分額が決定される。この結果、企業 i が地域当局に支払う公害税 T_i (負のときは助成金) は

$$T_i = B_i(u_i') - x_i \quad (13)$$

によって計算される。

3. 数値例と方法論の解釈

方法論の有効性を検証し、実際の意味を明らかにするために、数値例を示す。まず最初に、プレイヤー全体の集合 $\bar{N}$ として、4企業と地域当局からなる。

$$\bar{N} = \{0, 1, 2, 3, 4\}$$

を考える。また、税引き前の利益関数、税関数 (総量規制実施前)、社会的費用関数は、おのおの

$$\left. \begin{aligned} B_1(u_1) &= (4000 u_1 + 5000) / (u_1 + 1500) \\ B_2(u_2) &= 5000 u_2 / (u_2 + 2000) \\ B_3(u_3) &= 5200 u_3 / (u_3 + 1500) \\ B_4(u_4) &= 4500 \sqrt{u_4} / (\sqrt{u_4} + 80) \\ \tau(u) &= 300 u / (1250 - u) \\ E(u) &= 1200 u / (5000 - u) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

で与えられていると仮定する。さらに各企業に対して総量規制に協力しないときに使用される税関数として、 $\tau(u)$ の15倍の関数

$$\tau'(u) = 450 u / (1250 - u) \quad (15)$$

を考える。

このように関数を設定すると、総量規制前の各企業の活動状況が決る。これを Table 1 に示す。Table 1 において、上部は各企業の汚染排出量、税引き前の生産利益、税および税引き後の純利益を示し、下部は汚染総排出量、地域当局の税収入、環境損害、および地域当局の利益を示す。いま、汚染総排出量 2712.2 が多すぎるために環境損害が著しく、地域当局はこの総排出量を削減して u_T 以下に規制しようと試みるものとする。ここでは、その総量規制値 u_T と地域当局の目標利益額 x_0 としてつぎの三つの場合を考える。

Case 1. $u_T = 2500$, $x_0 = 50$

Case 2. $u_T = 2335.2$, $x_0 = 40$

Case 3. $u_T = 2200$, $x_0 = 30$

まず、全企業がこの総量規制に協力しない場合の各

Table 1 Production before total emission control
(Tax function: $\tau(u)$)

Firm i	Mass flow rate of pollution u_i	Profit by production $B_i(u_i)$	Tax $\tau(u_i)$	Benefit $B_i(u_i) - \tau(u_i)$
1	699.7	1274.6	381.5	893.2
2	722.7	1327.2	411.2	916.0
3	755.5	1741.8	458.3	1283.4
4	534.3	1008.8	224.0	784.8
	Total emission $\sum u_i$	Sum of tax $\sum \tau(u_i)$	Social cost $E(\sum u_i)$	Benefit for control agency $\sum \tau(u_i) - E(\sum u_i)$
0	2712.2	1475.0	1422.7	52.3

企業の活動状況を **Table 2** に示す。ここでは税関数として (15) 式が使われるので、各企業とも汚染排出量を削減し、その結果、汚染総排出量が 2712.2 から 2335.2 に減少している。Table 2 の $v(i)$ は、全企業が単独で行動した場合に得られる税引き後の純利益を示し、総量規制に協力した場合に得られる利益配分額の基準値となる。Case 1~3 に設定した総量規制値はおのおのつぎのような意味をもつ。Case 1 は、全企業が非協力のときの総排出量 2334.2 よりもゆるい総量規制値、Case 2 はその値に等しい規制値、Case 3 はその値よりも厳しい規制値を示している。

全企業が Case 1~3 の各総量規制に協力した場合の、各企業の活動状況を **Table 3** に示す。ここで、税引き後の利益配分額は個人的満足度等価法によって決めている。Table 3 では、各企業の汚染排出量を自企業で決定するのではなく、社会的総利益が最大となるように地域当局が決定し、各企業に割り当てている。Table 3 において、企業 4 は総量規制前 (Table 1) に比べて大幅に排出量を削減させられているため、生産利益 $B_4(u_4)$ は減少するが、総量規制に協力した結果であるので、地域当局は企業 4 から公害税を徴収するのではなく、助成金を支払う形になっている。逆に総量規制の結果、企業 3 は汚染排出量の増加が認められ、総量規制前より多くの生産利益をあげるが、より多くの公害税を徴収される形になる。しかし、どの企業も総量規制に協力せずに単独で汚染排出量を決定する Table 2 における純利益よりも多くの純利益を得ている。したがって、どの企業も協力状態から離脱することなく、安定な状態で総量規制を実現することが可能となる。

実際問題に應用するにあたって、ゲームの解 (税引き後の利益配分額) をどの概念によって決めるべきかという問題が生じる。以下に各概念の特徴について考えてみる。全企業が総量規制に「非協力」の状態から

Table 2 Production without cooperation of any
players to the total emission control (Tax
function: $\tau'(u)$)

Firm i	Mass flow rate of pollution u_i	Profit by production $B_i(u_i)$	Tax $\tau'(u_i)$	Benefit $v(i)$
1	605.1	1152.1	422.2	729.9
2	626.9	1193.3	452.8	740.5
3	667.7	1601.7	516.0	1085.7
4	435.5	931.0	240.6	690.4
	Total emission $\sum u_i$	Sum of tax $\sum \tau'(u_i)$	Social cost $E(\sum u_i)$	Benefit for control agency $\sum \tau'(u_i) - E(\sum u_i)$
0	2335.2	1631.6	1051.6	580.0

Case 1~3 の状態の「協力」に参加することによって得られる利益の増分 ($x_i - v(i)$) を **Table 4** に示す。この値は、ゲームの解を得るときに用いた概念の相違によって異なった値を示す。総量規制値 u_T の相違による利益配分の差および各概念の特徴は Table 4 の中によく現れている。

Case 1 の規制値を用いた場合、全企業が非協力のときの総排出量 (2335.2) よりもゆるい総量規制値 (2500) を目標としているため、社会的総利益を最大にするうえで、生産性のよい企業が「協力」において有利となる。この結果、各企業の「協力」による利益の増分 ($x_i - v(i)$) の大小関係は四つの各概念に対して一致し、企業 3, 1, 2, 4 の順になっている。ただ、最大不満を最小にする仁では生産性のよい企業の有利さを強調し、Shapley 値では全企業の協力状態を考慮するため、その有利さが緩和された配分になっている。これに対して、分裂傾向度等価法や個人的満足度等価法では、仁と Shapley 値の中間的な値を示している。

Case 2 の場合には、協力による利益の増分が Case 1 と大きく異なる。この原因は、企業の協力・非協力にかかわらず総排出量が同じであるので、1 企業だけが協力した場合、各企業とも Table 2 と同じ排出量となり、何の利益も生じない。また、2 企業以上が協力した場合、Case 1 のときと異なり、どちらかといえば生産性の悪い企業が多く利益配分を得る。なぜならば、全企業が協力する場合にも、総排出量を全企業が非協力の場合と同じ値に設定しているため、生産性の悪い企業が汚染排出量を削減することによって総量規制に協力しないと、社会的総利益は増えないからである。したがって、生産性の悪い企業の方が「協力」において有利な立場となる。各概念による利益増分の相違は、仁では各企業とも 1 企業の協力による利益が生じないことが強調されるため等配分となる。しか

Table 3 Production with cooperation of all the players to the total emission control
(Imputation by equal individual satisfaction)

Condition	Firm i	Mass flow rate of pollution u_i	Profit by production $B_i(u_i)$	Tax T_i	Benefit x_i
i) $u_T=2500$ $\bar{u}=800$ Benefit for C. A. 50	1	665.1	1231.0	345.3	885.7
	2	796.2	1423.8	509.0	914.8
	3	800.0	1808.7	531.3	1277.4
	4	238.7	728.3	-135.6	863.9
		Total emission $\sum u_i$	$\sum B_i(u_i)$	Social cost $E(\sum u_i)$	$v(N)$
		2500.0	5191.8	1200.0	3941.8
Condition	Firm i	Mass flow rate of pollution u_i	Profit by production $B_i(u_i)$	Tax T_i	Benefit x_i
ii) $u_T=2335.4$ $\bar{u}=800$ Benefit for C. A. 50	1	602.1	1148.0	281.0	867.0
	2	714.9	1316.6	433.3	883.3
	3	800.0	1808.7	562.2	1246.5
	4	218.2	701.4	-185.1	886.5
		Total emission $\sum u_i$	$\sum B_i(u_i)$	Social cost $E(\sum u_i)$	$v(N)$
		2335.2	4974.7	1051.6	3883.1
Condition	Firm i	Mass flow rate of pollution u_i	Profit by production $B_i(u_i)$	Tax T_i	Benefit x_i
iii) $u_T=2200$ $\bar{u}=800$ Benefit for C. A. 30	1	550.1	1075.8	224.9	850.9
	2	647.8	1223.2	366.9	856.3
	3	800.0	1808.7	598.8	1209.9
	4	202.1	679.0	-217.7	896.7
		Total emission $\sum u_i$	$\sum B_i(u_i)$	Social cost $E(\sum u_i)$	$v(N)$
		2200.0	4786.7	942.9	3813.8

C. A.: Control Agency

し、Shapley 値では、前述した理由によりあまり大きくはないが各企業間で配分の差が生じる。分裂傾向度等価法と自己満足度等価法の配分は、Case 1 の場合と同様、仁と Shapley 値の中間的な値を示す。

最後に Case 3 の場合、各概念による利益増分は、Case 2 と同様の傾向を示すが、さらに生産性の悪い企業の有利さが顕著に現れる。そのため、Case 3 の規制値を用いたときの利益増分の大小関係は四つの各概念に対して一致し、企業 4, 1, 2, 3 の順となり Case 1 の場合とまったく逆の結果となる。これは、Case 2 と同様、生産性の悪い企業の有利さが強調されるためである。

個人的満足度等価法と分裂傾向度等価法による利益の増分の各プレイヤーへの賦与は、Case 1~3 のいずれの場合にも仁と Shapley 値の中間的な値を示しており、プレイヤー間の合意形成が得られやすいと考え

られる。

以上のように、各概念による利益配分の特徴と傾向が理解された。つぎに、この配分を計算するのに必要な計算量を比較すると、個人的満足度等価法や分裂傾向度等価法の計算量が最も少ない。それに対して、仁や Shapley 値はプレイヤー数が増加すればするほど計算量の増え方が激しくなる。

以上のようにして、汚染排出量の割り当ておよび公害税の課税額に関する合意が形成されれば、総量規制は、たやすく実現可能となる。しかし、総量規制が安定に実現するためには、地域当局が自己の目標利益 x_0 と非協力企業に課する税関数 $\tau'(u)$ を適切に設定することが重要な課題となる。なぜならば、全企業が総量規制に協力することによって、より多くの利益が生じなければ、自然に各企業が協力状態から離脱するため、総量規制は実現不可能となるからである。本論

Table 4 Increment of profit ($x_i - v(i)$) for different solution strategies

Condition	Method		Shapley value	Nucleolus	Equal propensity to disrupt	Equal individual satisfaction
	Firm					
i) $u_T=2500$ $\bar{u}=800$ Benefit for C. A. 50	1	165.6	182.2	155.8	155.8	
	2	180.5	200.2	174.3	174.3	
	3	196.1	213.2	191.7	191.7	
	4	153.1	99.7	173.6	173.6	
ii) $u_T=2335.2$ $\bar{u}=800$ Benefit for C. A. 40	1	141.9	159.2	137.1	137.1	
	2	146.2	159.2	142.8	142.8	
	3	159.7	159.2	160.7	160.7	
	4	188.2	159.2	196.1	196.1	
iii) $u_T=2200$ $\bar{u}=800$ Benefit for C. A. 30	1	124.1	139.2	120.9	120.9	
	2	118.5	128.0	115.9	115.9	
	3	118.3	95.2	124.2	124.2	
	4	206.4	204.9	206.3	206.3	

C.A.: Control Agency

文に示した合意形成過程のモデルは、適切な x_0 と $v(u)$ を決定するためのシミュレータとしても有効に使える。

4. む す び

本論文では、地域環境保全を目的とした汚染物質の総量規制における合意形成過程のモデリングの方法論を特性関数形ゲーム理論に基づいて議論した。そこでは、「総量規制」という制約条件のもとに、「社会的総利益」を最大にする汚染排出量の割り当てと、「公平性」を重視した課税の方法論を与えているので、これによって社会的合意形成を得やすい解を見つけることが可能である。今後に残された課題としては、総量規制が安定に実現するための条件や、各企業が総量規制に協力するための条件を理論的に解明すること、さらに対象領域内にあらたに別の企業が誘致される場合の取り扱いなどが挙げられる。

終りに、本研究の一部は、文部省科学研究費「環境

科学」特別研究 (No. 503066) に関連して行われたことを付記し、その間ご懇篤なご指導と有益なご討論を賜った大阪大学社会経済研究所 稲田献一教授に深甚の謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 内藤正明：総量規制施策のあり方に関する一考察，公害と対策，13-1，1/5 (1977)
- 2) 鈴木光男，中村健二郎：社会システム，共立出版 (1976)
- 3) S. Rinaldi, R. Soncini-Sessa, H. Stehfest and H. Tamura: Modeling and Control of River Quality, 309/367, McGraw-Hill, New York (1979)
- 4) S. Rinaldi, R. Soncini-Sessa and A.B. Whinston: Stable Taxation Schemes in Regional Environmental Management, J. of Environmental Economics and Management, 6, 29/50 (1979)
- 5) L. S. Shapley: Core of Convex Games, Int. J. of Game Theory, 1, 11/26 (1971)
- 6) D. Gately: Sharing the Gains from Regional Cooperation, A Game Theoretic Application to Planning Investment in Electric Power, International Economic Review, 15-1, 195/208 (1974)