

環境税の導入に伴う公共政策の決定に関するゲーム論的考察*

*A Game-theoretic Analysis on the Public policy that introduce the environmental tax**

藤村秀樹**

By Hideki Fujimura**

1. はじめに

現代の大量生産・大量消費・大量廃棄の経済社会システムを変革し、人間活動によって生じる物質の循環や自然環境と共生した社会システムの構築が求められている。この環境問題の中でも、廃棄物処分場の確保の問題は、海洋の埋め立て問題とも絡んで年々深刻化しており、解決しなければならない重要課題の一つである。無秩序な海洋の埋め立て計画に対しては、伊勢湾の藤前干潟や博多湾の和白干潟の例に見られるように、環境保全に熱心な市民団体から厳しく反対運動が繰り広げられることになる。一方、私達が現代の生活を営む限り、または産業活動が継続する限り、ある程度の産業廃棄物の排出や環境への負荷は避けられない問題でもある。これら大量に発生する産業廃棄物の量を減少させ、リサイクル社会への誘導手段として、地方自治体において「環境税」の導入が検討されている。この「環境税」の導入に際しては、税を負担する人々の理解と環境保護の立場の人々との不満を調整する必要がある。つまり、産業界ではコスト削減の面から、出来るだけ低い税率が要望されるが、環境団体はこれより相当高い税率により環境を保護したいと考えるからである。以下では、最終処分場の埋め立て量の44%を占める建設廃材を対象とした「環境税」の導入問題の解決に際して、ゲーム理論の立場から考察する。続いて、2章においてゲームの理論と既存の研究をレビューし、本研究の位置づけを明らかにする。3章においては、ゲーム環境の条件設定とのモデル化を行いフローチャートを示すとともに、均衡点の算出方法について取りまとめる。4章では、均衡解の安定性を検討すると共に、公共政策の決定に必要な基礎政策としての市民学習の効果と市場の支持率について考察する。5章は本論文の取りまとめである。

2. 本研究の位置づけ

ゲーム理論がVon Neumannの論文¹⁾(1928年)によって誕生してから70年が過ぎ、Morgensternとの共著「ゲームの理論と経済行動」²⁾(1944年)によって世に出てから50年が経った。それ以降、この理論はナッシュプログラムをベースとして、経済学や社会学・政治学に応用され大きく発展してきた。1970年代、J. Maynard Smith & Price によって、従来の合理的行動の基準を個体群の安定性の基準で、また、利得の基準を子供の数の期待値(Darwinの適応度)に置き換える「進化のゲーム理論」³⁾が展開された。このゲームに対する新しいタイプの“解”が進化的に安定な戦略(ESS: evolutionary stable strategy)として定義されている。本研究は環境税の導入という具体的な「政策提言」の実現に伴う問題点をゲーム理論により分析したものである。それは、ゲーム理論における解軌道や安定性の分析であり、集団における合意形成の分析でもある。また、公共政策の実現に当たっての「均衡解」とは「市民の合意形成の得られる解」とあるという立場からの考察であり、公共政策論の立場から「基礎政策」という新しい概念を導入した。以下では、非対称な集団の均衡問題を進化論的ゲーム理論により分析するが、「合意形成」については、Snizek&Henry(1990)、Harsanyi(1995)、Kobayasi(1998)等の研究が存在するが、従来の研究では直接のプレーヤー間のみの合意形成を研究の対象としており、ゲームによって与えられる利得とこれに伴い変化する均衡点の安定性により、両者の関係を改善し、政策に反映するような考え方は存在しない。本研究は、非対称な集団の均衡問題の分析に際して、従来のナッシュ均衡解の代わりに進化論的ゲーム理論で提案された、ESS(進化的に安定な戦略)とレプリケーター・ダイナミクス(集団中の戦略頻度の時間変化を表現する微分方程式)を用いた。また、ゲームに参加するプレーヤーの「学習による効果」が均衡点の推移に及ぼす影響を観察し、公共の役割と政策決定のメカニズムを数理的に解明した。

* キーワーズ: ゲーム理論, 公共政策, 均衡点, 環境税

** 正員 博士(工学), 北九州市役所(〒803-0813 北九州市小倉北区城内1-1 TEL093-582-2482, FAX093-561-5758)

3. ゲームの設定

3-1) ゲームの設定

本研究は、産業廃棄物の埋立て処分をめぐって、環境保護の立場から埋立を出来るだけ阻止しようとする「環境団体」と埋立投棄料を出来るだけ低く設定したいと考えている「産業団体」を直接のプレーヤーとして選定する。この利害の対立する両プレーヤーは、経済的・社会的環境を考慮しながら、自らに有利ようにゲームを展開する。そして、公共団体はこの両者の集団均衡点を観察して、政策決定を行なう。すなわち、「産業団体」は不満を持ちながらも社会的批判をあびない範囲で投棄料を定額に押さえようとするが、「環境団体」は常に決定された埋立投棄料は低額であるとして不満を持つと仮定する。その上で、公共団体は、環境団体と産業団体の「不満」の釣り合いを考慮し、税収の増大を図るものとする。次に、本研究における均衡点の考え方と具体的な計算手順を図-1に示す。本研究における均衡点は、(1)他のいかなる戦略も侵入できないような進化論的に安定な「ESS安定」と、(2)複数の戦略が均衡状態を形成している「多型安定」および(3)均衡解がその近傍に留まる「リアプノフ安定」に分類する。現実の公共政策の決定に際しては、ゲーム理論から得られる均衡点の状況（種類）と安定性を把握することが重要となる。以下、図-1のフローチャートに従い具体的な計算手順を説明する。

STEP-I：集団における戦略の増加率($\partial x/\partial t$)は、選択した戦略の利得 $u_i(x)$ が集団の平均利得 $u(x)$ より大きければ、そのシェアが増加するので以下のような微分方程式として表される⁵⁾。

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial t} &= f(x) = \{u_i(x) - u(x)\}x_i \\ \frac{\partial y}{\partial t} &= g(y) = \{u_j(y) - u(y)\}y_j \end{aligned} \quad (1)$$

STEP-II：プレーヤーA（環境団体）とプレーヤーB（産業界）の間に、表-1に示す利得（関数）を設定する。ここで、プレーヤーA（環境団体）とプレーヤーB（産業界）には、各々あくまで自説を主張する「主張」戦略と相手の意見を柔軟に受け容れる「協調」戦略という2つの戦略が選択出来るものとするが、モデルの特性をより簡便に把握するため、AとBの戦略の選択確率は同一と仮定すると共にゼロ和ゲームとして取り扱う。

STEP-III：式①及び表-1の利得から、式②が導かれる。

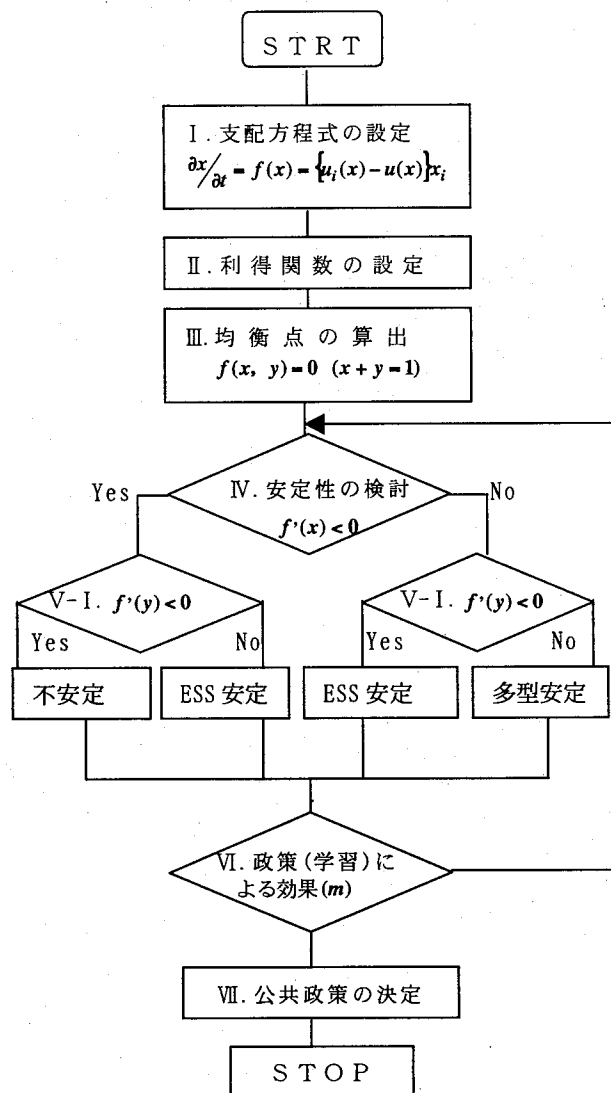


図-1 ゲーム設定のフローチャート

表-1 2×2ゲームの利得表

$u_b(x)$	x (主張)	y (協調)
$u_a(x)$		
x (主張)	a	b
y (協調)	c	d

$$\begin{aligned} f(x) &= \{u_i(x) - u(x)\}x_i \\ &= \{ax + by - x(ax + by) - y(cx + dy)\}x \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $x + y = 1$ である。

式②は、 x に関する3次式であり、定常点は最大で3個存在する。 $(x, y) = (1, 0), (0, 1), (\lambda, 1 - \lambda)$ であり、 λ は式②において $f(\lambda) = 0$ の解として求められる。

$$\lambda = (d - b) / (a - b - c + d) ; 0 < \lambda < 1 \quad (3)$$

ここで、 λ はプレーヤーが戦略 x （主張）を取る確率を表す。

STEP-IV: 求められた定常点の安定性を x で偏微分すると式④が得られる.

$$f'(x) = (ax + by - x(ax + by) - y(cx + dy)) + (a - b - 2ax - by + bx - cy + cx + 2dy)x \quad ④$$

式④に $(x, y) = (1, 0), (0, 1)(\lambda, 1 - \lambda)$ を代入すると,

$$f'(1) = c - a \quad (x = 1, y = 0)$$

$$f'(0) = b - d \quad (x = 0, y = 1)$$

$$f'(\lambda) = (a - c)(d - b) / (a - b - c + d) \quad ⑤$$

が得られる. ここで, $f'(x) < 0$ の時定常点は安定となるが, $f'(x) > 0$ の時定常点は不安定となり, $f'(x) = 0$ の時定常点はリャプノフ安定となる. (詳細は, Appendix 1 参照)

STEP-V-I: $f'(1) < 0$ でかつ $f'(0) < 0$ の場合には, $f'(\lambda)$ の正負は $f'(1)$ と $f'(0)$ の大小関係に依存するので, 均衡点は必ずしも安定とは言えない. $f'(1) < 0$ でかつ $f'(0) > 0$ の場合には, $f'(1) < 0$ となり均衡点 $x = 1$ はESS安定となる. (ESS安定については, Appendix 2 参照)

STEP-V-II: $f'(1) > 0$ でかつ $f'(0) < 0$ の場合には, $f'(0) < 0$ となり均衡点 $y = 1$ はESS安定となる. $f'(1) > 0$ でかつ $f'(0) > 0$ の場合には, $f'(\lambda) < 0$ となり均衡点は多型安定となる. また, リャプノフ安定である解は $f'(x) = 0$ であり, 安定解と不安定解の境界領域となる.

STEP-VI: 公共団体は, 得られた均衡点の安定性や変化と, 経済的・社会的・文化的な環境状況の変化を見比べ, 公共政策の効果を判断し, 必要に応じ新たな学習の場 (m) を提供する等の検討を行う.

STEP-VII: 公共団体は, 妥当と判断される均衡解 (税率) の安定性を評価値 (V) および支持率 (α) を市場調査により確認した上で, 公共政策の決定を行う.

3-(2) モデル化

価値観の異なる「環境保護団体」と「産業団体」からなるゲームのモデル化を行う. 以下, 「環境保護団体」をプレイヤー(A)とし, 「産業団体」をプレイヤー(B)とする.

(Model. 1) ゲームは, プレイヤー(A)を獲得プレイヤー, (B)を支払い側プレイヤーとする二人ゼロ和ゲームを設定する.

(Model. 2) プレイヤー(A)(B)が各々選んだ評価額 (V) の平均値を V_1, V_2 とし, プレイヤー(A)の市場支持率を (α), プレイヤー(B)のそれを $(1 - \alpha)$ とする.

各プレイヤーの評価関数は市場支持率をパラメーターとして直線的に変化すると設定する.

(Model. 3) 両プレイヤーは, 各々「自己主張」戦略と「協調戦略」が選択できるものとする. ただし, 「自己主張」戦略を選定した場合には, 相手を説得するコスト (C) が生ずるものとする.

(Model. 4) 表-1に示した利得表の $a \sim d$ に利得を与える.

a; プレイヤー(A)とプレイヤー(B)が各々「主張」戦略を取る場合においては, プレイヤー(A)の利得は「 $V_1 - C_1$ 」となる. ここで, C_1 は相手を説得するのに要する費用である.

b; プレイヤー(A)が「主張」戦略を取り, プレイヤー(B)が「協調」戦略を取る場合のプレイヤー(A)の利得は「 $V_1 - C_2$ 」($C_1 > C_2$)となる.

c; プレイヤー(A)は「協調」戦略, プレイヤー(B)は「主張」戦略を取る場合, 利得は学習による評価値の上昇分 (m) を加えた $V_1 \cdot (\alpha) + m$ となる.

d; 両プレイヤーが「協調」戦略を選択する場合には $\frac{1}{2}\{V_1(\alpha) + V_2(1 - \alpha) + m\}$ の利得が得られるとする. 図-2に, プレイヤー(A)とプレイヤー(B)の利得の構造を示す. 縦軸は利得を表し, 横軸はプレイヤーのタイプと市場支持率 (α) を表わしている.

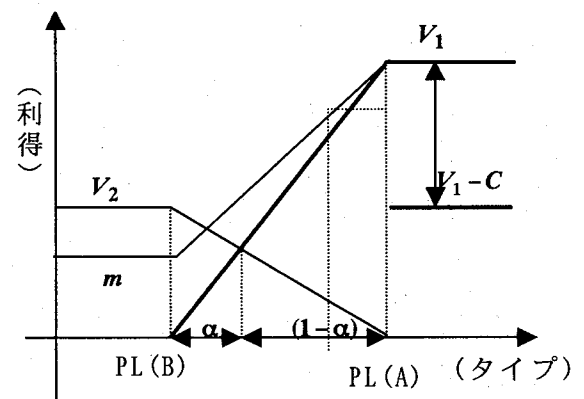


図-2 利得の与え方

(Model. 5) 上記の条件設定により, 表-2の利得表が得られる.

表-2 環境税ゲームの利得表

	PL-B x (主張)	y (協調)
PL-A x (主張)	a ($V_1 - C_1$)	b ($V_1 - C_2$)
y (協調)	c $V_1 \cdot (\alpha) + m$	d $\frac{1}{2}\{V_1(\alpha) + V_2(1 - \alpha) + m\}$

ここで, m は教育効果による評価値の増加を表し, 説得に要する費用は, 一般的に $C_1 > C_2$ である.

4. モデルの分析と数値解析

4-1 均衡解の分析

上記3-1で検討した均衡解の安定性を表-2で得られた利得を用いて、(1)ESS安定、(2)多型安定、(3)リャプノフ安定の場合において、コスト C と市場占有率を (α) をもちいて分析する。

(1). ESS安定条件; $f(x) = 0, f'(x) < 0, |x = 1$ より、

$$V_1(1-\alpha) - m > C_1 \quad (6)$$

$$f'(x) < 0, |x = 0$$
より、

$$\frac{1}{2}\{V_1(2-\alpha) - V_2(1-\alpha)\} - m < C_2 \quad (7)$$

の条件式が得られる。

(2). 多型安定条件; $f(\lambda) = 0, f'(\lambda) < 0 \quad |0 < \lambda < 1$

$$V_1(1-\alpha) - m < C_1, \frac{1}{2}\{V_1(2-\alpha) - V_2(1-\alpha)\} - m > C_2 \quad (8)$$

の条件式が得られる。

(3). リャプノフ安定条件; $f(x) = 0, f'(x) = 0$

$|x = 0, 1$ つまり、式⑥及び式⑦において等号が成立する場合。

$$V_1(1-\alpha) - m = C_1, \frac{1}{2}\{V_1(2-\alpha) - V_2(1-\alpha)\} - m = C_2 \quad (9)$$

の条件式が得られる。

図-3は、縦軸にコスト(C)横軸に市場支持率(α)を用いて、上記の式⑥～⑨の関係を示したものである。各領域における均衡点の状況は以下のように分析される。

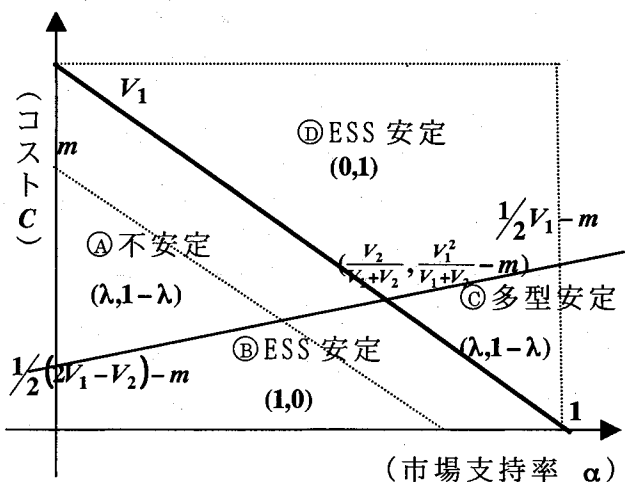


図-3 均衡条件と安定性

④の領域は、 $f'(1) < 0, f'(0) < 0$ の両条件式を満たす領域であるが、 $f'(\lambda) > 0$ であり均衡解が不安定な領域である。⑥の領域は $f'(1) < 0, f'(0) > 0$ であり、「主張戦略($x=1$)」が安定である。⑦の領域は、 $f'(1) > 0, f'(0) > 0$ であり、主張戦略と協調戦略が入り交じった「混合戦

略($0 < \lambda < 1$)」が安定である。⑥の領域は、 $f'(1) > 0, f'(0) < 0$ であり、「協調戦略($x=0$)」が安定である。また、主張戦略($x=1$)と協調戦略($x=0$)の交点は $(\frac{V_2}{V_1+V_2}, \frac{V_2}{V_1+V_2} - m)$ で与えられ、 m の値を大きくすることで「協調戦略」が安定となる領域が大きくなることが理解できる。

4-2 公共政策の決定

一般的に租税は、①資源配分機能②所得再配分機能③経済安定化機能④経済成長促進機能に対する効果を持っている。「環境税」は環境を守りながらリサイクル社会を誘導していく目的税として、今後の導入が期待されている。公共は、この目的を達成するために租税の安定化とこれに必要な基礎政策を充実し、公共政策を決定しなければならない。以下、基礎政策として重要な市民の環境教育(m)と、市場支持率(α)について考察する。図-3から安定した「協調戦略」の成立には、 $f'(1) > 0$ かつ $f'(0) < 0$ が成立しなければならない事が明らかとなった。つまり、公共は教育による評価値の増分(m)が、以下の式⑩、⑪を満たすまで環境教育を実践していく必要がある。

$$V_1(1-\alpha) - C_1 < m \quad (10)$$

$$(V_1 - \frac{1}{2}V_2) - \frac{1}{2}(V_1 - V_2)\alpha - C_2 < m \quad (11)$$

現実的な問題としては、集団には異なる意見を持つ人々が存在する。この状況は、図-3⑥の多型安定な状況であり、この領域の安定の為に市場の支持率(α)が式⑩と⑪の交点である $(\frac{V_2}{V_1+V_2})$ より高いことが必要となる。(但し $C_1 = C_2$ の条件と仮定した場合)

5. まとめと今後の課題

- (1)ゼロ和ゲームにおけるナッシュ均衡点の安定性を進化的ゲーム理論を用いることにより分析することが出来た。
- (2)協調戦略を安定な均衡点とするには環境教育等による評価値の上昇と市場の支持率を上げる多数派工作が有効である事が確認できた。
- (3)公共政策の決定に際しては、基礎政策である市民教育の積み重ねによる評価値と世論の支持率の上昇を見極める必要がある。
- (4)今後は、プレーヤーの非対称性をさらに厳密に取り入れたモデルの開発を行っていく。