

環境マネジメントのための
インセンティブシステムについて*

INCENTIVE SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

福山 敬* 小林 潔司** 岡田 憲夫***

By Kei FUKUYAMA, Kiyoshi KOBAYASHI, Norio OKADA

The main interest of this paper is addressed to the design of incentive-compatible regulation schemes for the total environment load control. The discussions are devoted to the study of information asymmetry between informed agents (firms) and uninformed agents (governments). The privacy of information of the agents gives rise to the need for incentive-compatible mechanisms by which the agents would be induced to spontaneously observe the regulations imposed on their actions. The paper provides a general method of characterizing incentive-compatible regulation scheme by borrowing from the theory of incentives a basic concept; i.e., truth-revelation mechanisms that focuses on the communication between informed and uninformed agents. The paper concludes by assessing the basic properties of the optimal regulation schemes for the total environment load control.

1. はじめに

公害大国であった我が国もその後の反省から様々な公害規制政策が整備され、今日ではほとんどの環境汚染に対し汚染規制をはじめとするてなんらかの対策がとられるまでにいたった。しかしながら、環境問題においては多くの場合汚染主体による汚染物質の排出量を正確に知ることができない。したがって、汚染規制を設定するだけでは不十分であり、汚染主体が常に汚染規制を遵守する保証はない。この場合、汚染規制の設定と同時に規制の実効性を確保するための手段が必要となる。本研究ではこのよう

*キーワード：リスク分析、インセンティブ規制、汚染負荷量規制

**学生会員 鳥取大学大学院 工学研究科修士課程

***正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部社会開発システム工学科

****正会員 工博 鳥取大学教授 同上

(〒680 鳥取市湖山町南4-101)

な問題意識の下に水域内の汚染排出量の総量規制がとられるようになった閉鎖性水域の水質保全問題に焦点を絞り、域内で操業する事業場を対象とした1つの有効な汚染規制制度について検討する。

瀬戸内海をはじめとする閉鎖性水域の水質保全問題においてはその対策として水域内への汚染排出物の総量(総汚染負荷量)規制がとられる場合が多い。このとき総汚染負荷量に基づいて域内の事業場(民間主体)ごとに汚染排水の一日当りの汚染負荷量が決定される¹⁾。ところが民間主体は営利活動を目的とする行動主体であり、民間主体が汚染負荷量規制を遵守する保証はない。この場合、行政主体は利害の対立する民間主体と望ましい協力関係を結ぶことが必要となってくる。そしてこの協力関係により行政主体は民間主体に営利活動に関する自由裁量の余地を与えるだけでなく、その行動を社会的に望ましい方向に導くことが必要となる。本研究ではこのような問題意識の下に、行政主体が民間主体の汚染処理行動

を望ましい方向に間接的に誘導できるようなインセンティブ規制の方法について考察することにする。

2. 本研究の基本的な考え方

総汚濁負荷量規制を受けた水域や地域にあっては、総量削減計画に基づいて地域内企業ごとに汚濁負荷量の許容限度が定められる。この汚濁負荷量は市場機構を介することなく排出されるため一般的にはパレート効率的な資源配分が達成されない。したがって、行政主体はなんらかの方法で企業の汚濁負荷量排出行動を効率的に制御することが必要となる。

環境汚染に関わる市場の失敗を補正し、効率的な資源配分を達成する方法として、外部性の市場への内部化を図る方法、行政的干渉によって補正する方法という二つの方法が存在する²⁾。伝統的なCoaseの考え方³⁾の下では、いずれの方法を用いてもパレート効率的な資源配分を達成できる。しかしCoaseの考え方は当事者（汚染者、被害者、政府）が外部性に関する完全情報を有し、しかも交渉費用、監視費用、司法費用が無視できる理想的な状態を想定している。

本研究では、不確実な環境の下で民間主体の汚濁負荷量の排出行動を制御する問題を考える。この場合、行政主体は民間主体の汚濁負荷処理技術や汚濁排出量削減のための企業努力を完全には監視できないと考えることが妥当であろう。このような情報の非対称性⁴⁾が存在するときCoaseの定理はもはや成立し得ず、次善の方策を模索する必要性が生じる。このような次善の方策を検討する場合、以下の2つの課題が重要になってくる。すなわち、1) 企業行動をいかに望ましい方向に誘導していくか、2) 企業の汚濁処理技術に関する企業の内部情報をどの様に収集するかという問題である。1)の問題に関しては民間主体と行政主体が互いにリスクを分担するためのインセンティブシステム^{5) 6) 7) 8)}を開発することにより、2)に対しては民間主体が自己の汚濁負荷処理技術情報を正直に表明するようなself-selectingメカニズム^{9) 10) 11)}を開発することによって達成できる。本論文では、環境マネジメントのための汚濁負荷量規制方策の情報伝達の機能、誘引体系の整合性について検討する。また、不確実性、情報の非対称性の下での望ましいインセンティブシステムと情報顯示メカニズムについて考察する。

3. 最適インセンティブシステムの設計

(1) インセンティブ規制の必要性

一般に行政主体は民間主体の汚濁排出量を完全に観測するのは難しく、あるいはまた観測できたとしても多大な費用がかかり、結果として効率的な資源配分が達成し得ない。この時、民間主体の汚濁負荷排出行動の結果として顕在化する水域の水質により民間主体の汚濁処理努力を事後評価する事が有用である。これにより民間主体はこの評価システムを考慮にいたした企業行動をとるようになる。よって行政主体は評価システムを適切に設定することで民間主体にその行動を間接的に望ましい方向へ誘導するためのインセンティブを与えることが出来る。

一方、水域の水質水準は民間主体の汚濁排出量だけでなくどの主体にも観測不可能な不確実な外生的要因にも依存する。そのため民間主体がリスク回避的であれば汚濁処理努力水準を上昇させようとするインセンティブが働きにくくなるであろう。このような場合、行政主体が民間主体のリスクを一部分担することが重要となる。民間主体にインセンティブを与えるシステムを連動させることはとりもなおさず行政主体がこのようなリスクの一部を分担を意味する¹²⁾。行政主体がリスク中立的であると仮定すれば、行政主体がリスクをすべて負担することとなり民間主体の汚濁処理努力をサポートすることができる。しかしその一方で民間主体にリスクを全く負担させなければ民間主体は汚濁処理努力に対するインセンティブを失ってしまう。行政主体は適切なリスクの分担を行なうことで民間主体に汚濁負荷処理努力に対するインセンティブを与えることができる¹²⁾。本研究では、このようなインセンティブシステムを通じて民間主体の汚濁負荷処理行動を誘導するメカニズムを「インセンティブ規制」と呼ぶこととする。

(2) 民間主体の行動モデル

モデル化にあたって以下を仮定する。1) 汚濁負荷量規制の対象となる企業は1社だけとする。当該企業は独占企業(もしくは独占競争企業)であるとする。2) 行政主体と企業(民間主体)間の契約は初期時点締結され、その内容は事後的に変更されない。3) 各期に水域で観測される水質にリスクが存在し、その分布は変化しない。4) 補償金・罰金は各期ごとに観

測される水質によって決定される。これは、行政主体が民間主体の汚濁排出量を水域で実現した水質により評価することを意味する。水域の水質は民間主体の汚濁排出量と環境に存在するリスクにより決定される。5) 短期の汚濁規制問題を対象とし民間主体の汚濁処理技術は与件とする。6) 行政主体は民間主体の効用関数、費用関数、汚濁生産関数の形式とリスクに関して完全情報を保有していると仮定する。この仮定はのちに4. で緩めることとする。なお、対象企業が複数存在し行政主体と企業間に情報の非対称性が存在する場合、企業が汚濁処理に対するインセンティブを喪失するというモラルハザード¹³⁾が生じる可能性がある。この場合、本研究と異なった分析枠組みが必要であり、これに関しては将来の課題とする。

民間主体（地域内事業場）は生産活動から得られる利潤に対する期待効用を最大化すると考える。汚水処理に対するインセンティブ規制 Φ は行政主体がすでに決定しており与件とする。

$$\text{Max}_{x, q} \{E[U(\pi(x, q, \varepsilon; \Phi))]\} \quad (1)$$

なお、 x ：生産量、 q ：排水処理量、 π ：利潤、 ε ：水域内の水質のリスクを表す確率変数、 E ： ε に対する期待値、 U ：企業の効用関数である。企業は危険回避的であり $\partial U / \partial \pi > 0$ 、 $\partial^2 U / \partial \pi^2 \leq 0$ 、 $\partial^3 U / \partial \pi^3 \leq 0$ を仮定する。

民間主体は1つの商品 x を生産している独占企業と考える、このとき利潤 π は、

$$\pi(x, q, \varepsilon; \Phi) = p(x)x - C(x) - G(s) - \Phi(r) \quad (2)$$

と表せる。 $p(x)$ は x の逆需要関数、 $G(s)$ は汚濁処理費用であり、 x の生産費用である $C(x)$ とは完全に分離可能と考える。なお、 $s = g(x) - q$ ：汚濁排出量であり、 x の生産に伴う汚濁物生産量 $g(x)$ と処理量 q の差として定義される。ここで、 $\partial(p x) / \partial x > 0$ 、 $\partial^2(p x) / \partial x^2 < 0$ 、 $\partial C / \partial x > 0$ 、 $\partial^2 C / \partial x^2 \geq 0$ 、 $\partial G / \partial s < 0$ 、 $\partial^2 G / \partial s^2 > 0$ を仮定する。 $\Phi(r)$ はインセンティブ規制であり水質測定値 r の関数である。ある観測地点で観測された水質 r は汚濁排出量 $[g(x) - q]$ とリスク ε により決定される。

$$r = s + \varepsilon = [g(x) - q] + \varepsilon \quad (3)$$

ここで、 $\partial g / \partial x > 0$ 、 $\partial^2 g / \partial x^2 > 0$ を仮定する。 ε は残存汚濁物質による水質の悪化の程度を表すバ

ラメータであり $E[\varepsilon] = \kappa$ （一定）を仮定する。以下議論を簡単にするために $\kappa = 0$ を仮定する。

民間主体の一階の最適化条件は

$$p(1-1/\eta) = g' E[\Phi' U'] / E[U'] + C' + G' g' \\ G' = -E[\Phi' U'] / E[U'] \quad (4)$$

となる。ここで $g' = \partial g / \partial x$ 、 $G' = \partial G / \partial s$ 、 $C' = \partial C / \partial x$ 、 $\Phi' = \partial \Phi / \partial r$ 、 $U' = \partial U / \partial \pi$ 、 $\eta = -(\partial x / \partial p) / (x/p)$ ：需要の価格弾力値である。

(3) 行政主体の行動モデル

行政主体は水質の目標値を達成できるインセンティブ規制のうち、それに要する費用の期待値の最小化（期待インセンティブ費用最小化）を目的とする。

$$\text{Min}_{\Phi} E[\Phi(r^*)] \quad (5)$$

生産量 x 及び汚濁処理量 q の決定は民間主体に委ねられている。行政主体はインセンティブ規制 Φ を設定することで民間主体の行動を誘導する。目的関数である r^* はインセンティブ規制 Φ のもとで民間主体が最適行動を行った結果として実現する水質である。よって企業の最適化条件である式(4)が民間主体が汚濁処理を行なうインセンティブをもつための制約条件となる。これをインセンティブ制約と呼ぶ。また民間主体が当該のインセンティブ規制の下でも操業を維持していくために民間主体の適正な効用水準を補償するために保留効用制約を設ける。さらに、民間主体が与えられた汚濁負荷量を守って操業するという汚濁負荷量条件を設ける。このとき、最適インセンティブ規制問題は次のように定式化できる。

$$\text{Min}_{\Phi, x, q} E[\Phi(r)] \\ \text{subject to} \\ p(1-1/\eta) = g' E[\Phi' U'] / E[U'] + C' + G' g' \\ G' = -E[\Phi' U'] / E[U'] \\ E[U\{p(x)x - C(x) - G(s) - \Phi(r)\}] \geq U_0 \\ s \leq s_0 \quad (6)$$

ここで U_0 は保留効用水準、 s_0 は汚濁負荷量である。

線形インセンティブ規制を仮定しよう。実用性を考える場合、複雑な規制制度は必ずしも得策ではない。線形インセンティブ規制はその構造の単純さにも関わらず以下に示すようにインセンティブ規制として十分機能することがわかる。民間主体に課せられるインセンティブ規制が水質と比例して変動する罰金項と固定的な補償金によって構成されると考えよう。

$$\Phi(r) = m r - M \quad (7)$$

ここで、 m ：罰金率、 M ：補償金である。線形インセンティブ規制の下では $\Phi' = m$ が成立し、 Φ' は確率変数ではない。したがってインセンティブ制約は以下のように簡略化できる。

$$p(1-1/\eta) = g' m + C' + G' g' \quad (8)$$

$$G' = -m \quad (9)$$

式(8)は、負荷量排出に伴う限界的な罰金と x の生産のための限界費用の和が限界収入と等しくなることを意味している。(9)式は、罰金率が汚濁処理の限界費用に等しいことを示している。式(8)、(9)を m で偏微分することにより、最適解 x^* 、 s^* 、 q^* に対して

$$\begin{aligned} \frac{\partial x^*}{\partial m} = 0, \quad \frac{\partial q^*}{\partial m} = \frac{1}{G''} > 0, \\ \frac{\partial s^*}{\partial m} = -\frac{1}{G''} < 0 \end{aligned} \quad (10)$$

が得られる。ここで $G'' = \partial^2 G / \partial s^2$ である。また M で偏微分することにより

$$\frac{\partial x^*}{\partial M} = 0, \quad \frac{\partial q^*}{\partial M} = 0, \quad \frac{\partial s^*}{\partial M} = 0 \quad (11)$$

が得られる。よって線形インセンティブ規制(7)のもとでは、罰金率 m の増加は民間主体の生産量 x に変化をもたらさないが汚濁処理量 q の増加と汚濁排出量 s の減少をもたらす。線形インセンティブ規制は企業の生産量に影響を与えることなく汚濁処理努力に対するインセンティブを与えることができる。一方、固定補償金 M の変化は危険回避的な民間主体の行動に何の変化ももたらさない。つまり、 M は企業の汚濁処理努力に対するインセンティブとして働かない。換言すれば、固定補償金 M は民間主体の保留効用制約を達成させる手段であり、それ自体インセンティブシステムとしての役割は果たさない。

4. 誘因両立的メカニズムの設計

(1) 誘因両立的顕示メカニズム

最適インセンティブ規制問題が通常のインセンティブ設計問題⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾と異なる点は、民間主体は行政主体と汚濁処理に関して必ずなんらかの契約を結ばなければならないところにある。通常のインセンティブ問題では行政主体は競争原理を通じて民間主体の内部情報を獲得できる¹²⁾。インセンティブ規制の場合、このような競争メカニズムを利用できず民間主体の内部情報を獲得するためのメカニズムの設計が

必要となる。すなわち、行政主体と民間主体の間に情報の非対称性が存在するため、行政主体は問題(6)を正確に定式化することができずこのままでは最適なインセンティブ規制を提示することができない。

このような情報の非対称性が存在するとき、行政主体は民間主体の真の意志を制度内容に反映できるような顕示メカニズム¹⁴⁾の設計が重要となる。そして行政主体は民間主体の内部情報¹⁵⁾を欠くため、民間主体が自己の内部情報を正直に表明することを前提としなくても、結果的に真の内部情報を表明する誘因をもつような契約(誘因両立的な契約¹⁶⁾)の設計が必要となる。民間主体が自ら正直な表明をおこなう要因両立的顕示メカニズムを設定できれば、行政主体はその表明にしたがって望ましいインセンティブ規制制度を決定することができる。

(2) 内部情報の顕示メカニズム

行政主体は民間主体の汚濁処理技術水準が正確にはわからないと考える。民間主体の汚濁処理技術水準が一元的にパラメータ θ で表されるとする。 θ は汚濁処理技術水準の集合 $\Theta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ の要素であり、集合 Θ は全ての主体に知られている。具体的には θ は費用関数に含まれるパラメータを意味する。いま、民間主体の真の技術パラメータを θ^* と表わそう。行政主体が θ^* の値を知っていれば3.で定式化した最適インセンティブ規制問題を解くことにより望ましい線形インセンティブ規制 $m^*(\theta^*)$ 、 $M^*(\theta^*)$ を求めることができる。しかし、情報の非対称性により行政主体は真の θ の値を知り得ない。そこで行政主体は図1に示すように民間主体が選択可能なインセンティブ規制メカニズムの集合 $\Psi = \{m(\theta), M(\theta) : \theta \in \Theta\}$ を民間主体に提示する。民間主体は図1で示されるインセンティブ規制の中から最も望ましいと考えるインセンティブ規制を選択する。図1に示すインセンティブ規制集合の中から一つのインセンティブ規制を選択することは同時にその背後にある技術情報を顕示していることになる。例えば、図1で点Aを選択することはその背後にある技術 $\tilde{\theta}$ を表明していることになる。当然のことながら、上述のような情報の非対称性の下では行政主体は民間主体が虚偽の申告を行なっているかどうかを知ることができない。先の例では、 $\tilde{\theta}$ が θ^* に一致する保証はない。民間主体が正直に自己の技術水準を顕示す

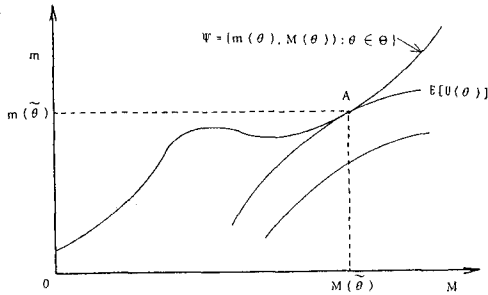


図1 Self-Selecting Mechanism

ることが当該の民間主体にとっても望ましい結果をもたらすような誘因両立的な顯示メカニズムを設計することが重要となる。いま、民間主体が自ら望ましいと考えるインセンティブ規制を選択することによって、結果的に真の技術パラメータを顯示するようなメカニズムをSelf-Selectingメカニズムと呼ぶ。このようなメカニズムをいかに設計するかがインセンティブ規制問題において重要な課題となる。

行政主体が民間主体に課せるインセンティブ規制制度Φを民間主体が顯示した処理技術水準θ̃の関数として表現しよう。いま、民間主体の真の技術パラメータをθとする。民間主体が仮に虚偽の申告θ̃を行ない、(m(θ̃), M(θ̃))を選択したとする。この場合、民間主体はインセンティブ規制(m(θ̃), M(θ̃))の下で行動を行なうことになる。このときの企業行動は次式のようになる。

$$\pi(\tilde{\theta}) = \max_{x, q} E[U\{(p(x)-C)x - G(s; \theta^*) - m(\tilde{\theta})(g(x)-q+\varepsilon) + M(\tilde{\theta}))\}] \quad (12)$$

ここでC(x) = Cx, ∂G(s; θ)/∂θ > 0であるとする。

次に、当該民間主体が自己の技術水準を正直に申告すると考える。この場合、インセンティブ規制は(m(θ*), M(θ*))となり、企業行動は

$$\pi(\theta^*) = \max_{x, q} E[U\{(p(x)-C)x - G(s; \theta^*) - m(\theta^*)(g(x)-q+\varepsilon) + M(\theta^*))\}] \quad (13)$$

となる。いまπ(θ*) ≤ π(θ̃)としよう。このとき当該民間主体は自己の技術水準θ*を正直に表明する誘

因を持たない。インセンティブ規制は任意のθ*, θ̃ ∈ Θに対して常にπ(θ*) ≥ π(θ̃)が成立することを要求する。このとき、インセンティブ規制Ψ*は誘因両立的¹⁷⁾であると呼ぶ。

(3) 誘因両立性原理

本項ではインセンティブ規制Ψ*が誘因両立的であるための必要十分条件を求める。いま、民間主体が

技術パラメータθ̃を表明したとしよう。このとき民間主体の最適行動は問題(12)の解として得られる。この最適行動を次式のように表わそう。

$$x^*(\Phi(\tilde{\theta})) = x^*(\tilde{\theta}), \quad q^*(\Phi(\tilde{\theta})) = q^*(\tilde{\theta}) \quad (14)$$

ただし、Φ(θ̃) = {m(θ̃), M(θ̃)}である。式(14)を問題(12)の目的関数に代入しよう。このとき真の汚濁処理技術θ*を持つ民間主体の顯示行動は、次のように表される。

$$\begin{aligned} \max_{\tilde{\theta}} E[U\{(p(x^*(\tilde{\theta}))-C)x^*(\tilde{\theta}) - G(g(x^*(\tilde{\theta}))) \\ - q^*(\tilde{\theta}); \theta^*) - m(\tilde{\theta})(g(x^*(\tilde{\theta}))-q^*(\tilde{\theta})+\varepsilon) \\ + M(\tilde{\theta}))\}] \end{aligned} \quad (15)$$

民間主体は問題(15)を最大にするようなθ̃*を表明する。この問題の1階条件は次のようになる。

$$\begin{aligned} E[U' \{ (p(x^*(\tilde{\theta}^*)))' x^*(\tilde{\theta}^*) + p(x^*(\tilde{\theta}^*)) - C \} \dot{x}^*(\tilde{\theta}^*) \\ - \{ g(x^*(\tilde{\theta}^*)) \}' \dot{x}^*(\tilde{\theta}^*) - \dot{q}^*(\tilde{\theta}^*) \} G(g(x^*(\tilde{\theta}^*))) \\ - q^*(\tilde{\theta}^*); \theta^* \}' - \dot{m}(\tilde{\theta}^*) (g(x^*(\tilde{\theta}^*)) - q^*(\tilde{\theta}^*) + \varepsilon) \\ - \dot{M}(\tilde{\theta}^*) (g(x^*(\tilde{\theta}^*)) \dot{x}^*(\tilde{\theta}^*) - \dot{q}^*(\tilde{\theta}^*)) \\ + \dot{M}(\tilde{\theta}^*) \}] = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

ここに、U' = ∂U(π)/∂π、ẋ(θ̃*) = ∂x(θ̃*)/∂θ̃、q̇(θ̃*) = ∂q(θ̃*)/∂θ̃、g(x(θ̃*))' = ∂g(x(θ̃*)) / ∂x、ṁ(θ̃*) = ∂m(θ̃*)/∂θ̃、Ṁ(θ̃*) = ∂M(θ̃*)/∂θ̃、G(g(x*(θ̃*)) - q*(θ̃*); θ*)' = ∂G(s(θ̃*); θ*) / ∂s、(ただしs(θ̃*) = g(x*(θ̃*)) - q*(θ̃*))である。したがってこの民間主体が真実のパラメータθ*を顯示するためには、問題(15)の最適解θ̃*が真実のパラメータ値θ*と一致しなければならない。なお、式(16)においてG(g(x*(θ̃*)) - q*(θ̃*); θ*)'はθ = θ* (真の汚濁処理技術)で評価した微分項であることに留意してほしい。このとき民間主体がθ*を顯示するための必要条件は、式(16)がθ̃* = θ*の点において成立することである。民間主体のインセンティブ制約(8)、(9)を考慮すると以下の式で表される。

$$E[U' \{ \dot{M}(\theta^*) - \dot{m}(\theta^*) (g(x(\theta^*)) - q(\theta^*) + \varepsilon) \}] = 0 \quad (17)$$

誘因両立性原理はいかなる汚濁処理技術水準に対しても常に成立しなければならない。式(17)は任意のθ ∈ Θに対して恒等的に成り立たなければならない。式(18)をθに関して偏微分すれば次式を得る。

$$\begin{aligned} E[U' \{ (p(x(\theta)))' x(\theta) + p(\theta) - C \} \dot{x}(\theta) \\ - G(s(\theta); \theta)' \dot{s}(\theta) - \partial G(s(\theta); \theta) / \partial \theta \\ - \dot{m}(\theta) (s(\theta) + \varepsilon) - m(\theta) \dot{s}(\theta) \\ + \dot{M}(\theta) \} \{ p(x(\theta))' x(\theta) + p(x(\theta)) - C \} \dot{x}(\theta) \\ - G(s(\theta); \theta)' \dot{s}(\theta) - \dot{m}(\theta) (s(\theta) + \varepsilon) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -m(\theta)\dot{s}(\theta)+\dot{M}(\theta))+U'[p'(x(\theta))\dot{x}(\theta)^2x(\theta) \\
& +p(x(\theta))'(\dot{x}(\theta)x(\theta)+2\dot{x}(\theta)^2) \\
& +(p(x(\theta))-C)\dot{x}(\theta)-\{\partial^2G(s(\theta);\theta) \\
& / \partial s \partial \theta\}\dot{s}(\theta)+[\partial^2G(s(\theta);\theta)/\partial^2s]\dot{s}(\theta)^2 \\
& +\partial G(s(\theta);\theta)/\partial s(\dot{s}(\theta))]-\{\dot{m}(\theta)(s(\theta)+\varepsilon) \\
& +2\dot{m}(\theta)\dot{s}(\theta)+m(\theta)\dot{s}(\theta))+\dot{M}(\theta)\}]=0 \quad (18)
\end{aligned}$$

なお、 $U''=\partial^2U(\pi)/\partial\pi^2$ 、 $p(\theta)''=\partial^2p(x(\theta))/\partial x^2$ 、 $\dot{x}(\theta)=\partial^2x(\theta)/\partial\theta^2$ 、 $\dot{M}(\theta)=\partial^2M(\theta)/\partial\theta^2$ 、 $\dot{m}(\theta)=\partial^2m(\theta)/\partial\theta^2$ 、 $\dot{s}(\theta)=\partial(g(x(\theta))-q)/\partial\theta$ 、 $\dot{s}(\theta)=\partial^2(g(x(\theta))-q(\theta))/\partial\theta^2$ である。次にこの問題の2階の最適化条件は次式で表される。

$$\begin{aligned}
& E[U'\{\{p(x(\theta))'x(\theta)+p(x(\theta))-C\}\dot{x}(\theta) \\
& -G(s(\theta);\theta)\dot{s}(\theta)-\dot{m}(\theta)(s(\theta)+\varepsilon) \\
& -m(\theta)\dot{s}(\theta)+\dot{M}(\theta))+U'[p'(x(\theta))\dot{x}(\theta)^2x(\theta) \\
& +p(x(\theta))'(\dot{x}(\theta)x(\theta)+2\dot{x}(\theta)^2) \\
& +(p(x(\theta))-C)\dot{x}(\theta)-\{\partial^2G(s(\theta);\theta) \\
& / \partial^2s\}\dot{s}(\theta)^2+\partial G(s(\theta),\theta)/\partial s(\dot{s}(\theta))\} \\
& -\{\dot{m}(\theta)(s(\theta)+\varepsilon)+2\dot{m}(\theta)\dot{s}(\theta)+m(\theta)\dot{s}(\theta) \\
& +\dot{M}(\theta)\}]\leq 0 \quad (19)
\end{aligned}$$

さらに、式(18)を用いれば式(19)は以下のように簡略化される。

$$\begin{aligned}
& \dot{s}(\theta) \frac{\partial^2G(s;\theta)}{\partial s \partial \theta} \\
& - \dot{m}(\theta) \frac{\partial G(s,\theta)}{\partial \theta} \frac{\partial}{\partial \pi} \frac{E[U'\varepsilon]}{E[U']} \leq 0 \quad (20)
\end{aligned}$$

よって最適化問題(12)の局所的十分条件は式(17)及び式(20)で表わされる。いま、仮定より $U''>0$ 、 $U''\leq 0$ 、 $U''\leq 0$ 。したがって、

$$\frac{\partial}{\partial \pi} \frac{E[U'\varepsilon]}{E[U']} \geq 0 \quad (21)$$

が成立する。注1) 仮定より $\frac{\partial G(s;\theta)}{\partial \theta} > 0$ である。任意の $\theta \in \Theta$ に関して常に式(20)が成立するための十分条件は

$$\dot{s}(\theta) \frac{\partial^2G(s(\theta);\theta)}{\partial s \partial \theta} \leq 0, \quad \dot{m}(\theta) \geq 0 \quad (22)$$

である。ここで

$$\partial^2G^2(s(\theta);\theta)/\partial s \partial \theta < 0 \quad \forall \theta, q \quad (23)$$

を仮定すると次式を得る。

$$\dot{s}(\theta) \geq 0, \quad \dot{m}(\theta) \geq 0 \quad \forall \theta \in \Theta \quad (24)$$

2階の最適化条件は真の技術パラメータ θ^* の近傍で $\tilde{\theta}=\theta^*$ が問題(15)の最適解であることを保証する

局所的十分条件である。いま、民間主体が常に真実のパラメータ θ^* を表明するインセンティブを持つためには、任意の $\tilde{\theta} \in \Theta$ に対して常に次式が成立しなければならない。すなわち、

$$\begin{aligned}
\phi(\tilde{\theta}, \theta^*) = & E[U'\{(p(x(\tilde{\theta}))-C)x(\tilde{\theta})-G(s(\tilde{\theta});\theta^*) \\
& -\phi(g(x(\tilde{\theta}))-q(\tilde{\theta})+\varepsilon, \tilde{\theta})\}] \quad (25)
\end{aligned}$$

と定義する。このとき式(17)は

$$\phi_1(\theta^*, \theta^*) = 0 \quad (1 \text{ 階条件}) \quad (26)$$

と表せる。また、任意の $\tilde{\theta} \in \Theta$ に対して必ず

$$\phi(\theta^*, \theta^*) \geq \phi(\tilde{\theta}, \theta^*) \quad \forall \tilde{\theta} \in \Theta \quad (27)$$

が成立しなければならない。以下では式(17)、(24)が成立すれば大域的に式(27)が成立することを示す。

$\tilde{\theta} < \theta^*$ を仮定しよう。そのとき

$$\begin{aligned}
\phi(\theta^*, \theta^*) - \phi(\tilde{\theta}, \theta^*) & = \int_{\tilde{\theta}}^{\theta^*} \phi_1(t, \theta^*) dt \\
& = \int_{\tilde{\theta}}^{\theta^*} E[U'\{(p'(x(t))x(t)+p(x(t))-C \\
& -m(t)g'(x(t)))x'(t)-\{\partial G(s(t);\theta^*)/\partial s \\
& +m(t)\}s'(t)-\{\dot{m}(t)(g(x(t))-q(t)-\varepsilon) \\
& +\dot{M}(t)\}]\} dt \quad (28)
\end{aligned}$$

ここで式(23)より、いかなる $t < \theta^*$ に関しても $\partial G(s(t);t)/\partial s < \partial G(s(t);\theta^*)/\partial s$

が成り立つ。よって(21)、(26)より

$$\begin{aligned}
0 = & E[U'\{(p'(x(t))x(t)+p(x(t))-C \\
& -m(t)g'(x(t)))\dot{x}(t) \\
& -\{\partial G(s(t);t)/\partial s+m(t)\}\dot{s}(t) \\
& -\{\dot{m}(t)(g(x(t))-q(t)+\varepsilon)-\dot{M}(t)\}]\} \\
& \leq E[U'\{(p'(x(t))x(t)+p(x(t))-C \\
& -m(t)g'(x(t)))\dot{x}(t) \\
& -\{\partial G(s(t);\theta^*)/\partial s+m(t)\}\dot{s}(t) \\
& -\{\dot{m}(t)(g(x(t))-q(t)+\varepsilon)-\dot{M}(t)\}]\} \quad (30)
\end{aligned}$$

よって式(28)は正である。 $\tilde{\theta} > \theta^*$ の場合も同様の議論で式(27)を得る。したがって式(17)、(24)は民間注1)

企業が危険回避的な場合、 $\varepsilon \geq 0$ の時 $U''(\pi) \geq U''(\bar{\pi})$ 、 $U'(\pi) \geq U'(\bar{\pi})$ 、 $\varepsilon < 0$ の時 $U''(\pi) \leq U''(\bar{\pi})$ 、 $U'(\pi) \leq U'(\bar{\pi})$ 。ただし、 $\bar{\pi} = E[\pi]$ 。ゆえに、 $U''(\pi)\varepsilon \geq U''(\bar{\pi})\varepsilon$ 、 $U'(\pi)\varepsilon \geq U'(\bar{\pi})\varepsilon$ 。両辺の期待値をとれば $E[U''(\pi)\varepsilon] \geq U''(\bar{\pi})E[\varepsilon]=0$ 、 $E[U'(\pi)\varepsilon] \geq U'(\bar{\pi})E[\varepsilon]=0$ 。また仮定より $U''>0$ 、 $U''\leq 0$ 。ゆえに

$$\begin{aligned}
& \partial(E[U'\varepsilon]/E[U'])/\partial \pi \\
& = \frac{E[U''\varepsilon]E[U']-E[U'\varepsilon]E[U'']}{E[U']^2} \geq 0
\end{aligned}$$

主体が真の θ^* を表明するための大域的な必要十分条件になっている。

(4) 誘因両立的インセンティブ規制問題

行政主体は θ^* の分布に関して主観的な期待を有している。 θ^* に関する主観的な分布関数を $F(\theta)$ により表現しよう。行政主体の目的が「期待インセンティブ費用の最小化」にあると考えるとこの誘因両立的インセンティブ規制問題は

$$\text{Min}_{m, M, \Theta} \int E[m(\theta)r^*(\theta, \varepsilon) - M(\theta)] dF(\theta) \quad (31)$$

subject to

$$E[U^*(\dot{M}(\theta) - \dot{m}(\theta)r^*(\theta, \varepsilon))] = 0 \quad (32)$$

$$s^*(\theta) \geq 0, \dot{m}(\theta) \geq 0 \quad (33)$$

$$p(x^*(\theta))(1 - 1/\eta) = C \quad (34)$$

$$G(s^*(\theta); \theta)' = -m(\theta) \quad (35)$$

$$E[U\{p(x^*(\theta))x^*(\theta) - Cx^*(\theta) - G(s^*(\theta); \theta) - m(\theta)r^*(\theta, \varepsilon) + M(\theta)\}] \geq U_0 \quad (36)$$

$$s^*(\theta) \leq s_0 \quad (37)$$

となる。ここで $r^*(\theta, \varepsilon) = s^*(\theta) + \varepsilon = g(x^*(\theta)) - q^*(\theta) + \varepsilon$ 、 $F(\theta)$ は θ の分布関数である。式(32)、(33)はインセンティブ制約、式(34)、(35)は民間主体の最適化条件、式(36)は保留効用条件、式(37)は汚濁負荷量条件である。

いま、 θ を独立変数と考えれば問題(31)~(37)は、 m 、 M を制御変数、 q 、 x を状態変数とする最適制御問題となっている。最適制御 $m^*(\theta)$ 、 $M^*(\theta)$ を求めることにより民間主体が選択可能なインセンティブ規制メカニズムの集合 $\Psi = \{m(\theta), M(\theta) : \theta \in \Theta\}$ を得る。行政主体は民間主体に Ψ を提示する。民間主体は Ψ の中から最も望ましいと考えるインセンティブ規制を選択する。これにより、民間主体の真の内部情報を反映するインセンティブ規制に関する取り決めを求めることができる。問題(31)~(37)の形式より最適解の定性的な性質に関していくつかの知見を得ることができる。まず、式(32)、(34)、(35)より次式を得る。
$$E[\partial U(\pi^*(\theta))/\partial \theta] = -\partial G^*(s^*(\theta); \theta)/\partial \theta \leq 0 \quad (38)$$

すなわち、汚濁処理技術水準が低ければ θ の値が大きければ企業の期待効用は低くなる。インセンティブ規制はより高度な汚濁技術水準 θ を有する民間主体により多くの利潤を保証することにより、民間主体に真実の内部情報を表明するインセンティブを与え

るメカニズムを有している。式(33)より技術水準が向上するほど汚濁排出量は減少する。式(36)、(38)より最も低水準の技術を有する民間主体の効用は保留効用水準に拘束される。すなわち、次式が成立する。

$$E[U(\pi^*(\theta))] = U_0 \quad (39)$$

また、式(33)より民間主体の汚濁処理技術水準が低いほど汚濁排出量が多く、罰金率が高くなる。さらに、式(33)、(37)より次式が成立する。

$$s^*(\theta) = s_0 \quad (40)$$

インセンティブ規制は汚濁処理技術が高い民間主体により多くの利潤を保証する。これにより民間主体が汚濁処理技術を低下させるインセンティブを防ぐことが可能となる。本研究では、民間主体の汚濁処理技術水準を所与とした短期的な規制問題を対象としている。民間主体により高度な汚濁処理技術を導入するインセンティブをどのように与えるかという長期的なインセンティブ規制問題に関しては別の機会に発表することとする。

問題(31)~(37)のハミルトニアンを

$$H = E[m(\theta)r^*(\theta, \varepsilon) - M(\theta)] + \lambda_1 E[U^*(\dot{M}(\theta) - \dot{m}(\theta)r^*(\theta, \varepsilon))] + \lambda_2 \dot{s}^*(\theta) + \lambda_3 \dot{m}(\theta) + \lambda_4 \{p(x^*(\theta))(1 - 1/\eta) - C\} + \lambda_5 \{G(s^*(\theta); \theta)' + m(\theta)\} + \lambda_6 \{E[U\{p(x^*(\theta))x^*(\theta) - Cx^*(\theta) - G(s^*(\theta); \theta) - m(\theta)r^*(\theta, \varepsilon) + M(\theta)\}] - U_0\} + \lambda_7 \{s^*(\theta) - s_0\} \quad (41)$$

と定義する。ここに、 λ_i ($i=1, \dots, 7$): 随伴変数である。ポントリャーギンの最大値原理よりインセンティブ規制の集合 Ψ は、以下の条件を同時に満足するような $\Psi = \{m(\theta), M(\theta) : \theta \in \Theta\}$ として求まる。

$$\lambda^T = -\partial H / \partial \mathbf{x} \quad (42)$$

$$\partial H / \partial \mathbf{u} = 0 \quad (43)$$

$$\dot{\mathbf{x}}^T = \partial H / \partial \lambda \quad (44)$$

$$p(x^*(\theta))(1 - 1/\eta) = C \quad (45)$$

$$G(s^*(\theta); \theta)' = -m(\theta) \quad (46)$$

$$E[U(\pi^*(\theta))] = U_0 \quad (47)$$

$$s^*(\theta) = s_0 \quad (48)$$

ここで、 $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_7)$ 、 $\mathbf{x} = (x, q)$ 、 $\mathbf{u} = (m, M)$ である。この問題は式(47)、(48)を初期拘束条件 ($\theta = \bar{\theta}$ の時初期状態と考える) とする終端点固定、終端状態自由の最適制御問題となっている。インセンティブ規制を具体的に求めるためには効用関数、費用関数、 θ の分布関数を特定化し、最適制御問題(31)~(37)を解く

必要がある。この問題を解析的に解くことは困難であり、数値計算に頼らざるを得ない。紙面の都合上、事例計算の結果は講演時に譲ることとする。

4. おわりに

本研究では、閉鎖性水域内の総汚濁負荷量規制問題をとりあげた。行政主体は水域内全体で削減すべき総汚濁負荷量を決定し、これに基づいて域内で操業している民間主体に対して汚濁負荷量に関する許容限度を定める。行政主体はこの汚濁負荷量を守らせるため民間主体との間で取り決めを結ぶ。しかし、行政主体が民間主体の汚濁負荷量処理行動を詳細にモニタリングするのは困難である。この場合、顕在化する水域内の水質により民間主体の排出量を事後評価するメカニズムを汚濁負荷量規制に盛り込むことにより、民間主体の行動を間接的に誘導しようとする考え方が成立しよう。本研究ではこのような立場から汚濁負荷量のインセンティブ規制制度に関する1つの科学的アプローチを試みたものである。

本研究は緒についたばかりであり、今後に残されたいくつかの研究課題がある。すなわち、1)汚濁処理技術導入に関するインセンティブシステムの設計(長期的インセンティブ規制問題)、2)複数企業を同時に対象としたインセンティブ規制問題に関する考察、3)企業間でのインセンティブ協力体制の確立に関する研究等の基礎研究を行なわなければならない。また本研究ではインセンティブ規制の方法論に関して理論的なアプローチを試みた。今後は数値計算実験を通じてインセンティブ規制の特性に関して詳細に検討する必要がある。その一例は講演時に発表したいと考える。なお、本研究の遂行にあたっては鳥取大学多々納裕一助手から貴重な意見をいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岡田憲夫：環境負荷量配分計画のコンフリクト分析—閉鎖性水域を対象として、第2回環境容量シンポジウム(国立公害研究所資料)、環境庁国立公害研究所、1989.
- 2) 奥野正寛、鈴木興太郎：ミクロ経済学Ⅱ、岩波書店、1988.

- 3) Coase, R. H. : The problem of social cost, *Jour. of Law and Economics*, Vol. 3, pp. 1-44, 1960.
- 4) 酒井康弘：不確実性の経済学、有斐閣、1982.
- 5) Harris, M. and Raviv, A. : Optimal incentive contracts with imperfect information, *Jour. of Economic Theory*, Vol. 20, pp. 231-259, 1979.
- 6) Grossman, D. J. and Hart, O. D. : An analysis of principal-agent problem, *Econometrica*, Vol. 51, pp. 7-45, 1983.
- 7) Hey, J. and Lambert, P. J. : *Surveys in the Economics of Uncertainty*, Basil Blackwell, 1987.
- 8) Bamberg, G. and Spremann, K. eds. : *Agency Theory, Information, and Incentives*, Springer-Verlag, 1987.
- 9) Guesnerie, R. and Laffont, J. -J. : Control of firms under incomplete information, *Jour. of Public Economics*, Vol. 25, pp. 329-369, 1984.
- 10) Arrow, K. J. : Agency and the Market, Chapter 23, *Handbook of Mathematical Economics*, Vol. III, ed. by K. J. Arrow and M. D. Intriligator, North-Holland, pp. 1183-1200, 1986.
- 11) Cresta, J. P. and Laffont, J. -J. : Incentive compatibility of Insurance contracts and the value of information, *Journal of Risk and Insurance*, Vol. 54, pp. 520-540, 1987.
- 12) 小林潔司：都市開発のための最適信託契約に関する理論的研究、土木学会論文集(投稿中)。
- 13) Holmstrom, B. : Moral Hazard and observability, *Bell Journal of Economics*, Vol. 10, pp. 74-91, 1979.
- 14) Hurwicz, L. : The design of mechanisms for resource allocation, *American Economic Review*, Vol. 63, pp. 1-30, 1972.
- 15) Laffont, J. -J. : *The Economics of Uncertainty and Information*, MIT Press, 1989.
- 16) Groves, T., Radner, R., and Reiter, S. : *Information, Incentives, & Mechanisms*, Basil Blackwell, 1987.