

応用一般均衡分析による難燃剤規制策の評価

武藤慎一¹・東海明宏²・高木朗義³・河合俊介⁴

¹正会員 博(工) 大阪工業大学講師 工学部都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮 5-16-1)

²正会員 工博 産業技術総合研究所 化学物質リスク管理センター (〒305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1)

³正会員 博(工) International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 岐阜大学助教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

⁴学生員 岐阜大学大学院博士前期課程 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

難燃剤は、耐火性を高めるための素材として様々な産業で使用され、我々の生活における火災に対する安全性を向上させている。しかし、難燃剤には有毒な化学物質が含まれており、健康面での被害が懸念されている。そのため、適切なリスク管理が必要となるが、難燃剤が多く産業にて使われていることを考えると、規制による産業活動および生活への影響を極力抑えるような方法を検討していくことが重要といえる。本研究では、難燃剤規制策を導入した場合の費用、便益の分配、波及構造を明らかにするための応用一般均衡 (CGE) モデルを開発し、数値シミュレーションに基づき難燃剤規制のための課徴金制度を評価した。

Key Words : *chemical substance, risk management, policy evaluation, CGE model*

1. はじめに

難燃剤は、耐火性を高めるための素材として様々な産業で使用され、我々の生活において火災による被害を回避あるいは軽減させている。しかし、難燃剤には有毒な化学物質が含まれており、健康被害という問題が懸念されている。そのため、適切なリスク管理が必要になると考えられるが、上述のとおり、難燃剤は産業活動や生活を支える多くの製品の素材に含まれており、その削減においては市場を通じて社会経済活動へ及ぼされる影響も十分に考慮することが必要と考えられる。

本研究では、難燃剤を対象に、それらに含まれる微量化学物質のリスク管理対策を導入した際の、社会経済メカニズムを介した費用、便益の分配、波及構造を明らかにするためのモデルを構築し、それを用いて難燃剤規制策を評価・分析することを目的とする。そのため、まずリスク管理対策を評価するための応用一般均衡 (Computable General Equilibrium : CGE) モデルの開発を行う。応用一般均衡モデルは、家計や産業の行う経済活動および市場機構の働きを数理モデルによって表現したものであり、対策の導入に伴う各経済主体の化学物質利用の抑制に係わる行動が把握できる。その結果、対策を通じてどの程度の化学物質が削減されるのか、さらには、モデルから定義される等価的偏差 EV の概念を用いること

により、これらの行動が市場経済に及ぼす影響、すなわち市場経済的不便益も計測でき、リスク管理対策の評価が可能となる。さらに、ケーススタディにおいて、難燃剤使用に対する課徴金制度を導入した場合の化学物質の削減割合と、それによってもたらされる市場経済的不便益を数値計算により明らかにする。

2. 難燃剤における化学物質利用と管理の動向

耐火性を高めるために、プラスチックや繊維などに難燃剤が用いられている。そして、それらは電気や運輸、製造産業などの多くの産業において、火災が生じた際に危険となる箇所に利用され、火災に対する安全性を高めることにより我々の生活を支えている。しかし、難燃剤に含まれる臭素化合物が、発ガン性や突発変異誘発要因を含み、また臭素系ダイオキシンを発生させるとして健康面では有害であるとの懸念がある。そのため、難燃剤の使用を規制していくか、少なくとも健康被害を増大させないような対策を行うことが求められている。ただし、先に示したように、難燃剤は幅広い分野での産業活動および生活にて利用されており、それらの活動に極力影響を与えないような難燃剤規制策を見出すことが重要な課題となっている。

このような問題意識の下、Macauley, Bowes and

Palmer¹⁾では、難燃剤規制策が様々な面から分析されている。そこでは、難燃剤を用いた製品について、製造、使用、廃棄という段階に分け、臭素化合物がもたらす被害について示されている。まず、製品の製造段階では、汚染水や空气中に排出される塵とともに化学物質が拡散し被害をもたらす。そして、製品の使用段階では化学物質の毒性は表に出ることはそれほどない。しかし、廃棄段階では、適切な廃棄がなされない場合に化学物質が拡散し、被害をもたらすことがあるとなっている。

さらに、これらの化学物質の規制策についても見解が述べられている。そこでは、各々の化学物質がもたらす環境被害や健康被害の実態を細かく把握することが困難であり、そのため特定の化学物質の使用を法的に規制することが事実上困難であると指摘されている。したがって、各主体、特に生産者のインセンティブを利用した間接的な政策を考える必要がある。その中でも、厳し過ぎる火災規制の見直しが有効とされている。これにより難燃剤の使用量が減少するためである。しかし逆に、火災被害のリスクが増大するためこの点の評価が必要といえる。また、税・課徴金も有効とされている。これは、通常環境経済学で言われているように、経済的インセンティブを活用することによって余剰損失を最小とするように汚染物質が削減できるからである。しかし、化学物質を対象とする場合には、税・課徴金が課せられると別の化学物質が代用されることが多く、実はそちらの化学物質の方が元の化学物質より毒性が強かったりするために、政策の影響や効果を慎重に見極める必要があると指摘されている。また、デポジット制については、消費者に責任を負わせるのではなく、企業の責任の下で難燃剤を効率的に収集できるような仕組みが有効であろうとの見解であった。消費者は、どの製品にどの程度の危険な化学物質が含まれているのかについて正確な情報はわからないし、わからせることも困難である。そのため、消費者に難燃剤を含む製品の分別回収を任せるのではなく、代わりに企業の責任の下で回収を行い、適切に処理するシステムが必要であろうとのことであった。

本研究では、これらの中で、まず税・課徴金を取り上げその評価を試みる。それは、従来の環境経済学で有効とされていたピグー的課税政策を、化学物質管理に対しても適用することを考えたものである。そして、その分析に CGE モデルを利用しようとしたわけであるが、化学物質を対象とする場合、例えば

難燃剤であれば、その製造産業を CGE モデルで独立的に扱うことが困難であった。そこで、難燃剤が多く含まれているプラスチック製造部門を政策対象とすることとした。すなわち、ここでの分析では、難燃剤に含まれる化学物質規制を直接評価できているわけではなく、プラスチック財の投入や消費に税や賦課金が課せられることによりその利用が抑制され、その結果として難燃剤あるいは化学物質使用の削減される量が把握できることになる。そのため、Macauley, Bowes and Palmer が指摘している難燃剤に含まれる化学物質間の代替による影響までは評価できていない。しかし、本研究では、プラスチック財への税・課徴金政策が、当該財の各産業への投入構造を介して及ぼされる影響が把握可能となっており、最終的には各主体にもたらされる負担の構造を明確化することができている。また、ここでは難燃剤の使用量が削減されることによって懸念される火災被害リスクの増大についても、産業連関表の火災保険部門を明示的にモデル化することにより評価できるよう拡張を行った。続く 3 章では、上述の内容を CGE モデルの構造を説明しながら再度明らかとする。そして、4 章では、構築した CGE モデルを用いて、難燃剤規制策の数値計算に基づく実証的評価を試みる。

3. 化学物質規制策評価のための CGE モデル

(1) CGE モデルの全体構造

CGE モデルは、税制や貿易政策評価の分野で発展してきたモデルである。これが、Bergman²⁾や Ballard and Medema³⁾などにより、環境政策評価の分野にも適用されるようになってきた。また、Muto, Morisugi and Ueda⁴⁾は、自動車関連の環境政策評価のための CGE モデルを開発し、各種政策評価を行っている。まず、それらの研究でも共通的である CGE モデルの一般的な前提条件およびモデルフレームを示す。

- ①家計、産業および政府からなる社会が想定される。
- ②産業は、労働と資本および中間投入財(難燃剤を含む)を投入して生産活動を行う。
- ③家計は、労働および資本からなる生産要素を産業に提供し所得を得る。その所得をもとに、産業で生産された財・サービスを消費する。
- ④モデルには、生産された財市場と労働および資本からなる生産要素市場とが存在し、それらは完全競争的である。
- ⑤政府は、各種政策を実施する。なお、税・課徴金政策の場合、財政均衡が前提とされる。

具体的な定式化は(3)節以降で示すこととし、次節では、具体例を用いて難燃剤規制が市場経済にもたらす影響を、ここで示した CGE モデルを用いて定性的な観点から示すとともに、難燃剤規制策を評価するために行ったモデルの拡張点を明らかにする。

(2) 難燃剤規制策評価のための CGE モデル

モデル構築にあたり、難燃剤製造産業は、産業連関表を構成する産業区分における「プラスチック製品」とした。なお、本モデルでは、一貫してプラスチック製品に含まれる化学物質量の比率が一定であるとする。

図-1 には、難燃剤製造産業が難燃剤を用いて製造するプラスチック製品が、産業間で取引された結果、最終的に家計によって消費される様子を例示的に示した。ここでは、住宅を例にとっている。まず、難燃剤製造産業によって製造された難燃剤は、家具や住宅壁製造会社に中間財として投入され、それらを住宅メーカーが投入し、最終財として住宅を家計が消費する。こうして、家計は直接難燃剤製造産業から財を購入しない場合でも、住宅購入の際に間接的に難燃剤を購入することになる。この難燃剤を使用した住宅の購入によって、耐火性が高められる一方、人々は健康被害というリスクに直面する。その結果、政府による難燃剤規制が必要となるわけである。

続いて、難燃剤規制策を導入した場合を考える。難燃剤規制は、健康被害を軽減させる便益を発生する一方で、規制による難燃剤、厳密にはプラスチック財の利用費用の増大が、図-1 に示す産業連関構造を介して市場経済に波及し、最終的に家計が損失を被ることとなる。この損失が、本研究にて市場経済的不便益と呼んでいるものである。さらに、難燃剤規制は、火災被害を増大させる危険性も有する。これについては、CGE モデルにおける火災保険部門を明示化した上で、その保険支払額が増大するものと

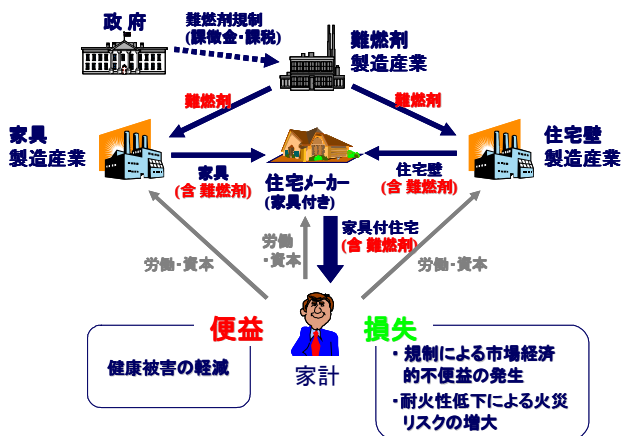


図-1 難燃剤規制策実施の影響

して考慮することとした。すなわち、前提として、火災保険会社は火災被害額に相当する分を火災保険によって徴収しているものとする。難燃剤の規制に伴い火災被害が増大した場合、火災保険徴収額も被害の増大分に応じて増額されるものとする。すなわち、各主体は、火災被害の増大を火災保険支払いの増大によって負担するものとしてモデルで表現することとした。

以上より、本 CGE モデルでは、難燃剤規制に伴う健康被害の軽減、規制がもたらす市場経済的不便益、そして耐火性低下による火災リスクの増大による損失という前章でも触れた化学物質規制策の導入に伴う効果と影響とが把握可能となる。

(3) CGE モデルの定式化

続いて、CGE モデルの具体的な定式化を示す。

a) 産業の行動モデル

産業は、生産要素および中間投入財を投入して、財・サービスの生産を行う。ここでは、それを二段階に分けて定式化する。第一段階では、労働と資本をひとまとまりと見た合成生産要素と中間投入財の投入量を決定し、第二段階で労働と資本の投入量を決定する(図-2)。なお、産業は資本投入量に応じて火災保険をかけているものとする。

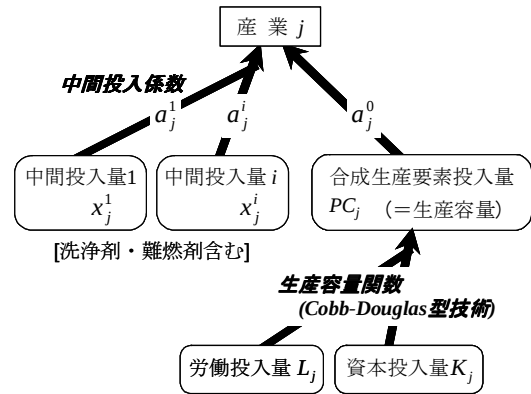


図-2 産業の行動モデル

第一段階の財生産行動では、生産技術に Leontief 型を仮定し、その技術制約下で生産費用を最小化するよう行動するものとした。その行動モデルは、以下のように表される。

$$C_j = \min_{PC_j, x_j^i} c_j \cdot PC_j + \sum_i p_i x_j^i \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } y_j = \min \left[\frac{PC_j}{a_j^0}, \dots, \frac{x_j^i}{a_j^i}, \dots \right] \quad (1b)$$

ただし、 j : 産業部門を表す添字、 c_j : 合成生産要素の単位費用(価格)、 PC_j : 生産容量(合成生産要素

投入量), p_i : 財 i の価格, x_j^i : 産業 i から j への中
間財投入量(難燃剤を含む), y_j : 生産量, a_j^0 : 生産
容量比率, a_j^i : 中間投入係数, C_j : 生産費用.

式(1)の最適化問題を解くと, 生産容量と中間投入
財の最適投入量が得られる.

$$PC_j = a_j^0 y_j \quad (2a)$$

$$x_j^i = a_j^i y_j \quad (2b)$$

これらを式(1)の目的関数に代入すると, 生産費用関
数が得られる.

$$C_j = \left[a_j^0 c_j + \sum_i a_j^i p_i \right] y_j \quad (3)$$

続く第二段階では, 労働と資本の投入量を決定す
る. ここでは, 生産容量関数に Cobb-Douglas 型技術
を仮定し, その技術制約下で生産要素費用が最小と
なるよう行動するものとした. なお, 各産業が資本
投入量に応じて支払う火災保険料は, 資本投入額を
ベースとした火災保険料率によって決定されるもの
とする. その行動モデルは以下のとおりである.

$$c_j = \min_{L_j, K_j} p_L L_j + (1 + \varphi_j) p_K K_j \quad (4a)$$

$$\text{s.t. } PC_j = \eta_j L_j^{\alpha_j^L} K_j^{\alpha_j^K} = 1 \quad (4b)$$

ただし, L_j : 労働投入量, K_j : 資本投入量, p_L :
賃金率, p_K : 利子率, φ_j : 火災保険料率, η : 効率
パラメータ, α_j^L, α_j^K : 分配パラメータ(ただし,
 $\alpha_j^L + \alpha_j^K = 1$ として規模に関して収穫一定の技術を
持つものとした).

なお, ここで導入した保険料率は基本的に固定と
して扱う. ただし, 難燃剤規制に伴い火災被害が増
大した場合には, その増大額を保険料収入で賄うよ
うに保険料率を増大させるものとする.

式(4)では, 生産技術制約において $PC_j = 1$ として最
適化問題を解くことにより, 単位生産容量あたりの
生産要素投入量 D_{L_j}, D_{K_j} が得られる.

$$\text{労働投入: } D_{L_j} = \frac{1}{\eta_j} \left[\frac{\alpha_j^L \cdot (1 + \varphi_j) p_K}{\alpha_j^K p_L} \right]^{\alpha_j^K} \quad (5a)$$

$$\text{資本投入: } D_{K_j} = \frac{1}{\eta_j} \left[\frac{\alpha_j^K p_L}{\alpha_j^L \cdot (1 + \varphi_j) p_K} \right]^{\alpha_j^L} \quad (5b)$$

これらを式(4)の目的関数に代入すると, 単位合成生
産要素費用 c_j すなわち PC_j の価格が得られる.

$$c_j = \frac{1}{\eta_j} \left[\left(\frac{\alpha_j^L}{\alpha_j^K} \right)^{\alpha_j^K} + \left(\frac{\alpha_j^K}{\alpha_j^L} \right)^{\alpha_j^L} \right] p_L^{\alpha_j^L} \{ (1 + \varphi_j) p_K \}^{\alpha_j^K} \quad (6)$$

b) 財価格の導出

財 j の価格は, 産業のゼロ利潤条件より導出され
る. まず, 式(6)を式(3)に代入すると, 産業 j の生産
費用が以下のように得られる.

$$C_j = \left[a_j^0 c_j \{ p_L, (1 + \varphi_j) p_K \} + \sum_i a_j^i p_i \right] y_j \quad (7)$$

ここで, 政策対象産業の生産する財への税・課徴
金を, 生産要素費用 c_j を支払いのベースとしてモデ
ルに導入する. この結果, 税・課徴金を含む生産費
用は以下ようになる.

$$C_j = \left[a_j^0 c_j \{ p_L, (1 + \varphi_j) p_K \} \cdot (1 + \tau_j) + \sum_i a_j^i p_i \right] y_j \quad (8)$$

ただし, τ_j : 税率.

産業 j の利潤は, 産業の生産費用が式(8)で表され
ることを考慮すると以下ようになる.

$$\pi_j = p_j y_j - \left[a_j^0 c_j \{ p_L, (1 + \varphi_j) p_K \} \cdot (1 + \tau_j) + \sum_i a_j^i p_i \right] y_j \quad (9)$$

ただし, π_j : 産業 j の利潤.

式(9)は, y_j に関して線形である. よって, 利潤ゼ
ロにおいて市場均衡解が存在し, ゼロ利潤を満たす
ために必要な財 j の価格が式(10)で与えられる.

$$p_j = a_j^0 c_j \{ p_L, (1 + \varphi_j) p_K \} \cdot (1 + \tau_j) + \sum_i a_j^i p_i \quad (10)$$

式(10)を整理して p_j について行列表記すると, 以下
のように財価格ベクトルが得られる.

$$\mathbf{p}' = \mathbf{c}' \cdot [\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1} \quad (11)$$

ただし, $\mathbf{p}$: 財価格ベクトル, $\mathbf{c}$: 税・課徴金, 火災
保険料込みの合成生産要素の単位費用と生産容量比
率との積ベクトル, $\mathbf{I}$: 単位行列, $\mathbf{A}$: 中間投入係
数行列, $'$: ベクトルの転置.

なお, 式(11)は, 産業連関分析における産出価格分
析で用いられるモデルと同様の形であり, 政策が産
業構造を通じて及ぼす影響が, 本モデルでも把握可
能であることがわかる.

c) 家計の行動モデル

家計は, 労働と資本からなる生産要素を産業に提
供し所得を得る. その所得制約下で, 効用を最大化
するように, 産業の生産する財・サービスの消費量
を決定する. なお, 労働については, 総利用可能時
間から余暇時間を差し引いて求めており, 内生的に
決定される構造となっている. 本モデルでは, 多数
の財を効率的に扱うため, 消費行動を階層的にモデ

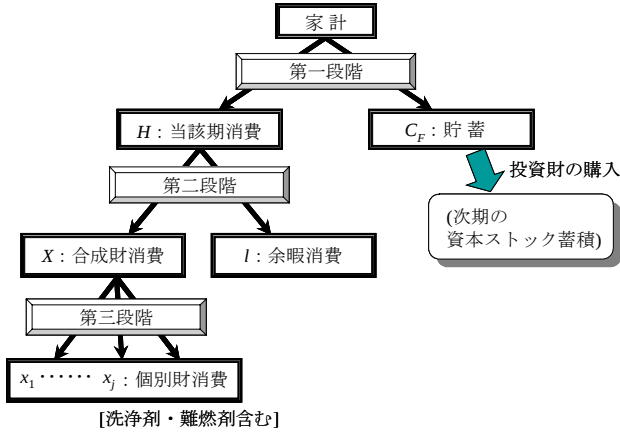


図-3 家計行動モデルの概要

ル化することとした(図-3)。なお、このモデル化は、Shoven and Whalley⁵⁾、市岡⁶⁾と同様である。まず、第一段階では、当該期の消費量 H と貯蓄 C_F とを決定し、第二段階では、当該期の消費について合成財消費量 X 、余暇消費量 S を決定し、第三段階では、合成財消費について産業別財消費量 x_j を決定する。なお、家計も産業と同様に火災のリスクに直面しており、それに対し火災保険をかけて対処しているとする。家計の保険料率は保有資産をベースに算定されるものとする。

第一段階から第三段階までの家計の財消費行動モ

デルは、いずれも通常の効用最大化問題として定式化される。すなわち、以下のような形となる。

$$V^l = \max_{x_j^l} U^l(x_j^l) \quad (12a)$$

$$\text{s.t.} \sum_j p_j^l x_j^l = M^l \quad (12b)$$

ただし、 l ：消費の各段階を表す添字、 j ：財を表す添字、 U^l ：直接効用関数、 x_j^l ：財消費量、 p_j^l ：財価格、 M^l ：所得、 V^l ：効用水準。

この基本的な効用最大化問題に対し、図-3 で示した家計の各段階の財消費行動を対応づけ、具体的な式を示したものが表-1 である。ここでは、第一段階、第二段階の効用関数を CES 型にて、第三段階の効用関数を Cobb-Douglas 型にて特定化した。さらに、式(12)を解いて得られる最適消費量について、その具体形を示した。

難燃剤規制策を評価するにあたり、表-1 の第一段階では、火災保険料支払いと難燃剤利用に伴う化学物質被害を考慮した。火災保険については、保有資産をベースとする保険料率 ϕ_H によって保険料支払いが算定されるものとした。この保険料率は、産業の場合と同様、難燃剤規制に伴い火災被害のリスク

表-1 家計の財消費行動モデルの定式化

	効用最大化問題	各財消費量
第一段階 ($l=1$)	$V = \max_{H, C_F} \left[\left\{ \beta_H^{\frac{1}{\sigma_1}} H^{\nu_1} + (1 - \beta_H)^{\frac{1}{\sigma_1}} C_F^{\nu_1} \right\}^{\frac{1}{\nu_1}} + \delta P_{FR} \right]$ $\text{s.t. } p_H H + p_F C_F = \{ p_L \Omega + p_K K_S \} \{ 1 + \phi_H \} (\equiv M^1)$	当該消費量： $H = \frac{\beta_H M^1}{p_H^{\sigma_1} \Delta_1}$ 貯蓄量： $C_F = \frac{(1 - \beta_H) M^1}{p_F^{\sigma_1} \Delta_1}$ ただし、 $\Delta_1 = \beta_H p_H^{(1-\sigma_1)} + (1 - \beta_H) p_F^{(1-\sigma_1)}$
	p_H ：当該消費財価格、 p_F ：貯蓄価格、 Ω ：総利用可能時間、 K_S ：資本保有量、 ϕ_H ：保険料率、 M^1 ：総所得、 β_H ：分配パラメータ、 σ_1 ：代替弾力性、 $\nu_1 = (\sigma_1 - 1)/\sigma_1$ 、 V ：効用水準、 P_{FR} ：難燃剤の利用に伴い生じた化学物質の蓄積量、 δ ：化学物質による健康被害を規定するパラメータ。	
第二段階 ($l=2$)	$H = \max_{X, S} \left[\gamma_X^{\frac{1}{\sigma_2}} X^{\nu_2} + \gamma_S^{\frac{1}{\sigma_2}} S^{\nu_2} \right]^{\frac{1}{\nu_2}}$ $\text{s.t. } p_X X + p_L S = M^2$	合成財消費量： $X = \frac{\gamma_X M^2}{p_X^{\sigma_2} \Delta_2}$ 余暇消費量： $S = \frac{\gamma_S M^2}{p_L^{\sigma_2} \Delta_2}$ ただし、 $\Delta_2 = \gamma_X p_X^{(1-\sigma_2)} + \gamma_S p_L^{(1-\sigma_2)}$
	p_X ：合成財価格、 $M^2 = M^1 - p_F^* C_F^*$ 、 γ_X, γ_S ：分配パラメータ、 H ：当該期の消費から享受する効用水準(=当該消費量)。	
第三段階 ($l=3$)	$X = \max_{x_j, T_F} \prod_j x_j^{\zeta_j} \quad (j: \text{洗浄剤・難燃剤含む})$ $\text{s.t. } \sum_j p_j x_j = M^3$	個別財 j の消費量： $x_j = \frac{\zeta_j}{p_j} M^3$
	p_j ：財価格、 $M^3 = M^2 - p_L^* S^*$ 、 ζ_j ：分配パラメータ、 X ：合成財消費から享受する効用水準(=合成財消費量)。	

表-2 家計の効用水準および財価格の導出

	効用水準	財価格
第一段階 ($l=1$)	$V = M^1 \cdot (\Delta_1)^{\frac{1}{\sigma_1-1}} + \delta P_{FR}$	現在消費価格: $p_H = (\Delta_2)^{\frac{1}{1-\sigma_2}}$
第二段階 ($l=2$)	$H = M^2 \cdot (\Delta_2)^{\frac{1}{\sigma_2-1}}$	合成財価格: $p_X = \prod_j \left(\frac{p_j}{\zeta_j} \right)^{\zeta_j}$
第三段階 ($l=3$)	$X = M^3 \cdot \prod_j \left(\frac{\zeta_j}{p_j} \right)^{\zeta_j}$	

が増大した場合には上昇させられる。

また、難燃剤が規制されることによる健康被害の軽減については、直接、効用関数の中に難燃剤に含まれる化学物質の蓄積量を外部不経済として導入し考慮することとした^{7),8)}。なお、化学物質の蓄積量の増加は健康被害を増大させるため効用を低下させると考えられる。よって、

$$\frac{\partial U(P_{FR})}{\partial P_{FR}} < 0 \quad (13)$$

が成立するものとする。なお、表-1 のように P_{FR} を効用関数に線形として導入することにより、 P_{FR} の変化に対し消費構造を変えることなく、単純に効用の低下としてのみの影響が把握可能となっている。

ここで、化学物質の蓄積量はストックの概念で定義する⁹⁾。本モデルは静学モデルであるが、厳密にモデル化しようと考えたものである。化学物質の蓄積量 P_{FR} は以下のように求められる。

$$P_{FR} = P_{FR}^{-1} + \xi_E y_{FR} \quad (14)$$

ただし、 P_{FR}^{-1} : 1 期前の化学物質蓄積量、 y_{FR} : 難燃剤製造産業の生産量、 ξ_E : 難燃剤内の化学物質含有率(対難燃剤生産量)。

以上の定式化から、難燃剤規制によりその生産量 y_{FR} が減少したとすれば、化学物質蓄積量 P_{FR} も減少する。そして、 $\partial U(P_{FR})/\partial P_{FR} < 0$ より P_{FR} が減少すれば健康被害が軽減するため効用が上昇することが表現される。ただし、これらを実際に数値計算に取り入れて評価することはデータの制約上困難であった。そのため、後述の数値シミュレーションでは具体的な数値化までは行わず、化学物質の削減率を求めるにとどまっている。これらは今後の課題としたい。

続いて、表-1 で得られた最適消費を各段階の目的関数に代入する。これより、各段階での最適消費水準(=効用水準)が得られる。

$$V^l = V^l(p_j^l, M^l) \quad (15)$$

なお、式(13)の結果とその上位段階の所得制約式を用

いると、式(14)のように上位段階の財価格がすぐ下の段階の財価格の関数として導出される。

$$p_i^l = p_j^l(p_j^{l-1}) \quad (16)$$

以上によって、効用水準と各段階の財価格を求めた結果を示したものが表-2 である。このような形で上位段階の価格変数を、その下位で現れる価格変数によって適正な関係づけを行うことにより、図-3 および表-1 にて示した階層化された効用最大化行動が、消費行動全体の効用最大化行動と整合的となる。

d) 火災保険会社の行動モデル

火災保険会社は、産業と家計から集めた火災保険料収入を、保険金支払いと、保健サービスの提供のための生産要素と中間財の購入支払いに充てる。なお、保険料収入の各生産要素、中間財への配分は、配分比率が同じであるとし、これより各生産要素と中間財の購入量が以下のように決定される。

$$\text{中間投入財投入量: } x_j^l = \frac{a_j^l y_l}{p_j} \quad (17a)$$

$$\text{労働投入量: } L_l = \frac{a_l^0 \alpha_l^l y_l}{p_L} \quad (17b)$$

$$\text{資本投入量: } K_l = \frac{a_l^0 \alpha_K^l y_l}{p_K} \quad (17c)$$

ただし、 y_l : 火災保険会社の保険料収入額、 x_j^l, L_l, K_l : 火災保険会社の中間財購入量、労働投入量、資本購入量、 p_L, p_K : 賃金率、利子率、 a_j^l : 火災保険会社が購入する中間財の購入比率、 a_l^0, α_l^l : 生産容量比率、労働、資本の購入比率、ただし、 $\sum_j a_j^l + a_l^0 = 1$ 、 $\alpha_l^l + \alpha_K^l = 1$ を満たすものとする。

以上の定式化より、火災保険会社は、保険料収入を固定比率によって、各生産要素と中間財に配分するモデルとなっていることがわかる。

火災保険会社の保険料収入額 y_l は、産業と家計から集めた火災保険料収入の合計として表されるので、以下の収支バランス式が成立する。

$$y_I = \sum_j [a_j^0 c_j(\phi_j) y_j] + \frac{a_I^0 \alpha_K^I \phi_I}{p_K} \cdot y_I + p_K K_S \cdot \phi_H \quad (18)$$

これを y_I について解くことにより、保険料収入額が求められる。

$$y_I = \frac{\sum_j [a_j^0 c_j(\phi_j) y_j] + p_K K_S \cdot \phi_H}{1 - \frac{a_I^0 \alpha_K^I \phi_I}{p_K}} \quad (19)$$

これを式(17)に代入することにより、火災保険会社の生産要素投入量および中間財投入量が求められる。

e) 政府の行動モデル

政策として課徴金を考える場合、政府は難燃剤の消費に対し課徴金を賦課する。このとき、その収入は一般財源化されて政府消費に充てられるとし、その政府消費によって政府サービスが提供されるものとする。この政府消費の財への支出割合を一定とすると、政府の財 j の消費量 x_j^G は以下ようになる。

$$x_j^G = \frac{\zeta_j \Psi^T}{p_j} \quad (20)$$

ただし、 ζ_j ：政府の消費支出割合、 Ψ^T ：課徴金収入額。

なお、 Ψ^T は式(10)から以下のように導ける。

$$\Psi^T = \sum_{j'} [a_{j'}^0 c_{j'}(p_L, p_K) \{1 + \phi_{j'}\} \cdot \tau_{j'} \cdot y_{j'}] \quad (21)$$

ただし、 $\tau_{j'}$ ：課徴金率。

以上の政府消費によって提供される政府サービスに伴う家計の効用増分を計測する必要がある。しかし、ここでは簡単化のため、政府消費に充てられた費用分だけ効用が増大するものと仮定した。すなわち、 Ψ^T 分の収入による政府サービスの提供は、 Ψ^T の所得増に相当する便益を生むと考える。

f) 輸入・輸出の扱い

本モデルでは、輸入を国内需要に比例するものとして内生的に扱う。ただし、輸出は固定とする。国内需要とは、中間財需要と最終需要からなり、それらの合計に輸入係数(固定)を乗じることにより輸入量を求める。

$$\mathbf{M} = \bar{\mathbf{m}} [\mathbf{A} \mathbf{y} + \mathbf{x}] \quad (22)$$

ただし、 $\mathbf{M}$ ：輸入量ベクトル、 $\bar{\mathbf{m}}$ ：輸入係数を対角化した行列、 $\mathbf{y}$ ：生産量ベクトル、 $\mathbf{A}$ ：中間投入係数行列、 $\mathbf{x}$ ：国内最終需要ベクトル。

国内最終需要は、家計消費量 x_j 、政府消費量 x_j^G からなる。

g) 市場均衡条件

本モデルで考慮される市場は、財市場と生産要素市場である。財市場は、中間財需要量と国内最終需要量、輸出量の合計から輸入量を差し引いたものが、財の生産量と等しくなるとの均衡条件式として表される。

$$\text{財市場： } \mathbf{y} = [\mathbf{A} \mathbf{y} + \mathbf{x}] + \mathbf{E} - \bar{\mathbf{m}} [\mathbf{A} \mathbf{y} + \mathbf{x}] \quad (23a)$$

ただし、 $\mathbf{E}$ ：輸出量ベクトル。

生産要素市場に関しては、直接的に生産要素需要と供給とが等しいという条件式により表される。

$$\text{労働市場： } \sum_j L_j = L_S \quad (23b)$$

$$\text{資本市場： } \sum_j K_j = K_S \quad (23c)$$

ただし、 L_j, K_j ：労働、資本需要、 L_S, K_S ：労働、資本供給。

このうち、労働、資本需要は、以下のように求められる。

$$L_j = a_j^0 y_j D_{L_j}, \quad L_I = \frac{a_I^0 \alpha_L^I y_I}{p_L} \quad (24a)$$

$$K_j = a_j^0 y_j D_{K_j}, \quad K_I = \frac{a_I^0 \alpha_K^I y_I}{p_K} \quad (24b)$$

なお、 D_{L_j}, D_{K_j} は式(5)、 y_j は式(23a)より求められる。式(23)を解くことにより、賃金率 p_L と利子率 p_K が内生的に決定される。これにより、式(12)で定式化した家計所得も内生的に決定される構造となっている。

また、火災保険会社の生産要素需要量は、既に式(17)にて導出している。

労働供給は以下のとおり、総利用可能時間から表-1の余暇時間を差し引くことにより求められる。

$$L_S = \Omega - S^* \quad (25)$$

一方、資本供給は以下のように、資本減耗を考えた上で、表-1 から得られる貯蓄分を加えて求められる。ただし、資本供給は静学分析の場合は固定的に扱われる。

$$K_S = \Delta K_S^{-1} + (1 - \delta_K) K_S^{-1} \quad (26)$$

ただし、 K_S^{-1} ：1期前の資本ストック、 δ_K ：資本減耗率。

(4) 政策導入に伴う市場経済的不便益の定義

難燃剤規制策の導入が市場経済に与える影響は、家計効用の変化分を等価的偏差(Equivalent Variation：EV)の概念を用いて計量化することとした。なお、数値シミュレーションは静学分析の範囲であるため、

表-3 パラメータ設定の結果

生産関数パラメータ

	効率パラメータ	労働	資本	付加価値係数
1 農林水産業	2.37	0.2236	0.7764	0.5597
2 鉱業	90.40	0.5808	0.4192	0.4792
3 食料品	166.86	0.6466	0.3534	0.3487
4 繊維製品	738.04	0.8165	0.1835	0.3626
5 パルプ・紙・木製品	285.50	0.7061	0.2939	0.3667
6A 洗剤	140.49	0.6280	0.3720	0.2974
6B 化学製品	73.74	0.5593	0.4407	0.3148
7 石油・石炭製品	61.82	0.5409	0.4591	0.4972
8 窯業・土石製品	283.36	0.7052	0.2948	0.4124
9 鉄鋼	420.95	0.7503	0.2497	0.2711
10 非鉄金属	348.60	0.7287	0.2713	0.2918
11 金属製品	548.22	0.7810	0.2190	0.4210
12 一般機械	338.09	0.7252	0.2748	0.3632
13 電気機械	388.10	0.7409	0.2591	0.3228
14 輸送機械	825.01	0.8300	0.1700	0.2302
15 精密機械	881.17	0.8381	0.1619	0.3772
16A 難燃剤	996.13	0.8533	0.1467	0.3313
16B その他の製造工業製品	363.48	0.7334	0.2666	0.4195
17 建設	1486.94	0.9047	0.0953	0.4419
18 電力・ガス・熱供給	19.74	0.4249	0.5751	0.5221
19 水道・廃棄物処理	489.90	0.7679	0.2321	0.6467
20 商業	731.48	0.8154	0.1846	0.6844
21 金融・保険	269.72	0.6997	0.3003	0.6511
22 不動産	0.46	0.0811	0.9189	0.8668
23 運輸	1020.11	0.8562	0.1438	0.4804
24 通信・放送	485.55	0.7668	0.2332	0.6660
25 公務	2754.13	1.0000	0.0000	0.6707
26 教育・研究	2683.66	0.9932	0.0068	0.7711
27 医療・保健・社会保障	1311.94	0.8883	0.1117	0.5590
28 その他の公共サービス	2199.31	0.9597	0.0403	0.6190
29 対事業所サービス	533.28	0.7778	0.2222	0.5601
30 対個人サービス	260.07	0.6956	0.3044	0.5508
31 事務用品	0.00	0.0000	0.0000	0.0000
32 分類不明	0.38	0.0661	0.9339	0.5202

家計効用関数パラメータ

●第一段階	1.113	●第二段階	0.8
家計貯蓄	0.193	合成財	0.7090
現在消費	0.807	余暇	0.2910
総利用可能時間	263,785	資本ストック	932,235,000
資本減耗率	0.09734		

パラメータ	輸入係数
0.0057	0.5828
-0.0196	38.670
0.0824	0.1627
0.0143	0.3918
-0.0030	1.9197
0.0008	0.1194
0.0015	0.8335
0.0060	0.3877
0.0003	0.8032
0.0000	0.0000
-0.0055	11.6068
0.0006	6.468
-0.0035	13.9528
0.0068	0.7068
0.0152	0.2701
0.0008	0.7403
0.0012	0.3643
0.0109	0.4282
0.0000	0.0000
0.0190	0.0002
0.0115	0.0002
0.1691	0.0031
0.0228	0.1314
0.1797	0.0001
0.0407	0.1714
0.0171	0.0145
0.0865	0.0000
0.0761	0.0014
0.1171	0.0000
0.0117	0.0111
0.0086	0.3798
0.1269	0.0692
0.0000	0.0000
-0.0018	23.1218

EV は第一段階の効用水準を用いて定義することとした。すなわち、EV は以下を満たすこととなる。

$$V(p_H^B, p_F^B, M^{1B} + EV) = V(p_H^A, p_F^A, M^{1A}) \quad (27)$$

ただし、添字 A, B : 政策の有無を表す (A : 有, B : 無)。

V' は表-2 にて具体的な形が導出されており、それより式展開すると最終的に EV は以下ようになる。

$$EV = \frac{(\Delta_1^A)^{\frac{1}{\sigma_1-1}} M^{1A} - (\Delta_1^B)^{\frac{1}{\sigma_1-1}} M^{1B}}{(\Delta_1^B)^{\frac{1}{\sigma_1-1}}} + \Psi^T \quad (28)$$

ただし、 Ψ^T : 政府の課徴金収入。

政府の課徴金収入を便益に加えたのは、当該収入が政府サービスの供給に充てられ、その際の家計効用の上昇を課徴金収入額と一致としたためである。

4. 難燃剤規制策による市場経済的不便益の計測

(1) パラメータ設定

CGE モデルにより数値シミュレーションを行うにあたり、各関数のパラメータを設定する必要がある。ここでは、CGE モデルのパラメータ推定に通常用いられるキャリブレーション手法によりパラメータを設定した。キャリブレーション手法とは、基準年データセットを作成した上で、それを厳密に再現する

ようにパラメータを決定する方法である。

本研究では、1995 年を基準年とし、「平成 7 年(1995 年)産業連関表」¹⁰⁾の大分類表(32 部門表)をデータセットとして用いた。ただし、その中で「プラスチック」部門を分離するという加工を行っている¹¹⁾。これが難燃剤製造産業に相当するものである。

キャリブレーション手法により求めた各関数のパラメータの設定結果を表-3 に示す。

(2) 政策の設定

難燃剤規制のための政策として、難燃剤製造産業が生産する財に対する課徴金を通じて、化学物質を削減する政策を考える。具体的には、課徴金率を 5% 刻みで 30% まで上昇させた場合の、化学物質排出の削減率と市場経済不便益の計測および産業別の財価格、家計消費量、生産量の変化を明らかにする。なお、当該政策によって難燃剤が削減されることによる火災被害の増大への懸念に対しては、火災保険料率が上昇させられるものとした。ただし、難燃剤の削減量がどの程度の火災被害の増大につながるのかを具体的に把握することが困難であったため、ここでは、難燃剤の削減割合と同じ率で火災被害が増大するものと仮定し、その火災被害増大分が賄えるように火災保険料率を設定した。また、化学物質の使用に伴う健康被害については、データの制約上考慮できていない。ここでは、図-4, 5 のとおり難燃剤、厳密にはプラスチック財への課税率に対する当該財の削減率と、市場経済的不便益を計算したものであ

る。なお、図-4 ではプラスチック財に含まれる難燃剤の率が一定として、プラスチック財の削減率を難燃剤の削減率として示した。また、図-5 では、EV から計算される不便益額と課税による税收額および火災保険料支払いの増大額についても参考までに示している。これにより、課税政策による化学物質削減の便益までは計測できていないものの、政策が社会経済へ及ぼす不便益について、本モデルから計測したものである。

この結果より、10%の課税に対しては、1.2%ほど難燃剤が削減されるものの市場経済的な不便益が約4兆円にのぼる結果となった。また、このとき火災保険料支払いの増大額は、3,000億円程度であり、それほど大きな額とはなっていない。これは、本シミュレーションにおいて、難燃剤削減と火災被害の増大との関係を仮想的に設定したことを意識しておく必要があるものの、難燃剤規制が火災被害の増大をもたらす以上に、課税に伴う市場の歪みが大きいとの結果であると考えられる¹²⁾。ただし、市場経済的不便益もあくまでプラスチック財への課税に伴うものであり、化学物質規制を考えた場合には、本結果は過大評価となっている可能性がある。

次に、難燃剤への課税策が、各産業にどのような影響をもたらすのかを示す。図-6 には、産業別の財価格、家計消費量、生産量の政策有無に対する変化率を示した。これを見ると、財価格の変化においては、「電気機械、輸送機械、精密機械、その他製造工業製品」部門の価格上昇が大きい。また、生産量への影響は、「電気機械、輸送機械、精密機械」に加え、

「鉱業、非鉄金属」部門での低下が顕著である。なお、「公務、教育・研究、医療・保健・社会保障」部門で生産量が増大しているのは、課税に伴う税收によりこれらの部門で政府消費が増大したためと考えられる。

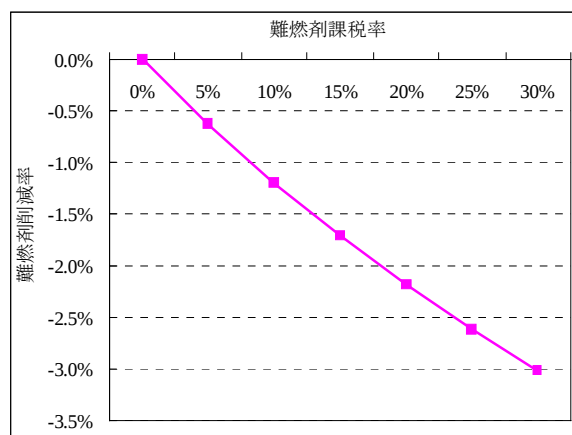


図-4 難燃剤課徴金率に対する削減率

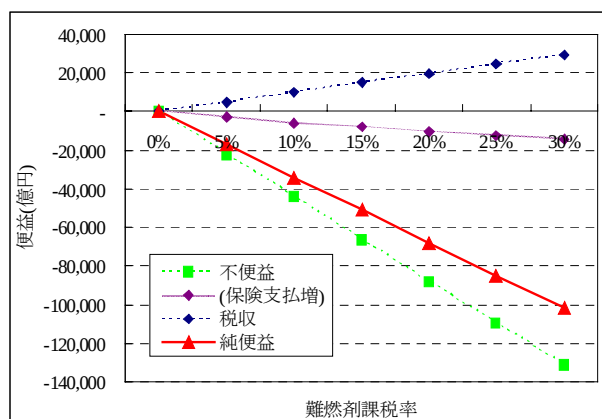


図-5 難燃剤規制策に対する市場経済的不便益

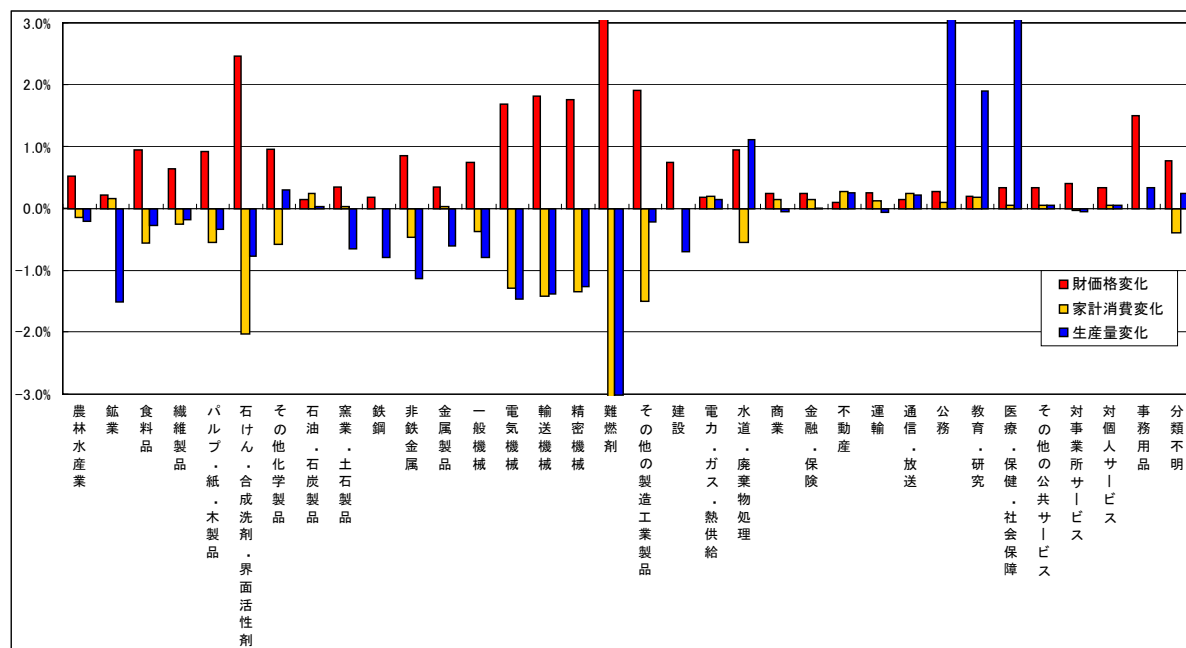


図-6 難燃剤課徴金政策の実施に伴う財価格、家計消費量、生産量の変化率

5. おわりに

本研究では、化学汚染物質の中の難燃剤を取り上げ、その規制策を導入した際の影響を評価するために、CGE モデルに基づく分析手法を開発した。本研究で構築した CGE モデルは、難燃剤規制に伴う火災被害の増大の懸念も評価に組み入れるために、火災保険部門を明示化している点に特徴がある。そして、本 CGE モデルを用いて、難燃剤に対する課徴金を導入した場合の影響を、数値シミュレーションによって評価した。その結果、難燃剤の規制に伴い、その利用費用の増大が市場経済を通じて生じさせる損失すなわち市場経済的不便益がかなり大きくなる可能性のあることを指摘した。

しかし、本研究では残された課題も多い。まず、本モデルでは厳密に化学物質を扱わず、プラスチック財に代替させモデル化した点である。これにより、ここでの数値計算では、プラスチック財の削減による化学物質の削減という形での評価となってしまう。さらに、化学物質の削減量も、プラスチックに含まれる化学物質量が一定であるとの厳しい仮定を置いている。これらの仮定を改善するように、モデルをさらに細かくしていく必要がある。また、化学物質による健康・環境被害について、数値計算では考慮できていない点も問題と言える。どこまで、化学物質を削減すればよいのかの判断が困難な現状を考えれば、化学物質の被害についても明確に数値化を行い、その上で本研究で明らかとした市場経済的不便益との比較から、最適な化学物質の削減割合を求めるような枠組みの構築を行いたいと考えている。

【謝辞】

本研究は、産業技術総合研究所の「地域間一般均衡モデルにもとづく環境対策の評価」に関する研究の一部であり、関係各位にはこの場を借りて謝意を表するものである。

【参考文献】

- 1) Macauley, M.K., Bowes, M.D. and Palmer, K.L.(1993) "Using economic incentives to regulate toxic substances" Resources for the future Washington, D.C.
- 2) Bergman, L. (1991) "General Equilibrium Effects of Environmental Policy: A CGE-Modeling Approach" Environmental and Resource Economics, 1, 43-61.
- 3) Ballard, C.L. and Medema, S.G. (1993) "The marginal efficiency effects of taxes and subsidies in the presence of externalities -a computational general equilibrium approach-" Journal of Public Economics Vol.52, pp.199-216.
- 4) Muto, S., Morisugi, H. and Ueda, T. (2003) "Measuring Market Damage of Automobile Related Carbon Tax by Dynamic Computable General Equilibrium model" ERSA the 43rd European Congress, CD-ROM, No. 257.
- 5) Shoven, J.B. and Whalley, J. (1992) Applying General Equilibrium, Cambridge University Press. (小平裕訳(1993)『応用一般均衡分析－理論と実際』, 東洋新報社.)
- 6) 市岡修(1991)『応用一般均衡分析』, 有斐閣.
- 7) 高木朗義, 武藤慎一, 上田孝行, 稲垣貴政 (2002)「閉鎖性水域における水質改善政策の便益帰着分析と汚濁負荷削減量配分」『土木学会論文集』No.702/IV-55, pp.51-63.
- 8) 高木朗義, 武藤慎一, 村松穂高(2002)「GIS データベースに基づいた水環境保全策の経済評価手法の開発」『環境システム研究論文集』Vol.30, pp.161-169.
- 9) Beltratti, A. (1996): Models of Economic Growth with Environmental Assets, Kluwer Academic Publishers.(夏目隆監修・森岡洋訳(2001): 経済成長と環境資産, 同文館.)
- 10) 総務庁(1999)『平成 7 年産業連関表』, 総務庁.
- 11) 内閣府経済社会総合研究所(2002)『国民経済計算年報 平成 14 年版』, 財務省印刷局.
- 12) Oliver, L.E. and Schumann, L. (2001) "An economic analysis of the draft small open-flame regulation of upholstered furniture, Glassman-Oliver Economic consultants, Inc.

Evaluating the Regulation Policy of Flame Retardants with Computable General Equilibrium Analysis

Shinichi MUTO, Akihiro TOKAI, Akiyoshi TAKAGI and Syunsuke KAWAI

The Flame Retardants (FRs) are used as additives to reduce the flammability by many industries, and support our activities. However, the many FRs have toxic chemicals, and they may pose health harm. Therefore the regulating the FRs is important matter, but it needs to be thought the one which is reduce the impacts to industrial or living activities as possible as. In this paper, we build the CGE model to clarify the distribution or spread mechanism of costs and benefits when introducing the regulation of FRs., and evaluate actually them through the numerical simulation.