

応用一般均衡分析による公共事業の環境負荷に関する考察

Computable General Equilibrium Analysis of the Environmental Pressure through Public Projects

山本 雅資

Masashi Yamamoto

1. はじめに

公共事業は公的機関が行う経済活動の中でも突出して環境負荷の大きい分野である。そのため、これまでも費用便益マニュアルなどを制定するなどして、事業実施による環境負荷を評価する方策が研究されている。

その一方で工事過程での環境負荷についてはこれまであまり対象とされてこなかったが、平成13年4月に制定された「グリーン購入法」においては「環境物品等の調達に関する基本方針」の中で公共工事に関する指針が示され、工事過程での環境負荷低減が期待できる技術の利用が推奨されている。

これらの技術のほとんどが単位あたりの環境負荷を低下させるものである。その結果、新たなインプットの組み合わせでは環境負荷が増加してしまう可能性が否定できない。これは、現在の経済制度を前提とすれば仕方のないことであるが、効果の分析はライフサイクル全体をみて「負荷の総量がどうなるか」に常に注意する必要がある。

本稿では、土木計画における工事過程の環境負荷(CO₂に限定する)を応用一般均衡モデルを用いて評価し、公共事業における政策判断の一つの材料を提供したい。

2. 問題の所在

(1) 具体的な例

先日、某全国紙Aの読者投稿欄にM市の廃棄物政策に関する投書が掲載された。この投書は、M市が配布したごみの分別に関するルールと回収日を記載したチラシに関するものであった。このチラシは、親しみやすいキャラクターを表紙に据えるなど、市民に広くその考えを認知してもらおうという行政側の

配慮がうかがえるものであったが、この投書が問題としたのは、こうしたキャラクターではなく、そのチラシそのものであった。

ある程度の規模の自治体となれば、ごみ収集日のパターンは、10や20の数になる。このM市においても同程度のパターンがあったが、このチラシはすべてのパターンが掲載されていたのである。その結果、各世帯は数十枚の紙のうち、1枚か2枚しか必要とせず、残りがごみとなる。このようなチラシの表紙に「ごみの3割削減を」と書いたとしてもその効果は薄いのではないかというのが、この投書の趣旨であった。数十枚の紙といっても全世界帯に配布するため、30~40万人の人口があれば、世帯の数は10万程度にはなる。そうだとすると、このごみの減量を訴えるチラシは、100万枚以上の紙を無駄に配布したことになる。

これは10万以上の世帯に正確にその地区の回収日を記した紙を配布するコストが非常に高いとの判断から起きたものと推察される。すなわち、労働がマテリアルで代替されたことになる。無論、この紙は再生紙であったがこれだけの紙が無駄にされたとあってはその意義は失われてしまう。

(2) 解決への方策

上記の例は、公共事業を対象としたものではないが、公共事業においてもこの例と似たような事例がある可能性は高い。このような無駄が起こった理由は、グリーン購入法が利用を促進している環境にやさしい技術・製品の仕様の多くは「単位あたりの効率性」で定義されているためである。確かに上記の例でも再生紙が使用されており、紙1枚あたりの環境負荷は小さくなっている。しかし、環境負荷の総量が減少したかどうかはそれだけでは判断できない¹。

市場経済の社会では、生産に用いる投入の総量をコントロールすることは極めて困難であるし、達成

¹ 実際、グリーン購入法に定められたコピー用紙の古紙パルプ配合率は100%であるから、一世帯に1枚でいいところを20枚配ったとすれば総環境負荷は増加したであろう。

されたとしても大きく効率性を損なう可能性が高い。これは「グリーン購入法」という規制で環境負荷を制限しようとする限り必ず伴う問題である。一企業の生産から発生する環境負荷の総量をコントロールするためには環境税をはじめとした経済的手法を用いる必要がある。環境税であれば、企業の具体的な生産量を規制することなく、適切な税率を設定することで総環境負荷をコントロールすることが可能となる。

こうした分析は以下に示すような応用一般均衡モデルを用いることでシミュレートすることができる。

3. モデル

以下のモデルは、基本的に Shoven and Whalley(1992) 及び市岡 (1991) に基づいた静学の応用一般均衡モデルである。モデルの基本的データベースとなる社会会計行列の作成には 2000 年産業連関表 (104 部門) を用いた。

(1) 生産者行動

各産業 ($i = 1, \dots, n$) は、資本 K と労働 L という二つの生産要素と中間投入を用いて、費用最小化のもとで生産をおこなうものとし、第 j 産業の生産関数を以下のレオンチェフ型として定式化する (結合生産はないものとする)。

$$Q_j = \min \left(\frac{VA_j(L_j, K_j)}{v_j}, \frac{x_{1j}}{a_{1j}}, \dots, \frac{x_{nj}}{a_{nj}} \right), \quad \forall j \quad (1)$$

ただし、 Q_j は第 j 産業の産出量、 x_{ij} は第 j 産業に対する第 i 産業からの中間投入、 a_{ij} は投入係数、 VA_j は付加価値額、 v_j は第 j 産業の付加価値率をそれぞれ示している。

(1) 式は中間投入と付加価値の間の代替と認めないことを意味しているが、付加価値額 VA_j については生産要素間の代替を認め、以下の CES 型関数により形成されるものとする。

$$VA_j = \gamma_j \left(\alpha_j L_j^{-\rho_j} + (1 - \alpha_j) K_j^{-\rho_j} \right)^{-\frac{1}{\rho_j}} \quad (2)$$

ただし、 γ_j は第 j 産業の効率パラメータ、 α_j は生産要素の分配パラメータをそれぞれ示している。また、 ρ_j は σ_j を代替の弾力性としたとき、 $\rho_j = \frac{(1-\sigma_j)}{\sigma_j}$ となるパラメータである。

労働と資本の粗要素価格をそれぞれ、 p_L, p_K とすると、付加価値 1 単位あたりの要素需要は下式より求めることができる。

$$\min p_L L_j + p_K K_j \quad (3)$$

$$\text{s.t. } \gamma_j \left(\alpha_j L_j^{-\rho_j} + (1 - \alpha_j) K_j^{-\rho_j} \right)^{-\frac{1}{\rho_j}} = 1 \quad (4)$$

この問題の解を L_j 及び K_j について整理すると、以下の労働及び資本の単位あたり要素需要関数 R_L 及び R_K を得る²。

利潤最大化行動のもとでは「価格=限界費用」という関係が成立するので、一次同次性を仮定すると、

$$p_j = \frac{p_L L_j + p_K K_j + T_j + NEX_j + TX_j + \sum_i p_i a_{ij} Q_j}{Q_j} \quad (5)$$

とできる。この式を変形していくことで、財価格は生産要素価格が定まるとただちに決定されることがわかる。

(2) 消費者行動

家計は労働と資本からなる生産要素を提供すると同時に対価として得る所得を用いて消費財の購入と貯蓄に関する意思決定を (近視眼的に) 行う。また、家計は同質的であるものとし、代表的個人の効用関数 U は (弱) 分離可能な CES 型効用関数を仮定する。

$$U = \left(\alpha^{\frac{1}{\mu}} H^{\eta} + (1 - \alpha)^{\frac{1}{\mu}} C_F^{\eta} \right)^{\frac{1}{\eta}} \quad (6)$$

ただし、 H は現在消費であり、

$$H = \left((1 - \beta)^{\frac{1}{\tau}} C^{\phi} + \beta^{\frac{1}{\tau}} I^{\phi} \right)^{\frac{1}{\phi}} \quad (7)$$

である。また、 α, β はそれぞれウェイト・パラメータであり、 μ は現在消費と将来消費 C_F の代替の弾力性を、 τ は合成財 $C = \prod_j^n X_j^{\lambda_j}$ と余暇 I の代替の弾力性を示している。

家計は、はじめに将来消費と (余暇と合成財から成る) 現在消費に関する最大化を行うものと考え。ただし、 I は家計の所得に対して余暇を加えた「拡張可処分所得」である。

² スペースの都合上最適化問題の結果得られた関数は記載していないので、詳細は Shoven and Whalley(1992) や市岡 (1991) を参照されたい。

$$\max \left(\alpha^{\frac{1}{\mu}} H^\eta + (1 - \alpha)^{\frac{1}{\mu}} C_F^\eta \right)^{\frac{1}{\eta}} \quad (8)$$

$$s.t. \quad I = p_H H + p_F C_F \quad (9)$$

ただし, $\eta = \frac{\mu-1}{\mu}$, $\phi = \frac{\tau-1}{\tau}$ である. この最適化問題を解くと現在消費と将来消費に関する需要関数が得られる.

さらに消費者は第2段階として現在消費を合成財消費 ($C = \prod_j X_j^{\lambda_j}$) と余暇 (l) に配分する以下の最適化問題を解く.

$$\max \left[(1 - \beta)^{\frac{1}{\tau}} C^\phi + \beta^{\frac{1}{\tau}} l^\phi \right]^{\frac{1}{\phi}} \quad (10)$$

$$s.t. \quad I - p_S S = p_C C + p_L l \quad (11)$$

これを解くと合成財及び余暇の需要関数が得られる. さらに合成財 C を最大化する n 種類の財の購入に関する問題を解くと各消費財の需要関数が得られるがここでは省略する.

(3) 外生変数

貯蓄はすべて投資財の購入にあてられると仮定すると, 前節までのモデルで家計消費額と投資額が決定したことになる. また, 最終需要の残りの部門については基本的に基準均衡における構造をそのまま踏襲するものとする. 政府は得られた税収のすべてを政府支出及び公共投資として支出し, 必要であれば国債を発行してまかなうものとするが, 本モデルでは国債市場は明示的には取り扱っていない.

また, 本モデルでは弾力性値や拡張可処分所得について外生的に与えているが, その値は基本的に市岡 (1991) に基づいているので具体的な数値は市岡 (1991) を参照されたい.

(4) 産出量・最終需要の決定

すべてのパラメータをカリブレーション等により設定することができれば, 以下の式であらわされる最終需要を求めることができる.

$$F = C + IV + G + NEX \quad (12)$$

投資 IV は家計の効用最大化行動における将来支出に等しいと仮定する. また, 政府消費 G は政府支出と公共投資の合計を意味している. 生産関数が (1) 式により与えられていることから, 最終需要が定まると投入係数行列 A を用いることによって産出量が決定される.

(5) 生産要素の決定

すでに導出した単位あたりの最適な生産要素需要に付加価値額を乗じることで, 家計の効用最大化行動から導かれた最終需要を満たすために必要な生産要素量 L_D, K_D が求められる.

一方, 労働供給は家計の効用最大化行動の結果導かれた余暇を総労働保有量 L_A から引いたものとして定義されている. また, 資本の供給量 K_S は一定としていることから, 労働と資本の超過需要 EX_L, EX_K が以下のように導出される.

$$EX_L = L_D - (L_A - l) \quad (13)$$

$$EX_K = K_D - K_S \quad (14)$$

(6) 均衡条件

生産財価格により財価格が決定される本モデルでは, 労働市場と資本市場における超過需要がゼロとなれば, ただちに財市場も均衡する. よって, 一般均衡条件は下式のように単純化される.

$$EX_L = EX_K = 0 \quad (15)$$

具体的には, 駄田井 (1989) によるワルラス模索の方法に従い, 両生産要素の超過需要を算出し, 超過需要が正である場合は要素価格を上げ, 負である場合には下げるという操作を繰り返すことで収束させる.

4. CO2 排出シミュレーション

(1) CO2 モデルの排出量の導入

以下では環境負荷を CO2 に絞った上で環境税による排出量調整の枠組みについて検討する.

上記の応用一般均衡モデルにより導出される生産レベルを南斎他 (2002) によるデータベースと結合することで波及効果を含めた CO2 排出量をシミュレートすることができる. 具体的には生産レベルあたりの排出量ベクトル E が

$$E = D(I - (I - M)A)^{-1} \quad (16)$$

により定められる. ただし, D は直接環境負荷ベクトル, M は輸入係数の対角ベクトル, A は投入係数行列である³.

³ この式の導出の詳細は南斎他 (2002) を参照されたい.

これにより政策実施後の均衡状態における CO2 排出量を産業別にみることができると同時に 1 炭素トンあたりの税率を設定して経済モデルの政策変数とすることが可能となる。

具体的には、(5) 式の右辺の分子 (= 生産費用) に単位あたり CO2 排出量をタックスベースとした税を加え、これを (5) 式と同様に变形することで、炭素税を含む新たな財価格 \hat{p}_j が導出できる。

(2) シミュレーション結果

単位あたり CO2 に対する環境税率については多くの議論がなされており、その税率の幅も数千円/t-C から数万円/t-C まで多岐にわたっている。ここではシナリオ 1 (5 千円/t-C)、シナリオ 2 (1 万円/t-C) という 2 つのシナリオのもとで 100 億円の公共事業が実施された場合の排出量を比較してみる。

	CO2 の削減率
シナリオ 1	0.126 %
シナリオ 2	0.168 %

表-1 CO2 排出量の推計結果 (環境税)

表 1 はその結果をまとめたものであり、約 0.126 % の CO2 削減を達成したい場合には、炭素トンあたり 5 千円の税を課す必要があることを示している。また、このシミュレーションでは税収中立としなかったが、いずれのシナリオでも生産額が減少している。

次に単位あたりの排出量の減少を規定する規制 (例えば「グリーン購入法」の一部) の場合を考える。例えば、公共事業で用いる「セメント・セメント製品」がグリーン購入法により推奨されている財を用いることで単位あたり 2.5 % ($\equiv \gamma_j$) の CO2 排出削減に寄与すると仮定する⁴。すなわち、(16) 式で直接環境負荷量ベクトル $D = (d_1, \dots, d_n)$ のうち当該部門 j について $d_j \times (1 - \gamma_j)$ となることを意味している。

100 億円の公共事業がこの技術を用いて実施された場合に CO2 排出量削減率は、0.169 % となった。さらに、「鉄鉄・粗鋼」部門で同様に 2.5 % の CO2 削減が可能となった場合については、均衡での削減率が 0.25 % となった。

この例では表 2 が表 1 を上回る削減率を達成しているが、2 つの結果を単純に比較することはできない。

⁴ 現在グリーン購入法のリストに掲載されている具体的な財としてはフライアッシュセメント、エコセメントなどがある

	CO2 の削減率
セメント製品部門	0.169 %
鉄鉄・粗鋼部門	0.250 %

表-2 CO2 排出量の推計結果 (グリーン購入)

むしろ、表 2 において、同レベルの単位あたり排出削減が達成されているにもかかわらず波及分も含めた総 CO2 削減率が大きく異なっていることに注意すべきである⁵。

5. 終わりに

京都議定書が批准され CO2 排出量に関する制約がますます現実味を帯びている中で、単位あたり効率性を定義する規制では各産業の具体的な費用構造という極めて入手困難な情報を把握しない限り、効率的な目標達成は困難である。

確かに企業負担が大きく増大する環境税は導入が困難である⁶。しかし、わが国経済の中で非常に大きなウェイトを占める公共事業から発生する CO2 排出は無視できない大きさであり、「グリーン購入法」を超えた新たな対策が求められる。

参考文献

- 市岡修 (1991) 『応用一般均衡分析』有斐閣。
- 環境省 (2003b) 『2002 年度 (平成 14 年度) の温室効果ガス排出量について』。
- 駄田井正 (1989) 『経済学説史のモデル分析』(経済工学シリーズ), 九州大学出版会。
- 南斎規介・森口祐一・東野達 (2002) 『産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) - LCA データとのインベントリとして -』独立行政法人 国立環境研究所。
- 鷲田豊明 (2004) 『応用一般均衡モデルによる環境効率リバウンド効果の計測: 日本経済の温暖化ガス排出削減をめぐる』 <http://washida.net>。
- Bergman, Lars (1991) 'General Equilibrium Effects of Environmental Policy: A CGE-Modeling Approach', *Environmental and Resource Economics*, vol. 1.
- European Energy Exchange (2004) *European Carbon Index*, available from www.eex.de.
- Shoven, John B. and John Whalley (1992) *Applying General Equilibrium*, Cambridge, UK, Cambridge University Press.

⁵ 冒頭の例のような単位あたりでは効率的である財を導入したにもかかわらず、労働がマテリアルに代替されてしまうケースはうまくシミュレートできなかった。理論モデルも含めて今後の研究課題としたい。

⁶ 実際、この CGE モデルでもシナリオ 1、シナリオ 2 では EV (等価変分) は大きくマイナスとなる。