大阪学院大学経済論集
第24巻第1号、2010年6月

排出権取引と一般均衡理論

久我　　清

要　旨

排出権取引が価格メカニズムの有効性を担い得るものかどうか、一般均衡理論の立場から検討を加える。準備として、生産活動によるカーボン排出量を記述するだけの**参照モデル**を線形計画問題として用意する。本稿の中核となる**排出権取引型一般均衡モデル**では、家計・企業・政府からの需要部分を最終需要関数として一括して提示し、それに対応する供給部分は企業活動として描く。本源的生産要素としては多種類の資本財と多種類の労働の需給を想定する。これらの諸活動によってカーボン排出が発生し、政府は各産業に排出量上限枠を提示する。これらを超えてカーボンを排出する企業はカーボン排出料を支払う。なお、カーボン排出量上限枠を超えて生産活動を許容する際の社会全体としての別途総許容量を予め想定する。**排出権取引型一般均衡モデル**における一般均衡がカーボン排出量を抑制する達成度は参照モデルによって評価する。排出量上限枠や社会総体としての許容排出枠が「過度に許容的でない」大きさであれば、カーボン排出権取引を含む一般均衡状態は、その均衡需要を裏付ける生産活動のなかでもっとも少ないカーボン排出量で済むということが明らかにされる。

キーワード：カーボン排出権取引、排出権上限、一般均衡
JEL 分類番号：H23; C62.

1　はじめに

地球温暖化問題の解決策のひとつとして排出権取引が注目されている。価格メカニズムの有効性という経済学の発想法が援用されているものと理解されるが、本稿では、排出権取引がそのような期待を担い得るものかどうか、一般均衡理論の立場から検討を加える。

検討の準備として、ひとつの枠組みを用意する。我々が住まいする経済社会では諸財を価格でもって取引するが、排出権取引もまさに価格でもって取引しようとしている。そのような経済社会像を離れて、生活資材を生産する際に発生するカーボン排出量を同定する仕組みが準備できるものと想定する。何をどのようにして生産すればどれだけのカーボンが排出されるかという記述だけの枠組みを線形計画問題として用意する。このような枠組みを以下では**参照モデル**と呼ぶ。参照モデルを用意するのは、のちほど作りあげる**排出権取引型一般均衡モデル**の達成水準を参照モデルを通して評価するためである。

排出権取引型一般均衡モデルの大枠はおおよそ以下のように記述できる。我々の社会では、家計・企業・政府がそれぞれの経済目的のもと、資産評価・収入の受け取りと支出、財貨・サービスの需要と供給活動が絶え間なく継続的に行われる。これら諸活動のなかの需要部分を以下では、最終需要関数として一括して提示し、それに対応する部分は企業活動として描く。本源的生産要素としては多種類の資本財と多種類の労働の供給とその対価受け取りの存在を想定する。本源的生産要素の所有権・使用権は家計・企業・政府等にあるものと考えておけばよい。これらの諸活動を行うとき、カーボン排出が発生し、政府は各産業に排出量上限枠を提示する。これらを超えてカーボンを排出する企業はカーボン排出料を支払う。徴収された金額は政府がその活動に使用するなり、私的セクターに還元されてそれらの金額は新たな需要の資金的な裏づけとなるものと想定する。

なお、カーボン排出量上限枠を超えて生産活動を許容すると言えども、社会全体としては、総許容量を予め想定してかからなければ、カーボン排出を抑えることは難しい。カーボン排出総許容量と企業側からするカーボン排出権需要のバランスが社会的なバランス要請として成立しなければならない。このようなありかたを一般均衡理論として描くのが本稿の目的である。

本論文の構成は以下のようになっている。「排出権取引型一般均衡モデル」の一般均衡の定義、その存在、一般均衡の特性、いくつかの諸仮定の記述を終えたのち、その一般均衡値がカーボン排出量との関係でどのような位置にあるかという評価を、参照モデルを通して行う。

「排出権取引型一般均衡モデル」における一般均衡状態のカーボン排出量が優れた達成度を示しえるかどうかは、実は各産業に提示する排出量上限枠と社会総体として許容する排出枠のありかたに大きく依存する。あまりにも産業保護的になりすぎた排出量上限枠や社会全体に対して許容する総排出量の設定が粗雑すぎては意味をもたない。そのような排出量許容枠は、一般均衡状態を通してカーボン排出権取引の意味を正当化することはできない。しかしながら、各産業へ提示する排出量上限枠や社会総体として許容する排出枠が「過度に寛容的でない」適切な大きさであれば、カーボン排出権取引を含む一般均衡状態は、その均衡需要を支持する生産活動のなかでもっとも少ないカーボン排出量で済むということが明らかにされる。

最終需要を家計・企業・政府の行動を総計したものとして記述することから、個別経済主体の記述に戻って、「排出権取引型一般均衡モデル」における一般均衡状態のパレト的改善がありうるかどうかについては、第６節「パレト改善とカーボン発生量」において触れる。

最終需要を実行するに伴うカーボン排出をどのように一般均衡モデルにとりいれるかについては、第７節「最終需要実行活動とカーボン発生」において改めて触れる。

カーボン排出権取引と一般均衡理論についての文献的考察は第9節「文献的な付言」において行う。

2　参照モデルの作成

参照モデルは、線形計画法に沿って作成する。産業部門は$1, 2, \ldots, n$種類存在するものとする。産業内の各企業は記述の対象とはしない。各産業$i \in N \stackrel{\mathrm{def}}{=} \{1, 2, \ldots, n\}$は$s(i)$個の線形生産工程をもっているものと想定する。産業間の中間投入要素については行列Aをもって表す。

$$
\begin{aligned}
A &\stackrel{\mathrm{def}}{=} [A_1, A_2, \ldots, A_n] \\
A_i &\stackrel{\mathrm{def}}{=} \begin{bmatrix} a_{1i}^1 & a_{1i}^2 & \cdots & a_{1i}^{s(i)} \\ a_{2i}^1 & a_{2i}^2 & \cdots & a_{2i}^{s(i)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{ni}^1 & a_{ni}^2 & \cdots & a_{ni}^{s(i)} \end{bmatrix}, \quad i \in N
\end{aligned}
$$

行列Aは各産業に利用可能な生産１単位あたりの中間投入ベクトルから成るサイズ$n \times s(i)$の行列A_iから構成される[1)]。A_i $(i \in N)$の各列は、第i産業の単位産出当たりの中間投入列である。たとえば、A_iのなかのa_{1i}^2は第i産業にとって第２番目に利用可能な生産方法での第i財単位あたり第１財の必要投入量を表している。

中間投入の外にある本源的生産要素としてn_k種類の資本財、n_ℓ種類の労働を想定する。各産業が単位操業度あたり必要とする資本財と労働は以下の行列K, Lでもって表されるものと想定する。

1）行列 A は Morishima (1964, Chapter4) の謂う spectrum of technique である。

$$
\begin{aligned}
K &\stackrel{\text{def}}{=} [K_1, K_2, \ldots, K_n] \\
K_i &\stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} K_{1i}^1 & K_{1i}^2 & \cdots & K_{1i}^{s(i)} \\ K_{2i}^1 & K_{2i}^2 & \cdots & K_{2i}^{s(i)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ K_{n_k i}^1 & K_{n_k i}^2 & \cdots & K_{n_k i}^{s(i)} \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
L &\stackrel{\text{def}}{=} [L_1, L_2, \ldots, L_n] \\
L_i &\stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} L_{1i}^1 & L_{1i}^2 & \cdots & L_{1i}^{s(i)} \\ L_{2i}^1 & L_{2i}^2 & \cdots & L_{2i}^{s(i)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{n_\ell i}^1 & L_{n_\ell i}^2 & \cdots & L_{n_\ell i}^{s(i)} \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

このとき、Kを構成する$K_i(i \in N)$はサイズ$n_k \times s(i)$の行列である。K_iのなかの、例えば、第2列は第i産業にとって第2番目に利用可能な生産方法を使用するとき、第i財単位生産あたりn_k種類の資本財サービスの必要数量が記述されている。Lを構成する$L_i(i \in N)$はサイズ$n_\ell \times s(i)$の行列である。L_iのなかの、例えば、第3列は第i産業にとって第3番目に利用可能な生産方法を使用するとき、第i財単位生産あたりn_ℓ種類の労働サービスの必要量が記述されている。

各産業が単位操業するにあたり発生するカーボン排出係数は行列Qでもって表される。ただし、Q_iはサイズ$1 \times s(i)$の行列である。Q_iのなかの、例えば、Q_i^2は第i産業にとって第2番目に利用可能な生産方法を使用するとき、第i財単位生産あたり排出するカーボン量を表す。

$$
\begin{aligned}
Q &\stackrel{\text{def}}{=} [Q_1, Q_2, \ldots, Q_n] \\
Q_i &\stackrel{\text{def}}{=} [Q_i^1, Q_i^2, \ldots, Q_i^{s(i)}], \quad i \in N
\end{aligned}
$$

産業$i \in N$はアクティビティを$1, 2, \ldots, s(i)$種類もっていることは述べたが、それらの操業度を$x_i^1, x_i^2, \ldots, x_i^{s(i)}$にて表す。$x_i$はそれらをベクトル表記したものであり、$x$は$x_i$, $i \in N$を並べたものである。

$$x \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \qquad x_i \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} x_i^1 \\ x_i^2 \\ \vdots \\ x_i^{s(i)} \end{bmatrix}, \quad i \in N$$

これらの操業状態を簡便に表現する上で行列

$$J \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 & \cdots & 1 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$$B \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} J - A \\ -K \\ -L \end{bmatrix}$$

を定義する。Jは各産業が利用する技術をそれぞれ単位操業する状態を表現している。Bは総操業ベクトルxでもって純産出する量と必要な資本財サービス使用と労働使用を算出する行列である。K, Lに負の符号をつけているのは、線形計画問題を特定の不等式表示に改めるために行う工夫として必要とされる。

必要な各財の最終需要は所与の最終需要ベクトル$f > 0$で与え、社会に所与の存在量として利用可能な資本財ストックは$k = (k_1, k_2, \ldots, k_{n_k}) >> 0$, 労働は$\ell = (\ell_1, \ell_2, \ldots, \ell_{n_\ell}) >> 0$で与える。$f$と$-k$, $-\ell$を合わせてgと表す。

gのなかで、k, ℓを負の符号で表現しているのは、線形計画問題の不等式表現にあわせるためである。

$$f \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix}, \quad g \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} f \\ -k \\ -\ell \end{bmatrix}$$

これで、最終需要fを利用可能な資本財、労働を用いて生産する際に発生するカーボン量を最小化する線形計画問題に必要な記号の説明は終わった。以下の(＃1)はその線形計画問題である。行列B, Qとベクトルgは与件であり、目的関数Qxは操業度変量xによって発生するカーボン量である。

$$(\#1) \quad \begin{cases} \min_x & Qx \\ \text{subject to} & Bx \geqq g \\ & x \geqq 0 \end{cases}$$

次の(＃2)は、問題(＃1)に自然に共生する双対問題である。各財の双対価格を$p = (p_1, p_2, \ldots, p_n)$, 資本財の双対価格を$r = (r_1, r_2, \ldots, r_{n_k})$, 労働の双対価格を$w = (w_1, w_2, \ldots, w_{n_\ell})$とする。所与のベクトル$g$の潜在価値を表す変量$[p, r, w]$がカーボン発生係数との潜在費用関係を満足する範囲内で、与件舞台gの純評価価値を最大化するように変量$[p, r, w]$が動く。

$$(\#2) \quad \begin{cases} \max_{[p,r,w]} & [p, r, w]\ g \\ \text{subject to} & [p, r, w]B \leqq Q \\ & [p, r, w] \geqq 0 \end{cases}$$

問題(#1)、(#2)は、社会組織のありかたを離れて、カーボン排出量を最小にする技術的な問題として構成しており、後出の排出量上限設定時の一般均衡モデルを評価する際に使用される。

3　排出量上限設定と一般均衡

線形計画問題を離れて、価格経済社会の一般均衡の描写に移る。

産業別に排出枠 $e_i \geqq 0,\ (i \in N)$ が政府から通達されるモデルを考察する。産業iのカーボン排出量が排出枠e_iの範囲内に治まっている限りでは、排出料を支払う義務は発生しないが、産業iのカーボン排出量$Q_i x_i$が排出枠e_iを超えれば、産業側は$q(Q_i x_i - e_i)$を政府に支払う義務が発生すると想定する。カーボン排出量単位あたり料金はqであるので、$q \cdot \max(Q_i x_i - e_i,\ 0)$は産業側の支払い額であり、$q \cdot e_i$は産業側への補助金と考えることもできる。尚、$e_i = 0,\ i \in N$のような場合には、一律にカーボン排出量単位当たり$q$を支払うことが要求される。このような設定は、単純炭素税と解釈することもできよう。

カーボン排出について実生活においては、最終需要を実行する際にもカーボンは発生するものが多いが、以下のモデルではモデル構成の単純化を優先して、最終需要実行時のカーボン排出現象を取り扱っていない。モデルとしては単純に産業側がカーボン排出費を負担するものと設定している。このような単純構造を克服する方法は改めて第7節で触れる。

尚、政府は社会的にカーボン排出最大許容量をvと設定するものとする。この数値は産業別排出許容量$e_1, e_2, \ldots, e_n$を超えて、発生する総量に対する社会的規制値と想定している。したがって、最終的なカーボン総許容量は$v + \sum_{i \in N} e_i$である。

個別産業側$i \in N$の供給対応 $\phi_i : \mathbf{P} \to \mathbf{R}_+^{s(i)}$ を表す上で、価格 (p, r, w, q)

を用いる。(p,r,w,q)は（＃2）においては諸財の潜在価値を表す用途で用いたが、以下では、市場価格を表す意味で使用する。産業側$i \in N$の供給対応は

$$\phi_i(p,r,w,q) \stackrel{\text{def}}{=} \{x_i \in \mathbf{R}_+^{s(i)} \mid p\cdot(J_i - A_i)\cdot x_i - rK_ix_i - wL_ix_i \\ -q\max(Q_ix_i - e_i, 0) \geqq \pi_i(p,r,w,q)\ \}$$

$$\pi_i(p,r,w,q) = \sup_{x_i \in \mathbf{R}_+^{s(i)}} [\ p\cdot(J_i - A_i)\cdot x_i - rK_ix_i - wL_ix_i \\ -q\max(Q_ix_i - e_i, 0)\ ]$$

$$(p,r,w,q) \in \mathbf{P} \stackrel{\text{def}}{=} \{(p,r,w,q) \in \mathbf{R}^{n+n_k+n_\ell+1} \mid (p,r,w,q) \geqq 0, \\ \sum p_i + \sum r_\mu + \sum w_\nu + q = 1\ \}$$

のように定義される。ここで、$J_i, i \in N$は、行列Jのなかの第i行が1である$s(i)$個の列を取り出して並べた、サイズ$n \times s(i)$の行列である。

$\pi_i : \mathbf{P} \to \mathbf{R}_+,\ \pi_i(p,r,w,q)$は$x_i \in \mathbf{R}_+^{s(i)}$と許容している場合には、well-definedでない場合がある。均衡解の存在を問う場合には、$\mathbf{R}_+^{s(i)}$をk,ℓや最終需要によって規定される充分大きいコンパクト凸集合X_iで代替して考察を進めればよい。そのとき、$\phi_i : \mathbf{P} \to X_i$は凸値上半連続となる。この点については後出の3.1「いくつかの諸仮定と均衡存在」を参照されたい。

最終需要関数$F : \mathbf{P} \to \mathbf{R}_+^n$は連続とする。最終需要関数の背景には、数多くの家計、企業、政府があるものと想定しても差し支えない。このことについては改めて第6節で触れる。$F(p,r,w,q,I(p,r,w,q))$は$(p,r,w,q) \in \mathbf{P}$について、予算制約式

(1) $$p\cdot F(p,r,w,q,I(p,r,w,q)) = I(p,r,w,q)$$

(2) $$I(p,r,w,q) \stackrel{\text{def}}{=} rk + w\ell + \min(\bar{\pi}, \sum_{i\in N}\pi_i(p,r,w,q)) +\ qv$$

に従うものとする。カーボン排出に伴う支払い費用は国家が受け取り政府支出の背景となっていると考えたり、私的セクターに戻されて家計・企業支出の背景となっているものと想定してもよい。πは後ほど3.1の (i) にて触れるが、均衡点の存在を議論するときの人工的な置物であるので、そのようなことに関心の薄い研究者は無視されたい。

以下の条件(*1) (*2) (*3)を満たす $(\hat{p}, \hat{r}, \hat{w}, \hat{q}) \in \mathbf{P}$, $\hat{x} = (\hat{x}_1, \ldots, \hat{x}_n)$を「排出量上限設定型一般均衡」と呼ぶ。

(*1) 利潤最大化：$\hat{x}_i \in \phi_i(\hat{p}, \hat{r}, \hat{w}, \hat{q}), \quad i \in N$

(*2) 財需給均衡：$B\hat{x} \geqq \begin{bmatrix} F(\hat{p}, \hat{r}, \hat{w}, \hat{q}, I(\hat{p}, \hat{r}, \hat{w}, \hat{q})) \\ -k \\ -\ell \end{bmatrix}$

(*3) カーボン排出許容バランス：$\sum_{i \in N} \max[\ Q_i\hat{x}_i - e_i,\ 0\ ] \leqq v.$

「排出量上限設定型一般均衡」の存在を保証する意味で、超過需要関数についての記述を補っておく。

$$E_i(p, r, w, q) \stackrel{\text{def}}{=} F_i(p, r, w, q, I(p, r, w, q)) - [(J_i - A_i)\phi_i(p, r, w, q)], \quad i \in N$$

$$E_{k,\ \mu}(p, r, w, q) \stackrel{\text{def}}{=} [\ (\sum_{i \in N} K_i\phi_i(p, r, w, q) - k\ ]_{\mu},\ \mu \in \{1, 2, \ldots, n_k\}$$

$$E_{\ell,\ \nu}(p, r, w, q) \stackrel{\text{def}}{=} [\ (\sum_{i \in N} L_i\phi_i(p, r, w, q) - \ell\ ]_{\nu}, \quad \nu \in \{1, 2, \ldots, n_\ell\}$$

$$E_v(p, r, w, q) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{i \in N} \max\ [\ Q_i\phi_i(p, r, w, q) - e_i,\ 0\ ] - v$$

に対して、

$$
\begin{aligned}
&\sum_{i\in N} p_i E_i(p,r,w,q) \\
&\quad + \sum_{\mu} r_\mu E_{k,\mu}(p,r,w,q) + \sum_{\nu} w_\nu E_{\ell,\nu}(p,r,w,q) + qE_v(p,r,w,q) \\
= &\quad pF(p,r,w,q,I) - p(J-A)\phi(p,r,w,q) + \ [\ rK + wL\ ]\ \phi(p,r,w,q) \\
&\quad -rk - w\ell + \ q\ [\ \sum_{i\in N} \max\ [\ Q_i\phi_i(p,r,w,q) - e_i,\ 0\ ] - v\ ] \\
\leqq &\quad rk + w\ell + \sum_{i\in N} \pi_i(p,r,w,q) \\
&\quad + qv - p(J-A)\phi(p,r,w,q) + \ [\ rK + wL\ ]\ \phi(p,r,w,q) \\
&\quad -rk - w\ell + \ q\ [\ \sum_{i\in N} \max\ [\ Q_i\phi_i(p,r,w,q) - e_i,\ 0\ ] - v\ ] \\
= &\quad 0
\end{aligned}
$$

なるワルラス法則が成立する。

3.1 いくつかの諸仮定と均衡存在

不動点によって得られる一般均衡を有意味ならしめる仮定群について補完しておきたい。

（仮定１）［生産性］任意の最終需要 $f \geqq 0$ について適当な $x \geqq 0$ があって $(J-A)\cdot x = f$ を満足させる。

ここでは、お互いの産業部門を相互に中間投入的な位置として把握するときに最終需要を満足させることが可能であることを謳っている。そのとき、本源的生産要素としての資本財・労働への必要な配慮は別途考慮しなければならないことは言うまでもない。

（仮定２） $\hat{r}=0, \hat{w}=0, \hat{q}=0$ であれば、$\hat{p}(J-A)\hat{x}$ として現出する利潤最大化行動において、$Q\hat{x}$ は $v+\sum_i e_i$ を超える。

この仮定は $\hat{r}=0, \hat{w}=0, \hat{q}=0$ が仮に発生する場合、$\hat{p}$ はすくなくとも

$\hat{p} \geqq 0, \neq 0$ であるので、産業側は（仮定1）とともに、大きいコンパクト凸集合（以下で導入する X）の境界まで達する計画を行う。このとき、$Q\hat{x}$ は $v+\sum_i e_i$ を超えるという仮定である。したがって、$\hat{r}=0, \hat{w}=0, \hat{q}=0$ は発生しない。

（仮定3） 正の所得 $I(\hat{p}, \hat{r}, \hat{w}, \hat{q}) > 0$ であるとき、$i \in N$について、$\hat{p}_i = 0$であれば、最終需要F_iはk, ℓによって生産できる量を超える。

（仮定3）によって、$\hat{p}_i > 0,\ i \in N$を得る。

以下は均衡を探る議論の概要である。

（i）先ず、$\alpha > 1$を選んで、拡大実行可能領域 $\tilde{X} \stackrel{\text{def}}{=} \{x \in \mathbf{R}_+^{\sum_i s(i)} \mid (Kx \leqq \alpha \cdot k) \wedge (Lx \leqq \alpha \cdot \ell) \wedge (\sum_i Q_i x_i \leqq \alpha \cdot (v + \sum_i e_i))\}$ を定義して、$\pi \stackrel{\text{def}}{=} \sup_{x \in \tilde{X},\ (p,r,w,q) \in \mathbf{P}} [p(J-A)x - rKx - wLx - q\sum_i \max(Q_i x_i - e_i, 0)]$ を定義する。これは実行可能領域をすこし広げた供給活動のなかで考えられる全最大利潤である。企業活動が $x \in \mathbf{R}_+^{\sum_i s(i)}$ では利潤が発散する可能性があるので、それをひとまず拡大可能領域で抑えて、最終需要関数の連続性を保全する工夫である。また、不動点においては、元来の利潤関数 $\pi_i(p, r, w, q)$ と一致させる狙いをもっている。しかしながら、$\tilde{X}$ は供給側の事情だけを前提にしている。一旦、そのような事情を心得て、次には、需要側の事情を勘案して企業側の活動範囲を制限する試みがXとして定義される。

（ii）需要側の大きさは $\varepsilon > 0$ を或る小さな実数として、$S \stackrel{\text{def}}{=} \{\lambda \cdot F(\mathbf{P}, I(\mathbf{P})) \mid \lambda \in [1-\varepsilon, 1+\varepsilon]\}$を考える。各産業$i$は潜在的には $x_i \in \mathbf{R}_+^{s(i)}$を選択する自由度を失っていないが、不動点を考察するときには、x に関与する $\sum_i (J_i - A_i)x_i$が$s \in S$について$\sum_i (J_i - A_i)x_i = s$として処理できる充分大きいコンパクト凸集合 $X \subset \mathbf{R}_+^{\sum_i s(i)}$ を導入し、不動点を求める際の利潤を計算する場合、各$i \in N$について集合 $X_i \stackrel{\text{def}}{=} \mathrm{Proj}_{\mathbf{R}^{s(i)}} X$ を用いる。再言すれば、$S \subset \sum_i Y_i\ (Y_i \stackrel{\text{def}}{=} (J_i - A_i)X_i)$を満足するように$X$を設定するということである。この工夫が、均衡における各工程の利潤条件を産みだすときに利用される。

（iii）不動点の存在を考察する写像 $(x,p,r,w,q)\in X\times\mathbf{P}\rightarrow X\times\mathbf{P}$は

$$x \quad\rightarrow\quad (\phi_i(p,r,w,q))_{i\in N},$$

$$(p,r,w,q) \quad\rightarrow\quad \begin{cases}(p_i+\max(E_i,0))/H, & i\in N\\ (r_\mu+\max(E_{k,\mu},0))/H, & \mu\in\{1,2,\ldots,n_k\}\\ (w_\nu+\max(E_{\ell,\nu},0))/H, & \nu\in\{1,2,\ldots,n_\ell\}\\ (q+\max(E_v,0))/H\end{cases}$$

$$\begin{aligned}
E_i &\stackrel{\text{def}}{=} F_i-(J_i-A_i)x_i,\ i\in N\\
E_{k,\mu} &\stackrel{\text{def}}{=} (Kx-k)_\mu,\ \mu\in\{1,2,\ldots,n_k\}\\
E_{\ell,\nu} &\stackrel{\text{def}}{=} (Lx-\ell)_\nu,\ \nu\in\{1,2,\ldots,n_\ell\}\\
E_v &\stackrel{\text{def}}{=} \sum_i\max[Q_ix_i-e_i,0]-v\\
H &\stackrel{\text{def}}{=} 1+\sum_i\max(E_i,0)+\sum_\mu\max(E_{k,\mu},0)\\
&\qquad+\sum_\nu\max(E_{\ell,\nu},0)+\max(E_v,0)
\end{aligned}$$

のように定義する。

この二階堂型写像（Nikaidô, H. (1968, p.266 (2))）に併せて、角谷の不動点定理(1941)で、(*1) (*2) (*3)を満足する排出量上限設定型一般均衡の存在が保証される。実際、不動点を$(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q})\in\mathbf{P}$, $\hat{x}\in(\phi_i(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q}))_{i\in N}$とすれば

$$\begin{aligned}
\hat{p}_i\cdot\lambda &= \max(E_i,0),\ i\in N\\
\hat{r}_\mu\cdot\lambda &= \max(E_{k,\mu},0),\ \mu\{1,2,\ldots,n_k\}\\
\hat{w}_\mu\cdot\lambda &= \max(E_{\ell,\nu},0),\ \ \nu\{1,2,\ldots,n_\ell\}\\
\hat{q}\cdot\lambda &= \max(E_v,0)\\
\lambda &= H-1
\end{aligned}$$

を得て、ワルラス法則から

$$\begin{aligned} 0 \ \leqq & \quad \lambda\cdot[\sum_i \hat{p}_i E_i + \sum_\mu \hat{r}_\mu E_{k,\mu} + \sum_\nu \hat{w}_\nu E_{\ell,\nu} + \hat{q}E_v] \\ = & \quad \sum_i [\max(E_i,0)]^2 + \sum_\mu [\max(E_{k,\mu},0]^2 + \sum_\nu [\max(E_{\ell,\nu},0)]^2 \\ & \quad +[\max(E_v,0)]^2 \end{aligned}$$

となり、(*1) (*2) (*3) に至る。

4　排出量上限設定型一般均衡の特性

$\hat{x}_i \in \phi_i(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q})$, $(i\in N)$は一般均衡の存在を論証する上で$\hat{x}_i \in X_i$としているが、元来は、$x_i \in \mathbf{R}_+^{s(i)}$を許容して考える。したがって、$i \in N$について

⑶
$$\left\{ \begin{array}{rl} & \hat{p}\cdot(J_i - A_i)x_i - \hat{r}K_i x_i - \hat{w}L_i x_i - \hat{q}\max(Q_i x_i - e_i, 0) \\ \leqq & \hat{p}\cdot(J_i - A_i)\hat{x}_i - \hat{r}K_i \hat{x}_i - \hat{w}L_i \hat{x}_i - \hat{q}\max(Q_i \hat{x}_i - e_i, 0) \\ & \text{for all} \ \ x_i \in \mathbf{R}_+^{s(i)} \end{array} \right.$$

が成立しなければならない。⑶において、$x_i = 0$を代入すると、$\pi_i(\hat{p}, \hat{r},\hat{w},\hat{q}) \geqq 0$。

［性質］

（i）$Q_i\hat{x}_i < e_i$のとき、$\hat{p}\cdot(J_i - A_i)\cdot\hat{x}_i - \hat{r}K_i\hat{x}_i - \hat{w}L_i\hat{x}_i = 0.$

（ii）$Q_i\hat{x}_i > e_i$のとき、$p\cdot(J_i - A_i)\cdot\hat{x}_i - \hat{r}K_i\hat{x}_i - \hat{w}L_i\hat{x}_i = \hat{q}Q_i\hat{x}_i$
　かつ$\pi_i(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q}) = \hat{q}e_i.$

（iii）$p\cdot(J_i - A_i) - \hat{r}K_i - \hat{w}L_i \leqq \hat{q}Q_i,\ i\in N.$

［証明］（ｉ）もしも、$\hat{p}\cdot(J_i-A_i)\cdot\hat{x}_i-\hat{r}K_i\hat{x}_i-\hat{w}L_i\hat{x}_i>0$であれば、$\lambda\hat{x}_i$, ($\lambda>1$かつ1に充分近い）に対して最適化可能利潤の増大が起こる。したがって、$\hat{p}\cdot(J_i-A_i)-\hat{r}K_i-\hat{w}L_i\leqq 0$となっているので、負の利潤が発生しているアクティビティは稼動しない。(ii) $p\cdot(J_i-A_i)\cdot\hat{x}_i-\hat{r}K_i\hat{x}_i-\hat{w}L_i\hat{x}_i>\hat{q}Q_i\hat{x}_i$であれば、$\lambda\hat{x}_i$, ($\lambda>1$かつ1に充分近い）に対して最適利潤の増大が起こる。$p\cdot(J_i-A_i)\cdot\hat{x}_i-\hat{r}K_i\hat{x}_i-\hat{w}L_i\hat{x}_i<\hat{q}Q_i\hat{x}_i$であれば、$\lambda\hat{x}_i$,（$\lambda<1$かつ1に充分近い）に対して最適利潤の増大が起こる。利潤と稼動レベルを二次元グラフで考えれば、屈折点が生じる稼動レベルから右側は、利潤は同じレベルであるということ、そのとき稼動レベルは最終需要によって決定されるということになる。(iii)略。

5　排出量上限設定型一般均衡と参照モデル

［カーボン発生量についての上限設定］：各産業のカーボン発生量に対する上限$e_i, i\in N$および社会的総量上限vによって定まる排出量上限設定型一般均衡において、各産業の操業度が$Q_i\hat{x}_i-e_i>0, i\in N$且つ$\hat{q}>0$が成立するとき、「上限設定は超許容的ではない」と呼ぶことにしよう。言い換えれば、上限設定について産業側がカーボン排出量に無関心であっても利潤達成度に大きい影響がない場合が、「上限設定が許容的である」ということである。以下では、一般均衡状態が現出するうえで「上限設定は超許容的ではない」と想定する。

排出量上限設定型一般均衡に対して最終需要を

$$f \overset{\text{def}}{=} F(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q},I(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q}))$$

と設定して、問題(＃1)へ戻る。このとき、(＃1)に対して、$x\overset{\text{def}}{=}\hat{x}$と置くこ

とで(＃1)の実現可能性条件は満足される。

(＃2)を考察するときには、$\hat{q}>0$を要求して、$(p,r,w)\stackrel{\rm def}{=}(\tilde{p},\tilde{r},\tilde{w})\stackrel{\rm def}{=}(\hat{p},\hat{r},\hat{w})/\hat{q}$を該不等式に代入すれば、一般均衡の性質(iii)から、(＃2)の実現可能性条件は満足される。

さてこのように置いた$x,(p,r,w)$が(＃1)，(＃2)の最適解であることを示す。

(＃1)(＃2)の実現可能性から

(4)
$$Q\hat{x}\geqq[\tilde{p},\tilde{r},\tilde{w}]B\hat{x}\geqq[\tilde{p},\tilde{w},\tilde{r}]g$$

また

$$\begin{aligned}
& \hat{q}\cdot[\tilde{p},\tilde{w},\tilde{r}]g \\
= \quad & [\hat{p},\hat{r},\hat{w}]g \\
= \quad & \hat{p}\cdot F(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q},I(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q}))-\hat{r}k-\hat{w}\ell \\
= \quad & \hat{r}k+\hat{w}\ell+\sum_{i\in N}\pi_i(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q})+\ \hat{q}v-\hat{r}k-\hat{w}\ell \\
= \quad & \sum_{i\in N}\pi_i(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q})+\ \hat{q}v \\
= \quad & \sum_{i\in N}\hat{q}e_i+\ \hat{q}v \\
= \quad & \hat{q}[\sum_{i\in N}e_i+\ v] \\
= \quad & \hat{q}Q\hat{x}
\end{aligned}$$

を得て、$\hat{q}>0$から$[\tilde{p},\tilde{w},\tilde{r}]g=Q\hat{x}$が成立する。したがって、(4)によって$\hat{x}$が$f=F(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q},I(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q},))$に対する最小Carbon発生解であることが判明する。

定理１：排出量上限設定が超許容的でないとき、均衡最終需要を賄うカーボン発生量は排出量上限設定型一般均衡において最小となる。その発生量は価格メカニズムを離れてその経済社会が取りえる選択肢のうちで最も少ないカーボン

発生量である。

6　パレト改善とカーボン発生量

$f=F(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q},I(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q}))$をPareto改善する実現可能状態を考察する上で、家計・企業・政府等の予算使用単位$h\in\{1,2,\ldots,H\}$を考える。各単位hは予算I^h ($\sum_h I^h=I$)を用いて、自らの消費・投資を計画するが、その際、消費・投資判断関数があって、予算の範囲内で消費・投資判断関数を最大化する行動を行うと想定し、その結果、得られるものが最終需要関数Fであったものと理解する。

排出量上限設定型一般均衡$(\hat{p},\hat{r},\hat{w},\hat{q})$, $\hat{x}$があるとき、各予算使用単位の活動水準をパレト改善するような実行可能な経済活動があると想定しよう。そのような実行可能プランを均衡価格で評価すると、個別の予算使用単位にとって、排出量上限設定型一般均衡における各単位の予算を超過している。これら諸単位の個別プランを総計したものをf'とすれば、$\hat{p}\ f<\hat{p}\ f'$を得る。

次に、(#1)において f'を所与として最適解としてx'を得るものとしよう。

$$
\begin{aligned}
Q\hat{x} &= \tilde{p}f-\tilde{r}k-\tilde{w}\ell \\
&< \tilde{p}f'-\tilde{r}k-\tilde{w}\ell \\
&\leqq [\tilde{p},\tilde{r},\tilde{w}]\begin{bmatrix} J-A \\ -K \\ -L \end{bmatrix} x' \\
&\leqq Qx'
\end{aligned}
$$

したがって、カーボン発生量vの範囲内では、パレト改善的で別途実現可能な活動状態は存在しないと結論できる

定理２：パレト改善的で別途実現可能な活動状態が存在するものとすれば、

カーボン発生量は必ず上限vを凌駕する。

7　最終需要実行活動とカーボン発生

最終需要行動に応じて改めてカーボンが発生する場合、例えば、ガソリンを生産するプロセスのあと、それを家計が消費して運転する場合などがそうであろう。この点については、(#1)においては、fを所与としているので、fの実行によって発生するカーボン量は外生となる。したがって、問題としては、Fを一般均衡として、消費に伴うカーボン発生量に比例して費用負担qを徴収され、また、収入項目として還元されるモデルを再考察すればよい。その結果得られる新均衡値を(#1)にfとして代入すれば、同様の結論が得られる。

8　実証分析用のモデル

実証分析では各産業が利用できるスペクトラムを設定することなく産業連関論的に$n \times n$の投入産出表から出発するのが簡便である。このとき、本源的生産要素も資本財1種類、労働1種類として、変数は$p = (I - A)^{-1}(rK + wL + qQ)$とすれば、$r, w, q$の3変数でよい。このとき、最終需要関数も簡単な配分型ベクトル関数で考察するのも一法である。

9　文献的な付言

筆者の限られた文献検索の範囲内でと断ってのことであるが、これまで排出権取引を一般均衡理論との関連で取り扱った論文は多くないようである。そのように断定しても差し支えないと考えるのは、一般均衡理論的に排出権取引を

取り扱っている Iritani, J. and T. Y. Lee (2008)[2] が同様の判断[3]をしているからである。彼らも一般均衡理論的な構造で排出権取引を取り扱っている研究としては僅かに Smith and Yates (2003) を引用し、それすら “numerical example” と形容している。また、成書、前田(2009)にも一般均衡理論的な視座は含まれていないようである。

2) 同論文は、一国のなかに一家計、一企業のある二国 4 財モデルを取り扱っている。カーボン発生については両国の家計にとって合計量が関心の対象になるナッシュ的状況を取り扱っている。尚、ゲーム的一般均衡の一意的存在は仮定されている（ Assumption 3, p.10）。

3) “Most of the researches, however, are based on partial equilibrium analyses.” p.3 と現状をまとめている。

参考文献

Iritani, J. and T. Y. Lee (2008), "A General Equilibrium Model with Tradable Emission Permits: Efficiency and Coase Properties."

Kakutani, Shizuo (1941), "A Generalization of Brouwer's Fixed Point Theorem," *Duke Mathematical Journal* 8, 457-459.

Kane, Joost L. M. (2006) 大槻・上田訳『排出権市場の価格メカニズム』、金融財政事情研究会。

前田章(2009)『排出権制度の経済理論』、岩波書店。

Morishima, M. (1964), *Equilibrium, Stability, and Growth*, Oxford, Clarendon Press.

Nikaidô, H. (1968), *Convex Structures and Economic Theory*, Academic Press.

Tradable Emission Permits and General Equilibrium Theory

Kiyoshi Kuga

ABSTRACT

Economic theory asserts universal validity of the price mechanism. The present paper examines by the general equilibrium theory questioning whether the emission permits trade functions well.

First we prepare a linear programming reference model by which a level of carbon emission is identified for each set of production activities. This reference model is used to see if a general equilibrium solution vies with the minimality requirement of the carbon emission.

We then proceed to construct a general equilibrium model in which trade of emission permits is incorporated. The production side is delineated by the input-output spectrum of technique type with the requiremnt coefficients for various types of capital and labor, in addition with the carbon emission coefficients. The demand side is expressed by a final demand function of prices and allowable emission levels.

Permissible levels of carbons are proclaimed industrywise, and firms are required to pay when they exceed the levels. In addition, there should exist a societywise upper bound to the total level of carbon emission. There the demand and supply matchs by a suitable level of permit price.

Validity of the general equilibrium with tradable emission permits is finally examined by the reference model.

Keywords : Emission Permit Trade, Grandfathering, General Equilibrium.

JEL Classification Number : H23; C62.