Title	成長経済における排出権売買と所得分配
Sub Title	Tra able emission rights, income distribution and economic growth
Author	細田, 衛士
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	1993
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.85, No.4 (1993. 1) ,p.562(34)- 580(52)
JaLC DOI	10.14991/001.19930101-0034
Abstract	
Notes	小特集 : 環境と経済
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-19930101-0034

「三田学会雑誌」85巻4号（1993年1月）

成長経済における排出権売買と所得分配*

細　田　衛　士

1. はじめに

現在地球規模での環境破壊はかなり深刻化している。酸性雨，熱帯雨林伐採，砂漠化，温暖化，オゾン層破壊，越境大気汚染……どれをとりあげても，それぞれに固有の問題があり，的確な対処を困難にしている。

しかしこれらのいくつかの問題には共通する要素があるように思われる。たとえば，酸性雨，温暖化，オゾン層破壊，越境大気汚染等の問題は，経済活動の結果として特定の物質が大量に大気中に排出されることによってもたらされるものである。したがって，このような物質の大気中への排出を規制すれば当然問題を解決できるわけである。

それでは一体どのようにして排出を規制できるであろうか。現在考えられる規制手段として主に次のものが挙げられる。すなわち，直接規制，課税（課徴金），補助金，排出権売買の4つの方法である。

現在環境税に関する議論が盛んに行なわれているが，一方排出権売買による排出抑制も最近とみに注目されるようになってきた。またアメリカでは，亜硫酸ガスの排出権売買が実際に行なわれている。

さて，環境税にせよ排出権売買にせよ，問題になるのは，こうした方法で排出抑制を行なったとき経済の他の変数がどのような影響を受けるかという点である。排出を抑制した結果，経済成長率や消費などは大きく減少せざるを得ないのであろうか。実際こうしたことに対する懸念から，特に経済界などにおいて環境税や排出権売買制度等に大きな反対があるのではないかと思われる。

本論文の目的は，限られた設定の下ではあるが，排出権制度を導入した時，様々な経済諸変数すなわち経済成長率，1人当りの消費，利潤率，賃金率等がどのような影響を受けるかを分析することにある。分析は伝統的な2部門経済成長モデルを応用して行われる。経済成長率や1人当りの消

* 本稿作成にあたり，神谷傳造，寺出道雄，植田和弘，高増明，I. Steedman の各教授より有益なコメントを受けた。記してここに謝意を表わしたい。また本研究は，旭ガラス財団より助成を受けている。

費，ならびに分配変数への影響は必ずしも常識が教えるものとは同じではないということが示されるであろう。

本論文の構成は以下の通りである。次節では，諸仮定ならびに基本となるモデルが提示される。第3節では，政府と企業の間でのみ排出権が取り引きされる場合に得られる結論を提示する。第4節では消費者が排出権市場に参入できる場合について論じる。第5節では得られた結論に関して簡単なまとめが行なわれる。

この論文は，Hosoda (1992 a)，(1992 b) が下じきとなって書かれている。この2つの論文の中心部分をまとめ，よりわかり易く書かれたのが本論文なのである。したがっていくつかの重要な結果は，証明が複雑なためにここでは省かれている。より包括的な理解を望む読者には，上記2つの論文もあわせて読まれることが薦められる。

2. 諸仮定と基本モデル

本節では次節以降の分析に用いられる基本モデルと，このモデルが基づく諸仮定を提示する。伝統的な2階級，2部門の経済成長モデルに排出権市場を導入することによって分析が行なわれる。

2.1 本論文では，経済主体として資本家，労働者，政府の3者が登場する。勿論，資本家も労働者も多数の人間よりなるが，ここでは代表的な資本家と代表的な労働者を考え，同一階級内での相違は無視する。

まず資本家についてであるが，彼は資本を保有し生産活動を組織する。すなわち，資本財と雇用労働者を生産過程に投入し，産出物を得る。このとき産出物の結合生産物として排出物が得られる。なんらの規制もなければこの排出物は無料で環境中に捨てられるが（自由処分），ここでは資本家（以下企業と同一視する）は政府から購入した排出権の許す量しか排出しないと仮定する。

生産物の価値は，したがって賃金支払部分と排出権購入費用部分と利潤部分とにわかれることになる。資本家には利潤が分配されるわけであるが，彼は利潤すべてを貯蓄し資本蓄積（投資）にまわすものと仮定する。資本家の消費は簡単化のために無視される。

労働者は賃金のほかに，企業が支払った排出権購入代金を政府を通して受けとるものとする。労働者がこうして得た所得は，すべて消費されるものとしよう（以下労働者を消費者と呼ぶこともある)。

最後に，政府の役割は企業に排出権を市場で売り，この販売で得た価額はすべて労働者に移転するものとしよう。したがって，ここでの政府の役割は極めて抽象的なものである。

以上の説明からわかるように，企業は生産活動に伴う汚染物質の排出で環境を破壊し，労働者に被害を与えるが，排出権市場があることで政府を通して労働者に一部補償するのである。こうして企業の社会的費用の内部化とともに，所得の再分配がここでは取り扱われることになる。

2.2　次に生産過程について見てみる。財に関しては，資本財と消費財がそれぞれの部門によって生産されるものとする。つまり通常の財については，伝統的な2部門モデルが採用される（第1部門は資本財生産部門，第2部門は消費財生産部門とする)。この両部門ともに廃棄物を排出するものと仮定しよう。

さて第3番目の生産過程として排出物を全く無害な物質に変える過程，すなわち排出物処分プロセスを考える。このプロセスは，狭い意味では生産過程とは呼べないかもしれないが，汚染物の無害化というサービスを行っているという意味ではやはり生産過程と把握されるべきであろう。

さてすべての生産過程は線型の固定係数型の生産技術をもつものとする。したがって規模に関して収穫不変が支配すると仮定される。

これらの想定のもとで，基本的な価格体系，数量体系は以下のように表現される。

価格体系

$$(1)\begin{cases} p = rpa_1 + wl_1 + tb_1 \\ 1 = rpa_2 + wl_2 + tb_2 \\ t = rpa_3 + wl_3 \end{cases}$$

数量体系

$$(2)\begin{cases} a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 = \dfrac{1}{g}x_1 \\ w + t(b_1x_1 + b_2x_2 - x_3) = x_2 \\ b_1x_1 + b_2x_2 - x_3 \leqq b \\ t(b_1x_1 + b_2x_2 - x_3) = tb \\ g = r \\ l_1x_1 + l_2x_2 + l_3x_3 = 1 \end{cases}$$

ここで，記号については以下のように定義する（但し以上では消費財をニュメレールとして採用している)。p：資本財の価格，r：利潤率，w：賃金率，t：排出権の価格，x_i：第 i 生産部門（過程）の稼動水準，g：経済成長率。以上は内生変数である。(1)

これに対して，以下の記号は与件として与えられたものを表わす。a_i：第 i 部門の稼動水準が1単位のときに必要な資本量，l_i：第 i 部門の稼動水準が1単位のときに必要な労働量，b_i：第 i 部門の稼動水準が1単位のときの排出物の量，b：政府が販売する排出権の量。

（1）の第1，2式は資本財，消費財の価格がそれぞれの生産費に等しいことを表わしている。（1）の第3式は，排出物処分プロセスについての収支を表わしている。このプロセスを1単位の稼動水準で稼動させれば，排出物1単位当り t だけ節約できる。その分排出権を購入しなくてすむ

注（1）　あとで体系をとじるため，ひとつの内生変数をとってそれを固定する。

からである。つまり，このプロセスの産出物の価格（影の価格）は t と解釈することができる。すると，この第３式は均衡における排出物処分プロセスの価格＝費用の方程式とみなすことができる.

（２）の第１式は資本ストックに関する需給方程式を表わしている。左辺は各プロセスで必要な資本量の和である。また，恒常成長下では gK（Kは資本ストック）が投資であり，これは新しく生産された資本財の量 x_1 に等しい。このことを考えると，$gK=x_1$ が成りたつから結局（２）の第１式の右辺は資本ストックの量を意味しているのである。

（２）の第２式は，消費財に対する需給バランスを表わしている。この左辺の第１項は労働者の賃金分配であり，第２項は政府から移転された企業の排出権購入代金である。労働者は所得をすべて消費にまわし，しかも消費財の価格は１とおかれているから，この式は消費財の需給均等条件に他ならないのである。

（２）の第３式（不等式）は，企業の汚染物排出量が，購入した排出権の許可する量を上まわってはならないことを意味する。この左辺の第１項，第２項は第１部門，第２部門の排出した汚染物の量を表わしており，第３項は排出物処分プロセスが取り除いた汚染物の量を表わしている。よってこの左辺は，ネットで見た企業の汚染物の排出量を示すことが理解されるであろう。

さて排出権価格 t は，政府の設定した排出権市場の需給バランスで決まる。排出権に対する需要が供給を上まわれば排出権価格はせりあげられ，超過需要はやがて解消され需給均衡が成立する。逆に超過供給があれば排出権価格はせり下げられて，やがて超過供給は解消の方向に向う。しかし，排出権価格はマイナスにはなれないから，排出権価格がゼロでかつ排出権の超過供給という状態もありうる。これも理論上は一種の均衡を表わしている(2)。（２）の第４式はこのことを表現している。均衡でなお供給が需要より大きい場合，排出権の価格はゼロとなるのである。

（２）の第５式は，貯蓄性向に関する仮定から導かれる結果である。貯蓄の源泉は資本家の利潤所得 $r(a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3)p$ であり，これがすべて投資 $g(a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3)p$ にまわるから第５式が得られるのである。

（２）の第６式は労働の需給均等条件である。このモデルでは労働の供給量を１として正規化している。一方この左辺は労働需要を表わしているから，この式は労働の需給バランスを表わすことになるのである。

尚，資本や労働も自由財になる可能性があり，不等式体系で扱った方が一般的であるが，分析上興味ある結果は得られず単に複雑化させるだけなので，ここでは資本や労働が自由財になる可能性は排除しておく。

2.3　以上の方程式体系（不等式を含む）に基づいて分析を行うのだが，その前に必要な式の変換を行い，重要な概念を説明しておく。

まず（１）の第３式を第１，２式に代入すると，（１）から排出権価格 t を消去することができ

注（２）　すなわち排出権が自由財である状態である。

る。すると次の式が得られる。

$$(3)\begin{cases} p=rpa_1^{+}+wl_1^{+} \\ 1=rpa_2^{+}+wl_2^{+} \end{cases}$$

ここで $a_i^{+}=a_i+b_ia_3$，$l_i^{+}=l_i+b_il_3$ $(i=1,\ 2)$ である。(3)は，排出権価格が正で排出物処分プロセスを稼動したとき，その費用を第1部門，第2部門が資本と労働の追加投入としてあらかじめ勘案していることを表わしている。

次に(2)の第6式から $x_3=[1-(l_1x_1+l_2x_2)]/l_3$ だが，これを(2)の第1式に代入すると

$$(4)\begin{cases} \left(a_2-\dfrac{a_3}{l_3}l_2\right)x_2=\left[\dfrac{1}{g}-\left(a_1-\dfrac{a_3}{l_3}l_1\right)\right]x_1-\dfrac{a_3}{l_3} & (g\neq 0\ のとき) \\ x_1=0 & (g=0\ のとき) \end{cases}$$

この第1式の左辺は a_2/l_2 が a_3/l_3 より大きいか等しいか小さいかにしたがって，正かゼロか負となることに注意しよう。$a_2/l_2>a_3/l_3$ は，消費財生産における資本・労働比率（資本の有機的構成）が排出物処分プロセスにおける資本・労働比率より大きいことを示す。もちろん不等式が逆向きで成立するときは，逆のことを表わしている。

また $x_3=[1-(l_1x_1+l_2x_2)]/l_3$ を(2)の第3，4式に代入すると

$$(5)\begin{cases} \dfrac{(b_1l_3+l_1)x_1+(b_2l_3+l_2)x_2}{bl_3+1}\leqq 1 \\ t\ \dfrac{(b_1l_3+l_1)x_1+(b_2l_3+l_2)x_2}{bl_3+1}=t \end{cases}$$

が成立する。

均衡状態のようすを一部図を用いて説明できるが，そのための理解として2つの場合分けを行っておくのが便利である。

ケース(a)　消費財生産部門が資本財生産部門より汚染集約的な場合。すなわち $b_2/l_2>b_1/l_1$ の場合。

ケース(b)　資本財生産部門が消費財生産部門より汚染集約的な場合。すなわち $b_1/l_1>b_2/l_2$ の場合。(3)

図1には

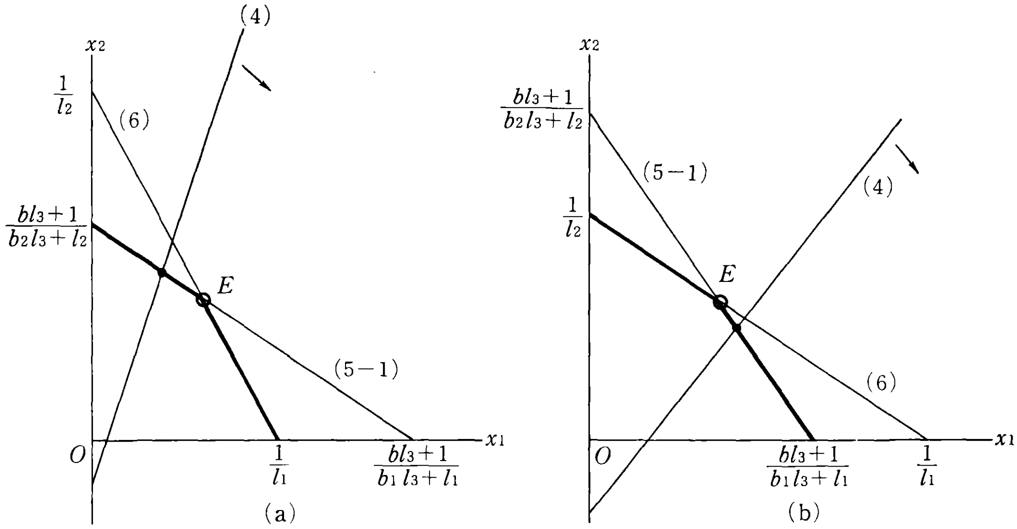
$$(6)\quad l_1x_1+l_2x_2=1$$

と(4)の第1式と(5)の第1番目の不等式が描いてある。

図1の(a)，(b)はそれぞれケース(a)，ケース(b)に対応している。また(a)(b)の図ともに，消費財生産部門が排出物処分プロセスより資本集約的（$a_2/l_2>a_3/l_3$）な場合が描かれている。

注(3)　両部門で汚染集約度が等しい場合はここでは扱わない。しかしほとんど本質的な修正をせずに以下の方法が適用可能である。

図1



（4）の第1式の右辺の x_1 の係数は，体系が運行が可能ならば常に正であり，このことは通常仮定されて良い[4]。また図4では，$a_2/l_2>a_3/l_3$ の場合を扱っているのだから，（4）の第1式を表わす直線は右上がりである。そして g が大きくなるとこの直線は右に回転する。

図1(a)に注目しよう。g が小さいとき，(4—1)（(4)の第1式）と（6）を満すような（x_1, x_2）は(5—1)（(5)の第1式）を満さない。つまりこのことは排出物処分プロセスを稼動させねばならないこと（$x_3>0$）を意味する。労働の一部を処分プロセスのために充当しなければならないから（6）の左辺は1より小さくなるのである。しかし g が大きくなるにつれて処分プロセスの稼動水準は下がり，E 点で処分プロセスを稼動しなくて良い臨界点に達する。しかし E 点では，(5—1)は等号で成立する，すなわち排出権の需給は一致している。更に g が大きくなると (4—1) と（6）を満たす(x_1, x_2)は図1(a)で (5—1) の表わす不等式の領域の内点となる。排出権需要量は供給量を下まわり，もはや処分プロセスを稼動する必要がなくなる。

次に図1(b)を見てみよう。排出権の制約の効き方は(a)の場合と異なる。成長率 g がゼロから徐々に大きくなるとしてみる。g が小さいとき，(4—1) と（6）を満たす（x_1, x_2）は (5—1) の表わす不等式の領域の内点である。つまり，排出権の制約式は抱束的ではなく，供給が需要より大きい。したがって排出物処分プロセスを稼動させる必要はなく（$x_3=0$），資本も労働もすべて資本財と消費財の生産に向けることができるのである。

g が徐々に大きくなると，排出物の量は増加し，排出権の需要量は大きくなる。やがて E 点で排出権に対する需給は一致する。しかしこの点ではまだ排出物処分プロセスを稼動させる必要はない。これを越えて g が大きくなると，もはや処分プロセスを稼動させざるを得なくなる（$x_3>0$）。稼動させないと排出権に対する需要が供給を上まわってしまうからである。

注（4） つまり $ga_1<1$ である。これによって g は上限をもつ。

以上の事で重要なのはケース(a)とケース(b)との間での次の相違である。すなわちケース(a)では g が小さい時に排出物処分プロセスを稼動させ，g が大きいときに処分プロセスを稼動させない。しかしケース(b)では g が小さいときに処分プロセスを稼動させず，g が大きくなって処分プロセスを稼動させるという相違である。

このことはケース(a)とケース(b)との違いを良く表わしている。ケース(a)は消費財生産部門が資本財生産部門より汚染集約的な場合である。この場合 g が小さい時消費財生産の水準が資本財生産の水準に較べて大きくなり，排出物の量が大きいのである。g が大きくなると，相対的に消費財生産の水準が減少し，排出物の量も減るのである。

一方ケース(b)では g が小さいときに汚染集約的な資本財生産部門の生産水準が小さいから排出物の量も少ない。g が大きくなると資本財生産部門の生産水準が相対的に上昇し，排出物の量も増加するというわけである。

3. 恒常状態における均衡の性質

前節では基本的なモデルを提示し，重要な場合分けについて説明した。また，図を用いてこの2つの場合で排出物処分プロセスの稼動に関して著しい相違が表われることを簡単に示した。本節ではこのことを基にして，恒常成長状態での均衡を分析することにする。

3.1　まず分配面から出発する。見かけ上の分配変数は，賃金率 w，利潤率 r，排出権価格 t の3つである。（1）よりこの3つの変数の関係を導くことができる。（1）の第1式と第2式より

$$(7)\quad w=\frac{1-ra_1}{r(l_1a_2-l_2a_1)+l_2}-t\,\frac{r(a_2b_1-a_1b_2)+b_2}{r(l_1a_2-l_2a_1)+l_2}$$

が得られる。(7)は排出物処分プロセスが稼動しようがしまいが成りたたねばならない式である。(7)より得られる3次元の曲面を $w-r-t$ 曲面と呼ぶことにする。

排出物処分プロセスが稼動した場合，（1）の第3式も考慮に入れねばならない。このとき（3）が成立するから，これより

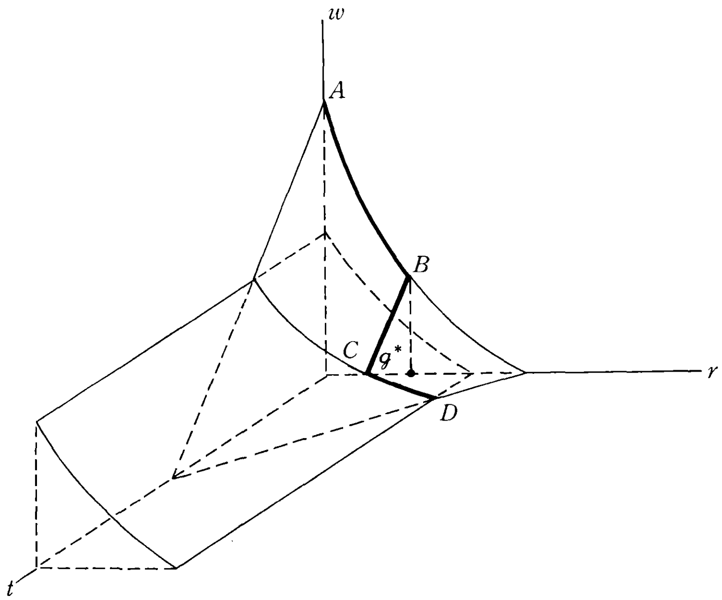
$$(8)\quad w=\frac{1-ra_1^+}{r(l_1^+a_2^+-l_2^+a_1^+)+l_2^+}$$

が得られる。（8）は t の値と無関係であることに注意しよう。（8）は排出物処分プロセスを稼動させた場合の賃金・利潤率曲線を表わしている。（7）と（8）を図示すると図2のようになる。(5)
(7)の表わす曲面は上側に突き出た方で，（8）の曲面は手前に突き出た方である。

(7)において $t=0$ とおくと，賃金・利潤率フロンティアが得られるが，これは(7)の曲面と $w-r$

注（5）　図2では，消費財生産部門がより資本集約的である場合が描れている。また，ケース（b）がここでは扱われている。

図2



平面が交わってできる曲線である。これは（8）の曲面を $w-r$ 平面に射影した曲線の外側にある。このことは（7）で t をゼロとして得られる w が，（8）で得られる w より大きいことからわかる。すなわち

$$\frac{1-ra_1}{r(l_1a_2-l_2a_1)+l_2}>\frac{1-ra_1^+}{r(l_1^+a_2^+-l_2^+a_1^+)+l_2^+}$$

が成りたつのである。

図2の曲面上で恒常状態の均衡点は，2つの曲面のうち上側に現われた部分を合成した曲面上にあることになる。しかしこの合成した曲面全部が恒常状態の均衡を表わすのではないことは言うまでもない。ではどの点が均衡点として選ばれるのであろうか。

ここで $r=g$ であることに注意しつつ，wを充分大きい値から徐々に小さくすることを考える。wが充分大きいと r すなわち g は小さい。図2がケース(b)を扱っていることを考慮すると，排出権の制約は拘束的でないことがわかる。すなわち均衡で，排出権の供給が需要を上回わり排出権の均衡価格はゼロになる。したがって分配変数のフロンティアは $w-r$ 平面上になければならない。これは図2で AB が恒常状態均衡を表わす点の集まりであることを意味している。

しかし賃金率wが減小し，利潤率 r （すなわち成長率 g）が増加すると，ある点で（B点で）排出権に対する需給は一致する。しかしこの点ではまだ排出物処分プロセスは稼動されない。このことは，(2—3)（(2)の第3式）が等号で成立し，かつ $x_3=0$ であることを示す。よって（2—3）と（2—6）より，この臨界状態での x_1 と x_2 は

$$(x_1^*, x_2^*)=\left(\frac{bl_2-b_2}{b_1l_2-b_2l_1},\ \frac{b_1-bl_1}{b_1l_2-b_2l_1}\right)$$

と計算できる。更に（2—1）にこれらを代入すると（x_1^*, x_2^*）に対応する臨界的成長率が

$$g^*=\frac{bl_2-b_2}{a_2b_1-a_1b_2+b(l_2a_1-l_1a_2)}$$

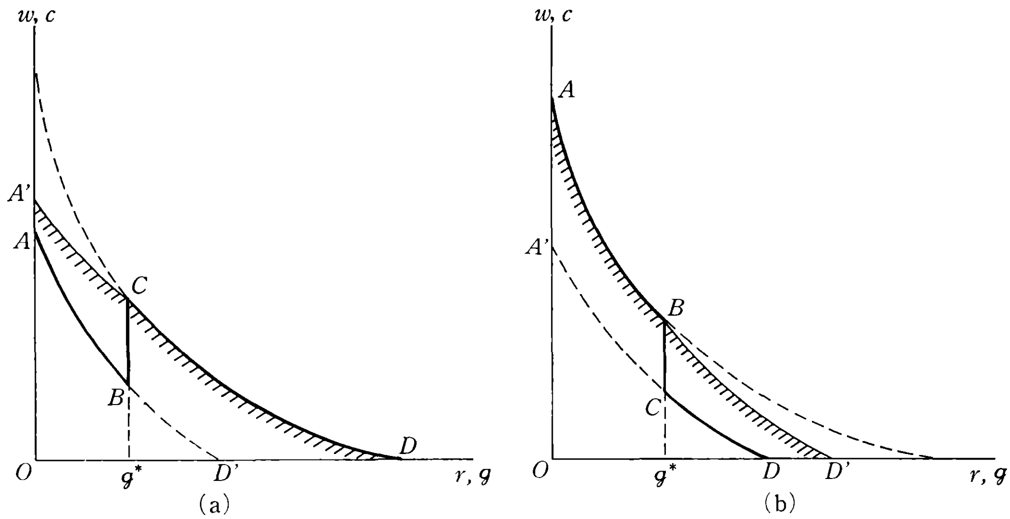
として得られる。

丁度 $g=g^*$ となったとき，排出権価格は正になる。この g^*（つまり r^*）に対して異なる賃金率が対応する。この状態は，図2の直線 BC として表わされている。

更に賃金率が減小すると排出物処分プロセスを稼動させる必要がでてくる。そして（w, r, t）は同時に図2の2つの曲面上になければならないから，恒常均衡状態は CD で表現される。

すなわち図2の合成された曲面において $ABCD$ のみが恒常状態の均衡を表わすことがわかる。この $ABCD$ を $w-r$ 平面に射影して得られるのが図3である。図3は賃金・利潤率フロンティアを表わしている。ケース(a)の場合，臨界的成長率 g^* でフロンティアはキンクしている。通常の競争均衡の場合賃金・利潤率フロンティアはこのようにキンクしない。ここでは t という見かけ上の分配変数があり，3次元のフロンティアを2次元平面に射影したためにこのようなキンクが生じたのである。

図3



図中 $ABCD$ は賃金・利潤率フロンティアを表わし，$A'CD$（左図(a)），ABD'（右図(b)）は消費・成長率フロンティアを表わす。

3.2　恒常状態における賃金・利潤率の関係は上のように得られたが，次にここでは利潤率と排出権価格の関係について見てみる。この関係がわかれば，$g=g^*$ 以外では賃金・利潤率関係は負の相関をもつために，賃金率と排出権価格との関係もわかる。

排出権価格は，$r=g=g^*$ ではじめて正となる。これは図2の BC で表わされる直線である。(6)（7）

注（6）　これはケース（b）の場合だが，ケース（a）の場合も同様に分析できる。

に $r=g^*$ を代入すると，w と t に関する関係が得られるが，これが BC を表わす式に他ならない。したがって g^* に等しい r に対しては，

$$0 \leqq t \leqq \frac{1-r^* a_1}{r^*(a_2 b_1 - a_1 b_2) + b_2} \qquad (r^* \equiv g^*)$$

を満たすあらゆる t が対応するのである。

r が g^* より大きくなると，均衡点は図2の CD 上を動く。CD を $r-t$ 平面に射影すると r に対して t がどのように動くか理解することができる。この $r-t$ 関係は，(1) から p と w を消去することによって得ることができる。これを計算すると

$$(9) \quad t = \frac{1 - r \cdot \frac{a_1^-}{l_3}}{\varDelta}$$

ここで $\varDelta \equiv r\left(\frac{l_1^+}{l_3} \cdot \frac{a_2^-}{l_3} - \frac{l_2^+}{l_3} \cdot \frac{a_1^-}{l_3}\right) + \frac{l_2^+}{l_3}$，$a_i^- \equiv a_i l_3 - l_i a_3$ $(i=1, 2)$ である。$(a_1^-/l_3) < a_1$ であるから，(9)の分子は常に正である。(9)は形式的には賃金・利潤率曲線を表わす式と類似している。(9)より $t-r$ の関係を知ることができる。t を r で微分して

$$\frac{dt}{dr} = -\frac{a_2^-}{l_3} \cdot \frac{l_1^+}{l_3} / \varDelta^2$$

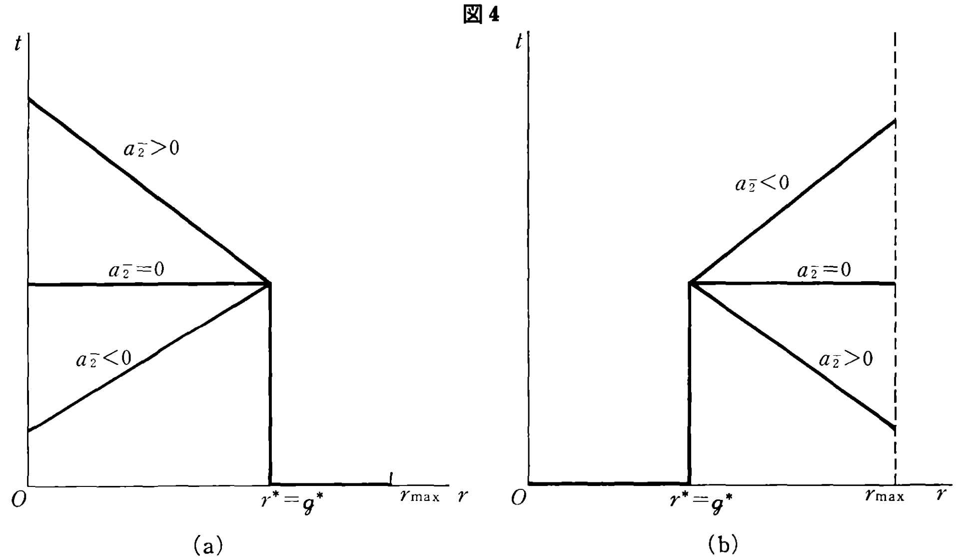
が得られる。よって

$$(10) \quad \frac{dt}{dr} \gtreqless 0 \Longleftrightarrow a_2^- \lesseqgtr 0 \Longleftrightarrow \frac{a_2}{l_2} \lesseqgtr \frac{a_3}{l_3}$$

である。

消費財生産部門の資本・労働比率が，排出物処分プロセスの資本・労働比率より小さい場合排出権価格は利潤率と正の相関をもつ。資本・労働比率の大小関係がその逆の場合，排出権価格は利潤

図4



率と負の相関をもつ。両生産プロセスの間で資本・労働比率が等しいとき，排出権価格は利潤率の動きから独立となる（図4参照)。

それでは $r-t$ 関係が正の相関をもつか負の相関をもつかということがなぜ消費財生産部門と排出物処分プロセスの資本・労働比率の大小関係で規定され，資本財生産部門のそれは関係しないのであろうか。それは，価格と賃金率が消費財を価値尺度財として測られていることによるのである。利潤率（成長率）が増加すると相対的に消費財生産部門の生産水準は下がり，同時に排出物処分プロセスの稼動水準は上がる。消費財単位で測ってどれくらい資本と労働の費用を削減できるかは，上の2つのプロセスの資本・労働比率の大きさによるのである。もしこの比率が両者で等しい場合，利潤率変化による生産費の変化はなく，したがって排出権価格も不変となるのである。

3.3　この項では(1)，(2)で表わされる方程式体系を実際に解いて均衡解を提示する。図2で恒常状態が，AB, BC, CD の曲線ないし直線で表わされたように，3つのケースにわけて均衡値を計算しなければならない。

(i)均衡で排出権に対して超過供給がある場合

$$
(11)\quad \begin{cases}
x_1=\dfrac{ga_2}{D(g)} \\[2mm]
x_2=\dfrac{1-ga_1}{D(g)} \\[2mm]
x_3=0 \\[2mm]
p=\dfrac{l_1}{D(r)} \\[2mm]
w=\dfrac{1-ra_1}{D(r)} \\[2mm]
r=g \\[2mm]
t=0
\end{cases}
$$

ただしここで $D(z)$ という関数は，$D(z)\equiv z(l_1a_2-l_2a_1)+l_2$ と定義される。(11)でたとえば g が与えられると(11—1)(11—2)より x_1, x_2 の均衡値が得られ，(11—4)(11—5)(11—6)より p, w, r の均衡値が得られる。

(ii)均衡で排出権の需給は一致しているが，排出物処分プロセスは稼動されない場合

$$
\begin{cases}
x_1=\dfrac{ga_2}{D(g)} \\[2mm]
x_2=\dfrac{1-ga_1}{D(g)} \\[2mm]
x_3=0
\end{cases}
$$

$$
(12)\begin{cases}
p=\dfrac{l_1+t(b_1l_2-b_2l_1)}{D(r)}\\[2ex]
w=\dfrac{1-ra_1}{D(r)}-t\cdot\dfrac{r(a_2b_1-a_1b_2)+b_2}{D(r)}\\[2ex]
r=g=\dfrac{bl_2-b_2}{a_2b_1-a_1b_2-b(l_1a_2-l_2a_1)}
\end{cases}
$$

(12) において g が与えられたとき，(12—1) (12—2) で x_1，x_2 の均衡値がきまる。(12—5) によって非負の範囲で w と t の関係が定められる。図 2 で言えば，BC の直線がこの関係を表わしている。t が $0\leqq t\leqq(1-r^*a_1)/[r^*(a_2b_1-a_1b_2)+b_2]$ の範囲で動くのに応じて，(12—4) にしたがって p も動く。ケース(a)では，排出権価格が上昇すると資本財の価格は下がり，ケース(b)では資本財価格は上がる。

(iii)均衡で排出権の需給は一致し，かつ排出物処分プロセスが稼動される場合

$$
(13)\begin{cases}
x_1=\dfrac{g[a_2^+(bl_3+1)-ba_3l_2^+]}{D^+(g)}\\[2ex]
x_2=\dfrac{g[-a_1^+(bl_3+1)+ba_3l_1^+]+(bl_3+1)}{D^+(g)}\\[2ex]
x_3=\dfrac{g[(b_1a_2^+-b_2a_1^+)(bl_3+l)-ba_3(b_1l_2^+-b_2l_1^+)]+b_2(bl_3+l)}{D^+(g)}-b\\[2ex]
p=\dfrac{l_1^+}{D^+(r)}\\[2ex]
r=g\\[2ex]
t=\dfrac{1-r\dfrac{a_1^-}{l_3}}{\Delta}
\end{cases}
$$

ここで $D^+(z)\equiv z(l_1^+a_2^+-l_2^+a_1^+)+l_2^+$ と定義され，Δ は (9) において定義されたものと同一である。g が与えられたとき，(13—1) (13—2) (13—3) より x_1, x_2, x_3 の均衡値がきまる。また $r=g$ であるから (13—4) (13—5) (13—7) より p，w，t の均衡値が決まる。

さて (11)，(12)，(13) のいずれの場合も均衡値の得られることはわかったが，その非負性については言及してこなかった。しかし，(11)，(12) に関しては比較的それは明らかである。今考慮すべき利潤率ないし成長率は，$0\leqq r=g\leqq 1/a_1$（排出物処理プロセスが稼動されるときは，$0\leqq g\leqq 1/a_1^+$）であり，このとき $D(r)$, $D(g)$（排出物処理プロセスが稼動されるときは $D^+(r)$，$D^+(g)$）は正である。よって (11)，(12) より得られる値はすべて非負であることがわかる（(12) の p は (1) にもどって考えれば，その非負性は明らかである)。

問題は (13) における $x=(x_1, x_2, x_3)$ の非負性である。この非負性の証明はむずかしくはないが，計算が若干複雑なので付録にまわすことにしよう。

次に 1 人当りの消費 c と成長率の関係について見てみる。c は消費財の生産量に等しいから，

$c \equiv x_2 = w + tb$

である。ケース(a)の場合は $r=g>g^*$ のとき，ケース(b)の場合は $r=g<g^*$ のとき，排出権価格はゼロである。よってこのときには，$c=x_2=w$ が成立する。つまり賃金・利潤率フロンティアと消費・成長率フロンティアとは一致する。これは図3(a)では CD，図3(b)では AB によって表わされている。

しかし，ケース(a)で $r=g\leqq g^*$，ケース(b)では $r=g\geqq g^*$ となったとき，t は正になる。w は非連続的に減少するが，t によって所得分配分の一部を補われるから，実際の消費は賃金率ほど落ち込まないのである。したがって，消費・成長率フロンティアは，ケース(a)では $r=g\leqq g^*$ のとき図3(a)の $A'C$，ケース(b)では $r=g\geqq g^*$ のとき図3(b)の BD' によって表わされる。

全体の消費・成長率フロンティアは，ケース(a)の場合図3(a)の $A'CD$，ケース(b)の場合図3(b)の ABD' によって表わされる。(a)では $A'C$ の部分，(b)では BD' の部分が右下がりに描れている。これには証明が必要であるが，ここでは扱わない（Hosoda（1992 a）の Appendix を参照）。(7)

4. 消費者(労働者)の排出権購入

前節では，政府が排出権を販売し企業が購入するということを想定した。消費者は，たんに企業の排出権代金を政府から移転され，消費するのみであった。

しかし排出権売買のひとつの特徴は，消費者が排出権市場に参加できるという点にある（勿論このことはどういう制度設計にするかによる)。仮に政府が発行する排出権の量が多すぎると消費者が判断した時，消費者は市場で排出権を購入すれば良いのである。消費者は購入代金を負担することによって総排出量を少なくすることができ，より良い環境を享受できるのである。

この節ではこのことをモデルにとり入れ，排出権市場が機能しうることを示す。尚問題を複雑にしないため，フリーライダーは存在しないものと仮定する。つまり，消費者は他の消費者の行動に期待して自分は排出権を購入しないというような行動はとらないものとする。

4.1 ここでのモデルは，前節で扱った基本モデルと本質的には同じである。異なる点は消費者が所得の一部を排出権購入に費すという点である。したがって価格体系は前節のものと同じである。しかし一応ここに再び記しておく。

価格体系

$$(14)\begin{cases} p = rpa_1 + wl_1 + tb_1 \\ 1 = rpa_2 + wl_2 + tb_2 \\ t = rpa_3 + wl_3 \end{cases}$$

注（7） 図3で AC' と BD' が破線のフロンティアより内側に描かれている。これもまた証明が必要であるが，Hosoda（1992a）付録を参照のこと。

一方数量体系であるが，ここで消費者が所得をどのように消費財と排出権の購入に向けるかを定式化しなければならない。消費者が排出権を購入するのは，政府の排出権販売量 b が過大であると感じるからである。消費者の排出権購入量を Q とすれば，消費者は $b-Q$ が小さければ小さいほど効用を得るであろう。それだけ排出量が減るからである。勿論総排出量がマイナスになることは意味がないから，$b-Q$ は正である。(8)

消費者は，消費財と総排出量から効用をうけ，この効用関数がホモセティックであるとすれば，消費者の需要ベクトルは次のように表わされる。

$$\begin{pmatrix} C \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \end{pmatrix} (w+tb)$$

ここで C は消費財の需要量を表わす。消費財の価格が 1 とおかれていることに注意しよう。もちろん，f_1, f_2 は連続で $f_1+tf_2=1$ が成りたたねばならない。このとき数量体系は以下のように表わされる。

数量体系

$$(15)\begin{cases} a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3=\dfrac{1}{g}x_1 \\ f_1(t)(w+tb)=x_2 \\ b_1x_1+b_2x_2+f_2(t)(w+tb)\leqq x_3+b \\ t(b_1x_1+b_2x_2+f_2(t)(w+tb))=t(x_3+b) \\ l_1x_1+l_2x_2+l_3x_3=1 \end{cases}$$

(15) と（2）の形式的類似性は明らかであろう。

さて前節と同じように，排出権の需給均衡式は拘束的であるが排出物処分プロセスは稼動されないという臨界的な成長率の値を求めてみよう。この成長率は前節の場合とは異なり，内生的に決まることになる。まず g^0 を，次の式を満足する g として定義する。

$$(16)\begin{cases} g(a_1x_1+a_2x_2)=x_1 \\ b_1x_1+b_2x_2=b-Q(w,t) \ (\equiv b^-(w,t)) \\ l_1x_1+l_2x_2=1 \end{cases}$$

g^0 は明らかに臨界的成長率の候補である。

このようにして定義された g^0 は，(w,t) に依存する点に注意が必要である。すなわち，

$$g^0=\frac{b_2-l_2b^-(w,t)}{a_1[b_2-l_2b^-(w,t)]-a_2[b_1-l_1b^-(w,t)]}$$

である。g $(=r)$ が与えられると (14) から，p, w, t が決まる。このことと上の式から g^0 は g の関

注（8） マイナスの総排出量を蓄積した排出物ストックの減少としてとらえることもできるが，ここではそのようなことは考えない。

数となることがわかる。すなわち $g^0=g^0(g)$ である。したがって臨界的成長率 g^* はこの不動点，すなわち $g^0(g^*)=g^*$ を満たす g^* ということになる。

4.2 (14)，(15) によって表わされるモデルの均衡解は，前節のように陽表的に計算することはできない。しかし，このモデルに均衡解が存在することは，前節の結果を利用して以下のように証明することができる。

[(14)(15) の体系に均衡解が存在することの証明]

集合 Ω を $\Omega\equiv\{(w,t)|0\leq w<1/l_2,\ 0\leq t\leq 1/b_2\}$ によって定める。この Ω から任意に (w',t') を選び，関数 Q にこのペア (w',t') を割りあて $Q(w',t')$ を決める。このときこの与えられた $b^-(w',t')\equiv b-Q(w',t')\equiv b-f_2(t')(w'+t'b)$ について，(14) と (15)（但し第2式を除く）は前節と同じ方法で解くことができる。もちろんこの場合，前もって与えられた (w',t') に対して臨界的成長率候補 g^0 も決まる。

もし $g\neq g^0$ ならば，w, c, p, x_1, x_2, x_3 そして t は一意に決まりすべて非負である。なぜなら，前節で示したように $g\neq g^0$ のとき，与えられた $b^-(w',t')$ に対する解は(i)のタイプか(iii)のタイプに限られ，このとき解は一意であるからである。

もし，$g=g^0$ ならば，c, p, x_1, x_2, x_3 は $b^-(w',t')$ に対して非負でかつ一意に定まるが，w と t は一意ではない（非負性は満される)。すなわち

$$(17)\quad w=\frac{1-r^0a_1}{r^0(l_1a_2-l_2a_1)+l_2}-t\cdot\frac{r^0(a_2b_1-a_1b_2)+b_2}{r^0(l_1a_2-l_2a_1)+l_2}$$

が成立する。ここで $r^0=g^0$ である。さて集合 $\{(w,t)|(w,t)$ は非負で (17) を満足する。$\}$ という集合は，有界かつ凸であり，かつ閉集合である（もちろん非空である)。

したがって，$g\neq g^0$ にせよ $g=g^0$ にせよ，(w',t') を決めると非負の (w,t) が得られることがわかった。この写像を ϕ としよう。ϕ は Ω からそれ自身への写像であり，その像は有界，非空，凸，かつ閉集合である。

点列 (w_k,t_k) が (w_0,t_0) に収束するとする。$\phi(w_k,t_k)$ から (w_j,t_j) をとり (w_j,t_j) が (w_1,t_1) に収束するものとしよう。(w_j,t_j) は (14) と第2式を除いた (15) を満足する。したがってその極限も同じ方程式体系を満足する。よって，$(w_1,t_1)\in\phi(w_0,t_0)$ が得られ，これは ϕ が優半連続な対応であることを示す。しかもこの ϕ はコンパクトで凸の像をもつから，不動点定理により $(w^*,t^*)\in\phi(w^*,t^*)$ となるような (w^*,t^*) が存在することが保証される。この (w^*,t^*) に対応する他の変数を $p^*, c^*, x_1^*, x_2^*, x_3^*$ と記せばこれらは (14) と (15) を満足する（(15) の第2式は，(w^*,t^*) に対し他が成りたてば成立する)。 （証明終わり）

以上の証明によって，(14)(15) の体系には均衡解があることが保証された。すなわち，消費者

が排出権市場にアクセスできる場合にも，価格機構は機能しうるのである。

4.3 (14) と (15) の均衡解の存在はわかったが，前節で見たような均衡の性質はここでも得られるであろうか。まず，賃金・利潤率関係であるが，$g^0(g^*)=g^*$ 以外の $g=r$ に対しては右下がりであることは (14) よりわかる。しかし一般に $g^0(g^*)=g^*$ となる g^* は一意ではない。したがって，いくつかの点で不連続な動きが起りうることに注意が必要である。

次に，消費・成長率関係であるが，この関係は複雑である。異なった分配率には異なった資本財価格と排出権価格の組み合わせが対応する。したがって消費財と排出権購入の組み合わせは，分配変数に応じて異なるのである。この場合，1人当りの消費は価格によって評価し，集計化しなければならない。

分配変数の変化は，消費のバスケットのみならず相対価格もかえてしまうから，一般に消費・成長率関係について言うことはできない。しかし，消費バスケットが固定的な場合，前節同様，右下がりの消費・成長率曲線が描けるのである (Hosoda (1992b) を参照)。

5. おわりに

本稿ではケンブリッジ型の2部門2階級経済モデルを用いて，排出権売買の経済効果を分析した。ここでの結論は次のようにまとめることができる。政府が排出権を市場で販売し，一方企業が排出権を購入してその購入量にしたがって汚染物質を排出するとき，均衡は次の3つのタイプに分れる。(i)排出権に対する需要が供給を下まわり，排出権価格がゼロとなる均衡，(ii)排出権に対する需給は一致しているが排出物処分プロセスは稼動しない均衡，(iii)排出権価格に対する需給が一致し，かつ排出物処分プロセスが稼動する均衡，の3タイプである。

消費財生産部門が資本財生産部門より汚染集約的なとき，成長率 g が次第に大きくなるにつれて均衡のタイプは(iii)，(ii)，(i)の順となる。逆に資本財生産部門が汚染集約的な場合，成長率 g が次第に大きくなるにつれて均衡のタイプは(i)，(ii)，(iii)とかわってゆく。どちらの場合でも，タイプ(i)，(iii)の均衡解は一意に決まる。

(ii)のタイプの均衡においては，賃金率と排出権価格のみが一意に定まらず，他の変数は一意に決まる。このタイプの均衡は臨界的成長率 g^* において得られるが，この点で賃金・利潤率フロンティアは不連続となる。

賃金・利潤率フロンティアは，$r=g^*$ の点を除いたあらゆる範囲で右下がりである。また消費・成長率フロンティアは連続でかつ右下がりである。但し，$g=g^*$ の点でキンクしている。

分配変数（賃金率ないし利潤率）の変化にともなう排出権価格の動きは，消費財生産部門と排出物処分プロセスの資本・労働比率の大小関係によって決まる。

最後に，消費者が排出権市場に参加できることを想定した場合でも，均衡解が存在するという意

味で市場機構はうまく機能しうる。しかし，短期的均衡の状態が，本稿で分析の対象とした長期恒常状態に収束するかどうかはまた別の問題である。

付　録

この付録においては，(13) で得られた均衡稼動水準ベクトル $x\equiv(x_1, x_2, x_3)$ の非負性を証明する。

(13) の均衡稼動水準ベクトル $x\equiv(x_1, x_2, x_3)$ は次の式の解である。

$$\text{(A1)}\quad \begin{pmatrix} a_1-\dfrac{1}{g} & a_2 & a_3 \\ l_1 & l_2 & l_3 \\ b_1 & b_2 & -1 \end{pmatrix} x^T=(0\ 1\ b)^T$$

ここでベクトルの添字 T は行列の転置を表わす。更に (A1) の x^T の前の行列を A で表わすと，(A1) は

$$Ax^T=(0\ 1\ b)^T$$

となる。仮りに排出権制約を無視した時の均衡稼動水準ベクトルを $x^*=(x_1^*, x_2^*, 0)$ とおくと，このベクトルは

$$\text{(A2)}\quad Ax^{*T}=(0\ 1\ b^*)^T$$

の解となる。但し，b^* は $b^*\equiv b_1x_1^*+b_2x_2^*$ によって定義される。$0<g<1/a_1$ である限り，x_1^*, x_2^* ともに正であり一意的にきまる。したがって A は可逆であり，

$$\begin{aligned} x^* &= A^{-1}(0\ 1\ b^*)^T \\ &= \frac{1}{\det A}\begin{pmatrix} A_{11} & -A_{21} & A_{31} \\ -A_{12} & A_{22} & -A_{32} \\ A_{13} & -A_{23} & A_{33} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ b^* \end{pmatrix} \end{aligned}$$

が得られる。ここで $(-1)^{i+j}A_{ij}$ は A の (i, j) 余因子である。上の式より $0=(1/\det A)(-A_{23}+b^*A_{33})$ が成りたたねばならないが，これは $0=-A_{23}+b^*A_{33}$ を意味する。A_{23} と A_{33} を計算すると

$$A_{23}=\left(a_1-\frac{1}{g}\right)b_2-a_2b_1<0$$

$$A_{33}=\left(a_1-\frac{1}{g}\right)l_2-l_1a_2<0$$

となる。今，現実の均衡稼動水準が排出権制約を拘束的にしている場合を考えているのであるから，$b<b^*$ が成りたつ (そうでなければ，$x^*=(x_1^*, x_2^*, 0)$ が均衡稼動水準ベクトルとなり矛盾である)。

したがって

$$0=-A_{23}+b^*A_{33}<-A_{23}+bA_{33}$$

が成立しなければならない。これより

$$x_3=\frac{1}{\det A}(-A_{23}+bA_{33})>0$$

である。ここで $\det A=(1/g)[l_2^\dagger(1-a_1^\dagger g)+gl_1a_2^\dagger]$ は正であることに注意する。

次に x_1 について以下の式が得られる。

$$x_1=\frac{1}{\det A}(-A_{21}+bA_{31})$$

ここで $A_{21}=-a_2-a_3b_2<0$, $A_{31}=a_2l_3-a_3l_2$ である。もし A_{31} が正ならば上より x_1 も正である。もし A_{31} が負であるならば，

$$x_1\geqq\frac{1}{\det A}(-A_{21}+b^*A_{31})=x_1^*>0$$

となる。$b<b^*$ だからである。結局どちらにせよ x_1 は正である。

最後に x_2 について計算すると，

$$x_2=\frac{1}{\det A}(-A_{22}+bA_{32})$$

となる。ここで

$$A_{22}=-\left(a_1-\frac{1}{g}\right)-b_1a_3=-\left(a_1^\dagger-\frac{1}{g}\right)<0$$

$$A_{32}=\left(a_1-\frac{1}{g}\right)l_3-l_1l_3<0$$

である。したがって

$$x_2\geqq\frac{1}{\det A}(-A_{22}+b^*A_{32})=x_2^*>0$$

となり，x_2 も正であることがわかった。

（証明終わり）

参考文献

Ayres, R. U. and V. Kneese (1969) "Production, Consumption, and Externalities", *American Economic Review,* Vol. LIX, No. 3, pp. 282–297.

d'Arge, R. C. (1971) "Essay on Economic Growth and Environmental Quality", *Swedish Journal of Economics,* Vol. 73, No. 1, pp. 25–41.

Hosoda, E. (1989) "Competitive Equilibrium and the Wage-Profit Frontier", *The Manchester School,* Vol. LVII, No. 3, pp. 262–279.

Hosoda, E. (1992a) "Growth and Distribution under an Environmental Restriction", mimeo. (1991年度理論計量経済学会大会報告論文の改訂版)

Hosoda, E. (1992b) "Consumers' Purchase of Emission Rights", KESDP No. 9201. (1992年度理論計

量経済学会大会報告論文)
Kurz, H. (1978) "Rent Theory in a Multisectoral Model", *Oxford Economic Papers*, Vol. 30, No. 1, pp. 16-37.
Leontief, W. (1970) "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 52, No. 3, pp. 262-271.
Lipnowski, I. F. (1976) "An Input-Output Analysis of Environmental Preservation", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 3, pp. 205-214.
Metcalfe, J. S. and I. Steedman (1972) "Reswitching and Primary Input Use", *Economic Journal*, Vol. LXXXII, pp. 140-157.
Nijkamp, P. (1977) *Theory and Application of Environmental Economics*, North-Holland, Amsterdam.
Salvadori, N. (1983) "On a New Variety of Rent", *Metroeconomica*, Vol. 35, pp. 73-85.
Siebert, H. (1987) *Economics of the Environment*, Springer-Verlag, Berlin.
Størm, S. (1973) "Economic Growth and Biological Equilibrium", *Swedish Journal of Economics*, Vol. 75, No. 2, pp. 164-175.

(経済学部助教授)