「二酸化炭素の排出規制における二重の配当の可能性： 動学的応用一般均衡分析による評価」の補論

武田史郎*

関東学園大学経済学部経済学科
373–8515 群馬県太田市藤阿久町 200

e-mail: <shiro.takeda@gmail.com>

2007 年

目 次

*連絡先、email: <shiro.takeda@gmail.com>. シミュレーションで用いたデータ、及び GAMS のプログラムは全て筆者から入手可能である。

1 導入

この補論では、「二酸化炭素の排出規制における二重の配当の可能性： 動学的応用一般均衡分析による評価」のモデルの構造、シミュレーション、MEB の計算方法、データの作成方法について詳細な説明をおこなう。

[1] モデルの構造

[2] シミュレーション

[3] MEB の計算方法

[4] データの作成方法

2 モデルの説明

2.1 モデルの概要

モデルは Böhringer et al. (1997)、Rutherford et al. (2002)、Rutherford and Light (2002) で使われている多部門の動学的一般均衡モデルをベースとしている。モデルは、生産活動をおこなう産業部門、消費、要素供給、投資をおこなう家計部門、政府部門、海外部門、輸入財と国内財を統合する Armington 部門、投資財生産部門から構成される。部門・財は 27 部門を前提とし、全ての市場は完全競争的であるとする。各部門は、資本・労働の本源的要素と中間投入を用いて生産活動をおこない、生み出した付加価値から税を支払った後に残ったものを本源的要素の供給者に支払う。

家計としては、無限期間生存する代表的家計を想定する[1]。家計は消費活動をおこなうとともに、労働を産業に提供する。また、本モデルでは家計が直接資本ストックを保有しているとみなし、その資本ストックを産業にレンタルすることでレンタル収入を得ているとする。さらに家計は貯蓄によって投資財を購入し、資本の蓄積をおこなうものとする。

モデルは開放モデルであり、財・サービスの貿易は自由におこなわれる。他の応用一般均衡分析 (AGE 分析) と同様に、国内財と輸入財は不完全代替であるという Armington 仮定を置いている。

政府は税によって収入を得ると同時に、政府支出をおこなう。税としては、生産活動に対するものとして、「労働税」、「資本税」、「生産に対する間接税」を考慮している。ここで、「労働税」とは社会保障の雇主負担のことであり、「資本税」とは資本ストックの雇用に対して支払う税である。「その他の間接税」とは、「労働税」、「資本税」以外の産業に対する税をまとめたものであり、生産物に対する従価税として組み込んでいる。一方、家計に対する税としては、「労働所得税」、「資本所得税」、及び「消費税」を想定している。労働所得税は文字通り家計の労働所得に対する税であり、資本所得税は、家計の資本のレンタル収入に対する税のことである。

政府は税によって得た収入の一部を再び家計へトランスファーし、残りの部分を政府支出にまわす。政府支出は公共財の購入とみなすことができるかもしれないが、本モデルでは政府支出は家計の効用にも産業部門の生産にも全く影響を与えないものと仮定している。

[1]前提とするモデルは無限期間であるが、シミュレーションをおこなう際には有限期間としている。

以下、モデルの説明をおこなうが、まず無限期間のモデルとして記述し、その後、シミュレーションにおいて前提としている有限期間のモデルに修正する。s は期間のインデックス、i は部門・財のインデックスとする。さらに、次のような集合を定義しておく。

- I ··· 全ての財・部門の集合 (表 1 参照)
- $\mathrm{ES} = \{\mathrm{COC}, \mathrm{SLA}, \mathrm{COK}, \mathrm{CRU}, \mathrm{PET}, \mathrm{NAT}, \mathrm{GAS}, \mathrm{LIM}\}$ ··· 排出源財
- $\mathrm{EC} = \{\mathrm{COC}, \mathrm{SLA}, \mathrm{CRU}, \mathrm{PET}, \mathrm{NAT}, \mathrm{GAS}\}$
- $\mathrm{CL} = \{\mathrm{COK}, \mathrm{LIM}\}$.
- $\mathrm{ELE} = \{\mathrm{ELE}\}$ ··· 電力
- $\mathrm{ENE} = \mathrm{EC} \cup \mathrm{ELE}$ ··· エネルギー財
- $\mathrm{NENE} = I \setminus \mathrm{ENE}$ ··· 非エネルギー財
- $\mathrm{EN} = \mathrm{ES} \cup \mathrm{ELE}$ ··· エネルギー財 + COL + LIM
- $\mathrm{NEN} = I \setminus \mathrm{EN}$ ··· 非エネルギー財 − COL − LIM

また、モデルにおける、財、生産要素、税、排出の流れが図 1 にまとめられているので、そちらも参考にして欲しい。

表 1: 部門・財の分類 (27 部門)

記号	部門の説明	記号	部門の説明
AGR	農林水産業	CSC	窯業・土石製品
LIM	石灰石 *	IAM	鉄鋼・金属製品
COC	原料炭 *	MAC	機械
SLA	一般炭 *	OIP	その他の工業製品
CRU	原油 *	CON	建設
NAT	天然ガス *	ELE	電力
OMI	その他の鉱業	GAS	都市ガス *
FOO	食料品	SWW	熱供給・水道・廃棄物処理
TET	繊維製品	COM	商業
PPP	パルプ・紙・木製品	RES	不動産
CHM	化学製品	TCB	運輸・通信・放送
PET	石油製品 *	PUB	公務
OPP	その他の石油製品	SER	サービス業
COK	コークス *		

*は排出源財を表している。

2.2 生産サイド

各産業は、中間財、及び資本・労働の本源的生産要素を用いて、規模に関して収穫一定の技術の下で、利潤を最大化するように生産をおこなう。全ての市場は完全競争であり、全ての産業はプライステイカーであるとする。資本に関しては、各産業が直接資本ストックを所有するのではなく、家計が資本ストックを所有し、それを産業がレンタルしているという形式を仮定している。このため、投資をおこなう主

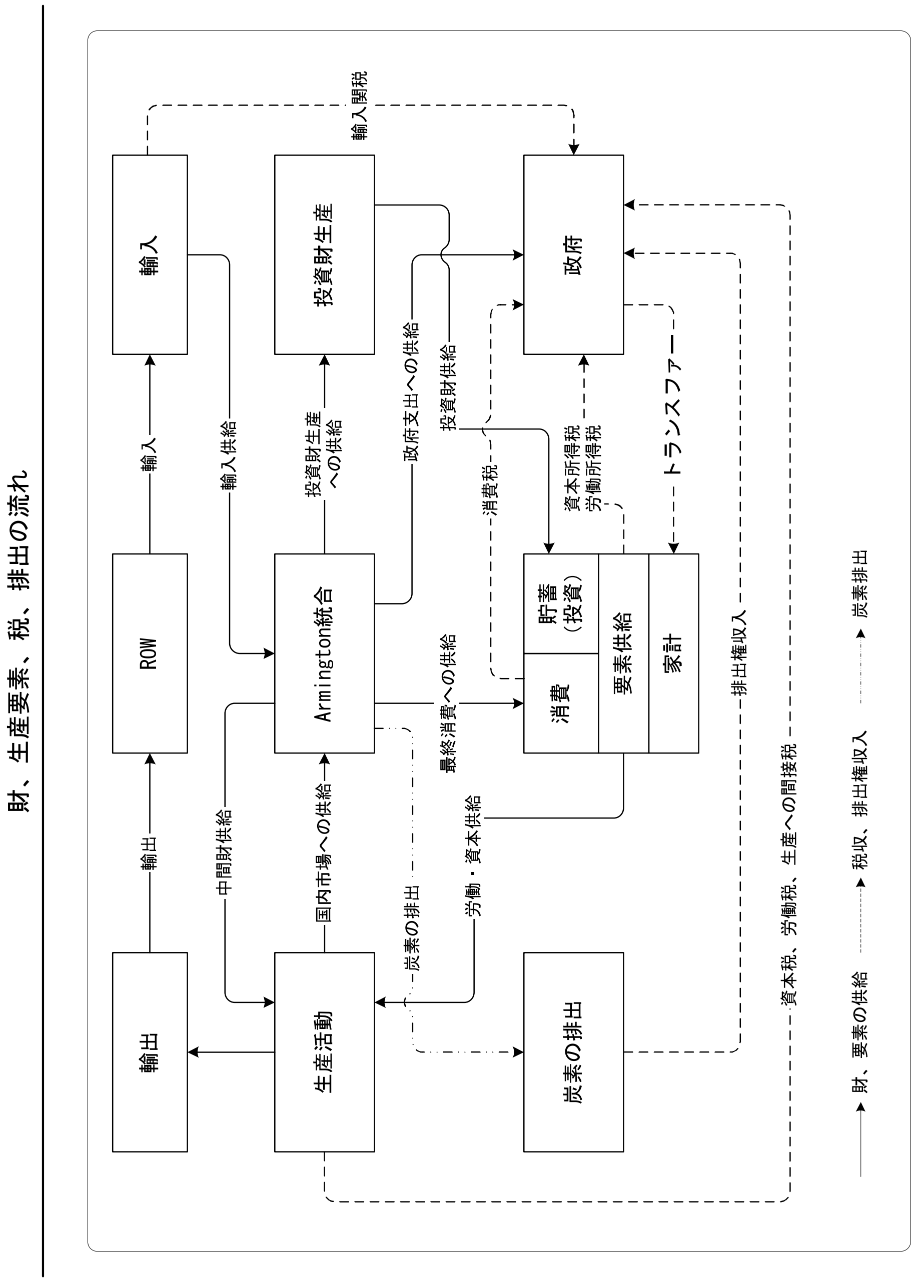

図 1: 財、生産要素、税、排出の流れ

体も産業ではなく、家計ということになる。各産業は労働・資本の雇用に対してそれぞれ労働税、資本税を支払っているものとする。労働、及び資本への支払いのうち税が差し引かれた部分が、家計が受け取る労働所得、資本所得となる。さらに、各産業は生産物に対する従価税の形で「生産に対する間接税」を支払っているものとする。

2.2.1 生産関数

まず、生産の投入サイドについて説明する。投入物は以下の 4 つの分類に従って、生産関数において異なった扱いを受ける[2]。

- 非エネルギー財
- 燃焼用途のエネルギー財
- 非燃焼用途のエネルギー財
- 本源的要素 (資本・労働)

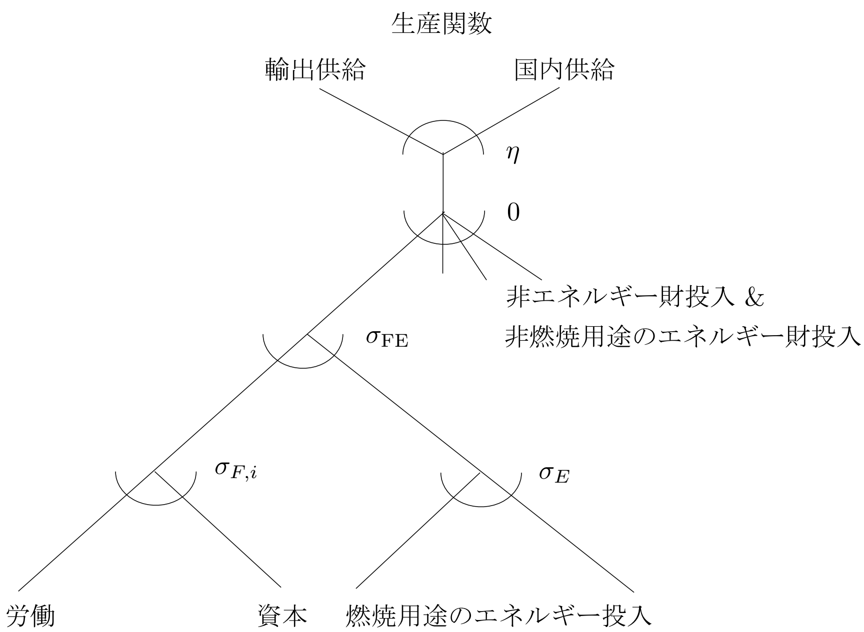

図 2: 生産関数

エネルギー財とは、COC (原料炭), SLA (一般炭), CRU (原油), NAT (天然ガス), PET (石油製品), GAS (都市ガス), ELE (電力) であり、非エネルギー財とはその他の全ての財を指す。LIM (石灰石) と COK (コークス) は排出源であるが、エネルギーというよりも原材料利用されることが多いので、エネルギー財とはせず、非エネルギー財として扱う。また、電力はエネルギー財と分類するが、電力の消費からは直接は排出がないので、排出源財ではない。エネルギー財であってもそのうち非燃焼用途として投入される部分に関しては燃焼用途として投入される部分と区別する。非燃焼用途として投入される部

[2]正確には、1) COL と LIM を除いた非エネルギー財、2) 電力以外の燃焼用途のエネルギー財、3) 電力、4) 燃焼用途の COL と LIM、5) 非燃焼用途の排出源財、6) 本源的生産要素の 6 つに分かれるのであるが、説明では少し単純化し 4 つとしている。

分に関しては PET 部門における CRU の投入や、GAS 部門における NAT の投入のように、そのほとんどが原材料として投入されているので、非エネルギー財と同じ扱いをする。

生産関数は図 2 の三段階の入れ子型 CES 関数を想定する。図の中の数値、あるいは σ の記号は投入物間の代替の弾力性を表している。投入構造は以下の通りである。まず、生産関数の第三段階で、資本と労働が CES 関数を通じて統合され、合成本源的要素となる。合成本源的要素の量を Q^F_{si}、労働、資本の投入量をそれぞれ L^D_{si}、K^D_{si} とすると、この関係は次式で表現できる。

$$Q^F_{si} = f^F_i(L^D_{si}, K^D_{si}) = \left[\alpha^{\mathrm{FL}}_i (L^D_{si})^{\frac{\sigma_{F,i}-1}{\sigma_{F,i}}} + (1-\alpha^{\mathrm{FL}}_i)(K^D_{si})^{\frac{\sigma_{F,i}-1}{\sigma_{F,i}}}\right]^{\frac{\sigma_{F,i}}{\sigma_{F,i}-1}} \tag{1}$$

資本と労働の間の代替の弾力性 $\sigma_{F,i}$ は部門毎に異なっていることに注意されたい。

同時に、燃焼用途のエネルギー財が CES 関数を通じて合成エネルギー財に統合される。よって、合成エネルギー財の量を Q^{EE}_{si}、各エネルギー財 j の投入量を Q^E_{sji} とすると、以下の関係が成立する。

$$Q^{\mathrm{EE}}_{si} = f^{\mathrm{EE}}_i(\{Q^E_{sji}\}) = \left[\sum_{j\in\mathrm{ENE}} \alpha^E_{ji}(Q^E_{sji})^{\frac{\sigma_E-1}{\sigma_{\mathrm{EE}}}}\right]^{\frac{\sigma_{\mathrm{EE}}}{\sigma_{\mathrm{EE}}-1}} \tag{2}$$

次に、第二段階において、合成本源的要素と合成エネルギー財が CES 関数を通じて再び統合され、合成エネルギー・本源的要素となる。合成エネルギー・本源的要素の量を Q^{FE}_{si} とすると、この関係は次式で表せる。

$$Q^{\mathrm{FE}}_{si} = f^{\mathrm{FE}}_i(Q^F_{si}, Q^{\mathrm{EE}}_{si}) = \left[\alpha^F_i(Q^F_{si})^{\frac{\sigma_{\mathrm{FE}}-1}{\sigma_{\mathrm{FE}}}} + (1-\alpha^F_i)(Q^{\mathrm{EE}}_{si})^{\frac{\sigma_{\mathrm{FE}}-1}{\sigma_{\mathrm{FE}}}}\right]^{\frac{\sigma_{\mathrm{FE}}}{\sigma_{\mathrm{FE}}-1}} \tag{3}$$

最後に第一段階において、合成エネルギー・本源的要素 Q^{FE}_{si}、非エネルギー中間財 Q^{NEN}_{sji}、非燃焼用途の排出源財 Q^{NC}_{sji}、燃焼用途の COL と LIM Q^{CL}_{sji} が、レオンチェフ型で投入されることによって部門 i の生産量 Q_{si} が決まる。

$$Q_{si} = f^Q_i(\{Q^{\mathrm{NEN}}_{sji}\}, \{Q^{\mathrm{NC}}_{sji}\}, \{Q^{\mathrm{CL}}_{sji}\}, \{Q^{\mathrm{FE}}_{si}\}) \tag{4}$$

$$= \min\left[\left\{\frac{Q^{\mathrm{NEN}}_{sji}}{\bar{a}^{\mathrm{NEN}}_{ji}}\right\}_{j\in\mathrm{NEN}}, \left\{\frac{Q^{\mathrm{NC}}_{sji}}{\bar{a}^{\mathrm{NC}}_{ji}}\right\}_{j\in\mathrm{ES}}, \left\{\frac{Q^{\mathrm{CL}}_{sji}}{\bar{a}^{\mathrm{CL}}_{ji}}\right\}_{j\in\mathrm{CL}}, \frac{Q^{\mathrm{FE}}_{si}}{\bar{a}^{\mathrm{FE}}_{i}}\right] \tag{5}$$

ここで、$\bar{a}$ は各投入物に関する一定の投入係数を表している。

このように生産関数が多段階の CES 関数である場合には、各段階における投入量の決定を分離して扱うことができる。以下、この性質を利用し、各段階における投入物の価格指数を定義していく。再び、第三段階から考えよう。利潤最大化を目指す生産者は費用が最小化されるように労働・資本の投入を決定する。これより、合成本源的要素の価格指数を以下のように定義できる。

$$p^F_{si} \equiv \min_{L,K}\ \left[\tilde{p}^L_{si}L + \tilde{r}^K_{si}K | f^F_i(L,K) = 1\right] \tag{6}$$

ここで $\tilde{p}^L_{si} = (1+t^L_i)p^L_s$、$\tilde{r}^K_{si} = (1+t^K_i)r^K_s$ はそれぞれ労働の生産者価格とレンタルプライスの生産者価格を、t^L_i、t^K_i はそれぞれ労働税率、資本税率を表している。つまり、合成本源的要素の価格指数とは、一単位の合成本源的要素を得るために必要な最小限のコストのことである[3]。

合成関数は (1) 式で特定化されているので、p^F_{si} は具体的には次式となる。

$$p^F_{si} = \left[(\alpha^{\mathrm{FL}}_i)^{\sigma_{F,i}}(\tilde{p}^L_{si})^{1-\sigma_{F,i}} + (1-\alpha^{\mathrm{FL}}_i)^{\sigma_{F,i}}(\tilde{r}^K_{si})^{1-\sigma_{F,i}}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_{F,i}}}$$

[3] 定義の通り、単位費用関数と呼んでもよい。

$$
\left.\begin{array}{rcl}
p^L_s, r^K_s & \longrightarrow & p^F_{si} \\
p^E_{sj}\ (j \in \mathrm{EC}), p^A_{s,\mathrm{ELE}} & \longrightarrow & p^{\mathrm{EE}}_{si}
\end{array}\right\} \longrightarrow
\begin{array}{r}
\left.\begin{array}{r}
p^{\mathrm{FE}}_{si} \\[2em]
p^E_{sj}\ (j \in \mathrm{CL}) \\[2em]
p^A_{sj}
\end{array}\right\} \longrightarrow c^Q_{si}
\end{array}
$$

図 3: 価格指数と単位費用

同様に、生産者は費用が最小化されるように各燃焼用途のエネルギー財の投入を決定することから、合成エネルギー財の価格指数を定義することができる。

$$
p^{\mathrm{EE}}_{si} \equiv \min_{\{Q^E_j\}} \left[\sum_{j \in \mathrm{ENE}} \tilde{p}^E_{sj} Q^E_j | f^{\mathrm{EE}}_i(\{Q^E_j\}) = 1 \right] \tag{7}
$$

$$
= \left[\sum_j (\alpha^E_{ji})^{\sigma_{\mathrm{EE}}} (\tilde{p}^E_{sj})^{1-\sigma_{\mathrm{EE}}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{\mathrm{EE}}}} \tag{8}
$$

ここで、$\tilde{p}^E_{sj} = p^E_{sj}$ $(j \in \mathrm{EC})$、$\tilde{p}^E_{s,\mathrm{ELE}} = p^A_{s,\mathrm{ELE}}$ である。p^E_{sj} は燃焼用途の排出源財 j の価格、$p^A_{s,\mathrm{ELE}}$ は電力の価格である。この価格指数も先程と同様に、一単位の合成エネルギー財を得るのに必要な最小費用を表現している。

第二段階も同じである。生産者は費用が最小化されるように、合成エネルギー財・合成本源的要素の投入を決定するので、合成エネルギー財・本源的要素の価格指数 p^{FE}_{si} を以下のように定義できる。

$$
\begin{aligned}
p^{\mathrm{FE}}_{si} &\equiv \min_{\{Q^F, Q^{\mathrm{EE}}\}} \left[p^F_{si} Q^F + p^{\mathrm{EE}}_{si} Q^{\mathrm{EE}} | f^{\mathrm{FE}}_i(Q^F, Q^{\mathrm{EE}}) = 1 \right] \\
&= \left[(\alpha^F_i)^{\sigma_{\mathrm{FE}}} (p^F_{si})^{1-\sigma_{\mathrm{FE}}} + (1-\alpha^F_i)^{\sigma_{\mathrm{FE}}} (p^{\mathrm{EE}}_{si})^{1-\sigma_{\mathrm{FE}}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{\mathrm{FE}}}}
\end{aligned}
$$

最後に生産関数のトップレベル (第一段階) で、非エネルギー中間財、非燃焼用途のエネルギー財、燃焼用途の COL と LIM、合成エネルギー・本源的要素が、レオンチェフ型で投入され生産がおこなわれる。レオンチェフ型生産関数であるので、生産の単位費用は投入物の価格の一次関数として表現することができる。

$$
c^Q_{si} = \sum_{j \in \mathrm{NEN}} p^A_{sj} \bar{a}^{\mathrm{NEN}}_{ji} + \sum_{j \in \mathrm{ES}} p^A_{sj} \bar{a}^{\mathrm{NC}}_{ji} + \sum_{j \in \mathrm{CL}} p^E_{sj} \bar{a}^{\mathrm{CL}}_{ji} + p^{\mathrm{FE}}_{si} \bar{a}^{\mathrm{FE}}_{si}
$$

ここで、p^A_{sj} は中間財 j の価格を表している[4]。以上の価格指数、単位費用の間の関係は図 3 にまとめられている。

次に生産の産出サイドを考えよう。本モデルでは、Böhringer et al. (1997)、Rutherford et al. (2002)、Rutherford and Light (2002) 等にならい、国内への供給と輸出供給が不完全代替物であり、限界変形率一定 (constant elasticity of transformation, CET) の関数によって配分されると仮定する[5]。すなわ

[4] 後に説明するように、正確には p^A_{sj} は Armington 財 j の価格である。

[5] 国内向けの供給と輸出向け供給が完全代替であるケースでは、輸出した場合に受けとれる価格 (輸出価格) と国内に供給した場合に受け取れる価格 (国内価格) にずれが生じるようなショックが与えられた場合に、生産者は全ての供給を価格が高くなったほうに回そうとする。この結果として、急激な供給の変化が生じる可能性がでてくる。これに対し、ここでのように国内向けの供給と輸出向けの供給が不完全代替であるとすると、輸出価格と国内価格が乖離しても、供給先の変化はそれほど急激にはおこらないことになる。

ち、国内供給を D_{si}、輸出供給を X_{si} としたとき、生産量 Q_{si} との間に以下の関係が成り立つと仮定する。

$$Q_{si} = f_i^O(X_{si}, D_{si}) = \left[\alpha_i^X (X_{si})^{\frac{1+\eta}{\eta}} + (1-\alpha_i^X)(D_{si})^{\frac{1+\eta}{\eta}}\right]^{\frac{\eta}{1+\eta}}$$

ここで、η は一定の限界変形率である。利潤最大化を目指す生産者はこの CET 関数に従いつつ、与えられた国内財の価格 p_{si}^D、輸出財の価格 p_{si}^X の下で収入が最大となるように生産物を輸出供給と国内供給に配分する。この収入最大化行動より生産物の価格指数 p_{si}^Q を以下のように定義できる。

$$p_{si}^Q = \max_{X,D} \left[p_{si}^X X + p_{si}^D D | f_i^O(X, D) = 1\right]$$

つまり、p_{si}^Q は所与の p_{si}^D、p_{si}^X の下で一単位の生産物によって得ることのできる最大の収入 (単位収入関数) を表わしている。(9) 式の特定化より、この p_{si}^Q は次式となる。

$$p_{si}^Q = \left[(\alpha_i^X)^{-\eta}(p_{si}^X)^{1+\eta} + (1-\alpha_i^X)^{-\eta}(p_{si}^D)^{1+\eta}\right]^{\frac{1}{1+\eta}}$$

本モデルでは、生産物に対して税率 t_i^Q の従価税 (「生産に対する間接税」) が課せられていると仮定している。従って生産者が得る税抜きのネットの単位収入は $(1-t_i^Q)p_{si}^Q$ で与えられる。

以上より部門 i のゼロ利潤条件を次式で表わすことができる。

$$(1-t_i^Q)p_{si}^Q = c_{si}^Q$$

2.2.2 需要と供給

次に、生産者の投入物に対する需要を導出しよう。すでに、費用関数、価格指数を定義してきたので、Shephard の補題を用いれば、投入物に対する需要を導出することができる。例えば、労働に対する需要を導出するには、合成エネルギー財・本源的要素への需要、合成本源的要素への需要、労働への需要という順番で単位需要関数を求め、それを組合せてやればよい。

まず、生産物一単位あたりの合成エネルギー財・本源的要素への需要は、Shephard の補題より

$$\frac{\partial c_{si}^Q}{\partial \tilde{p}_{si}^{\mathrm{FE}}} = \bar{a}_i^{\mathrm{FE}}$$

となる。同様に、Shephard の補題より、合成エネルギー財・本源的要素一単位あたりの合成本源的要素への需要は

$$\frac{\partial p_{si}^{\mathrm{FE}}}{\partial p_{si}^F} = \left[\frac{\alpha_i^F p_{si}^{\mathrm{FE}}}{p_{si}^F}\right]^{\sigma_{\mathrm{FE}}}$$

となる。最後に全く同じようにして、合本源的要素一単位あたりの労働需要は次式となる。

$$\frac{\partial p_{si}^F}{\partial \tilde{p}_{si}^L} = \left[\frac{\alpha_i^{\mathrm{FL}} p_{si}^F}{\tilde{p}_{si}^L}\right]^{\sigma_{F,i}}$$

こうして求めた 3 つの単位需要を結びつけてやれば、部門 i の総労働需要 L_{si}^D を以下のように導出できる。

$$L_{si}^D = \left[\frac{\alpha_i^{\mathrm{FL}} p_{si}^F}{\tilde{p}_{si}^L}\right]^{\sigma_{F,i}} \left[\frac{\alpha_i^F p_{si}^{\mathrm{FE}}}{p_{si}^F}\right]^{\sigma_{\mathrm{FE}}} \bar{a}_i^{\mathrm{FE}} Q_{si}$$

資本についても全く同じ手順に従うことで、部門 i の資本への需要 K_{si}^D を導出できる。

$$K_{si}^D = \left[\frac{(1-\alpha_i^{\mathrm{FL}})p_{si}^F}{\tilde{r}_{si}^K}\right]^{\sigma_{F,i}} \left[\frac{\alpha_i^F p_{si}^{\mathrm{FE}}}{p_{si}^F}\right]^{\sigma_{\mathrm{FE}}} \bar{a}_i^{\mathrm{FE}} Q_{si}$$

次に、燃焼用途のエネルギー財に対する需要を導出しよう。導出方法は本源的要素への需要の場合と同じであり、合成エネルギー財・本源的要素への需要、合成エネルギー財への需要、各エネルギー財への需要という順番で需要関数を求め、それを組合せてやればよい。部門 i の燃焼用途のエネルギー財 $j \in \mathrm{EC}$ への需要 E_{sji}^D は次式で与えられる。

$$E_{sji}^D = \left[\frac{\alpha_{ji}^E p_{si}^{\mathrm{FE}}}{p_{sj}^E}\right]^{\sigma_{\mathrm{EE}}} \left[\frac{(1-\alpha_i^F)p_{si}^{\mathrm{FE}}}{p_{si}^{\mathrm{EE}}}\right]^{\sigma_{\mathrm{FE}}} \bar{a}_i^{\mathrm{FE}} Q_{si} \qquad j \in \mathrm{EC}$$

電力については、価格が p_{si}^E ではなく、$p_{s,\mathrm{ELE}}^A$ であるので、次式となる。

$$E_{sji}^D = \left[\frac{\alpha_{ji}^E p_{si}^{\mathrm{FE}}}{p_{sj}^A}\right]^{\sigma_{\mathrm{EE}}} \left[\frac{(1-\alpha_i^F)p_{si}^{\mathrm{FE}}}{p_{si}^{\mathrm{EE}}}\right]^{\sigma_{\mathrm{FE}}} \bar{a}_i^{\mathrm{FE}} Q_{si}, \qquad j = \mathrm{ELE}$$

その他の中間投入については、全てレオンチェフ型で生産関数に入ってくるので、一定の投入係数が単位需要となる。よって、非エネルギー投入物、燃焼用途の COK と LIM の投入、非燃焼用途の排出源財の投入に対する需要は、それぞれ以下で与えられる。

$$\begin{aligned} &\bar{a}_{ji}^{\mathrm{NEN}} Q_{si} \qquad j \in \mathrm{NEN} \\ &\bar{a}_{ji}^{\mathrm{CL}} Q_{si} \qquad j \in \mathrm{CL} \\ &\bar{a}_{ji}^{\mathrm{NC}} Q_{si} \qquad j \in \mathrm{ES} \end{aligned}$$

次に供給量を求めよう。供給量についても Shephard の補題を使えばよい。つまり、生産物の価格指数 (単位収入関数) を財の供給価格で微分してやればよい。まず、輸出供給は

$$X_{si}^S = \frac{\partial p_{si}^Q}{\partial p_{si}^X} Q_{si} = \left[\frac{p_{si}^X}{\alpha_i^X p_{si}^Q}\right]^{\eta} Q_{si}$$

となる。同様にして、国内供給は

$$D_{si}^S = \frac{\partial p_{si}^Q}{\partial p_{si}^D} Q_{si} = \left[\frac{p_{si}^D}{(1-\alpha_i^X) p_{si}^Q}\right]^{\eta} Q_{si}$$

となる。

2.3 家計

本節では、家計の行動について説明する。家計としては、無限期間生存する代表的家計を想定する。家計の各時点における効用は消費と余暇に依存し、その各時点の効用をもとに生涯に渡る効用の水準が決まる。以下では、各時点での効用を期間効用 (period utility)、生涯全体の効用を生涯効用 (lifetime utility) と呼ぶことにする。家計は、消費者としての役割とともに労働の供給者としての役割を果す。労働供給は総労働時間の制約の下で余暇との選択の結果決定される。また、本モデルでは、家計が資本ストックを所有しているものと仮定する。家計はこの資本ストックを産業にレンタルし、その対価としてレンタル収入を得る。さらに家計は投資家としての役割を持ち、貯蓄によって投資財を購入し資本の蓄積をおこなう。また、貯蓄は資本以外の資産の購入にも振り向けられる。各時点での消費、労働供給、貯蓄 (投資) は全て生涯予算制約の下での異時点間の最適化行動の結果決定される。

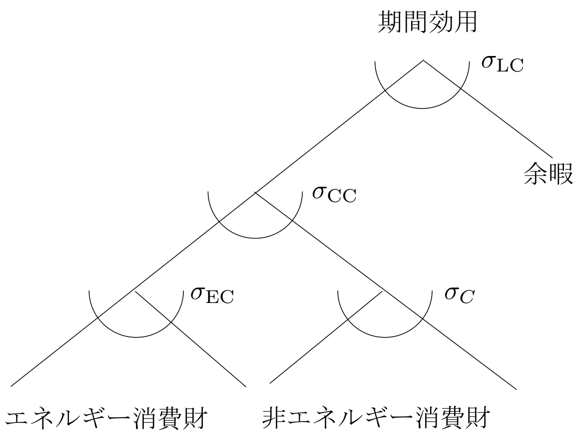

図 4: 期間効用関数

2.3.1 効用関数

まず、生涯効用 U は、期間効用 W_s の CES 型関数であるとする[6]。

$$U = U(\{W_s\}_s) = \left[\sum_{s=t}^{\infty} \alpha_s^W (W_s)^{\frac{\sigma_U - 1}{\sigma_U}} \right]^{\frac{\sigma_U - 1}{\sigma_U}} \tag{9}$$

ここで、α_s^W は割引要因に対応するパラメータであり、t は初期時点を表している。

期間効用関数は、図 4 の多段階 CES 関数とする。期間効用関数には、余暇、エネルギー消費財、非エネルギー消費財の 3 つの財が入ってくる。これを段階毎に分けて考えていこう。まず、第三段階において、各エネルギー消費財が CES 型関数を通じて統合され、合成エネルギー消費財となる。

$$C_s^{\mathrm{ENE}} = C^{\mathrm{ENE}}(\{C_{si}\}_{i \in \mathrm{ENE}}) = \left[\sum_{i \in \mathrm{ENE}} (\alpha_i^{\mathrm{EC}})(C_{si})^{\frac{\sigma_{\mathrm{EC}} - 1}{\sigma_{\mathrm{EC}}}} \right]^{\frac{\sigma_{\mathrm{EC}}}{\sigma_{\mathrm{EC}} - 1}} \tag{10}$$

同様に、非エネルギー消費財が CES 型関数を通じて統合され、合成非エネルギー消費財となる。

$$C_s^{\mathrm{NENE}} = C^{\mathrm{NENE}}(\{C_{si}\}_{i \in \mathrm{NENE}}) = \left[\sum_{i \in \mathrm{NENE}} (\alpha_i^{C})(C_{si})^{\frac{\sigma_C - 1}{\sigma_C}} \right]^{\frac{\sigma_C}{\sigma_C - 1}} \tag{11}$$

次に第二段階において、合成エネルギー消費財と合成非エネルギー消費財が CES 関数により統合され、合成消費財となる。

$$\bar{C}_s = \bar{C}(C_s^{\mathrm{NENE}}, C_s^{\mathrm{ENE}}) = \left[\alpha^{\mathrm{NENE}} (C_s^{\mathrm{NENE}})^{\frac{\sigma_{\mathrm{CC}} - 1}{\sigma_{\mathrm{CC}}}} + (1 - \alpha^{\mathrm{NENE}})(C_s^{\mathrm{ENE}})^{\frac{\sigma_{\mathrm{CC}} - 1}{\sigma_{\mathrm{CC}}}} \right]^{\frac{\sigma_{\mathrm{CC}}}{\sigma_{\mathrm{CC}} - 1}} \tag{12}$$

最後に、期間効用関数の第一段階で、合成消費 $\bar{C}_s$ と余暇 LE_s の CES 型関数として期間効用の水準 W_s 決まる。

$$W_s = W(LE_s, \bar{C}_s) = \left[\alpha^{\mathrm{LE}} (LE_s)^{\frac{\sigma_{\mathrm{LC}} - 1}{\sigma_{\mathrm{LC}}}} + (1 - \alpha^{\mathrm{LE}})(\bar{C}_s)^{\frac{\sigma_{\mathrm{LC}} - 1}{\sigma_{\mathrm{LC}}}} \right]^{\frac{\sigma_{\mathrm{LC}}}{\sigma_{\mathrm{LC}} - 1}} \tag{13}$$

[6]通常の動学モデルでは、以下のような形の生涯効用関数が使われることが多い。

$$U = \sum_{s=t}^{\infty} \Delta^{t-s} \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left[W_s^{\frac{\sigma_U - 1}{\sigma_U}} - 1 \right]$$

Δ は割引き要因であり、その他の記号は本文と同様である。この効用関数に定数を加え、さらに単調変換をおこなうことで本稿で用いている CES 型の生涯効用関数を導出することができる。目的関数に定数の加減、単調変換をおこなっても最大化問題の解は不変であるので、どちらの効用関数を前提としても効用最大化の結果実現する期間効用 W_s の値は同じとなる。しかし、二つの効用関数から計算される生涯効用の値は当然異なってくる。本稿ではモデル記述の便宜上 CES 型の生涯効用関数を用いている

結局、生涯効用は各時点での各消費財の消費量 C_{si}、及び各時点での余暇 LE_s に依存することになる。

2.3.2　支出最小化行動

双対性より効用最大化行動は、支出最小化行動からも捉えることができる。以下では、家計の行動を支出最小化行動という観点から考えていく。上で提示した通り、家計の効用関数は多段階の CES 型関数から構成されるが、このような場合、各段階での最適化行動を別々に考えることができる。つまり、期間効用の水準の選択、合成消費と余暇の選択、合成エネルギー財と合成非エネルギー財の選択、各消費財の選択を別々に捉えることができる。以下ではこの性質を利用して、各段階毎に行動を分けて考えていくことにする。

再び、第三段階から考えよう。合成エネルギー財 C_s^{ENE} と各エネルギー財の消費量 C_{si} の関係は (10) 式で与えられた。効用最大化をおこなう家計は一単位の合成エネルギー財を得る際に、最も支出が最小になるような消費の組み合わせを選択する。この支出最小化行動より、合成エネルギー財の価格指数を以下のように定義することができる。

$$p_s^{\mathrm{EC}} \equiv \min_{\{C_i\}_{i\in\mathrm{ENE}}} \left[\sum_{i\in\mathrm{ENE}} \tilde{p}_{si}^C C_i \mid C^{\mathrm{ENE}}(\{C_i\}) = 1 \right]$$

ここで、$\tilde{p}_{si}^C = (1-s_i^C)p_{si}^E$, $\tilde{p}_{s,\mathrm{ELE}}^C = (1-s_{\mathrm{ELE}}^C)p_{s,\mathrm{ELE}}^A$ である。s_i^C は消費への補助金率であり、$\tilde{p}_{si}^C$ は消費者が直面するエネルギー財の価格を表している。この p_s^{EC} は所与の消費財の価格 $\tilde{p}_{si}^C$ の下で、一単位の合成エネルギー財を得るために必要な最小支出を表わしている[7]。(10) 式の特定化より p_s^{EC} は

$$p_s^{\mathrm{EC}} = \left[\sum_{i\in\mathrm{ENE}} (\alpha_i^{\mathrm{EC}})^{\sigma_{\mathrm{EC}}} (\tilde{p}_{si}^C)^{1-\sigma_{\mathrm{EC}}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{\mathrm{EC}}}}$$

合成非エネルギー消費財についても同様の考えに基づき、価格指数を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} p_s^C &\equiv \min_{\{C_i\}_{i\in\mathrm{NENE}}} \left[\sum_{i\in\mathrm{NENE}} \tilde{p}_{si}^C C_i \mid C^{\mathrm{NENE}}(\{C_i\}) = 1 \right] \\ &= \left[\sum_{i\in\mathrm{NENE}} (\alpha_i^C)^{\sigma_C} (\tilde{p}_{si}^C)^{1-\sigma_C} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_C}} \end{aligned}$$

ここで、$\tilde{p}_{si}^C = (1-s_i^C)p_{si}^A$ である。

同様の考え方に基づき、第二段階における合成消費の価格指数を定義する。

$$\begin{aligned} p_s^{\mathrm{CC}} &\equiv \min_{\{C^{\mathrm{NENE}},C^{\mathrm{ENE}}\}} \left[p_s^C C^{\mathrm{NENE}} + p_s^{\mathrm{EC}} C^{\mathrm{ENE}} \mid \bar{C}(C^{\mathrm{NENE}}, C^{\mathrm{ENE}}) = 1 \right] \\ &= \left[(\alpha^{\mathrm{NENE}})^{\sigma_{\mathrm{CC}}} (p_s^C)^{1-\sigma_{\mathrm{CC}}} + (1-\alpha^{\mathrm{NENE}})^{\sigma_{\mathrm{CC}}} (p_s^{\mathrm{EC}})^{1-\sigma_{\mathrm{CC}}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{\mathrm{EC}}}} \end{aligned}$$

次に、期間効用の第一段階における余暇と消費の選択を考える。現実には余暇に対しては支出をおこなうわけではないが、本モデルでは、家計が余暇に対して仮想的な支出をおこなうものとする。このような形式を選択するのは、余暇が消費と全く同じように効用関数に導入されているため、こうしたほうが扱いやすいからである。これに対応させるため、後に所得の部分で調整をおこなっている。

[7] これは定義から明らかなように支出関数である

各消費財の配分の決定と同様に、家計は一単位の期間効用を得る際に、支出が最小になるような余暇と合成消費を組合せを選択する。よって、期間効用の単位費用を次式で定義できる。

$$\begin{aligned}
c_s^W &\equiv \min_{LE_s,\bar{C}_s}\left[p_s^{\mathrm{LE}}LE_s+\tilde{p}_s^{\mathrm{CC}}\bar{C}_s \mid W(LE_s,\bar{C}_s)=1\right] \\
&=\left[(\alpha^{\mathrm{LE}})^{\sigma_{\mathrm{LC}}}(p_s^{\mathrm{LE}})^{1-\sigma_{\mathrm{LC}}}+(1-\alpha^{\mathrm{LE}})^{\sigma_{\mathrm{LC}}}(\tilde{p}_s^{\mathrm{CC}})^{1-\sigma_{\mathrm{LC}}}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_{\mathrm{LC}}}}
\end{aligned}$$

$p_s^{\mathrm{LE}}=(1-t^I)p_s^L$ は家計にとっての余暇の価格であり、t^I は家計に対する労働所得税率を表わしている。つまり、余暇の価格は市場賃金率 p_s^L から労働所得税を差し引いたものに等しい。ここからわかるように、本モデルでは労働所得税について限界税率＝平均税率としている。また、$\tilde{p}_s^{\mathrm{CC}}=(1+t^C)p_s^{\mathrm{CC}}$ である。消費には消費税が課されているので、消費者の直面する消費財の価格は消費税率 t^C の分だけ高くなる。

期間効用が決まれば、それを元に生涯効用が決まる。ここまでと同じ考え方に基づき、生涯効用の価格指数を以下のように定義できる。

$$\begin{aligned}
p^U &\equiv \min_{W_s}\left[\sum_{s=t}^{\infty}p_s^W W_s \mid U(\{W_s\}_s)=1\right] \\
&=\left[\sum_{s=t}^{\infty}(\alpha_s^W)^{\sigma_U}(p_s^W)^{1-\sigma_U}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_U}}
\end{aligned}$$

p_s^W は現在価格 (present price) で表した期間効用一単位の価格である。これは市場割引要因 R_s を次のように定義することで $p_s^W=R_{t,s}c_s^W$ と表現できる。

$$R_{t,s}=\begin{cases} 1 & s=t \\ \prod_{l=t}^{s}(1+r_s)^{-1} & s>t \end{cases} \tag{14}$$

ここで、r_s は $s-1$ 期から s 期にかけての利子率である。他の価格、価値変数については全て経常価格 (current price) を用いるが、p_s^W だけは現在価格であることに注意されたい。

以上、各段階での行動別に価格指数 p_s^{EC}, p_s^C, p_s^{CC}, p_s^W, p^U を定義した。繰り返すと、各消費財の価格 $\tilde{p}_{si}^C$ が、合成エネルギー財の価格指数 p_s^{EC} と合成非エネルギー財の価格指数 p_s^C を決め、p_s^{EC} と p_s^C が合成消費の価格 p_s^{CC} を決める。さらに、p_s^{CC} と余暇の価格 p_s^{LE} が期間効用の価格指数 p_s^W を決め、最後に p_s^W が生涯効用の価格指数 p^U を決めることになる。以上の関係を通じて、各消費財の価格 $\tilde{p}_{si}^C$、および余暇の価格 p_s^{LE} が生涯効用の価格指数 p^U と結び付くことになる。この関係を表したのが表 2 である。

以上のように定義した生涯効用の価格指数を用いると、家計の得る生涯効用を次式で表現することができる。

$$U=Y^H/p^U \tag{15}$$

Y^H は後に定義することになる生涯所得を表しており、生涯所得を生涯効用の価格指数で割ったものが生涯効用となる。

2.3.3 補償需要

ここで家計の消費需要、余暇需要を導出しておく。これまで支出最小化行動により家計を捉え価格指数 (支出関数) を定義してきたので、ここでもそれに沿った形で需要を考える。よって、ここで導出するのは非補償需要関数 (マーシャルの需要関数) ではなく補償需要 (ヒックスの需要関数) である。価格

表 2: 価格指数

$$
\left.\begin{array}{l}
\left.\begin{array}{l}
\left.\begin{array}{rcl}
\tilde{p}_{si}^{C}\ (i \in \mathrm{ENE}) & \longrightarrow & p_s^{\mathrm{EC}} \\
\tilde{p}_{si}^{C}\ (i \in \mathrm{NENE}) & \longrightarrow & p_s^{C}
\end{array}\right\} \longrightarrow p_s^{\mathrm{CC}} \\
p_s^{\mathrm{LE}}
\end{array}\right\} \longrightarrow R_s c_s^W = p_s^W \\
p_{s'}^W
\end{array}\right\} \longrightarrow p^U
$$

指数 (支出関数) をすでに求めているため、補償需要は Shephard の補題により容易に導出することができる。考え方は生産における投入需要を求めたときと同じである。

まず、期間効用 W_s に対する単位補償需要は Shephard の補題より

$$\frac{\partial p^U}{\partial p_s^W} = \left[\frac{\alpha_s^W p^U}{p_s^W}\right]^{\sigma_U} \tag{16}$$

で与えられる。これは、正確に言えば、生涯効用を一単位得るという条件の下で支出を最小化するような W_s の値である。

同様に、余暇に対する単位補償需要は

$$\frac{\partial c_s^W}{\partial p_s^{\mathrm{LE}}} = \left[\frac{\alpha^{\mathrm{LE}} c_s^W}{p_s^{\mathrm{LE}}}\right]^{\sigma_{\mathrm{LC}}} \tag{17}$$

(16) と (17) 式を組合せることで余暇に対する補償需要を導出できる。

$$LE_s = \left[\frac{\alpha^{\mathrm{LE}} c_s^W}{p_s^{\mathrm{LE}}}\right]^{\sigma_{\mathrm{LC}}} \left[\frac{\alpha_s^W p^U}{p_s^W}\right]^{\sigma_U} U \tag{18}$$

次に消費財に対する需要を求めよう。方法は上と同じであるが、合成消費への需要と各消費財への需要の二段階に分けて記述する。

まず、合成消費への需要を求めよう。これは、合成消費への単位補償需要が

$$\frac{\partial p_s^W}{\partial \tilde{p}_s^{\mathrm{CC}}} = \left[\frac{(1-\alpha^{\mathrm{LE}}) c_s^W}{\tilde{p}_s^{\mathrm{CC}}}\right]^{\sigma_{\mathrm{LC}}} \tag{19}$$

となることから、次式で与えられる。

$$\bar{C}_s^D = \left[\frac{(1-\alpha^{\mathrm{LE}}) c_s^W}{\tilde{p}_s^{\mathrm{CC}}}\right]^{\sigma_{\mathrm{LC}}} \left[\frac{\alpha_s^W p^U}{p_s^W}\right]^{\sigma_U} U \tag{20}$$

次に、各非エネルギー消費財への需要を求める。これも各段階で Shephard の補題を用いて単位補償需要を求めた上で、それを組合せてやればよい。非エネルギー消費財 $i \in \mathrm{NENE}$ への消費需要は次式で与えらえる。

$$C_{si}^D = \left[\frac{\alpha_i^C p_s^C}{\tilde{p}_i^C}\right]^{\sigma_C} \left[\frac{\alpha^{\mathrm{NENE}} p_s^{\mathrm{CC}}}{p_s^C}\right]^{\sigma_{\mathrm{CC}}} \bar{C}_s^D \qquad i \in \mathrm{NENE} \tag{21}$$

エネルギー消費財についても同じ手順に従えばよい。エネルギー消費財 $i \in \mathrm{ENE}$ への消費需要は次式となる。

$$C_{si}^D = \left[\frac{\alpha_i^{\mathrm{EC}} p_s^{\mathrm{EC}}}{\tilde{p}_i^C}\right]^{\sigma_{\mathrm{EC}}} \left[\frac{(1-\alpha^{\mathrm{NENE}}) p_s^{\mathrm{CC}}}{p_s^{\mathrm{EC}}}\right]^{\sigma_{\mathrm{CC}}} \bar{C}_s^D \qquad i \in \mathrm{ENE} \tag{22}$$

以上が、家計の余暇、消費財への需要関数である。最後に、労働供給を求めておこう。家計に与えられている総労働時間 (余暇と労働に利用できる時間) を $\bar{L}_s$ で表すとすると、(18) 式より、(補償) 労働供給は次式で決まる。

$$L_s^S = \bar{L}_s - LE_s$$

2.3.4 生涯所得

生涯所得を求めるために、各時点において家計が直面するフローの予算制約を考えよう。これには各時点において家計が得る所得を考える必要がある。家計が得る所得には第一に労働所得がある。本来、現実に得る労働所得は、税引き後の賃金率に労働供給をかけあわせた $p_s^{\mathrm{LE}} L_s^S$ である。しかし、すでに説明した通り、本モデルでは家計が余暇に対し支出するという形式を前提としているので、税引き後の賃金率に総労働時間をかけあわせた $p_s^{\mathrm{LE}} \bar{L}_s$ を労働所得とみなす[8]。

家計は労働とともに、自らが保有する資本ストックを産業に対して供給している。よって、レンタル収入も家計の所得となる。このレンタル収入に対し課税がおこなわれているとし、本稿ではそれを資本所得税と呼んでいる。資本所得税引き後のレンタルプライスを r_s^{KE}、資本所得税率を t^A とすると、$r_s^{\mathrm{KE}} = (1-t^A) r_s^K$ である。資本所得税についても労働所得税と同様に、限界税率と平均税率は等しい。家計のレンタル収入は、税引き後レンタルプライスに資本ストックをかけあわせた $r_s^{\mathrm{KE}} K_s$ で与えられる。以上の要素所得に加えて、家計は政府からのトランスファーを受けとる。s 期におけるこのトランスファーの額を TRN_s で表す。さらに、家計は資本ストック以外の資産からの収益も受けとる。$s-1$ 期末に家計が保有する純資産残高を NA_s^H とすると、この収益は $r_s \mathrm{NA}_s^H$ と表現できる。以下、資産と言った場合には、資本ストック以外の資産のことを表すものとする。

以上より、s 期における家計の所得額を次式で表せる。

$$r_s^{\mathrm{KE}} K_s + r_s \mathrm{NA}_s^H + \mathrm{TRN}_s + p_s^{\mathrm{LE}} \bar{L}_s \tag{23}$$

この所得額から消費・余暇への支出 EXP_s を差し引いたものが家計の貯蓄額となるが[9]、この貯蓄は投資支出 INV_s、および資産の購入 $\mathrm{NA}_{s+1}^H - \mathrm{NA}_s^H$ に振り向けられる。よって、s 期における家計のフローの予算制約は次式で与えられることになる。

$$\mathrm{INV}_s + \mathrm{NA}_{s+1}^H - \mathrm{NA}_s^H = r_s^{\mathrm{KE}} K_s + r_s \mathrm{NA}_s^H + \Omega_s \tag{24}$$

ここで、$\Omega_s = p_s^{\mathrm{LE}} \bar{L}_s + \mathrm{TRN}_s - \mathrm{EXP}_s^H$ である。

上式の中の投資額 INV_s は、p_s^I を投資財の価格、I_s を投資財の購入量 (粗投資量) とすると、$\mathrm{INV}_s = p_s^I I_s$ に等しい。本モデルでは、この投資に調整費用がかかると仮定する。調整費用としては、通常用いられる quadratic adjustment cost を仮定する。すなわち、資本として蓄積されることになる純投資 J_s を実現するには、次式で表されるだけの粗投資 I_s をおこなわなければならないとする。

$$I_s = J_s \left[1 + \Phi\left(\frac{J_s}{K_s}\right)\right] \tag{25}$$

[8] 労働所得を実際の所得 $p_s^{\mathrm{LE}} L_s^S$ とし、余暇への支出をゼロとしても当然同じ結果が得られる。

[9] EXP_s は、$p_s^W W_s / R_{t,s}$ に等しい。

$J_s\Phi_s$ の部分が調整費用として余分にかかる投資を表している。さらに以下では、

$$\Phi\left(\frac{J_s}{K_s}\right) = \frac{\phi}{2}\frac{J_s}{K_s} \tag{26}$$

と特定化する。ϕ は調整費用の大きさを左右するパラメータであるので、以下、調整費用パラメータと呼ぶ。

(25) 式を (24) 式に代入すると、

$$p_s^I J_s[1+\Omega_s] + \mathrm{NA}_{s+1}^H - \mathrm{NA}_s^H = r_s^{\mathrm{KE}} K_s + r_s \mathrm{NA}_s^H + \Omega_s \tag{27}$$

となる。家計は、(27) 式の予算制約、及び $K_{s+t} = (1-\delta)K_s + J_s$ という制約の下で、生涯効用を最大化するように資本ストック K_s、純投資 J_s、資産 NA_s^H を選択する[10]。

$$\max \quad U(\{W_s\}) \tag{28}$$
$$\text{s.t.} \quad p_s^I J_s[1+\Omega_s] + \mathrm{NA}_{s+1}^H - (1+r_s)\mathrm{NA}_s^H - r_s^{\mathrm{KE}} K_s - \Omega_s = 0 \tag{29}$$
$$K_{s+1} = (1-\delta)K_s + J_s \tag{30}$$
$$\text{Given } K_t \text{ and } \mathrm{NA}_t^H. \tag{31}$$

この最適化問題のラグランジュ関数は次式となる[11]。

$$\mathcal{L} = U(\{W_s\}) \tag{32}$$
$$-\sum_{s=t}^{\infty} \lambda_s R_{t,s}\left[p_s^I J_s(1+\Omega_s) + \mathrm{NA}_{s+1}^H - (1+r_s)\mathrm{NA}_s^H\right] \tag{33}$$
$$-\sum_{s=t}^{\infty} \mu_s R_{t,s}\left[K_{s+1} - (1-\delta)K_s - J_s\right] \tag{34}$$

NA_s^H、J_s、K_s についての一階の条件は以下で与えられる。

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathrm{NA}_s^H} = 0: \quad \lambda_s = \lambda_{s-1} \qquad s = t+1, t+2, \cdots \tag{35}$$
$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial J_s} = 0: \quad \frac{\mu_s}{\lambda_s} = p_s^I\left[1 + \Phi_s + \Phi'_s \frac{J_s}{K_s}\right] \qquad s = t, t+1, \tag{36}$$
$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial K_s} = 0: \quad r_s^K + \frac{\mu_s}{\lambda_s}(1-\delta) + p_s^I \Phi'_s\left[\frac{J_s}{K_s}\right]^2 = (1+r_s)\frac{\lambda_{s-1}}{\lambda_s}\frac{\mu_{s-1}}{\mu_s} \qquad s = t+1, t+2, \cdots \tag{37}$$

以下で見るように、μ_s/λ_s は資本の shadow price と表しているので、$p_s^K \equiv \mu_s/\lambda_s$ と置くことにする。さらに、p_s^{KA} を次のように定義する。

$$p_s^{\mathrm{KA}} \equiv -p_s^I \Phi'_s \left[\frac{J_s}{K_s}\right]^2 \tag{38}$$

この p_s^{KA} は、K_s 一単位の増加による投資の調整費用の減少額を表している。以下、この p_s^{KA} を調整費用プレミアムと呼ぶことにしよう。

以上の記号を用いれば、(36) 式、(37) 式は次式となる。

$$p_s^K = p_s^I\left[1 + \Phi_s + \Phi'_s \frac{J_s}{K_s}\right] \qquad s = t, t+1, \cdots \tag{39}$$
$$r_s^K + p_s^K(1-\delta) + p_s^{\mathrm{KA}} = (1+r_s)p_{s-1}^K \qquad s = t+1, t+2, \cdots \tag{40}$$

[10] 実際には、W_s も選択するのであるが、W_s の選択についてはすでに前節までで考察したので、ここでは省略している。
[11] ラグランジュ乗数が current value となるように割引き要因をかけあわせていることに注意して欲しい。

以下、両式の意味するところを簡単に説明しよう。まず、(39) 式は以下のように解釈できる。s 期に純投資を一単位おこなうとしよう。このとき、一単位の投資財を購入する必要があるので、p_s^I の費用が生じる (右辺第一項)。これに加え、調整費用として $p_s^I\Phi_s$ だけ費用がかかる (右辺第二項)。さらに、純投資の増加は一単位当りの調整費用 $p_s^I\Phi_s$ を逓増させるため、$p_s^I\Phi'_s J_s/K_s$ だけ費用は増加する (右辺第三項)。結局、(39) 式の右辺は、s 期における純投資 ($s+1$ 期の資本) の限界費用を表していることがわかる。これは、$s+1$ 期に 1 単位の資本を得ようとするなら、この限界費用に等しい額を支払う必要があるということなので、(39) 式は資本の shadow price を表しているものと解釈できる。

次に、(40) 式を考えよう。まず、右辺であるが、これは s 期に一単位の資本ストックを得ることの限界費用 (機会費用) を表している。s 期に一単位の資本ストックを得るには[12]、p_{s-1}^K だけの費用がかかるが、これに加え資本ストックの購入に資金をまわすことで、他の資産に投資することで得られる利子率分も失なうことになるので、結局 $(1+r_s)p_{s-1}^K$ が費用となる。

一方、左辺は s 期に一単位の資本から得られる収入 (限界収入) を表している。まず第一項はレンタル収入である。s 期の一単位の資本ストックは、産業にレンタルされることで r_s^{KE} に等しいレンタル収入を生む。第二項は、資本の売却収入である。$s-1$ 期末の一単位の資本は、s 期の期末に $1-\delta$ だけの資本となり、$(1-\delta)p_s^K$ だけの価値で売却することができる。第三は、調整費用の低下分である。資本ストックの増加は、純投資一単位あたりの調整費用を低下させることになるので、その分費用が節約される。この費用の節約額はすでに説明した通り調整費用プレミアムで表される。結局、$r_s^{\mathrm{KE}}+p_{s+1}^K(1-\delta)+p_s^{\mathrm{KA}}$ は、s 期に一単位資本ストックを増加させたことによる収入の増加 (限界収入) となっている。

以上の説明からわかるように、(40) 式は資本ストックの限界収入と限界費用が均等化するということを意味している[13]。これは家計が最適な資本ストックの水準を選択するという行動から自然に導かれる帰結である。

なお、(40) 式は $s>t$ についてのみ成り立ち、$s=t$ のときは成り立つとは限らないことに注意されたい。これは、初期時点の資本ストック K_t は家計にとって所与の値であり、選択可能なものではないからである[14]。

調整費用 Φ_s の定義より、(39) 式、(40) 式は次式となる。

$$p_s^K = p_s^I\left[1+\phi\frac{J_s}{K_s}\right] \qquad s=t,t+1,\cdots \tag{41}$$

$$r_s^K + p_s^K(1-\delta)+p_s^{\mathrm{KA}} = (1+r_s)p_{s-1}^K \qquad s=t+1,t+2,\cdots \tag{42}$$

以上で求めた投資、資本ストックの最適条件を元にして、フローの予算制約から生涯予算制約を導出しよう。フローの予算制約は次式で与えられた。

$$p_s^I J_s\left[1+\frac{\phi}{2}\frac{J_s}{K_s}\right]+\mathrm{NA}_{s+1}^H-\mathrm{NA}_s^H = r_s^{\mathrm{KE}}K_s + r_s\mathrm{NA}_s^H+\Omega_s \tag{43}$$

この両辺に $p_s^I\phi(J_s)^2/(2K_s)$ を加える。

$$p_s^I J_s\left[1+\phi\frac{J_s}{K_s}\right]+\mathrm{NA}_{s+1}^H = r_s^{\mathrm{KE}}K_s + p_s^I\frac{\phi}{2}\frac{J_s^2}{K_s}+(1+r_s)\mathrm{NA}_s^H+\Omega_s \tag{44}$$

[12]資本は、実際には投資をおこなうことによってしか得ることができないが、仮に取引されるとするなら、shadow price をもとに取引される。ここで購入といっているのは、仮に資本を直接購入するとしたらという仮想的な話である。

[13] (40) 式を書き換えることで、また別の解釈をすることができる。

$$r_s = \frac{r_s^{\mathrm{KE}}}{p_{s-1}^K} - \frac{p_s^K}{p_{s-1}^K}\delta + \frac{p_s^K - p_{s-1}^K}{p_{s-1}^K} + \frac{p_s^{\mathrm{KA}}}{p_{s-1}^K}$$

左辺は一単位の資金を資本以外の資産に投資した場合の収益率 (利子率) を表している。一方、右辺は、レンタル収入からの収益率 (第一項)、資本減耗による損失率 (第二項)、キャピタルゲイン率 (第三項)、調整費用の減少による収益率 (第四項) の和であるので、資本ストックに投資したときの収益率を表している。以上より、(40) 式は、資本ストックへの投資とその他の資産への投資の間の no arbitrage condition を表していると解釈することもできる。

[14]ただし、初期時点においてすでに経済が定常状態にある場合には、初期時点においても (40) 式は成立する。

ここで、(41) 式を用い書き換える。

$$p_s^K J_s + \mathrm{NA}_{s+1}^H = r_s^{\mathrm{KE}} K_s + p_s^I \frac{\phi}{2} \frac{J_s^2}{K_s} + (1+r_s)\mathrm{NA}_s^H + \Omega_s \tag{45}$$

さらに、$J_s = K_{s+1} - (1-\delta)K_s$ という関係、及び p_s^{KA} の定義を用いる。

$$p_s^K K_{s+1} + \mathrm{NA}_{s+1}^H = \left[r_s^{\mathrm{KE}} + p_s^K(1-\delta) + p_s^{\mathrm{KA}}\right] K_s + (1+r_s)\mathrm{NA}_s^H + \Omega_s \tag{46}$$

$s > t$ については、(42) 式が成立するので、(46) 式は

$$p_s^K K_{s+1} + \mathrm{NA}_{s+1}^H = (1+r_s)\left[p_{s-1}^K K_s + \mathrm{NA}_s^H\right] + \Omega_s \qquad s > t \tag{47}$$

となる。これを $t+1$ 期より forward iteration で解いてやれば次式となる。

$$p_t^K K_{t+1} + \mathrm{NA}_{t+1}^H = R_{t,T}\left[p_T^K K_{T+1} + \mathrm{NA}_{T+1}^H\right] - \sum_{s=t+1}^{T} R_{t,s}\Omega_s \tag{48}$$

一方、t 期については (46) 式がそのまま成立する。

$$p_t^K K_{t+1} + \mathrm{NA}_{t+1}^H = \left[r_t^{\mathrm{KE}} + p_t^K(1-\delta) + p_t^{\mathrm{KA}}\right] K_t + (1+r_t)\mathrm{NA}_t^H + \Omega_t \tag{49}$$

(48) 式と (49) 式より、t 期から T 期までの生涯予算制約が求まる。

$$\left[r_t^K + p_t^K(1-\delta) + p_t^{\mathrm{KA}}\right] K_t + (1+r_t)\mathrm{NA}_t^H \tag{50}$$

$$-R_{t,T}\left[p_T^K K_{T+1} + \mathrm{NA}_{T+1}^H\right] + \sum_{s=t}^{T} R_{t,s}\Omega_t = 0 \tag{51}$$

ここで、$T \to \infty$ とし、さらに無限期間後の資本ストック、資産の現在価値がゼロに収束するという、no Ponzi game 条件

$$\lim_{T\to\infty} R_{t,T}\left[p_T^K K_{T+1} + \mathrm{NA}_{T+1}^H\right] = 0 \tag{52}$$

を仮定すれば、無限期間にわたる家計の予算制約 (生涯予算制約) を導出することができる。

$$\sum_{s=t}^{\infty} R_{t,s}\mathrm{EXP}_s = \left[r_t^K + p_t^K(1-\delta) + p_t^{\mathrm{KA}}\right] K_t + (1+r_t)\mathrm{NA}_t^H + \sum_{s=t}^{\infty} R_{t,s}\left[p_s^{\mathrm{LE}}\bar{L}_s + \mathrm{TRN}_s\right] \tag{53}$$

この式の右辺が (15) 式に現われた生涯所得 Y^H に等しい。

2.4 その他の活動

2.4.1 Armington 統合

本稿では、同一の財であっても輸入財と国内財は不完全代替であるという Armington 仮定を置く。さらに、輸入財と国内財は図 5 の CES 型関数によって統合されるものとする。CES 関数を通じて輸入財と国内財を統合した財を Armington 財と呼び、その量を A_{si} で表わすとすると、以下の関係が成立する。

$$A_{si} = A_i(D_{si}, M_{si}) = \left[\alpha_i^{\mathrm{AD}}(D_{si})^{\frac{\sigma_{A,i}-1}{\sigma_{A,i}}} + (1-\alpha_i^{\mathrm{AD}})(M_{si})^{\frac{\sigma_{A,i}-1}{\sigma_{A,i}}}\right]^{\frac{\sigma_{A,i}}{\sigma_{A,i}-1}} \tag{54}$$

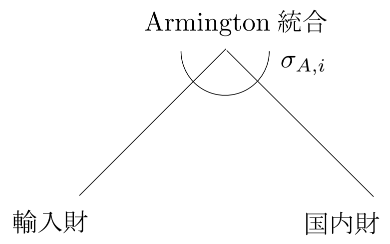

図 5: Armington 統合

この Armington 財は中間投入、最終消費、投資、政府支出のために需要されることになる (図 1 参照)。本来、上の 4 つの用途によって、また中間投入に関してはどの部門に投入されるかによって、国内財と輸入財の比率は異なっているのが普通である。しかし、ここでは統合する際にどの用途に用いられるかは考慮せず、全ての用途に関して集計した形で統合している。このため、どの用途に利用される場合でも国内財と輸入財の比率は同じということになる。

国内財と輸入財の比率は費用が最小化されるように選択されるとする。これより Armington 財の価格指数を定義できる。

$$p_{si}^A \equiv \min \ \left[p_{si}^D D + \tilde{p}_{si}^M M | A_i(D, M) = 1 \right] \tag{55}$$

$$= \left[\alpha_i^{\mathrm{AD}} (p_{si}^D)^{1-\sigma^A} + (1 - \alpha_i^{\mathrm{AD}}) (\tilde{p}_{si}^M)^{1-\sigma^A} \right]^{\frac{1}{1-\sigma^A}} \tag{56}$$

ここで、$\tilde{p}_{si}^M = (1 + t_i^M) p_{si}^M$ であり、輸入財の関税を含めた国内価格である。p_{si}^A は Armington 財一単位を得るために必要な最小費用 (支出) を表わしている。この価格指数を用いれば、国内財への需要 D_{si}^{AD}、輸入財への需要 M_{si} を導出することができる。

$$D_{si}^{\mathrm{AD}} = \frac{\partial p_{si}^A}{\partial p_{si}^D} A_{si} = \left[\frac{\alpha^{\mathrm{AD}} p_{si}^A}{p_{si}^D} \right]^{\sigma^A} A_{si} \tag{57}$$

$$M_{si} = \frac{\partial p_{si}^A}{\partial p_{si}^M} A_{si} = \left[\frac{(1 - \alpha^{\mathrm{AD}}) p_{si}^A}{p_{si}^M} \right]^{\sigma^A} A_{si} \tag{58}$$

2.4.2 投資財

投資は投資財を購入することによっておこなわれる。この投資財は固定比率の Armington 財から構成されるものとする。すなわち、I_s を投資財の量、A_{si}^I を投資のために利用される Armington 財の量、a_i^I を投資一単位あたりに必要な Armington 財 i の量としたとき、以下の関係が成立するものとする。

$$I_s = \min_i \ \left[\frac{A_{si}^I}{a_i^I} \right] \tag{59}$$

これより、投資財の価格指数 p_s^I は次式で与えられることになる。

$$p_s^I = \sum_i p_{si}^A a_i^I \tag{60}$$

2.4.3 輸出入

モデルは開放経済であるが、日本は小国であり、財の世界価格 (world price) は一定であると仮定する。この仮定のもとで輸入財、輸出財の価格について考える。まず、輸入財の価格はであるが、為替レー

トを邦貨建とすると、世界価格に為替レートをかけあわせたものに等しくなる[15]。つまり、p_{si}^{ROW} を外貨表示の世界価格、p^{FX} を邦貨建の為替レートとすると、財 i の輸入価格 p_{si}^{M} は次式で与えられる。

$$p_{si}^{M} = p^{\mathrm{FX}} p_{si}^{\mathrm{ROW}} \tag{61}$$

逆に、輸出財では輸出価格を為替レートで割ったものが世界価格に等しいという関係が成立する。

$$p_{si}^{\mathrm{ROW}} = p_{si}^{X} / p^{\mathrm{FX}} \tag{62}$$

仮定より世界価格は常に一定であるが、さらに全ての財について世界価格を 1 に規準化する。

$$p_{si}^{\mathrm{ROW}} = 1 \tag{63}$$

よって、輸入財、輸出財の価格は以下のように表現できる。

$$p_{si}^{M} = p^{\mathrm{FX}} \qquad p_{si}^{X} = p^{\mathrm{FX}} \tag{64}$$

この二つの関係は、輸入財・輸出財と外貨の間の対応関係を表している。例えば、s 期において一単位 i 財を輸出したとしよう。このとき、p_{si}^{X} の収入が手に入るが、これは p^{FX} に等しいので、一単位の外貨を得ることと同じである。つまり、s 期における i 財の一単位の輸出は、1 単位の外貨をもたらすということである。逆に輸入を考えよう。s 期において i 財を一単位輸入するとしよう。これには、p_{si}^{M} だけの費用がかかるが、これは p^{FX} に等しいので、1 単位の外貨を購入することと同じである。つまり、s 期において i 財を一単位輸入しようとすると、1 単位の外貨が必要であるということである。以上のように、輸入財・輸出財と外貨には一対一の関係があるのである。後に説明するが、為替レート p^{FX} は、経常収支が異時点間の意味で均衡するように決定される[16]。

2.5 政府部門

以下、政府部門の行動について説明する。政府の行動にも収入サイドと支出サイドがある。まず、政府は税によって収入を得る。本モデルで考慮されている税には、家計に対する「労働所得税」、「資本所得税」、「消費税」、産業に対する「資本税」、「労働税」、「生産に対する間接税」、輸入品への税である「輸入関税」がある。さらに、消費に対して補助金が拠出されている。政府はこれらの課税によって得た収入の一部を再び家計にトランスファーし、残りを政府支出にまわしている。

2.5.1 政府の支出

政府の支出としては、「政府支出」と「家計へのトランスファー」がある。「政府支出」とは政府による財に対する最終需要のことである。政府による最終需要には消費、投資 (固定資本形成) の二つがあるが、ここでは両者を区別せずに合わせて「政府支出」と呼んでいる。「家計へのトランスファー」とは社会保障給付・負担等の租税以外の家計との資金の流れのことを指している。本来、このようなトランスファーには家計から政府という方向のものも存在するはずであるが、ここではネットの額だけを考慮する。このトランスファーの額は、家計のところですでに説明した通り TRN_s で表わされる。

[15] ここでの輸入財の価格とは、輸入関税を除いた部分 (海外へ支払う部分) である。輸入財の国内価格は、この輸入価格に関税を上乗せした価格である。

[16] ここでの為替レートは、あくまで「仮想的」な「外国為替 (外貨)」という財の価格である。通常の財の価格と全く同じように扱われ、経常収支 (「外国為替」という財の市場) を均衡させるようにこの為替レートが内生的に変化すると想定されている。実際の為替レートに対応するものではないし、シミュレーションをおこなう際にも現実の為替レートを考慮しているわけでない。もちろん名目値が意味を持つ貨幣的な変数ではない。

政府支出に関しては、どの財をどれだけ需要するのかという選択の問題があるが、ここでは、Armington 財を固定比率で需要するものとする。一単位の政府支出を得るために用いられる Armington 財 i の量を a_i^G とすると、政府支出の価格指数 (単位費用) は以下のように定義される。

$$p_s^G = \sum_i p_{si}^A a_i^G$$

実質の政府支出を G_s で表わすと、政府支出の額は $p_s^G G_s$ と表現される。

2.5.2 政府の収入

各時点での政府の収入は上で述べた通り租税収入からなる。これまで定義された記号を用いれば、s 期のネットの政府収入 M_s^G は次式で表現できる。

$$\begin{aligned}M_s^G = & \sum_i t_i^L p_s^L L_{si}^D + \sum_i t_i^K r_s^K K_{si}^D + \sum_i t_i^Q p_{si}^Q Q_{si} \\ & + t^I p_s^L L_s^S + t^A r_s^K K_s + t^C p_s^{\mathrm{CC}} \bar{C}_s \\ & + \sum_i t_i^M p_{si}^M M_{si} - \sum_{i \in \mathrm{NENE}} s_i^C p_{si}^A C_{si}^D - \sum_{i \in \mathrm{ENE}} s_i^C p_{si}^E C_{si}^D\end{aligned}$$

一行目は労働税、資本税、生産に対する間接税、二行目は労働所得税、資本所得税、消費税、3 行目は輸入関税、補助金 (控除) である。補助金分が差し引かれていることに注意されたい。

2.5.3 政府の異時点間予算制約

家計と同様に政府についても予算制約は「異時点間」のものとする。逆に言えば、一時点に限れば財政赤字・財政黒字となる状況もあるということである。異時点間予算制約を導出するために、各時点でのフローの予算制約を考える。まず、資産収入を除いた政府の財政収支 GS_s は以下のように表現できる。

$$\mathrm{GS}_s = M_s^G - p_s^G G_s - \mathrm{TRN}_s^G \tag{65}$$

これに、資産からの収益を足し合わせたものが政府の財政収支 GBS_s となる。

$$\mathrm{GBS}_s = \mathrm{NA}_{s+1}^G - \mathrm{NA}_s^G = \mathrm{GS}_s + r_s \mathrm{NA}_s^G \tag{66}$$

これを forward iteration によって解くと、次式となる。

$$(1 + r_t)\mathrm{NA}_t^G = R_{t,T} \mathrm{NA}_{T+1}^G - \sum_{s=t}^{T} R_{t,s} GS_s \tag{67}$$

ここで政府財政収支は異時点間で均衡しているものとする。つまり、初期時点での純資産残高と無限期間後の純資産残高が等しいものとする。

$$(1 + r_t)\mathrm{NA}_t^G = \lim_{T \to \infty} R_{t,T} \mathrm{NA}_{T+1}^G \tag{68}$$

これより、次式が成立することになる。

$$\sum_{s=t}^{\infty} R_{t,s} \left[p_s^G G_s + \mathrm{TRN}_s \right] = \sum_{s=t}^{\infty} M_s^G \tag{69}$$

2.6 排出量と炭素税

2.6.1 排出源財の価格

これまで、燃焼用途の排出源財の価格を p_{si}^E と表現してきた。燃焼用途の排出源財といっても他の財と同様に Armington 財のことであるが、燃焼用途の場合には炭素排出量に応じた炭素税を支払わなければならない。よって、γ_i を排出源財 $i \in \mathrm{EC}$ 一単位当りの排出量、t_s^{CE} を炭素税とすると、p_{si}^E は次式で表現できる。

$$p_{si}^E = p_{si}^A + \gamma_i t_s^{\mathrm{CE}} \tag{70}$$

つまり、一単位の燃焼用途の排出源財の価格は、Armington 財の価格に炭素税を加えたものに等しい。

2.6.2 排出量

A_{si}^{EC} で燃焼用途に用いられる Armington 財を表すものとしよう。これまでの定式化より、A_{si}^{EC} は次式で与えられる。

$$A_{si}^{\mathrm{EC}} = \sum_j \bar{a}_{ij}^{\mathrm{CL}} Q_{sj} + C_{si}^D \qquad i \in \mathrm{CL} \tag{71}$$

$$A_{si}^{\mathrm{EC}} = \sum_j E_{sij}^D + C_{si}^D \qquad i \in \mathrm{EC} \tag{72}$$

総排出量は、排出源別の排出量を全て足し合わせたもので与えられる。

$$\mathrm{CE}_s^D = \sum_{i \in \mathrm{ES}} \gamma_i A_{si}^{\mathrm{EC}} \tag{73}$$

2.7 市場均衡

本節では財、生産要素の市場均衡を叙述する。財としては、産業が生産する国内財と輸出財、輸入財、輸入財と国内財を統合した Armington 財、投資財、外国為替がある。生産要素市場としては、労働市場と資本市場がある。

2.7.1 国内財市場

まず、国内財であるが、国内財は生産部門から D_{si} だけ供給され、Armington 統合のために D_{si}^{AD} だけ需要される。均衡ではこの両者が等しくなっていなければならに。

$$D_{si} = D_{si}^{\mathrm{AD}} \tag{74}$$

2.7.2 Armington 財市場

Armington 財 i は Armington 統合活動によって A_{si} だけ供給され、最終消費、中間投入、投資、政府支出のために需要される。以下、非エネルギー財 (除 LIM と COK)、電力、LIM と COK、排出源財 (除く LIM と COK) の 4 つのケースに分けて市場均衡を記述する。左辺が供給、右辺が需要を表す。

(LIM と COK を除いた) 非エネルギー財 $i \in \mathrm{NENE}$ の市場均衡。

$$A_{si} = C^D_{si} + \sum_j \bar{a}^Q_{ij} Q_{sj} + \bar{a}^I_i I_s + \bar{a}^G_i G_s \qquad i \in \mathrm{NENE} \tag{75}$$

LIM と COK の市場均衡 ($i \in \mathrm{CL}$)。中間投入では、燃焼用途の需要と非燃焼用途の需要が区別されていることに注意されたい。

$$A_{si} = C^D_{si} + \sum_j \bar{a}^{\mathrm{CL}}_{ij} Q_{sj} + \sum_j \bar{a}^{\mathrm{NC}}_{ij} Q_{sj} + \bar{a}^I_i I_s + \bar{a}^G_i G_s \qquad i \in \mathrm{CL} \tag{76}$$

電力の市場均衡 ($i \in \mathrm{ELE}$)。

$$A_{si} = C^D_{si} + \sum_j E_{sij} + \bar{a}^I_i I_s + \bar{a}^G_i G_s \qquad i \in \mathrm{ELE} \tag{77}$$

排出源財 (除 LIM と COK) の市場均衡 ($i \in \mathrm{EC}$)。ここでも燃焼用途の中間投入と非燃焼用途の中間投入を区別している。

$$A_{si} = C^D_{si} + \sum_j E_{sij} + \sum_j \bar{a}^{\mathrm{NC}}_{ij} Q_{sj} + \bar{a}^I_i I_s + \bar{a}^G_i G_s \qquad i \in \mathrm{EC} \tag{78}$$

2.7.3 労働市場

労働は家計によって供給され、産業部門により需要される。

$$L^S_s = \sum_i L^D_{si} \tag{79}$$

2.7.4 レンタル資本市場

家計はすでに所有している資本ストックを産業に対してレンタルする。これによりレンタルプライス r^K_s が決まる。

$$K_s = \sum_i K^D_{si} \tag{80}$$

2.7.5 経常収支 (外国為替市場)

本モデルでは、経常収支は各時点においては均衡している必要はなく、異時点間の意味で均衡するものと仮定する。

s 期における経常収支 CAS_s は、次式で与えられる。

$$\mathrm{CAS}_s = \mathrm{NA}^F_{s+1} - \mathrm{NA}^F_s = \mathrm{TS}_s + r^{\mathrm{ROW}}_s \mathrm{NA}^F_s \tag{81}$$

$\mathrm{TS}_s \equiv \sum_i p^W_{si}[X_{si} - M_{si}]$ は貿易収支、$r^{\mathrm{ROW}}_s \mathrm{NA}^F_s$ は対外資産からの収益を表している。資産に対する利子率は国内利子率ではなく、世界利子率 r^{ROW}_s が適用されることに注意されたい。

これをこれまでと同様に書き換え、forward iteration によって解くと次式となる。

$$(1 + r^{\mathrm{ROW}}_t)\mathrm{NA}^F_t = R^{\mathrm{ROW}}_{t,T} \mathrm{NA}^F_{T+1} - \sum_{s=t}^{T} R^{\mathrm{ROW}}_{t,s} \mathrm{TS}_s \tag{82}$$

さらに、これを無限期間に拡張する。

$$(1+r_t^{\mathrm{ROW}})\mathrm{NA}_t^F = \lim_{T\to\infty} R_{t,T}^{\mathrm{ROW}}\mathrm{NA}_{T+1}^F - \sum_{s=t}^{\infty} R_{t,s}^{\mathrm{ROW}}\mathrm{TS}_s \tag{83}$$

ここで、経常収支は異時点間で均衡するものと仮定する。つまり、初期時点での純対外資産と無限期間後の純対外資産が等しいものとする。

$$(1+r_t^{\mathrm{ROW}})\mathrm{NA}_t^F = \lim_{T\to\infty} R_{t,T}^{\mathrm{ROW}}\mathrm{NA}_{T+1}^F \tag{84}$$

この仮定より、次式が満たされることになる。

$$\sum_{s=t}^{\infty} R_{t,s}^{\mathrm{ROW}}\mathrm{TS}_s = 0 \tag{85}$$

2.4.3 節の議論を用いれば、経常収支の異時点間均衡条件 (84) は

$$\sum_{s=t}^{\infty}\sum_{i} R_s^{\mathrm{ROW}} X_{si} = \sum_{s=t}^{\infty}\sum_{i} R_s^{\mathrm{ROW}} M_{si} \tag{86}$$

となる。この条件は、外国為替の均衡条件ともみなすことができる。2.4.3 節で説明した通り、輸入・輸出と外国為替には一対一の対応関係があった。すなわち、X_{si} 単位の輸出により X_{si} 単位の外貨が供給され、M_{si} 単位の輸入に伴い M_{si} 単位の外貨が需要されるという関係である。この関係より、(86) 式の左辺は外貨の供給、右辺は外貨への需要を表していることになる。この外貨の市場が均衡するように、為替レート p^{FX} が調整されることとなる。

2.7.6 炭素税

総排出量は (73) 式の CE_s^D で与えられた。排出規制をおこなう際には、この CE_s^D が政府の決定する総排出枠 CE_s^S に等しくなるように炭素税の水準 t_s^{CE} を決定することになる。

$$\mathrm{CE}_s^S = \mathrm{CE}_s^D \tag{87}$$

3 シミュレーション

本節ではシミュレーションをおこなう際に用いた前提・仮定について説明する。

[1] 代替の弾力性

[2] 基準均衡

[3] カリブレーション

[4] 有限期間化

3.1 代替の弾力性

本稿では、期間効用関数内の余暇と合成消費の代替の弾力性 (σ^{LC}) を除いて、関数内の代替弾力性の値は外生的に与えている。日本を対象とした分析であるので、日本の産業、家計を対象とした値を用いるのが望ましいが、適当な値が入手できないため、Böhringer et al. (1997)、Rutherford et al. (2002)、Rutherford and Light (2002) 等で使われている値を参考に決定している (表 3 参照)。また、生産関数内の労働・資本の代替の弾力性と Armington 弾力性についても、日本を対象とした数値を入手できないので、 GTAP version 5[17] の値を使っている (表 4 と表 5)。η、σ_{EE}、σ_{FE} についても財・部門別に異なった値を想定するのが本来は望ましいが、これも適当な値を入手するのが難しいので、全ての財・部門に関して同じ値を想定している。

表 3: 弾力性パラメータの値

記号	説明	値
η	国内供給と輸出供給の間の限界変形率	4
σ_{FE}	エネルギー財と本源的要素の間の代替の弾力性	0.5
σ_{Fi}	部門 i における資本と労働の間の代替の弾力性	表 5 参照
σ_{EE}	エネルギー財の間の代替の弾力性	0.5
σ_{Ai}	財 i の Armington 弾力性	表 4 参照
σ_{LC}	余暇と消費の間の代替の弾力性 ($*$)	
σ_{CC}	消費におけるエネルギー財と非エネルギー財の間の代替の弾力性	0.3
σ_{EC}	エネルギー財の間の代替の弾力性	2
σ_C	非エネルギー財の間の代替の弾力性	1
σ_U	異時点間の代替の弾力性	0.5

$*\sigma_{\mathrm{LC}}$ は労働供給の賃金弾力性からカリブレートされる。

表 4: 財別の Armington 弾力性の値 (σ_{Ai})

財	値
AGR, FOO, TET	2.2
OMI, LIM, COC, SLA, CRU, NAT, IAM, MAC, OIP, ELE, GAS, SWW	2.8
PPP	1.8
CHM, PET, OPP, COK, CSC, CON, COM, RES, TCB, CAB, PUB, SER	1.9

[17] See <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/>

表 5: 部門別の労働と資本の間の代替の弾力性 (σ_{Fi})

部門	値
AGR, FOO	0.237
OMI, LIM, COC, SLA, CRU, NAT	0.2
TET, PPP, CHM, PET, OPP, COK, CSC, IAM, MAC, OIP	1.26
ELE, GAS, SWW, RES, TCB, PUB, CON, SER,	1.4
COM	1.68

3.2 静学的なカリブレーション

カリブレーションにより決定するパラメータ・変数には静学的なものと動学的なものがあるが、このうち、静学的なものはベンチマークデータよりカリブレートすることができる。こうしてカリブレートしたパラメータは以下のものである。

[1] CES 関数内のシェアパラメータ (α_i^F、α_i^X、α_i^{FL} 等)

[2] 期間効用関数内の余暇と合成消費の代替の弾力性 (σ_{LC})

3.2.1 CES 関数のシェアパラメータ

生産関数、効用関数、Armington 統合関数等には、 α で表わされるシェアパラメータと呼ばれるパラメータが存在する。これらのシェアパラメータについては、通常の AGE 分析と全く同じようにカリブレートしている[18]。

3.2.2 期間効用関数内の余暇と合成消費の代替の弾力性

代替の弾力性は、基本的には外生的に与えているが、期間効用関数内の余暇と合成消費の代替の弾力性 σ_{LC} だけはカリブレートしている。方法としては、基準年における労働供給の賃金弾力性 (ε_L) を外生的に指定することで、α^{LC} をカリブレートするという、AGE 分析でよく用いられる方法を採用している[19]。ε_L の値としては別所他 (2003) で使われている $\varepsilon_L = 0.19$ という値を前提とした[20]。カリブレートの具体的な手順は以下の通りである。

まず、LE^U で余暇の非補償需要を表すものとする。(13) 式より、LE^U は次式で表せる。

$$LE^U = \left[\frac{\alpha^{\mathrm{LE}}}{p^{\mathrm{LE}}}\right]^{\sigma_{\mathrm{LC}}} \frac{X}{(\alpha^{\mathrm{LE}})^{\sigma_{\mathrm{LC}}}(p^{\mathrm{LE}})^{1-\sigma_{\mathrm{LC}}} + (1-\alpha^{\mathrm{LE}})^{\sigma_{\mathrm{LC}}}(p^{\mathrm{CC}})^{1-\sigma_{\mathrm{LC}}}}$$

ここで、$X \equiv p^{\mathrm{LE}}\bar{L} + r^{\mathrm{KE}}K + r\mathrm{NA}^H + \mathrm{TRN} - \mathrm{SAVE}^H$ は所得から貯蓄額を差し引いたものを表している。変数は全て基準年のものを表すものとし、時間を表すインデックス s は省略している。この余暇需要より、余暇の賃金弾力性 $\varepsilon_{\mathrm{LE}}$ は次式となる。

$$\varepsilon_{\mathrm{LE}} \equiv \frac{\ln LE^U}{\ln p^{\mathrm{LE}}} = -\left[1 - \frac{p^{\mathrm{LE}}LE}{X}\right]\sigma_{\mathrm{LC}} + \frac{p^{\mathrm{LE}}L}{X}$$

[18] 例えば、Rutherford (1998)、Shoven and Whalley (1992, p. 115) 等を参照。

[19] 例えば、Shoven and Whalley (1992) 参照。

[20] 別所他 (2003) は、Asano (1997) による補償労働供給の弾力性の推定値 0.39 と Pencavel (1986) による所得効果の値 −0.2 から非補償労働供給の弾力性を $\varepsilon_L = 0.39 - 0.2 = 0.19$ と導出している。

これを σ_{LC} について解いてやれば、σ_{LC} と ε_{LE} の関係を導ける。

$$\sigma_{\mathrm{LC}} = \frac{1}{1 - p^{\mathrm{LE}}LE/X}\left[-\varepsilon_{\mathrm{LE}} + \frac{p^{\mathrm{LE}}L}{X}\right] \tag{88}$$

一方、労働供給 L は $L = \bar{L} - LE$ であるので、労働供給の賃金弾力性は次式で与えらえる。

$$\varepsilon_L \equiv \frac{\ln L}{\ln p^{\mathrm{LE}}} = -\varepsilon_{\mathrm{LE}}\frac{LE}{L} \tag{89}$$

(88) 式と (89) 式より、σ_{LC} と ε_L の関係を導出できる。

$$\sigma_{\mathrm{LC}} = \frac{1}{1 - p^{\mathrm{LE}}LE/X}\left[\varepsilon_L\frac{L}{LE} + \frac{p^{\mathrm{LE}}L}{X}\right]$$

ベンチマークの p^{LE}、$\bar{L}$、L、X を与え、さらに労働供給の賃金弾力性 ε_L の値を決定すれば、この関係によって、余暇と消費の代替の弾力性 σ_{LC} をカリブレートすることができる。

3.3 基準均衡

排出規制が存在しない動学均衡 (以下、基準均衡) は以下の手順で導出する。

Step 1: 成長率ゼロの定常状態均衡を想定し、パラメータ・変数をカリブレートする。

Step 2: Step 1 において成長率ゼロと仮定していた総労働時間の経路を望ましい水準に変更する。

Step 3: その上で、モデルから導かれる動学均衡における GDP 成長率、二酸化炭素の排出量の成長率がターゲットとして与える成長率に等しくなるように、技術進歩率をカリブレートする。同時に、政府支出の経路についてはベンチマーク時点での、 政府支出・GDP 比率が常に保たれるように調整する。

3.3.1 Step 1

まず、Step 1 では、全ての外生変数が一定であると仮定した上で、定常状態均衡が成立しているものと仮定する。ここで一定と仮定する外生変数は以下の 3 つである。

[1] 総労働時間 $\bar{L}_s$

[2] 政府支出 G_s

[3] 政府から家計への実質トランスファー $\frac{\mathrm{TRN}_s}{p_s^G}$

また、これらの変数とは別に、本稿では、世界利子率 r_s^{ROW} は外生的で常に一定であると仮定する。日本は海外と自由に資金の貸し借りをおこなうことができると仮定しているので、国内利子率 r_s も一定の世界利子率に等しくなる。以下、国内利子率と世界利子率を区別せず単に r_s、あるいは r と表現する。

定常状態を仮定するので、全ての数量変数、価格変数は時間を通じて常に一定となる。ただし、現在価格表示をしている期間効用の価格指数 p_s^W だけは、一定の利子率で低下していく。

$$p_{s+1}^W = \frac{p_s^W}{1+r} \tag{90}$$

これは、定常状態では経常価格が一定となるので現在価格が利子率で割引きされる分だけ低下していくということを意味している。シミュレーションにおいては、一部の価格を除き基準年における市場価格を全て 1 と置いている[21]。

以上の仮定から、期間効用 W_s と期間効用の価格指数 p_s^W の経路が決まる。これによって、まず生涯効用関数の割引き要因 (α_s^W) がカリブレートできる。生涯効用関数 (9) 内のパラメータ α_s^W は割引き要因を表わすパラメータであるが、形式としては他の CES 関数内のシェアパラメータと全く同じである。よって、W_s と p_s^W が決まれば、シェアパラメータと同じ方法で α_s^W をカリブレートすることができるからである。

次に、資本減耗率等のパラメータ、及びベンチマークにおける利子率 r、資本ストック K_t、レンタルプライス r_t^K 等の変数の値をカリブレートする。これには定常状態という情報を利用する。基準均衡を定常状態にあるものと仮定しているが、定常状態が成立するためには変数間で満たされていなければならない条件が存在する。これらの条件を利用して変数・パラメータをカリブレートすることができる。なお、カリブレートするパラメータ、変数のうち、資本減耗率 δ は、ここでカリブレートした値のまま時間の経過を通じて一定であり、かつ外生的なショックが与えられたとしても不変である。また、利子率 r も世界利子率で一定と仮定しているので不変である。一方、r_t^K は外生的なショックが与えられた場合には変化しうる変数である。

カリブレートの具体的な手順は以下の通りである。まず、定常状態では資本ストックは一定となるので、$K_{s+1} = K_s$ が成立する。これを用いて、$K_{s+1} = (1-\delta)K_s + J_s$ を変形すると、

$$J_s/K_s = \delta \tag{91}$$

が成り立つ。定常状態であるには、基準年における純投資 J_t と資本ストック K_t がこの式を満たしていなければならない。

一方、純投資 J_s と粗投資 I_s の間には

$$I_s = J_s\left[1 + \frac{\phi}{2}\frac{J_s}{K_s}\right]$$

という関係が存在したが、これは (91) 式より次のように書き換えることができる。

$$I_s = \delta K_s\left[1 + \frac{\phi}{2}\delta\right]$$

さらに、基準年における投資財の価格 p_t^I を 1 と基準化するため、投資量 I_t は投資額 V_t^I に等しくなり、

$$V_t^I = \delta K_s\left[1 + \frac{\phi}{2}\delta\right] \tag{92}$$

となる。これがまず第一の条件である。

次は、レンタルプライスに関して定常状態に満たされる関係を考えよう。基準年が定常状態であるなら、利子率 r、レンタルプライス r_t^{KE}、資本減耗率 δ、調整費用プレミアムの間に (42) 式が成立しなければならないが、定常状態では価格は一定となるので $p_{t-1}^K = p_t^K$ となり、次式が成立する。

$$r_t^{\mathrm{KE}} + p_t^K(1-\delta) + p_t^{\mathrm{KA}} = (1+r_t)p_t^K \tag{93}$$

一方、(41) 式の関係より

$$p_t^K = p_t^I[1+\phi\delta] = 1+\phi\delta$$

[21] 基準年における値を 1 と置けないものにはレンタルプライスがある。これは後の議論をを参照して欲しい。また、市場価格を 1 と置いたとしても生産者価格、消費者価格は課税、補助金の分だけ 1 より乖離する。

となる。これを (93) 式に代入してやると、定常状態である基準年にレンタルプライスが満たさなければならない条件を導ける。

$$r_t^{\mathrm{KE}} = [1+\phi\delta](r+\delta) - p_t^{\mathrm{KA}} \tag{94}$$

ここで、調整費用プレミアムの基準年の値 p_t^{KA} は、(38) 式の定義、及び (91) 式より

$$p_t^{\mathrm{KA}} = p_t^I \frac{\phi}{2}\left[\frac{J_t}{K_t}\right]^2 = \frac{\phi}{2}\delta^2 \tag{95}$$

で与えられる。

最後に、レンタルプライス r_t^{KE}、資本ストック K_t、資本ストックへの支払い額 V_t^K の間に以下の関係が成立していなければならない。

$$r_t^{\mathrm{KE}} K_t = V_t^K \tag{96}$$

以上の (92) 式、(94)–(96) 式の 4 つが、定常状態であるために成立していなければならない条件である[22]。 4 つの条件に現れる変数のうち、資本ストックへの支払い V_t^K、粗投資額 V_t^I はベンチマークデータより既知の値である。また、ϕ というパラメータについては、外生的に値を設定している。残りのパラメータ、変数である r、δ、r_t^K、K_t のカリブレーションは、V_t^K と V_t^I の値を所与とした上で、(92) 式、(94)–(96) を制約条件とした次の最適化問題を解くことでおこなわれる[23]。

$$\begin{aligned}
\min_{r,\delta,r_t^{\mathrm{KE}},K_t,p_t^{\mathrm{KA}}} \quad & \mathrm{Loss} = \left[\frac{r-\bar{r}}{\bar{r}}\right]^2 + \left[\frac{\delta-\bar{\delta}}{\bar{\delta}}\right]^2 \\
\text{s.t.} \quad & V_t^I = \delta K_s\left[1+\phi\delta/2\right] \\
& r_t^{\mathrm{KE}} = [1+\phi\delta](r+\delta) - p_t^{\mathrm{KA}} \\
& p_t^{\mathrm{KA}} = \phi\delta^2/2 \\
& r_t^{\mathrm{KE}} K_t = V_t^K
\end{aligned} \tag{97}$$

ここで、$\bar{r}$、$\bar{\delta}$ は外生的に与える利子率、資本減耗率の目標値であり、目的関数 (損失関数) は各パラメータの目標値からの乖離率の自乗和である。このように変数・パラメータをカリブレートすることにより、基準均衡が定常状態となることが保証される。実際にカリブレートをおこなう際には、目標値として、$\bar{r} = 0.03$、$\bar{\delta} = 0.07$ を設定している。カリブレートの結果は、$r = 0.032$、$\delta = 0.064$、$r_t^{\mathrm{KE}} = 0.098$、$K_t = 1561$、$p_t^{\mathrm{KA}} = 0.001$ である。

3.3.2 Step 2

Step 1 では、成長率ゼロの定常状態を成立させるため、総労働時間 $\bar{L}_s$ は一定と仮定していた。ここでは、これを望ましい水準に変更する。変更後の総労働時間の経路は、ベンチマークにおける総労働時間に対し労働人口の予測成長率を適用することで導出している。労働人口の予測成長率は、1995 年から 2050 年までの値に関しては、八代他 (1997) の労働人口の予測値から求めた。ただし、八代他 (1997) は 10 年毎の予測値しか掲載していないため、成長率も 10 年間の成長率を平均成長率に直したものとなる。一方、2051 年以後は、労働人口の予測成長率を入手できないため、国立社会保障・人口問題研究所 (2002) による 15 歳–65 歳人口の予測成長率を代理変数に使った。以上のようにして求められた総労働時間成長率は表 6 の通りである。表からすぐにわかるように日本の労働人口は一貫して減少していくと予測されている。

[22] 正確には、 (96) は定常状態でなくとも均衡では成立していなければならない。
[23] このカリブレーションは Böhringer et al. (1997) を参考にしている。

表 6: 総労働時間成長率 (%)

Year	Rate	Year	Rate	Year	Rate	Year	Rate
1995	−0.17	2020	−0.80	2045	−0.96	2070	−1.02
1996	−0.17	2021	−0.80	2046	−0.96	2071	−1.00
1997	−0.17	2022	−0.80	2047	−0.96	2072	−0.99
1998	−0.17	2023	−0.80	2048	−0.96	2073	−0.96
1999	−0.17	2024	−0.80	2049	−0.96	2074	−0.95
2000	−0.66	2025	−0.80	2050	−1.04	2075	−0.93
2001	−0.66	2026	−0.80	2051	−1.02	2076	−0.92
2002	−0.66	2027	−0.80	2052	−0.98	2077	−0.89
2003	−0.66	2028	−0.80	2053	−0.92	2078	−0.88
2004	−0.66	2029	−0.80	2054	−0.91	2079	−0.86
2005	−0.66	2030	−1.10	2055	−0.88	2080	−0.84
2006	−0.66	2031	−1.10	2056	−0.91	2081	−0.82
2007	−0.66	2032	−1.10	2057	−0.90	2082	−0.80
2008	−0.66	2033	−1.10	2058	−0.95	2083	−0.78
2009	−0.66	2034	−1.10	2059	−0.97	2084	−0.76
2010	−0.87	2035	−1.10	2060	−0.97	2085	−0.74
2011	−0.87	2036	−1.10	2061	−1.00	2086	−0.73
2012	−0.87	2037	−1.10	2062	−1.03	2087	−0.72
2013	−0.87	2038	−1.10	2063	−1.00	2088	−0.70
2014	−0.87	2039	−1.10	2064	−1.03	2089	−0.70
2015	−0.87	2040	−0.96	2065	−1.08	2090	−0.69
2016	−0.87	2041	−0.96	2066	−1.08	2091	−0.68
2017	−0.87	2042	−0.96	2067	−1.07	2092	−0.67
2018	−0.87	2043	−0.96	2068	−1.06	2093	−0.67
2019	−0.87	2044	−0.96	2069	−1.04	2094	−0.66

3.3.3　Step 3

残りの外生変数は、技術水準と政府支出の二つである。この二つを決めるには次の二つの方法が考えられる。

[1] モデルとは無関係に外生的に決める。

[2] モデル内でカリブレートする。

[1] のアプローチの利点としては、技術水準、政府支出の水準を自由に決定することができるという点がある。また、一旦、外生的に決定すれば、あとはモデルを単純に解くだけで、基準均衡を求められるという利点もある。一方、[1] では、技術水準、政府支出の予測値を別途用意する必要がでてくる。また、外生的に与えられた技術水準、政府支出をもとに導出した基準均衡が現実に即したものになるとは限らないという問題もある。例えば、基準均衡で実現する GDP の経路が、他の GDP の予測値とは大きくかけ離れたものとなってしまうというような問題である。一方、[2] の利点は別途に技術水準、政府支出の予測値を入手する必要がないということと、モデル内の重要な変数の経路が一般的な予測値と乖離しないように調整することができるということである。しかし、[2] では [1] の持っている利点である、技術水準、政府支出についての自由度と、モデル解く容易さという利点が失なわれてしまう。

以上のように、どちらのアプローチもそれぞれ利点・欠点を持っており、片方が望ましいとは一概に言えないが、技術水準、政府支出の適切な予測値を入手するのが非常に難しいという理由から、ここではアプローチ [2] を採用することにした。具体的な方法を以下の通りである。

まず、考慮する技術進歩は、生産における primary factor-augmented なものと、energy augmented なものの二つを考える。これにより、Q^{FE}_{si} が以下のように修正される。

$$Q^{\mathrm{FE}}_{si} = \left[\alpha^F_i \left(\beta^F_s Q^F_{si}\right)^{\frac{\sigma_{\mathrm{FE}}-1}{\sigma_{\mathrm{FE}}}} + (1-\alpha^F_i)\left(\beta^E_s Q^{\mathrm{EE}}_{si}\right)^{\frac{\sigma_{\mathrm{FE}}-1}{\sigma_{\mathrm{FE}}}}\right]^{\frac{\sigma_{\mathrm{FE}}}{\sigma_{\mathrm{FE}}-1}} \tag{98}$$

ここで、β^F_s と β^E_s がそれぞれ primary factor と energy inputs に関する技術水準を表しており、β^F_s と β^E_s の上昇が技術進歩を意味する。この Q^{FE}_{si} の修正に従い、価格指数、需要関数も修正されることになる。本来、技術進歩は部門毎に異なるのが普通であるが、ここではカリブレーションという方法をとることから部門別に技術進歩を分けるのが難しいため、全ての部門で等しいだけの技術進歩が生じると仮定している。これは、β^F_s と β^E_s に添字 i が付かないことにより表されている。

また、ここでは技術進歩は常に一定の率で起こると仮定する。つまり、primary factor と energy の技術進歩率をそれぞれ ξ^F と ξ^E とすると、

$$\beta^F_s = (1+\xi^F)^{s-t}\beta^F_t \qquad \beta^E_s = (1+\xi^E)^{s-t}\beta^E_t \tag{99}$$

が成り立つとする。基準年における技術水準 β^F_t と β^E_t はともに 1 に等しいと置くので、β^F_s、β^E_s は ξ^F と ξ^E の関数となることになる。以下のカリブレーションではこの二つの変数 ξ^F と ξ^E をカリブレートすることになる。

結局、カリブレートする変数は二つの技術進歩率 ξ^F、ξ^E と、毎年の政府支出額 G_s ということになる。これらの変数をカリブレートするには各変数が満たすべき条件を与えてやる必要がある。ここでは以下のような条件のもとでカリブレーションをおこなった。

[1] ξ^F については、GDP のターゲットを与え、モデルから導出される GDP がターゲット値に等しくなるように決定する。

[2] ξ^E については、二酸化炭素の排出量 のターゲットを与え、モデルから導出される排出量 がターゲット値に等しくなるように決定する。

[3] G_s については、政府支出額と GDP の比率が基準均衡の値で一定となるように決定する[24]。

これらのカリブレーションは別々におこなわれるのではなく、全て同時におこなわれる。[1] と [2] でターゲットとして用いる GDP 成長率と CO2 成長率は AIM/Trend model から導かれる予測値を利用している (AIM Project Team, 2002)。AIM/Trend model では、2032 年までの GDP と CO2 排出量を予測することができる。この AIM/Trend model から導かれる 1995 年から 2032 年までの GDP と CO2 排出量の成長率にモデルから導かれる 1995 年から 2032 年までの GDP と CO2 排出量の成長率が一致するように ξ^F と ξ^E をカリブレートしている。一方、G_s の決定の際には、各時点における一括の税の額を変更することで税収を調整するという作業を同時におこなっている。

後の二重の配当を分析するシミュレーションは、この Step 3 でカリブレートされた技術進歩率、政府支出 (及び、政府支出をカリブレートする際に調整した一括税) が外生的に一定と仮定された上でおこなわれる。

3.4 有限期間化

これまでは、モデルの記述において無限期間を前提としてきた。しかし，シミュレーションをおこなう際には無限期間のままで扱うことができないため，有限期間にする必要がある。

3.4.1 終端期間における投資への制約

モデルを有限期間の形式にする方法はいくつかあるが，ここでは Lau et al. (2002) にならい

- 終端期間 (terminal period) における投資の増加率に制約を設ける。

という方法をとる。投資の増加率に制約を設けるのは，終端期間に近い期間における投資額が極端に減少するのを防ぐためである。そもそも終端期間を設定してしまうと，終端期間以後に資本ストックを残しても全く意味がなくなるため，家計は終端期間における資本ストックをできるだけ減らそうとする。この結果，終端期間に近くなるほど投資が極端に減少するという状況が生じてしまう。このような投資の異常な動きを排除するためには，終端期間における投資になんらかの制約を設ける必要がでてくるのである。具体的には次のような制約を置いてモデルを解いている。

$$\frac{J_T}{J_{T-1}} = \frac{W_T}{W_{T-1}} \tag{100}$$

ここで T は終端期間を表わしている。つまり，終端期間における純投資の成長率は終端期間における期間効用の成長率と等しくなっていなければならないという制約である。この制約を設けることにより，有限期間で解いたとしても無限期間のモデルに近い投資・資本ストックの経路を導出することができる[25]。

3.4.2 有限期間形式での予算制約

終端期間の設置によって，生涯効用関数，家計・政府の異時点間予算制約式は全て有限期間のものとなる。生涯効用関数は単に t 期から T 期までの期間効用に依存するという形に修正すればよい。家計

[24] つまり、s 期の GDP を GDP_s としたとき、$p^G_s G_s/\mathrm{GDP}_s$ が常に $p^G_t G_t/\mathrm{GDP}_t$ に等しくなるように決定している。

[25] この制約がもたらす結果については Lau et al. (2002) を参照。

の予算制約式は、終端期間後の資本ストックについての修正を加える必要があり、(53) 式は以下のように修正される。

$$\sum_{s=t}^{T} p_s^W W_s = \left[r_t^{\mathrm{KE}} + p_t^K(1-\delta) + p_t^{\mathrm{KA}}\right] K_t + \mathrm{NA}_t^H$$
$$-R_{t,T}\left[p_T^K K_{T+1} + \mathrm{NA}_{T+1}^H\right] + \sum_{s=t}^{T}\left[p_s^{\mathrm{LE}}\bar{L}_s + \mathrm{TRN}_s\right]$$

K_{T+1}、NA_{T+1}^H はそれぞれ終端期間より一期間後 (post–terminal period) の資本ストック、純資産残高を表している。無限期間のモデルでは、no Ponzi game 条件により $R_{t,T}[p_T^K K_{T+1} + \mathrm{NA}_{T+1}^H]$ がゼロに収束すると仮定されていたが、有限期間の場合にはこれも含める必要がある。ただし、シミュレーションにおいては、$\mathrm{NA}_t^H = \mathrm{NA}_{T+1}^H = 0$、つまり、家計は初期時点でも終端後時点でも (資本以外の) 純資産を持たないと仮定している。なお、K_{T+1} の値は (100) 式で J_T が決まった結果として決まることになる。

政府の異時点間予算制約、経常収支についても，∞ を終端期間 T に置き換えればよい[26]。

$$\sum_{s=t}^{T} R_{t,s}\left[p_s^G G_s + \mathrm{TRN}_s\right] = \sum_{s=t}^{T} R_{t,s} M_s^G \tag{101}$$

$$\sum_{s=t}^{T}\sum_i p_s^{\mathrm{RF}} X_{si} = \sum_{s=t}^{T}\sum_i p_s^{\mathrm{RF}} M_{si} \tag{102}$$

4 MEB の計算

以下では限界超過負担 (marginal excess burden、MEB) の計算方法について説明する。MEB の計算方法としては、(1) differential approach (2) balanced-budget approach の二つがある (Ballard, 1990)。両者の主な違いは次のような点にある。まず、(1) の方法では、政府支出が一定と仮定されるため代替効果しか働かなくなる。よって、(1) は異なる税の間の歪みの大きさを比較するのに向いている。一方、(2) の方法では政府支出を変化させるという想定が置かれる。これは政府支出として利用される資源の量が変化するという効果 (所得効果) ももたらすことになる。よって、ある特定の公共事業の費用を評価するのに向いている。ここでは、ある特定の公共事業の費用を評価するのではなく、税の間の歪みを比較することが主な目的であるので、(1) の differential approach をとることにする。具体的には次のような手順で計算をおこなった。

[1] まず、税率を 1% 上昇させる。

[2] そのままでは税率変更前と比較し税収が増加するが、家計に対し一括のトランスファーをおこない税収を一定に保つ。

---

26 政府の予算制約については、(68) 式を仮定していた。これは有限期間の場合には、

$$(1+r_t)\mathrm{NA}_t^G = R_{t,T}\mathrm{NA}_{T+1}^G$$

となるが、シミュレーションでは、$\mathrm{NA}_t^G = 0$ と仮定しているので、NA_{T+1}^G もゼロである。
経常収支についても同様で、(84) 式は次式となる。

$$(1+r_t^{\mathrm{ROW}})\mathrm{NA}_t^F = R_{t,T}^{\mathrm{ROW}}\mathrm{NA}_{T+1}^F$$

これについてもシミュレーションでは、$(1+r_t^{\mathrm{ROW}})\mathrm{NA}_t^F = 0$ と仮定している。

[3] 税率変化にともなう家計の等価変分 EV、一括のトランスファーの変化額を求め、次式に従って MEB を計算する。

$$\mathrm{MEB} = -100 \times \frac{\mathrm{EV}}{\text{一括トランスファーの変化額}} \tag{103}$$

5 データ

この節では、シミュレーションのベンチマークとするデータの作成方法について説明をおこなう。元になるデータとしては、主に総務庁による『平成 7 年 (1995 年) 産業連関表』(総務庁 1999、以下『連関表』) を利用しているが、その他のデータも適宜利用している。

データの作成は以下の順序でおこなわれる。

[1] 部門統合

[2] 家計外消費支出の調整

[3] 付加価値データの作成・調整 (要素所得、生産への課税等)

[4] 最終需要データの作成・調整 (最終消費、投資、政府支出、輸出入等)

[5] 家計のデータの作成・調整 (消費、所得、家計への税、貯蓄、トランスファー等)

[6] その他の調整

5.1 部門統合

まず、『連関表』の 519 行 × 403 列取引基本表を 35 部門表に統合する。統合後の 35 部門は表 7 の通りである。最終的には 27 部門に統合し、その上でシミュレーションをおこなっているが、データの調整はこの 35 部門表の形でおこなっていく。

5.2 家計外消費支出

『連関表』には、企業の交際費、接待費等を表す「家計外消費支出」が付加価値部門と最終需要部門 (外生部門) に計上されているが、通常の SNA においては外生部門ではなく、中間投入と同じように内生部門に計上されている。外生部門に計上する形式でも扱えないことはないが、ここでは通常の SNA 統計と整合的となるように、外生部門にある「家計外消費支出」を、内生部門の「サービス業」に統合する。統合の方法は KDB (Keio Economic Observatory Data Base) の方法に従う (黒田他, 1997, pp. 49)。この調整により、付加価値、及び最終需要が減少すると同時に、サービス部門の産出額が増加する。家計外消費支出では排出源財を消費しないので、数量データには調整はおこなわない。

5.3 付加価値データの調整

ここまでのところ、各部門の付加価値は、

- 雇用者所得
- 社会保障雇主負担

表 7: 部門・財の分類 (35 部門)

記号	部門の説明
AGR	農林水産業
LIM	石灰石
COC	原料炭
SLA	一般炭
CRU	原油
NAT	天然ガス
OMI	その他の鉱業
FOO	食料品
TET	繊維製品
PPP	パルプ・紙・木製品
CHM	化学製品
PET	石油製品
OPP	その他の石油製品
COK	コークス
CSC	窯業・土石製品
IAS	鉄鋼
NFM	非鉄金属
MET	金属製品
GMA	一般機械
EMA	電気機械
TRE	輸送機械
PIN	精密機械
OIP	その他の工業製品
CON	建設
ELE	電力
GAS	都市ガス
SWW	熱供給・水道・廃棄物処理
COM	商業
FAI	金融・保険
RES	不動産
TRN	運輸
CAB	通信・放送
PUB	公務
OPS	民間非営利団体
SER	サービス業

- 営業余剰
- 減価償却引当

- 間接税
- 補助金 (控除)

の 6 つの項目に分けられている[27]。我々のモデルでは、この付加価値のうち「間接税」、「補助金」を除いた部分が、本源的要素 (資本・労働) に対する報酬として支払われるものと仮定する。このモデル上の仮定に整合的になるように、各部門の付加価値を次のように分割し直す。

- 粗労働所得
- 粗資本所得
- 間接税
- 補助金 (控除)

ここで、「粗労働所得」、「粗資本所得」は、それぞれ労働へ支払われる税込みの報酬、資本へ支払われる税込みの報酬を表している。なお、資本に対する報酬とは、資本をレンタルしたことに対する支払いである。モデルの部分で説明したように、本稿では家計が資本を所有し、それを産業がレンタルするという想定をしている。このため資本に対する報酬はレンタルに対する支払いという形になる。

分割の方法であるが、まず基本的には

$$\begin{array}{lcl} \text{雇用者所得} + \text{社会保障雇主負担} & \longrightarrow & \text{粗労働所得} \\ \text{営業余剰} + \text{減価償却引当} & \longrightarrow & \text{粗資本所得} \end{array}$$

とする。すなわち、「雇用者所得」と「社会保障雇主負担」の部分は労働への支払い、「営業余剰」と「減価償却引当」の部分は資本への支払いというように分類する。

上の分割で問題になるのは、営業余剰の中には個人企業の所得が含まれていることである。この個人企業の所得には、事業主、あるいは家族従業員の労働への対価も含まれているので、これを全て粗資本所得とするのはまずい。より正確に、労働所得、資本所得を捉えるには、営業余剰内の労働への支払いを労働所得へ含めるという調整をおこなう必要がある。

5.3.1 営業余剰内の労働への支払い

産業別の営業余剰内の労働への支払いを一から作成するには、様々なデータが必要となり、非常に手間がかかる。そこで本稿では、KDB のデータの情報を利用して、間接的に作成するという方法をとっている。KDB では産業別に、「産業別の営業余剰内の労働への支払い」を求めている。ただし、KDB は 92 年のデータであるので、そのまま 95 年の連関表にあてはめることはできない。そこで、以下のような方法を用いて、KDB データを元に 1995 年の「営業余剰」内の労働への支払いを導出する。

[1] KDB における、各部門の労働報酬 (営業余剰内の労働への支払いは除く) と営業余剰内の労働への支払いの比率 β_i を求める。

$$\beta_i = \frac{\text{部門 } i \text{ の営業余剰内の労働への支払い}}{\text{部門 } i \text{ の労働報酬}} \tag{104}$$

[2] β_i を『連関表』の部門 i の「雇用者所得 + 社会保障雇主負担」にかけあわせる。

$$\text{営業余剰内の労働報酬} = \beta_i \times \text{『連関表』の「雇用者所得} + \text{社会保障雇主負担」} \tag{105}$$

これを 1995 年における部門 i の営業余剰内の労働報酬とする。

[27] 現在の SNA では、「雇用者所得」、「営業余剰」、「減価償却引当」には、それぞれ「雇用者報酬」、「営業余剰・混合所得」、「固定資本減耗」という用語が使われているが、ここでは 1995 年『連関表』の用語をそのまま使うことにする。

5.3.2 労働所得

以上より、各部門の粗労働所得が次式で決まる。

$$\text{粗労働所得} = \text{雇用者所得} + \text{社会保障雇主負担} + \text{営業余剰内の労働への支払い}$$

社会保障雇主負担は、年金や保険等の社会保障の支払いのうち企業側によって負担されている部分を指している。これは、厳密には税金とは異なるが、労働の雇用に対して政府に支払わねばならないという意味で、税金と同じような役割を果たしている。そこで、本稿では社会保障雇主負担を生産における労働への課税とみなし「労働税」と呼ぶことにする。よって、粗労働所得は

$$\text{粗労働所得} = \text{雇用者所得} + \text{営業余剰内の労働への支払い} + \text{労働税}$$

となる。さらに、粗労働所得から労働税を差し引いた部分を「純労働所得」と呼ぶことにする。すなわち、

$$\text{純労働所得} = \text{粗労働所得} - \text{労働税}$$

である。これが労働への対価として家計に支払われることになる。

5.3.3 資本所得

次に、各部門の資本に対する支払いである資本所得のデータについて説明する。税を含んだ上での資本に対する支払いである粗資本所得は次式で決まる。

$$\text{粗資本所得} = \text{営業余剰} - \text{営業余剰内の労働への支払い} + \text{減価償却引当}$$

「減価償却引当」を資本に対する支払いとして「粗資本所得」に含めるということに注意されたい。

5.3.4 資本税

上記の資本への支払いに対し税金が課されているものとし、それを「資本税」と呼ぶことにする。本稿では、資本税に対応する現実の税として、国税である法人税、及び地方税である法人住民税を考慮する。両者は区別せずに一括して資本税と呼ぶ。法人事業税も、法人税、法人住民税とほぼ同じ課税ベースを持つ税であるが、『連関表』ではその支払い額が付加価値部門の「間接税」の部分に含まれてしまっているのでここでは考慮しない。各部門の資本税は以下のように導出する。

[1] まず、『財政金融統計月報 540 号』により 1995 年度の法人税、及び法人住民税額の総額を求める。これは表 8 の通り、16.9 兆円となる。

[2] 一方、『国税庁統計年報』 (国税庁 1997、以下『国税』) 平成 7 年度版に 21 産業別の法人税支払い額が掲載されている。

[3] 総額が、上で求めた法人税・法人住民税額の総計 16.9 兆円となるように、『国税』の各産業の法人税額をスケール調整する[28]。これを各産業の資本税額とする。

[4] 『国税』の部門分類は、我々のデータの 35 部門分類より荒く、一部の部門は統合されてしまっている。これらの統合されてしまっている部門については営業余剰のシェアに応じて、資本税額を振り分ける。

[28] 「スケール調整」とは、その総額が外生的な与えられた値に等しくなるように、個々の要素を比例調整することである。例えば、$\{x_1, \cdots, x_n\}$ の総額が $\bar{x}$ に等しくなるようにスケール調整するとは、$\alpha = \bar{x}/\sum_i x_i$ によって係数 α を求め、$x'_i = \alpha x_i$ を新しい x_i の値とすることである。

表 8: 1995 年度の法人税、法人住民税額：『財政金融統計月報 540 号』

税	税額 (兆円)
法人税額	13.7
道府県民税 (法人)	0.8
市町村民税 (法人)	2.3
合計	16.9

5.3.5 生産に対する間接税

ここまで各部門の「間接税」と「経常補助金」を分けているが、以下では、ネットの間接税として考慮し、「生産に対する間接税」と呼ぶことにする。これは、モデル上では、生産物に対する従価税として扱う。なお、『連関表』のデータでは、消費税の支払いはこの部分に含まれているが、我々はこの段階では消費税を考慮しない。

5.4 最終需要

以下では、最終需要側のデータの作成について説明していく。基本的に、最終需要のデータは『連関表』の値をそのまま利用している。

- 政府支出
- 投資
- 輸出入
- 消費

なお、『連関表』の最終需要内には負の値をとる要素がいくつか含まれている[29]。負の要素が現れるのは次の二つの理由による。(1) 在庫の取り崩しは負の要素として計上されるため、在庫の増加が在庫の取り崩しを下回っている財については、在庫純増の値が負になる。(2) 『連関表』は屑を処理するのにストーン方式を利用しているため、屑の排出は負要素として計上される。よって、屑として排出される量が多い財については要素が負となりうる。各項目を導出する前に、これらの負の要素を除去するようにデータを調整する。具体的には、(1) 負の要素を持つ項目はゼロとする、(2) 各財の総最終需要額が不変となるように、輸入額を増加させるという方法をとっている。

5.4.1 政府支出

我々のモデルでの「政府支出」は、『連関表』の「政府最終集合消費支出」と「政府固定資本形成」の和と定義する。

$$\text{政府支出} = \text{政府最終集合消費支出} + \text{政府固定資本形成}$$

最終消費だけでなく投資 (固定資本形成) の分も含まれていることに注意されたい。

[29] 輸入額、輸入関税は元々負となるようになっているので除く。

5.4.2　投資

モデルでの「投資額」は、『連関表』の「民間固定資本形成」と「在庫純増」の和と定義する。

$$「粗投資」= 民間固定資本形成 + 在庫純増$$

5.4.3　輸出入

輸入額は基本的に『連関表』の値をそのまま用いる。ただし、負の値を除去した際に、輸入額で調整をおこなっているため、元々の連関表の値とは幾分乖離している。輸入品に対する税には、「関税」と「輸入品商品税」があるが、これは一つにまとめ「輸入関税」とする[30]。一方、輸出額については調整を加える。本来、1995年における日本の経常収支は黒字の状態にあるが、ここではモデルの便宜上、経常収支がバランスするように輸出額を調整する。具体的には、総輸出額が総輸入額に等しくなるように、各財の輸出額をスケール調整し減少させる。この調整により、各財の最終需要が減少することになるので、バランスを回復するために、輸出額が減少した分だけ消費額を増加させる。

5.4.4　消費

次に、モデルでの「家計の消費支出総額」を導出する。まず、家計が実際に支払っている額を「家計の粗消費支出」、家計が実際に消費している額を「家計の純消費支出」と呼ぶことにする。両者を区別するのは、消費には消費税が課されるとともに、補助金が拠出されるからである。両者は具体的には次式で導出される。

$$「家計の純消費支出総額」= 家計消費 + 政府個別消費$$
$$「家計の粗消費支出総額」= 家計消費 + 消費税$$

ここで、「家計消費」とは、『連関表』の「家計消費支出」と「非営利民間消費」の和である。注意して欲しいのは、『連関表』の消費には、実際の消費だけでなく帰属計算による消費も含まれているということである。この帰属計算分だけ『連関表』の消費額は現実の消費額よりも大きくなる。例えば、帰属家賃だけをとっても、『連関表』では約24兆円であり、現実の消費額よりも少くともこの額分だけ大きくなっている。

「政府個別消費」とは、医療費、教科書等のように、実際に消費するのは家計であるが、その(一部の)費用を政府が支出しているという財について、政府が負担している額を表している。その性質から、消費に対する補助金と同じようにみなせるため、本稿では家計の消費に対する補助金として扱い、「消費への補助金」と呼ぶことにする。

「消費税」は文字通り、消費に対する税であるが、ここでの扱い方には次の留意点がある。本来、日本の消費税は、産業側で付加価値に対し多段階で課されているものであり、実際に支払いをおこなっているのは産業である。このため、『連関表』においても、消費税の支払い額は付加価値部門の「間接税」の部分に計上されるという扱いになっている。しかし、我々のモデルでは、消費税は家計の消費に課されるという形式を仮定する。このためここの段階で消費税が入ってくる。

現実には付加価値を課税ベースとしている「消費税」を、家計の消費に対する税とみなすことによって、モデル上の課税ベースが現実の課税ベースと大きく乖離する可能性が出てくるが、これはさほど問題とはならないと思われる。というのは、付加価値が課税ベースであるといっても、輸出供給分、投資支出が控除されているので、結局は消費に対して課されているのと同じ効果になるはずだからである。

[30]「輸入商品税」の部分には、輸入された財に対して課された消費税が含まれているが、ここではそれを消費税とはみなさない。

ただし、産業サイドの「生産に対する間接税」の部分から消費税の支払い額を控除していないので[31]、消費税額が二重計算になっている問題は残る。

他の税については全て、税額と課税ベースの額を与えた上で、

$$税率 = \frac{税額}{課税ベース}$$

という関係により税率を導出している。これに対し、消費税は課税ベースと税率を外生的に与えることで税額を導出するという方法をとっている。課税ベースは「家計消費」の部分とし、税率としては 1995 年時の消費税率である 3 % を仮定している。この方法で計算した結果、消費税額は約 8.2 兆円となり、1995 年の実際の消費税額 5.8 兆円 (『国税』平成 7 年度版) よりも過大となる。過大となるのは以下のような理由によると考えられる。

- 帰属計算のため、課税ベースの消費額が実際の消費額よりも多い。
- 本来、存在するはずの益税を考慮していない。

5.5 家計

家計の消費額については、既に前節で導出している。ここでは、残りの家計に関連するデータを導出する。具体的には次のデータである。

- 所得
- 所得に対する税
- 貯蓄
- トランスファー

5.5.1 家計の所得

まず、家計の所得であるが、これは単純である。家計は労働、及び資本ストックを産業に対し供給することで報酬を得ている。労働供給からの所得を「家計の労働所得」、資本からの所得を「家計の資本所得」と呼ぶとすると、家計の労働所得は、産業サイドにおける各部門の純労働所得の和に等しく、家計の資本所得は、産業サイドにおける各部門の純資本所得の和に等しい。家計の労働所得、資本所得の和を家計の要素所得と呼ぶ。

5.5.2 家計の税

家計の要素所得は「労働所得」と「資本所得」に分けられているが、それぞれの所得に対し異なった税が課税されているものとする。労働所得への税、資本所得への税をそれぞれ「労働所得税」、「資本所得税」と呼ぶ。税額の導出には、『図説：日本の税制 平成 11 年度版』(?、以下『日本の税制』)、及び『財政金融統計月報 540 号』(大蔵省 1997、以下『財金』) のデータを用いる。

まず、『日本の税制』によると、平成 7 年度における税収に占める所得税のシェアは 33.6% となっている。さらに、特に資産所得税分の占めるシェアは 7.2 % である。この資産所得税とは、利子所得、配当所得等の資産からの所得に対する税である。一方、『財金』によれば、平成 7 年度における国税収入、

[31] また、輸入品商品税の部分に含まれる輸入品に課された消費税も控除していない。

地方税収入はそれぞれ 55 兆円、34 兆円であるので、総税収は 89 兆円である。以上の二つの数値を組合せると、資産所得税額は $89 \times 0.72 \approx 6.4$ 兆円となる。上記のように、本来『日本の税制』の資産所得税は、利子所得、配当所得等に対する税のことであるが、ここではこれを資本所得への課税とみなす。よって、6.4 兆円が資本所得税額となる。

さらに、『日本の税制』のデータでの、所得税のうち資産所得税以外の所得税を全て労働所得税と仮定する。すると、上記の数値より、労働所得税が総税収に占めるシェアは $33.6 - 7.2 = 26.4\%$ となる。このシェアと総税収 89 兆円より、労働所得税額は $89 \times 0.264 \approx 55.5$ 兆円となる。

5.5.3 貯蓄とトランスファー

家計の可処分所得は以下のように表現することができる。

$$\begin{aligned}\text{家計の可処分所得} &= \text{家計の要素所得} - \text{家計の直接税負担} \\ &\quad + \text{家計へのトランスファー} - \text{家計からのトランスファー}\end{aligned}$$

ここで、「家計の要素所得」とは労働所得、資本所得の和、「家計の直接税負担」とは労働所得税、資本所得税の和、「家計へのトランスファー」は政府から家計への税以外のトランスファーを、「家計からのトランスファー」は家計から政府への税以外のトランスファーを表している。以下では、トランスファーはネットのトランスファー (= 家計へのトランスファー− 家計からのトランスファー) を考える。よって、

$$\begin{aligned}\text{「家計の可処分所得」} &= \text{家計の要素所得} - \text{家計の直接税負担} \\ &\quad + \text{ネットのトランスファー}\end{aligned}$$

となる。

一方、支出サイドから見れば、家計の可処分所得は消費に使われるか、貯蓄されるかである。よって、次式が成立する。

$$\text{「家計の可処分所得」} = \text{家計の粗消費支出} + \text{家計貯蓄}$$

以上の二つの関係より、次式が成立する。

$$\begin{aligned}&\text{家計の粗消費支出} + \text{家計貯蓄} \\ &\qquad = \text{家計の要素所得} - \text{家計の直接税負担} + \text{ネットのトランスファー} \qquad (106)\end{aligned}$$

(106) 式の要素の中で、「家計の要素所得」、「家計の直接税負担」、「家計の粗消費支出」はすでに決まっており、まだ未定なのは「貯蓄」と「ネットのトランスファー」である。この二つを以下で求める。まず、貯蓄であるが、貯蓄額については次の貯蓄・投資バランス式が成立していなければならない。

$$\text{家計の貯蓄} = \text{総投資} + \text{経常収支黒字額} - \text{財政収支}$$

このうち、総投資額はすでに導出済みであるし、経常収支はバランスするようにデータを調整してあるのでゼロである。残るのは財政収支であるが、本稿では基準年における財政収支はバランスしている、つまり財政収支はゼロという仮定を置く。よって、家計の貯蓄額は

$$\text{家計の貯蓄} = \text{総投資}$$

となり、すでに求めてある総投資額に等しくなる。

家計の貯蓄額が決まれば、

$$\begin{aligned}\text{ネットのトランスファー} &= \text{家計の粗消費支出} + \text{家計貯蓄} \\ &\quad - \text{家計の要素所得} + \text{家計の直接税負担}\end{aligned}$$

という関係によって「ネットのトランスファー」が残差として決定される。

5.6　残りの調整

5.6.1　部門の再統合

これまで 35 部門の形で様々な調整をおこなってきたが、ここでこの 35 部門を 27 部門 (表 1 参照) に統合する。この 27 部門がシミュレーションで前提としている部門・財の分類である。

5.6.2　部門の調整

この段階では、次の二つ部門について、行部門 (財) と列部門が適切に対応していない。

- CRU (原油) と NAT (天然ガス)
- PET (石油製品) と OPP (その他の石油製品)

CRU と NAT は、元々の取引基本表でも行部門では分割されているのに対し、列部門では統合されてしまっているため、行部門と列部門が一致していない。すでに 27 部門に統合しているが、この行と列の不一致は取引基本表のままである。本稿では、一つの部門は一つの財を生産する、つまり副産物、結合生産はないというモデルを前提とするので、列部門において統合されてしまっている PET と NAT をなんらかの方式で分割し、行と列を一対一に対応させる必要がある。ここでは、CRU の国内生産が極めて小さいということから、CRU と NAT が統合されている列部門を NAT の生産部門とみなすことにする。この仮定より、日本における CRU の生産はゼロということになる。

CRU と NAT と同様に、PET と OPP についても行部門では分割されているが、列部門では統合されてしまっている。この二つについては、PET と OPP の生産額比率に応じて投入額を分割することで、統合された列部門をそれぞれ PET と OPP を生産する二つの部門に分割するという方法をとる。

5.6.3　中間投入における負の要素の除去

『連関表』では、屑や副産物がストーン方式で扱われているため最終需要の項目に負の要素が現れることは説明した。同様の理由に基づき、中間投入にも負の要素が存在する。本稿では、屑を明示的に扱うことはおこなわないし、一部門は一つの財のみ生産し副産物はないと仮定するので、このような負の要素は除去するのが望ましい。ここでは、単に負である中間投入はゼロにするというように調整する。

5.6.4　小さい値の除去

部門を 27 部門に統合しているため、統合された部門については、その生産額、投入額のデータは比較的大きい値をとっている。一方、エネルギー部門・財に関してはかなり細かく分けているため、エネルギー部門・財の生産額、投入額は他の部門・財と比較し、かなり小さくなっている。この結果、中間投入額の最も大きい値の桁数と最も小さい値の桁数が大きく異なっている。このような桁数の乖離は、コンピューターでの計算を困難にさせる可能性が高い。このような問題を防ぐため、中間投入額で 1 億円より小さい値を除去するという調整をする。

5.6.5 整合性の回復

上で、負の要素を除去する調整、また小さい値を除去するという調整を加えた結果、中間投入のデータは、最終需要、付加価値、生産額等の他のデータとの整合性を失ってしまっている。このままではベンチマークデータとして利用することができないので、整合性を回復するように調整をおこなう。調整は以下のような手順でおこなわれる。

まず、Y_i^C と Y_i^R をそれぞれ部門 i の総中間投入額、中間投入として用いられる財 i の総額とする。この値は、所与の生産額、最終需要額、付加価値額から求められたもので、他のデータとの整合性を保っている。また、A_{ij} を整合性を回復した新しい中間投入額とする。中間投入額が整合性を持つとは以下の二つの式を満たすということである。

$$\sum_j A_{ij} = Y_i^R \qquad \forall i \tag{107}$$

$$\sum_j A_{ji} = Y_i^C \qquad \forall i \tag{108}$$

さらに、次のような損失関数を定義する。

$$\text{Loss} = \sum_{i,j} \left[\frac{A_{ij} - \bar{A}_{ij}}{\bar{A}_{ij}} \right]^2 \tag{109}$$

ここで、$\bar{A}_{ij}$ を現時点での (整合性を失なってしまっている) 中間投入額である。(109) 式は、新しい中間投入額と元の中間投入額の乖離率の自乗和である。(107) 式、(108) 式という二つの制約を満たしながら、(109) 式を最小化するような A_{ij} を求め、それを中間投入額としている。

5.7 排出源のデータ

排出源財のデータについては、本論で述べた通りである。8 つの排出源財の数量データには、3EID (南齋他, 2002) を利用している。3EID は様々な排出物の排出源となる財の投入量を 399 部門別に記録したデータである。本稿では、この 3EID データのうち、二酸化炭素の排出源となるような財のみを取り出し、さらに 27 部門に統合し利用している。

5.8 ベンチマークデータ

この節ではベンチマークデータを概観する。後におこなうシミュレーションでは排出規制と既存の税をスワップさせるという政策の効果を分析する。よって、排出源のデータ、及び租税のデータが特に重要である。この二つの側面に焦点をあてながらベンチマークデータを見ていく。シミュレーションでは 27 部門・財を前提とするが、ここでは便宜上表 9 のように 16 部門に統合した分類を使う。

5.8.1 排出源財のデータ

表 10 と表 11 は排出源財の中間投入・最終消費をカロリー単位 (10^{13}kcal) で表している。行は投入をおこなっている部門、及び最終消費を表し、列は排出源財を表している。表 10 と表 11 の違いは、前者は燃焼用途に用いられている量を、後者は非燃焼用途に用いられている量を表しているという点である。なお、LIM 排出源財であるが、トン単位で表示されるので除外していることに注意されたい。

表 10 からわかるように、排出源の投入は一部の部門に集中している。排出源を多量に投入している部門は、ELE (電力)、IAM (鉄鋼・金属製品)、CHM (化学製品)、TCB (運輸・通信・放送)、CSC (窯業・土石製品) 等である。排出規制を導入したときには、これらの部門がまず強い影響を受ける可能性が高い。表 10 には、最終消費として用いられる排出源も示されている。表が示すように、最終消費として用いられる排出源財は PET と GAS のみであり、特に PET の量が多い。一方、表 11 は非燃焼用途の投入を表しているが、COC、CRU、NAT 等は燃焼用途にはあまり用いられず、その多くが PAC や GSW 等の二次エネルギー産業に投入されているということがわかる。

表 12 は各排出源財のカロリー単位でのシェアを表している。PET は揮発油、軽油、灯油、重油、ジェット燃料、LPG 等の石油系エネルギーを統合したものであるので、そのシェアは全体の約 58% と非常に大きくなっている。表 13 は、各部門における総費用に占める排出源財への支払いのシェアを表している。これを見ても、ELE, IAM, CHM, CSC, TCB 等の部門は支払いシェアが他の部門と比較して高く、排出源財を集約的に用いていることがわかる。

表 9: データ表示用の統合された部門分類 (16 部門)

記号	説明	含まれる部門
AGR	農林水産業	AGR
MIN	鉱業	OMI, LIM, COC, SLA, CRU, NAT
FOO	食料品	FOO
TET	繊維製品	TET
PPP	パルプ・紙・木製品	PPP
CHM	化学製品	CHM
PAC	石油・石炭製品	PET, OPP, COK
CSC	窯業・土石製品	CSC
IAM	鉄鋼・金属製品	IAM
MAO	機械製品	GMA, OIP
CRE	建設・不動産	CON, RES
ELE	電力	ELE
GSW	都市ガス・熱供給・水道・廃棄物処理	GAS, SWW
COM	商業	COM
TCB	運輸・通信・放送	TCB
SER	サービス業	SER, PUB

表 10: 燃焼用途の排出源財の中間投入・最終消費量 (10^{13}kcal)

	COC	SLA	CRU	NAT	PET	COK	GAS	合計
AGR					6.97			6.97
FOO					4.52		0.85	5.37
TET					1.60		0.17	1.77
PPP		1.00			5.11	0.02	0.21	6.34
CHM		1.70	2.56	0.58	7.48	0.14	0.54	13.00
CSC		6.48		0.03	3.78	0.27	0.33	10.89
IAM	4.95	1.68		0.16	4.12	28.01	0.94	39.86
ELE		28.24	14.65	43.33	23.30		0.01	109.53
COM					4.48		0.57	5.05
TCB					73.85		0.25	74.10
SER		0.33			18.70	0.04	5.42	24.49
MIN					0.24	0.01		0.25
PAC		1.41			2.91	0.02		4.34
MAO		0.01		0.02	5.19	0.19	1.25	6.66
CRE					5.09		0.56	5.65
GSW		0.04			2.81		0.50	3.35
総中間投入	4.95	40.89	17.21	44.12	170.15	28.70	11.60	317.62
最終消費					47.48		9.12	56.60
合計	4.95	40.89	17.21	44.12	217.63	28.70	20.72	374.22

LIM (limestone) は除かれている。

表 11: 非燃焼用途の排出源財の中間投入量 (10^{13}kcal)

	COC	CRU	NAT	PET
CHM				2.45
PAC	39.83	221.68		
GSW	0.55		14.54	2.70

表 12: 各排出源財の中間投入・消費におけるシェア (%)

	中間投入	最終消費	合計
COC	1.6		1.3
SLA	12.9		10.9
CRU	5.4		4.6
NAT	13.9		11.8
PET	53.6	83.9	58.2
COK	9.0		7.7
GAS	3.7	16.1	5.5
合計	100	100	100

表 13: 各部門における排出源のコストシェア (%)

	シェア (%)
AGR	1.10
FOO	0.40
TET	0.40
PPP	0.70
CHM	0.80
CSC	4.00
IAM	1.40
ELE	8.90
COM	0.20
TCB	5.60
SER	0.30
MIN	0.80
PAC	2.10
MAO	0.10
CRE	0.30
GSW	0.90

5.8.2 炭素排出量データ

次に炭素排出量のデータを見よう。表 14 と図 6 は部門別、排出源別に炭素の排出量を表している。「石炭系」は COK、SLA、COK の石炭系の排出源、「石油系」は CRU と PET の石油系排出源、「ガス系」は NAT と GAS のガス系排出源を表している。表からわかるように、エネルギー集約的な部門ほど排出量が多くなっている。本稿のデータではベンチマークにおける総炭素排出量は 319MtC となる。これは 3EID での排出量 (320MtC) よりわずかに多いがほぼ同じである[32]。

表 15 と図 7 は各排出源の総排出量に占めるシェアを表している。表 12 においてカロリー単位のシェアが高かった排出源はそれに応じて排出シェアも高くなっているが、排出係数が高い石炭系の財はカロリーシェアよりも排出シェアの方が高くなっている。逆に排出係数が低いガス系の財はカロリーシェアよりも排出シェアのほうが低くなっている。

表 16 は各部門の排出シェアと炭素集約度を表している。排出源財の投入が一部の部門に集中していることに対応して、排出量もそれらの部門に集中している。特に、CHM, CSC, IAM, ELE, TCB からの排出量だけで全体の約 7 割を占めている。これらの部門に加え、最終消費からの排出もかなりのシェア (約 13%) を占めている。表 16 の炭素集約度とは、100 万円分の産出をおこなうにあたって何トンの炭素を排出しているかを表した数値である。CHM, CSC, IAM, ELE, TCB 等のエネルギー集約的な部門の炭素集約度が高いことが確認できる。

表 14: 炭素排出量 (MtC)

	石灰石	石炭系	石油系	ガス系	合計
AGR			5.46		5.46
FOO			3.54	0.51	4.05
TET			1.26	0.10	1.36
PPP	0.04	1.04	4.00	0.13	5.21
CHM		1.90	7.88	0.66	10.44
CSC	12.12	6.91	2.96	0.21	22.20
IAM	2.70	41.37	3.22	0.66	47.95
ELE		28.67	29.84	25.35	83.87
COM			3.51	0.34	3.85
TCB			57.82	0.15	57.97
SER	0.07	0.39	14.64	3.23	18.33
MIN		0.02	0.19		0.21
PAC		1.45	2.28		3.74
MAO		0.25	4.06	0.76	5.07
CRE			3.98	0.33	4.32
GSW		0.04	2.20	0.30	2.54
総中間投入	14.93	82.06	146.83	32.73	276.55
最終消費			37.17	5.44	42.61
合計	14.93	82.06	184.00	38.17	319.17

[32] 3EID における排出量 320MtC は、3EID のデータから、本稿で考慮している排出源のみを取り出して計算したものである。3EID の排出量から乖離するのは、(1) データへ調整を加えている、(2) 3EID では分割されている石油系の排出源を PET という単一の財に統合し、統合された排出係数を用いて排出量を計算しているという 2 つの理由からである。

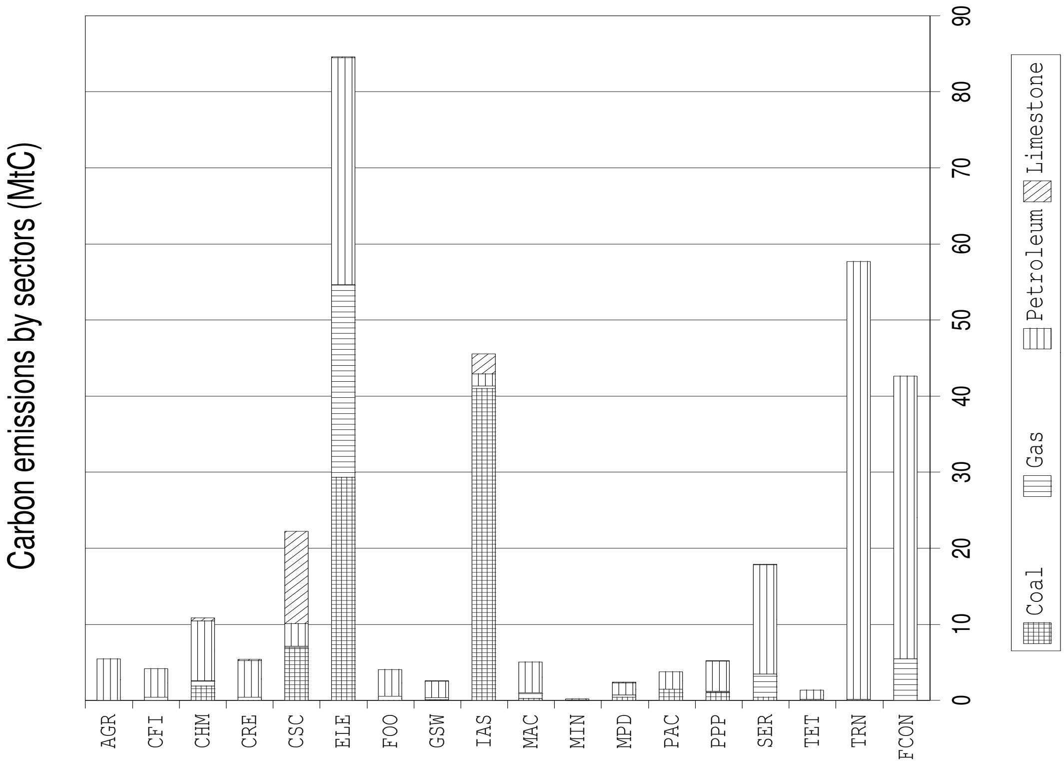

図 6: 炭素排出量 (MtC)

表 15: 排出源別の排出シェア (%)

	中間投入からの排出	最終消費からの排出	合計
LIM	5.4		4.7
COC	1.9		1.6
SLA	15.0		13.0
CRU	4.9		4.3
NAT	9.3		8.1
PET	48.2	87.2	53.4
COK	12.8		11.1
GAS	2.5	12.8	3.9
合計	100.0	100.0	100.0

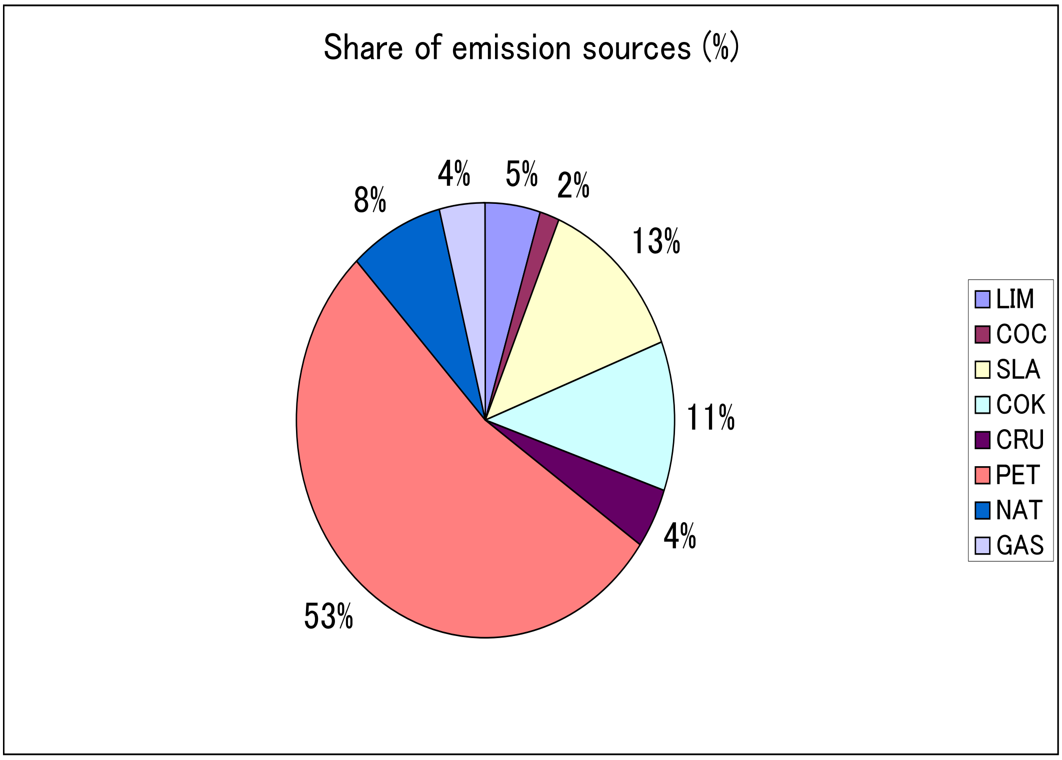

図 7: 排出源別の炭素排出量シェア

表 16: 部門別の排出シェア、及び炭素集約度

	炭素排出シェア (%)	炭素集約度 (炭素トン/100 万円)
AGR	1.7	0.35
FOO	1.3	0.10
TET	0.4	0.12
PPP	1.6	0.29
CHM	3.3	0.40
CSC	7.0	2.29
IAM	15.0	1.14
ELE	26.3	5.01
COM	1.2	0.04
TCB	18.2	0.89
SER	5.7	0.05
MIN	0.1	0.12
PAC	1.2	0.37
MAO	1.6	0.03
CRE	1.4	0.05
GSW	0.8	0.26
最終消費	13.35	

5.8.3 租税に関するデータ

本稿では (1) 労働税、(2) 資本税、(3) 労働所得税、(4) 資本所得税、(5) 消費税、(6) 輸入税、(7) 生産に対する間接税という 7 つの税を考慮している。この内、シミュレーションにおいて排出規制とスワップするのは (1) から (5) である。以下、この 5 つの税を中心に税のデータを見ていく。

表 17 は生産サイドに対する税のデータである。「生産に対する間接税」は、後のシミュレーションにおいて税率を変更しないので表からは除外している。消費税を除いた全ての税に関して、税額、課税ベースを外生的に与え、税額を課税ベースで割ることにより税率を導出するという方法をとっている。例えば、V_i^K を部門 i の (税を引いた) 資本への支払い額、T_i^K を資本税額としたとき、部門 i の資本税率は次式で与えられる。

$$\tau_i^K = \frac{T_i^K}{V_i^K}$$

同様にして、部門 i の労働税率は V_i^L を部門 i の (税を引いた) 労働への支払い額、T_i^L を労働税額としたとき次式によって導出されている。

$$\tau_i^L = \frac{T_i^L}{V_i^L}$$

以上のような税率の導出法を採用しているため、各部門毎に「労働税率」、「資本税率」は異なった値をとることになる。

次に家計に対する税のデータを見ることにしよう。表 18 は「消費税」、「労働所得税」、「資本所得税」の 3 つについてその税率と税額を表している。本来、所得税、特に労働 (給与) 所得に対する所得税は、家計の所得階層、タイプによって控除額、税率が共に変わるというように、その制度は非常に複雑なものとなっている。しかし、本稿では後に説明するように一つの代表的家計のモデルを前提とするので、このような所得階層・タイプによる違いを考慮することはしていない。さらに単純化のため「労働所得税」、「資本所得税」についても、税額を課税ベースで割ることで税率を導出する方法を採用している。表 18 の税率はこうして導出された税率である。

一方、消費税のみに関しては、他の税とは逆に税率を外生的に与え、それを課税ベース (消費額) に掛け合わせることにより税額を導出するという方法をとっている。1995 年における消費税率である 3% を前提として、導出したのが 表 18 の消費税額 8.3 兆円である。国税庁 (1997) によれば 1995 年度の消費税収は約 5.8 兆円であるので、この数値は少し過大となっている。過大となる理由としては、データの誤差以外に

[1] 課税ベースとしている消費額には「帰属家賃」等の仮想的な消費が含まれており実際の消費額よりも過大になっている。

[2] 益税を考慮していない。

というような理由が考えられる。本来、日本の消費税は、生産者に対し多段階で課税するという形式で実施されているが、本稿では直接最終消費に課税するという形式で扱っていることに注意されたい[33]。

最後に表 19 で各税の税額、総税収におけるシェアを比較しいる。「その他」は 5 つの税以外の全ての税をまとめたものである。支払う主体という観点で分類すると、「労働税」と「資本税」が産業サイドに対する税であるのに対し、「労働所得税」、「資本所得税」、「消費税」が家計サイドに対する税である。課税ベースという観点で分類すれば、「資本税」と「資本所得税」が資本に対する税、、「労働税」と

[33] 納税義務者が生産者であることを反映し、『連関表』では消費税の支払い額は「間接税－補助金」の部分に含まれている。本稿では、この「間接税－補助金」を「生産に対する間接税」として扱い、さらに別途に最終消費に対する消費税を考えている。従って、消費税額が二重計算になってしまっている。

「労働所得税」が労働に対する税、「消費税」が文字通り消費に対する税というように分けることができる。シェアで考えると、労働に対する税、資本に対する税、消費に対する税の順となっている。

表 17: 生産に対する税

	資本税		労働税	
	税額 (10 億円)	税率 (%)	税額 (10 億円)	税率 (%)
AGR	21.7	0.34	73.0	3.81
OMI	40.3	15.37	18.6	8.46
LIM	5.3	15.37	5.0	10.11
SLA	2.0	15.37	3.2	10.54
NAT	5.3	15.37	1.1	10.49
FOO	627.9	17.61	368.5	7.61
TET	76.2	8.54	212.0	8.24
PPP	395.1	21.63	279.5	9.23
CHM	757.6	21.63	257.9	8.82
PET	84.0	21.63	15.0	8.07
OPP	10.6	21.63	1.9	8.07
COK	19.3	21.63	3.9	8.07
CSC	272.5	21.63	181.9	9.31
IAM	482.0	10.75	646.7	9.06
MAC	1930.7	16.36	1870.6	9.28
OIP	1001.4	32.94	617.2	8.49
CON	2189.3	40.84	2342.1	8.67
ELE	521.4	9.56	126.7	8.42
GAS	47.9	9.56	39.4	9.72
SWW	209.1	9.56	179.8	7.79
COM	3317.2	28.01	3618.3	7.62
RES	631.4	1.30	158.1	6.57
TCB	905.7	9.56	2043.0	10.42
PUB	0.0	0.00	2307.5	15.96
SER	3260.7	8.54	7363.4	8.50
合計	16814.6		22734.3	

表 18: 家計に対する税

	税率 (%)	税額 (兆円)
消費税	3.00	8.30
労働所得税	9.21	23.40
資本所得税	3.99	6.38

表 19: 総税収

	シェア (%)	税収 (1 兆円)
消費税	7.4	8.3
資本税	14.9	16.8
労働税	20.2	22.7
労働所得税	20.8	23.4
資本所得税	5.7	6.4
その他	31.1	35.0
合計		112.6

参考文献

AIM Project Team (2002) “AIM/Trend Model”.
(available at: `http://www-iam.nies.go.jp/aim/index.htm`).

Asano, Seki (1997) “Joint Allocation of Leisure and Consumption Commodities: A Japanese Extended Consumer Demand System 1979-90”, *Japanese Economic Review*, Vol. 48, pp. 65–80.

Ballard, Charles L. (1990) “Marginal Welfare Cost Calculations: Differential Analysis vs. Balanced–Budget Analysis”, *Journal of Public Economics*, Vol. 41, No. 2, pp. 263–267.

Böhringer, Christoph, Andreas Pahlke, and Thomas F. Rutherford (1997) “Environmental Tax Reforms and the Prospect for a Double Dividend”, Jan. Mimeo,
(available at: `http://debrue.colorado.edu/`).

Lau, Morten I., Andreas Pahlke, and Thomas F. Rutherford (2002) “Approximating Infinite-Horizon Models in a Complementarity Format: A Primer in Dynamic General Equilibrium Analysis”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 26, pp. 577–609.

Pencavel, John (1986) “Labor Supply of Men: A Survey”, in O. Ashenfelter and P. R. G. Layard eds. *Handbook of Labor Economics*, Vol. 1, Amsterdam: North-Holland, Chap. 1.

Rutherford, Thomas F. and Miles K. Light (2002) “A General Equilibrium Model for Tax Policy Analysis in Colombia: The MEGATAX Model”. ARCHIVOS DE ECONOMÍA, Documento 188.

Rutherford, Thomas F., Miles K. Light, and Gustavo Hernández (2002) “A Dynamic General Equilibrium Model for Tax Policy Analysis in Colombia”. ARCHIVOS DE ECONOMÍA, Documento 189.

Rutherford, Thomas F. (1998) “CES Preferences and Technology: A Practical Introduction”. in “Economic Equilibrium Modeling with GAMS: An Introduction to GAMS/MCP and GAMS/MPSGE (GAMS/MPSGE Solver Manual)”, pp. 89-115,
(available at: `http://www.gams.com/docs/solver/mpsge.pdf`).

Shoven, John B. and John Whalley (1992) *Applying General Equilibrium*, New York: Cambridge University Press.

Varian, Hal R. (1992) *Microeconomic Analysis*, New York: W. W. Norton & Company, 3rd edition.

大蔵省 (1997) 『財政金融統計月報第 540 号』, 大蔵省.

黒田昌裕・新保一成・野村浩二・小林信行 (1997) 『KEO データベース–産出および資本・労働投入の測定–』, Keio Economic Observatory Monograph Series, 第 8 号, 慶應義塾大学産業研究所.

国税庁（編） (1997) 『国税庁統計年報書 平成 7 年度版』, 大蔵財務協会.

国立社会保障・人口問題研究所 (2002) 『日本の将来推計人口 (平成 14 年 1 月推計)』.

総務庁（編） (1999) 『平成 7 年 (1995 年) 産業連関表』, 全国統計協会連合会.

南齋規介・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 のインベントリデータとして—』，国立環境研究所．地球環境研究センター (CGER: Center for Global Environmental Research)
http://www-cger.nies.go.jp/.

別所俊一郎・赤井伸郎・林正義 (2003) 「公的資金の限界費用」,『日本経済研究』，第 47 巻，1–19 頁.

八代尚宏・小塩隆士・井伊雅子・松谷萬太郎・寺崎泰弘・山岸祐一・宮本正幸・五十嵐義明 (1997) 「高齢化の経済分析」,『経済分析』，第 151 巻，9 月．経済企画庁経済研究所.