

温暖化被害と適応評価のための応用一般均衡世界モデル — EMEDA —

鷲田 豊明*

2010 年 7 月 31 日

1 はじめに

世界モデル EMEDA は、日本国内の温暖化被害の経済的影響をとらえるだけでなく、温暖化が世界に与えた被害が貿易を通して日本に与える間接被害をも評価できる応用一般均衡モデルである。それにさきだって、被害関数を組み込む前のベースモデルの設計と実装上の問題を記述するのが本稿の目的である。EMEDA の特徴としては、第一に、グローバルデータとして GTAP7 を用いることである。これによってバランスのとれた世界経済データを用意に利用できる。しかし、もう一方で、データの持っている誤差等の問題やデータの修正が難しいという短所も抱えることになる。第二に、モデルには被害関数を組み込むことが主目的であるから、ベースモデルはできるだけコンパクトなものにし、モデルの振る舞いとらえやすくするとともに、計算負荷を軽減する。被害関数を現実的なものとするためには、必要な部門分割を行う必要があり、それによる規模の増大を相殺するために、ベースモデルの段階で不必要な構造を刈り取る必要がある。

2 GTAP データ構造と産業連関表

応用一般均衡分析においては、依存するデータのバランスが決定的な基礎となる。本研究が用いる GTAP7 データのバランスを産業連関表の枠組みの中で確認する¹。

GTAP データベースから、その産業連関表の表現に必要なものを取り出す。

図 1 は、GTAP データをできる限り直接的に対応させたものだ。図で明確にできていないバランスで、輸入に関するバランスがある。次のように成立している。

$$VIFM + VIPM + VIGM = VIMS$$

ただし、VIFM には、投資データ“CGDS”が含まれている。また、RTF はそれぞれ税率であり、

$$L = \frac{EVFA("Labor")}{1 + RTF("Labor")}$$

$$K = \frac{EVFA("Capital") + EVFA("Land") + EVFA("NatRes")}{1 + RTF("Capital")}$$

*上智大学大学院地球環境学研究科 <http://eco.genv.sophia.ac.jp>

¹Narayanan [2], Hertel [1]。なお、武田史郎氏から GTAP データ構造を理解する上で有益な助言をいただいた。記して感謝する次第です。

		← GDE →							
	X	I	C	G	E	R	-M		
↑ X	VDFA	VDFM	(CGDS)	VDPM	VDGM	VXMD	VST	VOM	
	VIFA	VIFM	(CGDS)	VIPM	VIGM			-VIMS	
	(CGDS = 0)								
↑ VOA	EVFA("Labor")								L
	RTF("Labor")								Ltax
↑ V	EVFA("Capital")								K
	EVFA("Land")								
	EVFA("NatRes")								
	RTF("Capital")								Ktax
	VTO								Ptax
	VOM								

図 1: GTAP データの IO 表現：直接的対応

という関係が成立している。

また、以下すべて、資本には土地 ("Land") と自然資源 ("NatRes") も含まれているが、生産資本 ("Capital") の割合が圧倒的なので、資本税率は生産資本の税率に代表させる。

この図 1 の問題は、中間投入に関する需要と費用のバランスがとれていないことである。すなわち、国内財に対する中間投入については、

$$VDFA = VDFM + DFTAX$$

であり、輸入財については、

$$VIFA = VIFM + IFTAX$$

となっていて、agent 表示の中間投入は、それらに対する税額だけ膨らんでいる。したがって、図の場合、V と GDE のバランスがとれない。そこで、それらの税額を生産物税 $PTax$ に加えることによって生産と支出がほぼ完全に調整された状況を図 2 に示しておく。

ただし、輸入税については $VIMS$ の中に含まれている。すなわち、

$$VIMS = VIWS + MTAX$$

となっている。そして、関税としての $MTAX$ を独立させるためには、輸入を $VIWS$ でとらえる必要がある。関税収入 $MTAX$ を政府収入に加えると、この表の単純な GDP と GDE のバランスに対応しなくなる。これを解消するために、貿易収支 (外国の貯蓄) は $MTAX$ を取り除いたもので算出し、バランスを維持させる必要がある。図 2 においてこのことは、 $-MTAX$ が外されることによって行の合計がその分増加することにおいてあらわされる (モデルの式 (32) 参照)。

図 3 は、税をすべて組み込んだ IO 表である。 $DPTAX, IPTAX, DGTAX, IGTAX, XTAXD$ が新たに税収として加わっているが、それに伴って C, G, E の各支出もその税額だけ増加することによって、生産と支出に関する全体のバランスそのものは維持されている。

貿易の構造は次のようになっている。

		GDE							
		X	I	C	G	E	R	-M	-Mtax
X	VDFM	(CGDS)	VDPM	VDGM	VXMD	VST			VOM
	VIFM	(CGDS)	VIPM	VIGM				-VIWS -MTAX	
		(CGDS = 0)							
VOA	EVFA("Labor")		L						
	RTF("Labor")		Ltax						
GDP	EVFA("Capital")		K						
	EVFA("Land")								
	EVFA("NatRes")								
	RTF("Capital")		Ktax						
	DFTAX								
	IFTAX		Ptax						
	VTO								
	VOM								

図 2: GTAP データの IO 表現：生産支出バランス

		GDE							
		X	I	C	G	E	R	-M	-Mtax
X	VDFM	(CGDS)	VDPM	VDGM	VXMD	VST			VOM
	VIFM	(CGDS)	VIPM	VIGM				-VIMS	
		(CGDS = 0)							
VOA	EVFA("Labor")		L						
	RTF("Labor")		Ltax						
GDP	EVFA("Capital")		K						
	EVFA("Land")								
	EVFA("NatRes")								
	RTF("Capital")		Ktax						
	DFTAX								
	IFTAX		Ptax						
	VTO								
	VOM								

図 3: GTAP データの IO 表現：完全税込み

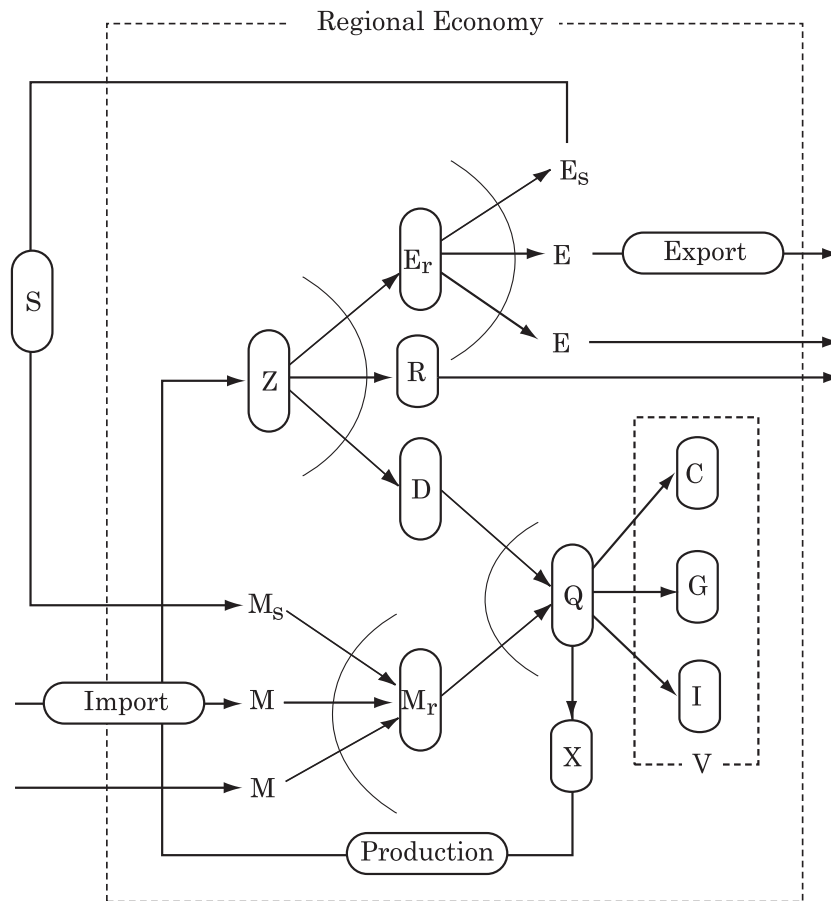


図 4: 地域経済の財フロー

まず、輸出は $VXMD$ で与えられる。これに $XTAXD$ を上乗せして $VXWD$ となる。さらに国際輸送サービスコスト $VTWR$ が付加されて $VIWS$ となる。すなわち、

$$VXMD(i, r, s) + XTAXD(i, r, s) + VTWR(i, r, s) = VIWS(i, r, s)$$

が成立する。

現在のモデルでは、輸出税を明示的に輸出国の収入としては扱わない。その税額は、結局輸入国の輸入額を増加させるので、輸入国が implicit に支払うことになる。ただし、モデル上にそのバランスは組み込まない。また、国際輸送サービスについて、供給は明示的に国内支出に含める。需要は、 $VXMD$ に対する割合として μ_{irs} を導入する。したがって、関税が付加される前の輸入は輸出価格に、輸出税と国際輸送サービス費用を加えたものとなっている。

3 地域経済の所得・財フロー

地域経済の財フローを図 4 に、所得・支出フローを図 5、地域間貿易に関するフローを図 6 に表す。

国内生産物 Z_{ir} は、大きくは、国産財の国内需要 D_{ir} と総輸出 E_{ir} に分けられ、その他に輸送サービスについては、国際輸送サービスへの輸出 R_{ir} にもなる。これらの需要は非線形の CET 関

変数・パラメータ名	式記号	GTAP データ操作 (数 10 万ドル程度の誤差が含まれている。無視できるものとは異なる) ^a 。
資本税率	τ_j^K	$KTAXR(j,r)=RTF("Capital",j,r)/100.0$
労働税率	τ_j^L	$LTAXR(j,r)=RTF("Labor",j,r)/100.0$
輸出税率	τ_j^E	$ETAXR(i,r,s)=(VXWD(i,r,s)-VXMD(i,r,s))/VXMD(i,r,s)$
輸入税率	τ_j^M	GTAP データに含まれる輸入額誤差 (輸入財需要-輸入) を考慮した輸入税率の計算手続き $DIFIM(i,r) = \text{sum}(jp, VIFM(i,jp,r)) + VIPM(i,r) + VIGM(i,r) - \text{sum}(s, VIMS(i,s,r))$ $DIFIMS(i,r,s) = (VIMS(i,r,s) / \text{sum}(rr, VIMS(i,rr,s))) * DIFIM(i,s)$ $MTAXR(i,r,s) = (DIFIMS(i,r,s) + VIMS(i,r,s) - VIWS(i,r,s)) / VIWS(i,r,s)$ $MU(i,r,s) = (VIWS(i,r,s) - (1+ETAXR(i,r,s)) * VXMD(i,r,s)) / ((1+ETAXR(i,r,s)) * VXMD(i,r,s))$ $RTD0 = \text{sum}(i, \text{sum}(s, \text{sum}(t, MU(i,r,s) * (1+ETAXR(i,r,s)) * VXMD(i,r,s))))$ GTAP データに含まれる国際輸送サービス初期需要と初期供給の誤差を取り除くための計算 供給 VST を必要を用いてスケール調整をする $R0(i,r) = (RTD0 / \text{sum}(j, \text{sum}(rr, VST(j,rr)))) * VST(i,r)$ 上記のデータを用いて国内総生産を再計算しする。こうしないと、マクロ的に GDP と GDE の一致が実現しない。 $VOM(i,r) = \text{sum}(jp, VDFM(i,jp,r)) + VDFPM(i,r) + VDGGM(i,r) + \text{sum}(s, VXMD(i,r,s)) + R0(i,r)$ $K0(j,r) = (EVFA("Land",j,r) + EVFA("Capital",j,r) + EVFA("NatRes",j,r)) / (1+KTAXR(j,r))$ $L0(j,r) = EVFA("Labor",j,r) / (1+LTAXR(j,r))$ $VTOA(j,r) = VOM(j,r) - ((1+KTAXR(j,r)) * K0(j,r) + (1+LTAXR(j,r)) * L0(j,r) + \text{sum}(i, VDFM(i,j,r) + VIFM(i,j,r)))$ $V0(j,r) = (1+KTAXR(j,r)) * K0(j,r) + (1+LTAXR(j,r)) * L0(j,r) + \text{sum}(i, VDFM(i,j,r) + VIFM(i,j,r))$ $Z0(i,r) = VOM(i,r)$ $X0(i,j,r) = VDFM(i,j,r) + VIFM(i,j,r)$ $PTAXR(i,r) = VTOA(i,r) / (V0(i,r) - VTOA(i,r))$ $I0(i,r) = VDFM(i,r) * CGDS("r") + VIFM(i,r) * CGDS("r)$ (S_r) 実質貯蓄に等しい (GTAP データそのままでは、誤差があるが、上記までの操作によって完全に一致する) $IH0(r) = \text{sum}(i, I0(i,r))$ G_r 政府支出 C_{ir} 個別消費 $G0(r) = \text{sum}(i, VDGGM(i,r) + VIGM(i,r))$ $Ci0(i,r) = VDFPM(i,r) + VIPM(i,r)$ 個別消費の決定によって次のように消費関数の分配係数 ϕ^C が決定される $CIALC(i,r) = (Ci0(i,r) * (1/CIELS(r))) / (\text{sum}(k, Ci0(k,r)) * (1/CIELS(r)))$ $PC0(r) = (\text{sum}(k, CIALC(k,r) * CIELS(r))) * (1/(1-CIELS(r)))$ $CH0(r) = \text{sum}(i, Ci0(i,r)) / PC0(r)$ E_{ir} 輸出 $EH0(i,r) = \text{sum}(s, VXMD(i,r,s))$ D_{ir} 国内財供給 $D0(i,r) = Z0(i,r) - EH0(i,r) - R0(i,r)$ E_{irs} 地域別輸出 $Ei0(i,r,s) = VXMD(i,r,s)$ M_{irs} 地域別輸入 $MI0(i,s,r) = VIWS(i,s,r)$ M_{ir} 輸入 $MH0(i,r) = \text{sum}(s, (1+MTAXR(i,s,r)) * MI0(i,s,r))$ Q_{ir} アーミンントン財供給 $Q0(i,r) = D0(i,r) + MH0(i,r)$

表 1: モデル変数と GTAP データの関連づけ

^aなお、GTAP7 の単位は、2004 年基準の 100 万ドルである。

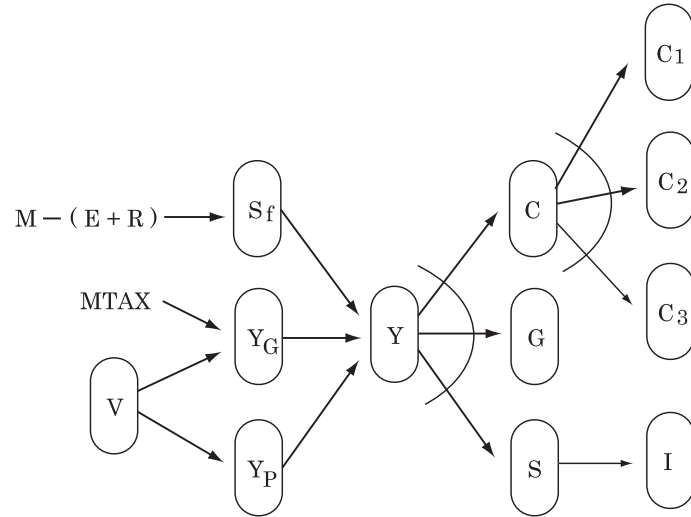


図 5: 地域経済の所得・支出フロー

数によって与えられる。総輸出はおなじく CET 関数によって各国への輸出 E_{irs} に分割される。一方、国内生産の国内需要 D_{ir} と総輸入 M_{ir} によってアーミントン財 Q_{ir} が与えられる。この関係は CES 関数によって規定される。その総輸入は CES 関数によって、各地域からの輸入 M_{irs} によって構成される。国内最終需要 C_{ir}, G_{ir}, I_{ir} および中間材需要 X_{ijr} はこのアーミンと財に対して発生する。

所得支出フローでは、まず、最終需要全体が最終需要関数によって与えられる。その総所得 Y_r は、国内総生産からくる国内総所得 $\sum_j V_{jr}$ および、輸入マイナス輸出 (S_r^F) の合計として与えられる。ただし、輸入税は、政府収入 Y_r^G にカウントされる。最終需要関数は、総実質消費 C_r 、総実質政府支出 G_r 、総実質貯蓄 S_r を与える。総実質貯蓄は総実質投資需要 $\sum_i I_{ir}$ に恒等的に一致する。総消費需要は、家計の効用関数を介して、個別消費需要 C_{ir} に配分される（ただし、実質料の配分ではなく価値的な配分である）。

地域間貿易に関するフローについて図 6 では、二つの地域の場合について示している。実質貿易額 E_{irs}, M_{irs} は、輸出税 τ_{irs}^{IM} と国際輸送サービス μ_{irs} の需要によって膨らむ。この輸出と輸入はある財に関する同一フローを輸入国と輸出国側で別なものとして識別されているにすぎない。したがって、需給均衡点で同一の世界価格 p_{irs}^{IW} が与えられる。

4 EMEDA の地域と部門

EMEDA における地域分割および部門分割を表 2 に示す。

地域分割としては、日本を含め日本経済に直接関係を及ぼす国は独立させている。部門分割では、温暖化被害に関わる農林水産業を可能な限り細分化させた。ただし、被害として農業部門大家を考慮するという意味ではない。異常気象からくる産業的な被害もモデル中に組み込む予定である。

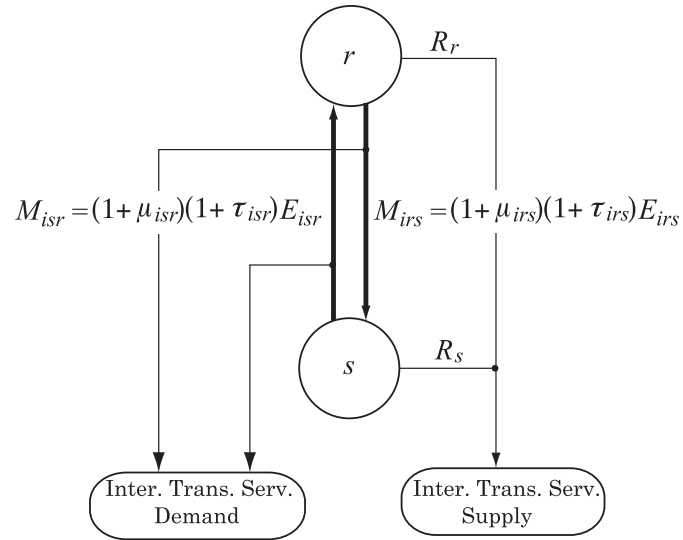


図 6: 地域間貿易に関するフロー

Regions		Sectors	
1	Japan	1	Paddy Rice
2	China	2	Wheat
3	USA	3	Cereal Grains nec
4	India	4	Processed Rice
5	Russia	5	Grains and Crops
6	Korea	6	Meat and Livestock
7	EU_25	7	Forestry
8	Oceania	8	Fishing
9	EastAsia	9	Mining and Extraction
10	South East Asia	10	Processed Food
11	South Asia	11	Textile and Clothing
12	North America	12	Light Mnuufacturing
13	Latin America	13	Heavy Mnuufacturing
14	Middle East and North Africa	14	Utilities and Construction
15	Sub-Sahara Africa	15	Transport Communication
16	Rest o fWorld	16	Other Services

表 2: EMEDA における地域と生産部門

5 EMEDA の構造

応用一般均衡モデルにおいては、構造方程式と変数のペアを常に意識してモデルを構成することが大切な考え方である。たとえば、ある財市場の需給均衡式があれば、その式でその財の価格が決定されると考える。その他の構造方程式の場合も、その式をどの変数を決定している式であるか想定する。確かに、市場均衡式以外の場合、必ずしも一つの式に対してある変数が一意に対応付けできない場合もあるが、できるだけ根拠を持った対応付けをすることが望ましい。結果として、式と変数の数は一致させることもできる。

5.1 生産

生産の本源的要素は、労働と資本である。ただし、GTAP のバランスを確保するために土地と自然資源を資本に加える。資本に比べて土地と資本の規模はきわめて小さい。資本と労働投入と付加価値生産は CES 関数によって規定される [式 (6)]。また、企業が資本と労働を投入することによって、その規模に応じた税が課せられる。生産物税率は、付加価値に対する税率として与えられる。中間投入と付加価値水準は (1) のようなレオンチェフ型固定係数型関数によって決定される。

$$Z_j = \min \left(\frac{V_j}{a_{0j}}, \frac{X_{1j}}{a_{1j}}, \dots, \frac{X_{nj}}{a_{nj}} \right) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

一次同次の生産構造のため、理論上、企業の利潤最大化行動を前提とすると生産水準が確定しない。なぜなら、仮にある生産と利潤水準が確定したとして、すべての投入要素を定数倍すれば利潤もまた定数倍となるので、最大利潤率であるという家庭に矛盾するからである。そこで与えられた生産水準 Z_j に対する費用最小化原理で投入需要の決定がなされていると想定する。また、生産において超過利潤は発生しないと仮定する。

このとき、付加価値と中間投入は、(10) および (11) によって付加価値と中間投入水準が決定する。そして、この付加価値の生産に関わる費用 (2) を最小化するように、労働と資本の要素投入係数 ($L_j/V_j, K_j/V_j$) が決定される。

$$p_j^V V_j = (1 + \tau_j^F) \{ (1 + \tau_j^L) w L_j + (1 + \tau_j^K) r K_j \} \quad (2)$$

式 (2) において、 p_j^V は付加価値の価格を表し、したがって、付加価値に対する超過利潤が発生していないことも表現している。

資本と労働の需要関数 (7)、(8) の導出は以下のような²。まず、上で述べた最小化問題を解くことによって以下の二つの式を得る。

$$\frac{K_j}{V_j} = \frac{(\alpha_j^V)^{\beta_j^V} \{ (1 + \tau_j^K) r \}^{-\beta_j^V}}{\pi_j^V H^{\frac{\beta_j^V}{\beta_j^V - 1}}} \quad (3)$$

$$\frac{L_j}{V_j} = \frac{(1 - \alpha_j^V)^{\beta_j^V} \{ (1 + \tau_j^L) w \}^{-\beta_j^V}}{\pi_j^V H^{\frac{\beta_j^V}{\beta_j^V - 1}}} \quad (4)$$

ただし、

$$H = (1 - \alpha_j^V)^{\beta_j^V} \{ (1 + \tau_j^L) w \}^{1 - \beta_j^V} + (\alpha_j^V)^{\beta_j^V} \{ (1 + \tau_j^K) r \}^{1 - \beta_j^V} \quad (5)$$

²以下の計算手続きについては、山崎雅人氏の学位請求論文『循環資源貿易と環境負荷の相互関係に関する研究』（上智大学、2009 年度）を参考にさせていただいた。

GAMS 式		GAMS 変数		記号	
1	eqVf(j,r)	付加価値生産関数式	PV(j,r)	付加価値価格	p_{jr}^V
2	eqKF(j,r)	資本用役需要式	KF(j,r)	資本ストック	K_{jr}
3	eqLF(j,r)	労働需要式	LF(j,r)	労働投入	L_{jr}
4	eqPZ(j,r)	生産物価値式	PZ(j,r)	国内生産物価格	p_{jr}^Z
5	eqXZ(i,j,r)	中間需要決定式	XF(i,j,r)	中間投入	X_{ijr}
6	eqVZ(j,r)	付加価値水準決定式	VF(j,r)	付加価値水準	V_{jr}
7	eqCH(r)	総消費需要式	CH(r)	集計的消費	C_r
8	eqSH(r)	総貯蓄需要式	SH(r)	総貯蓄	S_r
9	eqGH(r)	総政府需要式	GH(r)	総政府支出	G_r
10	eqCI(i,r)	個別消費財需要式	CI(i,r)	個別消費支出	C_{ir}
11	eqPCH(r)	総需要価格式	PC(r)	集計的消費価格	p_r^C
12	eqPGH(r)	総政府需要価格式	PG(r)	総政府支出価格	p_r^G
13	eqPSH(r)	総貯蓄価格式	PS(r)	総貯蓄価格	p_r^S
14	eqYP(r)	民間収入式	YP(r)	家計収入	Y_r^P
15	eqSP(r)	民間貯蓄式	SP(r)	家計貯蓄	S_r^P
16	eqYG(r)	政府収入式	YG(r)	政府収入	Y_r^G
17	eqSG(r)	政府貯蓄式	SG(r)	政府貯蓄	S_r^G
18	eqYY(r)	総収入式	YY(r)	総収入	Y_r
19	eqINV(i,r)	投資財需要式	INV(i,r)	個別投資需要	I_{ir}
20	eqTBL(r)	貿易収支式	SF(r)	貿易収支	S_r^F
21	eqZZ(i,r)	集計的輸出変形関数式	ZF(i,r)	国内生産高	Z_{ir}
22	eqEH(i,r)	集計的輸出供給量式	EH(i,r)	集計輸出	E_{ir}
23	eqDEH(i,r)	国内財の国内供給式	PD(i,r)	国内財国内需要価格	p_{ir}^D
24	eqRH(i,r)	国際輸送サービス供給式	RT(i,r)	国際輸送サービス供給	R_{ir}
25	eqEE(i,r)	個別輸出変形関数	PHE(i,r)	集計輸出価格	p_{ir}^{HE}
26	eqEI(i,r,s)	個別輸出供給式	EI(i,r,s)	地域別個別輸出	E_{irs}
27	eqQH(i,r)	集計的アーミントン関数	QQ(i,r)	アーミントン財	Q_{ir}
28	eqMH(i,r)	集計的輸入需要式	MH(i,r)	集計的輸入需要	M_{ir}
29	eqDMH(i,r)	国内財需要式	DD(i,r)	国内財国内供給	D_{ir}
30	eqMM(i,r)	個別アーミントン関数	PHM(i,r)	集計輸入価格	p_{ir}^{HM}
31	eqMI(i,r,s)	個別輸入需要式	MI(i,r,s)	地域別個別輸入	M_{irs}
32	eqMTX(i,r)	関税式	MTX(i,r)	輸入税 (関税)	T_{ir}^M
33	eqEMB(i,r,s)	輸出入財需要の均衡式	PIW(i,r,s)	個別世界価格	p_{irs}^{IW}
34	eqITR	国際輸送サービス均衡式	PR	国際輸送サービス価格	p_t^R
35	eqQQ(i,r)	アーミントン財の均衡式	PQ(i,r)	アーミントン財価格	p_{ir}^Q
36	eqKK(r)	資本の需給均衡式	PCP(r)	資本サービス価格	r_r
37	eqLL(r)	労働の需給均衡式	PLB(r)	賃金率	w_r

表 3: EMEDA における式と変数の対応

である。この (3)、(4) の関係を (2) に代入することによって、次の式を得る。

$$\frac{1}{H^{\frac{\beta_j^V}{\beta_j^V-1}}} = \left(\frac{\pi_j^V p_j^V}{1 + \tau_j^F} \right)^{\beta_j^V}$$

この式をさらに、(3)、(4) に戻すことによって (7)、(8) を得る。

次のこの生産部門における変数の決定関係をみておこう。第 1 に、生産水準 Z_j は外部から与えられなければならない。また、市場を持っている価格は、その市場によって決定されるので賃金水準 w 、資本サービス価格 r 、アーミントン財価格 p_i^Q は外部から与えられる。このことを前提にすると、先に述べたように付加価値水準 V_j と中間投入 X_{ij} は (10) の関係を (11) によって決まる。また、資本 K_j と労働需要 L_j が決まるためには付加価値価格 p_j^V が決まらなければならないが、これは付加価値生産関数 (6) に (7)、(8) を代入することによって得られる。したがって、(6) では p_j^V が決まり、(7) と (8) では、資本需要と労働需要が決まると考えるのが妥当である。そして、(9) では、国内生産物価格 p_j^Z が与えられる。

5.2 最終需要

最終需要の項目は、消費 C_i 、政府支出 G_i 、投資 I_i 、輸出 E_i である。このうち、消費、政府支出、投資は、それらの集計的需要が代表的主体の集計効用関数によって決定され、後に個別の財需要が与えられる。ただし、総貯蓄と総投資は恒等的に一致していると仮定する。

集計的消費 C 、集計的政府支出 G 、集計的貯蓄 S の効用関数 (12)、(13) および予算制約式 (14) から、それぞれの需要が決定され、それらは (15)、(16)、(17) で与えられる。また、それらに含まれる集計的価格については、それぞれ (21)、(22)、(23) で与えられる。なお、集計的消費財価格については、個別消費財に関する効用関数 (18) に、個別需要水準 (20) を代入することによって得られる。

個別の政府支出、投資については、(27)、(30) にあるように、集計的政府支出、集計的貯蓄から固定係数によって個別消費が与えられるが、個別消費については、効用関数 (18) を予算制約式 (19) のもとで最大化するものとして、(20) によって与えられる。

収入と貯蓄の定式化については、説明を省略する。

5.3 貿易

貿易に関わる定式化として注意すべき点は、まず、このモデルでは価格を表現する通貨は世界通貨としての米ドルのみであり、為替は明示的には現れてこないことである。

輸出価格と輸入価格の関係も注意すべき点の一つである。輸出元と輸入先が同一であり、同一財は同一の世界価格を持っているとする。ただし、GTAP では輸出の時点で輸出税がかかり、国際輸送のためのサービスが必要され、最後に輸入税がかかって、輸入元の財として利用される。このうち、輸入税 (45) は、輸入国の政府収入 (26) として扱われているが、輸出税は徴税はされて、その需要も結果的に発生しているが、それに関わっている主体は明示されていない。また、国際輸送サービスも貿易に伴って需要され、各国から輸出されている国際輸送サービスと需給がバランスするようになっている (47)。国際輸送サービスの需要は貿易額に関して固定比率で発生するが、供給については、国際輸送サービスの価格によって弾力的に発生するので、需給が均衡する点で価格が決定するようにモデルは構成されている。

集計的輸出関係式については、輸送サービス部門のみ、国際輸送サービスへの供給が変数として加わるといふ、やや変則的な形になっている。

また、輸出と輸入に関する需要関数は、付加価値関数における資本サービスと労働の需要関数と同様の操作がされていて、また、対応する変数も基本的に同等になっている。

6 EMEDA の方程式体系

ここでは、EMEDA の構造方程式のリストを記述する。ただし、以下で示すすべての式が独立したものではない。ワルラス法則で自立性を失う方程式以外に、他の式から自動的に導出される式も、理解を助けるものとして掲げておいた。

あらかじめ、紛らわしさのある記号の説明だけをしておく。以下で、サフィックスの r は自地域を表わす（サフィックスのついた変数としての r_r は、地域 r の資本サービス価格となる）。サフィックスのない R は地域総数であり（サフィックスのついた R_{tr} は r 地域の国際輸送サービスの輸出量を表す）、 n は部門数（財数）である。

生産関係式 (V_{jr} :付加価値、 K_{jr} :資本、 L_{jr} :労働、 p_{jr}^Z :国内生産物価格、 X_{ijr} :中間投入、 Z_{jr} :国内生産、 p_{jr}^V :付加価値価格（税込み価格）、 r_r :資本用役価格、 w_r :名目賃金率、 p_{ir}^Q :Armington 財価格、 τ_{jr}^K :資本税、 τ_{jr}^L :労働税、 τ_{jr}^F :生産物〔付加価値〕税)

6.1 生産関係式

付加価値生産関数

$$V_{jr} = \pi_{jr}^V \left\{ \alpha_{jr}^V K_{jr}^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} + (1 - \alpha_{jr}^V) L_{jr}^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} \right\}^{\frac{\beta_{jr}^V}{\beta_{jr}^V - 1}} \quad (6)$$

資本需要関数

$$K_{jr} = \left\{ \frac{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V} \pi_{jr}^V \alpha_{jr}^V p_{jr}^V}{(1 + \tau_{jr}^F)(1 + \tau_{jr}^K)r_r} \right\}^{\beta_{jr}^V} V_{jr} \quad (7)$$

労働需要関数

$$L_{jr} = \left\{ \frac{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V} \pi_{jr}^V (1 - \alpha_{jr}^V) p_{jr}^V}{(1 + \tau_{jr}^F)(1 + \tau_{jr}^L)w_r} \right\}^{\beta_{jr}^V} V_{jr} \quad (8)$$

単位価格関数

$$p_{jr}^Z = p_{jr}^V a_{0jr} + \sum_i p_i^Q a_{ijr} \quad (9)$$

投入諸係数

$$X_{ijr} = a_{ijr} Z_{jr} \quad (10)$$

$$V_{jr} = a_{0jr} Z_{jr} \quad (11)$$

6.2 最終需要関係式

合成財効用関数。以下の三つの式は方程式リストには加わらない。(需要関数に組み込まれているともいうべきか)

$$u_r = \left\{ \phi_r^C C_r^{\frac{\zeta_r-1}{\zeta_r}} + \phi_r^S S_r^{\frac{\zeta_r-1}{\zeta_r}} + \phi_r^G G_r^{\frac{\zeta_r-1}{\zeta_r}} \right\} \quad (12)$$

$$\phi_r^C + \phi_r^S + \phi_r^G = 1 \quad (13)$$

$$Y_r = p_r^C C_r + p_r^S S_r + p_r^G G_r \quad (14)$$

消費・貯蓄・政府支出需要関数。貯蓄に対する需要は投資需要と同値である

$$C_r = \frac{(\phi_r^C)^{\zeta_r} Y_r}{(p_r^C)^{\zeta_r} \sum_{h=C,S,G} (\phi_r^h)^{\zeta_r} (p_r^h)^{1-\zeta_r}} \quad (15)$$

$$S_r = \frac{(\phi_r^S)^{\zeta_r} Y_r}{(p_r^S)^{\zeta_r} \sum_{h=C,S,G} (\phi_r^h)^{\zeta_r} (p_r^h)^{1-\zeta_r}} \quad (16)$$

$$G_r = \frac{(\phi_r^G)^{\zeta_r} Y_r}{(p_r^G)^{\zeta_r} \sum_{h=C,S,G} (\phi_r^h)^{\zeta_r} (p_r^h)^{1-\zeta_r}} \quad (17)$$

個別消費効用関数

$$C_r = \left(\sum_{i=1}^n \psi_{ir}^C C_{ir}^{\frac{\zeta_r-1}{\zeta_r}} \right)^{\frac{\zeta_r}{\zeta_r-1}} \quad (18)$$

個別消費予算制約式

$$p_r^C C_r = \sum_{i=1}^n p_{ir}^Q C_{ir} \quad (19)$$

個別消費需要

$$C_{jr} = \frac{(\psi_{jr}^C)^{\zeta_r} p_r^C C_r}{(p_{jr}^Q)^{\zeta_r} \sum_{i=1}^n (\psi_{ir}^C)^{\zeta_r} (p_{ir}^Q)^{1-\zeta_r}} \quad (20)$$

合成財消費価格関数

$$p_r^C = \left\{ \sum_{i=1}^n (\psi_{ir}^C)^{\zeta_r} (p_{ir}^Q)^{1-\zeta_r} \right\}^{\frac{1}{1-\zeta_r}} \quad (21)$$

政府支出価格関数

$$p_r^G = \sum_{i=1}^n p_{ir}^Q g_{ir} \quad \text{where } \sum_{i=1}^n g_{ir} = 1 \quad (22)$$

貯蓄価格関数 (s_i : 貯蓄構成比 = 投資構成比)

$$p_r^S = \sum_{i=1}^n p_{ir}^Q s_{ir} \quad \text{where } \sum_{i=1}^n s_{ir} = 1 \quad (23)$$

6.3 所得・貯蓄関係式

民間収入

$$Y_r^P = w_r \bar{L}_r + r_r \bar{K}_r \quad (24)$$

民間貯蓄

$$S_r^P = Y_r^P - p_r^C C_r \quad (25)$$

政府収入（輸出税収入か組み込まない）

$$Y_r^G = \sum_{j=1}^n [\tau_{jr}^F \{(1 + \tau_{jr}^L) w_r L_{jr} + (1 + \tau_{jr}^K) r_r K_{jr}\} + \tau_{jr}^L w_r L_{jr} + \tau_{jr}^K r_r K_{jr}] + \sum_{ir} T_{ir}^M \quad (26)$$

政府支出

$$G_{ir} = g_{ir} G_r \quad (27)$$

政府貯蓄

$$S_r^G = Y_r^G - p_r^G G_r \quad (28)$$

総収入

$$Y_r = Y_r^P + Y_r^G + S_r^F \quad (29)$$

貯蓄と投資（ S :総貯蓄、 I :総投資、 S^f :貿易収支、 I_j :投資）

$$I_{ir} = s_{ir} S \quad (30)$$

次の式は、これまでの関係から自動的に成立する。方程式リストには含まれない。

$$(p_r^S S_r = S_r^P + S_r^G + S_r^F) \quad (31)$$

6.4 貿易関係式

貿易収支 S_r^F (E_{ir}, M_{ir} : 輸出・輸入、輸入については関税を除いたもののみを計上する、これは政府収入に関税を加えていることを事実上相殺する、 r は自国を指す)

$$\sum_i p_{ir}^{HE} E_{ir} + \sum_i p_{ir}^R R_{ir} + S^F = \sum_i \sum_s p_{isr}^{IW} M_{isr} \quad (32)$$

集計的輸出関係式 (D_i :国内生産物の国内需要量、 p_i^D :同価格、 R は国際輸送部門で輸送サービス t のみ)

(implicit budget constraint)

$$(p_{ir}^Z Z_{ir} = p_{ir}^{HE} E_{ir} + p_{ir}^D D_{ir} + p_{ir}^R R_{ir}, \quad p_{ir}^R = 0, i \neq t)$$

$$Z_{ir} = \theta_{ir} \left(\eta_{ir}^E E_{ir}^{\frac{\lambda_{ir}+1}{\lambda_{ir}}} + \eta_{ir}^D D_{ir}^{\frac{\lambda_{ir}+1}{\lambda_{ir}}} + \eta_{ir}^R R_{ir}^{\frac{\lambda_{ir}+1}{\lambda_{ir}}} \right)^{\frac{\lambda_{ir}}{\lambda_{ir}+1}} \quad (33)$$

$$\eta_{ir}^E + \eta_{ir}^D + \eta_{ir}^R = 1 \quad (\eta_{ir}^R = 0, i \neq t)$$

$$E_{ir} = \left(\frac{\eta_{ir}^E \theta_{ir}^{\frac{1+\lambda_{ir}}{\lambda_{ir}}} p_{ir}^Z}{p_{ir}^{HE}} \right)^{-\lambda_{ir}} Z_{ir} \quad (34)$$

$$D_{ir} = \left(\frac{\eta_{ir}^D \theta_{ir}^{\frac{1+\lambda_{ir}}{\lambda_{ir}}} p_{ir}^Z}{p_{ir}^D} \right)^{-\lambda_{ir}} Z_{ir} \quad (35)$$

$$R_{ir} = \left(\frac{\eta_{ir}^R \theta_{ir}^{\frac{1+\lambda_{ir}}{\lambda_{ir}}} p_{ir}^Z}{p_{ir}^R} \right)^{-\lambda_{ir}} Z_{ir} \quad i = t \quad (36)$$

各地域への輸出（輸出先地域 s 、自地域が r となる。 E_{irs} は、自国 r から外国 s への輸出）

$$(p_{ir}^{HE} E_{ir} = \sum_s p_{irs}^{IE} E_{irs})$$

$$E_{ir} = \theta_{ir}^E \left(\sum_{s=1}^R \eta_{irs}^{IE} E_{irs}^{\frac{\lambda_{ir}^E + 1}{\lambda_{ir}^E}} \right)^{\frac{\lambda_{ir}^E}{\lambda_{ir}^E + 1}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (37)$$

$$E_{irs} = \left\{ \frac{\eta_{irs}^{IE} (\theta_{ir}^E)^{\frac{\lambda_{ir}^E + 1}{\lambda_{ir}^E}} p_{ir}^{HE}}{p_{irs}^{IW}} \right\}^{-\lambda_{ir}^E} E_{ir} \quad s = 1, 2, \dots, R \quad (38)$$

輸入関係式 (Q_{ir} :Armington 財)

$$(p_{ir}^Q Q_{ir} = p_{ir}^{HM} M_{ir} + p_{ir}^D D_{ir})$$

$$Q_{ir} = \sigma_{ir} \left\{ \delta_{ir} M_{ir}^{\frac{\xi_{ir}-1}{\xi_{ir}}} + (1 - \delta_{ir}) D_{ir}^{\frac{\xi_{ir}-1}{\xi_{ir}}} \right\}^{\frac{\xi_{ir}}{\xi_{ir}-1}} \quad (39)$$

$$M_{ir} = \left(\frac{\delta_{ir} \sigma_{ir}^{\frac{\xi_{ir}-1}{\xi_{ir}}} p_{ir}^Q}{p_{ir}^{HM}} \right)^{\xi_{ir}} Q_{ir} \quad (40)$$

$$D_{ir} = \left\{ \frac{(1 - \delta_{ir}) \sigma_{ir}^{\frac{\xi_{ir}-1}{\xi_{ir}}} p_{ir}^Q}{p_{ir}^D} \right\}^{\xi_{ir}} Q_{ir} \quad (41)$$

各地域 (r) からの輸入関数（この場合も自地域が r になる。 M_{isr} は外国 s から自国 r への輸入。）

$$(p_{ir}^{HM} M_{ir} = \sum_s (1 + \tau_r^{IM}) p_{isr}^{IM} M_{isr})$$

$$M_{ir} = \sigma_{ir}^M \left(\sum_{s=1}^R \delta_{isr}^M M_{isr}^{\frac{\xi_{ir}^M - 1}{\xi_{ir}^M}} \right)^{\frac{\xi_{ir}^M}{\xi_{ir}^M - 1}} \quad (42)$$

$$M_{irs} = \left\{ \frac{\delta_{irs}^M (\sigma_{ir}^M)^{\frac{\xi_{ir}^M - 1}{\xi_{ir}^M}} P_{ir}^{HM}}{(1 + \tau_{irs}^{IM}) p_{irs}^{IW}} \right\}^{\xi_{ir}^M} M_{ir} \quad s = 1, 2, \dots, R \quad (43)$$

輸入税式

$$T_{ir}^M = \sum_s \tau_{irs}^{IM} p_{irs}^{IW} M_{irs} \quad (44)$$

輸出税（ただし、モデルの簡略化のために税収は国内バランス上は考慮していない）

$$\left(T_{ir}^E = \sum_s \tau_{irs}^{IE} p_{irs}^{IW} E_{irs} \right) \quad (45)$$

6.5 国際・国内市場均衡式

輸出、輸入財に関する需給均衡式。個別国際価格 p_{irs}^{IW} が決まると考えてよい。（すべての財 i 、すべての地域 r :財の出発地域、 s :財の目的地について、 μ_{irs} は、国際輸送部門に支払う、実物財で計ったコスト率。）

$$(1 + \mu_{irs})(1 + \tau_{irs}^E) E_{irs} = M_{irs} \quad (46)$$

国際輸送サービスに関する需給均衡式。国際輸送サービス価格 p_t^R が決まると考えてよい。（輸送サービスに関する需給均衡式 R_{ir} の i は輸送サービス t 以外はゼロである。）

$$\sum_i \sum_r R_{ir} = \sum_i \sum_s \sum_r \mu_{irs} (1 + \tau_{irs}^E) E_{irs} \quad (47)$$

国内アーミントン財に関する需給均衡式。アーミントン財価格 p_{ir}^Q が決まると考えてよい。

$$Q_{ir} = C_{ir} + G_{ir} + I_{ir} + \sum_j X_{ijr} \quad (48)$$

資本サービスに関する需給均衡式。資本サービス価格 r_r が決まると考えてよい。

$$\bar{K}_r = \sum_j K_{jr} \quad (49)$$

労働に関する需給均衡式。賃金率 w_r が決まると考えてよい。ただし、EMEDA においては、ワルラス法則が成立する結果として、賃金率は価値基準財として 1 に固定される。

$$\bar{L}_r = \sum_j L_{jr} \quad (50)$$

7 キャリブレーション

キャリブレーションの目的は、初期データからモデルの方程式を構成する基本的なパラメータ（税率、投資・政府支出係数、CES および CET 関数の分配パラメータ、スケールパラメータ等）を計算することにある。ただし、CES および CET 関数の代替弾力性については、一般にデータから直接計算することはできないので、外部からの挿入の必要性がある。

以下では、付加価値生産関数、消費関数、輸出関数、輸入関数のパラメータの計算式を記載しておく。

7.1 付加価値関数

付加価値生産関数の分配パラメータおよびスケールパラメータは、以下の式によって与えられる。

$$\alpha_{jr} = \frac{(1 + \tau_{jr}^K K_{jr})^{\frac{1}{\beta_{jr}}}}{(1 + \tau_{jr}^K K_{jr})^{\frac{1}{\beta_{jr}}} + (1 + \tau_{jr}^L L_{jr})^{\frac{1}{\beta_{jr}}}} \quad (51)$$

$$\pi_{jr}^V = \frac{V_{jr}}{\left\{ \alpha_{jr}^V K_{jr}^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} + (1 - \alpha_{jr}^V) L_{jr}^{\frac{\beta_{jr}^V - 1}{\beta_{jr}^V}} \right\}^{\frac{\beta_{jr}^V}{\beta_{jr}^V - 1}}} \quad (52)$$

7.2 消費関数（最終需要関数、個別消費関数）

集計的消費関数（最終需要関数）の分配係数は次のように与えられる。

$$\phi_r^H = \frac{p_r^H H_r^{\frac{1}{\zeta_r}}}{p_r^H H_r^{\frac{1}{\zeta_r}} + p_r^C C_r^{\frac{1}{\zeta_r}} + p_r^S S_r^{\frac{1}{\zeta_r}}} \quad H = C, S, G \quad (53)$$

これらを求めるための集計価格は次のようになる。

$$p_r^S = p_r^G = 1$$

$$p_r^C = \left\{ \sum_{i=1}^n (\phi_i^C)^{\zeta_r} \right\}^{\frac{1}{1-\zeta_r}}$$

ここで用いられている個別消費需要関数の配分係数 ϕ_{ir}^C は次の式で求められる。

$$\phi_{ir}^C = \frac{C_{ir}^{\frac{1}{\zeta_r}}}{\sum_{k=1}^n C_{kr}^{\frac{1}{\zeta_r}}} \quad (54)$$

7.3 輸出関数

集計的輸出関数のパラメータは以下のように導出できる。ただし、輸送サービス部門以外のパラメータの導出においては、国際輸送サービスへの輸出である R は考慮されない。

$$\eta_{ir}^H = \frac{H^{-\frac{1}{\lambda_{ir}}}}{E_{ir}^{-\frac{1}{\lambda_{ir}}} + D_{ir}^{-\frac{1}{\lambda_{ir}}} + R_{ir}^{-\frac{1}{\lambda_{ir}}}} \quad (55)$$

$$\theta_{ir} = \frac{Z_{ir}}{\left(\eta_{ir}^E E_{ir}^{\frac{\lambda_{ir}+1}{\lambda_{ir}}} + \eta_{ir}^D D_{ir}^{\frac{\lambda_{ir}+1}{\lambda_{ir}}} + \eta_{ir}^R R_{ir}^{\frac{\lambda_{ir}+1}{\lambda_{ir}}} \right)^{\frac{\lambda_{ir}}{\lambda_{ir}+1}}} \quad (56)$$

個別輸出関数のパラメータは次のように導出できる。輸出税が明示的に入っていないことに注意すべきである。

$$\eta_{irs}^{IE} = \frac{E_{irs}^{-\frac{1}{\lambda_{ir}^E}}}{\sum_{r=1}^R E_{irs}^{-\frac{1}{\lambda_{ir}^E}}} \quad (57)$$

$$\theta_{ir}^E = \frac{E_{ir}}{\left(\sum_{s=1}^R \eta_{irs}^{IE} E_{irs}^{\frac{\lambda_{ir}^E + 1}{\lambda_{ir}^E}} \right)^{\frac{\lambda_{ir}^E}{\lambda_{ir}^E + 1}}} \quad (58)$$

7.4 輸入関数

集計的輸入関数に関わる係数は以下のように導出できる。

$$\delta_{ir} = \frac{M_{ir}^{\frac{1}{\xi_{ir}}}}{D_{ir}^{\frac{1}{\xi_{ir}}} + M_{ir}^{\frac{1}{\xi_{ir}}}} \quad (59)$$

$$\sigma_{ir} = \frac{Q_{ir}}{\left\{ \delta_{ir} M_{ir}^{\frac{\xi_{ir}-1}{\xi_{ir}}} + (1 - \delta_{ir}) D_{ir}^{\frac{\xi_{ir}-1}{\xi_{ir}}} \right\}^{\frac{\xi_{ir}}{\xi_{ir}-1}}} \quad (60)$$

個別輸入に関するパラメータ導出においては、輸入税を考慮する必要がある。

$$\delta_{isr} = \frac{(1 + \tau_{isr}^{IM}) M_{isr}^{\frac{1}{\xi_{isr}^M}}}{\sum_{s=1}^R (1 + \tau_{isr}^{IE}) M_{isr}^{\frac{1}{\xi_{isr}^M}}} \quad (61)$$

$$\sigma_{ir}^M = \frac{M_{ir}}{\left(\sum_{s=1}^R \delta_{isr}^M M_{isr}^{\frac{\xi_{isr}^M - 1}{\xi_{isr}^M}} \right)^{\frac{\xi_{isr}^M}{\xi_{isr}^M - 1}}} \quad (62)$$

参考文献

- [1] Hertel, T.W. and Marininos E. Tsigas, 1997, "Structure of GTAP," in T.W. Hertel (ed.), *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*, Chapter 2: Cambridge University Press. (柴崎隆一訳, 「付録 A GTAP モデルの構造」国総研資料 No.258.)
- [2] Badri Narayanan G. and Terrie L. Walmsley, Editors, 2008, *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base*, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- [3] Nordhaus, D. William and Zili Yang, 1996, "A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies", *The American Economic Review*, vol.86(4), pp741-765.
- [4] Nordhaus, D. William and Joseph Boyer, 2000, *Warming the World — Economic Models of Global Warming*, The MIT Press, London.
- [5] Nordhaus, D. William, 2008, *A Question of Balance — Weighing the Options on Global Warming Policies*, Yale University Press, New Haven & London.
- [6] 細江宣裕、我澤賢之、橋本日出男、2004、『テキストブック応用一般均衡モデリング — プログラムからシミュレーションまで』、東京大学出版界。