

廃棄物再(生)利用を考慮した 小地域の動学的応用一般均衡分析

宮田 譲¹

¹正会員 学博 豊橋技術科学大学教授 工学部人文・社会工学系 (〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)
E-mail:miyata@hse.tut.ac.jp

筆者らは帯広都市圏を対象として、廃棄物の再(生)利用を考慮した、静学的応用一般均衡(CGE)モデルを開発してきている。しかしながら、都市圏の持続的発展性や環境共生を考えると、静学モデルでは不十分であり、モデルの動学化が必要とされる。この観点から本研究では筆者らの既存モデルについて、割引された効用値累積和を最大にする形で動学化を行っている。このモデルを用いて廃棄物の再(生)利用率増加が、帯広都市圏にどのような影響を与えるのかをシミュレーション分析する。シミュレーションにより廃棄物の再(生)利用率を 1.2 倍引き上げるために必要な再(生)利用財価格の下落幅や、家計による消費と貯蓄の選択パターンなどが動学一般均衡解として得られている。

Key Words: *intertemporal CGE model, waste recycling, compact city, environmental subsidies, Obihiro city*

1. はじめに

筆者らは帯広都市圏(帯広市, 音更町, 芽室町, 幕別町)のコンパクト・シティ化を探るために、静学的応用一般均衡モデル(CGE)の作成を行ってきた^{1,2)}。これらの研究では帯広都市圏の廃棄物発生量が、帯広都市圏の経済状態によって、どのように変化するのか¹⁾、あるいは帯広都市圏での再(生)利用の促進が、帯広都市圏の経済にどのような影響を与えるのかを²⁾、実際のデータを用いた数値シミュレーションによって、詳細に調べられている。特に文献 2) では財を圏内産バージン財, 移輸入財, 再(生)利用財に差別化し, 再(生)利用促進の経済的影響をより詳細に検討できる工夫を行っている。

ところで筆者らはコンパクト・シティを「都市の空間や面的・人口といった規模を表す概念ではなく、都市機能の濃密が過剰であったり、欠如することなく適切に構成されており、その点で環境負荷と都市成長が均衡し、このバランスが持続的に保たれている状態」と定義している。この定義によれば、コンパクト・シティを考えていく上で時間的要素が必要であり、帯広都市圏のモデルも動学化する必要がある¹⁾。

環境-経済システムにおける CGE モデルの動学化は既に Jorgenson and Wilcoxon³⁾, Conrad and Schröder⁴⁾, Burniaux, Nicoletti, and Oliveira-Martins⁵⁾, Welsch and Hoster⁶⁾, Goulder⁷⁾などに示されているが、その多くは二酸化炭素排出に関するモデルであり、その意味でグロー

バルな環境問題を扱ったものと言える。廃棄物に関連する動学一般均衡分析は、理論的なものとして Atri and Schellberg⁸⁾, Samakovlis⁹⁾, 実証的なものとしては Miyata¹⁰⁾, Fæhn and Holmøy¹¹⁾などに留まっており、今後の研究蓄積が必要とされる分野である。

そこで本研究では割引された家計効用の総和を最大化する形で既存モデルを動学化し、コンパクト・シティ実現で最も重要となる物質循環促進の経済的影響を探ることを目的とする²⁾。なお本研究では読者への便宜を考慮して、既存研究との重複部分もあることを明記しておく。

2. 帯広都市圏の経済-物質循環会計行列

本研究では帯広市単独を対象地域に取るのではなく、帯広市を囲む音更町, 芽室町, 幕別町の 3 町を合わせた帯広都市圏を対象とする。帯広都市圏を対象とする理由は、既に十分な環境基本計画¹²⁾が策定されており、環境共生型都市の実現可能性が十分高いことと、人口が約 25 万人と都市圏がコンパクトなことによるものである。また帯広市を含む 1 市 3 町には合併の構想はないものの、帯広市都市計画¹³⁾でこの都市圏を一体として整備していく計画となっている。さらに帯広市自体は十勝圏の中核管理都市であるため、産業構造が特殊になっている。本来は十勝圏は農業地帯であり、その特色を出すためにも 1 市 3 町を対象とした。ここでは帯広都市圏の経済-

物質循環会計行列について述べるが、まず帯広都市圏の廃棄物の現状^{14),15)}を表-1で示しておこう。この表に関する説明は文献2)で述べられているので、ここでは省略する。

次にCGEモデルでは経済会計行列をベンチマークデータセットとして用いるのが通常である。帯広都市圏については産業連関表、経済計算統計がないため、まず産業連関表の推計から行った。産業連関表の最新年次である1995年の北海道産業連関表¹⁶⁾をブレイクダウンすることによって、帯広都市圏の8部門産業連関表を推計した。産業部門は農林漁業、鉱業、製造業、建設業、電力・ガス・水道業、商業、運輸・通信業、サービス業である。

次に移転所得等、産業連関表以外の北海道の経済会計行列¹⁷⁾の部門を推計し、それを国勢調査等¹⁸⁾を用いてブ

レイクダウンし、帯広都市圏の産業連関表と併せて、帯広都市圏の経済-物質循環会計行列を推計した。推計結果は表-2に示すようである。この表についても、その説明は文献2)に示されているので、ここでは省略する。

3. モデルの構造

本研究のモデルの全体構成は図-1に、またモデルの階層構造は図-2に示される。

(1) モデルの主要前提条件

本研究の主要な前提条件は以下のようであるが、この他にもモデルの細部について様々な仮定を設定する。そ

表-1 帯広都市圏の廃棄物発生量とその処理・処分量

(単位：トン)

	発生量	再(生)利用量	自己除去量	委託除去量
合計	2,230,762	1,016,279	1,032,652	181,831
産業廃棄物計	2,135,426	1,004,570	1,032,652	98,204
農林漁業	1,478,574	736,288	738,528	3,758
鉱業	34,234	2,322	31,685	227
製造業	278,033	66,966	183,386	27,681
建設業	271,051	162,789	47,796	60,466
電気・ガス・水道業	46,741	17,403	29,000	338
商業	15,392	10,989	1,958	2,445
運輸・通信業	983	486	91	406
サービス業	10,418	7,327	208	2,883
家計	95,336	11,709	0	83,627

表-2 帯広都市圏の経済-物質循環会計行列

(単位：金額は百万円、廃棄物発生量・再(生)利用量・除去量はトン)

項目 (単位：百万円)	生産活動 1~8産業	再(生)利用活動 1活動	廃棄物除去活動		制度部門		生産要素		資本蓄積	圏外部門	合計
			自己除去	外部除去	政府	家計	資本	労働			
生産活動	660,549	6,805	5,307	830	187,338	529,766	0	0	294,850	-115,942	1,569,503
再(生)利用活動	5,685	66	41	1	38	3,186	0	0	1,145	0	10,162
廃棄物除去活動	自己除去	10,327	0	0	0	0	0	0	0	0	10,327
	外部除去	1,317	0	0	0	917	204	0	0	0	2,438
制度部門	政府	36,795	225	0	21	0	166,359	0	0	0	317,294
	家計	0	0	0	0	155,708	0	220,522	522,360	0	988,514
生産要素	資本	216,807	943	2,659	293	0	0	0	0	0	4,735
	労働	518,072	1,733	1,365	730	0	0	0	0	0	522,360
資本調達	119,951	392	954	561	14,421	156,267	0	0	0	56,259	348,805
圏外部門	0	0	0	0	162,272	132,732	4,916	0	52,809	0	352,729
合計	1,569,503	10,163	10,326	2,436	520,694	988,514	225,438	522,360	348,804	352,730	4,550,968
項目 (単位：トン)	生産活動 廃棄物発生量	再(生)利用活動 再(生)利用量	廃棄物除去活動		制度部門		生産要素		資本蓄積	圏外部門	合計
			自己除去量	外部除去量	廃棄物発生量	資本	労働				
産業廃棄物	2,135,426	-1,004,570	-1,032,652	-98,204	0	0	0	0	0	0	0
一般廃棄物	0	-11,709	0	-83,627	0	95,336	0	0	0	0	0
合計	2,135,426	-1,016,279	-1,032,652	-181,831	0	95,336	0	0	0	0	0

れらについてはモデルの説明の中で適宜言及する。

a) 1996年から2020年の帯広都市圏の経済を対象とする。経済主体は帯広都市圏の家計、8産業(表-1の分類に対応)、8廃棄物自己除去活動(表-1の分類に対応)、1廃棄物外部(委託)除去活動、1廃棄物再(生)利用活動、政府部門、圏外部門とする。そして圏外部門を含めれば、本研究のモデルは閉鎖経済となっている⁽³⁾。

b) 財は圈内産バージン財、移輸入財、再(生)利用財に差別化される。なお再(生)利用財は製造業製品の代替財と見なす。また移輸入財価格は外生的とし、期間に関らず1と設定する⁽⁴⁾。

c) 市場は8生産物市場、1再(生)利用財市場、1廃棄物外部除去市場、資本市場、労働市場の12市場とし、これらの市場は毎期の資本ストック、人口が与えられたもとで、均衡状態にあるとする。

なお以下では、圈内産バージン財をV財、再(生)利用財をR財、移輸入財をM財と略記することもある。

(2) 産業および廃棄物自己除去活動

産業は期首で与えられた資本ストック総量のもとで中間財、資本、労働を投入し、財を生産すると同時に、産業廃棄物を発生させる。産業廃棄物は再(生)利用、自己除去、外部除去の何れかの処理がなされる。それぞれの比率は固定的とし、産業は自己除去、外部除去費用を負担する。産業の技術は中間投入に関して Leontief 型技術、

資本と労働については Cobb-Douglas 型技術とし、規模に関する収穫一定を仮定する。

また自己除去活動の技術も、中間投入に関して Leontief 型技術、労働、資本の投入に関して Cobb-Douglas 型技術で、規模に関して収穫一定を仮定する。

産業の行動は技術の1次同次性から、与えられた産出量に対し、廃棄物除去活動費用を含む費用最小化行動として定式化される。

なお筆者らの既存研究⁽²⁾と同様に、本研究でも中間財が圈内産財と圏外産財との Cobb-Douglas 合成財として定式化され、特に製造業からの投入($i=3$ に対応)については圈内産財、圏外産財、再(生)利用財との合成財とする⁽⁵⁾。これらは以下のようにモデル化される。

$$\min \sum_{i=1}^8 p_{ij}^V x_{ij}^V + (1 + tp_{Vj})(wL_{Vj} + rK_{Vj}) + \sum_{i=1}^8 p_{ij}^T x_{ij}^T + (1 + tp_{Tj})(wL_{Tj} + rK_{Tj}) + q_c WC_j \quad (1)$$

with respect to $x_{ij}^V, L_{Vj}, K_{Vj}, x_{ij}^T, L_{Tj}, K_{Tj}, WC_j$

subject to

$$X_j = \min \left\{ \frac{1}{a_{V0j}} f_{Vj}(L_{Vj}, K_{Vj}), \frac{x_{1j}^V}{a_{1j}^V}, \dots, \frac{x_{8j}^V}{a_{8j}^V} \right\} \quad (2)$$

$$x_{ij}^V = x_{VDij}^{\alpha_{VDij}} x_{VMij}^{\alpha_{VMij}} \quad (\alpha_{VDij} + \alpha_{VMij} = 1, i, j = 1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (3)$$

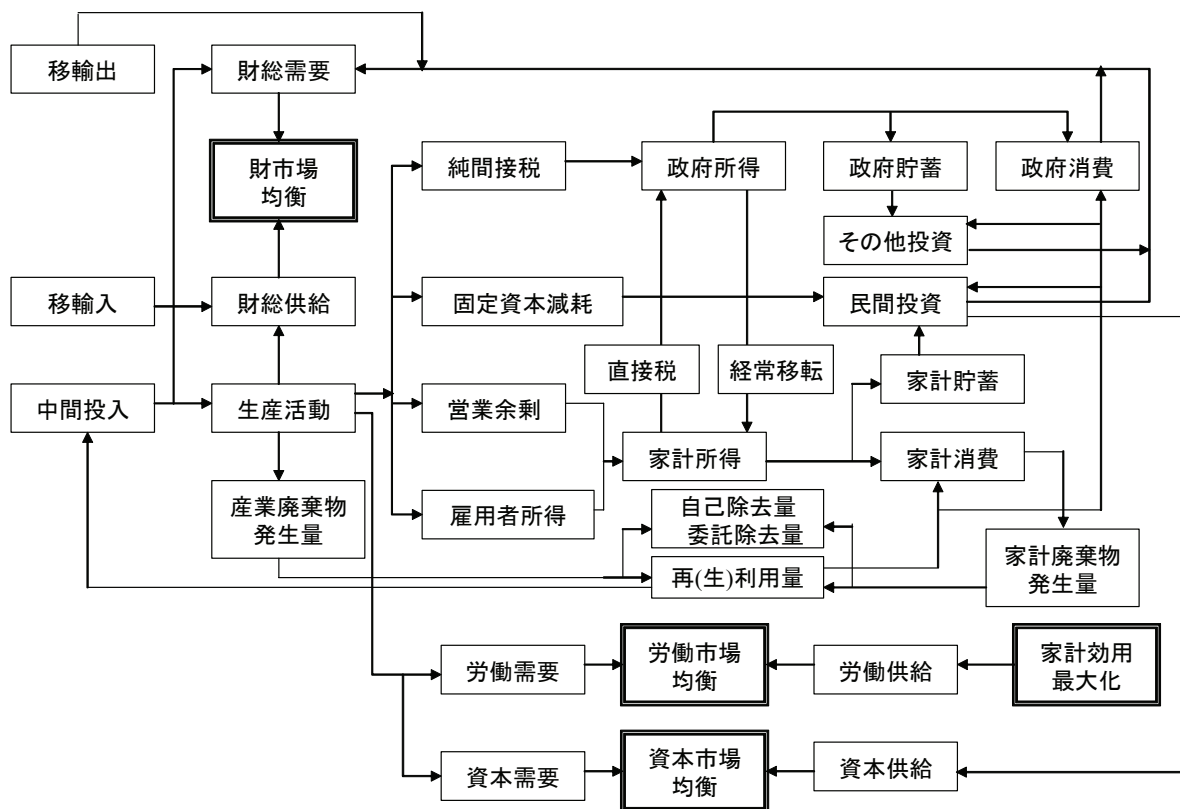


図-1 帯広都市圏動学 CGE モデルの全体構造

$$x_{3j}^V = x_{VD3j}^{\alpha_{VD3j}} x_{VM3j}^{\alpha_{VM3j}} x_{VR3j}^{\alpha_{VR3j}} \quad (\alpha_{VD3j} + \alpha_{VM3j} + \alpha_{VR3j} = 1) \quad (4)$$

$$WG_j = \zeta_j X_j \quad (5)$$

$$WT_j = \eta_j WG_j \quad (6)$$

$$WT_j = \min \left\{ \frac{1}{a_{T0j}} f_{Tj}(L_{Tj}, K_{Tj}), \frac{x_{1j}^T}{a_{1j}^T}, \dots, \frac{x_{8j}^T}{a_{8j}^T} \right\} \quad (7)$$

$$x_{ij}^T = x_{TDij}^{\alpha_{TDij}} x_{TMij}^{\alpha_{TMij}} \quad (\alpha_{TDij} + \alpha_{TMij} = 1, i, j = 1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (8)$$

$$x_{3j}^T = x_{TD3j}^{\alpha_{TD3j}} x_{TM3j}^{\alpha_{TM3j}} x_{TR3j}^{\alpha_{TR3j}} \quad (\alpha_{VD3j} + \alpha_{VM3j} + \alpha_{TR3j} = 1) \quad (9)$$

$$WC_j = \theta_j WG_j \quad (10)$$

$$f_{Vj}(L_{Vj}, K_{Vj}) \equiv A_{Vj} L_{Vj}^{\alpha_{Vj}} K_{Vj}^{(1-\alpha_{Vj})} \quad (11)$$

$$f_{Tj}(L_{Tj}, K_{Tj}) \equiv A_{Tj} L_{Tj}^{\alpha_{Tj}} K_{Tj}^{(1-\alpha_{Tj})} \quad (12)$$

r : 資本収益率

L_{Vj} : 産業 j の労働投入量

K_{Vj} : 産業 j の資本投入量

p_{ij}^T : 自己除去活動 j の中間投入合成財 i の価格

x_{ij}^T : 自己除去活動 j の V 財・ M 財・(R 財) 合成財 i 中間投入量

tp_{Tj} : 自己除去活動 j の純間接税率

L_{Tj} : 自己除去活動 j の労働投入量

K_{Tj} : 自己除去活動 j の資本投入量

q_C : 外部除去サービス価格

WC_j : 産業 j の廃棄物外部除去量

X_j : 産業 j の産出量

a_{V0j} : 産業 j の付加価値率

a_{ij}^V : 産業 j の V 財・ M 財・(R 財) 合成財中間投入係数

x_{VDij} : 産業 j の V 財 i 中間投入量

x_{VMij} : 産業 j の M 財 i 中間投入量

x_{VR3j} : 産業 j の R 財中間投入量

$\alpha_{VDij}, \alpha_{VMij}, \alpha_{VR3j}$: 産業 j の中間投入合成財分配パラメータ

WG_j : 産業 j の廃棄物発生量

ζ_j : 産業 j の廃棄物発生係数

WT_j : 産業 j の廃棄物自己除去量

η_j : 産業 j の廃棄物自己除去率

a_{T0j} : 自己除去活動 j の付加価値率

L_{Tj} : 自己除去活動 j の労働投入量

ここで,

p_{ij}^V : 産業 j の中間投入合成財 i の価格

x_{ij}^V : 産業 j の V 財・ M 財・(R 財) 合成財 i 中間投入量

tp_{Vj} : 産業 j の純間接税率

w : 賃金率

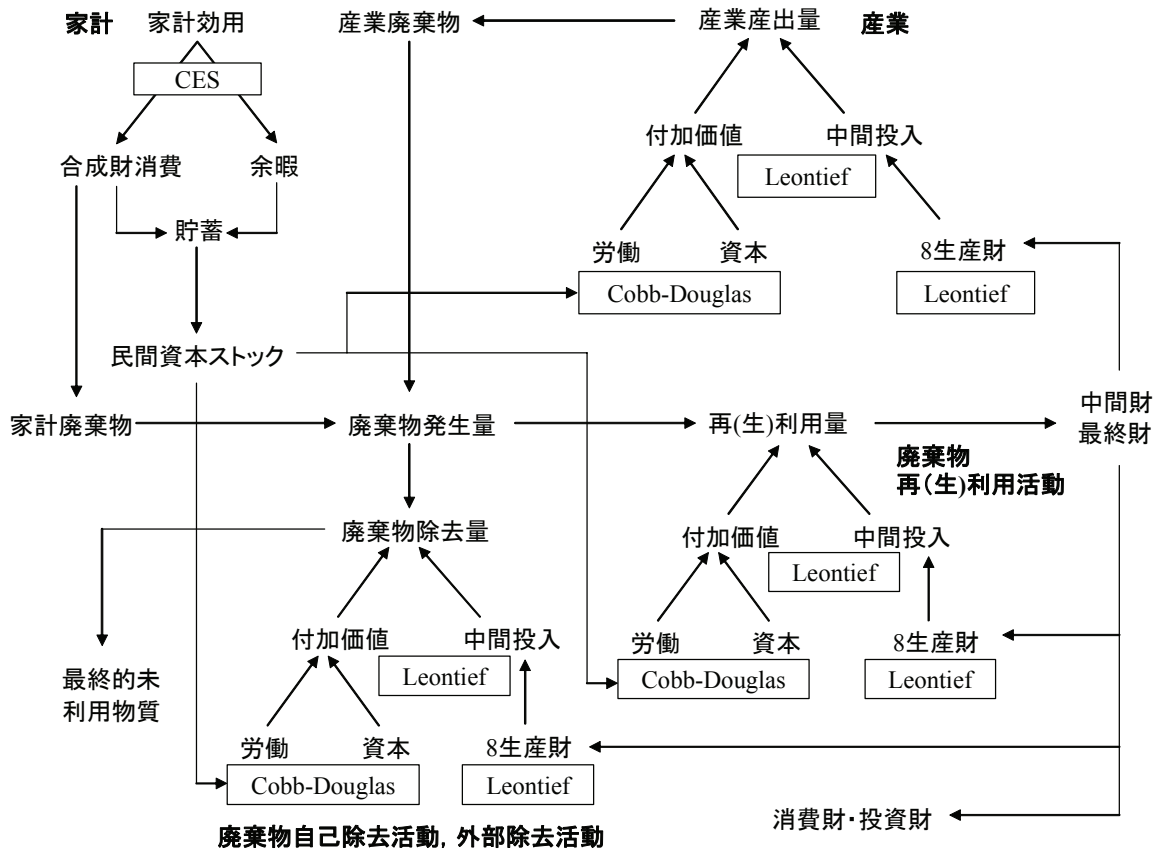


図-2 帯広都市圏動学CGEモデルの階層構造

K_{Tj} : 自己除去活動 j の資本投入量

x_{ij}^T : 自己除去活動 j の V 財・ M 財・(R 財) 合成財 i 中間投入量

a_{ij}^T : 自己除去活動 j の V 財・ M 財・(R 財) 合成財 中間投入係数

x_{TDij} : 自己除去活動 j の V 財 i 中間投入量

x_{TMij} : 自己除去活動 j の M 財 i 中間投入量

x_{TR3j} : 自己除去活動 j の R 財 中間投入量

$\alpha_{TDij}, \alpha_{TMij}, \alpha_{TR3j}$: 自己除去活動 j の中間投入合成財分配パラメータ

θ_j : 産業 j の廃棄物外部除去率

A_{Vj}, α_{Vj} : 産業 j の技術パラメータ

A_{Tj}, α_{Tj} : 自己除去活動 j の技術パラメータ

上式(1)~(12)の最適化問題から、生産量 X_j に伴う産業 j と自己除去活動 j の中間投入、労働、資本の条件付き需要関数、および V 財・ M 財・(R 財) 合成財価格を得る。

$$x_{ij}^V = a_{ij}^V X_j \quad (13)$$

$$x_{VDij} = x_{ij}^V \frac{\alpha_{VDij}}{p_{Vi}} \left[\frac{p_{Vi}}{\alpha_{VDij}} \right]^{\alpha_{VDij}} \left[\frac{p_{Mi}}{\alpha_{VMij}} \right]^{\alpha_{VMij}} \quad (i, j = 1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (14)$$

$$x_{VMij} = x_{ij}^V \frac{\alpha_{VMij}}{p_{Mi}} \left[\frac{p_{Vi}}{\alpha_{VDij}} \right]^{\alpha_{VDij}} \left[\frac{p_{Mi}}{\alpha_{VMij}} \right]^{\alpha_{VMij}} \quad (i, j = 1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (15)$$

$$x_{VD3j} = x_{3j}^V \frac{\alpha_{VD3j}}{p_{V3}} \left[\frac{p_{V3}}{\alpha_{VD3j}} \right]^{\alpha_{VD3j}} \left[\frac{p_{M3}}{\alpha_{VM3j}} \right]^{\alpha_{VM3j}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{VR3j}} \right]^{\alpha_{VR3j}} \quad (16)$$

$$x_{VM3j} = x_{3j}^V \frac{\alpha_{VM3j}}{p_{M3}} \left[\frac{p_{V3}}{\alpha_{VD3j}} \right]^{\alpha_{VD3j}} \left[\frac{p_{M3}}{\alpha_{VM3j}} \right]^{\alpha_{VM3j}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{VR3j}} \right]^{\alpha_{VR3j}} \quad (17)$$

$$x_{VR3j} = x_{3j}^V \frac{\alpha_{VR3j}}{p_R} \left[\frac{p_{V3}}{\alpha_{VD3j}} \right]^{\alpha_{VD3j}} \left[\frac{p_{M3}}{\alpha_{VM3j}} \right]^{\alpha_{VM3j}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{VR3j}} \right]^{\alpha_{VR3j}} \quad (18)$$

$$L_{Vj} = \left[\frac{\alpha_{Vj} r}{(1 - \alpha_{Vj}) w} \right]^{(1 - \alpha_{Vj})} \frac{a_{V0j} X_j}{A_{Vj}} \quad (19)$$

$$K_{Vj} = \left[\frac{(1 - \alpha_{Vj}) w}{\alpha_{Vj} r} \right]^{\alpha_{Vj}} \frac{a_{V0j} X_j}{A_{Vj}} \quad (20)$$

$$x_{ij}^T = a_{ij}^T WT_j \quad (21)$$

$$x_{TDij} = x_{ij}^T \frac{\alpha_{TDij}}{p_{Vi}} \left[\frac{p_{Vi}}{\alpha_{TDij}} \right]^{\alpha_{TDij}} \left[\frac{p_{Mi}}{\alpha_{TMij}} \right]^{\alpha_{TMij}} \quad (i, j = 1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (22)$$

$$x_{TMij} = x_{ij}^T \frac{\alpha_{TMij}}{p_{Mi}} \left[\frac{p_{Vi}}{\alpha_{TDij}} \right]^{\alpha_{TDij}} \left[\frac{p_{Mi}}{\alpha_{TMij}} \right]^{\alpha_{TMij}} \quad (i, j = 1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (23)$$

$$x_{TD3j} = x_{3j}^T \frac{\alpha_{TD3j}}{p_{V3}} \left[\frac{p_{V3}}{\alpha_{TD3j}} \right]^{\alpha_{TD3j}} \left[\frac{p_{M3}}{\alpha_{TM3j}} \right]^{\alpha_{TM3j}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{TR3j}} \right]^{\alpha_{TR3j}} \quad (24)$$

$$x_{TM3j} = x_{3j}^T \frac{\alpha_{TM3j}}{p_{M3}} \left[\frac{p_{V3}}{\alpha_{TD3j}} \right]^{\alpha_{TD3j}} \left[\frac{p_{M3}}{\alpha_{TM3j}} \right]^{\alpha_{TM3j}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{TR3j}} \right]^{\alpha_{TR3j}} \quad (25)$$

$$x_{TR3j} = x_{3j}^T \frac{\alpha_{TR3j}}{p_R} \left[\frac{p_{V3}}{\alpha_{TD3j}} \right]^{\alpha_{TD3j}} \left[\frac{p_{M3}}{\alpha_{TM3j}} \right]^{\alpha_{TM3j}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{TR3j}} \right]^{\alpha_{TR3j}} \quad (26)$$

$$L_{Tj} = \left[\frac{\alpha_{Tj} r}{(1 - \alpha_{Tj}) w} \right]^{(1 - \alpha_{Tj})} \frac{a_{T0j} WT_j}{A_{Tj}} \quad (27)$$

$$K_{Tj} = \left[\frac{(1 - \alpha_{Tj}) w}{\alpha_{Tj} r} \right]^{\alpha_{Tj}} \frac{a_{T0j} WT_j}{A_{Tj}} \quad (28)$$

$$p_{ij}^V = \left[\frac{p_{Vi}}{\alpha_{VDij}} \right]^{\alpha_{VDij}} \left[\frac{p_{Mi}}{\alpha_{VMij}} \right]^{\alpha_{VMij}} \quad (i, j = 1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (29)$$

$$p_{3j}^V = \left[\frac{p_{V3}}{\alpha_{VD3j}} \right]^{\alpha_{VD3j}} \left[\frac{p_{M3}}{\alpha_{VM3j}} \right]^{\alpha_{VM3j}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{VR3j}} \right]^{\alpha_{VR3j}} \quad (30)$$

$$p_{ij}^T = \left[\frac{p_{Vi}}{\alpha_{TDij}} \right]^{\alpha_{TDij}} \left[\frac{p_{Mi}}{\alpha_{TMij}} \right]^{\alpha_{TMij}} \quad (i, j = 1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (31)$$

$$p_{3j}^T = \left[\frac{p_{V3}}{\alpha_{TD3j}} \right]^{\alpha_{TD3j}} \left[\frac{p_{M3}}{\alpha_{TM3j}} \right]^{\alpha_{TM3j}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{TR3j}} \right]^{\alpha_{TR3j}} \quad (32)$$

ここで、

p_{Vi} : V 財 i の価格

p_{Mi} : M 財 i の価格

p_R : R 財の価格

さらに完全競争下における均衡状態の仮定から、以下のゼロ利潤条件が成立する。また利潤関数からは後述するように供給関数が導出される。

$$\begin{aligned} p_{Vj} X_j = & \sum_{i=1}^8 p_{Vi} x_{VDij} + \sum_{i=1}^8 p_{Mi} x_{VMij} + p_R x_{VR3j} \\ & + (1 + tp_{Vj}) [wL_{Vj} + rK_{Vj}] + \sum_{i=1}^8 p_{Vi} x_{Tij} \\ & + \sum_{i=1}^8 p_{Mi} x_{TMij} + p_R x_{TR3j} \\ & + (1 + tp_{Tj}) [wL_{Tj} + rK_{Tj}] + q_c WC_j \end{aligned} \quad (33)$$

また廃棄物の自己除去に関する制約条件(7)に対応する Lagrange 乗数から、自己除去サービス内部価格 q_j を以下のように求めることができる。

$$\begin{aligned} q_j = & \sum_{i=1}^8 p_{Vi} a_{TVij} + \sum_{i=1}^8 p_{Mi} a_{TMij} + p_R c_{TR3j} \\ & + (1 + ty_{Tj}) (wl_{Tj} + rk_{Tj}) \end{aligned} \quad (34)$$

ここで、

$$a_{TVij} \equiv \partial x_{TDij} / \partial WT_j, \quad a_{TMij} \equiv \partial x_{TMij} / \partial WT_j,$$

$$c_{TR3j} \equiv \partial x_{TR3j} / \partial WT_j, \quad l_{Tj} \equiv \partial L_{Tj} / \partial WT_j,$$

$$k_{Tj} \equiv \partial K_{Tj} / \partial WT_j$$

(3) 外部除去活動

外部除去活動については、産業、家計の双方に対して処理・処分を行っているのが現状であるため、家計廃棄物については再(生)利用されないものを外部除去し、産業については自己除去および再(生)利用されない廃棄物が外部除去されるものとしている。

この活動の技術は自己除去活動と同じタイプとするが、その行動は企業的とし、処理すべき産業・家計廃棄物が与えられたもとで費用最小化となる。

$$\min \sum_{i=1}^8 p_i^C x_i^C + (1+tp_C)(wL_C + rK_C) \quad (35)$$

with respect to x_i^C, L_C, K_C

subject to

$$WC \equiv \sum_{j=1}^8 \theta_j WG_j + (1-\xi_9)WG_9 \quad (36)$$

$$WC = \min \left\{ \frac{1}{a_{C0}} f_C(L_C, K_C), \frac{x_1^C}{a_1^C}, \dots, \frac{x_8^C}{a_8^C} \right\} \quad (37)$$

$$x_i^C = x_{CDi}^{\alpha_{CDi}} x_{CMi}^{\alpha_{CMi}} \quad (\alpha_{CDi} + \alpha_{CMi} = 1, i=1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (38)$$

$$x_3^C = x_{CD3}^{\alpha_{CD3}} x_{CM3}^{\alpha_{CM3}} x_{CR3}^{\alpha_{CR3}} \quad (\alpha_{CD3} + \alpha_{CM3} + \alpha_{CR3} = 1) \quad (39)$$

$$f_C(L_C, K_C) \equiv A_C L_C^{\alpha_C} K_C^{(1-\alpha_C)} \quad (40)$$

ここで

p_i^C : 外部除去活動の中間投入合成財 i の価格

x_i^C : 外部除去活動の V 財・ M 財・(R 財) 合成財 i 中間投入量

tp_C : 外部除去活動の純間接税率

L_C : 外部除去活動の労働投入量

K_C : 外部除去活動の資本投入量

WC : 廃棄物外部除去総量

ξ_9 : 家計廃棄物の再(生)利用率

WG_9 : 家計廃棄物発生量

a_{C0} : 外部除去活動の付加価値率

a_i^C : 外部除去活動の V 財・ M 財・(R 財) 合成財中間投入係数

x_{CDi} : 外部除去活動の V 財 i 中間投入量

x_{CMi} : 外部除去活動の M 財 i 中間投入量

x_{CR3} : 外部除去活動の R 財中間投入量

$\alpha_{CDi}, \alpha_{CMi}, \alpha_{CR3}$: 外部除去活動の中間投入合成財分配

パラメータ

A_C, α_C : 外部除去活動の技術パラメータ

以上から外部除去活動に伴う条件付中間需要 x_{CDi} , x_{CMi} , x_{CR3} , 労働需要 L_C , 資本需要 K_C , V 財・ M 財・(R 財) 合成財価格 p_i^C が求まる。これらの関数型は式(13)から式(32)と同様であるため、その具体的記述は省略する。

外部除去活動についても、均衡状態において以下のゼロ利潤条件が成立し、利潤関数から供給関数が導かれる。

$$q_C WC = \sum_{i=1}^8 p_{Vi} x_{CDi} + \sum_{i=1}^8 p_{Mi} x_{CMi} + p_R x_{CR3} \quad (41)$$

$$+ (1+tp_C)[wL_C + rK_C]$$

(4) 再(生)利用活動

再(生)利用活動は産業・家計で発生する廃棄物の一部を処理し、再(生)利用財の供給を行う。処理される廃棄物は無償で産業・家計から購入されると仮定するが、その数量は再(生)利用財供給に技術的な制約を与える。

この活動は企業的行動を取るものとし、再(生)利用財価格を与件とし、利潤最大化行動を仮定する。技術は1次同次とし、再(生)利用財供給量を与件として、費用最小化問題から条件付要素需要関数が求まる。

$$\min \sum_{i=1}^8 p_i^R x_i^R + (1+tp_R)(wL_R + rK_R) \quad (42)$$

with respect to x_i^R, L_R, K_R

subject to

$$X_R = \min \left\{ \frac{1}{a_{R0}} f_R(L_R, K_R), \frac{x_1^R}{a_1^R}, \dots, \frac{x_8^R}{a_8^R}, \frac{WR}{a_R^R} \right\} \quad (43)$$

$$WR \equiv \sum_{j=1}^8 \xi_j WG_j + \xi_9 WG_9 \quad (44)$$

$$x_i^R = x_{RDi}^{\alpha_{RDi}} x_{RMi}^{\alpha_{RMi}} \quad (\alpha_{RDi} + \alpha_{RMi} = 1, i=1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (45)$$

$$x_3^R = x_{RD3}^{\alpha_{RD3}} x_{RM3}^{\alpha_{RM3}} x_{RR3}^{\alpha_{RR3}} \quad (\alpha_{RD3} + \alpha_{RM3} + \alpha_{RR3} = 1) \quad (46)$$

$$f_R(L_R, K_R) \equiv A_R L_R^{\alpha_R} K_R^{(1-\alpha_R)} \quad (47)$$

ここで

p_i^R : 再(生)利用活動の中間投入合成財 i の価格

x_i^R : 再(生)利用活動の V 財・ M 財・(R 財) 合成財 i 中間投入量

tp_R : 再(生)利用活動の純間接税率

L_R : 再(生)利用活動の労働投入量

K_R : 再(生)利用活動の資本投入量

X_R : 再(生)利用財

a_{R0} : 再(生)利用活動の付加価値率

a_i^R : 再(生)利用活動の V 財・ M 財・ R 財) 合成財
中間投入係数

WR : 再(生)利用活動の廃棄物投入量

a_R^R : 再(生)利用活動の廃棄物投入係数

ξ_j : 廃棄物再(生)利用率

x_{RD_i} : 再(生)利用活動の V 財 i 中間投入量

x_{RM_i} : 再(生)利用活動の M 財 i 中間投入量

x_{RR3} : 再(生)利用活動の R 財中間投入量

$\alpha_{RD_i}, \alpha_{RM_i}, \alpha_{RR3}$: 再(生)利用活動の中間投入合成財
分配パラメータ

A_R, α_R : 再(生)利用活動の技術パラメータ

これより再(生)利用財供給 X_R に必要な中間財 $x_{RD_i}, x_{RM_i}, x_{RR3}$, 労働 L_R , 資本 K_R , 廃棄物の投入量 WR , および V 財・ M 財・ R 財) 合成財価格 p_i^R が求まる。これらについても式(13)から式(32)と類似であるため、具体的な記述は省略する。

さらに均衡状態において、以下のゼロ利潤条件が成立し、再(生)利用活動の利潤関数から供給関数が導かれる。

$$p_R X_R = \sum_{i=1}^8 p_{Vi} x_{RD_i} + \sum_{i=1}^8 p_{Mi} x_{RM_i} + p_R x_{RR3} + (1 + t p_R)[w L_R + r K_R] \quad (48)$$

なお再(生)利用財供給から見た廃棄物処理量(43)は、廃棄物発生面から見た処理量(44)と均衡する必要があるが、この点は後に触れる。

(5) 家計

全ての家計は同質とし、代表的家計の効用関数を考える。帯広都市圏の総家計数(=総人口)の変化は外生的とする。

家計は合成財消費と余暇需要に関して CES 型完全消費(full consumption)を持つとし、完全消費について異時点間代替弾力性一定⁽⁶⁾の効用関数を持つとする。そして異時点間予算制約のもとで割引された効用総和を最大化するような合成財消費と余暇需要を選択する。その後、合成財消費は V 財, M 財, R 財に分解される。以上から代表的 1 家計の行動は以下のように表現される^{(7), (8)}。

$$\max \sum_{t=0}^T \frac{\sigma}{\sigma-1} [\beta^{t/\nu} c(t)^{(\nu-1)/\nu} + (1-\beta)^{1/\nu} f(t)^{(\nu-1)/\nu}]^{(\sigma-1)/\sigma} / \prod_{s=0}^t (1+\tau(s)) + \omega \cdot ks(T+1) / \prod_{s=0}^{T+1} (1+\tau(s)) \quad (49)$$

subject to

$$ks(t+1) = [ks(t) + (1-ty)fi(t) / p_i(t) - (p(t) / p_i(t))c(t) - (1-ty)(1-l_o)(w(t) / p_i(t))f(t) - trho(t)]E(t) / E(t+1) \quad (50)$$

$$fi(t) \equiv (1-l_o)w(t) + li(t) + (1-k_o)(r(t) - p_i(t)\delta)ks(t) + ki(t) + trgh(t) + troh(t) \quad (51)$$

ここで、

σ : 異時点間代替弾力性

ν : 消費合成財と余暇との代替弾力性

β : 分配パラメータ

$c(t)$: 1 家計当りの合成財消費量

$f(t)$: 1 家計当りの余暇需要量

$\tau(t)$: 家計の主観的割引率

ω : 期末資本ストックの評価パラメータ

$ks(t)$: 1 家計当りの資本ストック

ty : 家計の直接税率

$fi(t)$: 完全所得

$p_i(t)$: 投資財価格

$p(t)$: 消費合成財価格

$w(t)$: 賃金率

$trho(t)$: 家計から圏外への経常移転

$E(t)$: 帯広都市圏の人口

l_o : 圏外への雇用者所得移転率

$li(t)$: 圏外からの雇用者所得

k_o : 圏外への財産所得移転率

$r(t)$: 資本収益率

δ : 資本ストックの固定資本減耗率

$ki(t)$: 圏外からの財産所得

$trgh(t)$: 政府から家計への経常移転

$troh(t)$: 圏外から家計への経常移転

以上の定式化は、1 家計の効用最大化は現在から T 期までに得られる所得を、消費と余暇に配分してなされることを意味する。すなわち、1 時点のみでは所得以上の消費も可能であり、消費せずに所得を残すことも可能としている。そして所得と消費との差額が貯蓄となり、家計の富=資本ストックを増減させるのである。

ここで帯広都市圏全体の資本ストックを $KS(t)$ で表すと、資本蓄積に必要な粗投資 $I_p(t)$ は $I_p(t) = KS(t+1) - (1-\delta)KS(t)$ で表される。 $I_p(t)$ は V 財 $I_{D_i}(t)$, M 財 $I_{M_i}(t)$, R 財 $I_{R3}(t)$ を用いてなされるが、投資に占めるそれらの比率を b_{D_i}, b_{M_i}, b_{R3} とおこう。

この時、投資財の価格を p_i とすれば、

$$p_i I_p = \sum_{i=1}^8 p_{Vi} I_{Di} + \sum_{i=1}^8 p_{Mi} I_{Mi} + p_R I_{R3} \text{ が成立し、これより投}$$

資財価格は $p_i = \sum_{i=1}^8 b_{Di} p_{Vi} + \sum_{i=1}^8 b_{Mi} p_{Mi} + b_{R3} p_R$ として求めることができる⁽⁹⁾。

さて式(49)の効用最大化問題を解くために、以下の present value Hamiltonian を導入する。

$$\begin{aligned}
H(t) &\equiv \frac{\sigma}{\sigma-1} \left[\{ (\beta^{1/\nu} c(t))^{(\nu-1)/\nu} + (1-\beta)^{1/\nu} f(t)^{(\nu-1)/\nu} \}^{\nu(\nu-1)} \right]^{(\sigma-1)/\sigma} \\
&\quad / \prod_{s=0}^t (1+\tau(s)) \\
&\quad + \mu(t+1) [ks(t) + (1-ty)(1-k_o)(r(t)/p_i(t) - \delta)ks(t) \\
&\quad - (p(t)/p_i(t))c(t) + (1-ty)(1-l_o)(w(t)/p_i(t))(1-f(t)) \\
&\quad + (li(t) + ki(t) + trgh(t) + troh(t) - trhd(t))/p_i(t)] \\
&\quad \times E(t)/E(t+1) \tag{52}
\end{aligned}$$

ここで、 $\mu(t)$: $ks(t)$ の随伴変数

各種変数が式(49)を最大化するための必要十分条件は以下のものである。

式(50)および $\mu(t) = \partial H(t) / \partial ks(t)$ 、 $c(t)$ および $f(t)$ が各時点でHamiltonianを最大化すること、および横断性条件⁽¹⁰⁾。これより以下の条件を得る。

$$\begin{aligned}
\mu(t) &= \mu(t+1) [1 + (1-ty)(1-k_o)(r(t)/p_i(t) - \delta)] \\
&\quad \times E(t)/E(t+1) \tag{53}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c(t) &= \beta p(t)^{-\nu} \Omega [p_i(t)/\mu(t+1)]^\sigma [E(t+1)/E(t)]^\sigma \\
&\quad / \left[\prod_{s=0}^t (1+\tau(s)) \right]^\sigma \tag{54}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f(t) &= (1-\beta) \{ (1-ty)(1-l_o)w(t) \}^{-\nu} \Omega [p_i(t)/\mu(t+1)]^\sigma \\
&\quad \times [E(t+1)/E(t)]^\sigma / \left[\prod_{s=0}^t (1+\tau(s)) \right]^\sigma \tag{55}
\end{aligned}$$

$$\Omega \equiv [\beta p(t)^{1-\nu} + (1-\beta) \{ (1-ty)(1-l_o)w(t) \}^{1-\nu}]^{(\sigma-\nu)/(\nu-1)} \tag{56}$$

$$ls(t) = 1 - f(t) \tag{57}$$

$$\mu(T+1) = \frac{\partial aks(T+1) / \left(\prod_{t=0}^{T+1} (1+\tau(t)) \right)}{\partial ks(T+1)} = \omega / \left(\prod_{t=0}^{T+1} (1+\tau(t)) \right) \tag{58}$$

ここで、 $ls(t)$: 1家計の労働供給

さらに消費の合成財は所得、余暇需要、貯蓄が与えられたもとで、 V 財・ M 財・(R 財) Cobb-Douglas型合成財消費の最大化を通じて、 V 財・ M 財・(R 財)合成財に分解される。なお以下では誤解が生じない範囲で、時間変数 t を省略することもある。

$$\max c \equiv \prod_{i=1}^8 c_i^{D\gamma_i} \quad \left(\sum_{i=1}^8 \gamma_i = 1 \right) \tag{59}$$

subject to

$$\sum_{i=1}^8 p_i^D c_i^D = (1-ty)y - trho - sh \tag{60}$$

ここで、

c_i^D : 1家計の V 財・ M 財・(R 財)合成財 i の消費量

p_i^D : 合成財 i の価格

y : 1家計の所得(= $(1-l_o)w \cdot ls + li + (1-k_o)(r - p\delta)ks + ki + trgh + troh$)

sh : 1家計の貯蓄

これより、合成財 i に対する消費需要関数を得る。

$$c_i^D = \frac{\gamma_i}{p_i^D} [(1-ty)y - trho - sh] \quad (i=1, \dots, 8) \tag{61}$$

また消費の合成財価格と財価格との関係は以下のようになる。

$$p = \prod_{i=1}^8 \left[\frac{p_i^D}{\gamma_i} \right]^{\gamma_i} \tag{62}$$

最後に、財別消費は以下の最適化問題を通じて、 V 財、 M 財、 R 財に分解され、合成財価格も求まる。

$i \neq 3$ の時、

$$\max c_i^D \equiv c_{D_i}^{\alpha_{D_i}} c_{M_i}^{\alpha_{M_i}} \quad (\alpha_{D_i} + \alpha_{M_i} = 1, i=1, \dots, 8, i \neq 3) \tag{63}$$

$i=3$ の時、

$$\max c_3^D \equiv c_{D_3}^{\alpha_{D_3}} c_{M_3}^{\alpha_{M_3}} c_{R_3}^{\alpha_{R_3}} \quad (\alpha_{D_3} + \alpha_{M_3} + \alpha_{R_3} = 1) \tag{64}$$

subject to

$$p_i^D c_i^D = p_{V_i} c_{D_i} + p_{M_i} c_{M_i} \quad (\alpha_{D_i} + \alpha_{M_i} = 1, i=1, \dots, 8, i \neq 3) \tag{65}$$

$$p_3^D c_3^D = p_{V_3} c_{D_3} + p_{M_3} c_{M_3} + p_R c_{R_3} \tag{66}$$

これより以下を得る。

$$c_{D_i} = c_i^D \frac{\alpha_{D_i}}{p_{D_i}} \left[\frac{p_{V_i}}{\alpha_{D_i}} \right]^{\alpha_{D_i}} \left[\frac{p_{M_i}}{\alpha_{M_i}} \right]^{\alpha_{M_i}} \quad (i=1, \dots, 8, i \neq 3) \tag{67}$$

$$c_{M_i} = c_i^D \frac{\alpha_{M_i}}{p_{M_i}} \left[\frac{p_{V_i}}{\alpha_{D_i}} \right]^{\alpha_{D_i}} \left[\frac{p_{M_i}}{\alpha_{M_i}} \right]^{\alpha_{M_i}} \quad (i=1, \dots, 8, i \neq 3) \tag{68}$$

$$c_{D_3} = c_3^D \frac{\alpha_{D_3}}{p_{V_3}} \left[\frac{p_{V_3}}{\alpha_{D_3}} \right]^{\alpha_{D_3}} \left[\frac{p_{M_3}}{\alpha_{M_3}} \right]^{\alpha_{M_3}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{R_3}} \right]^{\alpha_{R_3}} \tag{69}$$

$$c_{M_3} = c_3^D \frac{\alpha_{M_3}}{p_{M_3}} \left[\frac{p_{V_3}}{\alpha_{D_3}} \right]^{\alpha_{D_3}} \left[\frac{p_{M_3}}{\alpha_{M_3}} \right]^{\alpha_{M_3}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{R_3}} \right]^{\alpha_{R_3}} \tag{70}$$

$$c_{R_3} = c_3^D \frac{\alpha_{R_3}}{p_R} \left[\frac{p_{V_3}}{\alpha_{D_3}} \right]^{\alpha_{D_3}} \left[\frac{p_{M_3}}{\alpha_{M_3}} \right]^{\alpha_{M_3}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{R_3}} \right]^{\alpha_{R_3}} \tag{71}$$

$$p_i^D = \left[\frac{p_{V_i}}{\alpha_{D_i}} \right]^{\alpha_{D_i}} \left[\frac{p_{M_i}}{\alpha_{M_i}} \right]^{\alpha_{M_i}} \quad (i=1, \dots, 8, i \neq 3) \tag{72}$$

$$p_3^D = \left[\frac{p_{V3}}{\alpha_{D3}} \right]^{\alpha_{D3}} \left[\frac{p_{M3}}{\alpha_{M3}} \right]^{\alpha_{M3}} \left[\frac{p_R}{\alpha_{R3}} \right]^{\alpha_{R3}} \quad (73)$$

$$wg_9 = \zeta_9 \cdot c \quad (74)$$

$$wr_9 = \xi_9 \cdot wg_9 \quad (75)$$

$$wc_9 = \theta_9 \cdot wg_9 \quad (76)$$

ここで

wg_9 : 1家計の廃棄物発生量

ζ_9 : 家計の廃棄物発生係数

wr_9 : 1家計廃棄物の再(生)利用量

ξ_9 : 家計廃棄物の再(生)利用率

wc_9 : 1家計の廃棄物外部除去量

θ_9 : 家計廃棄物の外部除去率

(6) 政府

政府は帯広都市圏からの直接税及び純間接税の税収と、圏外からの経常移転を歳入とし、歳入は政府消費、家計への経常移転、圏外への経常移転、政府貯蓄として歳出される。政府消費 V 財・ M 財・ R 財) 合成財名目値、政府から家計への経常移転、政府から圏外への経常移転、政府貯蓄は歳入総額に比例的とする。これらは以下の予算制約条件として表現される。

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^8 p_{Vi} CG_{Di} + \sum_{i=1}^8 p_{Mi} CG_{Mi} + p_R CG_{R3} + TRGH + TRGO + SG \\ & = ty \cdot Y + \sum_{i=1}^8 tp_{Vi} (wL_{Vi} + rK_{Vi}) + \sum_{i=1}^8 tp_{Ti} (wL_{Ti} + rK_{Ti}) \\ & \quad + tp_C (wL_C + rK_C) + tp_R (wL_R + rK_R) + TROG \end{aligned} \quad (77)$$

ここで、

CG_{Di} : 政府消費による V 財 i への需要

CG_{Mi} : 政府消費による M 財 i への需要

CG_{R3} : 政府消費による R 財への需要

$TRGH$: 政府から全家計への経常移転

$TRGO$: 政府から圏外への経常移転

SG : 政府貯蓄

Y : 全家計の所得

$TROG$: 圏外から政府への経常移転

ここで政府消費を構成する V 財、 M 財、 R 財は以下の最適化問題より得られる。

$i \neq 3$ の時、

$$\max CG \equiv CC_{Di}^{\alpha_{Di}} CC_{Mi}^{\alpha_{Mi}} \quad (\alpha_{Di} + \alpha_{Mi} = 1, i=1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (78)$$

$i = 3$ の時、

$$\max CG_3 \equiv CC_{D3}^{\alpha_{D3}} CC_{M3}^{\alpha_{M3}} CC_{R3}^{\alpha_{R3}} \quad (\alpha_{D3} + \alpha_{M3} + \alpha_{R3} = 1) \quad (79)$$

subject to

$$p_{Gi} CG_i = p_{Vi} CG_{Di} + p_{Mi} CG_{Mi} \quad (i=1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (80)$$

$$p_{G3} CG_3 = p_{V3} CG_{D3} + p_{M3} CG_{M3} + p_R CG_{R3} \quad (81)$$

$$p_{Gi} CG_i : \text{与件} \quad (82)$$

なお政府消費における V 財、 M 財、 R 財需要関数型は家計消費におけるそれと同一であるため、ここでは省略する。

(7) 圏外部門

圏外部門は帯広都市圏の移輸入、政府から圏外への経常移転、圏外への雇用者所得、圏外への財産所得を所得とする。また帯広都市圏の移輸出、家計への経常移転、政府への経常移転、帯広都市圏への雇用者所得、帯広都市圏への財産所得、圏外部門の貯蓄を支出する。帯広都市圏の移輸出は名目値を外生的に与え、移輸入量は以下の式で与えられる。なお C_{Mi} は全家計による M 財への消費需要を表す。

$$EM_i = \sum_{j=1}^8 x_{VMij} + \sum_{j=1}^8 x_{TMij} + x_{C_{Mi}} + x_{R_{Mi}} + C_{Mi} + CG_{Mi} + I_{Mi} \quad (83)$$

以上から、圏外部門は以下の予算制約条件として記述される。

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^8 p_{Vi} EX_i + TROH + TROG + KI + LI + SO \\ & = \sum_{i=1}^8 p_{Mi} EM_i + TRHO + TRGO + KIO + LIO \end{aligned} \quad (84)$$

ここで、

EX_i : 帯広都市圏の i 財の移輸出量

EM_i : 帯広都市圏の i 財の移輸入量

SO : 圏外貯蓄 (= ー帯広都市圏民経常余剰)

LIO : 圏外への雇用者所得の移転 (= $l_o \cdot w \cdot LS$)

KIO : 圏外への財産所得の移転 (= $k_o \cdot r \cdot KS$)

$TROH, KI, LI, TRHO$: 全家計による移転所得等

(8) 投資ー貯蓄バランス

本モデルでは生産資本ストックの蓄積は家計効用の現在価値総和を最大化する形で内生化されている。一方、現実の経済においては、設備投資以外に公的投資や住宅投資などもあり、それらを考慮する必要がある⁽¹¹⁾。本研究では設備投資以外の投資をその他投資として、政府及び圏外部門の貯蓄を原資とする。従って以下の投資ー貯蓄バランスが成立する。

$$\sum_{i=1}^8 p_{Vi} I_{Di} + \sum_{i=1}^8 p_{Mi} I_{Mi} + p_R I_{R3} = SG + SO \quad (85)$$

ここで、

I_{Di} : その他投資による V 財 i への需要

I_{Mi} : その他投資による M 財 i への需要

I_{R3} : その他投資による R 財への需要

上記のバランス式において、その他投資の V 財・ M 財・ R 財合成財の名目値比率を固定し、 V 財、 M 財、 R 財への需要は、以下の最適化問題より得られる。

$i \neq 3$ の時、

$$\max I_i \equiv I_{Di}^{\alpha_{Di}} I_{Mi}^{\alpha_{Mi}} \quad (\alpha_{Di} + \alpha_{Mi} = 1, i=1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (86)$$

$i = 3$ の時、

$$\max I_3 \equiv I_{D3}^{\alpha_{D3}} I_{M3}^{\alpha_{M3}} I_{R3}^{\alpha_{R3}} \quad (\alpha_{D3} + \alpha_{M3} + \alpha_{R3} = 1) \quad (87)$$

subject to

$$p_{Vi} I_i = p_{Vi} I_{Di} + p_{Mi} I_{Mi} \quad (i=1, \dots, 8, i \neq 3) \quad (88)$$

$$p_{I3} I_3 = p_{V3} I_{D3} + p_{M3} I_{M3} + p_{R3} I_{R3} \quad (89)$$

$$p_{Li} I_i : \text{与件} \quad (90)$$

その他投資による V 財、 M 財、 R 財需要関数型も家計消費におけるそれと同一であるため省略する。

(9) 供給関数

産業、再(生)利用活動、外部除去活動の利潤関数をそれぞれの供給量で微分し、ゼロと置くことにより供給関数が導出される。さらにそれらを行列形式で表現すれば以下となる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} p_{V1} \\ \vdots \\ p_{V8} \\ p_R \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} a_{VD11} & \cdots & a_{VD81} & c_{VD1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{VD18} & \cdots & a_{VD88} & c_{VD8} \\ b_{RD1} & \cdots & b_{RD8} & d_{RD1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{V1} \\ \vdots \\ p_{V8} \\ p_R \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} \eta_1 \zeta_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & 0 & \vdots & \vdots \\ 0 & \eta_8 \zeta_8 & & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{TD11} & \cdots & a_{TD81} & c_{TD1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{TD18} & \cdots & a_{TD88} & c_{TD8} \\ 0 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{V1} \\ \vdots \\ p_{V8} \\ p_R \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} \theta_1 \zeta_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & 0 & \vdots & \vdots \\ 0 & \theta_8 \zeta_8 & & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{CD1} & \cdots & a_{CD8} & c_{CD1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{CD1} & \cdots & a_{CD8} & c_{CD1} \\ 0 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{V1} \\ \vdots \\ p_{V8} \\ p_R \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} a_{VM11} & \cdots & a_{VM81} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{VM18} & \cdots & a_{VM88} \\ b_{RM1} & \cdots & b_{RM8} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{M1} \\ \vdots \\ p_{M8} \\ p_{R8} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \begin{bmatrix} \eta_1 \zeta_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & 0 & \vdots & \vdots \\ 0 & \eta_8 \zeta_8 & & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{TM11} & \cdots & a_{TM81} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{TM18} & \cdots & a_{TM88} \\ 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{M1} \\ \vdots \\ p_{M8} \\ p_{R8} \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} \theta_1 \zeta_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & 0 & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \theta_8 \zeta_8 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{CM1} & \cdots & a_{CM8} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{CM1} & \cdots & a_{CM8} \\ 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{M1} \\ \vdots \\ p_{M8} \\ p_{R8} \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} (1+tp_{V1})(wl_{V1} + rk_{V1}) \\ + (1+tp_{T1})(wl_{T1} + rk_{T1})\eta_1 \zeta_1 + (1+tp_C)(wl_C + rk_C)\theta_1 \zeta_1 \\ \vdots \\ (1+tp_{V8})(wl_{V8} + rk_{V8}) \\ + (1+tp_{T8})(wl_{T8} + rk_{T8})\eta_8 \zeta_8 + (1+tp_C)(wl_C + rk_C)\theta_8 \zeta_8 \\ (1+tp_R)(wl_R + rk_R) \end{bmatrix} \quad (91) \end{aligned}$$

ここで各行列の係数、例えば a_{VDij} などは中間投入量 x_{VDij} を産業 j 産出量で微分したもので、以下で表される。

$$a_{VDij} \equiv \frac{\partial x_{VDij}}{\partial X_j} = \frac{\alpha_{VDij}}{p_{Vi}} \left[\frac{p_{Vi}}{\alpha_{VDij}} \right]^{\alpha_{VDij}} \left[\frac{p_{Mi}}{\alpha_{VMij}} \right]^{\alpha_{VMij}} a'_{ij} \quad (i, j=1, \dots, 8, i \neq 3)$$

他の係数についても同様に定義されるが、頁数の関係上省略する⁽¹²⁾。また l_{Vj} , k_{Vj} などは以下で定義される。

$$l_{Vj} \equiv \partial L_{Vj} / \partial X_j, k_{Vj} \equiv \partial K_{Vj} / \partial X_j, l_{Tj} \equiv \partial L_{Tj} / \partial WT_j,$$

$$k_{Tj} \equiv \partial K_{Tj} / \partial WT_j, l_C \equiv \partial L_C / \partial WC, k_C \equiv \partial K_C / \partial WC,$$

$$l_R \equiv \partial L_R / \partial X_R, k_R \equiv \partial K_R / \partial X_R$$

外部除去活動については、以下により供給関数が与えられる。

$$q_C = \sum_{i=1}^8 p_{Vi} a_{CDi} + \sum_{i=1}^8 p_{Mi} a_{CMi} + p_R a_{CR8} + (1+tp_C)[wl_C + rk_C] \quad (92)$$

以上の式(91)、式(92)の左辺は価格、右辺は限界費用を表し、価格=限界費用という供給関数導出のための必要条件を表している。しかしながら本研究では全ての技術に1次同次を仮定しているために、式(91)、式(92)には供給量が含まれていない。これは産業、再(生)利用活動、外部除去活動の供給関数が水平の直線となるからである。各供給量は式(91)、式(92)を満たす価格体系が与えられ、各需要量が決定される時、その水準として与えられる。

4. 均衡条件

以上に述べた圈内産バージン財, 再(生)利用財の需要, 供給関数, 廃棄物の発生, 再(生)利用, 除去をまとめ, 本研究の均衡条件を得る. なお以下で異時点間均衡条件については1家計当りの条件を表し, 瞬時的均衡条件については圏経済の集計量に関する条件を表している.

また C , LS , KS は時点 t における圏経済全体の家計合成財消費量, 労働供給量, 資本供給量を表す.

異時点間均衡条件

式(50), 式(53), 式(54), 式(55), 式(57), 式(58)

バージン・再(生)利用財瞬時的均衡条件

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_8 \\ X_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{VD11} & \cdots & a_{VD18} & b_{RD1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{VD81} & \cdots & a_{VD88} & b_{RD8} \\ c_{VD1} & \cdots & c_{VD8} & d_{RDI} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_8 \\ X_R \end{bmatrix} \\
 & + \begin{bmatrix} a_{TD11} & \cdots & a_{TD18} & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{TD81} & \cdots & a_{TD88} & 0 \\ c_{TD1} & \cdots & c_{TD8} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \zeta_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & 0 & \vdots & \vdots \\ 0 & \eta_8 \zeta_8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_8 \\ X_R \end{bmatrix} \\
 & + \begin{bmatrix} a_{CD1} & \cdots & a_{CD1} & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{CD8} & \cdots & a_{CD8} & 0 \\ c_{CD1} & \cdots & c_{CD1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \zeta_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & 0 & \vdots & \vdots \\ 0 & \theta_8 \zeta_8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_8 \\ X_R \end{bmatrix} \\
 & + \begin{bmatrix} a_{CD1} \\ \vdots \\ a_{CD8} \\ c_{CD1} \end{bmatrix} (1-\eta_9)\zeta_9 \cdot C + \begin{bmatrix} C_{D1} \\ \vdots \\ C_{D8} \\ C_{R3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} CG_{D1} \\ \vdots \\ CG_{D8} \\ CG_{R3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{D1} \\ \vdots \\ I_{D8} \\ I_{R3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} EX_1 \\ \vdots \\ EX_8 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (93)
 \end{aligned}$$

廃棄物再(生)利用瞬時的均衡条件

$$X_R = \sum_{j=1}^8 \xi_j \zeta_j X_j + \xi_9 \zeta_9 C \quad (94)$$

廃棄物自己除去瞬時的均衡条件

$$WT_j = \eta_j \zeta_j X_j \quad (95)$$

廃棄物外部除去瞬時的均衡条件

$$WC = \sum_{j=1}^8 \theta_j \zeta_j X_j + (1-\xi_9)\zeta_9 C \quad (96)$$

労働市場瞬時的均衡条件

$$LS = \sum_{j=1}^8 L_{Vj} + \sum_{j=1}^8 L_{Tj} + L_C + L_R \quad (97)$$

資本市場瞬時的均衡条件

$$KS = \sum_{j=1}^8 K_{Vj} + \sum_{j=1}^8 K_{Tj} + K_C + K_R \quad (98)$$

5. モデルのアルゴリズム

以上の均衡条件で財市場は需要に見合う形で供給がなされ, 廃棄物除去は発生ベースの量を除去必要量として式(95), 式(96)が満たされる. しかし再(生)利用量については, 需要サイドから式(93)によって X_R が求まると同時に, 式(94)による廃棄物発生ベースによる条件が加わる.

本研究では式(94)を需要ベースで調整する場合には, 再(生)利用活動の純間接税率 tp_R を調整し, 発生ベースで調整する場合には, 再(生)利用率 ξ_j を調整して均衡解を求めることとした.

さらに他の内生変数を全て解くためには, 以上の均衡条件式だけでは不十分で, モデルの全ての式が必要となる. 本研究の内生変数は 33,802 個, 外生変数は 452 個, 内生変数に対応する式が 33,802 本で, 内生変数と式の数は整合的である⁽¹³⁾.

次に本研究の1時点におけるワルラス法則は次のようである. 圈内産バージン財超過需要額+廃棄物自己除去超過需要額+廃棄物外部除去超過需要額+再(生)利用財超過需要額+労働の超過需要価値額+資本の超過需要価値額=0である. ところが圈内産バージン財生産関数, 廃棄物自己除去技術, 廃棄物外部除去技術に1次同次を仮定しているため, 圈内産バージン財価格, 廃棄物自己除去価格, 廃棄物外部除去価格を与えたとき, これらの市場は需要に応じて生産量や処理量が決まるため, 圈内産バージン財市場, 廃棄物自己除去市場, 廃棄物外部除去市場は常にクリアーされる. その結果, ワルラス法則は再(生)利用財超過需要額+労働の超過需要価値額+資本の超過需要価値額=0に退化する.

ところで再(生)利用財超過需要額=0は式(94)に再(生)利用財価格を乗じたもので表される. 再(生)利用財市場をクリアーするためには, 廃棄物が持つ副産物としての性質を考慮しなければならず, 図-3や図-4に示されるように再(生)利用率の変化や補助金の導入などが必要となる. そして再(生)利用財超過需要額=0が成立すれば, 本研究の最終的なワルラス法則は労働の超過需要価値額+資本の超過需要価値額=0となる. これは労働市場, あるいは資本市場をクリアーすれば, 全ての瞬時的均衡解が求まることを示している.

そこで本研究では労働をニューメーラール($w(t)=1$)とし, 資本市場をクリアーする資本収益率を Newton-Raphson 法を用いて収束計算すると同時に, 式(94)のギャップを

純間接税率, もしくは再(生)利用率にフィードバックさせ, 最終的な瞬時的均衡解を求めている。

次に動学的均衡解についてはFair-Taylor法²⁰⁾を用いて求めている。アルゴリズムのステップは以下のようである。

Step 0: 各期のニューメーラールを労働とし($w(t)=1$), 1家計当りの資本ストック初期値 $ks(0)$, 投資財価格初期値 $p_I(0)$, 資本収益率初期値 $r(0)$, 人口総数の系列 $\{E(0), \dots, E(T+1)\}$, 主観的割引率の系列 $\{\tau(0), \dots, \tau(T+1)\}$ を与える。そして式(53)において

$$\mu(T+1) = \omega / \left[\prod_{t=0}^{T+1} (1 + \tau(t)) \right], \quad p_I(t) = p_I(0), \quad r(t) = r(0)$$

とにおいて随伴変数 $\mu(t)$ の暫定値の系列 $\{\mu_0(0), \dots, \mu_0(T+1)\}$ を求める。

Step 1: 式(91)からV財, R財の価格を求め⁽¹⁴⁾, 式(54), 式(55), 式(57)から家計の合成財消費, 余暇需要, 労働供給を求める。また中間財需要, その他の最終需要などフロー変数を静学モデルと同じ要領で求める。そして式(93)から最終需要に見合う産出量を求める。

Step 2: 式(19), 式(20), 式(27), 式(28)などから条件付生産要素需要関数を求める。

Step 3: $ks(0)$, $E(0)$, $\mu_0(0)$ のもとで静学モデルとして, 第0期の各市場をクリアする資本収益率 $r(0)$ をNewton-Raphson法によって求める。

Step 4: 第0期の投資から, 式(50)によって第1期の資本ストックを求める。Step 2からStep 4を繰り返し, 第2期の資本ストックを求める。

Step 5: 第T+1期の資本ストックが求まった段階で, 横断性条件式(58)を $\mu(t)$ の終端条件として, 式(53)を用いて $\mu(t)$ をbackwardに解く。それを $\{\varphi(0), \dots, \varphi(T+1)\}$ で表し, 随伴変数の改訂ルールを $\mu_1(t) = \kappa \mu_0(t) + (1-\kappa)\varphi(t)$ で与える。 ($0 < \kappa < 1$)

Step 6: 以上を繰り返し, $\mu(t)$ が改訂によってほとんど変化しなくなった段階が動学均衡となる。

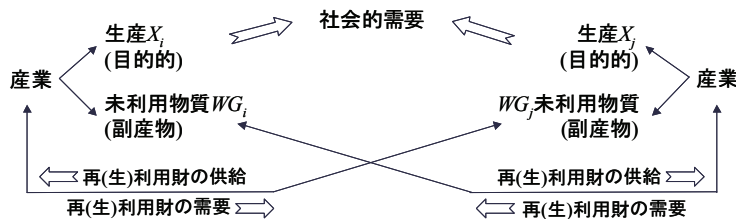


図-3 パージン財と再(生)利用財の需給関係⁽¹⁵⁾

6. パラメータ設定

以上のモデルでは生産関数, 効用関数などのパラメータを設定する必要がある。生産関数の技術パラメータは, 生産技術をLeontief-Cobb-Douglas型としているため, 経済-物質循環会計行列をベンチマークデータセットとして容易に設定することができる。これらのパラメータ値はその量が膨大となるため, ここでは省略する。

効用関数の代替弾力性と分配パラメータについては市岡¹⁹⁾を参考にして設定した。異時点間代替弾力性は文献7)を参考にして設定した。期末資本ストックの評価パラメータは, モデルの解の挙動に大きな影響を与えるため, 幾つかの値に対しシミュレーションを行い, 安定的な成長軌道が計算されるように設定した⁽¹⁶⁾。これらのパラメータ値は表-3に示すようである。

次に廃棄物発生係数 γ など, 廃棄物に関するパラメータについては, 廃棄物発生量 WG_j を産業産出量 X_j あるいは家計の合成財消費 C で除すことなどにより求められる。

最後に外生的に与えられる帯広都市圏の人口と家計の主観的割引率は表-4に示すようである。人口については1996年から2003年までが実績値であり, それ以降は過去からの伸び率が一定として設定されている⁽¹⁷⁾。主観的割引率は1996年から2002年までが全国の貸出平均約定金利を用いており, 2003年以降は2002年の値を固定している。

7. シミュレーション分析

シミュレーション分析として, 以下では3つのケースを取り上げる。ここで特にケース1とケース2は, 補助金によって再(生)利用財価格を下げるという代表的な環境政策であるために, ここで取り上げている。この他にも課税や課徴金によって, 廃棄物発生量そのものを減少させる政策も考えられるが, 本モデルではそれに伴い生

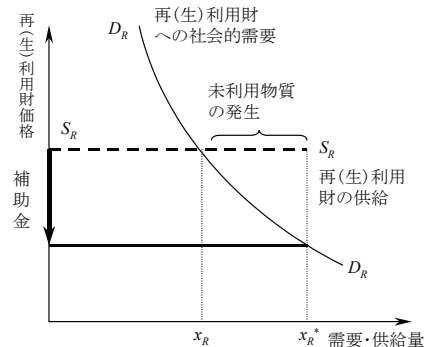


図-4 再(生)利用財の需給関係

産量や家計効用が直接的に減少してしまう。これを回避するためには、代替的な財や生産技術の導入を必要とするが、現段階では大幅なモデルの変更が必要であり、今後の課題としたい。

①基準ケース

廃棄物再(生)利用率を基準年の値で固定する。

②ケース 1

各産業、家計の廃棄物再(生)利用率を 1.2 倍に引き上げる。この場合、再(生)利用財市場が均衡するように、政府から再(生)利用活動に補助金を支出する⁽¹⁸⁾。

③ケース 2

ケース 1 と同様に再(生)利用率を 1.2 倍に引き上げ、補助金支出を行う。さらにそれをファイナンスするために、家計に対する直接税率を引き上げる。

以上において再(生)利用率を 1.2 倍引き上げるとは、例えば 10% を 12% にするという意味である。1.2 倍という数値は文献 28) にある目標値を参考に設定している。また本研究のモデルでは廃棄物自己除去率+外部除去率+再(生)利用率=1 と設定しており、

再(生)利用率を上げる場合には、自己除去率と外部除去率を比例的に下げている。これは再(生)利用促進が可能な新たな製品や技術が開発できたことなどを想定したものである⁽¹⁹⁾。以上の 3 ケースの時系列変化を示したものが図-5 から図-25 である。

(1) 廃棄物再(生)利用活動

まず図-5 で廃棄物発生総量を見ると、1996 年の基準ケースが 2,292,853 トン、ケース 1 が 2,318,629 トン、ケース 2 が 2,315,968 トンであり、2020 年ではそれぞれ 3,013,175 トン、3,077,867 トン、3,038,958 トンと、ケース 1、ケース 2 とも基準ケースを上回っている。これは後に述べるように産業の拡大に伴うものである。

次に図-6 で廃棄物再(生)利用総量を見ると、シミュレーションケースの前提条件から、ケース 1、ケース 2 とも各年次において概ね 1.2 倍前後の増加を示している。1.2 倍にちょうどにならないのは、モデルが動学であることと、一般均衡効果によるものである。

再(生)利用量の増加を受けて、再(生)利用活動の実質産出額は増加した。また実質総生産については

表-3 効用関数のパラメータ

変数区分	分配パラメータ
家計の合成財消費 β	0.39719
余暇 $1-\beta$	0.60281
消費合成財と余暇との代替弾力性 ν	0.67840
異時点間代替弾力性 σ	2
期末資本ストックの評価パラメータ ω	0.835

表-4 帯広都市圏の人口と主観的割引率

(単位: 人口 $E(t)$ (人), 主観的割引率 $r(t)$ (%))

年次	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
人口	249,517	251,826	253,224	255,025	255,951	256,782	257,445	257,852
割引率	2.717	2.527	2.388	2.244	2.221	1.998	1.919	1.919
年次	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
人口	259,185	260,525	261,872	263,226	264,587	265,955	267,330	268,712
割引率	1.919	1.919	1.919	1.919	1.919	1.919	1.919	1.919
年次	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
人口	270,101	271,498	272,901	274,312	275,730	277,156	278,589	280,029
割引率	1.919	1.919	1.919	1.919	1.919	1.919	1.919	1.919
年次	2020	2021						
人口	281,477	282,932						
割引率	1.919	1.919						

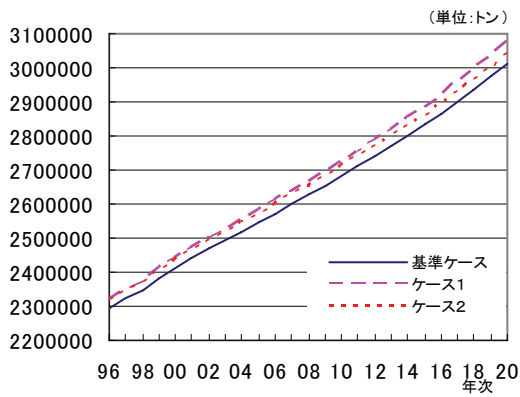


図-5 廃棄物発生総量

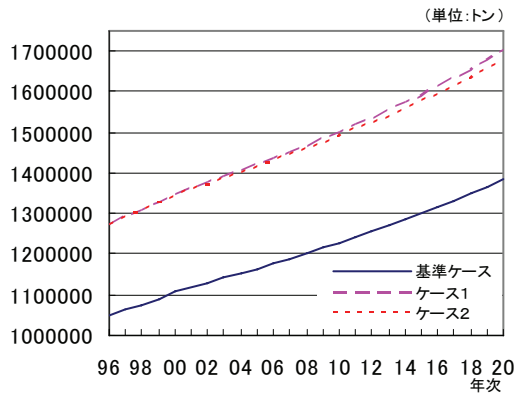


図-6 廃棄物再(生)利用総量

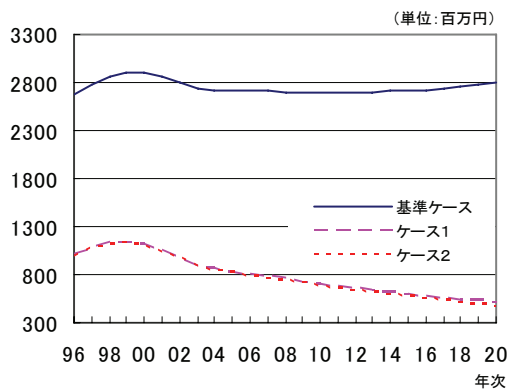


図-7 廃棄物再(生)利用活動の実質 GDP

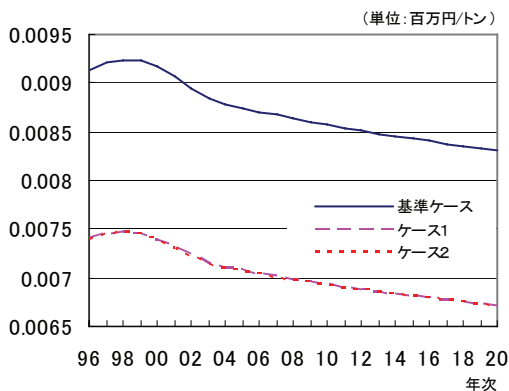


図-8 廃棄物再(生)利用財価格

図-7に示すように、1996年の基準ケースでは26億7,158万円から2020年の27億9,021万円で推移しているのに対し、ケース1では10億920万円から5億797万円に減少し、ケース2についても9億8,438万円から4億6,529万円に減少している。

これは再(生)利用活動に対する補助金の影響である。この補助金により図-8に示すように再(生)利用財価格は2020年で基準ケースと比べ、ケース1で19.39%、ケース2で19.41%下落しており、再(生)利用率を1.2倍引き上げるには、この程度の価格下落が必要であることが示されている。

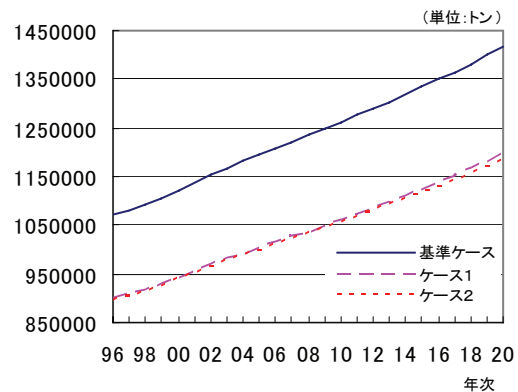


図-9 廃棄物自己除去総量

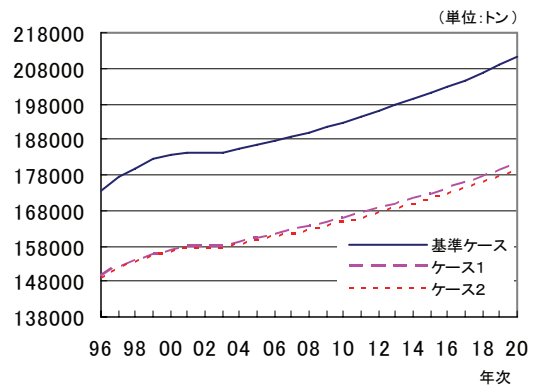


図-10 廃棄物外部除去総量

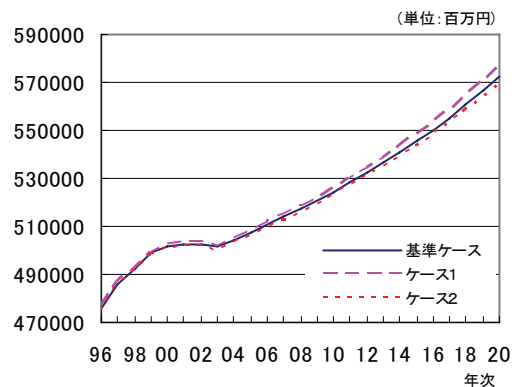


図-11 移輸入総量

(2) 廃棄物除去活動

再(生)利用財の増加を受けて、図-9、図-10のようにケース1、ケース2とも廃棄物自己除去総量、廃棄物外部除去総量は減少している。特に2020年でケース1、ケース2とも商業、サービス業での減少が45%を超え、また建設業でも25%を超え大きくなった。これらの産業はもともと再(生)利用率が高いため、廃棄物除去量の減少率が高くなったものと解釈される。

(3) 移輸入量

再(生)利用財の増加は圏内経済の自給率を高めることに寄与するが、図-11で移輸入総量の変化を見ると、2020年のケース1では移輸入総量は基準ケースを上回っている。基準ケースを下回った産業は電力・ガス・水道業のみであった。しかしながら、実質産業産出総額との弾力性を計算すると、基準ケースでは0.83449、ケース1では0.83000であり、ケース1の方が自給率は高まる傾向を見せている。

一方、ケース2では基準ケースに比べ全ての財で移輸入量は減少した。ケース2についても弾力性を計算すると0.82964であり、やはり基準ケースよりも小さく、自給率が高まる傾向を見せている。

なお移輸入量の変化は小さなものに留まっているが、

これは圏内経済に占める廃棄物関連活動の割合が金銭ベースで1.5%程度と小さいことによるものである。

(4) 産業 GDP

廃棄物除去活動の減少に伴い、資本や労働は産業へもシフトする。このため図-12に見られるように、ケース1では産業実質 GDP 総額が基準ケースを上回る成長となった。産業別に見ても全ての産業で実質 GDP はケース1が基準ケースを上回る結果となった。特に2020年の農林漁業では基準ケースに比べ2.34%大きくなっている(図-13)。この理由としては、再(生)利用財の投入増加を賄うため、産業規模が拡大する必要があった

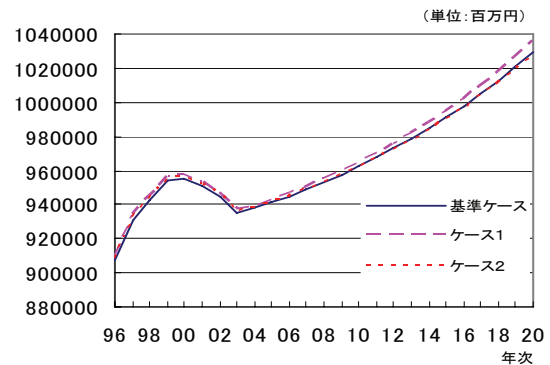


図-14 家計所得

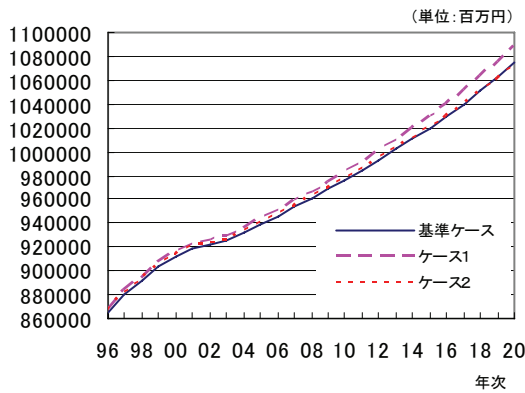


図-12 産業実質 GDP 総額

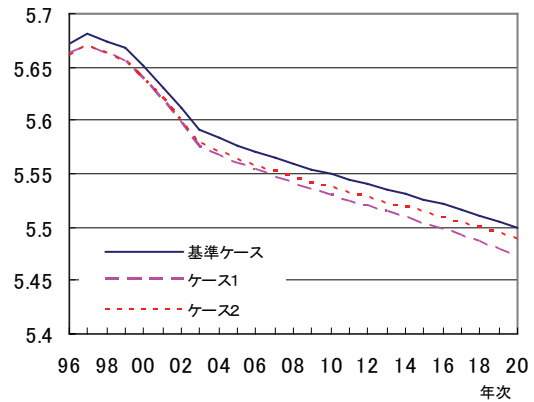


図-15 消費合成財価格

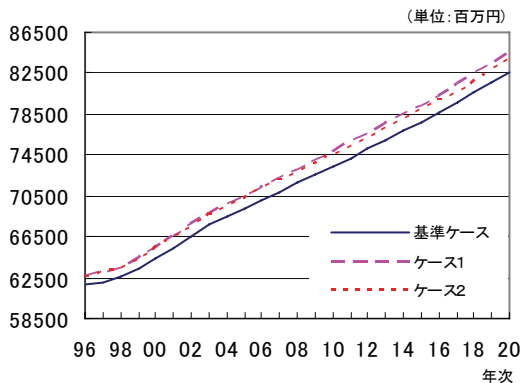


図-13 農林漁業実質 GDP

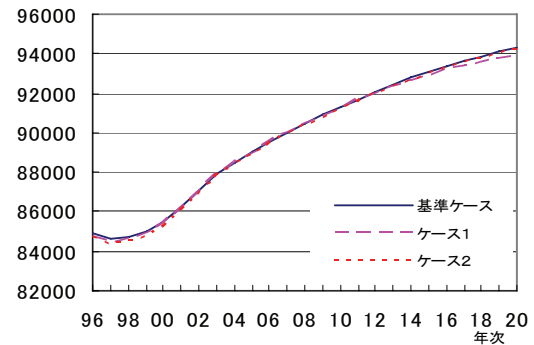


図-16 家計の合成財消費量

めと解釈される。

一方、ケース2では農林漁業、製造業を除いて基準ケースに比べ産出量が減少する結果となった。これは家計に対する直接税の増加によるものと考えられる。

(5) その他

図-14から図-25でその他の変数の特徴をまとめておこう。2020年のケース1では家計所得は基準ケースに比べ0.65%大きくなっている(図-14)。しかしながら家計の合成財消費量は所得の増加や合成財価格の下落にもかかわらず(図-15), 2020年で基準ケースに比べ0.41%低くなる結果となった(図-16)。また余暇需要

も2020年の基準ケースに比べ0.74%低くなる結果となった(図-17)。

これを受けて家計貯蓄はケース1の方が大きく、資本蓄積が進む結果となった(図-19)。家計の瞬時的効用値⁽²⁰⁾は基準ケースの方がケース1より大きい(図-20)、期末資産の評価値がケース1の方が大きい(図-21)、割引された効用値総和はケース1の方が大きいという結果になった(図-22)。

政府については再(生)利用活動推進のために補助金を支出するため、純間接税収は基準ケースに比べ2020年で

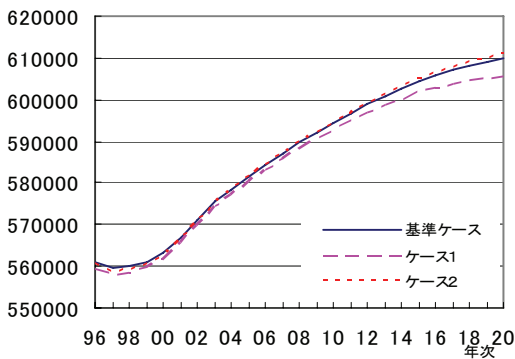


図-17 余暇需要

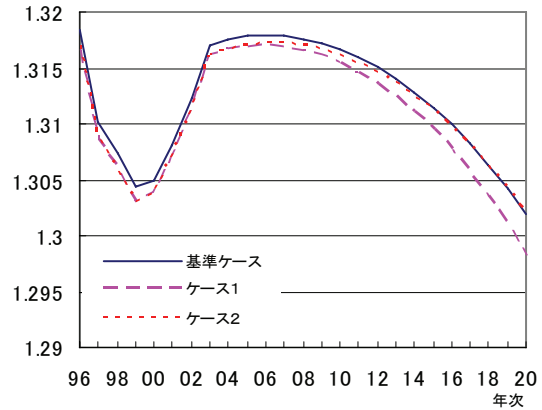


図-20 1家計の瞬時的効用値

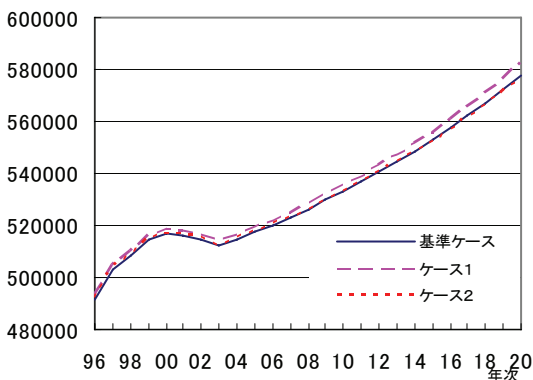


図-18 労働供給量

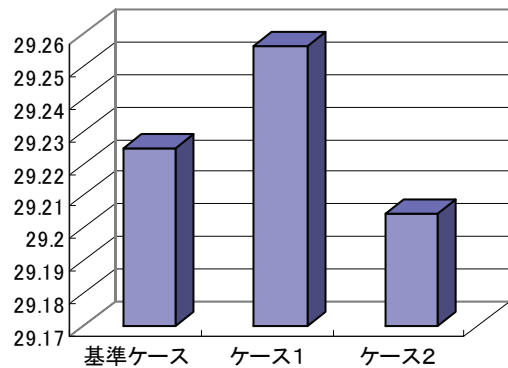


図-21 1家計の割引された効用値総和

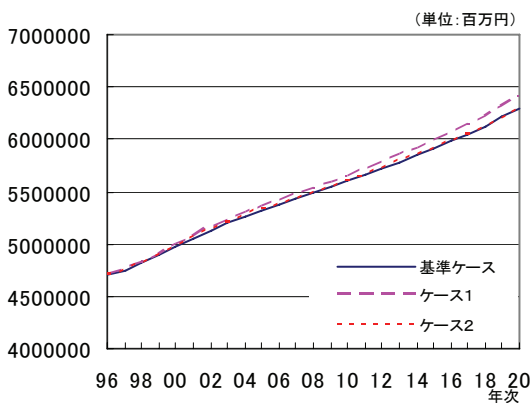


図-19 資本ストック総量

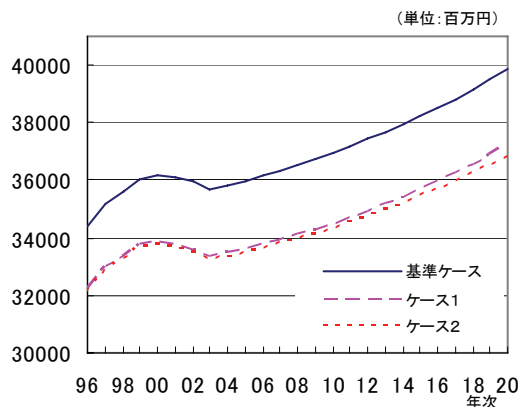


図-22 純間接税

26億1,946万円の減少で、その減少率は6.57%である(図-22)。しかしながらケース1での家計所得の上昇から2020年で直接税収が11億2,920万円大きくなるため(図-23)、政府所得は28億9,010万円大きくなっている(図-24)。このため政府消費、家計および圏外への経常移転、政府貯蓄も増加する結果となった。なお家計廃棄物の再(生)利用が進むため、政府による廃棄物処理費用はケース1で基準ケースに比べ2020年で3,941万円(3.79%)ほど節約されている(図-25)。

ケース2では2020年の家計所得は基準ケースに比べ

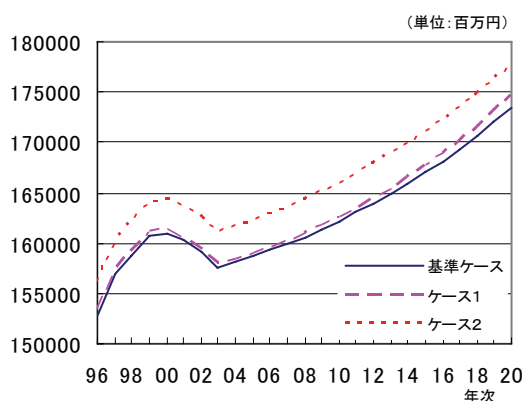


図-23 直接税

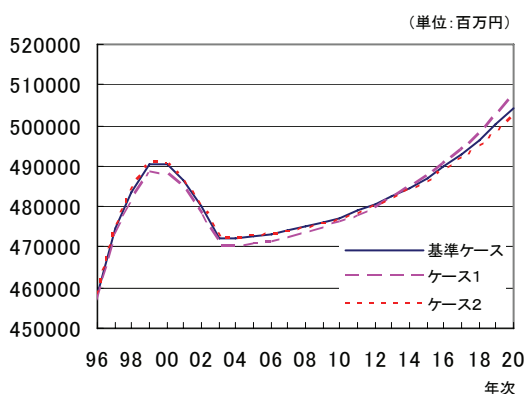


図-24 政府所得

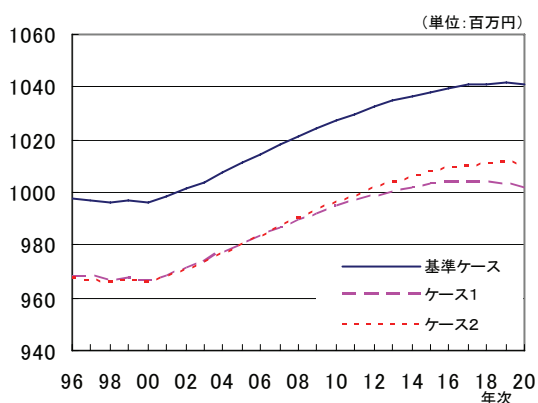


図-25 一般廃棄物処理の行政負担額

17億4,400万円(0.17%)の減少となったが(図-14)、これは直接税込みの結果である。直接税控除後の所得は基準ケースに比べ59億9,060万円(0.705%)の減少となった。直接税の増加は42億4,660万円で、その増加率は2.45%である(図-23)。これにより合成財消費量は基準ケースに比べ2020年で0.08%の減少(図-16)、余暇需要は0.15%の増加となった(図-17)。家計の瞬時的効用値は1996年時点で基準ケースより小さく、ケース1よりは大きいものとなった。しかしながら2020年時点では基準ケース、ケース1よりも大きなものとなっている(図-20)。

しかしながら期末資産の評価値が3ケースの中では最も小さくなるために、割引された効用値総和も3ケースの中で、最も小さいものとなった(図-21)。

政府については2020年で基準ケースに比べ純間接税収が29億9,706万円の減少で、その減少率は7.52%である(図-22)。一方、直接税収の増加あるものの、政府所得は17億6,710万円の減少となった(図-24)。これを受けて政府消費、家計および圏外への経常移転、政府貯蓄も減少となった。ケース2についても政府による廃棄物処理費用は3,010万円(2.89%)ほど節約されている(図-25)。

以上のケース1とケース2を比較すると、家計の厚生水準の観点からはケース1が望ましいということになるが、ケース1を実現させる補助金の財政的余裕があるかどうかは不明である。このため企業にも補助金の負担を考える必要があるが、先にも述べたように本モデルでは企業への負担は生産量を減らすだけであり、本質的な施策とはなりえない。この点は将来の課題としたい。

最後に文献2)で示されている静学分析の結果と、本研究との比較を簡単にまとめておこう。最も大きな違いはケース1における家計消費の変化である。文献2)では補助金支出による財価格の低下のため家計消費は増加しているが、本研究では基準ケースと比べ2020年において減少している。それに代わり資本蓄積が促進され、期末資本ストック評価値を含めれば、ケース1の厚生水準が最も高いという結論が導き出されている。これは瞬時的効用を犠牲にしても、資本蓄積を進め最大の厚生水準を得るという、静学分析では導き出せない結論である。その他の変数については、変化の大きさに違いはあるものの、定性的には文献2)と類似した結果が得られている。

8. おわりに

本研究は帯広都市圏でのコンパクト・シティ化を念頭に置き、都市圏内の廃棄物-物質循環を内生化し、さらに経済規模が小さいことを考慮して、移輸入財を差別化

した動学的応用一般均衡モデルを開発したものである。そしてこのモデルを用いて、いくつかのシミュレーション分析を行っている。その結果、廃棄物の再(生)利用率を1.2倍引き上げるために必要な再(生)利用財価格の下落幅、家計への補助金転嫁の影響など、興味ある結果が動学一般均衡効果として得られている。

しかしながらコンパクト・シティ実現のためには、廃棄物だけではなく、その他の環境負荷や、エネルギー需要、都市規模のコンパクト性なども見なければならない。とりわけ本研究のモデルには、対象地域の空間的構造が入っておらず、この点が大きな課題である。この点について、筆者たちは別のモデルで検討を行っているが²¹⁾、そのモデルとの融合が有力な解決策となる。

なお本研究の一部は基盤研究(C)(2)(課題番号16510021)、および豊橋技術科学大学COEプロジェクトの成果に基づいている。

最後に本研究を完成させる上で、匿名の査読者4名からは極めて有益な修正意見を賜った。ここに深謝の意を表する次第である。

補注

(1)一般的に経済と環境との関りは、持続的成長という言葉で語られている。これは生産規模の持続的成長というより、人々の幸福の持続的成長、すなわち個人の効用値が非減少の状態にあると解釈されよう。このためには経済変化のプロセスにおいて、個人の効用関数が非減少であることを見なければならぬ。経済の初期状態と長期均衡状態の比較だけでは、その途中のプロセスが見えないことに加え、どの程度の期間で長期均衡状態に近づいているのかも分析できない。そのため持続的成長過程を検討できなくなる恐れがある。従って時間を追った動学モデルが必要となると考えている。

(2)コンパクト・シティの概念には様々なものがある。代表的なものはダンツィクとサアティ²²⁾によるもので、人工的に作られた円形ドーム型の都市概念である。しかし最近では都市域をコンパクトにし、都市活動の密度を上げ、交通需要やエネルギー需要を抑制し、自然との共生を重視した都市のイメージが強い(例えば海道²³⁾)。これに対して伊藤らのグループ²⁴⁾では、面的なコンパクトさよりも都市機能の適切な濃密性を保つという側面を重視し、これに加え環境負荷の最小化、アメニティの最大化も最大限考慮する都市として位置づけている。そしてこの中では物質循環型都市形態が重視されている。本研究もこの概念に立脚しており、環境負荷要因の1つとして廃棄物を取り上げ、その再(生)利用によって物質循環を促進するという立場に立っている。面的なコンパクトさから来る交通需要抑制に伴う排気ガスやエネルギー消費の抑制はもちろん重要な課題ではあるが、本研究で提示するモデルではそれらを直接的に扱うことは困難であり、将来の課題としたい。なおこの問題に関連して、筆者らの研究²¹⁾では都市の空間構造を考慮しており、そのモデ

ルが参考となる。

(3)本研究のモデルが閉じていなければ、ワルラス法則が成立しなくなり、均衡解が得られなくなってしまう。

(4)移輸入財価格を期間ごとに変化させるのは容易であるが、その設定には恣意性が入ってしまう。そのため本研究では移輸入財価格を一定としている。

(5)再(生)利用財のほとんどは製造業製品の代替財と見なせる。そのため製造業生産物の中間投入($i=3$ に対応)は圏内産財、圏外産財、再(生)利用財の合成財として定式化している。またここでは製造業のみが再(生)利用財を投入するのではなく、全産業において再(生)利用財が投入されるように定式化されている。例えば農林漁業は肥料として化学肥料(製造業生産物)と堆肥(家畜糞尿再生利用財)を投入していると想定している。後に示すように廃棄物除去活動、再(生)利用活動、最終需要部門においても再(生)利用財の使用が仮定されている。

(6)異時点間代替弾力性 σ とは完全消費に関する限界効用の弾力性の逆数であり、異時点間の完全消費を結ぶ無差別曲線の曲率を表す。 σ が大きいほど貯蓄より完全消費が選好され、貯蓄と完全消費の選択パターンを決める重要なパラメータである。本研究の効用関数は σ が一定となる唯一の関数型である。また本研究の完全消費は消費と余暇に関して1次同次であるため、最適な消費と余暇を求めることができない。そのため異時点間代替弾力性を導入して、効用関数を厳密に凹な関数としている。異時点間代替弾力性については文献²⁵⁾が参考となる。

(7)本研究の家計行動を連続時間型とすることは容易であるが、数値計算上は離散化しなければならない。本研究では時間間隔を1(年)としているため、資本ストックや随伴変数の動学式を差分化するには若干の数式計算を必要とする。このため最初から離散時間最適化問題として定式化している。

(8)式(49)で期末効用関数は単純に期末資本ストックの1次関数としている。これは経験上、この関数型が最も数値計算上解きやすいためである。一般的には期末での完全消費を $fc(T+1)$

とした時、 $(\sigma/(\sigma-1))fc(T+1)^{(\sigma-1)/\sigma} / \prod_{s=0}^{T+1} (1+\tau(s))$ とする

のが自然であろう。しかしこの関数型では $T+1$ 期において、家計は完全所得を全て消費と余暇に使い、貯蓄をしないことが最適な行動となる。このため T 期までの完全消費成長パターンと $T+1$ 期での値が大きく乖離することが予想され、本研究で用いているFair-Taylor法では均衡計算ができないことが多い。これを避けるためには $T+1$ 期においても家計は貯蓄をするという仮定、すなわち無限期間での動学最適化を有限時間で近似するという立場に立つことが必要である。これに関しては文献²⁶⁾が参考となる。期末効用関数を上記の関数型とした場合の分析は将来の課題としたい。

(9)この式が示すように、投資財価格には移輸入財価格が反映されており、他の財価格についても移輸入財価格が反映されている。すなわち本研究は閉鎖経済を対象としているが、日本全体や世界の価格が反映される形となっている。

(10) 離散的有限時間での最適制御問題は静学的最適化問題に変形可能であり、その中で横断性条件が導かれる。無限期間での最適化問題とは異なり、有限期間では横断性条件が随伴変数の期末値を与えることになり、それによって状態変数と随伴変数との同時決定が可能となる。本研究では文献 27) を参考としている。

(11) 本研究では住宅サービスによる家計効用を考慮していない。これはモデルを単純化し、計算時間を短縮することを優先させたためである。住宅ストックの動学式と住宅サービスの効用を内生化することは比較的容易である。しかしながら現在のモデルでも均衡計算には2~3時間を要しているため、モデルの拡張には新たなアルゴリズムが必要かもしれない。参考として筆者らの研究²¹⁾では2タイプの住宅ストックが考慮され、住宅サービスの効用が都市のコンパクト化に大きな役割を果たすことが示されている。

(12) 文献 2) には全係数の関数型が表示されている。

(13) 本研究では各時点の変数値も均衡計算によって求めているため、各時点の変数を1つと数えれば、外生変数は人口、主観的割引率、移輸入財価格、名目財別移輸出額で、それぞれが26, 26, 200, 200 で合計452個となる。その他の変数は全て内生変数で1時点で1,352個ある。これが25年分で33,800個となる。最後に資本ストック期末値と随伴変数期末値が2個ある。内生変数総個数はこれらを合計して33,802個となる。

(14) 財価格式(91)には右辺の係数にも財価格が含まれており、産業連関分析のように単純に逆行列を乗じただけでは財価格は求まらない。本研究では瞬時的均衡解を求める時、式(91)右辺の係数には収束計算における1期前の財価格値を代入し、形式的に逆行列を乗じて財価格の暫定値を求めている。そしてこの計算を繰り返し、真の均衡価格を求めている。

(15) 図—3で「目的」という用語は、企業が利潤最大化を目的として行動していることを表している。これに対して、廃棄物の発生はこれといった目的もなくなされるため、それとの対比を強調する表現である。

(16) 本研究のような Ramsey タイプの成長モデルでは1人当りの資本ストックが変化しない状態、すなわち $ks(t+1)-ks(t)=0$ となる長期均衡状態では、均衡点が鞍点安定性を持つ。すなわち長期均衡点に収束する完全消費と資本ストックのペアの軌道は2つしかなく、それを外れると経済的に意味のない状態に向かう性質である。この性質によって、成長経路が期末資本ストック評価パラメータに敏感に反応するものと考えている。理論的考察からくる性質なので、期末資本ストック評価パラメータの設定方法については有効な手段がないのが現状である。この点については文献 25) と文献 26) が参考となる。

(17) 北海道の人口が減少する中で、帯広都市圏は人口を順調に伸ばしてきた数少ない地域である。帯広市の都市計画に基づけば、2021年の都市圏人口は289,710人と計画されており、本研究の人口よりも6,778人多く、やや過大と判断した。そのため本研究では過去の平均的伸び率に基づき将来人口を設定した。

帯広都市圏が持つ拠点性を考慮すれば、社会増により人口が余り減少しないことは十分に有り得ると考えている。人口減少化での分析は今後の課題としたい。なお文献 1) では静学分析の範囲ではあるが、人口減少が与える影響を分析している。

(18) ここで再(生)利用活動への補助金は、純間接税率(間接税率-補助金率)を低くすることによって対応している。この補助金の原資は政府予算式(77)に示されるように、直接税、間接税、政府への経常移転などである。純間接税率を低くするため、それに対応して政府支出も比例的に下げている。これらは式(77)を満たしながら行っているため、ワルラス法則は成立している。また基準ケースにおいても再(生)利用財需要と、廃棄物発生面から見た再(生)利用財供給量は、動学一般均衡効果から異なってくるため、基準ケースについても再(生)利用活動への純間接税率は每期変化させている。

(19) ここで政府補助金を変化させ、再(生)利用率を目標の数値にすることは、廃棄物が持つ副産物としての性質から、均衡計算がより複雑となり、収束しないことも想定される。この点についても今後の課題としたい。

(20) 家計の瞬時的効用値に見られるように、その変化が一様でない変数が幾つかある。これは外生的に与えている人口変化によるところが大きいと考えている。瞬時的効用値について言えば、初期段階における減少は人口増加が大きい時期に対応し、1人当りの完全消費が小さくなったためである。2008年以降の緩やかな減少は、やはり人口増加に対応した変化と言える。

参考文献

- 1) 宮田 謙, 渋澤博幸, 張 鍵: 廃棄物を考慮した帯広都市圏の応用一般均衡分析, 環境共生, Vol.10, pp.45-63, 2005.
- 2) 宮田 謙, 渋澤博幸, 張 鍵: 廃棄物を考慮した小地域の応用一般均衡分析 —帯広都市圏を事例として—, 地域学研究, Vol.34, No.1, pp.481-508, 2004.
- 3) Jorgenson, D. W. and Wilcoxon, P. J.: Environmental regulation and U.S. economic growth, *Rand Journal of Economics*, Vol.21, No.2, pp.314-340, 1990.
- 4) Conrad, K. and Schröder, M.: The control of CO₂ emissions and its economic impact: An AGE model for a German state, *Environmental and Resource Economics*, Vol.1, No.3, pp.289-312, 1991.
- 5) Bumiaux, J., Nicoletti, G., and Oliveira-Martins, J.: Green: A global model for quantifying the costs of policies to curbe CO₂ emissions, *OECD Economic Studies*, No.19, pp.49-92, 1992.
- 6) Welsch, H. and Hoster, F.: A general equilibrium analysis of European carbon/energy taxation, *Zeitschrift für Wirtschafts*, Vol.115, pp.275-303, 1995.
- 7) Goulder, H. L.: Effects of carbon taxes in an economy with prior tax distortions: An intertemporal general equilibrium analysis, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.29, pp.271-297, 1995.

- 8) Atri, S. and Schellberg, T.: Efficient management of household solid waste: A general equilibrium model, *Public Finance Quarterly*, Vol.23, No.1, pp.3-39, 1995.
- 9) Samakovlis, E. : Revaluing the hierarchy of paper recycling, *Energy Economics*, Vol.26, No.1, pp.101-122, 2004.
- 10) Miyata, Y. : An intertemporal general equilibrium analysis of the waste-economic system, *Infrastructure Planning Review*, Vol.14, pp.421-432, 1997.
- 11) Fæhn, T. and Holmøy, E. : Trade liberalization and effects on pollutive emissions to air and deposits of solid waste. A general equilibrium assessment for Norway, *Economic Modeling*, Vol.20, pp.703-727, 2003.
- 12) 帯広市緑化環境部環境保全課 : 帯広市環境基本計画, 帯広市, 2000.
- 13) 帯広市都市開発部都市計画課 : 帯広の都市計画, 帯広市, 2001.
- 14) 北海道環境生活部環境室廃棄物対策課 : 平成 10 年度北海道産業廃棄物実態調査報告書, 北海道, 2001.
- 15) 北海道環境生活部環境室廃棄物対策課 : 北海道一般廃棄物処理事業概要平成 9 年度, 北海道, 2001.
- 16) 北海道開発局開発管理部開発計画課 : 平成 7 年北海道産業連関表, 北海道開発局, 2002.
- 17) 北海道総合企画部 : 平成 10 年度道民経済計算年報, 北海道, 2002.
- 18) 北海道統計協会 : 第 108 回北海道統計書, 北海道統計協会, 2002.
- 19) 市岡 修 : 応用一般均衡分析, pp.149-155, 有斐閣, 1991.
- 20) Dixon, P. B., Parmenter, B. R., Powell, A. A., and Wilcoxon, P. J. : *Notes and problem in applied general equilibrium economics*, pp.338-340, North-Holland, 1992.
- 21) 宮田 謙, 洪澤博幸, 張 鍵 : コンパクトシティモデルのシミュレーション分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, No.2, pp.289-300, 2004.
- 22) G.B. ダンツィク, T.L. サアティ(森口繁一監訳) : コンパクト・シティ, 日科技連出版社, 1977.
- 23) 海道清信 : コンパクトシティ, 学芸出版社, 2001.
- 24) 伊藤達雄等 : H-8 持続可能なコンパクト・シティの在り方と実現方策に関する研究, <http://www.airies.or.jp/wize/j/J03H0800.htm>.
- 25) Barro, R.J. and Sala-i-Martin, X. : *Economic growth*, pp.59-95, McGraw-Hill, 1995.
- 26) Morten, I.L., Pahlke, A., and Rutherford, T. F. : Approximating infinite-horizon models in a complementarity format: A primer in dynamic general equilibrium analysis, *Journal of Economic Dynamics & Control*, Vol.26, pp.577-609, 2002.
- 27) 深尾 毅 : システムの数理, pp.153-159, 筑摩書房, 1975.
- 28) 環境庁リサイクル研究会 : リサイクル新時代, pp.94, 中央法規, 1993.

(2005. 5. 2 受付)

INTERTEMPORAL COMPUTABLE GENERAL EQUILIBRIUM ANALYSIS OF A SMALL REGION WITH WASTE RECYCLING

Yuzuru MIYATA

The author has developed a static computable general equilibrium (CGE) model of Obihiro metropolitan area's economy, Japan, internalizing waste recycling. Taking into account the sustainable growth and/or human and environmental symbiosis, however, the static model has a strong limitation. Thus it is necessary to develop an intertemporal model. From this point of view, this article aims to develop an intertemporal CGE model maximizing the sum of discounted utility function of the representative household in our previous model. And then the intertemporal economic effects of promotion of waste recycling are simulated applying this model. From the simulation results, price fall of recycled good for an increase of 20% in waste recycling rate and household choice pattern in consumption and saving etc. are obtained as intertemporal general equilibrium effects.