

都市物質代謝システムの環境経済評価に関する研究

Study on Environmental and Economic Assessment of Urban Material Metabolic Systems

中山 裕文¹

Hirofumi Nakayama

松本 亨¹

Toru Matsumoto

井村 秀文²

Hidefumi Imura

ABSTRACT: In order to highlight the role of wastes in our economic system, several attempts have been made to take into account the generation, treatment and disposal of wastes in the traditional framework of economic analysis such as input-output (I-O), computable general equilibrium (CGE) and macroeconomic models. In these situation, this paper presents a computable general equilibrium (CGE) model which can deal with the construction wastes generated from capital stocks such buildings and civil infrastructures. The model was developed to analyze the economic and environmental impacts of several policy options such as recycle rate of construction wastes, the rate of use of recycling materials, and the investment ratio of public investment.

KEY WORDS: computable general equilibrium model (CGE), resource economics, construction waste, recycling system

1. はじめに

都市は、外部からさまざまな資源を取り入れ、これを原料として生産を行い、あるいはこれを消費した上で、再び財・サービスあるいは廃棄物の形で外部に資源を排出するひとつの有機体と考えることができる。都市内におけるこの一連の資源フローが都市の物質代謝システムであり、最近、この物質の入出と変換を定量的に把握・分析しようとするマテリアルフローアナリシス (MFA) が試みられている。このマテリアルフローは、都市の経済活動及び環境負荷の発生とそれとともなう効用・非効用の発生と不可分の関係にあり、両者を統合的に評価することは都市の環境資源勘定体系の構築につながるテーマである。

資源循環型社会の重要性が叫ばれるにつれつれて、このようなテーマに対処するために経済学の伝統的な分析枠組みの中で、廃棄物の発生・処理等の過程を内生化したモデルの開発やそれを用いた数値シミュレーションの試みが活発化している^{1), 2), 3), 4), 5)}。すなわち、財・サービスの生産、消費、廃棄の全過程を通しての資源需給と資源フローを把握し、経済システム全体を通じて廃棄物がどこで発生し、どう処理されているか、新たな技術の導入（たとえば、リサイクル率の向上）や価格体系の変更（たとえば、環境税の導入）が行なわれた場合、そのフローがどう変化するかといった問題を、経済主体の行動や技術条件などを定式化することによって定量的に把握しようとするアプローチである。

本研究では、都市を対象として、産業廃棄物の中で最大のシェアを占める建設廃棄物に着目して、その都市代謝システムを担う行動主体（部門）ごとにそれぞれの行動と資源消費・廃棄物発生との関係についてのモデル化を行う。なお、モデルの枠組みには一般均衡分析を用いる。このモデルを用いて、現状を表す基準ケースを推計するとともに、建設廃棄物のリサイクルを促進させる場合や、建設廃棄物の発生要因でもありまた建設副産物の受入先でもある建設部門への公共投資を削減し、他の産業に振り分けた場合などのシナリオを用いて数値シミュレーションを行い、各シナリオにおいて市内経済への影響がどのように変化するかをいくつかのケースについて論じる。

2. 建設廃棄物の発生・処理状況

建設廃棄物をめぐる状況を整理しておく。

¹ 九州大学大学院工学研究院 Faculty of Engineering, Kyushu University

² 名古屋大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Nagoya University

まず、建設活動の特徴として挙げられることはマテリアルフローに占める大きさである。平成5年度のデータ⁶⁾になるが、資源利用量で全産業のうち建設産業が46%を占める。また、廃棄物量のうち排出量で全産業の21%、最終処分量で44%が建設産業である。その発生場所を考えると、人口が集中している都市は相対的に社会資本の整備率が高く、その整備や更新による建設廃棄物の発生は大きい。さらに、宅地開発やビルを考えると、やはり建築系の建設廃棄物の発生量と人口規模の間には高い相関があると考えられる。つまり、都市物質代謝システムにおける建設活動の占める位置が大きいことが、ここから容易に想像される。

そこで、本研究で対象とする福岡市を例に取り、建設廃棄物の発生・処理の現状をみる。表1は、業種別にみた産業廃棄物の最終処分量である(平成9年度)⁷⁾。福岡市の産業構造が第三次産業を中心とした都市であることを反映して、建設業の割合が全体の87.7%と高い。この値は同年の福岡市一般廃棄物最終処分量の約2倍に相当する。次に、建設廃棄物の処分・再利用実態をみると(図1)、約65%が再利用され、残りが最終処分である。再生資源としての利用知が高いのは、廃アスファルト(63%)、コンクリート片(58%)等である。図2は、福岡市建設業における産業廃棄物関連費支払額である⁸⁾。建設廃棄物の発生量自体は土木系と建築系で拮抗していると予想されるので、土木系の産業廃棄物関連費支払額が圧倒的に大きいのは、建設副産物からの再生資源を土木系が多く受け入れていることを意味する。

表1 福岡市の産業廃棄物最終処分量とその内訳⁷⁾

	最終処分量 (t/年)	構成比 (%)
建設業	378,875	87.7
建設廃材	179,190	41.5
コンクリート片	90,290	20.9
廃アスファルト	32,544	7.5
その他建設廃材	56,356	13.0
無機性汚泥	133,768	31.0
その他	65,917	15.3
電気・水道業	30,958	7.2
製造業	18,307	4.2
サービス業	2,195	0.5
運輸業	646	0.1
卸・小売業	920	0.2
金融・保険業	9	0.002
合計	431,910	100.0

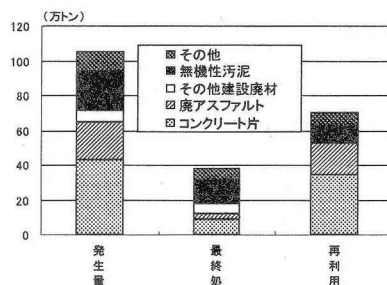


図1 福岡市の建設廃棄物発生量と処理状況⁷⁾

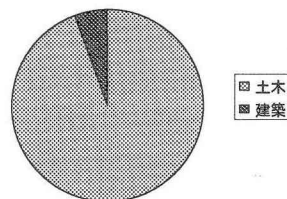


図2 福岡市の建設業における産業廃棄物関連費支払額⁸⁾

3. 福岡市の建設廃棄物に関する一般均衡分析

3.1 モデルの概要

本モデルは、基本的に市岡(1991)⁹⁾の構築したAGE日本モデル及び宮田(1998)¹⁾の体系に基づく静学モデルである。モデル全体の概要については、Appendixに示す。

計算の基準年次を1995年の福岡市経済とし、モデル内における経済主体は、産業、家計、政府とする。産業部門は、建築、土木、建設廃棄物処分、建築廃棄物再生業を含む18分類の産業からなる(表2参照)。建設廃棄物の再生品としては、再生骨材、再生路盤材、再生アスファルトとし、これら3種類を合成財した再生材を生産する建設廃棄物再生業の投入産出構造を、資料^{10), 11)}および複数の業者へのヒアリング調査をもとに推定したものを用いる。

産業は、労働、資本、及び他の産業の生産物を中間生産物として投入し、生産を行う。ここで、生産関数は、中間投入構造に関してはLeontief型、資本と労働の投入についてはCobb-Douglas型とし、規模に関する収穫一定を仮定する。産業の行動は、財の需要量に対し、費用最小化行動として定式化される。家計は、福岡市における集計化された家計を考える。家計の効用関数は、貯蓄と現在消費、余暇と消費合成には、CES型効用関数を用いる。また、消費財購入パターンの決定にはCobb-Douglas型を採用する。政府は、企業からの間接税、家計からの直接税、市外からの移転収入を歳入とし、政府消費、家計への移転支出、市外への移転支出を歳出として、歳入と歳出の差額は貯蓄される。

3. 2 シミュレーションケースの設定

ここでは、建設廃棄物に起因する最終処分量を抑制する政策として、以下のようなケースを想定し、シミュレーションを行う。

(1) 基準ケース（パラメータの設定）

基準ケースとして、1995年の福岡市経済^{9), 12), 13)}を対象とする。この年の福岡市における市内生産総額は10兆円、建設廃棄物発生量は、約105万トン、そのうち、最終処分量は約38万トンである。

(2) ケース1：建築、土木における建設廃棄物再生品（再生骨材、再生アスファルト、路盤材）使用量を5%増加させ、リサイクルを需要側から促進させる。これは、平成16年度における再生品使用率の目標値3）に基づく値である。これに伴い、鉱業、石油・石炭製品、窯業・土石製品製造業からのバージン製品の投入は、それぞれの投入係数の大きさに比例して縮小する。ここでは、バージン財と再生財の価格比によって生じる建築業、土木業の生産コストの増大を、それぞれの付加価値率を減少させることによって調整している。

3) ケース2：土木への公的固定資本形成を5%削減し、他の産業へ振り分ける。
このケースは、公共工事を削減することを想定したものである。土木系の公共工事を削減することは、建設廃棄物発生量の削減に直結する。一方で、土木系公共工事は建設副産物の再生資源の受け入れ先として大きな役割を果たしている。そのため、このケースでは、公共工事への投資削減が建設廃棄物発生量と再生利用に与える影響とともに、他産業へ投資を振り向けることの影響も同時に評価することになる。

3. 3 結果

(1) ケース1

ケース1は、建築、土木におけるリサイクルを促進させるケースである。再生材利用の増加にともない建築業、土木業の生産価格は上昇する。それにより建築、土木の需要が減少するが、その効果は小さなものとなっている。再生材の利用量は4.8%増加し、建設廃棄物の最終処分量は12%の減少となっている。

表2 本研究で用いたモデルにおける産業分類

	産業分類
1	農林水産業
2	鉱業
3	食品・飲料
4	繊維
5	パルプ・紙・木製品
6	化学
7	石油・石炭
8	窯業・土石
9	鉄鋼・非鉄
10	機械・金属工業
11	その他の製造業
12	建築
13	土木
14	電力・ガス・水道
15	商業・サービス業
16	建設廃棄物処分業
17	建設廃棄物再生業
18	その他産業廃棄物処理業

(1) ケース2

ケース2は、公共事業を削減を想定し、土木業の公的投資を他産業へと振り分けたケースである。土木業生産額の低下に伴い、建設廃棄物の発生量は3.3%減少しているものの、再生材の利用量が5.1%増加しており、最終処分量の減少は0.2%程度となっている。これは、土木業における再生材の中間投入係数は建築業と比較して大きく、一方で建設廃棄物の発生量にはそれほどの差がないことに起因している。そのため、土木業の需要低下によって再生材の需要量が減少し、最終処分される廃棄物が増加する結果となっている。家計効用については、公共投資の減少によって最終需要構造が投資から消費へシフトするため、消費の増大による効用増加があるものの、資本価格の低下による

表3 シミュレーション結果

	市内生産額		等価的偏差 100万円	建設廃棄物発生量		建設廃棄物再利用量		建設廃棄物最終処分量	
	100万円	変化率(%)		トン	変化率(%)	トン	変化率(%)	トン	変化率(%)
基準ケース	10,045,105	-	0	1,052,614	0.0	673,739	0.0	378,875	0.0
ケース1	10,045,005	-0.0010	-96	1,039,456	-1.2	706,222	4.8	333,234	-12.0
ケース2	10,042,524	-0.0257	-3060	1,017,425	-3.3	639,176	-5.1	378,249	-0.2

減少分が大きく、等価的偏差は約30億円のマイナスとなっている。福岡市経済全体への影響としては、総生産額が-0.025%減少している。

4. まとめ

本研究は、一般均衡モデルを用いて福岡市の建設廃棄物対策に関して、いくつかの政策シミュレーションを行ったものである。ここには、多くの仮定・推計が含まれており、必ずしも現実の経済システム、都市代謝システムを正確に再現しているとはいえない部分もあるが、建設部門における物質代謝（リサイクル率や再生資源の利用促進）とその経済インパクトの感度特性を把握することができた。また、土木への公的固定資本形成を政策パラメータとすることにより、公共工事のもつ環境経済的な意味を評価することの可能性も示唆された。

本モデルでは、生産要素としての中間投入係数を固定の技術パラメータとして取り扱っているため、バージン財と再生財との間の代替が考慮されていない。そのため、本モデルの構造では、再資源化促進のための補助金政策の効果や、産業廃棄物埋め立て税等による最終処分コストの増加によるリサイクル促進効果を評価できないという問題点がある（バージン材と再生材との代替を考慮した一般均衡モデルの最近の研究例として、例えば宮田（2000）¹⁾がある）。また、本研究では、建設廃棄物の発生量の推計について、単期の生産水準と廃棄物排出との間に線形関係を仮定している。この設定は、工場等の生産活動に付随して発生する産業廃棄物や、家庭からの厨芥や容器包装廃棄物の発生については妥当であるが、建設廃棄物のように過去に造られたものが長期にわたって使用され、廃棄物化するものには適当でない。過去の生産に起因する廃棄物のストックと、そこから発生する廃棄物フローをモデルに反映させるためには、動学的なモデルの構築が必要となる。これらの課題を改善していくことが、今後の重要な課題といえる。

参考文献

- 1) 宮田 譲：廃棄物対策の経済的影響分析 ～CGEモデルアプローチ～，土木計画学研究・論文集，No.15，1998年
- 2) 宮田 譲，彫 暁晋：物質循環を考慮した環境経済一般均衡分析，土木計画学研究・論文集，No.16，1999年
- 3) 宮田 譲，彫 暁晋：地域ゼロエミッションの可能性とその評価，土木計画学研究・論文集，No.17，2000（印刷中）
- 4) 中村慎一郎：廃棄物処理と再資源化の産業連関分析，廃棄物学会論文誌，Vol.11，No.2，pp.84-93，2000
- 5) 松岡 譲：長期的な環境トレンドは経済発展の姿を変える，環境投資，（財）地球環境戦略研究機関，pp.3-18，1999
- 6) 建設副産物リサイクル広報推進会議：再資源化施設・最終処分場の適正な立地に関する研究会報告，1999
- 7) 福岡市環境局：福岡市産業廃棄物実態調査報告書，1999年
- 8) 福岡市：平成7年福岡市産業連関表，2000年
- 9) 市岡修：応用一般均衡分析，有斐閣，1991年
- 10) 建設物価調査会：建設副産物の再生・処理の積算
- 11) 建設物価調査会：建設物価平成7年12月，1995年
- 12) 福岡市監査委員：平成7年度福岡市一般会計・特別会計歳入歳出決算及び基金運用状況審査意見書，1995
- 13) 福岡市：福岡市民経済計算（福岡市の市民所得）平成7年度，1995年
- 14) ジョン・B・ショウヴン，ジョンウオーリ著，小平 裕訳：応用一般均衡分析 理論と実践，東洋経済新報社，1993年
- 15) 建設省：平成7年度建設副産物実態調査結果について，1997

経済新報社，1993 年

1 5) 建設省：平成 7 年度建設副産物実態調査結果について，1997

1 6) 福岡市環境局：平成 7 年度事業概要，1995 年

Appendix : モデルの概要

(1) 産業

$$\begin{aligned} \cdot \text{生産関数} : Q_j &= Q(L_j, K_j, X_{1j}, \dots, X_{nj}) \\ &= \min [V_j(L_j, K_j) / a_{0j}, X_{1j} / a_{1j}, \dots, X_{nj} / a_{nj}] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\cdot \text{付加価値関数} : V_j = \gamma L_j^{\alpha} K_j^{(1-\alpha)} \quad (2)$$

$$\cdot \text{労働需要} : DL_j = \gamma_j^{-1} [\alpha_j r / (1 - \alpha_j) w]^{(1-\alpha_j)} \quad (3)$$

$$\cdot \text{資本需要} : DK_j = \gamma_j^{-1} [(1 - \alpha_j) w / \alpha_j r]^{\alpha_j} \quad (4)$$

$$\cdot \text{費用構成} : p_j Q_j = a_{0j} \{w DL_j + r DK_j\} (1 + b_j) + \sum p_i a_{ij} \quad (5)$$

$$\cdot \text{財価格} : [p_j] = [a_{0j} \{w DL_j + r DK_j\} (1 + b_j)] [I - A]^{-1} \quad (6)$$

L_j : 産業 j の労働, K_j : 産業 j の資本, $IDTAX_j$: 産業 j の純間接税, Q_j : 産業 j の産出量, V_j : 産業 j の付加価値, X_{ij} : 産業 i から産業 j への中間投入量, w : 労働価格, r : 資本価格, p_i : 産業 i の生産財価格, $a_{0,j}$: 産業 j の付加価値率, a_{ij} : 産業 j の中間投入係数, α_j : 付加価値関数の分配パラメータ, γ_j : 付加価値関数の効率パラメータ

(2) 家計

$$\cdot \text{現在消費と将来消費の効用関数} : U = [\alpha^{1/\nu} H^{\nu} + (1 - \alpha)^{1/\nu} C_F^{\nu}]^{\nu/(1-\nu)} \quad (7)$$

$$\cdot \text{消費合成財と余暇の効用関数} : H = [(1 - \beta)^{1/\sigma} C_S^{(\sigma-1)/\sigma} + \beta^{1/\sigma} l^{(\sigma-1)/\sigma}]^{\sigma/(1-\sigma)} \quad (8)$$

$$\cdot \text{最適消費財購入の効用関数} : C_S = \cdot C_j^{\lambda_{ij}} \quad (9)$$

$$\cdot \text{現在消費} : H = \text{INC}(p_H^{\nu} \Delta_2) \quad (10)$$

$$\cdot \text{将来消費} : C_F = (1 - \alpha) \text{INC} / [p_F^{\nu} \Delta_2] \quad (11)$$

$$\text{ただし, } \Delta_2 = \alpha p_H^{(1-\nu)} + (1 - \alpha) p_F^{(1-\nu)}$$

$$\cdot \text{貯蓄} : S = (1 - \alpha) \text{INC} / [p_S p_F^{(\nu-1)} \Delta_2] \quad (12)$$

$$\cdot \text{合成消費財需要} : C_S = (1 - \beta) (\text{INC} - p_S S) / (q^{\sigma} \Delta_1) \quad (13)$$

$$\cdot \text{余暇需要} : l = \beta (\text{INC} - p_S S) / (w^{\sigma} \Delta_1) \quad (14)$$

$$\text{ただし, } \Delta_1 = (1 - \beta) q^{(1-\sigma)} + \beta w^{(1-\sigma)} \quad (15)$$

$$\cdot \text{現在消費の価格} : p_H = [(1 - \beta) q^{(1-\sigma)} + \beta w^{(1-\sigma)}]^{1/(1-\sigma)} \quad (16)$$

$$\cdot \text{消費財需要} : C_j = \lambda_j (\text{INC} - p_S S - wl) / p_j \quad (17)$$

p_H : 現在消費の価格, p_F : 将来消費の価格, INC : 拡張可処分所得, S : 家計貯蓄, p_S : 貯蓄財価格, C_F : 将来消費, C_S : 合成消費財需要, C_j : 消費財 j の需要, q : 合成消費財価格, l : 余暇, ν : 現在消費と将来消費の代替弾力性, σ : 合成消費財と余暇の代替弾力性, α, β : ウェイトパラメータ

(3) 政府

$$\cdot \text{純間接税(間接税-補助金)} : IDTAX = b_i V_i \quad (18)$$

$$\cdot \text{政府予算制約} : Y + IDTAX + \text{TRO} = \sum p_i CG_i + \text{TRG} + \text{TRH} \quad (19)$$

t : 家計の直接税率, Y : 家計所得, $IDTAX$: 純間接税総額, b_i : 産業 i の純間接税率, TRO : 市外への移転支出, TRG : 市外からの移転収入, TRH : 家計への移転支出

(4) 投資-貯蓄バランス、市外とのバランス

$$\cdot \text{投資-貯蓄バランス} : \sum p_i I_i = S + SG \quad (20)$$

$$\cdot \text{市外とのバランス} : \sum p_i EM_i + \text{TRG} = \sum p_i EX_i + \text{TRO} \quad (21)$$

I_i : 産業 i への投資額, SG : 政府貯蓄, EM_i : i 財の輸入量, EX_i : i 財の輸出量

(5) 廃棄物発生、再利用

$$\cdot \text{建設廃棄物発生} : W_j = RW_j Q_j \quad (j=12: \text{建築}, j=13: \text{土木のみ}) \quad (22)$$

$$\cdot \text{建設廃棄物再生材生産量} : RM = RRM Q_{18} \quad (j=17: \text{建設廃棄物再生業}) \quad (23)$$

$$\cdot \text{建設廃棄物最終処分量} : FW = \sum_j W_j - RM \quad (24)$$

W_j : 建設廃棄物発生量, RW_j : 建設廃棄物発生原単位, RM : 建設廃棄物再生材生産量, RRM : 建設廃棄物再生材原単位, FW : 建設廃棄物最終処分量

(6) 市場均衡条件

$$\cdot \text{財市場} : X_i + EM_i = \sum_j a_{ij} X_j + C_i + CG_i + I_i + EX_i \quad (25)$$

$$\cdot \text{労働市場} : LS = \sum_i L_i \quad (26)$$

$$\cdot \text{資本市場} : KS = \sum_i K_i \quad (27)$$

LS : 労働供給量, KS : 資本供給量

(7) ワルラス法則

$$\cdot \text{超過労働需要} : EL = LS - \sum_j L_j \quad (28)$$

$$\cdot \text{超過資本需要} : EK = KS - \sum_i K_i \quad (29)$$

$$\cdot \text{一般均衡条件} : EL = EK = 0 \quad (30)$$

EL : 超過労働需要, EK : 超過資本需要