

動学的最適化モデルによる廃棄物処理・リサイクルのマクロ評価

Inter-Temporal Evaluation of Waste Disposal and Recycling Process by Using Macro Economic Dynamic Optimization Model

盛岡 通* 増井 利彦**

Tohru MORIOKA* Toshihiko MASUI**

ABSTRACT: In this study, the dynamic macro economic model, which internalizes the waste generation, disposal and recycling processes in the economic repercussion, is formulated and simulated in the courses of the various waste reduction programs. The authors regard the waste stream as the negative inputs at the stage of production process, material flow accompanied by additional societal costs at the stage of disposal, and potential supply of the positive resources after recycling process. The model simulations, which evaluate wastes internally, show that wastes are processed in the channel of route of not only material recycling but also thermal recycling in place of conventional incineration, due to total cost minimization. When the mass flux of the final disposal is restricted, in the first stage the incineration processing might be preferred, and later the recycling process should be fortified. When the productivity of capital in recycling supply is improved, incineration process is diminished and economic welfare is promoted. When introducing carbon emission reduction policy, power generation capacity in waste incineration plants become to be occupied more 1.1% of total electric supply amount than one in reference scenario in 2030.

Keywords: dynamic optimization model, recycling process, waste disposal

1. 研究の目的

廃棄物問題は、処分地の不足という問題だけでなく、資源の枯渇に大きくかわる。廃棄物の減量化と廃棄物の再資源化は、生産プロセスの改善や生活様式、消費行動の見直し、経済システムの改善等により実現される。このとき、廃棄物の経済的価値が変化するが、個々に注目するかぎりその変化を把握することはできない。そこで、本研究では、個別のリサイクル技術というようなミクロなレベルの分析ではなく、従来の経済分析の枠組みでは無視されてきた生産・消費活動に伴って生じる廃棄物とそのリサイクルを、社会経済システムに明示的に組み入れたマクロモデルを構築し、廃棄物の排出とその費用を内部化することにより観察される各廃棄物処理量の推移と廃棄物の排出に関する施策導入時の廃棄物処理の変化に関して、定量的に分析を行う。ここで対象とする廃棄物は、一般廃棄物と産業廃棄物の両方である。また、本研究における財のリサイクルでは、製品化された後に廃棄されることにより発生する廃棄物や生産段階で副産物として生じる廃棄物のリサイクル（マテリアルリサイクル及びサーマルリサイクル）をとりあげる。

2. 廃棄物の処理とそのリサイクルのモデル化

従来の動学的最適化マクロ経済モデルに、廃棄物の発生とその処理、及びリサイクルをサブモデルとして

* 大阪大学教授工学研究科環境工学専攻, Prof. of Osaka Univ., Dept. of Environmental Eng.

** 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻, Dr. Candidate, Osaka Univ., Dept. of Environmental Eng.

組み入れたモデルを構築し、廃棄物による生産への影響、リサイクルをシステム内で評価したときにみられる経済水準の変化や環境影響について分析を試みる。メインモデルである経済モデルの骨格は、Ramsey以降用いられている動学的最適化モデルをもとにしている。つまり、計画期間における効用が最大となるように、生産された財を消費と投資に分配するというものである。なお、本研究においては、廃棄物処理・リサイクル部門（以下、処理部門と略）を生産部門から独立し、リサイクルされた財は、中間投入や最終消費など需要先を限定せず、総供給の増大をもたらすものとしている。このため、生産部門における生産関数は、粗生産を表すものとし、生産部門の粗生産と処理部門の生産の合計が総供給として、最終需要である最終消費と投資以外に中間消費にも配分される構造をもつモデルである。以下に、リサイクルを付加したマクロモデル構造の概要を説明する。以下に示す記号は図1中の記号と一致している。

$$\text{Max } \sum U(C_t)\exp(-rt)$$

(2-1)

$$\text{s.t. } Y_i + R_i = C_i + \sum_j I_{ij} + \sum_x J_{ix} + \sum_j M_{ij} + e_i * Z$$

(2-2)

$$Y_i = f_i(K_i, L_i, M_i, W_i)$$

(2-3)

$$\dot{K}_i = -d_i * K_i + \sum_j I_{ij}$$

(2-4)

$$W_i = a_i * Y_i$$

(2-5)

$$Z = \sum_i W_i + b * \sum_i C_i + p_i * R_i$$

(2-6)

$$R_i = h_i(Z, N_i)$$

(2-7)

$$\dot{N}_x = -d_x * N_x + \sum_j J_{ix}$$

(2-8)

[パラメータ] ij: 生産部門, x: 処理部門, a: 生産部門廃棄物発生原単位,
b: 最終消費廃棄物発生原単位, d: 減価償却率, e: 処理部門中間消費原単位,
p: 処理部門廃棄物発生原単位, r: 割引率, L: 労働

[関数] U(・): 効用関数, f(・): 生産部門生産関数, h(・): 処理部門生産関数

[変数] Y: 生産部門粗生産, R: 処理部門生産（リサイクル供給）, C: 最終消費,
I: 生産部門投資, J: 処理部門投資, M: 生産部門中間消費, K: 生産部門資本,
N: 処理部門資本, Z: 廃棄物総発生量, W: 生産部門廃棄物発生量

(2-1)は目的関数であり、社会的効用を示す。

(2-2)以降が制約条件である。(2-2)は、財の分配を示す式であり、生産部門で生産された財と処理部門でリサイクルされた財が供給され、最終消費、投資、中間消費の各需要に分配される。投資、中間消費は、生産部門、処理部門それぞれに対して行われるが、処理部門の中間消費は、廃棄物総発生量に比例すると仮定している。

(2-3)～(2-5)が生産部門での活動を示す式である。(2-3)はいわゆる生産関数であり、生産部門は資本、労働、中間投入、廃棄物を投入要素として粗生産を産出するものとしている。ここで廃棄物は負の投入要素としてとらえている。(2-4)は生産部門における資本蓄積を示す式である。(2-5)は生産部門で発生する廃棄物量を示

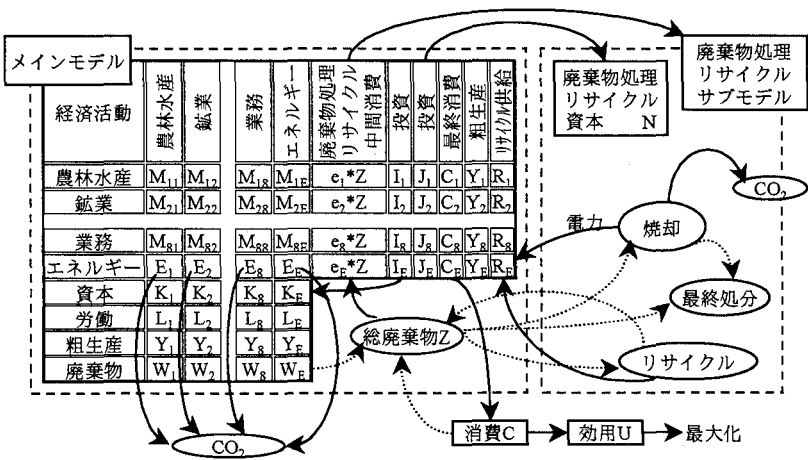


図1 本研究のモデル構造と廃棄物のフロー（点線）

す関係式である。本研究では、簡略化のため、各部門の減価償却に伴うストック起源の廃棄物は各部門の生産起源の廃棄物に併せて評価されるものとする。

(2-6)～(2-8)が処理部門での活動を示す式である。処理部門は生産部門とは異なり、資本ストックおよびリサイクルの原料となる廃棄物の量によりリサイクル供給量が決定されるものとする。(2-6)はリサイクル部門の原材料となる総廃棄物発生量を定義する式である。家庭部門からの廃棄物の発生についても簡略化のため耐久消費財の蓄積に伴う廃棄の時間遅れを $b \cdot \sum C_t$ に併せて評価している。また、過去における有用廃棄物のストックについてはデータ上の制約もあり、本研究においては取り扱っていない。すなわち、各期において発生した廃棄物はその期にすべて処理されるものとしている。(2-7)は処理部門の生産、すなわちリサイクル供給を示す式であり、廃棄物量と処理部門の資本ストックによりリサイクル供給量が決定される。(2-8)は処理部門における資本蓄積を示す式である。

3. 日本を対象とした廃棄物処理・リサイクルモデルの構築

2. では、廃棄物の発生とその処理およびリサイクルを従来の経済モデルに付加したモデルの全体構造を示した。次に、このモデルを日本に適用する場合のパラメータ設定や仮定について示す。なお、本研究のメインモデルは、1990年から2030年までを対象に我が国の産業部門を9部門（農林水産部門、鉱業部門、素材軽工部門、素材加工部門、素材重工部門、加工重工部門、建設部門、業務部門、エネルギー転換部門）に分割し、それらの連関構造を生産化した多部門最適化モデルである。その詳細は既報に示しているのでここでは省略する。

3. 1 廃棄物の発生

廃棄物は図1に示した経路をたどるものとする。ここでは、産業廃棄物の分類をもとに、図1に示す各廃棄物のたどる処理経路及び各部門へのリサイクル資源供給の違いにより、表1のように扱うルート进行分类している。

(1) 産業部門

産業部門における廃棄物、すなわち産業廃棄物の発生として、生産過程において発生する廃棄物と、資本ストックの減価償却に伴って発生する廃棄物の2つが考えられる

表1 本研究における廃棄物の種類とその処分

廃棄物の種類		マテリアルリサイクル			焼却処理		直接最終処分
		素材軽工部門	加工軽工部門	素材重工部門	サーマルリサイクルあり	サーマルリサイクルなし	
燃えがら・鉱さい・ばいじん・建設廃材	WT1	○				△	○
廃油・廃プラスチック	WT2			○	○	○	○
金属くず・廃酸・廃アルカリ	WT3			○		△	○
紙くず・木くず・汚泥	WT4	○			○	○	○
ガラス・ゴム・繊維・家畜糞尿・家畜死体・動植物性残	WT5		○		○	○	○
その他	WT6					△	○

注：焼却処理後の残さはすべて最終処分されるものとする。また、△は焼却以外の中間処理を示す。

表2 廃棄物の発生に関するパラメータの設定

部門	廃棄物発生量		廃棄物発生原単位	廃棄物の内訳(%)						Y=(1-aW^n)*f(K,L,M),n=5		
	千t	兆円		WT1	WT2	WT3	WT4	WT5	WT6	a (t値)	b (t値)	r ²
農林水産	77451	23.187	3340	3	0	0	26	72	0	5.5E-02 (-46.7)	1.00 (119.8)	0.9998
鉱業	34000	3.502	9709	96	0	0	0	0	4	4.7E-01 (-1.9)	1.01 (15.9)	0.9883
素材軽工	44994	23.841	1887	0	0	0	78	22	0	2.9E-02 (-37.7)	0.90 (36.9)	0.9978
加工軽工	23941	126.148	190	0	0	0	42	58	0	1.1E-02 (-49.9)	0.88 (34.0)	0.9974
素材重工	70845	89.047	796	14	1	11	71	3	0	1.2E-02 (-85.8)	0.89 (45.7)	0.9986
加工重工	9565	165.561	58	0	0	16	73	10	0	6.6E-03 (-25.5)	0.76 (11.6)	0.9782
建設	71139	86.059	827	58	4	2	37	0	0	1.0E-02 (-24.1)	0.83 (15.8)	0.9882
業務	6776	312.946	22	0	7	0	66	26	0	3.6E-03 (-93.0)	0.71 (16.8)	0.9895
エネルギー	56000	*46.353	*1208	38	7	3	48	4	0	2.3E-02 (-23.5)	0.84 (23.6)	0.9946
産業全体	394711	865.436	456	27	2	3	45	22	0	1.7E-03 (-130.9)	0.79 (21.7)	0.9937
家庭	49271	**335.632	147	5	10	5	25	55	0	—	—	—

注：*エネルギー転換部門の粗生産額は一次エネルギー供給量[単位：10¹⁴kcal]を示す。

**家庭の粗生産額はエネルギーを除く家計最終消費を示す。

が、本研究では簡略化のため、資本ストックの減価償却に伴う廃棄物の発生を粗生産による廃棄物の発生の中に組み入れて評価している。各部門における廃棄物発生量は、表2に示す種類別の原単位を用いて粗生産から計算した（ただし、エネルギー転換部門に対しては粗生産に対する原単位ではなく一次エネルギー供給量から廃棄物発生量を算出している）。

(2) 家庭部門

本研究では経済主体としての家計をエネルギー統計における家庭部門と同一とみなしている。すべての一般廃棄物は家庭から発生するものと仮定している。また、所得と廃棄物発生量の弾力性は1であり、廃棄物種の内訳も表2に示す比率で固定している。

3. 2 生産部門における廃棄物の発生と生産活動

本研究では、各生産部門で発生する廃棄物を負の投入要素とみなす。これは、廃棄物処理に要する費用だけ他の投入要素の投入量が減少し、その結果、生産が減少することを意味する。廃棄物の発生に伴う損失を評価するために、ここでは廃棄物処理に要する費用を粗生産の損失分とみなし、廃棄物発生量と粗生産の関係を $W/Y=aW^b$ で評価する。この関係を用いて、生産関数を $Y=(1-aW^b)*f(K,L,M)$ と修正して定義する。ここで評価された粗生産の損失分が処理部門の所得の一部となる。パラメータa、bは1970年以降の産業連関表をもとに回帰分析を行った。推計結果を表2に示す。また、各部門において発生する廃棄物量と廃棄物処理に要する費用の関係は、将来にわたって不変であると仮定する。

3. 3 廃棄物処理・リサイクル部門（処理部門）における生産活動

処理部門は、廃棄物及び資本ストックをもとに廃棄物を処理・リサイクルする。発生した廃棄物は、図1に示すリサイクル処理、焼却処理、最終処分の3つの経路のいずれかをたどる。リサイクル財の供給に対して、リサイクル過程によるコスト上昇が問題となっているが、本研究ではこのコスト増を表現するために、リサイクル処理量と焼却処理量に比例して各産業部門から中間財投入が必要となるようにしている。その結果、この処理分だけ財の供給が減少し、価格である各財のシャドウプライスが上昇する。その一方で、リサイクル財の供給が可能な部門では、リサイクル財による供給の増大で価格が低下するようになる。なお、処理部門からの廃棄物の発生はリサイクル時のみを対象とし、それ以外の処理については無視するものとする。

(1) リサイクル処理

リサイクル処理は、廃棄物と資本（設備）を用いて、素材軽工業部門、加工軽工業部門、素材重工業部門の各部門に財を供給し、その量は、 $\min(x(\text{廃棄物}), y(\text{資本ストック}))$ という関係により決定されるものとする。このため、リサイクル供給量の増大のためには資本ストックの増大が必要となり、投資が行われる。リサイクル供給の粗生産に占める割合は、リサイクルの総投入に占める割合が約8%と推計されているが、本研究では各部門とも4%と設定している。また、各リサイクル財の供給に関する資本生産性は、表3に示すそれぞれに対応する生産部門の資本生産性に等しく、リサイクル生産と廃棄物発生、中間投入の関係もそれぞれ対応する部門に見られる関係に一致するものと仮定する。

(2) 焼却処理

本研究における焼却処理とは、焼却以外の中間処理を含めた処

表3 リサイクル部門における粗生産と資本ストック

$Y=aK^b$	素材軽工業部門	加工軽工業部門	素材重工業部門
b	0.50	0.52	0.65
(t値)	(14.7)	(32.3)	(22.9)
重相関係数	0.90	0.97	0.95

Y:粗生産, K:資本ストック
1965年から1993年までのデータをもとに回帰。

表4 焼却施設に対する設定

廃棄物	発熱量(kcal/kg)	焼却処理量(1000t)	1990年発電用処理量(1000t)	1990年電力供給量(MkWh)	1990年発電能力(MkW)	炭素排出係数(tC/t)
WT2	7000	5812	0	1738	0.323	0.76
WT4	3000	16931	801			0.33
WT5	2000	22413	6276			0.24

〔仮定〕
廃棄物発電設備は、1990年で40万円/kWの建設単価を要し、35万円/kWとなるまで毎年1%ずつ技術改善がなされる。
廃棄物発電設備の建設単価は、通常の焼却施設の1.5倍の建設単価を必要とする。
1990年の廃棄物発電の発電効率は10%で、15%となるまで毎年1%ずつ改善される。

理であり、発生した廃棄物を減量化する。焼却処理においてもリサイクル処理と同様に資本（設備）に見合うだけの廃棄物量が処理される。焼却には発電施設を併設した施設と通常の焼却施設の2つを設定しており、廃棄物発電からは電力エネルギーの供給（サーマルリサイクル）が可能になる。焼却と廃棄物発電に関する設定を表4に示す。なお、焼却後の残さは焼却量の15%としている。

（3）最終処分

直接最終処分される廃棄物と焼却処理後の残さが最終処分として処理される。

ここでは、廃棄物処理のうち最終処分だけ資本を要しないことによる直接最終処分への処理の集中等を防ぐために、表5に示すように各処理方法の処理量・処理資本投資に対する制約を設定している。特に、最終処分については最終処分地の不足の問題や図2に示すように1985年以降漸減する傾向を示すことから、その上限は1%/年ずつ減少するものとしている。

表5 廃棄物処理に関する設定

リサイクル処理	資本投資の増加率:5%/年
発電付き焼却処理	資本投資の増加率:5%/年
	WT2処理量:初期年の焼却処理量の1/2を基準に増加率5%/年
発電なし焼却処理	資本投資の増加率:5%/年
	処理量の減少率:10%/年
最終処分合計	処分量の減少率:1%/年

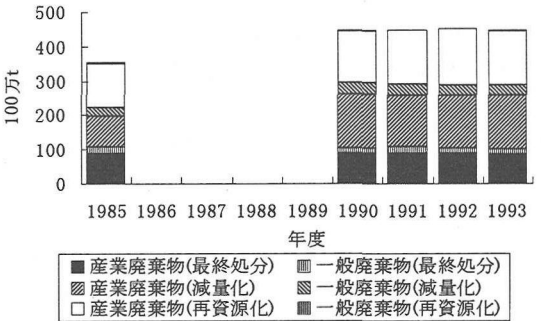


図2 廃棄物処理の推移

4. 廃棄物・リサイクルモデルの結果

4. 1 シナリオ

本研究では、上記のモデルをもとに廃棄物処理とリサイクルに関する様々な政策に対して、廃棄物の発生とその処理、経済活動の変化等について分析を行っている。本研究で設定するシナリオとして、次の①～④を考える。

- ① 現状推移シナリオ
- ② 環境中に排出される廃棄物の最終処分量に対する制約
- ③ リサイクル技術の向上
- ④ 二酸化炭素の排出量に対する制約

上記のシナリオは、リサイクルを巡る様々な問題を分析するためのシナリオである。②ではリサイクルの社会制度的な側面を、③では技術的・経済的な側面を、④では他の環境問題との関連を分析する。

4. 2 結果とその分析

（1）現状推移シナリオ

このシナリオは、リサイクル等の環境問題に対して特別な施策をとらないシナリオである。リサイクル供給を含む粗生産の伸び率は、期間平均で1.2%/年、廃棄物発生量は1.1%/年の伸びである。一方、二酸化炭素の排出量は0.7%/年で増大し、2030年には1990年よりも1億t増大する。廃棄物の発生量とその処理方法の推移を図3に示す。直接最終処分は制約を受けるため減少するのに対し

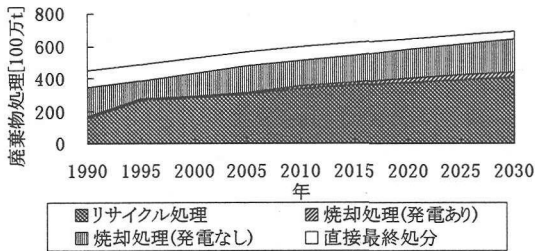


図3 現状推移シナリオにおける廃棄物処理の内訳

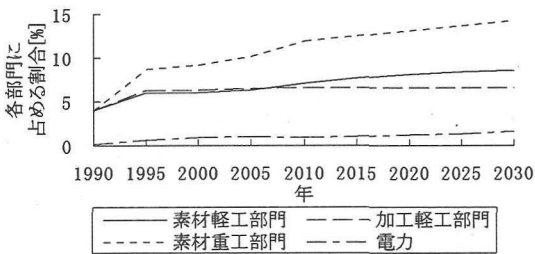


図4 リサイクル供給の各部門に占める割合の推移

て、リサイクル処理や発電付焼却処理は増大し、発電のない焼却処理は計画期間全体ではほぼ一定で推移する。焼却処理のうち発電を伴う焼却処理の増大は、電力需要の増大に伴うことによる。またリサイクル財が各部門の総供給に対して占める割合の推移を示した図4より、リサイクル供給は各部門により差が生じ、素材重工部門と電力の占めるシェアが大きくなっている。

(2) 環境中に排出される廃棄物処分量に対する制約を課したときの廃棄物処理の変化

このシナリオでは、処分地の容量に関する制約を分析するために、最終処分量に関する制約を設けて分析を行っている。ここでは最終処分量の上限値の伸び率として、5%、0%、-5%の3つのシナリオを設定する。

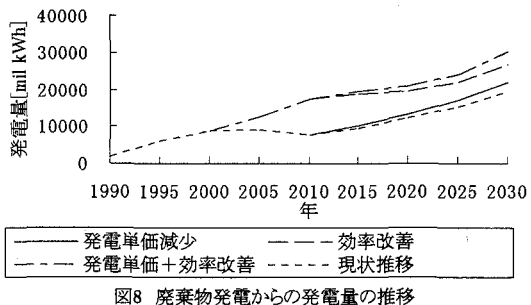
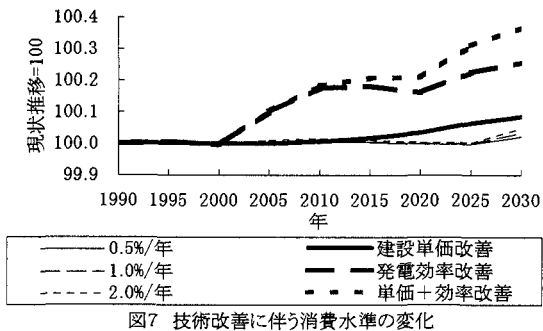
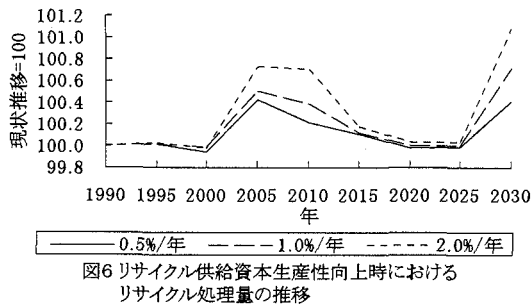
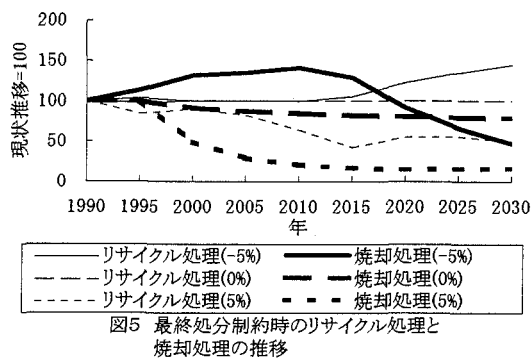
各シナリオ時のマテリアルリサイクル処理及び焼却処理の現状推移シナリオに対する変化を図5に示す。最終処分に関する制約が厳しくなることで、当初は焼却による減量化が、やがてリサイクルによる再処理化が進行することがわかる。こうした結果は処理方法の費用の違いと焼却処理後の残さの発生に起因するが、最終処分地の減少が問題となっている現在、リサイクルによる減量化が最終的に最も有効な手段になるといえる。

(3) リサイクル技術の改善による廃棄物処理方法の変化

ここでは、リサイクル技術の改善を、マテリアルリサイクル供給の資本生産性の向上と廃棄物発電の発電効率改善、施設単価減少という形で表現し、処分形態の変化について分析を行う。

まずは、マテリアルリサイクル供給の資本生産性が向上する場合の結果を図6、図7に示す。2000年以降にリサイクル処理量が増大し、それとともに焼却処理量が減少する。最終消費の水準はわずかながら増加する傾向を示しており、リサイクル技術の向上が廃棄物の焼却処理の負担を軽減し、経済水準の向上に寄与することがわかる。

続いて廃棄物発電における技術改善が、施設単価の減少(30万円/kWまで下落)と発電効率の上昇(20%まで上昇)というシナリオについて分析する。発電量の推移を図7に示す。2030年の廃棄物発電の電力供給量は現状推移シナリオと比較して、施設単価の減少により14%、発電効率の改善により39%、両方の実現により56%それぞれ増大し、両者の実現により相乗的な効果が生じる。また、消費水準の増大もマテリアルリサイクルの資本生産性の向上以上の水準に達する。



以上の結果から、技術進歩によってもたらされる効果は、リサイクル供給の増大に止まらず、経済的便益の向上にも及ぶことがわかる。

(4) 炭素制約時に見られるリサイクル供給(廃棄物発電)の変化

このシナリオでは、廃棄物問題と地球温暖化問題をリンクさせて考える。炭素排出量を1990年レベルに安定化させる場合、粗生産の伸びが1.0%/年に止まるため、廃棄物発生量も現状推移シナリオと比較して減少する。その結果、マテリアルリサイクル処理量や発電を伴わない焼却処理量は減少する。また、発電を伴う焼却処理量は現状推移シナリオと変わらないが、より発熱量の高いWT2が多く焼却されるようになり、発電量は2030年において現状推移シナリオと比較して34%増大する。

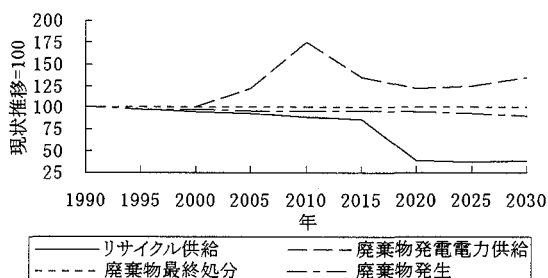


図9 炭素制約時の廃棄物の発生とその処理の推移

その結果、2030年の廃棄物発電量の電力供給に占める割合が2.7%と現状推移シナリオと比較して1.1%の増加となり、廃棄物発電による電力供給は炭素制約時において有効であるといえる。これに対して、最終処分量は現状推移シナリオと同じであるが、焼却処理量合計の減少に伴い直接最終処分量が増大する。なお、最終処分量に対する制約を炭素排出制約と併せて課すことによりリサイクル処理量は増大する傾向を示す。

5. 結論と今後の課題

本研究では、廃棄物の発生、処理とそのリサイクルを内生化した動学的最適化モデルを構築し、最終処分に関する制約やリサイクル供給技術の向上に関するシナリオを設定し、廃棄物の発生とその処分方法を中心に分析を行った。本研究で明らかになったことを以下にまとめる。

- ① 廃棄物の発生、処理を経済活動に内生的に評価することにより、廃棄物のマテリアルリサイクルやサーマルリサイクル、特に電力を供給するサーマルリサイクルが促進され、廃棄物の内生的評価の重要性が示された。また、経済活動の評価を生産活動に止めるのではなく、本研究で用いた図1のような拡張した評価体系で評価することで、経済活動だけでなく様々な環境資本についても併せて評価することが可能となる。
- ② 最終処分に関する制約を課した場合、短期的には焼却による減量化が行われるが、長期的にはリサイクルの寄与が高くなる。
- ③ リサイクル技術の進歩は、廃棄物の焼却処理の負担を軽減し、経済水準を押し上げる効果がある。
- ④ 二酸化炭素排出量を削減する政策をとることで、廃棄物発生量が減少するにも関わらず焼却処理に伴う電力供給は増大し、2030年の廃棄物発電の電力供給は現状推移シナリオと比較して34%増加し、電力供給全体に占める割合も1.1%増加するなど廃棄物発電の潜在的供給量の高さが示された。

今後の課題のうち、モデル構造に起因するものとしては、本研究で扱わなかった財の消費と廃棄の時間遅れ、発生した廃棄物の時間遅れの処理という財のストックに対するモデル化とその評価、リサイクル供給や各廃棄物処理と経済部門の関連構造の精緻化のほか、各部門における廃棄物の発生に伴う生産の損失の定量的評価とそれを回避するための経路(各部門内における廃棄物削減)の設定が挙げられる。また、循環型社会への足掛かりとして、リサイクル財の需給の実体とリサイクル財が必要されにくい点をモデル上で表現し、こうした課題を克服するための施策についての検討も今後の重要な課題である。

参考文献

田中勝(1993) 廃棄物学入門, 中央法規, pp.64-106.

- 朴炳植・鈴木胖・八川剛志(1994) 都市ごみ処理利用システムの経済性と省エネルギー性の評価, 電学論C, Vol.114, No.3, pp.403-409.
- 山本郷史(1994) 廃棄物循環型社会基盤施設における廃棄物エネルギーの活用, 都市清掃, Vol.47, No.203, pp.565-569.
- 後藤典弘(1996) 廃棄物リサイクルの現状と課題, 環境科学会誌, Vol.9, No.2, pp.293-301.
- 増井利彦・盛岡通(1997) 日本国内の効率的炭素排出削減施策の評価のための長期多部門モデル, 土木学会論文集, VII-4, No.573, pp.71-80.

データ出典

- 環境庁編(1994) 温暖化する地球・日本の取り組み, 大蔵省印刷局, pp.48-51.
- 環境庁編, 各年版環境白書, 大蔵省印刷局.
- 工業調査会(1994) プラスチックス別冊リサイクル技術百科, 工業調査会.
- 総務庁行政監察局編(1995) 廃棄物対策の現状と問題点, 大蔵省印刷局, pp.10-13,117.
- クリーン・ジャパン・センター編(1995) 最新リサイクルキーワード第2版, 経済調査会.
- 東京ガス産業廃棄物問題研究会編(1995) 産業廃棄物処理ガイドブック, 電力新報社.
- 中井多喜雄(1996) 新エネルギーの基礎知識, 産業図書, pp.84-96.
- 工業調査会(1996) プラスチックス別冊環境対策技術百科, 工業調査会.
- シーエムシー(1996) '96エコインダストリー年鑑, シーエムシー, pp.355-363.
- シーエムシー(1992) 再生資源・有用副産物の産業利用, シーエムシー, pp.185-201.