

《論文》

**再生資源市場の影響を組み入れたリサイクルモデルの構築と政策分析
—古紙のリサイクルを事例として—****Development of the Recycling Model which Incorporates a Used-paper Market and Policy Analysis**

松本 安生*

Abstract

The system dynamics model of a paper recycling was developed in 1995 in order to examine the importance of the role of the administration and citizens. But this model disregarded a municipal refuse collection by source separation and a used-paper market because there was not sufficient data available for impact analysis at that point.

In 1997, this model was revised with new data on the used-paper market. This model consists of five sectors; a municipal refuse collection, a citizen's voluntary collection, a trader's collection, a citizen cooperation and a used-paper market.

Simulations conducted with this new model show that it is necessary not only to promote municipal and citizen's voluntary collection systems, but also to adjust to the condition of the used-paper market.

〈キーワード〉 自治体資源回収、古紙リサイクルモデル、古紙市場、影響分析、SDモデル

*神奈川大学

1. 研究の背景と目的

地球環境問題の深刻化などから循環型社会の構築が急務となっている。1995年には「容器包装リサイクル法」が制度化され、地方自治体が分別収集により資源回収を行うことが義務づけられるなど、今後は行政とりわけ地方自治体を中心となった地域リサイクルシステムの構築が進められることになると考えられる。

しかし、こうした行政が中心となった資源回収については、以前から再生資源市場の混乱や、回収業者への悪影響などが指摘されている。著者は、紙のリサイクルモデルによる分析から、20年間という中期的な視点で行政と住民の両者の役割の重要性を指摘しているが、回収業者については外生変数として一定減少が続くものと仮定している。これは、この時点のデータ（前回のモデル作成では1989年までのデータを用いた）では自治体による回収量の増大やそれがもたらす古紙回収量の変動、さらには古紙価格あるいは回収業者への影響について十分な分析を行うことが難しかったためである（松本, 1995）。

そこで、本研究ではその後新たに得られたデータをもとに、古紙市場における古紙需給や古紙価格、さらには回収業者の変動などについても分析を行い、これらを内生的に組み込んだモデルの構築を行うことを目的とする。さらに、この新たなモデルを用いて自治体が行う資源回収政策に関して、いくつかの代替案による将来予測を行い、政策効果の把握を行う。

なお、ここでは自治体による資源回収として、直接的な有価物分別収集と、住民団体が行う集団回収に対して何らかの関与を行う集団回収の二つを取り上げた。この二つ以外にも、紙パックの拠点回収などが資源回収として行われているが、それらの回収量はこの二つによる回収量と比較してかなり小さいために考慮していない。

2. 自治体回収の増大と古紙市場への影響

2.1 自治体による古紙回収の推移

自治体による古紙回収の推移について、厚生省「廃棄物処理事業実態調査統計資料」（以下、厚生省統計資料）をもとに把握を行った。比較可能な自治体でまとめられている1982年度から92年度までの資料をもとに、自治体による古紙回収の推移を実施団体数及び回収量でみてみた。この結果、図1に見られるように全市数に対する実施市数の割合（以下、実施率）、回収量ともに1990年度より大きな増加がみられる。82年度の回収量と比較すると、89年度における回収量は有価物分別収集、公共関与集団回収ともに2.5倍程度であったのに対して、その3年後の92年度には7.5倍程度にまで急増している（図1）。

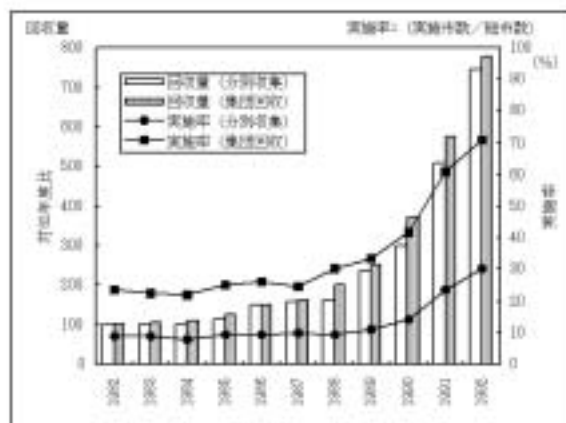


図1 自治体の資源回収による古紙回収の推移

2.2 古紙需給への影響

このように90年度以降に急増している自治体による古紙回収量が古紙需給ギャップの増大（古紙の供給過剰）の大きな要因となっていると考えられる。そこで次に、古紙の回収量及び消費量が古紙の再生資源市場に及ぼしている影響について分析を行った。

分析は、厚生省統計資料や古紙統計データなどをもとに地域別データを作成し、古紙の供給過剰が大きな問題となった1991年度における新聞・雑誌古紙の需給ギャップ率（需給ギャップ量／消費量）と製紙会社における古紙消費量の変動、回収業者による新聞・雑誌回収量の変動、自治体による回収量の変動の3つの要因との間の相関分析を行った（表1）。

表1 需給ギャップの要因分析（相関係数）

	公共回収量変動率 (1990-1991年度)	業者回収量変動率 (1990-1991年度)	古紙消費量変動率 (1990-1991年度)
需給ギャップ率 (1991年度)	0.374	-0.255	-0.146

この結果、自治体による資源回収が91年度における新聞・雑誌古紙の需給ギャップを供給過剰に広げる大きな要因となっていたことがわかる。一方で、古紙消費量の減少（需要の停滞）や回収業者による回収量の変動は大きな要因とはなっていなかったと考えられる。

2.3 古紙の供給過剰による影響

これより、1991年度の新紙市場における需給ギャップ増大の大きな要因は自治体による資源回収の急増と考えられるが、問題はこの需給ギャップの増大により古紙価格が下落、回収業者の経営が圧迫されていると言われる点である。そこで次に、需給ギャップの変動が古紙価格や古紙在庫の変動にどの程度の影響を及ぼしているか、さらには回収業者の変動に影響しているのかについて定量的な把握を試みた。

まず、古紙品種別に経年的な古紙価格の変化が把握できる東京近郊の古紙価格と、1982年度から1994年度までの関東地域のデータを用いて、需給ギャップと在庫量及び古紙価格との関連について相関分析を行った（表2）。

表2 古紙需給ギャップと在庫量及び古紙価格との関連（相関係数）

		需給ギャップ	在庫量
在庫量	新聞	0.594	1.000
	雑誌	0.531	1.000
	新聞・雑誌	0.773	1.000
価格	新聞	0.224	0.783
	雑誌	0.308	-0.333
	新聞・雑誌	0.388	0.506
価格 (1ヶ月後)	新聞	0.273	0.825
	雑誌	0.310	-0.333
	新聞・雑誌	0.371	0.485
価格 (3ヶ月後)	新聞	0.424	0.880
	雑誌	0.334	-0.307
	新聞・雑誌	0.456	0.567

この結果、需給ギャップの変動と新聞・雑誌古紙の在庫量の変動の間には相関係数で0.77程度の強い正の相関があることが確かめられた。しかし、需給ギャップと古紙価格の変動の間には明確な関連が見られなかった。また、在庫量と古紙価格との間にも在庫量が増大すると古紙価格が下落するような明確な関連は見られなかった。

これは、古紙の価格が一般に言われているような古紙市場における需給よりもむしろ、製紙メーカー主導により決定されているためと考えられる。クリーン・ジャパン・センターが回収業者に行ったアンケート調査でも「価格はメーカー設定」と回答した古紙回収業者は約67%にのぼる(外川, 1994)。また、中嶋(1995)は価格決定権が製造業者である製紙メーカーにある場合には、古紙利用率の上昇が古紙価格の低下の大きな要因となることを指摘している。

そこで次に、古紙利用率と古紙価格との関係について1982年度から1994年度までのデータをもとに、回帰分析を行った。この結果、両者の間には強い相関があることが確かめられた。以上のことから、近年では消費者の環境問題に対する関心の高まりなどから製紙業界では「リサイクル55計画」などによって古紙利用を進めているが、そのことが結果的に古紙価格の低下を招いていると考えられる(図2)。

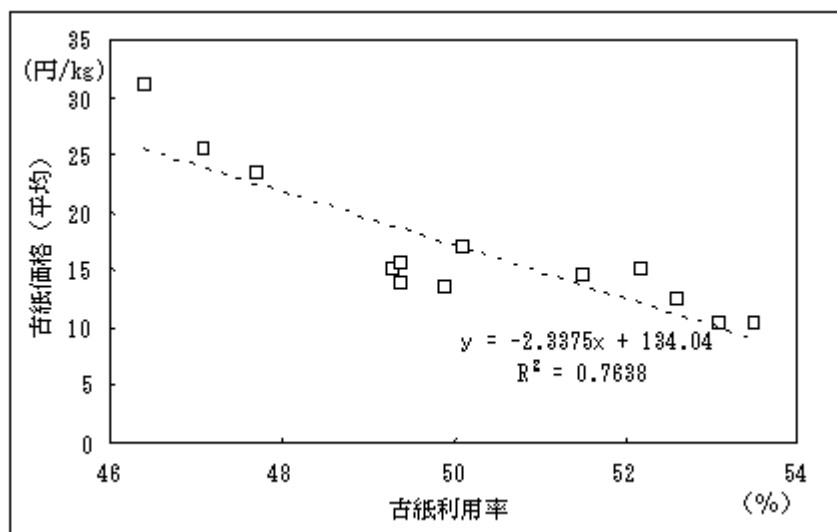


図2 古紙価格と古紙利用率との関係

最後に、回収業者の変動要因について分析を行った。このため、商業統計表より1974年度から1994年度までの3年ごと(1976年度のみ2年ごと)の回収業者商店数、従業者数のデータと、古紙統計より新聞雑誌古紙の需給ギャップ、在庫量、古紙価格のデータを取り上げ、その関連について分析を行った。データは同様に関東地域(1都6県)のものを用いた(表3)。

表3 回収業者との関連

		需給ギャップ	在庫量	価格
回収業商店数	新聞	-0.261	-0.049	0.284
	雑誌	0.375	0.313	0.339
	新聞・雑誌	0.186	0.412	0.312
回収業商店数 (年間変動率)	新聞	0.413	0.752	0.598
	雑誌	-0.008	-0.615	0.574
	新聞・雑誌	0.200	-0.283	0.588
回収業従業者数	新聞	-0.136	-0.425	-0.191
	雑誌	0.094	0.602	-0.149
	新聞・雑誌	0.011	0.513	-0.171
回収業従業者数 (年間変動率)	新聞	-0.093	0.365	0.929
	雑誌	0.483	-0.164	0.902
	新聞・雑誌	0.358	0.042	0.917

この結果、古紙価格と古紙回収業者従業員数変動率と間には正の強い相関があることが確かめられた（図3）。一方で、需給ギャップや在庫量と回収業者との間には明確な相関は見られなかった。これらのことより、回収量の増大により需給ギャップが広がり、在庫量を増大させているが、これが回収業者減少の直接の原因となっているというよりも、円高やバージン資源価格の低下のなかで古紙利用を進めた結果による再生資源価格の低下が、回収業者の経営を圧迫し従業員数減少の大きな要因になっていると考えられる。

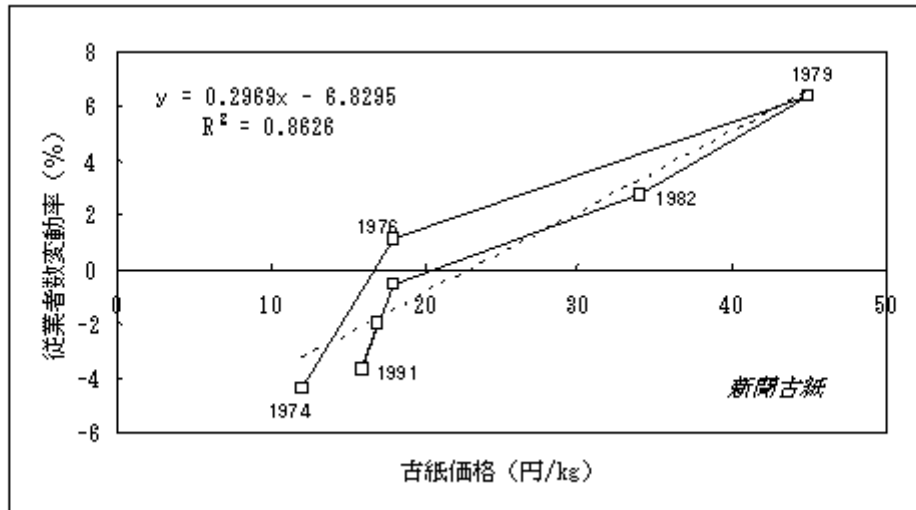


図3 古紙価格と回収業者数との関連

3. 古紙回収モデルによるシミュレーション分析

3.1 古紙回収モデルの構築

1)モデルの基本構造

古紙市場における特徴を考慮にいれ、今後の資源回収政策の在り方を分析するために、これらの特徴を組み込んだシミュレーションモデルの構築を行った。モデルの作成はSD専門のソフトウェアStella IIで行い、外生変数8個からなるモデルを構築した（図4）。

古紙回収モデルの基本構造は前回モデルの4つのセクタ（(a)回収業者を主体とする業者回収セクタ、(b)住民を主体とする住民セクタ、(c)地方自治体を主体とする分別回収セクタ、(d)住民と地方自治体が主体となる集団回収セクタ）に、(e)製紙メーカーを主体とする再利用セクタ、を加えたの5つのセクタから成るものとした。紙面の都合上このモデルの詳細について述べることは不可能なので、前回のモデルとの主な変更点についてのみ説明する。このため、他のセクタの内容などについては松本(1995)を参照されたい。

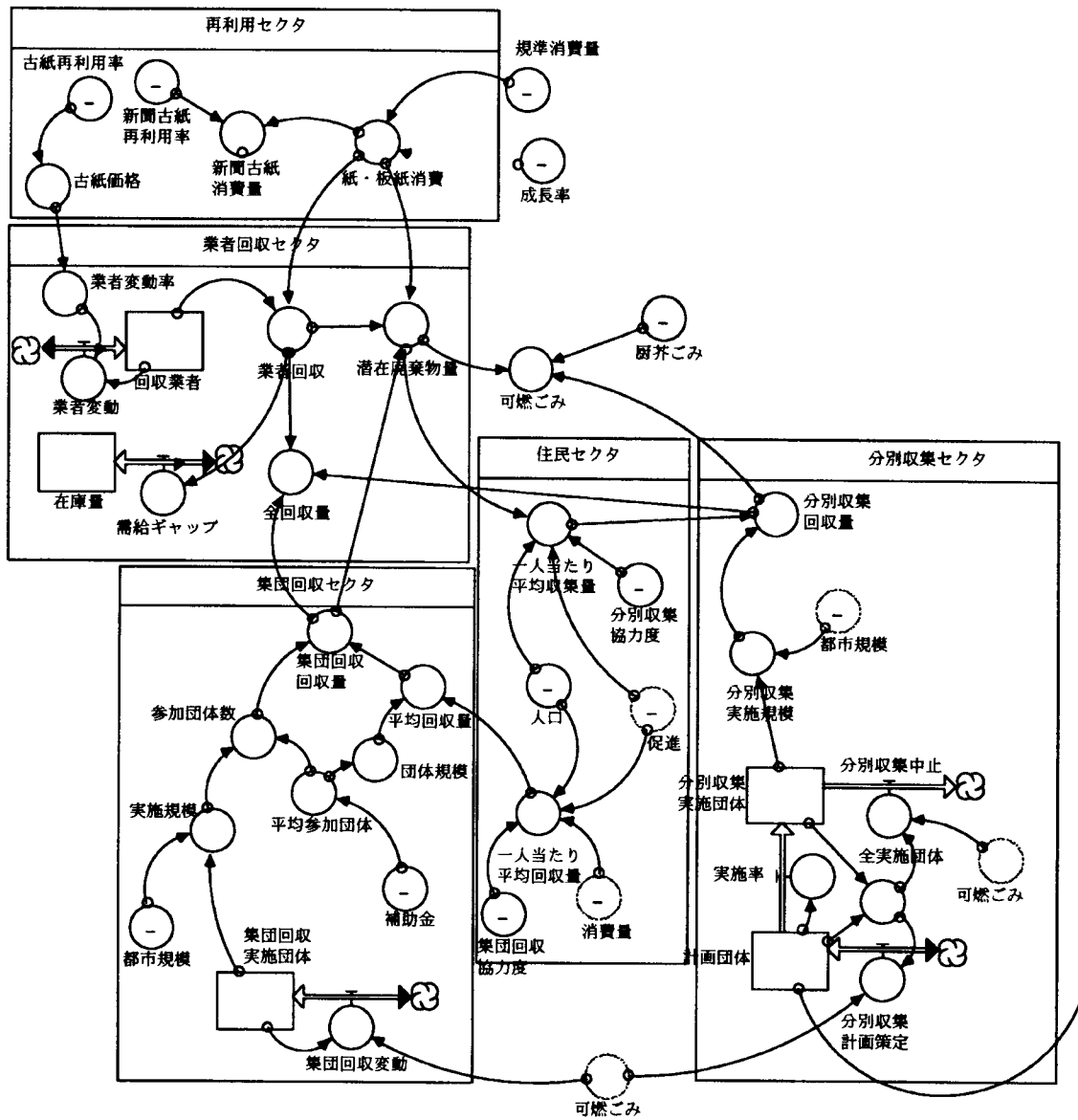


図4 古紙回収モデルにおける基本構造

2)モデルの詳細

(a)業者回収セクタ

回収業者による市中からの回収量は紙の消費量と回収業者の数によって規定されると考えられる。そこで紙消費量と回収業者の数を説明変数とした回収業者回収量の予測式を重回帰モデルによって構築した(図5)。この重回帰モデルを用いて回収業者による古紙回収量は紙消費量と古紙回収業者数とによって決定される構造とした。

また、回収業者数は古紙価格に応じて変動すると考え、この関係を前章の分析から回収業者の変動を古紙価格によって説明する回帰モデルによって近似した(図5)。

古紙回収業者による回収量の予測モデル ※()内はt値

$$\text{業者回収量}(t/\text{年}) = -2527 \cdot 10^3 + 144.3 \cdot \text{業者数} + 0.2254 \cdot \text{紙消費量}(t/\text{年})$$

(-2.66) (19.28) (2.89)

R² (補正重相関係数) = 0.984 N (サンプル数) = 9

古紙回収業者年平均変動率の予測モデル

$$\text{回収業者年平均変動率} = -0.06333 + 0.003272 \cdot \text{古紙価格}$$

(-3.77) (4.058)

R² (補正重相関係数) = 0.763 N (サンプル数) = 7

図5 業者回収セクタにおける予測モデル

(b)古紙利用セクタ

中島(1995)によれば、古紙の利用率は60%までは技術的な問題はなく、経済的な問題のみで解決できると考えられるので、1990年度で51.5%の古紙利用率はその後毎年0.5%ずつ上昇するものとして外生的に与えた。また、古紙価格は製紙メーカーに決定権があるものと考え、製紙メーカーがこの古紙利用率を達成するために必要な価格設定を行うものとした。古紙利用率と古紙価格との関係については前章の分析から、1982年度から1994年度までのデータをもとにした図6のような単回帰モデルによって近似した。

古紙価格の予測モデル

$$\text{古紙価格}(\text{円}/t) = 134.0 - 2.34 \cdot \text{古紙利用率}(t/\text{年})$$

(6.81) (-5.96)

R² (補正重相関係数) = 0.764 N (サンプル数) = 13

※()内はt値

図6 古紙価格の予測モデル

一方で、古紙利用率と紙生産量（消費量）から古紙の需要量（消費量）が決まるものと考え、この古紙需要量と回収量の差が需給ギャップとなって、古紙在庫量を変動させるものとした（図7）。ただし、紙消費量は外生変数として与えている。

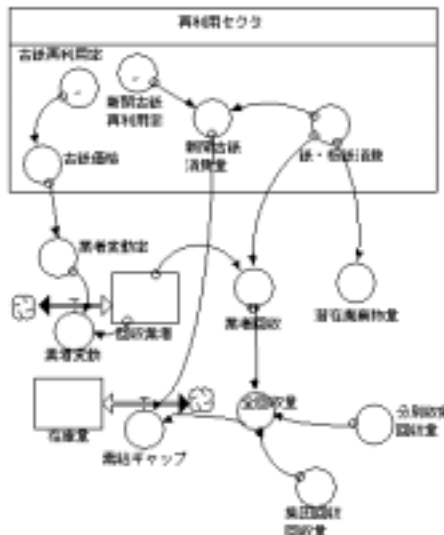


図7 再利用セクタの構造

3.2 将来予測にもとづく政策分析

自治体が資源回収をどのように実施するかについて代替案として次の3つのケースを考え、それぞれ古紙回収率や古紙在庫量に及ぼす影響についてシミュレーション分析を行った。

ここで、想定したケースはまず1989年度までのように行政は、可燃ごみ量が多いかどうかで新たに回収を行うかどうかの意思決定を行う場合である。これを基準ケースとする。次に、社会的な要請などから全ての自治体で行政による回収を実施するように促進した場合である。これは図8のようにロジスティック型の実施団体の増加がこの期間で見られることになる。これを促進ケースとする。最後のケースは、資源回収の促進を行うが、古紙の需給ギャップに応じてそれを調整しながら行う場合（注1）であり、これを調整ケースとする（図8）。

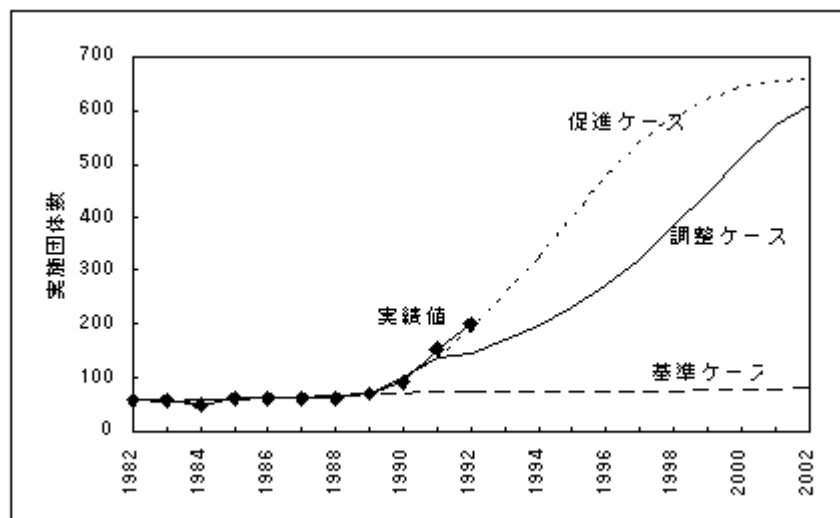


図8 ケース別有分別収集実施自治体数の推移

シミュレーションの結果、基準ケースの場合には実施自治体数は大きくは増加しないが、促進ケース、調整ケースとも2002年の時点ではほとんどの自治体で資源回収が行われている。これら3つのケースについて回収率、古紙在庫量の変動を比較したものが、図9及び図10である。

ここでの古紙回収率は家庭用の紙すべての中で回収される新聞・雑誌古紙の比率であるため、通常の回収率よりも低いものとなっているが、回収率の推移を見ると、基準ケースでは将来的に回収率が現在よりも4%以上も低下することになる。これは、古紙価格の低下によって回収業者の減少が業者回収量の低下を招いているためである。一方で古紙利用率が増加しているため、古紙の供給不足や国内にある古紙が利用されずに古紙輸入の増大などが起こることになると考えられる。これによって、国内における廃棄物の増大などが生じることも考えられる。

このため、行政が何らかのかたちで関与して資源回収を行う必要がある。そこで、次に自治体による資源回収を促進する場合としてまず、現在のように古紙の需給などに関わりなく促進した場合に予測される影響についてのシミュレーション結果を見てみる。

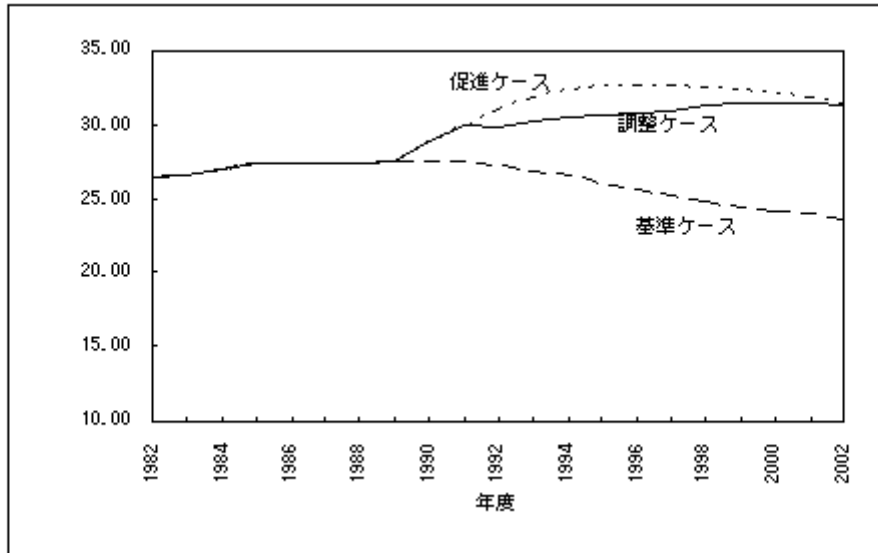


図9 ケース別シミュレーション分析の結果(回収率)

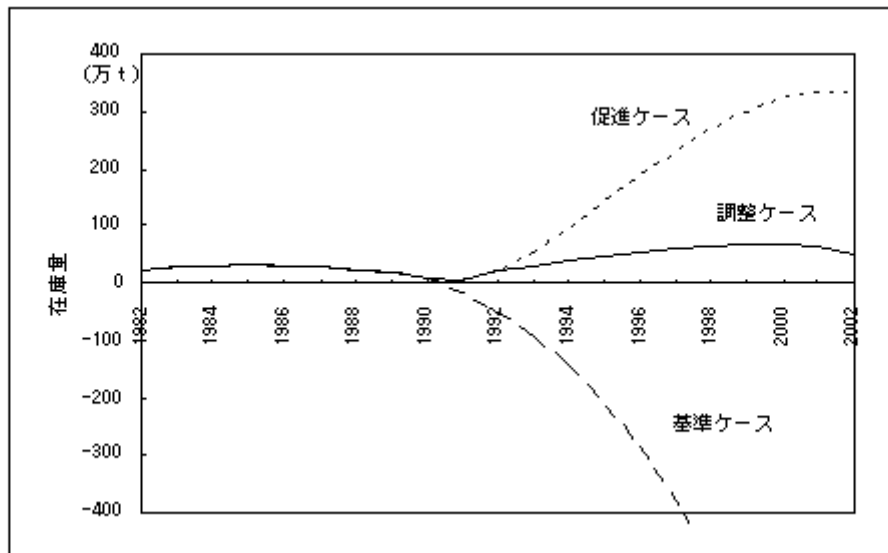


図10 ケース別シミュレーション分析の結果 (古紙在庫量)

この結果は、回収率は現在よりも20%以上上昇することになるが、需要を大きく上回って上昇するため、2002年の時点でも現在の水準より10倍以上多い在庫を抱えなければいけないことになる(図10)。これは、せっかく回収されても利用されずに捨てられる古紙が増加し、せっかくのリサイクル意識の高まりに水を差すことになることが考えられる。また、在庫量の増加は現在までのところ直接的に回収業者の減少を招くことがないとしても、これほどまでに大量の在庫の増加は巨大なストックヤードの必要性などから経営環境を圧迫することになると考えられる。

3つめの代替案として資源回収を行う自治体の変動を古紙の需給ギャップに応じて調節をするように意思決定した場合を想定して、シミュレーションした結果について見てみる。この結果は、回収率は最終的には無関係に促進した場合とほぼ同じ程度で、現在よりも15%程度上昇している(図9)。また、在庫量の増加も現在の水準の2倍程度におさまり、2002年には減少傾向に移っている(図10)。

3.3 費用便益分析

最後に、これら3つのケースの結果について費用便益の観点から分析を行った。植田(1992)によればリサイクルによる便益は「バージン資源を利用した場合の社会的費用」と「廃棄物として処理するための社会的費用」の和、つまり有価物が再生資源として利用されなければ使われたであろう社会的費用の合計である。このため、リサイクルによる社会的な純便益は、これらの和から再生資源として利用した場合の費用を差し引いたものとして与えられる。

ここで、社会的費用には直接的な費用のほか、生産過程での環境インパクトやアメニティ損失による費用などが含まれる。本分析では、金銭的評価が比較的容易な項目についてのみ、環境庁資料などをもとに費用の推定を行った(注2)。この結果、1トンの古紙を再利用することによる社会的純便益は、有価物分別収集の場合には6千円程度であるが、自治体が支援する集団回収による回収の場合には4万6千円程度、業者による回収の場合には4万8千円程度であることが明らかになった。ただし、これには生産過程や廃棄物処理での環境汚染による社会的費用、森林破壊による損失などは含まれていない。

次に、3つのケースのシミュレーション結果における社会的便益の分析を行った。この結果、図11のように基準ケースではリサイクルが進展せず社会的便益は減少傾向にある。一方、促進ケース及び調整ケースともに社会的便益は上昇しているが、1991年から96年までの紙生産が停滞する時期には、図9に見られたように促進ケースの方が調整ケースよりも回収率は高いが、社会的便益では調整ケースの方が大きくなっていることが分かる。これは、促進ケースの場合にはせっかく回収しても利用されない古紙が多いためと考えられる。

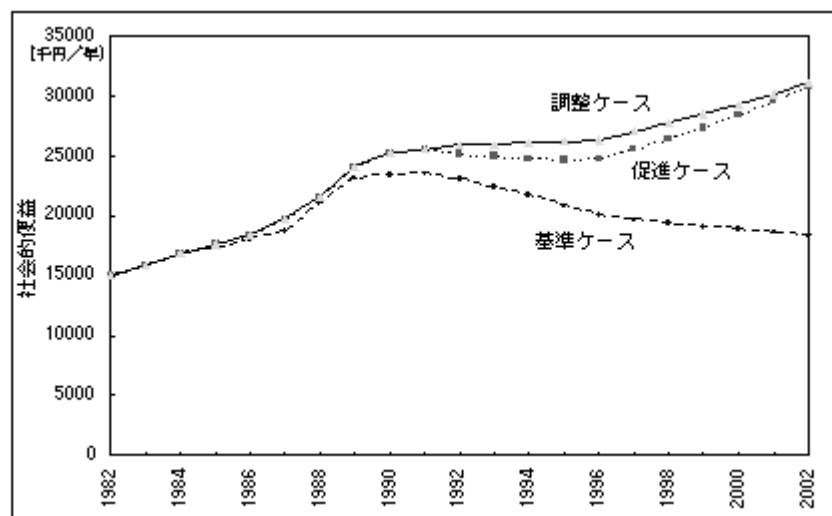


図11 リサイクルによる社会的便益の推定

以上のことから、古紙の利用率がリサイクル法にみられるようなかたちで上昇した場合には、それまでのような資源政策では回収率を維持することが困難になり、古紙の安定的供給が問題になったと考えられる。一方で、現在のように自治体が資源回収を古紙の需給とは無関係に促進していく場合には、回収率は増加するものの、紙の需要量が回復したとしても大きな在庫を抱えなければならない問題が予測される。これらの問題を解決するためには自治体の資源回収を促進するが、それを古紙の需給に応じて調整させることが有効である。これにより、回収率も2002年までにはほぼ同じ程度に上昇させることができ、在庫量の増大もそれほど大きなものとしなくても済むことになることが分かる。また、これは費用便益の観点からも効果が高い。

4. まとめ

以上の分析により、本研究で明らかとなったことをまとめると主に次の2つの点である。

(1) 統計データによる定量的分析から、近年の自治体による資源回収の増大は、古紙の場合には古紙市場において古紙の供給過剰や古紙在庫量の増大などの影響を及ぼしている。ただし、これらが古紙回収業者の減少を招いているというよりは、主に古紙利用率の進展による古紙価格の低下が、回収業者の危機を招いている。

(2) 古紙回収モデルによるシミュレーション分析から、古紙の再利用を進めるためには自治体による資源回収の促進が必要だが、その変動は需給ギャップに応じて調整されなければ、更なる古紙在庫の増大や社会的費用の損失などの問題を抱えることになると考えられる。

注

1) 調整ケースは、有価物の分別収集あるいは住民の集団回収への関与を実施する自治体数の増減レートを決定する式に、 $(1 - \text{需給ギャップ比率} \times 0.06)$ の項を掛け合わせた場合である。

2) 費用便益の推定における算出根拠については、巻末のAPPENDIXを参照されたい。

参考文献

生田圭司『製紙産業における廃棄物の再資源化, 産業公害』, 1992, 28-3

植田和弘『廃棄物とリサイクルの経済学』, 有斐閣, 1992, PP.249

佐藤正之『リサイクル型経済社会構築への一考察』, 北見大学論集, 1995, 33, 87-115

外川健一『現代日本の古紙・鉄屑リサイクルシステム』, 経済地理学年報, 1994, 40-3, 77-91

中島繁男『ポストリサイクル55計画目標設定に対する技術的アプローチによる調査報告』, 紙パ技協誌, 1995, 49(2), 215-231

松本安生『リサイクルにおける行政・住民の役割』, システムダイナミクス, 1995, 1, 35-49

APPENDIX-1

リサイクルによる社会的便益 = $SCV + SCD - SCS$

SCV ; バージン資源利用による社会的費用
 SCD ; 廃棄物処理・処分による社会的費用
 SCS ; 再生資源利用による社会的費用

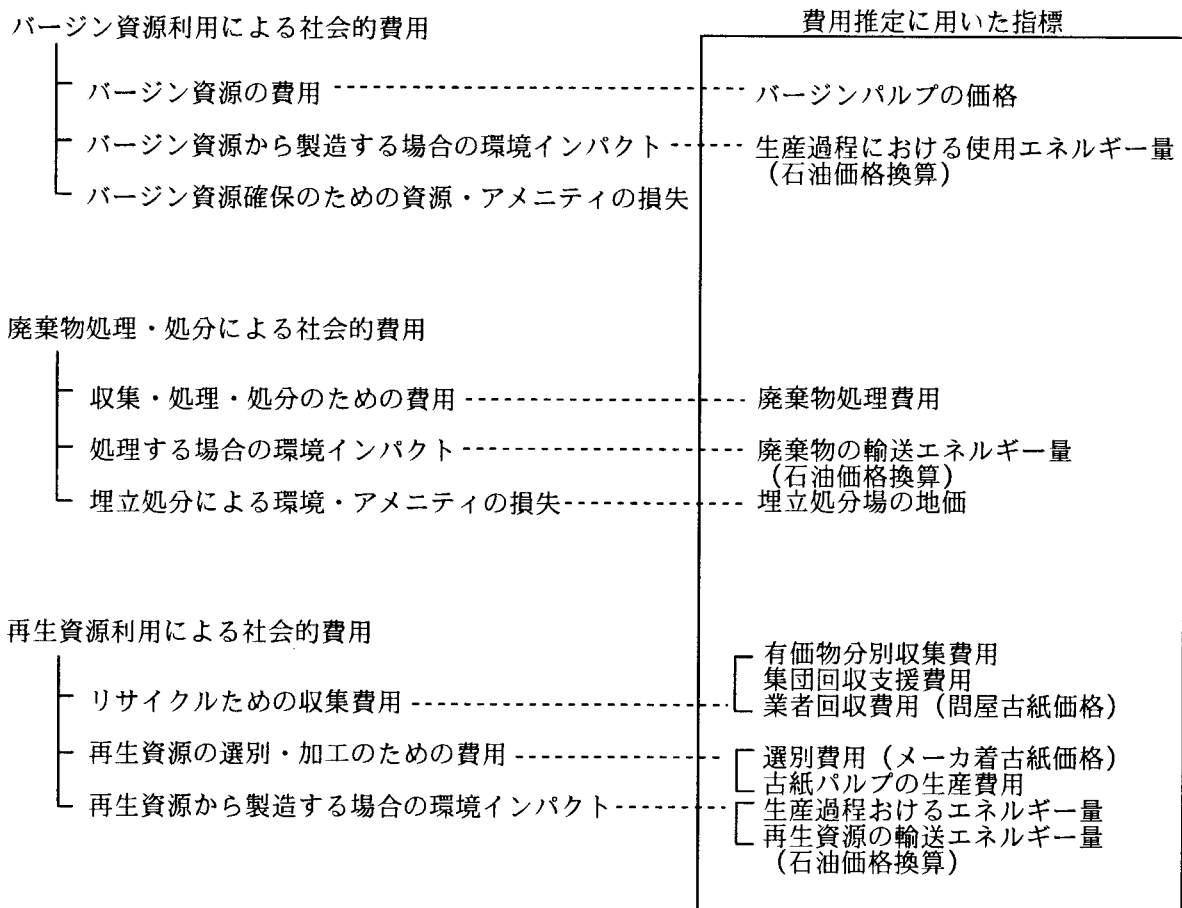


図 費用便益分析の考え方

APPENDIX-2

費用便益分析におけるコストの算出根拠（古紙1トンを利用する場合＊）

＊古紙1トンから古紙パルプ0.85トンを生産し、紙0.85トンを生産する。

1. バージン資源利用による社会的費用

1) バージンパルプの費用；83千円/t × 0.85

□算出根拠：

○BKP（クラフトパルプ）価格：国産90～100円/kg、輸入83～87円/kg

[通産省「紙・パルプ統計年報」（1990）より]

2) バージン資源から製造する場合の生産過程でのエネルギー使用の費用；5.896千円/t × 0.85

□換算係数：

○生産過程でのエネルギー使用量：3335千kcal/t

○原油換算：9250千kcal/kl

○原油価格：16,354円/kl (6.29 バレル/kl × 20 \$/バレル × 130 円/\$)

[環境庁(1990)「環境保全のための循環型社会システム検討会報告書」より]

2. 廃棄物処理・処分による社会的費用

1) ごみ処理経費；19.5千円/t (1989年度全国平均)

□算出根拠：

○ごみ処理及び維持管理費948,883 (百万円/年) / ごみ処理総量48,597,775 (t/年)

[厚生省(1992)「廃棄物処理事業実態調査統計資料（1989年度実績）」より]

2) 廃棄物として処理する場合の輸送過程でのエネルギー使用による費用；0.043円/t

□換算係数：

○輸送過程でのエネルギー使用量：24.161千kcal/t

○原油換算：9250千kcal/kl

○原油価格：16,354円/kl (6.29 バレル/kl × 20 \$/バレル × 130 円/\$)

[環境庁(1990)「環境保全のための循環型社会システム検討会報告書」より]

3) 埋立処分場の費用；6.214千円/t

□換算係数：

○ごみ密度：1.2t/m³

○埋立処分場の平均埋立厚さ：7.24 m

○埋立に要する処分場の面積：0.115 m²/t (1t ÷ 1.2t/m³ ÷ 7.24 m)

[環境庁(1990)「環境保全のための循環型社会システム検討会報告書」より]

○平均地価：54 千円/m² (1989、住宅地地価、茨城県・栃木県・群馬県の平均)

[国土庁資料より]

3. 再生資源利用による社会的費用

1) 有価物分別収集コスト；50千円/t

□算出根拠：

(1) 行政による古紙回収：40千円/t～50千円/t

[紺野武郎(1990)「古紙回収のシステムとコスト」より]

(2) 行政によるびん・アルミ缶分別収集：43.5 (千円/t) ~53.1 (千円/t)

[目黒区(1989)「ビン・アルミ缶分別回収基本計画」より]

* 目黒区ではびんと缶で分別収集後、業者が回収・選別し、行政は補助金

[東村山市(1989)「東村山市アメニティ・リサイクルタウン計画」より]

* 東村山市ではびんと缶で分別収集後、行政が回収・選別し、業者に売却

* どちらも売却収入を除く

2) 集団回収補助金；2.27千円／t (1989年度全国平均)

□算出根拠：

○補助金合計 (1,572,946 (千円/年)) / 公共関与集団回収回収量 (693,280 (t/年))

[厚生省(1992)「廃棄物処理事業実態調査統計資料 (1989年度実績)」より]

3) 業者による古紙回収コスト；8千円／t

□算出根拠：

○回収業者からちり紙交換基地業者への古紙納入価格

新聞古紙：9円/kg、段ボール古紙：10円/kg、雑誌古紙：5円/kg

[日本開発銀行(1992)「資源リサイクルの現状と今後の課題」(「調査」No.160)]

4) 再生資源から製造する場合の選別・加工及び輸送費用

(1) 古紙の選別・保管・輸送価格；14.7 千円／t

□算出根拠

○メーカー工場着の古紙価格(1990)

新聞古紙：16円/kg、段ボール古紙：17円/kg、雑誌古紙：11円/kg

[通産省「紙・パルプ統計年報」(1990) より]

(2) 古紙から古紙パルプの生産費用；34,357千円／t × 0.85

[森澤・長谷川・井上(1995)「紙資源の循環再利用と廃棄物処理」より]

5) 再生資源から製造する場合の生産過程でのエネルギー使用の費用；1,390円／t × 0.85

□換算係数

○エネルギー使用量：786 千kcal／t

○原油換算：9250 千kcal／kl

○原油価格：16,354 円／kl (6.29 バレル／kl × 20 \$／バレル × 130 円／\$)

[環境庁(1990)「環境保全のための循環型社会システム検討会報告書」より]

6) 再生資源から製造する場合の輸送過程でのエネルギー使用による費用；0.089円／t × 0.85

□換算係数

○エネルギー使用量：50.26 千kcal／t

○原油換算：9250 千kcal／kl

○原油価格：16,354 円／kl (6.29 バレル／kl × 20 \$／バレル × 130 円／\$)

[環境庁(1990)「環境保全のための循環型社会システム検討会報告書」より]