

世代会計的手法を適用した紙資源カスケードリサイクル における資源フローと経済性に関する分析

名古屋大学大学院 学生員 ○森部 総一 名古屋大学大学院 正会員 森杉 雅史 加藤 博和

1. はじめに

我が国では、資源循環型経済システム構築のための取り組みが積極的に行われている。このような動きの中、一次廃棄物の回収率は回収上限に迫る勢いで上昇している一方、近年のリサイクル技術の進歩にも関わらず、利用率は頭打ちの状態となっている。この状況は、リサイクルの優等生といわれる製紙産業において顕著である¹⁾。今後利用率をさらに上昇させるためには、潜在的にリサイクル資源の利用可能余地が残っている生産部門を分析し、その部門に傾斜的な資源配分を可能とするリサイクル資源の価格体系整備が必要である。

本来、リサイクル資源と比較して天然資源の方が生涯に渡る使用価値は高いはずであり、価格が生涯総使用価値で決定されるならばリサイクル資源の利用率は高くなるはずである。しかし、現在の価格体系はそうなっておらず、リサイクル資源の利用量は増加しないため、リサイクル工場の生産効率は低下する。一方、サーマルリサイクル (TR) は持続性は低いが経済的にもエネルギー的にも高効率であるため、マテリアルリサイクル (MR) に比べ選択されやすくなり、いずれ利用率だけでなく再商品化率も頭打ちになる危険性がある。

そこで本研究では、紙資源カスケードリサイクルシステムを対象として、現状の資源価格が生涯総使用価値をどの程度織り込んでいるか検証する。次に、対象システムにおける資源の生涯総使用価値を資源価格とした場合の資源フローを推計するとともに、利益率、資源利用率、社会的余剰に関する分析を行い、現状の資源価格下でのシステムとの比較を行う。

2. 対象システムにおける紙資源フロー分析の方法

2.1 システムの構造の特定とパラメータ設定

分析にあたって、対象システムのフローとパラメータを図1のように定める。各パラメータは古紙統計年報と紙・パルプ統計年報により推定する²⁾³⁾⁴⁾。また、消費主体が存在する地域内には1つの製紙工場のみ存在するものとする。各パラメータの添え字x,yを製品と古紙の対応については表1,表2に示す。

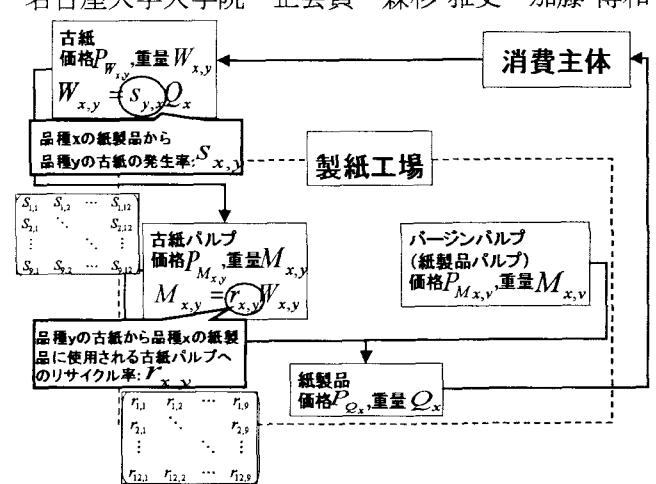


図1.分析対象システムのフローとパラメータ

表1.各xに対応する紙製品 表2.各yに対応する古紙

x	製品名
1	新聞紙巻取紙
2	印刷・情報用紙
3	晒包装用紙
4	未晒包装用紙
5	衛生用紙
6	家庭用雑種紙
7	工業用雑種紙
8	マニラボール
9	その他紙器用板紙
10	ダンボール
11	紙管原紙
12	建材原紙

y	古紙名
1	上白・カード
2	特白・中白・白マニラ
3	模造・色上
4	茶模造
5	切付・中更反古
6	新聞古紙
7	雑誌
8	段ボール
9	台紙・地券・ボール

*vはバージンパルプ

2.2 資源利用率の算出方法

紙製品の製造量を求める式は田畠ら⁵⁾を参考に式(1)のように定義する。

$$[\mathcal{Q}_x]_t = \begin{bmatrix} \mathcal{Q}_1 \\ \vdots \\ \mathcal{Q}_{12} \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} \mathcal{Q}_1 \\ \vdots \\ \mathcal{Q}_{12} \end{bmatrix}_0 + \sum_{t=1}^T \begin{bmatrix} \mathcal{Q}_1 \\ \vdots \\ \mathcal{Q}_{12} \end{bmatrix}_t \quad (1)$$

$$= \left\{ \begin{pmatrix} M_{1,y} \\ \vdots \\ M_{12,y} \end{pmatrix} + \sum_{t=1}^T \left\{ \begin{pmatrix} 1/\eta_1 & r_{1,1} & \cdots & r_{1,9} & s_{1,1} & \cdots & r_{1,12} & \mathcal{Q}_1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1/\eta_{12} & r_{12,1} & \cdots & r_{12,9} & s_{9,1} & \cdots & r_{9,12} & \mathcal{Q}_{12} \end{pmatrix}_{t-1} \right\} \right\}$$

$$\sum_{y=1}^9 M_{x,y}$$

$$\eta_x = \frac{\sum_{y=1}^9 M_{x,y}}{\sum_{y=1}^9 M_{x,y} + M_{x,v}} \quad (2)$$

η_x : 紙製品xに対する古紙yの含有率

$M_{x,y}$: 製品xの製造量 t : リサイクル回数

なお、リサイクル回数0回の時は全て天然資源を用いて生産するものとする。

式(1)で示した総製品生産量を総古紙投入量で除したものと資源利用率とする。

2.3 利益率に関する計算式

田畠ら⁵⁾が行った現状のシステムにおける推計においては、輸送コスト決定のメカニズムが織り込まれていない問題があった。本稿では、都市内輸送については Ishikawa⁶⁾が開発したグリッドシティモデルを適用する。また、各都市から製紙工場へは、BPR 関数を用いて旅行時間を算出⁷⁾し、その結果と輸送量に合わせた種々の条件（トラック台数など）を用いて、輸送量あたりの輸送コスト（COT）を算出する。なお、BPR 関数のパラメータについては、八木ら⁷⁾が推計したもの参考にして用いる。生産者の得る利益は式(3)のように表すことができる。

$$\begin{aligned} [B_x]_t &= \frac{1}{\eta_x} \left\{ P_{Q_x} - (1-\eta_x) P_{M_{x,y}} \sum_{y=1}^9 \left\{ r_{x,y} \sum_{x=1}^{12} (s_{y,x} [Q_x]_{t-1}) \right\} \right. \\ &\quad \left. - \sum_{y=1}^9 \left\{ P_{W_{x,y}} \sum_{x=1}^{12} (s_{y,x} [Q_x]_{t-1}) \right\} - COT \frac{\sum_{x=1}^{12} [Q_x]_{t-1} S_{y,x}^{(3)}}{\sum_{y=1}^9 [W_{x,y}]_{t-1}} \right\} \end{aligned}$$

$[B_x]_t$: t 期における生産者の純利益

COT: 輸送量あたりのコスト

この $[B_x]_t$ を総コストで除したものを経済性とする。

3. 紙資源の生涯総使用価値の定義

3.1 紙資源の限界生産物価値 (MPV)

1 期のある紙資源 r の MPV を式(4)のように定義する。

$$MPV(r) = \sum_{x=1}^{12} P_{Q_x} \frac{\partial Q_x}{\partial M_{x,r}} \quad (4)$$

この MPV を求めるため、式(5)のように生産関数を定義する。

$$Q_x = \prod_{y=1}^9 M_{x,y}^{\alpha_{x,y}} M_{x,y}^{\beta_{x,y}} e^{\delta t} u \quad (5)$$

この式(5)を重回帰分析し、パラメータを推定する。この際、サンプルの構造変化を考慮する⁹⁾。その結果、天然パルプと古紙パルプの MPV が式(6),(7)のように定まる。

$$MPV(v) = \sum_{x=1}^{12} P_{Q_x} \beta_{x,v} \frac{Q_x}{M_{x,v}} \quad (6) \quad MPV(y) = \sum_{x=1}^{12} P_{Q_x} \alpha_{x,y} \frac{Q_x}{M_{x,y}} \quad (7)$$

これらの値を各紙資源の現状価格と比較し、現状の紙資源価格が生涯総使用価値を考慮したものとなつてゐるか検証する。

3.2 使用価値による資源価格形成

製品原料となる各資源の使用価値の総和を推計することに対して世代会計的手法を適用することで対象システムにおける資源の生涯総使用価値を推計する。

式(8)は、ある紙資源 r の純生涯総使用価値

(NLCTMPV) を表したものである。右辺第 1 項は粗生涯総使用価値であり、制約条件により定まる使用可能世代分を割引率 n により割り戻したものの和で表される。右辺第 2 項はリサイクルコストである。

$$\begin{aligned} NLCTMPV(r) &= \sum_{t=0}^l \sum_{x=1}^{12} P_{Q_x} \cdot \frac{\partial Q_x}{\partial M_{x,r}} \left(\frac{1}{1+nt} \right) \\ &\quad - \sum_{t=0}^l \sum_{x=1}^{12} r c_t \frac{\partial \sum_{x=1}^{12} M_{x,r}}{\partial M_{x,r}} \left(\frac{1}{1+nt} \right) \\ &s.t. NLCTMPV(r) \geq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

3.3 社会的余剰の考慮

各資源の NTMPV が社会余剰を表すものとし、これを資源循環型経済システム構築度を表す指標とする。

4 おわりに

本研究では、以下の 3 点を考慮した使用価値による資源価格形成モデルを構築した。

- ① 経済性に関して精緻な輸送コストを含んだ便益を考慮することができるようになった。
- ② 資源の生涯総使用価値を定義した。
- ③ 資源に着目した社会余剰により、資源循環型経済システムの構築度を定義した。

今後は、今回定義した式を用いて紙資源カスケードリサイクルシステムにおける資源フローと経済性、そして社会的余剰を推計する。また、独占や寡占によって、リサイクル資源価格が高値安定状態になってしまっている可能性を確認するため、現状価格を今回求めた MPV で除することで、独占度を求め市場の状態を分析する予定である。

<参考文献>

- 1) 日本製紙連合会：月刊「紙・パルプ」No.681 2005 年特集号 紙・パルプ産業の現状,2005.
- 2) 古紙再生促進センター：1995-2004 年版古紙統計年報,1996-2005.
- 3) 経済産業省：1995-2001 年版紙・パルプ統計年報,1996-2002.
- 4) 経済産業省：2002-2004 年版紙・パルプ・プラスチック・ゴム製品統計年報,2003-2005.
- 5) 田畠智博,辻岡信也,森杉雅史,井村秀文：資源有効利用度及び経済性からみたカスケードリサイクルの評価に関する研究, 環境システム研究論文集 Vol.31, pp.297-305, 2003.
- 6) ISHIKAWA, M : A Logistics Model for Post-Consumer Waste Recycling, J. Pack. Sci. Technol. Vol.5 N0.2, 1996.
- 7) 国土交通省：平成 11 年度道路交通センサス,2000.
- 8) 八木勇司,溝上章志：時間帯別交通量配分に用いるリンクコスト関数の推定,土木学会第 55 回年次学術講演会,2000.
- 9) 児玉名奈,田畠智博,森杉雅史,井村秀文：時系列環境会計表を用いた一般廃棄物処理事業の効率性評価手法の開発,土木学会中部支部研究発表会講演概要集,pp.571-572, 2005.