

古紙市場における均衡価格分析*

Price Equilibrium Analysis in the Scrap Paper Market*

大窪和明**・稲村肇***・加河茂美****

By Kazuaki OKUBO**・Hajime INAMURA***・Shigemi KAGAWA****

1. はじめに

企業の生産活動や家計の消費活動に伴い発生する廃棄物リサイクル財の市場は、供給量の調整が困難な供給主導型市場であり、常に需給ギャップが存在している。廃棄物リサイクル財の代表例である古紙の場合、古紙問屋は古紙回収業者からの古紙の供給を量的に制御することができないため、問屋買い入れ価格を操作することによって在庫を調整しながら、製紙企業に販売している。古紙の超過供給状態が長く続き、在庫量が過剰になると、古紙問屋は問屋買い入れ価格を下げることで供給量を減少させ、在庫量を調整している。

図-1の古紙問屋買い入れ価格と古紙在庫量推移の関係からわかるように、1996年後半の古紙問屋の過剰在庫は、その後の問屋買い入れ価格の下落に大きな影響を与えていた。このときの古紙価格の下落は、民間回収業者による古紙リサイクルシステムを変化させた。民間回収業者の中には、収益の悪化により古紙市場から撤退するものも存在し、この時期から行政による回収が始まった。古紙価格の大幅な下落は、古紙問屋の在庫調整が速やかに行われなかったことが大きな理由の一つである。そこで、供給主導型市場の在庫調整メカニズムを明らかにする必要がある。

古紙市場に関する既存研究には、Lundmark & Soderholm¹⁾、Hervani²⁾による研究があり、増加する古紙の供給を背景に、如何にして需要を増やすかを問題としている。これらの研究は、製紙企業などの古紙の需要側に焦点を絞っているため、古紙への需要の変化が、供給側である古紙問屋や古紙回収業者の行動の変化にどのような影響を及ぼすかを評価することができない。古紙の需要をどの程度増やすべきか目標を設定するためには、古紙の需要変化に対する供給側の行動や、古紙問屋の在庫も含め

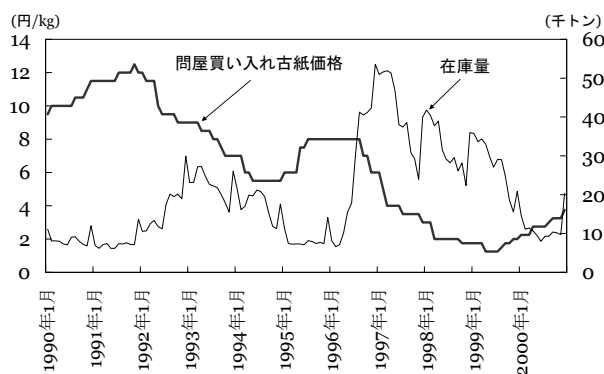


図-1 古紙問屋の買い入れ価格と在庫量推移

た分析が必要であると考えられる。

古紙市場の供給側を考慮した最近の研究に、大窪ら³⁾による研究がある。大窪らは、段ボール古紙の需要関数と供給関数を推計し、供給主導型市場の価格決定に影響を与える主な要因が在庫であることを定量的に明らかにしている。しかし大窪らの研究では、古紙の供給主体として古紙回収業者と古紙問屋をまとめて一つの主体として扱っているが、実際には、両者は異なる経済活動を行っている。古紙回収業者は排出された古紙を直接回収し、古紙問屋は回収された古紙を買い取り在庫として保持し製紙企業へ販売する。この二つの主体を明示的に区別することは、供給主導型市場の在庫調整メカニズムの特徴を明らかにする上で重要であると考えられる。

そこで、本研究では以下の2点を目的とする。(1) 古紙回収業者と古紙問屋の取引に着目した古紙供給モデルと在庫調整モデルを構築する。(2) それらのモデルに現実のデータを適用して古紙の供給関数と在庫調整関数を推計し、古紙問屋の在庫調整メカニズムを明らかにする。

2. モデルの定式化

2.1 モデルの枠組み

古紙回収業者と古紙問屋の市場を分析対象とし、それぞれ代表的な一社を考える。古紙回収業者は、家計や企業から回収した古紙を古紙問屋に販売することで収益を得る主体とする。古紙問屋は、古紙の在庫を持ち、直接製紙企業へ販売する主体とする。古紙回収業者の回収量

* キーワーズ：在庫調整，古紙，環境計画

** 学生員 東北大学大学院情報科学研究科

*** F会員 工博 東北大学大学院情報科学研究科教授

**** 正員 博(学) 東北大学大学院情報科学研究科助手

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉06-6-6

TEL: 022-795-7506, E-mail: okubo@plan.civil.tohoku.ac.jp

を量的に制御することが困難であることから、古紙問屋の在庫量は問屋買い入れ古紙価格を設定することによって調整される。したがって、古紙問屋の需要独占的狀況を仮定する。

2.2 古紙回収業者の利潤最大化問題

古紙回収業者は利潤を最大化するように、労働を投入し、古紙を回収する。回収形態はトラック一台に一名が乗車して古紙を回収することから、労働と資本は補完的な関係にある。したがって、古紙回収業者の利潤最大化問題は以下のように表せる。

$$\max_{X_t^g, L_t^g} \Pi_t^g = p_t^g X_t^g - w_t^g L_t^g - F_t^g \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad X_t^g = A_t^g (L_t^g)^\alpha \quad (2)$$

ここで、 p_t^g 、 X_t^g 、 w_t^g 、 L_t^g 、 A_t^g 、 F_t^g はそれぞれ期における問屋買い入れ古紙価格、古紙回収量、賃金率、労働者数、生産性パラメータ、固定費用である。制約条件の α は規模に関する収穫を示すパラメータとする。

式(1)、(2)の最適化問題から古紙回収業者の供給関数

$$X_t^g = (A_t^g)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{\alpha p_t^g}{w_t^g} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad (3)$$

が導ける。

2.3 古紙回収業者の利潤最大化問題

古紙問屋は、問屋買い入れ古紙価格 p_t^g 、在庫量 I_t 、製紙企業への古紙販売量 Y_t^r を制御変数とし、製紙企業へ古紙を販売することによって利潤を最大化する。古紙問屋の生産に要する費用として、古紙回収業者からの古紙買い入れにかかる費用と在庫費用の二つの費用を考える。古紙問屋は、品切れによる損失を避けるため、目標とする在庫水準 I_t^* が存在する。不確実な需要の変動に直面している企業が、在庫を所持している場合の在庫費用関数は、二次関数で近似できることがHolt et al.⁴⁾によって明らかにされている。本研究では、 t 期の在庫量が目標在庫水準 I_t^* と異なることで発生する費用を、古紙問屋の在庫費用として考える。このとき、古紙問屋の利潤最大化問題は、

$$\max_{p_t^g, I_t, Y_t^r} \sum e^{-\rho t} \left\{ p_t^r Y_t^r - p_t^g X_t^g - \frac{1}{2} C (I_t^* - I_t)^2 \right\} \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad I_t - I_{t-1} = X_t^g - Y_t^r \quad (5)$$

となる。ここで、 p_t^r は t 期における製紙企業への古紙販売価格、 C は在庫費用パラメータ、 ρ は現在価値割引率である。制約条件は、 t 期における需給ギャップと当該期の在庫量変化が等しいとする。

古紙の在庫は、部分調整、問屋買い入れ古紙価格、製紙企業への古紙販売価格、在庫の品質劣化による減価によって説明できるので、以下のように定式化できる。

$$I_t - I_{t-1} = \underbrace{\theta(I_t^* - I_{t-1})}_{\text{在庫変化}} + \underbrace{\phi p_t^g}_{\text{買い入れ価格}} + \underbrace{\psi(p_t^r - p_{t-1}^r)}_{\text{販売価格}} - \underbrace{\delta I_{t-1}}_{\text{減価}} \quad (6)$$

ここで、 θ 、 ϕ 、 ψ 、 δ はそれぞれ在庫調整速度、問屋買い入れ古紙価格水準に関するパラメータ、古紙販売価格変化に関するパラメータ、在庫の品質劣化による減価率とする。古紙問屋と製紙企業間の市場では、製紙企業が需要寡占的に行動するため、古紙問屋は販売価格を決定することができないので、 $(t-1)$ 期に t 期の価格に関して期待を形成するものとする。このとき、 t 期の期待価格は $(t-1)$ 期の価格と等しくなると考え、 t 期の期待価格と現実の価格との違いによる販売量への影響が、在庫で調整されるとすると、式(6)の右辺第三項のように定式化できる。

式(6)を目標在庫水準に関して解いたものを式(5)に代入し、最大値原理より最適解を導出すると、在庫調整関数は、

$$I_t = \frac{\phi}{1-\theta} p_t^g + \left(1 - \frac{\delta}{1-\theta}\right) I_{t-1} + \left(\frac{\psi}{1-\theta} + \frac{\theta^2}{C(1-\theta)^2}\right) \Delta p_t^r \quad (7)$$

となる。ここで、 $\Delta p_t^r = p_t^r - p_{t-1}^r$ とする。式(7)は、問屋買い入れ古紙価格、製紙企業への販売価格という双方向の市場価格と古紙問屋の在庫量との関係を明示的に示す関数となっている。

3. 実証

3.1 データの作成

本研究は、古紙問屋の在庫の大半を占める段ボール古紙を対象とする。古紙は劣化しやすく、短期のデータに在庫変動の特徴が鮮明に現れるため、月別の時系列データを用いる。

古紙回収業者の供給関数の推計には、古紙回収量、問屋買い入れ古紙価格、古紙回収業者の労働賃金の3種類のデータが必要となる。古紙問屋の在庫調整関数の推計には、古紙問屋から製紙企業への出荷量および古紙販売価格と古紙問屋が所持している在庫量のデータが必要となる。

古紙回収量、古紙問屋から製紙企業への販売量と古紙問屋が所持する在庫量のデータは、財団法人古紙再生促進センターが公表している関東商組32社のデータ(1989.4-2005.10)を用いた。古紙の回収量と販売量には季節性が見られるため、中心化移動平均法によって季節性

を調整し、季節変動以外の影響を明確にした。

問屋買い入れ古紙価格と製紙企業への古紙販売価格は、財団法人古紙再生促進センター発行の古紙ハンドブック 2004⁹⁾を用いた。量と価格に関するデータの整合性を保つために、問屋買い入れ価格は東京の段ボール日経価格(1970.1-2004.12)を、古紙問屋から製紙企業への販売価格は、東京近郊製紙メーカー工場着価格の段ボール古紙価格(1970.1-2004.12)をそれぞれ用いた。

古紙回収業者の労働賃金に関するデータは作成されていないため、代理指標を使用する。古紙問屋の裾物三品(段ボール古紙、新聞古紙、雑誌古紙)の買い入れ総額を古紙回収業者の総収入とし、労働賃金として分配すると仮定する。総収入を、一般廃棄物処理業の残業時間も含まれた平均的な労働時間で割ったものを労働賃金の代理指標とした。労働時間のデータは、厚生労働省が行っている毎月勤労統計調査全国調査の、全国廃棄物処理業の月別総労働時間(1990.1-2004.12)を使用した。2004年以前では、古紙回収業などの一般廃棄物処理業は廃棄物処理業として分類されている。

3.2 古紙回収業者の供給関数の推計結果と分析

式(3)の両辺の対数を取り、推計した結果が

$$\ln X_t^g = -30.961 + 0.0249 \times t + 0.0495 \times \ln(p_t^g) - 0.0218 \times \ln(W_t^g) + \varepsilon_t^g$$

(-26.337) (41.422) (8.545) (-4.635)

$$R^2=0.978 \quad (8)$$

である。式(8)の決定係数は0.978と高く、各パラメータのt値も有意水準1%で有意な結果となった。問屋買い入れ古紙価格のパラメータは正であり、供給関数としての性質を満たしている。賃金率のパラメータは負であり、賃金率が下がると回収量が増加することがわかる。賃金率は回収業者の収入に依存しているため、古紙価格の下落による収入の減少が、回収量を増やすことで補われていることが主な理由の一つであると推測される。

図-2は式(8)をプロットしたものであり、回収量が規模に関して収穫逓減であることがわかる。古紙回収業者は、輸送費用の問題から限定された地域内で古紙の回収を行うので回収量に限界があり、規模に関して収穫逓減になると考えられる。図-2からわかるように、問屋買い入れ価格水準が高い場合の価格変化に対する回収量変化は小さい。具体的には、過剰在庫になった1996年12月では問屋買い入れ価格1(円/kg)の下落に対して949トンの回収量が減少する一方で、価格が最も低かった1999年4月では、1(円/kg)の下落は、約5倍の4549トンの回収量を減少させていることがわかった。このことから、古紙問屋の買い入れ価格の設定による

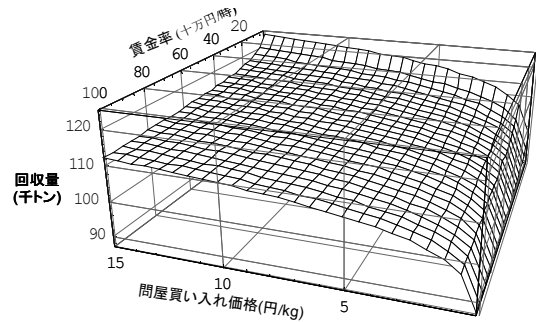


図-2 古紙回収業者の供給関数

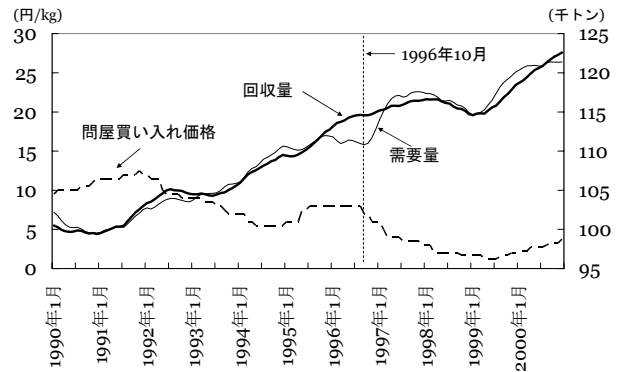


図-3 需給ギャップと価格推移 (1990.1-2000.12)

回収量への影響は価格水準によって大きく異なることがわかる。需給ギャップが最大になった1996年10月では、価格水準が高く回収量が硬直的であったため、急激な需要の減少に対して回収量の減少が伴わず、過剰在庫量になった(図-3を参照)。

3.3 古紙問屋の在庫調整関数の推計結果と分析

古紙問屋の利潤最大化問題によって導出された在庫調整関数を最小二乗法で推計すると

$$I_t = 11643.6 \times p_t^g + 0.9498 \times I_{t-1} - 2677609 \times \Delta p_t^r + e_t$$

(1.841) (46.399) (-2.362)

$$R^2=0.894 \quad (9)$$

となる。式(9)の決定係数は高く各パラメータのt値も有意水準5%で有意である。式(9)の右辺第一項から、問屋買い入れ古紙価格が下がると、在庫量も下がることがわかる。式(7)に示す理論式の右辺第二項と式(9)に示す推計式の右辺第二項を比較すると、

$$\delta = 0.0502(1-\theta) \quad (10)$$

という関係式が得られる。このとき、式(10)の θ に関する符号条件 $\theta > 0$ から、常に $\delta < 0.0502$ が成り立つので、在庫調整速度が早いほど減価率が低くなることが確かめられた。

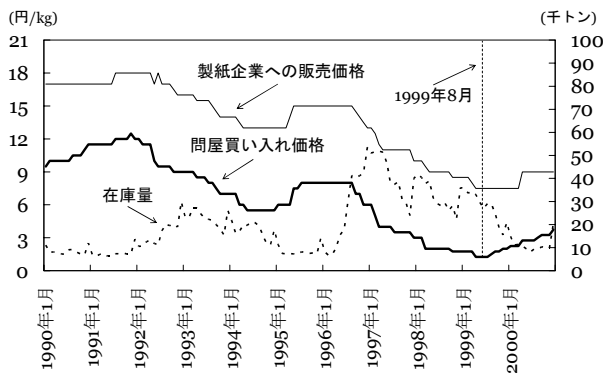


図-4 市場価格と在庫量推移 (1990.1-2000.12)

図-4からわかるように、過剰在庫期においては、問屋買入れ古紙価格と製紙企業への販売価格がともに下落する傾向にある。各古紙価格の下落による在庫量への影響は、式(9)から、それぞれ正と負であり、在庫調整において反対の方向に作用している。製紙企業への販売価格のパラメータが負であることは、価格が低いときは在庫として保持し、高くなったらより多く販売するという古紙問屋の供給者としての行動を表している。

式(9)に示す在庫調整モデルを用いて、製紙企業への販売価格が変化することによる影響が、在庫調整期間の長さを与える影響を数値シミュレーションによって評価する。具体的には、ケース0を製紙企業への販売価格の変化による影響があった場合とし、ケース1を販売価格の影響がなく、式(9)の右辺第三項を取り除いた場合として、両者の在庫調整期間を比較する。数値シミュレーションは、製紙企業への古紙販売価格が急激に下落し始めた1997年1月から2000年12月までの期間に着目し、逐次計算によって行った。逐次計算の手順は、式(9)の右辺第二項の I_{t-1} に1996年12月の値を、問屋買入れ価格と製紙企業への販売価格に1997年1月のデータをそれぞれ代入し、1997年1月の在庫理論値を導く。その在庫理論値を、一期後の式(9)の第二項に代入して1997年2月の在庫理論値を導出するという手順を繰り返す。次にケース1は、当該期間にわたって古紙販売価格を1997年1月期の水準に保つ場合を想定し、式(9)の右辺第三項 $\Delta p_t^r = 0$ として古紙販売価格の影響を取り除いた上で、ケース0と同様の手順を用いた。

数値シミュレーションの結果、ケース1の方がケース0よりも在庫調整期間が短いことが図-5からわかる。在庫調整期間を過剰在庫によって価格が下落してから初めて問屋買入れ価格が上昇するまでの期間とすると、1996年12月以降、問屋買入れ価格が初めて上昇するのは1999年8月である。このときのケース0の在庫水準約20.5(千トン)を、ケース1が達成するのは1998年11月であり、ケース0より9ヶ月ほど在庫調整期間が短くなることがわかった。販売価格を一定に保ったま

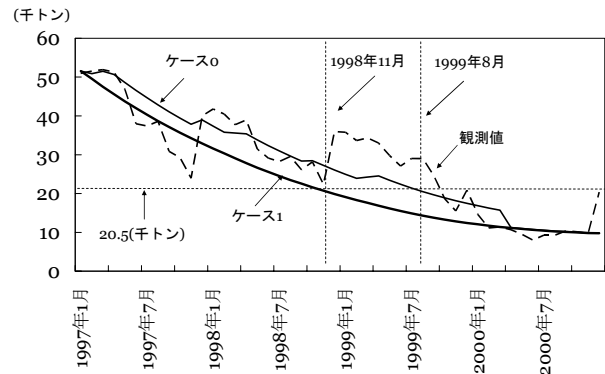


図-5 在庫調整の理論値と観測値(1997.1-2000.12)

ま回収量を調整することは、古紙問屋の収益を増やし、より多くの費用を在庫に費やせることから、過剰在庫時の対策として効果的であると考えられる。

4. 結論

本研究の結論は以下のとおりである。

- 古紙回収業者と古紙問屋を明示的に区別したモデルを構築し、古紙回収業者の供給関数、古紙問屋の在庫調整関数を導出し推計した。
- 製紙企業からの需要量の急激な減少に対して古紙回収業者の供給関数が硬直的であることが、在庫量の急激な増加の主な原因となっている。価格水準が高いほど、この傾向は強く見られる。
- 古紙問屋の在庫調整が速やかに行われないのは、製紙企業への販売価格の影響によって、在庫が減りにくくなっていることが原因であると考えられる。

参考文献

- 1) Robert Lundmark and Patrik Solderholm : Structural Changes in Swedish Wastepaper Demand: A Variable CPST Function Approach, *Journal of Forest Economics*, vol.9, pp.41-63, 2003.
- 2) Aref A. Hervani : Can Oligopsony Power Be Measured? - The Case of U.S. Old Newspaper Market -, *Resources, Conservation & Recycling*, vol.44, pp.343-380, 2005.
- 3) 大窪和明, 稲村肇, 加河茂美 : 廃棄物リサイクル財市場における価格決定メカニズムの検討, 土木学会論文集, 2006, 投稿中.
- 4) Charles, C. Holt. Franko, Modigliani. & Herbert, A. Simon. : A Linear Decision Rule for Production and Employment Scheduling, *Management science*, Vol.2, No.1, pp.1-30, 1955.
- 5) 財団法人古紙再生促進センター: 古紙ハンドブック 2004.