

# 鉄屑の輸出が市場構造に与えた影響\*

## Measuring Impacts of Ferrous Scrap Export on the Market Structure\*

大窪和明\*\*・稲村肇\*\*\*・深山敬大\*\*\*\*

By Kazuaki OKUBO\*\*・Hajime INAMURA\*\*\*・Takahiro MIYAMA\*\*\*\*

### 1. はじめに

1990年代後半から現在にかけて、鉄屑の輸出は急激に拡大し、国内の鉄屑価格の上昇をもたらすとともに市場構造を変化させている。鉄屑は建設・土木工事などの生産活動や廃自動車といった廃棄物から不可避免的に発生するため、鉄屑市場は供給量の調整が困難である供給主導型の特徴を持つ。この特徴は余剰鉄屑を発生させ、1990年代後半に輸出が増加した原因となった。2000年以降は、アジア各国からの旺盛な需要により輸出量は増大し、現在では日本は世界第三位の鉄屑輸出国となった。

近年、鉄屑に限らず古紙やプラスチックなど様々な廃棄物リサイクル財の輸出が活発化し、国内価格の上昇をもたらしている。廃棄物リサイクル財の価格上昇は、国内市場にどのような影響をもたらしたのか。もし市場が不完全で需要側の市場支配力が強い状況ならば、輸出の増加は需要側の競争を促進させ、市場は効率的になるであろう。一方で、価格の上昇は廃棄物リサイクル財の原材料としての利用に悪影響を与えているかもしれない。これらの疑問に答えるためには鉄屑市場の市場構造を定量的に評価できるモデルが必要である。

廃棄物リサイクル財市場における不完全競争を扱った研究に Hervani<sup>1)</sup>や Eichner<sup>2)</sup>がある。これらの研究では供給主導型の特徴を十分に考慮しているとは言いがたい。なぜなら供給主導を特徴づける重要な要因である在庫を考慮していないからである。そこで本研究は、鉄屑の輸出が国内の鉄屑市場、および鉄屑の主な需要主体である鉄屑の在庫を持つ電炉メーカーに与えた影響を定量的に明らかにすることを目的とする。はじめに国内鉄屑市場における競争条件のみを変えた二つのモデルを構築する。具体的には、モデルIでは電炉メーカーは価格支配力を持ち、需要独占的に行動すると仮定し、モデルIIでは価

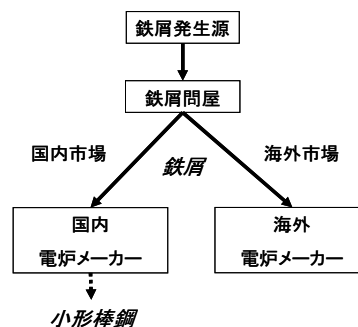


図1 本モデルの枠組み

格支配力を持たないとする。これらのモデルの推計結果を比較し、鉄屑の市場構造の変遷を明らかにする。次に、モデルIIを用いて、輸出が国内市場の電炉メーカーの市場支配力に与えた影響を定量的に評価する。

### 2. モデルの定式化

#### (1) モデルの枠組み

本研究では、離散時間を考え、鉄屑問屋が代表的一社のみ存在し、国内または海外の電炉メーカーに販売する図1のような状況を考える。また国内の電炉メーカーも代表的一社のみ存在し、海外市場は需要曲線を仮定し明示的には扱わない。

#### (2) 鉄屑問屋の定式化

t期の期初に、鉄屑発生源から鉄屑問屋への持ち込みによる鉄屑価格に対して硬直的な供給量 $z_t$ が外生的に決まるものとする。 $z_t$ は供給主導型の特徴を現し、

$$z_t = \bar{z} + \zeta_t, \quad \zeta_t \sim N(0, \sigma_z^2) \quad (2.1)$$

に従って外生的に与えられるとする。ここで、 $\bar{z}$ は、 $z_t$ の平均を表す定数、 $\zeta_t$ は平均が0で分散が $\sigma_z^2$ の独立同一分布に従う確率変数で期首に決まる。

t期に鉄屑問屋は、供給量 $z_t$ を既知とし、利潤を最大化するように自発的な回収量 $x_t$ を決定する。 $x_t$ の回収には $C^w(x_t)$ の回収費用を必要とし、費用関数は

$$C^w(x_t) = c_1^w x_t + \frac{1}{2} c_2^w x_t^2 \quad (2.2)$$

\*キーワード：環境計画，物流計画

\*\* 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

\*\*\*\* 学生員 東北大学大学院情報科学研究科

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉06-6-6

TEL: 022-795-7492, E-mail: [okubo@plan.civil.tohoku.ac.jp](mailto:okubo@plan.civil.tohoku.ac.jp)

と仮定する。ここで、 $c_1^w, c_2^w$  はパラメータである。規模に関して費用が逓増するのは、市中の鉄屑は有限で、回収量が多くなるほど見つけにくい状況を表現している。

t 期に鉄屑問屋が供給可能な鉄屑の総量  $x_t + z_t$  で、当該期に全ての鉄屑を国内、海外の電炉メーカーへ販売すると仮定する。このうち  $\theta_t \in [0,1]$  の割合だけ国内電炉メーカーへ供給するとする。また鉄屑問屋は国内と海外の双方の市場で *Price taker* であるとし、 $\theta_t$  は鉄屑の国内価格  $p_t^g$ 、海外価格  $p_t^{gE}$  が以下の無裁定条件式

$$p_t^{gE} = p_t^g + \tau \quad (2.3)$$

を満たすように決定される。ここで  $\tau$  は輸出に要する鉄屑一単位当たりの輸送費用で、定数とする。鉄屑の海外価格は、鉄屑問屋の輸出量  $x_t^E$  に対して逆需要関数

$$p_t^{gE} = d_0 - d_1 x_t^E + \varepsilon_t^\tau, \quad \varepsilon_t^\tau \sim N(0, \sigma_\tau^2) \quad (2.4)$$

によって決定するものとする。ここで、海外価格は平均が 0 で分散が  $\sigma_\tau^2$  の独立同一分布の確率変数  $\varepsilon_t^\tau$  に従って変動する。また  $d_0, d_1$  は正のパラメータである。

以上から、t 期の鉄屑問屋の利潤関数  $\pi_t^w$  は、

$$\pi_t^w = p_t^g \theta_t (x_t + z_t) + (p_t^{gE} - \tau)(1 - \theta_t)(x_t + z_t) - C^w(x_t) \quad (2.5)$$

となる。t 期の鉄屑問屋は式(2.5)を最大化するように、回収量  $x_t$  を決め、式(2.3)を満たすような国内供給割合  $\theta_t$  に決まる。したがって、鉄屑問屋の国内供給関数は、

$$\theta_t \{x(p_t^g) + z_t\} = S_0 + S_1 p_t^g + \Psi(\zeta_t, \varepsilon_t) \quad (2.6)$$

ここで、

$$S_1 = \left( \frac{1}{c_2^w} + \frac{1}{d_1} \right), \quad S_0 = \bar{z} - \left( \frac{d_0 - \tau}{d_1} + \frac{c_1^w}{c_2^w} \right)$$

$$\Psi(\zeta_t, \varepsilon_t) = \zeta_t - \frac{1}{d_1} \varepsilon_t \quad (2.7)$$

とした。また輸出関数は

$$(1 - \theta_t) \{x(p_t^g) + z_t\} = -\frac{1}{d_1} p_t^g + \frac{d_0 - \tau}{d_1} + \frac{1}{d_1} \varepsilon_t \quad (2.8)$$

となる。以降、簡単化のため国内供給関数の各パラメータおよび確率変数を式(2.7)のように置き換えて記述する。ここで式(2.8)の輸出関数の右辺に、国内の鉄屑価格が変数として含まれているのは、国内価格が下がるほど輸出量が増えるという関係を捉えているためである。

### (3) 電炉メーカーの定式化

国内電炉メーカーは、国内鉄屑市場から買い入れた鉄屑から小形棒鋼を生産し販売する。電炉メーカーは小形棒鋼市場では *Price taker* とし、t 期の価格  $p_t^e$  は一階の自己相関過程に従って外生的に与えられるとする。

$$p_t^e = \rho_p p_{t-1}^e + \varepsilon_t^p, \quad \varepsilon_t^p \sim N(0, \sigma_p^2) \quad (2.9)$$

ここで、 $\rho_p$  はパラメータである。 $\varepsilon_t^p$  は、平均が 0 で分散が  $\sigma_p^2$  の独立同一分布に従う確率変数で期首に決定される。小形棒鋼  $y_t$  の生産には、 $y_t/b$  の鉄屑が必要になる。ここで  $b$  はパラメータとする。小形棒鋼  $y_t$  の生産には、電気や労働力といった費用  $C^e(y_t)$  が必要になるとする。ここでは生産費用関数  $C^e(y_t)$  を、

$$C^e(y_t) = c_1^e y_t + \frac{1}{2} c_2^e y_t^2 \quad (2.10)$$

と仮定する。ここで、 $c_1^e, c_2^e$  はパラメータである。t 期の生産に電炉メーカーが使用可能な鉄屑の量は、t 期の買入れ量  $X_t^e$  と、前期から持ち越した鉄屑の t 期の期首在庫量  $I_t$  の合計である。t 期において使用されなかった鉄屑は、次期へ持ち越されるため、在庫量の推移は、

$$I_{t+1} = I_t + X_t^e - \frac{y_t}{b} \quad (2.11)$$

となる。t 期の期首に  $S(I_t)$  の在庫費用がかかるとし、

$$S(I_t) = \frac{1}{2} s (I_t - \bar{I})^2 \quad (2.12)$$

で表されるとする。ここで  $s, \bar{I}$  はパラメータである。式(2.12)は、限界的な在庫費用が、現在の在庫水準により変化することを意味し、在庫量に伴って逓増する。

以上から、t 期の電炉メーカーの利潤関数は

$$\pi_t^e = p_t^e y_t - p_t^g X_t^e - C^e(y_t) - S(I_t) \quad (2.13)$$

とおける。電炉メーカーは、無限機関に渡って、現在価値換算した期待利潤の和、

$$V(I_t, \zeta_t, \varepsilon_t^\tau, \varepsilon_t^p) = \max. E_t \sum_{\tau=t}^{\infty} \beta^\tau \pi_\tau^e \quad (2.14)$$

を最大化する。ここで  $\beta$  は割引率である。

#### a) モデル I

モデル I では電炉メーカーの国内鉄屑市場における需要独占的地位を考慮する。したがって小形棒鋼の生産量  $y_t$  と買入れ価格  $p_t^g$  を各期の期初に決定し、式(2.14)を最大化する。モデル I から得られる解析解は、

$$y_t^M = \frac{1}{c_2^{eM}} \left( -\frac{\beta}{b} \lambda_t^M + p_t^e - c_1^{eM} \right) \quad (2.15)$$

$$p_t^{gM} = \frac{\beta}{2} \lambda_t^M - \frac{S_0 + \Psi(\zeta_t, \varepsilon_t)}{2S_1} \quad (2.16)$$

ただし、

$$\lambda_t^M = \frac{1 - \omega_1^M}{\beta \left( \frac{S_1}{2} + \frac{1}{b^2 c_2^{eM}} \right)} \left[ \frac{\beta}{s} \Phi_{t+2}^M + \frac{1}{b c_2^{eM}} (p_t^e - c_1^{eM}) \right] + \bar{I}^M - I_t^M - \frac{1}{2} \{S_0 + \Psi(\zeta_t, \varepsilon_t)\} \quad (2.17)$$

$$\Phi_{t+2}^M = \frac{1}{2} \frac{s^M}{\beta} \left\{ \frac{2}{bc_2^{eM}} \frac{\rho_p}{\omega_2^M - \rho_p} p_t^{eM} - \frac{1}{\omega_2 - 1} \left( S_0 + 2 \frac{c_1^{eM}}{bc_2^{eM}} \right) \right\} \quad (2.18)$$

$$\omega_1^M, \omega_2^M = \Gamma^M \pm \sqrt{(\Gamma^M)^2 - \frac{1}{\beta}} \quad (2.19)$$

$$\Gamma^M = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{1}{\beta} - s^M \left( \frac{S_1}{2} + \frac{1}{b^2 c_2^{eM}} \right) \right\} \quad (2.20)$$

となる。M は需要独占(Monopsony)を意味し、モデル I, II でそれぞれ推計する変数、パラメータを示す。式(2.17)は t 期の期末在庫が t + 1 期以降の期待現在価値  $V(I_{t+1}, z_{t+1}, \tau_{t+1}, p_{t+1}^E)$  に与える限界的価値を表している。

#### a) モデル II

モデル II では国内鉄屑市場において電炉メーカーと鉄屑問屋はお互いに価格支配力を持たずに双方が Price taker として行動するとし、需給均衡条件式

$$X_t^e = \theta_t(x_t + z_t) \quad (2.21)$$

によって鉄屑の国内価格が決定するものとする。したがって電炉メーカーの操作変数は、小形棒鋼の生産量  $y_t$  と買入れ量  $X_t^e$  を各期の期初に決定し、式(10)を最大化する。モデル II から得られる解析解は、

$$y_t^C = \frac{1}{c_2^{eC}} \left( p_t^e - c_1^{eC} - \frac{\beta}{b} p_t^{gC} \right) \quad (2.21)$$

$$p_t^{gC} = \left( S_1 + \frac{1}{s^C \beta} + \frac{1}{b^2 c_2^{eC}} - \frac{\omega_1^C}{s^C} \right)^{-1} \quad (2.22)$$

$$\left\{ \frac{1}{s} \Phi_{t+1}^C - S_0 + \bar{I} - I_t + \frac{1}{bc_2} (p_t^e - c_1^{eC}) + \Psi(\varepsilon_t, \xi_t) \right\}$$

ただし、

$$\Phi_{t+1}^C = \frac{s^C}{bc_2^{eC}} \left\{ \left( \frac{\rho_p}{\omega_2^C - \rho_p} \right) p_t^e - \left( \frac{1}{\omega_2 - 1} \right) c_1^e \right\} - \frac{s^C S_0}{\omega_2^C - 1} \quad (2.23)$$

$$\omega_1^C, \omega_2^C = \Gamma^C \pm \sqrt{(\Gamma^C)^2 - \frac{1}{\beta}} \quad (2.24)$$

$$\Gamma^C = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1}{\beta} + s^C S_1 + \frac{s^C}{b^2 c_2^{eC}} \right) \quad (2.25)$$

となる。ここで C は競争的(Competitive)な市場を示す。

### 3. 実証分析

#### (1) データの作成

本研究で使用するデータは、電炉メーカーの鉄屑の購入量、期首在庫量、鉄屑の価格、輸出量、および鉄鋼製品

表 1 式(3.1)の推計結果

	1986.1-1995.1	1995.2-2001.4
切片	17829.61	13952.39
(t値)	29.95	20.47
輸出量	-13.64	-4.15
(t値)	-4.92	-6.03
Adj. R <sup>2</sup>	0.39	0.59
D.W.	0.65	0.36

表 2 式(3.2)の推計結果

	1986.1-1995.1	1995.2-2001.4
切片	6132.22	7806.04
(t値)	11.86	49.57
鉄屑価格	0.13	0.07
(t値)	3.80	6.86
Adj. R <sup>2</sup>	0.27	0.51
D.W.	1.04	1.97

の生産量、価格である。推計期間は 1986 年から 2001 年までとし、鉄屑の国内価格が国際価格を上回っていた 1990 年第 1 四半期から 1995 年の第 1 四半期までを第 I 推計期間とする。その後の、国内価格が国際価格を下回り両者が等しくなるまでの期間、1995 年の第 2 四半期から 2001 年第 4 四半期までを第 II 推計期間とする。以上のデータは社団法人日本鉄源協会より得ることができる。

電炉メーカーの鉄屑の購入量は四半期ごとのデータが得られたのに対して鉄屑価格のデータは、月ごとのデータが得られた。そこで、1 四半期ごと 3 ヶ月の鉄屑価格の平均値を、鉄屑価格として用いた。小型棒鋼に関しても同様に、四半期ごとのデータとして期間を統一した。

#### (2) 推計結果

##### a) 鉄屑問屋の推計および結果

鉄屑問屋に関するパラメータの推計式は、まず式(2.4)を式(2.3)に代入して、被説明変数を国内の鉄屑価格とし、説明変数を輸出量として、

$$p_t^g = d_0 - \tau - d_1 x_t^E + \varepsilon_t^\tau \quad (3.1)$$

を推計する。ここで、 $\varepsilon_t^\tau$  は式(3.1)の推計によって生じた誤差項とする。また  $d_0 - \tau$  は切片として推計される。

次に鉄屑問屋の回収関数を行う。推計式は、式(2.6)と式(2.8)の両辺をそれぞれ足して、被説明変数を回収量、説明変数を価格とし

$$x(p_t^g) + z_t = \frac{1}{c_2^w} p_t^g + \left( \bar{z} - \frac{c_1^w}{c_2^w} \right) + \zeta_t \quad (3.2)$$

とする。式(3.2)の推計から生じる誤差項が、鉄屑価格に対して硬直的な供給量の確率的な変動  $\zeta_t$  を表すとする。推計式(3.1),(3.2)の推計結果を表 1, 表 2 に示す。表 1, 表 2 から各パラメータの t 値は有意水準 5% で有意であることがわかる。

表3 電炉メーカーの推計結果

	1986.1-1995.1		1995.2-2001.4	
	モデルⅠ	モデルⅡ	モデルⅠ	モデルⅡ
$c_1^e$	-7973.70	110.00	311.57	50.99
(t値)	-3.03	1.54	704.17	0.01
$c_2^e$	0.14	4.04	-5.06	2.58
(t値)	17.77	13.66	-2.70	4.51
$s$	6887.00	11.70	-12.20	187.19
(t値)	23.83	0.01	-0.31	2.50
$\bar{l}$	2700.30	2664.30	2482.80	2673.20
(t値)	19.42	1.64	238.73	20.80

b) 電炉メーカーの推計および結果

電炉メーカーの推計は、鉄屑価格  $p_t^s$ 、生産量  $y_t$ 、在庫量  $I_t$  に関するパラメータ  $c_1^e, c_2^e, s, \bar{l}$  を一般化モーメント法(GMM)によって推計する。推計するパラメータを  $\theta = [c_1^e \ c_2^e \ s \ \bar{l}]$  と表すと、前章で導いた解析解を  $\theta$  の関数  $h_t(\theta) = [p_t^s(\theta) \ y_t(\theta) \ I_t(\theta)]$  と表せる。(  $i = M, or, C$  ) また推計に用いる変数の観測値を  $\hat{h}_t = [\hat{p}_t^s \ \hat{y}_t \ \hat{I}_t]$  と表す。  $\theta$  以外のパラメータはそれぞれ  $\beta = 0.98$ ,  $\rho_p = 1.00$  とおいた。  $\theta$  は、

$$\hat{\theta} = \arg. \min_{\theta} \mathbf{g}_T(\theta)' \mathbf{W}_T^{-1} \mathbf{g}_T(\theta) \quad (3.3)$$

$$\mathbf{g}_T(\theta) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\mathbf{h}_t(\theta) - \hat{h}_t) \quad (3.4)$$

重み付け行列  $\mathbf{W}_T$  は、Newey and West<sup>3)</sup>の

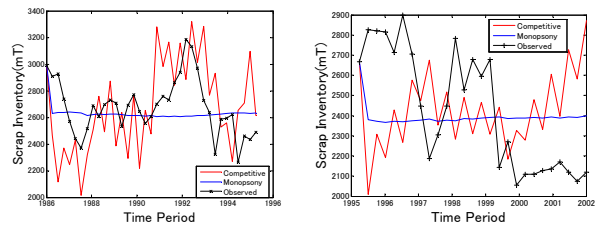
$$\mathbf{W}_T = \Omega_{0,T} + \sum_{j=1}^m \left(1 - \frac{j}{m+1}\right) (\Omega_{j,T} + \Omega'_{j,T}) \quad (3.5)$$

$$\Omega_{j,T} = \frac{1}{T} \sum_{t=j+1}^T (\mathbf{h}_t(\theta) - \hat{h}_t)' (\mathbf{h}_t(\theta) - \hat{h}_t) \quad (3.6)$$

を用いる。推計結果を表3に示す。モデルⅠとモデルⅡの推計値と観測値を比較すると、鉄屑価格  $p_t^s$ 、生産量  $y_t$  ともに、ほぼ同様の傾向を持って推移していきことがわかった。しかし、図2(a)に示すように、在庫量推移に関してモデルⅠ(青線)、モデルⅡ(赤線)に顕著な違いが見られた。具体的には、1986年の第1四半期から1995年の第1四半期まで、モデルⅡの方が現実の在庫推移(黒線)をよく表している。したがって、1995年以前の鉄屑市場は競争的な市場であった可能性が高い。

図2(b)から1995年以降は、モデルⅠ、モデルⅡともに現実の在庫推移を捉えていないことがわかる。しかし図3に示すように、1995年の第2四半期から2001年の第4四半期までは、鉄屑価格、生産量推移を良く捉えていることから、1995年以降の電炉メーカーにとって鉄屑の在庫の影響が小さくなったと推測できる。

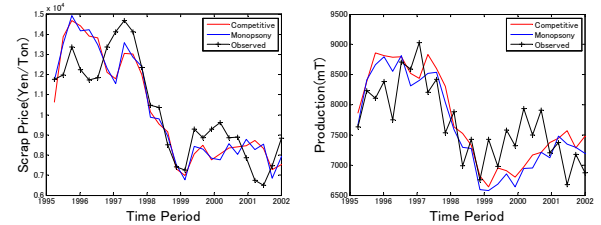
ここで、推計されたパラメータから輸出が市場構造



(a) 1986.1-1995.1

(b) 1995.2-2001.4

図2 モデルⅠ(青線)とモデルⅡ(赤線)の在庫量推移



(a) 鉄屑価格

(b) 小形棒鋼生産量

図3 モデルⅠ(青線)とモデルⅡ(赤線)の推計値

に与えた影響を評価する。モデルⅠの一階条件式から、

$$\frac{p_t^e - \frac{\partial C^e(y_t)}{\partial y_t} - b^{-1} p_t^s}{b^{-1} p_t^s} = \frac{1}{\underbrace{\frac{p_t^s}{(x_t + z_t)}}_{(i)} + \underbrace{\frac{p_t^s}{\theta_t} \frac{\partial \theta_t}{\partial p_t^s}}_{(ii)}} \quad (3.7)$$

が導ける。式(3.7)の左辺は、限界利潤率を表し、電炉メーカーの国内鉄屑市場における市場支配力の強さを示す指標となる。式(11)の右辺各項は、それぞれ回収量、国内鉄屑市場への供給割合の価格弾力性を表す。これらの値が大きいくほど、電炉メーカーの市場支配力は小さい。推計結果から、1995年以前の供給割合の価格弾力性の平均値が0.787だった一方で、1995年以降の平均値は0.881と大きくなり市場支配力を下げる方向に作用した。

4. 結論

本研究では、鉄屑問屋と在庫を持つ電炉メーカーを明示的に考慮した動学モデルを構築し、市場構造の解析を行った。その結果、1995年以前の鉄屑市場は競争的な条件のモデルの方が良く適合したこと、輸出の影響で電炉メーカーの市場支配力が低下したことがわかった。

参考文献

- 1) 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.
- 2) Eichner, T., Imperfect Competition in the Recycling Industry, *Metroeconomica* vol.56:1, pp.1-24, 2005.
- 3) Newey, W.K., and K.D. West, A simple, positive, semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix, *Econometrica*, Vol.55, pp.703-708, 1987.