

金属スクラップ市場の価格の連動性の検証：銅のスクラップ市場は電気銅市場に対して価格連動性があるのか

有賀健高・馬奈木俊介

1. はじめに

本論文は平成 22 年度の環境経済の政策研究の報告書である「アジアを中心とした資源循環システムの環境的、経済的、社会的影響評価に関する研究」の担当部分を抜粋したものである。報告書の全体研究では鉄資源の循環利用を中心にみているが、今後このような研究をアルミニウム、亜鉛、金、銀、銅、プラチナ、パラジウムといった非鉄金属およびレアメタルにおいても行うことが予定されている。その先駆けとして、本章では非鉄金属の中でも特にリサイクル率の高い銅について、スクラップ銅市場が現状では電気銅市場と比べてどのように機能しているかということ、スクラップ銅市場が銅市場全体の中でどのように価格形成をしているのかという視点から分析している。具体的にはスクラップ銅市場の銅先物市場及び電気銅市場との価格連動性、さらにこれらの全てを含めた銅市場全体の中での価格の連動性について見ている。

世界的に銅需要が高まる中、銅資源の循環利用の重要性は高まっている。Zeltner et al. (2007)では、今後も世界的に銅の消費が増え続ければ 30 年から 50 年後には銅が不足する可能性もあるというシナリオを描いており、銅資源の循環利用という意味でのスクラップ市場の役割はますます大きくなるであろう。そういう意味でも現状として銅のスクラップ市場が、銅市場全体の中でどのように機能しているかを見ることは、今後スクラップ市場を有効利用していくための政策を立案する際においても有用な資料となるであろう。

本章の研究では銅のスクラップ市場、先物市場、電気銅の時価市場の価格連動性について分析し、銅のスクラップ市場が先物市場、時価市場との間で代替市場としての機能を果たしているのかを見る。さらに今回の研究では、銅純度の異なる二つの銅スクラップ市場

を扱うことで、スクラップ市場は純度の違いによって価格の連動性も異なってくるのかということも分析する。具体的には銅のスクラップ市場として、銅の純度の高い一号銅線、上銅といった純銅スクラップ市場及び、亜鉛との合金で銅純度の低い新黄銅、黄銅削粉といった黄銅スクラップ市場という純度の異なる二つの市場を扱うことで、純度の異なるスクラップ市場が価格の連動性という点でも異なってくるのかということを見る。このことがわかればスクラップ市場が電気銅の代替市場としての役割を果たすのかどうかを見る際に、スクラップの純度によって分けて考えていかなければならないということを示すことにつながる。

このような銅のスクラップ市場と銅の時価市場の価格連動性を分析した研究はあまり見当たらないが、先行研究としてあげるとすれば **Xiarchos and Fletcher (2009)**の研究があげられる。**Xiarchos and Fletcher (2009)**は、1984年から2001年のアメリカの月次データを使い、銅のスクラップ市場と時価市場の間には長期的にも短期的にも価格の連動性があることを示している。彼らの研究では鉛と亜鉛についても分析しており、これらの金属でもスクラップ市場と時価市場には価格連動性が存在するという結果を導き出している。ただし彼らの研究では財の市場価格を考える際に重要となる価格発見(price discovery)の機能において重要となる先物市場との価格連動性については扱われていない。先物市場が価格発見の機能において大きな役割を果たすことは金融の分野では広く知られており (**Carter, 2002**)、市場が正しくより多くの情報を反映しているかを見る際にも先物価格が時価価格に与える影響は大きい。

そこで本研究では先物市場も含めた銅市場における銅のスクラップ市場の役割をみていく。また先行研究とは違い、時価市場、スクラップ市場ともに日本の銅の月次データを用い、日本における銅のスクラップ市場の価格連動性を見る。ただし、銅の先物市場は日本にはまだ存在しないため、先物価格に関してはニューヨークの商品取引所(**COMEX**)の価格データを使用する。日本の銅のスクラップ市場に関するこのような価格連動に関する分析

はまだほとんどされておらず、今後銅のスクラップ市場がどう発展していくべきかを考える際にこのような研究分析の結果は大いに役立てることができるであろう。

2. データについて

本研究では 2000 年から 2010 年度の 6 つの銅市場の月次平均価格を使っている。これらの価格は大きく分けると先物価格、時価価格、純銅スクラップ価格、黄銅スクラップ価格に分類できる。表 1 のように先物価格はニューヨークの商品取引所(COMEX)の月次平均価格を使用している。電気銅の時価、純銅スクラップ及び黄銅スクラップの価格は鉄鋼新聞社が発効している東京の月次平均価格を用いている。純銅スクラップのデータは 1 号銅線及び上銅の二つの市場の月次平均価格、黄銅スクラップは新黄銅と黄銅削粉の市場の月次平均価格を使っている。価格は日米市場で統一するため 1 トン当たりのドル建て価格に変換したものをを用いている。

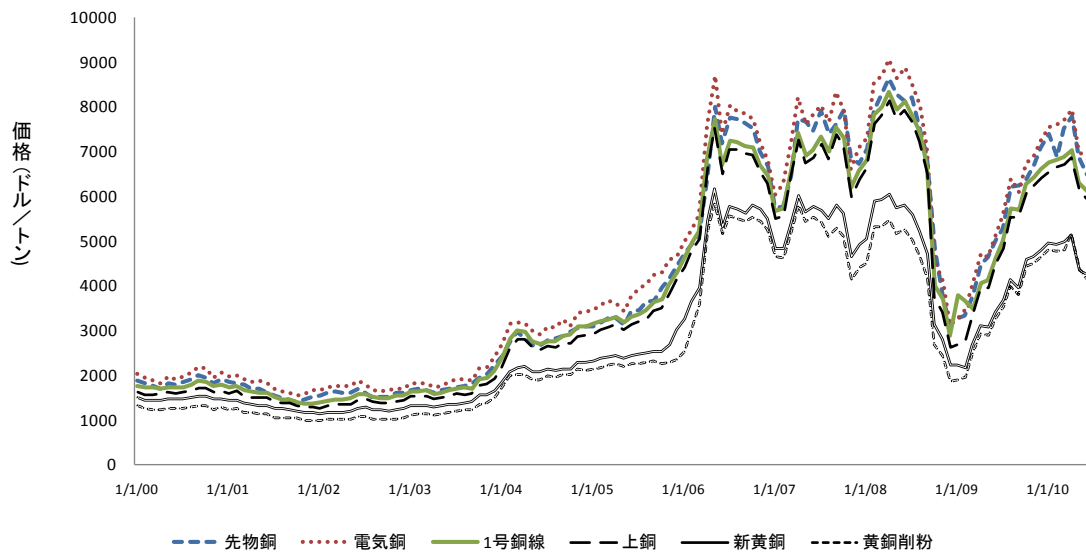
表 1 にあるように先物銅、電気銅、1 号銅線、上銅は銅の純度が非常に高くこれらは主に電線、型材、電子材の原料として使われることが多い。これら 4 つの銅は全て電気銅の純銅であり、純銅スクラップにおいても銅の純度は 97%以上と極めて高い。一方で黄銅スクラップである新黄銅及び黄銅削粉は銅以外に亜鉛も含む合金のスクラップであり、一般的には銅の含有率 65%、亜鉛の含有率 35%でありその純度は本研究で扱われた他の銅と比べて低い。用途としては、板材、バルブ、精密機械、コネクタ、文具、化粧品ケース、ライターのケースなどが多い。このように先物銅、電気銅、純銅スクラップと黄銅スクラップでは銅の純度が異なっており、その用途も異なっているため市場の価格連動性という面では先物銅、電気銅、純銅スクラップの市場間では連動性があることが予測される一方で、黄銅スクラップ市場はこれらの市場とは連動性がないことが予測される。

表1 研究で扱った銅の種類の詳細

市場分類	銅の種類	説明	用途
先物	先物銅	電気精錬によって精製された銅でありその純度は99%以上でASTM(アメリカ材料試験協会)規格(B115-00)を満たしている。先物取引はニューヨーク商品取引所(COMEX)で行われている。	電線、型材、電子材
時価	電気銅	銅の純度は99.8%であり、精錬によって精製された銅であり、その導電性は非常に良く、電線や印刷配線としての利用度が高い。	
純銅スクラップ	1号銅線	銅の純度は97%以上である。JIS規格に基づくスクラップ銅であり、直径1.3mm以上の銅線で混入物のないものである。規格では、ビニール線をむいたものあり、びかびか光っているものが多いため別名「ピカ線」として取引されることも多い。	
	上銅	銅の純度は97%以上である。厚さ0.3mm以上、一辺の長さが10mm以上ある銅版、銅条、銅管などのスクラップ銅である。銅合金、銅覆銅板といった異材あるいはメッキなどの異物を混入していないことも上銅の分類要件となっている。	
黄銅スクラップ	新黄銅	銅と亜鉛の合金である黄銅もしくは真鍮のスクラップである(銅含有量が65%、亜鉛含有量が35%位)。JIS規格では、厚さ0.2mm以上、一辺の長さは10mm以上であることが要件とされている。	板材、バルブ、精密機械、コネクタ、文具、化粧品ケース、ライターのケースなど
	黄銅削粉	新黄銅と同じく黄銅のスクラップであるが、厚さや長さなどの要件はなく、黄銅板、条、棒、及び管の削りくずなどがこれに分類される。ただし鉄やアルミニウムといった異物の混入がなく、油、及び水分の少ないものであることが要件とされている。別名「真鍮削粉」としても取引されている。	

図1は本研究で扱った価格データをグラフにしたものであるが、図のように先物銅、電気銅、1号銅線、上銅の間には価格差が比較的小さく価格連動性が強い可能性が高い。一方、新黄銅及び黄銅削粉を含む黄銅スクラップ市場の価格は他の四市場の価格よりも低く、若干異なる動き方を示す場面も多くみられ、高純度の銅を扱う四市場とは異なる連動性を示すことが考えられる。このような予測の基に以下計量経済学的手法を使ったデータ解析を基に、これらの市場の価格連動性が実際どうなっているのかをみていく。

図1 銅価格のグラフ



3. 分析手法

価格の運動性については Johansen and Juselius (1990)の共和分の分析手法を使っている。Gonzalo (1994)によると、共和分分析の中でも Johansen の手法は、最小二乗法を基とする Engel and Granger(1987)や非線形二乗法を用いる Stock(1987)といった他の手法と比べ望ましい計測ができるという。共和分の分析には使用するデータ変数が全て同次元で定常になることが必要条件とされる。同次元で定常とは時系列データの差分を取った時に同じ次元でデータが定常になる場合を指す。データが同次元で定常であるかどうかは、単位根検定によって検証する。本研究では Dickey-Fuller (ADF)(1981)、Phillips-Perron (PP)(1988)、Kwiatkowski-Phillips-Schmidt- Shin (KPSS)(1992)の三種類の単位根検定を用いている。ADF 及び PP の検定では変数が非定常であるという帰無仮説を検定するのに対して KPSS では定常であるという帰無仮説を検定する。

Johansen 検定には以下の誤差修正モデル(VECM)を使用している。

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta y_{t-i} + \mu + \varepsilon_t \quad (1)$$

ただし(1)式において、 y_t は内生変数、 p はベクトル自己回帰部分の次数、 μ は係数部分のベクトル、 ε_t は誤差項部分のベクトルで正規分布に従うホワイトノイズにであり、 $\Pi = -I + \sum_{i=1}^p \Pi_i$ 、 $\Gamma_i = -\sum_{j=i+1}^p \Pi_j$ である。分析対象となる時系列データに連動性があるかどうかは行列 Π の階数(ランク)に関わってくる。例えば仮に二つの時系列データが連動しているかどうかを見る場合、行列全体の階数は最大で2となるが、これら二つの変数間に共和分ベクトル存在するためには行列 Π の階数が1である必要がある。つまり階数が1であるかどうかを検定し、1である場合は二つの系列の間に価格の連動性があることを意味することになる。Johansenの手法ではこの検定は以下の最尤(Likelihood ratio: LR)統計量

$$\lambda_{trace}(r) = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (2)$$

$$\lambda_{Max}(r, r+1) = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_{r+1}) \quad (3)$$

に基づいて行われる(r は行列 Π の階数、 T は検定で扱った変数の数を表している)。(2)式の統計量を用いる検定はトレース検定(trace test)、(3)式の統計量は最大固有値検定(maximum eigenvalue test)と呼ばれており、本研究の分析結果もこの二つの統計量を使用している。

変数間に共和分ベクトルが存在する場合、 Π ベクトルは、一般に共和分ベクトルの行列 β と均衡への速度を調整するパラメータ α を用いて、 $\Pi = \alpha\beta'$ と表現することができる。Johansenの手法ではこれら α 、 β の行列を使うことで価格連動性がどの変数によって長期的均衡点へと価格調整されるのか、あるいはどの価格が共和分空間の中で除外できるかなどを検証することができる。本研究では特に銅のスクラップ市場の銅市場全体の中での役割を見るという視点から銅市場の価格連動性をみているため、純銅スクラップ及び黄銅スクラップの共和分空間からの除外性の検証を行う。この除外性の検証では、銅市場を研究対象で扱った個々の銅市場を全て含めた一つの市場と見なした場合、個々の銅市場が全体に対して影響を及ぼすことがなく除外できるかどうかを見ている。仮に、ある銅市場が除外できるという結果が得られた場合、この市場は銅市場全体の中での価格連動性が弱いとい

うことを意味する。

4. 分析結果

単位根検定の結果は全ての価格データが1階差分データを取れば定常となるという結果が得られた。ADF検定及びPP検定ではデータが非定常であるという帰無仮説が検定されるが、表2にあるように差分を取る前のデータでは帰無仮説は棄却されなかったが、1階差分を取った後は帰無仮説は棄却され定常であるという仮説が受諾されている。またKPSS検定ではこれらの検定とは逆でデータが定常であるかを帰無仮説として検定するが、この検定結果からも同様に全ての価格データが1階差分を取れば定常であるという結果が得られた。

表2 単位根検定

変数	価格データ			1階差分データ		
	ADF	PP	KPSS	ADF	PP	KPSS
先物銅	-1.171	-1.294	1.091*	-3.731*	-7.801*	0.057
電気銅	-1.300	-1.333	1.085*	-3.574*	-8.825*	0.056
1号銅線	-1.239	-1.290	1.088*	-3.590*	-9.140*	0.061
上銅	-1.316	-1.386	1.069*	-3.642*	-8.590*	0.055
新黄銅	-1.417	-1.403	1.000*	-8.799*	-8.883*	0.068
黄銅削粉	-1.693	-1.417	1.007*	-8.465*	-8.512*	0.061

注：* 5%有意水準で有意であることを示す。全ての単位根検定には切片を含んでいある。

前述したように共和分検定を行うためには全ての価格データが同次元で定常であることが必要条件とされるが、この条件が満たされていることが単位根検定で示されたため、次に共和分検定を行った。この結果は表3と表4にまとめられている。表3では二変数間での価格連動性の検定、表4では研究で扱われた全ての価格間全体での価格連動性の検定を行った結果が示されている。

まず表 3 の結果から見ていきたい。表 3 では二変数間の価格連動性を検証しているため、先に述べた行列 Π の階数が 1 であれば価格連動性が成立することになる。表 3 では $r = 0$ が棄却され、 $r \leq 1$ が受諾されれば二変数間に価格連動性が存在することを意味する。まず、純度及び用途の面で類似性の高い銅である、先物市場と時価市場の銅、純銅スクラップ市場に属する二種類の銅、黄銅スクラップ市場の 2 種類の銅の間の価格連動について見ていきたい。表 3 によると、先物銅と電気銅、先物銅と 1 号銅線、先物銅と上銅、電気銅と 1 号銅線、電気銅と上銅、1 号銅線と上銅、新黄銅と黄銅削粉の間には価格連動性があるということが言える。したがって類似性の高い銅の間には価格連動性があるということがわかった。では次に、純度や用途が違う銅の間にも価格連動性があるのかということを表 3 の結果から見ていく。先にも述べたが新黄銅と黄銅削粉は、先物銅、電気銅、1 号銅線、上銅と比べると純度が低くその用途も異なっている。これを踏まえた上で表 3 を見ると、先物銅、電気銅、1 号銅線、上銅同士の組み合わせでは全て価格連動が見られるのに対し、これらの銅と新黄銅、黄銅削粉を含んだ場合の組み合わせでは全て価格連動がないという結果がでていくことがわかる。つまり、図 1 から予測されていたことではあったが銅の純度の異なる市場は、純度の高い銅市場とは価格連動性がなく長期的に異なる価格形成をしているということが言える。

表3 二変数共和分検定

変数	$H_0: \text{rank}=r$	Trace test	Max test
先物銅 vs 電気銅	$r=0$	18.36*	15.93*
	$r \leq 1$	2.44	2.44
先物銅 vs 1号銅線	$r=0$	30.44*	27.77*
	$r \leq 1$	2.67	2.67
先物銅 vs 上銅	$r=0$	20.08*	17.83*
	$r \leq 1$	2.26	2.26
先物銅 vs 新黄銅	$r=0$	4.08	3.69
	$r \leq 1$	0.38	0.38
先物銅 vs 黄銅削粉	$r=0$	11.61	8.86
	$r \leq 1$	2.75	2.75
電気銅 vs 1号銅線	$r=0$	40.09*	38.25*
	$r \leq 1$	1.84	1.84
電気銅 vs 上銅	$r=0$	27.74*	25.09*
	$r \leq 1$	2.65	2.65
電気銅 vs 新黄銅	$r=0$	6.86	4.70
	$r \leq 1$	2.16	2.16
電気銅 vs 黄銅削粉	$r=0$	11.64	9.36
	$r \leq 1$	2.28	2.28
一号銅線 vs 上銅	$r=0$	29.56*	28.15*
	$r \leq 1$	1.41	1.41
一号銅線 vs 新黄銅	$r=0$	6.61	4.04
	$r \leq 1$	2.57	2.57
一号銅線 vs 黄銅削粉	$r=0$	12.28	9.83
	$r \leq 1$	2.45	2.45
上銅 vs 新黄銅	$r=0$	9.07	6.45
	$r \leq 1$	2.62	2.62
上銅 vs 黄銅削粉	$r=0$	12.03	9.22
	$r \leq 1$	2.81	2.81
新黄銅 vs 黄銅削粉	$r=0$	15.83*	13.63*
	$r \leq 1$	2.20	2.20

注: * は5%有意水準で有意であることを示す。

表3の結果により、先物市場、時価市場、純銅スクラップという電気銅市場との代替性のある市場間では価格連動があり情報の共有も可能であるのに対し、黄銅スクラップ市場のような純度が異なる市場は電気銅市場と価格連動性がなく、電気銅市場の代替市場としては機能していないということがわかった。では黄銅スクラップ市場のような純度の低い銅は銅市場全体の中でも市場の連動性はないのだろうかということを見るために次に多変数の共和分検定を行った。

多変数の共和分検定では、仮に検定に含まれる変数が n であった場合、 $n - 1$ 個の共和分関係が見られれば市場内で強い価格連動性があるということになり、それ以外ならば価格連動性はそれほど強くないということになる。このことを視野に入れた上で表 4 を見ると、本研究で扱った全ての銅市場を一つの銅市場として扱った場合、共和分関係は二つまでしか存在していないため、この市場内での価格連動性はそれほど強くないという結果が得られていることがわかる。

このような結果が得られるのは多くの場合、分析対象で扱った変数が価格連動に寄与していないことが考えられるため次に本研究では除外性の検定を行っている。この検定では帰無仮説は検定対象の変数を除外できるというものであり、分析対象で扱った変数が価格連動性に寄与していると言えるためには帰無仮説が棄却されなければならない。表 4 によるとこの帰無仮説が棄却されているのは先物銅、上銅、1号銅線の三つの銅市場である。したがってそれ以外の電気銅、新黄銅、黄銅削粉の市場は銅市場全体の価格連動性には寄与していないということになる。この結果を踏まえると、多変数共和分検定でも黄銅スクラップ市場は他の銅市場との価格連動性がないということが示されたことになる。

表 4 多変数共和分検定

変数	$H_0: \text{rank}=r$	Trace statistic	Max-Eigen statistic	除外性検定
先物銅	$r=0$	132.53*	50.55*	12.41*
電気銅	$r \leq 1$	81.99*	34.86*	2.42
上銅	$r \leq 2$	47.12	27.18	7.61*
一号銅線	$r \leq 3$	19.94	12.93	15.11*
新黄銅	$r \leq 4$	7.01	6.99	0.05
黄銅削粉	$r \leq 5$	0.02	0.02	0.00

注: * は5%有意水準で有意であることを示す。

5. 結論

本研究では銅の先物市場、時価市場、純銅スクラップ市場、黄銅スクラップ市場という異なる銅市場を扱い、これらに価格連動性が存在するのかを検証することによって、銅スクラップ市場が現状として電気銅市場の代替市場としての役割を果たしているのかということについて見た。分析結果によると、電気銅純度が高く代替的関係にあると予測される先物市場、時価市場、純銅スクラップ市場の間には価格連動性があるのに対し、銅以外に亜鉛などを含む純度の低い黄銅スクラップとの間には価格連動性は存在しないということが示された。この結果から、純度の低いスクラップ市場は電気銅市場の代替市場としての機能を果たすことは難しいと考えられ、銅のスクラップ市場を有効的に活性化させていくためには、純度の違いによって異なる政策で対処していかなければならないといえる。今後銅以外の鉄、アルミニウム、亜鉛、金、銀などの資源においてもスクラップ市場の重要性が高まる可能性があるが、本研究の結果は、これらの資源に関してもスクラップ市場を扱う際は純度によって個別の政策が必要であるということを示唆していると言えよう。

参考文献

- Carter, C. 2002. *Futures and Options Markets: An Introduction*. Toronto: Prentice Hall.
- Dickey, D., and Fuller, W. 1981. "Likelihood Ratio Tests for Auto Regressive Time Series with a Unit Root." *Econometrica* 49:1057-1072.
- Engle, R.F., Granger, C.W. J. 1987. "Cointegration and Error Correction:Representation, Estimation and Testing." *Econometrica* 55:251-76.
- Johansen, S, Juselius, K. 1990. "Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration: with Applications to the Demand for Money." *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 52:169-210.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., and Y. Shin, T. 1992. "Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of a Unit Root: How Sure Are We That Economic Time Series Have a Unit Root?" *Journal of Econometrics* 54:159-178
- Phillips, P.C.B. and Perron, P. 1988, "Testing for a Unit Root in Time Series Analysis." *Biometrika* 75:.335-346.
- Stock, J.H. 1987. "Asymptotic Properties of Least Squares Estimators of Cointegrating Vectors." *Econometrica* 55:1035-56.
- Xiarchos, I.M., Fletcher, J.J. "Price Volatility Transmission between Primary and Scrap Metal Markets." *Resources, Conservation and Recycling* 53:664-673.
- Zeltner, C., Bader, H.-P., and Baccini, P. "Sustainable Metal Management Exemplified by Copper in the U.S.A." *Regional Environmental Change* 1:31-46.