

# 資源と経済(3)

## —資源の需要と供給—

JOGMEC  
特別顧問

東京大学生産技術研究所 サステイナブル材料  
国際研究センター客員教授

澤田 賢治

連載

資源と経済(3) —資源の需要と供給—

資源を取り巻く環境は最近大きく変化を遂げており、その変化の要因を探るための情報が必要になっている。本シリーズは、最近の資源に関する変化を経済指標と資源情報を有機的に結びつけるマクロ経済やミクロ経済の観点から分析をめざすものである。

本号では、資源の需要と供給構造について銅を中心として過去のトレンドを分析するとともに、ミクロ経済学に基づき需給曲線と価格形成について明らかにする。さらに、資源を取り巻くパラダイムシフトにあって、需給、特に、需要予測に関する適用手法の議論を展開するとともに、世界銅消費の41%を占める中国において、2000年からの急激な銅消費の要因やリーディングインディケ이터(先行指標)となる電力消費の観点から2020年における銅消費の予測を行ってみたい。

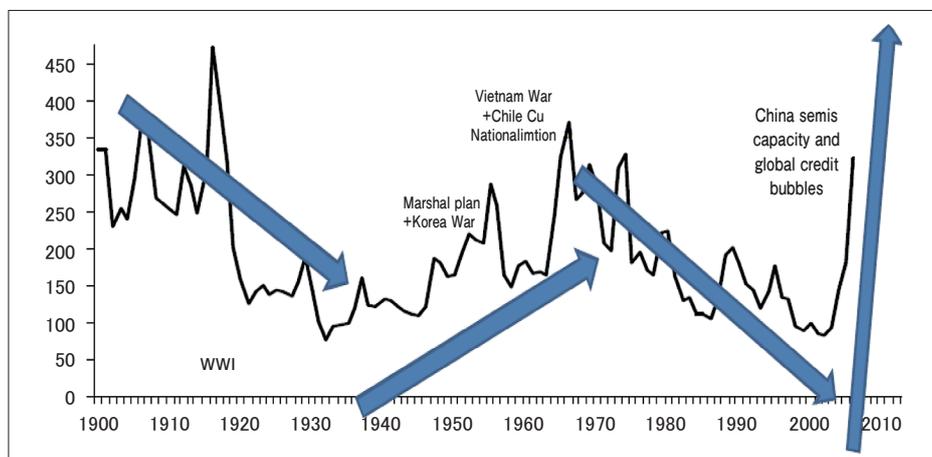
### 1. 銅を中心とした需要と供給

2012年3月、ドイツのハンブルグで開催されたメタルプレティン主催の第25回国際銅会議において、VTB Capital社のWiktor Bielskiは1850~2010年までの銅価格の推移から銅価格のスーパーサイクルを指摘した。過去、銅価格は次に示す3回の大きなピークが見られたことを明らかにした。

- ①1915年のピーク：第一次世界大戦(1914~1918年)の間のピークであり、第一次世界大戦という戦乱による銅価格高騰と言えよう。
- ②1970年代のピーク：チリにおける銅鉱山の国有化に代表される資源ナショナリズムを背景に第一次石油危機(1973年)と第二次石油危機(1979年)に生じたピーク。第四次中東戦争やイラン革命に乗じた石油輸出国機構(OPEC)の原油生産調整に伴い銅を含むすべての物価が高騰した時期に相当する。チリにおけるアジェンデ政権の社会主義的経済政策による4鉱山の国有化や石油危機に起因する銅価格のピークであった。

- ③2011年のピーク：中国を中心とした急激な銅需要の拡大に供給が追いつけなかった時期に相当する。銅価格の高騰は、世界のドル安や株安のため行き場を失った年金基金・外貨準備・オイルマネーに代表される投機的な資金が流入し始めた2005年から続く銅価格の急騰と指摘される。ただ、投機的な資金の流入も、急激な銅需要の拡大に供給が間に合わないというファンダメンタルに基づいている。

国際銅研究会(ICSG)は2011年3月、イスタンブールで開催された国際銅会議において、1900~2010年の銅実質価格の歴史的推移を分析し、需要と供給の関係を大きく4区分した(図1)。図1では、銅価格はGDPデフレーターによりインフレの要素を取り除いた実質価格で表現されている。歴史的な銅価格の推移は、①1900~1940年：供給量>需要量、②第二次世界大戦後：需要量>供給量、③1970年代~2002年：供給量>需要量、④2003~2010年：需要量>供給量、といった4区分に分析されている。



(出典：国際銅研究会(ICSG)、2011年3月国際会議にて発表)

図1. 銅実質価格の歴史的推移(1900~2010年)

## 2. ミクロ経済学から見た市場構造、需要と供給

財やサービスを取引するのが市場であり、売り手や買い手の数により市場の種類が分類される。売り手や買い手が多数いて、取り扱う財が均一である市場は完全競争に分類される。完全競争の市場では、個々の取引量は市場全体からすると圧倒的に小さく、市場の価格を目安にして自らの供給量や消費量を決めるプライス・テイカー(価格受容者)の立場を取る。これに対して、限られた大企業売り手となる市場は寡占、単独の企業が供給する市場は独占と呼ばれている。

完全な競争市場を想定して需要と供給について検討したい。消費者にとって、価格が上昇すれば需要量は減少し、価格が下落すれば需要量は増加するのが普通であり、需要曲線は右肩下がりとなる(図2)。一方、価格が上昇すれば企業は増産したり、新規参入企業が登場するなど供給量は増加する。反対に、価格が下落すれば減産や操業を中止するため供給量は減少する。このように、供給曲線は右肩上がりとなる。均衡価格や均衡取引量は需要曲線と供給曲線が交差するところで決定される。

需要曲線と供給曲線の傾きは取り扱う品目ごとに異なっている。価格の変化に対して、需要量や供給量がどの程度変化するかその弾力性を調べることにより、以下のように分類されよう。

需要の価格弾力性( $\varepsilon$ ) = - 需要量の変化率 / 価格の変化率  
 = 価格が1%変化した時の需要量の%変化  
 $\varepsilon = 0$  → 需要曲線は垂直  
 $|\varepsilon| > 1$  → 価格1%下落の時、変化率は1%より大  
 $|\varepsilon| < 1$  → 価格1%下落の時、変化率は1%より小  
 $\varepsilon = \infty$  → 需要曲線は水平

供給の価格弾力性( $\lambda$ ) = 供給量の変化率 / 価格の変化率  
 = 価格が1%上昇した時の供給量の%変化  
 $\lambda = 0$  → 供給曲線は垂直  
 $\lambda = \infty$  → 供給曲線は水平

米・野菜・ガソリン等の必需品は、価格の変化にかかわらず、消費者は需要を変えない。その結果、需要の価格弾力性は1より小さくなり、需要は価格に対して非弾力的と言えよう。一方、宝石類等の奢侈品や非必需品は、価格が下落すると需要は拡大し、価格が高騰すると需要は大きく減少する。貴金属や宝石は消費者にとっては最終製品であり、所得の拡大によって直接購買意欲に通じる特徴もある。しかしながら、多くの金属鉱物資源は中間物でしかない。最終製品には金属材料が使われており、最終製品が売れることによりその製品に含まれる金属資源の消費が拡大することになる。その意味で多くの鉱物資源は派生需要(Derived Demand)と定義されよう。銅の場合も、世界経済が好転すると消費者は車・家電製品・通信機器の消費が拡大し、それらに含まれる銅製品の消費も拡大する。銅の需要は経済好転によりもたらされた二次的結果である。供給サイドでは、鉱山や製錬所は銅価格とは関係なく年間計画に沿って生産目標を達成するなど価格弾力性は低いことが予想される。また、銅価格の高騰時に増産する鉱山がある一方、低品位鉱を生産することにより鉱山の寿命を延長させようとの鉱山戦略も認められる。この価格の弾力性が低い故に、銅価格が高騰しても供給拡大に時間がかかり、世界経済のブームが過ぎ去った後に供給が拡大するため、銅価格のサイクルが生じるのであろう。1915年の銅価格の高騰は第一次世界大戦に伴う供給障害を起因としており、1970年代の価格高騰も石油価格の高騰による供給上の課題であり、2011年の価格高騰は需要の急激な拡大に需給バランスが崩れて投機的資金の流入をもたらしした結果

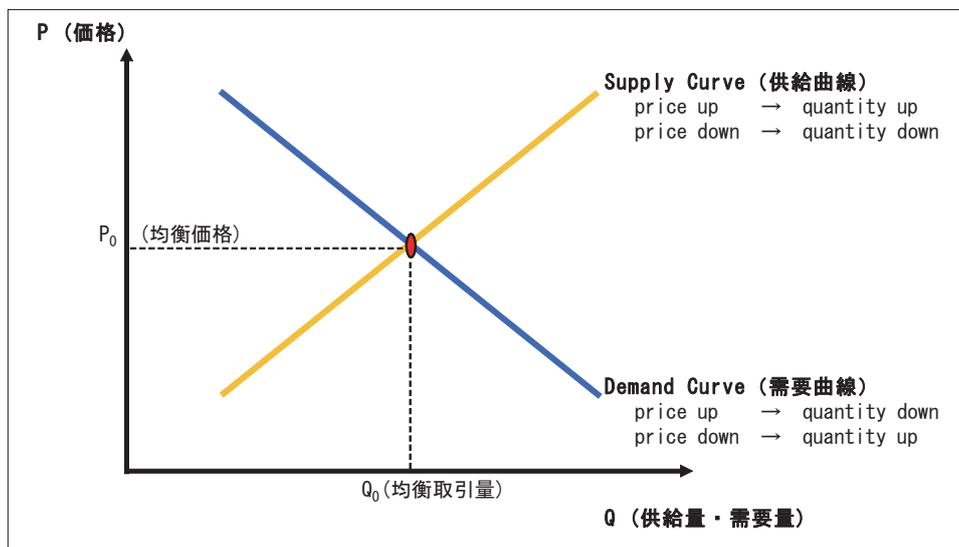


図2. 需要曲線・供給曲線と価格決定

と推定される。

金属価格とは関係なく、需要や供給に変化を生じることがある。その場合の市場の価格や引き取り量に及ぼす影響について検討したい。

- ①需要曲線のシフト：世界経済の動向・中国等の新興国の経済発展・新規用途の開発等の価格以外の要因により需要量の変化が生じる。この場合、需要曲線はDからD'へシフトする(図3)。供給曲線は変化しないと仮定すると、均衡価格はP<sub>0</sub>からP<sub>1</sub>へと上昇する。均衡取引量はQ<sub>0</sub>からQ<sub>1</sub>へと増加する。その結果、市場規模はP<sub>0</sub>×Q<sub>0</sub>で示される四角形からP<sub>1</sub>×Q<sub>1</sub>で示される四角形に拡大する。
- ②供給曲線のシフト：新たな鉱山開発・技術革新等で供給量が価格とは無関係に拡大することがある。技術革新の例として、溶媒抽出電解法(SXEW: Solvent Extraction Electro-Winning)の導入によって、廃碎堆積場からの銅回収や酸化銅鉱や高品位

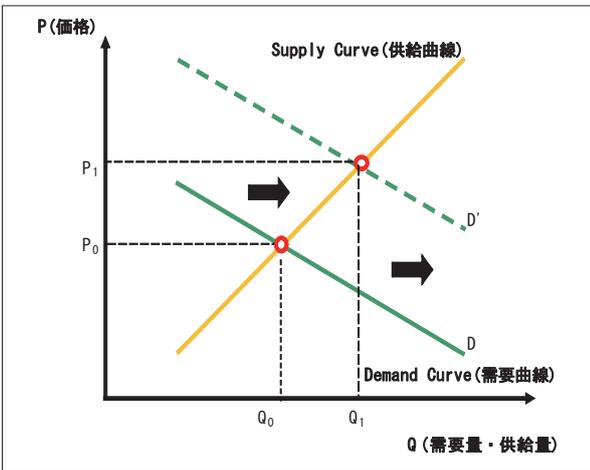


図3. 需要曲線のシフト

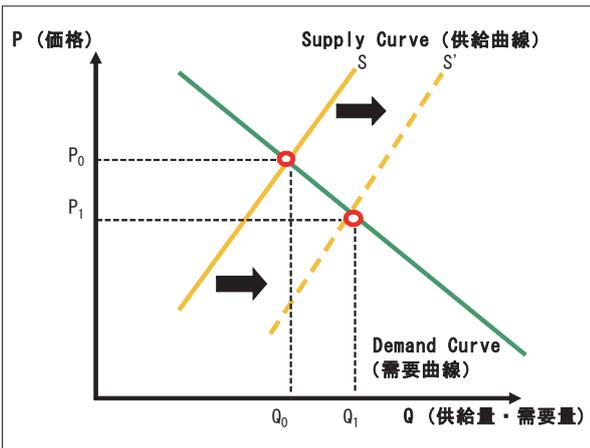
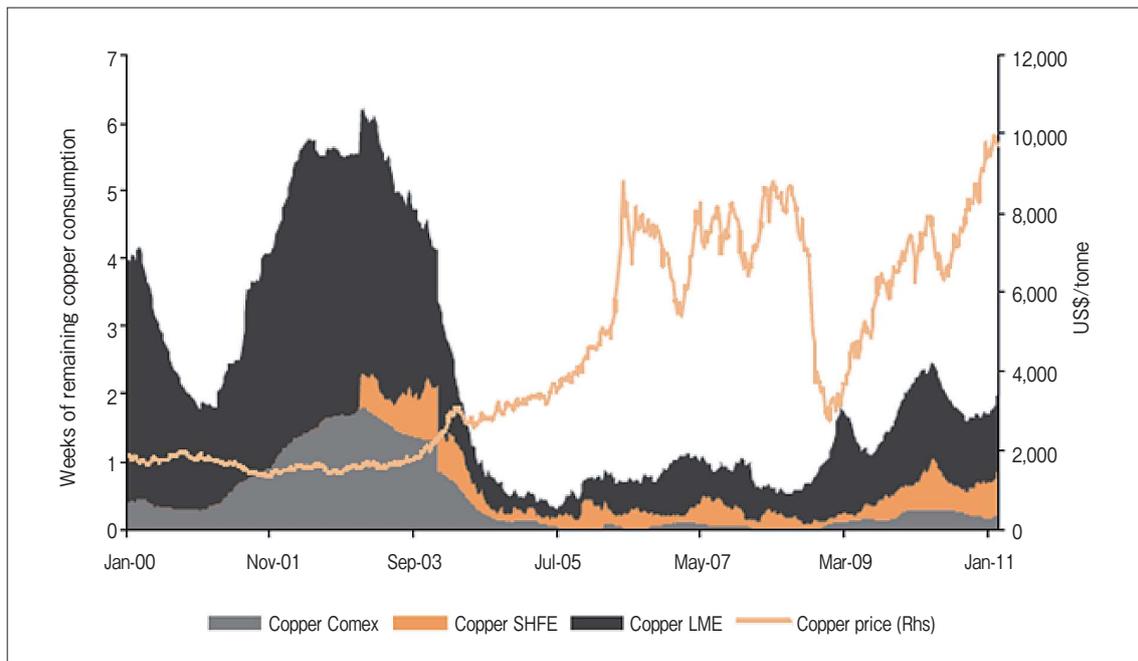


図4. 供給曲線のシフト

硫化鉱からの銅回収が拡大した。この技術革新によって銅供給曲線も外側にシフトした。この場合、供給曲線はSからS'へシフトする(図4)。需要曲線は変化しないと仮定すると、均衡価格はP<sub>0</sub>からP<sub>1</sub>へと下落し、均衡取引量はQ<sub>0</sub>からQ<sub>1</sub>へと増加する。生鮮野菜のように需要曲線がかなり立った場合、市場規模は小さくなり、貧乏豊作と言われるケースとなる。

2005年以降の資源価格の高騰は、年率10%を超える世界最大の銅消費国、中国の急激な需要拡大に供給が追いつかないために生じたと思われる。このファンダメンタルの状態で投機的資金の流入により増幅して資源価格の急騰や価格の乱高下をもたらしたと思われる。世界の銅需給バランスにおいて、2005～2011年まで続いた供給不足も2013年以降、大型鉱山の開発による供給過剰になるとの見方もある。第24回国際銅会議において、KGHMのKedzia氏は欧米の金融調査機関による2015年までの銅需給バランスを比較して、2010～2015年に銅需要は年率3.9%で伸びる一方、供給は2011年まで低迷し、2012年以降に新規大型鉱山が開発され、2013年以降に需給バランスは供給過剰となることを明らかにした。

それでは、需要と供給の関係を示すパラメーターは何であろうか？世界の主要な金属取引所には、LME(ロンドン金属取引所: London Metal Exchange)の他、SHFE(上海先物取引所: Shanghai Futures Exchange)、コメックス(ニューヨーク商品取引所NYMEXの一部門Comex)がある。2000～2010年における銅価格とそれぞれの取引所における銅在庫を図5に示す。在庫と銅価格の間には明らかな逆相関がみられ、2002年の銅価格低迷時には銅在庫もピークに達している。銅価格が高騰した2005～2008年には銅在庫も低い水準にあった。2008年秋以降、リーマンショックによる世界経済低迷によって、銅価格も急落した。2009年初頭から銅価格は再び、上昇したが、銅在庫も上昇傾向にあった。2009年は各国の財政政策により、一時的に流出した投機資金が再び流入したと思われ、投機的に銅価格が上昇したと考えられる。従って、例外を除いて、金属取引所の在庫は金属の需要と供給の結果を表現した指標となる。ところで、世界の三大金属取引所のうち、LME在庫が最大であり、他の二取引所の在庫の推移もLME在庫と同様な変化をしていることから、LME在庫の推移だけで世界の銅価格を論じることも可能である。



(出典：Mark Tyler, Nedbank Capital, 2011年3月国際銅会議にて発表)

図5. 銅価格と金属取引所における在庫

### 3. 供給と需要に関する予測

米国においては、1970年代から1990年代にかけて、Pennsylvania University・University of Arizona・Colorado School of Minesの3大学において資源経済学部(Mineral Economics Department)が存在し、資源経済学のコアコースの一角に予測学(Forecasting)が占めていた。その予測については、定量的手法と定性的手法が以下のように紹介されている。

- ①定量的手法：過去に定量的なデータがあり、過去の出来事が未来にも続く前提条件の下で次のような手法がある。
  - ・ Time-Series Methods(時系列手法)
    - － Smoothing Methods(スムージング手法)
    - － Decomposition Methods
  - ・ Regression Methods(回帰手法)
    - － Simple & Multiple Regression(一次及びマルチプル回帰)
    - － Econometric Model
  - ・ Autoregressive/Moving Average(移動平均と回帰)
- ②定性的手法：過去に該当するデータがなく、斉一論の仮定が成立しない場合、次のような手法がある。
  - ・ Leading Indicator(先行指数)
  - ・ Delphi Approach(デルファイ方法)
  - ・ Catastrophe Theory(カストロフィ理論)

最近の資源を取り巻く環境は過去とは大きく異なっており、中国を代表とする急激な経済発展・投機的資金の流入・資源メジャーの寡占化・資源保有国の資源ナショナリズム等はまさにパラダイムシフトの様相を呈している。そのため、統計学的な予測には限界があ

ると思われる。

供給に関する予測については、グローバル社会の情報共有によって積み上げによる生産予測も不可能ではない。2010年、世界鉱山生産(権益分)において、上位10企業で、銅(世界生産の49%)・亜鉛(31%)・ニッケル(62%)であり、世界製錬生産(権益分)において上位10企業で、銅(43%)・亜鉛(29%)・ニッケル(71%)と集中度が高い。そのため、ある程度限られた企業の拡張や新規計画を追い求めることにより、供給の予測が可能である。事実、欧米の調査会社ではこのような方法でかなり精度の高いデータを提供している。

需要に関する予測については、世界消費において圧倒的な中国の動向を正しく把握することが重要である。中国の経済発展は、1978年の改革開放政策に始まり、1992年の鄧小平「南巡講和」による外資導入で加速された。中国の1995～2011年のGDP成長率は9.6%/年と高い水準で推移しているが、銅地金消費は1995～1999年(7%/年)、1999～2008年(15%/年)と中国がWTOに加盟した2001年以降急激に伸びている。従って、銅消費と密接な関係にある先行指数を探すことが重要であろう。中国における産業別銅消費(2004～2009年)は、電力部門(47%)・軽工業(19%)・輸送機器(14%)・電子情報(4%)となっており、電力部門の比率が高い。1995～2010年の16年間における電力消費と銅地金消費の相関係数は0.9759とその密接な関係を示している。さらに、中国やインドでは経済発展を目標として五カ年計画で発電能力を公表しており、中国では2020年までの発電能力を発表している。そのため、電力消費が銅地金消費の良い先行指数になると思われる。

#### 4. 中国における銅需要予測

中国では、1978年の改革開放政策の開始からGDPは年率10%前後で推移している。図6には、1995～2011年における中国・日本・インドの銅消費の推移が示されている。中国の銅消費は、1995～1999年に年率7%の伸びが、1999～2008年には年率15%と極めて高い伸びを示している。

一方、図7には中国における1996～2011年の国内銅鉱山生産・銅地金生産・銅地金消費の推移が示されている。2011年には銅消費と銅生産のギャップが2.7百万tとなり、中国は2.8百万tの銅地金を輸入した。主な輸入国は、チリ(1.3百万t)・ザンビア(0.5百万t)・日本(0.2百万t)・カザフスタン(0.17百万t)等である。2011年の銅地金生産と国内銅生産のギャップは3.9百万tであり、海外からの銅精鉱輸入が1.6百万tであったため、残りの2.3百万tはスクラップを利用し

たと推定される。中国の銅精鉱の輸入は、チリ・ペルー・豪州・モンゴル・メキシコ等からである。最近、中国は海外鉱山開発投資に力を注いでおり、ラオス(Sepon, Phu Kham)・豪州(Golden Grove)、ザンビア(Chambishi, Luanshya)・アフガニスタン(Aynak)・ペルー(Toromocho, Galeno)では中国企業100%による開発が行われている。開発案件の中にはカントリーリスクの高いものもあり、今後の経過が待たれる。

中国における銅消費は2001年以降に急激に拡大している。2001年、中国はWTO(世界貿易機関)に加盟した時期に相当する。2003年には対中国直接投資額が世界第1位になり、2010年には実行額ベースで1,057億US\$に達している。その内訳は、製造業(47%)・サービス業(46%)等となっている。製造業への直接投資の比率が高いということは、電力消費や銅製品の利用が高いことを意味するであろう(図8)。

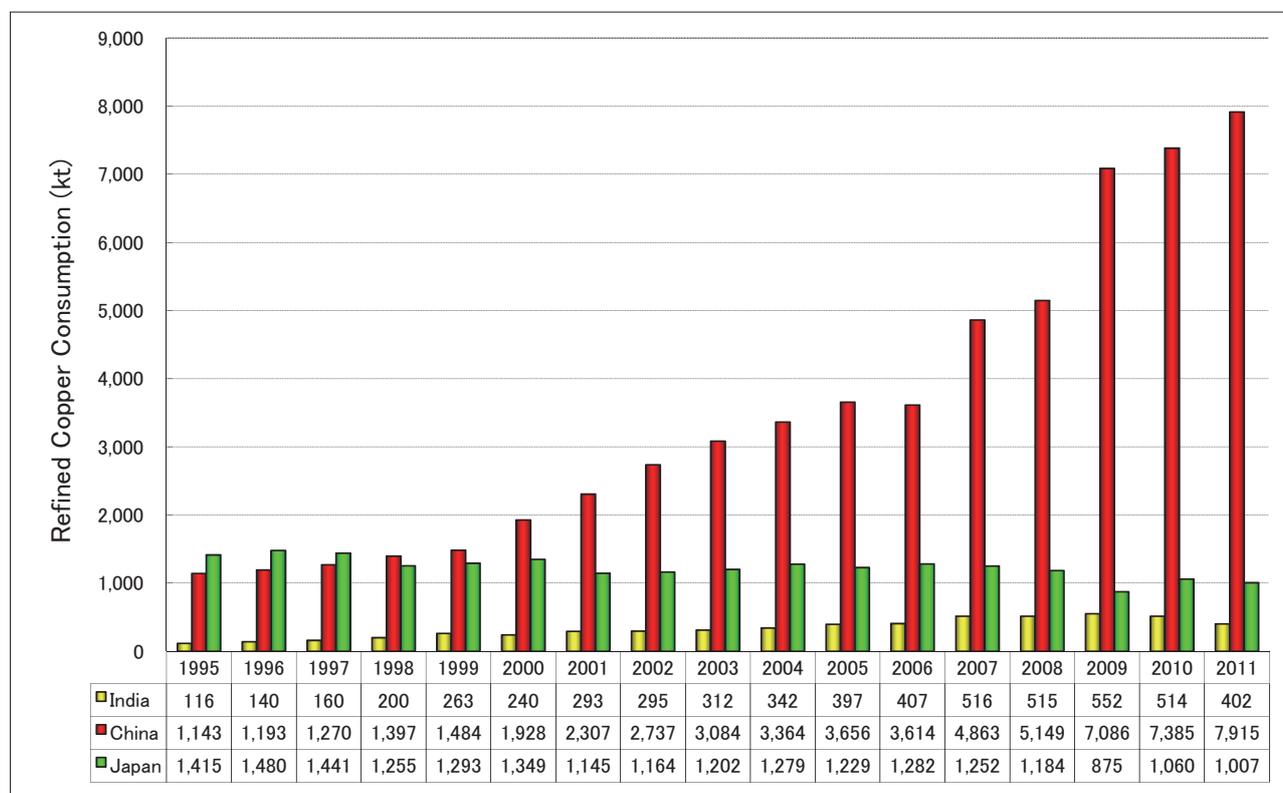


図6. 中国・日本・インドにおける銅地金消費の推移(1995～2011年)

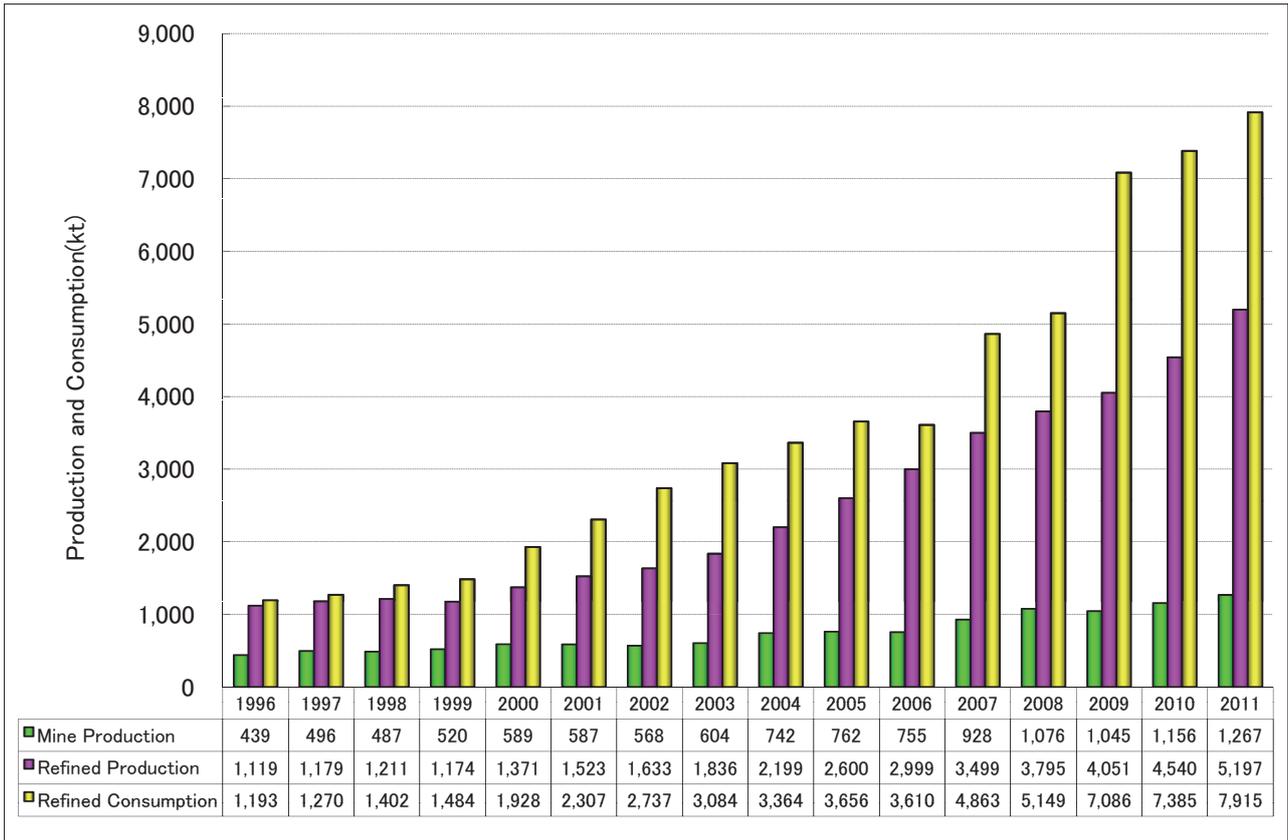


図7. 中国における国内銅鉱山生産・銅地金生産・銅地金消費(1996～2011年)

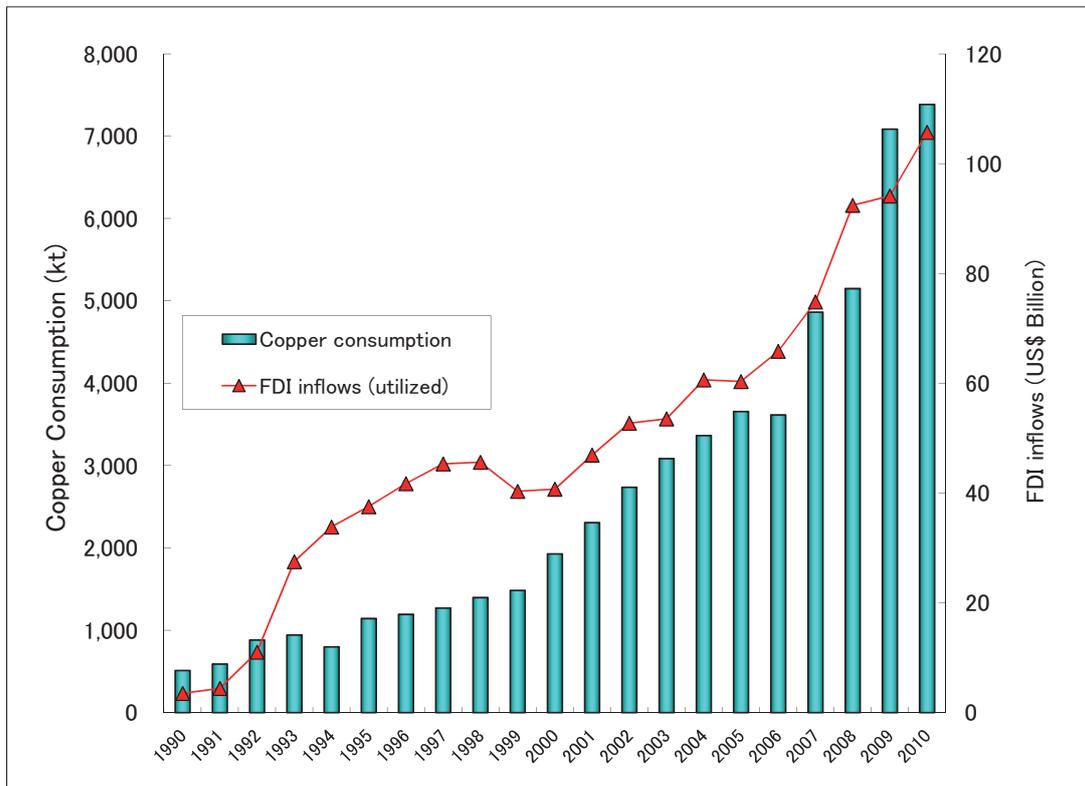


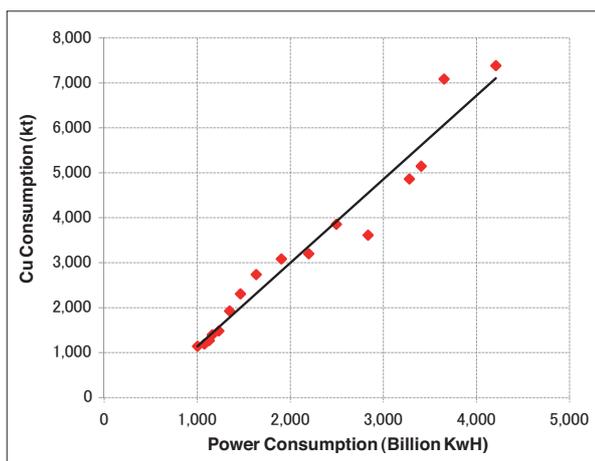
図8. 対中国直接投資と銅消費の関係(1990～2010年)

中国における1995～2010年の銅地金消費量と電力消費量の関係は図9に示される。両者の間には高い相関がみられ、以下の一次式で回帰される。

$$Y(\text{銅地金消費量}) = 1.859X(\text{電力消費量, 10億KwH}) - 299 \quad (1)$$

$$(R = 0.9759)$$

$$\begin{aligned} \text{2010年の稼働率} &= (\text{電力消費量}) \\ &/ (\text{発電能力からの消費推定}) \\ &= 4,207,000 \text{ 百万Kw} / 950 \text{ 百万Kw} \\ &\quad \times 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} \\ &= 0.5056 \quad (2) \end{aligned}$$



(注:  $Y(\text{銅消費}) = 1.859X(\text{電力消費量}) - 299$ ,  $R = 0.9759$ )

図9. 中国における銅地金消費と電力消費量の関係 (1995～2010年)

稼働率については、水力発電は降水量により変動し、火力・原子力発電は定期点検による停止により変動する。(社)海外電力調査会の海外電気事業統計によると、中国の2009年の設備利用率は、水力発電が38.0%、火力発電が55.5%であり、その平均は51.9%となっている。過去10年間では、50.1～62.3%であるため、(2)式で求めた数字を稼働率に採用する。

$$\begin{aligned} \text{2020年の電力消費量} &= \text{発電能力} \times 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} \\ &\quad \times \text{稼働率} \\ &= 1,800 \text{ 百万kw} \times 24 \times 365 \\ &\quad \times 0.5056 \\ &= 7,972,300 \text{ 百万KwH} \quad (3) \end{aligned}$$

計算で推定された(3)を(1)式に挿入すると、2020年の銅地金消費量は以下により求められる。

$$\begin{aligned} \text{2020年の銅地金消費量} &= 1.859 \times 7,972 - 299 \\ &= 14,521 \text{ 千 t} \quad (4) \end{aligned}$$

2010年の銅地金消費量は、7,385千 t から2020年の14,521千 t と年率7%の伸びとなる。

## 5. まとめ

資源の需要と供給について、ミクロ経済の理論だけ

でなく、銅を例にとり銅価格の高騰や中国における銅需要予測について明らかにした。得られた結論は以下のとおり。

- ①1850～2010年の銅価格高騰のスーパーサイクルがみられ、銅価格のピークは3回あった。最近の2011年のピークは、過去の第二次世界大戦や石油危機に関連したピークと異なり、中国における急激な需要拡大に供給が追いつかないというファンダメンタルにおいて、世界のドル安や株安のため行き場を失った年金基金・外貨準備・オイルマネーの投機的な資金流入に起因する。
- ②ミクロ経済からみて、銅供給は価格弾性が低く、銅価格高騰にも生産拡大が急激に進行しない特徴がある。銅需給バランスは、2013年以降になり大型銅鉱山開発により供給過剰になる。2005～2010年に銅需要曲線が中国の急激な銅需要拡大に伴い需要曲線が外側にシフトして銅供給曲線が価格に敏感に対応出来なかったため銅価格の高騰が生じたと分析できる。
- ③過去にはなかったパラダイムシフトの現在、銅供給の予測は世界の大規模鉱山や製錬所の拡張や新規開発や建設の情報から可能であるが、銅需要予測のためには先行指数(Leading Indicator)の活用が必要である。中国やインドでは電力消費における銅消費の比率が高く、電力消費が銅消費の先行指数になる。
- ④中国における銅消費が2000年以降急激に拡大したのは、製造業を中心とした対外直接投資の結果であることを明らかにした。さらに、銅地金消費と電力消費の関係を一次回帰させ、公表されている2020年の中国の発電能力から電力消費を推定し、2020年における中国の銅消費を14.5百万 t と予測した。2010年の7.4百万 t から年率7%の伸びとなる。

## 6. 主要参考文献

- 石川秀樹(2011)、ミクロ経済学、中央経済出版社  
(社)海外電力調査会(2011)、海外電気事業統計 2011年版、pp.94-108  
澤田賢治(2010)、拡大する銅需要と持続可能な銅資源の確保について、金属資源レポート、vol.40, no.4, pp.63-72  
嶋村紘輝・横山将義(2010)、ミクロ経済学、ナツメ社出版  
Howie P.(2006)、Mineral Demand-Theory to practice, Australian Mineral Economics Monograph 24, pp.37-48  
Naxwell P.(2006)、Mineral Supply-Exploration, production, processing and recycling, Australian Mineral Economics Monograph 24, pp.49-58

(2012.7.17)