



金属素材の需要量増加における鈍化傾向の 各国比較

How Metal Demand in Developed Countries Slows Down: a Comparative Study between Industrialized Countries.

醍醐 市朗* 藤原 亮** 後藤 芳一***

Ichiro Daigo, Ryo Fujiwara, Yoshikazu Goto

ABSTRACT

In recent years global metal demand has increased faster than expected. Due to bottlenecks in mining capacity, ore transportation and metal production this may lead to severe supply restrictions. Considering the significant lead time required for increasing these capacities, it is important to give accurate predictions for future demand growth. However, the scientific community has not always been successful at this. For instance, even up until a few years ago the sharp growth in demand from developing countries was not expected. The gap between these predictions and actual demand may have been caused by the assumption that developing countries mirror developed countries with respect to the correlation between metal demand and economic growth. In this study we hypothesize that the pathway of metal demand growth differs between developing and developed countries. We present a method to identify the point at which metal demand decreases compared to economic growth, after a linear increase during industrialization. As a case study we evaluate the demand growth of steel and aluminium in six industrialized countries. Our results show that the point of decoupling between metal demand and economic growth happens at different levels of GDP per capita. At least among the evaluated six countries, the later a country became high-income economy in, the lower GDP point the country was decoupling their economic growth from their metal demand at. These findings imply that the developmental path of a country should be taken into account when predicting metal demand growth.

2014年4月14日受付／2014年5月29日受理 (Received on April 14, 2014 ; Accepted on May 29, 2014)

* 東京大学大学院工学系研究科 准教授

Associate Professor, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

** 東京大学工学部 学生 (現在：東京大学大学院新領域創成科学研究科 修士課程)

Student, Faculty of Engineering, The University of Tokyo

(Now at: Master student, Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo)

*** 東京大学大学院工学系研究科 教授

Professor, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

要 約

世界における金属素材の需要量は、近年、新興国の経済発展に伴って、著しく増加している。急激な需要増加は、天然資源の採掘ならびに輸送に関する制約や素材生産の設備容量における制約等の資源供給における制約を招くことが危惧される。設備を整備するためのリードタイムを考えると、事前に需要増加を予測できることが望まれる。しかし、実際には、数年先の中国における著しい需要増加が見通されていなかった。この見通しの相違は、既に経済が成熟した国の経験を踏まえて、中国における金属素材の需要量が同様の傾向で増加すると考えたところに問題があったのではないかと考えられた。そこで、本研究では、今後発展する国における金属素材の需要量が先進国と同様に増加すると考えることができないとの仮説に基づいた。本研究では、鉄鋼材とアルミニウム素材の需要量変化に対して、特に経済的に発展をはじめ、工業化が進み、素材需要量が直線的に増加傾向を示したのちの、鈍化傾向を示す時点を決定的方法を開発した。同手法により、工業化を経て一通りの産業が揃っていると考えられる6つの先進国を対象にした分析し、比較した。国ごとの発展の経路や産業構造の違いはあるものの、高所得国になった時期が遅い国ほど、素材の需要量増加が鈍化傾向を示す時期の1人あたりGDPは低いことが明らかになった。これらの結果は、国ごとの発展の経路は異なるものの、今後の発展に伴う需要量増加を推計する際に、経済発展の時期の違いを考慮に入れた方が望ましいことを示唆している。

キーワード: 需要予測、経済成長、デカップリング、鉄鋼材、アルミニウム素材
Keywords: demand prediction, economic growth, decoupling, steel, aluminum

1. 緒言

世界における金属素材の需要量は、近年、新興国の経済発展に伴って、著しく増加している。急激な需要増加は、資源供給における制約や価格の著しい高騰を招くことが危惧される。供給の制約とは、具体的には、天然資源の採掘ならびに輸送に関する制約であり、他方には、素材生産の設備容量における制約である。設備を整備するためのリードタイムを考えると、事前に需要増加を予測できることが望まれる。過去の将来推計において、1人あたりDGPと1人あたり消費量との先進国における関係を中国に適用することで、GDP予測値を用いて消費量を予測し、2005年に国際鉄鋼連盟（当時 International Iron and Steel

Institute、現 World Steel Association）(ISI 2005) は、2010年に3.4億t/year、その後単調増加し2030年で6.1億t/year（49-72億t/year）になると、2006年には奥野（2006）が、同手法にて2010年で3.3億t/year、その後単調増加し2030年には6.5億t/year前後の消費量になると推計していた。この推計結果と実績を比較すると、2010年には5.8億t/yearになり、2012年には、既に6.6億t/yearに達した。このように、数年先の著しい需要増加が推計されていなかったことが分かる。また、数値的な分析でなく、業界による定性的な見通しであっても2008年初に“中国の今後の国内需要について、2010～2012年頃にピークを迎えるとの見方が複数の関係者より示された”（日本鉄鋼連盟2008）との見通しに対し、見掛け消費量は統計が未発表なものの、粗鋼の生産実績で

は2013年は2012年よりも3.9億tも多く、まだピークに達していなかったことがうかがわれた。この定量的な分析による推計も、業界の見通しも、既に経済が成熟した国の経験を踏まえて、中国における金属素材の需要量が同様の傾向で増加すると考えたところに問題があったのではないかと考えられた。そこで、本研究では、今後発展する国における金属素材の需要量が先進国と同様に増加すると考えることができないとの仮説に基づいた。

今後発展する国における金属系素材の需要量の変化を、時期も含めて推計することは、国内外において、その発展を支えるためのインフラを事前に準備し、それらの発展を容易にするために重要であると考えられる。金属素材の需要の変化について、IU 仮説 (intensity of use hypothesis) が提唱されてきている。この仮説は、GDP あたりの金属素材消費量を金属素材の使用度 (IU) とし、1人あたり所得の増加に伴った変化を説明している。仮説において、IU は、

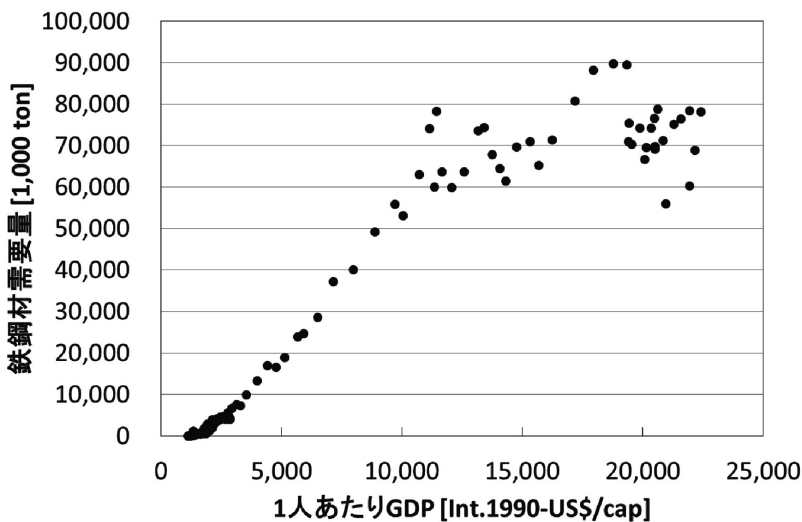


図1 日本における鉄鋼材需要量（見掛け消費量）の1人あたりGDPに対する変化

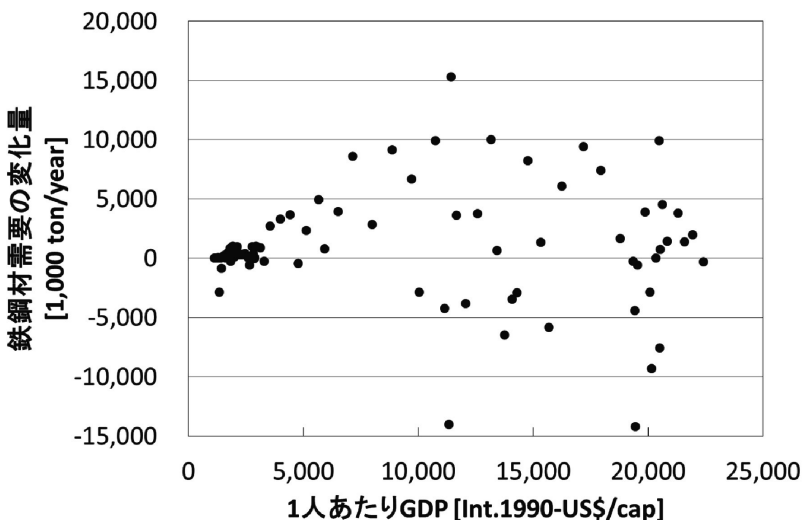


図2 日本における鉄鋼材需要の前年からの変化量の1人あたりGDPに対する変化

経済の発展初期段階に増加し、ピークを迎えた後に減少するとしており、実際のデータもこのIU仮説を支持している(Soile 2013)。このIU仮説は、1972年に国際鉄鋼連盟(IISI 1972)により鉄鋼材を対象に提唱され、続いてMalenbaum(1978)やTilton(1990)によって仮説の適用対象が鉄鋼以外の素材へも拡張されてきた。その後も、使用強度は、product composition of incomeとmetal composition of productの積(Roberts 1996)として表現されていたり、direct material input per capita(Canas et al. 2003)として表現されていたり、表現は研究により異なるものの、アルミニウム、銅、亜鉛、鉛、錫を対象に、世界全体や各国における時系列変化に適用されてきた(Vuuren et al. 2009, Guzman et al. 2005, Focacci 2005, Warell and Olsson 2009, Jaunky 2012)。近年においても、Soile(2013)やWarell(2014)により銅素材や鉄鋼材を対象にそれぞれ適用されている。しかしながら、今まで、複数の国における需要量変化の態様を比較した議論はほとんど行われてこなかった。そこで、本研究では、金属素材の需要量増加における鈍化傾向について、複数の国で異なる要因を明らかにすることを目的とした。

2. 手法

2.1 評価手法

IU仮説でも説明されているように、金属素材のGDPあたりの需要量は、経済の発展に伴い増加傾向を示した後にピークを示すことが知られている。実際の日本における鉄鋼材の需要量の推移を図1に示した。また、図2に、その増加率を示した。GDPあたりの素材需要量でなくとも、需要量の時系列変化には飽和傾向があることが分かる。本研究では、各国の鉄鋼材とアルミニウム素材の需要量の時系列変化を分析対象とした。素材需要量の時系列変化において、その飽和傾向を示す特徴となる変化点として、以下の3つを考えた。

- 1) 需要量の増加率が最大を示す時点
- 2) 需要量の増加が鈍化する変化点としての増加率が減少に転じる時点

3) 需要量が最大を示す時点

本研究では、需要量の時系列変化の特徴を示す変化時点として上述の1)から3)の3つの時点に着目し、各国の需要量変化について比較した。1)から3)の各時点を導出する手法は以下のように決定した。

- 1) 需要量の増加率が最大を示す時点(増加率最大)

図2に示した増加率の変化の中で、最大を示した時点とした。ただし、経済の急激な変化により特異的に大きくなった場合は、対象としなかった。そのため、前後の年の増加率が負の値を示さないことを前提条件に、最大を示した時点とした。

- 2) 需要量の増加が鈍化する変化点としての増加率が減少に転じる時点(増加鈍化)

増加が鈍化した変化点を特定する手法は、線形回帰分析を応用した。経済が工業化する時期において、1人あたりGDPに対する鉄鋼材、アルミニウム素材の素材需要量増加は、直線的であり、線形近似により高い決定係数が得られた。鉄鋼材においては1人あたりGDPが5,000 US\$/capを、アルミニウム素材においては15,000 US\$/capを、それぞれ超えた年を分析対象の開始年とした。それら開始年から5年間のデータについて決定係数を導出した。その後、それら開始年から6年目以降の各年までのデータを対象に線形回帰分析により決定係数を導出した。その決定係数が最大となる年が、鈍化傾向を示した時点とした。

- 4) 需要量が最大を示す時点(需要量最大)

図1に示した需要量の変化の中で、最大を示した時点とした。

2.2 データ整備

評価対象は、データの入手可能性と、既に鉄鋼材とアルミニウム素材の需要量が飽和した国であることから、オーストラリア、カナダ、ドイツ、英国、日本、米国の6か国とした。分析に用いた素材需要量は、公表されている統計(World Steel Association 1976-2007, The Japan Aluminium Association 2013)から得た。ここで得た需要量は、見かけ消費量であり、素材としての外需は除かれた各国の国内

表 1 鉄鋼材とアルミニウム素材について分析に供したデータ一覧

	鉄鋼材	Ref.	アルミニウム素材	Ref.
オーストラリア	1913 ~ 2007 年	*1	1962 ~ 2011 年	*2
カナダ	1900 ~ 2007 年	*1	1960 ~ 2011 年	*2
ドイツ	1900 ~ 2007 年	*1	1960 ~ 2011 年	*2
英国	1900 ~ 2007 年	*1	1960 ~ 2011 年	*2
日本	1900 ~ 2007 年	*1	1960 ~ 2011 年	*2
米国	1900 ~ 2007 年	*1	1960 ~ 2011 年	*2

*1 World Steel Association 1976-2007

*2 The Japan Aluminium Association 2013

向け需要量である。ただし、各国で生産された自動車のような最終製品が輸出されることもあり、これら最終製品に使用されている素材は外需に供されていることとなる。このような素材の輸出は、間接輸出とも呼ばれている (IISI 1974) が、推計が困難であるため、本研究で評価した需要量からは除かなかった。また、素材需要量が統計から得られなかった過去のデータについては、各国の粗鋼生産量と素材需要量の間の比率が直近の年以前は同じと仮定した。

3. 結果と考察

6 か国に対して 1) から 3) の各時点を導出した結果を、表 2 に示した。1) 増加率最大の時点については、複数のピークを持つ場合では、最初のピークとそれ以降のピークの、どのピークに向かう増加時に変化率の最大値を示すかにより、得られる結果が大きく変わった。そのため、オーストラリア、カナダ、ドイツにおける鉄鋼材のように、最初ではないピークに向かう上昇時期の時点が得られた国もあれば、それ以外の 3 か国のように、最初のピークまでの時点が得られた国もあった。

2) 増加鈍化の時点については、下限値を設定して分析したことから、最初のピークに向かう途中での鈍化を示す時点が得られたと考えられた。そのため、各国において、経済的に発展をはじめ、工業化が進み、素材需要量が直線的に増加傾向を示したのちの、鈍化傾向を示す時点を識別できたと考えられた。鉄鋼材の場合、2) で識別した時点までの需要量は、経済活動の基盤となる交通インフラ、公益インフラ、生

産設備等の整備のための需要として国内投入され、それらの設備等がある程度整ったことによる需要量の鈍化傾向として認識できたのではないかと考えられた。結果から、鉄鋼材の増加が鈍化する時点は、どの国においてもアルミニウム素材のその時点よりも先行していたことが分かった。なお、英国におけるアルミニウム素材の需要量変化が特異的であったため、時点を特定できなかった。

3) 需要量最大については、各国の需要量が増加する中で、経済の発展に伴って GDP が大きくなるため、使用強度では減少傾向を示すものの、素材需要量としては、再び増加傾向を示す国もあるため、鉄鋼材においても 2000 年代の時点を示した国も 4 か国あった。これは、環境クズネッツ曲線の示す可能性として逆 U 字ではなく、ピークの後に減少傾向の途中から再び上昇する N 字曲線もあるとして議論されてきた (Canas et al. 2003)。Canas ら (2003) は、1 人あたりの直接物質投入量 (direct material input: DMI) の各国での時系列変化を分析し、N 字曲線に従う可能性も否定できないと結論付けている。他にも Focacci (2007) は、ブラジル、中国、インドの途上国を対象に、3 次以上の多項式を用いた需要量推移のモデルを提案している。Canas ら (2003) も指摘するように、これは現在までのデータだけでは、まだ確定的な分析はできないため、今後の研究が期待される場所である。

本研究の目的に立ち戻り、金属素材の需要量増加における鈍化傾向について、評価対象として 6 か国で比較した。1) 増加率最大は、先述のように最初のピークではない時点を識別した

表2 各国における需要量の時系列変化における特徴となる変化時点

	鉄鋼材			アルミニウム素材		
	1) 増加率最大	2) 増加鈍化	3) 需要量最大	1) 増加率最大	2) 増加鈍化	3) 需要量最大
オーストラリア	1979	1973	2007	1973	1998	2005
カナダ	1994	1974	2000	1987	2006	2006
ドイツ	1994	1980	2007	2010	2008	2007
英国	1960	1970	1970	2008	n.a.	1995
日本	1973	1974	1990	1990	1997	2006
米国	1955	1974	2006	1976	2007	1999

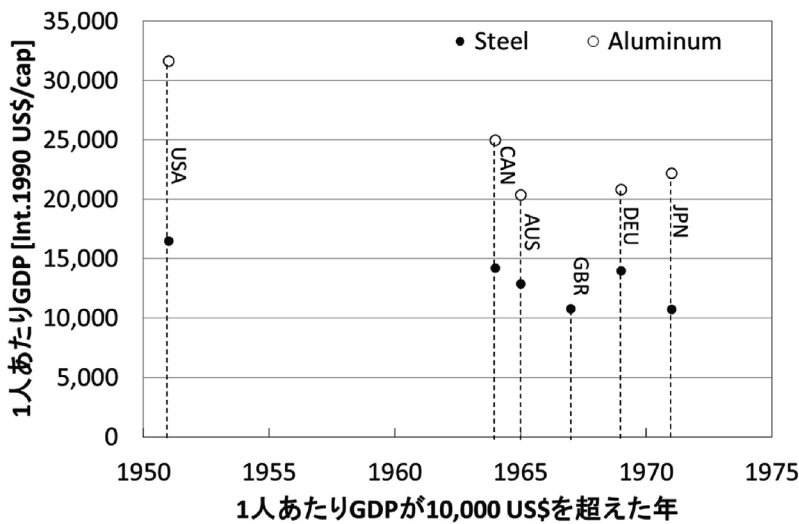


図3 各国が高所得国となったと判断される年に対する鉄鋼材ならびにアルミニウム素材の需要量増加が鈍化傾向を示した時点での各国の1人あたりGDP

国もあり、3) 需要量最大は、N字曲線の後ろの上昇を識別した国もあるため、2) 増加鈍化の時点を用いて比較した。比較に当たっては、各国の2) 増加鈍化の時点における1人あたりGDPを用い、同じ指標により比較した。また、各国が高所得国となったと判断される年を横軸とし、図3に結果を示した。世界銀行が1人当たりGNI（国民総所得）11,906ドル以上を高所得国としていることから、ここでは、1人あたりGDPが1万ドルを超えた年として設定した。図3において、左にプロットされている国ほど、早い時期に高所得国となったことを示している。また、同じ国においては同じ横軸となるため、下に鉄鋼材の需要量増加が鈍化した時

点での1人あたりGDPを、上にアルミニウム素材の需要量増加が鈍化した時点での1人あたりGDPを示している。高所得国になる時期が遅かった国ほど、鉄鋼材、アルミニウム素材ともに、需要量増加が鈍化する時点での1人あたりGDPは小さくなる傾向があると考えられた。考えられる1つの理由には、早くに高所得国になった国では、素材技術や素材を使う社会システムを新たに開発しながら経済を発展させてきたのに対して、その後高所得国となって国では、それら既存の技術を利用し発展することができたためではないかと考えられた。言い換えれば、この結果は、高所得国になった時期が遅い国ほど、素材の需要量は、より経済成長の

早い時期に増加する傾向を示している。1人あたりの鉄鋼材ストック量が、国により大きくは変わらないこと (Hatayama et al. 2010) を踏まえれば、これから発展する国においても、総量としては既に発展した国と同程度の1人あたり需要量を必要とすると考えられる。本研究の結果からは、それら今後に発展する国の需要量の増加傾向に対して、既に発展した国よりも、経済発展に対する増加の速度が大きいことが考えられた。最初に記したように、中国における需要の想定が合わなかった要因として、この経済発展の時期の違いが一因であったのではないかと考察された。なお、本結果を中国に適用することを考え、現時点までの中国の経済成長と鉄鋼材需要の変化を観察すると、2011年時点で1人あたりGDPが8,400ドルとなっており、それまでの鉄鋼材需要は、1人あたりGDPの成長に対して直線的に増加してきたことが分かった。

4. 結言

本研究では、鉄鋼材とアルミニウム素材の需要量変化に対して、特に経済的に発展をはじめ、工業化が進み、素材需要量が直線的に増加傾向を示したのちの、鈍化傾向を示す時点を決する方法を開発した。同手法により、工業化を経て一通りの産業が揃っていると考えられる6つの先進国を対象に分析し、比較した。国ごとの発展の経路や産業構造の違いはあるものの、高所得国になった時期が遅い国ほど、素材の需要量増加が鈍化傾向を示す時期の1人あたりGDPは低いことが明らかになった。ある国に着目して、発展する時期が早い場合と遅い場合が比較できるとすると、後年に発展する場合ほど、低い1人あたりGDPにおいてその国の素材需要量増加は鈍化傾向を示すものと考えられた。これは、国際的な産業構造の状況にも影響を受けるためではないかと考えられた。これらの結果は、国ごとの発展の経路は異なるものの、今後の発展に伴う需要量増加を推計する際に、経済発展の時期の違いを考慮に入れた方が望ましいことを示唆している。ただし、この経済発展の時期の違いによる需要量の増加傾向の

違いを、定量的に分析するには至らなかった。今後、この違いの要因を分析することや、さらに多くの国や素材を対象に分析を進めることが期待される。

〈参考文献〉

- 奥野嘉雄 (2006), 中国における鉄鋼生産の見通しと高炉の動向. 新日鉄技報第384号, 14-19.
- 日本鉄鋼連盟 (2008), (社)日本鉄鋼連盟 輸出市場調査委員会「中国の鉄鋼需給の現状と今後の展望」2008年1月23日 <http://www.jisf.or.jp/news/topics/docs/080123.pdf>
- Canas, A., Ferrao, P., Conceicao, P. (2003), A new environmental Kuznets curve? Relationship between direct material input and income per capita: evidence from industrialised countries. *Ecol. Econ.* 46, 217-229.
- Focacci, A. (2005), Empirical relationship between total consumption-GDP ratio and per capita income for different metals of a series of industrialized nations. *Int. J. Environ. Technol. Manag.* 5, 347-377.
- Focacci, A. (2007), Empirical analysis of the relationship between total consumption- GDP ratio and per capita income for different metals: the cases of Brazil, China and India. *Int. J. Soc. Econ.* 34, 612-636.
- Hatayama, H., Daigo, I., Matsuno, Y., Adachi, Y. (2010), Outlook of the world steel cycle based on the stock and flow dynamics, *Environ. Sci. Technol.*, 44 (16), 6457-6463.
- Guzmán, J., Nishiyama, T., Tilton, J., (2005), Trends in the intensity of copper use in Japan since 1960. *Resour. Policy* 30, 21-27.
- IISI (1972), Projection 85: World steel demand. International Iron and Steel Institute, Brussels.
- IISI (1974), World indirect trade in steel. International Iron and Steel Institute, Belgium, pp.113.
- IISI (2005), IISI Report: Iron and Steel Technology. 2(7), 19.
- Jaunky, V. (2012), Is there a material Kuznets curve for aluminium? Evidence from rich countries. *Resour. Policy* 37, 296-307.
- Malenbaum, W., (1978). *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*. McGraw-Hill, New York.
- Roberts, M. (1996), Metal Use and the World Economy. *Resour. Policy* 22, 183-196.
- Soile, I.O. (2013), Intensity of Use Hypothesis: Analysis

- of Selected Asian Countries with Structural Differences. *Int. J. Energy Econ. Policy*. 3, pp.1-9.
- The Japan Aluminium Association (2013): private communication
- Tilton, J., (1990). World Metal Demand. Resources for the Future. (an independent nonprofit organization) Washington, D.C.
- Van Vuuren, D.P., Strengers, B.J., De Vries H.J.M., (1999). Long-term perspectives on world metal use—a system-dynamics model. *Resour. Policy* 25, 239–255.
- Warell, L., Olsson, A. (2009), Trends and Developments in the Intensity of Steel Use: An Econometric Analysis, Paper presented at Securing the Future and 8th ICARD, June 23–26, 2009, Skellefteå, Sweden. Available at: (<http://pure.ltu.se/portal/files/3157773/Paper.pdf>).
- Warell, L. (2014), Trends and developments in long-term steel demand – The intensity-of-use hypothesis revisited. *Resour. Policy* 39, 134–143.
- World Steel Association (1976-2007), *Steel Statistical Yearbook*, World Steel Association, Brussels, Belgium.