

特集記事・2

希少金属資源と省合金型鉄鋼材料開発の今

希少金属をめぐるグローバルな資源状況の変化

Global Change of Resource Condition of Minor Metals

原田幸明

Kohmei Halada

物質・材料研究機構
特命研究員

1 要旨

21世紀に入って資源問題は新しい局面に突入した。20世紀後半は欧米の成熟した需要を背景に日本の鉄鋼業を中心とする資源のグローバル化の時代であったが、今世紀にはいるや新興国の経済成長を背景に「世界の工場」が席卷し新たな資源需要を喚起するとともに、世界経済のなかでの資源の金融商品化も進行し、資源の安定供給に対するリスクが著しく増大し、特に市場規模の小さい希少金属においてその影響が顕著に表れるようになってきている。さらにこの間、発展途上であった国々の経済拡大は急速に進み、今世紀の末には100億人が豊かさを求める時代になろうとしており、その段階での資源需要は膨大なものになる。それに備えた循環システムの構築が必須となるとともに、資源の見直し、代替技術の開発などの元素戦略がこれからますます求められる。

2 「モノづくりJapan」と希少金属

現在日本は何の貿易で稼いでいるのか。その推移を見たものが図1¹⁾であり、輸出のシェア率の高い自動車、電子機器、機械、工業素材の4者を表している。自動車は相変わらず高いが電子機器、機械が伸びきれず低落傾向に陥ったのに対して、工業素材は1990年代から着実に増加し、ついには自動車を凌いで輸出シェアの1/4を占めるに至っている。まさに日本は工業素材立国なのである。

この工業素材の中核を占めるものはもちろん鉄鋼であるが、近年のIT、エネルギー、環境などの諸分野での多様な要求に応えるためにさまざまな希少金属が用いられている。鉄鋼が体の基本を作るたんばく質ならば希少金属は、使われている量は少量ではあるが、数年前のレアアース危機のようにそれが欠如すると産業に変調を与える、あたかもビタミンのような存在だといえる。この希少金属類に対し近年では日本

だけでなくヨーロッパやアメリカもその供給リスクを検討し、国としての戦略的対応を始めているが、面白いことに、国によってレアメタル、クリティカルマテリアル、キーマテリアルと呼称も異なっている。実はレアメタルという表現は1980年代に日本の当時通産省（現在の経産省）の役人が使いだした呼び方²⁾であり、英語としては通用しないケースが多い。希少金属もレアメタルも基本的には俗称であり、科学的な厳密な定義はない。金属は図2のように、大まかには鉄とそれ以外である非鉄金属に分けられる。非鉄金属の中で国際的に市場規模が大きいものが鉄とともにメジャーメタルと呼ばれ、Cu、Pb、Znなどのベースメタルもしくはコモンメタルと呼ばれるもの、Al、Mgなどの軽金属、さらにはAu、Agなどの貴金属がある。Naなどのアルカリ金属やCaなどのアルカリ土類など金属元素ではあるが酸素との親和力が強すぎて金属の用途が限定されるものを除いたほかの金属が、メジャーメタルに対してマイナーメタルと呼ばれている。すな

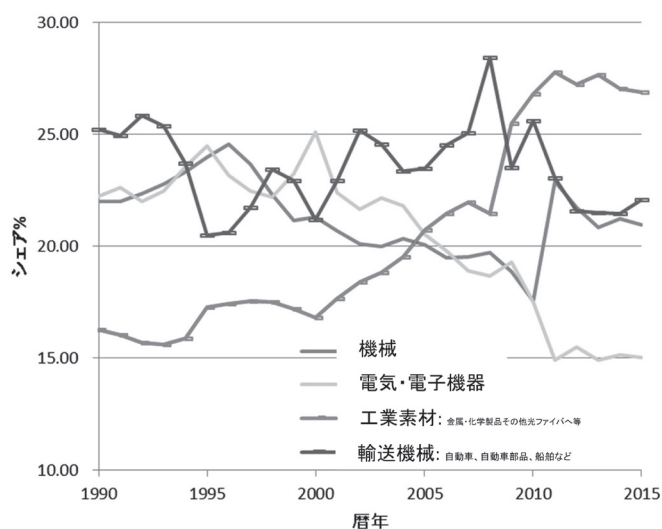


図1 我が国の輸出における各分野のシェア (2015年2月まで)

わち、メジャーメタルとマイナーメタルの区別は市場規模やその安定性など経済的な区別なのである。

図2の右側に世界の消費規模を示している。この値からしてもマイナーメタルがなぜマイナーと呼ばれるかがわかる。しかしメジャーメタルの中で消費規模の少ないものがある。貴金属である。希少金属という表現は、市場的には大きいメジャーメタルでありながら希少性の高い貴金属をレアメタルと並べて論じるときによく使われる表現なのである。図2では、レアメタルをさらに、銅系レアメタル、鉄系レアメタルそして希土類(REE)を含むその他レアメタルに分けている。これは、近年注目されるレアメタルはその機能性から電子機器に用いるものが多く、リサイクルの観点でいうとCuと共存している場合が多い。これらを銅系とすると、一方で鉄鋼の添加元素としての用途が圧倒的に多いレアメタル群がある。これが鉄系レアメタルである。実は、世の中一般の関心とは大きく異なり、この鉄系レアメタルの方が使用量は圧倒的に多い。図3は代表的なレアメタルについて、Feと共存して用い

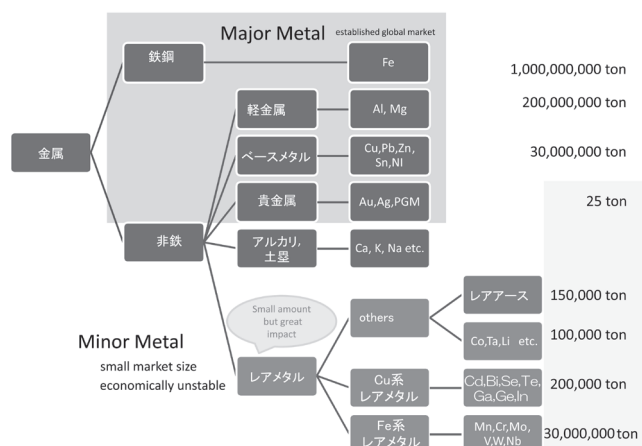


図2 マイナーメタル（レアメタル）とメジャーメタルの関係

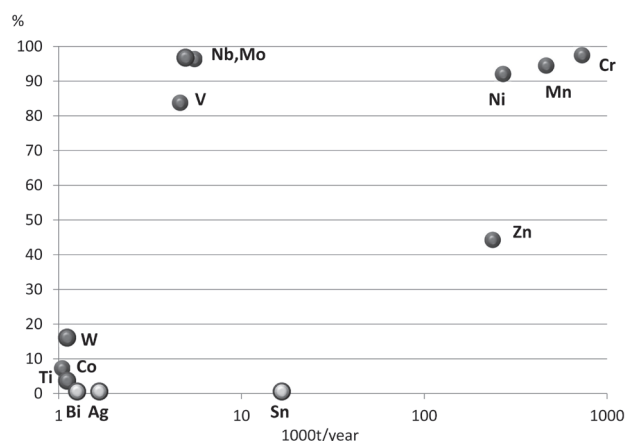


図3 鉄鋼と共に用いられるレアメタルの量と割合

られている量とその割合をプロットしたものである³⁾。図で右上に位置する鉄系レアメタルが銅系レアメタルなどと比べて実は二、三桁高い使用量なのであり、レアメタル対策においてこれら鉄系レアメタルにもっと目を向けるべきである。

3 希少金属の特長

希少金属は市場規模が小さく、それゆえに価格や供給条件の変動を受けやすい。図4は最近10年余りのフェロアロイの価格変動⁴⁾である。全体としてリーマンショックの直前に価格のピークを持ち、リーマンショックで急激に下落し、そこからまた高値の方向に向かっている。ここで、図中に両端矢印で表した期間の価格変化に注目しておいてほしい。両端矢印の右端は2008年9月15日、アメリカの投資銀行であるリーマン・ブラザーズが破たんし世界の株価が大きく下落した時点であるが、実はその2008年9月が株価のピークではなくその前年の7月がピークであり、10月にはパリショックと呼ばれる、今から見れば予兆的な、下落が起きている。図の左端はそのパリショックの時点である。実は多くの種類のフェロアロイがサブプライムローンの危惧が世界的に広まり、いつ崩壊してもおかしくないと金融関係者から見られた時期に急騰し、リーマンショックで下落している。すなわち、フェロアロイのリーマンショック以前の高騰は景気の向上や新興国需要を反映したものではなく、ファンドのリスク回避の材料のひとつとしてフェロアロイが使われたことを意味している。

希少金属のもう一つの特長は偏在である。図5は、国連貿易統計⁵⁾をもとに作成した鉄系レアメタルの原材料となるフェロアロイ各種の2011年の輸出国とその総量を示したものである。輸出国であるため、一旦合金化して輸出する

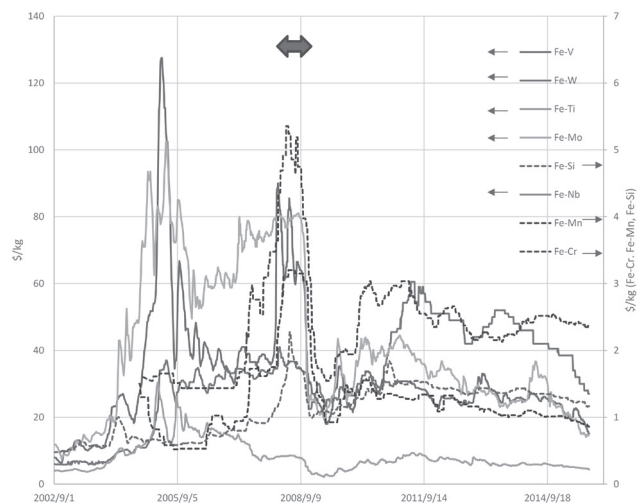


図4 フェロアロイ価格（\$/kg）の推移状況

Fe-MoのベルギーやFe-Tiのイギリス、Fe-Ti,Fe-Wのオランダ、Fe-Niの日本などの非資源国も含まれているが、それ以外は資源国であり、特にFe-Nbのブラジル、Fe,Mn,Fe-Crの南アフリカが高いシェアを占めている。中国の位置があまり大きくないのは、輸出に回すよりも国内消費に使われる量が多いためであり、資源生産国でありかつ世界の工場として資源消費国でもある中国の資源使用量を考えると、レアメタル全体の消費量はより大きな規模となる。

不安定、偏在とともに希少金属の最大の特長は資源端量が極めて大きいことである。資源端量とは金属として使用している量ではなく、その使用する量を得るためにどのくらいの地球資源を使ったかを考えると、無視できる量ではなくなってくる。例えばFeはこれまでに人類最大のビルディングであるペンタゴンビルの全容積を1500個分も敷き詰めた量を使用しているのに対し、Auは大型プール一杯を超える程度、Ptに至っては子供用プールにも満たない量しか使用していない。しかし、そのために掘った地球資源量はFeが富士山二杯分に対してAuはその一杯分、Ptは6合目以上と同じ富士山升で量ることができる量になる。すなわち、使用量は少なくとも、地球資源利用量はほぼ同じオーダーになっているのである。

このように、使用している金属量ではなく、どのくらい地球資源を使ってその金属が生み出されているかという量を見ることを、資源端重量⁶⁾と呼ぶ。希少金属は希少ゆえにその資源端重量が大きいのである。「資源端重量」とはそもそもはTMR (Total Material Requirement : 関与物質総量) と呼ばれるLCA (ライフサイクル・アセスメント) 的評価関数であり、一つ一つの製品を得るためにどれだけの地球資源を必要としたかという量である。製品を製造するために単位生産当

たりのCO₂発生量を「CO₂原単位」とよび、その生涯でどれだけのCO₂を出しているかを「カーボンフットプリント」と呼ぶが、TMRはCO₂ではなく資源のカーボンフットプリントに相当する。

特に、金属の場合は採掘時に大量の覆土、脈石を発生させ、さらに鉱石自体が1%以下の金属含有量になっているものも多いためこの資源端重量の値は大きい。特にレアメタルや貴金属では鉱石中の品位がきわめて低かったり、その製錬プロセスで大量の物質・エネルギー資源投入や排出物が発生するため鉄やアルミニウムなどのコモンメタルに対してその千倍から10万倍も大きな値となっている。図6は単位消費端重量あたりの資源端重量とCO₂発生量をグラフに表したものであり、たとえばレアアース類はその両者に対して鉄の約1000倍の重みをもっている。このことは自動車一台当たりネオジム磁石5kg/台使用すると約7トンの鉄の使用に匹敵することを意味しており、モーターのリサイクルができない状態で電気自動車を普及させてしまったらどの程度の生涯運転距離で環境負荷を改善できるのかはきちんと検討せねばならないことを示唆している。

たとえば携帯電話機の重量を資源端と消費端で比べると消費端で見ると数年前の型の携帯電話機の殆どはプラスチックであり、その重量は60g程度だったが、資源端で見ると1台30kgを超え、主要な部分は金 (Au) となっている。このことは携帯電話機のリサイクルで金の回収を優先することの妥当性にもつながる。また、元素戦略の重要なアプローチとして「代替」の方向性があるが、資源端重量で考えると、より普遍的な元素 (EAE : Earth abundant element) は何かが定量的に検討することができるのである。このように資源端で考えることは、資源問題を地球全体の問題としてグローバルに共有する共通言語となるだけでなく、代替、循環など元素戦略の指針として使えるものである。

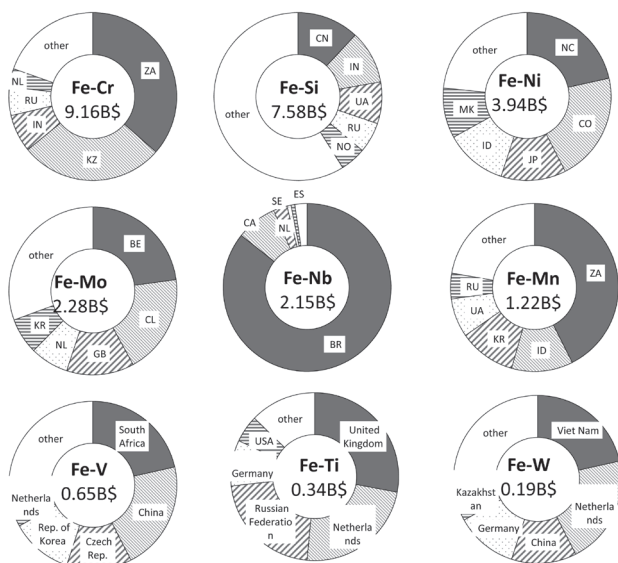


図5 フェロアロイの貿易規模と輸出国シェア

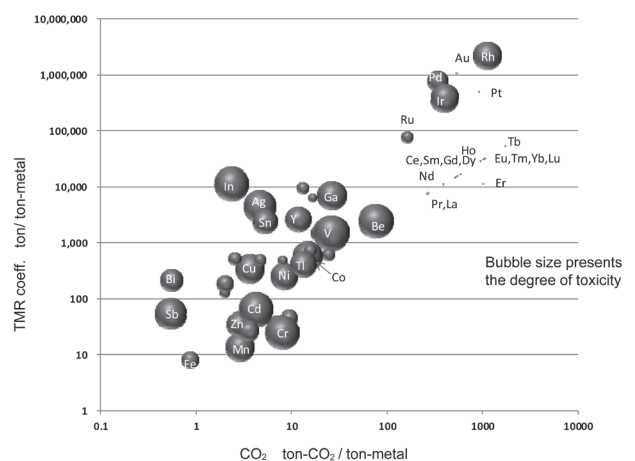


図6 各金属の関与物質総量 (TMR) 係数と製造までのCO₂原単位

資源端重量の見方をするとレアメタルを用いた合金鋼は鉄鋼材料とはいえ単純に鉄とみなすのは間違いになる。図7に様々な鋼を資源端重量であらわした。オーステナイト系ステンレスはもはやニッケルであり、工具鋼もタングステンととらえておく必要がある。消費端重量で見る限りは圧倒的に鉄を使ったこれらの素材も資源端ではその重みが変わり、鉄鋼材料のようなコモンメタルの構造材料においてもレアメタルの資源問題は無視できない課題であることがわかる。レアメ

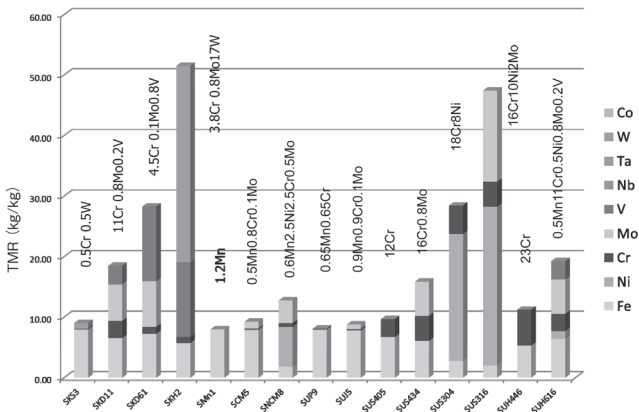


図7 鉄鋼合金の資源端重量構成

4 20世紀の三極構造から世界の工場へ

このような構造は、日本の国民が頑張った成果であるが、同時に1960年代から日本の鉄鋼業をはじめとして素材産業が行ってきた、世界中の優れた資源を優れた生産能力と市場を持っている地域に集中的に集めて優れた製品を世界中に提供するという資源のグローバリゼーションの成果の上にあるともいえる。しかし、この20世紀後半の成功が今揺らぎだしているという不安が持たれている。

図8はディフォルメした世界地図上に鉄鋼のトレードフローを表したものである⁷⁾。丸で示されたのが主要な輸出

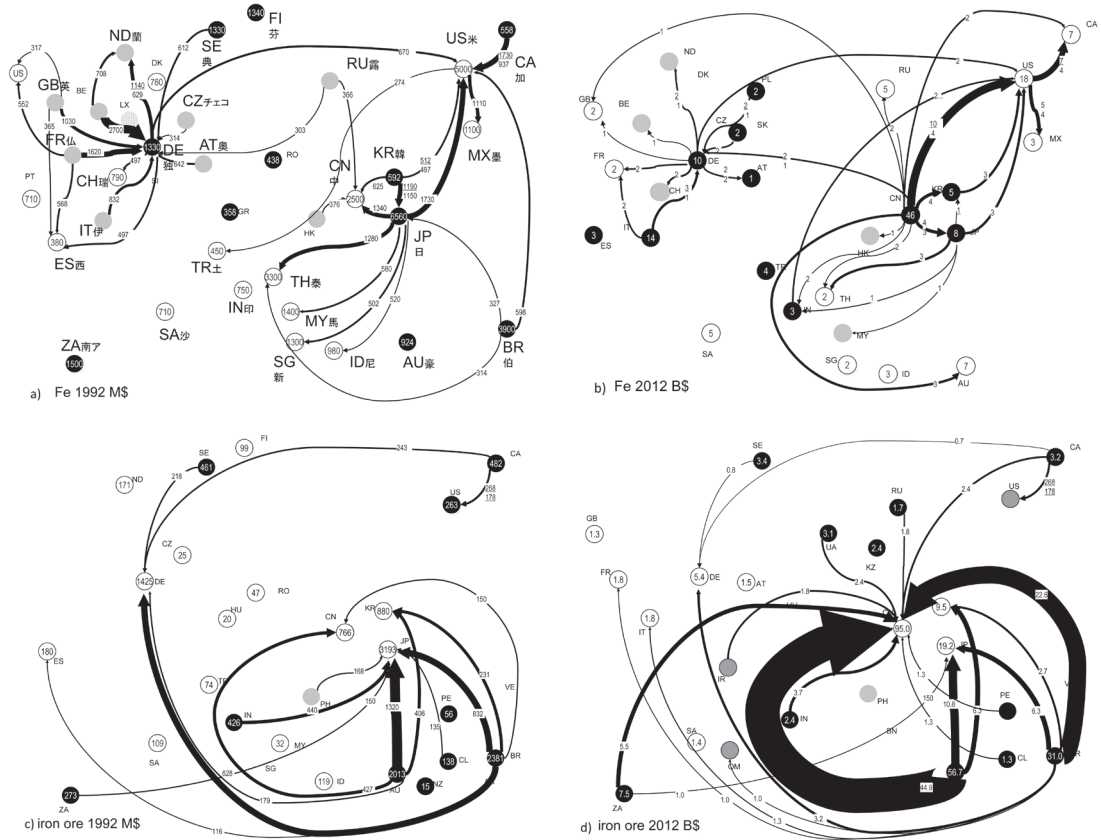


図8 鉄鋼および鉄鉱石の貿易フローの20年間の変化
鉄鋼 a) 1992年 b) 2012年 鉄鉱石 c) 1992年 d) 2012年

入国で、国名は日本JP、ドイツDEというように国連二文字コードで記してある。丸で白抜き数字の国は輸出超国であり、黒数字の国は輸入超国、線の太さは貿易金額の大きさを表している。図8-a) は1998年のものであり、これは基本的に、日、米、欧（ドイツ）の三極構造になっており、日本はその一極であると同時にアジアのハブの役割も担っていたのがわかる。まさに20世紀の世界構造として多くの日本人がいまだにイメージしている構造ではなかろうか。これが今世紀になると図8-b) のように変化している。アメリカの方の変化は少ないが、ヨーロッパが北欧、南欧、東欧へと広がっており、中核にあったドイツは鉄鋼提供国から輸出入が均衡した流通国に変わっている。アジアでは、日中韓がほぼ同等な鼎立関係になり、アジアのハブも中、韓へとシフトしていつている。注目されるのは欧州と東アジアの間の国々であり。ロシア、トルコへの流れが大きくなり、さらにはサウジアラビアなどの国々もトレードフローに係ってきている。特にトルコはこの図には表れていないがスクラップの輸入量は世界一の位置をキープし続けており、中東、南欧への鉄鋼提供基地となっている。このように21世紀になって日米欧の三極構造が崩れだしている。

さらに、図8-c)、図8-d) を見てみよう。これは同じように鉄鉱石のトレードフローを見たものである。1990年代には主要なルートは日本への流れであるが、2007年には中国への流れが支配的になっている。ここで注目すべきは、図8-c) の日本との関係は図8-d) でもほとんど変わっておらず、図8-c) の上に新たに中国への流れが乗ってきたものが図8-d) だとみることができる。すなわち、20世紀の流れ、それは良質の資源を日本に集めそれを欧米の成熟した市場へ優れた素材や

製品として提供してきた流れであるが、それに対して、その三極の構造が東欧、ユーラシアに拡散して、資源の集中が中国に向かうという新しい変化が起きている。

この鉄の流れは当然製品に結びついている。図9には1999年と2010年の機械製品の輸出入金額を国ごとに輸出入金額の和の大きい順に並べたものである⁷⁾。この10年間でのもにより大きな変化は、中国が10位から1位に大きく伸び、それに対してイギリス、フランスの相対的位置が落ちていることである。その中国に対する世界の依存度を見たものが図10である⁷⁾。これは中国からの輸入金額の多い40か国をその輸入に占める中国のシェアの順に並べたものである。トップのパラグアイの30%超をはじめ、チリ、ペルー、ブラジルと☆印をつけた地球の裏側である南米の国々が並んでいる。さらに、○をつけた東南および南アジアの国々はもとより、●をつけたナイジェリア、南アフリカなどのアフリカ諸国、◎印の中東諸国が連なっている。このように、新興諸国の輸入における中国の役割は高まっており、従来の欧米型の成熟した市場とは異なる新興市場に対して、中国が「世界の工場」としてその需要に応え、そのために資源の集中を行っている。このようなフローの変化は、20世紀型のように日本が物質流通の中心でありかつ世界のサプライチェーンの要であった構造の持続性に大きな問題を提起している。

5 「100億人の経済」への入り口

この変化は消費量だけではない、金属価格も21世紀になって大きく変化してきている。一時期はレアアース類(REE)の価格は20世紀初頭と比較すると30倍以上にまで達したことがあり、他の金属類も金6倍、銀9倍のように高騰した。現在は一時期から見ると金属価格は下降傾向にあるように見える。それでも図11に示すのは、今世紀冒頭を基準にした現在の金属価格と、この10数年間の間の最高値と最安値の比である⁸⁾。最安値と最高値の比はセリアやジスプロシウムによ

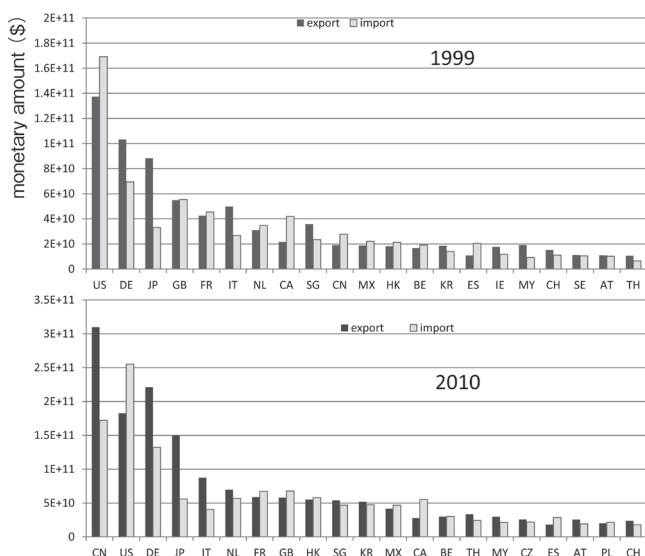


図9 世界の機械製品の輸出入トップ21の変化

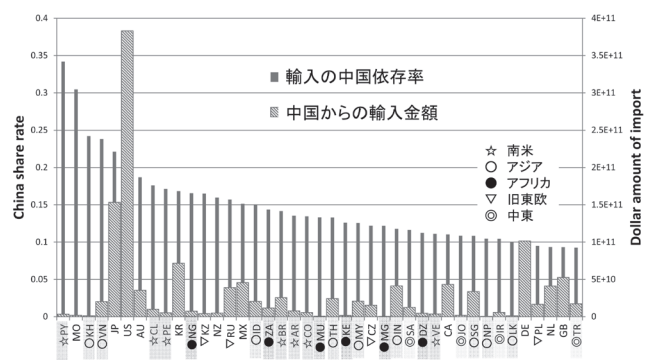


図10 各国の中国からの輸入品金額と中国からの輸入の占有率

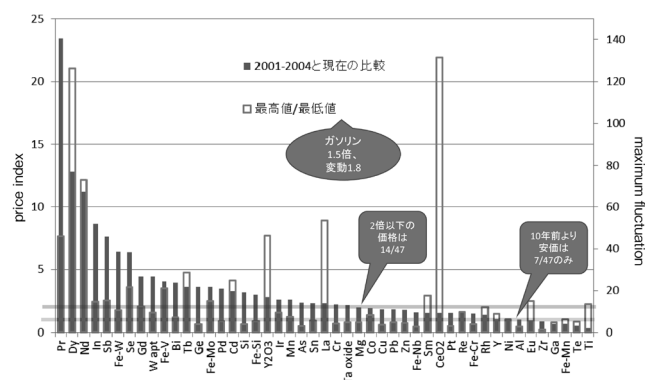


図11 最近10年のレアメタルの価格変動、最大変動比率と10年前との価格比

うなレアアース類では100倍を超え、その最高値から大きく下落したとはいえ、プラセオジウムでは20倍、ジスプロシウムやネオジウムでも今世紀の初頭と比較すると10倍以上の価格になっている。また各種の金属に対してみると、この図にあげた47種のうち33種が二倍以上の価格となっており、価格が低下しているものは7種しかない。一時期の価格暴騰があまりにも激しかったために現時点では資源安感が強くなっているが、実は10数年前より高い水準で価格が推移している金属が多いのである。

さらにより長期的な視点で価格変動を見てみよう。図12には、鉄鉱石、金、銅、タングステンといった鉄鋼、非鉄コモンメタル、貴金属、レアメタルといったタイプの異なる鉱種と非金属資源から得られるセメントの20世紀の初めからの価格の推移を見たものである⁹⁾。図からわかるように、20世紀の冒頭から現在に到る間に3回のピークがあった。第一次大戦後と第2次大戦後、そしてオイルショック時である。それぞれのピークの後にはピーク前より価格は高い方にシフトしていった。そして新たなピークを迎えたのが現在である。つまり経済の中における資源の位置は世界大戦に匹敵するあらたな変化の仮定にあるといえる。

この価格ピークが何によってもたらされたのか。需要増が見込まれて、資源の価値が高まったからという側面はもちろんあるであろう。しかし、図11に示すような大幅な価格上昇はそれだけでは説明できない。ここでもう一度図4に戻ってみよう。フェロアロイの値段が上がるタイミングは資源の実需が伸びる高況の時より、むしろ景気の先行きが危ぶまれるリスクの増大時であった。このように需求の関係というより、金融環境の動きが資源価格に大きく影響する時代になってきているのである。市場規模からしても世界の債券と株式市場は1京円をしのぐ規模であり、それに対し金の先物市場は4.5兆円、鉄鉱石の年間取引引きは25兆円で、これまでの金の総産出額でさえ、450兆円とマテリアルに関わるマネーの位置は

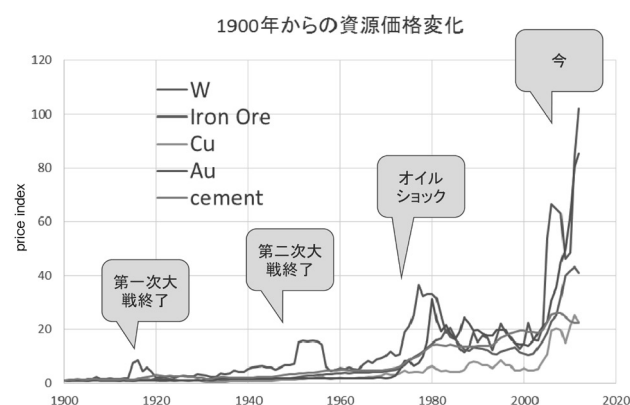


図12 20世紀以降の典型的資源の価格変化

金融市場の拡大の前には微々たるものになっている。このような状態で金融関係のリスクが大きくなれば手近に動かすことのできるコモディティーとして金属や原油などの資源にマネーが流れる、資源の金融商品化が起っているのである。すなわち、資源が使われることによって価値を持つのではなく、経済的に動かされることだけで価値を持つ時代に突入したのである。このように価格が実態と分離してくることで変動もますます大きく常態化してくる。現在多くの金属で価格が低落傾向にあるが、それは資源の金融商品化の変化に対する一時的ブームのおさまりと、設備・施設の過剰投資の結果であり、長期的にはこれまでそうであったような、より高い価格へのシフトが起こっていくであろう。さらにそこでは資源価格を操作することによって儲けることができる人たちの経済的存在が大きくなり、私たちは金融商品化された資源でモノをつくるというモノづくりにとって困難な時代に入ってきている。

では、この価格のピークの後には何が来るか、果たして価格の高騰は一過的なもので、再びそれ以前の状態に戻るのか、それを論じるためには「世界の工場」の席卷により何がもたらされたかを見ておく必要がある。実はこの10年間で人類経済はひとつの大きな区切りに到達した。図13¹⁰⁾に示すように世界の平均一人当たりのGDPが10,000ドルを超えたのである。日本の一人当たりのGDPがこのレベルに達したのが1970年代であるから、その生活レベルを想像すると世界の平均イメージがわかるだろう。図13によると、BRICsといわれるブラジル、ロシアだけでなくトルコ、メキシコ、マレーシア、カザフスタンなどが10,000ドル/人の大台に達し、さらに予測ではインド、インドネシア、ナイジェリアなどの人口大国も2030年にはその大台を超えるものとみられている。このことは携帯電話機の普及率を見てもわかる。いまやアフリカの平均携帯契約率は人口の88%に達しており¹¹⁾、その数値は日本の地方都市をさえしのぐ勢いである。一人当たりGDPの増加により携帯電話機のような最先端機材の普及

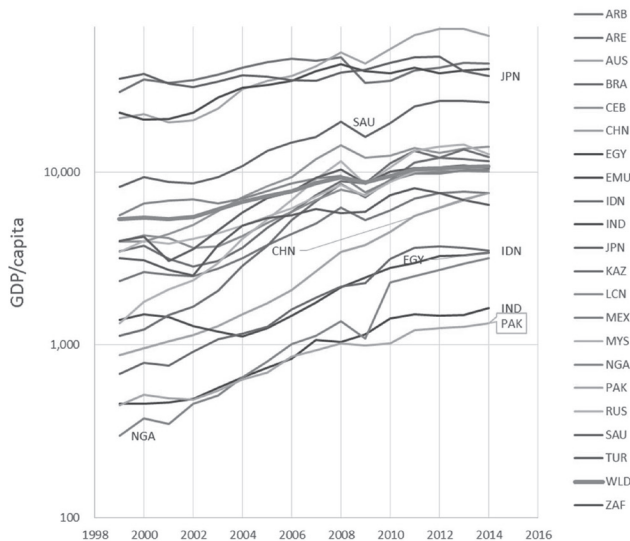


図13 世界各国の一人当たりGDPの変化

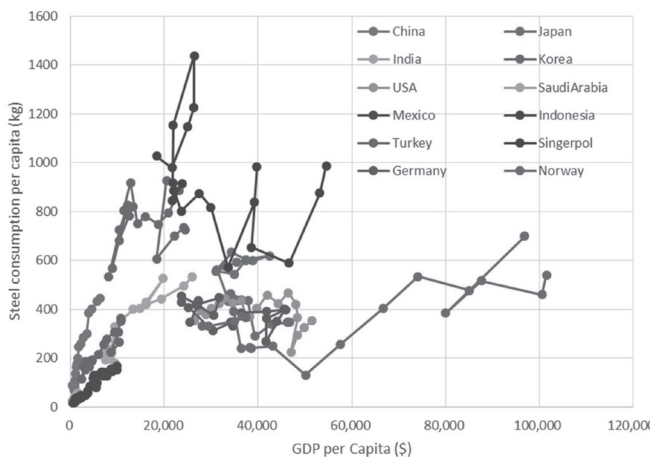


図14 鉄鋼の見かけ一人当たり消費量の国ごとの推移

が、勝手のような限定された購買層相手ではなく、普遍的に広がっているのが今の状況である。

この一人当たりのGDP10,000ドルというのは、物質消費にとってもおおきな変曲点になる。多くの金属消費は一人当たりGDP10,000ドル程度まではそれとほぼ比例した低いレベルに収まっている。これが10,000ドル付近のレベルに達すると、GDPに依存しないほぼ同一の高水準になる。図14はいくつかの代表的な国々の一人当たりのGDPと一人当たり鉄鋼使用量¹²⁾の推移を見たものである。韓国、シンガポールなどは、先に述べた内容と矛盾するような高い一人当たりの鉄鋼消費となっているが、これらは輸出用の製品に用いる鉄鋼の消費を含んでいるためであり、国内の最終需要に対して見かけ上の消費が大きく出ているためである。ここで注目すべきなのは、アメリカ、ドイツ、ノルウェーなどの先進諸国とそこに近づいているサウジアラビア、トルコなどの動

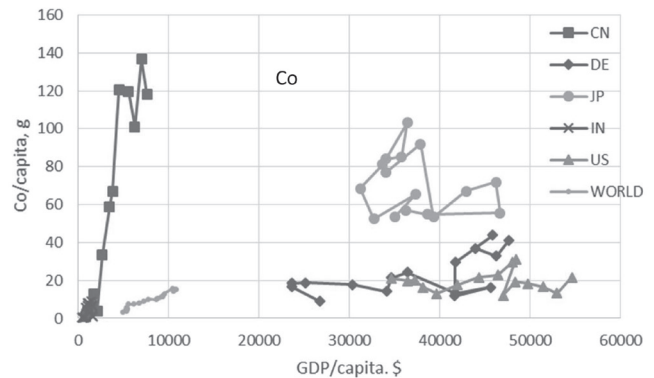


図15 コバルトの見かけ一人当たり消費量の国ごとの推移

きである。先進諸国はほぼ900kg/人の一人当たりの消費になっており、そこに一人当たりGDP10,000ドルに達したトルコやサウジアラビアが同水準の一人当たり消費になっているのである。

この構造は鉄鋼のようなメジャーメタルに限らず、典型的なレアメタルといえるコバルトにおいても見られる。図15¹³⁾がそれであり、輸出製品へのコバルト消費依存度の大きい中国と日本を除くと、先進国レベルのコバルト消費は約20g/人となっており、GDP/人が10,000ドルを超えた世界の平均がいまやそれとほぼ同等まで上がってきている。このように、金属の世界的な消費動向については量的には国家間格差がなくなり、世界中の国々がいわゆる先進国並みの水準に達する時代になってきたのである。今世紀末には世界の人口が100億を超えることが予測されているが、20世紀までのような一部の先進諸国の経済から、まさに、100億人の経済へと広がってきているのが今の段階である。

6 これからの金属使用予測と循環経済

著者はかつてG6諸国およびBRICsと呼ばれるブラジル、ロシア、インド、中国を対象にその経済成長から予想される各種金属の2050年までの消費量を予測した。その結果、埋蔵量の大きい鉄でさえ2050年までには現有確認埋蔵量に迫る累積金属消費が予測され、他の金属に置いては金、銀、銅などで現有確認埋蔵量の数倍もの需要が予測されることを示した。しかし、前の章で述べたように、これからの経済発展の主役はもはやBRICsなどと限定された国々ではなく、インドネシアやナイジェリアなど世界中の国々を考慮せねばならない。つまりG6とBRICsなど特定の国家を対象とした予測では下方予測になってしまう段階に世界は達しているのである。

すなわち、これからの世界の資源消費の予測においては、限られた経済力の大きい国々のみを考察の対象とするのではなく、世界中の国々を対象としなければならないことに

なる。しかも、先述したように世界の平均レベルが従来の先進国レベルに達する段階になっており、このことは現在まだ10,000ドル/人に至っていないインドなどの人口大国が10,000ドル/人に達する2030年代以降になると現在の先進諸国の一人当たりの金属消費に世界の人口をかけることで大まかな需要を予想することができる。

図14、15でみたように、世界の一人あたりの鉄鋼消費は約900kg、コバルト消費は20gと想定される。さらに、銅についても同様の解析を行えば、一人当たり約8kgとなる。2100年までは世界のすべての国がこのレベルに達するとすると、これらの金属の2100年における一人あたりの金属の消費量は、それらの一人あたりの消費量にその時点の世界の人口の推定値をかけたもので粗い近似値を得ることができる。すなわち鉄では4.5Gton、銅で90Mton、コバルト理の場合は2.2ktonである。

この使用量に対して資源は供給可能なのだろうか。年間の消費量が2100年に向けて直線的に増大すると単純化すると、累積消費予測量は図16のような台形の体積で表される。すなわち、鉄の累積消費予測は257Gton、銅のそれは4.8Gton、そしてコバルト14Mtonになる。この中で現有確認埋蔵量で賄える量は、鉄87Gton、銅700Mton、コバルト7.3Mtonであるから、残りの鉄170Gton、銅4.1Gton、コバルト7Mtonはリサイクルで賄わなければならない。これを、またリサイクル率が直線的に増加する単純台形モデルに当てはめると、2100年の鉄のリサイクル原料率は81%、銅は98%、静的耐用年数が相対的に大きいコバルトでさえ73%の高いリサイクル原料率とならなければならない。

このように、今世紀の末にはかなりの高いリサイクル率で金属資源が回っている循環型社会が構築されることが、将来の金属需要予測から導き出される必須の条件になり、世界の需要構造はまさに100億人の経済にむけてその方向に踏み出しているのに対して、供給・循環のシステムが動きだしているのかということが問われているのである。

7 Circular Economyの向こうに —まとめにかえて—

今世紀に入って世界の資源利用構造は「世界の工場」の出現で大きく変化し、日米欧三極構造から「100億人の経済」にシフトしようとしている。それに合わせて資源利用は新しいステージに入りつつあり、一時期の高騰やそれに合わせた過剰設備投資の反動などの短期的縮退傾向のあとには着実に需要増が押し寄せて来、それに合わせて資源の金融コモディティー化も一層進み、供給の不安定性リスクはますます大きくなることが予想される。今世紀末をみこした最終的な資源需要は現有の確認埋蔵量をはるかに超えたものであり、循環

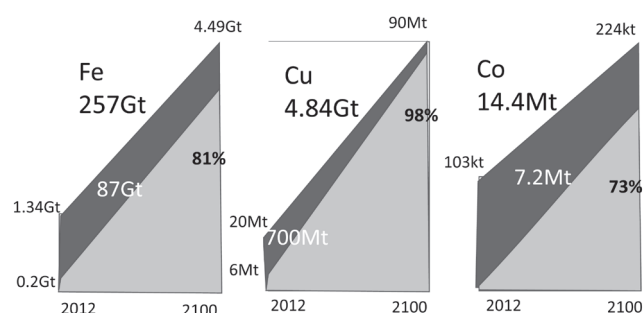


図16 2100年までに必要とされるリサイクル率の推定

型の資源供給構造への転換は必須となる。

近年、ヨーロッパではCircular Economyが注目されているが、これもそのような状況の反映であり、そこに新たな国際的ビジネスチャンスを求める動きとして注意しておく必要がある。しかし、銅で98%のリサイクル原料率など製品の寿命を考えれば現実にはあり得ない数字であり、循環型社会は必要条件ではあるが十分条件ではないことにも注意しておくべきである。このことはリサイクルだけでなく資源の見直し、材料の効率的使用、希少金属の代替技術などの開発がCircular Economyの向こうを見渡すものとして進められていく必要があるということを意味している。

参考文献

- 1) 財務省貿易統計, 統計別品別表より作成
- 2) 鉱業審議会レアメタル総合対策特別小委員会, (1987)
- 3) JOGMEC 鉱物資源マテリアルフロー 2012に基づいて作成
- 4) データベースサイト Metal pagesのデータに基づいて作成
- 5) 国連貿易統計データベース, UN Comtrade, <http://comtrade.un.org/>
- 6) 資源端重量, NIMS-EMC環境材料データ No.18, 物質・材料研究機構元素戦略センター, (2100)
- 7) UN Comtradeのデータをもとに作成
- 8) Metal-Pagesのデータをもとに作成
- 9) 米国鉱山局 USGS統計, <http://minerals.usgs.gov/minerals/>をもとに作成
- 10) 国連統計データベース, <http://esa.un.org/mwg-internal/>をもとに作成
- 11) Global numbers of individuals using the Internet, total and per 100 inhabitants, ITU, (2001-2014)
- 12) 国際鉄連, Steel-Statistical-Yearbook-2014, (2014)
- 13) UN Comtradeのデータをもとに輸出入バランスより作成

(2015年10月5日受付)