

「都市鉱山の蓄積量推定」に関する Q&A

独立行政法人物質・材料研究機構
元素戦略センター長 原田 幸明

都市鉱山および今回の計算の性格について

1. 都市鉱山とは何ですか
2. 都市鉱山はすぐに資源として取り出すことができますか
3. 今回の計算は、都市鉱山のどの部分(可能性、実量)を見積もったのですか
4. わが国の都市鉱山の量が多いという結果ですが備蓄は必要ないのでしょうか
5. 都市鉱山の規模が大きいという結果から起きる良いことは何ですか。
6. 都市鉱山を活用すると CO2 も減るのでしょうか。
7. 都市鉱山蓄積量の計算はどのようにして行ったのですか
8. 計算の中で、製品などの中に含まれて輸出される金属分はどのようにして算定したのですか
9. 上記の産業関連計算と結びつける素材需要はどのようにして求めましたか。
10. 輸入鉱石の中の金属量はどのようにして計算しましたか
11. 計算に使用したデータの出所を教えてください
12. この計算とマテリアルフロー分析とはどのように違うのでしょうか
13. この計算の精度はどのくらいですか
14. 白金が 2500 トン近くもわが国にあるとは信じられないのですが
15. インジウムの全埋蔵量に対する比率が高すぎるのではないのでしょうか

都市鉱山の活用の方向について

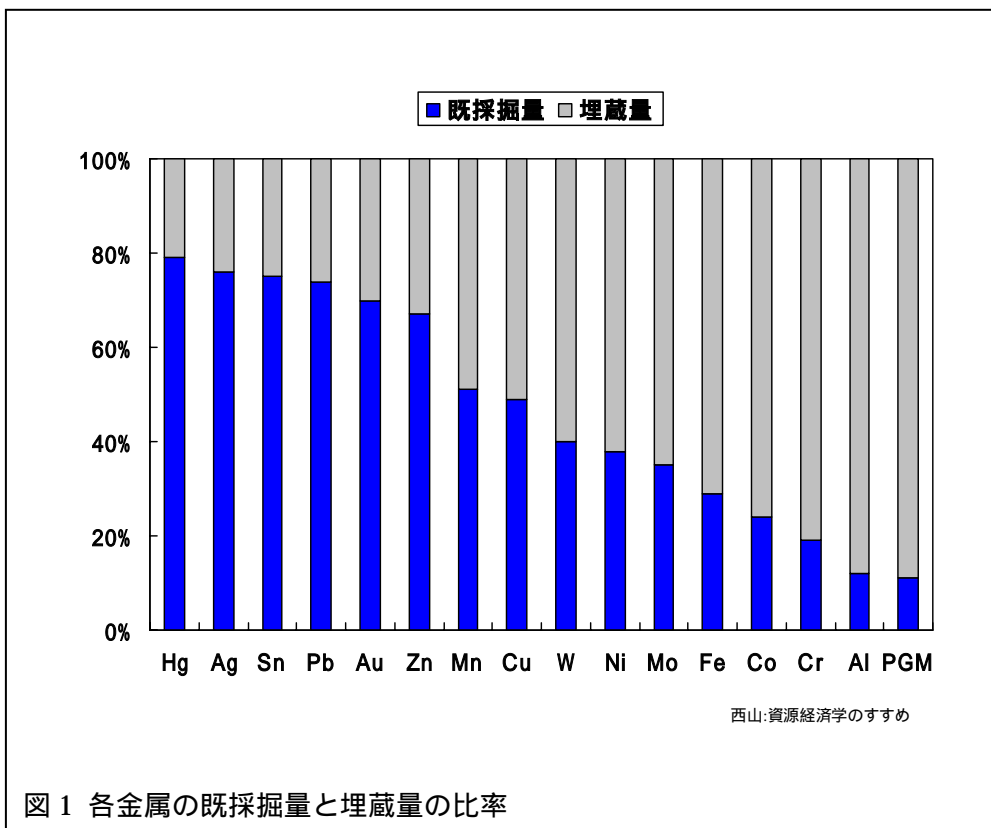
16. 都市鉱山の埋蔵量は地下鉱山の埋蔵量と同じなのでしょうか
17. 都市鉱山の蓄積量が多いということから何をメッセージとして発したいのですか
18. 散逸ストックの量はどのくらいあると想像されますか
19. 散逸ストックの量を把握するには何が必要ですか
20. 散逸ストックは使用済製品やその廃棄物のなかだけにあるのでしょうか
21. 散逸ストックを有効に集め都市鉱山を生かしていくにはどうすればよいのでしょうか
22. 小阪などで行われている携帯からの希少金属回収とはどのような関係ですか
23. 携帯などは一時期よりリサイクルが減ってきていると聞いていますが
24. 都市鉱山の活用は経済的に成り立つのでしょうか

1. 都市鉱山とは何ですか

都市鉱山とは、一旦地下から掘り出され、人間の活動圏になかに入ってしまった金属などを資源として活用していくことです。

一般に鉱物資源は地下から採取されますが、既に 20 世紀の末にはいくつもの金属資源が地下にある確認埋蔵量よりもこれまでに採掘した既採掘量のほうが多い状態に至っています。都市鉱山は、この人間活動圏の中にある既採掘金属を資源として有効に活用していくという考え方です。

ここでいう、「都市」とは「農村」や「地方」に対置する考え方ではなく、「地下」もしくは「天然」にたいする「人間経済圏」を代表する言葉として理解してください。



つまり

$$(\text{金属資源}) = (\text{地下鉱山資源}) + (\text{都市鉱山資源})$$

の関係があり、図 1 に示すように、都市鉱山資源の割合の方が高くなってしまっている金属がたくさんあるのです。

2. 都市鉱山はすぐに資源として取り出すことができますか

いいえ、簡単にはいきません。

天然の地下鉱山には「鉱脈」といって、金属の品位が高い鉱物の地層がありそこを掘っていけば、鉱石のもととなる「粗鉱」が得られるのですが、都市鉱山は、まだその「鉱脈」をうまく見つけることができずに苦労している段階です。

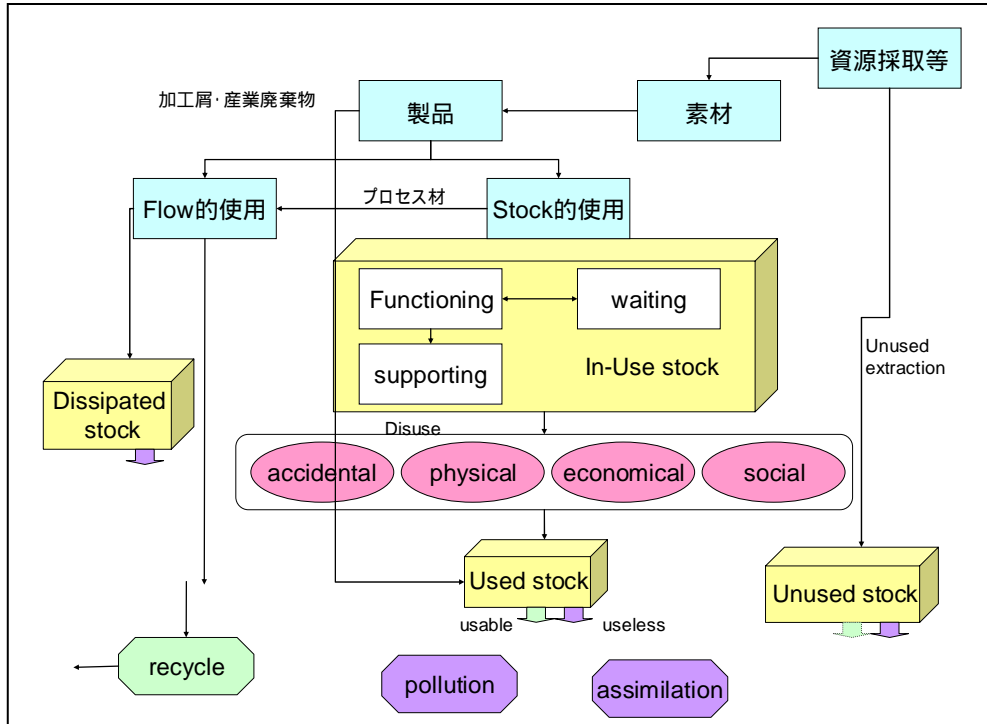
別の見方から説明すると、採掘されて人間活動圏の中に入った金属は、

(製錬) 【素材】 (加工) 【部材・部品】 (組み立て) 【製品】

という流れで「製品」となって皆さんの役にたっているわけです。この製品は、使用された後、

- a) 廃屋のように そのまま残っているもの
- b) 物入れの片隅に置き残されているもの
- c) リサイクルされているもの
- d) 焼却、埋め立てなどのゴミ処理にまわされたもの
- e) 投棄・散逸してしまったもの

のようなライフサイクルの終末を迎えるわけですが、そのうち、a),b)は管理者が明確であれば集めることができます。これは、「使用済ストック(used stock)」と呼ばれるものです。



しかし、d),e)はどの金属がどこに行ったのかが分かりませんし、しかも、そのほとんどがいろいろなものと混ざってしまい、金属成分としても濃度の薄いものになってしまっています。これらは「散逸ストック(dissipated stock)」と呼ばれます。これに、現在使用したり、使用するための準備段階や予備にとってあるもの「使用中ストック(in-use stock)」があり、

$$(\text{都市鉱山蓄積量}) = (\text{in-use stock}) + (\text{used stock}) + (\text{散逸ストック})$$

の関係にあるのですが、比較的簡単に資源化できるものは「使用済ストック(used stock)」のみで、まだきちんとした見積もりはできていませんが今のところ再資源化が難しい「散逸ストック」になっている部分がかかなりの量ではないかと思込まれます。

都市鉱山を有効に活用するには、

「使用済みストック」を有効に回収・集積する、いわゆる「都市鉱脈」つくりと

「散逸ストック」を極力減らし「使用済ストック」にしていく努力

この二つが不可欠で、これらが無いと「都市鉱山」は本当に”机上の空論”になります。

3. 今回の計算は、都市鉱山のどのような部分(可能性、実量)を見積もったのですか

今回の計算は、この「In-use」「使用済」「散逸」の総てのストックを「蓄積量」として見積もった都市鉱山のポテンシャルを示す量です。

「蓄積量」の定義は、まだ議論があるところですが、大きく分けて、

- a) 実際にある時期を限定して、対象区域にある量を調べた「時間断面法」と
 - b) 年毎に入った量と出て行った量を調べて、その差の累積から推定する「増分法」
- があります。今回の算定は、後者の b) 増分法 によるものです。

この二つの方法のうち、「時間断面法」が「In-use ストック」や「使用済ストック」を把握しやすく精度高かつ実践的にも有効なのですが、車検や固定資産登記など全体の量を把握した情報のある分野は限られており、多くがこのストック把握のために特別の調査を行う必要があるという点や、「散逸ストック」は直接カウントできないという点などの問題点もあり、この「時間断面法」と「増分法」の二者をそれぞれで追究しながらストックの状況の理解をすすめて行くこととなります。

今回の計算は、そのような視点から「増分法」での結果を示し、今後すすめられるであろう「時間断面法」による蓄積量の分析と合わせて議論していくためのものです。この議論ができるようになると「使用済ストック」と「散逸ストック」の実態が明らかになって、資源の有効利用がより一層進められるものと期待されます。

4. わが国の都市鉱山の量が多いという結果ですが備蓄は必要ないのでしょうか

いいえ、どんなに都市鉱山の量が多くとも「備蓄」が不要になるわけではありません。

今回の計算結果は、「In-use」「使用済」「散逸」の総てのストックを「蓄積量」として見積もったもので、このうち比較的容易に再資源化の対象にできるものは「使用済ストック」に限られており、さらに再資源化するためにも国の規模でのシステムの整備が必要です。

「備蓄」は、緊急の資源供給難が起きた場合のリスクに備えるもので、リサイクルシステムを整備して、回収して、そしてさらに製錬するという流れを踏まなければならない都市鉱山では、そのような緊急のリスクにはとても対応できません。日本の産業を支えるための緊急の資源リスクを緩和するためには、都市鉱山がどんなに大規模でも備蓄は絶対に必要なのです。

5. 都市鉱山の規模が大きいという結果から起きる良いことは何ですか。

重要な質問です。「都市鉱山が大きい」=「豊かだ」とか「資源リスクは回避される」とは単純にはいきません。地下資源を持っている国でも、カナダやオーストラリア、南アフリカのようにそれを積極的に活用して国を豊かにしている国々もありますが、アフリカなどにはその資源を活用できずに、むしろ諸外国の動きに翻弄されている国々もあります。鉱山のポテンシャルが大きいからといって、それを利用するシステムづくりがないと、むしろ、目ざといグローバル化の経済主体に利用価値を見出され、国力としては低下していくこともありえます。

では、どのようにしたら良い方向に進めかという視点で整理すると、

- a) 国内リサイクルによる資源確保の可能性が広がる
- b) 海外の地下資源への依存性を下げることができる。
- c) 国内製品という情報の得やすいものを再資源化対象にできるので海外より低コストのリサイクルが可能。
- d) スクラップ市場などの国際化に対応して、国内のストックを資源化することで新たな国際競争力の源にしていくことができる
- e) ストックの再資源化の領域の大きさが示されたことで、再資源化に向けた新たな循環型ビジネスの構築が進められる

などの諸点が期待されます。

6. 都市鉱山を活用すると CO2 も減るのでしょうか。

そうです。都市鉱山の最大の意義は資源リスクに対応することですが、同時に金属のリサイクルは CO2 の世界的な削減にも有効です。都市鉱山の利用が進んで金属資源のリサイクルが促進されれば金属地下資源の採掘や、鉱石の船舶輸送、さらには金属の製錬に投入される化石燃料を大きく減らすことができるからです。

例えば採掘だけ見ても、南アフリカの鉱山の環境報告書によれば、金や白金の採掘のために年間 8400 万トンの土石を掘り出しており、CO2 を 445 万トン発生しています。つまり 1 トンの土石の採掘に 0.05 トンの CO2 が発生するわけです。金を 1kg 得るためには約 1000 トンの土石の採掘が必要ですから、1mg という微量な金でもその採掘には 0.05kg の CO2 が海外の鉱山で出ているのです。携帯電話に含まれている金の量を約 0.01g、銅を 10g とすると、携帯電話一台から金と銅を回収すると世界の CO2 を約 700g 削減したということになります。これは一日に 1 時間 36 インチの薄型テレビを見る時間を削る行為を 2 ヶ月間続けたのと同じぐらいの CO2 削減効果に相当するのです。

また、アルミニウム缶は、その原料となっているアルミニウムの製錬に膨大なエネルギーが必要で、IAI(世界アルミニウム協会)によると 2400 万トンの一次アルミを生産した 2005 年に排出した一次アルミ産業が排出した CO2 は 1 億 4000 万トンであり、1g のアルミニウムを地下資源から得るのに 5.8g の CO2 が発生することになる。アルミ缶は約 15g だから缶を 1 つリサイクルすると、オーストラリアやロシアの CO2 を 87g 削減していることになる。これはクーラーの温度設定を 1 度高くして 5 時間運転した CO2 削減効果に匹敵する。

このように、都市鉱山を生かすことで、世界の CO2 の削減に役立ちます。

7. 都市鉱山蓄積量の計算はどのようにして行ったのですか

今回の計算は「増分法」で行われています。増分法の基本は、日本なら日本というひとつのシステム境界を考え、そのシステム内部への目的物のインプット量および外部へのアウトプット量、システム内部での目的物の発生量および他の物質への転換量をしらべ、その差をある年の増分として、加算していく方法です。

すなわち、

$$\text{ある年の増分量} = (\text{インプット量}) - (\text{アウトプット量}) + (\text{発生量}) - (\text{転換量})$$

となり

$$\text{蓄積量} = (\text{それぞれの年の増分量}) \quad (\text{はそれぞれの和を意味する})$$

として計算されます。

金属元素の場合、核反応でもない限り元素は変わりませんので、「転換量=0」と置けます。これが、CO₂ と H₂O に変わってしまう化石燃料と大きく異なるところです。

発生量は、日本の鉱山からの産出です。鉱山からの産出は、人間経済圏以外の地下から物質が持ち出されるのでカウントしますが、リサイクルは人間経済圏の内部での循環ですので、発生量にはカウントしません。

インプット量は輸入量になります。輸入量には、

- a) 原料(鉱石)輸入量
- b) 素材輸入量
- c) 部品輸入量
- d) 製品輸入量

があります。b)素材輸入量は、バージン素材もスクラップも基本的に輸入量を金属の量とみなして問題の無い場合が多いのですが、a)原料輸入量には金属以外の成分が含まれますので、貿易統計に出ている量からはそれを除外した金属分の数値を用います。c)d)は、輸入量から直接金属分を得るのは困難です。これは輸出の場合も同じです。日本の場合は、部品や製品としての輸入よりも輸出の比率が極めて大きいので、この部品や製品の輸出を考慮しないと蓄積量を過大に見積もってしまう恐れがあります。

これまで、蓄積量の計算が鉄をのぞいてほとんどできていなかったのは、この部品や製品に含まれて輸出入される金属量が有効に見積もることができなかつたためです。今回の計算の特徴は、その部品や製品に含まれて輸出される金属量を産業連関表を用いて見積も

ることができたところにあります。

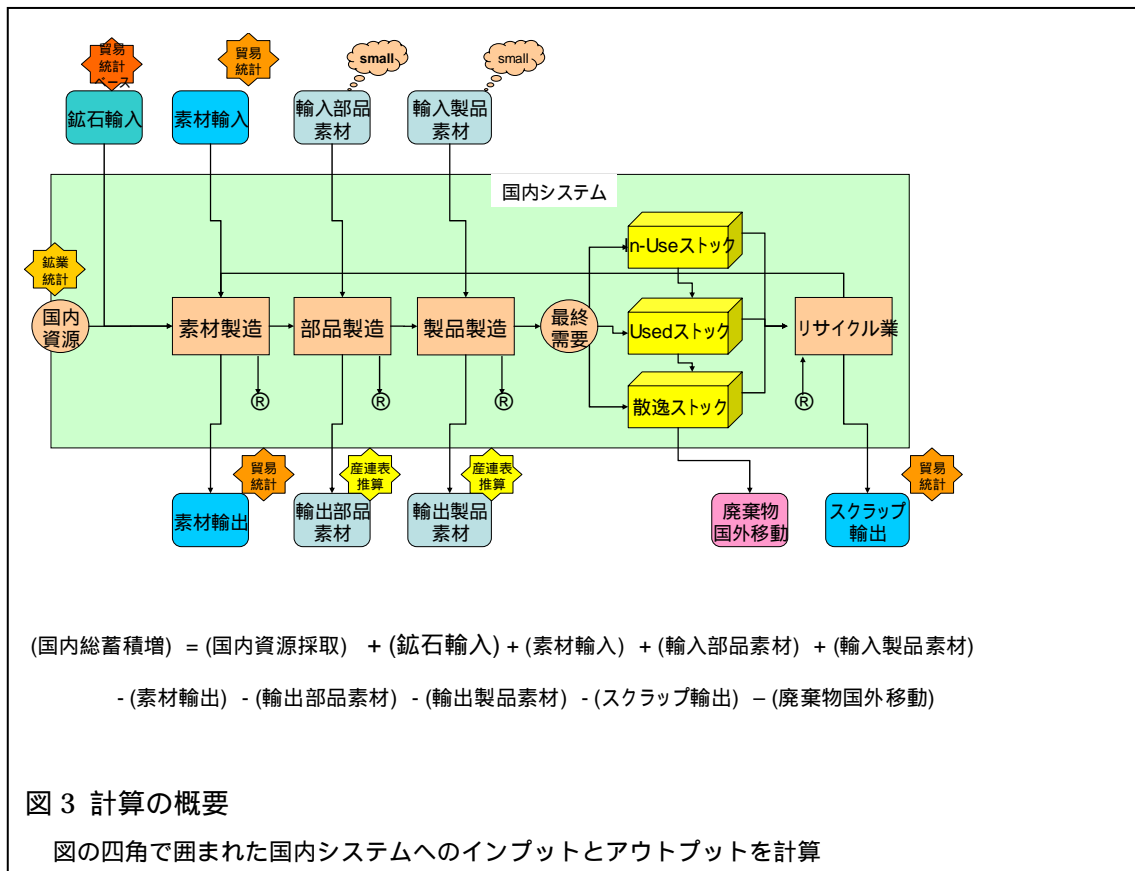
アウトプットは、輸出となり、輸入の場合と同じように a)から d)があり、先述したように c)部品輸出 d)製品輸出の中の金属量が問題になります。さらに輸出の場合には、使用済物の輸出が加わります。使用済物の輸出も、

- e) スクラップとして輸出
- f) 他の品目の中に混在して輸出
- g) 不法持ち出し

がありますが、このうち、e)スクラップ輸出はb)素材輸出と同じように取り扱えます。

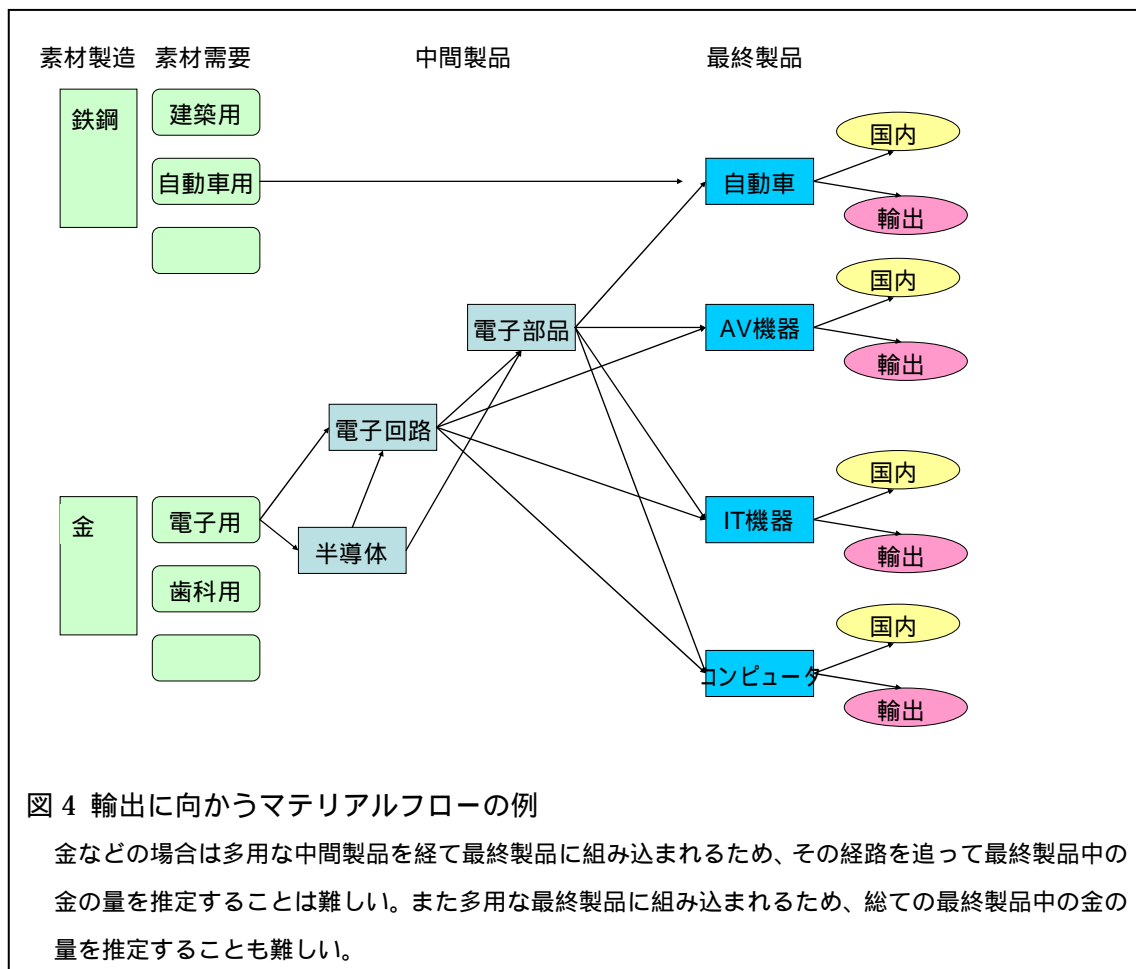
問題は、f),g)の「目に見えない輸出」で、これは、統計データからとらえていくことはできません。今回は、スクラップ以外の使用済物については計算に入れていません。むしろ、今回のような貿易統計をベースとした算定結果とマテリアルフロー調査の結果を照らし合わせる中で、このような「目に見えない輸出」の実態を今後明らかにしていくことに使えると期待されます。

以上のような計算の概略を図3に示しておきます。



8. 計算の中で、製品などの中に含まれて輸出される金属分はどのようにして算定したのですか

ここが今回の計算の一番のポイントです。日本は貿易国家ですので大量の工業製品を海外に出しており、その製品の中に含まれて持ち出される金属の量も相当量あると想像できます。しかし、これを直接計量することは困難で、これまで製品中の含有量などから推定する方法などがありました。例えば、鉄の場合、自動車一台にほぼ 600kg が使用されるなど、製品重量の多くの部分を占めているので、輸出製品の数からある程度の類推はできましたが、半導体の中に使用される金になると、その半導体もさまざまな電子部品に組み込まれ、電子機器として輸出されるものもあるし、さらには自動車の電装部品の制御回路となり自動車として輸出されるものもあります。このように、製品中の含有量を想定するにも素材と製品が一對一に対応しないものが沢山あり、レアメタルになるほどその性格が強くなります。



このように、多用な中間製品を経て最終製品に組み込まれる素材の量は単純には計量や

測定、計算はできません。

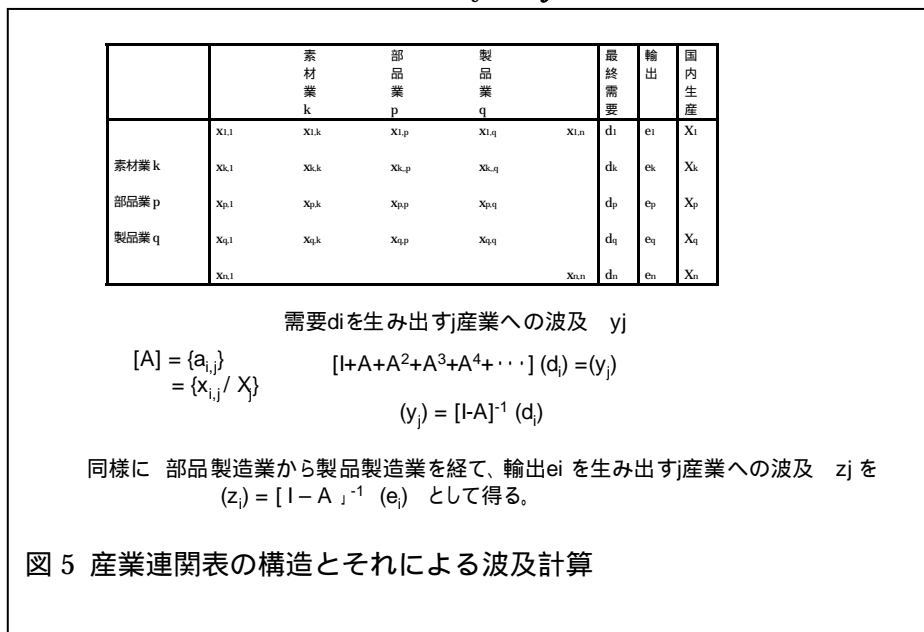
そこで、今回注目したのが、「産業連関分析」です。産業連関分析とは、ある産業部門から別の産業部門への財の流れを表にした「産業連関表」を用いて行う分析です。

産業連関表は図5の上部のような構造の表になっており、部門*i*から部門*j*への財の流れが*x_{ij}*で与えられた行列になっています。この*x_{ij}*を部門*i*の国内生産*X_i*で割った*a_{ij}*を投入係数と呼びます。この投入係数は*a_{ij}*は*j*産業の単位産出量あたりに必要な*i*産業生産物の財の量を意味します。ここで産業の需要が*d_j*だとすると、*i*産業には*a_{ij} · d_j*、*k*産業は*a_{kj} · d_j*の産出が求められることとなります。これが一次波及と呼ばれるものです。この一次波及で*k*産業に*a_{kj} · d_j*の産出が求められますが、それをまかなうためにさらに、*i*産業には *a_{ik} · a_{kj} · d_j*の産出が求められます。しかも一次波及のおよぶ*k*産業は単一ではなく原則的には総ての産業への一次波及を考えなければなりません。そこで、行列で表すと、

$$\text{一次波及 } \mathbf{y}(1) = [\mathbf{A}] \cdot \mathbf{d} \quad [\mathbf{A}] \text{は } a_{ij} \text{の行列、となり}$$

$$\text{二次波及 } \mathbf{y}(2) = [\mathbf{A}] \cdot [\mathbf{A}] \cdot \mathbf{d}$$

のようになり、三次波及、四次波及と続いていき、 $\mathbf{y} = (\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \dots) \mathbf{d}$ の関係になります。これより 需要*d*に必要な産出*y*が $\mathbf{y} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1} \mathbf{d}$ として得られます。



この需要*d*の代わりに、輸出*e*を入れると、*j*産業がわが国の製品輸出を満たすことができるための産出量*z_j*が得られます。これを*j*産業の全産出量*X_j*との比

z_j / X_j で 生産量と直接もしくは間接に輸出に回る量の比が得られます。

図6は2000年の産業連関表から計算した各産業部門の直接および間接の輸出比率と、それを適用した品目と金属の種類です。なお、本来この比率は毎年異なるものですが、その変動は大きくないため、今回の計算では総て2000年の比率と同じとして計算しました。

コード	品目	適用金属	直接輸出 / 需要	含波及輸出 / 需要
221101	プラスチック製品	Sb, Sn	0.046	0.242
207909	その他の化学最終製品	Zn	0.158	0.342
2623021	メッキ鋼材	Zn, Sn	0.213	0.378
2721011	電線・ケーブル	Cu,	0.141	0.393
2722011	伸銅品	Cu, Zn	0.251	0.466
2722021	アルミ圧延製品	Al	0.108	0.286
2722099	その他の非鉄金属製品	Ag	0.171	0.501
2811011	建設用金属製品	Fe	0.005	0.016
2812011	建築用金属製品	Fe, Al	0.002	0.031
289903	粉末や金製品	W, Co, Ta	0.089	0.296
2899021	金属製容器及び製缶板金製品	Zn, Sn,	0.007	0.164
289	金属製品	Ta	0.059	0.220
301	産業機械	Fe	0.255	0.352
321	電子機器	Fe, Pt, Ag	0.250	0.386
3341021	集積回路	Au	0.407	0.638
3359021	液晶素子	In	0.144	0.417
3359099	その他の電子部品	Au, In, Ta, Sn	0.190	0.553
340	電気器具	Ag	0.284	0.459
351	自動車	Fe, Pt	0.251	0.463
36	輸送機械	Fe	0.264	0.464
37	精密機械		0.246	0.299
3711011	カメラ	Ag	0.377	0.439
39	その他		0.087	0.124

図 6 各産業部門の直接および間接の輸出比率

9. 上記の産業関連計算と結びつける素材需要はどのようにして求めましたか。

自動車、電子などの各分野への素材需要は、いくつかの金属については工業統計(鉄・非鉄金属製品統計など)により得ることができます。しかし、工業統計にないものは、それぞれの金属を扱っている業界のデータを業界誌(工業レアメタル)などから集めてこなければなりません。このようなデータを集計したものとして、JOGMEC(石油天然ガス・金属鉱物資源機構)のマテリアルフロー調査、さらには資源素材学会の監修による「世界鉱物資源データブック」があります。前者は需要だけでなくマテリアルフローも追いかけていますが、ここ数年に強められた取り組みのため、年次を遡ったデータがありません。一方で「世界鉱物資源データブック」は、1970年代からのデータがそろっているので、今回は基本的に「世界鉱物資源データブック」のデータを用い、JOGMECのマテリアルフロー調査や、工業レアメタルの記述、鉄・非鉄金属製品統計年報、資源統計年報などのデータも参照し大きな数値のずれが無いことを確認しながら使いました。

10. 輸入鉱石の中の金属量はどのようにして計算しましたか

貿易統計では鉱石量で記載してありますが、資源統計年報などの工業統計データでは輸入鉱石はむしろ含有金属量で記載してあるケースが多いのです。貿易統計のデータをもとに、その鉱石の品位(金属分のパーセンテージ)を考慮した金属含有量での関連業界での統計整理や、それをまとめた JOGMEC(石油天然ガス・金属鉱物資源機構)のマテリアルフロー調査があります。特に資源素材学会の監修による「世界鉱物資源データブック」は経年の数値が与えられていますので、データの出所の一貫性も配慮して「世界鉱物資源データブック」の数値を用いました。なお、この数値は、金属の生産量からスクラップ投入量を差し引いたものとほぼ一致しているかをチェックすればその妥当性が確認されます。

11. 計算に使用したデータの出所を教えてください

具体的に計算に使用したデータは、

資源素材学会の監修による「世界鉱物資源データブック」

産業連関表 2000 年版

です。「世界鉱物資源データブック」の数値を使用するに当たり、そのもととなっている、データとして、

輸出入関係 国連貿易統計 (comtrade)

鉱石、素材需要関係 資源統計年報、鉄鋼・非鉄金属統計年報

工業レアメタル、鉱山

を参考にし、さらに

JOGMEC(石油天然ガス・金属鉱物資源機構)のマテリアルフロー調査、ジョンソンマッセイの貴金属データ などと比較して数値の妥当性をチェックしました。

また、地下鉱物資源の埋蔵量との比較は、比較データの一貫性の観点から総て、アメリカ鉱山局の mineral commodity のデータを用いて比較しました。

12. この計算とマテリアルフロー分析とはどのように違うのでしょうか

マテリアルフロー分析は、鉱石輸入、素材製造、素材加工、素材需要、加工屑発生、製品出荷、使用済製品回収、リサイクルなどのような製造・流通工程の流れに沿って金属などの物質がどこにどれだけの量使用され流れて行っているかを調べる分析です。

かつては、旧科学技術庁の資源調査所での調査や、1990年の当時の通産省の鉱物資源課が「レアメタル 31」としてまとめた先駆的なとりくみがあり、現在では、JOGMEC(石油天然ガス・金属鉱物資源機構)が毎年のデータをマテリアルフロー調査として Web 上に公表しています。また、一つ一つの金属に関しては、メタル経済研究所の銅、鉛、亜鉛のマテリアルフロー調査、JRCM のアルミニウムリサイクル調査などがあり、鉄に関しては鉄源協会が長期にわたって調査をしています。また、研究的な側面では東北大長坂徹也教授のグループが科学技術振興機構の社会技術研究でデータの蓄積を進めています。このように日本のマテリアルフロー分析は世界でも有数のもので、海外でこのような能力を持っているのは Yale 大学の Gradel 教授のグループぐらいしかいないといわれています。

このマテリアルフロー分析は、実際の生産量、納入量などを追いかけていく分析です。そのため何がどこにあるかを知るためには有効で精度の高い値を知ることができます。

一方で今回の蓄積量の算定は、このような製造、加工、リサイクルなどの情報はブラックボックスとして、わが国へのインプット量とアウトプット量の側面だけからとらえています。いうならば、マテリアルフロー分析が足を使って利用可能な土地を地道に調べ上げているのに対して、その外、例えば飛行機の上から写真を撮って面積を割り出しているようなものです。マテリアルフロー分析は動物の視点(mammal view)、今回の蓄積量推定は鳥の視点(bird view)ということもいえると思います。

最終的にはこの二つが一致することが理想です。現実には、これまでの経験の豊富なマテリアルフロー分析が主で、今回のようなバードビューはその精度を上げるための補助的な情報として活用していくのがよいと考えています。

それは、マテリアルフロー分析の場合、素材産業など含有金属を強く意識している業界からの情報はかなりの高精度で得られるのですが、電子ききや機械部品など製品側になっていくと金属に関する情報が希薄になっていき、使用済物に至ってはほとんど情報の取得が困難になるという、「目のとどかないところ」が出てきてしまうという弱点が出てきます。本来は、電子機器や機械部品などの製造業からも何なりかの形で中に含まれる金属資源などの情報を公開し循環型の資源利用の促進に寄与するべきなのですが、現在はマテリアルフローを調査している方々が個別に聞き取って整理してと行かざるを得ない現状です。このようなときに、バードビュー的なデータを示しますと、「別の見方からするとこの製品部門の消費財にはこれくらい金属が含まれているはずだ」という目安になって、マテリアルフロー調査の精度も上げやすくなるのではないかと期待しています。

13. この計算の精度はどのくらいですか

先述したようにバードビューとして、概略的な数値を示すことが目的出るので、有効数字で二桁の精度が出せれば精密なほうだと思って計算しています。

蓄積量を別の方法で算定したものに鉄源協会の「日本の鉄鋼蓄積推計」があります。これは、各素材需要部門に対して、加工屑の発生を考慮して差し引き、さらにそれぞれの需要部門の最終製品の耐用年数を用いて、それが老廃屑となってリサイクルされる分を勘案したものです。基本的には「増分法」による蓄積量の算定ですが、今回の計算のような外部とのやりとりから計算する「境界法」ではなく、マテリアルフローに沿って個々の要素を足し合わせた「積み上げ法」によるものです。

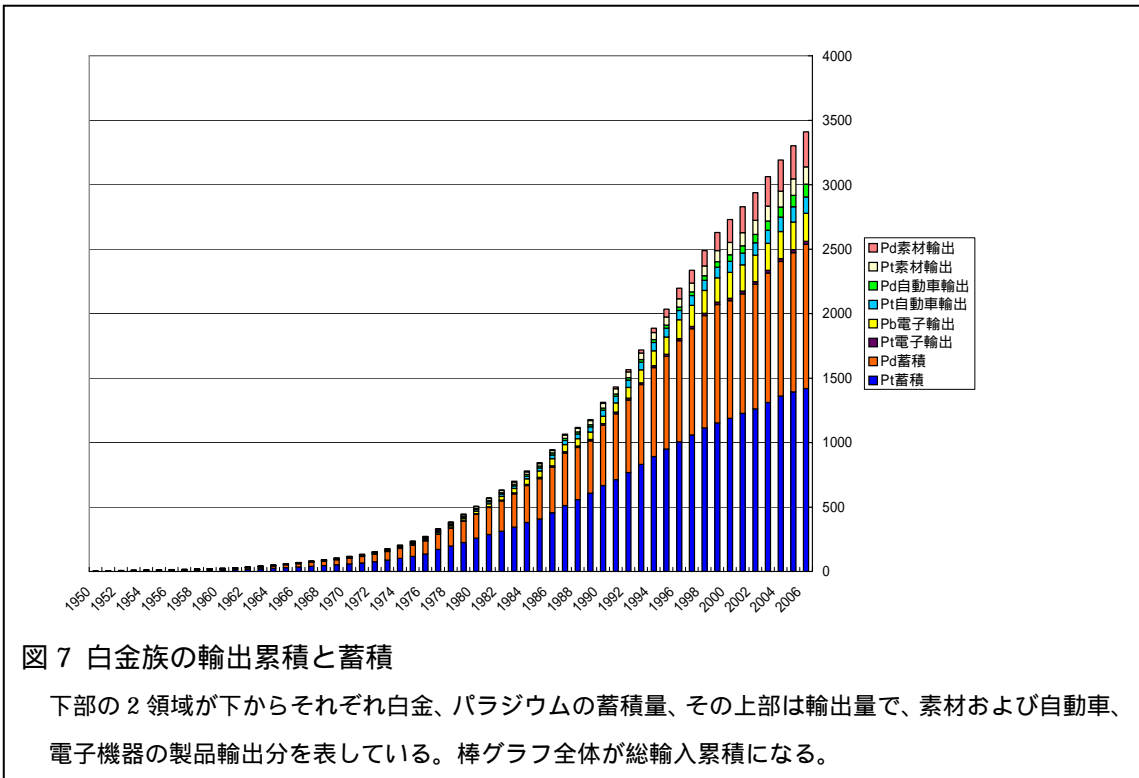
この「積み上げ法」による鉄源協会の 2003 年時点での蓄積量が約 12 億 6000 万トン、今回の計算の 2003 年時点の蓄積量が 12 億 8000 万トンですので、二桁の精度は出されている(少なくとも桁での違いは無い)のではないかと思います。

14. 白金族が 2500 トン近くもわが国にあるとは信じられないのですが

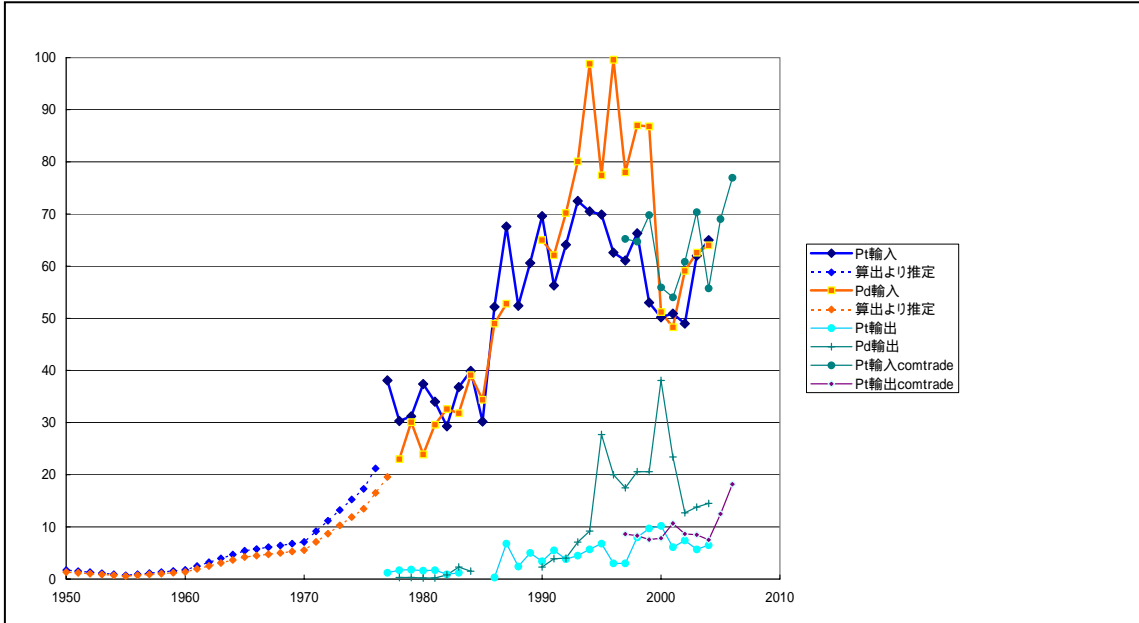
最初は私も信じらず何度もチェックしましたが、計算するとこのような結果になっています。実態間と程遠いのは、頭の中が 1980 年代の古い意識のままの思い込みだったか、もしくは、それほど散逸ストックや「見えない輸出」などが多いのではないかと危惧しています。

以下に、データを追いかけてみます。

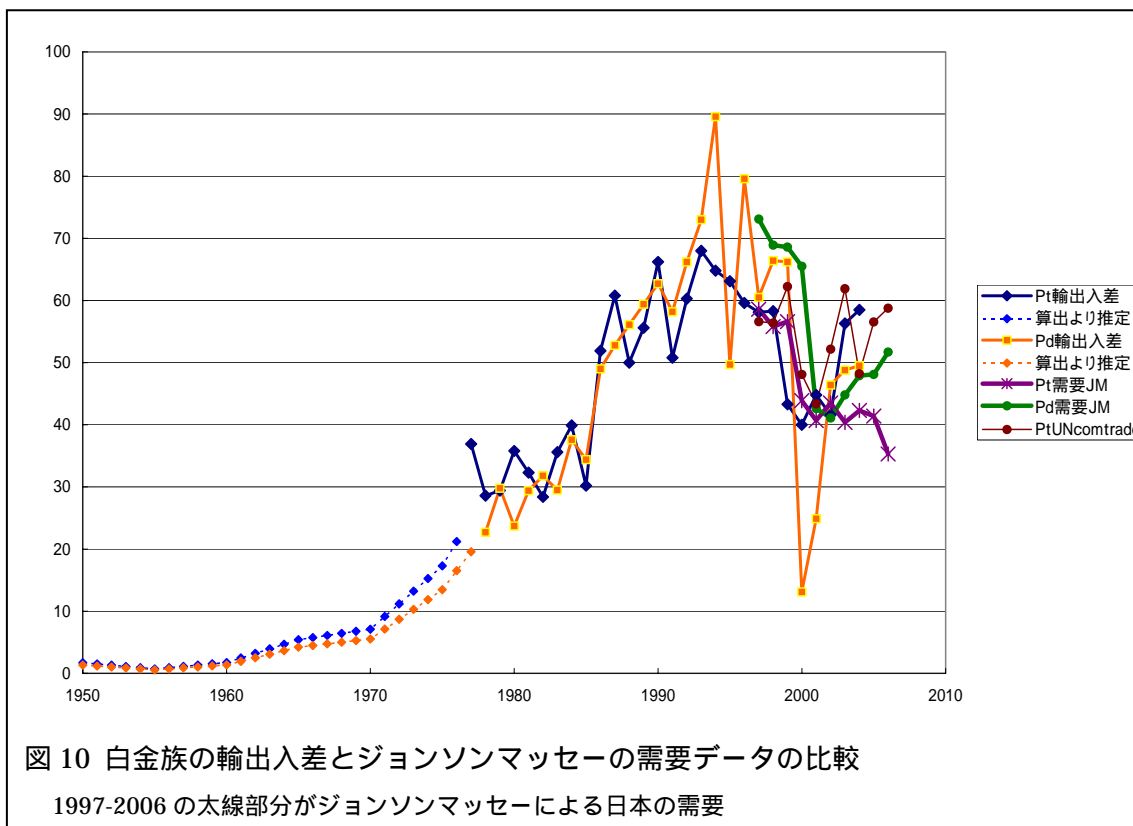
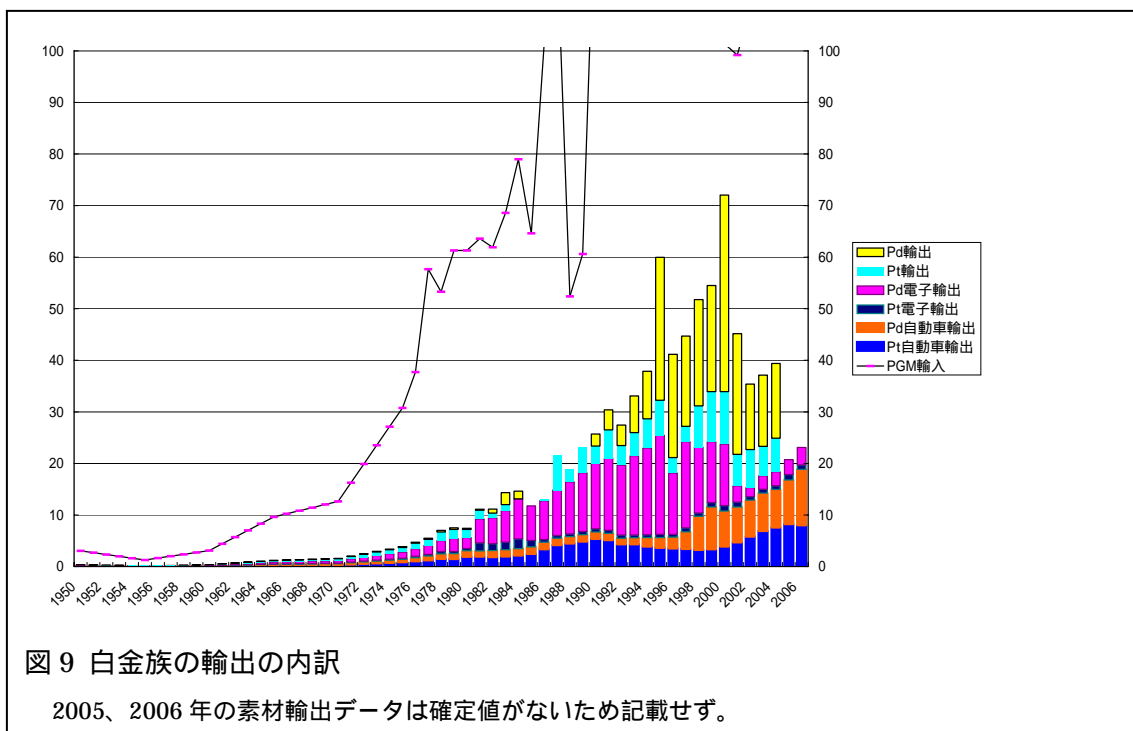
図 7 がその輸入と輸出そして累積状況を示したものです。



白金で約 1400 トン、パラジウムで約 1200 トンがわが国に残っているという結果になっており、輸入の累積 3400 トンに対して輸出の累積は製品輸出も含めて 900 トン程度です。



計算に用いたデータのほうから見た、輸出入の全体量の変化を図 8 に、輸出分の内訳を図 9 に示します。



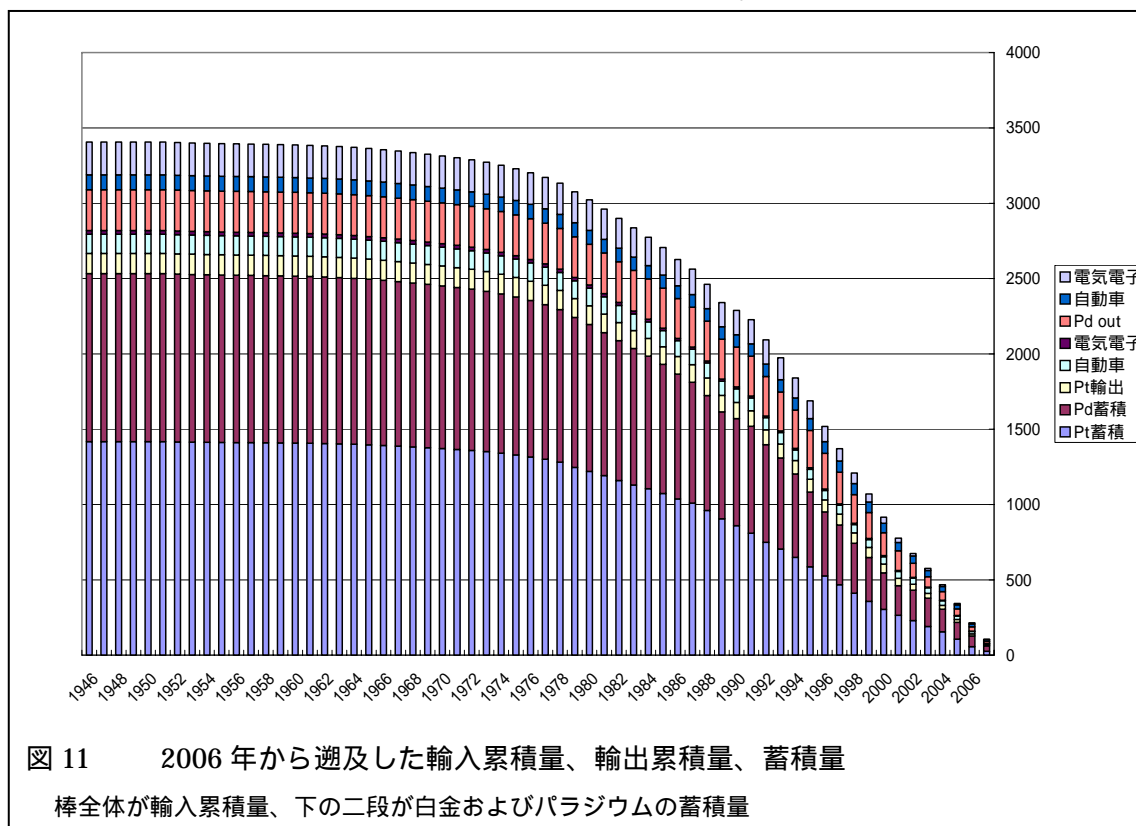
貿易統計などでは他の品目からのノイズも懸念されるため、白金族や貴金属の分野では、最も信頼されるジョンソンマッセーのデータとも比較した。ジョンソンマッセー(J&M)のデータは田中貴金属により日本語版としてウェブ上に公開されている。

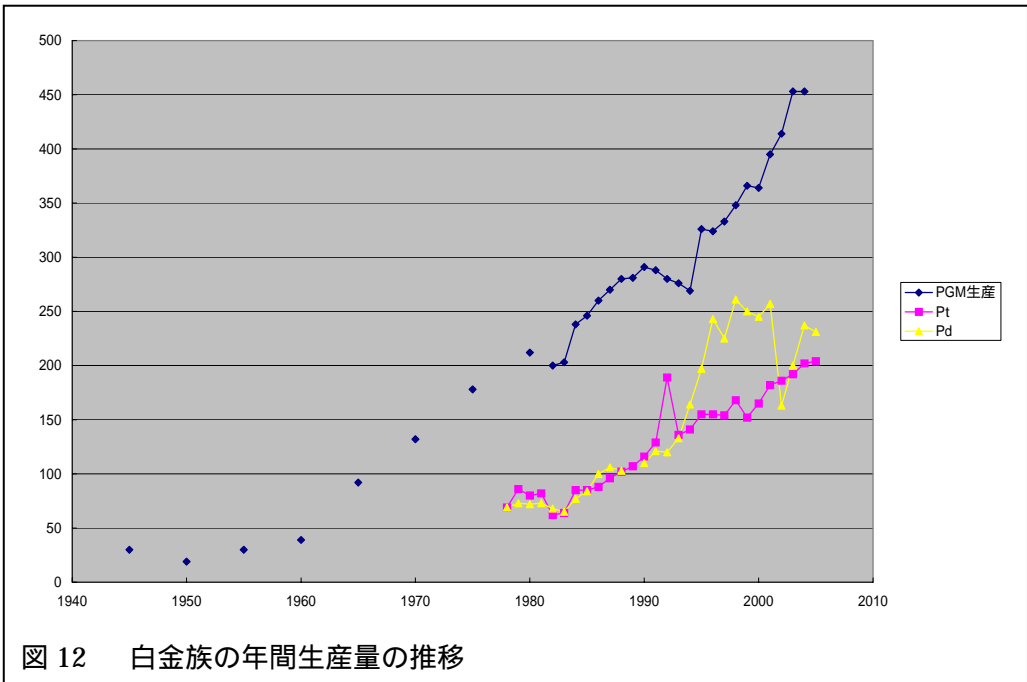
J&Mでは、日本の需要データとなっているため、回収・リサイクル分を含めている。そのため、J&Mの需要の値から同じくJ&Mに記載されている回収分の数値を差し引いたものをグラフには示した。数値は白金、パラジウムとも完全に一致しているわけではないが、ほぼ同程度のレベルと同様の傾向を示しており、今回の算定に用いた輸出入データでも大きな狂いは無いことが分かる。なお、電子、自動車などの白金族の素材用途のデータは、J&Mも「工業レアメタル」も「世界鉱物資源データブック」も同一であった。

さらに、図7の蓄積量の1976年以前は、図8に見られるように世界生産量に比例するとして外挿した数値を用いており、ここからの誤差が累積となったことも想定される。そこで、J&Mなどとも比較可能で精度の高い近年のデータから遡及した蓄積量を見てみた。

それが図11であり、外挿している1976年以前の数値は全体にはほとんど影響を与えないことがわかる。

このように、データを検討してみたが、大きな誤差要因は認められず、日本に残っているはずの量としてこの数値を否定できる要素は見出せない。





現に、図 12 に示すように、白金族の年間生産量は右肩上がりに上昇しており、現在では年間 450 トンに達している。白金族の累積採掘量も 1990 年には 5000 トン程度であったが、現在では 10000 トン近くになっている。この 10000 トンが世界のどこかに存在しているのだから、世界の需要の 1/3 程度を担い続けてきた日本に 1/4 程度の量が何なりかの形態で存在していることは不思議ではない。

15. インジウムの全埋蔵量に対する比率が高すぎるのではないだろうか

二つの要因があります。ひとつは、この数値は地下鉱山の埋蔵量との比較であって、埋蔵量に都市鉱山の埋蔵量は加えていないからです。もし、埋蔵量を

$$\text{新埋蔵量} = \text{地下鉱山の埋蔵量} + \text{都市鉱山の埋蔵量}$$

として、この新埋蔵量と都市鉱山の埋蔵量を比較すると、値はもっと小さくなります。

そのような計算をしない理由は、今回の都市鉱山の埋蔵量と地下鉱山の埋蔵量とは少し意味合いが違うという理由と、地価鉱山の埋蔵量自体がまだ検討を要する部分があるという理由があります。前者については別項で述べますが、後者が今回インジウムの埋蔵量比率が高く出ているもうひとつの理由と関係しています。

もうひとつの理由とは、比較に用いたアメリカ鉱山局のデータがどれだけ現実を反映しているかという問題です。鉄、アルミニウムをはじめ多くの金属は、それぞれの業界の国際団体が存在してその中で埋蔵量が見積もられています。しかしインジウムのような急に需要の伸びたレアメタルに関してはそれがなかなか難しく、米鉱山局も断片的なデータをもとに推定を行っているものと思われます。インジウム関係の方から意見を聞くと、米鉱山局の埋蔵量だけではすでに現時点の需要もまかなっていない計算になる、とか、最近注目されている中国の亜鉛廃鉱からのインジウム採取は埋蔵量の中にカウントされていない可能性が高い、という指摘がなされています。また、この米鉱山局のデータは米国のためのもので、以前に隣の統計に対して公表を一次控えるなど国益の観点からの配慮も伺える性格のものであります。

しかし、期間的にもカバーする金属の種類でも系統的なデータとして埋蔵量データで相対的に信頼できるのはこの米鉱山局の情報ですので、特に複数の金属を同一の手法で扱ってみる今回の計算ではその鉱山局データを比較対象としました。

今後、資源利用のあり方についての議論が国際的になされるでしょうから、国際的に信用でき、特定に国に依存しない、基本データの整備が望まれます。

16. 都市鉱山の埋蔵量は地下鉱山の埋蔵量と同じなのでしょうか

残念ながら違います。地下鉱山の埋蔵量は資源が地質学的に存在している量の中で技術的にも経済的にも掘り出すことが可能な量で、まだ掘り出していないものを意味しています。ここで比較した「都市鉱山の埋蔵量」は「散逸ストック」などもふくんだ計算であり、まだ経済的、技術的に取り出すことができるかどうかの見積もりはされていません。厳密に言うならば「埋蔵量」のポテンシャルということになります。また、地下鉱山でも、このように経済的に取り出す可能性を抜きにして金属資源が存在している量を「埋蔵量ベース」と呼んでおり、埋蔵量のポテンシャルを示しています。この考え方は今回の蓄積量の算定と近いものがありますので、本来的には、「都市鉱山の埋蔵量ベース」と呼んで、地下鉱山の埋蔵量ベースと比較するのがより科学的な方法だと思われれます。ただ埋蔵量ベースという表現は極めて専門的な表現ですので、一般的に分かりやすい埋蔵量と比較したわけです。

17. 都市鉱山の蓄積量が大きいということから何をメッセージとして発したいのですか

三つあります。

ひとつは、国の資源利用の対象を広げることです。つまり国内にある資源にもっと目を向けて有効活用すべきだということです。これまでリサイクルの推進などで部分的には使用済資源の有効利用が図られていました。しかし、「ある使用済製品からは有価物が利用できる」といったように、地下鉱山でいうと「狸掘り」的なアプローチで、もっぱら個々の事業者の努力にゆだねられていた側面が強かったといえます。今回、この資源利用を異なった視点からみてみることで、国全体としてもっと使用済製品からの資源を利用できるのではないかと提示したわけです。

二つ目に、使用済み製品を国際化している中での資源としてとらえるという見方です。世界の埋蔵量と比較したのは、そのような観点を強調したかったためです。現在、リサイクルというと廃棄物処理や国内循環に焦点が行きますが、これを海外の地下鉱山にも匹敵しうる資源として考えた場合、如何に付加価値をつけて国際的に取引していくかという視点も出てきます。これはまた、国内の循環にとっても、回収や選別など結果的には資源としての価値を高めているのにコストとして見合っていなかった部門に新しいビジネスを構築していくということにもつながります。

三つ目に、上記二つのためにも、この計算・分析の積み残しになっている「散逸ストック」の量や存在の仕方などの情報を早急に収集し、「散逸ストック」を循環ビジネスの対照とできる「使用済ストック」に変えていく努力を始めるべきだということです。特に、国内の散逸ストックは、時間をかければ技術開発なども含めてある程度対応が可能となるかもしれませんが、海外に散逸している部分の把握は急務だと思われれます。

18. 散逸ストックの量はどのくらいあると想像されますか

ひとつひとつの金属については、マテリアルフロー分析をもっと進めて、どこまで製品中の金属の流れが管理されているかをはっきりさせないと全体ではなんともいえませんが、今回の蓄積量の算定と、それぞれの業界などで見積もっている蓄積量との差が散逸ストックの量とみられます。

個別例では現時点でももう少し具体的な数字をあげることも可能です。たとえば携帯中の金の量は、日本 LCA 学会誌に「関与物質総量に基づく使用済み携帯リサイクルフロー解析」に発表していますが、携帯電話を直接化学分析して 1 台(120.81g)あたり 6.82mg という例が得られています。現在の日本の携帯契約数は、2007 年 12 月現在 1 億 20 万台で、契約数は年間約 5 百万台増えており(電気通信事業協会 HP)、ひと月の携帯生産台数は機械統計によると 2007 年 10 月で約 220 万台ですので年間約 2640 万台が生産され、2140 万台すなわち約 2000 万台は買い替えとして使用済みになっているものと推定されます。2006 年の携帯回収台数は モバイル・リサイクル・ネットワークの HP によると 660 万台ですので年間に散逸している携帯は 約 1340 万台 その中の金は 95kg というので、年間約 100kg の金が 携帯を通じて回収されずに散逸していることとなります。これは携帯から回収されている金の量のほぼ二倍近くです。

19. 散逸ストックの量を把握するには何が必要ですか

それは、サプライチェーンを通じた製品製造での含有資源情報の管理です。有害物質に関しては PRTR、CO2 排出量を中心に LCA インベントリーデータなどがサプライチェーンに沿って流れるシステムが出来つつありますが、資源情報についてはそのような整備は遅れており、最終使用段階でどの製品にどのくらいの金属資源が含まれているかは、製品を破碎して化学分析にかけないと分からないのが現状です。まず、この最終製品に組み込まれる量を把握できないと、その後の廃棄物やリサイクル物としての取り扱い、さらには海外への流出などの量を的確に掴んでマテリアルフロー分析のカバーできる領域を拡大していくのは困難です。

また、このような製品中の金属資源情報の流通システムが出来てくると、回収、選別へのビジネス参入も容易になり散逸ストックの量の把握だけでなく、削減にもつながることが期待されます。

20. 散逸ストックは使用済製品やその廃棄物のなかだけにあるでしょうか

海外への流出などで最も注意しなければならない散逸は使用済製品からの散逸ですが、製造段階での工場の廃棄物もきちんと見直しておく必要があります。

例えば、飲料缶の抜きしろやスパッタリングターゲットの残りなど加工初期段階の加工屑は金属素材に近いので容易にスクラップとしてリサイクルされていますが、さまざまな部品と共に最終製品に近づいた状態で規格落ちなどで廃棄される産業廃棄物は使用済製品と同じようにリサイクルの困難さがあるためスクラップとしてではなく廃棄物処理業のほうに引き渡されているケースが多々あります。現在ではこれらは資源の観点ではなく廃棄物の観点として見られて「ゼロエミッション」としてカウントされますが、中に含まれている資源の処理は廃棄物処理業に任せ、発生側からは流れが追えていません。

この中で、金などのように現時点でコストに見合ういくつかの金属資源は回収されていますが、受け取った処理業者の専門ではなくコストが見合わずに廃棄物の中に埋もれてしまっている量の実態も把握されていません。

サプライチェーンを動脈側だけでなく、循環の側にも徹底する。またそのつながりを「廃棄物」としての物流ではなく、その中に存在する資源に対して繋いでいく、いうならば”マテリアル・チェーン”とでも呼ぶべき取り組みが求められています。

21. 散逸ストックを有効に集め都市鉱山を生かしていくにはどうすればよいのでしょうか

都市鉱山の蓄積量は今のままでは経済的に利用することは出来ない地下鉱山でいう「埋蔵量ベース」にとどまっています。これを生かすには、「使用済ストック」の循環ルートを確実に確保するとともに、「散逸ストック」を有効に集めて「使用済ストック」の仲間に入れることが重要です。

これを天然の鉱山と比較してみると、天然の鉱山では単純に金属が散らばっているのではなく、「鉱脈」や「鉱床」と呼ばれる金属が集った部分があります。これが都市鉱山との大きな違いです。ということは、都市鉱山も「鉱脈」や「鉱床」に相当する部分を作ればよいのです。つまり、きちんと回収して集めておける場所が必要だということです。

この考え方は、東北大学の中村崇先生が提唱され、企業としての DOWA、行政としての小坂市が協力し、JOGMEC(石油天然ガス・金属鉱物資源機構)がバックアップしている「希少金属等高効率回収システム」の計画などとして進められています。このような取り組みが、さまざまなかたち、さまざまな地域へと広がっていくことが散逸ストックを有効に集めていく鍵となります。

22. 小阪などで行われている携帯からの希少金属回収とはどのような関係ですか

直接係わっているわけではありませんが、小阪の RtoS(人工鋳床)の取り組みは非常に意義のある取り組みだと思っています。実は、今回の計算を行った最大の動機はこの「人工鋳床」のとりくみを 外からバックアップするようなデータを示したいということから始まっています。

実は、今回の計算のことの起こりは、資源関係の学会の懇親会の席で人工鋳床の取り組みをもっと世間にクローズアップさせるには「携帯の中にどのくらいの資源がある」だけでなく「全部集めることが出来ればこれくらいの量になる」という情報も必要ではないかというところから始まり、調べてみたらどこにも概算的な蓄積量の算定データがないので、それを見積もって見たわけです。

ですから、これを弾みに、日本のあちこちで、希少金属含有製品の回収とリサイクルの取り組みが盛んになることを期待しています。

23. 携帯などは一時期よりリサイクルが減ってきていると聞いていますが

その通りです。携帯は機種変更というかたちでステーションで取引されるため比較的回収しやすい製品でしたが、電話番号など個人情報が必要だというので本体も回収させず手元に置くケースが増えてきていました。しかし、現在ではメモリーカードなどで個人情報は次の機種に引き継ぐことが出来るようになってきたので、これからはまた本体は返却し、個人の情報は継続して使えるシステムに戻る事が出来るようになってきています。他の電子機器でも、このように個人が必要とする情報などとそれを一時的に管理する本体の役割分担が進んでいくものと思われ、「散逸ストック」の低減に弾みがつくチャンスです。

実はこのシステムは、デジタルカメラが席巻する前の、「使い捨てカメラ」と呼ばれた「レンズ付フィルム」で実現されていたシステムです。消費者にしてみれば、欲しい写真だけを自分の手元においてカメラは「使い捨て」と思っていたのですが、実は現像に出したときにカメラは回収されてきちんとリサイクルされていたのです。このように、一見は購入して使い捨てているように見えながらも、ちょうど消費者にカメラを貸して返してもらっているかのように廻すシステムを「マテリアルリース」といいます。ビール瓶などのリターナブル瓶もこのマテリアルリースの一形態です。

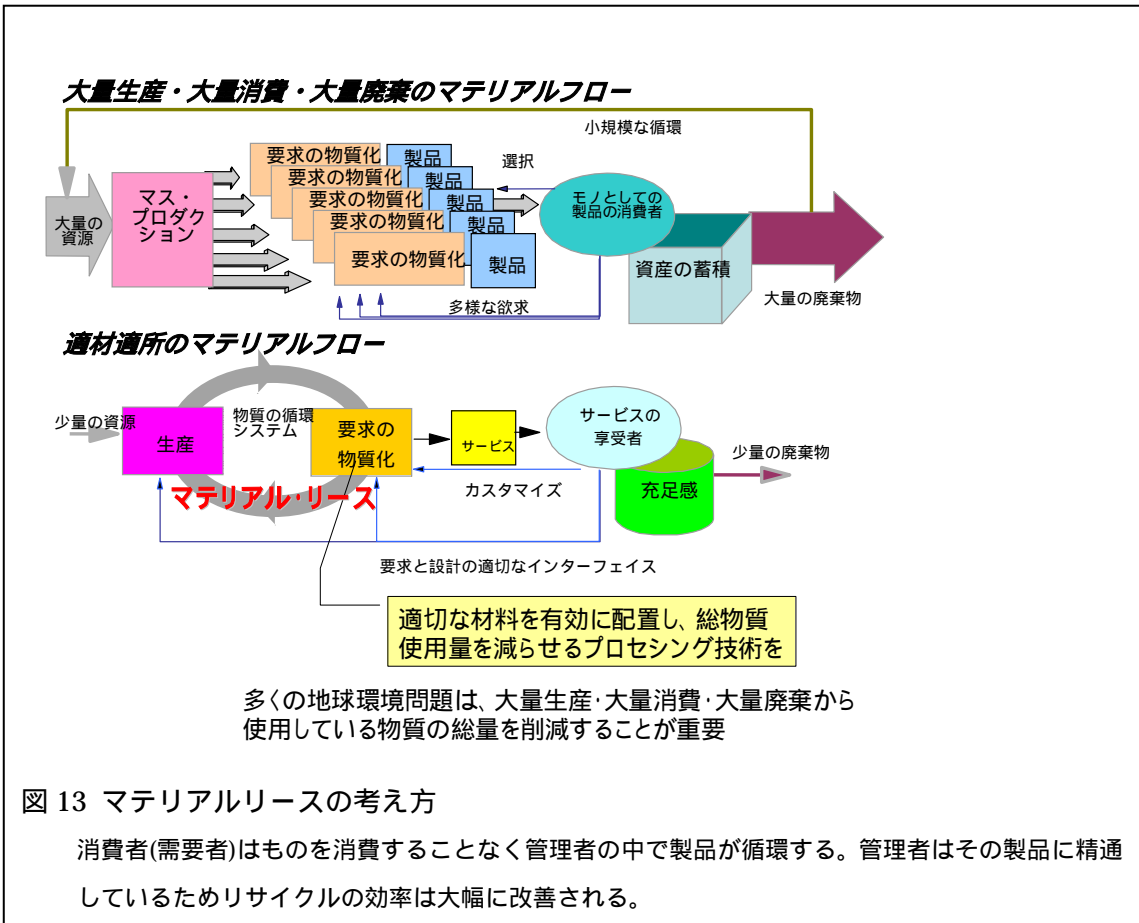


図 13 は、このマテリアルリースの考え方を従来の大量消費、大量廃棄と対比して示したもので、資源の有効利用だけでなく、あらたな消費スタイルへの転換にも向かっていくものです。携帯電話は、まさにこのようなシステムを導入しやすい段階に達しているといえますし、家電リサイクルやコンピューターリサイクルもその条件を大きく広げていっています。

なお、「レンズ付きフィルム」の場合はカメラそのものに関してもリサイクルを前提としたリサイクル設計が施されていました。携帯電話や家電製品にそのようなリサイクル設計がどのくらい組み込まれるのかマテリアルリースシステムを構築していく上でのひとつの鍵といえます。

24. 都市鉱山の活用は経済的に成り立つのでしょうか

成り立ちます。しかし、新しい着眼点が必要です。

都市鉱山を活用する上で「散逸ストック」とともに「海外への散逸」が問題になります。これは逆の見方をすれば海外への資源の流出が起きているということです。さらに言うならば、日本の都市鉱山は海外から見ると運び出す価値があるということです。この価値がどこにあるのかを見出して、そこをきちんと取り出して付加価値可することが出来れば、都市鉱山は国内循環としても国際商品としても成立することになります。

とはいえ、現状ではリサイクルのコストが非常に高くつくように見えます。それは使用済製品のフローをまず廃棄物の処理としてとらえ、その中から採算性の高いものを有価物化しようという順番で考えているからです。

「都市鉱山」の表現にこだわったのは、これら使用済物を「廃棄物」としてではなく「資源」としてとらえてシステムを再点検してみるということを提示したかったからです。

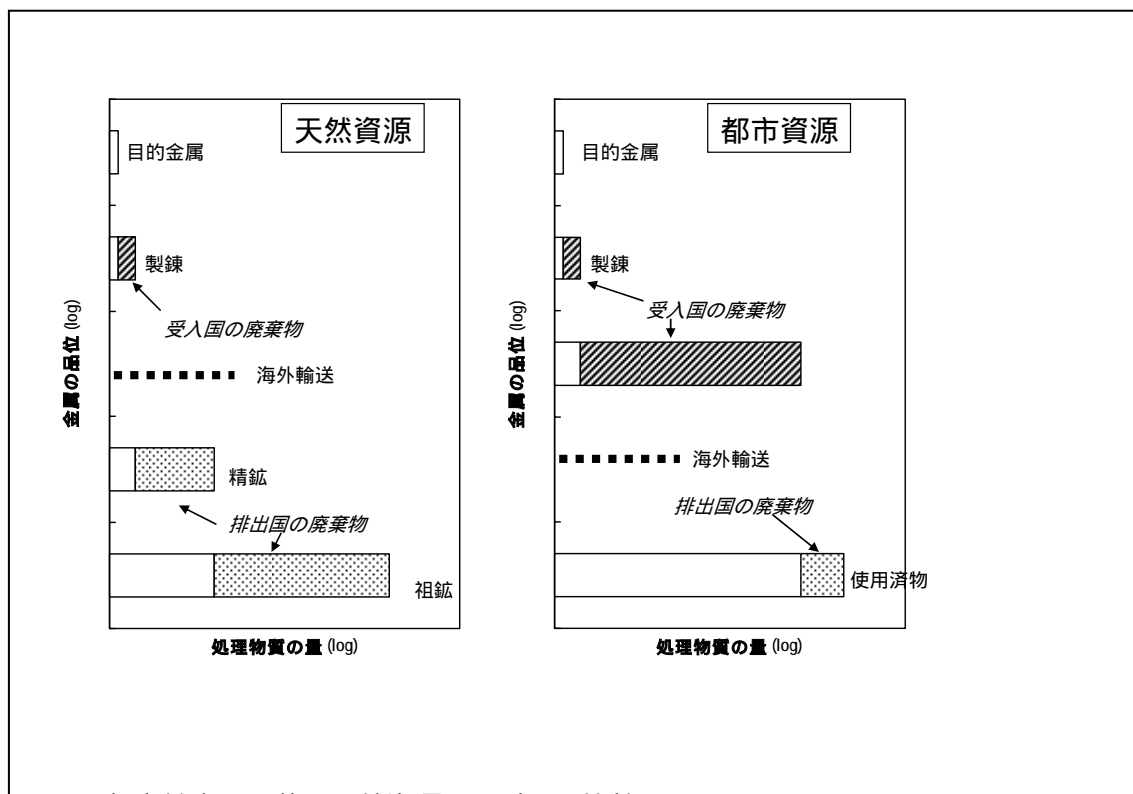


図 14 都市鉱山の現状と天然資源の取引との比較

国際取引において天然資源の場合は地下から掘ったままの粗鉱ではなく、不純物や混在物を減らして品位を上げた「精鉱」として取引されている。他方わが国の都市鉱山からの流出物は、受入国に廃棄物処理を持ち込む形で引き取られている。すなわち受入国が廃棄物処理に係わる負担を担っても高く買い取る価値があるからこそ成り立つ構図である。

図 14 に天然資源と都市鉱山資源の国際取引の状態を図式化してみましたが、天然資源の鉱物の取引で鉱山から掘ったままの粗鉱の状態でも取りひきしている国はどこもありません。必ず「精鉱」という金属の品位を上げてその後の処理のしやすい状態に付加価値を上げて取引しています。ところが都市鉱山からの流出は E-waste などとも呼ばれるように大量の廃棄物を伴ったいわゆる「粗鉱」のままの状態でも引き取られていっています。これは、受入国側が廃棄物処理分を見込んでそれ以上の価値をわが国の都市鉱山に見出しているということに他なりません。しかし、現状ではわが国の中で都市鉱山の価値は生かされていませんし、むしろ廃棄物処理コストで考えられる傾向のほうが強い状態です。となると、都市鉱山の価値は、わが国と受入国の廃棄物処理のコストで左右されることになり、相対的に低コストの側がその主導権を得ることになります。

では、新しい着眼点とは何でしょうか。それは、都市鉱山資源を地下鉱山資源と同じ資源だと考えると、粗鉱から「精鉱」にするという価値をあげる工程を組み込むことです。それは、海外との貿易を考えると相手国も処理しやすい高付加価値資源として、「都市鉱石」を国際商品化することになります。また、国内循環では、これまで最終の抽出(製錬、金属取り出し)工程に負わせていた他の付随物の処理を軽減させ、かつそれに伴う付加価値分の配分を受けることの出来る中間的な経済主体の参加の可能性を増やすことになります。

この辺のシステムづくりに関しては、経済学などの多面的な検討も必要だと思いますが、なによりもまず、国内蓄積を、海外の地下資源に匹敵する金属資源の源泉のひとつであるととらえることによって、新たな循環ビジネスの構築への発想へと発展することを期待します。