

特集 オリンピック・パラリンピックと無機材料

都市鉱山メダルの意義*

原田 幸明**

2020年の東京オリンピック・パラリンピックの3位までの勝利者に与えられる金銀銅のメダルはオリンピック史上で初めてすべてリサイクル原料で製造される。すなわち天然の鉱石からではなく都市鉱山からつくる都市鉱山メダルである。しかも、その都市鉱山の元のリサイクル原料は市民の持ち寄った使用済みの携帯電話機などの小型家電製品である。この金銀銅メダルをリサイクル原料で製作することが決まった時、国際オリンピック委員会のバッハ会長が「持続可能な社会へ向けた重要な取り組みである」といち早くメッセージを寄せている。また、東京オリンピック・パラリンピックの持続可能・街づくり委員会の小宮山委員長はこの都市鉱山メダルをレガシーとしていくことを強調している。本稿では、この「持続可能性」「レガシー」をキーワードに都市鉱山メダルの意義と今後の方向性について述べる。

1 なぜ日本が初めての取り組みになったか

第1回のオリンピックのメダルは1位が銀で2位が銅で3位は表彰状であった。また第2回は開催場所を巡ってもめたためもあってメダルが準備されず、大会後入賞者にクーベルタン男爵がメダルを送ったといわれている。第3回以降現在のように金銀銅のメダルが定着したが、そのメダルすべてをリサイクル原料で賄うのは今回の2020東京大会が初めてである。

前回のリオデジャネイロ・オリンピックでは銀メダルと銅メダルの原料の30%にリサイクル原料が使用されたと報じられているが、金については触れられておらず多分にロンドン・オリンピックと同じであろうと推測される。その前のロンドン・オリンピックの際は「環境に配慮する持続可能な大会」を掲げてきたことからリサイクル原料メダルも議論の候補に上ったというわけもあるが、ある鉱山会社が「持続可能な採掘方法で採れた金」を寄付したことで、そちらが採用されたといわれている。なお、金の「持続可能な採

掘」とは、アマゾン流域の非正規の採掘業者が用いる水銀を使い拡散させるような採掘とは全く異質の環境配慮で管理された採掘方法で得られた金ですべてを賄うことであり、それはそれとして大いに意義のあることであった。

一部にバンクーバーの冬季大会でリサイクル原料が使用されたとの情報もあったので、地元の新聞情報を調べたところ、バンクーバーの金銀銅メダルの原料は地元の製錬業者が寄付しており、そのなかにもリサイクルされたものがほんの1%程度含まれているという程度のものであった。

こうして、オリンピックでの都市鉱山メダルは、今回の東京オリンピック・パラリンピックで初めて実現される。なぜそれが可能になったか。それは日本が金属リサイクル先進国だからである。実は、現在国内で流通している金銀銅をみると、金で30%、銀40%、銅20%近くはリサイクルされた原料から製造されている¹⁾。つまり、リオデジャネイロ・オリンピック程度のリサイクル率なら、特別なことをしなくても、国内に流通している金銀銅をそのまま集めて使えば、その中のリサイクル物含有率はリオデジャネイロ・オリンピック程度にはなるのである。これは金銀銅だけでなく鉄やアルミニウムのような汎用金属も同様にスクラップを活用しており、日本は世界の中でもリサイクル資源をスクラップとして活用している国なのである。

このようにリサイクルが高いのは、日本の都市鉱山蓄積量が大いことがその背景にある。2009年に筆者らの計算した日本の都市鉱山蓄積量²⁾は世界の中でも資源国と呼ばれる国々に匹敵するものがある。図1はその結果を昨年(2018)の時点で見直したものであり、金銀銅の3種の金属に対して日本の蓄積量を埋蔵量上位の国々の埋蔵量と比較している。2009年当時は金銀の蓄積量ともに天然鉱山埋蔵量1位の国を凌いでいたものが現在では抜かれているものの、天然鉱物資源はほとんど掘りつくしたと思われる日本に資源国なみの量が都市鉱山のポテンシャルとして存在するのである。ただし、ここで注意しておきたいの

* Significance of Urban Mined Olympic Medals

** Kohmei HALADA

は、あくまで都市鉱山のポテンシャルであり、経済的に採掘が製造する埋蔵量とは異なっていることであり、リサイクルのシステムを整えなければそれこそ宝のもち腐れになってしまうのである。

そのリサイクルのシステムであるが、それも日本は世界の先頭を切って整備してきた。2000年に循環型社会推進基本法が制定され、それと前後して、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、自動車リサイクル法、建築リサイクル法、食品リサイクル法と生活のほぼ全域を覆うリサイクル法が制定されてきた。そし

て2013年から施行されたのが、今回の東京オリンピックの「みんなのメダルのプロジェクト」のもとになった小型家電リサイクル法である。この小型家電リサイクル法は、それまでのリサイクル法が最終処分の減量化や不法投棄の防止といった廃棄物の観点重視していたのに対し、家に滞りてもあまり邪魔にならない小型家電に対して、その中に含まれている資源を有効利用しようということを重視したものである。では、どのくらいの資源が使用済みの小型家電の中に眠っているのか。それを図示したのが図2である³⁾。これは

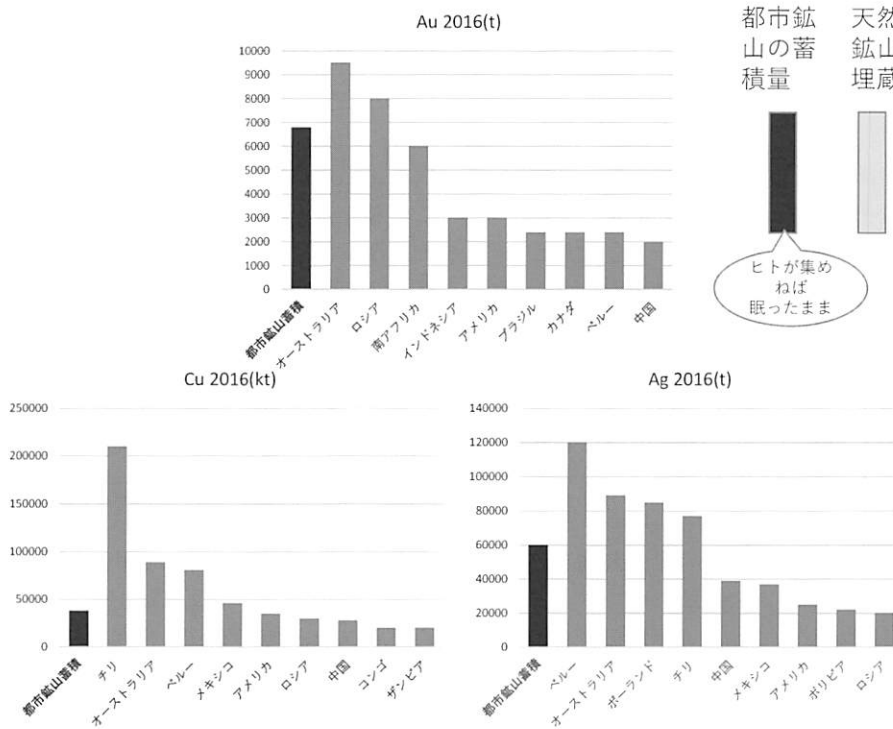


図1 金銀銅の日本の蓄積量と各国の埋蔵量

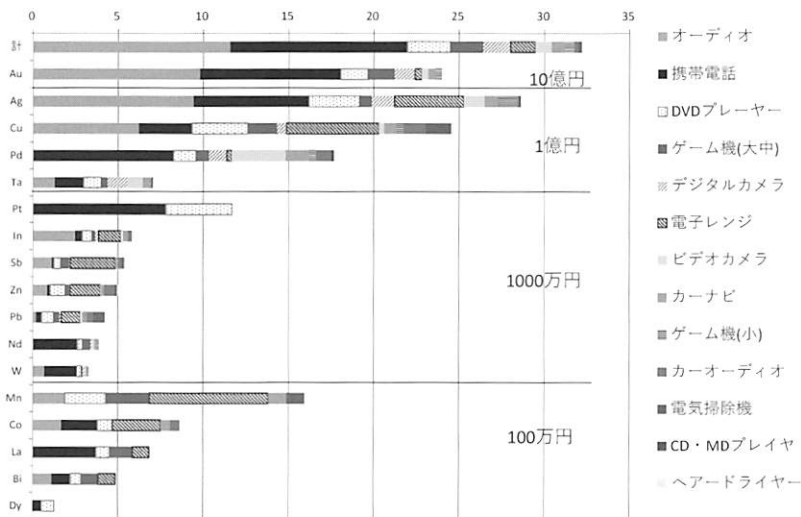


図2 年間に排出される小型家電に含まれる金属の価値

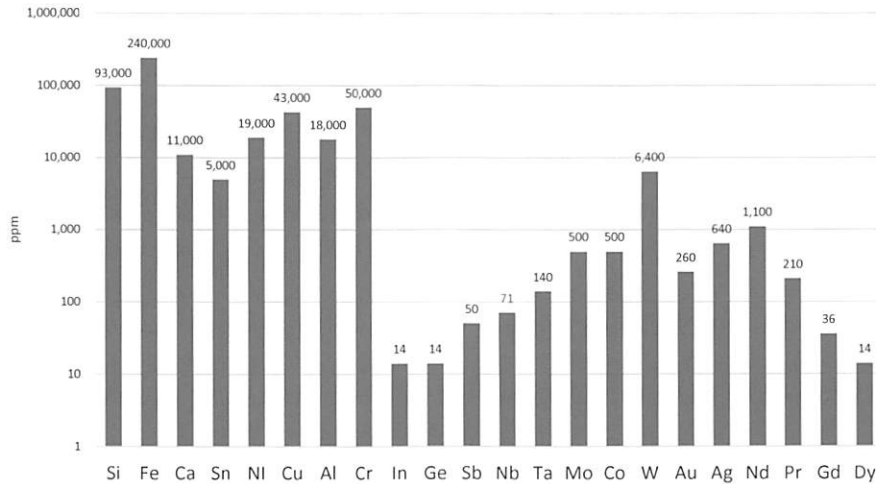


図3 スマートフォンに含まれる元素の量(ppm)

小型家電リサイクル法が施行される数年前に、一年間に使用済みになる量を購入量に等しいと仮定して、その中に含まれている貴金属やレアメタルの分析量から金額換算したものであり、含有元素の量が異なるので横軸の単位が横線で区切ったブロックごとによって変わっている。全体で320億円の資源が眠っており、そのうち240億円分は金で、その中の約180億円分は携帯電話機のなかにあり、金に次いで28億円分は銀が眠っているというふうには読む。また最近では、イギリスのプリマスでiPhone3と推測されるスマートフォンを分解した例⁴⁾があり、それを図示すると図3のようになる。iPhone3はステンレス筐体なので鉄とクロムが多く、全重量150gなので金は0.039g含まれていることになる。

2 都市鉱山メダルのつくりかた

このように日本に大きな都市鉱山ポテンシャルがあり、さらにそれを回収し利用する法制度が着実に整備されてきていることもわかり、2020年東京オリンピックがまさに都市鉱山メダル第一号の大会になるべきことも理解できただろう。では、どうやって市民の手元にある使用済みの携帯電話機からメダルになっていくのか、その流れを見ておこう。

まず、使用済みの小型家電は各市区町村の一般ゴミとして回収される。とはいっても回収車が廻ってくるのではなく基本的に自分で持っていかなければならない。なにを面倒などと思われるかもしれないが、それは使用済み小型家電が資源だからであり、街角に集まっていればそれを持ち去り開発途上の国々に売りつけようという人たちも出てくる恐れがあるからである。この持っていく回収方法には、4つの方法がある。いちばん多いのは、ボックス回収と呼ばれる方法で、自治体や

携帯電話取扱業者が回収ボックスを設置しており、そこに持って行ってボックスに入れる方式である。また、環境関係のイベントなどで小型家電を回収するイベント回収もある。三つめにステーション回収がある。これは自治体によって名前は違うが「クリーンセンター」などと名付けられたごみ処理のセンターがあり、そこに使用済み小型家電を持ち込む方式である。大掃除や引っ越しなどで粗大ゴミが出る際に合わせて小型家電が持ち込まれるケースも多い。最後に、宅配方式がある。これは後述する小型家電リサイクル認定事業者の一部が行っているサービスで、宅配便でその業者に使用済みの小型家電を送ってリサイクルしてもらうシステムである。この場合送料がかかるが、自治体によっては扱えないパソコンも同時に送付でき必要な情報は情報消去もできるというメリットがある。

情報消去といえば、よく携帯の情報を利用されないかと問い合わせを受けるが、小型家電リサイクルの流れでは情報消去は個人が行うことになっている。とはいえパソコンのハードディスクのような不揮発性の記憶素子ではないので、基本的にそれぞれの携帯電話機の事業者が公表している初期化マニュアルに従って初期化し、SDカードも抜いておけば、住所録や通話履歴などの通常情報は初期化される。なお、同時にリチウムイオン電池も取り外してリサイクルにもっていかないとストックヤードなどでの発火の原因となってしまうので注意してほしい。

こうして自治体に集められた使用済み小型家電は自治体から小型家電リサイクル認定事業者が買い取る。「認定事業者」というのは、国が認めた正規の業者という意味である。国が認める条件として厳しくトレーサビリティというものが問われる。トレーサビリティとは回収したものをどのように処理し、どのように再

製品化や廃棄物最終処分にかけたかという追跡情報である。この厳しいトレーサビリティが要求されるのは、後述する E-waste と呼ばれる廃電子機器廃棄物の発生を防ぐためである。トレーサビリティを示せない非認定事業者で廃電子機器が渡ると、往々にして海外に持ち出されて不正販売され、ジャンク品から大量の E-waste を発生させる。街中でよく回収に回っている事業者のほとんどは認定事業者ではなくトレーサビリティを担保することができないので、そこに引き渡すことは海外の E-waste 発生に加担することにもなるので注意していただきたい。

小型家電リサイクル認定事業者では、一般に、「破碎」、「選別」が行われる。本来、破碎ではなく解体により素子や筐体、ガラスなどの機能を生かしたより残存価値の高い選別が行われるべきであるが、まだ電子機器はリサイクルを考慮せずにデザインされており、コスト面から「解体」「高度選別」の組み合わせではなく、二軸破碎機などによる「粉碎」に近い破碎が行われ、それが構成材料ごとに物理選別かけられる。物理選別では、基板部分、筐体部分、ガラス、プラスチックのように分けられるが、このうち金銀銅などを含むのは基板部分であり、最も量が多いのがプラスチックである。幸いプラスチックは比重が軽いので浮選、風選などで分けることができ、筐体も磁選や渦電流などで分けることができる。しかし基板基材そのものがプラスチックでありこれを分離することは難しく、いかに基板部分の有価な希少元素の割合を高められるかというのが大きな課題になっている。なお、最近プラスチックも熱源として生かせることから、携帯電話機以外の小型家電を含まないのなら、コストの発生する「破碎」「選別」の工程も経ず製錬炉に直接投入するやりかたもある。

資源価値の高い基板は、製錬会社に買い取られ、銅の製錬炉で処理されるケースがほとんどである。これは図3でみた資源性の高い金銀銅さらにはパラジウム、白金が銅製錬でメタル側すなわち銅の中に取り込まれるからである。すなわち廃電子基板を銅製錬炉の中に入れて銅鉱石と一緒に製錬すると、金も銀も一旦銅のなかに濃縮されるのである。この銅を粗銅といい、その粗銅を電解精製すると陽極の下に銅よりもイオン化しにくい金や銀が陽極泥としてたまってくる。そこから金や銀を精製・回収するのである。

しかし、金は金属の中で一番酸化や溶解しにくい元素である。それを銅製錬所で高温をかけて溶融して濃縮するというのはエネルギーの使い方として無駄があるというので、電子機器での金はメッキで使われていることに注目して、メッキ基盤の方を溶解すれば金はそのまま取り出せることに注目した新しいリサイクル



図4 東京オリンピック用のサンプルとして作製された都市鉱山金メダル

もある。これが東京オリンピックの都市鉱山メダルの提案の際にメディアで黒い溶液の中からきらきらと金が出てくるところを印象付けた。図4はその時作られた金メダルのサンプルである。黒い溶液は塩化第二鉄でメッキのベースとなっている銅やニッケルを溶解しているので極めて短時間低エネルギーで金を取り出すことができる金の本当の材料リサイクルである。

このようにして取り出された金は、一般的に青酸溶液でメッキ液にされる。先述したように金は最も溶解しにくい元素であり、金を溶かし込むには青酸や水銀といった有毒性の高い物質が必要とされる。もちろん現代科学では青酸を用いないメッキの技術も存在しているが、オリンピックの金メダルのメッキ厚は $50\ \mu\text{m}$ の厚膜メッキであり、残念ながら今回非青酸のメッキ使用までを提案するには至らなかった。

ようやく話がメダルに近づいた。初期のオリンピック大会の金メダルは無垢の金であったという。しかし、回を重ね、各都市でもちまわるようになると、大量のメダルを無垢の金で作成することは大きな負担となる。そこでオリンピック憲章では以下の様に定めた。すなわち「メダルは、少なくとも直径 60 ミリ、厚さ 3 ミリでなければならない。1 位および 2 位のメダルは銀製で、少なくとも純度 1000 分の 925 であるものでなければならない。また、1 位のメダルは少なくとも 6 g の純金で金張り(またはメッキ)がほどこされていなければならない。」この憲章は実は 2000 年で改定され、現在は IOC が認めればよいという形になったが、それ以降の大会はすべてこの憲章より大きく作っている。

この 6 g の純金というのが計算すると先述した $50\ \mu\text{m}$ 厚膜の厚膜メッキということになる。ではその下地の銀はどうするのか。銀と銅は型に入れられてプレス機械で圧刻(コイニング)される。圧刻は名前の様にコインを作るときに用いられる技術であり、勲章などに用いられている。日本の圧刻技術は世界に誇るもの



2017/12/18 産業構造審議会 産業技術環境分科会 廃棄物・リサイクル小委員会 小型家電リサイクルワーキンググループ(第3回)-配布資料 資料2より作成

図5 小型家電の回収状況

があり、大阪の造幣局の展示館には1964東京オリンピックのメダルをはじめとするすばらしいメダルや勲章が多数展示されている。

今回課題だったのは、銀の量である。銀は1位と2位のメダルすなわち2倍必要なのであり、金と比較すると百倍以上の量を集めねばならない。しかし図3に見るようにスマートフォンの中の含有量は一桁も変わらない。しかも実は2013年にスタートした小型家電リサイクルの回収率がまだ市民に徹底せずに低レベルなのである。図5にこれまでの小型家電リサイクルの回収状況を示した。東京オリンピック・パラリンピックに必要なメダル量をロンドン大会をもとに算定すれば、金は10kg、銀は1200kg、銅は700kgである。リサイクルしたものがすべてオリンピックのメダルに使用できるわけでないで銀がいかに厳しい状況であったかわかる。しかし、市民の協力のおかげで、リサイクル回収率もあるていど伸び、めでたく2020年東京オリンピック・パラリンピックの金銀銅メダルをつくるリサイクル原料をみんなの手でそろえる「みんなのメダルプロジェクト」は2019年の3月末をもって成功裏に終了した。

3 持続可能性からみた都市鉱山メダルの意義

組織委員会の「みんなのメダルプロジェクト」は終了したが、使用済み小型家電リサイクルはまだ続いている、というよりこれからほかのリサイクル(例えばPETボトルはPETボトルリサイクル推進協議会⁵⁾によると84.8%)並みに引き上げないと真の都市鉱山開発には結びつかない。ここにまさにレガシー(引き継

いでいくもの)としての課題がある。

レガシーとして掲げるうえで、何がレガシーとしての価値を持つのかという問題を確認しておく必要がある。先述したようにIOCのバッハ会長はこの「みんなのメダルプロジェクト」の取り組みを「持続可能性」という視点で高く評価した。国内の反響を見てみると、日本のリサイクルが世界に宣伝できるとか「もったいない」の精神の現れとか、少し国際的な評価とはトーンが異なるようである。世界ではSDGs(持続可能な開発目標)として2015年の国連決議に基づいて17の目標が掲げられている。この中でまず都市鉱山メダルにかかわってくるのは、「12 つくる責任、使う責任：持続可能な消費と生産のパターンを確保する」である。

この目標で重要なことは、さまざまなモノを作り、使っているが、そのモノを作る過程、いわゆるサプライチェーンでさまざまな責任が発生しているということである。特に金属製品の多くは天然の鉱山から採掘されそこでは実際に消費者が手にする量と比べて数百倍、数万倍もの資源が消費されており、環境破壊や生物多様性にも大きな影響を与えているという事実がある。たとえば金メダルの金は1gの金を得るのに1tonすなわち100万倍の資源を必要とする。銀でも5000倍近く、比較的普遍的に存在する銅でも300倍を超えている。これらは関与物質総量(TMR: Total Material Requirement)⁶⁾と呼ばれる量であり、金の場合の消費者からみた1gが消費端での量なら1tonは資源端での量となる。1gの背後にある1tonはいうならば環境背後量である。すべての物質は環境背後

霊に例えられる資源端での資源消費、それにとまなう生物多様性などの環境破壊を引きずっている。ちなみに鉄や汎用のプラスチックはこの資源端量が1gの消費端量に対して10g程度であり、金銀銅やレアメタルはごく少量の利用でも鉄やプラスチックの汎用材料より大きな資源端消費を発生させていることが多い。

ここでメダルを見てみると6gの金は6tonの資源端量となり下地の銀も合わせるとアスリートの優勝者はなんと資源端量では38tonのメダルを首にかけていることになる。さらに、金の採掘の場合には、アマルガム法と呼ばれる水銀を使った非正規の採掘業者も数多く存在し、使用した水銀を川の上に船を浮かせて過熱揮発させて金を抽出するなどの環境破壊行為を行っているものも多い。また銅もコンゴなどでは政府軍とゲリラ軍の争奪戦の対象ともなりそのような地域からの供給は紛争鉱物として取り扱いを忌避する製造メーカーが増えている。オリンピックのメダルの製造にさすがにこのような非正規の採掘業者からの金銀銅の流入はないものと思われるが、このような非正規の採掘業者がでてくるのも消費端の量に対して資源端の量をはるかに大きく、そのための経済コスト、環境コストが大きくかかることが背景にある。これをリサイクルで賄うことができれば、必要とされる資源はリサイクルの破碎、選別、溶解抽出にかかわる部分だけとなり大幅に生産の関与物質総量を落とすことができる。このように採掘時の環境負荷を大きく減らす、これが都市鉱山メダルのひとつの大きな意義である。

都市鉱山メダルはSDGsの観点からいうと、「3すべての人に健康と福祉を」にもかかわってくる。これは日本の国内だけ考えているとよくわからないが、世界的には深刻な問題になっている。ちなみに「E-waste Africa 画像」でweb検索していただきたい。アフリカの大地に電子機器が大量に投棄されている画像が満載である。アフリカはヨーロッパからの使用済み電子機器、東南アジアは日本やアメリカからの使用済み電子機器の捨て場となっているのである。もちろんバーゼル条約という廃棄物の国際移動の規制ルールはある。だからこれらはゴミとして持ち込まれているケースは少ない。リユースや部品どり名目で持ち込まれ、必要なものだけ取り出されて残りが大量に投棄されるのである。一見リユース目的でよさそうにみえて、実はカラスが食い唾むようにいいとこどりして残りを食べ散らかす、カラスのようなりサイクル、鴉食(あしよく)リサイクルとでも読むべきものである。このような海外での鴉食リサイクルとE-wasteの発生に関与しないために、日本のリサイクルシステムでは、小型家電リサイクルに先述した認定制度を設けて厳しいトレーサビリティを要求しているのである。

このように小型家電をリサイクルせずにE-wasteにするとどれくらいの環境影響を及ぼすか、この評価法はまだ確立していないが、たとえば金属元素を通常土壌に存在している濃度まで新しい土壌で薄めるとしてその土壌がどのくらい必要となるかとして見積もる方法がある。そうすると金に対しては48万倍の新しい土壌が、銀も5万4千倍が必要なこととなり、1個のメダルを作るのに必要な元素量がリサイクルされることなく土壌中に散逸するとなんと51tonもの新土壌資源を投入して回復させなければならなくなるのである。

このリサイクルをしない場合の資源採掘と廃棄物をもつ環境へのインパクトこれを防いでいるのがリサイクルなのである。図6は小学生用に都市鉱山メダルの意義をわかってもらうために作ったものであるが、資源採取時、すなわち地球を食い荒らされて怒りだしたテラのサウルスと使ったものを捨て散らかすステテコウサウルス、この二匹の恐竜を退治するのが都市鉱山である。

この視点でもう一度今回の「みんなのメダルプロジェクト」を見ると、実はこの後のパリヤロスに引き継いでいくべきものがひとつあいまいになっている。それは今回の「みんなのメダルプロジェクト」で回収された小型家電は廃棄物にならずすべて利用されるということである。実は金銀銅を取り出すだけならそう難しくない。難しいのは残りのプラスチックや筐体などの利用価値の小さいものを廃棄物にしないで処理できるかということである。図7で下が金銀銅を取り出すだけのリサイクルであり、上が今回の「みんなのメダルプロジェクト」で取り組まれた日本の銅製錬をつかったリサイクルである。前者がスラッジなどの廃棄物を発生させ、それをどこに捨てるかという問題が残るのに対して、銅製錬所を使った場合は、プラスチックなども有効利用されガラスやその他の物質もスラグのかたちで安定化され、路盤材などに活用されているの

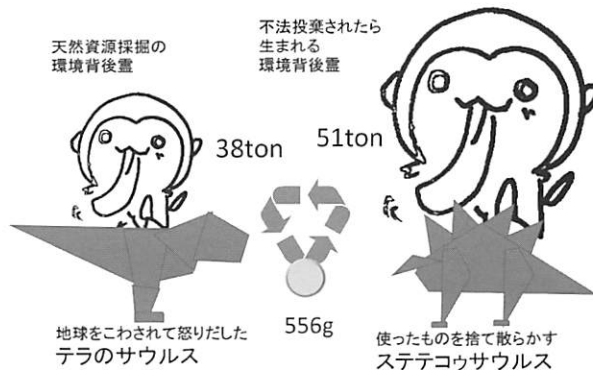


図6 メダルの背後の二匹の恐竜と環境背後霊

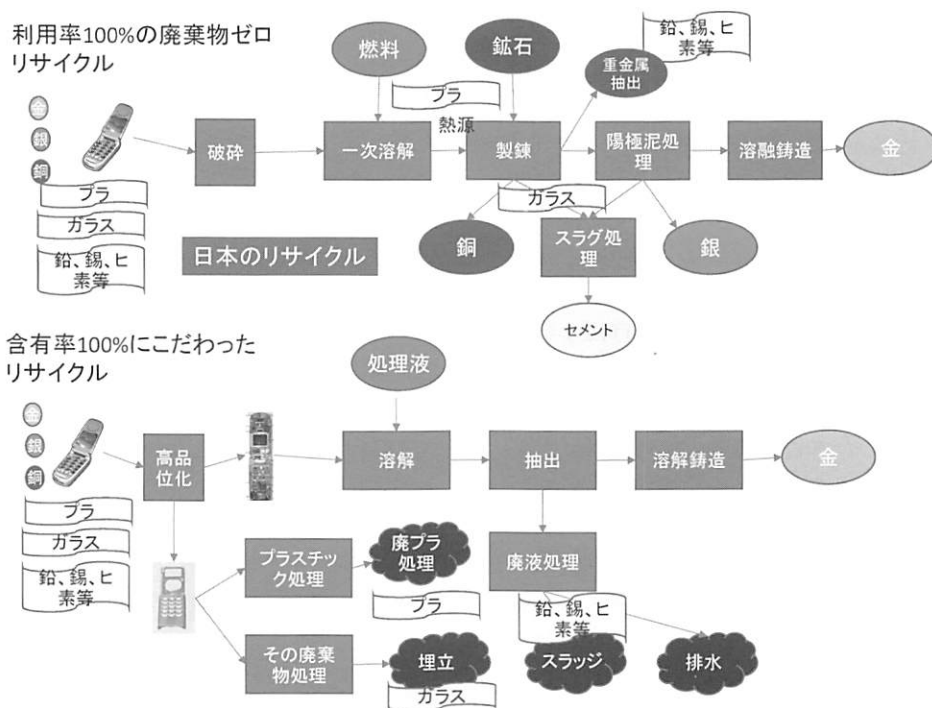


図7 ゼロエミッション型のリサイクルの意義

である。すなわち廃棄物を発生させない全部利用のゼロエミッション型リサイクルで東京オリンピックのメダルはつくられるのである。ステテコウサウルスによるe-wasteがはびこっている現在、このゼロエミッション型のリサイクルでメダルがつくられたことこそ、パリそしてロスへと引き継いでいくべきものだと考えられる。

4 レガシーとしての都市鉱山メダル

引き継ぐのは次のオリンピックだけではない、社会の中で引き継いでいくことこそ重要である。この取り組みを通じて「いままでリサイクルしてもどこに行かかわらなかつたがメダルのようなわかりやすいものの姿で現れるとリサイクルし甲斐がある」との意見にもよく出会った。これは従来のリサイクルの盲点をついていた。リサイクルを行う市民にわかりやすくするという観点が欠けていたのだ。現在は多くの自治体で地方マラソンなどのイベントが行われる。せっかくオリンピックで活躍する都市鉱山メダルである。それを国体をはじめ全国の地方自治体のイベントにも活用していくことを考えていくべきであろう。現に、京都市マラソンでは昨年度から都市鉱山メダルが採用され、北九州市、下関市、長府市などのマラソンと都市鉱山メダルが広がっている。また卓球の全日本オープンの賞品も都市鉱山メダルである。

これは自治体への市民や地元産業の参加として視点

からも面白い取り組みにできることが期待できる。京都市マラソンの場合には、金の抽出は専門の業者が行ったがメッキは地元産業で行っている。これからもメダルの圧刻などでそれが得意な地元産業があれば積極的に活用していくべきだろう。またそれぞれの地域には自立支援の団体などがあり、パソコンの解体などに取り組んでおり、一部は今回の「みんなのメダル・プロジェクト」でパラリンピックのメダル原料をあつめることにも協力している。このような団体との協力関係をつくっていくことも、モノだけでなくより幅広いヒトと心のつながりへと発展させていく機会にもなるだろう。

これは単に自治体や地域イベントの主催者が取り上げるだけの問題ではない。これまで「集めてもらう」だけだった市民が能動的に「回収を呼び掛ける」側に回るチャンスでもある。たとえばオリンピックのメダルに向けての回収の際に呼びかけられた「My都市鉱山バッグ運動」はそれにあたる。My都市鉱山バッグとは使用済み小型家電を一時的に家であておきまとめて回収場所へ持っていくための紙袋である。この紙袋に回収場所を書いたカードを入れて市民に配布する運動が行われ、配布バッグ作成資金がクラウドファンディングで集められた。これは使用済み小型家電が「置いておいても邪魔にならない」という性格をもつことを逆に生かした取り組みだということもできる。このような運動が広がれば、空き缶や紙のように町内

世界全体で2100年までに必要となる金属量

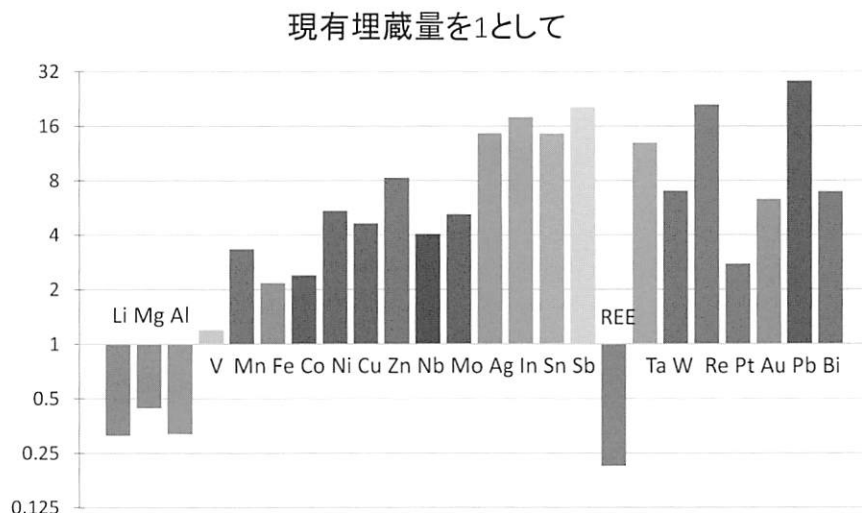


図8 2100年にはひっ迫する金属資源

会や学区での集団回収のような形が取れるようになれば、使用済み小型家電を通じた資源リサイクルが社会の中に幅広く定着していくことが期待される。

最後に、資源の観点からの事実を簡単に述べる。ほとんどの金属需要はその国の一人当たりのGDPに比例して成長し、それが1万ドル/人に達したあたりで先進国水準となりほぼ飽和する。そして2100年にはほとんどの国が一人当たり1万ドルのGDPになると予想されている。これが意味することは、世界の全人口が米日欧なみの一人当たりの金属消費を行うことになる。そうなる場合にどのくらいの金属が必要になるかの累積を計算し、その金属の資源埋蔵量を1としたグラフが図8である⁷⁾。なんと2100年まで天然の埋蔵量で賄える(グラフで1より下にある)金属は極めて限られており、それもすべて大量の還元エネルギーを必要とするものばかりだ。鉄でも埋蔵量の2倍必要になるし鉛に至っては30倍近くが必要になる。こうなると天然鉱山からの資源を求めることはもはや困難であり、徹底した循環型社会が求められる。そしてそれには今のようなりサイクルの現状ではどうい賄えるものではない。このような機会にリサイクルを社会の中に定着させていく必要がある。

文 献

- 1) 日本鋳業協会ヒアリング(2017年1月)。
- 2) 原田幸明, 井島清, 島田正典, 片桐望, 日本金属学会誌, **73**, No.3, 151-160(2009)。
- 3) 中央環境審議会 廃棄物・リサイクル部会 小電小委員会第三回資料「小型電気電子機器に含まれる有用金属含有量」(2012)をもとに作成。
- 4) <https://youtu.be/bhuWmcDT05Q> (2019年6月)。
- 5) PETボトルリサイクル推進協議会ホームページより (access 2019年6月)。
- 6) 原田幸明, 井島清, 片桐望, 大蔵隆, 日本金属学会誌, **65**, No.7, 564-670(2001)。
- 7) K. Halada, Rare Metal Symposium 2015, Sendai.

筆者紹介

原田幸明 国立研究開発法人物質・材料研究機構
名誉研究員。一般社団法人サステイナビリティ技術設計機構代表理事

(2019. 7. 2 受付)
(2019. 8. 2 受理)