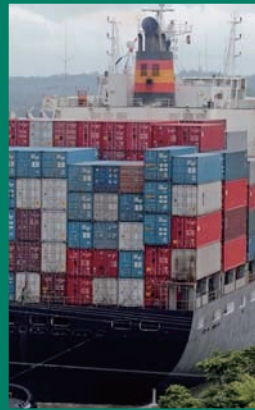




International Panel  
for Sustainable  
Resource Management

# 金属の社会蓄積量

科学的総合報告書



# 謝 辞

編集：持続可能な資源管理に関する国際パネル  
グローバルな金属フロー作業部会  
代表執筆者：T.E. Graedel

本報告書は、M.D. Gerst および T.E. Graedel の *Environmental Science & Technology*, 42, 7038-7045, 2008 に掲載された論文を大幅に加筆修正した改訂版である。この一部は 2008 年 8 月 15 ~ 16 日に行われたワークショップの成果である。このワークショップの参加者は、以下のとおりである。Thomas Graedel (マイエール大学、コーディネーター)、A. Dubreuil (カナダ天然資源省)、Michael Gerst (ダートマス大学)、橋本征二 (日本国立環境研究所)、森口祐一 (日本国立環境研究所)、Daniel Müller (ノルウェー科学技術大学)、Claudia Pena (チリ鉱山冶金研究所)、Jason Rauch (マイエール大学)、Thompson Sinkala (ザンビア鉱山大学校)、Guido Sonnemann (フランス、UNEP)。

資源パネルの事務局であり、本報告書の作成をコーディネートした Guido Sonnemann (UNEP) は、貴重な意見とコメントを提供してくれた。

資源パネルの共同リーダーである Ernst Ulrich von Weizsäcker および Ashok Khosla、資源パネルのメンバー、ならびに運営委員会には、有益なご議論を頂いた。ここに感謝の意を表する。また、運営委員会に参加する各国政府関係者には技術的コメントを追加的に頂いた。

査読の段階においては、数名の査読者の方より、ご助言をいただいたほか、効率的かつ建設的な調整をして頂いた Lea Kauppi と資源パネル事務局にも謝意を表する。報告書の作成を通じて、多くの同僚と何回も会議を重ね、内容を切磋琢磨することができた。ただし、誤記については著者らが主要な責任を負うものとする。

---

Copyright ©United Nations Environment Programme, 2010

Design: 3f design; cover concept UNEP;

Photos: iStockphoto.com: background title/page 8 ©Huchen Lu, title 1 ©oneclearvision, title 2 ©Marco Hegner, title 3/page 37 ©Milos Peric, title 4/page 29 ©DNY 59, page 11 ©Rob Belknap, page 13 ©Youra Pechkin, page 26 ©Ermin Gutenberge, page 27 ©gitches, page 30 ©Mike Clarke; page 21 ©Umicore Precious Metals Refining

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source.

No use of this publication may be made for resale or for any other commercial purpose whatsoever without prior permission in writing from the United Nations Environment Programme.

## Disclaimer

The designations employed and the presentation of the material in this publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the United Nations Environment Programme concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning delimitation of its frontiers or boundaries. Moreover, the views expressed do not necessarily represent the decision or the stated policy of the United Nations Environment Programme, nor does citing of trade names or commercial processes constitute endorsement.

ISBN: 978-92-807-3082-1

UNEP は  
環境に配慮した行動を世界的、  
また自機関の活動においても  
推進しています。  
本書はリサイクル繊維を 60%含む  
FSC 認証用紙に環境に配慮した方法で  
印刷しています。  
UNEP では出版物の流通において、  
カーボンフットプリントの削減を  
目標としています。  
(訳注：原文和訳をそのまま記載)



International Panel  
for Sustainable  
Resource Management

# 金属の社会蓄積量

科学的総合報告書

## 序 文

本出版物で使用されている名称や資料の表示は、いかなる経済の発展は、金属の利用と深く結びついている。20世紀には、社会における金属の用途の多様性が急速に拡大した。建築物における鉄鋼、航空機におけるアルミニウムなどの大量の使用に加え、液晶パネルのための特殊金属であるインジウムの使用など、革新的な技術により、ますます多様な金属が使用されるようになった。

金属は、われわれの周囲の至るところにあり、経済の土台をなす多くの素材のひとつである。金属需要の伸びは特に新興国では顕著だが、先進国でも需要が増えている。

したがって、採鉱は拡大しており、環境影響も増大してゆく潜在的可能性がある。リサイクルは、こうした影響を緩和する方法である。われわれは、これを「地上鉱山」または「都市鉱山」の採掘と呼んでおり、こうしたリサイクル活動は原材料の創出に果たす役割が益々重要になってきている。

20世紀を通じ、金属使用は増加し続けたため、金属の蓄積は社会で用途を与えられて地下から地上へと大きくシフトした。このようなシフトは、社会、経済、環境面で問題を提起しており、これらの問題は、社会における金属の蓄積量とその寿命を定量化することによってとらえられなければならない。たとえば、建築物での銅の寿命は平均25～40年であり、その後、金属は採掘されるのを待つことになる。

先進国の1人当たり蓄積量を発展途上国のそれと比較する際、世界の全人口が先進諸国と同レベルで金属を使用するのであれば、世界の金属の使用蓄積量は、現在の3～9倍必要になる。

本報告書は、シリーズ6部のうち最初のもので、UNEP資源パネルのグローバル金属フロー作業部会により編集された。5種類の金属の使用蓄積量に関する適度に詳細な情報を提供し、他の19種類の金属についても、抜け落ちもあるものの有用と思われる情報を提供している。

人間社会の蓄積量に関する情報の不足を埋めることは、将来需要に応えるための金属リサイクルの潜在的可能性について重要な情報を提供する。こうした増加する金属の蓄積量のリサイクルによる利用が増加すれば、将来、金属の重要な供給源になると期待される。

**Thomas E. Graedel 教授**

グローバル金属フロー作業部会  
座長

## 序 文

金属は、グローバル経済の中核でありまた中心に位置する要素である。建設や自動車製造から、急増する携帯電話、コンピューターなどの電子機器の生産に至るまで、金属は商業にとっての重要性を増し続けてきた。

しかし、金属は、低炭素で資源効率の高い 21 世紀グリーン経済への移行期に、社会が直面する課題の一部でもある。

金属は有限な資源であり、その管理、消費、生産は、リサイクル経済を選ぶ必要性を繰り返し述べている。金属はまた、採掘、抽出、精錬の結果として様々な影響を及ぼす。一方、一部の金属は、製品の使用と処分、加工段階での使用と処分の結果として、健康に影響を及ぼすものもあり、またより広く環境にも影響を及ぼしている。

経済における金属フローがどのようになっているかを理解、定量化、推計することは、その影響と恩恵をよりよく管理する解決策の一つである。そのため、UNEP が主宰し 2007 年に設置された「持続的な資源管理に関する国際パネル」は、金属を 21 世紀の持続可能性に関する重要課題として位置づけた。

同パネルのグローバル金属フロー作業部会は、持続可能な金属経済のあるべき姿を示して、それに向けた行動を促すために必要な 6 分冊の評価報告書を次のとおりまとめることにした。すなわち、金属の社会蓄積量、リサイクル率、環境に及ぼす影響、地質学的な金属の蓄積量、将来需要、クリティカルメタルである。

この分野で初となる本報告書では、金属の社会蓄積量に焦点をあてる。ここでは、グローバルな視点から世界の金属の蓄積量について入手できる最良の科学情報を提供する。

特に本報告書では、現在使用されている金属とその寿命について信頼できる推計を提供する。この結果、グローバル経済や国家経済に再び帰ってくるかもしれない金属の量の評価が可能になり、各国政府は金属管理についてより賢明に、目標を絞った決定を行えるようになる。

これは容易な仕事ではないが、私はここに、資源パネルとその専門家やパートナー各位が、政府・企業・市民社会に対し、持続可能性というジグソーパズルに新たな重要なピースをもたらしたことにお祝いを申し述べたい。

金属は、持続可能な開発を実現するという 21 世紀の課題を体現している。この開発を実現するためには、すでに 60 億人の人口を抱え、2050 年には 90 億人を超えようとするこの惑星のニーズを反映する上で、はるかに賢明な理解と行動の道筋を示し、それを求めてゆく必要がある。

**Achim Steiner**

国連事務次長兼 UNEP 事務局長

## 目次

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 序文                          | 2  |
| 目次                          | 4  |
| 図のリスト                       | 5  |
| 表のリスト                       | 5  |
| 略語および頭字語                    | 6  |
| 要旨                          | 9  |
| 1. 天然の再生不能な非燃料資源            | 10 |
| 2. 蓄積の概念                    | 12 |
| 3. 金属の社会蓄積量の方法論             | 14 |
| 4. 金属の蓄積量の測定結果レビュー          | 17 |
| 4.1 使用中蓄積量                  | 17 |
| 4.2 採掘されていない鉱石中の蓄積量（金属「資源」） | 20 |
| 4.3 尾鉱中の蓄積量                 | 20 |
| 4.4 加工処理施設における蓄積量           | 20 |
| 4.5 政府の備蓄                   | 20 |
| 4.6 製造施設における蓄積量             | 20 |
| 4.7 リサイクル施設における蓄積量          | 20 |
| 4.8 埋立処分場中の蓄積量              | 20 |
| 5. 使用中蓄積（社会）からのフロー          | 22 |
| 6. 使用中蓄積量情報の潜在ユーザー          | 23 |
| 7. 考察と課題                    | 24 |
| 8. 結論                       | 27 |
| 参考文献                        | 28 |
| 付属資料                        | 30 |

## 図のリスト

|     |                         |    |
|-----|-------------------------|----|
| 図 1 | 金属の一般的なライフサイクルと蓄積の場所    | 12 |
| 図 2 | ニッケルリサイクルマップ            | 15 |
| 図 3 | 使用中蓄積（社会）からのフロー算出方法の模式図 | 22 |
| 図 4 | 金属の使用中蓄積量に関する情報入手可能性    | 24 |

## 表のリスト

|     |                         |    |
|-----|-------------------------|----|
| 表 1 | 主要工業用金属の現存の金属の使用中蓄積量の推計 | 17 |
| 表 2 | 貴金属の現存の金属の使用中蓄積量の推計     | 18 |
| 表 3 | 特殊金属の現存の金属の使用中蓄積量推計値    | 19 |

(訳注：特殊金属（Specialty Metals）とは、狭義では鉄鋼に添加されるレアメタル類を指すような場合が多い。他方で、いわゆるレアメタルすべてを含む場合もある。ここでは、わかりやすさのために、鉄鋼に添加されるレアメタル類は鉄鋼関連金属に含め、その他、比較的消費量の大きな金属類を非鉄金属、貴金属類は貴金属とし、これら以外の例えばインジウムなどのレアメタルを特殊金属と呼ぶこととする。詳細は、化学記号略語を参照のこと。)

## 略語および頭字語

|       |   |
|-------|---|
| EC    | 欧州委員会   |
| EU-15 | 欧州連合加盟 15 カ国  |
| GIS   | 地理情報システム  |
| MDC   | 先進国。オーストラリア、カナダ、欧州連合加盟 EU15 カ国、ノルウェー、スイス、日本、ニュージーランドおよび米国を指す。 |
| LDC   | 発展途上国とは、「先進国」のカテゴリーに入る国を除いたすべての諸国                             |
| USGS  | 米国地質調査所   |

## 単 位

|          |                        |
|----------|------------------------|
| g        | グラム                    |
| kg       | キログラム ( $10^3$ グラム)    |
| Mg       | メガグラム ( $10^6$ グラム)    |
| Tg       | テラグラム ( $10^{12}$ グラム) |
| メトリック・トン | メガグラム ( $10^6$ グラム)    |



## 化学記号略語

### 鉄鋼関連金属

Fe - 鉄  
Mn - マンガン  
V - バナジウム  
NB - ニオブ  
Cr - クロム  
Ni - ニッケル  
Mo - モリブデン  
Si - シリコン  
Bi - ビスマス

### 非鉄金属

Al - アルミニウム  
Co - コバルト  
Cu - 銅  
Pb - 鉛  
Mg - マグネシウム  
Sn - スズ  
Ti - チタン  
Zn - 亜鉛

### 貴金属

Ag - 銀  
Au - 金  
Pt - 白金  
Pd - パラジウム  
Rh - ロジウム  
Os - オスミウム  
Ir - イリジウム  
Ru - ルテニウム

### 特殊金属

Sb - アンチモン  
As - ヒ素  
Ba - バリウム  
Be - ベリリウム  
B - ホウ素  
Cd - カドミウム  
Cs - セシウム  
Ga - ガリウム  
Ge - ゲルマニウム  
Hf - ハフニウム  
In - インジウム  
Li - リチウム  
Hg - 水銀  
Re - レニウム  
Sc - スカンジウム  
Se - セレン  
Sr - ストロンチウム  
Ta - タンタル  
Te - テルル  
Tl - タリウム  
W - タングステン  
Y - イットリウム  
Zr - ジルコニウム  
La - ランタン  
Ce - セリウム  
Pr - プラセオジウム  
Nd - ネオジウム  
Sm - サマリウム  
Eu

Gd - ガドリニウム  
Tb - テルビウム  
Dy - ジスプロシウム  
Ho - ホルミウム  
Er - エルビウム  
Tm - ツリウム  
Yb - イッテルビウム  
Lu - ルテチウム

### 合金鋼類

SS - ステンレス鋼  
ST - 鉄鋼





## 要 旨

20 世紀を通じ、金属使用が増加し続けたため、金属の蓄積は地質学的資源から社会における蓄積へと大きくシフトした。このようなシフトは、社会で使用される「金属資本」の蓄積量を定量化することが必要だとするような、社会、経済および環境面での問題を提起するに至った。本報告書は、この問題に関係する文献をレビューしたものである。54 の研究をまとめたところ、使用中蓄積量とその寿命がそれなりに詳細にわかるのはアルミニウム、銅、鉄、鉛、亜鉛の 5 種類にすぎず、空間的な所在までわかるものは、僅か 2 件であった。データは限定的であるが、先進国の 1 人当たり使用中蓄積量は一般に、5 から 10 倍で発展途上国のそれを上回っていることが示唆されている。他の 19 の金属については、まばらではあるが役立つであろう使用中蓄積量に関する情報が存在する。周期表全体のほとんどの元素について、政府備蓄に関しては少しだけ、冬眠分や尾鉱ダムにおける蓄積、産業界の在庫、埋立処分場の中にある蓄積について、そして典型的な使用中蓄積の寿命についての情報はほぼ皆無に等しい。使用中蓄積からの流出フロー量は、将来の再使用率を決定するうえで有用にちがいないが、現在、信頼性をもって推計できるのは、アルミニウム、銅、鉄および鉛についてのみである。

本報告書は、金属の蓄積量とフローに関する 6 本の報告書のうち最初のものである。最後の報告書では、先行する 5 本の報告書をもとに金属の持続可能性に関する危機的な状態と政策オプションを取り上げる。

## 1. 天然の再生不能な非燃料資源

自然は人間社会に様々な原材料をもたらしてくれる。実際、金属鉱物はこれらの資源の中で最も多様な組み合わせを構成しており、全部で60種を超える。現代の科学技術は、おそらく次の4つに完全に依存している。すなわち、鉄とマンガンは（他の少量の金属とともに）構造用鋼を作り、アルミニウムは輸送に幅広く使用され、鉛は蓄電池に、銅は発電所から電力利用者への送電に使用されている。これらに劣らずよく使用されている例としては、おそらく他の4つの金属がある。すなわち、クロムとニッケルは（鉄とともに）ステンレス鋼を作り、亜鉛は金属の腐食を防ぎ、スズは現代の電子機器に不可欠である。

しかし、実際のところ、ほとんどどの金属元素も、現代社会と最先端技術にとっての重要リストから除外す

ることができない。コンピュータチップから医療機器まであらゆる製品の製造業者が、特定の物理的または化学的特性のために何十ものさまざまな元素をそれぞれ慎重に選択して、日常的に使用している。特定目的にぴったりの伝導性、融点、光子波長、高温での触媒効率といったものを持つ金属もある。一般には認識されていないが、現代の科学技術はほぼすべての自然の恵みを利用しており、たとえ今日利用していなくても、今後おそらくそれらを利用することになる。

この非常に多様に、そして、集約的に金属を使用することに関する重大な問題は、社会がこれらの金属のいずれかまたは多くのものの長期的供給に懸念を抱く必要があるか否かである。これは、短時間で明快に答えることのできない、多面的な問題である。この問題に取り組むために、グローバル金属フロー作業部会は、一連の6本の報告書を構想し、本報告書がその最初のものである。

### レポート1 — 金属の社会蓄積量

レポート1 — 金属の社会蓄積量

レポート2 — 金属のリサイクル率

レポート3 — 金属が環境に及ぼす影響

レポート4 — 地質学的な金属の蓄積量

レポート5 — 金属の将来需要シナリオ

レポート6 — 重要金属と金属政策オプション

最初の5本の報告書は、レポート6に不可欠な基盤である。

以下のような多様な政策関連問題をこれらの報告書で扱う。

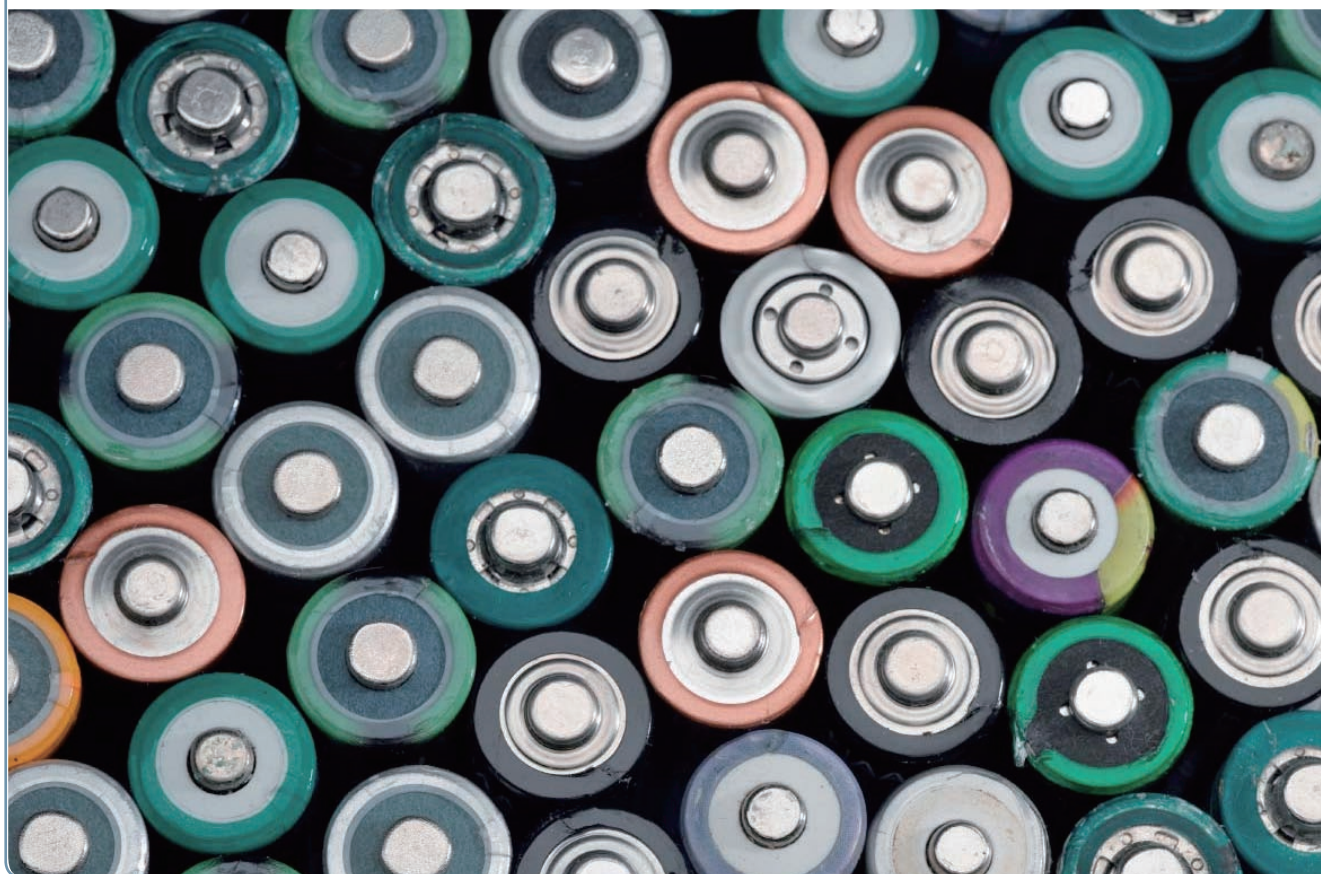
■ 金属の社会蓄積量について、どの程度まで情報が入手可能か（レポート1）。

■ 科学者は社会における金属の蓄積量の空間的分布をどの程度定量化できるか（レポート1）。

■ 金属回収の効率性についてはどうか（レポート2）。

- 各国、各地域、地球全体での金属のリサイクル率はどの程度か（レポート2）。
- さまざまな金属採掘、精錬、リサイクル技術と関連する環境影響にはどのようなものがあるか（レポート3）。
- 金属の埋蔵量と資源量についてどの程度まで情報が入手可能か（レポート4）。
- 電子機器、自動車などの製品からの使用済み製品を、金属の二次資源としてどの程度まで利用可能か（レポート5）。
- 潜在的な金属の蓄積量と将来の利用量の現実的なシナリオ作成にはどのような情報が必要か（レポート5）。
- 金属の将来の需要は、どの程度正確に予測可能か（レポート5）。
- どの金属について、またどの程度の時間軸において、供給は危機的になるか（レポート6）。
- 今日の金属使用は持続可能的か。そうでなければ、レポート1～4で明らかにされた情報からどのような政策オプションが示唆されるか（レポート6）。

6本のレポートのうちの最初の3本は、当作業部会の現在の付託条項と作業計画に含まれており、2010年中に完成予定である。あとの3つは、2010～2012年の作業部会の作業計画をなす予定である。

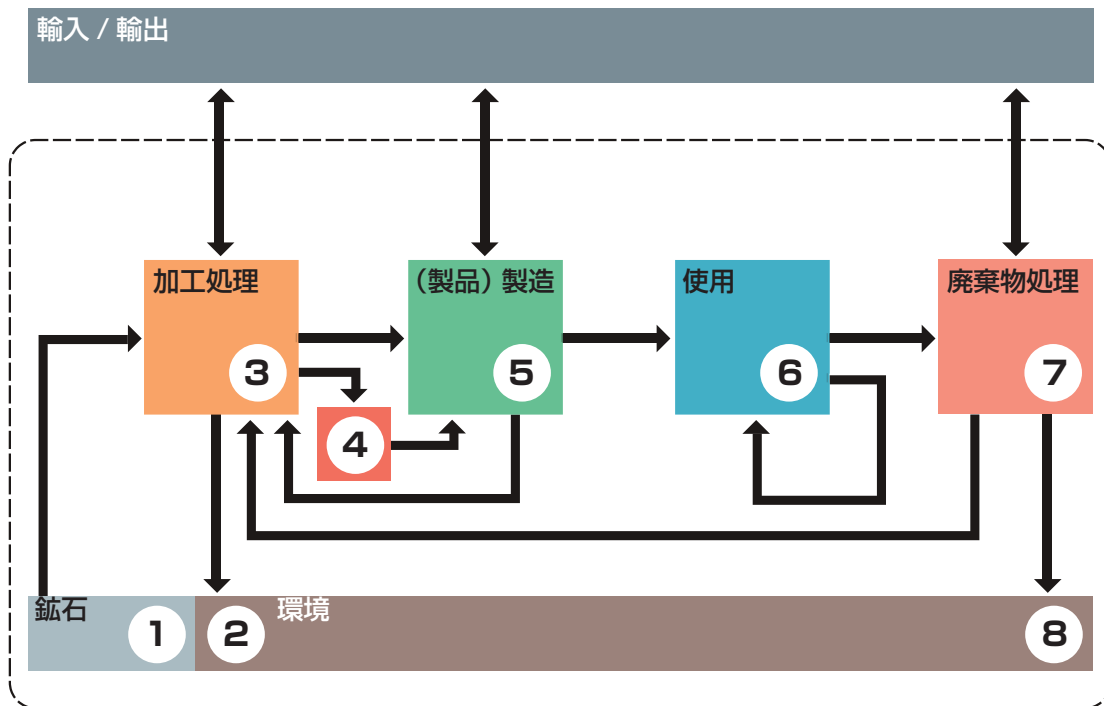


## 2. 蓄積の概念

金属の入手可能性の懸念の一つは、天然の（または未採掘の）金属の蓄積に関わるものである。この金属の蓄積は、地質作用を通して、現在および将来の抽出、処理に適した形で濃集、蓄積されたものである。このような鉱床中の金属量を正確に定量化するのは困難であるが、世界規模での推計値は公式に報告されている（USGS, 2008 など）。この情報は、資源の持続可能性を評価するうえで重要であるが、本報告書の対象ではないため、ここではこれ以上扱わない。

一部の金属は素材製造業者、製品製造業者により在庫され、またときには政府によって備蓄される。やがて製品が廃棄されると、リサイクルに回されたり、環境中に散逸したりする。金属は形を変えつつ、これらの段階の大部分をあっという間に通っていくが、数年、数十年、ことによると百年以上という長期にわたり使用の段階に居続けることもある。古くなった海底ケーブルの金属のように、場合によっては、もはや使用されていないが、回収、リサイクル（まだ）されていないこともある（Hashimoto et al., 2007）。これらの「冬眠中の」蓄積は、潜在的に再使用可能だが、経済的に見合わないことがある。原則として、これらの蓄積

- 図 1  
金属の一般的なライフサイクルと蓄積場所
1. 採掘されていない鉱体に含まれる金属
  2. 尾鉱中の金属
  3. 加工処理業者在庫中の金属
  4. 政府が備蓄する金属
  5. 製造業者在庫中の金属
  6. 使用中の金属の蓄積
  7. リサイクル業者が貯蔵する金属
  8. 埋立処分場中の金属の蓄積
- 使用段階からの排出は少ないため、ここには記載しない。



あまり研究されていない蓄積のグループは、「人為的」といわれるものである。これらは金属の社会蓄積で、すでに抽出、加工され、使用に供され、現在サービスを提供しているか、時間を経て廃棄され、または散逸している。社会にあるこの種の金属の蓄積は、図 1 に示したライフサイクル図を用いて評価できる。鉱石は地下から採掘され、金属素材へと加工処理され、製品になり、使用に供される。加工処理の過程で、目的金属を少量含むズリや不純物が「尾鉱ダム」に捨てられる。

はすべて本報告書の対象である。

物質フロー分析では、質量保存則により、システム内のすべての部分におけるフローを同一のものと見なすことで、対象とするシステムに入るフロー、出てくるフローおよび通過するフローを特徴付け定量化する。この分析では、スケールとレベルの選択が重要である。スケールは定規のようなものであり、「現象を計測または検討するのに使用される空間的、時間的、定量的、

または分析的な次元である」(Gibson et al., 2000)。レベルは、「そうしたスケールの上での位置である」。選択したシステム境界内で、ある特定時間に存在する対象物質の質量を、そのシステムにおける蓄積量と考える。測定単位については、蓄積量はレベル変数(すなわち、kg)で、一方、フローはレート変数(すなわち、単位時間あたり kg)である。一般に、金属の社会蓄積量は、物質が使用中の場合が(加工処理中、素材製造中、製品製造中、または廃棄物管理下と比べ)、群を抜いてもっとも多い。

使用中蓄積の金属量は、2つの方法で定義できる。まず個別の元素について特定するならば、金属の使用中蓄積量とは、その化学形にかかわらず、その元素の総質量を指す。また、合金について特定する場合には、金属の使用中蓄積量は、その合金の総質量を指す(そのすべての構成元素を含む)。



### 3. 金属の社会蓄積量の方法論

使用中蓄積の定義は、前述のとおり、選択したスケールとレベルの影響を受けやすい。妥当性とデータ入手の都合から、ほとんどの研究では、明確に、あるいは暗黙のうちに、1年という時間スケールを選択している。システム境界は一般には空間的なものと解釈され、あらかじめ定義された地政学的または産業部門による境界に対応する（たとえば、工業地域、都市、または国）。空間的な境界は、データ収集の観点からは都合が良い。またこのシステム境界を使用することで、使用中蓄積の推計値は、直接的に標準化できる。たとえば、あるシステム境界内の人口または面積単位での標準化は、異なるシステムの状況を比較する際に望ましいことが多い。

適切な時間スケールと空間レベルを選択したならば、次のステップは、推計方法を定義することである。定期的に収集された、便利な、引用可能なデータが存在しないため、定量化は相当困難な課題である。そこで、2つの補完的な推計方法の内のいずれかを、この目的のために使用せざるをえない（Brunner and Rechberger, 2004; Gerst and Graedel, 2008）。

最初の方法は、「トップダウン」型の人為的蓄積量の推計と呼ばれる。トップダウン推計では、フロー情報を収集し、流入フロー量と流出フロー量の累積差異を計算することにより、社会における金属の蓄積量を推計する。数学的には、 $S_t$  を時間  $t$  における蓄積量とすると、離散時間において、次の式が得られる。

$$S_t = \sum_{T_0}^T (\text{流入フロー量}_t - \text{流出フロー量}_t) + S_0$$

$T_0$  を開始時間、 $T$  は現在、 $S_0$  は開始時間における蓄積量を指す。一般に、 $T_0$  から  $T$  のレンジは 50 ~ 100 年、またはそれ以上であることが多い。これは、

$S_t$  が  $S_0$  よりはるかに大きいという結果をもたらすが、過去数十年の社会における金属の蓄積量の全体的な量の増加によって  $S_0$  の影響は無視できるほど小さくなり、そのため、一般的には、実際の推計の際には含める必要がない。

これに対し、より最近のトップダウン法は、ますます複雑化している。コンピュータの利用とデータへのアクセスが改善されたことにより、現代のトップダウン法による研究では、金属生産量を特定の最終製品カテゴリーへの流入フロー量へと分解し、最終製品グループの、寿命を定義することにより、廃棄をモデル化することが可能になっている。改善がみられるものの、この方法はいまだ完全に流入フロー量データに依存している。これは、過去の流出フロー量データが乏しく、ほとんど存在しないに等しいからである。今後、流出フロー量について歴史的なデータを収集すれば、廃棄モデルの結果を、実証的にチェックすることが可能になるかもしれない（一例として、Ruhrberg (2006) を参照）。

入手可能なデータの種類の、トップダウン法による分析の際に定義するシステム境界に大きな影響を与える。適用可能なデータの大部分が 1 年あたりのフローとなっているため、時間ステップは一般的には 1 年である。流入フロー量に使用するデータは、政府文書、技術文献、専門家からの聞き取り、業界 / 貿易団体などから収集する。通常、これらのさまざまなデータソースの相対的信頼性についてはほとんど議論されていない。適切な空間的境界は、入手可能なデータに大きく依存する。また、ほとんどの流入フロー量データは、国レベルにおいてのみ収集されるため、その適用範囲は限定される。このことは、より高い空間的解像度を望むのであれば、問題となる。

「ボトムアップ」法は、トップダウン法とは反対の戦略をとる。すなわち使用中蓄積量を推計するのに蓄積量変数に関する情報を収集し、(必要に応じて) フローを推測する。もっとも簡単な形では、ボトムアップ法による使用中蓄積量の推計は、次のように表される。ここで  $N_{it}$  は、時間  $t$  における使用中の最終製品  $i$  の量、



mit は、使用中の最終製品グループ i の金属含有量（付属資料 1）、A は最終製品の種類の数である。

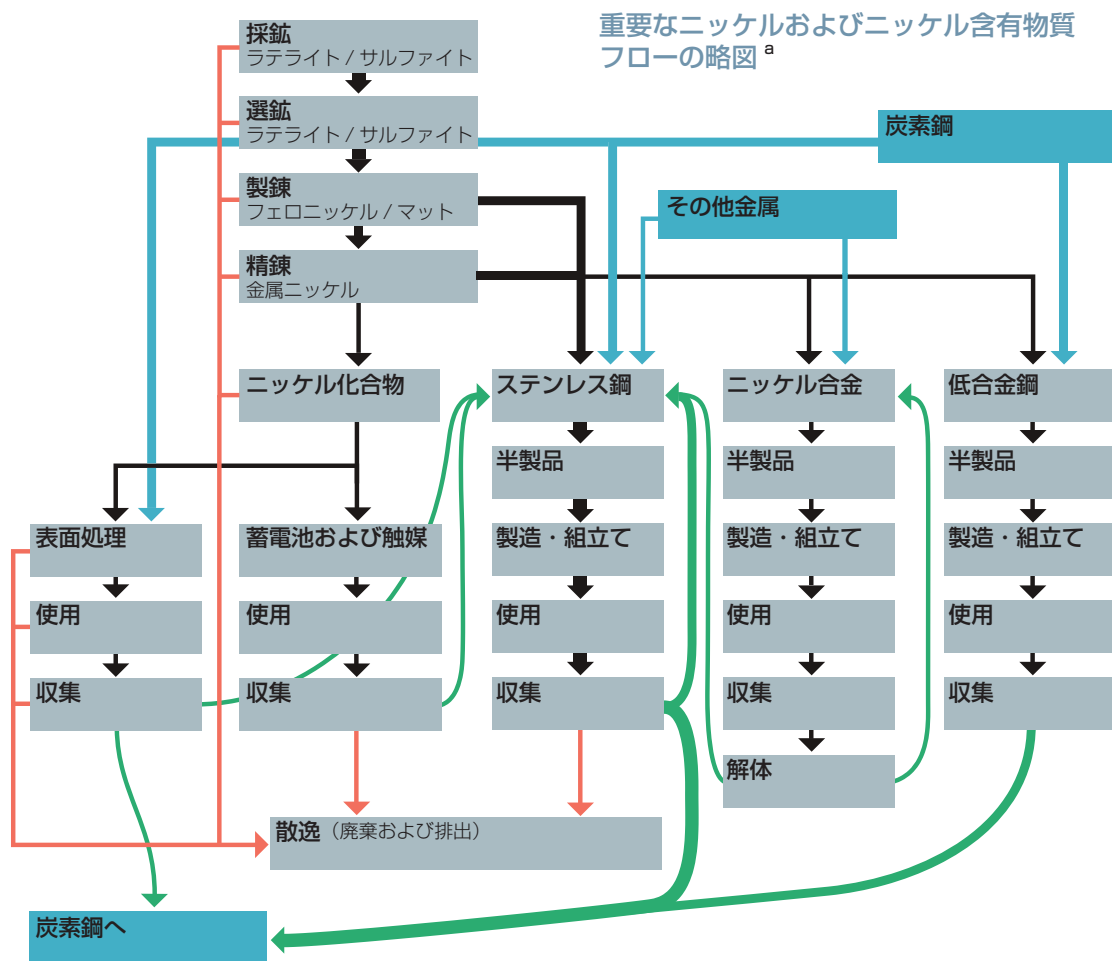
$$S_t = \sum_i^A N_{it} m_{it}$$

ボトムアップ法のいっそう複雑なバージョンでは、式 2 と同じ公式を使うが、製品カテゴリーと金属の含有物についてより詳細な定義が必要となる。

入手可能なデータの種類の、ボトムアップ法のシステム境界に大きな影響を及ぼす。トップダウン法と同様、

収集されたデータの大部分は、ある 1 年間に關するものと解釈される。しかし、この場合、データは 1 年あたりのフローでなく、その 1 年間に存在する蓄積量である。また、トップダウン法のために収集されたデータと同様、ボトムアップ法のデータは、地政学的境界によって制約を受けることが多い。しかし、蓄積量に關するデータ（例えば、住宅または自動車）は、しばしば市や町単位、またはより下位の単位で把握できることが多いため、この制約はボトムアップ方式の場合ほど厳しくない。

図 2  
ニッケルリサイクル  
マップ  
(Dubreuil et al.,  
2009 を改変)



a この図は、使用済み製品のリサイクルに焦点を当てている。加工処理から製造でのリサイクルのフローは図示していない。

- ニッケル (Ni) 製品および最終製品
- Ni 含有する廃棄物 / 散逸
- Ni リサイクル
- 他の金属プールへの接続

$N_i$  について高い空間的解像度と良好なデータが得られるような場合では、金属含有量を決定の制度が限界となる。機械類、電子機器、自動車など使用中の新しい最終製品の多くについては、金属含有量は、測定ないしは製造者から取得することが可能である。建築物のような製品については、大量生産品でないためにより困難である。しかしながら、使用中蓄積には何年もかけ蓄積されてきた様々な年代の製品が雑多に含まれているために、使用中蓄積の金属含有量を推計するために新しい製品の金属含有量を使用することには問題がある。たとえば、新築住宅の銅含有量を 1950 年代に建設された住宅に適用すると、誤った結論に至る結果が出るであろう。このデータ問題を軽減することは、使用中蓄積の金属含有量について統計的に有意といえるサンプリングの枠組を用意するか、さまざまな製品の設計計画についての大がかりな歴史的調査を行うことが必要となり、困難であるという結論に至るかもしれない。

どちらの手法も同じ量を測定しようとしているが、基本的に異なった形で機能するものであり、現在のデータセットと技術の適切性は、その目的によってまちまちである。トップダウン方式には、時間による変化を捉えるという特徴が備わっている。結果として、この手法は流入フロー量 / 流出フロー量の時系列データが入手可能な場合に使用されることが多い。トップダウン方式は、ある程度までは、ボトムアップ方式よりもまわりくどい推計であり、正確性で劣るとみなされることがある。一方で、ボトムアップ方式では使用中のすべてのものを勘定することができないことと、評価に含まれる単位量あたりの金属含有量の多くが不正確であることが制約となる。このトレードオフは、調査目的に則して検討されるべきである。より詳細で、空間的にはっきりとした分析を望むのであれば、ボトムアップ方式がより望ましいであろう。詳細さに劣る点が許容可能であり、より広い時間的・空間的スケールこそが重要であるなら、トップダウン方式を用いる方がふさわしいかもしれない。

金属は単体で使用されることはほぼなく、むしろ合金として使用される。熱力学的視点から、また経済的な

観点から、合金をその金属成分に「分ける」ことがいづも実行可能であるとは限らない。貴金属（金、白金族金属、銅、鉛など）では、リサイクルから高純度の金属が生成される。一方、ステンレス鋼中のニッケルやクロムは、ステンレス鋼としてリサイクルされるが、ニッケルとしては回収されることはない（図 2）。ニッケルの蓄積を報告するためには、電池と触媒、低合金鋼など主要な用途の間で分けた蓄積を表すことが望ましい。ボトムアップ研究ではこれを行うことができ、こうした研究の一部はこの点でたいへん詳細である。（たとえば、Rostkowski et al., 2007）。

これらの手法は、鉱石であれ、埋め立てられたものであれ、地下にある金属の蓄積には適用できない。前者では、試掘による情報を、地質学理論により補完、解釈したものに依拠する必要がある。埋立の場合、データがあまりにも乏しいため、使用済み製品の廃棄に関する推計値を、使用されたりリサイクル金属の量の長期データと組み合わせ、大まかな推計が行われている。

## 4. 金属の蓄積量の測定結果レビュー

### 4.1 使用中蓄積量

使用中蓄積量の定義と推計の方法論から、文献中の金属の蓄積量の推計値を比較することができる。学術文献のほか、産業界の出版物や発表資料をレビューすると、査読付きの文献、公表された報告書、個人的な情報交換から、金属の社会蓄積量について全部で54件の研究があった。発行時期は1932年から2007年にわたるが、70%は2000年以降のものであった。24種類の金属（22の元素と2つの合金グループ）について、金属の使用中蓄積量の推計値は全部で124あり、そのうちいくつかからは動的な情報が得られた。

われわれのレビューで集められた個別データを、本報告書の2つの付属資料に掲載した。すなわち、各金属

が使用されている主要最終製品カテゴリー（主要な使用産業）の詳細（ボトムアップ法での研究に必要な情報）、ならびに1人当たり現存使用中蓄積量の測定結果を地理的情報、年次、量および情報源とともにリスト化した。ここでは、1人当たり蓄積量の概要を整理し、データの示す全体像を考察することとする。また、データの不確実性が大きいという印象が一般にもたれているにもかかわらず（例えば、Hebrand and Sörme, 2001）、データの不確実性を扱った論文が少ないことが判明したことも注目に値する。

表1は、主な工業用金属の使用中蓄積量情報を要約したものである。先行研究で推計数の多い金属は、銅、鉛、亜鉛および鉄の4つである。社会におけるアルミニウムの蓄積量も、かなりよく把握されている。ステンレス鋼については測定値が複数あり、またあらゆる種類の鉄鋼（およそ95%が鉄である混合物）の合計についても測定値が1つある。地理的には、推計の圧倒的多数が先進国に関するものである。世界規模では、使用中蓄積量のトップダウン法による推計がアルミニウ

表1  
主要工業用金属の  
現存の金属の  
使用中蓄積量の  
推計<sup>a</sup>

| 金属     | 推計の数 | 全推計に占める割合 | 1人当たり蓄積量 (世界全体) | 1人当たり蓄積量 (先進国) <sup>b</sup> | 1人当たり蓄積量 (開発途上国) <sup>c</sup> |
|--------|------|-----------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|
| アルミニウム | 9    | 7.4       | 80              | 350-500                     | 35                            |
| 銅      | 34   | 27.0      | 35-55           | 140-300                     | 30-40                         |
| 鉄      | 13   | 10.7      | 2200            | 7000-14000                  | 2000                          |
| 鉛      | 20   | 16.4      | 8               | 20-150                      | 1-4                           |
| 鉄鋼     | 1    | 0.8       |                 | 7085                        |                               |
| ステンレス鋼 | 5    | 4.1       |                 | 80-180                      | 15                            |
| 亜鉛     | 14   | 11.5      |                 | 80-200                      | 20-40                         |

a 表1から3の値の測定年はさまざまであるが、ほとんどは2000～2006年である。1人当たりの単位は、ほとんどの金属ではkgであるが、カドミウム、金、水銀、パラジウム、白金、ロジウム、銀ではgである。推計の合計数は、124である。

b この計算で対象とした先進国は、オーストラリア、カナダ、EU15、ノルウェー、スイス、日本、ニュージーランド、米国である（2005年のこれらの合計人口は8億6,000万人）。

c この計算で対象とした発展途上国とは、「先進国」カテゴリーの諸国を除いたすべての国々である（2005年のこれらの合計人口は56億2,000万人）。

ム、銅、鉄および鉛の4元素についてのみ存在する。鉄は、使用への流入フロー量が大きく、それに呼応するように1人当たり蓄積量も最大である。アルミニウムの蓄積量は、銅の蓄積量よりわずかに多く、鉛の蓄積量は極めて少ない。(全世界での値は、推計された使用中蓄積量の合計を世界人口で除して算出した。この結果を、世界での1人当たり使用中蓄積量であると解釈すべきではない。ほとんどの蓄積量は明らかに先進国に偏在するからである。)

蓄積量推計は、地域ベースではほとんど得られないが、わずかに、ヨーロッパのアルミニウム、北米とヨーロッ

ニューヘイブン、ケープタウン、北京、シドニーである。ボトムアップ法による研究の絶対数は、この手法の正確性を評価するにはあまりに少ない。しかし、結果の比較が可能な場合を見てみると、合理的だと言える。都市レベルでは、蓄積量を空間的に把握することが可能であり、ケープタウンとシドニーについては、すでにこれが実施された。

人為的な蓄積量についての推計が、表2のとおり、5つの貴金属について存在し、ほとんどは先進国についての推計である。例外は銀で、かなり不完全な世界レベルでの推計が1つ存在するのみである。

表2  
貴金属の  
現存の金属の  
使用中蓄積量の  
推計<sup>a</sup>

| 金属    | 推計の数 | 全推計に占める割合 | 1人当たり蓄積量 (世界全体) | 1人当たり蓄積量 (先進国) <sup>b</sup> | 1人当たり蓄積量 (開発途上国) <sup>c</sup> |
|-------|------|-----------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 金     | 2    | 1.6       |                 | 35-90                       |                               |
| パラジウム | 2    | 1.6       |                 | 1-4                         |                               |
| 白金    | 2    | 1.6       |                 | 1-3                         |                               |
| ロジウム  | 1    | 0.8       |                 | 0.2                         |                               |
| 銀     | 2    | 1.6       | 110             | 13                          |                               |

a 表1から3の値の測定年はさまざまであるが、ほとんどは2000～2006年である。1人当たりの単位は、ほとんどの金属ではkgであるが、カドミウム、金、水銀、パラジウム、白金、ロジウム、銀ではgである。推計の合計数は、124である。

b この計算で対象とした先進国は、オーストラリア、カナダ、EU15、ノルウェー、スイス、日本、ニュージーランド、米国である(2005年のこれらの合計人口は8億6,000万人)。

c この計算で対象とした開発途上国とは、「先進国」カテゴリーの諸国を除いたすべての国々である(2005年のこれらの合計人口は56億2,000万人)。

パの銅、ステンレス鋼についていくつかの地域についての推計が得られる。蓄積量推計は、すべてごく最近のもので、かなり信頼できると思われる。国ベースでは、日本、米国、オーストラリアのほか、ヨーロッパの複数の諸国について、データが存在する。

都市レベルの評価は、いくつかの金属と都市について実施されてきており、すべてボトムアップ法による。対象地域は多様であり、ストックホルム、ウィーン、

「特殊金属」(主要な工業用金属に比べ、特定の物理的・化学的性質のために少量使用される金属)についての人為的蓄積量に関する推計を表3に示す。12種類の金属をリスト化したが、測定値が4つ以上のものはない。このグループで唯一世界規模での推計があるのは、カドミウムである。この推計はたいへん古いもので、信頼性があるとはみなせない。最近の未刊行のプレゼンテーション資料でHalada(2008)は、約20の元素について日本での使用中蓄積量のトップダウン型

推計を説明している。日本における金、インジウム、銀、スズ、タンタルの使用蓄積量は、これら金属の埋蔵量の10～20%で、こうした希少な金属に関する研究を強化することの必要性を示唆している。

先進国については、表1に、一人あたりの金属の使用蓄積量を算出するのに十分な情報がある。算出することで現代の生活スタイルがいかに膨大な金属蓄積に依存しているかがわかる。通信、鉄道ネットワーク、発電、流通システムなどのインフラや、個人住宅、自家用車などにどれだけの金属が使われているのかについて把握している個人はほとんどいないため、こうした情報は非常に有用な視点を提供する。先進国の一人あたり金属の使用蓄積量の平均値は、10～15メトリック・トンである。このうち、5つの金属、すなわち、鉄、アルミニウム、銅、亜鉛、マンガンで98%を超えている。

こうした限定的なデータからわかる特徴のひとつは、先進国と開発途上国の1人あたり使用蓄積量に現在、大きな差があることである。さらに、異なった空間レベルで測定すると、郊外の住民は、都市、または特に農村部の住民より一人あたりの使用蓄積量が多いようである。ただし、この考察は、使用蓄積量の変化について、将来の研究からインプットを必要とする。富の偏在が明白であることを考慮すれば、これらの結果は質的には妥当に見えるが、空間的（または空間分析レベルの）視点から蓄積をよりよく理解するために、まだ多くの研究が必要である。また、一国全体で見ただけの場合には、人口の少ない地域に存在するインフラや最終製品中の使用蓄積量を含むことで、1人あたりの金属の使用蓄積量が増大する可能性も考慮に入れる必要がある。このような最終製品には、船舶、大型トラック、重工業用設備、オフショア掘削設備、鉄道、軍用設備および航空機などが含まれよう。

表3  
特殊金属の  
現存の金属の  
使用蓄積量の  
推計値<sup>a</sup>

| 金属     | 推計の数 | 全推計に占める割合 | 1人あたり蓄積量<br>(世界全体) | 1人あたり蓄積量<br>(先進国) <sup>b</sup> | 1人あたり蓄積量<br>(開発途上国) <sup>c</sup> |
|--------|------|-----------|--------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| アンチモン  | 1    | 0.8       |                    | 1                              |                                  |
| カドミウム  | 3    | 2.5       | 40                 | 80                             |                                  |
| クロム    | 3    | 2.5       |                    | 7-50                           |                                  |
| コバルト   | 1    | 0.8       |                    | 1                              |                                  |
| マグネシウム | 1    | 0.8       |                    | 5                              |                                  |
| マンガン   | 1    | 0.8       |                    | 100                            |                                  |
| 水銀     | 1    | 0.8       |                    | 10                             |                                  |
| モリブデン  | 1    | 0.8       |                    | 3                              |                                  |
| ニッケル   | 3    | 2.5       |                    | 2-4                            |                                  |
| スズ     | 2    | 1.6       |                    | 3                              |                                  |
| チタン    | 1    | 0.8       |                    | 13                             |                                  |
| タングステン | 1    | 0.8       |                    | 1                              |                                  |

a/b/c 表2を参照。

まとめると、金属の使用蓄積量の信頼しうる推計を可能にするだけの十分な情報があると考えられるのは、おそらく銅、鉄、アルミニウム、鉛についてであり、先進国についてのもののみである。それでもなお使用中蓄積量の規模の大きさは、少なくともこれらの金属については、本報告書で収集した情報からだけでも容易に評価できる。

#### 4.2 採掘されていない鉱石中の蓄積量 (金属「資源」)

このテーマは、グローバル金属フロー作業部会のレポート4で取り上げるため、ここでは議論しない。

#### 4.3 尾鉱における蓄積量

尾鉱の金属含有量は、採掘された鉱石の選鉱プロセスの効率によるところが大きい。近代的な鉱山では、尾鉱中の金属量を測定しているが、情報は一般に公にされない。また、個々の選鉱施設以上のレベルでの蓄積量推計の存在は把握していない。

#### 4.4 加工処理施設における蓄積量

加工処理業者の保有量について、一般的に情報は入手できない。ほとんどの物質は加工処理施設を速やかに通過するため、これらの量は比較的少ないと思われる。

#### 4.5 政府の備蓄

少なくとも、日本、中国、米国の3カ国の政府について、いくつかの金属の備蓄を保有していることが知られている。日本の備蓄については、Moriguchiが作成すると報告されている。中国の備蓄については、一部、推計が行われているが(Shanghai Metal Corporation, 2008)、公的な情報はない。米国の備蓄については、米国地質調査所(USGS)において報告されている

(2008年およびそれ以前)。

#### 4.6 製造施設における蓄積量

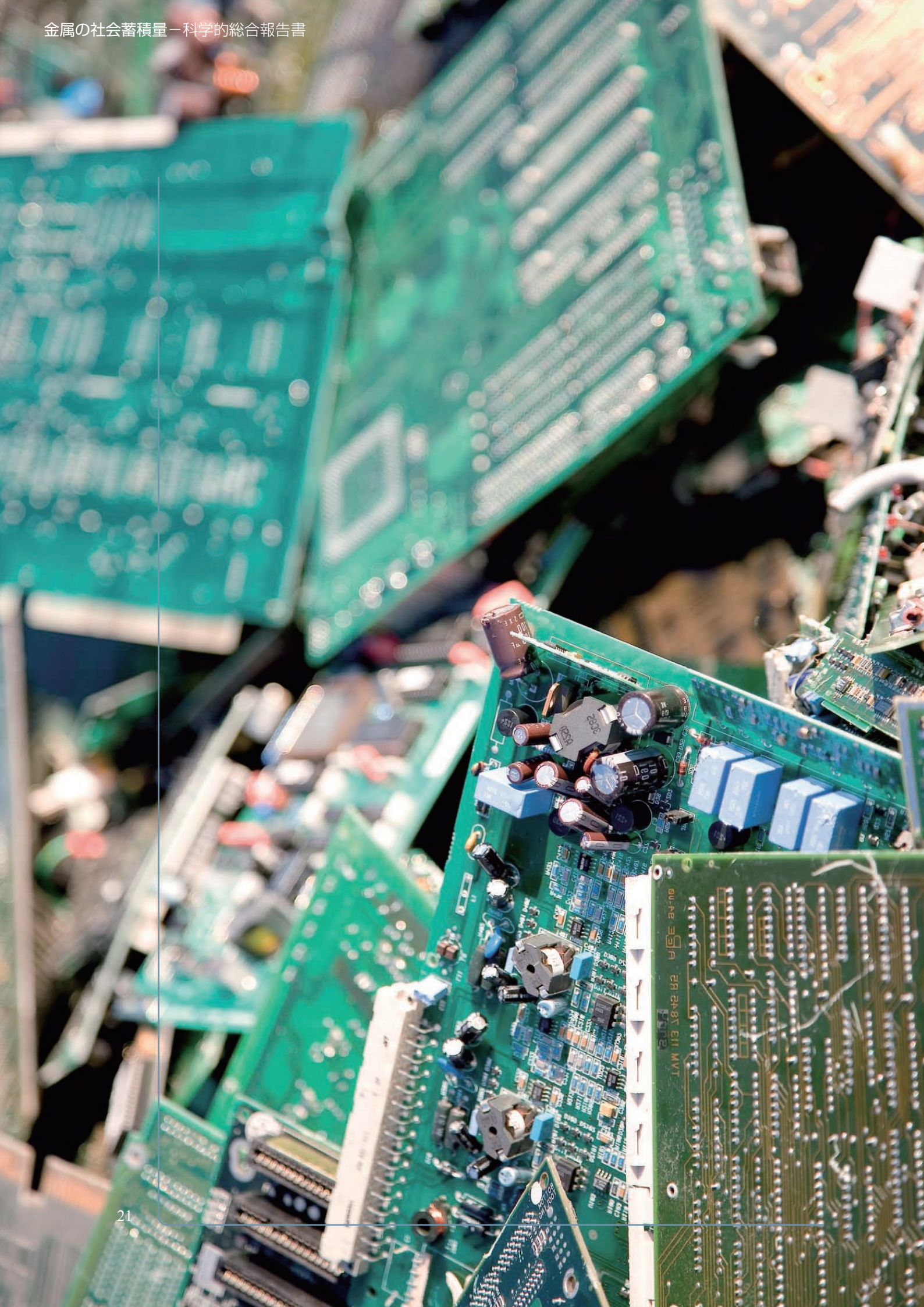
製造業者の保有量について、一般的に情報は入手できない。ほとんどの物質は処理施設を速やかに通過するため、これらの量は比較的少ないと思われる。

#### 4.7 リサイクル施設における蓄積量

リサイクル業者の保有量について、一般的に情報は入手できない。ほとんどの物質は処理施設を速やかに通過するため、これらの量は、比較的少ないと思われる。

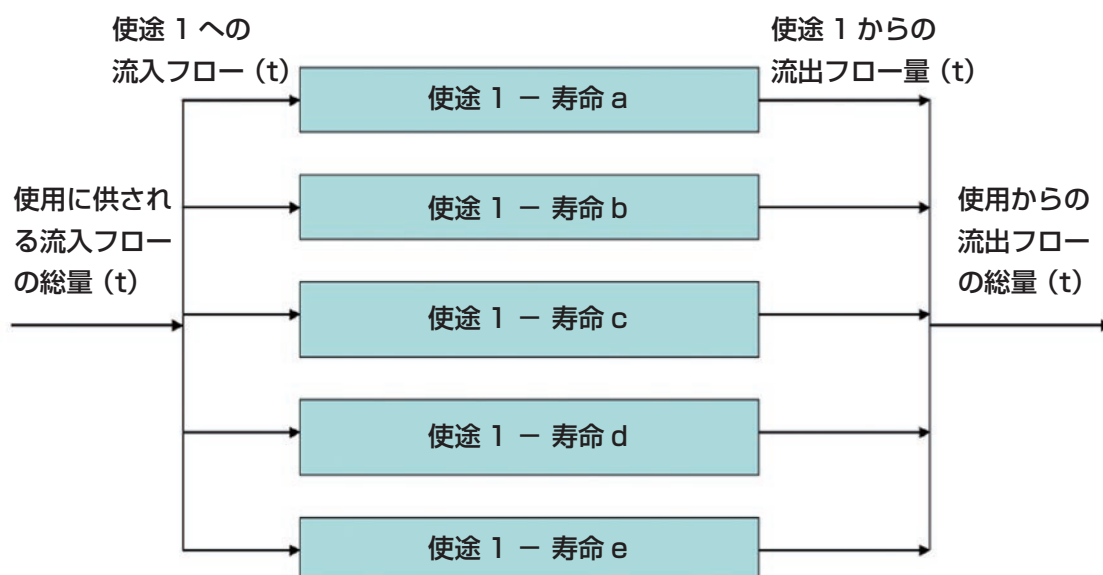
#### 4.8 埋め立て処分場中の蓄積量

埋立処分場中の金属の量と場所に関する情報はほとんど入手できない。わずかに2つの推計のみがわかっている。米国における埋立処分場中の鉄(850 Tg Fe; Müller et al., 2006)および世界の埋立処分場中の銅(225 Tg Cu; Kapur, 2004)である。これらの量は、比較的大きいが、埋立られた物質は広い範囲に拡散しており、鉱石ではなく廃棄製品中にある方が多い。埋立処分場の蓄積から金属が回収されることが重要であることを示す根拠は存在しない。使用規制がますます強化される物質(水銀、カドミウムなど)の場合、埋め立て処分場中の蓄積量は、時間が経つにつれ、使用中の蓄積量を上回るかもしれない。



## 5. 使用中蓄積（社会）からの流出フロー量

図3  
使用中蓄積からの  
流出フロー量  
算出方法の模式図



使用中蓄積からの流出フロー量（それがリサイクルされた場合）は、天然資源の必要採掘量（とそれに伴う環境への影響）の減少分を意味する。製錬所や精錬所へ供給される流出フロー量（「二次資源」）は一般的には測定されるが、この流出フロー量そのものは測定されていないため、算出する必要がある。

流出フロー量の算出には、何年にもわたる流入フローの動的な情報に加え、主要な用途のそれぞれに於いていくフローの部分の推定値と、図3に示すとおり、これらの用途の平均寿命推計値が必要である。

いくつかの個別の流出フロー量について、リサイクル可能性がまったく異なる場合があることに言及することは重要である。例えば、インフラからの銅の回収率は、電子機器からよりもはるかに高い。当作業部会のリサイクル報告書（完成予定）において、これらの問題のある程度詳細に扱う予定である。ほとんどの用途において、一部の金属は散逸または腐蝕などのプロセスにより環境中に失われる。しかし、その量は他のフローに比較すればごく少量であり（Wang et al., 2007; Mao et al., 2008 など）、金属の社会蓄積量の評価という目的では無視できる。



## 4. 使用中蓄積量情報の 潜在ユーザー

**鉱業：** 鉱業では、鉱物を抽出、選鉱する。これらの業務では、鉱石中の鉱物の組合せの結果として、いくつかの金属副産物を生産することがよくある。この産業の関心は、主に金属市場の持続可能性と天然資源に対する将来需要であるが、需要は、世界中で1人当たりの資源使用強度が上昇すると増加し、天然資源に代わりスクラップからのリサイクルが進めば減少する。これらの産業に有用な観点はおそらく、一定のサービスを人々に提供するのに必要な金属の蓄積量を測定するための金属の使用中蓄積量の推計と、さまざまな仮定に基づく潜在的な金属需要のシナリオ作成などであり、これらの仮定とは、技術上の選択、人口増加のほか、ある金属の主要な用途を他の金属または人工素材で代替（たとえば銅の電線をアルミニウム線で代替）する場合の適切なパラメーターである。使用中蓄積量の推計の不足、金属需要シナリオの欠如および蓄積の廃棄シナリオの欠如のために、今日までこれらの産業では使用中蓄積量情報をこうした目的で利用することができなかった。これらの考察はすべて、鉱業が国家経済の中核を占めている国についてもあてはまり、特に、鉱山が政府管理下であればなおさらである。

**金属製造業：** これらの産業では、鉱石またはリサイクルされたスクラップから、要求された純度の金属を製造する。使用中蓄積からの廃棄シナリオは、特に、金属の形態（合金、被覆金属など）がシナリオの一部である場合、彼らにとっては有益である。現在の使用中蓄積量の研究は、シナリオ作成のベースを提供するが、そうした分析はいまだになされていない。

**廃棄物処理・スクラップ業：** 廃棄物処理・スクラップ業の主たる役割は、金属を回収し、環境中への損失を最小化することである。金属がどのような経路を辿るかを定める要素には、廃棄物中の金属の含有濃度とスペシエーション（化学形態別分析）、分離と濃集の容易さ、および金属の廃棄方法（分別か混合か）などが含

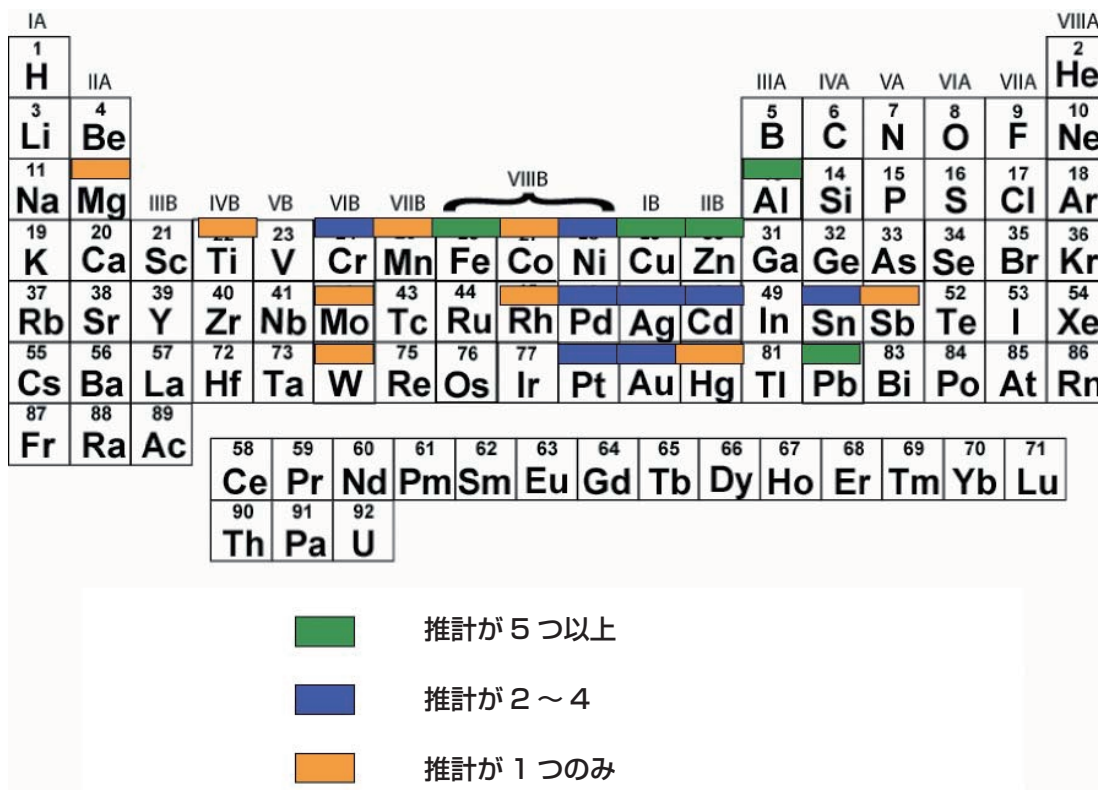
まれる。そこで、廃棄物処理・スクラップ業には、投入物は、異なった場所で発生し、そのために成分と廃棄時期について大量の不確実性があるという前提が存在する。ここでは使用中蓄積量の情報そのものには価値がないが、比較的高い時間的・空間的解像度で使用中蓄積量とリンクした廃棄シナリオは、役立つかもしれない。

**公衆衛生・環境関連政府機関：** 上記で考察した、廃棄物から回収される金属の量と形態に関心がある潜在ユーザーとは異なり、これらの機関は、廃棄され、または散逸して回収されない金属の量と形態に関心がある。廃棄物処理業と同様、これらの機関は空間的解像度の高い廃棄シナリオを、公衆保健または環境への影響を予測するために評価するだろう。

**公的政策機関：** これらの機関は多様で、その目的も多岐にわたる。経済および国家安全保障政策立案者は、貿易の混乱に備えて金属財もしくは金属含有最終製品として、特定の金属に関してはスクラップ供給を一定量維持することに関心があることが多い。環境政策立案者は、少なくとも資源効率性の文脈において、金属リサイクルの環境への便益の推進に関心があり、この目的実現に対しては、空間的解像度の高い廃棄データまたはシナリオがあれば、大変役に立つであろう。

## 7. 考察と課題

図4  
金属の  
使用中蓄積量に  
関する  
情報入手可能性



人為的な金属蓄積量の推計は、将来の社会における金属使用とそれに伴う環境への影響に関するいくつかの興味深い関連した問題に答えるのに役立つ可能性がある。

- 将来の需要シナリオを研究するための、さまざまな社会または国の金属の使用、蓄積、廃棄のパターン
- 天然資源としての金属蓄積と人為的蓄積の質と量の比較、およびこの情報が大規模な都市鉱山の開発に対する議論への情報提供となる可能性
- 人口増加率と富の増加に伴う、散逸使用（腐蝕、摩耗など）による環境への影響の規模の変動
- スクラップ発生量の予想（国、地域、全世界）およびこのスクラップがもたらす天然資源需要の削減効果

### ■ 収集と回収の増強に効果的な公共政策の構築の促進

現代の科学技術における金属使用が非常に広範にわたるにも関わらず、金属の社会蓄積量について我々がなんらかの情報を持っている金属は約3分の1にすぎず、測定値について比較的満足できると感じられるのは、おそらくわずか5～6種類にすぎないことは特筆に値する（図4）。さらに、動的情報は稀であるかほとんど存在しない。ほとんどの蓄積量推計は、「ある一時点でのスナップショット」以上のものではない。蓄積量の動的情報は、資源利用の変化を追究する上で極めて有用な情報を明らかにする可能性があるため、積極的に研究を進めるべきである（Månsson et al., 2009 など）。

大量に使用されている物質についても、利用可能な情報には、明らかな違い思われるものがある。例えば、社会における亜鉛の蓄積量については、世界規模での推計が存在しないように思われる。主要な合金用金属である、クロム、マンガン、ニッケル、スズについても世界規模での蓄積量推計は存在せず、国レベルの推計が少しあるのみである。自動車の軽量化で使用が増えている軽金属であるマグネシウムの蓄積量は、日本についてのみ存在している。原子力発電に必要な元素であるウランとジルコニウムについては、現存の蓄積量推計がまったくない。

特殊金属の人為的な蓄積量の推計は、ほとんど存在しない。ひとつにはデータの欠如によるもので、また過去数十年間にこのような研究への関心がなかったこともこのような状況をもたらした。電子機器や医療機器に広く使用されているランタノイド（個別に、または族として）や、現在フラットパネルディスプレイに不可欠な元素で、亜鉛鉱石加工処理の副産物としてのみ入手可能であるために供給不足のおそれがあると考えられるインジウムに注目するとよいかもしれない（Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, 2009）。

この他に明らかなニーズがある分野は、発展途上国に重点をおいた人為的な蓄積量の研究である。これら諸国の蓄積量と先進国の蓄積量の差は、将来の潜在的な資源需要について多くのことを示唆してくれる。しかし、この点についての知識ギャップを埋めるための努力はほとんどなされていない。

金属の社会蓄積量の定量化は、ほとんどの場合、データ入手の困難さのために限界がある。使用への投入の情報は、使用から排出に関する情報よりも一般には質が高い。政府が継続的に廃棄、リサイクル、ゴミのデータを収集すれば、使用中蓄積量の推計は大幅に改善されるはずである。

使用中蓄積量の研究のほとんどが、不確実性を考察もしくは推計しようとしていないことには注目すべきである。実験室のように不確実性がかなり正確に

測定できる場合とは異なり、使用中蓄積量の不確実性は、さまざまな製品グループの平均寿命や、建設物や機器の組成などの要素に関係しており、これらの変動性は大きいものの、はっきりしない。一部の研究者（Rostkowski et al., 2007 など）は、これらの研究における誤差の発生源を論じたことがある。最近の蓄積量推計は、おそらく  $\pm 25\%$  の精度があり、この程度の正確性があれば、公共政策の基礎とするのに、十分適切であると考えられている。

今後研究を進めるべきもう 1 つの方向性は、陽に空間を扱った使用中蓄積量の推計である。van Beers と Graedel (2007) は、ボトムアップ研究において、GIS と空間的な情報を伴う蓄積量と人口データを使用することで、比較的詳細な空間的解像度が得られることを示した。Terakado et al. (2009) の最近の研究では、人工衛星からの夜間光画像を使用して、日本における銅の使用量蓄積量の空間的分布を試算している。これは、金属の使用量蓄積量を推計するために GIS とリモートセンシングを組み合わせる利用した最初の取り組みであると思われる。こうした研究は、他の有用な空間的属性と結果を繋げることで、意思決定者に有益なものとなるであろう。

さまざまな空間的境界が人為的な蓄積に関する研究の対象となってきたことは特筆に値する。ある蓄積研究にとって、都市または他の地政学的境界の選択は何によって行うのかという質問があるかもしれない。その答えは、使用中の蓄積量推計の使用目的次第である。将来のスクラップのフローを予測する目的で使用中の蓄積のマップを作成しようとするのであれば、地政学的または他の種類の空間的境界が適切であると思われる。同様に、都市という境界は、散逸量を推計するための使用中蓄積量に関する研究を用いようとするならば、有用であろう（Sörme and Lagerkvist, 2002; McKenzie et al., 2009 など）。しかし、使用中の蓄積を通じて住民の豊かさに関する結論を得ようとするのであれば、あまりに小さいシステム（市など）を対象としている研究は、一部の金属では不適切であろう。たとえば、空間的に狭い境界は、住宅建築にそのほとんどが含まれているような金属にとっては適切で

あるかもしれないが、市境の外にあるようなインフラや製造設備中に多量の蓄積が存在する金属については適切とはいえない。国のような大きな単位の空間的境界を選択してさえも、別の国や大陸にある製造機器のような蓄積が、システム境界内の住民によって使用されていると考えることができる場合もある。これは、採掘の潜在的可能性がある尾鉱中の金属にもあてはまる。物質フロー分析の文献の中で構築されてきた隠れたフローという概念のように、これらを「隠れた」蓄積として考えるべきかもしれない (Adriaanse et al., 1997)。

より多くの研究者が関与し、彼らの努力に、いっそう多くの財政支援がもたらされなければ、近い将来、上記で考察したギャップのすべてが埋まることはなさそうである。現在、人為的に改変された蓄積量の研究はほとんどすべて、日本と米国でそれぞれ1つずつの小さなグループにおいて行われており、ヨーロッパのグループにより行われることもある。こうした研究に対するニーズの大きさは明らかにこれに対する資源とこのニーズを満たすために奮闘しているスタッフを明らかに上回っている。

すべての使用中蓄積量情報のユーザーは、使用中蓄積量推計における科学の大幅な進歩の恩恵を受けることができる。まず、全体的な手法については、トップダウン法とボトムアップ法を組み合わせることから恩恵を受けることが出来る。ボトムアップ方式の詳細さを、トップダウン方式の時間的な側面と組み合わせるのである。(ある特定の場所において、両手法を比較する唯一の研究 (中国 2005 年。Wang et al., 2009) が知られている。これらの方法から非常に近似した結果が出ることには、勇気づけられる。) 第2に、地域の特異性を増やさなければならない。レビューした研究の大多数が先進国のものであり、そこから得られた値は発展途上国の状況を表していない。第3に、空間的分解能と最終製品カテゴリーのよりいっそうの細分化は、一部のエンドユーザーにとってますます重要になるであろう。第4に、将来の研究が共通して重視するのは、結果の不確実性と妥当性の定量化および周知に向けたより直接的な手法である。これら4つの研究上の重点は、もっとも大きな影響を与えられるところに研究時間と資源を集中させる可能性を秘めている。



## 8. 結 論

本報告書は、金属の社会蓄積量について現存する情報をまとめたものである。しっかりした一貫性が見られる場合もあれば、蓄積量について明らかに把握し切れていない場合もある。潜在的ユーザーについてのレビューが明らかにしてくれたのは、使用中蓄積量の情報とは、それ自体の効用は限定的なものだ、ということである。この情報に十分な空間的・時間的分解能があり、最終製品の分類化が進み、これを将来の使用強度、廃棄、再利用のシナリオ作成のために使用するとき、その価値は明らかなものになる。このようなデータとシナリオが現在登場しつつある。この先の見通しと相対的な重要性を与えるという本来の意味において、ここでの結果は有用なものである。しかしそれだけではなく、将来の大きな挑戦を暗示している。すなわち、蓄積量とその成長・減衰率のより良い評価を行い、将来についてより多くの情報に基づいた推測を行うためにその情報を使用するという挑戦である。そうすることによってのみ、現代社会で使用される金属の供給源として選ばれうる豊かな「都市鉱山」についての十分に適切な青写真が描けるのである。



## 参考文献

- Adriaanse, A.; Bringezu, S.; Hammond, A.; Moriguchi, Y.; Rodenburg, E.; Rogich, D.; Schütz, H., Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies, Washington, DC: World Resources Institute, 1997.
- Brunner, P.H.; Rechberger, H., Practical Handbook of Material Flow Analysis, Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 2004.
- Dubreuil, S. Young, J. Atherton, and T.P. Gloria, Metals recycling maps and allocation procedures in life cycle assessment, In preparation, 2009.
- Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Raw Materials for Emerging Technologies, Karlsruhe, 2009.
- Gerst, M.D.; Graedel, T.E., In-use stocks of metals: Status and implications, Environmental Science & Technology, 42, 7038 – 7045, 2008.
- Gibson, C.C.; Ostrom, E., Ahn, T.K., The concept of scale and the human dimensions of global change: A survey, Ecological Economics, 2000, 32, 217 – 239.
- Halada, K., M. Shimada, and K. Ijima: Forecasting of the consumption of metals up to 2050, Materials Transactions, 50, 453 – 460, 2009.
- Hashimoto, S., H. Tanikawa, and Y. Moriguchi, Where will the large amounts of materials accumulated within the economy go? A material flow analysis of construction materials, Waste Management, 27, 1725 – 1738, 2007.
- Hedbrant, J., and L. Sörme, Data vagueness and uncertainties in urban heavy metal data collection, Water, Air, and Soil Pollution Focus, 1, 43 – 53, 2001.
- Kapur, A., The Future of the Red Metal: Scenario Analysis and Implications for Policy, PhD Dissertation, Yale University, 2004.
- Mao, J.S., J. Dong, and T.E. Graedel, The multilevel cycle of anthropogenic lead. II. Results and discussion, Resources, Conservation, and Recycling, 52, 1050 – 1057, 2008.
- Månsson, N., B. Bergbäck, and L. Sörme, Phasing out cadmium, lead, and mercury: Effects on urban stocks and flows, Journal of Industrial Ecology, 13, 94 – 111, 2009.
- McKenzie, E., J. Money, P. Green, and T. Young, Metals associated with stormwater-relevant brake and tire samples, Science of the Total Environment, 407, 5855 – 5860, 2009.
- Müller, D.B.; Wang, T.; Duval, B.; Graedel, T.E., Exploring the engine of anthropogenic iron cycles, Proceedings of the National Academy of Sciences, 2006, 103, 16111 – 16116.
- Rostkowski, K., J. Rauch, K. Drakonakis, B. Reck, R.B. Gordon, and T.E. Graedel, “Bottom-up” study of in-use nickel stocks in New Haven, CT, Resources, Conservation, and Recycling, 50, 58 – 70, 2007.
- Ruhrberg, M., Assessing the recycling efficiency of copper from end-of-life products in Western Europe, Resources, Conservation, and Recycling, 2006, 48, 141 – 165.
- Shanghai Metal Corporation, China state reserve may boost copper stockpile by 74 %, [http://www.shanghaimetal.com/news-detail/China\\_State\\_Reserve\\_May\\_Boost\\_Copper.htm](http://www.shanghaimetal.com/news-detail/China_State_Reserve_May_Boost_Copper.htm), accessed Jan. 11, 2008.
- Sörme, L., and R. Lagerkvist, Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm, Science of the Total Environment, 298, 131 – 145, 2002.

Terakado, R.; Takahashi, K.I.; Nakamura, J.; Daigo, I.; Matsuno, T.; Adachi, T., Calculation of in-use stock of copper with nocturnal light image by DMSP/OLS, Abstract 23, Conac-count, 2008.

United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries; Department of the Interior: Washington, D.C., 2008.

van Beers, D.; Graedel, T.E., Spatial characterization of multi-level in-use copper and zinc stocks in Australia, *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15, 849 – 861.

Wang, T., Forging the Anthropogenic Iron Cycle, Ph.D. Dissertation, Yale University, 2009.

Wang, T., D.B. Müller, and T.E. Graedel, Forging the anthropogenic iron cycle, *Environmental Science & Technology*, 41, 5120 – 5129, 2007.



## 付属資料

本報告書の付属資料は、2つの表から構成される。第1の表は、研究中に取り上げた各金属の背景情報を掲載したものである。これらの表の見出しの定義は、以下のとおりである。

**金属：**元素の科学略号（鉄鋼とステンレス鋼は例外的にそれぞれ ST、SS と記載）

**蓄積先：**金属が使用されている関連のある最終製品の集まりをまとめたカテゴリー。

**主な最終製品：**蓄積先カテゴリー中の主要最終製品

**製品別の割合：**2006年現在、各蓄積先へ流入した金属の生産量を重量パーセンテージで示す。パーセンテージは個別の金属ごとに示す。例えば、建設について記

載された25%は、アルミニウム流入フロー量の25%が建築・建設に使用されることを意味する。

**推定滞留年数：**金属が廃棄されるまでに蓄積に滞留する時間（年）。数値は文献から取り出したものである。数値が得られなかった場合は、ダッシュを使用した。

第2の表は、文献から収集した使用中の各蓄積量の推定に関する情報を示したものである。





付属資料 1  
主要金属蓄積先の  
詳細

| 金属 | 蓄積先                | 金属を含有する<br>主な最終製品   | 製品別の<br>割合 (%) | 文献  | 推定滞留<br>期間 (年) | 文献    |
|----|--------------------|---------------------|----------------|-----|----------------|-------|
| Al | 建築、建設              | 羽目板、窓枠              | 25%            | {1} | 30-50          | {2,3} |
| Al | インフラ               | 電力用ケーブル             | 18%            | {1} | 30-40          | {2,3} |
| Al | 輸送                 | 自動車、鉄道車両、<br>航空機    | 28%            | {1} | 15-40          | {2,3} |
| Al | 包装                 | 飲料缶、ホイル             | 13%            | {1} | 0.3-0.8        | {2,3} |
| Al | その他                |                     | 16%            | {1} | 10-15          | {2,3} |
| Sb | 建築、建設              | 難燃材                 | 55%            | {4} | —              |       |
| Sb | 輸送                 | 自動車、鉄道車両、<br>船舶、航空機 | 18%            | {4} | 10-30          | {5}   |
| Sb | 建築、建設              | 難燃材                 | 55%            | {4} | —              |       |
| Sb | 輸送                 | 自動車、鉄道車両、<br>船舶、航空機 | 18%            | {4} | 10-30          | {5}   |
| Sb | 化学薬品               |                     | 10%            | {4} | —              |       |
| Sb | 産業用耐久財             | セラミック、ガラス           | 7%             | {4} | —              |       |
| Sb | その他                |                     | 10%            | {4} | —              |       |
| Cd | 産業用耐久財<br>および耐久消費財 | 電池                  | 81%            | {4} | 3              | {6}   |
| Cd | 顔料                 | 業務用・消費者向け用途         | 10%            | {4} | —              |       |
| Cd | 産業用耐久財             | 被覆、めっき              | 7%             | {4} | —              |       |
| Cd | その他                |                     | 2%             | {4} | —              |       |

| 金属 | 蓄積先             | 金属を含有する<br>主な最終製品         | 製品別の<br>割合 (%) | 文献   | 推定滞留<br>期間 (年)          | 文献                     |
|----|-----------------|---------------------------|----------------|------|-------------------------|------------------------|
| Cr | 建築、インフラ         | エレベーター、鉄道                 | 25%            | [7]  | 30-50                   | [8]                    |
| Cr | 輸送              | 自動車排気システム、<br>鉄道車両、船舶、航空機 | 15%            | [7]  | 航空機、<br>鉄道車両、<br>船舶は 30 | 自動車、<br>部品では<br>5 ~ 15 |
| Cr | 家電機器            | 家電、家庭用品                   | 5%             | [7]  | 15                      | [10]                   |
| Cr | 金属製品、<br>その他の用途 | 食器、ファスナー                  | 30%            | [7]  | 5-15                    | [10]                   |
| Cr | 産業用機械           | 熱交換器、タンク                  | 25%            | [7]  | 20                      | [8]                    |
| Co | 輸送              | 自動車、鉄道車両、船舶、<br>航空機       | 43%            | [4]  | 20-40                   | [8]                    |
| Co | 化学薬品            |                           | 26%            | [4]  | —                       |                        |
| Co | 切削用ツール          | 刃、ディスク                    | 22%            | [4]  | 1                       | [11]                   |
| Co | 産業用耐久財          | 産業用 (工場内)<br>機械・機器        | 22%            | [4]  | 20                      | [8]                    |
| Cu | 建築、建設           | 建設用ワイヤー、銅管                | 50%            | [12] | 25-40                   | [5]                    |
| Cu | インフラ            | 電気通信および<br>電力事業用銅線        | 22%            | [12] | 50                      | [5]                    |
| Cu | 輸送              | 自動車、鉄道車両、船舶               | 5%             | [12] | 10-30                   | [5]                    |

| 金属 | 蓄積先     | 金属を含有する<br>主な最終製品                           | 製品別の<br>割合 (%) | 文献   | 推定滞留<br>期間 (年) | 文献  |
|----|---------|---|----------------|------|----------------|-----|
| Cu | 耐久消費財   | 電気器具コード、延長コード、<br>消費者向け電子機器、<br>ファスナー類、家庭用品 | 5%             | (12) | 10             | (5) |
| Cu | 業務用耐久財  | 業務用電子機器、照明、<br>電線                           | 10%            | (12) | 20             | (5) |
| Cu | 産業用耐久財  | 産業用 (工場内)<br>機械、機器                          | 8%             | (12) | 20             | (5) |
| Au | 宝飾品     |   | 85%            | (4)  | 30-50          |     |
| Au | 歯科材料    | インレー  | 9%             | (4)  | —              |     |
| Au | 電気、電子機器 | 業務用電子機器、<br>消費者向け電子機器                       | 6%             | (4)  | —              |     |
| Fe | 建築、建設   | 建築用梁、補強用棒材                                  | 50%            | (8)  | 30-50          | (8) |
| Fe | 輸送      | 自動車、鉄道車両、船舶、<br>航空機                         | 20%            | (8)  | 20-40          | (8) |
| Fe | 機械、器具   | 機器、産業用 (工場内)<br>機械・機器                       | 23%            | (8)  | 20             | (8) |
| Fe | その他     |   | 7%             | (8)  | 25             | (8) |
| Pb | 建築、建設   | 鉛板  | 54%            | (6)  | 40-100         | (6) |
| Pb | 機械、器具   | SLI バッテリー                                   | 21%            | (6)  | 1-4            | (6) |
| Pb | 機械、器具   | 据え置きバッテリー                                   | 14%            | (6)  | 8-12           | (6) |
| Pb | インフラ    | 鉛管  | 11%            | (6)  | 20-50          | (6) |

| 金属 | 蓄積先           | 金属を含有する<br>主な最終製品     | 製品別の<br>割合 (%) | 文献   | 推定滞留<br>期間 (年) | 文献   |
|----|---------------|-----------------------|----------------|------|----------------|------|
| Mg | 鋳物            | 輸送システム、部品             | 59%            | [4]  | —              |      |
| Mg | 合金            | 包装、輸送                 | 28%            | [4]  | —              |      |
| Mn | 建築、建設         | 構造用鋼                  | 29%            | [4]  | 30-40          | [8]  |
| Mn | 輸送            | 高強度鋼                  | 12%            | [4]  | 20-40          | [8]  |
| Mn | 産業用耐久財        | 産業用 (工場内) 機械、<br>機器   | 12%            | [4]  | 25             | [8]  |
| Hg | 塩素-アルカリ<br>製造 |                       | 40%            | [13] | —              |      |
| Hg | 製品            | 歯科用アマルガム、器具、<br>照明    | 32%            | [13] | —              |      |
| Hg | 金工芸品          |                       | 3%             | [13] | —              |      |
| Mo | 合金鋼           | ステンレス鋼、超合金            | 80%            | [14] | —              |      |
| Mo | 触媒            |                       | 8%             | [14] | —              |      |
| Ni | 建築、建設         | 合金                    | 9%             | [4]  | 30-50          | [10] |
| Ni | インフラ          |                       | 11%            | [4]  | 30-50          | [8]  |
| Ni | 輸送            | 自動車、鉄道車両、造船、<br>航空機   | 33%            | [4]  | 10-30          | [10] |
| Ni | 耐久消費財         | 器具、消費者向け電子機<br>器、家庭用品 | 13%            | [4]  | 10-15          | [10] |
| Ni | 産業用耐久財        | 産業用 (工場内) 機械、<br>器具   | 25%            | [4]  | 20             | [10] |
| Pd | 輸送            | 自動車                   | 57%            | [15] | 20-40          |      |

| 金属 | 蓄積先     | 金属を含有する<br>主な最終製品     | 製品別の<br>割合 (%) | 文献    | 推定滞留<br>期間 (年) | 文献   |
|----|---------|-----------------------|----------------|-------|----------------|------|
| Pd | 耐久消費財   | 消費者向け電子機器、<br>業務用電子機器 | 18%            | [15]  | 5-10           |      |
| Pd | 歯科      |                       | 14%            | [15]  | —              |      |
| Pt | 輸送      | 自動車                   | 39%            | [15]  | 20-40          |      |
| Pt | 宝飾品     |                       | 37%            | [15]  | 20             |      |
| Pt | 化学触媒    | 燃料電池                  | 5%             | [15]  | 25             |      |
| Pt | 電子機器    | 消費者向け・業務用機器           | 6%             | [15]  | 25             |      |
| Rh | 輸送      | 自動車                   | 86%            | [15]  | 20-40          |      |
| Rh | ガラス製造   |                       | 6%             | [15]  | —              |      |
| Rh | 化学触媒    | 燃料電池                  | 6%             | [15]  | —              |      |
| Ag | 産業向け用途  | 電子機器                  | Solders        | Other | 44             | 20   |
| Ag | 宝飾品、食器  |                       | 29%            | [16]  | 20-40          |      |
| Ag | 写真      | フィルム、プレート             | 22%            | [16]  | 20-40          |      |
| Ag | コイン、メダル |                       | 5%             | [16]  | 10-40          |      |
| SS | 輸送      | 自動車、線路、船舶             | 29%            | [17]  | 10-30          | [10] |
| SS | 産業用機械   |                       | 20%            | [17]  | 20             | [10] |
| SS | 建築、建設   |                       | 18%            | [17]  | 30-50          | [10] |
| SS | 電子機器    |                       | 7%             | [17]  | 10             | [10] |
| SS | その他     |                       | 26%            | [17]  | 15             | [10] |

| 金 属 | 蓄積先                          | 金属を含有する<br>主な最終製品                                  | 製品別の<br>割合 (%) | 文 献  | 推定滞留<br>期間 (年) | 文 献   |
|-----|------------------------------|--|----------------|------|----------------|-------|
| Sn  | 缶、容器                         |  | 27%            | {4}  | —              |       |
| Sn  | 電気、電子機器                      |  | 23%            | {4}  | —              |       |
| Sn  | 建設                           | 防腐材  | 10%            | {4}  | 30-50          | {8}   |
| Sn  | 輸送                           | 防腐材、はんだ  | 10%            | {4}  | 20-40          | {5}   |
| Ti  | カーバイド、<br>化学薬品、金属<br>および金属合金 |  | 3%             | {4}  | —              |       |
| W   | 切削用ツール                       |  | 50%            | {11} | 1              | {11}  |
| W   | 照明                           |  | 22%            | {11} | —              |       |
| Zn  | 建築、建設                        | めっき鋼（フレーム、配<br>管など）、亜鉛合金（真<br>鍮器具など）、亜鉛（屋<br>根材など） | 48%            | {18} | 10-50          | {5.8} |
| Zn  | 輸送                           | 自動車、自動車タイヤ、<br>鉄道車両、船舶、航空機                         | 36%            | {18} | 2-20           | {5.8} |
| Zn  | 業務用耐久財                       | 機械類  | 7%             | {18} | —              |       |
| Zn  | 化学薬品                         |  | 5%             | {18} | —              |       |



付属資料 2  
1人当たり使用中  
蓄積量の推計

| 金属 | 地理的情報            | 年    | 使用中蓄積量 | 1人当たり質量単位 | 文献   |
|----|------------------|------|--------|-----------|------|
| Al | 全世界              | 1947 | 2.2    | kg        | [19] |
| Al | 全世界              | 2002 | 79     | kg        | [20] |
| Al | 全世界              | 2003 | 82     | kg        | [2]  |
| Al | ヨーロッパ            | 2004 | 199    | kg        | [1]  |
| Al | 英国               | 1968 | 52     | kg        | [21] |
| Al | 日本               | 2000 | 343    | kg        | [22] |
| Al | 米国               | 2000 | 483    | kg        | [23] |
| Al | 中国               | 2005 | 37     | kg        | [24] |
| Al | コネチカット、米国        | 2006 | 361    | kg        | [25] |
| Sb | 日本               | 2000 | 1.0    | kg        | [22] |
| Cd | 全世界              | 1985 | 41     | g         | [26] |
| Cd | シュタイアーマルク、オーストリア | 2003 | 320    | g         | [27] |
| Cd | ストックホルム、スウェーデン   | 1995 | 79     | g         | [28] |
| Cr | 日本               | 2000 | 54     | kg        | [22] |
| Cr | ストックホルム、スウェーデン   | 1995 | 8      | kg        | [28] |
| Cr | ニューヘイブン、米国       | 2005 | 7.1    | kg        | [29] |
| Co | 日本               | 2000 | 0.8    | kg        | [22] |
| Cu | 全世界              | 1929 | 17     | kg        | [30] |
| Cu | 全世界              | 1947 | 19     | kg        | [19] |
| Cu | 全世界              | 1960 | 25     | kg        | [31] |
| Cu | 全世界              | 1994 | 55     | kg        | [32] |
| Cu | 全世界              | 1998 | 35     | kg        | [33] |
| Cu | 全世界              | 2000 | 50     | kg        | [34] |
| Cu | 北米               | 1999 | 170    | kg        | [5]  |
| Cu | 西ヨーロッパ           | 1999 | 190    | kg        | [35] |
| Cu | 米国               | 1932 | 73     | kg        | [36] |
| Cu | 米国               | 1948 | 139    | kg        | [37] |
| Cu | 米国               | 1957 | 161    | kg        | [38] |



| 金属 | 地理的情報                  | 年    | 使用中蓄積量  | 1人当たり質量単位 | 文献   |
|----|------------------------|------|---------|-----------|------|
| Cu | 米国                     | 1960 | 164     | kg        | [31] |
| Cu | 米国                     | 1961 | 166     | kg        | [39] |
| Cu | 米国                     | 1979 | 216     | kg        | [40] |
| Cu | 米国                     | 1990 | 270     | kg        | [33] |
| Cu | 米国                     | 1990 | 294     | kg        | [41] |
| Cu | スウェーデン                 | 1998 | 140     | kg        | [42] |
| Cu | 米国                     | 1998 | 253     | kg        | [43] |
| Cu | 米国                     | 1999 | 238     | kg        | [44] |
| Cu | 日本                     | 2000 | 298     | kg        | [22] |
| Cu | スイス                    | 2000 | 220     | kg        | [45] |
| Cu | 米国                     | 2000 | 391     | kg        | [23] |
| Cu | オーストラリア                | 2002 | 275     | kg        | [46] |
| Cu | 米国                     | 2003 | 175     | kg        | [47] |
| Cu | オーストラリア準州              | 2002 | 245-295 | kg        | [46] |
| Cu | シュタイアーマルク、オーストリア       | 2003 | 156     | kg        | [27] |
| Cu | コネチカット、米国              | 2006 | 157     | kg        | [48] |
| Cu | ストックホルム、スウェーデン         | 1995 | 170     | kg        | [28] |
| Cu | ストックホルム、スウェーデン         | 1995 | 140     | kg        | [49] |
| Cu | ケープタウン、南アフリカ           | 2000 | 36      | kg        | [50] |
| Cu | シドニー・メトロポリタン地区、オーストラリア | 2002 | 255     | kg        | [46] |
| Cu | シドニー中心部、オーストラリア        | 2002 | 605     | kg        | [46] |
| Cu | 北京中心部、中国               | 2004 | 30      | kg        | [51] |
| Cu | ニューヘイブン、米国             | 2005 | 144     | kg        | [52] |
| Au | 日本                     | 2000 | 35      | g         | [22] |
| Au | 米国                     | 2000 | 92      | g         | [23] |
| Fe | 全世界                    | 1985 | 2.1     | Mg        | [26] |
| Fe | 米国                     | 1950 | 15      | Mg        | [53] |
| Fe | 日本                     | 2000 | 11.3    | Mg        | [22] |

| 金属 | 地理的情報            | 年    | 使用中蓄積量 | 1人当たり質量単位 | 文献   |
|----|------------------|------|--------|-----------|------|
| Fe | 米国               | 2000 | 14.2   | Mg        | [23] |
| Fe | 中国               | 2004 | 1.5    | Mg        | [54] |
| Fe | 米国               | 2004 | 11-12  | Mg        | [8]  |
| Fe | シュタイアーマルク、オーストリア | 2003 | 10     | Mg        | [27] |
| Fe | 中国都市部            | 2004 | 2.7    | Mg        | [54] |
| Fe | 中国農村部            | 2004 | 0.64   | Mg        | [54] |
| Fe | コネチカット、米国        | 2006 | 9.3    | Mg        | [55] |
| Fe | 北九州、日本           | 1995 | 7.3    | Mg        | [56] |
| Fe | 北京、中国            | 2000 | 2.3    | Mg        | [57] |
| Fe | ニューヘイブン、米国       | 2005 | 8.8    | Mg        | [52] |
| Pb | 全世界              | 1947 | 19     | kg        | [19] |
| Pb | 全世界              | 2000 | 8      | kg        | [6]  |
| Pb | アフリカ             | 2000 | 3.9    | kg        | [6]  |
| Pb | アジア              | 2000 | 3.7    | kg        | [6]  |
| Pb | 独立国家共同体          | 2000 | 4      | kg        | [6]  |
| Pb | 欧州連合             | 2000 | 41     | kg        | [6]  |
| Pb | 米国               | 1948 | 7      | kg        | [37] |
| Pb | 米国               | 1957 | 14     | kg        | [38] |
| Pb | 米国               | 1961 | 15     | kg        | [39] |
| Pb | オランダ             | 1998 | 115    | kg        | [58] |
| Pb | フランス             | 2000 | 31     | kg        | [6]  |
| Pb | インド              | 2000 | 0.8    | kg        | [6]  |
| Pb | イタリア             | 2000 | 32     | kg        | [6]  |
| Pb | 日本               | 2000 | 15     | kg        | [6]  |
| Pb | 日本               | 2000 | 25     | kg        | [22] |
| Pb | 英国               | 2000 | 78     | kg        | [6]  |
| Pb | 米国               | 2000 | 40     | kg        | [6]  |
| Pb | 米国               | 2000 | 146    | kg        | [23] |

| 金 属 | 地理的情報          | 年    | 使用中蓄積量  | 1人当たり質量単位 | 文 献  |
|-----|----------------|------|---------|-----------|------|
| Pb  | ストックホルム、スウェーデン | 1995 | 73      | kg        | (28) |
| Pb  | ウィーン、オーストリア    | 1991 | 120-210 | kg        | (59) |
| Mg  | 日本             | 2000 | 5.2     | kg        | (22) |
| Mn  | 日本             | 2000 | 99      | kg        | (22) |
| Hg  | ストックホルム、スウェーデン | 1995 | 10      | g         | (28) |
| Mo  | 日本             | 2000 | 3.1     | kg        | (22) |
| Ni  | 全世界            | 1947 | 0.2     | kg        | (19) |
| Ni  | ストックホルム、スウェーデン | 1995 | 4       | kg        | (28) |
| Ni  | ニューヘイブン、米国     | 2005 | 2       | kg        | (60) |
| Pd  | 日本             | 2000 | 4       | g         | (22) |
| Pd  | ドイツ            | 2001 | 1.3     | g         | (61) |
| Pt  | 日本             | 2000 | 3.2     | g         | (22) |
| Pt  | ドイツ            | 2001 | 1.5     | g         | (61) |
| Rh  | ドイツ            | 2001 | 0.15    | g         | (61) |
| Ag  | 全世界            | 1991 | 110     | g         | (62) |
| Ag  | 日本             | 2000 | 13      | g         | (22) |
| SS  | EU加盟15カ国       | 2000 | 95      | kg        | (10) |
| SS  | 中国             | 2000 | 15      | kg        | (10) |
| SS  | 日本             | 2000 | 178     | kg        | (10) |
| SS  | ロシア            | 2000 | 138     | kg        | (10) |
| SS  | 米国             | 2000 | 80      | kg        | (10) |
| ST  | 日本             | 2000 | 7.1     | Mg        | (63) |
| Sn  | 全世界            | 1947 | 0.4     | kg        | (19) |
| Sn  | 日本             | 2000 | 3.2     | kg        | (22) |
| Ti  | 日本             | 2000 | 13      | kg        | (22) |
| W   | 米国             | 2000 | 0.8     | kg        | (11) |
| Zn  | 全世界            | 1947 | 6       | kg        | (19) |
| Zn  | 米国             | 1947 | 6.3     | kg        | (37) |

| 金 属 | 地理的情報                  | 年    | 使用中蓄積量  | 1人当たり質量単位 | 文 献  |
|-----|------------------------|------|---------|-----------|------|
| Zn  | 米国                     | 1957 | 15      | kg        | 〔38〕 |
| Zn  | 米国                     | 1961 | 16      | kg        | 〔39〕 |
| Zn  | 米国                     | 1990 | 92      | kg        | 〔64〕 |
| Zn  | 日本                     | 2000 | 76      | kg        | 〔22〕 |
| Zn  | 米国                     | 2000 | 210     | kg        | 〔23〕 |
| Zn  | オーストラリア                | 2002 | 205     | kg        | 〔46〕 |
| Zn  | オーストラリア準州              | 2002 | 190-220 | kg        | 〔46〕 |
| Zn  | シュタイアーマルク、オーストリア       | 2003 | 89      | kg        | 〔27〕 |
| Zn  | ストックホルム、スウェーデン         | 1990 | 40      | kg        | 〔28〕 |
| Zn  | ケープタウン、南アフリカ           | 2002 | 18      | kg        | 〔65〕 |
| Zn  | シドニー・メトロポリタン地区、オーストラリア | 2002 | 190     | kg        | 〔46〕 |
| Zn  | シドニー中心部、オーストラリア        | 2002 | 420     | kg        | 〔46〕 |

## 付属資料の文献

1. European Aluminum Association, Global Aluminum Recycling: A Cornerstone of Sustainable Development; Brussels, 2006.
2. Martchek, K., Personal communication, Alcoa Aluminum Company, 2006.
3. Melo, M. T., Statistical analysis of metal scrap generation: the case of aluminium in Germany. Resources, Conservation and Recycling 1999, 26, 91 - 113.
4. United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries; Department of the Interior: Washington, D.C., 2006.
5. Spatari, S.; Bertram, M.; Gordon, R. B.; Henderson, K.; Graedel, T. E., Twentieth century copper stocks and flows in North America: A dynamic analysis. Ecological Economics 2005, 54, 37 - 51.
6. Mao, J. S.; Graedel, T. E., Lead in-use stocks: A dynamic analysis. Journal of Industrial Ecology 2009, 13, 112 - 126, 2009.
7. Johnson, J.; Schewel, L.; Graedel, T. E., The Contemporary Anthropogenic Chromium Cycle. Environmental Science & Technology 2006, 40, 7060 - 7069.
8. Müller, D. B.; Wang, T.; Duval, B.; Graedel, T. E., Exploring the engine of anthropogenic iron cycles. Proceedings of the National Academy of Sciences 2006, 103, 16111.
9. Papp, J., Personal communication, United States Geological Survey, 2006.
10. Teroerde, F., Personal communication, ELG Metals, Duisburg, Germany, 2006.
11. Harper, E. M., Illuminating tungsten's life cycle in the United States, 1975 - 2000, Environmental Science & Technology, 42, 3835 - 3842, 2008.
12. Joseph, G.; Kundig, K. J. A.; International Copper Association., Copper: its trade, manufacture, use, and environmental status. ASM International: Materials Park, Ohio, 1999; p vii, 451 p.
13. Sznoppek, J. L.; Goonan, T. G., The Materials Flow of Mercury in the Economies of the United States and the World; Information Circular 1197; United States Geological Survey: Washington, D.C., 2000.
14. International Molybdenum Association, <http://www.imoa.info>. (December 27, 2008)
15. National Institute for Materials Science, Worldwide Supply and Demand of Platinum Group Metals and Trends in Recycling of Autocatalyst in Japan; Tsukuba, Japan, 2004.
16. Silver Institute, World Silver Survey; London, 2005.
17. Kaumanns, P., Personal communication, International Stainless Steel Forum, Brussels, 2006.
18. Gordon, R. B.; Graedel, T. E.; Bertram, M.; Fuse, K.; Lifset, R.; Rechberger, H.; Spatari, S., The characterization of technological zinc cycles. Resources, Conservation and Recycling 2003, 39, 107 - 135.
19. Miller, H. J. In The supply and industrial applications of scrap metals, Proceedings of the United Nations Scientific Conference on the Conservation and Utilization of Resources, Lake Success, New York, 1949; United Nations Department of Economic Affairs: Lake Success, New York, 1949.

20. European Aluminium Association, Aluminium Recycling: The Road to High Quality Products; Brussels, 2004.
21. Chapman, P. F.; Roberts, F., Metal Resources and Energy. Butterworths: London, 1983; p 238.
22. Murakami, S. In Material flows and stocks of metals surrounding Japan, Symposium on Advanced Material Flow Analysis for the Sustainable Society, Sendai, Japan, 2006; Sendai, Japan, 2006; pp 187 - 190.
23. Sullivan, D. E., Indicators of Stocks-in-use in the United States for Aluminum, Copper, Gold, Iron, Steel, Lead, and Zinc. Unpublished report; United States Geological Survey: Washington, D.C., 2003.
24. Wang, J.; Graedel, T. E., Preliminary Assessment of In-Use Aluminum Stocks in China. Unpublished report; Yale Center for Industrial Ecology: New Haven, 2007.
25. Recalde, K.; Wang, J.; Graedel, T.E., Aluminum Stocks in the State of Connecticut. Resources, Conservation, and Recycling, 52, 1271 - 1282, 2008.
26. Baccini, P.; Brunner, P. H., Metabolism of the Anthroposphere. Springer-Verlag: Berlin, 1991; p 157.
27. Schöller, G.; Oberleitner, C.; Fehring, R.; Döberl, G.; Brunner, P. H., Verknüpfung Rohstofflager - anthropogene Lager - letzte Senken im Bundesland Steiermark; Vienna University of Technology: Vienna, 2006.
28. Sörme, L.; Bergbäck, B.; Lohm, U., Century perspective of heavy metal use in urban areas. A case study in Stockholm. Water, Air, & Soil Pollution: Focus 2001, 1, 197 - 211.
29. Kwo, F., In-use Stocks of Chromium in New Haven, Connecticut. Unpublished report; Yale Center for Industrial Ecology: New Haven, 2006.
30. Bain, H. F., The rise of scrap metals. In Mineral economics; lectures under the auspices of the Brookings institution, 1st ed.; Tryon, F. G.; Eckel, E. C., Eds. McGraw-Hill: New York, 1932; p 331.
31. McMahon, A. D., Copper: A Materials Survey; United States Bureau of Mines: Washington, D.C., 1965; p 340.
32. Kapur, A. The Future of the Red Metal: Scenario Analysis and Implications for Policy. Ph.D. Dissertation, Yale, New Haven, 2004.
33. Jolly, J. L. W., The US copper-base scrap industry and its byproducts: An overview; United States Geological Survey: Washington, D.C., 1999.
34. Lichtensteiger, T., The Petrologic Evaluation. Springer-Verlag: Berlin, 2002.
35. Ruhrberg, M., Assessing the recycling efficiency of copper from end-of-life products in Western Europe. Resources, Conservation & Recycling 2006, 48, 141 - 165.
36. Ingalls, W. R. In The economics of old metals especially copper, lead, zinc, and tin, Mining and Metallurgical Society of America, Columbia University Club, New York, 1935; Columbia University Club, New York, 1935; pp 75 - 95.
37. Merrill, C. W. In The accumulation and conservation of metals-in-use, Proceedings of the United Nations Scientific Conference on the Conservation and Utilization of Resources, Lake Success, New York, 1949; United Nations Department of Economic Affairs: Lake Success, New York, 1949.

38. Merrill, C. W., The significance of the mineral industries in the economy. In *Economics of the mineral industries; a series of articles by specialists*, 1st ed.; Robie, E. H., Ed. American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers: New York, 1959; p 755.
39. Merrill, C. W., The significance of the mineral industries in the economy. In *Economics of the mineral industries; a series of articles by specialists*, 2d ed.; Robie, E. H., Ed. American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers: New York, 1964; p 787.
40. Sousa, L. J., *The U.S. Copper Industry: Problems, Issues, and Outlook*. United States Department of the Interior: Washington, D.C., 1981; p 86.
41. Zeltner, C.; Bader, H. P.; Scheidegger, R.; Baccini, P., Sustainable metal management exemplified by copper in the USA. *Regional Environmental Change* 1999, 1, 31-46.
42. Landner, L.; Lindeström, L., *Copper in Society and in the Environment: An Account of the Facts on Fluxes, Amounts and Effects of Copper in Sweden*. Swedish Environmental Research Group: Vasteras, Sweden, 1999.
43. Ayres, R. U.; Ayres, L.; Rade, I., *The Life Cycle of Copper, Its Co-Products and By-products*. Kluwer Academic Publishers: 2003.
44. Gordon, R. B.; Bertram, M.; Graedel, T. E., Metal stocks and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2006, 103, 1209 – 1214.
45. Wittmer, D.; Lichtensteiger, T.; Baccini, P. In *Copper exploration for urban mining, Copper/Cobre 2003*, Santiago, Chile, 2003; Santiago, Chile, 2003; pp 85 – 101.
46. van Beers, D.; Graedel, T. E., Spatial characterisation of multi-level in-use copper and zinc stocks in Australia. *Journal of Cleaner Production* 2007, 15, 849 – 861.
47. Nathan Associates, *The Obsolete Copper Scrap Inventory: Accumulation and Availability, 1982 – 2003*; United States Department of Commerce: Washington, D.C., 2004; p 18.
48. Rauch, J.; Eckelman, M.; Gordon, R. B., *Copper In-use Stock and Copper Scrap in the State of Connecticut, USA*. Working Paper Number 10, School of Forestry and Environmental Studies; Yale University: New Haven, 2007; p 79.
49. Bergbäck, B.; Johansson, K.; Mohlander, U., Urban metal flows – A case study of Stockholm. *Review and conclusions. Water, Air, & Soil Pollution: Focus* 2001, 1, 3 – 24.
50. van Beers, D.; Graedel, T. E., The magnitude and spatial distribution of in-use copper stocks in Cape Town, South Africa. *South African Journal of Science* 2003, 99, 61 – 69.
51. Zhang, Z., Spatial analysis of in-use copper stocks in Beijing, China. In *Cities as Opportunities*, Bai, X.; Graedel, T. E.; Morishima, A., Eds. Cambridge University Press: Cambridge, U.K., 2008.
52. Drakonakis, K.; Rostkowski, K.; Rauch, J.; Graedel, T. E.; Gordon, R. B., Metal capital sustaining a North American city: Iron and copper in New Haven, CT. *Resources, Conservation & Recycling* 2007, 49, 406 – 420.
53. Brown, H., *The Challenge of Man's Future; An Inquiry Concerning the Condition of Man During the Years that Lie Ahead*. Viking Press: New York, 1954; p 290.

54. Wang, T. Forging the Anthropogenic Iron Cycle. Ph.D. Dissertation, Yale University, New Haven, 2009.
55. Eckelman, M.; Rauch, J.; Gordon, R. B., In-Use Stocks of Iron in the State of Connecticut, USA. Working Paper Number 11, School of Forestry and Environmental Studies; Yale University: New Haven, 2007; p 52.
56. Tanikawa, H.; Hashimoto, S.; Moriguchi, Y. In Estimation of Material Stock in Urban Civil Infrastructures and Buildings for the Prediction of Waste Generation, Proceedings of the 5th International Conference on Ecobalance, Tokyo, 2002; Society for Non-Traditional Technology: Tokyo, 2002; pp 809 – 806.
57. Wang, T., Personal communication, Yale University, New Haven, 2004.
58. Elshkaki, A.; Van der Voet, E.; Van Holderbeke, M.; Timmermans, V., The environmental and economic consequences of the developments of lead stocks in the Dutch economic system. *Resources, Conservation & Recycling* 2004, 42, 133 – 154.
59. Obernosterer, R.; Brunner, P. H., Urban Metal Management The Example of Lead. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus* 2001, 1, 241 – 253.
60. Rostkowski, K.; Rauch, J.; Drakonakis, K.; Reck, B.; Gordon, R. B.; Graedel, T. E., “Bottom-up” study of in-use nickel stocks in New Haven, CT. *Resources, Conservation & Recycling* 2007, 50, 58 – 70.
61. Hagelüken, C., Materials Flow of Platinum Group Metals. GFMS Limited: London, 2005; p 300.
62. Charles River Associates, Silver Stocks around the World; Cambridge, MA, 1992.
63. Daigo, I.; Igarashi, Y.; Matsuno, Y.; Adachi, Y., Accounting for steel stock in Japan. *Iron and Steel Institute of Japan International* 2007, 47, 1065 – 1069.
64. Jolly, J. H., Materials flow of zinc in the United States 1850 – 1990. *Resources, Conservation and Recycling* 1993, 9, 1 – 30.
65. van Beers, D.; Graedel, T. E., The Magnitude and Spatial Distribution of In-use Zinc Stocks in Cape Town, South Africa. *African Journal of Environmental Assessment and Management* 2004, 9, 18 – 36. Groupings of Metals





## 持続可能な資源管理に関する国際パネル

経済が成長するにつれ、物質と資源の使用も増加した。グローバル化が進む経済においては、政策決定者の課題は、再生可能な資源と再生不能な資源の両方において、より持続可能な資源管理ができるよう行動を効率化することである。気候変動や生物多様性に関する政策など、地球規模での資源問題の一部側面に取り組む施策はすでにある。しかし、資源管理に対する全体的なアプローチについて、それらのインターリンケージ（相互連携）とギャップを体系的にいっそう層明確にする必要がある。

UNEPの「持続可能な資源管理に関する国際パネル」、略称「資源パネル」の設置は、このニーズに取り組むための第一歩である。資源パネルは、2007年11月に正式に設置され、経済成長と資源利用を、環境悪化と切り離すため、科学的な立場から弾みをつけることを目指している。

資源パネルの目的は、天然資源の持続可能な使用に、特にそのライフサイクル全体にわたる環境への影響に関する政策的関連性を、中立的で整合性のとれた権威ある立場から科学的に評価するとともに、経済成長を環境悪化から切り離す方法についての理解を深めることに貢献することである。

この作業は、持続可能な消費と生産に関する10年枠組み（マラケシュ・プロセス）、グリーン・エコノミー・イニシアティブ、地球環境イニシアティブなど、関係する他の国際イニシアティブを基礎としており、またそれらに貢献してゆく。

## グローバル金属フロー作業部会

経済発展は、金属の使用と深く関わっている。金属需要の増加は、資源量に対し、常に圧力がかかっていることを意味している。金属は高い価値を有し、一般に再使用、リサイクルが容易な資源である。地球規模での金属の再使用とリサイクル活動は、ループを閉じること、廃棄物を資源に変えることに貢献し、それにより、環境への影響を削減し、金属の入手可能性を確保し、金属価格を最小限まで引き下げ、発展途上国の貧しい人々が有意義で安全な仕事に就けるよう推進できると期待されている。

グローバル金属フロー作業部会は、グローバルな金属フローについて科学的で信頼できる評価研究を提供することにより、金属の再使用およびリサイクルの推進と、健全な循環型国際社会の確立に寄与することを目指している。期待される結果には、各国および国際レベルでの金属フローの資源効率性向上の可能性を明らかにすることも含まれる。

## UNEP 技術・産業・経済局について

UNEP 技術・産業・経済局（DTIE）は、政府、地方自治体、企業や業界の意思決定者による持続可能な開発を重視した政策方針の策定と実践を支援する。

経済・産業・経済局は、以下を推進する。

- > 持続可能な消費と生産
- > 再生可能エネルギーの効率的な使用
- > 化学物質の適切な管理
- > 開発政策における環境コストの統合

**本部事務所はパリにあり、以下を通じて諸活動を調整している。**

- > **国際環境技術センター** IETC（大阪、滋賀）は、特にアジアに重点をおいて、廃棄物、水、災害の統合的な管理プログラムを実施する。
- > **持続可能な商品と生産部門**（パリ）は、グローバル市場を通じた、人類発展への貢献として持続可能な消費・生産パターンを推進する。
- > **化学物質部門**（ジュネーブ）は、化学物質の健全な管理と化学的安全性の向上を世界規模でもたらすためのグローバルな行動を活性化させる。
- > **エネルギー部門**（パリ、ナイロビ）は、持続可能な開発に向けたエネルギーおよび輸送政策を促進し、再生可能エネルギーとエネルギー効率化への投資を奨励する。
- > **オゾンアクション**（パリ）は、開発途上国と経済が移行期にある諸国がモントリオール議定書を実実に実施できるように、オゾン破壊物質の段階的削減を支援する。
- > **経済通商部門**（ジュネーブ）は、各国が環境への配慮を経済通商政策に盛り込むよう支援し、財務部門と協力して持続可能な開発政策をまとめる。

**UNEP DTIE の活動では、認知度を高め、知識と情報の移転を進め、技術協力とパートナーシップを促進し、国際条約および協定の実施を重視している。**

詳しくは、[www.unep.fr](http://www.unep.fr) を参照されたい。

きわめて多様かつ集約的な金属使用に関する主たる問題は、社会がそれらの1つまたは多くの長期的供給に関心を持つ必要があるか否かである。

これは、短時間で明快に答えを出すことのできない、多面的な問題である。この問題に取り組むために、資源パネルのグローバルな金属フロー作業部会は、一連の6分冊の報告書を構想した。このうち、本報告書は金属の社会蓄積量を取り上げた、最初のものである。

20世紀を通じ、金属使用は増加し続けたため、金属の蓄積は地下資源ベースから社会での金属の蓄積へと大きくシフトした。本報告書はこのトピックについての関連文献をレビューしたものである。54件の研究のまとめから、使用中蓄積量および使用中寿命のかなり詳細な姿が描けるのは、5つの金属、すなわち、アルミニウム、銅、鉄、鉛、亜鉛に限られることが明らかである。限られたデータからではあるが、先進国の1人当たり使用中蓄積量は、一般に、5～10の要素で発展途上国のそれを上回ることがわかる。

金属の社会蓄積量およびその寿命に関する信頼できるデータは、将来のグローバルなリサイクル・インフラ構築に不可欠である。

発行：2010年5月

[www.unep.org](http://www.unep.org)

国際連合環境計画

住所：P.O. Box 30552 Nairobi, Kenya

電話：+254(0)20-762-1234

ファックス：+254(0)20-762-3927

Eメール：[unepub@unep.org](mailto:unepub@unep.org)



詳しいお問い合わせは下記へ

**Resource Panel Secretariat  
UNEP DTIE**

Sustainable Consumption  
and Production Branch

15 rue de Milan

75441 Paris CEDEX 09

France

Tel : +33 1 44 37 14 50

Fax: +33 1 44 37 14 74

E-mail: [resourcepanel@unep.org](mailto:resourcepanel@unep.org)

[www.unep.fr/scp/rpanel](http://www.unep.fr/scp/rpanel)



**International Panel  
for Sustainable  
Resource Management**

ISBN: 978-92-807-3082-1

DTI/1264/PA