

*NIMS-EMC* 材料環境情報データ No.12  
社会蓄積量の把握に関する  
専門家意見調査



独立行政法人 物質・材料研究機構  
エコマテリアル研究センター

**NIMS-EMC 材料環境情報データ No.12**  
**社会蓄積量の把握に関する**  
**専門家意見調査**

2006年3月

執筆者

醍醐市朗

井島 清

原田幸明

(独) 物質・材料研究機構  
エコマテリアル研究センター

はじめに

環境の世紀とも呼ばれる21世紀になって、経済活動や生活のあらゆる局面で地球環境を考慮した改変が進んでくるようになってきています。そのような中で素材や材料は、あらゆる製品をかたちづくっている存在であり、かつ、資源として地球環境圏から取り出され、廃棄物として地球環境圏に戻される、地球環境に密接に係わった存在でもあります。それゆえ素材の製造者だけでなく、製品の製造者、使用者、さらには処理に係わる人達すべてが、使用されている素材に対して、その素材に係わる環境負荷やリサイクルのしやすさ・状況等を的確に知り資源生産性の向上や持続可能な社会に向けた選択に生かして行くことが重要です。

しかし、そのために必要な材料の環境負荷や循環に対する情報はまだあまり整備されておりません。中には一部の側面だけを肥大化させた情報などが散見され判断に困る場合も出てきています。

このような状況に対し、エコマテリアル研究センターでは、信頼性における材料環境情報の整備が物質・材料研究の中核機関として欠くことのできない努めであると判断し、ここに、NIMS-EMC材料環境データをシリーズとして発行する事にしました。なお、NIMSは物質・材料研究機構 (National Institute for Materials Science) の略、EMCはエコマテリアル研究センター (EcoMaterials Center) の略です。データ集やデータベースとは若干趣は異なりますが、専門家による綿密な聞き込み調査などをもとに統計資料などでは得られない材料の製造や循環に係わるデータや、LCA的な考察に不可欠の材料データなどを提供して行きたいと考えております。

2006年

物質・材料研究機構

エコマテリアル研究センター長

原田 幸明

## 目次

### 社会蓄積量の把握に関する専門家意見調査について

1. はじめに
  1. 1. 目指すべきマテリアルフロー
  1. 2. 蓄積純増量と蓄積量
  1. 3. 循環型社会への課題
2. 社会蓄積の定義
  2. 1. 用語の定義
  2. 2. 社会蓄積
3. 社会蓄積の区分
  3. 1. 利用状況による区分
  3. 2. 回収可能性による区分
  3. 3. 所有者による区分
  3. 4. 地域による区分
4. おわりに
  4. 1. 資源生産性指標
  4. 2. 今後の課題

### 付録

- 付録Ⅰ 梅澤委員執筆
- 付録Ⅱ 醍醐委員執筆
- 付録Ⅲ 中島委員執筆
- 付録Ⅳ 橋本委員執筆
- 付録Ⅴ 布施委員執筆
- 付録Ⅵ 村上委員執筆
- 付録Ⅶ 山末委員執筆
- 付録Ⅷ 横山委員執筆

### 参考文献

<社会蓄積量の把握に関する専門家意見調査について>

本報告書は、エコマテリアルフォーラム「社会蓄積量から見た資源有効利用の評価ワーキング・グループ」において、平成 17 年度に得られた成果をまとめたものである。なお、本ワーキング・グループのメンバーは、以下の通りである。

社会蓄積量から見た資源有効利用の評価ワーキング・グループメンバー

- 梅澤 修 横浜国立大学大学院工学研究院システムの創生部門、助教授  
玉城 わかな (株) 日鉄技術情報センター 市場調査部  
○ 醍醐 市朗 東京大学大学院工学系研究科、助手  
中島 謙一 東北大学大学院環境科学研究科、助手  
橋本 征二 (独) 国立環境研究所 循環型社会形成推進・廃棄物研究センター、主任研究員  
布施 正暁 (独) 産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター、研究員  
村上 進亮 (独) 国立環境研究所 循環型社会形成推進・廃棄物研究センター、NIES ポスドクフェロー  
山末 英嗣 京都大学大学院エネルギー科学研究科、助手  
横山 一代 東北大学大学院環境科学研究科、助手

(○：主査)

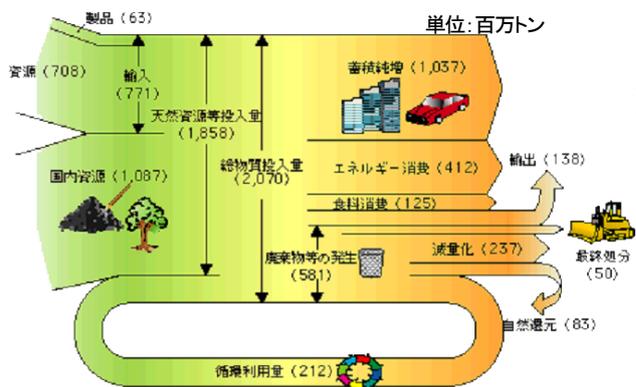
1. はじめに

1. 1. 目指すべきマテリアルフロー

エネルギー資源や鉱物資源の枯渇問題や廃棄物問題を解決し、持続可能型社会を構築するためには、化石エネルギーの消費を抑制し、資源循環を促進する必要がある。日本におけるマテリアルフローの現状を見ると、2002年度実績で、年間約21億トンの物質が投入されている。そのうち循環している資源量は、約10分の1の2億トン程度である。また、図1-1から分かるように、総物質投入量うち、約半分の10億トン程度が蓄積純増として、社会における蓄積の増加分として計上されている（環境省, 2005）。

では、我々が将来の目指すべき、資源循環が促進された社会のマテリアルフローを考えてみると、どのようなフローが描けるであろうか。例えば、定常的な人口となったある社会を考えると、詳細な議論を無視した概念図としては、図1-2に示すマテリアルフローが実現された社会が、目指すべき社会ではなかろうか。はじめに、物質の量を記していないため、大量循環、大量消費を意図した図ではないことを、誤解を避けるために明言しておく。物質の劣化や消耗を考慮し、いくらかの天然資源投入は必要であると考えられるため、100%資源が循環する完全な環状フローにはしていないが、ほとんどの物質が循環利用されている社会を示した図である。この将来像の重要な点は、図1-1と見比べれば分かるように、蓄積純増がない点である。社会が成熟した後には、多少の増減はあっても、社会の蓄積量がほぼ一定となり、蓄積純増はなくなると考えた。

次に、過去からの総物質投入量と蓄積純増量の推移を図1-3に示した。1980年から約20年間の推移を示しており、総物質投入量は、1990年をピークにそれ以前7年間は漸増し、それ以降は漸減の傾向を示している。また、天然資源等投入量も示しており、総物質投入量との差分が、資源循環量となり、増加傾向にあるのがわかる。ここで、特筆すべきは、総物質投入量の変化と蓄積純増量の変化が、同じ傾向を示している点である。少なくとも過去20年を見る限り、蓄積



(注)産出側の総量は水分の取込み等があるため総物質投入量より大きくなる

出典：平成17年度 循環型白書

図1-1 日本のマテリアルフロー (2002年度)

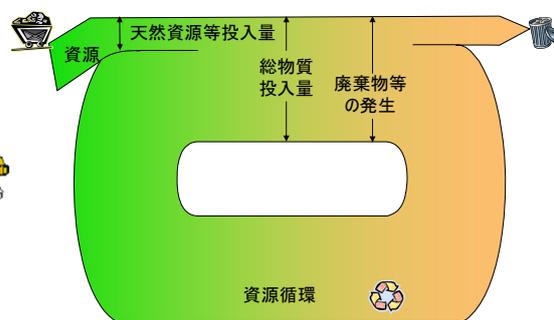
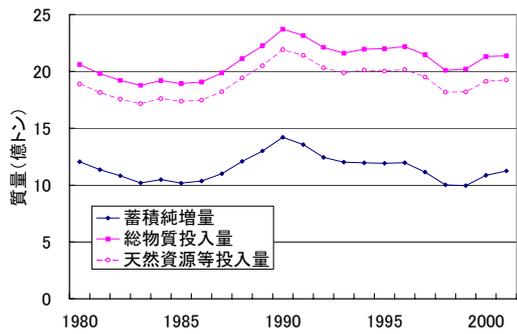


図1-2 定常的な人口を想定した場の理想的なマテリアルフロー



出典：環境省資料

図1-3 わが国の総物質投入量と蓄積純増量の推移

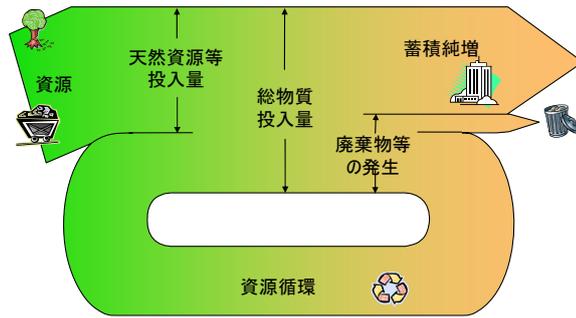


図1-4 蓄積純増量が減少しなかった場合のマテリアルフロー

純増量は、資源投入量に対しほぼ一定割合で推移している。この傾向が続くとすると、資源循環を促進したとしても、天然資源等投入量は蓄積純増量以下にはならない。すなわち、天然資源等投入量にほぼ等しい量が蓄積純増となる図1-4に示すようなマテリアルフローが予想される。したがって、図1-2に示したような理想的な社会を実現するためには、蓄積純増分を減少させることも必要である。なお、蓄積純増分の減少は、投資の減少を意味しているのではなく、物質の利用効率を高めた社会によって達成されると考えられる。次に、蓄積純増について詳述する。

### 1. 2. 蓄積純増量と蓄積量

図1-1のマテリアルフローにおいて、投入量としては、輸入製品量、輸入資源量、国内資源量、循環資源量が把握されており、それらの総計が総物質投入量と定義されている。一方、排出量としては、エネルギー消費量、食糧消費量、輸出量、廃棄物等の発生量（最終処分量、減量化量自然還元量、循環資源量）が把握されている。また、上記全ての量は1年間の量として把握されている。ここで、蓄積純増量は、投入量として把握されている全ての量（総物質投入量）から排出量として把握されている全ての量を引いた量として導出されている。つまり、排出時に把握されなかった量は、蓄積純増として計上されていることがわかる。

橋本と寺島（1999）と橋本ら（2003）は、建築物解体廃棄物の発生予測量と統計値（実測量）の違いを指摘し、建築物解体廃棄物量の統計値が過小推計となっている可能性を示した。つまり、認識されずに発生している廃棄物の存在を明らかにしたともいえる。Brunner（1999）は、現在の投入量と排出量の違いを指摘し、過去に投入された多くの資源は、“Hibernating（冬眠している）”と表現しており、人工物圏に蓄積はされているものの、利用されていない（目覚めていない）と指摘している。橋本ら（2003）は、建設鉱物における投入量と廃棄量の差の全てが純蓄積ではなく、失われたマテリアルストック（missing material stock）として隠れたフローや自然界への排出、あるいは埋立に近いものが多くあると指摘している。醍醐ら（2005a）は、鉄スクラップの発生予測量と統計値（実測量）の違いを指摘し、鋼材を含む使用済み製品から素材が回

収されるまでの工程における歩留り（回収率）を考慮した動的モデルを構築した。つまり、認識されずに発生している使用済み製品の存在を明らかにしたともいえる。梅澤と大久保（2005）は、日本のアルミニウムのマテリアルフローにおいて把握されていない廃棄量の存在を指摘している。さらに、布施と鹿島（2005）は、貿易統計値として計上されていない中古自動車の海外輸出分に着目し、認識されずに国外に流出している物質量の存在を明らかにした。村上ら（2005）は、非鉄金属の中古品としての海外輸出分に着目し、当該金属として認識されずに国外に流出している物質量の存在を明らかにしたといえる。

このように、過去のいくつかの研究において指摘されているように、蓄積純増として計上されているものの中には、認識されずに発生している使用済み製品や廃棄物、認識されずに消散している損失などが含まれていると考えられる。推計値と統計値を比較することにより、多くの資源が認識されずに埋設（冬眠）あるいは散逸していると考えられている。

### 1. 3. 循環型社会への課題

図1-3で示したように、総物質投入量に占める蓄積純増量の割合が20年間ほぼ一定で推移してきたのは、利用されている社会における物質蓄積を形成するためだけではなく、認識されずに損失している分を補うためであった可能性がある。したがって、天然資源投入量を蓄積純増量以下まで削減するためには、現在蓄積純増として計上されているもののうち、実際は認識されずに埋設（冬眠）あるいは散逸していると推測されている量を削減する必要がある。

しかし、削減する必要がある量は、未だ認識されておらず、定量化もされていない。そこで、まず1年間のフローで見ると蓄積純増として、過去からの累積で見ると社会蓄積として計上されている量の内訳を把握する必要があることがわかる。今までは、資源のフローを分析対象として多くの研究がなされてきたが、今後は蓄積量を分析する試みが期待されるといえよう。

本稿では社会における物質蓄積量を「社会蓄積量」とし（詳細な定義は次章を参照のこと）、社会蓄積量について分析する準備として、エコマテリアルフォーラム「社会蓄積量から見た資源有効利用の評価ワーキング・グループ」（以下、本WG）が、平成17年度に検討した内容についてまとめた。本WGでは、まず2章において「社会蓄積」の定義を検討した。次に3章において、資源有効利用の観点から「社会蓄積」の分類可能性について検討した。最後に4章において、社会蓄積を分析することにより得られること、達成されることを記してまとめとした。また、巻末に各WG委員による個別の考えをまとめたものを付している。

## 2. 社会蓄積の定義

### 2. 1. 用語の定義

社会蓄積とは、人工物圏に蓄積されている物質のことを指し、その物質量を社会蓄積量とする。社会蓄積の例として、建築物、土木構造物、機械類などとして用いられている物質などが挙げられる。なお、人工物圏とは、空間のうち人間活動に関わる部分のことを指し、それ以外の空間を環境圏とする。人工物圏と環境圏の境界を設定することは容易ではないため、境界に関する詳細については次節で詳述する。

理解の一助として、既存の社会蓄積量の推計について言及する。社会蓄積量は、人工物圏に存在する全ての物質を実測することができれば、把握することができる。しかし、モノが社会中に分散して存在しているため、課税対象物などの特殊な製品として存在する物質を除き社会蓄積量の把握は困難であると考えられる。そこで、1章でも記した「蓄積純増量」のように、把握が比較的容易である取引量（フロー量）からの導出方法が、現実的であると考えられている（山末, 付録参照, 中島, 付録参照, 醍醐, 付録参照）。また、多くの既往研究において暗に前提として蓄積量が蓄積変化量の累積として認識されている（Brunner, 1999; Kleijn et al., 2000; Spatari et al., 2002; Van der Voet et al., 2002; Graedel et al., 2005）。一方、蓄積量の分析のためには、動的なMFA/SFAを行う必要があるとも考えられる（Kleijn et al., 2000; Van der Voet, 2002; Elshkaki et al., 2004）。

また、既存の物質フローを基礎とした分析と同様に、社会蓄積のうち一部の物質に着目した分析が可能である。対象となる物質は、社会に存在する形態により次の2つの区分が考えられる。すなわち製品種の別により区分して対象とするか、物質種（例えば鉄、銅）の別により区分して対象とするかの2点である。

### 2. 2. 社会蓄積

#### (1) 人工物圏と環境圏の境界

本節では、既に述べられてきた考え方を勘案し、社会に蓄積されている物質を考えるときに依然として残る境界の不明瞭な点を指摘する。不明瞭な境界は、大きく以下の3つに分類できると考えられる。

##### (i) 動植物の活動と人間活動との区分

動植物の活動と人間活動との区分に関しては、人工林、農地、家畜、人体が区分の不明瞭な物質として考えられる。人間により管理されているが自然に生育しているため、人工物圏とも環境圏とも考えられる。付録（橋本, 付録）に既存のMFA（Material flow accounts）に関するEurostat（2001）が作成したガイドラインによる見解が記されている。

##### (ii) 投入プロセスにおける境界

投入プロセスにおける境界に関しては、hidden flowsとして議論されている。環境圏から人工物圏に移動したかどうか不明瞭な物質についての議論であり、人為的に移動した物質である

が、利用されることのない物質などが挙げられる。例えば、建設のために掘削された土や岩、港で浚渫された堆積物、採鉱や採石で発生する表土、収穫して利用しないバイオマスなどがある。付録（橋本, 付録）に、Eurostat（2001）ガイドラインや Matthews et al.（2000）による国際共同研究における見解を記している。

橋本（付録参照）は、未だあいまいな点が残されていると指摘する。建設発生土は hidden flows と考えられる一方、蓄積の一部とも考えられるとしている。既往論文から、Matthews et al.（2000）の見解、谷川と井村（2001）の推計からは、建設の際に動かされた土は hidden flows である一方、橋本ら（2003）によれば、岩石の一定量が土地造成や港湾・空港に使われており、蓄積とみなされることとなると指摘する。従って現状では、同じ造成地であっても土はストックとならず、岩石はストックとなることとなる。

### (iii) 排出プロセスにおける境界

排出プロセスにおける境界に関しては、使用済みとなった後の物質が環境圏に排出されたかどうかの区分が不明瞭な物質についての議論である。例えば、埋立地、hibernating materials、dissipative materials がある。管理された埋立地については、Eurostat（2001）のガイドラインで、環境の一部とするが、MFA の実施者が選択してよいとしている。hibernating materials（冬眠中の物質）は、地下に埋められ使われなくなったケーブルなどの主に地中に残存している物質を Brunner（2004）が評した表現であり、Brunner（2004）は多く存在していることを指摘している。dissipative uses of products and dissipative losses について、Eurostat（2001）のガイドラインでは、製品の利用による故意のあるいは不可避な結果としての環境中への排出であるとしており、例として、肥料、堆肥、凍結防止剤などの製品の散逸的利用、車のタイヤや道路の摩耗分、溶剤の揮発分などの散逸的ロスを挙げている。

現状の枠組みでは、hibernating materials は蓄積されていると考えられよう。しかし、橋本（付録参照）は「冬眠している」というよりは、ほとんど自然と同化しており、廃棄物の埋立地のように集積されないまま、拡散して捨てられているのではないかと考えている。また、村上（付録参照）は、明確な意思を持って我々が環境に戻すかどうかで蓄積されているか環境に戻るかが決定されると考えている。さらに、醍醐（付録参照）は、社会蓄積を押しなべて一様のもんとして扱うため、境界について人工物圏か環境圏かを決定する必要があるが、境界について議論することは、次章において議論される社会蓄積の区分とも通じると考えている。例えば、hibernating materials や埋立地は少なくとも人間活動に起因するものであるため社会蓄積とし、その中で他のものと区別することが望ましいと考えている。

## (2) 蓄積とフローの区分

次に、本節では、蓄積されている物質と取引されており蓄積されていると言えない物質（フロー）との区分について検討する。この論点については、いままでほとんど明確な議論がなされていないが、既存の MFA（Material flow accounts）に関する Eurostat（2001）が作成したガイ

ドラインでは、国民経済計算における項目に準ずる形で以下のように言及している。

- ・ 経済に属する物質ストックは、主に国民経済計算で定義される固定資産である。すなわち、土木構造物、建築物、車、機械、在庫などである。国民経済計算では固定資産と考えない耐久財についても、物質フロー勘定では考慮すべきである。(Eurostat (2001) 3.15)

布施(付録参照)は、社会蓄積と国民経済計算体系におけるストックの関係について、詳細な考察をしており、国民経済計算を基礎とした社会蓄積の把握を提案している。国民経済計算の統計の1つである産業連関表と社会蓄積の関係について、横山(付録参照)は詳細な考察をおこなっており、耐用年数が1年未満の製品寿命のものはフローとなるとしている。

ここで、上記の全ての議論が、既存の物質フローに関する統計(国民経済計算)を基にして社会蓄積を把握することを前提としており、蓄積量を物質フローの分析から得られる蓄積増分の積算値として計上することを前提にしていると言える。この前提に基づくと、MFA(material flow analysis)/SFA(substance flow analysis)に関する既存の文献からもう少し一般的な以下の示唆が得られる。Brunnerら(2004)は、分析対象としてのシステム境界を以下のように定義している。

- ・ システム境界は時間と空間の双方において決定される(時間的システム境界と空間的システム境界)。

決められた時間と空間に対し、物質フローを分析することにより得られる蓄積増分には、その期間内に流入し、排出される物質フローは計上されないことがわかる。例えば、横山が「耐用年数が1年未満の製品寿命のものはフローとなる」と言及したのは、国民経済計算が1年を期間とした統計であるためである。同様に、村上(付録参照)も、社会蓄積量を把握したい時点において社会中に存在する物質も、1年未満の期間で違う形へと移行する物質は、社会蓄積に含めるべきではないと提案している。さらに、梅澤(付録参照)は、フロー在庫について言及しており、社会蓄積に含めるべきではないと提案している。横山(付録参照)も産業連関表における在庫の取り扱いについて、在庫をさらに詳細に区分して考察している。

つまり、社会蓄積とフローとの区分は、データの入手可能性に依存して変わる可能性のあるものであり、製品寿命の短い製品や在庫の取り扱いに留意する必要があることがわかる。

### 3. 社会蓄積の区分

社会蓄積を資源循環の促進のために分析するためには、社会蓄積の内訳を区分することが必要であると考えられる。以下に、ワーキング・グループのメンバーによる議論において提案されたさまざまな視点による区分を列挙する。これら区分において社会蓄積を分析することにより、現在の社会蓄積の中の、将来に再生資源の原料となりえる物質の量を把握することを目的とする。なお、各WG委員が提案している区分の詳細は付録を参照されたい。

#### 3. 1. 利用状況による区分

社会蓄積の中には、有効に利用されているもののほかに、先般から指摘しているように飛散してしまっているものや、認識されずに廃棄されているもの、埋設されたままの冬眠しているものなどが含まれる可能性がある。そこで、現在の当該物質の利用状況による区分と、現在の勘定による区分（橋本、付録）が考えられる。横山（付録）は、有効に利用されているかいないか、という視点もあれば、製品寿命が残っているか、終わっているかという視点も考えられるとしている。2つの視点により、指すものが少し異なるが、この区分により得られることは、今すぐ再生資源の原料として社会から排出することのできる資源として、社会中にどれだけのバッファが存在するかということである。

##### ○製品寿命が終わっている社会蓄積

- ・解体されずに放置される建築物
- ・家庭や事業所の中で放置されている使用済み製品  
など

##### ○有効に利用されていない社会蓄積（勘定されている）

- ・上記「製品寿命が終わっている社会蓄積」
- ・鉄道の車輪や自動車のタイヤが磨耗して飛散した物質
- ・解体の際に放置される資材（基礎杭を含む）  
など

##### ○有効に利用されていない社会蓄積（勘定されていない）

- ・最終処分物  
など

#### 3. 2. 回収可能性による区分

回収不可能なものが区分されると、回収不可能な製品として社会に投入することを避けることにより、資源の投入量が減少できることが想定される。また、回収不可能な製品の回収システムあるいは再利用技術を新たに創造することによって、資源の再利用が促進されることが想定される。このような目的のために、回収可能性による区分に従った社会蓄積の分析が、資源循環の促進に有効であると考えられる。

各WG委員の4つの区分案をA, B, C, Dとして回収可能性を4つの視点から区分することを試みた。それぞれの区分の詳細は付録を参照されたい。

表3-1 回収可能性による区分案

区分案A	区分案B	区分案C	区分案D	具体的内容
経済的に回収可能	リサイクル可能	Economic	物理的にも、社会的にも回収可能	①経済性により回収されているもの
社会経済的に回収可能				②制度等により回収されているもの
技術的に回収可能	リサイクル実行可能	Marginally economic	(考慮せず)	③需要が欠落しているもの
	リサイクル実行不可能(システム)	Subeconomic	物理的に回収可能だが、社会的に回収されない	④市況がよくなることで回収される可能性のあるもの
	リサイクル実行不可能(技術)			⑤システムの欠落により経済性に見合わないため回収されないもの
回収不可能	リサイクル不可能	Other occurrences	物理的にも回収不可	⑥技術の欠落により経済性に見合わないため回収されないもの
				⑦消散してしまったもの

※区分案A(橋本, 付録)、区分案B(中島, 付録、山末, 付録)、区分案C(村上, 付録)、区分案D(醍醐, 付録)

表3-2 区分案に対応した物質の例

区分案	例
① 経済性により回収されているもの	古紙、鉄鋼、非鉄金属など
② 制度等により回収されているもの	木材、一部の塩ビ、一部の石膏ボード、ASR
③ 需要が欠落しているもの	ITO膜の中のIn(インジウム)
④ 市況がよくなることで回収される可能性のあるもの	一部の回収されていない古紙、鉄鋼材、非鉄金属など
⑤ システムの欠落により経済性に見合わないため回収されないもの	路盤材、基礎杭、解体現場に放置されるその他の資材
⑥ 技術の欠落により経済性に見合わないため回収されないもの	はんだ、解体されずに放置される建築物に含まれる資材
⑦ 消散してしまったもの	顔料、塗料、磨耗した金属類、解体現場で飛散した資材、放散した冷媒など

### 3. 3. 所有者による区分

社会蓄積による分析の結果を、資源循環を促進する政策提言ならびに実施につなげるためには、それらの所有者による区分が必要であると考えられる(布施, 付録)。例えば、個人による所有物、民間法人による所有物、公共法人による所有物の 3 つの区分により把握することが考えられる。また、同様な区分として、消費財と資本財による区分も考えられる。

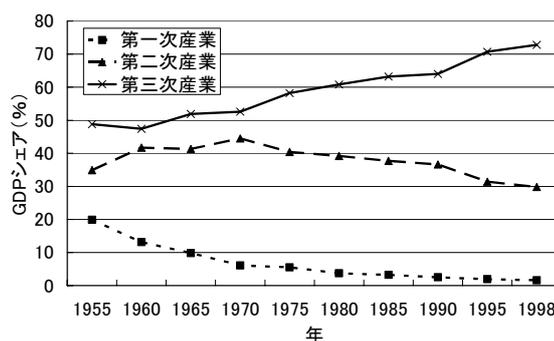
### 3. 4. 地域による区分

社会蓄積から排出されたモノを、再利用する際には、発生地から再生工場まで輸送する必要がある。現在以上の排出量が予測され、新たな再生工場建設の必要が生じる場合には、新工場の建設に際し、発生地が重要になってくる。そのためには、排出源の地域的分布を把握する必要がある(梅澤, 付録)。

## 4. おわりに

### 4. 1. 資源生産性指標

現在の政府の政策目標として掲げられている資源生産性という指標は、分子に GDP を分母に天然資源等投入量をとっている。つまり、物質投入量を小さく、GDP を大きくすることが目標となっている。一方、経済学において、高度成長のフロー経済から安定成長のストック経済への移行と言われているように、定量的には図 4-1 に示した第 2 次産業から第 3 次産業にシフトしてきているのがわかる。このように、物質の投入量(フロー量)と GDP の関係だけではなく、固定資本などの社会蓄積が GDP に与える影響も大きいことが考えられる。しかし、社会蓄積を基とした指標は提案されていない。本研究の推進により、社会蓄積を把握する手法が構築されることにより、資源生産性指標をストック経済における指標に置き換える新しい指標の構築にもつながるものと期待される。既往の研究では、物質フロー勘定を基にした資源の有効利用性を示すための新たな指標がいくつか提案されており、Hashimoto と Moriguchi (2004) による 6 つの指標、エコマテリアル研究会 (2004) における高リサイクル性指標、醍醐ら (2005b) による平均社会滞留時間などがある。



(備考) GDP は名目値。1955 年~1985 年は 68SNA。1990 年以降は 93SNA。

(資料) 内閣府「国民経済計算」から作成。

出典：経済産業省, 2002

図 4-1 日本の産業別 GDP シェアの推移

### 4. 2. 今後の課題

4. 1. で記したように、社会蓄積量を分析することが、今後の資源循環や資源枯渇に対し大

きな意味を持ち、早急に取り組まれるべき研究課題であるといえよう。一方で、2章や3章で述べたように社会蓄積の定義、区分について不明瞭な点が、今後の研究課題としていくつか指摘された。

## 付録 I (梅澤委員執筆)

### (1) 社会蓄積の定義

空間的境界には地理的境界が設定される。通常は統計数値の把握の関係で国を単位として考えざるを得ない。しかしながら、地域ごとに得られる製造量や排出量のデータは非常に重要である。社会蓄積を考慮するシステム作りにおいては、地域ごとのシステムに最適化する必要がある。フロー量の算定に当たっては、空間的境界のサブシステムを整え、詳細データを構築することが必要である。

本文において定義される「(3) 時間的境界を超えるが、空間的境界を越えないフロー量」には、いわゆるフロー在庫が多くを占めている。高度組み立て産業は在庫管理をオンラインを用いて効率化しており、いわゆる「トヨタ方式」のもと極力工程内在庫を排除している。しかしながら、需要供給の波の影響を直接受ける下請け企業においては、フロー在庫が増えると予想され、フロー在庫の拡散が生じていると考えられる。このフロー在庫は、一種の工程内循環であり、「社会蓄積」の評価対象とならない。

### (2) 社会蓄積の区分

表3-1に示された回収可能性による区分案が、現状の整理の上で妥当な案と考える。しかしながら、一般廃棄物と産業廃棄物、PETや廃プラスチックといった一般生活者に身近なものが、提案する区分にどのように対応するのか具体的に示す方がわかりやすい。

### (3) その他

#### (a) マテリアルフローの概念と社会蓄積量

図1-4と図1-3とを比較検討する上で、我が国における輸出入の割合が大であることに留意が必要である。製品のかなりの割合が輸出され、総物質投入量のすべてが蓄積純増や廃棄物等の発生に結びつくわけではない。輸出された製品や廃棄物が再び資源循環して我が国に投入されるのは極一部であろう。東アジアを含めた資源循環が各所において叫ばれているが、中古製品や廃棄物、さらにはそれらを構成する資源量となると、統計的データの取得は不可能に近い。まずは、管理された一部の資源循環や統計把握される輸出量から東アジアを含めたマテリアルフロー調査が必要である。

#### (b) 経済地理学的検討の必要性

使用済み自動車の処理・リサイクルを経済地理学的研究結果からみると、収集・回収する素材による処理の違いに加え、廃棄物処理の地域差、回収素材差により要求される技術に違いが生じている。具体的には、各地域にある事業所での廃自動車シュレッダー処理能力総数をシュレッダーという単体分離機の廃自動車処理能力と考え、自動車保有台数と比較することによって地域別

の特化係数を算出した。廃自動車発生台数の多い関東、近畿などの大都市圏でシュレッダー業者が多いことは事実であるが、特化係数で見ると中部、関東、東北、北海道などでその値は高く、近畿、中国、九州で低く、四国では、非常に低い結果となっている。今後盛んになる東アジアを含めた資源循環を進める際には、要求技術の特徴を把握することがきわめて重要な課題となる。したがって、マテリアルフローを単なる統計数値として取り扱うだけでなく、数値の背後に潜む意味を抽出する解析が必要である。

## 付録Ⅱ（醍醐委員執筆）

### （1）社会蓄積の定義

社会蓄積量について「社会蓄積量は、地球を人工物圏と環境圏に区分し、その人工物圏を空間的境界とし、ある時点で境界内に存在する物質の蓄積量のことを指す」と考える。

ここで問題となってくるのは、人工物圏というシステムの境界、つまり、人工物圏と環境圏との境界線である。この線引きを不明瞭にする論点は2つある。第一に、動植物の活動と人間活動との区分である。例えば、人工林は人間活動により植林されたのち植物の活動により生育していく。また、生育促進のために人間が徐間伐をおこなうなど、人の活動が関与している。農作物も同様に、施肥などの人の活動が関与するものの、生育は自然の活動である。第二に、空間的区分である。主に、人間の活動空間を確保するための（半）永久構造物が境界線上と考えられる。例えば、埋立造成地や落成防止コンクリートがある。人間活動により造成されたものであるが、人間活動の外（地面や壁面）にある。

2つの論点における区分はともに、分析や評価の目的に応じて人工物圏に含めたり、除外したりすることも考えられる。原則としての定義はあった方が望ましいと考えられるが、可算性（countability）も考慮しつつ、今後も議論をしていく必要がある。

ここで、ひとつだけ異質のものが、最終処分物である。従来のフロー（環境省、2005）においては、社会蓄積から排出されたものとして扱われている。おそらく、工場内で稼働している産業機械のような社会蓄積と同等に扱われるべきものではないとの判断から、社会蓄積とはしなかったものと考えられる。一方で、最終処分場が環境圏とは言い難く、国外であるわけでもないので、今までの定義から考慮すると、社会蓄積として扱われるべきものと考えられる。既往研究では、横山ら（2005）による最終処分場の蓄積もシステムの中に入れて、資源循環を考慮した研究がある。ここで、本WGでの議論が有用になり、社会蓄積を区分することにより、最終処分物も社会蓄積の定義の中を含めながらも、1つの区分として最終処分物を分類することができる。区分に関する議論は、3章において詳述しているが、明瞭な区分方法を提案するには至っておらず、本節における人工物圏と環境圏の境界の議論は、区分の議論とも平行して、今後も議論されるべき課題である。

次に、社会蓄積とフローの相違について検討する。社会蓄積や蓄積の分析とは、実際には、社会蓄積の中の着目する時間や空間を切り取った蓄積変化量の分析や、特定の物質や製品に着目し

た分析であると考えられる。フローは、設定された時間的（または／かつ）空間的システム境界を越える物質の移動のことある。つまり、蓄積として計上されるかフローとして計上されるかは、一意に決定されるものではなく、システム境界の設定により変化するものである。一方で、蓄積変化量はシステムへの流入量と流出量の差分で導出されることが多いため、把握されないフロー量は蓄積変化量として計上されてしまう。そこで、把握の困難なフロー量について以下に言及する。

(i) 空間的境界を越えるが、把握することが困難なフロー量

冷媒のガス漏れや、廃棄時の大気放散などによる、故意でなく大気に放出される物質は、人工物圏から環境圏への流出量であるが、把握することが困難である。

物質の腐食や土砂の浸食などにより、大気や海洋に流出する物質は、人工物圏から環境圏への流出量であるが、把握することが困難である。

人工プロセスにより、大気中の酸素やその他のガスと結合させることによりモノが生成された場合、結合したガス成分は環境圏から人工物圏への流入量であるが、把握することが困難である。

(ii) 時間的境界を越えるが、空間的境界を越えないフロー量

製造事業者の倉庫などで、時間的境界を越えての存在し続けている製品は、時間的境界を越えているので流出量として計上されるべきであるが、データの入手可能性から考えて、把握の困難な量である。

(2) 社会蓄積の区分

物理的に回収可能かどうか、社会的に回収可能かどうかによった区分を提案する。この区分において、物理的視点は地域や時代に依存せず一意に決定される区分であるため、他の区分と異なった視点となっていると考える。「物理的にも社会的にも回収可能」、「物理的には回収可能だが社会的に回収可能でない」、「物理的にも社会的にも回収不可能」の3区分が考えられる。例えば、法整備により回収されているものは1つ目の区分、経済性に見合わないため回収されていないものは2つ目の区分、飛散してしまって大気濃度へ希釈されたような物質は3つ目の区分となる。

(3) その他

蓄積純増量は、社会が成長するに従って増加し、理想的には、社会が成熟するに従って、社会蓄積量が飽和することにより、蓄積純増量は減少傾向を示すことが予想される。つまり、上図に実線で示したように時間の経過に伴って、凸の変化を示すものと予想され、このグラフの面積が社会蓄積量の必要量（飽和量）といえる。ここで、脱物質化ということを考えてみる。脱物質化のために、資源の投入量を抑制するという表現は間接的であり、直接的には上図で示した社会蓄積量の必要量を減少させることではないかと考える。つまり、脱物質化は、実線の推

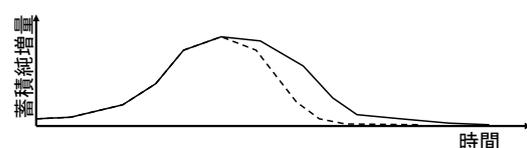


図 蓄積純増量の推移の模式図

移を破線の推移のように移行させることであるといえよう。さらに、現在の先進国が、模式図におけるどの位置にあるのか不明であるが、そのピークにあったとすると、途上国諸国は、まだまだ増加の途中にあると考えられる。日本をはじめ先進諸国が、社会蓄積量の少ない社会を実現できたとすると、その効果は自国だけでなく、途上国諸国に多大な影響を与えることが予想される。つまり、まだピークを迎えていない途上国諸国のピークを小さくすることができ、地球上で有限である資源の枯渇問題を緩和できるものと考えられる。

### 付録Ⅲ（中島委員執筆）

#### （１）社会蓄積の定義

フローおよびストックの定義として、プロセスの入出力バランスに基づいた定義を提案する。Figure 1 はプロセスの入出力バランスの概念図、そして、Figure 2 はプロセスの関係図である。図中で、人工物圏と地球環境とに区分したのは、製品や副産物、もしくは要処理の廃棄物として人工物圏に滞留している物質と、大気、水、土壌などの地球環境への排出物とを区別して考えるためである。

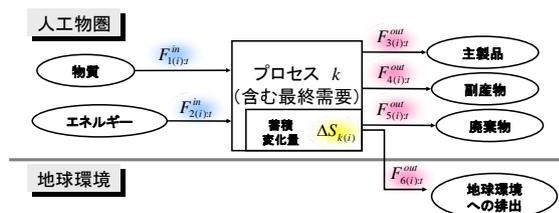


Figure 1 プロセスの入出力バランス概念

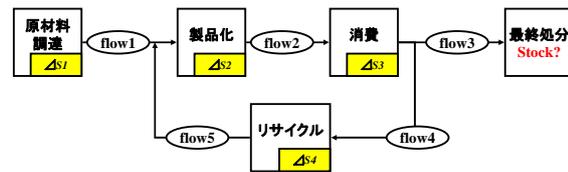


Figure 2 プロセスの相互関係の概念

ここで、 $F_{j(i)t}$  は、 $t$ 期におけるプロセスの入出力物である物質 $j$ に含まれる成分の重量を意味する。また、 $F^{in}$  は入力物の重量、 $F^{out}$  は出力物の重量、 $\Delta S$  は蓄積変化量とすると、プロセスの入出力バランスは以下の式により表される。

$$\left[ F_{1(i)t}^{in} + F_{2(i)t}^{in} \right] = \left[ F_{3(i)t}^{out} + F_{4(i)t}^{out} + F_{5(i)t}^{out} + F_{6(i)t}^{out} \right] + \Delta S_{k(i)t} \quad \dots(1)$$

$$\Rightarrow \Delta S_{k(i)t} = \left[ F_{1(i)t}^{in} + F_{2(i)t}^{in} \right] - \left[ F_{3(i)t}^{out} + F_{4(i)t}^{out} + F_{5(i)t}^{out} + F_{6(i)t}^{out} \right] \quad \dots(1')$$

$$\Rightarrow \Delta S_{k(i)t} = \sum_{j=1}^m F_{j(i)t}^{in} - \sum_{j=1}^m F_{j(i)t}^{out} \quad \dots(2)$$

したがって、 $t$ 期におけるシステムの社会蓄積物質 $j$ に含まれる成分の総量は、以下の式により表される。

$$S_{(i)t_f} = \sum_{t=t_0}^{t_f} \sum_{k=1}^l \Delta S_{k(i)t} \quad \dots(3)$$

## (2) 社会蓄積の区分

資源有効利用の促進に資する社会蓄積量データの把握を目指して、リサイクルの可能性を考慮した社会蓄積の区分を提案する。Table1 にリサイクルの可能性を考慮した社会蓄積の区分案を示す。本提案区分では、リサイクル技術、リサイクルを支える回収・輸送などの社会システム、経済性を考慮した需要の3つの要素から、リサイクル可能性を4つに分類する。

Table1 リサイクルの可能性を考慮した社会蓄積の区分

		技術	システム (回収、 輸送など)	需要	有効利用の 社会蓄積	未利用の 社会蓄積	備考
(1) リサイクル 可能	現行	○	○	○	多くの製品	解体待ち の建築物、 不法投棄自動車	経済～準経済
(2) リサイクル 実行可能	需要欠落	○	○	×	ITO膜のIn		準経済～非経済
(3) リサイクル 実行不可能	システム欠落	○	×		路盤材 基礎杭	埋設物	
	技術欠落	×					
(4) リサイクル 不可能	物理的不可能	—	—	—	顔料・塗料	飛散物、磨耗物	

## (3) その他

今後、評価結果に基づいた定量的な議論を実施するためには、(1)用語の定義、(2)資源の品位の扱い、(3)資源の質の扱いなどについて議論を重ねる必要があると考えられる。

## 付録IV（橋本委員執筆）

### （1）社会蓄積の定義

社会における物質ストックを定義する上では、システムの設定が重要である。Eurostat（2001）が作成した Economy-Wide MFA のガイドラインでは、ストックについて以下のような考え方を取っている。

- ・ 経済に属する物質ストックは、主に国民経済計算で定義される固定資産である。すなわち、土木構造物、建築物、車、機械、在庫などである。国民経済計算では固定資産と考えない耐久財についても、物質フロー勘定では考慮すべきである。（3.15）
- ・ 人体と家畜のストックも原則記述すべきであるが、これらのストックはそれほど多くなく、変化も少ないため、実務上は無視する。（3.16）
- ・ 人工林や農地を経済の一部と考えると、これらの代謝を考慮する必要があるので、環境の一部とし、収穫を経済への投入とする。（3.19）
- ・ 管理された埋立地については、ガイドラインでは環境の一部とするが、MFA の実施者が選択してよい。（3.20）

また、システムの設定と関係する重要なフローとして、**hidden flows** がある。ガイドラインではこれを **unused domestic extraction** と **indirect flows** に分け、前者を次のように記述している。

- ・ 利用の目的がなく故意に掘り出した、もしくは移動した物質であり、建設のために掘削された土や岩、港で浚渫された堆積物、採鉱や採石で発生する表土、収穫して利用しないバイオマスなどがある。流出する農業土壌は故意に動かしたものではないが、含まれるべきかも知れない。（3.36）
- ・ **unused domestic extraction** には3つのグループがある。それらは、採鉱や採石で発生する不要物、バイオマスの収穫で発生する残渣、建設や浚渫で発生する掘削物である。（3.74）

これについて、Matthews et al.（2000）による国際共同研究では次のような説明がある。

- ・ **domestic hidden flows** は2つの要素で構成される。それらは、農作物や木材とともに収穫されるが後に分別され利用されない **ancillary flows** と、鉱石にアクセスするために取り除かれた表土、農業の結果生じる浸食土壌などの **excavated and/or disturbed material flows** である。（p.8）

現状では以上のような整理になっているが、未だあいまいな点が残されている。その好例は建設発生土である。これは建設活動に伴って発生する不要な土であるから、**hidden flows** と考えられよう。しかし、土地造成に使われる建設発生土は利用目的を持つことから、ストックの一部とも考えられる。Matthews et al.（2000）には以下のような下りがある。

- ・ **domestic hidden flows** のほとんどは、採鉱の表土、建設の際に動かされた土、農地の浸食土壌である。（p.14）

この表現に従えば、建設の際に動かされた土は **hidden flows** である。谷川と井村（2001）は、住宅地整備の MFA を行っているが、土の移動は **hidden flows** として推計しており、ストックと

して勘定していない。一方、橋本ら（2003）によれば、岩石の一定量が土地造成や港湾・空港に使われているが、これは DMI として経済に入り、ストックに勘定されることとなる。従って現状では、同じ造成地であっても土はストックとならず、岩石はストックとなることとなる。

あいまいな例は他にもある。Brunner（2004）は、地下に埋められ使われなくなったケーブルを例に挙げ、hibernating materials（冬眠中の物質）が多くあるとするが、これはストックであろうか。このような状態に近いものとしては、dissipative flows がある。Eurostat（2001）のガイドラインでは dissipative uses of products and dissipative losses を次のように説明している。

- ・ 製品の利用による故意のあるいは不可避な結果としての環境中への排出である。例えば、肥料、堆肥、凍結防止剤などの製品の散逸的利用、車のタイヤや道路の摩耗分、溶剤の揮発分などの散逸的ロスがある。（3.80）

現状の枠組みでは、hibernating materials はストックと考えられよう。しかし、「冬眠している」というよりは、ほとんど自然と同化している、捨てられていると考えてもよいのではないか。廃棄物の埋立地のように集積されないまま、拡散して捨てられているのではないか。

社会における物質ストックを考えると、以上のような形態をどう位置づけるかの整理が必要である。

## （2）社会蓄積の区分

例えば、資源としての回収可能性で区分することが考えられる。また、ここでは上記の考察を受けて、現状の MFA でストックと勘定されているかどうかについても区分した。回収可能性はおおよそ以下のとおりである。

経済的に回収可能……………有価物か、処分するより安いもの

社会経済的に回収可能…制度的に（規制、協定、社会的責任で）動かしているもの

技術的に回収可能……………コストをかければ技術的に回収が見込めるもの

回収不可能……………技術的に回収が困難なもの、輸出される中古製品に含まれるもの

例えば、建築物という製品に着目した場合には以下のような資材があるだろう。

	現状の MFA でストックと勘定されているもの		現状の MFA で ストックと勘定されていないもの
	廃棄物になるもの	廃棄物にならないもの	
経済的に 回収可能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鉄などの金属</li> <li>・ コンクリート</li> </ul>		
社会経済的に 回収可能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 木材</li> <li>・ 一部の塩ビ</li> <li>・ 一部の石膏板</li> </ul>		
技術的に 回収可能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 混合廃棄物に残されるもの</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土地造成、基礎などに用いられる資材</li> <li>・ 解体の際に放置される資材（基礎杭を含む）</li> <li>・ 解体されずに放置される建築物に含まれる資材</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土地造成などに用いられる土砂</li> <li>・ 最終処分場に埋め立てられた資材</li> </ul>
回収不可能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 混合廃棄物に残される微量な資材？</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 解体現場で飛散する資材？</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最終処分場に埋め立てられた微量な資材？</li> </ul>

また、鋼材という素材に着目した場合には以下のようなものが考えられる。

	現状のMFAでストックと勘定されているもの		現状のMFAで ストックと勘定されていないもの
	廃棄物になるもの	廃棄物にならないもの	
経済的に 回収可能	・ 建設物、産業用機械などに含まれるもの		
社会経済的に 回収可能	・ 自動車、家電製品などに含まれるもの？		
技術的に 回収可能	・ ? (少量使用されている製品に含まれるもの)	・ 建設物解体の際に放置されるもの(基礎杭を含む) ・ 放置される製品に含まれるもの	・ 最終処分場に埋め立てられたもの
回収不可能	・ ? (少量使用されている製品に含まれるもの)	・ 輸出される中古産業用機械、中古自動車、中古家電製品などに含まれるもの ・ 飛散的な用途に使用されるもの	・ 最終処分場に埋め立てられたもの？

#### 付録V (布施委員執筆)

##### (1) 社会蓄積の定義

社会蓄積とは、「国を対象に、ある時点での社会（生産、消費、廃棄、リサイクル活動から成る経済システム）における物質的な蓄積（ストック）」と考える。ここでは、1) 既存ストックとの位置づけと2) 社会蓄積を計測する目的に注目して、社会蓄積の説明を以下で行う。

##### (a) 既存ストックとの位置づけ

社会蓄積と、国の経済活動の評価を目的とするSNA（国民経済計算）体系のストック（SNAストック）と、都市計画分野で注目を集めているInfrastructure、Social Capital（社会資本）との位置づけを図1に示す。図中の在庫は、フローの測定期間（例えば1年）を超える生産、廃棄に伴うフロー（例えば、製品流通在庫、解体待ち家屋など）を便宜上ストックと扱っている。再生産不可能資産は、生産に必要となる自然資産（例えば、土地など）を意味する。無形資産は、物質的に存在しないが資産価値をもつもの（例えば、金融サービスなど）である。

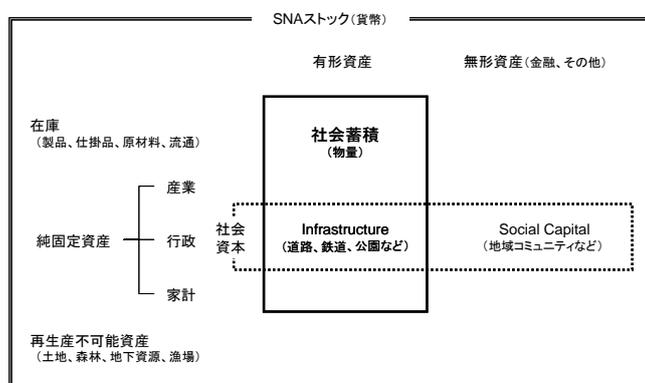


図1 社会蓄積とSNAストックと社会資本の位置づけ

図1より、社会蓄積について次のことが整理できる。

- ・社会蓄積はSNAストックに含まれ、そのなかの有形資産の在庫、純固定資産に対応する。
- ・ただし、SNAストックは貨幣タームであるのに対し、社会蓄積は物量タームである。
- ・社会資本は社会蓄積と名前は似ているが、純固定資産の行政（公共セクター）に関わる有形および無形資産のため、Infrastructure（例えば、道路、鉄道、公園など）以外は異なる。

(b) 社会蓄積を計測する目的

社会蓄積を計測する目的として、2つ挙げられる。第一の目的は、図1の太線部分の貨幣タームではない物量タームの情報を提供すること（現状評価）である。第二の目的は、図1の再生産不可能資産を浪費しない在庫、純固定資産の戦略的マネジメントに必要な情報を提供すること（ポテンシャル評価）である。以上の目的に沿う社会蓄積の情報を以下に整理する。

- ・質的情報：素材別、耐用年数別、その他（サイト・地域別）の物量を示す。
- ・粗蓄積と純蓄積：純蓄積＝粗蓄積－原価償却（摩耗・故障）であり、第一の目的に対応する現状量となる。一方、粗蓄積は潜在量（原価償却が存在しない状態）を示す。
- ・機能情報（プロダクト、マテリアル、サーマルなど）：純固定資産を機能別に分割することで、潜在的なりサイクル供給量を提示する。
- ・未利用財（不法放置、投棄）、埋立処分場の扱い：未利用財、埋立処分場も潜在的な純固定資産と考え、その潜在的りサイクル供給量を提示する。現状評価に、この措置は不要である。

(2) 社会蓄積の区分

(1) に基づいた社会蓄積の区分例を表1に示す。区分に際しては、列方向を(a)の内容に、行方向を(b)の内容に対応している。また、ポテンシャル評価の列に関しては、今回の理想的なポテンシャルの評価に加え、回収可能性、対応りサイクル技術の有無、データ入手可能性などで細区分することでより現実的なポテンシャルの評価が期待できる。

表1 社会蓄積の区分例

		現状評価：純蓄積		ポテンシャル評価：純蓄積、粗蓄積	
		素材別、耐用年数別、その他		素材別、耐用年数別、その他、機能別 未利用財/埋立処分場	
在庫	産業 動脈 静脈	製品、材料在庫 リサイクル品在庫		製品、材料在庫 リサイクル品在庫	
	行政			解体待ち工場・建物 解体待ち機械器具	
	家計	中古品在庫		解体待ち住宅・自動車	
純固定 資本	産業 動脈 静脈	工場・建物 機械器具 処理施設 処理機械		工場・建物 機械器具 処理施設 処理機械 非使用の工場・建物 非使用の廃機械器具 非使用の廃処理施設 非使用の廃処理機械 最終埋立 産業廃棄物不法投棄	
	行政	公共施設（道路、鉄道、処理施設）		公共施設 最終埋立	
	家計	住宅 自動車		住宅 自動車 非使用の住宅 非使用の自動車 一般廃棄物不法投棄 放置車両	

### (3) その他

社会蓄積量の推計についても簡単に言及する。まず表1の「現状評価」の列部分は、既存のSNAストック統計（金額量、耐用年数）に別統計から得られる重量変換係数、素材構成比を乗じることで推計は可能である。また一部の保有統計が充実している製品については、直接的な把握も可能である。一方、ポテンシャル評価の列部分は、統計が少ないことが予想されるため、新たな推計手法の確立、各種調査が必要である。

## 付録VI（村上委員執筆）

### (1) 社会蓄積の定義

物質の社会蓄積量の定義を行うために、対象となる物質、社会、蓄積の3点を定義することから始める。

対象となる物質については、その都度その都度考えればよいが、視点として社会に存在する形態、すなわち製品種のようなものから考えるのか、考えたい物質種、例えば鉄、銅、といった視点で見るとかという2点があろう。優劣をつけられるものではないが、ここでは次節に記す区分との関係もあり、後者、すなわち物質種を主として考えることとする。ただし、蓄積されているほとんどの時間を過ごすであろう存在形態としての製品種などは当然考えざるをえないものであり、これは天然資源における資源種（たとえば銅）と、実際の鉱石（例えば酸化銅鉱床）との関係のようなものである。

次に社会の定義であるが、人間の社会を指すものであろう。ここで金属について主に考えるとすると、金属のライフサイクルの中で社会に蓄積されている間というのは、鉱石として鉱山から採掘されてから、製品へと加工され、使用段階へと入り、その製品寿命を終えた後、状況に応じてリサイクルされるなどした後、最終処分、すなわち明確な意志を持って我々が環境へ戻すまでの間が社会に蓄積されていると定義されることになろう。

ただし、現実問題として蓄積量を捕捉しようと考えた場合、我々はとある時点における蓄積量を捕捉することになる。よって時間的な定義をすることからは免れない。これが「蓄積」の言葉の定義につながる。例えば統計資料のようなものに依存した捕捉を行うのであれば、一年といった単位が現実的なものとなろう。とある年度の期末に存在する蓄積量を捕捉しようとしたときに、現実に一年以上の期間にわたって同じ形態で存在している物質は社会蓄積量として捕捉されるべきである。ただし、その瞬間には存在するものの、一年未満の期間で違う形態へと移行してしまう物質についてはここでは含めるべきではない。例えば飲料缶のアルミは恐らく一年以上社会に対流しないケースが多いであろうから、蓄積量と呼ばずにフロー量としてのみ捕捉した方が誤解は招かないかもしれない。

まとめると、とある対象物質について、定義された時間中同じ形態で人間社会に存在する量を持って社会蓄積量と定義すべきであると考えられる。

## (2) 社会蓄積の区分

次にこの社会蓄積量をさらにどのように区分するかについて述べる。その方法論は多数あると考えるが、ここではこの社会蓄積量を潜在的循環資源量であると考えた分類を示す。

循環資源という言葉の定義も必ずしも定かではないが、ここでは採取したての天然資源ではなく、一度人間が使用、少なくとも加工を施した物質すべてを指すことにする。現実的に使用可能なものを資源とすべきだという意見もあり得るが、これは経済的状況に依存するものであるから、この定義に含めるべきではない。

では社会蓄積量を潜在的循環資源と見なすとしてその区分を行うに当たって、ここでは天然資源においてしばしば用いられる区分と照らし合わせて考えることにする。天然資源の埋蔵量については以下のような区分がしばしば用いられる。その評価軸は2種類あり、まずその資源の経済性から **Economic, Marginally Economic, Subeconomic** の3種類と、現状では全く経済的な採掘は不可能なものを **Other Occurrences** とし4種類に区分を行う。もう一つの評価軸は、「確認」されているか否か、を中心に **Identified Resources, Unidentified Resources** に分ける分け方である。この二者の中はさらにその「確認」の方法によって細分化されたり「未確認」であるとしてもその確率から分類されたりするがここでは不必要なので論じない。

経済性についてはこの区分をそのまま採用することにしよう。問題は「確認」の方だが、社会蓄積量を実測することはほぼ不可能なのでこの区分は意味を持たない。その代わりに、社会蓄積量＝循環資源として見なすのであれば重要になるだろう視点に時間がある。製品として存在しているものについては、通常その製品寿命を終えるまでは循環資源にはならない。あくまで潜在的循環資源である。循環資源の採取者にとって循環資源となりえるものは、製品寿命を終えたもののみであり、まだ使用されていて排出されない製品は、潜在的な循環資源であっても循環資源ではない。これが採取したければ原則すぐに採取できる（もちろん資源開発プロジェクトは巨大プロジェクトであるが故にリードタイムは必要である）天然資源との違いである。よって、社会蓄積量に循環資源へ転化する時間、すなわち寿命が終わるであろう時間、という新しい評価軸を与えることで表1のような区分を考えることにする。各区分の名称については図中に示したとおりである。

表1 社会蓄積量を潜在的循環資源と見なした場合の区分

	Currently Recyclable Stocks 現時点で既に循環資源と見なせる	In-Use Stocks 将来的に循環資源になる (現在はまだ使用されている)
<b>Economic</b>	使用済みでかつ経済的に循環可能な循環資源	将来排出された場合、経済的に循環可能なストック
<b>Marginally Economic</b>	使用済みで、かつ経済的に循環可能かどうかの(市況に左右されて是非が変わる)循環資源	将来排出された場合、その時点の市況に左右されて循環の是非が変わるストック
<b>Subeconomic</b>	使用済みだが、現状では経済的に循環しないであろうストック	将来排出された場合にも、現在の条件では経済的に循環しないであろうストック
<b>Others</b>	使用済みだが、循環し得ないストック	将来排出された場合にも、循環し得ないストック

なお、In-Use について、更に排出されるであろう時間の予測に基づき細分化を行うことは当然可能である。

## 付録Ⅶ（山末委員執筆）

### （１）社会蓄積の定義

社会蓄積の一般的な定義は投入量から排出量を引いたものとされている。例えば、循環型環境白書によると、2002 年度における日本国内の総資源投入量は約 21 億トン、排出量は 11 億トンとなっており、蓄積純増は約 10 億トンと計算できる。しかし、今後社会蓄積に関する研究を進める場合、その言葉や意味に明確な一義的な定義を与えることが重要である。以下では、社会蓄積に関わる定義についていくつかの提案を行う。

まず、社会蓄積変化量と社会蓄積量の言葉の定義を明確にする。両者は似通っており、単位期間を考えるとときには両者の値は同じになるが、ここでは明確な区別を行うため、基本的に前者は任意のある期間内における投入量と排出量の差、後者を基準の（最初の）時点からある時点までの投入量と排出量の差として定義することを提案する。例えば、1980 年から 2000 年までの社会蓄積調査を行う際に 1980 年を基準年とすれば、1985-1986 年の 1 年間や 1990-2000 年の 10 年における投入量と排出量の差は社会蓄積変化量とし、1980-1981 年や 1980-1985 年における投入量と排出量の差は社会蓄積量となる。しばしば、社会蓄積量の基準を有史以来とすることもある。

このような定義を基に考えると、社会蓄積量は状態量を表すものとして取り扱える。この状態量を、熱力学でいう内部エネルギーやエントロピーのような（示量性）状態量と同じような概念で取り扱ってかまわないかどうかについてはさらなる議論を要するが、ある時点  $t_f$  における社会蓄積量を  $S(t_f)$  とすると

$$S(t_f) = F_{in}(t_f) - F_{out}(t_f)$$

と表すことができる。ここで  $F_{in}(t_f)$  と  $F_{out}(t_f)$  は、それぞれある基準時  $t_0$  からある時点  $t_f$  までの投入量および排出量である。また、ある時点  $t$  における蓄積変化量を  $\Delta S(t)$  は、

$$\Delta S(t) = f_{in}(t) - f_{out}(t)$$

と表すことができ、さらに

$$S(t_f) = \sum_{t=t_0}^{t_f} \Delta S(t) = \sum_{t=t_0}^{t_f} f_{in}(t) - \sum_{t=t_0}^{t_f} f_{out}(t)$$

と表すことができる。ここで、 $f_{in}(t)$  と  $f_{out}(t)$  は、それぞれある時点  $t$  における単位期間あたりの投入量および排出量である。

(2) 社会蓄積の区分

社会蓄積の区分にはいくつかの区分案を挙げることができると考えられるが、ここではリサイクルの実行可能性を考慮した区分を提案する。すなわち、

1. リサイクル可能 (物理的にも社会的にも可能)
2. リサイクル実行可能  
(現在は需要の欠如などで不可能であるが、市況によって可能性が生じるもの)
3. リサイクル実行不可能 (システムや技術の欠落により不可能なもの)
4. リサイクル実行不可能 (物理的に不可能なもの)

(3) その他

今後の課題として、材料の品位の取り扱いについて議論する必要がある。例えばインジウムについては、回収インジウム当量が同じであっても、単体として回収できる場合と酸化物として回収できる場合で、その取り扱いを区別する必要があると考えられる。これは、ステンレス鋼中の合金元素としてのニッケルと単体のニッケルとして回収できる場合の違いについても同様である。

このような問題については、例えば回収した材料を次のプロセスで使える材料とする場合に必要なエネルギーを熱力学的または社会的に推算し、その値を用いて評価するなどの方法が提案できるが、詳細についてはさらなる議論が必要であると考ええる。

付録Ⅷ (横山委員執筆)

(1) 社会蓄積の定義

ここでは社会蓄積 (ストック) とモノの流れ (フロー) について、産業連関表における定義に従う。産業連関表は Figure 1 のような構造をもっておりわが国の経済活動を中間需要と最終需要とに分けて表記が行われている。中間需要とはある産業が当該年に活動を行うにあたり投入される原材料、すなわち「産業活動に伴うフロー」を表す。最終需要は消費に関する項目 (家計内消費・家計外消費・民間消費支出・一般政府消費支出) すなわち「消費活動に伴うフロー」、蓄積に関わる項目 (国内総固定資本形成 (民間・公的)) 「蓄積増分」、在庫、輸出で構成される。

→ 需要部門		中間需要					最終需要					需要合計	(控除) 輸入	国内生産額				
↓ 供給部門		農林水産業	鉱業	製造業	...	計A	家計外消費支出	民間消費支出	一般政府消費支出	国内総固定資本形成	在庫純増				輸出	計B		
中間投入	農林水産業	産業活動に伴うフロー					消費活動に伴うフロー					蓄積増分						
	鉱業																	
	製造業																	
	...																	
	計D																	
粗付加価値	家計外消費支出																	
	雇用者所得																	
	営業余剰																	
	資本減耗引当																	
	間接税 (控除) 補助金																	
	計E																	
	国内生産額D+E																	

Figure 1 産業連関表

Table 1 在庫の扱い

			中間需要		最終需要			
					製品	半製品	流通	原材料
中間投入	素材	国産					⑤	③
		輸入		-	-	⑥	④	
	木製家具			①	②			

産業連関表において蓄積増分とは、耐用年数が1年以上で、単価が10万円以上のものが資本財として「国内総固定資本形成」に計上されることで表される。すなわち耐用年数が1年未満の製品寿命のものは全てフローとなる。フロー及び固定資本形成（ストック増分）とは区別される分類として、「在庫」の存在がある。産業連関表では中間需要として産業活動に伴う財の循環にはならず、対象年次に生産された製品のうち、どの部門にも販売されず、かつ自家消費もされなかったものは「在庫」と呼ばれ区別される。在庫は対象年次に生産された製品のうち、どの部門にも販売されず、かつ、自家消費もされなかったものを表す「生産者製品在庫純増」、当該年度の生産活動に係る分（当年末残高－前年末残高）を表す「半製品・仕掛品在庫純増」、当該年に購入された原材料のうち、その年に使用されなかったものを表す「原材料在庫純増」、卸売・小売業が仕入れた商品のうち、販売されなかったものを表す「流通在庫純増」に分類されている。それぞれ Table 1 において「生産者製品在庫純増」は①、「半製品・仕掛品在庫純増」は②、「原材料在庫純増」は③④、「流通在庫純増」は⑤⑥にあたる。

## (2) 社会蓄積の区分

本研究会では循環型社会の形成を目標とし、資源有効利用の観点から「社会蓄積」の分類を行っていた。その観点から社会蓄積を考えるならば、社会蓄積は将来の大きな廃棄物フロー供給源とみなすことができる。適切な資源（廃棄物）管理のための財の区分として、社会に流通及び蓄積されているモノを製品寿命が終わったものと終わっていないものに分類する。すなわち社会におけるフローは製品のフローと廃棄物のフローに分類でき、蓄積に関しても同様に製品の蓄積と廃棄物の蓄積に分類されるものとする。製品のフロー及び蓄積は通常の産業連関表のフレームワークで捉える勘定体系の背後にあるものを指す。廃棄物のフローについては産業活動に伴い発生する廃棄物（残渣や加工屑等）及び消費活動に伴う廃棄物（家庭から発生する食品残渣や容器包装屑等）に加え、建設構造物や産業機械等の耐久財起源の廃棄物（老廃屑や建設廃棄物）に分類される。

廃棄物の蓄積は大別すると有効に利用されていない蓄積分と最終処分廃棄物として最終処分場での蓄積分を指すものとする。有効に利用されていない蓄積分について、ここでは資源（廃棄物）管理の観点から製品寿命を終えたものを廃棄物（あるいは潜在廃棄物）とみなす。製品寿命は法定耐用年数を採用し、耐用年数を終了した固定資本は利用状況に関わらずこの分類に従うものとする。実際の利用状況を考えると法定耐用年数を過ぎても利用される産業機械や構造物は数

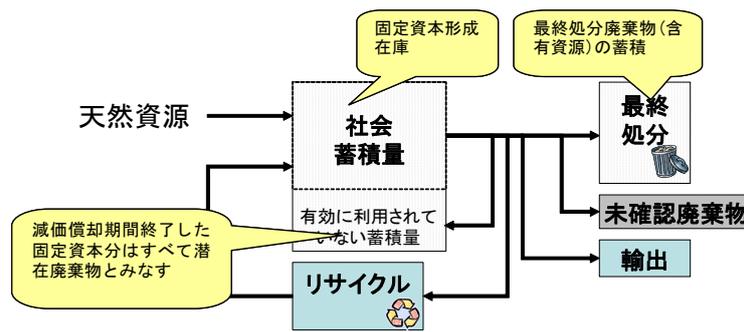


Figure.2 社会蓄積の区分

多く存在するため、これらを「潜在廃棄物」と呼称するのは抵抗があるが、例えば廃屋や利用されていない橋、産業機械等の市況次第で解体・廃棄物フローになりうる蓄積といえる。これらを Figure. 2 のように社会蓄積量のうち有効に利用されていない蓄積量を区別することは全国耐久財利用状況調査のような大掛かりな調査を必要とし、現実には困難が生ずる。法定耐用年数をベースとして区分を行うのは一つの簡便法の提案である。

本区分は①廃屋や利用されていない橋等の市況次第で解体・廃棄物フローになりうる蓄積、②リサイクル業者における廃家電在庫、③最終処分場に蓄積された廃棄物に含有される資源等、これまでの勘定体系で見逃しがちである「視認されない社会蓄積」を把握する上で都合がよいと考える。

#### 参考文献

- 1) 梅澤修, 大久保正男, 2005: 軽金属学会 108 回春季大会講演概要, 15
- 2) エコマテリアル研究会リサイクル性評価基準ワーキンググループ, 2004: 高リサイクル性指標ガイドライン報告書, 2004.9, 56
- 3) 環境省, 2005: 平成 17 年度 循環型白書, ぎょうせい, 東京
- 4) 経済産業省, 2002: 通商白書 2002, ぎょうせい, 東京, 24
- 5) 醍醐市朗, 藤巻大輔, 松野泰也, 足立芳寛, 2005a: 鉄と鋼, 91(1), pp. 171-178
- 6) 醍醐市朗, 松野泰也, 石原慶一, 足立芳寛, 2005b: 鉄と鋼, 91(1), pp.159-166
- 7) 谷川寛樹, 井村秀文, 2001: 土木学会論文集, 671/VII-18, 35-48
- 8) 橋本征二, 寺島泰, 1999: 廃棄物学会論文誌, 11(5), 271-279
- 9) 橋本征二, 谷川寛樹, 森口祐一, 2003: 第 31 回環境システム研究論文発表会講演集, 497-502
- 10) 布施正暁, 鹿島茂, 2005: 廃棄物学会論文誌, 16(6), 508-519
- 11) 村上進亮, 寺園淳, 森口祐一, 茂木源人, 2005: エネルギー・資源学会 第 21 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 155-158
- 12) 横山一代, 恩田隆, 長坂徹也, 2006: 日本 LCA 学会誌, Vol.2, No.1, 73-79
- 13) Brunner PH, 1999: Environ. Sci. & Pollut. Res., 6(1), 1

- 14) Brunner PH, 2004: *Journal of Industrial Ecology*, 8(3), 4-7
- 15) Brunner PH, Rechberger H: *Practical handbook of material flow analysis*, Lewis publishers, Boca Raton, Fla., 2004, pp.318
- 16) Elshkaki A, Van der Voet E, Van Holderbeke M, Timmermans V, 2004: *Resources Conservation and Recycling*, 42, 133-154
- 17) Eurostat, 2001: *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: a methodological guide*, Eurostat, Luxembourg.
- 18) Graedel TE, Bertram M, Rech B, 2005: *Journal of industrial ecology*, 9(3), 91-108
- 19) Hashimoto S, Moriguchi Y, 2004: *Resources, Conservation and Recycling*, 49, 185-200
- 20) Kleijn R, Huele R, Van der Voet E, 2000: *Ecological economics*, 32, 241-254
- 21) Matthews E, Amann C, Bringezu S, Fischer-Kowalski M, Hüttler W, Kleijn R, Moriguchi Y, Ottke C, Rodenburg E, Rogich D, Schandl H, Schütz H, van der Voet E, Weisz H, 2000: *The weight of nations: material outflows from industrial economies*, World Resource Institute, Washington, D.C.
- 22) Spatari S, Bertram M, Fuse K, Graedel ET, Rechberger H, 2002: *Ecological economics*, 42, 27-42
- 23) Van der Voet E, Kleijn R, Huele R, Ishikawa M, Verkuijlen E, 2002: *Ecological Economics* 41, 223-234

## *NIMS-EMC* 材料環境情報データ

No. 1	金属元素の製錬・精製段階における環境負荷算定に関する調査	(2003年3月)
No. 2	鉛マテリアルフロー作成のための基礎調査	(2004年3月)
No. 3	我国における自動車用白金族金属触媒のリサイクル動向	(2004年3月)
No. 4	鉄スクラップの消費動向とその拡大技術シナリオのLCA的検討	(2004年3月)
No. 5	我が国のアルミニウムマテリアルフロー調査	(予定)
No. 6	バイオマスの利活用に関する調査	(予定)
No. 7	中国の非鉄金属リサイクル動向と日本の「廃家電を中心とするリサイクル6法のその後の状況」	(予定)
No. 8	「鉱物資源使用」カテゴリーの特性化係数	(2005年3月)
No. 9	中国の鉄	(予定)
No. 10	関与物質総量 (TMR) の算定 —資源および工業材料のTMR—	(予定)
No. 11	マテリアルフロー	(予定)
No. 12	社会蓄積量の把握に関する専門家意見調査	(2006年3月)

独立行政法人物質・材料研究機構

エコマテリアル研究センター

〒 305-0047

茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL 029-859-2668

FAX 029-859-2601

e-mail [emc@wotome.nims.go.jp](mailto:emc@wotome.nims.go.jp)

home page <http://www.nims.go.jp/emc/>

