



NIMS-EMC 材料環境情報データ No.17
社会インフラとしての鋼構造物の
ハイバネーション・ストックとしての評価



独立行政法人 物質・材料研究機構
元素戦略クラスター

NIMS-EMC 材料環境情報データ No.17
社会インフラとしての鋼構造物の
ハイバネーション・ストックとしての評価

2007年 3月

執筆者

原田幸明

井島 清

(独) 物質・材料研究機構
元素戦略クラスター

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変化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つくりしている存在であり、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まだ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 (Eco Materials 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

2003 年以来、上記の趣旨で材料環境情報データを発行してきました。その後、エコマテリアル研究センターは発展改組されましたが、同様の趣旨で材料環境情報データの発行を継続することとしました。

2007 年 3 月

物質・材料研究機構

元素戦略クラスター長

原田幸明

目 次

- 1．緒言
- 2．蓄積とハイバネーション・ストックの概念
 - 2．1．「蓄積」のとらえかた
 - 2．2．「蓄積」に対する論点
 - 2．3．ストックのまとめ
- 3．蓄積評価のあり方の検討
 - 3．1．建築物蓄積分布の計算方法の検討
 - 3．2．土木構造物の蓄積データ
 - 3．3．日本の鉄老廃スクラップの出方
 - 3．4．スクラップ発生 of 契機
- 4．結言

本研究は、2006～2007 年度に鋼構造協会の援助を受けて物質・材料研究機構材料ラボの原田が遂行したものであり、その報告書に若干手を加えたものである。

本報告書は土木・建設などの社会インフラとして用いられている鋼構造物の国内に蓄積された再生利用資源としての潜在量を評価することを目的としている。しかし、蓄積概念自体がまだ議論の対象であり、本稿においては、その整理も行っている。同時に、従来の鋼材蓄積の見方に関しても、成長期からの In-use ストックの寿命として理解されていた部分に若干の齟齬が生じていることも指摘されており、その部分に関する新しい見方も提出している。

本稿をもとに、ストックに関する議論が深まることを期待している。

1. 緒言

本研究は、鋼構造協会の援助を受けて遂行したものであり、土木・建設などの社会インフラとして用いられている鋼構造物の国内に蓄積された再生利用資源としての潜在量を評価することを目的としている。この評価は、構造物としての鋼が直接的な利便性だけでなく循環型の物質利用として優れていることを定量的に示し、国家的な鋼の利用および建設における材料選択の際の判断基準のひとつにすることができる。

本稿では、まず、ストック（蓄積）とは何かということを確認し、従来情緒的に論じられてきた蓄積の概念の整理を行った。その中でも、特に、勘定されないフローからの蓄積に注目し、それらがどこで起き、どのような蓄積形態に影響を与えているかを論じた。

さらに、鋼構造物のストックを計算するための手法の確立を目指して、比較的情報を得やすい建築構造物に対して、従来とってこられた手法を整理し、それらの計算で行われている

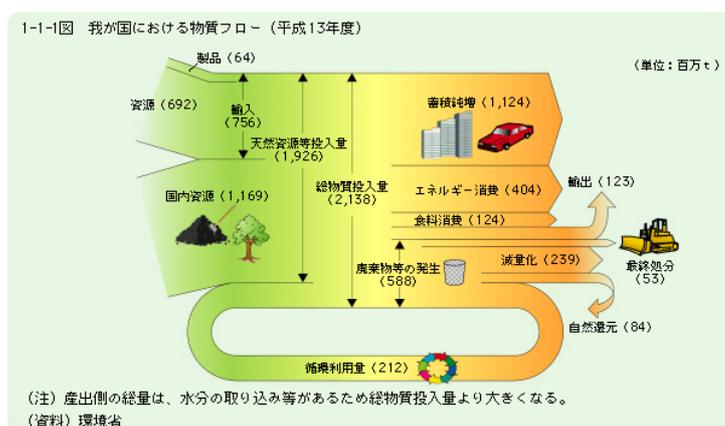


図1 環境白書に見られるマテリアルフローと蓄積増分

仮定や前提について検討し、その妥当性を検証すべき諸点の抽出をおこなった。さらに、ストックからのフローとして現れる建築老廃屑に注目し、その算定方法を新たな捕らえ方から再検討した。特に、この点では最終的な算定には至らなかったものの、

「市場ブル」「スクラップ・プッシュ」の供給構造、

「耐用年数」仮説ではなく「ストック市場の飽和」による「作るために壊す」(scrap to build) 構造、

建築原単位の中に含まれる仮設材によるショートスパン老廃屑の存在

の新しい視点を提供し、今後の in-use および used のストック計算に資することができた。

2. 蓄積とハイパネーション・ストックの概念

2.1 「蓄積」のとらえかた

まず、「蓄積」とは現在どのような量として取り扱われているのか、から入ってみる。図1は、環境省の循環型社会白書に見られるマテリアルフローの図である。ここで、蓄積増分は、年間の総物質投入量から、エネルギー消費、食糧消費、輸出、および廃棄物を発生を差し引いた残りとして計算されている。すなわち、

(a) 環境白書による定義

$$(\text{年間蓄積増分}) = (\text{総物質投入量}) - (\text{エネルギー消費}) - (\text{食糧消費}) - (\text{輸出}) - (\text{廃棄物発生})$$

であり、リサイクルの量は廃棄物発生の中に含まれて顕在的には出てこない。

この環境白書型の定義は、蓄積に主眼をおいたものでないため、幾つもの問題があるが、その大きなものは次の二つである。

- 1) 消費や発生として把握されない「散逸」が全て「蓄積増分」に含まれてしまう。
- 2) 老廃屑や解体廃棄物など蓄積から取り出されるマテリアルフローが意識されず、増分だけが取り上げられている。

また、問題ではないが、

- 3) 蓄積「増分」の積み上げが蓄積になるという前提に立っている。すなわち、2) にあげたような蓄積からの取り崩しや、蓄積物が「自然還元」されるという径時変化が考慮されていない。

この、蓄積増分の積み上げが「蓄積」となるという手法は、現時点での全ての現存物の物量測定が困難であるという事実の前で、よく用いられる仮設である。すなわち、

(b) 累積仮説

$$(\text{n+1年度の蓄積量}) = (\text{n年度の蓄積量}) + (\text{n+1年度の蓄積増分})$$

であり、

$$(\text{n+1年度の蓄積量}) = \sum (\text{r年度の蓄積増分}) \quad \text{r} = \text{基準年から } \text{n+1}$$

ここで基準年が問題となるが、第二次世界大戦での経済的打撃に加え、高度成長期以降の急速に成長したマテリアルフロー量を考えて、戦前、もしくは高度成長以前は無視できる量として扱うケースが多い。

他方で、自動車の保有、住宅などは課税の関係もあり、現有量が把握されやすい、このような場合はそのまま

(c) 直接現存量

当該年の蓄積量 = 当該年の登録量

として、蓄積量が推定される。ただしこの場合も税務上の管理などが目的であるため、所有権を放棄された資産や、販売店や倉庫など流通過程にある資産などは計上されていない可能性がある。

2.2 「蓄積」に対する論点

近年、蓄積に対する問題意識が高まり、上記のような捉え方では不十分であるとして、幾つもの新しい論点が出されている。本研究では、わが国の新進気鋭の研究者に集まってもらい、それらの論点の提示を行ったので、そこに提出された論点をまず整理しておく。

(a) ハイバネーション・ストック

ハイバネーション・ストックとは、「冬眠している」ストックであり、人工物圏に蓄積されているものの「利用されていない」(目覚めていない)ストックを指す。

実は、このハイバネーション・ストックには、異なった二つの見方がある。

(a) - 1 廃棄物発生ポテンシャルとしてのハイバネーション・ストック

(a) - 2 スクラップ利用ポテンシャルとしてのハイバネーション・ストック

である。前者は、欧米および環境系の研究者が注目するところであり、後者は資源利用関係から求められる部分である。さらに、細かく見ていくと、

(a) - 1 廃棄物発生ポテンシャルとしてのハイバネーション・ストック

(a) - 1 - a 把握されていない使用済製品

(a) - 1 - b 未利用物として人間経済圏に組み込まれたもの

があり、何れも、ストックとして存在している時点においては「未利用物」であり、それゆえに量的把握の対象から外れているものである。

(a) - 2 については、資源性の部分で述べる。

基本的に、ハイバネーション・ストックは、「使えないものが眠っている」と「使えるのに眠っている」の二つがあることを認識しておくべきである。

(b) 「蓄積」の境界

蓄積とは、人間経済圏に存在し留まっている物質の状態である。ということは、人間経済圏とはどの範囲をいうのかが問題となる。また、その境界は動くのか、もしくは、その境界を越えた変化が起こるのかということも考えねばならない。

醍醐らは、この境界を、「動植物の活動と人間活動の区分」「投入プロセスにおける境界」「排出プロセスにおける境界」の3つに分類しているが、これをより一般的な言い方に改めると、

- 1) 生物圏と人間圏の境界
- 2) 環境圏から人間圏への境界
- 3) 人間圏から環境圏への境界

となる。

- 1) 生物圏と人間圏の境界は、農業、林業などで問題となり、牧場の肉牛、その糞尿、林

業における間伐材などがその境界上で問題となってくる。

2) 環境圏から人間圏への境界では、資源獲得のための大量の剥土、脈石など hidden flow として指摘される部分である。また、建設発生土も環境圏から人間圏に大量に組み込まれるフローであり、利用することによって蓄積となるのか、そのまま環境排出物となるのかが問われるところである。

3) 人間圏から環境圏への境界は、さらに3つのタイプに分けられる。

ひとつの大きな問題として埋立地が人間圏、環境圏の何れに属するのかという問題がある。この場合も一般的には言えず、管理の状態やその位置、利用形態など様々な要因を考慮する必要がある。

もうひとつのタイプは、肥料、農薬、等の散逸的な用途によるもの、および機械部品の磨耗分、溶剤の揮発分など散逸的なロスの部分である。

最後のひとつは、地中での使用済み鋼材の腐食などの自然との同化である。

このような「境界」の問題は、廃棄物処理や化学物質管理の観点で、先述の「廃棄物ポテンシャル」の見積りの境界として極めて重要になる。しかし、本研究が対象としているような「資源ポテンシャル」としての「蓄積」議論においては、3) 人間圏から環境圏への境界の、しかも3番目の、「自然への同化」による資源性の喪失という点でのみ注目しておけばよいであろう。

(c) 時間的システム境界としての「蓄積」と「フロー」

(b) の境界を「空間的」境界ととらえると、「時間的境界」として、「蓄積」と「フロー」の区別化の問題があることを醍醐らは指摘している。

現状では、国民経済統計において、一年が単位として取り扱われるためこれまで無前提に、一年がその時間的境界として用いられてきたが、厳密な検討が必要になってきている。横山は、国民経済計算では耐用年数が1年以上で単価が10万円以上のものが資本財として「国内総資本形成」に計上されることから、この定義を用いて「蓄積」とすべきであると主張している。すなわち、耐用年数が1年以内のものは全てフローとなり、「在庫」もフローの形態のひとつとして扱うことで一貫性が確保される。

時間的境界の、短時間側はある意味では、定義の問題に過ぎない。しかし、長時間側では、空間境界と係った問題が出てくる。すなわち、自然との同化の問題である。埋め立てに使用された素材や、河川の補修改良に用いられた素材は、基本的には最終的に人工物ではあるが地球環境圏の構成物としての同化を目指したものも多い。これは「廃棄物ポテンシャル」の観点からみれば、廃棄物ポテンシャルはゼロであり、廃棄物ポテンシャルの蓄積として計上することに意味を見出すことは出来ないので、一定時間経過後に「蓄積」から「環境圏」に移行することが理解できる。しかし、それをどの時間的段階でみなすのかは、問題となる。

a) 施工した段階

b) 管理が必要でなくなった段階

c) 無限大の時間（すなわち、つねに人間圏の蓄積としてあつかう）

一般的に b) が妥当のように思えるが、管理のありなしは、その対象物に管理が必要であるかないかではなく、経済性などの外的要因で決まる場合があるため、一概にそれを採用することは難しい。特に、管理が必要なのにもかかわらずそれを放棄した場合には、「廃棄物ポテンシャル」としての要素が増大するにも係らず、「蓄積」の概念から外れてしまうという問題も生じてしまうのである。

(d) 各種の missing flow

蓄積のハイバネーションとともに、問題になるのが各種の missing（見失われた）フローの存在である。なお、これらの多くが「蓄積の空間的境界」を越えて動いている。

橋本は、unused extraction と dissipative flow の概念を示している。

1) unused extraction は、利用の目的がなく随伴操作として故意に掘り出されたり移動させられた物質であり、

- ・採鉱や採石で発生する剥土、脈石などの不要物
- ・バイオマス収穫の残渣
- ・建設や浚渫で発生する掘削物

などがあげられる。これらは、環境圏から人間圏に入ってくるフローであるが、人間圏内に蓄積するケース、そのまま環境圏に送り出されるケース（環境影響の大小は問わず）の両者があり、量的に大きいため廃棄物ポテンシャルとしての観点からは無視することが出来ない。

2) dissipative flow は、製品の利用による故意あるいは不可避免的な結果としての散逸フローを指す。例として挙げられるのは、肥料、堆肥などの意図的なものと、タイヤの磨耗などのような不可避免的なものである。この dissipative flow の把握は、化学物質の拡散、蓄積を議論する substance flow analysis の観点からは極めて重要であり、排出フローが環境圏まで移動して環境汚染につながるのか、人間圏の中に蓄積されて廃棄物（環境汚染）ポテンシャルを規制しているのかという問題となる。

いまひとつの重要な missing flow は、人間圏の中でさらに蓄積空間を国家などに限定した場合に起こる。missing trade の flow である。

3) missing trade flow は、二国間貿易などで、相互の対象物質の価値認識が異なる場合に起こる。すなわち、A 国においては資源であるものが、B 国においては無用なもしくは資源性の低い廃棄物として取り扱われているような場合、そのギャップを利用した取引が行われるため、継承性をもったフロー追跡が困難になる場合である。この典型的なものが、リサイクル用使用済み製品の横流しや、投棄物の海外搬送になる。この典型例のような非合法性の高いものだけでなく、A 国輸出は「鉄雑品」、B 国輸入は「銅」というような二国間相違が様々な金属で見られ、国内蓄積量の算定を困難にしている。

4) missing product flow

見失われた製品フローが、日本のような統計の進んだ国で存在することは信じられないかもしれないが、実は、蓄積量算定のための一番大きな問題がここにある。この問題は、従来のマテリアルフローの統計があくまで供給者サイドで作られていたことに起因している。すなわち、素材供給者にとっては、それを利用して製品を製造する者が使用者であり、その製品の使用者まで視野に入っているケースは例外的である。例えばインジウムの従来のマテリアルフローとしては、ITO の製造業への供給が「使用」として取り扱われていたが、実際の製品への実装は 6%程度でしかなく、16 倍ものマテリアルフローを使用済みの蓄積ポテンシャルとして見積もる危険性もあった（注：近年の調査では、ITO 製造業からのリサイクルデータが明らかになることで改善されている）。また、このように製品への実装データがえられていないため製品中や KD 方式による半製品中に含まれての輸出、輸入の量が不明確になっていることも、蓄積量を得るためのフロー算定の障害となっている。

このことは、次章に考察する建設資材においても同様であり、建設業、建築業への鋼材投入が即、建設物、建築物として製品化されるという前提でフローが見積もられているケースが多いが、これらの数値は、素材業から建設業などへの提供フローであり、建築物などとして製品化されるまでに、加工屑、売れ残り、仮設機材用などの missing product flow が発生し、蓄積計算に影響を与えている可能性が強いことは念頭におくべきであろう。

(e) 「資源性」の問題

村上は、鉱石との比較の中で「資源性」の観点から、蓄積物の「経済性」と「確認」という二つの視点を提示している。

分かりやすいので、村上の表を以下に示す。「確認」という表現で、「リサイクル可能ストック」と「使用中のストック」という概念で整理されているため違和感を持つものも多いと思われるが、資源の「潜在性」から「有効性」へ添加するということを、鉱山開発における埋蔵量等の「確認」とアナロジーしたものと理解でき、鉱山開発において、地質学的埋蔵が即、埋蔵量ではなく、可採な鉱床としての確認があって初めて、鉱業的埋蔵量としてカウントできるひとを人工物資源に対しても適用しようというものである。

	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）
Economic	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
Marginally Economic	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
Subeconomic	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
Others	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、economic, marginary economic, subeconomic, others に対しては、橋本が類似概念として、

- 経済的に回収可能 有価物が、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

という整理の仕方をしている。

In-use と recyclable の境界について、横山は国民経済的観点から、フローは「製品フロー」と「廃棄物フロー」の二種類に峻別すべきとし、法的耐用年数の修了した固定資本は「廃棄物フロー」として取り扱うことを提唱している。これは、「廃棄物フロー」という存在を顕在化させるには有効な取り扱いであると思えるが、資源性の観点からは、

$$(\text{廃棄物フローの蓄積}) = (\text{recyclable stock})$$

という誤った認識にミスディレクションする危険性も否めない。

(f) In-use ストック

ここで、村上の用いた、in-use stock を再度検討してみる。布施は、in-use の状態および、それらがリサイクルポテンシャルを形成する状態として以下のような表を示している。

	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
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	解体待ち工場・建物 解体待ち機械器具	
行政			解体待ち公共施設	
家計	中古品在庫	中古品在庫	解体待ち住宅・自動車	
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	

かなり、細かい分け方であるが、具体的なイメージをつかむのにはちょうど良いと思われる。これをもとに、さらには、ここにかかれていない部分を付け加えると、in-use とは、

- 1) functioning 製品がその主目的で機能している状態
- 2) supporting 製品の主機能は停止/不要化しても構造的保持などで「外すことのできない」状態
- 3) waiting 機能が求められるまで待機している状態（予備設備など）

また In-use からはずれる dis-use となるケース、すなわち、In-use から dis-use へのフロー（位置的には移動しないが質の違いとしてフローである）としては、

- 4) accidental 事故、災害などによる放棄
- 5) physical 素材寿命、製品寿命による放棄
- 6) economic 経済性による放棄
- 7) social 社会的意義の喪失による放棄

がある。理想的には5)の physical であるが、日本の場合むしろ6)の経済性による放棄や、更新が使用寿命を決めているケースが多く、法定寿命などによる類推はかなり現実と異なったものになると思われる。

この dis-use の段階をどのように捉えるかという点に関しては、改修、修理などのマネジメントが行われているか否かがひとつのポイントとなると考えられる。これは、港湾、河川、水道などに投入された In-use ストックを見積もる上で重要なポイントとなりえるであろう。また廃鉱山の設備に対しても、この観点で行くならば、旧鉱山会社の社会的責任や JOGMEC などの公共的手段で管理が続けられており、そこに存在する材料は、supporting 状態の in-use stock とみなせるであろう。

それに対して、軍艦島の社宅跡やバブル期の村おこし公共事業で立てられた廃リゾートなどは、管理が放棄されており、dis-use された used-stock となる。

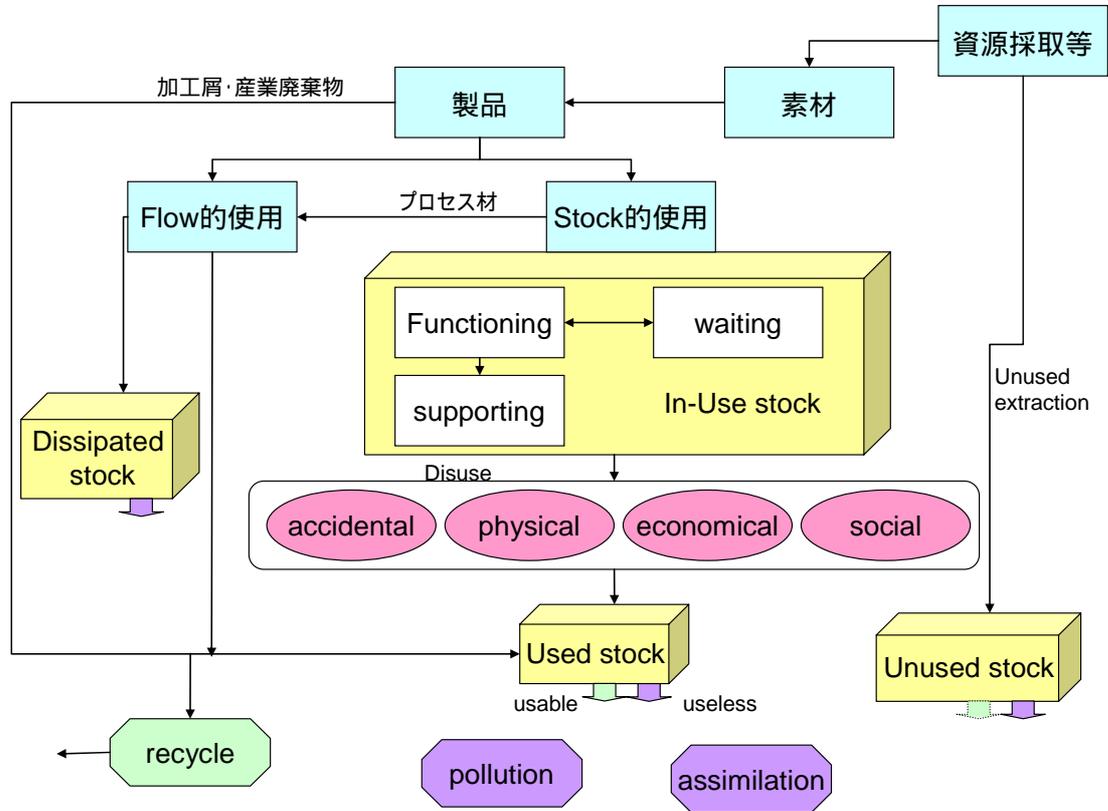
このようなストックは、資源としての側面からみるとリサイクルに回され、廃棄物の側面からは汚染源ももしくは環境に同化していく過程となる。これが、

- 8) 廃棄物ストック useless stock
- 9) 資源ストック usable stock

である。

2.3. ストックのまとめ

以上の議論をまとめると、次の図のようになる。



3. 蓄積評価のあり方の検討

建築物蓄積計算の新たな角度からの検討

3.1. 建築物蓄積分布の計算方法の検討

建築、建設分野は鉄鋼のなかでも大きな用途を占め、かつ他の製品に対して超寿命で用いられるため、ストックとして大きな位置を占めている。そのため、鉄源協会などでもこれらの計算は綿密に行われている。

建築物蓄積量の計算は、一見容易そうに見える。それは、建築物に対して固定資産の観点から、構造別、用途別にその量が把握されているからである。もちろん、これだけではなく資産として放棄された used の量があるため、これだけで十分とはいえないが、それなりの精度を持って計算できるものと期待されている。

しかし、現状のストック把握は、現在の床面積だけであり、それがいつ建てられたかのデータはなく、そこに仮定が入らざるを得ないのが実情である。

まず、理想的なストック計算を示すと。

対象区域に N の建物があり、その中の i 番目の建物に、鉄鋼が x_i kg 使用されていることが分かれば、

$$\text{ストック } S = \sum_{i=1}^N x_i$$

とすべての N に対して総和をとったものになる。

もちろん、 x_i を知るには、その家を解体するか、建築時のデータを得るか、二つに一つである。

In-use のストックを解体することはできないので、建築時のデータをえることになるが、そのような記録を系統的に保管しているケースはまずない。

そこで、建築時点での平均的データを使用する。建築時点での平均的データとは、構造別、用途別、単位床面積あたりの鋼材使用原単位である。M 年間のうちの J 年における鋼材使用原単位を y_j (kg/m²) とすると、J 年に建築されて現在残存している建物の床面積 a_j から

$$\text{ストック } S = \sum_{j=1}^M (a_j \times y_j)$$

となる。

Y_j は、建築関係の国土交通省の統計で、住宅、非住宅それぞれの木造、鉄筋、鉄骨に対する原単位のデータとして公表されているし、そのデータが無い場合においても、それぞれの

着工面積のデータはあるので、鋼材からの建築部門への投入量を用いて計算すれば、近似的なデータを得ることができるはずである。(ただし、この鋼材原単位については、検討を要する問題を後に触れる。)

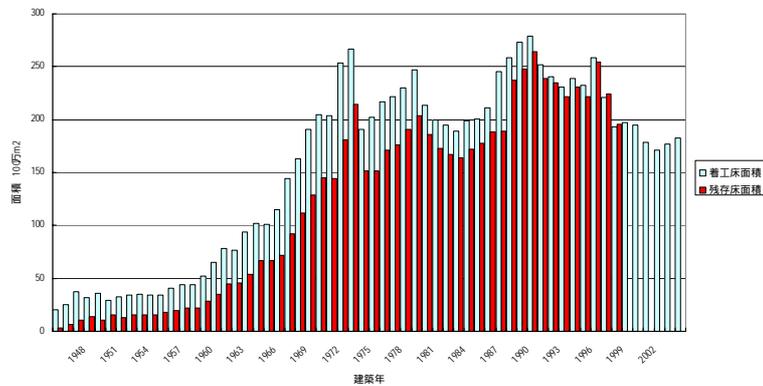


図3 建築物の2000年の残存量推計と各年度の着工の床面積

問題は、 a_j の各年度に建築され現在残存している床面積である。このデータは、固定資産税の課税明細に、建築年次として記載されているから、固定資産課税台帳集計の建築年次別棟数から得ることができる。この計算においては、全国のデータでは膨大になってしまうため、適正規模の地方自治体を想定して、そこから分布関数 e を取り出し、それを適用して全国に展開されていくことにもなる。

図3の色の濃い部分は、国土交通省の資料として出されている2000年段階での現存建物の床面積の建築年度別の推定であるが、図の白い部分の年度別着工床面積との関係で分かるように、着工面積 $B(j)$ に対して残存係数分布 $e(l)$ 、 $l = l_0 - j$ (l は基準年 l_0 から j 年までの遡り年数) を仮定して推定計算されている。この残存係数分布は、図4のような曲線の類似性の観点から、ワイブル分布やロジスティック曲線が用いられる。

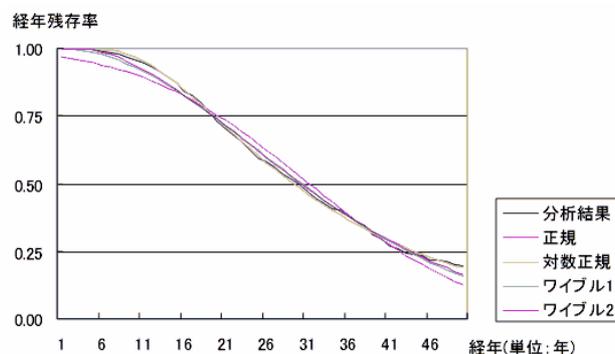


図4 中央区における1951年の建築物の経年残存率

なお、図4は、建築年を基準年として、何年後何パーセント残存しているかという数値であるが、現在を基準年として、何年前からの Un-used stock が残存しているかを見ると、図5のように曲線としては複雑になり、一概に曲線近似ができるとは言いがたい。

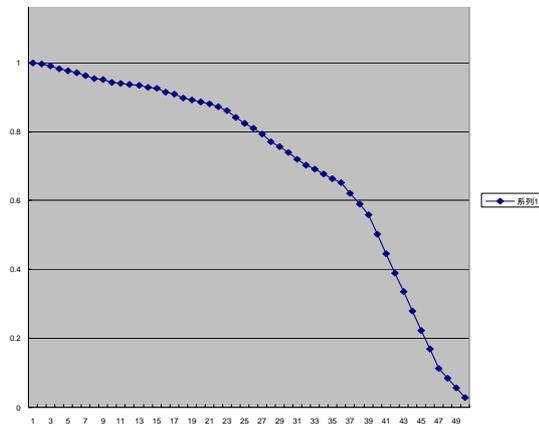


図5 中央区における2000年時点での残存建築物齢

本来的には、図5の曲線は、 k 年において、 $j+l=k$ となる j と l の組み合わせの総和

$$\sum B(j) \times e(l)$$

として合致しなければならない。

本研究の現段階では、残念ながらサンプルとなる公開データの取得が不十分のため、この一致の妥当性についての検証には至らなかった。

今後、より多くのサンプルを入手して、統計的に取り扱いの可能性を検討すべきであると考えます。

3.2. 土木構造物の蓄積データ

土木構造物は、国や自治体などで管理されているケースが多い。そのため建設年度に対するデータはそれらの管理機関によって整えられているとみなしてよい。

図6から10は、それぞれ、大阪府の橋梁、わが国の道路、わが国のトンネル、東京の下水道、わが国のダム竣工、防波堤、岸壁工事のデータの例を示すものである。

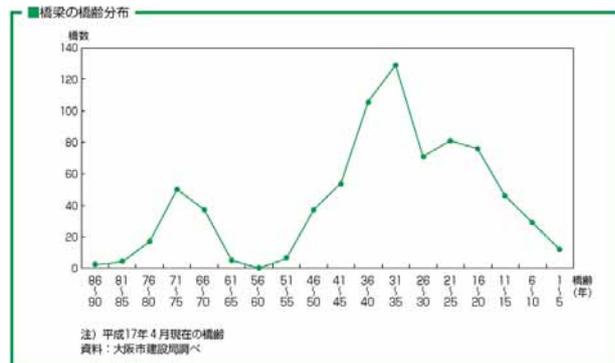


図6 大阪府における橋梁の橋齢分布

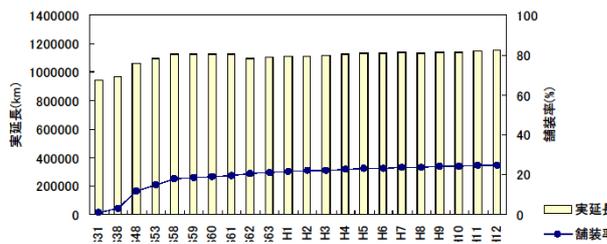


図7 わが国の道路延長量

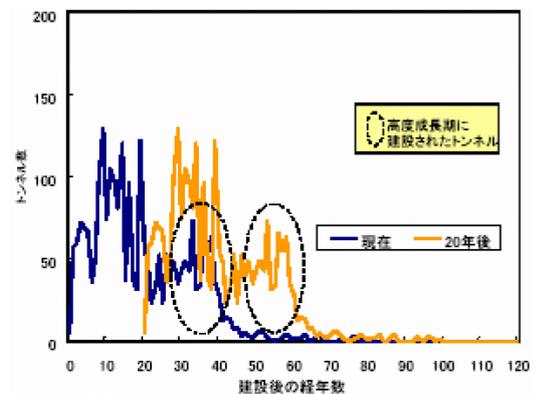


図8 わが国のトンネル建設の推移

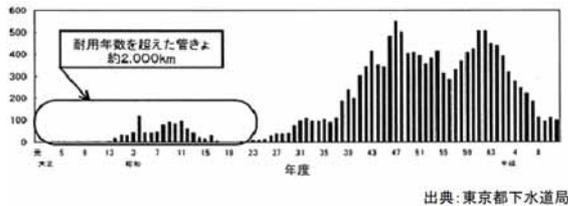


図9 東京の下水道建設実績

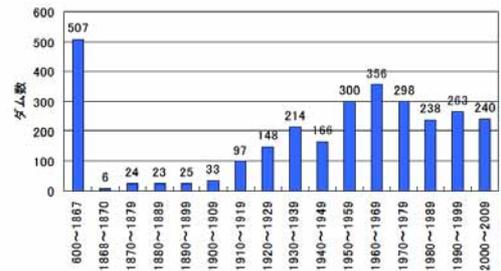


図10 わが国のダム竣工数の推移

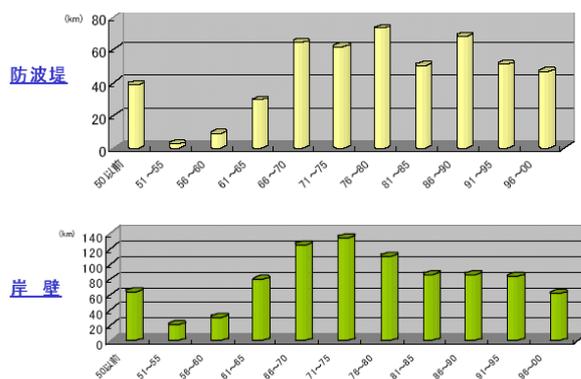


図11 防波堤、岸壁の整備

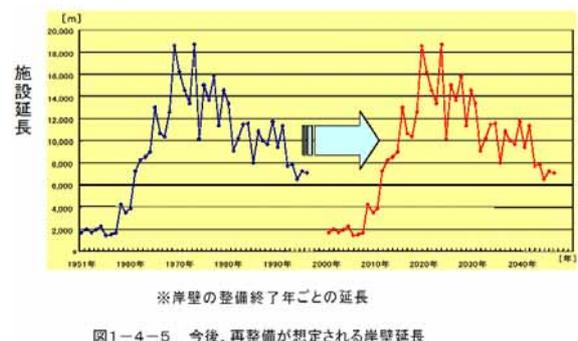


図1-4-5 今後、再整備が想定される岸壁延長

このように、国や自治体の管理しているものに対しては、In-use のストックをある程度まで見積もることができる。

しかし、これらは、図8のトンネル工事の記述例に見られるように、ほぼ dis-use すること無しに In-use ストックとして継続していくというモデルが立てられることが多い。これは、多分に functioning だけではなく、supporting 的要素も配慮して見ているからであると思われる。今後、これらの分析においては、管理、修理、改修などに係わるライフサイクル・マネジメントのデータとうまく結びつけて、in-use stock から used stock に転換する時点と、その量の把握方法を検討していくことが必要になってくる。

また、これらの年次別建設工事量が分かったとしても、それに対する鋼材原単位を掛け合わせねばならない。鋼材原単位については、国土交通省の建設資材原単位調査などがあるが、それぞれの土木施設をカバーしているとは言いがたいのが実情であり、これらの数値を取得

することが必要になっている。また、比較的良好に整っている原単位としては建築資材の原単位があり、建築延べ床面積 10 m² 当たり以下のような数値が報告されている。

資材・職種名	単位	構造総合				
			木造 (W)	鉄骨鉄筋 コンクリート造 (SRC)	鉄筋 コンクリート造 (RC)	鉄骨造 (S)
セメント	t	1.58	0.75	2.87	3.00	1.36
生コンクリート	m ³	4.32	1.92	8.44	8.58	3.54
骨材・石材	m ³	6.88	3.70	10.50	11.52	6.70
木材	m ³	0.93	2.32	0.20	0.22	0.09
鋼材	t	0.86	0.12	1.70	1.16	1.29
就業者	人・日	19.16	20.74	20.31	22.71	15.25

また、土木工事に関しても、一般的な原単位として、

表3 建設投資推計区分に対応する金額原単位（全国）（請負工事費 100 万円当り）

資材・職種名	単位	建築			土木		
			住宅	非住宅		政府	民間
セメント	t	0.96	0.87	1.12	1.31	1.51	0.56
生コンクリート	m ³	2.63	2.40	3.04	2.96	3.40	1.27
骨材・石材	m ³	4.11	3.53	5.18	12.75	14.23	7.09
木材	m ³	0.56	0.79	0.14	-	-	-
鋼材	t	0.50	0.36	0.77	0.42	0.46	0.28
瀝青材	t	0.02	0.01	0.03	0.13	0.14	0.08
就業者	人・日	11.56	12.55	9.74	10.05	9.44	12.37

として報告されている。

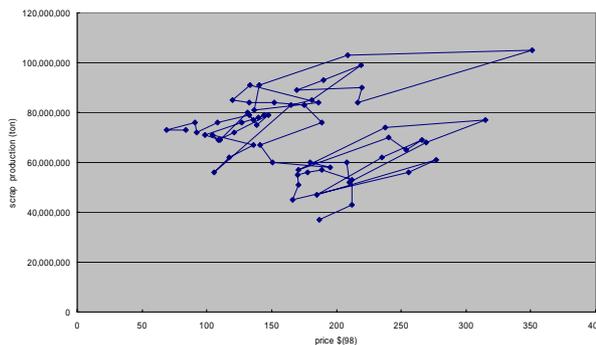
しかし、この原単位の推算は、後述するように、製品は含まれていない問題もあり、再度検討を要する。

3.3. 日本の鉄老廃スクラップの出方

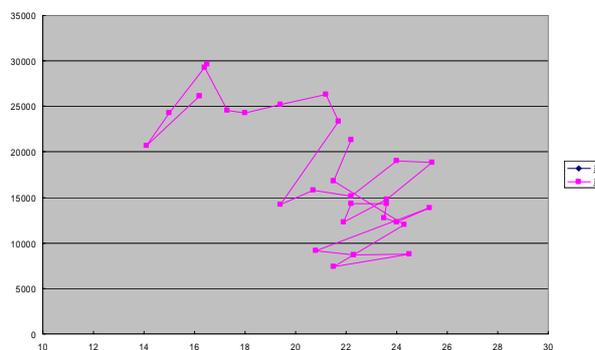
スクラップが市場に出るときには二つのタイプがある。

ひとつは、アメリカタイプであり、スクラップ価格とスクラップ発生量を図13に示すように二つのクラスターを形成するものの、いずれのクラスターも価格上昇でスクラップ発生量も増加するという正の相関関係が得られている。これは、スクラップ価格の上昇によって、それまで市場に眠っていたスクラップが目覚めるわけであり、「used stock」としてのスクラップが存在し、それが、リサイクルとして引き出されているといえる。これを「市場プル型」とよぼう。

では、日本のタイプはどうなるかという、米国とは逆に、スクラップ価格の上昇はスクラップ発生量の減少と結びついている。これは、価格が上昇するとスクラップが減少するのではなく、スクラップが減少することで、その取り合いのために価格が上昇するという関係とみなすことができる。すなわち、スクラップが市場に押し出されるときには、相対的に低価格の状態となるスクラップ・プッシュ型であるといえる。



米国



日本

図13 スクラップ価格とスクラップ発生量

すなわち、アメリカでは、広大な国土の中に、放置されている used stock が大量に存在し、市場価格を見ながら、その used stock が市場に流れ出のに対して、日本では、used stock としてのスクラップは少なく、in-use スクラップが、取り出し可能な状態で使用済となったときにスクラップ市場に押し出されるという構造になっているとみなされる。

3.4. スクラップ発生の契機

では、どのような状況の下で in-use から dis-use にかわるのだろうか。よく示される考え方が、耐用年数に基づく考え方である。すなわち、in-use の素材寿命、製品寿命が尽きると、in-use stock は scrap flow となるという仮説である。これを「耐用年数仮説」とよぼう。

【耐用年数仮説の限界】

この耐用年数仮説は、1990 年代のスクラップピークを 1960~70 年代の鉄鋼製品の耐用年数と重ね合わせて説明できていた段階では一定の説得力を有していた。しかし、その後の推移は、この耐用年数仮説では説明できない状況になっている。

図 1 4 は建築老廃屑の量を、30 年前、8 年前、および当年の建築投入鉄鋼量を比較したものである。耐用年数に近いと思われる 30 年前の投入量は、建築老廃屑の量とは一致せず、むしろ当該年の建築投入量の傾向と一致している。ちなみに、社会的耐用年数が物理的な耐用年数より早いと仮定してピークの位置を合わせると、8 年前の建築物の着工ピークとは一致するが、それ以降一旦減少した 8 年前の投入量は増加に転じるが、建築老廃屑はほぼ停滞しており、やはり傾向が一致するものではない。

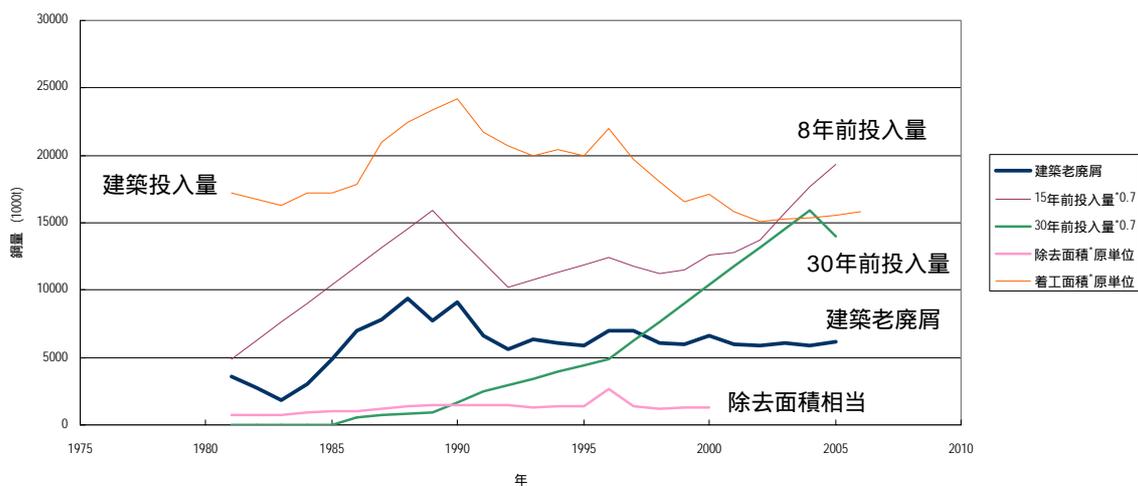


図 1 4 建築老廃屑と 30 年前、8 年前、当年の建築投入鉄鋼

ここで、建築老廃屑がどのようにして計算されるかも注目しておく必要がある。建築老廃屑は、各種ヘビー屑等に含まれるが、発生端から建築老廃屑として識別されて収集されているのではなく、計算によって得られている。

すなわち、林によると、

$$(\text{老廃屑発生床面積}) = (\text{前年度の床面積}) - (\text{当該年の床面積}) - (\text{当該年の新築床面積})$$

を住宅、非住宅、木造、非木造に対して求め、

$$(\text{建築老廃屑}) = (\text{鋼材床面積原単位}) \times (\text{老廃屑発生床面積})$$

として得られている。

この式からわかるように、

$$(\text{前年度の床面積}) - (\text{当該年の床面積}) \quad 0 \text{ なら}$$

$$(\text{老廃屑発生床面積}) \quad (\text{当該年の新築床面積})$$

となり、老廃屑が、新築床面積に比例する傾向が現れるわけである。

実際、図15に公営住宅の例をとって新築と建て替えの比率をみると、1995年以降は新築部分のほとんどが建て替えによって占められており、この傾向は裏付けられる。

すなわち、建築分野においては、ストックの飽和による、「作るために壊す」、

Scrap to buildの傾向になっており、老廃屑の発生量が、新築床面積と同一の傾向となっているのである。

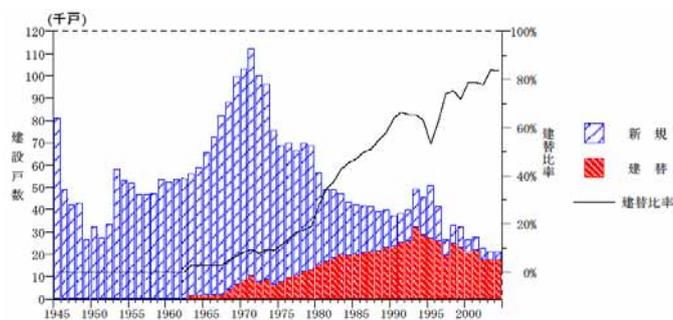


図15 公営住宅にみる新規と建替えの比率

【除却量との不一致】

さらに、検討をすすめよう。もし建築老廃くずが scrap to build で発生する解体建築物からのもので全て説明がつくとすれば、建築統計の中にある「除却建築物」の床面積を用いて

$$(\text{建築老廃屑}) = (\text{鋼材床面積原単位}) \times (\text{除却床面積})$$

としても一致する、もしくは歩留まりなども考えて比例関係にあるべきである。

しかし、図 1 4 の除却面積相当の部は量的に少なく、また傾向も一致していない。

これは、

- a) 除却面積の定義の問題として、改築、改修が入っていないケース
- b) 建築老廃屑が建築解体物から発生していないケース

の二つが考えられる。とくに後者の場合は、これまで行われてきた多くの分析の前提が狂ってくる可能性があるので、その点を検討してみる。

【建築原単位の問題】

ここで、建築老廃屑の値は、計算値であることに注目したい。その場合、床面積についてはこれまで見てきたので、「建築原単位」に注目してみる。

一般に、建築原単位は、単位面積当たりの建築物に含まれている鋼材量であるとみなされているが、果たしてそうであろうか。ここで、前章の議論の missing flow のなかの missing process flow に注目したい。建築原単位の計算においては基本的には鉄鋼統計を建築関係で用いて算定しているが、鉄鋼統計はあくまで供給側の統計であり建築業に供給したものが即「需要」となっている、それをどのように使用したかは、本来建築サイドで検証して、

建築物として組み込んだもの、

基盤材として埋め込んだもの

仮設材として事後取り外すもの

などを分離し、前二者を建築原単位に入れるべきであるが、はたしてそうになっているのだろうか。

図 1 6 に示すのは、2000 年の産業関連表・物量表からの各分野への鉄鋼材料のフローである。これを分かりやすく棒グラフに示したものが、図 1 7 および図 1 8 である。

棒鋼の多くは PC 鋼棒として鉄筋構造の主体であり、形鋼は H 形鋼など鉄骨構造の中心になる。ここで 2000 年度の着工床面積は、約 194 百万 m² であるから、それぞれの全建築物の建築原単位は図 1 6 の下から二行目の値となる。すなわち、全体の建築原単位は、アルミの部分を除いて足し合わせると 10m² あたり 722kg となり、国土交通省の統計での木造、非木造を合わせての平均的原単位とほぼ一致する。すなわち、建築原単位には、この全ての鋼材が含まれていると考えてよいであろう。

t	2621-011 普通鋼形鋼	2621-012 普通鋼鋼板	2621-013 普通鋼鋼帯	2621-014 普通鋼小棒	2621-015 その他普通	2622-11 普通鋼鋼管	2623-013 冷間仕上げ	2623-021 メッキ鋼材	2722-021 アルミ圧延
4111-01 住宅建築(木造)	421,841	89,467	21,813	631,835	11,825	381,000	4,196	85,641	
4111-02 住宅建築(非木造)	1,081,795	102,217	98,413	2,873,102	78,358	628,365	11,504	394,599	
4112-01 非住宅建築(木造)	4,834	4,447	2,644	56,150	7,257	30,815	434	5,699	
4112-02 非住宅建築(非木造)	317,744	126,971	105,344	3,072,285	155,568	739,627	14,003	695,505	
4121-01 建設補修	44,382	6,737	10,625	262,974	31,777	170,812	22,180	496,108	
4131-01 道路関係公共事業	590,120	93,668	35,976	1,808,062	143,441	215,096	100,710	34,801	
4131-02 河川・下水道・その他	839,485	58,174	23,356	1,537,280	166,177	289,472	75,108	63,674	
4131-03 農林関係公共事業	168,349	39,698	8,293	283,702	72,341	166,308	10,005	55,630	
4132-01 鉄道軌道建設	157,006	64,160	327,548	828,124	310,439	56,490	29,001	17,965	
4132-02 電力施設建設	41,050	29,117	4,667	171,481	15,966	68,336	49,952	48,573	
4132-03 電気通信施設建設	18,659	2,107	220	3,271	1,993	12,696	23,852	1,617	
4132-09 その他の土木建設	607,757	73,341	16,025	436,499	98,213	577,877	337,404	144,574	
2811-01 建設用金属製品	3,406,656	895,015	856,207	77,899	150,696	598,034	66,441	99,580	44,997
2812-01 建築用金属製品	38,172	59,064	78,381	13,756	50,849	31,969	1,150,412	1,209,774	850,058
建築計	1,864,386	382,166	306,595	6,647,128	303,857	1,811,776	1,180,549	2,391,218	850,058
建設計	5,873,464	1,262,017	1,282,917	5,409,292	991,043	2,155,121	714,653	962,522	44,997
194 10m2当建築投入kg	96	20	16	342	16	93	61	123	44
計	7,737,850	1,644,183	1,589,512	12,056,420	1,294,900	3,966,897	1,895,202	3,353,740	895,055

図 1 6 建築・建設分野への鋼材等のフロー

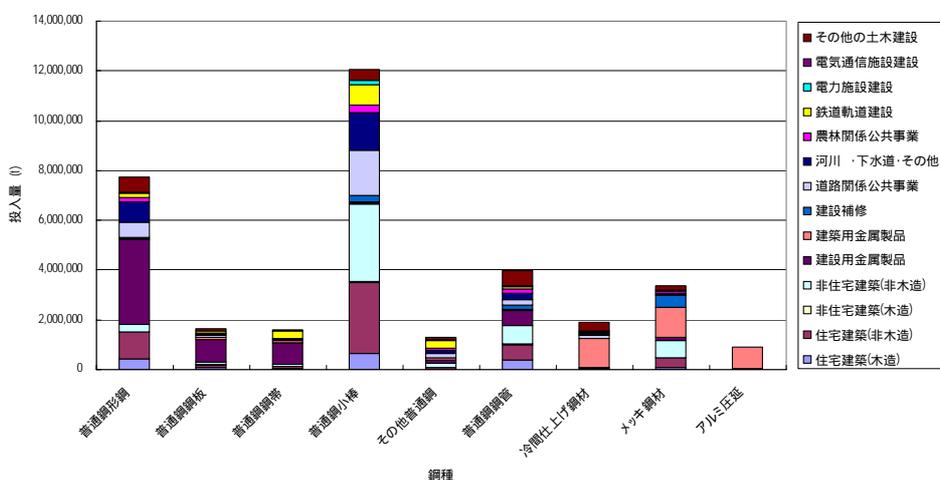


図 1 7 各種鋼材等の建築・建設分野への投入量

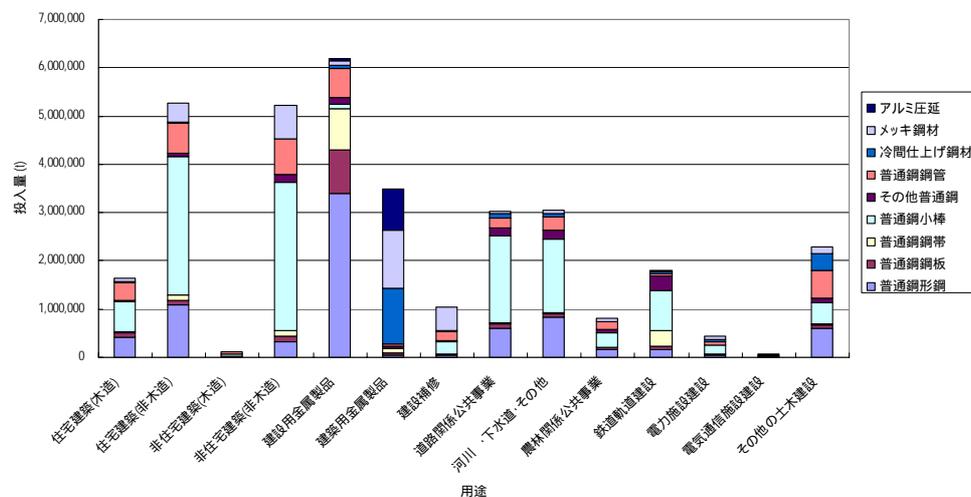


図 1 8 建築・建設分野からの鋼材等需要

ここで、この中に、鋼管などが含まれていることが注目される。これらは、仮設工事の足場材として使用されるケースが多く、建築物として組み込まれることはない。もちろんそれはリサイクルはされているのでフロー材として扱うべきものではないとおもわれるが、少なくとも建築原単位として長い耐久年度で議論するものから差しひかれなければならないものであり、同時に、より早い周期でスクラップ市場に出る老廃くずとして計上しなければならない。

本来は、どの鋼材がどのように使われているかについてより精密な調査が必要であるが、今回は、この仮説が検討してみるに値するか否かを知るという程度の精度だけを考え、鋼管と鋼帯は投入量相当のスクラップが発生する（in-use stock の最終使用量は、当該年度の新規需要に依存する）と仮定して、それと除却面積に対する、原単位計算（厳密には上記の分は差し引いた原単位を用いるべきだが、古い原単位なのでその区別ができないためにそのままの原単位を使用）から得られる老廃屑量の和をもとめた。

それと、建築老廃屑の量を比較したものが図19である。ピーク時の不一致などの問題はのこるが、量的にも、傾向的にも、比較的良好な一致性を示しており、建築老廃屑を考えるとときに、仮設材などの短期間ストックを考慮すべきことが分かる。

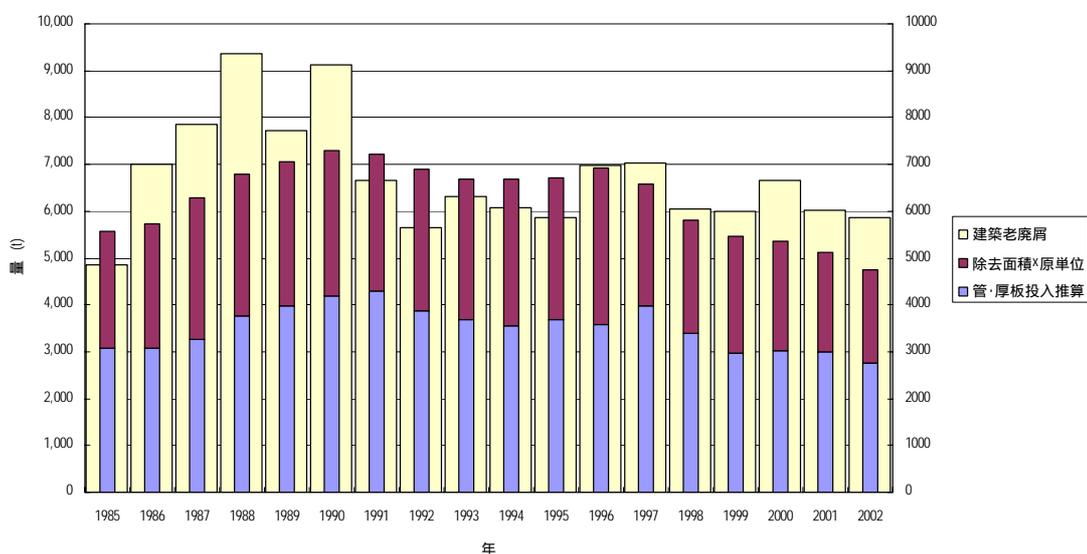


図19 鋼管・鋼帯投入量と除去床面積からの計算の和と老廃屑量の比較

4．結言

本研究では、社会的インフラとして長期的な蓄積をしている鋼材などの資源的ポテンシャルを定量化する目的で、蓄積の考え方、および、蓄積とフローの算定上の問題点を、基礎から、かつ、既存の前提を再検討して検討した。そのため、最終目標である、インフラ素材の資源ポテンシャルの定量には至らなかったが、蓄積概念に、資源からと廃棄物からの二つのアプローチがあり、それを整理した。

In-use stock の概念を明確化し、特に主機能が失われてもそれを取り除くことが出来ない supporting 状態の In-use という概念を提出した。

また、算定の手法では、従来のフロー算定での問題点を抽出し、
「市場プル」「スクラップ・プッシュ」の供給構造、
「耐用年数」仮説ではなく「ストック市場の飽和」による「作るために壊す」(scrap to build) 構造、
建築原単位の中に含まれる仮設材によるショートスパン老廃屑の存在
の新しい視点を提供した。

この研究は、まだ、端緒についたばかりであり、このような視点をもとに、具体的なストック量の算定、および、そのための方法論や、必要なデータの整備に踏み込んでいく必要がある。

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	(2004年3月)
No.6	バイオマスの利活用に関する調査	(2005年3月)
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	(2005年3月)
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	中国の鉄鋼需給の現状と展望	(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	(2006年3月)
No.11	金属元素のマテリアルフローを統一した形式で整理する試み	(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)
No.13	Ni, Co, V, REEの現状に対する考察	(2006年3月)
No.14	ナノテクノロジーの倫理・社会影響に関する調査研究	(2006年3月)
No.15	中国のリサイクル・資源利用調査報告	(2007年3月)
No.16	マテリアルリース社会システムのグランドデザインの検討	(2007年3月)
No.17	社会インフラとしての鋼構造物のハイパーネーション・ストックとしての評価	(2007年3月)
No.18	概説 資源端重量(Total Material Requirement ; TMR)	(2009年3月)

独立行政法人物質・材料研究機構
元素戦略クラスター

〒 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

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

