

# トップダウン手法とボトムアップ手法による 用途別鋼材蓄積量の推計

平戸 崇博\*・醍醐 市朗\*・松野 泰也\*・足立 芳寛\*

In-use Stock of Steel Estimated by Top-down Approach and Bottom-up Approach

Takahiro HIRATO, Ichiro DAIGO, Yasunari MATSUNO and Yoshihiro ADACHI

**Synopsis :** Recently, prices of natural resources have rapidly risen, so recovery of materials from the end-of-life products as secondary resources is of great interest. However, it is generally a challenging task to estimate the in-use stock of materials, especially in developing countries, because of lack of data. In this paper, two approaches, a top-down approach and a bottom-up approach, were adopted for estimating the in-use steel stock in end uses. A top-down approach uses time-series data of consumption and trade of materials and product lifetime data, whereas a bottom-up approach uses the numbers of units of a specified product in a designated area and its material intensities. In this paper, the steel stock in Japan divided into six end uses was estimated by the top-down approach. The steel in-use stock in Japan was estimated as approximately 1,000 Tg in 2005. Steel stock in automobiles in 2005 was estimated as 105 Tg by the bottom-up approach and compared with that estimated as 125 Tg by the top-down approach. In addition, applying the bottom-up approach, steel stock used in automobiles in U.S. was estimated and compared with that obtained by the previous research using a top-down approach. Steel stock used in automobiles in 2000 in U.S. was estimated as 480–870 Tg by the top-down approach and 754–767 Tg by the bottom-up approach. Both approaches have some uncertainties in the parameters used in the estimation. Therefore, complementary use of the two approaches is helpful to estimate in-use stock of materials.

**Key words :** steel stock; automobiles; material intensity; product lifetime; trade of materials.

## 1. 諸言

社会における素材の生産、消費、蓄積、廃棄など、素材のフローを解析するのが、マテリアルフロー分析(Material Flow Analysis, MFA)である。マテリアルフロー分析において、ある特定の元素に着目する場合は、物質フロー分析(Substance Flow Analysis, SFA)と呼ばれる。MFA/SFAは、対象とする国や地域内における物質の流れを一定期間に区切り解析する Steady-state flow model と、時系列で動的に解析する Dynamic model に分けられる<sup>1)</sup>。

前者に関しては、1990年代より研究が盛んに行われ、地域、国レベルでの多数の解析事例のほか、全世界レベルでの銅<sup>2)</sup>、銀<sup>3)</sup>、クロム<sup>4)</sup>、鋼材<sup>5)</sup>のフローが解析され発表されている。一方、後者のMFA/SFAの動的モデル化に関しては、2000年代より研究が盛んに行われ、欧州における鉛<sup>6)</sup>、北米における銅<sup>7)</sup>および鋼材<sup>7)</sup>などの事例研究が発表されている。また、著者らは、日本やアジア諸国における、鋼材(普通鋼および特殊鋼)、アルミニウム、銅などベースメタルの動的マテリアルフローモデルを構築してきた<sup>8-14)</sup>。

MFA/SFAの動的モデル化を行う目的として、素材の社

会中での蓄積量を推計し将来の素材スクラップの回収ポテンシャルを検討したり、有害物質の環境中への散逸量を解析したりすることなどがあげられる。

素材の社会中での蓄積量を推計する方法は、大別して1) トップダウン手法(Top-down Approach)と2) ボトムアップ手法(Bottom-up Approach)の二通りがある。トップダウン手法とは、各種素材の生産統計や産業連関表などの統計データと、素材の最終用途製品の寿命分布から、社会中の素材蓄積量を試算する手法であり、既存のマテリアルフロー分析の多くはこの手法を用いている。それに対して、ボトムアップ手法とは、統計データなどが得られない場合に、対象とする地域において使用されている製品の数を推計し、その製品に含有される素材成分に関するデータから素材の蓄積量を積算する手法であり、DrakonakisらによるUSA, New Haven市の鋼材およびニッケル蓄積量の解析の事例研究がある<sup>15,16)</sup>。我が国の鋼材蓄積量に関する解析に関しては、20年以上前に吉本により発表された積み上げ法による解析事例<sup>17)</sup>の他は、ほぼ全てトップダウン手法によるものとみなせる。また、醍醐らは<sup>18)</sup>鋼材の蓄積量を、製品に使用され社会に蓄積されている量(In-use stock)と将来スクラップとして回収される可能性のない蓄積量(Obso-

lete stock)に分類している。本論文においては、特に断らない限り、鋼材蓄積量とはIn-use stockを示す。

本論文では、トップダウン手法に基づき我が国の鋼材の用途別蓄積量を推計するとともに、ボトムアップ手法を用い日本の自動車としての鋼材蓄積量を推計し、両手法の結果を比較した。トップダウン手法と共にボトムアップ手法を適宜用いることで、統計などデータの整備が不十分な地域においても、用途別鋼材蓄積量を推計することが可能になると考えられる。そこで、日本で行ったボトムアップ手法の他国への適用について検討を行った。具体的には、アメリカにおける自動車としての鋼材蓄積量を、両手法により推計しその結果を考察したので報告する。

## 2. トップダウン手法による日本における用途別鋼材蓄積量の推計手法

日本における用途別の鋼材蓄積量を、醍醐ら<sup>18)</sup>の研究と同様にポピュレーションバランスモデル(Population Balance Model, PBM)を用いて推計した。PBMとは、ある用途についての鋼材投入量と残存確率分布から、将来の蓄積量を推測する手法である。本研究では、醍醐ら<sup>18)</sup>の設定を一部精緻化したため、手法の概要と共に以下に示す。

本研究では、鋼材蓄積量を、建築、土木、機械、乗用車、トラック・バス、容器、その他の7用途に区分した。推計手法の概要をFig. 1に示し、図中の番号を参照して以下に説明する。各用途の(3)鋼材消費量は、(1)鋼材生産量に(2)鋼材輸出入量を考慮することで推計した。(6)鋼材投入量は、(3)鋼材消費量から(4)加工スクラップ発生量を減じ、(5)間接輸出入量を考慮することで推計した。使用した統計間での用途区分の対応についてTable 1に示す。鉄鋼用途別受注統計月報<sup>19)</sup>に記載されている“その他建設用”に分類される鋼材の用途内訳を見ると、建築金物や建築用付属資材の建築用の消費先、その他建材用や建設業者向けの土木用の消費先が混在している。この内訳により、その他建設用を建築用と土木用に振り分けたとき、近年では建築用と土木用の鋼材量の比がほぼ等量であることから<sup>19)</sup>、本研究では、この割合が一定であるとし、その他建設用鋼材消費量を本研究の用途区分の建築用と土木用に按分した。

本研究では統計区分の自動車用の鋼材投入量を、寿命の異なる乗用車とトラック・バスの2つに区分した。区分には、世界自動車統計年報<sup>20)</sup>から得た1958年から2006年までの乗用車、トラック・バスの生産台数および、新規登録台数、ならびに、文献<sup>20-23)</sup>から導出した乗用車とトラッ

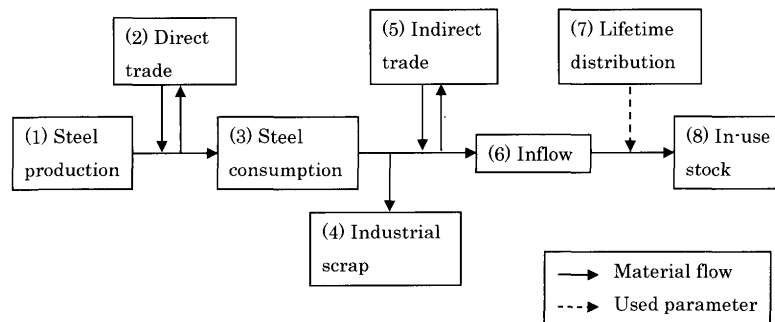


Fig. 1. Summary of top-down approach.

Table 1. Category of application and corresponding categories in statistics.

| Application             | Production and consumption of steel | Shipment ratio of industrial scrap | Indirect trade                     |                |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| Buildings               | Buildings                           | Construction                       | -                                  |                |
|                         | Others for construction             |                                    |                                    |                |
| Civil engineering       | Infrastructure                      |                                    |                                    | Infrastructure |
|                         | Others for construction             |                                    |                                    |                |
| Machinery               | Industrial machinery                | Machinery                          | Industrial machinery               |                |
|                         | Electrical machine                  |                                    | Electrical machine                 |                |
|                         | Household and commercial appliance  |                                    | Household and commercial appliance |                |
|                         | Ships and marine engineering        |                                    | Ships and marine engineering       |                |
|                         | Rail vehicles                       |                                    |                                    |                |
| Other transport machine |                                     |                                    |                                    |                |
| Passenger cars          | Automobiles                         | Automobiles                        | Automobiles                        |                |
| Trucks                  |                                     |                                    |                                    |                |
| Containers              | Containers                          | Containers                         | Containers                         |                |
| Other products          | Others                              | Others                             | Others                             |                |
|                         | Next process                        |                                    | Next process                       |                |
|                         | Re-processes                        |                                    |                                    |                |

ク・バスの1台当たりの鋼材使用量を用いた。これにより、自動車用鋼材投入量を乗用車用鋼材投入量とトラック・バス用鋼材投入量に按分した。

また、各用途の(7)寿命分布を用い、PBMを行うことで、(8)用途別鋼材蓄積量を前述の7つの用途の別に推計した。各用途の寿命分布に用いた関数ならびにそのパラメータも醍醐ら<sup>18)</sup>と同様の設定とした。

### 3. ボトムアップ手法による日本における自動車としての鋼材蓄積量の推計手法

日本における自動車としての鋼材蓄積量を、自動車の保有台数に自動車1台当たりの鋼材使用量を乗じることで推計するボトムアップ手法を用いて推計した。以降、自動車1台当たりの鋼材使用量を鋼材使用原単位と記述する。自動車として乗用車、トラック、バスの3車種を対象とした。鋼材使用原単位は、乗用車については時系列で推計した。トラックおよびバスについては、2007年の鋼材使用原単位をそれぞれ推計し、2007年以前も一定であるとした。また、乗用車について、保有台数が、現在社会で使用されている自動車の台数であるのに対し、鋼材使用原単位は製造時の値として得られるので、同じ年の保有台数と鋼材使用原単位を乗じることはできない。その補正として、乗用車の平均寿命が約10年であることから<sup>24)</sup>、保有台数に乘じる鋼材使用原単位に、寿命の半分である5年前の推計値を適用した。

まず、自動車1台当たりの平均車両重量と鋼材使用原単位を、乗用車、トラック、バスの別に以下のように作成した。鉄源年報<sup>25)</sup>より1973年から2001年の約5年おきの乗用車の総重量の推移と、その鋼材割合の推移を得た。また、文献<sup>23)</sup>より、1977年製の乗用車について、自動車を生産するために必要な鋼材の量を日本の平均値として得た。ただし、必要鋼材量には加工歩留りが考慮されていなかったため、文献<sup>26)</sup>より得た、1980年の加工スクラップ出荷率を適用することにより、加工歩留りを考慮した鋼材使用原単位を推計した。これより、Table 2のような、乗用車の鋼材使用原単位を得た。

次に、トラックおよびバスの鋼材使用原単位の推計について述べる。統計<sup>21)</sup>より、トラックにあたる貨物および特種車、大型特種車、バスにあたる乗合の、2007年3月末現在での車両重量別の保有車両数を得た。ただし、車両重量

10,000 kg以上の車両は、車両重量別では区別されないため、同統計に記載の車両総重量別の保有車両数を用いた。この車両重量10,000 kg以上の車両について、車両総重量と車両重量の関係が不明であったため、両値が記された自動車ガイドブック<sup>22)</sup>を用い、車両総重量を車両重量に換算した。車両重量別保有台数より、貨物用、乗合用、特種車、大型特種車別にTable 3に示す平均車両重量を得た。これに、文献<sup>23)</sup>より得た1977年製のトラックとバス別の、車両重量に対する必要鋼材量の割合を乗じることで、それぞれ鋼材使用原単位を得た。なお、データの制約から経年変化しないものとした。

## 4. 結果

### 4.1 トップダウン手法およびボトムアップ手法による日本における用途別鋼材蓄積量の推計結果

トップダウン手法により推計した日本における用途別鋼材蓄積量を、Fig. 2に示す。ここでは、容器の寿命が1年であることから、蓄積が生じないため、容器の蓄積量は表示されていない。また、PBMを用いる際、乗用車とトラック・バスの別に推計を行ったが、ここでは乗用車、バス・トラックを合わせて自動車(Automobiles)として示した。鋼材蓄積量は、これまで常に増加し続けてきたことが分かった。また、鋼材蓄積の約半分は建築としての蓄積であることが分かった。特に、1985年以降の建築用途の鋼材蓄積量の増加が顕著である。2006年において、日本における鋼材蓄積量は、約10億トンと推計された。鉄源年報<sup>25)</sup>によると、2006年の日本の鋼材蓄積量は、約13億トンであり、本研究の結果より3割程度大きい。これは、本研究の対象とした鋼材蓄積量が、製品に使用され社会に蓄

Table 2. Time series data of steel intensity in passenger car.

| Production year | Time series data of steel intensity in passenger car (kg/unit) |
|-----------------|--|
| 1973            | 714  |
| 1977            | 707  |
| 1983            | 695  |
| 1986            | 712  |
| 1989            | 760  |
| 1992            | 881  |
| 1997            | 894  |
| 2001            | 1,066  |

Table 3. Average weight of vehicle and steel intensity.

|                                     | Trucks | Buses | Special use vehicles | Heavy special vehicles |
|-------------------------------------|--------|-------|----------------------|------------------------|
| Average weight of vehicle (kg/unit) | 2,965  | 6,207 | 3,991                | 10,017                 |
| Steel intensity (kg/unit)           | 2,354  | 4,994 | 3,169                | 7,955                  |

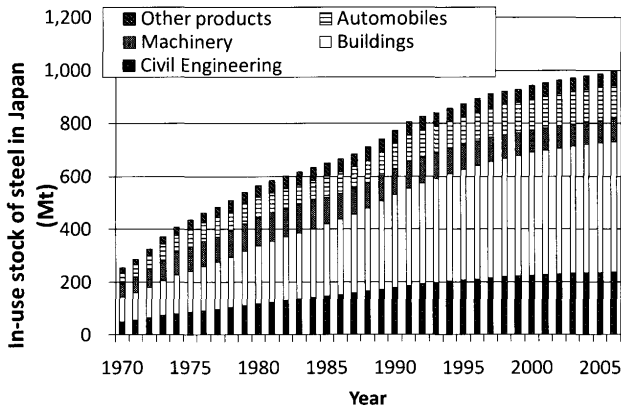


Fig. 2. In-use stock of steel in Japan by end uses estimated by top-down approach.

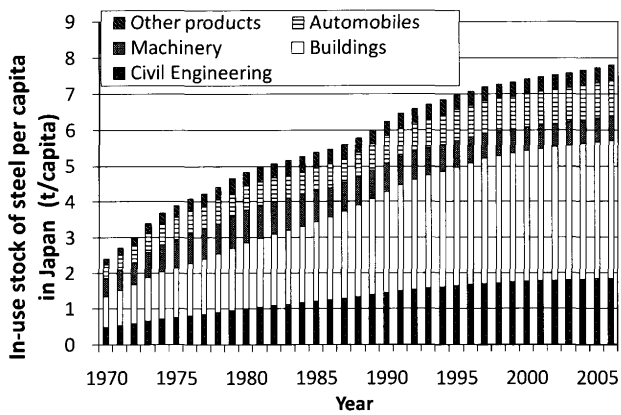


Fig. 3. In-use stock of steel per capita in Japan by end uses estimated by top-down approach.

積されている量(In-use stock)であるのに対し、鉄源年報の評価対象が、使用済みとなったあと回収されてこなかった蓄積量(Obsolete stock)も含めていることによる。また、醍醐ら<sup>18)</sup>の推計によると、2000年の日本の鉄鋼蓄積量は、総量として約12億トン、In-use stockとして約9億トンとなっており、本研究で得られたIn-use stockの推計値とほぼ等しい。また、本研究によって、鋼材蓄積量を用途別に切り分けることができた。

さらに、用途別鋼材蓄積量をその年の人口で割ったものも併せてFig. 3に示す。1990年以降、機械および自動車の1人当たりの鋼材蓄積量があまり変化していないことが分かった。土木の1人当たりの鋼材蓄積量が2001年以降2トン弱でありあまり増えていないことが分かった。また、2006年、日本での鋼材蓄積量は、1人当たり約8トンと推計された。Müllerら<sup>7)</sup>の報告によると、アメリカの1人当たり鉄鋼蓄積量が1980年以降11~12トン程度で推移している。用途別に比較すると、日本の土木と建築用途における鋼材蓄積量と、アメリカの建設(土木と建築の合計)用途における鋼材蓄積量が、ともに約6トン/人とほぼ同程度であり、総量の違いは建設以外の用途に起因するものと分かった。また、アメリカが1980年頃にピークを持つのに対し、

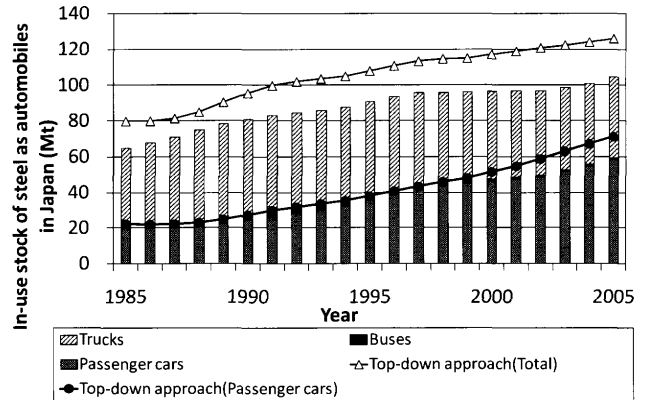


Fig. 4. Comparison of in-use stock of steel as automobiles in Japan between estimations by using top-down approach and bottom-up approach.

日本は漸増しているが、現在のところ日本はアメリカよりも1人当たりの鉄鋼蓄積量が小さいことが分かった。

次に、ボトムアップ手法により求めた日本における自動車の鋼材蓄積量を、前出のトップダウン手法により求めた自動車の鋼材蓄積量と比較したものをFig. 4に示す。

Fig. 4が示すように、両手法により求めた自動車としての鋼材蓄積量の間には、約2千万トンの乖離があった。これは、両手法それぞれに原因があると考えられる。トップダウン手法については、鋼材投入量の不確実性が挙げられる。具体的には、投入量として用いるデータには、統計から得られる生産量や消費量だけでなく、実測が困難な間接輸出入量も含むためである。ボトムアップ手法については、鋼材使用原単位の不確実性が挙げられる。乗用車については、保有台数は過去に生産されたものの積み上げであるのに対し、使用鋼材原単位に、当該年から5年前の生産時の平均値を使用していることである。特に、Table 2が示すように、近年、鋼材使用原単位が著しく増加しており、5年前の鋼材使用原単位では、この急激な変化を反映できない。そのため、2000年以降の乗用車としての鋼材蓄積量の乖離が生じたと考えられる。トラックおよびバスについては、鋼材使用原単位の経年変化を考慮していない。これらの各種要因が積み重なって、2つの手法間で差が生じたと考えられる。

トップダウン手法は、時系列で推計を行うことが容易であり、鋼材使用原単位の変化を考慮できる点で有効な手法である。しかし、過去からの用途別鋼材投入量および各製品の平均的な寿命分布等の詳細なデータが必要であることから、他国への適用を考えた場合、対象とすることのできる地域、期間が限定される手法である。一方、ボトムアップ手法は、製品を詳細に区分して推計を行うことが可能である点に特長がある。しかし、鋼材使用原単位が時系列で変化する製品の正確な評価は困難であることが分かった。

#### 4.2 他国での自動車としての鋼材蓄積量の推計

日本で行ったボトムアップ手法の他国への適用について

検討を行った。具体的には、既往研究<sup>7)</sup>において、トップダウン手法により鋼材蓄積量が推計されているアメリカを対象に、自動車としての鋼材蓄積量を、両手法により推計し、その結果を考察した。アメリカにおけるトップダウン手法では、自動車は“輸送(Transportation)”という区分に含まれており、ここには、自動車、鉄道、飛行機、船の4種が含まれる。そこで、アメリカにおける用途別鋼材消費量統計<sup>27)</sup>を見たところ、ここ10年間の輸送の消費量に占める自動車資材としての鋼材消費量の割合が、輸送全体のほぼ9割であったので、輸送の鋼材蓄積量を0.9倍することで、自動車の鋼材蓄積量とした。ボトムアップ手法については、アメリカの乗用車の鋼材使用原単位として、日本の乗用車の値を援用した。また、統計<sup>20)</sup>からはトラックとバスの保有台数が合計値としてのみ得られたので、バスの鋼材使用原単位についてもトラックの鋼材使用原単位を用いた。文献<sup>28,29)</sup>によると、アメリカのトラックの平均積載量は、日本の4トンに比べて14トンであった。そこで、積載量が約4トンと約14トンのトラックの平均車両重量を、自動車ガイドブック<sup>22)</sup>の諸元データから算出し、3.76トン/台および9.84トン/台と得た。この平均車両重量比を、日本のトラックの鋼材使用原単位に乘じ、アメリカのトラック・バスの鋼材使用原単位として、6.42トン/台を用いた。

2000年における、トップダウン手法とボトムアップ手法の結果を比較したものをFig. 5に示す。アメリカにおけるトップダウン手法の平均寿命は、統計値が得られなかったため、15年、20年、30年と幅を持って設定している。トップダウン手法の推計値の幅は、この平均寿命の不確実性による幅であり、大きい値(Longer lifetime)が寿命を30年とした推計、中央の値(Medium lifetime)が寿命を20年とした推計、小さい値(Shorter lifetime)が寿命を15年とした推計である。一方、ボトムアップ手法の推計値は、グラフ上では1点に見えるが、横の数値が示すように、幅を持っている。これは、乗用車の鋼材使用原単位の不確実性によるものである。トップダウン手法において平均寿命を15年、20年、30年と設定したため、ボトムアップ手法における乗用車の鋼材使用原単位も、日本と同様に、平均寿命のほぼ中間である、8年前、10年前、15年前を製造時とした値を用いた。ボトムアップ手法による推計値は、既往研究によるトップダウン手法の値の範囲に含まれている。従って、日本の場合と同様に、トップダウン手法とボトムアップ手法で同じように推計が行えると考えられる。今後、ボトムアップ手法による鋼材蓄積量推計の精度を上げるためには、アメリカの統計および調査等から、各車種別の鋼材使用原単位を整備することが望まれる。

先に述べたように、トップダウン手法とボトムアップ手法のどちらにも不確実性が生じることは避けられないが、2つの手法を補完的に用いることで、互いに結果を確認す

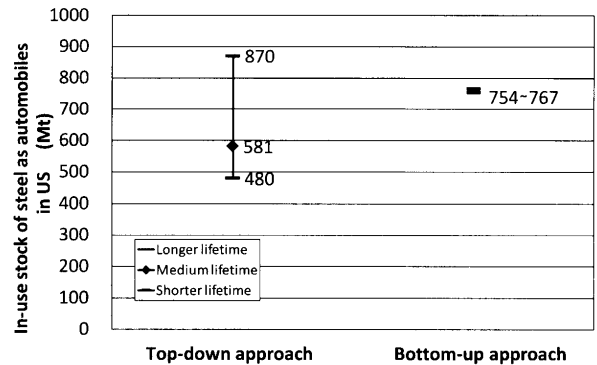


Fig. 5. Comparison of in-use stock of steel as automobiles in U.S. between estimations by using top-down approach and bottom-up approach.

ることができると考えられる。ここに、不確実性を減らす3つの留意点を挙げる。まず、ボトムアップ手法について、原単位が経年で大きく変化した製品を評価するときには、製造時期に留意しなければならない。極端な例では、ある年以降に作られた製品にしか、評価したい素材が含まれない場合、原単位の変化前後の保有台数を区別しなければならない。2点目に、トップダウン手法に用いる寿命分布の不確実性に留意しなければならない。一般的に、寿命分布が正確に分かっている製品はほとんど無い。そのため、Müllerら<sup>7)</sup>は、平均寿命に幅を持たせ、不確実性分析を行っている。3点目に、両手法に言えることであるが、国によって原単位、寿命分布が大きく異なることに留意しなければならない。原単位については、本研究の手法で説明した通りである。寿命分布については、輸送用途の平均寿命を例に挙げると、日本では、乗用車の平均寿命は約12年で、アメリカでは、輸送用途の平均寿命は20年<sup>7)</sup>とされている。このように、どちらの手法を用いる場合にも、国によって推計に必要な変数が異なる可能性があることに注意する必要がある。これら3点に気を付けることで、統計などデータの整備が不十分なアジア諸国などの地域においても、どちらかの手法を用い、用途別鋼材蓄積量を推計することが可能になると考えられる。自動車については、自動車が世界に流通する工業製品であること、また、他国においても自動車の保有台数のデータが容易に得られる<sup>20)</sup>ことから、ボトムアップ手法を用いて、今後他国における自動車の鋼材蓄積量を推計することができると考えられる。なお、その際には、前述のように平均積載量などの指標を用い、鋼材使用原単位の調整を行う必要があることが課題である。

## 5. 結論

トップダウン手法を用い、我が国の鋼材の用途別蓄積量を時系列で推計することができた。ボトムアップ手法を用い、我が国およびアメリカにおける自動車としての鋼材蓄

積量を推計し、トップダウン手法と多少差はあるものの、ほぼ整合した値を得ることができた。これにより、両手法を補完的に用いることで、統計などデータの整備が不十分な地域においても、用途別の鋼材蓄積量を推計する可能性が示された。

## 文 献

- 1) S.Spatari, M.Bertram, R.B.Gordon, K.Henderso and T.E.Graedel: *Ecol. Econ.*, **54** (2005), 37.
- 2) T.E.Graedel, D.van Beers, M.Bertram, K.Fuse, R.B.Gordon, A.Gritsinin, A.Kapur, R.J.Klee, R.J.Lifset, L.Memon, H.Rechberger, S.Spatari and D.Vexler: *Environ. Sci. Technol.*, **38** (2004), 1242.
- 3) J.Johnson, J.Jirikowic, M.Bertram, D.van Beers, R.B.Gordon, K.Henderson, R.J.Klee, T.Lanzano, R.Lifset, L.Oetjen and T.E.Graedel: *Environ. Sci. Technol.*, **39** (2005), 4655.
- 4) J.Johnson, L.Schewel and T.E.Graedel: *Environ. Sci. Technol.*, **40** (2006), 7060.
- 5) T.Wang, D.B.Müller and T.E.Graedel: *Environ. Sci. Technol.*, **41** (2007), 5120.
- 6) A.Elshkaki, E.van der Voet, M.van Holderbeke and V.Timmermans: *Resour. Conserv. Recycl.*, **42** (2004), 133.
- 7) D.B.Müller, T.Wang, B.Duval and T.E.Graedel: *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **103** (2007), 16111.
- 8) I.Daigo, D.Fujimaki, Y.Matsuno and Y.Adachi: *Tetsu-to-Hagané*, **91** (2005), 171.
- 9) Y.Igarashi, I.Daigo, Y.Matsuno and Y.Adachi: *Tetsu-to-Hagané*, **91** (2005), 903.
- 10) W.Tamaki, Y.Igarashi, D.Fujimaki, S.Hayashi, Y.Tomota, Y.Matsuno and T.Nagasaka: *Tetsu-to-Hagané*, **92** (2006), 334.
- 11) W.Tamaki, Y.Igarashi, D.Fujimaki, S.Hayashi, Y.Tomota, Y.Matsuno and T.Nagasaka: *Tetsu-to-Hagané*, **92** (2006), 340.
- 12) H.Hatayama, H.Yamada, I.Daigo, Y.Matsuno and Y.Adachi: *J. Jpn. Inst. Met.*, **70** (2006), 975.
- 13) I.Daigo, S.Hashimoto, Y.Matsuno and Y.Adachi: *J. Jpn. Inst. Met.*, **71** (2007), 563.
- 14) Y.Igarashi, E.Kakiuchi, I.Daigo, Y.Matsuno and Y.Adachi: *Tetsu-to-Hagané*, **93** (2007), 782.
- 15) K.Drakonakis, K.Rostkowski, J.Rauch, T.E.Graedel and R.B.Gordon: *Resour. Conserv. Recycl.*, **49** (2007), 406.
- 16) K.Rostkowski, J.Rauch, K.Drakonakis, B.Reck, R.B.Gordon and T.E.Graedel: *Resour. Conserv. Recycl.*, **50** (2007), 58.
- 17) 吉本秀幸：鉄鋼界第35巻，日本鉄鋼連盟編，東京，(1985)，70.
- 18) I.Daigo, Y.Igarashi, Y.Matsuno and Y.Adachi: *Tetsu-to-Hagané*, **93** (2007), 66.
- 19) 鉄鋼用途別受注統計月報，日本鉄鋼連盟編，東京，(2004)，35.
- 20) 世界自動車統計年報，日本自動車工業会編，東京，(2007)，104.
- 21) 諸分類別自動車保有車両数，自動車検査登録情報協会編，東京，(2007)，238.
- 22) 自動車ガイドブック1999-2000 第46巻，自動車工業振興会編，東京，(2000)，301.
- 23) 再資源化技術（非鉄金属系廃棄物），クリーンジャパンセンター編，東京，(1983)，63.
- 24) Y.Adachi, I.Daigo, H.Yamada and Y.Matsuno: *Dev. Eng.*, **11** (2005), 19.
- 25) 鉄源年報2007，日本鉄源協会編，東京，(2007).
- 26) クォータリーてつげん Vol. 24，日本鉄源協会編，東京，(2005)，1.
- 27) Annual Statistical Report, American Iron and Steel Institute, Washington, D.C., (2006).
- 28) 自動車輸送統計年報，運輸省運輸政策局情報管理部編，東京，(1993).
- 29) Blue Book of Trucking Companies, Transportation Technical Services, Inc, Fredericksburg, (1993-1994).