

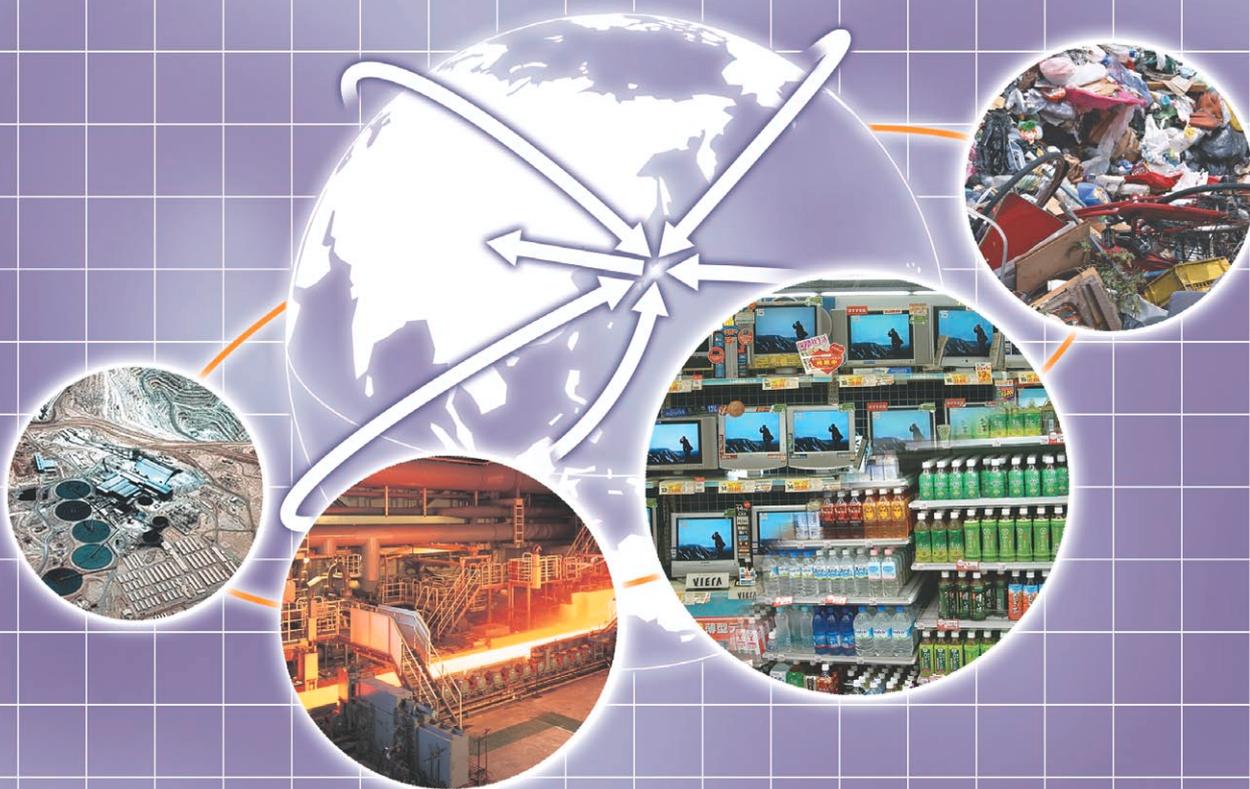


環境儀

国立環境研究所の研究情報誌

マテリアルフロー分析

モノの流れから循環型社会・経済を考える



毎年7億トンあまりの資源が輸入される日本。とくに金属資源はほとんど輸入に頼っています。これらの多くは、選別され成分含有率を高めた鉱石や精錬済みの金属の形で輸入されます。日本でのモノの流れは見かけ上はここから始まります。

しかし、輸出国では鉱石採掘のためさまざまなモノの流れがあります。山の自然は破壊され、排水が河川を汚濁し、鉱山自体も表土・岩石が掘削され廃棄されます。統計では表に出ることはありませんが、このようなモノの流れは隠れたフローとして存在しているのです。マテリアルフローの研究は、これまで経済活動の指標から抜け落ちていた「隠れたフロー」もしっかりとらえ、経済とモノ両方の流れを明らかにします。

独立行政法人

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/index-j.html>

マテリアルフロー分析は
循環型社会に向けて漕ぎ進むための
羅針盤となる研究です。





2004年4月20,21日の両日、経済協力開発機構(OECD)環境大臣会合がパリで開かれました。日本からは環境副大臣が出席し、日本政府の提案をもとにした「物質フローと資源生産性に関する理事会勧告」がこの機会に承認されました。

提案の趣旨は「環境と経済社会を行き来するモノの量をきちんと把握し、より少ない資源でどれだけ大きな豊かさを生み出しているかを表わす指標(資源生産性)を設定し、資源のむだ使いや環境への負荷をできる限り防ごう」ということです。

日本では、2000年3月に廃棄物の適正な処理とリサイクルによる資源の有効利用を統合した形で循環型社会形成推進基本法(循環基本法)が制定され、2003年3月にはそれに基づいた循環型社会形成推進基本計画(循環基本計画)が閣議決定されました。この計画には、経済社会におけるモノの流れを全体的にとらえるための「物質フロー(マテリアルフロー)分析」の考え方に基づき、資源生産性(入口)・循環利用率(循環)・最終処分量(出口)の3つの指標とそれぞれの数値目標が含まれており、OECDへの提案などを通じて、物質フロー分析を政策に活用する取組みが世界に発信されています。

国立環境研究所では、この分野での先導的な研究を行い、政策展開を支援してきましたが、新しい流れを受けてさらに研究を続けています。本号では、マテリアルフロー分析の研究の歩みを紹介するとともに、最近の成果として「循環型社会形成推進・廃棄物管理に関する調査・研究(中間報告)」の中から、循環型社会への転換に係わる諸施策の立案・実施・達成状況評価を支援することをめざす「産業連関表と連動したマテリアルフロー分析手法の確立」を紹介します。

C O N T E N T S

マテリアルフロー分析

モノの流れから循環型社会・経済を考える

INTERVIEW

研究者に聞く P4-P9

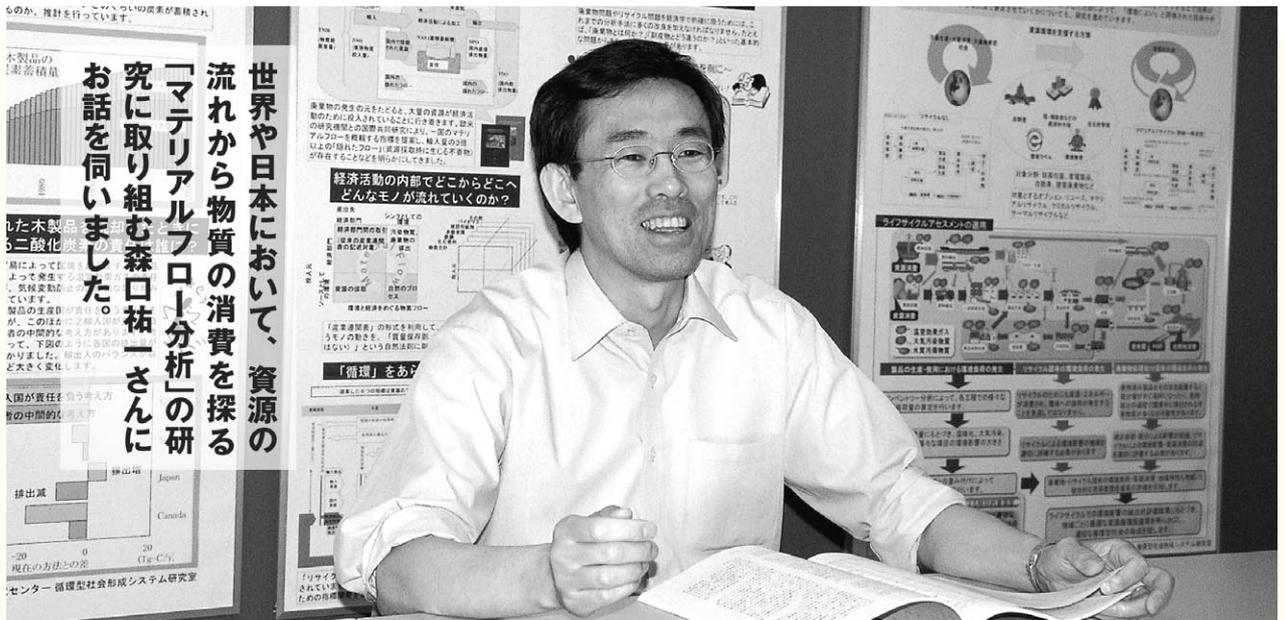
SUMMARY

「循環型社会形成推進・廃棄物管理に関する調査・研究(中間報告)」から P10-P11

国際的に期待される
マテリアルフロー研究 P12-P13環境と経済の統合に向けたマテリアルフロー
研究のあゆみ P14

研究者に聞く

森口 祐一 社会環境システム研究領域 資源管理研究室長
(兼任)循環型社会形成推進・廃棄物研究センター 循環型社会形成システム研究室長



●研究の動機について

——高度成長時代の大量生産・大量消費そして大量廃棄などの反省から、今廃棄物問題が注目されています。その中で、森口さんの研究は、私たちを取り巻くモノの流れの全体像をとらえています。資源を投入してモノを生産する「経済活動の入口」から、消費者の手に渡り最終的に廃棄物として処理・処分される「出口」までのプロセスをたどることにより、廃棄物問題の本質を探るといって、実にダイナミックな研究と感じます。その内容をお聞きしたいと思います。最初に研究のきっかけからお願いします。

森口 私は大学生の頃から環境に関する仕事をしたいと思い、1982年に当時の国立公害研究所に入りました。そこで環境問題を広く総合的にとらえる環境情報システム・環境指標といった、行政と研究の掛け渡しの分野を研究していました。その後、1986年に経済協力開発機構(OECD)事務局に留学したのですが、ちょうどその頃、OECDでは当時あ

まり知られていなかった環境勘定*(環境会計)のプロジェクトが始まっていたのですが、その時の関係が基でOECDの専門家会議などに参画するようになりました。それは今でも続いています。

私にとっての環境勘定研究の出発点は、熱帯林問題でした。日本に流通する商品価値のある木材のために、現地ではその数倍の木々が伐採されたり、影響を受けたりするという情報がありました。これは端的な例ですが、モノの流れの全体像は日本の中だけを見ては分からないことを学びました。1990年前後からは温室効果ガスの排出インベントリ(排出目録)に取組みました。これは、工場や発電所などの生産活動からのCO₂をはじめとする温室効果ガスの排出量を調べるのですが、地球にとっては悪影響を与える一種の廃棄物排出量の研究といえます。このように対象は異なりますが、モノの流れやそこから生み出される廃棄物(排出物)に注目し

メ
モ

マテリアルフロー

人間活動に伴う「モノの動き、流れ」のことで、物資の調達や流通を指す場合もありますが、ここでは対象とするある「まとまり」(たとえば一つの国)に入口から投入された物質量(インプットフロー)、出口から排出された物質量(アウトプットフロー)、循環利用された物質量(循環)などモノの流れ全体を指します。なお、循環型社会白書や循環基本計画では「物質フロー」と表現しています。

環境勘定(Environmental Accounting)

「勘定」とはもともとは金銭の出入りを漏れなく記入する帳簿を意味します。環境勘定ではさらに、従来の勘定では漏れていた環境の汚染や劣化などの問題を経済的な損失としてとらえたり、自然環境と経済活動との間のモノの行き来を物量で表わしたりします。企業に適用する場合には「環境会計」と呼ばれることが多く、環境汚染の防止や回復のためにかけたコストを明記する目的にも使われています。



た研究を手がけてきました。

——なるほど、常にモノの流れに関連した研究を続けてこられたのですね。

●本格的な研究について

森口 モノの流れの全体像を把握する研究を本格的に始めるきっかけは、1995年にドイツのヴッパータル研究所で開かれた国際ワークショップに参加したことです。「持続可能な発展の達成度をどのように測るか」というのがテーマで、各国の研究者の間で議論が交わされました。

そして、そこで国際共同研究を始めようということになったのです。日本、アメリカ、ドイツ、オランダの4カ国が参加し、1997年に第1回の成果を発表しました。この研究では、自然環境から経済活動への資源のインプット(投入)フローの把握に重点を置きました。その大きな特徴は、従来とらえてきた資源のフローだけではなく、それまで表に現われてこなかった「隠れたフロー」を推定し、初めてその国際比較を行ったことです。

たとえば鉱物資源を輸入した場合、統計資料では実際に輸入された物の量のみが計上されます。

ところが原産国ではその鉱物資源を生み出すために多くのモノが動いています。まず、採掘時や鉱物を選び分けるときに不要物が出ます。実際に輸出される鉱物(精鉱)は、その種類によって大きく違いますが、たとえば銅では資源のインプットフローとして把握されるのは数%程度で、残りはごみになります。さらに遡れば、鉱山を開発するために作った道路やそのために伐採した森林、穴を掘った残土などもあります。

つまり、そうしたモノも含め採取された全資源量は、実際に経済活動に回された投入量をはるかに上回るのが普通で、その差を「隠れたフロー」と名づけています。鉱物資源一つとっても、その元を丹念にたどらない限りは、輸入国にとっては目に触れないものがたくさんあります(図1)。共同研究における推計では、日本へ輸入される金属鉱と石炭(約3億トン)に付随する隠れたフローは20億トン以上にも上りました。

さて、共同研究に戻りますが、2000年にはオーストリアも加わった2回目の成果を報告書として出しました。こちらは、前회가入口に焦点を当てたのに対して出口が中心で、経済活動から自然環境へのアウトプット(排出)フローの把握に重点を置きました(図2)。ここで把握されている排出物には、廃棄物の総量だけではなく二酸化炭素や大気汚染物質などの大気への排出も含まれています。

● 研究の流れ

——隠れたフローが存在する「経済活動の入口」から、最終的には廃棄物となり環境へ放出される「出口」までの研究をどのように進めていったのですか。

森口 モノの流れをどのようにつかむかが大切です。大筋でいえば、環境中から採取された資源が、経済活動の中で製品化され、消費者の手に渡り最終的には廃棄物となります。もちろん途中で循環もあります。これらがモノの大きな流れです。

産業全体を見ると、企業間では商取引に伴って複数のモノの流れが生じます。パソコンを生産するためには、プラスチック、半導体、電気コードなど多

図1 国民一人当たりの資源需要量の国際比較 (1991年)

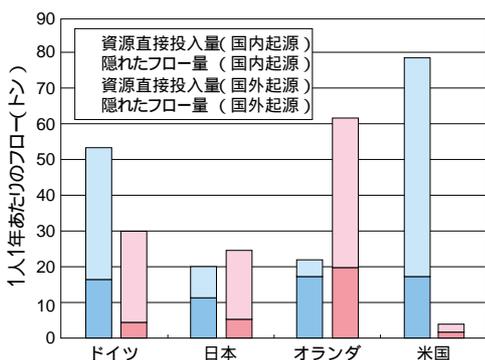
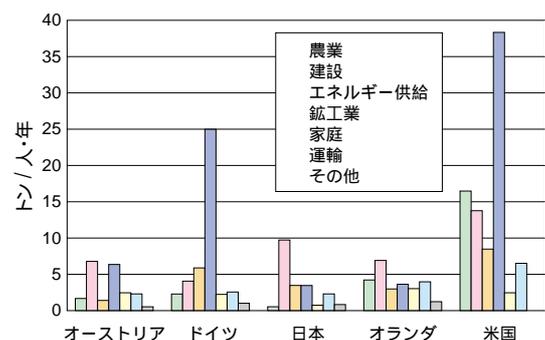


図2 国内総排出量に対する各部門の割合 (1996年)



石炭の採掘に伴う排出量が多いため、石炭産出量の少ない日本は総排出量も低い。ただし建設分野の占める割合が高い。

研究者に聞く

くの部品が必要です。各企業、あるいは産業同士で複数の網の目のような取引が行われています。このような経済取引を一覧表にして相互の関係を示した「産業連関表」というものがあります。ロシアの出身で、米国のハーバード大学などで研究を進めたレオンチェフという人が考え出したもので、構造は簡単ですが、産業全体の関係・構造を定量的にかつ網羅的にとらえるところが画期的であり、ノーベル経済学賞が授与されています。

日本では世界的に見ても詳細で質の高い産業連関表が作成されており、そこに盛り込まれた情報を利用して、欠けている情報を新たに追加して、モノの大きな流れがつかめる形式にまとめていきます。

こうして全貌をとらえた一つの例が日本経済をめぐるマテリアルフローです。

図3を見ると、日本国内の資源直接投入量は約20億トンで、内訳は国内の自然環境から採取された資源が約12.5億トン、輸入が約7.5億トンです。これに再生利用の約2億トンを加えた約22億トンが、経済活動に投入されたこととなります。一方、出口側でのごみの量をみると一般廃棄物*が約0.5億トン、産業廃棄物*が約4億トンです。もちろんこれがそのまま環境へ放出されるわけではなく、再生利用、脱水、焼却などにより最終的には1億トン以下まで減量化されます。なお、社会に蓄積される分は約12億トンですが、その多くが将来の廃棄物の予備軍とい

コラム 「産業連関表」

経済活動は農林水産業、製造業、サービス業など多くの産業によって構成されていますが、これらの産業はそれぞれ単独で生産活動を行っているわけではなく、原材料や部品の調達、製品の販売などの商取引を通じてお互いに密接な関係を持っています。たとえば自動車は、鋼板、ガラス、プラスチックなどの素材や部品を関連産業から調達して製造され、ディーラーなどを通じて消費者に販売されます。それらの取引をまとめたものが産業連関表です。

それでは簡単な産業連関表(2000年の日本経済全体の産業連関表を簡略化したもの)を使って互いの関係を見ましょう。

(1) タテの列を見る

表をタテの列方向に読むと、表頭の各産業の生産に要した費用の構成(投入)、つまり生産のための原材料(これを中間投入と呼びます)をどの産業からどれだけ買ったか(いくら支払ったか)がわかります。さらに、企業の利潤など、生まれた価値(付加価値)も分かるようになっています。たとえば農林水産業は、約14.4兆円を生産するのに、約6.3兆円の原材料やサービスを購入し、8兆円余りの付加価値を生み出しています。製造業から約2.5兆円分を調達

していますが、これには肥料や農薬、ビニールハウスなどの資材、農業機械の燃料などが含まれます。

(2) ヨコの列を見る

表をヨコの行方向にみると、表側の各産業が生産した商品の販路の構成(産出)、つまり、生産物をどこへどれだけ売ったかがわかります。たとえば農林水産業から製造業(食品加工業の原料などを意味します)へは約8.4兆円が販売され、家計など最終消費支出に直接販売されるのは約4兆円です。また、農林水産品は約2.1兆円輸入されていることも表から読み取れます。鉱業は国内生産額が小さく、輸入が大半を占めること、製造業では輸入額よりも輸出額のほうが大きいことなど、産業ごとの貿易の様子も読み取ることができます。

この表は説明のために統合した簡単な表であり、製造業やサービス業同士の取引が大きくなっていますが、実際に作成されている産業連関表は約400の部門に分割されており、多岐にわたる製造業やサービス業などの間での取引も見ることができます。さらに詳しい説明やデータは総務省統計局のホームページで見ることができます。
<http://www.stat.go.jp/data/io/>

表1 平成12年(2000年)産業連関表(生産者価格評価表)

(単位:10億円)

| | 中間需要 | | | | | | 最終需要 | | | | 需要合計 | 輸入 | 国内生産額 |
|-------|--------|-------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|-----------|---------|---------|
| | 農林水産業 | 鉱業 | 製造業 | 建設 | 第3次産業 | 内生部門計 | 消費支出 | 資本形成 | 輸出 | 最終需要計 | | | |
| 農林水産業 | 1,558 | 1 | 8,427 | 152 | 1,345 | 11,483 | 3,966 | 967 | 72 | 5,005 | 16,488 | -2,119 | 14,370 |
| 鉱業 | 0 | 3 | 7,357 | 674 | 2,025 | 10,060 | -7 | -16 | 11 | -12 | 10,048 | -8,669 | 1,379 |
| 製造業 | 2,463 | 93 | 122,867 | 21,579 | 44,369 | 191,371 | 65,393 | 39,086 | 46,586 | 151,066 | 342,437 | -34,276 | 308,161 |
| 建設 | 81 | 9 | 1,287 | 199 | 7,403 | 8,979 | 0 | 68,331 | 0 | 68,331 | 77,311 | 0 | 77,311 |
| 第3次産業 | 2,193 | 616 | 61,592 | 18,248 | 134,863 | 217,512 | 316,515 | 21,920 | 10,817 | 349,252 | 566,764 | -9,098 | 557,666 |
| 内生部門計 | 6,295 | 722 | 201,530 | 40,852 | 190,005 | 439,405 | 385,868 | 130,289 | 57,487 | 573,643 | 1,013,048 | -54,161 | 958,886 |
| 付加価値 | 8,075 | 657 | 106,631 | 36,458 | 367,661 | 519,482 | | | | | | | |
| 国内生産額 | 14,370 | 1,379 | 308,161 | 77,311 | 557,666 | 958,886 | 在庫純増を含む | | | | | | |



う側面を持っています。

また、経済活動から環境へ放出されるフローのうち最大のもは二酸化炭素で約13億トンにも及びます。このうち2/3強は、燃焼の際取り込まれる酸素であることを割り引いても群を抜いています。CO₂は温室効果ガスとして注目されており、まさに人間活動の最大の「廃棄物」ということがわかります。

●研究の方向性

——なるほど、研究の全体像が見えてきました。それが、今後はどのような展開となるのですか。

森口 実はマテリアルフロー分析の本質は、経済と環境との間の「モノ」の行き来を見るときに経済の内部で「モノ」がどのように行き来しているかを見ることにあります。それが分かれば、「資源が何のためにどのくらい使われたのか」「各産業から汚染物質がどのくらい出たのか」は言うに及ばず、「消費者のライフスタイルとモノの流れとの関係」までとらえられる可能性を持っています。そこまで完全に作り上げられた産業連関表、物量産業連関表とでもいえるべきものかもしれませんが、公式統計としては、ドイツとデンマークで作られている程度です。日本でも作っていますが、これは研究ベースで公式の統計ではありません。

——これまでの産業連関表だけではだめなのですか。

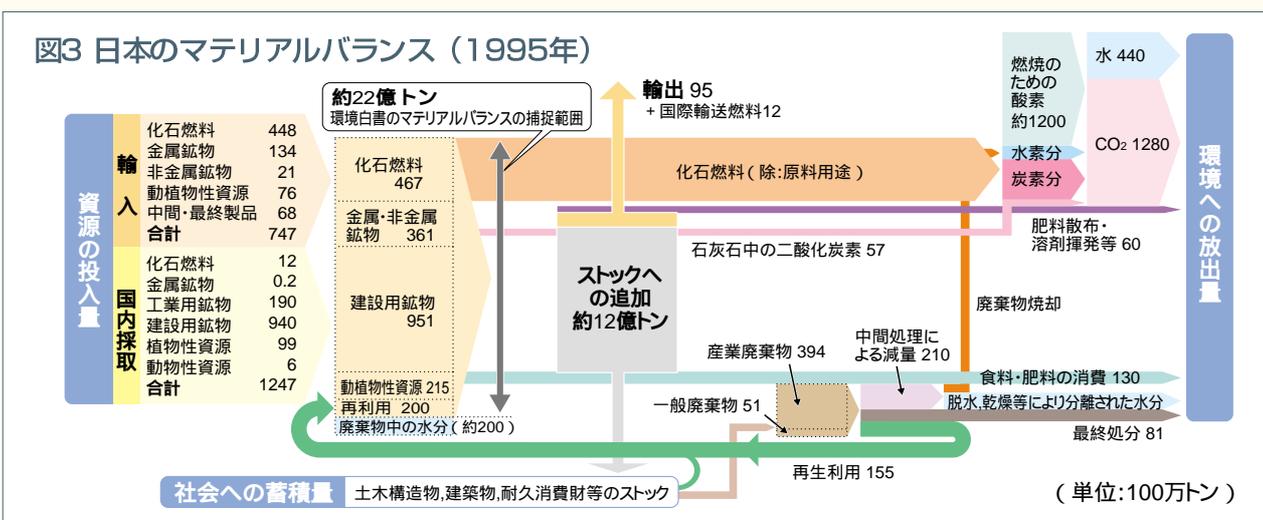
森口 産業連関表はあくまで金銭ベースのやりとりをまとめたものです。お金での取引の情報をモノの行き来に置き換えているのです。産業の上流といわれるところは鉱業や伐採業です。統計はそうした産業が採取したモノを次の産業へ売ったところから始まります。ですからこの手法では輸入統計と同様に「隠れたフロー」が出てきません。

隠れたフローはそのほかにもたくさんあります。たとえば農家における農産物統計でも市場へ出たモノしか見えません。過剰生産や天候不良で廃棄した農産物などは、マスコミのニュースに流れることはあっても、統計には入りません。

——統計だけでは当てにならないということですか。

森口 そうではなく、産業統計や経済統計というのはあくまで経済の視点から見たものであり、それには金額での表現が一番当てはまる訳です。ただ、「社会や環境の全体像を見る」といった視点から見ると不十分な点が多いのです。ですから、経済部門の間での金銭のやり取りではなく、モノがどのようにやり取りされているかの流れを見通せる物量産業連関表を作ることに最近一番力を入れています。

具体的に鉄鋼業を考えてみましょう。鉄鉱石や石炭をどこからどのくらい買って鉄鋼製品を作り、ど



メモ

一般廃棄物と産業廃棄物

ごみやし尿など日常生活に伴って排出されるものが一般廃棄物です。これは、家庭から出される廃棄物(家庭系一般廃棄物)とオフィスやお店などから出される廃棄物(事業系一般廃棄物)の2つに分けられます。

一方産業廃棄物は製造業や農業などの事業活動に伴って排出される廃棄物のうち、燃えがら、汚泥、廃油、廃酸、廃プラスチック類などを指します。

研究者に聞く

ここにどのくらい売ったのか。まずそれらの流れをきちんと把握します。

一方、鉄鋼業では、鉄以外にも鉄鋼スラグという副産物が発生します。これは鉄を1トン生産するときに約300kgも生成されるもので、セメントの原料などとして再利用されています。ところがこれまでの産業連関表では、産業と生産物は1対1対応、つまり「鉄鋼業から出る生産物は鉄だけ」という考え方を基本にしていますから副産物の鉄鋼スラグの流れはうまく描けないのです。一方、使用後の製品や建物から鉄くずが回収され、原料として使われる様子も思うようには記述できないのです。

産業連関表は5年に一度見直しが行われ、2000年の産業連関表では、リサイクル産業の記述が従来よりも改善されましたが、まだ充分ではありません。実際に作成されている産業連関表は、金銭取引を通じての流れを表わすものですから、どうしても限界があるのです。こうした点を補い、視点をモノの量としての流れに置いたのが物量産業連関表です。「原料として入ってきたモノが最終的にはどう分配されていったか」までとらえるもので、これは現代のすう勢である循環型社会*の分析に関しても適した手法です。この研究は今も進行中です。

●マテリアルフローで見えること

——さて、マテリアルフロー分析でモノの流れが解明されます。それが社会にとって具体的にどのような活用法があるのでしょうか。

森口 たくさんあります。たとえば、マテリアルフロー分析から(環境と経済のかかわりを示す)指標を作ることができます。しかもそれがきちんと達成されているかどうかの事後評価も可能です。こうした政策のためのツールやバックアップとなるための情報システムという点が一つあります。

ただ、それだけのためであれば産業連関表まで動員する必要はありません。産業連関表を使う理由は、産業とモノとの関わりの構造が過去からどのように変わってきたかを分析できるからです。そこから「政策として次に何を準備しなければならないか」などの提言ができます。身近な例ですと、家電や自動車などの耐久消費財は、購入後何年かすると劣化して使えなくなります。そこで将来廃棄物となるであろうモノが、いつ頃どのくらい廃棄されるかなどはマテリアルフロー分析から推測できます。そうした傾向を予見することにより、将来の施設計画や政策のあり方を提言することができます。

——これまで捨てられたモノを把握することはできても、捨てられる時期の予測はもちろん、検討もされてきませんでしたから、マテリアルフロー分析への期待がさらに高まりますね。

森口 そうですね。ところで私たちは、産業連関表に廃棄物のデータを組み合わせた分析も行いました。普通の生活に伴ってどのような産業廃棄物が出ているかを調べたのです。

一般廃棄物であれば、市町村のごみ処理で「燃えるごみ」「燃えないごみ」「資源ごみ」などの回収でご存じでしょうし、容器包装リサイクル法*や家電リサイクル法*が施行され対応が進んでいます。ところが一般の人は自らが産業廃棄物に直接関わっているとはあまり考えないですね。

サマリーに解説しますのでここではあまり詳しく述べませんが、毎年約4億トン出る産業廃棄物のうち1億トン以上が家庭で使うモノを作るために発生していることがわかったのです。一般廃棄物は約3400万トンといわれますから、その約3倍が産業廃棄物として出ているのです。ごみ減らしのため、家庭で減量化することももちろん大事ですが、実は生産過程で出ている廃棄物の量の方が多いのです。

メモ

循環型社会

循環型社会の基本的な理念や枠組みを定めた「循環型社会形成推進基本法」では、廃棄物になるべく発生しないような生産・消費活動を行ったり、使用されたものの再利用や再資源化を積極的に行うことによって、資源の消費をできる限り抑制し、環境への負荷をできるだけ少なくしていく社会のことを「循環型社会」と定義しています。この理念のもとで、廃棄物の適正な処理を定めた法律と資源の有効利用の促進を定めた法律が改正されたほか、製品分野ごとの個別のリサイクル法やグリーン購入法などが整備されました。

リサイクルを進めることは一つの手段であり、そのこと自身が循環型社会の目的ではありません。自然環境における物質循環に学ぶことや、人と人とのつながりを重視することなど、「循環」という言葉をより広くとらえ、これからの望ましい社会のあり方を考えるきっかけにしようという動きもみられます。



(出典：エコプロダクツ2003パンフレットをもとに作成)

——意外な話が出ました。こうしたことを含めて、マテリアルフローを家庭でもっと身近に感じてもらうことが必要ですね。

森口 「環境家計簿」に生かす方法はあります。現在は、使用した電気やガソリンの量からCO₂の排出量計算などに使われていますが、たとえば「あなたの1カ月の暮らしで、世界中でこれだけの木が切られましたよ」「これだけの鉱物が掘り出されて、廃棄物が山のように増加していますよ」といった切り口の計算はできると思います。

——隠れたフローを見せるようにするのですね。

森口 私たちは「ほんの少しかから」と何気なくごみを捨てることがあります。でも、実際はほんの少しどころか多くのモノを捨てていることになります。ドイツの研究者はエコロジカル・リュックサックと呼んでいますが、つまり「製品や廃棄物は、目には見えない多くのモノ(原料を採取するときに捨てられたモノ、生産段階で捨てられたモノなど)を背負っている」という意味づけで隠れたフローのことを表現しています(上図参照)。マテリアルフロー分析の結果を

紹介することで、人の行動と地球環境との結びつきを身近に感じてもらうことが必要だと思います。

●研究の今後

——研究の今後についてお聞かせください。

森口 これまで見てきたように、隠れたフローをきちんととらえないと本当のマテリアルフローは見えません。一方で、経済の入口から出口までのモノの流れも、さらなる精緻化が求められています。

そのためにはトップダウンとボトムアップの組み合わせが必要です。モノの流れの総量を国全体の経済統計をもとにとらえ、次に地域へと下して詳細なレベルで調べていく。一方モノを生産する産業もエネルギー、鉄鋼、化学など主要な部門に細分化し生産量を調べます。このように大きなデータから始めて次第に細分化したデータへと移って調べていくことをトップダウンといいます。逆に家庭や企業間などのモノのやりとりから始めて、次第に大きなデータに積み上げていくことをボトムアップといいます。それらをどう組み合わせるかとめらるかです。今、欧米でも最先端の研究となっています。

日本の研究はトップクラスです。それを維持するために木材など特定の資源に着目した研究や、家電や自動車など製品系の事例研究を行っているスタッフもがんばっています。マテリアルフローの研究は、ある意味では際限がなく、優先度をよく考えて手をつけないとデータの山に埋もれることになってしまいます。しかし、新たな成果も多く、それが楽しみです。

——今後の研究が楽しみです。ありがとうございました。

メ
モ

容器包装リサイクル法

家庭ごみなどの一般廃棄物における容器、包装ごみの占める割合は容積比で6割、重量比でも2~3割に達しているという背景から、1997年4月に施行された法律です。びん、缶、飲料用紙パック、ペットボトルから着手され、2000年4月の「完全施行」後は、容器包装に使われるその他の紙やプラスチックにも範囲が広がっています。なお、容器包装を利用したメーカー、容器包装を生産・販売したメーカーなどの事業者は、集められた容器包装廃棄物を再資源化するための費用の負担が課せられていますが、収集は主に従来どおり自治体によって他のごみと分別して行われています。

家電リサイクル法

使用済みとなった家電製品のリサイクルを行うことを定めた法律で、自治体でその処理が困難になっていたことから、資源の有効利用と廃棄物の適正処理を確保することを目的として、2001年4月に本格施行されました。対象品目は当初はエアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機の4品目でしたが、2004年4月からは冷凍庫が追加されました。使用済み家電の排出者(一般使用者=利用者のこと)がリサイクル料金と運搬費用を支払い、小売店が引取・運搬・引渡を、家電メーカー等が再資源化を行うしくみになっています。

「循環型社会形成推進・廃棄物管理に関する調査・研究(中間報告)」から

マテリアルフローの分析手法に関する成果として、需要者側から見た産業廃棄物発生構造の分析と、物質循環の目的と形態を踏まえた循環指標の開発を紹介します。

1. 産業連関表と廃棄物統計との結合による廃棄物発生構造の分析

私たちが日常生活から出す廃棄物以外に、暮らしを支えるさまざまな産業からも廃棄物が出ます。さらに各産業の廃棄物は、自らの生産活動から直接出るものと、使用するエネルギーや原材料などを供給する他の産業から間接的に出るものがあります。本研究の主な目的は、こうした廃棄物の発生構造を、需要の側から分析することにあります。すなわち、どのような消費財(日用品や家電など)、資本財(産業用機械や建築物など)の生産活動が、原材料の使用などを通して産業廃棄物の排出量および最終処分量に

直接・間接に影響を与えているかを定量的に明らかにすることです。

分析の結果では、私たちの生活に関連した産業廃棄物の方が家庭から直接出しているごみよりも多いことがわかりました。

●方法および用いたデータ

経済循環の構造を数量的に解明することができるSNA(System of National Account)型産業連関分析を応用し、廃棄物を分析できるように枠組みを拡張しました。1995年産業連関表基本表やその付帯表、本研究のために構築した部門別産業廃棄物データなどを使用しました。

図4 最終需要別の産業廃棄物排出量・最終処分量への寄与

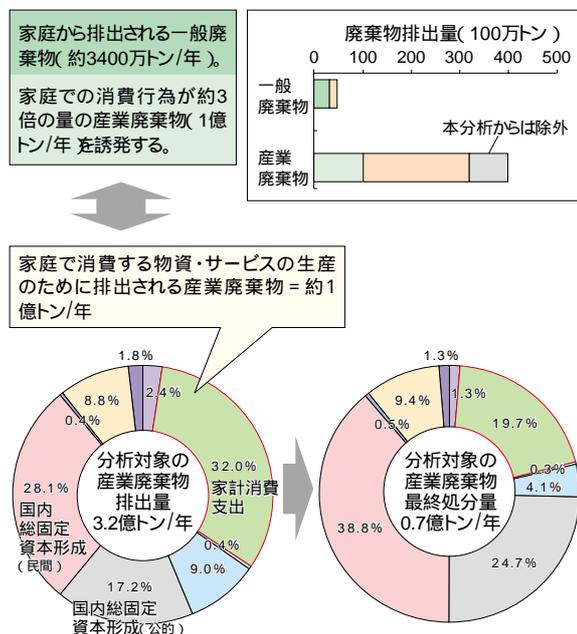


図4は、経済活動のさまざまな需要が産業廃棄物排出量に与えた影響を調べた結果です。それによると、全産業廃棄物排出量(3.2億トン)のうち32%(約1億トン)が家庭の消費支出により、占められていることがわかりました。次いで設備投資などの国内総固定資本形成(民間)が28.1%、公共投資などの国内総固定資本形成(公的)が17.2%と続きます(図4)。なお、家庭消費支出の中では、水道・下水道を利用することによる汚泥の発生が半分近くを占めています。一方、産業廃棄物最終処分量を見ると、家庭消費支出の占める割合は、19.7%と減少しています。これは、汚泥の中間処理による減量が主に寄与していると考えられます。

図5 家計消費支出によって誘発する産業廃棄物最終処分量の鳥瞰図

(注:原単位が大きく消費支出額の小さい4部門を非表示としている)

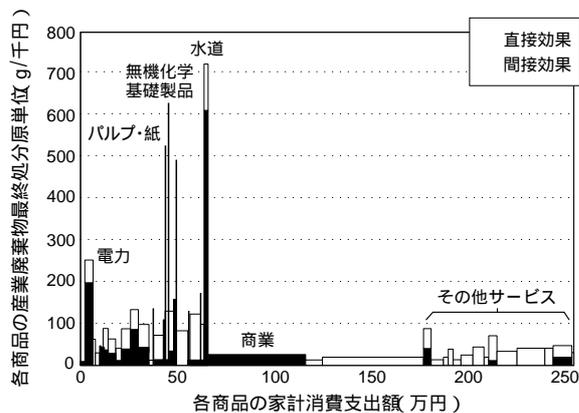


図5は、横軸に各商品の一人当たりの家計消費支出額、縦軸に各商品・サービスの消費支出千円当たりの産業廃棄物処分量(g)を表わしたものです。各商品の横幅と縦幅を掛けた面積が、当該商品・サービスの消費によって誘発した最終処分量を表わします。縦長の長方形になる場合は、家計消費の金額が小さい割に廃棄物の発生量が多く、横長の場合は逆となります。

対応の方向を生産者側(技術的対応)に求めるのか、消費者側(消費スタイルの対応)に求めるのかによって対策の内容も大きく違ってきます。水道、パルプ、紙、電力などの消費財は前者に入り、一方、商業は後者の典型で需要額の絶対量が大きいこともあり、寄与も高い結果となっています。容器・包装の簡素化は、それ自身の廃棄量の軽減に加え、生産段階での廃棄物抑制という点でも、効果が大きいことが示唆されました。



2. マテリアルフローに基づく循環指標の開発

資源の循環的利用に関して、現時点では把握対象となる「循環」の形態に一貫した定義はありません。異なる形態の物質循環が区別されておらず、量のとらえ方にも問題がありました。また、これまで物質循環の実態把握の多くは、廃棄物の発生を出発点としたものでしたが、目的の一つが天然資源の消費の抑制であるならば、人間社会への資源の投入を出発点としたマテリアルフロー全体の中で考えるべきです。一方、物質循環を促進するためには、その目安と

なる指標を設定し、施策の効果を客観的に把握する必要があります。現存するリサイクル率もそうした指標の一つですが、対象となる物質循環の形態、計断面の違いによって、その計算根拠はさまざまです。

そこで、本研究はマテリアルフローによって、資源の上流から下流への流れを漏れなくとらえることを意識しながら、とらえるべき物質循環の形態を分類したうえで、それぞれの形態の特徴を検討し、それをもとに物質循環の指標について提案を行いました。結果は以下の通りです。

図6 人間社会における物質循環の形態

| 物質循環の6つの形態 | | | |
|----------------|-----|--------|-------|
| 物質の種類 利用の方法 | 再使用 | 物質再生利用 | 熱再生利用 |
| 自工程副産物 | | ● | |
| 他工程副産物 | | ● | ● |
| 使用済み製品 | ● | ● | ● |

B 副産物の再生利用
副産物の定義があいまいになって、もしくは採用される副産物の定義によって再生利用量が変わる

物質利用効率の向上によって貢献

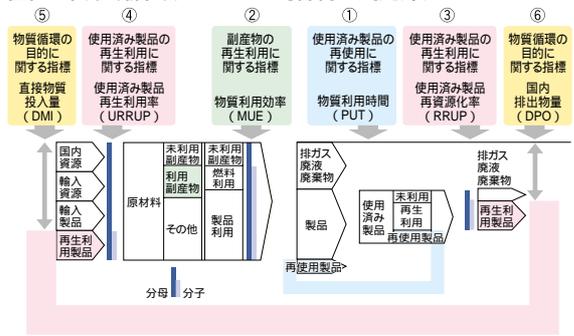
A 使用済み製品の再使用
再使用される量を計測することは一部を除いて意味がない、もしくはきわめて難しい

製品の長期利用によって貢献

C 使用済み製品の再生利用
計測は易しい

使用済み製品の再生利用によって貢献

図7 物質循環の6つの指標の提案



(1) 物質循環の形態の分類

物質循環の形態は、物質循環の対象となる物質の種類と利用方法から、図6の表の組み合わせが考えられます。このうち再使用は一度使用されたもの(使用済み製品)にだけ当てはまるもので、副産物には当てはまりません。また、自工程副産物の熱利用は他の工程で行われます。したがって、全部で6つの物質循環の形態があるといえます。

(2) 物質循環の形態ごとの特徴

6つの物質循環の形態に関して、対象となる量をどのように計測するか、どのようにして天然資源の消費を抑制し、環境への負荷を低減するのか、という2つの視点(物質循環の定量化の方法、物質循環の目的への貢献方法)から、その特徴を整理しました。2つの視点から6つの物質循環の形態は3つに集約されます(図6)。

まず使用済み製品の再使用(●)は、たとえば中古家電の売買やリターナブル瓶の再使用などがあります。前者は売買時期や量などを計測することが困難ですが両者に共に製品や部品の長期利用によって物質循環の目的に貢献ができます(図中A)。次に副産物の再生利用では、自工程副産物の物質再生利用(●)として自家発生鉄屑を粗鋼生産の原料に利用する例、他工程副産物の利用では、物質再生利用(●)として製材工場の木くずを紙の原料として利用する例、熱再生利用(●)として製材工場の木くずを燃料として利用する例があります。この利用形態ではどこまでを副産物として定

義づけるかによって再生利用量が変わる可能性があります。いずれの場合も物質利用効率の向上によって物質循環の目的に貢献できます(図中B)。3つめの使用済み製品の再生利用は、物質再生利用(●)として新聞紙を紙製品の原料として利用する例、熱再生利用(●)として廃プラスチックを燃料として使用する例があります。これらは計測がしやすく定量化が可能で、文字どおり再生利用により物質循環の目的に貢献できます(図中C)。

(3) 物質循環の6つの指標の提案(図7)

(2)で分類した物質循環の3つの形態(A~C)ごとに、その量を計測する上での特徴を踏まえた指標について検討し、これに目的に関する指標を加えて物質循環の6つの指標(①~⑥)を提案しました。1) 使用済み製品の再使用に関する指標①「物質利用時間」、2) 副産物の再生利用に関する指標②「物質利用効率」、3) 使用済み製品の再生利用に関する指標③「使用済み製品再資源化率」および④「使用済み製品再生利用率」、4) 物質循環の目的に関する指標⑤「直接物質投入量」および⑥「国内排出物量」。提案した以上6つの指標は物質のライフサイクルの要所を捉えとらえたものになっています。

なお、これらマテリアルフローに着目した「循環指標」は、あるべき指標の枠組みを提案するとともに、平成15年3月に閣議決定された「循環型社会形成推進基本計画」に盛り込まれた、マテリアルフローに着目した数値目標の策定に利用されました。

国際的に期待されるマテリアルフロー研究

循環型社会は、単にモノのリサイクルを推奨するだけの社会ではありません。地球の限られた資源を有効利用しながら、廃棄物を減少させ、環境への負荷をできるだけ少なくする、という大局的な見地に基いた社会です。「マテリアルフロー分析」はそうした社会を作り出すための大切な羅針盤となります。このため日本を始め、アメリカ、ヨーロッパなどでも、本格的な研究が行われています。



OECD環境大臣会合(2004年4月21~22日、パリ)

世界では

今日のマテリアルフロー分析の源流は、1970年出版されたEconomics and the Environmentという専門書に遡ります。その著者の一人であるロバート・エイヤーズ博士が2002年に編纂した「産業エコロジーハンドブック」には、マテリアルフロー分析についての世界中の主な取組みが網羅されています。「産業エコロジー」とは、物質やエネルギーの面での産業間のつながりを重視した新たな研究分野で、2001年に設立された産業エコロジー国際学会やそれ以前から発行されてきた英文論文誌Journal of Industrial Ecologyがマテリアルフロー分析の学術研究の中心となっています。

1990年代後半から世界中でこの分野の研究が盛んになったのは、ドイツのヴッパタール研究所のワイツゼッカー所長、シュミット・ブレイク副所長(いずれも当時)が、資源生産性を現在の4~10倍に高めようとする「ファクターX」の提案を行ったことと軌を一にしています。

ヴッパタール研究所は、国立環境研究所が国際共同研究に参加するきっかけとなった国際会議の舞台であるとともに、欧州を中心とするマテリアルフロー分析の専門家のネットワーク(ConAccountと

呼ばれる)を構築してきました。また、ドイツ、オランダ、北欧諸国などでは、国の統計省も環境情報と経済統計を結びつける「環境勘定」に盛んに取り組んでいます。欧州全体では、国レベルのマテリアルフロー分析に関するガイドブックを出版した欧州統計局(EUROSTAT)や、「廃棄物・マテリアルフローに関する欧州トピックセンター」を設けた欧州環境庁(EEA)などのEUの行政機関が、加盟国の活動を支援しています。

米国では、産業エコロジー研究の中核となっているイェール大学や非政府研究機関の世界資源研究所(WRI)、政府機関では環境保護庁(USEPA)や資源統計に長い歴史を持つ地質調査所(USGS)などがこの分野に取り組んできました。最近では、米国科学アカデミー研究審議会(National Research Council)が、マテリアルフロー分析の手法や利用可能性をレビューし、米国における今後の取組みに対する助言をまとめる活動を行い、その報告が2004年2月に出版されました。カナダやメキシコでも、統計機関による環境勘定の研究が進んできました。

こうした欧州、北米、そして日本における公的な取組みを結びつける場として重要な役割を果たしつつあるのがOECD(経済協力開発機構)です。2003年のG8(先進8カ国)環境大臣会合における日本から



の提案がきっかけとなり、2004年4月にはマテリアルフローと資源生産性に関する理事会勧告が出されるなど、OECDが中核となる活動が活発になるうとしています。

日本では

国立環境研究所以外でも、さまざまな研究が進められてきています。とくに、ある産業での廃棄物を他の産業で活用して廃棄物を限りなくゼロに近づけようとする「ゼロ・エミッション研究」でも、マテリアルフロー分析は重要な手法であり、特定の地域や特定の資源に着目した事例研究が行われてきました。また、製品を対象としたライフサイクルアセスメント研究とのつながりや、企業活動における環境パフォーマンス評価や環境会計などとのつながりも模索されています。また、マテリアルフロー分析と

密接な関わりを持つ産業連関分析の環境面への応用が盛んであり、廃棄物産業連関表など、日本におけるこの分野の研究の広がりが世界的にも注目されています。

国立環境研究所では

国全体のマテリアルフローを把握する研究を主にを行っています。とくに、マテリアルフロー分析の方法論に関する研究を、持続可能な発展との結びつきを考慮しながら地球環境関係の研究費で進めているほか、循環型社会形成推進・廃棄物研究センターでは、廃棄物・リサイクル分野への適用を進めています。また、温室効果ガスや大気汚染物質のインベントリーの研究とも密接なつながりを持っており、これらとの関連研究も進めています。

トピック

循環型社会形成推進・廃棄物研究センター

循環型社会形成推進・廃棄物研究センターは、循環型社会における適正な物質循環や廃棄物管理のあり方を研究・提案することを目的に、2001年4月に新設されました。センターには以下の7つの研究室が設けられています。

- ①循環型社会形成システム研究室 ②循環技術システム研究開発室 ③適正処理技術研究開発室 ④最終処分技術研究開発室 ⑤循環資源・廃棄物試験評価研究室 ⑥有害廃棄物管理研究室 ⑦バイオエコエンジニアリング研究室
- また5年間の中期計画に基づき、
- ①環境低負荷型・循環型社会への転換支援のためのシステム分析手法と基盤整備に関する研究
 - ②廃棄物の資源化・適正処理技術及びシステムに関する研究
 - ③廃棄物処理に係わるリスク制御に関する研究
 - ④汚染環境の浄化技術に関する研究
- を行っています。

ここでは循環型社会形成推進・廃棄物研究センターでのマテリアルフローに関連する研究の一端を紹介します。

○寺園淳主任研究員：アジア諸国、とくに中国との間での資源の再生利用のためのマテリアルフローとそれに伴う環境影響についての研究に取り組んでいます。

○橋本征二主任研究員：マテリアルフローに注目した「循環の指標」の提案や伐採後の木材の使い方やその廃棄のされ方を廃棄物問題、温暖化問題の両面から評価する手法に取り組んでいます。

○田崎智宏研究員：「循環の指標」の自治体での利用や家電・自動車などの耐久消費財の保有・廃棄に伴うマテリアルフローの解明を進めています。

○藤井実研究員：プラスチックのリサイクルなどを例に、資源の循環を地域スケールの観点からとらえるとともに、さまざまな循環の技術を評価するための客観的な指標の開発に取り組んでいます。

○平井康宏研究員：製品に含まれる難燃剤や鉛などの特定の物質を追跡し(サブスタンスフロー分析)、そのリスクを評価する研究に取り組んでいます。

○南齋規介研究員：これまで構築・公表してきた産業連関表によるエネルギー消費量、CO₂・大気汚染物質排出量の分析のためのデータベースについて、廃棄物など他の環境負荷への拡張を進めています。



環境と経済の統合に向けたマテリアルフロー研究のあゆみ

研究の全体構成

課題 1

環境勘定体系の確立に関する予備的研究 (平成3年度)

サブテーマ：自然資源勘定体系の確立及びその経済的価値づけに関する予備的研究

国内外における環境勘定研究のレビューや物量勘定表の試作を行い、地球規模の環境問題を環境資源勘定体系でどのように記述するかが、今後取り組むべき重要な課題であることを明らかにしました。

課題 2

環境資源勘定体系の確立に関する研究 (平成4～6年度)

サブテーマ：地球規模の環境変化を反映した環境資源勘定の手法開発に関する研究

持続可能な発展の達成に向け、環境保全と経済発展の両立を定量的に示す環境資源勘定の手法開発研究を行いました。

課題 3

持続的発展のための環境と経済の統合評価手法に関する研究 (平成7～9年度)

サブテーマ：政策目標の設定と評価のための環境資源勘定と環境指標の統合手法に関する研究

環境指標と、主に物量単位の環境資源勘定とを結びつけることにより、環境負荷フローを体系的に定量化し、政策目標の設定や政策効果の評価に適した研究を行いました。

課題 4

持続可能な国際社会に向けた環境経済統合分析手法の開発に関する研究 (平成10～12年度)

サブテーマ：投入産出モデルを用いた資源・環境負荷フロー勘定の確立に関する研究

自然環境からの経済活動への資源の投入フローおよび経済活動から自然環境への廃物の産出フローの総量・部門別の内訳などを、投入・産出表の形式で表現した物量単位の環境勘定の研究を行いました。さらに都市レベルの事例分析や産業部門の活動に関連するマテリアルフロー分析などの実証研究も行いました。

課題 5

環境勘定・環境指標を用いた企業・産業・国民経済レベルの持続可能性評価法に関する研究 (平成13～15年度)

サブテーマ：マテリアルフロー勘定を用いた環境・資源効率指標の開発に関する研究

先行研究で提案した物量投入産出表を試作して、経済活動内部の部門間のマテリアルフローを明らかにし、資源生産性などの指標を算定するための情報基盤を構築しました。

課題 6

循環型社会形成推進・廃棄物管理に関する調査・研究 (平成13～17年度予定)

サブテーマ：環境低負荷型・循環型社会への転換支援のためのシステム分析手法と基盤整備に関する研究

主に廃棄物処理やリサイクルについて、産業連関表と連動したマテリアルフロー分析手法の研究を行っています。

課題1～5は地球環境研究総合推進費で、課題6は国立環境研究所政策対応型調査・研究で実施しています。

<担当研究者(現在)と参加研究機関>

循環型社会形成推進・廃棄物研究センター

酒井 伸一, 森口 祐一, 寺園 淳, 橋本 征二, 加河 茂美(現東北大学),

田崎 智宏, 藤井 実, 平井 康宏, 南齋 規介

Stefan Bringezu (Wuppertal Institute)

Rene Kleijn, Ester van der Voet (Leiden University)

Marina Fisher-Kowalsiki (IFF, Wien University)

環境儀既刊の紹介

- NO.1 環境中の「ホルモン様化学物質」の生殖・発生影響に関する研究(2001年7月)
- NO.2 地球温暖化の影響と対策-AIM: アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル(2001年10月)
- NO.3 干潟・浅海域-生物による水質浄化に関する研究(2002年1月)
- NO.4 熱帯林-持続可能な森林管理をめざして(2002年4月)
- NO.5 VOC-揮発性有機化合物による都市大気汚染(2002年7月)
- NO.6 海の呼吸-北太平洋海洋表層のCO₂吸収に関する研究(2002年10月)
- NO.7 バイオ・エコエンジニアリング-開発途上国の水環境改善をめざして(2003年1月)
- NO.8 黄砂研究最前線-科学的観測手法で黄砂の流れを遡る(2003年4月)
- NO.9 湖沼のエコシステム-持続可能な利用と保全をめざして(2003年7月)
- NO.10 オゾン層変動の機構解明-宇宙から探る地球の大気を探る(2003年10月)
- NO.11 持続可能な交通への道-環境負荷の少ない乗り物の普及をめざして(2004年1月)
- NO.12 東アジアの広域大気汚染-国境を越える酸性雨(2004年4月)
- NO.13 難分解性溶存有機物-湖沼環境研究の新展開(2004年7月)

『環境儀』

地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように『環境儀』という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すしるべとしたいという意図が込められています。『環境儀』に正確な地図・航路を書き込んでいくことが、環境研究に携わるものの任務であると考えています。

2001年7月

理事長 合志 陽一

(環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)

環境儀 No.14

— 国立環境研究所の研究情報誌 —

2004年10月31日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当WG: 鈴木 茂, 森口 祐一, 木野 修宏, 須賀 伸介,
清水 英幸, 松本 公男)

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

問合せ先 (出版物の入手) 国立環境研究所情報企画室 029(850)2343

(出版物の内容) " 企画・広報室 029(850)2310

環境儀は国立環境研究所のホームページでもご覧になれます。

編集協力 (社)国際環境研究協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-1-13

無断転載を禁じます