

I R-1 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

(2) 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

研究代表者 環境庁国立環境研究所地域環境研究グループ

(地球環境研究センター併任) 森口祐一

環境庁国立環境研究所 (地球環境研究センター併任・協力研究員)

地球環境研究グループ

西岡秀三、森田恒幸

地域環境研究グループ

森口祐一

社会環境システム部

川島康子

(委託先) 九州大学工学部環境システム工学研究センター

井村秀文、松本 亨

平成7-9年度合計予算額 22,150千円

(平成9年度当初予算額 7,106千円)

[要旨]

持続的発展や環境と経済の統合の達成状況を評価するための指標開発は世界的な課題とされており、指標開発のための統計システムとしての環境資源勘定の重要性が高まっている。本研究は、環境指標と、主に物量単位的环境資源勘定とを結び付けることにより、環境負荷の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少数の環境指標群を提示し、持続的発展や循環型社会の達成度評価に資することを目的とする。

まず、環境指標、持続可能な発展の指標、環境資源勘定の開発に関する最新の国際的動向を調査し、主要な手法の開発状況と手法間の相互関係を整理した。これらの手法のうち、本研究では、マテリアルフローに関する物的勘定とこれに基づく指標開発に主に取り組むこととした。

このため、米国、ドイツ、オランダとの国際共同研究に参画し、第一段階として、環境から経済への資源の投入という断面に焦点をあてた。資源の直接投入の総量や、資源採取段階で生じる廃棄物など、経済活動への投入以前に発生する「隠れたフロー(エコロジカル・リュックサック)」を含めた総物質需要量などの指標を提案し、これを実際に過去20年間について算定し、4ヶ国間の比較分析を行った。また、日本について、資源の投入フローとともに、資本の蓄積、廃棄物の発生など、物質の産出側の全体フローを把握し、投入フローと産出フローの関係(マテリアルバランス)を図化した。また、将来取り組むべきより包括的な物的勘定体系として、産業連関表を環境面について拡張した3次元投入産出分析表の枠組みを設計した。

さらに、都市単位での物量単位的环境資源勘定表の開発のため、勘定の全体構造の設計、質的要素の評価方法および人工物ストックの計測方法の検討を行うとともに、福岡市を例に、都市のマテリアルフロー勘定および人工物ストック勘定の試作を行った。

[キーワード] 持続的発展、環境資源勘定、環境指標、マテリアルフロー

1. 序

1989年のアルシュサミットにおける「環境と経済の統合のための環境指標の開発」の要請にもとづくOECD（経済協力開発機構）における環境指標開発、アジェンダ21第8章における環境経済統合勘定体系の確立の必要性、および同第40章における「持続的発展の指標」の開発と利用促進の必要性の明記、1993年の国民経済計算体系（SNA）改訂における環境経済統合勘定（SEEA）の導入などにみられように、環境指標および環境資源勘定体系の開発は世界的な重要課題となっている。一方、1994年12月に策定されたわが国の環境基本計画においても、計画の長期的目標の達成状況や目標と施策との関係を示す指標の開発の必要性がうたわれている。

これまで地球環境研究総合推進費では、平成3年度のフィージビリティスタディ、平成4～6年度の第1期研究によりわが国の環境資源勘定体系の確立のための研究を実施し、一定の成果を挙げてきた。しかし、内外からの要請に速やかに応えながら、包括的な環境資源勘定の具体的な作成作業を実施に移すまでには、なお調査研究として取り組むべき課題が多く残されている。また、環境資源勘定体系を、環境指標や経済と環境の統合のための指標の開発の基盤となる統計システムとして活用するために、指標と環境資源勘定の連携を深めることが重要な課題となっている。

2. 研究の目的

こうした内外からの要請に応えるため、本研究では、環境指標と、主に物量単位の環境資源勘定とを結び付けることにより、環境負荷のフローを体系的に定量化した上で、これをベースに政策目標の設定や政策効果の評価に適した少数の環境指標群を提示し、持続的発展や循環型社会の達成度評価に資することを目的とする。3年間の研究により、地球環境問題に関わるわが国の環境負荷のフローを定量的に示すとともに、政策の数値目標として用いるのに適した指標群を提示し、わが国および主要国について試算を行う。また、地域・都市レベルにおける環境指標と環境資源勘定の統合についての事例研究を行う。

3. 研究の手法、成果および考察

（1）環境指標、環境資源勘定およびこれらの統合手法に関する国際的動向のレビュー

①国際的活動への参画と情報収集

第1期の環境資源勘定研究以来、環境資源勘定および環境指標に関する多数の国際的な取り組みに積極的に参画してきたが、本研究でも引き続きその最新動向を調査するとともに、専門的立場からの国際貢献、国際共同研究の準備を行った。

環境指標開発に関する国際的活動のうち、国連持続的発展委員会(UNCSD)関連の取り組みでは、国連政策調整・持続的発展局(DPCSD)が中心に進めているD-S-Rの枠組みによる指標開発のための方法論の整理と、UNCSDからの委嘱を受けた環境問題に関する科学委員会(SCOPE)が「高度に集約された指標」および「指標間の相互関係」を中心に行っている調査研究に参画した。前者では、1996年2月にニューヨークで開催された「持続的発展の指標専門家ワークショップ」に出席し、経済、社会、環境、制度の4分野から構成されるアジェンダ21の各章に相当する指標に関して、その定義や算定法について担当国連機関が執筆したメソドロジーシートを、途上国を含めた国際比較の可能性や、環境資源勘定の枠組みによる基礎データ整備との連携を視野にいれな

がらレビューした。後者では、1995年11月にドイツのヴッパータールで開催されたSCOPE主催のワークショップに出席した。ここでは、マテリアルフロー勘定と、地理情報システムに基づく指標の2分野が重点的な研究課題とされたが、これまで本研究所における環境勘定研究で蓄積してきた温室効果ガスや森林資源に関する物的勘定の成果、とくに外国からの資源輸入に伴って、資源産出国側で生じる環境負荷にも目を向ける考え方が、マテリアルフロー勘定と方法論上の共通性が高いことから、この分野でのドイツ、オランダ、米国との国際比較研究の準備に着手した。

一方、経済勘定と環境勘定をリンクした勘定を実際に作成し、さらにこれを国レベルの環境計画の目標設定と達成度評価のための環境指標とリンクさせている先進的事例として、オランダのNAMEA（環境勘定を含む国民経済計算行列）に着目し、同国の住宅・国土計画・環境省（VROM）ならびに中央統計局（CBS）を訪問し、その最新動向や基礎データ整備の体制等について調査した。VROM、CBS、国立公衆衛生・環境保全研究所（RIVM）等の共同作業により、汚染物質排出登録制度とも連携した包括的な排出目録（インベントリー）の整備が行われてきたことが、NAMEAの開発に大きく寄与していることが特筆される。

このほか、1996年3月に、経済企画庁および国連大学の主催のもとに東京で開催された「環境経済統合勘定の理論と実践に関する国際シンポジウム」における諸外国における環境資源勘定開発の最新動向の調査、同シンポジウムに来日したフランス、オランダ、ドイツ、ノルウェー、スウェーデンおよびオーストラリアの物量面での環境資源勘定の専門家との意見交換会の開催、世界資源研究所（WRI）およびオランダVROMの環境指標専門家を招聘してのワークショップへの出席、エコロジカル・フットプリント研究を行っているカナダのブリティッシュコロンビア大学の訪問等を通じて、環境指標および物的な環境資源勘定の多様なアプローチに関する情報収集を行った。

また、第2年度からは、マテリアルフローに関する物的勘定に重点をおいた。1997年1月に、オランダのライデン大学で開かれたConAccountワークショップでは、物質のフローの計量に関する多様なアプローチが紹介、討議された。現在までに行われている研究は、主に経済全体や特定部門に着目して物の出入りを計量するMaterial Flow Accounting(MFA)と、特定の元素や地域に着目し、大気・水・土壌・生物といった環境を構成する圏域(Compartment)間の物質のフローを計量するSubstance Flow Accounting(SFA)に大別される。また、同ワークショップでは、MFAやSFAと、産業連関(IO)分析、ライフサイクルアセスメント(LCA)など、「連鎖」を追う類似の分析手法との連携の必要性が確認された。一方、平成7年度に着手した米国、ドイツ、オランダとのマテリアルフロー勘定に関する国際比較研究については、平成8年度中の2度の会議を経て、その最初の成果報告書を取りまとめ、平成9年4月の国連持続的発展委員会(UNCSD)第5回会合にあわせて発表した。その詳細については、後に(3)で述べる。

なお、国内では、環境基本計画に基づく長期的目標の達成度評価のための総合的指標の開発作業に参画し、マテリアルフローに着目した指標やDSRフレームワークに基づく指標について、上記の国際的活動の成果から反映すべき内容を提案するとともに、指標の算定基盤としての勘定の設計に、指標開発側から求められる要件について調査した。

以下に、これらの内外の動向の調査結果について要約する。

②環境指標、環境資源勘定および持続可能な発展の指標の概要と相互関係

ア. 環境指標

「指標」とは、対象とする事象の特性を測る道具であり、何らかの解釈を行ったり、情報として伝える目的で用いるものである。一般には、その事象を記述する変数の中から、重要性、代表性をもった変数を選び、必要に応じて、これらを組み合わせたり、数学的な加工を行ったりしたものを指す。環境指標(Environmental Indicator/Index)は、環境の状態、その原因となる人間活動や環境への負荷の量、環境問題への対策などについて、可能な限り定量的に評価するためのものさしである。環境指標は当初、環境汚染の状況を表す手法として利用されたが、1980年代後半からの地球環境問題の顕在化によって、視野に入れるべき環境問題の範囲が広がり、情報の量を圧縮し同時に情報の質を高めることがますます重視されるようになった。1990年代に盛んになった国際的な環境指標の検討作業の主たる課題は、Indicatorを設定すべき環境問題の分野の選択と、数ある変数の中から政策に直結し、かつデータの入手しやすい変数を選び出すことにある。

最近の内外における環境指標開発においては、OECDの環境指標開発で採用された、P S R (Pressure-State-Response)と呼ばれる枠組みが用いられることが多い。Pは環境変化の直接の原因となる環境負荷やその背後にある人間活動、Sは環境の状態やその変化、これによる人間や生態系などへの影響、Rは環境変化を修復したり、未然に防止するために人間が行う対応策を意味する。こうした対応策は人間活動やこれによる環境への負荷、すなわちここでいうPにフィードバックされるので、P S Rは因果関係 (Causality) の環を構成する。

イ. 環境資源勘定

環境指標が膨大な量の環境データの中から、本質的な情報を拾い出し、少数の数値に集約して、対象とする問題を記述する試みであるのに対し、環境資源勘定は、環境汚染や自然資源と人間との関わりについての情報を、可能な限り整合的、包括的な統計の枠組みの中に漏れなく記述しようとするものである。環境資源勘定は貨幣勘定と物的勘定とに大別される。貨幣勘定は、従来から用いられてきた貨幣価値単位の経済勘定の中で環境悪化や資源の枯渇などの問題を扱うもので、従来の経済勘定の中から、汚染防止支出などの環境関連の項目を抽出・分離したり、これまで評価されてこなかった汚染や資源の減耗、劣化を貨幣価値に換算して記帳するものである。こうした項目をG N P (G D P) から差し引いて修正した指標がいわゆるグリーンG N P (G D P) であり、持続可能な発展の指標の重要な一分野と位置づけられる。

一方、物的勘定は、鉱物、森林、水、土地などの自然資源について、そのストックおよびフローを、物量単位で体系的に記述するいわゆる自然資源勘定が源である。この手法は、金融資産や人間が生産した固定資本の記帳にならって、自然資源についてある時点での残高や、ある期間の増減や使途を記帳するものである。このアプローチについては、フランスやノルウェーにおける事例が先駆的である。フランスの勘定は「自然遺産勘定」と訳される場合があるが、その原語の "Patrimoine Naturel" は「自然の世襲財産」を意味し、自然環境を将来世代に遺す、という持続可能な発展の概念とよく合致した語感をもつ。また、ノルウェーの勘定では、自然資源を、フローとして原材料の形で利用する物的資源と、ストックとしての存在が提供するサービスを意味する環境資源とに分類している。これらの用語については、必ずしも統一されていないが、自然資源のもつ二つの役割 (量の変化を伴うものと伴わないもの) を理解する上で重要な概念である。

物的勘定のアプローチは、自然資源だけでなく、汚染物質や廃棄物の計量にも拡張され、「汚

染物質や資源のフロー勘定」や「マテリアルフロー勘定」(Material Flow Accounting)などと名づけられている。自然環境と経済活動の間や、経済活動の部門間におけるこうした資源や汚染物質のフローの把握は、産業連関分析の枠組みを拡張することによっても可能である。ドイツでは物量単位の産業連関表が連邦統計局により編纂されている。

環境資源勘定の重要性は、経済統計の分野でも認識されている。1993年にはSNAが改訂されたが、環境や自然資源の問題については、SNA本体を組み替えて扱うことは見送られたものの、その外側に補助的な勘定（サテライト勘定）を作ることが盛り込まれた。これが環境・経済統合勘定（SEEA：System of Integrated Environmental and Economic Accounting）である。SEEAは貨幣勘定を中心としつつも物量勘定も併用できる形式となっており、また、扱う内容にあわせていくつかのバージョンが用意されている。SEEAの貨幣勘定については、本研究課題のサブテーマ（3）で経済研究所が取り組んでいる。

環境資源勘定の枠組みは、統計的整合性と、政策的意義の双方を兼ね備えているが、その機能を十分に果たすには、元になる統計調査の体系化が必要である。また、勘定は整合性、包括性に重きをおくため、意思決定のための情報としては専門的すぎ、表現も複雑すぎる。このため、勘定を意思決定の情報として活用するには、勘定と指標を結び付けることが必要である。貨幣勘定に基づく指標としてのグリーンGDPのように、物的勘定に基づく指標を開発することを本研究の主題としているのはこの理由による。また、物的勘定の要点は、資源や汚染物質のフローを経済活動部門と結び付けて記帳する点にあり、物的勘定に基づく指標の開発により、経済活動部門と対応させた指標の算定や解釈が可能となる。

ウ．環境の指標から持続可能な発展の指標への展開

先述のとおり、環境指標は当初、おもに環境汚染を扱ったものであったが、OECDのコアセッット指標にみられるように、自然資源も環境指標が扱う対象に含められることが多くなっている。これは、経済活動からの負のアウトプットの産出先（シンクとしての環境）と、経済活動への正のインプットの供給元（ソースとしての環境）の両面で、経済と環境との相互作用を視野に入れることが必要との認識が浸透したことによる。

持続可能な発展の概念では、こうした経済と環境との相互作用において、環境の不可逆的な変化を将来世代への負債として残さない、という視点が根幹にある。ところが、アジェンダ21によって、持続可能な発展の概念には、これよりもはるかに広い内容が含まれることが明確に示され、その結果、持続可能な発展の指標は、環境汚染や自然資源の問題を扱う環境指標や環境資源勘定の領域のみには収まりきらなくなった。しかし、このことは、持続可能な発展において、環境指標が従来扱ってきた問題が軽視されることを意味するものではない。これまでの環境指標の蓄積を活かしながら、より広い概念をとりいれた指標体系の構築を課題とすべきであろう。

持続可能な発展の指標とは、我々の経済・社会とそれを取りまく環境の健全さを測るバイタル・サインとなるべきものである。この指標は、経済、社会、環境が全体として持続可能な方向に向かっているかどうかをモニターしたり、個々の意思決定が持続可能な方向と合致しているかどうかを判断する役割を果たす。後に述べるように、これまでに多くの指標や指標群が提案されているが、その内容は多様である。むしろ、このことは持続可能な発展の概念が多様であることの反映であり、各々の指標には、各々の提案者が、持続可能な発展をどのような側面からとらえてい

るかが如実に反映されている。

③持続可能な発展の指標の開発動向

ア. 持続可能な発展の概念の広がり

持続可能性を計測するための指標については、本研究課題の先行研究において、持続可能な発展の概念の系譜とともに整理されている。それによれば、持続可能な発展の概念は、「自然環境の制約を重視するもの」、「世代間の公平性を重視するもの」、「社会的正義や生活の質などの高次の観点を含むもの」の3つに類型化されていた。また、持続可能な発展の度合いを計測する手法に関しては、「物的な勘定体系とその指標化」「環境の汚染や劣化の経済的評価に基づく経済指標の修正」「自然資源の減価償却アプローチ」「総合的な福祉水準の貨幣単位による表示」の4つに類型化し、持続可能な発展の概念のうち、第一の自然環境の制約を重視した指標が多いことを見いだしていた。

その後開始された国連機関における持続可能な発展の指標の開発作業では、アジェンダ21を拠り所として重視し、ここに盛り込まれた幅広い内容が指標設定の対象となった。すなわち、持続可能な発展を、環境、経済、社会、制度の4つの側面からとらえるアプローチである。その結果として、上記の分類のような明確な性格づけの行いにくい、全方位的な指標群が新たに提案されるに至った。自然環境の制約を重視した指標について、引き続き多くの研究が進められる一方、社会的側面、制度的側面など、これまでの指標でカバーされることの少なかった領域での検討が相対的に増したといえる。これら最近の動向に重きをおきながら、以下に指標開発の具体的な事例を要約する。

イ. 個別指標リスト方式

1993年のCSD第1回会合において、アジェンダ21第40章に述べられた指標開発の必要性が確認されたことを受け、国連機関では、CSDの事務局である政策調整・持続可能な発展局（DPCSD）が中心となって指標の検討作業が進められてきた。1995～96年の数度のワークショップを経て、指標のリストと、指標の概念・重要性・計測手法・基礎となるデータの所在等を記したメソドロジーシートが取りまとめられ、1996年秋に、公表された。

CSDの指標リストの特徴は、アジェンダ21の章ごとに指標を設定し、持続可能な発展を、社会、経済、環境、制度の4つの側面からとらえていること、また、OECDの環境指標で用いられたPSRフレームワークを改変したDSRフレームワークを適用していることである。DとはDriving Forceの略で、持続可能な発展の状態（S）に影響を与える原動力となる人間の営みを意味し、必ずしも負の影響を与えるのではないという理由から、Pressureという用語を置き換えている。PSRフレームワークでは、Sは環境の状態を意味したが、CSDリストでは、さまざまな側面からみた持続可能な発展の状況を意味するものとして置き換えており、元の枠組みを大幅に拡大して適用している。また、D→S→R→Dというサイクルが必ずしも因果関係をなすようには構成されていない。

CSDリストには合計132の指標が含まれ、社会、経済、環境、制度について各々39個、23個、55個、15個の指標が提示されている。アジェンダ21の章立てに沿って指標が選ばれた結果、持続可能な発展の概念に含まれる多種多様な問題を包含している反面、この指標群は、異分野の指標

の寄せ集めの感を免れない。各国は、この指標リストから自国に関係の深いもののみを抽出すればよいとはいえ、130余りという指標の数は、意思決定の支援という役割からみると多すぎる感がある。個々の指標をもとに、持続可能な発展の達成状況の「全体像」をどのようにとらえることができるのかが課題であり、数多くの指標をより少数の指標に集約する方法の検討が必要である。

こうしたリスト方式の指標は、米国や英国でも提案されている。英国の省際作業部会の報告では、指標の選定にとどまらず、実際に過去20年余りの指標値を豊富なグラフで提示しており、国独自の持続可能な発展の指標のレポートとしては、最も進んだものといえる。この例では、重要課題が21のグループにまとめられ、100余りの指標が選ばれている。とくに、環境・資源面の指標が幅広い観点をカバーし、指標の大半がこれに充てられている。経済面の指標は含まれているが、社会面の指標はほとんどなく、生活の質や公平性などの観点は含まれていない。指標の数を減らすことの必要性は認めつつも、過度の集約を行うと、問題の構造が隠されてしまうことを実際の指標の算定の経験から指摘している。

ウ. 国民経済計算の集計値の環境面からの修正 —いわゆるグリーンGDP—

GNP、GDPに代表される現在の経済指標が、環境の悪化や資源の減耗・劣化を適切に反映していないことから、環境面から修正を加えた指標の開発が検討されてきた。これらは一般に「グリーンGNP（GDP）」と呼ばれている。1993年のSNA改訂時に導入されたSEEAでは、環境調整済み国内純生産（EDP）をこの種の指標として提示している。EDPは、GDPから資本の減価を差し引いた国内純生産（NDP）に環境面からの補正を加えたものである。

こうした補正が必要な理由はいくつかある。第一に、現在のGDPの中に、国民の福祉の向上に寄与しない、環境悪化の修復費用や予防費用の一部が計上されていること、第二は、環境の悪化によって健康の悪化や生活の質の低下を招いているにもかかわらず、本来支払われるべき費用が支払われていないことに伴う修正、第三は、化石燃料、金属鉱物などの資源の減耗に関する修正である。

この種の指標は、経済と環境を単一の数値(Index)に集約して表現できるという点に大きなメリットがある。その一方で、環境の貨幣価値の評価法をめぐる多くの論争があり、それ故に貨幣価値で表した指標に懐疑的な意見も聞かれる。また、SEEAをはじめとするこれらのアプローチは、自然環境の劣化・減耗を生じさせた結果を「事後的に」費用として評価しているが、持続可能性の観点からは、自然環境を劣化・減耗させないように維持しながら生みだしうる所得を「事前的に」計測すべきであるとの見方もあり、持続可能な発展の指標とするには、改良すべき課題が多く残されている。

エ. 総合的な福祉レベルを測る指標

グリーンGNPは、経済指標に環境問題の統合を試みるものであるが、持続可能な発展が論じられるよりかなり以前から、GNPに代わる真の豊かさを計測する試みが行われてきた。これは、GNPはあくまで経済発展の指標であって、個人あるいはその集合体にとっての福祉水準を表すものではないにもかかわらず、一人あたりGNPが個人の福祉水準の近似指標として使われてきたことに対する修正である。Nordhausらが1970年代初めに発表した経済福祉指標（MEW）がそ

の始まりとされ、市場で取引されない労働（家事労働）や余暇、環境悪化などを取り入れている。また、わが国においても、MEWの考え方を取り入れながら、国民純福祉（NNW：Net National Welfare）という指標が1974年に発表されている。この分野の指標のその後の発展としては、Daly and Cobbが1989年に発表した持続可能な経済福祉指標（ISEW）の提案と、その米国への適用が代表的なものである。また、米国版ISEWに一部変更を加えた上で英国について適用した研究も発表されている。この英国版ISEWの算定結果によれば、1950年から1990年の間に、一人あたりGNPは2.3倍に成長したのに対し、ISEWはほぼゼロ成長であり、評価方法に議論の余地の大きい資源枯渇や長期的な環境影響（温暖化）を除外したISEW*でみても、成長率は75%と、GNPの成長率を大幅に下回る。また、1975年以降の15年間では、GNPは35%の成長を示したのに対し、ISEWやISEW*はむしろ減少する結果となるとしている。ISEW英国版では、地球温暖化の費用を計算する際、二酸化炭素の各年の排出量ではなく、過去からの累積的な排出量を用いており、これによる補正の寄与が大きい。地球温暖化のような長期的・累積的な環境変化の貨幣価値による評価法は特に困難な課題であり、今後の研究の深化が待たれる。

オ. 社会的側面からのアプローチ

持続可能な発展の社会的側面については、いわゆる社会指標が計測対象としてきた問題が多く含まれる。社会指標は、一人あたりGNPなどの経済指標で測られる「豊かさ」は、人間の生活の質を測る上で必ずしも適切な指標ではないとの立場から、暮らしの豊かさや人間の発展の度合いを測る試みとして作成されてきた。これには、住居、医療、教育、サービス、治安など、さまざまな側面が含まれる。各々の側面についての指標の検討は、HABITAT（居住分野）やWHO（健康分野）などの国連機関でも実施されている。また、国や自治体で独自の指標セットを用意している事例も多い。

UNDP（国連開発計画）がHuman Development Reportで用いているHDI（人間開発指数）は、最も高度に集約された指標の一つである。現在のHDIは、第一に栄養状態や健康状態を代表する指標としての平均寿命、第二に知的水準を表す指標（非文盲率と就学率から計算）、第三に良好な生活に必要な資源を入手する資力の指標、の3つの要素から構成されている。

こうした社会指標には、経済的側面と社会的側面が取り入れられており、「発展(development)」のレベルの計量には有用であることから、CSDリストのような包括的な指標群の一部としての利用に適している。自然環境の有限性の観点からみた持続可能性を加味した指標が作成できれば、NNWやISEWのような貨幣価値単位の総合的な福祉レベルの指標と同様に、守備範囲の広い指標に発展させられる可能性がある。

カ. 自然環境の有限性とその公平な分配に着目した指標

上述の指標の多くは、「発展」の計量に重点をおいたものであったが、持続可能な発展の諸側面のうち、環境や自然資源の有限性を重視し、これを個々の環境問題ごとではなく、包括的にとらえようとする一群の試みがある。

ドイツのヴッパータール研究所では、経済活動と環境との間での物の流れ（マテリアルフロー）に着目したアプローチを提唱してきた。これは、本研究の中心をなすものであり、次に（2）で

詳述する。一方、Reesらが提唱するエコロジカルフットプリント分析は、「人間活動の足跡（踏みつけた面積）」の大きさ、すなわち資源の供給元および汚染の吸収源としての環境を、すべて面積に換算することにより、環境負荷の大きさを測ろうとする試みである。計算には、エネルギー消費（化石燃料消費に伴って排出されるCO₂を固定するための必要な面積）、土地の占有（都市用地など、人工的に改変された土地）、果樹園、耕作地、牧草地、林地を含め、さらに水産資源の消費量に応じて海面の面積を加えている場合がある。これら資源量と土地面積への集約を目指す方法と類似のものとして、「環境スペース」概念がある。オランダの自然環境研究諮問委員会（RMNO）、Spangenberg、地球の友オランダなどがこのアプローチを採用している。分析に含める項目は、機関ごとに多少異なり、地球の友では、化石燃料、淡水資源、非再生可能（鉱物）資源、農地、木材資源の5分野、Spangenbergは物質、エネルギー、水、土地、土壌の5分野を取りあげている。このアプローチでは、地球上の資源の一人あたりの利用可能量を割り出し、これと現在の各国の消費の現状を比較している点にも特徴がある。

これらのアプローチに共通するのは、環境への負荷を単一ないし限られた数の物的な計測単位に投影していること、この負荷量の持続可能なレベルを定めようとしていること、その水準を達成するために全地球の容量を分配する際に、一人あたりの割当量を全世界に公平に分配していることの3点である。一人あたりの割当量を地球上の人類に等しく分配することは、公平性の観点からは単純明快であるが、先進国の資源消費の現状を考えれば、短期的な政策目標とするにはやや非現実的である。これらの指標は、持続可能な水準と現在の水準の距離が、国によってあまりにも大きく異なるという事実を明示し、全地球的な容量をどのように分配するかが不可避の検討

④ 持続可能な発展の指標の類型

このように、持続可能な発展の指標には、多種多様な提案があるが、これは持続可能な発展の概念自身がまだ明確ではないことの反映であり、逆に指標の提案によって、持続可能な発展のより具体的な姿が模索されているといえる。現段階では、持続可能な発展の概念の明確化とは別に、指標自身の開発方針について、現在の課題を整理し、今後の展開を見据えておくことが重要と思われる。指標開発の方向性については、以下のような選択が必要であろう。

- ・問題を幅広くカバーする多数の指標リストか、単一ないし少数の集約された指標か
- ・環境、経済、社会、制度のいずれの側面からアプローチするか

これらの視点から、ここでとりあげた事例の位置づけを整理した結果を図1に示す。図では、中心に向かうにしたがって、少数の指標へと集約度を高めることを意味し、外側には、指標開発の元となる情報基盤を配置してある。

環境資源勘定は、環境的側面と経済的側面の統計基盤の統合をめざしたものであるから、本研究の対象は、図の上外側から中心に向かう領域にある。この領域に位置づけられる、環境汚染や自然資源の有限性を重視した指標は、いずれも物的資源への依存を減らすことの必要性を示している。一方、英国版 I S E W の報告の中で、福祉水準を表すこれまでの指標が物的な消費に偏っていたことの記述がある。物の消費の低減が、従来の修正されないままの経済指標の低下を招く可能性は否定できないが、このことは必ずしも福祉水準の低下を意味しない。逆に、福祉水準の指標が的確に提案されれば、豊かさの追求と物の消費に伴う環境負荷を低減させることは、かなりの程度まで両立する可能性がある。「発展」の計測法を貨幣面・物質面に偏った評価から社会

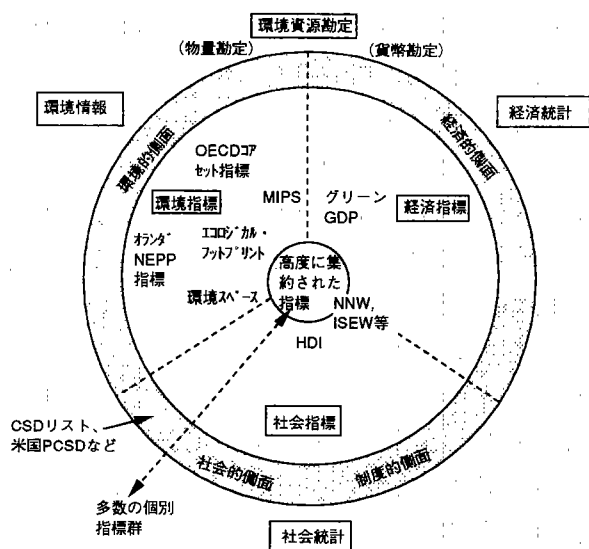


図1 持続可能な発展の指標に関連するさまざまなアプローチの見取図

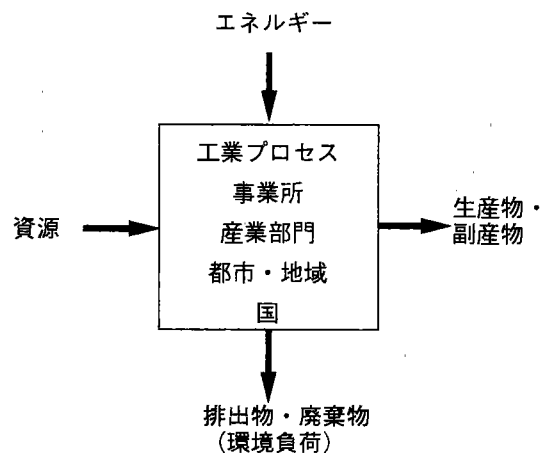


図2 マテリアルフロー分析の一般的概念

的・文化的も重視した評価に移行させつつ、自然環境の有限性のうち、持続可能性の観点から何が真に重大な問題なのかを的確に表す手法を提供することが、持続可能な発展の指標開発にとって優先課題であると考えられる。

(2) マテリアルフロー勘定の枠組み

①マテリアルフロー勘定の概念

化石燃料の大量消費による地球温暖化問題の例を引くまでもなく、今日の環境問題の多くが、大量生産、大量流通、大量消費、大量廃棄と密接な関わりをもち、資源の利用可能量や環境の自浄能力が有限であることの認識は、持続可能な発展を論じる上での基本認識の一つである。経済活動が自然環境からどれだけの資源（自然環境から経済活動へのインプット）を取り出し、自然環境にどれだけの廃物（経済活動から自然環境へのアウトプット）を排出するか、また、経済活動の内部で、物質がどのように流通し、変化していくか（経済活動部門間での原材料や中間製品のスループット）、を体系的にとらえる、マテリアルフロー勘定（MFA: Material Flow Accounting）は、資源や環境の有限性を扱う上での有力なツールである。

MFAは、図2に示すようににさまざまなスケールの対象に適用可能である。本研究では、指標開発との連携という観点から、主に国単位および都市単位の勘定をとりあげるが、例えば、生産プロセス単位の勘定や事業所単位の勘定は、ライフサイクルアセスメントや企業の環境会計のための情報基盤として利用できる。本研究では、あらゆる物質のフローの総量やその内訳を勘定することに主眼をおくが、金属や木材などの特定の材料のフローをとりあげる場合や、後に述べるように、特定の有害物質や元素のフローをとりあげる場合もある。

なお、国内では、国全体のマテリアルフローをとらえることの必要性が、リサイクル推進の立場から提起され、数年前から、環境白書に環境庁試算によるわが国のマテリアルバランスが毎年掲載されてきた。また、これとやや異なる内容のマテリアルバランスが、クリーン・ジャパン・センターによる計算値として発表されている。また、柳沢らは、GRC（総資源消費）概念の提

唱とともに、国全体の物質収支や特定部門における物質収支の試算結果を発表している。

②マテリアルフロー勘定とこれに関連する分析手法

ア. MFAの源流

マテリアルフローの分析は、元来、環境経済学ないし資源経済学のアプローチの一つに位置づけられてきた。MFAの源流は、1970年前後のKneese, Ayresらのアプローチ、すなわち環境経済学において物質代謝論として位置づけられている手法に見いだされる。このアプローチは、環境汚染問題の発生により、経済学において単にサービスを運ぶ媒体として物質を取り扱うのみではなく、自然と人間との間での物質代謝を扱うことが必要との認識から生まれたものであり、経済活動と自然環境との間での物質収支をフローチャートとして示すことから始められた。本論文で後に述べる事例も含め、MFAの成果は多くの場合、フローチャートに集約される。そのねらいは、分析対象とする系における物質代謝の構造的な特徴を概観することにある。

イ. マクロなアプローチ ～環境資源勘定および持続可能な発展の指標～

MFAには、一国の経済活動全体ないし特定の経済部門を対象に、そこを出入りする物の総量およびその内訳を勘定(Account)として記帳するアプローチが含まれる。その意味では、既に述べたとおり、MFAは物量単位的环境資源勘定の一種とみることができ、ストックやその変化よりも、フローに重点をおいている点で、「資源と汚染物質のフロー勘定」と分類されるものである。

MFAへの取り組みが活発化している理由の一つとして、これを持続可能な発展の指標づくりに活用しようとする試みが増えられている。環境資源勘定には、環境面から補正された経済指標（いわゆるグリーンGDP）を算出するアプローチがあるが、MFAに基づく指標開発は、こうした貨幣単位の評価が困難であるとして、これを代替するものとして提案されたものである。しかし、これらは、経済と環境を統一的に分析する勘定という枠組みを採用し、そこから持続可能な発展の尺度となる、より集約的な指標を開発しようとしている点は共通している。

ウ. ミクロなアプローチ ～LCAおよび特定の物質や元素に着目したMFA～

こうした経済全体を視野に入れたいわばトップダウン型のMFAとは対象が異なるが、分析の視点に多くの共通点のある手法として、ライフサイクルアセスメント（LCA）が挙げられる。LCAでは、製品、サービス、技術システムなどを対象に、これに関連する資源の消費量や環境負荷の発生量のインベントリー（LCI：ライフサイクルインベントリー）づくりが進んでいるが、これらはミクロなMFAとみなすことができる。欧米のLCAでは、材料や製品の個々の生産プロセスについての物質収支データが整備されつつあるほか、有害化学物質や重金属など微量の要素も評価の対象に含まれている。こうした物質については、人間活動からの排出量の把握（エミッションインベントリー）だけでなく、自然環境中での挙動の解明が重要である。広義のMFAには、運命予測モデルなど主に自然科学的手法を用いた自然界での物質フローの分析も含まれ、他と区別するために、SFA(Substance Flow Accounting)と呼ばれる場合がある。

一方、廃棄物量の増大に伴うリサイクル促進の検討は、日本での最近のMFAへの関心の一つの要因となっているが、金属などのリサイクルにおいては、特定の元素や物質の経済活動間のフロ

一の把握が重要であり、これもMFA研究の重要な課題である。

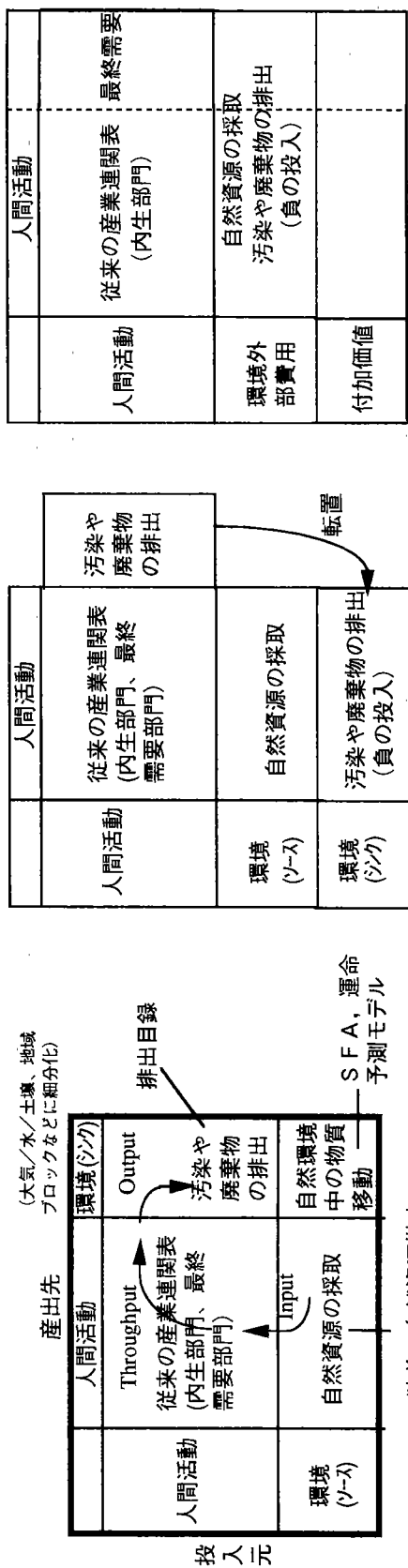
エ. 産業連関分析

LCAとMFAとの関わりは先に述べたが、わが国のLCA研究では、インフラストラクチャや廃棄物処理・リサイクルシステムなど、製品中心の欧米のLCAに比べて規模の大きなものを対象としていることのほか、LCAにおいて産業連関分析が活用されていることから、LCAとMFAの距離はより近いものとなっている。わが国のLCA研究では、産業連関表を利用したエネルギー消費やCO₂排出量の分析が数多く行われているが、これはエネルギー・アナリシス（エネルギー収支分析）の変形、あるいはレオンチェフ以来行われてきた産業連関表の環境分析への応用の一種とみることもでき、MFAはこれらの手法と極めて近い関係にある。また、LCA以外にも、家計消費による環境負荷分析と結び付ける試みなど、産業連関分析の環境分野への応用は近年盛んに行われている。環境面に拡張された産業連関分析（この意味では投入産出分析と呼ぶのがより適切である）は、環境経済学の物質代謝論アプローチの一つの表現形態にほかならない。

③ 投入産出分析の枠組みを用いたMFAの一般的表現

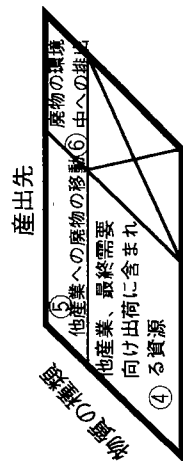
前節で述べたとおり、MFAおよびこれに関連する手法は、互いに分析の目的や対象とする系は大きく異なるものの、分析の枠組みにおいて高い共通性を有する。ミクロなアプローチであるLCIから、環境資源勘定、環境経済学の物質代謝論アプローチに至るまで、MFAに関連した手法を貫く共通性を表現するため、投入産出分析の表現を用いた一般的な枠組みの構築を試みた結果を図3(a)~(e)に示す。なお、特に断らない限り、ここでは投入産出表は貨幣単位ではなく、物量単位で記載することを想定している。

まず、図3(a)では、産業部門間の投入と産出を表す通常の産業連関表の投入元（行）、産出先（列）の双方に「環境」を加える。こうした理念的な拡張は既に環境経済学の物質代謝論において行われている。環境は、大気圏、水圏、地圏、生物圏のような媒体や、地域によって細分化してよい。4つに区切られたブロックのうち、左下の第1のブロックは自然界から人間活動への投入、すなわち鉱業による鉱物資源の採取、農林水産業によるバイオマス資源の採取などを記載する。左上の第2ブロックは、産業連関表に記載されている産業間の取引である。詳述は避けるが、最終需要部門も行・列ともに拡張してこのブロック内に記載する。これによって、家計消費からの廃棄物発生や、資本ストックからの再生資源回収などの記載を可能とする。右上の第3ブロックは人間活動から自然界への産出、すなわち汚染物質や廃棄物の排出を記載する。右下の第4ブロックには環境中の物質移動、すなわち媒体間の移動や地域間の移動を記載するもので、先述のSFAはこのブロックに関係する。このブロックは環境に関する自然科学全般に関わるものであり、その複雑なメカニズムはこうした投入産出の単純な枠組みのみでは記載しきれない。しかし、バイオマス資源をめぐる炭素循環のように、この第4のブロックへの記載が再び第1ブロックへと循環していく様子を記載する目的には有用であろう。環境と人間活動の間の物質循環は、この投入産出の枠組みの中で時計回りに表現される。なお、ここでは一国を想定した表現としているが、産業、環境ともに多国間に拡張して表現すれば、輸入自然資源に伴う環境負荷の分析において威力を発揮すると思われる。



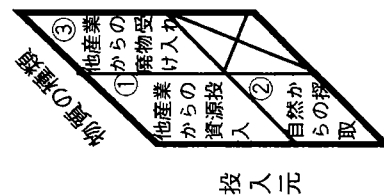
(e) 物量表記との整合性を考慮した波及分析用の投入産出表の形式

(c) 分析を容易にするための行列変形



産業 i	総量	資源	廃物
産業	① ④	投入、 産出を +、- で並記	③ ⑤ 投入、 産出を +、- で並記
環境(ソース)		② 自然からの採取	⑥ 環境への排出
環境(シンク)			

投入元、産出先



(b) 複数の物質フローを記述するための3次元の物量表

(d) 産業 i のマテリアルバランス

図3 マテリアルフロー分析用に拡張した投入産出分析の枠組み

一般の産業連関表では、各セルには金額が埋められるので、行・列2次元の表現で足りるが、物質のフローを記述するには、物質の種類ごとに表が必要であり、これを図3(b)のように、奥行き方向に複数の表をもつことで表現する。燃焼による化石燃料から二酸化炭素への変化のように、物質の変化を表すには、奥行き方向に投入（変化前の物質）と産出（変化後の物質）を符号を変えて記載する。1枚目の表は、全ての物質についての合計値（総量）の記載にあててある。こうした3次元形式の投入産出表は、小型のコンピュータで複数のスプレッドシートが扱えるソフトウェアが普及した現在では、容易に理解されよう。なお、特定の産業に着目して、その産業に関わる行・列について奥行き方向の2次元断面を抽出してブロックを並べかえれば、図3(d)のように、その産業部門についてのマテリアルバランスが表現できる。逆に、LCIで収集されたミクロなマテリアルバランスのデータは、これと逆の操作で(b)の投入産出表の形式に戻すことができる。

こうして拡張された投入産出表は、マテリアルフローの記述だけでなく、これまでの産業連関分析の環境への応用と同様に、さまざまな分析に活用可能であると考えられる。図3(c)のように、廃物の排出を負の投入と考え、転置して資源投入と併記しておけば、需要が変化した際に、産業間の波及を経て、資源投入や廃物発生量がどのように変化するかが分析できる。なお、図3(e)のように、資源投入と廃物の排出（負の投入）を、支払われていない負の付加価値（環境外部費用）と考えれば、貨幣価値評価の環境資源勘定とも並存させることができる。

こうした表現はまだ枠組みの設計段階であり、数学的に厳密な表現法の検討や、個々のセルを埋めるのは今後の調査研究に委ねられているが、次節以降で紹介するMFAの作成事例は、既にこの枠組みのいくつかの異なる断面について、実際に数値を埋めたことにほかならない。

（3）日本のマテリアルフロー勘定の作成と指標の国際比較

既に触れたとおり、本研究では、米国の世界資源研究所、ドイツのヴッパータール研究所、オランダの住宅・国土計画・環境省との間で、MFAに関する国際共同研究を進めてきた。ここでは、国際共同研究の手法の枠組みとこれに沿った日本のMFAの作成手法、MFAに基づく指標の国際比較結果、日本のマテリアルフローの特徴の分析などについての成果をまとめる。

① 適用したフレームワーク

ア. 従来のマテリアルフロー分析との相違点 ～「隠れたフロー」の考慮～

本研究で述べるMFAの枠組みは、ドイツのヴッパータール研究所が作成してきた枠組みを基本とし、その後4ヶ国による国際比較研究の実施過程で、いくつかの修正を加えたものである。この枠組みは、先に述べたわが国の従来のマテリアルバランスの作成事例と多くの共通点を有しながらも、いくつかの重要な相違点がある。

まず、自然環境(Eco-sphere)から人間活動圏(Techno-sphere)への物質の投入フロー量と、その逆方向の排出フロー量の双方、およびそのバランスに目をむけながらも、第一段階では、投入側の把握に重点をおいた点である。これは、資源の枯渇や分配といった問題に目を向けるとともに、投入されたものはすべて潜在的に廃棄物になりうることを、一般に物質フローに付随してさまざまな環境負荷が発生することを考慮したものである。

この枠組みの最大の特徴は、人間活動によって引き起こされながらも、財として扱われないために従来のマテリアルフローの把握から漏れていた「隠れたフロー」に着目したことである。隠れたフローという表現は、国際共同研究で採用された英語の訳であり、ヴッパータール研究所では、「エコロジカル・リュックサック」と名付けている。リュックサックを「背負った重荷」と訳せば、日本語の「負荷」という用語や、「隠れた」「背負った」とのニュアンスとよく合致することが理解されよう。たとえば、鉱物の採鉱段階において掘削される表土・岩石や、選鉱段階で鉱物から分離される不純物の量は、実際に精鉱として経済活動に投入される量をはるかに上回る。鉱物資源の大半を輸入に頼るわが国にとって、資源産出国で発生するこうした廃棄物は、これまで視野の外におかれていた。木材資源の採取段階で伐採されながら商品化されない木材も同様である。

隠れたフローの概念は、国内の経済活動にも適用しており、国内での鉱物採掘のほか、建設活動に伴う地表の掘削などをこれに含めている。従来から、建設材料として採取される砂や碎石の量は統計として捕捉され、マテリアルフローに加えられてきたが、ここでは、土地造成や土木構造物の建設に伴う表土の改変量を推計して加えている。この項目は、廃棄物側では、建設残土問題と対応する。

この枠組みでは、こうした鉱業活動や建設活動による土壌の掘削のほか、農業生産による土壌の侵食も加えており、これら「土の移動」を加えていることも特徴の一つにあげられよう。これは土の移動が、生態系や景観の破壊、土壌の生産力の低下に結びついているとの理由からである。なお、これら固体のフローのほか、気体や水のフローも概念的には捕捉対象にしているが、後に述べる指標計算では除外している。

イ. MFAに基づく指標

こうして計算される自然から経済活動への資源の実投入量はDMI (Direct Material Input)、隠れたフローを含めた総量はTMR(Total Material Requirement)と名付けられ、人口一人あたり、GDPあたりといった規格化した指標で提示される。なお、TMRは従来ヴッパータール研究所がTMIと名付けたものと同義であるが、隠れたフローは実際には「投入」されないため、"Input"という語の使用を避けたものである。

なお、こうした物質フロー量を、個々の製品やサービス1単位あたりについて求めたMIPS (Material Input Per Service unit)と呼ばれる指標を、環境への負荷を概括的に表す近似指標(proxy indicator)とする考え方が提唱されている。MIPSがエネルギー・アナリシスにおけるEnergy Intensityと同様の概念であることは容易に理解されよう。

MIPSは投入される資源や発生する廃棄物の質的側面を取って無視することによって、質の異なる環境インパクト間の集約という困難な問題を避けることに成功している。物質のフローに付随してどのような環境問題が生じるのか、例えば「大気へのCO₂の放出によって温暖化が起きる」といった科学的知見が得られているケースは少なく、多くの場合、フローの量そのもの以外には情報がないのが実状であることから、このアプローチでは物のフローをさまざまな環境負荷を代表する「代理指標」として捉えている。その反面、扱われるさまざまなフローは、同じ量であっても、環境への影響に大きな違いがあるため、LCAの専門家などから、MIPSは環境負荷の総合指標として意味に乏しいとの批判も聞かれる。むしろ、MFAで扱う異なるフローに

ついて、付随する環境影響の違いを表す重み係数を適用するようなアプローチも開発の余地がある。しかしMFAの意味はむしろ、資源の大量消費や、その採掘に伴う自然の大規模な改変を扱うことにあり、健康リスクや生態系リスクを評価軸とするLCAとは、着眼点が異なるとみるべきであろう。

② 日本のマテリアルフロー勘定の作成

ア. データソースと推計方法

前述のとおり、わが国全体のマテリアルフローの作成には、既にいくつかの事例がある。ここではこれらのデータを参考としながら、先に述べたヴッパータール研究所提案の枠組みに沿ったMFAへと拡張した。以下、主要な項目についてのデータソースと計算方法の概要を示す。

(ア) 国内での資源採取量：鉱業、エネルギー、農林水産関係の統計年報や便覧の数値を用いた。採鉱時の廃棄物量は、品位とズリ混入率から推定したが、統計の性質上、覆土はごく一部しか含まれておらず、これを過小推計していると思われる。なお、農林水産品のうち、肉、乳、卵や養殖による漁獲などは、飼料との二重計上を避けるために、計上していない。

(イ) 輸出入量：輸出入量は、主として通商白書（各論）の値を用いた。質量以外の単位で記載されたものについては、比重などの係数を設定して質量単位に変換した。機械類など、質量に変換可能な物量値が記載されていない品目については、その出典である貿易月表に戻って調査した。貿易月表にも質量の推計可能な物量値がない場合には、金額あたりの質量が類似の品目と同じであると仮定して、貿易金額をもとに推計した。

(ウ) 輸入資源に関連する隠れたフロー量：石炭、金属鉱物、農産物、木材およびその製品について求めた。石炭および金属鉱物については、主として国際共同研究でヴッパータール研究所および世界資源研究所から提供された係数を用いて推計した。石炭や鉱物のリュックサック量は、露天掘りの場合に特に大きい。これは、覆土(Overburden)を含めているためである。多くの場合、金属鉱は採掘時よりも品位の高い状態（精鉱）として輸入されるので、その過程で分離される不純物量は、粗鉱と精鉱の品位差から推計した。農産物については、麦、とうもろこし等の主要品目について、面積当たりの収量から日本の輸入量に相当する作付け面積を推計し、米国における農地面積あたりの土壌侵食量（15t/ha）を適用した。木材については、南洋材およびこれを原料とする合板、木材チップについて、輸入された純木材量に対して5.5倍の材積が伐採されたと仮定した。

(エ) 国内の土壌侵食および建設工事による掘削量：農地の土壌侵食量は、日本の実態に合わせて改良されたUSLE式をもとに、畑地1haあたり約6トンとして推計した。また、建設工事による掘削量に関しては、建設省から建設残土量が報告されているが、この量は、搬出された残土量であって、同一工事の中で埋め戻し等に利用した場合には計上されない。丘陵地の宅地造成などでは、切土と盛土がバランスするように土工計画が立てられているので、大規模な掘削が行われても残土量には現れない。そこで、宅地造成についての環境影響評価書の事例等をもとに、土地造成における土工量を1haあたり3万m³と仮定し、これに宅地の完成面積を乗じて宅地造成による土地掘削量を推定した。土の密度は1.75t/m³とした。実際には、道路工事など、宅地造成以外でも現場埋め戻しが行われているため、この分が過小推計になっていると思われる。

(オ) 投入と排出のバランス推計のための項目：今回の推計では、投入側に重点をおいたが、

排出側を含めたバランス全体についても粗い試算を行った。大気については、大きな量を占める二酸化炭素の排出を扱い、燃料中の元素構成比を想定して、必要な酸素量、二酸化炭素とともに生じる水蒸気量を推計した。産業廃棄物や一般廃棄物の発生量、中間処理量、再生利用量、最終処分量は厚生省の資料を元に整理した。産業廃棄物の汚泥や家畜糞尿には、大量の水分が含まれているため、この分のバランスを考慮したが、従来のバランス作成事例ではこの水分が考慮されていない場合があり、投入と排出の差として求められたストックの増加分が過小推計されていたことになる。

イ. 日本のマテリアルフローの推計結果

上記の方法で求めた1990年度のマテリアルフローの全体像を図4に示す。一般のマテリアルフローで扱われる輸入資源、国内資源を合わせた投入合計は約22億トン（DMIでは算入しない再生資源を合わせると24億トン）で、砂利や砕石などの建設原材料がその約半分を占める。約7億トンの輸入資源が「背負った」相手国でのマテリアルフローは約24億トンと推計され、石炭や銅、鉄鉱石に関係する量が多い。とくに銅は、金属量1トンあたり300トン程度のフローを伴うとされる。農産物や林産物に伴うリュックサックも約2億トンに達する。

これに、国内での建設工事や鉱物採鉱による掘削量などを加えた総物質需要量（TMR）は約57億トンであり、人口一人あたりでは約46トンである。また、図4には、二酸化炭素の排出量やそれと対をなす酸素の消費量を付記しているが、これらは建設材料のフローに匹敵する量である。温暖化対策として、二酸化炭素を固定する技術を論じる際には、こうした量的関係を理解しておくことが不可欠であろう。

③マテリアルフロー勘定に基づく指標の算定と結果の解釈

ア. 4ヶ国の指標値とその推移の比較

図5は、過去約20年間の一人あたりTMRを比較したものである。日本のTMRは微増傾向にあるが、比較の基準年とした1991年における45トン／人・年という数値は、他の3ヶ国に比べてかなり小さい。米国の漸減傾向は、主に農地の土壌侵食対策の効果によるものである。また、ドイツの最近の変化は、東西ドイツの統合前後でデータが不連続であることに起因する。図6のTMRの種類別内訳では、日本の化石燃料の寄与が他国に比べて小さいことが示されているが、さらに詳細にみれば、石炭への依存度が低いことが、一人あたりのTMRが小さいことに大きく寄与している。

図7は、TMRを資源実投入量と隠れたフロー、国内起源と国外起源に分けて、各々の寄与を示したものである。各国とも、隠れたフローがTMRの半分ないし4分の3を占める。資源実投入量では、オランダ以外の3か国は17～22トン／人・年とかなり近い値となる。オランダの値が大きいのは、欧州諸国に製品として再輸出される原材料の受け入れ量が多いことが主たる要因であり、国内むけに消費される資源量は、4ヶ国で大差はないと推定される。

国外起源のフローの比率は、自然資源の対外依存度を如実に示し、米国ではTMRの90%以上が国内起源であるのに対し、日本やオランダは国外起源のフローが過半を占め、とくに隠れたフローの比率が高いことが特徴である。

図8は、各国のGDPあたりTMR（物質集約度の指標）を、1975年を100として示したもの

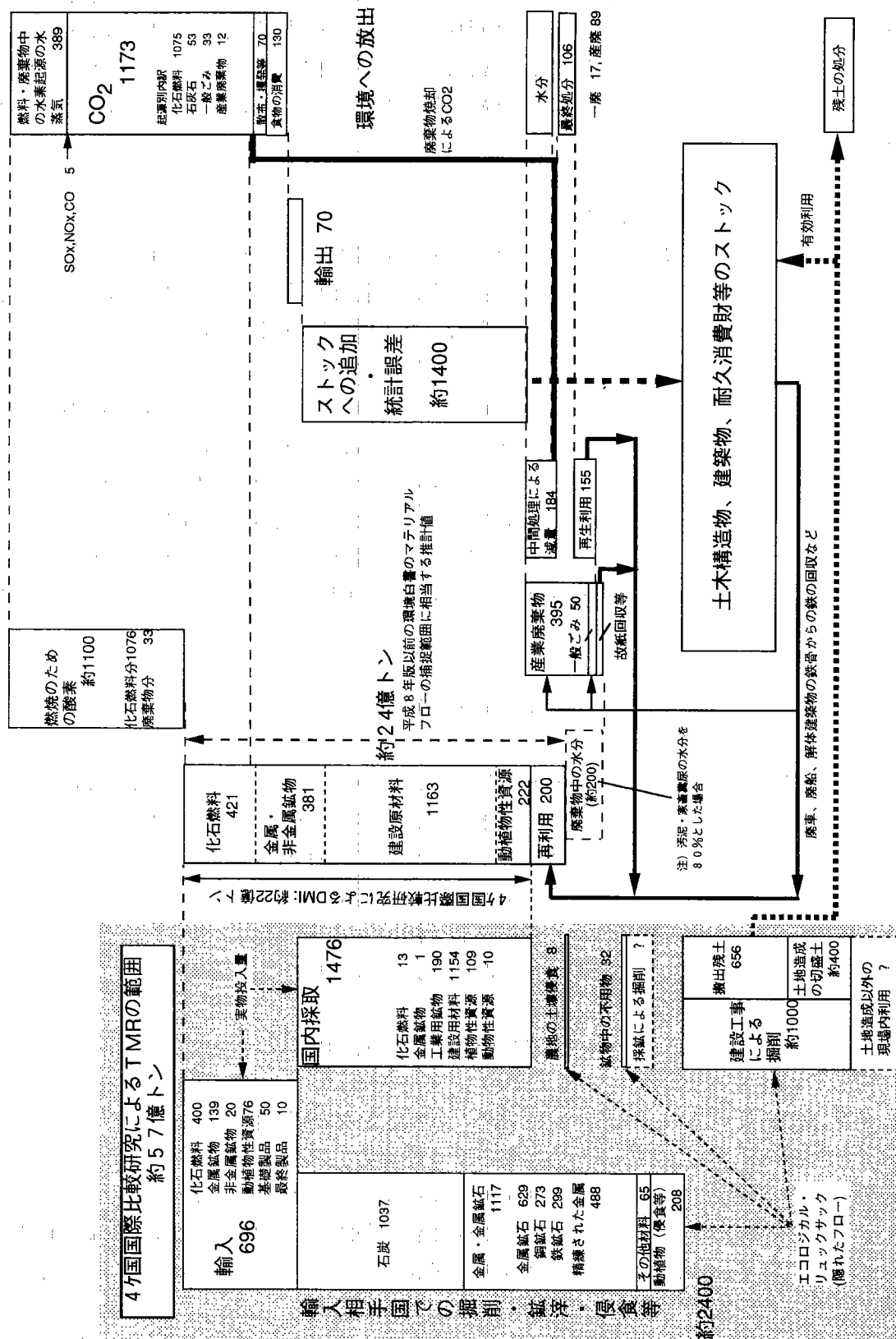


図4 拡張された日本のマテリアルフロー（1990年度） 単位：100万トン

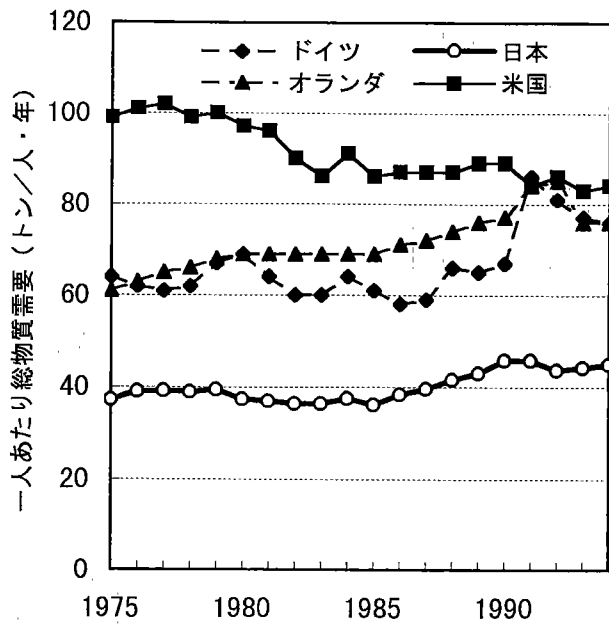


図5 4ヶ国の一人あたりTMRの推移

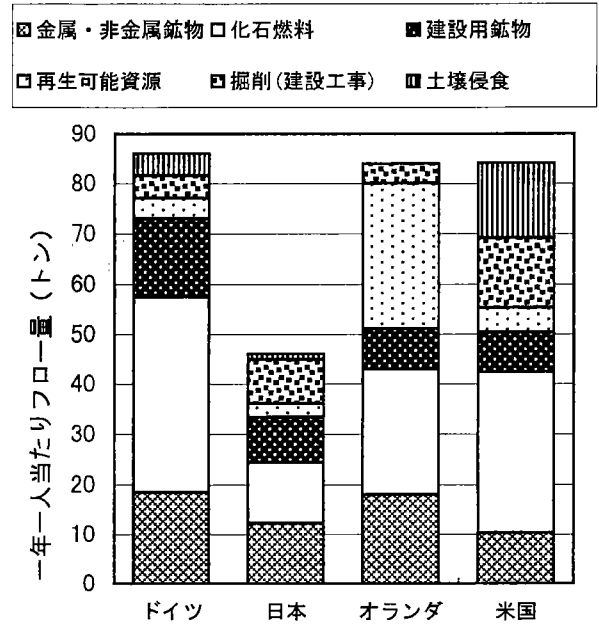


図6 4ヶ国の総物質需要量(TMR)の種類別内訳(1991年)

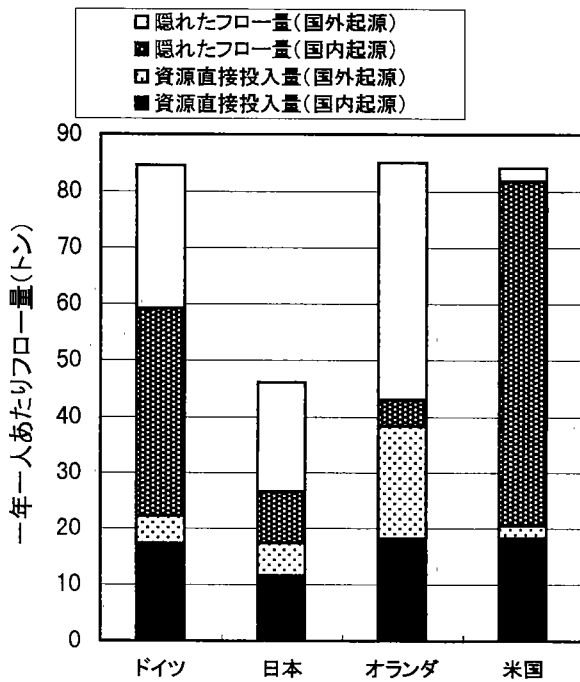


図7 4ヶ国の総物質需要量(TMR)の比較(1991年)

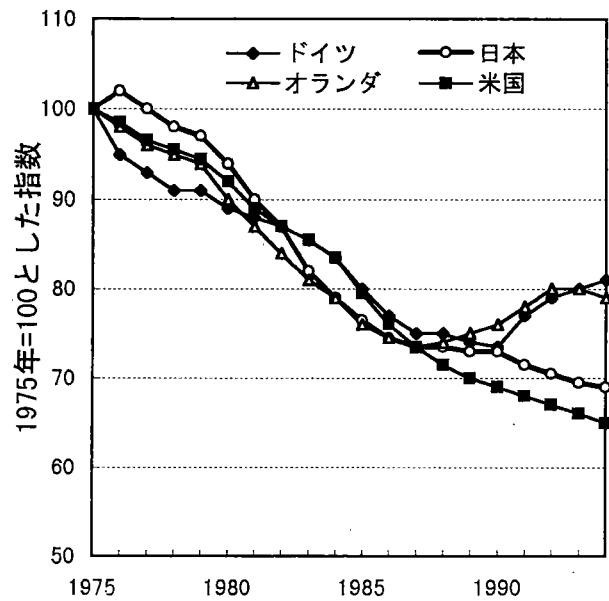


図8 4ヶ国の総物質集約度(TMR/GDP)の経年変化

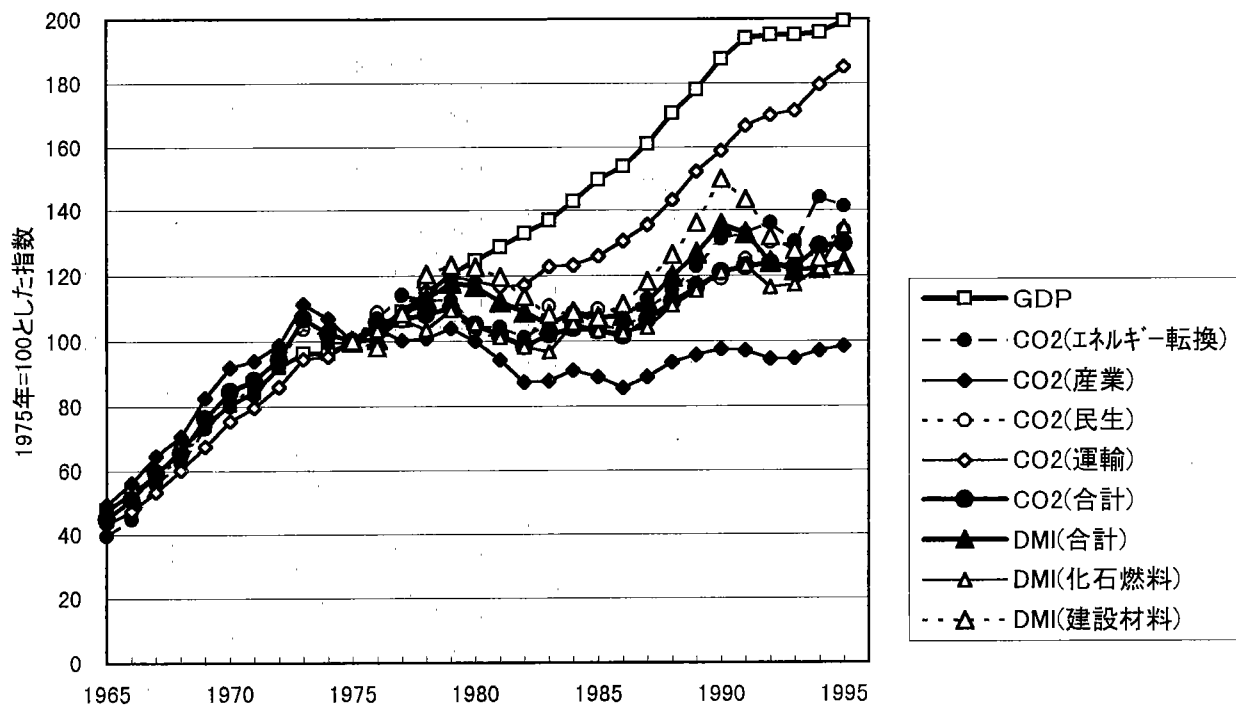


図9 MFA指標、CO₂排出量およびGDPの推移

で、1980年代前半までは物質集約度の低下がみられ、最近数年を除く漸減傾向は各国に共通している。しかし、日本を含め、各国ともに1980年代後半から「下げどまり」の傾向が見られる。この傾向は、GDPの増加について資源消費量や環境負荷量は上昇した後に減少に転じるとする、いわゆる「環境クズネッツ曲線」に、ある時期までは合致しているものの、最近では必ずしもこれに適合しないことを意味する。

イ. マテリアルフロー指標と関連する他の指標との比較

本研究では、国際比較研究の枠組みに沿ったマテリアルフロー指標の算定と解釈を中心としたが、日本については、関連する他の指標との比較も試みた。図9には、MFAから得られた諸指標とともに、二酸化炭素の排出量の総量と部門別内訳を示している。MFAはデータの制約から1975年以降を対象としたが、二酸化炭素排出量は1965年以降のデータが利用可能であり、より長期のトレンドを読み取ることができる。オイルショック以前には、CO₂排出量は、GDPにほぼ比例、ないしややこれを上回る伸びを見せている。この時期のマテリアルフロー量についても、追跡しておくことが必要であろう。

1970年代末期から1980年代前半にかけては、GDPの伸びに対して、DMIやCO₂排出量は横ばいしないしやや減少傾向がみられる。1980年代後半から1990年にかけては、DMI、CO₂排出量ともにGDPにほぼ比例する伸びを見せているが、DMIの内訳をみれば、建設原材料分の伸びが特に著しいことがわかる。1990年以降はこの傾向がさらに変化し、GDPの伸びの鈍化、建設原材料の投入の減少によるDMIの低下が見られたのに対し、民生部門や交通部門における高い伸びのために、CO₂排出量は依然として増加傾向にある。

すなわち、1990年前後までは、CO₂排出量は、マテリアルフローの総量で表される経済の物

質依存度とほぼ比例関係にあり、経済の物質利用効率がCO₂排出の抑制に効果的に働いていたと見られるが、最近数ヶ年はこの傾向が崩れており、その主因は「消費活動」によるエネルギー直接消費の急増によるものと見られる。こうしたことから、マテリアルフローと消費活動との関係を明らかにすることが、今後に残された重要課題といえる。

⑤ 資源や製品の輸入による「隠れたフロー」と環境負荷

4ヶ国比較研究における勘定では、輸入資源の採取段階で生じる物質フローを「隠れたフロー」と称して扱っているが、資源から原材料や中間製品、最終製品へと加工する段階で投入される物質は、概念的にはこれに含まれるものの、現在の算定対象には含まれていない。また、フローの量自身を記述するにとどまっているが、その次の段階として、フローに付随する環境への負荷を定量化すれば、その価値はさらに高まる。こうした因果でつながった物質投入や負荷発生を含めることが、この勘定をより包括的な分析ツールに高める際の重要な着眼点である。

こうした分析事例として、輸入品の生産のために海外で費やされるエネルギーに伴う二酸化炭素排出量について、本研究の先行研究で触れている。今回示したMFAでは、金属精錬に要するエネルギー資源量やその採掘に伴うフローは含めていないが、日本がオーストラリアから輸入するアルミ地金に例をとれば、石炭由来分などの間接的なフローが大きいことは容易に理解される。むしろ、金属採鉱や精錬では、エネルギー消費といった今日的課題だけでなく、重金属汚染などの鉱害問題を視野も入れる必要がある。

また、今回示したMFAでは、農産物輸入による相手国での土壌侵食量を推計に含めたが、類似の方法論は、農産物生産段階でのエネルギーや肥料、農薬などの投入量や、畜産物生産のための家畜飼育段階でのメタン排出量、といった対象に適用可能である。先行研究によれば、日本に輸入される化石燃料の採掘および畜産物の生産に伴うメタン排出量は各々約60~70万トンであり、その合計は日本国内のメタン排出量に匹敵する。

いずれにしても、MFAのように物のフローを全て物量値として体系的に整備しておくことは、こうした推計を行う第一歩である。また、体系的なMFA整備によって、物のフローに付随する環境負荷を見いだすこともより容易になると期待される。

(4) 地域レベルの環境資源勘定の設計とケーススタディ

地域レベルでの環境資源勘定については、地域の環境管理施策に活用するという目的からも、国レベルとは異なるアプローチが求められる。その一方で、地域レベルの環境資源勘定では、国レベルでは整備されていない各種の環境情報が利用可能という利点もある。ここでは、環境資源勘定の地域レベルへの適用を試みた。なお、この部分は九州大学における委託研究が分担した。

① 研究方法

ア 研究の背景：環境資源勘定への要請と課題

一般に、経済システムからの財・サービスの生産 Y は、生産要素—資源 R 、労働力 L 及び資本 K —の投入量によって決定される： $Y = f(R, L, K)$ 。

本来、ここで投入される資源には、大気、水、土地、生物資源等の様々な「環境資源」が計上されていなければならない。しかし、環境資源の多くは、地球上のどこにでも多量に存在す

る、所有者がいない、管理者が不在であるといった理由から、対価を支払うことなく（つまり、無料で）、誰でも無制約に消費（利用）できる自由財（非希少資源）として扱われ、経済計算から除外されてきた。また、生産Yの中には、汚染物質や廃棄物の生産、それらによって劣化した環境資源の価値、損なわれた人間の健康など—環境被害（"environmental damage"）—が負の生産として計上されなければならない。同時に、環境保全活動によって清浄な空気、美しい景観といったものが創出されるならば、それらがもたらす価値—環境サービス（"environmental service"）—が正の生産として計上されなければならない。しかし、こうした環境被害や環境サービスについては、ほとんどの場合、それらを財として取引する市場が存在せず、したがって価格づけも行えないため、やはり経済計算から除外されてきた。

だが、人間の経済活動の拡大とともに、環境資源は適正に利用されなくなり、さまざまな環境問題が発生するに至った。その失敗の反省の上に立って、環境資源を自由財として消費することは許されなくなりつつあり、環境税・環境課徴金、排出権市場といった手法によって、従来自由財として扱われてきた環境資源に何らかの価格を設定したり、それを売買する市場を創設しようとする議論が活発化している。これと並行して、従来、経済計算から除外されてきた環境資源の供給量や消費量を何らかの方法で定量的に勘定し、それを経済計算と結合する、あるいは経済計算の一部に組み入れようとする「環境資源勘定」の試みが始まっている。また、従来、金銭的に評価される機会の少なかった環境被害や環境サービスを経済計算に組み入れることによってG N Pを修正しようとする「グリーンG N P」の試みにも大きな期待が集まっている。

経済と環境とを1つの計算体系に統合するには、「環境への負荷」や「環境の恵沢」を貨幣価値に換算することが必要となる。

イ 経済勘定と環境勘定の統合における問題点

環境税等の問題と環境資源勘定やグリーンG N Pの議論は一見関係が薄いように見える。しかし、いずれの問題も、環境資源の多くが、それを取引するための市場を持たないこと、したがって、その価格が存在しないことに由来している。逆に、環境という資源に対して、適切な方法で適正な価格が付与され、その消費に対する対価の支払が行なわれるようになれば、経済勘定の中に環境資源勘定が自動的に組み込まれるはずである。例えば、工場でボイラーを動かすためには、燃料と同時に空気（酸素）が必要であるが、今までは空気は自由財とみなされ、経済勘定に計上されることはなかった。もし、空気の消費イコール大気汚染物質（SO₂、NO₂等）や二酸化炭素（CO₂）の排出とみなされ、空気の消費に対して環境税（汚染課徴金や炭素税）が課されることになれば、空気はもはや自由財ではなくなり、燃料と同列の希少資源として経済計算に入ってくることになる。かつては自由財であった水資源を見れば、今では、上水の使用や下水の排出に対する料金という形で価格が付与されている。工業用水や農業用水については、用水権という形での所有権も設定されている。

一般に、資源には、市場における需給調整を通して、その希少性を反映した価格が付与されている。しかし、上に述べたような手段による空気や水の価格付けは、市場を完全に経由するものではない。環境課徴金や環境税は、政府による一種の管理価格であり、資源の希少性を反映した市場価格とは性質を異にする。また、環境変化の不可逆性、地球生態系に関する科学的

情報の不完全さ等を考えると、気候変動が地球生態系に及ぼす長期的影響までを考慮した税率（つまり、CO₂ 排出という行為を通して大気を使用することに対する価格）を市場によって決定することは現実的には非常に難しい。

また、大気質の改善には、人間の健康を向上させ、精神的快適性を与えてくれるといった環境サービスがともなっている。これらの価値を影響と便益（サービス）の両面から漏れなく評価することは難しく、また、たとえそれを評価して価格が設定されたとしても、「ただ乗り（"free rider"）」を排除できなければ、正しい経済計算にはならない。大気に比べれば、経済財としての性格が強まっている水資源についても、ただ乗りの排除はやはり難しく、それが河川・湖沼・海の水質悪化の大きな要因となっている。

さらに、物的勘定にも、資源の消費量や汚染物質排出量のような一次量と、汚染物質排出の結果としての物理的被害、例えば、健康被害者の数、汚染面積といった二次量がある。一次量と二次量の間の関係を分析するには、自然界における汚染物質の挙動、汚染物質に対する人体や生態系の影響に関する量－反応関係といった科学的メカニズムのモデル化が必要であるが、この面でも、現在なお科学的知見に不十分な部分が多い。

ウ 環境負荷勘定・指標

環境への負荷は、人間がその生活・経済活動のために資源を消費することに付随して発生する。したがって、資源の消費量自体が1つの環境負荷指標となり得る。

環境負荷の内容と水準を表現するには、さまざまな種類の資源の消費が、物理的・化学的・生物学的な機序を通して、どの環境要素（大気、水、土壌、動植物、生態系等）にどれだけの量的変化を及ぼすか、さらにそれらが個々に、あるいは、全体として、人間生活や地球生態系にどれだけの影響を及ぼすかの評価が必要である。しかし、環境負荷をこのようにトータルに定量化するには、科学的にまだ知識が不十分な部分が多いのが現状である。したがって、作業の第一段階としては、資源の消費量とそれによって発生する汚染物質の量（一次量）によって環境負荷の指標とする。

ここで、ある限られた地域を単位として資源の消費量や汚染物質排出量を評価する場合に問題となるのが、その「システム境界（"system's boundary"）」の問題である。環境への負荷は、財・サービスの生産、流通、消費、廃棄のライフサイクルから発生するが、生産段階や廃棄段階で発生する負荷を地域の外部に転嫁することも可能だからである。特に、地域外から移入される財・サービスの消費については、その生産段階において地域外で発生する負荷に対する考慮が必要である。また、地域で生産された財・サービスの地域外への移出については、逆の考察が必要である。

エ 環境恵沢勘定・指標

ここで考慮すべき2つの重要な因子がある。その第一は、「環境の恵沢」の内容とその量的評価であり、第二は、恵沢の持続可能性である。

恵沢の内容は、対象とする環境要素によって実にさまざまである。清浄な空気や水によって味わえる身体や精神の豊かさもあれば、ある資源が利用できるということ自体から得られる経済的価値もある。ここでも物理的勘定から貨幣勘定を導く上で、物理的勘定として少

なくとも2つの量の区別が必要である。すなわち、ある質の環境資源がどれだけの量存在しているかという一次量と、その環境資源の存在によって、他の資源の状態がどのような変化を受けるかという二次量である。例えば、都市の中に存在するさまざまな樹木量を一次量とすれば、その樹木によって作り出される酸素量、大気汚染物質吸収量といった量が二次量である。そこからさらに貨幣価値に換算するには、大気汚染の改善によって住民健康被害のレベルや被害者の数がどれだけ改善され、それによって労働者の生産性がどれだけ向上するか、医療費がどれだけ減少するかといった推計を行なう方法が考えられる。この種の代表的な計算方法が、回避された被害コストを環境改善の便益 ("benefit as avoided damage") と見做すやり方である。つまり、汚染によって現実に発生した被害実態を基に汚染レベルと被害額との関係を求めておき、次にもし汚染が改善されたとしたら、被害額がどれだけ減少すると見込まれるかを計算し、これを改善された環境から得られたサービスと見做すわけである。

上の例は、汚染の改善によって得られる環境サービスの評価であるが、エネルギーについては、地域で得られる太陽エネルギー等の自然資源（再生可能エネルギー）の利用可能性（対象地域の中でどれだけ持続可能に消費していけるか）ということ自体が、環境の恵沢を表す一次量として意味を持つ。

地球上に有限な量しか存在しない涸渇性資源であれば、それを消費することから得られる恵沢を永久に維持することは原理的に不可能である。この場合には、処女資源としてのその消費量を出来るだけ抑制するとともに、環境負荷の発生を極力低減することによって、恵沢をどれだけ長く維持できるかが課題となる。これについては、資源利用効率の高い技術の開発・普及、資源の再利用やリサイクルによる処女資源利用の抑制がどの程度実行されているかがその評価指標として考えられる。これに対して、再生可能資源の場合には、地域におけるその資源賦存量、再生能力を維持しつつという制約の下で、その資源をどれだけ持続的に利用できるかが1つの指標となる。森林をエネルギー源と利用する社会を例として考えれば、森林伐採の速度をその再生能力以下に保つことが持続可能性の1つの指標となる。

オ 本研究の位置づけ及び目的

従来、環境資源勘定に関する議論は主に国レベルや地球レベルで行われてきたが、その理念及び手法は、地域レベルにも適用できる。特に、日本においては、都道府県や市町村レベルにおいて地域に根ざした環境管理が行われてきた実績があり、環境資源勘定という新しい手法を、地域レベルでの具体的な環境管理施策の中にどのように取り入れていったらよいか課題となっている。また、地域規模のアプローチの方が、国レベルでは整備されていないきめの細かい各種の環境情報が利用でき、要素ごとの積み上げ計算も実行しやすいという利点もある。

一般に、環境資源勘定の最終的目標は、環境の価値を経済的に評価することによって、環境と経済を統合することであるが、その作業は現実にはなかなか難しい。そのため、経済勘定と切り離して環境だけの勘定を行おうとするサテライト勘定が1つの有力なアプローチとなっている。ここで、経済的評価に至る前段としての物的勘定（物理的資源勘定）自体も、その作成は容易ではないのが実態であり、まずこれを作成することが作業の第一歩である。

特に、地域を対象とした具体的な環境管理施策の展開のためには、地域に賦存する様々な自然資源の量（ストック）とその変化量（フロー）を定量的に把握することが、環境資源勘定構

築の出発点となる。更に、人工物が多く、かつ多種多量の資源消費が行われる都市を対象とする場合には、都市の内部と外部との間における資源（財・サービス）の流出入量、都市内部における資源消費とその結果発生する廃棄物などについて、その種類と量を定量的に把握することが重要である。こうした物質収支（マテリアルバランス）が把握できれば、それに基づいて物質フローをたどり、環境資源の利用によってもたらされる「恵沢」やそれがもたらす「環境負荷」を量的に評価した勘定の作成が可能となるであろう。

カ 研究方法

ここまで述べてきた考えに基づき、具体的な都市（福岡市、1990 年）をケーススタディ対象に取り上げ、地域の内外の物質・エネルギー収支をフローとストックの両面から定量化し、物質・エネルギーフローにともなう環境負荷の相互依存関係をバランス表形式で表現することを目指した。まず都市全体について、統計書等を利用することによるマクロ的分析を行った（トップダウンアプローチ）。

ここで、統計書等の経年データにはフロー量に関するものが多く、ストック量のデータは十分に整備されていないなど、マクロ的分析にも限界がある。また、現実の都市では、地区によって土地利用形態が異なり、そこに存在する建築物や各種構造物の種類・形態・構造も異なる。したがって、現実の都市の物質・エネルギーのフローとストックを把握するには、都市内部の地区ごとの違いを考慮した積み上げ型の分析（ボトムアップアプローチ）が必要である。すなわち、建築物や構造物の 1 つ 1 つの建設・維持のために消費される物質・エネルギーの量に関する情報を街区等のミクロなレベルから積み上げて、ストックとフローの両面からその環境的意味を考えることが必要とされる。このため、地理情報システム(GIS)を利用して、都市内建築物の種類・形態（業種別床面積等）を考慮した解析手法の開発も行った。

② 結果

ア トップダウンアプローチによる都市の物質・エネルギー収支の定量化

物質・エネルギー収支勘定の定量化として、建設資材・耐久消費財、廃棄物、資源・エネルギー（表 1）、水資源（表 2）について、マトリクス形式で表現した。

環境負荷発生量については、物質・エネルギー収支勘定を元に算定した。エネルギーフロー・廃棄物フローなどより、CO₂、NO_x、SO_x などの地球温暖化物質・大気汚染物質について求めた。また、水資源フローにより、BOD、COD、TN、TP などの水質汚濁物質について求めた。図 10 に、福岡市の物質・エネルギー収支および環境負荷発生量をまとめたものを示す。

イ ボトムアップアプローチによる都市の物質・エネルギー収支の定量化

GIS データを用い、建築物や下水道・道路といった都市インフラを対象に物質・エネルギー収支の定量化を行った。

評価指標としては、エネルギー消費量とマテリアルストックだけでなく、間接エネルギー消費量を加えたライフサイクルエネルギー（LCE）の評価を試みている。ここで、マテリアルの投入量と間接エネルギー消費量には重複がある。しかし、エネルギー消費に関するライフサイク

表1 福岡市の部門別資源・エネルギー投入量

部門分類			中間消費													最終消費		域外				
			1 農 林 水 産 業	2 鉱 業 採 掘 業	3 製 造 業	4 建 築 業	5 電 力 ・ ガ ス 業	6 商 業 ・ 保 険 業	7 金 融 業	8 不 動 産 業	9 運 輸 業	10 通 信 業	11 公 務 業	12 サ ー ビ ス 業	13 分 類 不 明	14 内 生 部 門 計	15 民 間 出 資 支 出	16 官 公 支 府 出 済	17 輸 入	18 移 入	19 輸 入	20 移 入
資源投入			単位：千Gcal																			
エネルギー	石炭系	原料炭	0	0	599	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	899	0	0	0	3,973	-4,336	-3,095
		一般炭・亜炭・黒煙炭	0	0	187	0	8	0	0	0	0	0	0	44	0	239	0	0	0	1,723	-1,468	-1,342
		コークス	0	0	79	0	162	0	0	0	0	0	0	15	4	63	0	0	58	2,179	-18	-1,698
	石油系	原油	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	14,399	-15,803	-11,218
		軽油	1	0	3	19	1	0	0	0	39	11	9	41	3	127	2,568	0	21	1,016	-22	-792
		ジェット燃料	0	0	0	0	0	0	0	0	4,626	0	89	0	0	4,715	0	82	521	-425	-406	
		灯油	11	0	23	37	42	506	11	105	34	5	38	711	0	1,633	1,072	25	999	-414	-778	
		軽油	6	1	17	19	1	18	1	12	1,988	0	29	300	2	2,577	61	55	2,284	-466	-1,779	
		A重油	248	0	245	76	174	547	2	37	228	44	95	279	1	2,076	0	4	1,710	-167	-1,332	
		BC重油	77	0	229	9	55	0	0	0	645	0	0	3	5	1,022	0	138	3,844	-1,005	-2,995	
		ナフタ	0	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0	0	2,086	-1,620	-1,625	
		液化石油ガス	1	0	78	3	525	0	15	6	734	2	12	335	1	1,711	996	1	982	-1,324	-765	
都市ガス	0	0	72	49	83	81	19	28	30	11	10	309	1	692	1,071	0	0	471	-0	-367		
電力	6	2	420	173	276	855	52	149	314	93	117	1,073	3	3,533	1,517	4	2,988	-1	-2,327			
鉱物資源	金属鉱物	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	非金属鉱物	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
非金属鉱物	石灰石	0	0	595	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600	0	0	9	1,354	-0	-1,055	
	砂利・碎石	0	0	1,281	2,095	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3,377	0	5	3,991	-22	-3,109		
農畜水産物	農産物	米	0	0	1,465	4,318	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5,785	0	0	0	4,847	0	-3,776
		小麦	0	0	78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	0	0	0	76	0	-59
		大豆	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	44	-42	-34
		大麦	1	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	11	-10	-9
		小麦	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	33	-36	-26
		生ゴム	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	-5	-4
		綿花	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		雑穀	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0
		小麦粉	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	32	3	0	1	28	-0	-22
		畜産物	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	水産物	魚	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	5	7	0	0	2	-3	-2
		牛肉	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	0	0	7	-3	-5
		豚肉	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	12	0	0	7	-2	-6
木材製品	木製品	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	9	46	0	0	7	-0	-5	
	紙製品	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	96	0	0	175	-27	-136	
2次農材	鉄鋼	0	0	108	0	0	1	1	0	2	0	0	20	0	132	8	0	0	108	-6	-84	
	フェロアロイ	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	1	78	-2	-61	
非鉄金属	銅	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	577	-25	-449	
	鉛	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	762	-0	-594	
	鋅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-5	-9	
	亜鉛	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	-1	-2	
	アルミニウム	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	38	-21	-29	
	セメント	0	0	296	113	0	0	0	3	0	0	0	1	0	412	0	0	28	572	-19	-446	
	生コンクリート	0	0	1	1,755	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,756	0	0	0	1,364	-0	-1,062	
	生コンクリート	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

表2 福岡市の水資源利用勘定表（千m³/年）

福岡市			表流水 A	地下水 B	水道水 C	雨水 D	合計 E	回収水 F
取 水	域内	1	123,394	7,151	-8,542	129,274	251,277	—
	移入	2	90,624	—	—	—	90,624	—
	取水計	3	214,018	7,151	-8,542	129,274	341,901	—
転 換	域内	4	64,401	0	64,401	—	—	—
	移入	5	90,624	—	90,624	—	—	—
	転換計	6	155,025	0	155,025	—	—	—
消 費	農業	7	55,292	1,128	—	129,274	185,694	—
	製造業	8	3,701	6,022	8,445	—	18,169	43,785
	産業部門計	9	58,993	7,151	8,445	129,274	203,863	43,785
	家庭用	10	—	—	91,157	—	91,157	—
	業務用	11	—	—	46,881	—	46,881	10,076
	民生部門計	12	—	—	138,038	—	138,038	10,076
	消費計	13	58,993	7,151	146,483	129,274	341,901	53,861
排 水	農業	14	—	—	—	—	185,694	—
	製造業	15	—	—	—	—	18,169	10,346
	下水	16	—	—	—	—	218,712	—
	合併	17	—	—	—	—	4,740	—
	単独	18	—	—	—	—	5,592	—
	非水洗化	19	—	—	—	—	8,414	—
排水計			—	—	—	—	451,666	—

ル評価については、エネルギー消費量を統合指標とした総合的な評価ととらえることができるのに対し、個別の物質投入量についても、資源の稀少性やリサイクル性等の考慮といった面で有意であると考えられるため、双方の評価方法を採用した。

解析手法の例として、建築物の直接エネルギー消費量の計算手順を示す（図 11）。また、構築した評価システムの画面出力例（下水道システム）を図 12 に示す。

ケーススタディ対象地区とした北九州市若松区高須青葉台団地についての LCE 算定結果を表 3 に示す。この結果、団地全体での年間エネルギー消費量は、39,547Gcal/年（直接エネルギー）、9,780Gcal/年（間接エネルギー）であり、また、マテリアルストック（道路と建築物のみ）は 6.1×10^4 t であった。

③ 考察

環境負荷指標は、資源消費の源泉である人間の経済活動と直接関係する形で作成される。したがって、環境負荷強度＝資源消費量（あるいは、汚染物質排出量）÷経済活動量が、経済計算と環境負荷指標を結合する上で重要な役割を果たす。しかし、環境負荷を、環境に及ぼす経済的被害といった形で定量化するのは容易ではない。

例えば、太陽エネルギーのような自然エネルギーの利用については、他の商業エネルギーと同列に貨幣価値に換算した議論が可能である。これに対して、樹木による大気浄化能力、清浄な水のアメニティ価値といったものの貨幣単位への換算は簡単ではない。

既に述べたように、以上のいずれの場合も、現状においては、貨幣価値に換算した環境指標によって経済と環境との統合的勘定（環境資源勘定）を構築するには多くの困難がある。したがって、物量単位で表現された環境資源の供給量と消費量を、何らかの勘定表の形で作成することが一次量レベルでの勘定として最初に要請される。

本研究では、地域における環境資源勘定構築のための物的勘定（物質・エネルギー収支）を中心に評価を行った。評価手法としてトップダウンアプローチとボトムアップアプローチを開発、実際にケーススタディ対象を設定した上で試算した。

トップダウンアプローチでは、都市全体としての活動量を物質・エネルギーのフローとストックの両面から評価し、物質・エネルギー収支勘定を作成した。

ボトムアップアプローチでは、市レベルよりさらに詳細な地域レベルにおいて、都市インフラ及び建築物を分析対象とした LCA（エネルギー消費量）、マテリアルストックを求める手法を開発し、それを実際に適用した計算例を示した。対象とした都市インフラは道路及び下水道システムであり、これに建築物を合わせると、一般的な都市域に存在する構造物とそこにおける都市活動のかなりの部分をカバーすることができる。直接エネルギー消費量の算定では、都市インフラ及び建築物の 1 年間のエネルギー消費量を算定した。間接エネルギー消費量の算定では、LCA の手法をにより算定した原単位を用いた。それぞれ、GIS を利用することで、地域内に存在する都市インフラを個別に積み上げることが可能となった。マテリアルストックの算定においても同様に、GIS を利用することで個別の都市インフラについて構造別・原材料別に算定を行った。建築物のマテリアルストックについては、固定資産データを利用することで、個々の建築物について詳細な分析を行うことができた。

ただし、ボトムアップアプローチでは、マテリアルフローに関しては分析していない。マテ

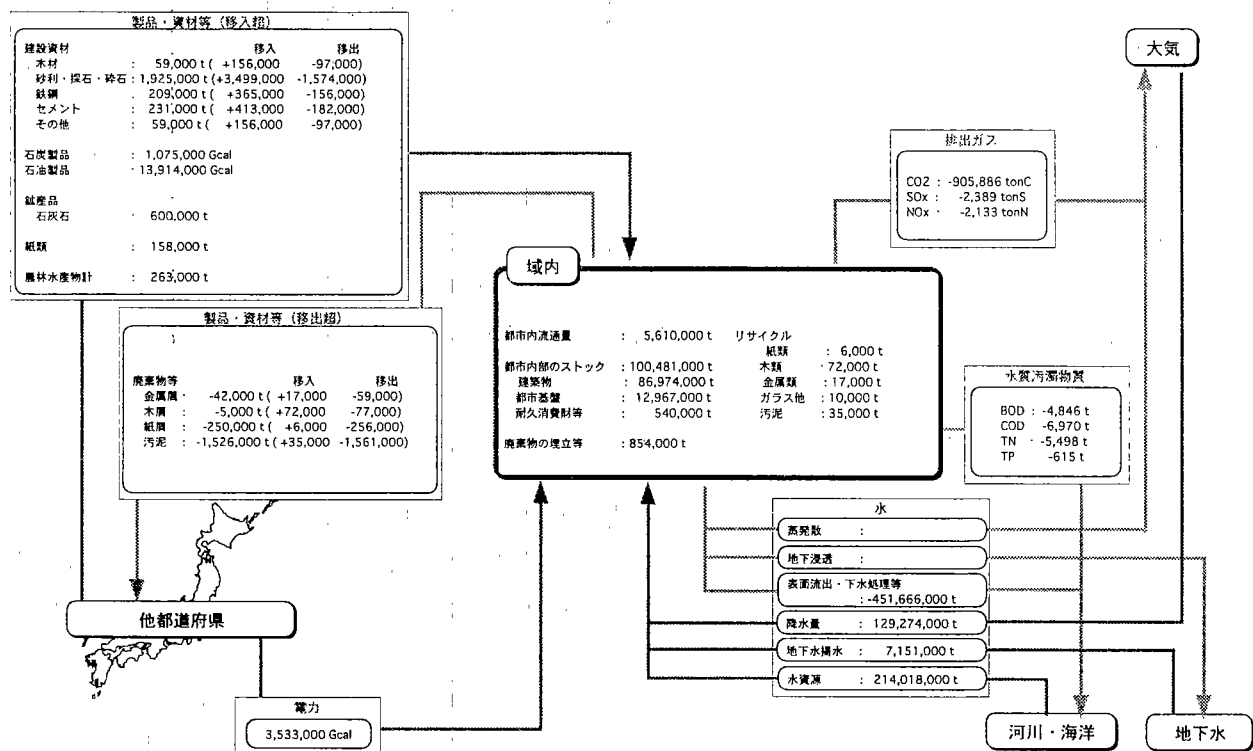


図 10 福岡市の物質・エネルギー収支および環境負荷発生量

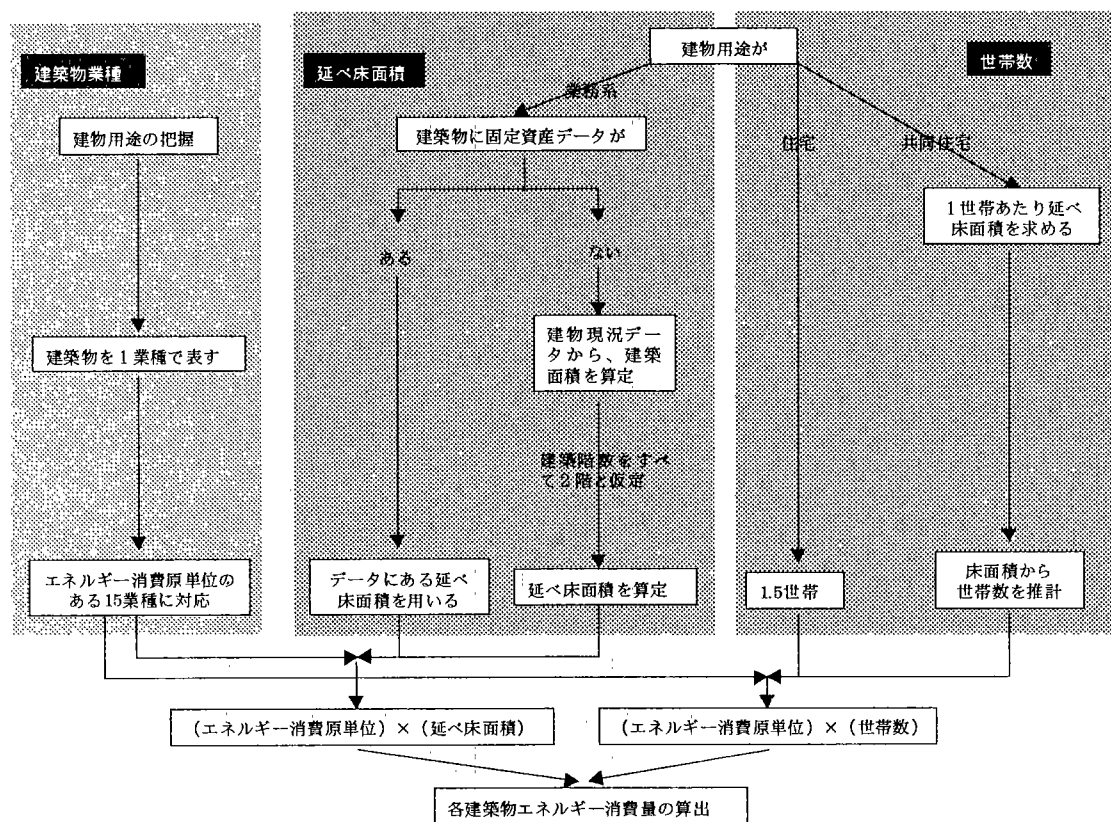
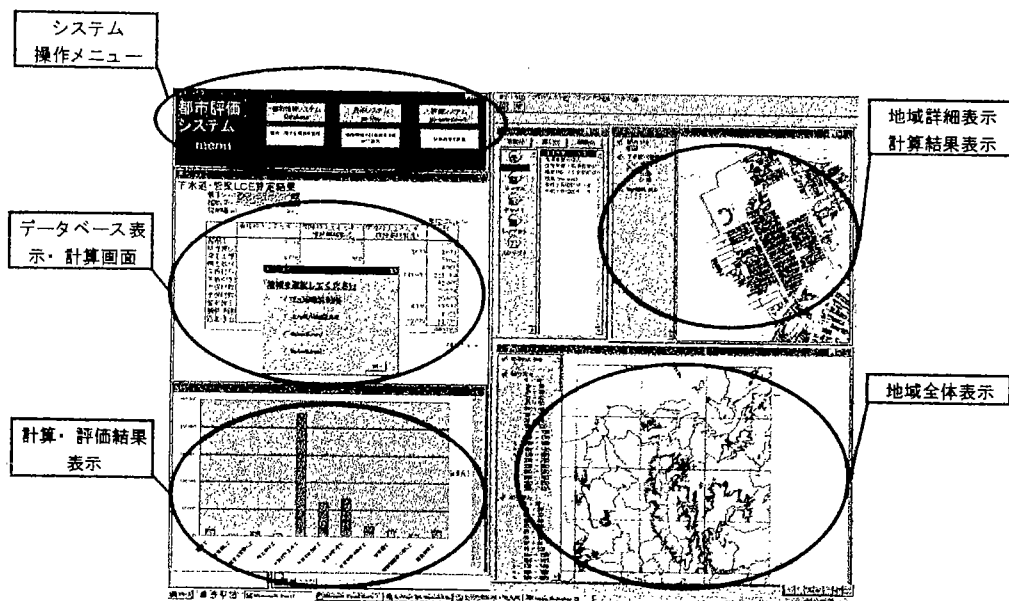
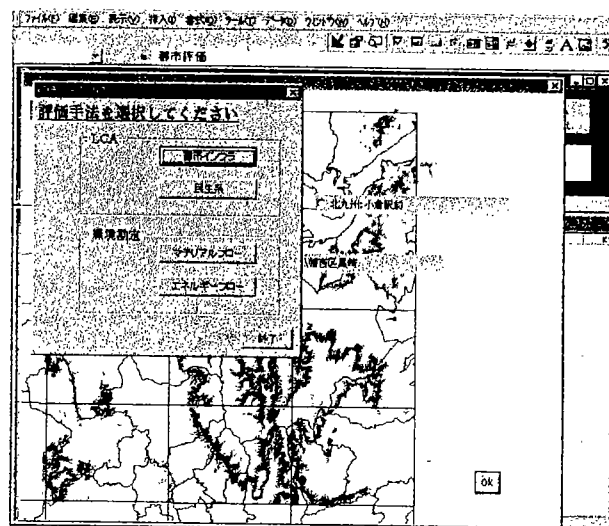


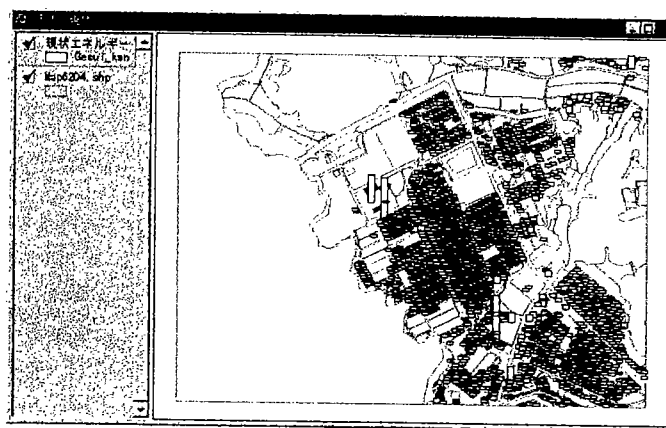
図 11 建築物の直接エネルギー消費量の計算手順



(a) 評価システム画面



(b) 評価システム詳細画面 (操作メニュー)



(c) 評価システム詳細画面 (計算結果)

図 12 構築した評価システムの画面出力例 (下水道システム)

リアルフローを把握する際には、経年の GIS データが必要となるが、現状では経年のデータ整備は進んでいない。また施設の利用まで含めた分析とするためには、例えば建築物では物質フロー（資源消費）の原単位を世帯数別や業種・床面積別等で作成する必要がある、今後の課題となっている。

4. 本研究により得られた成果

環境指標、持続可能な発展の指標、ならびに環境資源勘定の作成に関する国際的取り組みに参画し、わが国における研究成果を報告するとともに、最新の研究動向を調査し、その結果のうち、持続可能な発展の計測手法に重点をおいて、分類・整理を行った。

こうした継続した国際的活動への参画を契機として、米国、ドイツ、オランダの調査研究機関とともに、マテリアルフローに関する国際共同研究を実施した。この国際共同研究では、先進国経済に投入される資源のフローに付随して採取段階で生じる廃棄物などの「隠れたフロー」を取り上げ、自然資源の大半を輸入に頼るわが国にとってのこの問題の重要性を明らかにした。国際共同研究の成果は、本研究期間中の1997年4月に出版され、国連持続可能な開発委員会をはじめ、ひろく世界各国の関係機関、専門家に成果を普及した。また、これらの成果は、日本における環境基本計画の長期的目標の達成状況の評価のための指標の開発作業に反映された。

一方、こうした国レベルでの物的勘定の開発とこれに基づく指標開発に加え、地方自治体による環境管理施策における活用を見据えた都市レベルの環境資源勘定に関しても、実証的な研究を行った。

本研究では、マテリアルフローの総量の把握に重点をおいたため、物質の種類ごとの環境影響の評価や、経済活動部門との関係の詳細な解析は今後の課題であるが、そのための分析の枠組みとして、環境面を拡張した3次元投入産出表の概念設計を行っており、次の実証的な研究の準備を整えた。

[国際共同研究の状況]

- ・総物質収支に関する日独比較研究（第16回日独環境保護技術パネルで採択。相手方：ヴッパータール研究所）
- ・マテリアルフロー勘定に関する世界資源研究所、ヴッパータール研究所、オランダ環境省との共同研究

[研究成果の発表状況]

(1) 口頭発表

- ①Y. Moriguchi: SCOPE workshop on sustainable development indicators, Wuppertal (1995).
"Linkages between comprehensive set of environmental indicators, environmental accounting and life cycle assessment"
- ②Y. Moriguchi: CSD workshop on methodologies for indicators of sustainable development, New York (1996).
"State of development of environmental indicator in Japan"
- ③内野義文、松本亨、井村秀文、藤倉良：平成7年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、488-489、(1996)
「都市における環境の価値評価に関する研究」
- ④森口祐一・吉田雅哉：エネルギー・資源学会第13回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集、37-42、(1997)
「マテリアルフロー勘定と資源輸入の環境負荷分析」
- ⑤Y. Moriguchi: ConAccount workshop, Leiden, (1997)
"Environmental accounting in physical term in Japan - Preliminary Material Flow Accounts and trade-related issues"
- ⑥榎田庸洋、谷川寛樹、井村秀文、松本亨：平成8年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、958-959、(1997)
「都市環境の価値の評価に関する研究—都市周辺の森林による炭素固定機能の価値評価—」
- ⑦白濱康弘、谷川寛樹、井村秀文、藤倉良：平成8年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、1010-1011、(1997)
「都市の環境資源勘定に関する研究」
- ⑧Y. Moriguchi: ConAccount Conference, Wuppertal, (1997)
"Material flow indicators for the Japanese Basic Environment Plan"
- ⑨森口祐一：環境経済・政策学会1997年大会報告要旨集、207-212、(1997)
「わが国のマテリアルフローの推計と欧米諸国との比較」
- ⑩森口祐一：環境科学会1997年会講演要旨集、201-202、(1997)
「環境計画における指標の導入 ～国の総合的環境指標の動向～」
- ⑪Y. Moriguchi: The Progress in Environmental and Resource Accounting Approach - A principle to the Global Environmental issues - , Matsue, (1997)
"Material Flow Accounting in physical term -Its concept and application to Japanese economy -"
- ⑫貞森一範、井村秀文、藤倉良：平成9年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、1036-1037、(1998)
「博多湾の環境的価値評価に関する研究」
- ⑬Y. Moriguchi: Gordon Conference in Industrial Ecology, New Hampshire, (1998)
"Resource Flows in industrial economies"
- ⑭Y. Moriguchi: IHDP-IT East Asia Regional Workshop, Kita-Kyushu, (1998)
"Resource Flows in selected industrialized countries"

(2) 論文発表

- ①谷川寛樹, 藤倉良, 井村秀文: 環境システム研究, Vol.23, 274-278, (1995)
「都市の物質収支と環境資源勘定に関する研究」
- ②大平晃司, 上野賢仁, 中口毅博, 二渡了, 井村秀文: 環境システム研究, Vol.23, 321-325, (1995)
「地域の水資源に着目した環境資源勘定の構築に関する研究」
- ③H. Imura & Y. Moriguchi: Towards Global Planning of Sustainable use of the Earth, Elsevier (1995).
"Economic interdependence and eco-balance: accounting for the flow of environmental loads associated with trade"
- ④谷川寛樹, 松本亨, 井村秀文: 環境システム研究, Vol.24, 442-448, (1996)
「都市を対象とした環境資源勘定の構築に関する研究」
- ⑤貞森一範, 谷川寛樹, 松本亨, 井村秀文: 環境システム研究, Vol.24, 449-455, (1996)
「都市の環境資源勘定と環境価値の評価に関する研究」
- ⑥三浦孝浩, 金子慎治, 中山裕文, 松本亨, 井村秀文: 環境システム研究, Vol.24, 373-378, (1996)
「PC上でのオブジェクト指向プログラミングによる環境情報システム開発」
- ⑦A. Adriaanse, S. Bringezu, A. Hammond, Y. Moriguchi, E. Rodenburg, D. Rogich, and H. Schuetz:
World Resource Institute (joint publication with Wuppertal Institute, Dutch Ministry of Housing,
Spatial Planning and Environment, and National Institute for Environmental Studies), 66p. (1997)
"Resource Flows -The Material Basis of Industrial Economics"
- ⑧白濱康弘, 谷川寛樹, 松本亨, 井村秀文: 環境システム研究, Vol.25, pp.269-275, (1997)
「GISを利用した都市内エネルギー消費量及びマテリアストックの推計」
- ⑨森口祐一: 環境システム研究, Vol.25, 557-568, (1997)
「マテリアルフローからみた人間活動と環境負荷」
- ⑩森口祐一: 岩波講座地球環境学第10巻「持続可能な社会システム」第3章 (3.3~3.5) (1998)
「持続可能な発展という概念」
- ⑪中口毅博, 森口祐一: 環境科学会誌、第10巻、第3号 (予定) (1998)
「日本の地域環境指標の特徴分析—国際比較を中心に—」