
物質フローから見た中国経済

後藤 尚弘

<豊橋技術科学大学>

要 旨

近年の中国の急激な経済発展は物質消費の急激な増大をもたらす。しかしながら、物質消費は資源枯渇や環境破壊につながるために、経済発展と物質消費抑制を同時に実現させることが持続可能社会へつながる。2003年における中国の物質消費量は112億万トンであり、一人あたりは8.63トンとなる。一人当たりの物質消費量はEUや日本に比べて少なく、中国の物質消費量はこれからさらに増加することが予想される。バイオマス、化石燃料、産業資材、建設資材ともに中国物質消費はEUや日本の半分程度であるので、今後の産業と社会基盤の整備に伴い、建設資材の消費量が増大するであろう。また、1995年に比べると、GDPの伸びが100%に対して、物質消費量の伸びは70%であり、脱物質化が進行しつつあることを示している。今後もGDPの伸びよりも物質消費量の伸びを抑えると中国社会の持続可能性へつながると考えられる。

キーワード 質フロー解析、資源消費、中国経済、持続可能社会、脱物質化

I はじめに

中国のGDPは2004年で13兆6584億元=199兆2763億円（世界第6位、日本は496兆2289億円）であり、人口は約13億人である。1994年におけるGDPは4兆8198億元であったので、10年間でGDPが約3倍になったことになる。こうしたデータが示すように、中国が急激な経済発展を達成していることは言うまでもない。どこの国でもそうであるが、経済発展に伴い物質消費量も増大する。例えば、中国の穀類・野菜・果物の消費は1993年で約5億5千万トンであるのに対して、2003年では8億トンである（『FAOSTAT』）。エネルギー消費は1995年で12億6千万tceであったのが、2004年では19億4千万tceになった（『中国能源統計年鑑、2005』）。物質消費の増大は資源の枯渇と環境の悪化をもたらす。近年は世界的に、資源を消費せずに経済発展を達成する持続可能社会の確立が求められており、経済発展と物質消費量の増加をリンクさせない「脱物質化」の実現が必要である。つまり、経済規模は増大するが物質消費は減少させるという発展が理想的な発展である。「脱物質化」を評価するためには国や地域の物質消費量の推計に基づかなくてはならないが、ある国の物質消費は「物質フロー解析（Material Flow Analysis:以下MFA¹）」という手法を用いて推計することができる。本稿では様々な資料からこれまでの中国の物質消費を解析し、経済発展と比較することによって、中国の「脱物質化」を検証してみたい。

¹ MFAをMaterial Flow Accountingと呼ぶ場合がある。

II 物質フロー解析とは

まず、近年盛んになってきている MFA に関する調査・研究について説明したい。MFA 研究は、元をたどると 1970 年ごろの Kneese らの研究(Kneese et al, 1970)までにさかのぼることができる(森口、2004)。その後様々な形で発展してきたが、社会における物質の流れ、資源消費や環境負荷物質排出等を生物体における代謝機能と相似形であるとし、持続可能な社会へ向けてそれらを調査・計算・理解し、管理しようと試みたことには変わらない²。そのために、MFA のことを Physical Economics (物質経済) と呼ぶ研究者もいる。

MFA を物質の重量ベースで行った研究としては、まず、Matthews et al. (2000)が挙げられる。これは、国立環境研究所(日本)、ライデン大学(オランダ)、オーストリア大学連合研究所(オーストリア)、ヴッパータール研究所(ドイツ)、世界資源研究所(アメリカ)の合同研究チームが各国の MFA を行い、比較をしているものである。同報告書では、TMR (Total Material Requirement)、DMI(Domestic Material Input)、DPO(Domestic Process Output)、TDO(Total Domestic Output)等によって、物質フローを表している。環境負荷の計算に重点が置かれており、GDP あたりの DPO は日本が最も少ないという結果を得ている。

MFA の政策への利用に関しては、わが国は先行しているといえよう。上記の国際研究プロジェクトにも加わった Moriguchi (1999, 2001)による日本の MFA に関する研究がある(森口、2003、橋本・森口、2004)。持続可能な社会実現へ向けた方法のひとつは資源消費・環境負荷排出を低減することである。それらは、わが国の循環型社会形成推進計画(環境省、2003)では資源生産性(=GDP/天然資源等投入量)や循環利用率(=循環利用量/(循環利用量+天然資源等投入量))、最終処分量という指標で表されている。こうした指標を推計するためには、MFA による地域への資源投入と産出(製品製造、廃棄物排出)を把握することが必要である。日本は MFA 研究を国の環境政策の数値目標として反映させている数少ない国である。

EU でも EU 各国の MFA を比較し、EU の持続可能社会形成へ向けた政策に反映させようとしている(EUROSTAT, 2001a, 2001b, 2002)。EEA(2004)や Bringezu et al(2004)は MFA によって計算できる指標である DMI や DMC を用いて、EU の持続可能性評価指標の一つとしている。OECD でも同様に脱物質化指標を開発して、持続可能性度を評価する指標としている(OECD 2004a, b)。国レベルではこれら以外でも、スウェーデン(Palm, 2005)、イングランド(Schandl and Schulz, 2002)、デンマーク(Pedersen, 2002)、フィンランド(Hoffrén, 2000)、チェコ共和国(Ščasný et al, 2003) 中国(Xiaoqiu and Lijia, 2004, Ma et al 2006)などがある。特に EU での MFA 研究は盛んに行われており、EUROSTAT ならびに各 EU 加盟国では MFA のための統計を整備しようとする試みがなされている。

国を一つの単位とした MFA 研究は、必ずしも国内での産業部門間の物質フローに着目していない。なぜならば、国内の各部門間の物質交換は複雑であり、高い精度で MFA を計算することが出来ないからである。よって、これらの研究はマクロ的視点から資源消費や環境負荷排出に着目している。地域を限定した MFA 研究は国レベルの MFA 研究に比べると、産業部門間の MFA を記述した事例が多い。海外では、エコインダストリアルパーク(日本のエコタウンに相当)

² 社会における物質の流れを生物体における代謝機能と同じであるとする考え方は Industrial metabolism といわれている。詳細は R. Ayres and L. Ayres(1998, 1999)を参照されたい。

における MFA 研究が行われている (Rechberger, 2003)。国内では、後藤ら (後藤ら、2001、後藤・迫田 2001) は産業連関表を用いて愛知県の MFA を、愛知県庁 (愛知県環境部、2002) は各種統計資料を用いて愛知県の MFA を行っている。他にもウィーンやスイス (Hendriks et al, 2000)、東南アジアの一村 (Singh and Grünbühel, 2004)、屋久島 (後藤, 2004) における物質フローに関する研究が行われている。

個別の物質の流れに着目した研究は、Substance Flow Analysis (SFA) とよばれ、こちらも盛んである。SFA は国や地域に着目した研究よりも、詳細な物質の流れを記述した研究が多い。これまでも、水環境における窒素循環 (例えば、Somlyódy 1999, Lampert 1999)、地球システムにおける窒素・炭素循環 (例えば、Suzuki et al 1994, Goto et al 1994, Lin et al 2001) は行われてきており、これらも SFA の範疇には含まれるが、近年は特に人体に影響を及ぼすであろうと考えられる物質のフロー解析が、SFA の事例として行われている。鉛 (Brunner et al, 1994, Obemostere 2001)、銅 (Spatari et al 2005, Vexler et al 2004, Bertram et al 2003, Bertram et al 2002, Kapur et al 2003, Graedel et al 2002, Rechberger and Graedel 2002, Graedel 2002)、亜鉛 (Graedel 2005, Gordon et al 2003 Spatari et al 2003, Spatari S., 2002, Burner and Rechberger, 2001)、水銀 (Jasinski, 1995)、リン (Brunner and Rechberger, 2004, Brunner et al, 1994, Liu, 2004)、建築用物質 (Tanikawa et al 2002、坂本ら、2004)、PVC (Kleijn et al., 2000) の MFA がある。廃棄物の MFA に関する研究も SFA 研究の範疇に入れることが出来る。上述したように SFA は有害物質の流れを明らかにするものであり、一般廃棄物中の有害廃棄物の追跡に有効である。ウィーン工科大学の Brunner と Rechberger は MFA に関するハンドブックを著し (Brunner and Rechberger, 2004)、多くの SFA 事例を紹介している。廃棄物の SFA 事例として一般廃棄物、プラスチック廃棄物、古紙、ガラスビン等を挙げている。

MFA に関する研究は実証的な研究が多く、理論的・体系的な研究は多くない。森口 (Bringezu and Moriguchi, 2002, 森口, 2005) は表 1 のように MFA を 6 つのタイプに分類し、それぞれのタイプの特長や応用について述べている。また、EU (Eurostat, 2002 Weisz et al 2005) では表 2 のような分類で DMI を計算し、EU 各国の資源消費の特長を記述している。Bringezu et al (2004) は各国の DMI と GDP の関係を解析し、社会の変遷に関する考察を行っている。

III 中国における物質経済

まずは中国における物質消費の現状を推計したい。食料消費に関しては FAO 統計 (『FAOSTAT』) より、それ以外の物質消費に関しては『中国統計年鑑 2005』『新中国五十年統計資料彙編』より推計した。ただし、中国の骨材消費に関するデータが未整備のために、セメント消費量と道路延長から推計した。コンクリート用の骨材消費量は日本と同様にセメント消費量の 6 倍とした。道路建設用の骨材消費量も日本と同様に 52500 トン/km とした。

2003 年度における中国の輸出入および生産は表 3 のようになる。DMI は 112 億 5000 万トン、DMC は 110 億 9000 万トンであり、一人当たり DMI は 8.63 トンとなる。Xiaoqiu and Lijia (2004) は 1996 年における DMI を 31 億 3000 万トン、一人当たりの DMI を 2.5 トンと推計している。

また、Bringezu et al (2004) は 1996 年における一人当たりの DMI を 2.4 トンと推計している。ただし、Xiaoqiu and Lijia (2004) の推計には建設資材は考慮されておらず、Bringezu et al (2004) は建設資材の推計 (0.4 トン) の不確実性が高いと述べている。1996 年の建設資材の DMI を独自に計算すると、35 億万トン、全 DMI は 66 億 3000 万トンとなり、一人当たりの DMI は 6.17 トンになる。1996 年から 2003 年の間に DMI は約 70% 増、一人当たりの DMI は 40% 増大している。

前述したように MFA を用いる特徴として他地域との比較、過去との比較が挙げられる。まず、地域間の比較を行う。各国の統計は統一されていないので、厳密な比較はできないが、公表されている統計・文献より MFA に関する指標を推計し、各国間で比較をする。図 2 に中国、ヨーロッパ各国、日本の各都道府県の DMC を示す。2003 年における中国の一人当たりの DMC は 8.63 トンであり、これは EU や日本のそれと比べると、中国の値は小さな数字になる。日本、EU 各国は GDP の大小によらず、一人当たりの DMC が 15 トン付近に集まっている。ちなみに、狩猟社会における一人当たりの DMC は 1 トンであり、農耕社会は 4 トンと推計されている (Amann et al, 2002)。これにより、中国は物質消費社会へ本格的に移行していないことがわかる。一人当たりの GDP が 1 万 US\$ 以下の国のデータが不足しており、確実なことはいえないが、一人当たりの GDP が 8000US\$ のチェコや 5000 US\$ のブラジルの物質消費がすでに EU や日本並みであることから、GDP が 5000 US\$ 前後に物質消費量が大きく増大する範囲があると考えられる。しかしながら、周知のとおり中国国内には沿岸部と内陸部に大きな経済格差が存在する。北京の一人当たりの GDP は 3710 US\$ であり、上海のそれは 5530 US\$ であり、中国の平均値よりもかなり高い値である。DMC と GDP は正の相関にあると仮定すると、北京・上海の両地域の DMC、つまり、沿岸部の経済が発達した地域における DMC は EU や日本並みに近づきつつあることが予想される。また、図 2 によると東京の一人当たりの GDP が抜きん出ているが、DMC については平均的な値を示している。これにより東京が金融などの物質消費を伴わない経済活動が盛んであることを示している。また、フィンランドは一人当たりの GDP は EU や日本の平均であるが、DMC が大きな国や地域もある。フィンランドでは建設資材の消費量が多いために DMC が大きいのであるが、これは国土全体の人口密度は低いですが社会資本を整備しなくてはならないので、一人当たりの建設資材消費量が多くなってしまう。

表 4 に各国の DMC の内訳を示す。2003 年における一人当たりの食料消費量 (加工も含む) は中国で 720kg、日本で 555 kg、EU で 872 kg である。中国の場合は野菜の消費が多く、EU の場合は肉類の消費が多いのが特徴である。いずれにせよ、3 地域の間には大きな差がないことから、食料の消費量は GDP に依存しないことがわかる。一人当たりの化石燃料消費量に関しては、中国は 1.75 トン、EU は 3.7 トン、日本 3.5 トンとなり、中国は EU、日本の約半分となっている。また、同様に、一人当たりの工業資材消費量については、中国は 0.89 トン、EU は 1.0 トンとなり、大きな差がない。これに対して、一人当たりの建設資材消費量については、中国は 4.81 トン、EU は 7.0 トン、日本は 6.5 トンである。よって、今後の大規模な社会基盤の整備にとれない、物質消費の増大が予想される。

次に、GDP と DMI の過去と現在を比較して、中国社会の持続可能性について検討する。前述したように DMI は 1996 年から 2003 年の間に 70% 増大しているが、GDP は 7002 億 7800 万

US\$ (1995) から 1 兆 4170 億 US\$ (2003) とこちらはほぼ 100% 増大している。これは、中国の経済発展よりも物質消費の伸びがやや下回っており、脱物質化が進行しているといえよう。また、前述したように中国の一人当たりの GDP は EU や日本並みでないために、物質消費の段階も EU や日本と同じではない。特に今後のいっそうの産業発展や社会基盤の整備に伴い、物質消費の伸びが GDP の伸びを上回る可能性もあり、そうなればより脱物質化から遠ざかる可能性もある。建設資材の物質消費は人口密度に依存すると考えられる (Weisz et al 2005)。中国は人口密度が低いために社会基盤の整備がより必要になり、建設資材の消費が増えるというシナリオはかなり現実的である。

DMI 当たりの GDP を資源生産性とする、資源生産性は脱物質化と同義になる。つまり、資源生産性が上がると 2004 年における中国の資源生産性は 126US\$/トンに対して、EU は 1650 US\$/トン、日本の資源生産性は 2400US\$/トンである。1996 年の中国は資源生産性も 106 US\$/トンである、ほとんど改善されていない。日本も 1996 年の資源生産性は 2300 US\$/トンであり、改善されていない。しかしながら、資源生産性を上げることは脱物質化につながることであり、両国の更なる改善を期待したい。

IV まとめ

本稿では中国の物質フローから中国経済を捉えてみた。中国は急激な経済発展を達成しているものの、一人当たりの GDP、資源消費量はともに EU や日本よりも低い水準にあることがわかった。しかしながら、食料の消費に関しては中国、EU、日本に大きな差がないことから、人間の基礎代謝に関する資源消費は GDP に依存しないといえよう。これに対して、建設資材の消費は中国が EU や日本よりもはるかに小さい。中国の今後の発展のためには道路建設・住宅建築等の社会基盤の整備は欠かせず、おのずと建設資材の消費はかなり増大すると考えられ、資源の枯渇や環境破壊等の影響が懸念される。しかしながら、中国の資源生産性は EU や日本と比較してまだまだ低いことから、EU や日本並みの脱物質化、高い資源生産性を実現することができれば、急激な物質消費増大による悪影響を排除しつつ中国経済の持続可能性を実現することが期待できるであろう。

備考 MFA の更なる展開

本稿で紹介したように MFA は国や地域の資源消費の状況を簡易に推計することができ、その社会の特徴についても把握することができる便利なツールである。MFA の更なる展開として、土地利用の変化に関する研究と結びつける研究がある。MFA は物質消費に関する評価を行うことは可能であるが、それ以外の評価には用いることは難しい、よって、MFA と他の指標（エネルギー消費、土地利用変化、輸送）を統合しようとする研究も行われている。土地利用変化は産業の発達に大きな影響を及ぼしてきた。特に、農業から工業への変遷の過程で土地利用変化は大きく変わってきた。Helmut らは、こうした土地利用変化を本来の自然がもつ生産性と実際の生産性との差を HANNP (Human Appropriate Net Primary Production) という指標での評価を試みている (Helmut et al 2004)。この HANNP と MFA の変化は密接な関係があり、両者の関係を明らかにしようとする研究がある (e. g. Weisz et al 2001, Grünbühel et al, 2003, Singh

and Grünbühel, 2004, Weisz et al 2005, Cusso et al 2005)。さらに、MFA を用いて、社会の変遷を解析しようとする研究もある。MFA の利点は比較が出来ることである。比較は地域間の比較だけでなく、時系列での比較も出来る。(Krausmann et al 2004)

また、土地利用の持続可能性の評価にはエコロジカルフットプリント (Ecological Footprint: EF) という指標が現在は広く用いられている。EF はその国で消費するバイオマス資源を生産するために必要とする土地面積とその国が排出する炭酸ガスを吸収するために必要な森林面積との和で表される。中国の一人当たりの EF は 1.3-1.5ha と推計されている (Honga et al 2006, Xu et al 2003, Loh, 2002, 2004)。しかしながら、中国が持つ持続可能なバイオマス生産と炭酸ガス吸収の容量は一人当たり 0.7-0.9 ha (Honga et al 2006, Xu et al 2003, Loh, 2002, 2004) と推計されている。よって、その差の 0.5-0.8 ha を埋める努力も払わなければならない。

参考文献

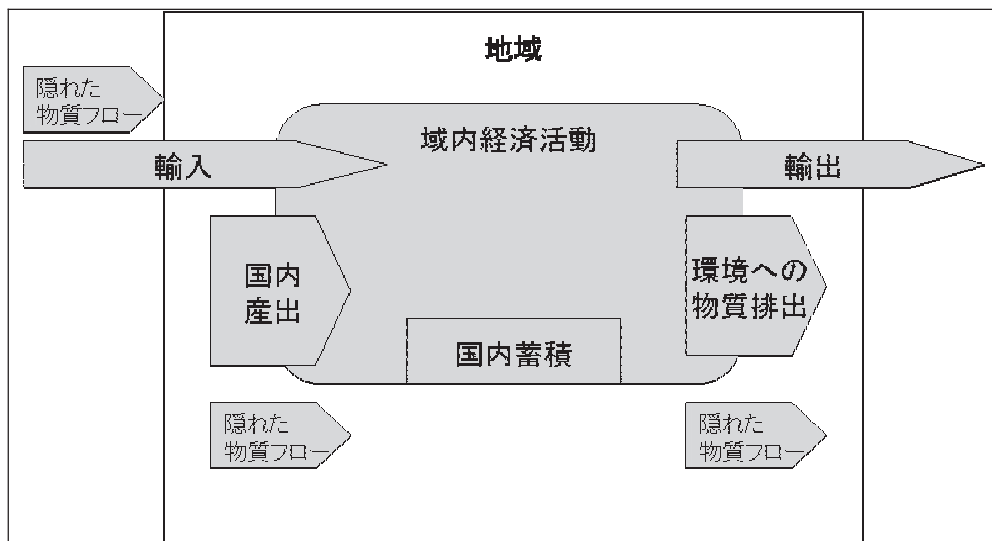
- 愛知県環境部, 2002, あいち資源循環型社会形成プラン
- Amann, Christof, Willibald Bruckner, Marina Fischer-Kowalski, Clemens Grünbühel, 2002, Material Flow Accounting in Amazonia A Tool for Sustainable Development, Social Ecology Working Paper 63
- Ayres R. U. and L. W. Ayres, 1998, Accounting for Resources 1 Economy-wide applications of mass-balance principles to materials and waste, Edward Elgar Publishing, UK
- Ayres R. U. and L. W. Ayres, 1999 Accounting for Resources 2 The life cycle of materials, Edward Elgar Publishing, UK
- Bertram M, T. E. Graedel, K. Fuse, R. Gordon, R Lifset, H Rechberger and S Spatari, 2003, The copper cycles of European countries, Reg Environ Change 3 119-127
- Bertram M., T. E. Graedel, H. Rechberger and S. Spatari, 2002, The contemporary European copper cycle: waste management subsystem, Ecological Economics, 42(1-2), 43-57
- Bringezu, S. and Y. Moriguchi, 2002, Material flow analysis in A Handbook of Industrial Ecology (R. Ayres and L. Ayres ed., Edward Elgar, Cheltenham, 680, 79-90
- Bringezu, S., H. Schuttz, S. Steger and J Baudisch, 2004, International comparison of resource use and its relation to economic growth The development of total material requirement, direct material inputs and hidden flows and the structure of TMR, Ecological Economics, 51 97-124
- Brunner P. H. and H. Rechberger, 2004, Practical Handbook of Material Flow Analysis, Lewis Publishers
- Brunner P. H., H. Daxbeck and Baccini P, 1994, Industrial metabolism at the regional and local level: a case study on a Swiss region, in Industrial Metabolism – Restructuring for Sustainable Development, Ayres, R.U. and U.E.Simonis Eds, UNU Press, New York
- 中華人民共和国国家統計局編 2006 『中国統計年鑑 2005』 中国統計出版社
- 中国国家统计局国民经济総合統計司編 『新中国五十年統計資料彙編』 日本統計協会訳 日本統計協会
- De Marco, O., Lagioia, G., Pizzoli Mazzacane, E. , 2000, Materials flow analysis of the Italian economy. *Journal of Industrial Ecology* 4, 55-70.
- EEA (European Environment Agency) , 2004, Signals 2004 A European Environment Agency update on selected issues
- Eurostat, 2000, Economy-wide material flow accounts and derived indicators A methodological guide
- Eurostat, 2001a, *Economy-wide Material Flow Accounts and Derived Indicators. A methodological guide*, p. 92, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Eurostat, 2001b, *Material use indicators for the European Union, 1980-1997. Economy-wide material flow accounts and balances and derived indicators of resource use*, p. 109, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Eurostat, 2002, *Material use in the European Union 1980-2000. Indicators and Analysis*, p. 90, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

- FAO, 『FAOSTAT』 <http://faostat.fao.org/>
- Goto, N., A. Sakoda and M. Suzuki, 1994, Modelling of soil carbon dynamics as a part of carbon cycle in terrestrial ecosystems, *Ecological Modelling*, 74, 183-204
- 後藤尚弘、内藤ゆかり、胡洪宮、藤江幸一、2001、地域ゼロエミッションを目指した愛知県物質フローの解析、*環境科学会誌*, 14(2), 211-220
- 後藤尚弘、迫田章義、2001、地域ゼロエミッションを目指した産業ネットワーク設計ツールの開発、*環境科学会誌*, 14(2), 199-210
- 後藤尚弘、2004、屋久島における物質フロー解析、屋久島ゼロエミッション（屋久島ゼロエミッションワーキンググループ編集）、海象社
- Goto N., T. Tabata, K. Fujie, T. Usui, 2005, Creation of a recycling-based society optimized on regional material and energy flow, *Energy*, 30, 1259-1270
- Gordon R. B., T. E. Graedel, M. Bertram, K. Fuse, R. Lifset, H. Rechberger and S. Spatari, 2003, The characterization of technological zinc cycles, *Resources, Conservation and Recycling*, 39(2), 107-135
- Graedel T. E., Dick van Beers, Marlen Bertram, Kensuke Fuse, Robert B. Gordon, Alexander Gritsinin, Ermelinda M. Harper, Amit Kapur, Robert J. Klee, Reid Lifset, Laiq Memon and Sabrina Spatari, 2005, The Multilevel Cycle of Anthropogenic Zinc, *Journal of Industrial Ecology*, 9(3), 67-90
- Graedel T. E., M. Bertram, K. Fuse, R. B. Gordon, R. Lifset, H. Rechberger and S. Spatari, 2002, The contemporary European copper cycle: The characterization of technological copper cycles, *Ecological Economics*, 42(1-2), 9-26
- Graedel T. E., 2002, The contemporary European copper cycle: introduction, *Ecological Economics*, 42(1-2), 5-7
- Grünbühel, Clemens M. and Schandl, Heinz, 2005, Using land-time-budgets to analyze farming systems and poverty alleviation policies in the Lao PDR, *Int. J. Global Environmental Issues*, 5(3/4), 142-180
- Haberl H., M. Fischer-Kowalski, F. Krausmann, H. Weisz and V. Winiwarter, Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer, 2004, *Land Use Policy*, 21(3), 199-213
- 橋本征二、森口祐一、2004、物質フローから見た循環型社会、*化学工学誌*、67(5)、256-258
- Hendriks C R. Obemosterer, D. Muller, S Kytzia, P Baccini and P.H. Brunner, 2000, Material Flow Analysis: a tool to support environmental policy decision making. Case studies on the city of Vienna and the Swiss lowlands, *Local Environmental* 5(3) 311-328
- Hoffrén J.; Luukkanen J.; Kaivo-oja J., 2000, Decomposition Analysis of Finnish Material Flows: 1960-1996, *Journal of Industrial Ecology*, 4(4), 105-125
- Honga L., Z.P. Donga, H. Chunyu, W. Gang, 2006, Evaluating the effects of embodied energy in international trade on ecological footprint in China, *Ecological Economics*, in press
- Jasinski, S.M., 1995, The materials flow of mercury in the United States, *Resour. Conserv. Recycling* 15, 145
- 環境省、2003、平成15年度循環社会白書
- Kapur A., Marlen Bertram, Sabrina Spatari, Kensuke Fuse and Thomas E. Graedel, 2003, The contemporary copper cycle of Asia, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 5(2), 143-156
- Kleijn, R., R. Huele & E. van der Voet, 2000, Dynamic substance flow analysis: the delaying mechanism of stocks, with the case of PVC in Sweden. *Ecological Economics*, 32(2): 241-254
- 国家統計局工業交通統計司編、2006、『中国能源統計年鑑、2005』、中国統計出版社
- Kneese, A. V., R. U. Ayres and R. d'Arge, 1970, Aspects of Environmental Economics: *A Material Balance Approach*, Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press
- Lampert Ch. and P. H. Brunner, 1999, Materials accounting as a policy tool for nutrient management in the Danube Basin, *Water Science and Technology*, 40(10), 43-49
- Lin, B-L., Sakoda, A., Shibasaki, R., Goto, N., and Suzuki, 2001, Modelling a Global Biogeochemical Nitrogen Cycle in Terrestrial Ecosystems, *Ecological Modelling*, 135, 89-110
- Liu Y., Arthur P. J. Mol and Jining Chen, 2004, Material Flow and Ecological Restructuring in China The Case of Phosphorus, *Journal of industrial Ecology*, 8(3) 103-120
- Loh, J. (Ed.), 2002. Living Planet Report 2002. World-Wide Fund for Nature International (WWF), Gland, Switzerland.
- Loh, J. (Ed.), 2004. Living Planet Report 2004. World-Wide Fund for Nature (WWF), Gland, Switzerland.
- Ma, Tao, Bo Li, Changming Fang, Bin Zhaoa, Yiqi Luo, Jiakuan Chen, 2006, Analysis of physical

-
- flows in primary commodity trade: A case study in China, *Resources, Conservation and Recycling* 47 73–81
- Matthews, E., Amann, C., Fischer-Kowalski, M., Bringezu, S., Hüttler, W., Kleijn, R., Moriguchi, Y., Ottke, C., Rodenburg, E., Rogich, D., Schandl, H., Schmitz, H., van der Voet, E. and Weisz, H., 2000, *The Weight of Nations: Material Outflows from Industrial Economies*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- Moriguchi Y., 1999, Recycling and waste management from the viewpoint of material flow accounting, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 1(1), 2–9
- Moriguchi Y., 2001, Rapid Socio-Economic Transition and Material Flows in Japan, *Population and Environment*, 23(1) 105-115
- 森口祐一、2003、循環型社会形成のための物質フロー指標と数値目標、*廃棄物学会誌*、14(5)、242–251
- 森口祐一、術 2004、循環型社会創造支援システム開発プログラム、総合科学技術会議編集 ゴミゼロ型・資源循環型技術研究イニシアティブ報告書 ゴミゼロ社会への挑戦 環境の世紀の知と技
- 森口祐一、2005、人間活動と環境をめぐる物質フローのシステムの把握、*環境科学会誌*、18(4)、411–418
- OECD, 2004a, Workshop on Material Flows and Related Indicators Environment Directorate Environment Policy Committee
- OECD, 2004b, Key Environmental Indicators
- Obemosterer R and P.H.Brunner, 2001, Urban management: The Example of Lead, *Water, Air and Soil Pollution, Focus* 1, 241-253
- Palm V. and K. Jonsson, 2003, Materials Flow Accounting in Sweden: Material Use for National Consumption and for Export, *Journal of Industrial Ecology*, 7(1), 81 – 92
- Pedersen, Ole G, 2002, DMI and TMR for Denmark 1981, 1990, 1997. An assessment of the Material Requirements of the Danish Economy. Statistics Denmark
- Rechberger H. and T. E. Graedel, 2002, The contemporary European copper cycle: statistical entropy analysis, *Ecological Economics*, 42(1–2), 2002, 59-72
- Rechberger H., 2003, Eco-Industrial Parks and the Zero-Waste Philosophy: Potentials and Limits, *Proceeding on Industrial Ecology for a Sustainable Future*, 29 June–2 July, University of Michigan
- 坂本辰徳、谷川寛樹、橋本征二、森口祐一、2004、地域マテリアルフロー推計に用いる都市構造物の資材投入原単位と耐久年数の推計、*環境情報科学論文集*、18、271–276
- Singh, S.J. and Grünbühel, 2004, CM Environmental Relations and Biophysical Transitions: The Case of Trinket Islands. In: *Geografiska Annaler, Series B, Human Geography* 85(4).53-86
- Ščasný, Milan, Jan Kovanda, Tomaš Hač, (2003) Material flow accounts, balances and derived indicators for the Czech Republic during the 1990s: results and recommendations for methodological improvements, *Ecological Economics* 45 41–57
- Schandl, H. and N. B. Schulz, 2002, Changes in United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land use from 1850 to the present day. *Ecological Economics* 41(2), 203-221
- Somlyódy L, P. H. Brunner and H. Kroiss, 1999, Nutrient balances for Danube countries: a strategic analysis, *Water Science and Technology*, 40(10), 9-16
- Spatari S., M. Bertram, Robert B. Gordon, K. Henderson and T.E. Graedel, Twentieth century copper stocks and flows in North America: A dynamic analysis, *Ecological Economics*, 54(1), 37-51
- Spatari S., M. Bertram, K. Fuse, T. E. Graedel and E. Shelov, 2003, The contemporary European zinc cycle: 1-year stocks and flows, *Resources, Conservation and Recycling*, 39(2), 137-160
- Spatari S., M. Bertram, K. Fuse, T. E. Graedel and H. Rechberger, 2002, The contemporary European copper cycle: 1 year stocks and flows, *Ecological Economics*, 42(1–2), 27-42
- Suzuki, M., Goto, N. and A. Sakoda, 1993, Simplified dynamic model on carbon exchange between atmosphere and terrestrial ecosystems, *Ecological Modelling*, 70, 161-194
- Tanikawa H., S. Hashimoto and Y. Moriguchi, 2002, Estimation of Material Stock in Urban Civil Infrastructures and Buildings for the Prediction of Waste Generation, *5th EcoBalance International Conference*, pp.803-806 (Tsukuba, Japan, 5–8 Nov., 2002)
- Vexler D., M. Bertram, A. Kapur, S. Spatari and T. E. Graedel, 2004, The contemporary Latin American and Caribbean copper cycle: 1 year stocks and flows, *Resources, Conservation and Recycling*, 41(1), 23-46
- Weisz H., F. Krausmann, C. Amann, N. Eisenmenger, K.-H. Erb, K. Hubacek and M. Fischer-Kowalski, 2005, The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption, *Ecological Economics*
- Weisz H., M. Fischer-Kowalski, C. M. Grünbühel, H. Habel, F. Krausmann, and V. Winiwarter, 2001, Global Environmental Change and Historical Transitions, *Innovation*, 14(2) 117-142

Xu, Z.M., Zhang, Z.Q., Cheng, G.D., Cheng, D.J., 2003. Ecological footprint calculation and development capacity analysis of China. Chinese Journal of Applied Ecology 14, 280–285 (in Chinese with English abstract).

図1 物質フロー解析の概要



TMR (Total Material Requirement) : 輸移・入+国内産出+海外の隠れた物質フロー+国内の隠れた物質フロー

DMI (Domestic Material Input) : 輸移・入+国内産出

DMC (Domestic Material Consumption) : 輸移・入+国内産出-輸出

DPO (Domestic Process Output) : 大気、土地、水環境への物質排出量
(DMI-ストック-輸出)

TDO (Total Domestic Output) : 大気、土地、水環境への物質排出量+国内の隠れた物質フロー

*隠れた物質フローとは目的物質の移動に伴って移動する物質、例えば鉄鉱石採掘時に発生する土砂をさす。

(出所) Matthews et al 2000 を改変

図2 中国、ヨーロッパ各国、日本の各都道府県のDMC

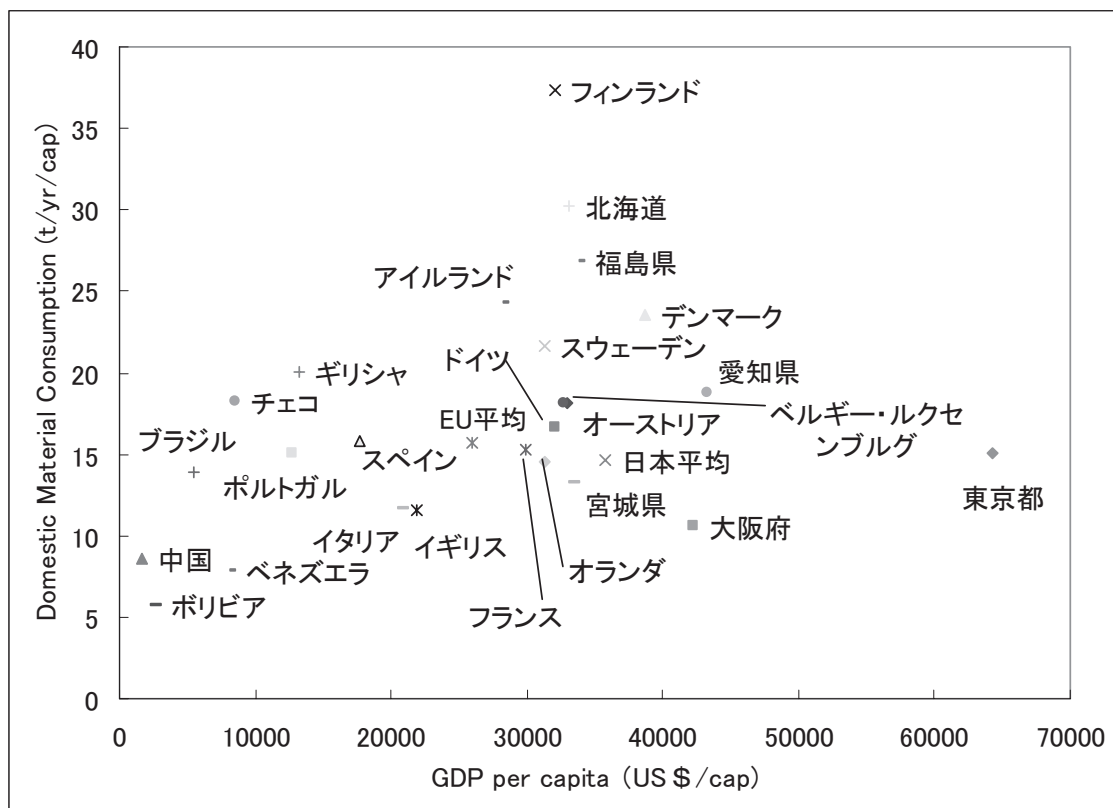


表1 Bringezu and Moriguchi (2002)によるMFAの分類

大分類	タイプ I			タイプ II		
主たる関心の出発点	下記のような物質・製品の単位フロー量あたりの特定の環境影響			下記の範囲を出入りする物質に関連する様々な環境問題		
分類	物質 (元素・化合物)	物質 (原材料)	製品	事業所・ 家庭等	部門	地域
典型的な対象の例	Cd, Cl, Pb, Zn, Hg, N, P, C, CO ₂ , CDF	木材、燃料、 建設材料、プラスチック	紙おむつ、蓄電池、自動車	生産設備、事業所、企業	(集合体としての) 生産部門、化学産業、建設産業	都市、地方、 国 (総量や収支バランスに重点をおく)
備考	物質・製品をまず設定し、対象とする範囲(事業所、部門、地域など)を決めて物質フローをとらえる			範囲をまず設定し、把握の対象を元素・化合物、原材料、製品、総量・収支などの中から選んで、物質フローを捕らえる		

(出所) Bringezu and Moriguchi (2002)

表2 Weisz et al (2005)による MFA の分類

Biomass	Food	All potentially edible biomass from cropland plus traded food product
	Feed	all biomass from grassland, by-products and crops exclusively used for feeding livestock plus traded fodder
	Animals	all caught "wild" animals (in particular fish catch) and all traded livestock and animal products, incl. fish
	Wood	Harvested wood and traded wood-based products incl. paper, furniture, etc
	Other biomass	Fibers and highly manufactured traded commodities predominantly from biomass
Fossil fuels	Coal	All type of coal
	Oil	All type of oil
	Natural gas	All types of natural gas
	Other fossils	Peat and highly manufactured traded commodities from all types of fossil fuels
Industrial minerals	Industrial minerals	All non-metallic minerals used predominantly for industrial process(excl. fossil fuels)
	Ores	All types of metallic ores and metal-based products
Construction minerals	Construction minerals	All minerals used primarily in construction

(出所) Weisz et al (2005)

表3 中国の物質消費

	DMI (104t) 1996*	DMI (104t) 2003	DMC (104t) 2003	一人当たり DMI (t) 1996	一人当たり DMI (t) 1996	一人当たり DMI (t) 2003
バイオマス	73,000 *	154,000	153,000	0.68	0.6 **	1.18
化石燃料	157,000 *	228,000	215,000	1.46	1.3 **	1.75
工業資材	83,000 *	116,000	114,000	0.77	0.1 **	0.89
建設資材	350,000	627,000	627,000	3.26	(0.4) **	4.81
全物質	663,000	1,125,000	1,109,000	6.17	(2.4) **	8.63
全物質 建設資材を除く	313,000 *	412,000	395,000	2.91	2.5 * 2.0 **	3.82

* Xiaoqiu and Lijia (2004) ** Bringezu et al(2004)

無印は著者計算

表4 各地域のDMC

t/cap	China 2003	China 1996	Japan 2000	EU 2002
食料	0.72	-	0.56	0.87 ⁴⁾
バイオマス	-	0.6 ¹⁾	2 ²⁾	6 ⁴⁾
化石燃料 t/cap	1.75	1.3 ¹⁾	3.7 ³⁾	3.5 ⁴⁾
工業資材 t/cap	0.89	0.1 ¹⁾	3 ²⁾	1.0 ⁴⁾
建設資材 t/cap	4.81 ^無	0.4 ²⁾	6.5 ³⁾	7.0 ⁴⁾

1) Xiaoqiu and Lijia (2004) 2) Bringezu et al(2004) 3) 環境省 (2003) より著者推計 4) Weisz et al (2005)
無印は著者計算