

マテリアルフローを活用した 環境政策検討ツールの構築に関する研究

坂本 辰徳¹・谷川 寛樹²

¹学生会員 和歌山大学大学院 システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)

E-mail: s054023@sys.wakayama-u.ac.jp

²正会員 和歌山大学助教授 環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)

本研究はGIS (Geographical Information Systems) を用いて、投入側から排出側までマテリアルフロー全体を考慮し、視覚的に把握できる都市レベルでの環境政策検討ツールの構築を行うことを目的とする。フロー間には相関関係があるため、どこかに変化が起こると全体のフローに影響が生じると考えられる。建設部門の投入、蓄積、排出それぞれのマテリアルフローについて推計し、それぞれの相関関係について定量化する。また人口変動や都市構造物の需要の変化、再生資源の利用方法についてシナリオ設定を行う。エネルギーフローも同様に投入、排出をシナリオにより算定する。エネルギーフローが発生する原因も様々であるが、ここでは中間処理場への搬入について取りあげる。建設部門において建設副産物は今後増加することが予測され、経済や環境負荷を考慮した中間処理場の設置が必要とされる。現存する中間処理場の距離や運搬方法から、現状の輸送にかかるコストやエネルギー消費量を定量化する。

マテリアルフローの相関関係をGISに反映することにより、フロー全体を面的に把握できる環境政策ツールの構築を提案し、システムの基礎を構築した。

Key Words: *Material Flow Analysis, Geographical Information Systems, Construction sector, Environmental policy, Material Flow Managing*

1. はじめに

2000年に循環型社会推進基本法が成立し、産業廃棄物の排出量の多い容器包装、家電製品、食品廃棄物、建設廃棄物など各種リサイクル法の制定が行われ、都市のマテリアルフローにおける下流側の対策が整いつつある。建設部門においても「建設工事に係わる資材の再資源化等に関する法律(建築リサイクル法)」が制定され、建設副産物の抑制やリサイクル率の向上が図られている。高度経済成長期やバブル期にストックされた建築物が更新時期を迎え、建設副産物が増大し、新たなフローを起こすことが予測される。当面の対策としては下流側の対策が重要であるが、長期的にみれば上流側の対策が重要となる。今後は資源の投入側から排出側までフロー全体を考慮した対策が必要である。

GIS (Geographic Information System) は位置情報を持った空間データベースであり、様々なシミュレーションを行うことも可能である。現在は環境を基盤とした地域振興計画策定・実施の基本ツール、

環境情報共有ツールとしてGISが用いられている。土地利用や大気、水等の状態を把握するためには、地形や地質、植生、大気層などの複数のレイヤーが必要である。これらの各レイヤーを束ね、空間的な処理を行うことのできるGISは、環境政策立案作業などに大変有効である。またマップで表現することにより、市民や行政などからの理解を得やすく、都市計画や廃棄物管理、環境教育などのツールとして利用できる。アメリカではポートランド・メトロにおける都市成長管理GIS、レイク・タホにおける環境GISなど、環境に配慮した広域的な地域計画の住民参加によるコンセンサスづくりに利用されている。日本でも、LCA手法による地球温暖化対策設計ツール¹⁾や地域ゼロエミッションをめざした産業ネットワーク設計支援ツール²⁾がある。建設部門では、建築物におけるライフサイクルアセスメントツールの開発³⁾や物質循環・廃棄物管理における政策評価ツール⁴⁾などがある。GISにおけるツールとしての機能について表1に示す。GISを用いたシステムの構築は数多く行われているが、フロー全体を考

た環境政策ツールというものは存在しないのが現状である。日本のマテリアルフローを概観すると、21.3億トンの総物質投入量があり、そのうち11.5億トンが建物、都市インフラという形でストックされている¹²⁾。ストックの耐久年数経過後、大量の建設副産物が発生したとき、フロー全体への影響も大きいと考えられる。また投入全体の約4割(8億トン)がエネルギー消費や廃棄物という形で環境中に排出されている。

そこで本研究は、建設部門における資源の上流側から下流側までフロー全体を考慮した環境政策検討ツールの設計を行い、基礎部分の構築を行うことを目的とする。インフロー、ストック、アウトフローについてシナリオを用いることにより定量化する。フロー間の相関関係を把握することにより、マテリアルフロー全体の変化を把握できるツールを構築する。またエネルギー消費やCO₂排出量についても検討し、サブシステムの構築を行う。

2. 建設部門における環境政策検討ツールの構築

(1) システム概要

人口変動や経済活動、技術革新やライフサイクルの変化により、人々を取り巻く状況が変われば、行政の環境政策の取り組みも変わってくる。社会変動に応じた環境政策を行うためにも、柔軟に対応できるツールの作成が必要である。本研究では、エネルギーやマテリアルフローを考慮し、都市計画、廃棄物管理の分野で、利用可能なツールの構築を目指す。これらのツールは、行政が環境政策を検討する際に有効なシステムとなりうる。また経済活動や人口変動を考慮したシナリオの設定により、社会変動に応じた環境政策を行うことができる。GISをベースにすることで、行政の環境政策や経済活動による社会

変動の際に生じるマテリアル・エネルギーフローの変化について視覚的に把握することができる。

(2) システム構成

図1にシステムの構成フローチャートを示す。実際の都市を対象に推計を行うため、都市構造物のGISデータの入手が可能であった北九州市をケーススタディ対象とする。筆者らの既往研究では、建築物の家屋情報及び道路情報など都市構造物の属性データ、各種統計資料、地形図や土地利用図等を元に、現状のストックやオーバーフローをGISにより視覚化した¹³⁾。オーバーフローとは、廃棄物量の増大や土木工事の減少など、リサイクル材の需給バランスが崩れ、社会から行き場がなくなり、あふれ出る量のことである。経済活動や人口変動、環境政策のシナリオにより、マテリアル・エネルギーフローの変化を推計する。GISを用い、視覚的にマテリアル・エネルギーフロー変化を把握する。またマテリアルフローを評価する指標として橋本ら¹⁴⁾の提案する6つの指標(物質利用時間、物質利用効率、使用済み製品再資源化率、使用済み製品再生利用率、

表1 GISの先例(ツールの機能)

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
マテリアルフロー	Inflow	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	stock	-	-	-	○	-	○	○	-	-
	Outflow	-	-	○	-	○	-	-	○	○
エネルギーフロー										
都市計画	○	○	○	-	○	-	○	○	-	-
廃棄物管理	-	-	-	○	-	○	-	-	○	○

①ポートランド・メトロの都市成長管理GIS

②レイク・タホの環境GIS

③地域温暖化対策設計ツール

④廃棄物輸送・再資源化施設の適正配置に関する研究⁵⁾

⑤調布市統合型GIS基本計画書⁶⁾

⑥GPS・GISの相互作用によるごみ排出場所"勢力圏"特定とその排出実態の解析⁷⁾

⑦GISを利用した都市内エネルギー及びマテリアルストックの推計⁸⁾

⑧都市計画基礎調査と固定資産データ間の建物用途の整合性に関する研究⁹⁾

⑨千葉県における食品加工残さの地域発生分布の把握及び環境負荷量の推計¹⁰⁾

⑩GISによるごみ排出場所勢力圏特定システムの開発に関する研究¹¹⁾

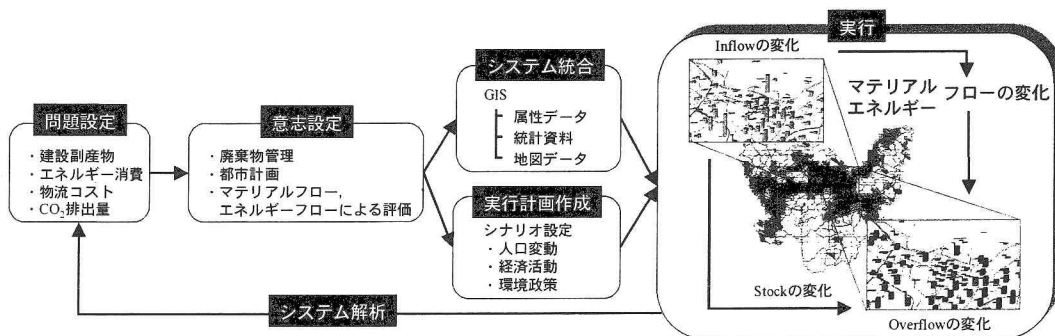


図1 システム構成概略図

直接物質投入量、直接排出量）を採用する。これらの指標により、物質の投入側から排出側までフローの各ステージを評価することが出来るようになる。

（３）フロー間の相関関係

循環型を目指す社会では、上流側から下流側への影響だけでなく、下流から上流への影響を熟慮する必要がある。システム構築のために、インフロー、ストック、アウトフローと便宜的に分け、システムの構築を行う。各ステージは互いに影響を及ぼし合い、相関関係を持っている。都市構造物におけるマテリアルフローを活用した環境政策検討ツール構築のために、それぞれのフローがどのように相関しているか考慮する必要がある。図2に建設部門におけるマテリアルフローの相関関係を示す。また評価する指標との関係を以下にあげる。

①インフロー関連の相関関係

インフローはバージン材もしくは再生資源の投入量に影響され、経済活動や人口変動といった需給により変化する（直接物質投入量）。またバージン材と再生資源の利用比率により、HMF(Hidden Material Flow: 隠れたフロー)やオーバーフロー、エネルギーフローに変化をもたらす（使用済み製品再生利用率）。再生資源の利用率については、シナリオにより設定する。

②ストック関連の相関関係

インフローによる新規需要によりストック量は増加する。更新時期を迎えたものはアウトフローとして排出されるのでストックは減少する（物質利用時間）。新築戸建て住宅や道路の維持補修といった新規需要により発生する建設副産物についてもアウトフローに寄与し相関関係がある（物質利用効率）。

③アウトフロー関連の相関関係

更新時期を迎えた建設物がアウトフローとして排出される。排出されたアウトフローは建設副産物として中間処理場に搬入される（使用済み製品再生利用率、直接排出量）。物流によるコストやエネルギー消費がアウトフローによって変化する。また中間処理場で再資源化された建設副産物を需要の変化や再生資源の利用方法などといったシナリオ別使用し、オーバーフローやエネルギーフローの変化をみる。しかし相関関係にあるインフローの需要次第では、再生資源を使用できる量は限られてくる。例を挙げると人口が減少すればコストやエネルギー消費の減少となるが、需要の減少によりオーバーフローが増加する現象が起こりうる。

（４）需要や経済活動を考慮したシナリオ設定

マテリアル・エネルギーフローの全体の変化量は経済活動や人口変動、利用方法により変化する。ここでは、それぞれの要因からシナリオ設定を行う。インフローでは人口変動により、需要が変化し、エネルギーや物質量に変化をもたらすと予想される。また都市構造物の需要の変化といった経済活動にも大きく起因してくる。戸建て住宅から集合住宅への移行、各都市構造物の長寿命化などが考えられる。ここでは都市構造物の需要の変化についてシナリオ設定を行う。建設副産物が再資源化され、再生資源の利用方法についてシナリオ設定を行う。現在、再生資源の多くは道路の路盤材に使用され、社会に循環している。しかし将来的には廃棄物量の増大や土木工事の減少などにより、オーバーフローが多くなると考えられる。今後は更なる技術発展により、道路の路盤材以外にも使用されることも予想される。シナリオとしては以下の事項が考えられる。

- ①従来通り一般道路の路盤材として使用する。
- ②一般道路の路盤材としてだけでなく、新たな受け皿（高速道路の路盤材やテトラポットなど）に使用する。
- ③最終処分場となる埋立地の新規造成する。

2番目にあげた新たな受け皿としては、現在バージン材を多く使用している高速道路や再生資源の利用も検討されているテトラポットなどがある。埋立地は建設残土や産業廃棄物の最終処分としての役割をもつが、埋立地の造成は減少傾向にある。

人口変動、需要の変化、再生資源の利用方法の3つの条件を組み合わせてのシナリオ設定を行う（図3）。

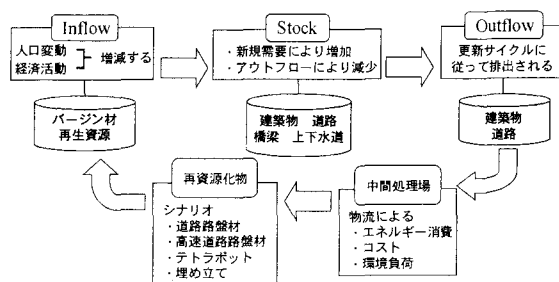


図2 建設部門におけるマテリアルフロー相関図

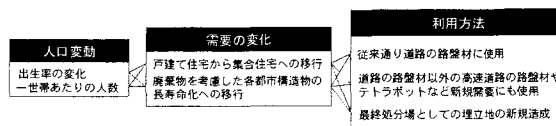


図3 シナリオ設定

3. 環境政策検討ツールのシステム構築手法

フロー全体を考慮した環境政策検討ツール作成のために、基礎的なシステムの構築を行う。ここではフロー全体を考慮し、マテリアルフロー及びエネルギーフローについて面的に推計できるようにGISの実際の動作状況について検討する。システムについては今後基本部分の拡充及びサブシステムを追加を行い、より経済活動や社会活動に対応したシステムへ改良していく必要がある。

(1) 建設部門におけるマテリアルフローの面的推計

建設部門におけるマテリアルフローの面的推計を行うためには以下の手順が必要である。

システムの構築を行う対象地域であるGISデータを用意する。ここで必要なデータは建築物の家屋情報や道路、橋梁延長など都市構造物の属性データ、地形図や土地利用図などである。属性データより、町丁目ごとにストック、アウトフローの推計を行う。また初期インフローは統計資料をもとに算出する。人口変動や都市構造物の需要の変化、再生資源の利用方法から行政が行う環境政策や経済活動に応じたシナリオを設定し、インフローを推計する。アウトフローはインフローの相関関係を受け、インフローで設定した再生資源の利用方法次第ではオーバーフローも変化する。シナリオの設定に従い、GISにより解析を行い、推計結果をGIS上に表示する。フロー全体の推計結果例を図4に示す。

ツールの構築例として既往研究によるOPM(Overflow Potential Map)がある(図5)。OPMとは建築物、道路を解体した時に発生する排出量から、再生資材としてリサイクルされ再び地域に滞留する量を差し引いたもの、つまり需給バランスの崩れを面的に推計したものである。OPMは廃棄物管理を行うツールの一つとして機能する。OPMにより、オーバーフローの集中する地域を把握することで、中間処理場の設置場所やエネルギー消費、CO₂排出量も含めた廃棄物の処理計画案を立案することができる。シナリオの設定により、再生資源の利用を推進し、一般道路の路盤材以外にも使用すれば、評価指標である使用済み製品再生利用率が高くなり、オーバーフローの減少も面的に推計できる。

(2) 建設部門におけるエネルギーフローの面的推計

建築部門におけるマテリアルフローを推計すれば、運搬、製造、消費、廃棄の中で、石油や石炭、天然ガスなどといったエネルギーフローとリンクするこ

とができる。またマテリアルフローのシナリオの設定によってはエネルギーフローにも変化が生じると推測できる。バージン材から再生資源への利用の推進や中間処理場の搬入先、都市構造物の需要により使用される資源の変動などによりエネルギー消費は変化する。ここではエネルギーフローの一つとして中間処理場に搬入する際にかかるエネルギーを考慮する。建設副産物として発生したフローは、建設リサイクル法により中間処理場で再資源化されることが義務づけられている。建設副産物については個別業者が発生場所から中間処理場まで陸運輸送されて

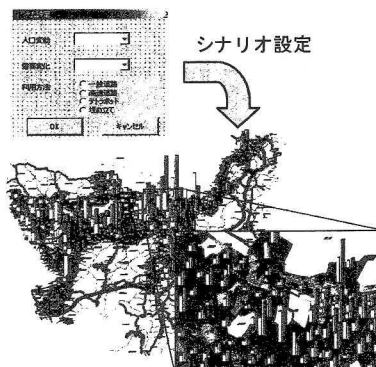


図4 フロー全体の推計結果例

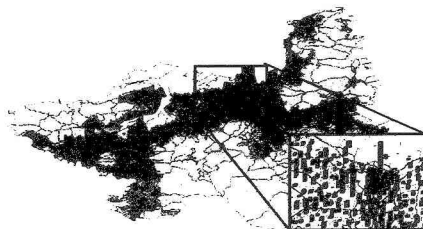


図5 OPM(Overflow Potential Map)

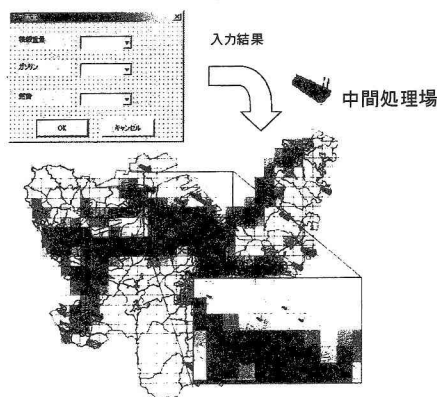


図6 中間処理場搬入にかかるエネルギー量

いるのが現状である。建設副産物の運搬には多大な物流コストがかかるとともに、エネルギーも同等に消費している。推計されたアウトフローは再資源化され、道路の建設や土地造成などに再利用される。中間処理場への搬入は不可欠であり、それにより発生する物流コストやエネルギー消費、環境負荷も考えた政策が必要である。

GISを用いて、発生したアウトフローからエネルギー消費を推計する。直接的なエネルギー消費の原因は以下の点が考えられる。

- ・建設副産物発生場所から中間処理場までの距離
- ・使用する重量車の積載重量
- ・重量車の燃費
- ・ガソリンの値段

コストやCO₂排出量が最小になるように考慮すると、市域内で処理し、市域内でも中間処理場までの輸送距離が最小となる場所に輸送することにより、全体での輸送距離の最小化を図ることが可能である⁵⁾。ここでは発生した場所から輸送距離が最小となる場所に輸送することと仮定した。重量車であるが、重量車は車種数が膨大であるため、それぞれを評価することは困難である。また積載量により、運搬の回数が変化し、エネルギー消費量も変化すると考えられる。トラック・バス等（車両総重量2.5tを超える重量車）の燃費評価手法については国土交通省が取りまとめているが、結果までには至っていない¹⁵⁾。またガソリンの値段は社会情勢により変動する。ここでは積載重量、重量車の燃費、ガソリンの値段を入力することにより、経済状況に合わせたエネルギー消費を推計することができる。入力画面からそれぞれの値を入力することにより、エネルギー消費量を算定する（図6）。色が濃いほどエネルギー消費量が多い。ここでは中間処理場までの最小距離を計測しやすくするために1km×1kmのメッシュで表示した。

4. まとめ

本研究は、建設部門における資源の上流側から下流側までフロー全体を考慮した環境政策検討ツールの設計を行い、基礎部分の構築を行った。

本研究で得られた結果を以下に整理する。

- ①フロー間の相関関係や経済活動や人口変動などのシナリオの設定により、上流側から下流側までフロー全体を考慮した環境政策検討ツールのシステムの基礎を構築することができた。
- ②マテリアルフローだけでなく、サブシステムとし

て、エネルギーフローについても考慮した。ここでは建設副産物の中間処理場への輸送において、エネルギー消費の面からGISを用いてツールの構築を行うことができた。

今後の課題は、シナリオの設定は人口変化、需要変化、再生資源の利用方法といった3つの観点からであったが、さらにシナリオを整備することにより、行政が環境政策を考慮しやすいようにする。また今回はマテリアル・エネルギーフローのツールの構築であったが、バージン材の使用による輸入相手国への影響、間接的なエネルギー消費、都市のヒートアイランド現象やNO_x、SO_xによる大気汚染といったエネルギー消費の起因となる環境問題への適用可能性も探ってゆきたい。

参考文献

- 1) 玄地裕，金澤明浩，原田大地，小宮山宏，近藤裕昭，
亀卦川幸浩：街区構造の違いを考慮した東京23区の具体的ヒートアイランド対策，環境システム研究論文発表会28，
- 2) 後藤尚弘，迫田章義：地域ゼロエミッションをめざした産業ネットワーク設計支援ツールの開発，環境科学会誌，14(2)，pp.199-210，2001.
- 3) 鈴木道哉，矢川明弘，東嶋武：建築版ライフサイクルアセスメントツールの開発と全社的環境負荷削減活動への展開，第32回環境システム研究論文発表会講演集，pp525-530，2004.
- 4) 平井康宏，酒井伸一，高月紘：温室効果ガスと埋立地消費を基準とした廃棄物処理方式の評価，環境経済・政策学会1999年大会報告要旨集，pp268-269，1999.
- 5) 田畑智博，後藤尚弘，藤江幸一，井村秀文，薄井智貴：発生源空間分布から見た廃棄物輸送・再資源化施設の適正配置に関する研究，環境システム研究論文集30，pp315-322，2002.
- 6) 調布市統合型GIS基本計画書，pp103-111，2005.
- 7) 斉藤美穂，鈴木慎也，松藤康司，加茂和義：GPS・GISの相互活用によるごみ排出場所“勢力圏”特定とその排出実態の解析，環境システム研究論文発表会講演集32，pp279-285，2004.
- 8) 白浜康弘，谷川寛樹，松本亨，井村秀文：GISを利用した都市内エネルギー及びマテリアルストックの推計，環境システム研究25，pp269-275，1997.
- 9) 阪田知彦，吉川徹：都市計画基礎調査と固定資産データ間の建物用途の整合性に関する研究，GIS-理論と応用9(1)，pp9-18，2001.

- 10) 志水草夫, 楊翠芬, 玄地裕: 千葉県における食品加工残さの地域発生分布の把握及び環境負荷量の推計, 廃棄物学会研究発表会講演論文集 15, pp169-171, 2004.
- 11) 斉藤美穂, 鈴木慎也, 松藤康司, 加茂和義: GIS によるごみ排出場所勢力圏特定システムの開発に関する研究, 廃棄物学会研究発表会講演論文集 15, pp338-340, 2004.
- 12) 循環型社会白書平成 14 年版, pp39, 2002.
- 13) Hiroki Tanikawa, Tatsunori Sakamoto, Seiji Hashimoto, Yuichi Moriguchi: Visualization of Regional Material Flow using Over-flow Potential Maps, The Sixth International Conference on EcoBalance, pp567-570, 2004.
- 14) 橋本征二, 森口祐一: 循環型社会に向けた物質循環の 6 つの指標の提案ーマテリアルフロー分析の視点からー, 廃棄物学会研究発表会講演論文集 13, pp48-50, 2002.
- 15) 国土交通省自動車交通局技術安全部環境課: 重量車燃費評価手法について, 2003

ESTABLISHMENT OF TOOLS FOR ENVIRONMENTAL POLICY USING MATERIAL FLOW ANALYSIS

Tatsunori SAKAMOTO and Hiroki TANIKAWA

In the present study, tools for environmental policy allow us to visualize Material Flow process from In-flow till Out-flow. While estimating Material Flow using GIS data, In-flow, Stock and Out-flow are quantified and estimated as well. Scenario can be established with the variables of population change, and changes in demand and use of recycled resource. In the near future, the stock will cause the new material flow as waste, so the establishment of recycling facilities need to be considered in the economy and in environmental planning. The Consumption of energy and its cost is quantified by distance and transportation methods to recycling facilities. The Correlation of flow as reflected in GIS data, and the tools of environmental policy to offer a way to visualize Material flow, as well as foundation of this system are established.