

(11) 産業連関モデルによる都市のエネルギー・環境構造分析
URBAN ENERGY AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS BASED ON AN
INPUT-OUTPUT MODEL

金川 琢* 二渡 了* 井村 秀文*

Taku KANAGAWA*, Tohru FUTAWATARI*, Hdefumi IMURA*

ABSTRACT; Cities are center of population, production, and consumption. They can be compared to a biological system composed of various pathways on which exchange of energy and material take place and are then converted into different forms. Production of goods and services in cities requires two different forms of energy. The first is the "direct" energy, or the net input of primary energy such as oil, coal, natural gas and solar radiation. The second is the "indirect" energy, or the energy embodied in the goods and services that are imported from the outside and used for production of new goods and services in the city. Input-output-based energy accounting method for cities is developed by using the concept of "embodied energy". Then it is applied to several Japanese cities for which I-O tables are available. Characteristics of the city's energy structure is discussed in terms of its self-independence and dependence upon the outside by calculating the total (direct and indirect) energy needed for the gross production of the city.

KEYWORDS; input-output analysis, embodied energy, urban environment, energy analysis, resource accounting

1. はじめに

現在の都市活動は、大量のエネルギー消費によって支えられている。都市活動が環境に与える負荷を軽減するためには、エネルギー消費の削減が肝要となる。一般に、第三次産業中心型の都市は、単位生産当たりのエネルギー消費が小さい傾向にある。しかし、このような都市が環境への負荷の小さい理想的な都市であると単純に評価できるであろうか。市内に工場や発電所を有さない都市も、他の都市で生産された財・サービスを大量に消費している。財・サービスには、その生産に要したエネルギーが内包されていると考えると、財・サービスの消費は、それらに内包されたエネルギー (Embodied Energy) の間接的な消費に他ならない。[1]すなわち、都市活動は一次エネルギーの直接的な消費と、財・サービスを通じた間接的なエネルギー消費という二種類のエネルギー消費によって支えられている。従って、直接的なエネルギー消費の小さい都市イコール環境保全型の都市であると短絡的に評価することはできない。

このような視点に立って、本研究では、産業連関モデルに基づき、内包エネルギーの概念を用いた都市エネルギー構造分析モデルを構築し、実際の都市へのその適用を試みる。

2. 分析手法

内包エネルギーの概念の導入によって、都市で消費される直接的なエネルギー (一次エネルギー) と間接的なエネルギー (財・サービスに内包されたエネルギー) の両者を統合的に扱う。

都市に投入されたこれらのエネルギーは、都市内の産業連関を経て最終的には、最終消費、資本形成、移

*九州大学工学部環境システム工学研究センター

Institute of Environmental Systems, Faculty of Engineering, Kyushu University

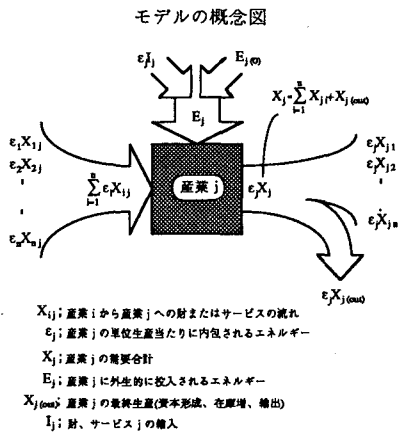


図 1

産業連関を通じた一次エネルギーの流れ

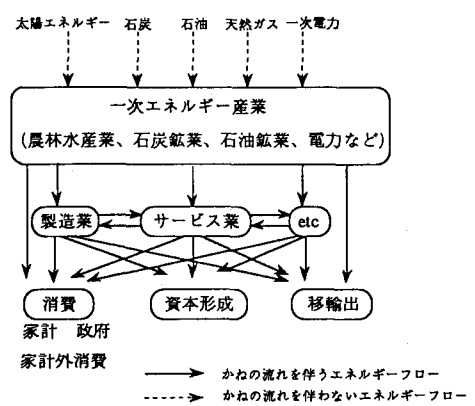


図 2

輸出などの都市の最終生産に内包される。これらの最終生産に内包されるエネルギーのうち、最終消費、資本形成に内包されるエネルギーは、都市内部で消費または蓄積されるものであり、移輸出に内包されるエネルギーは、都市外部へ流出するものと見なされる。都市におけるこのような一連のエネルギーフローを、地域産業連関表を用いて分析する。

2.1 内包エネルギーの算定

財やサービスにはその生産に要するエネルギーが内包されている。図1のように、ある産業jについてエネルギーの収支を考えると、次のようになる。

$$E_j = \varepsilon_j X_j - \varepsilon_j X_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

これを行列式で表わすと、

$$E = \varepsilon \{ \bar{X} - X \} \dots \dots \dots (2)$$

となり、産業jが生産する財・サービスの単位生産当たりの内包エネルギーが求められる。

$$\varepsilon = E \{ \bar{X} - X \}^{-1} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 X_{ij} は、産業iから産業jへの財・サービスの流れ、 X_j は、産業jの全生産であり、各々、産業連関表の中での中間投入行列、需要合計として与えられる。また、 $X_{j(out)}$ は、産業jの最終生産として与えられる。本研究では、家計、政府を外生的に扱ったオープンモデルを用いるので、最終生産は、家計消費、政府消費、家計外消費、資本形成、在庫増加、移輸出の合計で表わされる。なお、家計、政府を内生化したク

ローズドモデルでは、家計、政府の消費は、労働力や政府サービスを生産するための中間投入として扱われるので、それらに内包されるエネルギーは最終的には、資本形成及び移輸出に投入されるものとして扱われる（この場合の最終生産は、資本形成、在庫増加、移輸出の合計で構成される）。

モデルの構造図

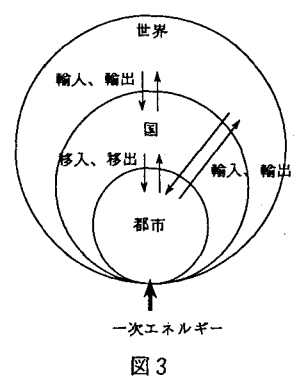


図 3

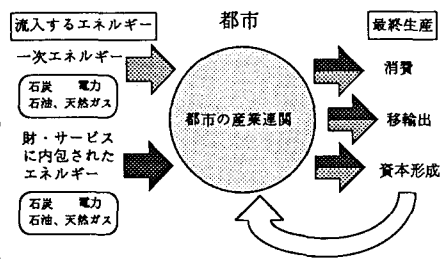


図 4

単位生産当りの内包エネルギー
世界の地域別

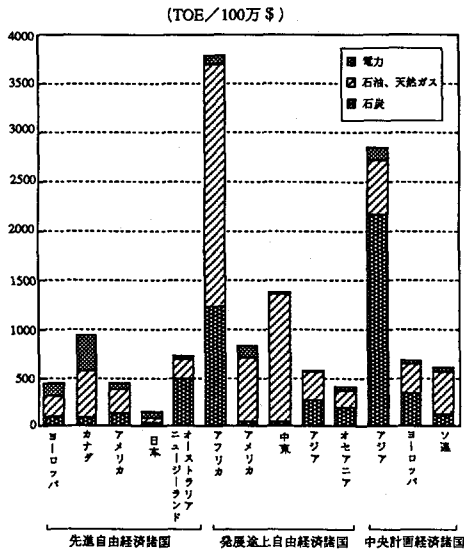


図 5

単位生産当りの内包エネルギー (全国)
(TOE/100万円)

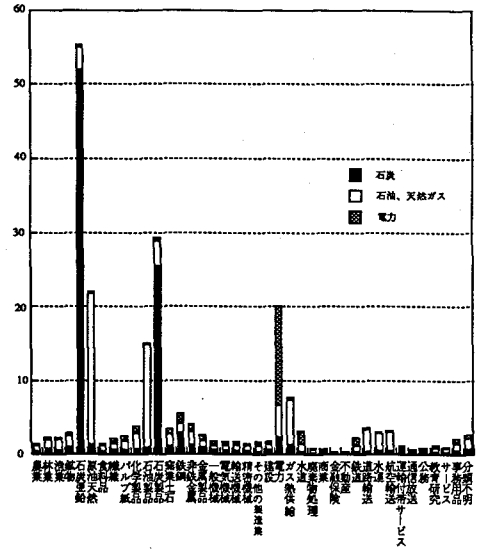


図 6

2.2 エネルギー行列

エネルギー行列Eは、各産業に外生的に投入されるエネルギーを表わす行列である。産業連関表の対象地域内での金の流れをとまうエネルギーフローは、全て産業連関表の中で表わされるが、それ以外のエネルギーフローは、産業連関表には計上されない。エネルギー行列は、このようなエネルギー投入を表わすものである。具体的には、地域内での一次エネルギー投入と、地域外からの財に内包されたエネルギー（移転入財の内包エネルギー）の投入である。

(A) 一次エネルギー投入

図2のように、一次エネルギー産業に投入された一次エネルギーは、産業連関を通じて各産業の製品に内包され、最終生産を形成する。このようなエネルギーフローの中で、産業連関表に計上されない外生的なエネルギー投入は、一次エネルギー産業へのエネルギー投入のみである。例えば、農業製品の生産には、太陽エネルギーが投入されているが、そのエネルギー投入に対する金の流れはない。このような金の流れを伴わないエネルギー投入は、産業連関表に計上されない。このような一次エネルギーのみをエネルギー行列Eに計上する。

(B) 移転入財の内包エネルギー

図3のように、都市には、国内の他地域及び他国からの移転入財に内包されたエネルギーが投入される。これらのエネルギーもエネルギー行列に計上しなければならない。しかし、都市は外部と資源・財をやり取りする開放系なので、都市モデルだけでは境界条件を定めることができない。そこで、まず、閉鎖系と見なされる世界全体について計算を行ない、輸入財の内包エネルギーを求める。さらに、これを境界条件として、全国モデルを解くことによって移入財の国内平均内包エネルギーを決定する。

本研究では、全国については全国産業連関表によるモデルを用いた。世界モデルについても、世界産業連関表を用いることが望ましいが、データの入手が困難なため、今回は、世界の貿易マトリックスから地域別の平均内包エネルギーを求めて輸入財の内包エネルギーを推定した。

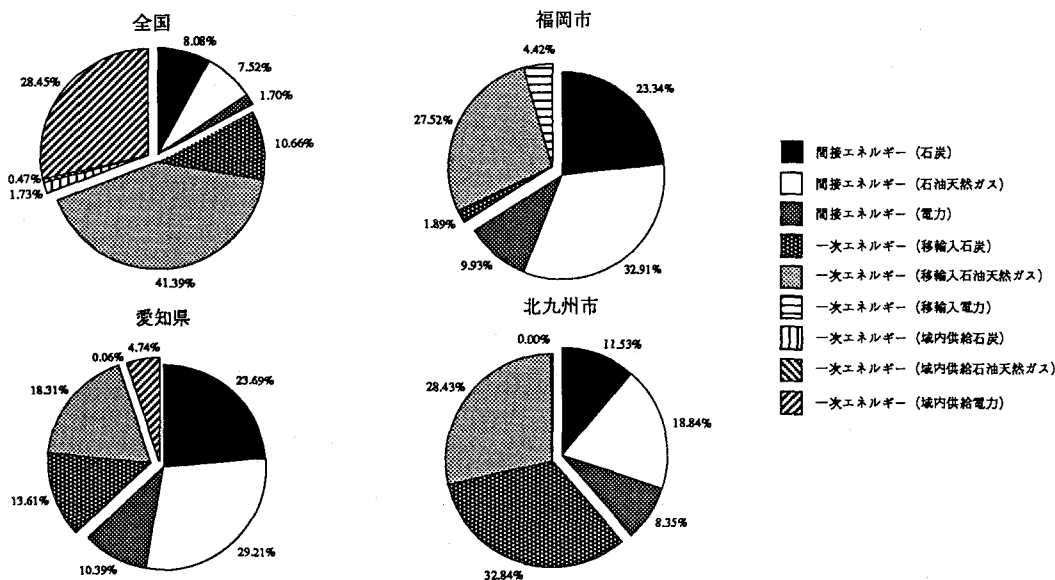


図7 流入するエネルギーの構成

なお、移輸入財の内包エネルギーを厳密に計算するためには、当該都市と当該都市を除いた全国都の地域関連を考慮したモデルによって行わなければならないが、本研究では全国平均の値として求めている。これは、都市が国の中の微小部分であると見なされる場合に限って成立する。

2.3 都市の最終生産

都市に投入された直接・間接エネルギーは、都市内の産業連関を経て最終的には都市の最終生産（家計外消費、家計消費、政府消費、資本形成、在庫増加、移輸出）を形成する（図4）。そして、これらの最終生産には、これら二種類のエネルギーが内包されている。都市の最終生産に内包されるエネルギーは、都市の各産業の内包エネルギーと各々の産業の最終生産額の積の合計で表される。本研究では、都市の最終生産を形成するエネルギーの構成について次の二点から分析する。

第一は、最終生産を形成するエネルギーの構成を最終生産の種類別に見る分析である。最終生産を形成するエネルギーのうち、最終消費、資本形成、在庫増加に内包されるものは都市内部で消費または蓄積され、移輸出に内包されるものは都市外部へ流出するものと見なされる。

第二は、最終生産に内包されるエネルギーの構成をエネルギーの種類別（直接エネルギー、間接エネルギー）に見る分析である。最終生産を形成するエネルギー消費のうち、内包エネルギーとしての消費は都市外部での消費、一次エネルギー製品（石油製品、石炭製品など）の消費は、都市内部での消費と見なされる。都市外部で消費するエネルギー（間接的なエネルギー消費）の全エネルギー消費に占める割合は、その都市のエネルギー的外部依存性の指標であり、逆に、都市内部で消費するエネルギー（直接的なエネルギー消費）の全エネルギー消費に占める割合は、その都市のエネルギー的内部自立性の指標である。

以上のようにして都市のエネルギー構造を評価する。

3. 計算結果

以上のような手法を実際の都市に適用して計算した結果を以下に示す。本論文では、昭和60年度を対象として、世界貿易統計、全国産業連関表、福岡市、北九州市、愛知県の産業連関表を用いて計算を行なった。

3.1 世界モデル

世界貿易統計から世界の各地域の単位生産当たりの内包エネルギーを計算した結果を図5に示す。

3.2 全国モデル

全国産業連関表から日本の各産業の単位生産当たりの内包エネルギーを計算した結果を図6に示す。

3.3 都市モデル

都市の産業連関表から、都市に流入するエネルギーの構成、最終生産を形成するエネルギーの産業別の構成、最終生産項目別の構成及び、エネルギーの種類別の構成を計算した結果を図7～11に示す。なお、最終生産については、家計外消費、家計消費、政府消費の合計を消費、資本形成と在庫増加の合計を資本形成として、三種類に分類した。

4. 考察

以上の分析結果から、各都市のエネルギーフローを次のように特徴づけることができる。

1) 愛知県；間接的なエネルギー消費の比率が大きい。全エネルギー消費の約70%が移輸出に投入される。財を移輸入して財を移輸出する加工型の都市である。

2) 福岡市；間接的なエネルギー消費の比率が大きい。消費に投入されるエネルギーの比率が大きい。財を移輸入してそれを消費する消費型の都市である。

3) 北九州市；直接的なエネルギー消費が全体の約60%を占める。特に、移輸出の生産に投入される直接エネルギーの割合は、全体の約50%である。一次エネルギーを移輸入して財を移輸出する生産型の都市である。

移輸出の生産に投入されるエネルギーは、当該都市の生産を支えるだけでなく間接エネルギーとして他の都市の生産を支えていると考えられる。つまり、福岡市のような消費型の都市の生産は、他の生産型・加工型都市のエネルギー消費によって支えられている。逆に、北九州市のような生産型の都市のエネルギー消費は、他の都市の生産を支えている。

現在の都市は、都市間分業が進んでいる。都市のエネルギー消費の大小は、都市間分業における役割の違いによるものであると考えられる。従って、都市のエネルギー構造の評価にはこのようなエネルギーの相互連関を考慮しなければならない。

今後、他の都市についてさらに分析を進めると同時に、時系列変化についての検討を行いたい。

<参考文献>

[1] Robert Costanza : Science, Vol.210, pp.1219-1224, 1980

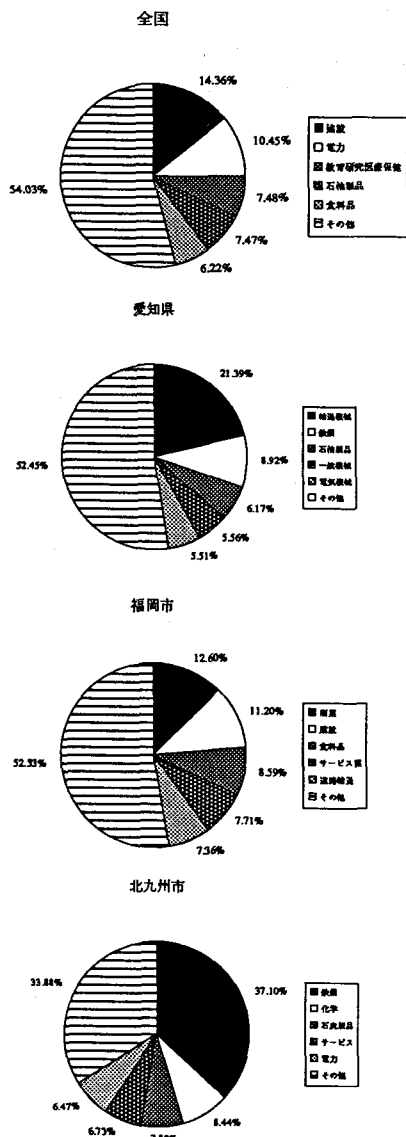


図8 最終生産を形成するエネルギーの産業別構成

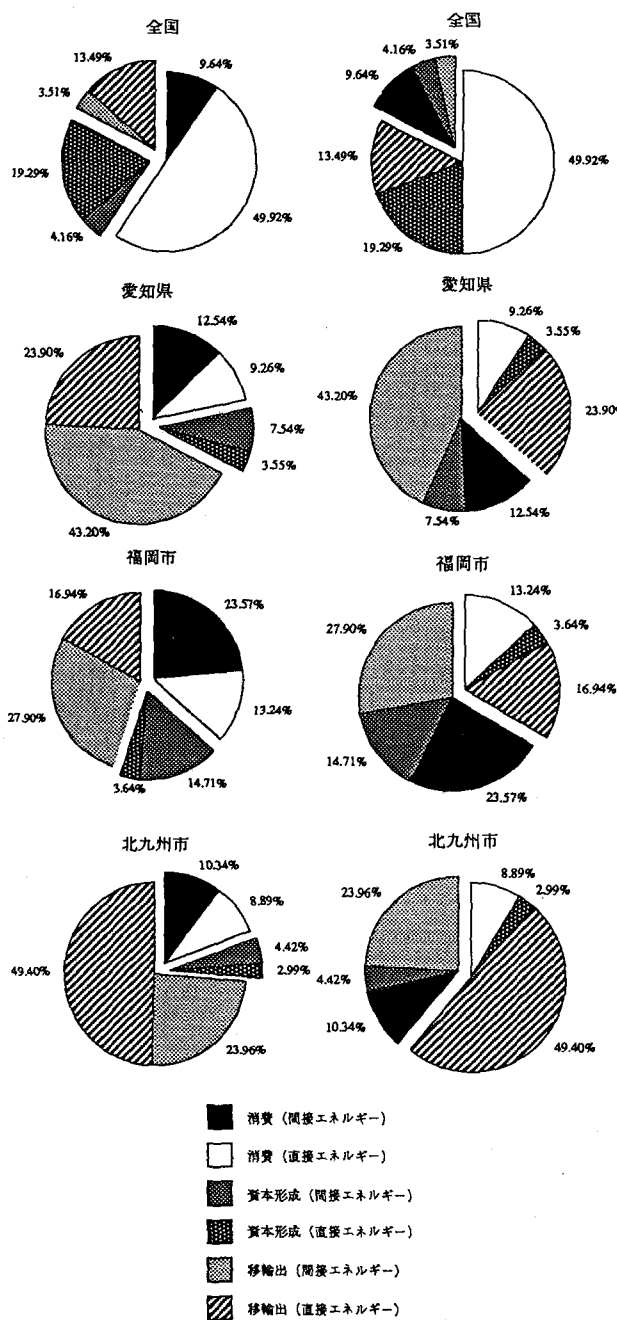


図9 都市の最終生産に内包されるエネルギーの構成

単位最終生産に内包されるエネルギーの
種類別構成 (TOE/100万円)

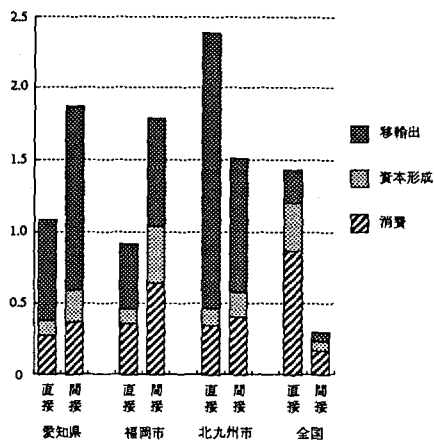


図10

単位最終生産に内包されるエネルギーの
最終生産項目別構成 (TOE/100万円)

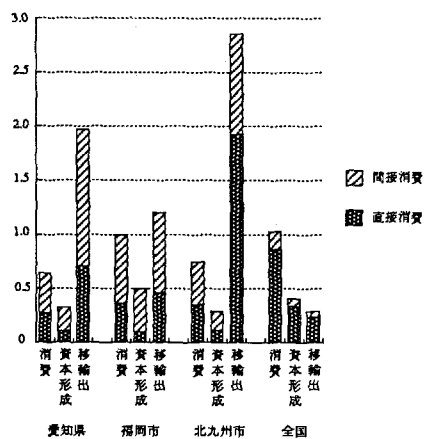


図11