

(35) 地域のエネルギー消費構造分析における産業連関モデルの適用
APPLICATION OF THE INPUT-OUTPUT MODEL TO THE ANALYSIS
OF URBAN ENERGY CONSUMPTION

金川 琢* 加藤 英輔** 井村 秀文*

Taku KANAGAWA* Eisuke KATO** Hidefumi IMURA*

ABSTRACT; Growing concerns over the global warming issues call for actions on the local level. Many local governments have started to study their responsibilities and roles for reducing the emission of greenhouse gases. Various analyses were conducted to estimate the amount of energy consumption and the associated emission of carbon dioxide in cities and prefectures. Most of their interest, however, was confined to the improvement of energy efficiency or reduction of fossil fuel use in their jurisdiction. But today, cities (or regions) do not exist as a self-supportive system. They are incorporated in a gigantic framework of the globalized world economy. Therefore, production of goods and services in a city 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. This paper presents a new energy accounting method applicable for small regions in a nation such as cities or prefectures. The method is based on the conventional input-output model, but it takes into account the energy that is embodied in the goods and services imported from the outside. Several cases are assumed for the system boundary between the region under consideration and the outside world. The calculation according to this method is carried out for four different prefectures and cities, i.e., Aichi Prefecture, Kitakyushu City, Fukuoka City and Yokohama City. Then, implication of the results obtained under different boundary conditions is discussed.

KEYWORDS; input-output analysis, embodied energy, urban environment, resource accounting, CO₂ emissions in cities

1. はじめに

近年、地球温暖化問題の解決が人類にとっての重大な課題となっている。しかし、地球規模の問題といえども、その解決は国、地域(都市)、さらには個人のレベルにおける対策の実行にかかっている。とりわけ、都市あるいは地域レベルでの対策の重要性が認識され、いくつかの地方自治体ではすでに地球温暖化対策のための地域推進モデル計画が策定されている¹⁾。しかし、こうした地域単位での対策や、そのためのエネルギー構造分析には一つの問題がある。それは、一つの地域はそれ自身単独で存在するわけではなく、他の地域や国と密接に結びついていることである。地域レベルでの地球温暖化対策を考えるには、こうした外部との相互依存関係の下での各地域の地球環境に対する責任と役割を明確にする必要がある。

地球温暖化対策の中心課題は化石燃料消費の削減である。しかし、地域と外部との相互依存を考えれば、当該地域内での化石燃料消費を考えるだけでは不十分である。各地域(都市)では、エネルギーとともに大量の財・サービスが消費されているが、これらの財・サービスにはそのもともとの生産に要したエネルギーが内包されていると考えるべきである。すると、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)²⁾の間接的な消費にほかならず、二酸化炭素排出の責任は、エネルギーの直接消費だけでなく、直接と間接の両方を含めた最終消費から評価すべきである。つまり、一つの地域は、財・サービスの生産、流通、消費という一連の流れを通じて、他の国や地域とエネルギー的に依存し合っており、この関係を考慮したうえで地球温暖化対策における地域の役割と貢献の可能性を明らかにする必要がある。

* 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

** 株式会社フジタ

Fujita Co. Ltd.

産業連関表を用いた二酸化炭素排出構造分析としては、森口らの報告¹⁾があるが、ここでも輸入財の内包エネルギーは考慮されていない。

筆者らは、以前の報告⁴⁾で直接的エネルギー消費と間接的エネルギー消費の両者を包括的に分析するための手法として産業連関モデルの適用可能性を検討したが、地域レベルの分析において問題となる地域と外部との境界条件の設定方法の違い及びそれによる結果の差の比較検討について、検討が不十分であった。このため、本報告では、この点について議論の改善を図る。また、対象地域として、前報で解析した福岡市、北九州市、愛知県に横浜市を追加し、より詳しく地域間の構造比較を行なう。

2. 産業連関モデルによる分析手法

2.1 境界条件設定の問題点

本研究では、内包エネルギー(Embodied Energy)概念を導入し、産業連関表を用いたエネルギー消費構造分析を行なう。この手法を地域に適用する場合、その境界条件の設定によって分析結果が異なってくる。ここで、以下に挙げるような境界条件の設定が問題となる。

(1) 移輸入財に内包されるエネルギーの取扱い

国にしても、地域にしても、外部とエネルギーや財・サービスをやり取りする開放系である。特に地域の場合には、外部とのエネルギーや財(サービスを含む)のやり取りの比重が大きいため、地域外部から移輸入の形で投入される財・サービスに内包されるエネルギーをどのように与えるかによって分析結果がかなり異なってくる。

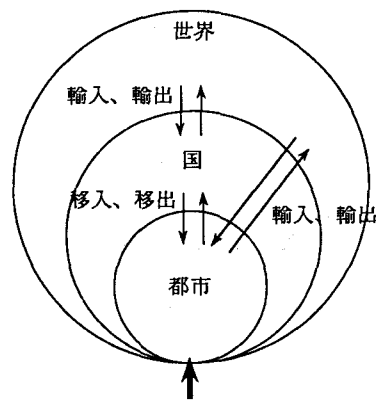
(2) 家計・政府の取扱い

現在、日本国内で作成されている産業連関表のほとんどは、家計・政府を外生的に扱ったオープンモデルのものである。しかし、これらを内生化し、家計を労働力を生産する経済部門として取り扱うことにすると、その労働力にもエネルギーが内包されている。従って、労働力の投入比率が比較的大きい金融業やサービス業などの産業では、労働力に内包されるエネルギーを考慮する場合としない場合とで、分析結果がかなり異ってくる。地域を対象とした場合、個々の地域によってその地域の主要産業が異なり、また特定の主要産業の生産が総生産の中で大きな割合を占める例が多い。このため、特に第三次産業中心の地域では内生モデルか外生モデルかによって、分析結果が大きく左右されることが予想される。

2.2 モデルのフレームワーク

世界全体、国、地域について各々、その外部からのエネルギーフローを示したのが図1である。世界全体については、外部から投入されるエネルギーは化石燃料、自然エネルギー(太陽エネルギー、水力発電、太陽光発電など)、原子力エネルギーなどの一次エネルギーだけである。国について見ると、一次エネルギーに加えて国外からの輸入財に内包されるエネルギーがある。また、都市について見ると、一次エネルギー、輸入財に内包されるエネルギーのほかに、国内の他の地域から移入される財・サービスに内包されるエネルギーが問題となる。

このように地域は、移入や輸入、移出や輸出という形で財・サービスのやり取りを介して国内の他の地域や他の国とエネルギー的に密接に関連し合っている。これらの一次エネルギー



一次エネルギー
図1 エネルギーフロー

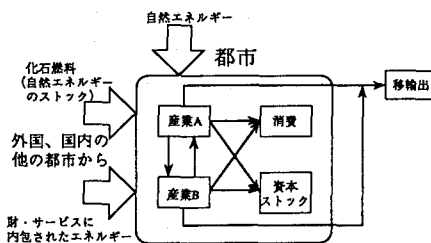


図2 一次エネルギー、財・サービスのフロー

一や財・サービスの投入によって行なわれた生産によって、最終的には消費、資本形成、移輸出などの地域の最終生産が形成される（図2）。

ここで、ある国または地域の産業*j*について考える。図3のように、産業*j*について、内包エネルギーを考慮したエネルギー収支式をたてると次のようになる。

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

これを行列式で表わすと、

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

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。

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

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*の生産の合計であり、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。 $\bar{X}$ は、 X_j を対角成分とする対角行列である。また、 $X_{j(out)}$ は、産業*j*の最終生産である。

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銭の流れをともなうエネルギーフローは、全て産業連関表の中で経済取引として表わされ、内生的に扱うことができる。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外生的に計上しなければならない。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、地域外から流入する財に内包されたエネルギー（移輸入財の内包エネルギー）の投入である。本研究では、一次エネルギーの分類を石炭、原油、天然ガス、電力として計算を行なった。電力については、水力発電、原子力発電などの一次電力のみを計上する。火力発電による電力は、原油等の二次エネルギーとして扱うため、エネルギー投入としては計上しないこととする。

このようにして得られた各産業ごとの単位生産当たり内包エネルギーの値を用いて、地域の最終生産に要するエネルギーを計算する。

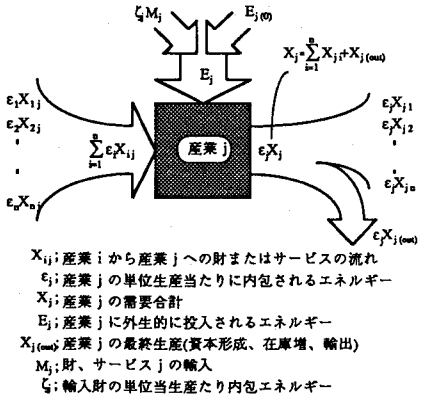


図3 モデルの概念図

2.3 境界条件による場合分け

ここで、境界条件の設定によっていくつかの異なった分析手法が考えられる。

2.3.1 移輸入の取扱い

移輸入財の内包エネルギー ζ_j はエネルギー行列*E*に計上され、外生的に与えることになる。地域内での一次エネルギー投入のみを $E_j(0)$ と定義すると、式(3)は、次のようになる。

$$\varepsilon = (E_{(0)} + \zeta \bar{M}) (\bar{X} - X)^{-1} \dots \dots (4)$$

M_j は産業*j*の移輸入、 $\bar{M}$ は M_j を対角成分とする行列である。

国を対象とした分析の場合、 ζ_j は輸入財のみであるが、地域を対象とする場合には、地域に流入する財・サービスには移入と輸入の二種類がある。そこで、これらについて二種類の扱い方が考えられる。

モデルⅠ：移入と輸入を同一に扱う「一境界モデル」

地域とその外部との境界のみを考え、移入財と輸入財を同じ財として扱うので、与える境界条件は一つだけである。具体的

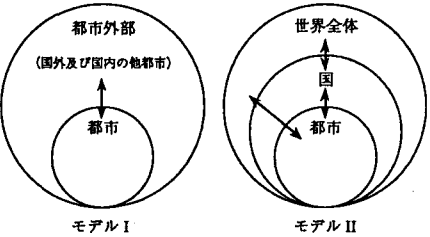


図4 一境界モデルと二境界モデル

には、外生的に与えられた境界条件 ξ_j を用いて直接に都市を対象とした計算を行なえばよい。このケースでは、下記B)のような対象地域の産業連関表だけで分析することも可能である。

表1 移輸入に関する境界条件

移輸入 境界条件 の設定	A $\xi_j = 0$	B $\xi_j = \varepsilon_j$	C $\xi_j \neq \varepsilon_j$
モデルI 一境界	I - A	I - B	I - C
モデルII 二境界	II - A	II - B	II - C

モデルII：移入と輸入を別のものとして扱う「二境界モデル」

地域と国、国と世界との境界を考え、移入財と輸入財を区別して扱う。この場合、 ξ_j は移入財の内包エネルギーと輸入財の内包エネルギーの合計となるので、この二つの各々について境界条件を与えなければならない。まず、輸入財の内包エネルギーを外生的に与え、全国産業連関表を用いて国内で生産される財の内包エネルギーを求める。これによって地域に流入する移入財の内包エネルギーを与えることにする。

上記の二つのモデルの各々について、移輸入財に関する境界条件の設定として次の3つを考える。従って、表1に示すように全部で6ケースが考えられる。

A) $\xi_j = 0$ とする場合

石油製品などの一次エネルギー財の投入のみを考慮し、地域外部から投入されるその他の財・サービスに内包されるエネルギーは考慮しない。つまり、対象地域内部での内包エネルギーの形成のみを考え、外部で形成された内包エネルギーは考慮しない。モデルIについては移入財、輸入財ともにその内包エネルギーを0として計算を行なえばよい。これに対し、モデルIIの場合には輸入財の内包エネルギーは0として全国についての計算を行ない、移入財の内包エネルギーを求める。

B) $\xi_j = \varepsilon_j$ とする場合

対象地域の内部と外部で産業構造は同じであり、移輸入財の内包エネルギーと対象地域内部で生産される財の内包エネルギーも同じであると仮定して計算を行なう。このように仮定すれば、式(2)は次のように変形できる。

$$E_{(0)} + \varepsilon \bar{M} = \varepsilon (\bar{X} - X)^{-1} \\ \varepsilon = E_{(0)} (\bar{X} - \bar{M} - X)^{-1} \cdots \cdots (5)$$

モデルIでは、地域と地域外部の境界についてこの仮定を適用して計算を行なう。モデルIIの場合には、国と世界の境界についてこの仮定を適用して計算を行ない、その計算結果を地域に投入される移入財の内包エネルギーとして用いる。

C) $\xi_j \neq \varepsilon_j$ とする場合

対象地域で生産された財と外部で生産された財の内包エネルギーを異なるものとして計算を行なう。ただし、モデルIについては、地域外部で生産される財の内包エネルギーを合理的に算出するにはデータの制約が大きく、実際には不可能なため本研究では扱わない。モデルIIについては、まず閉鎖系と見なせ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算定する。この値を用いて国内産業が生産する財の内包エネルギーを決定する。これらの二つの境界条件を用いて地域の計算を行なう。ただし、この取り扱い、対象地域が国内の小部分系とみなせる場合にのみ成立する。ここで、世界全体の計算には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、本研究では、前の報告¹⁴⁾と同様に、世界を14地域に分けた輸出入マトリックスを作成し、一地域一財とした簡易計算を行なった。

2.3.2 家計・政府の取扱い¹⁵⁾

(1) 外生化モデル

この場合には、経済活動主体を産業、家計、政府に分類し、産業間の財・サービスの取引は中間需要として扱い、産業と家計・政府の間の取引を最終需要として扱う。従って、最終需要は家計外消費支出、家計消費支出、政府消費支出、資本形成、在庫増加、移輸出の合計となる。このとき、家計が生産する労働力に内包されるエネルギーは考慮されないことになる。

(2) 内生化モデル

家計・政府を内生化したモデルでは、家計は労働を生産する産業として扱われ、家計消費は労働を生産するための中間投入と見なされる。同様に、政府は政府サービスを生産する産業として扱われる。ここで、各産業がその生産に要する労働力は、給与所得に比例するものとする。内生化モデルでは、地域の最終生産は資本形成と移輸出の合計で表される。

なお、本研究では、最終生産の分類を消費、資本形成、移輸出としている。ここで、消費は家計外消費、家計消費、一般政府消費の合計、資本形成は民間資本形成、公的資本形成、在庫純増の合計、移輸出は移出と輸出の合計である。

3. 結果及び考察

3.1 計算の場合分け(整理)

以上のような境界条件及び家計・政府の取扱いによって様々な組み合わせが考えられるが、ここでは、福岡市、北九州市、愛知県、横浜市を対象に、以下のケースについて行なった計算結果のみを示す。産業連関表としては、以上の各県市及び全国についての昭和60年度のものを用いた。なお産業部門分類は84部門表から40部門に統合したものを用いた。

(1) 移輸入財についての境界条件の違いによる差の検討：福岡市を対象に、家計・政府を外生化したモデルによって、表1に示す各ケース(I-Cは除く)について計算し、結果を比較する。

(2) 家計・政府の内生化による差の検討：福岡市を対象に、家計・政府を内生化したモデルによって、表1のケースII-Cについて計算し、上記(1)の結果と比較する

(3) 地域特性の比較検討：福岡市、北九州市、愛知県、横浜市を対象に、ケースII-Cについて計算を行ない、地域による差を比較する。ここでは、家計・政府を外生化したモデルを用いる。

なお、この計算に用いた横浜市の産業連関表は、各産業の移輸入について、合計だけしか与えられておらず、移入、輸入のそれぞれの額は直接は得られない。このため、次の方法で移入額及び輸入額を推定した。まず、全国産業連関表から各産業ごとの需要合計に占める輸入の割合を計算し、その値を全国平均値とした。次に、この全国平均値と横浜市の各産業の需要合計との積を横浜市の輸入額とする。移入額については、移入と輸入の合計から得られた輸入額を差し引いて求めた。

3.2 計算結果

3.2.1 移輸入財の取扱いによる結果の比較

(福岡市について)

移輸入に関する境界条件を変化させて分析を行なった結果、境界条件の設定によって計算結果がかなり異なることが明らかになった。表2は各境界条件における福岡市の最終生産に要するエネルギーの構成を示すものである。

(1) モデルIとモデルIIについて

a) 絶対値の比較

モデルIとモデルIIでは、いずれの場合もモデルIIの計算結果の方が値が大きくなっている。

なお、外生化モデルの各ケースにおいて、直接エネルギーの絶対値には差がない。ここで、表2の結果においてわずかに差が見られるのは、計算上の問題によるものである。

表2 最終生産に内包されるエネルギーの構成(福岡市)

最終需要部門		外生化モデル				内生化
		I-A	II-A	I-B	II-B	II-C
消費	間接		1,091 16.7%		1,315 18.4%	1,721 21.0%
	直接		1,196 18.3%		1,190 16.7%	1,197 14.6%
	小計	1,196 37.3%	2,287 34.9%	1,691 35.2%	2,505 35.1%	2,918 35.7%
資本形成	間接		888 13.6%		1,042 14.6%	1,217 14.9%
	直接		382 5.8%		382 5.3%	383 4.7%
	小計	382 11.9%	1,270 19.4%	809 16.8%	1,424 19.9%	1,600 19.6%
移輸出	間接		1,361 20.8%		1,597 22.4%	2,030 24.8%
	直接		1,625 24.8%		1,618 22.6%	1,628 19.9%
	小計	1,625 50.7%	2,987 45.6%	2,302 47.9%	3,215 45.0%	3,657 44.7%
合計	間接		3,340 51.0%		3,954 55.3%	4,967 60.8%
	直接		3,203 49.0%		3,190 44.7%	3,208 39.2%
	合計	3,203 100%	6,543 100%	4,803 100%	7,144 100%	8,175 100%

単位：1000TOE

b) I-AとII-Aの比較

I-Aは移入、輸入のいずれも考慮しない計算であり、II-Aは移入のみを考慮したものである。II-Aは合計でI-Aの1.8倍になっており、資本形成ではさらにこの差が大きく、約3倍になっている。これは福岡市の場合、移入財が資本形成に投入される割合が大きいという特徴があることを示している。

c) I-BとII-Bの比較

I-B、II-Bともに移入、輸入を考慮しているが、I-Bは移輸入財を福岡市内での生産物と同一と仮定した計算であり、II-Bはそれらを別のものとした計算である。II-Bは、合計でI-Bの約30%増、資本形成で約50%増になっている。これは、実際には、福岡市で生産された財と国内の他の地域で生産された財でその内包エネルギーが異なるためである。

d) 輸出入と移出入の寄与度

移輸入財の境界条件がAの場合、Bの場合いずれも、モデルIIの計算結果の方が値が大きくなっているが、I-BとII-Bの差よりもI-AとII-Aの差の方が大きい。これは、都市外部との財・サービスのやり取りの中で輸出入よりも移出入の比率が高いためである。

(2) ϵ_j に関する境界条件A、B、Cについて

A、B、Cについて見るとモデルI、モデルIIともに、 $A < B < C$ という関係がある。まず、AとBについて考えると、Aが移入財を考慮していないのに対して、Bではこれを考慮しているためである。次に、BとCについて考える。Bは国内で生産された財と輸入財を同一に

扱い、Cは各々が異なるとした計算である。II-BとII-Cを比較した場合、全体的にII-Cの方が約40%大きい。これは、国内で生産された財よりも輸入財の方が単位生産当たりの内包エネルギーが大きいためである。

3.2.2 家計及び政府の取扱いについて

福岡市における各産業別の単位生産当たり内包エネルギーを求めた表3を見ると、商業や金融業などの労働力の投入を多く要する産業において、外生化モデルと内生モデルとの差が顕著である。つまり、労働力の生産に要するエネルギーを考慮することによって、外生化モデルではエネルギー消費の少ない商業なども他の産業との差が小さくなることが分かる。

家計・政府を内生化した場合、最終生産は資本形成と移輸出の合計となる。この場合、外生的に扱った場合に消費に計上されたエネルギーは、資本形成と移輸出に割り振られる。最終需要部門別に計算した表2において外生化モデル(II-C)と内生モデル(II-C)の値を比較すると、資本形成の割合が19.6%から27.2%へと増大しているのに対して、移輸出の割合は44.7%から72.8%へとより大きく増加している。このことから、福岡市の場合、労働力は主に移輸出の生産に投入されることが分かる。これは、商業などの第3次産業の移輸出割合が大きいためである。また、外生化モデルと内生モデルの間の需要合計の差は、移入財に内包される労働のエネルギーの差である。

表3 各産業の単位生産当たり内包エネルギー(福岡市)

産業	外生化モデル					内生モデル
	I-A	II-A	I-B	II-B	II-C	II-C
農業	0.04	0.54	0.48	0.83	1.62	2.28
林業	0.01	0.03	0.70	1.03	3.52	3.58
漁業	0.66	1.30	1.46	1.69	2.20	3.52
鉱業	0.36	0.77	1.24	1.75	2.69	3.57
石炭亜鉛	53.05	53.27	51.99	52.40	56.68	52.74
原産天然ガス	20.67	20.68	20.68	20.70	22.04	23.90
食料品	0.17	0.76	0.58	0.96	1.41	2.87
繊維	0.04	1.16	0.59	1.56	2.27	3.91
パルプ紙木製品	0.13	1.56	0.81	1.93	2.34	3.80
化学製品	0.02	2.98	0.84	3.61	3.62	4.82
石油製品	14.12	14.27	14.02	14.18	15.22	18.14
石炭製品	25.68	27.37	25.89	27.65	29.17	27.09
窯業土石	0.19	2.57	1.20	2.87	3.14	4.58
鉄鋼	0.18	4.35	1.73	4.84	5.02	5.74
非鉄金属	0.28	1.84	1.99	3.00	3.95	4.60
金属製品	0.10	2.03	0.98	2.27	2.45	3.99
一般機械	0.05	1.37	0.69	1.58	1.72	3.35
電気機械	0.13	1.05	0.61	1.28	1.57	3.11
輸送機械	0.02	1.29	0.69	1.52	1.80	3.69
精密機械	0.01	0.73	0.45	1.04	1.74	3.40
その他の製造業	0.09	1.05	0.44	1.25	1.48	3.17
建設	0.55	1.38	0.93	1.52	1.68	3.21
電力	4.97	7.33	5.02	7.36	7.54	5.07
ガス熱供給	6.85	6.99	6.87	6.97	7.50	8.86
水道	0.80	1.63	1.02	1.68	1.77	2.61
廃棄物処理	0.37	0.63	0.50	0.65	0.70	2.71
商業	0.22	0.42	0.32	0.45	0.51	2.25
金融保険	0.07	0.18	0.12	0.20	0.28	1.78
不動産	0.08	0.17	0.12	0.19	0.20	0.72
鉄道	0.49	1.52	0.90	1.58	1.70	4.20
道路輸送	1.59	2.82	2.46	2.85	3.09	5.39
水運	1.57	1.75	2.03	2.24	2.65	4.09
航空輸送	2.18	2.57	2.46	2.65	2.91	4.69
運輸付帯サービス	0.20	0.64	0.37	0.69	0.81	2.19
通信放送	0.14	0.44	0.27	0.47	0.52	2.11
公務	0.28	0.51	0.38	0.54	0.60	2.63
教育研究医療保健	0.36	0.85	0.53	0.94	1.01	2.68
サービス業	0.29	0.59	0.44	0.65	0.80	2.26
事務用品	0.12	1.47	0.71	1.72	1.99	3.66
分類不明	1.17	1.76	1.41	1.88	2.09	3.21
家計外支出						2.49
家計						2.33
政府						1.79

単位：TOE/100万円

3.2.3 地域別の計算結果の比較

表4に各地域の産業構造等の指標を示す。愛知県は、総生産に占める工業生産額の割合、第2次産業就業者数とも、ここで挙げた4地域の中で最も大きい。これに対して福岡市は、工業生産比率、第2次産業就業者数ともに最も小さく、第3次産業就業者の割合は最も多い。北九州市は、総生産に占める工業生産額の割合、第2次産業就業者数ともにさほど大きくはないが、鉄鋼業の生産額が他の産業を大きく引き離している。横浜市は、工業生産比率、第2次産業就業者数ともに比較的大きいが、産業別の1位はサービス業であり、商業も上位になっている。

表4 各地域の産業構造指標（昭和60年）

	愛知県	福岡市	北九州市	横浜市
人口(1,000人)	6,344	1,112	1,049	2,960
域内総生産(100万円)	54,962,771	6,835,778	7,292,494	16,544,646
工業生産額(100万円)	27,995,725	770,105	2,732,877	6,121,057
1次産業就業者数(人)	150,303	9,033	6,927	12,923
	5%	2%	2%	1%
2次産業就業者数(人)	1,353,968	100,416	142,147	498,753
	42%	19%	32%	35%
3次産業就業者数(人)	1,722,795	411,008	299,530	904,484
	53%	78%	67%	63%
合計(人)	3,231,127	523,875	449,493	1,425,917
産業別域内生産1位	輸送機械	商業	鉄鋼	サービス
100万円	10,938,987	1,888,020	1,982,806	1,933,166
産業別域内生産2位	商業	サービス	サービス	電気機械
100万円	6,403,164	926,883	553,193	1,637,056
産業別域内生産3位	サービス	建設	商業	建設
100万円	3,105,933	693,493	539,274	1,499,011
産業別域内生産4位	鉄鋼	教育研究医療保険	化学製品	商業
100万円	3,014,267	486,867	441,630	1,460,942
産業別域内生産5位	建設	不動産	建設	不動産
100万円	2,944,392	435,850	414,117	1,032,387

次に、外生化モデルII-Cによる場合の各地域についての計算結果を表5～8に示す。表5は愛知県、福岡市、北九州市、横浜市についての産業別内包エネルギー(生産額100万円当たりの原単位)の計算結果を比較したものである。また、表6は、表5の値に二酸化炭素排出原単位を乗じて各産業の最終生産にともなう二酸化炭素の排出量を算定した結果である。この表の影つきの部分は各地域の中で上位を占める産業を示している。表7及び8は、以上の結果を最終需要の構成別にまとめたものである。

表5 各産業の単位生産に内包されるエネルギー

産業	愛知			福岡			北九州			横浜市		
	間接	直接	合計	間接	直接	合計	間接	直接	合計	間接	直接	合計
農業	1.55	0.18	1.73	1.58	0.04	1.62	1.88	0.04	1.92	1.63	0.01	1.66
林業	2.63	0.12	2.75	3.51	0.01	3.52	2.88	0.04	2.92	0.33	1.45	1.79
漁業	1.90	0.30	2.20	1.54	0.66	2.20	0.77	3.41	4.18	2.50	0.02	2.51
鉱物	2.16	0.96	3.12	2.33	0.36	2.69	2.64	0.55	3.20	3.23	0.01	3.25
石炭亜鉛	3.52	52.13	55.65	3.62	53.06	56.68	3.68	52.29	55.97	3.70	53.73	57.42
原油天然ガス	1.37	20.66	22.03	1.37	20.67	22.04	1.37	20.66	22.03	1.37	20.66	22.03
食料品	1.07	0.38	1.46	1.24	0.17	1.41	1.26	0.23	1.50	1.40	0.19	1.59
繊維	1.20	0.98	2.18	2.23	0.04	2.27	1.67	0.04	1.71	2.04	0.11	2.15
パルプ紙木製品	1.40	0.73	2.13	2.21	0.13	2.34	1.66	0.30	1.96	1.99	0.19	2.19
化学製品	2.47	0.83	3.30	3.60	0.02	3.62	1.81	2.97	4.78	2.80	0.40	3.20
石油製品	0.96	13.01	13.97	1.10	14.13	15.22	1.03	16.19	17.21	1.03	14.43	15.46
石炭製品	2.71	27.36	30.07	3.38	25.79	29.17	2.23	24.55	26.77	14.87	13.31	28.18
窯業土石	1.31	1.35	2.66	2.95	0.19	3.14	3.17	4.03	5.39	2.32	0.54	3.06
鉄鋼	2.63	2.30	4.92	4.84	0.18	5.02	1.24	3.52	4.76	4.82	0.59	5.41
非鉄金属	3.18	0.83	4.02	3.66	0.28	3.95	2.89	0.54	3.43	3.22	0.61	3.83
金属製品	1.36	0.81	2.18	2.35	0.10	2.45	1.09	0.71	1.80	2.02	0.44	2.46
一般機械	0.96	0.60	1.57	1.67	0.05	1.72	0.90	0.86	1.76	1.25	0.25	1.50
電気機械	1.06	0.45	1.51	1.43	0.13	1.57	0.97	0.31	1.28	1.22	0.27	1.48
輸送機械	0.96	0.62	1.58	1.78	0.02	1.80	1.11	0.21	1.31	1.46	0.26	1.72
精密機械	1.05	0.21	1.25	1.73	0.01	1.74	1.15	0.05	1.19	1.34	0.25	1.59
その他の製造業	1.11	0.48	1.59	1.39	0.09	1.48	1.01	0.19	1.20	1.52	0.18	1.70
建設	0.62	0.86	1.48	1.13	0.55	1.68	0.54	1.00	1.53	1.17	0.59	1.75
電力	0.73	12.57	13.30	2.55	4.99	7.54	0.92	11.62	12.54	0.36	7.22	7.59
ガス熱供給	0.60	7.10	7.70	0.66	6.85	7.50	0.59	7.08	7.67	0.20	5.68	5.87
水道	0.37	2.26	2.63	0.97	0.80	1.77	0.41	1.79	2.20	0.20	1.82	2.02
廃棄物処理	0.26	1.28	1.54	0.33	0.37	0.70	0.17	0.75	0.92	0.46	0.38	0.83
商業	0.26	0.53	0.78	0.29	0.22	0.51	0.30	0.33	0.63	0.41	0.33	0.74
金融保険	0.20	0.15	0.35	0.21	0.07	0.28	0.28	0.12	0.40	0.30	0.11	0.42
不動産	0.05	0.17	0.22	0.12	0.08	0.20	0.17	0.17	0.34	0.13	0.12	0.26
鉄道	0.63	1.64	2.27	1.21	0.49	1.70	0.37	0.52	0.88	0.77	0.96	1.73
道路輸送	0.52	3.07	3.58	1.49	1.59	3.09	0.32	1.98	2.30	1.78	2.13	3.91
水運	1.38	0.62	2.00	1.07	1.57	2.65	0.74	2.31	3.05	1.37	1.38	2.74
航空輸送	1.37	1.88	3.25	0.72	2.18	2.91	2.03	1.94	3.97	3.39	0.00	3.39
運輸付帯サービス	0.46	0.61	1.07	0.61	0.20	0.81	0.53	0.73	1.26	0.24	0.65	0.89
通信放送	0.25	0.46	0.72	0.38	0.14	0.52	0.30	0.40	0.70	0.21	0.32	0.53
公務	0.24	0.76	1.00	0.31	0.28	0.60	0.13	0.32	0.44	0.29	0.45	0.74
教育研究医療保健	0.48	0.78	1.26	0.64	0.37	1.01	0.45	0.83	1.28	0.70	0.50	1.21
サービス業	0.46	0.53	0.99	0.51	0.29	0.80	0.42	0.57	1.00	0.56	0.38	0.95
事務用品	1.12	0.75	1.87	1.87	0.12	1.99	1.22	0.54	1.76	1.53	0.30	1.83
分類不明	1.52	2.06	3.58	0.92	1.17	2.09	1.35	1.39	2.74	1.20	1.49	2.69

単位：TOE/100万円

ここで、各地域に共通して石油製品製造業からの排出量が見かけ上大きくなっている(特に横浜市)が、これは、域内での消費や資本形成の分と域外への移輸出分を合わせたものが最終生産に計上されているためである。実際に

表6 各産業の最終生産にともなう二酸化炭素排出量 (%)

産業	愛知			福岡			北九州			横浜		
	間接	直接	合計	間接	直接	合計	間接	直接	合計	間接	直接	合計
農業	0.67	0.07	0.74	0.72	0.02	0.74	0.34	0.01	0.35	0.36	0.00	0.36
林業	0.02	0.00	0.02	0.09	0.00	0.09	0.03	0.00	0.03	0.00	0.01	0.02
漁業	0.32	0.05	0.37	0.63	0.27	0.90	0.22	0.91	1.13	0.20	0.00	0.20
鉱物	0.19	0.08	0.27	0.05	0.01	0.05	0.47	0.10	0.57	0.00	0.00	0.00
石炭亜鉛	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
原油天然ガス	0.05	0.69	0.74	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
食料品	3.16	1.09	4.25	6.93	0.82	7.75	2.73	0.54	3.27	4.28	0.69	4.98
繊維	2.67	2.19	4.86	2.00	0.03	2.03	0.64	0.02	0.65	1.13	0.07	1.20
パルプ紙木製品	1.23	0.66	1.90	0.91	0.05	0.95	0.62	0.12	0.74	0.66	0.08	0.74
化学製品	2.17	0.80	2.97	1.12	0.01	1.12	4.09	7.75	11.84	1.28	0.24	1.51
石油製品	0.68	8.10	8.78	0.48	5.70	6.18	0.19	2.55	2.74	2.72	32.13	34.85
石炭製品	0.33	5.00	5.32	0.10	1.22	1.32	0.38	5.97	6.35	0.87	0.81	1.69
窯業土石	0.96	1.01	1.97	0.55	0.03	0.58	0.88	3.01	3.89	0.78	0.20	0.98
鉄鋼	5.27	5.30	10.57	0.42	0.02	0.44	7.63	25.46	33.09	1.64	0.25	1.90
非鉄金属	1.21	0.29	1.49	0.39	0.02	0.42	0.56	0.11	0.67	1.63	0.34	1.97
金属製品	1.03	0.67	1.70	0.93	0.03	0.96	0.68	0.51	1.18	1.17	0.31	1.49
一般機械	2.97	2.02	4.99	2.55	0.05	2.61	1.65	1.81	3.46	3.61	0.93	4.55
電気機械	2.40	1.13	3.53	3.35	0.24	3.59	1.39	0.51	1.90	5.57	1.52	7.09
輸送機械	9.91	6.80	16.71	2.29	0.02	2.31	0.76	0.16	0.92	3.36	0.75	4.11
精密機械	0.28	0.05	0.34	0.38	0.00	0.38	0.12	0.01	0.13	0.71	0.15	0.85
その他の製造業	1.55	0.72	2.27	1.97	0.10	2.07	0.80	0.17	0.97	1.46	0.23	1.69
建設	2.08	3.19	5.27	9.19	5.27	14.47	1.14	2.44	3.58	4.21	2.44	6.65
電力	0.37	4.57	4.95	3.37	0.07	3.44	0.73	9.31	10.04	0.23	1.62	1.85
ガス熱供給	0.07	0.82	0.89	0.41	4.11	4.52	0.08	0.86	0.94	0.05	2.91	2.96
水道	0.03	0.14	0.17	0.17	0.06	0.23	0.03	0.13	0.16	0.06	0.27	0.33
廃棄物処理	0.02	0.10	0.12	0.08	0.09	0.18	0.01	0.05	0.06	0.09	0.09	0.18
商業	1.35	2.90	4.26	6.58	4.43	11.01	0.69	0.80	1.49	1.17	1.08	2.24
金融保険	0.13	0.09	0.22	0.31	0.09	0.40	0.14	0.06	0.20	0.14	0.06	0.21
不動産	0.09	0.26	0.35	0.52	0.28	0.80	0.18	0.19	0.36	0.31	0.32	0.63
鉄道	0.10	0.28	0.38	0.71	0.20	0.92	0.07	0.10	0.17	0.32	0.52	0.84
道路輸送	0.20	1.17	1.36	3.71	4.09	7.80	0.13	0.73	0.86	0.85	1.05	1.90
水運	0.26	0.11	0.37	0.73	1.04	1.77	0.44	1.29	1.73	2.01	1.94	3.95
航空輸送	0.04	0.05	0.09	1.02	3.24	4.26	0.19	0.18	0.37	0.21	0.00	0.21
運輸付帯サービス	0.06	0.08	0.14	0.60	0.12	0.72	0.07	0.10	0.17	0.12	0.22	0.34
通信放送	0.05	0.08	0.13	0.56	0.17	0.74	0.05	0.07	0.11	0.07	0.11	0.18
公務	0.24	0.74	0.98	0.80	0.58	1.38	0.08	0.20	0.28	0.22	0.37	0.59
教育研究医療保健	1.21	2.03	3.24	3.68	1.80	5.48	0.98	1.96	2.94	1.63	1.50	3.13
サービス業	1.43	1.65	3.08	4.68	2.31	6.99	1.00	1.41	2.41	1.94	1.50	3.44
事務用品	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
分類不明	0.11	0.15	0.26	0.17	0.23	0.39	0.12	0.13	0.25	0.09	0.13	0.22
合計(%)	44.90	55.10	100.00	63.16	36.84	100.00	30.27	69.73	100.00	45.16	54.84	100.00
合計(1,000 tC)	23,062	28,303	51,365	3,294	1,921	5,215	3,863	8,900	12,762	11,933	14,488	26,421

単位：%

は、石油製品製造業の最終生産に内包されるエネルギーのうちの移輸出分は域内で消費されるものではないので、域内での二酸化炭素排出を議論する場合にはこの分は差し引かねばならない。この点を厳密に議論するには、燃料用と原料用のそれぞれの原油を別に取り扱う必要がある。この事情は、石炭製品やガスなどの一次エネルギー産業についても同様である。

産業別の二酸化炭素排出を表6によって地域別に詳しく見てみると、愛知県は、上位を占める産業が製造業に集中しており、特に輸送機械が大きい。鉄鋼、石油製品などの1次工業製品も大きい。北九州市も愛知県と同様に上位は製造業に集中しているが、2次製品は少なく、石油製品、化学製品、鉄鋼などの1次製品に集中している。なお、1次製品は2次製品と比較して付加価値が小さく、北九州市の総生産に占める工業生産の比率が愛知県よりも小さいのは、このためである。福岡市は、商業、サービス業、道路輸送などが大きく、表4に見られる特徴を反映している。横浜市は、機械工業や石油製品等とともに、サービス業や食料品なども大きい。また、表4では全ての地域において、第3次産業の産業区分別就労者数

表7 各地域の単位最終生産に要するエネルギー

地域	消費合計			資本形成			移輸出			需要合計		
	間接	直接	合計	間接	直接	合計	間接	直接	合計	間接	直接	合計
愛知	0.17	0.28	0.46	0.11	0.11	0.22	0.63	0.64	1.27	0.91	1.03	1.94
	9%	15%	23%	6%	6%	11%	32%	33%	65%	47%	53%	100%
福岡	0.27	0.19	0.46	0.19	0.06	0.25	0.32	0.26	0.58	0.78	0.51	1.29
	21%	15%	36%	15%	5%	20%	25%	20%	45%	61%	39%	100%
北九州	0.22	0.35	0.57	0.09	0.08	0.17	0.63	1.45	2.07	0.93	1.87	2.81
	8%	12%	20%	3%	3%	6%	22%	51%	74%	33%	67%	100%
横浜	0.29	0.25	0.55	0.18	0.07	0.25	0.65	0.89	1.54	1.12	1.22	2.33
	13%	11%	23%	8%	3%	11%	28%	38%	66%	48%	52%	100%

単位：TOE/100万円

表8 各地域の単位最終生産にともなう二酸化炭素排出量

地域	消費合計			資本形成			移輸出			需要合計		
	間接	直接	合計	間接	直接	合計	間接	直接	合計	間接	直接	合計
愛知	0.12	0.19	0.30	0.07	0.08	0.15	0.42	0.47	0.89	0.60	0.74	1.35
	9%	14%	23%	5%	6%	11%	31%	35%	66%	45%	55%	100%
福岡	0.18	0.11	0.29	0.12	0.05	0.17	0.22	0.15	0.36	0.52	0.30	0.82
	22%	13%	35%	15%	6%	21%	26%	18%	44%	63%	37%	100%
北九州	0.17	0.28	0.45	0.07	0.07	0.13	0.49	1.31	1.80	0.72	1.66	2.38
	7%	12%	19%	3%	3%	6%	20%	55%	76%	30%	70%	100%
横浜	0.20	0.20	0.40	0.12	0.06	0.18	0.45	0.68	1.14	0.77	0.94	1.71
	12%	12%	23%	7%	3%	10%	26%	40%	66%	45%	55%	100%

単位：TC/100万円

が最も大きいにもかかわらず、表6ではあまり上位に入っていないのは、第3次産業は生産に要する労働力投入のウエイトが大きいことが原因であると考えられる。

表7及び表8は、最終需要部門別のエネルギー消費構造を示すものである。これを見ると、部門別、直接間接比率ともに地域によってその構成に特徴が見られる。北九州市は、移輸出の割合が4地域の中で最も大きく、また、需要合計の直接エネルギー比率も最も大きい。これは、エネルギー多消費型である鉄鋼業が主要産業になっているためである。これに対して福岡市は消費、資本形成の割合が4地域の中で最も大きく、間接エネルギー比率も最も大きい。愛知県と横浜市は、全体的にエネルギー消費構造が似ているが、横浜市は石油製品のウエイトが大きいことを考慮すると、愛知県と福岡市との中間的な位置付けにあると考えられる。また、間接分を加えた合計で比較した方が、直接消費だけで比較した場合よりも、単位生産当たりエネルギー消費の地域差は小さくなっている。

また、消費と資本形成のエネルギー消費の合計を比較すると、地域間の差は比較的小さい。これは、地域間の差をうむ主要因が、移輸出用の生産に要するエネルギーであることを示している。

以上の分析結果から各地域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。

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65%が移輸出に投入されている。財を移輸入して財を移輸出する加工型の地域である。

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。

北九州市：直接的なエネルギー消費が全体の70%を占める。特に、移輸出の生産に投入されるエネルギーは全体の75%を占め、そのうち約50%が直接エネルギーである。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。

横浜市：直接消費分が大きい、これには石油製品が大きく寄与している。しかし、これ以外にも製造業もかなりのシェアを占め、同時にその移輸出分が大きいことが関係している。また、サービス産業のウエイトも大きい。第2次産業、第3次産業ともに大きな比率を占めている。

4. おわりに

地域のエネルギー消費構造分析への産業連関モデルの適用については、まず、産業連関表そのものの整備に関する制約と値の統計的信頼性の問題がある。また、以下のような分析モデル上の問題がある。

(1) 移輸入の取扱い

移輸入については、閉鎖系と見なせる世界モデルから計算を行なうのが望ましいが、データの制約がある。本研究では、簡易化した手法によって輸入財の内包エネルギーを与えたが、今後改善が必要である。

(2) 家計・政府の取扱い

家計・政府を内生化した場合、最終生産は資本形成と移輸出となるため、消費が表面に現われなくなる。しかし、消費は労働力生産のためだけでなく人間の生活水準の指標ともなるものである。内生化モデルの場合、消費のこのような側面をとらえることはできない。家計消費を労働生産のための投入とそれ以外の消費に分けることができれば、この問題の解決の手掛かりになる。

(3) 地域間比較

移輸出の生産に投入されるエネルギーは、当該地域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も支えるものと考えられる。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。

我が国では高度成長期以来、地域間分業が進んでおり、都市のエネルギー消費の大小は、地域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、地域のエネルギー構造の評価には直接的なエネルギー消費量の比較だけでは不十分であり、エネルギー的に見た地域間の相互連関の考慮が必要である。

(4) その他

a) 本研究では家計・政府の内生化に際して、産業連関表の家計消費を家計から他の産業への投入、給与所得を労働力の販売経路と考えて計算を行なったが、農業や商業などのうち自営業の給与所得は産業連関表では営業余剰に計上される。より正確に解析を行なうには、これらの営業余剰の中から給与所得をどのように算定するかが問題となる。

b) 各産業の投入のうち教育や研究への投入はエネルギー分析の観点からみると、資本投資としての性格が強く、中間投入として扱うよりもむしろ資本形成に計上すべきであるとも考えられる。

c) 一次エネルギーとしての太陽エネルギーは、本論文では扱っていない。これは、財の生産に投入される太陽エネルギーの推定が困難なためである。しかし、農林水産業などは太陽エネルギーを他の財に転換する役割を持つ産業である。また、今後は太陽光発電などの普及が考えられる。このような効果を評価するためには、外生的な太陽エネルギーの投入に関する合理的な推定が必要である。

環境問題における地域間の相互依存性の問題は、エネルギーだけではなく物質代謝の問題にも共通しており、水資源消費、廃棄物リサイクル等の問題^[6]についても議論を発展させることが出来るであろう。また、今後の課題として、マクロ経済モデルとリンクした時系列分析や動的モデルへの発展、各種社会資本ストックに内包されたエネルギーの意味などを検討していきたい。

参考文献

- [1] 新潟県, 愛知県, 兵庫県, 広島県, 北九州市: 地球温暖化対策地域推進モデル計画, 1992.
- [2] Robert Costanza: "Embodied Energy and Economic Valuation", Science, Vol.210, pp.1219-1224, 1980.
- [3] 森口祐一, 近藤美則, 清水浩: エネルギー・資源学会第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, pp.225-230, 1991.
- [4] 金川 琢, 二渡 了, 井村秀文: 環境システム研究, Vol.19, pp.70-75, 1991.
- [5] 金子敬生: 産業連関の理論と適用, 日本評論社.
- [6] 末石富太郎: 土木学会誌 [別冊増刊], Vol. 77-9, pp.88-91, 1992.