

(28) 産業連関モデルによる都市のエネルギー消費勘定に関する研究

STUDY ON THE ACCOUNTING OF URBAN ENERGY CONSUMPTION
BASED ON THE INPUT-OUTPUT MODEL

金川 琢* 井村 秀文*

Taku KANAGAWA* Hidefumi IMURA*

ABSTRACT; Necessity of local actions for the prevention of global warming has become widely recognized. In Japan, a number of local governments have already started to prepare programs to restrain the increase of energy consumption and stabilize the associated CO₂ emission in their respective regions. But today, any regions can not be economically independent from the outside. Through the consumption of imported goods and services, their economic activities are to a large extent supported by the outside regions. In analyzing energy consumption on the local level, therefore, not only direct but also "indirect" consumption of environmental resources must be taken into account. Based on the conventional input-output model, this study explores the energy accounting method to take into account such indirect form of energy and other resource use. Here, special consideration is given to the following points: (i) methodological improvement for the treatment of imported goods and services, (ii) implications of the energy used in the transportation sector for the production in the other sectors, (iii) sharing of the responsibilities for the CO₂ emission between direct and indirect energy users.

KEYWORDS; input-output analysis, embodied energy, transportation sector, global warming, carbon dioxide

1.はじめに

1990年10月、政府によって「地球温暖化防止行動計画」が策定され、地球温暖化対策に関する我が国の基本的な方針と対策が示された。この計画の中では、その推進について「地方公共団体は、行動計画に沿って可能な取組を行なうことが期待される」とされている。これにともない、いくつかの地方自治体で地球温暖化対策地域推進モデル計画が策定されている¹⁾。また、1992年の国連地球サミットでの議論を受けて、「ローカルアジェンダ21」の作成もかなりの自治体で行なわれている。このような地域レベルでの取り組みは温暖化対策を実施するうえで非常に重要な役割を担っている。しかし、こうした地域レベルでの対策を考えると問題となるのが、財・サービスの移入、輸入にともなう間接的なエネルギー消費すなわち、財・サービスに内包されたエネルギー (embodied energy)²⁾の消費の取り扱いである。

筆者らは産業連関モデルに基づき、このような間接的なエネルギー消費を考慮した分析手法の構築とその適用について検討してきた。本報告では、移入財、輸入財と、域内財を明確に区別して取り扱うことによって実際の取引により近い形で分析を行なえるよう、従来のモデルの改善を行う。次に、運輸部門の役割に着目し、そのエネルギー消費が他の産業の中間投入や最終生産にどのように波及しているかを分析する。また、エネルギーの直接的消費と間接的消費をめぐっての二酸化炭素排出責任の分担について考察する。

* 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

2. 解析手法

2.1 モデルの概要

ある産業 j についてエネルギー収支を考えると図1のようなになる。従って、産業 j についてのエネルギー収支は次式で表される。

$$E + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i X_{ij} = \varepsilon_j \bar{X}_j \quad (1)$$

これを行列形式で表して ε について整理すると、

$$\varepsilon = E(\bar{X} - X)^{-1} \quad (2)$$

となり、各産業の単位生産当たりの内包エネルギーが求められる。ここで、行列 X は中間投入行列として産業連関表から与えられる。また、行列 $\bar{X}$ は各産業の総産出として与えられる。

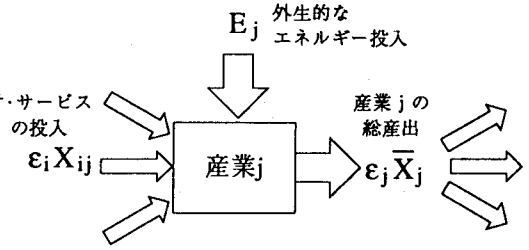


図1 モデルの概念図

2.2 移輸入財の取り扱いの改善

式(1)及び(2)では、財の移輸入などの外部とのやり取りは考慮されていない。つまり、閉鎖系におけるものである。しかし、国や都市は外部と財・サービスをやり取りする開放系なので、この点を考慮して分析を行なう必要がある。

現在日本で作成されている産業連関表の多くは、移入や輸入の取り扱いについて、競争輸入型^[3]とよばれる形式を採用している。競争輸入型の産業連関表では、都市内の各産業が、その生産のために購入した移輸入財は域内財と同様に扱われ、中間投入行列に計上される。つまり、式(2)の行列 X には域内財と移輸入財の合計の値が計上されている。このため、前回までの筆者らの報告^[4]では、移輸入財 M_j はまず対象地域の産業 j に投入され、そこから、域内財とともに他の産業に分配されるものとして扱った(図2 a)。このケースでは、エネルギー収支式は次式となる。ここで、 M_j は、製品 j の移輸入総額で、 ζ_j はその内包エネルギーである。

$$E_j + \zeta_j M_j + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i X_{ij} = \varepsilon_j \bar{X}_j \quad (3)$$

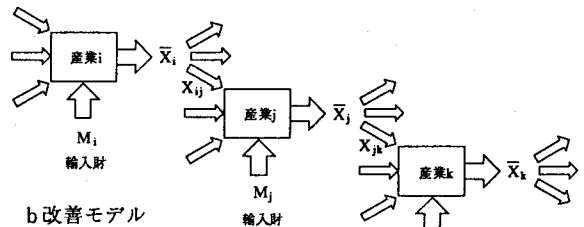
$$\varepsilon = (E + \zeta M)(\bar{X} - X)^{-1} \quad (4)$$

しかし、実際には移輸入財 M_j は産業 j を経由せず、それらの財を中間投入として消費する産業に直接投入される。これらの移輸入財を実際の投入構造により近い形で取り扱うには、対象地域内で取引される財について、域内財と移輸入財を明確に区別する必要がある。これを厳密に行うためには、非競争輸入型の産業連関表が必要となるが、都市レベルではデータの入手が困難である。そこで、本研究では、各産業の域内自給率、移入依存率、輸入依存率の値を用いて近似的に域内財と移輸入財を区別して各産業に投入する手法を採用する(図2 b)。ここで、産業 j からのOutputについて考える。各産業に投入される製品 j のうち、移輸入財については域内財とは別に与えるので、域内の産業 j のOutputについては域内財のみを考えればよい。したがって産業 j のOutputとしては域内総生産を採用する。よって、エネルギー収支は次式のようなになる。

$$E_j + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \gamma_i X_{ij} + \sum_{i=1}^n \zeta_i (1 - \gamma_i) X_{ij} = \varepsilon_j \bar{X}_j^* \quad (5)$$

ここで、 $\bar{X}_j^*$ は産業 j の域内総生産である。また、 γ_j は産業 j 域内自給率で、次式で表される。

a 従来のモデル



b 改善モデル

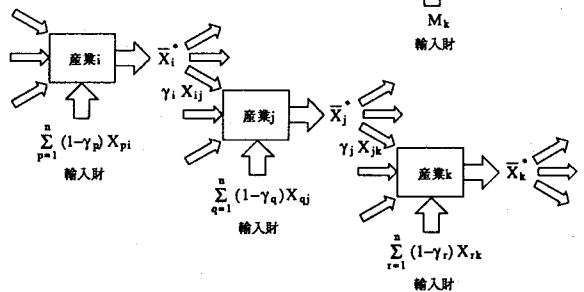


図2 都市における移輸入財のフロー

$$\gamma_j = \frac{\bar{X}_j^*}{\bar{X}_j^* + M_j} \quad (6)$$

競争輸入型産業連関表では、中間投入 X および需要合計 $\bar{X}$ について、域内財とともに移輸入財を含んだ形で扱っているにもかかわらず、式(3)、(4)ではその内包エネルギーを一律に ϵ としている。この意味で、ここで算定される ϵ は対象地域で生産される財の内包エネルギーというよりもむしろ、対象地域内で消費される財(域内財および移輸入財)の内包エネルギーである。改善モデルはこの点についてより厳密に取り扱っている。また、式(5)の左辺第1項と第3項の和は、産業 j への直接及び間接エネルギー投入を表している。このエネルギー投入の波及経路を追うことにより、ある産業のエネルギー消費が他の産業にどのように寄与しているかを分析できる。

3 運輸部門のエネルギー消費の波及の分析

3.1 分析の概要

図3は、都市におけるエネルギーフローを示している。図のように、外部から都市内の各産業に投入されたエネルギーや財・サービスは、都市内の産業連関を経て内包エネルギー ϵ を形成する。そして、これらのエネルギーは最終的に都市の最終生産に内包される。筆者らのこれまでの報告では、内包エネルギー ϵ と最終生産に内包されるエネルギーに焦点を当てて検討を進めてきたが、ここでは、都市へのエネルギー投入から内包エネルギーの形成過程に視点をあてる。本報告では、各産業へのエネルギー投入と、投入されたエネルギーが他の産業にどのように波及し、内包エネルギーを形成するか、また、最終生産にどのように波及するかという点について検討を行なう。

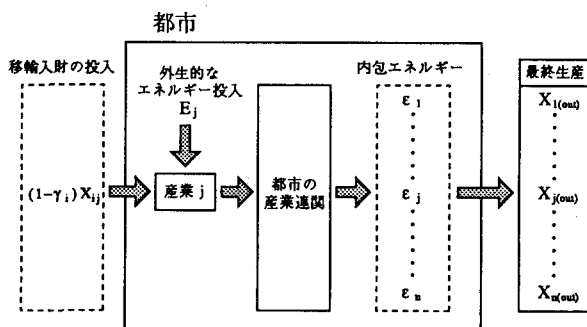


図3 都市における移輸入財のフロー

表1 各地域の二酸化炭素排出構造(%)

	熊本県	長野県	山口県	大阪府	埼玉県	北海道	全国
産業	28.2	20.5	65.6	50.8	50.5	58.0	52.2
廃棄物部門	9.2	24.1	2.5	5.7	3.2	2.2	5.4
セメント製造業	0.0	0.0	18.9	0.0	9.2	0.0	3.5
民生	30.0	31.7	8.2	29.7	14.8	14.9	19.4
運輸	32.6	23.7	4.9	13.8	22.3	24.9	19.5
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100
MtC/年	2.7	4.7	12.2	14.8	10.0	15.5	305.3

表1は、いくつかの県の「地球温暖化対策地域推進モデル計画」報告書で試算された二酸化炭素排出構造である。これを見ると、運輸部門からの二酸化炭素排出が地域全体の排出量に占める割合は、地域によってばらつきがあるものの、多くの県で20~30%に達している。運輸部門が生産する運輸サービスは、家電製品や一般サービスなどとは異なり、最終消費よりも中間投入財としての性格が強い。このため、最終消費のみに焦点を当てた分析では運輸部門のエネルギー消費の評価が十分ではない。そこで、本研究では、運輸部門が消費したエネルギーが他の産業にどのように波及し、最終生産にどのように寄与しているのかという点について全国、福岡市、北九州市を対象として分析を行なう。なお、計算に用いた産業連関表は1985年のもので、産業分類は84部門である。

3.2 分析結果

表2は各産業の財・サービスに内包されるエネルギーのうち、運輸部門で消費されたエネルギーの割合を示している。これを見ると、運輸部門のエネルギー消費が様々な産業に波及していることが分かる。波及の程度は、地域間で差があるが、これはその地域の産業構造や交通インフラの整備状況などによるものと考えられる。また、産業別では、商業やサービス業などの第3次産業への波及効果が大きい。次に、各産業に波及した運輸部門のエネルギー消費が、最終生産にどのように波及しているかを見る。図4は、全国の各産業の最終生産に内包されるエネルギーの構成を示したものである。このように、最終生産だけを見ると運輸部門が占め

表2 各産業の内包エネルギーに占める運輸部門のエネルギー消費の波及 (%)

産業	全国	福岡市	北九州市	産業	全国	福岡市	北九州市	産業	全国	福岡市	北九州市
耕種農業	14.6	4.1	7.7	プラスチック製品	4.2	0.7	4.0	建設修繕	24.7	7.0	10.8
畜産・養蚕	20.5	8.1	7.4	ゴム製品	4.1	1.6	1.6	土木	15.4	8.7	4.0
農業サービス	13.3	5.6	8.4	なめし皮・毛皮・同製品	11.0	2.6	2.1	電力	0.8	97.4	12.9
林業	18.2	4.5	15.7	ガラス・ガラス製品	6.1	1.2	3.0	都市ガス・熱供給	1.2	99.0	62.5
漁業	5.7	2.1	2.0	セメント・セメント製品	15.1	2.0	1.8	水道	4.1	96.9	91.3
金属鉱物	16.6	20.7	43.5	陶磁器	8.6	1.8	1.8	廃棄物処理	31.1	98.2	97.4
非金属鉱物	66.6	3.0	3.8	その他の窯業・土石製品	9.1	2.4	5.0	商業	41.5	82.4	96.2
石炭・亜炭	0.6	2.5	3.0	鉄族・亜鋼	2.7	2.4	4.2	金融・保険	16.2	77.5	94.7
原油・天然ガス	3.9	6.0	5.7	鋼材	3.6	2.3	4.0	不動産仲介及び賃貸	19.2	10.3	54.4
食料品	11.4	2.2	4.3	鋳造品・その他の鉄鋼製品	5.2	1.6	4.9	住宅資材	24.4	7.8	59.5
飲料	8.7	1.7	4.1	非鉄金属製錬・精製	3.8	1.7	3.8	鉄道	76.5	7.8	11.5
飼料・有機質肥料	15.5	1.7	4.9	非鉄金属加工製品	3.3	1.6	4.0	道路輸送	90.1	5.7	13.6
たばこ	6.0	2.8	4.5	建設・建築用金属製品	8.1	1.6	4.5	自家用道路輸送	92.1	4.8	15.7
繊維工業製品	8.2	2.7	2.3	その他の金属製品	7.0	1.3	3.3	水運	94.1	3.1	10.4
衣服・その他の繊維製品	8.1	1.6	2.6	一般産業機械	8.5	1.9	3.1	航空輸送	92.5	5.8	5.7
製材・木製品	12.6	2.1	6.2	特殊産業機械	8.4	1.6	4.0	倉庫	76.8	5.4	6.5
家具・装飾品	10.1	3.5	1.4	その他の一般機械器具	8.5	2.5	3.9	運輸付帯サービス	49.2	5.2	9.8
パルプ・紙	4.9	1.4	1.8	事務・サービス用機器	9.7	3.1	2.8	通信	18.9	2.4	13.3
紙加工品	7.3	1.2	0.9	民生用電気機械	7.9	6.6	6.6	放送	18.4	2.1	9.8
出版・印刷	10.5	0.3	1.3	電子・通信機器	6.9	6.8	7.8	公務	18.3	8.0	3.9
化学肥料	3.1	1.0	2.2	重電機器	6.1	4.3	11.9	教育	13.2	6.0	3.4
無機化学基礎製品	3.2	0.9	0.2	その他の電気機器・修理	7.1	12.9	13.4	研究	10.5	5.0	6.0
有機化学基礎中間製品	1.5	2.7	0.3	自動車・同修理	7.8	0.8	6.8	医療・保健・社会保険	10.3	3.0	6.0
合成樹脂	2.3	1.8	1.6	船舶・同修理	7.5	1.5	0.6	その他の公共サービス	15.2	6.0	10.0
化学繊維	3.0	8.8	2.3	その他の輸送機器・同修理	5.6	10.2	0.9	対事務所サービス	15.0	5.0	13.0
化学繊維製品	5.3	1.8	2.2	精密機械	8.7	21.5	3.0	对个人サービス	15.2	5.0	10.0
石油製品	0.3	3.6	1.6	その他製造工業製品	11.1	6.3	32.5	事務用品	10.6	2.0	4.0
石炭製品	0.7	0.8	4.2	建築	22.3	7.0	33.4	分類不明	5.7	2.0	3.0

る割合はかなり小さい。これは、運輸サービスが最終消費としてよりも中間消費として消費される特徴があるためである。しかし、ここで上位を占める産業の製品には運輸部門で消費されたエネルギーが内包されている。図5は、運輸部門のエネルギー消費の最終生産への波及を全国、福岡市、北九州市について計算したものである。これを図4と比較すると、道路輸送、家用自動車輸送、航空輸送などが大きくなっている。運輸部門のエネルギー消費は最終消費としては小さいが、あらゆる産業に間接的に波及していることが分かる。福

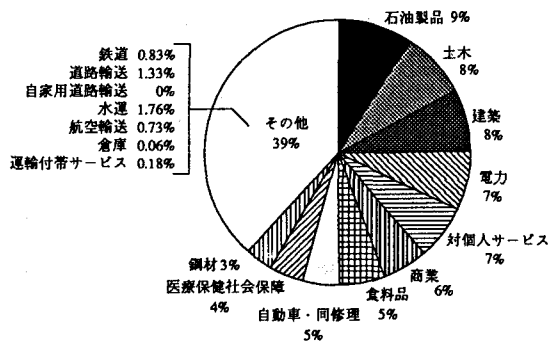


図4 最終生産に内包されるエネルギーの構成(全国)

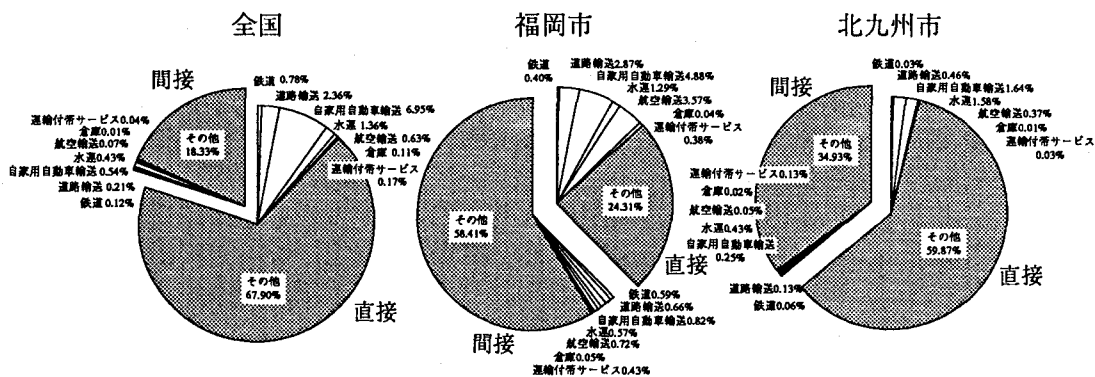


図5 最終生産に対する運輸部門エネルギー消費の波及

4. 二酸化炭素排出責任についての考察

4.1 直接排出者と間接排出者の責任分担

都市活動にともなうエネルギー消費には石油製品や天然ガスなどの直接的な消費と財やサービスの消費を通じた間接的な消費がある。従って、それにともなう二酸化炭素排出にも直

表3 直接排出のみを考慮したケースと電力消費にともなう間接排出を考慮したケースの比較 (MtC)

	山口県		埼玉県	
	直接のみ (%)	間接を考慮 (%)	直接のみ (%)	間接を考慮 (%)
産業	10.1	73.7	8.0	65.6
廃棄物部門	0.3	2.2	0.3	2.5
セメント製造業	2.3	16.8	2.3	18.9
民生	0.4	2.9	1.0	8.2
運輸	0.6	4.4	0.6	4.9
合計	13.7	100.0	12.2	100.0

接的な排出と間接的な排出がある。大気汚染などの公害問題では、問題が局在的であり、また、汚染者と加害者が一致するケースが一般的であったので、直接排出者にその責任を求めるのが妥当であった。しかし、二酸化炭素排出の場合、排出者と加害者が必ずしも一致せず、また、加害者の特定が困難である。今日の都市活動は化石燃料消費によって支えられており、その意味では国民全体が加害者であると同時に被害者とも言える。現在の議論では、直接的な二酸化炭素排出についての責任が中心であるが、例えば、火力発電による電力について考えると、発電にともなう二酸化炭素排出の責任は排出者よりも電力の消費者にあるとする考えも成立する。埼玉県、大阪府、山口県の「地球温暖化対策地域推進モデル計画」の報告書では、電力消費については、地域外部での発電にともなう間接的な二酸化炭素排出もその地域の排出量として計上している。埼玉県、山口県では、直接排出のみの場合と、電力消費にともなう間接消費を考慮した場合の2ケースで試算が行なわれている(表3)。この考え方をさらに発展させれば、電力だけでなく、他の財やサービスについても同様に考えることが出来る。

このような二酸化炭素排出に対する責任負担のための経済的手法として、環境税や、排出権取引制度の導入が提案されている。このような経済的手法の導入に際しては、環境効果、経済的効率、公平性、実行可能性、受容性などの点で、合理性が満たされなければならない。^[5]

本研究では、このような二酸化炭素排出の責任について、地域の立場から直接排出者と間接排出者の間での公平性について考察を試みた。環境税の導入について考えた場合、直接排出者に対するの課税の例としては、化石燃料に対する課税等が考えられる。また、間接排出に対しては、一般消費税への上乗せが考えられる。

このような公平性を議論する場合、どのような視点から公平性を判断するかが非常に重要となる。比較の視点としては、個人単位、企業単位、産業別、地域、国など様々なものが考えられるが、ある視点から見たときに公平な制度でも、別の視点から見ると不公平となる場合もある。現在、県や市といった地域単位での取り組みは、温暖化対策の実行面で重要な役割を担っている。そこで、ここでは都市全体での排出責任という視点から考察を試みる。また、筆者らはこれまで都市や地域を対象としていくつかの分析を行ってきた。例えば、福岡市は間接排出の比率の大きい消費型の都市であり、逆に北九州市は直接排出の比率が大きい生産型の都市であるという結果を得ている。この2つの都市は、財の生産者と最終消費者という点对照的なタイプの都市である。ここでは、この2都市について考察する。

4.2 二酸化炭素排出責任の分析

図6は、ある閉鎖系における二つの地域の取引を示している。A地域の生産高は10億円で、そのうち5億円分の製品をB地域に輸出している。また、A地域の生産にともなう二酸化炭素排出は100tCである。一方、B地域も生産高は10億円で、二酸化炭素排出が100tCである。但し、中間投入財としてA地域の生産物を3億円分輸入している。この場合、A地域における二酸化炭素排出は100tC、B地域では直接排出100tCとA地域からの輸入財の消費を通じた間接排出が30tCであり、系全体では合計230tCとなり、輸出入財の生産にともなう排出量30tCがダブルカウントになる。この責任は、財の生産者であるA地域と消費者であるB地域の両

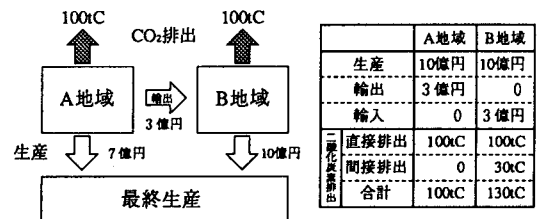


図6 移輸出、移輸入による間接排出

者が分担すべきである。

そこで、財の消費者は間接排出量の一定割合に対して責任をもち、残りを生産者が負担することにする。つまり、ある地域は、移輸入財の消費にともなう間接排出に対して一定割合の責任を負う代わりに、移輸出財の生産にともなう二酸化炭素排出については、その一定割合だけ責任を負担することにする。例えば、移輸出財の生産にともなう直接排出に対する責任と、移輸入財の消費にともなう間接消費に対する責任の分担比率を5:5とすると、図6の例でのA、B両地域の責任負担排出量は次のようになる。A地域は、移輸出の生産にともなう直接排出30tCのうち15tCについてのみ責任を負うので、責任を負担すべき排出量はトータルで85tCとなる。一方、B地域は、移輸入財の消費にともなう間接排出量30tCのうち15tCを負担するので、トータルは115tCとなる。

ここでは直接排出と間接排出の責任分担比率について5つのケースを仮定して、福岡市と北九州市について計算を行ってみた。その結果を図7に示す。北九州市は、移輸出の生産にともなう直接的な二酸化炭素排出が大きいので、直接消費の負担割合が小さくなると、責任を負うべき排出量はかなり小さくなる。一方福岡市は、移輸入財の消費にともなう間接的な排出が大きいので、間接排出の責任分担比率を大きくすると、責任を負担する排出量は大きくなっている。この結果を見ると、消費者の責任分担をかなり大きくしないと、消費型都市と生産型都市の格差は小さくならないことがわかる。

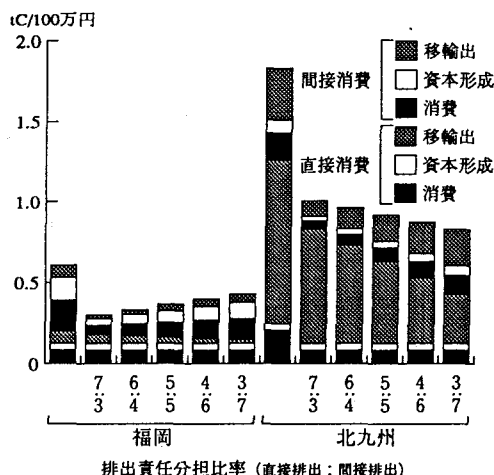


図7 二酸化炭素排出責任の算定結果

5. 考察

以上の分析結果についてのまとめと考察を次に列挙する。

- 1) モデルの改善により、移輸入財をより実際の取引に近い形で取り扱うことが可能となった。
- 2) 本報告では、対象地域内の運輸部門のエネルギー消費の波及のみを考えたが、移輸入財には地域外部が運輸部門の消費したエネルギーが内包されており、これらを考慮すれば運輸部門の波及はさらに大きいと考えられる。従って、運輸部門でのエネルギー消費の削減は温暖化対策上重要な課題であると言える。
- 3) 二酸化炭素排出責任の分担について、本報告では全ての財・サービスについて一律の比率を与えたが、財・サービスの性質に応じてそれぞれについて異なる比率を設定する方法も考えられる。また、本報告では、都市単位で比較を行なったが、産業別や個人単位での比較も重要である。
- 4) 二酸化炭素税の課税について考えると、財の最終消費者に対して課税するほうが公平性は高いと思われるが、直接排出者への課税の方が一般的にインセンティブ効果は大きいと考えられる。しかし、電力などの最終消費の減少と二酸化炭素排出の減少がダイレクトにリンクするような財では、最終消費者への課税でもそのインセンティブ効果は十分大きいと考えられる。また、本研究では、課税面についてのみ考察を行なったが、徴収された財源の分配についても公平性の視点が重要である。

参考文献

- [1] 北海道、埼玉県、長野県、大阪府、山口県、熊本県：地球温暖化対策地域推進モデル計画、1993。
- [2] Robert Costanza : "Embodied Energy and Economic Valuation", Science, Vol.210, pp.1219-1224, 1980。
- [3] 金子敬生：産業連関の理論と適用、日本評論社。
- [4] 金川 琢、加藤英輔、井村秀文：環境システム研究, Vol.20, pp.242-251, 1992。
- [4] 井村秀文："経済的手法によるCO2排出削減", 環境研究, Vol.86, pp.98-112, 1992。