

産業連関分析による都市の二酸化炭素排出 構造の分析と地方温暖化対策への含意： サービス都市と工業都市の比較

吉延 広枝¹・金子 慎治²・市橋 勝³

¹学生会員 広島大学大学院 国際協力研究科 開発科学専攻(〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)
E-mail: yhiroe@hiroshima-u.ac.jp

²正会員 博士(工学) 広島大学助教授 大学院国際協力研究科(同上)
E-mail: kshinji@hiroshima-u.ac.jp

³非会員 修士(経済) 広島大学助教授 総合科学部(〒739-8529 東広島市鏡山1-7-1)
E-mail: ichi@hiroshima-u.ac.jp

京都議定書の第1約束期間を目前に控え、地方自治体においても地球温暖化対策の策定・実施が求められている。本研究は通常用いられる領域原則にもとづく二酸化炭素排出量をもとに各都市が削減目標を設定することが適切であるかどうかを検討するために、産業連関分析によりサービス都市(福岡市)と工業都市(北九州市)のエネルギー消費、二酸化炭素排出構造について比較分析した。その結果、1人当たり二酸化炭素排出量について、都市域内から直接排出される二酸化炭素のみを対象とする場合と、都市の移輸入・移輸出を通じた外部との間接的な二酸化炭素排出量のやり取りを考慮した責任排出量では、大きく結果が異なることが示された。

Key Words: embodied energy, industrial structure, Input-Output Analysis, Skyline Analysis

1. はじめ

2005年2月16日、ロシアの批准を受け京都議定書が発効した。わが国では2008年から2012年までに対90年比6%削減に向けて具体的な施策の実施が急がれる。平成5年8月に策定された「地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン(旧ガイドライン)」が平成15年6月に改定されたことを受け、地方自治体においても地球温暖化対策の計画策定・計画の実施が本格化することとなる。改定の中心は温室効果ガスの実態把握のために過度に既存の統計書に拠ることなく必要に応じて独自に調査し、より正確な実態把握を勧めている点である¹。地方自治体では、国の削減目標である6%を中心にさまざまな削減目標が掲げられている。都市から排出される温室効果ガス、とりわけ二酸化炭素排出量(CO₂排出量)の抑制を目指すこととなるが、都市の多様性を考えると、一律に目標の妥当性や達成度を評価できるものではないことは明確である。では、どのような基準をもって多様な都

市における温暖化対策の取り組みを評価すべきであろうか。

地球温暖化対策にとって問題となる都市の多様性とは、例えば、(1)産業構造；(2)外部依存度(エネルギー財、非エネルギー財)；(3)気象条件(気温など)；(4)都市空間構造(土地利用)と交通システム；(5)人口構成などである^{1) 2)}。このことは、エネルギー多消費型産業が多く集まる都市とエネルギー使用が少ないサービス産業が中心の都市を比べれば、最も分かりやすい。また、地下鉄など大量輸送交通インフラがネットワーク化され整備されている都市や人口密度が高い都市では、自動車によるエネルギー消費とそれにとまなうCO₂排出量は小さい。そのほかに寒冷地帯では冬季の暖房用エネルギー需要が大きく、熱帯地帯では夏季の冷房用エネルギー需要が大きくなる。あるいは人口構成が変化し単身世帯が増えると、家庭用のエネルギー需要が高まることなどが考えられる。こうした都市の多様性は、都市内のエネルギー需要に構造的な違いをもたらす。

わが国における都市のCO₂排出量推計は、多くの場合電力消費については都市域外における発電端での排出を

¹ この背景には「石油等消費構造統計表」廃止への対処がある。

含めるものの、原則としては都市内において直接排出されるCO₂排出量を対象としている。これはIPCCの国レベルの温室効果ガスインベントリガイドラインの推計方法で採用されている領域原則にもとづくものである。しかし、開放経済としての都市経済の大きな特徴は、その高い外部依存性であり、多くの財やサービスを都市外の経済圏から調達する。これにともなって、少なくないエネルギー消費や環境負荷を都市域の外に誘発している。こうした間接的あるいは誘発の環境影響の重要性について関心が高まっている。エコロジカルリユクサック、エコロジカルフットプリント³⁾、⁴⁾、⁵⁾、隠れたフロー

(hidden flow)⁶⁾、仮想水⁷⁾などの考え方がそれである。また、気候変動の研究領域ではカーボンリーケージの問題が挙げられる。すなわち、都市経済がとりわけ外部との相互依存関係が大きいことを考えると、都市においてその域内で直接排出されるCO₂排出量のみをもつばら削減しただけでは、不十分であり、地方における温暖化対策を考える際に、こうした外部依存にともなう間接影響を考慮することが求められる。しかしこのような間接的な環境負荷については、これまで国レベルでの研究蓄積が中心であり、地域や都市を対象としたものは多くない。

以上の認識から、本研究では産業構造の違いやその変化が直接・間接のCO₂排出量とどのように関係するかを明らかにし、その政策的含意を考察することを目的とする。具体的には、わが国の大都市の中で規模が同程度である、工業都市の北九州市とサービス都市の福岡市を事例に、(1)産業連関分析を用いて都市のエネルギー及び二酸化炭素代謝構造を比較した上で、(2)都市の産業構造、外部依存性とCO₂排出量の外部依存の関係を分析する。それらの結果に基づいて、(3)地域での温暖化対策のあり方についていくつかの示唆をまとめる。

2. 分析方法

(1) 都市のエネルギーフローとCO₂排出量

ここでは、都市における直接・間接・内包のエネルギー消費量とそれにもとって発生するCO₂排出量の関係を整理する。図-1は本研究で考える都市のエネルギー収支を示したものである。本研究では都市に流入するエネルギーを大きく2種類に分けて考える。直接エネルギーと内包エネルギー⁸⁾である。直接エネルギーはエネルギー財として自然界あるいは外部の経済システムから都市に流入し、その後都市内部で消費されるエネルギーをいう。一方、内包エネルギーは財・サービスの生産過程に投入され、財・サービスに内包されるエネルギーであり、非エネルギー財のみならずエネルギー財の内包エネルギー

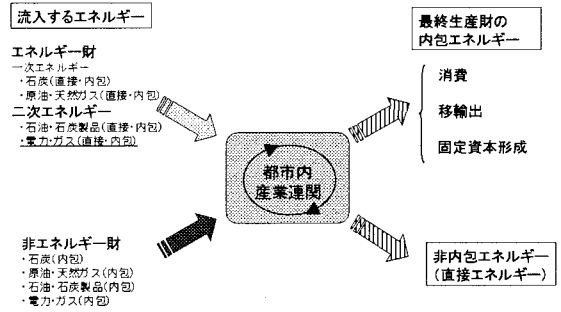


図-1 都市におけるエネルギー投入産出

も対象となる。ここで都市外部と内部でのエネルギー消費量を区別するために、間接エネルギー消費量という考え方を導入する。間接エネルギー消費量とは都市に流入する内包エネルギーの合計であり、移輸入によって都市へ投入される各財が対象都市の外部において生産、流通などの過程で消費されたエネルギーの総量を指す。これには、外部から供給される一次エネルギーに内包されるエネルギーも含める。

本研究では、都市において直接消費されるエネルギーと都市に流入する間接エネルギーの合計を総エネルギー投入と考える。産業連関表の枠組みに従えば、投入エネルギーの一部は、都市内の産業連関によって生産活動とその取引に取り込まれて最終生産財に内包され、最終的に消費、固定資本形成、移輸出へと帰着する。一方、産業連関分析の枠組みで内生部門として取り込まれないエネルギーもある。これを非内包エネルギーと称する⁸⁾。具体的には最終需要部門で消費される直接エネルギーのことであるが、これについては(3)分析の基礎モデルで詳述する。

これに対し、都市内に投入されたエネルギー財の消費にもとって都市域内で排出されるCO₂排出量を直接CO₂排出量とする。また、財・サービスの内包エネルギー消費量が内包される過程で排出されたCO₂排出量を内包CO₂排出量とする。他方、都市域外で排出されたCO₂排出量を間接CO₂排出量とする。

(2) 電力の扱い

「地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン」では電力について2つの考え方を示している。CO₂排出量を需要端に転嫁する場合と発電端に転嫁する場合である。直接・内包CO₂排出量を区別する場合に両者は図-1において下線を引いたエネルギーに対するCO₂排出量の扱いが異なることを意味する。すなわち、前者は都市外の発

⁸⁾ Costanza(1980)⁸⁾ は家庭部門を内生化させたモデルを用いて家庭部門での消費を内包化する方法を提案している。

電にともなうCO₂排出量を直接分として捉えるのに対して、後者は内包分として捉えることと同じである。多くの都市では都市内の電力需要は域内発電ではまかないきれず、多くを都市域外で発電された電力に依存しているため、この扱いの違いは大きい。本研究では直接・間接の区別をエネルギー財と非エネルギー財の区別無くかつ明示的に扱うため、両者の中間的な取扱いを行った。すなわち、外部から投入されて都市内で消費された電力に関しては、発電効率を用いて直接・間接分に按分した。例えば、発電端で2500Kcal/Kwhのエネルギーが投入されれば、電気の物理的な熱量860Kcal/Kwhを用いて、発電効率は34.4%(=860/2500)と計算される。このとき、この電力が都市域外で発電されたとすると、都市内の1Kwhの電力消費量に対し、1640Kcal(=2500-860)を間接消費量、860Kcalを直接消費量として扱うことになる。都市域で発電された場合は、両者とも直接消費量として扱うが、前者を発電セクターの直接消費量、後者を最終需要者の直接消費量として扱う。

CO₂排出量の直接・間接排出量の割り当てについても、この発電効率を用いて同様に行う。

(3) 分析の基礎モデル

内包エネルギーを考慮したエネルギー投入産出バランスを推計するためには、産業連関分析モデルによって求められる業種別の内包エネルギー原単位が必要となる。一般にある経済単位*j*におけるエネルギー投入産出バランス式は、

$$E_j + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i (1 - m_i) X_{ij} + \sum_{i=1}^n \lambda_i m_i X_{ij} = \varepsilon_j Q_j \quad (1)$$

である。ここで、 E_j は*j*産業の直接エネルギー投入量、 X_{ij} は*i*産業から*j*産業への中間財投入金額、 Q_j は*j*産業の総生産額、 ε_i 、 ε_j はそれぞれ域内の*i*産業、*j*産業で生産される財の内包エネルギー原単位、 λ_i は域外の*i*産業で生産された財の内包エネルギー原単位、 m_j は*j*産業の移輸入率、 n は業種数である。また、

$$m_i = \frac{|M_i|}{Q_i + |M_i|} \quad (2)$$

ここで、 $|M_i|$ は外部から移輸入される*i*産業で生産された財を表し、 $Q_i + |M_i|$ は域内総需要を示す。式(1)を行列表形式で表して域内生産財の内包エネルギーについて解くと、

$$\varepsilon = (E + \lambda m X) [Q - (I - m) X]^{-1} \quad (2)$$

ここで、 ε は域内財の内包エネルギーベクトル、 E は直接エネルギー投入量ベクトル、 λ は移輸入される域外財の内包エネルギーベクトル、 m は移輸入率を対角要素とする対角行列、 X は中間投入行列、 Q は総生産額ベクトル、 I は単位行列である。ここで、産業連関表の内生部門(ここでは27部門)の各部門において直接消費されるエネルギーをエネルギー投入ベクトル E として評価するため、内包エネルギーベクトル ε にはエネルギー財の持つエネルギー量(直接エネルギー)は含まれないことになる。これは電力部門においても同様であり、電力部門が消費した直接エネルギー量(前例の1640Kcal分)が相当する。これに対して、その他の内生部門の電力消費量については、前例の860Kcal分に相当するものが割り当てられることになる。したがって、最終需要部門で消費される直接エネルギー消費量は、内包エネルギー原単位 ε に最終需要額を乗じて求められる最終需要部門の内包エネルギー消費量に含まれず、これは別途与える必要が生じる。これを非内包エネルギーと称した。本研究では、比較的統計が取得やすく、この非内包エネルギーのうち多くを占める家庭部門の直接エネルギー消費量と自家用車の直接エネルギー消費量のみを考慮し、それ以外の最終需要部門での直接エネルギー消費量、すなわち政府支出、固定資本投資に関わるエネルギー消費量は取り扱わないこととした。CO₂排出量を扱う場合には、得られたエネルギー消費量をCO₂排出原単位によってCO₂排出量に変換することで求められる。

(4) 分析フレームとデータ

本研究では1985年、1990年、1995年の3時点での複数の産業連関表を用いて福岡市と北九州市における分析を行う(表-1)。分析の前処理として、これら部門分類の異なる産業連関表を整合的に組み合わせる利用できるように、27共通分類に整理統合した(付表-1参照)。これは都市レベルでのエネルギー消費量データの入手可能性も考慮して決めた。できるだけ細かい分類で分析することが望ましいが、都市全体のエネルギー消費、CO₂排出構造のマクロな特性を知ることを目的に照らし、ここでは一定の妥当性がある部門分類であると判断した。

基本モデルの適用については、データの制約上、それぞれの都市に移輸入される財を移入財(国内他地域財)、輸入財に分離することは困難であるため、本研究では海外からの輸入を考慮した全国の部門別の内包エネルギー原単位、内包CO₂排出原単位をまず推計し、それらを各都市への移輸入財の平均原単位として扱った。また、全国モデルにおける輸入財の内包エネルギー原単位、内包CO₂排出原単位は、金川ら⁹⁾の研究を参考に次の手順で簡易推計した。まず、輸入財の内包エネルギー原単位が日本国内の原単位と同じであると仮定して日本全国の内包エネルギー原単位、内包CO₂排出原単位を暫定的に推計する。次に各業種の輸入財の取引国別シェアをアジ

表-1 使用した産業連関表の一覧^{10), 11), 12), 13)}

地域	数字は、内生部門の業種数			発行
	1985	1990	1995	
福岡市	85	90	93	福岡市総務企画局企画調整部統計調査課
北九州市	84	91	93	北九州市総務市民局情報政策室
日本	84	99	93	総務省統計局
アジア産業連関表	78	78	78	アジア経済研究所

ア国際産業連関表から計算する。シェアを輸入額に乗じることによって業種別輸入相手別の金額が推計できる。ここで、暫定的に推計した日本の値を基準にして、各輪出国の相対的な省エネルギー技術水準に関するパラメータを用いて重み付けし、平均の輸入財に内包されるエネルギー原単位、CO₂排出原単位を推計した。ここでは、IEA 統計から得られる GDP 当たりエネルギー消費量、CO₂排出量によってそれぞれ重み係数を算出した。

(5) エネルギー投入ベクトルの推計^{14), 15), 16), 17), 18), 19)}

各業種の直接エネルギー消費量は、日本、福岡市、北九州市について3時点ごとに推計する必要がある。日本については、総合エネルギー統計(各年版)のエネルギーバランス表を用いた。これは業種分類が粗いものの業務部門を含む総エネルギー消費量が得られるためである。福岡市及び北九州市については、製造業については「石油等消費構造統計(各年版)」から、それ以外の業種については複数の統計(表-2)から推計するか、あるいはデータの得られないものについては全国値から原単位を求めて推計した。

本研究におけるひとつの大きな課題は都市域における業種部門ごとのエネルギー消費量を推計することである。とりわけ、事業部門(付表-1の22, 23, 25~27)のエネルギー消費量を推計することが困難である。

日本全国のエネルギーバランス表では、最終需要部門の製造業の業種分類は9業種である。本研究の産業連関表の共通部門分類の製造業は17業種に分類されている。また、エネルギーバランス表では業務部門は1つにまとめられている。したがって、エネルギーバランス表から得られるエネルギー源別消費量を複数の業種に按分しなければならない。本研究の産業連関表のエネルギー供給部門の業種分類は、(1)石炭採掘業、(2)石油・天然ガス採掘業、(3)石油精製・石炭製品製造業、(4)電力・熱及び

ガス業の4業種である。そこでまずエネルギーバランス表の6種類のエネルギーを4つ、(A)石炭、(B)原油・天然ガス、(C)石油製品・石炭製品、(D)電気・ガスにまとめた。その上で、(1)石炭採掘業は(A)石炭、(2)原油・天然ガス採掘業は(B)石油・天然ガス、(3)石油精製・石炭製品製造業は、(C)石油製品・石炭製品、(4)電力・熱及びガス業は、(D)電気・ガスに対応させ、産業連関表の取引金額に応じて按分した。こうして求めた全国のエネルギー投入ベクトルを、エネルギー供給部門からその他部門への引金額で除した原単位を作成し、必要に応じて都市のエネルギー消費量推計に用いる。また、全国のエネルギー産業の消費量はエネルギーバランス表の転換部門のエネルギー源別の転換ロスを拾い上げ、集計した。運輸部門のエネルギー消費量は、運輸部門合計から「運輸経済統計要覧」から得られる自家用車分を控除して求めた。

次に、都市レベルのエネルギー投入ベクトルの推計方法である。まず製造業については、「石油等消費構造統計」の23業種の業種別の燃料用エネルギー消費量を17業種に集計して用いた。また、農林水産業(付表-1の5)ならびに事業部門(付表-1の22, 23, 25~27)は全国の原単位を用いて(A)石炭、(B)原油・天然ガス、(C)石油製品・石炭製品、(D)電気・ガスの消費量ごとに推計した。ただし、事業部門の(D)電気・ガスの消費量については、「電力需給の概要(各年版)」、「ガス事業統計年報(各年版)」から電気事業部門、ガス製造業部門、家庭部門と併せて次のようにデータを作成した。

まず、家庭部門のエネルギー消費量については、「家庭用エネルギーハンドブック」から得られる九州地域の燃料種別世帯当たりのエネルギー消費原単位に各都市の世帯数を乗じて求めた。ここでの燃料種別とは、電力、都市ガス、LPG、灯油、石炭、その他である。次に、「大都市比較統計年表」にある各都市の電灯として契約している総電力消費量から上で推計した家庭用電力消費量を差し引いた値を事業部門の合計の電力消費量とした。さらに事業部門内の詳細な部門別電力消費量は、産業連関表の電力部門の取引金額によって按分して求めた。次に、電力事業者のエネルギー消費量については、「電力需給の概要(各年版)」から発電所ごとの燃料消費量から発電効率を用いて推計した。

事業部門の都市ガス消費量については、「大都市比較統計年表(各年版)」から「商業」、「公用」、「医療用」の都市ガス消費量を用いた。ガス製造業のエネルギー消費量については、「ガス事業統計年報(各年版)」の事業所別のエネルギー消費量のうち、都市ガスを含む各種燃料の加熱用エネルギー消費量を用いた。

運輸部門は、ガソリン、ディーゼル、電力の3つのエネルギーを対象として、以下のように推計した。まず自家用車のガソリンとディーゼルの消費量については、各都市の自家用車保有台数の全国シェアをもとに全国の自家用車のガソリン、ディーゼル消費量から按分推計した。各都市の自家用車保有台数は福岡県の平均1世帯当たり

表-2 使用データと推計方法

転換部門	電力需給の概要、ガス事業統計年報
製造業部門	石油等消費構造統計
運輸部門	大都市比較統計年表 ^{※1)}
家庭部門	大都市比較統計年表、家庭用エネルギーハンドブック ^{※2)}
自家用車	運輸経済統計要覧 ^{※3)}

※1) 値のないものに関しては前年分で代用

※2) 九州地域のエネルギー種別原単位を用いて推計

※3) 全国の値から推計

の自動車保有台数(1.09台、平成15年3月末現在)に各年度の各都市の世帯数を乗じて求めた。自家用自動車のエネルギー消費量を除いた運輸部門のエネルギー消費量については、全国の運輸部門と自家用部門との比率をもとに、各都市で推計した自家用部門のエネルギー消費量から推計した。

(6) CO₂ 排出量ベクトルの推計方法

CO₂ 排出量ベクトルについては、まず各エネルギー統計のエネルギー源別消費量に二酸化炭素排出原単位を乗じてエネルギー消費量をCO₂ 排出量に変換した。二酸化炭素排出原単位については環境省で公表している数値を用いた。全国の電力部門のCO₂ 排出原単位については電気事業者大手9社の平均値を、福岡市、北九州市の域外から供給される電力のCO₂ 排出原単位については九州電力の平均値を用いた。各都市内の発電所については、それぞれの発電所のデータを用いて推計した。

(7) スカイライン分析

産業連関分析によって求めた結果を用い、都市の産業構造とCO₂ 排出量の域外への依存関係を記述するために、都市ごとにスカイライン分析を行った^{20) 21)}。スカイライン分析とは、域内需要に対する自給率と業種構造との関係を同時に分析するためのものである。本研究では、グラフ作成のために、スカイライン分析用ツール「Ray」²²⁾のプログラムを必要に応じて変更して用いた。

スカイライングラフは横軸に各産業のシェア、縦軸に自給率を示すものである。したがって、通常は図-2の左

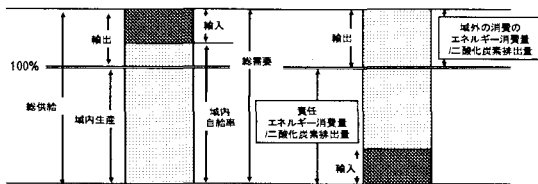


図-2 スカイライングラフの概要

表-3 福岡市・北九州市の人口と経済

年	福岡市				北九州市			
	1985	1990	1995	平均変化率	1985	1990	1995	平均変化率
総人口 (千人)	1,160	1,237	1,285	1.02%	1,056	1,026	1,020	-0.35%
GRP (10億円)	4,027	5,337	6,059	4.17%	2,923	3,539	3,936	3.02%
一人当たり GRP (100万円)	3.47	4.53	4.72	3.12%	3.10	3.62	3.86	2.22%
第1次産業 (%)	0.7	0.5	0.2		0.9	0.6	0.2	
第2次産業 (%)	17.6	15.7	13.4		43.5	41.9	37.5	
第3次産業 (%)	81.7	83.8	86.4		55.7	57.5	62.3	
域内総需要 (10億円)	6,091	8,165	9,233	4.25%	6,938	7,285	7,349	0.58%
中間生産額 (10億円)	6,836	8,699	10,045	0.04	7,292	7,493	7,704	0.01
最終需要額 (10億円)	4,027	5,337	6,059	0.04	2,923	3,539	3,936	0.03
移輸入額 (10億円)	-2,315	-2,620	-2,725	0.02	-2,436	-2,609	-2,510	0.00
移輸出額 (10億円)	3,060	3,154	3,537	0.01	2,790	2,818	2,865	0.00

図に示すように、域内生産と自給率 100%ラインとの関係が重要となる。一方、本研究では、横軸は直接・間接の合計、つまり総CO₂ 排出量の各産業別シェアとなり、縦軸は、直接CO₂ 排出量、間接CO₂ 排出量(移輸入財に内包されるCO₂ 排出量)、域内生産財のうち移輸出財に内包されるCO₂ 排出量の関係が示される。ここでは、都市の責任分担を明確に示すために、域外へ移輸出される財に内包されるCO₂ 排出量が捉えられるよう、右図のように上下を反転させて表示することとした。

3. 分析結果

(1) 対象都市の経済特性

表-3に福岡市と北九州市の分析対象期間の人口、地域総産値(GRP)、産業構造の変化をまとめた。両市は人口100万人程度の都市であるが、経済規模、産業構造、経済成長率に違いがある。福岡市はサービス業を中心としたサービス都市であり、1985年から1995年までの約10年間の地域総生産額は年率約4%程度で成長している。そのうえ産業構造の変化も少ない。他方、北九州市は日本を代表する重厚長大工業都市であるが、近年、製造業部門シェアが減少し、サービス産業の比率が高まりつつある。1985年から1995年までの地域総生産額の平均成長率は比較的低調で、約3%程度である。また、若干であるが人口も減少しつつある。

(2) エネルギーバランス

図-3には推計した両都市に流入するエネルギー量の変化を示す。直接・間接をあわせた総エネルギー投入量について、福岡市では増加傾向であるのに対して、北九州市では減少傾向である。また、サービス都市である福岡市では直接消費するエネルギーが小さいのに対し、工業都市である北九州市では大きな値を示している。また、北九州市におけるエネルギー財の内包エネルギーは、福岡市と比較すると小さい。これは北九州市では都市域内

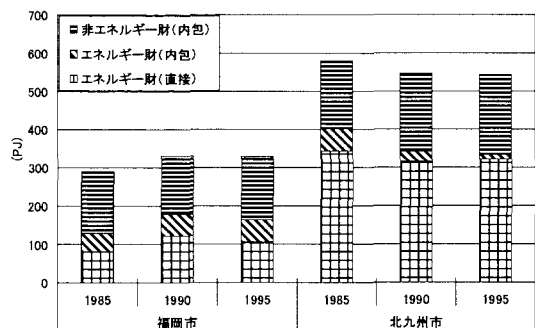


図-3 エネルギー流入量の比較

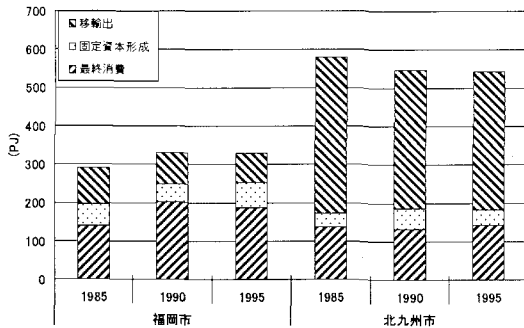


図-4 エネルギー帰着量の比較

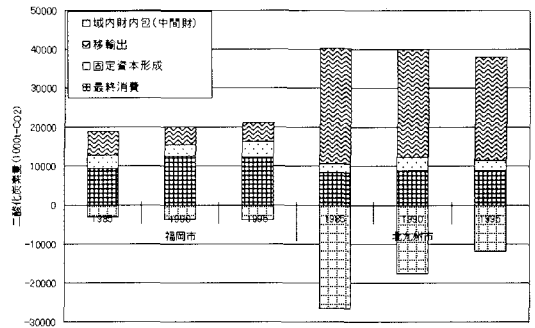


図-6 CO₂帰着の比較

で発電を行っているのに対して、福岡市ではほとんど域外から電力を調達しているためである。北九州市では90年以降エネルギー財の内包エネルギーが急激に小さくなっている。これは産業転換にともなって工業用の石油製品の移輸入量が減少したためであると考えられる。

図-4は、流入したエネルギーが都市の産業活動を経由して最終的にどのように消費されるかについて時間変化を示したものである。福岡市では最終消費財に内包されるエネルギー量が大きいのにに対して、北九州市では移輸出財に内包されるエネルギー量が大きいのが特徴である。また、福岡市は、1985年から1995年に掛けて移輸出財に内包されて域外に流出するエネルギー量が減少しているが、固定資本形成、最終消費に内包され、域内で消費される財に内包されるエネルギーが増加していることがわかる。

(3) CO₂ 排出量

図-5は福岡市と北九州市の直接・間接に排出される二酸化炭素排出量の時間変化を比較したものである。間接に排出されるCO₂排出量とは、中間部門と最終消費部門に都市域外から移輸入財に内包されて都市域内に流入するCO₂排出量を指す。間接・直接を考慮した総CO₂排出量は、北九州市が福岡市の約2倍程度である。また、福岡市は増加傾向であるのに対して、北九州市では減少傾向で

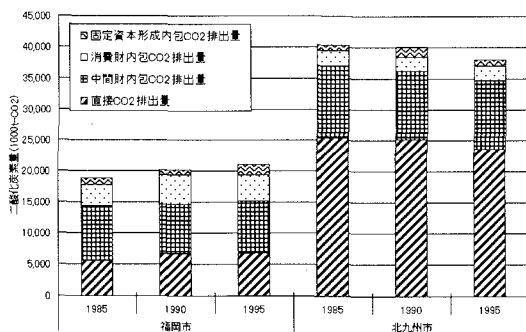


図-5 直接・間接のCO₂排出量の比較

ある。福岡市での間接CO₂排出量は、直接CO₂排出量の2.37倍(1985年)から2.10倍にわずかに減少しており、北九州市では0.59倍(1985年)から0.61倍にわずかに増加している。また、北九州市の減少は主に直接排出されるCO₂の減少による。

図-6は、両都市から排出される二酸化炭素量が都市の産業プロセスを経てどのように消費されたかという最終的な帰着を示す。グラフのゼロより下の部分は、域内生産の中間投入財に内包されるCO₂排出量の大きさを示すために参考として示した。全体としては北九州市が大きい、その多くの部分は移輸出財に内包されて域外へ出て行くことになる。この都市域外へ出て行く財・サービスに内包されるCO₂排出量を控除すると、最終消費部門に内包されるCO₂排出量はむしろ福岡市の方が大きく、増加傾向を示している。また、北九州市では中間財に内包されるCO₂排出量が急速に減少していることが観察される。これはエネルギー多消費産業の減少にともないCO₂排出量の多い原材料の使用が減ったことや製造業からサービス産業へのシフトなど産業構造の転換のためであると考えられる。

(4) スカイライン分析

図-7にスカイライン分析の結果を示す。図中の数字は付表1の共通産業分類に対応しており、全産業に占める産業のシェアが大きいものを示した。この結果から、サービス業中心の福岡市と工業中心の北九州市の産業構造の違いと、そのCO₂排出量の外部依存構造の違いがよく分かる。福岡市では、全産業に占める製造業の割合が小さく、サービス業の割合が大きいことより、サービス都市としての特徴を鮮明にしている。一方、北九州市は、鉄鋼業から多くのCO₂を排出しているが、1985年から1995年にかけて、相対的にシェアの減少が見られる。それに代わり、サービス業が次第にシェアを広げており、緩やかな脱工業化傾向が読み取れる。

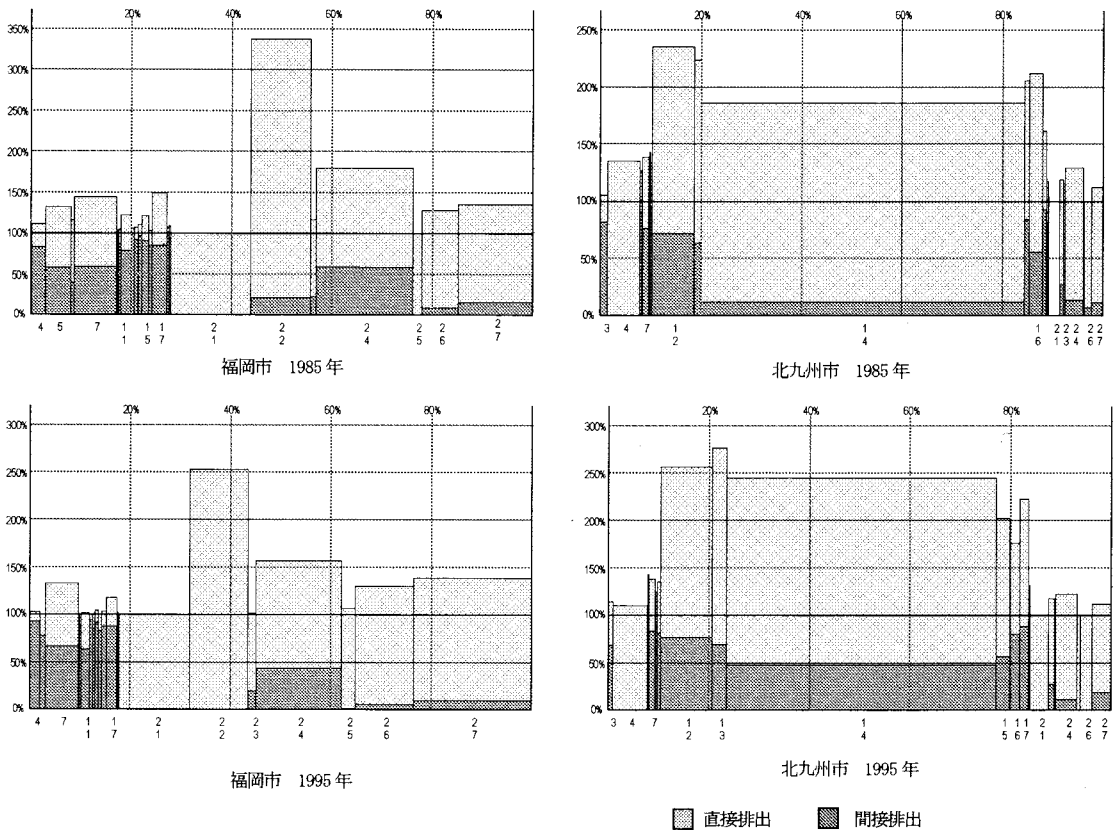


図-7 スカイライン分析の結果

自給率100%のラインを境に出た部分は、移輸出を通じて外部に出て行くCO₂排出分であり、北九州市でのそれが大きく、また増加していることが分かる。一方、濃い色で示した部分は外部から流入する移輸入財に内包されるCO₂排出量を示しており、北九州市の鉄鋼業では大幅な増加が見られる。

4. 地方温暖化対策への含意

ここで、以下のようにCO₂排出量を定義する。

$$\begin{aligned}
 (\text{責任排出量}) &= (\text{直接排出量}) + (\text{間接排出量}) \\
 &\quad - (\text{移輸出財に内包される排出量})
 \end{aligned}$$

図-8はこれまでに推計した結果を用いて、上記で定義した責任排出量を推計し、1人当たり責任排出量、1人当たり直接・間接排出量、1人当たり直接排出量の3種類の排出量を比較した。この図で明らかのように、通常自治体が対象としているCO₂排出量(直接排出)を基準に比較

すると、工業都市である北九州市の方が大きな値となる。また、間接CO₂排出量を加えた総CO₂排出量でみても、北九州市が相当に大きな値となる。しかし、この総CO₂排出量は、移輸出側にも移輸入側にもCO₂排出量の責任を負わせることになる。ところが、輸出側の責任を免除することによって、すべての責任を最終消費側に負わせるという考え方による責任排出量では、福岡市の方が大きな責任を負うことになる。この責任排出量はIPCCの領域原則ではなく、どこで排出するかに関係なく、最終的に財を消費する側が財の生産や流通にともなって発生したCO₂のすべての責任を負うというひとつの考え方である。したがって、この責任排出量を削減目標とした場合、当該都市内の排出のみならず、間接的に排出するCO₂の削減を目指さなくてはならないことになり、温暖化対策の目標設定としては、より適切な削減目標になりうる。ただし、本研究が示したように一定水準の精度での推計は可能であるものの、同時に本研究が直面したように、実際の対策において削減目標とするためには、さらに精度の高い推計が必要となる。

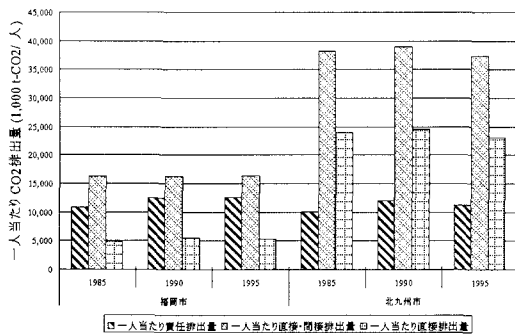


図-8 1人当たりCO₂排出量の比較

5. 結論

本研究によって得られた結論を以下にまとめる。

- (1) 北九州市の直接・間接を合計した総エネルギー流入量は福岡市の約1.4倍程度から1.2倍程度へ減少している。
- (2) 北九州市の移輸出財に内包されるエネルギー量が大幅に減少している。
- (3) 福岡市の中間財として移輸入される財に内包されるCO₂排出量が増加している。それにとまな福岡市での総CO₂排出量は増加している。
- (4) 北九州での総CO₂排出量は減少している。これは中間財として移輸入される財に内包されるCO₂排出量が減少しているためである。
- (5) スカイライン分析の結果より、業種別のCO₂排出構造と外部依存度、業種構造の関係について、サービス都市と工業都市の違いを明確に示した。
- (6) 1人当たりでみた直接排出量、直接・間接排出量はいずれも北九州市が福岡市よりも相当に大きいのに対し、1人当たり責任排出量は福岡市の方が大きい。

以上から都市の産業構造とエネルギー消費構造の関係、CO₂排出量は決定的な関係を持っており、温暖化対策の策定にあたっては、こうした産業構造の違いによる目標値の設定のあり方、達成度評価の方法をさらに詳しく検討する必要がある。

謝辞：本研究は平成16年度地球環境推進費「物質フローモデルに基づく持続可能な生産・消費の達成度評価に関する研究(代表：森口祐一)」の一環として行われたものである。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) The Association of American Geographers GLCP

Research Team: Global Change and Local Places – Estimating, Understanding, and Reducing Greenhouse Gases, Cambridge University Press, 2003.

- 2) 一ノ瀬俊明・花木啓祐・松尾友矩：都市におけるエネルギー消費構造の国際比較，土木学会環境工学研究論文集，Vol. 30，371-381，1993.
- 3) Helmut Haberl, Karl-Heinz Erb, Fridolin Krausmann: How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926-1995: Ecological Economics, Vol.38, pp.25-45, 2001.
- 4) Mathis Wackernagel, Larry Onisto, Patricia Bello, Alejandro Callejas Linares, Ina Susana Lo'pez Falfa'n, Jesus Me'ndez Garc'a, Ana Isabel Sua'rez Guerrero, Ma. Guadalupe Sua'rez Guerrero: National natural capital accounting with the ecological footprint concept, Ecological Economics, Vol.29, pp. 375-390, 1999.
- 5) Kathryn B. Bicknell, Richard J. Ball, Ross Cullen, Hugh R. Bigsby: New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy, Ecological Economics, Vol.27, pp. 149-160, 1998.
- 6) 森口祐一：マテリアルフローデータブック～世界を取り巻く世界の資源フロー～，独立行政法人国立環境研究所 地球環境センター，2003.
- 7) T. Oki, M. Sato, A. Kawamura, M. Miyake, S. Kanae, and K. Musiak: Virtual water trade to Japan and in the world, Virtual Water Trade, A.Y. Hoekstra, Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series, No.12, 2002.
- 8) Embodied Energy and Economic Valuation: Robert Costanza, Science, Vol.210, pp. 1219-1224, 1980.
- 9) 金川琢・二渡了・井村秀文：産業連関モデルによる都市のエネルギー・環境構造分析環境システム研究, Vol.19, pp. 70-75, 1991.
- 10) 福岡市産業連関表、福岡市総務企画局企画調整部統計調査課。
- 11) 北九州市産業連関表、北九州市総務市民局情報政策室。
- 12) 日本産業連関表、総務省統計局。
- 13) アジア産業連関表、アジア経済研究所。
- 14) 電力需給の概要、経済産業省資源エネルギー庁。
- 15) ガス事業統計年報、経済産業省資源エネルギー庁。
- 16) 石油等消費構造統計、経済産業省経済産業政策局。
- 17) 大都市比較統計年表、大都市統計協議会。
- 18) 家庭用エネルギーハンドブック、財団法人省エネルギーセンター。
- 19) 運輸経済統計要覧、運輸省運輸政策局情報管理部。
- 20) 植田和弘・長谷部勇一・鷲田豊明・寺西俊一・宮崎政治・家田忠：環境・エネルギー・成長の経済構造分析―産業連関分析とニューラルネットワーク―、経済分析, vol. 134, 1994.

- 21) 居城琢：日本経済のCO₂排出構造変化分析（石油危機後から90年代まで）CO₂誘発係数、排出量変化の要因分解、CO₂排出スカイライン分析を通じて、産業連関、Vol.13、No.1、pp.16-25、2005.
- 22) <http://www.vector.co.jp/soft/win95/business/se274685.html>

付表-1 統一した共通産業分類

エネルギー産業	1 石炭採掘業
	2 原油・天然ガス
	3 石油製品・石炭製品
	4 電力・ガス・水道
非エネルギー産業	5 農林水産業
	6 金属・非金属・その他の採掘業
	7 食料品製造業・タバコ製造業
	8 繊維製造業
	9 衣服・皮・革製品
	10 製材・家具
	11 紙・紙製品・印刷
	12 化学・パルプ・プラスチック
	13 非鉄金属製造業
	14 鉄鋼
	15 金属製品製造業
	16 一般機械
	17 電気機械
	18 輸送機械
	19 精密機械
	20 その他の製造業
	21 建設
	22 商業・貿易
	23 金融・保健
	24 交通・通信
	25 公務
	26 教育・研究・福祉
	27 その他の公共・個人サービス

Comparative Study on Energy and Carbon Flow in City and its Implication on the Local Climate Change Policy between Industrial City and Service City in Japan

Hiroe YOSHINOBU, Shinji KANEKO and Masaru ICHIHASHI

On the verge of the first commitment period of the Kyoto Protocol, effective strategies and local measures for climate change mitigation and its implementation is required for local governments in Japan. In order to evaluate applicability and validity of territorial principle of IPCC for GHGs emission inventory at local level, this study describes the urban metabolic structure of energy and carbon in a Japanese service city (Fukuoka) and industrial city (Kitakyushu) by using Input-Output analysis technique. Per capita direct CO₂ emission in Kitakyushu City is much higher than in Fukuoka City. However, the per capita responsible CO₂ emission which is defined as direct and indirect CO₂ emission minus embodied CO₂ emission in export goods shows opposite results. This implies that the application of the territorial principle of IPCC inventory to a city might not be relevant to guide better directions of urban climate change policies.