

責任二酸化炭素排出量の長期変化に関する 政令指定都市間比較研究

村上 加枝¹・金子 慎治²

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:dl130459@hiroshima-u.ac.jp

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

都市経済は外部依存性が高く、多くの財やサービスを都市外から調達している。その財やサービスには生産で消費したエネルギーが内包されており、都市はその内包されたエネルギーを間接的に消費している。このため、都市における二酸化炭素排出量の削減は、直接的なエネルギー消費だけではなく、間接的なエネルギー消費を考慮する必要がある。筆者らはこうした特性を踏まえて都市における責任二酸化炭素排出量を定義した¹⁾。本研究では、都市の責任二酸化炭素排出量の特性を理解するため、国内6政令指定都市間の相違、1980年から2000年までの長期変化、電力の取扱方法の相違を比較分析した。その結果、直接二酸化炭素排出量は製造業が多い都市で減少し、サービス業が多い都市で増加していたが、責任二酸化炭素排出量はすべての都市で増加していた。

Key Words : embodied energy, indirect energy, Input-Output Analysis, responsible CO₂ emissions

1. はじめに

近年、都市の経済・社会活動から排出される温室効果ガスが増大するにつれ、地域単位での地球温暖化対策の重要性が認識されるようになってきている。日本国内においては、「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づき、地方自治体は地球温暖化対策実行計画を策定し、地域単位での取組が推進されている。こうした流れを踏まえ、各市役所は、主な温室効果ガスである二酸化炭素排出量(CO₂排出量)の削減目標を掲げ、その市域内でその排出量の抑制を目指す取組を実施している。

しかし、都市におけるCO₂排出量の算出方法は、その市域内において直接排出されるCO₂排出量のみを対象にしている。そのため、製造業などの第二次産業の割合が多い都市では財を生産しているため、その財を最終的に消費していないにも関わらず、CO₂の排出責任が大きくなる。反対に、サービス業などの第三次産業の多い都市では多くの財を最終的に消費しているのにも関わらず、それを生産した際に排出したCO₂の排出責任は負わない。

都市は多くの財やサービスを市域外の経済圏から調達しているため、エネルギー消費を市域外に誘発している。都市経済が外部依存性が高いことを考えれば、都市のCO₂排出量の算出には、市域外で財・サービスを生産す

る際に内包されたエネルギー²⁾の間接的な消費の影響を把握する必要がある。このように、都市におけるCO₂の排出責任を検討するためには、直接排出されるCO₂排出量だけではなく、間接的に排出されるCO₂排出量も考慮する事が求められる。また、外部依存性が高い都市経済は、一般にサービス業などの第三次産業へと転換するが、この過程で市域外から持ち込まれる財やサービスに内包されるCO₂排出量と都市で生産され市域外へと持ち出される財やサービスに内包されるCO₂排出量が都市の排出責任にどのように影響するかに興味を持たれる^{3,4)}。

筆者らはこうした特性を踏まえて都市における責任二酸化炭素排出量を定義した¹⁾。本研究では、都市の責任二酸化炭素排出量の特性をさらに理解するために、(1)国内6政令指定都市間の相違、(2)1980年から2000年までの20年間の長期変化、(3)電力の取扱方法の相違を比較分析した。具体的には、人口が集中し、地域の経済・社会活動の中心である政令指定都市6都市(札幌市、横浜市、神戸市、広島市、北九州市、福岡市)を対象とした。さらに、推計結果をもとに都市の産業構造、経済活動の変化と責任CO₂排出量の関係も比較分析した。最後に、外部依存性の高い都市におけるCO₂の排出構造の変化について、いくつかの考察をまとめる。

2. 分析方法

(1) 都市のエネルギーフロー

最初に、都市の経済活動による産業連関に係るエネルギーの概念を定義をする。直接エネルギーとは、石油、石炭、天然ガス、電気等のエネルギーが、都市の市域内で直接消費されるエネルギーをいう。内包エネルギーとは、財やサービスを生産する時に使用されたエネルギーである。エネルギー財を生産した時、市域内で新しく財やサービスを生産する時、又は、市域外で財やサービスを生産する時に使用されたエネルギーすべてが対象になる。また、間接エネルギーとは、都市の市域内に流入する内包エネルギーの合計である。対象都市の市域内で消費された財やサービスに内包されたエネルギーであり、外部から供給されるエネルギー財に内包されるエネルギーも含まれる。

都市のエネルギーフロー³⁾を図-1に示した。都市に流入するエネルギーは直接エネルギーと財やサービスに内包エネルギーである。都市に流入したエネルギーは都市内の産業連関によって、最終消費、移輸出、固定資本形成等の最終生産財の内包エネルギー、家庭での直接エネルギー消費として流出する。

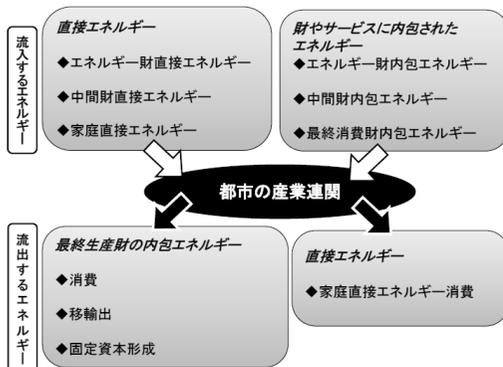


図-1 都市のエネルギーフロー

(2) 直接CO₂排出量、間接CO₂排出量及び責任CO₂排出量

本研究では、都市に流入した直接エネルギーを消費することで排出されるCO₂を直接CO₂排出量とし、都市の市域内に流入する内包エネルギーの合計である間接エネルギーを消費することで排出されるCO₂を間接CO₂排出量とし、直接CO₂排出量及び間接CO₂排出量の合計を総CO₂排出量とした。また、財・サービスの内包エネルギーを生産する時に排出されたCO₂排出量を内包CO₂排出量とする。また、都市のCO₂排出責任を分析するため、直接・間接エネルギー消費による総CO₂排出量から移輸出財に内包されるCO₂排出量を引いたものを「責任CO₂

排出量」として定義した¹⁾。その理由は、移輸入財に内包されるCO₂排出量は、対象都市の市域外の消費活動のために誘発されたCO₂排出量であるため、財・サービスを生産する都市の責任ではなく、財・サービスを消費する都市の責任とした。

(3) 電力の取り扱い

電力に係るCO₂排出量の取り扱いは、「地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン」において、エネルギー消費量を発電端で算出する方法「発電端型」と需要端で算出する方法「需要端型」が示されている。国における推計は電力のCO₂排出量を発電端側に転嫁する発電端型が用いられ、都市における推計はCO₂排出量を需要端側に転嫁する需要端型が用いられている。

電力の取扱方法を表-1に示した、本研究における発電所は火力発電所を表す。発電端型と需要端型の2通りに加え、吉延(2005)¹⁾が示した発電端型と需要端型の中間的な取扱方法を「ハイブリッド型」と定義し、CO₂排出量を算出した。発電端型は発電所から排出されるCO₂はすべて電気事業者からの排出とみなし、需要端型は産業の各部門における電力消費に伴うCO₂は需要者側の直接分の排出として配分する。ハイブリッド型は、発電のために消費したエネルギー分のCO₂排出量は電気事業者側に配分し、供給した電力の消費によるCO₂排出量は需要者側に配分した。

表-1 電力の取扱方法

		排出責任者	CO ₂ 排出量の配分方法
発電端型	電気事業者		地域内の発電所で、発電用に消費された化石燃料等の消費量を計算し、各燃料種の排出係数を乗じてCO ₂ 排出量を算定する。
	需要者		電力の消費に伴うCO ₂ 排出量は算定しない。
需要端型	電気事業者		地域内の発電所で、発電用に消費された化石燃料等の消費量を所内率・送配電損失率を乗じて自家消費相当の燃料消費量を計算し、各燃料種の排出係数を乗じてCO ₂ 排出量を算定する。
	需要者		各産業部門の電力消費に排出係数を乗じてCO ₂ 排出量を算定する。なお、その排出係数は、電気事業者は自家消費分を差引いた燃料消費量から計算したCO ₂ 排出量を、供給電力量で除して排出係数を計算する。
ハイブリッド型	電気事業者		地域内の発電所で、発電用に消費された化石燃料等の消費量の転換ロス相当の燃料消費量を計算し、各燃料種の排出係数を乗じてCO ₂ 排出量を算定する。
	需要者		各産業部門の電力消費に排出係数を乗じてCO ₂ 排出量を算定する。なお、その排出係数は、電気事業者は転換ロス分を差引いた燃料消費量から計算したCO ₂ 排出量を、供給電力量で除して排出係数を計算する。

(3) 分析モデル

各産業の直接CO₂排出量は各種統計表により推計して求めるが、間接CO₂排出量は内包CO₂排出量を合計して求める必要がある。各産業の財・サービスの生産において消費されたCO₂排出量を推計するためには、各産業別の内包CO₂原単位が必要となる。内包CO₂原単位の算出とカーボンバランス式は、南斎(2002,2003)⁶⁾ ⁷⁾が示した環境負荷の原単位の計算方法に従った。

国の内包CO₂原単位 ε は式(1)で表わされる。

$$\varepsilon = (\lambda \hat{M}A + d)[I - (1 - \hat{M})A]^{-1} \quad (1)$$

都市の内包CO₂原単位 γ は式(2)で表わされる。

$$\gamma = (\varepsilon \hat{M}A + d)[I - (1 - \hat{M})A]^{-1} \quad (2)$$

ここで、 λ は移輸入される域外財の内包CO₂原単位、 \hat{M} は移輸入を対角要素とする対角行列、 A は中間投入行列、 d は生産単位当たり直接CO₂ベクトル、 I は総生産額ベクトルである。

産業連関分析モデルにより、式(3)と式(4)を解くと、エネルギーバランスを得る。これに従って、推計された内包CO₂原単位により、内包CO₂排出量、間接CO₂排出量、責任CO₂排出量を算出した。

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i X_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_i (1 - m_i) x_{i,j} + \sum_{i=1}^n \gamma_i (1 - m_i) F_i^d + \sum_{i=1}^n \gamma_i EXP_i \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \gamma_j X_j = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \gamma_i (1 - m_i) x_{i,j} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \varepsilon_i m_i x_{i,j} + \sum_{j=1}^n D_j \quad (4)$$

ここで、 γ_i 、 γ_j は都市の各域内の i 産業、 j 産業で生産される財の内包CO₂原単位、 X_i 、 X_j は i 産業又は j 産業の総生産額、 m_i は i 産業の輸入率、 $x_{i,j}$ は i 産業から j 産業への中間財投入額、 F_i^d は i 産業の国内最終需要額、 EXP_i は i 産業の移輸出、 ε_i は国内の i 産業で生産される財の内包CO₂原単位、 D_j は j 産業の直接CO₂排出量、 n は業種数である。

(4) 分析データ

a) 分析対象

対象都市は、政令指定都市で産業連関表を作成している札幌市、横浜市、神戸市、広島市、北九州市、福岡市の6都市を対象とした。対象年度は1980年度、2000年度とした。ただし、広島市においては、1980年度に産業連関表を作成していないため、1985年度データを使用した。

b) 産業連関表及びエネルギーバランス表

各都市の産業連関表の産業分類は様々である。産業連関分析をするため、表-2に示すとおり6都市の産業分類を分割・統合し、24分類とした。また、各都市は、エネルギーバランス表を作成していないため、表-3に示すとおり、各種統計によりエネルギーの最終消費を推計した。

表-2 産業連関表の産業分類

産業区分	産業分類
第一次産業	1 農林水産業
	2 鉱業
第二次産業	3 食料品
	4 繊維製品
	5 パルプ・紙・木製品
	6 化学製品
	7 石油・石炭製品
	8 窯業・土石製品
	9 鉄鋼
	10 非鉄金属
	11 金属製品
	12 一般機械
13 電気機械	
14 輸送機械	
15 精密機械	
16 その他の製造工業製品	
第三次産業	17 建設
	18 電力・ガス・水道
	19 商業
	20 金融・保険
	21 不動産
	22 運輸・通信
	23 公務
	24 その他サービス業

表-3 エネルギーバランスの産業分類と消費量の推計方法

産業分類		石炭	石油	石炭・石油製品	電気	薪炭
転換	電気	※1	※1	※1		
	ガス	※2	※2	※2		
産業	農林水産業	※3	※3	※3	※3	※3
	鉱業	※3	※3	※3	※3	※3
	食料品	※4	※4	※4	※5	※4
	繊維製品	※4	※4	※4	※5	※4
	パルプ・紙・木製品	※4	※4	※4	※5	※4
	化学製品	※4	※4	※4	※5	※4
	石油・石炭製品	※4	※4	※4	※5	※4
	窯業・土石製品	※4	※4	※4	※5	※4
	鉄鋼	※4	※4	※4	※5	※4
	非鉄金属	※4	※4	※4	※5	※4
	金属製品	※4	※4	※4	※5	※4
	一般機械	※4	※4	※4	※5	※4
	電気機械	※4	※4	※4	※5	※4
	輸送機械	※4	※4	※4	※5	※4
	精密機械	※4	※4	※4	※5	※4
	その他の製造工業製品	※4	※4	※4	※5	※4
業務	建設	※3	※3	※3	※3	※3
	商業	※3	※3	※3	※3	※3
	金融・保険	※3	※3	※3	※3	※3
	不動産	※3	※3	※3	※3	※3
	運輸(交通を含む)・通信	※3	※3	※3	※3	※3
	公務	※3	※3	※3	※3	※3
その他サービス業	※3	※3	※3	※3	※3	
家庭	※6	※6	※6	※6	※6	
自動車			※7			

※1 「電力需給の概要(各年度)」の発電所別発電実績

※2 「ガス事業年報(各年度)」の製造

※3 「全国エネルギー統計(各年度)」の全国値より推計

※4 「石油等消費構造統計(各年度)」の燃料別の消費

※5 「石油等消費構造統計(各年度)」の電力の購入、自家発電、消費・販売

※6 「家庭用エネルギーハンドブック」の地域別エネルギー消費量

※7 「全国エネルギー統計(各年度)」、「大都市比較統計年報」により推計

3. 分析結果

(1) 都市の産業構造

各都市の産業構成比を表-4に示す。1980年度から2000年度までに、北九州市、横浜市、神戸市、広島市の順で、第二次産業から第三次産業へ移行する割合が高い。

各都市の産業分類の特化係数を表-5に示す。特化係数とは、産業別生産額について、都市の構成比を全国の構成比で除したもので、1.0を超える産業は全国水準より当該産業のウェイトが高いことを示す。分析の結果、6都市すべてが第三次産業に特化していた。また、横浜市、北九州市は、1980年度は第二次産業の特化係数が全国水準を上回っていたが、2000年度は下回っている。

表-4 各都市の産業構成比

		(単位：%)		
		第一次産業	第二次産業	第三次産業
札幌市	1980	0.7	13.7	85.6
	2000	0.2	6.8	93.0
横浜市	1980	0.2	44.8	55.0
	2000	0.1	25.5	74.4
神戸市	1980	0.5	39.6	60.0
	2000	0.2	23.8	76.0
広島市	1985	0.4	31.1	68.6
	2000	0.2	20.2	79.6
北九州市	1980	1.1	55.9	43.0
	2000	0.7	32.1	67.1
福岡市	1980	1.1	12.3	86.7
	2000	0.2	7.3	92.5

表-5 各都市の特化係数

		第一次産業	第二次産業	第三次産業
札幌市	1980	0.21	0.32	1.60
	2000	0.07	0.16	1.74
横浜市	1980	0.06	1.04	1.03
	2000	0.02	0.59	1.39
神戸市	1980	0.14	0.92	1.12
	2000	0.07	0.55	1.42
広島市	1985	0.11	0.72	1.28
	2000	0.06	0.47	1.49
北九州市	1980	0.34	1.29	0.80
	2000	0.21	0.74	1.26
福岡市	1980	0.31	0.28	1.62
	2000	0.05	0.17	1.73

(2) 電力の取扱方法に係る比較

発電端型(a)、需要端型(b)、ハイブリッド型(c)の電力の取扱方法別で算出したCO₂排出量を表-6に示した。また、発電端型をベースとして需要端型とハイブリッド型のCO₂排出量の変化率を比較した結果を表-7に示した。

表-6から、横浜市以外の直接CO₂排出量は、需要端型、発電端型、ハイブリッド型の順で大きくなり、6都市すべての総CO₂排出量及び責任CO₂排出量は、需要端型、発電端型、ハイブリッド型の順で大きく算出された。表-7により、発電端型と需要端型で比較すると、横

浜市の直接CO₂排出量以外、直接・間接・責任CO₂排出量は需要端型で大きくなっている。多くの都市では、市内の電力需要を市内で賄えず、市域外の発電に依存していることを示している。また、横浜市の直接CO₂排出量が需要端型より発電端型で大きいのは、市内の発電所の電力が市域外でも消費されていることがわかる。

また、発電端型とハイブリッド型を比較すると、発電端型よりハイブリッド型の方が直接CO₂排出量が大きい。間接CO₂排出量は小さいため、発電端型とハイブリッド型の総CO₂排出量の変化率は低く、CO₂排出量はほぼ同値であった。

さらに、需要端型とハイブリッド型を比較すると、間接CO₂排出量、総CO₂排出量、責任CO₂排出量は、需要端型がハイブリッド型より2~3割程度大きい値で算出された。これは、需要者側のCO₂排出量から、市域外で発電された電力の転換ロス分が控除されているからであり、発電所における転換ロス分のCO₂排出量も都市のCO₂排出量に大きく影響することがわかる。

(3) 各CO₂排出量の推計

直接CO₂排出量、間接CO₂排出量、総CO₂排出量及び責任CO₂排出量を算出した結果、表-6に示す。

a) 直接CO₂排出量、間接CO₂排出量及び総CO₂排出量

直接CO₂排出量については、第二次産業の割合が多い横浜市、北九州市では排出量が大きく、第三次産業の割合が多い札幌市、福岡市では排出量が小さい。

また、直接CO₂排出量と間接CO₂排出量を比較すると、北九州市以外の5都市は、間接CO₂排出量が直接CO₂排出量より大きく、市域外で生産された財・サービスの消費による間接エネルギーの消費が大きいことを示した。反対に、北九州市は直接CO₂排出量が間接CO₂排出量より大きく、鉄鋼業などの第二次産業における直接エネルギーの消費が大きいと考えられる。

さらに、都市がCO₂排出量の推計で用いる需要端型により、各CO₂排出量を比較すると、北九州市以外の5市では、直接CO₂排出量に比べて間接CO₂排出量は約2~3倍、総CO₂排出量は約3~4倍、値が大きい結果となった。

b) 責任CO₂排出量

責任CO₂排出量については、6都市のうち多くの都市が直接CO₂排出量より大きい値であった。発電端型及び需要端型では北九州市以外の5市に、ハイブリッド型では神戸市と北九州市以外の4市において、責任CO₂排出量が直接CO₂排出量より大きい。都市においては、生産側のCO₂排出量より、消費側のCO₂排出量が大きいと考えられる。

さらに、需要端型により、責任CO₂排出量を直接CO₂排出量と比較すると、神戸市、北九州市以外の4市で、責任CO₂排出量が約2倍大きい値となった。

表-6 直接CO₂排出量, 間接CO₂排出量, 総CO₂排出量
及び責任CO₂排出量 (電力の取扱方法別)

		(単位:×10 ⁶ t-CO ₂)			
発電端型	直接CO ₂ 排出量	間接CO ₂ 排出量	総CO ₂ 排出量	責任CO ₂ 排出量	
札幌市	1980	4.1	7.7	11.8	9.8
	2000	7.4	12.1	19.4	15.0
横浜市	1980	15.4	28.0	43.3	17.7
	2000	18.5	37.0	55.5	29.3
神戸市	1980	8.2	14.8	23.0	8.4
	2000	7.8	18.0	25.9	11.5
広島市	1985	2.7	11.3	13.9	6.9
	2000	3.9	12.4	16.3	8.3
北九州市	1980	25.4	10.2	35.6	7.2
	2000	19.4	20.7	40.1	7.7
福岡市	1980	2.8	6.7	9.4	6.1
	2000	4.1	11.0	15.1	11.1
b. 需要端型					
需要端型	直接CO ₂ 排出量	間接CO ₂ 排出量	総CO ₂ 排出量	責任CO ₂ 排出量	
札幌市	1980	4.9	9.6	14.5	11.8
	2000	10.2	15.0	25.2	18.7
横浜市	1980	13.2	35.3	48.5	19.3
	2000	18.0	45.5	63.5	32.5
神戸市	1980	10.4	18.1	28.5	10.4
	2000	11.0	22.0	33.0	14.8
広島市	1985	4.0	13.6	17.6	8.5
	2000	6.2	15.3	21.5	10.7
北九州市	1980	30.7	12.7	43.3	8.9
	2000	24.7	24.4	49.2	10.1
福岡市	1980	3.8	8.2	12.0	7.6
	2000	6.7	13.5	20.2	14.3
c. ハイブリッド型					
ハイブリッド型	直接CO ₂ 排出量	間接CO ₂ 排出量	総CO ₂ 排出量	責任CO ₂ 排出量	
札幌市	1980	4.4	7.3	11.7	9.7
	2000	8.6	11.8	20.4	15.5
横浜市	1980	13.2	27.9	41.1	16.6
	2000	16.7	36.3	53.0	27.4
神戸市	1980	9.1	13.9	23.0	8.2
	2000	9.2	18.0	27.3	12.0
広島市	1985	3.2	11.2	14.4	7.1
	2000	4.9	12.3	17.3	8.7
北九州市	1980	27.6	10.2	37.8	7.5
	2000	21.7	21.3	43.1	8.3
福岡市	1980	3.2	6.3	9.5	6.1
	2000	5.2	10.3	15.6	11.3

表-7 発電端型と比較した需要端型・ハイブリッド型の変化率

		単位: %							
		直接CO ₂ 排出量		間接CO ₂ 排出量		総CO ₂ 排出量		責任CO ₂ 排出量	
電力の取扱別*		b	c	b	c	b	c	b	c
札幌市	1980	19.5	7.3	24.7	-5.2	22.9	-0.8	20.4	-1.0
	2000	37.8	16.2	24.0	-2.5	29.9	5.2	24.7	3.3
横浜市	1980	-14.3	-14.3	26.1	-0.4	12.0	-5.1	9.0	-6.2
	2000	-2.7	-9.7	23.0	-1.9	14.4	-4.5	10.9	-6.5
神戸市	1980	26.8	11.0	22.3	-6.1	23.9	0.0	23.8	-2.4
	2000	41.0	17.9	22.2	0.0	27.4	5.4	28.7	4.3
広島市	1985	48.1	18.5	20.4	-0.9	26.6	3.6	23.2	2.9
	2000	59.0	25.6	23.4	-0.8	31.9	6.1	28.9	4.8
北九州市	1980	20.9	8.7	24.5	0.0	21.6	6.2	23.6	4.2
	2000	27.3	11.9	17.9	2.9	22.7	7.5	31.2	7.8
福岡市	1980	35.7	14.3	22.4	-6.0	27.7	1.1	24.6	0.0
	2000	63.4	26.8	22.7	-6.4	33.8	3.3	28.8	1.8

※bは需要端型, cはハイブリッド型

(4) CO₂排出量の長期変化

1980年度から2000年度までの20年間の変化における直接CO₂排出量, 総CO₂排出量, 責任CO₂排出量の後値及び変化率を分析した結果を, 表-8に示した. なお, 後値は2000年度排出量を1980年度排出量で除して算出した.

a) 直接CO₂排出量

直接CO₂排出量は, 鉄鋼業などの第二次産業の割合が高い神戸市, 北九州市において減少している, また, 第三次産業の割合が高い札幌市, 広島市, 福岡市において増加が大きい. 特に, 札幌市, 福岡市は, 市域内に発電所がない条件で発電端型と需要端型の増加率の差が大きいことから, 電力使用が増加していると考えられる.

b) 総CO₂排出量

総CO₂排出量は, 6都市すべてにおいて増加し, 第三次産業に特化している札幌市及び福岡市の増加率が高い. 1990年度に第二次産業に特化していた横浜市と北九州市も, 2000年度には第三次産業の割合が多くなり, 総CO₂排出量が増加している.

c) 責任CO₂排出量

責任CO₂排出量は, 6都市すべて増加していた. 直接CO₂排出量は, 第二次産業の割合が高い都市は減少傾向, 第三次産業の割合が高い都市は増加傾向にあったが, 責任CO₂排出量は, すべての都市で増加傾向にあることが示された.

表-8 1980年度～2000年度の各CO₂排出量の後値及び変化率 (単位: %)

直接CO ₂ 排出量	発電端型		需要端型		ハイブリッド型	
	後値	変化率	後値	変化率	後値	変化率
札幌市	179.0	79.0	206.0	106.0	193.0	93.0
横浜市	120.0	20.0	136.0	36.0	127.0	27.0
神戸市	95.0	-5.0	106.0	6.0	101.0	1.0
広島市	147.0	47.0	155.0	55.0	155.0	55.0
北九州市	76.0	-24.0	81.0	-19.0	79.0	-21.0
福岡市	147.0	47.0	177.0	77.0	164.0	64.0
総CO ₂ 排出量	発電端型		需要端型		ハイブリッド型	
	後値	変化率	後値	変化率	後値	変化率
札幌市	164.0	64.0	174.0	74.0	174.0	74.0
横浜市	128.0	28.0	131.0	31.0	129.0	29.0
神戸市	112.0	12.0	116.0	16.0	118.0	18.0
広島市	117.0	17.0	122.0	22.0	120.0	20.0
北九州市	113.0	13.0	113.0	13.0	114.0	14.0
福岡市	160.0	60.0	168.0	68.0	163.0	63.0
責任CO ₂ 排出量	発電端型		需要端型		ハイブリッド型	
	後値	変化率	後値	変化率	後値	変化率
札幌市	153.0	53.0	158.0	58.0	160.0	60.0
横浜市	165.0	65.0	168.0	68.0	165.0	65.0
神戸市	136.0	36.0	142.0	42.0	146.0	46.0
広島市	120.0	20.0	126.0	26.0	123.0	23.0
北九州市	108.0	8.0	113.0	13.0	111.0	11.0
福岡市	182.0	82.0	188.0	88.0	187.0	87.0

(5) 都市特性と一人当たりの責任CO₂排出量の関係

a) 第三次産業(サービス業)の割合との関係

第三次産業の割合について、直接CO₂排出量との関係性を図-2に、責任CO₂排出量との関係性を図-3に示す。なお、図-2、図-3はハイブリット型を例示した。

1980年度から2000年度にかけて、全ての都市が第三次産業の割合が高くなっている。鉄鋼業などの第二次産業の割合が高かった神戸市と北九州市は、産業構造が第三次産業に移行し、一人当たりの直接CO₂排出量が減少している。また、札幌市、広島市、福岡市は、第三次産業の割合がさらに高くなり、一人当たりの直接CO₂排出量が増加している。

しかし、6都市すべてが、第三次産業の割合が高くな

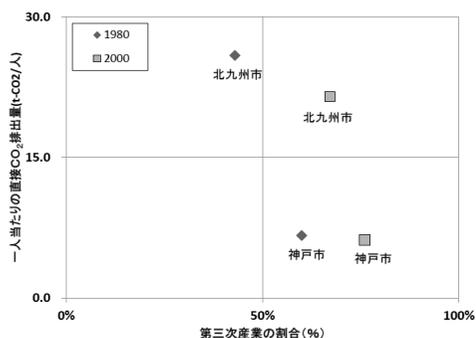


図-2 第三次産業の割合と直接CO₂排出量との関係

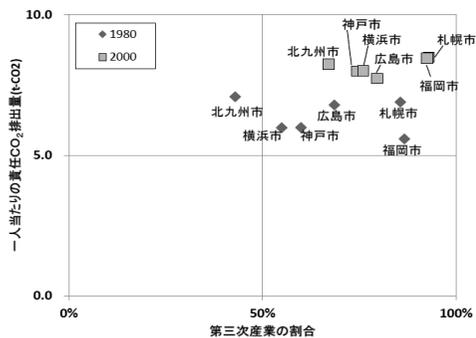


図-3 第三次産業の割合と責任CO₂排出量との関係

るにつれ、一人当たりの責任CO₂排出量が増加している。

b) 一人当たりの市内総生産の割合との関係

一人当たりの市内総生産について、直接CO₂排出量との関係を図-4に、責任CO₂排出量との関係を図-5に示す。なお、図-4、図-5はハイブリット型を例示した。

1980年度から2000年度にかけて、すべての都市が一人当たりの市内総生産が増加している。一人当たりの市内総生産の増加に対して、神戸市と北九州市は一人当たりの直接CO₂排出量は減少し、札幌市、広島市及び福岡市は一人当たりの直接CO₂排出量が増加している。

しかし、第三次産業の割合同様に、6都市すべてが、一人当たりの市内総生産が増加するにつれ、一人当たりの責任CO₂排出量が増加している。

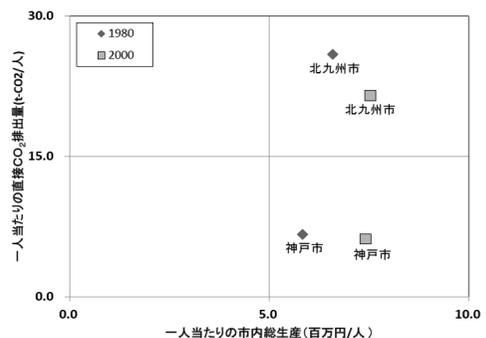


図-4 市内総生産と直接CO₂排出量との関係

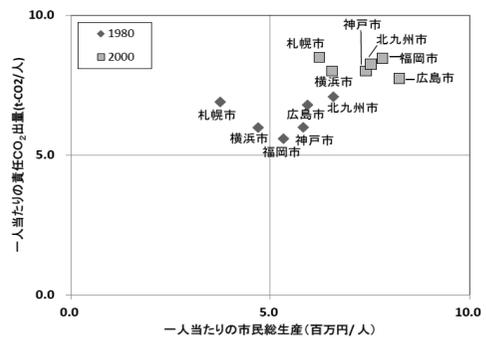


図-5 市内総生産と責任CO₂排出量との関係

4. 考察

本研究の分析結果から、考察を以下にまとめる。

- 1) 都市は、市域内の電力需要を市域内でまかなえないため、市域外の発電に依存している。そのため、発電端型、需要端型、ハイブリッド型の電力の取扱方法により、都市の直接・間接CO₂排出量、責任CO₂排出量が大きく異なる。特に、都市のCO₂排出量では、「需要端型」と「ハイブリッド型」は近い値を示し、都市がCO₂排出量の推計で用いる「需要端型」は、それら2つの方法より、各CO₂排出量の値が大きく算出された。
- 2) 多くの都市では、直接CO₂排出量より間接CO₂排出量が多い結果となった。また、直接CO₂排出量より責任CO₂排出量が多い都市が多く、第三次産業の割合が高い都市でその傾向が強くと示された。
- 3) 1980年度から2000年度の長期変化において、直接CO₂排出量は、第二次産業の割合が高い都市は減少傾向、第三次産業の割合が高い都市は増加傾向にあった。一方で、責任CO₂排出量は、すべての都市で増加傾向にあり、都市の排出責任が大きくなっていった。
- 4) 都市が、第三次産業に移行するに伴い、一人当たり責任CO₂排出量が増加していた。加えて、都市における一人当たりの市内総生産が高くなるに伴い、一人当たり責任CO₂排出量が増加していた。

以上のことから、都市特性とCO₂排出構造とは、密接な関係がある。都市における温暖化対策は、移輸入・移輸出等の間接的エネルギー消費を考慮しなければ効果的な対策にならない。

本研究で扱った責任CO₂排出量は、生産側にCO₂削減を求めるだけでなく、消費側にCO₂削減を求めるもの

であり、今後の都市のCO₂削減の取組には市域内における消費活動に着目することも重要である。

参考文献

- 1) 吉延広枝, 金子慎治, 市橋勝: 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, 環境システム研究, Vol.33, pp.389-397, 2005
- 2) Costanza, R. and Herendeen, R.A.: Embodied energy and economic value in the United States economy: 1963, 1967, 1972, Resource and Energy, Vol. 6, pp. 129-163, 1984
- 3) 金川琢, 井村秀文: 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, 環境システム研究, Vol.21, pp.186-191, 1993
- 4) Lenzen, M., PADE, L. and Munksgaard, J.: CO₂ Multipliers in Multi-region Input-Output Models, Energy systems Research, Vol.16(4), pp. 391-412, 2004
- 5) 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
- 6) 南斎規介, 森口祐一, 東野達: 産業連関表による環境負荷単位データブック(3EID) - LCAのイベントリデータとして -, (CGER) Report, 2002
- 7) Nansai, K., Moriguchi, Y. and Tohono, S.: Compilation and Application of Japanese Inventories for Energy Consumption and Air Pollutant Emissions Using Input - Output Tables, Environmental Science & Technology, Vol.37, pp.2005-2015, 2003
- 8) J.C.Minx, T. et al.: Input-Output Analysis and Carbon Foot printing: An Overview of Applications, economic Systems Research, Vol21(3), pp187-216, 2009

(2014. 7.11 受付)

Comparative Study on Long-term Changes in Responsible Carbon Dioxide Emissions across Large Cities in Japan

Kae Murakami, Shinji Kaneko

Urban economy has higher externally dependent structure and thus goods and services are imported. One can argue that cities indirectly consume embodied energy in imported commodities. Therefore, cities are required to pay attentions to carbon dioxide (CO₂) emissions not only the directly emitted emissions in the city boundary, but also the emissions associated with the embodied energy. In order to reflect these characteristics of cities, we proposed responsible CO₂ emissions in the previous work. In order to further improve our understanding on responsible CO₂ emissions, this paper compares responsible CO₂ emissions in terms of 1) six large cities in Japan that have different industrial structures, 2) long time changes between 1980 and 2000, and 3) different carbon accounting methods applied to electricity consumption. The study found that per capita direct CO₂ emissions decreases in industrial cities whereas increase in service cities. However, per capita responsible CO₂ emissions increases for all the study cities.