CO₂削減のための共同実施における戦略およびその改善方策の研究

正員 松橋隆治、石谷久 東京大学

STUDY ON STRATEGIES IN JOINT IMPLEMENTATION AND ITS IMPROVEMENT TO REDUCE CO₂ EMISSIONS
R. MATSUHASHI and H. ISHITANI, Member (The University of Tokyo)

In order to reduce greenhouse gas emissions, we have to introduce measures to suppress economic differences between developed countries (DC) and less developed countries (LDC) as well as accelerate technology improvement. In this sense, Joint Implementation (JI) is a promising measure not only to economically reduce greenhouse gas emissions, but also to facilitate technology transfer from DC to LDC. In this article, we first investigated JI strategies, in which LDC can improve industrial energy efficiency under financial support of DC. Strategies of countries involved in JI was represented with Stackelberg game. Analytical results revealed that JI activities may considerably be diminished in Stackelberg equilibrium, depending on shapes of the marginal cost functions of reducing CO₂. Therefore we proposed measures to prevent the suppression of JI and quantitatively evaluated the potential of this improved JI system. As far as actual data on economy and industry are concerned, we used the ones of Japan and China, since China has been rapidly increasing its economic scale and greenhouse gas emissions. However implications from these analyses are useful also for other countries.

キーワード: 共同実施; CO₂削減; ゲーム理論; シュタッケルベルグ均衡; 先進国; 発展途上国.

1. はじめに

著者らは、これまで持続可能な発展のために必要な技術開発という観点から分析を進めてきた。⁽⁵⁾それによると、持続可能限界の概念は、技術および需要の変化率と資源または環境排出物の耐用年数の関連から導かれた。

ここでの分析によると、多くの資源および環境排出物、特にエネルギー資源と CO₂ は、持続可能限界上に達していない、すなわち持続不可能な状態にあることが明らかになった。⁽⁵⁾それでは、これらの持続不可能と判定された資源及び環境排出物は今後、人類社会全体に如何なる影響を及ぼすだろうか。

例えば、ある資源の需給が逼迫すると、市場メカニズムにより、その価格が上昇する。これが、石油危機時に観測されたように、需要の急激な減少と、経済成長の大幅な鈍化ないしはマイナス成長という事態を引き起こすと、社会の持続可能性が脅かされる可能性もある。このように、人類の側から見ると、持続的な経済成長は社会を安定させるための必要条件であり、持続可能な経済成長率という概念が考えられる。(ただし、持続可能な経済成長率の値自身は、当該国の発展段階、文化、宗教、民族の多様性などの複雑な要因により影響されるため、定量的評価は困難であろう。)したがって、資源・環境の持続可能性は、市場メカニズムを通じて、人類社会の持続可能性を脅かすことになるのである。

このようなエネルギー資源の持続可能性の悪化→経済の持続的成長の危機という事態は、エネルギー資源の海外依存度の高い先進国、発展途上国に深刻な影響をもたらす。特に、価格急騰時にエネルギー資源を確保できない経済力の

乏しい国に被害が集中し、貧富の差が益々拡大して、南から北への大量の難民や資源をめぐる地域紛争の勃発という形で破局が起こる可能性がある。

すなわち、資源・環境の持続可能性の悪化は、世界的な貧富の格差、いわゆる分配の不公平の問題と相俟って、人類の持続可能な発展を脅かす力があるのである。図1には、資源・環境の持続可能性の悪化が破局を引き起こす場合と破局が回避される場合を単純化して示す。

図1. 持続可能性と分配の問題の関連性

Fig.1. Relationship between sustainability and distribution of wealth.

以上の考察から、次のように考えることができる。資源・環境の持続可能性は市場メカニズムを通じて、社会(経済)の持

続可能性に影響を及ぼす。しかしながら、資源、環境の持続可能性の悪化が、社会(経済)の持続可能性の悪化を招いた場合においても、分配の不平等(南北格差)の度合いによって、破局の起こる場合と起こらない場合が有り得る。換言すれば、資源、環境の持続可能性を改善するだけでなく、南北格差を縮小することも、破局の可能性を低減する重要な方策である。

このような観点から、持続可能性を脅かす貧富の格差を縮小し、なおかつ環境改善をおこなう国際的な枠組みの一つとして、共同実施活動が注目されている。COP3京都会議においては、Joint Implementation (JI) という従来の言葉は採択されなかったが、ほぼ同等の内容を持つと考えられる Clean Development Mechanism という言葉が採択された。いずれにしても、共同実施活動は、経済的に温室効果ガスを削減するためだけでなく、先進国から途上国への技術移転を促進し、南北格差を是正するという点からも期待の大きい方策である。それゆえ、著者は共同実施の戦略をゲーム理論を用いて分析した。その結果、共同実施に関する国が自国の利益の最大化を目的として行動する場合、共同実施の余地が本来のものより縮小することを明らかにした。⁽¹⁾ 他方、環境比較優位の概念に基づき、多国間の最適な産業配置とそれによるCO₂削減の可能性をも分析してきた。⁽⁴⁾ 本稿では、両概念を踏まえた上で、両者を融合した実行可能なCO₂削減方策の可能性を検討する。

実データについては、日本と中国の産業連関表を利用した。これは、中国の近年の急速な経済発展により、地球環境問題を考える上で重要な国になりつつあり、また日本と共同実施をおこなう上で有望な対象国になりうるとの視点からである。ただし、本稿での分析から得られた示唆は、他の国々に対しても適用できる一般性のあるものである。

2. 共同実施プログラム

〈2.1〉 共同実施プログラムの概要 共同実施の基本概念を図2に示す。図2において、先進国に課せられたCO₂削減量を X_1 とし、発展途上国に課せられたCO₂削減量を $X_T - X_1$ とする。さらに、先進国のCO₂削減のための限界費用曲線を x 軸上の原点から正方向に描き、途上国のCO₂削減のための限界費用曲線を x 軸上の X_1 から負方向に描くと図2が得られる。定義により、先進国と途上国のCO₂削減に必要な総費用は、各々の限界費用曲線を削減量に当たる部分において積分することにより得られる。しかしながら、図から分かるように両国の削減費用の和を最小にする点は X_0 である。すなわち、先進国は、自国内でのCO₂発生量を X_0 だけ削減し、途上国は自国内のCO₂発生量を $X_T - X_0$ だけ削減する。ただし、途上国の当初の削減割当量から増加した分($X_1 - X_0$)については、先進国の資金と技術援助の下でおこなうことになる。この共同実施プログラムの実行により、両国のCO₂削減のための支出の合計が、図2の灰色部分の面積に相当する額だけ少なくなる。これを共同実施によって生み出される余剰利益とよび、 $X_1 - X_0$ のことを削減移転とよぶことにする。

この共同実施のメカニズムにより、CO₂を経済的に削減できる一方では、途上国における雇用と経済発展にも寄与できる可能性がある。しかし、先進国、途上国の双方が自国の利益を最大にしようという目的の基に行動した場合、必ずしも共同実施のメカニズムが完全に働かない場合がありうる。

著者は、先進国、途上国の双方の戦略をゲーム理論を用いて分析し、その実現可能性を検討してきた。⁽¹⁾

図2. 共同実施プログラムの基本概念

Fig.2. Basic scheme of joint implementation program.

〈2.2〉 共同実施ゲームの前提条件 本節では、文献⁽¹⁾の内容を改訂し、共同実施ゲームの前提条件を以下のように設定した。

- (i) ここでは、ある先進国と途上国の間で実施される共同実施プログラムを双方の戦略に基づく非協力ゲームとしてモデル化し、均衡点を求める。
- (ii) 両国とも共同実施から得られる利益を最大化するための戦略を採用するものとする。ただし、戦略公表の順序としては、発展途上国が先(leader)で先進国が後(follower)であるようなゲームと、先進国が先で、途上国が後であるようなゲームを考える。
- (iii) すなわち、ここで求める共同実施の解は、ゲーム理論におけるシュタッケルベルグ均衡である。
- (iv) 共同実施に基づく技術移転のための資金援助は、先進国から途上国への援助のみを考え、逆はおこなわれないものとする。すなわち、図2における均衡点 x^* の定義域は、 $X_0 \leq x^* \leq X_1$ とする。
- (v) 関数 $f_0(x)$ は、先進国のCO₂削減のための限界費用曲線であるとする。限界費用曲線の定義により、 $f_0(x)$ は単調増加関数である。
- (vi) 関数 $h_0(x)$ は、途上国のCO₂削減のための限界費用曲線であるとする。定義により $h_0(x)$ は単調増加関数である。また $g_0(x) = h_0(X_T - x)$ とする。 $g_0(x)$ は上述したように、途上国のCO₂削減のための限界費用曲線を x 軸上の X_T から負方向に描いたものであり、単調減少関数となる。
- (vii) 先進、途上国の双方は、共同実施から得られる自国の

- 利益を最適化するように行動するものとする。すなわち、図2で示した余剰利益の自国への配分を最大化する戦略を採用する。これを利益最適化戦略とよぶことにする。
- (viii) この場合の余剰利益の配分過程を以下のように設定する。まず、途上国は、先進国の削減義務の一部を引き受けることを表明し、その引き受け価格 k (CO₂ 1t当り) を提示する。(これは CO₂ 排出権市場における排出権価格に相当するものである。) すなわち、途上国は、引き受け価格を操作変数として、余剰利益の自国への配分を最大化する戦略を採用するものとする。
- (ix) 他方、先進国は、表明された価格に対し、削減移転量 $X_1 - x^*$ を提示する。すなわち先進国は、 x^* の値を操作変数として余剰利益の自国への配分を最大化する戦略を採用するものとする。
- (x) 途上国、先進国が上述した戦略を採用した場合の均衡点において、両国が共同実施から得る利益を図3に示す。以上は、途上国が leader である場合の均衡点決定までのプロセスである。先進国が leader である場合の均衡点決定までのプロセスについては 3.1.2 で述べる。
- (xi) k^* , x^* ($X_0 \leq x^* \leq X_1$) をこの共同実施ゲームの均衡点とする。

図3. 先進国、途上国双方の利益(途上国が leader の場合)

Fig.3. Benefit of a developed and a developing country in the case the latter is a leader.

3. 共同実施ゲームの均衡点の導出

<3.1> 途上国が leader である場合の Stackelberg 均衡

先進国・途上国の利益を $M_D \cdot M_L$ とする。ゲームの leader である途上国によって、ある引き受け価格 k が提示された場合、先進国の最適戦略は(1)式を満たすので、これより x^* は k の関数とみなしうる。これを考慮に入れた上で、途上国は(2)式を最大にする k^* を提示する。この手続きにより、途上国が先に戦略を宣言する場合のシュタッケルベルグ均衡における k^* , x^* が求められる。

$$\partial M_D / \partial x = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\partial M_L / \partial k = 0 \dots\dots\dots(2)$$

また、先進国、途上国双方の利益はそれぞれ、(3)式、(4)式で表される。

$$M_D = \int_0^{X_1} f_0 dx - \int_0^x f_0 dx - k \times (X_1 - x) \dots\dots\dots(3)$$

$$M_L = k \times (X_1 - x) - \int_x^{X_1} g_0 dx \dots\dots\dots(4)$$

(1)、(3)式より、(5)式が得られる。

$$\partial M_D / \partial x = -f_0(x) + k$$

$$f_0(x^*) = k \dots\dots\dots(5)$$

(5)式より、先進国は、途上国がある k を提示したときには、 $f_0(x)$ が単調増加であることから、 $f_0(x^*) = k$ を満たす x^* を提示するのが最善の戦略となる。この先進国の反応を考慮した上で、途上国にとって最適戦略となる k^* の値は(6)式で得られる。

$$\partial M_L / \partial k = (X_1 - x^*) - k \times \partial x^* / \partial k + g_0(x^*) \times \partial x^* / \partial k$$

$$(X_1 - x^*) - k^* \times \partial x^* / \partial k + g_0(x^*) \times \partial x^* / \partial k = 0 \dots\dots(6)$$

(5)式を k で微分して、

$$\partial f_0 / \partial x^* \times \partial x^* / \partial k = 1$$

$$\therefore \partial x^* / \partial k = \frac{1}{\partial f_0 / \partial x^*} \dots\dots\dots(7)$$

(7)式を(6)式に代入すると、

$$(X_1 - x^*) - \frac{k^*}{\partial f_0 / \partial x^*} + \frac{g_0(x^*)}{\partial f_0 / \partial x^*} = 0$$

$$\therefore k^* = (X_1 - x^*) \times \partial f_0 / \partial x^* + g_0(x^*) \dots\dots\dots(8)$$

(5)、(8)式より、

$$f_0(x^*) = (X_1 - x^*) \times \partial f_0 / \partial x^*|_{x=x^*} + g_0(x^*) \dots\dots\dots(9)$$

したがってこの場合、両国の利益最適化戦略の均衡点として、(9)式を満たす x^* で排出削減量の分配が行われる。(9)式から分かるように、一般には、 $X_0 \leq x^* \leq X_1$ を満たし、共同実施の余地は縮小する傾向にあるが、この点の定量的検討は4章においておこなう。

<3.2> 先進国が leader である場合の Stackelberg 均衡

前節とは逆に、ゲームの leader である先進国によってある引き受け価格 k が提示された場合、途上国の最適戦略は(1')式を満たすので、これより x^* は k の関数とみなしうる。これを考慮に入れた上で、先進国は(2')式を最大にする k^* を提示する。この手続きにより、先進国が先に戦略を宣言する場合のシュタッケルベルグ均衡における k^* , x^* が求められる。

$$\partial M_L / \partial x = 0 \dots\dots\dots(1')$$

$$\partial M_D / \partial k = 0 \dots\dots\dots(2')$$

このときの先進国、途上国双方の利益は 3.1.1 の(3)式、(4)式と全く同様である。(1')式と(4)式より(5')式が得られる。

$$\partial M_L / \partial x = g_0(x) - k$$

$$g_0(x^*) - k = 0 \dots\dots\dots(5')$$

(5')式より、途上国は、先進国がある k を提示したときには、 $g_0(x)$ が単調減少であることから、 $g_0(x^*) = k$ を満たす x^* を提示するのが最善の戦略となる。この途上国の反応を考慮

した上で、先進国にとって最適戦略となる k^* の値は、(6')式で得られる。

$$\frac{\partial M_D}{\partial k} = -(X_1 - x^*) + k \times \frac{\partial x^*}{\partial k} - f_0(x^*) \times \frac{\partial x^*}{\partial k} - (X_1 - x^*) + k^* \times \frac{\partial x^*}{\partial k} - f_0(x^*) \times \frac{\partial x^*}{\partial k} = 0 \dots (6')$$

ここから、<3.1>節と同様にして(8')式が得られる。

$$\therefore k^* = (X_1 - x^*) \times \frac{\partial g_0}{\partial x^*} + f_0(x^*) \dots (8')$$

(5'), (8')式より、

$$f_0(x^*) = -(X_1 - x^*) \times \frac{\partial g_0}{\partial x^*} \Big|_{x=x^*} + g_0(x^*) \dots (9')$$

したがってこの場合、両国の利益最適化戦略の均衡点として、(9')式を満たす x^* で排出削減量の分配が行われる。<3.1>節と同様に共同実施の余地は縮小する傾向にあるが、この点の定量的検討は4章においておこなう。

4. 共同実施均衡点の定量的評価

<4.1> CO₂削減の限界費用曲線の推定 実際に共同実施がどの程度縮小するかを見極めるには、各国におけるCO₂削減の限界費用曲線を推定する必要がある。そこで、本研究では、日中両国における限界費用曲線を評価した。その際中国については、中国、日本の産業連関表を用いて以下の前提条件の基に推定をおこなった。

- (i) 1987年の中国の産業連関表から、各産業部門の生産額当りのCO₂排出原単位を評価した。⁽⁶⁾
- (ii) 1985年の日本の産業連関表から、各産業部門の生産額当りのCO₂排出原単位を評価した。評価された原単位は中国の値とは2年の差があるが、両国の産業連関表年次の違いから最も近い年であるこのデータを採用した。⁽⁶⁾
- (iii) 中国の排出原単位を日本円ベースに換算する際、その年の為替レートで変換すると、両国の価格差が影響して、物量ベースでの原単位比較と異なる結果が得られる。このため、1987年の中国と1985年の日本の主要商品の単価に基づき、その相対比で原単位の日本円ベースへの換算をおこなった。⁽⁶⁾これにより、日中の物量ベースの原単位比較が可能になる。しかし、各部門毎の単価の差や品質差は考慮されておらず、この点は今後の課題とする。

図4は、日中両国の産業連関表における業種分類を19部門に統合し、各部門における生産額当りのCO₂排出原単位を評価したものである。

図4. 日中の産業部門毎の生産額当りのCO₂排出原単位

Fig.4. CO₂ emission intensity in each industry.

評価された日中の産業部門毎のCO₂排出原単位に基づき、以下の前提条件により、中国におけるCO₂削減の限界費用曲線を推定した。

- (i) 日本の産業連関表および経済統計から各部門における1985年の資本ストックの評価額を引用した。
- (ii) 評価された日本の各産業部門の資本に該当する技術を、中国に設備投資した場合、中国の当該部門におけるCO₂原単位が日本の値と等しくなると仮定した。

他方、日本におけるCO₂削減の限界費用曲線は、技術のエネルギー原単位に関する詳細なデータに基づき推定した。

⁽²⁾また、両国のCO₂削減割当量は、COP3京都会議の結果を踏まえ、以下のように設定した。

- (i) 日本のCO₂削減割当量は、文献(7)の基準ケースにおける2010年のCO₂放出量を1990年の放出量より6%削減できるように設定した。
- (ii) 中国のCO₂削減割当量は、現時点で発展途上国には排出削減枠を設定していないことから、文献(8)における2010年の基準ケースでのCO₂放出量からの削減割り当て量を0とした。

ここで、典型的な共同実施の投資メカニズムを以下のように考える。鉄鋼業部門を例にとると、中国の鉄鋼業においてCO₂排出原単位の大きい年産Atの設備を閉鎖し、日本の技術による最新鋭の年産Atの設備を中国に建設する。この場合、その生産量に相当する鉄鋼製品の原単位が中国の値から日本の値に改善される。図4の鉄鋼業における棒グラフの高さの差は、上の場合の原単位の改善幅を意味する。

上の典型的な共同実施は、同じ業種内での設備の更新をおこなっていた訳であるが、これを異業種間での設備更新に

拡張して考える事も可能である。例えば、鉄鋼業の設備を閉鎖し、それと生産額の等しい機械、機器の設備を建設する。この場合、CO₂排出原単位は中国における鉄鋼業の値から、日本における機械、機器の値に変化する。このような異業種間の共同実施を考慮に含める事により、CO₂削減の限界費用曲線を下方にシフトさせることが可能である。このような異業種間の設備更新を含めて拡張した共同実施戦略を、融合方策ケースと呼ぶことにする。上述した意味で、典型的な共同実施方策は、各業種内での原単位の改善をおこなうものであるのに対し、融合方策とは、産業構造の転換と原単位の改善を同時に引き起こすものである。

融合方策において重要な問題は、上の産業構造の転換が需要の変化と合致するか否かという点である。この点について、日中の二国間貿易を含む形で考えると、リカードの比較優位説で示されているように、両国は、各々が比較優位である産業に生産を特化し、自由貿易をおこなうことにより、その所得の和を最大にすることができる。著者らは、環境面(CO₂排出)を考慮して比較優位の概念を拡張し、日中の最適な産業再配置の検討をおこなってきた。⁽⁴⁾そこで本論文では、文献(4)で有効と評価された産業再配置に基づき、中国における鉄鋼業→機械・機器製造業、および窯業・土石製造業→紙・パルプ製造業の転換を採用した。その他の業種については、典型的な共同実施と同様に部門内での原単位の改善のみを考慮した。

図5は、典型的な共同実施ケースと上述した融合方策ケースにおける限界費用曲線を示したものである。融合方策の採用による中国の限界費用曲線の下方シフトがみてとれる。

図5. 異業種間の設備更新を考慮した限界費用曲線の変化
Fig.5. Marginal cost curves of reducing CO₂ in Japan and in China in the simple and the hybrid joint implementation.

<4.2> 共同実施均衡点の定量的評価 上の共同実施ケースと融合方策ケースの各々について、前章でのモデル解析の結果に基づき、均衡点での日中双方が得る余剰利益を算

定する。具体的な計算方法を以下に示す。

- (i) 両国の限界費用曲線を評価範囲において二次関数により近似する。
- (ii) 近似された関数形に基づき、(9),(9')式および(5),(5')式から、均衡点での x^*, k^* を算定する。
- (iii) 上で算定された x^*, k^* より、(3),(4)式を用いて両国の余剰利益を算定する。

評価された均衡点での日中双方の余剰利益を図6に示す。融合方策の導入により、Stackelberg 均衡点での両国の余剰利益が大幅に増加していることが分かる。これは、異業種間の設備更新を含む拡張した共同実施の有効性を示している。

S 均衡 : Stackelberg 均衡,

JI : 共同実施方策, 融合 : 融合方策

図6. 均衡点での日中双方が得る余剰利益

Fig.6. Benefit of Japan and China in the equilibrium of the joint implementation game.

図7. 各ケースにおける削減移転量と価格

Fig.7. Shift of CO₂ reduction and its price in each case.

次に、排出権市場における排出権取引量と価格に相当する削減移転量と価格を図7に示す。ここでも、融合方策の導入により、日中間での削減移転量が増加し、その取引価格が低下していることが分かる。また、中国が leader である場合と日本が leader である場合を比較すると、日本が leader である場合の方が取引価格が低く、日本への余剰利益配分の増加要因になっていることが分かる。

このように、共同実施において両国が自国の利益最大化を図る場合、均衡点における削減移転量は圧縮されるが、融合方策の導入により共同実施の余地を増加させることが可能である。

5. まとめ

人類の持続可能な発展を実現するためには、資源利用システムの効率を改善すると共に、南北格差を縮小することも重要である。⁽⁹⁾そこで、本稿ではCO₂問題に焦点を当て、経済的にCO₂発生量を削減すると共に、(資金および技術移転の促進により)南北格差を縮小する効果もあると期待される共同実施方策に注目し、その分析をおこなった。具体的には二国間の共同実施における行動を非協力ゲームとしてモデル化し、先進国、発展途上国の双方が自国の利益最大化を目標とした場合の均衡点をStackelberg均衡の概念により求めた。その結果、共同実施の規模が理想の場合より縮小することを解析的に示した。

また、日本と中国の現実のCO₂削減の限界費用曲線を推定し、共同実施の縮小による経済的損失を定量的に示した。さらに、異業種間の設備更新を含む拡張した共同実施(融合方策)により、共同実施の余地を拡大する方法の有効性を示した。

現実の世界において共同実施が施行される形態は定まっていなかったが、政府間交渉により排出削減の移転(排出権の売買)が決定されるものや、民間企業によって自主的に削減移転がおこなわれるものが検討されている。しかし、後者は、まず国家に割り当てられた排出権を、何らかの手段で、各部門、各業種、各企業に割り当てる必要があり、国家内での新たな配分問題が生じると考えられる。著者らは、このような現状に鑑み、少なくとも共同実施の初期においては、国家(政府)が排出権の売買に中心的な役割を果たす方が現実的であり、また比較的關係の深い二国間で始まると考えている。そこで、本論文においては、二国間で削減移転の協議をおこない、その削減移転量および価格を決定するというシナリオの基に分析をおこなった。また、二国間協議の結果が、本論文で前提したような非協力ゲームの結果と一致するとは限らず、政府間の関係により交渉をおこない、よりパレート最適(限界費用曲線の交点における契約の成立)に近い均衡が得られる可能性もある。本論文はその緒についたばかりであり、今後上述した点の検討を深めた上で、さらに現実に近い共同実施システムの分析をおこなう予定である。

(平成10年2月25日受付、平成10年6月16日再受付)

参考文献

- (1) 長尾行造・石谷久・松橋隆治:「CO₂削減に関する2国間J1導入余地拡大のゲーム理論的戦略に基づく考察」, 第13回エネルギーシステム経済コンファレンス(1997)
- (2) 吉田好邦、石谷久、松橋隆治:「CO₂放出量の抑制のためのシステムの対応策の検討」, シミュレーション vol.14, No.1, pp52-57(1995)
- (3) J. Goldemberg et.al.: "Energy for a Sustainable World", World Resources Institute,(1987)
- (4) 尹性二・石谷久・松橋隆治:「産業連関表を用いた日中の2国間の共同実施活動(AIJ)の可能性評価」, エネルギー資源学会第16回研究発表会(1997)
- (5) 松橋隆治:「持続可能なエネルギーシステムのための技術開発と経済方策」, 平成9年度東京大学工学講座「21世紀の工学像を求めて」講演論文集, pp31-48(1997)
- (6) 慶応義塾大学 産業研究所 他:「日中共通分類:エネルギー消費・大気汚染分析用産業連関表」(1995)
- (7) 財団法人 日本エネルギー経済研究所 エネルギー計量分析センター:「平成6年度産業構造変化とエネルギー需要構造変化に関する調査報告書」(1995)
- (8) 松橋隆治・尹性二・吉田好邦・石谷久:「CO₂削減のための共同実施方策と産業再配置方策の比較分析」, 第14回エネルギーシステム経済コンファレンス講演論文集(1998)

松橋隆治 (正員) 1990年東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程修了。同大学資源開発工学科助手を経て、1994年1月東京大学資源開発工学科(現地球システム工学科)助教授に就任。エネルギーシステムを対象とした研究に従事。エネルギー資源学会, IEEE, 電気学会会員。工学博士。

石谷久 (正員) 昭和44年東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程修了。同年東京大学宇宙航空研究所に勤務。同研究所助教授、同大学先端科学技術研究センター勤務を経て、昭和64年東京大学工学部資源開発工学科(現地球システム工学科)教授に就任。工学博士。制御、システム理論の応用に関する研究に従事。エネルギー資源学会, IEEE, 電気学会, シミュレーション学会, 計測自動制御学会会員。