

Title	LCAの概念を利用した技術移転の評価手法と、そのCDMへの応用
Sub Title	
Author	松橋, 隆治(Matsuhashi, Ryuji) 張, 未(Yoshida, Yoshikuni) 吉田, 好邦(Ishitani, Hisashi) 石谷, 久
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	1999
Jtitle	KEO discussion paper. G : 『アジア地域における経済および環境の相互依存と環境保全に関する学際的研究』(KEO discussion paper. G : "Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries"). No.G-53
JaLC DOI	
Abstract	概要人類にとって地域規模や地球規模の環境の悪化は最も重要な問題の一つとなりつつある。人類は経済活動を行う上で、資源の減少と環境に与える影響を考慮し、いわゆる文明の持続的発展を実現しなければならない。また、破局の危険性を低減するため、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重要な方策である。このような観点から、本論文では、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クリーン開発メカニズムに注目し、その分析をおこなった。クリーン開発メカニズムは、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。しかしながら、このようないわゆる柔軟性措置の可能性を検討するに当たって重要なことは、各国における温室効果ガス削減の単価さらには限界費用曲線を推定することである。本研究では、先進国のみならず、途上国でも整備されつつあり、データの統計的信頼性が明らかであり、また一国内の産業を包括的に含んでいる産業連関表を用いて評価をおこなった。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、また日本とクリーン開発メカニズムをおこなう上でも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。
Notes	表紙上部に"日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業複合領域「アジア地域の環境保全」"の表示あり
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000053-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

LCAの概念を利用した技術移転の 評価手法と、そのCDMへの応用

松 橋 隆 治
張 未
吉 田 好 邦
石 谷 久

No.G-53

学振未来 WG2-22

LCA の概念を利用した技術移転の評価手法と、その CDM への応用

松橋隆治、張未、吉田好邦、石谷久

1999年6月

キーワード

ライフサイクルアセスメント (LCA) ; 産業連関表分析 ; 技術移転 ; CDM; CO₂放出; シュタッケルベルグ均衡

概要

人類にとって地域規模や地球規模の環境の悪化は最も重要な問題の一つとなりつつある。人類は経済活動を行う上で、資源の減少と環境に与える影響を考慮し、いわゆる文明の持続的発展を実現しなければならない。また、破局の危険性を低減するため、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重要な方策である。

このような観点から、本論文では、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クリーン開発メカニズムに注目し、その分析をおこなった。クリーン開発メカニズムは、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。しかしながら、このようないわゆる柔軟性措置の可能性を検討するに当たって重要なことは、各国における温室効果ガス削減の単価さらには限界費用曲線を推定することである。本研究では、先進国のみならず、途上国でも整備されつつあり、データの統計的信頼性が明らかであり、また一国内の産業を包括的に含んでいる産業連関表を用いて評価をおこなった。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、また日本とクリーン開発メカニズムをおこなう上でも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。

LCA の概念を利用した技術移転の評価手法と、その CDM への応用

松橋隆治[†]、張未[†]、吉田好邦[†]、石谷久[†]

1999 年 6 月

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、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。

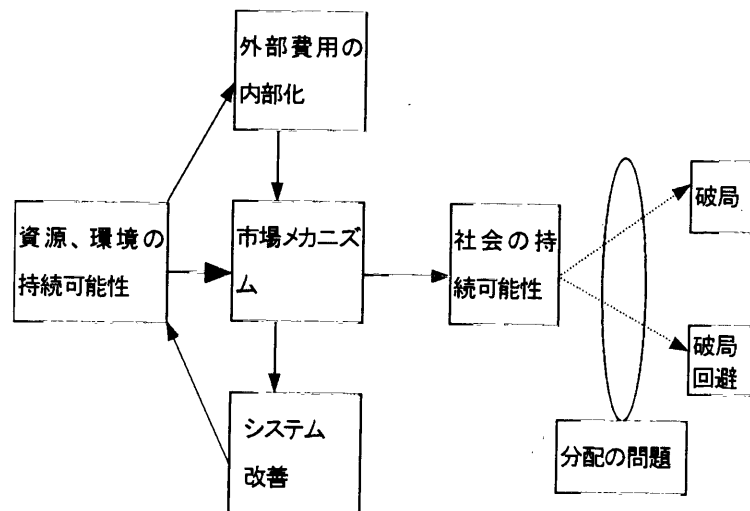


図 1. 持続可能性と分配の問題の関連性

このような観点から、著者らは、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、クリーン開発メカニズムに注目している。クリーン開発メカニズム

(Clean Development Mechanism) は、COP3京都会議においてJoint Implementation (JI) という従来の言葉の代わりに採択された言葉である。いずれにしても、クリーン開発メカニズムは、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、著者らはクリーン開発メカニズムの戦略をゲーム理論を用いて分析してきた。^{(1) (8) (9)} しかしながら、このようないわゆる柔軟性措置の可能性を検討するに当たって重要なことは、ゲーム理論の適用などのテクニカルな問題よりも、各国における温室効果ガス削減の単価さらには限界費用曲線を推定することである。これによって、世界のどの地域にどのような温室効果ガス削減方策が有効であるかが明らかになる。この温室効果ガス削減の限界費用曲線は、包括的な対策を評価でき(エネルギー技術以外の業種も含み)、なおかつ各国間の整合性の取れたデータであることが望ましい。そこで、本研究では、先進国のみならず、途上国でも整備されつつあり、データの統計的信頼性が明らかであり、また一国内の産業を包括的に含んでいる産業連関表を用いて評価をおこなった。産業連関表は、各国の温室効果ガス削減の限界費用曲線を統一された枠組みで算定するためには望ましいものであるが、他方問題点もある。一つの問題点は国により財の相対価格に差があることである。このために、先進国のある技術を途上国に移転した場合の評価に若干の工夫が要ることになる。この点は4章で述べる。

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、また日本とクリーン開発メカニズムをおこなう上でも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。

* この研究は、学術振興会未来開拓技術研究推進事業「アジア地域の環境保全」Work Group2における共同研究としておこなわれた。

† 東京大学大学院工学系研究科 地球システム工学専攻

2. クリーン開発メカニズム

2.1 クリーン開発メカニズム (CDM) の概要

CDM 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 CO_2 削減量を X_1 とし、途上国に課せられた CO_2 削減量を $X_T - X_1$ とする。さらに、先進国の CO_2 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 CO_2 削減のための限界費用曲線を x 軸上の X_T から負方向に描くと図 2 が得られる。定義により、先進国と途上国の CO_2 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 CO_2 発生量を X_0 だけ削減し、途上国は自国内の CO_2 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 CDM の実行により、両国の CO_2 削減費用の合計が、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 CDM 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。

これにより、 CO_2 を経済的に削減できる一方では、途上国における雇用の創出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、必ずしも上のメカニズムが完全に働かない場合がありうる。著者らは、先進国、途上国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) (8) (9)

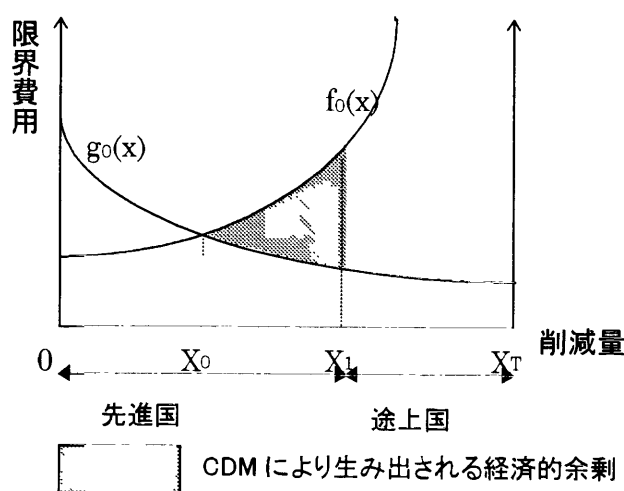


図 2. クリーン開発メカニズム (CDM) の基本概念

2.2 CDM ゲームの前提条件

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

- ここでは、ある先進国と途上国の間で実施される CDM 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。
- 両国とも CDM 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。
- すなわち、ここで求める CDM 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。
- CDM 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。
- 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。
- 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。
- 先進、途上国の双方は、CDM 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。
- この場合の余剰利益の配分過程を次のように設定する。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 1 t 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。
- 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。

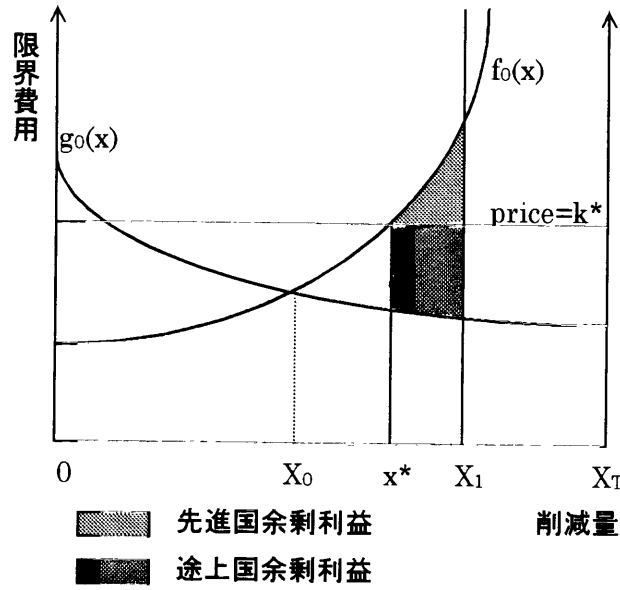


図3. 先進国、途上国双方の利益(途上国が leader の場合)

- 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 CDM 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り、先進国が leader である場合については戦略公表の順序が逆になる。
- k^* , x^* ($X_0 \leq x^* \leq X_1$)をこの CDM の均衡点とする。

3. CDM ゲームの均衡点の導出

3.1 投資の波及効果を考慮しない場合の CDM 均衡点

(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 ・ 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。

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

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

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。

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

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

(1)、(3)式より、(5)式が得られる。

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

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

(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の上で、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。

$$\begin{aligned} \partial M_L / \partial k &= (X_1 - x^*) - k \times \partial x^* / \partial k + g_0(x^*) \times \partial x^* / \partial k \\ (X_1 - x^*) - k^* \times \partial x^* / \partial k + g_0(x^*) \times \partial x^* / \partial k &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

(5)式を k で微分して、

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

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

(7)式を(6)式に代入すると、

$$\begin{aligned} (X_1 - x^*) - \frac{k^*}{\partial f_0 / \partial x^*} + \frac{g_0(x^*)}{\partial f_0 / \partial x^*} &= 0 \\ \therefore k^* &= (X_1 - x^*) \times \partial f_0 / \partial x^* + g_0(x^*) \end{aligned} \quad (8)$$

(5)、(8)式より、

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

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、CDM 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。

(2) 先進国が leader である場合の Stackelberg 均衡

前項とは逆に、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。

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

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

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。

$$\begin{aligned} \partial M_L / \partial x &= g_0(x) - k \\ g_0(x^*) - k &= 0 \end{aligned} \quad (5')$$

(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。

$$\begin{aligned} \partial M_D / \partial k &= -(X_1 - x^*) + k \times \partial x^* / \partial k - f_0(x^*) \times \partial x^* / \partial k \\ &= -(X_1 - x^*) + k^* \times \partial x^* / \partial k - f_0(x^*) \times \partial x^* / \partial k = 0 \quad (6') \end{aligned}$$

ここから、3.1 節と同様にして(8')式が得られる。

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

(5'), (8')式より、

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

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 CDM 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 投資の波及効果を考慮する場合の CDM 均衡点

(1) 途上国が leader である場合の Stackelberg 均衡

ここでは、基本的な枠組みを古典派経済学でなく、ケインズ派経済学に基づくものとする。すなわち、CO₂ 削減技術への投資が、有効需要の創出を通じてマクロ経済に正のインパクトをもたらすものとする。

先進国、途上国の利益を $M_D \cdot M_L$ とすると、均衡点における成立条件は前掲 (1), (2) 式と同様である。

しかし、先進国、途上国の利益を表す (3), (4) 式は以下のように変更される。

$$M_D = (1 - \mu_D T_D) \times \left(\int_0^{X_1} f_0 dx - \int_0^x f_0 dx \right) - k \times (X_1 - x) \quad (3'')$$

$$M_L = k \times (X_1 - x) - (1 - \mu_L T_L) \times \int_x^{X_1} g_0 dx \quad (4'')$$

ここで、 μ_D, μ_L は先進国、途上国の各々における投資乗数を表し、 T_D, T_L は先進国、途上国の各々における平均課税率を表す。すなわち、本項においては、CO₂ 削減技術への投資が波及効果を生んで国民所得を引き上げ、これにより税収が増加する財政面の効果を考慮に入れた。

これ以降の手続きは 3.1(1) と全く同様にして、均衡点における k^* , x^* が以下のように求まる。

$$k^* = (1 - \mu_D T_D) (X_1 - x^*) \times \partial f_0 / \partial x^* + (1 - \mu_L T_L) g_0(x^*) \quad (8'')$$

$$f_0(x^*) = (X_1 - x^*) \times \partial f_0 / \partial x \Big|_{x=x^*} + \frac{1 - \mu_L T_L}{1 - \mu_D T_D} g_0(x^*) \quad (9'')$$

一般に、途上国における限界消費性向が先進国のそれより高いために、投資乗数については

$\mu_D < \mu_L$ の関係が成り立つ。課税率 T_D, T_L については、租税体系が複雑で国により制度も異なることから一概に言いにくい。もし、 T_D と T_L が同程度であれば、CDM 均衡点における削減移転量は波及効果を考慮しない場合 ((9) 式) よりさらに縮小することになる。

特に、 $f_0(x^*) \leq \frac{1-\mu_L T_L}{1-\mu_D T_D} g_0(x^*)$ の場合には、CDM による削減移転は全く行われないうことになる。

(2) 先進国が leader である場合の Stackelberg 均衡

(1) と同様にして分析を進める。先進国、途上国の利益を $M_D \cdot M_L$ とすると、均衡点における成立条件は前掲 (1')、(2') 式と同様である。また、先進国、途上国の利益を表す式は前掲 (3')、(4') 式と同様である。

これ以降の手続きは 3.1 (2) と全く同様にして、均衡点における k^* 、 x^* が以下のように求まる。

$$k^* = (1 - \mu_L T_L)(X_1 - x^*) \times \partial g_0 / \partial x^* + (1 - \mu_D T_D) f_0(x^*) \quad (8''')$$

$$g_0(x^*) = (X_1 - x^*) \times \partial g_0 / \partial x \Big|_{x=x^*} + \frac{1 - \mu_D T_D}{1 - \mu_L T_L} f_0(x^*) \quad (9''')$$

この場合も (1) と同様に、 T_D と T_L が同程度であれば、CDM 均衡点における削減移転量は波及効果を考慮しない場合 ((9') 式) よりさらに縮小することになる。

特に、(1) と同様に $f_0(x^*) \leq \frac{1-\mu_L T_L}{1-\mu_D T_D} g_0(x^*)$ の場合には、CDM による削減移転は全く行われない。

4. CDM 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 CDM 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。

- 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⁾
- 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⁾
- 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、日中の財毎の相対価格の違いを考慮に入れた原単位比較が可能になる。具体的な手続きは以下の通りである。

ここで、円価値単位に基づくある国の産業連関表の投入係数行列 A を一端物量ベースに基づく投入係数行列 A' に変換する。ある国の円価値単位に基づく投入係数行列と物量単位に基づく投入係数行列の第 i, j 成分をそれぞれ a_{ij}, a'_{ij} とする。 a_{ij}, a'_{ij} は i 行と j 列に相当するプロダクトの単位物理量当りの価格で関係づけられる。

$$a_{ij} \times \frac{p_j}{p_i} = a'_{ij} \quad (10)$$

すなわち、(11)式のような単価行列 P を定義すると A と A' は(12)式のように関係づけられる。

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & p_2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & p_n \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$A' = P^{-1}AP \quad (12)$$

この変換を用いて、産業連関表による国際比較をおこなう。いま、円価値単位による1国と2国の産業連関表を A_1, A_2 とし、プロダクトの種類、数は同一であったとする。両国におけるプロダクトの相対価格が一般に異なるので、以下のように変換する。この場合、1国と2国における単価行列（(11)式で定義した行列）を P_1, P_2 とすると、 A_1, A_2 を比較するには、(13)式を利用した変換をおこなえば良い。

$$A_1 \rightarrow P_2 P_1^{-1} A_1 P_1 P_2^{-1} \text{と変換し、} A_2 \text{と比較する。} \quad (13)$$

すなわち、技術の国際比較をおこなう場合や技術移転による環境改善効果を産業連関表によって評価する場合には、相対価格の相違を考慮した(13)式による投入係数の変換が必要であることがわかる。

本論文では、日中の産業連関表における投入係数の変換をおこなっているが、これは文献(10)に基づいている。この文献では、日中の主要製品の相対価格を比較して、その比を評価している。この意味では(13)式の $P_2 P_1^{-1}$ が直接得られている訳で日本→中国または、その逆の変換は容易におこなうことができる。

評価された日中の産業部門毎の CO_2 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 CO_2 削減の限界費用曲線を推定した。

- 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。日本のある部門における資本設備の評価額を TCS 、年経費率を α とし、当該部門の年生産額を P とすると、単位生産額当りの資本費 CS は以下のように表される。

$$CS = \frac{\alpha TCS}{P} \quad (14)$$

- 評価された日本の各産業部門の資本に該当する技術を、中国に移転した場合、（単に図 4 に示した原単位が中国の値から日本の値に変化するのではなく）全産業に波及がおよびその生産額が変化する。この全産業の生産額の変化を表すベクトル ΔX は (15) 式で表される。

$$\Delta X = -(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{b}_j \quad (15)$$

$(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$: 中国の投入係数行列を用いたレオンチェフ逆行列

\mathbf{b}_j : 日本から中国に移転される業種の投入係数列ベクトル

(13) 式を用いて日本の相対価格から中国の相対価格基準に変換された投入係数行列のベクトルを用いる。

- (15) 式をもとに、各アクティビティからの CO_2 排出係数ベクトルを \mathbf{E} とし、移転される日本の技術の単位生産額当りの CO_2 排出係数を e_j とすると、 CO_2 削減量 ΔY は (16) 式で表される。

$$\Delta Y = -\mathbf{E}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{b}_j + e_j \quad (16)$$

- (14)、(15)、(16) 式から、当該技術を移転した場合の、中国における CO_2 削減の限界費用を (17) 式で表すことができる。

$$MC = \frac{CS}{\Delta Y} = \frac{\alpha TCS}{\{-\mathbf{E}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{b}_j + e_j\} \times P} \quad (17)$$

- 個々の技術による限界費用算定式 ((17) 式) に基づき、全技術の導入の順序を考慮した限界費用曲線を推定した。推定に当たっては、限界費用 MC の小さい順序で、各技術を移転すると想定する。また、ある技術が導入されると産業構造が変化するため、次の技術導入の限界費用が変化する。この過程は、線形計画法における基底の入れ替えと類似した作業であり、(18)、(19) 式のように表される。

$$MC_j = \frac{CS_j}{\Delta Y_j} \quad (18)$$

$\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \dots, \mathbf{A}_{n-1}$ は、新技術 $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_j, \dots, \mathbf{b}_{n-1}$ がこの順序で導入されることにより、変化する中国の投入係数行列 (LP における基底行列に相当) を意味する。

$$\begin{aligned} \Delta Y_1 &= -\mathbf{E}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{b}_1 + e_1 \\ \Delta Y_2 &= -\mathbf{E}(\mathbf{I} - \mathbf{A}_1)^{-1} \mathbf{b}_2 + e_2 \\ &\vdots \\ \Delta Y_j &= -\mathbf{E}(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{j-1})^{-1} \mathbf{b}_j + e_j \\ &\vdots \\ \Delta Y_n &= -\mathbf{E}(\mathbf{I} - \mathbf{A}_{n-1})^{-1} \mathbf{b}_n + e_n \end{aligned} \quad (19)$$

以上の前提条件より算定された評価時点における中国の CO₂ 削減のための限界費用曲線を図 4 に示す。

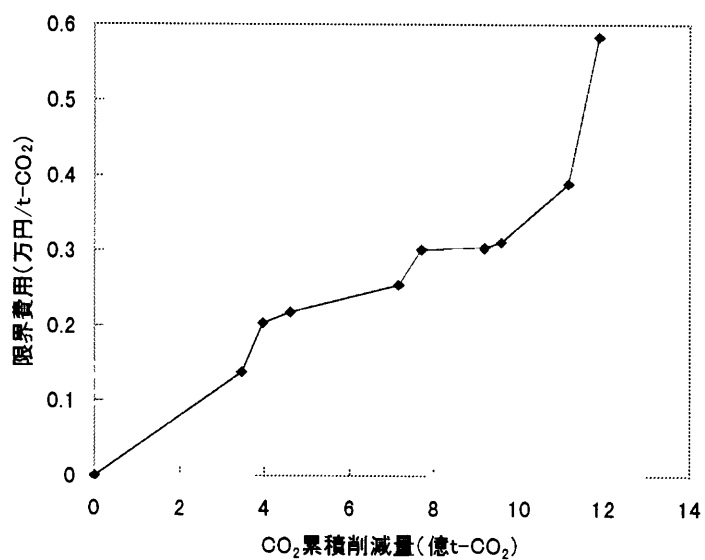


図 4. 中国における CO₂ 削減のための限界費用曲線

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⁾

日本の評価時点における CO₂ 削減のための限界費用曲線を図 5 に示す。

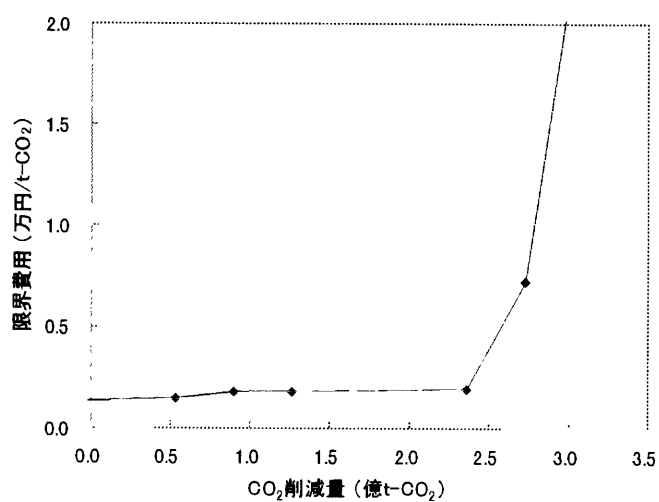


図 5. 日本における CO₂ 削減のための限界費用曲線

次に、CDM 均衡点の定量的分析をおこなうが、これに両国の基準となる排出量、CDM の目標年次、両国の CO₂ 削減割当量を設定する必要がある。ところが、これらの数値には、以下のような不確実性がある。

- 日本の割当量は、COP3 京都会議によると、2010 年の放出量を 1990 年の放出量より 6 %削減となっている。ところが、2010 年までの需要増加率および温室効果ガス削減に占める CO₂ 削減の割合には不確実性がある。
- 中国など発展途上国には、現在までのところ、温室効果ガスの削減義務は課されていない。しかし、今後の気候変動枠組み条約締結国会議において、何らかの削減割り当てが課される可能性もあり、この点是不確実である。また、中国の 2010 年までの経済成長とそれに伴う財の需要の増加率は高いと推測されており⁽⁶⁾、これを定量的に予測するのは困難である。

これらの不確実性を考慮し、ここでは両国の削減割当量をパラメータとした感度分析をおこなうこととした。また、限界費用曲線としては、図 5 および図 6 をそのまま用いることとした。すなわち、評価時点以降の経済成長による限界費用曲線の変化など動的な要素を排除する。ただし、CDM の動学化は重要な問題であり、今後の課題とする。

両国の CO₂ 削減割り当て量は以下のように設定し、各シナリオを表 1 のように命名する。

- 日本の CO₂ 削減割当量は、文献(7)などにに基づき 2 億 t-CO₂、3 億 t-CO₂、4 億 t-CO₂ と仮定した。
- 日本と中国の CO₂ 削減総量は 3 億 t-CO₂、4 億 t-CO₂、5 億 t-CO₂ と仮定した。

表 1. 各シナリオにおける日本と中国の CO₂ 削減割当量

		両国の削減総量		
		3億t-CO ₂	4億t-CO ₂	5億t-CO ₂
日本の削減量	2億t-CO ₂	A S	A M	A L
	3億t-CO ₂	B S	B M	B L
	4億t-CO ₂	—	C M	C L

ここでは、典型的な CDM の投資メカニズムを以下のように考えている。鉄鋼業部門を例にとると、中国の鉄鋼業において CO₂ 排出原単位の高い年産 A t の設備を閉鎖し、日本の技術による最新鋭の年産 A t の設備を中国に建設する。この場合、上述した算定法により、無限波及を考慮した上での CO₂ 削減量が算定される。この削減量は、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とした前提とは異なる値を取る。これは両国における産業構造が異なるからである。

4.2 CDM 均衡点の定量的評価

上の CDM ケースの各シナリオについて、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。なお、以下の均衡点分析は設備投資による波及を考慮しない場合を想定したものである。これは、設備投資による波及を考慮した場合（3.2 節参照）においては、特に一国の平均課税率の見積もりが難しいためである。しかし、CO₂ 削減技術の投資から財政への波及効果を考慮した場合の均衡点の定量的分析は重要であり、今後の課題とする。

- 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。
- 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。
- 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表 2 に示す。Stackelberg 均衡の性質から推定されるように、leader である方の国の余剰利益配分が follower の国より大きくなっている。また、両国の削減総量が等しい S, M, L の中では、日本の削減割り当てが大きいほど両国の余剰利益が急激に大きくなっている。

表 2. 各シナリオにおける日中双方の CDM による余剰利益

	中国が leader である場合		日本が leader である場合	
	日本 (億円)	中国 (億円)	日本 (億円)	中国 (億円)
A S	330	1838	1282	600
B S	580	4129	2648	1331
A M	143	797	553	256
B M	312	2322	1465	735
C M	438	4781	2753	1480
A L	37	208	143	65
B L	134	1078	664	332
C L	203	2741	1518	821

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表3に示す。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は低く、日本への余剰利益配分の増加要因になっている。

表3. CDM 均衡における削減移転量および均衡価格

	中国が leader である場合		日本が leader である場合	
	削減移転量	均衡価格	削減移転量	均衡価格
	億 t-CO ₂	円/t-CO ₂	億 t-CO ₂	円/t-CO ₂
A S	1.64	1554	1.24	764
B S	2.45	1611	1.75	392
AM	1.17	1686	0.86	1197
BM	1.98	1732	1.38	867
CM	2.82	1768	1.85	474
AL	0.66	1801	0.47	1568
BL	1.48	1834	0.99	1279
CL	2.33	1859	1.46	928

次に、日中両国の余剰利益の総和を図6，7に示す。

日本の削減割り当て量が等しいA，B，Cの中では、削減総量が大きいほど、余剰利益が急激に減少している。これは、中国の削減割当量が増加するにつれ、均衡点付近での中国の限界費用曲線の上方シフトが起こり、削減移転量が減少してしまうためである。

また、図6と図7より中国が leader である場合の方が、日本が leader である場合よりも、総余剰利益が大きくなっていることが分かる。これは日中双方の限界費用曲線の形による結果であり、今回推定した限界費用曲線と削減割当のもとでは、前者の方が削減移転量が大きくなっているためである。

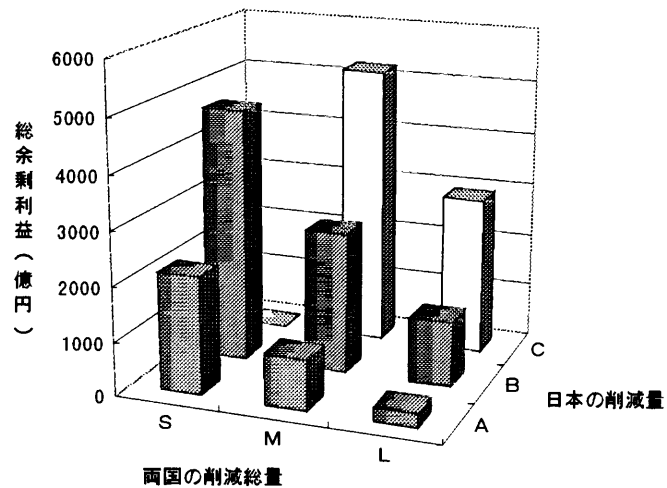


図 6．両国が CDM から得る総余剰利益（中国が leader である場合）

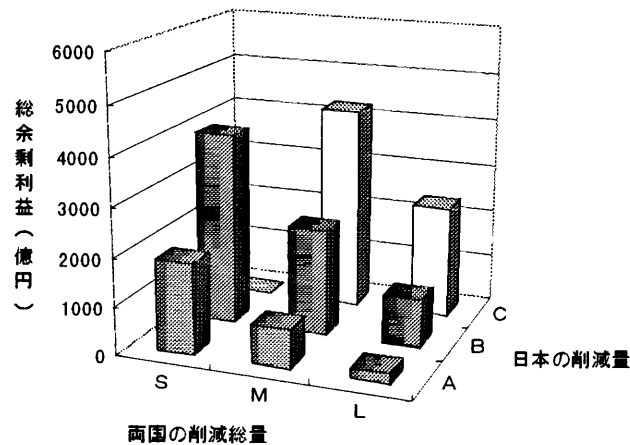


図 7．両国が CDM から得る総余剰利益（日本が leader である場合）

5. おわりに

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。⁽⁵⁾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クリーン開発メカニズム方策（CDM）に注目し、その分析をおこなった。具体的には日本と竜語句の二国間におけるCDMを非協力ゲームとしてモデル化し、均衡点における双方の余剰利益、CO₂の削減移転量および均衡価格を求めた。その結果、CDMにおける双方の余剰利益は、両国の限界費用曲線の形および削減割当量によって大きく変化することを定量的に示し

た。

このように、CDMの有効性を検証するためには、まず、先進国、途上国の双方の限界費用曲線を推定しなければならない。本研究においては、包括的な産業部門を含み、広く世界各国で整備されている産業連関表を用いて限界費用曲線を推定する方法を提案し、中国に適用した。この手法は、各国間の財の相対価格を考慮した投入係数行列の変換と、技術移転による波及を考慮している点に特徴があり、他の途上国にも適用可能と考えられる。ただしこの手法では、ある業種の工場（技術）をフルセットで移転する場合には評価しやすいが、ボイラーの効率向上など部分的な技術の移転は評価し難い。今後、産業連関表と積み上げデータを組み合わせて、より現実的な技術移転に対応可能な限界費用曲線の推定をおこなう予定である。

現実の世界においてクリーン開発メカニズムが施行される形態は定まっていないが、政府間交渉により排出削減の移転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、少なくともクリーン開発メカニズムの初期においては、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。

この結果、均衡点においては、CO₂の削減移転量が圧縮することが示されたが、これは市場における独占の状態を想定すれば当然の帰結である。実際には、政府間の交渉のより、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。また、上記のような削減移転量の圧縮を防ぐようなCDMのスキームを提案することが重要であり、今後より現実的で望ましいクリーン開発メカニズムの検討を進める予定である。

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 J I 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，資源・環境の持続可能性研究－研究推進と学会活性化のための若手の会設立に向けて－，第 15 回エネルギーシステム経済コンファレンス(1998)
- (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)
- (9) 松橋隆治, 石谷久, 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，電気学会論文誌、118 巻-C 10 号 pp1432-1437, 1998
- (10) 篠崎美貴，趙晋平，吉岡完治，日中購買力平価の測定 ―日中産業連関表実質化のために―，Keio Economic Observatory Occasional Paper, 1994