

京都メカニズムのマクロ的定量分析

- 中国、アジアに向けた日本の CDM 展開による CO₂ 限界削減費用の評価 -

小宮山 涼一*

[要約]

気候変動枠組み条約第 3 回締約国会議(COP3)で採択された京都議定書では、京都メカニズムと呼ばれる制度、すなわち、排出取引(ET)、共同実施(JI)、クリーン開発メカニズム(CDM)が、効率的な温室効果ガス排出目標の達成を補助する目的で採用され、これらの制度の国際的な機能強化が期待されている。そこで本論文では、これらの京都メカニズムにおける各種制度(ET、JI、CDM)に関して、実施上の諸問題が存在しない理想的な状況の下で、世界経済・エネルギーモデルにより定量的な分析を行う。具体的には、各種制度の運用下における 2010 年の世界の CO₂ 排出量、エネルギー投資額、シャドープライスの概念を利用した CO₂ 限界削減費用の評価を行った。

中国、アジアへの CDM 展開による日本の CO₂ 限界削減費用の評価

中国などアジアへ向けた日本の CDM 展開の可能性に関してマクロ的な視点で定量的分析を行った。その結果、日本が京都議定書の排出目標に対して国内対策のみで対応する場合、約 30 億ドル/年の追加的なエネルギー投資額(エネルギー生産コスト、発電・石油精製など転換部門のコスト、エネルギー輸送コスト等)が必要となるが、中国への省エネルギーを中心とする CDM 展開により、議定書に向けた追加的な投資額は約 10 億ドル/年へ減少し、中国を含めたアジアへ展開する場合、約 7 億/年ドルまで減少する(図 1)。議定書達成に向けて、CDM を活用することで、国内対策のみによる場合に比較して、それぞれ約 20 億ドル、約 23 億ドルの投資額を節減できることが期待される。同じく、日本が国内対策のみにより排出目標を達成する場合、限界削減費用は約 300 \$/t-C にまで達するが、中国と CDM を実施する場合は約 50\$/t-C へ約 6 分の 1 まで低下し、さらに中国を含めたアジア全体において CDM を実施する場合は、約 30\$/t-C まで低下する(図 2)。このため、CDM という京都メカニズムの導入は、わが国にとって、経済的に見てかなり大きな効用をもたらすことが期待される。日本が中国において CDM を実施する場合、費用対効果の観点から、CO₂ 排出削減の大部分は省エネルギーを通じて行われる(図 3)。

図 1 日本の京都議定書目標達成に向けた追加的なエネルギー投資額 (2010 年)

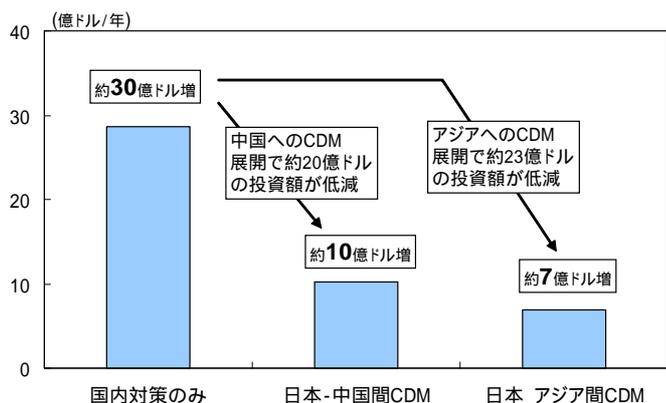
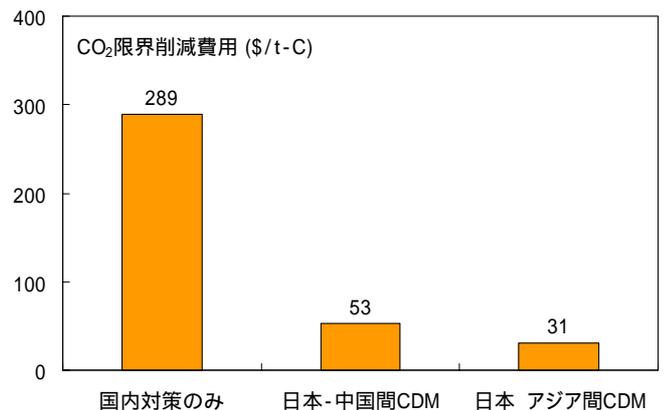


図 2 日本の CO₂ 限界削減費用 (CO₂ シャドープライス)(2010 年)



(出所) 筆者によるモデル計算結果

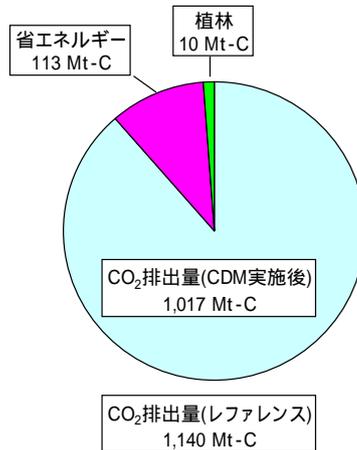
(出所) 筆者によるモデル計算結果

(注) グラフ中の“国内対策のみ”とは、日本が京都メカニズムを活用せず国内対策のみにより京都議定書目標を達成する際に生じる追加的なエネルギー投資額(図 1)、CO₂ 限界削減費用(図 2)を表し、“日本-中国間 CDM”とは、日本が中国に向けて CDM を展開する場合、“日本-アジア間 CDM”とは、日本が中国を含めたアジア全体に向けて CDM を展開する場合におけるエネルギー投資額、CO₂ 限界削減費用を意味する。

* (財)日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット付

先進国だけの CO₂ 削減だけでは温暖化に対処することはできず、将来は必ず、特に今後 CO₂ 排出量の急増が予想されるアジア途上国の協力が必要になる。また、アジア途上国には費用の安い削減方策が多く存在すると考えられ、省エネルギー協力など円滑な技術移転による環境負荷削減を行う方が、アジア全体での費用対効果ははるかに大きいと期待される。その意味で、クリーン開発メカニズム (CDM) などを最大限活用する必要があり、このような技術移転を含む国際的なエネルギー協力は今後ますます重要性を増し、アジア途上国に対して先進国、特に日本が、技術移転や資金協力、人材育成などの取り組みを一層強化することが重要な課題となる。

図 3 日本からの CDM 実施による中国の CO₂ 排出量削減分の内訳(2010 年)

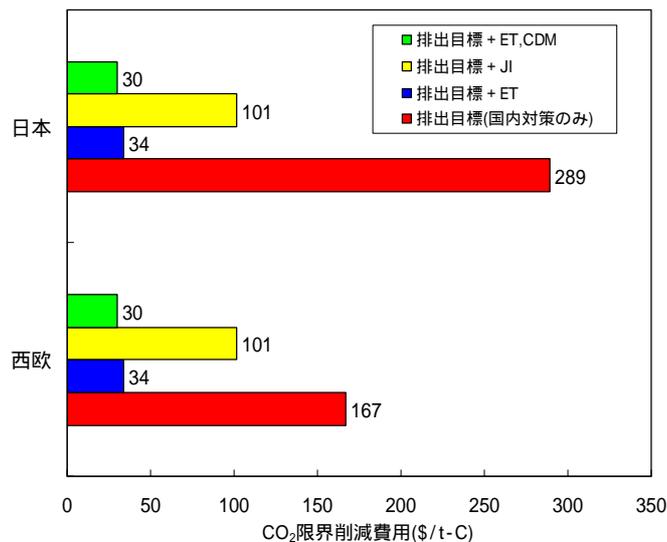


(出所) 筆者によるモデル計算結果

国際的な京都メカニズム活用による CO₂ 限界削減費用の評価

現行の京都議定書の枠組みの中で、国際的な排出取引(ET)、共同実施(JI)が実施される場合、Annex における CO₂ 限界削減費用は均等化されて、それぞれ 34 \$、101 \$ まで低下する(図 4)。さらに CDM が実施される場合、30 \$ まで低下することが期待される。特に日本の場合は、国際的な京都メカニズムの活用により、目標達成に向けた CO₂ 限界削減費用が大幅に減少することが分かる。

図 4 CO₂ 限界削減費用(CO₂ シャドープライス)(2010 年)



(出所) 筆者によるモデル計算結果

(注) グラフ中の“排出目標(国内対策のみ)”とは、ANNEX が京都メカニズムを活用せず国内対策のみにより京都議定書目標を達成する際の CO₂ 限界削減費用を表し、“排出目標+ET”とは ANNEX が排出取引を行う場合、“排出目標+JI”は ANNEX が共同実施を行う場合、“排出目標+ET,CDM”は ANNEX が排出取引と CDM を行う場合の CO₂ 限界削減費用を意味する。

はじめに

1997 年に開催された気候変動枠組み条約第 3 回締約国会議(COP3)では、京都議定書が採択された。同議定書において、Annex 国(附属書 国、先進国ならびに旧ソ連・東欧諸国から構成)から排出される温室効果ガスの排出量に関して数値目標が設定された。この排出量の数値目標は、第一約束期間(2008 年～2012 年)の 5 年間の排出量の平均値に対して、上限を設定するものである。Annex 国に属する日本、アメリカ、欧州、オセアニアや旧ソ連・東欧などの諸地域の数値目標は、1990 年の排出量から、平均で、5.2%削減された量となる。

これらを踏まえ、いわゆる京都メカニズム(柔軟性措置とも呼ばれる)と呼ばれる制度が、これらの数値目標の効率的な達成を補助する目的で採用された。一般に、排出取引(Emissions Trading, ET)、共同実施(Joint Implementation, JI)、クリーン開発メカニズム(Clean Development Mechanism, CDM)の 3 つの制度より構成される。

この京都メカニズムでは、これらの 3 つの制度のうち、取引対象の違いにより、排出取引(ET)と、クレジットの取引(JI、CDM)の 2 種類に分類できる。ET では、Annex 国を対象に京都議定書において具体的に定められた割当枠が取引対象になるのに対して、CDM や JI では、プロジェクトごとの排出削減量に対してクレジットが認められ、それが取引の対象となる。先進国間での排出取引となる共同実施については、排出削減単位(Emissions Reduction Unit:ERU)と呼ばれるクレジットが、また CDM では、認証済み排出削減単位(Certified Emissions Reduction Unit:CER)と呼ばれるクレジットが取引の対象となる。2 種類の取引の違いは、ET では、排出量の割当枠という単一の取引対象が存在するのに対して、JI、CDM の取引では、個々の排出削減プロジェクトに対して、排出削減の基準(ベースライン)となる排出量を定め、そこからプロジェクトの実施による排出削減分を認定し取引の対象にする手続きが必要になる。JI、CDM における排出削減単位の取引に際しては、プロジェクトの透明性の確保、承認をはじめとする諸課題の解決が重要となっている。

そこで、本論文では、京都議定書に定められた京都メカニズムに関して、現実の実施上の諸問題、障害が存在しないと仮定した理想的な状況を想定した上で、世界経済・エネルギーモデルにより、2010 年の世界の CO₂ 排出量、シャドープライスの概念を利用した CO₂ 限界削減費用の評価を行う。評価に際しては、現在、世界のエネルギー需要や CO₂ 排出量の増加を牽引している中国をはじめとするアジアと日本の間における CDM に関する定量的評価、ならびに、現在、Annex 国のうち、アメリカやオーストラリアは議定書を批准していないが、全ての Annex 国、非 Annex 国の間で、京都メカニズムが機能する理想的状況の下での CO₂ 排出量、CO₂ 限界削減費用の評価を試みる。そして、京都メカニズムによる各種制度における結果に基づき、今後の温室効果ガス排出削減に向けた制度設計についての基礎情報の提供を行う。

1. 世界経済・エネルギーモデル(WING-LDNE モデル)の概要

本論文では、世界経済・エネルギーモデルにより、2010 年までの長期での世界の経済、人口、ならびにエネルギー需給、CO₂ 排出量の見通しを試算する。以下にモデル構造の概要を説明する。本モデル(WING-LDNE モデル)は、2010 年までの経済成長、人口、最終エネルギー需要を内生的に計算する WING モジュール¹と、この最終エネルギー需要を前提として、コスト最小化の基準の下で、エネルギー供給を決定する LDNE モジュール²から構成される。なお本分析では、世界を 10 地域に分割し、分析を進める。すなわち、北米、西欧、日本、オセアニア、中国、その他アジア、中東・北アフリカ、その他アフリカ、中南米、旧ソ連・東欧である。このうち、北米、西欧、日本、オセアニア、旧ソ連・東欧、が京都議定書における Annex 国に属する(現時点では、¹、² は議定書を批准していないが、¹、² も京都メカニズムに参加した理想的状況を本分析では想定する)。

そして、京都メカニズムのモデル化に際しては、数理計画問題として定式化する。具体的には、数理的最適化問題として記述されている LDNE モジュールにおける CO₂ 排出量に関する制約式に、排出取引(ET)、JI(共同実施)、CDM(クリーン開発メカニズム)に関する考え方を織り込み、京都メカニズムの評価を行う。

¹ (財)日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニットが作成した 2100 年までの超長期評価を目的とした経済・エネルギーモデル

² 技術評価モデルとして、工学技術を詳細に扱っている DNE21 (Dynamic New Earth21) モデルの非線形関数(省エネルギー関数、再生エネルギー供給関数)を線形化した LDNE(Linearized Dynamic New Earth 21)モデルを採用する。参考文献: Yamaji, K. et al., Global energy system to maintain atmospheric CO₂ concentration at 550 ppm, Environmental Economics and Policy Studies, 3, 159, 2000 年

2. 京都メカニズムのモデル化

本章では、京都メカニズムのモデル化に関して説明を行う。具体的には、現実の実行上の各種諸問題を大幅に簡素化した上で、前章において説明を行った LDNE モジュールにおいて課す CO₂ 排出量に関する制約条件式において、京都メカニズムの各種制度を反映させる。なお、今回の分析では、排出削減単位のバンキング、ボロウイングなど異時点間の取引に関する計算は考慮に入れないものとする。そして、京都議定書では、二酸化炭素(CO₂)のほかに、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)、ハイドロフルオロカーボン(HFC)、パーフルオロカーボン(PFC)、六フッ化硫黄(SF₆)についても取り扱われているが、今回は、CO₂のみを分析対象とする。

2-1 レファレンスケース

基準となるレファレンスケースについて試算する。このケースにおいては、京都議定書において定められた Annex 国に対する温室効果ガス排出目標遵守に向けた削減施策が、一切、行われぬものとする。これまでのトレンドでエネルギー需要、CO₂ 排出量が増加する自然体のケースである³。

2-2 排出目標設定ケース(国内対策のみ)

Annex 各地域(北米、西欧、日本、オセアニア、旧ソ連・東欧)が、京都議定書において設定された排出目標を遵守する。すなわち、同地域が、2010 年における CO₂ 排出量に対して、各地域の 1990 年の CO₂ 排出実績値に対して、7%減(93%)、8%減(92%)、6%減(94%)、8%増(108%)、0%(100%)の上限制約を設定する。このケースにおいては、各 Annex 地域は、国内対策のみで排出目標を達成し、京都メカニズムは導入されないものとする。このケースにおける 2010 年の旧ソ連・東欧、ならびに非 Annex 地域の排出量の計算結果は、共同実施(JI)ならびにクリーン開発メカニズム(CDM)のベースラインとして適用する⁴。

³ 当該ケースにおける LDNE モジュールの目的関数、ならびに制約条件式を表すと、以下のように表現される。各種資源供給、技術制約条件の下で、世界全体のシステム総コストを最小化する構造になる。

目的関数：

$$\min. TotalCost = \sum_{n=1}^{10} f_n(x_n) \quad (1)$$

制約条件：

$$A_n x_n \geq b_n \quad (2)$$

x_n : 第 n 地域の変数、 A_n : 第 n 地域の制約条件式の係数行列、 b_n : 第 n 地域の制約条件式の右辺定数項、 f_n : 第 n 地域のコスト関数

⁴ モデル化に関しては、レファレンスケースの(1)式、(2)式に加えて、下記に示すとおり、Annex 各地域に対して、以下の CO₂ 排出量に関する制約式がさらに追加される。

目的関数：

$$\min. TotalCost = \sum_{n=1}^{10} f_n(x_n) \quad (1)$$

制約条件：

$$A_n x_n \geq b_n \quad (2)$$

$$G_n x_n \leq e_n \quad \text{for } n \in Annex \quad (3)$$

G_n : 第 n 地域の CO₂ 排出量の係数行列、 e_n : 京都議定書における第 n 地域の CO₂ 排出量目標値

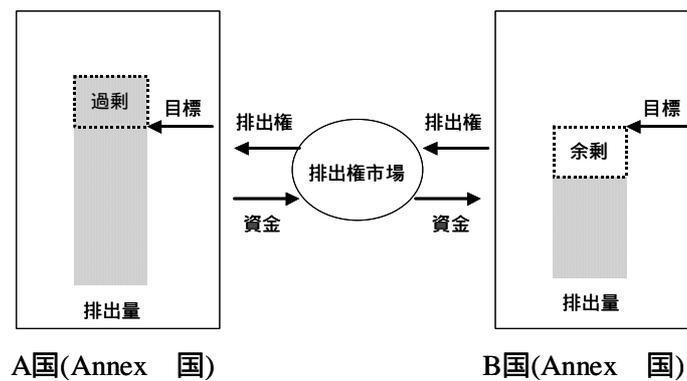
2-3 京都メカニズム

設定された排出目標量に対して、京都メカニズム(柔軟性措置)が導入された場合について試算を行う。

(b) 排出取引(ET)

排出取引とは、京都議定書で先進国に割り当てられた二酸化炭素など温室効果ガス排出許容量の一部を売買する仕組みのことである。ET では、全体としての排出総量を決めて、それを各主体などに排出枠(排出権)として割当て、排出削減の困難さの程度に応じて排出権を取引するシステムである。排出量取引では、数値目標が課せられている先進国の中で、温室効果ガスを削減目標以上に排出した時は他より購入して目標値を達成し、逆に排出量が目標に対して余裕がある場合は、その差分を他に売却することが可能であり、特に国際取引を通して世界的に効率的な CO₂ 削減が可能になる点で注目されている。

図2-1 排出量取引の概念図



本分析では、Annex に属する地域の CO₂ の限界削減費用が、地域間で均等化するまで、排出取引が実施されるものとして想定する⁵。

(c) 共同実施

共同実施とは、先進国間で温室効果ガス削減プロジェクトを共同で実施し、それにより生じた削減分を取引する仕組みであり、削減コストの安価な国で他の国の事業者が省エネルギーなど温室効果ガス削減プロジェクトを実施し、削減分を投資国が得る仕組みである。

ここでの分析においても、Annex の属する地域における CO₂ の限界削減費用が地域間で均等になるまで、共

⁵ Annex について地域別に排出量の上限制約を設定する代わりに、Annex に属する 5 地域全体に対して、1 本の排出量上限制約を設定する。そして、この排出上限制約の上限値は、Annex の 5 地域の各排出目標値の総和になる。数理計画問題上では、下式の通り、定式化される。

目的関数：

$$\min. TotalCost = \sum_{n=1}^{10} f_n(x_n) \quad (1)$$

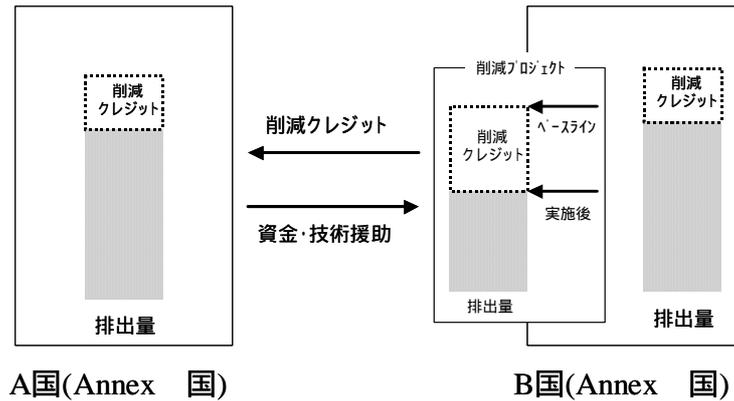
制約条件：

$$A_n x_n \geq b_n \quad (2)$$

$$\sum_{n \in Annex} G_n x_n \leq \sum_{n \in Annex} e_n \quad (4)$$

同実施が行われると仮定する⁶。モデル上においても、ET の時と同じように、各地域に排出目標値を上限として設定するのではなく、1 本の制約式で、Annex 地域全体の排出量に対して、上限値を設定する。ただし、共同実施の場合においては、排出上限値は、各地域の排出目標値の総和ではなく、共同実施が行われなかった場合における想定排出量(=ベースライン)の総和となる。特に問題となるのは、旧ソ連・東欧地域である。旧ソ連・東欧は、特に排出削減施策を実施しなくても、目標値を下回る可能性があるため、目標値と実際の排出量の間ギャップが生じる(ホットエアと呼ばれる)。この、いわゆる、ベースラインの排出量は、ある仮定に基づく仮想的な排出量であるため、現実には非常に難しいことが言われている。しかし、本モデル計算では、ベースラインとして、前述の“排出目標設定ケース”における排出量を、ベースラインとして設定する。

図2-2 共同実施の概念図



(d) クリーン開発メカニズム(CDM)

クリーン開発メカニズム(CDM)は、基本的な枠組みは共同実施と同じであるが、共同実施は先進国間を対象としていたのに対し、CDM は先進国と途上国との間で省エネなど共同事業を実施し、削減分を先進国が受け取ることを認める制度である。途上国において、特定のプロジェクトが実施されない場合の排出量を基準値(ベースライン)として、実施されたことによる排出削減量を証書(クレジット)として認証して先進国が取得し、取引できるようにするものである。つまり、CDM と JI は、温室効果ガスを削減する個別プロジェクトを 2 国間で協力して実施した場合に、その削減量をそれぞれの主体で分割できる仕組みであり、数値目標のある先進国と発展途上国が協力する場合を CDM、数値目標を課せられた先進国間で実施する場合を JI と呼ばれている。CDM は、この点において、途上国にとっては先進国の投資を通じ自国の環境対策推進や技術移転といったメリットがあると考えられる。しかし排出量取引などの京都メカニズムを利用できる上限を設定するか否か(補完性の問題)、排出枠

6

目的関数：

$$\min. TotalCost = \sum_{n=1}^{10} f_n(x_n) \quad (1)$$

制約条件：

$$A_n x_n \geq b_n \quad (2)$$

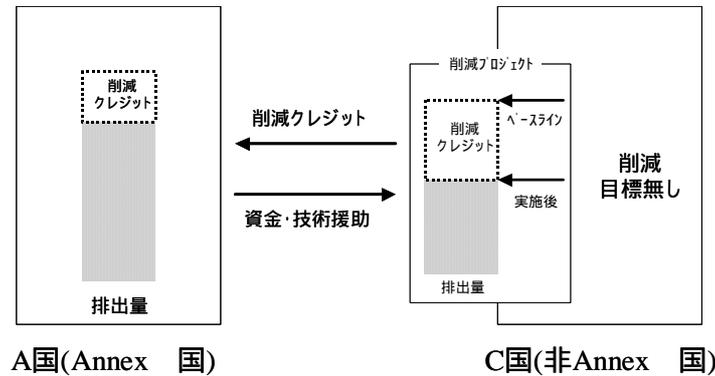
$$\sum_{n \in Annex} G_n x_n \leq \sum_{n \in Annex} G_n x_n^* \quad (5)$$

x_n^* : 前述した排出目標設定ケース((1)、(2)、(3)式から構成される数理計画問題)における第 n 地域の最適解

ET と JI のモデル構造を比較すると(4)式と(5)式の比較)、旧ソ連・東欧の CO₂ 排出量は、特別な排出削減施策を講じなくても、排出目標値を下回る可能性が指摘されているため、ET の方が JI よりも、Annex 地域全体としての排出制約量は緩和され、ET と JI の構造上の違いが明確になる。すなわち JI では、ホットエアを除いた上で、純粋な排出削減単位の取引が考慮可能となる。

の管理など運用面における検討の余地が残されている。

図2-3 クリーン開発メカニズムの概念図



これらの 3 つの京都メカニズムのうち、取引対象の違いにより、排出量取引(ET)と、クレジットの取引(JI、CDM)の 2 種類に分類できる。ET では、議定書の附属書 B に含まれる割当枠が取引対象になるのに対して、CDM や JI では、プロジェクトごとの排出削減量に対してクレジットが認められ、それが取引の対象となる。先進国間での排出取引となる共同実施については、排出削減単位(Emissions Reduction Unit:ERU)と呼ばれるクレジットが、また CDM では、認証済み排出削減単位(Certified Emissions Reduction Unit:CER)と呼ばれるクレジットが取引の対象となる。2 種類の取引の違いは、ET では、排出量の割当枠という単一の取引対象が存在するのに対して、JI、CDM の取引では、個々の排出削減プロジェクトに対して、排出削減の基準(ベースライン)となる排出量を定め、そこからプロジェクトの実施による排出削減分を認定し取引の対象にする手続きが必要になる⁷。ただ

⁷ ここでのモデル分析では、クレジットの認証など現実での問題は省き、CO₂ 限界削減費用が、世界全体で均等化するまで、CDM によるプロジェクトが進展するものとして想定する。モデル分析上では、1 本の制約式で、世界全体の CO₂ 排出量に対して、上限値を設定する。排出上限値は、非 Annex 地域における CDM が行われなかった場合における想定排出量(ベースライン)の総和と、Annex の排出目標値の総和との合計となる。この場合、ET と CDM の取引が行われることになる。

目的関数：

$$\min. TotalCost = \sum_{n=1}^{10} f_n(x_n) \quad (1)$$

制約条件：

$$A_n x_n \geq b_n \quad (2)$$

$$\sum_{n=1}^{10} G_n x_n \leq \sum_{n \in Annex} e_n + \sum_{n \notin Annex} G_n x_n^* \quad (6)$$

また、排出上限値を、非 Annex 地域のベースラインの総和と、Annex における共同実施を実施しなかった際の排出量の総和との合計とした場合、JI と CDM の取引が行われることになる。

目的関数：

$$\min. TotalCost = \sum_{n=1}^{10} f_n(x_n) \quad (1)$$

制約条件：

し、本分析では、非 Annex において発生した排出削減単位の全てが、速やかに、Annex 地域が取得できるものとして想定している。

(e) 日本とアジアにおける CDM 協力

本論文では、現在、世界のエネルギー需要や CO₂ 排出量の増加を牽引している中国をはじめとするアジアと日本の間における CDM 協力に関する定量的評価を行う。エネルギー需要の増加が顕著であるアジア地域と日本の間におけるエネルギー協力の有力な手段の一つとして、CDM の活用が挙げられる。日本は、京都議定書における温室効果ガス削減目標(1990 年比 6%削減)を達成するためには、国内対策のみならず、京都メカニズムの活用が必要といわれている。その場合、活用する制度の選択に際しては、実施地域における経済波及効果、環境改善効果、日本のリーダーシップの確保や、CO₂ 限界削減費用の低下による経済効率的な排出削減の実現、などを考慮すれば、日本が中国をはじめとするアジア地域で CDM を実施する方が、その他途上国との CDM 協力、先進国及び市場経済移行国との共同実施(JI)、排出取引(ET)に比較すると、総合的なメリットが大きいと考えられる。なかでも、日本の場合、世界的に見てもエネルギー需給構造における省エネルギーが相対的に進んでいるといわれ、日本の先端的なエネルギー技術のアジア途上国における展開が、広域的に見て、より経済効率的な CO₂ 排出削減を実現し、わが国の京都議定書達成に向けた CO₂ 限界費用を大幅に削減されることが一般に期待されている。そこで、本論文では、日本と中国、日本とアジアの間において CDM を実施した場合における CO₂ 排出量の変化、ならびに、日本の京都議定書達成に向けた CO₂ 限界削減費用について定量的な分析を行う⁸。

$$A_n x_n \geq b_n \quad (2)$$

$$\sum_{n=1}^{10} G_n x_n \leq \sum_{n=1}^{10} G_n x_n^* \quad (7)$$

⁸ 日本-中国間 CDM、日本-アジア間 CDM は、以下のように、モデル化を行う。

日本-中国間 CDM

以下の数理計画問題の下で、日本と中国の両国間で CDM を実施した場合における CO₂ 排出量、ならびに CO₂ 限界削減費用を評価する。

目的関数：

$$\min. TotalCost = \sum_{n=1}^{10} f_n(x_n) \quad (1)$$

制約条件：

$$A_n x_n \geq b_n \quad (2)$$

$$\sum_{n \in \text{日本, 中国}} G_n x_n \leq \sum_{n \in \text{日本}} e_n + \sum_{n \in \text{中国}} G_n x_n^* \quad (8)$$

日本-アジア間 CDM

同様に、以下の数理計画問題の下で、日本とアジアの間で CDM を実施した場合における CO₂ 排出量、ならびに CO₂ 限界削減費用を評価する。

目的関数：

$$\min. TotalCost = \sum_{n=1}^{10} f_n(x_n) \quad (1)$$

制約条件：

3. 計算結果

3-1 日本-中国間 CDM、日本-アジア間 CDM の定量的評価

以下に日本-中国間、日本-アジア間において CDM を実施した際の CO₂ 排出量の変化を図示する。

図3-1 CO₂ 排出量(日本、中国)

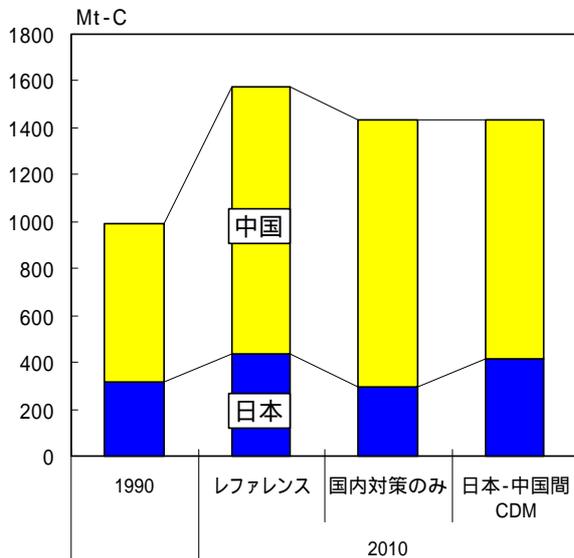
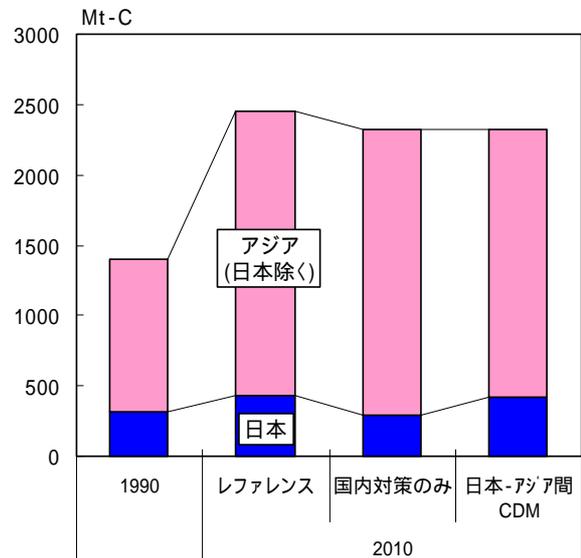


図3-2 CO₂ 排出量(日本、アジア)



(出所) 筆者によるモデル計算結果

(出所) 筆者によるモデル計算結果

(注) グラフ中の“国内対策のみ”とは、日本が京都メカニズムを活用せず国内対策のみにより京都議定書目標を達成する場合、“日本-中国間 CDM”は、日本が中国に向けて CDM を展開する場合、“日本-アジア間 CDM”とは、日本が中国を含めたアジア全体に向けて CDM を展開する場合における CO₂ 排出量を表す。

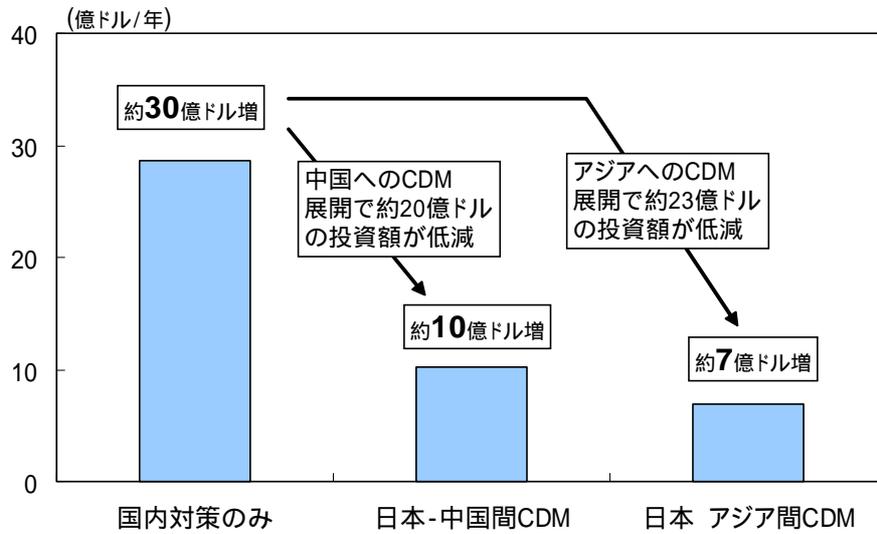
図 3-3 に、各ケースにおける 2010 年の日本の追加的なエネルギー投資額(エネルギーシステム総コスト：エネルギー生産コスト、発電・石油精製など転換部門のコスト、エネルギー輸送コスト等から構成)を示す。図には、2010 年のレファレンスケースからのコストの増分(“各ケースのコスト” - “レファレンスのコスト”)として示している。図の結果より、日本が京都議定書の排出目標に対して国内対策のみで対応する場合、レファレンスと比較して、さらに追加的に約 30 億ドル/年の投資額が必要となるが、中国への CDM 展開により、投資の増分は約 10 億ドル/年へ減少し、中国を含めたアジアへ展開する場合は、約 7 億ドル/年まで減少する。議定書達成に向けて、CDM を活用することで、それぞれ、国内対策のみの場合に比較して、それぞれ約 20 億ドル、約 23 億ドルの対策投資額を節減できることが期待される。このため、CDM という京都メカニズムの導入は、経済的に見て大きな効用をもたらす可能性がある。

図 3-4 に、日本が京都議定書の排出目標値を国内対策のみで達成する場合の CO₂ 限界削減費用、中国との間で CDM を実施する際の CO₂ 限界削減費用、中国を含めたアジアとの間で CDM を実施する際の CO₂ 限界削減費用を示す。日本が国内対策のみにより、京都議定書の排出目標を達成する場合、限界削減費用は約 290 \$/t-C にまで達するが、中国と CDM を実施する場合は約 50\$/t-C へ、約 6 分の 1 まで低下し、さらに中国を含めたアジアにおいて CDM を実施する場合は、約 30\$/t-C まで低下する。

$$A_n x_n \geq b_n \quad (2)$$

$$\sum_{n \in \text{日本, 中国, 他アジア}} G_n x_n \leq \sum_{n \in \text{日本}} e_n + \sum_{n \in \text{中国, 他アジア}} G_n x_n^* \quad (9)$$

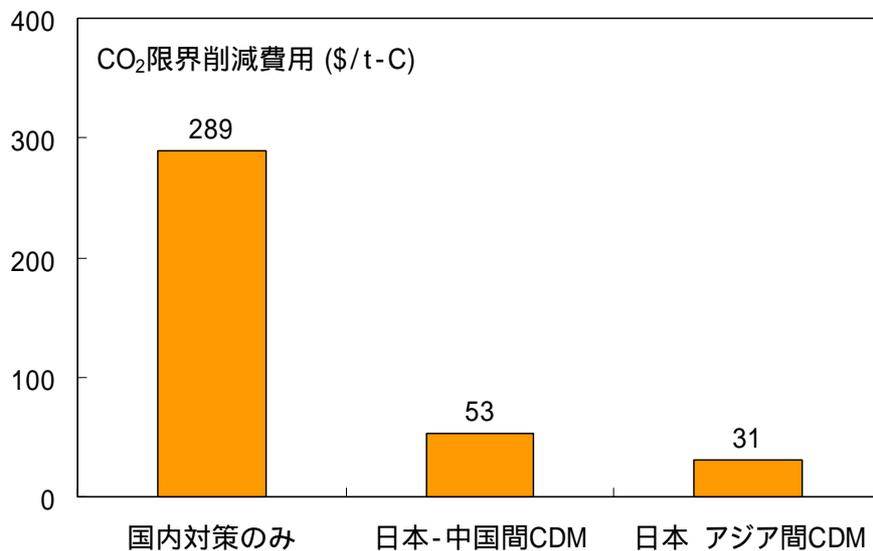
図3-3 日本の京都議定書達成に向けた追加的なエネルギー投資額(2010 年)



(出所) 筆者によるモデル計算結果

(注) グラフ中の“国内対策のみ”とは、日本が京都メカニズムを活用せず国内対策のみにより京都議定書目標を達成する際に生じる追加的なエネルギー投資額を表し、“日本-中国間 CDM”とは、日本が中国に向けて CDM を展開する場合、“日本-アジア間 CDM”とは、日本が中国を含めたアジア全体に向けて CDM を展開する場合におけるエネルギー投資額を意味する。

図3-4 日本の CO₂ 限界削減費用(CO₂シャドープライス)(2010 年)



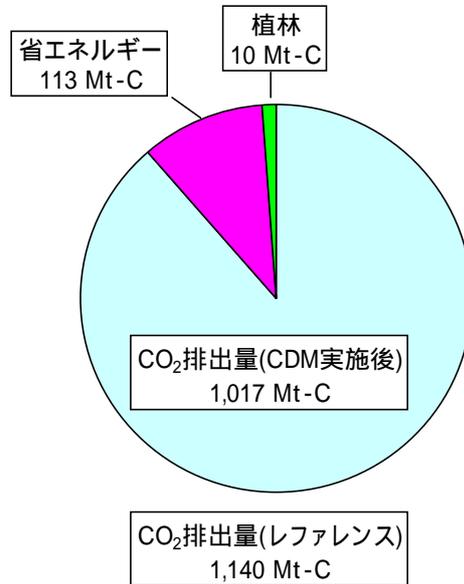
(出所) 筆者によるモデル計算結果

(注) グラフ中の“国内対策のみ”とは、日本が京都メカニズムを活用せず国内対策のみにより京都議定書目標を達成する際の CO₂ 限界削減費用を表し、“日本-中国間 CDM”とは、日本が中国に向けて CDM を展開する場合、“日本-アジア間 CDM”とは、日本が中国を含めたアジア全体に向けて CDM を展開する場合における CO₂ 限界削減費用を意味する。

また、日本が京都議定書の排出目標値を中国への CDM を実施して達成する際の、中国の CO₂ 排出削減量の内

訳を示す(“日本-中国間 CDM”における計算結果を示す)。日本からの CDM を通じて、中国の 2010 年の CO₂ 排出量は 1,140Mt-C から 1,017Mt-C へ 123Mt-C 削減され、その削減分のうち、省エネルギーによる削減量が 113Mt-C となり、日本から中国への省エネルギーの実施が中国の CO₂ 削減に大きく貢献することがわかる。

図3-5 日本からの CDM 実施による中国の CO₂ 排出量削減分の内訳(2010 年)



(出所) 筆者によるモデル計算結果

先進国だけの CO₂ 削減だけでは温暖化に対処することはできず、将来は必ず、特に今後 CO₂ 排出量の急増が予想されるアジア途上国の協力が必要になる。また、アジア途上国には費用の安い削減方策が多く存在すると考えられ、中国などアジア諸国における CO₂ 排出量の急速な増加を見れば、環境制約に関して日本の国内対策の効果は限定的であり、省エネルギー協力など円滑な技術移転による環境負荷削減を行う方が、アジア全体での費用対効果ははるかに大きいと期待される。中国はじめアジア途上国では一般に、エネルギー利用の効率改善の余地が大きく、省エネルギーの潜在量が大きいと言われ、技術協力の余地は極めて大きい。これが、先進国と途上国が協定を結んで CO₂ 削減を行う国際共同対策の意義の源泉ともなる。その意味で、京都議定書で合意されているクリーン開発メカニズム(CDM)や共同実施(JI)、温暖化ガスの排出権取引を最大限活用する必要があり、このような技術移転を含む国際的なエネルギー開発は今後ますます重要性を増し、アジア途上国に対して先進国が技術移転や資金協力、人材育成などの取り組みを一層強化することが重要となる。

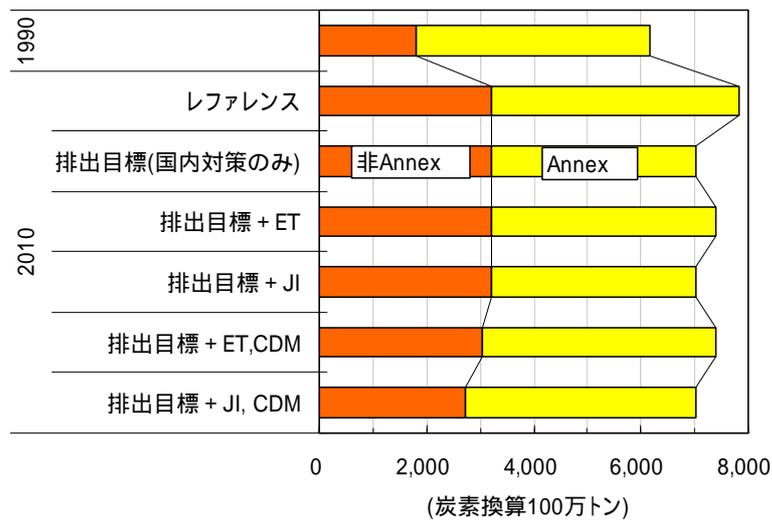
また、温暖化という地球規模のリスクを管理するためには、超長期的な視点で、先進国のみならず途上国も参加できる柔軟性を持った将来の枠組みを作ることが重要である。例えば、アジア途上国では、国の経済計画に温暖化対策を盛り込んだり、自主的な削減目標の設定や、部門別(産業、交通、家庭など)の排出の効率化目標などを設けることが有効になる。それにより、CO₂ の排出抑制の必要性が一層高まれば、市場メカニズムの効果と公的な政策対応の拡充によって、石油代替エネルギーや省エネルギーなどの技術開発が自律的に促されていくことが期待される。

3-2 世界における京都メカニズムの定量的評価

本節では、2010 年における世界の CO₂ 排出量の計算結果を示す。Annex と非 Annex に区分して示している。1990 年に比較して、今後、発展途上国を中心とする非 Annex の排出量増加が顕著であることが分かる。排出目標を設定しない、自然体のケースでは、2010 年に、世界の総排出量は約 80 億トンに達するが、Annex が議定書

目標を達成するケースでは、排出量は約 70 億トンまで減少し、10 億トンの排出削減が実施される。また、排出権 ET を活用するケース(排出目標+ET、排出目標 +ET,CDM)において、レファレンスを除く他のケースよりも排出量が多くなるのは、旧ソ連・東欧地域のホットエアーが、京都メカニズムが機能することにより、市場に供給されるためである。旧ソ連(ロシア)の京都議定書における 2010 年の温室効果ガス排出目標値は 1990 年比 100%であるが、本試算では、2010 年の旧ソ連の排出量は 1990 年比 73%となり、この 27%分のギャップが、CO₂ 排出権市場に供給されるのである。

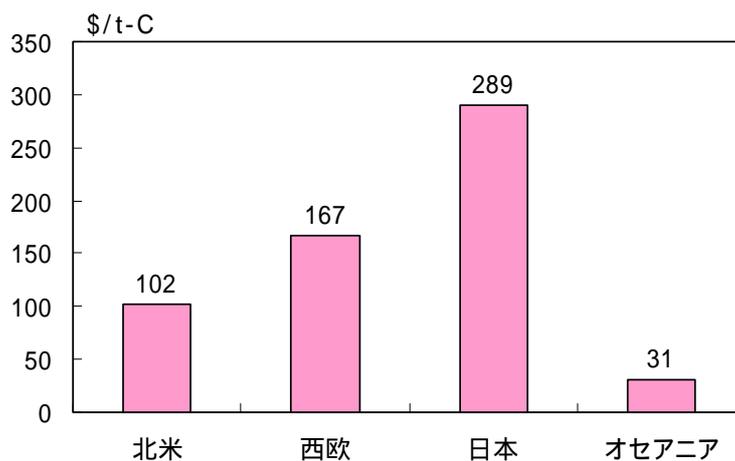
図3-6 世界のCO₂排出量



(出所) 筆者によるモデル計算結果

(注) グラフ中の“排出目標(国内対策のみ)”とは、ANNEX が京都メカニズムを活用せず国内対策のみにより京都議定書目標を達成する際のCO₂排出量を表し、“排出目標+ET”とはANNEX が排出取引を行う場合、“排出目標+JI”はANNEX が共同実施を行う場合、“排出目標+ET,CDM”はANNEX が排出取引とCDMを行う場合、“排出目標+JI,CDM”はANNEX が排出取引とJIを行う場合のCO₂排出量を意味する。

図3-7 京都議定書目標遵守のためのCO₂限界削減費用(CO₂シャドープライス)



(出所) 筆者によるモデル計算結果

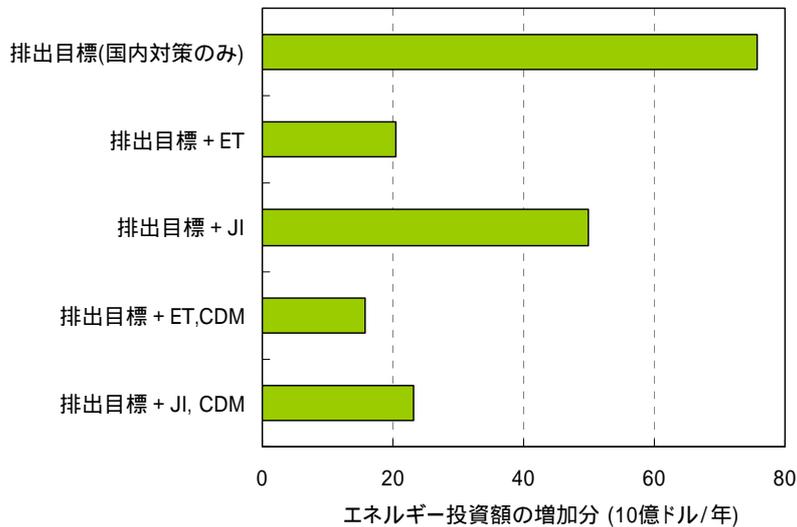
(注) ただし、2007年現在、議定書の遵守を掲げているのは西欧(EU)、日本である。

また図 3-7 に、ANNEX 国による京都議定書の目標遵守のためのCO₂限界削減費用(CO₂シャドープライス)を示す(ANNEX 国が、国内対策のみにより京都議定書の目標を達成する際の限界削減費用である)。ただし、2007

年現在、議定書の遵守を掲げているのは西欧(EU)、日本である。日本の CO₂ 限界削減費用は約 290\$/t-C であり、ANNEX 国の中で最も高く、次いで、議定書を批准している西欧で約 170\$/t-C となる。議定書を批准していない北米の限界削減費用は約 100\$/t-C、オセアニアは約 30\$/t-C となる。

次に図 3-8 に、2010 年の世界の追加的なエネルギー投資額(レファレンスケースからのコストの増分(“各ケースのコスト” - “レファレンスのコスト”))を示す。

図3-8 世界の追加的なエネルギー投資額(2010 年)



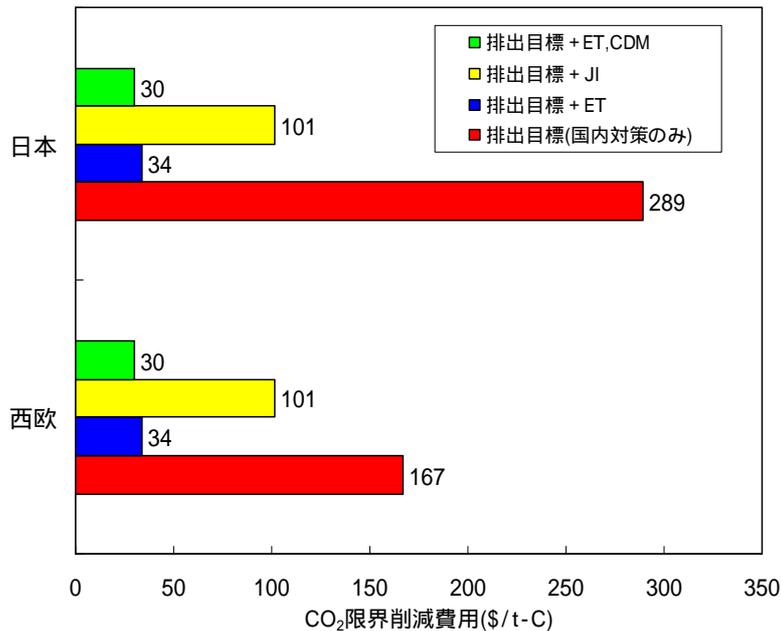
(出所) 筆者によるモデル計算結果

(注) グラフ中の“排出目標(国内対策のみ)”とは、ANNEX が京都メカニズムを活用せず国内対策のみにより京都議定書目標を達成する際の追加的なエネルギー投資額を表し、“排出目標+ET”とは ANNEX が排出取引を行う場合、“排出目標+JI”は ANNEX が共同実施を行う場合、“排出目標+ET,CDM”は ANNEX が排出取引と CDM を行う場合、“排出目標+JI,CDM”は ANNEX が排出取引と JI を行う場合の追加的なエネルギー投資額を意味する。

図の結果より、京都議定書の排出目標に対して Annex1 が国内対策のみで対応する場合、レファレンスに比較して、さらに約 800 億ドルの投資額が必要となるが、Annex で排出取引 ET を活用する場合、対策投資増額は 200 億ドルにとどまり、約 600 億ドルの投資が低減される。また、共同実施 JI の場合では、国内対策のみの場合に比較して、約 300 億ドルの投資の節減が期待される。本ケースにおける共同実施 JI の分析に際しては、旧ソ連・東欧のホットエアは排出削減単位として認めていないため、ET の場合よりも JI の場合の方が、対策コストが増加する。また、CDM が導入される場合、“排出目標+ET”と“排出目標+ET,CDM”の比較、排出目標+JI”と“排出目標+JI,CDM”の比較より、それぞれ約 50 億ドル、約 270 億ドルの経済的効用が期待される。ET が導入されている状況での CDM の実施は、JI に比較して相対的な経済的効用は小さくなる。これはホットエアという排出枠と、排出削減単位の供給者として、旧ソ連・東欧と非 Annex が競合していると理解される。これらの結果から、第一約束期間のみの場合では、ET のみでも、十分な排出削減目標の達成に向けたコストメリットが期待されることを示している。

最後に図 3-9 に、京都議定書を批准している西欧、日本の 2010 年における CO₂ 限界削減費用を示す。CO₂ 限界削減費用(CO₂ シャドープライス)は、数理的最適化問題においては、理論的には、同程度の削減を実現するために必要な炭素税率と等しく、達成に向けた困難さの程度を示していると考えられる。国内対策のみで目標を達成する場合は、日本の限界費用は約 290 ドルであり、顕著に大きい値となっている。しかし、ET、JI の導入により、Annex における限界削減費用は均等化されて、それぞれ 34 \$、101 \$ まで低下する。さらに CDM が導入されると、全世界で限界費用が均等化され、30 \$ まで低下する。特に日本の場合、京都メカニズムの活用が、目標達成に向けた限界コストが大幅に減少することが分かる。

図3-9 CO₂ 限界削減費用(2010 年)



(出所) 筆者によるモデル計算結果

(注) グラフ中の“ 排出目標(国内対策のみ)”とは、ANNEX が京都メカニズムを活用せず国内対策のみにより京都議定書目標を達成する際の CO₂ 限界削減費用を表し、“ 排出目標+ET”とは ANNEX が排出取引を行う場合、“ 排出目標+JI”は ANNEX が共同実施を行う場合、“ 排出目標+ET, CDM”は ANNEX が排出取引と CDM を行う場合の CO₂ 限界削減費用を意味する。

4. まとめ

本論文では、世界経済・エネルギーモデルを用いることにより、京都メカニズムの下での、CO₂ 排出量、対策コスト、CO₂ 限界削減費用の評価を試みた。ただし、実際の京都メカニズムの実施上の現実問題の仔細については省略した理想的状況のもとでの試算結果を示している。

その結果、国際的な京都メカニズムの活用により、炭素換算 10 億トン/年の世界の CO₂ 削減量に対して、世界の追加的なエネルギー投資額を 200 億ドル/年まで低下することが期待されることが分かった。また、日本の限界削減費用は約 290 ドル/t-C から約 30 ドル/t-C まで大幅に減少される結果が示された。

また、中国などアジアへ向けた日本の CDM 展開の可能性に関してマクロ的な視点で定量的分析を行った結果、日本が京都議定書の排出目標に対して国内対策のみで対応する場合、約 30 億ドル/年の追加的なエネルギー投資額が必要となるが、中国への省エネルギーを中心とする CDM 展開により、議定書達成に向けた追加的な投資額は約 10 億ドル/年へ減少し、中国を含めたアジアへ展開する場合は、約 7 億/年ドルまで減少する。そして、日本が国内対策のみにより排出目標を達成する場合、CO₂ 限界削減費用は約 300 \$/t-C にまで達するが、中国と CDM を実施する場合は約 50\$/t-C へ約 6 分の 1 まで低下し、さらに中国を含めたアジア全体において CDM を実施する場合は、約 30\$/t-C まで低下する。このため、CDM という京都メカニズムの導入は、わが国にとって、経済的に見てかなり大きな効用をもたらすことが試算された。

ただし、本論文の分析結果においては、経済成長や技術ならびにそのコストの見通しなど多くの不確実性が伴っていることや、京都メカニズムの現実の実施上の問題を除いており、その点に関しては、計算結果の解釈に注意が必要である。また、現実の CDM や JI においては、削減プロジェクトの認証に基づき、プロジェクトベースで CO₂ 削減が行われる。そのため、現実に即した評価を行うためには、具体的な排出削減施策を詳細に考慮できるモデルによるボトムアップ的アプローチが重要であることは言うまでも無い。本論文では、現段階では、そのようなモデルによる分析が困難である現状を踏まえて、マクロ的アプローチにより、京都メカニズムの有効性をケース間分析により示すことを主眼としていることを留意する必要がある。

(参考文献)

伊藤浩吉：次世代のエネルギーシステム、「21 世紀のエネルギー需給と原子力」、第 41 回原子力総合シンポジウム・プログラム(2003 年)

藤井康正：世界エネルギーモデルによる温暖化対策の定量的評価 - 世界エネルギーモデルによる評価へのアプローチ、エネルギー資源学会誌、Vol.21、No.2、pp.50-55(2000 年)

天野明弘：環境経済研究、有斐閣(2003 年)

Yamaji, K.et al.,Global energy system to maintain atmospheric CO2 concentration at 550 ppm, Environmental Economics and Policy Studies, 3, 159, 2000 年

お問い合わせ：report@tky.ieej.or.jp