

B-54 アジア太平洋地域統合モデル (AIM) を基礎とした気候・経済発展統合政策の評価
手法に関する途上国等共同研究

(1) 持続的発展に向けた地域詳細研究とモデルの普及

②-1 中国におけるCDMの有効性と持続的発展への効果に関する国際交流研究

中国エネルギー研究所	EFFフェロー	Hongwei Yang
独立行政法人国立環境研究所		
社会環境システム研究領域	統合評価モデル研究室	甲斐沼美紀子・増井利彦

平成12～14年度合計予算額 4,511千円
(うち、平成16年度予算額 0千円)

[要旨] 国連気候変動枠組条約の京都議定書の中で規定されたクリーン開発メカニズム (CDM) は、温室効果ガス排出を削減すると同時に発展途上国の環境維持開発を助成するプロジェクトへ投資するものである。本研究では、CDMプロジェクトの効果と波及効果を評価するためのモデルを開発した。本モデルを用いて、北京市の火力発電部門におけるCDMプロジェクトの実施状況と、地域環境への影響について研究した。その結果、北京市でCDMプロジェクトを実施すれば、二酸化炭素削減効果とともに、大気汚染物質を削減するという、大きな波及効果が得られるということがわかった。また、CDMは鉄鋼部門における技術移転を促進する上で重要な役割を果たす可能性があるため、政策評価のためのボトムアップ・モデルを用いて鉄鋼産業におけるCDMの効果を推計し、先進技術の導入が二酸化炭素削減だけでなく大気汚染物質の削減に有利であることを示した。さらに、トップダウン型マクロ経済モデルである応用一般均衡モデル(AIM/Material- China)にCDM導入に関するモジュールを追加し、中国の二酸化炭素削減排出量と大気汚染物質排出量に与える影響を推計するとともに、経済への効果を鉄鋼部門及び発電部門を対象として定量的に評価した。CDM導入シナリオを現状推移シナリオと比較すると、2015年のこれらの部門の二酸化炭素排出量はそれぞれ3.8%、2.7%削減されるとともに、中国全体の二酸化炭素排出量も1.4%減少する。また、硫酸化物対策が中国経済に与える影響と、CDM導入による経済回復についても推計した。年1%の割合で硫酸化物排出量を削減する場合、2005年から2015年にかけて、3%から10%のGDP損失が推計されるが、CDMを導入することにより0.1から0.3%のGDPが回復すると推計された。

[キーワード] CDM、波及効果、政策評価、排出量削減、応用一般均衡モデル

1. はじめに

京都議定書に基づくクリーン開発メカニズム (CDM) とは、『温室効果ガス排出の削減目標を達成するために、非附属書 I 締約国での環境緩和プロジェクトへの協力を通じて、附属書 I 締約国 (気候変動枠組み条約の附属書 I に記されている国々のこと) が、国内活動への追加的アプローチとして使うことができる』メカニズムに基づいたプロジェクトである。京都議定書に基づく日本の目標は、1990年排出量の6%減である。中国と日本の技術格差、特にエネルギー集約型産業における技術格差によって、この2カ国でのCDM導入の可能性が生じる。2カ国間の既存の経済協

力もこうしたCDMの潜在的な導入可能性を促進する。

CDMの大規模実施の準備として、東欧、アフリカ、ラテン・アメリカ、およびアジアにおいて多くのAIJ（共同実施活動）パイロット・プロジェクトが実施されてきた。中国は約10件のAIJパイロット・プロジェクトを実施してきたが、そのほとんどが日中共同プロジェクトである。これらのAIJパイロット・プロジェクトから得られた経験や教訓によれば、AIJプロジェクトの実現可能性は、そのプロジェクトが実施される地域の長期的開発目標に合致するかどうかで決まる。AIJと、CDMのようなプロジェクトベースのメカニズムの間にはある程度の共通点がある。CDMプロジェクトの実施を容易にする方法を検討するため、地域の経済発展・環境保護優先地域や高度で高効率な環境にやさしい技術・ノウハウについて、CDMプロジェクトの枠組みの中で検討する必要がある。たとえば、プロジェクトを成功させるためには、プロジェクトが実施される地域の既存施設、開発計画・将来需要、およびエネルギー供給能力に適した技術を採用すべきである。本研究では、CDMプロジェクトの実施にあたって推計の必要な温暖化対策効果と波及効果を同時に評価できるモデルを開発する。

鉄鋼生産は中国におけるエネルギー集約産業の1つであり、この国の総エネルギー消費の約10%を占める。鉄鋼部門に使用される主な燃料は石炭、コークスや電気などである。石炭とコークスで約70%を占め、電気は約23%を占める。現在、中国の累積鉄鋼量は日本や米国のような先進工業国よりも少ない。将来的には、生産材料としてスクラップが多く用いられるようになって電気炉が導入されるので鉄鋼部門の総エネルギー消費に占める電気の割合は高くなるだろう。本研究では、政策評価のためのボトムアップ・モデルを用いて鉄鋼産業におけるクリーン開発メカニズムの効果を推計し、先進技術の導入がCO₂だけでなく大気汚染物質の削減に有利であることを示した。

局所的な地域や国の産業部門の場合、CDMを実施する場合の対象技術や部門の優先順位及びその効果はボトムアップ・アプローチによって分析できる。一方、マクロ経済の観点からCDM導入の効果を推計するためには、一般均衡モデルを用いて分析する必要がある。このため、応用一般均衡モデルに基づいた中国のトップダウン型マクロ経済モデル(AIM/Material-China)を開発した。1997年の中国の投入産出表を修正し、採用した。また本研究は、技術モデルの技術改良結果をマクロ経済モデルに活用することで、ボトムアップ型モデル開発研究を活かしたものとなっている。鉄鋼部門及び発電部門において、中国と日本の間で実施可能なCDMのマクロ経済効果を推計した。

2. 研究目的

中国のエネルギー効率の低い技術に日本の技術を導入することにより、大幅にエネルギー消費量を減らし、二酸化炭素および大気汚染物質の排出量を減らすことができる。しかし、先進技術のイニシャル・コストは中国の現行技術よりも大幅に高い。市場の選択を踏まえると、このような先端技術を導入することは非常に困難である。このような現状の下では、京都議定書に基づくCDMを適用して日本の技術導入を図り、地球環境および地域環境の改善を図ることは有効と思われる。本研究の目的は、このメカニズムを中国に適用した場合の直接的効果と副次的効果を推計することである。

3. 研究方法

(1) ボトムアップ型のCDM評価モデルの開発と北京市への適用

企業または各部門がCDMによる基金に対してどのように行動するかを予想する行動モデルの開発は重要である。このようなモデルを構築できる強力な手法を開発できれば、どのような部門が制約の中で効果を最大化できるかを予想することができる。まず、CDMが実施されない環境で対象ユニットが長期的にどのように行動するかを説明するモデルを開発する。次に、そのユニットがCDMの誘因に含まれるプロジェクト技術または基準技術を採用するかどうかの分析を行う。本研究では、排出を削減できる有効な技術－エネルギー配分を見つけるために環境税や補助金のような複数の政策オプションを取り上げて分析する。

(2) 鉄鋼生産部門のCO₂排出量削減対策と副次的効果の中国全土における分析

現状の評価と、さらに重要な将来における技術オプション、エネルギー消費、CO₂、および大気汚染物質の排出量の予想を行うために、AIM/Localモデルを中国全土の鉄鋼生産プロセスに適用した。AIM/Localモデルは、温室効果ガスと大気汚染物質の排出を、社会的サービス需要を満たす活動（本研究では鉄鋼生産）から推計する。このモデルでは、さまざまなシナリオによる将来のエネルギー消費、総コスト、プロセス別生産占有率、CO₂・SO₂・NO₂排出量を推計できる。

(3) マクロ経済モデルの開発とCO₂削減対策とCDMの経済影響の評価

各国にある様々な環境問題に対する解決策を支援するために開発されたAIM/Materialモデルを中国に適用する。AIM/Materialモデルは、国の経済活動を対象とした応用一般均衡モデルに基づいたトップダウン型マクロ経済モデルである。このモデルは、経済収支だけでなく、物質収支も均衡させるような構造がとられているのが特徴である。中国のための本研究の事例では、中国の投入産出表をもとに中国モデルを構築する。また、SO₂排出量を推計するため、中国での汚染物質管理の実際の状況を示すことができるようモデル修正する。構築したモデルを用いてCDM導入シナリオを現状推移シナリオと比較し、CO₂およびSO₂対策が中国経済に与える影響と、CDM導入による経済回復について推計する。

4. 結果・考察

(1) ボトムアップ型のCDM評価モデルの開発と北京市への適用

本研究で開発したモデルの長所はCDMの直接効果と波及効果を同時に検討できることである。本モデルは、どのようなプロジェクトがCDM協力に適しているか、CO₂削減効果以外でCDMプロジェクトに期待できる環境改善効果はどの程度かを検討するとき役に立つと思われる。本モデル北京市のケースに適用した結果について述べる。

① 北京市の全般的社会経済状態

北京は中華人民共和国の首都である。その面積は16,808平方キロメートルであり、内1,040平方キロメートルが市街地である。北京市は13の地区と5つの郡から構成されている（図1参照）。北京の常住人口は1091万5000人であり、内733万7000人が市街地に住んでいる。常住人口の平均年間成長率は1.1%であるが、向こう20年間では、2000～2010年が0.7%、2010～2020年が0.5%である¹⁻⁴⁾。北京は中国の中でも経済成長率の高い都市である。統計と地方自治体の開発計画によれば、北京市におけるGDPの年間成長率は2000～2005年が9.50%、2006～2010年が9.0%、2011～2020年が8.5%

である。北京市のエネルギー大量消費部門は工業、火力発電、家庭、商業、および輸送である。近年、エネルギー供給の量と質は向上し続けている。たとえば、1998年の電力消費量は276億2000万 kwhに達し、地域中央暖房のサービス・エリアは910万2000平方メートルであり、95.4%の世帯が調理に天然ガスまたは都市ガスを使用している。

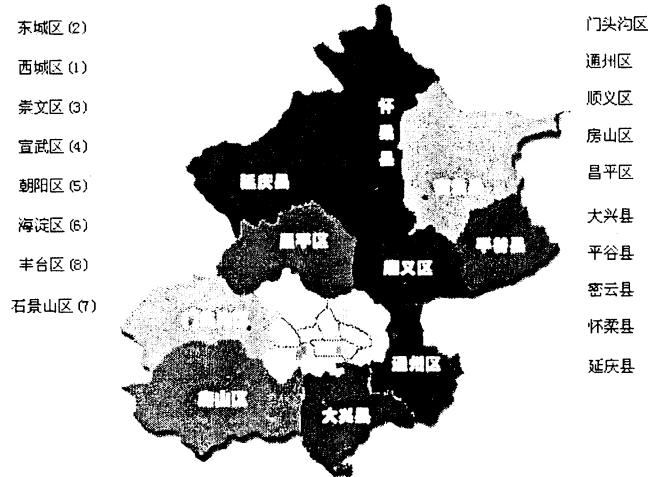


図1 北京市の地域区分

② 部門の分類とシミュレーション結果

北京市を対象とした研究では、火力発電、工業、家庭、商業、輸送やその他部門を含む7部門の18種類のサービスと65種類の技術を検討した。基準年を1995年、最終年を2020年とした。北京市の既存技術と将来技術について検討した。

ア. 北京市の火力発電部門のシミュレーション

北京市のエネルギー大量消費部門は火力発電であり、CO₂ とSO₂ の大量発生源である。北京には5つの火力発電所がある（内3つはシーチンシャン地区に、2つはチャオヤン地区にある）。1995年の発電量は128億 kwhであったが、年に6%増加する見込みである⁵⁾。北京では1998年からSO₂ 1 kgあたり0.20元の排出税が課されている。現在、5つの発電所では従来型の蒸気式石炭ボイラー、低硫黄石炭ボイラー、および石油ボイラーが使用されている。これらとは別に、ガスタービンとIGCC（高効率技術－石炭ガス化・複合サイクル統合技術）の導入も検討されている。IGCCは技術譲渡に関する障壁が撤廃されれば、2005年以降に利用できるとされている。地方自治体の開発計画によれば⁶⁾、2005年より前の低硫黄石炭の最大供給量は5 Mtであり、2005年以降は8 Mtである。表1のように、この部門のシミュレーションでは6つのシナリオを用意した。ケース3のIGCCとケース6の天然ガスに補助金が付けば、北京市の火力発電マーケットにおけるIGCCとガスタービンの導入が容易になる。これらシナリオのシミュレーションによるCO₂およびSO₂排出量の推移を図2、3に示す。図4は新技術導入に関わる費用、図5は炭素価格である。技術占有率を図6に示す。

以上の計算結果から、高効率技術「IGCC」とクリーン技術「ガスタービン」は、基準ケース（ケース1）の市場では導入されない。IGCCが導入されない主な理由は、その在来技術よりも高い初期費用と維持管理費であるが、特に維持管理費が問題である。補助金により導入費用し易くしたポリシーケース（ケース3）で、187 US\$/kwの補助金を付与すれば、IGCCは市場に導入される。

ガスタービンの大きな障害は天然ガスと石炭の間に燃料としての価格差があることである。ケース6は、補助金により天然ガスの価格を下げ、ガスタービンを市場に導入するプログラムをシミュレートしたポリシー・ケースである。最低限0.09 US\$/m³の補助金が必要である。

表1 火力発電部門のシナリオ

ケース番号	CO ₂ 税 (US\$/t-C)	SO ₂ 税 (US\$/t-SO ₂)	CO ₂ 制約条件 (Mt-C)	SO ₂ 制約条件 (Mt-SO ₂)	補助金
ケース1	0	24	INF	INF	0
ケース2	12	24	INF	INF	0
ケース3	0	24	INF	INF	187 (US\$/kw) – IGCC
ケース4	0	24	INF	0.2	0
ケース5	0	24	10.0	INF	0
ケース6	0	24	INF	INF	0.09 (US\$/m ³) – NGS

図2に示されるように、ガスタービンとIGCCはCO₂排出を削減する効果的なアプローチである。ガスタービンのCO₂削減効果はIGCCのそれよりも高い（図7参照）。また、CO₂の削減努力から間接的に得られるSO₂削減効果は、図3と図7に示されるように顕著である。北京市において、従来の石炭ボイラーをガスタービンやIGCCに交換すれば、CO₂だけでなくSO₂も削減される。

北京市の火力発電所から発生するCO₂排出を削減するには、図6のケース4とケース5のように、高効率・クリーンな先進的技術が至急必要である。ケース4とケース5では環境目標を設定した。シミュレーション結果から、CO₂削減目標を達成するにはガスタービンとIGCCを導入しなければならず、SO₂削減目標を達成するには排出ガスの脱硫が可能な煙突を装備した石炭ボイラーと低硫黄石炭ボイラーを採用しなければならないことがわかる。

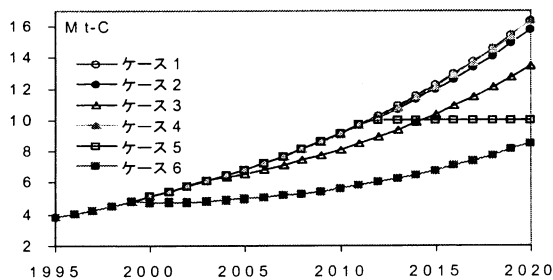


図2 CO₂の排出量

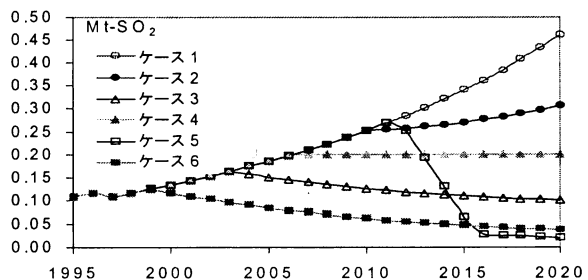


図3 SO₂の排出量

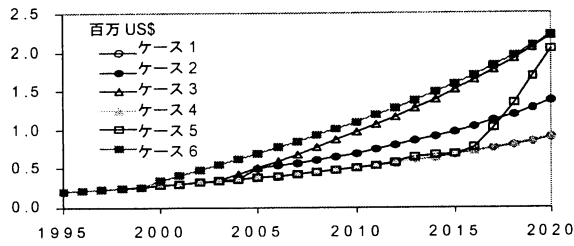


図4 総費用

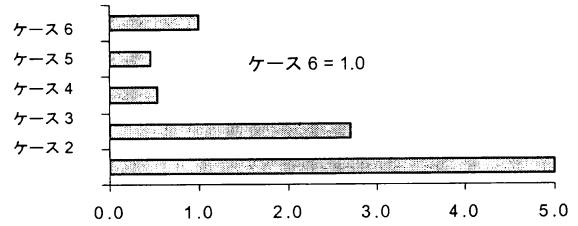


図5 ケース6を1とした炭素価格

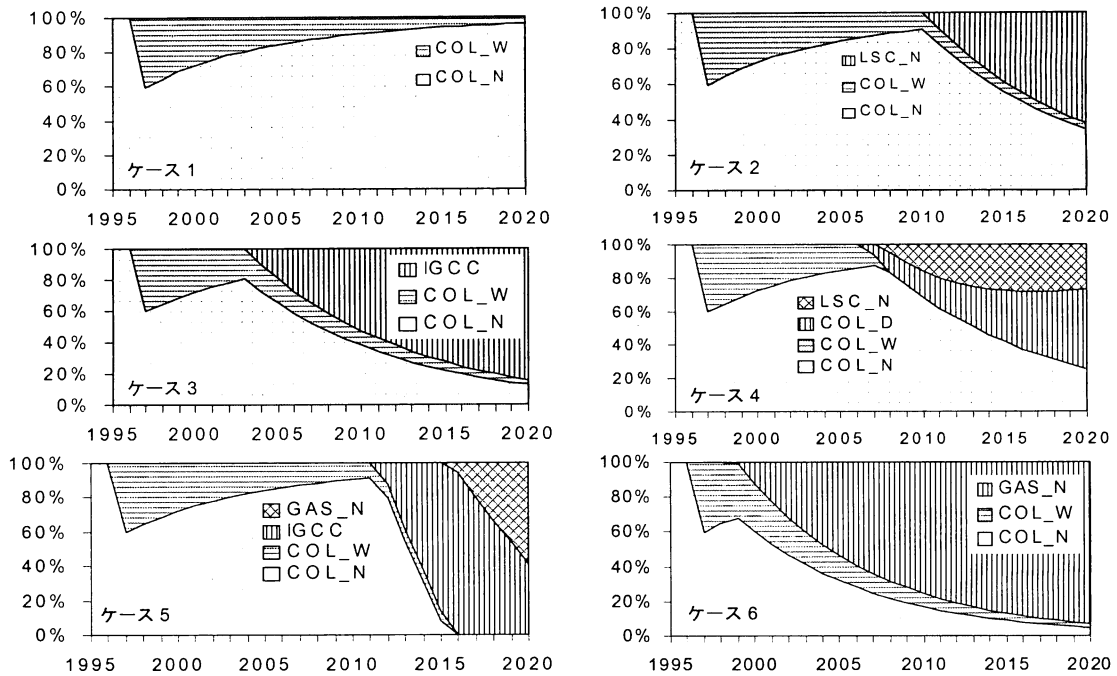


図6 技術別占有率

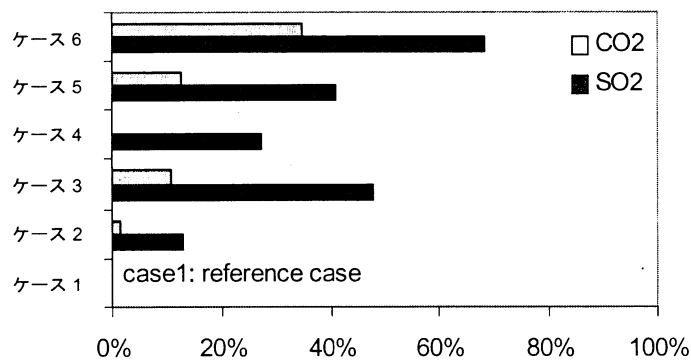


図7 CO₂、SO₂の累積削減率（1995 - 2020）

イ. 北京市全部門のシミュレーション

北京市の全部門からのCO₂排出量について分析した。表2に示す、火力発電、工業、家庭、商業、運輸部門を対象として、対象としていない部門からの排出量はその他としてまとめた。サービスは電力、鉄鋼、暖房などの14を対象とし、石炭ボイラー、石油ボイラーなど62の技術について検討した。

表3に示す5つのケースについてのシミュレーションを行った。S-1を対策を行わないとした参照ケースとし、S-2からS-4まではSO₂対策を、S-5ではCO₂対策を行うとした。

表2 対象とした部門、サービスと技術の分類

部門	サービス	技術
火力発電	電力	石油ボイラー、石炭ボイラー、ガスタービン、低公害石炭ボイラー、ガス循環脱硫装置
工業	セメント	レポルキルン、ロータリー乾燥炉、分解前での乾燥炉
	鉄鋼	在来型鉄精製工程、高効率鉄精製工程
	エチレン	ディーゼル分解工程、ナフサ分解工程、低重量炭化水素分解工程
	精油	重油熱分解工程、高効率重油熱分解工程
家庭	暖房	石炭オープン、石炭ボイラー、石炭による地域暖房システム、ガスヒーター、石油ヒーター、電気ヒーター、エアコン
	冷房	エアコン、扇風機
	照明	白熱灯、省エネ白熱灯、蛍光灯、省エネ蛍光灯
	調理	ガスオープン、都市ガスオープン、石炭オープン
	給湯	ガス温水器、石炭温水器
商業	暖房	石炭オープン、石炭ボイラー、石炭による地域暖房システム、ガスヒーター、石油ヒーター、電気ヒーター、エアコン
	冷房	エアコン、扇風機
	照明	白熱灯、省エネ白熱灯、蛍光灯、省エネ蛍光灯
	調理	ガスオープン、都市ガスオープン、石炭オープン
	給湯	ガス温水器、石炭温水器
運輸	旅客輸送	ガソリンバス、ディーゼルバス、天然ガスバス、トロリーバス、ガソリン自動車
	貨物輸送	地下鉄、ガソリントラック、ディーゼルトラック
その他	その他	石炭を使った技術、ガスを使った技術、電力を使った技術

表3 シナリオの設定

ケース	対策	備考
S-1	対策なし	参照ケース
S-2	SO ₂ 排出税 (US\$/t-SO ₂): 145 (1997), 205 (2000), 600 (2020)	SO ₂ 排出税 北京市の行政政策局による現行策
S-3	2020年のSO ₂ 排出量を2000年レベルの60%に抑える	SO ₂ 総量規制 北京市の環境行政局による代替策
S-4	SO ₂ 排出税 (US\$/t-SO ₂): 145 (1997), 205 (2000), 600 (2020)	SO ₂ 排出税
	補助金: 天然ガスに50%、IGCC(石炭ガス化複合発電)に40%	補助金
S-5	2020年のCO ₂ 排出量をS-1の2010年レベルに抑える	CO ₂ 対策

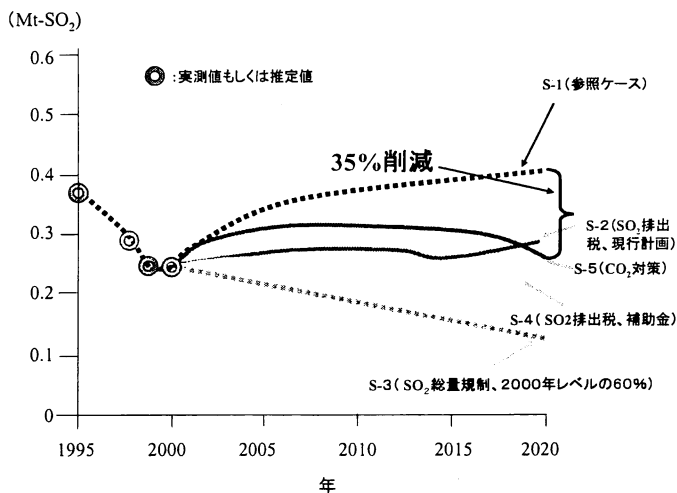


図8 北京市におけるSO2排出量の推計

減された。また、SO₂ 税と補助金を組み合わせた対策を行ったケースでは、補助金による天然ガスの利用の促進と新技術の導入で省エネ化が進みCO₂ 排出量も削減された。

図10にCO₂対策の限界費用を示す。先進国で京都議定書の目標を国内対策のみで達成する場合の限界費用は、平均約1kg炭素トン当たり0.3US\$/kg-Cと見積もられている。S-5のケースでは、2020年には中国で先進国レベルの対策費用以下での削減が可能である。その対策としては、石炭を効率よく利用する技術の導入と天然ガスへの転換が中心となる。

図8にSO₂排出量の推計結果を示す。SO₂排出税やSO₂総量規制などのSO₂対策を行った場合もCO₂対策を行った場合もSO₂排出量は削減された。SO₂対策を想定して場合は、脱硫技術の導入によりSO₂排出量は削減され、CO₂対策の場合は、天然ガス利用の促進や新技術の導入で省エネ化が進み、SO₂排出量は削減された。CO₂対策の場合は、2020年で参照ケースより約35%のSO₂排出量が削減された。

図9にCO₂排出量の推計結果を示す。SO₂対策のみの場合はCO₂排出量の削減は行われなかった。CO₂対策では、2020年で参照ケースから約30%が削

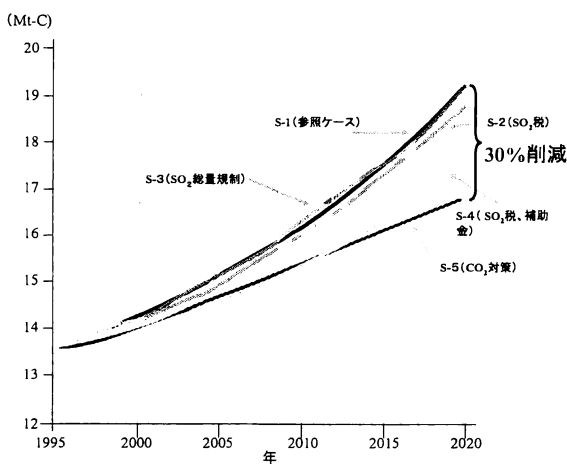


図9 北京市におけるCO2排出量の推計

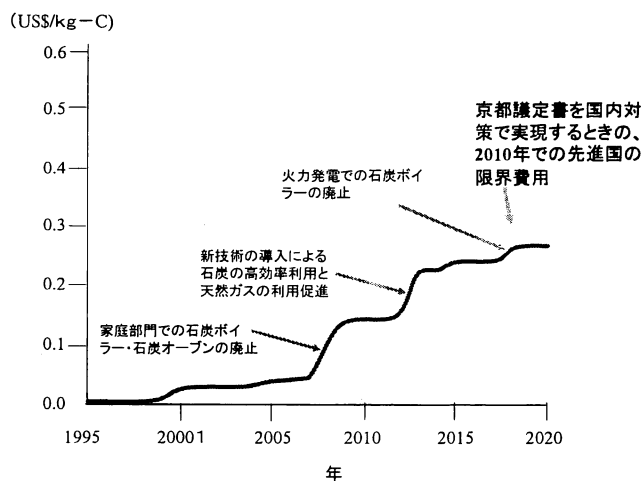


図10 CO2対策の限界費用

(2) 鉄鋼生産部門のCO₂排出量削減対策と副次的効果の中国全土における分析

① 現状の排出量の推計

本研究では、中国における鉄鋼生産を、大規模鉄鋼プラントによる生産とその他のプラントによる生産の2カテゴリに分類する。72の大規模鉄鋼プラントを個別に調査する。各プラントについて位置、鉄鋼生産の主たるプロセス、および生産量の詳細な情報を収集する。大規模点排出源である72の大規模プラントから生じたCO₂、SO₂、およびNO₂排出量は、2000年にこの部門から生じた総排出量のそれぞれ90.6%、89.5%、および90.6%を占めた（表4）。排出源の位置データを収集したので、排出量と排出ガスの種類だけでなく、排出源の地理的位置も特定することができる。例えば、図11、図12は2000年に中国の鉄鋼生産から生じたSO₂排出量とCO₂排出量の分布図である。図12は総排出量の内訳を郡レベル（郡レベルの2514地区）の分布で示している。

表4 中国において鉄鋼生産から生じた排出の内訳、2000年

	CO ₂ (Mt-C)	占有率 (%)	SO ₂ (Mt)	占有率 (%)	NO ₂ (Mt)	占有率 (%)
大規模点排出源	66.686	90.6	0.838	89.5	0.788	90.6
地方排出源	6.951	9.4	0.098	10.5	0.082	9.4
合計	73.637	100.0	0.936	100.0	0.870	100.0

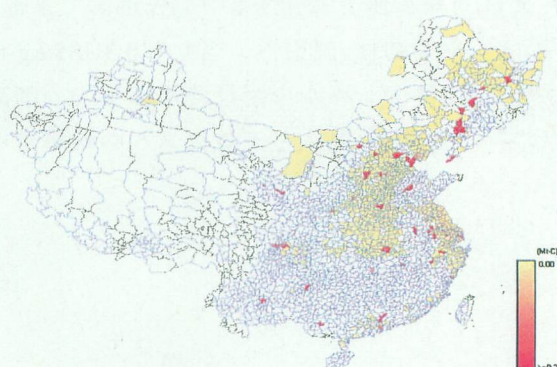
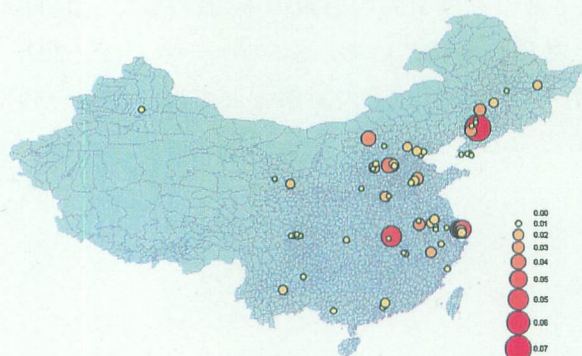


図11 中国において鉄鋼生産大規模点排出源から生じたSO₂排出 (Mt-SO₂) の分布、2000年
 図12 中国において鉄鋼産業から生じた郡レベルのCO₂排出 (Mt-C) の分布、2000年

② 鉄鋼生産部門のモデル化

鉄鋼の生産プロセスは非常に複雑である。その上、プロセスは国によって、またそれぞれの用途に応じて大きく異なる。エネルギー効率の潜在的改善と技術コストの比較を分析するために、本研究では、鉄鋼生産プロセスを定型化する定義に基づいて技術を一本化した。コークス生産、銑鉄生産、粗鋼生産、および鋳造・圧延の4段階をプロセスの定型とする。シミュレーションでは6つの技術を採用するが、最後の3つは日本の先進技術である。

- ア. 平炉定型プロセス（現在中国にて使用中）
- イ. 酸素吹き転換炉定型プロセス（現在中国にて使用中）
- ウ. AC電子炉定型プロセス（現在中国にて使用中）

- エ. DC電子炉定型プロセス（日本からの導入を予定）
- オ 溶解還元製鉄法（DIOS）定型プロセス（日本からの導入を予定）
- カ. 熱回収定型プロセス（日本からの導入を予定）

③ 鉄鋼部門におけるシナリオ

中国の将来における鉄鋼産業の発展経路を示すために、以下のシナリオを用意した。

- ア. 市場シナリオ：国内技術の変換と国内技術のエネルギー効率改善が可能
- イ. クリーン開発メカニズム・シナリオ：クリーン開発メカニズムの助成金を使用して先進技術の導入を促進
- イ. 最小CO₂排出シナリオ：生産コスト上の制約が存在しない前提の下で最小CO₂排出を確認

もちろん、最小CO₂排出シナリオは理論に過ぎず、実際には起こり得ない。しかし、その理論的境界は使用可能なクリーン開発メカニズム資金の最大値を見つけ出す上で役に立つ。最小CO₂排出の解は、モデルを以下のように変更することで求められる。

オリジナル・モデル	変更後のモデル
最小{総コスト}	最小{総CO ₂ 排出}
制約：	制約：
－サービス供給	－サービス供給
－エネルギー供給	－エネルギー供給
－排出	－その他の排出
－技術占有率	－技術占有率
－技術取引	－技術取引
－技術運用	－技術運用

④ CDMありの場合／なしの場合の排出量推計

市場シナリオによるシミュレーションの結果、定型プロセスの酸素吹き転換炉とAC電気炉は2030年まで優勢な技術であり、生産者が最小コストを重視することから、定型のDC電子炉、DIOSプロセスや熱回収プロセスのような日本の先進技術を中国の鉄鋼生産に導入することは不可能であることが判明した。

このような状況下では、京都議定書に基づくクリーン開発メカニズムによって日本の先進技術が中国に導入され、その結果として日本の環境上の利益が促進されることから、クリーン開発メカニズムは中国の鉄鋼生産から生じるCO₂排出を削減するのに積極的な役割を果たす可能性がある。排出削減の規模は、クリーン開発メカニズムに充当できる資金量と、資金の使い方によって左右される。

本研究により、定型熱回収プロセスが近い将来のもっとも安価な技術であることが判明した。しかし、20年から30年先を考えると、定型のDC電気炉とDIOSには、CO₂と大気汚染物質の削減において、より大きな潜在性がある。日本から先進技術を導入することによって、中国における鉄鋼生産のエネルギー効率は、市場シナリオと比べて2010年に2%～5%、2020年に5%～8%、2030年に6%～10%改善される可能性がある。定型熱回収プロセスの場合、コークスのウェットタイプ

焼入れをドライタイプ焼入れに変更した上で、主たる廃熱、潜熱、冷却廃熱、および溶鉱炉の最高圧回収タービンを回収すれば、前述の改善が実現する。定型プロセスのDIOSとDC電気炉の場合、既存の平炉または転炉を新技術に置き換えれば、効率改善が実現する。

図13～16は、各々のシナリオにおいて中国の鉄鋼生産から生じるCO₂、SO₂、およびNO₂排出の推計値を示している。市場シナリオの下では、サービス需要が飽和して、平炉が転炉またはAC電気炉に置き換えられたときに、排出曲線がフラットになる。このシミュレーション結果により、定型熱回収プロセスと定型DC電気炉の鉄鋼累積生産量が2030年までに全国の累積生産量のそれぞれ5.2%と1.4%を占めると、図13の”CDM1”曲線に見るように、CO₂排出は8%減少することがわかる。”CDM2”と”最小CO₂”のシナリオにおいても同じ現象が生じる（表5）。現段階ではDIOSがまだ概念上の技術に過ぎず、そのイニシャル・コストが高いため中国の鉄鋼生産に導入するのは困難である。図16の曲線は、市場シナリオにおける推計CO₂削減コストと、2000年の排出量を基準としたCO₂排出削減率との関係を示している。排出削減率が20%を超えると、削減コストは急上昇する。

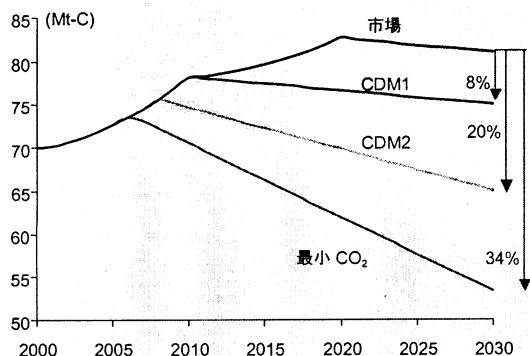


図13 各シナリオにおいて中国の鉄鋼生産から生じるCO₂排出の推計値

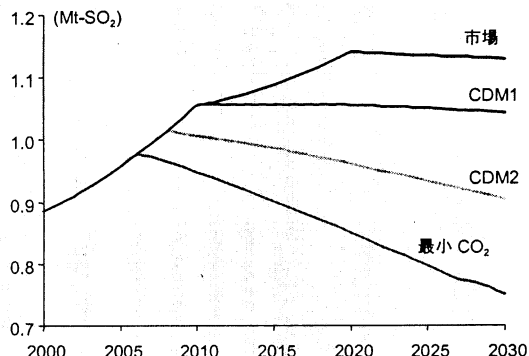


図14 各シナリオにおいて中国の鉄鋼生産から生じるSO₂排出の推計値

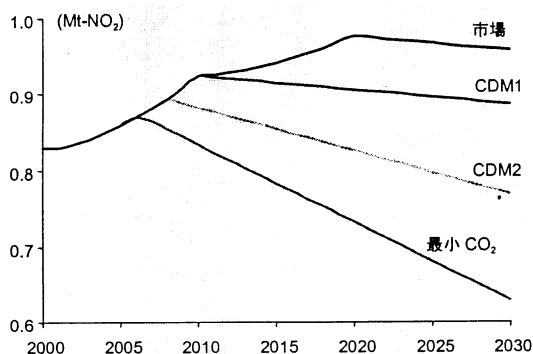


図15 各シナリオにおいて中国の鉄鋼生産から生じるNO₂排出の推計値

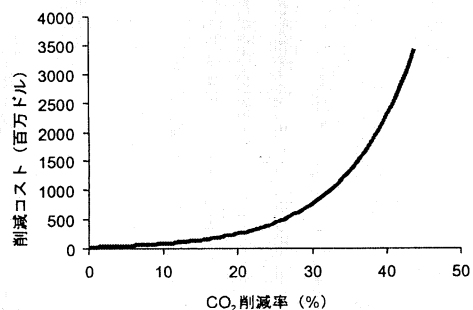


図16 中国の鉄鋼生産の削減コスト・CO₂排出削減率曲線

表5 シナリオ別、技術別、累積生産量の占有率

シナリオ	平炉	酸素	AC電気	DC電気	熱回収	DIOS	合計
市場	0.4	81.3	18.3	0.0	0.0	0.0	100
CDM1	0.4	73.7	19.4	1.4	5.2	0.0	100
CDM2	0.4	58.2	24.5	11.0	5.9	0.0	100
最小CO ₂	0.4	42.6	24.3	30.7	2.1	0.0	100

(3) マクロ経済モデルの開発とCO₂削減対策とCDMの経済影響の評価

① マクロ経済モデル (AIM/Material-China) の開発

AIM/Materialモデルを中国に適用した。本モデルは第一次産業、第二次産業とサービス部門から構成される生産部門、家計と政府から構成される最終需要部門、および経済活動から発生する汚染物質を取り扱う廃棄物管理部門から構成される。

生産部門及び最終需要部門では、エネルギーの燃焼によってCO₂が排出され、また、関連活動によって汚染が生じる。各生産部門には、汚染物質管理のためのサブ部門がある。本モデルでは、汚染物質を処理するためには、環境資本、労働、エネルギーとその他の中間投入が必要であると仮定している。汚染物質を処理した後、汚染物質管理部門は、処理残渣を環境に放出する。ただし、再利用可能な処理残渣の一部は、リサイクルされ、市場に供給される。CO₂や処理残渣の環境中への排出量に対しては制約を課すことが可能である。制約条件を設定した場合、その上限を超える潜在的な排出量があると、各制約に対するシャドウプライスが発生する。これは、各制約に対する環境税と解釈することができ、本モデルではその税収は政府部門の収入となるように想定している。それぞれの部門には、固有の生産関数や需要関数を想定している。

家庭部門は、資本、労働などの資源を保有する最終需要部門である。家庭部門は、生産部門にこれらの資源を提供したときに、対価として所得を得る。家庭部門は、所得制約下で、その効用を最大化するように財を消費する。最終消費財以外に投資財の需要を需要関数は取り扱い、投資財の需要は家庭の貯蓄に一致する。家計が保有する資本ストックは、新規投資分が追加され、減価償却分だけ減少する。技術変化のパラメーターは、新規設備投資を対象に想定されており、既存の資本ストックと新規投資の関係により、シミュレーション中の期間(1年)ごとに更新される。

政府部門は、もう1つの最終需要部門である。その挙動は、家庭部門に似ているが、政府部門の役割は、家庭部門とは以下の点において異なっている。政府部門は、徴税して行政サービスを提供し、公共投資を行う。また、環境負荷が上限を超えた場合には、政府部門は環境税を徴収する。

中国の環境統計^{7,8)}によれば、かなりの量の廃ガス、廃水、固形廃棄物がそれぞれの部門で処理されている。この実情を示すために、このモデルには、一般廃棄物管理だけでなく、各部門の廃棄物の自主管理も含む。二酸化硫黄の管理としては、その発生、除去、排出が挙げられる。廃水や固形廃棄物管理としては、その発生、除去、リサイクル、処理が挙げられる。廃棄物管理の後、それらの一部は、市場向けにリサイクルされる。また一部は、除去過程を通して削減され、残りは大気に放出されたり、あるいは最終処理施設で処理されたりする。各部門の二酸化炭素の排出量は、燃焼させた化石燃料の量と、中国のエネルギー均衡表と投入産出表から導き出される排出係数によって計算される。

本研究では、中国の社会会計マトリックスを構築した。これは、124部門の1997年投入産出表⁹⁾やその他の統計資料^{10,11)}を修正した31の部門（表6参照）と31の商品からなる。

ボトムアップ・アプローチによる研究から、発電部門と鉄鋼部門が、中国におけるCDM協力の優先分野であることが明らかとなった。また、中国と日本のエネルギー効率格差が、それぞれ鉄鋼業で42%、火力発電で24%であることも示された。これらの部門における、中国と日本の可能なCDM協力資金の規模は、ボトムアップ研究によって求められた。それによると、CDM資金は、鉄鋼部門の年間新規投資の17%、発電部門の15%であると示唆されている。このシミュレーション期間は、1997年～2030年である。

表6 AIM/Material-Chinaにおける部門と商品の分類

識別名	説明	識別名	説明
AGR	農業、農林水産業	ENV	環境産業
M_C	石炭鉱業	OHI	他の重工業
M_O	原油	REP	修理
M_G	天然ガス	OLI	他の軽工業
MIN	他の鉱業	WST	廃棄物管理
FOD	食品	ELE	発電
TEX	繊維	HET	熱供給
WOD	材木や木材製品	GAS	ガス生産、供給
PAP	紙パルプ	WTR	給水
OIL	石油製品	CNS	建設
COL	石炭製品	T_F	貨物運送
CHM	ケミカル	T_P	旅客輸送
NMP	非金属鉱物製品	COM	商業
STL	鉄鋼	RES	飲食店
NFR	非鉄金属製品	OSR	他のサービス
MET	金属製品		

② 分析対象としたシナリオ

中国におけるCDM協力のマクロ経済効果を推計するために、以下のシナリオを検討した。

(ア) BaUシナリオ：CDM協力が無い状況を、BaU（なりゆき）シナリオと定義する。

(イ) CDMシナリオ：2003年以降のCDM協力があり、総投資に上限が無い状況を指す。この場合の総投資は、当初国内投資に、追加投資源としてのCDM協力からの資金を加えたものに等しい。総投資が増加すると、国家経済も比例して拡大することが予想される。

(ウ) CDMBシナリオ：2003年以降にCDM協力があり、総投資に上限がある状況を指す。このシナリオでの総投資は、CDM協力を通して追加資金が導入されたとしても、当初総投資と同規模を維持する。これは、「国家経済の規模が変わらないように、CDM資金の導入分だけ、国内投資が減少する」ことを仮定している。

③ シミュレーション結果

CDMは主に2008年～2012年の第一約束期間に用いられることになっている。シミュレーション

期間は1997年～2030年だが、ここでは考察と分析の中心を第一約束期間とする。

CDMプロジェクトを行う2つの部門では、CO₂排出量が、鉄鋼部門では4%、発電部門では3%減少するだろう。また、両部門ともCDMBシナリオでは、表7に示すように、CO₂排出が更に減少する結果となる。

表7 部門合計におけるCO₂排出変化の割合

	CDM	CDMB	2つのシナリオ間の差
鉄鋼部門			
2005	-3.18%	-3.38%	-0.20%
2010	-4.26%	-4.33%	-0.07%
2015	-3.80%	-3.84%	-0.05%
発電部門			
2005	-1.20%	-1.31%	-0.11%
2010	-2.59%	-2.76%	-0.17%
2015	-2.55%	-2.70%	-0.15%

BaUシナリオと比較すると、国のGDPは、CDM、CDMBの両シナリオにおいて増加している。しかしGDPの規模は、ずいぶん異なっている。CDMシナリオでは、GDPは2005年に0.12%、2010年に0.22%、2015年に0.18%増加する。一方、CDMBシナリオでは、GDPは2005年に0.01%、2010年に0.02%、2015年に0.01%だけ増加する。この違いは、CDMBシナリオでは総投資をBaUシナリオと同じと設定したためであると考えられる。GDPのわずかな増加は、国内技術よりも高い効率性を持つ技術をCDMによって導入した結果、効率が改善されたためである。一方、CDMシナリオにおいては、効率が改善されるだけでなく、総投資もCDM分だけ増加する。鉄鋼部門と発電部門のCDMプロジェクトによって「増加した」投資は、総効用を最大化するために、他の部門に移転されるだろう。このため、CDMシナリオでは、CO₂の削減がCDMBシナリオほど多くないが、図17、図18に示したように、炭素集約度変化に与える効果は、CDMBシナリオよりもより明白である。

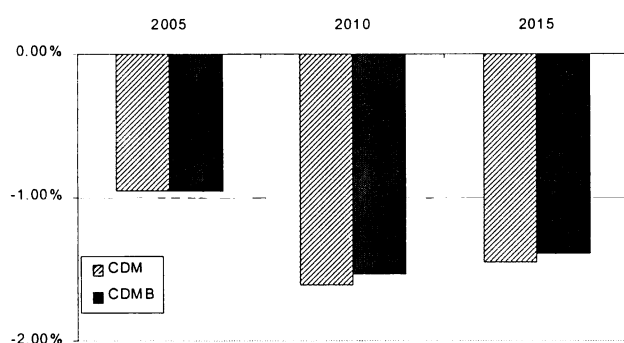


図17 炭素集約度の変化

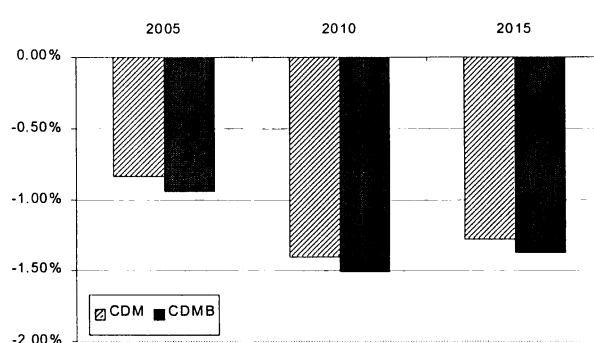


図18 総CO₂排出量のBaUシナリオに対する削減割合

中国では、地域的な環境汚染防止は、地球環境問題よりも優先順位が高い。大気汚染、水質汚染、固形廃棄物処理に対する環境保護には、早急の対策が必要である。これらの汚染の緩和は、

環境活動のために資本、労働、他の中間物の投入が必要になるために、生産活動の損失を生じさせる可能性がある。こうした特別な状況下でのCDM協力の効果を分析するために、SO₂規制のためのシナリオを検討した。SO₂シナリオでは、1998年以降毎年、前年比1%のSO₂排出量が削減されるとする。このSO₂規制によるGDP損失をまず推計した。次に、この状況でのCDMの導入を分析した。シミュレーションの結果は、SO₂規制で生じるGDP損失のCDMによる回復は、それぞれ2005年に0.14%、2010年に0.32%、2015年に0.32%になることが分かった。

5. 本研究により得られた成果

北京市の火力発電と全部門の研究結果からCDM協力が効果的であることがわかった。火力発電所と中央暖房プラントが北京市の市街地に位置しているため、CO₂を削減する取り組みから波及効果として得られるSO₂排出削減効果により大気質を大幅に改善することができる。

本研究では、CO₂、SO₂、NO₂の削減をシナリオ別に推計した。SO₂排出税とNO₂排出税を0.20元/kg-SO₂に固定し、すべてのシナリオについてNO₂排出にペナルティがかからないと仮定すると、SO₂とNO₂の排出削減率はCO₂のそれに酷似する。この結果は、先進技術の導入がCO₂だけでなく大気汚染物質の削減に有利であることを示唆している。地球環境問題の優先オプションと政策決定プロセスにとって、このような副次効果や波及効果を検討することは非常に大切である。

次に、マクロ経済の観点から、CDMの直接効果と副次的効果を推計した。CDMは、CDMプロジェクトが実施された部門だけでなく、他の関連部門や国家経済にも影響を与える。CDMの効果は、投資の変化と部門全体に渡るその再配分の変化、及び生産と汚染物質管理活動のための技術効率の改善を通して生じる。本研究では、CO₂、SO₂、NO₂の削減をシナリオ別に推計した。SO₂排出税とNO₂排出税を0.20元/kg-SO₂に固定し、すべてのシナリオについてNO₂排出にペナルティがかからないと仮定すると、SO₂とNO₂の排出削減率はCO₂のそれに酷似する。この結果は、先進技術の導入がCO₂だけでなく大気汚染物質の削減に有利であることを示唆している。また、緩やかなSO₂規制によるGDP損失は、第一約束期間頃に実施されるCDMによって、0.14%~0.33%の回復させることが可能となると推計された。

本研究では、技術改善情報とボトムアップ研究によるCDM資金の推計を利用したが、これは、シナリオ設定における主観的推量を減らすのに役立った。局所的なCDM市場は、2つの協力国における当該技術の特徴や状況によって決定されるだけでなく、国際的なCDM市場に関連する多くの事柄に影響を受けるため、CDM実施にあたっては、さらなる要因を検討する必要がある。地球環境問題の優先オプションと政策決定プロセスを検討する上で、地域環境への副次効果や経済への波及効果をモデルによって検討することは対策を評価する上で有意義である。

6. 引用文献

- 1) Beijing Municipal Government (1996) General Planning of Beijing City, pp.10-14, Beijing Municipal Government, Beijing, 19P
- 2) Beijing Municipal Statistics Bureau (1996) Beijing Statistical Yearbook 1996, pp.19 - 66, 167-238, 391-420, China Statistical Publishing House, Beijing, 601P
- 3) State Statistics Bureau (1996) China Statistical Yearbook 1996, pp.15 - 540, China Statistical Publishing House, Beijing, 830P

- 4) State Power Corporations (1995) China Electric Power Statistical Yearbook 1995, pp.685 - 710, State Power Press, Beijing, 763P
- 5) Beijing Municipal Planning Commission (1999) Beijing 50 Years, pp.19-65, 157-216, 289-295, 347-382, China Statistical Publishing House, Beijing, 396P
- 6) Beijing Municipal Planning Commission (2000) Beijing's 10th Five-year Plan for Social Economic Development, pp.2-8, Beijing Municipal Planning Commission, 11P
- 7) State Statistical Bureau (2002) China Statistical Yearbook 2001, pp.47-104, 399-463, China Statistical Publishing House, Beijing, 900P
- 8) State Environmental Protection Administration (1999) China Environmental Statistical Yearbook 1998, pp.519-577, China Environmental Statistical Publishing House, Beijing, 614P
- 9) State Statistics Bureau (1999) China Input-Output Tables, China Statistical Publishing House, Beijing
- 10) State Statistics Bureau (2001) China Energy Statistical Yearbook 1997-1999, pp.62-520, China Statistical Publishing House, Beijing, 554P
- 11) China Energy Research Society (2001) China energy data 2001, Journal of Energy Policy Research, pp.1-33, China Energy Research Society, Beijing, China

7. 国際共同研究等の状況

本研究は国際交流研究に基づくものである。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり) >

- ① H.Yang and Y.Matsuoka: Journal of Global Environment Engineering, Vol. 7, 41-61 (2001)
“Development of an Air Pollutant Emission Inventory System in China”
- ② H.Yang: Journal of Energy and Environmental Protection, 18(2), 1-4 (2004) (in Chinese)
“Application of AIM/Local China model to the assessment of the ancillary benefits of mitigation technologies and their impacts on climate change responses”
- ③ H.Yang and X. Hu: Journal of Energy and Environmental Protection, 18(5), 10-15 (2004) (in Chinese)
“Methodology studies for the establishment of China’s SO2 inventories”

<その他誌上発表 (査読なし) >

- ① H.Yang, M.Kainuma, and Y.Matsuoka: Proceedings of IFAC Workshop on Modeling and Control in Environmental Issues, 103-108, Yokohama, Japan, 2001
“Modeling the clean development mechanism: direct benefits, co-benefits and priorities”
- ② H.Yang : GHG mitigation technology options and suggestions on policy response in China’s chemical industry, China Electric Power Publish House, 2002. (in Chinese)
“Chapter 6, Options and Assessment of GHG Mitigation Technologies in China”

(2) 口頭発表 (学会)

- ① H.Yang, M.kainuma, and Y.Matsuoka: Annual Meeting of Environmental Economics and Policy

Studies, Tsukuba, Japan, 2000

"Cost Effective Analysis of CO₂ Emission Scenarios in China"

- ② H. Yang, M. Kainuma, and Y. Matsuoka: IFAC Workshop on Modeling and Control in Environmental Issues, Yokohama, Japan, 2001
"Modeling the Clean Development Mechanism: Direct Benefits, Co-benefits and Priorities"
- ③ H. Yang, M. Kainuma, and Y. Matsuoka: Annual Meeting of Environmental Economics and Policy Studies, Kyoto, Japan, 2001
"Analysis of Co-benefits of CO₂ Mitigation"
- ④ M. Kainuma, Y. Matsuoka, and H. Yang: A Joint Meeting of the Energy Forum, International Energy Agency and the International Energy Workshop, Laxenburg, Austria, 2001
"Analysis of co-benefit of CO₂ mitigation"
- ⑤ H. Yang, M. Kainuma, and Y. Matsuoka: IFAC Workshop on Modeling and Control in Environmental Issues, Yokohama, Japan, 2001
"Modeling the clean development mechanism: direct benefits, co-benefits and priorities"
- ⑥ H. Yang, M. Kainuma, and Y. Matsuoka: 環境経済政策学会2001年大会、京都 (2001)
"Analysis of co-benefits of CO₂ mitigation"
- ⑦ H. Yang, X. Hu, K. Jiang, Y. Matsuoka, and M. Kainuma: 7th International Joint Seminar on the Regional Deposition Processes in the Atmosphere, Tsukuba, Japan, 2001
"SO₂ emission inventory and projection in China"
- ⑧ H. Yang, Y. Matsuoka, and M. Kainuma: 2002 Conference of Society for Environmental Economics and Policy Studies, Hokkaido University, Japan, 2002.
"Development of AIM/China to analyze CO₂ reduction policies",
- ⑨ H. Yang: COP8 Side-event, Asian-Pacific Forum for Collaborative Modeling of Climate Policy Assessment, New Delhi, 2002.
"Climate Change Modeling: Some Experiences in China",

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

- ① Interviewed by *China Youth Daily*, to address on "The impacts of the coming into force of the Kyoto Protocol on China's economic development", 17 Feb 2005.
- ② Interviewed by *China Science and Technology Daily*, to address on "The impacts of the coming into force of the Kyoto Protocol on China's energy technology development", 18 Feb 2005.
- ③ Interviewed by *Hebei Radio Station*, to address on "The impacts of the coming into force of the Kyoto Protocol on China's social-economic development", 17 Feb 2005.

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

CDMによるCO₂削減効果の副次効果の推計を通じ、中国におけるCO₂削減計画の立案に有用な

情報を提供した。

- ① “the Interim Measures for Operation and Management of Clean Development Mechanism Projects in China”の準備に専門家として参加
- ② 2002年からUNFCCC COP と SB sessions に中国代表団の一員として参加
- ③ IPCC第4次レポートの協力執筆者