

B-54 アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル（AIM）の適用と改良に関する途上国等共同研究

(1) AIMモデルを用いた政策評価に関する途上国等共同研究

研究代表者 国立環境研究所 地球環境研究グループ
温暖化影響対策研究チーム 森田恒幸

環境庁国立環境研究所

地球環境研究グループ 温暖化影響対策研究チーム 甲斐沼美紀子・増井利彦
社会環境システム部 環境経済室/環境計画室 森田 恒幸・日引 聡・原沢 英夫・高橋 潔
(委託先) 京都大学工学部 松岡 謙
(海外共同研究機関) 中国エネルギー研究所・インド経営研究所・韓国エネルギー経済研究院・韓国
サンミュン大学・インドネシア環境省

平成9～11年度合計予算額	72,663	千円
(平成11年度予算額)	24,292	千円)

[要旨] 過去6年間をかけて開発してきたアジア太平洋統合評価（AIM）モデルを適用して、温暖化防止政策の必要性やその効果を明らかにし、種々の政策ニーズや国際機関のニーズに応えるための研究を行った。IPCCの要請によって新しい排出シナリオを開発するとともに、気候安定化のための対策シナリオを作成した。また、エコアジアやIEA等の国際機関の要請に基づいて、アジア地域の環境変化の見通しの推計や炭素隔離の効果分析などを実施した。一方、日本政府が京都議定書に対応するために必要となる種々の分析、特に、日本の数値目標達成の可能性についての分析、国際排出量取引やクリーン開発メカニズムの効果分析を実施した。さらに、アジア太平洋地域の主要途上国（中国、インド、韓国等）を対象にして、温室効果ガスの排出量の伸びを押さえるため、どのような対策シナリオがありうるかについて、シミュレーション分析を実施するとともに、アジア地域の温暖化対策の基本政策について、中国、インド、韓国、インドネシア等の研究機関と共同して検討した。

[キーワード] 地球温暖化、アジア太平洋地域、温室効果ガス、シミュレーション

1. 研究の背景と目的

AIMモデルの開発は、平成3年度から基本モデルの構築に着手し、平成6年度から3年間の途上国等との共同研究を経て、モデルの主要部分が概ね完成するに至っている。この間、アジア太平洋地域の主要国からAIMモデルを利用したいとの要請があり、またわが国の政府からは、京都議定書への対応に関する各種の分析を求められている。さらに、IPCC、UNEP、エコアジア等の国際機関から、AIMモデルに対して各種の分析の要請があった。このようなニーズを背景として、AIMモデルを活用してアジア太平洋地域及び国際共通の政策導入の必要性を明らかにし、さらに政策の効果を定量的に示すなど、AIMモデルを適用した政策分析研究を開始することが必要不可欠となった。本研究は、アジア太平洋地域の主要国（日本、中国、インド、韓国等）を対象にしてAIMモデルを適用し、この地域での温暖化政策のあり方を検討するため必要となる体系的な知見を提供することを目的とする。また、これらの地域の対策

と世界全体との関係を明らかにするため、グローバルレベルのシミュレーション分析も併せて実施することも目的としている。

2. 長期的な気候安定化シナリオの検討

IPCC の排出シナリオに関する特別プロジェクトの要請に基づいて長期的排出シナリオを作成した。AIM モデルは IPCC のリファレンス・モデルの一つに選ばれている。

IPCC は 1992 年に IS92 と呼ばれる超長期排出シナリオを作成し、現在でも GCM を用いた気候変動シミュレーションの入力条件として広く用いられている。しかし、このシナリオは 1985 年の社会経済データをベースにしている上、その後のソ連崩壊や貿易自由化の動きが反映されておらず、また、土地利用変化や二酸化硫黄の排出に関する最新の科学的知見が反映されていないなどの問題が指摘されていた。さらに、近年の統合評価モデルの発展は、より整合性のとれた排出シナリオの作成を技術的に可能にしていた。このような状況のもとで、IPCC は 1996 年より特別プロジェクトチームを組織して、AIM モデルを含む世界の統合評価モデルのチームがこれに参加することになった。

この要請に対応するため、今までに開発してきた経済、エネルギー、土地利用、工業プロセスの各モデルを体系的に統合し、新しい統合排出モデルを開発して適用した。長期的排出シナリオの作成にあたっては、4つの社会経済発展のシナリオを想定した。排出シナリオの描く2100年の社会の相違を図1. 1に示す。西欧型経済発展シナリオ（A1）、経済ブロック化シナリオ（A2）、持続型発展シナリオ（B1）、及び環境重視型地域協調シナリオ（B2）である。それぞれのシナリオ毎に異なった潜在経済成長率、人口増加、各種技術の革新の度合い、ライフスタイルや生産プロセスを入力条件として設定した。これらはいずれも温暖化対策を導入しない「標準シナリオ」あるいは「なりゆき（BaU）シナリオ」と呼ばれるものである。西欧型経済発展シナリオ（A1）はさらに、石炭多消費シナリオ（A1C）、天然ガス移行シナリオ（A1G）、技術革新加速シナリオ（A1T）、これらの中に位置するバランス・シナリオ（A1B）に分かれている。

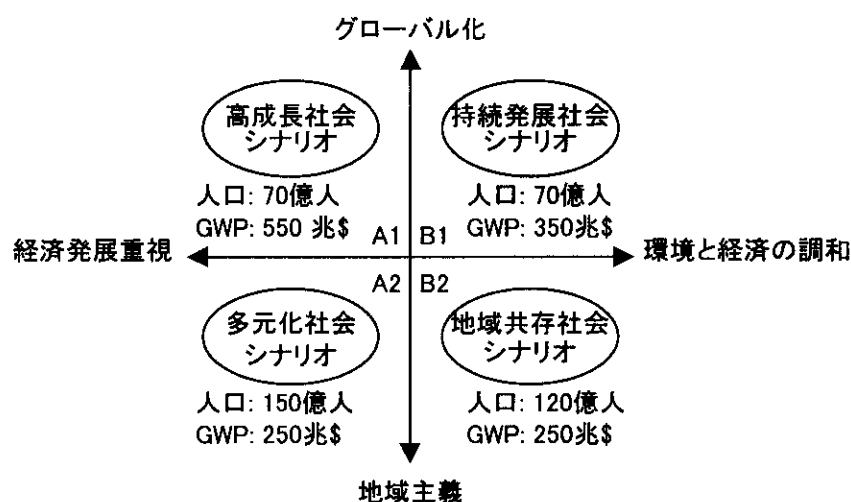


図 1. 1 IPCC 新シナリオの示す 4 つの社会の方向性

「標準シナリオ」のうち、全世界の総二酸化炭素排出量を図1. 2 に、また総二酸化硫黄排出量を図1. 3 に示す。これらのシミュレーション結果から次のことが見出せた。第一に、温室効果ガスの排出は、経済ブロック化シナリオ (A2) において最も増加し、持続的発展シナリオ (B1) において最も低くなる傾向にあること。第二に、エネルギー効率からみると持続的発展シナリオ (B1) において改善度が最も高く、エネルギーの炭素強度からみると西欧型発展シナリオ (A1) において脱炭率が最も高くなること、第三に、西欧型経済発展シナリオ (A1) は、経済先進地域においてエネルギー効率を改善させないが、この地域の温室効果ガス排出を著しく抑える傾向にあること、第四に、エネルギーの資源ベースや技術革新に関する前提の違いは、逆U字のいわゆる「環境クズネツ曲線」が生じる可能性があり、特に二酸化硫黄の排出においてこの傾向が顕著となること、などである。

次に、これらの「標準シナリオ」をベースにして、気候安定化のための長期的な「対策シナリオ」を作成した。そのアウトラインを表1. 1 に示す。A1B、A2、B1、B2の四つの標準シナリオを前提として、大気中の二酸化炭素濃度を550ppmvに安定化させるシナリオを作成するとともに、A1Bのシナリオについては3つの安定化レベルについて感度分析を実施した。さらに、標準シナリオの違いによる政策への感度を詳しく分析するため、A1Bを前提として550ppmvに安定化させた政策オプションを他の標準シナリオに適用した場合、どの程度の効果があるかについてもシミュレーションを実施した。

表1. 2 には、各標準シナリオを前提とした場合、大気中の二酸化炭素濃度を550ppmvに安定化させるために必要な政策オプションの一覧を示す。これらのオプションを導入すれば、図1. 4 に示すように標準シナリオに比較して二酸化炭素排出量の大幅な削減が見込まれ、22世紀中に大気中の二酸化炭素濃度が所定のレベルに安定化することができる。このことは、将来の社会経済の発展方向によって、気候安定化のための政策オプションは大きく異なることを示す。なお、大きな成果の一つとして、シナリオ分析に用いる新しい統合排出モデルのうち、土地利用変化モデルを新たに開発したことがある(本課題サブテーマ(2) 報告を参照)。この土地利用変化モデルを用いて、政策オプション導入による効果をシミュレートした。

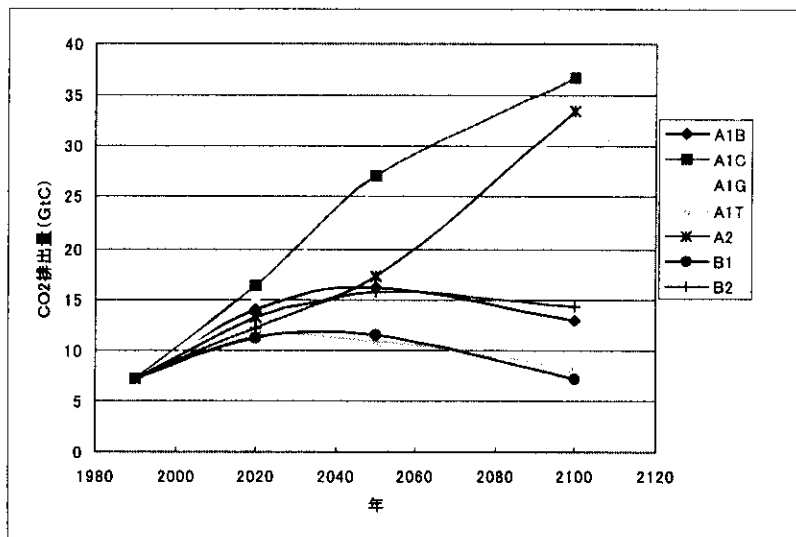


図1. 2 世界の総二酸化炭素排出量の長期シナリオ

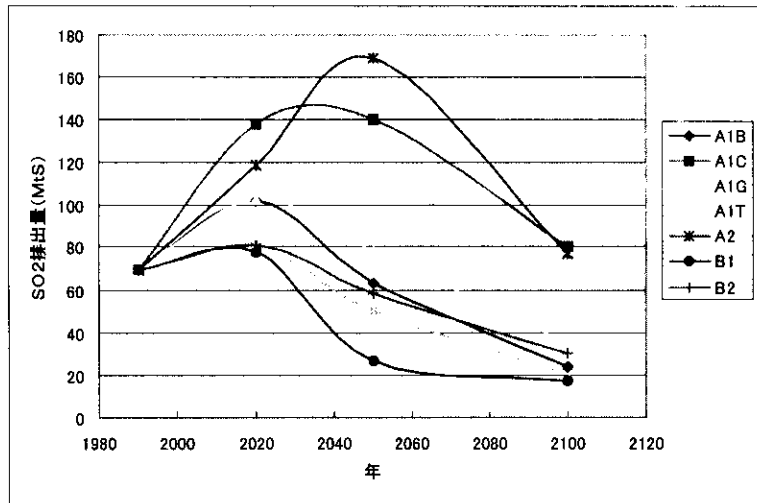


図 1. 3 世界の総二酸化硫黄排出量の長期シナリオ

表 1. 1 長期気候安定化シナリオ分析の構成

baseline scenario	A1B	A2	B1	B2
stabilization level				
450ppm stabilization	✓			
550ppm stabilization	✓	✓	✓	✓
650ppm stabilization	✓			
Application of the common robust policy set to all the baseline scenarios	✓ (550ppm stabilization)	✓ (non-stabilization)	✓ (non-stabilization)	✓ (non-stabilization)

表 1. 2 550ppmv 安定化シナリオの政策オプション

標準ケース	A1B	A2	B1	B2
政策オプション				
運輸部門効率改善	2000年から全世界の自動車燃費改善を標準ケースより年率0.14%向上。	0.14%向上。	0.1%向上。	0.1%向上。
天然ガス導入促進		0.4%向上。		0.2%向上。
発電部門効率改善	標準ケースより年率0.13%向上。	0.15%向上。	0.1%向上。	0.1%向上。
社会的効率改善	2000年より全世界で標準ケースより年率0.3%向上。途上国は2030年から2050年にかけてさらに0.2%向上。	0.3%向上。	0.1%向上。	0.3%向上。
炭素税	US\$50/t-C	US\$80/t-C	US\$15/t-C	US\$60/t-C
原子力導入促進		0.5%向上。	0.1%向上。	0.2%向上。
合成オイル導入促進	限界的生産費用を標準ケースより年率0.1%向上。	0.15%向上。	0.1%向上。	0.15%向上。
合成ガスの導入促進	限界的生産費用を標準ケースより年率0.1%向上。	0.16%向上。	0.1%向上。	0.16%向上。
バイオエタノール導入促進	限界的生産費用を標準ケースより年率0.1%向上。	0.2%向上。	0.1%向上。	0.2%向上。
バイオメタン導入促進		0.4%向上。		0.1%向上。
植林面積増加率	標準ケースより年率0.5%向上	0.5%向上。	0.3%向上。	0.4%向上。

図1. 5には、各シナリオに対して2010年から土地利用に関する温暖化対策を導入した場合の森林面積の増加を表している。ここで導入した温暖化対策のメニューは、森林伐採の抑制と植林政策の適用である。森林が二酸化炭素の排出源から吸収源にかわる21世紀半ばを境に森林面積が急増し、温暖化対策の効果が最も発揮される。それ以後は、農地等他の土地利用との競合もあり、森林面積の増加そのものは安定化する傾向を示す。

また、大気中の二酸化炭素の安定化濃度レベルを変えたとき、政策オプションがどのように変化するかについて感度分析を行うとともに、将来の社会経済の発展方向を読み違えた時に、温暖化対策によってどのような影響が生じてくるかを分析した。これらの分析結果を総合して、将来に大きな不確実性が見込まれる場合にどのような政策がロバスト（頑健）かを明らかにしようとしている。

以上はIPCCの要請に基づく分析であるが、この他にも、IEAの要請に基づいて、炭素隔離の対策を実施した場合に温暖化による損害がどの程度緩和されるかについて、新たに温暖化影響の経済評価のモデルを開発して分析した。また、アジア太平洋地域の環境大臣コンGRESS（エコアジア）の要請に基づいて、アジア地域の環境変化の将来見通しについて、最新のデータをもとにAIMモデルによるシミュレーション分析を実施した。

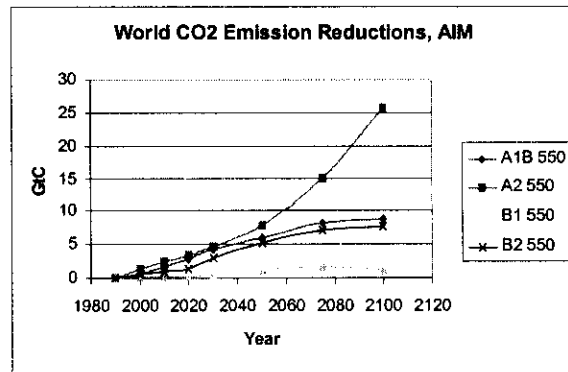


図1. 4 550ppmv 安定化シナリオのCO2削減率（標準シナリオからの対策シナリオの削減率）

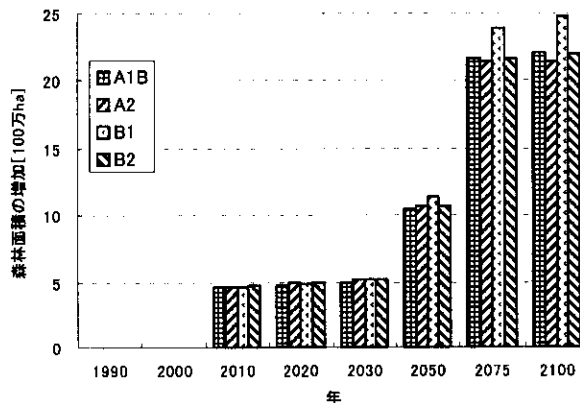


図1. 5 550ppmv 安定化シナリオの森林面積の増加（対標準シナリオ）

3. 京都議定書の含意とその対応に関する政策分析

3.1. 京都議定書の含意

1997年12月に合意された京都議定書の含意とこれに定められた数値目標の達成可能性について、AIM排出モデル及びAIM気候モデルを用いてシミュレーションを行った。もとより、京都議定書の重要な合意事項の一つは、法的拘束力のある温室効果ガス削減の数値目標である。1990年を基準年として2010年前後の温室効果ガス(CO₂を含めた6ガス)を先進国全体で5.2%削減という目標となった。EU8%、米国7%、日本6%の削減という数値目標である。

では、このような数値目標は地球温暖化防止にどの程度の効果があるか。地球温暖化の現象には多くの不確実な要因があるが、平均的なシミュレーション結果について以下にまとめる。図1.6は、京都議定書をベースにして、来世域末までの温室効果ガス削減シナリオを描いたものである。もし、削減対策をしない「なりゆき」シナリオで行った場合、今後の温度の上昇スピードは10年間に0.2℃を超えてしまう。このスピードを10年間で0.15℃以下に抑えようとすると、図に示した削減シナリオが必要となる。これは、先進国が2010年以降も同じ率で削減を続け、さらに発展途上国が2020年から30年にかけて本格的な対策を始めるというものである。これで気温上昇のスピードを100年間で0.5℃緩和することができる。この程度の緩和によって地球温暖化の最悪シナリオの回避を図るといのが、京都議定書の含意であり、このような最悪回避のシナリオは、今回の数値目標の合意があったからこそ描けるといえる。

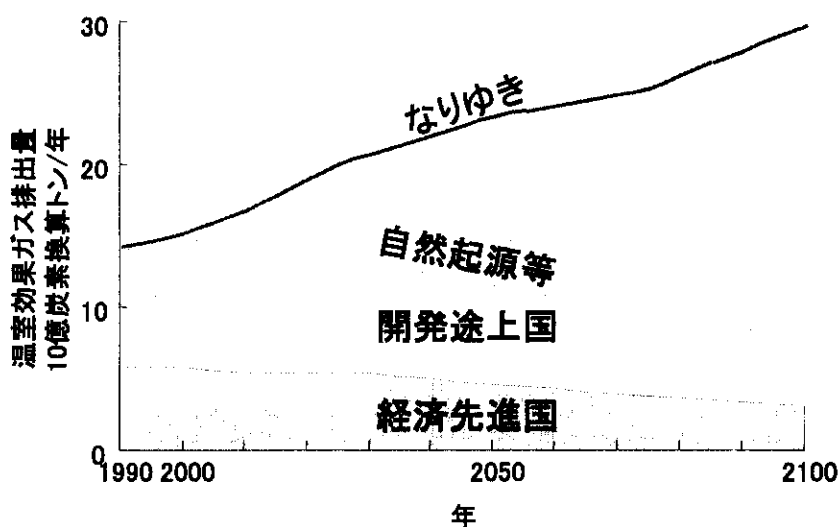


図1.6 0.15℃/10年の温度上昇に止める排出シナリオ

3.2. わが国の二酸化炭素削減可能性

わが国に課せられた6%削減という目標の達成可能性について、二酸化炭素に限ってエネルギー技術モデルで分析した。

3.2.1. 前提とする社会経済シナリオ

シミュレーションの前提として、まず、社会経済シナリオの想定としては、最新のトレンドを反映して、

以下のように設定した。全般的な想定を表 1. 3 に示す。産業部門のシミュレーションで用いた業種別付加価値の想定を表 1. 4、素材製品生産量の想定を表 1. 5 に示す。また、家庭部門、業務部門、運輸部門の想定をそれぞれ、表 1. 6、表 1. 7、表 1. 8 に示す。

表 1. 3 全般に関する想定

	想定		
経済成長率の想定	1999 年度 0.6%	2000 年度 1.0%	2001~2010 年度 2%
原油価格	2010 年 30\$/バレル (実質)		
為替レート	120 円/ドル		
原子力発電	5620 万 kW		

表 1. 4 業種別付加価値額の想定

(10 億 円)

	1990	1995	2000	2010
合計	429,860	485,037	483,360	589,213
合計(輸入税等除く)	451,938	488,724	505,901	616,691
農林水産業	10,921	9,653	10,249	10,293
鉱業	1,122	861	909	791
建設業	43,428	44,781	47,731	58,721
食料品	12,322	12,844	11,130	11,191
繊維	2,514	2,148	2,214	1,998
紙パルプ	3,366	3,122	3,287	3,530
化学	9,375	11,036	15,418	19,293
石油・石炭製品	4,143	3,735	4,584	4,181
窯業・土石	4,382	4,303	4,586	5,311
鉄鋼	7,082	7,474	7,360	7,775
非鉄金属	2,384	2,300	2,210	2,437
金属機械	58,470	62,937	62,347	82,211
金属製品	7,158	7,732	7,571	9,799
一般機械	15,902	13,863	15,910	19,967
電気機械	19,386	27,837	24,255	51,091
輸送用機械	11,820	11,793	13,185	16,512
精密機械	2,204	1,712	2,078	2,441
その他製造業	19,181	16,657	18,901	21,317
その他(第3次産業)	275,249	304,875	314,973	387,640

表 1. 5 素材製品生産量の想定

(千トン)

	1990	1995	2000	2010
粗鋼生産量	111,710	100,023	90,979	82,260
セメント生産量	86,849	91,499	89,319	85,810
エチレン生産量	5,810	6,944	7,076	7,005
紙板紙生産量	28,086	29,659	30,631	35,339

表 1. 6 家庭部門の想定

	1990	1995	1998	2000	2005	2010
世帯数 千世帯	40670	43900	45466	46407	48227	49142
世帯面積 (m ² /世帯) (1990=1)	46.8 1.0	47.7 1.0	48.2 1.0	48.5 1.0	48.5 1.0	48.5 1.0
サービス1:強度						
DAC 冷房強度	1.0	1.3	1.3	1.4	1.6	1.8
DBH 暖房強度	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2
DHW 給湯強度	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1
DLL 照明強度	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3
サービス2:高性能化						
DOA 冷蔵庫	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3
DOK テレビ	1.0	1.2	1.2	1.3	1.5	1.6
DOZ その他	1.0	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9
サービス2:普及率						
DOA 冷蔵庫	109.9	110.2	110.5	110.5	110.7	110.8
DOB こたつ	111.6	107.4	105.2	98.7	86.7	74.7
DOC 扇風機	154.4	154.4	153.9	154.0	154.2	154.3
DOD 電気毛布	98.0	91.1	89.0	88.2	86.8	85.4
DOE 温風暖房機	45.9	55.7	59.0	60.0	60.0	60.0
DOF 洗濯機	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7
DOG 掃除機	98.1	98.3	98.3	98.4	98.5	98.6
DOH 電子レンジ	64.5	76.4	81.1	83.5	88.1	92.6
DOI 衣類乾燥機	16.3	22.5	26.5	27.6	29.7	31.7
DOJ 電気カーペット	42.2	58.4	66.0	69.2	75.1	81.0
DOK テレビ1+2	172.6	185.2	188.9	191.7	196.7	201.7
DOL VTR	81.6	102.1	114.4	119.5	129.0	138.5
DOM ステレオ	73.2	84.6	91.1	93.2	97.1	100.0
DON CDラジカセ	37.6	70.0	81.9	87.1	96.6	106.2
DOO パソコンDL	9.0	12.5	15.3	18.1	17.6	19.0
DOP パソコンN	2.2	5.3	7.7	8.3	9.2	10.2
DOQ ワープロ	25.4	44.5	50.8	54.1	60.1	66.2
DOR 温水洗浄便座	6.1	25.2	32.9	35.6	40.6	45.7
DOZ その他	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

表 1. 7 業務部門の想定

	1990	1995	1998	2000	2010
床面積 (百万m ²)	1286	1493	1565	1606	1854
(1990=1)	1.00	1.16	1.22	1.25	1.44
冷房 強度	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
暖房 強度	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
給湯 強度	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
厨房 強度	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
照明 強度	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
非常口照明 強度	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
計算大型 強度	1.00	1.07	1.16	1.18	1.36
複写 強度	1.00	1.03	1.06	1.07	1.14
昇降 強度	1.00	1.26	1.41	1.51	1.88
FAX 強度	1.00	1.13	1.27	1.31	1.63
計算小型 強度	1.00	1.33	1.69	1.78	2.47
その他動力 強度	1.00	1.39	1.61	1.68	1.79

表 1. 8 運輸部門の想定

	1990	1995	1998	2000	2010
旅客輸送量 (10億人・km)	1,131	1,388	1,424	1,446	1,701
自家用乗用車	560	651	711	722	848
営業乗用車	16	14	12	13	15
バス	110	97	90	92	108
旅客鉄道	387	400	389	395	461
旅客船	6	6	5	5	6
旅客航空	52	65	76	78	96
貨物輸送量 (10億t・km)	547	559	552	535	598
自家用貨物車	72	64	58	56	62
営業貨物車	175	194	203	196	217
特殊車	27	37	40	39	43
貨物鉄道	27	25	23	23	27
内航海運	245	238	227	220	247
貨物航空	1	1	1	1	2

3.2.2. シミュレーションケース

以下の4種類のケースを想定して二酸化炭素排出量の将来推計を行った。なお、温暖化対策が実施されない場合の実際の排出量は、技術固定ケースと市場選択ケースの間で推移すると予測される。

「技術固定ケース」

現行のエネルギー消費技術の使用シェアが将来にわたり変化しないと想定したケース

「市場選択ケース」

各部門の主体が投資回収年数を3年以内とした上で合理的な技術選択を行うケース

「炭素税ケース」

炭素トンあたり3万円の炭素税を導入したケース

「補助金ケース」

炭素トンあたり3千円の炭素税を導入し、その税収を省エネ設備導入のための補助金として還元したケース

3.2.3. シミュレーション結果

日本における二酸化炭素排出量の予測を図1.7に示す。2010年における1990年と比較した場合の排出量の変化を図1.8に示す。2010年における二酸化炭素排出量は、「技術固定ケース」では1990年比18%増、「市場選択ケース」では1990年比10%増、という結果が得られた。「技術固定ケース」における2010年の二酸化炭素排出量は、産業部門では1990年比4%増、家庭部門31%増、業務部門30%増、運輸部門38%増、エネルギー転換部門16%となる。また、「市場選択ケース」における2010年の二酸化炭素排出量は、産業部門では1990年比3%減、家庭部門17%増、業務部門18%増、運輸部門37%増、エネルギー転換部門9%増となっている。このシミュレーション結果から以下のことが示された。

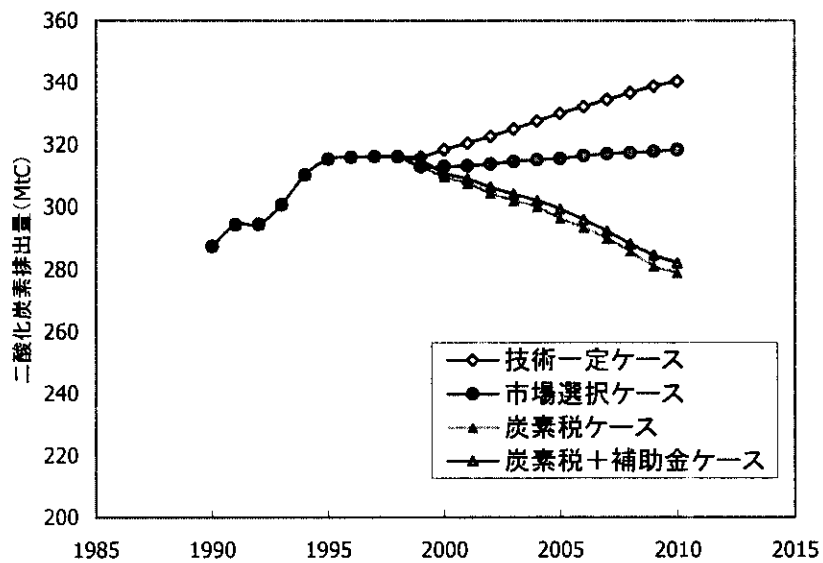


図 1. 7 日本における二酸化炭素排出量の予測

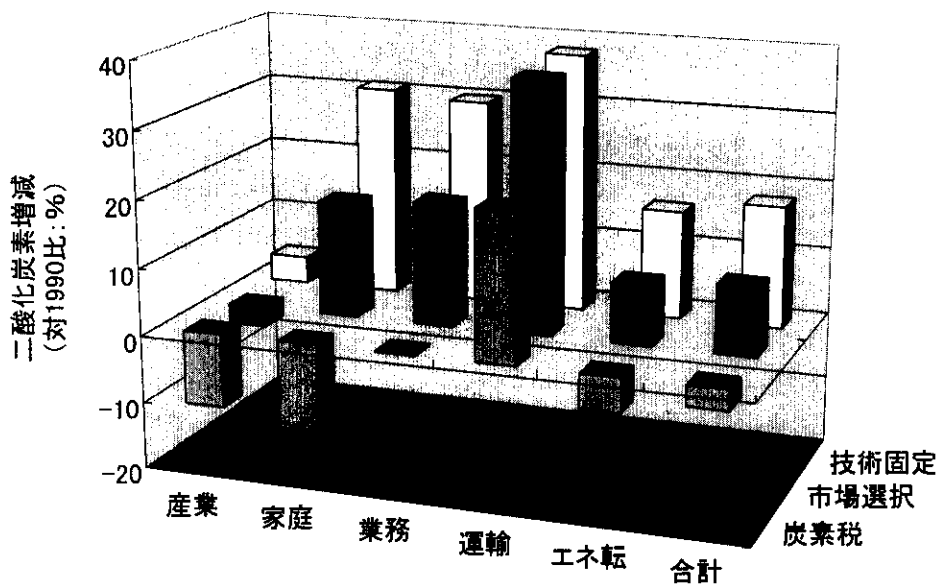


図 1. 8 2010 年における日本モデルのシミュレーション結果

対策を実施した場合の 2010 年における二酸化炭素排出量は、「炭素税ケース」で 1990 年比 3%減という結果が得られた。これは、今後の社会経済の発展をそのまま継続させることを前提として、実現可能な技術効率の改善で対応する場合の二酸化炭素削減ポテンシャルは、2010 年で 1990 年レベルの 3%減程度であることを示している。

「炭素税ケース」における 2010 年の二酸化炭素排出量は、産業部門では 1990 年比 11%減、家庭部門 13%

減、業務部門 0%、運輸部門 22%増、エネルギー転換部門 5%減となり、産業部門及び家庭部門において排出量を低く押さえられる可能性が高く、運輸部門の排出量を押さえにくいことが示された。

「補助金ケース」の 2010 年における二酸化炭素排出量は、2%減という結果が得られた。産業部門では 1990 年比 10%減、家庭部門 12%減、業務部門 1%増、運輸部門 22%増、エネルギー転換部門 5%減となっている。このケースでは、主に以下にあげる技術の導入に対して税収が還元されている。

産業部門：高炉廃プラ利用施設，高効率連続焼鈍設備，高性能ナフサ分解装置

高性能工業炉，レジェネボイラ，リパワリング，コンバインドサイクル発電

家庭部門：省エネ型冷暖房兼用エアコン，省エネ住宅，インバータ蛍光灯，省エネ型冷蔵庫，省エネ型 TV，省エネ型 VTR，省エネ型ステレオ，省エネ型 CD ラジカセ，その他動力（待機電力削減タイプ），潜熱回収型給湯器（都市ガス域），CO2 冷媒給湯器（LPG 域）

業務部門：省エネ型冷暖房兼用エアコン，Hf インバータ照明，センサー付照明，省エネ型大型計算機，省エネ型複写機，省エネ型複写機，省エネ型小型計算機，空調搬送動力（VAV 制御），その他動力（待機電力削減 10%タイプ），潜熱回収型給湯器（LPG）LPG 域

運輸部門：小型乗用車（GDI 搭載車），普通乗用車（GDI 搭載車），営業乗用車（GDI 搭載車）

この結果、1 炭素 t 当たり 3000 円という 10 分の 1 の低い税率であっても、その税収を高効率技術の導入の補助金として用いれば、同等の削減効果を上げうる可能性があることが示された。

3.3. コスト削減の方策

京都議定書の数値目標を達成するためのコストを推計するために、エネルギー技術モデルにおける技術コストを推計するとともに、一般均衡タイプの新しい経済モデルを開発・適用して間接コストも計算した。図 1.9 には日本、EU 及び米国のコストを推計した結果を示している。数値目標達成の限界費用が最も高いのは日本で、ついで EU、米国の順になる。しかし、EU 及び米国の二酸化炭素排出量が多いので、総直接コスト（限界費用の最大の点を頂点とする三角形の面積）は日本よりも多くなる。この直接コストをもたらす GDP 損失（間接コスト）は、日本は 0.26% と推計され、EU の 0.25%、米国の 0.34% と比較して同レベルである。また、付属書 I 国の間で排出量取引を導入すると、排出価格が二酸化炭素 1 トン（炭素換算）当たり 36 米ドル程度となり、図 1.9 に示すようにこの取引価格より上の三角形の面積が、排出量取引によって各国のコストが節約できる部分となる。図 1.9 はシンクを考慮した場合であるが、図 1.10 にシンクを考慮しない場合の削減費用を示す。日、欧、米とも排出量取引値によって大変大きなメリットを受けることになる。但し、以上の推計には多くの不確実な要素がある。とりわけ、森林などのシンク量の認定如何によっては、これらのコストは大きく変わることがシミュレーション結果から示された。

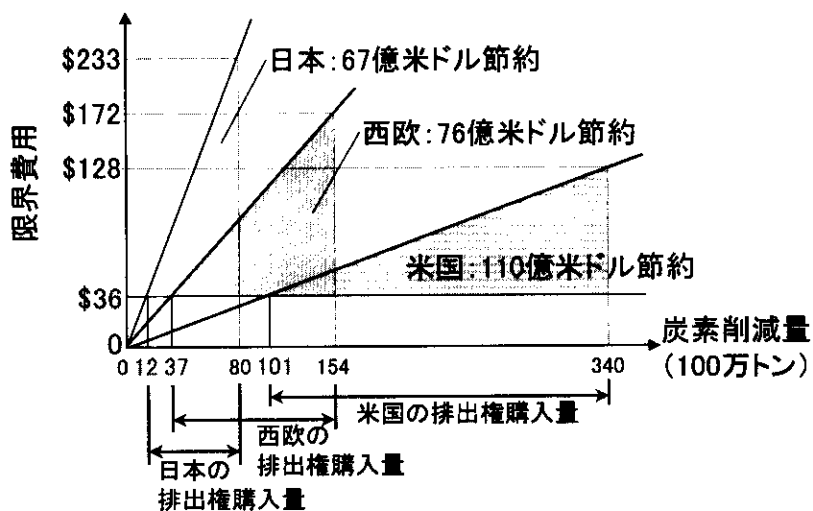


図 1. 9 2010 年時点の二酸化炭素削減コストの比較 (シンクを考慮した場合)

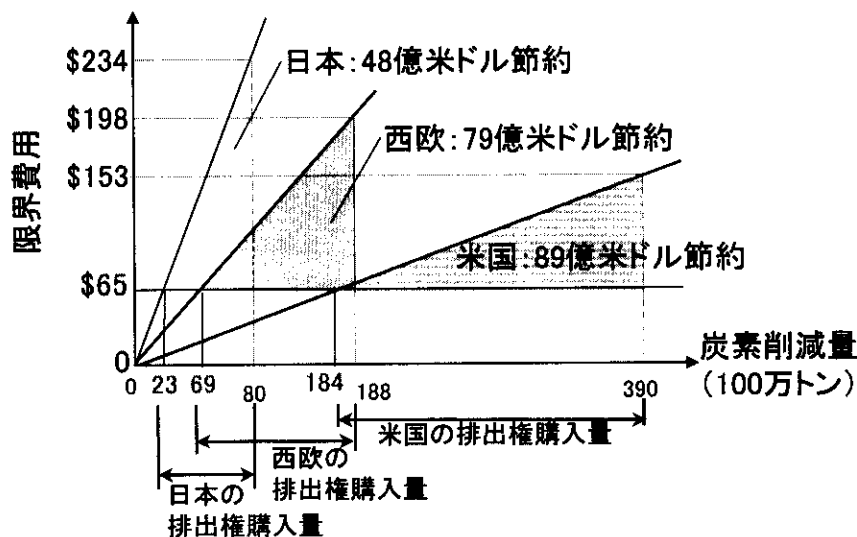


図 1. 10 2010 年時点の二酸化炭素削減コストの比較 (シンクを考慮しない場合)

一方、京都議定書で導入された柔軟的措置のうち、唯一の発展途上国参加が可能である「クリーン開発メカニズム」の効果については、世界経済モデルを用いて分析した。図 1. 11 は、排出量取引に制約を設けない場合、クリーン開発メカニズムとのあいだで競合関係が生じ、それぞれどの程度の取引が生じるかを計算した結果である。ゼロよりマイナスは排出クレジットの輸出、プラスは輸入を示す。2010 年において、炭素換算で 5 億トンを超えるクレジットが売りにだされ、日米欧がこれを購入すると予想されるが、そのうち 4 億トン近くはロシアとウクライナから供給される可能性が高い。これらの国の経済の低迷により、京都議定書の数値目標まで排出量が届かないときに売り出されるクレジット (ホットエア) とともに、両国の二酸化炭素削減のコストが安いことが、排出クレジットの価格を大幅に下げることから生じる。

従って、クリーン開発メカニズムに投資するインセンティブは、発展途上国が期待するほどには大きくなり、この排出クレジットのマーケットの状況が改善されるまで、クリーン開発メカニズムの効果が生じにくいことが明らかとなった。図 1. 12 は、クリーン開発メカニズムによって非付属書 I 国が得る便益を推計したグラフである。2010 年の便益は非常に小さく、それを増加させるには 2020 年以降まで待たなければならないことが示唆されている。

以上の分析は、クリーン開発メカニズムを活性化させ、発展途上国の温暖化対策への参加を促すためには、排出量取引に一定の制約を課す必要があることを意味する。この 2 つの制度を統合するより高度の政策デザインが求められる。

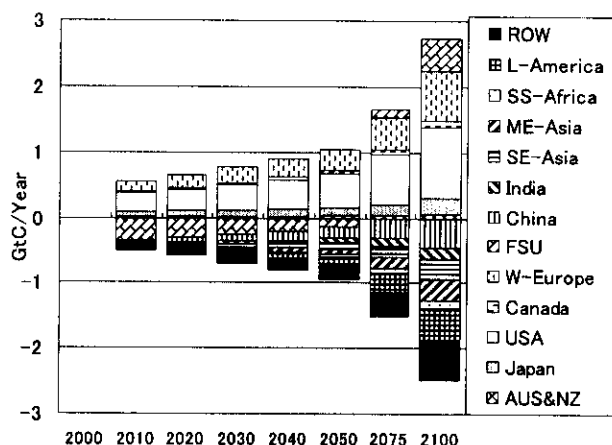


図 1. 11 世界の排出クレジットの取引

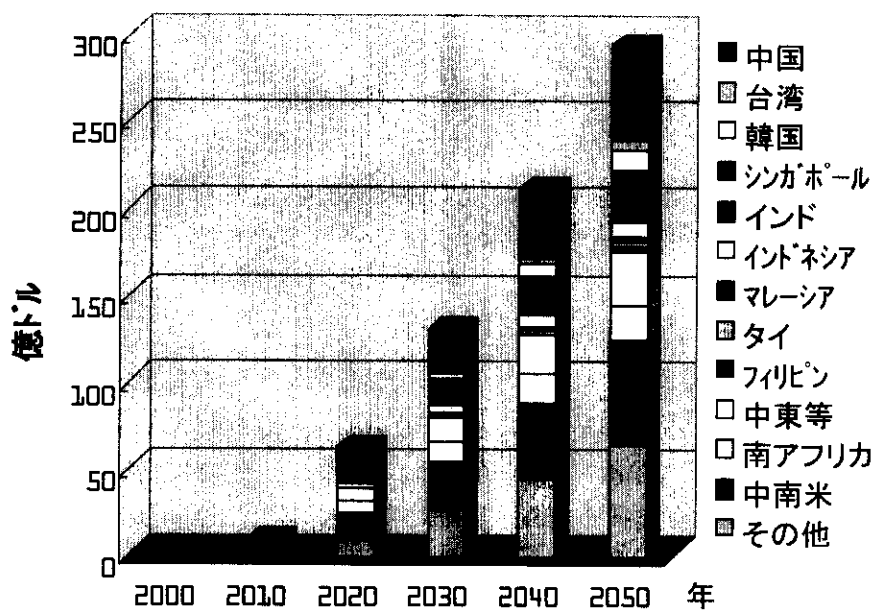


図 1. 12 クリーン開発メカニズムによる非付属書 I 国の便益

4. アジア地域の温暖化対策の検討

京都議定書では、発展途上国の温室効果ガス削減は義務づけられなかったが、発展途上国の対策の必要性は認識され、今後の排出見通しと削減可能性に大きな感心が集まっている。このため、国別の排出モデルを適用して、各国のシミュレーション分析を行った。

まず、アジア太平洋地域全体の二酸化炭素の伸びについて、最新のデータを用いてシミュレーション分析を行った。図 1. 13 には、今後世界が高成長を持続した場合のアジア太平洋地域の二酸化炭素の見通しが、他の地域と比較して示してある。アジア太平洋地域の経済発展のポテンシャルは著しく大きく、また石炭から他のエネルギーへの燃料転換が進まないことから、この地域の二酸化炭素の伸びは圧倒的に大きい。

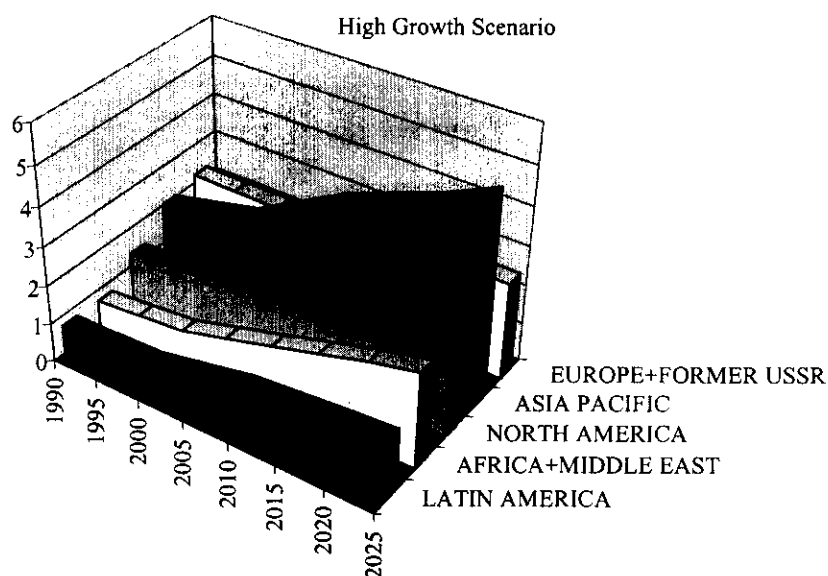


図 1. 13 世界の地域別二酸化炭素排出量の見通し

4. 1. 中国における温室効果ガス排出量の予測

中国においては、急速な経済発展によってエネルギー消費量が大きく伸び、図 1. 14 に示すように 2030 年には世界第一位の温室効果ガス排出国となることが予想される。この伸びが、省エネ技術、リサイクル技術の普及によって同時にどこまで削減できるかを推計した。まず、長期的な温室効果ガス排出量の見通しを IPCC のシナリオに対応した形で中国について詳細に行った。次に、今後 20～30 年に予想される変化に対応して、エネルギー技術モデルを用いてシミュレーションを実施した。

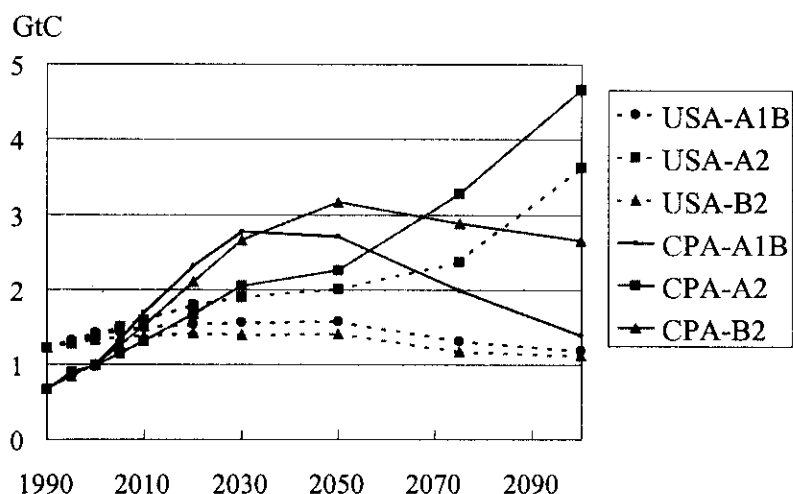


図 1. 14 米国及び中国における化石燃料消費による IPCC 排出シナリオ

4. 1. 1. 中国における温室効果ガス排出量の長期見通し

これまでも数多くの中国に関するシナリオが開発されてきた。その主なものを図 1. 15 に示す。予測結果は非常に広い幅を持ち、その主な違いは見通しの前提となる社会・経済シナリオである。この社会・経済シナリオは長期にわたるため大きな不確実性が伴う。このため、まず、経済発展や国際情勢が大きく異なる 4 つのストーリーラインを中国を対象として作成した。ストーリーラインに対応するシナリオを表 1. 9 及び表 1. 10 に示す。

シミュレーションにより次のような結果が示された。① 経済成長や人口の増加に伴い 2030 年までは二酸化炭素排出量は急激に増加するが、2050 年がピークとなる。② エネルギー効率は中国における技術進歩により急激に改善される。③ 1 人当たりの排出量はほとんどのシナリオにおいて OECD 諸国を下回ったままである。④ SO₂ や NO_x の排出量は 2020 年以降減少する。⑤、将来の排出量はシナリオによって大きく異なるが、経済成長が最も高いシナリオ(シナリオ C)下においても種々の温室効果ガス排出量の予測がありうる。二酸化炭素の予測結果を図 1. 16 に、一人あたり二酸化炭素排出量の予測を図 1. 17 に示す。また、二酸化硫黄の排出量の予測を図 1. 18 に示す。

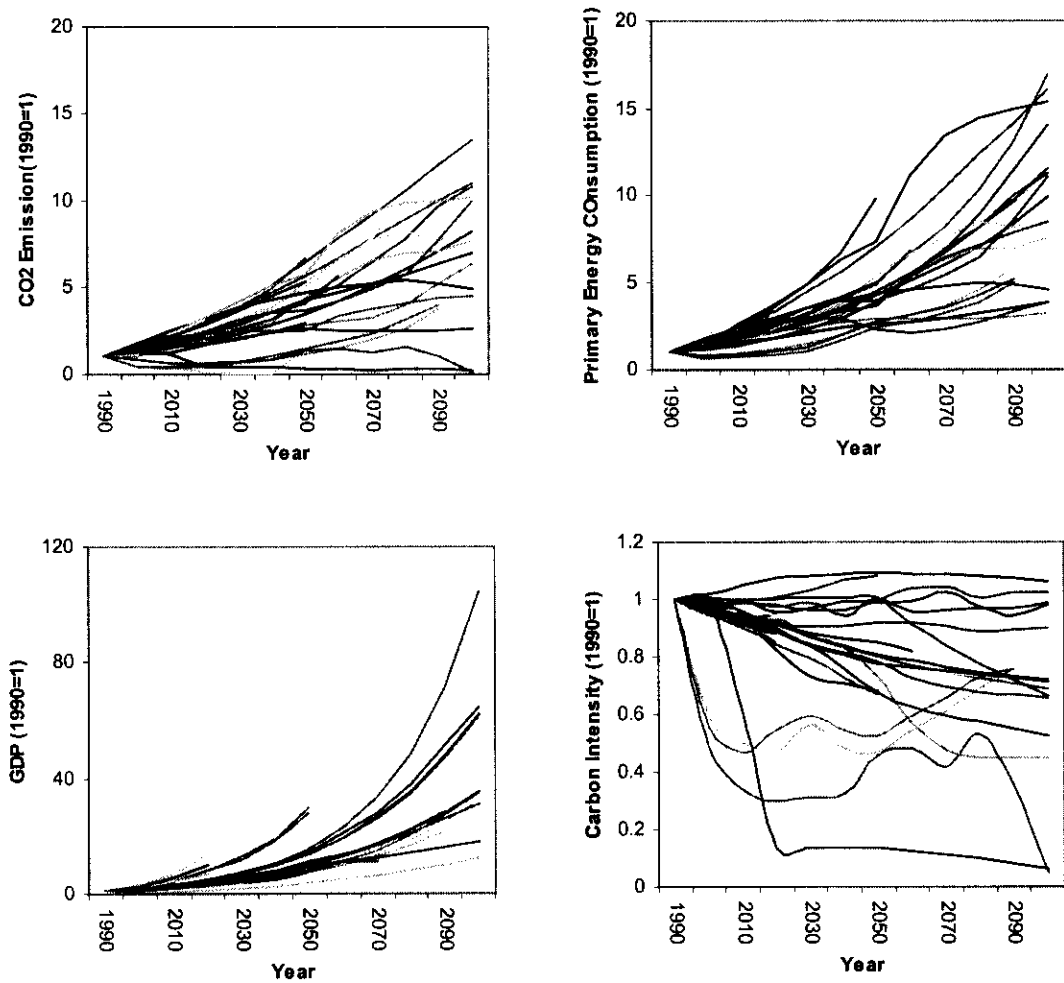


図 1. 15 これまでの主な中国のシナリオ

表 1. 9 中国及び世界の温室効果ガス排出に関する推進力の主な想定

	C	D	S	E
China Population	1.35 billion in 2050 0.8 billion in 2100	2.1 billion in 2050 3.0 billion in 2100	1.35 billion in 2050 0.8 billion in 2100	1.56 billion in 2050 1.6 billion in 2100
China GDP Growth Rate	7.2% from 1990 to 2050, 4.8% from 2050 to 2100	4.2% from 1990 to 2050, 3.6% from 1990 to 2100	5.8% from 1990 to 2050, 4.0% from 1990 to 2100	6.5% from 1990 to 2050, 4.2% from 1990 to 2100
World Population	9 billion in 2050 7 billion in 2100	15 billion in 2100, Higher growth in non-OECD	9 billion in 2050 7 billion in 2100	11.7 billion in 2100
World GDP	\$550 trillion in	\$250 trillion in	\$350 trillion in	\$250 trillion in

	2100, High growth in non-OECD	2100	2100	2100
GDP/ capita	OECD countries: more than \$100,000 by 2100 Non-Annex-I: more than \$70,000 by 2100, \$14,000 by 2040	Lower growth in non-OECD Disparity rises.	Annex-I: more than \$90,000 by 2100 Non-Annex-I: more than \$30,000 by 2100 Global \$40,000	Disparity remains GDP/capita of OECD becomes 7 times of non-OECD (now 13 times).
Int'l. Trade	High trade Low trade cost	Low trade across regions, high trade within regions High trade cost	High trade Low trade cost	Low trade across regions High trade cost
Urbanization	Rapid increase	Increase in non-OECD Decrease in OECD	Increase	Decrease

表 1. 10 中国及び世界のエネルギー消費に関する各シナリオの想定

	C-B	C-C	C-G&O	C-T	D	S	E
Resource availability	High: includes unconventional oil and gas	High for coal, Limited on gas and oil	High: includes unconv. oil and gas	High for fossil fuel	Fossil fuel: medium	Unconv. oil/gas: high; Biomass: high	Oil/gas: medium; Biomass: high
Energy exploitation cost	Low	Low	Low	Low	High	Medium	Medium
Non-carbon renewable energy cost	Low for nuclear, solar and others	Relatively low for nuclear, solar and others	Relatively low for nuclear, solar and others	Low for nuclear, solar and others	High	High for nuclear, Medium for solar and others	High for nuclear, Medium for solar and others
Biomass availability	Very High	High	High	High	Medium	Medium	Medium
End use technology efficiency improvement	Medium	Medium	Medium	High	Low for DC, Medium for DD	High	Medium
Social efficiency improvement	Medium	Medium	Medium	High	Higher in OECD, Lower in developing countries	Very high	Medium
Transport conservation	Low	Low	Low	Low	Medium	High	High
Dematerialization	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	High	Medium

ion trend							
Land use productivity improvement	High	High	High	High	Medium	High	Medium
Meat oriented food habit	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Low	Low
Desulfurization Degree	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	High	High

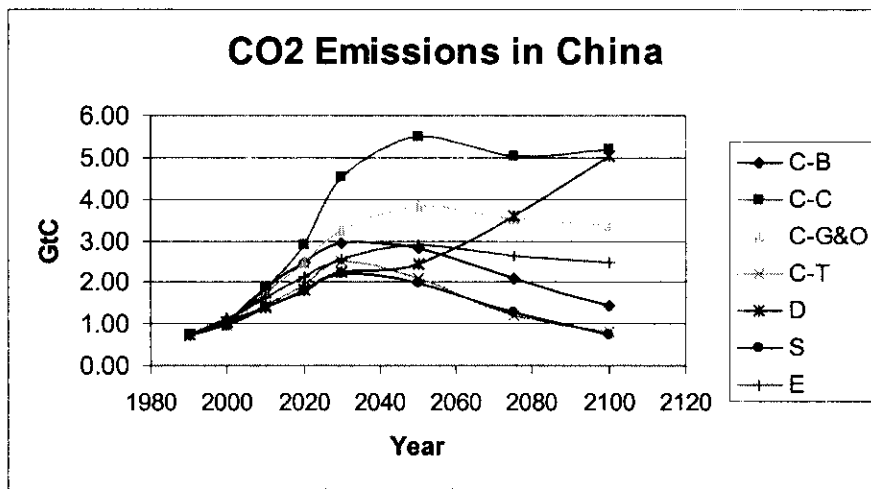


図 1. 16 シナリオ毎の中国における総二酸化炭素排出量

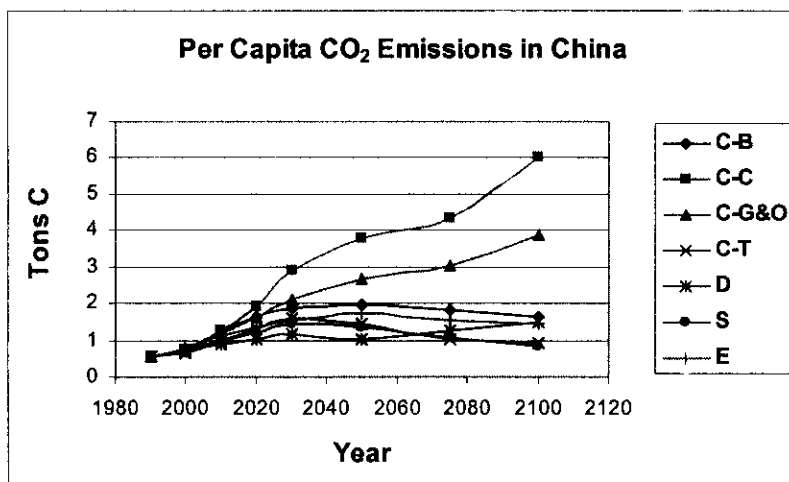


図 1. 17 シナリオ毎の中国における 1 人当たり二酸化炭素排出量

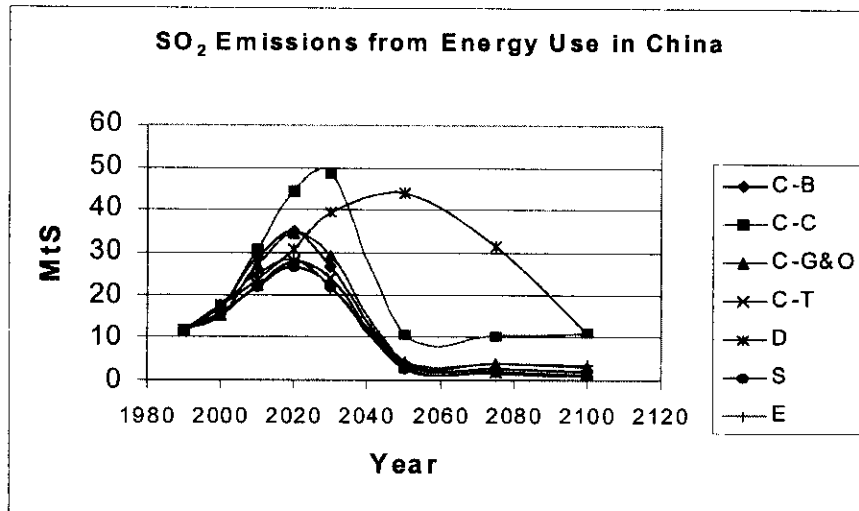


図 1. 18 中国における SO₂ 排出量の予測

4. 1. 2. エネルギー技術モデルによる予測

中国における二酸化炭素排出量のシミュレーションをエネルギー技術モデルにより行った。前提となる GDP や人口等の想定は長期シナリオで検討した結果を用いた。産業、民生、運輸にまたがる 24 の部門について、約 300 種類の省エネ技術とリサイクル技術を対象にして検討した。また、部門別のサービス量に関しては、以下の項目に対して 2030 年までの将来シナリオを設計した。

- 産業：鉄鋼、セメント、紙、ガラス、炭酸ソーダ、苛性ソーダ、鋁業、建設業、アンモニア、肥料、繊維、その他産業
- 家庭（都市、郊外）：調理、電気調理、温水、暖房、エアコン、扇風機、照明（白熱灯、蛍光灯）、冷蔵庫、カラーテレビ、白黒テレビ、洗濯機、その他電気製品
- 業務：冷房、暖房、照明、コピー機、コンピュータ、エレベータ、その他電気製品、温水、調理
- 運輸（貨物、旅客）：鉄道、自動車、船、飛行機
- エネルギー転換：発電、石油精製

将来の二酸化炭素排出量の分析を行うために、以下の 3 つのシナリオを設定した。

① 技術固定シナリオ

技術を 1990 年レベルに固定する。

② 市場シナリオ

市場メカニズムによって技術を選択する。

③ 政策シナリオ

2000 年より炭素税（100 元／トン C）を徴収し、新技術の普及に対する補助金に充てる。

シナリオ毎の二酸化炭素排出量の予測を図 1. 19 に示す。また、2010 年における部門別の排出量を図 1. 20 に示す。中国において市場経済が定着すれば、市場を通じて省エネ技術がより効率的に置き換わり、特段の政策介入がなくても 2010 年で二酸化炭素が 10%削減されることがわかった。

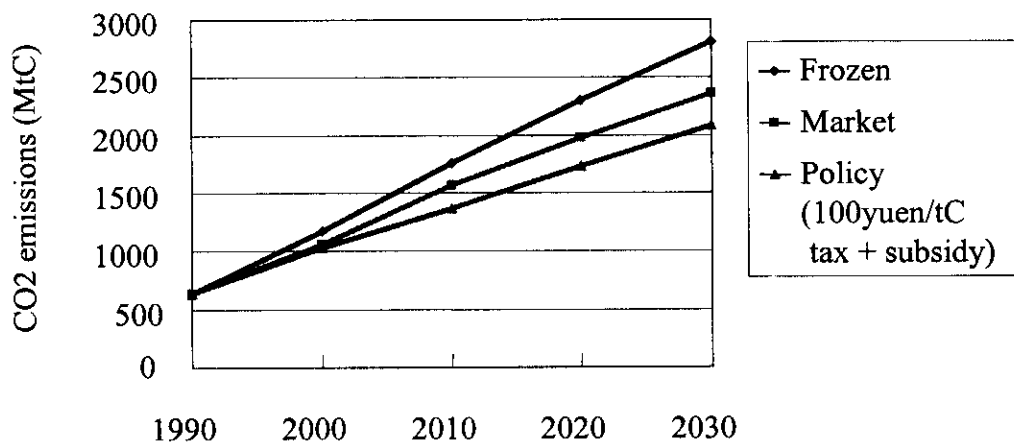


図 1. 19 中国におけるシナリオ毎の二酸化炭素排出量の予測と対策効果

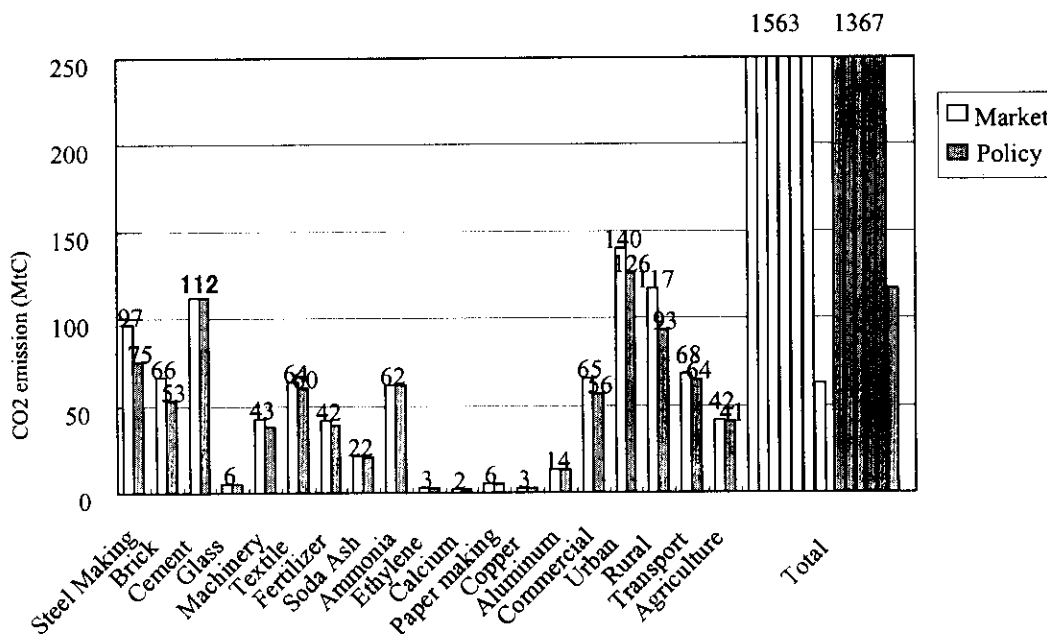


図 1. 20 2010 年における中国における部門別排出量の予測

日本及び中国における鉄鋼部門のエネルギーサービス量の予測を図 1. 21 に示す。また、中国における二酸化炭素排出量の予測を図 1. 22 に示す。中国においては鉄鋼部門の排出の伸びが非常に大きいと予想されるが、省エネ技術導入による削減効果は大きい。図 1. 23 に日本と中国における鉄鋼部門のエネルギー

一効率の比較を示す。政策シナリオの導入によって中国の鉄鋼部門のエネルギー効率が大幅に改善されることが分った。

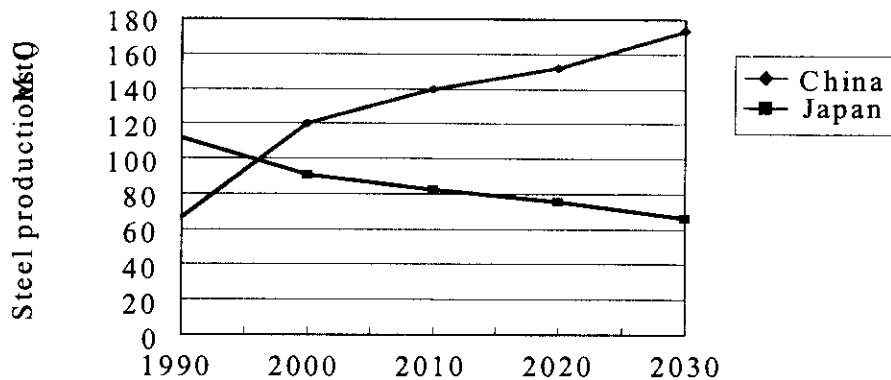


図 1. 21 鉄鋼部門のエネルギーサービス量の予測

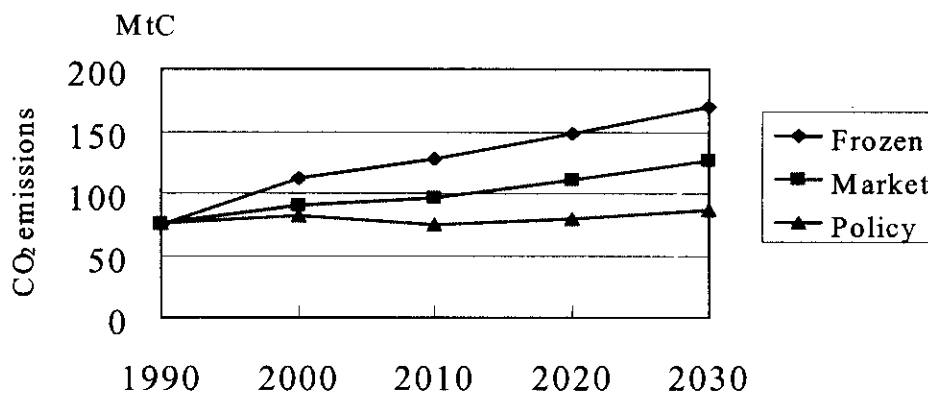


図 1. 22 中国における鉄鋼部門の二酸化炭素排出量の予測と対策効果

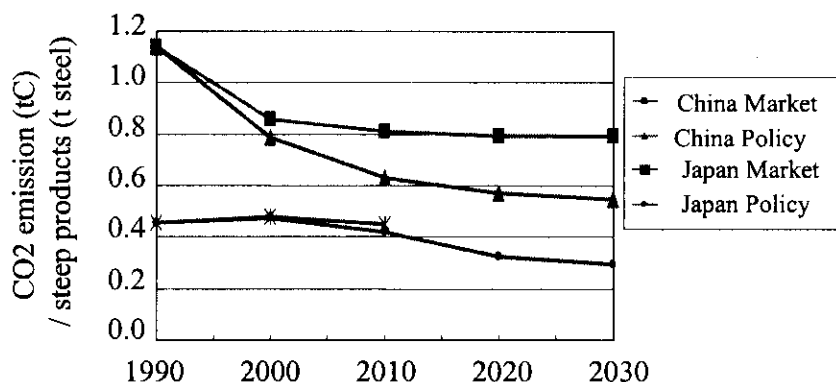


図 1. 23 中国と日本の鉄鋼部門におけるエネルギー効率の比較

図 1. 24 に中国の業務部門の二酸化炭素排出量の推定を示す。業務部門では、市場シナリオにおいて二酸化炭素の削減は期待できず、新たな対策が必要となる。図 1. 25 に運輸部門の二酸化炭素排出量を示す。運輸部門においては、市場シナリオでの削減可能性は高いが、一方で、政策シナリオを導入して削減効果は期待できない。図 1. 26 に部門別の平均コストの曲線を示す。運輸部門及び農業部門の費用が二酸化炭素削減とともに急激に高くなることが分る。

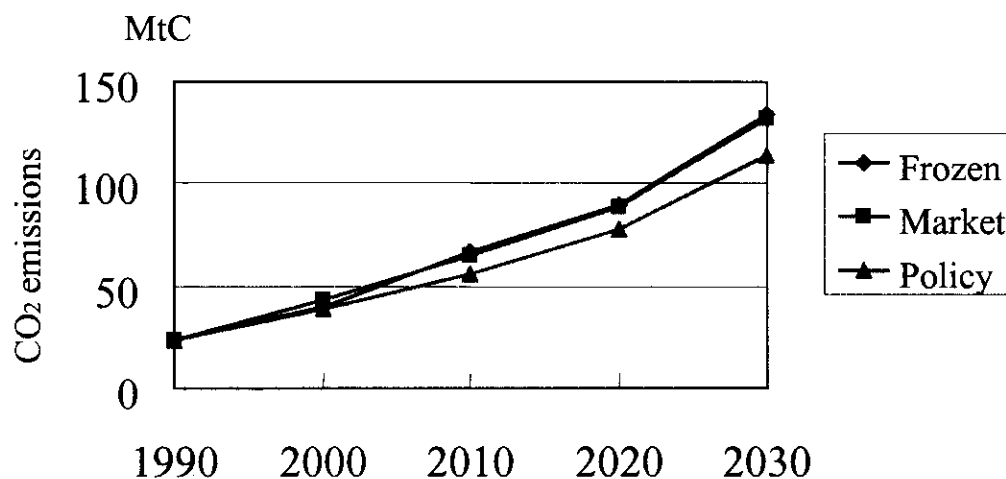


図 1. 24 中国の業務部門の二酸化炭素排出量と対策効果

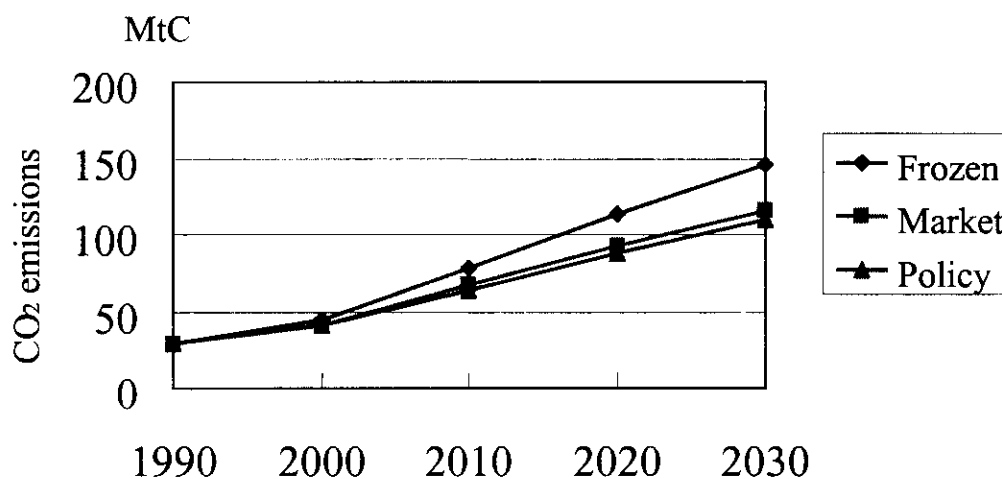


図 1. 25 中国の運輸部門の二酸化炭素排出量と対策効果

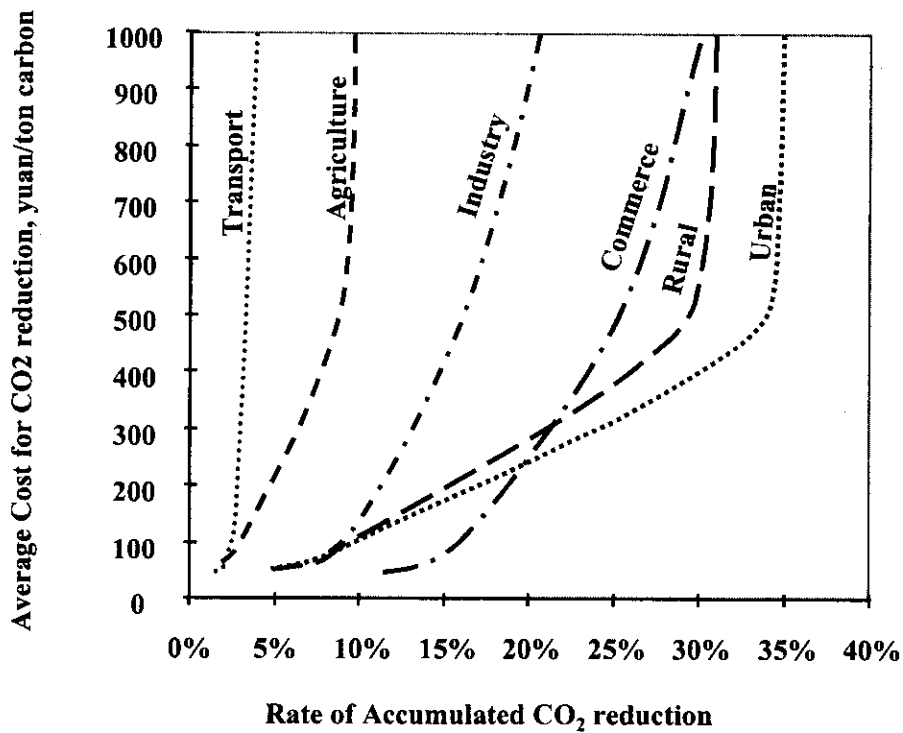


図 1. 26 中国 CO₂ 削減の平均費用

このようなシミュレーション分析は、中国の国レベルだけでなく都市のレベルでも実施した。これは、日本政府が中国の都市に対して CO₂ と SO₂ の同時削減を目的とした ODA を計画しており、この効果の評価のために AIM モデルの適用が要請されたためである。そして、大連市を対象にして、排出削減の可能性が国のレベルと同様に高いことを明らかにした。さらに、CO₂ と SO₂ の同時削減のため、規制的手段を用いる場合 (Policy 1) と経済的手段などで高効率技術の導入を誘導する場合 (Policy 2) を比較した結果、図 1. 27 に示す通り、高効率技術の誘導策の方が GDP 損失が少なく、長期的にはマクロ経済にプラス効果をもたらす可能性が示唆された。温暖化防止戦略をうまくデザインすれば、中国の環境保全と経済発展とを両立させる可能性が高い。

図 1. 28 は、2025 年時点での中国の地域別排出量の推計である。二酸化炭素の排出量が特定の地域に大きく偏っており、大都市を中心とした地域ごとの総合的対策が必要であることが分る。

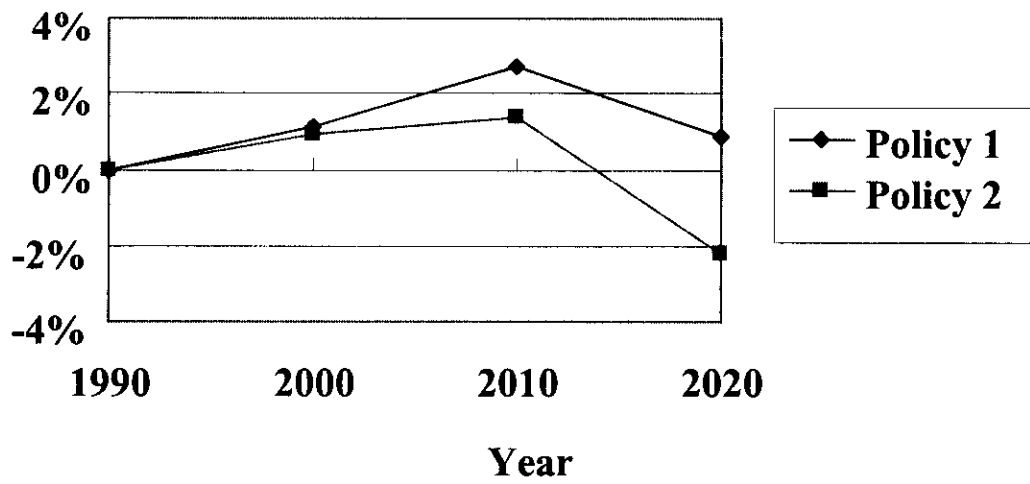


図 1. 27 中国大連市の排出削減に伴う GDP 損失

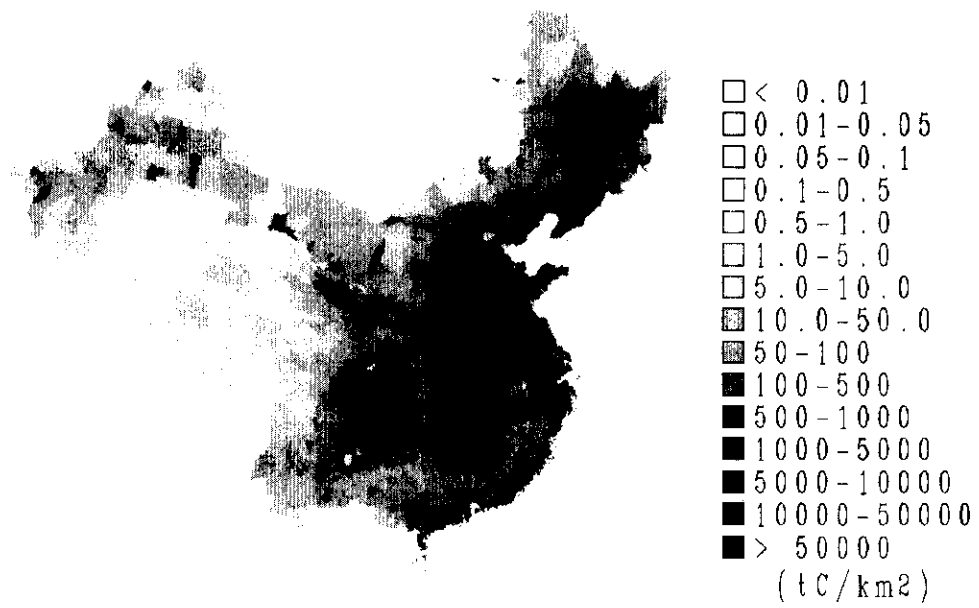


図 1. 28 中国の 2025 年の二酸化炭素排出量の地域分布 (高成長シナリオ)

4.2. インドにおける温室効果ガス排出量の予測

4.2.1. 将来シナリオの想定

インドにおける将来の二酸化炭素排出量を予測するため、経済成長率に関するシナリオを3パターン用意した。一つは、最新のインド国家計画に基づくもので、1995年～2035年までの平均成長率を5.2%とした標準シナリオである。この他に高成長シナリオ(6.1%/年;1995-2035年)と低成長率シナリオ(4.4%/年;1995-2035)を設定した。それぞれのシナリオの想定を表1.11～表1.13に示す。これらの3シナリオに対して、エネルギーサービス需要量の設定を行い、二酸化炭素排出量の推計を行った。推計したエネルギー最終需要部門は、産業部門(鉄鋼、セメント、肥料、アルミニウム、砂糖、繊維、苛性アルカリ、煉瓦、製紙、肥料)、家庭部門、商業部門、運輸部門である。

部門毎に、エネルギーサービス需要を想定した。標準シナリオのエネルギーサービス需要量を表1.14に示す。鉄鋼生産量は2035年において1995年の約5倍、セメント生産量は約4.4倍と急速な伸びが予想される。

表 1. 11 インドにおける標準ケースの想定

Parameter	1995	2000	2010	2035
Population(million)	916	1006	1153	1445
GDP growth(over 1995 times)	1	1.34	2038	7.71
Industry share in GDP (%)	31.3	31.17	32.50	34.19
Commercial share in GDP (%)	37.8	37.69	39.27	41.27
Agriculture share in GDP (%)	25.9	26.13	22.92	18.92
Transport share in GDP (%)	4.6	4.96	5.26	5.59
Private Final Consumption Expenditure share in GDP (%)	73.4	72.0	69.5	64.8
Passenger Road Transport (Billion Pkm)	1550	2085	4006	8602
Freight Road Transport (Billion Tkm)	413	577	1233	3058

表 1. 12 インドにおける高成長ケースの想定

Parameter	1995	2000	2010	2035
Population(million)	916	1006	1153	1445
GDP growth(over 1995 times)	1	1.34	2.58	10.72
Industry share in GDP (%)	31.3	31.27	32.76	34.81
Commercial share in GDP (%)	37.8	37.8	39.57	42.04
Agriculture share in GDP (%)	25.9	25.87	22.22	17.21
Transport share in GDP (%)	4.6	5.03	5.42	5.92
Private Final Consumption Expenditure share in GDP (%)	73.4	72	69.7	65.9
Passenger Road Transport (Billion Pkm)	1550	2085	4244.9	10871
Freight Road Transport (Billion Tkm)	413	576.7	1316.2	4004

表 1. 13 インドにおける低位成長ケースの想定

Parameter	1995	2000	2010	2035
Population(million)	916	1006	1153	1445
GDP growth(over 1995 times)	1	1.33	2.19	5.51
Industry share in GDP(%)	31.3	31.05	32.2	33.5
Commercial share in GDP(%)	37.8	37.55	38.89	40.37
Agriculture share in GDP(%)	25.9	26.52	23.9	21.12
Transport share in GDP(%)	4.6	4.76	4.84	4.89
Private Final Consumption Expenditure share in GDP(%)	73.4	72	69.4	64.2
Passenger Road Transport (Billion Pkm)	1550	2085	3590	6532
Freight Road Transport (Billion Tkm)	413	577	1086	2234

表 1. 14 インドの標準ケースのエネルギーサービス需要の想定

	Unit	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
INDUSTRY										
Steel	Million tons	20.80	27.30	39.04	52.24	66.68	81.12	93.14	102	106
Aluminum	Million tons	0.534	0.706	0.980	1.320	1.750	2.230	2.780	3.380	3.820
Cement	Million tons	67.7	95.0	136.3	180.7	219.9	252.4	278.7	293.0	297.0
Paper	Million tons	3.54	4.77	6.66	8.69	10.83	12.90	14.72	16.22	17.37
Brick	Billion no.	46.20	61.83	81.96	103.6	137.4	171.2	207.3	240.0	260.0
Caustic Soda	Million tons	1.36	1.62	2.10	2.58	3.07	3.57	4.03	4.44	4.80
Soda Ash	Million tons	1.46	1.89	2.27	2.71	3.21	3.75	4.32	4.75	5.00
Nitrogenous Fertilizer	Million tons	9.23	11.56	16.00	20.67	25.33	29.45	32.74	35.17	36.87
Cotton Textile	Billion Metres	30.15	38.07	51.56	65.18	77.04	85.89	92.07	95.60	97.78
Sugar	Million tons	16.51	17.70	22.69	26.84	30.70	34.08	36.87	39.07	40.74
AGRICULTURE										
Irrigation	Petajoules	131	173	225	288	364	435	485	520	541
Tilling	Million tractors	1.91	3.08	4.52	5.78	7.04	8.05	8.78	9.26	9.56
Threshing	Petajoules	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
RESIDENTIAL										
Cooking										
Urban	10 ¹⁴ cal	902.7	1085	1201	1337	1475	1641	1769	1846	1925
Rural	10 ¹⁴ cal	1511	1482	1502	1569	1647	1736	1772	1751	1790
Lighting										
Urban	Tera lumen-hrs	203	243.4	287.7	333.6	377.4	422.8	464.6	500	531.2
Rural	Tera lumen-hrs	70	81.2	92.7	104.4	116.4	127.9	137.8	146	153.7

Electrical Appliances										
Fan	Million no.	68.00	83	106	132	172	214	260	308	351
A/C	Million no.	0.42	0.64	1.26	2.16	3.20	4.57	6.60	8.60	11.00
Refrigerator	Million no.	7.80	10	12.6	16.4	20	24	27.6	32	36
Television	Million no.	16.00	24	35	46	57	64	70	74	76
Washing Machine	Million no.	0.56	1.26	2.40	3.70	5.00	6.10	7.10	7.9	8.40
Other Appliances	Million no.	51.00	60	76	98	128	152	176	192	203
COMMERCIAL										
Electricity	Petajoules	294	422	632	928	1290	1678	2081	2412	2586
LPG	Petajoules	18	27.95	42.61	61.46	83.81	107.0	128.9	143.7	154.1
Fuelwood	Petajoules	96	96.96	99.41	101.7	103.7	105.6	106.6	107.1	107.4
Kerosene	Petajoules	13	16.99	22.00	26.89	32.09	37.57	42.92	47.39	50.80
Diesel	Petajoules	94	125.8	163.6	202.9	239.9	272.7	301.1	319.6	332.6
TRANSPORT										
Road										
Passenger	Billion Pkms	1550	2094	2937	4005	5309	6584	7486	8184	8602
Freight	Billion Tkms	413	577	847	1233	1714	2208	2610	2881	3058
Air	Billion Pkms	18	22.76	30.45	42.71	57.16	71.57	82.16	90.72	97.25
Rail										
Passenger	Billion Pkms	342	416	516	634	757	886	1007	1112	1180
Goods	Billion Tkms	274	335	419	520	627	741	851	930	987
Water	Billion Tkms	7	8.68	10.87	14.55	19.84	26.05	31.69	36.39	39.78

図 1. 29 にシナリオ毎のセメント部門の需要予測を示す。図 1. 30 に各ケースでの二酸化炭素排出量を示す。図 1. 31 に標準ケースにおける部門別エネルギー消費量の予測を示す。産業部門、運輸部門における道路の旅客輸送、貨物輸送などの伸びが著しい。シミュレーション結果から次のことが示された。運輸部門におけるディーゼルやガソリン消費量の増大に伴い石油の需要が急速に伸びている。また、ガスの消費量も同様である。両エネルギーともインド国内での生産がほとんどないため、エネルギー輸入戦略が重要な政策課題となろう。部門別構成としては、産業部門のシェアが大きく拡大する。家庭部門ではバイオマスから LPG、灯油から電力への転換によってそのシェアは縮小する。二酸化炭素排出量は、高成長ケースの場合、40 年間に 3.5 倍以上増加することが予想され、エネルギー消費量の伸びと同程度である。これは、炭素含有量の少ないエネルギー種への転換は何らかの対策を施さない限り、進まないことを示唆する。しかし、SO₂ の排出量は、石油製品中の硫黄含有率の低下や脱硫黄装置の普及によって、減少傾向となることが示された。

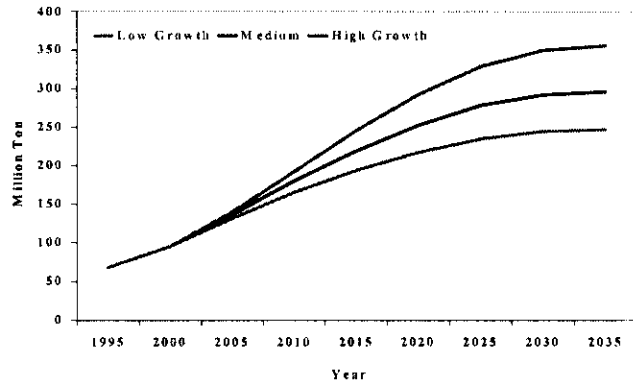


図 1. 29 インドのセメント需要の予測

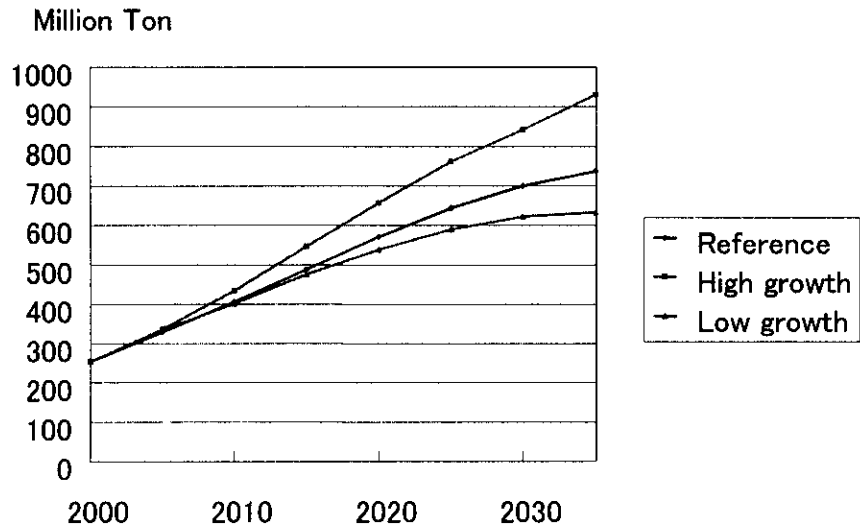


図 1. 30 インドにおける二酸化炭素排出量の予測

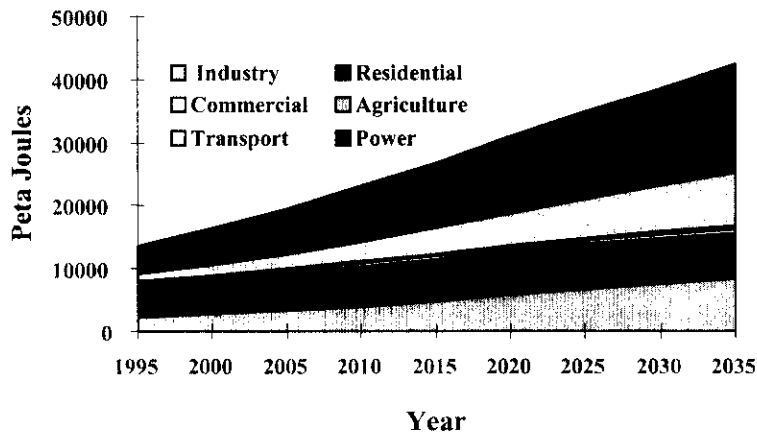


図 1. 31 インドにおける部門別エネルギー消費量の予測

4.2.2. 炭素税を導入した場合の削減効果分析

地球温暖化対策として、炭素税を導入した場合の将来排出量の推計を行った。標準シナリオを対象として、低課税ケース、中課税ケース、高課税ケースの3ケースにおいて排出量を推計した。炭素税の率を表1.15に示す。また、各ケースでの二酸化炭素削減に占めるエネルギー供給サイドとエネルギーサービス需要サイドの比率を表1.16に示す。初期（2005～2015年）においては、需要部門の削減が全体のうち大きな位置を占めるが、後半においてはエネルギー供給部門での削減が大きな位置を占めるようになり、2035年においては75%が供給部門の削減努力によるものとなる。即ち、2015年位までは炭素税は需要部門の削減に大きく寄与し、この後は供給部門に寄与するようになることが示された。

需要サイドの技術は供給サイドの技術より寿命が短く、比較的新技術導入が容易であるが、個々の技術の省エネ率は相対的に高くない。一方、供給サイドの技術は寿命が長く、投資も高くつくので、なかなか高効率の機械への更新が進まない反面、組織的に高効率の技術に転換していくことが可能であり、多くの削減が期待できる。

表1.15 インドにおける炭素税のシナリオ (US\$/tC)

Tax Scenario	2000	2010	2020	2030
Reference	0	0	0	0
Low	0	0	10	30
Medium	0	5	10	30
High	0	20	35	70

表1.16 インドにおける削減に占めるエネルギー供給と需要サイドの比率 (%)

		2005	2015	2025	2035
Low tax	Supply side	13	43	68	75
	Demand side	87	57	32	25
Medium tax	Supply side	28	43	66	75
	Demand side	72	57	34	25
High tax	Supply side	38	43	72	75
	Demand side	62	57	28	25

図1.32にインドの需要部門における2010年の二酸化炭素排出量を示す。標準ケースと高炭素税率のケースを比較したものである。個別部門としては、運輸部門、鉄鋼部門、セメント部門、民生部門、農業部門からの二酸化炭素排出量が高く、運輸部門、鉄鋼部門、教務部門、農業部門等で炭素税の導入による削減効果が期待できる。

炭素税の率によって省エネ機器の導入に変化があるので削減への寄与が違ってくる。表1.17に高炭素税率の場合の削減率の高い業種のランクを示す。運輸部門においては炭素税を導入することによって効率

のよい車への乗り換えが短期的には進むが、長期的には道路輸送から鉄道輸送、都市内の効率のよい輸送システムへのシフトが必要となるため、2020年以降の順位は下がる。エネルギー転換部門においては、炭素税の導入により長期的に効率のよい技術への転換が進む。

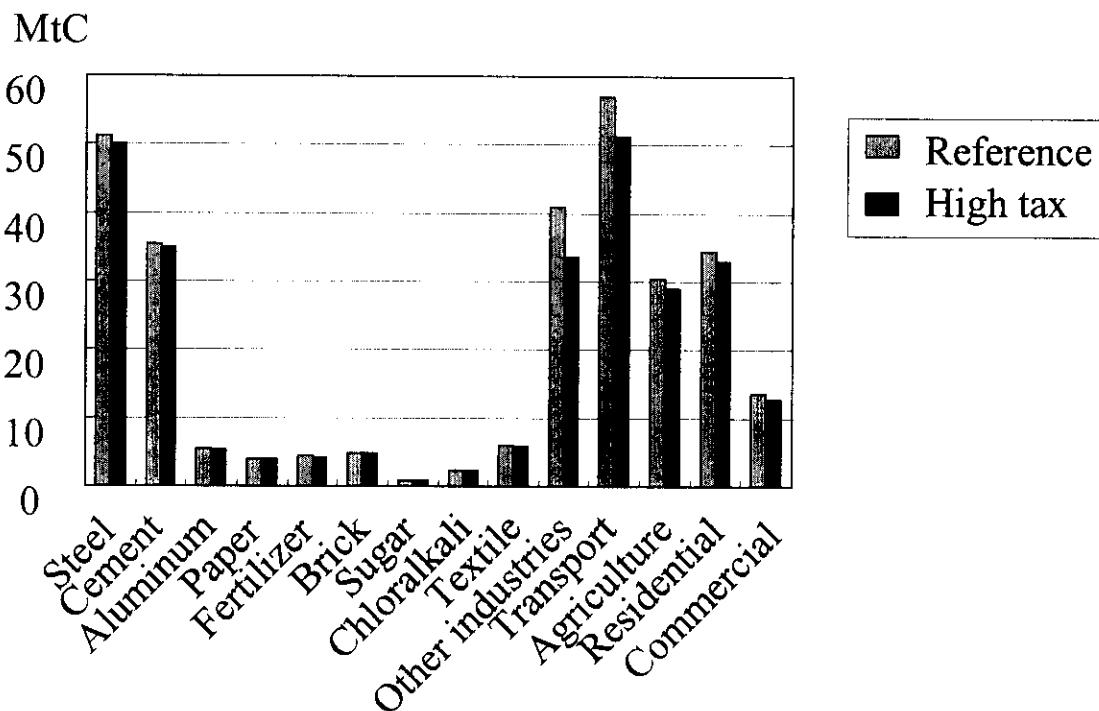


図 1. 32 インドの 2010 年における二酸化炭素排出量の予測

図 1. 33 にインドの産業部門の二酸化炭素排出量を示す。また、図 1. 34 に鉄鋼部門、図 1. 35 に運輸部門の二酸化炭素排出量を示す。鉄鋼部門においては、低率の炭素税でも二酸化炭素の削減が進み、高率にすると更に進むが、運輸部門では低率の炭素税では殆ど削減が進まず、ある程度の炭素税を導入する必要があることが分った。

表 1. 17 高炭素税率の場合に削減が期待できる業種の順位

	2005	2010	2020	2035
Most flexible	Transport	Transport	Power sector	Power sector
2	Power sector	Power sector	Other industry	Other industry
3	Other industry	Other industry	Commercial	Commercial
4	Commercial	Commercial	Brick	Brick
5	Iron & steel	Iron & steel	Transport	Iron & steel
6	Residential	Agriculture	Iron & steel	Cement

7	Aluminium	Cement	Residential	Chlor alkali
8	Agriculture	Residential	Aluminium	Agriculture
9	Chlor alkali	Brick	Cement	Transport
10	Brick	Pulp & paper	Sugar	Residential
11	Cement	Aluminium	Agriculture	Aluminium
12	Pulp & paper	Chlor alkali	Pulp & paper	Pulp & paper
13	Textile	Textile	Textile	Textile
14	Fertilizer	Fertilizer	Chlor alkali	Sugar
15	Sugar	Sugar	Fertilizer	Fertilizer

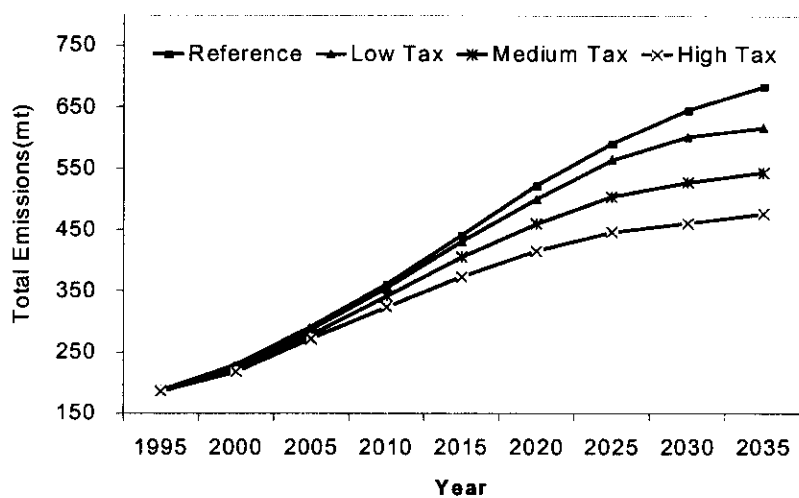


図 1. 33 インド産業部門の二酸化炭素排出量

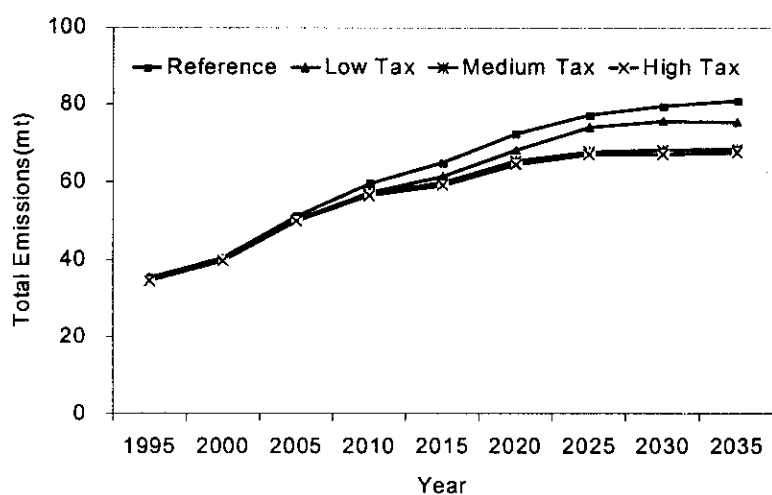


図 1. 34 インドの鉄鋼部門の二酸化炭素排出量

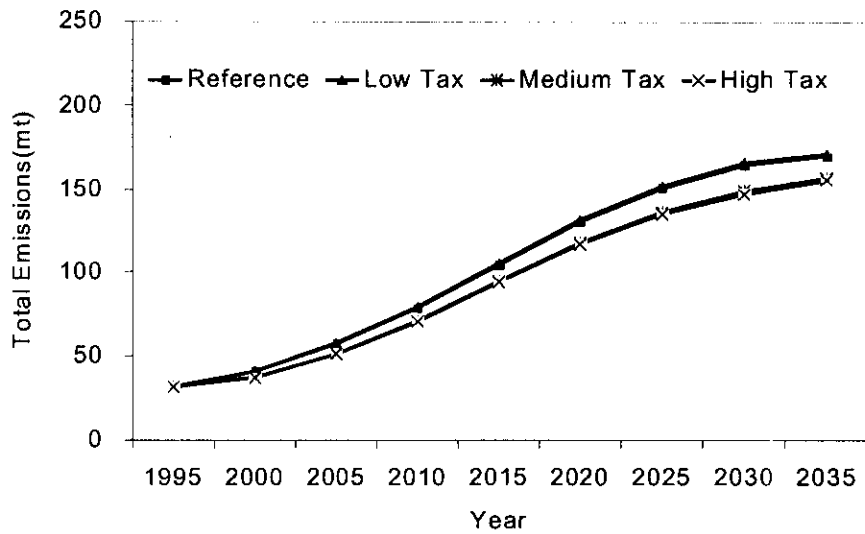


図 1. 35 インドの運輸部門の二酸化炭素排出量

4. 3. 韓国における温室効果ガス排出量の予測

4. 3. 1. 韓国モデルの想定

韓国モデルの部門構成を表 1. 18 に示す。各部門におけるエネルギーサービス需要予測の前提となる、GDP、人口等の社会社会経済シナリオは、韓国エネルギー研究所の推定値を用いた

家庭部門のサービス需要の予測を表 1. 19 に示す。家庭部門の重要な要素である世帯数については実数で示す。2020 年の世帯数は 1995 年に比べて約 50% という高い伸び率が想定されている。この数値はライフスタイルの変化を反映して人口の伸び(約 17%) よりかなり高くなっている。また、暖房需要は 2020 年で 2 倍に、冷房需要は 8 倍になっている。これは所得の増加に対応したものである。また、計算機需要も大きく伸びているが、これは、韓国の政策である「情報社会」の実現に対応したものである。

表 1. 20 に運輸部門におけるサービス需要の想定を示す。所得が増加するに従って、乗用車に関するサービス需要が増加する。また、表 1. 21 に産業部門のサービス需要の想定を示す。

表 1. 18 韓国モデルの部門構成

部門	サブ部門
家庭	調理、冷房、暖房、給湯、照明、家電製品
業務	調理、冷房、暖房、給湯、照明、家電製品
運輸	旅客運輸、貨物運輸
産業	鉄鋼業、化学工業、セメント、その他産業

表 1. 19 韓国の家庭部門におけるサービス需要の想定

Service	1995	2000	2010	2020
Number of Household (Thousand)	12501	13967	16561	18733
Number of Household (1995=1.0)	1.0	1.117	1.325	1.490
Cooling	1.0	1.919	4.491	8.317
Main Heating/Hot Water	1.0	1.150	1.490	2.002
Auxiliary Heating	1.0	1.111	1.333	1.651
Cooking	1.0	1.156	1.390	1.651
Lighting	1.0	1.253	1.961	2.991
Television	1.0	1.297	1.843	2.318
Refrigerator	1.0	1.251	1.709	2.138
Washing Machine	1.0	1.195	1.586	1.958
Vacuum	1.0	1.532	2.359	2.974
Micro Oven	1.0	1.704	2.752	3.520
Personal Computer	1.0	1.598	2.465	3.079
Others	1.0	1.316	3.214	3.572

表 1. 20 韓国の運輸部門におけるサービス需要の想定

(Unit: 10⁹ Person Km, Ton Km)

Service	Base Year	1995	1998	2000	2005	2010	2020
Private Passenger Cars less than 1500cc	1.06E+11	1.000	1.094	1.274	1.925	2.453	3.075
Private Passenger Cars less than 2000cc	4.57E+10	1.000	1.098	1.278	1.928	2.451	3.085
Private Passenger Cars more than 2000cc	5.52E+09	1.000	1.100	1.277	1.920	2.464	3.080
Taxis less than 1500cc (Private)	5.09E+07	1.000	1.100	1.202	1.424	1.542	1.554
Taxis less than 1500cc (Company)	2.25E+09	1.000	1.102	1.204	1.427	1.542	1.556
Taxis more than 1500cc (Private)	3.15E+10	1.000	1.102	1.203	1.425	1.543	1.556
Taxis more than 1500cc (Company)	4.63E+10	1.000	1.102	1.203	1.425	1.542	1.555
Jeeps	8.92E+09	1.000	0.709	0.980	1.233	1.413	1.379
Buses less than 16 persons (Privately owned)	6.21E+10	1.000	0.894	1.129	1.444	1.610	1.626
Buses more than 16 persons (Privately owned)	2.85E+10	1.000	0.895	1.130	1.446	1.614	1.625
Buses more than 16 persons (Company)	2.98E+11	1.000	0.893	1.128	1.446	1.614	1.621
Inter Urban Railway (Passenger)	2.03E+10	1.000	0.833	0.709	0.685	0.719	0.818
Subway	2.47E+10	1.000	1.259	1.522	1.721	2.142	2.696
Coastal Water Passenger	4.69E+08	1.000	0.938	0.974	1.151	1.377	1.959
Air Transport (Domestic Passenger)	4.56E+10	1.000	1.118	1.180	1.496	1.853	2.982
Trucks less than 1.0 ton	4.81E+09	1.000	0.952	1.006	1.206	1.341	1.372
Trucks less than 3.0 tons	3.56E+10	1.000	0.952	1.006	1.205	1.340	1.371
Trucks less than 5.0 tons	7.24E+09	1.000	0.952	1.006	1.204	1.340	1.370
Trucks less than 8.0 tons	6.49E+09	1.000	0.951	1.005	1.203	1.339	1.370
Trucks less than 12.0 tons	5.14E+09	1.000	0.951	1.004	1.204	1.339	1.370
Trucks more than 12.0 tons	1.17E+09	1.000	0.957	1.009	1.205	1.342	1.376
Railway (Freight)	1.38E+10	1.000	0.986	1.174	1.254	1.312	1.377
Coastal Water Freight	4.38E+10	1.000	1.082	1.132	1.288	1.429	1.751
Air Transport (Domestic Freight)	8.18E+08	1.000	1.067	1.169	1.443	1.724	2.274

表 1. 21 韓国の産業部門におけるサービス需要の想定

Iron and Steel Industry	1995	2000	2010	2020
Crude Steel Production (Th. Ton)	36772	39200	42700	42700
Crude Steel Production (1995=1.0)	1.000	1.066	1.161	1.161
Share of Electric Arc (%)	37.8	38.8	35.6	35.6
Furnace (Th. Ton)	22871	24000	27500	27500
Electric Arc (Th. Ton)	13901	15200	15200	15200
Cement Industry	1995	2000	2010	2020
Cement Production (Th. Ton)	51893	49310	63000	66200
Cement Production (1995=1.0)	1.000	0.950	1.214	1.276
Share of Mixed Cement (%)	6.2	8.7	8.7	8.7
Petrochemical Industry	1995	2000	2010	2020
Ethylene Production (Th. Ton)	4340	4670	4920	4920
Ethylene Production (1995=1)	1.000	1.076	1.134	1.134
Low Density Polyethylene	1428	1569	1653	1653
High Density Polyethylene	1503	1617	1704	1704
VCM	660	1033	1088	1088
Polypropylene	2602	3176	3347	3347
PP	2105	2276	2398	2398
Octane	235	253	266	266
IPA	30	32	34	34
AA	160	172	181	181
BTX	5114	5518	5813	5813
Butadiene	601	687	932	932
Others	2012	2436	3971	5722

4.3.2. 韓国モデルによるシミュレーション

各部門において、炭素税に関する4つのシナリオを想定して、将来の二酸化炭素排出量の推計を行った。4つのシナリオとは、①標準シナリオ、②技術固定ケース（1995年技術シェア固定）、③炭素税課税ケース（2000年から炭素トン当たり30,000ウォンの課税）、④補助金ケース（③と同率の課税によって得た税収を2001年から省エネ技術導入のための補助金として還元）である。

図1.36に韓国の標準シナリオの下での二酸化炭素排出量を示す。1997年12月に韓国では経済危機がおり、1998年のGDPの成長率は-5.9%であった。それを反映して、1998年の二酸化炭素排出量は減少したが、1999年には経済が回復し、GDPの成長率も7%以上となった。今後、二酸化炭素排出量は1995年の105 MtCから、2020年には178 MtCに増加すると予想される。家庭部門からの排出量は1995年の17.4%から2020年には18.1%となると予想される。業務部門のシェアも1995年の8.3%から2020年には11.1%に増加と予想される。

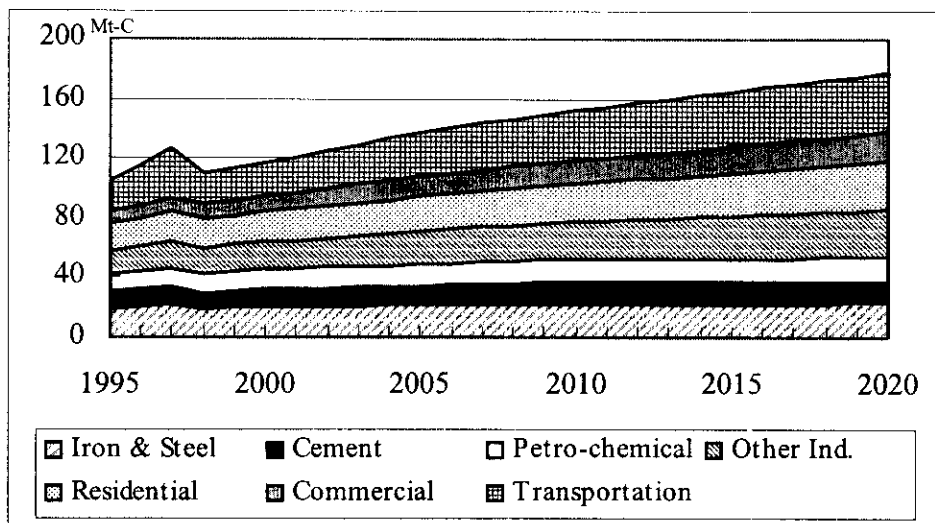


図 1. 36 韓国における標準シナリオでの二酸化炭素排出量の予測

図 1. 37 に鉄鋼部門の二酸化炭素排出量の予測を示す。産業部門の排出量は伸びているが、全体のシェアは 1995 年の 55.1%から 48.7%に減少した。主な原因はエネルギー集約産業のシェアが減少したことにより、鉄鋼部門のシェアは 1995 年の 17.8%から 2020 年には 12.9%に減少すると予測された。韓国の産業は今後情報産業へのシフトが予想されている。図 1. 38 に家庭部門からの二酸化炭素排出量の予測を、図 1. 39 の運輸部門からの二酸化炭素排出量の予測を示す。

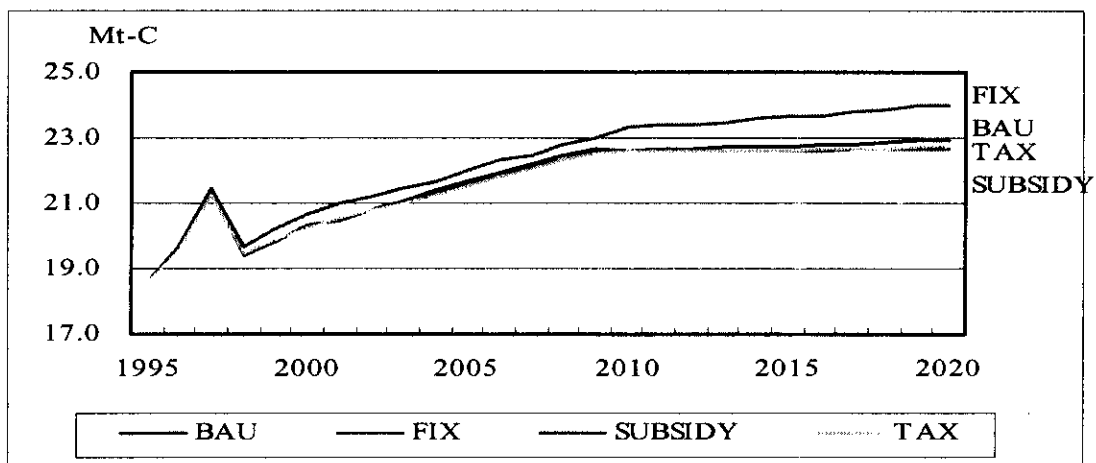


図 1. 37 韓国の鉄鋼部門からの二酸化炭素排出量の予測

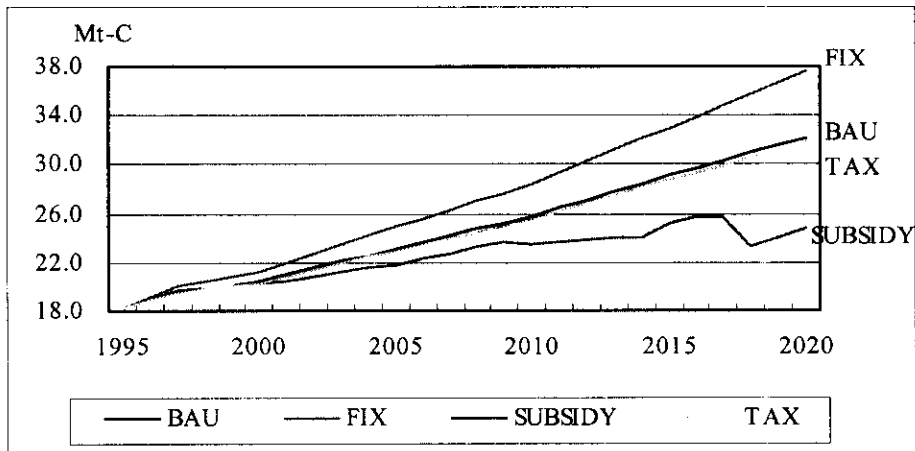


図 1. 38 韓国の家庭部門からの二酸化炭素排出量の予測

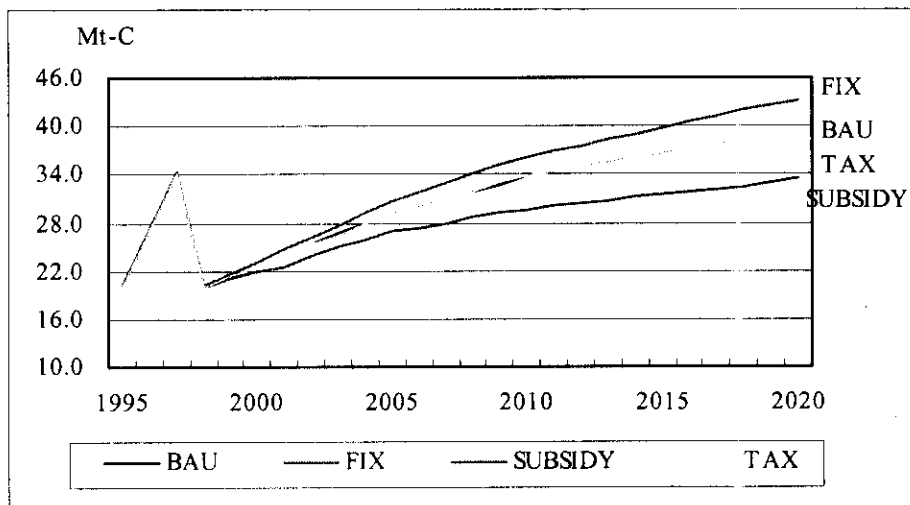


図 1. 39 韓国の運輸部門からの二酸化炭素排出量の予測

4.3.3. Mini-AIMによる排出量予測

韓国環境研究所との協力でMini-AIMモデルを韓国に適用した。韓国の家庭部門におけるアクションプランを表 1. 22 に示す。これらのアクションプランをMini-AIMに当てはめ、対策の削減効果の分析を試みた。

アクションプランを全世帯が実行した場合（100%アクション）、半分の世帯が実行した場合（50% Action）、全く実行しない場合（BaU）の3ケースを想定して、それぞれのケースにおける排出量の推計を行った。

図 1. 40に家庭部門における推計例を示す。冷房設定温度を1℃高く設定したり、フィルターをこまめに掃除することで冷房に関して 34 千 tC の排出量を削減できることが分った。特に効果が大きいのが、断熱材の使用であり、暖房のために排出される二酸化炭素の 20%を削減し、その削減量は 600 千トン以上になっている。

表 1. 22 韓国におけるアクションプラン

Unit : thousand TC

Service	Response Menu	Technologies	Action Potential			
			0%	50%	100%	Reduction (%)
Cooking	Have Meal in Family Once a Week	LNG Oven Range	1106	1102	1098	0.7
	Have Meal in Family Once a Week	LPG Oven Range	1106	1097	1087	1.7
	Control Flame of Oven Range	LNG Oven Range	1106	1089	1072	3.1
	Control Flame of Oven Range	LPG Oven Range	1106	1068	1029	7.0
Cooling	Set the Cooling Temperature at 26-28 Degree	Air Conditioner (Cool)	1598	1597	1596	0.1
	Clean up Air Conditioner's Filter Diligently	Air Conditioner (Cool)	1598	1582	1566	2.0
Lighting	Set Reflector	Fluorescent Light	4803	4803	4803	0.0
	Use Fluorescent Light	Incandescent Light	4830	4428	4027	16.6
	Use Fluorescent Light	Fluorescent Light	4830	4969	5108	-5.8
Main-Heating	Set the Heating Temperature at 18-20 Degree	Kerosene Boiler	14359	14312	14264	0.7
	Set the Heating Temperature at 18-20 Degree	Coal Boiler	14359	14347	14334	0.2
	Set the Heating Temperature at 18-20 Degree	LNG Boiler	14359	14348	14336	0.2
	Set the Heating Temperature at 18-20 Degree	LPG Boiler	14359	14357	14354	0.0
Refrigerator	Reduce Numbers of Opening and Shutting	Refrigerator	676	668	659	2.5
	Put Food Into Refrigerator After Cool	Refrigerator	676	663	650	3.8
Aux. Heating	Use Insulation	Kerosene Heater	3070	2763	2456	20.0
TV	Plug off when not Watching	TV	519	492	465	10.4

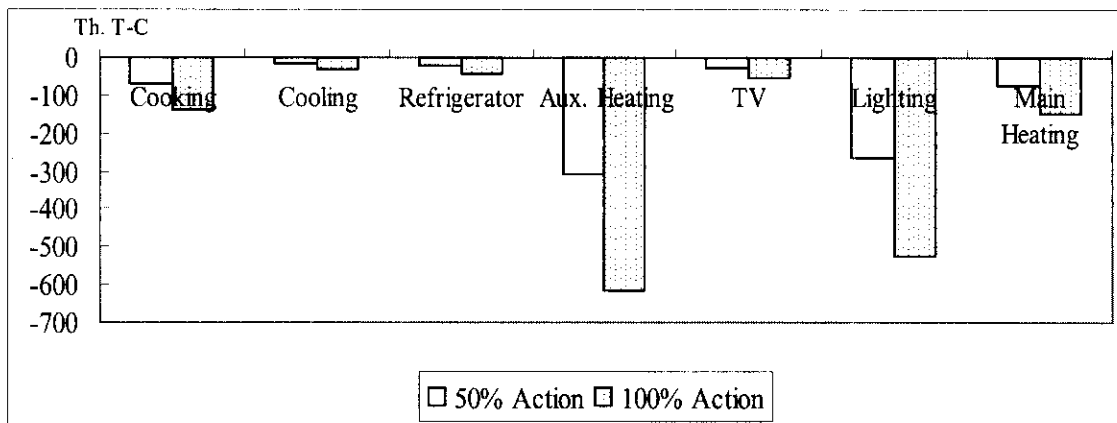


図 1. 40 韓国アクションプランによる削減量

5. まとめ

IPCCの要請に基づく気候安定化シナリオの作成、京都議定書の実施可能性や経済的影響、アジア地域の温暖化対策のための政策オプションの検討などを実施した。これらの研究成果は、IPCCなどの国際機関をはじめ、わが国の政府、アジア途上国の政府においてしばしば引用され、また、AIMモデルがこれらの国際機関や各国政府で活用されるようになってきた。

今後は、長期的な経済発展を維持し、国内の各種問題を解決しながら気候安定化をいかに総合的に達成していくかが、気候安定化政策推進の大きな鍵となってきているため、気候安定化と経済発展政策を統合した対策の可能性についてアジア各国で詳細に検討することにより、地球温暖化防止と温暖化問題への適応、地域環境の改善や経済発展といった視点から、発展途上国における持続的発展の方策について検討する予定である。

[国際共同研究等の状況]

中国エネルギー研究所・インド経営研究所・韓国エネルギー経済研究院・韓国サンミュン大学・インドネシア環境省と共同して、政策評価のシミュレーションを実行した。

[研究成果の発表状況]

(1) 口頭発表

- ① Jiang, K., T. Morita, Y. Matsuoka and M. Kainuma: 1999 Open Meeting of Human Dimensions of Global Environmental Change, Shonan, Japan, 1999
"Integrated environment policy assessment for China"
- ② 小林良典、増井利彦、森田恒幸: 環境経済・政策学会 1999 年大会 (1999)
「中国における大気汚染対策と地球温暖化防止に対するクリーン開発メカニズム導入の効果に関する分析」
- ③ Masui, T.: International Workshop on Developing Climate Change Action Plans, Manila, Philippine, 1999

"The use of economic models as integrating frameworks"

- ④ Masui, T. and Y. Kobayashi: International Workshop on the Clean Development Mechanism, Shonan, Japan, 2000
"Policy effects of the Clean Development Mechanism on global warming and air pollution abatement in China"
 - ⑤ 森田恒幸: 日本学術会議エネルギー戦略検討会 (1998)
「地球環境問題と 21 世紀のエネルギー需給-AIM モデルによる最近の解析結果」
 - ⑥ 森田恒幸: 日本経済学会 1998 年度秋季大会、(1998)
「地球温暖化防止と発展途上国」
 - ⑦ 森田恒幸: 第 27 回原子力総合シンポジウム (1999)
「地球温暖化問題とその対応」
 - ⑧ 森田恒幸: 新潟・東北アジア経済会議 2000 (2000)
「北東アジアの地球温暖化防止: エネルギー資源の効率的利用」
 - ⑨ 森田恒幸: 第 3 回 IGES 地球温暖化対策オープンフォーラム (2000)
「AIM を用いた二酸化炭素削減のシミュレーション分析」
 - ⑩ Morita, T.: IPCC Lead Authors Meeting of the Special Report on Emission Scenarios (SRES), Washington, D.C., USA, 1998
"Quantification of IPCC-SRES Storyline Using the AIM/Emission-Linkage Model"
 - ⑪ Morita, T.: Workshop on Energy Pricing Policy and Practices in the APEC Economies, Tokyo, Japan, 1999
"Post-Kyoto and Energy Pricing"
 - ⑫ Morita, T.: The 6th International Workshop for Eco Asia Long-term Perspective Project, Tokyo, Japan, 1999
"Asian-Pacific Environmental Outlook"
 - ⑬ Morita, T.: The 6th International Workshop for Eco Asia Long-term Perspective Project, Tokyo, Japan, 1999
"Research Results on Eco-Policy Linkage"
 - ⑭ Morita, T.: IPCC Expert Meeting on Economic Impact of Mitigation Measures, Hague, Netherlands, 1999
"Energy exporters vs. importers"
 - ⑮ Morita, T., M. Kainuma and Y. Matsuoka: 1999 Open Meeting of Human Dimensions of Global Environmental Change, Shonan, Japan, 1999
"A historical analysis of Japan's desulphurization experiences for the "Ecp-policy linkage" design"
 - ⑯ Morita, T.: International Meeting on Energy Technology and Finance, Sustainable Development, Beijing, China, 1999
"Building capacity from integrated assessment viewpoint"
 - ⑰ Morita, T.: Climate Change Impacts and Integrated Assessment, Snowmass, USA, 1999
"Representing technology scenarios in the AIM integrated model and their application to post-SRES"
 - ⑱ Morita, T.: GENES-3, Tokyo, Japan, 1999
"Long-term development scenarios and climate change"
 - ⑲ Morita, T.: Workshop on Carbon Tax, Tokyo, Japan, 2000.
"Carbon tax from a policy viewpoint"
- (2) 論文発表
- ① Harashima, Y. and T. Morita: Environmental Economics and Policy Studies, 1 (1), 39-67 (1998)

"A Comparative Study on Environmental Policy Development Processes in the Three East Asian Countries: Japan, Korea, and China"

- ② 姜、松岡譲、森田恒幸：環境と公害、27(4)、2-7(1998)
「発展途上国と地球温暖化問題」
- ③ Jiang, K., X. Hu, Y. Matsuoka and T. Morita: Environmental Economics and Policy Studies, 1(2), 141-160 (1998)
"Energy Technology Changes and CO2 emission scenarios in China"
- ④ Jiang, K., T. Masui, T. Morita and Y. Matsuoka: Environment Economics and Policy Studies, 2(4), 267-287 (1999).
"Long-term emission scenarios for China"
- ⑤ Kainuma, M., Y. Matsuoka and T. Morita: Key Technology Policies to Reduce CO2 emissions in Japan, WWF Japan, 39-57 (1997)
"The AIM model and simulation"
- ⑥ 松岡譲、甲斐沼美紀子、森田恒幸：日本における CO2 削減のためのキーテクノロジー政策、WWF ジャパン、31-47 (1997)
「AIM モデルとシミュレーション」
- ⑦ 松岡譲、森田恒幸：地球温暖化への挑戦、環境経済・政策学会編、東洋経済新報社、38-52 (1999)
「地球温暖化問題と AIM」
- ⑧ 森田恒幸、松岡譲：環境情報科学、26(3)、4-7 (1997)
「アジアの環境問題の現状と展望」
- ⑨ 森田恒幸：ジュリスト、1130、59-62 (1998)
「京都議定書の自然科学的含意とわが国の対応可能性」
- ⑩ 森田恒幸：岩波講座地球環境学大気環境の変化、岩波書店、249-279 (1999)
「地球温暖化と経済」
- ⑪ 森田恒幸：かんきょう、24(6)、17-18 (1999)
「途上国の環境対策」
- ⑫ 森田恒幸：NAPEC J.、No.2、13-22 (1999)
「地球温暖化の現象と我が国の対応」
- ⑬ 森田恒幸：新しい地球環境学、西岡編、古今書院、95-110 (2000)
「地球温暖化に向けてどう知恵を統合するか」
- ⑭ Morita, T.: Proceedings of the IPCC Asia-Pacific Workshop on Integrated Assessment Models, CGER-I029-'97, 125-138 (1997)
"Several gaps between IAMs and developing countries"