

## ■ 研究論文 ■

DNE21モデルによる日・中・北米3地域の  
CO<sub>2</sub>排出動向に関するシミュレーションSimulation of CO<sub>2</sub> Emission in Japan, China and North America with DNE21 Model

周 璋生\*・柳 沢 幸 雄\*\*\*\*・黒 沢 厚 志\*\*

Weisheng Zhou Yukio Yanagisawa Atsushi Kurosawa

藤 井 康 正\*\*\*\*\*・山 地 憲 治\*\*\*\*\*・河 辺 豊 太 郎\*\*\*

Yasumasa Fujii

Kenji Yamaji

Toyotaro Kawabe

(原稿受付日1997年9月9日, 受理日1998年4月17日)

## Abstract

The outlook to the year 2100 for energy supply and demand, and associated CO<sub>2</sub> emissions have been evaluated for Japan, China and North America by use of the model DNE 21 for 2 Cases (Business as Usual (BaU) Case and Concentration Regulation Case). Major findings of this study were as follows: (1) if China's energy demand per capita comes up to the current level in the USA, the energy demand in China would constitute half of the world's. So, we would conclude that the USA development path does not suit China. If China follows the Japanese development path, their total demand would be only 20% of the world's; (2) at present, China's CO<sub>2</sub> emission per capita are much less than the world's average level, but its total emissions are making up a larger part of the world's total amount.

## 1. はじめに

北米(米国, カナダ)を代表とする先進国や中国を代表とする発展途上国の化石燃料の大量消費が大气中のCO<sub>2</sub>濃度を確実に押し上げ, 遠くない将来に地球温暖化によって地球規模に大きな影響が生じることが懸念されている<sup>1), 2)</sup>. その中, 日本はかつての公害先進国から現在の環境先進国に躍進し, 優れたエネルギー・環境技術や政策ノウハウを持っている<sup>3)</sup>. 経済活動, エネルギー消費及び環境負荷などの各指標については, 日・中・北米3地域合わせての世界全体に占める割合は, 人口30%, GNP43%, エネルギー総消費量43%, CO<sub>2</sub>排出量40%となる<sup>4)</sup>(いずれも1990年の値, また3地域のGNPは購買力平価(Purchasing Power Parities)<sup>5)</sup>で換算したもので, 以下同). この3地域の

エネルギー消費動向及びCO<sub>2</sub>排出の見通しを把握することは, 地球規模での資源・環境問題がさらに顕在化してくるであろう21世紀に向かって, 人間の社会・経済活動が持続可能的に発展し, かつ地球環境の破壊を防ぐために, 重要な意味を持つと考えられる.

そこで, 本研究では山地・藤井らが開発したDNE 21 (Dynamic New Earth 21) モデル<sup>6~8)</sup>(最適化グローバルエネルギーモデル)を援用して, グローバルエネルギーシステムにおける日中北米3地域の超長期エネルギー需給, CO<sub>2</sub>の排出動向及び対策技術のポテンシャルに関するシミュレーションを実施するとともに, 各地域の特徴を分析する.

2. エネルギー需要及びCO<sub>2</sub>排出のシナリオ

## 2.1 DNE21モデルの概要

DNE21モデルは, 2000年から2100年までの100年間を対象期間とし, 省エネルギーの推進, エネルギー転換技術や新エネルギーの開発, CO<sub>2</sub>の回収・処理などのCO<sub>2</sub>削減対策技術を評価対象としてコスト最小のエネルギーシステムが選択されるように動学的最適化を行っている. また, 対象地域は, 世界を日本, 中国, 北米等10地域に分割して評価している. その詳細は山地・藤井らの論文<sup>6~8)</sup>を参考されたい.

\* 財地球環境産業技術研究機構(RITE)主任研究員(現在財エネルギー総合工学研究所 主任研究員)

\*\* RITE 主任研究員(現在財エネルギー総合工学研究所 勤務)

\*\*\* RITE 主任研究員

〒619-0292 京都府相楽郡木津川町木津川台9-2

\*\*\*\* 東京大学工学部地球環境工学講座教授

\*\*\*\*\* // 工学系研究科電気工学専攻教授

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

\*\*\*\*\* 横浜国立大学工学部電子情報工学科助教授

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台156

表1 IS92aシナリオによる人口値(百万)

| year       | 1990 | 2000 | 2010 | 2020  | 2030 | 2040  | 2050 | 2060  | 2070  | 2080    | 2090    | 2100  |
|------------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|---------|---------|-------|
| N. AMERICA | 277  | 299  | 308  | 317.5 | 327  | 324.5 | 322  | 320.8 | 319.6 | 318.6   | 317.8   | 317   |
| JAPAN      | 124  | 129  | 132  | 130.5 | 129  | 127.5 | 126  | 126   | 126   | 126     | 126     | 126   |
| CHINA      | 1150 | 1303 | 1330 | 1340  | 1350 | 1405  | 1460 | 1496  | 1532  | 1564.8  | 1594.4  | 1624  |
| WORLD      | 5251 | 6220 | 6947 | 7685  | 8424 | 9127  | 9830 | 10228 | 10627 | 10925.2 | 11121.6 | 11318 |

表2 IS92aシナリオによるGNP値(購買力平価PPPで換算, 兆ドル)

| year       | 1990  | 2000  | 2010  | 2020  | 2030  | 2040  | 2050  | 2060  | 2070  | 2080   | 2090   | 2100  |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| N. AMERICA | 5.99  | 8.02  | 10.04 | 12.76 | 15.48 | 18.25 | 21.03 | 23.68 | 26.33 | 29.38  | 32.84  | 36.3  |
| JAPAN      | 1.94  | 2.53  | 3.18  | 3.89  | 4.61  | 5.39  | 6.17  | 6.98  | 7.77  | 8.70   | 9.76   | 10.82 |
| CHINA      | 1.8   | 2.72  | 3.84  | 5.68  | 7.52  | 10.88 | 14.24 | 20.42 | 26.59 | 35.88  | 48.28  | 60.68 |
| WORLD      | 22.89 | 29.22 | 39.03 | 53.81 | 68.59 | 90.33 | 112.1 | 141.1 | 170.1 | 210.49 | 262.23 | 313.9 |

## 2.2 エネルギー需要シナリオ

DNE21モデルはCO<sub>2</sub>問題対策技術の評価を目的としているため、将来の潜在的なエネルギー需要は予めシナリオとして外生的に与える。今回の標準シナリオとしては、CO<sub>2</sub>問題を議論する際にしばしば引用されるIPCCのIS92aシナリオ<sup>9)</sup>を採用した。またシミュレーション結果を考察する上で必要となる地域別の人口及びGNPについても表1、2に示すようにIS92aシナリオ<sup>9)</sup>を参考にした。

## 2.3 CO<sub>2</sub>削減対策シナリオ

本研究においては、エネルギーシステムからCO<sub>2</sub>排出を抑制するための対策シナリオとして、以下の二つのケースを設定した。

- (1) 自然体ケース (Business as Usual, BaU Case) : CO<sub>2</sub>排出規制対策を講じないケース。
- (2) 濃度規制ケース (Concentration Regulation, CR Case) : 2100年時点の大気中CO<sub>2</sub>濃度を産業革命以前の2倍すなわち550ppmのレベルに安定化させるケース。

## 3. 計算結果及び考察

### 3.1 超長期エネルギー消費見通し

#### (1) CO<sub>2</sub>対策による最終エネルギー消費の変化

図-1には二つの対策シナリオにおいて求められた3地域の最終エネルギー消費の変化を示す。自然体ケースでは、2100年のエネルギー消費は2000年と比べれば日本は約1.2倍(0.45GTOE)、北米は約1.3倍(2.05GTOE)になり、これに対して、中国は約6倍(4.12GTOE)にまで増加する。中国の世界全体に占める比率も1990年の9%から2100年の20.7%まで上昇する。

CO<sub>2</sub>対策を講じなければ、中国はほぼ2050年から北米地域を上回って世界最大規模のエネルギー消費国に転じ、例えば2100年時点の消費量は北米の約2倍にまで上昇する。

また、CO<sub>2</sub>削減対策を講じなければ、表3に示すようにどの地域でも安価で埋蔵量の豊富な石炭が主要エネルギー供給源として選択されるので、その需要量が爆発的に増大する。ただし電源構成と消費構造からみると日本、北米地域では石炭需要量のほとんどは発電などに使われるが、中国ではその半分以上は直接最終消費として使われる。

一方、濃度規制ケースでは、図-1(b)に示すように各地域のエネルギー消費量はCO<sub>2</sub>排出規制により自然体ケースに比べて低く押さえられている。2100年の消費量を自然体ケースのそれと比較してみると、日本は約70%(0.83GTOE)、中国は60%(1.25GTOE)、北米は50%(1.98GTOE)にまで減少する。ただしこのケースでも、中国の消費量が依然として年々増加し、かつ世界全体に占める比率も1990年の9%から2100年の18.3%まで上昇する。これは中国の経済規模や人口などから考えるとやむを得ないと考えられる。

また、CO<sub>2</sub>排出規制の実施により、エネルギー構造が変化し、その中、最も大きな影響を受けるのはやはり石炭の消費である。表3に示すように石炭供給量の絶対値が縮小するのみならず、エネルギー総供給量に占める比率も大幅に減少する。石炭需要の減少分は、石油や天然ガスなどの炭素分の少ない化石燃料やバイオマス、水素、水力、太陽エネルギー、風力などの非化石燃料の増産により補われる。ただし、中国では、CO<sub>2</sub>排出規制を講じて石炭を中心とするエネルギー

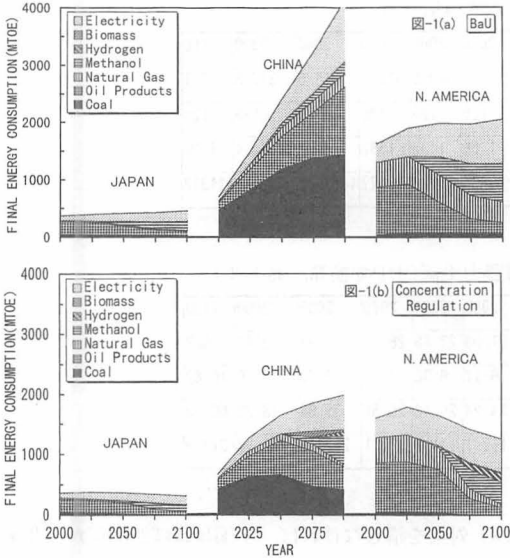


図-1 日中北米3地域の最終エネルギー消費

表3 CO<sub>2</sub>対策による石炭供給量の変化 (MTOE)

| Year       | 2000     |          | 2100      |           |
|------------|----------|----------|-----------|-----------|
|            | BaU      | CR       | BaU       | CR        |
| JAPAN      | 82(16%)  | 80(16%)  | 476(67%)  | 59(10%)   |
| CHINA      | 689(73%) | 645(72%) | 4384(75%) | 1180(37%) |
| N. AMERICA | 482(21%) | 465(20%) | 6885(78%) | 66(2%)    |

BaU : Business as Usual CR : Concentration Regulation  
( ) 内は自国供給量に占める比率

構造の基本は大きく変化しない。これは、主に中国の資源分布(石炭の埋蔵量が圧倒的の多い)、エネルギー生産コスト(石炭のほうが安い)、エネルギー利用技術(例えば、電力のほとんどは石炭火力に依存する現象は長期的に変わらないと見込まれる)及び中国のCO<sub>2</sub>排出量が相対的に少ない(例えば一人当たりの排出量)などに起因すると考えられる。このような汚染物質の排出が多い石炭に依存せざるを得ないエネルギー構造は地球環境に重大な負荷を与えると見られる。

(2) 一人当たりのエネルギー消費量の比較

図-2には、エネルギー消費量(図-1)を人口予測値(表1)で割って求められた3地域及び世界平均の一人当たりの最終エネルギー消費量を示す。自然体ケースにおいては、2000年では、日本は3.0TOE、北米は5.9TOE、中国は0.6TOE(日本の約1/5、北米の約1/10)、2100年では、日本は3.6TOE、北米は6.5TOE、中国は2.5TOE(日本の約2/3、北米の約2/5)となり、北米の一人当たりのエネルギー消費量の突出して多いこと、中国の増加速度の突出して速い

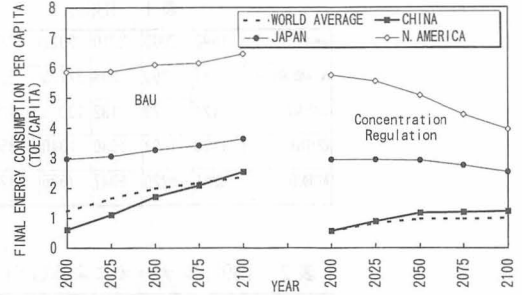


図-2 日中北米3地域及び世界平均の一人当たりの最終エネルギー消費

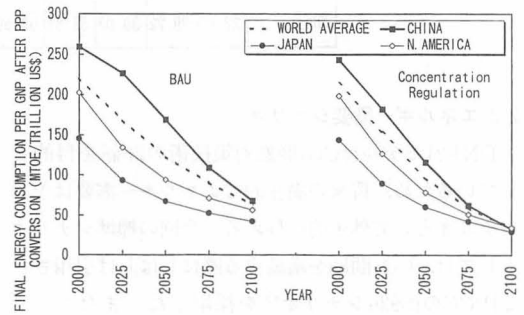


図-3 日中北米地域及び世界平均のGNP当りの最終エネルギー消費

ことが特徴である。一方、濃度規制ケースでは、中国は依然として増加する傾向にあるが、速度は緩やかになり、日本と北米はともに減少する。例えば、2100年では、日本は2.5TOE、北米は3.9TOEまで減少するのに対して、中国は1.2TOEまで上昇する。3地域の差が年々縮小していく傾向がみえるが、中国は膨大な人口を抱えているため、2100年まではどのケースにおいても世界平均値にとどまることがわかる。

(3) エネルギー消費原単位の比較

図-3には、エネルギー消費量(図-1)をGNPの予測値(表2)で割って求められた3地域及び世界平均のエネルギー消費原単位(単位GNP当りの最終エネルギー消費)を示す。CO<sub>2</sub>削減対策シナリオによってGNPに与える影響が異なると考えられるが、DNE21モデルで算定しているCO<sub>2</sub>削減対策コストは、エネルギー供給コストの増分と省エネによる効用損失という直接コストだけであり(それによるシステム総コストの上昇幅は、概ね世界全体のGNPの約1%程度<sup>7)</sup>)、CO<sub>2</sub>削減対策が経済全体へ与える間接的な影響は考慮されていないので、ここで、簡便のためこの対策による影響は考慮しないことにした。

図より自然体ケースと濃度規制ケースのどちらにおいても、中国のエネルギー消費原単位は日本、北米のみならず世界平均値よりも高いことがわかる。中国のエネルギー利用効率の低さが一目瞭然である。一方日本のエネルギー消費原単位は3者のうちで一番低いことからその利用技術が最も進んでいることがわかる。また、北米のほうは世界平均値よりはそれほど低くないことも明らかである。ただし、どのケースにおいても、3地域とも消費原単位が年々減少しかつ日本の水準に近づいていく。これは各国の技術開発、移転、協力などによってもたらされた技術進歩によるものであると考えられる。

3.2 CO<sub>2</sub>排出と削減の見通し

(1) 各地域の排出量

図-4に3地域及び世界全体のCO<sub>2</sub>正味排出量を示す。自然体ケースでは、世界全体の排出量が急激に増加し、2100年の排出量(31.9Gt-C)は1990年(6.2Gt-C)の約5倍まで上昇する。この原因としては、前述のようにエネルギー需要が爆発的に増大すること、石炭消費量の増加により石炭起源によるCO<sub>2</sub>排出が増加すること、CO<sub>2</sub>処理もほとんど行われなことが挙げられる。その中で、2000年から2100年の間の3地域の排出量は、中国は0.87Gt-Cから5.46Gt-C、日本は0.36Gt-Cから0.66Gt-C、北米は1.76Gt-Cから5.95Gt-Cにまで上昇する。ここで特に注目すべきは中国であり、その排出量は、2050年ごろ北米地域を越え、2100年時点は2000年の6倍以上まで上昇する。もし、今のまま中国经济の急激な成長とエネルギー消費が増加を続け、かつCO<sub>2</sub>排出に如何なる規制措置をかけないとすれば、地球規模での温暖化問題に、どれだけの影響を与えるかは、以上の結果から窺うことができるだろう。

一方、濃度規制ケースでは、2100年時点の大気中

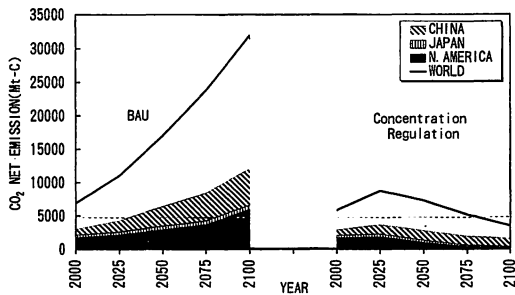


図-4 日中北米3地域及び世界全体のCO<sub>2</sub>の正味排出量

CO<sub>2</sub>濃度を産業革命前の約2倍(550ppm)に安定化させるためには、世界全体の排出量は、2100年で炭素換算で5.5Gt-Cにまで減少し、対策を講じない場合に比べて85%削減が必要となる。2000年から2100年までの排出量は、北米地域では1.72Gt-Cから0.20Gt-C、日本は0.36Gt-Cから0.13Gt-Cに減少する。これに対して、中国の排出量は自然体ケースより大分減少するが、2000年の0.82Gt-Cから2100年の1.22Gt-Cにまで上昇する。これは、中国のエネルギーシステムの規模が、2000年時点ではそれほど大きくないため、人口の増加と経済の成長によってエネルギー需要が爆発的に増大すること、次節で示すように一人当たりの炭素排出量が極めて低いことなどが理由と考えられる。

(2) 一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量の比較

図-5に3地域及び世界平均の一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量を示す。自然体ケースでは、中国は、日本、北米のみならず、世界平均値よりも低い。日本は世界平均値よりやや高い。北米は最も多く、中国及び世界平均値よりも5倍以上となっている。もし世界の人々が北米地域と同じように排出するとすれば、世界全体の総排出量は2000年に36.5Gt-C(同1990年の約6倍)、2100年に212.4Gt-C(同35倍)である。この結果より、北米は他のどの地域よりもCO<sub>2</sub>を削減すべきであることが明らかである。

一方、濃度規制ケースでは、一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量は日本と北米はそれぞれ平均年率0.6%と0.9%で削減することが必要である。これに対して、中国は年率0.2%で増加する。ただし、3地域の差は年々に縮小していく。2100年時点で三者はほぼ世界平均値と同じになる。

(3) CO<sub>2</sub>排出原単位の比較

図-6にCO<sub>2</sub>排出原単位(単位GNP当たりのCO<sub>2</sub>排出量)を示す。自然体ケースでは、日本の排出原単位

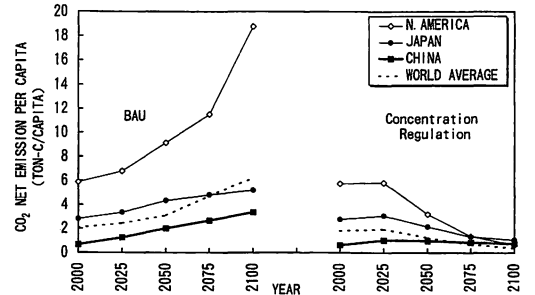


図-5 日中北米3地域及び世界平均の一人当たりのCO<sub>2</sub>正味排出量の推移

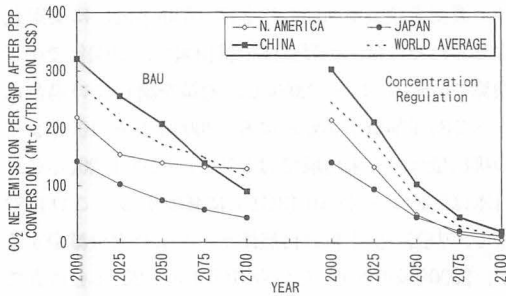


図-6 日中北米及び世界平均の単位GNP当りのCO<sub>2</sub>正味排出量

は最も低く、2000年時点で中国の43%、北米の67%、世界平均値の50%、2100年時点で同67%、33%、37%となる。ただし自然体ケースでも各地域の排出原単位が年々大幅に減少していく傾向が見える。

一方、濃度規制ケースでは、2000年から2100年までは日中北米3地域の単位GNP当たりのCO<sub>2</sub>排出量はそれぞれ0.91%、0.93%、1%（世界平均で0.95%）の平均年率で減少し、日本並の水準に近づいていく。

### 3.3 各削減対策技術のポテンシャル

エネルギーの消費から排出されるCO<sub>2</sub>を抑制する主な方策としては、省エネ、新エネ・燃料転換及びCO<sub>2</sub>の回収・処分等が挙げられる。DNE21モデルでは、CO<sub>2</sub>排出制約は世界全体に対する総量として課せられているので、モデルの最適解は世界全体のエネルギーシステムコストを最小化する最も効率的な削減方策と各地域ごとの削減分担を決める。図-7には濃度規制ケースにおいて各地域の削減分担及び選択された各削減対策技術の貢献度を示す。主な結果を地域別に整理すると以下のようなものである。

a. 日本 省エネ対策によるCO<sub>2</sub>削減の貢献度は約15%にすぎない。燃料転換対策による削減は2025年から現れ、約70%（同上）で省エネよりかなり大きい。また、CO<sub>2</sub>の回収・処分対策による削減は、比較的遅い時期（ほぼ2050年以後）からその効果が現れるが、それによる削減量は比較的小さい。

b. 中国 省エネ対策による削減は、比較的早い時期からその効果が現れると同時に、その貢献度は約半分以上を占めている。燃料転換対策による削減は2025年頃からその効果が現れるが、省エネよりかなり小さい。これは、中国の資源量の分布、経済性などから石炭を中心とするエネルギー構造がこれからも大きく変化しないためであると考えられる。また、CO<sub>2</sub>の回収・処分による削減は、比較的遅い時期（ほぼ2050年以後）

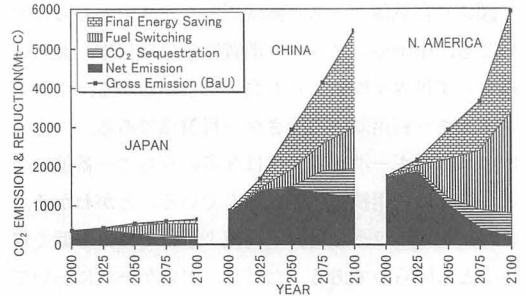


図-7 日中北米におけるCO<sub>2</sub>削減対策技術別の貢献度

からその効果が現れるし、それによる削減量も比較的小さい。これは、CO<sub>2</sub>の回収処分より省エネ対策の方が安いためである。エネルギー効率の向上などの省エネ対策は、中国のCO<sub>2</sub>排出削減対策としての最も有効なオプションであると考えられる。

c. 北米地域 省エネ対策による削減は、比較的早い時期からその効果が現れると同時に、削減貢献度の約40%を占めている。燃料転換による削減は2025年頃からその効果が現れ、削減貢献度の約半分となる。以上両対策による削減量は北米の総削減分の9割を占め、北米地域のCO<sub>2</sub>削減対策としての最も有効なオプションであると考えられる。また、CO<sub>2</sub>の回収・処分による削減は北米の総削減分の1割にすぎない。

また、図-4と図-7の中の両ケースの排出量の比較からわかるように、中国と北米両地域のみ合計削減分担量は世界全体の約3割を占める。注目すべきは、発展途上国としての中国の削減分担の多さである。即ち、中国のような発展途上国により大きな削減率を課することが世界全体として効率的であることを示している。これは、中国の元々のエネルギー利用効率が低いので技術の進歩や政策による制限・誘導などにより比較的省エネやエネルギー利用効率を向上しやすいためと考えられる。日本の削減量は各地域の中では最低のレベルにある。これは、日本では高度な省エネ、環境技術が、すでに広く行き渡っているため、省エネの可能性が他地域と比べて比較的小さいことなどが主な理由と考えられる。この結果は、日本の経験を世界に普及させることの意味、及び先進国と途上国が協力して効率的にCO<sub>2</sub>を削減するポテンシャルを秘していると言える。

### 3.4 日本の排出原単位からみた世界全体のCO<sub>2</sub>削減ポテンシャル

3.2(3)で述べたように、日本のCO<sub>2</sub>排出原単位は中国はもちろん、北米地域よりも遙かに低いし、世界

平均値の約半分にすぎない。そこで、以下は世界全体のCO<sub>2</sub>排出原単位が2000年から日本並みの水準を達成するとした場合（世界の排出原単位の平均値を日本の値で入れ替えた場合）のCO<sub>2</sub>削減効果を考察する。図8中の「Japanese Type」とは、自然体ケースにおける日本のCO<sub>2</sub>排出原単位を世界全体のGNPに乗じて求められた世界全体のCO<sub>2</sub>排出量を示す。比較のため同図に図-4に示す自然体ケース及び濃度規制ケースの世界全体のCO<sub>2</sub>排出量をも並記する。

その結果、図に示すように自然体ケースと比較すると全体のCO<sub>2</sub>削減量は、2000年で2.6Gt-C（同年世界の総排出量の38%）、2100年で17Gt-C（同55%）、2100年までの100年間の累計削減量は940Gt-Cで、世界全体の累計排出量の約50%（日本の累計排出量の約17倍）もの巨大な量となった。さらに、この場合の100年間の累計排出量は約890Gt-Cで、濃度規制ケースのその1.2倍にすぎない。すなわち、世界全体のCO<sub>2</sub>排出原単位が自然体ケースの日本並の水準を達成できれば、2100年時点の大気中CO<sub>2</sub>濃度は550ppmに安定化させることが可能であることを示唆している。

このような日本と世界各国とのCO<sub>2</sub>排出原単位の差が生ずる要因は、①産業構造、②エネルギー構成と③エネルギー利用技術との三つに大別できる<sup>10</sup>。ここでエネルギー利用技術とは、機械などのハード部分と管理技術などのソフト部分を指す。日中両国を例として、1990年現在のデータを用いて、それぞれ日本並の産業構造、エネルギー構成とエネルギー利用技術を仮定するとした場合の中国のCO<sub>2</sub>削減量について分析した結果<sup>10</sup>によると、要因1、2、3による削減量はそれぞれ総削減量（ここでの総削減量とは、中国の排出量の実績と日本の排出原単位を中国のGNPに乗じて求められた排出量との差を指す。1990年は0.35Gt-Cで、同年中国の総排出量（0.61Gt-C）の57%に相当する）の14%、26%、60%を占める。すなわち、中国

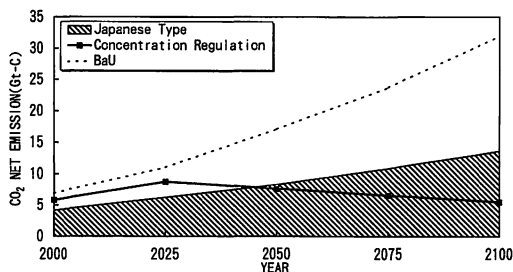


図-8 世界全体のCO<sub>2</sub>排出原単位を日本並の水準に達成するとした場合のCO<sub>2</sub>排出量の変化

一国のみで日本並のエネルギー利用効率を達成できるとすれば、約0.21Gt-C（中国の総排出量の約35%）を削減できる。

以上の結果は、エネルギー利用技術の向上はCO<sub>2</sub>削減対策として最も大きなオプションであること、日本のような高度なエネルギー・環境技術を中国等の発展途上国へ移転することにより世界全体のCO<sub>2</sub>をより効率的に削減できることを示唆している。

### 3.5 途上国のCO<sub>2</sub>削減に関する提案

以上の検討を踏まえて、技術移転を促進し、中国等の発展途上国ひいては世界全体のCO<sub>2</sub>を効率的に削減するために、「合併企業方式」<sup>10)</sup>を提案する。

中国では、従来の計画経済体制下での企業、特に大手国営企業の技術向上意欲を促すシステムが欠如し、ODA（政府開発援助）や他の資金援助による技術移転又は設備を導入しても効率的に利用されていないと言われる。このような問題点を克服するには、計画経済から市場経済へ移行する過渡期にある中国に対して市場経済原理に適した方法で技術移転を推進すべきである。

「合併企業方式」がそれに当たる。即ち、市場ニーズと日中双方の企業の収益を踏まえ、拠点となる合併企業を設立する。日本側はそこに技術移転及び管理技術やノウハウを持つ技術者を派遣し、日中双方は中国の実態に即した技術や装置を共同開発する。そこで蓄積した技術やノウハウを中国国内の他地域に広げる。合併企業が省エネや環境保全と経済発展を両立できる効果を具体的に示すことによって、中国企業の取り組むべき道に一つのモデルを与えることができる。

ここでは、技術移転費用は合併企業の日中双方が負担し、移転後の便益も双方が享受する。この便益には、エネルギー利用効率の向上によるエネルギー費用の削減とCO<sub>2</sub>排出削減及び他の汚染排出物例えばSO<sub>x</sub>などの削減（環境改善）が含まれる。便益が費用を上回れば、市場経済原理によっても技術移転が可能となるはずである。ただし、当面中国等の発展途上国ではCO<sub>2</sub>問題を考慮した技術移転を行うことは実際問題としてかなりの無理があり、ある時期までは一定の政策インセンティブ（例えば助成金制度、或いは税収面での優遇政策等）で推進する必要がある。即ち、CO<sub>2</sub>自身は化石燃料の使用に伴い必然的に発生する一方、温暖化はかなり先の将来に顕在化するものであるが、一旦温暖化が顕在化してからの対策は手遅れとなる。更に各国は被害者であると同時に加害者の関係にある。

そこで、途上国に長期的、戦略的なCO<sub>2</sub>削減努力を求めると同時に、省エネ技術の向上、エネルギー構造の改善、温室効果ガスやフロンガスの規制、代替エネルギーの開発など具体的な分野で途上国を支援するための温暖化対策基金を設立する必要がある。

現実的な対応として技術移転をODAや民間資金等の助成金で促進すると同時に、その技術移転によるCO<sub>2</sub>削減分を助成金や技術を提供した国の削減分に算入できる「共同実施」を導入すれば、技術移転国も被移転国も共に利益を享受できる。

#### 4. 結言

本論文では、DNE21モデルを用いて、2100年までの日中北米3地域のエネルギー消費見通し及びCO<sub>2</sub>排出動向をシミュレートした。主な結果は以下のようである。

(1) CO<sub>2</sub>対策を講じない自然体ケースにおいては、世界全体のCO<sub>2</sub>排出量が爆発的に増大する。これはエネルギー消費量の急激な増加、石炭の大量使用及びCO<sub>2</sub>の回収・処分がほとんど行われていないことなどが原因となる。CO<sub>2</sub>排出量は日中北米3地域とも上昇するが、中国一国のみの2100年時点のCO<sub>2</sub>排出量は1990年の世界全体の排出量に匹敵するものになる。また、一人当たりの排出量の評価では北米地域ほどの地域よりも突出して多い。単位GNP当りの消費量の評価では、日本は最も低い。

(2) 2100年時点の大気中濃度を550ppmに安定化させるには、2000年からの100年間の世界全体の累積排出量は、自然体ケース比約6割削減が必要となる。3地域の合計削減量は世界全体の3割以上を占める。その中、2000年から日本と北米はそれぞれ平均年率0.6%と0.9%で一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量を削減するのに対して、中国は年率0.2%で増加する。排出原単位はそれぞれ平均年率0.91%、0.93%、1%で減少すると同時に日本並みの水準に近づいていく。

(3) CO<sub>2</sub>削減対策としては、中国と北米はともに省エネと燃料転換は最も大きなオプションである。それに対して、日本では、燃料転換による削減量が比較的

に多いものの、全体の削減量は各地域の中で最低レベルにある。

(4) 世界全体の排出原単位を2000年から日本並に達成するとすれば、世界全体のCO<sub>2</sub>排出量を自然体ケースに比べて5割削減することが可能である。そこで、日本などの高度な技術を発展途上国へ移転することにより世界全体のCO<sub>2</sub>をより効率的に削減できると考えられる。

(5) 技術移転は日中間の合弁企業の設定により推進する「合弁企業方式」が有効であると考えられる。

#### 謝辞

本研究は、NEDOの委託研究の一環として行われたものである。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 柳沢幸雄, 周 璋生, 後藤尚弘, 東野晴行, 中国の環境対策と問題点, エネルギー・資源学会第15回研究発表会, 1996.4.
- 2) W. ZHOU, Y. YANAGISAWA, A. KUROSAWA, Y. FUJII, K. YAMAJI, Energy Demand and Potential of CO<sub>2</sub> Emission Mitigation in China in Global System, ENERGYに投稿中.
- 3) 湯浅俊昭, 潮田安宏, 端 雄介, 国際比較から見た日本のエネルギー消費効率特性と効率改善への視点, エネルギー経済, 22-3 (1996).
- 4) EDMC/エネルギー・経済統計要覧 (1995版), 中国統計年鑑 (1993版) より作成.
- 5) The World Bank Atlas (1996).
- 6) 藤井康正, 東京大学博士学位論文, 1992.
- 7) 山地憲治, 藤井康正, グローバルエネルギー戦略, 電力新報社(1995)
- 8) Yamaji, K. and Fujii, Y. "Analysis of the role of technology in climate change with Dynamic New Earth 21 model", pp. 489-4996, Proceedings of the IPCC Asia-Pacific Workshop on Integrated Assessment Models, United Nations University, Tokyo, Japan, March 10-12, 1997
- 9) IPCC, 1992: 'Emissions Scenarios for IPCC: an update. In: Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, [J. T. Houghton, B. A. Callander, and S. K. Varney (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge (1992).
- 10) 山口 務, 周 璋生, 中国のCO<sub>2</sub>削減に、日本からの技術移転を助け、地球環境, 日本工業新聞社, 1997.9.