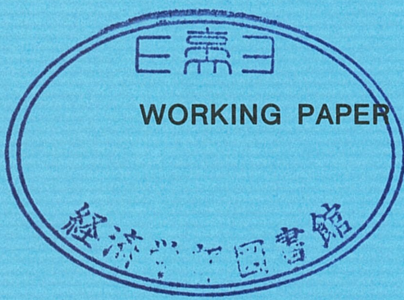




WORKING PAPER NO.

J - 7

京大環太平洋計量モデルによる

エネルギーとCO₂排出量の長期予測

大西 広

京都大学大学院経済学研究科

1997年10月

Faculty of Economics
Kyoto University
Kyoto, 606-01 JAPAN

J - 7

京大環太平洋計量モデルによる

エネルギーとCO₂排出量の長期予測

大西 広

京都大学大学院経済学研究科

1997年10月

京都で開催される地球温暖化防止京都会議（気候変動枠組み条約第3回締約国会議）を前に、世界のエネルギー消費、CO₂排出量の今後の見通しが関心の的となって来ている。そして、とりわけ、急速の経済成長を遂げるアジア地域のエネルギー不足や地球的環境汚染の問題への関心は、エネルギー不足が「アジア危機」の一つの重大な原因になりうるとするCalder(1996)、その問題を特に中国について展開した、国際開発センター（1994）、Manne & Schrattenholzer(1989)、IEA(1994)、沈才 林杉(1996)、World Resources Institute(1994)やSmil(1993)、Zhang & Folmer(1996)、黒田他(1996)といった多数の諸著作を生み出して来ている。

そこで、こうした議論に討論の資料を提供するため、エネルギー消費やCO₂排出量の将来予測を行おうというのが本稿の目的である。筆者はこの間、東アジア地域を中心とする10ヶ国・地域を連結した「京大環太平洋計量経済モデル」を構築し、2025年に至る長期の経済予測を行って来た。したがって、ここではこの経済予測の結果を拡張し、エネルギーとCO₂排出量の予測を行う。

1. エネルギーとCO₂排出量予測に関する問題状況

1 各種予測モデルの特徴と問題点

ところで、ここで問題にするエネルギーの長期予測や地球環境の問題はその重大性から多くの研究者が関与し、工学系と経済学系とのふたつの研究者グループによって様々な予測モデルが開発されて来たものである。第1表は、こうしたモデルの内、OECDが比較検討を行った6つのものを示している¹⁾。

第1表 OECDが比較したエネルギー・モデル

	モデルのタイプ	予測期間	分割地域数
Carbon Right Trade Model(CRTM)	一般均衡モデル	2100(年)	5
Edmonds-Reilly Model(ERM)	部分一般均衡モデル	2095	9
OECD-GREEN Model(GREEN)	一般均衡モデル	2050	9
IEA Model	計量部分均衡モデル	2005	10
Manne-Richels Model(MR)	一般均衡モデル	2100	5
Whalley-Wigle Model(WW)	比較静学一般均衡モデル	1990-2100	6

この表の一番右の欄は、これらのモデルが地域分割をされていることを示している。GDP当りのエネルギー原単位やCO₂排出特性が地域毎に異なる以上、こうした地域分割はこの種のモデルには不可欠である。そして、10に近い分割を行ったモデルでは、米国や(旧)ソ連、中国といった大国はそれら自身が「1地域」として定義されていることもあり、その限りでは国別の諸特徴もモデルによって分析できるようになっている。しかし、

もちろん、その他一般の諸国はこれらのモデルによっては国別に分析することができない。これは、各国のエネルギー消費、CO₂ 排出量に関する諸特性の分析が不可能となるという意味だけでなく、基本は各国単位で実施されるエネルギー政策、環境政策の効果分析ができないことをも意味する。たとえば、CO₂ の排出に関する政策の厳しいオランダやスウェーデンも他の諸国と区別されずにモデル化されてしまうことになるのである。それ故、こうした種類のモデルには、国別の分割がなされることが求められている。²⁾ これが、環境モデルが現在課題とすることのひとつの内容である。

さらにもうひとつ、この表から分かることは、IEA モデルを除くほとんどのモデルでは予測期間が大変長期であり、遠い将来までもが問題となる地球環境問題に適したモデルとなっていることである。この点は我々のモデルにも真似のできないことであり、優れた特徴であると言わざるをえない。しかし、このことは同時に、これらのモデルが計量経済学とはかなり異なった方法によって作成されていることを物語っている。いうまでもなく、純粋に計量経済学を使って50年や100 年先の予測をすることは、構造一定の仮定によっても、データの関係からも不可能である。この表で唯一、計量モデルを方法として採用したIEA モデルが2005年までの予測しかできていないこと³⁾ も、こうした特徴を裏側から表現している。

ただし、この問題は次のようにも言うことができる。つまり、こうして十分長い期間の予測を計量モデル以外の方法で行うということ自体、当然、エネルギー、環境予測の前提となる経済予測も計量的方法を用いていないことを意味するが、そのような方法で前提たる経済予測を十分科学的に行なうことができるのだろうかという問題である。あるいは、この前提たる経済予測は「予測」としてというより、単なる「仮定」として外生的に与えられている場合が多い。こうした方法は、将来のエネルギー需要やCO₂ 排出量を経済予測から独立に予測できるなら大きな問題とはならないが、そうでない限り重大な弱点とならざるを得ない。

とすると、これらの経済成長との相互独立／従属の関係は実際どのようなものなのだろうか。これを調べるために作成したのが次の第2表とそれをグラフ化した第1図、第2図である。これは、我々のモデルが対象とする環太平洋10ヶ国・地域の1971年（中国の場合のみ1978年）から1994年の間のCO₂ 排出量・一次エネルギー消費量の年平均増大率と実質GDP成長率との関係を見たものであるが、はたして、それらの間には強い相関のあることが明らかとなった。相関係数を計算すると、CO₂ 排出量増大率と実質GDP成長率との間では、0.84で1%の危険率で有意、一次エネルギー消費量増大率と実質GDP成長率との間でも、0.73で1%の危険率で有意であった。したがって、エネルギーや環境に関する予測においても第一義的に重要なものは、経済成長に関する科学的な予測であるということになり、その意味で第1表中の諸モデルには大きな問題があることがわかる。逆に言うと、我々の環太平洋計量経済モデルのような経済予測について特別の注意を払ったモデルの計算結果を使ってはじめて、科学的なエネルギーや環境に関する予測が

可能となる。この意味で、我々の環太平洋モデルの予測結果にはこの分野に利用される十分な価値が存在すると信じられるのである。

第2表 CO₂ 排出量、エネルギー消費量と実質GDPの関係

	CO ₂ 排出量 年平均増大率 (1971年／1994年)	一次エネルギー消費量 年平均増大率 (1971年／1994年)	実質GDP 年平均成長率 (1971年／1994年)
アメリカ	0.86 %	0.67%	2.81%
日本	1.55	1.71	2.89
韓国	8.36	8.48	9.00
中国	4.75	2.48	9.61
台湾	7.73	7.74	8.30
フィリピン	2.86	2.53	2.87
タイ	9.30	9.05	7.88
マレーシア	8.57	8.55	7.51
インドネシア	7.49	7.83	7.84
オーストラリア	2.52	2.72	3.87
合計	1.81	1.66	—

注) 中国は1971年と1994年の2時点間比較でなく、1980年と1994年の2時点間比較となっている。このため、「合計」「平均」の1971年の値は中国の分だけ不斉合となっている。

2 従来の国別予測の特徴と問題点

以上は、OECDが比較したこの分野の各種の「モデル」の諸特徴であり、その問題点のひとつは予測が必ずしも国別にはなっていないことであった。それ故、次に、我々が対象とする10ヶ国・地域についての様々な国別の「予測結果」を集め、それらの特徴と問題点を探ってみよう。次の第3表がその総括表である（この表には、本稿後段でなす我々の予測結果も記されているが、当面ここではその部分を無視して表を読む）。これら10ヶ国・地域全体を国別で網羅する予測作業はこれまで一度も行なわれて来なかったので、本章後段でなす我々の予測作業には新しい意義が存在するが、他方で総合エネルギー調査会(1990)、市民エネルギー研究所(1994)などただ一国のみを対象とする諸研究でも数を集めると各国別の予測作業に全体としては貢献できることを示している。

ただし、ここでの問題は、この表でも確認される従来の予測作業の弱点である。というのは、まず第1に、この表のように国別の作業が行われる際には、ほとんどの予測作業が2010年までという短い期間に止まってしまっているからである。この表の中で2025年までの予測となっているものは、米国、中国、日本といった大国に限られ、またそれらの多くは上述の総合エネルギー調査会(1990)や市民エネルギー研究所(1994)などただ一国のみを

対象とする研究によるものとなっている。「国別予測」という改善が逆に予測期間の縮小という逆の弱点を生み出している。「国別」でありつつより長期の予測を可能とするような作業が求められる。

また第2に、この第3表でも先の指摘と同様、経済成長の想定の違いがエネルギー消費量やCO₂排出量の予測の相違をもたらしていることが伺われる。たとえば、日本の欄の第7～9番目の3つの予測はエネルギーとCO₂の両方に関して、あるいは（予測者d = IEA/OECD(1993)の予測を例外として）中国の場合も全体としてCO₂排出量に関して成長率予測との関係の強さを示唆している。エネルギーや環境問題の予測が科学的な経済予測に基づかねばならないことがあらためて確認される。

第3表 環太平洋10ヶ国・地域別の各種エネルギー消費、CO₂排出量予測

	エネルギー消費量 (石油換算m-toe)		CO ₂ 排出量 (炭素換算mt-c)		予測の基礎となった 実質GDP成長率(%)	予測者
	2010年	2025年	2010年	2025年	()内は示した成長率の期間	
アメリカ	1804	1523	1472	1265	1.1(1995-2025)	本稿
			1600<	2000<	2.2(2000-2020)	a
			1646		2.2(1990-2010)	r
			1783	2087*	2.0(2000-2030)&	c
			1950<	2270<		b
日本				2936=		m
	359	325	285	252	0.5(1995-2025)	本稿
	605+		275>		2.2(1987-2010)>	j
			314		4.1(1990-2010)	r
	544		309		3.2(1995-2010)¥	r
	563		339		2.7(1995-2010)¥	k
	5860				2.9(1995-2010)¥	n
	651				2.6(1990-2010)	h
	660		354		1.9(1993-2010)	q
				397=		m
			400<	400<	2.7(2000-2010)	a
	669		416		3.3(1988-2010)	n
	644		426		4.4(1995-2010)¥&	l
			459#		2.6(1991-2010)	e
			512	635*	2.6(2000-2030)&	c
			560<	780<		b
韓国	719	779(2020年)				o
	237	307	191	241	3.4(1995-2025)	本稿

	259		184		5.9(1995-2010)¥	k
	280		190		5.4(1995-2010)¥&	l
中国			1131=			m
			940<	1360<		b
	959				4.0(1990-2010)	h
			989	1533*	4.8(2000-2030)&	c
	1187		1191		7.6(1991-2010)	d
	1460<	1980<				u
		2054		1500	5.0(1990-2025)	t
		2100\$			5.2(1990-2025)&	i
	1256	3039	1211	2966	9.6(1995-2025)	本稿
	1515		1230		4.3(1995-2010)¥&	l
			1350<	2600<	4.4(2000-2020)	a
	1605		1515		7.7(1995-2010)¥	k
			2154		6.3(1990-2010)	r
	1422		4986		7.9(1991-2010)	e
	1120<		5000<		7.7(1993-2010)	g
	1460		5062		7.8(1993-2010)	f
台湾	90	112	78	98	3.0(1995-2025)	本稿
	112		79		5.8(1995-2010)¥	k
	189		115		6.1(1995-2010)¥&	l
フィリピン	44	119	37	100	6.8(1995-2025)	本稿
	61		41		6.3(1995-2010)¥	k
	66		40		6.1(1995-2010)¥&	l
タイ	113		90		7.0(1995-2010)¥	k
	118		107		7.2(1995-2010)¥&	l
	192	520	148	395	5.9(1995-2025)	本稿
マレーシア	72		52		5.7(1995-2010)¥&	l
	87		63		6.3(1995-2010)¥	k
	88	183	62	122	4.5(1995-2025)	本稿
インドネシア	161	671	116	468	7.7(1995-2025)	本稿
	161		121		6.8(1995-2010)¥	k
	179		164		4.9(1995-2010)&	l
オーストラリア	108	118	89	95	2.0(1995-2025)	本稿
			93#		2.6(1991-2010)	e
			105			k

予測者および文献)

- a) IEA/OECD, GREEN model, Martin, J. P., *et. al.* (1992)
- b) IEA/OECD, GREEN model, Manne, A. S. (1994)
- c) IEA/OECD, GREEN model, Coppel, J. and Lee, H. (1996)
- d) IEA/OECD, World Energy Outlook to the Year 2010 (1993)
- e) IEA/OECD, World Energy Outlook 1994 (1994)
- f) IEA/OECD, World Energy Outlook 1996 (1996)
- g) IEA/OECD, Priddle, R. (1996)
- h) Manne-Richels Model, 天野 (1996)
- i) Stockholm Environment Institute/UNEP, Raskin, P., *et. al.* (1996)
- j) 総合エネルギー調査会/通商産業省資源エネルギー庁 (1990)
- k) 総合エネルギー調査会国際エネルギー部会/通商産業省・資源エネルギー庁 (1995)
- l) 科学技術庁科学技術政策研究所 (1993)
- m) 日本エネルギー経済研究所、佐川 (1989)
- n) 日本エネルギー経済研究所、伊藤 (1990)
- o) 日本エネルギー経済研究所 (『日本経済新聞』1997年2月22日より)
- p) 市民エネルギー研究所 (1994)
- q) 電力中央研究所、永田 (1995)
- r) 穴戸 (1994)
- s) 室田 (1994)
- t) Chandler, Makerov & Dahi (1990)
- u) Sathaye, J. (Lawrence Berkeley Laboratory). ただし、この数字は、Chandler, Makerov & Dahi (1990) 論文のグラフから読取り。

注) *) 2020年の予測値と2030年の予測値の加重平均

+) kl単位のを換算

⑧ cal 単位のを換算

¥) 1990 (ないし1987ないし1992)-2000の予想成長率と2000-10の予想成長率を1 : 2の比重で加重平均した値。

\$) ジュール単位のを換算

#) 一人当り予測値に人口予測値をかけて計算。オーストラリアは「オーストラリアおよびニュージーランド」の一人当り予測値から計算。

&) 実質ドルベース成長率

<) グラフより読取り。

>) 説明文の各種データから推計。

=) 2030年の予測値から年平均増大率を使って逆算。

したがって、ここで全体として明らかとなったことは、①国別予測の重要性、②科学的な経済予測を基礎とすべきこと、③以上の下でなるべく長期の予測期間が求められること、以上である。京大環太平洋モデルの予測期間は2025年までで第1表ほどの超長期のものではないが、計量経済モデルとしては前例を見ないほどの長さを誇っている。このことも含め、このモデルをこうしたエネルギー、環境問題の予測に使用することは上記3つのすべての要請に適合的であることがわかる。⁴⁾それ故、次節で具体的な予測作業を行なう。

II. 2025年のエネルギー消費、CO₂排出量予測

1. 予測の方法と結果

ところで、エネルギーの消費量やCO₂の排出量の増大率が基本的にはGDPの成長率に依存するとしても、その各国間でのエネルギー消費特性やCO₂排出特性の違いがあることも十分予想されることである。なぜなら、たとえば、石油で計ったある特定量のエネルギーを消費しようとしても、そのエネルギーを石油で賄うか石炭で賄うか天然ガスで賄うかそれとも原子力発電で賄うかによって、つまり各国の一次エネルギー構成によって異なってしまう、また各国がどれだけのエネルギーを消費するかもそれぞれのエネルギー効率の差によって違って来るからである。

この問題を考えるためにたとえば次の第4表を見てみよう。この表中のCO₂排出量とはもちろん直接に観測されるものではないが、石油、石炭、天然ガスの一次使用量毎に発生するCO₂を各国、各時点のそれぞれの総消費量にかけて国際エネルギー機関(IEA)が推計したものである。この方法は本研究分野では一般的なものであり、原子力発電や水力発電によるCO₂発生量はゼロと評価されている⁵⁾。そこで、この表を見ると、まず最後のドルベース実質GDP当りのエネルギー消費量(1994年)で最低の日本(0.09kg/\$)と最高の中国(1.44kg/\$)との間に16倍もの格差が見いだされ、1994年の単位エネルギー当りCO₂排出量でも最低のマレーシア(0.7437t/toe)と最高の中国(0.9522t/toe)との間に1.3倍の格差が見い出される。

このことは当然、こうした一時点でのエネルギー消費やCO₂排出特性の各国間の違いだけでなく、時系列で見たこれらエネルギー効率やCO₂排出効率の変化にも表われている。先の第2表や第1図、第2図では特に、こうした効率性の上昇が中国において目だっており、中でもGDPの増大に比したエネルギー消費量の増加の低さは特筆に値する。こうした特徴は、最近Lin(1996)やZhang & Folmer(1996)、IEA/OECD(1996)などによって体系的に研究されるようになってきているが、ともかく、こうした各国間での効率性の相違がどれほど重要であるかを物語っている。

したがって、ここでは我々が予測した各国別のGDPに対し、エネルギーとCO₂がどれだけ消費/排出されるかについて、これもまた各国別に何らかの基準で推計をしなければならなくなる。ここでは、その方法を山地他(1990)のやり方にしたがって計算するこ

とした。

その方法では、CO₂ の排出量が次のような形で単位エネルギー当りのCO₂ 排出特性

第4表 環太平洋10ヶ国・地域のCO₂、エネルギー、GDP特性

	CO ₂ 排出量(a) (炭素換算mt-c) 1971年/1994年	一次エネルギー消費量(b) (石油換算m-toe) 1971年/1994年	95年価格実質GDP(c) (10億各国通貨) 1971年/1994年
アメリカ	1142.7 / 1389.9	1502 / 1753	3757 / 7105
日本	228.2 / 325.2	270 / 399	230039 / 442922
韓国	15.4 / 97.6	18 / 117	44478 / 322700
中国	384.6 / 736.2	408 / 773	1427 / 5153
台湾	7.8 / 43.1	9 / 50	1041 / 6516
フィリピン	6.9 / 13.2	9 / 16	952 / 1823
タイ	4.5 / 34.7	6 / 44	673 / 3851
マレーシア	3.7 / 24.5	5 / 33	38 / 201
インドネシア	9.6 / 50.5	12 / 68	74366 / 421804
オーストラリア	42.8 / 75.9	48 / 89	190 / 455
合計	1847 / 2790	2287 / 3342	-- / --

単位エネルギー当り CO ₂ 排出特性 (a/b)(t/toe) (1971年/1994年(年平均変化率))	実質GDP当り エネルギー消費特性 (b/c)(t/100 万各国通貨) (1971年/1994年(年平均変化率))	ドルベース実質GDP当りエネルギー消費特性 (基準年は1995、kg/\$) (1971年/1994年(年平均変化率))
0.7610/0.7929(0.18%)	0.3997/0.2467(-2.07%)	0.40/0.25(-3.6%)
0.8452/0.8144(-0.16%)	0.00117/0.00090(-1.14%)	0.31/0.09(-9.1%)
0.8740/0.8350(-0.20%)	0.00040/0.00036(-0.39%)	0.63/0.30(-5.6%)
0.9421/0.9522(0.08%)	0.2861/0.1500(-4.51%)	0.92/1.44(-7.8%)
0.8366/0.8518(0.08%)	0.0089/0.0078(-0.61%)	0.40/0.20(-5.2%)
0.8076/0.8214(0.07%)	0.0089/0.0088(-0.08%)	0.34/0.24(-2.6%)
0.8109/0.7891(-0.12%)	0.0082/0.0144(1.44%)	0.26/0.30(+1.2%)
0.8037/0.7437(-0.34%)	0.1208/0.1635(1.33%)	0.35/0.46(+2.2%)
0.7857/0.7471(-0.22%)	0.00016/0.00016(-0.10%)	0.40/0.56(+2.6%)
0.8826/0.8499(-0.16%)	0.2552/0.1961(-1.14%)	0.38/0.27(-2.6%)
0.8076/0.8348(0.14%)		0.43/0.25(-4.1%)

注) 中国は1971年と1994年の2時点間比較でなく、1980年と1994年の2時点間比較を行った。これは1978年からの改革開放体制への転換によって大幅に経済構造が変化したからであるが、このため、「合計」「平均」の1971年の値は中国の分だけ不斉合となっている。

(次式第1項)やGDP当りのエネルギー効率(次式第2項)の大小に依存していることを利用し、こうした2種類の効率性の将来値を予測することになる。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 排出量} &= (\text{CO}_2 \text{ 排出量} / \text{総エネルギー消費量}) \\ &\times (\text{総エネルギー消費量} / \text{GDP}) \\ &\times \text{GDP} \end{aligned}$$

そして、その将来値の予測に際しては、山地他(1990)はそれ以前の改善率を延長するという方法を取った⁶⁾。我々の場合であれば、第4表後半に記した1971-1994年期間(中国は1978-1994年期間)における両効率の変化が今後も続くものとして予測するということになる⁷⁾。この仮定の下に予測された、2025年のこの両効率の値は次の第5表の第2、4欄に記されている。そして、その予測値を利用した各国別の一次エネルギー消費量とCO₂排出量は、同じく第3、5欄に記されている。第1、2欄は各国通貨単位であるため、国ごとの比較は難しいが、エネルギー当りCO₂排出量の平均値は、1971年(中国のみ1978年)の0.8076t/toe、1994年の0.8348t/toe(以上、第4表より)から、2025年の0.8015t/toeへと改善の方向に転換すること、ただし、この種の「効率性」は最高のマレーシアと最低の中国の間で格差が拡大すると予想することになる。

また、これらの結果については、10ヶ国・地域全体の一次エネルギー消費量とCO₂排出量がどのような変遷を遂げるかも興味を引くところである。この第5表の第3、5欄に見るように、中国のCO₂排出量比がエネルギー消費比に比べてやや高くなっており、当該10ヶ国・地域の2025年のCO₂排出総量の半分以上が中国によって排出されるということに気がつく。これは、中国のエネルギー当CO₂排出量が他と比べて高いことが原因と

第5表 環太平洋10ヶ国・地域の2025年のCO₂排出量、エネルギー需要予測

	実質GDP (10億各国通貨)	実質GDP当エネルギー消費 (t/100 万各国通貨)	一次エネルギー消費量 (石油換算m-toe)	エネルギー当CO ₂ 排出量 (t/toe)	CO ₂ 排出量 (炭素換算mt-c)
	(本書モデルの予測値)				
アメリカ	11802	0.1290	1523(22)	0.8304	1265(21)
日本	515943	0.00063	325(5)	0.7750	252(4)
韓国	957914	0.00032	307(4)	0.7848	241(4)
中国	84638	0.0359	3039(44)	0.9761	2966(49)
台湾	17270	0.0065	112(2)	0.8732	98(2)
フィリピン	13808	0.0086	119(2)	0.8394	100(2)
タイ	23225	0.0224	520(8)	0.7603	395(7)
マレーシア	741	0.2463	183(3)	0.6692	122(2)
インドネシア	4193447	0.00016	671(10)	0.6978	468(8)
オーストラリア	857	0.1374	118(2)	0.8087	95(2)
合計	—	—	6917(100)	0.8015	6002(100)

なっている。ただし、その点を除くと各国間の一次エネルギー消費量とCO₂排出量の比率はほぼ同じとなっており、CO₂排出特性以上に対GDPのエネルギー効率がより規定的な役割を果たしていることが伺われる。

さらに、第4表とこの第5表を見比べると、こうした各国間の比率以上に総体としての両消費量／排出量の大幅な増加が気になる。一次エネルギー消費量、CO₂排出量ともに2025年時点の値は1994年時点のほぼ倍になると予測されるからである。とくに、先に述べたエネルギー効率等の大幅な改善にもかかわらず、今後の成長率が最も高い中国がこれらの消費量／排出量においても最大の寄与度を実現すると予測される。

しかし、もしこの両消費量／排出量の増大によって最大の寄与国が中国であるという事実だけを見るなら、それはエネルギー消費、CO₂排出のほとんどをこれまで占めていた先進工業国の余りに自分勝手な見方と言われてしかるべきであろう。たとえば、次の第6表では、エネルギー消費とCO₂排出の一人当りの量を計算したものであるが、長い高度成長後の2025年においても中国のこの値はまだ米、韓、豪、タイ、マレーシアの半分程度に止まっている（フィリピンの水準の低さも目につく）。当該10ヶ国・地域に対する人口比で言えば、2025年に中国は56%を占めると予測されているのであって、その限りではエネルギー消費比の44%、CO₂排出量比の49%は平均ないしそれ以下だとこれらの表は読まなければならないのである。マレーシアやタイ、韓国、オーストラリアなどの一人当たりエネルギー消費／CO₂排出が日米の水準を上回るといった予測も重要であるが、総じて、先進国の状況を引き続き注視しなければならないという計算結果である。

2. 他の予測との比較

最後に、第3表にもどって、我々の予測結果を他機関のそれと比較しておこう。この表には、我々の予測結果が予測値のレベルを考慮しつつ他機関のそれと並べて記してある。また、我々の予測結果については、上記の方法を2010年についても用い、2010年、2025年の両方の予測結果を記入している。この表を観察すると、まず、我々の予測結果が、アメリカ、日本、韓国、台湾、フィリピン、インドネシア、オーストラリアでは低めで、タイ、マレーシアでは高めとであることが分かる。これらの内、米、日、韓、台、豪の結果の原因は、これら先進国での実質経済成長率を我々が低く予測していることにあると想像される。また、タイ、マレーシアで高めと出た理由は、第4表で見た実質GDP当りのエネルギー消費の年変化率がこの2国でプラスとなっていたからと思われる。さらに、中国に関しては、高い経済成長を見込みはするが、前述のようなエネルギー効率の改善の結果、他の予測結果のほぼ中位に位置する予測となった。

他方、これらの計算結果を先進国に注目して観察すると、さらに注目すべきことに気付く。というのは、一人当たり指標で見て、日米豪のエネルギー消費量やCO₂排出量が今後低下し、台湾でも2010年以降は一人当たりのエネルギー消費量が低下すると予測されているからである。これらは、先進国段階において成長率がエネルギー効率（CO₂排出効率）

の改善率を下回るようになる可能性を示唆している。そして、とくに日本に関して言えば、**第3表と第4表**を見比べれば分かるように総量としても1994年以降エネルギー消費量とCO₂排出量が低下することになる。日本政府は地球環境問題に関して、CO₂排出量を2010年までに1990年水準の10%減にするといった目標を掲げているが、この目標はそう遠いものではない。また、米国では2010年のCO₂排出量が1994年とほぼ同水準で、その後減少するという計算結果がでた。米国は1997年の地球温暖化防止京都会議に先立ち、2010年のCO₂排出量が1990年の23.4%増しになるとの報告書を提出したが、この意味でこれは過少な目標設定である。

以上総じて、アジアでのエネルギー消費、CO₂排出については、その経済成長率の問題、エネルギー効率改善度の問題など十分に気を配った予測を行うべきことがここでのひとつの教訓である。そしてまた他方、先進国に目を向けると、そのこれまでの膨大な排出の責任の問題、一人当り指標での引き続く高水準の問題とともに、技術の継続的な改善が総量レベルの低下を実現しうるといった積極的な側面も注目されなければならない。こうした技術の途上国への移転をどのように実現するかが、成長と環境の両立の成否を決することになるであろう。

第6表 一人当りの実質GDP、CO₂排出量、エネルギー需要の推移

	一人当GDP (95年価格ドル)	一人当CO ₂ 排出量 (炭素換算10g)	一人当エネルギー消費 (石油換算kg)
	1971/ 1994/ 2010 /2025	1971/1994/2010/2025	1971/1994/2010/2025
アメリカ	1819/27256/34714/30775	5531/5332/5003/3298	7270/6725/6130/3971
日本	834/35681/48842/53229	2180/2602/2083/1702	2579/3193/2624/2195
韓国	91/ 8754/18627/21533	507/2196/3571/3609	574/2632/4415/4597
中国	46/ 447/ 1377/ 7290	399/ 614/ 862/1920	424/ 645/ 831/1967
台湾	151/11694/18261/19165	527/2040/2969/2983	608/2367/3442/3409
フィリピン	70/ 980/ 1780/ 3340	182/ 197/ 367/ 676	237/ 239/ 442/ 805
タイ	63/ 2471/ 4158/ 6775	120/ 584/1780/3404	161/ 741/2299/4482
マレーシア	130/ 3684/ 6169/ 7520	332/1247/2234/3122	448/1679/3172/4684
インドネシア	25/ 634/ 1962/ 5295	80/ 265/ 460/1454	100/ 357/ 638/2085
オーストラリア	989/18635/24321/24459	3354/4254/4189/3596	3762/4989/5057/4467
平均	347/ 6752/16021/18038	1200/1392/1515/1948	1486/1667/1780/2416

注) 中国は1980/1994/2010/2025 年の4時点間比較となっている。また、1971年の「合計」がこの分だけ不斉合となっているのは前表と同じである。

注)

- 1) Dean, A. and Hoeller, P. (1992)による。また、この比較の要点は、小坂(1994)に習った。
- 2) 小坂(1994)、26, 81ページも同様の主張を行っている。
- 3) おそらく同じモデルを使用したIEA, *World Energy Outlook* の1993-6年版では第3表にあるように予測期間が2010年にまで延長されている。
- 4) ただし、本来経済予測専用に開発された京大モデルであるため、ここで論じない弱点のあることも事実である。たとえば、①この地域がいかに重要であっても環太平洋10ヶ国・地域しかカバーしていないことの他に、②各種エネルギー源の価格データを持たないため、エネルギー需要の内部構成の変化をシミュレーションできないこと、③経済→環境(ないしエネルギー)のフィードバック・メカニズムを内生化できていないことである。計量経済モデルとして構築されたエネルギー、環境問題分析用のモデルの多くは、②、③の点で優れている(たとえば、IEA medium-term model(Vouyoukas, E. L., 1996), Edmonds *et al.* Model(Edmonds, J. A., *et al.*, 1995), 日本エネルギー経済研究所(伊藤浩吉(1990), 熊倉(1990), 市民エネルギー研究所(1994))。また、②の点のみでは優れているモデルも多い(たとえば、ERASME Model(Deimezis, N., 1996), MIDAS Model(Capros, P., *et al.*, 1996), FUGI-6 Model(大西昭, 1992))。ただし、それらには本文中で述べた逆の弱点が存在する。また、環境→経済のメカニズムの解明は不十分でモデルの信頼度も低い。
- 5) もちろん、原子力発電においても、建設の際にはあるレベルの化石燃料の使用が直接間接に行われ、その限りで原発によるCO₂排出量はゼロではない。しかし、吉岡(1997)はわが国の事業用電力需要をすべて原子力で賄った場合のCO₂排出量を1204万t/年と連関モデルによって推計したが、この値は石炭火力の1.8%、石油火力の2.7%、LNG火力の3.6%にすぎない。この意味で、原発によるCO₂排出量は十分ゼロに近似されうる。
- 6) 厳密に言うと、山地他(1990)はこの関係式中のGDPをドルベースで測っているが、本稿では各国通貨単位の実質値として測定しているという方法的違いが存在する。通常はドル・ベースを基本としている京大環太平洋モデルでありながら、そうした根拠は次のとおりである。すなわち、ある国がエネルギー効率の改善によって輸出商品のコストダウンに成功した時、輸出増によって為替レートが上昇してドルベースのGDPが上昇、よってドルベースGDP当りのエネルギー効率が見かけ上更に改善されるようになる。しかし、この効果の二重計算を避けるためには、この後者の「改善」効果を排除しなければならず、そのためここでのGDPは各国通貨単位の実質値とした。
- 7) みられるように、第4表ではタイとマレーシアを除くすべての諸国・地域で実質GDP当りのエネルギー効率が改善しており、この傾向が続くものと予測において仮定することには異論があるかも知れない。しかし、科学技術庁科学技術政策研究所技術予測調

査研究チーム(1997)は技術革新により2022年の世界のCO₂排出量が1990年時点の80%に縮減されると予測している。この種の予測は以前の第1回調査、第2回調査のフォローアップに関する限り、20%台の実現率しか持たないが、それでも大幅な技術上の改善が予測されることは確かである。

(本稿は、昭和シェル石油環境研究助成財団の支援を受けた研究の一部である)

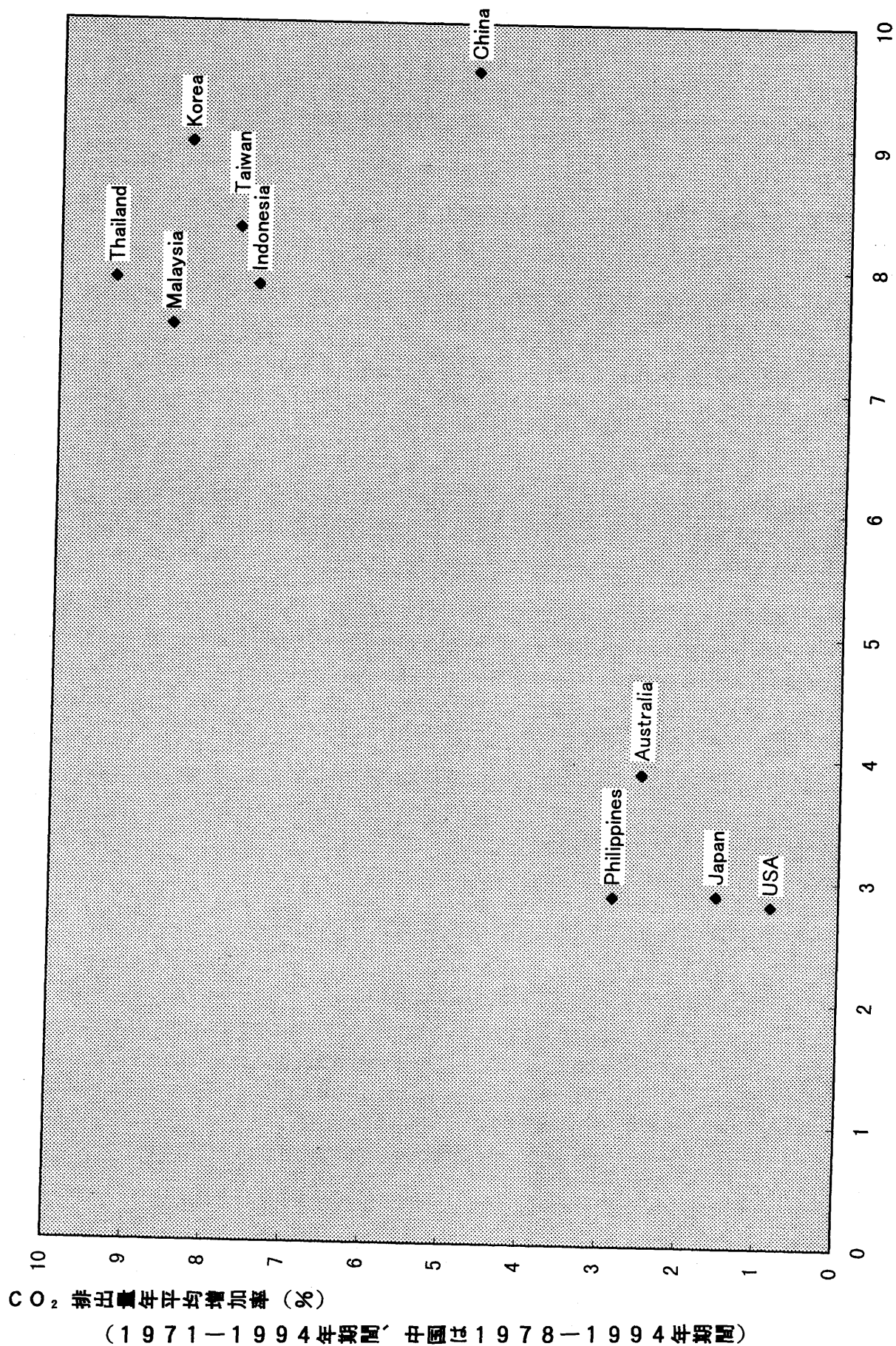
参考文献

- 天野明弘、1996、「アジア地域における二酸化炭素排出動向ならびに排出抑制の2次的利益」、慶応義塾大学経済学部環境プロジェクト編『持続可能性の経済学－循環型社会をめざして』慶応義塾大学出版会、所収、73-89 ページ。
- Capros, P., Karadeloglou, P., Mantzos, L. and Mentzas, G., 1996, The Energy Model MIDAS, in Lesourd, J. B., Percebois, J. and Valette, F. ed., Models for Energy Policy, Routledge, London and New York, pp. 41-64.
- Chandler, W. U., Makarov, A. A. and Dadi, Z., 1990, Energy for the Soviet Union, Eastern Europe and China, Scientific American, Sept. 1990, pp. 75-81.
- Coppel, J. and Lee, H., 1996, "The Framework Convention and Climate Change Policy in Asia", in Mendelsohn, R. and Shaw, D. ed., The Economics of Pollution Control in the Asia Pacific, Edward Elgar, Cheltenham(UK) and Brookfield(US), pp. 26-59.
- Dean, A. and Hoeller, P., 1992, Costs of Reducing CO₂ Emissions: Evidence from Six Global Models, OECD Economic Studies, No. 19, Winter, 1992, pp. 15-47.
- Deimezis, N., 1996, ERASME: A Short-term Energy Forecasting Model for the European Community, in Lesourd, J. B., Percebois, J. and Valette, F. ed., Models for Energy Policy, Routledge, London and New York, pp. 30-40.
- Edmonds, J. A., Pitcher, H. M., Barns, D., Baron, R. and Wise, W. A., 1995, Modelling Future Greenhouse Gas Emissions: The second generation model description, in Klein, L. R. and Lo F. ed., Modelling Global Change, United Nations University Press, Tokyo, pp. 295-340.
- International Energy Agency, 1993, World Energy Outlook to the Year 2010, International Energy Agency, Paris.
- International Energy Agency, 1994, World Energy Outlook 1994, International Energy Agency, Paris. (外務省経済局国際エネルギー課・資源エネルギー庁長官国際資源課監訳、1994、『2010年世界のエネルギー展望』世界の動き社。
- International Energy Agency, 1996, World Energy Outlook 1996, International Energy Agency.
- International Energy Agency, 1996, Energy Efficiency Improvements in China: Policy Measures, Innovative Finance and Technology Development, Beijing Conference Proceedings, 3rd-4th, International Energy Agency, Paris.
- 伊藤浩吉、1990、「エネルギー経済学の新展開」、大来佐武郎監修『講座 地球環境 第3巻 地球環境と経済』中央法規出版、342 ページ。
- 科学技術庁科学技術政策研究所、1993、『アジア地域のエネルギー利用と環境予測』大蔵省印刷局、164 ページ。

- 科学技術庁科学技術政策研究所技術予測調査研究チーム, 1997, 『第6回技術予測調査』科学技術庁。
- 国際開発センター, 1994, 『セクター別援助方針策定のための基礎調査: 中国環境: 大気汚染、酸性雨を重点として』国際開発センター。
- 小坂弘行, 1994, 『グローバル・システムのモデル分析』有斐閣。
- 熊倉修, 1990, 「世界エネルギーモデル」『電力経済研究』第27号、電力中央研究所、pp. 5-16。
- 黒田昌裕他, 1996, 『中国のエネルギー消費と環境問題』通商産業調査会。
- Lin, X., 1996, China's Energy Strategy: Economic Structure, Technological Choices, and Energy Consumption, Praeger, Westport.
- Manne, A. S., 1994, International Trade: the impact of unilateral carbon emission limits, The Economics of Climate Change: proceedings of an OECD/IEA conference, International Energy Agency, Paris, pp. 193-205.
- Manne, A. S. and Schrattenholzer, L., 1989, International Energy Workshop: Overview of Poll Responses, Stanford: Stanford University International Project.
- Martin, J. P., Burnaux, J., Nicoletti, G. and Oliveira-Martins, J., 1992, The Costs of International Agreements to Reduce CO₂ Emissions: Evidence from GREEN, OECD Economic Studies, No. 19, Winter, 1992, pp. 93-120.
- 室田泰弘, 1994, 「2010年: 日本株式会社の決算書—『集中』から『すみ分け』へ」『日本経済研究センター会報』1994年3月15日号、pp. 56-61。
- 永田豊, 1990, 「エネルギー需給の展望」『電力経済研究』第35号、pp. 37-48。
- 大西昭, 1992, 『地球的相互依存の未来と日本経済—グローバル・モデル・シミュレーション』文眞堂。
- Priddle, R., 1996, China's Long-term Energy Outlook, in OECD, Organization for Economic Co-operation and Development, ed., China in the 21st Century: Long-term Global Implications, Paris.
- Raskin, P., Chadwick, M., Jackson, T. and Leach, G., 1996, The Sustainability Transition: beyond conventional development, Environment Information and Assessment Technical Report 2, Stockholm Environment Institute, Stockholm, Annex I v.
- 佐川直人, 1989, 「世界の長期エネルギー需給見通しにおける温室ガス排出量予測とその問題点」『エネルギー経済』第15巻第9号、15-23 ページ。
- 沈才 林杉, 1996, 『喜憂並存の中国: 経済大国への挑戦と困惑』亜紀書房。
- 市民エネルギー研究所, 1990, 『2010年日本エネルギー計画』ダイヤモンド社。
- 穴戸駿太郎, 1994, 「地球温暖化と北東アジア開発」『ERINA REPORT』第3号、環日本海経済研究所。

- Smil, V., 1993, China's Environmental Crisis: An Inquiry into the Limits of National Development, 257p (丹藤佳紀・高井潔司訳『中国の環境危機』亜紀書房、1996年)
- 通商産業省、資源エネルギー庁、1990, 『エネルギー新潮流への挑戦 総合エネルギー調査会中間報告』通商産業調査会。
- 通商産業省、資源エネルギー庁、1995, 『アジア・エネルギービジョン 総合エネルギー調査会国際エネルギー部会中間報告』通商産業調査会。
- Vouyoukas, E. L., 1996, World Energy Outlooks, in Lesourd, J. B., Percebois, J. and Valette, F. ed., Models for Energy Policy, Routledge, London and New York, pp. 127-138.
- World Resources Institute, 1994, World Resources 1994-95: a guide to the global environment, World Resources Institute, Washington (森島昭夫監修『世界の資源と環境 1994-95』, 1994年、中央法規出版、412 ページ)
- and Adams, F. G. eds., The East Asian Development Pattern Forecasts to the
- 山地憲治・永田豊・櫻井紀久・服部恒明、1990, 「CO₂ 発生量抑制ケース」『電力経済研究』第27号、電力中央研究所、pp. 85-91.
- 吉岡完治、1997, 「環境用産業連関について」、日本学術会議経済統計学研究連絡委員会シンポジウム「地球環境データベースの構築に向けて－自然科学データと経済統計の接合」提出論文、pp. 14-24.
- Zhang, Z. X. and Folmer, H., 1996, The Chinese Energy System: Implications for Future Carbon Dioxide Emissions in China, Journal of Energy and Development, vol. 21, no. 1, pp. 1-44.

第1図 実質GDP成長率とCO₂排出量増加率との相関



第2図 実質GDP成長率と一次エネルギー消費増加率との相関

