

第2部 予測とシミュレーション

6章 CO₂ 発生量抑制ケース

山 地 憲 治 永 田 豊
櫻 井 紀 久 服 部 恒 明

- 1. CO₂ 発生量規制の動き
- 2. CO₂ 発生量と経済成長
 - 2.1 基本式
 - 2.2 CO₂ 発生量を一定にする条件
- 3. CO₂ 課徴金の効果とコスト
 - 3.1 標準ケース予測における CO₂ 発生量
 - 3.2 CO₂ 課徴金の導入とその効果
 - 3.3 CO₂ 課徴金の国民経済へのインパクト
- 4. おわりに
- 参考文献

1. CO₂ 発生量規制の動き

地球温暖化をもたらす温室効果ガスは種々あるが、中でも CO₂ は全効果の約半分を分担する主犯であるとされている。産業革命以来大気中の CO₂ 濃度が増加し続けていることは事実であり、森林破壊からの発生量や海洋の吸収能力など不明な点は多いものの、大気中 CO₂ 濃度増加の主たる原因は化石燃料の燃焼であろうとされている。

2005年までに20%削減するという提言をした1988年6月のトロント会議以来、国際政治動向はCO₂発生量規制へ向けて急速に動き始めている。1989年11月には、遅くとも2000年までに先進国のCO₂発生量を凍結することをうたったノルトヴェイク宣言が出された。CO₂抑制を地球全体として実現するために、種々の技術的対策に加えて、啓蒙・教育、技術移転、資金援助、法的措置、経済的措置など様々な制度的方策が真剣に検討されている。

ここでは、CO₂ 課徴金という経済措置によってわが国のCO₂ 発生量を抑制する方策について、中期経済予測システムを用いて、その効果と国民経済的コストを試算した結果を報告する。

2. CO₂ 発生量と経済成長

2.1 基本式

CO₂ 発生量と経済成長を結び付ける次のような簡単な関係式を考える¹⁾。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= (\text{CO}_2 / \text{エネルギー}) \\ &\quad \times (\text{エネルギー} / \text{GNP}) \times \text{GNP} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $X = \text{CO}_2 / \text{エネルギー}$ 、 $Y = \text{エネルギー} / \text{GNP}$ とすると、 X はエネルギー供給の炭素依存性つまりエネルギー源転換の効果、 Y はエネルギーの利用効率つまり省エネルギーの指標となる。(1)式から次式が得られる。

1) ここでは、化石燃料の燃焼によるCO₂発生のみを考慮している。

$$d(\text{CO}_2)/\text{CO}_2 = dX/X + dY/Y + d(\text{GNP})/\text{GNP} \quad (2)$$

これらの式によって、エネルギーの効率改善と脱炭素化を媒介として、CO₂ 発生量と経済成長の関係を描くことができる。

表1は1973年と1986年の統計値から、(1)、(2)式の各項を算定した結果である。表1は1973年の第一次石油危機後、先進国において目覚ましい省エネルギーと脱炭素化が実現されたことを示している。しかし同時に、エネルギーの利用効率、炭素依存度も各国間のバラツキは大きく、多くの発展途上国では石油危機後もエネルギー効率は低下していること、計画経済圏のエネルギー効率の悪さ、ポーランド、中国、東独など石炭資源国ではエネルギーの炭素依存度は高い値のまま止まっていること

も示されている。

2.2 CO₂ 発生量を一定にする条件

茅ら⁽¹⁾は、エネルギー利用効率 Y の改善率と炭素依存度 X の低減率について、グローバルなスケールで長期的に実現可能な値を各々、 $dY/Y = -1.0\%/年$ 、 $dX/X = -1.0\%/年$ ²⁾と設定して議論を展開している。この仮定のもとでは、例えば、年率3%の世界経済の成長を行うと、(2)式からCO₂ 発生量は年率1.0%で増加することになる。

このような成長率の組合せが標準予測として成立するとして、次にCO₂ 発生量を一定量に保つための条件を考える。(2)式から明らかに

2) dX/X については、 $-0.4\%/年$ の場合についても検討されている。

表1 主要国のCO₂/エネルギー/GDP 特性

		式(1)の特性値 (1986/1973年)				式(2)の特性値 (%/年)			
		CO ₂ 発生量 (10 ⁶ t-C)	X= CO ₂ /エネルギー (t-C/TOE)	Y= エネルギー/GDP (TOE/10 ⁹ \$)	GDP (10 ⁹ \$ (1980))	d(CO ₂)/CO ₂	dX/X	dY/Y	d(GDP)/GDP
OECD 諸国	米	1243/1256	0.691/0.714	0.571/0.757	3151/2324	-0.08	-0.25	-2.15	2.37
	カナダ	110.1/101.2	0.470/0.566	0.755/0.876	309.9/204.1	0.65	-1.42	-1.14	3.26
	オーストラリア	59.20/46.43	0.763/0.780	0.604/0.652	128.5/91.32	1.89	-0.17	-0.59	2.66
	英	155.2/180.3	0.752/0.817	0.340/0.441	607.5/501.2	-1.15	-0.64	-1.98	1.49
	西独	196.2/217.5	0.725/0.817	0.306/0.380	885.1/699.9	-0.79	-0.91	-1.65	1.82
	仏	104.0/135.6	0.518/0.755	0.275/0.324	730.0/554.0	-2.02	-2.86	-1.25	2.14
	スウェーデン	17.31/24.29	0.313/0.514	0.403/0.431	137.3/109.8	-2.57	-3.74	-0.52	1.73
	日本	256.1/266.3	0.693/0.786	0.281/0.413	1314/819.8	-0.30	-0.96	-2.92	3.70
発展途上国	韓国	47.04/18.87	0.781/0.860	0.651/0.636	92.53/34.48	7.28	-0.74	0.18	7.89
	インド	122.3/59.12	0.829/0.829	0.626/0.539	235.8/132.4	5.75	0.00	1.16	4.54
	メキシコ	72.10/33.45	0.719/0.707	0.516/0.393	194.4/120.5	6.09	0.13	2.12	3.75
	ナイジェリア	9.656/2.539	0.710/0.699	0.626/0.175	21.72/20.75	10.82	0.12	10.30	0.35
計画経済圏	中国	518.2/248.6	0.913/0.920	1.364/1.642	416.3/164.7	5.81	-0.06	-1.42	7.39
	ソ連	938.0/673.9	0.709/0.787	1.328/—	995.6/—	2.58	-0.80	—	—
	東独	87.68/71.36	0.893/0.940	0.696/—	140.9/—	1.60	-0.39	—	—
	ポーランド	120.7/86.44	0.933/0.943	0.737/—	175.5/—	2.60	-0.08	—	—

データ出所:

エネルギーは、OECD 諸国は IEA/OECD “Energy Balances”, その他は IEA/OECD (1989) “World Energy Statistics and Balances”。

CO₂ は上記エネルギーデータから、石油 0.807, 石炭 0.996, ガス 0.574 (t-C/TOE) の CO₂ 発生原単位を用いて算定。

GDP は、IMF “International Financial Statistics” より、各国通貨による 1980 年価格の実質 GDP (但し、米、西独は GDP を GNP デフレータで補正、また中国は 1980 年価格の National Income) を、1980 年の交換率で米ドルに変換。但し、計画経済圏の 1986 年の値は CIA 推計 (共同通信社「世界年鑑」(1989)) による。

$$dX/X + dY/Y + d(\text{GNP})/\text{GNP} = 0 \quad (3)$$

がその条件であるが、(3)式を満足する解はこのままでは一意には決まらない。標準予測で仮定した dX/X , dY/Y の値が絶対変更できないものであれば³⁾, GNP の成長率は2%/年に低下せざるを得ないが、経済成長を損なうことなくエネルギー効率の改善率を2%/年にすることができるなら年率3%の経済成長を維持することも可能となる。一般には、X, Y, GNP を独立に変化させることはできない。以下、中期経済予測システムによって X, Y, GNP の関連を考慮して解析した結果を紹介する。

3. CO₂ 課徴金の効果とコスト

3.1 標準ケース予測における CO₂ 発生量

1989年11月に発表された電力中央研究所のエネルギー・経済の中期展望⁽²⁾によれば、1988年から2005年まで、わが国のGNPと一次エネルギー所要量は各々平均伸率、3.7%/年、2.1%/年で増大し、2005年の実質GNPは約610兆円(1980年価格)、一次エネルギーも約610百万TOE(石油換算トン)に達する。このとき、CO₂発生量は図1に示すように、

1988年の288百万トン(炭素重量、以下CO₂は炭素重量で量る)から約34%増大して2005年には385百万トンになる。なお、この算定に当たって、各種燃料からのCO₂発生原単位は表2の値を用いた。

表2 各種燃料からのCO₂発生原単位

燃 料		発生原単位 (kg-C/Gcal)
固 体	石 炭	100
	コ ー ク ス	120
液 体	石 油 ^{*)}	80
	L P G	70
気 体	天 然 ガ ス	57
	高 炉 ガ ス	300
	コークス炉ガス	56
	製油所ガス	62

*) ナフサはすべて化学原料用に使用されると仮定してCO₂発生量の計算から除外した。

3.2 CO₂ 課徴金の導入とその効果

2005年のCO₂発生量を1988年と同水準に抑制することを目的として、CO₂課徴金を導入する。CO₂抑制効果を維持するために、課

3) dY/Y については、数10年以上の長期的な統計の評価によって、技術進歩の長期トレンドとして一定の値を持つとする見解がある。 dX/X については原子力開発などの政策によって大きく変わらう。文献(1)の設定もこの様な見解に基づいている。

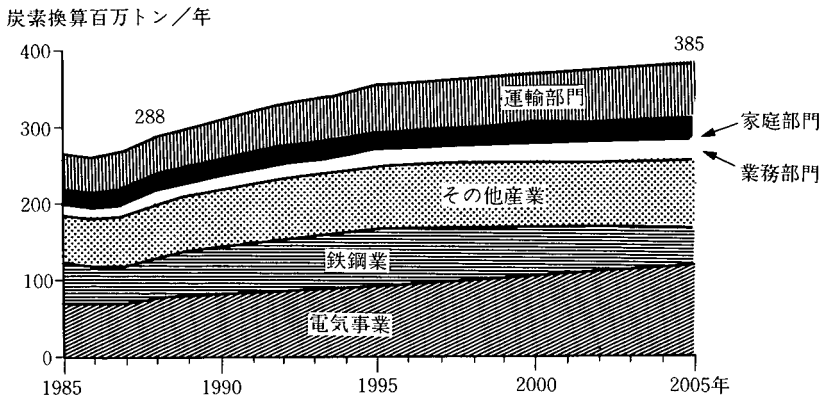
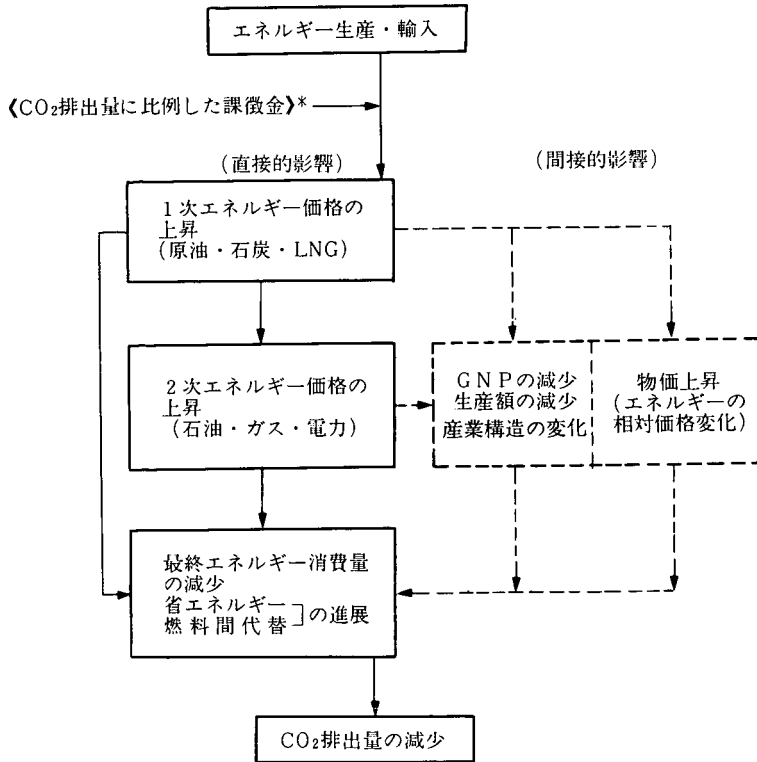


図1 標準ケース予測におけるCO₂発生量



＊1990年にCO₂排出量1トン(炭素換算)につき
4,000円の課徴金を導入し、これを2005年まで
毎年4,000円ずつ上昇させる。なお、課徴金収
入は日本経済に還流しないと仮定する。

図2 CO₂ 課徴金の影響

徴金の導入の仕方は、1990年に導入を開始し、その後課徴金の水準を漸次増大するものとした。図2に示すように、課徴金は一次エネルギー源に対してそのCO₂排出量に比例して課すこととした。

同図に示されているように、課徴金導入の効果は直接的影響と間接的影響に大別される。直接的影響は、課徴金の導入によるエネルギー価格の上昇に伴う、省エネルギーの促進効果とCO₂発生量の大きい石炭などから天然ガスや原子力などCO₂発生が少ないか全く出さないエネルギーへの代替効果によってもたらされ

る。間接的影響には、エネルギー価格の上昇に伴う生産の減少と、一般の物価上昇によってエネルギー価格の上昇が相対的に緩和される効果という相反する2面がある。エネルギー間競争モデルと中期多部門モデルを連動させたシミュレーション解析⁴⁾によって、これら直接および間接的影響が評価される。

4) 直接的影響はエネルギー間競争モデルで、間接的影響は中期多部門モデルで分析する。両者のインターフェイスは、標準ケースの経済活動条件の下で、まずエネルギー間競争モデルにより課徴金による2次エネルギー価格の変化を算定して中期多部門モデルにインプットし、次にそこから得られた経済活動条件の変化をエネルギー間競争モデルにフィードバックするという方法をとった。

導入する課徴金の水準について幾つかのシミュレーション実験を行った結果、2005年のCO₂発生量を1988年水準に維持するためには、1990年にCO₂排出量1トン（炭素換算）につき4,000円の課徴金を導入し、これを2005年まで毎年4,000円ずつ上昇させればよいことがわかった。この課徴金の加算によって、円建ての輸入原油価格は図3のように、2005年

において課徴金なしの場合に比較して3倍近くまで上昇することになる。そして、2005年のCO₂発生量は図4のように約290百万トンとほぼ1988年の水準に抑制される。

CO₂課徴金の効果を、前節で述べたエネルギーの炭素依存度Xと効率YおよびGNPの相互関連の点から整理すると図5を得る。つまり、標準ケースの予測では、1988年から2005

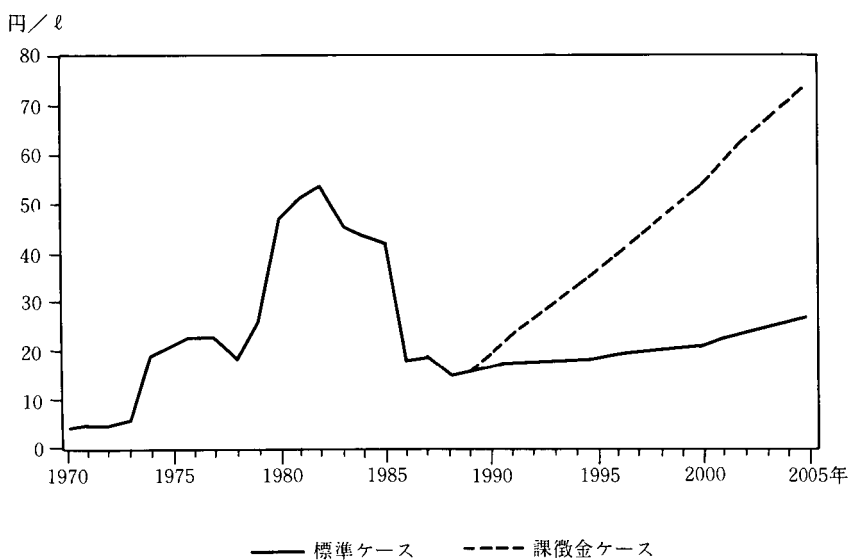


図3 原油輸入CIF価格(名目)

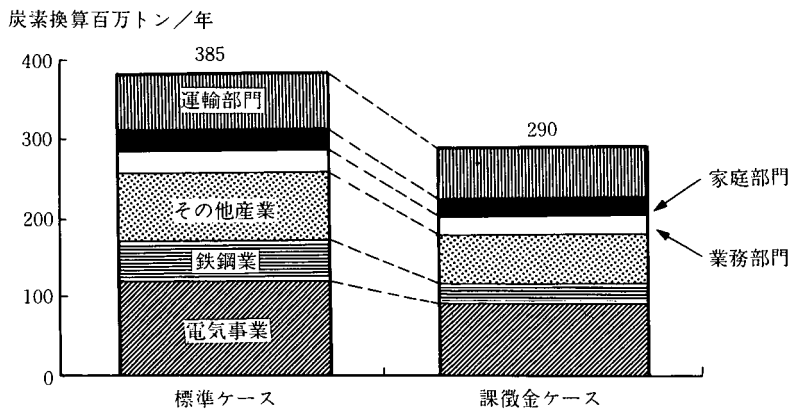


図4 2005年のCO₂発生量

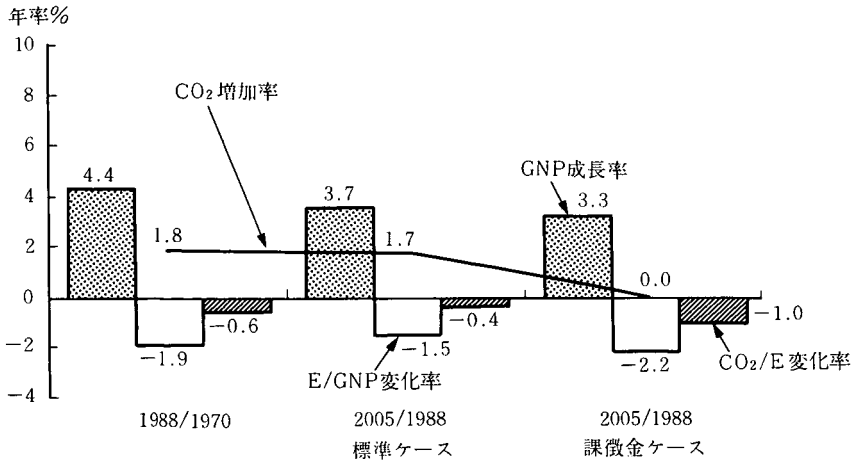


図 5 エネルギーおよび経済の主要指標 (1970~2005 年)

年の間のこれら 3 指標の変化率が, GNP : 3.7%/年, dX/X : -0.4%/年, dY/Y : -1.5%/年であり, その結果, CO₂ 発生量は年率 1.7% で増大したのであるが, CO₂ 課徴金の導入により, エネルギーの脱炭素化と効率化は各々, dX/X : -1.0%/年, dY/Y : -2.2%/年と, 石油危機を挟む 1970 年~1988 年の実績を上回る速度で進展し, GNP 成長率は 0.4%/年マイナスの 3.3%/年となって, CO₂ 発生量が一定化されている。

なお, 今回のシミュレーション解析では課徴金収入はわが国経済に還流しないと仮定している。つまり, 輸入エネルギー価格の値上がりと同様に, 今回の課徴金シミュレーションによるエネルギー価格の上昇は, 相対価格の上昇によって当該エネルギーの節約をもたらすのみならず, 値上がり相当分だけ日本経済から購買力を奪って経済活動の水準を直接的に縮小させている。課徴金による輸入エネルギー価格の上昇分は, 今回のシミュレーションでは海外に流出するとしているが, これを政府収入として計上する場合の効果をまず検討する必要がある。ま

た, 課徴金収入をどのように活用するかは, 所得税などの減税によって相殺する場合を含めて, 省エネルギー機器の導入促進のための補助金等の具体的な政策の選択にかかわることであり, 今後検討すべき重要課題である。

3.3 CO₂ 課徴金の国民経済へのインパクト

前述のように, 課徴金を導入して CO₂ 発生量を一定化させることにより, 実質 GNP の成長率は 0.4%/年低下する。この GNP 成長率の低下は小さいように感じられるかも知れないが, 表 3 に示すように, 2005 年の実質 GNP を, 36 兆円 (1980 年価格), 6% も減少させ

表 3 CO₂ 発生量一定化方策としての課徴金のコスト

A) GNP 成長率 (2005/1988)	: 年率 0.4% 減
B) 2005 年の実質* GNP	: 36 兆円減 (6% 減)
C) 1988~2005 年の累積 実質* GNP	: 320 兆円減
D) 課徴金の累積収入 (WPI で実質化*)	: 110 兆円
E) 2005 年の CO ₂ 削減量	: 9500 万トンC
F) 1988~2005 年の累積 CO ₂ 削減量	: 9 億 3000 万トンC
G) CO ₂ 削減単価	
B/E	: 38 万円/トンC
C/F	: 34 万円/トンC

* 1980 年円

ることになる。同じく表3に示されているように、2005年までの累積のGNP減少額は320兆円にも達する。

この様な国民経済上のコストを、削減されたCO₂量当たりの単価として示すと、炭素1トン当たり30数万円と言うことになる(表3のG)項参照。

CO₂を削減する手段は、ここで検討した課徴金以外にも数多く存在する。例えば植林によって大気中のCO₂を除去することも考えられる。文献⁽³⁾によると、1ヘクタールの植林で毎年6~10トンの炭素が削減できる。この効果は森林が成長する数十年間持続する。また、植林のコストは、発展途上国ではヘクタール当たり10万円程度と言われている⁵⁾。したがって、単純に計算すると、炭素削減1トン当たりのコストは1万円を十分下回ることになる。もっとも、安いコストで植林できる場所は限られているだろうから、CO₂削減を植林だけで達成しようとするのは賢明ではない。

より広い視点から見るとこの様に桁違いに安い単価によるCO₂削減の手段が存在するという事は、少なくとも、課徴金は最初取るべきCO₂削減手段ではないことを意味している。わが国のエネルギー経済の条件の下では、課徴金による価格シグナルのみに依存して

5) 植林のコストは、わが国の紙・パルプ産業が東南アジアで手掛けた事例についてのヒアリングや、新聞等に記載された他の事例(1989年8月17日日経新聞朝刊のインドネシアの熱帯雨林保護の記事など)に基づいている。

CO₂発生量の現状凍結を行うことは、あまりにも国民経済的損失が大きく、効率的な政策とは言いがたい。

4. おわりに

地球温暖化問題に関する科学的知見にはまだまだ大きな不確実性がある。しかし、気候変化が明らかに予見できるようになってから対策行動を起こしたのでは遅すぎる。我々は不確実性の下での意思決定を迫られている。誤った判断による対策の実施が温暖化そのものよりも大きな損失をもたらす恐れもある。CO₂以外の温室効果ガスもふくめて対策は幅広く考慮すべきであるし、また、防止対策だけでなく温暖化する地球に適応するための対策も検討されねばならない。今おこなうべきことは、一方的なCO₂削減ではなく、科学的知見に基づいた、地球的視点からの合理的で柔軟な対応である。

参考文献

- [1] Y. Kaya, K. Yamaji, and R. Matsuhashi: "A Grand Strategy for Global Warming," Tokyo Conference on the Global Environment and Human Response toward Sustainable Development, Sept. 1989
- [2] 平成元年度電力中央研究所研究発表会—経営部門—予稿集, 1989
- [3] 新田義孝: 「省エネルギーによるグローバルなCO₂排出削減と緑化によるCO₂吸収の推定」, 燃料協会誌, 10月号, 1989

(やまじ けんじ
ながた ゆたか
経済部 エネルギー研究室
さくらい のりひさ
はっとり つねあき
経済部 経営研究室)