

気候変動に関する制度の不確実性を考慮した国内温暖化対策の影響評価

環境システムコース 環境経済システム学分野

36652 長田 浩司

1. 緒言

ロシアの批准により京都議定書の発効が確実となったが、90年度比6%削減実現のための具体的政策は未だ見えてこない。経済産業省の評価では、現行対策が実行されてもなお、2010年時点で0.52億~0.72億t-CO₂(対基準年総排出量比で+4.2%~+6.0%)の追加削減が必要である。追加削減策としては炭素税、国内排出権取引、ハイブリッド車の普及促進、原発の建設促進等、様々なものが考えられる。これら個別の対策についての分析はこれまで盛んになされてきたが、複数の政策を実行した場合の分析は多くない。

そこで、本研究では経済モデルである応用一般均衡(Appried General Equilibrium:AGE)モデルを用いて、複数の追加対策の組み合わせの効果及び経済、家計への影響を評価した。

政策の組み合わせは無数にありうるが、ステークホルダーの利害関係等もあり、実際に実現の可能性がある組み合わせは限られている。そこで、本研究ではシナリオ分析によって、実現可能性の高い対策シナリオを求め、そのシナリオについて効果及び影響を評価するというアプローチをとった。

2. シナリオ分析手法、X・I法の原理

温暖化対策の将来シナリオの予測というのは、客観的データが存在するわけでは無く、極めて困難な命題である。しかし、予測とはいかないまでも、専門家の推定に基づいて将来の可能性を検討することは可能であり、意義のあることである。

シナリオの生起確率という高次の確率について、専門家が直接、合理的な推定を行うことは困難であり、信頼性も損なわれる。そこで、より推定が容易であり、信頼性も比較的高いと思われる低次の確率(事象単体の生起確率及び2事象間のインパクト確率)から、合理的な高次元シナリオ生起確率を推計する手法であるCross Impact Matrix法(以下、X・I法)を用いた[1]。その最大の特長は事象間の相互影響をインパクト確率という形で明示的に取り入れている点である。

温暖化対策のシナリオを分析するに当たって、表1の事象を取り上げた。対象とする期間は2段階に分かれており、第一段階を2005年~2012年、第二段階を2013年~2017年と設定した。第一段階では事象A~Iの9事象、第二段階ではA~Nの14事象を対象とした。X・I法の元データとなる確率について、専門家A

表1 本研究で分析対象としたX・I法の事象

国内対策	A	自主行動計画とは別に総排出量のCAPが掛けられる
	B	自主行動計画の目標以上の削減量を政府が買い上げる制度が出来る
	C	国内の排出削減事業のクレジットを政府が買いとる制度が出来る
	D	政府が企業からCER、ERUを買い取る制度が出来る
	E	5,000円/t-C以下の低率の炭素税が導入される
	F	ハイブリッド車等の普及が高い水準で進む
	G	住宅の省エネ基準を新築住宅の8割が達成するようになる
	H	30,000円/t-C程度の高率の炭素税が導入される
	I	原子力発電所の建設が盛んになる(10年に3基以上)
技術	J	CO ₂ 隔離技術が商業ベースで利用できるようになる
国際枠組み	K	米国の参加に配慮した数値目標が定められる
	L	非付属書 国にも先進国と同様に目標が課せられる
	M	国別の削減目標でなく、業種ごとに原単位目標等が定められる
	N	気候変動に関する何らかの国際枠組みに米国が参加する

氏(大学関係者)、B氏(研究所研究員)、C氏(政府関係者)に推定を依頼した。

以降、X・I法の手順について専門家A氏の回答を例に説明する。

1) 生起確率とインパクト確率の推計

専門家は各事象(A~J)の生起確率と、インパクト確率を推計する。インパクト確率 $P(X \rightarrow Y)$ とは、事象(X)の生起が他の事象(Y)の生起に与える影響を表すものである。条件付確率に方向性をもたせたものであり、「ある事象(X)が既に生起していると仮定したと

き、その後、別の事象 (Y) が生起する確率」を $P(X \rightarrow Y)$ と定義する。

図 1 に専門家 A 氏の回答例を示す。
 $P(H) = 0.3, P(A \rightarrow H) = 0.6$ として
 おり、「F の生起確率は本来 0.3 だが、
 A が先に生起していた場合は生起確率
 が 0.6 になる」と考えている。

以降の手順に関しては、計算時間等
 の都合から 9 事象全てを扱うことは
 出来ないため、他の事象との相互影響
 が比較的大きい 6 事象を選択する。

事象の生起確率 P(X)		後から起こる事象(Y)								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
先に起こる事象(X)	A	0	0.2	0.2	0.3	0.6	0.8	0.05	0.9	
	B	0	0.25	0.6	0.4	0.35	0.45	0.07	0.75	
	C	0.1	0.4	0.9	0.6	0.4	0.5	0.05	0.72	
	D	0.1	0.6	0.75	0.6	0.4	0.5	0.05	0.72	
	E	0.1	0.6	0.8	0.9	0.7	0.4	0.5	0.72	
	F	0.1	0.8	0.65	0.8	0.7	0.6	0.05	0.9	
	G	0.15	0.8	0.65	0.8	0.6	0.45	0.08	0.9	
	H	0.05	0.2	0.3	0.4	0	0.5	0.7	0.9	
	I	0.2	0.8	0.65	0.8	0.5	0.35	0.45	0.1	

図 1 専門家 A 氏の確率推定値 (2005 ~ 2012 年)

- 2) マルコフモデルを想定し、単独の生起確率 $P(X)$ 、 $P(Y)$ とインパクト確率 $P(X \rightarrow Y)$ 、 $P(Y \rightarrow X)$ から 2 次元生起確率 $P(X, Y)$ を求める
- 3) 整合性を有するよう各シナリオの生起確率を求める

シナリオは n 個の事象の生起・非生起の組み合わせで表現され、 2^n 個存在する (ここでは $2^6 = 64$)。シナリオ各 E_k の生起確率を π_k と表す ($k = 1, 2, \dots, 2^n$)。

このとき π_k は $0 \leq \pi_k \leq 1, \sum_k \pi_k = 1$ を満たす。さらに、これら π_k と 1 次元の生起確率 $P(i)$ 及び 2 次元の生起確率 $P(i, j)$ との間には以下の関係が成り立っていないなければならない。

$$(1) \quad P(i) = \sum_k \theta_{ik} \pi_k$$

$$(2) \quad P(i, j) = \sum_k t(ijk) \pi_k$$

ただし、 θ_{ik} 、 $t(ijk)$ は

$$(3) \quad \theta_{ik} = \begin{cases} 1: E_k \text{ で事象 } e_i \text{ が生起} \\ 0: E_k \text{ で事象 } e_i \text{ が非生起} \end{cases}$$

$$(4) \quad t(ijk) = \begin{cases} 1: E_k \text{ で事象 } e_i, e_j \text{ が共に生起} \\ 0: \text{上記以外の場合} \end{cases}$$

$P(i)$ 、 $P(i, j)$ は既知であり、(1)、(2) 式を満たす π_k を求めることになる。これは変数 2^n 個、式 $\{n(n+1)/2 + 1\}$ 本の連立方程式を解くことに他ならない。しかし、 $0 \leq \pi_k \leq 1$ であるため、回答者が推定した $P(i), P(i, j)$ が不合理である場合には連立方程式の解が存在しない。そこで最も整合性がとれている確率体系を求めるべく、(1)、(2) 式の両辺の二乗和である (5) 式の関数 J を最小化する。

$$(5) \quad J = \sum_i U_i [P(i) - \sum_k \theta_{ik} \pi_k]^2 + \sum_i \sum_j V_{ij} [P(i, j) - \sum_k t(ijk) \pi_k]^2 \rightarrow \min$$

$$(6) \quad s.t. \quad \sum_k \pi_k = 1$$

$$(7) \quad 0 \leq \pi_k \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, 2^n$$

U_i, V_{ij} はウエイトパラメータである。これによって各シナリオの生起確率 π_k が求まる。

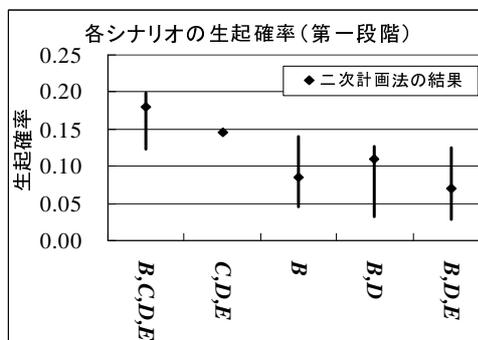


図 2 専門家 A 氏の分析結果 (2005 ~ 2012 年)

第一期間	生起確率の高いシナリオ	A	B	C	D	E	F	G	H	I	シナリオの生起確率 (平均値)
		自主行動計画以上のCAP	目標以上の削減分買取	国内削減事業クレジット買取	CER等買取制度導入	低率炭素税・炭素トン五千円以下	ハイブリッド車等普及	省エネ住宅の普及	高率炭素税・炭素トン3万円程度	原発建設活発化	
大学関係者 A氏	1		○	○	○	○				○	0.16
	2			○	○	○				○	0.15
	3	○								○	0.09
研究所関係者 B氏	1	○	○	○	○						0.15
	2				○						0.12
	3	○		○							0.08
政府関係者 C氏	1	○		○	○	○	○				0.31
	2				○	○	○	○			0.11
	3	○			○	○	○				0.10

図 3 専門家 3 名の分析結果 (第一段階:2005 ~ 2012 年)

4) 各シナリオの生起確率の幅を求める

(5)~(7) 式の二次計画問題は、事象数が多くなると一意に解が求まらなくなる。そこで、線形計画法を用いて J を最小に保ちつつ、 π_k の幅を求める。A 氏の分析結果を図 2 に示す。最も生起確率の高いシナリオ(最尤シナリオ)は、事象 B, C, D, E が生起、事象 A, H が非生起のシナリオであった。

以上、 $X \cdot I$ 法の手順を示した。第二段階に際しても同様の手順を踏む。その際、第一段階の最尤シナリオで生起した事象は第二段階では既に生起したものとして扱う。

3. $X \cdot I$ 法の分析結果

専門家 3 人の第一期間の結果を図 3 にまとめた。回答者によって傾向は異なる。3 者に共通して多く生起しているのは D (CER 等買取制度) である。また、 E (低率炭素税) も 3 者の上位シナリオで少なからず生起している。他の事象については、回答者によっては上位シナリオで全く生起しておらず、見方が分かれているところである。また、第二期間の結果を図 4 に示す。B 氏については第二期間の確率の推計を回収できなかった。専門家 A 氏、C 氏ともに、事象 N (時期枠組みへの米国の参加) が上位シナリオでよく生起している。

4. AGE モデル

AGE モデルとは複数の経済主体・財・市場を要素とした経済モデルである [2]。市場における需給調整を全ての財・サービス、生産要素(資本・労働)市場について想定し、全ての市場均衡が成立する状態を求めることでシミュレーションを行う。AGE モデルは波及効果を全て含めた経済の変化を定量的に求めることができる。

著者は 2000 年の統計に基にしてモデルを開発した。これは、日本国内の経済をモデル化した静学モデルであり、各財の生産量に CO_2 排出原単位を乗じる事で CO_2 排出量を算出する。著者は、家計の所得階級分類、厚生水準の変化を表す等価変分の導入の 2 つの改良をモデルに加え、政策が家計に与える影響を所得階層ごとに評価できるようにした。

開発したモデルを用いて、炭素税が家計に与える影響の評価を行った。税率 2,400 円/t-C を最上流課税し、税収の用途については「財政赤字補填」、「企業社会保障負担軽減」、「所得税減税」の 3 通りを与えた。結果を図 6 に示した。補償変分 (EV: equivalent variation) とは、基準時からの効用の低下を補うために不足している所得を表したもので、効用が低下したとき負の値をとる。

$$(8) \quad EV_i = E_i(p_i^0, U_i^1) - I_{Di}^0 = I_{Di}^0 [(U_i^1 - U_i^0) / U_i^0]$$

p は財価格ベクトル、 U は効用、 I_D は拡張可処分所得、 $E(p, U)$ は p の下で U を実現するための最小支出を表す支出関数である。上付きの 0 は初期時点、1 は変化後を表し、下付きの i は家計階級を表す。

図 6 より、税収の用途で家計の影響、所得階級間の公平性が大きく異なることが分かる。

第一期間	生起確率の高いシナリオ	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	シナリオの生起確率(平均値)
		自主行動計画以上の削減分買取	目標以上の削減分買取	国内削減事業クレジット買取	CER 等買取制度導入	低率炭素税・炭素トン五千円以下	ハイブリッド車等普及	省エネ住宅の普及	高率炭素税・炭素トン3万円程度	原発建設活発化	炭素隔離技術実用化	米国に配慮した数値目標	途上国にも目標	業種ごとに原単位目標	次期枠組みへの米参加	
大学関係者 A 氏	1															0.18
	2															0.17
	3	○													○	0.17
政府関係者 C 氏	1															0.54
	2															0.16
	3										○			○	0.09	

図 4 専門家 2 名の分析結果 (第二段階:2013~2017 年)

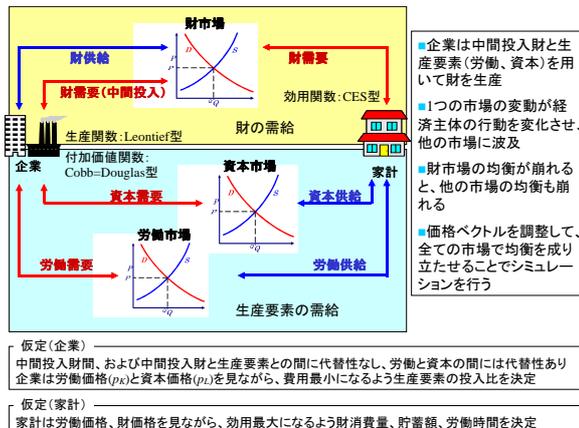


図 5 AGE モデル

5. AGE モデルによる追加対策シナリオの評価

X・I 法の結果を受けて、本研究では実現可能性が高い追加対策シナリオとして、「D: CER 等の買取制度、E: 低率炭素税、が導入された場合」と、「左記に加えて、F: ハイブリッド車等、及び G: 省エネ住宅の普及が進んだ場合」について、AGE モデルによって分析を行った。炭素税の税収は環境対策の公共投資、CER 等買取、企業の社会保障費用負担の軽減に充てられるとした。ハイブリッド車等は普及台数が大綱目標の 348 万台に達し、省エネ住宅は新築住宅の 8 割が次世代省エネ基準を満たすようになると設定した。分析に用いたモデルは 2010 年の経済指標 (GDP 等) に関する見通しに基づいて構築したモデルであり、さらに温暖化対策推進大綱の対策を反映させてある。

分析の結果、両者の削減効果の差は約 390 万 t-CO₂ であった。設定したハイブリッド車等、及び省エネ住宅の普及の水準は高く、実現可能性は高くはないが、それでもその効果は限定的である。家計関連の対策を強化する際には、現実的且つ、より多くの削減量が見込まれる対策を考える必要があるといえる。

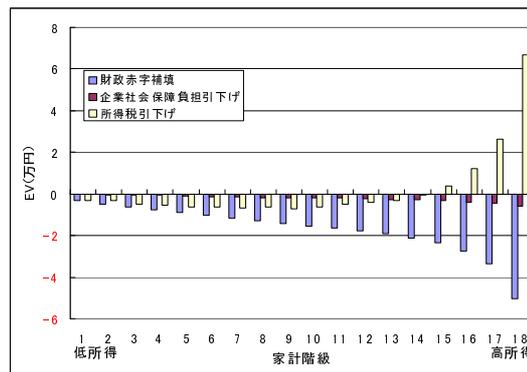


図 6 炭素税賦課による厚生水準の変化

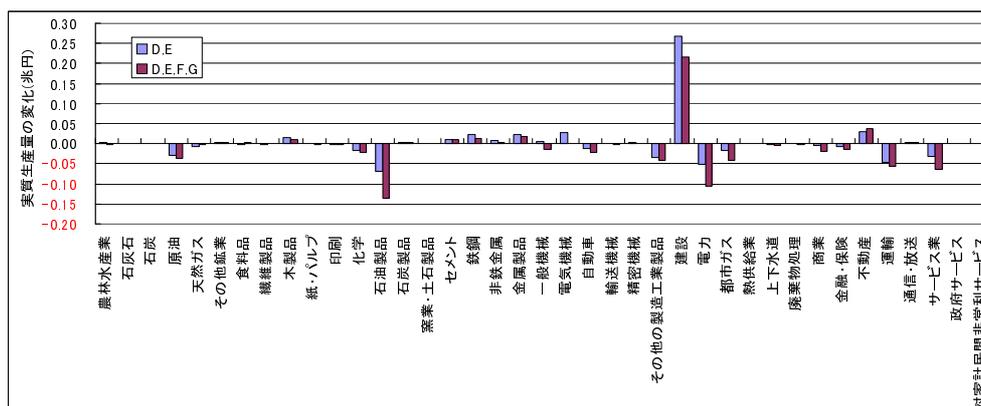


図 7 現行対策ケースからの実質生産量の変化

6. 結言

本研究では、まず 2000 年の統計に基づく AGE モデルを開発した。さらにモデルに改良を加え、政策が家計に与える影響を所得階層ごとに評価できるようにした。その結果、炭素税に関しては、税収の用途によって家計が受ける影響は大きく異なることを示せた。炭素税導入にあたっては家計への影響を考慮して税収の用途を決定する必要があることが導けた。

X・I 法によって第一約束期間における国内追加対策、2013 年以降の将来枠組みについてシナリオ分析を行った。その結果、生起の可能性が高いと思われるシナリオを導けた。

また、X・I 法によって得られた実現可能性の高い国内追加対策シナリオについて、著者が開発したモデルを用いてその効果及び影響を評価した。その結果、実現可能性がそれほど高くないハイブリッド車等、及び省エネ住宅の普及でさえ、効果は限定的であることを示した。

参考文献

- [1] 石谷久, 石川真澄. 社会システム工学. シリーズ【現代人の数理】. 朝倉書店, Mar 1992.
- [2] 市岡修. 応用一般均衡分析. 有斐閣, Jun 1991.