

他者の行動による影響を考慮した自主的 CO₂ 削減行動に関する基礎的分析*

佐藤慶和**・高木朗義***

By Yoshikazu SATO**・Akiyoshi TAKAGI***

1. はじめに

地球温暖化を抑制するためには、家庭における自主的な CO₂ 削減が必要不可欠である。そのため、様々な促進策が政府により実施されている。例えば、岐阜市では 2007 年夏に「ぎふ省エネチャレンジ市民運動」が実施された。しかし、参加者は非常に少ない状況であった。

そこで本研究では、より効果的な促進策の考案に役立てることを目的として、個人が自主的に CO₂ 削減行動をするか否かの意思決定プロセスについて分析する。特に、個人が他者の行動による影響を受け、自身の行動を変化させしめることに着目し、ゲーム理論を用いた行動モデルを構築して分析する。

2. 岐阜市における CO₂ 排出量の現状

岐阜市と全国における部門別 CO₂ 排出量の推移を表-1 に示す。岐阜市は全国に比べて運輸、家庭部門の構成比が高く、世帯あたりの CO₂ 排出量も運輸（自家用車）や家庭部門において全国平均より多いことがわかる。すなわち、ここに焦点を当てれば、岐阜市では多くの CO₂ 排出量削減が期待できる。例えば、全岐阜市民が自主的な CO₂ 削減行動として、環境省で提案されている「家庭でできる 10 の取り組み」¹⁾ をすべて実践した場合、家庭部門で約 10.4%、運輸部門（自家用車）で約 11.9% の CO₂ 排出量が削減可能となる。これは岐阜市全体の CO₂ 排出量の約 5.8% に相当する。このように、市民一人ひとりが持続可能な CO₂ 削減行動をとることで、大きな CO₂ 削減効果が得られることがわかる。したがって、市民に持続可能な自主的 CO₂ 削減行動をとらせるために、政府は何らかのインセンティブを持たせる促進策を考案する必要がある。そのためには「何をもとに個人が CO₂ 削

表-1 部門別 CO₂ 排出量—岐阜市と全国の比較^{2),3)}

部門	岐阜市(単位:万トン・CO ₂)					全国(単位:百万トン・CO ₂)					世帯あたりの比率 ²⁾
	1990年		2000年		増減率 ¹⁾	1990年		2000年		増減率 ¹⁾	
	排出量	構成比	排出量	構成比		排出量	構成比	排出量	構成比		
産業	39.8	18.9%	32.3	14.9%	△18.8%	490.0	44.0%	495.0	40.2%	1.0%	21.0%
運輸 (事業用)	80.7	38.3%	32.9	15.2%	△5.8%	129.3	11.6%	132.8	10.8%	2.7%	79.7%
運輸 (自家用車)			43.1	19.9%		82.7	7.4%	123.2	10.0%	49.0%	112.5%
民生 家庭	56.8	26.9%	71.9	33.2%	26.6%	138.0	12.4%	168.0	13.5%	20.3%	139.3%
民生 業務	25.3	12.0%	28.1	13.0%	11.1%	124.0	11.1%	152.0	12.3%	22.6%	59.4%
エネルギー 転換	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0%	77.0	6.9%	86.0	7.0%	11.7%	0.0%
廃棄物	8.2	3.9%	8.3	3.8%	1.2%	15.0	1.3%	24.0	1.9%	60.0%	111.2%
工業 プロセス	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0%	57.0	5.1%	53.0	4.3%	△7.0%	0.0%
合計	210.8	100.0%	216.6	100.0%	2.8%	1,113	100.0%	1,232	100.0%	10.7%	56.5%

※1: △はマイナスを示す。

※2: 岐阜市の 2000 年排出量/全国平均の 2000 年の排出量。

減行動をとるか否かの意思決定をするのか」について分析することが有効であるといえる。

3. 自主的 CO₂ 削減行動モデルの構築

他者に対する情報が不完全である状況下において、他者の行動による影響を受けながら、個人が自主的に CO₂ を削減するか否かの意思決定プロセスを表現できる自主的 CO₂ 削減行動モデル（以下、行動モデル）を構築する。ここで、個人は他者の行動を予測し、自身の期待利得が最大となるよう行動する、すなわち、ゲーム理論的思考^{4),5)}により意思決定すると仮定する。

(1) 期待利得（効用関数）の定式化

個人は 3 つの利得要素に基づき、他者の行動を予測しながら、(1)式で示す期待利得を最大にするよう行動するものとする。

$$Ef_i(C, B, \lambda, P_i) = (\alpha \ln C + \beta \ln B + \gamma \ln \lambda) \cdot P_i(c_{-i}|c_i) \quad (1)$$

ここで、 $Ef_i(\cdot)$: 個人(プレイヤー) i の期待利得、 C : CO₂ 削減行動に対する「面倒くささ」、 B : CO₂ 削減行動による「節約金」、 λ : CO₂ 削減行動による本来の価値（これは将来発生する地球温暖化抑制効果であり、自身が享受するものではなく、将来世代が享受するものであるため、「遺産価値」の増大分と定義できる）、 $\alpha(<0)$ 、 $\beta(>0)$ 、 $\gamma(>0)$: 利得要素に対する相対的な重要度（これらが個人属性を構成するパラメータであり、環境意識などにより個人毎に異なる）、 c_i : 個人 i の属性、 c_{-i} : 個人 i 以外の属性、 $P_i(c_{-i}|c_i)$: 個人 i が他者(=個人 i 以外)の属性を予想する場合の条件付き確率分布。

*キーワード: 地球環境問題, 意識調査分析, ゲーム理論

**学生員, 岐阜大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

***正員, 博(工), 岐阜大学工学社会基盤工学科

(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1 番 1,

TEL: 058-293-2445, E-mail: a_takagi@gifu-u.ac.jp)

(2) 自主的 CO₂削減行動モデルにおける仮定

自主的 CO₂削減行動モデルの構築にあたり、次の3つの仮定をおく。

(i)個人は、次の3水準の行動の何れかを選択する。

○積極行動：CO₂削減行動を積極的にとる。CO₂削減効果は大きい、実行は容易でない。

○消極行動：CO₂削減行動を簡単にできる範囲でとる。CO₂削減効果は低い、実行は容易である。

○行動無：CO₂削減行動をとらない。

(ii)個人は「表」と「裏」という2種類の個人属性を合わせ持ち、確率的にどちらかの属性に基づいて行動する。

例えば、「表の属性」が環境意識が高く、「裏の属性」が環境意識が低いとすると、表-2の状況では個人1は比較的環境意識が高く、個人2は比較的環境意識が低いことを意味する。なお、ここでは個人属性の2面性をわかりやすく表現するために「表」、「裏」としているが、「裏」が環境意識が低いことを表すとは限らないものとする。

(iii)他者の行動により、自分の行動が受ける影響について、次の2条件が成立する。

○他者影響「面倒」：「面倒くささ」が他者の行動により変化する。これを他者影響「面倒」と呼ぶ。具体的には、自分がCO₂削減行動に対して、他者がCO₂削減行動をとらないと「面倒くささ」が大きくなり、他者がCO₂削減行動をとると「面倒くささ」が小さくなる。

○他者影響「価値」：同じCO₂削減量でも、他者がCO₂削減するより自分がCO₂削減する方が、充実感や達成感が大きく、「遺産価値」の増大分が大きい。これを他者影響「価値」と呼ぶ。

例えば、他者影響「面倒」、「価値」を行動モデルに取り入れるとCO₂削減行動と利得要素の関係は表-3のようになるものとする。他者の行動による影響を受ける場合は受けない場合に比べて、「面倒くささ」の大きさは、他者が行動すれば小さくなり、行動しなければ大きくなる。同様に、「遺産価値」の増大分の大きさは、自分が行動すれば大きくなる。

(3) ゲーム論的思考

これまで示してきたように、通常、個人がCO₂削減行動をとるか否かの意思決定する場合、他者の行動により影響を受けていると考えられる。このとき、個人は他者の行動を予想する必要があるが、現実社会における不完全情報下では他者の属性について完全に知ることは不可能である。ここでは、個人は期待利得最大化行動をとる

表-2 個人属性の発生確率の例

	表の属性	裏の属性
個人1	80%	20%
個人2	50%	50%

表-3 CO₂削減行動と利得要素との関係

個人1	個人2	C:面倒くささ		B:節約金	λ:遺産価値	
		他者影響無	他者影響有	—	他者影響無	他者影響有
積極行動	積極行動	14	10	10	12	18
	消極行動	14	14	10	9	15
	行動無	14	20	10	6	12
消極行動	積極行動	7	5	5	9	12
	消極行動	7	7	5	6	9
	行動無	7	10	5	3	6
行動無	積極行動	1	1	1	6	6
	消極行動	1	1	1	3	3
	行動無	1	1	1	1	1

表-4 個人1の予想確率

		個人2	
		表の属性	裏の属性
個人1	表の属性	x_1	$1-x_1$
	裏の属性	x_2	$1-x_2$

表-5 個人2の予想確率

		個人2	
		表の属性	裏の属性
個人1	表の属性	y_1	$1-y_1$
	裏の属性	y_2	$1-y_2$

ものとし、これをベイズの同時仮説^{4),5)}を用いて表現する。2人ゲームでは個人1と個人2のそれぞれの主観的予想確率分布は、表-4、表-5のように表される。また個人の主観的予想の整合をとると、次の4式が成立する。

$$p_1 x_1 = q_1 y_1 \tag{2.1}$$

$$p_1 (1-x_1) = (1-q_1) y_2 \tag{2.2}$$

$$(1-p_1) x_2 = q_1 (1-y_1) \tag{2.3}$$

$$(1-p_1) (1-x_2) = (1-q_1) (1-y_2) \tag{2.4}$$

ここで、 x_1, x_2 ：個人1が「1:表, 2:裏の属性」である場合、個人2が「表の属性」であると予想する確率、 y_1, y_2 ：個人2が「1:表, 2:裏の属性」である場合、個人1が「表の属性」であると予想する確率、 p_1 ：個人1が「表の属性」である確率、 q_1 ：個人2が「表の属性」である確率。例えば(2.1)式は、個人1が「表の属性」である場合において個人2を「表の属性」であると予想する確率と、個人2が「表の属性」である場合において個人1を「表の属性」であると予想する確率が等しくなることを表現している。したがって、式(2.1)~(2.4)は、個人1, 2の持つ(主観的)同時確率分布が等しいことを意味する。

(4) ベイジアン均衡による個人の期待利得最大化行動

以上の仮定の下、個人が2人の場合、互いに期待利得を最大とする行動を予想することによって、各個人の行動はベイジアン均衡点 $\pi^*=(\pi_1^*, \pi_2^*)$ (以下、均衡点)として得られる。これは(2)式のように表される。

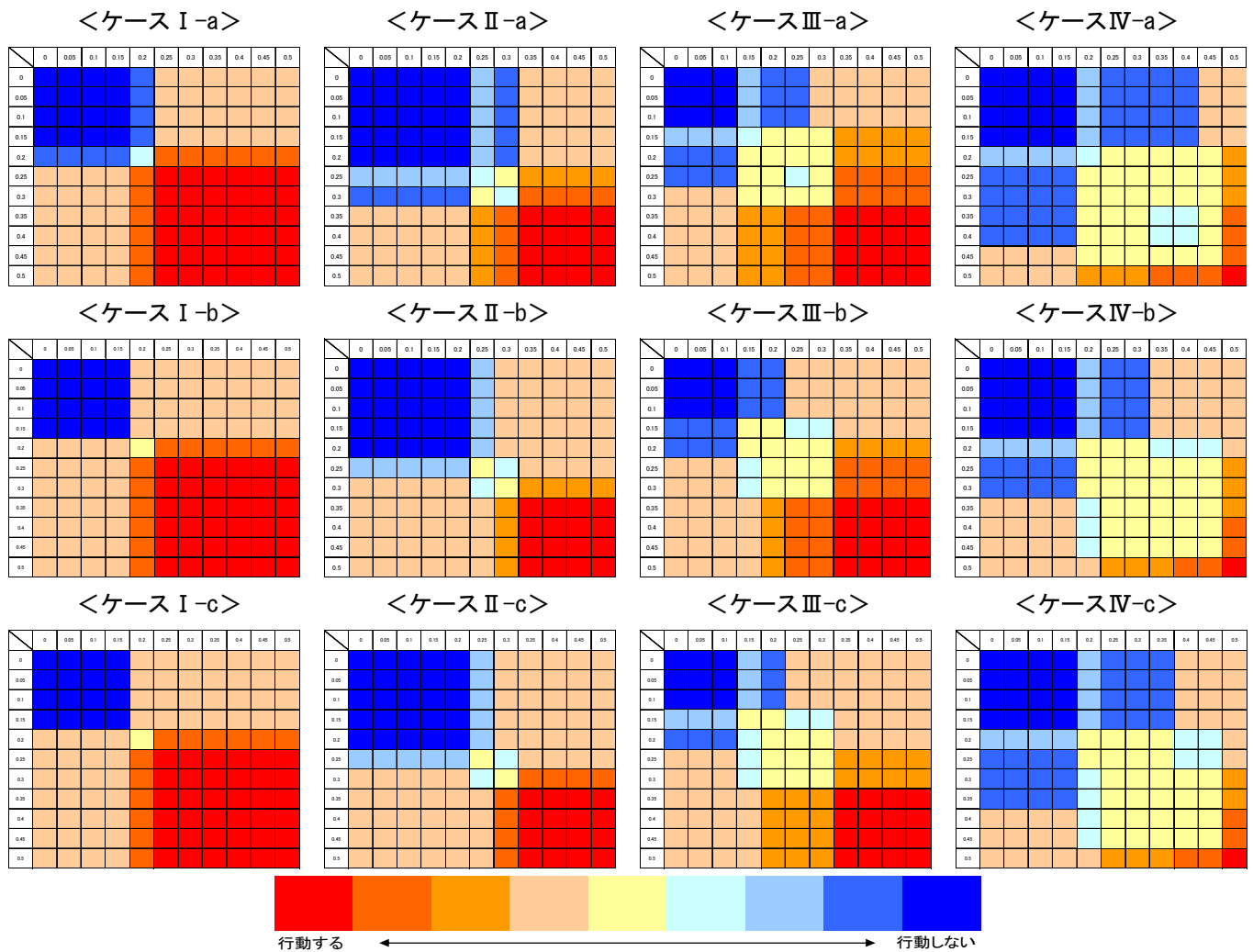


図-1 他者の影響と環境意識の違いによる CO₂ 削減行動の選択結果

$$Ef_i(\pi^* | c_i) \geq Ef_i(\pi_i, \pi_{-i}^* | c_i) \quad (3)$$

ここで、 $\pi = (\pi_1, \pi_2)$ はプレイヤー1, 2の行動。(3)式は、他者の行動選択が均衡点をとる場合、個人*i*が均衡点と異なる行動をしても、期待利得は増加しないことを示す。すなわち、いかなる個人も均衡点から離脱するインセンティブをもたないことを意味する。したがって、均衡点 π^* を求めることで個人の行動選択が推定可能となる。

4. CO₂ 削減行動に関する分析

個人が他者の行動による影響を受けている状況の下、個人属性の違いによって、CO₂ 削減行動がどのように変化するかについて分析する。

(1) 行動分析の条件

個人属性のうち「遺産価値」、すなわち CO₂ 削減による本来の価値に対する相対的重要度を表すパラメータ γ を 0 から 0.5 まで 0.05 刻みで変化させ、均衡点の推移を分析する。これは個人が持つ環境意識の違いによる行動を分

析することに相当する。なお、 $\alpha = -0.3$, $\beta = 0.2$, 属性確率は表-2 のとおりとする。また、他者の影響を受けるか否かについて、次の4ケース(I~IV)を設定し、各個人が選択し得る CO₂ 削減行動と各利得要素の大きさは、表-3 に示す値を組合せて用いるものとする。

ケース I : 他者影響「面倒」、「価値」が成立する。

ケース II : 他者影響「面倒」のみが成立する。

ケース III : 他者影響「価値」のみが成立する。

ケース IV : 他者影響「面倒」、「価値」ともに成立しない。

さらに、現実社会における他人に対する情報が不完全である状況下で他人の属性確率を予想すると、実際の属性確率とずれが生じると考えられる。よって、本研究では各ケースにおいて、以下の3条件(a)~(c)について行動分析を行うものとする。

- (a) 不完全情報下において自分と同じ属性を所持する他者が存在する確率が高いと予想した場合
- (b) 不完全情報下において自分と同じ属性を所持する他者が存在する確率が低いと予想した場合

(c) 完全情報の場合

例えば、(a)について具体的に説明すると、環境意識の高い個人は他者の環境意識が実際よりも高いと考え、環境意識の低い個人は他者の環境意識が実際よりも低いと考える状態を表している。

したがって、 $4 \times 3 = 12$ ケースについて、個人の行動分析を行うこととなる。

(2) 行動分析結果

行動分析結果を図-1 に示す。ここで、赤色に近いほど多くの個人が CO₂ 削減行動をし、青色に近いほど行動しないことを表している。また、列方向は「表の属性」を所持する個人の「遺産価値」に対するパラメータ γ であり、下へ行くほど環境意識が高いことを表し、行方向は「裏の属性」の γ であり、右へ行くほど環境意識が高いことを表している。

まず、ケース I について見てみると、環境意識が高い個人は、他者に影響されることなく、CO₂ 削減行動をとる。一方、環境意識が低い個人は、他者に影響されることなく、CO₂ 削減行動をしない。これに対し、環境意識が中程度の個人は、相手の環境意識が高い場合は CO₂ 削減行動するか否か迷い、低い場合は行動する。

次に、他者影響「面倒」、「価値」という仮定が CO₂ 削減行動に与える影響についてみる。ケース I と III または II と IV を比較すると、「面倒くささ」が他者の行動による影響を受けることにより、環境意識が中程度の個人は行動選択を迷う範囲が狭まることがわかる。また、ケース I と II または III と IV を比較すると、他者より自分が CO₂ 削減する方が「遺産価値」が大きいと、比較的環境意識が低くても CO₂ 削減行動をとる。さらに、他者影響「面倒」、「価値」の両方が成立する場合は、環境意識が比較的低くても他者に影響されることなく CO₂ 削減行動をとりやすいことがわかった。また、(a)のように他者の高度を実際より高い確率で予想すると、環境意識が中程度の場合は CO₂ 削減行動をとらないという結果となった。

(3) 他者の行動による影響に関するアンケート調査

岐阜大学生 61 名を対象に、表-6 に示すアンケート調査を実施し、他者影響「面倒」、「価値」に関する仮定の成立状況について確認した。各質問とも選択肢①を回答すれば、仮定が成立していると判断できる。

他者影響「面倒」の仮定は約 74% で成立し、他者影響「価値」の仮定は 50% 程度で成立するという結果となった。また、個人の利得要素に関する相対的重要度をコンジョイント分析により推定した結果、「面倒くささ」に対

表-6 他者の行動による影響に関するアンケート調査

質問1	自分がCO ₂ 削減行動をする場合、どちらが面倒くささを感じますか？
選択肢	① 他人が CO ₂ 削減行動していない ② 他人が CO ₂ 削減行動している ③ ①も②も変わらない
質問2	どちらが嬉しいですか？(面倒くささは考えない)
選択肢	① 自分が行動して CO ₂ 削減する ② 他人が行動して CO ₂ 削減する ③ ①も②も変わらない

する重要度が非常に小さくなった。このアンケート結果と行動モデルによる分析結果を合わせると、すべての個人が「積極行動」を選択するという結果となる。

(4) 促進策に関する考察

行動分析結果より、CO₂ 削減行動に対する本来の価値である「遺産価値」に対する重要度が低い人、すなわち環境意識の低い人は行動をせず、また中程度の人は他者の環境意識が高いと予想すると行動をとらない、つまり、他人任せになることがわかった。したがって、より多くの個人が自主的な CO₂ 削減行動をとるためには、まずは環境意識の低い人向けに、環境意識を高めるような施策を行うことが有効であると思われる。さらに、環境意識が中程度で、CO₂ 削減行動をとろうかどうか迷っている人に対しては、自分が CO₂ を削減する喜びを確認できるような仕組みを設け、みんなでやらなければ地球温暖化抑制ができないといった情報発信をすることも効果的であると思われる。

5. おわりに

本研究はゲーム理論を用いた自主的 CO₂ 削減行動モデルを構築し、他者の行動による影響と環境意識の高さに焦点を当てた行動分析を行った。その結果、環境意識が中程度以下の人向けへの情報発信の必要性が示された。今後は「面倒くささ」、「節約金」についてのパラメータに対する感度分析や主観的予想確率の整合をとらない場合の行動分析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 全国地球温暖化防止活動推進センター: ホームページ, <http://www.jccca.org/content/view/1053/678/>
- 2) 岐阜市: 岐阜市地球温暖化対策指針～脱温暖化の道しるべ～, pp.11-16, 2007.
- 3) 総務省: ホームページ 平成 12 年国勢調査, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2000/kakutei/index.htm>
- 4) 岡田章: ゲーム理論, 有斐閣, 1997.
- 5) 渡辺隆裕: 図解雑学 ゲーム理論, ナツメ社, 2004.