

環境対策費と市場占有率に関する動学的分析

岩 谷 禎 久

要 旨

本稿の目的は、環境への配慮を考慮して商品を購入しようと、購買行動を変える消費者を想定し、市場占有率を争う2つの競争企業の行動を、環境対策費水準を制御変数とする微分ゲームとして分析を行うことにある。このような状況の競争企業のOpen-Loop解を求める。分析の結果、定常状態における相対的な環境対策費水準の決定に関して、環境対策費水準の反応関数や市場占有率1単位当たりの収益が要因として影響することがわかった。

キーワード：市場占有率、環境対策費水準、反応関数、Open-Loop解

1. はじめに

1988年英国でElkintonとHails（1988）の著書が刊行される。内容は、日常的に購入する商品が、どこで、どのように作られているか、使用时、廃棄後にどのような影響を環境に与えるかについて解説し、製品が及ぼす環境問題について問いかけるものである。商品を選ぶために、エネルギーの消費量や有害物質の使用の有無などについて環境保全の観点から必要となる情報を提供し、消費者に環境に配慮した買い物をすることを提起したのである。

当時のヨーロッパでは、1950年代から北欧の湖沼や河川では魚や植物が死滅するなど生態系への酸性雨の影響が問題となっていた。また、1986年11月スイスのバーゼル郊外の化学工場から流失した水銀等の有害物質により、ドイツ、フランス、オランダなどライン川の下流の国々に深刻な被害を与えた国際河川の汚染、1988年

に始まる海洋汚染を象徴するヨーロッパ北部、北海やバルト海での約18,000頭にも及ぶゼニガタアザラシの大量死などの環境危機が相次いで起こる。

この本は、このような問題が起こり、人々の地球環境問題への関心が高まりつつあった時期に、関心はあっても具体的に何を行えばよいのかわからなかった人々に、日常の消費行動が環境問題と深く関わっていることを認識させたのである。環境負荷の少ない商品やサービスを選ぶ方法、どこのスーパーチェーンが環境対策に熱心かなどを調べ、五つ星を満点とする評価を行い公表し、グリーンコンシューマー（緑の消費者）として買い物をすることが、モノづくりへ影響を及ぼし、自分が住む地域や発展途上国の環境保全、地球規模の環境問題の改善にも貢献することを、紹介したのである。

この本でなされたスーパーチェーンの環境対策に対する星の評価は、業界第1位のSainsbury

に対し4つ星、第2位のTescoには3つ星であった。この問題提起の重要性を認識したTescoの経営陣は、環境対策を企業経営の最重要課題として取り上げ、取り組みを始める。1988年まで市場占有率が第1位であったSainsburyは、翌年の1989年には第2位に落ち、第2位であったTescoが逆転し第1位になる。1989年に刊行された続編のElkintonとHails (1989) では、Sainsburyの環境対策評価は4つ星のままであったが、Tescoのそれは5つ星の評価を得るのである。

このような市場占有率の逆転を引き起こすような大きな要因が他に考えられないため、この本に影響を受けた消費者の行動に変化が生まれたことが要因だともいわれる。そうであるならば、環境に配慮しながら買い物をしようとする人々がTescoに向かったといえる。環境を考えた消費者の行動が、スーパーマーケットチェーンという流通企業、さらにメーカーの環境対策への取り組みを促進させることに影響を与えることを認識させたという意味で、この本の意義は大きい。

時間を明示的に含むダイナミック・ゲームは、環境及び資源経済学では、汚染を扱う汚染ゲームや資源を扱う資源ゲームにおいて用いられている。資源制約と動学的ストック調整の下での意思決定を分析することを目的として、分析ツールとして活用されている。本稿の目的は、SainsburyとTescoのような競争関係にあるスーパーマーケットチェーンの環境対策費水準が、競争企業の市場占有率に影響を与えると仮定し、複占的市場における企業の環境対策費水準の動学的競争を、微分ゲームとしてモデル化し分析することにある。

2. モデル

市場占有率を争う立場にある2つのスーパー

マーケットチェーンの競争企業を考える。前提として、環境配慮型の消費者は、環境への配慮をして商品を購入しようとして、購買行動を変えると想定する。各競争の企業は、自社の環境対策費による環境対応が消費者の購買行動に大きな影響を及ぼすことを認識している。そこで、環境配慮型の商品の供給、サービス体制と店舗作りにいち早く対応しようとする。これは、SainsburyとTescoの事例といえよう。ここでは、企業のこのような環境対策費は、競争企業の購買消費者の消費行動へのみ影響を及ぼし、自社の市場占有率を高める効果をもたらすと考え。しかし、この環境対策費が、市場全体の規模の拡大に寄与することはここでは想定しない。

このような状況のモデル分析において、制御変数である環境対策費水準により、状態変数となる各企業の市場占有率がどのように推移するかを示す変遷方程式の設定の仕方が問題になる。Jorgenson (1982) のレビュー論文は、微分ゲームを用いた広告競争に関する初期の研究について、2つの重要な一般モデルについて言及している。ひとつは、VidalとWolfe (1957) が展開した独占的企業に関する売上－反応を分析したVidal-Wolfeモデルである。彼らは、広告費 A による製品の販売量の変化分 $\dot{S}(t)$ を、広告費の販売反応定数 $f(A)$ が、市場の最大の販売可能性の水準 M から t 時点に市場で実現された販売量水準 $S(t)$ を引いた部分に対して働く効果分と販売量水準の減衰分 δS からなるとし、

$$\dot{S} = \frac{dS}{dt} = f(A)(M - S) - \delta S = f(A)\left(1 - \frac{S}{M}\right) - \delta S \quad (1)$$

と定義する。ただし、 δ は販売額の減衰率を表す。Vidal-Wolfeモデルでは、独占的企業を想定しているため、広告費の効果は市場の未開拓

の部分への効果のみを仮定している。

もうひとつは、Kimball (1957) によって導入されたLanchesterの戦闘問題を定式化したLanchesterモデルである。このモデルの興味深い点は、売上高における利得と損失が、企業間の広告競争に直接起因すると考え、広告費の変化によって変動する市場占有率の動学的な本質を認識したことにある。Lanchesterモデルでは、Vidal-Wolfeモデルの販売反応定数にあたるものが、競争相手の売り上げに影響を及ぼすと仮定する。したがって、モデルでは、この販売反応定数は、競争相手の市場占有率にのみ影響を与えると想定する。複占的な状況にある2つの競争企業の広告費水準を A_1, A_2 とし、企業1と企業2の広告費水準が競争相手企業の市場占有率に与える反応定数を $f_i(A_i)$ ($i=1, 2$) と設定する。また、市場の潜在能力を意味する最大販売可能性の水準は、時間にわたって一定と仮定する。したがって、市場全体を1に標準化し、時間と共に変化する競争企業1の市場占有率を M とおくと、競争企業2の市場占有率は $(1-M)$ と表すことができる。Lanchesterモデルでは、企業1の市場占有率の変遷方程式は、

$$\dot{M} = \frac{dM}{dt} = f_1(A_1)(1-M) - f_2(A_2)M \quad (2)$$

と表されることになる。

本稿では、Erickson (2003) のLanchesterモデルを用いた広告費分析に依拠しつつ、スーパーマーケットが支出する環境対策費水準と市場占有率に関する動学的分析を行う。2つの競争企業は、無限視野にわたって割引された利益の流列を最大化することを目的とする。目的関数を

$$J^i = \int_0^\infty e^{-rt} \{ \pi_i x_i(t) - E_i \} dt, \quad i=1, 2. \quad (3)$$

とおく。 x_i ($i=1, 2$) は企業1と企業2の市場占有率を、また、パラメーター $\pi_i > 0$ ($i=1, 2$)

は、それぞれの競争的企業の市場占有率1単位あたりの収益を示すものとする、いいかえると、 π_i は市場占有率1単位あたりの経済価値を表している。さらに、制御変数を、競争的企業である2つのスーパーマーケットチェーンの時間 t における環境対策費水準を、 $E_i(t)$ ($i=1, 2$) で表す。ただし、 $r > 0$ は割引率で、2つの競争企業にとって等しいものとする。また、計画期間を無限視野としたため、目的関数において企業の残存価値は考慮していない。

ここで、市場全体を1に標準化したことから、競争企業1の市場占有率を x_1 とすると、競争企業2の市場占有率は $(1-x_1)$ と表すことができる。したがって、目的関数(3)は、競争企業ごとに、

$$J^1 = \int_0^\infty e^{-rt} \{ \pi_1 x_1(t) - E_1 \} dt \quad (4)$$

$$J^2 = \int_0^\infty e^{-rt} \{ \pi_2 (1-x_1(t)) - E_2 \} dt \quad (5)$$

と表すことができる。

環境対策費水準がもたらす企業努力の成果は、競争相手企業の消費者にのみ影響を及ぼし、競争相手から環境配慮型消費者を奪うことにより自社の市場占有率を高める効果として実現される。その効果を示す環境対策費水準の反応関数を $f(E_i)$ ($i=1, 2$) として、環境対策費水準 $E_i(t)$ の関数として表す。状態変数である競争企業1の市場占有率 x_1 は、次の変遷方程式

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= f(E_1)[1-x_1(t)] - f(E_2)x_1(t), \\ x_1(0) &= x_0 \in [0, 1]. \end{aligned} \quad (6)$$

にしたがって推移するものとする。

ここで、環境対策費水準の反応関数を $f(E_1) = E_1^\alpha$, $f(E_2) = E_2^\beta$ と特定化すると、変遷方程式(6)は、

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= E_1^\alpha [1 - x_1(t)] - E_2^\beta x_1(t), \\ x_1(0) &= x_0 \in [0, 1].\end{aligned}\quad (7)$$

となる。

3. Open-Loop 解

プレーヤーである 2 つの競争企業が非協力的に行動するときの、環境対策費水準のナッシュ均衡解を求める。ダイナミック・ゲームでは、仮定されている情報構造によって得られる解がことなることになる。ここでは、各プレーヤーは、各時点における状態変数に関する情報は持っておらず、制御変数は時間と状態変数の初期値の関数であると考ええる。このように仮定し、問題(4), (5), (7)のOpen-Loop解を求める。

Open-Loop戦略をとる場合とは次のような場合である。各競争企業が、相手企業の制御変数である環境対策費水準の時間経路を所与として、変遷方程式の制約のもと、自社の生涯利得の割引現在価値を最大にするような毎期の戦略変数である環境対策費水準の流列を初期に決めて、それを忠実に実行することを仮定している。したがって、Open-Loop戦略では、制御変数である環境対策費水準は、時間 t のみの関数となり $E_i(t)$ ($i=1, 2$) となる。

現在価値ハミルトニアンは、

$$H_1 = \pi_1 x_1 - E_1 + \lambda_1 [E_1^\alpha (1 - x_1) - E_2^\beta x_1] \quad (8)$$

$$H_2 = \pi_2 (1 - x_1) - E_2 + \lambda_2 [E_1^\alpha (1 - x_1) - E_2^\beta x_1] \quad (9)$$

となる。ただし、 λ_i ($i=1, 2$) は現在価値共役状態変数である。最適化の 1 階条件は次のようになる。

$$\frac{\partial H_1}{\partial E_1} = -1 + \lambda_1 \alpha E_1^{\alpha-1} (1 - x_1) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial H_2}{\partial E_2} = -1 + \lambda_2 \beta E_2^{\beta-1} x_1 = 0 \quad (11)$$

$$\dot{\lambda}_1 = r\lambda_1 - \frac{\partial H_1}{\partial x_1} = (r + E_1^\alpha + E_2^\beta) \lambda_1 - \pi_1 \quad (12)$$

$$\dot{\lambda}_2 = r\lambda_2 - \frac{\partial H_2}{\partial x_1} = (r + E_1^\alpha + E_2^\beta) \lambda_2 + \pi_2 \quad (13)$$

ここで、まず、(10)と(11)から λ_1, λ_2 を求めると、

$$\lambda_1 = \frac{E_1^{1-\alpha}}{\alpha(1-x_1)} \quad (14)$$

$$\lambda_2 = \frac{E_2^{1-\beta}}{\beta x_1} \quad (15)$$

となる。この現在価値共役状態変数 λ_1, λ_2 は(12), (13)の動学的制約式に従う必要がある。そこで、(14)と(15)の λ_1, λ_2 を時間 t で微分して $\dot{\lambda}_1, \dot{\lambda}_2$ を求めると、

$$\begin{aligned}\dot{\lambda}_1 &= \frac{d\lambda_1}{dt} = \frac{\partial \lambda_1}{\partial E_1} \frac{dE_1}{dt} + \frac{\partial \lambda_1}{\partial x_1} \frac{dx_1}{dt} \\ &= \frac{E_1^{1-\alpha}}{\alpha(1-x_1)} \left(\frac{(1-\alpha)\dot{E}_1}{E_1} + E_1^\alpha - \frac{E_2^\beta x_1}{1-x_1} \right) \quad (16)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{\lambda}_2 &= \frac{d\lambda_2}{dt} = \frac{\partial \lambda_2}{\partial E_2} \frac{dE_2}{dt} + \frac{\partial \lambda_2}{\partial x_1} \frac{dx_1}{dt} \\ &= \frac{-E_2^{1-\beta}}{\beta x_1} \left(\frac{(1-\beta)\dot{E}_2}{E_2} \right) + E_2^\beta - \frac{E_1^\alpha (1-x_1)}{x_1} \quad (17)\end{aligned}$$

がえられる。この(16)と(17)の $\dot{\lambda}_1, \dot{\lambda}_2$ を、(12)と(13)の左辺に代入し整理すると、 \dot{E}_1, \dot{E}_2 は(18), (19)のように表すことができる。

$$\dot{E}_1 = \frac{E_1}{(1-\alpha)} \left(r + \frac{E_2^\beta}{(1-x_1)} - \frac{\pi_1 \alpha (1-x_1)}{E_1^{1-\alpha}} \right) \quad (18)$$

$$\dot{E}_2 = \frac{E_2}{(1-\beta)} \left(r + \frac{E_2^\beta}{x_1} - \frac{\pi_2 \beta x_1}{E_2^{1-\beta}} \right) \quad (19)$$

ここで、定常状態における企業 1 の市場占有率と競争企業間の相対的な環境対策費水準の関係を求める。まず、(7)において $\dot{x}_1 = 0$ とおくと、

$$\frac{x_1}{1-x_1} = \frac{E_1^\alpha}{E_2^\beta} \quad (20)$$

をえる。(20)から競争企業 1 の市場占有率を x_1

を求めると

$$x_1 = \frac{E_1^\alpha}{E_1^\alpha + E_2^\beta} \quad (21)$$

がえられる。また、(18)において $\dot{E}_1 = 0$ とおき、式を整理すると次式をえる。

$$\frac{\pi_1 \alpha (1 - x_1)^2}{E_1^{1-\alpha}} - r(1 - x_1) - E_2^\beta = 0 \quad (22)$$

さらに、(20)より $(1 - x_1)$ を求めると、

$$1 - x_1 = (E_2^\beta / E_1^\alpha) x_1$$

となる。この式の右辺の x_1 に(21)を代入し $(1 - x_1)$ を求める。求めた $(1 - x_1)$ を(22)へ代入し、整理した式の両辺を E_2^β で割ると、

$$\frac{\pi_1 \alpha}{E_1^{1-\alpha}} \cdot \frac{E_2^\beta}{(E_1^\alpha + E_2^\beta)^2} = 1 + \frac{r}{E_1^\alpha + E_2^\beta} \quad (23)$$

を得る。(23)の式を整理すると、

$$E_2^\beta = \frac{E_1^{1-\alpha}}{\alpha \pi_1} (E_1^\alpha + E_2^\beta) (E_1^\alpha + E_2^\beta + r) \quad (24)$$

が得られる。

同様にして、 E_1^α を求めると、

$$E_1^\alpha = \frac{E_2^{1-\beta}}{\beta \pi_2} (E_1^\alpha + E_2^\beta) (E_1^\alpha + E_2^\beta + r) \quad (25)$$

となる。次に、(24)、(25)を(20)に代入すると

$$\frac{x_1}{1 - x_1} = \frac{E_1^\alpha}{E_2^\beta} = \frac{\alpha \pi_1 E_2^{1-\beta}}{\beta \pi_2 E_1^{1-\alpha}} \quad (26)$$

が導出される。(26)から E_1/E_2 を求めると、

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\alpha \pi_1}{\beta \pi_2} \quad (27)$$

を得る。

これから、定常状態における相対的な環境対策費水準は、環境対策費水準の反応関数 $f(E_1) = E_1^\alpha$ 、 $f(E_2) = E_2^\beta$ の α と β の相対的な値 α/β と、競争的企業の市場占有率 1 単位あたりの収益を示す π_1 と π_2 、いいかえると、市場占有率 1 単位あたりの経済的価値の相対的な値 π_1/π_2 に依存することがわかる。また、(20)より、相対的な市場占有率は、

$$\frac{x_1}{1 - x_1} = \frac{E_1^\alpha}{E_2^\beta} = \frac{(\alpha \pi_1)^\alpha}{(\beta \pi_2)^\beta} \quad (28)$$

となることがわかる。また、ここでは、 $\alpha \neq \beta$ を仮定しているが、 $\alpha = \beta$ の場合には、相対的な市場占有率は、市場占有率 1 単位当たりの経済的価値の比の値に依存することになる。

4 おわりに

環境への配慮を考慮して商品を購入しようとして、購買行動を変える消費者を想定し、環境対策費水準を制御変数として、市場占有率を争う 2 つの競争企業の行動を、微分ゲームとして分析を行った。プレーヤーである 2 つの競争企業は、各時点における状態変数に関する情報は持っておらず、制御変数は時間と状態変数の初期値の関数とする情報構造を仮定して、Open-Loop 解を求めた。しかし、Open-Loop 戦略では、均衡経路から外れてしまうと、元の均衡戦略は好ましいものではなくなる。(7)の $x_1(t)$ は初期の市場占有率 $x_1(0) = x_0$ に依存しているため、競争相手企業の環境対策費水準からのシグナルに反応するための、柔軟性を少しも認められてはいないということに留意する必要がある。

とはいえ、モデル分析の結果、定常状態における相対的な環境対策費水準が、特定化した反応関数の α/β と、また、競争的企業の市場占有率 1 単位あたりの収益の比率 π_1/π_2 に依存することがわかった。このことより、変遷方程式の反応関数をどのように特定化するかが今後の課題の一つである。

参考文献

- Chaiang, A. C. (1992), *Elements of Dynamic Optimization*. New York: McGraw-Hill. (小田正雄・仙波憲一・高森寛・平澤典男訳 (2006)『動学的最適化の基礎』シーエービー出版。)
- Eikington, J. and J. Hailes (1988), *The Green Consumer*

- Guide*. London: Victor Gollancz.
- Eikington, J. and J. Hailes (1989), *The Green Consumer's Supermarket Shopping Guide*. London: Victor Gollancz.
- Leonard, D. and Long, N. V. (1988), *Optimal Control Theory and Static Optimization in Economics*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Dockner, E. J., S. Jorgensen, N. V. Long, G. Sorger (2000), *Differential Games in Economics and Management Science*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Erickson, G. M. (1995), "Invited Review Differential game models of advertising competition," *European Journal of Operational Research*, vol.83, pp.431-438.
- Erickson, G. M. (2003), *Dynamic Models of Advertising Competition*. Boston : Kluwer Academic Publishers.
- Friesz, T. L. (2010), *Dynamic Optimization and Differential Games*. Heidelberg : Springer.
- Jorgensen, Steffen (1982), "A survey of Some Differential Games in Advertising," *Journal of Economics Dynamics and Control*, vol.4 (November), pp.341-369.
- Kamien, M. I. and N. L. Schwartz, (1981), *Dynamic Optimization: The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management*. New York : Elsevier Science Publishing.
- Kimball, G. D. (1957), "Some Industrial Applications of Military Operations Research Methods," *Operation Research*, vol.5 (April), pp.201-204.
- Sorger, G. (1989), "Competitive Dynamic Advertising A Modification of the Casa Game," *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol.13, pp.55-80.
- Vidal, M. L. and H. B. Wolfe (1957), "An Operation Research Study of Sales Response to Advertising," *Operation Research*, vol.5 (June), pp.370-381.