

# 環境配慮型製品は生き残れるか

## - エージェントシミュレーションによる分析 -

### Survival of environment-conscious product.

大野 文夫\*<sup>1</sup>      高橋 大志\*<sup>2</sup>      寺野 隆雄\*<sup>1</sup>  
 Fumio OONO      Hiroshi TAKAHASHI      Takao TERANO

\*<sup>1</sup>東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻  
 Department of Computational Intelligence and Systems Science, Tokyo Institute of Technology.

\*<sup>2</sup>慶應義塾大学大学院経営管理研究科  
 Graduate School of Business Administration, Keio University.

This paper analyzes the survival of environment-conscious products (ECP) under an environmental regulation by Agent-Based Simulation. In this analysis, the corporate activities, consumers' purchasing behavior and governmental activities are simulated. Specifically, this paper focuses on the number of ECP resulting from various environmental tax rates on gasoline price. As a result, the number of ECP can increase more than the increase rate of consumer intending to purchase ECP.

## 1. はじめに

近年、地球規模での環境問題が関心を集めており、環境利用の抑制などを通じた持続可能な社会システムの構築は社会全体の重要な課題になっている。

環境問題への対応には政策が重要な役割を果たすが、環境問題には様々なステークホルダーが関与していることから、環境政策を検討する上では、社会全体の利害を分析、調整し、政策や規制、補助金などの制度を設計する必要がある、解決策を見つけるのが困難である。

現実の社会においては、いくつかの環境規制が施行されてきたものの、導入する規制の有効性の評価に関しては、十分な議論が行われているとは言い難い[有村, 岩田 2011]. このような背景のもと本研究では、環境規制の有効性の評価を行うことを目的とし、エージェントシミュレーションを用いて規制を施行する行政、環境負荷のある製品を開発・販売する企業、そして、製品を購入する消費者が存在する経済における環境配慮型製品数についての分析を行う。

## 2. モデル

本研究に用いたモデルは、1つの国、複数の企業、多数の消費者からなる自動車市場のモデルである(図1). 市場には環境配慮型製品と環境配慮型製品以外の製品(以下、非環境配慮型製品)の2種類が存在するものとした。また、最終的にGDPや税金などの経済性の指標や環境負荷量、環境配慮型製品数などを用いて分析を行う。

### 2.1 国の行動のモデル化

国は企業に対し環境配慮型製品を開発・販売させることを目的として、環境規制を施行する。環境規制の手法にはいくつかの方法があるが、本研究では経済的手法[前田 2010, 栗山, 馬奈木 2008]を採用し、ガソリンに課税するものとした。また、国は毎年、利益の出ている企業から、利益に税率をかけた税金を徴収するものとした。

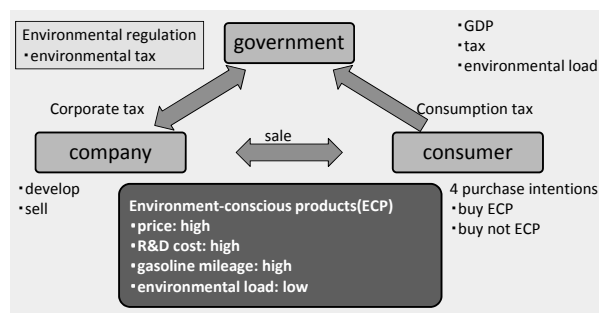


図 1: モデル概要

### 2.2 企業のモデル化

企業は、国の規制に従い環境配慮型製品を開発・販売するかどうかについて、製品の売上高に基づいて決定する。各企業は最初に非環境配慮型製品を3製品持っており、環境規制が施行されると、最初の環境配慮型製品の開発を確率的に行う。そして、3回目の開発時には少なくとも1回は環境配慮型製品を開発・販売するものとした。最初の環境配慮型製品の開発後は、各企業が持つ環境配慮型製品もしくは非環境配慮型製品のうち1製品当たりの平均売上高が高い方の製品を次に開発・販売するものとした。また、各企業が持つ全ての製品が環境配慮型製品か非環境配慮型製品のどちらか一方となった場合、当該企業が開発周期の最後に売上順位の低位70%の企業であるときは、上位30%の企業のうちランダムに選択された1社の直近の製品を次の開発時に開発・販売するものとした。

なお、開発・販売日は全企業で同日であり、販売した製品が消費者に購入された場合は、製品の価格全額を売上計上し、製品の価格に利益率をかけた金額を利益として計上するものとした。また、製品の開発時には、利益から開発費が差し引かれるものとした\*<sup>1</sup>。

連絡先: 大野文夫, 〒 226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259, oono.f.aa@m.titech.ac.jp

\*<sup>1</sup> 価格、開発費は、環境配慮型製品と非環境配慮型製品で異なる。

### 2.3 消費者のモデル化

環境配慮型製品は製品価格は高いが、年間走行距離と燃費、ガソリン価格から計算される維持費は非環境配慮型製品に比べて安くなる\*2。本研究では、消費者は以下に示す年間走行距離と購買志向、また環境配慮型製品の購入にかかる費用負担の許容額を持つものとした。そして、各自の志向及び年間走行距離とガソリン価格より計算される利得に基づき、(1) 販売されている環境配慮型製品、もしくは、(2) 非環境配慮型製品を購入するものとした。なお、消費者が製品を購入した時点において、環境に対し一定量の環境負荷をかけるものとした\*3。

#### 1) 走行距離

各消費者は、1,000km から 20,000km まで 1,000km 単位の 20 通りの年間走行距離のうち 1 つを持つ。各年間走行距離に対する消費者数は、10,000km を平均、5,000km を標準偏差とする正規分布に基づいた人数とした。

#### 2) 購買志向

各消費者は、以下の 4 種類の購買志向のうち 1 つを持つ。

##### a) 環境志向

環境志向で、常に環境配慮型製品を購入する。

##### b) 環境経済志向

以下の式で表される環境配慮型製品購入にかかる費用負担額が、各自の持つ許容額以下であれば環境配慮型製品を購入する\*4。なお、全ての消費者が製品の価格差の間のランダムな値を各自の費用負担許容額として持つものとした。

$$\begin{aligned} \text{費用負担額} &= \text{製品価格差} - \text{ガソリン価格} * \text{購買周期} \\ &\quad * \left( \frac{\text{年間走行距離}}{\text{非環境配慮型製品の燃費}} \right. \\ &\quad \left. - \frac{\text{年間走行距離}}{\text{環境配慮型製品の燃費}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

##### c) 経済志向

式 (1) で表される環境配慮型製品購入にかかる費用負担額がマイナス\*5であれば環境配慮型製品を購入する。

##### d) 非環境非経済志向

常に非環境配慮型製品を購入する。

各購買志向に対する消費者数の初期値については、普及理論\*6を参考に、a) を全消費者数の 2.5%、b) を 47.5%、c) を 34%、d) を 16%とした\*7。なお、本研究では、普及理論の初期採用者と初期多数採用者を 1 つにまとめている。また、市場にある環境配慮型製品数により、消費者の購買志向が変化するものとした。各志向の消費者数の初期値と変化のルールを表 1 に示す。具体的には、環境配慮型製品数が市場にある 30 製品の 1/3、半数、2/3 より多くなるか少なくなると、各志向の 30%の人が他の志向に変化するものとした。

\*2 製品による維持費の差は、ガソリン価格が高いほど、また年間走行距離が長いほど大きい。

\*3 環境負荷量は、環境配慮型製品と非環境配慮型製品で異なる。

\*4 ガソリン価格は毎年始めに変化し、年間走行距離は消費者毎に異なることから、各消費者の費用負担額は毎年変化する。

\*5 製品価格差よりも維持費の差が大きいため、環境配慮型製品を購入した方が得をすることを意味する。

\*6 普及理論では、新製品が導入された場合の潜在消費者について、その製品の採用時期により、市場全体をイノベータ 2.5%、初期採用者 13.5%、初期多数採用者 34%、後期多数採用者 34%、採用遅滞者 16%に分類している。

\*7 普及理論では、新製品の採用時期により市場を分類しており、本研究の製品価格差による消費者の志向の分類とは完全には一致しない。本研究では、環境配慮型製品を新製品とし、製品価格差も採用時期にある程度の影響を与えたと考え、消費者の初期割合を定義するために普及理論を参考にした。

表 1: 消費者数の変化

Intention.	Initial ratio.	If ECP exceeding 11 or 16 or 21.	If ECP falling 19 or 14 or 9.
a	2.5%	-	30%*3/4 to b 30%*1/4 to d
b	47.5%	30% to a	30%*3/4 to c 30%*1/4 to d
c	34%	30% to b	30%*1/4 to d
d	16%	30% to a,b,c	-

なお、各消費者の購買時期に環境配慮型製品か非環境配慮型製品のどちらか 1 種類の製品しか市場にないときは、全ての消費者が市場にある製品を購入する。

### 2.4 定数の設定

本研究で用いた定数を付録 A に示す。分析期間は、耐久財を扱うことから 25 年とした。消費者の購買周期は、2009 年度の自動車平均保有期間 7.3 年 [日本自動車工業会] から 7 年とし、企業の開発周期は 6 年 [環境省] とした。企業数は、日本と海外の自動車メーカを参考に 10 社とし、各社は 3 製品を開発・販売するものとした。従って、製品は市場に 30 製品あり、2 年毎に 1 製品が開発・販売されるものとした。消費者数は、13,500(x1,000) 人とした\*8。なお、本シミュレーションでは、1,000 人を 1 単位として設定を行う。

製品の開発費は、環境配慮型製品の場合はプリウスを参考に 800 億円 [環境省]、非環境配慮型製品の場合は 400 億円 [環境省] とした。製品価格もプリウスを参考に、環境配慮型製品の価格を 260 万円、非環境配慮型製品の価格を 200 万円とした\*9。燃費についても、同様にして、環境配慮型製品の燃費 35.5km、非環境配慮型製品の燃費 17.75km とした [国土交通省]。製品から排出される環境負荷量は、燃費性能を評価して環境配慮型製品 5、非環境配慮型製品 10 とした。

消費者が製品を購入する際にかかる消費税率は、日本の消費税率 5%とした。企業の利益率は、日本の自動車メーカの中で、乗用車をメインとする 7 社の 2010 年度の営業利益率の平均を基に 4.3%とし、企業にかかる税率は、日本の法人税率を参考に 40%とした。また、企業に対する国の評価は、製品の開発と同時に進められるものとして 2 年毎とした。そして、異時点間の金額比較に用いる割引率は 0 として分析を行った。

### 2.5 変数の設定

本研究では、国は環境規制として経済的手法を採用し環境税をガソリンに課するものとした。ガソリン価格は、毎年変化するものとし、基準価格を 106 円から 182 円とした\*10。そして、中間値 144 円に対する税率を変化させるものとした (表 2)。

表 2: 基準価格と税率 50%の場合の価格

	0% (Base price)	50%
Gasoline price (yen)	144 ± 38	216 ± 38

\*8 2010 年 4 月から 2011 年 3 月までの新車販売台数トップ 30 [日本自動車販売協会連合会] の 1,895,290 台を 30 で割った 1 車種当たりの平均売上台数 63,176 に、市場にある製品数 30 をかけ、さらに、購買周期をかけた値を参考にした。

\*9 プリウスと同型程度の自動車を 6 台抽出し、プリウスとの価格比較を行った結果、価格比がおおよそ 1.3 であることから求めた。

\*10 2007 年 8 月から 2012 年 7 月までの東京都都区部でのガソリン小売価格 [総務省] は、最高値が 182 円で最低値が 106 円であった

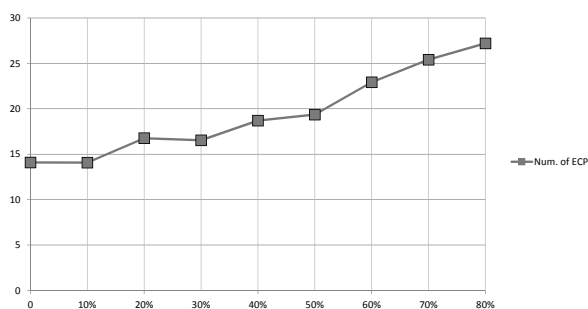


図 2: 環境配慮型製品数

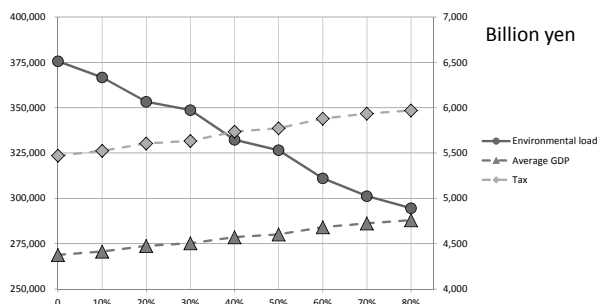


図 3: 環境負荷量, GDP 年平均, 税金

### 3. 結果

本結果では、2.5 で示した環境税率を 10% から 80% まで変化させて 30 回シミュレーションを行った結果を記している。

#### 3.1 環境配慮型製品数

30 回シミュレーションを行った結果、最終年で販売されている環境配慮型製品数の平均を図 2 に示す。本結果から、基準価格では最終的な環境配慮型製品数は半数以下であり、環境税率が 50% を超えたところで、最終的に市場にある環境配慮型製品数が 20 を超え、増加のスピードが上がるのがわかった。具体的には、環境配慮型製品数の増加の割合の平均は、0% から 50% までが税率 10% あたり約 1.1 であるのに対し、50% から 80% までが約 2.6 であり、約 150% 増加していることがわかった。

#### 3.2 環境負荷量, GDP 年平均, 税金

製品の購入時に排出される環境負荷の総量を最終年で集計した。また、1 年毎の全企業の売上を GDP とし、最終的な年平均を集計した。さらに、利益の出ている企業が収める税金及び消費税を最終年で税金として集計した。これらの 3 つの指標の結果の平均を図 3 に示す。本結果から、3 つの指標とも環境税率が 0% から 80% まで、ほぼ一定の割合で変化していることがわかった。環境配慮型製品数の結果と同様に、0% から 50% までと 50% から 80% までの税率 10% に対する変化の割合の平均を比較した結果は、環境負荷量が約 9% の減少、GDP の年平均が約 14% の増加、税金が約 8% の増加となっており、環境配慮型製品数ほどには変化しないことがわかった。

### 4. 考察

本研究では、消費者は各自の志向及び走行距離とガソリン価格から計算される利得に基づいて製品を購入する。つまり、ガソリン価格が高くなる方が環境配慮型製品を購入する消費者

が増加する。また、市場にある環境配慮型製品数が全製品数の 1/3、半数、2/3 より多くなるか少なくなるときに消費者の志向の変化が起こる。このことから、環境配慮型製品数が 15 と 20 を超えることが重要なポイントになる。環境配慮型製品数は、環境税率が 10% を超えたところで半数を超え、50% を超えたところで 2/3 を超えている。また、環境配慮型製品が半数を超える前の 10% から 50% までの増加の割合の平均は税率 10% あたり約 1.3 であり、2/3 を超えたときの方が変化の割合が大きかった。

本結果の環境税率が 50% から 80% にかけての環境配慮型製品数の増加の割合に対して、環境負荷量、GDP の年平均、税金の変化の割合が小さいことから、市場にある環境配慮型製品数の増加に対し、実際に購入されている環境配慮型製品数が少ないことを示唆している。3 つの指標からは、ガソリンにかかる環境税率が増加するに伴い、環境配慮型製品を購入する消費者はほぼ一定で増加していることがわかる。つまり、環境税率が 50% を超えたところで環境配慮型製品数が大きく増加したことを示唆している。このことから、環境配慮型製品を購入する消費者の増加割合以上に、企業は売上に基いて環境配慮型製品の開発・販売を進めたと考えられる。

### 5. おわりに

環境規制には、規制に従うことで環境が改善される一方で、規制に従うための追加的なコストが必要になるというトレードオフの関係が存在する。このことから、環境規制は、規制としての強制力を持つだけでなく、企業や消費者にとっても規制に従うことがメリットになるような方法で施行されることが望ましい。本研究では、環境規制の手法の中で経済主体のインセンティブを重視した規制である経済的手法に注目し、ガソリンに環境税が課せられた場合の環境配慮型製品数についてエージェントシミュレーションを用いて分析を行った。分析の結果、環境配慮型製品を購入する消費者の増加割合以上に、環境配慮型製品数が大きく増加することがあることがわかった。

また、本研究では、企業の製品開発や消費者の購買行動に影響を与える最も重要な要因の 1 つが売上や費用などの経済性であるとしてモデル化を行った。消費者は、主に製品の価格差に基づいて製品を購入するものとし、企業も売上のみに基づいて製品を開発するものとした。また、消費者の志向は与えられたモデルに基づいて変化するものとした。今後の課題としては、様々な効用に基づく企業や消費者の行動などのエージェントの多様性を含む現実の側面を取り込んだより詳細なモデル化などが挙げられる。

### 参考文献

[有村, 岩田 2011] 有村, 岩田: 環境規制の政策評価, 上智大学出版 (2011)

[前田 2010] 前田章: ゼミナール環境経済学入門, 日本経済新聞出版社 (2010)

[栗山, 馬奈木 2008] 栗山, 馬奈木: 環境経済学をつかむ, 有斐閣 (2008)

[日本自動車工業会] 日本自動車工業会: <http://www.jama.or.jp>

[環境省] 環境省: 自動車の開発動向と普及見通し, <http://www.env.go.jp/air/report/h21-01/2.pdf>

表 3: パラメータリスト

No.	Parameters	Values
1	Period of simulation (year)	25
2	Purchase cycle (year)	7
3	Development cycle (year)	6
4	Num. of companies	10
5	Num. of products for one company	3
6	Num. of consumers (X1,000)	13,500
7	R&D cost 1 (thousand yen)	80,000,000
8	R&D cost 2 (thousand yen)	40,000,000
9	Price 1 (thousand yen)	2,600
10	Price 2 (thousand yen)	2,000
11	Gasoline Mileage 1 (km)	35.5
12	Gasoline Mileage 2 (km)	17.75
13	Environmental load 1	5
14	Environmental load 2	10
15	Consumption tax rate (%)	5
16	Profit rate (%)	4.3
17	Corporate tax rate (%)	40
18	Evaluation cycle (year)	2
19	Discount rate (%)	0

[国土交通省] 国土交通省：自動車燃費一覧 (平成 23 年 3 月),  
<http://www.mlit.go.jp/common/000139544.pdf>

[総務省] 総務省・政策統括官 (統計基準担当)・統計研修所：  
 自動車ガソリン (銘柄符号：7301) の東京都区部の小売  
 価格 (昭和 41 年～最新月),  
<http://www.stat.go.jp/data/kouri/8.htm>

[日本自動車販売協会連合会] 日本自動車販売協会連合会：  
<http://www.jada.or.jp>

## A Parameter list.

本研究で用いるパラメータのリストを表 3 に示す.