

Title	環境保護政策と企業戦略に関する研究：エージェントベースモデルを用いた研究
Sub Title	
Author	大野, 文夫(Ono, Fumio) 高橋, 大志(Takahashi, Hiroshi)
Publisher	慶應義塾大学大学院経営管理研究科
Publication year	2011
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	<p>近年、地球温暖化、生物多様性などの地球規模での環境問題が関心を集めている。環境問題は特定の地域、特定のステークホルダー、そして特定の学問分野に限定されない社会全体に関わる問題である。また、人間が将来にわたり持続可能な発展をするためには、これらの諸問題を解決していく必要がある。このような状況の中で、環境問題に対する対策手法としては、トップダウン型の方法と、ボトムアップ型の方法がある。後者については、環境対策のコストが増加することから組織の自発的な環境対策への行動は起こりにくいと考えられることから、環境対策においてはトップダウン型の環境対策が重要となる。これらを背景とし、本研究では、環境政策や規制の有効性の評価を行うことを目的とする。とりわけ、国による環境政策と企業戦略の維持期間と消費者の購買行動の変化による影響に焦点を当てた分析を行う。</p> <p>本論文では、エージェントベースモデルによる分析を行う。分析遂行のため、3種類のエージェント（国、企業、消費者）のモデル化および市場環境の構築を行なった。国のモデル化に関しては、(1)定められた環境規制に従わない企業に注意を与える、(2)注意の回数により企業に対し罰則を課す場合もあるなどのモデル化を行なった。企業のモデル化に関しては、(1)各企業は、複数ある戦略から1つの戦略を選択、(2)選択した戦略により、環境配慮型の製品を開発・販売するか、環境配慮型でない製品を開発・販売するかが決定される、(3)企業は、戦略の見直しを行うなどのモデル化を行なった。消費者のモデル化に関しては、(1)複数ある購買志向から1つを選択すると、環境配慮型製品を購入するか、環境配慮型製品以外の製品を購入するかが決まるなどのモデル化を行なった。評価基準としては、国の経済性の指標としてGDPと税金を採用した。また、規制の有効性の指標として、環境負荷量や最終的に残る規制に従う企業数を用いて評価を行うものとした。</p> <p>分析の結果、(1)罰則がない場合、常に規制に従う企業が残ることが少ないこと、(2)企業の戦略の維持期間による影響は小さいこと、(3)規制の有効性については消費者の購買動向の変化が重要であることなどの興味深い現象を見出した。これらの結果は、環境政策において、消費者の動向に影響を与える制度設計が重要であることを示唆するものである。また、本研究は、環境政策の分析を行う際に、エージェントベースモデルの有効性を示すものである。</p> <p>今後の課題としては、現実の側面を取り込んだより詳細なモデル化、環境政策に関する制度設計などが挙げられる。</p>
Notes	修士学位論文. 2011年度経営学 第2625号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40003001-00002011-2625

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

慶應義塾大学大学院経営管理研究科修士課程

学位論文 2011 年度

論文題名

環境保護政策と企業戦略に関する研究
- エージェントベースモデルを用いた研究 -

主 査	高橋 大志 准教授
副 査	大林 厚臣 教授
副 査	林 高樹 教授
副 査	

2012 年 3 月 1 日 提出

学籍番号	81030222	氏 名	大野 文夫
------	----------	-----	-------

論文要旨

所属ゼミ	高橋大志 研究会	学籍番号	81030222	氏名	大野 文夫
(論文題名)					
環境保護政策と企業戦略に関する研究 - エージェントベースモデルを用いた研究 -					
(内容の要旨)					
<p>近年、地球温暖化、生物多様性などの地球規模での環境問題が関心を集めている。環境問題は特定の地域、特定のステークホルダー、そして特定の学問分野に限定されない社会全体に関わる問題である。また、人間が将来にわたり持続可能な発展をするためには、これらの諸問題を解決していく必要がある。このような状況の中で、環境問題に対する対策手法としては、トップダウン型の方法と、ボトムアップ型の方法がある。後者については、環境対策のコストが増加することから組織の自発的な環境対策への行動は起こりにくいと考えられることから、環境対策においてはトップダウン型の環境対策が重要となる。これらを背景とし、本研究では、環境政策や規制の有効性の評価を行うことを目的とする。とりわけ、国による環境政策と企業戦略の維持期間と消費者の購買行動の変化による影響に焦点を当てた分析を行う。</p> <p>本論文では、エージェントベースモデルによる分析を行う。分析遂行のため、3種類のエージェント（国、企業、消費者）のモデル化および市場環境の構築を行なった。国のモデル化に関しては、(1) 定められた環境規制に従わない企業に注意を与える、(2) 注意の回数により企業に対し罰則を課す場合もあるなどのモデル化を行なった。企業のモデル化に関しては、(1) 各企業は、複数ある戦略から1つの戦略を選択、(2) 選択した戦略により、環境配慮型の製品を開発・販売するか、環境配慮型でない製品を開発・販売するかが決定される、(3) 企業は、戦略の見直しを行うなどのモデル化を行なった。消費者のモデル化に関しては、(1) 複数ある購買志向から1つを選択すると、環境配慮型製品を購入するか、環境配慮型製品以外の製品を購入するかが決まるなどのモデル化を行なった。評価基準としては、国の経済性の指標としてGDPと税金を採用した。また、規制の有効性の指標として、環境負荷量や最終的に残る規制に従う企業数を用いて評価を行うものとした。</p> <p>分析の結果、(1) 罰則がない場合、常に規制に従う企業が残ることが少ないこと、(2) 企業の戦略の維持期間による影響は小さいこと、(3) 規制の有効性については消費者の購買動向の変化が重要であることなどの興味深い現象を見出した。これらの結果は、環境政策において、消費者の動向に影響を与える制度設計が重要であることを示唆するものである。また、本研究は、環境政策の分析を行う際に、エージェントベースモデルの有効性を示すものである。</p> <p>今後の課題としては、現実の側面を取り込んだより詳細なモデル化、環境政策に関する制度設計などが挙げられる。</p>					

目次

1. はじめに	1
2. 関連研究	3
2.1 環境問題	3
2.2 持続可能な発展	4
2.3 ステークホルダー	4
2.4 環境規制による技術革新	6
2.5 規制法と実施過程について	6
2.6 エージェントベースシミュレーション	7
2.7 問題意識	8
3. 研究目的	9
3.1 目的	9
3.2 研究手法	9
3.3 研究手順	10
4. モデル	11
4.1 モデル概要	11
4.2 国のモデル	12
4.3 企業のモデル	13
4.4 消費者のモデル	15
4.5 指標	17
4.6 パラメータの設定	17
5. 分析結果	19
5.1 各企業が 1 製品を開発・販売する場合	19
5.1.1 変数の設定	19
5.1.2 常に規制に従う企業数	20
5.1.3 環境配慮型製品を販売している企業数	20

5.1.4	GDP、税金および環境負荷量.....	21
5.1.5	結果のまとめ.....	21
5.2	各企業が3製品を開発・販売する場合.....	23
5.2.1	変更点.....	23
5.2.2	変数の設定.....	23
5.2.3	常に規制に従う企業数.....	25
5.2.4	環境配慮型製品を販売している企業数.....	25
5.2.5	GDP、税金および環境負荷量.....	26
5.2.6	結果のまとめ.....	26
5.3	追加政策がある場合.....	27
5.3.1	変更点.....	27
5.3.2	変数の設定.....	27
5.3.3	常に規制に従う企業数.....	29
5.3.4	環境配慮型製品を販売している企業数.....	31
5.3.5	GDP、税金および環境負荷量.....	32
5.3.6	結果のまとめ.....	33
5.4	考察.....	34
5.4.1	消費者の購買動向の変化.....	34
5.4.2	行政法の実施過程.....	37
5.4.3	本研究の課題.....	37
6.	結論.....	39
	参考文献.....	40
	付録.....	41
	謝辞.....	107

表 1	国のモデル	12
表 2	企業のモデル	14
表 3	消費者のモデル	16
表 4	定数の設定	18
表 5	変数の設定	19
表 6	変数の設定	19
表 7	常に規制に従う企業	20
表 8	環境配慮型製品を販売する企業	21
表 9	環境負荷量、GDP、税金	21
表 10	消費者の変更点	23
表 11	変数の設定	23
表 12	変数の設定	24
表 13	常に規制に従う企業	25
表 14	環境配慮型製品を販売する企業	25
表 15	環境負荷量、GDP、税金	26
表 16	国の変更点	27
表 17	消費者の変更点	27
表 18	変数の設定	28
表 19	変数の設定	28
表 20	常に規制に従う企業	30
表 21	環境配慮型製品を販売する企業	31
表 22	環境負荷量、GDP、税金	32
表 23	経年車の廃車を伴う新車購入補助	35
表 24	新車購入補助	35
表 25	新車販売台数	35
表 26	新車販売台数	36
表 27	戦略毎の企業数	47
表 28	環境負荷、GDP、税金	48
表 29	戦略毎の企業数	49
表 30	環境負荷、GDP、税金	50
表 31	戦略毎の企業数	51
表 32	環境負荷、GDP、税金	52

図 1	環境クズネツ曲線例	2
図 2	環境問題の歴史	4
図 3	経営学的視点	5
図 4	環境経済学的視点	5
図 5	モデル概要	12
図 6	消費者の購買動向	16
図 7	変数の設定図	20
図 8	変数の設定図	24
図 9	変数の設定図	29
図 10	売上の推移サンプル	41
図 11	利益の推移サンプル	42
図 12	製品毎の販売企業数の推移サンプル	43
図 13	戦略毎の企業数の推移サンプル	44
図 14	環境負荷量の推移サンプル	45
図 15	GDP、税金の推移サンプル	46
図 16	最終年での企業数	53
図 17	環境負荷量	54
図 18	税金、GDP	55
図 19	最終年での企業数	56
図 20	環境負荷量	57
図 21	税金、GDP	58
図 22	最終年での企業数	59
図 23	環境負荷量	60
図 24	税金、GDP	61
図 25	最終年での企業数	62
図 26	環境負荷量	63
図 27	税金、GDP	64

1. はじめに

近年、地球温暖化、生物多様性などの地球規模での環境問題が関心を集めている。地球温暖化は、人間の産業活動から排出される温室効果ガスにより引き起こされるという説が有力であり、気候変動枠組条約締約国会議では各国が温室効果ガスの排出量削減目標を設定するなど国際的な協力が進められている。2007年には、国際気候変動に関する政府間パネルと元米国副大統領アル・ゴアが気候変動に関する啓蒙活動を行ったとしてノーベル平和賞を受賞した。生物多様性については、国連により 2010 年が生物多様性年と定められ、2010 年 10 月には日本の名古屋で生物多様性条約の締約国会議が行なわれるなど、生物多様性を保全することが社会にとって重要課題であることが認識されてきている。また、2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により引き起こされた福島第一原子力発電所のメルトダウンにより、原子力発電政策の是非が問われている。原子力発電は、地球温暖化を防ぐ有力な発電方法だと考えられてきたが、今後、原子力発電を国のエネルギー政策とするのかどうかの議論が世界規模で巻き起こっている。この結果として、風力発電や太陽光発電などの環境への負荷が少ない再生可能エネルギーを推進する動きが起こっている。消費者においても、エコロジー志向の一般化に伴い、待機電力や消費電力が小さく、環境負荷の低い家電やハイブリッド車などの大気汚染物質の排出量が少ない車の売上が伸びている。実際に、現在は電気自動車の量産化が進められており、今後は販売される車種が多くなることが期待されている。上記の環境問題以外にも、環境に関する問題としては、人口爆発、森林破壊、資源枯渇、南北格差などが挙げられる。

上記の環境問題が地域や国をまたがり地球規模となっている中で、人間が将来にわたり生活していく上ではこれらの諸問題を解決していく必要がある。この環境と調和した社会を実現するためには、人間の産業活動による環境負荷を環境による自浄作用以下にすることで、人間の社会活動が継続できるようにする必要がある。1972 年に出版されたローマクラブの「成長の限界」では、このままの経済発展が続き環境資源を使用し続けるならば、地球上での成長が限界に達するという悲観的なシナリオを提唱している。一方、環境クズネッツ曲線に示されるように、環境破壊と経済発展の間に逆 U 字型の関係が存在し、環境負荷は経済発展の最初の段階には増加し、ある点を超えると減少するという仮説がある。つまり、経済発展が進むことにより、環境破壊が改善されるという楽観的なシナリオである。しかしながら、環境負荷物や経済発展の指標を何とするかで結果が異なるなど厳密な意味で使用することは難しいと言える。また、経済活動の中で環境負荷を減らすためには一般的にコストがかかるため、短期的には経済活動や経済の発展にとってマイナスになると考えられがちであり、対策を行うことへのインセンティブが働きにくいと考えられる。このような状況の中で、人間の存亡のためには、地球規模かつ長期的な視点に立ち、これらの諸問題を解決していく必要がある。そのためには、政策面の問題として、社会全体として最も望ましい環境利用の仕方を構想すること、また社会の複数の構成員の利害を調

整・配分しつつ、その社会的に望ましい環境利用の形態を実現することが重要となる。つまり、最適な環境利用量を見出し、環境問題に関わる政策や規制、税金や補助金などの制度を設計し、社会の構成員がそれを実施することが重要となる。

本研究では、政策決定者としての国、環境に負荷を与える製品を開発・販売する企業、そしてその製品を購入する消費者の関係をエージェントベースシミュレーションを用いて分析を行った。特に、企業が国の政策に従い環境配慮型の製品を開発・販売する戦略をとるための条件の抽出を行った。

本論文の構成として、2章で、環境問題や環境保護活動などの説明を行い、3章で本研究の目的、4章で本研究のシミュレーションのモデルの説明を行う。そして、5章でシミュレーションから得られた結果と考察、6章で結論を述べる。

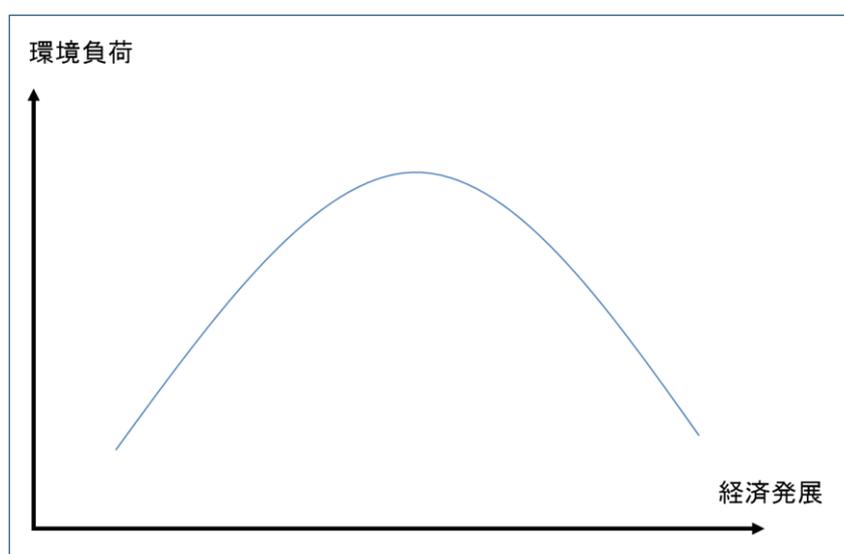


図 1 環境クズネツ曲線例

2. 関連研究

2.1 環境問題

経済活動は、化石燃料などの天然資源を消費し、ごみ処理などで自然の浄化作用を利用し、ハイキングなどのように快適さやアメニティを享受することで行われる。その結果として、環境に関わる問題が発生する。したがって、環境に関わる問題は、近代以前から上下水道の不備による公衆衛生の問題などとして存在していたと考えられる。しかしながら、それらが重要な問題として認識されることはなかった。その後、工業化社会の中で人体に悪影響を与えるものとして公害が認識され、さらに地球規模の環境問題が全人類に関係する問題として認識されるようになってきた。工業化に伴う環境問題は、産業活動が環境に悪影響を及ぼす物質を生成することにより発生する。代表的な物質が、鉛、水銀、カドミウム、硫酸化物、窒素酸化物などである。また、物質自体が有害ではないが、量が大量になると生態系や人体に影響を及ぼすようになる物質として、二酸化炭素、メタン、フロンなどがある。

公害の例として、レイチェル・カーソンは1962年に出版した「沈黙の春」の中で、DDTなどの有機塩素化合物や有機リン酸系の殺虫剤などの人間の手によって生成された合成物が生態系そのものを破壊する農薬公害を記している。また、日本では高度経済成長の中で、水銀の汚染により熊本県の水俣湾で発生した「水俣病」、同じく水銀汚染により新潟県の阿賀野川流域で発生した「新潟水俣病」、また、富山県神通川流域で発生したカドミウム汚染を原因とする「イタイイタイ病」、そして、三重県四日市で発生した硫酸化物を原因とする「四日市ぜんそく」の4大公害病とよばれる公害が発生し、住民の健康に深刻な被害をもたらした。そして、これらの公害の問題は現在でも完全には解決していない。

火力発電の石炭燃焼に伴い発生した硫酸化物、窒素酸化物を原因とした酸性雨の問題では、雨の降った地域の土壌や湖沼が酸性化することで、植物が枯れることや水系生物の生育に深刻な被害を与えることが分かっている。また、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスが原因と考えられている気候変動の問題が地域を超えた地球規模での重要な問題となってきた。気候変動により引き起こされる温暖化によって、極地方や氷河などの氷が溶け海水が増加し、さらに海水が熱膨張することで、ツバルなどの一部の島国が将来海水面下に沈むことが考えられている。これらは、人間の活動により生み出される物質が、環境が自然に浄化する能力以上の量となり引き起こされると考えられる。

環境問題とは、人類が環境を利用して活動を行うことにより周囲の環境に変化を起こすことで引き起こされる問題である。その特徴として、上述のように一つの地域に収まらずに地域をまたいで地球全体に影響を及ぼすこと、また、その影響が地球全体に拡散されることから環境問題を発生させている当事者との距離が遠く、当事者の意識が薄くなりがちになることが挙げられる。

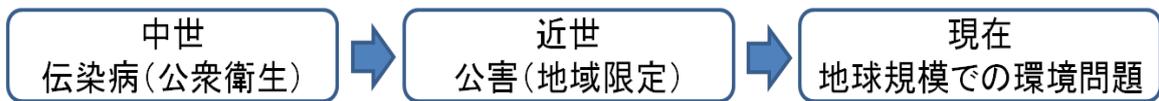


図 2 環境問題の歴史

2.2 持続可能な発展

環境には自浄作用があり、人類の活動によって引き起こされた環境破壊を自ら元に戻そうとする能力を持っている。人間が環境を利用することで発生する環境破壊から受ける悪影響を最小限にして永続的に生活をしていくためには、人間の活動により生み出される環境への負荷を、環境が自然に浄化する能力以下に抑えることが必要である。1987年のブルントラント委員会の「我々共通の将来」によれば、持続可能な発展を、「将来世代が彼らのニーズを充足する能力を損なうことなく、現世代が自身のニーズを充足するような発展である」と定義している。このように、将来世代が環境利用のニーズを充足し、現世代がニーズを充足するためには、環境を保護し、環境の利用を環境の自浄作用以下にしていく必要がある。

そのための環境対策には、トップダウン型の環境汚染の基準を定め、計画を立て、汚染の監視や規制を行う方法と、ボトムアップ型の組織が自発的に方針や目標を定め、活動、評価を行う方法がある。しかしながら、後者については、環境からの影響が当事者だけでなく広範囲に及ぶことから当事者意識は低くなりがちであること、また、その対策にはコストがかかることから短期的には対策を実施しないようなインセンティブが組織に働くことが考えられる。結果として、組織の自発的な環境対策への行動は起こりにくいと考えられる。したがって、環境対策においては、トップダウン型の環境対策が重要となる。また、環境対策のコストの負担については、環境負荷をかけている組織がそのコストを負担する汚染者負担と社会全体に負担を求める方法がある。このように、持続可能な発展を目指すことは社会全体に関わることであり、環境と調和した社会を実現するためには、国による将来予測、さらに国の政策・規制の制度設計が重要な要因となる。また、それに対する、企業や消費者の動向が重要な要因となる。

2.3 ステークホルダー

環境問題は社会全体に関わる問題であることから、ステークホルダーも社会に関わる全員であると言える。また、学問の領域においても、企業と消費者の関係を扱うミクロ経済学と国の政策や国民経済指標などを扱うマクロ経済の両方に関わる問題である。つまり、国、企業、消費者全てに関わり、さらに、経済にとっての循環器の役割を果たす金融に関わる問題である。

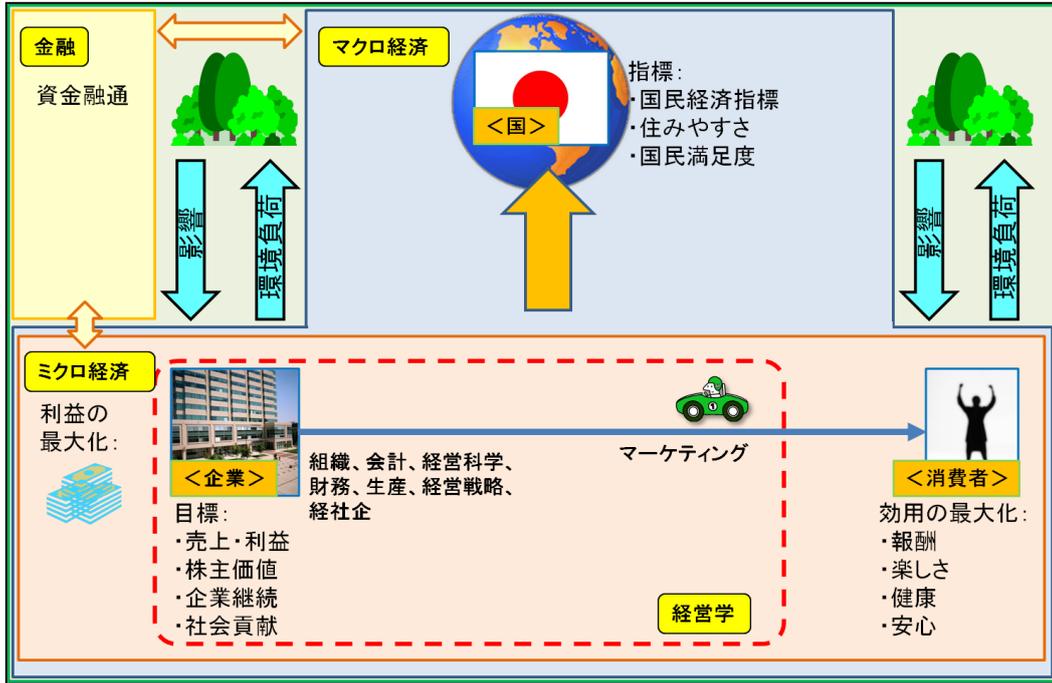


図 3 経営学的視点

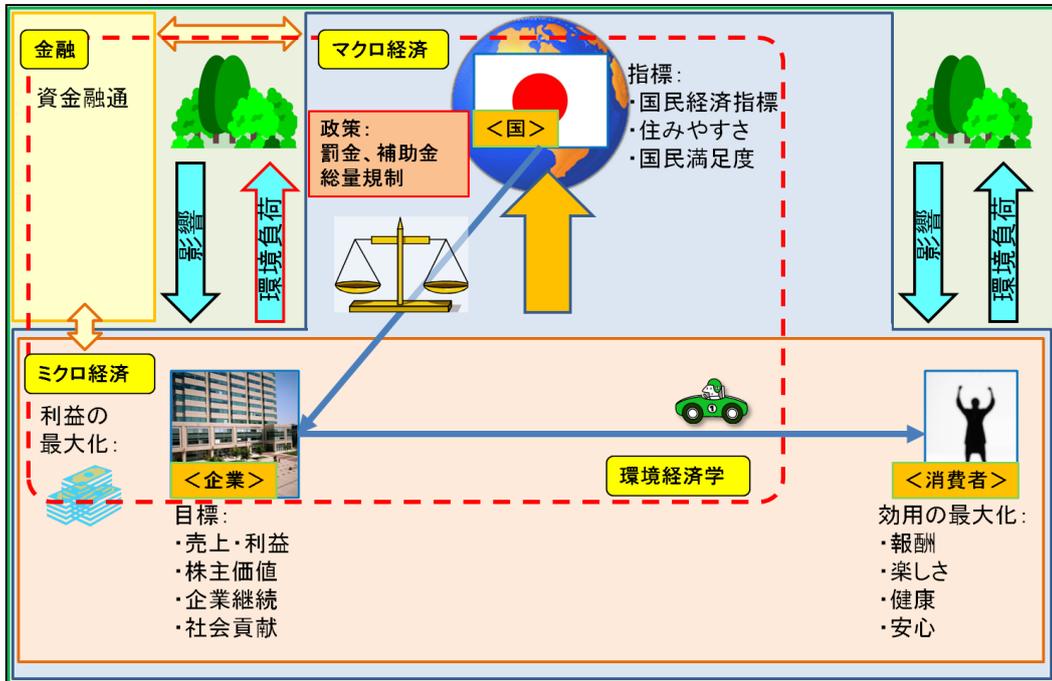


図 4 環境経済学的視点

経営学的な視点では、企業の組織、会計、財務、生産、マーケティング、戦略など企業のマネジメントを主に扱う。しかしながら、企業の主な目標が、利益の増加や株主価値の増加であることから、マクロな経済や環境などの外部との関連性は少ない。したがって、経営学だけの視点から環境問題を扱うことはできない。

また、環境経済学の視点では、主に環境税や補助金、環境負荷の総量規制を通じて経済性が生じることにより、企業が自発的な環境対策を講じるようになるとしている。しかしながら、消費者との関連性が少ない。したがって、環境経済学の視点では社会全体を捉えることにはならない。

上述のように、環境問題は社会全体に関わる問題であり、特定の分野の学問では扱いきれない問題であることがわかる。

2.4 環境規制による技術革新

組織には環境対策をしないことへのインセンティブが働く中で、地球規模の環境問題を解決するためには、国による政策や規制などが重要である。政策や規制に従うことは企業にとっては余分なコストをかけることになるが、規制により技術革新が進むことも考えられる。実際に、環境規制によって技術革新が生み出された例として、ソーダ工業におけるイオン交換膜法と自動車の大気汚染防止に関する CVCC エンジンがある。

食塩水を電気分解して、塩素と苛性ソーダと水素を製造するソーダ工業は化学工業における基幹産業である。主な製法に、水銀法、隔膜法、イオン交換膜法がある。戦後の日本では、水銀法が主流であったが、有機水銀を含む排水により水俣病が発生した影響で、1973年に政府は水銀法廃止の方針を出した。そして、旭化成や旭硝子がイオン交換膜法を開発した。その後、1976年以降隔膜法が主流となり、1986年以降はイオン交換膜法が主流となった。これは、上記の規制によって世界に先駆けて水銀を使わないイオン交換膜法による苛性ソーダ製造技術が開発されたと言える。

また、1969年以前は、自動車による大気汚染を減らすには、触媒コンバータのような排気口のテクノロジーを使うのが常識的であった。1970年にアメリカの連邦大気汚染防止法（マスキー法）で汚染物質の90%の削減が求められたが、この規制は当時世界一厳しく、承認を得ることは不可能とまで言われ、各自動車メーカーは規制に反対した。しかし、ホンダは触媒コンバータを使わずに、シリンダーの手前に燃焼室を設け混合気をあらかじめ燃焼させることでこの規制を満たすことができた。この例も、規制が技術革新を生み出した例である。

2.5 規制法と実施過程について

規制法の実施過程に関する先行研究として、平田(2009)がある。本研究では、水質汚濁防

止法について、規正法とその執行活動に対し被規制者はどのような対応をとり、この結果、規制法執行はどのような現実状態に至るかを施行状況や実体調査とモデルを使って分析を行っている。行政過程、規制執行過程については、法社会学だけでなく行政法学や行政学的にも研究は少ない。本論文の目的は、環境規制法の執行過程について、「法と経済学」の観点から、一般的・理論的な理解のために枠組みを提供することである。結論としては、水質汚濁法の執行過程の実態をゲーム理論でモデル化できるとしている。そして、規制法の遵守を上昇させるための指摘として、当該規制法を被規制者と被規制者を取巻く人々に対し、よく知らせ、規制法の存在と内容の周知に努めること、行政と被規制者間でのコミュニケーションが重要であること、行政は威嚇値としてのサンクション規定を維持し、規制法を持つ抑止機能を弱体化・消滅させないようにすること、を挙げている。また、課題は、実態の把握とそこから導くことのできる一定の特徴から規制法執行過程を一般的に、理論的に理解することであるとしている。

2.6 エージェントベースシミュレーション

本論文では、エージェントベースモデルのシミュレーションを用いた分析を行う。本分析手法は、コンピュータの中に本論文が対象とする人口社会をつくり分析を行う方法である。人口社会はエージェントベースモデルを基礎としており、エージェントベースモデルでは、コンピュータの中の多数の行動主体（エージェント）に一定の行動ルールを与え、その相互作用によって系（システム）をふるまわせるというボトムアップ型のモデル構築方法である。ここで、主体は、一人一人の人間を想定することも、企業や団体などおの組織を想定することも、さらには国家を想定することもできる。そして、異なるレベルの間の主体を関係づけることができる。なお、人口社会の中で主体として想定されるものは、アイデンティティや属性、役割などの個性を持ち、周囲の主体や環境と相互作用でき、相互作用を通じて他の主体の個性に変化を引き起こしたり自分の個性が変化したりすることができる。また、ボトムアップアプローチであるという特徴から、人口社会の研究では全体を表すモデルをつくる必要がない。つまり、各エージェント間の相互作用にせよエージェントと環境との相互作用にせよ、局所的な関係をモデル化しさえすれば、複雑な系全体についての性質は自ずと現れるということである。すなわち、人口社会とは、局所的な相互作用についてモデルをつくと、コンピュータがシミュレーションを通じて大域的な状態を生み出してくれるというアプローチである。

エージェントベースモデルは、コンピュータ技術の発達に伴って発達し、日本においては、理工系の学問分野で急速に蓄積されつつあるが、社会科学の分野ではまだまだ浸透しているとは言えない。しかしながら、欧米ではすでに社会科学の学界でも注目されている研究手法である。

2.7 問題意識

環境問題は人間が今後も永続的に生活していくためには避けて通れない問題となっている。しかしながら、環境問題は広範囲に影響が及ぶことから、当事者意識が薄くなりがちであり、その対策には短期的にコストが増加することから、組織が自発的に対策を行うことに対するインセンティブが働きにくいと考えられる。しかしながら、地球規模の環境問題を解決するために、社会全体の行動が必要である。したがって、環境対策を推進するためには、国が将来の正確な見通しのもとで政策や規制を策定し、実行させることが重要である。そのような状況下で、企業がそれらの政策や規制に従うと、一般的に余分なコストがかかるため、短期的には利益が減少することが考えられる。したがって、環境規制下においても、対策をすることに対するインセンティブが働きにくいと考えられる。しかしながら、過去の事例からは、政策や規制が技術革新を生み出し、経済発展を促進させることがあることもわかっている。

問題意識としては、上記の背景をもとに、環境対策をすることは産業界にとってマイナスであり経済の発展を妨げるという考えがある中で、環境政策や規制がある中でも経済発展につなげることができるのではないかということである。特に、企業が短期的な視点にとらわれずに、長期的視点を持つことで自発的な対策が推進されないかということである。また、環境問題が社会全体に関わる問題であることから、環境問題を経営学の視点や環境経済学の視点で捉える研究だけでは不十分ではないかと考えられることである。

3. 研究目的

3.1 目的

環境問題は特定の地域、特定のステークホルダー、そして特定の学問分野に限定されない社会全体に関わる問題である。また、人間が将来にわたり持続可能な発展をするためには、これらの諸問題を解決していく必要がある。このような状況の中で、環境問題に対する対策手法としては、トップダウン型の方法と、ボトムアップ型の方法がある。しかしながら、後者については、組織の自発的な環境対策への行動は起こりにくいと考えられるため、環境対策においてはトップダウン型の環境対策が重要となる。

したがって、本論文の目的は、環境保護政策や規制の有効性の評価を行うことである。特に、環境保護政策と企業戦略の関連性について、以下の観点から評価を行うことである。

1. 企業戦略の見直し期間の長さは、企業戦略に影響するか
2. 消費者の購買行動の変化は、企業戦略に影響するか

3.2 研究手法

環境問題は社会全体に関わる問題であり、学問の領域においても、様々な分野にまたがる問題である。そこで、本研究を行うにあたり、国、企業、消費者の立場を考慮して社会全体を捉えることが重要となる。したがって、本研究では、前述のエージェントベースモデルシミュレーションを用いる。

在間（2008）によると、エージェントベースモデルは領域透過的なアプローチを可能にする有効な方法であり、一つの学問領域における方法では扱いきれない社会現象である環境問題へのアプローチで注目を集めているとしている。ここで、環境政策・制度デザインの変革で、エージェントベースモデルの必要性と関わるポイントとして、環境政策・制度にかかわるプレイヤーの対象範囲が拡大したこと、自発的な環境配慮行動の促進というボトムアップ型のデザインが必要とされたこと、の2点を挙げている。さらに、環境政策・制度デザインに関する研究で、エージェントベースモデルが有用である点として、市民・消費者の心理や意思決定の内部モデルが設定可能であること、企業の経営戦略や組織マネジメントを内部モデルとして設計することが可能であること、個々のエージェントの学習と集団や社会の学習をモデル化できること、ミクロなエージェント間の相互作用によるマクロな社会のダイナミクスをシミュレーションし、ボトムアップ型政策・制度のデザインを分析することが可能なこと、の4点を挙げている。

3.3 研究手順

エージェントベースモデルのシミュレーションでの研究手順は、まず本論文で対象とする系全体のモデル化を行い、シミュレーションソフト¹を用いてモデルのプログラミングを行う。そして、プログラムを実行し、実行結果の分析を行い、分析結果に対する考察を行う。

1. 本研究のエージェントベースシミュレーションを行うにあたっては、シミュレーションソフトとして「**artisoc**」(株式会社構造計画研究所)を用いた。「**artisoc**」は、人口社会をつくり分析するツールとして開発されたものである。したがって、「**artisoc**」では、シミュレーションのためのモデルが容易に作れるだけでなく、実行や実行過程のリアルタイムでの観察が容易にできる。なお、本シミュレーションのプログラムは付録に示す。

4. モデル

エージェントベースモデルのシミュレーションでは、各エージェントがどのようにふるまうかを設定しモデル化を行う。つまり、エージェントの種類、各エージェントの個性、エージェント間やエージェントと環境との関係を仮定し設定する。本研究で使用するエージェントの種類は国、企業、消費者の 3 種類である。本章では本研究に用いたシミュレーションのモデルの説明を行う。最初に、モデルの全体像を概略として説明し、国、企業、消費者それぞれについて説明を行う。

4.1 モデル概要

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モデルである。国は、環境規制を定め、規制に従わない企業に注意を与える。注意の回数により罰則を課すこともある。各企業は、6 つある戦略から 1 つの戦略を選択する。選択した戦略により、環境配慮型の製品を開発・販売するか、環境配慮型でない製品を開発・販売するかが決まる。企業は、見直し周期毎に戦略の見直しを行う。消費者においても、自分のとるべき購買志向を選択すると、販売されている環境配慮型製品を購入するか、環境配慮型製品以外の製品を購入するかが決まる。消費者の購買志向は 1 回のシミュレーションを通じて変わらない。また、国の経済性の指標としては GDP と税金を用い、規制の有効性の指標として、環境負荷量や最終的に残る規制に従う企業数を用いる。

なお、本研究では、対象となる製品として耐久消費財を想定し、シミュレーションの対象期間を 25 年とした。また、シミュレーションの中では、簡便のため 1 年を 360 日とし、曜日や祝日の概念は考慮しない。つまり、平日や休日、正月などの祝日の差はなく、360 日を通じて 1 日は同等であるとする。シミュレーションの回数は、パラメータを変えながら、5 回ずつ行う。

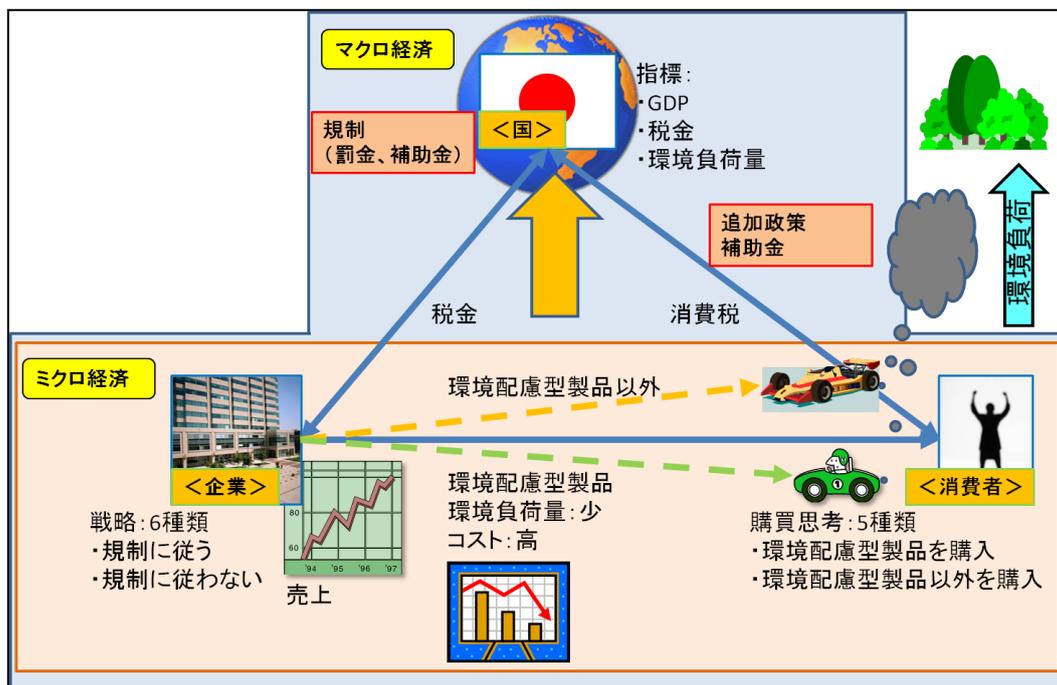


図 5 モデル概要

4.2 国のモデル

国は企業が開発・販売する製品に対し環境規制を策定し、規制に従わない企業には評価周期毎に注意を促し、注意の回数により罰則を与えることもある。また、1年毎に利益の出ている企業に対し税金を課す。この際の注意とは、行政指導を想定しており、公に公表されることはない。罰則は、一時停止命令や改善命令を想定しており、公に公表される。

表 1 国のモデル

国	内容	影響
規制実施	環境規制を実施する	・各企業は規制に従うか従わない
注意	規制に従わない企業に注意を促す (行政指導)	・一部企業は注意回数により規制に従う
罰則	注意回数により罰則を課す (一時停止命令、改善命令)	・消費者が製品を購入する際に、必ず 2 社を抽出し罰則の少ない企業から製品を購入する ・罰金がある場合、企業の利益から税金に支払われる
補助金	規制に従う企業に対し、製品開発時に補助金を与える	・税金から企業の利益に支払われる
税金徴収	毎年、利益が出ている企業から税金を徴収する	・毎年、利益が出ている企業は税金を国に支払う

4.3 企業のモデル

各企業は、国の政策に対し以下に示す 6 つの戦略から 1 つの戦略を選択する。選択した戦略により、環境配慮型の製品を開発・販売するか、環境配慮型でない製品を開発・販売するかが決まる。開発・販売日は全企業で同日である。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に計上し、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。また、製品の開発時には、利益から開発費が差し引かれる。開発費は、環境配慮型製品かそれ以外の製品かで異なる。

企業の戦略は、見直し周期毎に見直され、次の開発・販売日から新たに選択された戦略に沿って製品の開発・販売を行う。見直しは、見直し時点での全企業の売上順位の低位 70% の企業が上位 30% の企業の戦略を新たな戦略として選択することで行う。

1) ランダムに規制に従う

国の規制にランダムに従う戦略である。企業は、製品の開発・販売日にランダムに戦略を決定し、製品の開発・販売を行う。

2) 常に規制に従う

国の規制に常に従う戦略であり、環境配慮型製品の開発・販売を常に行う。

3) 常に規制に従わない

国の規制に常に従わず、環境配慮型製品以外の製品を開発・販売する。

4) 注意を受けたら規制に従わない戦略

最初はランダムに規制に従うが、国から注意を受けたときは、次の開発・販売で常に国の規制に従わない。国から注意を受けなかったときは、ランダムに規制に従う。

5) 1 回注意を受けたら規制に従う

最初はランダムに規制に従うが、国から 1 回注意を受けたときは、次の開発・販売で常に国の規制に従う。国から注意を受けなかったときは、ランダムに規制に従う。

6) 2 回注意を受けたら規制に従う

最初は規制に従わず、国から 2 回以上連続で注意を受けたときは規制に従う。国から注意を受けなかったときは、常に国の規制に従わない。

表 2 企業のモデル

企業	内容	影響
戦略決定	規制に対し以下の戦略を選択する <ul style="list-style-type: none"> ・ランダムに規制に従う ・常に規制に従う ・常に規制に従わない ・注意を受けたら規制に従わない (基本はランダム) ・注意を受けたら規制に従う (基本はランダム) ・2回注意を受けたら規制に従う (基本は従わない) 	<ul style="list-style-type: none"> ・戦略に沿って製品を開発・販売する
製品開発	上記の戦略により、以下製品を開発・販売する <ul style="list-style-type: none"> ・環境配慮型製品 ・環境配慮型製品以外の製品 	<ul style="list-style-type: none"> ・消費者が購買指向により、製品を選択し購入する
戦略見直し	戦略見直し時期に、企業の売上下位 70%の企業が売上上位 30%の企業の戦略を選択する	<ul style="list-style-type: none"> ・戦略が収斂する

4.4 消費者のモデル

消費者においても、購買のタイミングで各消費者が以下に示す購買志向²を選択すると、販売されている環境配慮型製品を購入するか、環境配慮型製品以外の製品を購入するかが決まる。購買のタイミングは、購買周期の逆数で表される。また、消費者の購買志向は 1 回のシミュレーションを通じて変わらない。

なお、環境配慮型製品が市場で販売されていないときには、環境配慮型製品を志向する消費者でも環境配慮型製品以外の製品を購入する。環境配慮型製品以外の製品が市場で販売されていないときには、環境配慮型製品以外の製品を志向する消費者でも環境配慮型製品を購入する。また、消費者は購買志向に合う企業 2 社をランダムに比較し、罰則を受けた回数のない企業から製品を購入する。

また、消費者が製品を購入すると、環境に対し一定量の環境負荷をかける。環境負荷の量は、環境配慮型製品とそれ以外の製品で異なる。

1) ランダムに環境配慮型製品を購入

環境配慮型製品か環境配慮型製品以外の製品をランダムに選択し購入する。

2) 常に環境配慮型製品を購入

環境配慮型製品を常に選択し購入する。

3) 常に環境配慮型製品以外の製品を購入

環境配慮型製品以外の製品を常に選択し購入する。

4) 3 回目の購買以降で環境配慮型製品を購入

2 回目の購買までは、常に環境配慮型製品以外の製品を購入し、3 回目以降は常に環境配慮型製品の購入を選択し購入する。

5) 正規分布に基づき環境配慮型製品を購入

購買周期の倍を平均、購買周期を標準偏差とする正規分布に基づいて、環境配慮型製品を選択し購入する。

² 消費者の購買志向については、環境配慮型製品を購入する人の割合が徐々に増加し、環境配慮型製品以外を購入する人の割合が徐々に減少する設定である。これは、市場全体が徐々に環境配慮型製品への購買志向が高まることを意味している。消費者の購買行動のモデル化については、今後の課題である。

表 3 消費者のモデル

消費者	内容	影響
指向決定	製品に対し以下の指向を選択する ・ランダムに環境配慮型製品を購入 ・常に環境配慮型製品を購入 ・常に環境配慮型製品以外を購入 ・3回目以降は環境配慮型製品を購入 ・正規分布に基づき環境配慮型製品を購入	・指向に沿って製品を購入する
製品購入	上記の指向により、以下製品を購入する ・環境配慮型製品 ・環境配慮型製品以外の製品 購入時は、常にランダムに2社を選択し罰則の少ない企業から購入する	・各製品の価格が企業の売上に追加される ・各製品の価格に利益率を掛けた金額が企業の利益に追加される ・購入した製品により、環境に負荷を与える

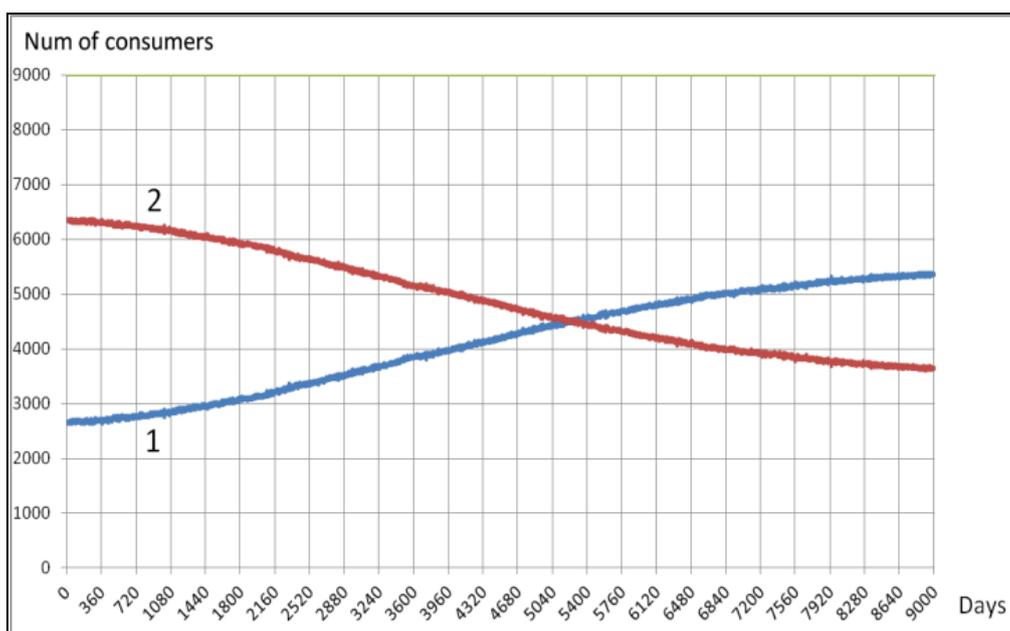


図 6 消費者の購買動向

図 6 は、縦軸が消費者数、横軸が日数である。曲線 1 は、環境配慮型製品を志向する消費者の割合の増加を示している。曲線 2 は、環境配慮型製品以外の製品を志向する消費者の割合の減少を示している。

4.5 指標

本研究では、国、企業、消費者のモデル化だけでなく、最終的に分析するために以下の項目を特定期間毎に集計し、環境規制の評価の基準とする。

1) GDP の集計

販売されている製品を最終財とみなし、その年の全企業の売上の合計を GDP として毎年集計する。GDP の値が高い方が、経済が成長していることを表している。

2) 税金の集計

利益の出ている企業から徴収される税金の累計を毎年集計する。税金が多い方が、企業の利益が出ていることを表している。

3) 環境負荷量の集計

消費者の購買のタイミングで蓄積された、その年の環境負荷の累計を毎年集計する。環境負荷量が少ない方が、環境の利用が少なく持続可能な社会につながることを表している。

4) 常に規制に従う企業数

規制の有効性を評価するために、最終年に残っている常に規制に従う企業数を集計する。常に規制に従う企業が多い方が、規制が有効に働いていることを表している。

5) 環境配慮型製品を販売している企業数

規制の有効性を評価するために、最終年に残っている環境配慮型製品を販売している企業数を集計する。最終年で環境配慮型製品を販売している企業が多い方が、少なくともその時点では、環境負荷が低いことを表している。

4.6 パラメータの設定

本研究でのシミュレーションでは、企業が開発・販売する製品として耐久財を想定して以下のパラメータを用いる。1)では、本シミュレーションで使用する定数の設定について説明し、2)から 6)では、変数の設定についての説明を行う。

1) 定数の設定

本研究のシミュレーションで用いる定数を表 4 に示す。本研究では、製品として耐久財を想定している。特に、自動車産業を参考にし、環境配慮型製品にプリウスを想定した。購買周期については、2009 年度の自動車平均保有期間 7.3 年を参考に 7 年とした。シミュレーションの期間は、企業の戦略見直しを 2 回繰り返せる期間とし、企業の開発周期は、6 年とした。製品の開発費として、環境配慮型製品の場合はプリウスを参考とし 800 億円、環境配慮型製品以外の製品は 400 億円とした。製品の価格についても、プリウスを参考に環境配慮型製品の場合は、260 万円とした。環境配慮型製品以外の製品の価格については、プリウスと同型程度の自動車を抽出し、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 200 万円とした。環境負荷についても、同様に比較した結果、燃費比がおおよそ 2.0 であることから、環境配慮型製品 5、環境配慮型製品以外の製品 10 とし

た。利益率は、日本の自動車メーカ 15 社の中で、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とり、4.3%とした。また、税率は、国の法人税率を参考にして 40%とした。

表 4 定数の設定

	定数	値
1	シミュレーション期間 (年)	25
2	購買周期 (年)	7
3	開発周期 (年)	6
4	開発費 1 (千円)	80,000,000
5	開発費 2 (千円)	40,000,000
6	価格 1 (千円)	2,600
7	価格 2 (千円)	2,000
8	環境負荷量 1	5
9	環境負荷量 2	10
10	利益率 (%)	4.3
11	税率 (%)	40

2) 対象人口の設定

対象人口は、2010年4月から2011年3月の新車販売台数トップ30の平均売上台数63,176に企業数と製品数をかけ、購買周期をかけた値を参考に設定する。

3) 企業数の設定

企業数は、日本の自動車メーカ 15 社、海外メーカ数社を参考に設定する。

4) 評価周期の設定

国による企業の評価期間を設定する。

5) 見直し周期の設定

企業が戦略を見直す周期を設定する。このパラメータの意味は、企業が戦略をどの程度の期間で考えているかを表している。つまり、長ければ長いほど長期的な視点で戦略の決定を行い、短ければより短期的な視点で戦略を決定することを表している。本研究では、企業の戦略の見直しを開発・販売毎に行う場合と、開発・販売 2 回毎に行う場合でシミュレーションを行う。

6) 罰則の実施の設定

罰則となる注意回数を設定する。国は評価周期毎に企業の販売している製品を評価し、環境配慮型製品以外の製品を販売している企業に対し注意を促す。また、注意の回数により罰則を与えることもある。罰則は、公に公表することを意味しており、消費者の購買行動に影響を与える。本研究では、罰則を与えず注意のみ促す場合と、注意回数が複数回になったときに罰則を与える場合でシミュレーションを行う。

5. 分析結果

5.1 各企業が1製品を開発・販売する場合

5.1.1 変数の設定

前述のパラメータの設定に従い変数を以下の通り設定を行い、シミュレーションを行った。本研究のシミュレーションで設定した変数を表5と表6に示す。企業数は、20社として、1企業は1製品を開発・販売するとした。また、対象人口は、8,844,687人を参考に900万人とした。そして、国による企業の評価は、1年毎に行うものとした。

表6のNo.1とNo.2では、企業の戦略見直し周期を、開発周期と同じ6年とし、No.3とNo.4では開発周期2回分の12年とした。また、No.1とNo.3では国は罰則を与えず、注意のみ促すとし、No.2とNo.4では罰則となる注意回数を3回とした。なお、シミュレーションは全て、このNo.の通りに行い、結果も全てこのNoに基づいて表記する。

表5 変数の設定

変数	値
対象人口	9000 (×1,000)
企業数	20
評価周期 (年)	1

表6 変数の設定

No.	見直し周期 (年)	罰則有無
1	6	-
2	6	3
3	12	-
4	12	3

上記のパラメータの設定を図示すると、図7のようになる。図7中の横軸は時間を表しており、各エージェントの行動を△記号で表している。見直しと罰則にある括弧内の番号は、表6のNo.を表している。図中の罰則がある場合については、3年毎となっているが、罰則を受ける年は企業により異なる。

また、本シミュレーションにより得られた結果のサンプルを付録Iに示す。



図 7 変数の設定図

5.1.2 常に規制に従う企業数

社会が排出する環境負荷の低減を図るための環境規制においては、企業が無条件に規制に従うのが望ましい。従って、シミュレーション終了時の常に規制に従う戦略をとる企業数を求めた。この企業数が多い方が、規制が有効に働くことになる。結果を、表 7 に示す。表中の No. は、変数の設定 No. を表している。

表 7 常に規制に従う企業

No.	シミュレーション期間					回数	平均
	1	2	3	4	5		
1	0	0	0	0	0	0	0
2	3	11	0	0	10	3	4.8
3	0	0	0	0	16	1	3.2
4	0	2	2	10	9	4	4.6

No.1 については、5 回とも常に規制に従う企業が 25 年後まで残ることはなかった。No.3 は、回数、平均ともに No.2、No.4 を下回る結果となった。また、No.2 と No.4 については、回数、平均ともわずかな差しかない結果となった。つまり、罰則があると、常に規制に従う企業が残ることが多くなる結果となった。

5.1.3 環境配慮型製品を販売している企業数

環境規制の目的を考えると、最終的に環境配慮型製品を販売する企業が多い方が環境負荷を減らすことができる。従って、最終的に環境配慮型製品を販売している企業数を求め

た。結果を、表 8 に示す。表中の No. は、変数の設定 No. を表している。

表 8 環境配慮型製品を販売する企業

No.	シミュレーション期間					平均
	1	2	3	4	5	
1	11	11	8	10	8	9.6
2	15	15	12	11	16	13.8
3	10	8	14	10	18	12.0
4	6	10	15	13	19	12.6

No.1 が 10 未満となったが、No.2、No.3、No.4 については、No.2 がわずかに多い程度で、ほとんど変わらない結果となった。

5.1.4 GDP、税金および環境負荷量

環境規制の結果として、シミュレーションの期間中に排出された環境負荷の総量を求めた。また、経済指標として、GDP の年平均と納められた税金を求めた。結果は、シミュレーション 5 回の平均として表 9 に示す。表中の No. は、変数の設定 No. を表している。環境負荷の総量の平均も GDP の年平均も No.2 が最も少ない結果となった。税金については、罰則があるときに高くなる結果となった。

表 9 環境負荷量、GDP、税金

No.	環境負荷量	GDP 年平均	税金
1	248,131	2,926,833,600	72,798,596
2	246,295	2,912,990,400	124,369,778
3	248,320	2,932,352,000	67,799,520
4	247,854	2,926,934,400	137,360,000

5.1.5 結果のまとめ

本研究の結果から、環境規制が導入されたときに、常に規制に従う戦略をとる企業が、最終的に残るための条件として、罰則が有効であることがわかった。このことから、消費者の動向を変化させる政策が重要であることがわかった。また、見直し周期の変数に対し結果がほとんど変わらないことがわかった。つまり、企業の戦略が長期的視点であるか、短期的視点であるかには、ほとんど影響を受けないことがわかった。

環境負荷総量の平均と GDP の年平均の結果から、No.2 が最も低い結果となったが、両方の平均とも最も高い値と最も低い値の差が、1%未満であることから、有効な差ではないと

考える。税金については、罰則がある場合に納められた税金が高くなっていることがわかる。本研究では、税金は利益の出ている企業のみ課しているため、罰則がある場合は利益の額が大きいことになる。

また、本結果で得られた最終的に残っている戦略毎の企業数を付録IIに、GDP、税金および環境負荷量の詳細を付録IIIに示す。

5.2 各企業が3製品を開発・販売する場合

5.2.1 変更点

5.1のモデルでは、1社1製品であり企業の戦略毎の違いが少ないこと、国の消費者の関連がないことから、モデルに以下の変更を加えた。

1) 製品数

1社1製品では、企業の戦略毎の違いが少ないことから、戦略毎の多様性を増やすために、1企業が開発・販売する製品数を3に変更した。1製品の開発周期が6年であるため、各企業は2年毎に製品を開発・販売することとなる。

2) 消費税

国と消費者との関連がないため、消費者が製品を購入するときに、製品にかかる消費税を税金として納めるようにモデルを変更した。消費税率は、製品価格の5%とする。

表 10 消費者の変更点

消費者	内容	影響
製品購入	変更なし	・各製品の価格に消費税率を掛けた金額が税金に支払われる

5.2.2 変数の設定

前述のパラメータの設定に従い変数を以下の通り設定を行い、シミュレーションを行った。本研究のシミュレーションで設定した変数を表 11 と表 12 に示す。企業数は、10社として、1企業は3製品を開発・販売するとした。つまり、市場には30製品が存在することになる。また、対象人口は、13,266,960人を参考に1,350万人とした。企業の開発・販売は、2年毎に行われるため、国による企業の評価は、企業の開発・販売のタイミングと同様に2年毎に行うものとした。

表 12 の No.1 と No.2 では、企業の戦略見直し周期を、開発周期と同じ6年とし、No.3 と No.4 では開発周期2回分の12年とした。また、No.1 と No.3 では国は罰則を与えず、注意のみ促すとし、No.2 と No.4 では罰則となる注意回数を2回とした。なお、シミュレーションは全て、このNo.の通りに行い、結果も全てこのNoに基づいて表記する。

表 11 変数の設定

変数	値
対象人口	13500 (×1,000)
企業数	10
評価周期 (年)	2

表 12 変数の設定

No.	見直し周期 (年)	罰則有無
1	6	-
2	6	2
3	12	-
4	12	2

上記のパラメータの設定を図示すると、図 8 のようになる。図 8 中の横軸は時間を表しており、各エージェントの行動を△記号で表している。見直しと罰則にある括弧内の番号は、表 12 の No.を表している。図中の罰則がある場合については、2 年毎となっているが、罰則を受ける年は企業により異なる。

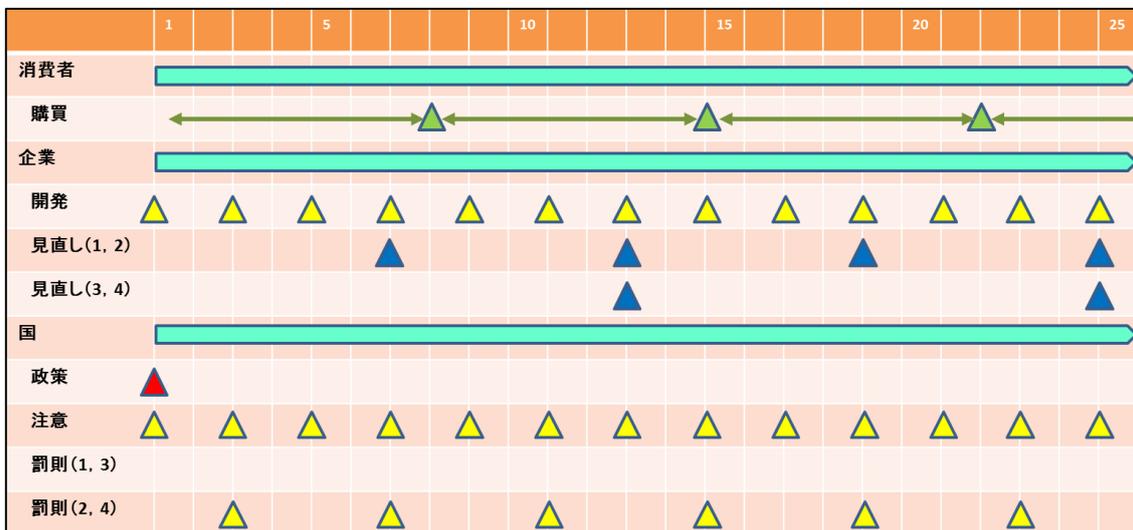


図 8 変数の設定図

5.2.3 常に規制に従う企業数

常に規制に従う戦略をとる企業数を表 13 に示す。この企業数が多い方が、規制が有効に働くことになる。表中の No. は、変数の設定 No. を表している。

表 13 常に規制に従う企業

No.	シミュレーション期間					回数	平均
	1	2	3	4	5		
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	7	0	0	0	1	1.4

No.1、No.2、No.3 については、5 回とも常に規制に従う企業が 25 年後まで残ることはなかった。No.4 については、5 回中 1 回のみ常に規制に従う企業が残った。このことから、罰則がある方が、常に規制に従う企業が残ることがわかった。しかしながら、残る回数が 1 回であることとその平均が 1.4 であることから、製品数が 3 とした場合は、常に規制に従う企業がほとんど残らないことがわかった。

5.2.4 環境配慮型製品を販売している企業数

最終的に環境配慮型製品を販売している企業数を表 14 に示す。表中の No. は、変数の設定 No. を表している。

No.3 については、低い値となったが、No.1、No.2、No.3 については、10 社中の過半数であり、ほとんど変わらない結果となった。

表 14 環境配慮型製品を販売する企業

No.	シミュレーション期間					平均
	1	2	3	4	5	
1	8	6	5	5	7	6.2
2	6	8	4	5	9	6.4
3	2	4	5	4	4	3.8
4	7	9	6	7	6	7.0

5.2.5 GDP、税金および環境負荷量

環境規制の結果として、シミュレーションの期間中に排出された環境負荷の総量を求めた。また、経済指標として、GDP の年平均と納められた税金を求めた。結果は、表 15 に示す。表中の No. は、変数の設定 No. を表している。

環境負荷の総量の平均、GDP の年平均、税金すべてにおいて、ほとんど差がないという結果となった。

表 15 環境負荷量、GDP、税金

No.	環境負荷 総量平均	GDP 年平均	累積税金額
1	364,935	4,414,225,600	5,593,456,423
2	366,893	4,413,403,200	5,536,773,707
3	366,235	4,415,384,000	5,520,135,760
4	365,345	4,404,372,800	5,580,621,509

5.2.6 結果のまとめ

1 企業が開発・販売する製品の数を 1 から 3 に変更し、消費税を追加した結果から、罰則があるときに常に規制に従う企業が残ることがあったが、最終的に常に規制に従う企業はほとんど残らないことがわかった。また、環境負荷量、GDP、税金についてはほとんど変わらない結果となった。5.1 の結果では、罰則があるときに税金が高くなることがわかったが、消費税を導入した本モデルでは罰則による影響はほとんどないことがわかった。

また、本結果で得られた最終的に残っている戦略毎の企業数を付録 IV に、GDP、税金および環境負荷量の詳細を付録 V に示す。

5.3 追加政策がある場合

5.3.1 変更点

1 企業 3 製品とした場合、5.2 より常に規制に従う企業はほとんど残らないことがわかった。したがって、消費者の購買行動による影響を研究するために、新たな政策を追加し、消費者の購買行動を変化させるモデルに変更する。

1) 追加政策

5.2 の結果より、1 企業 3 製品では常に規制に従う企業がほとんど残らないことがわかった。ここで、新たな政策を追加する。追加政策では、消費者に対し補助金を与えることで、消費者の購買行動を変化させる。この追加政策により、環境配慮型製品以外を購入しようとする消費者の中のある割合の人が環境配慮型製品を購入する。本モデルは、2009 年 4 月から 2010 年 9 月までに実施されたエコカー補助金制度を参考にしている。

表 16 国の変更点

国	内容	影響
追加政策	環境配慮型製品を購入する消費者に対し補助金(25 万円)を与える	・環境配慮型製品を購入する消費者の割合が増加する ・税金から補助金(25 万円)が差し引かれる

表 17 消費者の変更点

消費者	内容	影響
購入見直し	追加政策実施時(補助金制度)、一部の環境配慮型製品以外の購入者は、環境配慮型製品を購入する	・製品購入と同じ

5.3.2 変数の設定

前述のパラメータの設定に従い変数を以下の通り設定し、シミュレーションを行った。本研究のシミュレーションで設定した変数を表 18 と表 19 に示す。5.2 と同様に、企業数は、10 社として、1 企業は 3 製品を開発・販売するとした。また、対象人口は、1,350 万人とした。国による企業の評価は、2 年毎に行うものとした。

表 19 では、見直し期間、罰則有無、追加政策開始年、追加政策期間、追加政策により購買行動が変化する消費者の割合を変数としている。No.1 から No.10 と No.19 から No.28 では、消費者の購買行動の変化率を 10%と固定して、追加政策の実施期間を 1 年から 5 年で 1 年後と変化させて、シミュレーションを実行した。No.1 から No.10 と No.19 から No.28 の違いは、企業戦略見直し期間と追加政策開始年の違いである。さらに、No.11 から No.18 と No.29 から No.36 では、追加政策の実施期間を 2 年と固定して、購買行動が変化する消費者の割合を 20%から 50%に変化させた場合についてシミュレーションを行った。No.11

から No.18 と No.29 から No.36 の違いは、企業戦略見直し期間と追加政策開始年の違いである。なお、シミュレーションは全て、この No.の通りに行い、結果も全てこの No に基づいて表記する。図中の罰則がある場合については、2年毎となっているが、罰則を受ける年は企業により異なる。

表 18 変数の設定

変数	値
対象人口	13500 (×1,000)
企業数	10
評価周期 (年)	2

表 19 変数の設定

No.	見直し周期 (年)	罰則有無	追加政策開始年	追加政策期間	消費者の変化割合
1	6	-	5	1	10%
2	6	2	5	1	10%
3	6	-	5	2	10%
4	6	2	5	2	10%
5	6	-	5	3	10%
6	6	2	5	3	10%
7	6	-	5	4	10%
8	6	2	5	4	10%
9	6	-	5	5	10%
10	6	2	5	5	10%
11	6	-	5	2	20%
12	6	2	5	2	20%
13	6	-	5	2	30%
14	6	2	5	2	30%
15	6	-	5	2	40%
16	6	2	5	2	40%
17	6	-	5	2	50%
18	6	2	5	2	50%
19	12	-	10	1	10%
20	12	2	10	1	10%
21	12	-	10	2	10%
22	12	2	10	2	10%
23	12	-	10	3	10%
24	12	2	10	3	10%
25	12	-	10	4	10%
26	12	2	10	4	10%

27	12	-	10	5	10%
28	12	2	10	5	10%
29	12	-	10	2	20%
30	12	2	10	2	20%
31	12	-	10	2	30%
32	12	2	10	2	30%
33	12	-	10	2	40%
34	12	2	10	2	40%
35	12	-	10	2	50%
36	12	2	10	2	50%

上記のパラメータの設定を図示すると、図 9 のようになる。図 9 中の横軸は時間を表しており、各エージェントの行動を△記号で表している。見直しと罰則にある括弧内の番号は、表 19 の No.を表している。追加政策期間は矢印で表している。図中の罰則がある場合については、2年毎となっているが、罰則を受ける年は企業により異なる。



図 9 変数の設定図

5.3.3 常に規制に従う企業数

常に規制に従う戦略をとる企業数を表 20 に示す。この企業数が多い方が、規制が有効に働くことになる。表中の No.は、変数の設定 No.を表している。

表 20 常に規制に従う企業

No.	シミュレーション期間					回数	平均
	1	2	3	4	5		
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	5	0	4	2	1.8
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	3	0	4	0	2	1.4
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	2	0	0	0	1	0.4
13	0	0	0	0	0	0	0
14	3	0	3	0	0	2	1.2
15	0	0	0	4	0	1	0.8
16	0	0	0	0	3	1	0.6
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	3	1	0.6
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0
26	0	4	0	0	0	1	0.8
27	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	4	4	2	1.6

偶数 No.が罰則のある場合、奇数 No.が罰則のない場合の結果である。5.2の結果からは、追加政策がないときは、常に規制に従う企業がほとんど残らない結果となった。本結果からは、追加政策があり罰則がない場合は、常に規制に従う企業は90回中1回しか残らないことがわかった。また、追加政策と罰則がある場合には、90回中12回残ることがわかった。

5.3.4 環境配慮型製品を販売している企業数

最終的に環境配慮型製品を販売している企業数を表 21 に示す。表中の No.は、変数の設定 No.を表している。

全体として、罰則がある方が、25年後の時点で環境配慮型製品を販売している企業数が多くなることがわかった。

表 21 環境配慮型製品を販売する企業

No.	シミュレーション期間					平均
	1	2	3	4	5	
1	5	4	4	6	9	5.6
2	7	9	8	6	8	7.6
3	9	7	3	3	9	6.2
4	8	4	7	5	5	5.8
5	3	6	6	7	6	5.6
6	5	8	2	4	5	4.8
7	7	5	6	4	5	5.4
8	6	6	5	9	4	6.0
9	6	6	6	7	6	6.2
10	7	7	8	6	7	7.0
11	6	5	6	5	6	5.6
12	8	8	5	6	6	6.6
13	7	3	6	4	7	5.4
14	6	9	9	3	6	6.6
15	5	3	4	8	6	5.2
16	8	6	5	8	6	6.6
17	3	7	7	6	2	5.0
18	4	7	9	8	5	6.6
19	2	6	1	3	1	2.6
20	9	7	7	6	5	6.8
21	6	7	3	1	1	3.6
22	7	6	7	6	7	6.6
23	8	5	3	9	6	6.2
24	6	8	8	6	7	7.0

25	4	5	5	7	7	5.6
26	7	8	6	2	7	6.0
27	6	8	3	4	4	5.0
28	8	6	8	7	6	7.0
29	4	5	5	5	5	4.8
30	4	3	9	6	6	5.6
31	3	5	1	7	6	4.4
32	6	4	9	9	7	7.0
33	6	7	1	9	5	5.6
34	8	7	6	6	6	6.6
35	4	4	6	7	6	5.4
36	6	8	5	7	9	7.0

5.3.5 GDP、税金および環境負荷量

環境規制の結果として、シミュレーションの期間中に排出された環境負荷の総量を求めた。また、経済指標として、GDP の年平均と納められた税金を求めた。結果は、表 22 に示す。表中の No. は、変数の設定 No. を表している。

表 22 環境負荷量、GDP、税金

No.	環境負荷 総量平均	GDP 年平均	累積税金額
1	365,385	4,414,369,600	5,328,632,040
2	366,204	4,418,220,800	5,335,159,811
3	363,673	4,410,734,400	5,093,812,000
4	365,260	4,425,772,800	5,157,634,066
5	364,176	4,429,926,400	4,919,658,506
6	366,482	4,440,310,400	4,934,036,256
7	362,938	4,423,248,000	4,679,660,000
8	362,075	4,408,702,400	4,815,777,448
9	363,406	4,430,883,200	4,453,504,000
10	363,155	4,424,817,600	4,456,228,366
11	364,813	4,435,905,600	5,078,089,392
12	363,691	4,419,505,600	5,100,512,188
13	362,342	4,428,233,600	5,004,204,010
14	362,582	4,438,217,600	5,113,409,901
15	362,903	4,458,513,600	5,046,189,353
16	361,695	4,436,408,000	5,084,480,969
17	359,586	4,437,161,600	4,886,852,000
18	360,581	4,443,137,600	4,942,179,532

19	366,070	4,422,294,400	5,295,357,696
20	366,457	4,423,406,400	5,375,353,337
21	366,077	4,421,083,200	5,032,774,030
22	364,848	4,417,715,200	5,108,282,840
23	364,326	4,420,144,000	4,784,083,292
24	365,283	4,425,713,600	4,832,375,193
25	363,481	4,408,225,600	4,499,832,000
26	364,959	4,433,694,400	4,611,044,507
27	364,187	4,434,558,400	4,241,098,000
28	363,250	4,422,492,800	4,290,204,444
29	361,655	4,397,713,600	4,957,635,565
30	365,343	4,435,332,800	5,060,440,817
31	364,812	4,445,664,000	4,958,684,089
32	364,004	4,428,422,400	5,031,692,704
33	361,774	4,428,681,600	4,891,082,403
34	362,679	4,455,236,800	4,999,224,279
35	360,844	4,444,665,600	4,858,088,112
36	361,861	4,440,526,400	4,940,129,425

本結果より、GDP、税金、環境負荷量とも罰則の有無では、ほとんど変化ないことがわかった。また、GDPは消費者の購買行動の変化の割合や追加政策期間によらず、ほとんど一定であることがわかった。一方、税金や環境負荷量は、消費者の購買行動の変化の割合が高くなるほど、また追加政策期間が長くなるほど、減少することがわかった。

5.3.6 結果のまとめ

追加政策を追加したモデルの結果から、罰則があるときに常に規制に従う企業が残ることがわかった。また、追加政策がある場合でも罰則がないときは、最終的に常に規制に従う企業はほとんど残らないことがわかった。さらに、環境負荷量、GDP、税金については、罰則の有無による変化はほとんどない結果となった。また、GDPは消費者の購買行動の変化の割合や追加政策期間によらず、ほとんど一定である一方、税金や環境負荷量は、消費者の購買行動の変化の割合が高くなるほど、また追加政策期間が長くなるほど、減少することがわかった。

なお、本結果で得られた最終的に残っている戦略毎の企業数を付録 VI に、GDP、税金および環境負荷量の詳細を付録 VII に示す。また、各結果のグラフを VIII に示す。

5.4 考察

本論文の目的は、環境保護政策や規制の有効性の評価を行うことであり、特に、環境保護政策と企業戦略の関連性について、以下の観点から評価を行うことである。

- ・ 企業戦略の見直し期間の長さは、企業戦略に影響するか
- ・ 消費者の購買行動の変化は、企業戦略に影響するか

上記の各目的に対し、本シミュレーションから以下のことがわかった。

1. 企業戦略の見直し期間の長さについて：

- ・ 各企業が企業戦略を売上の額で見直す場合、見直し期間を開発期間 1 回分と開発期間 2 回分とした変化させても、各指標の結果にほとんど差がない

2. 消費者の購買行動の変化について：

- ・ 罰則がない場合、常に規制に従う企業が残ることが少ない
- ・ 消費者に対する追加政策がある場合、罰則がある方が常に規制に従う企業が残ることがある

本研究では、企業の戦略の見直し期間を企業戦略の維持期間とみなし、見直し期間が長いほど、長期的なスパンで企業戦略を考えていると仮定した。ここで、上記の結果より、見直し期間の長短では、規制に従う企業戦略をとる企業の最終的な数や最終年で環境配慮型製品を販売している企業数、また、環境負荷量や GDP、税金といった指標に差が出ないことがわかった。

また、本研究では、罰則の有無や消費者に対する追加政策により、消費者の行動に変化を与えている。上記の結果から、消費者の購買行動の変化により、規制に従う企業が最終的に残りやすくなることがわかった。さらに、微小ではあるが、環境負荷量や税金に差が出ることもわかった。この結果より、本研究から消費者の購買動向が規制に従う企業戦略をとる企業の最終的な数や最終年で環境配慮型製品を販売している企業数、また、環境負荷量や税金といった指標に対して重要なことがわかった。

5.4.1 消費者の購買動向の変化

本研究の結果より、規制に従う企業が残るためには消費者の購買動向が需要であることがわかった。特に、罰則の有無により消費者の動向が変化することで結果に差が出ることもわかった。ここで、消費者の購買動向の変化について実例を挙げる。

1) 追加政策について

本研究では、追加政策として消費者に対して補助金を与えることにより消費者の購買動向を変化させている。つまり、環境配慮型製品以外を購入しようとしている消費者の何割かが環境配慮型製品を購入するようモデル化した。このモデルは実際に行われたエコカー補助金制度を参考にしている。

エコカー補助金制度の趣旨は、環境性能の改善が進んできた最新の車の需要減、自動車ユーザの保有期間の長期化への対応は、環境対策の観点から重要であり、裾野の広い自動車産業の活性化は、景気の早期回復のためにも不可欠であることから、環境性能の良い新車の購入促進策により、環境対策と景気対策を効果的に実現することである。本制度の期間は、平成 21 年（2009）4 月から平成 22 年（2010）9 月であり、概要を以下に示す。

① 経年車の廃車を伴う新車購入補助

車齢の古い車を廃車し、一定の環境性能を有する新車を購入する者に対して以下の補助を与える。補助の内容を、表 23 に示す。

表 23 経年車の廃車を伴う新車購入補助

	区分	補助金
乗用車	登録者	25 万円
	軽自動車	12.5 万円
重量車	小型	40 万円
	中型	80 万円
	大型	180 万円

② 新車購入補助（経年車の廃車を伴わないもの）

環境性能の良い新車を購入する者に対して以下の補助を与える。補助の内容を、表 24 に示す。

表 24 新車購入補助

	区分	補助金
乗用車	登録者	10 万円
	軽自動車	5 万円
重量車	小型	20 万円
	中型	40 万円
	大型	90 万円

本政策の結果として、本研究のパラメータ等の設定で参考に行っているプリウスの販売台数の変化を以下に示す。本制度の期間が、2009 年 4 月から 2010 年 9 月であることから、2008 年度と 2009 年度の新車販売台数を比較する。

表 25 新車販売台数

年度	販売台数	前年度比 (%)	順位
2008	70,618	115.6	5
2009	277,485	392.9	1

表 25 からわかるように、エコカー補助金制度が実施された 2009 年度のプリウスの新車販売台数の前年比が、およそ 400%であることから 1 年で 4 倍になったことがわかる。2009 年 5 月には、3 代目プリウスが販売開始されたことも少なからず影響があると考えられるが、ハイブリッド車として名が知られていたプリウスの販売台数が 4 倍近くになったことの理由として本制度が大きな影響を与えたことが考えられる。したがって、本研究で示すような追加政策による消費者の購買動向の変化が企業戦略にとっては重要なことがわかる。

2) 罰則について

自動車業界において、罰則により消費者の動向が変化した事例として三菱自動車工業のリコール隠しがある。2000 年に三菱自動車工業の乗用車部門とトラック・バス部門によって行われた大規模なリコール隠しが発覚した。その上、トラック・バス部門のさらなるリコール隠しが 2004 年に発覚した。この結果、2004 年 5 月、道路運送車両法違反容疑で関係者 5 名が逮捕され、業務上過失致死傷容疑で関係者 2 名が逮捕された。また、三菱自動車工業自体も道路運送車両法容疑で刑事告発された。この事例が消費者の動向に与えた影響を考えるために、データの取得できる 2004 年から 2010 年までの三菱自動車工業全体での新車販売台数を比較³する。

表 26 新車販売台数

年	販売台数	前年度比 (%)
2004	127,339	-
2005	71,846	56.4
2006	85,142	118.5
2007	75,359	88.5
2008	83,276	110.5
2009	53,964	64.8
2010	65,066	120.6

表 26 に示すように、2 回目に事件が発覚した 2004 年と翌年の 2005 年の販売台数比は 56.4%となっており、販売台数がおよそ半分近くまで落ち込んでいることがわかる。そして、その後 2010 年までの間、販売台数は増減を繰り返している。この例からもわかるように、消費者の信用をなくすような行為が一度公になると消費者離れが起きることになる。また、一度失った信用を取り返すことは容易ではないと考えられる。

この事例からも、本研究で示すような罰則を用いた消費者の購買動向の変化が企業戦略にとっては重要なことがわかる。

³ 2000 年のリコール隠し発覚時の販売台数のデータが取得できなかったため、2004 年からのデータを使用している。

5.4.2 行政法の実施過程

規制法の実施過程に関する先行研究として、平田(2009)がある。本先行研究では、水質汚濁防止法の実施過程について、東京湾に面する7政令市に対するインタビュー調査を行い、規制者と被規制者の実態として以下を挙げている。

- ・基準違反に対し行政指導を多用している
- ・違反判明後は、行政と被規制者間で話合う
- ・行政は、被規制者と協力的、協調的関係を醸成しようとしている
- ・行政は、非規制者との継続的、長期的な関係を持つ

また、規制法の実施過程の実態としての上記の結果から、ゲーム理論でのモデル化を行い、規制者（行政）と被規制者（企業）がコミュニケーションをとり、長期的・継続的な関係を持つことから、規制者と被規制者の協力関係（行政：協力的法執行、被規制者：協力的遵守）がナッシュ均衡となっていると結論づけている。

本研究では、罰則の少ない企業から消費者が製品を購入するモデルとしており、罰則がある場合に規制に従う企業が最終的に残りやすくなることが示された。ここで、本研究での常に規制に従う企業を上記先行研究での規制に対し協力的遵守を行う企業とみなすと、罰則がない場合には、常に規制に従う企業が残りやすいことから、本研究では規制者と被規制者の関係は協力関係とはなっていないと思われる。したがって、規制法の実施過程についての実態調査とゲーム理論によりその実態のモデル化を行った先行研究と、本研究では異なる結果となった。先行研究では、協力関係になるためには、規制者と被規制者のコミュニケーションが存在すること、その関係が長期的・継続的であることが重要であるとしている。一方、本研究では売上の大きさによってのみ戦略の見直しを行うため、規制者と被規制者のコミュニケーションが定義されていない。また、消費者が存在し、消費者の動向により売上が変化する。これらのことが、先行研究と本研究の結果が異なることの原因であると考えられる。

5.4.3 本研究の課題

本研究の課題を以下に述べる。本研究では、企業が一定期間後に戦略を見直しすることにより最終的に残る戦略を指標としている。しかしながら、消費者の購買志向が決まっており、最終的な購買数は消費者の購買志向に依存する。すなわち、GDPや税金、環境負荷量などの指標は、罰則の有無と追加政策の開始年、期間が同じであればほとんど変化がないことになる。また、罰則や追加政策に対する消費者の購買動向の変化もモデルの中で与えられており、自発的な行動となっていない。そして、国の行動についても、罰則の与え方や追加政策の開始年、期間がモデルの中で指定されている。したがって、各エージェントの動的な関係を研究するためには、各エージェントの効用を考慮し、その効用を最大化するように各エージェントが自発的に選択、行動するモデルを構築する必要があると考え

る。各エージェントの効用の例としては、以下のようなものが考えられる。

1) 国

- ・GDP、税金、住みやすさ、国民満足度

2) 企業

- ・売上、利益、企業継続、社会貢献

3) 消費者

- ・報酬、楽しさ、健康、安心

また、本研究の目的が、以下の 2 点であることから、本研究では主に企業戦略と消費者の動向に絞ってモデルを構築した。また、追加政策などは、実際の例を参考にしてモデル化している。

- ・企業戦略の見直し期間の長さは、企業戦略に影響するか
- ・消費者の購買行動の変化は、企業戦略に影響するか

これは、企業に対する環境税や補助金などの政策から企業の経済性を捉える環境経済学の範囲に含まれない内容である。つまり、特定の学問の範囲の中になくとも、本研究の課題であると考え。したがって、各エージェントの効用を考慮すると同時に、環境問題に対する政策の在り方として、環境経済学に則ったモデルを構築することが必要であると考え。

6. 結論

環境問題の発生を最小限に抑え、環境と調和した社会を実現するためには、組織が自発的に方針や目標を定め、活動や評価を行うことが理想である。しかしながら、当事者意識が低くなりがちなこと、環境対策にはコストがかかることなどから自発的な活動につながりにくい。そこで、持続可能な発展のためには、国による政策や規制が重要になる。また、社会の構成員がそれらの政策や規制に従うことも重要である。本研究では、国が環境規制を実施した際の規制に従う企業の動向を、エージェントベースモデルを利用したシミュレーションを用いることで分析した。分析の結果は以下の通りである。

1. 企業戦略の見直し期間の長さについて：

- ・各企業が企業戦略を売上の額で見直す場合、見直し期間を開発期間 1 回分と開発期間 2 回分とした変化させても、各指標の結果にほとんど差がない

2. 消費者の購買行動の変化について：

- ・罰則がない場合、常に規制に従う企業が残ることが少ない
- ・消費者に対する追加政策がある場合、罰則がある方が常に規制に従う企業が残ることがある

上記の結果から、罰則の有無や追加政策により消費者の購買動向の変化が企業の動向に対して重要であることが確認できた。

本研究では、エージェントベースモデルのシミュレーションにおいて、国、企業、消費者の行動をモデル化した。本研究のように、環境政策について、CtoC のケースで 3 主体でのシミュレーションを行った研究は少ないと思われる。そのため、環境政策に関する 3 主体を用いたエージェントベースモデルのシミュレーション研究の一つのケースとなったと考える。しかしながら、本シミュレーションのモデルでは、主に企業の戦略と消費者の動向に注目しており、3 主体の自発的な行動をモデル化しているとは言い難い。つまり、本シミュレーションでは、全ての企業が売上により戦略の見直しを行うことで、全ての企業は経済性を指標として行動しているといえ、企業の効用に多様性がない。また、国と消費者については、モデルの中で行動が指定されているため自発的な行動を行っていない。したがって、本シミュレーションでは、3 主体がそれぞれの効用の最大化を目指して自発的な行動を行っているとは言えない。さらに、本研究では実際の例を参考にして、モデル化を行っているため、モデルの根拠が薄いと考えられる。したがって、今後の課題としては、環境経済学での企業に対する環境税や補助金などを考慮すること、また、各主体が効用の最大化を目的として自発的に行動するモデルを作成することである。このようにして、シミュレーションを用いたさらなる環境政策の評価に関する研究に貢献できると考える。

参考文献

- Axelrod, R. : The Complexity of Cooperation-Agent-Based Model of Competition and Collaboration, Princeton University Press(1997)
- Epstein, J.M., Axtell, R. L.: Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up, The MIT Press(1996)
- H. -J. Mosler and T. Martens: “Designing environmental campaigns by using agent-based simulations: Strategies for changing environmental attitudes,” Journal of Environmental Management. 88: 805-816, 2007.
- M. A. Janssen and W. Jager: “Simulation diffusion of green products: Co-evolution between firms and consumptions,” Journal of Evolutionary Economics. 12: 283-306, 2002.
- M. Janssen and B. de Vries: “The battle of perspectives: a multi-agent model with adaptive responses to climate changes,” Ecological Economics. 26: 43-65, 1998.
- 有馬弥重、環境政策における規制システムの経済分析、九州大学経済学府:契約理論、経済学研究 68(4/5)、235-258、2002-02
- 在間敬子 (2008)、環境配慮型社会をデザインするエージェントベースモデリング: 研究の現状と今後の分析課題、オペレーションズ・リサーチ:経営の科学 53(12)、678-685、2008-12-01
- 田中廣滋、気候変動と環境技術革新、地球環境レポート(13)、1-14、2010-03
- トーマス・フリードマン著、伏見威蕃訳 (2009)、グリーン革命上、日本経済新聞出版社
- トーマス・フリードマン著、伏見威蕃訳 (2009)、グリーン革命下、日本経済新聞出版社
- 平田彩子著 (2009)、行政法の実施過程ー環境規制の動態と理論ー、木鐸社
- 細田衛士、横山彰著 (2007)、環境経済学、有斐閣
- 前田章著 (2010)、ゼミナール環境経済学入門、日本経済新聞出版社
- 増井利彦、松岡譲、森田恒幸、環境と経済を統合した応用一般均衡モデルによる環境政策の効果分析、土木学会環境システム研究論文集 Vol.28、pp.467-475、2000年
- 山影進著 (2010)、人口社会構築指南、書籍工房早山
- レイチェル・カーソン著、青樹築一訳 (1962)、沈黙の春、新潮文庫
- 日本自動車工業会(<http://www.jama.or.jp>)
- 日本自動車販売協会連合会(<http://www.jada.or.jp>)
- 自動車の開発動向と普及見通し、環境省、(<http://www.env.go.jp/air/report/h21-01/2.pdf>)

付録

I. 結果サンプル

本シミュレーションで得られる結果のサンプルを以下に示す。本サンプル取得時の各変数の設定は、対象人口：9,000（千人）、企業数：20、評価周期：1年、製品数：1、消費税なしである。

1) 売上推移

企業 20 社の売上の推移を表したグラフを以下に示す。横軸が時間、縦軸が金額である。時間経過とともに売上は増加している。各企業はこの値に基づいて、見直し周期後毎に戦略の見直しを行う。

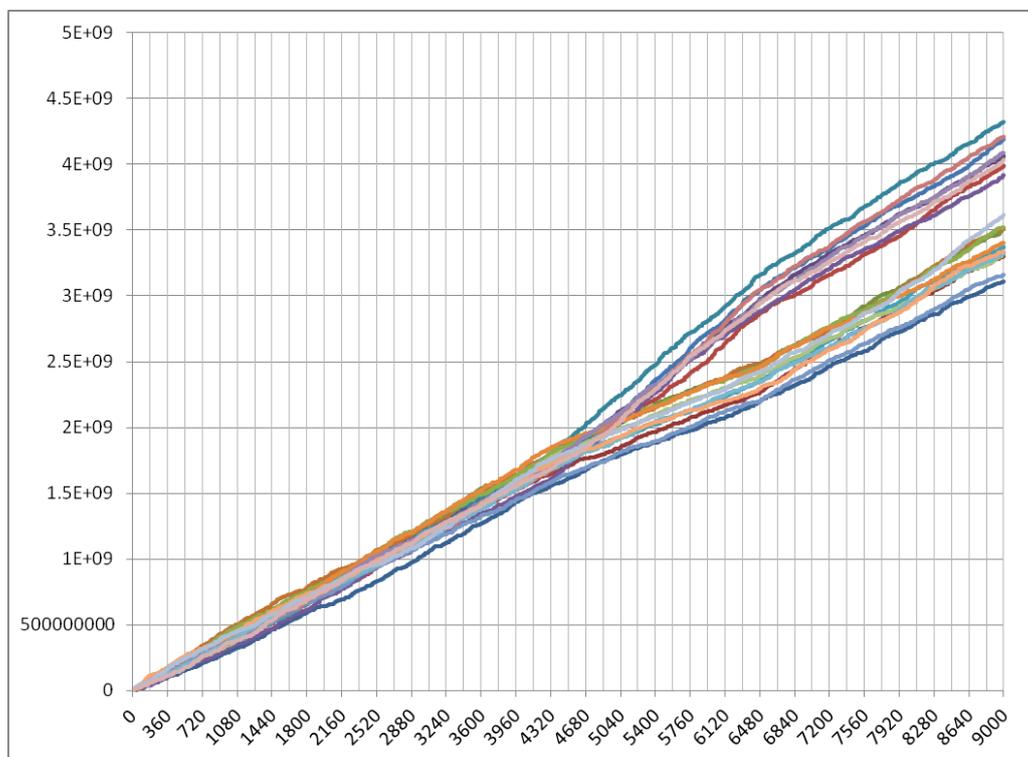


図 10 売上の推移サンプル

2) 利益推移

企業 20 社の利益の推移を表したグラフのサンプルである。横軸が時間、縦軸が金額である。時間経過とともに利益が増加するが、開発周期毎に開発費分が減少している。なお、本シミュレーションに用いたパラメータの設定では、全ての企業が大きな利益を得ることはない。

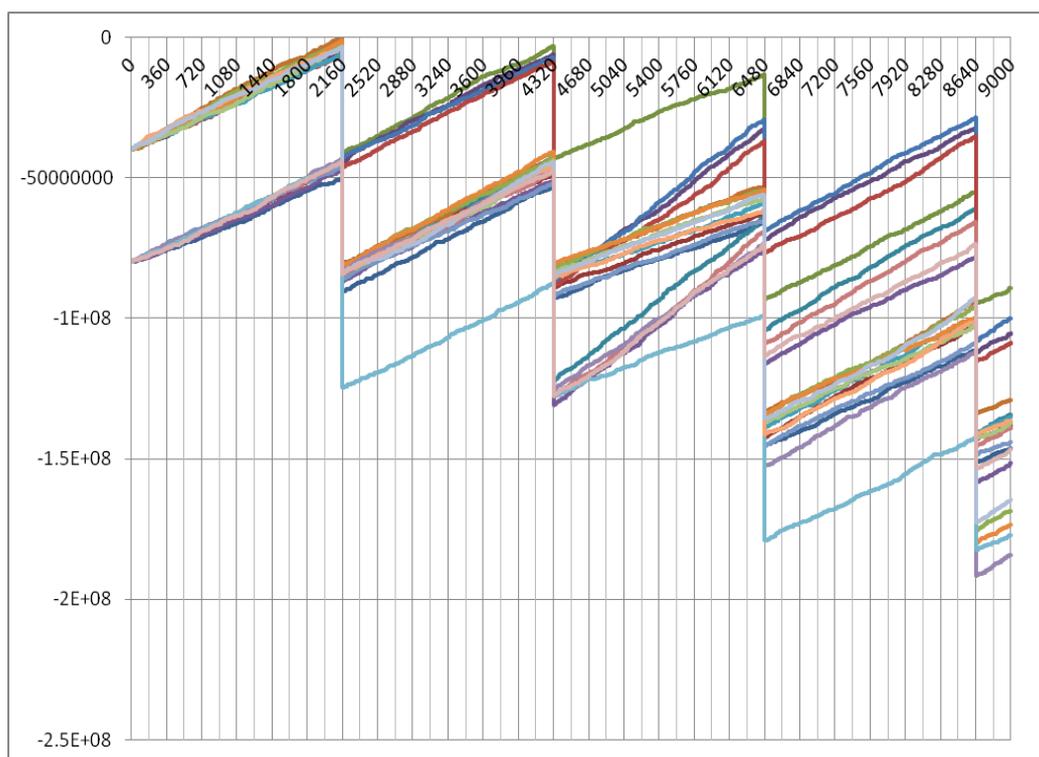


図 11 利益の推移サンプル

3) 環境配慮型製品販売企業数、環境配慮型製品以外販売企業数

環境配慮型製品を販売している企業数と環境配慮型製品以外を販売している企業数の推移を表したグラフのサンプルである。横軸が時間、縦軸が企業数である。凡例の bad 販売企業が環境配慮型製品以外を販売している企業を表しており、good 販売企業が環境配慮型製品を販売している企業を表している。

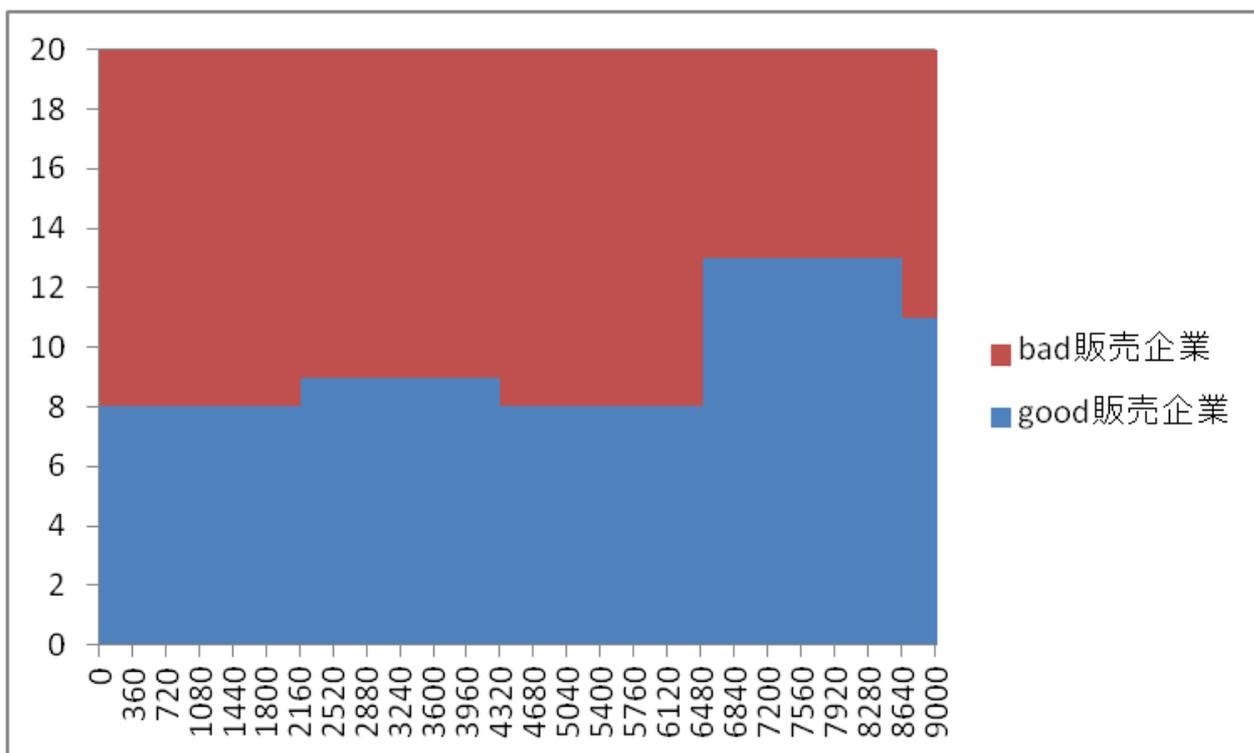


図 12 製品毎の販売企業数の推移サンプル

4) 戦略毎の企業数

戦略毎の企業数の推移を表したグラフのサンプルである。横軸が時間、縦軸が企業数である。凡例の下から順に、4.3 企業のモデルの戦略を表している。

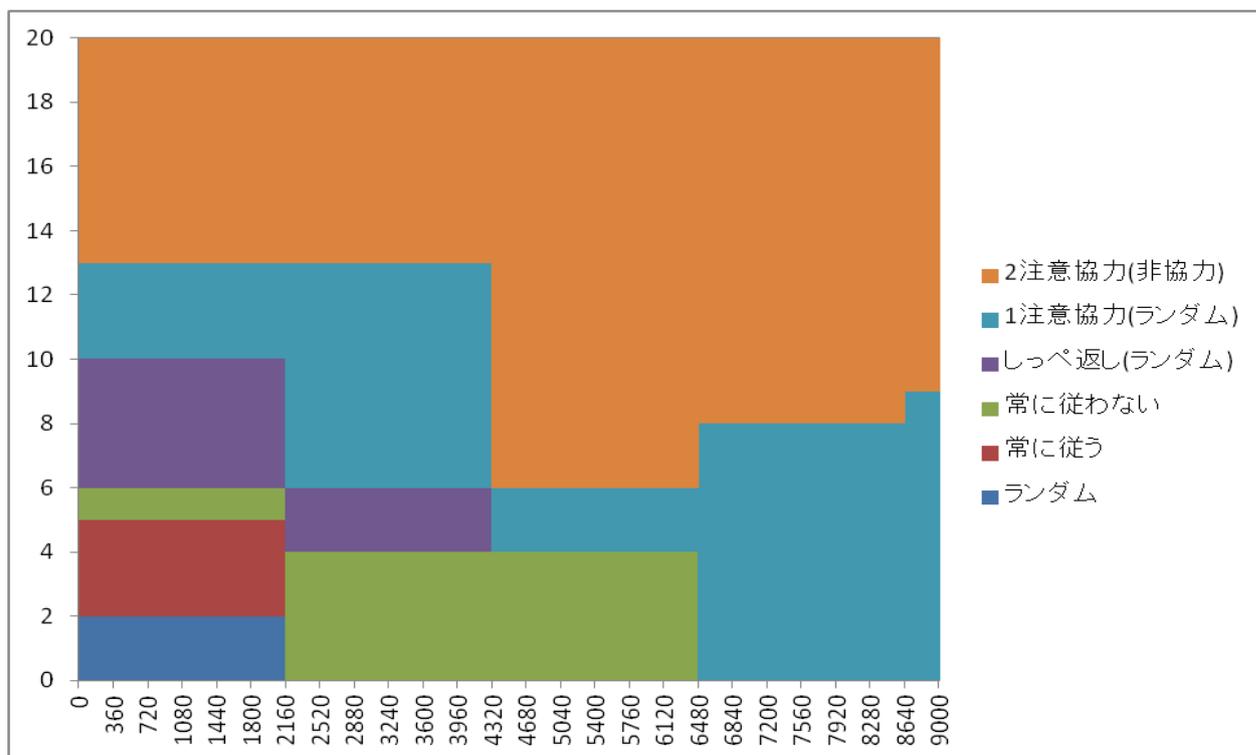


図 13 戦略毎の企業数の推移サンプル

5) 環境負荷量

消費者が製品を購入する際に環境に与える環境負荷量の推移を表したグラフのサンプルである。横軸が時間、縦軸が環境負荷量である。

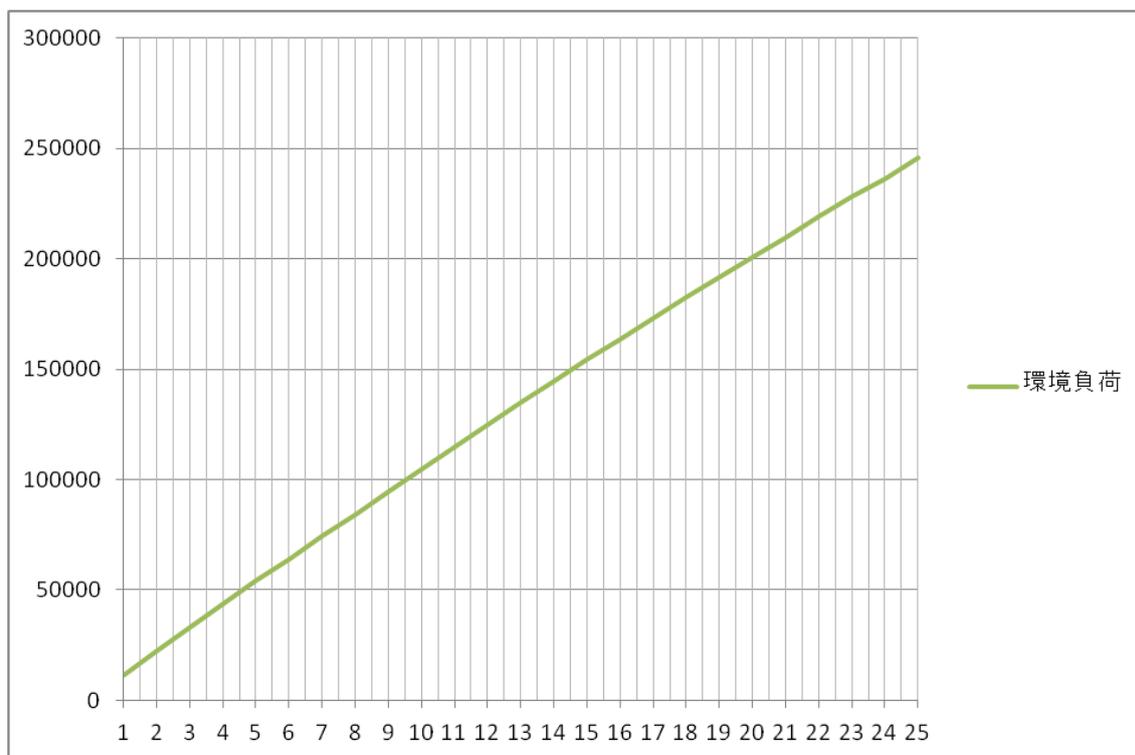


図 14 環境負荷量の推移サンプル

6) GDP、税金

GDP と税金の推移を表したグラフのサンプルである。横軸が時間、縦軸が金額である。

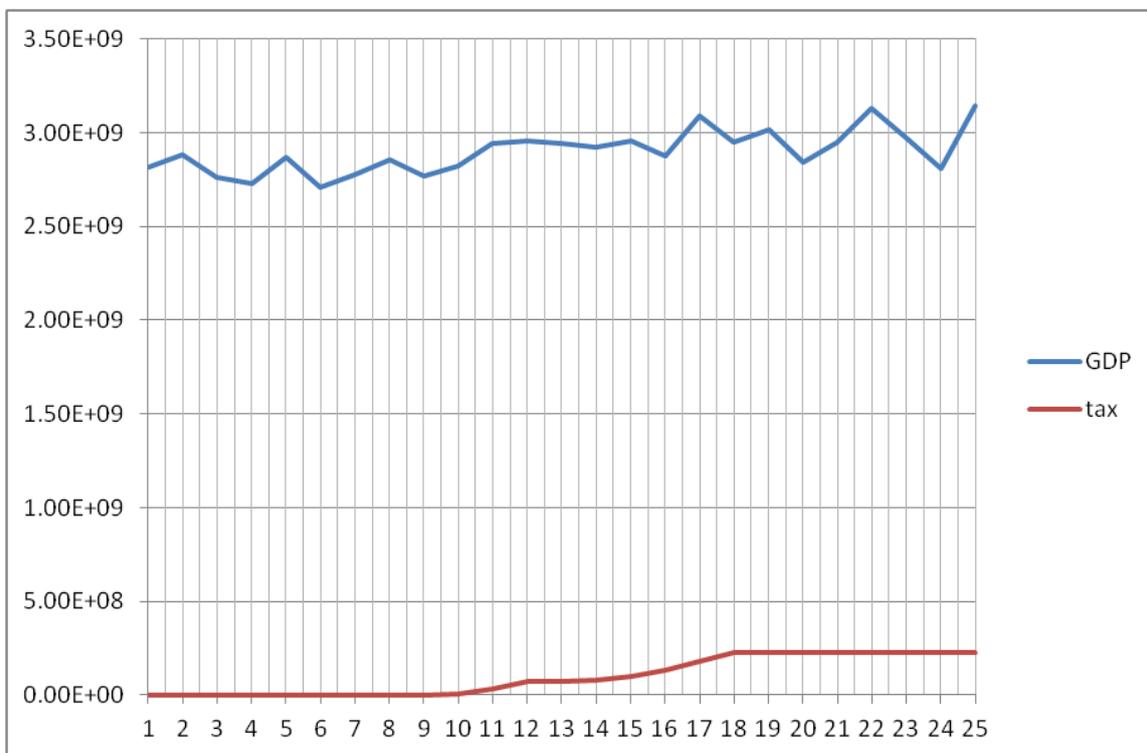


図 15 GDP、税金の推移サンプル

II. 分析結果 5.1 における戦略毎の企業数

分析結果 5.1 において、最終年で残っている戦略毎の企業数を以下に示す。表中の戦略の番号は、4.3 企業のモデルにおいて説明した企業の戦略の番号を示している。

表 27 戦略毎の企業数

No.	シミュレーション回数	戦略毎の企業数					
		1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	0	0	9	11
	2	0	0	0	14	0	6
	3	0	0	0	14	0	6
	4	12	0	0	0	8	0
	5	0	0	0	0	1	19
2	1	4	3	0	1	12	0
	2	7	11	0	2	0	0
	3	0	0	0	20	0	0
	4	0	0	0	10	0	10
	5	2	10	0	0	8	0
3	1	17	0	3	0	0	0
	2	7	0	10	0	3	0
	3	0	0	0	9	11	0
	4	6	0	0	7	7	0
	5	0	16	0	4	0	0
4	1	0	0	9	11	0	0
	2	13	2	0	5	0	0
	3	4	2	0	14	0	0
	4	6	10	4	0	0	0
	5	0	9	0	7	4	0

III. 分析結果 5.1 における環境負荷、GDP、税金

分析結果 5.1 におけるシミュレーション回数毎の環境負荷量、GDP、税金を示す。表中の環境負荷量と税金は累積量と累積額を表している。GDP は年平均値を表している。

表 28 環境負荷、GDP、税金

No.		シミュレーション回数				
		1	2	3	4	5
1	環境負荷量	248,945	249,745	247,975	246,090	247,900
	GDP	2,932,168,000	2,938,952,000	2,907,000,000	2,928,336,000	2,927,712,000
	税金	0	107,000,000	1,184,000	251,546,420	4,262,560
2	環境負荷量	245,770	246,590	246,745	246,585	245,785
	GDP	2,899,280,000	2,906,352,000	2,929,416,000	2,915,464,000	2,914,440,000
	税金	225,309,688	221,000,000	13,100,000	6,439,200	156,000,000
3	環境負荷量	248,835	247,415	248,165	249,040	248,145
	GDP	2,940,888,000	2,935,928,000	2,932,584,000	2,921,984,000	2,930,376,000
	税金	46,500,000	275,000,000	1,529,600	2,368,000	13,600,000
4	環境負荷量	248,625	248,845	246,075	248,150	247,575
	GDP	2,938,952,000	2,927,144,000	2,910,360,000	2,943,920,000	2,914,296,000
	税金	60,800,000	99,400,000	143,000,000	339,000,000	44,600,000

IV. 分析結果 5.2 における戦略毎の企業数

分析結果 5.2 において、最終年で残っている戦略毎の企業数を以下に示す。表中の戦略の番号は、4.3 企業のモデルにおいて説明した企業の戦略の番号を示している。

表 29 戦略毎の企業数

No.	シミュレーション回数	戦略毎の企業数					
		1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	0	10	0	0
	2	2	0	0	0	8	0
	3	10	0	0	0	0	0
	4	10	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	10	0
2	1	0	0	0	0	10	0
	2	4	0	0	0	6	0
	3	4	0	0	0	6	0
	4	0	0	0	0	10	0
	5	0	0	0	0	10	0
3	1	0	0	0	0	0	10
	2	0	0	0	0	0	10
	3	4	0	0	0	4	2
	4	3	0	0	0	3	4
	5	4	0	0	0	6	0
4	1	0	0	0	0	10	0
	2	0	7	0	0	3	0
	3	2	0	0	5	3	0
	4	6	0	0	0	4	0
	5	7	0	0	0	3	0

V. 分析結果 5.2 における環境負荷、GDP、税金

分析結果 5.2 におけるシミュレーション回数毎の環境負荷量、GDP、税金を示す。表中の環境負荷量と税金は累積量と累積額を表している。GDP は年平均値を表している。

表 30 環境負荷、GDP、税金

No.		シミュレーション回数				
		1	2	3	4	5
1	環境負荷量	365,770	366,225	364,295	364,950	363,435
	GDP	4,419,024,000	4,420,552,000	4,408,952,000	4,403,120,000	4,419,480,000
	税金	5,890,881,284	5,525,690,000	5,518,056,431	5,503,900,000	5,528,754,400
2	環境負荷量	364,385	369,430	367,470	369,725	363,455
	GDP	4,399,688,000	4,412,720,000	4,426,992,000	4,450,984,000	4,376,632,000
	税金	5,531,786,184	5,539,911,422	5,577,650,927	5,563,730,000	5,470,790,000
3	環境負荷量	366,215	364,095	367,895	367,360	365,610
	GDP	4,413,944,000	4,374,456,000	4,449,784,000	4,411,904,000	4,426,832,000
	税金	5,517,430,000	5,468,070,000	5,562,230,000	5,519,408,800	5,533,540,000
4	環境負荷量	364,990	363,695	363,110	367,235	367,695
	GDP	4,402,800,000	4,375,864,000	4,398,640,000	4,430,424,000	4,414,136,000
	税金	5,524,102,320	5,624,526,593	5,591,048,612	5,540,616,480	5,622,813,538

VI. 分析結果 5.3 における戦略毎の企業数

分析結果 5.3 において、最終年で残っている戦略毎の企業数を以下に示す。表中の戦略の番号は、4.3 企業のモデルにおいて説明した企業の戦略の番号を示している。

表 31 戦略毎の企業数

No.	戦略毎の企業数 (平均)					
	1	2	3	4	5	6
1	5	0	0	0.4	4.6	0
2	1.4	0	0	0	8.6	0
3	6.4	0	0	0	3.6	0
4	4	1.8	0	0	4.2	0
5	0.8	0	0	0	9.2	0
6	4.6	0	0	0	5.4	0
7	3.6	0	0	0	6.4	0
8	0.2	1.4	0	1.8	6.6	0
9	1.2	0	0	0	8.8	0
10	4.6	0	0	0	5.4	0
11	2.2	0	0	0	7.8	0
12	0.6	0.4	0	0	9	0
13	2.4	0	0	0	7	0.6
14	4	1.2	0	0	4.8	0
15	3.6	0.8	0	1.2	4.4	0
16	2.6	0.6	0	0	6.8	0
17	6.2	0	0	0	3.8	0
18	1.8	0	0	0	8.2	0
19	0	0	0	0	3.8	6.2
20	4.4	0	0	0	5.6	0
21	2.6	0	0	0	2.8	4.6
22	1.8	0.6	0	0	7.6	0
23	3.6	0	0	0	5.4	1
24	2.2	0	0	0	7.8	0
25	5	0	0	0	3.6	1.4
26	1	0.8	0	0	8.2	0
27	3.2	0	0	0	3.6	3.2
28	1.8	0	0	0	8.2	0
29	3.2	0	0	0	4.8	2
30	4	0	0	0	6	0
31	1.6	0	0	0	4.8	3.6
32	4.8	0	0	0.6	4.6	0
33	2.6	0	0	0	4.4	3
34	2.8	0	0	0.8	6.4	0
35	1.4	0	0	0	6.2	2.4
36	0	1.6	0	1	7.4	0

VII. 分析結果 5.3 における環境負荷、GDP、税金

分析結果 5.3 におけるシミュレーション回数毎の環境負荷量、GDP、税金を示す。表中の環境負荷量と税金は累積量と累積額を表している。GDP は年平均値を表している。

表 32 環境負荷、GDP、税金

No.	環境負荷量	GDP	税金
1	365,385	4,414,369,600	5,328,632,040
2	366,204	4,418,220,800	5,335,159,811
3	363,673	4,410,734,400	5,093,812,000
4	365,260	4,425,772,800	5,157,634,066
5	364,176	4,429,926,400	4,919,658,506
6	366,482	4,440,310,400	4,934,036,256
7	362,938	4,423,248,000	4,679,660,000
8	362,075	4,408,702,400	4,815,777,448
9	363,406	4,430,883,200	4,453,504,000
10	363,155	4,424,817,600	4,456,228,366
11	364,813	4,435,905,600	5,078,089,392
12	363,691	4,419,505,600	5,100,512,188
13	362,342	4,428,233,600	5,004,204,010
14	362,582	4,438,217,600	5,113,409,901
15	362,903	4,458,513,600	5,046,189,353
16	361,695	4,436,408,000	5,084,480,969
17	359,586	4,437,161,600	4,886,852,000
18	360,581	4,443,137,600	4,942,179,532
19	366,070	4,422,294,400	5,295,357,696
20	366,457	4,423,406,400	5,375,353,337
21	366,077	4,421,083,200	5,032,774,030
22	364,848	4,417,715,200	5,108,282,840
23	364,326	4,420,144,000	4,784,083,292
24	365,283	4,425,713,600	4,832,375,193
25	363,481	4,408,225,600	4,499,832,000
26	364,959	4,433,694,400	4,611,044,507
27	364,187	4,434,558,400	4,241,098,000
28	363,250	4,422,492,800	4,290,204,444
29	361,655	4,397,713,600	4,957,635,565
30	365,343	4,435,332,800	5,060,440,817
31	364,812	4,445,664,000	4,958,684,089
32	364,004	4,428,422,400	5,031,692,704
33	361,774	4,428,681,600	4,891,082,403
34	362,679	4,455,236,800	4,999,224,279
35	360,844	4,444,665,600	4,858,088,112
36	361,861	4,440,526,400	4,940,129,425

VIII. 分析結果 5.3 のグラフ

分析結果 5.3 において最終年で残っている企業数、最終年での環境負荷量、GDP、税金を以下に示す。

1) 最終年での企業数

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.1 から No.10 において最終年で残っている企業数を表している。横軸が追加政策期間、縦軸が企業数である。

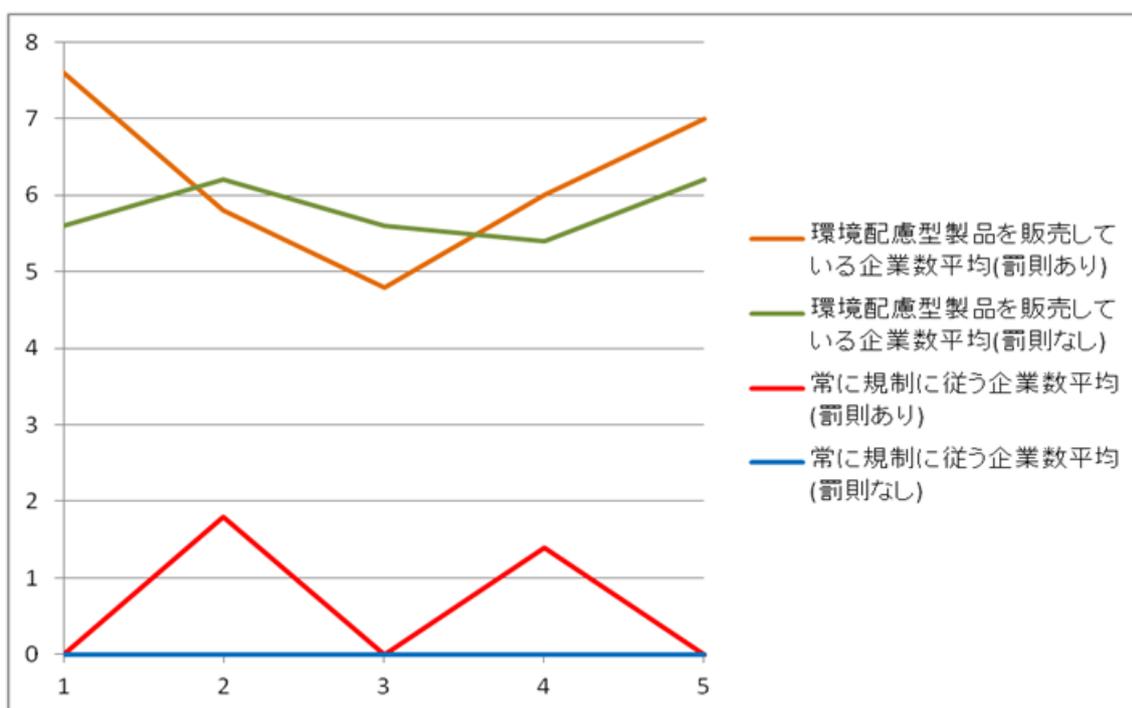


図 16 最終年での企業数

2) 環境負荷量

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.1 から No.10 において最終年での環境負荷量を表している。横軸が追加政策期間、縦軸が環境負荷量である。

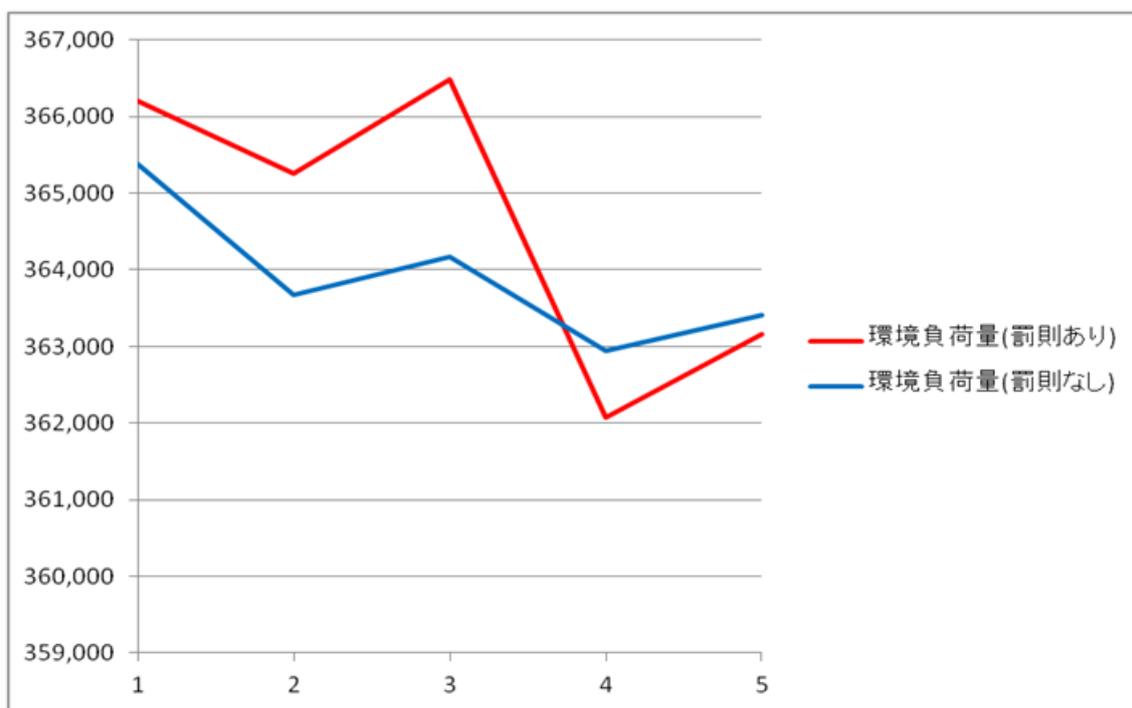


図 17 環境負荷量

3) GDP、税金

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.1 から No.10 において最終年での GDP、税金を表している。横軸が追加政策期間、縦軸が金額である。

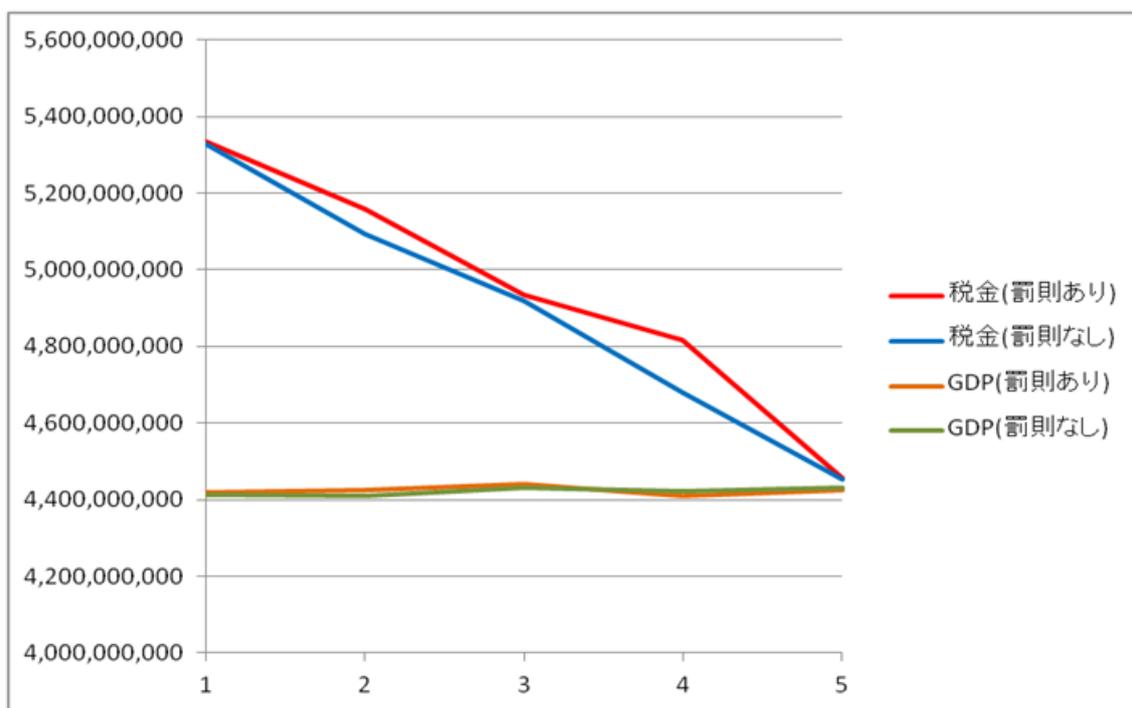


図 18 税金、GDP

4) 最終年での企業数

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.11 から No.18 において最終年で残っている企業数を表している。横軸が追加政策による消費者の購買志向の変化の割合、縦軸が企業数である。

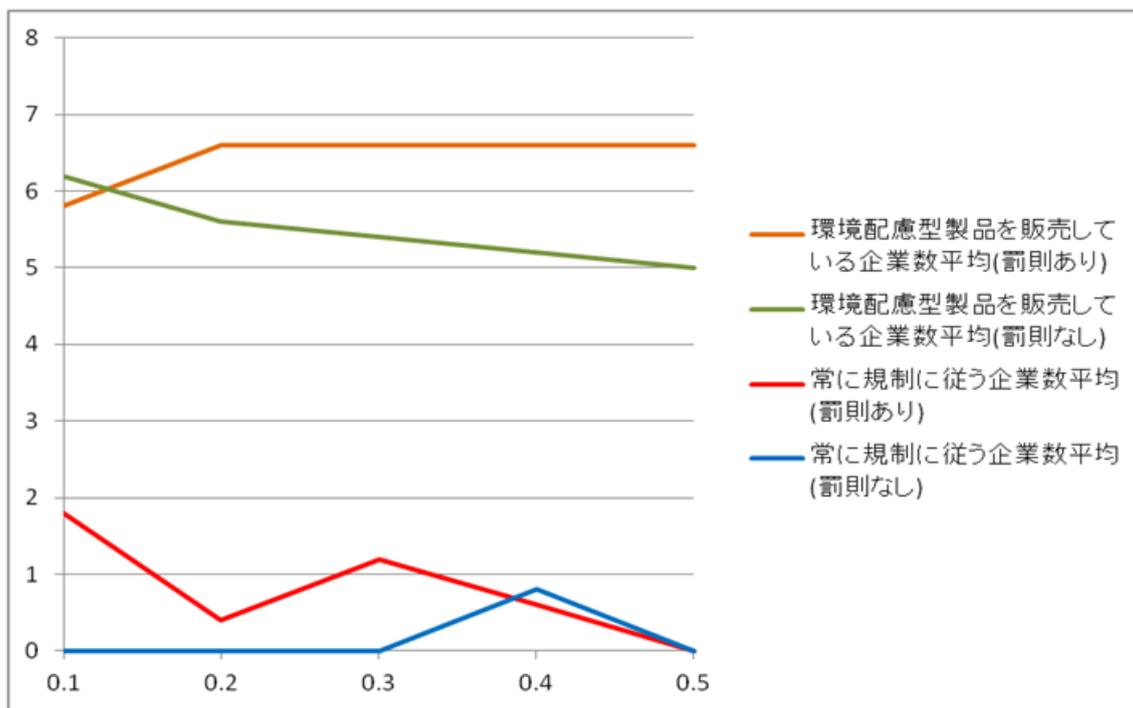


図 19 最終年での企業数

5) 環境負荷量

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.11 から No.18 において最終年で残っている企業数を表している。横軸が追加政策による消費者の購買志向の変化の割合、縦軸が環境負荷量である。

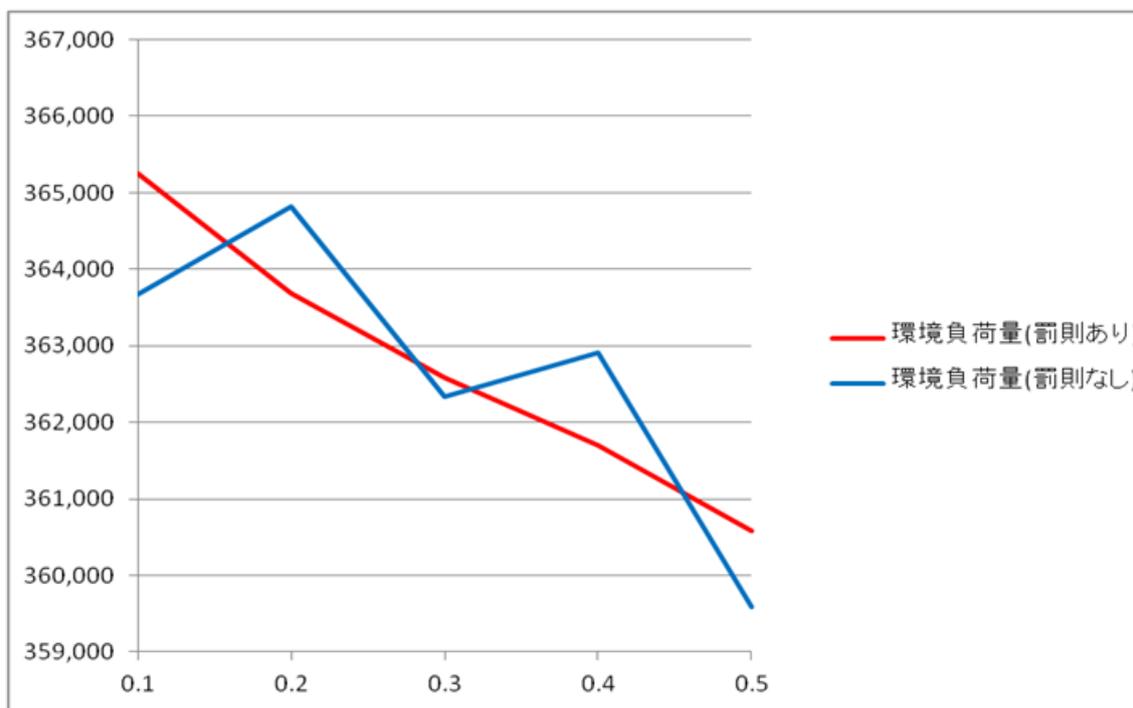


図 20 環境負荷量

6) GDP、税金

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.11 から No.18 において最終年で残っている企業数を表している。横軸が追加政策による消費者の購買志向の変化の割合、縦軸が金額である。

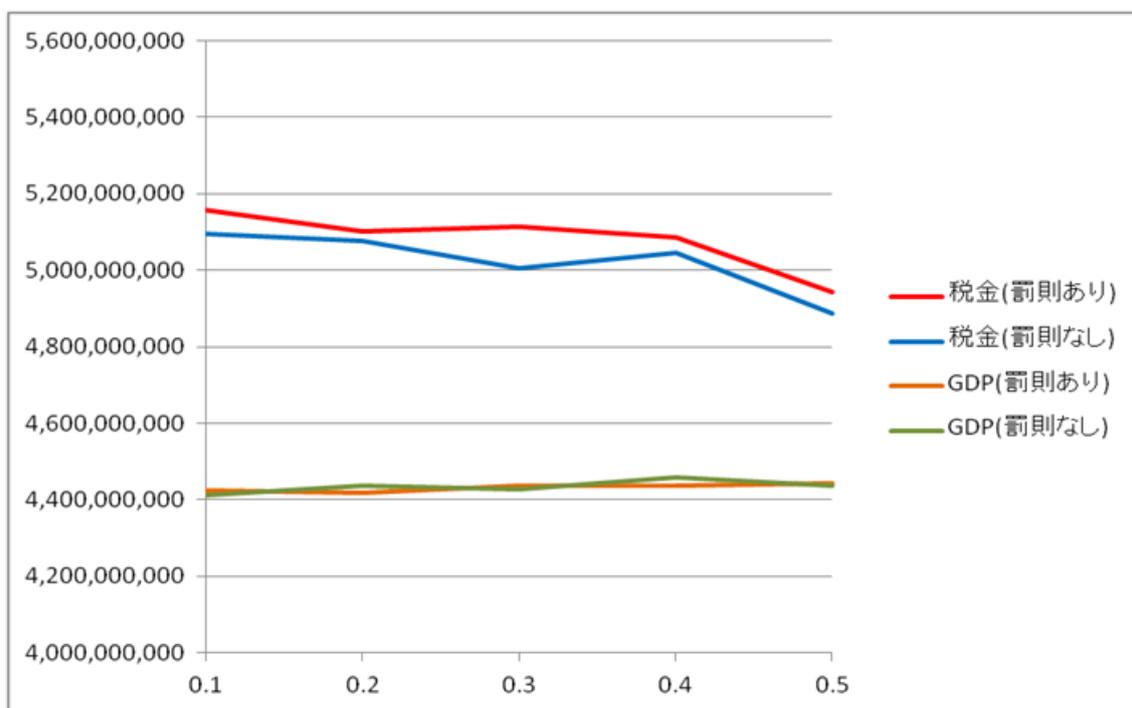


図 21 税金、GDP

7) 最終年での企業数

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.19 から No.28 において最終年で残っている企業数を表している。横軸が追加政策期間、縦軸が企業数である。

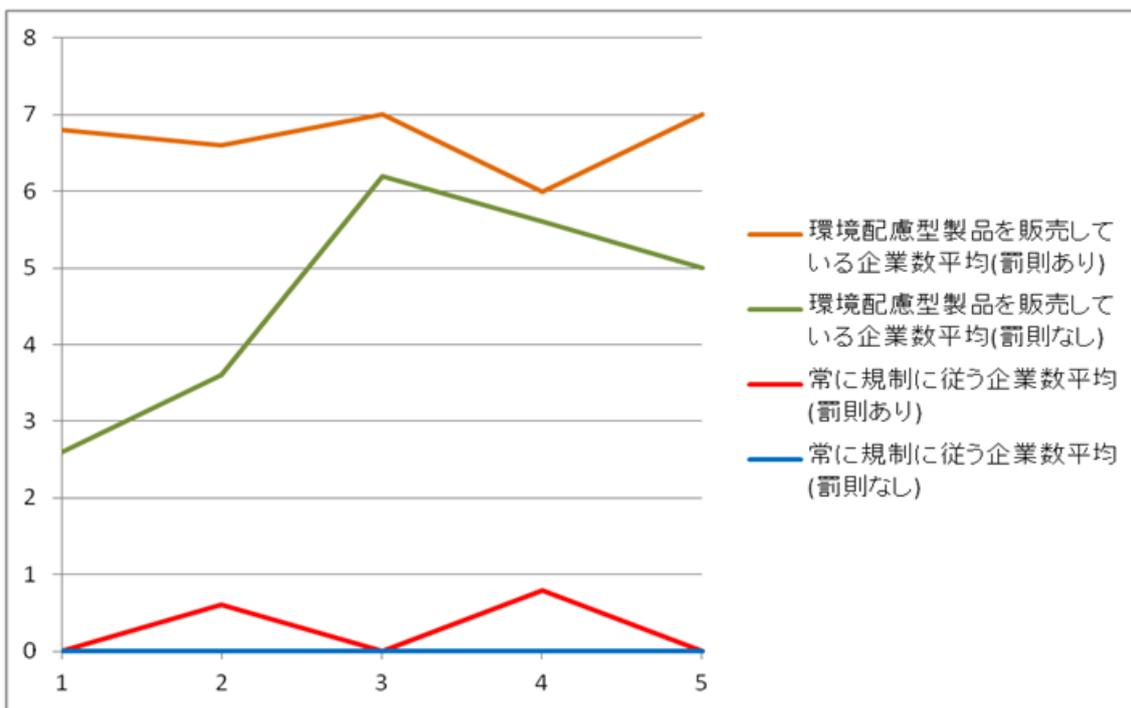


図 22 最終年での企業数

8) 環境負荷量

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.19 から No.28 において最終年での環境負荷量を表している。横軸が追加政策期間、縦軸が環境負荷量である。

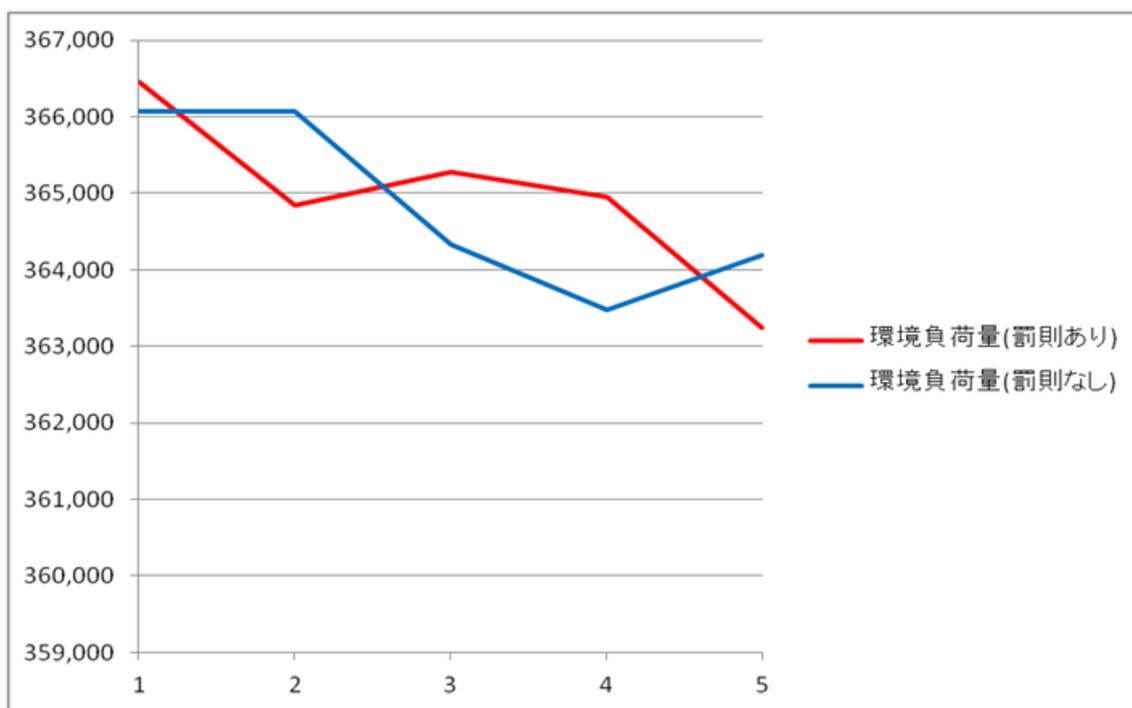


図 23 環境負荷量

9) GDP、税金

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.19 から No.28 において最終年での GDP、税金を表している。横軸が追加政策期間、縦軸が金額である。

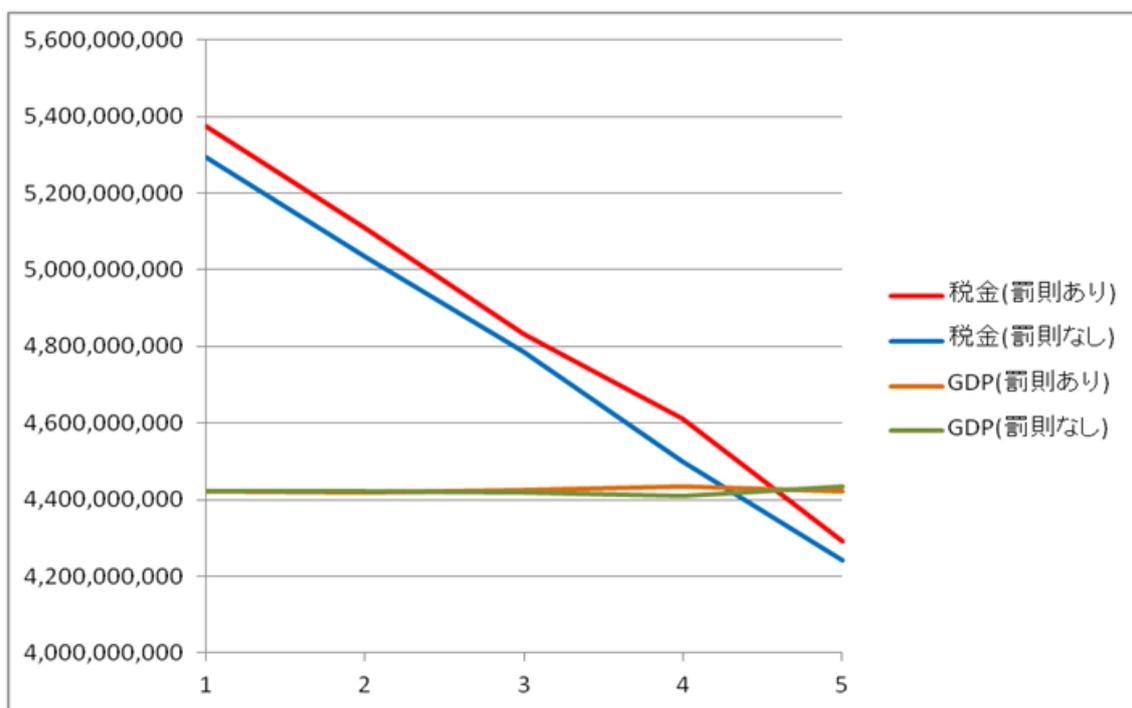


図 24 税金、GDP

10) 最終年での企業数

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.29 から No.36 において最終年で残っている企業数を表している。横軸が追加政策による消費者の購買志向の変化の割合、縦軸が企業数である。

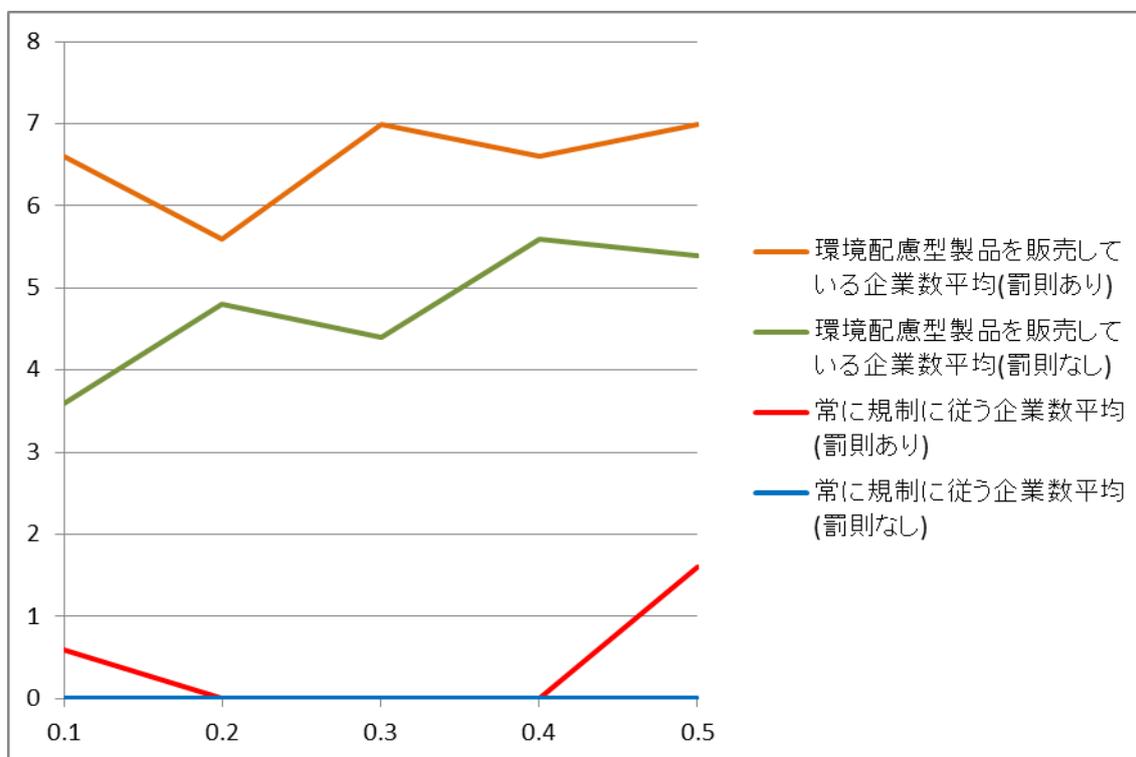


図 25 最終年での企業数

11) 環境負荷量

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.29 から No.36 において最終年で残っている企業数を表している。横軸が追加政策による消費者の購買志向の変化の割合、縦軸が環境負荷量である。

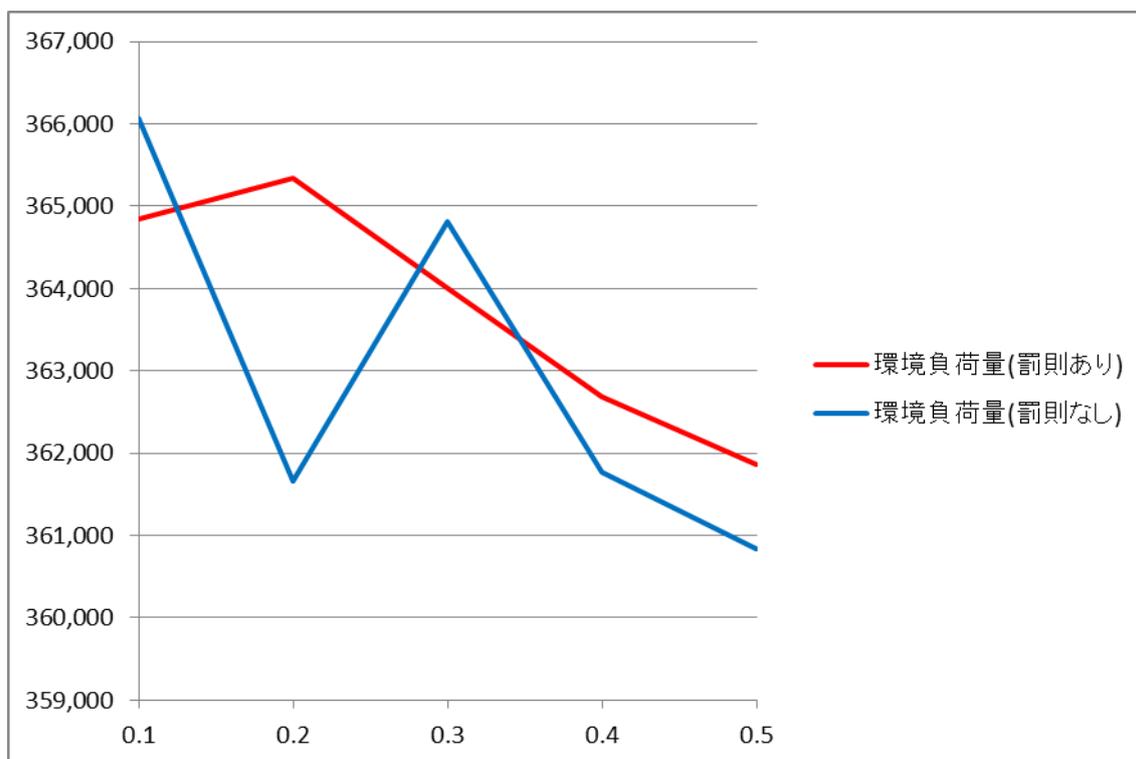


図 26 環境負荷量

12) GDP、税金

分析結果 5.3 の変数の設定で、No.29 から No.36 において最終年で残っている企業数を表している。横軸が追加政策による消費者の購買志向の変化の割合、縦軸が金額である。

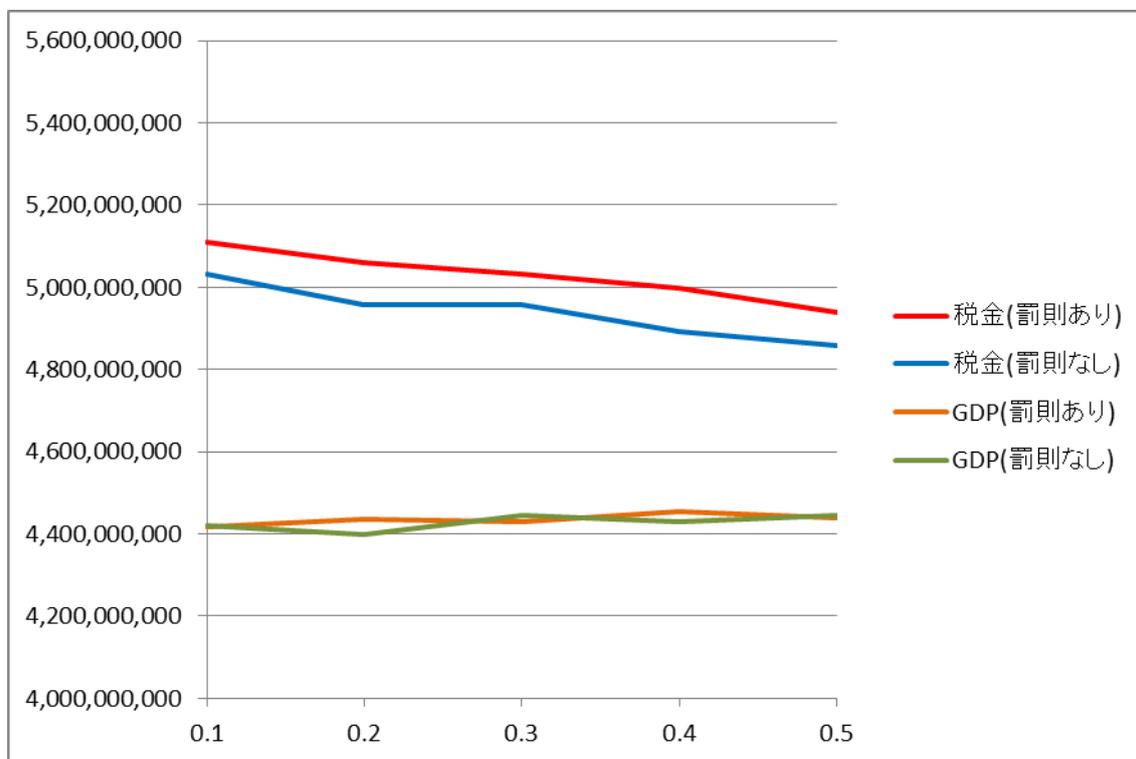


図 27 税金、GDP

IX. プログラムコード

本論文のシミュレーションでは、シミュレーションソフトとして `artisoc` を用いた。プログラムソースは以下の通りである。Universe のプログラム、国エージェント、企業エージェント、人エージェントのプログラムの順に示す。

1) Universe のプログラム

```
Univ_Init{
//***** ファイルオープン *****/
dim timespan as long
//1970年1月1日から現在までの経過時間(ミリ秒)取得
timespan = GetRealTime()
//文字列に変換
universe.timestr = TimeToStr(timespan,"yyyyMMdd_HH:mm:ss")
openfilecsv(universe.timestr&"Output1ForSummary"
&universe.selectproduct&"_"&getcountssimulationnumber()&".csv", 1, 3)
openfilecsv(universe.timestr&"Output2ForCompany"
&universe.selectproduct&"_"&getcountssimulationnumber()&".csv", 2, 3)
openfilecsv(universe.timestr&"Output3ForComSum"
&universe.selectproduct&"_"&getcountssimulationnumber()&".csv", 3, 3)
openfilecsv(universe.timestr&"Output4ForPeople"
&universe.selectproduct&"_"&getcountssimulationnumber()&".csv", 4, 3)
openfilecsv(universe.timestr&"Output5ForAnnual"
&universe.selectproduct&"_"&getcountssimulationnumber()&".csv", 5, 3)

//ヘッダー書き出し
Output2h()
Output3h()
Output4h()
Output5h()

//***** 変数定義 *****/
dim i as integer
dim one as agt
dim com as agt
dim gov as agt
dim set as agtset
```

```

***** 初期化 *****//
//製品による場合分け
//非耐久財
if universe.selectproduct == 1 then
    universe.nopeople = 20000
    universe.unit_people = 1000
    universe.nocompany = 20
    universe.lastyear = 7
    universe.buy_term = 90
    universe.develop_term = 180
    universe.penalty = 50000
    universe.subsidy = 1000
    universe.sale_del = 10000000
    universe.penalty_count = 2
    universe.RDcost_array(0) = 100000
    universe.RDcost_array(1) = 70000
    universe.price_array(0) = 1.0
    universe.price_array(1) = 0.7
    universe.ecoPoint = 600.0
    universe.evaluation_term = 180
    universe.change_term = 360
    universe.addpolicy_term = 1800
    universe.addpolicyend_term = 360
    universe.changePeopleRate = 0.1
//耐久財
elseif universe.selectproduct == 2 then
    universe.nopeople = 13500
    universe.unit_people = 1000
    universe.nocompany = 10
    universe.lastyear = 25
    universe.buy_term = 2520
    universe.develop_term = 2160
    universe.evaluation_term = 720
    universe.RDcost_array(0) = 80000000
    universe.RDcost_array(1) = 40000000
    universe.price_array(0) = 2600.0

```

```

universe.price_array(1) = 2000.0
universe.ecoPoint = 250.0
universe.sale_del = 100000000
if getcountsimulationnumber() mod 4 == 3 then
    universe.penalty = 0
    universe.subsidy = 0
    universe.penalty_count = 100
    universe.change_term = 4320
    universe.addpolicy_term = 3600
    universe.addpolicyend_term = 720
    universe.changePeopleRate = 0.4
elseif getcountsimulationnumber() mod 4 == 0 then
    universe.penalty = 0
    universe.subsidy = 0
    universe.penalty_count = 2 //20111023 3⇒2
    universe.change_term = 4320
    universe.addpolicy_term = 3600
    universe.addpolicyend_term = 720
    universe.changePeopleRate = 0.4
elseif getcountsimulationnumber() mod 4 == 1 then
    universe.penalty = 0
    universe.subsidy = 0
    universe.penalty_count = 100
    universe.change_term = 4320
    universe.addpolicy_term = 3600
    universe.addpolicyend_term = 720
    universe.changePeopleRate = 0.5
elseif getcountsimulationnumber() mod 4 == 2 then
    universe.penalty = 0
    universe.subsidy = 0
    universe.penalty_count = 2
    universe.change_term = 4320
    universe.addpolicy_term = 3600
    universe.addpolicyend_term = 720
    universe.changePeopleRate = 0.5
end if

```

```

end if

universe.day = 0
universe.day_step = 1
universe.numProduct = universe.numProduct //製品数 1-5
universe.evaluationterm = universe.evaluation_term / universe.day_step //国の評価周期 1年
universe.changeterm = universe.change_term / universe.day_step //企業の更新周期 1年
universe.developterm = universe.develop_term / universe.day_step / universe.numProduct //開発周期
universe.buyterm = universe.buy_term / universe.day_step //購買周期
universe.addpolicyterm = universe.addpolicy_term / universe.day_step //政策追加周期
universe.addpolicyendterm = universe.addpolicyend_term / universe.day_step //政策追加終了周期
universe.buypossibility = universe.day_step / universe.buy_term //購買確率
universe.developpossibility = universe.day_step / universe.develop_term //開発確率
universe.yearstep = 360 / universe.day_step //1年周期
universe.sumprice_array(0) = universe.price_array(0) * universe.unit_people //good 購入時の総価格
universe.sumprice_array(1) = universe.price_array(1) * universe.unit_people //bad 購入時の総価格
universe.sumEcoPoint = universe.ecoPoint * universe.unit_people //エコポイントの総価格
universe.penaltycount(0) = universe.penalty_count //罰金連続注意回数
universe.penaltycount(1) = round(universe.penalty_count * 1.5) //罰金総注意回数
universe.normdistavg = 2 * universe.buyterm //標準分布の購入回数平均
universe.operatingMargin = 0.043 //営業利益率
universe.corpTaxRate = 0.4 //法人税率
universe.GDP = 0 //GDP
universe.sumGDP = 0 //GDP 合計
universe.backSumSale = 0 //1年前の売上合計
universe.flagChangePeople = 0 //政策追加フラグ
universe.consumptionTaxRate = 0.05 //消費税率

//初期条件をファイル出力
Output1()

//***** 国、企業、人の配置 セルで考える *****/
//国の作成
gov = createagt(universe.society.government)
gov.color = color_black
//企業の作成

```

```

for i = 0 to universe.nocompany - 1
    com = createagt(universe.society.company)
    com.color = color_black
next i
//人の作成
for i = 0 to universe.nopeople - 1
    one = createagt(universe.society.people)
    one.color = color_black
    if universe.select_normdist == 1 then
        one.intention = 4
    else
        one.intention = int(rnd() * 5)
    end if
    //act の初期値は非協力 1
    one.act = 1
next i
//国、企業、人を重複なくランダムに配置
makeagtsetspace(set, universe.society)
randomputagtsetcell(set, false)
}

```

```

Univ_Step_Begin{
//***** 変数定義 *****/

dim one as agt
dim com as agt
dim oneset as agtset
dim comset as agtset

//***** 初期化 *****/
//5 ステップで 1day
if getcountstep() mod 5 == 1 then
    universe.day = universe.day + 1
end if

//***** 消費者の操作のプレ操作：ステップが 3 のとき *****/
if getcountstep() mod 5 == 3 then
    //universe.goodCompany、 universe.badCompany の初期化
    clearagtset(universe.goodCompany)
    clearagtset(universe.badCompany)
    universe.numGoodCompany = 0
    universe.numBadCompany = 0

    //good 製品、 bad 製品を売っている企業
    makeagtset(comset, universe.society.company)
    for each com in comset
        if com.flagforProduct == 0 then
            addagt(universe.goodCompany, com)
        elseif com.flagforProduct == 1 then
            addagt(universe.badCompany, com)
        else
            addagt(universe.goodCompany, com)
            addagt(universe.badCompany, com)
        end if
    next com
    universe.numGoodCompany = countagtset(universe.goodCompany)
    universe.numBadCompany = countagtset(universe.badCompany)

```

```

//norm のための badPeopleForNorm の作成 day1 のときのみ
if universe.day == 1 then
    clearagtset(universe.badPeopleForNorm)
    makeagtset(oneset, universe.society.people)
    for each one in oneset
        if one.intention == 4 then
            addagt(universe.badPeopleForNorm, one)
        end if
    next one
end if
end if

//実際の経過日数
universe.realday = universe.day * universe.day_step

}

```

```

Univ_Step_End{
//***** 変数定義 *****/
dim i as integer
dim nocom as integer
dim strt as integer
dim spacew as integer
dim spaceh as integer
dim comcolor(3) as integer
dim peoplecolor(3) as integer
dim strategydistr(6) as integer
dim strtSale(6) as double
dim strtOpeProfit(6) as double
dim strtAvgPayoff(6) as double
dim peopleact(2) as double
dim sumSale as double
dim com as agt
dim profitcom as agt
dim nonprofitcom as agt
dim man as agt
dim comset as agtset
dim profitcomset as agtset
dim peopleset as agtset

//***** 1day の最後はステップが 0 のとき *****/
if getcountstep() mod 5 == 0 then

    //***** 初期化 *****/
    sumSale = 0
    for i = 0 to 5
        strtSale(i) = 0
        strtOpeProfit(i) = 0
        strategydistr(i) = 0

        //comcolor、peoplecolor 集計のための初期化
        if 3 > i then
            comcolor(i) = 0

```

```

        peoplecolor(i) = 0
    end if
    //peopleact 集計のための初期化
    if 2 > i then
        peopleact(i) = 0
    end if
next i

//企業と人の集計準備
makeagtset(comset, universe.society.company)
makeagtset(peopleset, universe.society.people)
nocom = countagtset(comset)

//***** 集計 *****/
//*****//
//***** realday 毎の集計 *****/
//各戦略の平均スコアの計算、戦略分布集計
for each com in comset
    strt = com.strategy
    //戦略毎の sale 合計、strOpeProfit 合計、戦略分布
    strtSale(strt) = strtSale(strt) + com.sale
    strtOpeProfit(strt) = strtOpeProfit(strt) + com.operatingProfit
    strategydistr(strt) = strategydistr(strt) + 1

    //全企業の sale 合計
    sumSale = sumSale + com.sale

    //comcolor の集計 good=green、bad=red、なし=black
    if com.color == color_green then
        comcolor(0) = comcolor(0) + 1
    elseif com.color == color_red then
        comcolor(1) = comcolor(1) + 1
    else
        comcolor(2) = comcolor(2) + 1
    end if
end for

```

```

//負債が大きいと倒産 killagt を使うことでステップ終了後に削除
if com.sale <= (-1 * universe.sale_del) then
    killagt(com)
end if
next com

//戦略毎の平均売上を計算 企業数、実際の経過日数での平均
for i = 0 to 5
    if strategydistr(i) == 0 then
        strtAvgPayoff(i) = 0
    else
        strtAvgPayoff(i) = strtSale(i) / (strategydistr(i) * universe.realday)
    end if
end if
next i

//people の color 分布、act 集計
for each man in peopleset
    //people の color 分布集計 good=blue、bad=mazenta、なし=black
    if man.color == color_blue then
        peoplecolor(0) = peoplecolor(0) + 1
    elseif man.color == color_mazenta then
        peoplecolor(1) = peoplecolor(1) + 1
    else
        peoplecolor(2) = peoplecolor(2) + 1
    end if

    //people の act 集計
    if man.act == 0 then
        peopleact(0) = peopleact(0) + 1
    elseif man.act == 1 then
        peopleact(1) = peopleact(1) + 1
    end if
end if
next man

//***** 1年毎の集計 *****//

```

```

//GDP、税金、環境負荷
if universe.day mod universe.yearstep == 0 then
    //GDP、税金、総環境負荷の初期化
    universe.GDP = 0
    //universe.tax = 0
    universe.sumpollution = 0

    //GDP の集計(1年毎の集計：sale 合計から昨年の GDP を減算)
    universe.GDP = sumSale - universe.backSumSale
    universe.backSumSale = sumSale
    universe.sumGDP = universe.sumGDP + universe.GDP

    //税金の集計(積み上げ)
    for each com in comset
        //税金の集計 営業利益(補助金含む)がプラスの場合
        if com.operatingProfit > 0 then
            //税金の支払い
            universe.tax = universe.tax
                + int(com.operatingProfit * universe.corpTaxRate)
            com.operatingProfit = com.operatingProfit
                - int(com.operatingProfit * universe.corpTaxRate)

            //罰金にかかる税金分をさらに集計
            if com.thisyear_numPenalty > 0 then
                universe.tax = universe.tax
                    + int(universe.penalty
                        * com.thisyear_numPenalty
                        * universe.corpTaxRate)
                com.operatingProfit = com.operatingProfit
                    - int(universe.penalty
                        * com.thisyear_numPenalty
                        * universe.corpTaxRate)
            end if
        end if
    end for

    //thisyear_numPenalty、thisyear_numSubsidy の初期化
    com.thisyear_numPenalty = 0

```

```

        com.thisyear_numSubsidy = 0
    next com

    //環境負荷の集計
    for spacew = 0 to (getwidthspace(universe.society) - 1)
        for spaceh = 0 to (getheightspace(universe.society) - 1)
            universe.sumpollution = universe.sumpollution
                + universe.society.pollution(spacew, spaceh, 0)
        next spaceh
    next spacew

    println("環境負荷 : "&universe.sumpollution)
    println("総購買人口 : "&universe.numBuy)
end if

//*****
//***** 見直し期間毎の集計 *****//
//戦略の見直し
if universe.day mod universe.changeterm == 0 then
    sortagtset(comset, "sale", false)

    //5 社以上のとき 5 社未満はなにもしない
    if nocom >= 5 then
        //企業数の上位 30%が目標企業
        for i = 0 to (nocom - 1)
            if i <= (round(nocom * 0.3) - 1) then
                profitcom = getagt(comset, i)
                addagt(profitcomset, profitcom)
            else
                nonprofitcom = getagt(comset, i)
                profitcom = getagt(profitcomset,
                    int(countagtset(profitcomset) * rnd0))
                nonprofitcom.strategy = profitcom.strategy
            end if
        next i
    end if
end if
end if

```

```

//*****//
//***** ファイル出力設定 *****//
//Output2 企業情報（税引後）
for each com in comset
    Output2(com)
next com
//Output3 企業情報サマリ
Output3(strategydistr(0), strategydistr(1), strategydistr(2), strategydistr(3),
        strategydistr(4), strategydistr(5), strtSale(0), strtSale(1), strtSale(2),
        strtSale(3), strtSale(4), strtSale(5))
//Output4 people の購入傾向
Output4(peopleact(0), peopleact(1), peoplecolor(0), peoplecolor(1), peoplecolor(2))
//Output5 1年毎情報
if universe.day mod universe.yearstep == 0 then
    Output5()
end if

//*****//
//***** シミュレーションの終了 *****//
//if getcountstep() == universe.lastyear * 365 / universe.day_step + 10 then
if universe.day == universe.lastyear * universe.yearstep then
    //good 販売が bad 販売より多い場合、AIC が 1 社以上の場合の出力
    openfilecsv("2011_Output6ForAIC.csv", 6, 3)
    if getcountsimulationnumber() == 1 then
        writefilecsv(6, "new", false)
        writefilecsv(6, "追加政策 5年 増加率 0.4、0.5 消費税有", true)
    end if
    writefilecsv(6, getcountsimulationnumber() mod 4, false)
    writefilecsv(6, universe.timestr, false)
    //good 販売が bad 販売より多い場合
    writefilecsv(6, comcolor(0), false)
    //AIC が 1 社以上の場合
    writefilecsv(6, strategydistr(1), false)
    writefilecsv(6, universe.nopeople, false)
    writefilecsv(6, universe.nocompany, false)
    writefilecsv(6, universe.lastyear, false)

```

```

writefilecsv(6, universe.numProduct, false)
writefilecsv(6, universe.RDcost_array(0), false)
writefilecsv(6, universe.RDcost_array(1), false)
writefilecsv(6, universe.price_array(0), false)
writefilecsv(6, universe.price_array(1), false)
writefilecsv(6, universe.ecoPoint, false)
writefilecsv(6, universe.buyterm / 360, false)
writefilecsv(6, universe.developterm / 360, false)
writefilecsv(6, universe.evaluationterm / 360, false)
writefilecsv(6, universe.penalty_count, false)
writefilecsv(6, universe.change_term, false)
writefilecsv(6, universe.penalty, false)
writefilecsv(6, universe.subsidy, false)
writefilecsv(6, universe.changePeople, false)
writefilecsv(6, universe.addpolicyterm / 360, false)
writefilecsv(6, universe.addpolicyendterm / 360, false)
writefilecsv(6, universe.changePeopleRate, false)
writefilecsv(6, universe.consumptionTaxRate, false)
writefilecsv(6, universe.sumpollution, false)
writefilecsv(6, universe.sumGDP / universe.lastyear, false)
writefilecsv(6, universe.tax, false)
writefilecsv(6, universe.numBuy, false)
writefilecsv(6, strategydistr(0), false)
writefilecsv(6, strategydistr(1), false)
writefilecsv(6, strategydistr(2), false)
writefilecsv(6, strategydistr(3), false)
writefilecsv(6, strategydistr(4), false)
writefilecsv(6, strategydistr(5), false)
writefilecsv(6, "", true)
closefilecsv(6)

//シミュレーションの終了
exitsimulationmsgln("Completed after " & universe.lastyear & " years")

```

```

end if

```

```

end if

```

```

}

```

```

Univ_Finish{

//***** ファイルクローズ *****//
closefilecsv(1)
closefilecsv(2)
closefilecsv(3)
closefilecsv(4)
closefilecsv(5)

}

//***** ユーザ定義関数 *****//
//***** ユーザ定義関数 *****//
//***** ユーザ定義関数 *****//

//異常終了
sub FinishSimulation() {
    exitsimulationmsgln("異常終了")
}

//通過確認
sub OutPass() {
    println(getcountstep()&","&universe.day&","&"通過")
}

//ファイル出力設定
sub Output1() {
    writefilecsv(1, "人口(人)", false)
    writefilecsv(1, universe.nopeople, true)
    writefilecsv(1, "人口単位", false)
    writefilecsv(1, universe.unit_people, true)
    writefilecsv(1, "企業数", false)
    writefilecsv(1, universe.nocompany, true)
    writefilecsv(1, "年数", false)
    writefilecsv(1, universe.lastyear, true)
    writefilecsv(1, "購買周期(日)", false)
}

```

writefilecsv(1, universe.buy_term, true)
writefilecsv(1, "開発周期(日)", false)
writefilecsv(1, universe.develop_term, true)
writefilecsv(1, "罰金(千円)", false)
writefilecsv(1, universe.penalty, true)
writefilecsv(1, "補助金(千円)", false)
writefilecsv(1, universe.subsidy, true)
writefilecsv(1, "撤退時負債(千円)", false)
writefilecsv(1, universe.sale_del, true)
writefilecsv(1, "罰則時連続注意回数(回)", false)
writefilecsv(1, universe.penalty_count, true)
writefilecsv(1, "good 開発費(千円)", false)
writefilecsv(1, universe.RDcost_array(0), true)
writefilecsv(1, "bad 開発費(千円)", false)
writefilecsv(1, universe.RDcost_array(1), true)
writefilecsv(1, "good 価格(千円)", false)
writefilecsv(1, universe.price_array(0), true)
writefilecsv(1, "bad 価格(千円)", false)
writefilecsv(1, universe.price_array(1), true)
writefilecsv(1, "評価周期(日)", false)
writefilecsv(1, universe.evaluation_term, true)
writefilecsv(1, "見直し周期(日)", false)
writefilecsv(1, universe.change_term, true)
writefilecsv(1, "1年(ステップ)", false)
writefilecsv(1, universe.yearstep*5, true)
writefilecsv(1, "国の評価周期(ステップ)", false)
writefilecsv(1, universe.evaluationterm*5, true)
writefilecsv(1, "企業の見直し周期(ステップ)", false)
writefilecsv(1, universe.changeterm*5, true)
writefilecsv(1, "開発周期(ステップ)", false)
writefilecsv(1, universe.developterm*5, true)
writefilecsv(1, "購買周期(ステップ)", false)
writefilecsv(1, universe.buyterm*5, true)
writefilecsv(1, "購買確率", false)
writefilecsv(1, universe.buypossibility, true)
writefilecsv(1, "開発確率", false)

```

writefilecsv(1, universe.developpossibility, true)
writefilecsv(1, "good 購入総価格(千円)", false)
writefilecsv(1, universe.sumprice_array(0), true)
writefilecsv(1, "bad 購入総価格(千円)", false)
writefilecsv(1, universe.sumprice_array(1), true)
writefilecsv(1, "罰金時連続注意回数(回)", false)
writefilecsv(1, universe.penaltycount(0), true)
writefilecsv(1, "罰金時総注意回数(回)", false)
writefilecsv(1, universe.penaltycount(1), true)
writefilecsv(1, "標準分布の購入回数平均(ステップ)", false)
writefilecsv(1, universe.normdistavg*5, true)
writefilecsv(1, "製品数", false)
writefilecsv(1, universe.numProduct, true)
writefilecsv(1, "追加政策開始", false)
writefilecsv(1, universe.addpolicy_term, true)
writefilecsv(1, "追加政策期間", false)
writefilecsv(1, universe.addpolicyend_term, true)
writefilecsv(1, "購買志向変化率", false)
writefilecsv(1, universe.changePeopleRate, true)
writefilecsv(1, "消費税率", false)
writefilecsv(1, universe.consumptionTaxRate, true)
}

```

//ファイル出力設定

```

sub Output2h() {
    writefilecsv(2, "ステップ", false)
    writefilecsv(2, "日", false)
    writefilecsv(2, "ID", false)
    writefilecsv(2, "color", false)
    writefilecsv(2, "strategy", false)
    writefilecsv(2, "act", false)
    writefilecsv(2, "nocautation", false)
    writefilecsv(2, "sumcaution", false)
    writefilecsv(2, "nopenalty", false)
    writefilecsv(2, "flagforTrick", false)
    writefilecsv(2, "sale", false)
}

```

```

writefilecsv(2, "nongreact", false)
writefilecsv(2, "operatingProfit", false)
writefilecsv(2, "thisyear_numPenalty", false)
writefilecsv(2, "thisyear_numSubsidy", false)
writefilecsv(2, "flagforProduct", true)
}

sub Output2(com as agt) {
    //openfilecsv("Output.csv", 2, 3)
    writefilecsv(2, getcountstep(), false)
    writefilecsv(2, universe.day, false)
    writefilecsv(2, com.ID, false)
    writefilecsv(2, com.color, false)
    writefilecsv(2, com.strategy, false)
    writefilecsv(2, com.act, false)
    writefilecsv(2, com.nocautation, false)
    writefilecsv(2, com.sumcaution, false)
    writefilecsv(2, com.nopenalty, false)
    writefilecsv(2, com.flagforTrick, false)
    writefilecsv(2, com.sale, false)
    writefilecsv(2, com.nongreact, false)
    writefilecsv(2, com.operatingProfit, false)
    writefilecsv(2, com.thisyear_numPenalty, false)
    writefilecsv(2, com.thisyear_numSubsidy, false)
    writefilecsv(2, com.flagforProduct, true)
    //writefilecsv(2, universe.GDP, false)
    //writefilecsv(2, universe.tax, false)
    //writefilecsv(2, peoplecolor(0), false)
    //writefilecsv(2, peoplecolor(1), false)
    //writefilecsv(2, peoplecolor(2), true)
    //closefilecsv(2)
}

//ファイル出力設定
sub Output3h0 {
    writefilecsv(3, "ステップ", false)

```

```

writefilecsv(3, "日", false)
writefilecsv(3, "ランダム", false)
writefilecsv(3, "全て受入", false)
writefilecsv(3, "全て拒否", false)
writefilecsv(3, "逆 TFT", false)
writefilecsv(3, "1 注意協力(ランダム)", false)
writefilecsv(3, "2 注意協力(非協力)", false)
writefilecsv(3, "売上(ランダム)", false)
writefilecsv(3, "売上(全て受入)", false)
writefilecsv(3, "売上(全て拒否)", false)
writefilecsv(3, "売上(逆 TFT)", false)
writefilecsv(3, "売上(1 注意協力(ランダム))", false)
writefilecsv(3, "売上(2 注意協力(非協力))", true)
}

```

```

sub Output3(strtdist0 as integer, strtdist1 as integer, strtdist2 as integer, strtdist3 as integer,
strtdist4 as integer, strtdist5 as integer, sa0 as double, sa1 as double, sa2 as double,
sa3 as double, sa4 as double, sa5 as double) {
writefilecsv(3, getcountstep(), false)
writefilecsv(3, universe.day, false)
writefilecsv(3, strtdist0, false)
writefilecsv(3, strtdist1, false)
writefilecsv(3, strtdist2, false)
writefilecsv(3, strtdist3, false)
writefilecsv(3, strtdist4, false)
writefilecsv(3, strtdist5, false)
writefilecsv(3, sa0, false)
writefilecsv(3, sa1, false)
writefilecsv(3, sa2, false)
writefilecsv(3, sa3, false)
writefilecsv(3, sa4, false)
writefilecsv(3, sa5, true)
}

```

//ファイル出力設定

```
sub Output4h0 {
```

```

writefilecsv(4, "ステップ", false)
writefilecsv(4, "日", false)
writefilecsv(4, "good 購入傾向", false)
writefilecsv(4, "bad 購入傾向", false)
writefilecsv(4, "good 購入", false)
writefilecsv(4, "bad 購入", false)
writefilecsv(4, "購入なし", false)
writefilecsv(4, "good 購入数", false)
writefilecsv(4, "bad 購入数", true)
}

```

```

sub Output4(pa0 as double, pa1 as double, pc0 as integer, pc1 as integer, pc2 as integer) {
    writefilecsv(4, getcountstep(), false)
    writefilecsv(4, universe.day, false)
    writefilecsv(4, pa0, false)
    writefilecsv(4, pa1, false)
    writefilecsv(4, pc0, false)
    writefilecsv(4, pc1, false)
    writefilecsv(4, pc2, false)
    writefilecsv(4, universe.numBuyGood, false)
    writefilecsv(4, universe.numBuyBad, true)
}

```

//ファイル出力設定

```

sub Output5h() {
    writefilecsv(5, "ステップ", false)
    writefilecsv(5, "日", false)
    writefilecsv(5, "GDP", false)
    writefilecsv(5, "tax", false)
    writefilecsv(5, "環境負荷", false)
    writefilecsv(5, "総購入人数", true)
}

```

```

sub Output5() {
    writefilecsv(5, getcountstep(), false)
    writefilecsv(5, universe.day, false)
}

```

```
writefilecsv(5, universe.GDP, false)
writefilecsv(5, universe.tax, false)
writefilecsv(5, universe.sumpollution, false)
writefilecsv(5, universe.numBuy, true)
}
```

2) Government のプログラム

```
Agt_Init{
```

```
}
```

```
Agt_Step{
```

```
//***** 変数定義 *****/
```

```
dim i as integer
```

```
dim one1 as agt
```

```
dim one2 as agt
```

```
dim com as agt
```

```
dim oneset as agtset
```

```
dim comset as agtset
```

```
//***** 国の操作はステップが 1 のとき *****/
```

```
if getcountstep() mod 5 == 1 then
```

```
    //一番最初のみ規制を策定 緑(シアン)に変更
```

```
    if getcountstep() == 1 then
```

```
        my.color = color_cyan
```

```
    end if
```

```
    //政策追加周期開始 終了はステップ 4 で定義
```

```
    if universe.day == universe.addpolicyterm + 1 then
```

```
        //changePeople が ON(true)のとき
```

```
        if universe.changePeople == true then
```

```
            universe.flagChangePeople = 1
```

```
        end if
```

```
    end if
```

```
end if
```

```
//***** 国の操作はステップが 4 のとき *****/
```

```
if getcountstep() mod 5 == 4 then
```

```
    //政策追加周期終了 開始はステップ 1 で定義
```

```
    if universe.day == universe.addpolicyterm + universe.addpolicyendterm then
```

```

//changePeople が ON(true)のとき
if universe.changePeople == true then
    universe.flagChangePeople = 0
end if
end if

//評価期間毎に評価
if universe.day mod universe.evaluationterm == 1 then
    //各企業に対するリアクション
    makeagtset(comset, universe.society.company)
    for each com in comset

        //注意喚起活動
        //協力企業
        if com.color == color_green then
            my.reaction(com.id) = 0

            //nocauton を初期化
            com.nocauton = 0
            //flagforTrick の初期化
            com.flagforTrick = 0

        //非協力企業
        else
            my.reaction(com.id) = 1
            //nocauton をカウントアップ
            com.nocauton = com.nocauton + 1
            //sumcaution をカウントアップ
            com.sumcaution = com.sumcaution + 1

            //注意回数が連続 2 回目以上の場合、企業のフラグをたてる
            if com.nocauton >= 2 then
                com.flagforTrick = 1
            else
                //flagforTrick の初期化

```

```

        com.flagforTrick = 0
    end if

    //罰金制度 罰金時期は評価の回数で、universe で指定
    if com.nocaution mod universe.penaltycount(0) == 0
        or com.sumcaution
        mod universe.penaltycount(1) == 0 then
            //罰金を課す 税金を得る
            com.operatingProfit = com.operatingProfit
                - universe.penalty
            universe.tax = universe.tax + universe.penalty
            com.thisyear_numPenalty
                = com.thisyear_numPenalty + 1
            //nopenalty のカウントアップ
            com.nopenalty = com.nopenalty + 1

            //nocautation、sumcaution を初期化
            com.nocaution = 0
            com.sumcaution = 0
        end if
    end if
next com
end if
end if
}

//*****//
//***** ユーザ定義関数 *****//
//*****//
//異常終了
sub FinishSimulation() {
    exitsimulationmsgln("異常終了")
}

//通過確認
sub OutPass() {

```

```
        println(getcountstep()&","&universe.day&","&"通過")
    }

//ファイル出力設定
sub Output3(com as agt) {
    openfilecsv("Output3.txt", 1, 3)
    writefilecsv(1, getcountstep(), false)
    writefilecsv(1, universe.day, false)
    writefilecsv(1, my.ID, false)
    writefilecsv(1, my.color, false)
    writefilecsv(1, my.reaction(com.id), false)
    writefilecsv(1, "", true)
    closefilecsv(1)
}
```

3) Company のプログラム

```
Agt_Init{
//*****
//***** ステップが 0 のときだけ実行される *****//
//*****

//***** 変数定義 *****//

dim i as integer
dim j as integer

//***** 企業の初期状態 *****//
//初期売上
my.sale = universe.sale_ini
//初期の戦略はランダム ⇒ 各戦略に 1 社は配置
if my.ID == 0 then
    my.strategy = 0
elseif my.ID == 1 then
    my.strategy = 1
elseif my.ID == 2 then
    my.strategy = 2
elseif my.ID == 3 then
    my.strategy = 3
elseif my.ID == 4 then
    my.strategy = 4
elseif my.ID == 5 then
    my.strategy = 5
else
    my.strategy = int(rnd() * 6)
end if

//初めに企業の持っている製品は全て 1
for j = 0 to (universe.numProduct - 1)
    my.product(j) = 1
next j
my.flagforProduct = 1
}
```

```

Agt_Step{
//***** 変数定義 *****/
dim gov as agt
dim set as agtset

//***** 企業の操作はステップが 2 のとき *****/
if getcountstep() mod 5 == 2 then

    //開発時期に act 変更 開発時期は全企業同じ
    if universe.day mod universe.developterm == 1 then

        //国のリアクション
        makeagtset(set, universe.society.government)
        gov = getagt(set, 0)
        //戦略によるアクション
        //ランダム戦略
        if my.strategy == 0 then
            my.act = round(rnd())
        //全て受入れ
        elseif my.strategy == 1 then
            my.act = 0
        //全て否定
        elseif my.strategy == 2 then
            my.act = 1
        //逆 TFT 戦略
        elseif my.strategy == 3 then
            my.act = rTFT(gov)
        //1 回注意されたら協力する戦略
        elseif my.strategy == 4 then
            my.act = Once(gov)
        //基本は非協力、2 回連続注意された回のみ協力戦略
        else
            my.act = Trick(gov)
        end if
        //アクションによる色分け

```

```

//協力企業
if my.act == 0 then
    //開発費がかかる
    my.operatingProfit = my.operatingProfit - universe.RDcost_array(0)
    //補助金を得る 税金から支払い
    my.operatingProfit = my.operatingProfit + universe.subsidy
    universe.tax = universe.tax - universe.subsidy
    my.thisyear_numSubsidy = my.thisyear_numSubsidy + 1
    //緑に変更
    my.color = color_green

    //20111022 製品の更新
    changeProduct(0)

//非協力企業
else
    //開発費がかかる
    my.operatingProfit = my.operatingProfit - universe.RDcost_array(1)
    //赤に変更
    my.color = color_red

    //20111022 製品の更新
    changeProduct(1)
end if
end if
end if
}

//*****
//***** ユーザ定義関数 *****
//*****

//★1 ステップ前の手をそのまま返す逆 TFT 戦略の定義
function rTFT(gov as agt) as integer{
    //***** 変数定義 *****
    dim action as integer

```

```

//最初はランダムに対応 戦略変更時は以前からの続き
//if universe.day mod universe.changeterm == 1 then
if universe.day == 1 then
    action = round(rnd())
else
    action = gov.reaction(my.ID)
end if
return(action)
}

```

//★1回注意されたら協力する戦略の定義

```

function Once(gov as agt) as integer{
    //***** 変数定義 *****/
    dim i as integer
    dim action as integer

//最初はランダムに対応 戦略変更時は以前からの続き
if universe.day == 1 then
    action = round(rnd())
else
    //1回前の手が協力だったらランダム
    if gov.reaction(my.ID) == 0 then
        action = round(rnd())
    //国のリアクションが注意であれば協力
    else
        action = 0
    end if
end if
return(action)
}

```

//★基本は非協力、2回連続注意された回のみ協力する戦略の定義

```

function Trick(gov as agt) as integer{
    //***** 変数定義 *****/
    dim i as integer

```

```

dim action as integer

//基本は非協力 戦略変更時は以前からの続き
//if universe.day mod universe.changeterm == 1 then
if universe.day == 1 then
    action = 1
else
    //1 回前の手が協力だったら非協力
    if gov.reaction(my.ID) == 0 then
        action = 1
    //国のリアクションが 2 回連続以上注意の場合のみ協力
    else
        if my.flagforTrick == 1 then
            action = 0
        else
            action = 1
        end if
    end if
end if
return(action)
}

//製品の更新
sub changeProduct(kbn as integer) {
    //***** 変数定義 *****/
    dim i as integer
    dim j as integer
    dim flagProduct as integer

    //製品の更新
    if universe.numProduct > 1 then
        for i = 0 to (universe.numProduct - 2)
            my.product(universe.numProduct - 1 - i)
                = my.product(universe.numProduct - 2 - i)
        next i
    end if
}

```

```

my.product(0) = kbn

//各企業の製品組合わせ
flagProduct = 0
for j = 0 to (universe.numProduct - 1)
    if my.product(j) == 1 then
        flagProduct = flagProduct + 1
    end if
next j
if flagProduct == 0 then
    my.flagforProduct = 0
elseif flagProduct == universe.numProduct then
    my.flagforProduct = 1
else
    my.flagforProduct = 2
end if
}

//異常終了
sub FinishSimulation() {
    exitsimulationmsgln("異常終了")
}

//通過確認
sub OutPass() {
    println(getcountstep() & ", " & universe.day & ", " & "通過")
}

//ファイル出力設定
sub Output() {
    openfilecsv("Output.txt", 1, 3)
    writefilecsv(1, getcountstep(), false)
    writefilecsv(1, universe.day, false)
    writefilecsv(1, my.ID, false)
    writefilecsv(1, my.color, false)
    writefilecsv(1, my.sale, false)
}

```

```
writefilecsv(1, my.strategy, false)
writefilecsv(1, my.act, false)
writefilecsv(1, my.nocaution, false)
writefilecsv(1, my.sumcaution, false)
writefilecsv(1, my.nopenalty, false)
writefilecsv(1, my.flagforTrick, false)
writefilecsv(1, my.nongreact, true)
closefilecsv(1)
}
```

4) People のプログラム

```
Agt_Init{
```

```
}
```

```
Agt_Step{
```

```
//***** 消費者の操作はステップが 3 のとき *****/
```

```
if getcountstep() mod 5 == 3 then
```

```
    //***** 標準分布によるアクション *****/
```

```
    //購買時期 3 回目を平均、購買期間を偏差 20111022 正規分布の場合は。intention4 に統一
```

```
    //志向によるアクション
```

```
    //ランダム志向
```

```
    if my.intention == 0 then
```

```
        my.act = round(rnd())
```

```
    //全て受入れ
```

```
    elseif my.intention == 1 then
```

```
        my.act = 0
```

```
    //全て否定
```

```
    elseif my.intention == 2 then
```

```
        my.act = 1
```

```
    //2 回目までは非協力、3 回目以降は協力
```

```
    elseif my.intention == 3 then
```

```
        //nobuy は購買時期でカウントアップ 3 回目以降
```

```
        if my.nobuy >= 2 then
```

```
            my.act = 0
```

```
        else
```

```
            my.act = 1
```

```
        end if
```

```
    //正規分布志向 購買時期 3 回目を平均、購買期間を偏差
```

```
    else
```

```
        Norm()
```

```
    end if
```

```
    //購買時期
```

```
    if rnd() <= universe.buypossibility then
```

```

//購買回数のカウントアップ
my.nobuy = my.nobuy + 1
universe.numBuy = universe.numBuy + 1

//universe で設定した goodCompany、badCompany の再設定

//協力活動
if my.act == 0 then
    if universe.numGoodCompany == 0 then
        if universe.numBadCompany == 0 then
            FinishSimulation()
        else
            //追加政策実施中（補助金政策） 購買志向変化
            //goodact から購入
            if universe.flagChangePeople
                == 1 and rnd()
                < universe.changePeopleRate then

                BuyFromComInPolicy
                    (universe.goodCompany,
                     universe.numGoodCompany)
                polluteEnv(0)
                my.color = color_blue
                universe.numBuyGood
                    = universe.numBuyGood + 1
            else
                //badact から購入
                BuyFromCom
                    (universe.badCompany,
                     universe.numBadCompany, 1)
                polluteEnv(1)
                my.color = color_mazenta
                universe.numBuyBad
                    = universe.numBuyBad + 1
            end if
        end if
    end if
end if

```

```

else
    //追加政策実施中（補助金政策）
    if universe.flagChangePeople == 1 then
        BuyFromComInPolicy
            (universe.goodCompany,
            universe.numGoodCompany)
    else
        //goodact から購入
        BuyFromCom
            (universe.goodCompany,
            universe.numGoodCompany, 0)
    end if

    polluteEnv(0)
    my.color = color_blue
    universe.numBuyGood = universe.numBuyGood + 1
end if

//非協力活動
else
    if universe.numBadCompany == 0 then
        if universe.numGoodCompany == 0 then
            FinishSimulation()
        else
            //goodact から購入
            //追加政策実施中（補助金政策）
            if universe.flagChangePeople == 1 then

                BuyFromComInPolicy
                    (universe.goodCompany,
                    universe.numGoodCompany)
            else
                BuyFromCom
                    (universe.goodCompany,
                    universe.numGoodCompany, 0)
            end if
        end if
    end if

```

```

        polluteEnv(0)
        my.color = color_blue
        universe.numBuyGood
            = universe.numBuyGood + 1
    end if
else
    //追加政策実施中（補助金政策） 購買志向変化
    //goodact から購入
    if universe.flagChangePeople == 1 and rnd()
        < universe.changePeopleRate then
        BuyFromComInPolicy
            (universe.goodCompany,
            universe.numGoodCompany)
        polluteEnv(0)
        my.color = color_blue
        universe.numBuyGood
            = universe.numBuyGood + 1
    else
        BuyFromCom
            (universe.badCompany,
            universe.numBadCompany, 1)
        polluteEnv(1)
        my.color = color_mazenta
        universe.numBuyBad = universe.numBuyBad + 1
    end if
end if
end if
end if
end if

}

//*****//
//***** ユーザ定義関数 *****//
//*****//

```

```

//正規分布による購買志向
sub Norm() {
    dim act as integer
    dim normdiff as double
    dim one as agt

    //正規分布の累積確率の差 (1day 前との差)
    normdiff = normdist(universe.day, universe.normdistavg, universe.buyterm, true)
                - normdist(universe.day - 1, universe.normdistavg, universe.buyterm, true)

    if rnd() < normdiff then
        //協力であれば他の 1 人を協力にする
        if my.act == 0 then
            one = getagt(universe.badPeopleForNorm, 0)
            one.act = 0
            removeagt(universe.badPeopleForNorm, one)

            //ステップ 0 のとき、または非協力であれば協力にする
        else
            my.act = 0
            removeagt(universe.badPeopleForNorm, my)
        end if
    end if
}

//購入活動
sub BuyFromCom(comset as agtset, numcom as integer, gbkb as integer) {
    dim targetcom1 as agt
    dim targetcom2 as agt
    dim tempset as agtset

    //購入対象企業の選別
    //購入対象企業が複数社の場合
    if numcom <> 1 then
        targetcom1 = getagt(comset, int(rnd() * numcom))
    end if
}

```

```

//比較企業の抽出
duplicateagtset(tempset, comset)
removeagt(tempset, targetcom1)

targetcom2 = getagt(tempset, int(rnd() * (numcom - 1)))

//2社のnopenaltyを比較し、少ない方から購入
if targetcom1.nopenalty > targetcom2.nopenalty then
    targetcom2.sale = targetcom2.sale + universe.sumprice_array(gbkbn)
    targetcom2.operatingProfit = targetcom2.operatingProfit
                                + universe.sumprice_array(gbkbn)
                                * universe.operatingMargin

    //消費税
    universe.tax = universe.tax + universe.sumprice_array(gbkbn)
                                * universe.consumptionTaxRate

//同じ場合も、最初の企業から購入
else
    targetcom1.sale = targetcom1.sale + universe.sumprice_array(gbkbn)
    targetcom1.operatingProfit = targetcom1.operatingProfit
                                + universe.sumprice_array(gbkbn)
                                * universe.operatingMargin

    //消費税
    universe.tax = universe.tax + universe.sumprice_array(gbkbn)
                                * universe.consumptionTaxRate

end if

//購入対象企業が1社の場合
else
    targetcom1 = getagt(comset, int(rnd() * numcom))
    targetcom1.sale = targetcom1.sale + universe.sumprice_array(gbkbn)
    targetcom1.operatingProfit = targetcom1.operatingProfit
                                + universe.sumprice_array(gbkbn)
                                * universe.operatingMargin

```

```

        //消費税
        universe.tax = universe.tax + universe.sumprice_array(gbkbn)
            * universe.consumptionTaxRate
    end if
}

//追加政策時購入活動（補助金政策）
sub BuyFromComInPolicy(comset as agtset, numcom as integer) {
    dim targetcom1 as agt
    dim targetcom2 as agt
    dim tempset as agtset

    //購入対象企業の選別
    //購入対象企業が複数社の場合
    if numcom <> 1 then
        targetcom1 = getagt(comset, int(rnd() * numcom))

        //比較企業の抽出
        duplicateagtset(tempset, comset)
        removeagt(tempset, targetcom1)
        targetcom2 = getagt(tempset, int(rnd() * (numcom - 1)))

        //2社の nopenalty を比較し、少ない方から購入
        if targetcom1.nopenalty > targetcom2.nopenalty then
            targetcom2.sale = targetcom2.sale + universe.sumprice_array(0)
            targetcom2.operatingProfit = targetcom2.operatingProfit
                + universe.sumprice_array(0)
                * universe.operatingMargin
            universe.tax = universe.tax - universe.sumEcoPoint

            //消費税
            universe.tax = universe.tax + universe.sumprice_array(0)
                * universe.consumptionTaxRate

            //同じ場合も、最初の企業から購入

```

```

else
    targetcom1.sale = targetcom1.sale + universe.sumprice_array(0)
    targetcom1.operatingProfit = targetcom1.operatingProfit
        + universe.sumprice_array(0)
        * universe.operatingMargin
    universe.tax = universe.tax - universe.sumEcoPoint

    //消費税
    universe.tax = universe.tax + universe.sumprice_array(0)
        * universe.consumptionTaxRate

end if
//購入対象企業が1社の場合
else
    targetcom1 = getagt(comset, int(rnd() * numcom))
    targetcom1.sale = targetcom1.sale + universe.sumprice_array(0)
    targetcom1.operatingProfit = targetcom1.operatingProfit
        + universe.sumprice_array(0)
        * universe.operatingMargin
    universe.tax = universe.tax - universe.sumEcoPoint

    //消費税
    universe.tax = universe.tax + universe.sumprice_array(0)
        * universe.consumptionTaxRate

end if
}

```

//空間への影響

```

sub polluteEnv(gbkbn as integer) {
    //goodact から購入
    if gbkbn == 0 then
        universe.society.pollution(my.X, my.Y, 0)
            = universe.society.pollution(my.X, my.Y, 0) + 5
    //badact から購入
    else
        universe.society.pollution(my.X, my.Y, 0)
            = universe.society.pollution(my.X, my.Y, 0) + 10
    end if
}

```

```

        end if
    }

//異常終了
sub FinishSimulation() {
    exitsimulationmsgln("異常終了")
}

//通過確認
sub OutPass() {
    println(getcountstep()&","&universe.day&","&"通過")
}

//ファイル出力設定
sub Output() {
    openfilecsv("Output2.csv", 7, 3)
    writefilecsv(7, getcountstep(), false)
    writefilecsv(7, universe.day, false)
    writefilecsv(7, my.ID, false)
    writefilecsv(7, my.color, false)
    writefilecsv(7, my.intention, false)
    writefilecsv(7, my.act, false)
    writefilecsv(7, my.nobuy, true)
    closefilecsv(7)
}

//ファイル出力設定
sub Output2(one as agt, two as agt) {
    openfilecsv("Output2.txt", 2, 3)
    writefilecsv(2, getcountstep(), false)
    writefilecsv(2, universe.day, false)
    writefilecsv(2, my.ID, false)
    writefilecsv(2, my.color, false)
    writefilecsv(2, my.intention, false)
    writefilecsv(2, my.act, false)
    writefilecsv(2, my.nobuy, false)
}

```

```
writefilecsv(2, one.id , false)
writefilecsv(2, one.nopenalty , false)
writefilecsv(2, two.id , false)
writefilecsv(2, two.nopenalty , false)
writefilecsv(2, "購入" , true)
closefilecsv(2)
}
```

謝辞

本論文を執筆するにあたり、主査の高橋大志先生にはテーマの設定から論文の提出まで細かくご指導及びご支援いただき大変お世話になりました。また、副査の大林厚臣先生と林高樹先生には、要所要所での確かなアドバイスをいただきました。深く感謝いたします。

そして、東京工業大学の寺野隆雄先生には、研究の課題等をアドバイスしていただいたことに感謝を申し上げます。

さらに、高橋ゼミの同期や M33 の同期の皆様には、いつも相談にのっていただき、多くのアドバイスをいただきました。個々の名前を記載して感謝したいところではありますが、まとめて感謝の念を表すことでお許しいただきたいと思えます。

本当にありがとうございました。

2012年3月

大野 文夫