



## 政府介入下での持続可能な環境配慮型サプライチェーンの最適運用方策

メタデータ	言語: ja 出版者: 日本経営工学会 公開日: 2023-10-23 キーワード (Ja): 環境配慮型サプライチェーン, 環境対策, 政府介入, ソーシャル・ウェルフェア, ゲーム理論 キーワード (En): 作成者: 楠川, 恵津子 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10466/0002000096">http://hdl.handle.net/10466/0002000096</a>

## 特集解説

# 政府介入下での持続可能な環境配慮型サプライチェーン の最適運用方策

楠川 恵津子\*

## Optimal Operation in a Sustainable and Environmentally Conscious Supply Chain under Government Intervention

Etsuko KUSUKAWA

キーワード：環境配慮型サプライチェーン，環境対策，政府介入，ソーシャル・ウェルフェア，ゲーム理論

### 1. はじめに

2015年に国連総会で採択されたSDGs（持続可能な開発目標）や2020年以降の国際枠組みパリ協定に基づき、世界規模で省エネ、「脱炭素」を目指す炭素排出削減と省資源化に対応した製品（環境型製品）の生産－物流－販売環境をもつ持続可能な環境配慮型サプライチェーン（ECO-SC）の確立が急務となっている。ECO-SCでは、生産－物流－販売関連の複数業者が存在し、ECO-SC関連業者が競争、協力する場合に応じて、持続可能なECO-SCの最適連携方策が必要である。また、ECO-SCの構築には政府介入が必要である。

ECO-SCを運用する際、政府介入となる環境型製品の生産時の炭素排出量取引、炭素値付けによる炭素税、環境配慮への助成等の有無により、ECO-SC関連業者の行動戦略、消費者の購買行動、環境型製品の消費者や政府の評価は影響を受ける。このとき、次の特性：(i) 環境型製品の価格、(ii) 環境貢献度が環境型製品の需要量に与える影響、(iii) ECO-SC 関

連業者のとり得る行動戦略に焦点を当てた場合、各特性は不確実な状況となると想定される。

そこで、著者は、「政府介入下で複数の関連業者からなる持続可能なECO-SCの構築に特性(i)～(iii)の不確実な状況を考慮する場合、政府介入下で関連業者の最適運用はどのような影響を受けるのか」について数理解析により明らかにすることを目的に研究活動を行っている。本稿では、著者がこれまでに得た代表的な2件の研究成果を紹介する。

### 2. 政府の環境政策とソーシャル・ウェルフェアを考慮したグリーン・クローズド・ループ・サプライチェーン（GCLSC）の最適運用方策

本章では、使用済み製品の回収と再資源化、炭素排出量の削減、製品の省エネを考慮し、政府の環境政策に炭素税〔1〕、省エネ補助金〔1〕、使用済み製品回収への賞罰〔1〕を導入したグリーン・クローズド・ループ・サプライチェーン（GCLSC）の最適運用で得られた研究成果を概説する〔1〕。業者の利益面から製品の卸売価格、販売価格、炭素排出削減量、

\* 公立大学法人大阪 大阪公立大学  
受付：2022年10月17日

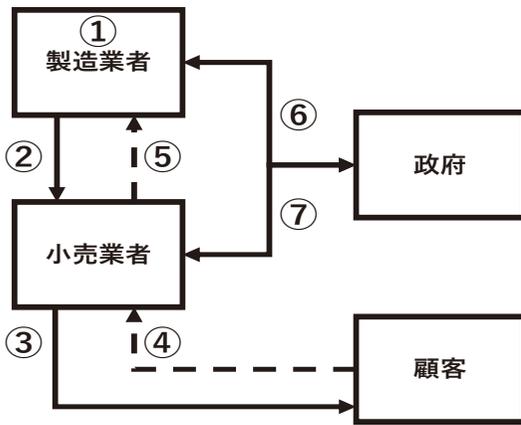


図1 GCLSCのシステム運用の流れ

製品の省エネ度合い、使用済み製品回収率を最適決定する。販売価格、政府(G)からのサービスによる消費者余剰と環境への影響の評価を含むソーシャル・ウェルフェア (SW) [1] を考慮し、政府(G)の炭素税、省エネ補助金と使用済み製品回収への賞罰を最適決定する。数値検証では、製造業者(M)と小売業者(R)が統合する Model C、製造業者と小売業者が独立し製造業者が意思決定の先導者 [1] となる Model M、社会の環境認識の有無が最適運用、GCLSCの利益やSWに与える影響を示す。

### 2.1 GCLSCのシステム運用の流れと前提条件

本章のGCLSCは、1社の製造業者、小売業者と政府からなり、図1にGCLSCのシステム運用の流れを示す。①小売業者は消費者の使用済み製品に単位当たり回収費用  $A$  を支払い、1種類の製品需要量  $D$  に対し回収率  $\tau (0 \leq \tau \leq 1)$  で回収する。なお、使用済み製品の回収努力費用  $c_r$  がかかる。また、小売業者は1種類の製品需要量分  $D$  を製造業者に発注する。②製造業者は小売業者が回収した使用済み製品量  $\tau D$  を単位当たり買取費用  $b$  で買い取る。使用済み製品量をリサイクル率  $r (0 \leq r \leq 1)$  で再生部品にリサイクルする。再生部品単位当たり  $\Delta$  の生産費用の削減ができる。再生部品の品質は新規部品と同等とする。再生部品は製品生産の際に優先的に使用する。③製造業者は、新規部品と再生部品を使用して小売業者から発注された製品量  $D$  を単位当たり  $c_n$  で生産する。このとき、

製造業者は、再生部品と製品の生産の際に環境に対する配慮として、生産過程での炭素排出量削減努力と省エネ活動を行う。製造業者が炭素排出削減努力を行わない場合の炭素排出量を  $e$ 、行う業者の炭素排出削減量を  $e_g$  とする。製品の省エネ度合いを  $g$  とする。なお、製造業者には炭素排出削減努力費用  $c_{eg}$  および省エネ努力費用  $c_g$  がかかる。④製造業者は製品を単位価格  $w$  で卸売する。⑤小売業者は単一期間、製品を消費者に消費税込み単位販売価格  $c_t p$  で販売する。⑥政府はグリーン活動推進のため、製造業者に炭素排出量単位当たり炭素税  $t$  を課し、省エネ度合い単位当たり補助金  $s$  を与える [1]。⑦政府は、政府の定める目標回収率  $w$  を基準に、小売業者の使用済み製品回収率  $\tau$  に対し  $k$  の賞罰を与える。つまり、小売業者は、目標回収率  $w$  を下回れば不足回収率単位当たり罰金  $k$  を政府に払い、 $w$  を上回れば超過回収率単位当たり政府から補助金  $k$  を受け取る。

本章でのGCLSCの前提条件を以下に示す。製品需要量  $D$  は消費税  $c_t$  を含む単位販売価格  $c_t p$ 、製造業者の炭素排出削減量  $e_g$ 、製品の省エネ度合い  $g$  に影響を受ける。ここでは、製品需要量  $D$  は販売価格が高くなると減少し、製造業者の生産過程での炭素排出削減量  $e_g$  と製品の省エネ度合い  $g$  が大きいほど増加する。単位販売価格  $p$ 、炭素排出削減量  $e_g$ 、省エネ度合い  $g$  の場合の製品需要量  $D$  は  $D = D_0 - \alpha c_t p + l_{e_g} e_g + l_g g$  と表せる。 $D_0$  は市場での製品の潜在需要量、 $\alpha$  は単位販売価格に対する製品需要量の感度、 $l_{e_g}$  は炭素排出削減量に対する製品需要量の感度、 $l_g$  は省エネ度合いに対する製品需要量の感度である。

### 2.2 本章でのGCLSCでの利益の定式化

製造業者の利益  $\pi_M$  は、製品の卸売売上と生産費用、再生部品の使用による製品生産費用の削減収益、小売業者からの使用済み製品の買取費用、省エネ活動に対する政府からの補助金、炭素排出量にかかる炭素税、炭素排出削減および省エネの努力費用から定式化できる。小売業者の利益  $\pi_R$  は、製品の売上と調達費用、使用済み製品の回収費用、買取収益、政府の定める目標回収率  $w$  を基準とした小売業者の使用済み製品回収率  $\tau$  に対する政府からの賞罰と回収努

力費用から定式化できる。GCLSC の利益 $\pi_3$ は、製造業者と小売業者の利益の和として算出できる。

### 2.3 ソーシャル・ウェルフェア (SW) の定式化

本研究で扱う GCLSC には、製造業者、小売業者、消費者、環境のことを考慮し様々な政策活動を行う政府が存在する。政府は税金を製造業者、小売業者および消費者から徴収し、その中から省エネ補助金を製造業者に与え、使用済み製品回収に対する補助金を小売業者に与え、残りを消費者に対するサービスに使用するものとする。本章では、政府が炭素  $t$ 、使用済み製品回収への賞罰  $k$  と省エネへの補助金  $s$  の最適決定を行うものとし、評価関数として SW [1] を採用する。SW は製造業者の利益  $\pi_M$ 、小売業者の利益  $\pi_R$ 、消費者余剰 CS と環境への影響 EI の和から  $SW = \pi_M + \pi_R + CS - EI$  と算出する。

CS は、消費者が製品価格から得る余剰  $CS_1 = \int_p^{p_{\max}} \frac{1}{2}(p_{\max} - p) D dp$  と政府の補助金などのサービスから得る余剰  $CS_2 = t(e - e_g) - sg + (c_t - 1)pD(p, e_g, g) - k(\tau - \tau_0)$  との和から  $CS = CS_1 + CS_2$  と算出する。 $CS_1$  は販売価格 (税抜) への消費者の満足度で、消費者が製品に支払う販売価格 (税抜) 最高値  $p^0$  ( $D$  が 0 となる販売価格) と実販売価格 (税抜)  $p$  の差とその差の製品需要量から求まる。 $CS_2$  は政府が製造業者、小売業者、消費者から徴収した税金で省エネ補助金と使用済み製品回収に対する補助金を支払い、その余りから使用される消費者への補助金などのサービスである。

環境への影響 EI は、生産過程での炭素排出量による環境への影響  $EI_1$ 、製品の省エネ度合いによる環境への影響  $EI_2$ 、回収できなかった使用済み製品が環境に与える影響  $EI_3$  によるそれぞれの環境への影響  $EI_2$  と  $EI_3$  との和から、 $EI = EI_1 - EI_2 + EI_3 = \varepsilon_1(e - e_g) - \varepsilon_2g + \varepsilon_3(1 - \tau)D$  と考える。 $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_3$  は、炭素排出量が環境に与える影響、省エネによる環境改善や回収しなかった使用済み製品が環境に与える影響を金額単位へ変換するパラメータを示す。

### 2.4 本章での GCLSC の最適運用

本章では GCLSC の最適運用モデルを 2 つ考える。

- Model M (製造業者と小売業者が独立し、製造業者が意思決定の先導者となる場合)
- Model C (両業者が統合する場合)

Model M では、環境政策に対する政府介入の下で、製造業者が意思決定の先導者となり、単位卸売価格  $w$ 、炭素排出削減量  $e_g$  と省エネ度合い  $g$  を暫定決定する。小売業者は製造業者の意思決定の追従者となり、単位販売価格  $p$  と回収率  $\tau$  を暫定決定する。Model C では、政府の環境政策のもとで、 $p$ 、 $\tau$ 、 $e_g$  と  $g$  を暫定決定する。Model M と Model C の暫定決定をもとに、政府は炭素  $t$ 、使用済み製品回収への賞罰  $k$  と省エネへの補助金  $s$  の最適決定を行う。

### 2.5 数値検証から得られた考察

2.4 で提案した Model M と Model C での最適運用に対して数値例を与え、比較検証を行い、社会の環境認識の有無が各モデルの最適運用に与える影響を感度分析した。得られた考察を以下にまとめる。

- Model C の最適炭素税  $t^C$ 、省エネ度合いへの最適補助金  $s^C$ 、使用済み製品の回収率への賞罰  $k^C$  は Model M よりも高くなる。これより、Model C の使用済み製品の最適回収率  $\tau^C$ 、最適省エネ度合い  $g^C$ 、最適炭素排出削減量  $e_g^C$  は Model M より高くなる。
- Model C の GCLSC の利益と SW は Model M より高くなる。
- Model C は Model M よりも、より環境に優しい最適運用をとることができる。
- 社会の環境認識がある場合は、社会の環境認識がない場合よりも、Model M と Model C の最適炭素税  $t^M$ 、 $t^C$ 、省エネへの最適補助金  $s^M$ 、 $s^C$  と使用済み製品回収への賞罰  $k^M$ 、 $k^C$  は高くなる。この結果より、社会の環境認識がある場合は社会の環境認識がない場合より、Model M と Model C の使用済み製品の最適回収率  $\tau^M$ 、 $\tau^C$ 、最適省エネ度合い  $g^M$ 、 $g^C$  と最適炭素排出削減量  $e_g^M$ 、 $e_g^C$  は高くなる。
- 社会の環境認識がある場合は、Model M と C に対して環境に優しい最適運用を促進できる。

### 3. 政府の助成金制度とキャップ・アンド・トレード政策のもとでのサプライチェーン業者の環境対策に関する進化ゲーム理論分析

本章では、1社の製造業者と1社の小売業者からなり、政府の助成金制度とキャップ・アンド・トレード政策(CTP)を導入したGCLSCを対象に、短期的・長期的視点からGCLSCの最適運用について得られた研究成果を紹介する[2]。短期的最適運用は、各業者の利益を最大化するように、小売価格 $p$ 、卸売価格 $w$ 、リサイクル率 $\tau$ 、グリーン度合い $\theta$ を最適決定することで得られる[2]。長期的最適運用では、進化ゲーム理論[2]を適用し、各業者の進化的安定戦略(ESS)[2]を判定する。これより、各業者のフリーライディング[2]をなくし、両業者が共に環境対策に積極的な行動をとる助成金制度、各業者の環境対策諸費用の分割割合、CTPでの炭素排出枠単位当たりの取引価格の条件を明らかにする。以下では、GCLSCの長期的最適運用について紹介する[2]。

#### 3.1 GCLSCのモデルの概要

本論文で扱うGCLSCでは、小売業者は次の2つの行動戦略( $R_1$ ,  $R_2$ )をとる。

$R_1$ : 小売業者は、環境対策に積極的で、使用済み製品の回収を行う。

$R_2$ : 小売業者は、環境対策に消極的で、使用済み製品の回収を行わず卸売された製品の販売のみを行う。

製造業者は次の2つの行動戦略( $M_1$ ,  $M_2$ )をとる。

$M_1$ : 製造業者は、環境対策に積極的で、グリーン製品の生産および使用済み製品の回収と再生産を行う。

$M_2$ : 製造業者は、環境対策に消極的で、非グリーン製品の生産のみを行い、使用済み製品の回収を行わず新規製品のみを生産する。

また、各業者がとる戦略の組み合わせを( $R_2$ ,  $M_2$ ) ( $R_2$ ,  $M_1$ ) ( $R_1$ ,  $M_2$ ) ( $R_1$ ,  $M_1$ )と表し、対応するモデルをそれぞれModel N, Model M, Model R,

Model Cとする。Model Nは両業者ともに消極的なモデル、Model Mは製造業者のみが積極的なモデル、Model Rは小売業者のみが積極的なモデル、Model Cは両業者ともに積極的なモデルとする。環境の面から見れば、両業者ともに環境対策に積極的であり協力するModel Cが理想的な戦略である。

ここで、各業者は自社が環境対策へ投資することなしに他社の投資による恩恵を得ようとする、フリーライディングを行う可能性がある(Model MとModel Rが相当する)。この行為はサプライチェーンの公平性をなくし、炭素排出削減や省資源化の妨げとなる。よって、各業者が、この行為をとることを防ぐための対策が必要となる。

#### 3.2 GCLSCの各モデルでのシステム運用の流れ

① Model Rの場合、小売業者は初期投資費用 $C_I \tau^2$ を投資し、リサイクル率 $\tau$ および製品単位当たり回収費用 $f$ で使用済み製品の回収を行う。Model Mの場合、製造業者は初期投資費用 $C_I \tau^2$ を投資し、製品単位当たり回収費用 $f$ で消費者から使用済み製品の回収を行う。ここで、製造業者は小売業者と比較して消費者から遠く使用済み製品の回収をしにくい立場にあるため、小売業者が回収を行う場合と比較して、リサイクル率に $\gamma$ の割合だけ損失があるものとする。したがって、Model Mの場合のリサイクル率は $(1-\gamma)\tau$ となる。Model Cの場合、各業者が初期投資費用 $C_I \tau^2$ と製品単位当たり回収費用 $f$ を共同で出資し、小売業者がリサイクル率 $\tau$ で使用済み製品を回収する。② Model Rの場合、小売業者は回収した $\tau D_R$ の使用済み製品量を外部業者に単位価格 $c_s$ で売却する。③ Model N, Model Rの場合、製造業者は小売業者から受けた発注量 $DN$ の新規製品を単位当たり生産費用 $c_n$ で生産し、単位当たり卸売価格 $w$ で小売業者へ卸販売する。製造業者は製品生産にあたって、製品生産量単位当たり $E_n$ の炭素排出量を排出する。Model M, Model Cの場合、製造業者は、小売業者から受けた発注量の製品生産を新規生産と再生産で行う。Model Mの場合、製造業者は、消費者から使用済み製品をリサイクル率 $(1-\gamma)\tau$ で回収する。回収した使用済み製品量

$(1-\gamma)DM$  をすべて単位当たり再生産費用  $cn - \Delta c$  で再生産する。残りの  $(1-(1-\gamma)\tau)DM$  の量を単位当たり生産費用  $cn$  で新規生産する。Model C の場合、製造業者は、消費者から使用済み製品をリサイクル率  $\tau$  で回収する。回収した使用済み製品量  $\tau DC$  をすべて単位当たり再生産費用  $cn - \Delta c$  で再生産する。残りの  $(1-\tau)DC$  の量を単位当たり生産費用  $cn$  で新規生産する。また、Model M と Model C では、製造業者は製品生産にあたって、新規製品生産量単位当たり  $E_n$  およびリサイクル製品再生産量単位当たり  $E_n - \Delta E$  の炭素排出量を排出する。また、製造業者は環境対策として炭素排出の少ないグリーン製品生産を行うため、グリーン度合い  $\theta$  についての初期投資費用  $C_g\theta^2$  を Model M では製造業者が投資し、Model C では各業者が共同で投資することで、グリーン度合い  $\theta$  のグリーン製品を生産する。その結果として、製品単位当たり  $b\theta$  の炭素排出量が削減される。再生産製品量と新規生産量を合計した生産量  $D_M$  と  $D_C$  を単位当たり卸売価格  $w$  で小売業者へ卸販売する。④ 各モデルでの CTP では、政府から製造業者に炭素排出枠  $G$  が割り当てられる。各業者の炭素排出量が各業者の炭素排出枠  $G$  を超えているかどうかを確認する。各業者の炭素排出量が各業者の炭素排出枠を超えている場合は、不足量を単位価格  $e$  で炭素取引市場から購入する。余剰量は単位価格  $e$  で炭素取引市場で売却する。⑤ 各モデルで、小売業者は製造業者から卸売された製品を消費者に小売価格  $p$  で店頭販売する。⑥ Model C の場合、政府は各業者が共同で投資するグリーン製品生産と使用済み製品の回収・再生産での初期投資費用に対し、 $\beta$  の割合で助成を行う。

### 3.3 GCLSC での需要量のモデル化

製品の販売価格が  $p$ 、リサイクル率が  $\tau$ 、グリーン度合いが  $\theta$  の場合の各モデルでの製品需要量は  $D_N = D_0 - ap$ ,  $D_M = D_0 - ap + k_r(1-\gamma)\tau + k_g\theta$ ,  $D_R = D_0 - ap + k_r\tau$ ,  $D_C = D_0 - ap + k_r\tau + k_g\theta$  とモデル化する。ここで、 $D_0$  は潜在需要量、 $a$  は製品の単位小売価格に対する需要量の感度、 $k_r$  はリサイクル率に対する需要量の感度、 $k_g$  はグリーン度合いに

対する需要量の感度とする。

### 3.4 GCLSC での業者の利益の定式化

各モデルの小売業者と製造業者の利益をそれぞれ  $\pi_r^i$ ,  $\pi_m^i (i \in N, M, R, C)$  とする。環境対策諸費用を使用済み製品回収費用  $ftD_C$ 、リサイクル活動の初期投資費用  $C_g\tau^2$ 、グリーン製品生産の初期投資費用  $C\theta^2$  の 3 項目の和とする。一例として、Model C での各業者の利益式を以下に示す。製造業者の利益  $\pi_m^C$  は、新規製品の卸売売上、新規製品の生産費用、リサイクル製品の卸売売上、リサイクル製品の生産費用、環境対策諸費用のうち製造業者負担割合  $\lambda$ 、CTP による取引費用から定式化できる。小売業者の利益  $\pi_r^C$  は、新規製品とリサイクル製品の販売売上、新規製品とリサイクル製品の調達費用、環境対策諸費用のうち小売業者負担割合  $1-\lambda$  から定式化できる。他のモデルについても、各モデルのシステム運用の流れにもとづき、各業者の利益を定式化できる。

### 3.5 GCLSC の長期的最適運用

長期的最適運用では、進化ゲーム理論を適用し、Model N, Model M, Model R, Model C の中から ESS を判定した。ESS とは、十分な時間が経っても各業者がその戦略をとり、変わらない戦略のことである。具体的に、レプリケーターダイナミクス [2] を用いて、小売業者群と製造業者群の行動戦略の安定性分析を行った。

ここで、行動戦略  $R_1$  をとる小売業者群の割合を  $x$ 、行動戦略  $R_2$  をとる小売業者群の割合を  $1-x$  とする。一方、行動戦略  $M_1$  をとる製造業者群の割合を  $y$ 、行動戦略  $M_2$  をとる製造業者群の割合を  $1-y$  とする。このとき、行動戦略  $R_1$  をとる小売業者群の 1 メンバーの小売業者の期待利得  $E_r^{R_1}$  は  $E_r^{R_1} = y\pi_r^{C*} + (1-y)\pi_r^{R*}$  となる。一方、行動戦略  $R_2$  をとる場合の、その期待利得  $E_r^{R_2}$  は  $E_r^{R_2} = y\pi_r^{M*} + (1-y)\pi_r^{N*}$  となる。よって、小売業者群全体の期待利得  $\bar{E}_r$  は  $\bar{E}_r = xE_r^{R_1} + (1-x)E_r^{R_2}$  と求められる。同様に、製造業者群全体の期待利得  $\bar{E}_m$  は  $\bar{E}_m = yE_m^{M_1} + (1-y)E_m^{M_2}$  と求められる。このとき、レプリケーターダイナミクス方程式 [2] は

$$\begin{aligned} \dot{x} &= x(E_r^{R1} - \overline{E_r}) \\ &= x(1-x)\{y(\pi_r^{C*} - \pi_r^{M*}) + (1-y)(\pi_r^{R*} - \pi_r^{N*})\} \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{y} &= y(E_m^{M1} - \overline{E_m}) \\ &= y(1-y)\{x(\pi_m^{C*} - \pi_m^{R*}) + (1-x)(\pi_m^{M*} - \pi_m^{N*})\} \quad (2) \end{aligned}$$

と求められる。ここで、 $\dot{x} = 0, \dot{y} = 0$ とおき、 $x$ と $y$ についてそれぞれ解くと、次の5つの均衡点 $(x,y)=(0,0), (0,1), (1,0), (1,1)$ ,

$$\left( \frac{\pi_m^{N*} - \pi_m^{M*}}{\pi_m^{C*} - \pi_m^{R*} - \pi_m^{M*} + \pi_m^{N*}}, \frac{\pi_r^{N*} - \pi_r^{R*}}{\pi_r^{C*} - \pi_r^{M*} - \pi_r^{R*} + \pi_r^{N*}} \right) \text{を得る.}$$

ここで、 $(x,y) = (0,0), (0,1), (1,0), (1,1)$ はそれぞれ Model N, M, R, C を意味する。これらの均衡点のうち、式(1)と(2)に対するヤコビ行列  $J$  において、 $\det J > 0, \text{tr} J < 0$  となる均衡点が安定となり、各業者が十分な時間が経ってもその戦略をとり続ける ESS と判定できる（以下で、長期的最適運用の判定手法と呼ぶ）。

### 3.6 数値検証と考察

数値検証では、3.5 で導出した長期的最適運用の判定手法に基づき、各業者が Model C をとるための助成金制度、環境対策諸費用の製造業者の分割割合、CTPにおける炭素排出枠の取引価格における条件を示す。得られた考察を以下にまとめる。

- 政府が各業者のフリーライディングをやめさせ、Model C をとらせるためには、①環境対策諸費用の分担割合  $\lambda$  を中程度で偏りのない割合に設定すること、②政府がサプライチェーンの全ての業者がフリーライディングをやめ、環境対策に協力するために十分な環境対策諸費用の助成割合  $\beta$  を与えることが必要である。
- $\beta$  を高く設定するにつれ、各業者の環境対策への協力の意欲が高まり、各業者のとり戦略は早く Model N から Model C に移行する傾向にある。
- 助成金がない場合は、 $e$  を一定以上に設定すると、各業者のフリーライディングを解消できるが、Model C は ESS にならない。一定の助成金を与えた場合、 $e$  を一定以上に設定することで、Model C が ESS となる傾向にある。

- 一定の助成金を与え、Model C が ESS となる範囲内に  $e$  がある場合、 $e$  が一定以下では製造業者の炭素排出削減が見込め、 $e$  が増加するにつれ、戦略の Model C への収束は早くなる。一方、 $e$  が一定の値を超えると、製造業者の炭素排出量が政府からの割当量を下回り、製品の生産活動よりも炭素排出権の売却に重きを置いて利益を上げようとする。その結果、 $e$  が増加するにつれ、戦略の Model C への収束は遅くなる傾向にある。

## 4. ま と め

本稿では、持続可能な環境配慮型サプライチェーン構築のための環境政策に対する政府介入下での最適運用について、著者がこれまでに得た代表的な2件の研究成果を紹介した。今後の課題としては、国内外の関連業者からなる持続可能な ECO-SC 構築を行い、政府介入や政府と関連業者とのグローバル連携効果を数理解析により明らかにしたい。

## 謝 辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(C)17K01265 平成 29 年度～令和 3 年度）の助成を受けたものであり、ここに感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- [1] 中谷貴人, 楠川恵津子: “政府の環境政策とソーシャル・ウェルフェアを考慮したグリーン・クローズド・ループ・サプライチェーンの最適運用方策”, 2020 年度日本経営工学会秋季大会, 予稿集, pp.127-129 (2020)
- [2] 諏訪晴紀, 楠川恵津子: “政府の助成金制度とキャップ・アンド・トレード政策のもとでのサプライチェーン業者の環境対策に関する進化ゲーム理論分析”, 2021 年度日本経営工学会春季大会, 予稿集, pp.251-254 (2021)

楠川 恵津子

1996年近畿大学理工学部経営工学科卒業，2001年大阪府立大学・大学院・工学研究科・電気情報系専攻・経営工学分野博士後期課程修了，2001年4月大阪府立大学・大学院・工学研究科・電気情報系専攻・経営工学分野助手に着任し，2016年4月大阪府立大学・大学院・工学研究科・電気情報系専攻・電気情報システム工学分野准教授を経て，2022年4月大阪公立大学・大学院・工学研究科・電気情報系専攻・電気情報システム工学分野准教授に至る。

2004年より環境配慮型サプライチェーンの最適運用に関する教育研究に従事。環境配慮型サプライチェーンの最適運用に関する研究課題に対して，科学研究費補助金・若手研究（B）（2004年度～2007年度）（2007年度～2010年度），基盤研究（C）（2013年度～2016年度）（2017年度～2022年度）（2022年度～2025年度）を獲得。2002年日本経営工学会論文奨励賞受賞。2014年日本経営工学会論文賞受賞。博士（工学）（経営工学分野）