JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	カーボンプライシングを考慮したバイオマスプラスチック利用価値評価
Author(s)	桐山, 恵理子
Citation	年次学術大会講演要旨集, 38: 536-539
Issue Date	2023-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19148
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

１Ｇ２０

カーボンプライシングを考慮したバイオマスプラスチック利用価値評価

○桐山恵理子（昭和女子大学・東京工業大学）
e-kiriyama@swu.ac.jp

1. はじめに

カーボンプライシング

脱炭素社会の実現に向けて、今、世界中でさまざまな取り組みがおこなわれている。そのうち、有効な手段のひとつが「カーボンプライシング」という方法である。カーボンプライシングとは、企業などの排出する CO_2 に価格をつけ、それによって排出者の行動を変化させるために導入する政策手法である。有名な手法には「炭素税」や「排出量取引」と呼ばれる制度がある。

企業ごとに排出量の上限を決め、それを超過する企業と下回る企業との間で CO_2 の排出量を取引する排出量取引制度がある。EU をはじめ、中国や韓国なども導入している。EU では、2005 年から世界で初めて「排出量取引制度（EU-ETS）」を開始した。

こうしたなか、日本では、2023 年 2 月に「GX 実現に向けた基本方針」が閣議決定され、化石エネルギーからクリーンエネルギー中心に転換する「GX（グリーントランスフォーメーション）」を実現するために、「成長志向型カーボンプライシング構想」が打ち出された。2026 年度から、多排出産業等の「排出量取引制度」の本格稼働が検討されている（参考文献[1]）。

バイオマスプラスチック

本研究では、プラスチック問題に焦点を当てる。近年、海洋プラスチック問題、気候変動問題等を契機として、国内におけるプラスチックの取り扱いについて様々な対応がなされている。バイオマスプラスチックとは、植物などの再生可能な有機資源を原料とするため、石油由来のプラスチックよりも CO_2 排出量が少ない。バイオマスに含まれる炭素分は、原料となるバイオマスがその成長過程において大気中の CO_2 を固定したものであるため、バイオマスを再生産する限りについては、バイオマスを焼却しても大気中の CO_2 は増加しないという特性がある。よってバイオマスを原料とするバイオマスプラスチックには焼却処理する際に排出される CO_2 の抑制に寄与することが期待されている。LCA 学会で発表された八坂ら（2022）による「バイオマスを対象とした LCA のメタ分析」の論文がある。八坂ら(2022)は、プラスチック樹脂 1kg あたりの GHG 排出量を評価対象としており、対象としたプラスチックは PE、PET、PLA である。さらに PE と PET では減量を石油由来とバイオマス由来でさらに細分化を行っている。（参考文献[2]）また樹脂の製造段階と樹脂の廃棄段階を評価対象としており、廃棄段階は全量焼却されるシナリオを適用して燃却に伴う電力の代替効果やリサイクル処理は含めていない。PE では石油由来が 5.15kg CO_2e/kg 樹脂、バイオマス由来で 2.32kgCO_2e/kg 樹脂となり PE 製品では減量を石油由来からバイオマス由来に変更することによって GHG 排出量が約 55%削減されることが明らかになった。八坂ら（2022）のデータから、石油由来のプラスチックをバイオマス由来に変更することによって二酸化炭素の排出量が減少することは明らかである。

本研究の目的は、バイオマスプラスチック化による便益の算定を目的に、石油由来のプラスチックをバイオマス化した際の二酸化炭素排出量削減量と、カーボンプライシングによって得られる利潤をシミュレーションにより明らかにすることである。

2. カーボンプライシングモデル

環境政策のタイミングとその価値を評価するために、Pindyck(2000)は、Nordhaus (1991) モデルを応用して CO_2 ストックによる社会的費用に着目したリアルオプションモデルを開発した。Nordhaus は、2018 年にノーベル経済学賞を受賞しており、地球温暖化の統合評価モデル（DICE モデル）を初めて作ったことが評価されている。Pindyck は、DICE モデルと同様に、CO_2 の大気中のストック量が増大すると、気候変動により地球の平均気温が高くなり、海面上昇によって陸地が減少する経済的損失と、気候変動の影響による農産物の生産量の減少による社会的費用が生じるモデリングを行った。

本研究では、環境負荷削減技術コストを表す確率変数 θ を、排出量取引される CO_2 排出権価格に置き換えたカーボンプライシングモデルのシミュレーションを行った。排出権価格は、下式のドリフト付幾何

ブラウン運動に従うと仮定する。

$$d\theta = \alpha\,\theta\ dt + \sigma\theta\, dz \tag{1}$$

α: the expected growth rate
σ: the volatility
dz: the increment of a Wiener process

地球温暖化政策にかかる制度設計のような外部要因やイノベーションによって排出権取引価格は大きく変わってくることが予測されるため、その不確実性は大きいと考えられる。排出権価格や温室効果ガスにかかる限界削減費用について、多くの世界経済モデルによって予測されているがその値は 10～300[$// t-$CO_2$]での範囲でバラつきが存在することがわかる。
ここで提案するカーボンプライシングモデルは、実排出枠を上回った場合は CO_2 排出権取引市場で排出権を購入しなければならないが、下回った場合には、その差分を CO_2 排出権として売却して収益を得ることができると仮定したモデリングを行った。本モデルにおける意思決定の主体は、事業者であると仮定した。CO_2 削減プロジェクトの価値関数を W とする。

$$W = \varepsilon_0 \int_0^{\infty} B(\theta_t) e^{-rt} dt - \varepsilon_0 \left[K e^{-r\tilde{T}} \right] \tag{2}$$

カーボンプライシングモデルモデルでは、排出削減量 Et [t- CO_2]の分だけ排出権を売却した収益$B(\theta_t)$を得る。

$$B(\theta_t) = \theta_t E_t \tag{3}$$

$$W^N(0) = 0 \tag{4}$$

$$W^N(\theta^*) = \mathrm{W}^A(\theta^*) - K \tag{5}$$

$$\frac{\partial W^N}{\partial \theta}(\theta^*) = \frac{\partial W^A}{\partial \theta}(\theta^*) \tag{6}$$

意思決定者の目的関数は、W を最大化することである。ここで、ε_0 を t=0 時点での期待値、r を割引率とする。そして、意思決定者がプロジェクトを採用して CO_2 排出権を得ることによって収益を得る最適なタイミングに投資の意思決定を行う時点が$\tilde{T}$である。
伊藤の公式はテイラー級数展開の一種であり、W についてもベルマン方程式より（7）式を得ることができる。（Avinash K. Dixit, Robert S. Pindyck (1994) p.80 参照）（ベルマン方程式の右辺を展開し dt が 0（ゼロ）に収束するとしたときに、dt よりも早く 0（ゼロ）に近づく項（例えば dt 2）を省くと以下のような微分方程式を得る）

$$dW = \frac{\partial W}{\partial t} dt + \frac{\partial W}{\partial \theta} d\theta + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 W}{\partial \theta^2} (d\theta)^2 \tag{7}$$

(4) (5) (6)の式を用いて、(7)式から 2 つの各領域（意思決定者が投資の意思決定を行う時点が$\tilde{T}$より前の時点 t と後の時点 t ）における価値関数を定義することによって動的計画法を用いて解くことができる。

CO_2 削減プロジェクトを採用しない時点
（$0 \leq t < \tilde{T}$, $E_t = E_0$)での価値関数

$$\frac{1}{2}\sigma^2\theta^2 W^N_{\theta\theta} + \alpha\theta W^N_{\theta} - rW^N + \theta E_0 = 0 \tag{8}$$

CO_2 削減プロジェクト実施を採用したとき（ $t \geq \tilde{T}$, $E_t = E_1$)の価値関数

$$\frac{1}{2}\sigma^2\theta^2 W^A_{\theta\theta} + \alpha\theta W^A_{\theta} - rW^A + \theta E_1 = 0 \tag{9}$$

CO_2 排出権価格が、θ^*以上の値になったタイミングでプロジェクトを採用すべきという臨界値が θ^*である。(4) (5) (6)の境界条件を用いて、(8)(9)式を解き、Critical price :θ^*を求める。

$$\gamma = \frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} > 1 \tag{10}$$

$$\theta^* = \frac{\gamma(r-\alpha)}{(\gamma-1)(E_1-E_0)}K \tag{11}$$

3. インプットデータ

本モデルのシミュレーションに用いるインプットデータは、下表 1.のとおりである。
令和３年１月公表の環境省「バイオプラスチック導入ロードマップ」（参考文献[6]）によると、日本の利用事業者へのヒアリングによると従来の化石資源由来プラスチックと比べた各バイオマスプラスチック（非生分解性）の単価は 1.5～3 倍ということであったため、２ケース想定した。また、化石資源由来プラスチック(PE の価格)については、財務省貿易統計の統計品に記載されている統計番号 390120019(比重が 0.94 以上のポリエチレンその他のもの)の輸入の各月の金額を第二数量で除して 1,000 円を乗じ JPY/KG になるように算出したものを参考に、PE の価格が環境省の報告書に 180 円／kg と記載されていたため、その値を採用し表 1 を作成した。

表 1.　インプットデータ

	バイオマスプラスチックの価格が 1.5 倍	バイオマスプラスチックの価格が３倍
投資費用　K [yen/t]	90,000	360,000
CO_2 排出権価格の成長率　α[%]	1	1
PE の価格　[yen/kg]	180	180
割引率 r [%]	3 or 5	3 or 5
CO_2 削減率 E_0 [t-CO_2/t/year]	0	0
CO_2 削減率 E_1 [t-CO_2/t/year]	2.83	2.83

4. シミュレーション結果

前述のモデルおよび前提条件に基づく評価を以下に示した。
図 1.は、K=9 万円／t の時の割引率 r が 3%の場合と 5%の場合について、横軸がボラティリティ：σ、縦軸が Critical price :θ^*[yen/t- CO_2]を示している。排出権価格の不確実性（ボラティリティ：σ）が高くなると、Critical price :θ^*[yen/t- CO_2]の値が高くなることがわかる。割引率 r が 3～5%に高くなるに従って、Critical price :θ^*[yen/t- CO_2]の値が高くなり、投資を延期する価値が高くなることがわかる。しかしながら、不確実性が低く割引率 r が 3%の場合、カーボンプライスは 1,000[yen/t- CO_2]を下回り、事業に投資するタイミングであることを示唆している。

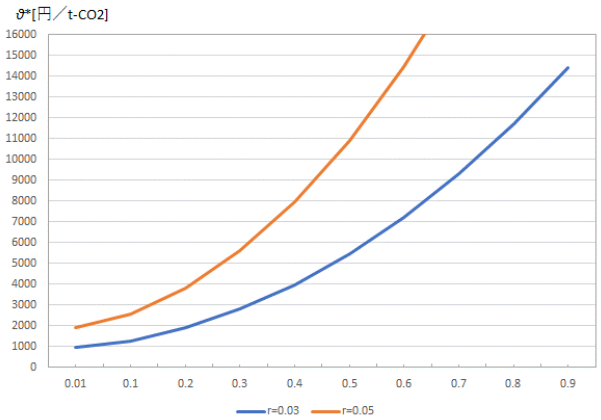

図 1.バイオマスプラスチックが化石資源由来の 1.5 倍のケース K= 9 万円／t の時のカーボンプライスと不確実性の関係

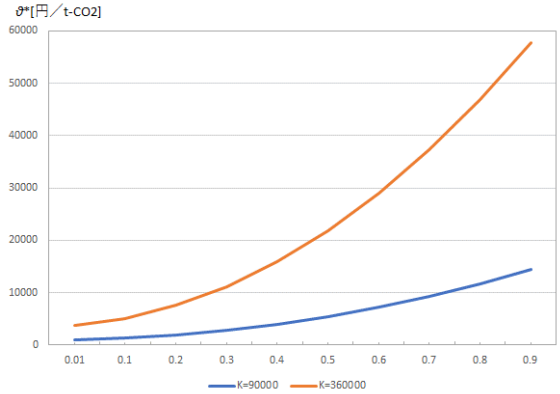

図 2. バイオマスプラスチックが化石資源由来の 1.5 倍と３倍のケースの比較

図 2.は、K=9 万円／t と K=36 万円／t のケースを比較しており、割引率が 3%の場合について、横軸がボラティリティ：σ、縦軸が Critical price :θ*[yen/t- CO_2]を示している。排出権価格の不確実性（ボラティリティ：σ）が高くなると、Critical price :θ*[yen/t- CO_2]の値が高くなることがわかる。割引率が 3～５％に高くなるに従って、Critical price :θ*[yen/t- CO_2]の値が高くなり、投資を延期する価値が高くなることがわかる。バイオマスプラスチックの価格が高くなると、事業への投資の意思決定が延期されることがわかる。しかしながら、インプットデータのばらつきも考慮すると、幅をもったシミュレーションを行い、様々なシナリオを設定して精査する必要があると考えられる。

5. まとめ

化石資源をはじめとする枯渇性資源の使用削減、温室効果ガスの排出抑制、海洋のプラスチックごみの削減に向けて、バイオプラスチックの利用が注目されている。本研究では、PE についてカーボンプライシングモデルによって公表されているデータで、石油由来からバイオマス由来のプラスチック利用に置き換える事業に投資をするタイミングを示唆するカーボンプライシングを求めることができた。事業環境によっては、環境付加価値として 1,000[yen/t- CO_2]の排出権価格のタイミングでバイオマスプラスチックに投資するインセンティヴが働くことが分かった。

日本には政府主導の正式な排出権市場は導入されていない。その目安として、欧州の EU-ETS 市場の動向を見てみると、2021 年以後上昇傾向にある。価格水準のイメージとして、10,000[yen/t-CO_2]程度である。これは、　日本の「地球温暖化対策のための税」289[yen/t-CO_2]と比較しても脱炭素社会に向けた投資を行う付加価値をバイオマスプラスチックが持つ可能性を示唆するものであると考えられる。

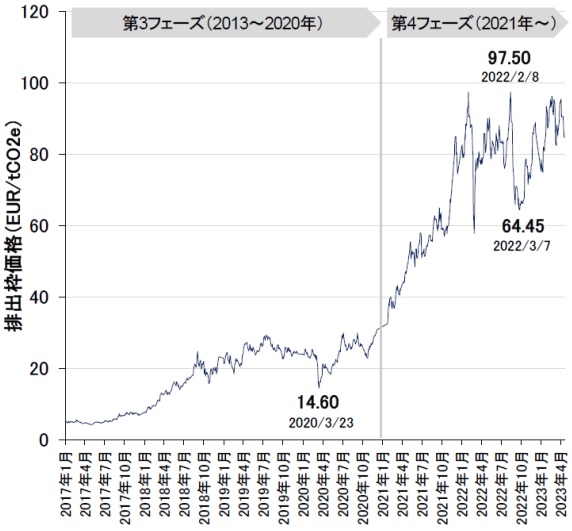

図 3.EU-ETS 排出枠価格の推移（出典[7]）

参考文献

[1]環境省　2030 年目標、 2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた成長志向型カーボンプライシング構想について https://www.env.go.jp/council/content/i_05/000106044.pdf （2023.9.18　アクセス）

[2]八坂慶仁・正畠宏一・伊坪徳宏, “バイオマスを対象とした LCA のメタ分析”, LCA 学会 https://www.ilcaj.org/meeting/13th/files/os_ma_abst.pdf （2023.9.18　アクセス）

[3]Pindyck (2000), "Irreversibility and the timing of environmental policy", Resource and Energy Economics 22, pp.233-259

[4] Nordhaus (1991) "To Slow or Not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect," Economic Journal, 101, pp. 920-937

[5] Avinash K. Dixit, Robert S. Pindyck (1994) Investment Under Uncertainty, Princeton University Press

[6]環境省　バイオプラスチック導入ロードマップ https://www.env.go.jp/content/900534511.pdf（2023.9.18 アクセス）

[7] MIZUHO　Research & Analysis 2023 no.29　https://www.mizuho-fg.co.jp/company/activity/onethinktank/pdf/vol029.pdf （2023.9.18　アクセス）

[8] 2014 年 12 月 19 日　東京大学大学院工学系研究科　技術経営戦略学専攻
桐山恵理子　論文博士（工学）第 18014 号「不確実性下におけるエネルギー・環境政策意思決定の方法に関する研究」