

電力部門の市場構造が非電力部門の電化と総排出量に与える影響

Impacts of market power in the electricity industry on the electrification of nonelectricity industries and total emissions

○庫川幸秀*

KURAKAWA Yukihide

1. はじめに

近年、運輸や産業といった非電力部門における電力利用の拡大（いわゆる「電化」）の重要性が増している。例として、運輸部門における電気自動車（EV）や鉄鋼業における電炉の導入拡大等が挙げられる。特に、各国が目標として掲げる「カーボンニュートラル（実質的な排出量ゼロ）」の実現を前提とすれば、利用可能なエネルギー源の選択肢は限られる。すなわち、非電力部門における化石燃料の直接的な利用の削減とカーボンフリー電力（及び水素）の利用拡大が有力な選択肢になる。この場合、電力価格の動向は単なる電力需要量の増減だけでなく、産業におけるエネルギー利用の構造的な変化（電化）に影響を与える要因となり得る。例えば、電力価格の上昇（低下）は、非電力部門における電力利用を抑制（促進）し、間接的に化石燃料の利用を促進（抑制）する要因になり得る。また、電化による排出削減効果は電力の排出係数に依存する。CO₂の排出源として、a) 電力の利用に伴う排出、b) 非電力部門における化石燃料の直接的な利用に伴う排出、を考えた場合、双方が電力市場を介して相互に影響する効果が働き、その結果として全体の排出量が決まることになる。本研究では、このような電力市場と非電力部門の相互効果に着目して、電力市場の市場構造が総排出量に与える影響を理論的に明らかにする。

2. 分析方法

電力部門と非電力部門から成るモデルを考える。非電力部門ではエネルギー源として、電力と化石燃料の直接利用が混在している。（このような状況の例として、鉄鋼業における電炉と高炉等が挙げられる。）なお、ここでは簡単化のために両者の生産方式における生産物に品質の違いはないと想定する。電力による生産では生産量1単位当たり α 単位の電力を、化石燃料による生産では生産量1単位当たり β 単位の化石燃料を要すると考えて、各々の費用関数（非電力部門の事業者全体を集計したもの）を以下のように定める。

$$C_1(q_1) = \alpha(p_e - s_e) + \gamma_1 q_1^2 / 2, \quad C_2(q_2) = \beta(p_c + t_c) + \gamma_2 q_2^2 / 2 \quad (1)$$

ここで、 p_e と p_c はそれぞれ電気と化石燃料の価格、 s_e は電力消費への補助金、 t_c は炭素税を表す。 γ_k ($k \in \{1, 2\}$) は希少性を伴う資源の確保に伴う費用のパラメータである。（鉄鋼業を例に考えると、電炉の利用では鉄スクラップの価格、高炉の利用では鉄鉱石の価格が、需

* 金沢星稜大学経済学部
E-mail: kurakawa@seiryu-u.ac.jp

給状況により無視できない影響を受けることが想定される。) 非電力部門が完全競争的であり, 生産物の逆需要関数が $P(Q) = A - BQ$ であると想定したうえで, 生産量 $q_1^*(p_e, s_e, t_c)$, $q_2^*(p_e, s_e, t_c)$, 電力需要関数 $Q_e(p_e; s_e, t_c) = \alpha q_1^*$, 逆需要関数 $p_e(Q_e; s_e, t_c) = a_e(s_e, t_c) - b_e Q_e$ を得る.

電力部門は同質な企業 (1, 2, ..., m) から成るクールノー市場であると考ええる. 電力の排出係数を η , 発電の限界費用を c_e とし, 企業 i の利潤が以下のように書ける.

$$\pi_i = p_e(Q_e)q_i - (c_e + \eta t_c)q_i$$

クールノー均衡解は以下のような関数として得られる.

$$p_e^*(m, s_e, t_c) \equiv p_e^*(m, t_c, a_e(s_e, t_c)), \quad Q_e^*(m, s_e, t_c) \equiv Q_e^*(m, t_c, a_e(s_e, t_c))$$

$$q_k^*(m, s_e, t_c) \equiv q_k^*(p_e^*(m, s_e, t_c), s_e, t_c)$$

このとき, クールノー均衡における総排出量は $TE^* \equiv \eta Q_e^* + \beta q_2^*$ となる. 一方で, 炭素税が適正に設定されていることを前提として, 電力市場が完全競争的である場合の解 $p_e^o \equiv c_e + \eta t_c$, $Q_e^o \equiv (a_e - p_e^o)/b_e$, $q_k^o \equiv q_k^*(p_e^o, 0, t_c)$ を最適解と考える. 最適解の下での総排出量は $TE^o \equiv \eta Q_e^o + \beta q_2^o$ となる. ここで, 電力市場の不完全競争に起因する排出量を $\Delta TE \equiv TE^* - TE^o$ と定義して, 電力の排出係数や市場構造の影響を分析した.

3. 分析結果

電力の排出係数について閾値 $\hat{\eta} \equiv B\alpha\beta/(B + \gamma_2)\alpha^2$ が存在して, 以下のことがいえる.

- ① $\eta > \hat{\eta}$ なら $\partial TE^*/\partial m > 0$, $\eta = \hat{\eta}$ なら $\partial TE^*/\partial m = 0$, $\eta < \hat{\eta}$ なら $\partial TE^*/\partial m < 0$.
- ② $\eta > \hat{\eta}$ なら $\Delta TE < 0$, $\eta = \hat{\eta}$ なら $\Delta TE = 0$, $\eta < \hat{\eta}$ なら $\Delta TE > 0$.
- ③ $\eta > \hat{\eta}$ なら $\partial Q_e^*/\partial t_c < 0$, $\eta = \hat{\eta}$ なら $\partial Q_e^*/\partial t_c = 0$, $\eta < \hat{\eta}$ なら $\partial Q_e^*/\partial t_c > 0$.
- ④ $\eta \leq \hat{\eta}$ なら $d(\Delta TE)/d\eta < 0$.

上記①と②は, 排出係数が閾値を下回ると, 電力の過少供給が総排出量の減少要因から増加要因に転換することを意味する. 同時に, 炭素税が電力消費量に与える効果も逆転する (上記③). 排出係数が高いうちは電力消費を抑制する効果を持つが, 排出係数が閾値を下回ると逆に電力消費を増加させる効果をもつ. これは, 化石燃料から電力への転換に伴う電力需要増の効果が, 炭素税による直接的な抑制効果を上回ることによる. 上記④は, 電力の排出係数が閾値以下であるとき, 排出係数がさらに低下するほど, 電力市場の不完全競争に起因する排出量は増大することを意味する. この他, 電力への補助金 s_e を利用することで最適解が達成可能であることも観察できる.

4. 結論

本研究では, 電力市場の不完全競争に起因して生じる排出量を理論的に明示したうえで, 電力の低炭素化が進むほど電力市場の不完全競争に起因する排出量が増加することを示した. この結果は, 今後再エネの普及等で電力の排出係数が低下していく中で, 電力市場の競争促進策により削減可能な排出量が増加していくことを示唆する.