

電力費用と中小製造業の持続可能性, マクロ経済成長に関する基礎的研究

小谷仁務¹・藤田陽介²・横松宗太³

¹学生会員 京都大学大学院工学研究科 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所)
E-mail: hitomukotani@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

²非会員 日本たばこ産業株式会社 (〒 105-8422 東京都港区虎ノ門 2-2-1)
E-mail: momiagebanzai@gmail.com

³正会員 工博 京都大学准教授 防災研究所 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: yoko@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

本研究では電力費用の水準が中小製造業やマクロ経済に与える影響について分析する。とりわけ中小企業の技術的多様性が製品の品質を高める側面に着目して、製造業財の貿易を考慮した動的マクロ経済モデルを定式化する。そしてベースロード電源の拡充による電力費用の減少が、中小企業の操業可能性を高めることを通じて、製造業財の品質や経済成長に与える効果について分析する。

Key Words : *electricity cost, small and medium-sized manufacturing firms, base-load power source, business continuity, macroeconomic growth model*

1. はじめに

2014年に閣議決定されたエネルギー基本計画¹⁾では、地熱、一般水力(流れ込み式)、原子力、石炭は、「ベースロード電源」と位置付けられている。この電源は、発電(運転)コストが低廉で、安定的に発電ができるという特徴がある。東日本大震災後、ベースロード電源の1つである原子力による発電が止まり、化石燃料の輸入が増大した。化石燃料への依存度の高まりは、電気料金を始めとしたエネルギーコストの増大となり、様々な分野に影響を及ぼしている。

中小製造業は、大企業に比べ、電力購入費が原材料コストに占める割合が大きく、また、その財務的体力が弱い。そのため、電力価格上昇の影響を受けやすい。中小企業が倒産すれば、中小企業やそこで働く技術者の技術が失われる場合がある。日本製品の品質の高さは、大手メーカーに多数の部品を供給する中小製造業の技術力に依存している部分が少なくない。よって、これらの事態が続けば日本製品の品質が損なわれる可能性がある。そのことは世界の製造業部門における日本の特性を弱め、貿易構造や国内の産業構造にも影響をもたらすことにもなる。ベースロード電源による安定的で低廉な電力と、中小製造業の持続性及びマクロ経済成長とは、密接に関連しているといえる。

本研究では、中小製造業の技術的多様性と最終製品の品質に着目して、多部門動学マクロ経済モデルを定式化する。そして、ベースロード電源に依存する電力

費用が中小製造業の持続可能性に与える影響や、それを通じたマクロ経済への影響について分析する。以下、**2.**では、本研究の着眼点と枠組みを述べる。**3.**では、モデルの定式化を行う。**4.**では、均衡条件を導出する。**5.**では、数値シミュレーションによって移行動学分析や比較静学分析を行う。**6.**では、本研究で得られた知見と今後の課題を整理する。

2. 本研究の背景と目的

(1) 日本の中小製造業と電力費用

日本経済において、製造業は連鎖方式での実質GDPの約21.0%を占め、GDPベースで最大の産業である(2011年度国民経済計算)²⁾。また、産業別就業者数は1032万人であり、1位の卸売・小売業の1042万人に次ぐ規模をもっている³⁾。その製造業において、中小製造業は、付加価値額において5割以上を、従業者数において7割以上を占めている⁴⁾。中小製造業はGDPや就業者数において大きなシェアを占めている。

また、中小製造業は「サポーターインダストリー(裾野産業)」と称されることがある。航空機、自動車、電子機器といった高度な工業製品の製造にあたり、膨大な部品、周辺製品を供給している。日本の製造業の強さは、中小企業を中心とした「サポーターインダストリーのレベルの高さ、裾野の広さ、層の厚さ」と、最終製品を提供する大企業等との密接な連携(「摺り合わせ」)にあるともいわれている⁴⁾。最終製品の高い品

質は、中小企業の技術の高さと多様さや、企業間の緊密なコミュニケーションに依存している。

製造業全体にとって、電力は重要な生産要素である。製造業のエネルギー消費は全体の約 38.5 % を占めている⁵⁾。よって電力価格の上昇は製造業の費用に大きな影響をもつ。製造業の 77.0 % の企業が「電力価格の上昇が悪影響をもたらす」と回答したという調査結果も報告されている⁶⁾。

そして、中小製造業は、製造業の中でも大企業と比べて電力購入費が原材料コストに占める割合が大きい⁷⁾。また、中小製造業は大企業と比較して財務的な体力が弱い。そのため、電力価格の上昇は、中小企業の安定的な経営にとって深刻な問題となる。中には、倒産することになったり、安価で安定した電力を求めて海外に転出したりする企業が出てくる可能性がある。長期的には、技術の多様性が失われたり、製造業の衰退による産業構造の変化が起こったりする可能性もある。したがって、エネルギー政策や電力費用の問題を議論するためには、中小製造業の操業可能性とマクロ経済の関係を分析する視点が不可欠となる。

(2) 本研究の焦点とモデルの枠組み

電力費用の影響の分析に関しては膨大な研究蓄積がある。例えば、電気料金が値上がりした場合の産業界への影響の分析(藤波(2012)⁸⁾)や、電力供給と経済成長の分析(例えば、Apergis and Payne(2010)⁹⁾、Lee and Chiu(2011)¹⁰⁾)などが存在する。本研究では、電力費用の水準が中小製造業の操業可能性を通じてマクロ経済成長に及ぼす影響に着目する。

本研究では、以上に述べた問題の定性的な構造に関心を集中するため、可能な限りモデルを単純化する。まずは基本的枠組みを、従属経済の構造を持つマクロ経済成長モデルとする。すなわち対象国経済は、世界市場では価格受容者として振舞いながら、一方で国内のみで消費される非貿易財をもつ。また、貿易に関して準開放経済を想定する。すなわち日本国内で生産される貿易財(以下、単に「貿易財」と呼ぶ)と海外で生産される財(以下、「海外財」と呼ぶ)とを異なる財とみなす。そして貿易財の量が有限であるために、世界市場において価格が内生的に決定されるものとする¹¹⁾。

対象国には、貿易財部門と非貿易財部門、電力部門が存在すると仮定する。3部門が供給する財に海外財を加えた3部門4財経済を考える。なお、資本は非貿易財であり、資本市場と労働市場は国内のみで閉じていると仮定する。

製造業は貿易財部門に相当する。貿易財部門は、異なる技術によって部品を生産する多数の中小企業と、部品を組み合わせて最終製品を生産する最終財企業によ

て構成されているものとする。個々の中小企業は独自の技術を持っており、最終財企業に対して独占競争的に部品を供給する。そして、最終財企業の製品の質は、部品の数、すなわち取引をする中小企業の数に依存するものとする。

また、電力は中小製造業のみによって使用されると仮定する。電力は、原子力や地熱、風力を含む、国内の電源による低廉で安定した発電と、天然ガスや石油を含む、海外から輸入した化石燃料による発電によって構成される。本研究では、前者をベースロード電源による発電、後者を火力発電と総称する。電力部門は公的部門であるものとし、各期に全ての電力を調達する費用を賄う水準に電力価格が決まるものとする。

毎期、中小企業は電力価格を考慮に入れて利潤最大化を行う。そして利潤が黒字となる企業のみが実際に操業可能であるものとする。赤字が計算される企業は生産を行うことはできないものと仮定する。

全ての企業は近視眼的であり、各期の利潤最大化行動を行う。一方、代表的家計は無限の長期視野をもっており、貯蓄や外国債権の取引を通じて資本ストックの形成を行う。以上のような枠組みを用いることにより、動学的均衡における中小企業数と、それに依存した貿易財の品質や海外における需要、貿易構造や対外債務、資本ストックの蓄積過程などを分析することができる。

3. モデル

(1) 貿易財部門

3部門4財の準開放経済を考える。貿易財部門において、貿易財は1つの最終財企業と、部品すなわち中間投入財を生産する多数の中小企業によって生産されるものとする。中小企業と最終財企業の関係には、ディクシット＝スティグリッツの独占的競争市場モデルを応用する¹²⁾。すなわち個々の中小企業が生産する中間投入財は互いに異なるが、最終財の生産において代替性があるとすると、中小企業は最終財企業に対して独占競争的に部品を供給する。

a) 中小企業

個々の中小企業をインデックス j によって特定する。インデックス j は、中小企業を電力使用量が小さい順に並べて付した番号に対応するものとする。したがって、大きな j で同定される企業ほど、電力により大きく依存した技術で生産することを意味する。

中小企業 j は各 t 期に以下の利潤最大化問題を解く。

$$\max_{\nu_j(t)} \Pi_j(t) = \nu_j(t) \cdot m_j(t) - w(t)c^M \cdot m_j(t) - \gamma(t) \cdot \eta_j \cdot m_j(t) - p(t) \cdot \zeta \quad (1)$$

$\Pi_j(t)$ は t 期における中小企業 j の利潤を表す。 $\nu_j(t)$ は

企業 j が作る部品の価格であり、 $m_j(t)$ は製造量である。また、 $w(t)$ は賃金率であり、 c^M は単位生産に必要な労働量を表すパラメータである。 $\gamma(t)$ は電力単価を、 η_j は企業 j が単位生産に必要な電力使用量を表す。 $p(t)$ は非貿易財の価格を、 ζ は固定要素の量を表す。したがって、式 (1) の右辺の第 1 項から第 4 項はそれぞれ売上げ、人件費、電力費用、固定費用を表す。

なお、上記のように中小企業は単位生産当たりの電力使用量 η_j によって特徴づけられており、その分布を $\eta_j = \eta_0 + \psi \cdot j$ により仮定する。ただし $\eta_0, \psi (> 0)$ は一定とする。

均衡において $\Pi_j(t) \geq 0$ となる企業のみが実際に操業することが可能となるものとする。 t 期の均衡において操業可能な企業の数を $n(t)$ により表す。したがって、 t 期には $0 \leq j \leq n(t)$ の範囲の企業 j のみが生産を行う。また、企業は家計によって所有されており、利潤は家計の所得になるものとする。

b) 最終財企業

最終財企業は、各部品を合成した中間投入財と資本を用いて貿易財の最終財を生産する。最終財企業の問題は、以下のように二段階の問題として表される。

1) 部品仕入れ段階

$$\min_{\{m_j(t)|0 \leq j \leq n(t)\}} \int_0^{n(t)} \nu_j(t) m_j(t) dj \quad (2a)$$

$$\text{subject to } M(t) = \left[\int_0^{n(t)} m_j(t)^\rho dj \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad (2b)$$

2) 最終財生産段階

$$\min_{M(t), K_T(t)} G(t)M(t) + r(t)K_T(t) \quad (3a)$$

$$\text{subject to } Y_T(t) = M(t)^\alpha K_T(t)^{1-\alpha} \quad (3b)$$

なお $G(t)$ は中間投入財の価格指数であり、 $G(t)M(t) = \min_{m_j(t)} \int_0^{n(t)} \nu_j(t) m_j(t) dj$ を満たす。 $M(t)$ は合成された中間投入量を表す。 ρ は部品の多様性が反映される度合いを表すパラメータである。 $0 < \rho < 1$ であり、 ρ が 1 に近いほど差別化された部品は互いにほぼ完全な代替財となり、 ρ が 0 に近いほど互いに取り換えがきかない財とする。 $Y_T(t)$ は最終財の生産量を、 $r(t)$ は国内の利子率を、 $K_T(t)$ は資本投入量を表す。なお下付き T は貿易財部門 (Traded-goods sector) であることを意味している。 α は中間投入に対する分配率を表すパラメータであり、 $0 < \alpha < 1$ と仮定する。

(2) 非貿易財部門

非貿易財企業は資本と労働を用いて非貿易財を生産する。非貿易財企業の問題は以下のように表される。

$$\min_{L_N(t), K_N(t)} w(t)L_N(t) + r(t)K_N(t) \quad (4a)$$

$$\text{subject to } Y_N(t) = L_N(t)^\beta K_N(t)^{1-\beta} \quad (4b)$$

$Y_N(t)$ は非貿易財の生産量を、 $L_N(t)$ は労働投入量を、 $K_N(t)$ は資本投入量を表す。なお下付き N は貿易財部門 (Non-traded-goods sector) であることを意味する。 β は労働に対する分配率を表すパラメータであり、 $0 < \beta < 1$ と仮定する。

(3) 電力部門

電力部門は、中小企業が製造の際に用いる電力を供給する。モデルの単純化のため、電力は、ベースロード電源による発電と火力発電のみで生産されるものとする。またベースロード電源のコストはゼロと仮定する。他の電力を導入したり、ベースロード電源の費用を考慮したりしても、本研究の本質的結論は変わらない。電力部門は公的部門であり、制度的にゼロ利潤であるものと仮定する。電力の構成と価格の間には以下のバランスが成立しているものとする。

$$W(t) = \int_0^{n(t)} \eta_j m_j(t) dj \quad (5a)$$

$$W(t) = z + S(t) \quad (5b)$$

$$\phi S(t) = \gamma(t)W(t) \quad (5c)$$

$W(t)$ は t 期における国内の総電力使用量を表し、式 (5a) で与えられる。 z はベースロード電源の規模とし、ベースロード電源の規模とそれにより生産される電力量が一致するように単位を基準化する。 z は時間を通じて一定のパラメータと仮定する。また、 $S(t)$ は火力発電に必要な石油などの化石燃料の量とし、化石燃料の量と火力発電所で生産される電力量が一致するように単位を基準化する。 $S(t)$ は輸入によって調達されるものとする。式 (5b) は電力源の構成を表している。また、 ϕ は化石燃料の世界価格を、 $\gamma(t)$ は国内の電力価格を表す。すなわち式 (5c) は、電力部門の収支の均衡を表している。なお、エネルギーの海外依存率を $\chi(t) = \{W(t) - z\}/W(t)$ と定義すると、式 (5b) と式 (5c) より、以下の関係が成立する。

$$\gamma(t) = \phi \chi(t) \quad (6)$$

すなわち国内の電力価格はエネルギーの海外依存率に比例する。

(4) 家計

代表的家計は貿易財、非貿易財、海外財の消費によって効用を得る。それらのうち貿易財に関しては消費量と品質から効用を得るものと仮定する。家計は品質や各価格に対して非戦略的に行動する。家計の目的関数は以下の生涯効用とする。

$$\max_{\{c(t)|0 < t < \infty\}} \int_0^\infty U(v(C_T(t), Q(n(t))), C_N(t), C_0(t)) \cdot \exp\{-\bar{r}t\} dt \quad (7)$$

$\mathbf{x}(t) = \{C_T(t), C_N(t), C_0(t), I(t)\}$ は t 期の制御変数ベクトルを表し, C_T, C_N, C_0, I はそれぞれ貿易財の消費, 非貿易財の消費, 海外財の消費, 投資を表す. \bar{r} は割引率であり, 世界利子率に一致するものとする. \bar{r} は一定と仮定する. $Q(n(t))$ は貿易財の品質を表し, 中小企業数 $n(t)$ に関して, 以下の性質を満たすものとする.

$$\frac{\partial Q(n(t))}{\partial n(t)} > 0 \quad (8)$$

すなわち, 中小企業数が多くなれば, 貿易財の品質は向上する. $v(C_T, Q(n(t)))$ は貿易財の消費に関する部分効用を表し, 以下の性質を満たすものとする.

$$\frac{\partial v(C_T, Q(n(t)))}{\partial C_T} > 0, \quad \frac{\partial v(C_T, Q(n(t)))}{\partial Q(n(t))} > 0 \quad (9)$$

効用関数を以下のような相対的危険回避度一定の効用関数と仮定する.

$$U = \frac{\{(v(C_T, Q(n(t))))^{a_1} C_N^{a_2} C_0^{a_3}\}^{1-\theta} - 1}{1-\theta} \quad (10)$$

θ は相対的危険回避度とする. a_1, a_2, a_3 はそれぞれ各財の消費の分配率を表し, $a_1 + a_2 + a_3 = 1$ とする. $\theta \rightarrow 1$ の極限において, 効用関数は以下ようになる.

$$U = a_1 \log v(C_T, Q(n(t))) + a_2 \log C_N + a_3 \log C_0 \quad (11)$$

ストック変数の変化過程は以下のように表される.

$$\dot{b}(t) = w(t)L + r(t)K(t) + \int_0^{n(t)} \Pi_j(t) dj - q(t)C_T(t) - p(t)C_N(t) - C_0(t) - p(t)I(t) + \bar{r}b(t) \quad (12a)$$

$$\dot{K}(t) = I(t) - \delta K(t) \quad (12b)$$

$$b(0) = b_0, \quad K(0) = K_0 \quad (12c)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} b(t)e^{-\bar{r}t} \geq 0 \quad (12d)$$

$b(t)$ は外国債券の保有残高を表す. L は国内の労働総量であり, 時間を通じて一定と仮定する. $K(t)$ は国内の資本ストックの総量を表す. $q(t), p(t)$ はそれぞれ貿易財と非貿易財の価格を表す. 海外財をニューメレールとする. よって貿易財の価格 $q(t)$ と非貿易財の価格 $p(t)$ は海外財の価格に対する価格比に相当する. δ は資本減耗率を表すパラメータとする. 式 (12c) は外国債券保有残高と資本ストックの初期条件を, (12d) は No Ponzi Game 条件を表す.

海外における貿易財の需要関数を $D^F(Q(n(t)), q)$ により表す. $D^F(Q(n(t)), q)$ は以下の性質を満たすものと仮定する.

$$\frac{\partial D^F(Q(n(t)), q)}{\partial Q(n(t))} > 0, \quad \frac{\partial D^F(Q(n(t)), q)}{\partial q} < 0 \quad (13)$$

すなわち, 貿易財の品質が上がるほど需要は増加し, 価格が上がるほど減少する.

4. 均衡条件

(1) 生産者の問題

a) 最終財企業の問題

本章では各主体の最適化行動と経済の均衡条件を導出する. はじめに最終財企業の部品仕入れ段階を考える. 最終財企業は各部品の価格 ν_j を与件として, 各部品の需要 m_j を決定する. i を j と同じく中小企業のインデックスとすると, 任意の m_j と m_i に関する最適化条件をあわせることにより以下の関係を得る.

$$m_j = m_i \left(\frac{\nu_j}{\nu_i} \right)^{\frac{1}{1-\rho}} \quad (14)$$

なお以後, 表記の煩雑さを避けるため, t 期の変数であることを意味する「 (t) 」の表記を省略する. 上式を式 (2a), (2b) に代入して整理すると, 補償需要関数 m_i と, M を達成するための最小費用はそれぞれ以下のように求まる.

$$m_i = \frac{\nu_i^{\frac{1}{1-\rho}}}{\left[\int_0^n \nu_j^{\frac{\rho}{1-\rho}} dj \right]^{\frac{1}{\rho}}} M \quad (15a)$$

$$\int_0^n \nu_j m_j dj = \left[\int_0^n \nu_j^{\frac{\rho}{1-\rho}} dj \right]^{\frac{\rho-1}{\rho}} M \quad (15b)$$

上式 (15b) の M に掛かる乗数は, 中間財の価格指数に相当する. 各部品に対する代替の弾力性を $\sigma = 1/(1-\rho)$ と定義すると, 価格指数 G は以下のように表される.

$$G = \left[\int_0^n \nu_j^{1-\sigma} dj \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (16)$$

なお, 本モデルでは, $0 < \rho < 1$ を仮定しているため, σ は $\sigma > 1$ の範囲にある. 式 (16) を式 (15a) に代入すると, 次式を得る.

$$m_i = \left(\frac{\nu_i}{G} \right)^{-\sigma} M \quad (17)$$

次に, 最終財の生産段階を考える. 貿易財の生産量 Y_T を与件として, 一階条件を求め, 整理すると, 最適な中間投入量 M^* と資本投入量 K_T^* は以下のように求まる.

$$M^*(r, G, Y_T) = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{r}{G} \right)^{1-\alpha} Y_T \quad (18a)$$

$$K_T^*(r, G, Y_T) = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{-\alpha} \left(\frac{r}{G} \right)^{-\alpha} Y_T \quad (18b)$$

式 (18a) を式 (17) に代入すると, i に関する補償需要関数 m_i は次のように表される.

$$m_i = \left(\frac{\nu_i}{G} \right)^{-\sigma} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{r}{G} \right)^{1-\alpha} Y_T \quad (19)$$

b) 中小企業の問題および中小企業と最終財企業の間の均衡

中小企業の最適化条件を考える. 中小企業 j は最終財企業の補償需要関数 (式 (19)) を与件として, 最適な部品価格 ν_j を決定する. 式 (19) を式 (1) に代入し, ν_j

に関する一階条件を求めて整理すると、最適な部品価格 ν_j^* は以下のように求まる。

$$\nu_j^*(w, \gamma) = \frac{\sigma}{\sigma-1} (wc^M + \gamma\eta_j) \quad (20)$$

式 (20) を式 (19) に代入すると、 j に関する最適な補償需要関数は以下のように求まる。

$$\begin{aligned} m_j^*(w, \gamma, r, G, Y_T) &= \left\{ \frac{\sigma}{\sigma-1} (wc^M + \gamma\eta_j) \right\}^{-\sigma} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \\ &\quad \cdot r^{1-\alpha} G^{\sigma+\alpha-1} Y_T \end{aligned} \quad (21)$$

中小企業と最終財企業との均衡は式 (20) と式 (21) より決まる。最後に、式 (20) と式 (21) を式 (1) に代入して整理すると、最大化された利潤 Π_j^* は以下のように表される。

$$\begin{aligned} \Pi_j^*(w, \gamma, r, G, Y_T, p) &= \frac{\sigma^{-\sigma}}{(\sigma-1)^{1-\sigma}} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \\ &\quad \cdot \{wc^M + \gamma\eta_j\}^{1-\sigma} r^{1-\alpha} G^{\sigma+\alpha-1} Y_T - p\zeta \end{aligned} \quad (22)$$

中小企業数 n の均衡 n^* は、 $\Pi_j^* = 0$ となる境界の j と一致する。式 (22) と企業 j の電力使用量 $\eta_j = \eta_0 + \psi \cdot j$ より、 n^* は以下のように求まる。

$$\begin{aligned} n^*(p, r, G, Y_T, w, \gamma) &= \frac{f(p, r, G, Y_T) - wc^M - \gamma\eta_0}{\gamma\psi} \end{aligned} \quad (23)$$

ただし、 $f(p, r, G, Y_T)$ は以下のように与えられる。

$$\begin{aligned} f(p, r, G, Y_T) &= \left(\frac{p\zeta}{\frac{\sigma^{-\sigma}}{(\sigma-1)^{1-\sigma}} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} r^{1-\alpha} G^{\sigma+\alpha-1} Y_T} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} \end{aligned} \quad (24)$$

また、中小企業 j の労働需要を l_j^* と定義すると、 $l_j^* = c^M m_j^*$ である。よって、 l_j^* は以下のように表される。

$$\begin{aligned} l_j^*(w, \gamma, r, G, Y_T) &= c^M \left\{ \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \right) \{wc^M + \gamma(\eta_0 + \psi \cdot j)\} \right\}^{-\sigma} \\ &\quad \cdot \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} r^{1-\alpha} G^{\sigma+\alpha-1} Y_T \end{aligned} \quad (25)$$

c) 非貿易財企業の問題

非貿易財部門の問題を考える。式 (4a) と式 (4b) より、 L_N と K_N に関する一階条件を求めて整理すると、最適な労働投入量 L_N^* と最適な資本投入量 K_N^* は以下のように求まる。

$$L_N^*(r, w, Y_N) = \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right)^{1-\beta} \left(\frac{r}{w} \right)^{1-\beta} Y_N \quad (26a)$$

$$K_N^*(r, w, Y_N) = \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right)^{-\beta} \left(\frac{r}{w} \right)^{-\beta} Y_N \quad (26b)$$

d) 部品市場の比較静学分析

最終財企業と中小企業との市場の均衡の性質を調べよう。部品価格 ν_j^* 、部品の量 m_j^* 、労働 l_j^* 、中小企業数 n^* について、パラメータであるベースロード電源の規模 z 、石油価格 ϕ 、最低電力消費量 η_0 に関する比較静学分析を行う。ここでは外の市場の状態、すなわち賃金率や利率、電力価格、貿易財の需要等の水準は一定と考える。

ベースロード電源の規模 ベースロード電源の規模 z に関して各変数を偏微分すると以下ようになる。

$$\frac{\partial \nu_j^*}{\partial z} = -\frac{\sigma\phi\eta_j}{(\sigma-1)W} < 0 \quad (27a)$$

$$\frac{\partial m_j^*}{\partial z} = \frac{\sigma\phi\eta_j}{(wc^M + \gamma\eta_j)W} > 0 \quad (27b)$$

$$\frac{\partial l_j^*}{\partial z} = \frac{\sigma\phi\eta_j c^M}{(wc^M + \gamma\eta_j)W} > 0 \quad (27c)$$

$$\frac{\partial n^*}{\partial z} = \frac{\phi \{ \eta_0 + (f(p, r, G, Y_T) - wc^M - \gamma\eta_0) \psi \}}{(\gamma\psi)^2 W} > 0 \quad (27d)$$

これより、ベースロード電源の増加により電力価格が下がると、最適な部品価格は下がり、最適な部品生産量は上がり、各中小企業の労働需要は上がり、操業する中小企業数は多くなることがわかる。

石油価格 石油価格 ϕ に関して各変数を偏微分すると以下ようになる。

$$\frac{\partial \nu_j^*}{\partial \phi} = \frac{\sigma\eta_j}{\sigma-1} \cdot \left(1 - \frac{z}{W} \right) > 0 \quad (28a)$$

$$\frac{\partial m_j^*}{\partial \phi} = -\frac{\sigma\eta_j}{wc^M + \gamma\eta_j} \cdot \left(1 - \frac{z}{W} \right) < 0 \quad (28b)$$

$$\frac{\partial l_j^*}{\partial \phi} = -\frac{\sigma\eta_j c^M}{wc^M + \gamma\eta_j} \cdot \left(1 - \frac{z}{W} \right) < 0 \quad (28c)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial n^*}{\partial \phi} &= -\frac{1}{(\gamma\psi)^2} \cdot \left(1 - \frac{z}{W} \right) \\ &\quad \cdot \{ \eta_0 + (f(p, r, G, Y_T) - wc^M - \gamma\eta_0) \phi \} < 0 \end{aligned} \quad (28d)$$

これより、石油価格の上昇により電力価格が上がると、最適な部品価格は上がり、最適な部品生産量は下がり、各中小企業の労働需要は下がり、操業する中小企業数は少なくなることがわかる。

最低限の電力使用量 最低限の電力使用量 η_0 に関して各変数を偏微分すると以下ようになる。

$$\frac{\partial \nu_j^*}{\partial \eta_0} = \frac{\sigma\gamma}{\sigma-1} > 0 \quad (29a)$$

$$\frac{\partial m_j^*}{\partial \eta_0} = -\frac{\sigma\gamma}{wc^M + \gamma\eta_j} < 0 \quad (29b)$$

$$\frac{\partial l_j^*}{\partial \eta_0} = -\frac{\sigma\gamma c^M}{wc^M + \gamma\eta_j} < 0 \quad (29c)$$

$$\frac{\partial n^*}{\partial \eta_0} = -\frac{1}{\psi} < 0 \quad (29d)$$

これより、最低限の電力使用量が上昇すると、最適な部品価格は上がり、最適な部品生産量は下がり、各中小企業の労働需要は下がり、操業する中小企業数は少なくなる事がわかる。

(2) 家計の問題

家計の問題を考える。式(7),(12a)-(12d)で定義した動学的最適化問題の当該期価値ハミルトニアン H は以下のように与えられる。

$$H = U(v(C_T, Q(n)), C_N, C_0) + \mu_1 \left(wL + rK + \int_0^n \Pi_j dj - qC_T - pC_N - C_0 - pI + \bar{r}b \right) + \mu_2 (I - \delta K) \quad (30)$$

μ_1, μ_2 はそれぞれ式(12a),(12b)に対応した随伴変数を表す。一階条件は以下ようになる。

$$\frac{\partial U}{\partial C_T} - \mu_1 q = 0 \quad (31a)$$

$$\frac{\partial U}{\partial C_N} - \mu_1 p = 0 \quad (31b)$$

$$\frac{\partial U}{\partial C_0} - \mu_1 = 0 \quad (31c)$$

$$-\mu_1 p + \mu_2 = 0 \quad (31d)$$

$$\dot{\mu}_1 - \bar{r}\mu_1 = -\mu_1 \bar{r} \quad (31e)$$

$$\dot{\mu}_2 - \bar{r}\mu_2 = -\mu_1 r + \delta\mu_2 \quad (31f)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mu_1 b \cdot e^{-\bar{r}t} = 0 \quad (31g)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mu_2 K \cdot e^{-\bar{r}t} = 0 \quad (31h)$$

式(31g)と式(31h)はそれぞれ b, K に関する横断性条件である。

式(31a)-(31c)より、各財の需要関数を得る。

$$C_T = C_T(\mu_1, p, q, Q(n)) \quad (32a)$$

$$C_N = C_N(\mu_1, p, q, Q(n)) \quad (32b)$$

$$C_0 = C_0(\mu_1, p, q, Q(n)) \quad (32c)$$

また、式(31e)より $\dot{\mu}_1 = 0$ である。これより、以下の式が成立する。

$$\mu_1 = \text{const.} = \bar{\mu}_1 \quad (33)$$

式(31d)より $\mu_2 = \bar{\mu}_1 p$ である。これより、以下の式が成立する。

$$\dot{\mu}_2 = \bar{\mu}_1 \dot{p} \quad (34)$$

式(33)と式(34)を式(31f)に代入すると、非貿易財の価格 p の動学に関して、以下の式を得る。

$$\dot{p} = (\bar{r} + \delta)p - r \quad (35)$$

(3) マクロ経済の均衡

マクロ経済の均衡条件は以下のように与えられる。ここでは、 $(p, K, \bar{\mu}_1)$ については、均衡解を表す「*」の表

記を省略する。

$$\dot{b} = \bar{r}b + q^* D^F(Q(n^*), q^*) - C_0^*(\bar{\mu}_1, p, q^*, Q(n^*)) - \phi S \quad (36)$$

貿易財と非貿易財の市場クリアリング条件はそれぞれ以下ようになる。

$$(M^*(r^*, G^*, Y_T^*))^\alpha (K_T^*(r^*, G^*, Y_T^*))^{1-\alpha} = C_T^*(\bar{\mu}_1, p, q^*, Q(n^*)) + D^F(Q(n^*), q^*) \quad (37a)$$

$$(L_N^*(r^*, w^*, Y_N^*))^\beta (K_N^*(r^*, w^*, Y_N^*))^{1-\beta} = C_N^*(\bar{\mu}_1, p, q^*, Q(n^*)) + \dot{K} + \delta K + n^* \zeta \quad (37b)$$

労働市場と資本市場の均衡はそれぞれ以下ようになる。

$$\int_0^{n^*} l_j^*(w^*, \gamma^*, r^*, G^*, Y_T^*) dj + L_N^*(r^*, w^*, Y_N^*) = L \quad (38a)$$

$$K_T^*(r^*, G^*, Y_T^*) + K_N^*(r^*, G^*, Y_T^*) = K \quad (38b)$$

最終財企業と非貿易財企業のゼロ利潤条件はそれぞれ以下ようになる。

$$q^* Y_T^* - G^* M^*(r^*, G^*, Y_T^*) - r^* K_T^*(r^*, G^*, Y_T^*) = 0 \quad (39a)$$

$$p Y_N^* - w^* L_N^*(r^*, w^*, Y_N^*) - r^* K_N^*(r^*, w^*, Y_N^*) = 0 \quad (39b)$$

式(23)より、中小企業数は次式により与えられる。

$$n^* = \frac{f(p^*, r^*, G^*, Y_T^*) - w^* c^M - \gamma^* \eta_0}{\gamma^* \psi} \quad (40)$$

価格指数 G に関して、式(16)に式(20)を代入すると次式が成立する。

$$G^* = \left[\int_0^{n^*} \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} (w^* c^M + \gamma^* \eta_j) \right)^{1-\sigma} dj \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (41)$$

電力部門の均衡条件として次式が成立する。

$$\gamma^* = \phi \cdot \chi(n^*, \{m_j^*(w^*, \gamma^*, r^*, G^*, Y_T^*)\}) \quad (42)$$

マクロ経済の均衡は式(35)-(42)で与えられる。それらのうち動学的な変数は (p, K, b) であり、残りの変数は各期の (p, K, b) の上で時点内の均衡状態にあると考えてよい。一方、外国債権の保有水準 $b(t)$ の条件式(36)は、横断性条件(31g)と合わせることで、代表的家計の生涯予算制約を与えており、通時的な消費のレベルを決める機能を果たしている。すなわち式(36)と式(31g)が $\bar{\mu}_1$ が決まると考えることができる。

したがって均衡のシステムを以下のように分解することができる。まず各 t 期には状態変数として $(p, K, \bar{\mu}_1)$ が与えられる。それらを与件として、式(37a),(38)-(42)

より、変数 n^* , G^* , q^* , w^* , r^* , Y_T^* , Y_N^* , γ^* の解が $(p, K, \bar{\mu}_1)$ の関数として決まる。そして、それらを動学方程式 (35), (37b), (36) に代入することにより (p, K, b) が更新され、次の期の $(p, K, \bar{\mu}_1)$ が決まる。なお既述のように、 $\bar{\mu}_1$ は一定であり、 b の更新は横断性条件 (31g) が満たされるかを確認するためである。したがって、本モデルで本質的に動学の構造を決める変数は p と K になる。均衡経路は次式によって表される。

$$\dot{p} = (\bar{r} + \delta)p - r^*(p, K, \bar{\mu}_1) \quad (43a)$$

$$\dot{K} = Y_N^*(p, K, \bar{\mu}_1) - C_N^*(p, K, \bar{\mu}_1) - \delta K - n^*(p, K, \bar{\mu}_1)\zeta \quad (43b)$$

上記の連立微分方程式を定常状態のまわりで線形近似することにより次式を得る。

$$\begin{pmatrix} \dot{p} \\ \dot{K} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p - \tilde{p} \\ K - \tilde{K} \end{pmatrix} \quad (44)$$

\tilde{p} と \tilde{K} は定常状態における p と K の値である。行列 $A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}$ の固有値を λ_1 , λ_2 , それぞれの固有値に対応する固有ベクトルを $h_1 = \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \end{bmatrix}$, $h_2 = \begin{bmatrix} h_{21} \\ h_{22} \end{bmatrix}$ とすると、式 (44) の一般解は以下のように表される。

$$\begin{pmatrix} p - \tilde{p} \\ K - \tilde{K} \end{pmatrix} = C_1 \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \end{bmatrix} e^{\lambda_1 t} + C_2 \begin{bmatrix} h_{21} \\ h_{22} \end{bmatrix} e^{\lambda_2 t} \quad (45)$$

なお C_1, C_2 は初期条件を満たす定数である。移行動学分析では、2つの固有値 λ_1, λ_2 の符号の組み合わせに着目する。固有値の符号の組み合わせは3通りあり、それらは両方とも正の場合、両方とも負の場合、片方が正でもう片方が負の場合である。この符号の組み合わせにより移行動学の形が決定する。

5. 数値シミュレーション

(1) 定常状態と移行動学

中小企業数と貿易財の品質の関係 $Q(n)$ と、国内家計の貿易財に対する部分効用関数 $v(C_T, Q(n))$, 貿易財に対する需要 $D^F(Q(n), q)$ をそれぞれ以下のように特定化する。

$$Q(n) = \log n \quad (46a)$$

$$v(C_T, Q(n)) = C_T^\tau Q(n) \quad (46b)$$

$$D^F(Q(n), q) = \frac{D_0 Q(n)}{\epsilon q} \quad (46c)$$

なお、 τ, D_0, ϵ は正のパラメータとする。上記の関数は式 (8), (9), (13) の性質を満たす。

また、各パラメータを以下のように設定する。 $\theta = 1$, $\sigma = 2$, $L = 100$, $\delta = 0.08$, $c^M = 1$, $\eta_0 = 1$, $\psi = 0.2$, $\zeta = 0.1$, $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.5$, $\bar{r} = 1$, $\phi = 1$, $z = 1$, $\tau = 0.1$, $a_1 = 0.4$, $a_2 = 0.4$, $a_3 = 0.2$, $D_0 = 1$,

$\epsilon = 0.5$, $b_0 = 100$, $K_0 = 7$. さらにここでは動学過程の定性的な構造に関心を集中する。つまり、計算の簡単化のために $\bar{\mu}_1 = 0.002$ を与える。それより $C_0 = 100$ が従う。以上の設定のもとで、 $\dot{p} = 0$, $\dot{K} = 0$ を満たす定常状態での各変数の均衡値を求めると表-1 のようになる。

表-1 定常状態

n	21.5800
G	0.3601
q	2.7976
p	5.0306
w	1.1645
r	5.4330
Y_T	24.1554
C_T	21.9600
Y_N	44.0431
C_N	39.7567
K	26.6093
γ	0.9182
K_T	6.2191
K_N	20.3903
L_N	95.1332
M	93.8213
GDP	267.3484

上記の定常状態の値を用いて、式 (44) に示す行列の固有値、固有ベクトルを求めると、 $\lambda_1 = -0.08$, $\lambda_2 = 1.08$, $h_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.0 \end{bmatrix}$, $h_2 = \begin{bmatrix} 0.1475 \\ 0.9891 \end{bmatrix}$ となる。これらの値より、 p, K の動学経路は鞍点経路 (Saddle point path) になることがわかる。また式 (45) を以下のように書き換えることができる。

$$\begin{pmatrix} p \\ K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{K} \end{pmatrix} + (K_0 - \tilde{K}) \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} e^{\lambda_1 t} \quad (47)$$

K_0 は資本の初期条件である。

図-1~3 に $p, K, q^*(p, K), n^*(p, K)$ の動学を示す。 p は時間を通じて一定の値となる。その理由は、本設定では貿易財部門が非貿易財部門よりも資本集約的であることによる。すなわち定常状態まわりの貿易財部門と非貿易財部門の資本-労働比率¹³⁾をみると、それぞれ $k_T := K_T / (\int_0^{\tilde{n}} l_j dj) = 1.2779$, $k_N := K_N / L_N = 0.2143$ となる。なお、 \tilde{n} は定常状態での操業可能中小企業数を意味し、貿易財部門の労働は中小企業に雇用される労働の総和に相当する。この結果は、本経済が、資本蓄積に関して、1部門の開放経済に近い性格をもつことを意味する。よって資本の限界生産性と関連する資本財価

格 p は、一定である世界利子率 \bar{r} の影響を強く受けて一定となるのである。

また K は初期値から定常状態に向かって単調増加する。中小企業数 n も時間の経過とともに増加する。



図-1 非貿易財価格 p と貿易財価格 q の動学

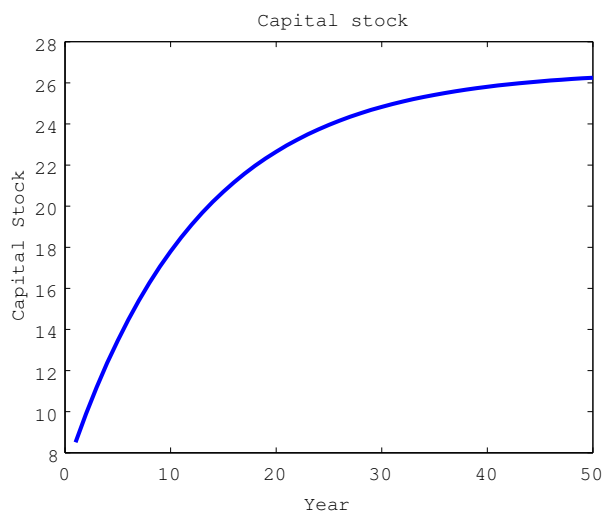


図-2 資本ストック K の動学

(2) 電力費用の影響

a) 化石燃料価格の上昇

定常状態の比較静学分析を行う。化石燃料価格 ϕ を 1.0 から 1.2 に変化させた場合の結果を表-2 に示す。

化石燃料価格の上昇により、電力価格 γ は上昇する。それによって貿易財部門の生産が縮小する。一部の労働が貿易財部門から非貿易財部門に移動して、貿易財部門では中小企業数 n も減少する。電力価格の増加により部品価格 v_j は上昇し、部品の需要 m_j は減少する。

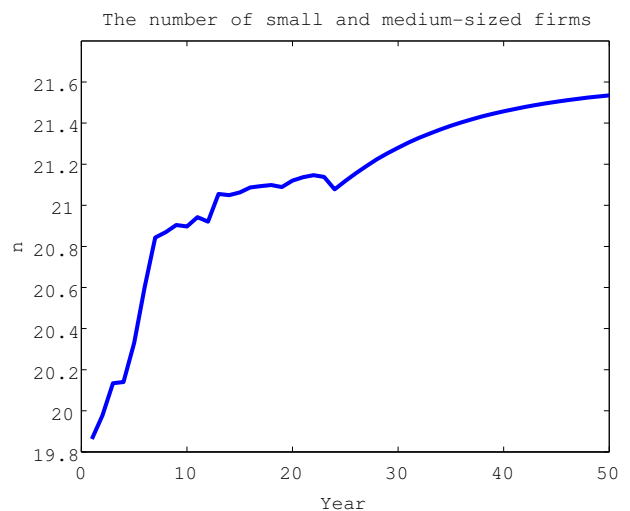


図-3 中小企業数 n の動学

価格指数 G は上昇する。一方、非貿易財部門は生産要素の増加を受けて拡大する。非貿易財の生産 Y_N が増加するため、価格 p は減少する。また、資本財は非貿易財であるため、資本財のレンタル価格である利子率 r も減少する。定常状態における非貿易財価格と利子率の間の比例的な関係は、式 (35) で $\dot{p} = 0$ を考慮した次式からも確認することができる。

$$p = \frac{r}{\bar{r} + \delta} \quad (48)$$

利子率 r が減少するため、資本ストック K が増加する。

経済全体では貿易財部門の縮小の影響が非貿易財部門の拡大の影響を上回るため、GDP は減少する。資本ストックが増加するにも関わらず、資本市場における均衡配分が非貿易財部門に偏ることになるからである。

b) ベースロード電源の拡充

一方、ベースロード電源の規模 z を 1.0 から 2.0 に変化させた場合の変化を表-3 に示す。ベースロード電源の規模 z が大きくなり電力価格 γ が下がることにより、多くの面において、上記の化石燃料価格の上昇の場合とは反対向きの効果が起こる。すなわち、貿易財部門における要素投入や中小企業の数が増加し、生産も増加する。一方、非貿易財部門は労働や資本の転出によって縮小する。市場における非貿易財の供給が減少することによって、価格 p や利子率 r が上昇し、資本ストック K が減少する。経済全体では貿易財部門の拡大が非貿易財部門の縮小を上回るため、GDP は増加する。なお非貿易財価格 p の上昇は、中小企業の固定費用を増加させることによって、中小企業数 n を減少させる向きの力ももつが、本ケースでは貿易財部門の拡大の効果の方が上回っており、中小企業数が増加している。

ベースロード電源の規模を $z = 1, 5, 9$ と変化させた

表-2 化石燃料価格 $\phi = 1.0$ と $\phi = 1.2$ の場合の比較

	$\phi = 1.0$	$\phi = 1.2$
n	21.58	20.9708
G	0.3601	0.4156
q	2.7976	2.9955
p	5.0306	4.9969
w	1.1645	1.1567
r	5.433	5.3966
Y_T	24.1554	22.346
C_T	21.96	20.3179
Y_N	44.0431	44.258
C_N	39.7567	40.0251
K	26.6093	26.6915
γ	0.9182	1.0879
K_T	6.2191	6.2014
K_N	20.3903	20.4899
L_N	95.1332	95.5972
M	93.8213	80.5203
GDP	267.3484	266.447

表-3 ベースロード電源の規模 $z = 1.0$ と $z = 2.0$ の場合の比較

	$z = 1.0$	$z = 2.0$
n	21.58	21.8965
G	0.3601	0.3417
q	2.7976	2.7302
p	5.0306	5.0492
w	1.1645	1.1688
r	5.433	5.4531
Y_T	24.1554	24.8658
C_T	21.96	22.6092
Y_N	44.0431	43.9224
C_N	39.7567	39.6106
K	26.6093	26.5586
γ	0.9182	0.8459
K_T	6.2191	6.2246
K_N	20.3903	20.3342
L_N	95.1332	94.8734
M	93.8213	99.3324
GDP	267.3484	268.0705

ときの中小企業数 n の動学を図-4 に示す。 z が大きいほど、 n の水準は全ての期間で高く、また、成長の期間は長いことがわかる。

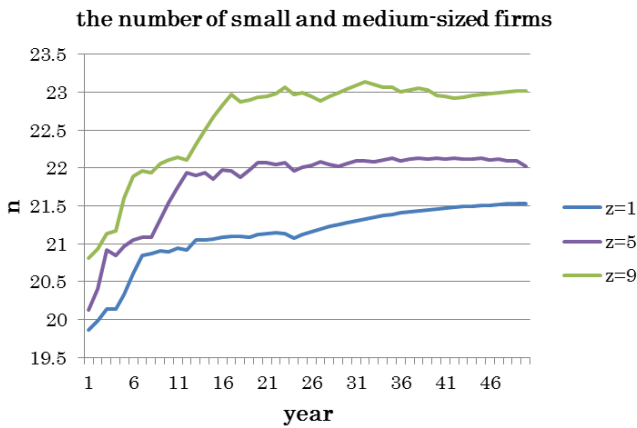


図-4 ベースロード電源 z に応じた中小企業数 n の動学

6. おわりに

本研究では、中小製造業がもつ技術の多様性が製品の品質を高くしている点を考慮して、電力費用の水準が中小企業の持続可能性やマクロ経済へ与える影響を分析するためのモデルを定式化した。そしてベースロー

ド電源の拡充による電力費用の低下がもたらす長期的な経済成長効果について分析した。電力費用の減少により中小企業数は増加し、時間が経つほど GDP の上昇効果は大きくなることが確認された。昨今、電力の適正価格のあり方に関する議論が高まっている中で、本研究は、中小企業の操業可能性の視点をもってマクロ経済的影響を分析するための理論フレームを提供しえたと考える。

なお本研究は今後多くの課題を残している。第一に、ベースロード電源の多面的な性格を考慮する必要がある。原子力発電については安全性の問題を無視することはできない。第二に、現実には、ひとたび倒産した中小企業はなかなか復活することができない。撤退した中小企業が、参入費用等の存在により再度参入することが容易でないようにモデルを拡張する必要がある。第三に、本モデルでは技術が中小企業に体化しているものと仮定したが、個々の技術者に体化している側面を捉えることも重要である。第四に現実のデータを用いてモデルのキャリブレーションを行い、定量的な分析を行うことも必要である。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁: エネルギー基本計画, 2014.
- 2) 内閣府: 2011(平成 23) 年度 国民経済計算 (2005 年基準・93SNA) 遡及推計 経済活動別国内総生産 (実質:連鎖方式), 2011.

- 3) 総務省統計局: 第 12 回改定日本標準産業分類別就業者数, 2012.
- 4) 中小企業庁: 中小企業白書 2006, 2006.
- 5) 資源エネルギー庁: エネルギー白書 2011, 2011.
- 6) 帝国データバンク: 電気料金値上げに対する企業の意識調査, 2013.
- 7) 中小企業庁: 中小企業白書 2012, 2012.
- 8) 藤波匠: 電力料金上昇の影響分析と対策, 日本総合研究所, 2012.
- 9) Nicholas Apergis and James E. Payne: *A panel study of nuclear energy consumption and economic growth*, Energy Economics, Vol.32, pp545-549, 2010.
- 10) Chien-Chiang Lee and Yi-Bin Chiu: *Nuclear energy consumption, oil prices, and economic growth: Evidence from highly industrialized countries*, Energy Economics, Vol.33, pp236-248, 2011.
- 11) 横松宗太, 西岡紗耶加, 梶谷義雄, 多々納裕一: 従属経済モデルにおける巨大災害ショックの長期的影響, 土木計画学研究・講演集 CD-ROM, Vol.45, 2012.
- 12) 藤田昌久, Anthony J.Venables, Paul Krugman, 小出博之: 空間経済学-都市・地域・国際貿易の新しい分析, 東洋経済新報社, 2000.
- 13) Stephen J. Turnovsky: *International Macroeconomic Dynamics*, The MIT Press, 1997.

(平成 26 年 4 月 25 日 受付)