

# 経済成長率，環境汚染および経済厚生\*

吉田博之

## 1. はじめに

国際連合環境計画における推進のもと，バーゼル条約が1989年3月に採択され，1993年5月に発効されたことはグローバル経済において注意すべき案件である。この条約は，有害廃棄物に関して国境を越える移動およびその処分の規制について定めたものであり，その主な目的は有害廃棄物が輸入国の同意なく越境してその汚染が拡大するのを防止することにある。1970年代もしくは1980年代にヨーロッパにおいて，農薬による汚染土壌や有毒廃棄物が国境を越えてアフリカに持ち出され，現地において深刻な汚染被害が発生した事件が契機となっている。

日本では，このような動向に対応して，1992年に特定有害廃棄物等の輸出入等の規制に関する法律（通称，バーゼル法）が制定された。この制定から25年以上が経過した現在，特定有害廃棄物の輸出入に関して経済的および社会的に大きな変化が見られるようになった。これに伴ない，上述のバーゼル法が2018年に一部改正されることになった<sup>1)</sup>。

主な改正点について輸入と輸出に分けて順に取り上げてみよう。輸入については，最近，世界的に取引量が増大しつつある廃電子基板について取り上げる。改正前は，日本のバーゼル法上，日本が途上国から廃電子基板を輸入する際に，通告・同意などの法的手続きが必要であったが，再生利用などの目的での輸入品についてバーゼル法の規制対象から除き，通告・同意や輸入承認などが改正後は不要となった。この改正によって，我が国の事業者が欧米諸国と同様の利便性を確保できるようになった。もちろん，この改正は，日本の先進的な環境技術を活用することにより，グローバルな視点で環境汚染の防止が可能になることを意味する。次に，日本の輸出に関する改正について言及しよう。例えば，いくつかの雑品スクラップが不適正に輸出されているのではないかと指摘がある。この問題について改善を図るために，今回の改正で具体的な特定有害廃棄物等の範囲を法的に明確化している点が挙げられる。この明確性により，輸出先国からのシップバックというトラブルの発生が減少することも期待される。

また，中国は，2018年より廃プラスチック，古紙，繊維系廃棄物，および鉄鋼用添加剤などについて輸入禁止の適用を始めた。事の始まりは，2017年に中国が世界貿易機関（WTO）に対して再生可能資源の輸入禁止の計画を通告したことにある。これ以前の30年近くにわたり，中国は日本，アメリカ，オーストラリア，およびイギリスなどの国々から上述の廃プラスチックや古紙を始めとした再生可能資源を受け入れてきており，それを原材料として加工処理を施し，リサイクル加工品を生産してきた。中国はその一部を海外へ輸出することによって，再生可能資源の国際循環の中で重要な役割を果たしてきたのである。

このような事情を考慮すると、中国による輸入禁止措置によって、日本、アメリカ、オーストラリア、およびイギリスなどが自国での廃プラスチックや古紙などの取り扱いについて大きな影響を受けることが大いに予想される。もちろん、中国における国内的影響も見逃すことができない。輸入禁止措置によって、中国国内のリサイクル産業における投入物としての原材料が不足し、リサイクル加工品の生産に大きな困難が持ち上がってくることは明白である。

このような経済的デメリットが予想されながらも、中国が再生産可能資源の輸入禁止に踏み切った主要な理由として、国内で河川や大気汚染が深刻化しているという事情がある。環境汚染の深刻化には大別して2つの理由があるとされる。1つ目の理由は、再生産可能資源の輸出国における分別の精度が低いことにある。例えば、廃プラスチックについて考察してみると、分別の精度が低い再生産可能資源には、化学的性質の異なる廃プラスチックが混在していることを意味する。これらを同時に処理すると、その処理中に汚染物質が排出され、環境に損失を与えることになる。このような状況が出てくるのは、輸出国が十分に分別を行っていないことが原因である。また、2つ目の理由として、輸入国において再生産可能資源の再生過程に関する技術に改善の余地があることが指摘できる。

以上、日本におけるパーゼル条約の2018年の一部改正と中国における再生産可能資源の輸入禁止政策について簡単に現状をまとめてきた。経済成長の進展に伴ない、特に、途上国において環境が汚染されることがこれまでの歴史で数多く見られた。他方で、再生産可能資源の処理・加工について各国で技術格差がある。技術的優位にある国でその処理・加工が実行されることが促進されるならば、地球規模の観点からの環境保護に大きな効果を持つことは明らかであろう。

本稿の目的は、動学的マクロ経済学の視点から経済成長と環境汚染の関連性について理論的かつ定性的に検討することにある。Romer (1986) によって新しい成長理論の発展が促されたが、その流れの中で、環境汚染に関する話題も研究されることになった。例えば、人的資本の蓄積を強調する Lucas (1988) に対して環境汚染を考慮した Gradus & Smulders (1993) がある。また、中間財の種類を増大させる研究開発を考慮した Romer (1990) を発展させた Elbasha & Roe (1996) がある。さらに、Rebelo (1991) による AK モデルを基盤にした、Gradus & Smulders (1993)、Reis (2001)、Shieh, Lai, & Chen (2001)、Chen, Lai, & Shieh (2003)、および、Aznar-Márquez, & Ruiz-Tamarit (2016) がある。最後になるが、公共資本の外部的効果を強調した Barro (1990) を応用したモデルとして、Greiner (2005) と Chao, Hu, Lai, & Tai (2012) がある。

特に、本稿では、Barro (1990) 型の内生的経済成長理論の枠組を用いて、所得税率の変化が経済成長率および経済厚生にどのような影響を与えるかについて理論的考察を行なうことを試みる。その中で、消費者は生涯効用を最大化するために無限期間にわたる動学的最適化問題を解く。また、民間経済活動によって、大気汚染や土壌汚染などのストック汚染が発生し、環境が悪化することを明示的に考慮する。さらに、政府は所得税を徴収し、その財源を基に均衡財政の制約を維持しつつ、公共資本の整備と汚染除去活動を行なう。

本稿は以下のように構成される。第2節は基本モデルを提示し、移行動学の分析と厚生分析を実施する。第3節ではまとめを行なう。さらに、内生的経済成長理論について補論を用意した。

## 2. 基本モデル

### 2.1 モデルの提示

本節では、モデルの経済的設定を提示する。消費者、企業、および政府という3つの経済主体を考え

る。モデルは連続時間で構築され、変数の右下に付く添字  $t$  は時間を示す。

**消費に関する設定** 消費者は消費 ( $c_t$ ) による効用と残留するストック汚染 ( $P_t$ ) による不効用を得るとする。瞬時的効用関数を以下のように特定化する。

$$u(c_t, P_t) = \ln c_t - \eta \ln P_t \quad (1)$$

また、消費者の予算制約式は以下のように与えられる。

$$\dot{K}_t = Q_t - c_t - T_t \quad (2)$$

ただし、 $K_t$  は資本ストック、 $Q_t$  は生産量、 $T_t$  は所得税とする。

**生産に関する設定** 生産技術として次のような生産関数を想定する。

$$Q_t = AK_t^\alpha G_t^{1-\alpha} \quad (3)$$

これは、Barro (1990) において想定された生産関数である。当該国の産出は民間資本  $K$  と公共資本  $G$  によって決定される。また、 $A$  は生産の全要素生産性であり、一定とする。産出は民間資本について限界生産力逓減を示す ( $\partial^2 Q / \partial K^2 < 0$ )。また、公共資本は生産に関する社会的基盤施設を表しており、港湾、道路、および電力網などが念頭に置かれる。なお、モデルを正確に理解する上で最も重要な点は、この公共資本は、民間の経済主体が生産を行なう際に正の外部性を与える要素となっているということである。

また、ストック汚染の蓄積は以下のように定式化されるとする<sup>2)</sup>。

$$\dot{P}_t = A_p K_t^\beta M_t^{-\gamma} \quad (4)$$

この式は、民間資本  $K_t$  と政府による汚染除去活動  $M_t$  がストック汚染の蓄積に影響を与えることを想定している。民間資本は経済活動の規模を表す変数であり、経済規模が拡大すると、ストック汚染量の増分に正の効果をもたらす ( $\partial \dot{P} / \partial K > 0$ )。また、汚染除去活動を実施すれば、ストック汚染量の増分に負の効果をもたらす ( $\partial \dot{P} / \partial M < 0$ )。また、以下を仮定する。

**仮定 1**  $\beta > \gamma$

なお、ここで言うストック汚染とは、いわゆる「公害」であり、大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、地盤沈下、および、悪臭が代表的な例である。これらは、人々の生活環境や人々の健康に多大なる悪影響を与える。近年では、オゾン層破壊や海洋汚染についても注目されることが多くなってきている。

**政府に関する設定** 政府は所得税の形式で消費者から徴税し、その財源を均衡財政という条件のもとに、公共資本の整備か汚染除去活動のいずれかに支出する。また、汚染除去活動を行なうのは政府のみであるとする。さらに、本稿では、簡単化のため、それぞれの配分比率は時間を通じて一定であるとする。つまり、以下のように定式化される。

$$T_t = \tau Q_t \quad (5)$$

$$G_t = \theta \tau Q_t \quad (6)$$

$$M_t = (1 - \theta) \tau Q_t \quad (7)$$

ただし、 $\tau$ は所得税率であり、 $\theta$ は公共資本に対する歳出配分率である。それぞれの率は時間を通じて一定とする。なお、 $0 \leq \tau \leq 1$ と $0 \leq \theta \leq 1$ が成立する。

## 2.2 最適成長経路

このモデルでは、2つの外部性が発生している。1つは、政府によって整備される公的資本が民間経済の生産に対して正の外部性を発生させている。これは、生産関数(3)において定式化されている。また、もう1つは、生産活動がストック汚染を増大させて消費者に対して負の外部性を発生させている。これは、消費者の瞬時的効用関数(1)とストック汚染蓄積関数(4)において定式化されている。

さらに、消費者はこのような外部性を内部化することなしに自己の経済活動を計画し実施していくものとする。

消費者の行動として、予算制約のもとに無限期間にわたる生涯効用を最大化することを想定する。つまり、無限期間にわたる消費者の動学的最適化問題は以下ようになる。なお、以下では混乱のない限り変数の右下の添字  $t$  を省略する。

$$\max \int_0^{\infty} (\ln c - \eta \ln P) \exp(-\rho t) dt \quad (8)$$

$$\text{sub. to } \dot{K} = (1 - \tau) A K^{\alpha} G^{1-\alpha} - c \quad (9)$$

繰り返しになるが、異時点間における最適化の計算を実行する際に、消費者は公共資本による生産に対する外部性を内部化しない。つまり、消費者は、 $\{G(t)\}_0^{\infty}$ の流列を所与として、資本蓄積方程式を考慮しつつ、自分の消費を制御して生涯効用の最大化を図るのである。

この問題を解くためには、Hamiltonian 関数  $H$  をまず最初に設定することが定石である。

$$H = \ln c - \eta \ln P + \lambda [(1 - \tau) A K^{\alpha} G^{1-\alpha} - c] \quad (10)$$

この Hamiltonian 関数を利用して、最適成長経路のための1階条件は以下のように表される。

$$\frac{\partial H}{\partial c} = 0, \quad \dot{\lambda} = \rho \lambda - \frac{\partial H}{\partial K} \quad (11)$$

上記の1階条件を本稿の定式化に合わせて計算するならば、

$$\frac{1}{c} - \lambda = 0 \quad (12)$$

$$\dot{\lambda} = \rho \lambda - \alpha (1 - \tau) A K^{\alpha-1} G^{1-\alpha} \quad (13)$$

(12) と (13) を整理することによって、

$$\frac{\dot{c}}{c} = \alpha(1-\tau)AK^{\alpha-1}G^{1-\alpha} - \rho \quad (14)$$

を得る。また，生産関数 (3) と政府による公共資本への支出 (6) を考慮することによって

$$\left(\frac{G}{K}\right)^{\alpha} = \theta\tau A \quad (15)$$

を得る。これは政府の公共資本の整備が民間資本に比例することを意味している。この式を (14) に代入することによって

$$\frac{\dot{c}}{c} = \alpha(1-\tau)A(\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} - \rho \quad (16)$$

を得る。この式は最適成長経路において消費の成長率が常に一定であることを示している。なお，消費の成長率が厳密に正であることを想定する。つまり，

$$\text{仮定 2} \quad \alpha(1-\tau)A(\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} - \rho > 0$$

また，(9) と (15) を考慮することにより，

$$\frac{\dot{K}}{K} = (1-\tau)A(\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} - \frac{c}{K} \quad (17)$$

を得る。さらに，(4)，(7)，および，(15) を考慮することにより，ストック汚染の蓄積方程式は

$$\frac{\dot{P}}{P} = \frac{A_p K^{\beta-\tau} [(1-\theta)\tau A(\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}]^{-\tau}}{P} \quad (18)$$

となる。

### 2.3 移行動学の分析

この節では，公共資本による外部性が発生している経済における最適成長経路の移行過程を分析する。本来ならば，制御変数 1 個と状態変数 2 個によって動学システムが構成される。ただし，前項で，消費が一定率で成長するという特徴があることを知っている。本項では，新たな変数を導入することによって移行過程の分析を進めていく。民間資本を基準にして，次のように新しい変数を定義する。

$$x = \frac{P^{\frac{1}{\beta-\tau}}}{K}, \quad y = \frac{C}{K} \quad (19)$$

動学的最適化の観点からは， $K$  と  $P$  は状態変数であり， $C$  は消費者にとっての制御変数である。したがって， $x$  は資本ストックによって基準化された状態変数であり， $y$  は資本ストックによって基準化された制御変数である。

新しく定義した変数 (19) に対して自然対数微分を行ない，(16)，(17)，および，(18) を考慮するな

らば、

$$\begin{aligned} \frac{\dot{x}}{x} &= \frac{1}{\beta-\gamma} \frac{\dot{P}}{P} - \frac{\dot{K}}{K} \\ &= \frac{1}{\beta-\gamma} x^{\gamma-\beta} A_p \left[ (1-\theta)\tau A (\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} \right]^{-\gamma} - (1-\tau)A (\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} + y \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \frac{\dot{y}}{y} &= \frac{\dot{c}}{c} - \frac{\dot{K}}{K} \\ &= -(1-\alpha)(1-\tau)A (\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} - \rho + y \end{aligned} \quad (21)$$

を得る。これが最適成長経路を規定する動学体系であり、2次元の微分方程式体系によって記述されている。

まず、定常状態の存在について考察を始める。(20)と(21)において、定常状態 $(x_*, y_*)$ は $\dot{x}=\dot{y}=0$ を同時に満たす。ここでの分析は、厳密に正値を取る定常状態に限定する。(21)より、

$$y_* = (1-\alpha)(1-\tau)A (\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} + \rho > 0 \quad (22)$$

を得る。また、(20)に $y_*$ を代入することにより、

$$(x_*)^{\beta-\gamma} = \frac{1}{\beta-\gamma} \frac{A_p [(1-\theta)\tau A (\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}]^{-\gamma}}{\alpha(1-\tau)A (\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} - \rho} \quad (23)$$

を得る。右辺において、仮定1と仮定2を考慮することによって、 $x_* > 0$ であることも確認できる。

なお、定常状態において、消費と民間資本の成長率は等しく、

$$\left( \frac{\dot{c}}{c} \right)_* = \left( \frac{\dot{K}}{K} \right)_* = g_* \quad (24)$$

であり、ストック汚染の成長率は

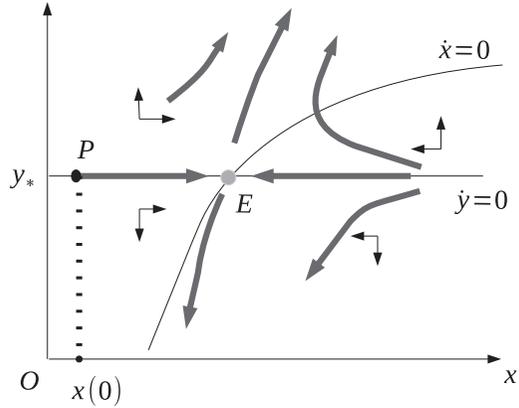
$$\left( \frac{\dot{P}}{P} \right)_* = (\beta-\gamma)g_* \quad (25)$$

である。なお、 $g_* = \alpha(1-\tau)A (\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} - \rho$ であり、仮定2より厳密に正であることが分かる。さらに、仮定1より定常状態におけるストック汚染の成長率も厳密に正となることが分かる。また、民間資本1単位あたりのストック汚染の成長率については、

$$\left( \frac{\dot{\tilde{P}}}{\tilde{K}} \right)_* = (\beta-\gamma-1)g_* \quad (26)$$

であり、変数の上のハット記号 $(\hat{\cdot})$ はその変数に関する成長率を表している。 $0 < \beta-\gamma < 1$ であれば、民間資本1単位あたりのストック汚染量はゼロに収束していくことが分かる。もちろん、 $\beta-\gamma > 1$ であれば、民間資本1単位あたりのストック汚染量 $(P/K)$ は無限に発散していくことになる。本稿では、

図1 移行動学過程に関する位相図



$\beta - \gamma$  が 1 より大きい小さいかについて明示的な仮定を追加しないで議論を進めていく。

次に、Jacobi 行列を用いて定常点の位相的性質について考察する。

$$J = \begin{bmatrix} -x_*^{\gamma-\beta} A_p [(1-\theta)\tau A (\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}]^{-\tau} & x_* \\ 0 & y_* \end{bmatrix} \quad (27)$$

を得ることができ、 $\det(J) < 0$  が成立する。この事実、この行列の固有値が正と負の実数であることを意味する。したがって、(20) と (21) によって規定される動学は定常点の近傍で鞍点であることが結論付けられる。

最後に、位相図による分析を提示する。位相図を利用することの利点は、経済の定性的な性質を直観的に判断することが可能になるということにある。動学的最適化を用いた経済成長理論の分野では、経済の移行過程を視覚的に理解するために、位相図による分析は多用される分析手法である。本稿のモデルに関する位相図は図1において示される。

$\dot{y}=0$  曲線は

$$y_* = (1-\alpha)(1-\tau)A(\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} + \rho > 0 \quad (28)$$

であり、直線である。また、 $\dot{x}=0$  曲線は

$$y = -\frac{1}{\beta-\gamma} x^{\gamma-\beta} A_p [(1-\theta)\tau A (\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}]^{-\tau} + (1-\tau)A(\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} = \phi(x) \quad (29)$$

である。ここで、関数  $\phi(x)$  の性質について詳しく見てみよう。まず、 $\phi'(x) = x^{\gamma-\beta-1} A_p [(1-\theta)\tau A (\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}]^{-\tau} > 0$  が成立することから、関数  $\phi(x)$  は単調増加関数であることが分かる。また、極限について、 $\lim_{x \rightarrow 0^+} \phi(x) = -\infty$  かつ  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \phi(x) = (1-\tau)A(\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} > y_*$  が成立することも分かる。このような関数  $\phi(x)$  の性質により、定常状態  $E(x_*, y_*)$  が一意であることが明らかである。

さらに、位相図において変数  $x$  と  $y$  の変化の方向について記述することもできる。横軸を  $x$ 、縦軸を  $y$  として、経済学的に意味があるのは第1象限 ( $x > 0, y > 0$ ) のみであるので、以後の分析は第1象限に限定する。動学的最適問題では、多くの場合、鞍点に収束する安定多様体径路が最適径路として選択される。本稿のモデルでは、安定多様体が  $y = y_*$  それ自体となっている。

例えば、状態変数について  $P(0)$  と  $K(0)$  の初期値が与えられたとする。これは  $x(0)$  が先決変数として与えられたことを意味する。このとき、消費者は鞍点に関する安定多様体を進む移行径路を選択するために点  $P(x(0), y_*)$  を初期点として選択する。これは、消費者の動学的最適化問題の文脈で解釈するならば、消費者が生涯効用最大化のために初期値の消費量として  $c(0) = y_* K(0)$  を選択していることを意味する。この選択により、経済の移行過程は安定多様体  $y = y_*$  上に沿って進むことになり、最終的には定常点  $E$  へと到達することになる。なお、これ以外の消費量を初期値として選択するならば、動学経路として定常点  $E$  に収束することが不可能になり、このような選択は動学的最適化の観点から最適な選択とはならない。

## 2.4 厚生分析

ここまで消費者の生涯効用最大化行動を基礎にしたモデルを構築し理論的な分析を進めてきた。この項では、代表的消費者の生涯効用を経済全体の厚生を示す指標として採用し、その経済的性質について考察する。

まず、最初に、消費の成長率 (16) について着目する。以後の分析の記述の繁雑さを避けるため、新しい記法を導入する。つまり、

$$F(\tau) = (1 - \tau)A(\theta\tau A)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} \quad (30)$$

とする。これを用いるならば、

$$g_* = \alpha F(\tau) - \rho \quad (31)$$

および、

$$c(0) = [(1 - \alpha)F(\tau) + \rho]K(0) \quad (32)$$

を得る。

さて、まず、定常状態における経済成長率 ( $g_*$ ) について経済的考察を付加していこう。ここでは、政策パラメーターとしての  $\theta$  と  $\tau$  が  $g_*$  にいかなる影響を与えるかについて分析する。なお、ここで用いる分析手法はいわゆる比較静学となる。(31) について  $\tau$  で偏微分を行なうことにより、

$$\tau < 1 - \alpha \text{ のとき, } \partial g_* / \partial \tau > 0$$

$$\tau = 1 - \alpha \text{ のとき, } \partial g_* / \partial \tau = 0$$

$$\tau > 1 - \alpha \text{ のとき, } \partial g_* / \partial \tau < 0$$

を得る。つまり、経済成長率を最大化するためには、 $\tau_M = 1 - \alpha$  とすることが条件となる。これは Barro (1991) で得られている条件とまったく同一である。

では、最後に本節の最大の目的である経済厚生の評価について考察を進めて行こう。ゼロ時点において、初期値  $K(0)$  と  $P(0)$  は所与であり、消費者も政府もこの値を変更することはできない。このときの経済厚生は以下のように求めることができる。

$$\begin{aligned}
 W &= \int_0^{\infty} (\ln c_t - \eta \ln P_t) \exp(-\rho t) dt \\
 &= \int_0^{\infty} (\ln[c(0)\exp(g_*t)] - \eta \ln[P(0)\exp(g_*(\beta-\gamma)t)]) \exp(-\rho t) dt \\
 &= \int_0^{\infty} (\ln c(0) - \eta \ln P(0) + [1 - \eta(\beta - \gamma)]g_*t) \exp(-\rho t) dt \\
 &= \frac{\ln c(0)}{\rho} - \frac{\eta \ln P(0)}{\rho} + \frac{[1 - \eta(\beta - \gamma)]g_*}{\rho^2}
 \end{aligned} \tag{33}$$

なお、

$$\int_0^{\infty} t \exp(-at) dt = \frac{1}{a^2}, \quad a > 0 \tag{34}$$

であることを用いていることに注意。

所得税率 ( $\tau$ ) 変更が経済厚生に与える影響について考察する。このとき、(31) と (32) が成立することに注意するならば、

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial W}{\partial \tau} &= \frac{1}{\rho} \frac{(1-\alpha)F'(\tau)}{(1-\alpha)F(\tau)+\rho} + \frac{1-\eta(\beta-\gamma)}{\rho^2} \alpha F'(\tau) \\
 &= \frac{F'(\tau)}{\rho} \cdot \frac{D}{[(1-\alpha)F(\tau)+\rho]\rho}
 \end{aligned} \tag{35}$$

ここで、 $D = (1-\alpha)\rho + [1-\eta(\beta-\gamma)]\alpha[(1-\alpha)F(\tau)+\rho]$  としている。

(35) に着目するならば、 $D > 0$  のとき、政府が  $\tau_M = 1-\alpha$  と設定するならば経済厚生が極大値をとること、他方、 $D < 0$  のとき、政府が  $\tau_M = 1-\alpha$  と設定するならば経済厚生が極小値をとることが分かる。 $D$  の符号により経済的帰結はまったく異なる。

上記の定理を経済学的に理解するために重要な要素は  $D$  の符号である。ここで、以下の3つのパラメーターについて着目しよう。つまり、消費者の環境評価係数  $\eta$ 、生産活動の汚染排出弾力性  $\beta$ 、および汚染除去活動の汚染除去弾力性  $\gamma$  である。これらは、本稿のモデルにおいて主要な要素であり、環境に関連するものである。 $\eta$  と  $\beta$  が十分に小さい場合、または、 $\gamma$  が十分に大きい場合に、 $D$  が正になる。これらのパラメーターの条件を経済学的に考慮するならば、消費者が環境の質に大きな注意を払わないとき、民間の経済活動が環境に大きな負の影響を与えないとき、または、汚染除去活動が大きな効果を持つとき、 $D > 0$  となる。このとき、政府が所得税を  $\tau_M = 1-\alpha$  と設定することによって経済成長と経済の厚生を同時に最大化することができる。

他方、 $D$  が負になるとき、まったく異なる政策的帰結を得る。 $\eta$  と  $\beta$  が十分に大きい場合、または、 $\gamma$  が十分に小さい場合には、 $D < 0$  となる。つまり、消費者が環境の質に大きな注意を払うとき、民間の経済活動が環境に大きな負の影響を与えるとき、または、汚染除去活動が大きな効果を持たないとき、 $D < 0$  となる。このとき、政府が所得税を  $\tau_M = 1-\alpha$  と設定することは、経済成長率を最大化することは可能にするが、経済の厚生を最小化してしまうことになる。

### 3. おわりに

本稿では、公共資本が民間生産活動に対して正の外部性を与える経済環境において、ストック汚染が発生するモデルを構築し、理論分析を行なった。特に、いわゆる Barro (1990) 型内生的経済成長モデルを用いて、政府の最適な課税政策について分析した。そこで得られた結論は、消費者が環境の質に大きな関心を持たないとき、民間の経済活動が環境に大きな負の影響を与えないとき、または、排出削減活動が大きな効果を持つとき、政府が所得税を  $\tau_M=1-\alpha$  と設定することによって経済成長率と経済の厚生を同時に最大化することができるということである。他方、消費者が環境の質に大きな関心を払うとき、民間の経済活動が環境に大きな負の影響を与えるとき、または、排出削減活動が大きな効果を持たないとき、政府が所得税を  $\tau_M=1-\alpha$  と設定することによって経済成長率を最大化できるが、その際に経済の厚生を最小化してしまうという結論も得た。これは、経済政策を実施する際に、政府が消費者の効用関数と汚染蓄積関数といった基本的な経済構造に熟知する必要があることを示唆する。

最初に述べたように、現状では、中国の再生可能資源の輸入禁止やバーゼル条約により再生可能資源や有害廃棄物の越境の処分や移動に一定の制限が制度的にもしくは法律的に課せられている。しかしながら、現実的には、多くの物品が中古品として国境を越えて取引されている。今後の課題として、2国間もしくは多国間の貿易構造を厳密な形でモデル分析することを試みたい。

### 4. 補論

2018年秋、W. D. Nordhaus と P. M. Romer の両氏に対して、スウェーデン王立科学アカデミーによって選考された経済学賞（アルフレッド・ノーベル記念経済学スウェーデン国立銀行賞）が授与された。Nordhaus 氏は気候変動を長期のマクロ経済学分析を統合したこと、また、Romer 氏は、技術革新を長期のマクロ経済学を統合したことが授賞の理由である。

本稿では、内生的成長理論のモデルを基礎に環境汚染との関連性について理論的分析を進めたが、このような視点による分析が可能になったのは、特に、Romer の学術的貢献によるところが大きい。この節では、「はじめに」の項で詳しく触れなかった内生的成長理論について若干の解説を付与する。なお、経済成長理論が創始されたのは Harrod (1939) が契機であり、これは Keynes 的経済学の動学化を目指した論文である。その後、Solow (1956) と Swan (1956) による新古典派的経済成長理論が提示された。

その30年後に、Romer (1986) によって源流的かつ画期的な論文が発表された。この論文では、知識の蓄積が外部性として作用し、その結果として収穫増が発生するモデルが理論的に厳密に構築されている。これ以後、Lucas (1988)、Romer (1990)、Barro (1990)、および、Rebelo (1991) などの論文が相次いで発表され、内生的経済成長理論という分野が確立されることになった。従来、Solow-Swan モデルでは、経済成長の要因としての技術進歩を外生的パラメーターとして取り扱っていた。これに対して、内生的経済成長理論では、この技術進歩の要素を企業による研究開発や教育による人的資本の蓄積などを考慮して経済学的観点から精緻化したという点が大きな特徴となっている。なお、これらの論文に共通する点として、動学的最適化の手法を用いて消費者が生涯効用を最大化するという理論的想定を採用していることにも注視が必要であろう。また、Romer の論文の発表以降、各国の成長格差などについて多くの論文で実証的観点から積極的に研究されるようになったことから、Romer の研究の影響の大きさをうかがい知ることができる。

より具体的には、Lucas (1988) は経済発展における人的資本の蓄積が重要性を取り入れたモデル、

Romer（1990）は研究開発による特許などの知的財産権の蓄積による成長効果を想定したモデル、Barro（1990）は公的資本が外部性を持ち、それが経済成長に及ぼす影響を検討したモデル、Rebelo（1991）はいわゆる AK モデルを提唱し、課税の長期的効果を分析したモデルである。

また、内生的経済成長理論がマクロ経済学における主要な分野の1つとして確立した今は、次のようなテキストがある。例えば、代表的なものとして、Grossman & Helpman（1991）、Aghion & Howitt（1998）、Barro & Sala-i-Martin（2004）、および、Acemoglu（2009）を挙げることができる。現代的な経済成長理論の成果がここにまとめられており、今後、経済成長理論の研究を進めていく上での原点となる文献である。

## 注

- \* この論文の執筆にあたっては、2016年度から2017年度にわたる経済科学研究所共同研究（B）による助成を受けている。また、この論文の最終原稿は在外研究員として The University of Massachusetts Amherst に滞在中に執筆された。
- 1) 正確な情報については、経済産業省のホームページなどで確認できる。
  - 2) 汚染に関する定式化については様々な定式化がある。フローで考える場合、もしくは、ストックで考える場合がある。さらに、ストック汚染の蓄積についても様々な定式化がある。例えば、Huang & Cai（1994）では、 $\dot{P} = M^{-\alpha} G^{-\beta} K^{1+\alpha}$ 、また、Chao, Hu, Lai, & Tai（2012）は、 $\dot{P} = M^{-\alpha} Y^{\beta}$  という定式化を用いている。

## 参考文献

- Acemoglu, D. (2009) *Introduction to Modern Economic Growth*. Princeton University Press, New Jersey.
- Aghion, P. & Howitt, P. (1998) *Endogenous Growth Theory*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Aznar-Márquez, J., & Ruiz-Tamarit, J.R. (2016) Environmental pollution, sustained growth, and sufficient conditions for sustainable development. *Economic Modelling* 54, 439-449.
- Barro, R.J. (1990) Government spending in a simple model of endogenous growth. *Journal of Political Economy* 98, S103-S125.
- Barro, R. & Sala-i-Martin, X. (2003) *Economic Growth*, Second Edition. MIT Press, Cambridge, MA.
- Chao, C.C., Hu, S.W., Lai, C.C., & Tai, M.Y. (2012) Foreign aid, government spending, and the environment. *Review of Development Economics* 16, 62-71.
- Chen, J.H., Lai, C.C., & Shieh, J.Y. (2003) . Anticipated environmental policy and transitional dynamics in an endogenous growth model. *Environmental and Resource Economics* 25, 233-254.
- Elbasha, E.H. & Roe, T.L. (1996) On Endogenous Growth: The Implications of Environmental Externalities. *Journal of Environmental Economics and Management* 31, 240-268.
- Gradus, R. & Smulders, S. (1993) The trade-off between environmental care and long-term growth: Pollution in three prototype growth models. *Journal of Economics* 58, 25-51.
- Greiner, A. (2005) Fiscal Policy in an Endogenous Growth Model with Public Capital and Pollution. *Japanese Economic Review* 56, 67-84.
- Grossman, G.M. and Helpman, E. (1991) *Innovation and Growth in the Global Economy*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Harrod, R. (1939) An essay in dynamic theory. *Economic Journal* 49, 14-33.

- Lucas Jr., R.E. (1988) On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics* 22, 3-42.
- Mohtadi, H. (1996) Environment, growth, and optimal policy design. *Journal of Public Economics* 63, 119-140.
- Rebelo, S. (1991) Long-run policy analysis and long-run growth. *Journal of Political Economy* 99, 500-521.
- Reis, A.B. (2001) Endogenous growth and the possibility of eliminating pollution. *Journal of Environmental Economics and Management* 42, 360-373.
- Romer, P.M. (1986) Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy* 94,1002-1037.
- Romer, P.M. (1990) Endogenous technological change. *Journal of Political Economy* 98, S71-S102.
- Shieh, J.Y., Lai, C.C., & Chen, J.H. (2001) A comment on Huang and Cai's constant-returns endogenous growth with pollution control. *Environmental and Resource Economics* 20, 165-172.
- Solow, R.M. (1956) A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics* 70, 65-94.
- Swan, T.W. (1956) Economic growth and capital accumulation. *Economic Record* 32, 334-361.