

Osaka University of Economics Working Paper Series
No. 2016-1

R&D 補助と環境悪化の厚生分析

大阪経済大学 経済学部
小川 貴之

慶應義塾大学 経営管理研究科
中村 元

2016 年 9 月

R&D補助と環境悪化の厚生分析*

小川貴之[†] 中村元[‡]

概要

R&D 活動を通じた財の種類拡大が生産効率性を改善させる経済成長モデルに、効用増大的な環境資本を導入し、R&D 活動に対する補助の厚生効果を分析する。R&D 補助を通じた生産効率性改善とそれによる生産量増大が、環境外部性に伴う過剰消費を当初深刻化させ、経済厚生を悪化させるが、補助がある一定率を超えると生産量のパイが拡大する便益がそれを凌駕し、厚生改善されることが示される。また、更に補助を引き上げると、生産量増大による環境悪化を自然回復することができず、環境水準が最終的にゼロになる「環境悪化の罠」に陥ってしまうことも明らかにされる。

キーワード：R&D 補助，環境，経済成長。

JEL Classification Numbers：E1, H2, O4, Q5.

1 はじめに

一般に、経済成長と環境水準はトレード・オフ関係にあると言われる。例えば、柴田 (1999) は、1960 年代から 1990 年代にかけて東アジアで生じた急速な工業化が膨大なエネルギー消費を伴い、環境悪化につながったことを指摘している。ブラジル・ロシア・インド・中国・南アフリカなどの目覚ましい発展を背景に、経済成長と環境水準の両立は現在でも経済学の主要な課題である。本稿は、R&D 活動を通じた財の種類拡大が生産効率性を改善させる経済成長モデルに、効用増大的な環境資本を導入することで、生産と環境水準の動学経路を分析し、R&D 活動に対する補助が経済厚生に与える影響を明らかにする。

*本稿は中村 (2003) を大幅に加筆・修正したものである。本稿の作成に当たり、祝迫達郎氏、小野善康氏、田畑顕氏、伴金美氏、二神孝一氏より大変有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。なお、全ての誤りは筆者の責任に帰するものである。

[†]大阪経済大学 経済学部。〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅 2-2-8。Tel: +81-6-6328-2431. E-mail: tkogawa@osaka-ue.ac.jp.

[‡]慶應義塾大学 経営管理研究科。〒223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1。Tel: +81-45-564-2441. E-mail: g-nakamura@keio.jp.

初期の理論研究では、資本蓄積を経済成長の原動力とする Ramsey モデルを用いて、持続可能な経済成長の在り方や最適な成長経路に関する分析が行われてきた（例えば、Keeler *et al.* 1971, Tahvonen and Kuuluvainen 1991, 1993, Chichilnisky *et al.* 1995, Ayong Le Kama 2001 を参照せよ）。その後、モデルの中で経済成長率が内生的に決定される内生的成長モデルによる分析が進展してきた¹。

本稿は、Grossman and Helpman (1991) に基づき、利潤動機による R&D 活動を通じて新たな種類の中間財が生み出され、それらを用いる最終財部門の生産性が改善される経済成長モデルに、直接的に効用を生み出す環境資本を導入することで、R&D 活動に対する補助の厚生効果を分析する²。R&D 補助を通じた生産量拡大は環境外部性に伴う過剰消費を当初深刻化させ、経済厚生を悪化させるが、補助がある一定率を超えると生産量のパイが拡大する便益がそれを上回り、厚生改善されることが示される。また、更に補助を引き上げると、環境水準を自然回復では維持できなくなり、環境水準が最終的にゼロになる「環境悪化の罠」に陥ってしまうことも明らかにされる。

R&D 活動を考慮した動学的一般均衡モデルに環境資本を導入した理論研究は幾つか存在するが、R&D 補助の効果に焦点を置いていない点などで、本稿とは分析目的が異なっている。例えば、Papyrakis and Gerlagh (2004) は自然資源の増加が労働意欲を低下させ、また R&D 活動に従事する労働者を減らすことで、経済成長を阻害するメカニズムを明らかにしている。Elbasha and Roe (1996) は小国開放経済において貿易と経済成長および環境との相互関係を分析している。Ono (2003) は、経済成長の原動力が「資本蓄積」から「R&D 活動による中間財の種類拡大」へと内生的に移行する、あるいは両レジーム間を循環するモデルを用いて、環境税が経済動学体系に与える影響を分析している。

本稿と最も密接に関係している先行研究は Grimaud (1999) である。Grimaud は、Aghion and Howitt (1998, 第 5 章) によって構築されたシュンペーター型の創造的破壊モデルに環境汚染変数を導入し、最適な成長経路を達成する方法を調査している。本稿との最も大きな違いは、Grimaud が環境外部性の他に R&D 部

¹例えば、John and Pecchenino (1994), Smulders and Gradus (1996) および Eliasson and Trunovsky (2004) は、最終財部門における知識外部性が経済成長をもたらす内生的成長モデルを用いて環境問題を分析している。また、Smulders (1995) は人的資本蓄積を、Ligthart and van der Ploeg (1994) は労働生産性を高める公共財供給を経済成長の原動力とする枠組みで同様の試みを行っている。

²再生可能な環境資本が直接的に効用を増大させるモデルは様々な方向に拡張されている。例えば、Li and Löfgren (2000) は主観的割引率が異なる家計が存在するモデルに発展させており、また Ayong Le Kama and Schubert (2007) は主観的割引率が環境の質に依存する状況での経済成長の持続可能性を探っている。John and Pecchenino (1994), John *et al.* (1995) および Ono (1996, 2003) は世代重複モデルにおいて、環境保護活動における世代間相互関係を分析している。

門における知識外部性も考慮している点である．そこでは，政府が汚染許容量を設定することで規制を通じて直接的に，環境外部性からの歪み，つまり過少な環境水準を完全に是正可能であるとしている．そのため，R&D 活動に対しては補助を行って，知識外部性のために過少となっている R&D 活動を活発化べきと結論付けている．一方，本稿は R&D 部門における知識外部性が存在しない状況に注目し，R&D 活動に対する補助を通じた環境外部性の是正を考察対象とする．R&D 補助は，補助が低水準の場合には，環境外部性に起因する過剰消費と過少環境水準を一層深刻化させることで経済厚生を悪化させるが，補助がある一定率を超えると逆に経済厚生は改善することを示す．

本稿の構成は以下のようなものである．第 2 節では R&D 活動と環境外部性を有する一般均衡理論モデルを構築する．第 3 節では，均衡動学と定常状態を導出し，均衡の局所安定性と移行経路を調査する．第 4 節では，R&D 補助が経済厚生に与える影響を解析的に導出すると共に，数値計算によって量的含意を探る．最後に第 5 節で結論と課題を述べる．

2 モデル

R&D 活動に伴う中間財の種類の拡大が最終財部門における生産効率性を改善し，経済成長をもたらす Grossman and Helpman (1991, 第 3 章) のモデルに，効用を増大させる環境資本を導入する．このとき，最終財の生産量拡大は消費を増やし，効用を引き上げる一方で，環境を悪化させ，効用を引き下げてしまうトレード・オフが存在する．以下ではこのような経済において，R&D 活動への補助が均衡動学にどのような影響を与えるかを分析する．

2.1 生産部門

2.1.1 最終財部門

生産部門は最終財部門，中間財部門，および新たな種類の中間財を開発する R&D 部門からなる．最終財は 1 種類のみ存在し，差別化された中間財を生産要素として，以下の生産関数に従いながら，競争的に生産される．

$$Y_t = \left[\int_0^{N_t} x_t(j)^\theta dj \right]^{\frac{1}{\theta}}, \quad 0 < \theta < 1. \quad (1)$$

ただし、 $N_t(> 0)$ は中間財の種類を、 $x_t(j)$ は中間財 j に対する需要量を、 $1/(1-\theta)$ は中間財間の代替弾力性を表す。 Y_t は最終財の生産量であるが、本稿では投資や政府購入、海外との貿易を考えないため、これは常に家計の消費 C_t に等しくなる。

いま最終財をニューメレールとし、中間財 j の価格を $p_t(j)$ とおくと、最終財企業の利潤最大化のための一階条件は、

$$x_t(j) = p_t(j)^{-\frac{1}{1-\theta}} C_t \quad (2)$$

となる。これは、中間財 j に対する需要量は、中間財 j の価格が低いほど多く、また最終財の消費量が多いほど多くなることを示している。

2.1.2 中間財部門

中間財企業は、R&D 部門に特許使用料を支払うことで、中間財の設計図を公開してもらい、その中間財を最終財企業に対して独占的に供給できると仮定する。中間財は労働のみから生産され、各中間財企業の生産関数は以下で与えられる。

$$x_t(j) = l_t(j).$$

ただし、 $l_t(j)$ は中間財 j を生産する独占企業による労働需要量である。

中間財 j を生産する企業は、その中間財に関してのみ価格支配力を持ち、需要関数 (2) 式と上記の生産関数を制約としながら、利潤を最大化するように中間財の価格 $p_t(j)$ を決定する。賃金率を w_t とすると、利潤 $\pi_t(j)$ は

$$\begin{aligned} \pi_t(j) &= p_t(j)x_t(j) - w_t l_t(j) \\ &= (p_t(j) - w_t) p_t(j)^{-\frac{1}{1-\theta}} C_t \end{aligned} \quad (3)$$

と表されるので、利潤最大化のための一階条件は、

$$p_t(j) = p_t \equiv \frac{w_t}{\theta} \quad (4)$$

となる。このように、独占力を持つ中間財企業は限界費用 w_t に一定のマークアップ率 $1/\theta$ を乗じて価格を設定する。

次に、各中間財企業の利潤を求めよう。まず、(4) 式を (2) 式に代入すると、

$$x_t(j) = x_t \equiv \left(\frac{w_t}{\theta} \right)^{-\frac{1}{1-\theta}} C_t \quad (5)$$

となるため、これを (1) 式に代入すると、

$$w_t = \theta N_t^{\frac{1-\theta}{\theta}} \quad (6)$$

を得る。最後に、(3) 式に (4) 式を代入し、更に (6) 式を用いて w_t を消去すると、各中間財企業が得る利潤が求められる。

$$\pi_t(j) = \pi_t \equiv (1 - \theta) \frac{C_t}{N_t}. \quad (7)$$

2.1.3 R&D 部門

企業は R&D 活動に自由参入し、株式を発行することで R&D 活動に必要な資金を調達する。いま t 期に L_t だけ労働を投入することで、以下の生産関数に従いながら新たな種類の中間財を開発することが可能であるとしよう。

$$\dot{N}_t = L_t \ (\geq 0). \quad (8)$$

こうして新たな中間財が出来上がると、無限期間有効な特許を取得することができ、そして設計図を中間財企業に公開することで、每期 π_t だけの特許使用料を得ることができる。したがって、R&D 活動を行うことの限界便益 v_t は、中間財企業が得る利潤の現在割引価値の総和となる。つまり、利子率を r_t とすると、

$$v_t = \int_t^\infty \pi_s e^{-\int_t^s r_z dz} ds$$

となり、以下のような株式と利付き資産との間の無裁定条件が得られる。

$$r_t = \frac{\dot{v}_t + \pi_t}{v_t}. \quad (9)$$

本稿では、初期時点において中間財の種類が十分に少なく、そのため移行過程においては R&D 活動が必ず行われる状況に注目しよう³。このとき、賃金率 w_t が (6) で与えられることに注意すると、利潤最大化のための一階条件は

$$(1 + \tau^R) v_t = \theta N_t^{\frac{1-\theta}{\theta}} \quad (10)$$

となる。ただし、 $\tau_R(>)0$ は R&D 活動に対する補助金率である。

³中間財の種類が既に十分に多くあり、R&D 活動が行われない場合の均衡動学と政策含意に関しては、Nakamura and Ogawa (2016) を参照せよ。

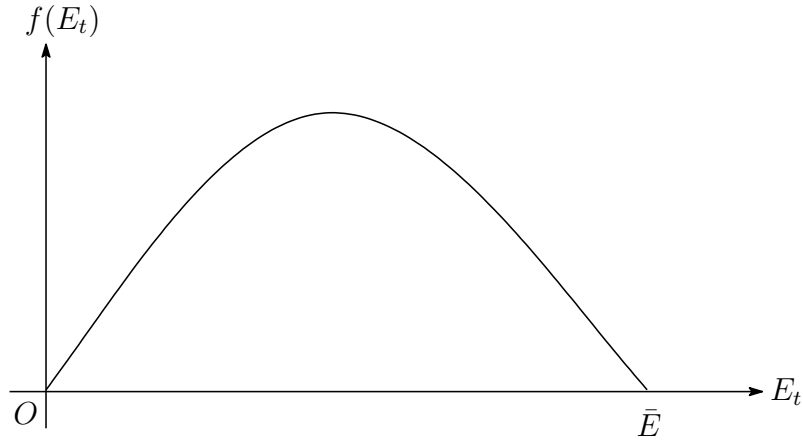


図 1：環境再生関数.

2.2 環境資本と消費者行動

環境は日々の生活や労働などの人間の経済活動と様々な関わり合いを持っているが、本稿では特に、環境改善が人々の生活に楽しみや快適さを与えるといった、いわゆるアメニティーの側面に注目し、環境資本が直接的に効用を生み出すと仮定する。例えば、「清浄な空気」や「澄んだ空」などの環境資本は市場を経由することなく、効用改善をもたらす外部経済性を有するため、環境資本は一般的に過少になる。

また、環境資本は生産活動や消費活動を通じて破壊されたり汚染されたりするが、その一方で、森林などの自然環境には地球温暖化ガスを吸収するなどの自然治癒能力を備えていることにも留意する必要がある。こうした側面を捉えるために、Smulders (1995) や Ayong Le Kama (2001) に従い、以下のような環境推移式を考えることとする。

$$\dot{E}_t = f(E_t) - \delta C_t. \quad (11)$$

上式の右辺第 1 項の $f(\cdot)$ は環境資本の再生関数であり、環境資本の自然回復分

を表している．その形状は図1のようであり，以下の仮定を満たす⁴．

$$\begin{aligned} f(0) &= 0, & f'(0) &> 0, \\ f(\bar{E}) &= 0 & f'(\bar{E}) &< 0 \quad \text{for } \bar{E} > 0, \\ f''(E_t) &< 0 \quad \text{for } E_t \in (0, \bar{E}). \end{aligned}$$

無限期間生きる代表的家計の生涯効用 U_0 は，消費 C_t と環境資本 E_t に依存するとしよう．

$$U_0 = \int_0^\infty [\kappa \ln C_t + (1 - \kappa) \ln E_t] e^{-\rho t} dt, \quad 0 < \kappa < 1.$$

ここで， $\rho(> 0)$ は主観的割引率を表す．また，家計が保有する金融資産を A_t ，一定の労働賦存量を $\bar{L}$ ，一括税を T_t とおくと，フローの予算式は以下で与えられる．

$$\dot{A}_t = r_t A_t + w_t \bar{L} - C_t - T_t.$$

環境資本は効用を増加させるが，家計はこれを考慮せず，外部性として扱うとしよう．つまり，(11) 式を制約とせず，上記の予算式のみを制約として，生涯効用を最大化するように消費・貯蓄選択を行うものとする．このとき，効用最大化のための一階条件は，予算式と横断性条件，および以下のオイラー方程式となる．

$$\dot{C}_t = (r_t - \rho) C_t. \quad (12)$$

このとき，政府は家計から徴収する一括税を用いて，R&D 活動への補助を行っており，その予算式は

$$T_t = \tau^R v_t \dot{N}_t$$

で与えられる．また，労働市場の均衡条件は以下となる．

$$\bar{L} = \int_0^{N_t} x_t(j) dj + L_t. \quad (13)$$

⁴ $\bar{E}$ は人間の経済活動が存在しない場合に，長期的に実現される環境資本水準であり，環境容量 (carrying capacity) と呼ばれる．これは環境資本水準が $\bar{E}$ に達すると環境はもはや自然回復しないことを意味している．

3 均衡動学

この経済の動学体系と定常状態を求めよう．(13) 式に (5) 式を代入し，更に (6) 式を用いて w_t を消去すると，

$$L_t = \bar{L} - C_t N_t^{-\frac{1-\theta}{\theta}}$$

を得る．したがって，本式を (8) 式に代入すると， N_t に関する動学方程式が得られる．

$$\dot{N}_t = \bar{L} - C_t N_t^{-\frac{1-\theta}{\theta}} (\geq 0). \quad (14)$$

次に，(7) 式と (10) 式を用いると，(9) 式は以下のように書き換えられる．

$$r_t = \frac{1-\theta}{\theta} \left[\frac{\dot{N}_t}{N_t} + (1+\tau^R) \frac{C_t}{N_t^{\frac{1}{\theta}}} \right].$$

本式を (12) 式に代入し，更に (14) 式を用いて $\dot{N}_t$ を消去すると， C_t に関する動学方程式が得られる．

$$\dot{C}_t = \left[\frac{1-\theta}{\theta} \left(\frac{\bar{L}}{N_t} + \tau^R \frac{C_t}{N_t^{\frac{1}{\theta}}} \right) - \rho \right] C_t. \quad (15)$$

したがって，この経済の自律的な経済体系は (11) 式，(14) 式および (15) 式の 3 つの動学方程式によって記述される．

(E_t, N_t, C_t) の値が一定となる定常状態 (E^*, N^*, C^*) を求めよう．(14) 式と (15) 式より，

$$N^* = \frac{(1+\tau^R)(1-\theta)\bar{L}}{\theta\rho}, \quad C^* = \left[\frac{(1+\tau^R)(1-\theta)}{\theta\rho} \right]^{\frac{1-\theta}{\theta}} \bar{L}^{\frac{1}{\theta}} \quad (16)$$

が得られ，また (11) 式より，定常状態では以下の関係が成立する．

$$f(E^*) = \delta C^*. \quad (17)$$

図 2 のように，上式を満たす E^* が存在するとすれば，その値は 2 つある．低い値の E^* を E_L^* ，高い値の E^* を E_H^* とおくと，それぞれ以下を満たす．

$$f'(E_L^*) > 0, \quad f'(E_H^*) < 0. \quad (18)$$

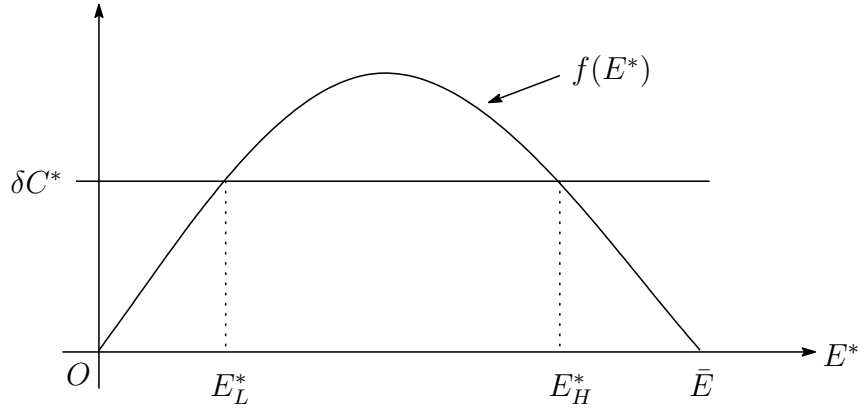


図 2：環境資本の定常状態.

命題 1. $R\&D$ 活動に対する補助は，定常状態における消費水準 C^* と中間財の種類 N^* を増加させ，環境水準 E_L^* (E_H^*) を改善（悪化）させる．また更なる補助の引き上げは，環境水準の定常状態 E_L^* および E_H^* を消滅させてしまい，環境水準が最終的にゼロになる「環境悪化の罠」に導きうる．

証明. (16) 式を τ^R で全微分すると，

$$\frac{dN^*}{d\tau^R} = \frac{(1-\theta)\bar{L}}{\theta\rho} > 0, \quad \frac{dC^*}{d\tau^R} = \left[\frac{\rho C^*}{(1+\tau^R)\bar{L}} \right] \frac{dN^*}{d\tau^R} > 0 \quad (19)$$

が成立する．また，(17) 式を満たす E^* が存在する場合，(18) 式を考慮すると，以下が成立する．

$$\frac{dE^*}{d\tau^R} = \left[\frac{\delta\rho C^*}{f'(E^*)(1+\tau^R)\bar{L}} \right] \frac{dN^*}{d\tau^R} \begin{cases} > 0 & \text{if } E^* = E_L^*, \\ < 0 & \text{if } E^* = E_H^*. \end{cases} \quad (20)$$

更に τ^R を引き上げ，あらゆる E_t に対して $f(E_t) < \delta C^*$ となるまで C^* が増加すると，(17) 式を満たす E^* がなくなり， E_t は (11) 式に従いながらゼロに向かって下がり続けていく．*Q.E.D.*

次に，この経済体系の局所的安定性と移行経路を調べよう． E^* が存在する場合を考え，定常状態の近傍で (11) 式，(14) 式および (15) 式を線形近似すると，

$$\begin{pmatrix} \dot{E}_t \\ \dot{N}_t \\ \dot{C}_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f'(E^*) & 0 & -\delta \\ 0 & \frac{\rho}{1+\tau^R} & -\frac{\bar{L}}{C^*} \\ 0 & -\frac{(\theta+\tau^R)\rho^2 C^*}{(1+\tau^R)(1-\theta)\bar{L}} & \frac{\tau^R \rho}{1+\tau^R} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_t - E^* \\ N_t - N^* \\ C_t - C^* \end{pmatrix}$$

となり、この係数行列の固有値 $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ は以下で与えられる。

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= f'(E^*) \begin{cases} > 0 & \text{if } E^* = E_L^*, \\ < 0 & \text{if } E^* = E_H^*, \end{cases} \\ \lambda_2 &= \frac{\rho}{2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4\theta}{(1 + \tau^R)(1 - \theta)}} \right] < 0, \\ \lambda_3 &= \frac{\rho}{2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4\theta}{(1 + \tau^R)(1 - \theta)}} \right] > 0.\end{aligned}$$

E_t と N_t は先決変数であり、 C_t は非先決変数であるため、以下の命題が得られる。

命題 2. E_L^* で特徴付けられる定常状態は局所不安定である。一方、 E_H^* で特徴付けられる定常状態へ向かう動学経路は鞍点安定である。

安定根 λ_2 を用いると、 N_t に関する線形動学方程式は $N_t - N^* = (N_0 - N^*)e^{\lambda_2 t}$ と表される。本式を時間微分し、それを (14) 式を線形化した $\dot{N}_t = \frac{\rho}{1 + \tau^R}(N_t - N^*) - \frac{\bar{L}}{C^*}(C_t - C^*)$ に代入すると、 C_t に関する線形動学方程式が得られる。

$$C_t - C^* = \frac{C^*[\rho - (1 + \tau^R)\lambda_2]}{(1 + \tau^R)\bar{L}}(N_0 - N^*)e^{\lambda_2 t}. \quad (21)$$

次に、(11) 式を線形化した $\dot{E}_t = f'(E^*)(E_t - E^*) - \delta(C_t - C^*)$ に上式を代入し、微分方程式を解くと、 E_t の移行過程が明らかになる。

$$E_t - E^* = (E_0 - E^*)e^{\lambda_1 t} - \frac{\delta C^*[\rho - (1 + \tau^R)\lambda_2]}{(1 + \tau^R)\bar{L}}(N_0 - N^*)\frac{e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}}{\lambda_1 - \lambda_2}. \quad (22)$$

4 厚生分析

本節では、 E_H^* で特徴付けられる動学的に安定な定常状態に注目し、R&D 活動に対する補助が厚生にどのような影響を与えるかを分析する。生涯効用 U_0 を定常状態の近傍で線形近似した

$$U_0 = \frac{\kappa \ln C^* + (1 - \kappa) \ln E_H^*}{\rho} + \int_0^\infty \left[\frac{\kappa}{C^*}(C_t - C^*) + \frac{1 - \kappa}{E^*}(E_t - E_H^*) \right] e^{-\rho t} dt$$

に (21) 式と (22) 式を代入すると、

$$\begin{aligned}U_0 &= \frac{\kappa \ln C^* + (1 - \kappa) \ln E_H^*}{\rho} + \frac{1 - \kappa}{E_H^*(\rho - \lambda_1)}(E_0 - E_H^*) \\ &\quad + \frac{[\rho - (1 + \tau^R)\lambda_2] [\kappa E_H^*(\rho - \lambda_1) - (1 - \kappa)\delta C^*]}{(1 + \tau^R)\bar{L}E_H^*(\rho - \lambda_1)(\rho - \lambda_2)}(N_0 - N^*)\end{aligned}$$

表 1 : パラメーター.

θ^{-1}	ρ	δ	$\bar{E}$	$\bar{L}$	κ
1.2	0.02	0.01	1	5.76 または 0.18	0.5

が得られる. 本式を τ^R で全微分し, (19) 式と (20) 式が成立することに注意すると,

$$\begin{aligned} \frac{dU_0}{d\tau^R} &= \left[\frac{\tau^R A}{(1 + \tau^R) \bar{L} E_H^* (\rho - \lambda_1)(\rho - \lambda_2)} \right] \frac{dN^*}{d\tau^R} \\ &> (<) \text{ if } \tau^R > 0 \text{ and } A > (<) 0, \\ A &\equiv \lambda_2 \{ \kappa [\rho - f'(E_H^*)] E_H^* - (1 - \kappa) f(E_H^*) \} \end{aligned}$$

が得られる. A の符号は不確定であり, このため R&D 活動に対する補助の厚生効果は一般的には不確定である.

以下では, 環境資本の再生関数を

$$f(E_t) = -E_t(E_t - \bar{E}) \quad (23)$$

のように特定化し, 数値計算によって厚生効果の符号 (あるいは A の符号) を確かめよう. このとき,

$$f'(E^*) = \bar{E} - 2E^*, \quad E_H^* = \frac{\bar{E} + \sqrt{\bar{E}^2 - 4\delta C^*}}{2}$$

となる. 数値計算で使用するパラメーター値は表 1 にまとめられている. (パラメーター値の設定に関しては付論を参照されたい.)

図 3 は τ^R と $dU_0/d\tau^R$ の関係に関する数値計算の結果を表している. $\bar{L} = 5.76$ の場合, R&D 活動に対する補助金率の引き上げは, $0 \leq \tau^R < 14.5$ の範囲では $dU_0/d\tau^R < 0$ となり経済厚生を悪化させるが, $14.6 \leq \tau^R < 25.7$ の範囲では経済厚生を改善させる. これは R&D 補助を通じた生産量拡大が環境外部性による過剰消費を当初深刻化させるが, $\tau^R = 14.5$ を超えると生産量と消費量のパイが拡大することによる便益がそれを凌駕し, 厚生改善をもたらすことによる. しかし, $\tau^R = 25.8$ 以上になると, 命題 1 で示したように環境水準の定常状態は消滅してしまい, 「環境悪化の罠」に陥る. これに対して $\bar{L} = 0.18$ の場合, $0 \leq \tau^R < 30.0$ の範囲全域で, 環境水準の定常状態は消滅せず存在し続けるが, 補助は常に厚生を悪化させてしまうという結果が得られた⁵.

以上の厚生に関する分析結果は, 以下の命題にまとめられる.

⁵Nakamura and Ogawa (2016) は離散時間の非線形動学をシミュレーションによって分析し, 本稿と同様の経済において, 厚生を最大化する R&D 活動に対する正の税率が存在することを明らかにしている.

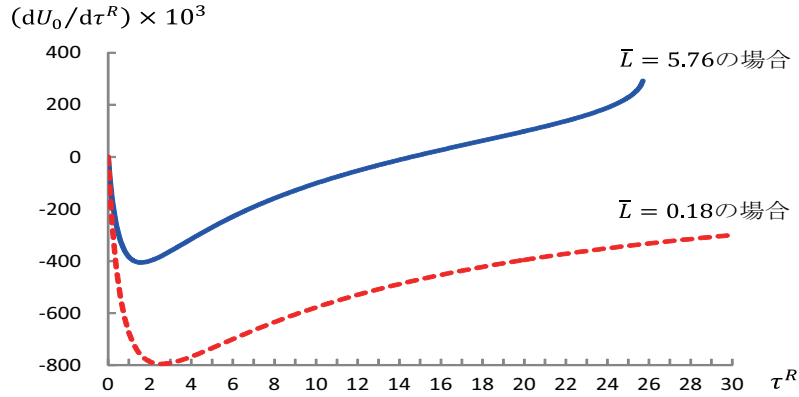


図 3：厚生効果.

命題 3. E_H^* で特徴付けられる動学的に安定な定常状態において、R&D活動に対する補助の厚生に対する効果は不確定である。

Grossman and Helpman (1991) や Grimaud (1999) のように、R&D活動を経済成長の原動力とする多くの先行研究では、R&D部門における知識の外部性を根拠に R&D活動が過少となるため、R&D補助を行うべきとの結論が得られている。これに対して、本稿は環境外部性を考慮し、R&D補助はその程度によっては過剰消費を助長し、厚生を悪化させる可能性を示している。

5 結論

本論文では、R&D活動による財の種類の拡大が生産効率性を改善させる経済成長モデルに、効用増大的な環境資本を導入し、R&D活動に対する補助の厚生効果を分析した。補助を通じて R&D活動が活発になると、財の種類と消費は増えるが、その一方で（動学的に安定な定常状態における）環境資本は減少してしまう。数値計算に基づいて、補助を通じた生産量拡大は環境外部性による過剰消費を当初深刻化させるが、補助がある一定率を超えると生産量のパイが拡大する便益がそれを凌駕し、厚生改善をもたらしうることを示された。また、更に補助を引き上げると、生産量が大きくなり過ぎ、環境水準が最終的にゼロになる「環境悪化の罠」に陥ってしまう可能性も指摘された。

しかし、数値計算によって得られた量的含意に対しては幾つか留意すべき点がある。第1に、経済厚生が悪化や改善をもたらす補助金率のより正確な値を算出するためには、資本蓄積や内生的な労働供給を考慮し、モデルを精緻化する必要

があろう。第2に、非常に困難なことではあるが、環境資本や再生関数などの環境変数に関する正確な推定も必要とされよう。最後に、本稿では生産性を改善させるR&D活動のみを考えたが、Bovenberg and Smulders (1995, 1996) や Hart (2004) のように環境汚染を緩和させるような技術開発の考慮も重要となろう。このような精緻化は今後の研究課題としたい。

付論：パラメーター

本付論では数値計算で用いたパラメーター値について説明する。まず、表1における $\theta (= 1/1.2)$ と ρ の値については、Sugo and Ueda (2008) に従った。彼らが四半期データと整合的になるように用いた主観的割引因子 0.995 を用いて、本稿では年次データに合うように $\rho = \frac{1-(0.995)^4}{(0.995)^4} \simeq 0.02$ と設定した。 κ については明確な決定要因がないため、暫定的に 0.5 とした。

δ と $\bar{L}$ については、経済企画庁経済研究所が行った「環境・経済統合勘定の試算」のうち 1990 年の実質値を用いて算出した⁶。以下は用いたデータである。

表2：データ。

名称	値 (単位：10 億円)	対応する変数
国内純生産	429,860.4	$Y^* = C^*$
帰属環境費用	4,186.4	δY^*
環境保護資産	33,253.7	E_H^*
生産されない資産	2,148,317.9	

まず、 δ の値は帰属環境費用を国内純生産で割ることで算出される。

$$\delta = \frac{\text{帰属環境費用}}{\text{国内純生産}} \simeq 0.01.$$

次に、 E_H^* の代理変数として「環境保護資産」と「生産されない資産」の2つを選択的に用い、いずれの場合においても $\bar{E} = 1$ となるようにデータを調整することで、 $\bar{L}$ の値を逆算した⁷。具体的には、表2のデータを用いると、(11)式と(23)

⁶http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/sonota/satellite/kankyau/contents/g_eco1.html

⁷労働量は各経済で容易に異なりうるが、それに比べ、自然環境に備わる再生関数は安定的であると思われる。このため、本稿では $\bar{L}$ ではなく、 $\bar{E}$ を 1 に基準化した。ただし、これらの基準化は本質的な問題ではない。

式より,

$$\bar{E} = E_H^* + \frac{\delta Y^*}{E_H^*} \simeq \begin{cases} 33,253.8 & \text{if } E_H^* = \text{環境保護資産}, \\ 2,148,317.9 & \text{if } E_H^* = \text{生産されない資産}. \end{cases}$$

と計算されるが, この $\bar{E}$ の値がいずれの場合においても 1 となるように, 表 2 のデータを 33,253.8 もしくは 2,148,317.9 で除した. このとき, (16) 式の第 1 式において $\tau^R = 0$ としたもののから, 以下のように $\bar{L}$ の値が得られる.

$$\begin{aligned} \bar{L} &= (\text{国内純生産})^\theta \left[\frac{(1-\theta)\beta}{\theta(1-\beta)} \right]^{\theta-1} \\ &\simeq \begin{cases} 5.76 & \text{if } E_H^* = \text{環境保護資産}, \\ 0.18 & \text{if } E_H^* = \text{生産されない資産}. \end{cases} \end{aligned}$$

ただし, 国内純生産の値は表 2 のデータ 429,860.4 を 33,253.8 もしくは 2,148,317.9 で割って, 基準化されたものである.

参考文献

- Aghion, P., and P. Howitt (1998) *Endogenous Growth Theory*, MIT Press, Cambridge.
- Ayong Le Kama, A.D. (2001) “Sustainable Growth, Renewable Resources and Pollution,” *Journal of Economic Dynamics and Control* 25, pp. 1911–1918.
- Ayong Le Kama, A., and K. Schubert (2007) “A Note on the Consequences of an Endogenous Discounting Depending on the Environmental Quality,” *Macroeconomic Dynamics* 11, pp. 272–289.
- Bovenberg, A.L., and S. Smulders (1995) “Environmental Quality and Pollution-Augmenting Technological Change in a Two-Sector Endogenous Growth Model,” *Journal of Public Economics* 57, pp. 369–391.
- Bovenberg, A.L., and S. Smulders (1996) “Transitional Impacts on Environmental Policy in an Endogenous Growth Model,” *International Economic Review* 37, pp. 861–893.
- Chichilnisky G, G. Heal, and A. Beltratti (1995) “The Green Golden Rule,” *Economic Letters* 49, pp. 175–179.

- Elbasha, E.H., and T.L. Roe (1996) "On Endogenous Growth: The Implications of Environmental Externalities," *Journal of Environmental Economics and Management* 31, pp. 240–268.
- Eliasson, L., and S.J. Turnovsky (2004) "Renewable Resources in an Endogenously Growing Economy: Balanced Growth and Transitional Dynamics," *Journal of Environmental Economics and Management* 48, pp. 1018–1049.
- Grimaud, A. (1999) "Pollution Permits and Sustainable Growth in a Schumpeterian Model," *Journal of Environmental Economics and Management* 38, pp. 249–266.
- Grossman, G.M., and E. Helpman (1991) *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press, Cambridge.
- Hart, R. (2004) "Growth, Environment and Innovation: A Model with Production Vintages and Environmentally Oriented Research," *Journal of Environmental Economics and Management* 48, pp. 1078–1098.
- John, A., R. Pecchenino (1994) "An Overlapping Generations Model of Growth and the Environment," *Economic Journal* 104, pp. 1393–1410.
- John, A., R. Pecchenino, D. Schimmelpfennig, and S. Schreft (1995) "Short-Lived Agents and the Long-Lived Environment," *Journal of Public Economics* 58, pp. 127–141.
- Keeler, E., M. Spence, and R. Zeckhauser (1971) "The Optimal Control of Pollution," *Journal of Economic Theory* 4, pp. 19–34.
- Li, C., and K. Löfgren (2000) "Renewable Resources and Economic Sustainability: A Dynamic Analysis with Heterogeneous Time Preferences," *Journal of Environmental Economics and Management* 40, pp. 236–250.
- Ligthart, J.E., and F. van der Ploeg (1994) "Pollution, the Cost of Public Funds and Endogenous Growth," *Economic Letters* 46, pp. 339–349.
- Nakamura, G., and T. Ogawa (2016) "Economic Growth and the Environment: Welfare Effects of R&D Taxation," Osaka University of Economics Working Paper Series No. 2016-2.

- Ono, T. (1996) “Optimal Tax Schemes and the Environmental Externality,” *Economics Letters* 53, pp. 283–289.
- Ono, T. (2003) “Environmental Tax Policy in a Model of Growth Cycles,” *Economic Theory* 22, pp. 141–168.
- Papyrakis, E., and R. Gerlagh (2004) “Natural Resources, Innovation, and Growth,” FEEM Working Paper 129.04.
- Smulders, S. (1995) “Environmental Policy and Sustainable Economic Growth,” *De Economist* 143, pp. 163–195.
- Smulders, S., and R. Gradus (1996) “Pollution Abatement and Long-Term Growth,” *European Journal of Political Economy* 12, pp. 505–532.
- Sugo, T., and K. Ueda (2008) “Estimating a Dynamic Stochastic General Equilibrium Model for Japan,” *Journal of Japanese and International Economics* 22, pp. 476–502.
- Tahvonen, O., and J. Kuuluvainen (1991) “Optimal Growth with Renewable Resources and Pollution,” *European Economic Review* 35, pp. 650–661.
- Tahvonen, O., and J. Kuuluvainen (1993) “Economic Growth, Pollution, and Renewable Resources,” *Journal of Environmental Economics and Management* 24, pp. 101–118.
- 柴田章久 (1999) 「地球環境問題：経済成長と国際協調」『21 世紀の経済政策』惣
宇利紀男・服部容教編，日本評論社，79–95 頁。
- 中村元 (2003) 「環境と経済成長」大阪大学 経済学研究科 修士論文。