

非枯渴的資源に基づく環境問題と技術革新

劉, 金昊
九州大学大学院経済学府

<https://doi.org/10.15017/1498374>

出版情報：経済論究. 151, pp.17-26, 2015-03-27. 九州大学大学院経済学会
バージョン：
権利関係：

非枯渴的資源に基づく環境問題と技術革新

Directed Technical Change and Economic Growth

劉 金 昊[†]
Liu Jinhao

目次

- 1 はじめに
- 2 内生的な技術革新に基づくモデル
 - 2.1 モデルのフレームワーク
 - 2.2 財市場の均衡
 - 2.3 均衡における技術革新
 - 2.4 内生的技術革新と経済成長
- 3 おわりに

1 はじめに

1990年代以降、化石燃料の使用に伴う温室効果ガスや汚染物質の排出問題の深刻化に伴い、それに対応し、コントロールすることは世界各国政府と研究者が直面する問題である。さらに、エネルギー構造を変え、より清潔なエネルギーソースを摸索することも重要な課題になった。それらの問題に対し、各国政府は種々の環境政策を実行した。それに、環境政策は人間社会の多数の領域に異なる影響を与えるため、その効果を評価する方法が各領域によって違う。経済学において、便益（清潔エネルギーの使用に従い、環境品質の上昇）とコスト（化石燃料使用の削減に伴う経済成長の低下）の両方面で環境政策の効果を考察することが一般的な取り扱い方である。

環境政策と経済成長に関する多数の研究において、外生的な技術革新で一般均衡分析は行われたが、90年代後半以来の実証的な研究により、技術革新の方向がエネルギーの相対価格と重要な関係が存在することが証明された。例えば、Popp (2002) は1970年から1994年までの省エネ技術の特許に関するデータを整理し、省エネ技術とエネルギー価格の変動との関係を示した。そのため、技術革新を内生的な要素にし、環境政策や経済成長についての分析を展開することは妥当である。

Smulders and de Nooij (2003) は内生的な技術革新という仮定に基づいて2種類の生産要素（労働と天然資源）を用いる成長モデルを提示した。そのモデルにおいて、技術革新の方向の変化が経済成長に与える影響は考察された。それに、D. Acemoglu, P. Agion, L. Bursztyn and D. Hemous (2009) は環境制約のある成長モデルを提示した。そのモデルにおいて、内生的かつ方向付けられた技術革新は導入された。さらに、環境政策の変化に対して技術革新の方向がどのように調整するのかということとは分析された。

本論文は内生的な技術革新で、2種類の生産要素を含む成長モデルに基づき、技術革新の発生メカ

[†] 九州大学大学院経済学府Graduate School of Economics, Kyushu University

ニズムとその方向の変化を分析した。さらに、内生的技術革新が経済成長に与える影響を考察した。

2 内生的な技術革新に基づくモデル

2.1 モデルのフレームワーク

このモデルにおいて、労働者、企業家、研究者からなる家計が存在している経済が想定される。家計の効用は以下のように与えられる。

$$\sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+\rho)^t} U(C_t, S_t) \quad (1)$$

C_t は t 時点における最終財の消費であり、 S_t は t 時点における環境の質を表している。 $\rho > 0$ は割引率を表す。

また、この経済において、最終財企業（最終財を生産する）、中間財企業（「クリーン」な中間財と「ダーティ」な中間財を生産する）、資源企業（化石資源を採掘し、それを中間財企業に提供する）、機械企業（機械を生産する）などの生産部門が存在している。

財市場において、唯一の最終財があり、これは「クリーン」な中間財と「ダーティ」な中間財によって生産される。 t 時点における最終財 Y_t の生産は以下のCES型生産関数に従っている。

$$Y_t = \left(Y_{ct}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + Y_{dt}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} \quad (2)$$

ここで、 Y_{ct} は t 時点の「クリーン」な中間財であり、 Y_{dt} は t 時点「ダーティ」な中間財を表している。さらに、 Y_{ct} と Y_{dt} は互いの不完全代替財と仮定され、代替弾力性は $\varepsilon \in (0, 1)$ で表される。

中間財企業では、中間財は原材料（労働と資源）および原材料を補完する機械で生産される。すなわち、「クリーン」な中間財は労働とその中間財の生産に用いられる機械によって生産され、「ダーティ」な中間財は資源とその中間財の生産に用いられる機械によって生産される。2つの要素の生産はコブ・ダグラス型生産関数に従うと仮定し、以下の式のように表される。

$$Y_{ct} = L_{ct}^{\beta} \int_0^1 q_{ckt} x_{ckt}^{1-\beta} dk \quad (3)$$

$$Y_{dt} = R_t^{\beta} \int_0^1 q_{dkt} x_{dkt}^{1-\beta} dk \quad (4)$$

ここで、 L_{ct} は t 時点において、「クリーン」な部門に投入された労働を表し、 R_t は t 時点で「ダーティ」な部門に投入された資源を表している。 q_{ckt} と q_{dkt} はそれぞれ、「クリーン」な部門と「ダーティ」な部門で用いられる k タイプの機械の品質を表している。 x_{ckt} と x_{dkt} は「クリーン」な部門と「ダーティ」な部門で使用される k タイプの機械の数量を示している。さらに、各部門の平均的な生産性、あるいは平均技術水準は次のように定義される。

$$Q_{dt} \equiv \int_0^1 q_{dkt} dk \quad (5)$$

さらに、資源企業において、資源の生産量はその部門に投入された労働と比例していると仮定される。 t 時点における資源 R_t の生産は以下の線形生産関数に従っている。

$$R_t = aL_{dt} \quad (6)$$

ここで、 L_{at} は t 時点で資源企業に投入された労働を表す。 $a > 0$ は資源部門の技術水準を示している。また、経済における総労働人口は 1 に基準化される。労働は均質で、「クリーン」な生産要素 Y_{ct} と資源 R_t の生産のみに用いられると仮定し、次の(8)式が成立する。

$$L_{ct} + L_{dt} \leq 1 \quad (7)$$

一方で、機械企業は独占的競争の下で機械を生産すると規定される。各機械企業が 1 種類の機械だけを生産し、独占価格を設定する。 t 時点において、1 単位のクオリティが q_{ckt} である「クリーン」な機械 x_{ckt} を生産するために、 q_{ckt} 単位の最終財 Y が必要であり、1 単位のクオリティが q_{dkt} である「クリーン」な機械 x_{dkt} を生産するために、 q_{dkt} 単位の最終財 Y が必要であると仮定する。

各期の始めに研究者は、クリーンな技術の改善とダーティな技術の改善のどちらに振り向けるかを決定する。技術の改善は機械の品質の上昇によって表現される。それに、研究者はランダムに 1 種類の機械の上昇を割り当てられる。研究者はクリーンな技術の改善で成功する確率は $\eta_c \in (0, 1)$ (ダーティの場合は $\eta_d \in (0, 1)$)。それが成功すると、機械の品質は $(1 + \gamma)$ 倍だけ上昇する。上述のイノベーションに成功した研究者は、1 期だけの特許を手に入れ、機械企業の企業家になり、改善された機械を生産する。そのゆえ、 k タイプの機械に対する技術改善は以下のように表される。

$$q_{ckt} = (1 + \gamma\eta_c)q_{ckt-1} \quad (8)$$

$$q_{dkt} = (1 + \gamma\eta_d)q_{dkt-1} \quad (9)$$

各部門における平均技術水準の改善は次式のように示される。

$$Q_{ct} = (1 + \gamma\eta_c S_{ct})Q_{ct-1} \quad (10)$$

$$Q_{dt} = (1 + \gamma\eta_d S_{dt})Q_{dt-1} \quad (11)$$

研究者の数も労働者と同様に 1 に基準化される。そのため、研究者のマーケティングクリア条件は次のように与えられる。

$$S_{ct} + S_{dt} \leq 1 \quad (12)$$

2.2 財市場の均衡

このモデルにおいて、財市場の均衡は、各時点における賃金率 (w_{jt})、中間財の価格 (p_{jt})、資源の価格 (P_{Rt})、機械の価格 (p_{jkt})、機械に対する需要 (x_{jkt})、中間財に対する需要 (Y_{jt})、資源に対する需要 (R_t)、労働に対する需要 (L_{jt}) および研究者の分布 (S_{ct} , S_{dt}) によって決定される。ここで、 $j \in \{c, d\}$ 。それに、 t 時点では、最終財企業の最大利潤は Y_{jt} によって決定され、中間財企業(クリーン中間財企業とダーティ中間財企業)の最大利潤はそれぞれ L_{ct} , R_t によって決定され、 j 部門における機械企業 k の最大利潤は (p_{jkt} , x_{jkt}) によって決定される。その他、 t 時点での研究者の分布 (S_{ct} , S_{dt}) は研究開発の期待収益を決める。賃金率 w_{jt} と中間財の価格 p_{jt} は労働市場と中間財市場のマーケティングクリアを確保する。

まず、一定な技術水準 q_{ckt} , q_{dkt} の下で、最終財企業の生産に関する考察を行う。最終財企業の利潤関数は以下のように表される。

$$\Pi_{Y_t} = P_{Y_t} Y_t - p_{Y_{ct}} Y_{ct} - p_{Y_{dt}} Y_{dt}$$

Π_{Y_t} は最終財企業の利潤を表している。それに、最終財企業は利潤を最大にするように生産を行うた

め、(2)式により、中間財の相対価格は以下のように表される。

$$\frac{Y_{ct}}{Y_{dt}} = \left(\frac{p_{Y_{ct}}}{p_{Y_{dt}}} \right)^{-\varepsilon} \quad (13)$$

ここで、最終財価格を1に基準化すると、各時点で以下の式が成立する。

$$[p_{ct}^{1-\varepsilon} + p_{dt}^{1-\varepsilon}]^{\frac{1}{1-\varepsilon}} = 1 \quad (14)$$

さらに、中間財企業の生産を考察する。中間財は原材料（労働と資源）および原材料を補完する機械で生産される。ただし、「クリーン」な中間財企業は労働と機械で中間財を生産し、「ダーティ」な中間財企業は資源と機械で中間財を生産する。そのため、「クリーン」な中間財企業の利潤関数は次のように表される。

$$\Pi_{Y_{ct}} = P_{Y_{ct}} Y_{ct} - w_{ct} L_{ct} - \int_0^1 p_{ckt} x_{ckt} dk$$

企業は利潤を最大にするように生産を行うため、(3)式より、「クリーン」な部門で使用される機械の価格は次式のように表される。

$$p_{ckt} = (1-\beta) p_{Y_{ct}} q_{ckt} \left(\frac{L_{ct}}{x_{ckt}} \right)^\beta \quad (15)$$

この部門における賃金率は次のように求められる。

$$w_{ct} = \beta p_{Y_{ct}} \int_0^1 q_{ckt} \left(\frac{x_{ckt}}{L_{ct}} \right)^{1-\beta} dk \quad (16)$$

また、「ダーティ」な中間財企業の利潤関数は次の式で示される。

$$\Pi_{Y_{dt}} = p_{Y_{dt}} Y_{dt} - p_{R_t} R_t - \int_0^1 p_{dkt} x_{dkt} dk$$

企業の利潤を最大にすると、(4)式より、「ダーティ」な部門で使用される機械の価格は次のように求められる。

$$p_{dkt} = (1-\beta) p_{Y_{dt}} q_{dkt} \left(\frac{R_t}{x_{dkt}} \right)^\beta \quad (17)$$

それに、資源の価格は次のように求められる。

$$p_{R_t} = \beta p_{Y_{dt}} \int_0^1 q_{dkt} \left(\frac{x_{dkt}}{R_t} \right)^{1-\beta} dk \quad (18)$$

一方で、資源企業はその企業に投入された労働で資源を生産するため、資源企業の利潤関数は次のように書ける。

$$\Pi_{R_t} = p_{R_t} R_t - w_{dt} L_{dt}$$

利潤最大化のために、一階条件を求めると、資源企業の賃金率は次のように求められる。

$$w_{dt} = a p_{R_t} = a \beta p_{Y_{dt}} \int_0^1 q_{cdt} \left(\frac{x_{cdt}}{R_t} \right)^{1-\beta} dk$$

それに、(6)式より、上の式は(19)式のように書き換えられる。

$$w_{dt} = a p_{R_t} = a^\beta \beta p_{Y_{dt}} \int_0^1 q_{cdt} \left(\frac{x_{cdt}}{L_{dt}} \right)^{1-\beta} dk \quad (19)$$

ここで、「ダーティ」な中間財の生産により、資源に対する需要が引き起こされ、資源の需要は労働に対する需要を引き起こした。資源の生産は投入された労働と線形関係が存在するため、労働需要は

「ダーティ」な中間財の生産で反映されることができる。そのゆえ、(4)式と(6)式より、「ダーティ」な中間財の生産は次のように表される。

$$Y_{dt} = a^\beta L_{dt}^\beta \int_0^1 q_{dkt} x_{dkt}^{1-\beta} dk \quad (20)$$

そのため、(18)式は次のように表される。

$$p_{dkt} = a^\beta (1-\beta) p_{Y_{dt}} q_{dkt} \left(\frac{L_{dt}}{x_{dkt}} \right)^\beta \quad (21)$$

機械企業は独占的な競争の下で生産を行い、最終財を消耗して機械を生産する。さらに、j 部門における 1 つの機械企業が 1 種類の機械だけ生産し、t 時点において、1 単位のクオリティが q_{jkt} である機械 x_{jkt} を生産するために、 q_{jkt} 単位の最終財 Y が必要である。j 部門における k タイプの機械を生産する企業の利潤は次のように表される。

$$\Pi_{jkt} = p_{jkt} x_{jkt} - q_{jkt} x_{jkt} \quad (22)$$

ここで、 $j \in (c, d)$ 。「クリーン」な機械企業は「ダーティ」な機械企業も利潤を最大にするように生産量と価格をつけるため、(15)式と(21)式により、次の 2 つの式が成り立つ。

$$(1-\beta)^2 p_{Y_{ct}} q_{ckt} \left(\frac{L_{ct}}{x_{ckt}} \right)^\beta = q_{ckt}$$

$$a^\beta (1-\beta)^2 p_{Y_{dt}} q_{dkt} \left(\frac{L_{dt}}{x_{dkt}} \right)^\beta = q_{dkt}$$

その 2 つの式により、独占価格は次のように表される。

$$p_{ckt} = \frac{q_{ckt}}{1-\beta} \quad (23)$$

$$p_{dkt} = \frac{q_{dkt}}{1-\beta} \quad (24)$$

(22)式より、機械の独占価格はそのコストに従って変化することが分かる。それに、機械の品質の向上に伴い、その機械を生産するコストも上昇することも注意に値する。(16)式、(22)式および(23)式により、均衡における機械の生産は次のように求められる。

$$x_{ckt} = [(1-\beta)^2 p_{Y_{ct}}]^{-\frac{1}{\beta}} L_{ct} \quad (25)$$

$$x_{dkt} = a [(1-\beta)^2 p_{Y_{dt}}]^{-\frac{1}{\beta}} L_{dt} \quad (26)$$

2.3 均衡における技術革新

このモデルに提示された経済において、技術革新は研究者によって主導されている。それに、研究者は家計の中にランダムに分布していると想定される。すなわち、ある家計が、労働者になるのか、もしくは研究者になるのかは、収益や効用などのことによって決定されるわけではなく、完全にランダムで決定される。

ところが、前述したように、イノベーションに成功した研究者は、1 期だけの特許を手に入れ、機械企業の企業家になり、改善された機械を生産すると想定されるため、研究者は改善された機械の生産から得る利益を目指し、イノベーションを行う。その結果、経済全体の技術革新の方向は改善され

た機械を生産する企業の利潤によって決定される。「クリーン」な機械を改善し、生産する利潤が相対的に高いとき、より多くの研究者は「クリーン」な機械に関するイノベーションに従事する。経済全体の技術革新は「クリーン」な方向に傾いていく。逆に、「ダーティ」な機械を改善し、生産する利潤が相対的に高いとき、より多くの研究者は「ダーティ」な機械に関するイノベーションに従事する。経済全体の技術革新は「ダーティ」な方向に傾いていく。

本節では、財市場の均衡に基づき、技術革新の方向を決定するメカニズムは考察されている。財市場の均衡において、労働が均質である場合、労働人口は「クリーン」な中間財企業の賃金率と資源企業の賃金率を一致させるまで移動するため、(16)式と(19)式により、次の式が成立する。

$$w_{ct} = \beta p_{Y_{ct}} \int_0^1 q_{ckt} \left(\frac{x_{ckt}}{L_{ct}} \right)^{1-\beta} dk = a^\beta \beta p_{Y_{dt}} \int_0^1 q_{cdt} \left(\frac{x_{dkt}}{L_{dt}} \right)^{1-\beta} dk = w_{dt}$$

さらに、(24)式と(25)式を上の式に代入すると、次の式が成り立つ。

$$p_{Y_{ct}}^{\frac{1}{\beta}} \int_0^1 q_{ckt} dk = a p_{Y_{dt}}^{\frac{1}{\beta}} \int_0^1 q_{dkt} dk$$

また、(5)式と(6)式により、中間財の相対価格は次のように表される。

$$\frac{p_{Y_{ct}}}{p_{Y_{dt}}} = \left(\frac{Q_{ct}}{a Q_{dt}} \right)^{-\beta} \tag{27}$$

(27)式より、生産性の高い機械で生産された中間財は相対的に安いことが判明される。それに、資源企業の技術水準が高ければ高いほど、「ダーティ」な中間財の相対価格は低い。

ところで、(3)式、(4)式、(25)式および(26)式により、中間財の生産は次のように書き換えられる。

$$Y_{ct} = (1-\beta)^{\frac{2(1-\beta)}{\beta}} p_{Y_{ct}}^{\frac{1-\beta}{\beta}} L_{ct} Q_{ct}$$

$$Y_{dt} = a(1-\beta)^{\frac{2(1-\beta)}{\beta}} p_{Y_{dt}}^{\frac{1-\beta}{\beta}} L_{dt} Q_{dt}$$

したがって、中間財の相対生産は次のように表される。

$$\frac{Y_{ct}}{Y_{dt}} = \frac{1}{a} \left(\frac{p_{Y_{ct}}}{p_{Y_{dt}}} \right)^{\frac{1-\beta}{\beta}} \frac{L_{ct}}{L_{dt}} \frac{Q_{ct}}{Q_{dt}}$$

それに、上の式と(13)式により、相対的労働需要は次のように求められる。

$$\frac{L_{ct}}{L_{dt}} = \left(\frac{Q_{ct}}{a Q_{dt}} \right)^{\beta(\varepsilon-1)} \tag{28}$$

ここで、 $\varepsilon \in (0, 1)$ のため、機械の平均生産性の高い部門において、労働に対する需要が相対的に少ないことが分かる。それに、資源企業の技術水準 a が高ければ高いほど、「クリーン」な部門における相対的労働需要は高まっている。

また、(22)式と(25)式、(26)式により、「クリーン」な部門における代表的な機械企業と「ダーティ」な部門における代表的な機械企業の利潤は次のように表される。

$$\Pi_{ckt} = \beta(1-\beta)^{\frac{2-\beta}{\beta}} p_{Y_{ct}}^{\frac{1}{\beta}} L_{ct} q_{ckt}$$

$$\Pi_{dkt} = a\beta(1-\beta)^{\frac{2-\beta}{\beta}} p_{Y_{dt}}^{\frac{1}{\beta}} L_{dt} q_{dkt}$$

それに、(8)式、(9)式より、「クリーン」な部門における代表的な研究者が技術革新から得る期待利潤と「ダーティ」な部門における代表的な研究者が技術革新から得る期待利潤は次式のように求められる。

$$\Pi_{ct} = \beta(1-\beta)^{\frac{2-\beta}{\beta}} p_{Y_{ct}}^{\frac{1}{\beta}} L_{ct}(1+\eta_c\gamma)q_{ckt-1} \quad (29)$$

$$\Pi_{dt} = a\beta(1-\beta)^{\frac{2-\beta}{\beta}} p_{Y_{dt}}^{\frac{1}{\beta}} L_{dt}(1+\eta_d\gamma)q_{dkt-1} \quad (30)$$

また、(10)式、(11)式、(29)式および(30)式より、「クリーン」な部門における研究者が技術革新から得る期待利潤と「ダーティ」な部門における研究者が技術革新から得る期待利潤は次式のように示されている。

$$\begin{aligned} \Pi_{ct} &= \eta_c \int_0^1 \beta(1+\gamma)(1-\beta)^{\frac{2-\beta}{\beta}} p_{Y_{ct}}^{\frac{1}{\beta}} L_{ct} q_{ckt-1} \\ &= \eta_c \beta(1+\gamma)(1-\beta)^{\frac{2-\beta}{\beta}} p_{Y_{ct}}^{\frac{1}{\beta}} L_{ct} Q_{ct-1} \\ \Pi_{dt} &= a\eta_d \int_0^1 \beta(1+\gamma)(1-\beta)^{\frac{2-\beta}{\beta}} p_{Y_{dt}}^{\frac{1}{\beta}} L_{dt} q_{dkt-1} \\ &= a\eta_d \beta(1+\gamma)(1-\beta)^{\frac{2-\beta}{\beta}} p_{Y_{dt}}^{\frac{1}{\beta}} L_{dt} Q_{dt-1} \end{aligned}$$

そのゆえ、両部門における技術革新の相対利潤は(31)式で表される。

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c}{\eta_d} \left(\frac{p_{Y_{ct}}}{p_{Y_{dt}}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \frac{L_{ct}}{L_{dt}} \frac{Q_{ct-1}}{Q_{dt-1}} = \frac{1}{a} \frac{\eta_c}{\eta_d} \left(\frac{p_{Y_{ct}}}{p_{Y_{dt}}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \frac{L_{ct}}{L_{dt}} \frac{Q_{ct-1}}{Q_{dt-1}} \quad (31)$$

ここで、相対利潤が大きいほど、クリーンな技術へと方向付けられた研究開発のインセンティブが高まっていることになる。この式により、技術革新の方向は既存の生産性の高い部門に向いていることが分かる。それに、原材料に対する需要が拡大するとき、補完な機械に対する需要も増えるため、技術革新は原材料に対する需要が大きい部門に傾いている。その他、(26)式により、技術革新は中間財の価格が相対的に高い部門で発生する傾向が強い。また、資源企業の技術水準 a が高ければ高いほど、ダーティな技術へのイノベーションのインセンティブが高まっている。

さらに、(27)式と(28)式により、(31)式は次のように書き換えられる。

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c}{\eta_d} \left(\frac{1}{a} \right)^{\beta(\varepsilon-1)} \left(\frac{Q_{ct}}{Q_{dt}} \right)^{\beta(\varepsilon-1)-1} \frac{Q_{ct-1}}{Q_{dt-1}} \quad (32)$$

それに、(5)式と(32)式により、次の式が成り立つ。

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c}{\eta_d} \left(\frac{1}{a} \right)^{\beta(\varepsilon-1)} \left(\frac{1+\gamma\eta_c S_{ct}}{1+\gamma\eta_d S_{dt}} \right)^{\beta(\varepsilon-1)-1} \left(\frac{Q_{ct-1}}{Q_{dt-1}} \right)^{\beta(\varepsilon-1)} \quad (33)$$

さらに、(12)式より、(33)式は次のように書き換えられる。

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c}{\eta_d} \left(\frac{1}{a} \right)^{\beta(\varepsilon-1)} \left[\frac{1+\gamma\eta_c S_{ct}}{1+\gamma\eta_d(1-S_{ct})} \right]^{\beta(\varepsilon-1)-1} \left(\frac{Q_{ct-1}}{Q_{dt-1}} \right)^{\beta(\varepsilon-1)}$$

今までの議論は一定な技術水準 q_{ckt} 、 q_{dkt} の下で展開されたため、(33)式における Q_{ct-1} と Q_{dt-1} が一定な水準に固定していることがわかる。そのため、両部門における技術革新の相対利潤は、クリーンな技術へのイノベーションに従事する研究者のシェアの関数と見なされることができ。すなわち、次の式が成立する。

$$f(S_{ct}) = \frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \left(\frac{1}{a} \right)^{\beta(\varepsilon-1)} \frac{\eta_c}{\eta_d} \left[\frac{1+\gamma\eta_c S_{ct}}{1+\gamma\eta_d(1-S_{ct})} \right]^{\beta(\varepsilon-1)-1} \left(\frac{Q_{ct-1}}{Q_{dt-1}} \right)^{\beta(\varepsilon-1)} \quad (34)$$

ここで、 $\varepsilon \in (0, 1)$ が存在するため、 $f(S_{ct})$ は S_{ct} の単調逓減関数であることが分かる。そのゆえ、以下のような3つの状況において、研究者の分布が安定している。

- i $f(1) > 1$, $S_{ct} = 1$

この場合では、クリーンな部門における技術革新の相対利潤が最小になり、それにしても、クリーンな技術へのイノベーションの利潤はダーティな技術へのイノベーションより高いため、すべての研究者はクリーンな技術へのイノベーションに従事する。ダーティな部門において、技術革新が発生しない。

ii $f(0) < 1, s_{ct} = 0$

この場合では、クリーンな部門における技術革新の相対利潤が最大になり、それにしても、クリーンな技術へのイノベーションの利潤はダーティな技術へのイノベーションより低いため、すべての研究者はダーティな技術へのイノベーションに従事する。クリーンな部門において、技術革新が発生しない。

iii $f(s_{ct}^*) = 1, s_{ct} = s_{ct}^*$

この場合では、両部門における技術革新の相対利潤は同じであるため、研究者の分布は $(s_{ct}^*, 1 - s_{ct}^*)$ のシェアに安定し続ける。イノベーションは両部門で行われている。この状況において、資源企業の技術水準 a の上昇に従い、 s_{ct}^* の値は増大する。それは、資源企業における技術革新とダーティな技術へのイノベーションの間に代替効果が存在するためである。両部門における技術革新の相対利潤が同じであるという前提において、資源企業の技術革新によって、一部のダーティな技術へのイノベーションに従事する研究者は押し出され、クリーンな技術へ移動し、 s_{ct}^* はもとの水準より高くなる。

2.4 内生的技術革新と経済成長

本節では、前の議論に基づき、長期的均衡において、内生的技術革新が経済成長に与える影響が考察される。

さて、(14)式と(27)式により、中間財の価格は次のように求められる。

$$p_{Y_{ct}} = \frac{[Q_{ct}^{\beta(\epsilon-1)} + (aQ_{dt})^{\beta(\epsilon-1)}]^{\frac{1}{\epsilon-1}}}{Q_{ct}^{\beta}} \tag{35}$$

$$p_{Y_{dt}} = \frac{[Q_{ct}^{\beta(\epsilon-1)} + (aQ_{dt})^{\beta(\epsilon-1)}]^{\frac{1}{\epsilon-1}}}{(aQ_{dt})^{\beta}} \tag{36}$$

それに、(7)式と(28)式により、労働需要は次のように表される。

$$L_{ct} = \frac{(Q_{ct})^{\beta(\epsilon-1)}}{(Q_{ct})^{\beta(\epsilon-1)} + (aQ_{dt})^{\beta(\epsilon-1)}} \tag{37}$$

$$L_{dt} = \frac{(aQ_{dt})^{\beta(\epsilon-1)}}{(Q_{ct})^{\beta(\epsilon-1)} + (aQ_{dt})^{\beta(\epsilon-1)}} \tag{38}$$

さらに、(2)式、(3)式、(4)式、(25)式、(26)式、(35)式、(36)式、(37)式および(38)式により、財市場における最終財および中間財の生産は次のように書き換えられる。

$$Y_{ct} = (1 - \beta)^{\frac{2(1-\beta)}{\beta}} Q_{ct}^{\beta\epsilon} [Q_{ct}^{\beta(\epsilon-1)} + (aQ_{dt})^{\beta(\epsilon-1)}]^{\frac{1-\beta\epsilon}{\beta(\epsilon-1)}} \tag{39}$$

$$Y_{dt} = (1 - \beta)^{\frac{2(1-\beta)}{\beta}} (aQ_{dt})^{\beta\epsilon} [Q_{ct}^{\beta(\epsilon-1)} + (aQ_{dt})^{\beta(\epsilon-1)}]^{\frac{1-\beta\epsilon}{\beta(\epsilon-1)}} \tag{40}$$

$$Y_t = (1 - \beta)^{\frac{2(1-\beta)}{\beta}} [Q_{ct}^{\beta(\epsilon-1)} + (aQ_{dt})^{\beta(\epsilon-1)}]^{\frac{1}{\beta(\epsilon-1)}} \tag{41}$$

また、(40)式と(41)式より、中間財の相対生産は次のように求められる。

$$\frac{Y_{ct}}{\hat{Y}_{dt}} = \left(\frac{Q_{ct}}{aQ_{dt}} \right)^{\beta\epsilon} \quad (42)$$

したがって、(42)式より、クリーン部門とダーティ部門の成長率の格差は次のように表される。

$$\hat{Y}_c - \hat{Y}_a = \beta\epsilon(\hat{Q}_c - \hat{Q}_a) \quad (43)$$

ここで、ハットの印は成長率を意味している。さらに、(10)式、(11)式により、各部門における平均技術水準の成長率は次のように提示される。

$$\hat{Q}_c = \gamma\eta_c s_{ct} \quad (44)$$

$$\hat{Q}_a = \gamma\eta_a s_{at} \quad (45)$$

そのゆえ、(12)式より、(34)式は次のように書き換えられる。

$$\hat{Y}_c - \hat{Y}_a = \beta\epsilon\gamma(\eta_c s_{ct} - \eta_a s_{at}) = \beta\epsilon\gamma[(\eta_c + \eta_a)s_{ct} - \eta_a] \quad (46)$$

この式により、クリーンな中間財の成長率はその部門におけるイノベーションに従事する研究者のシェアによって決定されることが反映される。さらに、長期的均衡において、2つの中間財は均質的に成長していくため、クリーンな技術へのイノベーションに従事する研究者のシェアは次のように示される。

$$s_c = \frac{\eta_a}{\eta_c + \eta_a} \quad (47)$$

この場合、 $\eta_c s_c = \eta_a s_a$ が成立するため、(34)式により、 $f(s_c)$ は1に維持され、イノベーションは両部門で行われている。

次に、経済の成長率を求める。(41)式、(44)式と(45)式により、経済の成長率は次のように求められる。

$$\hat{Y} = \frac{\gamma\eta_c s_{ct} Q_{ct}^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} + \gamma\eta_a s_{at} (aQ_a)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}}}{Q_c^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} + (aQ_a)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}}} \quad (48)$$

また、(47)式より、長期的均衡における経済の成長率は γ であることが判明される。

3 おわりに

本論文は内生的な技術革新で、2種類の生産要素を含む成長モデルを提示した。

このモデルにおいて、短期的な均衡分析を行い、技術革新の要因とその方向の変化を考察した。さらに、長期的均衡分析を行い、長期にわたる技術革新が経済成長にあたる影響を解明した。

以下では、具体的な結論は述べられる：

- ① 技術革新は研究者によって主導される。研究者は利潤動機に基づいてイノベーションに従事するため、技術革新の方向は両部門における技術革新の相対利潤によって決定される。
- ② 相対利潤が大きいほど、クリーンな技術へと方向付けられた研究開発のインセンティブが高まっていることになる。それに、技術革新の方向は既存の生産性の高い部門に向いていることが分かる。また、原材料に対する需要が拡大するとき、補完な機械に対する需要も増えるため、技術革新は原材料に対する需要が大きい部門に傾いている。その他、技術革新は中間財の価格が相対的に高い部門で発生する傾向が強い。資源企業の技術水準 a が高ければ高いほど、ダーティな技術へのイノベーションのインセンティブが高まっている。

- ③ クリーン部門における研究者のシェアの上昇に伴い、両部門における技術革新の相対利潤は下落し、両部門間の研究者の分布に影響を与える。
- ④ 両部門における技術革新の相対利潤は同じであるとき、イノベーションは両部門で行われている。この状況において、資源企業における技術革新とダーティな技術へのイノベーションの間に代替効果が存在し、資源企業の技術水準 a の上昇に伴い、一部のダーティな技術へのイノベーションに従事する研究者は押し出され、クリーンな部門に移動し、 s_a^* の水準は高くなる。
- ⑤ 長期的均衡において、クリーンな中間財の成長率はその部門におけるイノベーションに従事する研究者のシェアによって決定される。さらに、クリーンな技術へのイノベーションに従事する研究者のシェアは $s_c = \frac{\eta_d}{\eta_c + \eta_d}$ に収束していく。
- ⑥ 長期的な均衡では、イノベーションは両部門で行われている。それに、経済は γ の成長率で均質的に成長していく。

ただし、本稿では、環境の質の変化も環境規制も存在しないケースだけ議論されたが、最終財や中間財の生産に従い、環境の質が如何に変化し、技術革新にどのような影響を与えるのかはまだ論されなかった。それに、環境規制は企業と研究者および家計の行動に与える影響も考察されなかった。今後、環境の質の変化を配慮し、枯渇的資源の仮定に基づき、環境規制が企業と研究者および家計の行動に与える影響を考察し、その状況における技術革新と経済成長はどのように変化するかを分析していきたい。

参 考 文 献

- [1] Acemoglu, D., "Why do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Wage Inequality," *Quarterly Journal of Economics*, 113, 1055-1089, 1998.
- [2] Acemoglu, D., "Directed Technical Change," *Review of Economic Studies*, 69(4), 781-809, 2002.
- [3] Acemoglu, D., *Introduction to Modern Economic Growth*, Princeton University Press, 2009.
- [4] Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L. and Hemous, D., "The Environment and Directed Technical Change," *NBER Working Paper* No. 15451, 2009.
- [5] Brock, W.A. and M.S.Taylor, "Economic Growth and The Environment: A Review of Theory and Empirics," *Handbook of Economic Growth*, vol.1, Part B, 1749-1821, 2005.
- [6] Chiang, A.C. and K. Wainwright, *Fundamental Methods of Mathematical Economics*, 4th ed. McGraw-Hill, 2005. (劉学・顧佳峰訳『数理経済学的基本方法』北京大学出版社, 2006年)
- [7] Hanley, N., Shogren, J.F., and B. White, *Environmental Economics in Theory and Practice*, Macmillan, 1997. (政策科学研究所環境経済学研究会訳『環境経済学：理論と実践』勁草書房, 2005年)
- [8] Kolstad, C.D., *Environment Economics*, Oxford University Press, 2nd ed, 2011. (細江守紀・藤田敏之監訳『環境経済学入門』有斐閣, 2001年)
- [9] Kronenberg, T., "Energy Conservation, Unemployment and the Direction Of Technical Change," *Portuguese Economic Journal*, vol.9(1), 1-17, 2010.
- [10] Smulders, S. and M. de Nooij, "The Impact of Energy Conservation on Technology and Economic Growth," *Resource Energy Economics* 25, 59-79, 2003.
- [11] 大住圭介『経済成長分析の方法』九州大学出版会, 2003年.