

知識の陳腐化と持続的経済成長（1）

岡田 知之

Obsolescence of Knowledge and Sustained Economic Growth（1）

Okada Tomoyuki

Research and development (R&D) provides access to both new knowledge and technology. A company that has succeeded in R&D improves productivity and obtains a technological advantage. Although technological superiority can bring about high profitability, it is impossible to monopolize new knowledge altogether, as new knowledge gradually becomes general knowledge with the positive effect of improving social productivity. Success in R&D improves productivity not only individually but also socially therefore; new knowledge carries with it the potential to become an engine for economic growth. But knowledge introduced in the past tends to be replaced by new knowledge leading to obsolescence. Because of this factor, information that is no longer considered current eventually loses the power to sustain economic growth. On the basis of the above-mentioned points, this paper will consider the correlation between accumulation of knowledge and economic growth under the effects created by obsolescence of knowledge.

1 イントロダクション

長期的な人々の生活水準が経済成長率に大きく依存していることを考えると、持続的な経済成長が可能となるための条件を考察するは、意義のあることである。伝統的な経済成長理論である Solow（1956）に代表される新古典派成長理論によれば、経済が発展し、資本蓄積が進むにつれて、限界生産力が低下する。新古典派成長理論は、長期的な経済成長の要因を外生的な技術進歩に求めしており、新古典派成長理論の枠組みのなかで、どのように長期的な成長率が定まるかを分析することは困難である。

Romer（1986）以降、盛んになった内生的成長理論は、上述の新古典派成長理論の限界を克服するものであった。内生的成長理論の基本的な考え方は、経済が発展し、資本蓄積や知識の蓄積が進むと、限界生産力の低下を補う外部性が生じるというものである。内生的成長理論の枠組みの中で

は、どのように長期的な成長率が定まるかを分析することが可能である。Romer (1986) 以降の研究で、さまざまな限界生産力の低下を補う外部性が生じる要因が考察されてきたが、その代表例として、研究開発を挙げることができる。例えば Grossman and Helpman (1991) には、研究開発を行うという経験の蓄積が研究開発の生産性を高める為、研究開発により持続的な経済成長が可能になるという考え方が示されている。

研究開発を行うという経験の蓄積が研究開発の生産性を高めるという外部性の存在を仮定することは、それなりに説得力のあるものである。Grossman and Helpman (1991) では、分析の第一歩として、すべての研究開発が同程度の外部性をもたらすという仮定のもとで分析が進められていた。しかし、さまざまな種類の研究開発が、同程度の外部性をもたらすという仮定は、強すぎる仮定であると思われる。例えば、応用研究の研究成果は、適用範囲が狭く、比較的短い時間しか経済に外部性をもたらさない可能性が高いであろう。それに対し、基礎研究の研究成果は、適用範囲が広く、比較的長期にわたり経済に外部性をもたらす可能性が高いであろう。さまざまな研究開発は、さまざまなかたちで経済に外部性をもたらすと考えるのが自然であると思われる。

本稿の目的は、さまざまな研究開発が経済に異なる水準の外部性をもたらすという状況を想定し、研究開発がもたらす外部性の強さと持続的な経済成長の可能性の間に成り立つ関係を考察することにある。本稿で用いられるモデルは Grossman and Helpman (1991) を拡張したものである。本稿では、研究開発の成果が時間の経過とともに陳腐化し、ある時点の研究開発の成果が新しい研究開発の生産性を高めるという外部性が、時間の経過とともに弱まるという状況を想定する。そして、陳腐化のスピードにより、さまざまな研究開発がもたらす外部性の強さをあらわす。陳腐化のスピードが速いような成果をもたらす研究開発は、弱い外部性しか経済にもたらさない研究開発であると解釈できるであろう。逆に、陳腐化のスピードが遅いような成果をもたらす研究開発は、強い外部性をもたらす研究開発であると解釈できるであろう。本稿では、Grossman and Helpman (1991) のモデルに研究開発の成果（知識）の陳腐化を導入し、陳腐化のスピードと持続的な経済成長の可能性の間に成り立つ関係を分析することを通じて、外部性の強さと持続的な経済成長の可能性の間に成り立つ関係を考察する。

本稿の以後の構成は、以下のようなものである。まず第2節でモデルを説明する。第2節で説明されるモデルは Grossman and Helpman (1991) のモデルに知識が陳腐化するという可能性を導入したものとなっている。第3節では、第2節のモデルを前提とした場合、変数が一定率で変化するという意味の定常状態において、経済が持続的に成長することが可能となる為の条件を分析する。第4節では政策的なインプリケーションを考察する。そして、第5節では、まとめを述べる。

2 モデル

消費行動

経済には同質な経済主体が、 L だけ存在するものと仮定する。代表的な経済主体は、以下で示される t 期以降の多時点間にわたる効用 U_t が最大となるように、消費を行うものとする。

$$U_t = \int_t^\infty e^{-\rho(\tau-t)} \log D(\tau) d\tau \quad (1)$$

ただし、 ρ は主観的割引率を示し、 D は

$$D(\tau) = \left[\int_0^{n(\tau)} x(j, \tau)^\alpha dj \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (0 < \alpha < 1) \quad (2)$$

を示す。ここで $n(\tau)$ は、 τ 期までに研究開発により開発された消費財の種類を示し、 $x(j, \tau)$ ($j \in [0, n(\tau)]$) は τ 期における種類 j の消費量を示す。

U_t を最大化するという問題は、各時点で (2) を最大にする $x(j, \tau)$ を選択するという静学的な問題と、(各時点で (2) を最大にする $x(j, \tau)$ が選択されるという前提のもとで) (1) を最大にする多時点にわたる消費経路を選択するという動学的な問題に分解し、解くことができる。そこで、まずは静学的な問題を考察し、その後、動学的な問題を考察することにより、経済主体の消費行動を考察する。

$x(j, \tau)$ の価格を $p(j, \tau)$ ($j \in [0, n(\tau)]$)、 τ 期における支出額を $E(\tau)$ とすると、 τ 期に (2) を最大にする $x(j, \tau)$ は、以下のようなになる。

$$x(j, \tau) = \frac{E(\tau) p(j, \tau)^{-\varepsilon}}{\int_0^{n(\tau)} p(i, \tau)^{1-\varepsilon} di} \quad \left(\varepsilon = \frac{1}{1-\alpha} > 1 \right) \quad (3)$$

経済主体は、各時点で (3) で示されるように $x(j, \tau)$ を消費しているものとしよう。このとき、

$$E(\tau) = \int_0^{n(\tau)} p(j, \tau) x(j, \tau) dj = p_D(\tau) D(\tau) \quad (4)$$

を満たす $p_D(\tau)$ は、

$$p_D = \left[\int_0^{n(\tau)} p(j, \tau)^{1-\varepsilon} dj \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \quad (5)$$

となり、この $p_D(\tau)$ を用いることにより、(1) は以下のように書き換えられる。

$$U_t = \int_t^\infty e^{-\rho(\tau-t)} [\log E(\tau) - \log p_D(\tau)] d\tau \quad (6)$$

経済主体は、各時点で労働力を供給することにより $w(\tau)$ という収入を得て、この $w(\tau)$ を用いて消費を行うものとする。資金市場が完全であり、利子率 $r(\tau)$ で、貸借を行うことができるとす

ると、経済主体のフローの予算制約は、以下のようになる。

$$\dot{S} = w(\tau)L + r(\tau)S - E(\tau) \quad (7)$$

ここで、 S は経済主体の資産を示す。(各時点で最適な消費財の組み合わせが選択されているという前提のもとで) (1) を最大にする多時点間にわたる消費経路を選択するという問題は、(7) の制約のもとで (6) を最大化する問題であると言い換えることができる。この問題の解の必要条件は、以下のようなものである。

$$\frac{\dot{E}}{E} = r(\tau) - \rho \quad (8)$$

以下では各時点の支出を 1 に基準化 ($E(\tau) = 1$) し、分析を進める。この場合、

$$r(\tau) = \rho \quad (9)$$

となる。

消費財部門

新しい種類の消費財を生産するためには、その消費財を研究開発により生み出す必要があり、研究開発に成功した企業は独占的に (研究開発に成功した) 消費財を供給できるものとしよう。1 単位の消費財を生産するために、1 単位の労働が必要であるという線形の生産関数を仮定すると、消費財を生産する技術を持つ企業 j は、各時点で、以下で示される (1 時点の) 利潤 $\pi(j, \tau)$ を最大化するように消費財の価格を定める。

$$\pi(j, \tau) = p(j, \tau)x(j, \tau) - w(\tau)x(j, \tau) \quad (10)$$

すべての企業は対称的であると仮定し、以下では第 j 消費財を生産する企業の τ 期における利潤を $\pi(\tau)$ で表す。各時点で消費財 $x(j, \tau)$ の需要関数が (3) で示されることをふまえると、利潤 $\pi(\tau)$ を最大化する価格は

$$p(j, \tau) = \frac{w(\tau)}{\alpha} \quad (11)$$

となり、各時点の総支出が 1 ($E(\tau) = 1$) であることより、利潤 $\pi(\tau)$ は以下のようになる。

$$\pi(\tau) = \frac{1 - \alpha}{n(\tau)} \quad (12)$$

そして、(12) を用いると t 期におけるある企業の企業価値は、

$$v(t) = \int_t^{\infty} e^{-R(\tau, t)} \pi(\tau) d\tau \quad (13)$$

となる。ただし $R(\tau, t)$ は、

$$R(\tau, t) = \int_t^\tau r(s) ds$$

である。

研究開発

消費財を生産する企業が研究開発により新しい種類の消費財を生み出す為には、 $\frac{a}{K_\tau}$ 単位の労働力の投入が必要であるものとする。 K_τ は過去の研究開発が現在の研究開発の生産性に及ぼす影響を示す指標である。新しい種類の消費財を生み出す為に $\frac{a}{K_\tau}$ 単位の労働力の投入が必要であるということは、 K_τ の値が大きいほど過去の研究開発の経験が現在の研究開発の生産性を大きく高めるということを意味する。

労働力1単位当たりの賃金は $w(\tau)$ なので、 τ 期において新しい種類の消費財を開発するための費用は $\frac{aw(\tau)}{K_\tau}$ となる。新しい種類の消費財を開発することに成功すれば、将来にわたり利潤を獲得することができ、 τ 期において研究開発に成功した企業の将来にわたる利潤の割引現在価値は $v(\tau)$ となる。研究開発への参入が自由ならば、研究開発の成功がもたらす利潤の割引現在価値が費用を上回る限り研究開発への参入が生じるであろう。したがって、 $\frac{aw(\tau)}{K_\tau} \geq v(\tau)$ という関係が成り立つ。また、研究開発の費用が利潤の割引現在価値を上回る場合には、研究開発は行われなから、研究開発の費用、研究開発がもたらす利潤の割引現在価値、研究開発がもたらす消費財の種類の間には、以下の関係が成り立つ。

$$\begin{cases} \frac{aw(\tau)}{K_\tau} > v(\tau) \Rightarrow \dot{n}(\tau) = 0 \\ \frac{aw(\tau)}{K_\tau} = v(\tau) \Rightarrow \dot{n}(\tau) > 0 \end{cases} \quad (14)$$

研究開発と外部性

K_τ は過去の研究開発が現在の研究開発の生産性に及ぼす影響を示す指標であるが、この指標は研究開発が社会にもたらす外部性の大きさを示していると解釈できる。 $K_\tau = 1$ のケースは研究開発の外部性が存在しないケースである。Grossman and Helpman (1991) によれば、このケースは、研究開発は持続的成長をもたらさない。Grossman and Helpman (1991) は研究開発が持続的な成長をもたらすケースとして $K_\tau = n(\tau)$ というケースを取り上げ、分析を行っている。

$$K_\tau = \int_{-\infty}^\tau \dot{n}(s) ds \quad (15)$$

なので、このケースは、研究開発が行われた時期にかかわらず、すべての過去に行われた研究開発が同等に、現在の研究開発の生産性に外部性をもたらすケースであると解釈できる。しかし、研究開発のすべてが、長い期間にわたり生産性の向上に貢献するとは限らない。基礎研究による研究成果は、おそらく、長い期間にわたり生産性の向上に貢献するであろう。しかし、応用研究の研究成

果は、適用範囲が限定的であり、時間の経過とともにその技術や知識が陳腐化し、比較的短い期間しか生産性の向上に貢献できない可能性がある。本稿では、技術や知識が時間の経過とともに陳腐化する可能性をふまえ、 K_τ を以下のように仮定し、分析を進める。

$$K_\tau = \int_{-\infty}^{\tau} e^{-\theta(\tau-s)} \dot{n}(s) ds \quad (16)$$

(16) は、遠い過去の研究成果ほど、現在の研究開発の生産性を小さくしか向上させず、近い過去の研究成果ほど、現在の研究開発の生産性を大きく向上させるという状況を示している。非負の値をとる θ は知識の陳腐化のスピードを示すパラメータである。大きな値の θ は、知識の陳腐化のスピードが速いということの意味し、逆に小さな値の θ は、知識の陳腐化のスピードが遅いということの意味する。 θ がゼロのケースは知識の陳腐化が発生しない状況を示しており、この場合は、(16) と (15) が一致する。¹

(16) を計算すると以下ようになる。

$$\dot{K}_\tau = \dot{n}(\tau) - \theta K_\tau \quad (17)$$

3 持続的成長の実現可能性

各時点の研究開発に用いられる労働力は $\frac{a\dot{n}}{K_\tau}$ であり、消費財の生産の為に用いられる労働力は $\frac{1}{p(\tau)}$ である。各時点における労働力の供給は L なので、労働力の需給バランスは以下のようになる。

$$\frac{a\dot{n}}{K_\tau} + \frac{1}{p(\tau)} = L \quad \left[\frac{1}{p} \leq L \right] \quad (18)$$

また、(13) を t で微分すると、

$$\frac{\pi(t)}{v(t)} + \frac{\dot{v}(t)}{v(t)} = r(t) \quad (19)$$

となる。(19) の左辺第1項は企業へ投資を行うことにより得られるインカム・ゲインを示し、左辺第2項はキャピタル・ゲインを示す。(19) は企業へ投資を行った場合の収益率が、資金市場での利子率と一致している状態を示している。

(17)、(18)、(19) により、モデルの状態変数 $n(t)$ 、 $v(t)$ 、 K_t の経路が定まる。以下では、これらの変数が一定率で変化するという定常状態の実現可能について、考察を行う。特に、以下の

1 Grossman and Helpman (1991) により $\theta=0$ のケースは分析されているので、以下では $\theta>0$ のケースに焦点をしぼり、分析を進める。

ように定義される V_t と k_t が一定となるように $n(t)$ 、 $v(t)$ 、 K_t が時間を通じて変化するという定常状態の実現可能性について考察する。

$$V_t = \frac{1}{n(t)v(t)}$$

$$k_t = \frac{K_t}{n(t)}$$

ここで、 V_t は市場全体の企業価値の逆数である。また、 k_t は過去の研究開発が現在行われる研究開発の生産性に及ぼす影響の大きさを示す指標 K_t と消費財の種類を示す $n(t)$ の比率であり、研究開発に関する技術力の高さを示す指標であると解釈できる。

(11)、(14) を用いると、(18) は以下のように V_t と k_t を用いて表される。

$$\frac{\dot{n}}{n} = \begin{cases} k_t \frac{L}{a} - \alpha V_t & \left[V_t < k_t \frac{L}{\alpha a} \right] \\ 0 & \left[V_t \geq k_t \frac{L}{\alpha a} \right] \end{cases} \quad (18)'$$

同様に (12) を用いると (19) は以下のように V_t と k_t を用いて表される。

$$\frac{\dot{V}}{V} = \begin{cases} V_t - k_t \frac{L}{a} - \rho & \left[V_t < k_t \frac{L}{\alpha a} \right] \\ (1 - \alpha) V_t - \rho & \left[V_t \geq k_t \frac{L}{\alpha a} \right] \end{cases} \quad (19)'$$

(17) は (20) のように整理でき、(18)' を用いると (20)' のように V_t と k_t を用いて表される。

$$\frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{n}}{n} \left[\frac{1}{k_t} - 1 \right] - \theta \quad (20)$$

$$\frac{\dot{k}}{k} = \begin{cases} \left[k_t \frac{L}{a} - \alpha V_t \right] \left[\frac{1}{k_t} - 1 \right] - \theta & \left[V_t < k_t \frac{L}{\alpha a} \right] \\ -\theta & \left[V_t \geq k_t \frac{L}{\alpha a} \right] \end{cases} \quad (20)'$$

(19)'、(20)' により V_t 、 k_t の経路が定まり、 V_t 、 k_t の経路が定まれば (18)' により $n(t)$ の経路が定まる。そして V_t 、 k_t 、 $n(t)$ の経路が定まれば V_t 、 k_t の定義より、 $v(t)$ 、 K_t の経路を求めることができる。

図1と図2は (19)' と (20)' において、 $\dot{V}_t=0$ 、 $\dot{k}_t=0$ となる V_t と k_t の組み合わせを示している。図1は θ の値が小さく知識の陳腐化のスピードが遅いケースを示す図であり、図2は θ の値が大きく知識の陳腐化のスピードが速いケースを示す図である。図1により θ の値が小さい場合、 $\dot{V}_t=0$ 、 $\dot{k}_t=0$ となる V_t と k_t の組み合わせが存在し、図2により θ の値が大きい場合、 $\dot{V}_t=0$ 、 $\dot{k}_t=0$ となる V_t と k_t の組み合わせが存在しないということがわかる。知識の陳腐化のスピードを示す θ の大きさと $\dot{V}_t=0$ 、 $\dot{k}_t=0$ となる V_t と k_t の組み合わせの間に成り立つ関係をまとめると以下ようになる。

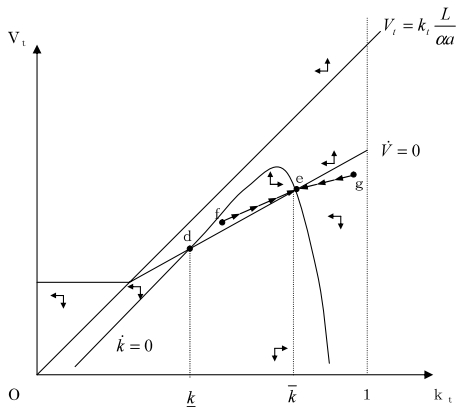


図 1

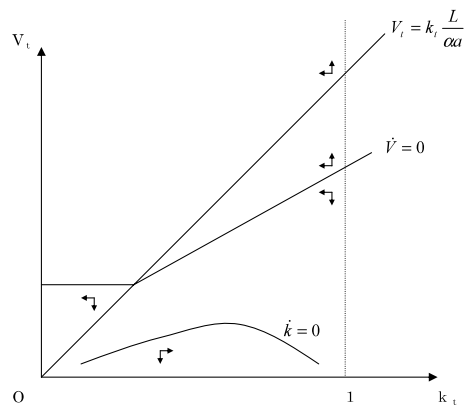


図 2

以下次号

(おかだ ともゆき・本学経済学部講師)

【参考文献】

- Arrow, K. J. (1962). "The Economic Implications of Learning by doing," *Review of Economic Studies*, 29, pp.155-173.
- Barro, R. J., and X. Sala-i-Martin. (1995). *Economic Growth*, McGraw-Hill. (大住圭介訳『内生的成長理論 I、II』九州大学出版会 (1998))
- Dixit, A. K., and J. E. Stiglitz. (1977) "Monopolistic Competition and Optimal Product Diversity," *American Economic Review*, 67, 3, pp.297-308.
- Grossman, G. M., and E. Helpman. (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press. (大住圭介監訳『イノベーションと内生的成長』創文社 (1998))
- Romer, P. M. (1986). "Increasing Returns and Long-Run Growth," *Journal of Political Economy*, 94, 5, pp.1002-1037.
- Romer, P. M. (1987). "Growth Based on Increasing Returns Due to Specialization," *American Economic Review*, 77,2, pp.56-62.
- Romer, P. M. (1990). "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, 98, 5, pp.S71-S102.
- Solow, R. M. (1956). "A Contribution to the Theory of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics*, 70, pp.65-94.