

仕事複雑性概念による企業活動と貿易モデル

谷 垣 和 則

要 旨

この論文では、仕事を理解し仕事を一定レベルまで達成する難易度、すなわち、財・サービスを生産するための難しさ、として定義する「生産複雑性」、それにここから起因する研修や訓練費用に該当する「複雑性コスト」の概念を導入する。これらの概念を内包したモデルを用いて、経済発展の源泉は何か、市場への参入・退出はいかにして決定されるのか、いかにして比較優位が決定されるのを理論的に考察する。このモデルを用いて、一人当たり GDP の高い国が必ずしも複雑性の高い財を輸出する訳ではないことを分析する。さらに経済進歩の1つの方向性は、複雑化ではないことを明示する。

キーワード：Product complexity; Product complex cost; Capability of learning tasks; International trade.

1. はじめに

最近、私たちの社会が複雑化してきたとか、他人の仕事や自分の会社の仕事を理解することが、より難しくなってきたとか、言われてきている。もしそうだとすれば、職場によっては、仕事が複雑になり、新しい仕事を覚えるための初期コストが高くなってきていることになる。この場合、研修がより必要であるとか、配置転換の速度が遅くなるとか、人的資本を多く所有する技能労働者や高度知識労働者の需要が増加することが考えられる。この論文は、財の生産複雑性を明示的に考え、この複雑さが私たちの経済社会にどのようにかかわっているかを明らかにする¹⁾。

本論文は、技術移転、比較優位、特許権、労働経済を含む多くの文献に関連している。例えば Berkowitz (2003) は、生産複雑性を使っている。彼らは財を、複雑性の観点から分類している。彼らの論文における複雑性の概念は、本論文と似ているものの、法制度と関連している。生産複雑性は、Ono and Stango (2005) でも用いられている。彼らは、製品の多様性は、複雑さの拡大をもたらすと主張している。なお、この両方の論文とも、理論ではなく実証的なものである。国際的な技術移転では、技術移転に影響を与える一つの要因は、「技術に適応できる能力」であるのはいうまでもない。この能力は、複雑で困難な職場や仕事になればなるほど、より必要となる。

これに近いモデルの例としては、オーリング（O-ring）モデル（Kremer（1993））がある。彼の論文では、仕事上の誤りやミスが考察されている。複雑化に伴うコストは、部分的にはこの誤りやミスがその要因である。一般的に我々は完璧に仕事をすることはできない。仕事（タスク）の完全性、つまりどこまでミスをせずにできるかは、能力、国民性、経験、伝統、などに依存する。Kremer の論文では、生産複雑性の一つの尺度は、さまざまな生産への投入物の数としている。²⁾より多くの種類の投入は、生産プロセスを複雑にし、生産コストを上げる。本論文では、学習効果（例えば、Ohashi 2005年）を直接考察していないものの、その生産プロセスは、経験のプロセスでもある。複雑な仕事は学習経験をより必要とし、その仕事のコストは、多くの人的資本をもつ熟練労働者ほど、少なくなる。

知識の蓄積は物事を複雑化させるので、この点で、複雑性と知識の蓄積は似ている。本論文では複雑性を、仕事を理解し遂行できる難易度として定義する。しかし一方で、知識は、仕事を容易にするので、この2つの概念は異なっている。知識の進歩で平均的な能力の人でも、かつては熟練労働者しかできなかった複雑な仕事をできるようになってきている。³⁾論文では、知識蓄積に伴う生産性の向上は、仕事を複雑化するだけでなく、より簡単にするということも示している。つまり知識の蓄積は、仕事の難易度を下げ、「複雑費用」を下げるという意味で、複雑性を下げることになる。

社会全体の知識の蓄積は、私たちの仕事を複雑化させる。新しい技術やより多くの生産プロセスを導入するために、雇用者は複雑なことに対応する準備をしなければならない。一方経営者はどのレベルの複雑性もちいるか、どの程度の人的資本を持った人を採用するか決めなければならない。本論文では、労働の限界生産力や人的資本と関連するものの、これらとは違う他の側面、すなわち、仕事の不完全性、仕事の難易度、複雑性に注目する。本論文は、これらの側面から、経済発展、国際貿易の分野に貢献しようとするものである。

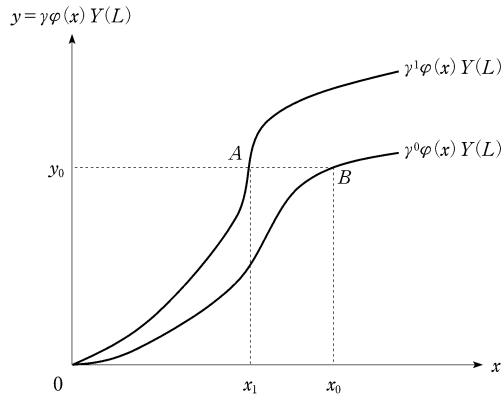
次の第2節ではモデルを設定し、生産複雑性、複雑費用の概念、をそれぞれ導入し、最適な複雑性を導きだす。また複雑性概念を用いて、市場からの参入と退出を分析する。第3節では、比較静学を行う。生産性改善とコスト削減は、常に生産複雑性を増すものではないことを明らかにする。生産複雑性を用いた国際貿易論を第4節で分析する。豊かな国は、複雑な財を輸出するかどうか、このモデルから国際貿易の利益はどのようなものかを分析する。第5-1節では、生産パラメーターが機械や特許等の導入によって変化するモデル、つまり生産パラメーターを内生化するモデルを提示し、最適な複雑性を分析する。第5-2節では労働の質を考慮して、それぞれに対応する複雑性を適用したモデルで、先進国と途上国の違いを分析する。

2. モデルの設定

2-1 複雑性と生産

企業は労働と複雑性からなる生産関数を持っているとする。 x を複雑さの程度とし、その仕事を成し遂げるための難易度や知識量と解釈する。 Y を生産量とし、 y は複雑さ x と労働量 L に依存するとする。複雑性を伴った生産関数を以下のように定義する。

図 1-1 生産関数 その 1



$$y = \gamma F(x, L) = \gamma \varphi(x) Y(L) \text{ with } \varphi' > 0, \varphi'' < 0, Y' > 0 \text{ and } Y'' < 0. \quad (1)$$

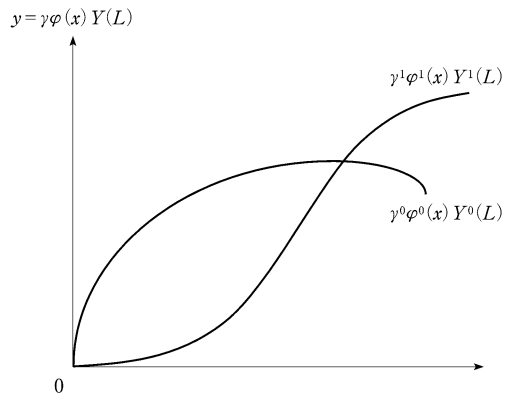
ここで γ は生産パラメーターである。 $F(x, L)$ 関数は、生産が労働投入量と複雑性の 2 つに依存することを示している。 $\varphi(x)$ は複雑性に関連する生産要素である。知識の蓄積は生産プロセスを改善する。言い換えれば生産可能性フロンティアを外に広げる。この蓄積は複雑性を伴いながら生産を増加させる。生産に関する知識の増加は生産プロセスを改善し、効率を高め、生産を増やす。あるいは知識の増加で高付加価値を生む質の高い生産が可能となる。一方同じ複雑性と投入労働に対し、生産が増えることもある。同じ難易度の仕事に対し生産方法が改善されて、生産が増えることになる。これを生産パラメーター γ の上昇で表す。

図 1-1 は所与の L に対応する生産関数 $y = \gamma \varphi(x) Y(L)$ を示したものである。この図では、生産関数は小さい x の領域では、 $\varphi'' > 0$ として表している。複雑性が低いときには、生産のレベルは低いままで、複雑性の限界生産力は x の増加関数になる。

均衡では、以下、 $\varphi'' < 0$ を仮定する。図 1-1 において、 $\gamma^1 > \gamma^0$ 、 $y_0 = \gamma^1 \varphi(x_1) Y(L) = \gamma^0 \varphi(x_0) Y(L)$ 、 $x_1 < x_0$ であることが分かる。図で A 点と B 点の違いはなんだろうか。生産量 y_0 に対し、A 点では、低い複雑性 x_1 と高い生産パラメーター γ^1 、B 点では、高い複雑性 x_0 と低い生産パラメーター γ^0 の組み合わせになる。

点 A では、より簡単な生産プロセスが用いられている。同じ生産量でもより複雑性の低い方法を見出すと、 x は減少し γ が増加することになる。例えばソフトウェアの開発は、複雑なプログラミングの仕事を労働者から解放させてくれる。自働機械は、平均的な労働者でも、熟練労働者のみができていた仕事をできるようになってきている。この場合生産への同じ労働投入に対し、技術進歩によってより多くの生産を行うことができる。これを γ の増加で表す。社会は複雑化していると言われている一方で、社会は複雑な仕事を単純化し、その結果かつてはプロの職人でなければできないような仕事を、平均的な人でも達成できるようになっていっている。一方全体としての総知識量は増えていることも注意すべきであろう。すなわち、仕事が簡単になる人もいるものの、その裏で、革新的に働き、知識の蓄積が専門家集団の中で行われている。この場合全体としては、社会は複雑化しているといえる。

図1-2 生産関数 その2



$\varphi(x)$ 関数はその企業や職場によって異なる。その仕事においてそれほど複雑性が不要ないのであれば、複雑性 x の限界生産力は同じ x に対しより早く低下し、結果として、 φ'' はより大きな負の値となる⁴⁾。図1-2で $\gamma^0\varphi^0(x)Y^0(L)$ はこの状況である。逆に $\gamma^1\varphi^1(x)Y^1(L)$ は、複雑性がより必要な財であって、低い複雑性や低い知識レベルではほとんど生産は上昇しない。これは生産をするのに高度な知識や技能が要求される場合である。例えば、医者の仕事はすぐに素人ができるわけではない。また大きな組織では、小さな組織に比べると、その管理運営はどうしても複雑にしないと十分な成果は得られないであろう。

2-2 複雑性を含んだ費用関数

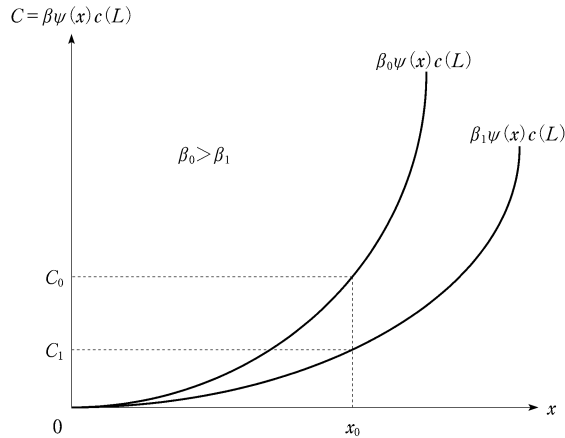
この節では複雑性を考慮した費用関数を導入する。複雑性に伴うコストは、研修、機械操作、複雑な組織運営の費用、欠陥製品にともなう費用などを表す。欠陥製品にともなう費用には、リコールや修繕費用なども含まれる。モデルには明示していないが、より良い人材を育てるための費用が含まれることも考えられる。これらは生産が複雑すぎることが原因でもある。複雑な生産過程ほど、これらの費用が伴ってくる。この費用は一定レベルの仕事を達成するために必要な訓練・研修とする。たとえば仕事を覚えるために一定期間必要であるとすると、この期間の人件費がこれに当たる。

これらの費用は複雑性と労働投入が決まれば、内生的に決まるものとする⁵⁾。本論文ではこれら複雑性に関連する費用を、以下の式で表す。

$$C = \beta C(x, L) = \beta \varphi(x) c(L). \quad (2)$$

ここで β は費用パラメーターである⁶⁾。本論文では、 $\varphi' > 0$ 、 $\varphi'' > 0$ 、 $c' > 0$ 、 $c'' > 0$ とする。複雑すぎる仕事に対し、労働者はついていけないので、その仕事を達成するために、研修、機械の操縦訓練、などの多くの費用が掛かる。逆に言えば、その費用がかかるのであれば、そのような複雑性をともなう仕事の方法は採用しないことが考えられる。この場合、仮定 ($\varphi' > 0$ 、 $\varphi'' > 0$) は、現実的であろう。図2において費用関数、 $\beta\varphi(x)c(L)$ 、はある労働投入量 L に対し描いている。 $\beta_1\varphi(x)c(L)$ は $\beta_0\varphi(x)c(L)$ と比べてより効率的である。 β が改善された時、すなわち低くなっ

図2 複雑性費用の改善



たとき、その費用はより同じ複雑性 x_0 に対し、低くなる。この β の減少は、生産プロセスの改善や、仕事の難易度が下がったことを意味する⁷⁾。この場合技術革新の解釈は、 β の減少であり、仕事にともなう複雑性費用は減少することを意味する。

労働の生産要素コストと、複雑性コストの合計として定義する総費用を、以下のように表す。

$$c = wL + \beta\psi(x)c(L) = C^f + C. \quad (3)$$

ここで c は総費用、 w は賃金、 C^f は要素費用で、 $C^f = wL$ である。労働者を低賃金の未熟練労働者と高賃金の熟練労働者に分けることは、十分考えられることであるが、これは第5-2節で分析し、ここでは簡単なモデルで考える。

2-3 最大化問題

所与の価格 p 、賃金 w 、に対し、利潤 π を以下のように表す。

$$\begin{aligned} \pi(x, L) &= py - c \\ &= p\gamma\varphi(x)Y(L) - wL - \beta\psi(x)c(L). \end{aligned} \quad (4)$$

企業は利潤を最大化するために、労働者数と複雑性を選択するものとする。このとき利潤最大化条件は、次の(5)と(6)式となる。

$$\pi_x = \partial\pi/\partial x = \gamma p\varphi'Y - \beta\psi'c = 0, \quad (5)$$

$$\pi_L = \partial\pi/\partial L = \gamma p\varphi Y' - w - \beta\psi c' = 0 \quad (6)$$

最適な複雑性は図3に描かれている。複雑関数が C_1 のとき、最適な複雑性 x^* は所与の価格、賃金、労働量に対し決定される。複雑関数が C_2 のとき、企業は利潤がすべての x に対しマイナスなので、市場から退出する。複雑費用がないときは、その企業は雇用量の減少によって、労働の限界生産力が増加することから、より高い賃金でも、存続可能であるが、このモデルでは退出することになる。このことは本論文のモデルの一つの特徴である。

図3 最適な複雑性

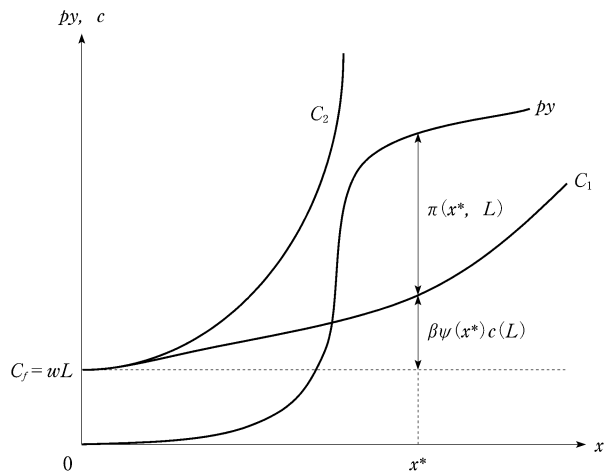
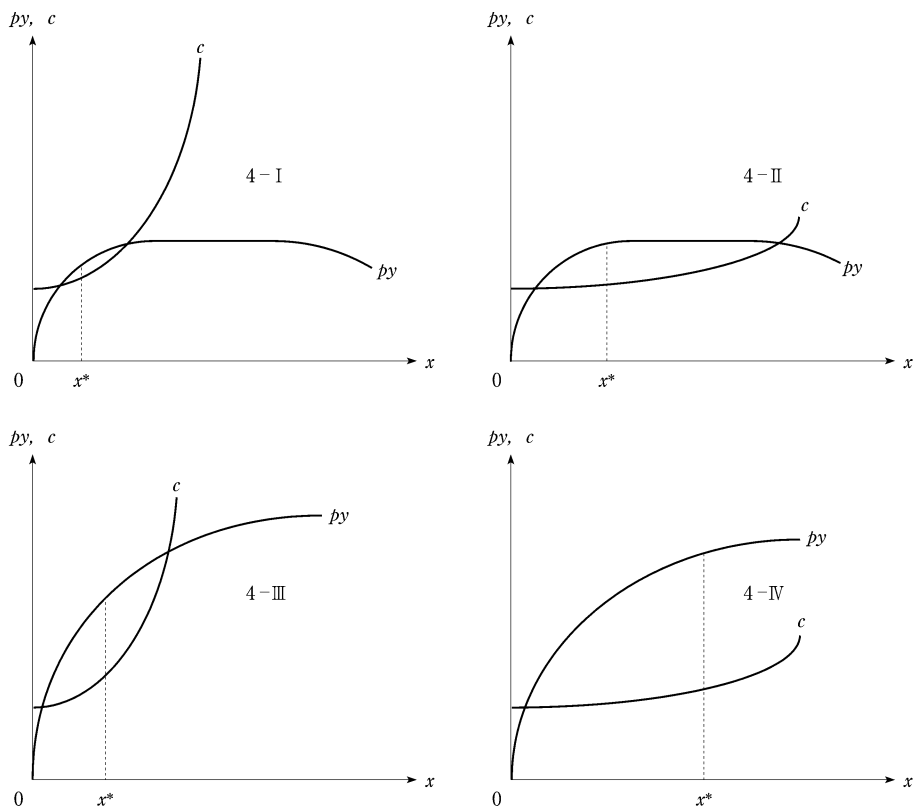


図4 最適な複雑性と生産・費用関数



$$\begin{aligned} \text{If } \pi_{Lx} = \pi_{xL} > 0, \\ dx/d\gamma > 0 \text{ and } dL/d\gamma > 0, \quad dx/d\beta < 0 \text{ and } dL/d\beta < 0, \\ dx/dw < 0, \quad dx/dp > 0 \text{ and } dL/dp > 0. \end{aligned} \quad (9)$$

一定の条件の下で賃金の上昇は雇用を減少させることになる。通常労働コストの上昇は雇用を減少させるのが普通であるが、このモデルでは必ずしもそうではないことがわかる。逆のことは、 $\pi_{Lx} = \pi_{xL} < 0$ であればすなわち、 $\gamma p \phi' Y' - \beta \phi' c' < 0$ であれば生じる。この符号は $\gamma p \phi' Y'$ と $\beta \phi' c'$ の差に依存する。負の $(\gamma p \phi' Y' - \beta \phi' c')$ は、複雑性の程度 x の限界価値生産力の労働投入による増加は、複雑性 x の限界費用の労働投入による増加よりも小さいことを意味する。

$\pi_{Lx} = \pi_{xL} < 0$ の状況は $d\gamma > 0$ かつ $d\beta < 0$ に対し持続可能であろうか。 $\phi'' < 0$, $Y'' < 0$, $\phi'' > 0$ として $c'' > 0$ から $\gamma p \phi' Y'$ は増加し、 $\beta \phi' c'$ は減少する⁹⁾。この場合負の $(\gamma p \phi' Y' - \beta \phi' c')$ は $(d\gamma > 0, d\beta < 0)$ に対し、結局は正になる。このことから、本論文では以下、 $(dx/d\gamma > 0, dL/d\gamma < 0, dL/d\beta < 0$ あるいは $\pi_{Lx} = \pi_{xL} > 0)$ の仮定の下で、すなわち $dL/dw < 0$ として分析する。

高賃金国は複雑性の高い財を生産しているとすれば、 $dx/dw < 0$ は不自然かもしれない。しかしこの節では賃金 w は外生変数である。後の節の3-2では、パラメーター (γ, β) の変化による賃金変化を扱う。この3-2節では、 $dx/dw < 0$ は所与の γ と β に対する賃金のみの変化に対する効果である。式(7)の $(\pi_{xx} dx + \pi_{xL} dL = 0)$ と、 $dL/dw < 0$ から、 $\text{sign}(dx/dw) = \text{sign}(\pi_{Lx})$ であることがわかる。賃金の上昇によって、労働の限界生産力が減少し、複雑性 x の限界利潤が減少するので、複雑性が減少するのである。つまり一定の γ と β の下で、賃金が上昇すれば、当該企業の複雑性は減少するといえる。なおここでは経済成長や生産性の上昇によって賃金が増していることを想定していない。これは次の節で扱う。

ここで(9)式より以下の Proposition 1 を得る。

Proposition 1

外生的な賃金の上昇と価格下落によって複雑性は減少する。また、 $\gamma p \phi(x)' Y(L)' - \beta \phi(x)' c(L)' > 0$ であれば、すなわち複雑性 x の限界価値生産力の労働投入による増加が、複雑性 x の限界費用の労働投入による増加よりも大きければ、生産性の改善と費用削減は、複雑性を増加させて、企業の労働投入量を増加させる。

3-2 賃金の内生変数化とパラメーター γ と β の変化

3-2節では、個々の企業でなく経済全体のパラメーター γ と β の変化を分析する。賃金は内生変数とし、労働市場で決まるものとする。労働供給 L^S は固定とする。労働市場の均衡条件は以下である。

$$L^D = L^D(\gamma, \beta, w) = L^S.$$

(9)式の $dL/dx < 0$ より、 $\pi_{Lx} = \pi_{xL} > 0$ に対し、 $L_w^D < 0$, $L_\gamma^D > 0$, $L_\beta^D < 0$ であることから、以下を得る。

$$dw/d\gamma = L_\gamma^D / (-L_w^D) > 0, \quad dw/d\beta = L_\beta^D / (-L_w^D) < 0. \quad (10)$$

この式から、高い労働生産性と低いコストを持つ国は、高い賃金となる。このとき、高所得国の複雑性は高くなるのであろうか。もしも $\pi_{Lx}=\pi_{xL}>0$ であるのであれば、 $(dx/d\gamma>0, dx/d\beta>0)$ を得る。一方、 $\pi_{Lx}=\pi_{xL}>0$ のときには、 $dx/dw<0$ である。
式(9)と(10)から、 x 関数を以下のように再定義できる。

$$x=x(\gamma, \beta, w(\gamma, \beta)).$$

β と γ は対称的であるので、以下では β を省略する。

上記の x の定義式から、(11)を得る。

$$dx/d\gamma=x_\gamma+x_w dw/d\gamma. \tag{11}$$

(11)において、 $x_\gamma(>0)$ を直接効果、 $x_w dw/d\gamma(<0)$ を賃金の変化を通じた間接効果と呼ぶ。 $dx/d\gamma$ の符号はわからないものの、 $dx/d\gamma>0$ に対する以下の十分条件を得ることができる。

$$p\phi Y'>L_\gamma^D/(-L_w^D) (=dw/d\gamma) \text{ for } dx/d\gamma>0^{10)}$$

ここで β と γ が対称的であることから Proposition 2 を得る。

Proposition 2

生産パラメーターの増加（コストパラメーターの減少）によって、プラスの直接効果が負の賃金を通じた間接効果よりも大きければ、複雑性は上昇する。

4. 国際貿易

4-1 複雑財と非複雑財の貿易

第4節では、国際貿易への応用を行う。

(労働の実質限界生産力)

分析を行う前に、労働の実質限界生産力、 RML (Real marginal product of labor) の概念を導入する。(6)を以下のように書き換える：

$$w=p\gamma\phi Y'-\beta\phi c'=p(\gamma\phi Y'-\beta\phi c'/p)=pRML. \tag{12}$$

ここで $RML=(\gamma\phi Y'-\beta\phi c'/p)$ である。 $\beta\phi c'/p$ はこの財を基準にした労働の限界複雑性コストである。したがって RML は複雑性コストを考慮した労働の実質価値限界生産力である。言い換えれば、労働の価値生産力に労働の訓練・研修・育成・失敗費用を入れたものである。(6)と(12)から、以下を得ることができる：

$$d(RML)/d\gamma=d(RML)/d\beta=0 \quad \text{for constant } w \text{ and } p, \tag{13-1}$$

$$d(RML)/dp<0 \quad \text{for constant } w, \gamma \text{ and } \beta, \tag{13-2}$$

$$d(RML)/dw>0 \quad \text{for constant } p, \gamma \text{ and } \beta. \tag{13-3}$$

RML と(13)は次の（複雑財と非複雑財の貿易）で使う。

（複雑財と非複雑財の貿易）

この問題を考えるために、自国は小国で、価格は所与とする2財モデルを考える。*は残りの世界もしくは大国とする。選好はホモセティックとする。また当初国際貿易はないものとする。

(12)式を用いて、第*i*財について：

$$p_i RML_i = w = w^* = p_i^* RML_i^* \quad (14-1)$$

とする。ここで、 p_i^* は w^* 外生変数で、 $i=1, 2$ とする。

労働市場の均衡条件は以下である：

$$L^D = L^D_1(\gamma_1, \beta_1, w) + L^D_2(\gamma_2, \beta_2, w) = L^S$$

ここで他を一定として、自国の第一部門の生産パラメーター γ_1 だけが変化したとしよう。このとき3-2節の分析と(14-1)から、所与の p に対し、上記の労働市場均衡条件式から：

$$dw/d\gamma_1 > 0.$$

を得る。このとき(14-1)は：

$$p_i^* RML_i = w > w^* = p_i^* RML_i^* \quad (14-2)$$

となる。 L_i, x_i, y_i をそれぞれ、第*i* ($i=1, 2$) 部門の、雇用、複雑性、生産とする。(9)式から $\partial L_2/\partial w < 0, \partial x_2/\partial w < 0$ となる。ここで、以下で定義される純生産 z を導入する。

$$z_i = z_i(L_i, x_i, \gamma_i) = \gamma_i \varphi_i Y_i - \beta_i \phi_i c_i / p_i \quad (i=1, 2) \quad (15)$$

$\partial z_i/\partial x_i = \pi_x / p_i = 0$ であるので、

$$dz_i = (\partial z_i/\partial L_i) dL_i + (\partial z_i/\partial x_i) dx_i + (\partial z_i/\partial \gamma_i) d\gamma_i = (\partial z_i/\partial L_i) dL_i + (\partial z_i/\partial \gamma_i) d\gamma_i$$

となる。 $\pi L_i = 0$ から、

$$\partial z_i/\partial L_i = w/p_i > 0^{11)}$$

である。 $dL_2/d\gamma_1 = (\partial L_2/\partial w)(dw/d\gamma_1) < 0$ と $L_1 + L_2 = L^S$ から。

$dL_1/d\gamma_1 = -dL_2/d\gamma_1 > 0$ となる。したがって、

$$dz_1/d\gamma_1 = (\partial z_1/\partial L_1)(dL_1/d\gamma_1) + \partial z_1/\partial \gamma_1 > 0 \text{ and } dz_2/d\gamma_1 = (\partial z_2/\partial L_2)(dL_2/d\gamma_1) < 0.$$

を得る。つまり第一部門の生産パラメーターの増加によって、第一部門の純生産は増加し、第二部門は減少する。ホモセティックの選好から、高賃金国は第1財を輸出し第2財を輸入することになる。

では $dx_1/d\gamma_1$ はどうなるのであろうか。(11)から、以下が得られる。

$$dx_1/d\gamma_1 = x_{1\gamma} + x_{1w} dw/d\gamma_1.$$

ここで、 $x_{1r} = \partial x_1 / \partial \gamma_1 > 0$ 、 $x_{1w} = \partial x_1 / \partial w < 0$ である。このため $dx_1/d\gamma_1$ の符号は不明である。この式の第1項を生産パラメーターによる直接効果、第2項を賃金効果と呼ぶ。直接効果が賃金効果を上回るのであれば、複雑性は増す。言い換えれば、 $dx_1/d\gamma_1 > 0$ であれば、高賃金国は複雑な財を輸出する。また自国は賃金の上昇から、第2部門では賃金効果のみとなるため、外国に比べてより少ない複雑性を持った財を輸入する。先進国は相対的に複雑な財を輸出していると考えられるかもしれない。しかしながら本論文ではこの推測は必ずしも当てはまらないことを示している¹²⁾。そこで以下の Proposition 3 を得る。

Proposition 3

貿易が生産パラメーターの上昇によるものとすれば、高賃金国（先進国）は常に外国に比べてより複雑な財を輸出しているわけではない。一方先進国はより複雑でない財を輸入する。結果として、先進国は相対的に複雑な財を輸出する傾向にある。

4-2 国際貿易からの利益

この節では4-1節の分析を応用して、国際貿易による利益を分析する。(13)から次を得る。

$$(\widehat{RML}_1) > (\widehat{RML}_2)^{13)}$$
(16)

生産パラメーターを改善する前は、 $RML_1/RML_2 = RML_1^*/RML_2^*$ だったので、以下を得る：

$$RML_1/RML_2 < RML_1^*/RML_2^*.$$
(17)

相対的な実質労働限界費用もしくは機会費用が、自国と外国で違うので、この意味ではリカードモデルと基本的には同じである。自国で労働が第二部門から第一部門に移動することで、外国ではその逆の移動で、自国と残りの世界は、それぞれ貿易利益を得る。そこで以下の Proposition 4 を得る

Proposition 4

もしも $dx_1/d\gamma_1 > 0$ であれば、すなわち生産パラメーターの上昇が、複雑性を増すのであれば、高賃金国は、より複雑性の高い財を輸出しより複雑性の低い財を輸入することで、貿易利益を得る。

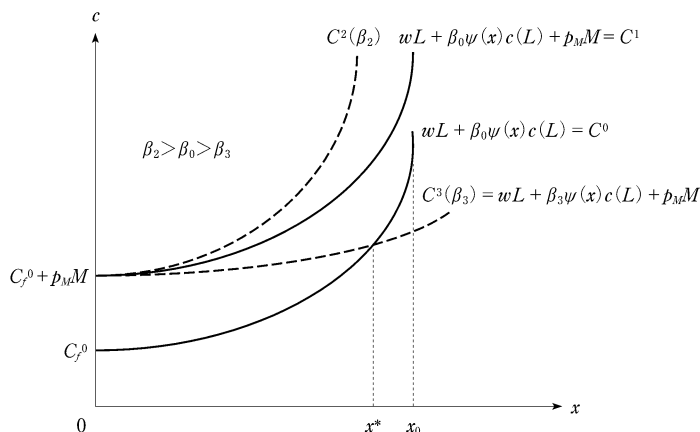
5. その他への応用

5-1 機械や特許などの導入による生産性の上昇とコスト減

この節では、生産とコストパラメーターを、機械や特許などの内生変数にして考察する。つまり γ と β を、機械や特許の関数とする。 M を機械や特許、 pM をその価格とすると、利潤関数は以下となる：

$$\pi(x, L, M) = \gamma(M) p \varphi Y - wL - \beta(M) \phi c - p_M M.$$
(18)

図5 機械や特許の導入による費用削減



M の最適化は以下となる。

$$\pi_M = \gamma'(M) p \varphi Y - \beta'(M) \phi c - p_M M = 0.$$

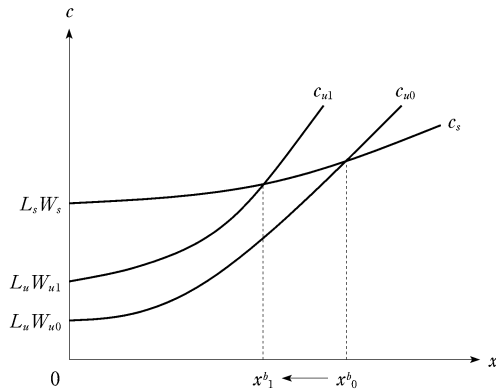
ここで、 $\gamma'(M) > 0$ 、 $\beta'(M) < 0$ である。図5はこれを表している。図では、簡単化のために、費用関数だけを考えている。生産の側は一定とする。機械、特許、管理システムなどを導入するとき、複雑性に関するコストを含む総費用を考慮しなければならない。複雑な機械は仕事を複雑にして複雑費用を上げる。これは図5の C^2 に描かれている。図で、 $p_M M$ は機械や特許等の導入に伴う直接費用を示す。 C^0 は M を導入する前の費用で、 M ははじめゼロとする。直線 C^0 と C^1 は並行であり、違いは $p_M M$ だけである。費用パラメーターが M によって変化したとしよう。 $C^3 = \beta_3 \psi(x) c(L)$ は複雑コストが減少する場合で C^2 とは逆である。費用関数が C^1 と C^2 のときには、この企業は M を導入することはない。最初の複雑性が x_0 なら、費用が上回るのので、この企業は C^3 でも M を導入することはない。発展途上国が複雑な財を輸出しているとすれば、このことは C^3 で説明できるであろう。これは技術進歩と技術移転の例に当てはまる。発展途上国でもしも C^2 になるのであれば、経済発展は期待できないであろう。 C^3 の時には、企業は初期の複雑性が x^* より大きいのであれば M を導入することになる。したがって小さな複雑性のときには、生産側の関数形によるものの、企業はより高価な機械や特許に対しては、その分固定費用の上昇となるので、 M を導入することはない傾向にあることがわかる。

この節での分析は貿易を通じた技術進歩（例えば、Dilavoro（2005））を示している。 M を途上国の輸入（機械の購入や、特許の活用等）とすると、 M の導入による複雑コストの減少は技術移転とも解釈できる。 M を用いてコストを減少するためには、導入できるだけの技術や人的資本が必要である。

5-2 熟練・未熟練労働者と貿易労働者

この節では労働の質を考慮し、2種類の労働者、熟練労働者 L_s と未熟練労働者 L_u を導入する¹⁵⁾。 w_s を熟練労働者の賃金、 w_u を未熟練労働者の賃金で、 $w_s > w_u$ とする。 w_s 、 w_u 、 L_s 、 L_u はそれぞれ

図 6-1 熟練・未熟練労働者と、複雑性の境界
—未熟練労働者賃金の上昇—



れ固定とし、一企業のみで考える。ここでは簡単化のために生産サイドは無視し、複雑費用のみを考える。 x^b を複雑性の境界とし、 x^b は以下の式を満たすものとする。

$$w_s L_s + \beta_s \phi_s(x^b) c(L_s) = w_u L_u + \beta_u \phi_u(x^b) c(L_u). \quad (19)$$

ここで $\beta_s < \beta_u$, $\phi_s(x^b) < \phi_u(x^b)$ である。¹⁶⁾つまり、 x^b は、2種類の労働者の賃金費用と複雑費用が同じになる複雑性である。この境界よりも複雑性が高い財は、熟練労働者が担当することになる。企業は2種類の労働者に、それぞれの複雑性 x を適用するものとする。図 6-1 の x^b_0 は境界となる複雑性である。 c_s は熟練労働者の費用、 c_u は未熟練労働者のそれである。 x^b_0 よりも高い複雑性は、未熟練労働者のほうが費用は高いので、こちらは熟練労働者が担当する。図で、熟練労働者の費用関数の初期値が高いのは、高賃金を反映している。費用関数の傾きが熟練労働者のほうが低いのは、彼らの限界複雑費用が低いと仮定しているからである。

ここで、全体の未熟練労働者が減少し、その結果その賃金 w_u が未熟練労働市場の均衡から減少したとする。このとき(19)から、 x^b の変化は以下となる。

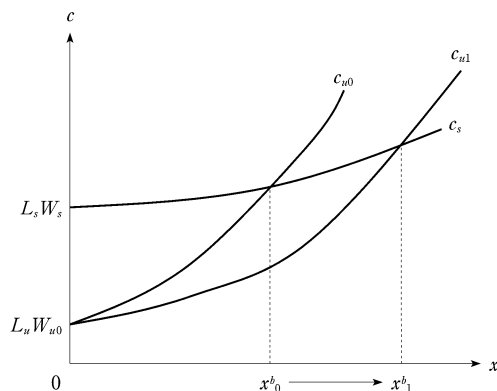
$$(\beta_s \phi_s'(x^b) c(L_s) - \beta_u \phi_u'(x^b) c(L_u)) dx^b = L_u dw_u.$$

$\beta_s \phi_s'(x^b) c(L_s) < \beta_u \phi_u'(x^b) c(L_u)$ を、すなわち、図 6-1 にあるように、熟練労働者の限界複雑費用が未熟練に比べて低いと仮定すると、

$$dx^b/dw_u < 0.$$

つまり未熟練労働者の賃金上昇は、担当する複雑性の上限値が減ることになる。これは図 6-1 の c_{u0} から c_{u1} への変化で示している。これは未熟練労働者の賃金 w_u の上昇に対応している。同様に $dx^b/dw_s > 0$ を得る。つまり賃金上昇に関し、対称的な結論を得る。熟練労働者が相対的に豊富な国は、先ほどの議論より、($dw_u > 0$, $dw_s < 0$) となることから、 $dx^b < 0$ となる。このことは、熟練労働者が相対的に豊富にいる国では、未熟練労働者は、相対的に複雑性の低い財に従事していることになる。このような国は先進国と考えられるので、次の Proposition 5 を得る。

図6-2 熟練・未熟練労働者と、複雑性の境界
—未熟練労働者の費用減 ($d\beta < 0$)—



Proposition 5

先進国（途上国）では、未熟練労働者は、相対的に複雑性の低い（高い）財に従事している傾向がある。

なお、図6-2では、コスト減 ($d\beta < 0$) のときにどうなるかを示している。この場合、 c_u の傾きは減少し、 c_{u1} になる。このとき新しい複雑性の境界は、 x^b_1 となって、増加する。

Concluding and Remarks

複雑性の概念を用いて、本論文は国際貿易や労働などを含む多くの分析を行った。しかしこの論文で示した分析例は一部であり、様々な分析に適用可能である。一つの例はアウトソーシングである。Ono and Stango (2005) は、生産複雑性と解釈できる生産多様性を伴ったアウトソーシングを分析している。彼らは生産多様性はアウトソーシングを伴うことを見出している。企業が多様性を伴う多種類の財を生産しているとすれば、そのうちのいくつかは、比較優位を持たない可能性がある。このときアウトソーシングの財は比較生産費が高いことになる。¹⁷⁾ もちろん熟練労働者には適合しない複雑性の低い種類の財をアウトソーシングすることもある。他の例としては、特許がある。ある企業が、他企業がオリジナルな模倣が不可能な技術を見出せば、そこから独占的利潤を得ることができるので、その企業は特許申請しないであろう。¹⁸⁾ 本論文のモデルでは、これは企業が模倣するには難しすぎるあるいは費用がかかりすぎるので、複雑費用が高すぎると解釈する。

複雑費用はあまり表に出ず数値化しづらいものかもしれない。複雑性に関する実証分析は、簡単なものではないであろう。しかし Berkowitz et al (2003) にあるように、複雑性を生産プロセスの数として間接的にとらえることは可能であろう。企業は新規雇用対象者の能力が低く仕事を達成できないことから、そのような労働者を雇用しないこともある。あるいは企業は外国ではその複雑性を十分にこなすことができないので、直接投資をしないことがある。つまり複雑性コストを考えるとときには、実際にかかった費用とは別に、潜在的な費用も考慮すべきであろう。これは機会費用の考察と似ている。

第4節は国際貿易を考察した。これは一種のリカードモデルであり、複雑性の観点から技術の役割を分析している。このことは実証分析では、貿易の説明のためには技術要因が重要であることを、理論的に補強するものでもある¹⁹⁾。この論文は技術と経済発展の別の見方を示している。生産プロセスでの技術の標準化や部品の減は、仕事を簡単にし、複雑コストを減少させる。生産複雑性の概念は、経済発展と模倣や特許の関係を改めて認識させるものである。この論文から、国や企業にとって、ライバル国や企業が、複雑すぎて模倣できないことかどうか、追い上げの要素になることが、複雑性の概念を用いて理論的にわかる²⁰⁾。

財や消費の複雑性は応用可能な分野でもある。消費者にとって簡単な財であれば操作は簡単であるものの、応用性は低く、複雑であれば応用範囲が広く、どのような財を生産するかは企業の戦略にとって重要である。例えば携帯業者は中高年向きに、操作が簡単な携帯を生産している。また企業規模の決定に、この複雑性は関係してくる。なぜならば、最適な労働投入量や組織規模は、生産・コストパラメーターのほか、複雑性にも関係してくるからである。いずれにしてもさまざまな経済対象を分析でき、発展性があるであろう。

注

- 1) この論文では、複雑性という言葉は、いわば「複雑性」といわれる論文における用語とは違うことに留意されたい。したがって、例えば国際経済雑誌 *Economics & Complex* のように複雑システム、動学、およびそのプロセスを考えていない。本論文は複雑になった仕事や社会を理論的に分析するものである。
- 2) Kremer (1993, p. 563)
- 3) 例えば、ソフトウェアは複雑なプログラミングの仕事から解放してくれる。針仕事からミシンへもその例になる。
- 4) あるいは、大きすぎる x は、むしろ生産プロセスを阻害し、 $\phi(x) < 0$ となることもありうる。ただし本論文では、 $\phi(x)' < 0$ は考察しない。
- 5) 労働投入の L を固定にして、仕事のパフォーマンスを研修費用と複雑性 x の内生変数にすることも考えられるが、ここでは扱わない。
- 6) 一定の仕事を達成するためのコストであることをそのまま適用するためには、より厳密なモデル設定、例えば $\beta_i \phi(x) c(L)$ を y の関数にすることもできる。ここでは簡単化のためにそこまでのモデル設定は行わない。ただ y は L の関数でもあるので、このままでも近似できていると解釈は可能である。
- 7) 新しい機械や生産・管理方法を導入するために、コストが必要である。このことは、後の5節で分析する。
- 8) (8)式から、

$$(-\Delta) \begin{pmatrix} dx \\ dL \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \pi_{x\gamma} \pi_{LL} - \pi_{L\gamma} \pi_{xL} \\ -\pi_{x\gamma} \pi_{Lx} + \pi_{L\gamma} \pi_{xx} \end{pmatrix} d\gamma + \begin{pmatrix} \pi_{x\beta} \pi_{LL} - \pi_{L\beta} \pi_{xL} \\ -\pi_{x\beta} \pi_{Lx} + \pi_{L\beta} \pi_{xx} \end{pmatrix} d\beta + \begin{pmatrix} \pi_{xw} \pi_{LL} - \pi_{Lw} \pi_{xL} \\ -\pi_{xw} \pi_{Lx} + \pi_{Lw} \pi_{xx} \end{pmatrix} dw + \begin{pmatrix} \pi_{x\phi} \pi_{LL} - \pi_{L\phi} \pi_{xL} \\ -\pi_{x\phi} \pi_{Lx} + \pi_{L\phi} \pi_{xx} \end{pmatrix} d\phi. \text{ となる。}$$

- 9) $\pi_{Lx} = \pi_{xL} < 0$ のときには、 $d\gamma > 0$ and $d\beta < 0$ に対し、 $dx < 0$ and $dL < 0$ である。
- 10) (9)の定義式から、 $x_w = (-1/\Delta) \pi_{xL}$, $x_\gamma = (-1/\Delta) (\pi_{x\gamma} \pi_{LL} - \pi_{L\gamma} \pi_{xL})$. したがって $(-\Delta) dx/d\gamma = x_\gamma + x_w dw/d\gamma = p\phi' Y \pi_{LL} + \pi_{xL} (dw/d\gamma - p\phi' Y)$.
- 11) $\partial z_i / \partial L_i = (p_i \gamma_i \phi_i Y_i' - w - \beta_i \phi_i c_i') (1/p_i) + w/p_i = \pi_{Li} (1/p_i) + w/p_i$.
- 12) この結果は $p_i = w/RML_i < w^*/RML_i^* = p_i^*$, or $1 < w/w^* < RML_i/RML_i^*$ から得られると考えるか

もしれない。しかし、 $(\partial(RML)_i/\partial L_i)(dL_i/d\gamma_i)$ が負であることから、 $d(RML)_i/d\gamma_i = \partial(RML)_i/\partial\gamma_i + (\partial(RML)_i/\partial L_i)(dL_i/d\gamma_i) + (\partial(RML)_i/\partial x_i)(dx_i/d\gamma_i) > 0$ と $d(RML)_i/d(-\beta)_i > 0$ に対する明確な条件を得ることができない。

- 13) $(\widehat{p^*_1 RML}_1) = \widehat{p^*_1} + (\widehat{RML}_1) = (\widehat{RML}_2)$
- 14) もちろんリカードモデルでは、労働の限界生産力は固定である。したがって厳密には同じではない。
- 15) この節と同様な論文として、Yeaple (2005) は内生的な技術の採用と様々なタイプの労働雇用を分析している。
- 16) この均衡式は、利潤最大化条件から導き出すことも可能であるが、ここでは簡単化のために、この式で代替する。
- 17) Deardorff (2005) は熟練・未熟練労働、南北モデルを用いて、アウトソーシングを分析している。
- 18) 企業がその技術を広げたほうがよいと考えれば、話は別である。
- 19) 例えば、Trefeler (1995)。
- 20) Bessen and Maskin (2000) は特許と模倣をともなう技術革新を分析している。

References

- Bessen, James and Eric Maskin (2000), Sequential Innovation, Patents, and Imitation, *Working Paper Department of Economics, MIT*, No.00-01.
- Berkowitz, Daniel, Johannes Moenius and Katharina Pistro (2003), Trade, Law and Product Complexity, *Columbia Law and Economics Working Paper* No. 230.
- Deradorff, Allan (2005), A trade theorist's take on skilled-labor outsourcing, *International Review of Economics and Finance* 14, p. 259-271.
- Dilavoro, Nota. (2005), Technology Transfer through Trade, *Fondazione Eni Enrico Mattei Working Papers*. Durlauf, Steven, N.(2005), Complexity and Empirical Economics, *The Economic Journal* 115, p. F225-F243.
- Kremer, Michael (1993), The O-ring Theory of Economic Development, *Quarterly Journal of Economics* 108, p. 551-578.
- Ohashi, Hiroshi (2005), Learning by Doing, Export Subsidies, and Industry Growth: Japanese Steel in the 1950s and 1960s, *Journal of International Economics* 66, p. 297-324.
- Ono, Yukako and Victor Stango (2005), Outsourcing, Firm Size and Product Complexity: Evidence from Credit Unions, *Economic Perspectives* 1Q/2005, p. 2-11.
- Trefeler, Daniel (1995), The case of the Missing Trade and Other Mysteries, *American Economic Review* 85, p. 1029-46.
- Yeaple, Stephan, R. (2005), A simple Model of Firms Heterogeneity, International Trade, and Wage, *Journal of International Economics* 65, p. 1-20.