

分析編：TFP 成長率の計測

深尾京司・徳井丞次・乾 友彦・浜瀧純大

産業部門別成長会計

t 年における第 i 部門の総生産（グロス・アウトプット） $Q_i(t)$ は、この部門における様々な中間財投入の組合せ $(X_{1,i}(t), X_{2,i}(t), \dots, X_{N,i}(t))$ 、属性別労働投入の組合せ $(L_{1,i}(t), L_{2,i}(t), \dots, L_{l,i}(t))$ 、資本財別資本サービス投入の組合せ $(K_{1,i}(t), K_{2,i}(t), \dots, K_{k,i}(t))$ および技術水準や資源配分の効率性を反映した生産性指標 $T_i(t)$ に依存すると仮定し、この関係を次の生産関数で表す。

$$Q_i(t) = G_i(X_{1,i}(t), X_{2,i}(t), \dots, X_{N,i}(t), L_{1,i}(t), L_{2,i}(t), \dots, L_{l,i}(t), K_{1,i}(t), K_{2,i}(t), \dots, K_{k,i}(t), T_i(t)) \quad (1)$$

なお、 N は部門の数、 l は労働属性の数、 k は資本財の数を表す。

上記の生産関数が、中間財投入の組合せ、労働投入の組合せ、資本サービスの組合せについて、互いに分離可能であると仮定すると、生産関数は中間財投入の集計指数 $X_i(t)$ 、労働投入の集計指数 $L_i(t)$ 、資本サービス投入の集計指数 $K_i(t)$ を使って、以下のように表すことが出来る。

$$Q_i(t) = F_i(X_i(t), L_i(t), K_i(t), T_i(t)) \quad (2)$$

中間財投入、労働投入、資本サービス投入に関しては、それぞれの集計指数を、ディビジヤ数量指数（厳密には Tornqvist 1936 に従いこれを離散近似した指数）として作成する。

成長会計に使うデータは、年ベースなど離散時間でしか通常得られないが、以下では説明を簡単にするため、成長会計をまず連続時間で説明した後、その近似として、離散時間の場合について説明する。なお、数式を単純化するため、以後時間を表す文字 t を略して説明する。

生産関数 $F_i(\cdot)$ は十分に滑らかであり、また独立変数も時間について連続的であると仮定する。加えて $F_i(\cdot)$ は規模に関して収穫一定、つまり生産要素の組合せ X_i 、 L_i 、 K_i について一次同次と仮定する。このとき次式が成り立つ。

$$Q_i = \frac{\partial F_i}{\partial X_i} X_i + \frac{\partial F_i}{\partial L_i} L_i + \frac{\partial F_i}{\partial K_i} K_i \quad (3)$$

(2)式の両辺について自然対数を取って時間について微分すると次式を得る。

$$\frac{\dot{Q}_i}{Q_i} = \frac{\frac{\partial F_i}{\partial X_i} X_i}{Q_i} \frac{\dot{X}_i}{X_i} + \frac{\frac{\partial F_i}{\partial L_i} L_i}{Q_i} \frac{\dot{L}_i}{L_i} + \frac{\frac{\partial F_i}{\partial K_i} K_i}{Q_i} \frac{\dot{K}_i}{K_i} + \frac{\dot{A}_i}{A_i} \quad (4)$$

ただし、最後の項の A は、産業の生産性の水準を表す指数（全要素生産性）であり、次式

で定義される。

$$\frac{\dot{A}_i}{A_i} = \frac{\frac{\partial F_i}{\partial T_i} T_i}{Q_i} \frac{\dot{T}_i}{T_i} \quad (5)$$

この項は、技術革新や資源配分の効率化によって i 部門の生産性が高まる効果を表している。

¹ 通常この効果を計測する事は難しいが、Solow (1957)が提示したように、以下の仮定を置くと比較的簡単に求める事ができる。

今、各企業は生産要素市場において価格を与件として行動するとする（プライス・テイカーの仮定）。 p_{M_i} を i 部門で投入される中間財の市場価格、 w_i を i 部門における賃金率、 r_i を i 部門における資本コストとすると、生産関数(2)式の下で、総費用 $p_{M_i}X_i + w_iL_i + r_iK_i$ を最小化する条件から次式が得られる。²

$$\lambda_i = \frac{p_{M_i}}{\frac{\partial F_i}{\partial X_i}} = \frac{w_i}{\frac{\partial F_i}{\partial L_i}} = \frac{r_i}{\frac{\partial F_i}{\partial K_i}} \quad (6)$$

ただし λ_i は i 部門における限界生産費用（費用最小化問題のラグランジュ乗数）を表す。我々は λ_i がこの同一産業部門内の全ての企業で等しいとする。例えば、生産物市場で全ての企業が市場価格を与件として行動している場合には、 λ_i は i 部門の生産者が受け取る価格(基準価格(basic price)) p_{Q_i} に等しくなる。³ また、各企業が製品差別化された財を生産して独占的競争の状況にあり、同一産業部門内の各企業の生産技術と直面する需要の価格弾力性が等しい場合には、 $\lambda_i = p_{Q_i} / (1 + m_i)$ （ただし m_i は i 部門におけるマークアップ率）が成り立つ。

(6)式を(3)式に代入すると次式を得る。

$$\lambda_i Q_i = p_{M_i} X_i + w_i L_i + r_i K_i \quad (7)$$

一方、(6)式を(4)式に代入すると、次式を得る。

$$\frac{\dot{A}_i}{A_i} = \frac{\dot{Q}_i}{Q_i} - \frac{p_{M_i} X_i}{\lambda_i Q_i} \frac{\dot{X}_i}{X_i} - \frac{w L_i}{\lambda_i Q_i} \frac{\dot{L}_i}{L_i} - \frac{r K_i}{\lambda_i Q_i} \frac{\dot{K}_i}{K_i} \quad (8)$$

今、(7)式より

$$\frac{p_{M_i} X_i}{\lambda_i Q_i} = \frac{p_{M_i} X_i}{p_{M_i} X_i + w_i L_i + r_i K_i}$$

¹ ヒックス中立的な技術進歩の場合、つまり技術水準の指数を B_i^{Hicks} として生産関数(2)式が $F_i(X_i, L_i, K_i, T_i) = B_i^{Hicks} H_i(X_i, L_i, K_i)$ と表せる場合には、全要素生産性 A_i の上昇率とヒックス中立的な技術進歩率 (B_i^{Hicks} の上昇率)は等しくなる。また、ハロッド中立的な技術進歩の場合、つまり技術水準の指数を B_i^{Harrod} として生産関数(2)式が $F_i(X_i, L_i, K_i, T_i) = H_i(X_i, B_i^{Harrod} L_i, K_i)$ と表せる場合には、全要素生産性 A_i の上昇率はハロッド中立的な技術進歩率 (B_i^{Harrod} の上昇率)に $((\partial H_i / \partial L_i) L_i) / Q_i$ を掛けた値に等しくなる。

² 我々は中間財投入、労働投入、資本サービス投入について、それぞれ複数の要素を集計したディビジア指数で考えているため、生産要素価格と限界生産性の関係はこれほど簡単に書けない。

³ 基準価格は、市場価格（より厳密には商品が生産者の事業所において販売される価格）から間接税を除き、補助金を加える事により求められる。

等と書き直せるから、(8)式から次式が導かれる。

$$\frac{\dot{A}_i}{A_i} = \frac{\dot{Q}_i}{Q_i} - v_{X,i} \frac{\dot{X}_i}{X_i} - v_{L,i} \frac{\dot{L}_i}{L_i} - v_{K,i} \frac{\dot{K}_i}{K_i} \quad (9)$$

ただし $v_{X,i}$ 、 $v_{L,i}$ 、 $v_{K,i}$ はそれぞれ、総コストに占める中間財投入コストのシェア、労働投入コストのシェア、資本サービス投入コストのシェアを表し、次式で定義される。

$$v_{X,i} = \frac{p_{Mi} X_i}{p_{Mi} X_i + w_i L_i + r_i K_i}$$

$$v_{L,i} = \frac{w_i L_i}{p_{Mi} X_i + w_i L_i + r_i K_i}$$

$$v_{K,i} = \frac{r_i K_i}{p_{Mi} X_i + w_i L_i + r_i K_i}$$

実際の成長会計では、(9)式を離散時間で近似した次式を使う。

$$\Delta \ln(A_i) = \Delta \ln(Q_i) - \bar{v}_{X,i} \Delta \ln(X_i) - \bar{v}_{L,i} \Delta \ln(L_i) - \bar{v}_{K,i} \Delta \ln(K_i) \quad (10)$$

ただし、 Δ は $t-1$ から t 期にかけての差分を、また $\bar{v}_{X,i}$ 、 $\bar{v}_{L,i}$ 、 $\bar{v}_{K,i}$ はそれぞれ、中間財、労働、資本サービスのコスト・シェアの $t-1$ 期と t 期の値の単純平均をあらわす。我々は、中間財投入コストは JIP 産業連関表の各部門の名目中間投入額を、労働投入コストは各部門の労働属性別名目賃金率に属性別労働投入を掛けた値の合計を、資本サービス投入コストは、各部門の資本財別名目資本コストに資本財別資本ストックを掛けた値の合計を、それぞれ使った。

(10)式によれば、部門別の全要素生産性上昇率は、総生産の増加率から、中間財投入増加の寄与、労働投入増加の寄与、資本サービス投入増加の寄与を引くことで、求める事ができる。また、各生産要素の寄与の程度は、その生産要素のコスト・シェアが高いほど大きい。我々は(10)式を使って、各部門について成長会計を行った。

マクロ経済の成長会計

一国全体の成長会計分析を行う際には通例、アウトプットとして総生産額でなく最終生産物の実質価値額合計 (GDP) を使う。つまり、国内で投入される中間財が生産される過程と中間財が国内で投入される過程を相殺して、ディビジア指数として定義されるマクロ経済全体の労働と資本サービスの投入、および経済全体の生産性^{与件}の下で、ディビジア指数で定義される GDP が規定されるという、マクロ経済全体の制約について考える。規模に関して収穫一定という仮定に加えて、企業が生産物市場での価格を^{与件}として行動すると仮定すると、この制約を時間について微分する事により、次のような成長会計式が導出

できる。⁴すなわち、実質 GDP を V 、マクロの労働投入を L 、マクロの資本投入を K として、マクロの TFP(A)の変化率は、(11)式のように、GDP 成長率から、労働投入と資本投入の成長率にそれぞれ労働と資本のコスト・シェアを掛けて差し引くことによって定義する。

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{V}}{V} - \omega_L \frac{\dot{L}}{L} - \omega_K \frac{\dot{K}}{K} \quad (11)$$

ω_L と ω_K は、労働と資本のコスト・シェアを表し、次式で定義される。

$$\omega_L = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^l w_{i,j} L_{i,j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^l w_{i,j} L_{i,j} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k r_{i,j} K_{i,j}} \quad \omega_K = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k r_{i,j} K_{i,j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^l w_{i,j} L_{i,j} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k r_{i,j} K_{i,j}}$$

また、マクロ経済全体の労働および資本サービスの投入指数は、各産業のディビジア投入指数を更にマクロ経済全体でディビジア集計することにより得られる。

$$\frac{\dot{L}}{L} = \sum_{i=1}^N \frac{\sum_{j=1}^l w_{i,j} L_{i,j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^l w_{i,j} L_{i,j}} \frac{\dot{L}_i}{L_i} \quad (12)$$

$$\frac{\dot{K}}{K} = \sum_{i=1}^N \frac{\sum_{j=1}^k r_{i,j} K_{i,j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k r_{i,j} K_{i,j}} \frac{\dot{K}_i}{K_i} \quad (13)$$

最後に、実質 GDP のディビジア数量指数 V は、次のように定義される。

$$\begin{aligned} \frac{\dot{V}}{V} &= \frac{1}{\sum_{j=1}^N q_j V_j} \sum_{i=1}^N \left\{ p_{Xi} Q_i \frac{\dot{Q}_i}{Q_i} - \sum_{j=1}^N p_{Xi} X_{ji} \frac{\dot{X}_{ji}}{X_{ji}} \right\} \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{p_{Xi} Q_i}{\sum_{j=1}^N q_j V_j} \left\{ \frac{\dot{Q}_i}{Q_i} - \sum_{j=1}^N \frac{p_{Xi} X_{ji}}{p_{Xi} Q_i} \frac{\dot{X}_{ji}}{X_{ji}} \right\} \end{aligned}$$

ただし P_{Xi} は第 i 部門の生産物価格（生産者価格表示）を表す。⁵ $q_i V_i$ は、第 i 部門の(市場価格表示の)名目付加価値を表し、次式で定義される。

⁴ マクロ経済全体の生産関数の関係は、個別部門の生産関数と、経済全体の労働と資本サービスの賦存量から、マクロ経済全体の最終生産物の生産可能性フロンティアを分析する事により得られる。(11)式の導出について、詳しくは Hulten (1978) 参照。

⁵ 用途によって間接税や補助金の率が異なったり(日本の場合、特に石油製品でこの違いは深刻である)、供給者が異なった価格を設定したりする場合があるので、各産業が i 部門の生産物を投入する価格は産業毎に異なりうるが、我々はこの違いを無視して、以下の議論を進める。

$$q_i V_i = p_{X_i} Q_i - \sum_{j=1}^N p_{X_j} X_{ji} \quad (14)$$

実質 GDP の系列を、固定した基準年の価格体系を使うのではなく、各年の価格体系を使って実質経済成長率を計算し、これを毎年掛け合わせることによって算出する、つまりデビジア指数のような連鎖方式で算出する理由は、直観的には次のように説明できよう。GDP 算出のため、一国で生産された最終生産物を集計するにあたっては、通常市場価格が使われる。これは市場価格が、各財・サービスの相対的な重要性（つまり生産にあたっての限界費用や家計の限界代替率）を反映していると考えられるからである。ところで、各財の相対的な重要性とこれを反映した市場価格は時間を通じて変化する。この変化を考慮しないで固定価格で実質経済成長率を計算すると、バイアスが生じる事になる。例えば技術革新によって情報通信（IT）財の価格が急落し、生産数量が急増する場合、昔の価格体系を使って実質 GDP を計算すると（例えば固定基準年方式のラスパイレステ数量指数）、最近の経済成長率を過大に推計する事になる。また、同じ状況で、最近の価格体系を使って遠い過去の実質 GDP を計算すると（例えば固定基準年方式のパーシェ方数量指数）、過去の IT 生産拡大の重要性を過少に評価するため、経済成長率を過少に推計する事になる。

このような問題意識から、1993 年に国連が勧告した国際基準（93SNA）では、連鎖方式の導入が推奨された。日本政府も 2004 年 12 月に連鎖指数方式を導入し、実質 GDP を前暦年基準ラスパイレステ型で推計するようになった。⁶ 政府の連鎖指数は詳細なコモディティ・フロー・データを用いた精緻なものだが、残念ながら国内総生産勘定の支出側で 1994 年以降、生産側では 1996 年以降の統計しか公表されていない。そこで我々は、コモディティ・フロー・データよりは粗いものの、JIP108 部門のデータを使ってデビジア数量指数（厳密にはその Tornqvist 近似）として実質 GDP を作成した。このため、JIP の実質 GDP 成長率は、国民経済計算の実質 GDP 成長率とは微妙に異なっている。

本章の成長会計では、(11)式を離散時間で近似した次式を使う。

$$\Delta \ln(A) = \Delta \ln(V) - \bar{\omega}_K \Delta \ln(K) - \bar{\omega}_L \Delta \ln(L) \quad (15)$$

ただし、 Δ は t から $t+1$ 期にかけての差分を、また $\bar{\omega}_L$ 、 $\bar{\omega}_K$ はそれぞれ、労働と資本サービスのコスト・シェアの t 期と $t+1$ 期の値の単純平均をあらわす。

表 1 には、以上のようにして算出したマクロの TFP 上昇率（年率平均パーセント）が時期別に示してある。TFP 上昇率は 1970 年代には 2.16%であったが、その後 1980 年代に 1.14%、そして 1990 年から 2002 年の期間（1990 年代）では 0.17%と年代を追う毎にその成長率は低下してきている。これは 1990 年から 1995 年の期間の -0.23%が影響しているためであり、その後は 1995 年から 2000 年では 0.42%、2000 年から 2002 年では 0.56%とやや上昇傾向にある。また、1990 年代の GDP 成長率への各生産要素の寄与度をみると、労働投入のう

⁶ この方法では、例えば 2000-01 年の経済成長率を 2000 年の価格体系で求め、これを 2000 年の実質 GDP に掛ける事で、2001 年の実質 GDP を算出する。

ちマンアワーはマイナスの貢献である一方、GDP 成長への寄与の中心的な役割をしていたのは資本サービス投入の増加であり、経済成長全体のうち資本サービス投入拡大の寄与は1990年から2002年ではおよそ90%であった。

次に、表2、表3で製造業と非製造業のTFP上昇率（年率平均パーセント）についてその動きを見てみよう。ただし、ここでは中間投入を考慮しグロス・アウトプット・ベースでTFP上昇率を求めている。まず、製造業についてその動きを確認すると、1970年代に1.31%、その後徐々に低下し1990年から2002年では0.34%まで低下しており、その動きはマクロ経済の動きと似ている。また、産出成長率についてみると、1970年代、1980年代は4%以上の成長を記録していたが、1990年代は、-0.26%とマイナス成長を記録している。1990年代について各生産要素寄与度について確認すると資本投入以外はその貢献が大きく低下し、特に中間投入と労働投入についてはマイナスの寄与となっている。

非製造業のTFP上昇率（年率平均パーセント）については、全期間を通じて低迷している。バブル崩壊後もマイナス値であったが、2000年以降ではその値は0.17%とプラスに転じている。各生産要素の寄与度について確認すると、産出成長率の低下は全ての生産要素の貢献が低下した事により引き起こされていることが確認される。なお、1990年代の労働投入については、マクロ経済、製造業ではマイナスの貢献であったが、非製造業部門では値は労働の質の向上により0.18%とそれほど大きくは無いもののプラスの値を保っている。

参考文献

- Hulten, C.R. (1978) "Growth Accounting with Intermediate Inputs," *Review of Economic Studies*, 45, pp. 511-518
- Solow, R. M. (1957) "Technical Change and the Aggregate Production Function," *Review of Economics and Statistics*, 39, pp. 312-320.
- Tornqvist, L. (1936) "The Bank of Finland's Consumption Price Index," *Bank of Finland Monthly Bulletin*, no.10, pp.27-34.

JIP2006による成長会計の結果

表1 マクロ経済全体

	1970-75	1975-80	1980-85	1985-90	1990-95	1995-2000	2000-2002	1970-80	1980-90	1990-2002
GDP成長率	4.80%	5.48%	4.08%	4.74%	1.50%	1.49%	0.11%	5.14%	4.41%	1.26%
労働投入増加の寄与	0.15%	1.70%	1.14%	0.99%	0.16%	0.09%	-0.85%	0.92%	1.07%	-0.04%
マンアワー増加	-0.43%	0.94%	0.30%	0.38%	-0.38%	-0.42%	-1.13%	0.26%	0.34%	-0.52%
労働の質向上	0.58%	0.75%	0.84%	0.61%	0.54%	0.51%	0.28%	0.67%	0.73%	0.48%
資本サービス投入増加の	2.41%	1.72%	2.20%	2.22%	1.57%	0.98%	0.40%	2.07%	2.21%	1.12%
資本サービスの量の増加	1.53%	1.80%	1.75%	1.67%	1.50%	0.84%	0.33%	1.66%	1.71%	1.03%
資本サービスの質向上	0.88%	-0.08%	0.44%	0.54%	0.06%	0.14%	0.07%	0.40%	0.49%	0.10%
TFPの寄与	2.24%	2.07%	0.74%	1.53%	-0.23%	0.42%	0.56%	2.16%	1.14%	0.17%

ディビジア数量指数、コスト・シェアを利用。

表2 製造業

	1970-75	1975-80	1980-85	1985-90	1990-95	1995-00	2000-02	1970-80	1980-90	1990-2002
総生産成長率	3.29%	5.14%	4.08%	4.59%	-0.09%	0.57%	-2.73%	4.22%	4.33%	-0.26%
中間投入増加の寄与	1.88%	3.48%	2.03%	2.93%	-0.28%	0.01%	-1.95%	2.68%	2.48%	-0.44%
労働投入増加の寄与	-0.25%	0.31%	0.38%	0.12%	-0.42%	-0.27%	-0.70%	0.03%	0.25%	-0.40%
マンアワー増加	-0.41%	0.19%	0.26%	-0.05%	-0.59%	-0.45%	-0.82%	-0.11%	0.11%	-0.57%
労働の質向上	0.16%	0.12%	0.13%	0.17%	0.18%	0.19%	0.13%	0.14%	0.15%	0.17%
資本サービス投入増加の	0.29%	0.11%	0.43%	0.53%	0.41%	0.18%	-0.03%	0.20%	0.48%	0.24%
資本サービスの量の増加	0.30%	0.09%	0.30%	0.43%	0.39%	0.13%	-0.03%	0.19%	0.37%	0.21%
資本サービスの質向上	-0.01%	0.02%	0.13%	0.10%	0.01%	0.05%	0.00%	0.00%	0.12%	0.03%
TFPの寄与	1.38%	1.24%	1.23%	1.00%	0.20%	0.64%	-0.05%	1.31%	1.12%	0.34%

ディビジア数量指数、コスト・シェアを利用。

表3 非製造業全体(分類不明を除く)

	1970-75	1975-80	1980-85	1985-90	1990-95	1995-00	2000-02	1970-80	1980-90	1990-2002
総生産成長率	4.72%	4.94%	2.98%	4.69%	2.24%	1.13%	0.61%	4.83%	3.84%	1.50%
中間投入増加の寄与	1.99%	2.15%	1.44%	2.08%	1.35%	0.47%	0.39%	2.07%	1.76%	0.83%
労働投入増加の寄与	0.62%	1.04%	0.59%	0.65%	0.35%	0.19%	-0.25%	0.83%	0.62%	0.18%
マンアワー増加	0.06%	0.56%	0.06%	0.31%	0.02%	-0.09%	-0.41%	0.31%	0.18%	-0.10%
労働の質向上	0.56%	0.48%	0.54%	0.35%	0.32%	0.29%	0.16%	0.52%	0.44%	0.28%
資本サービス投入増加の	1.60%	1.20%	1.36%	1.29%	0.94%	0.61%	0.29%	1.40%	1.32%	0.69%
資本サービスの量の増加	0.85%	1.24%	1.12%	0.96%	0.90%	0.53%	0.23%	1.04%	1.04%	0.63%
資本サービスの質向上	0.75%	-0.03%	0.24%	0.32%	0.03%	0.08%	0.06%	0.36%	0.28%	0.06%
TFPの寄与	0.52%	0.54%	-0.41%	0.68%	-0.40%	-0.15%	0.17%	0.53%	0.13%	-0.20%

ディビジア数量指数、コスト・シェアを利用。