

ESRI政策フォーラム「新しいDSGEモデルによる将来展望」

新しいDSGEモデルの構造・意義

令和6年 10月31日

寺本 和弘(一橋大学 講師)

目次

- DSGE (Dynamic Stochastic General Equilibrium) モデルとは？
- 政策当局で用いられる定量DSGEモデルの標準的特徴: 外生的な技術成長
- 新しいDSGEモデルの特徴: 内生的な技術成長
 - 研究開発(Research and Development, R&D)や教育が技術成長の源泉となる。
 - 人口規模が技術成長率に影響を与える。
- 新しいDSGEモデルの詳説

DSGE モデルとは？

- 動学的確率的一般均衡モデル:ミクロの意思決定に立脚したマクロ経済モデル
 - 外生的なショック(生産性ショックや政策ショックなど)に対するマクロ変数の反応を表現
 - パラメータが政策変更の前後で変化しないので反実仮想分析による政策シミュレーションが可能
 - 消費者の効用を明示化するため、効用最大化を基準とした経済厚生分析が可能
- 2000年代以前は、学術研究(主に理論分析)における活用が主で、政策当局においてはVAR型のマクロ計量モデルが用いられた。
- 2000年代前半に、定量的パフォーマンスを向上させたDSGEモデルの開発が進む。
 - Smets and Wouters (2003, 2007); Christiano Eichenbaum and Evans (2005) など
- 2000 年代半ば以降、中央銀行、国際機関などの経済政策の現場で、旧来型のマクロ計量モデルに代わってDSGEモデル型のマクロ計量モデルの採用が進んでいる。
 - 各国中央銀行のDSGEモデル型のマクロ計量モデルの開発状況に関しては笛木・福永(2011)を参照

定量DSGEモデルの標準的特徴

- 政策当局で採用されるDSGEモデル型のマクロ計量モデル(いわゆる定量DSGEモデル)は、短期的な景気循環を説明するため、次のような特徴を持つことが一般的である。
 - 消費の習慣形成、投資の調整コスト、独占的競争
 - 名目摩擦(価格および賃金の硬直性)
 - 様々な外生的なショック
 - 外生的な生産技術の成長と変動: 技術成長ショック
- 技術成長の変化が消費、投資、労働時間、生産に与える影響は分析可能であるが、逆にこれらの要素が技術成長に与える影響については分析対象外となっている。
- 中長期の経済変動は主に技術成長(外生ショック)によって説明されるため、既存の定量的DSGEモデルは中長期的な経済変動の分析に適していない。
- 人口動態は分析の対象外である(人口規模が2倍になれば、GDPが2倍になる)。

定量DSGEモデルの詳細に関しては
廣瀬(2012)などを参照

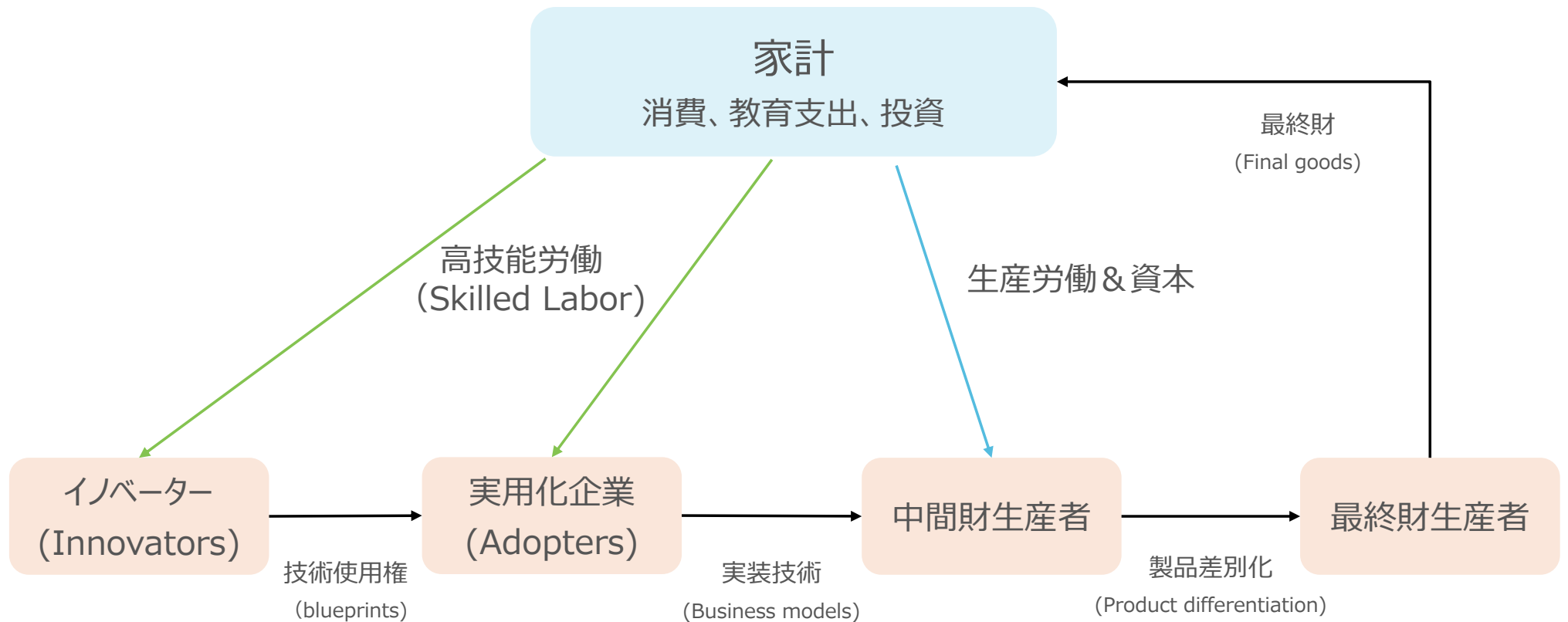
新しいDSGEモデルの特徴

- 新しいDSGEモデル: 内生的成長理論に基づき、技術成長が内生的に変化する
 - 短期的な変動に加えて、中長期的な成長や経済変動の分析も可能である。
 - 技術成長の人口規模効果を通じて、人口動態がマクロ経済に非自明な影響を及ぼす。
- Comin and Gertler (2006)は、内生的技術成長をRBCモデルに組み入れ、**R&D投資**を通じて中長期の経済変動が生じるDSGEモデルを提示している。
- Anzoategui, Comin, Gertler, and Martinez (2019)は、内生的技術成長を定量DSGEモデルに組み入れ、2008-09年のGreat Recessionによる一時的なR&D需要の減少が、その後の持続的な生産(供給)の低下を招いたことを示している。
- 今回ESRIで開発したDSGEモデルは、上のモデルに可変労働参加率と教育投資を考慮した。
 - 技術成長には企業のR&Dだけでなく、それを担うスキル人材の供給が必要となる。

政策分析に用いたDSGEモデルの特徴

- 中長期の経済変動に着目するため伸縮価格経済を想定
 - 金融政策は分析の対象外
- Romer (1990)の Expanding Variety Modelの特徴を定量DSGEモデルに取り込むことによって、技術成長を内生化している。
- 新技術の開発(innovation)、実用化(adoption)、生産(production)のプロセスをモデル化 (Comin and Gertler, 2006; Anzoategui et al., 2019)
 - 実用化プロセスによって、新技術が普及して収益を生むまでにタイムラグが生じる。
- 高技能労働(研究開発)と低技能労働(生産労働)の間の賃金プレミアム
- 高技能労働を増やすために家計による教育投資が必要
- 出生率の変化による総人口の変化

モデルにおける財の生産過程



家計部門

- 人口: $N_t = (1 - \delta_n)N_{t-1} + N_{new,t}$ (出生数 $N_{new,t}$ は外生的に決まる出生率によって変化)
- 労働: $N_t = L_{s,t} + L_{u,t} + L_{h,t}$
 - 高技能労働 $L_{s,t}$ は研究開発(イノベーションもしくは実用化)に従事
 - 生産労働 $L_{u,t}$ は中間財製造に従事
 - 非労働力 $L_{h,t}$ はhome productionに従事
- 家計は、最終財消費と home production から効用を得る: $c_t = \left(\xi C_{mt}^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} + (1-\xi)C_{ht}^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} \right)^{\frac{\epsilon}{\epsilon-1}}$
- 家計は労働所得 $W_t = w_{s,t}L_{s,t} + w_{u,t}L_{u,t}$ を得る(その他、資本所得と政府からの給付を得る)。
- 高技能労働を増やすためには、家計は教育費を支払う必要がある。
 - 高技能労働の人数 $L_{s,t} = (1 - \delta_n)L_{s,t-1} + P_{s,t}N_{new,t}$
 - 教育費は $E_t = E(P_{s,t})$ は $E'(P_{s,t}) > 0$ を満たす。
 - 将来の賃金スキルプレミアム $w_{s,t}/w_{u,t}$ が高ければ、家計は教育費を増やし高技能労働割合を増やす。
- 資本ストック: $K_t = (1 - \delta(u_t))K_{t-1} + \left(1 - f\left(\frac{I_t}{I_{t-1}}\right)\right)I_t$ (u_t は資本稼働率、 $f(\cdot)$ は投資の調整コスト)

生産部門

- 経済には無数の中間財企業が存在し、それぞれの中間財企業は、1つの実用化された技術を用いて中間財製造およびその製品差別化を行う。
- 差別化された中間財を独占的競争下で、最終財企業に販売する。
- 最終財企業は中間財から最終財 $Y_t = \left(\int_0^{A_t} Y_t(j)^{\frac{1}{\gamma}} dj \right)^{\gamma}$ を製造し、家計に販売する。
 - A_t は中間財の種類(product variety)の大きさ: A_t が大きくなるにつれて、総生産 Y_t が拡大する。
- 中間財の生産関数: $Y_t(j) = \theta_t (u_t(j)K_t(j))^{\alpha} L_{u,t}(j)^{1-\alpha}$
 - θ_t はAR(1)過程に従う生産性ショック(標準的なDSGEモデル用いられる生産性ショック)
- 独占的競争によって、各中間財企業は限界費用(MC_t)にマークアップを上乗せした価格で最終財企業に販売する。
 - 中間財企業は、各期の利潤 $\Pi_t(j) = (\gamma - 1) MC_t Y_t(j)$ を得る。

研究開発部門

- 経済には2種類の研究開発企業が存在する: イノベーション企業と実用化企業
- イノベーション企業は、高技能労働 $L_{sr,t}$ を用いて、新技術を生み出す。
 - Z_t を t 期に存在する技術のストックとする

$$Z_{t+1} = (1 - \phi) Z_t + \underbrace{\varphi_t L_{sr,t}}_{t \text{ 期に生み出された新技術}}$$

- $\phi \in (0,1)$ は技術の陳腐化の度合いを表し、 φ_t はイノベーション投資の効率性を表す(詳細は後述)
- 実用化企業は、イノベーション企業が生み出した技術を実用化するための研究開発を行う。
 - $A_t (< Z_t)$ をすでに実用化が達成された技術ストックの数とする。
 - $Z_t - A_t$ だけ未実用化技術が存在し、実用化企業の研究開発のための高技能労働投入 $L_{sa,t}$ によって、未実用化技術のうち割合 $\lambda(Z_t L_{sa,t})$ が実用化される。

$$A_{t+1} = (1 - \phi) A_t + \underbrace{\lambda(Z_t L_{sa,t})(1 - \phi)(Z_t - A_t)}_{t \text{ 期に実用化された技術}}$$

研究開発部門:イノベーション

- イノベーション企業 p は、高技能労働 $L_{sr,t}(p)$ を賃金 $w_{s,t}$ で雇用し、新技術を生み出す。
- 企業 p が生み出す新技術の数は以下の生産関数によって決まる:

$$\varphi_t L_{sr,t}(p) = \chi_t Z_t (L_{sr,t})^{\rho_z - 1} L_{sr,t}(p); \quad L_{sr,t} = \int L_{sr,t}(p) dp$$

- χ_t は、外生ショック(イノベーション効率性ショック): AR(1)プロセス
- Z_t は、いわゆる “Standing on the Shoulders of Giants 効果”: 過去に生み出した技術をもとに新技術を生む
- $(L_{sr,t})^{\rho_z - 1}$ は、 $0 < \rho_z < 1$ を仮定: マクロ全体(ライバル企業)のイノベーション研究開発が増えると自社のイノベーション効率性が低下(例えば、アイデアの競合)
- 各イノベーション企業は、生み出した新技術を価格 J_t で実用化企業に販売する。
- マクロ全体での生み出される新技術の数は $\int \varphi_t L_{sr,t}(p) dp = \chi_t Z_t (L_{sr,t})^{\rho_z}$
 - (人口に占めるR&D労働の割合が一定のとき)総人口が大きくなると、技術ストックの成長率が高くなる。
 - パラメータ ρ_z は技術成長の人口規模効果を制御 (経済成長における人口規模効果に関してはJones(1999,2022a,2022b)を参照)

研究開発部門:実用化

- 各実用化企業は、(ひとつの)未実用技術をイノベーション企業から価格 J_t で購入し、高技能労働 $L_{sa,t}$ を賃金 $w_{s,t}$ で雇用して、技術の実用化に向けた研究開発を行う。
 - 未実用技術は $Z_t - A_t$ だけ存在するため、全体の実用化R&Dは $(Z_t - A_t)L_{sa,t}$ となる。
- 研究開発の結果、確率 $\lambda(Z_t L_{sa,t}) = \kappa_\lambda (Z_t L_{sa,t})^{\rho_\lambda}$ で実用化に成功する。
 - $\kappa_\lambda > 0, \rho_\lambda > 0$: 成功確率は、高技能労働投入の増加関数
- 実用化された技術は、新しい種類の中間財を製造するために使用される。
 - 中間財製造は、その技術が陳腐化するまで製品差別化による利潤を生み続けるため、その将来利潤の割引現在価値に基づいて、実用化された技術の利用権が取引される。
- 実用化プロセスには時間がかかるため、イノベーション研究開発へのインセンティブは、将来の経済環境に大きく依存する。

経済成長に関する重要な動学式

$$N_t = (1 - \delta_n)N_{t-1} + N_{new,t}$$

$$N_t = L_{sr,t} + (Z_t - A_t)L_{sa,t} + L_{u,t} + L_{h,t}$$

$$Y_t = [(A_t)^{\gamma-1} \theta_t] (u_t K_t)^\alpha (L_{u,t})^{1-\alpha}$$

$$\frac{A_{t+1}}{A_t} = (1 - \phi) + \kappa_\lambda (Z_t L_{sa,t})^{\rho_\lambda} (1 - \phi) \left(\frac{Z_t - A_t}{A_t} \right)$$

$$\frac{Z_{t+1}}{Z_t} = (1 - \phi) + \chi_t (L_{sr,t})^{\rho_z}$$

$$K_t = (1 - \delta(u_t))K_{t-1} + \left(1 - f\left(\frac{I_t}{I_{t-1}}\right) \right) I_t$$

$$Y_t = C_{mt} + E_t + I_t + G_t$$

モデルから得られる示唆(1)

生産性ショックに対する反応

- 中間財の生産性ショック θ_t とイノベーションR&Dの効率性ショック χ_t で反応が異なる。
 - θ_t が向上する場合、イノベーションR&Dを減らし、実用化R&Dや生産労働にリソースを振り向ける。
 - イノベーションを増やしても、実用化プロセスには時間がかかり、実用化されるころには生産性向上の効果が終わっているため
 - その結果、短期的には既存の技術の実用化が加速し、成長率が上昇するが、やがて実用化する技術ストックが枯渇し、成長率が長期低下する。
- χ_t が向上する場合、初期段階ではイノベーションR&Dを増やし、その後、徐々にリソースを実用化R&Dや生産労働にシフトさせる。
- その結果、実用化の遅れにより、一時的に成長率が低下するが、すぐに、成長率の持続的な上昇が始まる。
- 財の生産プロセスの上流に対するショック(χ_t)と下流に対するショック(θ_t)で反応が異なる。

モデルから得られる示唆(2)

出生率低下(将来の人口減少)に対する反応

- 出生数 $N_{new,t}$ が持続的に低下し、将来の総人口が減っていくと、GDP成長率のみならず、一人当たりGDP成長率も低下する。
 - イノベーションの人口規模効果によって、総人口が減ると、イノベーションが不利になる。その影響は規模効果を司るパラメータ ρ_Z に依存する。
 - 総人口の減少が予見される場合、規模効果を享受するために、イノベーションR&Dや実用化R&Dが前倒しで進められる。初期段階では成長率への影響はそれほど大きくないが、20～30年が経過すると、規模効果と前倒しの影響がなくなり、深刻な影響が生じる。
- 人口減少の影響を緩和するためには、イノベーションR&Dを行う企業への政策的支援に加えて、教育コストへの支援を通じて、イノベーションを担う人材の確保が重要である。
- これらの政策は、人口減少に伴う規模効果が顕在化してからでは手遅れとなるため、早期に実施することが効果的である。

参考文献

- 廣瀬康生 (2012) "DSGEモデルによるマクロ実証分析の方法" 三菱経済研究所
- 笛木琢治・福永一郎 (2011) "Medium-Scale Japanese Economic Model (M-JEM): 中規模動学的一般均衡モデルの開発状況と活用例" 日本銀行ワーキングペーパーシリーズ
- Anzoategui, Diego, Diego Comin, Mark Gertler, and Joseba Martinez (2019). "Endogenous Technology Adoption and R&D as Sources of Business Cycle Persistence." *American Economic Journal: Macroeconomics*, 11 (3): 67–110.
- Christiano, Lawrence J., Martin Eichenbaum, and Charles L. Evans (2005). "Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy," *Journal of Political Economy*, 113, 1-45.
- Comin, Diego, and Mark Gertler (2006). "Medium-Term Business Cycles." *American Economic Review*, 96 (3): 523–551.
- Jones, Charles I. (1999). "Growth: With or Without Scale Effects?" *American Economic Review Papers and Proceedings*, 89: 39-144.
- Jones, Charles I. (2022a). "The End of Economic Growth? Unintended Consequences of a Declining Population." *American Economic Review*, 112 (11): 3489–3527.
- Jones, Charles I. (2022b). "The Past and Future of Economic Growth: A Semi-Endogenous Perspective." *Annual Review of Economics*, 14: 125-152.
- Romer, Paul. M. (1990). "Endogenous Technological Change." *Journal of Political Economy*, 98(5), S71–S102.
- Smets, Frank and Rafael Wouters (2003). "An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area," *Journal of the European Economic Association*, 1, 1123-1175.
- Smets, Frank and Rafael Wouters (2007). "Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach," *American Economic Review*, 97, 586-606.