

半導体イノベーションと経済成長：成長要因会計による現状分析と将来推計¹

東京大学大学院工学系研究科
元橋 一之

第1章 はじめに

コンピュータ、ソフトウェア、通信機器などのIT産業の技術革新は、ムーアの法則（「半導体集積回路の集積度は18ヶ月毎に2倍になる」）に象徴されるように著しいスピードで進んでいる。半導体の集積度はコンピュータの高速化・小型化をもたらし、その性能はここ10年間で数百倍になっている。また、インターネットの普及によって、情報機器のネットワーク化が進み、社会全体としての情報システムの利便性は格段に向上した。ITはその適用分野の広さにおいても他の技術革新とは異なることが特徴的である。ITは典型的な汎用技術（General Purpose Technology）であり、ITイノベーションは、コンピュータなどのIT産業のみならず、マクロ経済全体に大きな影響を及ぼすことが確認されている（元橋、2005）。

ITイノベーションとマクロレベルの経済成長の関係は、成長要因会計のフレームワークを用いて分析することができる。ここでは、ITと経済成長の関係について分析を行っているJorgenson and Motohashi (2005)、Jorgenson and Nomura (2005)、Kanamori and Motohashi (2008)などの研究成果を発展させて、ITイノベーションの源泉である半導体イノベーションの貢献を明示的に取り扱った元橋（2009）をベースに経済成長率の現状分析と将来推計を行った。半導体イノベーションの結果として見られるムーアの法則は半導体の微細加工が進むことによって達成されてきているが、この微細化の進展は2020年くらいには物理的に限界が来るともいわれている。このような半導体産業における技術革新の動向は、日本の潜在成長率を推計する上で無視できないファクターである。本稿においては、その影響について定量的に明らかにすることを目的とする。

本論文の構成については以下のとおりである。まず次章においては、元橋（2009）に従って行った成長要因会計と半導体技術革新の影響度分析の結果を示す。ここでデータの改良を行うとともに、2007年までの結果を2009年までのデータを使ってアップデートを行った。第3章ではこの現状分析の結果をベースに日本の潜在経済成長率に関する2030年までの予測を行った。ここでは半導体イノベーションの影響度を明示的に取り入れた。最後に第4章において本稿における分析結果をまとめるとともに今後の検討課題について述べる。

¹ 本稿は、半導体産業研究所（SIRIJ）からの委託研究報告書である「ITイノベーションと経済成長研究：フォローアップ研究」最終報告書（2011年8月22日）を加筆修正したものである。貴重なコメントをいただいた同研究所の福岡所長と山口研究員（現在、東芝セミコンダクター&ストレージ社勤務）に感謝の意を表したい。なお、本稿における見解はあくまで著者個人のものである。

第2章 ITイノベーションと経済成長の関係

ここでは、経済成長率を生産要素の投入とその残差項としてのTFP（全要素生産性）に分解し、さらにIT資本と非IT資本における半導体に関するTFP貢献分を算出した（理論的フレームワークについては別添資料参照）。なお、今回の推計においては、資本データについて改良を加えてこととGDP統計の基準改定の他、いくつかの統計データを最新時点のものにあわせたため、2007年以前の結果についても元橋（2009）と異なるものがあることに留意が必要である。なお、データの詳細については元橋（2011）を参照されたい。

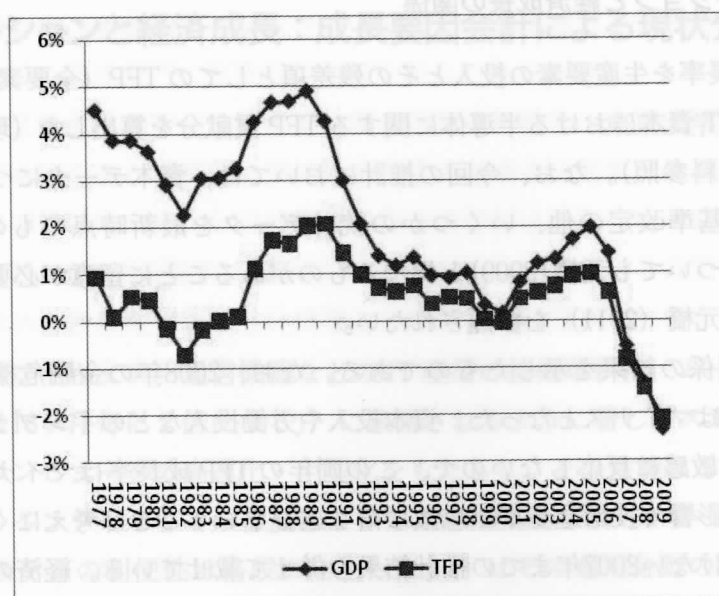
表1は成長要因関係の結果を示したものである。なお、2008年の金融危機の影響で2008年と2009年の経済成長率はマイナスとなった。資本投入や労働投入などのインプットはアウトプットの落ち込みに対して敏感に反応しないので、この両年のTFP成長率はマイナスとして計算される。しかし、景気の影響で技術進歩率が急激に落ち込むということは考えにくいので、表1では金融危機の影響を受けない2007年までの推計結果も併せて載せている。経済のアウトプットの動きをより細かく見るために、GDPとTFPの動きを年ごとにおったグラフを図1に示す。なお、このグラフは5年間の移動平均をとったものなので、2007年からGDPとTFPがマイナスになっているが、これは2008年秋のリーマンショックによるもので、特に2009年の落ち込みが大きく影響している。毎年のGDPとTFPの伸び率（原データ）については、2009年は-7.61%と大きく減少しており、2000年以降の伸び率をほとんど帳消しにする影響度を持っている。

表1：経済成長要因分析の結果

	1975-90	1990-00	2000-07	2000-09
Gross Domestic Product	3.97%	1.37%	1.68%	0.33%
Contribution of Information Technology	0.30%	0.24%	0.41%	0.42%
Computers	0.17%	0.10%	0.12%	0.13%
Software	0.07%	0.05%	0.12%	0.12%
Communications Equipment	0.04%	0.04%	0.06%	0.07%
Information Technology Services	0.01%	0.04%	0.11%	0.11%
Contribution of Non-Information Technology	3.67%	1.14%	1.28%	-0.10%
Gross Domestic Income	3.35%	0.74%	0.86%	0.46%
Contribution of Information Technology Capital Services	0.34%	0.25%	0.39%	0.40%
Computers	0.18%	0.13%	0.17%	0.17%
Software	0.07%	0.06%	0.13%	0.14%
Communications Equipment	0.08%	0.06%	0.08%	0.09%
Contribution of Non-Information Technology Capital Services	2.01%	0.76%	0.51%	0.43%
Contribution of Labor Services	1.00%	-0.26%	-0.04%	-0.37%
Total Factor Productivity	0.61%	0.59%	0.71%	-0.24%

Notes: Average annual percentage rates of growth. The contribution of an output or input is the rate of growth.

図1：GDPとTFPの推移（5年間移動平均）



いわゆるバブル経済が崩壊する前の1975年～1990年のTFPの年平均成長率は0.61%であるのに対して、1990年代は0.59%、2000年～2007年は0.71%としてほとんど変化していないことが分かる。1990年を境に経済成長率は、3.97%から1.37%及び1.68%と大きく落ち込んでいるが、この経済成長率の鈍化は生産性の低下によるものではない。表1では資本投入をコンピュータやソフトウェアなどのIT資本とそれ以外の機械設備や建物などの非IT資本に分解しているが、1990年以降、IT資本の成長寄与が高まっている。その一方で経済成長の足を引っ張っているのが、労働と非IT資本の投入である。特に労働投入は90年以前の1.00%のプラスの寄与から、90年代は-0.26%、2000年以降は-0.04%とマイナスに転じており、経済成長の足を引っ張っている。これは、1980年代は2000時間以上だった年間労働時間が、最近では1800時間程度と1割以上短縮されたことの影響が大きい。

表2は、TFPの内訳をIT分野と非IT分野に分解したものである。2005年以降のTFPは表1で示したとおり-0.24%となったが、IT分野の生産性は0.32%ポイントの上昇となり、その差として非IT分野は0.56%のマイナスとなる。半導体の寄与度はIT分野の0.32%のうち、0.03%ポイント、非IT分野においては0.08%ポイントとなり、合計で0.12%ポイント（端数の関係で0.01%ポイント切りあがり）となった。このように経済全体の生産性上昇率が低下する中でITイノベーション、その中でも半導体イノベーションの位置づけは大きい状況が続いている。

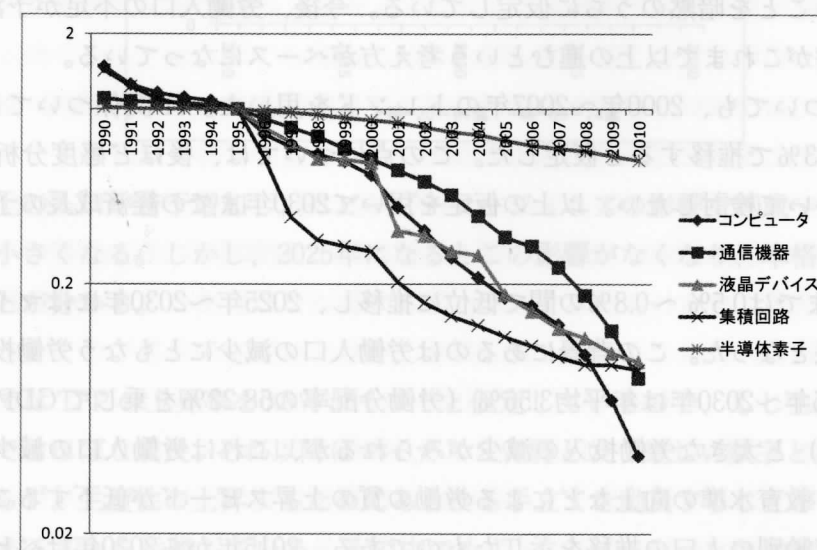
なお、半導体のTFP寄与度は1990年代後半の0.16%ポイントから2000年代は0.12%ポイント（2007年までのデータでは0.13%ポイント）をベースにと低下したが、これは半導体のTFPを当該製品の価格低下分で近似していることによる。TFPを価格面から算出する際には、インプット価格とアウトプット価格の差分を用いるが、労働投入や資本投入などのインプット価格の低下率が小さい場合は、アウトプット価格の低下がほぼTFP上昇率と一致することとなる（同じ価格のインプットを用いて安いアウトプット価格の製品を生産できるのは生産性の上昇によるという考え方）。図2は、コンピュータや通信機械などのIT製品に加えて、半導体関係製品の価格推

移を見たものである。集積回路や半導体素子の価格低下スピードは衰えてきており、当該製品の生産性上昇率が低下している可能性を示している。この点については、次章で潜在成長率の予測を行う際により詳細に議論したい。

表2：TFPの成長要因分析

	1990-95	1995-00	2000-07	2000-09
Aggregated TFP Growth Rate	0.65%	0.50%	0.71%	-0.24%
Contributions to TFP Growth:				
Information Technology	0.10%	0.13%	0.31%	0.32%
Computers	0.08%	0.05%	0.17%	0.19%
Software	0.00%	-0.01%	0.01%	0.00%
Communications Equipment	0.01%	0.02%	0.09%	0.10%
Semiconductor	0.02%	0.07%	0.04%	0.03%
Non-Information Technology	0.56%	0.37%	0.40%	-0.56%
Semiconductor	0.02%	0.09%	0.09%	0.08%
(Semiconductor Total)	0.04%	0.16%	0.13%	0.12%
Relative Price Changes:				
Computers	-7.08%	-7.77%	-22.79%	-25.41%
Software	0.55%	0.83%	-0.60%	-0.09%
Communications Equipment	-1.84%	-4.74%	-17.39%	-19.75%
Average Nominal Shares:				
Information Technology	3.02%	3.59%	3.51%	3.59%
Computers	1.24%	1.30%	0.88%	0.82%
Software	1.14%	1.38%	2.04%	2.20%
Communications Equipment	0.65%	0.90%	0.59%	0.57%
Non-Information Technology	96.98%	96.41%	96.49%	96.41%

図2：半導体価格の変化（日銀物価統計）と投入割合（産業連関表）の変化



第3章 2030年までの経済成長予測と半導体産業の役割

これまでの分析結果をベースに2030年までの経済成長の予測を行い、その中での半導体産業の役割について述べたい。潜在成長率に基づく長期的な経済成長の予測を行う手法は、成長要因会計の逆の手順をとる。つまり、資本投入や労働投入といった生産要素の投入を予測し、それにTFPの伸び率を加えて経済成長率とする（Jorgenson and Motohashi, 2004）。

まず、労働投入については人口予測をベースにかなり精緻な予測が可能である。国立人口問題・社会保障研究所が公表している日本の将来推計人口による性別・年齢別人口（中位推計）をベースにして、(1)性別・年齢別労働人口の算出、(2)性別・年齢別・教育レベル別の労働人口・時間・賃金の算出の2段階で推計を行った。労働人口の推計については、性別・年齢別の就業率が2010年の状況を変えないと仮定した。なお、男性については、25歳から60歳までの年齢階級では90%以上の就業割合となっているが、最近はやや割合の低下がみられる。また、女性については、結婚後の子育て期間に就業率の低下があるいわゆるM字型になっている。ただし、若年層のピークは20歳～24歳から25歳～29歳に移ってきており、M字の溝も浅くなってきていることが分かる。従って、今後、男性の就業率が若年層で低下する一方で、女性の就業率が上昇する可能性が高い。詳細に就業率の推計を行うためには婚姻や家族形態の動向、将来所得の推計などについて詳細な分析を行う必要があるが、ここでは概ね男女の就業率の上下がバランスすると考えて2010年の実績値を使うこととした。更に、学歴別の就業者数を割り出すために、年齢階層別に見た最終学歴のこれまでの推移を参考にして、将来的な年齢と学歴のプロファイルを推計した。その結果を当てはめて年齢別・性別・学歴別の就業人口を推計し、Disivia指数による労働投入の予測値を求めた。

資本投入については、これまでのトレンドから仮定をおく必要がある。ここでのシナリオとしては、2000年～2007年の資本蓄積に関するトレンドが今後も続き、IT資本については0.4%、非IT資本については0.3%の寄与度で推移すると仮定した。なお、後ほど述べるように今後労働投入が減少することが予想されるため、今回の資本投入の仮定は資本装備率がこれまで以上のスピードで上昇することを暗黙のうちに仮定している。今後、労働人口の不足が予測されるため、労働と資本の代替がこれまで以上の進むという考え方がベースになっている。

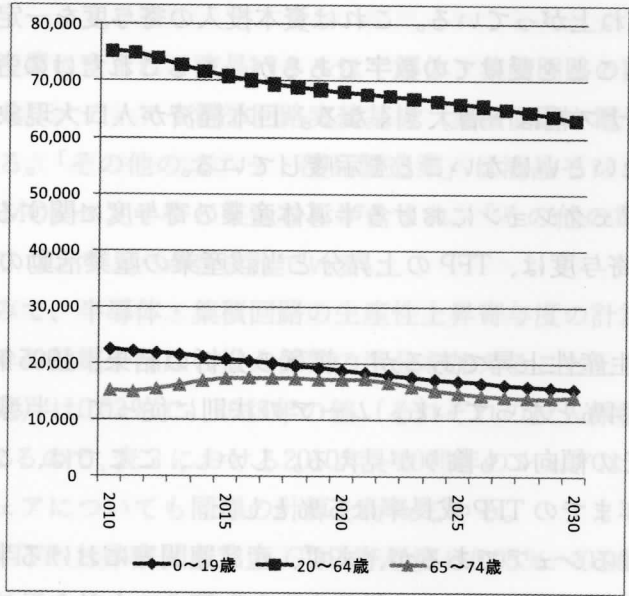
最後にTFPについても、2000年～2007年のトレンドを用いた。IT関係については0.3%、非IT関係については0.3%で推移すると仮定した。この点については、後ほど感度分析を行うことで仮定の妥当性について検討したい。以上の仮定を用いて2030年までの経済成長の予測を行った結果を表3に示す。

GDPは2025年までは0.5%～0.8%の間で低位に推移し、2025年～2030年にはマイナス1%と大きく落ち込む結果となった。この背景にあるのは労働人口の減少にともなう労働投入のマイナスである。特に2025年～2030年は年平均3.56%（労働分配率の58.22%を乗じてGDPに対する寄与度としては2.08%）と大きな労働投入の減少がみられるが、これは労働人口の減少がやや加速することに加えて、教育水準の向上などによる労働の質の上昇スピードが低下することによる。図3は参考までに年齢別の人口の推移を示したものである。2015年から2020年はベビーブーマーの

表3：2030年までの経済予測

	2010-15	2015-20	2020-25	2025-30
Labor	-0.42%	-0.12%	-0.38%	-2.08%
IT Capital	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%
Non IT Capital	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%
TFP(IT)	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%
TFP(NonIT)	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%
GDP	0.52%	0.82%	0.56%	-1.14%
Labor Prod.	1.24%	1.03%	1.21%	2.43%
(Labor Projection)				
Labor Input	-0.72%	-0.21%	-0.65%	-3.56%
Labor Quantity	-3.33%	-2.62%	-2.88%	-4.43%
Labor Quality	2.61%	2.41%	2.23%	0.87%
(Assumption)				
Labor Share	58.22%	58.22%	58.22%	58.22%
(Semiconductor Contribution)				
TFP Growth	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
Input Share	0.98%	1.05%	1.09%	1.14%
TFP Contribution	0.05%	0.05%	0.05%	0.06%
Contribution to GDP	9.42%	6.40%	9.69%	-5.02%

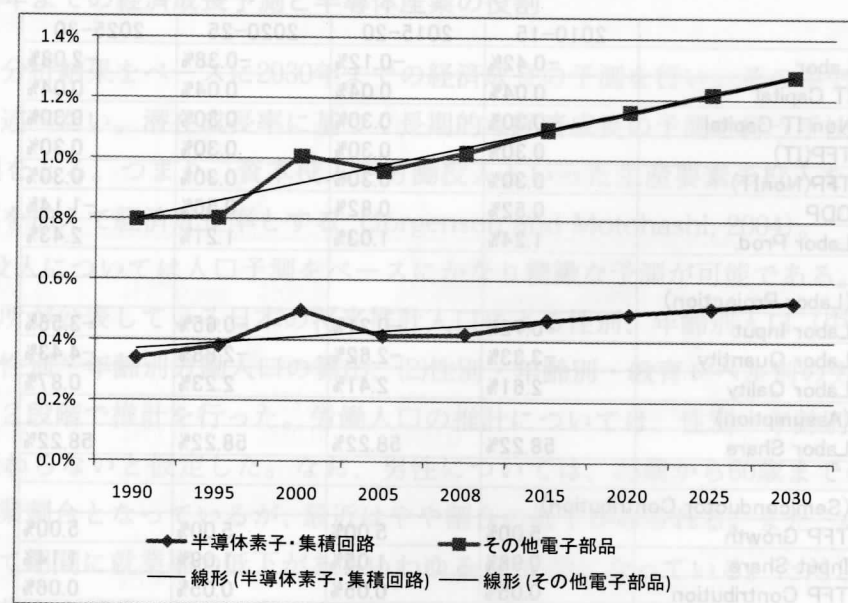
図3：年齢別将来人口の推移



影響で65歳以上の人口が若干増加し、ベビーブーマージュニアの影響で20歳～64歳の人口については下げ幅が小さくなる。しかし、2025年になるとこの影響がなくなり、本格的な労働人口の減少が始まることが分かる。

なお、ここではTFPの上昇率を0.6%ポイントと仮定しているのも、もし生産性の上昇がなければ2025年まではほぼ0成長、それ以降はマイナス2%弱という厳しい数字となる。ITイノベーションのみならず、生産性の上昇するためにあらゆる手立てを動員することが今後の経済成長によって必要であることを示唆している。その中でもITイノベーションは2000年～2007年はTFP

図4：半導体・集積回路とその他電子部品の投入比率の推移



の半分程度の寄与度を保っており、将来的にも IT イノベーションの持続に大きな期待がかかる
ところである。また、労働生産性の動向をみると2025年までは1.0～1.2%で推移しているが、
2025年以降は2.43%と跳ね上がっている。これは資本投入の寄与度を一定とおいている一方、労
働投入が急速に減少することを受けての数字であるが、もしこれだけの労働生産性の上昇が見込
めなければ GDP のマイナス幅は一層大きくなる。日本経済が人口大現象時代を迎える前に何ら
かの根本的な手を打たないといけないことを示唆している。

次に経済成長のプロジェクトにおける半導体産業の寄与度に関する分析結果について述べる。
半導体産業の TFP 寄与度は、TFP の上昇分と当該産業の産業活動の中でのシェアによって
決まる。

まず、半導体産業の生産性上昇であるが、前章の分析の結果、1995年～2000年までは8.8%、
2000年～2009年までは4.4%となっている。ムーアの法則に従って、半導体の技術革新は順調に
進んでいるが、最近はその傾向にも陰りが見える。しかし、ここでは、これまでと同等の技術革
新が進むとみて、2030年までの TFP 成長率は5%とした。

次に、経済活動におけるシェアであるが、まず、産業連関表における半導体・集積回路の中間
投入額（総額）が総生産額に占める割合の推移をみた。図4のとおり、このマクロレベルの投入
係数についてはやや上昇傾向にある。ここでは、その他の電子部品についても同様の傾向を見た。
これは、その他の電子部品において、半導体・集積回路と直接関係のある品目や半導体の製造技
術を活用した製品が多く含まれるからである。図4では、これまでのトレンドを2030年まで伸ば
した結果も示している。

表4は、2009年の工業統計調査の結果を用いて、詳細な品目別の状況を見たものである。ここ
で分析の対象となっている半導体素子と集積回路の出荷額は約5300億円で、その他の電子部品も
含めた1兆4900億円の35.4%を占める。その他の電子部品の内容を半導体産業に関連するものと

表4：半導体・集積回路とその他電子部品の品目別出荷額（2009年）

産業分類	部門名	出荷額(千円)	シェア
2812	光電変換素子製造業	83,718,586	35.4%
2813	半導体素子製造業(光電変換素子を除く)	67,733,504	
2814	集積回路製造業	375,866,149	
	半導体産業(小計)	527,318,239	
2815	液晶パネル・フラットパネル製造業	175,256,941	37.6%
2831	半導体メモリメディア製造業	539,912	
2842	電子回路実装基板製造業	57,363,548	
2859	その他のユニット部品製造業	28,599,253	
2899	その他の電子部品・デバイス・電子回路製造業	298,580,623	37.6%
	半導体技術産業(小計)	560,340,277	
2811	電子管製造業	6,330,320	26.9%
2821	抵抗器・コンデンサ・変成器・複合部品製造業	103,294,473	
2822	音響部品・磁気ヘッド・小形モータ製造業	6,664,514	
2823	コネクタ・スイッチ・リレー製造業	107,427,142	
2832	光ディスク・磁気ディスク・磁気テープ製造業	24,256,714	
2841	電子回路基板製造業	112,698,821	
2851	電源ユニット・高周波ユニット・コントロールユニット製造業	40,542,992	
	その他電子部品	401,214,976	
	半導体・電子部品合計	1,488,873,492	100.0%

そうでないものに分けると約5600億円（全体の37.6%）が半導体・集積回路に関係するもの（こ
こでは半導体技術産業と呼んでいる）であることが分かった。

例えば、半導体技術産業に含まれる液晶パネルは半導体・集積回路の製造技術を使った産業で
ある。また、半導体メモリメディアや電子回路実装基板（集積回路を電子基板にマウントした部
品）などが含まれている。「その他のユニット部品製造業」は液晶モジュールやデジタルカメラ
モジュール（CCD、C-MOS センサなどを含む）が含まれ、「その他の電子部品・デバイス・電
子回路製造業」にはシリコンウェハが含まれている。

このような実態に鑑みて、半導体・集積回路の生産性上昇寄与度の計算には、図4における当
該産業の投入係数に、その他電子部品の投入係数の半分を加えることとした。2008年時点のこの
値（2010年の数値と仮定）は0.93%で、2015年の値（それぞれの投入係数を線形トレンドで伸ば
した結果）は1.02%となるので、表3における2010年～2015年のシェアはこの平均をとった0.98%
とした。これ以降のシェアについても同様の計算を行っている。

この係数を半導体の TFP 上昇率に乗じた GDP 寄与度は0.05%～0.06%となり、これだけの
GDP (TFP) 押し上げ効果を持つことが分かった。なお、GDP 寄与率はこれらの半導体の TFP
貢献率を GDP 上昇率で割った値である。2025年～2030年は GDP 伸び率がマイナスとなってい
るので、この寄与率もマイナスになっている。半導体産業の投入係数の変化で見た通り、今後も、
当該産業の経済全体における位置づけが高まっていくことは間違いない。ただし、ムーアの法則
に見られるこれまでの半導体の生産性上昇が、今後も続くかどうかについて議論がある。ムーア
の法則は、これまで半導体製造プロセスにおける微細加工技術の進展に支えられてきた。しかし、
次世代の加工プロセスである14nm ノードに対応した露光装置の目途が立っていない。更にその
先の技術となると原子の大きさに制約を受けるようになり、これまでのように微細化を進めるこ
とは既存技術の延長線上では不可能である。しかし、集積回路の高速化については、三次元積層

のように微細化によらない技術も存在し、性能の向上自体はまだまだ続くという意見もある。半導体の生産性の動向については、このような技術的なトレンドと併せて検討する必要がある。

第4章 まとめと今後の課題

本稿においては日本の経済成長におけるITイノベーションや生産性の位置づけについてマクロレベルの成長要因分析(1975年~2009年)を行った。また、ITの技術革新の源泉であるムーアの法則に象徴される半導体技術革新に影響度についても計測を行った。更に、分析結果をベースに2030年までの潜在的経済成長率の推計を行った。結果として、日本の経済成長の鍵を握るのは労働投入であり、1990年代以降の経済成長率の低下は労働投入の減少でほとんどが説明でき、かつ今後の労働人口の更なる減少が見込まれることから、経済成長率については2025年まで1%弱といった厳しい数字となる。更に、2025年以降は団塊ジュニアが労働市場から抜けることで経済成長率はマイナスとなることが見込まれる。

このような厳しい状況の中で、今後の経済成長はTFPなくして語れない。その中でもITイノベーション、更にはその源泉としての半導体産業のイノベーションの位置づけは大きくなっている。これらの産業におけるイノベーションを活性化し、生産性の上昇を実現していくことは、マクロレベルでの経済成長を考える上でも重要であることが確認された。

なお、経済成長率に関する将来推計を行う上で今後の課題となるのは、労働投入推計の精緻化である。今後、就業構造が大きく変化することが予測され、女性の就業率に見られるM字カーブ(育児期間中、就業率が下がる現象)が解消される可能性がある。ただ、就業状況の今後の変化を定量的に分析するためには、結婚や子育て、家庭のライフスタイルの変化に関する詳細なモデルが必要となる。更に、ITイノベーションの生産性への影響については、情報技術や半導体などの技術動向に関するプロジェクションと生産性に与える影響についてより深く分析する必要がある。今後、これらの課題について取り組むことによって、日本経済の中長期的な成長戦略について検討を進めてまいりたい。

参考文献

- 元橋一之(2011)、「ITイノベーションと経済成長研究: フォローアップ研究」最終報告書、一般社団法人・半導体産業研究所(2011年8月22日)
- 元橋一之(2009)、「ITイノベーションと経済成長: マクロレベル生産性におけるムーアの法則の重要性、RIETI ディスカッションペーパー09-J-016、経済産業研究所
- 元橋一之(2005)、『ITイノベーションの実証分析』、東洋経済出版社
- Jorgenson, D. W. (2001), Information Technology and the US Economy, *American Economic Review*, vol. 91, No. 1, March 2001
- Jorgenson, Dale W., Mun S. Ho, and Kevin Stiroh (2005), "Growth of U.S. Industries and Investments in Information Technology and Higher Education," in Carol Corrado, John Haltiwanger, and Daniel Sichel, eds., *Measurement of Capital in the New Economy*,

Chicago, University of Chicago Press

- Jorgenson, Dale W., Frank M. Gollop, and Barbara M. Fraumeni (1987), *Productivity and U.S. Economic Growth*, Harvard University Press, Cambridge MA
- Jorgenson, Dale W. and K. Motohashi (2005), Information technology and the Japanese economy?, *Journal of the Japanese and International Economies*, 19 (2005), 460-481
- Jorgenson, D. W. and K. Motohashi (2004), Potential Growth of the Japanese and U.S. Economies in the Information Age, ESRI Discussion Paper, March 2004
- Jorgenson, Dale W. and K. Nomura (2005), The industry origins of Japanese economic growth, *Journal of the Japanese and International Economies*, 19 (2005), 482-542
- Kanamori, T. and K. Motohashi (2008), Information Technology and Economic Growth: A Comparison between Japan and Korea", *Seoul Journal of Economics*, 21 (4), 505-526