

# 技術パラダイムの階層性

— 半導体産業の事例を元に —<sup>(1)</sup>

末 永 啓一郎

## 要 旨

近年、世界的な景気の先行きに対する不安が高まっているが、金融面や需要面よりむしろ、供給面、特にイノベーションの停滞に原因を求める論者も少なくない。本稿では、半導体産業の事例を対象とし、山口（2006）の考案したイノベーション・ダイアグラムをベースに、「土壌層」や「階層性」の概念を導入し、Dosi（1982）らの技術パラダイム論なども交えながら、特に技術パラダイムの階層性やパラダイム破壊型イノベーションに焦点を当てて議論を展開する。世界経済が長期的に発展していくためには、パラダイム破壊型イノベーションが必要不可欠である。オープン・イノベーションが増加しつつある現在、深いレベルでのパラダイム破壊型イノベーションを実現する組織の誕生が望まれる。

キーワード：技術パラダイム、イノベーション・ダイアグラム、半導体産業、土壌層、階層性、パラダイム破壊型イノベーション、科学と技術、オープン・イノベーション、共同研究、産官学連携

## 1 イントロダクション

近年、世界的な景気の先行きに対する不安が高まっているが、金融面や需要面よりむしろ、供給面、特にイノベーションの停滞に原因を求める論者も少なくない。本稿は、こうしたイノベーション——特に、経済を長期的に牽引することの出来る「パラダイム破壊型イノベーション」——が生じるプロセスを明らかにすることによって、企業、政府、あるいは大学といった産官学が、いかにしてこうしたイノベーションを可能にしうるかを論じるものである。

経済発展におけるイノベーションの重要性については、シュンペーター以降、現在のネオ・シュンペーターリアンと呼ばれる学者に至るまで、活発な議論が続けられてきた。本稿は、イノベーションにおけるこれまでの研究も踏まえつつ、山口（2006）の考案したイノベーション・ダイアグラムをベースに、「土壌層」や「階層性」の概念を導入し、Dosi（1982）らの技術パラダイム論なども交えながら、特にパラダイム破壊型イノベーションに焦点を当てて議論を展開する。

トランジスタのように、基盤となる科学パラダイムが根本的に変化するようなイノベーション

は、「土壌層」の中でも最も深い層で生じた科学の進歩と深い関係があるが、現代の企業が、かつてのベル研究所のように、基礎研究に大規模な資源を投入することが出来なくなった近年では、Chesbrough (2003) が論じたようなオープン・イノベーションに頼らざるを得ないという側面がある。こうしたオープン・イノベーションの時代に、いかにして、パラダイム破壊型イノベーションを生み出すかという問題についても議論する。

## 2 科学, 技術, イノベーション

イノベーションは、正統派経済学では外生的なものとして扱われることが多い。例えば、伝統的な経済成長論であるソロー・モデルでは、技術進歩は外生的に与えられており、経済成長にとって最も重要であるはずの技術進歩が「空から降ってくるマナ」<sup>(2)</sup> のようだと揶揄された。Freeman (1994, p. 463) が指摘したように、経済理論におけるパラドックスの1つは、資本主義における最も重要な要因が技術変化であるという一般的コンセンサスがあるにもかかわらず、主流派の文献がそうしたコンセンサスを相対的に無視していることにある。

正統派経済学において、イノベーションがこのように扱われてきた理由は、技術自体、数値化したり、概念化したりすることが困難であり、また、収穫逓増などの性質を持つためである。Romer (1986; 1990) らによる内生的経済成長論の誕生によって、イノベーションを数式モデルに内生的に取り込むことが出来るようになってきたが、こうした成長論は、イノベーションが生まれるプロセスそのものを分析するためのモデルではなかった。

それに対して、ネオ・シュンペーターリアンの研究者は、正統派とは異なる視点からイノベーションを捉えようとしてきた。例えば、Dosi (1982) は、技術パラダイムと技術軌道という概念をベースに、イノベーションと経済発展のプロセスを捉えようとしている。技術パラダイムとは、「自然科学から引き出された『特定の』原理、ならびに『特定の』素材技術に基づいた『特定の』技術的問題解決の『モデル』および『パターン』」(p. 152) であり、技術軌道とは、「ある技術パラダイム内における「通常の」問題解決活動（すなわち進歩）のパターン」(p. 152) である。つまり、簡略化して述べれば、経済は、特定の技術パラダイム内における技術軌道に沿って成長し、新しい技術パラダイムの誕生とともに、経済がより高いレベルに発展していく。そして、Dosi (1988, p. 1136) によれば、20世紀の新しい主要な技術パラダイムは、主要な科学的ブレークスルーに直接依存しており、新しい技術パラダイムの初期局面においては、科学の進歩が直接、重要な役割を果たすという。

こうした技術パラダイムの生成過程で重要となる科学と技術の関係については、これまでも様々な議論が行われている<sup>(3)</sup>。Price (1965) によれば、科学と技術は、自律的に発達した2つ

のサブ・システムであり、科学コミュニティの関心事は、新しい知識の発見や公表であるのに対し、エンジニアや技術者の関心事は、実用的な応用と専門的な認識であるとする。そして、この2つのサブ・システムは、2人のダンス・パートナーのように、同じ音楽で踊っているが、お互い独自のステップを踏んでいるようなものと表現している。

Freeman and Soete (1997, p. 15) は、この科学と技術の関係が19世紀以降不変ではなかったことを指摘し、その新しいダンスのいくつかが「チークダンス」であったと主張している。つまり、新しい産業のいくつかにおいては、科学と技術が非常に密接であり、その象徴として、専門的な産業 R & D 部門の存在を挙げている。

ただし、科学と技術の関係は曖昧に捉えられることが多く、特に科学は経済的動機に基づかないがゆえに、経済理論に取り込むことが難しいとして、Black Box に閉じ込めることが多かった。そうした中、山口 (2006; 2008) は、科学と技術を明確に定義した上で、両者の関係を「イノベーション・ダイアグラム」で明示的に論じている。

### 3 イノベーション・ダイアグラム

本節では、山口 (2006; 2008) において展開されたイノベーション・ダイアグラムについて論じる。このダイアグラムは、科学と技術の関係、およびイノベーションについて考察する上で、非常に示唆に富むものであり、企業、政府、大学が採るべき戦略についても、意義深いインプリケーションを与えるものである。以下、本節では、特に注意書きのない限り、山口の主張に沿って論を展開する。

山口は、科学と技術を次のように定義する。科学は、経済的に価値付けられないものであるが、誰も知らないことを見出すことであり、「知の創造」と呼ぶこともできる。ただし、「知の創造」には、錬金術の精錬方法や化学反応の知見など、テクネとしての技術の一部も含まれる。本稿では、この「知の創造」を「科学」と呼ぶこととする。一方、「技術」は、経済的に価値付けられるものであるが、誰も知らないことを見出すわけではなく、「知」同士、あるいは「知」と既存技術の統合であり、「知の具現化」と呼ぶことも出来る。以下では、以上の定義に基づいて、「科学」と「技術」という用語を用いることとする<sup>(4)</sup>。

さて、以上のように、科学と技術を明確に区別出来るのであれば、次のようなイノベーション・ダイアグラムを描くことが出来る (図 1)。横軸が科学の進歩であり、縦軸が技術の進歩である。科学の進歩は、右方向への矢印で示され、経済的には価値付けられない ( $S \rightarrow P$ )。一方、技術の進歩は、上方向への矢印で示され、経済的に価値付けられるものとする ( $S \rightarrow A$ )。また、水平な境界線を引き、境界線の下領域を土壌と呼ぶこととする。境界線の上領域では、知識や技術

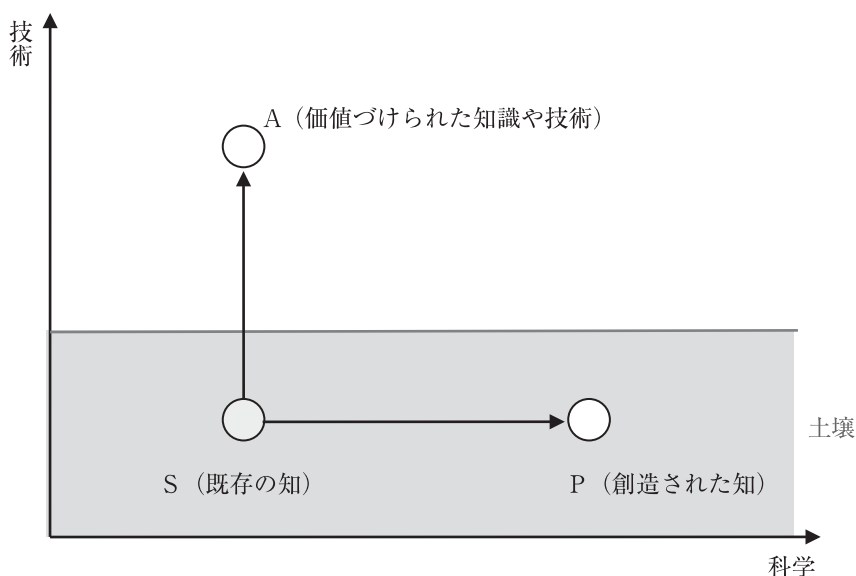


図1 イノベーション・ダイアグラムの最小単位

(出所) 山口 (2008) の図1を一部修正。

が価値付けられたものとし、境界線の下領域では、「知」が価値付けられないものとする。そして、科学（知の創造）は、必ず土壌の中で行われる。

その上で、彼は、イノベーション・ダイアグラムを用いて、パラダイム持続型イノベーションとパラダイム破壊型イノベーションを次のように定義する。パラダイム持続型イノベーションとは、ある「知」Sを元にした既存の技術をベースに、外部の技術を統合して新技術を具現化するものであり、新技術は、誰もが知りうる「知」Sの集合体に基づいている。一方、パラダイム破壊型イノベーションとは、いったんAを成立させている「知」Sに下りて行き、新しい「知」Pを創造した上で、新しいパラダイムPに基づく新技術を実現するようなイノベーションである。

山口 (2006; 2008) では、このイノベーション・ダイアグラムを用いて、様々なイノベーションに関する分析が行われているが、ここでは、トランジスタとMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor: 金属酸化膜型電界効果トランジスタ) に関する分析を取り上げる。

ベル研究所のショックレーは、三極真空管の原理を半導体という固体で実現しようとして失敗するが、バーディーンとブラッテンは、失敗の原因を探るため、表面準位の研究を経て増幅効果を発見する。そしてこの発見が、直ちにゲルマニウム点接触型トランジスタの発明へとつながる。表面準位の研究に基づく増幅効果の発見は科学の進歩（知の創造）であり、それを経済的に実現したゲルマニウム点接触型トランジスタは技術の進歩（知の具現化）である。よって、この発明

はパラダイム破壊型イノベーションと呼ぶことができる。

ショックレーは、この点接触型トランジスタが増幅効果を持つ理由を、量子力学の根本に戻って理論的に考え、同じ機能を持つ接合型の概念に到達する。そして、その後、ベル研究所の同僚らが、試行錯誤を経て、成長法による接合型トランジスタの開発に成功する。これもゲルマニウム接合型の予言という科学の進歩と、それに基づく成長法によるトランジスタの発明という技術の進歩の組み合わせであり、パラダイム破壊型イノベーションと呼ぶことができる。

ゲルマニウムの特性上の問題ゆえに、シリコンへの転換が試みられていたが、誰にも出来ないと思われていたシリコン接合型トランジスタが、ティールによるシリコン単結晶の実現によって可能となった。シリコン単結晶の量産が可能となったことにより、選択拡散法なども用いられるようになり、プレーナー型トランジスタやバイポーラ IC (Integrated Circuit: 集積回路) の発明とつながっていくが、プレーナー型トランジスタやバイポーラ IC の発明は、科学の進歩というよりは、技術の進歩と位置づけられる。

しかし、「不連続な技術創造のジャンプをもたらした第2の事件が、ICの発明の翌年に起きた」(山口: 2003, 218頁)。シリコンの熱酸化膜の界面物性を研究していたカーンとアッターラは、シリコンとその熱酸化膜の界面の電界効果を発見する。この発見によって、MOSFETによるICの生産が可能となり、大量生産が実現していく。この発見も科学の大きな進歩であり、それによってMOSFETという技術が実現したという点で、パラダイム破壊型イノベーションと呼ぶことができる。

#### 4 イノベーション・ダイアグラムの土壌層と階層性

前節では、山口のイノベーション・ダイアグラムを取り上げたが、パラダイム破壊型イノベーションを詳細に検討していくと、(山口本人が描いた図の中にすでに暗示されているのだが)、パラダイム転換の大きさに違いがあることが分かる。本節では、この点について詳細に検討した上で、土壌層と階層性の概念を導入する。

まず、ゲルマニウム点接触型トランジスタの発明についてであるが、これは真空管の原理を応用しようとしたショックレーの実験が失敗し、バーディーンらとその原因を突き止めようとして表面準位の研究を行っている過程で生じた。それ以前より、量子力学方程式やウィルソン模型、偏析現象や光起電効果の発見など、量子力学に関する発展が土壌で進んでいたこともあるが、バーディーンらは、そうした土壌をベースに表面準位の仮説を立て、増幅効果を実現することができた。真空管の基礎となる電磁気学から、量子力学に基づく半導体製品へというパラダイム転換は、本稿で取り上げるパラダイム破壊型イノベーションの中でも最も大きなパラダイム転換であり、

土壌の中でも最も深い層（ここでは第3層と呼ぶことにする）で行われた科学の進歩に基づいて実現したと考えることができる。

次に、山口が「第2の事件」と呼ぶシリコン MOSFET についてであるが、これは量子力学というパラダイムの中で起きているという点で、第3層でのパラダイム転換ほど大きなものではないが、電流注入型に基づくバイポーラ・トランジスタやバイポーラ IC から、電界効果型に基づく MOSFET や MOS-IC へという増幅方法の転換は、比較的大きなパラダイム転換である。これは、ショックレーの実験の失敗以降も続けられてきた半導体表面の研究が進む土壌の中で生まれたものであり、第3層の上に堆積した第2層での転換と考えることができる。

そして、接合型トランジスタについてであるが、これは、電流注入型というパラダイムの中で生じたものである。そのため、これは、第2層での転換よりも浅い層（ここでは第1層と呼ぶこととする）で生じた科学の進歩に基づいて生み出されたものと考えられる。もちろんこうした転換も、土壌において進行していた pn 接合に関する研究が進む中で生まれたものである。

以上のように、一概にパラダイム破壊型イノベーションといっても、パラダイム転換の大きさには違いがあり、大きなパラダイム転換ほど、深い土壌層で生じたと考えることができる。図2と表1は、以上の議論をまとめたものである。図2には、第3層から第1層までの土壌層と、各

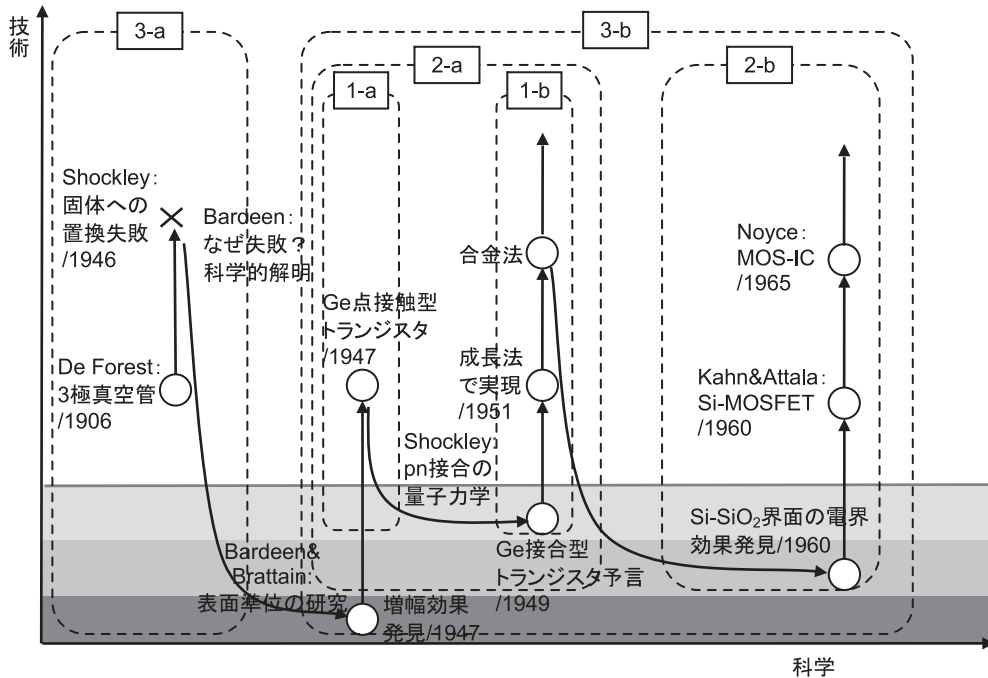


図2 イノベーション・ダイアグラムの土壌層と技術パラダイムの階層性

(出所) 山口 (2006) の図3-9を一部修正した上で、土壌層と技術パラダイムを加えた。

土壌層で形成されたパラダイムを加えた。第2節で紹介した Dosi (1982) を参考に、「技術パラダイム」を「特定の科学（「知」）に基づいた、特定の技術的問題解決法」とし、「技術軌道」を「ある技術パラダイム内におけるパラダイム持続型イノベーション」と定義すれば、図2の1-a～3-bの各技術パラダイムを表現することができ、その各技術パラダイム内における上向きの矢印を技術軌道と呼ぶことができる。

表1は、各技術パラダイムにおいてベースとなる科学（「知」）と、それをベースとした技術パラダイムの特徴をまとめたものである<sup>⑤</sup>。第3層は、学問体系そのものであり、第3層でのパラダイム破壊型イノベーションは、真空管の基礎となった電磁気学から、半導体の基礎となった量子力学へという学問体系そのものの転換を伴うイノベーションである。第2層は、その特定の学問体系に基づく動作原理であり、第2層でのパラダイム破壊型イノベーションは、バイポーラ型のベースとなった電流注入型から、MOSFETなどのベースとなった電界効果型へという動作原理の転換を伴うイノベーションであった。第1層は、接続方法に関する「知」であるが、この層でのパラダイム破壊型イノベーションは、点接触型から接合型へといった「知」の転換を伴うものであった。このようにパラダイム破壊型イノベーションの土壌は、そのベースとなる科学、あるいは「知」の深さから、いくつかの層に分けることができる。

こうした土壌層の議論は、“More Moore”や“More than Moore”、“Beyond CMOS”といった議論とも親和性を持っている。例えば、“More Moore”をシリコン CMOS における微細化の追求、“More than Moore”を技術の融合や組み合わせなどによる新たな価値創造、“Beyond CMOS”を全く新しい原理や接続方法を用いて新規のデバイスを作ることと定義すれば<sup>⑥</sup>、完全に一致するとは限らないが、“More Moore”や“More than Moore”はパラダイム持続型イノベーション、“Beyond CMOS”のうち、新しい接続方法を用いた新規デバイスの開発は、第1層でのパラダイム破壊型イノベーション、“Beyond CMOS”のうち、新しい原理を用いた新規

表1 各土壌層と技術パラダイム/科学（「知」）

第1層 接続方法		1-a 点接触/ 点接触型	1-b 接合/ 接合型	
第2層 動作原理		2-a バイポーラ/ 電流注入型		2-b FET/ 電界効果型
第3層 学問体系	3-a 真空管/ 電磁気学	3-b 半導体/ 量子力学		



デバイスの開発は、第2層でのパラダイム破壊型イノベーションとなる。そして、第3層でのパラダイム破壊型イノベーションは、量子力学とは別の学問体系に基づくデバイスの開発ということになる（ここでは、“Beyond Quantum”と呼んでおくことにする）。

経済発展をもたらすうえで、最も重要なのは、新しい技術パラダイムを生み出すような科学の進歩（知の創造）である<sup>(7)</sup>。パラダイム持続型イノベーションによる経済成長も重要であるが、経済発展において最も重要なのはパラダイム破壊型イノベーションであり、中でもより深い層から生まれたパラダイム破壊型イノベーションは、より浅い層でのパラダイム破壊型イノベーションを誘発し、経済的水準の大きな飛躍をもたらすことができる。

## 5 インプリケーション

本節では、最後に、いくつかの点から、これまでの議論のインプリケーションについて述べておきたい。図3は、以上の議論に、Chesbrough (2003) のイノベーション論（クローズド・イノベーションとオープン・イノベーション）を加えたものである<sup>(8)</sup>。彼は、研究と開発（科学と技術）をリニア・モデルで示していたが、図3では、彼の議論を、阪井（2008）を参考にして、イノベーション・ダイアグラムで示している。図3は、クローズド・イノベーションのもとでのパラダイム破壊型イノベーションであり、企業の境界線は実線で示してある。例えば、かつてのAT&Tベル研究所は、潤沢な資金を持ち、研究所内で第3層を含むすべての層で研究を行ってきたことにより、トランジスタやMOSFETなど、多くのパラダイム破壊型イノベーションを実現することができた（図3-a）。

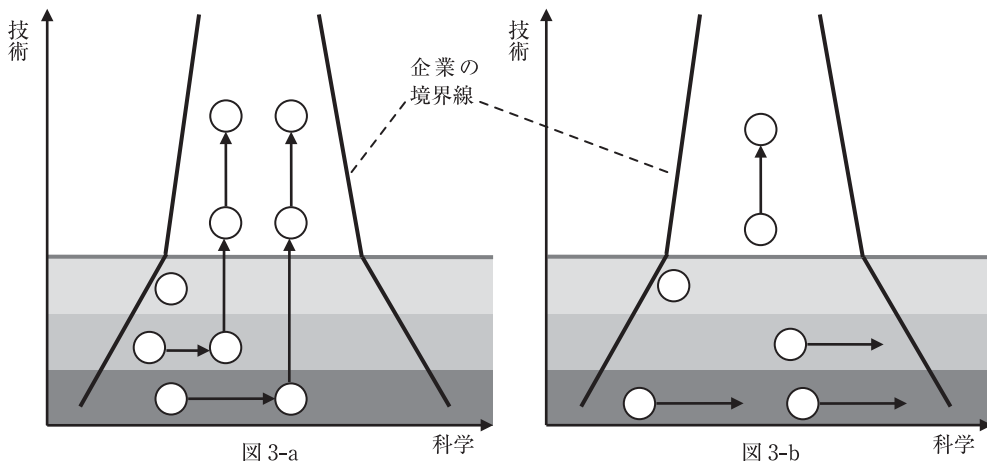


図3 クローズド・イノベーションのイノベーション・ダイアグラム



しかし、基礎研究に多額の投資を行って、土壌層を構築したにもかかわらず、科学と技術（研究と開発）が乖離してしまい、パラダイム破壊型イノベーションが実現しない企業も多い（図 3-b）。近年は、こうした点に対する反省があったり、科学（土壌層）が他の組織にも広がったという事情もあって、各企業が自社の中央研究所で土壌層を構築することの効率性が低下している。そのため、産学連携やオープン・イノベーションといった形で他の組織と連携しながら、科学と技術を結び付ける試みがなされている。自社内の研究所ではなく、外部の土壌（科学、「知」）を利用しながらパラダイム破壊型イノベーションを実現するためには、これまで以上に様々な工夫が必要となる。

アメリカのインテル社は、当初、自社で基礎研究まで行うことはせず、大学や企業など外部組織に依存しながら、イノベーションを実現しようとしていた（図 4-a）。また、近年においても社内研究所の第 1 の役割は、インテルと外部の研究者とがネットワークを作ることであるという。そして、これまでばらばらだった大学の研究プログラムを大規模な研究プログラムに統合することで、外部の研究を体系的に取り込もうとしている（Chesbrough 2003）。なお、図 4 において企業の境界線が点線となっているのは、イノベーションに関する企業の境界がオープンになっていることを示している。

また、ベルギーの imec は、フランダース州政府が支援している産学官連携の NPO であるが、IIAP（IMEC Industrial Affiliation Program）と呼ばれる独自の仕組みを導入し、最先端の企業と共同で研究プロジェクトを実施することで、基礎研究の蓄積が自己増殖的に拡大していく仕組みになっている<sup>9)</sup>。現時点では、“More Moore” や “More than Moore” といったパラダイム持続型の取組みが中心であるが、さらなる蓄積が進めば、より大きなパラダイム破壊型イノベ

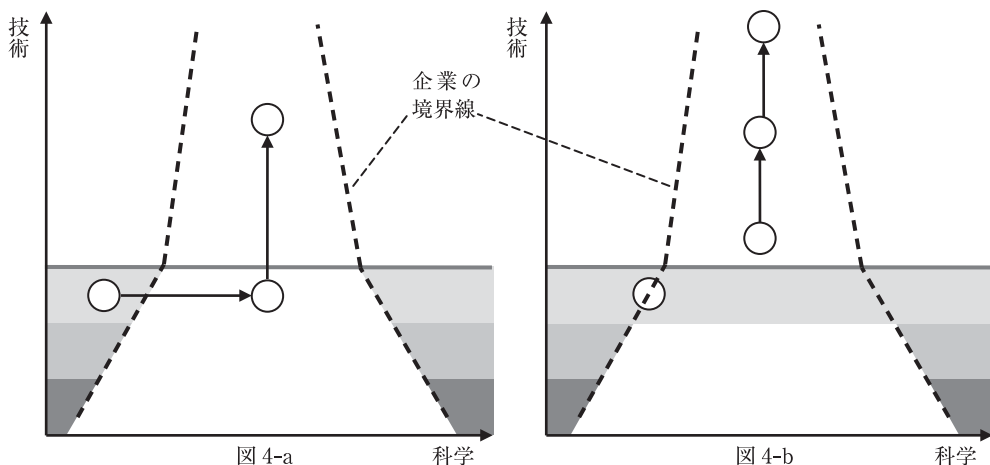


図 4 オープン・イノベーションのイノベーション・ダイアグラム

ションを実現させられるかもしれない（図 4-b）。

このように、「中央研究所の時代の終焉」（Rosenbloom and Spencer, 1996）や、オープン・イノベーションに焦点が当てられるようになる中、パラダイム破壊型イノベーション生み出すために、いかにして土壌層を構築するか、あるいはいかにして他の組織と連携するかが重要な課題となっている。

日本の超 LSI 技術研究組合（1976～1980 年）は、参加者が限定されたクローズドな共同研究組織であり、パラダイム持続型イノベーションにおいて、大きな成果を収め、1980 年代の日本半導体産業の興隆をもたらす要因になったと言われている。しかし、日本の半導体産業は、その成功ゆえに、アメリカなどの非難を浴びるとともに、基礎研究に多額の投資を行った。その結果として日本企業の「土壌層」は肥沃になったが、その一方で、パラダイム持続型を追及するというメタ・パラダイムが、企業だけではなく、政府をも縛ることとなり、官民癒着、企業横並びの体質とともに、停滞を招くこととなった可能性もある<sup>(10)</sup>。

日本企業、および日本政府が取るべき道は、科学と技術の連携をうまく機能させる場を設け、その場への参入組織を他の企業や外国の企業にも広げることである。imec のように NPO の形態をとったり、二者間合意を重視したり、あるいは国の競争力よりも、地域振興や大学教育を目的とするといった方法も大いに参考になろう。

また、「選択と集中」という議論があるが、選択と集中は、土壌が不毛になるとともに、パラダイム持続型イノベーションばかりを目的とすることになりかねない。もちろん、熾烈な国際競争の中で勝ち残っていくためには、選択と集中を行うことはやむを得ないが、その一方で、長期的に生き残っていくためには、オープン・イノベーションの形で企業の外部組織と連携して、パラダイム破壊型イノベーションの可能性を視野に入れることも必要である。その意味で、長期的には、「選択と集中」よりも、「選択と連携」も重要となろう。

最後になるが、世界経済が長期的に発展していくためには、第 3 層でのパラダイム破壊型イノベーションが必要不可欠である。各企業が、豊かな土壌層を囲い込むことが難しくなり、オープン・イノベーションが増加しつつある現在、第 3 層でのパラダイム破壊型イノベーションを実現しうるオープンな組織の誕生が望まれる。そのためには、企業だけでなく、大学や政府、あるいは NPO といった組織の連携が重要な鍵になると思われるが、この点に関しては、Suenaga (2012a) も参照されたい。

#### 《注》

- (1) 本稿は、2011 年に、同志社大学総合政策科学研究科「技術とイノベーション」の講座（同ビジネススクール「イノベーションと技術経営」との合同授業）で配布したペーパーを大幅に修正したもの

である。本稿の作成過程では、同講座や次世代大学教育研究会、産業学会、International Symposium on Innovation Strategy, International Schumpeter Society, Asia Pacific Innovation Conferenceにおいて議論に参加して頂いた方から、貴重なコメントを頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。もちろん、ありうべき誤りは、筆者の責任である。本稿をより一般化した議論については、Suenaga (forthcoming) を参照されたい。

- (2) マナとは、旧約聖書で描かれた食べ物であり、人々が飢えに苦しんでいる時に空から降ってきたものである。
- (3) 詳細については、Suenaga (forthcoming) も参照のこと。
- (4) 山口 (2006; 2008) では、「知の創造」や「知の具現化」という表現が用いられているが、本稿では、「科学」と「技術」という用語を用いることとする。また、山口 (2006; 2008) では、経済的な価値のみでなく、社会的な価値にも言及されているが、本稿では、経済的な価値に限定して論じていくこととする。
- (5) この表は、以上の事例から導出されたものであるが、他の事例においても、各層の内容が異なる可能性があるとはいえ、土壌の中には、土壌層が形成されており、同様の議論が展開可能であるという点において、本質的には、普遍的な議論と考えることができる。
- (6) “More Moore” などについては、論者によって内容が若干異なるが、ここでは、小笠原 (2010) の定義を用いた。
- (7) もちろん技術が進歩していく過程で、科学も進歩していくという相互依存性も存在するが、詳細については、Suenaga (forthcoming) を参照のこと。
- (8) クローズド・イノベーションやオープン・イノベーションの詳細に関しては、Chesbrough (2003) を参照のこと。
- (9) imec については、Suenaga (2012 a) を参照のこと。
- (10) 超 LSI 技術研究組合の問題点については、末永 (2013) 参照。

#### 引用文献

- Chesbrough, Henry (2003) *Open Innovation*, Harvard Business School Corporation.
- Dosi, Giovanni (1982) “Technological Paradigms and Technological Trajectories,” *Research Policy*, 11, 147-162.
- Dosi, Giovanni (1988) “Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation,” *Journal of Economic Literature*, 26, 1120-1171.
- Freeman, Christopher (1994) “The Economics of Technical Change,” *Cambridge Journal of Economics*, 18, 463-514.
- Freeman, Chris and Luc Soete (1997) *The Economics of Industrial Innovation*, Third Edition, Routledge.
- 小笠原敦 (2010) 「国際産学官連携拠点の目指すべき方向性 —「つくばイノベーションアリーナ」の概要と展望—」『科学技術動向』10月号, 12-20頁。
- Price, Derek J. de Solla (1965) “Is Technology Historically Independent of Science?,” *Technology and Culture*, 6(4), 553-568.
- Romer, Paul (1986) “Increasing Returns and Long-run Growth,” *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-37.
- Romer, Paul (1990) “Endogenous Technological Change,” *Journal of Political Economy*, 98, S 71-S 102.
- Rosenbloom, Richard S. and William J. Spencer eds. (1996) *Engines of innovation: U.S. industrial research at the end of an era*, Harvard Business School Press.

- 阪井和男（2008）「イノベーション恋愛論 — イノベーションの行為と成就 —」第 33 回次世代大学教育研究会。
- 末永啓一郎（2013）「日本の IT 産業政策とレント」中村文隆編『レントと政治経済学』八千代出版，第 5 章，113-134 頁。
- Suenaga, Keiichiro (2012a) “The Role of Local Government in an Era of Open Innovation: An Analysis based on the Example of a Flemish Government-funded NPO”『地方自治研究』第 27 巻第 2 号，1-10 頁。
- Suenaga, Keiichiro (2012b) “A Diagrammatic Model of Technological Paradigms and Technological Trajectories: The Emergence and Hierarchy of Technological Paradigms”, The 14th Conference of International Schumpeter Society, University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Suenaga, Keiichiro (forthcoming) “The Emergence of Technological Paradigms: The Evolutionary Process of Science and Technology in Economic Development,” Andreas Pyka and John Foster, eds., The Evolution of Economic and Innovation Systems, Springer.
- 山口栄一（2003）「半導体・デバイス産業」後藤晃・小田切宏之編『サイエンス型産業』NTT 出版，第 7 章，199-252 頁。
- 山口栄一（2006）『イノベーション — 破壊と共鳴 —』NTT 出版。
- 山口栄一（2008）「パラダイム破壊型イノベーションとしての産業革命」『組織科学』42(1)，37-47 頁。

## 《Summary》

The Hierarchy of Technological Paradigms:  
A Case Study of Semiconductor Industry

*By* Keiichiro SUENAGA

**Abstract**

While the prospects for the world economy are uncertain, the emergence or development of new technological paradigms is expected. In this paper, a case study of semiconductor industry will be analysed based on Yamaguchi's innovation diagram, and the hierarchy of technological paradigms will be clarified in order to consider the emergence of technological paradigms. In addition, in an era of open innovation, the method of innovation and the basic idea of science and technology policy will also change. This study also discusses the influence of open innovation and the change of science and technology policy, based on a revised version of Yamaguchi's model.