

技術進化における社会政治的ダイナミクスと 技術サイクル、製品の複雑性*

経営学輪講 Tushman and Rosenkopf (1992)

Tushman, M. L., & Rosenkopf, L. (1992). Organizational determinants of technological change: Toward a sociology of technological evolution. In B. M. Staw & L. L. Cummings (Eds.), *Research in organizational behavior* (Vol. 14, pp. 311–347). Greenwich, CT: JAI Press.

大神 正道[†]

技術進化は技術の内的な論理によってのみ生じない。非技術的要素によって生じる場合もある。実際の技術進化は、技術の内的な論理と非技術的要素の相互作用によって生じるものである。本稿では Tushman and Rosenkopf (1992) を取り上げることで、どのようなときに技術の内的な論理によって技術が進化し、どのようなときに非技術的要素によって技術が進化するのか、そして製品の複雑性はどのような関係があるか、に関して紹介する。そして、彼らの技術進化の捉え方に関していくつかの論点を提示する。

1. 技術進化における社会政治的ダイナミクスの重要性

Tushman and Rosenkopf (1992) は、技術進化を考えるにあたって、技術とはどのような

* この経営学輪講は Tushman and Rosenkopf (1992) の解説と評論を大神が行ったものです。当該論文の忠実な要約ではありませんのでご注意ください。図表も大神が解説のために Tushman and Rosenkopf (1992) を整理し直したものです。したがって、本稿を引用される場合には、「大神 (2009) によれば、Tushman and Rosenkopf (1992) は…」あるいは「Tushman and Rosenkopf (1992) は (大神, 2009)」のように明記されることを推奨いたします。

† 東京大学大学院経済学研究科 ogamix9@ybb.ne.jp

ものか、科学と対比することで検討している。

まず、彼らによれば、技術とは、特定の文脈における問題を解決するために開発されるものである。つまり、特定のアクター（政府や軍など）の要求が技術開発の伸展に大きな影響を及ぼすことを意味する。この点がある現象を理解するということに焦点を当てる科学と異なる。また、科学ではひとつの学問分野の中で意思決定が行われるが、技術は複数の専門分野をまたいだ意思決定が行われる。たとえば、物理学はその学問を専門とする物理学者間の相互作用によって前進するが、ジェットエンジンの開発は航空力学、冶金学、燃焼、機械工学といった複数の専門領域をまたいだ相互作用あるいは意思決定を必要とする。さらに、技術の評価軸は、科学よりも多岐にわたるために、企業あるいは専門家集団、顧客、政府といったアクター間における歩み寄りといった社会政治的ダイナミクスが必要となる。特定技術の発展に関係するこのような利害関係者集団を Tushman and Rosenkopf (1992) は「コミュニティ」と定義している。

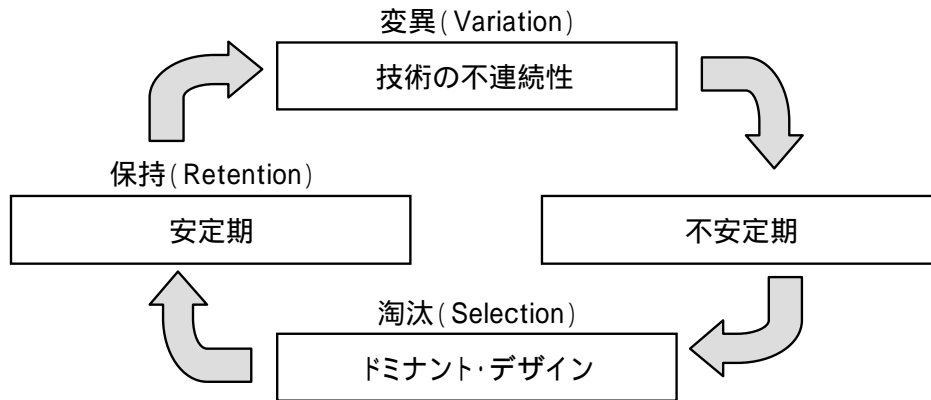
技術の進化を理解するためには、上述した技術と科学の本質的な違いを前提に、その内的な論理のみならず、社会政治的ダイナミクスといった非技術的要素に着目することが必要である。では、どのようなときに技術の内的な論理がその進化を生み、どのようなときに非技術的要素が重要となるのであろうか。

2. 技術サイクルと社会政治的ダイナミクス

Tushman and Rosenkopf (1992) は、Anderson and Tushman (1990) の技術サイクルという技術変化に関するモデルを用いることによって、どのようなときに技術の内的な論理、あるいは非技術的要素である社会政治的ダイナミクスが重要になるか、明らかにしている。

技術サイクルという技術変化に関するモデルは、技術の不連続性 (technological discontinuities)、不安定期 (eras of ferment)、ドミナント・デザイン、安定期 (eras of incremental) の四つの概念によって構成される。このモデルにおいて技術変化は、図 1 に示すように、技術の不連続性 不安定期 ドミナント・デザイン 安定期 技術の不連続性 不安定期...のサイクルを巡ると捉えられる。また、技術変化が技術の不連続性という変異、ドミナント・デザインという淘汰、そして安定期という保持の社会文化的プロセスという性質を持っていることも示している。以下では、技術サイクルモデルを構成するそれぞれの概念が社会政治的ダイナミクスとどのような関係にあるか、紹介する。

図1 技術サイクル



出所) Tushman and Rosenkopf (1992), p. 317, Figure 1 をもとに一部省略して筆者作成

技術の不連続性とは、大幅な生産性の進歩や根本的に異なる製品・工程デザインが生まれることであり、確率論的な事象である。この技術の不連続性が生じることによって、ドミナント・デザインの地位を巡る技術間競争が生まれる。そのような技術間競争には、既存技術 vs 新技術あるいは新技術 vs 新技術という構図が想定される。このように技術の不連続性が技術間競争を引き起こし、ドミナント・デザインが決定されるまでの時期を不安定期と呼ぶ。不安定期には、新技術の登場によって評価軸が不透明（どのような機能を求めているのか顧客自身もわからないような状態）になり、製品バリエーションが多くなるという特徴がある。不安定期はドミナント・デザインの登場によって終了することになるが、このドミナント・デザインの決定は技術の内的な論理だけで選択されることはほとんどない。むしろ、多くの場合において、社会政治的ダイナミクスがドミナント・デザインを決定する。ドミナント・デザインが誕生するという事は、競合技術が淘汰され、評価軸や取り組むべき問題が設定されることを意味し、技術的不確実性は格段に小さくなる。このように技術的不確実性の低い時期を安定期と呼ぶ。安定期における技術の進化はその内的な論理によって生じることになる。そして、安定期は確率論的な事象である技術の不連続性によって打破され、再び技術サイクルを巡ることになる。

Tushman and Rosenkopf (1992) は、技術の不連続性が生じ、ドミナント・デザインが決定されるまでの不安定期において、技術進化に対する社会政治的ダイナミクスの影響が最も大きくなると主張する。何が評価されるか不透明で、取り組むべき問題が設定されてい

ない時期においてこそ、コミュニティ内の各アクターが相互作用し、その社会政治的ダイナミクスが評価軸や取り組むべき課題を設定するのである。逆に、ドミナント・デザイン決定後の安定期には技術進化に対する社会政治的ダイナミクスの影響が最も小さくなる。

3. 製品の複雑性と社会政治的ダイナミクス

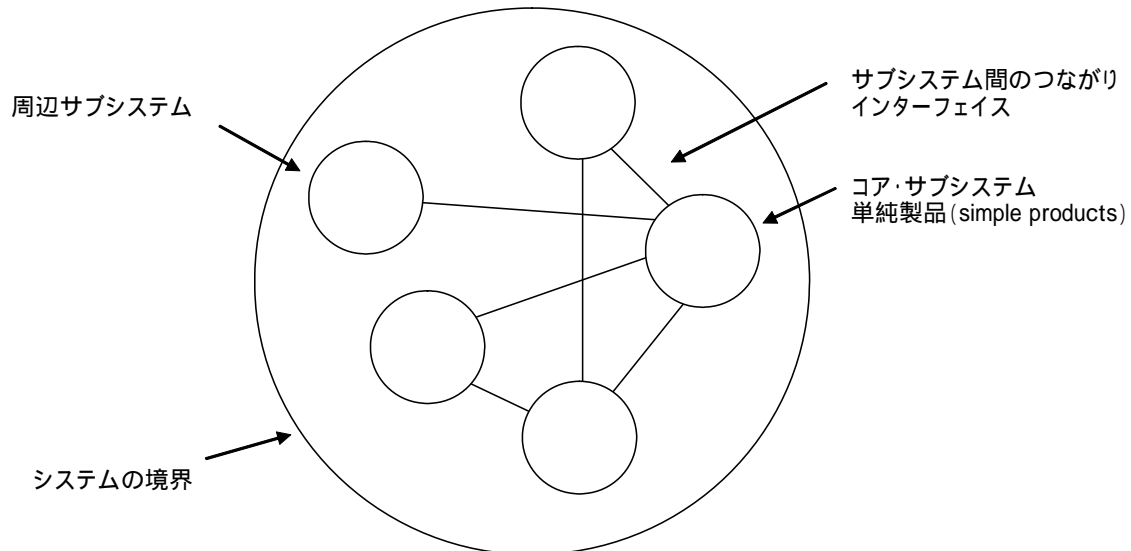
さらに、Tushman and Rosenkopf (1992) は、製品の複雑性と社会政治的ダイナミクスの関係を検討する。

彼らは、製品がコンポーネントに分解可能か、可能ならばそのコンポーネント間の関係性はどのようなものか（より具体的には、コンポーネント間の相互依存性の程度はどのようなものか）といった観点から製品の複雑性を捉えている。そのような観点から製品は大きく「非組立製品 (nonassembled products)」、 「単純組立製品 (simple assembled products)」、 「組立システム (assembled systems)」に分けられる。そして組立システムは、さらに「クローズドな組立システム (closed systems あるいは closed assembled systems)」と「オープンな組立システム (open systems あるいは open assembled system)」に分けられた。製品の複雑性は、非組立製品 単純組立製品 クローズドな組立システム オープンな組立システムの順で高くなる。以下では、それぞれの製品タイプの定義と特徴を紹介し、社会政治的ダイナミクスとの関係を検討する。

非組立製品とは、コンポーネントに分解できない製品である。たとえば、アルミニウム、セメント、板ガラス、製紙、石油などの製品が挙げられる。非組立製品は、連続し、相互連結した一連の工程によって製造される。また、その技術進歩は工程か原料において生じる。たとえば、19 世紀後半の板ガラス製造は、はじめに熟練技術者がガラスを吹いて円筒状にし、アシスタントがその円筒状のガラスを切断、板状にした後に磨く、というものであった。しかし、1903 年に登場したラバース式機械円筒法が熟練技術者のガラスを「吹く」という工程を駆逐し、代替した。このような非組立製品は、評価軸は単純で、コストパフォーマンスのように測定しやすいという特徴を持ち、ドミナント・デザインの決定は単一の専門家集団と企業のマネジャーの相互作用によってなされる。つまり、評価軸が単純で明確な上に、コミュニティ内のアクターが比較的少数なので、社会政治的ダイナミクスの影響は小さいと考えられる。

単純組立製品とは、独立したサブシステムからなる製品である。たとえば、ホースや缶、

図2 クローズドな組立システム

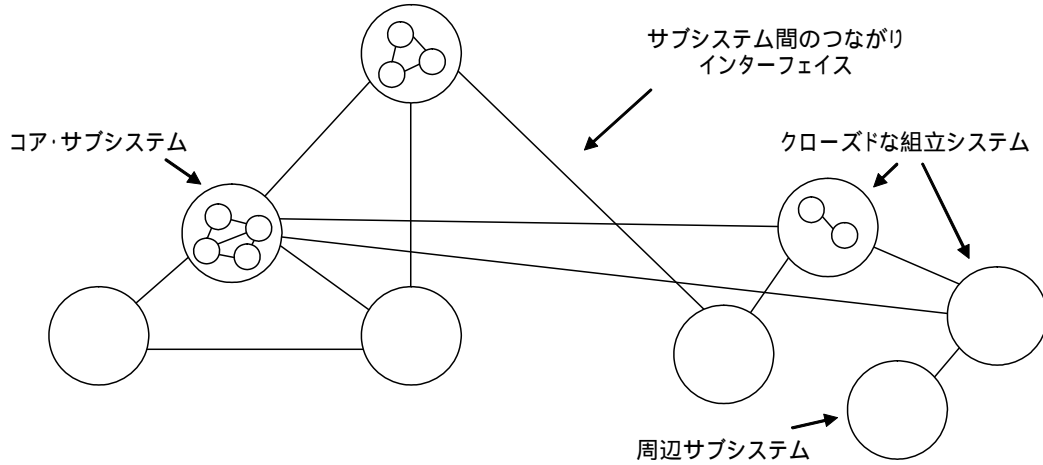


出所) Tushman and Rosenkopf (1992), p. 330, Figure 4 の上図をもとに筆者作成

スキー、コンテナ、銃、機械式時計部品などの製品である。非組立製品と同様に、連続し、相互連結した一連の工程で作られる。また、その技術進歩は工程、原料、製品代替によって生じる。工程における技術進歩として 19 世紀における銃の製造が挙げられる。互換性部品の登場とその使用によって引き金 (locks) そして銃床 (stocks)、銃身 (barrels) といったコンポーネントを手仕上げ (hand-fitting) する必要がなくなり、銃の大量生産が可能となった。このような単純組立製品は、非組立製品同様に評価軸が単純で、そのドミナント・デザインの決定も専門家集団と企業のマネジャーの相互作用によって決まる。つまり、非組立製品同様に、社会政治的ダイナミクスの影響は小さいものと考えられるのである。

組立システムとは、相互作用を伴うサブシステムによって構成される製品である。サブシステム間に複雑な相互依存性があるために、中心 (コア) となるサブシステムと周辺となるサブシステムがある。このような組立システムは、クローズドな組立システムとオープンな組立システムとに分けられる。クローズドな組立システムは、製品の境界を持ち (bounded である)、オープンな組立システムは製品の境界を持たない (unbounded である)。図 2 に示すように、クローズドな組立システムの各サブシステムはシステムの境界内に収まっている。この状態は、システムが「enclosed」されていると表現される。さらにクローズドな組立システムは単一組織によって生産されるという特徴を持つ。逆に、オープン

図3 オープンな組立システム



出所) Tushman and Rosenkopf (1992), p. 330, Figure 4 の下図をもとに筆者作成

な組立システムのサブシステムあるいはサブシステムとしてのクローズドな組立システムは、図3に示すように、明確な境界を持たず、分散し (dispersed)、「enclosed」な状態ではない。このオープンな組立システムは、クローズドな組立システムとは異なり、複数の組織 (networks of organization) によって生産されるという特徴がある。以下では、Tushman and Rosenkopf (1992) によるより詳細なそれぞれの組立システムに関する定義とその特徴、そして社会政治的ダイナミクスとの関係を紹介する。

クローズドな組立システムとは、単純組立システムあるいはサブシステムがインターフェイス技術を通じてひとつにまとまったシステムである。たとえば、時計や自動車、航空機のような製品がある。また、その技術進化はサブシステム、インターフェイスレベルにおいて生じる。サブシステムには、その他のサブシステムとつながり (linkage) を多く持つコア・サブシステムとあまりもたない周辺サブシステムがある (図2参照)。たとえば、自動車ではエンジンがコア・サブシステムで、ブレーキやステアリング、燃焼装置が周辺サブシステムと捉えられる。このように、その他のサブシステムと多くのつながりを持つコア・サブシステムの変化はドミナント・デザインそのものの変化をもたらす可能性がある。このクローズドな組立システム内におけるサブシステム間のつながり (linking) は単独企業内の論理によって決まる。さらに、クローズドな組立システムは、複数のサブシステムから構成されるので複数の評価軸がある。この点が非組立製品や単純組立製品と異なる。たとえば、CT スキャナにはスピード、解像度、サイズ、スキャニングモード、コス

トという評価軸があるが、初期においては、どの評価軸を優先して開発すべきか不透明であった。このような場合、優先すべき評価軸やドミナント・デザインの決定は、技術の内的な論理では決定されず、技術の専門家集団や競合企業、顧客（CT スキャナの場合は患者）による社会政治的ダイナミクスによって決定される。

オープンな組立システムとは、最も複雑な技術システムの形態で、サブシステムあるいはサブシステムとしてのクローズドな組立システムがインターフェイス技術を通じてまとめられ、ネットワーク化されて機能するものである。Tushman and Rosenkopf (1992) では、その例として、テレビやラジオ、電力システム、コンピュータ、鉄道を挙げている。オープンな組立システムでは複数の組織が技術的複雑性への対処や生産に携わっている。技術進化はサブシステムレベル（たとえば、サブシステムとしてのクローズドな組立システムにおいて）とインターフェイスレベルで生じる。オープンな組立システムにおけるつながりの標準（linking standards）は、本質的に組織間の交渉によって決定される。クローズドな組立システムよりもさらに多くの評価軸があり、そのドミナント・デザインの決定には社会政治的ダイナミクスを本質的に必要とする。ときには国家的な影響が生じることもあるために政府が関与することもある。¹

以上、製品の複雑性と社会政治的ダイナミクスの関係をまとめると表1のようになる。製品の複雑性が相対的に小さい非組立製品や単純組立製品では、評価軸やサブシステム間のインターフェイスの数、アクターの数が少ないために社会政治的ダイナミクスの影響が小さい。そして製品の複雑性が相対的に大きいクローズドな組立システムは、評価軸やイ

表1 製品の複雑性と社会政治的ダイナミクスの関係

	非組立製品	単純組立製品	組立システム	
			クローズドな組立システム	オープンな組立システム
評価軸、インターフェイス、アクターの数		少ない	多い	最大
社会政治的ダイナミクスの影響		最小	高	広範囲

出所) Tushman and Rosenkopf (1992), p. 339, Figure5 の下図をもとに筆者作成

¹ たとえば、無線システムにおける米海軍の関与、テレビにおける米連邦通信委員会（FCC）の関与が挙げられる。

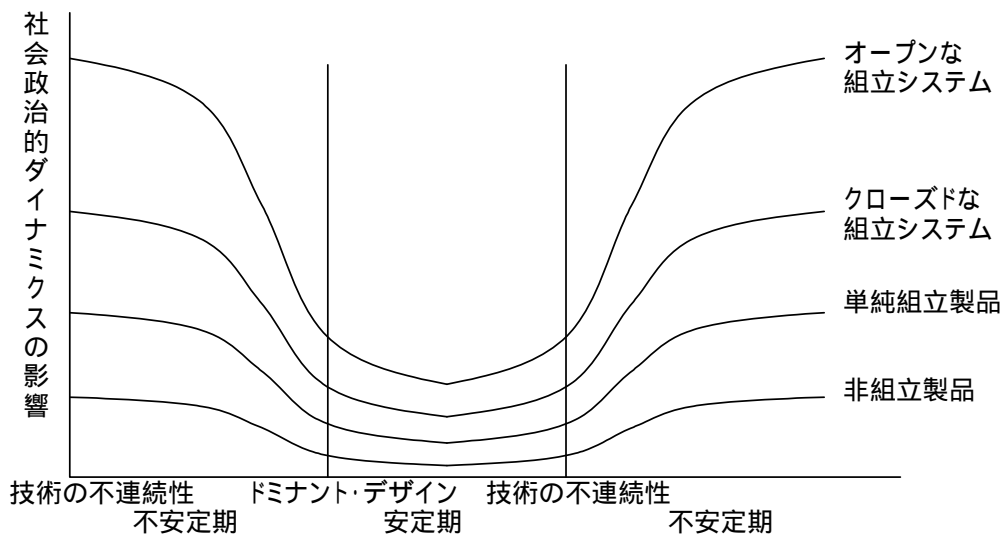
インターフェイスの数、アクターの数が多いために社会政治的ダイナミクスの影響は大きくなる。さらに、製品の複雑性が最も大きなオープンな組立システムに至っては、評価軸やインターフェイスの数、アクターの数が多様で最も多いため、社会政治的ダイナミクスの影響は最大で、広範囲に及ぶことになる。

4. 社会政治的ダイナミクスと技術サイクル、製品の複雑性

前節までに技術サイクルと社会政治的ダイナミクスの関係、製品の複雑性と社会政治的ダイナミクスの関係を明らかにしてきたが、Tushman and Rosenkopf (1992) は、それらすべてを統合して検討している。つまり、どのような製品がどのような時期に、社会政治的ダイナミクスの影響を受けるのか（あるいはほとんど受けないのか）について検討しているのである。

彼らによれば、社会政治的ダイナミクスが最大になるのは、オープンな組立システムが不安定期であるとき、あるいはオープンな組立システムのコア・サブシステムやつながりに関するサブシステム（linking subsystems）が技術の不連続性に直面するときである。また、不安定期における社会政治的ダイナミクスの影響は、非組立製品 単純組立製品 クローズドな組立システム オープンな組立システムの順に大きくなる。社会政治的ダイナ

図4 社会政治的ダイナミクスと製品の複雑性、技術サイクル



出所) Tushman and Rosenkopf (1992), p. 342, Figure 6 をもとに筆者作成

ミクスの影響が大きくなるのは、製品が複雑であればあるほど、コンポーネントの数が増え、その結果、評価軸の数やインターフェイスの数、関与するアクターの数が多くなるからである。そして、社会政治的ダイナミクスが最小になるのは、安定期における周辺サブシステムである。この安定期における社会政治的ダイナミクスの影響は、不安定期と同様に、非組立製品 単純組立製品 クローズドな組立システム オープンな組立システムの順に大きくなる。しかし、安定期における社会政治的ダイナミクスの影響は不安定期に比べると、当然小さい。安定期には評価軸が確立され、取り組むべき課題が設定されている（社会における合意がなされている）ため、社会政治的ダイナミクスの入り込む余地がほとんどないからである。以上の関係は図4のように示される。

以上のように Tushman and Rosenkopf (1992) は、どのような製品が、どのようなときに社会政治的ダイナミクスの影響を受けやすいか、明らかにした。

5. 三つの論点

本稿では Tushman and Rosenkopf (1992) の主張に対して三つの論点を提示する。第一は、クローズドな組立システムとオープンな組立システムの定義に関するものである。第二は、彼らの分析の前提に関するものである。そして第三は、同じ製品の複雑性を有するもの同士で比較することの重要性に関するものである。

第一の論点は、Tushman and Rosenkopf (1992) におけるクローズドな組立システム (closed assembled systems) とオープンな組立システム (open assembled system) の定義に関するものである。これらの定義が単純であるが故に生じる問題点を指摘する。ここで、それぞれの定義を振り返ってみよう。まず、彼らの言うクローズドな組立システムとは、製品システムには境界があり、その中にすべてのサブシステムが「enclosed」され、単一組織によって生産されるものである（図2参照）。そして、彼らの言うオープンな組立システムとは、製品システムに境界がなく、そのためサブシステムあるいはサブシステムとしてのクローズド組立システムが「enclosed」されておらずに分散しており、ネットワーク化された複数の組織によって生産されるものである（図3参照）。彼らは、このようにクローズドな組立システム、オープンな組立システムのそれぞれを定義した後、具体的な例を挙げるが、皮肉にも、そのことによって定義が実際に当てはまりのよいものではないことが明らかになる。たとえば、彼らはクローズドな組立システムの例として自動車を挙

げるが、実際、自動車は複数の組織（車体メーカーと複数のサプライヤー）によって生産されている。そして、その自動車は、放送局がなければ機能しないラジオのように、ガソリンスタンドがないと機能しなくなる。このように考えると、クローズドな組立システムというよりも、オープンな組立システムと捉えることもできる。また、彼らはガラスを非組立製品として捉えているが、自動車の一部として捉えると、オープンな組立システム（正確には、オープンな組立システムの周辺サブシステム）となる。ガラスと同じ非組立製品に分類される鉄鋼も、ガラスと同様に、自動車用の一部として捉えれば、オープンな組立システム（正確には、オープンな組立システムの周辺サブシステム）になる。つまり、すべての製品はある種のオープンな組立システムと捉えることができると言ってもよいだろう。そうであるのならば、非組立製品、単純組立製品、クローズドな組立システム、オープンな組立システムに分けて、それらに対する社会政治的ダイナミクスの影響を検討した意義は薄れてしまう。さらに、このことは製品の複雑性と社会政治的ダイナミクスの関係を捉えるためには、もっと適切な定義があるのかもしれないということも示唆している。

第二の論点は、彼らの分析の前提に関するものである。実際、彼らは、おそらく暗黙の内に、ひとつの技術にひとつのコミュニティという前提で分析をしている。しかし、それには技術進化を捉える上で限界がある。たとえば、そのような前提で建築物を検討する場合、ガラスは建築物の周辺サブシステムとして捉えられる。しかし、ガラスは建築物用だけでなく、自動車用あるいは液晶テレビ用などとして用いられる。そして実際にガラスメーカーは自動車に関するコミュニティあるいは液晶テレビに関するコミュニティに属し、それぞれの顧客の要求にこたえているだろう。その結果として、ガラスの生産工程全体が進化していると考えることができる。つまり、非組立製品であるガラスを中心に技術進化を検討する場合、複数のコミュニティの進化を同時に捉える必要が出てくるのである。そのような観点から非組立製品を捉えると、社会政治的ダイナミクスの影響が一概に小さいとは限らないかもしれない。

そして、第三の論点は、同じ製品の複雑性を有するもの同士で比較することの重要性に関するものである。彼らは非組立製品、単純組立製品、クローズドな組立システム、オープンな組立システムと分け、それらの間に社会政治的ダイナミクスの大きさに違いがあるということは論じている。しかし、そこには同じ製品の複雑性をもつと判断されるものは何でも、たとえば同じ非組立製品に分類される鉄鋼とガラス、あるいは同じオープンな組立システムに分類される鉄道や無線などは、同レベルの製品の複雑性に分類される限り、

同じレベルの社会政治的ダイナミクスの影響の大きさであるという暗黙の前提があるように見える。しかし、彼らが同じ製品の複雑性と分類した製品、たとえば鉄鋼とガラスあるいは鉄道と無線が、同じ大きさの社会政治的ダイナミクスの影響を受けるとは限らない。たとえば、鉄鋼は各国政府の干渉を受けるが、ガラスは鉄鋼ほど干渉されないだろう。さらに、同程度の複雑性を持つ製品同士を比較することでもっと他の点が見えてくるかもしれない。現在では、とりわけ複雑性の高い製品に関して、標準化という側面からそのような研究が行われている (e.g. 新宅, 江藤, 2008)。

以上のように、Tushman and Rosenkopf (1992) の主張は、技術進化を捉える上においてきわめて興味深い、いくつかの点において精緻化が望まれる。

参考文献

Anderson, P., & Tushman, M. (1990). Technological discontinuities and dominant designs: A cyclical model of technological change. *Administrative Science Quarterly*, 35, 604–633.

新宅純二郎, 江藤学 編著 (2008) 『コンセンサス標準戦略』日本経済新聞出版社.

Tushman, M. L., & Rosenkopf, L. (1992). Organizational determinants of technological change: Toward a sociology of technological evolution. In B. M. Staw & L. L. Cummings (Eds.), *Research in organizational behavior* (Vol. 14, pp. 311–347). Greenwich, CT: JAI Press.

赤門マネジメント・レビュー編集委員会

編集長 新宅 純二郎

副編集長 天野 倫文

編集委員 阿部 誠 粕谷 誠 高橋 伸夫 藤本 隆宏

編集担当 西田 麻希

赤門マネジメント・レビュー 8巻2号 2009年2月25日発行

編集 東京大学大学院経済学研究科 ABAS/AMR 編集委員会

発行 特定非営利活動法人グローバルビジネスリサーチセンター

理事長 高橋 伸夫

東京都千代田区丸の内

<http://www.gbrc.jp>