

平成 23 年度・商工会館・調査研究事業・報告書

産業と技術の比較研究

- エレクトロニクス産業と自動車産業 -

児玉文雄
鈴木潤
加納信吾

平成 24 年 3 月

はじめに

1980年代の日本の産業と技術の競争力は、世界を制覇し、この制覇はしばらく継続するものと考えられていた。しかし、1990年代後半になると、この構図が成立しないことが明確になってきた。さらに、産業によりパフォーマンスに大きな違いが出てきた。細かく観察すると、個別技術による違いも明らかになってきた。

この産業や技術におけるパフォーマンスの違いは、何によるのであろうか。いくつかの仮説を立てることが出来る。本調査研究では、1980年代後半から1990年代の半ばに進行した、産業と技術に起きたパラダイム変化が、それぞれの産業や個別技術のパフォーマンスに決定的な影響を与えたという仮説を採用する。

具体的には、産業の比較においては、エレクトロニクス産業と自動車産業を取り上げ、モジュール化やオープンアーキテクチャの進展という視点から、両産業の比較を行う。1980年代に日本の国際競争力の強さをリードしたのは、自動車と総合電機産業であった。しかし、1990年代になると、前者は国際競争力が一層向上したのに対し、後者においては、殆どの企業において大巾な赤字を計上し、製品系列と人員構成の再編成を余儀なくされた。

この二つの業種の大きな違いは、生産性の相違によりもたれられたのであろうか。あるいは、企業体質の違いから来ているのであろうか。我々の作業仮説は、IT革命がもたらした「モジュール化」のインパクトが、両業種の間で大きく異なり、日本的技術経営が片方ではポジティブに作用し、もう一方ではネガティブに働いたというものである。

調査の方法は、まず、この二つの産業における日米経済摩擦とその交渉結果を契機として、その後の進展を時間関係の分析軸を基にして調査をする。次に、両産業における「モジュール化」の進展についての客観的分析を中心とした情報収集をする。結論としては、この二つの分析を統合して、技術進化の形態が、個別産業の国際競争力にどのような影響を与えるかを比較検討する。

研究会メンバー：

岡松壯三郎

及川耕造

児玉文雄

鈴木潤

加納信吾

目次

- 1 日米摩擦とその交渉結果に与えたインパクト
 - 1) エレクトロニクスに関する日米摩擦の経緯
 - 半導体摩擦の前段階（ラジオとテレビ）
 - 日米半導体摩擦の経緯
 - 半導体業界をめぐる動向
 - 超 LSI 国家プロジェクトが与えた影響
 - パーソナル・コンピュータ発展の経緯
 - 2) 自動車に関する日米摩擦の経緯
 - 小型車競争と対米自主規制
 - 日米自動車交渉の経緯
 - 現地生産と現地部品調達の進展状況
 - 日米交渉後（1996 - 2005）の米国市場でのプレゼンス
 - 3) 日米摩擦の背景としての技術進歩
 - 集積回路の学習曲線
 - 自動車の学習曲線（1900-1975）
 - Learning-by-Using（利用学習）
 - 日本自動車産業の学習システム
2. モジュール化とオープン・アーキテクチャのインパクト
 - 1) エレクトロニクスに関するモジュール化とオープン・アーキテクチャの進展
 - 2) 自動車に関するモジュール化とオープンアーキテクチャの進展
 - 3) 技術移転（流出）へのインパクト
3. 日本的技術経営の自動車産業およびエレクトロニクス産業に対する作用
 - 1) 日本的（技術）経営の特徴
 - 2) インプリケーション
4. 将来展望とその課題

1. 日米摩擦とその交渉結果の与えたインパクト

1) エレクトロニクスに関する日米摩擦の経緯

半導体摩擦の前段階（ラジオとテレビ）

1959年に、日本製トランジスタ・ラジオの輸入阻止運動が米国で発生し、日米貿易摩擦のはしりとなった。また、1960年代の前半は白黒テレビ、後半にはカラーテレビの日本からの輸出が大きく成長した。日本からの輸出先は、終始一貫して米国が中心であった。ラジオとテレビのほかにも、カセット・テープ・レコーダーなどのオーディオ機器も輸出で成長した。

1968年に、米電子機械工業会(EIA)は「日本製テレビにダンピングの容疑あり」として、日本メーカー11社の提訴を行った。これを受けて1971年、米財務省が日本製テレビに対してダンピングを認定した（1975年にソニーのみ安売りの事実はないとして除外）。

米国の家電・電子業界にとっては、それまでもトランジスタ・ラジオや自動車用無線（CBR）白黒テレビ等と、立て続けに日本製の輸入品にシェアを奪われてきていた。また、米国のラジオやテレビのメーカーはRCA社を除けば比較的規模が小さく、経営の多角化や輸出市場開拓に遅れをとっていた。カラーテレビを例にとると、1971年から1977年の間に米国のメーカーは20社から5社に減少し、60万人以上の雇用喪失を招いたという（Stephen Cohen, 1998）。最後まで残ったゼニス社も1999年に韓国のLG電子に買収された。

1977年には、日本製カラーテレビに関する市場秩序維持協定（OMA）が締結され、日本からの対米輸出台数が年間175万台に制限されることとなった。ただし、これを契機に日本メーカーの現地生産が本格化し、日本からの輸出が激減したため、対米輸出規制は3年で終了した。

【ESLI資料、電子産業50年史、等】

日米半導体摩擦の経緯

1970年代の後半、米国の半導体企業は、急速に価格競争力を付けた日本の半導体メーカーの安値攻勢に直面した。その一方で、米国企業が日本市場へ参入することは困難であった。このような状況の下、1982年には米半導体工業会（SIA）の要請により、日米産業政策対話とハイテク・ワーキング・グループが発足した。このワーキング・グループは1983年までに一連の勧告を行うが、半導体のシェア

等に実質的な変化は生じなかった。その後、半導体の問題は、1985年に MOSS 協議（市場志向型分野別協議）で取り上げられるが、SIA が並行して通商 301 条の適用を申請した。また 3 件のダンピング訴訟（64K-DRAM：Micron 社が提訴、EPROM：Intel・National Semiconductor・AMD 社が提訴、256K-DRAM：米商務省が提訴）が発生した。

1986年、日米の政府間交渉の結果、日米半導体協定が発効した。協定の内容は、日本市場における外国製半導体販促と、外国における日本製半導体のダンピングの停止（FMV＝公正販売価格）などであった（米国は日本市場における外国製半導体 20%のシェアを日本政府が公約したものと認識していた）。しかし、日本市場における外国製半導体のシェアは即座には上昇しなかったため、1987年、半導体協定違反を理由として米通商法 301 条が発動された（ダンピングに対する報復課税は通産省の行政指導が機能し始めたため 1987 年中に撤廃された。また販促義務違反に関する課税も新協定 1991 年と同時に撤廃された）。この間、1985年 9 月にはプラザ合意で円高が進み、1988年には米包括通商法（スーパー 301 条）が制定される。しかし、年間 500 億ドルに上る米国の対日貿易赤字は減らなかったため、1989年の日米首脳会談でブッシュ大統領が日米間の貿易不均衡の解消を目的として日米構造協議を提案した。1989年には、スーパー 301 条の対象品目に半導体を加えるかどうかの議論が生じたが、結果的に半導体は対象品目から外され、日米はより協力的な対策をとることになった。その結果、外国製半導体の“デザイン・イン（設計段階からの協力）”などが開始される。

1991年に日米半導体協定の失効に伴い、新半導体協定が発効した。新協定では日本市場における外国製半導体のシェア目標として 20%が明記される（ただし、キャプティブ＝社内ユースを計算に含めるかどうかで日米の見解は相違）。1992年末に、期限ぎりぎりでもシェア 20%は達成された。その後、1994年には外国製半導体のシェアは 23.4%にまで上昇し、それを受けて通産省は日米半導体摩擦の終息を宣言した。これ以降、日本メーカーの DRAM の価格競争力が徐々に失われていったこともあり、日米間の半導体摩擦は沈静化していった。もはや DRAM は米国にとって保護する必要のない産業へと変貌を遂げていたという指摘もある。

日米半導体協定によって市場のダイナミズムが奪われた結果、日本企業は半導体分野の中でもさらにハイテクである論理回路分野に進出する機会と能力を奪われてしまったという指摘がある（土屋,1995年）。そして、当初得意としていたメモリー分野でも、韓国を中心とするアジア諸国の企業が日本から製造装置を導入し、また米国等から設計技術を導入したことによって急速に成長し、日本メーカーは優位性を失っていった。

半導体業界をめぐる動向

1970年、ロバート・ノイスとゴードン・ムーア、アンディ・グロブらが設立（1968年）したIntel社が、1KビットのDRAMを発売した。DRAMはそれまでのコンピュータのメモリーの主流であった磁気コアメモリーを急速に置き換えていった。またIntel社は1971年、世界初のマイコンである4004を発表している（Intel 4004は、日本の電卓メーカーであるビジコン社からの開発依頼に基づくもの）。Intel社の後を追って、NEC、東芝、日立などの日本メーカーもDRAM市場に参入した。なお、AMD社の設立は1969年、Micron Technology社の設立は1978年である（いずれもベンチャー企業）。また韓国のサムソン電子工業は1977年に半導体事業に参入している。

1971年、通産省「特定電子工業及び特定機械工業振興臨時措置法」で日本の半導体大手6社＝コンピュータ企業が3グループに集約される（富士通＝日立；Mシリーズ、三菱＝沖；Cosmoシリーズ、東芝＝NEC；ACOSシリーズ）。日本の半導体メーカーが外販せず、垂直統合型企業であるのはこの政策に負うところが大きい。

1972年、米テレックス社がIBMを独禁法違反で提訴し、IBM社内の機密文書が公開され、超LSIを使った高性能コンピュータ「FS (Future System) 構想」が明るみに出た。これに刺激された日本の通産省がIBMの次世代コンピュータに対抗する国家プロジェクトを企画し、1976年“超エル・エス・アイ技術共同組合（超L研）”が発足（1975年スタートの電電公社プロジェクトと並行）した。DRAMの集積度は1Kビット、4Kビット、16Kビットと急速に向上して行き、超L研が開発した基礎技術等（国産初のステッパーは1980年に開発に成功）の成果は、日本メーカーのDRAM開発に大きく貢献したとされている。

1985年に日本の半導体メーカー各社は、1MビットDRAMチップを実際に試作し、研究組合の目標を達成した。ほぼ同時期に、日本の半導体メーカーはDRAM生産高で米国半導体メーカーを凌駕し、またIntel社はDRAM事業からの撤退を決めた。

1987年、台湾でTSMC社が創業された。TSMC社は世界最大級の半導体ファウンドリー企業に成長し、AMD社やBroadcom社、Qualcomm社などから製造委託を受ける。1992年には、DRAM市場と半導体市場で日本のメーカーがそれぞれシェア1位（東芝・NEC）から転落し、サムソン電子とIntel社が1位になる。また、1994年頃を境に台湾でも半導体企業が躍進する。1995年には、サムソン電子が液晶事業に参入。

1999年、NECと日立製作所がDRAM部門を統合し、エルピーダメモリを設立した（2003年には三菱電機のDRAM部門も吸収）。2001年には、NECや東芝などが汎用DRAM事業から完全に撤退（東芝の半導体事業はMicron社に売却）し、また2003年には日立製作所と三菱電機がシステムLSI事業を統合し、ルネサステクノロジ社を設立（後にNECエレクトロニクスもルネサスに吸収される）。

超 LSI 国家プロジェクトが与えた影響

DRAM における成功体験により日本のメーカーの技術開発が製造プロセス偏重になり、その後の回路設計の開発が軽視されたという指摘がある。また米国は日本を見習い、1983-4 年に反トラスト法を改正して共同研究開発行為を合法化した。それを受けて半導体分野における官民共同の開発プロジェクト SEMATECH を 1987 年にスタートさせ、半導体製造技術の底上げが図られた。同時期に欧州でも共同研究コンソーシアム IMEC と ASML 社が設立（1984 年）されている。

破たんの瀬戸際にあった米国半導体製造装置産業（Applied Material 社など）を復活させたのは SEMATECH であるとされている。SEMATECH では米国の大企業（特に IBM）が積極的に技術移転を行った。これをもって“SEMATECH は IBM による産業政策である”という表現もされている。ただ、1977 年に世界で最初のステッパーを発売したのは GCA Corporation of North Andover（Ma）社であるが、同社は破たんを免れなかった。

超 L 研や SEMATECH において標準となる半導体製造装置が開発され、「製造装置と処方箋をセットで導入すれば、誰でもある程度の品質の半導体を同じように量産できる」ようになった。日本の半導体製造装置メーカーや素材メーカーも積極的に外販を行っていった。すなわち、DRAM 事業は 1980 年代には既に投資の額とタイミングが主要な成功要因になっており、これが結果的に台湾や韓国などの半導体メーカーの勃興を招いたとされる。

汎用コンピュータ用 DRAM では、引き続き高品質な日本メーカーの製品が競争力を持っていたが、日本メーカーは PC 用の低価格・低品質 DRAM の大量生産には対応できなかった（投資判断を誤った）。外国製半導体にとって有利な環境条件としては、日米半導体貿易協定に加えて、バブル経済崩壊後の日本の深刻な不況や、急激な円高・ドル安の進行、世界的なパソコン市場の勃興（日本語処理パソコンにこだわった日本製 PC の閉鎖性・孤立）などがあげられる。

パーソナル・コンピュータ発展の経緯

1973 年、Xerox 社パロアルト・リサーチ・センター（PARC）でアラン・ケイが世界初のパーソナル・コンピュータ Alto を試作。Alto は当時すでに実用段階に入りつつあった ARPA-NET への接続を前提としていた。Xerox 社は 1981 年に Star という商品名で Alto の後継機を発売したが、商業的には成功しなかった。

1975 年、MITS 社が一般向けの 8 ビット・パーソナル・コンピュータとして世界初の Altair 8800 の発売を開始した。またビル・ゲイツとポール・アレンが同年 Microsoft 社を設立し、Altair 向けの BASIC を発売した。MITS 社に続き、シャープなど日本メーカー数社もパソコンキットを発売している。

1977年、前年にスティーブ・ジョブズとスティーブ・ウォズニアクが設立した Apple 社が、オールインワン・パソコンである Apple II を発売し、商業的な成功を収める。1978年には、NECのPC-8001など、日本メーカーも本格的にパソコン市場に参入した。

1981年、IBMが社内のスカンクワーク（非公認プロジェクト）によって開発した16ビットパソコンIBM-PCおよびPC-DOS(MicrosoftのMS-DOS)を発売した。翌年、日本ではNECが16ビットパソコンPC-9800を発売している。

1984年、IBMはIBM-PC/ATを発表した。IBMは設計を公開したため多くのメーカーがAT互換機を発売し、市場成長の原動力となった。しかし、日本国内では日本語表示に関する特殊性が海外からの参入障壁となり、安価なAT互換機はすぐには普及しなかった。

1985年、東芝が世界初のラップトップ・パソコンT-1100を発売した。さらに東芝は1989年、世界初のノート・パソコンDynabook J-3100SSを発売し、IBMやApple社も1990年代初頭にノート・パソコン市場に参入した。

1990年、日本アイ・ビー・エムがパソコン用OSとしてDOS/Vを発表した。これによりAT互換機上で専用のハードウェアを必要とせずに、ソフトウェアだけで日本語表示が可能となり、日本でAT互換機が一般に普及するきっかけとなった。

1992年、Compaq社が低価格パソコン販売を始め、価格競争によって多くの競合企業（IBMやDEC、AT&T、Packard Bellなど）が市場から退出していった。ただし、Compaq社自身も2002年にはHewlett Packard社に買収されている。日本市場においても、DOS/Vと低価格パソコンの出現によってNEC PC-9801の独占状態が崩れ、価格競争が始まった。

1995年、Microsoft社がWindows 95を発売した。またWindows 95とともに、Microsoft Officeがアプリケーション分野で急速にシェアを拡大し、デファクト・スタンダードの地位を獲得していった。

エレクトロニクスに関する年表

		貿易摩擦	半導体	パソコン
1950年代	1959	日本製トランジスタ・ラジオの輸入阻止運動が米国で発生		
1960年代		日本から米国へのテレビの輸出が大きく成長		
	1964			IBMがSystem/360(初のモジュール型汎用コンピュータ)を発売
	1968	EIAが日本製テレビをダンピングで提訴	Intel社設立	
	1969		AMD社設立	
1970年代	1970		Intel社が1KビットのDRAMを発売、日本メーカーもDRAM市場に参入	
	1971	米財務省が日本製テレビのダンピングを認定	Intelが世界初のマイコンを発表	
	1972			
	1973			Xerox PARC でアラン・ケイがAltoを試作
	1975			MIT社が世界初のパソコンAltair 8800を発売、同年Microsoft社設立
	1976		超エル・エス・アイ技術共同組合(超L研)が発足	Apple社設立
	1977	日本製カラーテレビに関する市場秩序維持協定(OMA)を締結	サムソン電子工業が半導体事業に参入	Apple社がApple IIを発売し商業的な成功を収める
	1978		Micron Technology社設立	NECのPC-8001など、日本メーカーも本格的にパソコン市場に参入
	1979	日本メーカーのテレビ現地生産が本格化し対米輸出規制は終了 米企業は日本製DRAMのダンピングと日本市場への参入障壁に直面		
1980年代	1980		ニコンが国産初のステッパー開発に成功	
	1981			IBMがIBM-PCおよびPC-DOS (MicrosoftのMS-DOS)を発売
	1982	SIAの要請により、ハイテク・ワーキング・グループが発足		日本でNECがPC-9800を発売
	1984			IBMはIBM-PC/ATを発表。多くのメーカーが互換機を発売
	1985	MOSS協議で半導体を取り上げられ、SIAが301条適用を申請	日本企業が1MビットDRAM製作に成功、IntelがDRAM撤退	東芝が世界初のラップトップ・パソコンT-1100を発売
	1986	日米半導体協定が発効	日本企業のDRAM生産高が米国半導体メーカーを凌駕	
	1987	半導体協定違反を理由として301条が発動	1987年、台湾でTSMC社が創業	
	1989	スーパー301条の対象品目に半導体を加えるかどうかの議論が生じる		東芝が世界初のノートパソコンDynabook J-3100SSを発売
1990年代	1990			日本アイ・ビー・エムがパソコン用OSとしてDOS/Vを発表
	1991	新半導体協定が発効		
	1992	年末に期限ぎりぎりではシェア目標20%を達成	DRAMと半導体で日本企業がシェア1位を失う(サムソンとIntelが1位)	Compaq社が低価格パソコン販売を始める
	1994	通産省は日米半導体摩擦の終息を宣言。摩擦は沈静化	台湾でも半導体企業が躍進	
	1995		サムソン電子が液晶事業に参入	Microsoft社がWindows 95を発売
	1999		NECと日立製作所がDRAM部門を統合しエルピーダメモリを設立	
2000年代	2001		NEC、東芝が汎用DRAMから撤退(東芝の半導体事業はMicron社に)	
	2003		エルピーダが三菱電機のDRAM部門も吸収	
			日立と三菱電機がシステムLSI事業を統合しルネサステクノロジを設立	

2) 自動車に関する日米摩擦の経緯

小型車競争と対米輸出自主規制

70年代半ばから80年代後半にかけて、石油ショック後の小型車競争のなかで圧倒的に優勢となった日本メーカーは欧米市場にて市場シェアを拡大した。これが貿易摩擦となって政治問題化していくが、1980年5月のアスキュー代表の訪日に際し、自動車問題に対する日本の自主的な措置として、「自動車パッケージ」を発表した。このパッケージは、経済的に採算のとれる対米投資の勧奨、自動車部品関税の原則撤廃、自動車部品ミッションの派遣等からなり、米国もこれらの日本の措置を評価した。しかしながら、1980年6月、米国自動車労組(UAW)は日本の対米乗用車輸出が米国自動車産業に被害を与えているとして、通商法201条(エスケープクローズ)に基づき、国際貿易委員会(ITC)に提訴し、1980年11月にITCの裁決で提訴が却下されたものの、これを契機として、1981年に日本は、米国自動車産業の再建努力を前提として、自由貿易主義を守るための臨時異例の措置として対米乗用車の輸出自主規制を発表した。輸出自主規制は最終的には10年以上に及ぶものとなったが、81年から83年では168万台、1984年185万台、1985年から1991年は230万台、1992年から93年165万台を上限としたもので、1994年に終了した。

この対米輸出自主規制は、日本メーカーの対米工場進出を促したが結果として、関連部品・素材企業の現地進出を促すこととなり、直接的には日本からの自動車部品・素材製品の対米輸出を増大させた。

日米自動車交渉の経緯

80年代後半230万台を上限とする輸出自主規制が行われる中、米国から自動車部品をMOSS協議の対象分野として追加するという動きがおこり(1986年5月、日米首脳会議での米側の強い要請)、日本の自動車メーカーと日本の自動車部品メーカーの間に緊密な系列取引が存在することが米国製自動車部品の日本への輸出が非常に少ない原因であるとして「日米自動車部品摩擦」が交渉の遡上に乗じ、日本の自動車メーカーによる「系列外からの部品調達」が業界アジェンダとして動き始める。MOSS協議では、1986年から1987年にかけて8回の交渉がもたれ、1987年8月に最終報告が出され決着した。米国側の要求は、日本の自動車企業の系列内取引慣行の是正と日本側による監視制度の実施であったが、監視制度のみが民間ベースを主体として実施されることになった。日本側が業界団体を取り纏めとして各社の米国製部品の購入額などを米国の現地法人を含めて公表し、日本側の購入窓口の新設や情報提供の拡充に努め、米国製部品の購入努力を約束した。又、政府間でもフォローアップのため継続的な協議の場を設けることとされた。

これを受けて、1987年には日本自動車工業会（JAMA）- 米国自動車部品工業会（MEMA）定期協議会にて、「デザイン・イン・システム」が初めて米国に紹介され「系列外からの部品購入」活動がスタートすることになる。また、MOSS 協議では米国での日系自動車メーカーの工場現地進出も論議の対象となっており、MOSS 協議を契機に現地調達率の引き上げが政治的に強制されていくこととなる。米国で生産された日系自動車部品企業の製品は米国製であるとの認識は確保できたものの、米系自動車部品企業との競争との関連で、日系自動車部品企業は日系自動車メーカーへの供給を継続するためには、1988年までに北米進出を決定する必要性に迫られた。

ブッシュ政権下の1990年には、系列外部品調達のための第1回個別商談会がラスベガスにて開催され（個別商談会は1994年までに11回が開催される）、業界ベースの活動としては継続的に部品調達拡大の努力が開始される。これに続いて1992年1月には、ブッシュ大統領の来日にあわせて、部品調達を1994年までに190億ドルに拡大する（1990年実績90億ドル）「国際アクションプラン」が業界ベースで作成された（最終的にこの調達目標は達成される）。

しかしながら、クリントン政権下で行われた1993年7月に開始された日米包括協議において自動車問題は個別セクターとして扱われ、米国側は、部品購入（日本による輸入と米国における現地生産）、現地生産の現地調達比率のビッグ3並への引き上げ、輸入車ディーラーの増加の3点を要求する。進展状況に不満があった米国は、部品購入努力目標を「購入約束」として捉えており、目標が達成できない場合にはスーパー301条による制裁措置として関税100%を課すと1995年5月に発表したが、日本側はWTOに提訴して応じたため、日米自動車摩擦はピークに達する。これを受けて、翌月の1995年6月橋本・カンター会談により、数値目標の回避措置がとられ、日米自動車協定が成立する。この協定は、部品購入目標設定の排除、補修部品市場の規制緩和、合意内容が第三国にも適用されるMNF（最恵国待遇）、各社のボランタリープランの強化努力の4点を掲げた。協定後の最大の課題は、現地生産の生産量を上げることにあったが、実際のところ、現地生産の増大により、日本からの輸出は減少した。

1995年の日米自動車協定以降、数値目標は回避しつつも、実績ベースで見ればその数値目標を達成していたことにより、貿易問題として自動車問題が扱われることはなくなり、日米自動車摩擦は1995年日米自動車協定をもって終結したと解釈されている。

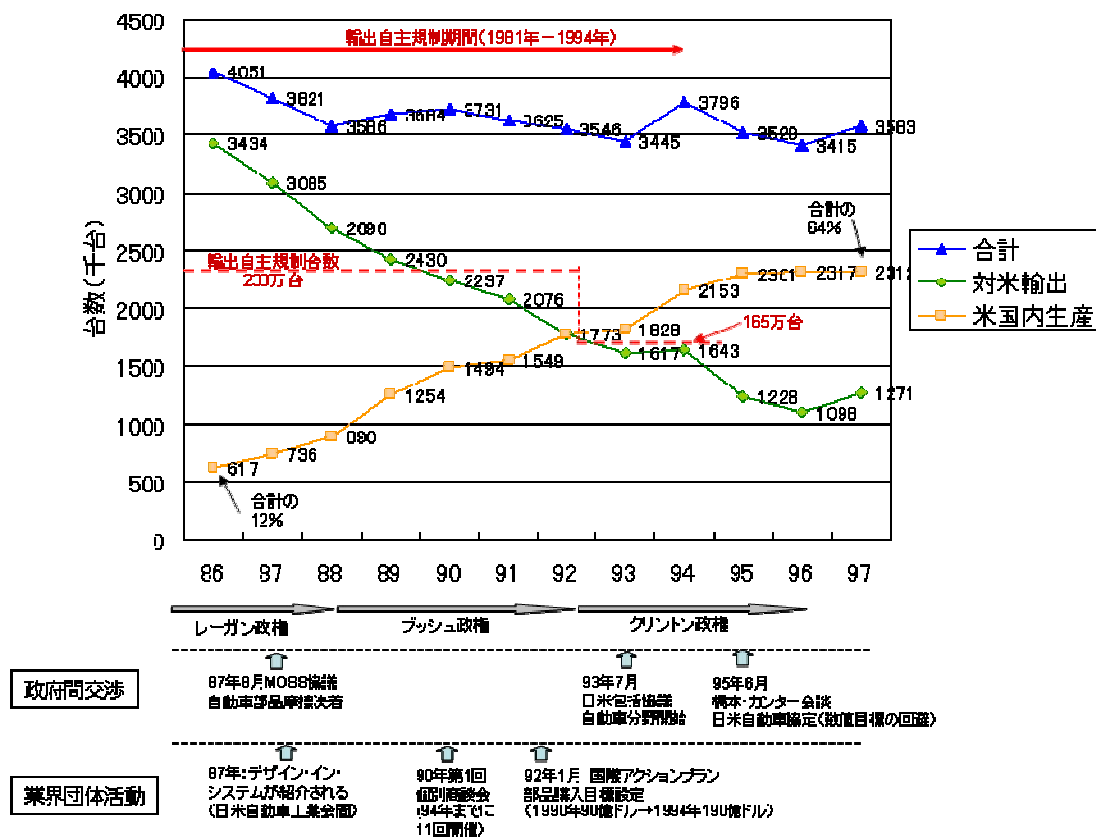
現地生産と現地部品調達の進展状況

87年のMOSS協議における自動車部品摩擦の決着から95年日米自動車協定成立前後にかけ、日本からの対米自動車総輸出は、86年の340万台から、96年には

約 110 万台へと減少し続けていた。一方、日系自動車メーカーによる米国内生産台数は、86 年の 61.7 万台からおよそ 170 万台増え、約 4 倍の 231.2 万台に増加した。現地生産が増大した結果、日本メーカーの米国販売全体に占める北米生産車の割合は、86 年では 12%を下回っていたが、97 年には 64%に達した（図 X）。

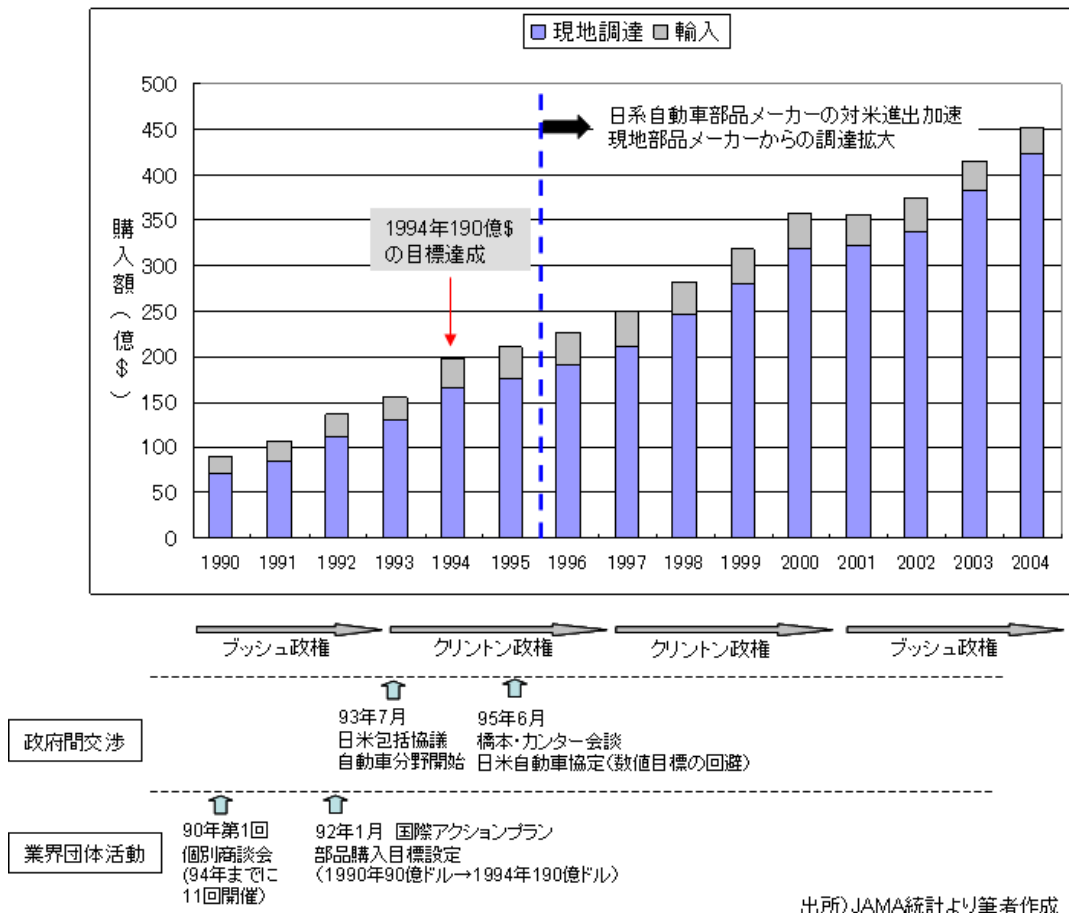
一方、米国製自動車部品の調達は、量的目標をクリアする必要性に迫られていたが、1987 年の輸送機器 MOSS 協議の合意やその後の日米両業界の相互努力により、日本の自動車メーカーと米国サプライヤーの取引は飛躍的に拡大し、1994 年度 190 億ドル達成の目標を達成しただけでなく、1997 年度の米国製部品の調達総額は、249 億 5,000 万ドルと高水準で、1986 年度の 24 億 9,000 万ドルに比べて、約 10 倍に増加した。この増加は、日米業界間の商談会開催等を通じたデザイン・インの理解促進、米国における R&D 拠点の設置による日本の自動車メーカーの生産・開発・経営の現地化の進展により、品質・コスト、開発スケジュール設定における米国側サプライヤーの対応能力が上昇し、現地部品の評価や調達機能の充実が図られたものと解釈できる。尚、部品輸入は、一貫して 20 億ドルから 30 億ドルの範囲に推移し増加することはなかった（図 Y）。

図 X 日本車の対米輸出台数と現地生産台数の推移(1986-1997)



出所: JAMA レポート No.79 米国における日本の自動車産業、図8を筆者改変

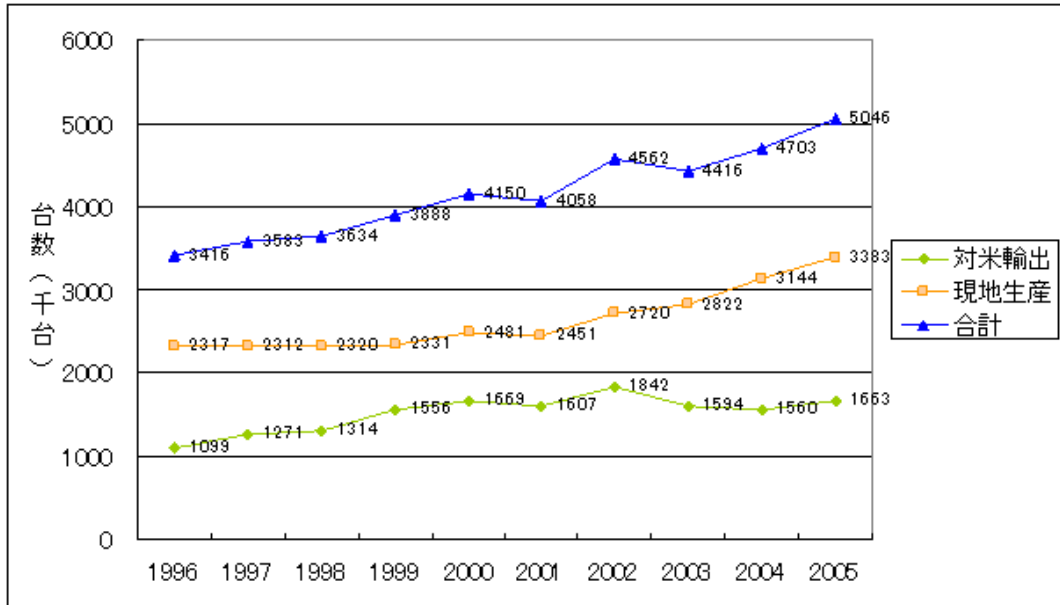
図 Y 米国製自動車部品購入実績推移



日米交渉後(1996-2005)の米国市場でのプレゼンス

日米自動車協定後の日本車の米国市場でのプレゼンスは、1995年以降緩やかながらも連続的に増加し、2005年までの10年間で、輸出は約50万台増の160万台前後で従来の輸出自主規制のレベルを維持する一方、現地生産台数は約100万台増加し300万台規模に拡大した(図Z)。この現地生産増に対応して米国製自動車部品の購入額は1995年比で倍増して400億ドルに達した(図Y)。1986年の25億ドルと比較すると20年間で16倍の拡大である。米国市場での販売台数は増大しているものの、日系自動車メーカーの合計台数に対する現地生産率は60%~67%程度に維持され、日米交渉の課題であった米国製自動車部品の購入拡大と現地生産の拡大は、1995年の日米自動車協定後着実に成果をあげ、日系自動車メーカー及び日系自動車部品メーカー米国への大規模な移転及び現地部品メーカーとの協業の進展という形をとって結実した。米国における雇用の創出という観点からも、貿易赤字縮小という観点からも、米国側から見て十分に満足のいく結果であり、かつ日系メーカーは米国における企業市民という位置づけを獲得した。

図 Z 日本車の対米輸出台数と現地生産台数の推移(1996-2005)



出所) JAMAデータより筆者作成

日系自動車メーカーが、米国での現地生産を拡大する中で、従来の系列取引の延長線上にある日系自動車部品メーカーの現地進出を一定の比率で維持する形でサプライチェーンの安定性を担保していたことは否定できない。しかしながら1987年に始まった「デザイン・イン」に包含した米国系自動車部品メーカーへの取引拡大は、その後の商談会や研究・開発・生産拠点の設置に伴い、系列外部品取引のインフラ整備と新たな部品調達の学習機会を与えたことは確実である。日米自動車摩擦は政治的な要請としての対米進出であったものの、日系自動車メーカーが世界展開していく上での部品供給網の構築と新たな開発・生産体制の確立に向けたきっかけを提供し、400億ドルの部品購入はデザイン・インを維持しながら従来よりもオープンな開発体制を企業にビルトインすることに成功した証といえることができる。

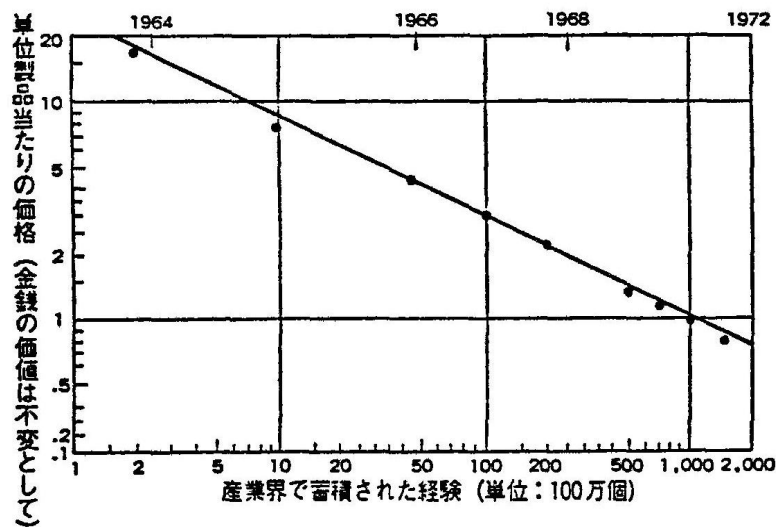
3) 日米摩擦の背景としての技術進歩

技術進歩を「学習過程」として初めて定式化したのは、ノーベル経済学賞のアロー（K. J. Arrow）である。技術の学習は、製造経験の蓄積を通して行われるので、「Learning-by-Doing」（以後、「製造学習」と呼ぶことにする）と表現し、その効果を生産1単位当たりの労働コストの低減という形で計測した。実際の計測に当たっては、労働コストの代わりに製品価格が代用されることが多い。この学習は、製造についての経験を積むことにより行われるので、経験の指標として、その製品の累積生産数量を用いる。多くの産業では、累積生産数が2倍になれば、価格は20 - 30%低下するとされている。

製造経験に基づく学習の状況は、縦軸に価格を取り、横軸に累積生産数を取れば、右下がりの曲線で図示することができ、これを「学習曲線」、あるいは「経験曲線」と呼んでいる。米国での初期の事例研究では、学習の重要性和データの入手可能性から、航空機産業を対象としたものが多かった。一号機の製造コストに比べて、二号機のそれは大きく低下し、この低下のプロセスは、三号機、四号機というように製造経験を積むにつれて、継続されていく。

集積回路技術の学習曲線

最近では、航空機と同様な理由から、集積回路についての計測が多い（図参照）。集積回路の技術進歩は、あまりにも急速であるので、横軸の累積生産数はもとより、縦軸の価格についても対数で計測している。このような両対数のグラフにおいても、一方的に右下がりになる曲線を得られる。多くの産業では、累積生産高が2倍になれば、価格（コストの指標として）が20 - 30%低下するとされている。

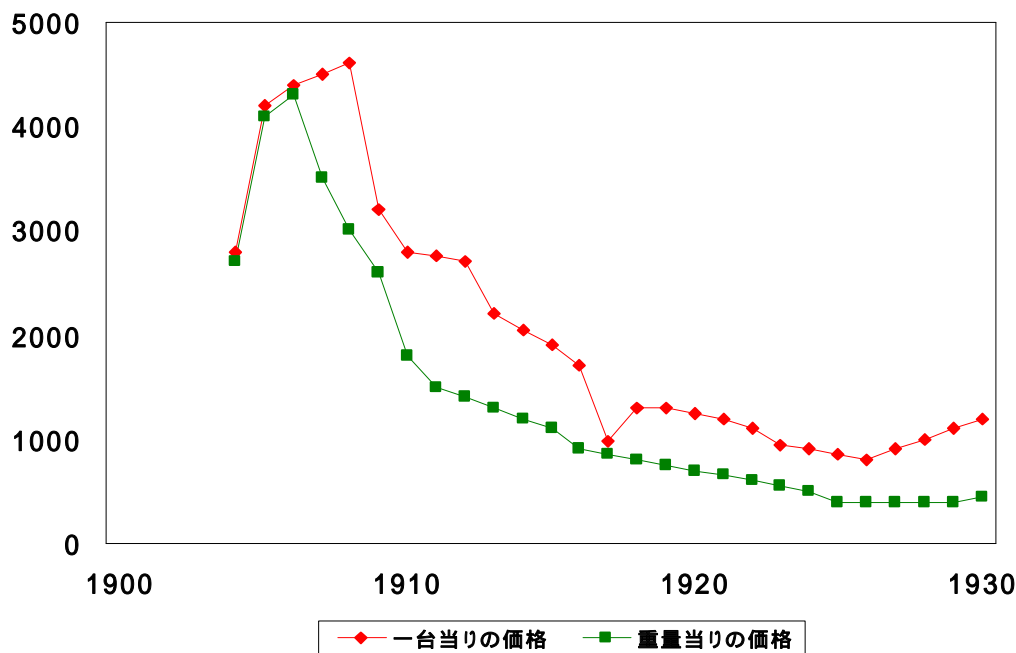


(出典) R.Noyce,「マイクロエレクトロニクス」,別冊サイエンス(1979年9月)

図1 集積回路の経験曲線

自動車の学習曲線 (1900 - 1975)

ハーバード大学のアバナーシー(W. Abernathy)は、遺稿となった「The Productivity Dilemma」において、自動車の長い歴史においても、1910年頃までは、その製品機能と製造法は多くのものが試されたという。このような初期の流動的な状況を経た後に、1910年頃になってようやく、T型フォードやベルトコンベアー・システムに代表されるような、自動車の製品機能と製造方法の「ヒナ型」が定着したという。さらにその本には、自動車の学習曲線が、1台当たりの価格と重量(1ポンド)当たりの価格の、1900年から1970年までの変化という形で記載されている(図参照)。この学習曲線においては、1910年までは価格は上昇し、その後急激に減少していることが示されている。すなわち、1910年頃までは、自動車ですら製品機能の学習が必要とされたのである。ちなみに、その後の1台当たりの価格は、1930年頃から再び上昇しているが、重量当たりの価格は再び上昇することはなかった。



Learning-by-Using (利用学習)

以上のような計測結果は、「製造学習」ですら、それほど単純ではないということを示している。しかも、複雑なシステム製品になると、このような学習はいわく言いがたいプロセスになってくる。相互依存関係にある多くの構成部品・材料からなる複雑なシステム製品は、長期にわたって種々の極限状態のストレスに耐えなければならないので、構成要素間の相互作用がどのような結果をもたらすかを正確に予測することは難しい。このような製品の性能は、科学的知識であらかじめ予測することが出来ないのである。このような製品の性能の多くのものは、長期間の過酷な使用を経て初めて、明らかになるのである。その他、最適なサービスとメンテナンス方式を決定することも重要であるが、これも長期の使用経験の後に初めて決めることができる。ハイテク時代に要求される技術的知識は、ますます、使用するプロセスや機械装置の性質に特有なものになりつつある。このような知識は、科学原理やその方法で予測できないばかりでなく、類似性の高い技術についての経験からも予測できないのである。

そこで、ローゼンバーグは、従来とは異なるカテゴリーの学習が存在すると主張する。所与の製品について、生産工程において内生的に発生する生産性上昇 (by-doing) とその製品を長期間にわたって利用した結果として派生するような

生産性上昇 (by-using) とに区別する。複雑なシステム製品においては、製品の製造経験の関数ではなく、最終ユーザーによる利用経験の関数として定式化できるような学習が、本質的なものになる。すなわち、「Learning-by-Using」(以後、「利用学習」と呼ぶ)は「製造学習」(Learning-by-Doing)と明確に区別されるべきであると主張する。

近年のコンピュータ産業では、「利用学習」が現実的なものとなってきている。事実、利用経験に基づきソフトウェア・システムを改善していくことは、技術開発の本流になりつつある。ソフトウェア製品では、インプットの多様性が広く、処理方法のオプションが幅広い。これらのすべてのオプションを、製品出荷をする前にテストすることは不可能に近い。従って、ソフトウェアの最適設計では、顧客からの情報が不可欠になる。そこで、顧客がバグを発見したときのプログラム修正のために、各企業は顧客サービスを定常化している。このような業務形態こそが、利用学習を制度化する手段であるとみなすことが出来るであろう。要約すれば、技術進歩を実現する組織学習には「製造学習」(Learning-by-Doing)と「利用学習」(Learning-by-Using)という2つの「学習カテゴリー」が存在する。20世紀に創出された産業の技術の特徴は「システム複雑性」にあるため、「利用学習」という学習カテゴリーが本質的であったということになる。

日本自動車産業の学習システム

利用学習により創出される技術知識の多くのものは、機械装置や部品を提供する「サプライヤー」により保有されることを意味している。従って、利用学習という学習カテゴリーを組織的に実質化するためには、サプライヤーとの関係を、開発・生産システムの中に如何にして組み込んでいくかが最重要の課題となる。ところで、利用学習という学習カテゴリーに適合する開発・生産体制を、組織的に透明な形で進化させていったのが、日本の自動車工業である。すなわち、日本自動車工業の部品生産体制とその発注システムは、ある種の進化過程を通じて生み出された歴史の産物であるとしても、利用学習への移行を先取りした形で、「学習システム」として組み上げていった結果であると解釈することもできよう。

利用学習による技術知識の創出は、自動車工業に関する限り、完成車メーカーと部品メーカーとの間に定着している、「階層的な安定的取引関係」と「双方向的な設計慣行」の中で発生すると考えられる。言い換えれば、システム複雑性に由来する技術進歩の形態である、利用学習の開発・生産体制の本質を実質化しているのは、日本の「自動車部品サプライヤー・システム」ということになる。すなわち、利用学習により開発された技術知識が、部品サプライヤー・システムの階層構造と、この構造の中に存在する双方向的設計活動という取引システムを通して、完成車メーカーから部品メーカーに伝達され、それが部品メーカーの技術開発力

として体化されたのである。

自動車サプライヤー・システムを事例として、利用学習を実質化するための必要条件を分析してみよう。自動車サプライヤー・システムを分析する場合、自動車企業の生産資源を、開発・生産の各段階の階層構造が「入れ子」状に複合化した体系として、認識することが必要になる。そこで、ある製品に関する「内外製区分」の問題は、複合ヒエラルキーの各レベルに、「境界」をどう設定するかという問題に他ならない。そして、この開発・生産資源のシステムを切断する境界線で、サプライヤーとの企業間取引の機会が発生する。従って、利用学習を可能にする必要条件とは、サプライヤー・システムの観点から製品をどのように「分解・切断」すなわち「分断」(decompose)していくかに依拠しているということになる。分断によって初めて、完成車メーカーが利用学習により創出した技術知識が、部品メーカーに伝達されていく。

以上を要約すると、利用学習を実質化するための必要条件は、自動車というシステム複雑性の高い製品を、サプライヤー・システムという切り口で「分断」することであり、逆に、このような分断がなければ、利用学習という学習カテゴリーを学習システムとして構造化できないのである。このような意味において、その学習システムを「分断による学習」(Learning-by-Decomposing)であると表現することが可能である。

最終製品を「入れ子」概念により分断して、その部品サプライヤー・システムに階層的構造を構築する「分断による学習」が、利用学習の必要条件であるとしても、それだけでは十分条件を構成しない。すなわち、構築された階層構造は製品全体の「統合性」(product integrity)を保証するものではないし、ましてや、完成車メーカーが利用学習により創出した技術知識が、部品メーカーの技術開発力として体化されることを保証するものでもない。

そこで、階層構造による利用学習を実質化するための十分条件を考察するために、自動車メーカーと部品メーカーの間に行われている「承認図方式」と呼ばれている契約システムを取り上げる。日本の完成車メーカーの実務の中で、「貸与図」(detail-controlled parts)と「承認図」(black box parts)とが非常にはっきりと区別されている。部品の生産に当たって完成車メーカーの方が部品の設計を行い、サプライヤーに設計図面を貸与して製造を行わせる場合に、この図面のことを「貸与図」という。つまり、貸与図による部品生産が行われる場合には、そのサプライヤーは、当該の部品を自ら開発したのではなく、製造サービスの提供だけを行っている。これに対して、完成車メーカーが大まかな設計だけを提示し、その仕様に適合するような部品をサプライヤー側が開発する場合、完成車メーカーは、その図面を提出させて検討し、承認を与えることを部品発注の前提条件としている。この承認をすませた図面のことを「承認図」という。

承認図方式が急速に普及したのは1960年代であり、これはモータリゼーションで新型モデルが急増した時期と一致する。すなわち、承認図は自動車メーカーの開発作業全体の効率化と期間短縮につながり、また部品の製造性の向上にもつながったと言われている。これを、完成車メーカーA社からの一次サプライヤーへの部品発注の時系列変化で測定すると、1972年には承認図方式が部品発注に占める割合は、24%にしか過ぎなかったのが、1982年にはその比率が27%に上昇し、1992年には55%となり過半数を超えるまでになっている。すなわち、最初のきっかけはどうか、承認図方式が経済的・技術的合理性があったから、ここまで定着してきたと言える。その合理性は、利用学習の立場から最もうまく説明できる。

承認図方式の部品取引は、自動車メーカーと部品メーカーによる「双方向的設計活動」(bilateral design)の中から徐々に進化してきたという。したがって、承認図という慣行が、自動車メーカーと部品メーカー、一次部品メーカーと二次部品メーカーという階層構造の中で果たしている機能は、設計活動の「双方性」(Reciprocity)にあると考えることができる。分断原理に基づく学習システムを、最終製品としての統合性を担保するようなシステムとして機能させているのは、システム構成要素である企業間の設計・取引活動の中の「双方向性」の存在である。このような意味において、利用学習という学習カテゴリーをシステムとして機能させるための十分条件を、「双方化による学習」(Learning-by-Reciprocating)と表現することができる。

2. モジュール化とオープンアーキテクチャのインパクト

1) エレクトロニクスに関するモジュール化とオープンアーキテクチャの進展

モジュール化は、人間の作り出す人工物において程度の差こそあれ普遍的な概念である。この概念の提唱者である Boldwin と Clark は、主にコンピュータを対象として分析を行ったが、その原型は 6 万年前の石器時代の狩猟道具にも認められることを指摘している。彼らが着目したモジュール化のインパクトは、以下の 3 点にまとめられている；

モジュール化は管理可能な複雑性の範囲を拡大する（要素間の相互作用の範囲を限定し、設計や製造プロセスを単純化する）

モジュール化は異なる要素における同時並行作業を可能にする（タスクのモジュール分割は劇的な時間節約を可能にする）

モジュール化は不確実性に適応する（モジュール外からは見えない（見る必要がない）部分の変更を柔軟に行うことができる）

人間の作り出した最高に複雑な人工物の一つであるコンピュータにおいて、このようなモジュール化が進展するのは自然な結果であったと言える。

半導体の大規模な集積回路では、かなり初期の段階で回路設計が複雑化しすぎたために「設計のモジュール化」が生じたが、その後「製造のモジュール化」や「使用のモジュール化」も生じている。さらに情報処理のデジタル化は、インタフェースのルールを単純化し、モジュール化を促すと同時にハードウェアとソフトウェアの分離を可能とし、ソフトウェアという新たなレベルでのモジュール化を生じさせる基礎となった。IT 革命の二つの重要な要素である、集積回路の急速な進化と、ソフトウェアの進化のいずれもが、モジュール化と深く結びついている。

設計や製造のモジュール化は、後述のオープンアーキテクチャと組み合わせられ、エレクトロニクス産業における企業間関係を変化させる大きな原動力となっている。インタフェースのルールが厳密に規定されたため、メモリや MPU、ASIC など機能別の半導体を製造する数多くの個別企業が出現したことに加え、設計を専門に行う企業や、製造に特化する企業なども出現した。また、より大きなコンポーネントのレベルでも、各種の基盤やドライブ、電源、周辺機器など、互換性のある製品を製造する企業が多数成長している。このように、モジュール化は特に複雑なエレクトロニクス製品において、設計、製造、組立、販売など全ての局面に大きなインパクトを与えた。1980 年代までは、多くの識者がこの産業は少数の垂直統合企業に集約化されるという予測を立てていた（Levin、Alic、Ferguson、

Miller など) が、これらの予測は主として、製品の複雑性が増大していくだろうという予想に基づくものであった。しかし実際には、モジュール化によって制御可能な単位にまで複雑性が分割され、身軽な中小企業のクラスターからなるいわば「バーチャル企業」が生まれている。

モジュール化の概念に対して、インタフェースのルールや内部の仕様を公開する「オープンアーキテクチャ」は、それほど普遍的な概念であるとは言えないようである。コンピュータでは IBM の System/360 が発売されたのち、その周辺機器を製造する企業や本体そのものの互換機を製造する互換機メーカーが出現した。これらのメーカーに対して、IBM は自らインタフェースや内部の仕様を公開することはなかったが、情報は技術者の移動と共に流出していたとされる。互換機メーカーと IBM は、独占禁止法違反や企業秘密の違法入手をめぐってお互いに訴訟を繰り返したが、最終的には IBM の“黙認”が常態化したとされている。

一方、IBM による PC の開発は、その当時同社のビジネスのメインストリームではなく、また PC 市場では IBM は後発であった。そのため IBM は市場への早期参入を重視し、特殊部品を使わずに市場で入手可能な部品のみで PC を構成した。また、周辺機器を豊富に普及させるために、PC の回路図や BIOS のソースコードを公開し、さらに Microsoft 社から調達した基本ソフトである PC-DOS を“MS-DOS”の名称で同社が外販する事を認めた。このため、市場にはハードウェア・ソフトウェア双方に互換性を持つ“IBM PC 互換機”が多数登場し、周辺機器やソフトウェアと共に大きな市場を形成していった。

2) 自動車に関するモジュール化とオープンアーキテクチャの進展

自動車産業は、2~3万点の部品からなる組立型産業であり、日系自動車メーカーと日系自動車部品メーカー間にみられる分業構造としては、「系列取引」という言葉に代表されるが、組立メーカーが部品の70%程度を外製化しており、部品メーカーがピラミッド型の階層構造を形成していること、部品メーカーと長期の取引関係を維持していること、部品メーカー側の開発関与（デザイン・イン）に特徴がある。特にデザイン・インは、自動車メーカーと部品メーカーで車両の開発とその部品の開発を同時進行する開発方式がとられ、両者の密接なコミュニケーションによる協力関係が日系自動車メーカーの競争力の基盤となっている。

ピラミッド型の階層構造においては、1次部品メーカーへの機能別や部位別の発注が行われており、外注率70%のオペレーションが実行されるためには、それを当初「モジュール化」というコンセプトで呼ばれてはいなかったが、モジュール化という現象自体は部品点数2~3万点という複雑性を処理するために必然的に起きていた。BoldwinとClarkの定義はそのまま、自動車におけるピラミッド型の部品生産における分業構造と一致している。

モジュール化は「自動車設計の」管理可能な複雑性の範囲を拡大する（要素間の相互作用の範囲を限定し、設計や製造プロセスを単純化する）

モジュール化は「自動車設計の車体と部品における」同時並行作業を可能にする（これはデザイン・インと称されており、タスクのモジュール分割は組立メーカーと部品メーカー間で行われている）

モジュール化は不確実性に適応する（モジュール以下の部分の変更は要求性能を満たすための変更であれば、柔軟に行うことができる）

自動車の設計におけるモジュール化は複雑性を管理して分業するためのデザイン・インにあり、自動車の製造におけるモジュール化はメインラインに対してサブラインでコックピット、フロントエンド、ドアなど部位的に固まりを構成する部品を別に組立てて、それをメインラインに組み込むことで作業の効率性を追求することにある。日系組立メーカーの場合、既に系列の1次部品メーカーとの関係構築の中でモジュール化を実現してきた自負もあり、初期はモジュール化の効果に対して懐疑的な見方も存在したものの、2000年代に入りモジュール化の概念は経営課題としても膾炙され、更に部品点数を減らすと同時にコスト削減を目指して、コックピットやフロントエンドを中心にモジュール化が進展している。

一方、欧米の組立メーカーの場合、90年代は外注率が50%程度と日本勢と比較

して低く、並列型の部品調達構造（多数の部品メーカーと直接取引する）を形成しており、組立メーカーが多くの部品メーカーから部品を購入して自社の組立ラインでユニット化している比率が高いことが特徴であった。90年代後半に起きた欧米自動車メーカーにおける初期のモジュール化は、相対的に部品メーカーの賃金が低いこともあり、賃金格差を利用した外注比率の向上によるコスト削減をまずは追及したものであった。フォルクスワーゲンは90年代半ばにモジュール化による組み立てを実現し、部品をモジュールに統合化し、まとまったシステムとして外注化(アウトソーシング)することで、組み立て作業の軽減や物流、工場のレイアウトまで簡素化しコストダウンを実現している。また、フォードのスペイン、バレンシア工場における「未来工場プロジェクト」では、組立メーカーの工場と30社の部品メーカーの工場をベルトコンベアで繋いで搬送費と輸送時間を節約し、在庫を限りなくゼロに近づけることができるダイレクト・オートマチック・デリバリー(DAD)と呼ばれる生産システムを構築し、注文を受けてからコンベアで出荷するまで最短45分を実現している。こうした事例により製造におけるモジュール化は、組立メーカー・部品メーカー間における関係を設計から工場立地までを関係づける概念として進展する。

90年代後半には、日本型系列取引のメリットも認識されはじめ、米国自動車メーカーにおいて、部品内製事業の分離が行われる。99年にはGMがデルファイを分離し、2000年にはフォードがピステオンを分離させ、それぞれ業界1位、2位の部品メーカーが誕生する。これらは内製事業を形式的に外製化するだけでなく、分離元以外の自動車メーカーからの発注も模索されたものであった。自動車におけるモジュール化は、製造コスト削減だけでなく次第に部品機能の統合による部品数削減と部品の更なる付加価値向上のための手段としても、異なる系列への部品納入の手段としても認識されるようになっていく。

しかしながら、自動車産業で起きたモジュール化は、エレクトロニクス産業で起きたメインフレームからPCへのシフトのような製品概念の変化に伴う分業構造の垂直統合から水平分業への構造的変化ではなく、あくまで自動車としての製品概念に変化がなく、最終インテグレーターとしての組立メーカーの地位が不動な状況下での分業形態の一部変更にすぎず、1次部品メーカーが部品インテグレーターとしての機能を強化し、製造効率をあげるための物理的な立地が改善した状態が出現したに過ぎない。1次部品メーカーが総合部品メーカーとして、系列取引を超えた納品を行う例が出現しても、自動車の全体設計を行い、部品をモジュールに区切り、要求スペックを出すのは最終インテグレーターである自動車メーカーである点が特徴である。すなわち、モジュール間の相互作用の設計情報は、自動車メーカー間で異なっており、業界共通の汎用部品は、規格が共通している

バッテリーやタイヤなどの一部の部品に限定されている。PCのように部品を組合せれば誰でも最終製品を組み立てられるような個々の要素間の相互作用（インターフェイス）が規格化された部品で構成されている最終製品ではなく、自動車の設計作業自体が個別製品毎に最適化された設計とデザインを要求されており、個々の要素間の相互作用を調節できるのは製品の設計者のみという複雑な製品特性を特徴としている。すなわち、インターフェイスのルールや内部の仕様を公開する「オープンアーキテクチャ」ではなく、組立メーカーと部品メーカー間の取引関係の中でだけ、インターフェイスのルールや部品仕様がやりとりされている「クローズドアーキテクチャ」であって、モジュール化の進展によっても基本的には「クローズドアーキテクチャ」であることには変更がなかった製品群として自動車は捉えることができる。

日米摩擦による米国系自動車部品メーカーに対する「デザイン・イン」のための商談会の開催は、日系自動車メーカーと米国自動車部品メーカーとの取引機会を増大させたが、この活動はあくまで「クローズドアーキテクチャ」の中で処理されたものであり、インターフェイスのルールや部品仕様を「クローズド」な状況で開示したに過ぎない。日系メーカーの米国での工場進出に伴った日系部品メーカーの米国進出と米国系部品メーカーからの調達拡大が、自動車における「クローズドアーキテクチャ」の変更を迫ったものではない点に着目すべきである。自動車は日米摩擦から現在に至るまで「クローズドアーキテクチャ」に留まっておりかつ「インテグラル」なままである。部分的にモジュール化が起きていると認識されているものの、あくまでそれは分業構造の最適化の中で起きていることであり、最終製品概念に変更は起きておらず、したがって競争条件に根本的な変更が起きておらず、PCなどとは異なり、自動車産業において競争力を維持してきた一因と捉えることができよう。

自動車において「クローズドアーキテクチャ」から「オープンアーキテクチャ」への転換への誘引となるものは、あくまでインターフェイスのルール化と部品仕様の公開である。これらはモジュール化の進展によって部品インテグレーターとして影響力が拡大した部品サプライヤー側が低コスト・高機能化を条件にある範囲に規格化され固定化されたインターフェイスを組立メーカーに主張し始める段階において発生するものと想定される。また、JNX（Japan Automotive Network Exchange：自動車業界標準ネットワーク）のように製品の規格・設計・試作・生産に至る一連の工程で情報ネットワークで部品メーカーが連結されかつ系列を超えた取引が増加すると、それは「クローズドアーキテクチャ」から系列をクロスした部分が「セミ・オープン化」していく現象が発生することにより、次第にオープン化していくという形で進展することも予想されよう。

3) 技術移転（流出）へのインパクト

モジュール化の本質を「技術開発」の問題として考えてみよう。モジュール構造により、各種部品や構成要素の設計変更を、製品全体に及ぼす影響に煩わせられないで、モジュール毎に行うことが可能になったというのがポイントである。このような設計環境がもたらしたものは、技術開発の多数回にわたる試行錯誤の実験を、モジュール毎に同時並行してお互いに独立した形で実行できるという点にある。設計者が多くのモジュール実験をすればするほど、製品全体の技術進歩はますます速くなるという構造を確立することができたのである。この製品設計における「実験の自由度」(freedom of experiment)を持つかどうか、単なる下請け部品メーカーと「モジュール・サプライヤー」を区別する決定的な要因となってきたのである。

既に述べたように、経済学者のアローは、米国産業の技術進歩を特性づけるのに、「製造学習」(Learning-by-Doing)を提案した。一方、日本産業の技術進歩は、ローゼンバーグにより提起された「利用学習」(Learning-by-Using)により、最も適切に説明できることを述べた。そして、利用学習の高度化と組織化は、技術体系の「モジュール化」という結果をもたらした。それでは、日本に続く形で技術立国を実現した台湾や韓国が、成し遂げた短期間における技術進歩はどのように説明されるべきか。

技術移転問題についての新しい分析が必要なのだ。日本の電子産業や自動車産業が利用学習で創出した技術知識は、日本の機械装置メーカーの技術知識として体化された。従って、これらの産業が開発してきた技術知識の大半が、大手機械装置メーカーにより保有されていることになる。しかも、このような企業の多くは、日本を代表するような大企業であり、世界への輸出能力を十分に持っている。その結果、製造装置の輸出を通して、技術移転が行われるということになる。

自動車の完成車メーカーが創出してきた技術知識は、「承認図」という発注方式に不可欠の「双方的設計」活動を通して、部品サプライヤーが設計する製品の機能として体化されていくことを述べた。車両設計と一体不可分な機能部品においては、完成車メーカーが開発した技術知識は、部品サプライヤーの技術として保有されることを示唆している。このような機能は、部品輸出を媒介にして、世界に広く移転されていくということになる。

以上をまとめると、新たに可能になった技術移転戦略は、高度な製造装置や部品を購入し、それらを高度に使いながら、技術を学習する「統合学習」(Learning-by-Integrating)という概念により説明できる。この学習能力の中身は、最新で最良の機械装置と部品を、世界中の様々なサプライヤーから調達し、それら

の互換性を確保しつつ世界で最も効率の高い生産システムへと組み上げ、不規則な生産計画の時に、このシステムを操業し維持するという「総合的な技術能力」ということになる。

機械装置や機能部品に体化されず「操業実践」という形で保有される技術知識の移転には、何が起こったのか。現場作業をコンピュータにより自動化・省力化するに当たって欧米で採用されている方法は、コンピュータ技術者が現場作業を観察・分析することにより、その内容をコンピュータ・プログラムに「造り上げる」という方法である。しかるに、日本産業における生産プロセスのコンピュータ化は、このような欧米流の常識を大きく逸脱するものであった。日本産業では、コンピュータ技術者が現場作業を観察・分析したのではなく、現場の実際の作業を担当している作業者に、コンピュータ・プログラムの知識を、企業内教育・訓練を通して注入した後で、作業者自身が、自らの作業をコンピュータ・プログラムに「書き落とす」という形で、生産プロセスのコンピュータ化が実現されていたのである。すなわち、現場作業者が、自らが持つ暗黙知を形式知として「外部化」(externalize)したということになる。

このことは、技術者のレベルについても、ある程度言えるのではないだろうか。日本の技術者の特徴は現場主義であるといわれている。例えば、鉄鋼の製造プロセスのコンピュータ化は、製鐵技術を一義的には自分の専門であると考えている技術者が、計算機科学を自分で学習して、製鐵の技術知識と融合することにより実現したと考えられる。すなわち、学習により得られた形式知と現場の経験で身につけていった暗黙知を、自らの手によって、制御プロセスの設計という形で、「外部化」したのである。そこで、1985年以降の労働生産性の上昇は、暗黙知の典型とされていた操業・管理技術が、コンピュータ化により、形式知として「外部化」されたことにより、始めて可能になったと解釈できる。逆に、暗黙知の外部化がなければ、コンピュータ制御の拡大も高度化もあり得なかったのである。

最後に、「操業実践」という形で保有される技術知識の移転には、何が起こったのかという問題に立ち返ってみよう。技術戦略とは独立・中立的な形で進展した技術革新、すなわち、「情報技術」における技術革新が、技術移転を加速したのである。情報技術の進展により、これまでは「暗黙知」に留まっていた知識が「形式知」に変換された。その結果、技術移転が困難とされていた生産現場の操業技術や管理技術も、「コンピュータ・プログラム」の商取引により、企業の外に移転可能になってきた。総括すると、高度な「製造装置」、「部品」、「ソフトウェア製品」を購入し、それらを高度に使いながら、技術を学習する「統合学習」という技術移転戦略が有効に機能し、世界が経験したことの無い技術移転のスピードを実現したのだ。

3. 日本的技術経営の自動車産業およびエレクトロニクス産業に対する作用

1) 日本的（技術）経営の特徴

1950年代という早い時期に、日本企業の経営スタイルが欧米企業とは異なり、“終身雇用”と“年功序列”、“企業内組合”を特徴とすることが Abegglen により指摘されている。彼は、戦後の日本企業発展の原動力をこれらの特徴に求めた。また、尾高邦雄は、世界的にもめずらしい長期安定政権であった江戸時代の社会支配構造が、集団主義とヒエラルキー構築を促し、それが後から欧米から導入された企業という社会装置に取り込まれたことを指摘している。ただし、第二次世界大戦前までは特に企業における熟練工の定着率が低く、技術者の流動性は高かったという指摘がある。この問題に対応するために、日本企業は上記のような特徴を取り入れたという。すなわち、日本的経営の成立には、もともと技術経営の視点が大きな影響を及ぼしているものと考えられる。

また、Albert は資本主義を「アングロ＝サクソン型」と「日本＝ラインラント型」の2種類に大きく分け、アングロ＝サクソン型は“個人主義”、“自由主義”、“短期的利益追求重視”が支配的、日本＝ラインラント型は“集団主義”、“協調主義”、“長期的利益追求重視”が支配的であると主張した。Albert は、前者が理想としては効率性や経済合理性を追及するにもかかわらず、現実には後者のパフォーマンスが優れていると評価している。この長期的利益追求重視の姿勢は、日本では企業統治の構造から影響を受けていた可能性が高い。すなわち、戦後日本の成長期に、企業間の株式持合いやメインバンクを介する間接金融が発達し、安定的な企業統治と資金調達が続いたことによるという。日本＝ラインラント型の資本主義がうまく機能したのは、日本とドイツという、戦後の急速な復興と成長が前提となっている環境にマッチした面が大きいものと考えられる。

技術経営の観点からは、上記に加えて終身雇用を前提とした手厚い OJT、研究開発の自前主義、きわめて旺盛な特許出願、行政指導による技術競争の促進/抑制などが日本企業の特徴としてあげられる。また、藤本らは特に自動車産業について、各企業グループは組立てメーカーの下に tier-1、tier-2、tier-3 等の部品メーカーからなる多面的で重層的な構造を持ち、部品ごとの納入・仕入先が複数化され、仕入れ企業が品質や原価、納期等の継続的改善を要求していること、また長期安定的取引関係が、在庫の極小化と同時に、“協力会”や“系列診断”、“技術指導”などを通じた情報共有と技術移転を促し、納入企業が仕入側の製品開発に参加する“承認図方式”等も普及していることなどを指摘した。これらの関係は、場合によってはトラスト形成や優越的地位濫用の危険性をはらんでいることも事実であるが、経済の成長期には有効に機能したと評価されている。

2) インプリケーション

既存研究は、以下のような3つの視点から、製品アーキテクチャはインテグラルから次第にモジュールへ進化していくことを論じている。

全ての新製品はその初期段階は性能が低く、顧客の要望を十分に満たす水準に達していない。そのような競争状態の時には、企業はインテグラル・アーキテクチャを選択する。インテグラル・アーキテクチャの方が、モジュール・アーキテクチャよりも製品性能の最適化を実現しやすいからである。しかし、やがて技術進化により製品性能が顧客の要求水準をオーバーシュートしてしまい、競争軸が製品性能から仕様の柔軟性や使い勝手などの他の基準にシフトしていく場面が訪れる。その場合には、迅速で柔軟な製品開発を可能にするモジュール・アーキテクチャを選択するほうが企業にとって合理的であり、また技術進化の結果、モジュール・アーキテクチャであっても顧客が満足する製品性能を提供することは可能になる (Christensen and Raynor)。

サプライヤーとの効果的な関係性を築くには、製品をモジュール化することが有効である (Fine)。製品を構成するコンポーネントの一部もしくは全ての開発を外部に任せることは広く行われているが、そのためには外注しようとする仕事をできるだけまとまりのパッケージにし、相互依存関係をできるだけ少なく、インタフェースをルール化することが効果的である。IBM がパソコンのアーキテクチャをモジュール化したのは、まさにこのような理由によるものである。

企業の組織能力という視点に立つと、企業はインテグラル・アーキテクチャの設計経験のなかで次第に知識と経験を蓄積した後、はじめてモジュール・アーキテクチャの設計が可能になる。なぜなら、モジュール・アーキテクチャでは、事前にシステム全体を俯瞰した効果的なデザイン・ルールを設定することが必要であるが、そのためにはシステム全体に関する豊富な経験と知識が必要とされるためである (Baldwin and Clark)。

製品アーキテクチャはインテグラルからモジュールへとシフトした後、再度インテグラルへ逆シフトする可能性があることが指摘されている。インテグラルへの逆シフトは要素技術の革新によって引き起こされるが、その革新の契機には、他産業によって外生的にもたらされる場合と、内生的に自産業によってもたらされる場合とがある (Shibata, Yano and Kodama)。

さらに、モジュール化した製品システムがある一定の条件を満たす時に、他の製品システムとの間でモジュール統合を形成し、それによって製品アーキテクチャが再編されるという経路の存在も指摘されている。再編された製品システムは

モジュール・アーキテクチャという意味では同じであるが、質的には従来のシステムより一段高いステージに到達することになる（柴田・児玉）。

製品アーキテクチャがクローズド・モジュールからオープン・モジュールに移行する際には、2つの経路が考えられる。第1は、ISOなどの国際標準化活動によりいわゆるデジュリ・スタンダードが形成されることでオープン・モジュールへ移行するという経路である。第2は、市場競争によりデファクト・スタンダードが形成されることで、オープン・モジュールへ移行する経路である。パソコンのオープン・アーキテクチャ化は、その当時コンピュータ産業を支配していたIBMが、インタフェースを全て公開したことによってデファクト・スタンダードが形成されたことに起因している。パソコンのオープン・アーキテクチャ化によって、コンピュータ産業全体は活性化し、パソコンはやがて汎用コンピュータを置き換えるまでに成長したが、IBMのハードウェア事業そのものは次第に利益を上げることが難しくなっていった。このような歴史的事実を考えると、既存の成功している企業にとっては、クローズド・モジュールの製品アーキテクチャをあえてオープンにすることはすなわち破壊的イノベーションを誘発することにつながり、メリットを見出すことは難しいと言えるだろう。まさに、イノベーターのジレンマである。

製品のモジュール化に関する最大の決定要因が、システムの複雑性にあることは明らかである。当初、比較的単純な機械であった自動車にもIT革命が影響を与え、電子制御や数々の電装品の装備などを経て複雑性が増しつつある。しかし、その複雑性の度合いは、“素子”という最小の構成単位で見ると数百万・数千万の部品からなるエレクトロニクス製品には遠く及ばない。

製品性能の向上という観点から見ると、自動車のスピードや馬力はIT革命の影響の及ばないかなり早い時期から、主要顧客の要求性能をオーバーシュートしていた。そのため、IT革命は燃費の向上や使い勝手のよさという、第二・第三の競争軸に沿った性能向上に寄与することになった。しかしそれは、上述のように制御不可能なほどの複雑性爆発を招いてはいないようである。産業構造についても、自動車産業は比較的新しく（有力な自動車関連企業の多くは戦後の設立である）日本的経営の特徴である長期的な協調的関係を保ちながら、ゆるやかな企業グループ内でのモジュール分業へとスムーズな進化が生じたのではないだろうか。

一方、IT革命がより大きな影響を与えたエレクトロニクス産業にとって、単一の“処理速度”という性能を満たすためには、複雑性の爆発をマネージすることが必須であった。すなわち、高度のモジュール化とそれに適合する産業構造への転換がもたらされる必要があった。それは、本質的にはデザイン・ルールに基づ

いて分業化された身動きの早い企業間の、ダイナミックな結合により特徴付けられる構造であろう。その点では、それぞれに歴史と経路依存性を持つ日本的な巨大総合電気企業は、あまり適合性の高い形態ではなかったのではないか。

エレクトロニクス産業の今後は、製品ごとに検討する必要がある。すなわち、携帯電話やノート・パソコンなど、依然としてインテグラル・アーキテクチャの製品も、技術進歩によりその性能が要求水準をオーバーシュートし、モジュール化競争が生じるであろうことは免れないと考えられる。その際にはデザイン・ルールを規定する企業と、モジュールの開発を分担する企業とのゆるやかな連合形態が適合することになるだろう。

自動車産業にとって、環境適合と燃費の向上は今後の重要な製品性能の競争軸であり、その手段としてEVやハイブリッド、次世代ディーゼルなどの技術開発が大きな意味を持つてくる。この様な時期には、先例から考えて一旦インテグラル・アーキテクチャへの回帰が生じる可能性が高い（既に生じている？）。その後、技術進歩と分断による学習が起こり、新たなモジュール構造と産業構造へと再編されていくであろう。その際に、依然として日本的技術経営がポジティブに作用するかどうかは、システム複雑性の程度が再び重要なファクターとなるだろう。

4. 将来展望とその課題

世界のエレクトロニクス産業と自動車産業の双方において、「モジュール化」がさらに進展していく。どのような将来が想像できるのであろうか。デジタル技術が、すべての産業に広く浸透していく。このような状況下に、有効な技術概念として登場してきたのが、「コンバージェンス（収束）」（Convergence）という概念である。すなわち、すべての産業の技術体系がデジタル技術に「収束」していくのである。

エレクトロニクス産業では、オープン・アーキテクチャという発展経路を、自動車産業はクローズド・アーキテクチャという発展経路を辿ってきたという違いがあるにせよ、基盤となる技術体系は、「デジタル技術」である。すなわち、コンバージェンス概念の本質は、お互いに異なる技術発展経路を辿った産業が新しい技術概念のもとに、新しい産業クラスターに「統合」されるということになる。

このようなことが想定される時代の産業の行きつく先は、エレクトロニクス産業や自動車産業という個別技術の範囲を超えて、新しい社会システムの構築ということになる。すなわち、エレクトロニクス産業を中心とする、「知識創出産業」という産業クラスターにどのように進化していくのだろうか。自動車産業が中心となる「モビリティ産業」はどのような進化経路を辿るのであろうか。これこそが、将来の課題である。