

Title	国際貿易にみる半導体製造装置産業の発展と競争力
Author(s)	近藤, 章夫
Citation	年次学術大会講演要旨集, 25: 658-661
Issue Date	2010-10-09
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/9381">http://hdl.handle.net/10119/9381</a>
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

## 国際貿易にみる半導体製造装置産業の発展と競争力

○近藤章夫（法政大学経済学部）

グローバルに市場が拡大するなかで、半導体産業の生産拠点の多くは東アジアに集中しつつある。特に、先行した日本、キャッチアップに成功した韓国、台湾に加え、近年では中国において当該産業の本格的な立ち上がりが始まりつつある。半導体産業の市場規模では、日本・韓国・台湾を含むアジアのシェアが2000年以降50%以上になり、2008年には70%弱にまで達している。本発表では、半導体産業を題材にして、東アジア（日本・韓国・台湾）の急速な発展を技術発展、投資競争、相互依存関係のそれぞれの潮流と動向から素描し、国際貿易の観点から半導体製造装置産業の競争力を探る。前段の議論として、以下では半導体産業の国際競争力に関わる言説を本発表の問題意識に即して整理する。

## 1. はじめに

日本の文脈に即してみれば、最近10数年の間でエレクトロニクス関連製造拠点の立地調整は加速化している。1990年代以降、円高基調による国内生産コストの相対的上昇や海外市場への戦略的参入などを背景に、事業組織のリストラクチャリングが進み、国内生産拠点の集約や国際購買の進展による域内リンケージの衰退などで一時「産業空洞化」が喧伝された。2000年代以降には、日本の「ものづくり」の復権のもと「国内回帰」がみられるなど、国内と海外を含めたより広範囲の空間スケールにおいて立地調整が進行している。

立地調整の加速化には経済環境の激動が背景にある。第1にグローバル化およびボーダーレス化があげられる。最終製品市場のみならず、情報、資金、人材、原材料、中間財、などの流動性が高まり、国境の障壁が極めて低くなった。第2に、国際競争の激化である。韓国や台湾などのメーカーが成長し、中国市場も本格的に立ち上がりつつあるなかで、日本を含めた東アジアがエレクトロニクス産業の一大生産拠点となり、域内の競争が激さを増している。このような経済環境の激動のなかで、国内のみならずアジア全域での立地の再配置と調整が進んでいる。第3に、製品を構成するテクノロジーの進化である。IT化、デジタル化などと喧伝されるが、電子デバイスの技術的深化と複雑化が進み、研究開発費や設備投資額が高騰している。それと並行して、生産システムのプロセスの相互作用も複雑化し、内製と外注の「企業の境界」の見直しを含め、企業内および企業間のコーディネートが戦略的に重要性を増している。

こうした経済環境のもとで、特定の場所における工場投資の大型化や産業集積の発展も鮮明になってきた。特に、高付加価値製品の生産拠点として国内立地が見直され、半導体やFPDの分野で1000億円を超える大型投資計画が相次いでいる。生産の大規模化を指向しているとともに、海外への技術流出を防ぐために垂直統合型のビジネスモデルで製造現場を「ブラックボックス化」する狙いも背景にある。さらに、これらの大型投資が特定の拠点・場所で継続的に行われつつある点も近年の特徴といえよう。半導体分野では、東芝の四日市工場に2003年度から総額5000億円を超える投資が行われ、日本唯一のDRAM生産拠点である広島エルピーダには累計で6000億円超の工場投資が行われている。液晶パネルでは、シャープや日立製作所などが出資するIPSアルファテクノロジーのほか、富士写真フィルムの液晶パネル向け偏光板保護フィルムの生産拠点に約1000億円が投じられるなど、「デジタル家電」の素材・部材にまで大型投資が波及しつつある。

## 2. 半導体産業のイノベーションとグローバル化

半導体産業とFPD産業はシリコン加工技術製造業として基盤的技術に共通点が多く、半導体産業の発展によるFPD産業への波及がみられる。また、半導体産業は幅広い産業の「裾野産業」になりつつあり、さまざまな産

業動向に影響を与えつつある。

水平分業と国際分業の進展とともに、近年の半導体産業では科学技術への依存度が高まっており、知識の創造と活用が重要になるサイエンス型産業の色彩が強まっている。サイエンス型産業とは、基礎的な科学の重要性が高く、科学技術の成果が事業に利用されるまでの時間が短い産業を指す。

サイエンス型産業の特性に注目する理由は、さまざまな科学技術分野で生み出される創造的な発見・発明が市場を通じて経済社会に変革をもたらす「サイエンス・イノベーション」への関心が高まってきていることにある。現代において経済成長にはイノベーションが不可欠であるとの認識が広がりつつあるが、その原動力としてサイエンスへの期待が高まっており、広い意味で知識の生産活動とイノベーションとの関係が論じられるようになった。

イノベーションの創出を促すシステムにはいくつかの地理的スケールが考えられる。北米、EU、東アジア、という大陸レベルのスケールから、日本など各国のナショナルスケール、都市や集積・クラスターなどの地域スケールまで縮尺に応じたイノベーションシステムが考えうる。特に近年は、サブナショナルスケールとしての地域イノベーションシステムがEUを中心に議論されており、日本においてもクラスター戦略との関連から経済産業省の産業クラスター計画や文部科学省の知的クラスター事業などで議論されている。

地域イノベーションシステム論で鍵となるのは、イノベーションの地域性をどのように考えるかという点である。科学者・技術者の国際的な流動が高まりつつあり、国境を超えた共同研究や共同開発が一般的になっている現代において、知識の生産活動はボーダレスである。特に、研究活動では英語が事実上の国際公用語となり、グローバルスケールの人的なネットワークが密となっていることを鑑みると、サイエンスはグローバル化が常態となっている。一方で、米国のシリコンバレーやボストン周辺、英国のケンブリッジ、インドのバンガロール、台湾の新竹など特定の地域が「ハブ」として知識生産の中心地となっているという観察的事実がある。新製品や新規ビジネス、新しいアイデアなどがこうした集積・クラスターから続々と創出されているということは、経済的価値をもつ「テクノロジー」がローカル化しているとみることもできる。すなわち、知識のリンケージがグローバル化とローカル化の動きのなかで多層的になっているといえよう。

半導体産業においては、こうした「サイエンスのグローバル化」、「テクノロジーのローカル化」という現象が特に顕著である。ムーアの法則にもとづいた国際半導体技術ロードマップ (ITRS: International Technology Roadmap for Semiconductors) が作成され、技術開発の方向性はグローバルで議論されている。基礎研究に近い部分の要素技術の開発では、国境を超えたコンソーシアムが数多く形成されるとともに、半導体国際会議などでは研究成果の発表を通じた情報交換などが活発に行われるなど、研究開発はボーダレスで進んでいる。特に、回路線幅の微細化に「物理限界」が見えはじめたことで、これまでの技術進歩の経路とは異なる方向性が求められるようになり、「More Moore」や「More than Moore」などが喧伝されるなかで、より一層グローバルスケールで密にリンクした研究開発が進められるようになってきている。他方、半導体産業の立地は米国西海岸や東アジア、欧州のいくつかの拠点に集積しており、水平分業化のなかで台頭してきた研究開発型企業の多くは特定の集積・クラスターから誕生してきている。知識生産の観点で見れば、知的財産権の1つである特許の出願地も特定の集積に集中する傾向が強まりつつあり、この点で半導体産業は「テクノロジーのローカル化」の様相を呈している。

### 3. 半導体産業における国際競争力

1990年代に入ると、一部の製造業を除いて日本の産業において国際競争力が翳りがでてきた。特に半導体産業は極めて深刻な不況期を数度経験し、メモリなどキードライバーとなる製品で国際競争力が弱体化していった。日本とは正反対に米国では1990年代に産業競争力が復活し、特にITや半導体などの分野で競争優位となった。このような80年代から90年代を通じて、日米産業の対称的な栄枯盛衰プロセスの要因についてもさまざまな議論、解釈が百花総攬のごとく提出されてきた。その理由の1つは、ITの爆発的普及による情報のデジタル化と東西冷戦の終結による本格的な経済のグローバル化を背景にして、事業の不確実性や複雑性が増して、これまでの知識活用の方法とは異なる動きが生じたからだといえる。具体的には、組織内外のコーディネーションのあり

方がモジュール化と呼ばれる方向にシフトし、垂直統合的な摺り合わせで競争劣位となる部分が出てきた。半導体産業では日本の大手電機メーカーが設計、製造、検査までを自社で行う垂直統合型ビジネスモデルで80年代を席卷したが、90年代は各工程に特化した専門企業が台頭して水平分業型ビジネスモデルが顕著になり、米国をはじめ台湾や韓国の成長によって日本の地位が低下した。

さらに、90年代の産業技術にとって、ITのインパクトと関連してサイエンスの役割が高まったことも組織内外のコーディネーションが変化した要因としてあげられる。半導体などエレクトロニクスの要素技術の開発にサイエンスが深く関わるようになり、高度な科学的知識の創造と活用がイノベーションを起こすうえで極めて重要になってきた。半導体産業では特にこの傾向が90年代中頃から顕著になってきている。サイエンスの役割が高まり科学的知識の創造や活用が重要になったということは、これまでの組織内外だけでなく、一層広範に知識を探索し、異なるアクターとの協力関係や協調関係からイノベーションにつなげていくことが求められるようになったということの意味する。半導体産業において、日本をはじめ各国でアライアンスやコンソーシアムの形成が90年代中頃から数多くみられるようになってきたのもこの証左といえよう。

このように、日本の産業競争力が弱化した要因を知識の創造や活用に関するコーディネーションの問題と捉えるならば、半導体産業のイノベーションを迅速に実現するためには広く内外の知識にアクセスできる環境や仕組み、異なるアクターとのリンクやネットワークなどが重要になってくる。プロセステクノロジーの急速な進展による投資額の高騰が事業リスクを高めているなかでは、知識創造や知識活用において企業の境界を超えたアライアンスやコンソーシアム、産学官のコラボレーションなどが一つの解となりうる。

#### 4. イノベーションの地理的条件としての集積

現代において産業集積は、知識生産のコーディネーションやネットワーク、研究開発におけるベンチャー創出の意義などからも再考されている。知識にはコード化可能な形式知と属人的な暗黙知に分類できるが、このうち後者の暗黙知は対面接触によってのみ伝播するのでローカルスケールでしかアクセスできないとされる。そのため、イノベーションを実現する必要条件として内外の知識へのアクセスを考えたときに、一般にさまざまなアクターが地理的に近接していかつ集積している状態が有利に働く。また、研究開発のシーズ発掘やベンチャー創出などもローカルスケールにおける地域資源、風土、制度、地域労働市場などの特性によって大きな影響を受ける。揺籃期のベンチャーなどは規模が小さく、事業を進めるうえで十分な知識・ノウハウが欠如しているケースが多いため、地域における制度的な厚み (institutional thickness) が重要になってくる。

こうした点から、イノベーションを実現して行くうえで地理的条件が浮びあがってくる。従来のリニアモデルが限界をむかえ、不確実性と複雑性が高まっている現代経済において、研究開発から事業化にいたるプロセスではさまざまな段階で異なるアクター間で相互に学習することによってイノベーションの実現確率が高まるとされる。また、地理的に近接した状態では知識のスピルオーバーが起りやすく、新しい発見や発明が次の知識創造や知識活用につながるという正のフィードバック効果がいくつか事例研究から明らかになっている。このような学習効果とフィードバック効果から、イノベーションにおいて地理的近接性が重要であり、知識リンケージの観点から産業クラスターの役割が再考されている。

産業集積やクラスターの議論の焦点は、輸送費用や取引費用の低減効果からイノベーション実現の確率上昇効果という点に移っている。集積の利益については特定の産業に特化した地域に生じる特化の経済と多様な産業が存在する地域に生じる都市化の経済に分類される。集積とイノベーションの近年の議論では、イノベーション創出には外部とのつながりが重要であるという主張が多く見られるようになってきている。さらに、新奇性のある知識が循環するには内部の多様性や流動性の必要も指摘される。集積やクラスターをイノベーションの文脈で考える際には、近接性だけでなく多様性と結合性という要素も重要になる。集積の内外でいかにリンケージやネットワークが形成されているかという視点がイノベーションの議論では主眼となる。

半導体産業において、イノベーションをめぐる競争が激化しているという背景と特定の産業集積・クラスターに累積的な投資がみられるという観察的事実は相関していると考えられる。特に、東アジアにおいては先行した日

本、キャッチアップしてきた台湾、韓国、新興勢力の中国の競争と協調と通じた相互依存関係が強まっており、各国・地域の産業集積間のネットワークも密になってきた。

## 5. 技術発展からみる設備投資の巨額化と装置産業の発展

半導体産業の特徴の1つは「ムーアの法則 Moore's Law」と呼ばれるロードマップによって産業の発展が進む点にある。インテルの共同創業者であるG. Moore氏(現名誉会長)が1965年に主張した「半導体の集積度は18~24ヶ月で2倍になる」という予測は、過去40年の半導体産業の技術進歩を的確に表現したものであるとともに、半導体メーカーの道標としても重要であった。日本の半導体産業も含め、集積度の倍増ゲームというロードマップがデバイスメーカーに継続的な技術革新を強いるという点に半導体産業の特性がある。

半導体産業のもう1つの特徴は設備投資が巨額である点である。半導体生産では半導体回路を焼き付けるシリコンウェーハの面積(直径)が拡大すればするほどより多くの半導体チップを生産できるため、ウェーハの大口径化が生産コストの低減に直結する。また、ウェーハに焼き付ける回路加工技術も微細化が進み、近年では微細加工技術がマイクロメートル( $\mu\text{m}$ )からナノメートル(nm)の世界に入るなど、製造装置の高度化や大型化が進んでいる。そのため、継続的な半導体製造装置の刷新が競争力の向上や維持に必要である。一般に半導体産業では売上高の15%~20%が設備投資の適正規模であるといわれるが、電子産業のみならず、幅広い産業に「産業のコメ」として半導体チップが用いられているため、メーカーにとってみると需要予測が難しく、事前に設備投資の適正規模を決めるのは不可能に近い。半導体産業のvolatility(業績変動の振れ幅)が非常に大きいというのは、こうした設備投資の巨額化と市場の不確実性に起因している。

代表的なデバイス製品であるメモリでみると、製品の大容量化とウェーハサイズの拡大にともなって設備投資額が高騰しており、300mm(12インチ)ウェーハでは1500億円から3000億円規模の投資が必要となってきている。最先端半導体デバイスではファブ(生産棟)あたりの累積投資額が3000億円を超えるケースも出てきており、先に述べた設備投資額の売上高に占める割合を鑑みると、最先端デバイス向けに投資できる生産工場は世界的にも限定されつつある。地域別の半導体生産能力をみると、2000年以降は日本を含むアジアが北米および欧州の規模を上回っている。工場数や合計月産能力枚数だけでなく、1工場あたりの平均月産能力枚数で規模の拡大が顕著であり、アジアが生産量だけでなく生産規模の面においても、半導体産業における「世界の工場」となりつつあることが読み取れる。

また、東アジアの域内に目を転じてみると、日本、韓国、台湾において大型のファブが集中中しており、近年では中国においても本格的に半導体生産工場が立地しつつある。2000年以降はウェーハサイズで300mmの生産工場が主力となっているが、日本メーカーの東芝やエルピーダ、韓国メーカーのサムスン電子やハイニックス、台湾メーカーのTSMCやUMCなどへの集中投資が顕著である。これらの投資の特徴は同じ場所で敷地を拡張しながら、または近接的な場所を確保しながら、プロセスルールの発展に基づいてファブを建設していくことにある。そのため、各「工場」には数多くのファブが含まれている。まさに工場がファブの集合体として、製造装置や部材なども含めて敷地内に集積しているといえる。そのため、半導体産業の設備投資は地理的には同一の場所や地域で累積的にみられるケースが多く、投資の巨額化が進むにつれ投資の地理的集中化も合わせて生じている。

半導体製造装置産業としては裾野産業としての広がりが見られ、多くの日本メーカーが競争優位となっている。『International Trade by Commodity Statistics』の年次データによる製造装置の国際貿易の変化をみると、東アジアの各国・地域から世界への輸出額は2004年で510億ドル(約5兆6000億円)に達しており、この数字は10年間でほぼ倍増となっている。以前は、日本と北米が製造装置の主要輸出元であったが、韓国や中国などのキャッチアップによって東アジア全体が製造装置産業においても「成長の極」になってきたといえる。このことは東アジア各国・地域の貿易構造からも読み取れる。世界においても東アジアにおいても日本が輸出超過であり競争力を維持している一方、供給元として韓国の存在感が高まっている。特に、東アジア域内において韓国は中国と台湾に対しては輸出超過となっており、裾野産業としても韓国の発展がみられる。