

IAM Discussion Paper Series #018

比較優位の国際分業と途上国の経済成長におよぼす
国際標準化の役割

Contribution of Open Standardization to International Division-of-Labor
and to Economic Growth of Developing Countries

IAM

Intellectual Asset-Based Management

2010年10月

東京大学知的資産経営・総括寄付講座 小川紘一

東京大学 知的資産経営総括寄付講座

Intellectual Asset-Based Management Endorsed Chair
The University of Tokyo

※ IAMディスカッション・ペーパー・シリーズは、研究者間の議論を目的に、研究過程における未定稿を公開するものです。当講座もしくは執筆者による許可のない引用や転載、複製、頒布を禁止します。

<http://www.iam.dpc.u-tokyo.ac.jp/index.ht>

比較優位の国際分業と途上国の経済成長に及ぼす 国際標準化の役割

東京大学知的資産経営・総括寄付講座 小川紘一

要約

技術が経済成長に及ぼす影響は、これまで国のマクロな統計データを使って議論されてきた。工場や設備への投資よりもむしろ技術進歩の方が経済成長に貢献するものの、技術それ自身は経済活動と無関係に与えられると仮定した外生的成長理論、あるいは技術は経済活動を担う重要な要素であり、自らの開発投資や内部学習、経験の積み重ねによって技術レベルが高めることが競争力強化や新たなビジネスチャンスにつながると仮定し内生的成長理論がその代表である。また技術伝播・技術導入・外国直接投資などに注目した議論、および分業の発展と工業化の過程を含む歴史的な視点で市場と成長を論じるのがこれまでの代表的な論点だが、いずれもマクロな統計データが議論の方向性を決めていた。

しかしこれらのいずれも、なぜ技術蓄積の少なかったアジア諸国が、自国内の市場ではなく先進国市場で、しかも極めて短い期間に圧倒的な市場シェアを取れるようになるのか、なぜこれが1990年代の後半から大規模に現れてアジアの製造業が急成長するようになったのか、そしてなぜここから日本企業が市場撤退への道を歩むのか、などを説明することができない。更には、21世紀の日本の成長をアジアの成長とリンクさせて議論する比較優位の国際分業の枠組みも、従来の議論から導くことができない。

本稿では、国際標準化が比較優位の国際分業を加速させる事実、およびこの分業が同じ産業の内部だけに生まれて、しかも先進工業国と途上国と間に現れるという事実を紹介する。次に、1990年代後半以降に急成長するアジア製造業に対してデジタル型エレクトロニクス産業が大きく貢献した事実、その背景に製品アーキテクチャのモジュラー化があり、ここに国際標準化が重畳することで加速する比較優位の国際分業があったことを紹介する。そして最後に、比較優位の国際分業がはじまるタイミングから台湾製造業と韓国製造業のGDPが急成長する様子、ならびにその産業領域で日本企業の競争力が弱まり地方から工場が消えていく姿も、具体的なデータに基づいて実証したい。この延長線でアジアの成長と歩むための日本および日本企業が採るべき方向が見えてくるはずである。

キーワード

経済成長、国際標準化、比較優位の国際分業、技術伝播、発展途上国、製品アーキテクチャ、パソコン、CD-ROM, DVD,

目次

1. 本稿の背景と基本メッセージ
2. パソコンに見るオープンモジュラー化の進展と比較優位の国際分業
 - 2.1 アメリカの産業政策転換とオープンな企業間分業の興隆
 - 2.2 オープンモジュラー化の進展と比較優位の国際分業
3. 光ディスク産業に見るオープンモジュラー化の進展と比較優位の国際分業
 - 3.1 マイクロプロセッサの性能向上とデジタル・フィードバック制御の登場
 - 3.2 オープンモジュラー化の進展と比較優位の国際分業
4. 比較優位の国際分業とアジア企業の興隆
 - 4.1 パソコン産業の国際分業とアジア企業の興隆
 - 4.2 光ディスク産業の国際分業とアジア企業の興隆
5. 比較優位の国際分業が生み出す巨大市場と台湾・韓国の経済成長
 - 5.1 巨大市場の興隆、
 - 5.2 韓国製造業と台湾製造業の急成長とその背景
 - 5.3 急成長と雇用拡大に貢献するビジネス制度設計
 - 5.4 日本がアジアの成長と共に歩むために

参考文献

1. 本稿の基本メッセージとその背景

本稿ではまず第一に、国際標準化が比較優位の国際分業を加速させる事実、およびこの分業が同じ産業の内部だけに生まれしかも先進工業国と途上国と間に現れるという事実を紹介する。そして第二に、1990年代後半以降に急成長するアジア製造業に対してデジタル型エレクトロニクス産業が大きく貢献した事実、その背景に国際標準化がもたらす比較優位の国際分業があった事実を紹介する。そして最後に、比較優位の国際分業と経済成長について論じながら、アジアの成長と歩むための日本の方向付けを考えてみたい。

技術が経済成長に及ぼす影響は、これまでそれぞれの国のマクロな統計データを使って議論されてきた。その代表的な事例が外生的成長理論と内生的成長理論である。前者は、それまで考えられていた労働力や工場・設備への投資というより、むしろ技術進歩の蓄積による効果の方が経済成長へ遥かに大きな影響を与えることを数学モデルで明らかにした。しかしながら1957年にSoloによって提唱されたこのモデルでは、技術それ自身が外生的に与えられると仮定している。技術の進歩は、企業の経済活動と無関係に創出される知の蓄積の派生物として、あるいは時間的・空間的に外部から伝播してくる派生物である、という古典的な科学技術論が暗黙の内に仮定されていたのである。¹

このような考え方は、国や企業が新技術開発に巨額の投資をして競争優位を維持拡大しようとする先進工業国の現状は説明できないものの、技術蓄積の少ない途上国が、先進国から伝播する技術体系を活用して成長する、という21世紀の現状をそのまま説明することができる。事実、戦後の日本も、そして1990年代以降の東アジア諸国と中国も、製品とその関連技術知識の移転に対して、国の産業政策が極めて大きな役割を担った。当然のことながらこのステージでは、ビジネスモデルや知財マネジメントという考え方が生まれていない。

1980年代の後半になってRomerが内生的経済成長理論を提案した。この理論の基本思想では、技術開発それ自身は紛れもなく市場経済の一翼を担うものである、と位置付けられている。これを国や企業の視点で翻訳すれば、研究開発投資の成果としての技術が蓄積され、人材育成・学習および経験の蓄積などによって更に技術レベルが高まることが経済成長や将来の企業の競争力に貢献する、という考え方であった。これは、日本を含む多くの先進工業国が進める巨額な科学技術投資の、思想的なバックブランドとなっている。当

¹ 1940年ころまでのアメリカでは、基礎技術がヨーロッパから伝播してくることが多かった。また技術開発の担い手は、大手企業による研究開発ではなく、むしろエジソンなどの個人発明家であった。しかし1945年10月のブッシュレポートを起点に、大手アメリカ企業が中央研究所を持って基礎研究に巨額の投資をする（たとえば小川, 2009aの4章1節参照）。企業の基礎研究によって生まれたナイロンの発見がデュポンに巨額の利益をもたらした事例を多くの企業人が理解し、研究開発投資それ自身が経済活動そのものであるという考え（30~35年後の1980年代後半に体系化される内生的成長理論と基本思想が同じ）を持つに至ったためである。しかしながら1957年代にSoloが完成させた外生的成長理論のモデルでは、技術が経済活動と無関係に与えられるという1940年代以前（Soloモデル完成の約20~30年前）の考え方が仮定されており、Soloの身近で起きた当時の実ビジネスの実態が取り込まれていなかった。これがアカデミアの世界である。なおアメリカ科学アカデミーの提言書に“経済成長の85%は技術革新による”と書かれているようだが、Soloのモデルで導かれたのが87%であり、技術を外生的に扱っている。この意味で基礎研究者に支持されやすい。

然のことながら、巨額投資が新技術を生み出し、そして新製品を生み出して大量普及すれば必ず国や企業の競争優位に直結するという、リニアモデルが暗黙の内に期待されたものであった。² この意味で行政や企業の経営者の役割は、ただ単に研究開発資金の確保ということになり、投資が生み出す技術成果や知的財産を駆使したビジネスモデルや知財マネジメントの必要性が実ビジネスで強調されることは無かった。

ほぼ同じ時期に、内性的研究開発投資と技術イノベーションおよび技術伝播を経済成長へ取り込む理論も現れた。³ ここで新規技術の開発や技術進化の為の投資は企業利潤追求するビジネスチャンスを掴むためとされてはいるが、同時に投資の成果を独占すれば経済成長に寄与せず、技術の伝播が経済成長に寄与すると、高度 10 万メートルの視点から牧歌的に主張している。

我が国でも多くの研究が蓄積されており、技術導入と国際貿易・外国直接投資などに注目して論じる著作（戸堂、2008）、あるいは分業の発展や工業化の過程を含む歴史的な視点で市場と成長を論じる著作も出てきた（斎藤、2008）。⁴ 特に斎藤の著作を貫く“スミスの成長”という考え方が分業を起点に論じられているという意味で、先進工業国とアジアが比較優位の分業によって互いに成長するという本稿の論点は、スミスの成長を 21 世紀のグローバル市場へ展開する試み、と言えるのではないか。

しかしこれまでの議論はいずれも、なぜ技術蓄積の少なかったアジア諸国が、自国内の市場ではなくグローバル市場で、しかも極めて短い期間に圧倒的な市場シェアを取れるようになるのか、なぜこれがデジタル型のエレクトロニクス産業で大規模に現れ、しかも 1990 年代の後半からアジアの製造業が急成長するようになったのか、そしてなぜここから日本企業が市場撤退への道を歩むのか、などを説明することができない。更には、21 世紀の日本の成長をアジアの成長とリンクさせて議論する枠組も、従来の議論から導くことは困難である。

伝統的なマクロ経済は、Solo モデルや Romer モデルを取り込みながら、長期的な成長を決定する要因が資本と労働と生産性である、と教えてきた。経済の供給サイドに働きかけて資本と労働の双方で量・質を高め、そして生産性を高めれば成長が高まる、という主張である。特に日本では、これらをもつて科学技術が位置付けられ、国の進むべき方向が科学技術創造立国であるという供給サイドの政策思想が、現在でも多くの人の

² 現実にはリニアモデルが成立する事例もある。これの事例は、設計と製造が分離し難く、また技術伝播が起き難い擦り合わせ型の産業で観察されることが多い。しかしながら、デジタル・エレクトロニクス産業に代表されるオープン・モジュラー型の産業では技術伝播/着床スピードが非常に早く、リニアモデルが成立し難い。したがって、技術開発投資の成果を企業収益に結び付けるためのビジネスモデルや知財マネジメントが必要となる（たとえば小川(2010)参照）。

³ たとえばグロスマン G. M, ヘルプマン E (1998) が代表的な事例。彼らは技術伝播と成長の関係を議論しているものの、企業人から見れば地上 10 万メートルから語るマクロな議論であって、国や企業の競争優位を議論するには牧歌的過ぎる。に

⁴ 本稿では、技術導入や外国直接投資という伝統的なキーワードよりも、むしろ製品アーキテクチャによる技術伝播/着床スピードが大きく異なる事実に着目した人為的な比較優位の国際分業構築や、この分業を支える先進工業国の産業政策とビジネスモデルが途上国の成長に大きな影響を与える、と主張している。

共感を得ている。日本の科学技術白書が Solo モデルの中核となる“全要素生産性”という生産性のパラメータを現在でも重視する姿勢が、その痕跡である。⁵ そして過去 15 年に、60 兆円の国税が注ぎ込まれた。企業側の研究開発投資を含めれば、総額 200 兆円という巨額に及ぶ。しかしながら日本の経済が今なお低迷から抜け出せておらず、製造業の雇用は 1990 年から 2007 年まで 300 万人も減った。これは厳然たる事実である。

その理由として、製品アーキテクチャと技術伝播スピードの関係や、スピード差に起因する比較優位の国際分業、そして分業構造の中で急成長するアジア諸国の製造業、という視点から日本企業の競争力や雇用問題を位置付ける議論が、これまで少なかったからではないか。確かに我々は、製品アーキテクチャの視点に立つ技術伝播/着床と経済成長の関係を、技術イノベーション政策や産業政策に取り込んでこなかった。アジアの成長と共に歩む日本の姿を描き出すには、経済の供給サイドに働きかけて資本と労働の双方で量・質を高め、そして生産性を高めるという伝統的な政策は、単に必要条件に過ぎない。技術伝播スピードが 10~30 倍も早くなった産業領域では、日本の国や企業を支えた従来型の国際競争力が比較優位のオープン国際分業によって通用し難くなっていたのであり、従来型の供給サイド政策も技術伝播を考慮した新たな政策無くして競争優位に結びつかなくなった。一方、技術が伝播/着床し難い産業領域では、供給サイド政策が現在でも十分に機能しているのも厳然たる事実である。

我々はまず最初に、製品アーキテクチャと技術伝播/着床スピードとの関係に着目し、スピード差が生み出す比較優位の国際分業を冷静に受け入れ、供給サイド政策が機能する産業領域と全く機能しない領域が生まれる事実を受け入れなければならない。科学技術創造立国に向けた政策の効果が製品アーキテクチャの違い、すなわち技術の伝播/着床スピードに大きく依存するようになっていたのである。

さらにまた、製品アーキテクチャと国際標準化が技術の伝播/着床スピードを左右して比較優位の国際分業を生み出し、グローバル市場の競争ルールや産業構造を一変させていた。21 世紀の現在では、製品設計の深部にデジタル技術が介在し、基幹部品相互の結合公差が飛躍的に広がった。ここで多くの企業が参加する国際標準化とは、基幹部品相互の結合インタフェースと結合公差を、共にグローバル市場へ公開することを意味する。公差が広く、しかもこれが誰にでも公開されるのであれば、例え技術蓄積の少ない途上国企業であっても、流通する基幹部品を調達するだけで市場参入が可能になる。組立工程の許容公差が非常に広いので、特別な製造ノウハウがなくてもそれなりの品質で量産できるからである。ここからグローバル市場の競争ルールが一変する。競争ルールが変われば従来型の供給サイド一辺倒に徹した政策思想を転換させ、そして日本の企業制度の在り方やものづくり一辺倒の経営思想も、比較優位のオープン国際分業に適応させながら変貌・進化させなければならない。

⁵ たとえば平成 20 年度版の科学技術白書。Solo 自身は残差という表現を使ったが、その後の研究者が理論を拡張しながら全要素生産性という言葉を使いはじめ定着させた。

そこで本稿では、高度 10 万メートルの視点に立つ伝統的な供給サイドの政策や成長論ではなく、マクロな経済指標だけを使う議論ではなく、個別産業や個別製品を起点にしながらアジア企業（特に製造業）の国際競争力を論じてみたい。他の産業の影響が相対的に少なければ個別産業や個別製品の競争力とマクロな指標（たとえば GDP）との関係を実証データで把握し易いという意味で、すなわち伝統的な理論体系に組み込み易くなるという意味で、巨大産業に育ったパソコンと DVD および半導体を取り上げた。そしてまた、パソコンや DVD、半導体などに代表されるデジタルエレクトロニクス産業の GDP が全製造業の中で大きな割合を占めている国の成長を議論するなら伝統的な理論体系に組み込み易くなるという意味で、台湾や韓国に焦点を当てて論じる。個別産業・個別製品の競争力をマクロな指標としての GDP と関係付けながら論じる、という本稿の取り組みによって初めて、アジアの成長と共に歩む日本の方向を具体的に議論できるのではないかと。

本稿の論点を支える第一事実は、内部構造がモジュラー型アーキテクチャへ転換し易いデジタル型製品に国際標準化が介在することによって、まず比較優位の国際分業が同じ産業の中で瞬時に生まれ、⁶ これを起点にデジタル型の産業分野から GDP が急成長の軌道に乗る、というアジアの製造業の姿である。これらの事実を具体的なデータで明らかにしたい。

本稿の論点を支える第二の事実は、たとえ同じ産業内であっても、内部アーキテクチャがモジュラー型に転換する製品/システムなら技術伝播・着床スピードが 10 倍から 30 倍も速くなる事実があり、一方、内部アーキテクチャが擦り合わせ型ブラックボックス的な状態を維持するのであれば伝播/着床スピードが非常に遅い、とい事実である。ここでアジア諸国企業は技術の伝播/着床スピードが非常に速いモジュラー型アーキテクチャを担って成長軌道に乗り、一方、先進工業国は伝播/着床スピードに遅い、すなわち模倣され難いブラックボックス的な技術領域を担ってアジア諸国企業に供給する。この意味で、現在のアジア諸国の成長は、外生的な経済成長モデルに近い。一方、先進工業国の成長は内生的モデルに近いものの、単なる供給サイド一辺倒では無い。供給サイド政策で生まれた成果をグローバル市場の競争力へ転化させるためのビジネスモデルや知財マネジメントという、出口サイドの戦略が必ず一体されたものになっている。⁷

本稿の主張は、この二つのモデルが同じ産業の中で同時に起きて共存するという点にあり、したがって同じ産業の中に生まれる比較優位の国際分業・国際貿易こそがアジア諸国と先進工業国を共に成長させている、という点にある。

同じ産業の中で生まれる比較優位の国際分業が、アジア諸国の製造業をグローバル市場へ躍進させ、経済成長に多大な貢献をしている。一方で、日本を含む多くの先進工業国

⁶ これまで語られる比較優位の国際分業は、農作物と工業製品、織物製品と自動車などという異なる産業を事例に議論されてきた。本稿は、例えば DVD やパソコン、携帯電話などのそれぞれの産業の中だけで比較優位の国際分業が生まれ、これが国際標準化によってもたらされたと主張している。

⁷ 1980 年代のアメリカ企業人は、技術伝播しやすいデジタル型エレクトロニクス産業で自社の研究開発投資が生み出す成果を市場の競争力へ転化させるビジネスモデルや知財マネジメントを、技術開発と同等以上に重要して進化・発展させた（小川、2009b の 14 章参照）。

で製造業の雇用が急速に減少しているが、その背景にはアーキテクチャベースの“比較優位のオープン国際分業”があったのである。ここで欧米諸国は、アジア諸国を分業のパートナーと位置付けることによってアジアの成長を自国の成長に取り込む仕組みを1990年代に完成させた。1980年代に産業構造を強制的に分業型へ転換させていたからである。しかしながら伝統的な統合型を維持してきた日本企業にとって、アジア諸国は低コスト生産拠点であり、同じ産業の中のオープン・サプライチェーンを共有するパートナーという位置付けではなかった。

確かに、同じ産業の中で比較優位の国際分業が起きていない産業でなら、伝統的な統合型企業の多くはアジア諸国を単なる低コスト生産拠点として位置付けできてきた。これまでの自動車産業や事務機械産業では、現在でもこの考えが貫かれている。たとえばフルセット垂直統合型の企業であった1980年代のIBMも、パソコン産業で日本の松下電器（現在のパナソニック）を上記の關係に位置付けた。しかしながら、製品アーキテクチャがオープン・モジュラー型へ転換するにつれて競争優位を失い、市場撤退への道を歩んだ。

デジタル技術が設計の深部に介在する製品/産業領域では、必ず比較優位のオープン国際分業が生まれる。したがって、この潮流を人為的に作り出す国の国際標準化戦略や企業の標準化戦略は、それ自身がグローバルな産業構造を一変させ、競争ルールを一変させる。したがって伝統的なフルセット総直統合型の企業制度が経済合理性を失う。これが日本で最も早く顕在化したのがデジタル型のエレクトロニクス産業であり、日本企業の国際競争力を弱体化させ、日本の地方から工場が消えて雇用が失われ、そしてGDPがマイナス成長となった。⁸ 以上のような特徴を持つ21世紀のグローバル経済を、個別産業や個別製品から概観してみたい。

一般に人工物の設計とは、製品/システムを構成する基幹技術モジュールの結合公差を拡大させて単純組合せ型へ転換させる一連の行為である。製品/システムの内部構造をモジュラー型のアーキテクチャへ転換させる一連のプロセスである、と言い換えてもよい。しかしながら、モジュラー型へ転換するだけでは、アジア諸国企業がグローバル市場へ短期間に参入することはできない。市場参入が可能になる第一の背景は、モジュラー型への転換に国際標準化が介在するケースが多くなったことを挙げなければならない。国際標準化によって、基幹技術モジュール相互の結合インタフェースがグローバル市場へオープン化され、同時に結合公差が完全オープン化されるからである。そして第二の背景は、完全オープン化によって製品設計、生産技術開発、部品調達、大量生産など、あらゆる領域で内部コストが激減する点にある。これによって初めて、オープン・サプライチェーンの一角へ、技術蓄積の少ないアジア諸国企業でさえ極めて短期間に市場参入できるようになる。

国際標準化は、同じ産業の中で比較優位の国際分業を加速させる役割を担う。特にインタフェース標準が中心のデジタル型製品でこれが最も先鋭的に現れたという意味で、オ

⁸ 小川(2009b)の第2章、第3章。

オープンな比較優位の国際分業がデジタル型の製品からはじまった。⁹ したがってアジアの製造業の中でも、特にデジタル型の（モジュラー型へ転化した）産業領域から製造業の GDP が急成長に転じた。国際標準化によってアジア諸国の製造業が急成長する背景がここにあったのである。

デジタル型とは、設計の深部にマイクロプロセッサとファームウェアが介在する製品/システムを言う。¹⁰ マイクロプロセッサとこれを動かすファームウェアが持つ基本的な作用が、製品の内部アーキテクチャを技術モジュールの組合せ型、すなわちモジュラー型へ転換させる。この内部アーキテクチャ転換とオープン国際標準化の重畳が、経済システムを従来のクローズド・グループ内分業からオープン環境のグローバル企業間分業へと発展させる原動力となった。¹¹

技術モジュールとして流通するマイクロプロセッサを最初に採用したコンピュータがパソコンである。¹² オープン環境に流通した汎用プロセッサは 1980 年代なっても非常に性能が悪く、メインフレーム・コンピュータはもとよりミニコンピュータからも全く相手にされなかったが、パソコン産業の興隆を担ったベンチャー企業群がこれを積極的に採用した。技術の全体系を開発する資金も能力も全くない彼らにとって、オープン環境に流通するマイクロプロセッサを市場から調達する以外に手がなかったからである。¹³ ここからまずパソコン産業で企業間の水平分業が始まり、その延長で国を超えた比較優位の国際分業構造へと大規模に発展する。パソコン産業の急拡大が光ディスク産業やディスプレイ産業、半導体産業などを興隆・発展させた。同じ産業の中で初めて大規模な国際分業が生まれたのがパソコン産業だったのである。¹⁴ その背後で、基幹部品の中でも特に基幹部

⁹ ソフトウェアもデジタル型製品を特徴付ける典型的な技術モジュールであり、非常に早い段階から国際分業がはじまった。1980 年代から始まり 1990 年代に急拡大するアメリカとインドの国際分業が、その代表的な事例である。インド産業の急成長はまずデジタル型を象徴するソフトウェア産業から始はじったが、2000 年ころから次第に自動車産業へシフトしはじめた。ソフトウェアは高度な教育を受けた人材の雇用に結びつき易いが、自動車産業なら教育を受ける機会の無かった人々の雇用をも拡大させる巨大産業になるからである。

¹⁰ マイクロ・プロセッサは MPU (Microprocessor Unit) と略称され、インテル社が 1971 年に世界で始めて商品化し、市場に流通させた。MPU を動かすソフトウェアをここではファームウェア (Firmware) と定義する。現在ではこれが、多くのケースで組み込みソフトと呼ばれる。当時のメインフレームやミニコンは垂直統合型の企業がビジネスの担い手であり、コンピュータの機能・性能を左右するプロセッサ機能を流通されることなど、全く考えられなかったのである。

¹¹ 本稿が焦点を当てる比較優位の国際分業は、国際標準化が作るオープンなグローバル市場を前提としている。日本の自動車産業に見るグループ内のクローズド分業、あるいは低コスト生産を求めて工場を途上国に作るクローズド分業は、本稿が焦点を当てる比較優位の国際分業と全く異なる。

¹² 柴田 (2008) を参照のこと。初期のマイクロプロセッサは性能が遅いのでメインフレームやミニコンに採用されることはなかったが、半導体の技術革新によっておきた飛躍的な性能向上と急激コスト低下の同時実現によって、1980 年代の中期から全てのパソコンメーカーが当たり前のように採用するようになる。

¹³ 技術体系の一部しか担うことのできないベンチャー企業は、長期の技術蓄積と巨額投資を必要とするプロセッサを自前で開発・製造することが出来ない。市場に流通する技術モジュールとしてのマイクロプロセッサが登場してはじめて、小さなベンチャー企業でさえコンピュータ・ビジネスへ参入できるようになったのである。この傾向は、技術蓄積が少ない現在の NIES/ BRICs 企業が巨大なサプライチェーンの特定セグメントに集中しながら市場参入する姿とまったく同じである。

¹⁴ ミニコンピュータが興隆する 1970 年代になると、アメリカと日本の間で国際分業が生まれた。しかしながらこの場合でも技術モジュールのインタフェースがオープン環境で標準化されたことが起点になってい

品である汎用のマイクロプロセッサが、オープンなグローバル市場で流通する事実があった。

本稿の目的は、国際標準化やオープン標準化と経済成長を論じることだが、¹⁵ これまで述べたように、その前提が製品アーキテクチャのモジュラー化とここに国際標準化が介在することで生まれる比較優位の国際分業であった。そこで本稿は、まず**2章と第3章**でアメリカのパソコン産業と日本の光ディスク産業（CD-ROMやDVD）を取り上げながら、マイクロプロセッサとファームウェアの作用によって製品アーキテクチャがモジュラー型へ転換し、ここに国際標準化が介在することで比較優位のオープン国際分業が急拡大することを実証する。

前者のパソコンの事例は、本質的にデジタル技術で構成されたコンピュータへオープン標準化が介在し、そして企業間の分業が大規模に現れた最初の事例である。¹⁶ アメリカのパソコン産業は、1980年代の中期からオープン標準化を前面に出しながら激しい位置取り競争を繰り広げ、徐々にオープン・モジュラー型のアーキテクチャへ向かう。そしてほぼ完全なモジュラー型へ転換したのが1990年代の中期であった。ここからアメリカとアジア諸国との間で比較優位のオープン国際分業が大規模に進展する。

例えオープンな企業間分業の産業構造が生まれても、初期のころの分業はパソコンのような製品を生み出す先進工業国の市場に留まった。しかしながら、製品アーキテクチャのモジュラー化が究極まで進んで完全な Full-Turn-Key-Solution 型へ転換する時点から（パソコンの場合は1990年代の中期）、先進工業国とアジア諸国との間で比較優位のオープン国際分業が大規模に進展したのである。

後者のCD-ROM装置は、コンピュータ環境で使われることを前提にして既に1980年代の前半に国際規格ができていた。しかし本質的にアナログ技術で構成された製品だったので、基幹技術相互の結合公差が非常に狭い。国際標準化が介在しても比較優位の国際分業が生まれない。これは初期の据え置き型VTRでも同じであった。しかしながらCD-ROMは、マイクロプロセッサが製品設計の深部に介在した1990年代の中期からモジュラー型へ転換した。その直後から瞬時に比較優位のオープン国際分業がはじまったのは言うまでもない。マイクロプロセッサの性能・機能がある段階に達しなければアナログ型製品のモジュラー化が進まず、したがって比較優位の国際分業化も進展しないことを示す代表的な事例をCD-ROM装置に見ることができる。

る。そもそもこれは、アメリカのベンチャー企業同士の企業間分業を目的にしたものであったが、インタフェースがSMD規約としてオープン標準化された1970年代の後半から、日本企業がハードディスク装置を提供する国際分業型の構造が生まれた。

¹⁵ 本稿では国際標準化とオープン標準化を区別しないで用いている。例えば1980年代のアメリカに興隆したパソコン産業の標準化は、アメリカ国内のオープン標準であっても、ビジネスの視点から言えばそのまま国際標準と同じ意味を持つようになった。CD-ROMやCD-Rは特定の有力企業が主導したデファクト標準であったが、ビジネス的には実質的なオープン標準化、国際標準化と同等の役割を持つようになった。厳密な定義は異なるものの、本稿では比較優位の国際分業という視点で標準化を考えるという意味で、オープン標準化と国際標準化と特に区別せず、状況に応じて使い分けている。

¹⁶ 同じデジタル型を代表するネットワーク産業でも同じだったが、詳細は別稿に譲りたい。

例え完成品/システムを支える技術体系が全く異なっても、マイクロプロセッサが持つ基本的な作用によって製品アーキテクチャがモジュラー型へ転換する。そしてここに国際標準化が介在すれば必ず比較優位のオープン国際分業が生まれる。比較優位の国際分業という産業構造がグローバル市場で瞬時に生まれるプロセスは、時空を超えて同じように観察されることが**2章と3章**から理解されるであろう。21世紀の現在では、ほぼ全てのエレクトロニクス製品で製品設計の深部に深く広くマイクロプロセッサ/システムLSIが介在し、そして国際標準化が介在するという意味で、製品出荷の初期の段階から先進工業国とアジア諸国との間で比較優位のオープン国際的分業が当たり前のように進められる。

第4章では1990年代に顕在化したオープンな国際分業によって、それ以前の1980年代より10~30倍もの巨大市場が瞬時に生まれる、という事実を色々な事例で紹介したい。そしてここから本稿の最終目的である“国際標準化がもたらす経済成長”を論じる。製品アーキテクチャのモジュラー型への転換がオープン標準化と結び付くことによって国際分業が加速され、先進工業国とアジア諸国とが互いに比較優位の相互依存性を強めながら経済成長に貢献する事実が、一連の実証データによって理解されるであろう。21世紀の我々がグローバル市場で当たり前のように目にするこれらの経済的・社会的な諸現象が、人工ゲノムとしてのマイクロプロセッサ、あるいはマイコンやDSP, システムLSI およびこれを動かすファームウェアによって支えられているのである。¹⁷

2. パソコン産業に見るオープンモジュラー化の進展と比較優位の国際分業

2.1 アメリカの産業政策転換とオープンな企業間分業の興隆

1800年代の後半から大規模に発展したアメリカ企業は、フルセット垂直統合型の企業制度で成功を繰り返した。規模の経営によってコスト削減と価格維持を同時実現させたのである。また安定成長を目指して盛んに統合化を行いながら垂直統合型とコングロマリット型の組織能力を磨き、同時に事業部制を導入することによって大規模組織の効率的なマネジメントを追求してきた。当時のアメリカ巨大産業が扱う製品は、石油、石炭などの材料か、あるいは鉄道、自動車などの擦り合わせ型アーキテクチャを持っていた。その後に興隆するコンシューマ市場のエレクトロニクス製品であっても、全てアナログ的な技術で構成されていたので、21世紀の我々が目にするオープンな企業間分業はもとより同じ産業の中で比較優位のオープン国際分業は、そもそも存在し得なかった。

1960年代のベトナム戦争によってアメリカの財政が極めて厳しくなった。またその後の1970年代におきた二度に渡る石油危機によって長期の大量失業とひどいインフレの同時

¹⁷ これまで本稿ではマイコンとシステムLSIを区別しないで用いた。初期のころはマイクロプロセッサに入出力インタフェースのコントローラ機能を付けたマイコンや専用高速プロセッサであるDSP (Digital Signal Processor) が中心であったが、1990年代の半導体技術革新がこれをSystemLSIに進化させた。SystemLSIにはマイコンやDSPと多種多様な機能のファームウェア (組み込みソフト群) が一体統合された巨大システムとなっている。その基本機能が製品/システムの内部構造を基幹部品の組合せ型 (モジュラー型) へ転換させるという意味で、マイコンと同じ作用が大規模システムにまで展開されるようになった。

進行に悩まされた。1980年代の初期になってもここから抜け出せないでいたのである。そこでアメリカ政府は、1980年代に産業政策をダイナミックに変えた。¹⁸ 産業構造を強制的に変えようとしたのである。特に現在の我々が当たり前のように語るオープン標準化や企業間分業、ベンチャー企業などの萌芽は、1980年の著作権法改定（ソフトウェアに知財権を認める）、1981年の独占禁止法の大幅緩和、1982年の中小企業技術革新法（SBIR：研究会開発補助金制度）、そして1984年の国家共同研究法の制定など、一連の法律のよってこの世に生まれた。

1980年の著作権法の改定は、1981年10月に出荷されるIBM PCの回路図面やBIOSソース・コードの公開を誘発させ、パソコン産業がオープンな企業間分業へ転換する上で重要な役割を果たした。また独禁法の改定と国家共同研究法の制定、およびこれに関係した諸々の法律改定によって、複数の企業の協業による技術開発が“当然違法の原則”ではなく、“合理の原則”に従って、しかも協業のプロセスと結果をオープンにするのであれば、合法とした。¹⁹ ここから共同開発の成果を業界標準にするという動きが、大きな潮流となってアメリカ製造業のDNAになる。今日のアメリカの競争優位は1985年12月のヤングレポートでは無く、それ以前の一連の法律制定が起点になっていたのである。ヤングレポートの前に骨格が固まっていた。

国家共同研究法が成立したわずか2年後の1986年ころに業界標準となったパソコンのISAバス（Industry Standard Bus）、および1988~1989年のEISAバス（Enhanced ISA Bus）のオープン標準化が、パソコンのモジュラー化と企業間の水平分業を加速させた。アメリカの産業政策が個別企業のビジネスモデルとして取り込まれて生まれた象徴的な事例である。これがパソコンを起点としたデジタルネットワーク社会の飛躍的な発展に繋がり、比較優位のオープン国際分業型へと発展する。その担い手はいずれも1980年代に輩出した多種多様なベンチャー型企业であり、伝統的な大企業ではなかった。²⁰

2.2 オープンモジュラー化の進展と比較優位の国際分業

デジタル技術が製品設計の深部に介在した最初の製品がコンピュータであった。なかでもパソコンは、オープン市場で流通する技術モジュールとしてのマイクロプロセッサを製品設計の中核に据えていたこともあり、1980年代前期のアメリカで制定された独禁法の大幅緩和や国家共同開発法の制定などの産業政策に後押しされながら、デジタル化とオー

¹⁸このような潮流を生み出す背景にハイエクやミルトン・フリードマンの経済思想があるが、この二人を支えたのがアダム・スミスの国富論であると言われる。国富論では冒頭から分業化が持つ経済合理性が一貫して主張されている。この分業化をグローバル市場へ大きく拡大するきっかけになったのが1980年代のアメリカの産業政策であり、これと呼応したパソコン産業やデジタルネットワーク産業で興隆したオープン標準化である。

¹⁹これら一連の政策については、**宮田(2008)**から学んだ。

²⁰我が国でも中小企業の活性化・育成に力を入れているが、アメリカの教訓で言えば、製品アーキテクチャがモジュラー型へ転換した製品であってオープン環境で分業化されやすい産業でなければ、アメリカ的な意味でのオープンイノベーションが起き難い。中小企業やベンチャー企業の育成には、製品アーキテクチャの視点を取り込む産業政策が必要である。

ブン標準化とが結びつく最初の製品となった。²¹

1981年に世に出た初代のIBM PCと1984年に出荷されたIBM PC/ATは、通説のように最初からオープン化していたように見える。しかしながらオープン化されたのは回路図面とBIOSであり、製品として組み立てる場合に最も重要なノウハウとなるデータバスのタイムチャートやインタフェースの細部情報は、すべてIBMという企業の内部で閉じていて公開されていない。また基幹部品を外部調達する分業構造になってはいたが、全てIBMの特別仕様にカスタマイズされていた。したがって少なくともパソコンという完成品の内部構造はモジュラー型だったものの、メインフレームと同じクローズド環境のモジュラー型だったのである。

このような経営環境では、新興企業群が決して主導権を取ることができない。この閉鎖的環境を打開するために、まずオープン環境で標準化しようとした対象がISAバスであり、その後続くEISAバスであった。IBMではなく互換機メーカーが中心となり、しかもオープン環境で業界標準に制定したという意味で、1980年代初期のアメリカ産業政策を象徴する出来事だったのである。²² 以上のようにISAバスのオープン標準化が、完成品としてのパソコンをオープン環境のモジュラー型へ転換させた第一のステップである。

完成品としてのパソコンをオープンモジュラー型へ転換させた**第二のステップ**は、Bus Bridgeのコンセプトである。²³ これもIBMではなく、互換機メーカーであるコンパック社から提案された。コンパック提案のBus Bridgeは、既存のレガシー技術（主に周辺機器）に影響を与えず、すなわちそのまま使える互換性を維持し、その上で更にコンパックが独自にパソコンの性能・機能を進化させるための緩衝レイヤーであった。すでに巨大なインストール・ベースが出来上がったユーザ資産と既存のサプライヤーが作る周辺機器との互換性を維持することでネットワーク外部性を働かせ、その上でコンパックが生み出す独自のイノベーション成果をユーザ・メリットとして提供できるようになったのである。

ここからコンパックやインテルなどのベンチャー企業群は、独自の高速バスと高速プロセッサ（当時のi-360）を活用して、IBMとは異なる方向へパソコンの性能・機能を進化させた。パソコン産業が一種の自律分散型の技術イノベーションへ向かって歩みはじめた、と言い換えてもよい。これを可能にしたのが、割り込み処理とデータ・バッファリングの組み合わせで構成されたBus Bridgeであり、既存のユーザ資産（レガシー技術）と独自イノベーションとの相互依存性を完全に排除する機能を持っていた。技術モジュール相互の依存性を完全に排除できるBus Bridgeの導入によって、完成品としてのパソコンの内部構造がさらにモジュラー型へと進んだのである。レガシー技術と新規技術の相互依存性を排除するBus Bridgeの登場によって始めて、パソコンという製品の大量普及と高収益の同

²¹ 1章の脚注でも述べたが、IBM互換パソコンの内部バスの標準化は当時のアメリカだけで通用するものだったのであり、一種のデファクト標準的な性格を持つ。しかしながらその後これが全世界でビジネス上の実質的な標準となったという意味で、本章ではオープン標準化と国際標準化を同じ意味で使う。

²² 小川(2009b)の5章参照。

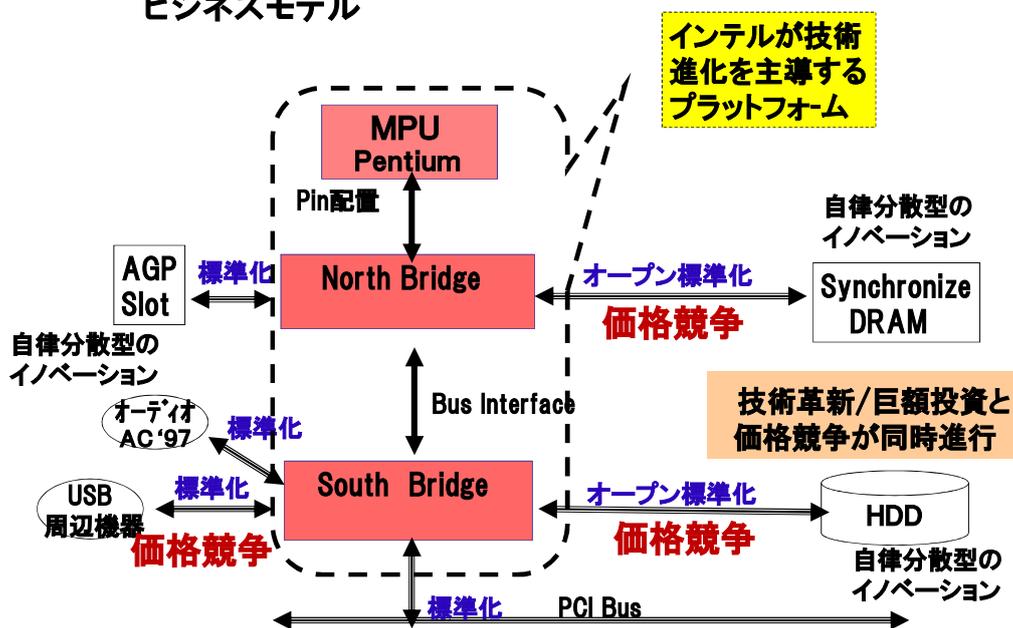
²³ 小川(2009b)の5章、図5.3参照。

時実現がオープン環境で可能になった。

パソコンのアーキテクチャをオープンモジュラー型へ転換させた**第三のステップ**は、インテルによって仕掛けられた。インテルは、まず自社の付加価値領域（ブラック・ボックス領域）であるマイクロプロセッサ（MPU）ビジネスを競争相手から守る手段として、新たに North Bridge という緩衝レイヤーを生み出した。さらに既存の Bus Bridge を South Bridge というコンセプトに変え、これとインテルが開発した PCI バス経由で North Bridge に直結させた。

我々が特に注目すべき点は、オープン環境で標準化された PCI バスによって、North Bridge 周辺のイノベーションを、South Bridge 側へ影響を与えずに、すなわちインテル自身が自らの経営戦略だけで進められようになったことである。これを別の視点から言い換えれば、DRAM メーカーやハードディスク・メーカー、グラフィクス関連デバイスのメーカーが、インテル MPU 側から独立に、そして同時にレガシー・デバイスが繋がる South Bridge 側から独立に、自律分散型の技術イノベーションを起こせるようになったことを意味する。インテルが導入した 2 つの Bridge による相互依存性の排除が、実はそのままパソコンのアーキテクチャを更に細かなモジュールの組み合わせからなるオープンモジュラー型へ完全転換させる役割を担ったのである。

図1 オープン標準化を駆使したインテル社のプラットフォーム型ビジネスモデル



完成品としてのパソコンが、公差無限大のオープンインタフェースを介する完全モジュラー型に転換するタイミングから、今度はインテルの方が、逆に統合型へ向かって歩みはじめた。これが現在のインテル型ビジネスの原型となった図1のプラットフォームであ

る。図1こそがインテル型ビジネスの原点であり、パソコン産業の完全モジュラー化を象徴する共通プラットフォームになった。その時期が1995年から1996年ころだったのである。

図1で我々がまず注目すべき点は、自社の技術ノウハウと知財で構成されるマイクロプロセッサ（MPU）およびこれに繋ぐ高速デバイス用のNorth Bridgeとの相互依存性を、更に強化した点にある。そしてまた、South Bridge（既存のデバイス用）さえ、PCIバスを介してMPUとの相互依存性を強化した。²⁴ これによって図1の点線で囲んだ領域が、実質的にブラックボックス化されてインテルに囲い込まれることになる。オープン・サプライチェーンの特定領域から独占範囲の拡大（統合化）に向かったと言い換えてもよい。

次に着目すべき点は、統合モジュールとしてのプラットフォームにつなぐDRAMメモリー、ハードディスク、グラフィック関連デバイスやUSBデバイスなど、全てのパソコン基幹部品で、その外部インタフェースがオープン環境で標準化されている点にある。これによって、インテルの付加価値が集中カプセルされた統合モジュール（図1の点線で囲んだ内部）は、他の全ての周辺機器とオープンインタフェースを介して単純結合することが可能になった。パソコンのオープンモジュール化がここで完成する

製品アーキテクチャのモジュラー化が進むと、パソコンの部品や材料とこれを作るための量産設備、さらにはパソコンの組み立てなど、バリューチェーンのそれぞれのセグメントが独立にイノベーションを生み出しても、そのままパソコンの機能・性能向上やコスト削減に直結する。パソコンという巨大産業の全ての技術体系を全く知らなくても、個別セグメントのイノベーションが産業全体のイノベーションに直結するようになったのである。同時これは、自律分散のイノベーションが、完成品としてのパソコンを構成するほぼすべての部品領域に拡大することを意味する。大規模な比較優位のオープン国際分業が、特に先進工業国とアジア諸国の間で大規模に進展する経済環境がここから生まれたのである。

例えばオープン標準化されたISAバスの登場によって初めて、ベンチャー企業群がIBMとは全く独立に、3.5インチのハードディスク側でイノベーションを起こすことができた。デジタルインタフェースがオープン標準化されていたからである。事実3.5インチHDDドライブの内部にアナログ変復調回路やコントローラ回路が全て内蔵されており、完全モジュール構造になっていたのも、オープン規格のインタフェース仕様さえ守れば誰でも市場参入できた。ここから多数のハードディスク専門メーカーが、パソコン側と全く独立にイノベーションを起こすことができた。1980年代に世界で専門メーカーが80社以上もあったという。日本からも多くの企業が3.5インチのハードディスク産業へ参入したが、富士通や日立、NECなどの伝統的な企業ではなく、いずれも初めてハードディスク産業へ参入する企業群であった。

²⁴ 1990年代の後半から図1のNorth BridgeとSouth Bridgeは、それぞれMedia Control HubおよびI/O Control Hubへと名称が変わり、更に進化し続けている。

また第3章や第4章で紹介するように、台湾のマザーボード産業やEMS産業も、インテルが完成させた図1のプラットフォームを起点に大躍進する。韓国企業がパソコン用のDRAMメモリーで1990年代から急成長の軌道に乗ったのも、そしてパソコン用のCRTディスプレイで台湾や韓国企業が躍進した背景にも、またパソコンへ内蔵するCD-ROM装置やDVD装置が大量普及しはじめたのも、オープンインタフェースを介して相互依存性を排除し、自律分散型の技術イノベーションが可能になった時点からであった。いわゆるオープンインタフェースを介した比較優位の国際分業とこれを起点にした自律分散型のイノベーションが世界中で始まり、高性能化・大容量化・高機能化と低コスト化が同時進行したのである。ここからパソコン市場が世界中で爆発的に拡大する。

3. 光ディスク産業に見るオープンモジュラー化の進展と比較優位の国際分業

3.1 マイクロプロセッサの性能向上とデジタルフィードバック制御の登場

製品アーキテクチャの視点から見たフィードバック制御とは、たとえ制御対象物の内部に異常（特性バラツキや経年劣化）があっても、あるいは制御対象物に外乱（例えばこれを使うシステム側の製造バラツキ、システム側の振動やノイズ、操作ミスなど）が重畳しても、これを検出してフィードバックしながら異常や外乱の影響を取り除くことであった。フィードバック制御が組み込まれた技術領域なら同じシステムの他の技術体系へ影響を与えない、²⁵ と言い換えてもよい。この意味で技術モジュール相互の依存性を排除する効果を持つ。本来なら相互依存性の強いアナログ型の技術体系、あるいは機構系を多く含む技術体系であっても、個々の技術モジュールの組合せ型へと転換する機能を持つのが、フィードバック制御である。

CD-ROM装置やDVD、携帯電話、薄型テレビ、白物家電に代表される電気機器は、回転機構技術や無線技術、アナログ回路技術などが製品機能の中核を占めることが多く、本質的にアナログ的な技術体系で構成されていた。またここに使われフィードバック制御も、1980年代までなら全てアナログ型であった。アナログ型であればフィードバック制御を特徴付ける伝達関数（制御アルゴリズム）が固定されて自由に変えることが出来ない。したがってダイナミックレンジが非常に狭い。すなわち内部異常や外乱が小さい場合だけしか、単純組合せ型と見なすことができない。アナログ型のフィードバック制御では、完成品を構成する要素技術相互の結合公差が非常に狭い、²⁵ と言い換えてもよい。

一方、デジタル型のフィードバック制御は、製品開発のプロセスでフィードバック制御のノウハウがファームウェア・モジュール群としてメモリーに蓄積されており、²⁵ 伝達関数のパラメータはもとより伝達関数の構造そのものさえ、ファームウェアの入れ替えで自由自在に変えることができる。この意味で例え内部異常や外乱の幅が非常に大きくても伝達関数をダイナミックに変えれば、その影響が他の技術体系へ及ぼす影響を排除するこ

²⁵ ファームウェアを現在では組み込みソフトと呼ぶことが多い。

とができる。すなわちダイナミックレンジが非常に広がって、完成品を構成する要素技術相互の結合公差が実質的に大きくできる。この意味で、デジタルフィードバック制御は製品アーキテクチャをモジュラー型へ転換させる作用を持つ、と言い換えてもよい。²⁶

これまで語られたデジタル型とは、デジタル信号やデジタルインタフェースなどを示すことが多かった。しかしながらジェームス・ワットの蒸気機関を起点にして生まれた伝統的な機械技術中心の製品から現在のメカトロニクス製品まで、その中核を支えてきたのがフィードバック制御である。この中核技術にデジタル技術が介在することによる相互依存性の排除、すなわちモジュラー型への転換こそが、人工物の設計で極めて重要な意味を持つ。

この原理はかなり前から理解されており、コンピュータが誕生するとすぐフィードバック制御への応用が研究された。しかしながら複雑な伝達関数を介した一連のフィードバック制御をリアルタイムで処理するには高速演算が必要だったので、1970年代までは専用のミニコンピュータが使われていたのである。これがあらゆる製品領域に広がるには、超小型コンピュータ、すなわちマイクロプロセッサの登場まで待たなければならなかったが、1971年に誕生したマイクロプロセッサは性能が非常に悪くしかも高価だった。デジタルフィードバック制御が製品設計の基幹領域に採用されるようになったのは、性能が飛躍的に向上してリアルタイム高速処理できるようになり、そして価格が激減する1990年代からだったのである。

コンピュータの場合は、例え初期のころであっても、計算速度が人間より遥かに高速であってプロセッサの性能の遅さが問題になることは全くなかった。1980年代であっても、個人が使うパソコンなら表計算の速度が人間の処理スピードより遥かに高速である。また例え複雑な処理によって遅くなっても、メインフレームやミニコンではなく個人が一人で使うパソコンなら待てばよかった。

しかしCD-ROM装置やDVD、あるいはテレビや携帯電話は、処理時間がアナログ時代の技術仕様や人間の感性などによって決まり、マイクロプロセッサがこの時間内で高速リアルタイム処理できる性能になっていなければ、製品設計者はプロセッサを活用することができない。例えマイクロプロセッサをエンジンにするマイコンやDSPが家電機器で使われても、1980年代は用途が非常に限定的であった。家電機器のアーキテクチャをモジュラー型に転換させ、競争ルールを変えながら産業構造を一変させるには、超微細加工のプロセス技術に支えられた半導体側の技術イノベーションを待たなければならなかったのである。

本稿が着目するマイクロプロセッサの性能は、半導体の技術革新に支えられて1990年代から飛躍的に進化した。例えば1970年代は性能が0.07～1 MIPS (Million Instruction

²⁶ 図2の右側で、s1, s2, …、S1, S2, …は内部にデジタルフィードバック制御機能を持つ。データバスを介してs1, s2, …などからセンサー信号を受け、これを起点に制御信号を作り出すのが図2のマイクロプロセッサである。

Per Second)であって、しかも10年でせいぜい15倍しか向上しなかった。1980年代になっても1~30 MPISであって性能の向上も30倍程度であった。しかしながら1990年代になるとの10年間に約100倍以上も性能が向上する。特に1990年代後半には500~3000 MIPSという驚異的な性能になり、同時にコストも激減してその用途が飛躍的に拡大した。光ディスク装置設計の深部にマイコンが介在したのも1990年代の中期からだったのである。

3.2 オープンモジュラー化の進展と比較優位の国際分業

1980年以前のアナログ技術で構成される電機機器では、たとえフィードバック制御が使われていたとしても基幹技術相互の結合公差が非常に狭い。したがって要素技術・基幹部品が多層的なヒエラルキーを構成する場合は、必ず多面的に絡み合った相互依存性を排除できない。その様子を図2の左側に示した。ここに表現された部品相互あるいは部品と機能の多層的・複合的關係は、乗用車やデジカメにおける製品アーキテクチャと同じく“擦り合せ型”であった。²⁷ 例え製品設計側で努力したとしても基幹部品相互の結合公差が依然として非常に狭いので、設計技術・基幹部品技術、そして生産技術などの全ての技術体系を内部に持つ統合型の企業だけが市場参入することができたのである。

一方、製品設計の基幹技術領域にデジタル技術、すなわちマイクロプロセッサとファームウェアが介在するということは、²⁸ 基幹部品相互あるいは部品と機能の相互關係が図2の右側の構造になることを意味する。基幹部品が直接あるいは間接的にプロセッサのデータバスにデジタル結合されており、基幹部品の動作は全てプロセッサを動かすファームウェア・モジュール群によってフィードバック制御情報が生成されるのである。²⁹

例えばCD-ROM装置であれば、フィードバック制御が対象とする光ピックアップが発するレーザ光の動きをセンサーが常に監視しているが、センサー情報はアナログなのでデジタル信号に変換してからデータバスを介してプロセッサ側へ送られる。そしてプロセッサの中のファームウェアは、アクチュエータの内部異常（性能のバラツキや劣化など）やシステム側の外乱（ここではディスク媒体の面ブレや偏芯）があっても、これをキャンセルする為の制御情報をリアルタイムで生成し、レンズで絞られたレーザ光を常にジャストフォーカスさせるという、光ピックアップが本来の持つべき機能・性能を正常状態に維持させる。

また他の部品に異常が起きる場合は、プロセッサとファームウェアがこの異常を補うようにそれ以外のフィードバック制御系を動かして全体を正常動作に戻す。あるいはユーザが操作を間違えて異状がおきても、プロセッサとファームウェアがリアルタイムにフィードバック制御の指令を出しながら、CD-ROMやDVDとしてのトータルな機能・性能を維持する。言い換えれば、これらの一連の動作を保証するノウハウがプロセッサ側にフ

²⁷ 例え小川(2009b)の8章、図8.2参照。

²⁸ 具体的には、マイコン、DSP、SystemLSIのエンジンとしてマイクロプロセッサを使う。

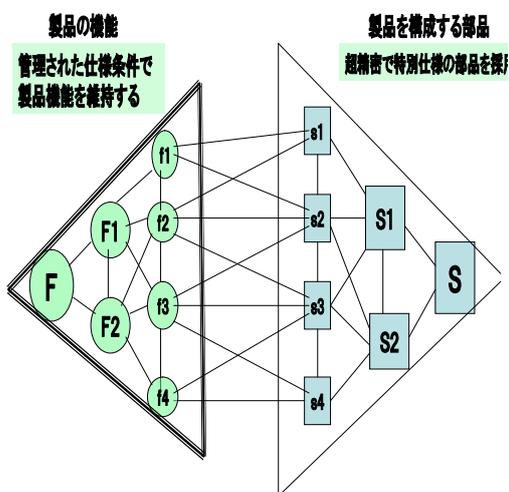
²⁹ パソコンの場合は図1や図2から明らかなように、メモリー機能や情報の入出力とその制御が全てMPUの外についている。マイコンではこれが全てMCUの中に取り込まれている。

ファームウェア・モジュール群として蓄積されているので、製品設計のノウハウを自ら開発せず、これらの部品を調達して単純組立するだけで、完成品としてのCD-ROM装置を量産することができるようになる。

図2 家電製品のアーキテクチャ転換

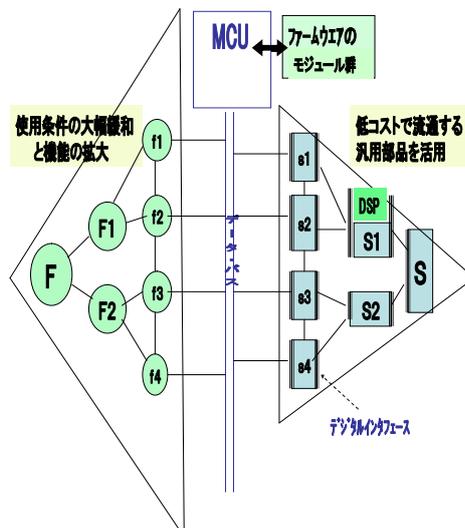
1980年代のアナログ型

基幹部品の相互依存性が非常に強く、超精密な部品の組み合わせによってはじめて製品機能を歩留まり良く復元できる



2000年代のデジタル型

ファームウェアの作用で、基幹部品の多層的・複合的な相互依存性を排除。低コスト汎用部品を使っても、ファームウェアの作用が使用条件を緩和し、製品機能を拡大



CD-ROM装置の設計にプロセッサが介在しないアナログフィードバック型の技術体系では、制御対象自身に許される特性バラツキが僅かであり、またCD-ROM装置の組立製造バラツキも僅かしか許されなかった。したがって量産組立工程のひとつひとつが厳格な調整プロセスと検査プロセスの組合せによって構成されていた。アナログ型では基幹部品に許容される公差が実質的に非常に狭かったからである。正しく正確に微調整を行うための治工具やそれぞれの工程の検査装置は、全て設計部門や組立部門および生産技術部門・検査部門が連携し合いながら積み重ねた擦り合せノウハウの結晶である。またこれらに携わるスタッフやオペレータ(組み立て作業をする人)も、その企業が長年にわたる企業内教育で育成した人材である。この意味で、長期に渡る設計や組立の擦り合わせ型ノウハウを組織能力として蓄積した統合型の大規模企業だけが、CD-ROM装置のビジネスに参入することができた。したがって、アジア諸国の企業が市場参入することはできなかったのである。1980年代初期のサムソンやLG電子も、そして台湾や香港、シンガポールの企業も例外ではなかった。

しかしながらここにマイクロプロセッサが設計の深部に介在して、すなわちデジタルフィードバック制御が採用されて、基幹部品相互の結合公差が飛躍的に拡大すると、量

産組立ての工程が一変する。結合公差が拡大して相互依存性が排除されるので設計・組立・生産技術・検査部門などの擦り合せノウハウが全く不要になり、企業内の内部コストが激減する。フォームウェア・モジュール付きの高速プロセッサが内蔵された IC Chipset(当時はシステム LSI が無かった)と他の基幹部品を購入するだけで、誰でも簡単に CD-ROM 装置を組み立てられるようになった、と言い換えてもよい。ここから基幹部品がグローバル市場で大量に流通するようになり、市場の利用コストも激減した。これが、アジア諸国企業が大挙して市場参入できた経営環境の到来であった。

パソコンの場合は基幹技術が最初からデジタル型であり、フィードバック制御が介在する技術領域も全てデジタル型だったので、基幹部品相互の結合公差が本質的に非常に広い。当初はクローズド・モジュラー型のアーキテクチャであったが、³⁰ 本質的に基幹部品相互の結合公差が非常に広いので、プロセッサのデータバスや周辺機器のインターフェースがオープン環境で標準化され、基幹部品のインターフェースと結合公差がオープン化されれば、全ての基幹部品が瞬時に伝播/着床する。技術体系の一部しか持たないキャッチアップ型のベンチャー企業であってもここからパソコン産業へ参入できるようになったのである。最初からデジタル技術で構成される製品/システムでは、オープン標準化だけが比較優位の国際分業を生み出し主要因であった。

21世紀の現在では、たとえデジタル技術が介在しなくても完成品の内部構造が疑似モジュラー型へ転換しやすくなって業界共通の規格が定着し、³¹ これを起点に日本と韓国・台湾・中国との間で比較優位の国際分業が急拡大する。公的な国際標準化ではなく、業界に自然に生まれたオープンなデファクト標準によって自律分散型の技術イノベーションが次々に起こり、高機能化と低コスト化が同時進行するようになるのである。その代表的な事例が太陽光発電や液晶テレビ、LED 照明などであり、韓国や台湾・中国の製造業の GDP を急成長させたのはいうまでもない。

4. 比較優位の国際分業が生み出す巨大市場とアジア諸国の経済成長

4.1 パソコン産業の国際分業とアジア企業の興隆

オープン標準化を駆使しながらインテルが完成させた図 1 のプラットフォーム登場によって、パソコンのアーキテクチャが完全なオープンモジュラー型へ転換した。また CD-ROM 装置も、デジタルフィードバック制御が取り込まれて図 2 の右側のオープンモジュラー型へ転換した。類似の現象が他の多くのエレクトロニクス製品に拡大して比較優位の国際分業が急拡大することは、これまで何度も繰り返した。これらはいずれも 1990 年代の中期に顕在化したのである。

例えば台湾のマザーボード産業や EMS 産業、ノートパソコン産業などが急成長した

³⁰ 小川(2009b)の5章。

³¹ 小川(2009b)の11章。

のが 1990 年代の中期以降であり、そして韓国や台湾の CD-ROM や DVD などの光ディスク産業や半導体産業も、同じように 1990 年代の後半から躍進する。技術の伝播/着床スピードが非常に速まったのである。背後で共通する特徴は、モジュラー型に転換した完成品/システムから躍進した点であり、そして人為的な比較優位の産業政策が集中する“設備主導型の産業”から躍進した点である。

台湾の貿易統計データによれば、1990 年から 1994 年までの 5 年間でマザーボードの輸出が 20 Billion NT\$ から 32 Billion NT\$ とわずか 15% 程度しか増えていないが、1995 年から 5 年間で 4.5 倍も急増し、1999 年には 170 Billion NT\$ の巨額になった。³² 2000 年には台湾のマザーボード生産枚数が世界の 70% を占め、2005 年には 80% を超える。1995 年以降の急増は、**図 1** の構造が完成する前後にインテルがマザーボード製造技術を台湾へ提供し、台湾がこれを世界中のパソコンメーカーへ提供したためである。Full Turn Key Solution として **図 1** のプラットフォームが提供されれば、台湾製のマザーボードにメモリーやハードディスク、ディスプレイ、キーボードなどを単純結合するだけで、世界中の人が完成品としてのパソコンを簡単に量産できるようになる。技術の伝播/着床スピードが更に速まって途上国の製造業の成長に寄与するのは言うまでもない。

台湾がマザーボードやパソコンのベアボーンから IC Chipset の製造、CRT ディスプレー、パソコン内蔵用の CD-ROM や DVD 装置と記録媒体の製造を担い、韓国が DRAM メモリーや CD-ROM, DVD 装置などの製造を担った。一方、日本やアメリカが擦り合わせ型のハードディスクや製造設備を、そしてアメリカが **図 1** の中核を占める MPU や Chipset およびオペレーティングシステムやアプリケーションなどのフトウェア産業を担ったのである。

形式知化されたオープン・インタフェースを介して比較優位のオープン国際分業がはじまり、世界中で自律分散型のイノベーションが次々に起きる。1980 年代にせいぜい年間 1,000 万台だったパソコン市場が 1995~1996 年に年間 6,000 万台となり、そのわずか 3 年後に 1 億台を超えた。2007 年に年間 2 億 5000 万台も出荷された。これが台湾などアジア諸国の IT 産業を飛躍的に発展させ、巨大な雇用を生み出しながらアジア経済を急成長させることになる。その背後で、新規技術の取り込や新規産業の育成を目的とした経済特区や優遇政策など、製造段階で競争力の強化を図る産業政策があったのは言うまでもない。台湾政府は人為的・政策的に比較優位を作り出してグローバル競争力を支えたのである。³³

比較優位のオープン国際分業を象徴する EMS (Electronic Manufacturing Service System) も、パソコン・アーキテクチャの完全モジュラー化 (**図 1** の完成) によって驚異的な成長軌道に乗った。EMS は典型的な製造アウトソーシングであり、設計と製造が完全に分離して初めて生まれる産業である。設計と製造の完全分離が起きていなかったら製造専門メーカーである Foxconn の出番は無かったであろう。

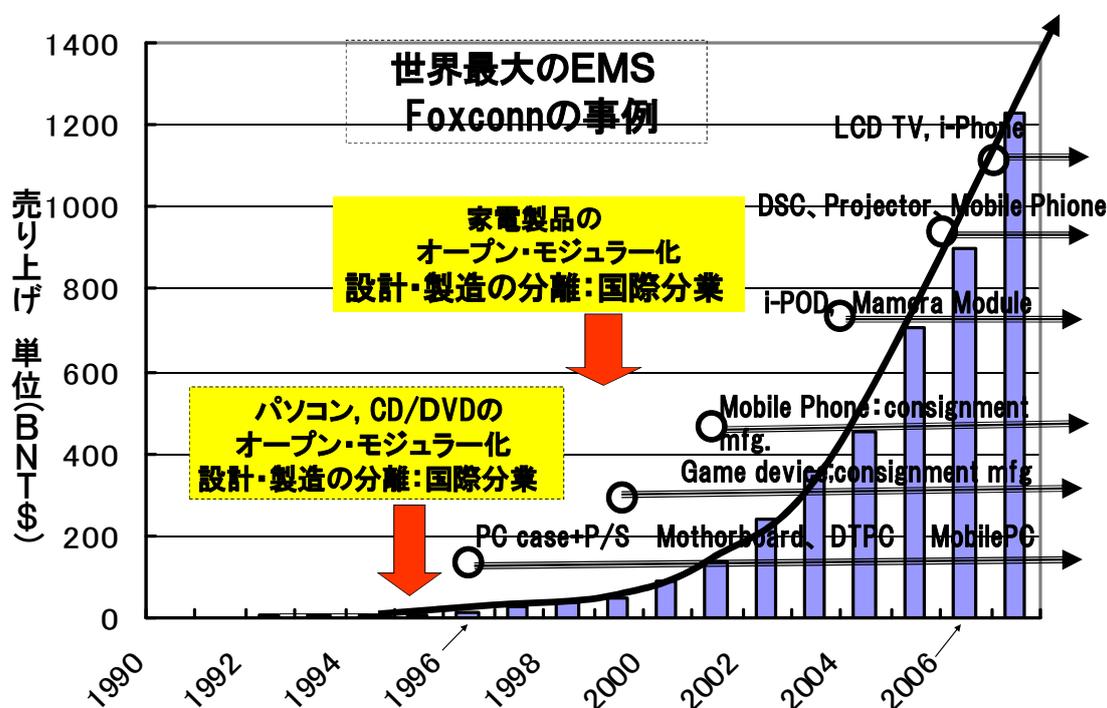
現在世界最大の EMS として名高い Foxconn は、IBM PC が世に出て 2 年後の 1983 年

³² アメリカのドル (US\$) と台湾ドル (NT\$) の関係は、1992~1995 年で 1US\$ が 26~27NT\$、1996~2005 年が 29~30NT\$ であった。

³³ 例えば立本 (2009)。

に創業した。当初から優れた金型技術を持っていたのでデスクトップパソコンの外枠製造を請け負っていたが、その10年後の1993年になっても売り上げが伸びず長期低迷を続けた。飛躍のチャンスが生まれたのは、インテルがパソコンのマザーボードとその関連部品の製造レシピを台湾企業へ一括提供し、設計と製造が完全に分離するようになった1995~1996年以降のことであった。単にパソコンの外枠だけでなく、ケースと電源とマザーボードを一体化したベアボーンとよばれる複合部品モジュールの量産を世界中のパソコンメーカーから受注しはじめたのである。

図3 オープン国際分業とEMSの興隆



出展:アジア経済研究所, 川上桃子氏のデータを小川が加工

その様子を図3に示すが、1990年から1994年まで25~50 Billion NT\$の低いレベルで低迷していた売り上げが、1998年の約80 Billion NT\$を経て2002年に200 Billion NT\$,そして2007年は1,100 Billion NT\$ (グループ全体では1,400 Billion NT\$) という驚異的な売り上げを記録した。2007年の売り上げ1,400 Billion NT\$は台湾の全GDPの約10%以上にも達する驚異的な数字である。

Foxconnは設計と製造が完全分離する流れに乗って果敢に投資をし、1996~1997年から中国に巨大な工場を作り続けた。現在では、広東省シンセン、江蘇省昆山、浙江省杭州、山東省煙台、等が主要拠点である。特にシンセン工場は従業員規模約20万人という想像を絶する巨大な工場を建設し、ゲーム機、携帯電話、i-Pot, デジカメ、液晶テレビ、iPhone

の量産組み立てを次々に取り込み、**図 3**のような急成長を続けている。³⁴ いずれも**図 3**の○印を起点に新しい製品の組み立て製造を請け負っているが、このタイミングは擦り合わせ設計製造を必要とせず、少なくとも低コストの汎用品なら基幹部品の組合せで製品設計が可能になった時期である。設計と製造が完全分離する時期であったと言い換えてもよい。同時に中国の経済特区に設定された地方政府による徹底した優遇政策（優遇税制だけでなく、土地、工場、設備などの貸与なども含む）が圧倒的な低コスト大量生産という、製造段階での比較優位を支えたのはいうまでもない。自然発生的な比較優位ではなく人為的に比較優位を作り出していたのである。これによってその地域に巨大な雇用が生まれて税金が増え、そして中国のそれぞれ省や地方都市で産業興隆や経済活性化に大きく貢献することになる。

エレクトロニクス系の製品でいわゆる EMS などを活用するアウトソーシングが興隆した 1990 年代の中期から、設計と組み立てが互いに相互依存性の少ない技術体系へ機能分離していた。製品アーキテクチャが完全モジュラー型へ転換した後のパソコン産業やデジタル家電産業に見る国際分業とは、先進工業国とアジア諸国がグローバルな巨大市場でそれぞれの国が比較優位の得意技を生かしながら相互依存性を強めて行く姿であった。主に先進工業国の企業が擦り合わせ型のアーキテクチャを持つ先端の中核技術領域を担い、アジア諸国の企業が同じ産業のモジュラー型アーキテクチャを持つ領域に特化しながら低コスト組立製造という技術領域を担ったのである。

4.2 光ディスク産業の国際分業化とアジア企業の興隆

コンピュータ用の CD-ROM 装置を世界で初めて出荷したのは日本企業であり、1987 年のことであった。当時はまだマイクロプロセッサの性能が遅かったので、アナログフィードバック制御技術が採用されていた。したがって国際分業が生まれず、1991 年になって 90 万台、1992 年でも 180 万台にすぎない。普及スピードが非常に遅かったのである。

大量普及が始まるのはデジタルフィードバック制御用の IC Chipset が流通しはじめた 1994 年であり、一気に年間 2000 万台の市場へと急拡大する。1994 年は CD-ROM 装置用の IC Chipset がオープン環境の汎用部品として流通した最初の年であり、東芝から CD-X, EX シリーズとして出荷された。アナログ技術体系を一気にデジタル型へ転換させる役割を担ったのが、この IC Chipset だったのである。

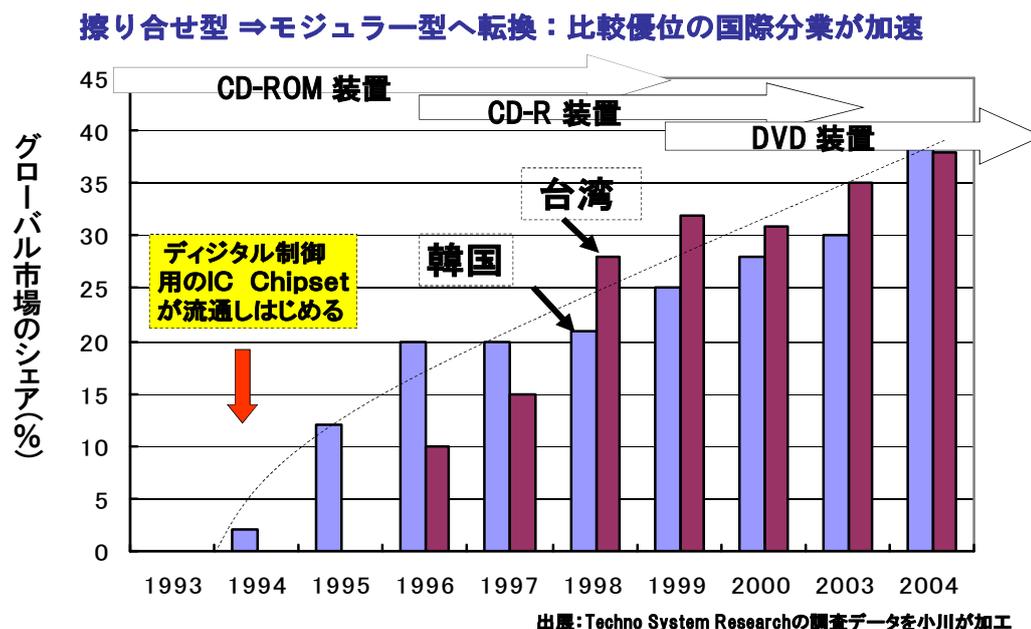
しかしながらデジタルフィードバック制御の IC Chipset を活用して大量普及を担ったのは、日本企業ではなく韓国や台湾の企業であった。その様子を**図 4**に示す。たとえば 1990 年代の後半からグローバル市場で圧倒的な市場シェアを持つに至った台湾のライトオン社 (Lite-on) やベンキュー社 (BenQ) および韓国のサムソン (Sumsong) 電子やエルジー (LG) 電子は、いずれもデジタルフィードバック制御の IC Chipset がオープン市場で流通した 1994~1995 年から初めて市場参入できるようになった。これらの企業はいずれも、5~6 年後

³⁴ 以上のデータや事実はアジア経済研究所の川上桃子氏にご教え頂いた。

に売り上げ 1 billion US\$を誇って巨大ビジネスを担うまでに急成長した。

その後、CD-ROM に続く CD-R や DVD など、全ての光ディスク装置にデジタルフィードバック制御が採用され、製品アーキテクチャが瞬時にモジュラー型へ転換した。そして同じように韓国や台湾企業がグローバル市場を支配したのである（図4）。

**図4 製品アーキテクチャのモジュラー化によって
韓国・台湾企業がグローバル市場へ躍進**



オープン標準化とは、モジュラー型に転じた完成品で技術モジュール（基幹部品）のインタフェースとモジュール相互の結合公差を、ともにグローバル市場へオープン化することである。ここから製品を設計して量産に至るまでの企業内部コストが激減し、同時に市場を利用するためのコストの非常に低い経営環境が生まれる。³⁵ オープン市場で大量に流通する技術モジュールを調達して組み立て、完成品ビジネスへ参入するキャッチアップ型の企業群がここから興隆する様子は、図3や図4のデータから理解されるであろう。

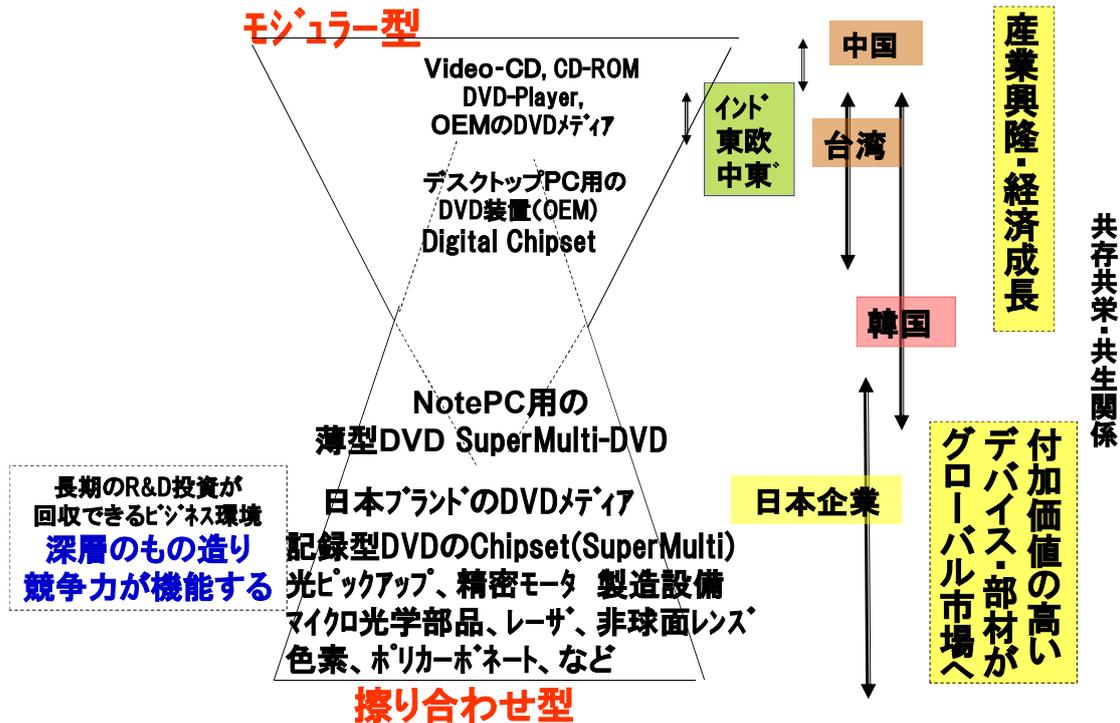
図5には、2006年の時点の光ディスク産業を例にとり、分業化されたグローバル・サプライチェーンのなかで、それぞれの国がどのようなセグメントを担っているかを模式的に示した。図から明らかなように、結合公差が飛躍的に拡大して基幹部品が大量流通するタイミングで、CD-ROM装置やDVDプレイヤーおよび記録型DVD装置という完成品のビジネスを主導するのは、いずれも韓国、台湾・中国の企業であった。

その中でも基幹部品の結合公差が非常に広がったDVDプレイヤーでは、中国企業が

³⁵ 厳密には、企業内で製品開発から量産に至るまでの擦り合わせ内部コスト（擦り合わせコーディネーションコスト）および、調達および調達のための契約コストや知財のコスト、情報の非対称によって生じるコスト、販売コストなどの市場利用コストも含まれる。これらの一部が小川(2010)で論じられている。

世界シェアの60%以上を占めていて韓国企業の市場シェアが小さい。³⁶ しかしながら結合公差の狭い領域がまだ残っている記録型のDVD装置では、中国企業が未だに参入困難な状況にあり、韓国や台湾が世界市場の80%を占めている。これが市場の実態である。

図5 製品アーキテクチャのダイナミズムが作り出す
我が国とNIES/BRICs諸国の国際分業



一方、光ピックアップやマイクロ光学部品などの基幹部品は、設計時に技術モジュールのインタフェースを形式知化し難く、たとえできて量産ラインを構成する各工程の許容公差が非常に狭いので、技術の全体系が一括して伝播しないと、実質的な技術伝播は起きない。そもそもこれらの部品・材料の内部構造に、デジタルフィードバック制御を活用できず、技術ノウハウがブラックボックスとして封じ込められやすいので、図5の下側に位置取りされる基幹部品や基幹材料は、光ディスク技術の全体系を持つ製造大国の日本だけが長期にわたってグローバル市場を席卷している。

これを韓国、台湾、中国の企業からみれば、内部コストとしての擦り合わせ技術開発・設計コスト、企業間の擦り合わせ協業による開発コスト、製造設備や製造工程の擦り合わせ開発コスト市場など、市場参入に必要なコストが非常に高い技術領域（図5の下側）に位置取りされる技術体系であった。したがって技術は、このコスト高のために伝播も着床

³⁶ これは日本企業の中国工場ではなく、中国資本による中国工場の生産シェアである。表に出ているシェアは60%だが、部品の供給状況から見た中国企業のシェアは70%を超える。

もし難い。³⁷ 伝播/着床しなければ途上国のビジネス制度設計や途上国企業を特徴付ける異常に低いオーバーヘッドなどの比較優位を發揮できず、先進国企業に対するトータルビジネス上のコスト優位を構築できない。韓国、台湾、中国の企業が、いずれも技術が伝播し難い図 1 の下側の技術領域を日本企業に任せて調達する、という比較優位の国際分業がこのような背景で生まれたのである。ここから初めて日本の擦り合わせ型技術体系が、韓国や台湾・中国の企業群が担うモジュラー型の製品/システムによって、大量にグローバル市場へ運ばれるようになった。³⁸ 国際標準化が基幹部品の結合公差を拡大して比較優位のオープン国際分業を生み出すことで、先進工業国とアジア諸国との経済的な共存共栄関係が強化されたのである。

このような経営環境は、国際標準化が介在するケースで例外無く観察される。³⁹ その代表的な事例がパソコンやインターネットであり、CD-ROM や DVD であり、そして携帯電話であった。実は、超精密な機構部品で構成され、典型的な擦り合わせ型アーキテクチャを持つ製品と言われた VTR ですら、デジタルフィードバック技術が介在する 1980 年代の中期から国際分業が始まり、比較優位のオープン国際分業が生まれていた。⁴⁰ ここで擦り合わせ型ブラックボックス技術としての基幹部品を提供したのは、いずれも日本企業であった。

以上の事例からわかるように、デジタル時代の国際標準化とは、モジュラー型へ転換した完成品ビジネスへの市場参入コストが激減するグローバルな巨大市場で、それぞれの国が比較優位の得意技を生かし、国際貿易によって相互依存性を強めていく姿であった。そしてそれぞれの国が持つ比較優位は、製品アーキテクチャによって際立った違いを持っていたのである。背後で共通するのが、マイクロプロセッサとファームウェア（組み込みソフト）が人工物（本稿では製品/システム）の設計に介在による“技術モジュール相互の結合インタフェースの形式知化”であり、インタフェースの結合公差の飛躍的な拡大であり、そして形式知化されたインタフェースと結合公差のオープン化だったのである。

5. 比較優位の国際分業が生み出す巨大市場と台湾・韓国の経済成長

5.1 巨大市場の興隆

³⁷ ただしこれらの製造装置が流通すれば、たとえブラックボックス型の技術であっても、モジュラー化した完成品と同じ速度で伝播/着床する。

³⁸ 図 3, 4, 5 はこのような経営環境の到来によって初めて顕在化したのである。なお韓国のサムソン電子やLG電子は、21 世紀になると自らの手でプロダクト・イノベーションを主導できる技術力を身につけたが、依然として擦り合わせ型の基幹部品や材料の多くを日本企業から調達する構図になっている。

³⁹ 例えば、小川 (2009a) の第 2 章および第 4 章を参照のこと。図 2 から分かるように国際標準化が創る比較優位の国際分業は、DVD やパソコン、携帯電話といった同じ産業の中で生まれるものであり、古典的な定義と異なることに注意。また現在の国際分業は、製品アーキテクチャもモジュラー化に呼応して NIES/BRICs 諸国が 1990 年代に制度設計した比較優位の産業政策によって顕在化するようになった。詳細は小川 (2009b) の 3 章および立本 (2009) を参照のこと。

⁴⁰ 小川 (2009b) の 1 章、図 1.14 参照。

これまで紹介したパソコン産業や光ディスク産業と同じように、1990年代の初期に興隆したデジタル携帯電話でも、国際標準化によって比較優位の国際分業が生まれて、わずか15年後の2006年に30億人以上が使う巨大な文明装置となった。2010～2012年には、これが全人類の三分の二に相当する45億人まで拡大すると予想されている。国際分業が製品コストを劇的に低下させたからである。極貧に苦しむ開発途上国の人々がグラミン銀行の低金利・無担保の融資で携帯電話を買い、正しい市場情報を直接知ることによって、ささやかではあるが努力が報われるようになった。⁴¹ 国際標準化が途上国の経済活動を活性化する萌芽をここでも見ることができるのではないかと。また個人が国際標準化を主導したインターネットは、大量普及の兆しが見えた1990年代初期からわずか15年後に年間4兆ドルの経済活動を生み出した。この4兆ドルという金額は、ほぼ中国全体のGDPに相当する（いずれも2006年の時点）。

1990年代の中期に、日本主導で国際標準化が始まったDVDも、デジタル携帯電話と全く同じスピードで瞬時にグローバル市場へ普及した。現在ではDVDの無いパソコンを手にすることすら困難である。DVDプレイヤーは、大量普及の兆しが見えたわずか5～6年後に70%以上が開発途上国の人々へ娯楽を運ぶ役割さえ担うまでになった。またデジタルカメラも日本企業が主導した標準化によって大量普及の軌道に乗り、日本企業の収益に多大な貢献をした。フィルムカメラが70年かけて作った年間3,700万台の市場をわずか6年で追い越し、12年後の2007年に1億台を超える巨大市場となって日本企業を潤したのである。

図6 デジタル化とオープン標準化の重量で市場規模が10倍以上に拡大

アナログ・デファクト標準化 擦り合わせ型の製品		デジタル・オープン標準化 モジュラー型へ転換した製品		アジア 経済が 急成長
携帯電話	3,300万台/年 アナログ	DVD	12億台/年 デジタル 5億台/年	
VTR	5,000万台/年	デジカメ DSC	1.3億台/年	
銀塩フィルムカメラ	3,700万台/年	携帯電話用 カメラモジュール	7億台/年	
アナログ・インターフェースのHDD	100万台/年	デジタル・インターフェースのHDD	5.3億台/年	
クローズド垂直統合		オープン国際分業		
デジタル化と国際分業がアジア経済を活性化させた				

⁴¹ グラミン銀行については、ユヌス、モハマド（2009）

以上を図6に要約するが、アナログ技術で構成された1980年代の携帯電話に比べて、オープン環境で多数の参加者が国際標準化に参加したデジタル携帯電話は、10倍以上の巨大市場をグローバル市場に創り出した。同じく世界の20ヶ国から200社以上が国際標準化に参加したDVDも、VTRの10倍という巨大市場を生み出したが、その普及スピードはデジタル携帯電話とまったく同じであった。国際標準化は10~30倍の巨大市場を出現させて先進国から開発途上国の経済を共に活性化させ、グローバル市場の構造や国の産業政策および企業の事業戦略に大きな影響を与える。世界中の国々が、そして世界中の企業が国際標準化を積極的に取り込むようになった背景が、ここにあったのである。

5.2 韓国製造業と台湾製造業の急成長

アジア諸国は1970年代になって経済成長がはじまったが、現在のような急成長軌道に乗ることはなかった。1987年にサムソン電子の二代目会長となるイ・ゴンヒ氏は、初代会長に隠れて1982年ころから密かに半導体事業(DRAM)を手掛けていた。その背景には、1980年代のアメリカが産業構造を強制的に転換させ、オープン標準化によって企業間分業が見え隠れするパソコン産業の興隆があった。本稿の2章で述べたように、1980年代の中期からパソコンの内部構造にオープン標準化が介在するようになり、基幹部品の結合インタフェースが徐々にオープン化されていった。ここからベンチャー起業が大挙して市場参入する。1980年代の中期でさえパソコンメーカーが100社以上もあったという。

資金力が無く、パソコンという巨大なサプライチェーンの特定セグメントに集中せざるを得ないベンチャー企業は、巨額投資が必要なDRAM開発に手を出すことができない。⁴²したがって必然的にオープン環境でDRAMメモリーを調達するビジネスモデルを取らざるを得ない。イ・ゴンヒ氏はここにDRAMのビジネス・チャンスがあると判断したのである。⁴³

しかしながら、それでもサムソンが今日のような急成長の軌道に乗ったのは、次々に仕掛けられるオープン標準化によってパソコン部品の相互インタフェースがオープン化され、基幹部品が大量に流通しはじめた1990年代である。⁴⁴1990年代になってほぼ全てのパソコン基幹部品でデジタルインタフェースが標準化されて多量に流通する。また本稿の3章と4章で述べたように、1990年代の後半から多くの家電機器で設計にデジタルフィードバック制御が採用されてモジュラー型に転換し、ここから基幹部品が大量に流通してオープン

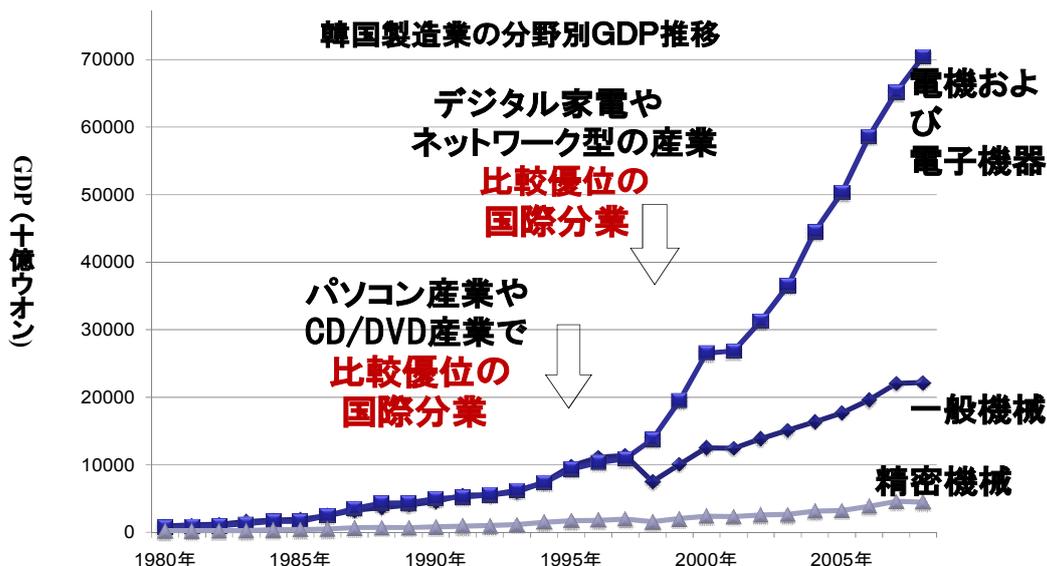
⁴² 1970年代に興隆したDECやWANGなどのミニコンメーカーも、ハードディスクやDRAMを外部調達するモジュール・クラスター型のビジネス構造を生み出していた。パソコンと大きく異なるのは中央処理装置としてのプロセッサをミニコンメーカーが全て独自開発した点である。パソコンメーカーは一部を除いて全て外部調達した。

⁴³ 当時の日本のDRAMメーカーは、1990年代の前半まで、メインフレームやミニコン、ワークステーションなどを主たる市場に考えていた。高い信頼性を必要とし、販売価格も高かったからである。サムソンは敢えて日本企業と競合する市場を避け、パソコン市場にターゲットを絞ったといわれる。1990年代になると、サムソンは日本企業と競合しない市場、すなわち開発途上国市場への展開を、すべての製品分野で徹底した。低コストビジネスで勝つ組織能力がここで養われ、その延長で欧米市場の日本企業を脅かす力を持つに至った。

⁴⁴ 白物家電で途上国市場へ大規模に参入したのも1990年代の初期であり、これがサムソンやLG電子などを飛躍させる大きな要因の一つであったが、その詳細は別稿に譲る。

国際分業化が進んだ。⁴⁵ このような経営環境の到来がサムソンをグローバル市場で飛躍させ、LG 電子を飛躍させ、そして韓国製造業の GDP が急成長することになる。その様子を図 7 に示す。

**図7 韓国の製造業は比較優位の国際分業が進む
デジタル型の産業領域からGDPが急上昇**



7

パソコンなどのデジタル型の製品であれば、インターフェース規約の範囲なら基幹技術の結合公差が無限大になると同じ効果になる。したがって基幹部品の結合インターフェースがオープン化されれば、技術の全体系を持たない新興企業であってもパソコン・サプライチェーンの特定セグメントへ市場参入できる。サプライチェーンの他の技術体系を一切知らなくてもインターフェース仕様だけをガイドに設計・製造できるからである。たとえば1990年代の韓国にとって、パソコン産業に見る代表的な特定セグメントが DRAM メモリーや CD-ROM 装置であった。デジタル家電産業でも1990年代の後半から類似の経営環境が到来する。

図 7 に示すように、韓国の電機・電子産業は、製品アーキテクチャがモジュラー型に転換して国際的な比較優位のオープン分業構造が現在化する1990年代の後期から、そのGDPを急上昇させた。しかしながら製品アーキテクチャがモジュラー型へ転換せず、したがってオープン国際分業が起き難い産業機械や精密機械などの領域では、GDPの急成長が観察されない。技術の伝播/着床スピードと比較優位の国際分業は、明らかに製品アーキテクチャによって左右されていたのである。

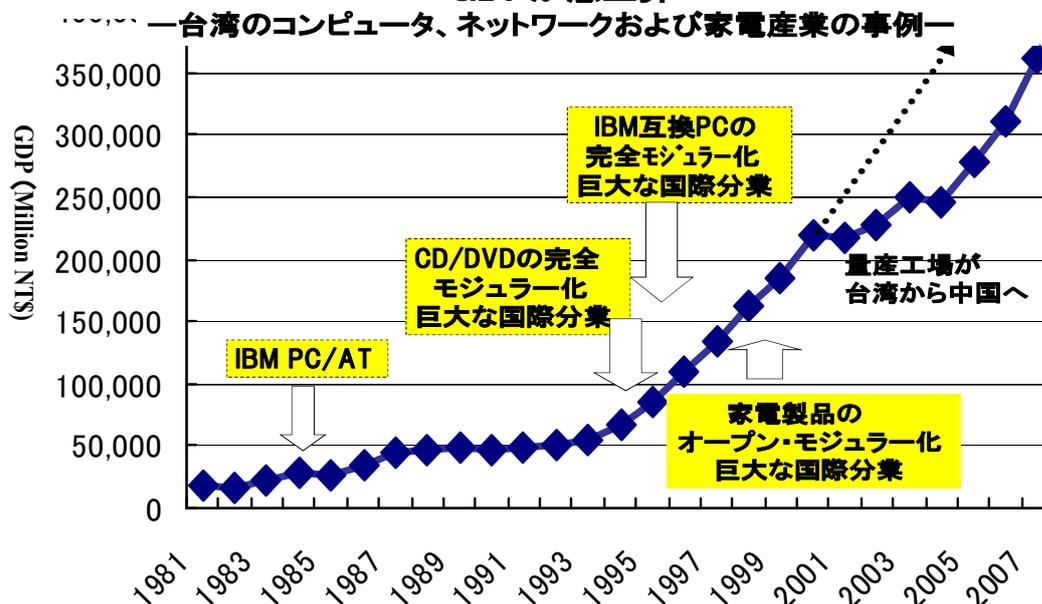
⁴⁵ パソコンの製品アーキテクチャが1980年代の初期から1995年にかけてモジュラー型へ転換するプロセスについては小川(2009b)の5章を参照。その深層には、本稿の2.2節で述べるように、組み立て製造公差の拡大とオープン化があった。

台湾も 1970 年代から経済成長の兆しは見たものの、1990 年代の中期までエレクトロニクス産業が現在のような成長軌道に乗ることはなかった。本稿の 2 章や 3 章で述べたように、パソコン産業は 1990 年代の中期に比較優位のオープン国際分業が大規模に生まれるが、ここで台湾がマザーボードやパソコンのベアボーンから IC Chipset の製造、CRT デ스플레이、パソコン内蔵用の CD-ROM や DVD 装置と記録媒体の製造、そして大規模 EMS による低コスト製造で圧倒的な競争力を持った。

台湾の製造業の中で、特にデジタル型のエレクトロニクス産業に焦点を当てた GDP の変化を図 8 に示すが、1980 年から台湾のエレクトロニクス産業が長期低迷を続けた。1984 年に IBM が画期的なパソコンと言われた PC/AT を出荷しても、その後に ISA バスがオープン標準化されても、そしてコンパックを中心にした Bus Bridge 構造でパソコンがモジュラー型に近づいた 1980 年代の後半になっても、台湾エレクトロニクス産業の GDP が成長することは無かった。

急成長に転じたのは、完成品としてのパソコンが図 1 に示す完全モジュラーに転じた 1990 年代の中期であり、そして CD-ROM などのパソコン内蔵用の光ディスク装置が図 2 の右側に示す完全モジュラー型へ転じた 1990 年代の中期からだったのである。図 8 に示す 1995~1996 年以降の GDP の急成長がこのような姿として本稿の仮説を支える。

図8 台湾の製造業も国際分業が進むデジタル型の製品分野から GDPが急上昇



出展：台湾行政院主計處ホームページのデータを小川が加工

エレクトロニクス産業（電機および電子産業）の GDP が台湾の全製造業の GDP に占める割合が、1990 年と 1995 年にわずか 2%と 2.5%に過ぎなかったが、2000 年には約 10%まで

急成長し、2007年には15%を占めるまでになった。2001年から中国大陸へノートパソコン関連産業の工場が移転されていなければ、これが20%に近づいたと言われる。このGDPの伸び率は10年で4倍であり、**図7**に示す韓国の電機・電子機器製品がデジタル型に転じた後の成長と全く同じであった。これらの事実も本稿の基本的な視点を支える。

1980年代にアメリカ政府によって推進された一連のオープン化政策が、まずパソコン産業を企業内のクローズド分業から企業間のオープン分業型へ転換させた。そして基幹部品（技術モジュールで）の結合公差がオープン標準化される1990年代の中期から、パソコンも日本の光ディスク産業やデジタル家電も、そして欧米の携帯電話産業など、ほぼ全てのエレクトロニクス産業領域で国を超えた比較優位のオープン国際分業構造へ発展した。⁴⁶ここから台湾でも、そして韓国でも、まずはデジタル型に転換したエレクトロニクス産業の分野のGDPから、**図7**や**図8**に示すような成長軌道に乗った。

当然のことながら類似の経営環境が少し遅れて中国にも到来する。その背後に製品設計の深部にマイクロプロセッサとファームウェアの介在による製品アーキテクチャの大転換があり、ここに重畳したオープン標準化/国際標準化の作用があり、そして巨大なオープン・サプライチェーンの中の特定領域を選んでここに比較優位を作り出すアジア諸国の産業政策があったのである。

5.3 急成長と雇用拡大に貢献するビジネス制度設計

半導体デバイスはサイエンス型・プロセス型の産業であり、長期に渡る科学・技術知識の蓄積および多層的な人材を育成すること無くして大規模な産業まで育成することができない。しかも巨大投資を繰り返す産業である。この意味でパソコンやDVDなどと明らかに異なり、オープン国際分業型の産業構造になったというだけでは、台湾や韓国の半導体産業が世界的な競争優位を持つに至った理由を説明できない。

アジア諸国は、1970年代から1980年代に積極的な技術導入政策を取った。その基本的な考え方は、戦後の日本と同じように、まず外為法を使って外国資本の直接投資を規制し、その上で国内市場の開放や低コストの製造インフラを提供した。この見返りとして技術を移転させたのである。しかしながら台湾や韓国は自国内の市場規模が小さく、その効果は限定的であった。また多くの製品でアーキテクチャが擦り合わせ型だったために、技術の全体系を一括導入しなければならないが、先進工業国は一括提供に必ずしも積極的ではなかった。

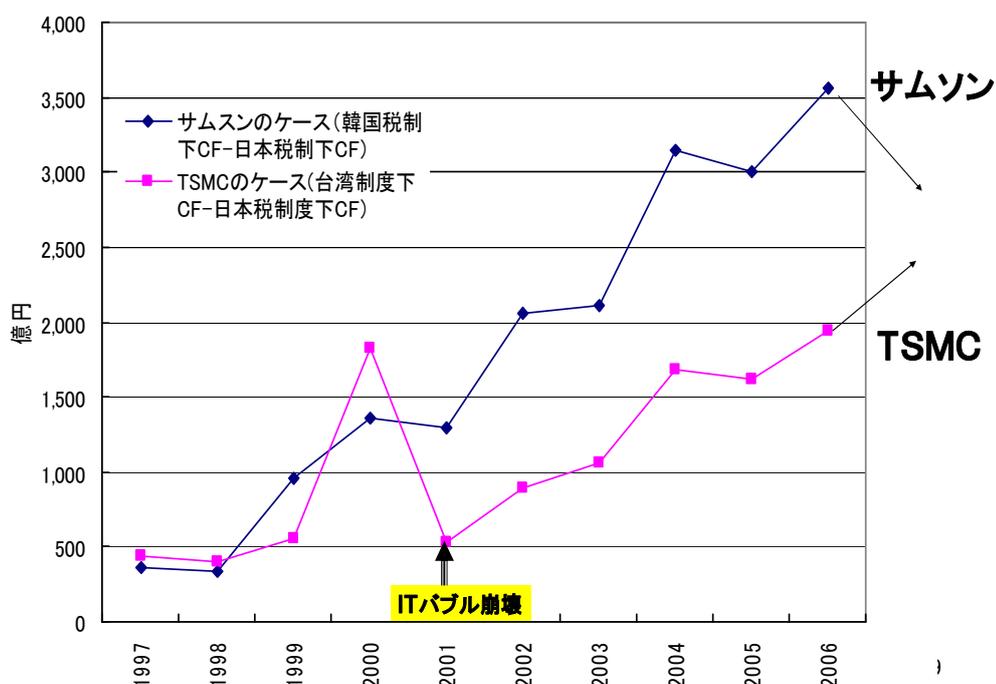
1990年代になるとこの事態が一変する。製品/システム設計にマイクロプロセッサとファームウェアが深く介在して基幹部品相互の結合公差が飛躍的に拡大し、ここにオープン標準化/国際標準化が介在して設計と製造がオープン環境で完全分離するようになったからである。オープン化されたインタフェース（外部仕様）がグローバル市場で共有され

⁴⁶ パソコンのインタフェースは1990年代のISAバスのように、初期のころからオープン標準化によって部分的には公開されていたが、Full-Turn-Key-Solution型のインタフェースとして公開されたのは1995~1996年ころのインテル・プラットフォームであった。

ば、全ての技術体系ではなく、サプライチェーンの特定セグメントの技術体系だけ技術導入すれば巨大市場へ参入できる。そして長期の技術体系の蓄積や長期の人材育成を必要としないのであれば、短期間にグローバル市場へ参入できる。このような経済環境が顕在化するタイミングで特定セグメントへ国の優遇政策を集中させれば、たとえ開発途上国であっても非常に短い期間でグローバル市場の競争優位を築くことが可能になる。以上のような背景をもって生まれた産業政策が、人為的に比較優位を作り出すビジネス制度設計である。

代表的な事例として半導体のファンドリー（量産製造の専業工場）を挙げることができる。巨額投資に悩む先進工業国の企業に代わって半導体産業のファンドリーという特定産業の特定セグメントへ集中する優遇政策が、1990年代になって台湾などの産業政策に組み込まれるようになった。具体的には、設備主導型の産業で製品コストに最も大きな影響を与える減価償却費の割増償却や加速償却、あるいは新規設備導入に対する優遇処置や利益に対する大幅減税・免税などがその代表的な事例である。特に製品コストに占める減価償却費が初期に70~80%（日本の税制の場合）に達する半導体では、もし償却期間が1年であれば、理論的には翌年からコストが1/3以下になって圧倒的な価格競争力を持つことができる。また設備償却のために無理して工場を動かす必要もない。たとえ工場の稼働率が低くても工場原価や利益への影響は限定的である。

図9 制度設計の違いで生まれる半導体ビジネスのキャッシュフローの差
日本の制度を基準にしたサムソンとTSMCの事例



しかしながらこのような制度設計を取れずに償却期間が非常に長い日本では、たとえ売れ行きが悪くなっても償却費を吸収するために赤字覚悟で工場稼働率を上げざるを得ない。⁴⁷ ここから事業そのものが一気に赤字転落する。1995年から2004年までの10年間で、日本の半導体産業（トップ5社）のフリーキャッシュフローは、合計2兆円のマイナスであった（年平均で2000億円のマイナス）。

ビジネス制度設計が半導体ビジネスのフリーキャッシュフローに及ぼす影響を図9に要約した（立本、2009）。この図は、日本の制度設計で行う場合に比べて台湾のTSMCや韓国のサムソン電子がキャッシュフローでどの程度優位に立つかを、公開済みの財務諸表から試算したものである。1990年代からこの制度設計がすでに採用されていたが、その効果が2000年頃から顕在化したことが分かるであろう。2005年から2007年にかけて台湾のTSMC社は年平均で2000億円以上も、また韓国のサムソン電子は3000億円もキャッシュフローで優位性を持つに至った。制度設計がこれだけキャッシュフローに影響を与えるなら、日本企業がたとえ技術で優位に立ってもグローバル市場で決して勝てない。⁴⁸

2000年は日本が半導体産業の復権を目指して産学官連携のプロジェクト案を確定した年であり、2001年4月からASKA, DIN, MIRAI, HALKAなどと呼ばれる巨大な国家プロジェクトが、技術革新による競争力の強化を目指して次々にスタートしている。しかしながらプロジェクトが終了する2005年や2006年にこれを振り返ると、グローバル市場の競争力を左右したのは技術イノベーションではなく、比較優位のビジネス制度設計を強化するための産業政策側のイノベーションだったのである。

これが比較優位のビジネス制度設計の効果であるが、同じことが1990年代後半のCD-Rメディアや2000年以降の記録型DVDメディアでも観察され、ともに台湾メーカーが世界で60%以上の製造シェアを持つ。一方、国内に製造工場を持ってDVDメディアのビジネスを継続できた日本企業は、わずか1社にすぎない。そして圧倒的な技術力を持って国際標準を主導した日本企業の製造シェアが、インドと同じ12%になってしまった。類似の事例が2000年以降の液晶パネルや最近の太陽光発電セル、あるいは個体照明を支えるLED素子など、非常に多くの産業領域で同じように観察される。台湾以外にシンガポールやインド、そして中国も類似の制度設計を強化して自国産業の育成や雇用の創出に大きく貢献している。

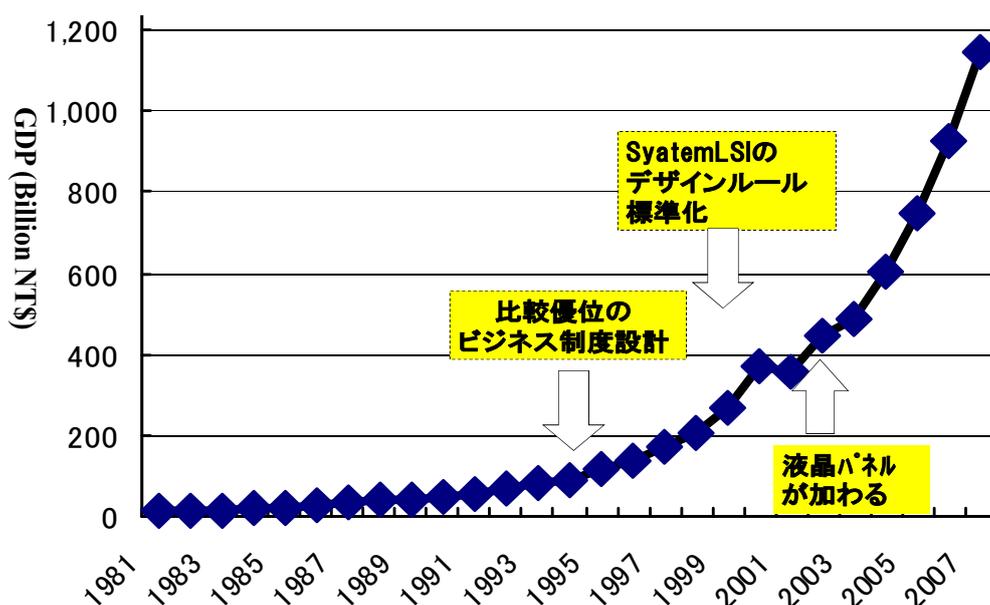
台湾政府が成功させた比較優位のビジネス制度設計によって、半導体産業のGDPが1990年代の中期から急上昇に転じた姿を図10に示す。急成長に転じた1990年代の中期から10年で5倍以上という驚異的な成長を示しことが理解されるであろう。これを台湾製造業の

⁴⁷ 日本企業の場合は、設備償却の問題以外に、工場で働く人々の雇用維持も大きな課題であった。雇用を守るためにも、工場を動かし続けなければならない。したがって、シリコン・サイクルの中で、価格が下落した底値の時期でも長期契約を結ぶことが多いので、市況が回復しても赤字が続く。一方、台湾や韓国の企業は、減価償却が終わっているので稼働率が極端に下がっても無理な注文を取る必要がなく（台湾のTSMCは稼働率40%でも黒字）、市況が回復すればすぐに高収益へ転換する。

⁴⁸ ビジネス制度設計が大きな役割を持つにはオープン分業型の産業構造が生まれていなければならない。半導体産業でこれを象徴する出来事が、設計と製造を分離させた1980年代初期のASIC型ビジネスモデルであり、1990年代末のSystemLSIのビジネスモデルであった。いずれもその背後に、半導体デバイスの設計ルールのオープン標準化があった。これについては小川(2007)の3章で少し言及している。

なかで比較すると、半導体産業の GDP は 1990 年と 1995 年にそれぞれ全製造業のわずか 2% と 3% に過ぎなかったが、5 年後の 2000 年には 16% に、そして 2007 年には 33% も占めるようになった。2002 年ころから液晶パネルが半導体に加算されたデータになっているが、液晶パネルも半導体と同じように設備主導型の産業であって制度設計が国際競争力を決める大きな要因である。

図10 台湾の半導体産業と液晶産業のGDP推移



以上、図9と図10から理解されるように、半導体や液晶産業を含むエレクトロニクス産業全体のGDPが、2007年には台湾製造業の全体の48%を占めた。台湾政府による比較優位のビジネス制度設計が台湾製造業のGDPを飛躍的に成長させ、そしてこの背景に比較優位の国際分業があったのである。

5.4 日本がアジアの成長と歩むために

21世紀の日本が成長するには、急成長するアジア諸国と共に歩む仕組みを構築しなければならない。アジアの成長が比較優位のオープン国際分業によってもたらされたのであれば、オープン国際分業型の産業構造を前提にした政策や事業戦略によって、アジアの成長を日本の成長と雇用拡大へ取り込む仕組みを考えなければならない。デジタル化やオープン標準化がグローバル市場に作る比較優位のオープン国際分業とは、先進工業国が途上国の経済成長と共に歩む仕組みだったからである。

確かに、同じ産業の中で比較優位の国際分業が起きていない産業なら、伝統的な統合型企業の多くはアジア諸国を単なる低コスト生産拠点としての位置付けでもよかった。し

かし製品アーキテクチャが完全なオープン・モジュラー型へ転換する製品/産業領域では、必ず比較優位のオープン国際分業が生まれる。日本企業でこの兆候が顕在化したのが 1990 年代に中期だが、依然として伝統的な統合型の経営思想が支配していてアジア企業をパートナーと位置付けることは希であった。⁴⁹

確かに同じ産業の中でオープン国際分業が起きていない場合は、アジア諸国が価格競争の相手であり、あるいは単なる低コスト生産拠点としての位置付けで良かったかもしれない。しかしながら欧米諸国は、比較優位のオープン国際分業型産業の到来を既に 1980 年代から 1990 年代の初期に直面し、アジア諸国を競争相手では無くパートナーと位置付けるノウハウを身に付けた。アジアの成長を自国の成長に取り込む仕組みを構築したのである。

50

2010 年の 6 月に発表された日本の経済成長戦略で、環境・エネルギー産業が雇用と成長を担う重要産業に位置付けられた。課題先進国としての日本は、高度な省エネルギー技術開発に他国よりも先に取り組み、多種多様な技術イノベーションを生み出してきたからである。特に、これらを統合化しながら新興国の街づくりやインフラ整備支援をも視野に入れたスマートコミュニティ構想は、アジアが持つ潜在的な成長力を背景にした 21 世紀の日本と日本企業を方向付ける上で、極めて重要な役割を担う。

しかしながらここでは、世界で 100 を超える国際標準化グループが活動している。蓄電池単体ですら大規模な国際機関が標準化を主導しようとしている。この意味で日本が誇る蓄電池産業ですら、グローバル市場に比較優位のオープン国際分業が生まれるであろう。もし日本企業が比較優位の産業構造が持つ本質を理解せず、従来と同じ取り組みで市場参入すれば、たとえ圧倒的な技術力と知財を誇ったとしてもパソコンや DVD 産業、携帯電話産業が辿った同じ道を歩むのではないか。

国際標準化が作る巨大な環境・エネルギー市場を日本の成長と雇用拡大に寄与させるには、まず第一に標準化が作る比較優位のオープンな国際分業サプライチェーンを先行して事前設計し、日本の得意技が生きる領域を選んで集中しなければならない。しかしこれだけでは不十分である。最も重要なのは、ここからオープンなグローバル・サプライチェーンに強い影響力を持たせる仕組みを、事業戦略として事前設計しなければならない点にある。

⁵¹ 課題先進国として多種多様な技術イノベーションを他国よりも先に生み出してきたからこそ、サプライチェーン構造や事業戦略の事前設計が可能になる。もし事前設計せず、比較優位がもたらす競争ルールの変化を無視して従来型のモデルでブラックボックス化だけを言い続けるのであれば、必ずガラパゴス化へ向かうであろう。一方、オープン化や国際標準化だけを言い続けるのであれば、日本が誇る環境・エネルギー分野の技術が一瞬に

⁴⁹ 省エネ型エアコンの世界的メーカーであるダイキン工業が、2008 年ころから中国の格力社（ギャランツ）を完全なパートナーにしながら世界市場へ展開し始めた。その他、小川(2009b)の 9 章に紹介した三菱化学の事例も、国際的な分業構造の中で途上国企業をパートナーにしながら成功した代表的な事例である。

⁵⁰ 途上国と先進工業国が互いにパートナーとして協業し、ここからアジアの成長と共に歩むという事例が欧米に多く見られる。これらの詳細は別稿に譲りたい。

⁵¹ 例えば小川(2009b)の 4 章。

して流出する。いずれの場合でも日本の雇用や成長に対する貢献は限定的である。

日本がこれまで語り継いだのは、ハードパワーとしてのものづくりであった。オープン標準化がグローバル市場に生み出す比較優位の国際分業を経験することが非常に少なかったためか、ハードパワーの成果をオープンな国際分業構造の中で高収益へ結び付ける仕組み作り、すなわちソフトパワーは常に脇役に過ぎなかった。しかしながら 21 世紀の国際標準化が技術伝播速度を 10~30 倍も加速させ、瞬時に比較優位のオープン国際分業を生み出すという意味で、ソフトパワーとしての事業戦略無しにガラパゴス島からグローバル市場へ出航できない。

比較優位のオープン国際分業が作るグローバルなビジネス構造の全体系を把握し、自分たちのシナリオでグローバル・サプライチェーンを事前設計し、ビジネスモデルと知財マネジメントを駆使しながらサプライチェーンをコントロールする仕組みを構築し、同時に世界中の技術イノベーション成果を自国/自社の収益に直結させる仕組みを構築する、という一連の事業戦略こそが、国際標準化を推進する上で最も重要な経営ツールになったのである。我々がこのような経営環境に置かれていることを再度強調して本稿を終えたい。

参考文献

- 小川紘一(2007),「製品アーキテクチャのダイナミズムを前提にした日本型イノベーション・システムの再構築」 東京大学ものづくり経営研究センター, ディスカッション・ペーパー, MMRC-J-184, 2007 年 11 月,
http://www.ut-mmrc.jp/dp/PDF/MMRC184_2007.pdf
- 小川紘一(2009a)「プロダクト・イノベーションからビジネス・モデル・イノベーションへ」 東京大学知的資産経営・総括寄付講座 IAM Discussion Paper Series #001
- 小川紘一(2009b)『国際標準化と事業戦略』、白桃書房
- 小川紘一(2010)「国際標準化が創るグローバル市場の経営環境と日本型の企業制度が抱える課題」 東京大学知的資産経営・総括寄付講座 IAM Discussion Paper Series #011
- グロスマン, ヘルプマン「イノベーションと内性的経済成長」、大住圭介監訳、創文社
- 斉藤修(2008)「比較経済発展論」、岩波書店
- 柴田友厚(2008)「パラダイム転換のマネジメント」 p. 198,
『技術潮流の変化を読む』 児玉文雄編、日経 BP 社、第 8 章
- 立本博文(2009)「国際特殊的優位が国際競争力に与える影響：半導体産業における投資優遇税制の事例」『国際ビジネス研究』 Vol. 1, No. 2,
- 戸堂康之(2008)「技術伝播と経済成長」、pp. 3-24, 勁草書房
- 宮田由紀夫(2009)「アメリカの産官学連携—大学の有用性について」、土井教之編著
『ビジネス・イノベーション』、日本評論社
- ユヌス ムハマド (2009)「グラミン銀行の軌跡と奇跡」、『一橋ビジネスレビュー』、
57 巻 1 号、p. 6

