

IAM Discussion Paper Series #003

製品アーキテクチャのダイナミズムとオープン国際分業の進展
－日本型イノベーション・システムの再構築に向けて（２）－

**Product-architecture Dynamism and International Division of Labor
-Architecture-based Proposal for Japanese Innovation System (2) -**

2009年1月

東京大学知的資産経営・総括寄付講座 小川紘一



Intellectual Asset-Based Management

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.html>

製品アーキテクチャのダイナミズムとオープン国際分業の進展

ー日本型イノベーション・システムの再構築に向けて(2)ー

東京大学知的資産経営・総括寄付講座 小川紘一

要約

1990年代の後半から興隆した NIES/BRICs 諸国の産業発展によって、我が国企業のグローバル経営環境が歴史的転換期に立った。そして従来型のイノベーション政策や知財戦略・標準化戦略の在り方さえ、再考が求められるようになっている。

本稿ではまずパソコンと光ディスク装置に焦点を当てながら製品アーキテクチャがモジュラー型へ転換するプロセスを詳細に分析し、アーキテクチャ転換が国際分業の構造をダイナミックに変えたことを明らかにした。その背景には 1980 年代に起きたシュンペータ反革命ともいべきアメリカ政府の産業政策があり、マイクロ・プロセッサがもたらす製品アーキテクチャのダイナミズムとこの政策が深くリンクすることで分業構造が一変したのである。これまでの IBM 互換パソコンに対する定説と異なり、完全モジュラー型への転換が完了したのは出荷 14 年後の 1995 年だったことを明らかにしたが、この仮説の正しさも国際分業の構造変化から裏付けられた。

本稿では更に、オープンな国際分業によって 10~50 倍もの巨大市場が瞬時に生まれる事実を色々な事例で紹介した。マイクロ・プロセッサの作用がオープン環境の国際分業を加速させ、先進工業国と NIES/BRICs 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大きな貢献をしているのである。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、実は人工ゲノムとしてのマイクロ・プロセッサによって支えられている事実も、本稿から明ら理解されるであろう。

目次

1. はじめに 一本稿の背景と基本メッセージ
2. パソコンに見るモジュラー化と分業化の進化メカニズム
3. マイコン性能の飛躍的な向上がもたらす光ディスク装置のモジュラー化メカニズム
4. 国際分業と NIES/BRICs 諸国企業の興隆
5. オープンが国際分業が生み出す巨大市場と NIES/BRICs 諸国の経済成長

キーワード

国際分業、NIES, BRICs, 製品アーキテクチャ、モジュラー化、パソコン、DVD、オープン標準化、台湾の経済成長、人口ゲノム、マイクロプロセッサ、ファームウェア

1. はじめに 一本稿の背景と基本メッセージ

本稿の目的は、第一に製品アーキテクチャがモジュラー型へ転換するプロセスを明らかにする点にあり、そして第二に NIES/BRICs 諸国の製造業が製品アーキテクチャの転換を契機に興隆したことを実証する点にある。1990 年代の後半から顕在化した NIES/BRICs 諸国の産業発展によって、グローバル市場における我が国企業の経営環境が歴史的転換期に立った。そして従来のイノベーション政策や知財戦略・標準化戦略の在り方さえ、再考を求めるまでになっている。本稿では、アーキテクチャの転換がまずエレクトロニクス産業から始まったという意味で、パソコン産業とデジタル家電産業に焦点を当てながら問題を論考する。

21 世紀のビジネス環境を特徴付けるオープン国際分業は、マイクロ・プロセッサとファームウェアが持つ作用を起点に加速した。¹ マイクロ・プロセッサとこれを動かすファームウェアの作用とは、製品のアーキテクチャを擦り合わせ型からモジュラー型へ転換させることである。このアーキテクチャ大転換こそが、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た原動力である。

技術モジュールとしてのマイクロ・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。² 当時のプロセッサは非常に性能が悪く、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・プロセッサを採用する以外に手がなかったからである。³

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へと転換させた。そしてパソコンのアーキテクチャが究極のモジュラー型になる 1990 年代の中期から、国を超えた国際的

¹ 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。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は全く考えられなかったのである。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。

² 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。

³ 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。

なオープン分業構造へとパソコン産業が発展する。世界で初めてオープン国際分業をこの世にもたらしたのは、技術モジュールとしてマイクロ・プロセッサの作用であり、そしてこれを最初に採用したパソコン産業だったのである。

例えオープンな企業間分業であっても、初期のころの分業は製品を生み出す先進工業国の中に留まった。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、先進工業国と NIES/BRICs 諸国企業との国際分業へと発展する。ここで NIES/BRICs 諸国企業はモジュラー型技術やモジュラー型に転換された完成品の組み立て製造を担い、先進工業国が擦り合わせ型技術を担った。これは本稿の 2 章で取り上げるパソコンでも、また 3 章で取り上げる光ディスク装置やデジタル家電でも全く同じであった。

モジュラー型のアーキテクチャーなら参入障壁が低く、誰でも市場参入できるという意味で技術拡散スピードが極めて速い（小川、2007, 2008b）。一方、擦り合わせ型の技術は拡散速度が非常に遅い。したがって製品アーキテクチャの視点から見た 21 世紀の国際分業型産業とは、技術拡散スピードが極端に異なる 2 つのアーキテクチャがグローバル市場でスペクトル分散するという特徴を持つ（小川、2008b, 2008d）。このようなビジネス構造を支えるインフラとして、強力なグローバル・サプライチェーンが必要になった。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コン/システム LSI が介在し、その上でさらに高度なグローバル・サプライチェーンが整備されているという意味で、製品出荷の初期の段階から先進工業国と NIES/BRICs 諸国企業との国際分業が進められるようになっている。

グローバル・サプライチェーンの進化は、オープン環境の国際分業を更に加速させた。マイコンやシステム LSI の作用がもたらす製品アーキテクチャのモジュラー化、およびこれに呼応して発展するグローバル・サプライチェーンは、競争ルールを変え、ビジネス・モデルを変え、そして垂直統合型という 20 世紀型の伝統的な組織構造を崩壊させ、産業政策を一変させるまでの影響力を持つようになった（小川、2009）。同時にこれが NIES/BRICs 諸国の産業を興隆させて巨大な雇用を生み出し、NIES/BRICs 諸国と先進工業国とのビジネスや経済の相互依存性を強めたのである。この意味でマイクロ・プロセッサやシステム LSI は、製品それ自身の機能・性能・品質やコストを支配するだけでなく、サプライチェーンを支え、国際協業のあり方やグローバル社会の構造さえも支える人工ゲノムとなった（小川、2008c）。⁴

⁴ゲノムとは生物体の構成要素である細胞核の中の染色体にある DNA の総体をいい、その構成は生物の種に固有である。一方、マイコンやシステム LSI とファームウェアの作用は、製品の機能・性能・品質やコストを支えるだけでな、製品のアーキテクチャを瞬時にモジュラー型へ転換させてオープン環境の国際分業を加速させる。そして我々が気づかない深部でグローバル産業という集団の構造までも変えながら経済成長を支配している。マイコンやシステム LSI とファームウェアの構成は、個別製品に固有である。しかしながらこれがもたらす作用は、製品という個体だけでなく異なる技術体系を自由自在に結合させて新たな技術体系を生み出す機能さえも本質的に具備している。この意味で、本稿ではマイコンやシステム LSI とファームウェアを人工ゲノムと位

本稿の2章と第3章ではアメリカのパソコン産業と我が国の光ディスク産業（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、ここからオープン環境の国際分業が急速に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のモジュラー化とオープン分業化がどのようなメカニズムで進展するかを示す代表的な事例である。ここでは、1980年代に起きたシュンペータ反革命ともいべきアメリカ政府の産業政策が重要な役割を担ったことも理解されるであろう。

後者の CD-ROM や DVD は本質的にアナログ技術で構成された製品であり、マイコンやシステム LSI 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と分業化が進展しないことを示す代表的な事例である。しかしながら例え製品機能の本質を支える技術のあり方が全く異なっても、マイコンやシステム LSI 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、ここから同じようにオープン環境の国際分業が急速に拡大する。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。

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10～50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。また5章では、マイコンやシステム LSI の作用がオープン環境の国際分業を加速させ、先進工業国と NIES/BRICs 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大きな貢献をしていることを実証したい。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・プロセッサやマイコン/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。

2. パソコンに見るモジュラー化と分業化の進化メカニズム

2.1 アメリカ産業構造の変遷と1980年代のオープン化政策

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経営で成功を繰り返してきた。規模の経営によってコスト削減や価格を維持したのである。また安定成長を目指して盛んに統合型化を行いながら垂直統合型や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ために、21世紀の我々が目にするオープン分業化などはそもそも存在し得なかった。

置付けた。

一方、イノベーションに関する政策は、1945年10月に当時のトルーマン大統領へ提出されたブッシュ・レポート(Bush,1945)を契機に大きく変貌した。ここから多額の資金が大学や公的研究機関および大規模企業の基礎研究へ注ぎ込まれるようになり、いわゆる1940年代のシュンペーターが主張した“大規模組織が主導するイノベーション”政策が行われるようになったのである。⁵ 大規模な研究機関や企業の中央研究所が基礎研究を担い、これを契機に応用研究、開発、生産、販売が逐次的におこなえば、結果としてイノベーションにつながるということが仮定されたリニア・モデル信仰が産業政策に取り込まれた。基礎研究の重要性を強調する目的を持って唱えられたリニア・モデルは、当時の多くの研究者に共有された科学技術政策であったという(宮田,2007)。⁶ このような古典的・牧歌的リニア・モデルは、早くも1950年代初期に疑問視されるようになった。しかしながら1957年のスプートニク・ショックによって再び基礎研究が重要視されるようになり、リニア・モデルに潜む本質的な問題の議論が封印された。

1945年以降の基礎研究重視の政策によって、現在の人類社会に多大な貢献をする多数のテクノロジーがアメリカで開発されたのは確かである。アメリカのベル研究所から生まれたトランジスタの発明とこの発明に対する固体物理学の貢献、あるいはゼロックスのパルアルト研究所から生まれたパケット通信などの多種多様なIT関連技術と技術開発に対する情報理論の貢献、などがその代表的な事例である。またフェライト磁石、VTR、電子顕微鏡などの初期の製品、さらには21世紀のエレクトロニクス産業を飛躍させる液晶やGaAs, GaN, SiCなどの機能材料も、そして超格子に代表されるサイエンス主導の新機能創出型プロセス技術も、アメリカによって生み出された。

しかしながら巨大なイノベーション投資から30年後の1970年代のカーター政権時代に、アメリカ企業の国際競争力が著しく弱体化していたのも事実であった。世界に誇る研究開発成果を上げたベル研究所でさえ、優れた研究者の大量レイオフに追い込まれたのである。死の谷・ダーウインの海などという表現も生まれたが、これらの表現は当時のリニア・モデルが持つ課題の一面を象徴している。

エレクトロニクス関連の民間企業で最も優れたサイエンス/テクノロジー・イノベーションを起こしたIBMも、1980年代の後半から15万人ものレイオフに追い込まれており、古典的・牧歌的なリニア・モデルがここで完全に崩壊する。IBMが基礎研究費を大幅に削減したのは言うまでもない。⁷ アメリカ政府は1980年代に産業政策をダイナミックに変

⁵吉村(2003)のpp. 230~231によれば、基礎研究は全て大学で行われるべきだとブッシュが主張したものの、多くの企業が自前の中央研究所を作っ基礎研究を始めたり、あるいはすでに研究所を持っていた企業は基礎研究をさらに拡大した。デュボンがその代表的な事例である。実用重視のフォード自動車ですら物理と科学の基礎研究を行ったという。

⁶ 宮田(2007)のp. 22。

⁷1990年代の初期までIBMの研究所は必ずしもビジネス・リターンを求められなかったといわれる(半導体プロセス技術は強く求められたが)。しかしガースナー氏がCEOになった1994年以降は、基礎研究であってもその多くでビジネス・リターンに結びつくことが求められるようになり大きく変わっている。この延長に2000年から本格化するGTO(Global Technology Outlook)プログ

えた。⁸ 1970年代のアメリカはマイナス経済成長とひどいインフレに悩まされており、1980年代の初期になってもインフレとマイナス経済成長の同時進行から抜け出せないでいたのである。

その中で特にオープン化や分業化およびベンチャー企業の輩出などに関連するのは、1980年の著作権法改定（ソフトウェアに知財権を認める）、1980年のバイ・ドール法（大学に特許権やライセンス権を与える）、1981年の独占禁止法の大幅緩和、および1982年の中小企業技術革新法（SBIR：研究会開発補助金制度）や1984年の国家共同研究法の制定である。

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・ビジネスがオープン分業化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は、それがオープン環境であるなら複数の企業の協業による技術開発を合法とし、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になった。複数企業の協業によるオープン環境の標準化が技術の拡散による不法コピーを誘発するという意味で、これをプロテクトする手段としての知財プロテクトの強化やポリス・ファンクションの強化、あるいは知財を経営ツールに据えたビジネス・モデルも1980年代から顕在化してきた。

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オープン分業化を加速させたが、これらは上記に述べ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た象徴的な事例である。これがパソコンを起点としたオープン・デジタル・ネットワーク社会の飛躍的な発展に繋がり、オープン国際分業に象徴される産業構造へと発展する。これを担ったのが大規模企業ではなくいずれも1980年代に輩出した多種多様なベンチャー型企業であるという意味で、1930年代から1940年代のシュンペーター型イノベーション論もここで崩壊した。⁹

ラムによって基礎研究を方向付けする仕組みが本格化する。GTOで取り上げられるテーマはせいぜい5~7にまとめられるが、毎年見直しされる。現在では世界中の3,000人が、GTOの活動によって具現化されたIBMビジョンを実現するという、Vision-drivenな基礎件研究を行っている。なお2007年の時点でIBMが使う研究費は50億ドル、研究で生み出す知財の収入は10億ドルにのぼる。

⁸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。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ネットワーク産業である。我々はこのような変遷を経て第3章の経営環境に置かれるようになった。

⁹ 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。例えモジュラー型であ

1980年以降のアメリカ産業政策、そして大企業ではなく多数の中小企業・新興企業（ベンチャー型企業）が担う新たなイノベーション論は、確かにシュンペータ反革命と位置づけられるであろう。¹⁰ しかしながら、これは1940年代のシュンペータが否定されたのであって、逆にシュンペータが1910年代に主張した新結合という初期のイノベーション思想がオープン環境のデジタル・テクノロジーと結びつくことによって再びこの世に蘇ったのである。

2.2 IBM 互換パソコンの登場とモジュラー化の進化メカニズム

デジタル技術が製品設計の深部に介入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的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、デジタル化とオープン標準化とが結びつく最初の製品となった。

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、一見すると通説のように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。¹¹ 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の特別仕様のカスタマイズされていた。したがってIBM以外のベンダーが周辺機器を

っても財閥がビジネスを抱え込む韓国では、中小企業やベンチャー企業が育っていない。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。

¹⁰ 西村(2004)、pp. 86-87によれば、シュンペータが1910~1914年ころにイノベーションの担い手として考えたのは、いわゆる現在でいうベンチャー型の起業家であって決して大企業ではなかった。更に言えば、この当時のシュンペータが考えたイノベーションに技術の重要性が取り込まれていなかったのである。シュンペータがフルセット統合型の大企業をイノベーションの担い手を位置づけ、またイノベーションを技術と密接に結び付けたのは、1940年以降になってからである。しかしこのイノベーション論も1970年代からはじまるシュンペータ反革命の嵐の中で、少なくともアメリカの産業界では消えてしまった。我が国でこれらの経緯を踏まえたイノベーション論が少なく、1910年代のシュンペータと1940年代のシュンペータを区別して語られることも少ない。文部科学省によって書かれた平成20年版の科学技術白書の中でもイノベーションの定義が必ずしも明確でない。またここは古典的・牧歌的リニア・モデルが暗黙の内に仮定されているように思える。1945~1970年代に至るアメリカのリニア・モデル信仰がそのまま踏襲されているのではないか。

¹¹ 回路図面とBIOSのソース・コードだけが公開されたのは、1980年に制定された新たな著作権法によってBIOS(ソフトウェア)の権利を守ることができる、と当時のIBMが判断したためである。著作権法で守ることが出来ないと判断した他の技術情報についてはIBMも公開していない。この著作権法は確かにメインフレームのオペレーティング・システムに関して日本企業を追い詰め、またIBM互換BIOSを搭載した日本や台湾などのパソコンをアメリカ市場から締め出す上で極めて有効に働いた。しかしながらアメリカで輩出したIBM互換パソコン・メーカーを市場から追い出すことができなかった。IBMにとってこれが最大の誤算だったが、この誤算が結果的に1980年代以降のデジタル・ネットワーク型産業を大きく飛躍させることにつながったのである。

アフター・マーケットで販売する場合は、全てIBMの認定を受けないと互換性を保証できなかった。少なくともコンセプトのレベルではオープン・モジュラー型だったものの、設計と製造のレベルは相互依存性が非常に強い摺り合わせ型であった。これがIBM PCやPC/ATの基本コンセプトだったのであり、設計と製造がオープン環境で完全に分離することはなかった。IBMのパソコンはオープン環境のモジュラー型だったのではなく、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。¹²

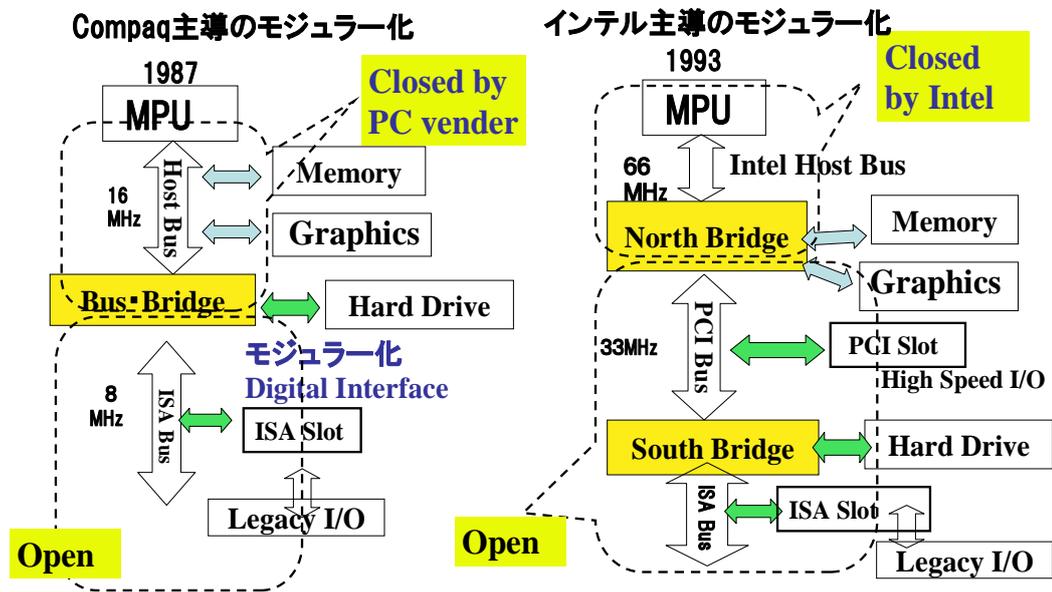
このような事態を打開するためにIBM互換機メーカーが中心になってオープン標準化したのが、**図1**の左側に示すISAバスやその後続くEISAバスの標準化である。¹³ IBMではなくPC/ATの互換機ベンダーが中心となり、しかもオープン環境で業界標準に制定したという意味で、1984年に制定された国家共同研究法が生み出す象徴的な事例であった。

また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・ディスクを完全デジタル・インタフェースで繋ぐイノベーションを起こすことができた。3.5インチHDDドライブの中には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で、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るようになったのである。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。これを起点に高速大容量化と低コスト化が同時進行し、市場が爆発的に拡大した。以上のプロセスが、パソコンのアーキテクチャをオープン環境のモジュラー型製品へ転換させた第一のステップである。

¹² 例えデジタル技術で構成されるパソコンでも、インタフェースやタイミング・チャートなどが規格化されないとオープン・モジュラー型にならない。またすでに既存技術と互換性を保って技術イノベーションを起こすには完全モジュラー型になっていることが必須条件であり、初期のIBM PCやPC/ATはこの意味でオープン・モジュラー型ではなく、メインフレームと同じクローズド・モジュラー形だったのである。

¹³ ISAバスの性能と機能はIBMのATバスとほとんど同じである。ISAバスを拡張したEISAバス(Enhanced ISAバス)は、IBMが互換機メーカー振り切りのために開発した次世代MCAバスへの対抗を目的に、コンパックなどが中心になって決めたオープン規格である。

図1 1980年代に見るパソコン・アーキテクチャのダイナミズム



オープン化とブラック・ボックス化の二重構造が共存

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**第二のステップ**は図1の左側で示すBus Bridgeのコンセプトである。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、¹⁴ 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、同時にコンパック社の差別化として提供できるようにした手段が、Bus Bridgeという緩衝レイヤーだったのである。

これによって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）を活用してパソコンの機能・性能を飛躍的に向上させた。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 は、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ことになる。相互依存性を排除する Bus Bridge の導入によって、パソコンの

¹⁴巨大なインストール・ベースは IBM の初代 PC(1981 年)や PC/AT(1984 年)によって作られた。ユーザが築いたこれらの資産、および IBM に提供していた周辺機器メーカーおよびサード・パターの力を利用するには、レガシー・デバイスとの互換性が必須である。

内部構造がさらにモジュールの組み合わせへ転換されたのである。

我々が彼らの戦略として特に注目したいのは、Bus Bridge のインタフェースが全てオープン化されており、Bus Bridge の下につながる ISA バスもオープン規格であったという事実である。すなわち、ここにつながる周辺機器の市場でオープン分業化が進む構造になっていた。しかしながらそれ以上にわれわれが着目すべき事実は、Bus Bridge の上位に位置取りされる付加価値レイヤーがパソコン・メーカーの差別化領域であり、完全なブラック・ボックス領域になっていた、という事実である。大量普及を担うオープン領域と利益の源泉を担うブラック・ボックス領域がともに共存する二重構造になっていたことが、ここから理解されるであろう。全てをオープンにして存続できる企業はあり得ない。ここからアメリカのパソコン・メーカーは大量普及と高収益とを同時に享受できるようになってイノベーションが次々におこり、パソコン市場が飛躍的に拡大するようになった。

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、**図 1** の右側で示すようにインテルによって仕掛けられた。製品アーキテクチャのモジュラー化やオープン分業化が進んだために、サプライチェーンの一つのセグメントしか担うことのできなかつた部品サプライヤー（インテル）にも漸く出番が回ってきたのである。

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。

またインテルがオープン標準化した **PIC** バスに対する支配力を強化するために、**PCI** バス側につながる 2 つの **Bridge** を MPU から直接コントロールする戦略が徹底されている。これによって当時圧倒的な市場支配力を誇ったコンパックなどのパソコン完成品ベンダーは、大部分の付加価値をインテルによって完全にコントロールされるようになった。¹⁵

その一方でインテルは、従来の **ISA/EISA** バスがサポートしてきたユーザ資産とサプライヤーが作る周辺機器とを、そのまま **South Bridge** 側に繋げるようにした。インテルが **North Bridge** 周辺を完全ブラック・ボックス化（利益の源泉構築）化し、その下につながる **South Bridge** の周りを完全オープン化した。このような 2 重構造をとることによって、初めて大量普及と高収益との同時実現を狙ったのである。¹⁶

¹⁵データの通り道であるバスを支配することの重要性、およびオープン標準化を装いながら自社製品のインタフェースからオープン環境をコントロールすることの重要性が、ここから理解されるであろう。シスコ社はデータを運ぶプロトコルをオープン化しながら実は改版權を維持してインターネット・システムを支配した。ヨーロッパ GSM 陣営はプロトコルの改版を常に主導することでデジタル携帯電話の市場を支配していった。これらの詳細は別稿に譲りたい。

¹⁶イノベーションを語るときネイザン・ローゼン・バーグの学説が多く引用されるが、この学説の根拠として“一つの工程の技術が突出することによって不均衡が生じ、これを解消するために他の工程の技術が進歩し、またそこで新たな突出が生まれる”というプロセスが紹介されている。例えばデジカメなどのように、完成品を構成する基幹部品相互の依存性が強い擦り合わせ型の製品アーキテクチャを持つケースでは、特定セグメントの基幹部品でイノベーションが生まれ

次に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が 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ドンドン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 メーカーやグラフィクス・メーカーがインテル MPU 側や South Bridge 側とはまったく独立に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・モジュラー型へ転換させる役割を担ったのである。

インテルは図 1 のビジネス・モデルを更にパソコン産業の共通プラットフォーム構築へと進化させ、1995~1996 年ころに完成させた。完成された最終的な姿としてのプラットフォームを図 2 に示す。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 MPU およびこれにつなぐ高速デバイス用の Media Control Hub との相互依存性を、更に強化した点にある。そしてまた、最初はオープンだったはずの I/O Control Hub (低速デバイス用) さえ、PCI バスを介して MPU との相互依存性を強化した点にある。¹⁷ これによって図 2 の点線で囲んだ領域がブラック・ボックス化され、統合モジュールとなった (オープン水平統合化)。

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、グラフィック表示デバイスや USB デバイスなど、パソコンの基幹部品は、全て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が (ブラック・ボックス領域が)、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。

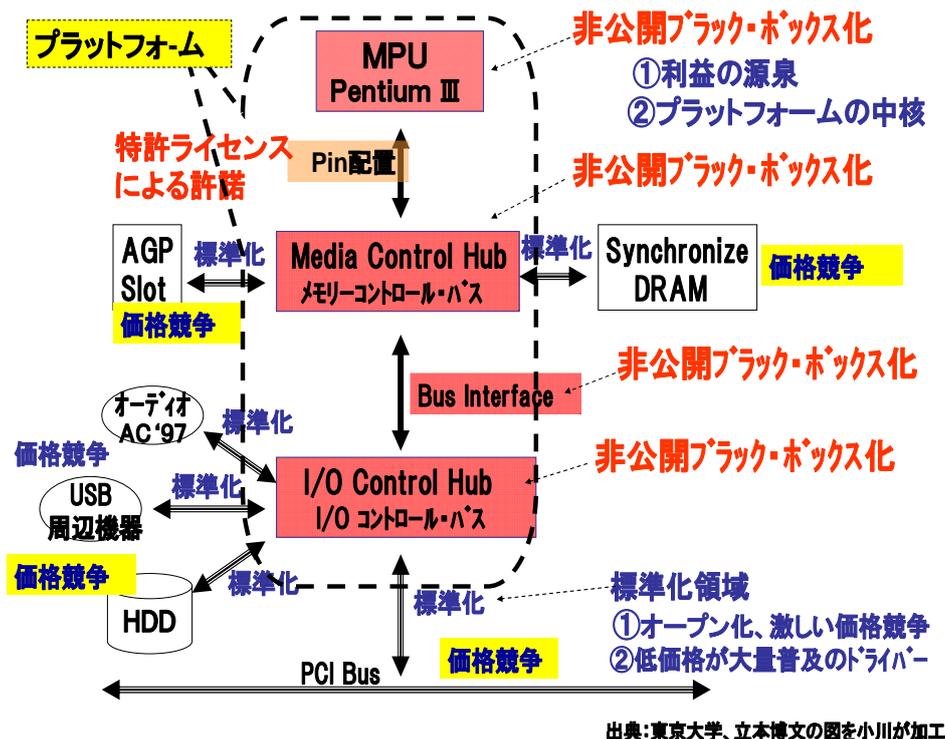
製品アーキテクチャのモジュラー化が進むと、パソコンの部品や材料とこれを作るための量産設備、さらにはパソコンの組み立てなど、バリュー・チェーンのそれぞれのセグメントが例え独立にイノベーションを生み出しても、そのままパソコンの機能・性能向上やコスト削減に直結する。パソコンという巨大産業の全ての技術体系を全く知らなくても、個

れば他の部品もこれを使いこなすイノベーションが生まれないと製品にならない。一方、相互依存性が非常に小さいモジュラー型の製品では、むしろ不均衡を解消することなくそのまま放置しても単独でイノベーションを起こすケースが至るところで観察される。本稿で紹介するインテルのケースでは、south bridge や north bridge に対して“不均衡をそのまま放置する役割”を担わせ、周りに無関係に独自のイノベーションを可能にしている。類似の事例は、モジュラー型に転換されたデジタル家電の至るところで観察される。この意味でマイコンやシステム LSI の作用がもたらす製品アーキテクチャのダイナミズムは、従来のイノベーション論に大幅な修正を迫ることになるのではないかと。

¹⁷ 1990 年代の後半から図 1 の North Bridge と South Bridge はそれぞれ図 2 に示す Media Control Hub および I/O Control Hub へと名称が変わった。

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。ここから大規模なオープン国際分業が爆発的に進み、グローバル・サプライチェーンが飛躍的に進化することになる。

図2 インテルが1995年に完成させたパソコン・アーキテクチャの最終形態



3. マイコン性能の飛躍的な向上をもたらす光ディスク装置のモジュラー化メカニズム

3.1 マイコンの性能進化

CD/DVD や携帯電話、薄型テレビに代表される家電製品は、回転機構技術や無線技術が製品機能の中核を占めることが多く、例えデジタル技術が使われても本質的にセンサー出力信号や電波信号などのアナログ信号を処理しながらフィード・バック制御することが基本動作となる。しかも複雑な処理を超高速リアルタイムで処理するフィードバック制御なので、マイコンの性能が飛躍的に向上して大規模なフォームウェアを高速で動せるようになるまで、デジタル技術が製品設計の深部に介入することはできなかった。

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年代になって

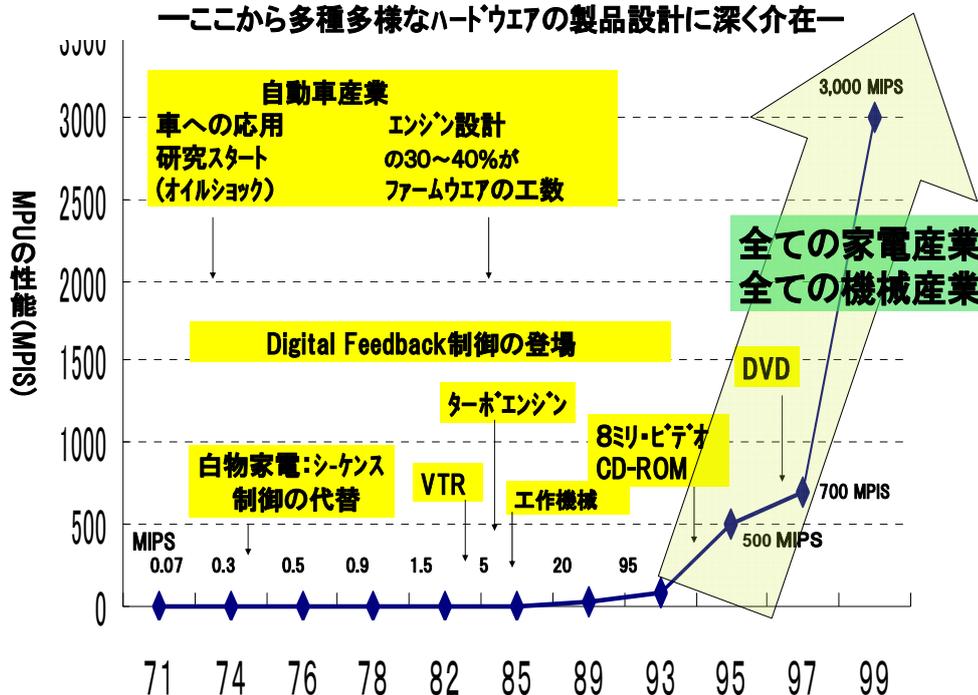
も、個人が使うパソコンなら、表計算の速度が人間の処理スピードより遥かに高速である。また例え複雑な処理によって遅くなっても、メインフレームやミニコンではなく個人が一人で使うパソコンなら、我慢できる範囲で待てばよかった。

しかし CD やテレビ、携帯電話などは、理時間がアナログ時代の技術仕様で既に決まっており、この時間内にプロセッサがリアルタイム処理できる性能になっていなければ、製品設計者は製品設計の深部へプロセッサを活用することができない。したがって、例えマイコンが家電製品で使われていても、1990 年以前までの使われ方は限定的であった。家電製品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、超微細加工技術に支えられた 1990 年代の半導体の技術革新を待たなければならなかったのである。

世界で初めて商品化されたマイクロ・プロセッサがインテルの 4 ビット MPU (Micro Processor Unit: i-4004) であり、マイクロ・コードと称するソフトウェアで書かれたプログラムを、目的に応じてメモリーから呼び出しながら使う方式であった。本稿が着目するマイコン (MCU: Micro Controller Unit) とは、演算と制御が得意なマイクロ・プロセッサ (MPU) にメモリー機能や入出力回路および周辺制御回路などを組み合わせてひとつのチップに集積したものであり、その機能・性能は図 3 に示すように、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。マイコンや DSP の性能向上とともに応用範囲が広がった様子も同時に図 3 に書き加えた。現在の日本では、一家族が平均して 80~150 個のマイクロ・プロセッサやマイコンを使っていると言われる (パソコン、携帯電話や家電製品だけでなく、自動車も含む)。¹⁸

¹⁸これらの詳細は、小川(2008a)を参照。

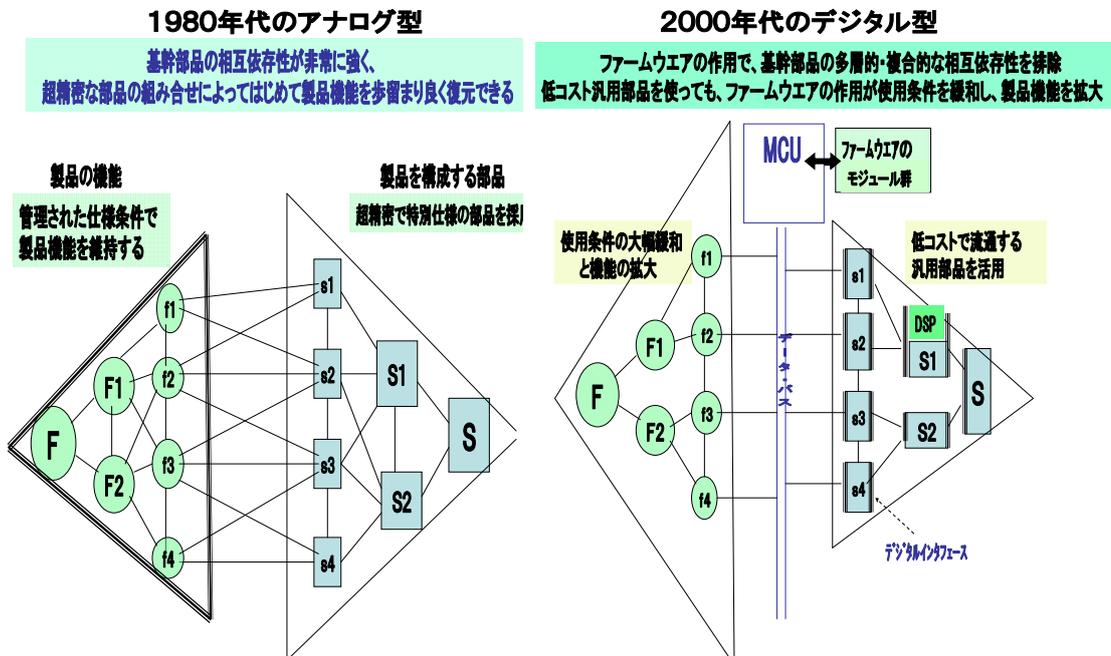
図3 MPU/MCUの性能1990年代から飛躍的に向上
 —ここから多種多様なハードウェアの製品設計に深く介在—



3.2 光ディスク装置のモジュール化メカニズム

1980年以前のアナログ技術で構成される電気製品では、要素技術・基幹部品が多層的なヒエラルキーを構成しながら多面的に絡み合った相互依存性を持つ。また製品が顧客に提供する機能ヒエラルキーでも、それぞれが多面的に絡み合っており構成されている。その様子を図4の左側に示した。ここに表現された部品と機能の多層的・複合的ヒエラルキーはそれぞれの相互依存性が非常に強く、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。このように部品と機能の多層的・複合的ヒエラルキーが強い相互依存性を持つアナログ的な製品は、基幹技術や基幹部品がオープン環境で流通し難い。したがって NIES/BRICs 諸国の企業が市場参入するのは困難であってオープン環境の国際分業は生まれにくい。グローバル・サプライチェーンも自社グループの中に閉じたグローバルド型である。

図4 家電製品のアーキテクチャ転換



一方、現在のパソコンやCD-ROM,DVDなどに見るモジュラー型製品の場合は、機能と部品の相互関係が図4の右図になる。ここでは基幹部品が直接あるいは間接的にマイコンのデータ・バスにデジタル結合されており、基幹部品の動作は全てマイコンを動かすファームウェア・モジュール群によって制御される。¹⁹

部品のセンサー情報はアナログ信号なのでデジタル信号に変えられ、データ・バスを介してマイコン側へ送られる。そしてファームウェアが、CD-ROMやDVDの本来の機能・性能を常に維持するようにリアル・タイムで処理する。またこの処理結果は、部品の制御情報となって再びアナログ信号に変えられ、部品側のアクチュエータ駆動回路へ送られる。また特定の部品に異常が起きる場合は、マイコンとファームウェアがこの異常を補うように他の部品の駆動回路を動作させる。例えばユーザーが操作を間違えて異常がおきても、マイコン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。

従来まで語られた擦り合せ作業は、主に製品の設計プロセスに焦点を当てたものであった。一方、マイコンやファームウェアが製品設計に介入するケースでは、ユーザーの使用環境でファームウェアが自動的に部品相互の摺り合せ作業を行うようになったのである。したがって設計とは、製品としてのCD-ROMやDVDが使われる外部環境に常に最適応答させるためのフィードバック制御ノウハウを、ファームウェアへ集中カブ

¹⁹ パソコンの場合は図1や図2から明らかのように、メモリー機能や情報の入出力とその制御が全てMPUの外に付いている。マイコンではこれが全てMCUの中に取り込まれている。

セルさせる一連の作業であると定義される。言い換えれば、ファームウェアが内臓されたマイコン/システム LSI と機構部品をそろえて単純組立するだけで、商品としての CD-ROM や DVD を量産することができるようになる。これが設計と製造が完全に分離するメカニズムである。

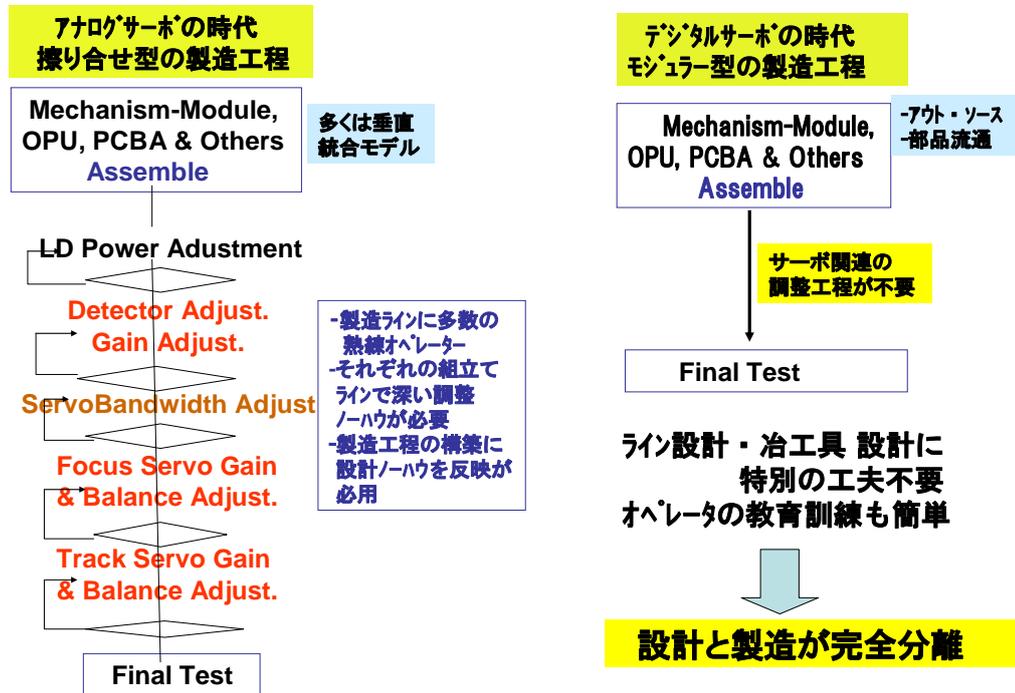
以上のことを別の視点から表現すれば、ファームウェアが持つ本質的な作用とは、部品と製品機能との関係を示す製品の内部ヒエラルキーを **Fig.4** の左側から右側へ転換させる作用である。内部ヒエラルキーが **図 4** 右側へシフトすることによって設計と製造が完全に分離する。

1990 年代の CD-ROM ドライブを事例に、マイコンが製品設計の深部に介することで設計と製造が分離する様子を、もう少し技術的な視点から述べてみたい。CD-ROM ドライブの設計で最も技術ノウハウを必要とするのがリアルタイム・フィードバック制御である。この制御にマイコンが導入される前と後で、CD-ROM ドライブの組立工程がどのように変わるかを **図 5** で比較した。擦り合わせノウハウが最も集中するフォーカシング・サーボやトラックフォローイング・サーボの代表的な調整工程だけをここで抽出している。

アナログ時代の組み立てでは、ひとつひとつが微細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。これらの微細調整で使う治工具とこれを使いこなすノウハウ、さらにはそれぞれの調整に最適化された検査ノウハウは、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(組み立て作業員)も、その企業が長期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企業だけが CD-ROM ドライブのビジネスに参入することができた。そして NIES/BRICs 諸国の企業は、市場参入することができなかった。

しかしながらデジタル・フィードバック制御が登場すると組立ての工程が一変する。その様子を **図 5** の右半分に示す。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、ファームウェアが内臓されたマイコン付き 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れば、誰でも簡単に CD-ROM ドライブを組み立てられる工程になるのである。

図5 マイコンとファームがCD-ROMをモジュール型に転換させた



パソコンの場合は、確かに最初から製品の内部ヒエラルキーが図4の右側のようになっていたが、プロセッサやデータ・バス、周辺機器のインターフェースがオープン標準化されるまで国際分業が進まなかった。一方、CD-ROMやDVDのケースでは、いずれもオープン環境で国際規格が決められたので、製品の内部ヒエラルキーが図4の右側へシフトし、図5のように設計と製造が分離した段階から、一気にオープン環境の国際分業がはじまった。本質的にアナログ技術を基本とする製品のヒエラルキー転換がマイコン性能に左右されたという意味で、製品設計の深部にファームウェアが介在する時期は、1990年代の中期まで待たなければならなかった。

以上のように1990年代の中期からマイコンとファームウェアの作用が設計と製造を完全に分離させて基幹部品が流通させ、このタイミングでNIES/BRICs諸国の企業が大挙して市場参入できるようになった。そして光ディスク産業の国際分業が一気に加速した。その後、液晶テレビや携帯電話も1990年代の末から2000年代の初期にかけて設計と製造の完全分離が当たり前になり、オープン環境の国際分業が急速に進んだ。その背後でマイコンとファームウェア（21世紀の現在ではSystemLSI）が製品アーキテクチャをモジュール型に転換させていたのである。

4. 国際分業と NIES/BRICs 諸国企業の興隆

4.1 パソコン産業の国際分業化と NIES/BRICs 諸国企業の興隆

パソコン・アーキテクチャのモジュラー化が完成する 1995 年を契機に、台湾のマザー・ボード産業やノート・パソコン産業が急速に興隆する様子については既に報告されている（小川、2007, 2008d, 立本、2007b, Tatsumoto, Ogawa, 2008）。本稿ではこれをさらに定量的に把握しながら分析したい。

台湾の貿易統計データによれば、1990 年から 1995 年までの 5 年間でマザー・ボードの輸出がわずか 15~20%しか増えていないが、1995 年から 2000 年までの 5 年間で 5 倍（500%）に急増した。これは第 2 章の図 2 に示すように、1995 年からパソコンの製品アーキテクチャが完全モジュラー型へ転換し、これを契機に完全なオープン国際分業がはじまったためである。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%を超えた。パソコンのマザー・ボードを台湾から世界中に出荷するという完全な国際分業構造が出来上がったのである。ここから台湾の IT 産業が飛躍的に発展して巨大な雇用を生み出し、台湾の経済を急速に成長させることになる。

次に国際分業を象徴する EMS (Electronic Manufacturing Service System) も、パソコン・アーキテクチャのモジュラー化によって驚異的な成長軌道に乗ったことを実証したい。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。この意味で EMS は国際的な水平分業を象徴する産業であると言い換えても良い。製造アウトソーシングを行う企業は当初 CM (Contract Manufacturing) と呼ばれ、いわゆる下請け的な製造専業会社であった。EMS が下請け的な存在から対等な戦略的パートナーへ変貌したのが 1992~1993 年ころであるが、²⁰ 本格的な国際分業の役割を担って急成長を開始するのはパソコンのモジュラー化がオープン環境で完成する 1995 年以降であった。

現在世界最大の EMS として名高い Foxconn 社は、IBM PC が世に出て 2 年目の 1983 年に創業した。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たのである。ここで Foxconn 社のコア・コンピタンスである金型技術が他の EMS に対する大きな差別化要因になったのは言うまでもない。

パソコンのモジュラー化がオープン環境で完成した直後の 1996~1997 ころから

²⁰ 以上は稲垣(2001), p. iii を参照のこと。日本では製品の設計・試作を行う EMS もある。

Foxconn の売り上げが急成長した。そのする様子を図 6 に示す。1990 年から 1994 年まで 1～2 億 US ドルの低いレベルで低迷していた売り上げが、1998 年の 28 億 US ドルを経て 2002 年に 70 億 US ドル、そして 2007 年は 380 億 US ドル（グループ全体では 530 億 US ドル）という驚異的な売り上げを記録した。2007 年の売り上げ 530 億 US ドルは台湾の全 GDP の約 10%にも達する驚異的な数字である。

Foxconnと同じように、1996~1997 ころから急成長したアメリカ系EMSとして、Flextronics社やCelestica、Solectronなどを挙げるができる。これらのEMSもやはりパソコンのモジュラー化がオープン環境で完成した直後に、それまでの長期低迷を抜け出して急成長を遂げた。3社の2000年時点の売り上げはそれぞれ7億USドル、9億USドル、14億USドルのレベルに達しており、Foxconの28億USドルに近い成長を見せていた。その後FlextronicsはSolectronを買収して世界第二位のEMSに成長し、2008年には280億USドルの売り上げになると予想されている。²¹

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、i-Phone の量産組み立てを次々に取り込み、図 6 のような急成長を続けている。²² いずれも図 6 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、このタイミングは設計と製造が完全分離する時期でもあった。

中国が世界の巨大製造基地へと変貌するようになったのは、製品アーキテクチャの大転換とこれに支えられた設計・製造の完分離があったためである。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、と言い換えてもよい。

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NIES/BRICS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技術や製品を担い、NIES/BRICSの企業がモジュラー型の製品や技術を担った。

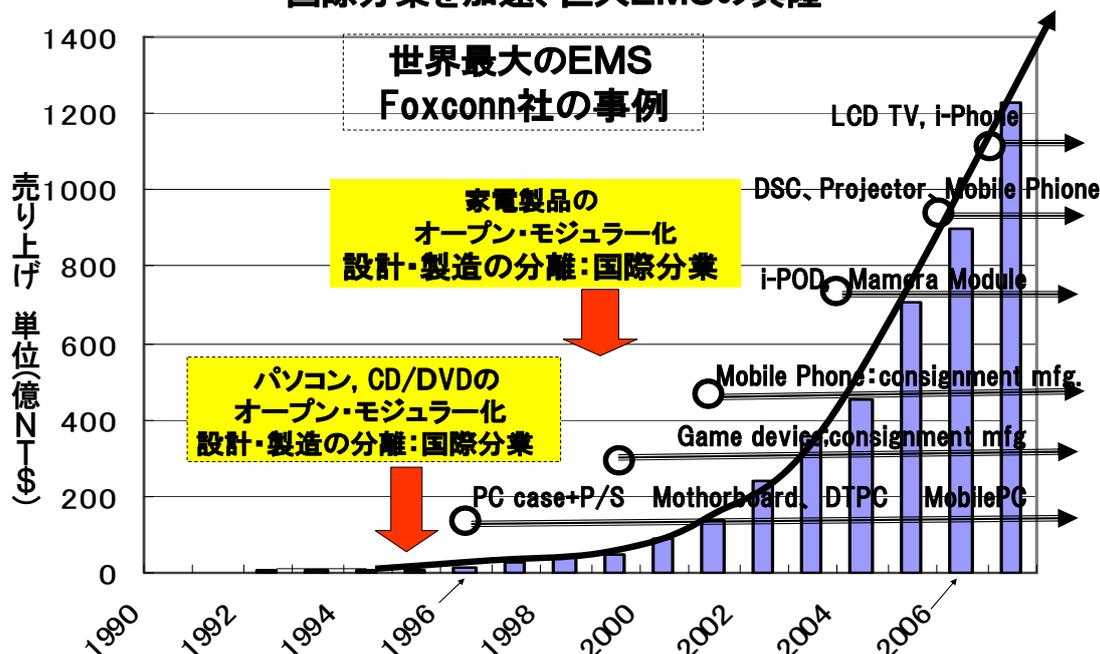
このような経営環境は、モジュラー型と摺り合せ型という2つの製品アーキテクチャがオープン環境でスペクトル分散し、デジタル・テクノロジーが製品設計の深部に広く介在することで初めてこの世に出現した（小川、2007,小川、2008b,2008d）。そしてEMSに代表される組み立て産業が、1990年代の後半から興隆してNIES/BRICS諸国に巨大な雇用を生

²¹2008年秋の景気後退でこの予想は崩れたが、もしこれがなければ300億ドルを超えるとまで言われていた。

²² 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授いただいた。

み出し、またこれらの国の産業興隆や経済活性化に多大な影響を与えることになる。同時にここから、伝統的な垂直統合型の組織が持つ先進工業国の企業の経済合理性が崩壊した。先進工業国の企業組織のあり方はアーキテクチャの大転換がもたらすオープン国際分業によって劇的に変わったのである。

図6 デジタル技術の介在・オープン・モジュラー化が国際分業を加速、巨大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

4.2 CD-ROM や DVD の国際分業化と NIES/BRICs 諸国企業の興隆

CD-ROM ドライブを世界で初めて出荷したのは日本企業であり、1987年のことであつた。当時はまだマイコンの性能が遅かつたので、アナログ・フィードバック制御技術が採用されていた。その後少しずつ普及してはいったが、1991年になって90万台、1992年でも180万台にすぎず、大量普及には至らなかった。

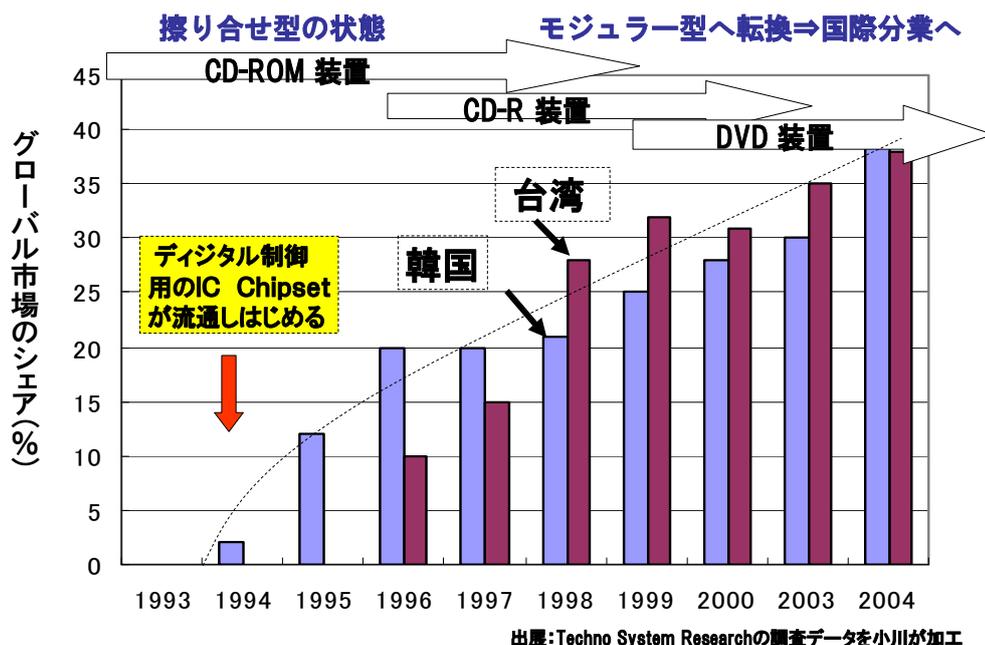
大量普及が始まるのはデジタル・フィードバック制御用の IC Chipset が流通しはじめた1994年であり、1994年に一気に年間2000万台の市場へと急拡大する。1994年はCD-ROMドライブ用の IC Chipset がオープン環境の汎用部品として流通した最初の年であり、東芝から CD-X, EX シリーズとして出荷された。図5の左側に示すアナログ型の複雑な調整を全てデジタル・フィードバック制御で自動調整し、製造工程を図5の右側へ転換させる役割を担ったのが、この IC Chipset だったのである。

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 7 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 Lite-on や BenQ および韓国の Samsung 電子や 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。5~6 年後に売り上げ 1 billion ドルを越える巨大ビジネスを担うまでに急成長した。

CD-ROM ドライブの市場に韓国、台湾、シンガポールなどの新興企業が参入するプロセスは、PC 互換機メーカーの参入と全く同じである。1986~1987 年にアメリカで 200 社に及ぶ新興企業（人口 130 万人に 1 社）がパソコン製造に参入した。一方、CD-ROM ドライブのケースでは、1995~1996 年に韓国・台湾・香港・シンガポールで 50 社以上（人口 150 万人に 1 社）が争って東芝のデジタル IC Chipset を買い求め、市場参入したという。

**図7 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**



その後、CD-ROM に続く全ての光ディスク・ドライブにもデジタル・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。したがって CD-R ドライブも DVD ドライブでも、製品が日本企業によって開発された数年後には、かならず韓国や台湾企業がグローバル市場を支配した（図 7）。パソコンのケースと同じように、例え最先端の DVD であっても 1994 年以降の CD-ROM と同じ経営環境が何度も繰り返されて現在にいたることが図 7 から理解されるであろう。

しながら、このようなオープン環境であっても、インテルと同じ擦り合わせブラッ

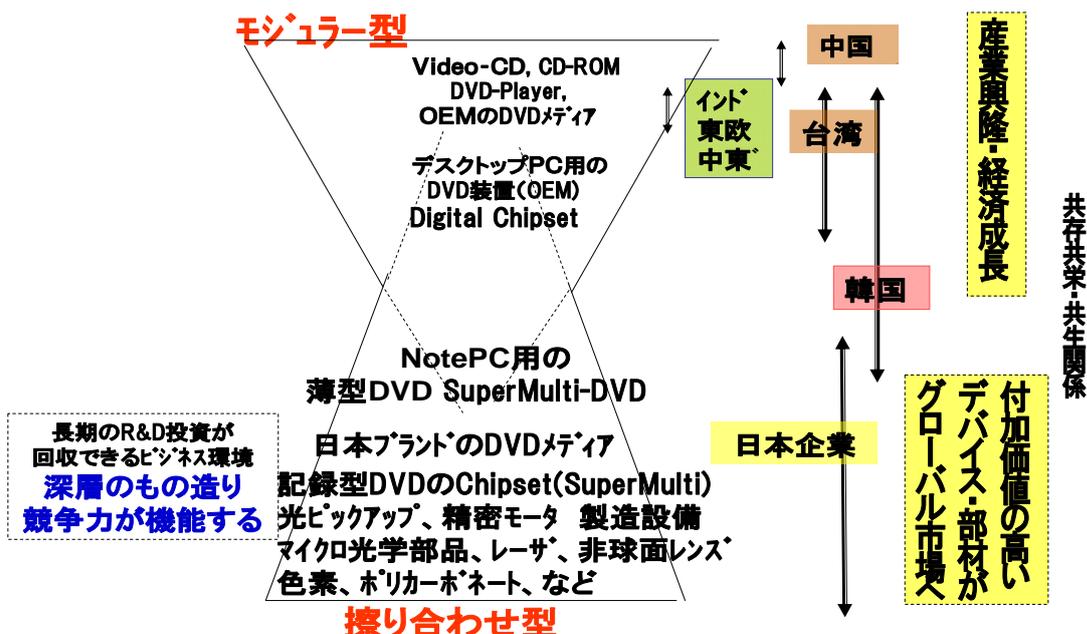
ク・ボックス型の基幹部品で市場シェアを維持・拡大してきたのは、日本企業だけであった。CD-ROM や DVD ドライブの全技術体系を持つ日本企業だけが基幹部品を開発することができたのである。その製品アーキテクチャが擦り合わせ型であるために日本以外の国が量産することができなかつた、と言い換えてもよい。

図 8 には、2006 年の時点の DVD 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。製品アーキテクチャがモジュラー型へ転換した DVD プレイヤーや記録型の DVD ドライブのセグメントを担っているのは、いずれも NIES/BRICs 諸国だったのである。その中で最もモジュラー化が究極まで進んだ DVD プレイヤーでは、中国企業が世界シェアの 60%以上を占めている。しかしながら比較的擦り合わせ型に近い記録型 DVD には、中国企業が未だに市場参入できず、韓国や台湾が世界市場の 80%を占めている。

一方、技術ノウハウが内部にブラック・ボックスとして封じ込められている光ピックアップやマイクロ光学部品など、擦り合わせ型のアーキテクチャを維持できているセグメントの製品は、いずれも例外なく、光ディスク技術の全体系を持つ製造大国の我が国だけが担っている。このような事実も図 8 から理解できるであろう。

以上の事実からわかるように、DVD 産業に見る国際分業とは、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いく姿であった。この姿もまた、1990 年代のパソコン産業で先進国と NIES/BRICs 諸国が国際分業によって相互依存性を強めていった姿と全く同じである。

**図8 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**



5. オープンが国際分業が生み出す巨大市場と NIES/BRICs 諸国の経済成長

これまでアメリカのパソコン産業と我が国の光ディスク産業(CD-ROM,や DVD)を取り上げ、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する事実、そしてここからオープン環境の国際分業が急速に拡大することを実証した。前者のパソコン産業は、本質的にデジタル技術で構成された製品のモジュラー化と分業化がどのようなメカニズムで進展するかを示す、代表的な事例である。

コンピュータは、その基本機能が最初からデジタル技術で構成されていたので本質的にオープン化し易い特性を持っていた。しかし初期のコンピュータ市場を支配していたのはアメリカ企業の伝統的なクローズド垂直統合型やコングロマリット型の経営思想であった。したがってアメリカのパソコン産業がオープン化・オープン分業化へ向かって大きな潮流になるには、1980年代に起きたシュンペータ反革命ともいべきアメリカ政府の強力なオープン化・産業政策まで待たなければならなかった。

製品の基本機能が本質的にアナログ技術で構成された家電製品の場合は、まず製品設計の深部にデジタル技術が介在してモジュラー型へ転換されるステージを経なければならない。例えば CD-ROM や DVD はその深層が本質的にアナログ技術で構成された製品であり、マイコンやシステム LSI 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、したがってオープン分業化が進展しない。我が国の家電製品でモジュラー化が進んで設計と製造が分離するメカニズム、そしてオープン分業化が進むメカニズムを理解するには、マイコンとファームウェアの性能・機能が向上する歴史を知ることが必要だったのである。そして一旦モジュラー型へ転換してしまえば、本質的にパソコンの場合と同じメカニズムでオープン国際分業が進んだ。

本章ではオープン国際分業が巨大市場を生み出す様子とこれが開発途上国の経済成長に大きな影響を与える様子を、パソコン産業や光ディスク産業に関するこれまでの分析結果を踏まえながら述べていきたい。

5.1. 製品アーキテクチャモジュラー化とオープン国際分業が生み出す巨大なグローバル市場の形成

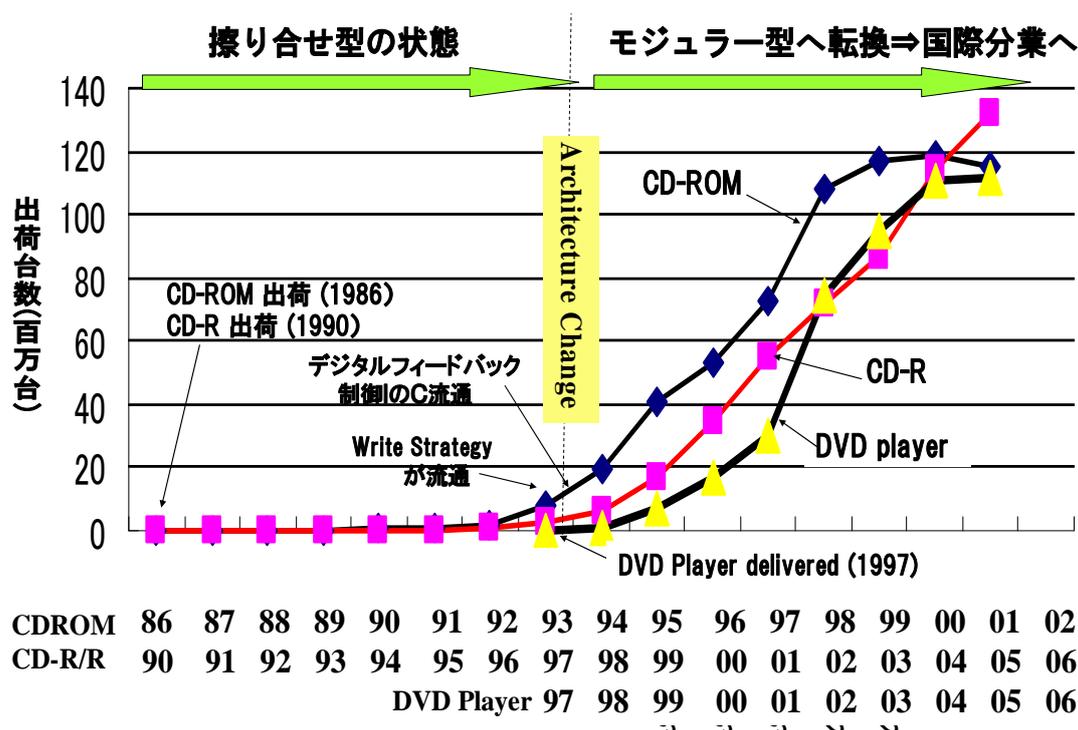
IBM 互換パソコンの出荷台数は 1983~1984 年に年間 150 万台程度だったが、図 1 の左側に見るステージへオープン・モジュラー化が進んだ 1987~1988 年になると、1,000 万台を突破した。またインテルが図 2 に示すプラットフォーム型のモジュラー化が完成させた 1996 年以降から出荷台数がさらに急激に伸びて、1995~1996 年には 6,000 万台を超えた。またその 3 年後の 1998~1999 年には 1 億台を超えた。2007 年には年間 2 億 5000 万台も出荷されるようになったのである。

大量普及にいたるメカニズムは、光ディスク・ドライブでもパソコンのケースと同じであった。たとえば CD-ROM ドライブは、既に 1984 年に Philips と Sony によって国際標

準化され、1986年から市場に出荷されていた。しかしながら初期のCD-ROMは全てアナログ・フィードバック制御技術が採用されていたので、技術の全体系を持つ大規模企業だけしか市場参入できなかつた。したがってオープン環境の国際分業は起きなかつた。出荷4年後の1991年になつても市場規模は年間90万台であり、1992年でも180万台にすぎなかつた。

マイコンとファームウェアがCD-ROM設計の深部に介在し始めたのは1993年ころからであるが、まだ特定企業内のブラック・ボックス技術であつた。それでも市場が徐々に拡大しはじめた。さらに1994年に東芝製のIC Chipset(CD-X, EXシリーズ)がオープン市場で流通すると、設計と製造の完全分離が起こる。そして図8に示すような国際分業がまずCD-ROMドライブからはじまり、1994年には市場規模が一気に年間2000万台へ急増した。10倍以上の巨大市場が僅か2年で生まれたのである。さらに翌年の1995年に4000万台、そして1999年には年間1億2000万台になつた。この様子を図9に示すが、年間1億台の巨大市場がわずか5年で出現した。

図9 製品アーキテクチャのモジュラー化が爆発的な普及を加速

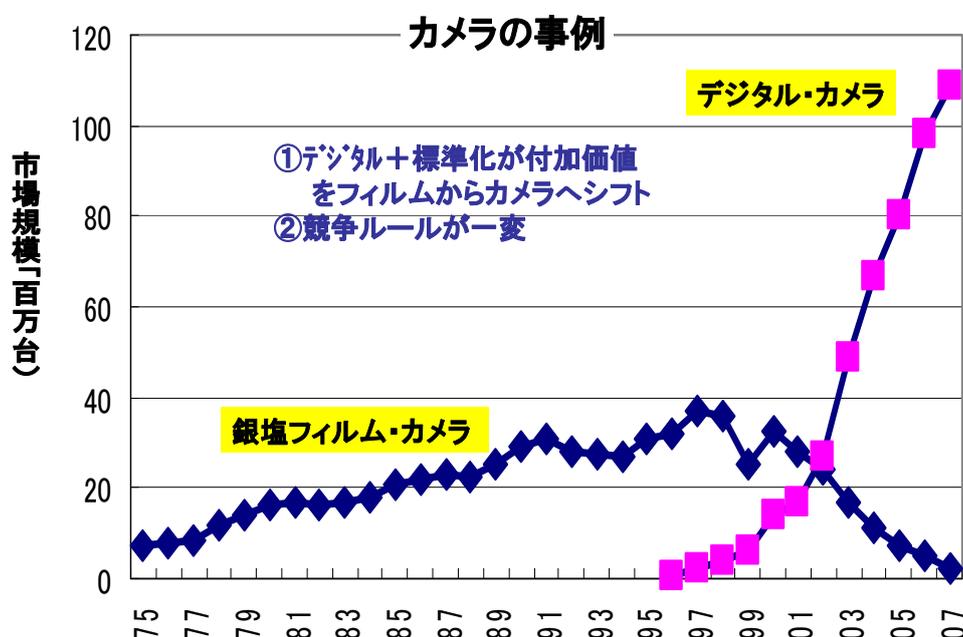


このような市場の急拡大が、その後続くCD-Rドライブ(記録可能なCD)やDVDでも同じように起きたことも図9から理解されるであろう。製品アーキテクチャがモジュラー型に転換されてオープン環境の国際分業化がはじまると、市場規模が瞬時に

50~70 倍に拡大する、と言い換えてもよい。製品アーキテクチャの大転換やオープン国際分業の威力がここにあったのである。

マイコンやシステム LSI とファームウェアが製品設計の深部に介在することで国際的な分業が生まれ、瞬時に巨大市場ができあがる事例は、他にも数多く観察される。たとえばたとえば銀塩フィルム方式のアナログ式カメラの市場は最大でも年間 3,600 万台であり、しかこここまで 50 年以上の歳月が必要であった。一方、デジタル・カメラ (DSC) は、図 10 に示すように、製品が世に出て 6 年目に 3,000 万台へ近づき、10 年後の 2006 年には年間 1 億台を超えた。また携帯電話に内蔵されるデジタル・カメラ・モジュールは、出荷されて僅か 6 年後の 2007 年に 5 億台を超えるまでになった。

図10 デジタル化と標準化が瞬時に巨大市場を生み出す



1987 年代に生まれたアナログ技術の VTR は最大でも年間 5,000 万台の市場規模であったが、1997 年に出荷されたデジタル技術の DVD は出荷 5 年後の 2002 年に 1.4 億台を超え、10 年後には年間 5 億台の巨大市場となった。1980 年代のアナログ式携帯電話の市場規模は最大でも年間 3,000 万台であったが、デジタル携帯電話は市場投入された 5 年後の 1997 年に 8,000 万台を超え、10 年後に 4 億台、そして 15 年後の 2007 年には年間の出荷台数が 12 億台になった。

デジタル携帯電話は普及開始からわずか 15 年で 30 億人もの人が使うまでになり、史上初の人類共通インフラとなった。NIES/BRICs とさえ呼ばれことの無かった極貧の国の人々にも使われはじめたのである。DVD プレイヤーもコモディティ化が進む 2004 年から開発途上国で巨大な市場を作り、2007 年には出荷台数 (2.3 億台) の 70%が

NIES/BRICs 諸国の人々に娯楽を運ぶ役割を担った。マイコンや SystemLSI とファームウェアをもたらすオープン国際分業が、1980 年代までのアナログ時代にとっても考えられなかった新たな希望と豊かな生活を、多くの人々にもたらすまでになったのである。

5.2. 製品アーキテクチャのモジュラー化とオープン国際分業がもたらす NIES/BRICs 諸国の経済成長

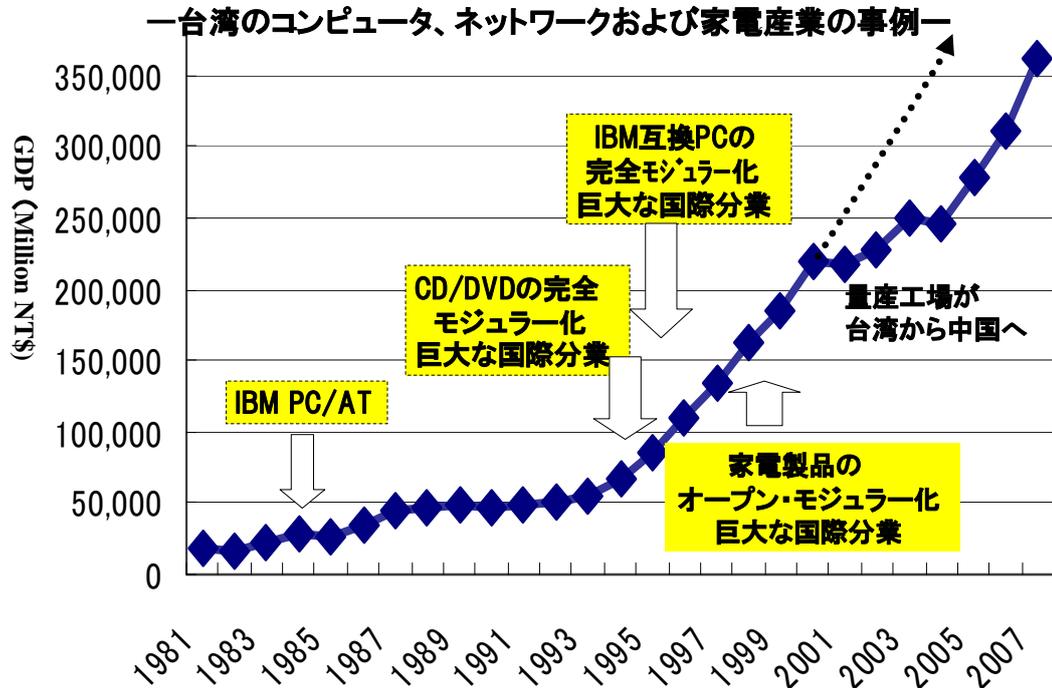
モジュラー型と摺り合せ型という 2 つの製品アーキテクチャがオープン環境でスペクトル分散し、**図 8** に示す構図で共存する。このようなオープン国際分業は、マイコンやシステム LSI とファームウェアが製品設計の深部に広く介在しやすいエレクトロニクス系の製品からはじまった。その代表的な事例がパソコンとその延長に来るデジタル・ネットワーク製品であり、あるいは CD-ROM や DVD に代表される光ディスク・ドライブとその延長に来るデジタル家電であった。そしてこのような経済環境を最も巧みに活用しながら急速な経済発展を遂げたのが台湾であった。本章では 1990 年代の台湾製造業の GDP が急速に成長する様子について、コンピュータ・ネットワーク産業およびデジタル家電産業に焦点を当てながら分析してみたい。

台湾の国としての総 GDP は 1981 年の 2,646NT B\$ (約 9 兆円) から 2007 年の 13,100NT B\$ (約 43 兆円) まで一直線に成長してきた。²³ 約 25 年間の成長が 4.5 倍という驚異的な成長である。製造業だけに注目すると、その GDP は 1981 年の 790NT B\$ (約 2.6 兆円) から 2007 年の 3,578NT B\$ (約 12 兆円) であり、25 年で 4 倍の伸びであった。総 GDP の伸びを少し下回ったのは、ノート PC などのパソコンを中国で作ることを政府が 2001 年に解禁したためである。もしこれが台湾に留まっていれば、過去 25 年の製造業の GDP の伸びが 5 倍を遥かに超えていたと推定される。

しかしながら製造業の伸びを産業別に見ると、パソコン、ネットワーク関連製品の産業およびオーディオ・ビデオ関連のデジタル家電産業との合計 GDP が、過去 25 年で 16 倍の伸びを見せた。製造業全体の伸びの 4~5 倍という驚異的な成長である。その様子を **図 11** に示す。1981 年から 1994 年ころまでの 14 年間は、ゆっくりした伸びであって全製造業に対する割合もわずか 2~4% に過ぎなかった。しかし 1995 年ころから GDP の伸びが急激に上昇しはじめたことが **図 11** から理解されるであろう。2001 年から 2004 年に伸びが止まったのは量産工場を中国本土に移したためであるが、それでも 2005 年ころから新たな高付加価値製品によって 2005 年から再び上昇に転じている。

²³ここで示す GDP は、その当時の円と台湾ドルとの換算レートで塩に直しているが、1980~2000 年までの換算レートに大きな変化は無かった。

図11 製品アーキテクチャのモジュラー化が台湾の経済成長を加速



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

図11には第2章や第3章で分析したパソコン（図2）や光ディスク装置（図5），および多くの家電製品でアーキテクチャが転換する時期も書き込んだ。1995年ころからGDPが急激な上昇に転じ背景として、製品アーキテクチャのモジュラー化が大きく影響していたことが理解されるであろう。事実、先に述べた図7および図9と図11とを比較すれば、同じ1994～1995年ころから2000年にかけてCD-ROMやCD-R、DVDドライブの製品アーキテクチャがオープン環境でモジュラー型へ転換されていた。またこれを契機に生まれた巨大なグローバル市場で台湾企業が一気に圧倒的なシェアを持つようになった。これが図11のGDP成長を支えたことも容易に推定されるであろう。

またTatsumoto&Ogawa(2008)によれば、ほぼ同じ時期に台湾のマザー・ボード産業が急速に興隆していた。例えば2000年に台湾のマザー・ボード生産枚数が世界の70%を占め、2005年には80%を超えたという。パソコンのマザー・ボードを台湾から世界中に出荷するという完全な国際分業構造の到来が、図11に示す驚異的なGDPの成長に直結していたのである。²⁴

²⁴ 一部に、台湾の経済成長はインセンティブ付でアメリカから人材を呼び寄せた政策にあった、という見解もあるが、呼び寄せ政策は1980年代の初期から始まっていた。多くの人材が台湾に戻ってきたのは1980年代末から1990年代初期のアメリカIT産業不況の時期であったのは事実なので、これらの人材がパソコンや半導体産業の興隆をになっただけは確かである。しかし、製品アーキテクチャが完全モジュラー型に転換されていなければ、グローバル分業構造がオープン環境に生まれことはない。そしてトータル技術の特定セグメントだけをになう台湾が、グローバル

これまで特に製品アーキテクチャの大転換が瞬時にオープン国際分業を生み出したパソコン産業やネットワーク型産業およびデジタル家電産業に焦点を当て、この産業セクターの GDP が驚異的な伸び見せた事実をデータで示した。本稿で紹介した製品のモジュラー化によって、例えば半導体産業が金型産業・精密機械・工作機械産業も連動して GDP を急上昇させていることが、我々の別の分析で明らかになっている。特に半導体産業と液晶産業などの合計 GDP は 1997 年から 2007 年までのわずか 10 年で約 7 倍という驚異的な成長を遂げた。そして I T 関連やデジタル家電および半導体産業と液晶産業の GDP の合計が、製造業全体の 43%もの割合を占めるまでになったのである。

図 12 にはこれまで観察された代表的な製品を取り上げ、アナログ的な擦り合わせ型からモジュラー型へ転換された経緯を示した(小川、2008a)。VideoCD や DVD プレイヤーのケースではそれぞれ 1994 年と 2001 年から国際分業がはじまっている。例えば DVD プレイヤーは、2006 年に世界で 2 億台も作られており、中国企業が世界の 70%という驚異的な市場シェアを持っているが、ここで使われる擦り合わせ型の基幹部品である光ピックアップは、80%以上の製造シェアを日本企業が握っている。ブラウン管方式のカラー・テレビは 2006 年に世界で 1.6 億台製造され、中国企業のシェアが 60%以上に及ぶが、ここで使われるカラー・テレビ用の IC や LSI Chip (アナログ) のほぼ 80%が日本企業によって供給されている。

市場の重要ポジションを持つことは困難である。なお李登輝政権の政策力を経済成長の主因に挙げる人もいるが、李登輝が政権を担当したのが 1988 年であり、図 11 が示す GDP の急上昇タイミングと関連付けるのは困難である。

図12 モジュラー型へ転換する産業領域が急拡大している

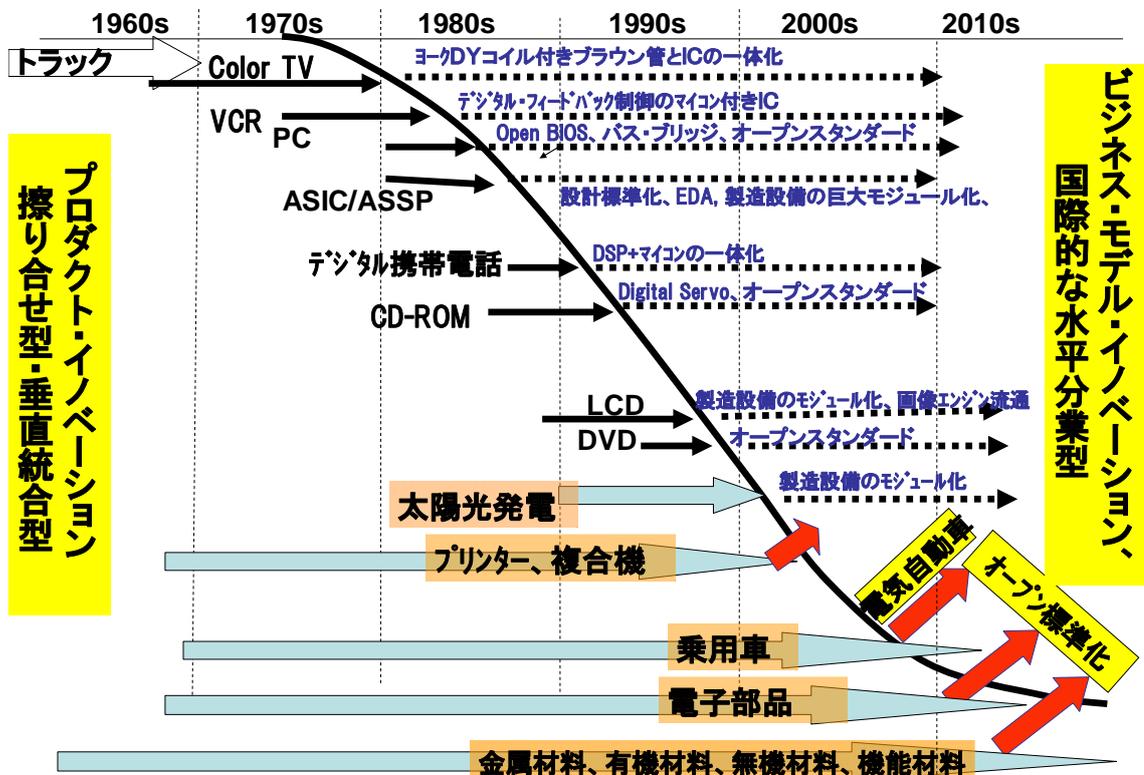


図 12 に載せていないが、これまで擦り合わせ型の代表的な製品と言われた電子レンジやエアコンなどは、既に 10 年前から国際分業が日本と中国の間ではじまっており、2006 年にそれぞれ年間 6,400 万台と 4,500 万台という巨大市場になった。ここでも中国企業が世界市場の 50~60%という驚異的なシェアを持つが、マグネトロンやコンプレッサーなどの擦り合わせ型・基幹部品の 60~80%は日本企業が提供している。²⁵ 以上のように、図 8 で示す構造の国際分業がいたるところで観察されるのである。

製品アーキテクチャのモジュラー化は、水平分業型の産業構造をグローバル市場に作り出す。しかしながら上記でのべたように、グローバルな水平分業によって NIES/BRICS 諸国が手にするのは Turn-Key-Solution 化されたモジュラー型の技術体系であり、バランスのよい経済成長を持続させるためのもう一方の技術体系、すなわち摺り合わせ型の技術は輸入に頼らざるを得ない。図 12 に示すモジュラー化の進展は確かに NIES/BRICS 諸国の企業を興隆させて経済の活性化に大きく寄与するが(図 11)、同時に摺り合わせ型の技術体系に巨大な需要が生まれ、我が国の経済成長に貢献したのである。図 8 に見る国際分業構造の姿は、この事実を我々に教えてくれた。それぞれの国が持つ比較優位がグローバルな共存共栄に転換されていたのである。

²⁵これらのデータは小川(2008b)の2章、2.2節によるが、その多くは参考文献にある善本氏の論文および善本氏の好意によって提供された情報による。

21 世紀のデジタル・ネットワーク世界で我々が目にする現実、製品アーキテクチャのモジュラー化する場合に、あるいは産業構造がオープン環境で国際分業型に転換される場合に、モジュラー型のアーキテクチャを持つ技術体系の製品が従来の 10～50 倍のスピードでグローバル市場に拡散するという事実である。一方、擦り合わせ型を維持する場合は技術拡散スピードが従来と大きく変わることがなく、その技術体系が先進工業国に留まって図 8 のような分業構造をとる、という事実であった（小川、2008b、2008d）。NIES/BRICs 諸国はサプライ・チェーンの中で技術移転スピードが 10～50 倍も速いモジュラー型の技術体系を担うことでグローバル市場へ出て行けるようになったのである。先進工業国と NIES/BRICs 諸国は、それぞれの比較優位を生かしながらこの二つのアーキテクチャのいずれかの技術体系を担い、オープン環境の分業化によって互いの経済成長を支えあっている。

技術が経済成長に及ぼす影響に関する議論は、国単位のマクロなデータを使って発展してきた。技術進歩を外生的に扱う理論、あるいは経験や学習によって技術レベルが高まると仮定する内生的理論がその代表的な事例である。また最近では技術導入の手段として国際貿易と外国直接投資に注目した理論も提案されている（戸堂、2008）。しかしこれらのいずれにも、なぜ技術蓄積の少ない NIES/BRICs 諸国であっても瞬時にグローバル市場で圧倒的な市場シェアを取れるようになりなのか、あるいはその国の経済が急成長の軌道に乗るのか、という 1990 年代以降のグローバル市場で常におきている現実を説明することができない。

しかしながら製品アーキテクチャという視点で見れば、NIES/BRICs の成長が外生的成長モデルに従い、成長のプロセスで産業政策の転換があれば、徐々に内政的な成長モデルへと移行していくであろう。これを可能にする基幹技術は内政的モデルに落ち着いた先進国企業から NIES/BRICs 諸国へ提供されていると考えた方が合理的である。この関係は、徐々に NIES/BRICs と Next Eleven との関係に移っていく。

オープン国際分業は、二つの成長モデルをグローバル市場で同時の共存させる協業システムが創出されることによって、グローバル経済の持続的成長を可能にしているのではないかと²⁶。二つの成長モデルが共存可能になったのは技術伝播スピードが極端に異なる二つのアーキテクチャがスペクトル分散するようになったからであり、そして二つのアーキテクチャをグローバル市場に分散させたのが、人工ゲノムとしてのマイクロ・プロセッサやファームウェアが持つ基本的な作用だったのである。

経済発展メカニズムを分業化という枠組みで捉えた最初の人、アダム・スミスであ

²⁶先進工業国と NIES/BRICs/Next Eleven のグローバル協業によって経済成長が維持されているが故に 2008 年秋におきたアメリカの経済危機がグローバル市場へ瞬時に広がる。我々は本稿の業システムを捨てて 20 年前に戻ることが出来なくなっているという意味で、グローバル協業システムという現実にあわせた国際ルールをオープン環境で再構築しなければならない。

った。齊藤によれば、²⁷ アダム・スミスの分業論の上にマーシャルの解釈とそれを一歩進めたアンリ・ヤングの説を取り上げ (Young, 1928)、特定企業による大規模生産や市場独占ではなく、分業化によって経済全体の規模が拡大し、また分業化で相互依存性が高まることによって収穫逓増が達成されることが説明されている。もしこれが 18 世紀の産業革命からはじまるイギリスの経済成長に対する解釈だったのなら、あるいは人口増と労働生産性向上との同時実現、に対する解釈であるなら、²⁸ 製品アーキテクチャがモジュラー型へ転換されやすい現在のデジタル産業が牽引する 21 世紀の NIES/BRICs と先進工業国の同時経済成長も、同じ国際的な分業によって実現されていると解釈できるのではないだろうか。

NIES/BRICs 諸国企業の参入 (当該産業に関わる人口の急増) と NIES/BRICs 諸国に見る労働生産性向上の同時実現という事実がアンリ・ヤングの説で説明できるとすれば、人工ゲノムとしてのマイコン/システム LSI とファームウェアの作用が、アダム・スミスを起点にした分業の経済合理性を再び 21 世紀のグローバル市場に蘇えらせたことになる。²⁹ そしてマイコンやファームウェアの作用によって可能になったデジタル・ネットワークが、リカード的な比較優位の貿易論や経済活性化論を 21 世紀のグローバル市場に再び蘇えらせたのではないか。以上の背景と製品アーキテクチャの視点を経済成長モデルに取り込む数学モデルについては稿を改めて報告したい。

²⁷ 齊藤 (2008), の 2 章を参照のこと

²⁸ 15 世紀から 18 世紀中期までのイギリスでは人口が増えると労働生産性が低くなり、逆に人口が減ると労働生産性が高くなっていった。しかし産業革命が進展する 18 世紀後半以降は人口と労働生産性が同時に急増し、200 年後の 20 世紀後半まで人口が 6 倍、労働生産性は 24 倍も伸びていた (一橋大学イノベーション研究センター、2001, 第 10 章)

²⁹ イギリスの産業革命が蒸気エンジンの実用化に起因するという仮説で見た蒸気エンジンは、歯車を介して工場へ動力を伝達する構造になっていた。この意味で明らかにモジュール化された製品である。歯車が蒸気エンジンと工場とのオープン・インタフェースだったのであり、サイズや歯の数の異なる歯車を組み合わせることによって、動力の伝わり方を自由自在に変えることができた。したがって蒸気エンジンとその動力を必要とする工場が独立した分業構造になっており、工場の中で銑鉄攪拌機を回すのか、あるいは紡績機を回すのかにはさほど関係なく、互いに全く独立に技術革新を起こすことができるオープン分業構造が出来上がっていたのである。事実当時のイギリスから蒸気エンジンがヨーロッパ大陸や中東へ、さらには南アメリカへと単独で数多く輸出されていたという。約 200 年も前の国際分業は、外部インタフェースがオープン・モジュラー型になった蒸気エンジンによってもたらされた、と考えられる。外部インタフェースがオープン化されていた外モジュラー型・中すり合わせ型の蒸気エンジンは、当時でも技術の移転スピードが圧倒的に速かったのである。蒸気エンジンは、石炭増産や、鉄鋼業、紡績機などの技術革新を加速させたが、これらの技術革新と需要の連鎖から更に熱間鍛造・冷間鍛造の圧延機産業などが発展し、シリンダーやピストン、歯車および多種多様な設備の機構部品を精密加工する工作機械、そして加工バイト用の特殊鋼を作る産業、これらを工場へ運ぶ鉄道や蒸気船などの輸送機関の産業が次々に起こり (米倉、1999 の第 2 章)、産業の分業構造が爆発的に広がった。その後、蒸気機関に代わって内燃機関や電動モーターが同じ役割を担うが、当時の分業化がその産業を爆発的に発展させた様子は、マイコンとファームウェアが支える現在のデジタル機器とソフトウェア産業およびネットワーク型産業の爆発的な発展と同じではないだろうか。

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(2008a) 「我が国エレクトロニクス産業に見るモジュラー化の進化メカニズム」 赤門マネジメント・レビュー」7巻2号, pp.85-127
<http://www.gbrc.jp/journal/amr/index.html>
- 小川紘一(2008b) 「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標準化ビジネス・モデルの提案」 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-205, 2008年3月
、http://www.ut-mmrc.jp/dp/PDF/MMRC184_2007.pdf
- 小川紘一(2008c) 『21世紀の人工ゲノムとしての半導体デバイス』
「赤門マネジメント・レビュー」7巻5号, 2008年5月
<http://www.gbrc.jp/journal/amr/index.html>
- 小川紘一(2008d) 『我が国エレクトロニクス産業に見るプラットフォームの形成メカニズム』「赤門マネジメント・レビュー」7巻6号,
<http://www.gbrc.jp/journal/amr/index.html>
- 小川紘一(2009) 『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, 2008年12月
- 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ージメント」 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 (2007a) 「PCのバスアーキテクチャの変遷と競争優位—なぜ互換機メーカーはIBMプラットフォームを乗り越えられたか?」 (MMRC Discussion Paper Series MMRC-J-163).
東京大学ものづくり経営研究センター.
http://www.ut-mmrc.jp/dp/PDF/MMRC163_2007.pdf
- 立本博文 (2007b) 「PCのバスアーキテクチャの変遷と競争優位—なぜIntelはプラットフォームリーダーシップを獲得できたか」 (MMRC Discussion Paper Series MMRC-J-171).
東京大学ものづくり経営研究センター
http://www.ut-mmrc.jp/dp/PDF/MMRC171_2007.pdf
- 戸堂康之(2008) 「技術伝播と経済成長」、pp.3-24, 勁草書房
- 西村吉雄(2003) 「産学連携」、日経BP社
- 西村(2004) 「改定版 情報産業論」、日本放送協会

- 一橋大学イノベーションセンター(2001)「イノベーション。マネージメント入門」、
日本経済新聞社
- 宮田由紀夫(2007),『プロパテント政策と大学』、世界思想社
- 善本哲夫(2007),『家電メーカーは技術信仰から脱却できるか』、
赤門マネージメント・レビュー, 第6巻3号,
- 善本哲夫(2007),『華南地域のものづくり』、赤門マネージメント・レビュー, 第6巻5号,
- 善本哲夫(2007),『ブラウン管テレビに見る部門別事業戦略とモジュラー化』
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-108,
- 米倉誠一郎(1999)「経営革命の構造」、岩波新書、
- Akamatsu, K. (1962). A historical pattern of economic growth in developing countries. *The Developing Economics*, (Preliminary Issue No. 1), 3–25.
- Bush, V(1945)「Science: The Endless Frontier, A report to the President, Office of Science and Development, Washington. D. C. :US Government Printing Office.
- Tatsumoto, H. and Ogawa, K. (2008)“ The effect of technological platforms on global supply chains: A case study on Intel’s platform business in PC industry”, *IJSOM*, vol. 5, no. 6.
- Vernon, R. (1966).International investment and international trade in the product cycle. *Quarterly Journal of Economics*, 80(2), 190–207.
- Young, A. A. 『1928』「increasing returns and economic progress」, *Economic Journal*, vol. 38, no. 4. pp. 527–542