

アーキテクチャの比較優位に関する一考察

A Note on Comparative Advantage of Architectures

東京大学経済学研究科 教授

経済産業研究所ファカルティフェロー

藤本 隆宏

2005 年 3 月

要 旨

本稿では、いわゆる「アーキテクチャの産業論」が予想する命題、すなわち「統合型ものづくり」(Integration-based Manufacturing)の組織能力を戦後において構築してきた多くの日本企業は「擦り合わせ型」(Integral Architecture)の製品と相性が良く、したがって日本の純輸出財の多くは相対的に「擦り合わせ型」である、という命題の背後にある設計プロセスの論理を考察する。具体的には、設計の問題を「連立方程式の解の探索」という単純化されたプロセスに置き換え、日本企業は試行錯誤的な解の探索において他国企業より相対的に効率的である、という仮定のもとで、なぜ日本企業が「擦り合わせ製品」において「設計費用」の比較優位(リカード的な意味における)を確立する可能性が高いのかを、簡単な思考実験によって分析する。また、試行錯誤だけでなく体系的な科学知識にも依存する非常に複雑な擦り合わせ製品の場合に、日本企業が比較優位を持たない可能性があることを指摘する。

1 競争優位と製品アーキテクチャ

はじめに：組織能力とアーキテクチャの相性

ある国に特定の種類の産業が集積し純輸出をもたらす傾向があるのはなぜか。貿易論の基本命題であるこの問いに対して、アダム・スミスは、いわば「他国より生産性の高い産業」が残り輸出を行なうとし（絶対優位説）、デイビッド・リカードは、「他国より生産性の度合いの高い産業」がその国に残り輸出を行なうとした（比較優位説）。下ってヘクシャー＝オリーンは、「ある産業の生産性が両国で同じである場合、ある生産要素（例えば労働）が多く存在する国にその生産要素を多く使う産業が残る」という有名な「賦存度・集約度説」を示し¹、さらにマイケル・ポーターは、ある国にどの産業が残るかは生産要素の条件だけではなく、需要条件、関連産業の態様、そして経営戦略を含む競争条件によっても規定されるという彼一流の網羅的な「4 要因説」を示した（Porter [1990]）²。いずれにしても、これまでの貿易論・競争優位論は、「国ごとの特性」と「産業ごとの特性」の間に存在するある種の「相性」（フィット）が国際競争力を決めるというロジックを、明示的・暗示的に前提としてきたと言えよう。

本稿では、「国と産業の相性」という国際競争優位論における伝統的な枠組みを踏襲しつつ、そこに製品や生産工程の「設計」という、これまでの経済学がやや軽視してきた工学的な概念を融合させてみたい。少なくとも主流派の経済学（例えば新古典派）は「設計」という概念をあまり重視してこなかった。いわば、製品設計や工程設計（生産関数）を所与として、既存設計製品の効率的配分を論じるのが経済学の中心課題であったと言えよう。むしろ、新設計の創造、すなわちイノベーションや生産力の発展に関しては、マルクス、シュンペーター以来の研究の流れが存在するが、そこでも人工物の設計の中身そのものが詳細に議論されることはあまり無かったのである。

設計概念を含む競争優位論とはどのようなものであるかについては、既に筆者が「アーキテクチャの産業論」として幾つかの著書に展開している（藤本 [2001] [2003] [2004]）。その分析枠組を簡単に言えば、以下の通りである。

- ・ ある産業における特定の製品や工程といった人工物システムの種は、特定のタイプの「設計思想」（アーキテクチャ）を持つ。
- ・ ある国あるいは地域に存在する企業は、特定のタイプの「組織能力」を持つ蓋然性が他の国あるいは地域の企業より高い。つまり、ある種の組織能力はある国に偏在する傾向がある。
- ・ ある国にある種の組織能力が偏在するのは、その国に特有の歴史的条件、例えば当該産業の揺籃期における初期条件や、その後の環境条件の推移を共有する一群の企業が、類似した組織能力の構築経路をたどる傾向があるからである。つまり、組織能力の地域差は、歴史が作るところが大きい。
- ・ いずれにせよ、ある国に偏在する組織能力と、ある製品に体现されたアーキテク

¹ 以上 3 説のより詳細な比較検討は、例えば竹森 [1995] などを参照されたい。

² Cho and Moon [2000] は、これらに幾つかのタイプの人的資源を加えて「9 要因モデル」（The Nine Factor Model）を提唱している。

チャの間に、ある種の「フィット」(相性)が観察される場合に、その製品はその国において競争力を発揮し、その国からの純輸出財(得意技)になる可能性が高い。

- ・ 製品も組織能力も時とともに進化するので、フィットの良い「得意技」のリストは時とともに変動するが、他の条件(これまでの経済学が示してきた諸条件)を一定とすれば、それぞれの時点において、よりフィットの度合いの高い製品が純輸出される傾向がある。
- ・ つまり、「アーキテクチャと組織能力」という文理融合の分析概念を従来からの国際競争優位論の枠組の中に取り入れることによって、現実の国際分業パターンに対する説明力が高まるかもしれない。

以上が、アーキテクチャと組織能力をベースにした産業競争力論である。そしてこの枠組みを適用することによって、筆者は、「統合型ものづくり」(Integration-based Manufacturing)の組織能力を戦後において構築してきた多くの日本企業は「擦り合わせ型」(Integral Architecture)の製品と相性が良く、したがって日本の純輸出財の多くは相対的に「擦り合わせ型」である、という見通しを示してきた(藤本 [2003] [2004])。この見通しは、産業人や政策担当者など実務家の直感的な観察と概ね整合的である。

しかし問題は、第1にこの仮説が矛盾の無い論理に支えられているかどうか、第2にこの仮説の統計的な実証が可能であるかどうか、である。後者に関しては別の機会に譲るが(藤本・大鹿・貴志 [2005])、前者の論理的な検討については、とくに「組織能力」が同義反復に陥りやすい概念であるだけに、要注意である。「Integration-based Manufacturing と Integral Architecture は相性が良い」という言い方自体、余程工夫をしない限り、同義反復と隣り合わせであることは明らかであろう。

アーキテクチャ論の経済学・経営学への応用に関しては、90年代後半以降、いわゆる「モジュール化論」も含め、すでにある程度の理論的・実証的な検討が内外の研究者によって行なわれてきた(Ulrich [1995]、Fine [1998]、國領 [1999]、Baldwin and Clark [2000]、藤本・武石・青島 [2001]、青木・安藤 [2002]、西村 [2004]、他)。しかしながら、こうした研究の流れの中で、いまだ曖昧なままで放置されている命題がある。他ならぬ、「組織能力とアーキテクチャの相性の良い製品は国際競争優位を持つ」という時、何をもって「フィット」とし、何をもって「競争力の発現」と見なすかについて、必ずしも厳密な議論がされてきたとは言えないのである。

そこで本稿では、一つの議論をこれまでのアーキテクチャ論に付け加えることによって、アーキテクチャと競争力の間の関係を考える上での出発点としたい。現時点では素描に過ぎないが、要点をあらかじめ述べるなら、アーキテクチャを「設計パラメータ間の相互依存の状態」と捉え、その状態を実現するための企業の活動のある種の「設計プロセス」として捉えることにする。より具体的には、複数の設計パラメータが強い相互依存の「状態」にあることを「擦り合わせアーキテクチャ」と呼ぶ一方、そうした「擦り合わせ状態」に至る「擦り合わせプロセス」の分析を重視し、そうした「擦り合わせプロセス」に関わるリードタイムやコストが、異なる組織能力を持つ企業によって異なることが、企業間の生

産費の差をもたらす、と考えるのである³。すなわち、状態としての「擦り合わせ (Integral) アーキテクチャ」を実現する設計パラメータの「擦り合わせ (Integration) プロセス」の企業間の差異が、企業間、地域間、国際間の競争力の差を生み出す、というシンプルなモデルである。

以下、まず、設計概念の適用から始まる「アーキテクチャの産業論」の概略を説明し、その上で、「擦り合わせ型アーキテクチャ」、「統合型ものづくりの組織能力」、および「擦り合わせプロセスのコスト」の間の論理的な関係を簡単なモデルで示すことにしよう。

設計概念と経済・経営学

いうまでもなく「設計」とは、製品など「人工物」の構造や機能を表す情報のことであり、工学においては中心的な概念である。しかし、経済学・経営学といった分野では、製品設計という概念は長らく軽視されてきた。伝統的な経済学は、製品の設計を所与として、その価格や数量の最適化を主たるテーマとしてきた。イノベーションを扱う動態的な経済学（たとえばシュンペータの経済発展論に始まる進化経済学の系譜）は存在したが、そこでも製品設計そのものの内部構造が直接分析の対象になることはほとんどなかった⁴。一方、経営学は、組織設計を重要なテーマとして取り扱ってはきたが、「製品設計と企業経営」といったテーマが脚光を浴びることはなかった。要するに、経済体系を扱う経済学でも、個別企業の特異性を扱う経営学でも、「製品設計」という概念はあまり重視されてこなかったのである。

しかしながら 1990 年代に入ると、設計のありようが産業や企業の競争力に与える影響に関する研究が増えてきた。その背景には、1990 年代におけるアメリカ経済の繁栄を支えたデジタル・ネットワーク財の勃興がある。パソコンやインターネット製品に代表されるデジタル・ネットワーク財は、別々の経済主体が設計した部品やモジュールを業界標準インターフェースで自在につなぎ、累積的にシステムを発展させる「オープン・モジュラー・アーキテクチャ」という設計思想を特徴としていた。そして、こうした設計思想の製品における競争のダイナミクスは、製品単体の「まとまりの良さ」で勝負する「インテグラル（擦り合わせ）型」の製品とは大いに異なることが分かってきた。こうした経済状況の中で、「製品設計思想（アーキテクチャ）が産業競争や経営戦略に与える影響」に対する関心が高まり、設計という概念が、ようやく経済学・経営学の中心テーマとして頻繁に登場するようになったのである（Baldwin and Clark [2000]、青木・安藤 [2002]）。

また、これとはやや異なる観点からではあるが、90 年代の日本においても、「設計」という概念が、産業競争力の動向を読み説く上で、キーワードとなってきた。筆者の考えでは、それは大きく二つの面において、である。第一は、競争力を支える「もの造りの組織能力」を分析する際の鍵概念が、実は「設計情報」であるという考え方である（藤本 [1997]

³ アーキテクチャを人工物の設計的な「状態」というだけではなく、コーディネーション（相互調整）という「プロセス」として考えるべきだ、という考え方については、本稿準備の段階で奥野正寛東京大学教授から示唆をいただき参考にしている。

⁴ 製品を機能属性の束とみなすランカスターらのアプローチは、製品の内部構造にある程度立ち入った分析であるが(Lancaster [1966])、そこでも、製品の機能属性と構造属性の関係という設計論の中心的な課題は、正面からは取り組まれていない。

[2003])。第二は、そうした「もの造りの組織能力」(設計情報の流し方の巧拙)と製品の「設計思想」(アーキテクチャ)との間の一種の相性が産業競争力を左右する、というロジックである(藤本・武石・青島[2001])。つまり、産業競争力を説明する二大要素である「企業の組織能力」と「製品の設計思想」を結ぶ共通項は「設計」という概念だ、ということである。

こうした中で、90年代米国経済がデジタル財や新金融製品など「オープン・モジュラー・アーキテクチャ」の財を発展のベースとしたのに対して、一般には不振と言われた90年代の日本企業も、自動車や超小型電子製品や精密機器など、「インテグラル(擦り合わせ)アーキテクチャ」の製品では、概ね「もの造り現場の競争力」を維持してきたことが明らかになった(ただし収益力は必ずしも伴わなかったが)。またその背景には、トヨタ自動車など一部の日本企業が20世紀後半に蓄積してきた「統合型もの造り」の組織能力が存在することも明らかになってきた(藤本[2003][2004])。皮肉なことに、モジュラー型設計思想のデジタル財で米国経済が躍進し、この分野で日本企業が不振であったことから、逆に、輸出や海外生産で活躍する一部日本企業の得意技が「統合型もの造り」や「擦り合わせ製品」にある、という歴史的構図が浮き彫りになってきた。つまり、日本の産業競争力分析においても「設計」概念が重要となってきたのである。

ちなみに、こうした視点から見ると、製造業とサービス業の違いは相対的なものとなる。サービス業も製造業も、「顧客満足と収益確保のために設計情報の流れを統御する」というオペレーション管理の要諦は同様であり、「組織能力とアーキテクチャの相性が競争優位をもたらす」というロジックはどちらの産業でも通用する。設計情報の統御が競争力の中核をなすという点においては、およそ全ての産業は「情報産業」だとも言えなくはない。

「もの造り」という概念そのものが、工場の現場管理という狭い枠を超え、製造業・サービス業の枠も超えた広い概念だということになる。それは結局のところ、企業から顧客へと向かう「設計情報」の流れを、生産・開発・購買・販売のトータルシステムとして管理し改善することに他ならない。企業の「もの造り」において、構成要素をトータルシステムに結び付けているのは、実は「もの」ではなく、「設計」という情報のフローとストックなのである。

そこで本稿ではまず、「設計」概念を軸に、文理融合の「もの造り産業論」を素描してみることとする。その上で、設計情報概念をベースにした国際競争優位の考え方を示すことにする。

2 「アーキテクチャの産業論」概説

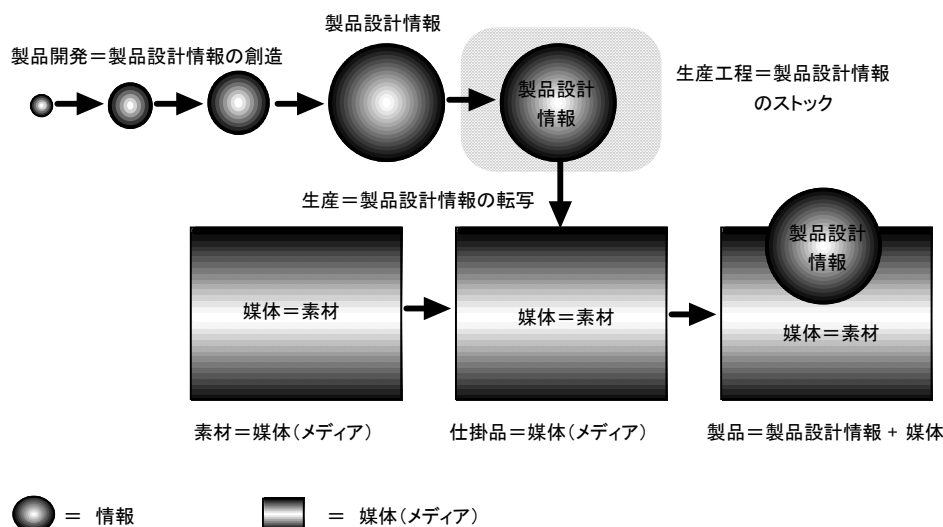
設計情報と「統合型もの造り」の組織能力

まず、組織能力と設計概念の関係について考察してみよう。産業を分析する際、筆者は、基本的にあらゆる製品を「設計情報がメディア(情報を担う媒体)の上に乗ったもの」とみなすことにしている。製品の価値は設計情報に宿ると考える一種の「情報価値説」であ

る⁵。これは、日本の代表的な経営戦略論者が重視する、「情報の資源」（伊丹 [2003]）や「知識」（野中・竹内 [1995]）といった概念をベースにした戦略論の流れと整合的な考え方ともいえる。

企業のものづくり活動のうち、「製品開発」とはそうした設計情報を創造すること、「生産」とは設計情報を工程から製品へと繰り返し転写すること、「購買」は社外から媒体を獲得することである（図1）。そして、どんな設計情報がどんなメディアにのっているかにより、産業特性の違いを論じることが出来る。これが、設計情報をベースにした「アーキテクチャと組織能力の産業論」の基本骨格である。

図1 生産は設計情報の転写である



前述のように、設計情報が有形物に転写されれば製造業、無形の媒体に乗って顧客に提供されればサービス業であるが、「媒体に託して設計情報を顧客に発信する」という点では本質的に違いはない。このように、「既成の産業分類」という固定観念をいったん取り払って、虚心坦懐に、現場で観察される設計情報のありように着目するならば、既存の産業論とは異なる産業風景が見えてくる可能性がある。それが、設計概念を軸とする「組織能力とアーキテクチャ」という発想である。

この観点からすれば、「生産」とは「工程から製品へと設計情報を転写するプロセス」である。一般に、生産とはモノを変形して有用性を高めることだと定義されることが多いが、筆者の生産システム観は、「モノの変形」ではなく「設計情報の転写」という側面を重視する。その方が、製品と生産を統一した、より広い視点からの分析ができるからである。企業は製品に託して情報の束を発信し、消費者はその情報を受信し、解読し、そこから顧客満足を得る。つまり、消費者が消費しているのは本質的には情報の束である。

例えば回路設計を、マスクを媒介としてシリコンの小片という媒体に転写すれば半導体

⁵ これに対して、いわゆる古典的な労働価値説は、労働者がエネルギー的な意味での再生産を行なうのに必要最小限のレベルで賃金と製品価格が決まるという意味で、一種の「エネルギー価値説」とみなすことも出来る。

になる。同様に、自動車企業は、外観デザインや車体剛性といった設計情報を、プレス金型を媒介として、0.8 ミリ厚の表面処理鋼板という媒体に転写して顧客に発信している。機械部品の切削加工生産は、NC プログラムや作業者の知識・熟練の中に蓄積された設計情報を、工作機械の動作を通じて粗形材に移しかえる作業である。教育サービスに従事する私（筆者）は、教室で空気の振動（肉声）や紙（配付資料）を媒体として、学生に私の知識・情報を伝達している。顧客満足をもたらす設計情報を開発し、何らかの媒体に託して顧客に発信する、という点において、これらは共通している。

ただし、この場合の「情報」とは、コンピュータが処理するデジタル情報という意味での「狭義の情報」ではなく、人の脳裏に転写された「知識」も含め、何か他の物事を表象するパターン一般のこと、つまり「広義の情報」のことである。「製品設計情報」は、その意味で広義の情報である。それはある製品の構造あるいは機能を表象しており、開発と生産のプロセスを通じて、コンピュータ、紙、樹脂フィルム、人の頭脳、粘土、鋼塊など、様々な媒体（メディア）に乗り移り、最終的に製品の中に集結する。また、ここでいう「情報」とは、デジタルであったりアナログであったりする。

このように、「設計情報」をベースに企業のもの造りシステムを考えた場合、他社に勝る組織能力を蓄積してきた企業の特徴というのは、究極のところ、開発・生産・購買などのトータルシステムを通じた「設計情報の流し方」の巧みさにあることが分かる。例えば、トヨタのもの造りシステムの強さとは何か。それは、顧客満足を生み出す設計情報（トヨタでは「付加価値」という）を創造あるいは転写している時間（トヨタでは「正味作業時間」という）の比率を最大化することであり、これはすなわち、設計情報の転写が行なわれていない時間（多くの場合トヨタではこれを「ムダ」という）を最小化することと表裏一体である。トヨタ方式の真髄は「ムダをなくして流れを作ることだ」とよく言われるが、ここで言う「流れ」とは、一見モノの流れのように見えるが、実は、モノを媒体とする「顧客へ向かう設計情報（付加価値）」の流れなのである（藤本 [1997]）。

また、こうした設計情報が、顧客満足を生み出すものとして創造され、製品に転写されている正確さの度合のことを、製品の「総合品質」という。大雑把に言えば、製品開発において顧客ニーズと製品設計のギャップを最小化することが「設計品質」のつくり込み、その設計情報の転写ミス（不良）を最小化することが「適合品質」のつくり込みである。これらを（特に後者を）従業員全員参加の問題解決活動を通じて貫徹させようと言うのが全社的品質管理（TQC・TQM）に他ならない。これらも、トヨタなど日本の「もの造り達人企業」の得意技といえる。

このように、各部署が緊密に相互調整して、チームワークで「顧客へ向かう設計情報の流れ」を作る仕組みの総体を、筆者は「統合型もの造り」と呼ぶ。トヨタ方式はその典型であるが、トヨタに限らず、日本にはそうした組織能力を持った企業が、他国に比べより多く存在する。その背後には、労働力や設備資金や下請け企業が不足する中で、それらを大事に長期的に確保し鍛練することで企業の成長に対応してきた、という戦後日本製造業の歴史がある。既に述べたように、概して歴史が「組織能力」を作るわけである。その結果、今日の日本には、トヨタに限らず「統合型」を特徴とするもの造りシステムが多く見られるのである。

企業の「もの造り組織能力」、とりわけ戦後日本企業に多く見られた「統合型もの造り」

の組織能力をトータルシステムとして分析するためには、要するに「設計情報」という無形の流れに着目する必要があるのだ。こうした設計情報分析によって始めて、例えばトヨタ的な「統合型もの造りシステム」の全貌が明らかになるのである。

製品アーキテクチャの基本類型：擦り合わせ型とモジュラー型

次に、「統合型もの造り」と相性の良い製品とは、「擦り合わせ型」のアーキテクチャを持つ製品である、という命題について考えてみよう。「擦り合わせ型（インテグラル型）」の製品とは、簡単に言えば、部品や生産工程の設計を製品ごとに特殊設計し、相互調整し、最適化しないとまともな機能・性能を実現できないような製品のことである。具体的には、そうしたタイプの製品は、乗用車、高級オートバイ、軽薄短小型の家電、胃カメラ、精密機械、高級鋼、機能性化学品、ゲームソフトなど、既存の産業分類を超えて多くの分野に散在する。日本企業において国際競争力が強い製品は、この分野に多い傾向があると筆者は予想する。

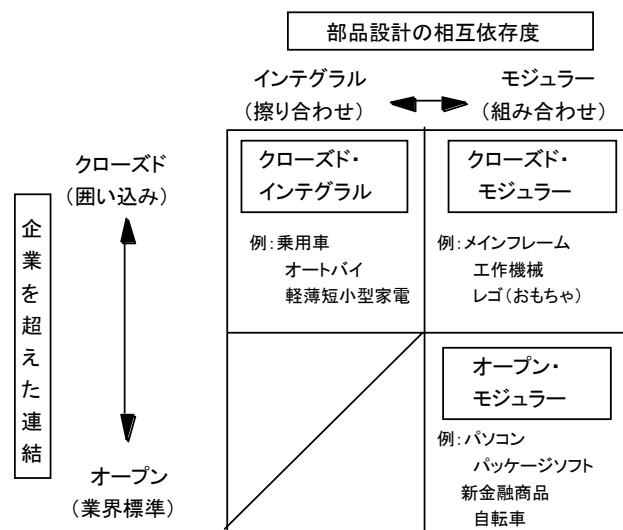
このように、歴史を重視し、組織能力とアーキテクチャの相性を主な手がかりとして、日本に残りやすい製品を予測しているのが、「アーキテクチャの比較優位論」である。こうした文理融合の枠組みにより、従来の産業競争力論に説明力が加わると筆者は期待しており、実際の測定作業の準備もしている。

ここであらためて説明するなら、「製品アーキテクチャ」とは、製品機能と製品構造のつながり方、および部品と部品のつながり方に関する「製品設計の基本思想」のことである。

アーキテクチャには幾つかの基本タイプがある。一つは「インテグラル型（擦り合わせ型）」で、製品機能と製品構造（部品）の関係が錯綜しているため、部品設計をきめ細かく相互調整し、製品ごとに部品やその接合部（インターフェース）を最適設計しないと製品全体の性能がよく出ない。もう一つは「モジュラー型（組み合わせ型）」で、製品機能と部品が一对一ですっきり対応しており、インターフェースが標準化しているため、別々に設計した部品を寄せ集めてもまともな製品が出来る（Ulrich [1995]、Baldwin and Clark [2000]、藤本・武石・青島 [2001]、青木・安藤 [2002]）。

さらに、いわゆる「オープン型」は「モジュラー型」の一種で、インターフェースが業界全体で標準化しており、企業を超えた「寄せ集め」が可能なタイプのものである（國領 [1999]）。これに対し「クローズド型」はインターフェースなど基本設計が企業内で完結している。以上をまとめるなら、図2の通りで、「クローズド・インテグラル」「クローズド・モジュラー」「オープン・モジュラー」の3タイプが抽出される。

図2 設計情報のアーキテクチャ特性による製品類型



このうち、統合型の組織能力と相性が良いのは、論理的に言えば、組織内・組織間の連携調整が競争力に直結しやすい「擦り合わせ（クローズド・インテグラル）」アーキテクチャの製品である。そして、実際に日本企業が世界シェアや輸出・海外生産などでみた競争優位を保持している製品は、こうした擦り合わせ型が多いと筆者は予想している。

一方米国は、移民の国として生産要素の即戦力化と急速展開を重視してきた歴史がある。米国型の生産システムの設計者は、むしろ「擦り合わせ」や「微妙な連携調整」の手間を出来るだけなくすことを200年考えてきたとも言える。その結果、分業重視のもの造り組織が発達し、それと相性の良いモジュラー型・オープン型の製品で競争力を発揮する傾向があったと言える。他方、国家に研究開発機能を集中させた「ソ連型」のイノベーション・システムから出発した中国は、外国製品の設計を換骨奪胎し、コピー・改造部分を汎用部品と読み替えて、寄せ集めで製品のバラエティを生み出す「擬似オープン・アーキテクチャ」を生み出す傾向があり、オートバイ、家電、自動車などでこのパターンが繰り返されている（安室 [2003]、藤本・新宅 [2005]）。

このように、各国の企業は、それぞれが背負っている歴史を反映して、異なったタイプの組織能力を構築する傾向がある。その結果、特定の組織能力（例えば「統合型」もの造り能力）は特定の国に偏在しやすい。とすれば、その組織能力と相性の良い設計思想（例えば擦り合わせアーキテクチャ）を持つ製品が、その国の企業の得意技になることは当然予想される。詳細は他に譲るが（藤本 [2004]）、例えば、日本では技術・技能集約的な擦り合わせ製品、アメリカは技術集約的なモジュラー製品、中国は労働集約的なモジュラー製品、韓国は資本集約的なモジュラー製品、アセアンは労働集約的な擦り合わせ製品、ヨーロッパはブランド重視の擦り合わせ製品、といった国際競争優位に関するおおまかな予想を立てることが出来る。

以上が「設計思想」という現場発の概念によって構成される「アーキテクチャの比較優位論」の骨格である。むろん、設計思想だけで有効な経営戦略や産業政策が出来るわけではないが、少なくとも、この変数を加えることによって、日本企業の産業競争力に対する認識がより深まるのではないかと期待されるのである。

3 設計プロセスと競争優位：ひとつの定式化

連立方程式としての設計プロセス

さて、以上のような基本骨格を持つ「アーキテクチャの産業論」において、例えば「擦り合わせ（インテグラル）アーキテクチャ」と「統合型（インテグレーション型）組織能力」が、どのように連動して競争力を生み出すのかを、単純な形で定式化してみることにはしたい。

ここではまず、デイビッド・リカードの古典的な議論、つまり生産性が比較的高い製品が輸出されやすい、という「生産性格差ベースの比較優位論」に立ち返った議論を試みる。生産関数（したがって生産性）の国際間の差を考慮しないヘクシャー＝オリーン型のモデルは、極めてエレガントではあるが現実性において問題がある、との判断である⁶。

また、設計活動に関しては、まず、工学領域で通常展開される設計論（とりわけ公理的設計）の考え方をとり入れ、設計パラメータ間の関係をリニアと仮定し、製品機能パラメータを従属変数、製品構造パラメータ（あるいは生産工程パラメータ）を独立変数とする「連立方程式」を解くのが設計活動であると考えことにしよう（中尾・畑村・服部 [1999]、Suh [2001]、中尾 [2003]）。つまり、工学系の設計論と、リカード型の貿易論を接合する試みである。

まず、単純化のために、設計パラメータが機能・構造ともに2つ（次数が同じ）のシステム（製品あるいは工程）を考えてみよう。そして、これも単純化のために、機能設計パラメータと構造設計パラメータ間の関係は、2元の連立一次方程式で表現できるとしよう。つまり、機能パラメータのベクトル $\mathbf{y} = (y_1, y_2)$ が、構造パラメータのベクトル $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$ に関連してリニアに決まると考えるなら、これを $\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x}$ という行列式で表現できる。この場合、顧客が望む機能パラメータの目標値を $\mathbf{y}^* = (y_1^*, y_2^*)$ とするならば、この連立方程式を解くことによって、最適の構造設計パラメータ ($\mathbf{x}^* = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{y}^*$; $\mathbf{A}^{-1}$ は逆行列) が得られる。以上が、単純化した設計プロセスのモデルである。

ここで、 $\mathbf{A}$ が対角行列なら、この製品は純粋モジュラー・アーキテクチャである。この場合、 x_1 は y_1 、 x_2 は y_2 を独立的に決定できる。つまり、2つの機能完結モジュール、すなわち $[y_1 = f(x_1)]$ と $[y_2 = g(x_2)]$ に完全に分解できる。したがって、2本の式の問題解決を担当する解答者（設計者）は、互いに独立に、 $[x_1^* = f^{-1}(y_1^*)]$; $[x_2^* = f^{-1}(y_2^*)]$ として、それぞれのモジュールごとの問題を解ける。この場合、 x_1 設計者と x_2 設計者の間にコミュニケーションはいらないのである。仮に、設計者が逐次的に問題を解いたとしても、N個のモジュールからなるモジュラー・アーキテクチャのシステムであれば、N回の試行によって解を得ることが出来る。また、これらの試行を同時並行的に1回で済ませることもできる。

ちなみに、 $\mathbf{A}$ が三角行列なら、 x_1 の最適値が決まれば、 x_2 の最適値も従属的に決まる。つまり、この場合は設計手順に階層性があるわけである（Baldwin And Clark [2000]、中

⁶ リカード・モデルとヘクシャー・オリーン・モデルを峻別して議論している教科書として参考になるのは竹森 [1995]である。

尾 [2003])。いずれにしてもこの場合、 x_1 設計者と x_2 設計者の間のコミュニケーションは一方的となりやすい。

最後に、この例における正方行列 A がゼロでない数字でフルに詰まったような行列であるなら、それに対応する製品は「インテグラル（擦り合わせ）アーキテクチャ」を持つ。この場合、複数の設計者は、チームワークを発揮し、設計のコーディネーション（相互調整）を行ない、フルコースで連立方程式を解かねばならない。仮に、個々の構造設計パラメータの担当者（異なる部品の設計者）が、ある 1 本の式については現場知識の蓄積によって良く分かっているが、他の式については良く知らず、設計者相互の因果知識の共有は限定されているとしよう。この場合、チームワークで速い解の収束を達成するためには、日ごろから設計者間で濃密なコミュニケーションが行なわれている必要があることは、直感的にも明らかであろう。そして、こうしたコミュニケーションのための統合型の組織能力は、戦後日本企業のような長期雇用・長期取引の流れの中で醸成されやすいと筆者は予想するのである。

以上が、「連立方程式を解く」という形で定式化した「設計プロセス」および「アーキテクチャ」の素描である。

アーキテクチャと 2 段階設計プロセス

このように、一般に工学系の設計学では、設計のプロセスを、ある一群の製品機能を達成する構造設計パラメータの値を決める行為として定式化することが多い。単純化のために、構造と機能の関係は 1 次式で表せ、また機能要素と構造要素の数は同じであると見なそう。つまり、 N 個の部品で N 個の機能を最適化する問題となる。言い換えれば、機能と構造の間の因果関係を表す正方行列がある。前述のように、それが対角行列の場合は完全にモジュラーな設計であり、その製品は N 個の機能完結的な部品に分解できる。三角行列の場合、ある構造要素が他の構造要素に一方的に依存するという階層構造になる。そして、行列がゼロでない係数で埋まるとき、その設計は完全にインテグラルなアーキテクチャだということになる。この場合、全ての部品（構造要素）は全ての機能要素に影響を与える、すなわち、すべての機能要素は全ての部品の影響を受ける⁷。

このように、設計という行為は、連立方程式 $[y = Ax]$ の解を求める行為として類推することができる。しかし実際には、 x と y の間の因果関係 (A) は、完全には分かっていないことが多い。つまり、机上計算のみで解析的に最適の設計解を求めることは、通常は出来ない。むしろ、机上計算や思考実験で可能な限りの予測を行い、その結果を初期値とする試行錯誤プロセス、例えば実物の試作・試験やコンピュータ・シミュレーションで設計解を改善してゆき、機能が満足すべき水準に達したら、そこで解の探索をストップするという「限定的合理性下での満足化」のプロセス (Simon [1945] [1976])、あるいは問題解決プロセス (藤本・安本 [2000]) が現実的だと考えられる。これについては後述する。

以上をまとめるならば、解の求め方には、(1) 事前の因果情報による解析的方法と、(2)

⁷ むろん、現実の製品は完全にモジュラー、完全にインテグラルということは稀であり、たいていはその両極の間のスペクトルのどこかに位置取りすることになる。つまり、二分法としての「モジュラー型」「インテグラル型」は、いわば概念理解を助けるための「理念型」なのであり、言うまでもなく、現実の人工物がそうした単純な二分法で分析できるわけではない。

試行錯誤的な方法がある。以下、解析的方法に使われる一般的な因果知識を「科学的知識」、試行錯誤的な方法に使われる文脈特殊的な因果知識を「現場的知識」と呼ぶことにしよう⁸。さらに、以上の知識類型に前述のアーキテクチャ概念を加えて、3種類の製品タイプを想定してみよう。(1) 機能完結部品を組み合わせた「モジュラー製品」、(2) 主に現場的知識による設計パラメータ調整を行う「現場擦り合わせ製品」、(3) 主に科学的知識による設計パラメータ調整を行なう「科学的擦り合わせ製品」である。いずれも、設計プロセスは、 N 個の変数（構造設計パラメータ）と N 個の機能パラメータ（式の数）からなる連立一次方程式の解を求めるプロセスで近似する。まず(1)と(2)の比較を行い、(3)については後で考えることにする。

以上を踏まえて、設計プロセスについて予備的に素描しておこう。既に述べたように、因果関係に関する科学的知識 A が完全である場合、目標機能 y^* を与えれば、いわば逆行列を求めて、構造設計パラメータの最適値 x^* を見つけることが出来る。このプロセスは機械的な机上計算プロセスであり、したがって相対的に速く、また一般に公開された科学的知識に依存するため企業間で差が出にくいと考えられる。そこで、こうした机上計算1ステップごとの計算時間は企業に関わらず等しいと仮定して、これを「 t 」としよう。ワンステップごとに未知数を消去する通常の計算プロセスを想定するならば、この方法で設計解 x^* を得るスピードは、単純に構造パラメータ数の N と1ステップあたりの計算時間 t の積 ($N \cdot t$) であるとする。これが「科学的な擦り合わせ」(integration before doing) のケースである⁹。

むしろ現実には、科学的知識 A が部分的にしか分かっていない場合が多い。その場合も、部分的な因果知識 A' (A の一部である正方行列と仮定) に基づいて、不完全な解を机上計算で得ることは可能である (図3)。

図3 因果知識 A と科学的因果知識 A'



その結果を「初期値」として、その先は試行錯誤で最適解に漸近するというやり方は、現実の設計プロセスでもしばしば見られる。そして、こうしたラフな「科学的擦り合わせ」の結果得られる「初期値」が、最適解にどれほど近づいているのかは、「科学的擦り合わせ」において、重要な変数をどれだけ見逃しているかによって異なるだろう。

いずれにしても、行列式 A に関する知識が不完全な場合でも、「現場的知識」を用いた試行錯誤、例えば試作品を使った実物実験や、CAD (コンピュータ支援設計) を使ったコンピュータ・シミュレーションで解に漸近することが出来る。つまり、主に文脈的な技能あるいは知識 (青木 [1995]) に基づき、第 i 番目の変数 x_i を担当する設計者が、他の設計者の暫定解を前提に、自分の担当変数 x_i を動かし、結果として生じる y の動きをみて、最適の (あるいは満足 of いく) 設計解に漸近していく。これが、現場的知識による「試行錯誤的な擦り合わせ」(integration by doing) である。こうした「試行錯誤的な擦り合わせ」

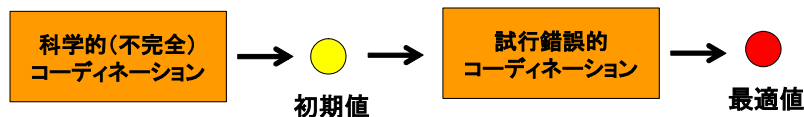
⁸ こうした知識の類型は、青木 [1995] の「機能的技能」「文脈的技能」をはじめ、過去に類例がある。

⁹ Pisano [1997] の learning by doing と learning before doing の概念がここで参考になる。

においては、試行一回あたりのコストやスピードが、現場組織内・組織間の事前の現場情報の共有が進んだ組織と、そうでない組織で、相当に異なると考えられる。解の収束までの試行錯誤の時間は、初期値 x' から最適値 x^* への収束までに必要な試行数 M と、1 試行あたりのリードタイム (t_j 、ただし j は第 j 企業という意味) の積、 $M \cdot t_j$ で示せるとしよう。

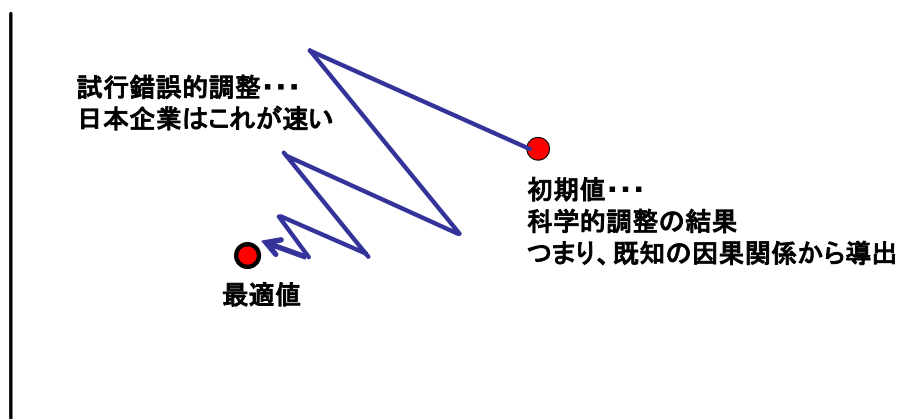
しかし、前述のように実際には、真の因果構造 A のうち一部の変数 ($N' < N$) に関する情報しか分かっていないことがほとんどである。そうした場合、現実的な設計プロセスとは、まず既知の不完全な科学的知識 A' を前提に、連立方程式を「科学的」に机上で解き(つまり「科学的な擦り合わせ」を部分的に行い)、その暫定解 x' を「初期値」として、次に現場的知識を主に用いた M 回の試行錯誤によって真の解 x^* に接近するものとするのである(図4)。

図4 2段階の設計コーディネーション



その場合、科学的知識がどの変数を見逃しているか(重要な変数を見逃しているかどうか)にもよるが、一般的な傾向としては、 N' が大きいほど ($N - N'$ が小さいほど)、最適解 x^* に近い初期値 x' から出発できると考えてよからう。仮に収束までの回数を M とするなら、平均的な日本企業 (J 企業) はリードタイム $M \cdot t_j$ 、平均的な米国企業 (A 企業) は $M \cdot t_a$ で解に収束すると考えてよからう。そして、戦後の日本企業が長期雇用・長期取引に基づく統合型の組織能力を蓄積する傾向があったという過去の歴史の観察(後述)から、ここで $t_j < t_a$ (日本企業のほうが1回あたりの組織的試行錯誤のスピードが速い)と仮定して大過ないと筆者は見る(図5)。

図5 「試行錯誤的調整」における日本企業の優位性



以上の「2段階設計プロセス」(科学的接近→現場試行錯誤的接近)を想定するならば、最適設計解にいたる設計リードタイム T_j は、 $T_j = N \cdot t + M \cdot t_j$ となる (j は企業)。

問題は、解の収束に必要な試行錯誤数 M がいかなる値になるかである。これについては、具体例に解への漸近プロセスをシミュレーションする必要があると思われるが、本稿の基

本的な考え方は、試行錯誤の対象となる $N-N'$ 個の未解析の構造パラメータ（部品設計）を、 $N-N'$ 本の機能パラメータ（実験評価項目）に関して逐次的かつ試行錯誤的に収束させるというものである。仮に、各部品の構造設計を担当する $N-N'$ 人の構造設計者が、他の設計者の暫定的な設計解を前提として、 $N-N'$ 個の構造パラメータを $N-N'$ 個の機能パラメータに関して最適化を試みるとしよう。その場合、1 機能あたり $N-N'$ 回の実験評価を、 $N-N'$ 個の機能に関して繰り返して解を収束できるなら、試行数 M は少なくとも $(N-N')^2$ 回となる。

しかも以上は、既に解析的に決定済みの構造パラメータは上記の試行錯誤の逆影響を受けない（ N' 個の科学的解析パラメータと $N-N'$ 個の試行錯誤パラメータとが互いにモジュラー的である）という単純なケースを想定している。実際には、両者のための相互調整が追加的に必要であろう。つまり、上記の $M=(N-N')^2$ という推定は、実際より低めの推定である可能性が大きい。

仮に、上記のように j 企業の設計解の収束までの時間が $T_j = N \cdot t + (N-N')^2 \cdot t_j$ であるとしよう。他の条件を一定とすれば、 N 個の部品からなる「擦り合わせ型製品」において、挙動が未知のモジュールの数 $N-N'$ が大きいほど、 J 企業の設計時間 T_j の、 A 企業の設計時間 T_a に対する比率は小さくなる傾向がある。その場合、仮に設計リードタイムが設計コストにストレートに反映するならば、 J 企業が設計コストに関する比較優位を持ちやすいわけである。さらに、仮に科学的解析の能力（ N' の値）が企業に関わらず一定だとすれば、 N が大きいほど、つまり当該製品が複雑であるほど、 J 企業の設計コストの比較優位は大きくなると考えてよいだろう。

一方、製品がモジュラー的な場合、試行数は、 $M=N$ （逐次処理の場合）ないし $M=1$ （並行処理の場合）となりやすい。つまり、 M は小さくなり、それにしたがって、 T_j と T_a の比率は 1 に近くなる。この場合、比較優位説で言えば、米国が設計コスト上の比較優位を持ちやすいのである。以上、概略の見通しを示したが、この説明をもう少し展開してみよう。

設計費用の比較優位

ここで、一つの単純な例を設定し、日本企業が擦り合わせを得意とする構図を説明してみよう。企業は 2 種類、 J 国の J 企業と A 国の A 企業とがあり、歴史的な発展経路の違いから、異なる組織能力（知識）のプロフィールを持つ（青木 [1995]、青木・奥野 [1996]）。

A 企業は、歴史的にはいわば移民の国である米国の企業を念頭に置いた理念型であり、現場組織は移民を即戦力とするために分業を重視し、企業内の情報共有は専門家間の狭い範囲に留まる。その反面、 A 国は市場機構やオープン・ネットワーク（國領 [1995]）が発達しているため、広い範囲で科学的知識（汎用知識）を共有する。つまり、現場的知識は「I 字型」、科学的知識は「広い一字型」である。

これに対して、 J 企業は、戦後日本企業を想定した理念型である。戦後の高度成長期に発達した長期雇用・長期取引慣行の結果、現場組織が深い現場的知識を持ち、なおかつ、長期取引・長期雇用ネットワークを通じて、それを現場組織内・組織間で共有している（淺沼 [1997]、藤本・西口・伊藤 [1998]、小池 [1999]、西口 [2000]、武石 [2003]、他）。一方、 J 国のオープン（市場）ネットワークの発達には A 国ほどではなく、また科学的知識の共有は、主として長期取引を行なう現場組織間に限定される。つまり、現場的知識は「T

字型」、科学的知識は「狭い一字型」となりやすい。

ここで、各構造設計パラメータの設計を専門に行なう N 人の技術者を想定し、チームで問題解決（連立方程式の解）を行なうものとする。現場技術者には「限定された合理性」を仮定する。つまり、完全な因果知識によって一気に解を「解析的」に求めることは出来ないものとする。設計パラメータの最適解のセットには試行錯誤で迫るプロセスを想定する。つまり、 N 人の設計者は、構造パラメータと設計パラメータの間の因果知識について完全情報を持たないため、まず自分が操作できる構造設計パラメータを動かし、それによる機能設計パラメータの変化を観測した後に次の設計変更へと移行する。

この場合、両方の設計者が同時に設計パラメータを動かせば行き違いから混乱するので、一方の設計者の設計解を一時的に固定し、それを前提に、他方が自分の担当する設計パラメータを動かす。次に、それを前提に、もう一人の設計者がパラメータを動かす。こうして交互に設計パラメータ変更を行なうことは、実際にも「擦り合わせ」型の製品の設計で見られる慣行である。これを「試行錯誤の設計パラメータ調整プロセス」と呼ぼう。最適設計解にいたる過程は、この繰り返しである。これは、形の上では、価格と数量を交互に調整して均衡解に収束する、需要供給曲線（部分均衡論）における「蜘蛛の巣チャート」の論理に似ているとも言える。一定の条件の下で、シーケンシャルな手続きで、均衡解へと収束していくのである。パラメータがある範囲に収まったら収束したと判定する。

このように、一見同時並行的に見える相互調整プロセスも、細かく見れば、シーケンシャルなやりとりの応酬だと考える（Clark and Fujimoto [1991]）。また、試行錯誤的な設計のスピードは、組織内・組織間における事前の情報共有度に影響されるとみる。そして、長期雇用・長期取引の伝統ゆえに、戦後日本企業の情報共有度は高く、それだけ試行錯誤的な設計のスピード t_j は速いと想定するのである。

ここで、もう一度復習しておこう。解が収束したと判定されるまでの調整の回数を M 、企業 J 、企業 A の 1 回当たり試行錯誤時間をそれぞれ t_j 、 t_a とする。人間が関わる試行錯誤は、組織能力の差を反映して、コストに差が出やすい。これに対して、公知の科学的知識を用いた解への接近にかかる時間 t は、実物試作を伴わぬ思考実験や計算で済むため、時間が短く、しかも企業間で差が無いとしよう。すなわち、 $t < t_j < t_a$ と仮定する。

既にみたように、 N 個のモジュールからなるモジュラー製品なら、各設計者が逐次的に方程式を解いたとしても N 手で最適値にいたる（ $M=N$ ）。同時並行的に解けば 1 手で解に至る。つまり、科学的知識が完備したモジュラー製品の設計時間は $t \sim Nt$ である。仮に、各設計者が独立に、まず科学的方法、次に試行錯誤で個別解に収束させるとするならば、 A 企業は最短で（ $t + t_a$ ）、 J 企業は（ $t + t_j$ ）で解に収束する。

これに対して、擦り合わせ（インテグラル）製品の場合はどうか。それは科学的知識の比重がどの程度あるかによって状況は異なるだろう。仮に N' 個の変数について、科学的な因果知識が完備しているとすれば、まずこの科学的知識をもとに初期値 x' を求め、そこから現場的知識を使った試行錯誤に切り替える。初期値（ x' ）が真の解（ x^* ）にどの程度接近しているかは、どんな変数が見落とされているかによって異なるので一概にはいえないが、試行錯誤で埋めるべき距離（ $x - x'$ ）は（ $N - N'$ ）の関数、試行錯誤の回数 M は（ $N - N'$ ）² の関数だ、というのが自然な推定であろう。したがって、トータルの設計リードタイムは、 A 企業では $\{N' t + (N - N')^2 t_a\}$ 、 J 企業では $\{N' t + (N - N')^2 t_j\}$

² t_j } となるだろう。

以上をまとめよう。J 企業と A 企業の設計リードタイムの比 (T_j / T_a) を比較優位の目安と考えるならば、モジュラー製品の場合、その比は

$$T_j / T_a = (t + t_j) / (t + t_a)$$

であり、 t_j と t_a の差は大きくないことから言えば、この比は 1 に近いといえる。

一方、擦り合わせ製品の場合は、J 企業と A 企業の設計リードタイムの比は、

$$T_j / T_a = \{N' t + (N - N')^2 t_j\} / \{N' t + (N - N')^2 t_a\} \text{ すなわち}$$

$$T_j / T_a = [t + \{(N - N')^2 / N'\} t_j] / [t + \{(N - N')^2 / N'\} t_a]$$

であり、モジュラー製品の場合より、この値は小さい。また、他の条件を一定とすれば、 N が大きいほど（製品が複雑なほど）、そして N' が小さいほど（現場的知識の比重が大きいほど）、この値は小さい、ということになる。

したがって、仮に製品費用が生産費用と設計費用の総和であり、設計リードタイムが設計費用に反映すると仮定するならば、J 企業の A 企業に対する設計費用上の比較優位は、擦り合わせ製品の場合に存在し、それも、複雑な擦り合わせ製品、現場的知識に依存する擦り合わせ製品の場合に大きくなる、という予想になる¹⁰。この結果は、我々が傍証的な事例研究などを通じて得ている事実認識（藤本 [2004]）と整合的である。また、この予想は、生産費用に関する従来の仮説（例えば資源賦存度と資源集約度に関するヘクシャー＝オリーン仮説）を否定するものではなく、むしろ補完するものと考えてよい。

以上のように、生産費用に関する条件が一定の場合、設計費用に関してリカードの比較優位説を応用することによって、J 企業がインテグラル製品（とくに現場的知識型の擦り合わせ製品）で比較優位を持ち、A 企業はモジュラー製品に比較優位を持つという予想が導かれる。すなわち、以上の仮定のもとでは全ての製品において日本企業の設計スピードおよび設計費用で勝るが、比較優位説により、以上のような国際分業が生じると見るのである。

半導体製造装置に関する一考察

さて、中馬 [2004] は、「日本企業は擦り合わせ製品で競争優位を持ちやすい」というアーキテクチャ産業論の基本命題では、「超擦り合わせ型アーキテクチャ」ともいえる半導体露光装置において、オランダの ASML 社が日本企業に対して優位性を築いているように見える現象を説明できないと指摘する。これは非常に興味深い論点なので、上記のモデルを応用しつつ、筆者なりの説明を試みよう。

半導体露光装置の分野で、オランダの ASML 社が近年台頭してきたことは、良く知られた事実である。従来は、「これはフィリップス社の電子系とツァイス社の光学系をたくみに組み合わせる ASML 社製品のモジュラー性に起因する」と説明されることが多かった。しかし、中馬 [2004] はこれに対して、ASML 社製品を含めて近年の半導体露光装置は極限的な擦り合わせアーキテクチャ製品であり、したがって説明すべきは、なぜ「超擦り合わせ製品」

¹⁰ この予想に関しては、シミュレーション分析などにより、今後その妥当性について追加的な検証を加える必要があるだろう。

であるはずの半導体露光装置において日本企業が劣勢になるのかであると主張する。

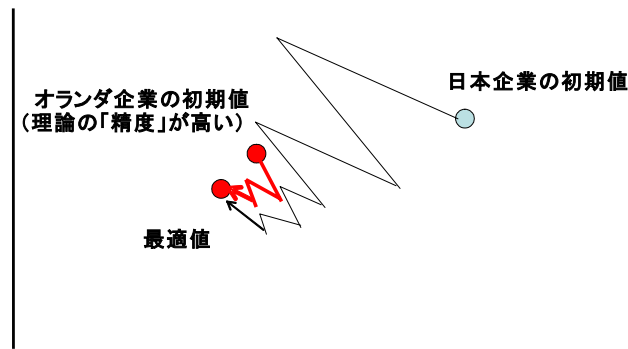
ASML 社の半導体露光装置が実際にモジュラー的なのか、実は超インテグラル的なのかについては、なお議論の余地があるが、ここでは中馬説の事実認識に従うものとして、上記の設計パラメータの「２段階設計モデル」を用いて、この現象を再解釈してみたい。すなわち、企業は、限定された合理性の制約下で、まず不完全な科学的知識によるラフな解析によって初期値を与え、そこから現場的知識に頼る試行錯誤によって最適値に到達する、と考えるのである。

ここで、上記のモデル「２段階設計モデル」に一つの修正を加える。すなわち、欧州企業である ASML 社の方が、日本企業より、オープンな科学者ネットワークに依存した科学的知識の幅が広く、それによって、科学的に解析している変数の数（ N' ）の値が大きいと仮定しよう。この仮定は、オランダ企業は日本企業より幅広い参加者による科学的知識探求のネットワークを持っている、との中馬の観察と整合的である。

すでに見てきたように、本稿の「２段階設計モデル」では、初期値 x' と真の解 x の距離は、科学的知識として見落とされている変数の数（ $N-N'$ ）に比例し、またその後の試行錯誤の数 M は（ $N-N'$ ）² に比例すると考えてきた。さて、中馬の記述に従うならば、半導体露光装置は、極めて N の大きい複雑な擦り合わせ製品であり、なおかつ、日本企業が狭い長期関係ネットワークをベースに科学的知識の探索を行なっているのに対し、オランダ勢は、半導体製造装置企業、半導体材料企業、半導体企業、大学など、幅広い科学的知識の共有が身上である。したがって、A 企業の科学的知識の範囲 N'_a は、J 企業の科学的知識の範囲 N'_j より大きい可能性が極めて高い。

一般に、半導体露光装置のように構成モジュール数 N が極端に大きな擦り合わせ製品の場合、事前の科学的な設計活動を強化して N' を拡大し、 $N-N'$ を一定の値に押さえ込んでおかないと、いかに現場力のある企業でも対応が難しくなる。中馬論文が指摘する、日本企業が陥った競争力の低下は、これが一因ではないだろうか。つまり、ASML 社の場合は、 N'_a が十分に大きく、したがって $N-N'_a$ が十分に小さいため、試行錯誤を始める際の「初期値」 x' が最適値 x^* に十分に近い。一方、日本企業は、試行錯誤の設計スピード（ t_j ）は ASML 社のそれ（ t_a ）より速いかもしれないが、科学的知識の探索範囲（ N'_j ）が小さいために、「初期値」 x' が最適値 x^* から大きく離れてしまっている。その場合、まさに「ウサギと亀」のように、日本企業＝ウサギ（速いがゴールから離れ過ぎ）が亀（遅いがゴールに十分接近）に負ける可能性が出てくる（図 6）。

図6 「科学的調整」におけるオランダ企業の優位性（「ウサギと亀」現象）



- (1) 製品の「擦り合わせ度」が極端に高い（複雑な連立方程式）。
- (2) 日本企業は事前の科学的知識が低く、事後的な試行錯誤に頼る。
- (3) オランダ企業は、事前に把握している変数や因果式が多い（科学的調整力）。

言い換えれば、前述の定式化にしたがって、

$$T_j = N'_j t + (N - N'_j)^2 t_j$$

$$T_a = N'_a t + (N - N'_a)^2 t_a$$

である場合、仮に $t_j < t_a$ だとしても、大幅に $N'_a > N'_j$ であれば、 T_j と T_a の逆転が生じる。とくに、 N が大きい複雑な擦り合わせ製品であり、それが潜在的に「科学的な擦り合わせ製品」（ N' の値が相対的に大きな製品）である場合に、この事態が生じやすい。つまり、擦り合わせの「2段階モデル」において、科学的な設計パラメータ探索量における企業差が、その後の試行錯誤によるパラメータ探索の企業間スピード差を上回る場合、擦り合わせ製品でもA企業がJ企業より競争優位に立つ可能性が出てくる。それも、 N が非常に大きい「極端に複雑な擦り合わせ製品」でこそ、こうした逆転劇は起こりやすい、というパラドックスが、ここに存在するのである。

以上が、中馬 [2004] が「事後的モジュラー性」と呼んだ現象に対する、本稿の分析枠組による再解釈である¹¹。

¹¹ 藤本 [2004]では、これを「サイエンティフィックな擦り合わせ」と呼んでいる。

まとめ：「設計」概念を軸にした比較優位論

20 世紀後半、労働や資本など生産要素が慢性的に不足気味な中で継続的な高度成長に直面した日本の一部のものづくり企業は、いったん確保した生産要素を生産資源として大事に使う長期雇用・長期取引に依拠しつつ、現場対現場で生産性や製造品質を競う「能力構築競争」を続けてきた（藤本 [2003]）。その結果として形成されたのが「統合型（インテグレーション型）もの造り」の組織能力である。トヨタ生産システムに代表される「統合型もの造り」とは、要するに、企業間・部門間・組織成員間の相互調整や情報共有を現場の競争力に結びつける生産・開発・購買システムのことである。

こうした組織能力は、「擦り合わせ型（インテグラル型）アーキテクチャ」の製品、つまり、部品間あるいは生産工程間の設計パラメータのきめ細かい相互最適化が商品力を左右するタイプの製品において、その競争優位を発揮することが多かった、というのが、「アーキテクチャの産業論」が主張する基本命題である。そして、20 世紀後半、能力構築競争を通じて「統合型」の組織能力を鍛えてきた日本のものづくり企業は、とりあえず競争優位を見込める「擦り合わせ製品」で勝負すべきだ、というのが、そこから導かれる実践的な含意である。長期的には、モジュラー型の製品でも強みを発揮する組織能力の強化が日本全体としては必要であるが、当面は現在の強みを最大限活かすというのが戦略論の基本なのである。

本稿では、いっけん同義反復的なこの基本命題の背後にあるリカード的な比較優位のロジックを、設計プロセス論に依拠しつつ、「設計コストの比較優位」という形で定式化することを試みた。本稿の後半で提示したモデルは、ある意味で非常に単純化した設計プロセスの素描であり、さらに多くの検討が必要だと思われるが、実際の企業の設計活動のエッセンスをできるだけ残すことを念頭において構成された。これにより、単に「白か黒か」のアーキテクチャ論ではなく、日本企業の競争優位に影響を与える諸条件をより体系的に分析する枠組作りが一步前進したと考える。

本章の分析によって、アーキテクチャの産業競争論が「日本企業は擦り合わせに集中せよ」という単純な基本命題を超えて、少なくとも以下の点で多少は分析が深まったものと考ええる。

- ・ ある製品のアーキテクチャは、モジュラーかインテグラルかといった二分法ではなく、連続的なスペクトル上に展開されるものである。「アーキテクチャの比較優位」の度合いは、このスペクトルに沿って連続的に変化し、それが製品ごとの貿易構造などに影響を与えることが予想される。
- ・ 製品アーキテクチャも組織能力も共に進化するので、このスペクトル自体が時とともに変動する。つまり、アーキテクチャの比較優位は、それ自体が動的な現象である。
- ・ アーキテクチャの比較優位は、事後に顕在化する国際競争力の話であり、事前の企業努力とは切り離して考える必要がある。製品や工程の設計者は、事前においては市場と技術の許す限り自社製品・自社工程のモジュラー化の努力をすべきだが、事後的には、そうしたモジュラー化が競争力に直結する産業では米国企業などが競争優位を持ち、効果的なモジュラー化が難しい製品では日本企業が残りのや

すい。しかし、だからといって事前のモジュラー化の努力を怠ってはならない。事前と事後をきっちり分けて考えるべきである。

- ・ アーキテクチャと組織能力の相性は、設計プロセス論を応用することにより、「設計費用の比較優位」という枠組で定式化することが可能である。
- ・ 製品開発や工程開発における設計パラメータ調整は、大まかに言って「科学的」な調整と「試行錯誤」的な調整とに大別できる。戦後の一部の日本企業が優位性を持ってきたのは、あくまでも後者である。「科学的」な設計パラメータ擦り合わせの組織能力では、日本企業の実力ははっきりしない。競争優位性を持っていない場合もありうるので油断は禁物である。とくに設計パラメータの数が多い「極限的な擦り合わせアーキテクチャ」の製品では、よほどしっかりした「科学的な擦り合わせ」の実力を付けない限り、半導体製造装置に見るような逆転が生じやすい。全ての擦り合わせ製品で日本企業が強いと安易に結論付けることは出来ない。
- ・ 日本企業が現場の情報共有による競争優位を発揮しやすいのは、主に試行錯誤による設計擦り合わせで勝負できる「中程度の擦り合わせ」の製品であり、事前の構想力や目利き能力の勝負となる「モジュラー型製品」、あるいは逆に、科学的な設計パラメータの事前調整が重要になる「極限的な擦り合わせ製品」の場合は、日本企業がそれを得意とする蓋然性は決して高くない。

いずれにしても、20 世紀後半、能力構築競争の歴史を生き抜いてきた日本企業に今必要とされるのは、ひとつには、ぶれの少ない「現場発の戦略論」である。これが無かったために、バブル崩壊後の日本企業の多くは、やや過剰反応的な米国スタンダード追随論、モジュラー化万能論、中国脅威論、製造業終焉論などに振り回され、無駄な動きをしてきたきらいがある。また、せつかくものづくり現場が実力を保持してきても、それを企業としての収益性につなげることが十分にできていなかった傾向も明らかである(藤本 [2004])。

確かに、日本の企業や政策当局の弱点の一つは、戦略構想力の弱さだと指摘されることが多い(ポーター・竹内 [2000]、延岡 [2002]、三品 [2004])。しかしそれに対する処方箋は、米国流の精緻な戦略論への安易な盲従ではなかろう。繰り返すが、企業戦略は各々の企業の歴史を背負っている。「はじめに収益有りき」の米国系の目的合理的戦略論の習得もむろん大事だが、それは米国企業の歴史を前提にした戦略論であるから、これを真似ただけでは、年季の入った米国の優良企業に何年経っても追いつけない。海外の優良企業に学ぶこともむろん数多くあるが、日本のエクセレント・カンパニー(優良企業)から学ぶことも多いのである(新原 [2003])。

日本のもの造り企業の多くは、能力構築競争を通じてまず現場を鍛えるが、収益のことは後回しという「体育会系」戦法で半世紀戦ってきた。いま、「現場は負けていないが収益が伸びない」という問題を抱えている多くの日本のもの造り企業にとって必要なのは、そうした「体育会系」の歴史が持つ経路依存性を前提にした「もの造り現場発の戦略論」である。日本や日本企業は新しい企業戦略や国家戦略を必要とするが、それは、以上のような経路依存性を前提にし、その強み弱みを見極めたうえで打つ、歴史を背負った戦略でなければならないだろう(西村 [2004]、アベグレン [2004])。

その基本は、ひとつには「設計」という現場の概念にこだわることであり、そこから析出される「もの造りの組織能力」と「アーキテクチャ」という概念を分析の基本に据えることである。設計というどちらかといえば理系的な概念を経済学に持ち込み、文理融合で虚心坦懐に自社の製品、工程およびその歴史を再評価することが、その出発点であろう。そして、そうした設計活動に関わる組織能力を国際的な競争優位の議論に接合する論理が、この議論の背骨のところには是非必要である。「アーキテクチャの比較優位」に関する本稿の分析は、その方向に向けての、一つの予備的な考察である。

参考文献

アベグレン、ジェームス・C (2004) 『新・日本の経営』 日本経済新聞社

青木昌彦 (1995) 『経済システムの進化と多元性：比較制度分析序説』 東洋経済新報社

青木昌彦・安藤晴彦編著 (2002) 『モジュール化—新しい産業アーキテクチャの本質』 経済産業研究所・経済政策レビュー 東洋経済新報社

青木昌彦・奥野正寛編著 (1996) 『経済システムの比較制度分析』 東京大学出版会

浅沼万里 (1997) 『日本の企業組織：革新的適応のメカニズム』 東洋経済新報社

Baldwin, Carliss Y. and Kim B. Clark (2000), *Design Rules, Vol. 1: The Power of Modularity*, Cambridge: MIT Press (安藤晴彦訳 (2004) 『デザイン・ルール』 東洋経済新報社)

Cho, Dong-Sung and Hwy-Chang Moon (2000). *From Adam Smith to Michael Porter: Evolution of Competitiveness Theory*. Singapore: World Science Publishing.

中馬宏之 (2004) 「日本のサイエンス型産業が直面する複雑性と組織限界：半導体露光装置産業の事例から」 『一橋ビジネスレビュー』 52 巻 3 号 東洋経済新報社 64-85

Clark, K.B. and Fujimoto, T. (1991), *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*, Boston: Harvard Business School Press.

(田村明比古訳 (1993) 『製品開発力』 ダイヤモンド社)

Fine, Charles. H. (1998). *Clockspeed: Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage*. Perseus Book Group

藤本隆宏 (1997) 『生産システムの進化論』 有斐閣

藤本隆宏 (2001) 『生産マネジメント入門 (I)(II)』 日本経済新聞社

藤本隆宏 (2003) 『能力構築競争』 中央公論新社

藤本隆宏 (2004) 『日本のものづくり哲学』 日本経済新聞社

藤本隆宏・西口敏宏・伊藤秀史編 (1998) 『サプライヤー・システム』 有斐閣

藤本隆宏・大鹿隆・貴志奈央子 (2005) 「製品アーキテクチャの測定と実証分析」。東京大学大学院経済研究科、MMRC Discussion Paper No.26.

藤本隆宏・新宅純二郎編 (2005) 『中国製造業のアーキテクチャ分析』 東洋経済新報社

藤本隆宏・武石彰・青島矢一編 (2001) 『ビジネス・アーキテクチャー：製品・組織・プロセスの戦略的設計』 有斐閣

- 藤本隆宏・安本雅典編（2000）『成功する製品開発——産業間比較の視点』有斐閣
- 伊丹敬之（2003）『経営戦略の論理（第3版）』日本経済新聞社
- 小池和男（1999）『仕事の経済学・第2版』東洋経済新聞社
- 國領二郎（1995）『オープン・ネットワーク経営』日本経済新聞社
- 國領二郎（1999）『オープン・アーキテクチャ戦略』ダイヤモンド社
- Lancaster, K. (1966), “A New Approach to Consumer Theory.” *Journal of Political Economy*, 74: 132-157.
- 三品和広（2004）『戦略不全の論理』東洋経済新聞社
- 中尾政之（2003）『創造設計学』丸善
- 中尾政之・畑村洋太郎・服部和隆（1999）『設計のナレッジマネジメント』日刊工業新聞社
- 新原浩朗（2003）『日本の優秀企業研究』日本経済新聞社
- 西口敏宏（2000）『戦略的アウトソーシングの進化』東京大学出版会（原著は Nishiguchi (1994) *Strategic Industrial Sourcing*. Oxford: Oxford University Press)
- 西村清彦（2004）『日本経済・見えざる構造転換』日本経済新聞社
- 延岡健太郎（2002）「日本企業の戦略的意思決定能力と競争力」『一橋ビジネスレビュー』50 巻 1 号 東洋経済新報社 24-39
- 野中郁次郎・竹内弘高（1995）『知識創造企業』東洋経済新報社
- Pisano, G. P. (1997) *The Development Factory*. Boston: Harvard Business School Press.
- Porter, Michael E. (1990) *The Competitive Advantage of Nations*. New York: Free Press（土岐・中辻・小野寺・戸成訳（1992）『国の競争優位（上）（下）』ダイヤモンド社）
- ポーター、マイケル・E、竹内弘高（2000）『日本の競争戦略』ダイヤモンド社
- Simon, H. A. (1945, 1976), *Administrative Behavior*. New York: The Free Press.
- Suh, Nam Pho (2001), *Axiomatic Design: Advances and Applications*. New York: Oxford University Press.
- 武石彰（2003）『分業と競争：競争優位のアウトソーシング・マネジメント』有斐閣
- 竹森俊平（1995）『国際経済学』東洋経済新報社
- Ulrich, Karl T. (1995) “Product Architecture in the manufacturing Firm,” *Research*

Policy, 24, pp. 419-440.

安室憲一（2003）『中国企業の競争力』日本経済新聞社