



RIETI Discussion Paper Series 07-J-025

設計立地の比較優位に関する試論 — 枠組・実証・シミュレーション —

藤本 隆宏
経済産業研究所

大隈 慎吾
東京大学経済学研究科ものづくり経営研究センター / 富士通総合研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所
<http://www.rieti.go.jp/jp/>

設計立地の比較優位に関する試論

－ 枠組・実証・シミュレーション－

藤本隆宏*

大隈慎吾†

要旨

本稿では、産業競争力論の基盤である比較優位論と、設計論をベースにした「開かれたもの造り論」の接合を試みる。すなわち、設計立地は生産立地に先行する、というものづくり現場発の観点から、「設計立地の比較優位論」を提起する。また、設計の比較優位が発生するメカニズムを、企業の開発現場における設計プロセスの内実に求め、簡単なシミュレーション・モデルによって、設計の比較優位の発現過程の再現を試みることにする。

RIETI ディスカッション・ペーパーは、専門論文の形式でまとめられた研究成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、(独)経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

* 東京大学経済学研究科教授、ものづくり経営研究センターセンター長。本稿は(独)経済産業研究所「日本企業の設計思想および設計プロセスの研究」プロジェクト(代表:藤本隆宏ファカルティフェロー)の成果の一部である。

† 東京大学経済学研究科ものづくり経営研究センター特任研究員、富士通総合研究所研究員。

比較優位論への回帰

ある国Aに、産業Xではなく他の産業Yが栄えるのはなぜか。21世紀の日本にはどんな産業が残り、何が輸出され何が輸入されるのか。そもそも産業競争力は何で決まるか。

いまや世界の製造センターになった東アジアに位置し、周囲を新興工業国に囲まれる21世紀初頭の日本にとって、この問いかの重要性は増すばかりである。「貿易立国から投資立国へ」という反論も聞くが、前者なくして後者は成立しがたい。「工業経済からサービス経済へ」との声もあるが、後述のように、物財とサービスを峻別する発想自体が既に古い。両者の知的な相互浸透が鍵であり、強い製造業からの知識移転無くして健全なサービスの発達は得がたい。

この問いに対する、標準的な経済学の答えは、貿易論における比較優位説であった。すなわち、国ごと産業ごとの競争優位を説明するロジックとして、要素生産性の相対的水準（リカード）、あるいは生産要素に関する産業特性と地域特性の適合度（例えば、労働力の豊富な国は労働力を多く使う製品で比較優位を持つなど；ヘクシャー＝オリーン＝サムエルソン）を重視する説である（竹森 [1995]、澤田[2003]他参照）。言い換えれば、国の特性と財の特性の間の「相性」が良い場合、あるいはその結果として物的生産性が相対的に高い場合、その国のその財は輸出される。しかも、仮にA国がB国に対し、あらゆる財の物的生産性で勝っている場合でさえ、いわば圧勝財がA国から輸出され、辛勝財がB国から輸入される形で両国間の貿易が成立し、両国とも貿易の恩恵を得る。かくして、リカードが喝破した比較優位論は、現在も、経済学が示した最も重要な命題のひとつである。

ところが、近年の日本において論議されてきた産業ビジョン、つまり産業構造の将来構想を一覧すると、それらが拠って立つ論理として、比較優位論の視点が意外に希薄であったことに気づく。

確かに、貿易財は競争優位性、非貿易財は所得弾力性を基本に据えるという産業構造論の大枠は存在した²。また、かつての重化学工業路線や知識集約産業路線の背後にも、「日本はもはや資本や知識の豊富な先進国なのだから、資本集約的な工業製品や知識集約的な高付加価値財を作っていくのだ」といった大まかな比較優位の発想はあった。しかし、それはあくまでも大枠だ。製造業の内部における諸業種の相対的評価といった個別具体論になると、比較優位の視点は急に希薄になる。従来の政府等の産業ビジョンは、「将来の日本にあって欲しい産業、あるべき産業」については熱心に語る反面、「いったいそれは日本に残れる産業

² 例えば、長岡（1999）は、貿易財では比較優位の原理に従って生産性上昇率の高い産業のシェアが拡大するが、非貿易財では需要の価格弾力性が小さいため生産性上昇率の低い産業が生産資源をより多く消費する結果、産業のシェアが拡大する（ポーモルの命題）という対照的な傾向を統計的にチェックした。実際に対米相対生産性上昇率が高い機械産業が産業シェアをのぼし、一方相対生産性が下がっている繊維産業などのシェアが下がっていることを確認している。

なのか」を冷徹に問うこと、つまり個々の財に対する競争優位性を事前検討する点では、意外に詰めが甘かったように見える。

なぜ、貿易立国日本の産業構想が、かくのごとくであったのか。その一因は、まさに貿易立国論そのものにあったと筆者は推測する。周知のように開国後の日本は、生糸や茶の輸出から出発し、百余年にわたり加工貿易主義を追求した結果、1980年代前半には、食料・原料・燃料を輸入し工業製品を輸出する加工貿易（垂直貿易）体制をほぼ実現した。しかしその間に、「工業製品とあらば何でも生産し何でも輸出しよう」との、いわば総花的な加工貿易論、つまりフルセット工業化の思想が、日本の産業人や政策担当者の中に浸透した（関[1993]）。その結果、「工業製品のうちどれを輸出しどれを輸入することになるのか」という、水平貿易や産業内貿易を前提にした精密な比較優位論は、あまり追究されてこなかったようだ。実際に80年代まで、日本の現場は、工業製品全般においてアジアで突出した輸出競争力を持っていたわけだから、そうであったとしても無理はない。

しかしながら80年代後半以降、日本経済は、円高、バブル経済崩壊後の長期不況、アジア工業経済の台頭、海外直接投資の増大、デジタル情報技術によるアメリカ経済の復活など、新たな難題に直面した。その結果、日本の貿易構造は、「食料・原料・燃料を引き続き輸入し、なおかつ工業製品も大量に輸入しつつ、貿易黒字を稼ぐだけの工業製品を輸出する」という、いわば垂直貿易・水平貿易の混合形態へと移行したといえる。さらに、同一産業分類内で輸入と輸出が同時に起こる産業内貿易も拡大傾向した。例えば、同じ自動車用鋼板でも、ドアの外板は日本から韓国に輸出され、内板は韓国から日本に輸入される、といった、極めて微細な分類水準での産業内貿易も報告されている（Fujimoto, Ge and Oh [2006]）。

かくして21世紀初頭の日本は、「この国が比較優位を持つ財は結局どれなのか」という貿易論の古典的な問いかけに、あらためて正面から向き合わねばならなくなった。ところが、貿易の実態がそう変わったにもかかわらず、日本の産業構想は依然として、百年来の総花的な加工貿易立国論を引きずっていたといわざるを得ない。

その結果、近年における日本発の産業構想は、事前楽観・事後悲観というパターンを繰り返すこととなった。その典型は、いわゆる「電子立国論」であろう。コンピュータや通信分野における情報技術の爆発的発展を目にした日本の産業人や政策担当者は、まさに「あるべき姿」「ありたい姿」として、デジタル情報産業全般で世界をリードする壮大な電子立国ビジョンを持つに至った。しかし、グローバル競争の現実は厳しく、日本の電子産業は多くの領域で、欧米やアジア新興工業国に対する競争優位の構築に失敗したのである（中馬・橋本[2007]）。まさに事前楽観・事後悲観である。20世紀末の日本の産業人は、今度は過剰ともいえるペースで日本から中国などへの生産拠点の移転へと向かった。そこに欠けていたのは

まさに、「ありうる姿」の分析、すなわち「日本が本当に勝てるのはどの分野か」を見極める冷徹な競争優位分析ではなかったか。

ゆえに、21世紀日本の産業論は、改めて比較優位論の原点に回帰すべきだと筆者は考える。ところが、回帰すべき肝心の比較優位論の側も問題を抱えていた。水平貿易や産業内貿易といった現実の貿易現象、すなわち生産関数が似通った製品群の双方向貿易をうまく説明できていないのだ。つまり、現実の貿易現象と、伝統的貿易論の説明力の間には、乖離があった。一方、この間隙を埋めるべく登場した新しい貿易理論（後述）も、産業内貿易という現象自体はうまく説明できるが、具体的にどこから何が輸出され輸入されるかという問いに対しては解答を与えない。結局、比較優位の視点を再注入しないと、このパズルは解けぬと筆者は考えた。

そこで本稿では、貿易の現状に対する比較優位論の説明力を高めるための、現場発の一つの試みとして、「設計立地の比較優位」という概念を提案する。それは、設計論をベースにする「開かれたもの造り論」と、比較優位概念の古典的な枠組を融合させることにより、既存の貿易論・産業論を補完せんとする試みである。むろん筆者は貿易論の専門家ではないが、あくまでも古典経済学の基本命題に戻った議論なので、素人談義も可能と考えた次第である。

「開かれたもの造り」の諸概念

そこでまず、「設計立地の比較優位論」の前提となる「開かれたもの造り論」の諸概念を以下にて素描しよう（詳細は藤本[2003] [2004]、藤本・ものづくり経営研究センター[2007]など参照）。

開かれたもの造り：本稿が定義する「もの造り」とは、単に「工場で作ること」ではなく、「設計情報をもつ（＝有形・無形の媒体）に造りこむこと」である。したがってそれは、顧客にとって価値のある設計情報を創造し（開発）、媒体を確保し（購買）、媒体に転写し（生産）、顧客に発信する（販売）プロセスの総体を指す。言い換えれば、人工物（設計された何か）で顧客を満足させること、そして顧客へ向かう「設計情報の流れ」を作ることが、「ものづくり」の本質である。それは、工場を超え開発・購買・販売へと広がり、また製造業も超えてサービス業を包摂する「開かれた」概念である（藤本[2007]）。

設計：開かれたもの造り観の出発点となる鍵概念は「設計」である。それは、人工物に要求される機能に対して、それを達成する構造（部品や生産設備）を結びつける活動、およびその結果としての情報資産（伊丹[2003]）を指す。後述のように、複雑な製品の場合、設計プロセスは、複数の機能パラメータを複数の構造パラメータで実現するために、いわば連立方程式を解く行為にたとえられる（藤本 [2005a]、大隈・藤本 [2006]）。

もの造り現場：顧客へ向かう設計上の流れが現存する場、あるいはその場に常駐する集団が「もの造り現場」である。したがって、開発の現場（研究所）、生産の現場（工場）、購買の現場（購買部門）、販売の現場（販売店）などをすべて含む。それらは設計情報という見えない「流れ」で繋がっている。

もの造り組織能力：一般に「組織能力」（organizational capability）とは、後述の「競争力」の継続的な優位性に貢献する「組織ルーチン」の体系を指す（Nelson and Winter [1982]、Grant [2005]、他）。組織能力は、人が真似しにくく、時間をかけて蓄積するしかなく、組織ルーチンが創発的に新陳代謝することにより進化する（藤本 [1997]、Fujimoto[1999]）。

したがって、「もの造り組織能力」とは、顧客へ向かう設計情報の良い流れ（よどみなく、速く、効率的で、正確な流れ）を、競合他社よりも上手に作る組織ルーチンの体系を指す。

「良い流れ」の作り方にはいくつかの流儀があるが、日本の企業がより豊富に蓄積していると見られるのは、多能工（複数の種類の作業をこなす作業員）のチームワーク（複数の作業員が力を統合し助け合いながら目的を追求すること）によって良い流れを作る組織能力である。これを「統合型の組織能力」と呼ぶことにする。

産業：特に断りのない限り、それは「一国の特定財の産業」を指す。この意味での「産業」は、同一国に存在し、同種の設計情報を創造・転写・発信する「もの造り現場」の集積である。ここで重要なのは、産業は企業の集合体ではなく、現場の集合体だ、ということである。「企業」は、国境や産業に関わらず、同一資本の支配下にある現場の集合体（ペンローズ的に言えば生産資源の集合体）であるが、一方「産業」は、同一の地理的空間において存続している同種のもの造り現場の集積であり、それ自体は意思決定主体ではない。現代企業は産業も国境も超えるので、企業活動を集計しても産業にはならない。

A. マーシャルも説いたように、産業とは進化の産物である。それは、①企業経営者によるその現場の立地・存続の意思決定（＝内部淘汰）と、②その現場が供給する財に対する市場の選択（＝外部淘汰）という2つのハードルを乗り越えて生き残ったしぶといもの造り現場の集まりであり、それ自体、進化プロセスの結果である（Fujimoto [1999]）。

競争力：一般に競争力とは、自由選択の場で、望ましい何かに「選ばれる力」あるいはその成果を指す。これにはいくつかの層がある。①ある企業が資本市場で選ばれる力を「収益力」と呼ぶ（利益率、株価、企業の現在価値など）。②ある財が製品市場で選ばれる力を「表の競争力」と呼ぶ（価格、納期、商品力、シェアなど）。③ある現場が企業経営者によって選ばれる力を「裏の競争力」と呼ぶ（生産性、リードタイム、不良率など）。このうち、もの造りの組織能力に直結するのは、現場の実力である「裏の競争力」である（藤本 [2003] [2004]）。

能力構築競争：もの造り現場の間で、組織能力を鍛え合い、「良い流れ」を競い、生産性やリードタイムなど裏の競争力で相手を凌駕しようと努力することを「能力構築競争」という（藤本 [2003]）。それは、例えば価格競争のように製品間で表の競争力を競うのとは性質が異なる動態的な現場間競争である。単純化していうなら、企業の組織能力は、能力構築競争により鍛えられ、市場により選別されることにより進化する。

製品アーキテクチャ：設計の2大要素である機能設計の要素と構造設計の要素を、どう切り分け、どう束ね、どうつなぐかに関する基本構想、つまり設計思想のことである（Ulrich [1995], Baldwin and Clark [2000]、藤本・武石・青島 [2001]、青木・安藤 [2002]、藤本・新宅 [2005]、他）。基本的な純粋型としては、機能要素と構造要素が1対1にシンプルに対応した「モジュラー型（組み合わせ型）」と、機能要素と構造要素が多対多で複雑に対応した「インテグラル型（擦り合わせ型）」とに2分されるが、実際の製品のアーキテクチャは階層や部位によりこれらが混在する複合的なものであるのが普通である。ちなみに、工程アーキテクチャとは同様に、機能設計要素群と工程設計要素群の切断と接合に関する基本構想のことを言う。

産業競争力：ある国のある産業の競争力とは、その国で存続している当該産業のもの造り現場が発揮する「裏の競争力」（例えば物的生産性）の平均的な水準、そしてそれらの現場が生み出す製品の「表の競争力」（例えば価格）の平均的な水準のことである。一般に、産業平均の国際的な競争力が高ければ、これらの現場はこの国で存続し、現場の数、産出量、輸出量などは増加する傾向が見られよう。

そこで問題は、A国のX産業の競争力に影響を与える要因は何か、という、冒頭示した基本的な問いである。これに対して本稿では、現場発の「開かれたものづくり論」という立場から、「設計立地の比較優位」に着目するのである。

設計立地の比較優位説

もの造りが、顧客へ向かう「設計情報の流れ」を作ることであるなら、その起点は製品設計だといえる。設計情報の創出過程である製品設計は「流れ」の上流にあり、情報の転写過程である生産や、顧客への発信過程である販売は、その下流に位置する。

それでは、合理的な企業は、どのようにして現場の立地を選択するだろうか。まず販売現場は、当然、設計情報の受信者である市場の近傍に立地するのが基本だ。

これに対し生産現場の立地は、(i)優良な工程媒体（労働者や素材）の偏在あるいは地理的集積に引っ張られて生産要素立地となる、(ii)製品媒体の輸送費ゆえに市場立地となる；(iii)設計情報の上流に引っ張られて設計現場と同居する；(iv)特定地域に偏在する組織能力に誘

引され、結果として存続する、などの複合的な判断により決まるだろう。

一方、設計現場は生産現場と違って、媒体やその輸送費の制約があまりないので、設計情報が立地決定の主役である。設計情報の2大源流は市場と技術であるから、発信源に固着する情報(sticky information)がある場合は、市場情報や技術情報の発源地で設計するのが有利である(von Hippel [1994]、梶山 [2001])。また、組織能力が地域間で偏在し、設計情報の方は広範に存在するか固着的でない場合は、良い設計プロセスが得られる場所に立地するのが有利である。要するに以下の3パターンが考えられる。(i) 市場立地：市場情報が固着的ならその発生源(例えば販売先の各国市場)に立地する；(ii) 技術立地：技術情報が固着的ならその発生源である研究開発集積(例えばシリコンバレー)に立地する；(iii) 組織能力立地：ある特性(例えばアーキテクチャ)を持つ設計情報の処理に適した組織能力が偏在する地に立地する。このうち、実際の傾向を踏まえて本稿が重視するのは(iii)の組織能力立地である。

いずれにしても、設計情報の流れを重視する「開かれたもの造り論」の観点から見れば、設計現場の立地選択が生産現場の立地選択に先行すると考えるのが自然であろう。したがって、貿易論や産業論において設計立地に基づく比較優位について考えることには意味がありそうだ。

ところが伝統的な貿易論は、製品はすでに設計済み、ということ暗黙の前提として、もっぱら生産立地の決定要因を議論してきた。その過程で、「財は人工物であり、あらかじめ設計されねばならない」という「開かれたもの造り」の視点は、事実上看過されてきたといわざるを得ない。

これに対し、バーノンらによるプロダクト・ライフサイクル・モデルの貿易論(Vernon [1966])は、生産はまずもってその製品が開発された地で行われる、という重要な命題を示した。しかし、ではその設計はどこで行われるか、という具体的な問いに対しては、米国が製品開発力で他を圧していた20世紀中盤の時代背景もあり、「それは当然米国である」という暗黙の了解に留まったようである。

その後、クルグマンらが提唱した「新しい貿易理論」は、製品差異化(製品設計による競争)と規模の経済(量産による平均費用逡減)という、現代の経済活動において半ば常態化した寡占的現象を経済理論に取り込むことによって、複数の国が同種製品を互いに輸出しあう産業内貿易をうまく説明した(解説としてはクルグマン=オブズフェルド [1996]、高増・野口 [1997]、他)。ここでは、製品設計が生産立地に与える影響が明示的に説明されており、その意味で、「設計情報の繰り返し転写」という発想に立脚する「開かれたもの造り論」とは親和的である。その結論を一言で言うなら、ある新製品の生産が最初に始まった場所が、

規模の経済により累積的に強化され、その製品の輸出拠点として確立する、ということである。したがって、同種だが設計の異なる製品を2国間で輸出しあう産業内貿易や水平貿易が成立するのである。

それではなぜ、ある国である特定の製品の生産が始まるのか。これに対する新しい貿易論の答えは、「それは偶然だ」とそっけない。例えば、クルグマン＝オブズフェルド [1996]は以下のように述べる：「産業内貿易のパターンについては予測することはできない。・・歴史的な事情や偶然の出来事がそれを決定する・・。」(p 173～174)。

しかしながら、設計情報の流れを重視する「開かれたもの造り論」の観点からすれば、企業はその製品の設計をした場所で最初の生産を始める、と考えるのが極めて自然である。つまり、仮に新しい貿易論が予想するように、最初の生産拠点が自己増殖的に競争優位を確立するのであるなら、その生産立地をそもそも決める重要な要因として、設計立地の競争優位を論じることが重要になる。このように、産業内貿易や水平貿易を論ずる際には、まずもって設計の立地優位を分析すべきだと筆者は考える。

それでは、設計の比較優位は何によって影響を受けるのか。筆者は、前述した組織能力立地説に基づき、ものづくり組織能力と製品・工程アーキテクチャの間の「相性」(フィット)が設計の比較優位に影響すると考える。まず、何らかの歴史的な経緯によって、ある国の企業あるいは現場に、ある特定のタイプの組織能力が偏在しているとしよう。すると、設計過程においてその特定の組織能力をより多く活用するタイプの製品や工程が、その組織能力が偏在する国で設計されることが有利となる。例えば、設計要素間の調整を多く要する「インテグラル型アーキテクチャ」の製品・工程は、設計者間の相互調整を得意とする「統合型もの造りの組織能力」と相性が良いとの予想が成り立つのである。

この予想は、標準的なヘクシャー・オリーン・サミュエルソン(HOS)型の比較優位論と、基本的に同じロジックに立脚している。すなわち、ある生産要素(労働や資本など)を多く使う製品は、その生産要素が豊富な国と相性が良く、結果としてその国がその製品で比較優位を持つ、というHOSの命題と、説明の手順は同型である。しかしここでは、設計と組織能力という、既成の貿易論が正面から扱ってこなかった要因、すなわち、アーキテクチャ(設計の思想)ともの造り組織能力(設計の流れを統御する能力)の間の「相性」に着目したわけである。例えば、調整努力を多く要するインテグラル型アーキテクチャの製品は、調整能力が豊富な国と相性が良い、ということである。

以上をまとめると、ある歴史的・地理的その他の動的な要因によって、国や地域ごとに特定のタイプの組織能力が偏在する傾向があるといえよう。その場合、こうした「国に偏在する組織能力」と、各製品のアーキテクチャとの間の「相性」が、国ごと製品ごとの産業競

争力にすくなからぬ影響を与える。これが、設計の立地に関する「アーキテクチャの比較優位論」が立てる基本的な予想である。

擦り合わせアーキテクチャ仮説の諸相

こうした「設計の比較優位論」を戦後日本の貿易財のケースに当てはめたのが、筆者がかねて提起してきた「日本は擦り合わせ型アーキテクチャの財で強く、それを輸出する傾向がある」という仮説である（藤本 [2003] [2004] [2005a]）。以下「擦り合わせ仮説」と略称する）。すなわち、主として戦後日本の歴史的経緯により、日本の貿易財生産企業（主に製造業）には「統合型ものづくり」の組織能力が偏在する傾向があり、したがってそれと相性の良い「インテグラル型」（擦り合わせ型）の製品を輸出する傾向がある、という仮説である。

単純化を恐れずに言うならば、その歴史的経緯とは凡そ以下のようなものである。第二次大戦後、一旦は戦勝国の日本弱体化政策により財閥解体などを経験した日本は、その後の冷戦体制への移行の結果（地政学的に重要な地理的位置も影響し）、いわば敗戦国としては想定外の早いタイミングで高度成長軌道に乗った。その結果、多くの企業（とりわけ大企業）が、人、資材、生産設備、資金など、あらゆる生産資源が不足する中で市場の急拡大に直面した。そこでは当然、希少な労働力や下請け生産能力を長期的に確保することが経済的に合理的である。いったん手放せば再入手に苦勞するからである。

かくして、戦後の日本企業、とりわけ急成長を経験した大企業に、長期雇用・長期取引が定着した。そしてこうした長期関係は、従業員間あるいは企業間の情報共有や濃密なコミュニケーションなどを介して、現場内・現場間の相互調整力（チームワーク）を培う。一方、労働力が不足する中では、細かい企業内分業を行う余裕は無く、一人にいろいろな作業を任せる「多能工」が析出されやすい。逆に、企業内で仕事を完結させることは難しく、企業間分業は発達する。とりわけ国際競争にさらされやすい貿易財の場合、現場の能力構築競争を通じて、多能工のチームワークを基本とする「統合型ものづくり」の組織能力が構築される傾向があった。一方、保護・規制・談合などにより国際的な能力構築が貫徹しない「競争不全部門」においては、長期雇用・長期取引は単にぬるま湯的な産業慣行を生むに留まり、競争優位にはつながらなかった。

この結果、貿易財を扱う製造業を中心に、戦後日本企業には統合型ものづくりの組織能力が偏在するに至った。そして前述のように、そうした統合型の組織能力と相性が良かったのが、製品や工程の設計調整に多くの努力を要する「擦り合わせ（インテグラル）型」のアーキテクチャの製品であった。これが、設計立地の比較優位論が予想する「擦り合わせ仮説」である。

以上の分析枠組からも明らかなように、筆者の仮説は、「日本企業はすべからく擦り合わせアーキテクチャが得意である」と主張するような短絡的なものではない。いくつかの前提条件を伴うものである。

第1に、「生産資源の不足下での急成長」という高度成長期の環境制約を共有した産業群・現場群を対象を限った仮説である。したがって、戦前に発展した繊維産業や、高度成長期の後に勃興した半導体産業などには必ずしも当てはまらない。実際、半導体の場合は、むしろ欧米企業がリードタイム重視、日本メーカーが設備稼働率重視と、自動車産業（欧米が稼働率重視、日本がリードタイム重視）とは正反対の競争行動が見られたとの指摘もある（中馬・橋本 [2007]、Leachman and Hodges [1996]）。

第2に、能力構築競争によって現場を鍛えてきた貿易財系（主に製造業系）の諸産業には当てはまるが、近年まで規制・保護・談合的な状況の続いたその他の産業（金融、建設、官業、運輸、通信、等々）には必ずしも当てはまらない。「擦り合わせ型の比較優位」はあくまでも、統合型の組織能力を鍛えてきた現場に限って成り立つ仮説である。

第3に、この仮説は、設計要素の最適化にこだわる擦り合わせ型アーキテクチャが市場で受け入れられている産業に限り成り立つ。一般に、消費者が極限性能や精緻な機能バランスにこだわるような製品の場合に、擦り合わせ型製品が価格プレミアムを享受することができる。一般にインテグラル型製品はモジュラー型製品よりコスト高になるので、こだわりのある顧客に支えられ、そうした価格プレミアムが成立する市場でのみ、擦り合わせ製品の競争優位が成り立つ（青島 武石[2001]）。アーキテクチャを選択するのは、究極的には市場であり顧客である。

第4に、比較優位という概念からも明らかなように、ある製品のアーキテクチャがインテグラル型かモジュラー型かという判定は、あくまでもスペクトル上の相対的な位置付けによる。仮に科学技術の進歩によってすべての財がモジュラー化へ向かったとしても、それはスペクトル全体のモジュラー方向への移動を意味するのであり、スペクトル内には依然として、相対的にインテグラル寄りの製品群が存在する。統合型組織能力を構築した現場は、そうした製品群において設計の比較優位を発揮すると、この仮説は予想するのである。

第5に、「日本の現場は擦り合わせ型製品と相性が良い」とは、あくまでも、そうした製品が事後的に市場により選択されやすいという意味でそうなのであり、モジュラー化を目指す日本の技術者の事前の努力を否定するものではない。技術者たるもの、市場と技術が許す限り、機能と構造の関係を簡素化し、製品設計をモジュラー化する事前の努力をするのが、当然の仕事である。それは日本の技術者も例外ではない。しかし事後的には、顧客が極限性能にこだわるなどの理由で、モジュラー化が難しい製品が出てくる。日本企業が強いのはま

さにそうした、「事前にはモジュラー化努力をしたが事後には擦り合せに留まる製品」である。「事前」と「事後」を混同してはならない。

以上のような但し書きをつけた上で、「戦後日本で、生産資源不足下の急成長という共通体験を持った貿易財産業では、相対的に擦り合わせ寄りの製品において、事後的に製品設計・工程設計の比較優位が顕在化しやすかった」という仮説を筆者は提示しているのである。

データ収集と実証分析

この仮説の検証は容易ではない。アーキテクチャの測定が一筋縄ではいかないからである。アーキテクチャは現場発の概念であり、設計情報が異なる製品はすべて異なる財としてカウントする。既存の産業分類は参考にせず、現物の設計の実態のみを頼りにアーキテクチャのインテグラル度、モジュラー度を測定する。したがって、技術者の設計知識に依存するところが大きい。本格的に測定しようとするれば測定工数は大きい。製品ごとに機能・部品・工程の相互関係を洗い出す必要があるからだ。試行錯誤により、事例分析や統計分析を積み重ねていくしかない。

予備的分析として、大鹿・藤本[2006]では、アーキテクチャの測定に関して簡便法を採用した上で、経済産業省と共同で、製品別のアンケート調査を行った。すなわち、アーキテクチャの測定指標として、部品設計が製品特殊的吗、接続部分が社内専用規格か、設計パラメータの相互調整を要するか等々、12の特性について各製品の「インテグラル度」に対する主観的な評価を企業の製品担当者に聞き、5段階評価の回答を得た。次に各スコアの整合性を主成分分析によりチェックした上で、それらの合成変数としてアーキテクチャのモジュラー度（その逆はインテグラル度）を各製品ごとに推定した。組立製品に関するスペクトルは図のようであった。つまり、既存の産業分類はとりあえず忘れて、現場発のアーキテクチャ指標のみで産業を分類しなおしたわけである。

次に、国際競争力の指標として同じアンケート調査で輸出比率を聞き、これを前述のアーキテクチャ変数と、従来の貿易分析で多用される労働集約度（労働分配率）で説明する回帰分析を試みた。調査は組立製品とプロセス製品の両方で行ったが、前者に関する結果は図に示すとおりである。まず、以上のように合成したアーキテクチャ変数で輸出比率を単回帰した結果は以下の通りである。

(1) 組立製品 (Y: 輸出比率、X: インテグラル・アーキテクチャ度)

$$Y = 0.0739 * X + 0.336 \quad (N=133, \text{決定係数} : 0.05)$$

(2.89) (13.1)

(2) プロセス製品 (Y: 輸出比率、X: インテグラル・アーキテクチャ度)

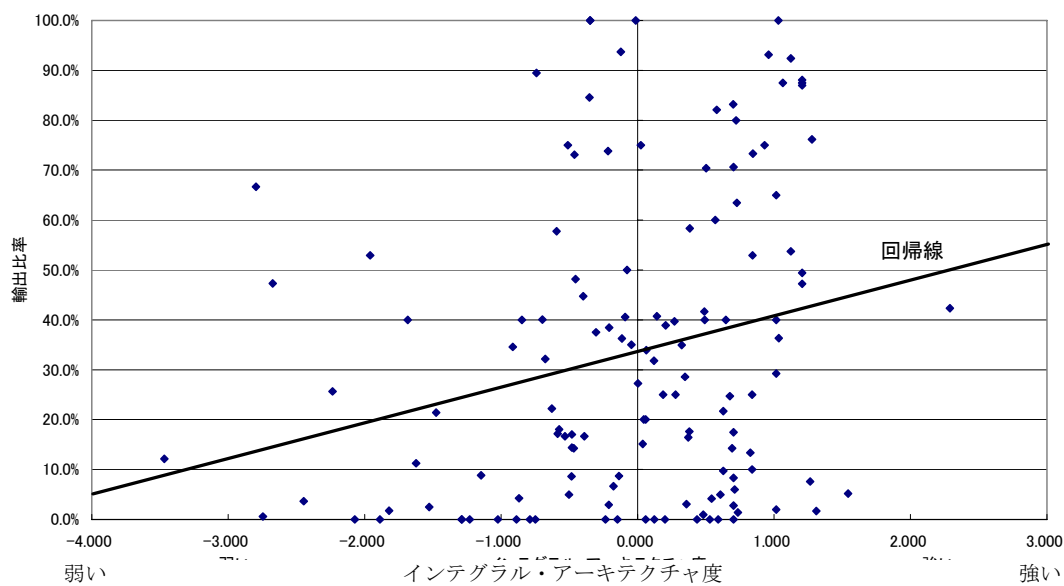
$$Y = 0.0871 * X + 0.186 \quad (N=67, \text{決定係数}: 0.13)$$

(3.33) (7.05)

((注) 回帰係数の下段 () 内は t-値、N はサンプル数、以下の回帰式は同様)

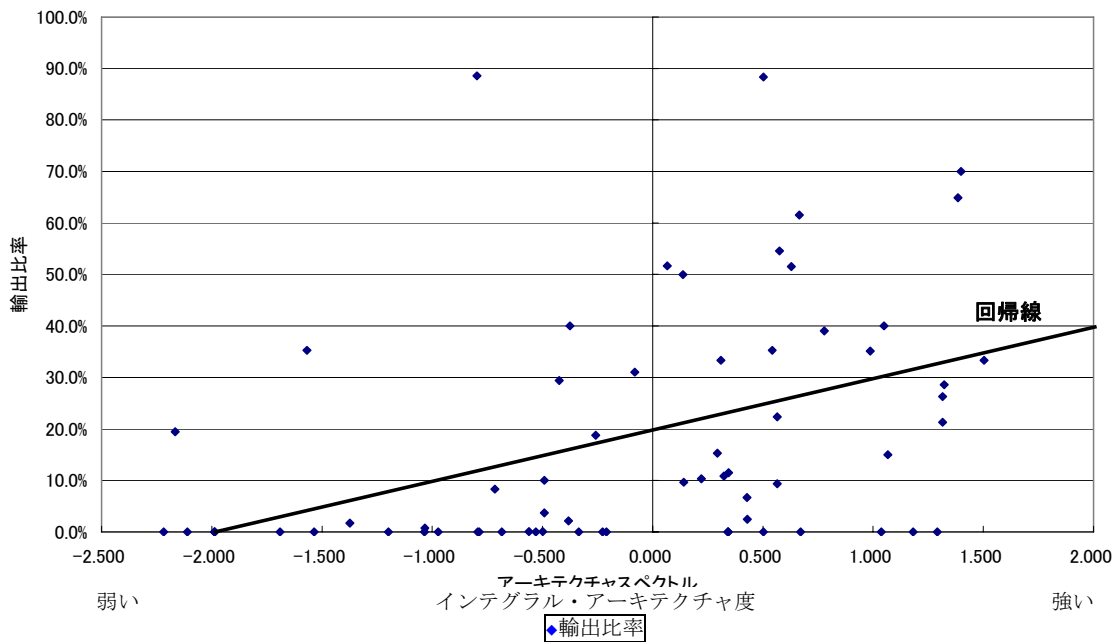
アーキテクチャ・スペクトルと輸出比率の散布図 (組立製品: 133 サンプル)

アーキテクチャ・スペクトルと輸出比率の散布図(組立製品:133サンプル)



出所: 大鹿・藤本 (2006)

図 アーキテクチャ・スペクトルと輸出比率の散布図（プロセス製品：67 サンプル）



出所：大鹿・藤本（2006）

決定係数は決して大きくないが、アーキテクチャ変数の回帰係数は正で、組立製品でもプロセス製品でも統計的に有意（5%水準）であった。これは、仮説と整合的な結果である。

次に、労働集約度を加えた多重回帰分析を試みた。結果は以下の通りである。

(1) 組立製品 (Y：輸出比率、X：インテグラル・アーキテクチャ度、R1：労働分配率)

$$Y = 0.1569310 * X + 0.207236 + 0.819770 * R1 \quad (N=52, \text{決定係数} : 0.24)$$

(2.78) (3.4475) (2.743)

(2) プロセス製品 (Y：輸出比率、X：インテグラル・アーキテクチャ度、R2：労働分配率)

$$Y = 0.1195 * X + 0.194 + (-0.0314) * R2 \quad (N=43, \text{決定係数} : 0.31)$$

(4.42) (4.31) (-0.157)

労働集約度の回帰係数の符号は、組立製品ではプラス（統計的に有意）、プロセス製品では統計的に有意な結果は出なかった。つまり、組立製品では労働集約度が高いほど国際競争

力が強い傾向があることを示唆している。これは、先進国において資本集約製品ではなく労働集約製品が競争優位を持つという、かつて「レオンチェフ・パラドックス」と呼ばれた現象を連想させる。

日本は最大の貿易相手国中国と比べれば労働力が少ない国であることなどから考えれば、「日本は労働集約的な組立製品ほど強い」という結果は意外かも知れない。しかし、労働力には長期雇用が醸成する多能工的労働力と、短期で動く単能工的労働力があり、日本は前者、中国は後者の人的資源が豊富だ、と考えれば辻褄が合う。実際、トヨタ方式に代表されるように、日本の組立産業では多能工を養成し資本設備をスリム化する現場が競争力を持つことが様々な実証分析により知られている（藤本 [1997]他）。この点については、今後の更なる実証研究が必要であろう。詳細は前掲論文に譲るが、この調査の結果は、少なくとも「日本企業はインテグラル型製品で輸出比率が高くなる傾向がある」というわれわれの仮説と整合的であった。

この分析の一つの問題点は、アーキテクチャの測定を主観的な評価に頼っているところである。厳密に言うなら、各製品ごとに、機能要素と構造要素の間の相互依存度を測定するなど、アーキテクチャを直接測定する方法を考えねばならない。現状では、これは非常に測定工数のかかる作業であるため、アンケート調査でこれを採用することは容易でない。ケーススタディとしては、Fujimoto,Ge,Oh [2006] などの試みがある。この論文では、自動車用鋼板のうち、ドアの外板などに使う溶融亜鉛メッキ鋼板と、ドアの内板などに使う通常の冷延鋼板について、それぞれ技術者への聞き取り調査により、機能要素と工程要素の間の関連をマトリックス形式で分析し、相互作用数を勘定することによって、工程アーキテクチャのインテグラル度を直接測定した。その結果、日本が韓国に輸出している溶融亜鉛メッキ鋼板が、韓国からの輸入も始まっている冷延鋼板よりも、工程アーキテクチャのインテグラル度が顕著に高いことが分かった。この結果も、先の仮説と整合的である。

このように、日本の製品の国際競争優位が、それを設計する側の「統合型組織能力」(Clark and Fujimoto [1991], Fujimoto [1999]) と、設計される製品の「擦り合わせアーキテクチャ」の間の「相性」によって影響を受けるのではないかと、という「アーキテクチャの比較優位仮説」は、一般的な実態観察に基づく仮説構築(藤本・武石・青島 [2001], 藤本 [2004][2005a])、予備的な統計分析(大鹿・藤本[2006])などの形で展開されつつある³。

³ 無論、この分析は説明変数を絞り込んだ予備的なものであり、測定方法のみならず、推定式そのものも試行錯誤的な改善の余地は様々にありうる。例えば、現在の推定式は技術の連結様式(アーキテクチャ)の説明力をみているが、要素技術のレベルそのものが輸出競争力に与える影響を特許データや売上高研究開発費比率などを通じて同時に分析する必要もあるだろう(2007年5月24日、経済産業研究所ディスカッションペーパー検討会、長岡貞男一橋大学教授の指摘)。

設計プロセス論による擦り合わせ仮説の補強

以上のように、開かれたもの造りの諸概念から出発し、設計立地が生産立地に先行し、両者は連動すると考えるところから、アーキテクチャの比較優位論は構築される。これを日本の貿易財に応用した「擦り合わせアーキテクチャ仮説」は、少なくとも予備的な統計分析の結果と整合的であった。

しかしながら、具体的に企業内における日々の設計のプロセスの中で、統合型のものづくり組織能力が、擦り合わせ型製品の比較優位とどのように結びついているのか、そのミクロ的な説明は、まだ十分に展開されてはいない。一般には、日本企業は開発チームの連携調整や開発リーダーのリーダーシップが強力であることが知られているが (Clark and Fujimoto [1991]、延岡 [1996])、それが具体的に、どのような設計プロセスの特徴をもたらし、どのようにして製品開発の競争力として顕現しているのか、その経路は必ずしも明確ではなかった。

これに対して、藤本 (2005) は、工学系の設計学、とりわけ公理系設計論 (Suh [1990][2001]、中尾 [2003]、中尾・畑村・服部 [1999]) をヒントに、企業の設計活動を、「機能設計パラメータ群 $=f$ (構造設計パラメータ群)」という連立方程式を解く問題にたとえて定式化し、これにより、統合型の開発組織がインテグラル型アーキテクチャにおいて競争優位を得る経路を、シンプルな例で素描した。この例では、まず、何らかの形で (たとえば不正確な連立方程式を解くことによって) 構造設計パラメータ群の初期値を設定し、次に試行錯誤によって目標とする機能パラメータへ漸近させる、という「2段階設計プロセス」に近い事例が現実にも多いと考え、これによって日本企業の設計開発活動に近似しようと考えた。

ここで公理系設計とは、工学系における設計学の一領域であり、設計される対象の固有技術の違いを超えて、あらゆる人工物に共通して見られる一般的な設計プロセスを抽象的に定式化する試みである。提唱者の一人であるスー (Suh [1990][2001]) は、製品の使用者 (消費者) が要求する諸機能を表すベクトル **FR** (functional requirement) と、製品の物理的な構成要素群 (部品, 材料等) の設計パラメータを示すベクトル **DP** (design parameter) の関係を次式のように定式化する。つまり、前者は機能要素群、後者は構造要素群であり、**A** は構造パラメータを機能パラメータに変換する定数群からなる行列である。公理系設計では単純化のため、FR ベクトルも DP ベクトルも要素数は m であり、したがって行列 **A** は $m \times m$ の行列であるとする。したがって、設計プロセスは全体として、 m 本の 1 次式から m 個の設計パラメータ ($DP_1 \sim DP_m$) の値を求める連立一次方程式の体系で示される。

因果知識 構造パラメータ 要求機能

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{DP} = \mathbf{FR}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ a_{m1} & & & a_{mm} \end{bmatrix} \quad \mathbf{DP} = \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ \vdots \\ DP_m \end{bmatrix} \quad \mathbf{FR} = \begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ \vdots \\ FR_m \end{bmatrix}$$

つまり、公理系設計とは、人工物の設計、すなわちある機能パラメータ群を達成する構造パラメータ群を探索する行為を、連立方程式を解くプロセスで近似する試みだといえる。換言すれば、上の式において市場のニーズとして機能要件群 \mathbf{FR}^* が与えられたとき、所与の因果知識 \mathbf{A} の下で、連立方程式を満たす構造パラメータ群 \mathbf{DP}^* を求めるのが「設計プロセス」の本質であると考えられる。

$$\mathbf{DP}^* = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{FR}^*$$

したがって、仮に因果知識(行列 \mathbf{A})が完全な情報であるなら、設計とは単に、要求機能ベクトル (\mathbf{FR}) に対して逆行列をかけて最適の構造パラメータのベクトル \mathbf{DP} を得る、というプロセスで近似できる。そこには試作も実験も必要ない。しかし実際には、後述のように因果知識 \mathbf{A} は完全でないため、試作や実験による試行錯誤が必要になるわけである。

いずれにせよ、この定式化においては、インテグラル（擦り合わせ）アーキテクチャとモジュラー（組み合わせ）アーキテクチャの区別は、行列 \mathbf{A} の特性の違いとみなせる。すなわち、製品機能要素 FR_i と製品構造要素 DP_i （部品、材料等）が1対1で対応するのが純粋な「モジュラー型」であるから、それは対角線の要素以外がゼロである対角行列となる。逆に、全ての製品機能要素 FR_i に全ての製品構造要素 DP_i が多対多で対応するのが純粋な「インテグラル型」であり、その場合は全ての要素が非ゼロである行列となる（図）。

モジュラー型

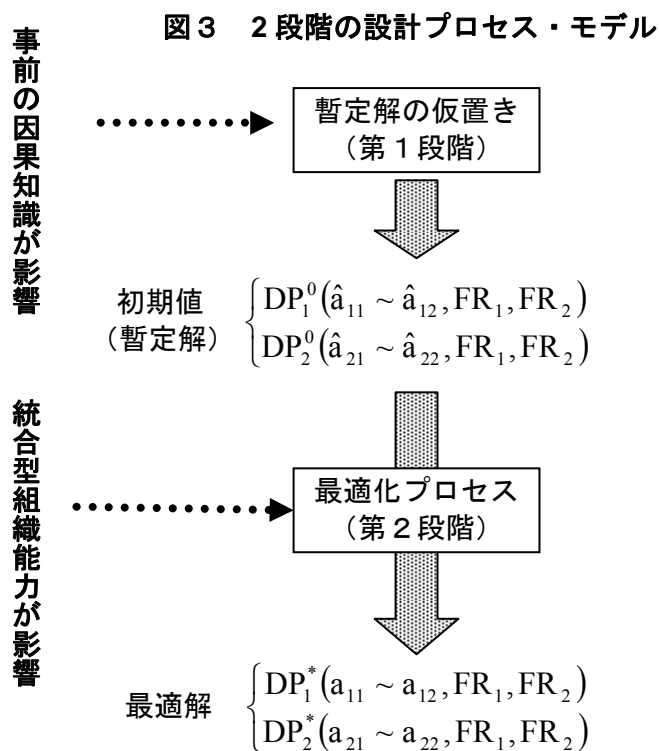
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & a_{22} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & & & a_{mm} \end{bmatrix}$$

インテグラル型

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ a_{m1} & & & a_{mm} \end{bmatrix}$$

以上のような設計論をベースに、藤本（2005）は、実際の設計問題を解く際に用いられるアプローチ手法を「2段階の設計プロセス・モデル」として近似的に描写している。すなわち、設計者は図に示すように、①出発点としての暫定解（初期値）の導出、②暫定解から最適解への漸近、という2段階を経て、設計問題を解くと想定する。

機能要素と構造要素がともに2つ（2式2変数）の場合について、大隈・藤本 [2006]は図3のように示した。製品構造が製品機能を生み出す因果関係に関して設計者が持つ知識 \mathbf{A} は現実には不完全であるため、設計者はまず、現状で入手可能な不完全な因果知識 $\hat{\mathbf{A}}$ （例えば公知の科学知識や既存製品の挙動に関する因果知識）を総動員して、「不完全な連立方程式」を解き、とりあえずの暫定解を得る（第1段階）。次に、その暫定解が目指す最適解に十分に近いと仮定した上で、実物試作の評価やシミュレーションなどの試行錯誤によって、目指す最適解へと接近する（第2段階）。



ここで $\hat{a}_{11} \sim \hat{a}_{22}$ は、不完全な因果知識 $\hat{\mathbf{A}}$ の要素である。これに対し、真の因果知識を表す \mathbf{A} の要素 $a_{11} \sim a_{22}$ の値を、設計者は直接観察することができない。以上、2段階設計プロセス・モデルを要約すると次の通りである。

第1段階：初期値、すなわち暫定設計解 $\mathbf{DP}^0 = [DP_1^0, DP_2^0]$ の導出には、多くの場合、過

去における類似製品の設計経験や、共有知識である工学・科学の知見によって類推された不完全な因果知識 $\hat{\mathbf{A}}$ が用いられるが、そうした「不完全な因果知識に基づく机上の設計」によって導かれる \mathbf{DP}^0 と、あるべき最適設計解 \mathbf{DP}^* の間には誤差が生じることとなる。

しかしながら、科学知識へのアクセスがしっかりしているなどの理由で豊富な因果知識を持つ設計者は、そうでない設計者に比べて、最適設計解に比較的近い初期値を導出することが可能だと考えられる。すなわち、 $\hat{\mathbf{A}}$ と \mathbf{A} 、そして \mathbf{DP}^0 と \mathbf{DP}^* の乖離（設計空間上での距離）は、そうした科学知識を持った設計者の場合、より小さくて済むと予想される。

第2段階：次に、試行錯誤によって最適解に漸近する最適化プロセスでは、実物試作による実験やコンピュータ・シミュレーションなどを通じて物質や自然界に直接働きかけることにより、 \mathbf{DP}^* および \mathbf{FR}^* への逐次接近が図られる。そこでは真の因果関係 \mathbf{A} を直接観測する

ことは出来ないが、任意の設計案 $\hat{\mathbf{DP}}$ に因果関係 \mathbf{A} が作用した結果実現される機能群 $\hat{\mathbf{FR}}$ を実験によって観察し、その $\hat{\mathbf{FR}}$ と \mathbf{FR}^* の乖離を小さくする方向に $\hat{\mathbf{DP}}$ を変化させることにより、最適設計 \mathbf{DP}^* に漸近していくのである。

以上のような「2段階設計プロセス・モデル」による定式化は、むしろ、現実の設計プロセスのごく粗い近似に過ぎないが、少なくとも、設計という活動の本質的な部分は捉えているのではないかと筆者は考える。

さて、このモデルから、設計立地の比較優位に関して、いかなる知見が導き出されるだろうか。藤本[2005a] は、以下のような簡単な思考実験を試みた。すなわち、仮に2段階プロセスの第1段階において、日本と外国の開発現場に差が無く、第2段階の試行錯誤において長期関係がもたらすチームワークにより日本企業の方が組織的な試行錯誤のスピードが速いと仮定しよう。その場合、モジュラー製品の試行錯誤は m 本の独立式を解くわけだから所要時間は m に比例するが、インテグラル型の場合には式や変数間の相互作用により、 m の二乗に比例すると予想される。したがって、試行錯誤のスピードに関する日本の現場の優位性は、インテグラル製品、とりわけ複雑なインテグラル製品で増幅するはずである。

その結果、仮に製品設計への投入人数が日本と外国で同じであるなら、日本企業は、モジュラー製品よりインテグラル型製品の方で、相対的に高い開發生産性（少ない開発工数）という優位性を得ることになる。あとは、相対生産性を根拠とするリカードの比較優位説と全く同じロジックで、設計費用に関する日本の設計現場の比較優位がインテグラル製品にある、という「擦り合わせアーキテクチャ仮説」が導き出される（藤本 [2005a]）。

経営者・政策担当者にとっての含意

さて、仮に、統合型組織能力を持つ日本の設計現場が擦り合わせ型製品で比較優位を持つ、という仮説が、論理的にも実証的にもある程度妥当性を持つとしよう。この場合、日本の経営者、現場責任者、政策決定者は、何に留意すべきだろうか。

少なくとも以下の3点を指摘できる。第1に、現在、競争優位を持っている分野で負けなように、さらに能力構築を怠らないこと。サムエルソンが近年の論文で指摘したように (Samuelson [2004])、生産性のダイナミックな変化によって、現在比較優位を持っている製品で外国に敗れる場合は、貿易の不利益が発生し、自国経済にマイナスの影響がある。言い換えるなら、産業・企業・現場が保持する組織能力や知識が動的に変化する状況においては、「すべては市場が選択することだ」との諦観は禁物である。現在日本の現場が競争力を有している製品に関しては、とくに組織能力や知識獲得を重点的に行い、海外に逆転されないように努力をすることが、産業人および産業政策担当者の仕事であろう。

第2に、経営者は、日本企業が比較優位を持つ、あるいは潜在的に持つ現場を安易に海外に移さないことである。現代企業は国境を超える存在であるから、それぞれの国が比較優位性を持つ現場を正しく配列することは、経営者の重要な責務である。例えば2000年前後、中国脅威論が強かった時代に、マスコミ等の議論に煽られる形で、日本に残れたはずの現場を海外に過剰に移転してしまった経営者が、かなり多かったと筆者は推測する。言い換えれば、国際競争による市場淘汰というテストを受ける以前に、経営者のミスジャッジにより淘汰されてしまった日本の現場が少なくないと筆者は考えるが、いかがだろうか。

第3に、長期的には、企業や現場は、強みも弱みも含めて、あらゆる方向に向けて能力構築を行う必要がある。つまり、短期的には現在の強みに集中すべきだが、長期的には、苦手な領域でも力をつけていく必要がある。当面、日本は環太平洋で唯一の「擦り合わせ大国」に留まると筆者は予想するが、今後100年、日本が「擦り合わせ大国」であり続ける保証はない。長期的には、新たな歴史的経路により、1国に偏在する組織能力のプロフィールは変化していくかもしれないのである。

「ウサギとカメ」のシミュレーション

さて、以上の含意のうち、当面重要なのは第1、すなわち、得意技である「擦り合わせ製品」で海外の現場に負けないようにすることであろう。しかし、この点で懸念されていることがある。日本の現場が、科学知識を多く要する(科学知識集約型)擦り合わせ製品で、海外に負けるのではないかと、という危惧である。この問題に対して、筆者らは、2段階プロセス・モデルに基づくシミュレーションによって、この問題を再現することを試みた(大隈・

藤本 [2006]。詳しくはこの論文に譲るが、簡単にこのシミュレーション分析を紹介しておこう。

問題の所在は以下の通りである。すなわち、日本企業の製品設計・開発活動は、下流（開発による新製品・工程の創出）においては、統合型組織能力を活かした迅速な試行錯誤によるリードタイム短縮を特徴としているが、上流（研究による科学知識の創出）においては、オープンな科学者ネットワークによる科学知識創造を軽視する傾向がある（中馬 [2004]）。この現象把握を出発点として、日本企業の持つアーキテクチャの優位性を「2段階設計プロセス・モデル」で説明しようとした。

その課程で、上記のような組織能力を持つ日本企業は、中程度の複雑性を持ち科学知識の蓄積が十分なインテグラル・アーキテクチャ製品では国際競争力を持つが、モジュラー型アーキテクチャの製品では設計コストの比較優位がないこと、またその反面、科学知識が蓄積途上であるような科学集約的で複雑なインテグラル製品では日本が競争力を持たない可能性があることを例示した（藤本 [2005a]）。

しかしながら、こうした複雑なプロセスを実証的に検証することは容易でない。そこで、予備的な分析として、「公理系設計論」をベースにするシミュレーション分析を試みた。詳細は大隈・藤本（2006）を参照していただきたいが、簡単に言うなら、日本の製品開発に関する、以下の4つの「定型化された事実」を再現できるようなシミュレーション・モデルの構築を試みた。

- ① 日本企業は、戦後の生産資源が不足する中での急成長を通じて、長期雇用・長期取引をベースとする「統合型ものづくり」の組織能力を構築してきた。そうした企業では、チームによる製品開発が発達し、技術者間・チーム間の試行錯誤による設計最適化のスピードも速い。
- ② 日本の消費者は品質にうるさいので、企業は、より高い精度で設計パラメータの最適化を行う必要がある。
- ③ 日本企業は、科学知識が形成途上にあるような先端商品よりも、ある程度科学知識は確立している「非ハイテク製品」で国際競争力を持つ傾向がある。
- ④ 日本企業は、中程度の複雑度を持つ「インテグラル」型製品で国際競争力を持つ傾向がある。

モデルそのものは開発途上であるが、現段階では、以下のような形で、日本的な設計プロセスの特徴をシミュレーション・モデルの中に取り込んだ。

- ① 組織能力：日本企業の試行錯誤的設計能力の高さは、連立方程式演算の1動作にかかる

スピードの速さで表現する。動作の速い設計主体を「ウサギ」。遅い主体を「カメ」と呼ぶなら、自動車に代表される統合型の日本企業は「ウサギ」にたとえられる。

- ② 製品特性：前述のように、アーキテクチャがモジュラー型かインテグラル型かは、因果知識マトリックスAが対角行列か非ゼロ行列かで表し、製品の複雑度はAの行数・列数すなわちmの大きさで表現した。
- ③ 試行錯誤段階における設計プロセス：設計・評価のサイクルを逐次的に最適解に接近する「コーディネーション」（逐次接近）と、複数の代替案を設計し一度に評価して選抜する「コンペティション」（並行開発）の2パターンを設定した。
- ④ 科学知識：因果知識をあらわす $\hat{\mathbf{A}}$ の要素 \hat{a}_{ij} のばらつき（分散）の大きさを、科学知識の相対的な低さを表現した。つまり、同じ企業でも先端科学知識を要する製品では企業が保持する因果知識の量は少なく、 \hat{a}_{ij} のばらつきは大きい。また、同じ製品でも、科学知識の事前収集が下手な企業は科学知識の蓄積が少なく、 \hat{a}_{ij} のばらつきが大きい。この点では後述のように、日本企業は試行錯誤に頼りすぎる結果、科学知識の事前収集には熱心でない。つまり、典型的な日本企業は、試行錯誤は速いが事前の知識が不足するという意味で、「浅薄なウサギ」にたとえられる。
- ⑤ 市場の洗練度：試行錯誤の中で、どこまで解が最適解に近づいたら「収束」と判定するかを、市場の洗練度の指標とした。日本市場は顧客がうるさく、収束の判定条件は厳しいとみなした。
- ⑥ アーキテクチャに関する設計者の事前知識：設計者は、事前にはモジュラー化（設計簡素化）に関して最大限の努力をされると考えられる。したがって、実際に製品設計がモジュラー型アーキテクチャである場合は、モジュラー化努力をした当の設計者はそのことを事前知っているとして仮定する。しかし、実際のアーキテクチャがインテグラル型（擦り合わせ型）である場合は、試行錯誤により事後的に知られる交互作用が多いのが設計の実態と考え、設計者は正確なアーキテクチャ知識を事前に持たないと仮定した。

以上の設定で、シミュレーションを行った。詳細は大隈・藤本（2006）に譲るが、簡単に言うなら、まず、事前の因果知識が変わらず、試行錯誤の問題解決スピードだけが違う場合、つまり「周到なウサギ」対「周到なカメ」のリードタイム競争（あるいは「浅慮なウサギ」対「浅慮なカメ」の競争）の場合、擦り合わせ製品ではウサギが勝ち、モジュラー製品では引き分けになる。したがって、リカード流の比較優位のロジックを適用するなら、モジュラー（組み合わせ）製品の設計は「カメ」の国すなわち欧米、インテグラル（擦り合わせ）製

品の設計は「ウサギ」の国すなわち日本に立地するのが設計リードタイムおよび設計費用の面で優位、との結論を得る。これは、既に説明した「擦り合わせアーキテクチャ仮説」と整合的である。

擦り合わせ仮説の死角：科学的擦り合わせで日本は強いのか？

さて、このようなシミュレーション・モデルで、「浅慮なウサギ」対「周到なカメ」の競争を考えてみよう：①製品アーキテクチャはインテグラル（例えば半導体製造装置）；②第2段階の試行錯誤プロセスはコーディネーション（逐次接近）型；③設計者には「浅慮なウサギ」と「周到なカメ」がいる。すなわち、「ウサギ」はチームワークがよく、組織的な試行錯誤の作業が速いのだが、事前の科学知識のレベルは「カメ」の方が上である。これは例えば、開発の試行スピードは速いが科学知識獲得が苦手な日本の半導体製造装置メーカー（ウサギ）と、開発試行スピードでは日本企業に負けるが科学知識へのアクセスでは勝る欧州企業（カメ）がいるという、中馬（2004）が半導体露光装置に関して示した状況に近い。つまり、周到なカメが設計プロセスの第1段階（科学的知識による暫定解設定）における優位を活かして逃げ切れるか、あるいは、浅慮だが足の速いウサギが、第1段階の遅れを跳ね返して、第2段階でカメを逆転できるか、という点に、この勝負の本質がある。

詳細は大隈・藤本（2006）に譲るが、ある設定のもとでのシミュレーション結果によれば、ウサギのカメに対する相対的なスピード優位が一定値以内ならば、「カメ」（この場合は欧州企業）の「逃げ切り勝ち」となりやすい。まさに、「ウサギとカメ」の寓話どおりである。一方、ウサギのスピードが一定の閾値を超えてカメより圧倒的に速いならば、ウサギが先に最適値の近傍に到達する傾向が大である。つまり、ウサギの「逆転勝ち」となりやすい。ただし、製品の複雑性（= m ）が増加すると、再び、「カメ」が逃げ切り勝ちする傾向が大となる。つまり、非常に複雑な擦り合わせ型で、しかも科学技術集約的な製品（例えば半導体露光装置）の場合、日本企業が開発競争で劣勢になる可能性がある、という中馬（2004）の指摘とも整合的である。仮に、日本企業が得意とする擦り合わせ型製品を支える知識が複雑化し、サイエンス・イノベーション（中馬 [2007]）の領域に入り込んだ場合、擦り合わせ製品であっても日本の開発現場が負けるリスクが大きくなる。上記のシミュレーションが警告するのは、このような事態である。擦り合わせアーキテクチャがサイエンス・イノベーションと合流するとき、そうした日本製品は決して安泰ではなくなる。イノベーションのプロセスに科学知識のネットワークが確実に接続することを保証するのは、企業とともに政策担当者の仕事でもあるが、その努力は、典型的なハイテク製品であるモジュラー型のデジタル財よりはむしろ、日本が強いといわれている擦り合わせ型製品のほうに、優先的に向けられな

ればならないのかもしれない。少なくとも、「ウサギとカメ」のシミュレーションはそのことを示唆しているのである。

このシミュレーション・モデルは、いまだ開発途上で課題も多い。シミュレーションは値の設定次第で、何とでもいえる、という批判も常に念頭に置く必要がある。しかしながら、科学知識集約的で複雑な擦り合わせ製品で日本製品が欧米製品に対して設計の比較劣位に陥る危険性を、実際の設計プロセスをある程度近似したモデルで再現できるとすれば、それは一定の政策的・戦略的な含意を持つと言えないだろうか。要するに、「擦り合わせ仮説」にも落とし穴があることが示唆されたわけである。むしろ擦り合わせ型アーキテクチャの製品でこそ、日本企業は、科学知識獲得のための投資を怠ってはいけないことを、このシミュレーション分析は示唆しているのである。

設計論と産業論の融合を

本稿では、現場発の産業競争力論を考えた。設計論に立脚する「開かれたもの造り」の観点から、設計立地の比較優位論を提起し、予備的な実証研究とシミュレーション分析の結果を紹介した。

デイビッド・リカードが考案した比較優位論は、依然として経済学が生んだ最も強力な命題のひとつである。21世紀の現在も、比較優位の論理を抜きに一国の産業編成を構想することは難しい。ところが標準的な比較優位論は、産業内貿易という現代において常態化した貿易現象をうまく説明できないと言われてきた。一方、プロダクトサイクルや規模に基づくより新しい貿易論は、「設計」概念を明に暗に取り入れているが、具体的にどの製品がどの国に残りやすいかを説明する力は強くない。

そこで本稿では、「設計」という、これまで標準的な経済学が看過しがちであった工学系の概念を注入することで、産業内貿易に対する比較優位説の説明力を高めようと試みた。生産関数において区別がつかない2財であっても、製品設計や工程設計においては十分に差別化され得る。そして、設計特性（アーキテクチャ）が違う2財であれば、生産関数は類似でも産業内貿易は成立することを本稿の枠組は示した。

物財であれサービスであれ、製品は人工物であり、それは設計情報と媒体が連結したものである。工程もまた、設計情報と媒体の結合物である。あらゆる個物は形相（設計情報）と質料（媒体）の結合物であると説いたのはアリストテレスであったが（藤本 [2005b]）、アリストテレスは個物の本質は形相（設計情報）だと言った。

これに対し、出発点においてニュートン力学の流れを継いだ伝統的経済学は、人工物における質料（媒体）の側面を追究した。つまり、すでに設計情報の創造は終わったものとして、

もっぱら媒体の側に分析を集中させたのである。なかでも貿易論は、暗黙のうちに企業による生産立地の選択に焦点を絞り、とりわけ生産工程を構成する媒体（ヒト、ハードウェア、他）の構成比に注目した。それが、労働集約度・資本集約度による比較優位の説明に他ならない。

かくして、伝統的な経済学は、すぐれて「媒体」の側を分析する学であった。これは、新古典派経済学が範としたニュートン力学が、設計情報を完全に捨象し、媒体の質量のみで力学の体系を構築したことと無縁ではないだろう。

これに対し、本稿が試みたのは、大げさに言えば、アリストテレス的な意味での形相（設計情報）の復権である。これにより、日本企業が直面する産業内貿易の現実を比較優位論の枠組で説明しようと試みたのが本稿である。それはまた、製品差別化（設計情報の製品間の違い）と規模の経済（多くの媒体に設計情報を転写することの効果）を重視する新しい貿易論とも親和的である。

そして、貿易論と設計論という、一見結びつかぬものを結びつける連結ピンは、結局、市場へ向かう設計情報が流れる場、すなわちもの造りの現場だったのである。

参考文献

- 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
- 青島矢一・武石彰「アーキテクチャという考え方」 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。27-70
- 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)
- 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。
- 中馬宏之 [2007] 「サイエンス・イノベーションの時代：特集にあたって」『一橋ビジネスレビュー』 54 巻 4 号 東洋経済新報社 4-5
- 中馬宏之・橋本哲一 [2007] 「ムーアの法則がもたらす複雑性と組織限界：」『一橋ビジネスレビュー』 54 巻 4 号 東洋経済新報社 22-43。
- 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)
- Fujimoto, Takahiro [1999] *The Evolution of a Manufacturing System at Toyota*, Oxford University Press.
- 藤本隆宏 [1997] 『生産システムの進化論』 有斐閣
- 藤本隆宏 [2003] 『能力構築競争—日本の自動車産業はなぜ強いのか』 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 [2005a] 「アーキテクチャの比較優位に関する一考察」『赤門マネジメント・レビュー』 4 巻 11 号 pp.523-548
- 藤本隆宏 [2005b] 「もの造りと哲学（2）」『一橋ビジネスレビュー』 53 巻 2 号 東洋経済新報社 98-99。
- 藤本隆宏・東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター [2007] 『ものづくり経営学』 光

文社。

Fujimoto, T., Ge and Oh [2006] “Competition and Co-operation in Automotive Steel Sheet Production in East Asia” MMRC-J-73

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。

Fujita, M., P. R. Krugman and A. J. Venables (1999), *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, MIT Press (藤田昌久、P. R. クルーグマン、A. J. ベナブルズ [2000] 『空間経済学—都市、地域、国際貿易の新しい分析』小出博文訳、東洋経済新報社)

Grant, R.M. [2005] *Contemporary Strategy Analysis (5th Edition)* Blackwell, Oxford.

クルグマン, P.R., オブズフェルド, M. (石井・浦田・竹中・千田・松井訳) [1996] 『国際経済(第3版) I 国際貿易』新世社。

Leachman and Hodges [1996], “Benchmarking Semiconductor Manufacturing.” *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, 9(2) 158-169.

長岡貞男 [1999] 『内外価格差の経済分析—生産性からのアプローチ』NTT出版

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

Nelson, R.R and Winter, S.G. [1982] *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, Mass. Harvard University Press.

延岡 健太郎 [1996] 『マルチプロジェクト戦略』有斐閣

大隈慎吾・藤本隆宏 [2006] 「設計プロセスとアーキテクチャの競争優位」MMRC-J-70、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

大鹿隆・藤本隆宏 [2006] 「製品アーキテクチャと国際貿易論の実証分析」MMRC-J-72、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

Samuelson, Paul A. [2004] "Where Ricardo and Mill Rebut and Confirm Arguments of Mainstream

Economists Supporting Globalization." *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 18, Number 3, Summer: 135-146.

Suh,N.P., [1990] *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York (畑村洋太郎監訳[1992] 『設計の原理—創造的機械設計論—』朝倉書店)

Suh,N.P., [2001] *Axiomatic Design - Advances and Applications*, Oxford University Press, New York(中尾政之・飯野謙次・畑村洋太郎共訳[2004] 『公理的設計』森北出版)

澤田康幸 [2003] 『国際経済学』新世社。

関満博「フルセット型産業構造を超えて」中公新書，1993年。

梶山泰生 [2001] 「グローバル化する製品開発の分析視角：知識の粘着性とその克服」組織科学、35(2): 81-94。

高増明・野口旭 [1997] 『国際経済学』ナカニシヤ出版。

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.

Vernon, R. [1966] "International Investment and International Trade in the Product Cycle" *Quarterly Journal of Economics*. 80, 2, 190-207.

Von Hippel. E. [1994] "Sticky Information and the Locus of Problem Solving: Implication for Innovation. *Management Science*, 40 (4) 429-439

補論：シミュレーションの設定

本論では、公理系設計論の考え方にしたがって、設計プロセスを連立一次方程式の解を求めるプロセスとして近似した。そして、設計のプロセス（2段階設計プロセス）、開発手法（コーディネーション型とコンペティション型）、開発パフォーマンス（ここではリードタイム）、そしてリードタイムに影響を与える要因である、組織の問題解決能力、科学知識のレベル、製品の複雑性（設計要素数とその相互依存関係）、市場ニーズの洗練度、のそれぞれについて、藤本（2005）に従い、シミュレーションの前提となるモデルを定義している（詳しくは大隈・藤本（2006）参照）。

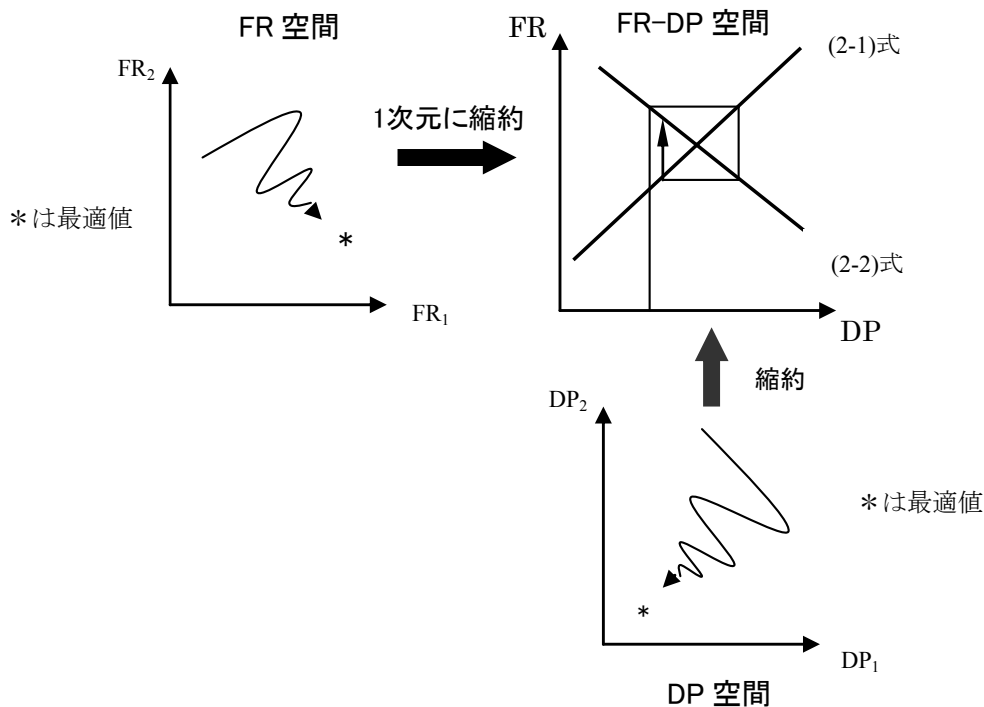
最適解への接近法（1）：コーディネーション型

「2段階設計モデル」の第2段階に当たる「試行錯誤による最適解への接近」は、大きく分けて、以下に示す「コーディネーション型（プロジェクト内の連携調整）」と「コンペティション型（複数案の並行開発と選抜）」の2つに類型化される。

まず「コーディネーション型」、つまりプロジェクト内部で設計者の連携調整によって最適解に接近する手法について、我々は以下のような定式化を提案する。

2つの構造設計パラメータ DP_1 と DP_2 についてそれぞれ専門の設計担当者、合計2名がおり、彼らが交互に自らの担当部分を修正し、それを全体構造に組み込んで試作を行った結果実現される機能 $\hat{\mathbf{FR}} = \left(\hat{\mathbf{FR}}_1, \hat{\mathbf{FR}}_2 \right)$ を観察しながら、それらを要求機能 \mathbf{FR}^* に近づけるよう協調して修正を繰り返していくケースに対応している（図）。

図 コーディネーション型の模式図



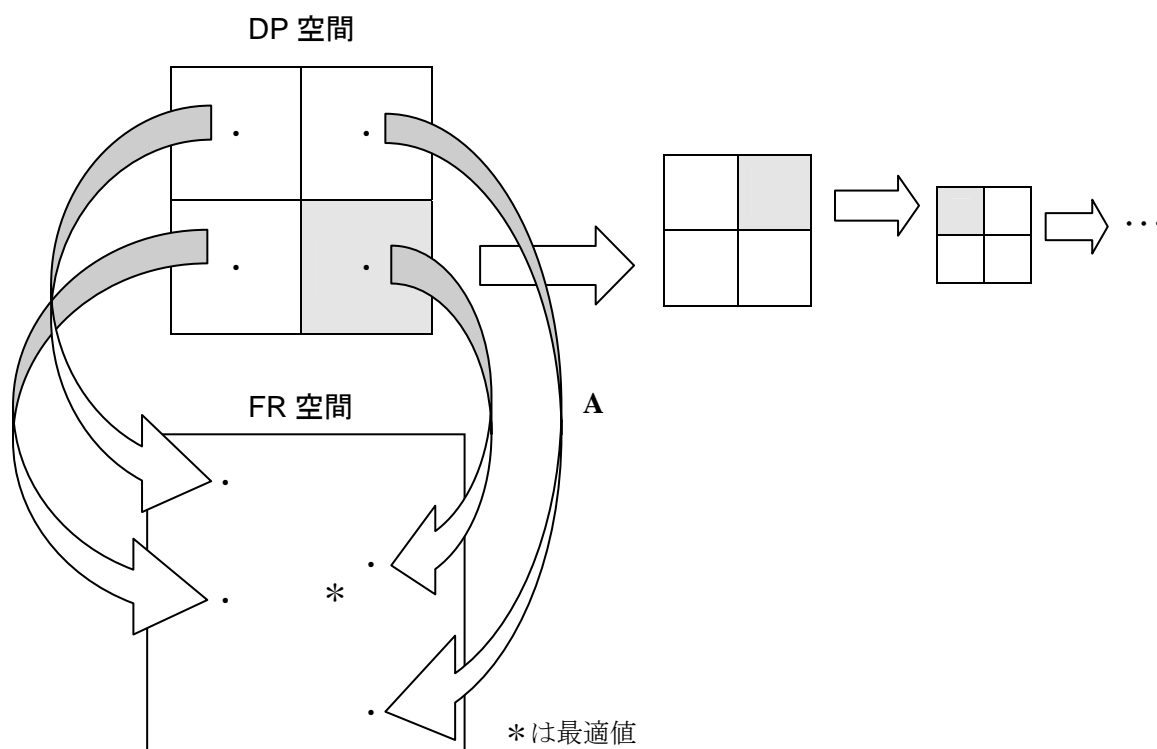
このプロセスは、ミクロ経済学において、価格と数量の調整を通じて部分均衡に至るメカニズムとして紹介される「クモの巣理論」と同じ決定過程であることがわかる。

また、この場合、組織の中には、どの設計者が、どの順に、いつ設計変更に動いてよいのか、活動のシーケンスを決める上司が存在することが想定される。そうした「シーケンサー」的管理者の下で、複数の設計者が担当する設計パラメータを相互に調整し、最適解への接近を試みるのである。我々の予備的実態調査によれば、これは、実際の設計活動でもしばしば見られるパターンであるようだ。

最適解への接近法（2）：コンペティション型

次に、もう一つの最適解への接近法としてよく観察される、「複数案の並行開発と選抜」という手法を考えてみよう。この場合、設計空間上で、複数の設計案を並行開発で競わせる。その上で、要求機能に最も近い結果を出した設計案を選択する。そして、その枠の中で、さらに設計案を細かく分けた並行開発を行い、また、機能面でベストのものを選抜する。こうした、一種のトーナメントのような設計案の多段階選抜によって、最適解に漸近しようというわけである。具体的な定式化としては、以下の「4分割法」を採用する（図3）。

図3 コンペティション（並行開発）型の模式図



(1)

現実的な設計プロセスとの対応を考えるならば、4分割された部分空間にそれぞれ担当設計者がおり、彼らが競作で異なる設計案を並行開発している、という状況が想定できる。また、組織内には、設計を試作した結果実現した機能が要求機能に近いかどうかを判定する公平な評価者=選択者がいると暗に仮定されている。例えば、マツダの初代ロードスター開発において、FF（前輪駆動）型、MD（ミッドシップエンジン）型、FR（後輪駆動）型の設計が同時並行的に進められ、事後的にFRが採用された例が、典型的な並行開発・事後選抜にあたる。⁴

事前の因果知識（科学知識など）

設計者が、設計問題を与えられた時点での因果知識（とくに科学知識）のレベルは、**A**の**不完全性**、つまり「2段階の設計モデル」における、 \hat{A} と**A**の誤差で表す。つまり、誤差が小さければ小さいほど設計者の事前の因果知識（科学知識など）のレベルは高い。

既に述べたように、一般に、先端科学知識を必要とする製品は、そうした科学知識自体が

⁴ 平井他著（2003）、66～67 ページ参照。

まだ発展途上であるから、因果知識のレベルは低い傾向があろう。そうした製品の場合、科学知識を豊富に持つ設計者とそうでない設計者の間で、初期値（暫定解）の出来に大きな差が出るのが予想できよう。

製品の複雑性の指標：要素数とアーキテクチャ

製品の複雑さを示すパラメータには、**Aの要素数とアーキテクチャ（要素間の相互依存性）**がある。第1に、構造設計要素の数（公理系設計の枠組みでは機能設計要素の数に等しい）が多くなるほど複雑度は高いと仮定するのは自然であろう。第2に、同じ設計要素数であっても、アーキテクチャがインテグラル型の場合、設計要素間の相互依存性が高いので、モジュラー型よりも複雑度が高いといえる。いずれにせよ、一般に、製品の複雑度が高くなると、設計の組織やプロセスも複雑になる。

統合型開発の組織能力

開発の組織プロセスおよび組織能力を測る指標には**最適化プロセスのタイプ**と**試行スピード**がある。そして、両者は連動する。

前述の通り、最適解に接近する開発プロセスには、コーディネーション（連携調整）型とコンペティション（並行開発）型があるが、これらが組織能力と関係するのは、各プロセスを実現するために必要な組織能力の属性が大きく異なるからである。すなわち、コーディネーション型で開発リードタイムを短縮化しようとするならば、各設計要素を担当する専門担当者が、自らの加えた設計変更に関する情報を次の担当者に迅速に伝達したり、試行結果に関する情報を全ての担当者が共有したりする必要がある等、必然的に担当者間での密なコミュニケーションが必要となる。一方、コンペティション型では、公平な裁定者がいれば、異なる設計案で競っている各担当者間に必ずしも緊密なコミュニケーションは必要でない。つまり、統合型の組織能力の有無が大きく影響するのは、コーディネーション型の方であると予想される。

一方、試行スピードは、最適化プロセスにおいて試作品を完成させたり実験を行うスピードを表す。コーディネーション型の場合、担当者間の情報共有の度合いやチームワーク力が高いほどスピードが速いと考えるのが自然であり、したがって、日本企業に多い統合型の組織能力そのものを代理する変数と考えてよからう。コンペティション型の場合は、試行スピードは独立に試行錯誤を行う各担当者の個人的能力を代理する変数と考えられる。

市場条件（製品の完成度に対する厳しさ）

製品の機能について、市場から要求される水準の厳しさを表す指標として、我々は**市場許**

容品質を選んだ。本稿におけるシミュレーションでは、最適化プロセスによって実現される **FR'** と、消費者が理想的と考える要求機能 **FR*** との間の乖離（設計空間上での距離）が、ある一定の値以下に達した時点で要求機能を満たしたものと判定される。この場合の「ある一定の値」が、我々の言う「市場許容品質」である。⁵ これを現実の市場の動きに当てはめるならば、この「市場許容品質」の値が小さければ、市場から要求される水準は厳しいということになり、逆に大きければ市場からの要求は緩いと解釈できる。

以上のように、我々は、公理系設計の枠組みを援用し、開発組織能力、開発手法、製品のアーキテクチャと複雑性、科学的因果知識のレベル、市場の評価の厳しさ、といった概念について、シミュレーション分析を前提とした定式化を行なっている。まだ開発途上であるが、こうしたシミュレーション分析が、実証分析に対して補完的な役割を果たすと筆者は期待している。

シミュレーション結果の素描

製品の構成要素数とアーキテクチャ：予想通り、製品の構成要素数（行列 **A** の要素数）が多いほど、平均開発リードタイムが長いことが示された。

また、平均リードタイムは、モジュラー型製品の場合より、インテグラル製品の方がずっと長くなり、それは構成要素数が多い場合に特に顕著であることが分かった。言い換えれば、モジュラー製品の場合、構成要素数にほぼ比例してリードタイムが長くなるのに対して、インテグラル製品の場合、要素数が増えるにしたがって、リードタイムは2次関数的に増加する傾向があるように見える。インテグラル製品の場合、要素間の相互依存関係の数は要素数の二乗に比例するので、この関係は予想と整合的といえよう。この結果、要素数が増えるとリードタイムのアーキテクチャ間での差が大きくなるのである。

因果知識（科学知識）の不完全性：因果知識を表す行列 $\hat{\mathbf{A}}$ の要素 \hat{a}_{ij} の分散で、因果知識

⁵ 工業加工では通常、設計図で指定された設計寸法に対して「寸法公差」が設定されている。例えば、厚さ 2.0mm のアクリル板を製造する場合、厳密に 2.0mm の製品を安価に大量生産するのは現実的に難しい。そこで企業は、例えば $\pm 0.2\text{mm}$ までの誤差（つまり厚さ 1.8~2.2mm の製品）であれば適格品質である、というように社内のルールを定める。この上限・下限の基準を「公差」という。我々が使用する「市場許容品質」もこれと同様の考えに基づいている。すなわち、要求機能と実現機能の間で生じる誤差の許容範囲を示すのが「市場許容品質」である。ただし、公差は企業が自らの責任で設定するものであるが、市場許容品質は、顧客が購買の際に意思表示するものである。顧客自身が生産企業である場合は、その企業が設定する公差が市場許容品質となることもあるが、顧客が一般消費者である消費財の場合は、許容範囲に個人差が生じ、ばらつきが生じる（藤本、2001）。しかしながら本稿では、モデル化のために単純化して、「市場許容品質」の限界値は市場ごとに異なる一定値をとるものと仮定する。

の不完全性・不確実性を示すとするならば、因果知識が不完全なほど、平均リードタイムは長くなる傾向がある。とくに、インテグラル製品の場合、因果知識の不完全性が高まるにしたがって、リードタイムはどんどん長くなる傾向がある。

仮に、この因果知識の不完全性が科学知識の不足に起因すると考えるならば、科学知識が発展途上である科学知識集約型（ハイ・サイエンス）製品において、因果知識の不完全性が高いことになる。そして、因果知識が不完全であることがリードタイムに与える影響は、構成要素数が多いインテグラル製品で特に大きいということになる。

つまり、複雑なインテグラル製品の場合に、科学知識の多寡がリードタイムに特に大きく影響するのである。仮に科学知識に弱く試行錯誤に強い日本企業が存在すると仮定するならば、そうした企業にとっての鬼門は、むしろ複雑でインテグラルな科学知識集約型製品である、という藤本（2005）の予想と、この結果は整合的である可能性がある。

市場ニーズの厳しさ：製品に対する市場ニーズの厳しさは、理想の要求機能水準にどこまで近づいたら「適格」とみなすかを示す「市場許容品質」で代理している。シミュレーションの結果は、予想通り、市場ニーズの条件が厳しい方が平均リードタイムが長くなる傾向を示している。

最適解への接近方法：コーディネーション対コンペティション：コーディネーション型は、結果的に最適解に収束する場合には、コンペティション開発型よりも短期間で最適解に漸近する傾向が見られる。つまり、開発に成功する限り、設計リードタイムはコーディネーション型の方が短い。

しかし同時に、コーディネーション型の方が最適解から発散する（そもそも開発に失敗する）場合も多く見られる。他方、コンペティション（並行開発）型はほとんどのケースで最適解に漸近する。つまり、並行開発（コンペティション）型の場合、かなりリスクの高い開発でも確実に成功にたどりつくが、その新製品の出来はそれほど良いものではない。他方、プロジェクト内の連携調整（コーディネーション）型の場合、開発に成功する場合はリードタイムも短いし製品の出来も良い。つまり効率的だが、反面、不確実性の高いプロジェクトの場合にはそもそも失敗してしまうリスクが馬鹿にならない。したがって、不確実性の高い荒れた状況では、並行開発型の方が、効率は悪いが手堅いといえる。これは、現実の製品開発でよくみられる状況、あるいは先行研究の知見と整合的である。⁶

⁶ 例えば、Iansiti（1998, p130-131）、平井他（2003, p66-67）、楠木（2001）など参照。また、藤本・安本（2000, 12章）では、「複数の異なる要素技術を試作品で比較検討」（競争型開発・並行開発）という項目を含む多変数のアンケート統計分析を、多産業のプロジェクトを対象に行なっている。因子分析・回帰分析の結果によれば、前述の「並行開発」変数を含む「要素技術の早期集中探索」因子と「技

これらを考えあわせると、最適化プロセスにおいては、コーディネーション型とコンペティション型のいずれか一方だけを実行するのではなく、最初にコンペティション（並行開発）型の設計を行い、次にコーディネーション型で最適解に向けより漸近するというのが最も効率的な設計プロセスといえよう。ただし逆のパターン、つまりコーディネーション型からコンペティション型という順序で実行してしまうと、最も効率が悪くなることが予想される。不確実性の高い製品開発の初期において並行開発手法が多用されるのは、現実の設計現場でもしばしば観察されることであり、シミュレーションの結果は現実の現象と整合的といえる。

「ウサギとカメ」の状況設定

以上のシミュレーション・モデルは、科学的知識のレベル、市場ニーズの厳しさ、製品の複雑さ、製品アーキテクチャ、製品開発の試行スピード（組織的問題解決能力）、開発プロセスのパターン（並行開発か連携調整か）などをモデルの中に明示的に取り込んでおり、その意味で、これまでの開発プロセスのシミュレーション・モデルに比べて、よりリアルなものになっていると考える。このモデルによるシミュレーション実行結果が、現実に観察される幾つかの現象を再現できるなら、このモデルを用いて、幾つかの予想や政策提言ができるようになるかもしれない。本稿は、そうした試論へむけた第一歩と位置づける。

我々がこのモデルを使って最も知りたいことは、典型的な日本企業が設計開発競争、とりわけ設計スピード競争で勝ちやすいパターンと負けやすいパターンとは何であるか、ということである。そこでまず、典型的な日本のものづくり優良企業をモデル化しておく必要がある。具体的には、「統合型ものづくり」の組織能力が高いため、現場での試行錯誤のスピードが速い反面、現場のがんばりに依存しすぎる傾向があり、事前に体系的に科学知識を得るということにあまり熱心でない、という理念型としての日本企業である。中馬（2004）が描写した、現場は強いがサイエンスに弱い日本企業というイメージと重なるところが大きい。逆に、一部の欧米企業が、現場のスピードは遅いが、科学知識創造のネットワークを活用することに長けているとしたらどうか。つまり、仮に、多くの日本企業が、足は速いが事前によくものを考えない「浅慮なウサギ」であり、多くの欧米企業が、足は遅いが事前によく準備をする「周到なカメ」だとすれば、ウサギはどのようなときに勝ち、どのようなときに負けやすいのか。

ここで、上記の「ウサギとカメ」のアナロジーから、設計者を2つの類型、すなわち「浅慮なウサギ」と「周到なカメ」に分けて考えてみよう。「浅慮なウサギ」は「周到なカメ」に比べ持てる科学知識は乏しいが、試行や実験を行うスピードは「カメ」よりも速いと仮定

術的な原因—結果の不確実性」因子の間には負の相関（1%水準）がみられる（p297）。つまり、不確実性と並行開発の間には明らかな相関があるという結果を得ている。

される。すなわち、「脚の速い愚者」とでもいうべき設計者である。逆に、「周到なカメ」は「浅慮なウサギ」に比べ持てる科学知識は多いが、試行や実験を行うスピードは「ウサギ」よりも遅いと仮定される。これは、「脚の遅い賢者」と言うべき設計者である。これらを前述したシミュレーションの設定を使って表現すると、因果知識（**A**の要素の分散）のレベルは「周到なカメ」の方が「浅慮なウサギ」より高いわけだから、「カメ」の方が「ウサギ」より**A**の分散は小さい。一方、いったん試行錯誤による最適解への接近の段階に入ると、当然ながら「ウサギ」は「カメ」より速い。具体的に「カメ」は「ウサギ」の3分の1のスピードと設定しよう。

以上を前提に、どのような状況の時に「浅慮なウサギ」が勝ち、どのような時に「周到なカメ」が勝つのか、シミュレーションによって、予見を得たいわけである。

シミュレーションモデルの設定値と評価基準

本稿では以下において、前述の「ウサギ」と「カメ」を様々な状況下に置いて、リードタイムによる勝敗を詳細に観察するが、その前に、本稿で両者の勝敗を分析するためのフレームワークを、以下に示す**表1**を例として、簡単に解説しよう。

表1は、本稿におけるシミュレーションプログラムに適切な条件を与えて実行し、そのときに観察された平均リードタイムから勝敗を判定した結果の簡易表である。ここで言う「適切な条件」とは、**表1**における複雑性の指標（アーキテクチャ、構造要素数）、組織能力の指標（試行スピード、最適化プロセス）、不確実性（科学技術レベル）、市場条件（機能要求レベル）を指す。以下で、前述したシミュレーションの設定と表中の表現との関係を説明する。

表1

製品名	設計組織	複雑性の指標		組織の能力の指標		不確実性 科学技術レベル	市場条件 機能要求レベル	勝敗	リードタイム比
		アーキテクチャ	構造要素数	試行スピード	最適化プロセス				
浅慮なウサギ	インテグラル	インテグラル	中程度	速い	コーディネーション	低い	緩い	勝	1
浅慮なカメ	インテグラル	インテグラル	中程度	遅い	コーディネーション	低い	緩い	負	3

まず、「複雑性の指標」における「アーキテクチャ」に関しては、純粋にインテグラルのケースと純粋にモジュラーのケースの2極端のみを設定する。次に、**A**の要素数によって決定される、「複雑性の指標」における「構造要素数」は、「多い（6機能6部品）」「中程度（4機能4部品）」「少ない（2機能2部品）」の3段階を設定した。

アーキテクチャ	構造要素	A の要素数
インテグラル	多い	$6 \times 6 = 36$
モジュラー	中程度	$4 \times 4 = 16$
	少ない	$2 \times 2 = 4$

統合型の組織能力の強さ（チームワーク）を示す、「組織能力の指標」における「試行スピード」は、「遅い」を基準に、「速い」は3倍速、「非常に速い」は9倍速に設定し、3段階を用意した。ちなみに、表中における「設計組織」で「ウサギ」と表現される場合は、「試行スピード」が「速い」もしくは「非常に速い」、「カメ」と表現される場合は「遅い」が必ず設定される。「組織能力の指標」における「最適化プロセス」の様式は、前述のように「コーディネーション（連携調整による単一案の修正）」と「コンペティション（複数案の並行開発の選抜）」の2パターンである。

試行スピード	プログラム処理スピード	最適化プロセス
非常に速い	s	コーディネーション
速い	(1/3)s	コンペティション
遅い	(1/9)s	

次に、「不確実性」における「科学技術レベル」は、不完全な因果知識 \hat{A} と真の因果知識 A との誤差の分散で示している。不確実性のレベルを小・中・大の3段階で設定し、分散の値を小で0.2、中で2、大で20とした。ここで言う「不確実性」とは、機能・構造の因果関係の不確実性のことであるが、因果関係の不確実性とは、大まかに言えば「製品設計が必要とする因果知識（情報処理必要量）」と「開発組織が有する因果知識（情報処理能力）」の差だと解釈できる（Galbraith, 1973）。したがって、製品を所与とするならば、因果知識（例えば科学知識）を多く持つ組織は低い不確実性、因果知識（科学知識）を持たない組織は高い不確実性に直面する。一方、開発組織の知識量を一定と仮定するならば、多くの科学知識を必要とするハイテク製品において不確実性が高く、新たな科学知識をあまり必要としないローテク製品において不確実性が低い、といえる。さらに、製品と組織の組み合わせを考えるならば、当然ながら、ハイテク製品と低知識組織の組み合わせが最も不確実性が高い。言い換えれば、ハイテク製品の方が、組織間で不確実性の差が大きく出やすい。以上をふまえ、本シミュレーションでは、下表で示す代表的な3パターンを選び⁷、それぞれに A の分散値を設定した。

⁷ 表中の「因果知識必要量」は「当該製品の設計が必要とする因果知識（情報処理必要量）」であり、「因果知識保有量」は「開発組織が有する因果知識（情報処理能力）」である。

因果知識必要量	因果知識保有量	不確実性	A の分散
多（ハイテク製品）	少（低知識組織）	高	20.0
中	中	中	2.0
少（ローテク製品）	多（高知識組織）	低	0.2

「市場条件」における「機能要求レベル」は前述の市場許容品質のことであるが、品質にうるさいお客が多い「厳しい市場」では要求機能 FR^* との間の乖離が 1.0 以内でなければならず、品質にうるさくない「緩い市場」では FR^* との乖離が 3.0 以内でもよい、として値を設定した。

機能要求レベル	市場許容品質
厳しい	1.0
緩い	3.0

アーキテクチャがモジュラー型であることを設計者が事前に知らないと仮定した場合

この場合、最適化プロセスがコーディネーション型であるならば、「周到的ウサギ」対「周到的カメ」のリードタイム競争（あるいは「浅慮なウサギ」対「浅慮なカメ」の競争）は、モジュラー製品であってもウサギが勝つ。つまり、本論で述べた通りの結果にはならないのである。

これは次のような理由による。例えば、本論で述べたように 2 式 2 変数で設計問題が表されるとき、担当者 2 は担当者 1 が式 1 を解き終わるまで式 2 を解くのを待たねばならない。しかしウサギとカメは同じように待っていても、迅速なウサギの方が待ち時間は短い。かくして、ウサギの担当者 2 の方が早く再スタートを切ることができるので勝つのである。

ただし、本論でも述べたように設計者は事前のモジュラー化努力を行うので、モジュラー型であることを設計者が知らないようなケースは実際にはほとんど起こらないと思われる。

では、事前にモジュラー型であることを知っているケースではどうか。このケースでは、モジュラー型アーキテクチャの定義により、式 1 を解いた結果が式 2 の結果に全く影響を与えないことが事前にわかっている。したがって、担当者 2 は式 1 が解き終わるのを待つ必要はなく、担当者 1 と並行して式 2 を解くことができる。今度はウサギもカメも同様に待ち時間が発生しないので、同時に問題に取り掛かり同時に解き終わることになる。かくして両者は引き分けとなり、本論で述べた通りの結果となるのである。

もちろん、本論ではこのように設計者がモジュラー型であることを事前に知っていることを前提としている。

ちなみに、最適化プロセスがコンペティション型である場合は、事前にモジュラー型であることを知っているかどうかは結果に影響しない。モジュラー製品であろうとなかろうと、規定数の選抜を経なければ最適解には接近できないので、選抜の度に発生する待ち時間がウ

サギに有利に働き、常にウサギが勝つからである。

ただしモジュラー型製品の場合は、リードタイム、リスク、新製品の出来、といったあらゆる点でコーディネーション型がコンペティション型に勝るので、事前にモジュラー型であることがわかっているにもかかわらず、あえてコンペティション型を選択する設計者は実際にはいないと思われる。