



RIETI Discussion Paper Series 02-J-009

# 「モジュール化」の経済学 Economics of Modularity

鶴 光太郎  
経済産業研究所



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/>

# 「モジュール化」の経済学

## Economics of Modularity

鶴 光太郎<sup>1</sup>

### 要旨

本稿は、「モジュール化」とその対極的な概念である「インテグラル化」について、製品・システム全体のパフォーマンス最適化のために必要なコーディネーションのタイミングの違い（事前、事後）に基づいて定義し、「モジュール化」、「インテグラル化」の間の選択問題を考えるため、いくつかの具体例に基づいて簡単な理論モデルを構築した。これらのモデルによれば、両者のコーディネーション・コストの違いのみならず、モジュール毎のパフォーマンスのばらつきが大きいと「モジュール化」が有利となることが示された。また、「モジュール化」に必要なコーディネーション・コストがサック・コストであるため、「モジュール化」が機能する時間的視野等への配慮も重要な選択基準になることが指摘された。

---

<sup>1</sup> 独立行政法人経済産業経済研究所 上席研究員([tsuru-kotaro@rieti.go.jp](mailto:tsuru-kotaro@rieti.go.jp))

本稿は、拙稿「モジュール化の経済学」(OECD 経済局、1999年11月)に理論モデルを追加し、大幅な改訂を行ったものである。本稿を作成するに当たっては、安藤晴彦企画官(内閣府)、柳川範之助教授(東京大学)及び経済産業研究所、神戸大学経済経営研究所、東京大学大学院経済学研究科のセミナー参加者の方々から有益なコメントをいただいた。さらに、筆者にモジュール化への関心を持つ機会を与えていただいた、青木昌彦スタンフォード大学教授、情報化研究会のメンバーの方々、特に、池田信夫経済産業研究所上席研究員に感謝したい。無論、本稿にありうるべき誤りは筆者に帰されるべきものである。

## 1. イントロダクション

IT革命が進行する中で、企業や産業を取り巻く大きな潮流変化を読み解くキーワードとして、近年、「モジュール化」(modularity)の概念が経営学や経済学で脚光を浴びている。

「モジュール化」の定義は識者によってもまちまちであるが、例えば、青木(2002)は、「一つの複雑なシステムまたはプロセスを一定の連結ルールに基づいて、独立に設計されうる半自律的なサブシステムに分解すること」と定義している。

「モジュール化」は古くて新しい概念である。例えば、アダム・ズミスが説いた分業の利益やハーバード・サイモンの時計職人の寓話なども「モジュール化」の一側面を描いたものといえる(青木(2002))。一方、90年代に入ってから、主として、製品開発に関連した経営学の視点から「モジュール化」が着目されることとなった(Baldwin and Clark (1997), Brusoni and Prencipe (2001), Langlois (1999), Langlois and Robertson (1992), Loch, Terwiesch and Thomke (2001), Pine(1993), Ulrich (1995))。こうしたアプローチの一つの集大成が Baldwin and Clark (2001)である。

一方、日本人研究者の間でも、90年代半ば頃から「モジュール化」への研究が独立的に発展してきた。具体的には、以下の二つの流れがある。第一は、青木昌彦スタンフォード大学教授が中心に進めてきた比較情報システム論の立場からのアプローチである。まず、青木(1995)は、Aoki(1986)のフレーム・ワークの上に新たに組織内のモジュール間における情報処理カプセル化の影響を分析し、異なった組織形態における情報処理の効率性を比較した。また、Aoki(1999)、青木(2001)は、モジュールの連結ルール自体が進化していくようなハイブリッドな仕組みとしてシリコンバレーにおける起業家企業のモジュール毎の開発競争とそのコーディネーターたるベンチャー・キャピタリストの役割を理論化した。さらに、Aoki and Takizawa (2002)は、上記のシリコンバレー・モデルを発展させて、ベンチャー・

キャピタリストがモジュール毎の開発参加企業のインセンティブも考慮することでモジュール毎の最適な参入企業数が決まるモデルを提示した。

第二の流れは情報通信産業や自動車産業などの具体的な産業に即した分析である。先駆的な業績としては、情報通信産業における「モジュール化」思想と日本型組織形態の限界を主張した池田（1997）や情報化が進む中で特定のモジュール設計製造への特化を説いた国領(1995)の「オープン・アーキテクチャー」戦略論が挙げられる。また、藤本(1997)は製品開発の「プラットフォーム」に着目する比較産業論の立場から自動車産業の製品開発プロセスを再考した。こうした「モジュール化」研究の蓄積は、青木・安藤(2002)、奥野・池田(2001)、藤本・武石・青島(2001)にまとめられている（特に、「モジュール化」の理論・概念整理のためには、青木(2002)を是非参照されたい。本稿もこのサーベイに多くを負っている。）

既存の「モジュール化」の分析を総括すると、具体的な産業に関する「モジュール化」の理解はかなり深まっているとみられるものの、その多くは叙述的な分析に止まっており、青木氏の比較情報システム論からのアプローチを除いて、経済学の立場からの包括的かつ厳密な研究、特に、理論面からの分析が欠けていたように思われる。例えば、理論的産業組織論におけるアプローチは、以下で述べるように互換性(compatibility)という視点から、商品の組み合わせと選択数増大と市場構造への影響への分析に止まっていた。また、経営学サイドでの包括的研究である Baldwin and Clark (2000)は、金融のオプション理論の考え方を応用して、一旦、モジュール化してしまえば、開発の不確実性の下で、モジュール毎に複数の主体が実験を行うことがオプション価値を生むという結果を示し、モジュール化の意義を理解する上で重要な理論的貢献を行った。しかし、青木(2002)も指摘しているように、「モジュール化」を考える際に最も本質的な視点は、モジュール間の補完性やコーデ

イネーションをいかに考えるかという点であり、こうした側面を明示的に考慮したモデルでなければ「モジュール化」役割を十分議論することは難しいといえる。

本稿では、まず、既存の経済学的アプローチ、具体的には互換性モデルの限界点を指摘した上で、「モジュール化」を考える上で必要不可欠なコーディネーションの問題を議論の中核に据える。具体的には、「モジュール化」とその対立的な概念である「インテグラル化」をコーディネーションの方法の違い（事前と事後）として定義し、いくつかの例について簡単な理論モデルを構築することで、「モジュール化」と「インテグラル化」の費用、便益の分析を行う。その上で、これまで叙述的に述べられることが多かった「モジュール化」の性質、例えば、独立したイノベーションの容易さ、冗長性、ショックへの頑健性などを理論的に浮き彫りにしていくこととする。

## 2. 互換性としてのモジュール化

ある製品（あるいは、システム）をいくつかの部分に分けて、その部品のインター・フェースを標準化させ、互換的（compatible）にするという意味でのモジュール化の影響については、文献はわずかではあるが、主に、理論的産業組織論の立場から分析されてきた。その代表例は、Matutes and Regibeau (1988), Economides (1989)である（また、Tirole (1988)、Shy (1995)も参照）。このアプローチでは、互換性(compatibility)の利点として消費者の選択肢が増えることにより、それぞれの消費者の選好により見合った組み合わせの製品を選択できることを強調している。

例えば、ある製品が二つの部品A、Bから成り立ち、二つの企業1、2が両方の部品を供給している状況を考えよう。部品の互換性が成立しない場合に供給される製品は、(A1, B

1) (つまり、Aの部品は企業1、Bの部品の企業1が供給、以下同様)、(A2,B2)の2種類のみである。しかし、互換になれば、(A1,B2)や(A2,B1)の組み合わせも可能となる。したがって、(A1,B2)や(A2,B1)の組み合わせの方が(同じ価格であれば)望ましい消費者は、互換でない場合、つまり、(A1,B1),か(A2,B2)を選択しなければならなかった時に比べて効用は高くなるのである。

しかし、消費者全体、企業、更には両者を併せた社会的厚生がどうなるかは、それぞれのシステムで競争条件、つまり、価格決定に依存することになる。Matutes and Regibeau (1988), Economides (1989)のモデルでは、互換システムの下では消費者の需要が高まり、価格競争が弱まるため、価格は高くなるという結論である。なぜなら、例えば、企業1が部品A1の価格を低下させると、(A1,B1)を愛好する消費者ばかりでなく、(A1,B2)を愛好する消費者の需要、つまり、企業2への需要も喚起するというスピル・オーバーが生まれるため、互換でない場合に比べて、価格低下インセンティブが小さくなるためである(Matutes and Regibeau (1988))。一方、互換ではない時は、消費者の嗜好と入手可能な組み合わせがマッチしていない消費者を自分の製品に引き付ける必要があるため、価格競争が厳しくなるとも考えられる(Shy (1995))。したがって、供給側からすれば、常に、互換性を導入することで、自らの厚生を高めることができる。一方、消費者の方はどうであろうか。互換システムの場合、(A1,B1),か(A2,B2)の組み合わせを愛好する消費者は価格が上昇する分、厚生は減少する。一方、(A1,B2)や(A2,B1)の組み合わせの方が望ましい消費者の場合、同様に価格は高くなるものの、望ましい組み合わせが入手できるため、消費者全体への効果は不確定となる。

### **互換性モデルの問題点**

上記のモデルは、互換性による組み合わせ多様化と消費者嗜好に関するマッチングの高ま

りに対し、市場の競争条件がいかに変化するかを考慮したモデルである。しかし、上記のモデルの場合、いくつかの条件を暗黙に仮定していることに注意する必要がある。

第一は、互換性の導入による製品全体の品質・評価の問題である。上記モデルでは、互換システムの下で可能となる4種類の製品の間には質的違いはなく、その選択においては完全に消費者側の好みの違いであるとして4種類の商品を対称的に扱っていることである。しかし、互換性が成立している場合でも、商品としての統一性が重要であれば同じ企業が両方の部品を作る(A1,B1)や(A2,B2)のシステムの方が、部品毎に企業が異なる(A1,B2)や(A2,B1)のシステムよりも、どの消費者にとっても望ましいという場合があると考えられる。つまり、互換性のメリット、デメリットは単に、選択自由度という視点だけではなく、商品全体としての統一性、統合度も考える必要があるだろう。こうした問題の分かりやすい例はスーツである。通常、スーツは上下セットで販売される。もちろん、スーツの上下を別々の会社から選ぶことができるが、色やスタイルの統一性を考えると、普通は望ましい選択肢ではないであろう。一方、アイビー・ファッションの定番である紺のブレザーとグレーのパンツの組み合わせは他企業の製品を組み合わせても、全体のコーディネートを行いやすいと考えられる。

第二は、供給側の生産体制・組織形態の問題である。上記の例では、互換性を導入しても、企業1、2の生産体制(両方の企業とも二つの部品を生産する)は変化しないと仮定されている。しかし、一旦、互換性が導入されれば、二つの部品を同じ企業が生産しなければならない理由は弱くなる。むしろ、互換性の導入で、範囲の経済に比べて、規模の経済の利益が大きくなれば、いずれかの部品に生産を特化する企業が新たに参入したり、既存の企業が生産部品の種類に応じて、分社化することを十分予想できる。このような新規参入、生産特化の傾向は、部品の数が多くなるとともに強まるであろうし、こうした新規参

入の増大、生産特化はむしろ、価格低下要因となろう。こうした可能性は、Matutes and Regibeau (1988), Economides (1989)らのモデルの限界性を示すものといえる。

### 3. 「モジュール化」の一般理論：ダイナミックな視点とアーキテクチャー

以上のように、互換性のモデルでは、「モジュール化」という概念は、供給側からみればインター・フェースの標準化という概念に止まっており、需要者側からは選択の増大、マッチングの適切化といったスタティックな面を強調しているといえるが、上記で指摘したように、統合性とのトレード・オフや部品の供給体制など供給側の戦略、インセンティブといった観点が十分取り込まれてこなかったことがわかる。

一方、90年代に入ってから、供給者側のダイナミックな視点を取り入れ、主に、製品開発という視点から「モジュール化」が分析されるようになってきた。また、「モジュール化」への関心は、物理構造が比較的単純である製造業製品に止まらず、ソフトウェアの開発や更には製品の枠を越えて組織形態やシステムまで広がり、その役割について議論されるようになってきた。

「モジュール化」研究は、経営学と経済学の狭間にあり、また、局所的に研究が進められてきたこともあり、必ずしも文献的に統一された流れがあるわけではない。また、インタビューでも強調したように、「モジュール化」の分析も具体例に即した叙述的な記述がほとんどであり、一部を除いて理論的モデルが明示されている例は少ない。本稿では既存の分析を包括的にサーベイするというよりも、製品やシステムを包含する「モジュール化」の一般的な概念を明確化した上で、「モジュール化」のいくつかの側面に光を当てるような簡単な理論モデルを提示することで、議論の整理を行うこととしよう。

### 「アーキテクチャー」・「モジュール化」・「インテグラル化」

製品、組織、システムのパフォーマンスを評価する場合、それぞれの構成要素（製品であれば部品、組織であれば下部組織）のパフォーマンスが全体のパフォーマンスというどのような関係になっているかが重要となる。このような相互関係を示したものを「アーキテクチャー」（または、連結ルール）と呼ぶことにしよう。つまり、「アーキテクチャー」を理解することは、部分毎及び全体との相互関係がどのようになっているかを探ることである。ここで重要なのは、通常、部分間のパフォーマンスの和はかならずしも全体のパフォーマンスを記述することにはならないことである。

製品でも組織でもそれぞれの部分のパフォーマンスを最大限に全体のパフォーマンスに生かしていくためには、部分毎の相互関係に関連して「コーディネーション」を行うことが必要となってくる。つまり、「コーディネーション」によって製品やシステムの最適化を行うというものである。「コーディネーション」については、以下のように二種類の方法があると考えられる<sup>2</sup>。

第一は、最適化に必要なコーディネーションを事前に全部行ってしまいう方法である（「事前のコーディネーション」）。この場合、一度このようなコーディネーションを行えば、事後的な部分間の相互調整は必要でなくなる、つまり、ある部分のパフォーマンスは他の部分に影響されることなく、全体のパフォーマンスにそのまま反映されるという「アーキテクチャー」（具体的には、後ほど述べる、「加法分離的」(additive separable)という性質)を持つことになる。このようなコーディネーションの仕組みを「モジュール化」と呼ぼう。これは、全体を構成する部分が独立的に機能するというで「分権化システム」の一例といえる。

---

<sup>2</sup> 柳川（2002）も非モジュール化とモジュール化の違いを事後的調整コストの大きさから考えている。

第二は、それぞれの部分毎のパフォーマンスを事後的にコーディネートして、全体のパフォーマンスを最適化していく方法である（「事後的コーディネーション」）。このようなコーディネーションの方法を「インテグラル化」と呼ぼう。「モジュール化」が「分権化システム」であれば、「インテグラル化」は各部分を調整するコーディネーターが必要になるため、「中央集権システム」と呼ぶことができる。上記の定義にもわかるように、部分毎の機能と全体の機能を考えることは、必然的にダイナミックなモデルを考えることになる。

「モジュール化」の定義を理解する上で重要なのは、最初に検討した互換性のように、単純に製品を分解し、インター・フェースを共通化することにより達成できるとは限らないことである。モジュール単位での独立的なパフォーマンスを発揮するためには、個別のモジュールパフォーマンスの全体への影響が、他のモジュールに依存せず、また、他のモジュールに影響を与えることなく、そのまま、全体のパフォーマンスを引き上げることができるという条件が成り立つことが必要であるからである。

以下では、具体的な事例毎に簡単なモデルを構築し、「モジュール化」と「インテグラル化」のメリット、デメリットを比較分析していきたい。

#### **4. 製品アーキテクチャーとイノベーション**

ここでは、まず、製品開発(product development)の観点から、「モジュール化」と「インテグラル化」の比較分析を行おう。経営学の文献では、「モジュール化」の利点として、「各部品がその他の部品との調整を必要とせず、独立的にイノベーションを進める」ことを強調するものが多い。製品開発の最適化を図るための手段として、いずれの方法が有利であ

るかを考えることにしよう。

## モデルの仮定

製品はA, Bの部品で成り立っているとす。また、それぞれの品質は $Q(A)$ ,  $Q(B)$ であり、部品のイノベーションの段階(ここでは、0, 1, 2, 3などという整数で表示)で表示されるとす。ここでは、当該製品の「製品アーキテクチャー」に一対一で対応するものとして「それぞれの部品の品質、コンビネーションが製品全体にどのように反映されるかを示す関数」を考えることとする。もちろん、「製品アーキテクチャー」とそれに対応する関数は様々なものが考えられるが、簡単のために当該製品の「製品アーキテクチャー」は以下の二つに限られるとしよう。

第一は、「モジュール化」である。ここで「モジュール化」とは、製品全体の価値( $V_M$ )が「モジュール化」された部品の価値の単純和になるような「アーキテクチャー」の設計(「事前のコーディネーション」)が行われた状態と定義する。つまり、以下のような、分離加法的(additively separable)性質を仮定するのである<sup>3</sup>。

$$V_M(A, B) = Q(A) + Q(B)$$

この場合、それぞれの部品の品質が独立的に変化すればそれが製品全体の価値にそのまま反映するという意味で他の部品の品質(イノベーション段階)には依存しないことになる。

第二は、「非モジュール化」である。これは、部品間のコーディネーションが完全ではなく、

---

<sup>3</sup> より一般的に、それぞれの部品の相対的な重要性を考慮するために、部品毎の価値をウエイト付けした一次結合を定義として採用することも可能である。ここでは、簡単のために、それぞれの部品の価値を示す関数にそのウエイトも考慮されていると考えることにしよう。

製品の価値が部品の価値の単純和を下回るような場合、具体的には、製品の価値 ( $V_N$ ) が以下のように定義される場合を考える。

$$V_N(A, B) = 2 \min(Q(A), Q(B))$$

つまり、それぞれの部品のイノベーション段階が異なっておれば低い方に鞘寄せされた価値しか発揮されず、部品の品質の和が製品全体の品質とはならないと考えるのである。その意味で、製品全体の価値は部品の価値のバランスで決まることになる。

したがって、部品毎のイノベーションが製品全体の品質に反映されるためには、なんらかのコーディネーションが必要となる。その一つは、上記で述べたように「事前的なコーディネーション」を行うことで「アーキテクチャー」自体を再設計し、「モジュラー化」を達成することで製品全体の価値を高めるやり方である。

一方、事後的にコーディネーションを行い、製品の価値を高める「インテグラル化」も可能である。ここではイノベーション・プロセスの中間段階で、例えば、部品Aの方が部品Bよりもイノベーション段階が高くなるのがわかると仮定しよう。その場合、イノベーションのための資源を部品Aから部品Bへ配分して、それぞれのイノベーションの段階が等しくなるように調整する（この場合、資源移転のために「事後的コーディネーション・コスト」がかかる）と仮定しよう。そのようなコーディネーションで事後的に達成された各部品のイノベーション段階は $Q_I$ で表わされるとする。この場合、

$$V_N(A, B) = 2 \min(Q_I(A), Q_I(B)) = 2 \min\left(\frac{Q(A)+Q(B)}{2}, \frac{Q(A)+Q(B)}{2}\right) = Q(A) + Q(B)$$

つまり、「モジュール化」も「インテグラル化」もそのために必要なコストの大きさやタイミング（事前、事後）は異なるものの、最終的な製品の価値はそれぞれの部品の価値を合わせたものに等しくなると考える<sup>4</sup>。

### 一期モデル

以上の仮定を使い、更に具体的なモデルを考えてみよう。製品は部品A，Bからなり、每期、イノベーションによりその品質は向上すると考える。t = 0では、それぞれの部品の品質はゼロであるとし、それぞれの部品の一期末におけるイノベーション段階についてはその確率分布のみ既知としよう。t = 1においては、

$$Q(A)=3 \quad (\text{確率 } p_A)$$

$$Q(A)=1 \quad (\text{確率 } 1-p_A)$$

$$Q(B)=3 \quad (\text{確率 } p_B)$$

$$Q(B)=1 \quad (\text{確率 } 1-p_B)$$

と仮定する。最初に「モジュール化」の場合を考える。上記で定義した「非モジュール化」の状態から、製品全体の価値が常にそれぞれの部品の品質（イノベーション段階）の和になるように「アーキテクチャー」の再設計を行うために、事前にFの固定費用がかかるとする。

この場合、製品価値の期待値から固定コストを差し引いた「モジュール化」の損得勘定の期待値は、以下のように表わすことができる。

---

<sup>4</sup> 「インテグラル化」を考える場合、「事後的なコーディネーション」により個々の部品のバランスを調整するのみならず、個々の部品に由来しない製品全体の価値を高めるような効果を考えることも重要である。しかし、そのような効果は「事後的なコーディネーション」に係るコストの節約として考えれば、当該モ

$$W_M^1 = p_A p_B \times 6 + (p_A(1-p_B) + p_B(1-p_A)) \times 4 + (1-p_A)(1-p_B) \times 2 - F$$

次に、「インテグラル化」の損得勘定を考えてみよう。部品A，Bのイノベーション段階、すなわち、品質が同じであれば、「インテグラル化」の特徴である「事後的コーディネーション」の必要はないが、異なる場合は必要となる。具体的には、イノベーションの中間段階で3になる部品から1になる部品へ開発資源を移転させ（「事後的コーディネーション・コスト」=  $f$  がその都度必要）両部品のイノベーション段階をそろえることができるように。「インテグラル化」の損得勘定の期待値は

$$W_I^1 = p_A p_B \times 6 + (p_A(1-p_B) + p_B(1-p_A)) \times (4-f) + (1-p_A)(1-p_B) \times 2$$

両者の比較をするため差をとると、

$$W_M - W_I = 2\left(\frac{p_A + p_B}{2} - p_A p_B\right)f - F$$

$$\frac{p_A + p_B}{2} - p_A p_B \geq 0$$

この式から、「モジュール化」に係る「事前的コーディネーション・コスト」( $F$ )がインテグラル化に係る「事後的コーディネーション・コスト」( $f$ )よりも十分小さければ（大きければ）「モジュール化」（「インテグラル化」）が有利になることがわかる。

また、簡単な計算により、部品の間でより高いイノベーションが起こる確率の違いが大き

---

デルの範囲内で説明することができる。

いほど ( $p_A$  と  $p_B$  の差が大きいほど)  $\frac{p_A + p_B}{2} - p_A p_B$  は大きくなる。つまり、部品間のイノベーション速度の違い (期待値) が大きいほど、「モジュール化」が有利になることがわかる。

### ダイナミック・モデル (n 期間モデル)

上記は一期限りのモデルであるが、これを n 期間のモデルに拡張しよう。それぞれの期における部品のイノベーション速度の確率分布は 1 期モデルと同じであるとする。また、固定費用  $F$  で「モジュール化」すれば、その「アーキテクチャー」は n 期間有効であると仮定しよう。各期に起こる部品のイノベーションはそれぞれ独立現象であるので、n 期間の累積イノベーションの期待値は各期のイノベーションの期待値を n 倍したものに等しいことに注意すると、「モジュール化」の損得勘定は、

$$W_M^n = n \times (p_A p_B \times 6 + (p_A(1 - p_B) + p_B(1 - p_A)) \times 4 + (1 - p_A)(1 - p_B) \times 2) - F$$

一方、「インテグラル化」の損得勘定は、

$$W_I^n = n \times (p_A p_B \times 6 + (p_A(1 - p_B) + p_B(1 - p_A)) \times (4 - f) + (1 - p_A)(1 - p_B) \times 2)$$

したがって、両者の差をとると、

$$W_M^n - W_I^n = n \times \left( 2 \left( \frac{p_A + p_B}{2} - p_A p_B \right) f - \frac{F}{n} \right)$$

ここで注意が必要なのは、ダイナミック・モデルの場合、「インテグラル化」の相対的なコ

スト ( $2(\frac{p_A + p_B}{2} - p_A p_B)f$ ) と比べるべき「モジュール化」のための相対的コストは一期の時のFではなく、 $F/n$  を考えれば十分であり、 $n$  が大きいほど「モジュール化」が有利になる可能性が高いことである。つまり「モジュール化」は、事前に決まった額の固定費用をかけるため、その「アーキテクチャー」が長く継続すればするほど、各期毎に「事後的なコーディネーション・コスト」を費やす「インテグラル化」よりも有利になるのである。つまり、「モジュール化」か「インテグラル化」という選択はそれぞれに必要なコーディネーション・コストの大小に加え、部品間のイノベーション速度のばらつき予想や「アーキテクチャー」継続に関する時間的視野に依存することがわかる。

#### 「事前的コーディネーション」の不確実性

上記の基本モデルでは、事前にFとfの大きさを正確に把握でき、その比較で「モジュール化」と「インテグラル化」の間の選択ができると考えた。しかし、現実には、「モジュール化」された「アーキテクチャー」を設計するという「事前的コーディネーション」自体、例えば、その手順が「インテグラル化」の「事後的コーディネーション」のように必ずしも明らかにされていないなどといったように、非常に複雑かつ予測不能なプロセスである。したがって、どの程度コストをかければ「モジュール化」、つまり、それぞれの部品のパフォーマンス変化が全体の製品の性能向上に直接反映できるような「アーキテクチャー」を構築することができるかを把握するのは容易ではないといえよう<sup>5</sup>。むしろ、現実にはある程度の試行錯誤を繰り返していかなければ「モジュール化」の可能性や必要なコストは理解できないと考えられる。

つまり、「モジュール化」のための「事前的コーディネーション・コスト」であるFがサン

---

<sup>5</sup> モデル上では、「事後的コーディネーション」はイノベーションの段階を揃えるため資源の再配分すると定義している。もちろん、「事後的コーディネーション」もその時々予測不可能なショックを考えればそのコスト把握の不確実性も高いが、ここではそのようなショックは除いて考えている。

ク・コストであることは、一度システム設計ができてしまえば長らくそれが使えるという意味でプラスに評価できるかもしれないが (Baldwin and Clark (2000))、リアル・オプションの考え方をえば、「モジュール化」のための「アーキテクチャー」解明の不確実性が高ければ、むしろ、サンク・コストであることが企業の「モジュール化」への取り組みを先延ばししようとさせる側面もあることがわかる。つまり、「様子見する」オプションが価値を持ち、逆にそれが、「モジュール化」を難しくする要因にもなることに注意する必要がある。

その意味で、Baldwin and Clark (2000)が詳細に研究したIBMシステム/360の設計は、それまでに既存のアーキテクチャーの問題点などへの理解が積み重ねられていたとはいえ、ブルックスら少数の天才的な頭脳を持ち主が中央主権的に行うことで初めて可能になったブレーク・スルー、偉業ともいえ、例外的な成功かもしれない。事実、システム/360の設計においては、当初、その必要性にも関わらず、実行可能性への懐疑の念が渦巻く中での挑戦であったことをBaldwin and Clark (2000)も記している。

### **「モジュール化」・「インテグラル化」の交互の波**

こうした「事前的、事後的コーディネーション・コスト」の非対称性を考慮すると、同一製品で繰り返される「モジュール化」と「インテグラル化」との交互の波をある程度説明できるかもしれない。

例えば、「モジュール化」のための固定費用と不確実性を考えると、製品の「アーキテクチャー」が成熟していない段階では、「モジュール化」のための試みはリスクが大きすぎるであろう。この段階では、製品の「アーキテクチャー」への理解も十分ではなく、「モジュール化」を行うためにどの程度コストが必要か分からないため、製品の品質を向上させるた

めには「インテグラル化」に頼らざるを得ない。一方、製品自体が成熟していけば、「モジュール化」のためのコストも徐々に明確化になり、「インテグラル化」との比較ができるようになる。当該製品の「アーキテクチャー」が安定し、しばらく継続するという期待が広がるともに、消費者サイドの多様化への嗜好や部品毎のイノベーションのばらつきなどが「モジュール化」の推進力になる。

一方、部品間のイノベーションのばらつきが結果的にあまりに大きくなれば、これまでの「モジュール化」を支えていた「アーキテクチャー」は機能しなくなることは十分予想できる。上記の理論モデルで則して言えば、「事前のコーディネーション」であるFをかけて作った「アーキテクチャー」は二つの部品間におけるイノベーション段階の差がある閾値までであれば機能するが、それを上回るとイノベーションがより進んだ部品の価値増分が製品全体の価値に反映されなくなるかもしれない。したがって、再び、事後的にイノベーションの段階を調整する「インテグラル化」が有利になるというものである。つまり、「事後的なコーディネーション」が可能であることは「アーキテクチャー」を変化させることも容易であるともいえ、一般に「アーキテクチャー」自体の変化が要求されるような大きなイノベーションの場合、「インテグラル化」が進むと考えられる<sup>6</sup>。

### 組織形態との関係

また、上記のモデルでは考慮していなかったが、製品アーキテクチャーと供給側の組織形態もある程度関連付けることは可能である。例えば、「モジュール化」の場合、「アーキテクチャー」の構造が公になれば、それぞれの部品を同じ企業が開発する必要はない。つまり、製品の「モジュール化」と企業組織の「モジュール化」が並存でき、その方が企業組織としても、規模のメリット等を享受できるという点で、企業の選択・集中を促進させる

---

<sup>6</sup> リアル・オプション理論を明示して、「モジュール化」と「インテグラル化」の相互の波を内生化するよ

面もあるといえる。一方、「インテグラル化」の場合、「事後的コーディネーション」のコストを最小化させるためには、組織も「インテグラル化」されることがより望ましいかもしれない。

### **HDD産業の例**

このような「モジュール化」と「インテグラル化」の交互の波を経験した産業としては、HDD(ハード・ディスク・ドライブ)産業が挙げられる(以下の記述は、Christensen (1995), 楠木・チェスプロウ(2001)に基づく)。HDDはいくつかの部品で成り立っているが、性能に最も影響を与えるのは磁気ヘッドである。60年代から70年代には、フェライト・ヘッドというものが使われていたがその特性が解明するにつれ、製品アーキテクチャーが「モジュール化」し、多くの独立的なサプライヤーが登場した(「モジュール化」の進展)。

一方、フェライト・ヘッドの性能の物理的な限界が近づく中で、1971年にIBMは、薄膜ヘッドの開発に成功した。これはHDDの性能を飛躍的に向上させるものであったが、そのポテンシャルを生かすためにはメディアなどの他の部品においても技術的な変更を行うための調整が必要になった。つまり、これまでの「モジュール化」を支えていた「アーキテクチャー」がヘッドと他の部品とのイノベーション段階の大幅な乖離により機能しなくなってしまい、もう一度、部品間のコーディネーションが必要となったのである。これで、製品アーキテクチャーは一気に「インテグラル化」に逆シフトし、統合型組織形態を持つIBMに大きな利益をもたらせた。

この薄膜ヘッドの技術も成熟化していく中で、90年代には再び安定した「モジュール化」

---

うなモデル構築は今後の課題といえよう。

の時代に入り、水平分業が進んだ。しかし、近年では、IBMは再度、MRヘッドという新しいヘッドを開発することで再びインテグラル化への回帰の流れを作り、モジュール型企業はこうした流れに乗り遅れている状況といわれている。

## 5. 「冗長」な「モジュール化」と「擦り合わせ」の「インテグラル化」: コンテナ輸送の例

上記では、製品開発の例を考えてみたが、製品機能・構造をみても「モジュール化」が進んでいる製品（例：デスクトップ・パソコン、トラック、自転車）と「インテグラル化」が進んでいる製品（例：セダン乗用車、ラップトップ・パソコン、オートバイ）が存在する。両者のグループを比較してみると、「モジュール化」の持つ「冗長性」(redundancy)、つまり、デザインやサイズにおける「無駄」が機能的にある程度許容できる製品は「モジュール化」が進んでいるが、「無駄」のないデザイン、コンパクト性が極度に要求されるような製品の場合、「事後的コーディネーション」(「擦り合わせ」)で徹底的に無駄を省き、デザインなどの全体の統一性を図ることのできる「インテグラル化」に進んでいるように見える（藤本(2001)）。

また、製品ではないが、運輸業におけるコンテナ化を「モジュール化」の一形態と考えれば、「擦り合わせ」(積荷の最適化)との対比としての「冗長性」(コンテナ自体の容量・重量)を明らかにしている典型例と考えられる。60年代後半に国際海運に登場したコンテナ輸送システムは、異なる輸送モードで標準化されたコンテナを使うことにより、コンテナ内部の中身を外界から隔離し、途中積み替えることなく輸送できるシステムであり、海運業界に画期的なイノベーションをもたらした（武石・高梨(2001)）。ここでは、異なる輸送モードのインター・フェースを標準化したコンテナ化を「モジュール化」と考え、その簡単な理論モデルを提示することにより、「モジュール化」を巡る「すり合わせ」と「冗長」の

トレード・オフについて考えてみたい。

## 基本モデル

ここでは、トラックの積荷を港で船に積み込む作業とそれを行う運送業者を考える。具体的には、1.5 トン積みの二つのトラック A、B から 3 トン積みの船に積荷を移し変える作業である。また、トラックの積荷は 0.5 トンと 1 トンの二種類が存在し、トラック、船とも最大限の積載を行うこととする。

まず、非コンテナ化のケース（通常のケース）を考えてみよう。

トラック A、B それぞれの積荷の組み合わせについては、

確率  $p$  で、1 トンと 0.5 トン

確率  $1 - p$  で、0.5 トンが 3 つと仮定しよう。

次に、トラックから船に積荷を移すための作業において積荷のコーディネーション・コストがかかると仮定する。積荷の大きさが異なる場合、積み方によって隙間などができて非効率的になり、積み方にある種の工夫が必要になってくる（ある種の「擦り合わせ」）。この場合、積荷の大きさをそろえれば、そうした「擦り合わせ」は不要となり、トラックから積荷をどんどん運び入れていくことができる。ここでは、具体的に、2 つの 0.5 トンの積荷をあわせて 1 トンの積荷にするのに  $C$  のコスト（「事後的コーディネーション・コスト」）がかかるとしよう。一方、ここでは大きさが揃った積荷の船への運び入れはその個数に関わらず一定と仮定し（個数が大きくなれば一個当たりの積荷は小さくなるため）簡単のためにゼロと置こう。

2 つのトラック A、B によって運ばれてきた積荷は、以下の 3 つのケースに分かれる。

(1) 1 トンが 2 個、0.5 トンが 2 個の場合 ( $p_A p_B$  の確率)

「事後的コーディネーション・コスト」は  $C$  となる。

(2) 1 トンが 1 個、0.5 トンが 4 個の場合 ( $p_A(1-p_B)+(1-p_A)p_B$  の確率)

「事後的コーディネーション・コスト」は  $2C$  となる。

(3) 0.5 トンが 6 個の場合 ( $(1-p_A)(1-p_B)$  の確率)

積荷の大きさが揃っているので「事後的コーディネーション・コスト」は必要ない。

したがって、積荷コストの期待値は

$$p_A p_B C + (p_A(1-p_B) + (1-p_A)p_B)2C = 3 \left( \frac{2(p_A + p_B)}{3} - p_A p_B \right) C$$

に等しくなる。一方、この業者の利得は、船に積載できる積荷全体の量に比例すると考えると (1 トンあたりの利益を  $V$ ) と  $3V$  となる。したがって、運輸業者の損得勘定の期待値は、

$$W_N = 3V - 3 \left( \frac{2(p_A + p_B)}{3} - p_A p_B \right) C$$

となる。次に、コンテナ化 (モジュール化) の場合を考えてみよう。ここでは、1 トンの積荷の入るコンテナ (コンテナ自身の容量は 0.5 トン) を導入して、トラックに掲載し、それを直接、船に運び入れることを考える。船には 2 つのコンテナを積載することができる。

コンテナ 1 個あたりを導入するための固定費を  $F$  と考えよう。コンテナ化の場合、その中に入っている積荷の状態とまったく考慮する必要がないため、積荷のばらつきを調整する費用は必要ない。しかしながら、船に詰める正味の積荷は 2 つのコンテナを合わせて 2 トンであるので、この運送業者の利得は  $2V$  に止まる。したがって、コンテナ化の場合の損得勘定は、

$$W_M = 2V - 2F$$

となる。したがって、両者の差をとると、

$$W_M - W_N = 3 \left( \frac{2(p_A + p_B)}{3} - p_A p_B \right) C - 2 \left( F + \frac{1}{2} \times V \right)$$

最初の項はコンテナ化の相対的な利点、つまり、トラックから積荷を船に移す際の「事後的コーディネーション・コスト」を節約させる効果である。特にこの効果は 2 つのトラックから出てくる積荷の大きさのばらつきが大きいほど ( $p_A$  と  $p_B$  の差が大きいほど)、コンテナ化によるコスト節約効果は大きくなる。一方、第二項はコンテナ化の相対的なコストであり、カッコ内が 1 つのコンテナ当たりのコストである。最初はコンテナ導入のためのコスト  $F$  である。第二はコンテナ化に伴う「冗長性」に関するコストである。つまり、コンテナ自体がかさばるため、最終的な船の積載量はコンテナ 1 つあたり 0.5 トン少なくなり利益機会を失うことによるコストである。コンテナ化の例の場合、上記のイノベーションと製品アーキテクチャーの例と異なり、「モジュール化」のための事前の準備 (コンテナ導入のための固定費用) 及びリダンダンシー・コスト (costs of redundancy) は予測しやすいといえ、その意味で海運業のコンテナ化は一気に進めることが容易であったと考えられる。

## 5. ショックに頑健な「モジュール化」と脆弱な「インテグラル化」: システムとしての産業構造

モデル分析の最後として、システムとしての「モジュール化」と「インテグラル化」を考えてみよう。ここで取り上げる例は、かつての共産圏諸国の計画経済下での産業構造の比較、つまり、地方分権の帰結としてそれぞれの地域レベルで各種産業をワンセットで持ち、自立性の高い、自己充足的な産業構造が形成された中国と各省・局による中央指令により国営企業が地域毎に生産特化したソ連との比較である。Qian and Xu (1993)は、ハーバード大学のチャンドラー教授が企業組織について使ったことで有名なU型、M型という用語を使い、ソビエトはU型、中国はM型の産業組織構造を持っていることを強調した。

産業構造を考える際に重要な視点は、ある産業と他の産業の間には大なり小なり補完関係が存在し、地域・国が全体として発展するためには産業間のコーディネーションが必要であるという認識である。つまり、産業間のコーディネーションの方法によって異なった産業構造が形成されると考えるのである。まず、M型の産業構造とはそれぞれの地域でワンセットの産業構造を持っているため、それぞれの地域は他の地域に依存または影響を与えることなく、独自に発展することができる。このように解釈すれば、M型産業構造は産業構造の「モジュール化」であり「分権的システム」と考えられる。それぞれの地域でワンセットの産業構造を一旦ができあがれば、事後的に、地域間での産業のコーディネーションを行う必要はなくなるものの、M型産業構造における地域毎の同一産業重複は、国全体として規模の経済を生かすことができない。一方、U型の産業構造の場合、各地域が各産業を専門にしているため、規模の利益が発揮できるが、逆に、地域間で産業のコーディネーションが必要となる。これは産業構造の「インテグラル化」であり、「中央主権的システム」が必要となる。

このコンテキストで興味深い点は、「インテグラル化」(U型産業組織)の場合、ある地域が分担している特定の産業が機能を停止すると全体に波及してしまい、その種のショックに対して「脆弱」(fragile)であることである。一方、「モジュール化」の場合、ある地域が機能不全となっても、他の地域は独立して自前の産業構造を持っているため、その影響が遮断される、つまり、ショックが波及しないという「頑健性」(robustness)を持っているといえる。

こうしたショックに対する「モジュール化」の「頑健性」(robustness)と「インテグラル化」の「脆弱性」(fragility)を探るために、ここでは、Qian, Roland and Xu (1999)のモデルを大幅に改定、簡略化させた上で、U型、M型の組織形態の比較を行ってみたい(彼らの論文では無限期間を扱っているがここでは簡単のため一期のモデルを考える)。

## 基本モデル

二つの地域(A, B)と二つの産業(1, 2)を持つ国があり、それぞれの地域において産業間に必要なコーディネーションを政府が実施することとする。つまり、地域別も考慮した産業は、A1、A2、B1、B2の4種類となる。官庁には大臣とそれに仕える局長二人(地域Aと地域Bの局長)がおり、チームで産業調整を実施する。それぞれの地域において2つの産業のコーディネーションが必要であり、それが成功すればそれぞれの地域でVの利得を生む。コーディネーションのためには、該当する産業の現状についての知識が必要であり、コーディネーションを行う担当者一人当たりCのコスト(トレーニング・コストと解釈)がかかるとする。

産業調整実施に当たっては以下のようにM型、U型の二つの組織形態が考えられる。まず、

M型の産業組織形態を考えてみよう。大臣（T）の下にA地域を担当する局長AとB地域を担当する局長Bがいる。地域A、Bはそれぞれ産業1、2をワンセットで持ち、大臣は産業調整を二人の局長に任せる組織である（分権化、図1）。局長Aは産業A1とA2の現状を調査し、産業調整を行う。局長Bも同様である。

図1 M型産業組織構造

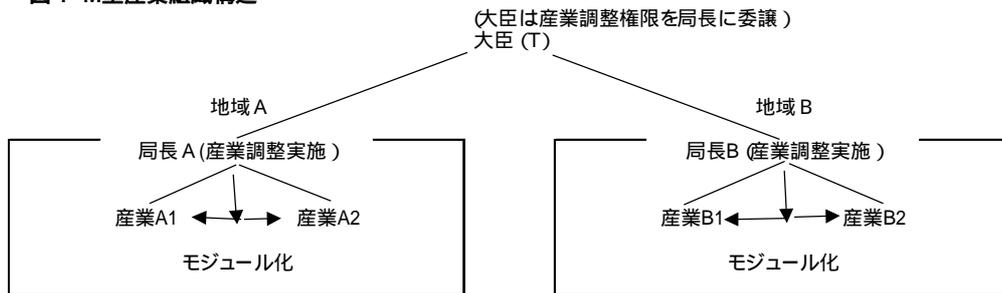
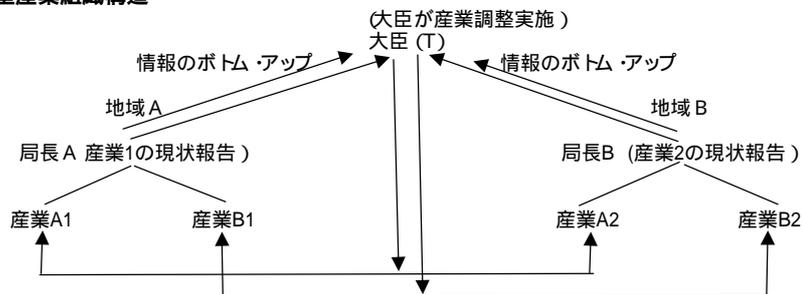


図2 U型産業組織構造



したがって、M型組織による産業調整の利得は  $2V$ 、コストは  $2C$  であるので、損得勘定は、

$$W_M = 2V - 2C$$

一方、U型の組織では、例えば、地域Aには、地域Aのための産業1（A1）と地域Bのための産業1（B1）が立地し、それを局長DAが担当することにする。つまり、それぞ

れの局長の担当は産業別となる。局長 D B も同様である。この場合、それぞれの局長は自分の担当する産業の現状しか把握していないため、産業調整を行うことができない。したがって、大臣は 2 人の局長からそれぞれの担当する産業の現状を報告させ、自ら両方の地域の産業調整を行うような組織である（中央集権化、図 2）。この場合、大臣は一人で産業調整を行うため、コストは C で済むが、局長からのそれぞれの産業の現状報告は必ずしも正しいとは限らず、もし、大臣が誤った情報を受け取れば、産業調整不能になると仮定しよう。ここで、それぞれの産業の現状が正しく伝えられる確率を  $I$  とする。すべての情報が正しい時の利得は  $2V$  で、片方の地域のみ両産業の情報が正しく伝えられる場合の利得は  $V$  であるので、損得勘定は

$$W_U = 2I^4V + 2I^2(1 - I^2)V - C = 2I^2V - C$$

したがって、M型とU型いずれが勝るかは、それぞれのペイオフを比較すればわかる。

$$W_M - W_U = 2(1 - I^2)V - C$$

第一項は、U型の相対的成本、つまり、誤った情報が伝えられて産業のコーディネーションができないことで失われる利益であり、第二項は、M型の相対的成本、つまり、産業調整が二人の局長で行われるという（トレーニング）コストの重複である。例えば、C を固定して考えると  $I$  が十分小さくなれば、つまり、情報伝達の正確さが十分低下すれば、M型が有利になる。一方、 $I$  を固定すると C が十分小さくなれば M型がよりメリットを持つことが分かる。

つまり、それぞれの地域で完結した産業構造を持つM型はそのために「冗長」(2Cのコスト)というデメリット持つ。一方、U型は全体を統合することによる規模の利益で「冗長」性を排除できる(Cのコスト)ものの、産業調整のためのコミュニケーション・コスト(2(1-I<sup>2</sup>)V)(「事後的なコーディネーション・コスト」)がかかるといデメリットを持つ。したがって、それぞれのデメリットを比較することにより、最適な組織形態が決まってくる。

以上は、Qian, Roland and Xu (1999)に基づいた結果であるが、ここではショックに対する「頑健性」を考えるために、彼らのモデルを更に発展させてみよう。具体的には、2人の局長は同質的ではなく、「健康状態」に差、不確実性があるというショックを考える<sup>7</sup>。つまり、局長A(B)は $p_A$ ( $p_B$ )の確率で「健康」、 $1-p_A$ ( $1-p_B$ )の確率で「病気」と考え、「病気」の場合は産業調整を行ったり、大臣に情報を伝えることはできないと考える。

M型の場合、損得勘定は

$$W_M = p_A(V-C) + p_B(V-C) = \frac{p_A + p_B}{2}(2V - 2C)$$

となる一方、U型の場合、局長A、Bとも「健康」でなければ、産業調整はまったくできないため、損得勘定は、

$$W_U = p_A p_B (2I^2 V - C)$$

---

<sup>7</sup> ここでは、局長の「健康状態」に焦点を当てているが、局長の基本的な「能力」と置き換えて考えることも可能である。

となる。両者を比較すると、局長がつねに「健康な」場合の損得勘定が同じでも、相対的な有利性は、局長の「健康状態」の予想で変化することがわかる。具体的には、

$$\frac{p_A + p_B}{2} \geq p_A p_B \text{ であり、これは、 } p_A \text{ と } p_B \text{ の差が大きいほど大きくなる。}$$

つまり、いったん局長の「健康状態」の不確実性を仮定するとそれだけでM型が有利になることがわかる。なぜなら、局長が一人でも「病気」であれば、U型の組織は産業調整がまったく実施できないが、M型の場合、「健康な」局長の地域は少なくとも産業調整が実施できるためである。また、局長の異質性が高ければ、U型では、「健康な」局長の報告がそうでない局長のためにすべて無に帰してしまうコストは大きいため、M型がより有利になる。以上のように、局長の「健康状態」のショックを考慮すると、M型の産業組織がU型よりも「頑健」であることを示すことができる。

システムとして「冗長」ながら、「モジュール化」された「分権化システム」のため、他の構成要素のショックが波及しない例として、更に以下の二つを挙げてみよう。第一は、Simon(1962)の時計職人の寓話である。二人の時計職人が1000個の部品からなる時計を組み立てており、10個の部品を組み合わせて中間部品を作り、更に、その10個の中間部品を組み合わせてより大きな中間部品を作るといった作業を繰り返す職人と中間部品を作らず、1000個の部品を組み立てる職人がいるとしよう。作業が中断するようリスクがある場合、中間部品を作っている職人はたかだか9個の部品の組み立てが無駄になるにもかかわらず、もう一方の職人は最大999個の組み立てが無駄になる可能性があるため、このようなショックがある場合は中間部品を作る職人の方（「モジュール化」）が有利となるという物語である。これも、「モジュール化」が全体へ「ショック」（ここでは作業中断）を伝播させないという意味で「頑健」であることの一例である。

第二の例は、インターネットが挙げられる（以下の記述は、池田(1997), (1999), (2001 a), (2001 b)に基づく）。「パケット交換方式」採用するインターネットでは、送り手がデータをパケットに分けた上で、あて先（IPアドレス）を付けてネットワークに「投げる」のであるが、後は「ルータ」と呼ばれる経路制御用コンピュータで「バケツ・リレー」のごとく送信先へ送られていき、最後に受けてのところでデータが復元される。このため、必ず送り手から受け手に届くことを保証するものではなく、通信が失敗すれば、エラーが返され、送り手が再度、送信するという仕組みである。すべてのコントロールが送り手と受け手のみで行われるという「分権化システム」であるインターネットは、電話交換機によって中央主権的に通信量がコントロールされる電話網とは根本的な異なったシステムであることがわかる。このため、インターネットのある部分の通信網が寸断されても、残った部分で情報を迂回して伝達させることでネットワークを維持することが可能であり、インターネットは自律的な存在であり、ショックに「頑健」であることがわかる（これはインターネットがもともと軍事研究のためのネットワークであることと関係している）。

## 6. 本アプローチの限界点

本稿の結論をまとめる前に、いくつかの限界点について述べてみよう。本稿では、製品でもシステムでも、「モジュール化」と「インテグラル化」という単純な二分法でそれぞれのメリット、デメリットを考えてきた。このような二分法は、複雑な現象を単純化させて理解するには役立つものの、現実問題を考える場合、必ずしも十分な視点を提供しているとはいえない場合もある。

具体的に、第一は、モジュールの単位の問題である。本論で具体的に考えたモデルでは、製品やシステムのモジュールへの分け方は外生的に与えられていると暗黙的に仮定していた。しかしながら、非常に細かい部分に分けることで「モジュール化」を図るのか、また、

それらを組み合わせて大ききなモジュールを作って「モジュール化」を行う方がいいのかという問題が現実には生まれることになる。また、いくつかの部分に分けて「モジュール化」するかという問いは、「インテグラル化」と「モジュール化」を二分法にするのではなく、連続的な概念で捉えることを意味する（例：一個の「モジュール化」は「インテグラル化」に等しい）。

Baldwin and Clark (2000)が強調するように、各モジュールにおける開発努力の重複によるオプション価値を強調する立場からはできるだけ細かくモジュールを分ける方がいいであろうが、青木(2002)や池田(2001 a)が強調するように、細かく分けていけばいくほどモジュール毎の補完性が大きくなるであろうし、なんらかの取引コストも大きくなるため、「モジュール化」のメリットは失われてしまう。このように「モジュール化」一般を扱う場合、単純にオプション理論が適用できる金融商品の場合とは異なる点が重要である。

したがって、モジュール化の最適な単位を考えていくには、これまでみてきたように、需要者の嗜好や開発・生産プロセスにおける補完性に目を向ける必要がある。例えば、製品のモジュール（部品）について(A、B)について、1、2の二つのタイプの選択肢があるとしよう。まず、需要サイドの立場では、A1を選択する消費者はB1を選択する場合が多く、A2を選択すればB2を選択する場合が多ければ、A Bを統合化して、一つのモジュールにすることが望ましいであろう。同様に、供給側においても、二つの部品の生産、開発過程における補完性が強ければ、やはり、二つの部品を分けて「モジュール化」するよりも統合して「モジュール化」を行う方が効率的であろう。

このような観点から「モジュール化」を研究している分野としては、自動車産業が挙げられる(藤本(2001, 2002))。ここでは、自動車の部品がより大きな単位でアウト・ソーシング

されるような欧米企業の状況に着目して(「大モジュール化」)、 「モジュール化」の動きを考えている。こうした取り組みは、特に、異なった産業、または、同一産業における異時点間比較で「モジュール化」の進展度合いを実証的に比較していくのに有益なアプローチであるといえる。

第二は、「モジュール化」のアーキテクチャー自体の進化プロセスである。本稿では「インテグラル化」との明確な対比のため、「モジュール化」の「アーキテクチャー」は「事前のコーディネーション」により完全に固定化されていると仮定した。しかし、青木(2001)が概念化したシリコンバレー・モデルは、「モジュール化」されたシステムにもかかわらず、「アーキテクチャー」(インターフェース・スタンダード)の進化的選択と最適なモジュール結合の事後的選択を行うという意味での「事後的コーディネーション」を行う仲介者(ヘルムスマン：舵手)の存在を仮定しており、「モジュール化」に「インテグラル化」の要素も含んだハイブリッドなダイナミック・システムといえる。その意味で、シリコンバレー・モデルは、単純な「モジュール化」よりもより複雑な現象を巧みに扱った理論的貢献といえる。

最後に、理論モデル上の問題点として、特に、「モジュール化」のコストがアドホックに与えられていることが挙げられる。「インテグラル化」における「事後的コーディネーション」の仕組みをいくつかの例で明確に論じたのは本稿の貢献といえるが、製品開発における「モジュラー化」のプロセスはブラック・ボックスのままとして扱われている。このようなプロセスをモデルによって明示化していくことも今後の課題といえよう。

## 7. 結語

本稿で提示されたいくつかの理論モデルから得られるインプリケーションをまとめておこ

う。第一に、製品、システム構造において、「モジュール化」、「インテグラル化」の選択は、それぞれに費やされる「事前のコーディネーション・コスト」と「事後のコーディネーション・コスト」の比較によって決まってくる。

特に、「事前のコーディネーション」が固定費用であるという事実は、そのコストを費やすことで初めて可能となる「モジュール化」された「アーキテクチャー」がどの程度継続するがという時間的視野が重要になってくることを意味する。長い時間的視野が可能であればその分、「モジュール化」が有利になる。これはとりも直さず、「モジュール化」自体、ダイナミックなフレーム・ワークで考えなければならないことを意味している。一方、「モジュール化」のためのプロセスの不確実性が高いほど、固定費用という性格が「モジュール化」を先延ばしにする面があり、「事前のコーディネーション・コスト」はこの両面から評価する必要がある。

また、いずれのモデルも、それぞれのモジュール毎のパフォーマンスが異なりうるという仮定がなされていることが重要である。「モジュール化」と「インテグラル化」の間の選択に当たっては、上記の 2 つコストの比較だけでなく、モジュール毎のパフォーマンスの差・ばらつき（事前の予想）（例：イノベーションのスピード、積荷の大きさ、局長の能力）も考慮する必要がある。本稿のモデルではその差が大きいほど「モジュール化」が有利になるという結果が得られた。したがって、しばしば言われる、「イノベーションの進展が早くなるとモジュール化が進む」という命題は必ずしも正しくない。むしろ、正確には、それぞれの部品のイノベーションにバラツキが見られる場合（もちろん、こうした状況が全体としてのイノベーションがより速く進む時に起こりやすい現象であるが）、「モジュール化」が起こりやすいというべきである。

## 参考文献

( 英語 )

- Aoki, M. (1986), "Horizontal and vertical information structure of the firm", *American Economic Review* 76, pp 971-983
- Aoki, M. (1999), "Information and Governance in the Silicon Valley model", Stanford University, Department of Economics
- Baldwin, C. and K. Clark (1997), "Managing in an age of modularity", *Harvard Business Review* 75(5), pp 84-93
- Baldwin, C. and K. Clark (2000), *Design rules: The power of modularity*, Cambridge, MA, MIT Press
- Brusoni, S. and A. Prencipe (2001), "Unpacking the black box of modularity: Technologies, Products and Organizations", *Industrial and Corporate Change* 10(1), pp 179-205
- Christensen (1995), "The driver of vertical disintegration", in *Innovation and the general manager*
- Economides, N. (1989), "Desirability of compatibility in the absence of network externalities", *American Economic Review* 79, pp 1165-1181
- Langlois, R. (1999), "Modularity in technology, organization and society", mimeo
- Langlois, R. and P. Robertson (1992), "Networks and innovation in a modular systems: Lessons from the microcomputer and stereo component industries", *Research Policy* 21, pp 297-313
- Loch, C., C. Terwiesch and S. Thomke (2001), "Parallel and sequential testing of design alternatives", *Management Science* 45(5), pp 663-678
- Matutes, C. and P. Regibeau (1988), "Mix and match: Product compatibility without network externalities", *Rand Journal of Economics* 19: pp 221-234
- Pine II, B. (1993), *Mass customization: The new frontier in business competition* Boston, MA: Harvard Business School Press
- Qian and Xu (1993), "Why China's economic reforms differ? : The M-form hierarchy and entry/expansion of the non-state sector", *Economics of Transition* 1: pp 135-170
- Qian, Roland and Xu (1999), "Why is China different from Eastern Europe?: Perspectives from organization theory", *European Economic Review* 43, pp 11085-1094
- Shy, O. (1995), *Industrial organization: Theory and applications*, Cambridge, MA, MIT Press
- Simon (1962), "The architecture of complexity", *Proceedings of the American*

*Philosophical Society* 106, pp 467-482

Tirole (1988), *Theory of industrial organization*, Cambridge, MA, MIT Press

Ulrich, K. (1995), "The role of product architecture in the manufacturing firm",  
*Research Policy* 24: pp 419-440

(日本語)

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』、東洋経済出版社

青木昌彦(2001)、『比較制度分析に向けて』、NTT出版

青木昌彦(2002)、「産業アーキテクチャーのモジュール化：理論的イントロダクション」、青木・安藤編(2002)在中

青木昌彦・安藤晴彦編(2002)、『モジュール化：新しい産業アーキテクチャーの本質』、東洋経済新報社

池田信夫(1997)、『情報通信革命と日本企業』、NTT出版

池田信夫(1999)、『インターネット資本主義革命』、NTT出版

池田信夫(2001 a)、「インターネットによる情報通信産業の垂直非統合」、奥野正寛・池田信夫編(2001)在中

池田信夫(2001 b)、「デジタル化、モジュール化、カプセル化」、尾高・都留編(2001)『デジタル化時代の組織革新』有斐閣

奥野正寛・池田信夫編(2001)、『情報化と経済システムの転換』、東洋経済新報社

楠木建・H.チェスブロウ(2001)、「製品アーキテクチャーのダイナミック・シフト」、藤本・武石・青島編(2001)在中

国領二郎(1995)、『オープン・ネットワーク経営』、日本経済新聞社

武石彰・高梨千賀子(2001)、「海運業のコンテナ化」、藤本・武石・青島編(2001)在中

藤本隆宏(1997)、「自動車産業製品開発の新展開」、97-J-15、東京大学経済学部

藤本隆宏(2001)、「アーキテクチャーの産業論」、藤本・武石・青島編(2001)在中

藤本隆宏(2002)、「日本型サプライヤー・システムとモジュール化：自動車産業を事例として」、青木・安藤編(2002)在中

藤本隆宏・武石彰・青島矢一(2001)編、『ビジネス・アーキテクチャー』、有斐閣

柳川範之(2002)、「ゲーム産業はいかに成功したか：アーキテクチャーの競争の役割」、青木・安藤編(2002)在中