Abstract

The purpose of the paper is twofold: One is to explain the concept of product architecture in the context of increasing complexity of artifacts; The other is to examine the condition under which the open-standard strategy is likely to be adopted. Dramatic decreases in mechanical information processing cost due to IT development induced hierarchical subdivision of artifacts with a modular structure consisting of numerous parts. This brought to the fore the question of how to solve the complicated coordination/integration problem between development of whole product system and that of individual parts. There are two ways of classifying solutions to this problem: One is the distinction between coordination by humans and coordination by product architecture; The other is the distinction between decentralized coordination through markets and cooperative coordination via organizations or networks. We argue that precommitted standardization and open development strategies are complements. We then set up a model for examining the problem faced by a monopolist with a core technology to decide to choose between open-standard strategy or closed-integral strategy. Some comparative analytic results are provided.

人工物の複雑化と製品アーキテクチャ *

奥野正寛[†]
東京大学大学院経済学研究科

瀧澤弘和[‡]
多摩大学大学院経営情報学研究科

渡邊泰典[§]
東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター

2007 年 5 月 18 日

概 要

本論文は、製品アーキテクチャ概念の意義を、人間と人工物の分業・協業関係の展開過程に伴う人工物の階層的複雑化という文脈の中で説明する。人工物の階層的複雑化の急速な進展は、多数の部品からなる複雑な製品システムを登場させ、製品システムの全体開発と個々の部品開発をどうコーディネートし、インテグレートするかを重要な課題として浮かび上がらせた。製品開発に関する「開発標準型 vs. インテグラル型」という類型化は、そのシステム・コーディネーション/ インテグレーションを、主に人間が行うタイプと、開発標準という人工物を通して行うタイプの区別として理解される。この類型化は、他方における「オープン型」と「クローズド型」という開発作業形態の類型化と関連し、「開発標準型」は「オープン型」と、「インテグラル型」は「クローズド型」と補完性を持つことが示される。最後に、この補完性の主張の上に立ち、ある製品システムの基幹部品を独占的に供給する企業が「開発標準型×オープン型」と「インテグラル型×クローズド型」のどちらを選択するかを分析するモデルを構築し、消費者需要の変動性の程度がこの選択に与える影響を考察する。不確実な消費者選好の分布がより変動的であるとき、独占企業が「インテグラル型×クローズド型」を選択する可能性が高いことが示される。

*本稿のアイディアをまとめるに当たって、著者たちは、東京大学における「アーキテクチャ理論研究会」の参加者、報告者の方々、とりわけ安藤晴彦、池田信夫、中尾政之、柳川範之、木村友二、松八重泰輔の各氏との議論から多くのものを得ることができた。また、経済産業研究所におけるセミナーにおいて、三本松進、細谷祐二氏から貴重なコメントをいただいた。研究会に限らず交流させていただいている中馬宏之氏、藤本隆宏氏との不断のアイディアの交換がなければ、本論文はこのような形でまとまることはなかったであろう。これらの方々に、この場を借りて謝意を表したい。本論文に残された誤りがあるとすれば、それが著者たちのものであることは言うまでもない。なお、本稿は独立行政法人経済産業研究所における 2005 年度、2006 年度のプロジェクトおよび住宅団体連合会研究助成金によるプロジェクトの研究成果でもある。これらの機関に対しても、謝意を表したい。

[†]fujiwara@e.u-tokyo.ac.jp
[‡]takizawa@tama.ac.jp
[§]watanabe-y@mmrc.e.u-tokyo.ac.jp

1　はじめに

近年、製品アーキテクチャ（基本設計思想）が産業組織、産業競争力や企業の競争戦略にどのような影響を与えるかについての関心が高まり、経営学者を中心として数多くの論文が発表されるようになっている (Baldwin and Clark 2000; 藤本 2001；青木・安藤 2002; 藤本・新宅 2005)。本論文は、この問題に対して、経済理論の立場から考察するものである。論文の全体は、製品アーキテクチャの問題をコーディネーション問題/コーディネーション・システムという視点から考察した前半部と、製品アーキテクチャの選択に伴うインセンティブ問題を分析した後半部とから構成される。

前半部分においては、製品アーキテクチャ概念が重要性を帯びつつあることの背景を、人間と人工物の間の分業・協業関係の歴史的展開過程における人工物の独特な仕方による複雑化と、それに対応した製品開発プロセスにおけるコーディネーション問題の複雑化という文脈の中で説明する。また、そうすることにより、製品アーキテクチャに関してしばしば行われる類型化—「開発標準型」と「インテグラル (擦り合わせ) 型」—の経済学的意味を確定するとともに、それと開発作業形態に関する類型化— 「オープン型」と「クローズド型」— との関係を考察して、製品アーキテクチャにおける「開発標準型」は開発作業形態における「オープン型」と、「インテグラル (擦り合わせ) 型」は「クローズド型」と、それぞれ補完性を持つことを論じる。

また、後半部分では、前半における制度間補完性の主張の上に立ち、ある製品システムの基幹部品を独占的に供給する企業が「開発標準型×オープン型」と「インテグラル型×クローズド型」のどちらを選択するかを分析する簡単なモデルを構築し、不確実な消費者選好の分布の変動性の程度がこの選択に与える影響を考察する。不確実な消費者選好の分布がより変動的であるとき、独占企業が「インテグラル型×クローズド型」を選択する可能性が高いことが示される。

我々の前半部分のロジックをもう少し詳しくパラフレーズすると、以下のようになる。

1. 人間社会における知識の蓄積と蓄積された知識の社会的利用は、特化の利益を十分に活用できる社会的分業によって行われてきたが、それがうまく機能するためには、生産者の知識やノウハウを生産物の中に「カプセル化」すると同時に、その生産物をどのように使用すれば、どのような役に立つかという情報が潜在的消費者に対して「マニフェスト化 (一目瞭然化)」されている必要がある。

2. 他方、人間と人工物との分業・協業関係の根底には、経験ベースで帰納的な人間の情報処理の仕方と、事前のプランに基づいてアルゴリズミックに行われる人工物による機械的な情報処理の仕方との基本的な相違が存在し、それをいかに有効に補完的に組み合わせるかが問われる形で人工物が開発されてきた[1]。

3. 人間が人工物を操作するときには、人工物内部で行われる「内部コーディネーション」と、それだけでは目的が達成できず、人間が繰り返し人工物を操作する「直接コーディネーション」が組み合わされるのが通常である。この結果、人工物の進化は、「内部コーディネーション」は、予めプランされたアルゴリズミックな情報処理が人工物内部にカプセル化されることで実現される一方で、「直接コーディネーション」のために操作の仕方などが利用者にマニフェスト化されるという双対性を保持しながら、両者の境界を変化させるという仕方で行われることとなった。

[1]Simon (1996) は、人工物とそのデザインの問題に関する先駆的な研究である。われわれのアプローチは、人間は自らに補完的な人工物を製作するという観点を強調する点でサイモンのアプローチと異なっている。人工物と人間の情報処理様式の違いに対する理解の歴史的変遷に関する第 3 節の議論を参照されたい。

4. こうして、人工物の進化のプロセスにおいては、人間にしか出来なかった帰納的な情報処理を機械的情報処理に置き換えて人工物の内部にカプセル化することとなるが、このプロセスは、単にもとの人工物の内部構造全体をより大きな 1 つのカプセルにするだけではなく、限定合理的な製作者が設計することや、体化される知識がますます専門化することにより、人工物内に新たなカプセルを階層的に配置する形での複雑化を進行させせることとなった。

5. 人工物そのものが高度に複雑化した結果、人工物の製品開発自体も社会的分業を通して行わざるを得なくなった今日では、人工物の内部構造も入れ子的にカプセル化とマニフェスト化を必要とするようになった。

6. 技術革新のスピードの急速化、マーケティングの不確実性の増大、人工物の階層的複雑化の中で、新しい製品システムの開発は専業の製品システム開発者を発生させるに至った。この結果、新製品システムの開発は、消費者、製品システム開発者、部品開発者の間の複雑なコーディネーション問題となるに至った。

7. コーディネーション問題の複雑化の結果、製品開発者と部品開発者の間のシステム・コーディネーションやシステム・インテグレーションの部分を「開発標準」を通して行うか、人的に行うかの区別が重要性を増してきた。前者が「開発標準型」の製品アーキテクチャであり、後者が「インテグラル (擦り合わせ) 型」の製品アーキテクチャである。

8. 他方、人間が古くから利用してきた「市場」と「組織」という 2 つのコーディネーション・システムは、コーディネーション問題をオープンに実現するか、クローズドに実現するかという区別であり、製品開発はその参加形態によって「オープン型」と「クローズド型」に分類することができる。

9. 開発標準に一定期間コミットし、インターフェースさえ一致すればどんな部品開発者・生産者も参加できる「開発標準型」の製品アーキテクチャは、「オープン型」の作業形態と補完的であり、人的な擦り合わせによってその都度製品機種のアーキテクチャを改変できる「インテグラル型」の製品アーキテクチャは「クローズド型」の作業形態と補完的である。

前半の議論では、製品アーキテクチャをコーディネーション問題とその解決という側面から見たのに対して、後半部分では製品アーキテクチャ選択にかかわるインセンティブの一側面に焦点を当てる。2 つの部品—「基幹部品」と「周辺部品」—からなる簡単な製品システムを考え、基幹部品を独占的に供給する企業がこの製品システムのアーキテクチャとして、「開発標準型×オープン型」を選択するか、「インテグラル型×クローズド型」を選択するかを分析する。このモデル分析でキーとなるのは、消費者の選好の不確実性と周辺部品市場における競争である。基幹的部品を独占的に供給する企業にとって、「開発標準型×オープン型」という選択肢は、消費者選好の不確実性に伴うリスクを周辺部品の開発・生産企業に押し付けるとともに、オープン化して周辺部品の開発・生産を競争的にすることにより、製品システムが生み出すレントをほぼすべて享受することが出来る一方で、不確実な消費者選好に関する情報が不十分なままに事前の意思決定を行わざるを得ないことを意味する。これに対して、「インテグラル型×クローズド型」という選択肢は、不確実な消費者選好に関する情報を待って製品システムを開発できるメリットがある一方で、関連部品の供給を親密企業に任せることになるために、製品システムが生み出すレントの一部をこれら親密企業に対して譲歩せざるを得ない。こうしたトレードオフの分析により、消費者選好に関する不確実性がより変動的であれば、「インテグラル型×クローズド型」という選択肢が選ばれる可能性が高いことが示される。

以下、第2節においては、複雑化する専門知識を社会の中で有効に活用するためのコーディネーション・システムとして、市場と組織を特徴づける。第3節では、人間と人工物の関係に関するわれわれの見方を説明する。人間と人工物には、情報処理の仕方に本質的な差異があるが、だからこそ、互いに補完的になるような仕方で人工物が進化・発展してきたことを主張する。第4節では、人工物の複雑化を促してきたプロセスに焦点をあて、その複雑化の仕方にある一定のパターンが存在することを述べる。人工物を複雑化させてきた要因として、(1) 人工物が市場メカニズムと組織を用いた人間の分業と協業の中で創造されてきたことと、(2)20世紀に入ってから生じた電子的情報処理の発展という2つの点に焦点を当て、人工物が階層的複雑化というパターンを辿る必然性があることを述べている。第5節では、第4節で述べたような人工物の複雑化のプロセスの中で、新製品開発に関して新たなコーディネーション問題が発生することを述べ、その問題解決のためにどう仕組むかという観点から、製品アーキテクチャーを論じることにする。第6節では、2つの部品からなる製品システムにおいて、一方の部品を独占的に供給する企業が他方の部品の開発・生産を「開発標準型×オープン型」で行うか、「インテグラル型×クローズド型」で行うかを選択できる状況を考察し、消費者選好の分布の変動性がこの選択にどのような影響を与えるかを分析する。第7章で結論を述べる。

2　技術知識の利用とコーディネーション：市場と組織

すでに述べたように、本論文は今日における新製品の開発・生産のプロセスを人工物が複雑化した環境下におけるコーディネーション問題として捉えている。そこで最初に、われわれが考えるコーディネーション問題およびコーディネーション・システムとは何なのかについて述べておきたい。また、本論文の議論の地ならしとして、分業によって発生する生産物における知識・情報の「カプセル化」と「マニフェスト化」という概念、および「市場」と「組織」という対極的なコーディネーション・システムの性質について説明しておく。

周知の通り、人間社会は分業と協業を行うことによって大きな発展を遂げてきた。分業が有効であるのは、専門化の利益があるからである。農耕や漁撈など、人間が行う生産活動には、それぞれの活動に固有のさまざまな知識や技術が必要であり、こうした知識が正確であればあるほど、また技術が高ければ高いほど、生産性が上昇し、生産物の価値が高まることになる。これらの知識や技術は、経験と学習によって蓄積されるものなので、ひとつの活動に特化して経験をつむことで、初めて技術知識が高まり生産性が上昇する。また、こうした経験を通じて、他人に伝達可能な知識やノウハウを作り出せば、それを家族や子孫に伝えることによって特化の利益を維持・伝達することができる。

このように、分業から生まれた生産物は、人間の単純労働を体化しているだけでなく、生産者の持つ知識やノウハウという「人的資本」を体化したものである。こうした観点から見るとき、分業は専門家がさまざまな部面において蓄積した専門的知識によって生み出された成果を社会全体で共有して利用するためのメカニズムと見なすことができる。しかし、このことを可能にするためには、次のような意味における生産物に関する知識ないし情報に関する双対性が必然的に伴わなければならない。

すなわち、まず第1に、専門技術を体化することによって生産された生産物を生産者以外の人々が利用・消費できるようにするためには、そこに体化された生産者の知識やノウハウはもはや不要とならなければならない。生産のための技術知識は生産物の中に「カプセル化」され、生産のために使用された生産者の技術知識を持たない人でも、生産物の利用が可能でなければならないからである。第2に、分業の中で他人が生産した生産物を専門知識を持たない人でも利用・消費

できるためには、当該生産物をどのように使用すればどのような役に立つかという情報が、その生産物を潜在的に使用する誰にとってもマニフェスト (一目瞭然) なものでなければならないのである[2]。

分業の成果を実際に社会の中で生かすためには、生産物を交換することが必要である。自分が作った生産物を他人が利用し消費するのだから、何をいつどれだけ作るか、作ったものをいつどのように誰に渡すかによって、同じ生産活動を行っていたとしても、その社会的成果は高くも低くもなる。社会全体で分業して生産する様々な財・サービスを、いつ誰がどれだけどのようにして作り、それを誰にどう、どれだけ配分するかという、社会全体の投入・生産・分配のコーディネーションが必要不可欠なのである[3]。

歴史的に人間はこのコーディネーション問題の解決を、「市場」制度を通じた見知らぬ人の間の取引と、「組織」内部における見知った人同士の協力活動という、2 つの仕組みを有効に組み合わせることによって実現してきた。分業を前提とし、それが生み出す特化の利益を社会全体が享受できるようにするためのメカニズムという視点から見たとき、市場制度と組織という 2 つのコーディネーション・システムの違いは次の点にあるということが出来る。

市場というコーディネーション・システムのもとでは、取引相手が誰になるのかが事前にわからないため、取引当事者たちが予め、お互いの活動の詳細をコーディネートすることはできない。また、市場は匿名性の世界なので、財・サービスの交換が終わると、生産に必要とされた技術的知識や生産地だけでなく、生産者や生産時点、保管状況や輸送環境などの情報を事後的に追求することはできないのが通常である。他方、それにもかかわらず買い手が見知らぬ人から安心して購入することができるのは、個々の商品の内容や品質が一目で外見から判断できるからである。こう考えると、市場制度を通じたコーディネーションがうまく機能するためには、関連する情報のうち買い手に不要な情報は可能な限りカプセル化する一方で、取引している商品とそれに関する契約の内容が、買い手にとって必要十分なだけ明確にマニフェスト化されていることが重要な前提となっていることがわかる[4]。先に、分業が生産知識や製品の使用方法や役立ち方に関する情報に関して双対性をもたらすことを述べたが、市場はまさにその方法を製品に付随するその他の諸性質にも拡張し、強化することによって、見知らぬ人同士の出来る限り広範なコーディネーションを可能にするメカニズムであるということになる。

これに対して、企業組織の内部や長期関係にある企業間では、コーディネーション活動の当事者たちが、事前・事後を問わず、お互いに情報を伝達・交換する経路が確保されている。このタイプのコーディネーション・システムを以下では「組織」と呼ぶことにする。組織においては、事前・事後の情報経路が確保されているため、コーディネーション活動に必要な知識は、事前に完全にマニフェスト化されていたり、カプセル化されていたりする必要がない。したがって、組織を

[2]また、かりに人工物の生産者と消費者とが同一の人格である場合ですら、生産者は消費者 (ユーザ) として、生産に際して用いた知識をわざわざ振り返らずに製品を使用できる方がよいであろう。

[3]コーディネーション活動や、市場が果すコーディネーションの役割についてのわかりやすい説明は、Milgrom and Roberts (1992) を参照。また、市場制度を論じる際には、本文で強調しているような、異なる人々の異なる活動のコーディネーションという観点だけでなく、そこに含まれる取引契約を実効的 (enforceable) なものとするガバナンスの側面も重要である。市場を支える様々なガバナンス形態の特徴づけと相互の関係については、Aoki (2001) や Dixit (2004) を参照。

[4]中馬 (2004) は、異なる知識を結集する製品開発のプロセスにおいて、「一目瞭然化」が果す役割の重要性を強調し、この概念と (事後的) モジュール化概念とを関連づけている。コーディネーション問題の解決に一目瞭然化が果す役割を強調する視点は、本稿も共通している。なお、「マニフェスト化」という用語の選択は、Sperber and Wilson (1986) を参考としたものである。そこでは、伝統的なコミュニケーション・モデル (シャノン＝ウィーバー流のコード化モデル) やゲーム理論等で用いられてきた「共通知識 (common knowledge)」よりも弱いが、心理学的により妥当な概念として「マニフェスト」および「相互にマニフェスト (mutually manifest)」という概念を定式化し、それが人々の認知環境の共有化を実現することによって、コミュニケーションやコーディネーションをしやすくしていることが主張されている。

使えば関係者同士で情報を共有し、環境変化や状況変化に対して総合的かつ弾力的に対応できるわけである。このことは、市場のコーディネーションでは困難な関係者間の明示的な協力・協業体制が、個々の活動内容をマニフェスト化したりカプセル化したりする必要がない組織内部でのみ可能となることを意味している。しかしながら、組織においては関係者を限定するため、コーディネーションの範囲が制約されるというトレードオフが存在することを忘れてはならない[5]。

3　人間と人工物

第 2 節で述べた分析枠組は、分業を前提とし、それが生み出す特化の利益を社会全体が享受できるようにするための人間同士のコーディネーションに関わるものであった。しかし、人間の社会で行われる分業と協業は、人間同士のものだけに限られない。むしろ、人間は高度に発展した人工物を開発・生産し、それを有効に利用することで、その生活領域を拡大し、豊かなものにしてきたのであって、そこにおいては人間と人工物との間で広汎な分業と協業が行われてきたのである[6]。また、この人間と人工物との分業と協業の関係を形造るロジックこそ、人工物の進化・複雑化のプロセスの根底に存在するものなのである。本節では、こうした人間と人工物の間の分業と協業の関係について考察し、次節において人工物の複雑化プロセスを考察する際の準備概念を用意することとする。

3.1　人工物

人間は日々、対象としての自然に働きかけてそれを作り変えたり、互いに戦ったり、コミュニケーションをとるなど、さまざまな活動に従事する上で、それぞれの活動に役立つさまざまな人工物を製作してきた。また、人間が人工物を製作し使用するようになると直ちに、人工物を製作するという活動に際しても、人工物を用いるようになるというように、いまや人工物は人間の活動に密接に結びついて、至る所に存在しているといってよい。

ところで人工物には、物的な (タンジブルな) 人工物と、ソフトな (インタンジブルな) 人工物とが存在する。インタンジブルな人工物の中には、市場制度や企業組織など人間が作り出した様々な仕組みも含まれる。実は、本稿で焦点を当てようとする製品アーキテクチャも、ソフトな人工

[5]瀧澤 (2005) もまた、人間の経済活動においては、市場が標準的な製品という「仕切り」を前提として半自動的なコーディネーション活動を行っているのに対して、新製品開発などにおけるような、よりダイナミックなプロセスにおいては、その仕切りを横断して、異なる知識を結集することを可能にする「非市場的」メカニズムが必要となるということを強調している。

このようにそれぞれの特徴を持った市場と組織というコーディネーション・メカニズムが歴史的に共存し続け、どちらかに一方的に収斂することなく、今日もそれぞれに重要な役割を果しているということは、極めて興味深い事実である。このことは、後に述べるように、人工物の内部でアルゴリズム的に行われるコーディネーション (内部コーディネーション) と人間が介在するコーディネーション (直接コーディネーション) の両者が補完的に機能する事態や、新製品の開発活動において、開発標準を利用したコーディネーションと人的コーディネーションが共存する事態とアナロガスな現象である。これらに共通しているのは、それぞれの局面で直面するコーディネーション問題が多面的かつ複雑であり、異なるコーディネーション・メカニズムの長所を組み合わせることによってのみ解決可能であることに起因していると言えるだろう。

[6]人間と人工物との分業と協業の関係は、人間同士のコーディネーションの仕方にも大きな影響を与えているのである。たとえば Zuboff (1988) は、それ以前のオートメーション化との対比において、20 世紀におけるコンピュータを用いたオートメーション化がどのような意味を持ち、それが人間の協働形態にどのような影響を与えたかを分析している。コンピュータを使用した機械という人工物と人間との関係が、人間同士の協働の形態にも大きく影響しているのである。もし経済学が、人間による経済活動の組織化を分析する学問であるとするならば、人間と人工物の関係を考えることは、それを考える前提として必須とも言えるのである。

物に他ならないのである。また人工物の中には、発明などのアイディアやプログラムなど、どちらとも分類し難いものも存在する[7]。

物的な人工物とソフトな人工物は抽象レベルでは同列に論じることも可能であるが、具体的イメージが大きく異なるから、説明や分析の際にはどちらか一方に焦点を絞った方がわかりやすい。そこで以下、特に注意しない限り、本論文で人工物と言う場合には物的な人工物を想定することにしよう。また、本論文の主要部分で、われわれが対象とする人工物は、第 2 節で述べたような人々の分業と協業の中で生み出される製品である。製品の持つ人工物としての側面に着目することから、製品イノベーションに関する一定の洞察が得られるというのが、本論文が追求する立場である。

古い時代から存在する単純な人工物から、今日われわれが生産している非常に複雑な人工物に至るまで、すべての人工物には、ある特定の人間活動に直接的・間接的に役立つという目的が備わっているという共通点がある。このことは、Simon (1996) が述べているように、ほとんど人工物の定義であると言ってよい。また、人工物が人間活動に役立つある特定の目的 (あるいはそれを達成するより小さな目的) を達成すること、ないしは、その達成の度合のことを、われわれは日常的にその人工物の機能と呼んでいる。しかし、機能についてのわれわれなりのワーカブルな定義を与える前に、人間と人工物との関わりについて考察する必要がある。

3.2 人工物と人間の情報処理の本質的差異

繰り返しになるが、人間は様々な活動を行う際、人工物を使用することによって、自分の能力を拡張し目的を達成する。この時、人間と人工物は一体となって目的を達成しようとするのであり、その意味で、人間と人工物の間にもコーディネーションの必要性が発生すると言ってよい。

Zuboff (1988) が観察したように、現代の自動化された工場では、複数の人間と複数の人工物が分業と協業を行っている。しかし、以下ではもう少し問題を限定し、1 人の人間 (人工物を使用するユーザー) と 1 つの人工物との間で発生する関係に焦点を絞ることにしよう。このことは、多くの場合、消費財としての人工物に焦点を絞ることを意味している。しかし、基本的なロジックは複数の人間と複数の人工物の分業と協業に関しても同じであると考えられる。

1 つの人工物とはいっても、その内部には複雑な構造が存在しうる。人間が人工物を操作するためには、人工物内部のさまざまな部品それぞれが、適切なタイミングで適切な動作を行うことが必要になる。人工物の内部構造のコーディネーションである。また、ユーザーが人工物を使用して一定の目的を達成するためには、通常その目的にみあった動作を人工物にさせる必要がある。ユーザーが人工物を操作しなければならないのである。人間と人工物の間に発生する、これら 2 つのコーディネーション・メカニズムを区別することにしよう。

内部コーディネーション： ユーザーが人工物を一度操作すれば人工物がそれ自身の中でコーディネーションを完結し、ユーザーが操作した目的が、それ以上ユーザーが手を加えなくても実現する場合、人工物は内部コーディネーションだけで目的を達成するという。

直接コーディネーション： 最初に人工物の内部コーディネーションの発動を促したり、人工物の内部コーディネーションだけでは目的が達成できず、人間が人工物の操作を繰り返すことで両者の間で情報のやりとりを行う場合、目的を達成するためには直接コーディネーションが必要になるという。

[7] Hayek (1973) は「自然的」と「人工的」との区別を、「人間的行為の結果であるが人間的設計の結果でない」中間的範疇の認識を閉ざす誤った二分法であるとしている。われわれの人工物概念には、市場制度などのソフトな人工物をも含むものであり、ハイエクのいう中間的範疇のものも含んでいることになる。

多くの人工物では、内部コーディネーションと直接コーディネーションの両者を必要とする。情報処理という観点から見るとき、内部コーディネーションでは、人工物内部で情報処理が完結している。他方、直接コーディネーションでは人工物だけでなく、人間自身の情報処理もかかわり、さらに人間と人工物との間のコミュニケーションがかかわってくることになる[8]。直接コーディネーションとは、ユーザー操作で起動した内部コーディネーションの結果が、ユーザーが望んだ目的から見て望ましくないと評価されたときや、より大きな目的を遂行するための部分的な結果しか生み出していないと評価されるときに、最終的にユーザーにとって望ましい結果が出るまで操作を繰り返すことに他ならない。そのためには、人工物の操作、操作結果の評価と分析、人工物の更なる操作 ... といった、ユーザーと人工物の間の一連のコミュニケーションが必要になる。

したがって、人工物を設計する際には、人間と人工物がともに一部となるシステムにおいて、必要とされる情報処理のどの部分を人工物の内部コーディネーションによって実現し、どの部分を直接コーディネーションによって実現するかの区別に対する考慮が必要である。その際、機械のような人工物が出来る情報処理のタイプと、人間にしか出来ない情報処理のタイプとの違いが大きく影響してくることになる。人工物の情報処理と人間にしか出来ない情報処理の区別は、技術進歩によって変化するという意味で、本質的には相対的なものであるかもしれない。しかし、今日の技術水準を所与として論じるときには、それは有用な概念的区別である。後に述べるように、コンピュータが発達し、人工物が電子的メカニズムを取り入れて、これまで人間にしか出来なかった情報処理の多くを実現するようになっても、この区別は依然として存在している。以下、その相違点について述べることにしよう。

人工物が動作する原理は予め設定されたアルゴリズムである。科学技術の知識に基づいて設計された洗練された機械・電子製品は、どんな過酷な状況でも誤りなく動作を行うことが可能であるが、根本的には事前に決めららたアルゴリズムに従って作動するのであり、あらかじめ設計された仕様（プラン）を超えることは出来ない。プランに入っていなかった（入れていなかった）状況では、それに見合った適切な動作が期待できないのである。

他方、人間は、コンピュータのように複雑な仕事を正確にこなすことができないにしても、予想していなかった状況に直面したときには大局的な視点から物事を判断し、最善ではないにしてもそれなりの対応を行い、最悪の結果を避ける能力を持っている。以下では、人間の情報処理の仕方に関するこれら両方の側面— 計算能力の限界という側面と文脈的判断が可能であるという側面—を含めて、「限定合理性」という言葉を使用することにしよう。

人間が限定合理的であるということの意味は、以下のような事例ベースの意思決定モデルで考えれば理解しやすいだろう[9]。人間は、予めきちんと定義できるような、可能な世界状態すべての集合を持って意思決定をしたり、行動をとるわけではない。むしろ、人間は過去に遭遇したさまざまな事例のデータベースを持っていると考えられる。新しい意思決定機会に直面した人間は、その機会を過去の事例との類似度に基づいて比較し、過去の類似した事例でどのような行動をとった結果、どのような効用を得られたのかに基づいて行動を選択する。類似した事例でとった行動が満足の行く水準 (aspiration level) に達していない場合には、新たに直面した機会において新たな行動を試みるという満足化行動 (satisficing behavior) を取る。他方、過去の類似したさまざまな事例でとったさまざま行動が一定水準に達する結果を残している場合には、類似度でウェイトづけした効用がもっとも高い行動を選択するのである。こうして、人間は (1) 状況、(2) 行動、(3)

[8] この意味で、人工物は Cutland (1980) で定義されている URMO(Unlimited Register Machine with Oracle) と似た性質を持っている。そこでは、ある状態に至ったときに外部に入力を促し、入力 (oracle) を受けて、さらにアルゴリズムが作動する。内部コーディネーションと外部コーディネーションの関係に関する数学的記述に関しては、奥野・渡邉 (2006) を参照。

[9] 事例ベース意思決定理論については、Gilboa and Schmeidler (2001) を参照。

帰結というトリプルから成る各事例を経験によって蓄積していく。

人間の行動が、限定された状態空間に制約されるようなものではないということは、予想していなかった状況にもそれなりの対応をとれる理由になっている。人間は状況を文脈型に全体把握することが出来るのである。他方、ありとあらゆる行動の帰結を計算して比較して行動するのでないということは、合理性が制約されていることを意味している。また、明らかにコンピュータのような計算能力を持たないし、記憶容量にも限りがある。繰り返しになるが、これら 2 つの意味で人間は限定合理的なのである。

以上のような、人工物と人間の情報処理の違いに関する理解の仕方は、歴史的に揺れ動いてきた。初期の人工知能研究者の一部の人々は、人間の行う情報処理と全く同じことがコンピュータによって実現出来ると考えてきたという意味で、人間の行う情報処理とコンピュータの行う情報処理を完全な代替物と考えてきたと言ってよいだろう。他方、すでにこのような線に沿った人工知能研究に対して批判的なサッチマンのような研究者は、人間の行為が「状況的」であるのに対して、コンピュータの動作は「プラン」に基くものであるとして、両者の認識の枠組が根本的に異なることを指摘し、両者の間のコミュニケーションは必然的に困難を伴うものであるという結論を導いている (Suchman 1987)。

しかしながら、今日の視点から見るならば、文脈型の全体把握に優れた人間と、限られた範囲の最適解の発見に勝る機械・電子部品などの人工物が分業し、協業することによってこそ、お互いを補完しあって、より望ましい結果を実現できるわけであり、事実、歴史的にも人工物はそのようにして発展してきたと見ることが出来るのである。たとえば、もともとは人間の代替物として構想されたロボットでさえ、最近の工学研究はサイボーグという方向により高い可能性を求めている。人間と独立に行動し、自ら認知・決断能力をもつロボットではなく、人間が装着し、人間の認知能力を利用することで、人間自身の能力を高めることを求めるサイボーグが、ロボット工学の行き着いた先であることは、状況を認識し適切な判断能力という意味で人間と機械の間に本質的な相違があることを示していると同時に、人間と機械が補完的でありうることを示している[10]。

3.3 人工物の機能

人工物の機能の持つ本質的な意味は、上で述べたように異なる情報処理上の特性を持つ人間と人工物とがコーディネーションを行う上で必要とされるインターフェースに関わるものである。前小節で述べたように、人間は限定合理的な存在であり、どのような**状況**でどのような行動 (＝) **操作**を行い、どのような**帰結**がもたらされたかという事例をデータベースとして蓄積しながら学習する存在である。したがって、人工物とのコーディネーションの 1 つのインスタンスもまた、このような事例の整理・蓄積に役立つ仕方で人間に提示されるのが通常なのである。

より具体的に述べよう。第 1 に、人工物に体化された専門知識とも言える内部コーディネーションの詳細な状況は、ユーザの人工物利用の邪魔にならないようカプセル化される一方で、最低限必要な人工物の内部状態はユーザにマニフェスト化され、ユーザ自身の外部環境把握と一緒になって、ユーザの状況把握を可能にする必要がある。また第 2 に、人間が操作＝直接コーディネーションを行う際に、その操作方法がわかりやすくマニフェスト化されている必要がある。さらに第 3 に、直接コーディネーションの結果として、人工物がどのような働きをしたかという帰結もまたユーザにマニフェストなものとして提示されなければならない。

[10] 1 人のユーザと 1 つの人工物という文脈を逸脱することになるが、Zuboff (1988) や中馬 (2006) が観察したオートメーション化の進んだ工場の例も示唆的である。いくらオートメーション化が進んだ工場でも、人間にしか出来ない仕事 (＝文脈的な情報処理) が存在し、人間はそれに従事している。また人間と機械との分業と協業をどのように仕組むかで、大きなパフォーマンス上の差異が生じるのである。

このように考えるならば、ひとつひとつの人工物によって、直接コーディネーションの必要性に差があり、それに応じて、これらの側面の一部が暗黙的になったり、明示的になったりすることがあるものの、人工物の機能には少なくとも 3 つの本質的側面があるということができよう。

機能の第 1 の側面は、人工物の作動状態を人間が把握するという側面である。人工物が環境を認識できたとしても、機械である人工物の認識は人間であるユーザーの認識とは異なるのが一般的である。このような人工物による環境認識をユーザに理解可能な形式で伝達することも、この側面に含めることができよう。

機能の第 2 の役割は、具体的に人工物を操作することに関わる。直接コーディネーションにおいては、人工物が自分の欲する動作を行うよう、ユーザーの立場から操作命令を発する必要があるが、その際、人間の操作命令は、人工物が理解できるような形式言語に翻訳可能な形で定義されることが必要になる。したがって、人間が人工物を操作・利用しやすいよう、形式論理と機械言語で動作する人工物の操作方法をマニフェスト化した「操作機能」という、人間にとって理解可能なコードが必要なのである。

機能の第 3 の意味は、ユーザーが事前・事後に自分にとって人工物の評価を行うことを可能にするという点にある。すなわち、人間にとって人工物が有用であるためには、それがどんな性質を持っているのか、どんな動作を行うことができるのか、どんな成果が得られるのかなどを、あらかじめユーザーが理解したうえで、人工物を事前に評価できる必要がある。また、人工物の有用性を事後的にも把握し、人工物の成果を評価できることが必要だろう。機能のこの側面は「性能機能」と呼ぶことができる。

さらに、ユーザが直接意識する機能だけでなく、ある機能を達成するための (部品などが持つ) 機能のようなものがありうる。また、自動車の「乗り心地」や「デザイン」のように、人工物が持つ全体としての性質自体が直接的に人間の役に立つような機能もありえよう。以後、必要に応じて、こうした概念を導入していくことにする。また、一般に 1 つの人工物には複数の機能が対応しうることにも注意しておきたい。

3.4 小括

われわれは第 2 節において、社会的分業が解決を要請する「人間と人間とのコーディネーション問題」という側面から、人工物にまつわる情報ないし知識に関して「カプセル化」と「マニフェスト化」という双対性が要請されることを述べた。また第 3 節のこれまでの議論では、限定合理的な人間が人工物を使用するときに発生する「人間と人工物の間のコーディネーション」という側面に着目し、人工物が機械的・アルゴリズム的情報処理を通して実現する「内部コーディネーション」と、人間による経験ベースの帰納的情報処理を利用して行われる「直接コーディネーション」を区別し、限定合理的な人間が直接コーディネーションを通して人工物に働きかける際のインターフェースとして機能概念を定義した。これらの 2 つの議論は、「人間と人間のコーディネーション」と「人間と人工物のコーディネーション」という異なる観点からなされたものであるが、それらを統合することで、以下のような描像が得られることになる。

社会的分業は、生産者とは別の消費者が人工物を容易に使用できるように、その人工物の生産に用いられる科学的・技術的な専門知識を人工物の内部に「カプセル化」し、人工物の使用に関する知識を「マニフェスト化」することを要請していた。この情報ないし知識の双対性は、人間が人工物を使用する際に発生する人間と人工物との分業と協業関係をも考慮に入れることにより、以下のような形態をとる。すなわち、人工物の生産に用いられる技術的・専門的知識は、人工物がその内部で行う機械的・アルゴリズム的な情報処理に体化されることにより、その人工物の内部

コーディネーションのメカニズムとして「カプセル化」される。他方、人間が人工物を使用する際に必要となる情報や知識は、限定合理的な人間の情報処理の仕方を考慮に入れた上で、「直接コーディネーション」がしやすいような形で、機能としてマニフェスト化されることになるのである。こうして、人工物を製作する際に必要な専門知識のカプセル化は、人工物の機械的・アルゴリズム的情報処理に依存した内部コーディネーション・メカニズムがそれを体化するような仕方で行われることになるのであるが、このことが人工物の複雑化の仕方を大きく規定することになった。

4　人工物の複雑化

われわれはカジュアルな観察を通して、人間が使用する人工物が歴史を通じて、複雑化の一途を辿ったことを知っている。人工物が複雑化する要因は何だろうか。また、どのような過程を経て、どのように複雑化するのだろうか。本節では、このような問を考察する。

4.1　人工物の複雑化

すでに述べたように、人工物においては、その製作に際して用いられたさまざまな専門的技術知識は、その内部に内部コーディネーション・メカニズムとしてカプセル化されると同時に、それが持つさまざまな機能がユーザに対してマニフェスト化していなければならない。こうして人工物は、マニフェスト化とカプセル化という概念に対応して、製品の機能と内部構造という形で「階層的に」捉えられるわけである。

ところで人工物は、これまで人工物で実現されえなかった新奇な機能を単独で提供することで新たに発生するだけでなく、既存の人工物の改変という形で進化を遂げてきた。定義上「特定の人間活動に直接的・間接的に役立つこと」を目的とする人工物の進化は、次のいずれかのパターンで進化してきたと考えることができる。

1. 既存の人工物に新たな機能を付け加えること。
2. 既存の人工物の機能を質的に向上させること。
3. 複数の人工物が持っていた複数の機能をバンドル化したり、アンバンドル化したりして、人工物の使い勝手を向上させること。

ここで注意すべきことは、人工物の機能の質的な向上の中には、これまでは直接コーディネーションによって実現せざるを得なかったことを内部コーディネーションに置き換えることも含まれるということである。また、ある時には人工物の機能のアンバンドル化も発生しうるとはいえ、上記の人工物進化のパターンが示していることは、総じて、人工物が「複雑化」する傾向を持つということである。

こうした人工物の進化を可能にする要因は、社会における技術の進歩や知識の蓄積である。なぜならば、上に挙げた 3 つの進化の形態のどれをとっても、(1) その人工物にかかわる人間の (ユーザ側の) ニーズを明らかにし、(2) これら人間のニーズを満足させるような改善された人工物を開発・設計し、(3) より安価に、より高い機能を持つ人工物を生産することが必要とされるからである。すなわち、人工物とその内部構造の複雑化の背後には、広く、人間社会が全体として持っている科学知識が発展し、より多くの知識が社会に蓄積されるメカニズムが存在しており、それこそが人工物の進化とそれに伴う複雑化を引き起こしている最大の原因と考えることができるのである。より具体的には、(1) 人工物を製作するための (開発・設計・生産に必要な) 自然科学的・技

術的知識の発達、(2) 人間のニーズに関わる (マーケティング、人間工学などの) 社会心理学的・経営学的知識の進展、(3) それらの知識を収集・伝達・処理して最適な解決策を発見するための技術や仕組みなどである。

4.2　知識の蓄積と社会的分業

そこで今、人工物の複雑化の様相を理解するために、それを可能にしたより根源的な要因である知識の発展と蓄積について考えてみよう。人間は膨大な量の経験的知識を獲得・蓄積し、それを基に、さまざまな局面で応用可能な、解析的な知識を発展・蓄積してきた。

このことを可能にしたのは、人類史における以下のような知識の伝達や共有、再利用、発展の方法に関する累次の革新の結果であったということができる。第 1 には、知識を社会全体で共有し、世代を通じて伝達し、累積的に蓄積することを可能とする言語の獲得である。第 2 には、文字や記号の発明により、知識がより正確に共有・蓄積されるようになり、経験的知識をより明示的な考察の対象とすることによって、解析的な知識の発展を支えてきたことである。第 3 には、印刷機の発明と印刷技術の進歩によって、より安価かつ大量に、しかも社会全体で、知識を共有し蓄積することが可能になったことである。 第 4 に、コンピュータとインターネットの出現、さらに検索エンジンと検索ロボットの開発によって、知識の共有と蓄積が大規模に、しかも自動的に行われるようになったことである。

このように、人間が知識伝達・知識蓄積の手段を発展させたことの結果として、人間にとって有用な知識は単調に増大する仕方で蓄積されてきた。こうして膨大な知識が蓄積されるようになるとともに、人間が持つすべての知識を、一人の人間だけで記憶したり処理したりすることは不可能になる。

人類が持つ知識が増加するとともに、限定合理的な人間の集団には特化の利益が発生する。一人の人間は、人類が蓄積してきたすべての知識を得ることができないばかりか、特定の知識の吸収や修得にさえ、多くの時間と努力が必要である。このため、一人ひとりの人間がそれぞれ特定分野に特化して分野限定的な知識を修得し、その分野に習熟した方が、社会全体の利益に適うことになる。その方が、個々の人間が修得する専門知識の水準が高まるとともに、分業によってより高度で利便性の高い人工物を製作できるなど、人間社会に利するところ大だからである。

すなわち社会的分業は、限定合理的な人間が知識を蓄積し、発展させるために有効なメカニズムであると同時に、反対に、知識の蓄積と発展によってそれ自身が深化するという意味で、人間の知識拡大と社会的分業の拡大とは互いに他の有効性を強化する仕方で発展してきたと言うことができるのである。

前小節において、われわれは人工物の進化＝複雑化を根本において規定する要因が、人間の知識の蓄積と発展にあると述べたが、本小節における議論と組み合わせれば、人工物の複雑化が人間の知識の蓄積と手を携えて進展する社会的分業に深く関わり、そこから特定の形態を付与されることになることがわかるのである。

4.3　人工物の複雑化と内部構造の階層化

人工物の進化が内部構造の複雑化を伴う場合、その内部構造は階層的に複雑化せざるを得ない。すでに、人工物は「カプセル化」と「マニフェスト化」を伴うことにより、機能-内部構造という形で階層的に捉えられることは述べた。しかし、人類が新たに発見し蓄積した知識を人工物に体化していくプロセスの中で、その内部構造自体がさらに階層的に複雑化していくことになる。人

工物の進化のプロセスの多くのケースにおいて、従来人間にしか出来なかった情報処理を利用した直接コーディネーションの部分を機械的・アルゴリズム的な人工物の情報処理に置き換え、内部コーディネーション・メカニズムとして人工物の内部構造にカプセル化することになる。しかし、このプロセスは単にもとの人工物の内部構造全体をより大きな 1 つのカプセルにするだけではなく、以下の理由によって、人工物内に新たなカプセルを階層的に配置する形をとることになるのである。

第 1 は、人工物を使用するユーザーだけでなく、人工物を製作する製作者自身もまた限定合理的であることである。すなわち、限定合理的な製作者あるいは製作者たちが複雑な内部構造をもった人工物を設計・開発・生産するためには、まずそれを部分部分に分けて理解したうえで，個々の部分について作業する必要があるからである。

より具体的に言うならば、階層化は、人工物全体の製作作業と各部分の製作作業を分割し、それぞれの作業に必要な情報量を限定することによって、複雑な人工物の製作という作業を限定合理的な製作者にとってマネジャブルなものにするというメリットがある。すなわち、

1. 人工物全体の製作作業においては、各部分が果たす役割を、当該部分の「部分機能」としてマニフェスト化することで、各部分の内部構造の詳細を考えずに (すなわち各部分をカプセル化しつつ)、各部分の相互作用をどのように設計・製作するかという (人工物の上部階層に限った) 製作作業に専念できる。

2. 各部分の部分機能が決まることで、各部分の内部構造と部分機能の間の相互作用をどうコントロールするかという、人工物の中の各部分の製作作業を並行して進めることができる。また、各部分において、内部構造 (当該部分の内部にある要素間の関係) に関わる情報量を制限することが可能となり、ミスを少なくし、作業に専念することが可能となる。

第 2 に、第 1 のこととも関連するが、前小節で述べたように、今日のように知識が発達・集積して社会における知識の分業が高度に進行した状況では、複雑な人工物を製作する製作者は、当該製品に用いられる専門技術のすべての最新情報を詳細に知ることが不可能である。したがって、人工物を部分部分に分けて、当該部分に関わる知識に特化した専門家にその製作を委ねる必要があるからである。また、そうすることによって、人工物の各部分に関わる専門家が生まれることになる。こうした専門化は、当該技術に関わる技術知識の発展・修得をより急速に進めることにもなろう。

こうして、人工物という全体システムは、部品モジュールという下位システムを持つ階層化システムとして、複雑化することになる。このような複雑化のプロセスはさらに部品に対して作用するので、部品の内部自体も複雑なものとなり、またそれが果たす部品機能自身もさらに細かな部品の部品機能から成るようになった。このようにして、現代の人工物の多くは、複雑な内部構造をいくつかの基幹部品というモジュールに分解し、基幹部品自体もその内部をいくつかの部品モジュールに分解し、... という多段階の階層化構造を持つことになる。現代の人工物の多くは、人工物全体、基幹部品、...、末端部品という入れ子構造を持っているのである。

4.4 電子的情報処理と人工物

人工物を複雑化させてきた科学技術の発展や科学・工学知識の蓄積の中でも、とりわけ大きなインパクトを持ったのが、20 世紀後半以降、コンピュータを用いた電子的情報処理が行われるようになったことである。いわゆる情報化である。前小節で整理したような、人工物の複雑化を促した基本的ロジックに関する限り、情報化に関して特別なことはない。しかしながら、電子的情

報処理の登場と一般化は、人工物の急速な複雑化を促す要因となった。そこで、電子的情報処理が人工物の複雑化に果した役割について、われわれなりの考察を述べておくことにしよう。

歴史的に人工物は、水車や馬車といった器械がそうであるように、自然環境や動植物などの自然物を補完することによって、人間活動を補完してきた。 しかし産業革命以後、人工物はこれらのように自然物を補完するよりも、自然物を代替することで人間の活動能力を飛躍的に高めることに貢献してきた。蒸気機関・内燃機関・電動モーターなどの動力、鉄道・自動車・船舶などの輸送機械、あるいは有線・無線の通信技術などがその典型である。そうすることによって、近代の人工物は、人間の命令をより速く、より強力に、より遠くまで実現できる能力を持つようになったのである。とはいえ人工物に実現できたのは、人間の命令を忠実に実行することでしかなく、人間に代わって条件を判断して最適な活動を選択するという情報処理活動自体を行うことはほとんど不可能だった。

20 世紀後半に起こった情報処理革命は、人工物が人間の情報処理活動を大々的に代替するようになったことに、その最大の意味があると思われる。また、そのことの結果にとして、人間が人工物を駆使しつつ行う情報処理活動の領域は大きく広がることになった。

情報処理活動とは、その時々の条件によって、与えられた命令をもっとも望ましい形で実現する活動である。機械仕掛けの時計は、ゼンマイや錘が開放したエネルギーをてんぷやアンクルを通すことによって、歯車を 1 ノッチづつ動かしている。受けたエネルギーをため込んで、それが一定量になるという条件が満たされたときに、アンクルや歯車が動くことで、条件が満たされたことを機械仕掛けのプログラムに伝達しているわけである。しかし時計などの少数の原始的な仕組みを除けば、情報化が起こる前の人工物のほとんどは、「どんな条件が満たされたか」、「その場合何を行うのが最適か」という情報処理は人間に任せざるを得ず、「何を行え」という人間の命令を実行することを忠実に実行することしかできなかった。

コンピュータによる電子的情報処理化は、これまで人間が行ってきた情報処理活動のかなりの部分を人工物の内部コーディネーションに取り込むことを可能にした。しかも、そこで行われる情報処理は急速にスピードアップするとともに、安価なものとなり、人工物の内部構造のいたるところに組込まれるようになったのであった。こうして、従来の人工物における直接コーディネーションと内部コーディネーションとの境界線を大きくシフトさせるとともに、人工物の内部コーディネーション・メカニズムそれ自体を非常に複雑なものとすることになった。

電子的情報処理によってこのような変化がもたらされた理由は、大きく以下の 3 つに求めることができるだろう。

1. **情報処理概念の抽象化**

   情報処理概念の原型は、計算機理論の構築の中でアラン・チューリングによって、少なくとも 1930 年代には示されている。そこでは、それまでハードウェアから分離して考えることができなかった情報処理活動をプログラムという抽象物として、実体的なハードウェアから完全に分離して把握することができるようになった。また、このことによって、情報処理一般が、条件分岐を含む、少数の演算の組み合わせで実現できることが明確にされた。

   このことは、その後の情報処理のスピードアップ化等と相俟って、人工物に可能な情報処理の範囲を、計算理論的に可能な、限界に近いところまで拡大した。

2. **情報処理の標準化とメディア（媒体）からの解放**

   コンピュータという電子的情報処理によって、ディジタル情報の多くが 0 と 1 の列として表現することが標準となった。インプットとアウトプットが同じ形式となったので、ひとつのプログラムが行う情報処理プロセスの結果を他のプロセスに引き継ぐことが容易になった。

さらに、電子的な情報処理は、時計における歯車やてんぷのような物理的なメディア（媒体）から自由に行われるようになり、プログラム自体やデータの記憶や転写・複写を容易にした。

情報処理の標準化とメディアからの解放は、情報処理機構を潜在的に様々な人工物に組込むことを可能にした。

3. **メモリー容量の大規模化と情報処理のスピードアップ、小型化**

   ディジタル情報処理を半導体を使用して行うことにより、情報処理のスピードアップ化とメモリー容量の大規模化・小型化が同時に可能となった。このこともまた、様々な人工物の中に電子的な情報処理の機構を組込むことを可能にしている。

こうして、プログラムを用いることにより、人工物に条件に応じて異なる活動を自動的に行わせることが可能となった。しかしながら、現段階の人工物にできることは、次の 2 つでしかないことに注意する必要がある。

1 つは、あらかじめ条件ごとに定義された最適行動プランをプログラムの中に組み込んでおくことで、人工物に最適な活動を実現させることである。この場合には、これこれの情報が与えられた場合に当該プログラムを実行せよ、という命令自体がプログラムに書き込まれるわけで、条件が満たされたか否かを判断するのは、ユーザーである人間自身だということになる。しかも、このような電子的情報処理は、あくまでもプログラムを書いた製品開発者によってすでに仕分けされている条件の範囲内でしか実現できない。

今ひとつは、与えられた条件の下で、有限の選択肢の間の優位性の比較を行い、その中でもっとも望ましい選択肢を実行させるということである。この場合には、事前に実行プログラムを指定する必要はないから、選択肢の中で状況に見合って最適な活動を実行することが出来る。とはいえ、コンピュータにも制約がある。与えられた時間の中で最適な選択肢を探すためには、比較可能な選択肢の数は有限でなければならない。しかも、実行させる人工物は、数千、数万の部品から構成されている場合が多い。仮に選択肢の数が 1 兆個の 1 兆倍（10^{24}）まで比較可能な能力があるとしても、各部品が実現できる状態がそれぞれ 10 個ずつあるとすれば、製品内部の状態をすべて比較検討して、その中から最適な状態を検出するためには、部品の数は高々24 個までででしかありえない。

現代の人工物は複雑な内部構造を持っており、その活動はさまざまな部品がどう相互連関しているかによって変わってくる。この、大量の動因の間の相互作用が多様で複雑で予測困難な結果をもたらすという事実こそ、複雑系モデルが予測することでもある。どんなに高い能力を持つ電子処理システムであっても、内部構造が複雑になればなるほど、人工物の操作をすべて内部処理で解決するほどの能力は持ち得ない。つまるところ、現段階で人工物に出来ることは、プランに基づく限りでの条件的情報処理か、ユーザーの直接コーディネーション能力を高めるための補完機能であるということができるのである。

コンピュータの登場に伴う情報化はまた、製品差別化を促進する動力となった。情報処理コストがドラスティックに下がり、情報収集・処理が容易になったため、消費者間のニーズの違いや変化を捉え分析することが容易になり、1 つの製品の 1 つの機種を大量生産して、多数かつ多様な消費者に販売するよりも、多数の製品差別化された製品機種を多品種少量生産することによって、個々の消費者ニーズにより良くマッチさせることが、高い付加価値と高い企業利益を生み出す源泉になったからである。

しかし、このような製品差別化が行われる前提として、様々な製品機種に共通する、最低限の機能群 (基本機能) を備えた、製品クラスという抽象的なカテゴリーが、市場を通じてマニフェスト化する必要がある。市場という共有された認知環境の場を通して、ユーザーと開発者が相互作用

を行う中で、共通の機能の束をもった一定の製品クラスというものが浮び上がってくるのである(Williams 2005)。ここでいう製品クラスとは、自動車とかパソコンといったような、それ自体抽象的な存在であり、個別の製品が満たすべき最低限の機能リストによって定義されるものである。

これに対して、各製品クラス内に属する製品機種とは、具体的な特定機種を表わす言葉である。製品クラス内の異なる製品機種は、製品クラスを定義する機能以外の機能を持つことや、他の機種と異なる性能を持つことで製品差別化しており、市場から評価される。製品機種が最低限の機能を越えた機能を持つことで製品差別化しているということは、製品クラスがマニフェスト化しているとはいえ、常に変動に晒されており、それが新しい製品クラスを誕生させる可能性があることを意味している。ここに、新製品を誕生させるプロダクト・イノベーションの余地があるということができる。

5　コーディネーション・システムとしての製品アーキテクチャ

5.1　開発におけるコーディネーションの必要性の高まり

前節では、ある種の人工物が階層的細分化という特殊な形態で複雑化を遂げていく必然性があることを述べた。本節では、こうした独特な仕方での人工物の複雑化が、新製品を生み出していくプロセスにどのような影響を与えているのかを考察することにしよう。そこでは、製品開発・設計プロセスにおいて歴史上かつてなかった、コーディネーションの複雑化という問題が発生しているのである。近年、経営学で盛んに行われている「開発標準と擦り合わせ」や「オープンとクローズド」という開発プロセスの類型化は、こうした文脈で理解することが可能であり、有用である。

市場メカニズムを前提として新製品が生み出されるプロセスは、消費者と開発者の相互作用を通してであり、そこには常に消費者と開発者の間のコーディネーション問題が発生している。しかし、人工物の階層的複雑化の結果、人工物を開発・供給する主体とそれを利用・需要する主体との間のこうしたコーディネーション問題は、以下に述べるような形で複雑化することとなった。

具体的な人工物を開発・生産・供給するためには、専門的な科学的・技術的知識を持っていることが必要不可欠である。しかし知識の高度化と人工物の階層化が、個々の部品開発に必要な知識を高度に専門化した結果、ある部品の開発に必要な知識が他の部品の開発担当者には理解できなくなるような事態を引き起こすことになった。他方では、ユーザーに高い有用性を与えるためには、階層性を内包した製品システム全体が使いやすく統合されていなければならないから、さまざまな部品が製品全体の中で適切に統合（インテグレート）され、適切にコーディネートされていなければならない。こうして、一方では各部品開発者をコーディネートするとともに、他方では消費者とのコーディネーションをも担うような、製品全体の開発を専業で行う主体が必要になる。製品の全体設計を担当する製品開発者である。

以上のプロセスを知識の側面から見てみよう。消費者にとって人工物が有用であるためには、人工物がユーザーに提供するサービスの内容を事前・事後に評価すると共に、状況に応じてユーザーが人工物を操作できるよう、ユーザーに理解しやすい言語で人工物の役割や活動内容を知らせる必要がある。これが、人工物の機能であり、そのために機能は消費者にとってマニフェスト化されている必要があった。消費者にとってマニフェストになっている機能を以下では、製品機能と呼ぶことにしよう。

他方、1つの製品を生産するときに必要な技術知識が複雑になると、もはや1つの組織の中でそれらの技術知識を調達し、結合することが困難になってくる。その結果、製品は、その内部構造が階層化され、1つの組織が技術知識を結集できるような範囲の部品に分割され、それらの結合として実現する必要性が生じてきた。そうすると、製品システムが複雑化するにつれて、部品相互

の分業が生じることになる。そこでは、各部品の生産に必要な知識はカプセル化され、各部品の開発・設計者や生産者たちは自分の部品を開発・生産するのに必要な知識だけを知っていればよい状態が生じることになる。他方、各部品は、他の部品と結合する必要があるから、それぞれの部品の機能が相互にマニフェスト化される必要性も同時に生じることになった。ここで、より大きな製品システムの機能＝製品機能を実現するために、各部品が帯びることになる機能のことを、上述の製品機能と区別して部品機能と呼んだのであった。

こうして部品開発者と製品開発者の間で共有される製品・部品の機能に関する知識と、製品開発者と消費者の間で共有される製品機能に関する知識が差別化され、階層化されることになる。すなわち製品開発は、(1) 消費者ニーズの把握、(2) 全体製品の開発、(3) 部品の開発という三段階構造を基に行われることになる。いうまでもなく、製品の内部構造が入れ子構造になれば、この製品開発構造も入れ子構造になる。

以上のプロセスの裏返しとして、製品システムが複雑化し、製品機能を部品機能の結合によって実現することになると、製品が全体としてスムースに作動するために多数の部品同士を互いにコーディネートすること、また、各部品の持つ機能を統合して、システム全体がユーザーにとって望ましい機能を持つようにすることが重要性を帯びるようになった。このように、内部に階層構造を持つ、一つの複雑な人工物を開発・設計するためには、与えられた部品機能を適切に発揮できるような内部構造を持った個々の部品を開発・設計する部品開発作業と、与えられた製品機能を適切に発揮できるよう部品同士をコーディネートし、さまざまな部品機能を適切にインテグレートして人工物全体を開発・設計する全体設計作業という、2 つの異質な作業に分割されることになった。人工物の階層的細分化がもたらした問題とは、この全体設計作業自体をどう仕組むかという問題に他ならない。

この、複雑に階層化した人工物（製品クラスやその特定機種）の全体設計は、人工物全体が持つ諸機能は何か、どんな（基幹）部品を用意するか、個々の部品機能に何を割り当てるか、ユーザーと人工物の間の直接コーディネーションや、人工物内部の部品と部品の間の内部コーディネーションをスムースにするためには、それらの境界線をどのように設定し、どのような情報伝達・処理プログラムを作るかなどについての青写真を用意する必要がある。今日、経営学や経済学において注目されている「製品アーキテクチャー」とは、このように人工物の内部関係に着目し、それをどのように調整し、統合するかという仕組みに他ならない。以下では「製品アーキテクチャ」という言葉をこの意味で使用することにしよう。

このように、新たな人工物を開発する仕組みを人工物の内部関係のコーディネーションと捉える立場からは、大きく分けて 2 種類の製品開発活動の類型化が可能である。第 1 は、人工物の内部関係のコーディネーション＝製品アーキテクチャをソフトな人工物を設定することで実現するのか、それとも人間が直接調整することで実現するのかという区別である。その一方の極には、「開発標準」というソフトな人工物を作り、それに一定期間コミットする仕組みがある。いまひとつの極には、製品機種ごとに開発者という人間が異なるアーキテクチャを作り直すことで、製品アーキテクチャ自体の弾力性を維持しようとする仕組みがある。第 2 の区別は、製品機種の開発作業分担者の範囲に関わるものである。その 1 つの極には、開発作業への参加者を、企業内部や関係企業ないし関係者のネットワークに限る「クローズドな開発形態」がある。他方の極には、参加したいものは誰でも参加できる、使いたい部品は誰が作ったものでも利用できるという「オープンな開発形態」がある。以下、こうした類型化の意味を順に見ていくことにしよう。

5.2　開発標準（スタンダード）型とインテグラル型の製品アーキテクチャ

まず、開発活動の形態を製品アーキテクチャーの軸に即して見ていくことにする。製品アーキテクチャからみた開発形態の一方の極には、製品アーキテクチャ自体をあらかじめ（ソフトな）人工物として開発し、それを製品クラス単位で固定することで、個々の製品機種開発の際の開発標準とするという形態がある。また、他方の極には、個々の製品機種の開発ごとに、開発者が製品の全体設計をしなおす、言い換えれば個々の製品機種ごとに製品アーキテクチャを組み替えるというインテグラル（摺り合わせ）型の形態がある。現実の開発形態には、この二つの極の間に位置する多様な可能性がある。

前者の開発形態においては、ある製品クラスをどんな部品群から構成するか、ある製品機能の実現はどの部品（群）に分担させるか、そのためにはどんな部品機能を求めるか、関連する部品群の間の内部コーディネーションをどう実現するか、という仕組みの設計図が、まず決められる。これが狭義の「製品アーキテクチャ」という概念であり、物理的な実態は持たないが、人工物であることに変わりはない。

このソフトな人工物である製品アーキテクチャが一定期間固定化され、コミットされると共にそれを関係者（特に、部品開発関係者）に公開することが、この開発形態の特徴である。製品アーキテクチャは「開発標準」としてフォーカル・ポイントとなるため、製品システム全体の開発作業は製品アーキテクチャを中心に、個々の部品の開発がコーディネートされ、それを通じて人工物全体のインテグレーションが実現されることになる。

製品アーキテクチャを人工物として開発し、それを公開にすることは、製品アーキテクチャという「全体設計の大枠」が先行して開発・共有され、一定期間固定化されるということでもある。全体設計の大枠が先行することで、個々の部品開発を行うに際して、どんな部品機能を持つ部品を開発すれば、他の部品とコーディネートでき、それらとインテグレートすることで、最終的にどんな製品機能を持つ製品システムが生まれるかを予測することができる。逆に、こうしたシステム・インテグレーション、システム・コーディネーションの仕組みがわかりやすくなっていることが必要であるから、そこで開発される製品システムでは、製品機能と部品機能、それらを実現する部品の関係が入れ子型のモジュール構造を持つとともに、製品システムの内部コーディネーションにおいて必要とされる部品間のコミュニケーションに必要とされるプロトコルも予め準備しておく必要がある。いわゆる「インターフェースの標準化」である。このようにして実現した予測可能性を基に多数の部品を独立に開発してもシステム・コーディネーションやシステム・インテグレーションが実現することが担保されることになる。いわば、製品システムの開発作業において、部品開発は部品単位で分権的に実現することが可能になるというわけである。一方で、このような開発方式では部品開発の摺り合わせを行うことは不可能になる．しかし、すでに市場に存在する部品の部品機能を引き出すよう、製品アーキテクチャ自体を開発者が変更するという意味での摺り合わせは行える。部品開発先行型で、全体設計を部品にあわせて変更するというわけである。部品開発先行型なら、オープンな製品開発形態を使って摺り合わせ型開発を行うことも不可能ではない。

もうひとつの方法は、システム・コーディネーションとシステム・インテグレーションを製品システムの開発者という人間が、製品アーキテクチャという人工物を使わずに（あるいは製品アーキテクチャ自体を製品システムごとに開発し直すことで）人的に行う方法である。いわゆる、摺り合わせ型のアーキテクチャとは、一定期間一つのアーキテクチャにコミットすることがないために、製品機種を開発するごとに部品間の摺り合わせが必要になることを指している。

摺り合わせ型アーキテクチャの場合、部品の開発を、製品の全体設計と同時並行して、あるいは製品の全体設計の後で行うことが可能になる。このため、消費者ニーズの変化、技術の進歩、（市

場などで利用可能な）部品の出現などに併せて、製品アーキテクチャ自体を変更でき、さらには製品アーキテクチャを生かした部品開発も可能になる。このプロセスを通じて、より高度なシステム・コーディネーションやシステム・インテグレーションが実現可能になり、それだけ消費者ニーズに的確に対応した、より高度な知識を生かしたものづくりが実現可能となる。他方、この方法を使うと、製品機種の開発と部品開発を独立に行うことはできなくなる。普通、製品システムの開発者と部品開発者の連携・摺り合わせが同時に行われることになるから、全体設計と部品開発が同時並行的になることが多い。

5.3　製品開発の作業形態：オープン型とクローズド型

複雑化した人工物の開発において、製品システム全体の設計・開発者（製品アーキテクチャの設計者) と個々の部品の開発・設計者の間のコーディネーションが非常に重要となることはすでに述べた。このコーディネーションを、誰でも参加できる市場を通じることで見知らぬ人同士でも実現可能なものにするか、それとも組織内部に取り込んで比較的少数の参加者間の知識共有を前提にコーディネーションを行うかという観点から、もう１つの類型化が可能である。

１つの方法は、市場を通じて、見知らぬ人同士の間で製品開発作業をコーディネートする方法である。この場合、コーディネーションのためには、開発者が持つ暗黙知や企業特殊的資本は、市場で取引される部品の内部にカプセル化される一方、部品が買い手に対してどんなメリットを持つのかはマニフェスト化されていなければならない。

すでに開発済みで市場化されている既存の部品ならば、その内部にどんな知識がカプセル化されているかが部品機能としてマニフェスト化されているから、それらを寄せ集めることで全体製品を開発できる。開発済みの部品を使えば、市場で購入した部品を事後的に摺り合わせることで、製品機種の開発が可能である。

他方、部品自体を事前に開発するためには、当該部品がどんな部品機能を担い、それをユーザーや他の部品が利用するために、どんな命令を伝えればよいのかなどが、当該部品の開発者にわかるようマニフェスト化されていなければならない。製品アーキテクチャ自体が部品開発者に理解可能な言葉で書かれ、コミットされていることが必要なのである。製品アーキテクチャが人工物化され、開発標準として公開されコミットされていることで、この条件が満されることになる。なぜならば、この時には、そもそも製品全体がどんな製品機能を持ち、各部品がどんな部品機能を持つのか、また各部品の間の関係がどうなっているのかが、部品開発者にもあらかじめ明確となり、どんな部品機能を持つ部品を開発すれば、製品全体のどの機能を改善・改変できるかが明白になり、製品全体の製品差別化を分権的な部品開発を通じて構想できるからである。

これに対してクローズドな製品開発形態を使えば、個々の製品機種を開発するたびに、製品アーキテクチャの開発者と部品の開発者が共有する関係特殊的な技術や熟練、職場で共有されている暗黙知などを有効に生かすことが可能になる。また逆に、オープン・アクセスが拒否されているから、参加者を適切に選択することで、知的財産権を使わずにこれらの知識や技術を保護・保持することが可能になる。関係特殊的な知識や技術を知的財産権を使って保護・保持するためには、しばしばこれらの知識や技術を形式知や関係非特殊的なものに置き換えなければならないから、組織内に蓄積された組織特殊的な暗黙知の保護には、クローズドな形態が有効である。

とはいえ、クローズドな開発形態をとるからといって、製品アーキテクチャをソフトな人工物にすることのメリットがなくなるとは言えない。クローズドな関係者間であっても、製品アーキテクチャにコミットすることで、個々の部品メーカーの知識の蓄積を生かしつつ、それを部品内部にカプセル化して、他の部品メーカーや組み立てメーカーから切り離すことが可能になる。また、

部品機能と製品機能の対応関係が明確になれば、それを消費者にも公開し、個々の消費者ニーズに合わせた製品差別化を、製品アーキテクチャを通じて実現することが可能になる。個々の消費者は自分が望む製品機能を、適切な部品を組み合わせることで実現できることになるからである。

こうした考察は、先に述べた「開発標準型のアーキテクチャー」と「オープンな開発形態」、「インテグラル型のアーキテクチャー」と「クローズドな開発形態」の間に強い補完性が存在することを示している。しかしながら、表 1 が示すように、「開発標準型のアーキテクチャー」と「クローズドな開発形態」の組み合わせや、「インテグラル型のアーキテクチャー」と「オープンな開発形態」の組み合わせが存在しないわけではない[11]。

たとえば、中国の自動車産業では、外国自動車の部品がコピー・生産されるところから始まり、それをあたかも汎用部品のようにして組み合わせる方法で、自動車が生産されているという (藤本・新宅 2005)。これは、部品開発が組み立てに先行して、かつオープンに行われ、システム・インテグレーションを組み立て企業が行うという意味で、「摺り合わせ型アーキテクチャー」と「オープンな開発形態」の組み合わせであると言うことができよう。住宅という製品システムもまた、そこで使用される各部品の開発が先行し、建築業者がそれらを組み合わせることで全体としての完成度を高める役割を果すという仕方で生産されており、同じ範疇に入るということができよう。また、T 型フォード車は、完全に規格された自動車部品を組み立て加工して生産するものだが、その新製品開発そのものはクローズドに行っている。この意味で、「開発標準型製品アーキテクチャー」と「クローズドな開発形態」の例である。

製品アーキテクチャ\ 開発作業形態	オープン	クローズド
人工物としての開発標準全体設計先行型	デスクトップ PC（IBM-PC）	T 型フォード
開発者の擦り合わせ、部品開発先行（並行）型	中国の寄せ集め型自動車生産・住宅	サブノート PC 半導体露光装置

表 1: 製品アーキテクチャーと開発の作業形態

6　消費者需要と開発形態の選択：簡単なモデル分析

以上の考察は、製品システム開発に必要なコーディネーション問題が人工物の複雑化によって複雑化しているという観点からなされたものであった。しかし、現実においては、開発形態の選択は、もっぱらこうした観点によって規定されているとは言えない。本節では、ある企業が基幹部品を独占的に供給しているような製品システムにおいて、消費者需要の変動性の程度がこの企業によって選択される製品システムの開発形態に与える影響を簡単なモデル分析により考察する。ただし、ここでは開発形態として、「開発標準型×オープン型」と「インテグラル型×クローズド型」という、表 1 の対角線上に現われる 2 つのタイプを考えることにする。このことは、前節で見

[11] 本節の議論においては、製品アーキテクチャの問題を専ら複雑なコーディネーション問題の効率的解決という立場から論じたため、開発標準という製品アーキテクチャを誰がどのように設定することになるかについては明示的に議論してこなかった。表 1 のデスクトップ PC(IBM-PC) の場合、開発標準はマイクロソフトとインテルのいわゆる Wintel 連合が事実上決定していると考えられる。この例が示すように、製品システムの製品アーキテクチャ選択の鍵を握るのは、その製品システムの基幹的部分を独占的に供給する企業である可能性が高いと考えられる。後半 (第 6 節) の製品アーキテクチャ選択の意思決定モデルにおいて、製品システムの基幹的部品を独占的に供給する企業がこの意思決定を行うという想定は、こうした経験的事実を反映したものである。

たように、「開発標準型」と「オープン型」、「インテグラル型」と「クローズド型」には強い補完性があることから正当化されよう。

6.1 製品システムと消費者需要の変動性

単純化のため、ある製品システムが 2 つの部品 x と y から構成されているとしよう。このうち x は基幹部品であり、その供給はある企業 X によって独占されていると考る。もう 1 つの部品 y に関しては、X とは無関係な別の独立企業も生産可能であると仮定する。また、基幹部品 x は 1 種類しかないのに対して、部品 y は同一の部品機能を果たすが、その性能が異なる部品の総称であり、y_i で性能 $i \in I = \{1, \cdots, n\}$ を持った部品を表わすことにする。したがって、製品システムは 2 つの部品の組 $\{(x, y_i) : i \in I\}$ として表わすことができる。製品システム (x, y_i) をしばしば製品システム i と呼ぶことにする。製品システム i と i' は、全く同一の部品 x と、機能は同じだが性能が異なる部品 y_i と $y_{i'}$ と使った異なる財 (製品差別化された財) を表わしている。

この製品システムを需要する測度 1 の消費者が存在し、各消費者は差別化された製品システムのうちどれをもっとも選好するかに対して異なる選好を持っているものとする。すなわち、製品システムのそれぞれに対して、それをもっとも選好する消費者たちが分布しているので、消費者の選好の状態は分布 $p = (p_i)_{i \in I} \in \Delta(I)$ で表わすことができる。ここで $\Delta(I) = \{p = (p_i)_{i \in I} \geq 0 : \sum_{i \in I} p_i = 1\}$ である。

各消費者はこの製品システムをたかだか 1 つだけ購入し、それに対して 1 円を支払うものとする。また単純化のため、各消費者は、自分がもっとも好む製品システムだけしか購入しないものとする。すなわち、自分がもっとも好む製品システムが i であり、市場に製品システム i が存在しなければ、その消費者はこの製品を購入しない。この結果、消費者の分布が $p = (p_i)$ であるときに、製品システム i が供給されれば、i から p_i だけの収入を得ることが出来る。

以下では、以上の設定のもとで、独占企業 X がこの製品システムの開発標準を設定して、それを**事前**にオープン化し、任意の企業が自由に部品 $y_i (i \in I)$ の供給に参入できるようにするか (「開発標準型×オープン型」)、それとも開発標準をオープンにせず、ある程度の市場情報が得られてから、クローズドなネットワークでの生産を行うか (「インテグラル型×クローズド型」) という意思決定を分析することにするが、この意思決定にとって重要なのは、消費者の選好の分布が事前の時点では、企業にとって不確実だという事実である。そこで時間を $t = 0, 1, 2$ という 3 つの時点に分けよう。時点 $t = 0$ において、独占企業は上記のどちらの開発形態を選択するかの意思決定を行う。時点 $t = 1$ (以下、これを中間時点と呼ぶ) では消費者選好の分布に対するシグナルが得られ、時点 $t = 2$ において消費者の分布が決定すると考える。

より具体的には、時点 $t = 1$ で得られるシグナルのインデックスを $j \in J = \{1, \cdots, m\}$ とし、シグナル j が得られたときには、消費者分布 $p^j = (p_i^j)_{i \in I}$ が予想されるものとする。各 j に対応する消費者分布 $n \times 1$ のベクトル p^j を横に順に並べた $n \times m$ の行列を Π と書くことにしよう．また、時点 $t = 1$ でシグナル j が得られる確率を q_j とし、$q = (q_j)_{j \in J}$ と書く。時点 $t = 0$ では、独占企業 (および部品 y の潜在的供給企業) は消費者選好の分布に関して、どの消費者選好の分布 p^j が予想できるかを知らないが、全体の情報構造 (Π, q) は知っているものとする。

6.2 開発標準型生産とインテグラル型生産

企業 X の戦略の 1 つは、この製品システムの開発標準を設定して、それを**事前**にオープン化し、任意の企業が自由に部品 $y_i (i \in I)$ の供給に参入できるようにすることである。これを以下、開発標準型生産と呼ぶことにしよう。

開発標準の策定それ自体コストがかかると考えられる。このコストを当面 $F > 0$ としよう。この費用は、開発標準型生産を選択した時点でサンクされるものとする。ひとたび開発標準がオープンになれば、どんな企業も部品 x と組み合わせが可能な部品 y_i を生産するための技術開発・生産設備投資を行うことができる。この費用を、部品 1 つ当たりにつき、$f > 0$ であるとしよう。この費用は時点 $t = 0$ と時点 $t = 1$ の間に支払われ、サンクされるものとする。したがって、製品システム j に対して p_i^j だけの需要が発生することが中間段階において予想されるとき、企業 X と部品 y_i を生産する企業とを合わせて、$p_i^j - f$ だけの期待レントが発生する。

どの部品 y_i でも、潜在的にはどの企業でも生産可能だが、企業 X が独占的に供給する x と組み合わせなければ価値のある最終製品にならないため、開発標準型生産を選択した X は、その時点で、部品 y_i の生産 (製品システムへの組込み) ライセンスをオークションで売却できるとしよう。多数の潜在的な部品生産企業間の競争の結果、部品生産者の利潤はゼロとなるところでこの価格が決定されることになるから、企業 X はすべての期待レントを吸い上げることができる。すなわち、ライセンス i をオークションした独占企業 X がそこから得られる粗利潤は、$(x)_+ = \max\{x, 0\}$ という記号を用いると、

$$(Ep_i - f, 0)_+ = \left(\sum_{j \in J} q_j p_i^j - f, 0 \right)_+$$

であり、標準化にコスト F を負担する企業 X の事前の純利潤は、すべてのライセンスを合計した場合の粗利潤から F を引くことにより、

$$V^S = \sum_{i \in I} (Ep_i - f, 0)_+ - F = \sum_{i \in I} \left(\sum_{j \in J} q_j p_i^j - f, 0 \right)_+ - F \tag{6.1}$$

となる。

企業 X のもう 1 つの戦略は、開発標準を事前にオープンにせず、ある程度の需要情報が得られる時点 $t = 1$ を待ってから、クローズドなネットワークで生産を行うインテグラル生産である。インテグラル生産では、製品の標準化を行わず、親密企業だけで製品開発・製品生産を行うことにより、需要動向に対して事後的に弾力的に対応することができる。しかし他方では、消費者から得られるレントの一部が、X とのインターフェースを確保する技術を持つ親密企業に流出することになろう。そこで、総レントのうち、企業 X が獲得できる割合を $\beta \in [0, 1]$ と書くことにしよう。

インテグラル生産に対応するためには、自社内にさまざまな技術知識を蓄積しておく必要があるだろう。そこで、企業 X がインテグラル生産を選択するときにかかる事前のコストを $G > 0$ としよう。これは事前時点でサンクされるものとする。また、インテグラル生産において最終製品システム i を開発・生産するコストを $g > 0$ とする。

インテグラル生産では、中間時点 $(t = 1)$ でのシグナルを待ってから各部品生産の意思決定を行うことができる。したがって、中間時点でシグナル j が実現し、消費者の分布が p^j であることがわかった場合、製品 i が生産されるのは $p_i^j - g \geq 0$ のとき、そのときに限られる。この結果、製品 i から得られる総レントは $(p_i^j - g)_+$ であり、このうち β の割合を企業 X が獲得する。以上のことから、インテグラル生産における企業 X の期待純利潤は

$$V^I = \beta \sum_{j \in J} q_j \sum_{i \in I} (p_i^j - g)_+ - G \tag{6.2}$$

となる。

以上のような定式化をすることにより、開発標準型の生産とインテグラル型の生産の間には、次のようなトレードオフが存在することがわかる。開発標準型の生産では、事前に開発標準を公開

することにより、部品 y を供給する競争的企業が期待利潤に基づいて参入・不参入を決定することになるため、リスクを部品 y の生産企業に押し付けたうえで、期待レントをすべて吸収することができる。しかし、事前の期待値の上では存立不可能な製品システムでも、中間段階では存立可能な場合があるという損失が発生する可能性がある。他方、インテグラル型の生産を選択した場合には、中間段階で得られる情報を待って意思決定を行うことになるので、中間段階でのこのような損失は発生せず、不確実な消費者需要に対して、より適切に対応することができる。しかしながら、インターフェースをクローズドに共有する親密企業を利用せざるを得ないために、実現するレントのすべてを享受することができないことになる。

両者における意思決定のタイミングの違いは、リアル・オプションという言葉を用いて表現すれば、次のようなものとなろう。インテグラル型生産では、中間時点での情報を待って、生産のための投資意思決定を行う分、より細かく状況に対応したオプションを持つことが出来るのに対して、開発標準型の生産における企業 X は事前の時点で部品業者のレントを吸い上げるために、事前の期待値だけに基づいて生産活動にコミットするかのようなより粗いオプションしか持つことができないのである[12]。

6.3 分析

上で述べたようなトレードオフだけを純粋に抽出して見易くするため、以下ではさらに、両方の選択肢にかかる事前コストに関して $F = G = 0$ を仮定し、また、各製品の開発・生産コストは開発標準型でもインテグラル型でも同じである $(f = g > 0)$ と仮定しよう。この仮定のもとでは、

$$V^S((\Pi, q), f) = \sum_{i \in I} \left(\sum_{j \in J} q_j p_i^j - f, 0 \right)_+ \tag{6.3}$$

$$V^I((\Pi, q, f, \beta) = \beta \sum_{j \in J} q_j \sum_{i \in I} (p_i^j - f)_+ \tag{6.4}$$

ここで (Π, q) は「情報構造」と呼ばれていたことを思い出そう。情報構造に関して、以下のような半順序関係を導入する。

Definition **1.** 情報構造 (Π, q) が情報構造 (Π', q') よりも情報量が多い (変動的である) とは、$m \times m$ の行列 M で、各要素が非負で、各列ごとに要素の合計が 1 となるものが存在し,

$$\Pi' = \Pi M, \quad q = M q'$$

が成立することをいう．このとき $(\Pi, q) \succsim (\Pi', q')$ と書く。(Π, q) と (Π', q') は $(\Pi, q) \succsim (\Pi', q')$ または $(\Pi', q') \succsim (\Pi, q)$ が成立するとき、比較可能であるという。

上の定義から、情報構造 (Π, q) と情報構造 (Π', q') が比較可能であるとき、事前分布に関して、

$$\Pi q = \Pi' q'$$

が成立することは容易に見てとることができる。また、上の情報構造に関する半順序関係に関して、以下のような定理が成立することが知られている (Jones and Ostroy 1984)。

[12] Baldwin and Clark (2000) は、モジュール化の本質をより細かなオプションを多数生成することに求めている。モジュール化はわれわれのモデルにおける「開発標準型」に対応すると考えられるので、「インテグラル型」の方がより細かなオプションを生成するというわれわれのモデリングは、一見したところ、彼らの主張と矛盾しているように思えるかもしれない。この理由は、彼らが研究開発活動における不確実性に焦点を当てたのに対して、われわれが消費者選好に関する不確実性に焦点を当てているという違いに起因している。

Lemma **1** (Jones and Ostroy 1984)**.** $(\Pi, q) \succsim (\Pi', q')$ が成立する必要十分条件は、$\Delta(I) = \{p = (p_i)_{i\in I} \geq 0 : \sum_{i\in I} p_i = 1\}$ 上のすべての凸関数 $\Phi : \Delta(I) \to \mathbb{R}$ に対して,

$$\sum q_j \Phi(p^j) \geq \sum q'_j \Phi(p^{j\prime})$$

が成立することである.

情報構造に関するこの半順序関係を用いると、われわれのモデルに関して、以下のことが成立する。

Proposition **2.** 比較可能な情報構造と開発標準型生産およびインテグラル型生産における利得関数に関して、以下のことが成立する。

1. すべての比較可能な情報構造に対して、開発標準型生産を選択したときの企業 X の利得は等しくなる。すなわち、すべての (Π, q) と (Π', q') の組で $(\Pi, q) \succsim (\Pi', q')$ を満たすものに対して、$V^S((\Pi, q), f) = V^S((\Pi', q'), f)$ が成立する。

2. 情報構造の変動性が高ければ高いほど、インテグラル型生産による企業 X の利得は大きくなる。すなわち $(\Pi, q) \succsim (\Pi', q')$ ならば $V^I((\Pi, q), f, \beta) \geq V^I((\Pi', q'), f, \beta)$ である。

3. $V^S((\Pi, q), f) > 0$ のとき、$\bar{\beta} \in (0, 1)$ が存在し、$\beta > \bar{\beta}$ のときにはインテグラル型生産が最適となり、$\beta < \bar{\beta}$ のときには開発標準型生産が最適となる。また、$\bar{\beta}$ は (Π, q) に関して減少的である。

Proof. (1) $(\Pi, q) \succsim (\Pi', q')$ のとき、$\Pi q = \Pi' q'$ が成立しているが、開発標準型生産のときの利得 $V^S((\Pi, q), f)$ は事前分布のみに依存する関数なので、最初のステートメントが成立する。

(2) 補題から、$(\Pi, q) \succsim (\Pi', q')$ のとき、任意の p^j 上の凸関数に対して、確率分布 q の下でのこの関数の期待値は q' の下でのその値以上となるが、関数 $\sum_{i\in I}(p^j_i - f)_+$ は p^j に関する凸関数である。したがって、$V^I((\Pi, q), f, \beta) \geq V^I((\Pi', q'), f, \beta)$ が従う。

(3)$V^S((\Pi, q), f) > 0$ のときには、$V^I((\Pi, q), f, 0) = 0 < V^S((\Pi, q), f)$ かつ $V^I((\Pi, q), f, 1) > V^S((\Pi, q), f)$ が成立している。また、$V^I((\Pi, q), f, \beta)$ は β の厳密に増加的かつ連続な関数なので、題意が成立する。次に $(\Pi', q') \succsim (\Pi, q)$ としよう。このとき、$V^S((\Pi, q), f)0$ は一定である一方、(2) により任意の β に対して $V^I((\Pi', q'), f, \beta) \geq V^I((\Pi, q), f, \beta)$ が成立することから、題意は明らかである。 □

上の命題は、比較可能な情報構造では開発標準型生産の利得は不変であるのに対して、消費者の選好の分布に関する情報構造がより変動的であればあるほど、また企業 X の取り分 β の値が大きくなればなるほど、インテグラル型生産が有利となることを意味している。

7 結論

本論文の前半部分は、現代のものづくりで製品アーキテクチャー概念が重要性を増しつつある理由を、人間と人工物の分業・協業関係の展開と、その中での人工物の階層的複雑化という文脈の中において説明してきた。そこで展開された本論文独自の視点は、以下のようにまとめることが出来よう：

1. 社会的分業が引き起こすコーディネーション問題解決の 2 つの主要なメカニズムとして「市場」と「組織」を捉え、それらと生産物に関する情報ないし知識の「カプセル化」と「マニフェスト化」という概念との関連を指摘したこと；

2. 人間と人工物の分業・協業という視点を明示的に取り入れて分析を行い、人間社会における科学技術知識の蓄積と人工物の進化プロセスとの関係を考察したこと；

3. 人工物が階層的複雑化を遂げるようになったことの理由を、蓄積された科学技術知識の人工物への体化が人工物の内部構造にカプセル化されなければならないという事実と、人工物の製作者自身が限定合理的である事実に求めたこと。また、電子的情報処理の登場が人工物の複雑化のプロセスに与える影響を論じたこと；

4. 人工物の階層的複雑化に伴うシステム・インテグレーションやシステム・コーディネーションの必要性の高まりを指摘し、それを実現するソフトな人工物として「製品アーキテクチャ」を定義したこと；

5. 一方における、複雑な製品システム開発におけるコーディネーション問題を解決するために誕生した製品アーキテクチャと、他方における市場制度と組織というコーディネーション・メカニズムを利用した開発作業形態との間に存在する補完性という視点を提供したこと

である。

前半部分の分析枠組は、当事者間の利害対立を考慮の外に置くコーディネーション理論の枠組であった。しかし、明らかに現実には、製品システムの開発・生産に携わる多数の当事者間に利害対立が存在し、このことが製品アーキテクチャの選択問題を枠づけている。コーディネーション問題の解決という観点からは開発標準の設定が望ましい場合でも、当事者間で集団的に開発標準を設定する問題はそれ自身の難しさを孕むのである。そこで本論文の後半部分では、開発標準を設定する際に問題となる多数の潜在的当事者間の利害対立の問題を単純化するような状況設定に絞って、開発標準型かインテグラル型かという選択の意思決定問題を分析した。

すなわち、そこでは前半部分における「開発標準型」と「オープン型」、「インテグラル (擦り合わせ) 型」と「クローズド型」の間にある補完性の上に立ち、ある製品システムの基幹部品を独占的に供給する立場にある企業が、その製品システムのアーキテクチャを「開発標準型×オープン型」にするか、「インテグラル (擦り合わせ) 型×クローズド型」にするかという意思決定問題をモデル化した。モデル分析の結果、消費者需要に関する予測がより安定的であるときには「開発標準型×オープン型」が、より不確実であるときには「インテグラル (擦り合わせ) 型×クローズド型」が選択される可能性が大きいことが示された。

しかし、本論文の前半部分で行った製品アーキテクチャの特徴づけは、後半部分における限定された分析を超えて、さまざまなインプリケーションをもたらすはずである。その分析は、今後の課題として残したいが、ここで多少の予備的な考察を行って、そのアウトラインを示すことは可能である。

第 5.2 節においてわれわれは、開発標準というソフトな人工物を用いたコーディネーションにおいては、システム・インテグレーション、システム・コーディネーションの仕組みがわかりやすく、予測可能なものとして一定の期間固定されると述べた。製品アーキテクチャが開発標準として固定されることにより、他の部品の開発や特定機種の全体設計とは独立に、次のようなことが可能になる。

第 1 に、各部品の部品機能がマニフェスト化される。このため、どんな部品機種を開発すれば、全体製品のどの機能がどう改善・改良されるかが明白になり、部品機種の開発が全体製品の製品差別化につながる道筋が明確になる。このため、他の部品開発と独立に行った部品機種開発でも、それが開発者にもたらす利益の予想がより明確になり、それだけ適切な部品開発が行われる。

第 2 に、各部品が与えられた部品機能さえ満たしていれば、その内部構造は、製品の利用者は言うまでもなく、他の部品開発者や全体設計の担当者にさえカプセル化してよい。このため、部品開

発者は、部品開発に使った暗黙知や関係特殊資産を部品にカプセル化できる。保有する技術知識の保護を、知的財産権など、第三者に立証しなければならない手段を使わなくてすむから、オープンな開発組織でも、これらの知識や技術をより有効に利用できる。

他方、製品アーキテクチャの形態は、製品開発の対象となる製品クラスの性格とも強い補完性を持っている。本論文の後半部分の考察は、製品アーキテクチャの形態と当該製品システムに対する消費者需要の不確実性度との関連を分析したが、その他にも多くの考察されなければならないイシューが残されているのである。

たとえば第 1 に、製品クラスにおいてその操作の仕方が標準化されていればいるほど、製品の操作を内部コーディネーションに委ねることができる。外食チェーンの顧客サービスという、製品がソフトな人工物である場合を例にとろう。標準化された顧客サービスならば、必要な手順はすべてマニュアル化されており、手順どおりに動くことを義務付けられた店員がマニュアルどおりに動くという内部コーディネーションで、サービスが完結する。これに対して、予測しなかった状況は当然マニュアルでカバーされていないから、店長やチェーン全体の責任者というエクスパートの判断が求められる。状況に応じた操作という、直接コーディネーションが必要になるのである。パソコンや電子レンジといったほとんどの手順が標準化されている製品クラスなら、開発標準を事前に固定した開発形態で十分に対応できる。これに対して、道路状況や気象状況など、状況に応じて異なる操作が必要になる自動車のように、直接コーディネーションを多用する製品クラスなら、摺り合わせ型の開発に比較優位があることになるだろう。

第 2 に、第 5.2 節でわれわれは、開発標準というソフトな人工物を用いたコーディネーションは、部品開発を分権的に進めるために有効であると述べた。逆に、個々の部品開発の間のコーディネーションが重要で、部品開発を分権的に進められないならば、その有効性は小さくなるだろう。部品開発同士のコーディネーションが重要になるのは、さまざまな部品の機能自体をコーディネートするために必要な資源制約が厳しい場合である。いくつか例を挙げてみよう。第 1 に、サブノートパソコンなど、個別部品の発熱が他の部品動作に干渉し、製品全体の動作に大きな影響を与えることがある。もちろん資源利用に余裕があれば、製品全体に影響を与えないよう個別部品の発熱量を制御し、相互干渉を抑えることも可能である。しかし、利用できるスペースや制御のための情報伝達資源に制約があれば、結局製品開発の段階で、部品設計や部品配置で解決することが必要になる。言うまでもなくその結果、摺り合わせ作業が必要になる。第 2 に、第 3.1 節において機能の一例として示した自動車の「乗り心地」や「デザイン」のように、自動車を構成する部品全体のコーディネーションを通じてのみ実現可能な機能が必然的に重要性を持つケースでは、製品アーキテクチャーを通したシステム・インテグレーションやシステム・コーディネーションは実現困難だろう。

これらの場合には、開発標準という人工物を使った分権的な部品開発は困難になり、開発者という人間が摺りあわせを使って開発作業を行うことの優位性が高まることになる。また、すでに述べたようにこの場合、クローズドな開発作業形態が補完性を持つことが多いから、日本のような組織内での開発や、企業ネットワークを通じた開発が親和的になることが考えられる。

とはいえ 1 つ、注意しておくべきことがある。製品開発のクローズドな作業形態といっても、職場の現場、工場、企業、親密企業間、媒介者がつなぐコンソーシアムなど、その広がりには多様性がある。中馬 (2004) などが強調するように、開発する製品が複雑化し階層化すればするほど、また科学知識や生産技術、消費者ニーズ情報や人的・財務資源など、必要な資源が多面化すればするほど、広がりの大きなネットワークを構築する必要が生まれる。製品開発という未来の作業のために必要なネットワークは、歴史的に作られた企業や企業間関係というネットワークに縛られてはならないのである。

こうした議論のいっそうの展開は、稿を改めて行うことにしたい。

参考文献

Aoki, M. (2001), *Toward a Comparative Institutional Analysis*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts. (邦訳：青木昌彦著，瀧澤・谷口訳,『比較制度分析に向けて』， NTT 出版, 2001．)

Baldwin, C. and K. Clark (2000), *Design Rules: The Power of Modularity*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts. (邦訳：カーリス・ボールドウィン，キム・クラーク著，安藤訳,『デザイン・ルール: モジュール化パワー』， 東洋経済新報社, 2004．)

Cutland, N. (1980), *Computability: An Introduction to Recursive Function Theory*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Dixit, A. (2004), *Lawlessness and Economics: Alternative Modes of Governance*, Princeton University Press.

Gilboa, I. and D. Schmeidler (2001), *A Theory of Case-Based Decisions*, Cambridge University Press, Cambridge, UK. (邦訳：イツァーク・ギルボア＝デビッド・シュマイドラー著，浅野貴央・尾山大輔・松井彰彦訳『決め方の科学：事例ベース意思決定理論』，勁草書房，2005．))

Hayek, F. (1973), *Law, Legislation and Liberty, volume 1: Rules and Order*, Routledge & Keagan Paul, London and Henry, UK. (邦訳：ハイエク著，矢島釣次，水吉俊彦訳,『ルールと秩序—法と立方と自由 I』，春秋社，1987．)

Jones, R.A. and J.M. Ostroy (1984), "Flexibility and Uncertainty," *Review of Economic Studies*, Vol.51, pp.13-32.

Milgrom, P. and J. Roberts (1992), *Economics, Organization and Management*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. （邦訳：ミルグロム・ロバーツ著，奥野他訳,『組織の経済学』，NTT 出版，1997．)

Simon, H. (1996), *The Sciences of the Artificial*, (Karl Taylor Compton lectures), 3rd ed. MIT Press. （邦訳：ハーバート・サイモン著，稲葉・吉原訳,『システムの科学』，パーソナル・メディア，1999．)

Sperber, D. and D. Wilson (1986), *Relevance: Communication and Cognition*, 2nd ed., Oxford, Blackwell.(邦訳：スペルベル・ウィルソン著，内田他訳,『関連性理論：伝達と認知』，研究社，1999．)

Suchman, L. (1987), *Plans and Situated Actions: The problem of human-machine communication*, Cambridge, U.K., Cambridge University Press. (邦訳：ルーシー・サッチマン著，佐伯他訳,『プランと状況的行為：人間－機械コミュニケーションの可能性』，産業図書，1999．)

Zuboff, S. (1988), *In the Age of the Smart Machine: The Future of Work and Power*, N.Y., Basic Books.

青木昌彦・安藤晴彦 (2002),『モジュール化：新しい産業アーキテクチャの本質』，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，pp. 64-85

中馬　宏之 (2006),「半導体生産システムの競争力弱化要因を探る：メタ擦り合わせ力の視点から」，RIETI Discussion Paper Series 06-J-043，経済産業研究所。

藤本隆宏 (2001),「アーキテクチャの産業論」，藤本他編『ビジネス・アーキテクチャ–製品・組織・プロセスの戦略的設計』，有斐閣.

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

奥野正寛・渡邊泰典 (2006),「コーディネーション・システムとしての製品アーキテクチャ」， RIETI Discussion Paper Series 06-J-007，経済産業研究所.

瀧澤弘和 (2005),「市場と非市場のインタラクション：モジュール化概念を振り返って」，浅野清編,『成熟社会の教育・家族・雇用システム』，pp.162-180，NTT 出版.