

限界合理性と進化するシステム

Bounded Rationality and Evolving System

福田 収一

Shuichi Fukuda

スタンフォード大学

Stanford University

Abstract:

Up to now, artifacts have been designed based upon rationality. But as Herbert Simon pointed out, our perception capabilities are bounded and irrational factors such as emotion play important roles in our behaviors. Therefore, we have to design artifacts, being aware that our rationality is bounded. If we assume complete rationality, then our design can be very straightforward and can be carried out one way. But if we note that our rationality is bounded, we have to consider interactions with our environment and machines/systems and our design therefore will be reflective. This implies that adaptation to the situation will become very much critical. The functions of machines/systems will be no more fixed but will evolve with time.

Turning our eyes to the issue of learning, Japanese system has been focused on personal growth, which emphasizes structured knowledge from generation to generation and does not consider context explicitly. US learning system, on the other hand, is focused on group evolution, which aims to flexibly adapt to the changing situations.

As situations change so frequently and extensively, design and learning should be re-considered from a new perspective. Design and learning based upon bounded rationality will be discussed.

1. はじめに

これまで人工物は、合理性を基本に設計されてきた。しかし、Herbert Simon も主張したように、人間の認識能力には限界があり、また感情など非合理的な要素も判断に重要な役割を果す。したがって、これからのシステムは、限界合理性を前提において設計する必要がある。すなわち、完全合理性を仮定すれば、一方向のシステム設計も可能であるが、限界合理性に注目すると環境、機械とのインタラクション、コミュニケーションが不可欠となり、設計も双方向化する。それに伴い、状況への適応が最大の課題となる。したがって、システムもこれからは進化するシステムへと変化すると予想される。

これを人材育成の視点から考えると、従来の日本の教育は、個人の成長中心で、体系化された既存知識の伝達に力点があり、状況、文脈変化を陽には考慮してこなかったと言えよう。一方、アメリカは、種（組織）の永続、発展を主たる目標とし、いかに激

変する状況に適応してゆくかの学習に力点がある。

ますます変化が激化する状況にあって、設計、人材育成を新しい視点から再検討すべき時代となってきた。限界合理性を前提にした設計、人材育成に関する私見を述べる。

2. 限界合理性

Herbert Simon は、経済主体(economic agents)の行動は合理性に基づいておらず、人間の認識能力の限界、計算可能性などの制約から、その合理性には限界があり、経験則などに基づいていると指摘した¹⁾。

これまでのシステム設計は、人間の行動は合理的であると仮定して行われてきた。このような合理的なアプローチが可能であった理由は、環境、状況がほとんど変化しなかったからである。しかし、21世紀となり、環境、状況が激しく変化するようになった。

20世紀は、文脈を考慮しない、すなわち、どのような状況にあっても、システムが同じ動作をする設計が重視されたが、21世紀となり文脈、状況を考慮し、それに対応した行動を取れる設計が重要となってきた。

これまでの設計は、設計者中心であったが、これからはユーザー中心となる。変化の少ない20世紀は、設計者が使用状況を予測し、それに応じた適切な指令をユーザーに準備することができた。しかし、変化の激しい21世紀には、設計者が使用状況を予測することが困難となり、変化している現状を理解し、対応できるのはユーザーしかいない。したがって、設計はユーザー中心、人間中心設計と変化し始めている²⁾。

設計の中心に人間を据えるためには、人間の特徴を理解する必要がある。人間は決して合理的に行動しているわけではないことはSimonが指摘したとおりであり、その指摘が47年に行われたことを考えるならば、現在は、変化が激しいので、人間の行動の合理性がきわめて限定されることは容易に理解できる。

人間は、論理だけで判断をするのではない。感情が大きく左右することは、感情知性 (Emotional Intelligence)³⁾、感情指数 (Emotional Quotient) などの言葉⁴⁾が注目されたことから明らかである。

3. システム

話題を少し変えて、システムについて考える。システムの定義にはいろいろあるが、ここでは、信頼性のSHELモデルを基本に、それを少し修正してシステムを考える(図1)。

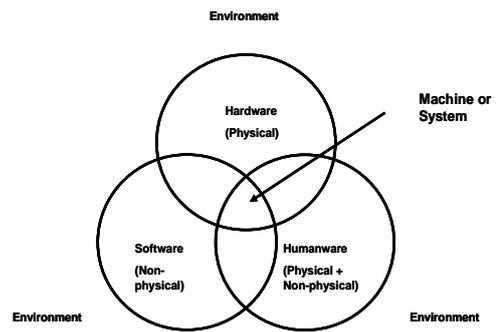


図1 システム

通常、システムは、ハードウェア、ソフトウェアと人間 (ヒューマンウェア) から成り立っている。すなわち、図の共通部分がシステムである。

さて、ハードウェアとソフトウェアの製品実現についてここで考えてみたい。ハードウェアは機能固定方式で生産される(図2)。

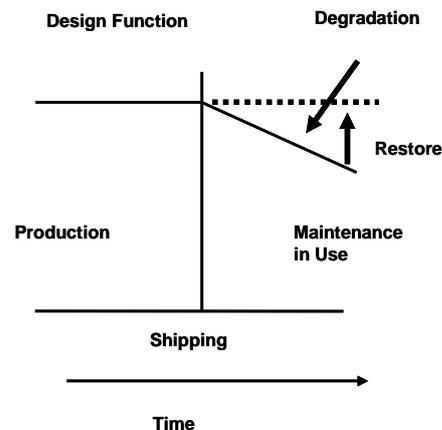


図2 ハードウェアの製品実現 (機能固定方式)

しかしソフトウェアの製品実現は機能進化方式である(図3)。

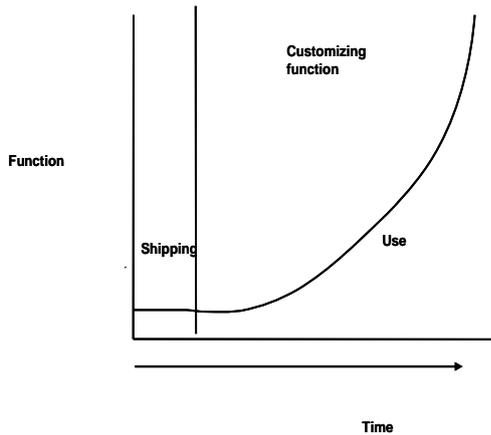


図3 ソフトウェアの製品実現
(機能進化方式)

ソフトウェアも最初は、ソフトウェア工場という名前があったように、ハードウェアと同じ考え方で開発、生産された。しかし、このような方式では、現実にはバグの除去などが完全にはできず、製品実現できないことがすぐに明確となった。こうした状況の中で、AI技術が、開発プログラムと実行プログラムの垣根を取り払い、連続的プロトタイピングを可能にした。

しかし、ソフトウェアは、当初は、個々のシステムの機能の発展のみを考える機能成長方式であった。

4. 成長と進化

成長と進化はまったく異なる。成長は個体に関する議論であり、進化は種に関する議論である。成長は太郎君、次郎君の話であるが、進化は人類の話である。

ハードウェアは、物理的実体（有形）があり、固体の議論となる。これに対して、ソフトウェアは、無形であり、非物理的存在である。ハードウェアは劣化するが、ソフトウェアは劣化しない。そこで、劣化しないソフトウェアでは、いかに状況変化に適応して、その寿命を永続させるか、すなわち進化が重要な課題となった。そのため、現在のソフトウェアは、多くのシステムを組合せて、状況変化に適応してゆく方式が採用されている。すなわち、現在のソフトウェア実現は機能進化方式である。

さて、ハードウェアの生産方式は、一方向である。

設計機能を実現した製品が出荷され、ユーザーはそれを操作する。この関係は、Master-Slaveの関係である。しかし、ソフトウェアの生産方式は、双方向で、reflectiveであり、feedback loopのある方式（図4）である。

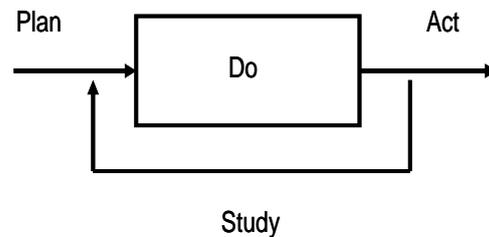


図4 Feedback Loopのあるシステム

すなわち、設計、生産、使用がサイクルとなって進展する（図5）。

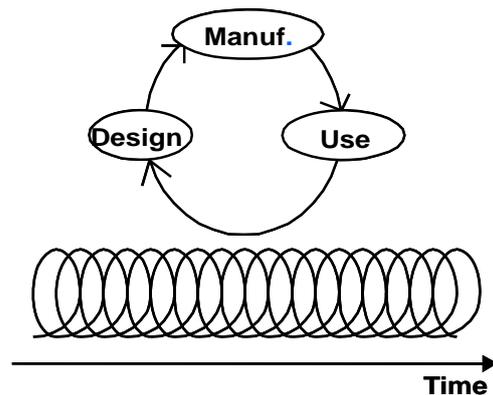


図5 サイクルによる製品実現

5. 期待マネジメント

経済学に期待マネジメントという言葉がある。経済主体の行動は、期待に大きく依存していることを指している。

Donald Normanは、その著Emotional Designで興味深い指摘をしている⁵⁾。以前の機械は単純であった。そのため人々は、何を期待すればよいか容易に理解でき、その指示どおりに機械は動作した。しかし、最近の機械は複雑となり、人々は、それがどのように動作するのか予期できない。操作をすれば、期待

に反した動作をし、人々は、機械に対する信頼を失いつつあると述べている。

この観点から、ソフトウェアの実現方式を見ると興味深い。ソフトウェアでは、簡単な機能をまず提供し、ユーザーがそれに馴染み、それ以上に高度な機能の必要性が明確となってくると、ユーザーからのフィードバックを基本に、少し高いレベルの機能を提供する。したがって、ユーザーは機能に習熟する時間があり、次第に自信が深まると同時に、システムが期待どおりに動作するので、システムに対する信頼性を増してゆく。(興味あることにドイツ語では、自信も信頼も *Vertrauen* という同じ言葉で表現できる。) ソフトウェアはある意味で期待マネジメントを適切に行っている一つの代表例と考えることができる。

6. 学習

ソフトウェアの実現方式の曲線を良く見れば学習曲線と類似していることに気付く。学習とは、周囲の状況に適応する方法を身につけることである。

従来、学習は、帰納と結び付けて考えられてきた。いろいろな経験を構造化し、体系化して知識とすれば(帰納)、それを適用して問題を解決できた(演繹)。しかし、帰納、演繹は閉じた世界で成立する論理である。Charles Sanders Peirce は、開いた世界ではこれらの論理が成立しないとして *Abduction* を提唱した⁶⁾。Peirce はアメリカの哲学 *Pragmatism*⁷⁾ の提唱者でもあり、彼の考え方にはアメリカの開拓の歴史が色濃く反映されている。

Abduction を、きわめて単純化して述べれば、過去の経験を基に適切な仮説を設定し、それで解決すればよしとし、解決できなければ、適切と思われる別の仮説を当てはめて問題を解決してゆく、いわば「結果よければすべてよし」の試行錯誤の考え方である。誤解を恐れずに言えば *heuristics* の適用に通じる。

Pragmatism は、イギリスを発祥とし、アメリカで発展した。イギリスは航海の国であり、アメリカは西部開拓で有名であり、いずれも、明日は未知の世界に挑んだ国である。

7. 日米の教育の相違

- 個人の成長重視の日本、 種の発展、進化を指向する アメリカ-

日本の教育は、過去の経験を体系化し、知識として学生に教える。すなわち、知識の伝達が主体である。その意味で、学習というよりも教育が重視されている。換言すれば、これは、いかにすれば成功するかを教える教育である。また、日本でも教育における多様性の重要性が指摘されているが、その多くは教育環境の多様化である。すなわち、個人の教育環境をいかに多様化し、学習効率を上げるかの視点からの議論が多い。個人が成長すれば、組織も発展するとの考え方がその前提にある。

これに対して、アメリカの教育は、失敗からの回復 (*Learning from failures*) が重要視される。その背景には、開拓の歴史がある。適切と思って取った行動が適切でなかったときに、どのように判断をして、次の適切な行動に移れるかが重視される。いわば、環境、状況との対話 (*interaction*) がその前提にあり、きわめて *reflective* である。

Donald Schon は、経営、設計、医療は、他の分野とは違い、*rationality* が有効ではないとして、これらの分野の専門家は行動しながら考える (*Thinking in Action*) とその著 *The Reflective Practitioners How Professionals Think in Action* で指摘した⁸⁾。Schon の指摘は 80 年代であり、世界全体が大きく変貌した時期であった⁹⁾。明日はまさに未知であった。Simon が *Bounded Rationality* を提唱した時期は 47 年であるから、当時は、まだ開いた世界の概念はほとんどなかったと思われる。しかし、両者、そして Peirce の考え方は、*Pragmatism* が前提となっており、これらは基本的な考え方においてきわめて類似していると筆者は感じている。

21 世紀は、グローバル化が急激に進展し、空間的にも国境が急速に消滅し、世界は開いてきている。さらに、未知、未体験技術の出現により、明日はますます未知となってきた。すなわち、21 世紀は、未知の世界を開拓する時代であり、*Pragmatism* の考え方が重要となってくるとと思われる。*Pragmatism* においては、知識の構造化、体系化だけではなく、状

況を判断する能力の向上が重要な課題となる。すなわち、20世紀は「考えてから歩く」時代であったが、21世紀は、「歩きながら考える」時代である。

さらに、アメリカの教育で重要視される多様性は、学習者の多様性であり、ある考えが状況に適合しないときに、別の考え方が有効に働くことを想定している。すなわち、アメリカの教育は、国家、組織の発展を主に考えており、決して個人の発展を目指した教育ではない。個人が発展するかどうかは個人の責任であるとも言える。いわば、アメリカの教育は種、人類を想定した教育であり進化を前提にしている。これに対して、日本の教育は、個人の成長を指向している。

8. Reflective

Donald Norman は、Design を Visceral Design, Behavioral Design, Reflective Design の3レベルに分類している。Visceral Design とは、日本の感性工学の多くが論じているような製品の印象などを指している。Behavioral Design とは、いわゆる通常の工学設計のように機能を想定した設計である。Reflective Design とは、ユーザーがシステムに期待をし、それにシステムがどのように応えるかを考える設計であり、Interaction を前提にした設計である。実際、設計において Interaction が重要であると指摘した設計の本は多い¹⁰⁾。しかし、筆者は、interactive と reflective とは異なると感じている。

赤ん坊は、触覚を主体に外界と interaction をして、次第に認識能力を向上し、成長するに従って、次第に触覚情報を視覚情報に転化してゆく。大人になると、視覚情報処理が70%ぐらいを占めるようになる。実際、情報処理で image processing が重要視されるのは、成人は、視覚情報を判断の基準としているためである。しかし、その前提となっている判断基準、例えば、表面の性状（ざらざら感）などは、赤ん坊の時代に外界との接触 interaction を通して、性状への予測（prediction）能力が発達し、形成されたと考えられる。この予測（prediction）は、期待（expectation）と言い換えることもできる。すなわち、reflective とは、単なる interactive とは違い、feedback により、システムモデル（仮説）を修正し、より妥当なモデルとして問題を解決しようとするアプローチであると考えることができよう。これは、Abduction の考え方でもある。

Schon の、経営、設計、医療の分野では専門家は「行動しながら考える」との指摘は、単に行動し、外界と対話することが重要なのではなく、それにより、将来への予測能力、期待能力を向上させることが、この分野ではきわめて重要であるとの指摘であると筆者は解釈している。

MIT の Aero & Astro Dept では、従来の教育方式では21世紀の技術者は育成できないとして CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate) 方式を採用した（図6）。これは、サイクルであり、まさに reflective な教育方式である。

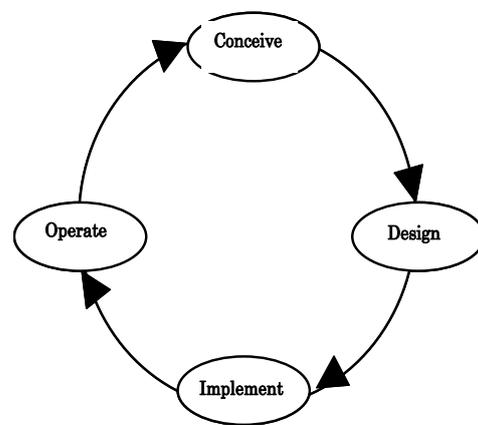


図6 CDIO
(Conceive-Design-Implement-Operate)

9. おわりに

20世紀のシステム設計は、環境が余り変化しないために、文脈独立の考え方で進められてきた。しかし、環境の変化がますます激化する21世紀には、環境と対話ができる、reflective な設計へと転換する必要がある。これらのシステムは、状況の変化に適応して進化する。したがって、人材育成の視点からは、将来への予測（prediction）、期待（expectation）能力の向上を図らなければならない。それには、失敗を恐れない試行錯誤の重視、行動しながら考える学習への転換、そして人とシステムが一体となり、ともに学習し、チームとして問題解決にあたる考え方が重要となってくると考えている。

...

参考文献

- [1] Simon, H. A. : Models of My Life, MIT Press, (1996)
- [2] 日本機械学会編、福田収一責任編集：
HCD ハンドブック、人間中心設計、丸善、(2006)
- [3] Goleman, D:Emotional Intelligence, Bantam, (2006)
- [4] <http://ja.wikipedia.org/wiki/EQ>
- [5] Norman, D. A. : Emotional Design:
Why We Love (or Hate) Everyday Things,
Basic Books, (2004)
- [6] 米盛裕二：アブダクションー仮説と発見の論
勁草書房、(2007)
- [7] 魚津郁夫：プラグマティズムの思想、
ちくま学芸文庫、(2006)
- [8] Schon, D. A.: The Reflective Practitioner:
How Professionals Think in Action, Ashgate
Publishing, (1995)
- [9] 福田収一：価値創造学、丸善、(2005)
- [1 0] 例えば、Moggridge, B.: Designing Interactions,
The MIT Press, (2007)

以下は直接本文では引用していませんが、
筆者の考え方を理解するための参考文献です。

- [1 1] 福田収一：ものづくり大論、丸善、(2006)
- [1 2] 福田収一：デザイン工学、放送大学教育振興
会、(2008)
- [1 3] 福田収一：こころを動かすものづくり、機械
学会誌、2009年2月号特集 スローテクノロジー
- [1 4] 福田収一：システム信頼性の最近の話題から、
Fundamental Review, Vol.1. No.4, 電子情報通
信学会基礎・境界サイエティ

http://w2.gakkai-web.net/gakkai/ieice/index_voll.html
- [1 5] 日本機械学会編、福田収一、綿貫啓一責任編
集：
感覚・感情とロボット、工業調査会、(2008)
- [1 6] 福田収一：一杯のコーヒーから、機械の研究、
養賢堂、毎月連載のコラム

筆者の Email shufukuda@cdr.stanford.edu
(日本語可)