

コンピュータサイエンスはいかにして 人類の未来に貢献するか

—オープンシステムサイエンスにおけるコンピュータサイエンスの役割—

8

所眞理雄 ● (株)ソニーコンピュータサイエンス研究所

概要とねらい

21世紀に入った今、我々は解決すべき新たな問題に直面している。それらは時間的に変化する複雑で巨大な統合システムの問題であり、それらの多くは未来を予測し、我々が今、何をすべきかを求める問題でもある。筆者はそのようなシステムをオープンシステムとしてとらえ、オープンシステムの問題に対処するための新しい方法論としてオープンシステムサイエンスを提唱する。次いでオープンシステムサイエンスの実践には、コンピュータが必須であり、シミュレーションが重要な役割を果たすことを示す。そして、オープンシステムの問題解決を通してコンピュータサイエンスが人類の未来に貢献することができることを述べる。

はじめに

Galileo, Newton らによってもたらされた新しい科学は、17世紀にDescartesにより近代科学の方法論として確立し、18世紀以降、いろいろな分野で科学を開花させていった。19世紀になると科学が技術として産業に応用されるようになり、20世紀に入りこの動きが加速された。また、科学の進歩によりそれまでに解かねばならないと考えられていた多くの問題が解決されていった。すなわち、20世紀は近代科学の集大成であると言える。そしてそのよりどころは、問題を単純化(抽象化)して解決し、容易に単純化することができない場合には、部分問題に分割してそれぞれを解いた後にそれらを統合することによって解決できるとする要素還元主義にあったと言える。

ところが、20世紀の終盤にさしかかると、これまで問題だと認識されてこなかった新たな事項が問題として現実味を帯びるようになってきた。その1つが地球環

境の問題である。地球環境の問題にはエネルギー、気候、人口、食料、生物多様性、格差、安全保障などが相互に複雑に関連し、問題を専門領域に分割して解を見つけても、全体をみればそれが必ずしも解決策になっていない場合が多いのである。急速なグローバル化もこれを助長する結果となっている。情報、資本、そして労働力や資源までがこれまでにない速度で国や地域を移動するようになった。その結果もはや国や地域の問題を個別に解決することはできなくなってきた。

さらには、生命や健康についても新しい形での問題が提起されている。すなわち、原因が単純で、その原因に対処すれば治癒するような疾病はこれまでにほとんど解決され、現在我々が取り組まなければならない疾病は癌、代謝疾患、免疫疾患など、要因が相互に、また、外界と複雑に関連して症状を発生させているものばかりである。また、ネットワークで接続された巨大インフラの問題も、複雑なシステムに日々新たな機能を安全に追加し、変更・改良を行い、万が一不具合が発生しても人々の生活に致命的な影響を与えることなく迅速に修復しなければならないという意味で、新しい形の問題である。

これらの問題は互いに関連し、時間的に変化する多数のシステムからなる統合システムの問題解決である。そして多くの場合、システムの未来を予測し、我々が今、何をすべきかを問う問題である。このような問題の特徴を整理すると、それらはオープンシステムの問題であることが分かる。次章ではオープンシステムの問題を解決に導くための新しいサイエンスの形としてオープンシステムサイエンスを提唱する。

オープンシステムサイエンス

クローズドシステムは外界に対して閉じた系を言う(図-1)。クローズドシステム(の仮説が成り立つ系)においては、対象の境界領域は明確に定義される。これに対し、オープンシステムは外界に対してオープンな系、

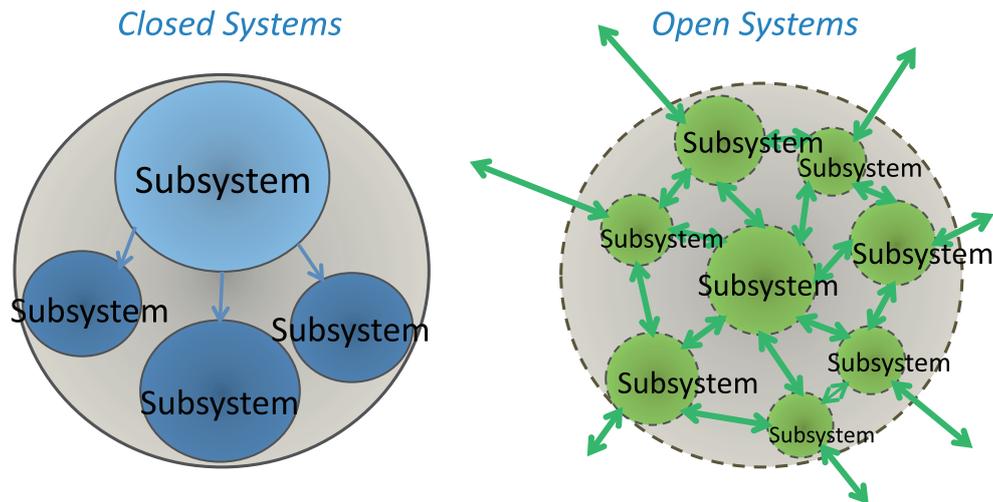


図-1 オープンシステムとクローズドシステム

すなわち、外部と常に相互作用を持つような系を言う。このような系に対して我々が観測あるいは操作を行おうとしたとき、我々は系から独立であることを保証できず、結果的に切り取ることができない系の一部を構成してしまうため、我々は内部観測者となる。外部観測者視点が取れず、問題の境界領域が明確に定義されないオープンシステムはこれまでの科学の方法論では直接解くことができないため、何らかの方法でクローズドシステムとしてみなせるように工夫をし、そのようにした後に問題を解決することが行われた。

クローズドシステムは再帰的に複数のサブシステムから構成されるが、サブシステム間の相互関係は複雑な時間的変化を含まず、静的であり、単純である。したがって、サブシステムの振舞いをそれぞれ理解した後、それらを統合することによって全体システムの振舞いを理解することができ、その結果として与えられる解はきわめて強力なものである。オープンシステムも再帰的に複数のサブシステムから構成されるが、その構造、すなわちサブシステムの個数や相互関係は、外部条件の変化を含め、時間の経過によって複雑に変化する。そのため、オープンシステムの問題をサブシステムの問題に分割して解決し、統合することができないのである。実際、全体を把握できずに問題を部分問題に適切に分割することはきわめて困難である。また、何らかの仮定を導入することによって問題を強引にサブシステムの問題に分解し、その後統合しても、通常は有効な結果を導けない。

さて、それでは、我々が現実に対処しなければならない数多くのオープンシステムの問題に対し、どのように対処したらよいであろうか？ 外界から切り取ることができず、時間的に変化する巨大で複雑な統合システムの問題を、生きたままあるいは稼働したまま解決することができるのであろうか？ 実際のところ、もしも我々が

クローズドシステム仮説が成り立つ対象に対する問題解決と同様な解、すなわち強い解を求めるのであれば、答えはノーである。しかしながら、オープンシステムの問題を全体としてより良い方向（あるいは多くの関係者が欲する方向）に向かわせ、少なくともより悪い方向に向かわせないようにするには何をしたらよいかを知り、行動する、という意味では筆者はそれが可能であると考えている。このような考えから、筆者はオープンシステムサイエンスを提唱している¹⁾。

これまでの問題解決の方法論は、主に、ものごとの基本原理を追求する分析 (Analysis) と、そこから得られる知見をもとにものごとを作る合成 (Synthesis) から成り立っていたと考えられる。分析は科学の基本であり、合成は工学の基本である。そしてこれらが相互に挑戦し合い、協同することによって 20 世紀の経済的な繁栄がもたらされたと言える。さて、オープンシステムの問題を解くにあたって、この 2 つのアプローチだけでは何が足りないであろうか？

オープンシステムの特徴は「常に変化すること」であり、「外界から切り出せないこと」であり、したがって「止められないこと」であり、「分割できないこと」である。そのようなオープンシステムの問題に対処するためには、筆者は運営 (Management) の視点が必要であると考えている。すなわち、一時点におけるシステムの状態を理解したり、1 つの現象を取りだしてその時間的な変化を理解するのではなく、常に全体としてその時間的な変化を理解し、変化に対応し、あるいは変化をより良い方向へと導き、持続させてゆく、という視点である (図-2)。

自然や生命システムの問題に対しては、それぞれの事象に対してどのような基本原理が関係し (分析)、それらがどのように組み合わせられて現象が発生し (合成)、加えて、それらの機能や構造が時間軸に沿ってどのように変

化し、維持されているのか(運営)を理解し、これをもとに可能で有効な変更を施し、維持していくことが問題を解くことである。人工的なシステムについては、どのような基本原理をもとに(分析)、どのように組み合わせてシステムを作る(合成)のか、そしてそのとき同時に、将来にわたって変更が可能であり維持管理がしやすいように(運営)、いかにシステムを作るかを示すことが問題を解くことである。地球環境問題のように自然システムと人工システムが混ざり合っているものに対しても、同様にしてこれらの3つの視点で問題全体を理解し、対応への知見を得ることによって問題を解決することができる。と考える。

さて、切り取って議論することができないオープンシステムの問題に対し、オープンシステムサイエンスでは具体的にどのようにして対象を定式化していくのか？最初から宇宙のすべてを含むような最も外側の系を考慮することができればよいが、それができないことがオープンシステムの問題である所以である。ここでは、逆に、対象としている系の1つ外側の系までを考慮して対象システムを定式化し、解決を図る。そしてもしもそれでは不都合であることが分かったらもう1つ外側の系を考慮する、という現実的な方法を採用。また、対象システムに対して測定する場合にはできる限り影響を与えないようにし、また、変更を加える場合にも、どのような作用を施したかをすべて記録し、その影響について後で十分に議論できるようにしておく必要がある。

同様に、現実の問題を解決しようとしたときに、一時的に抽象化やサブシステムへの分解をせざるを得ないことも起こる。オープンシステムサイエンスを実践する立場では、そのような場合にも、できる限り全体システムの性質を維持しなければならないということである。すなわち、システムへの影響をできる限り少なくするために、時間軸上の運営を考慮して可能な限り何ごととも捨象せずに分析、合成を行う。さらに言えば、その時点で我々が得ることができている知見は問題解決に十分であるとは限らないため、観測されたデータをもとに基本原理やシステムの構造を常に修正し、よりよい解を得られるようにする必要がある。オープンシステムサイエンスは以上述べた方法により、我々が現実にかねばならない生きている(稼働している)オープンシステムの問題に対し、次第により良い解、すなわち対象としているシステムの将来に対するより良い対応策を与えることができるようになる。そして次章で述べるように、オープンシステムサイエンスの実践にはコンピュータが必須であると言っても過言ではないと考えている。

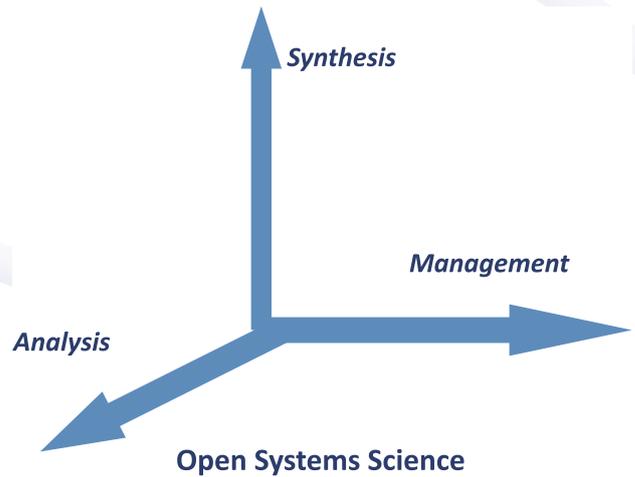


図-2 オープンシステムサイエンス

コンピュータサイエンスの役割

現代のコンピュータは過去に遡って対象とするシステムに関するデータを集積し、また、ネットワークの力を借りて、これまでと比べて飛躍的な範囲および詳細さで関連する時系列データをリアルタイムに集めることもできる。これらのデータからいわゆるデータマイニングの各種手法を用いることによって、時々刻々変化する複雑で巨大な統合システムの生きたままの性質を理解することができるようになってきた。すなわち、コンピュータの登場によって初めてオープンシステムサイエンスの実践に求められるところの「捨象せず」に網羅的にデータを集め、集められたデータをもとに対象とするシステムに関する理論や構成(モデル)を時々刻々修正し、対象システムに対する理解を継続的に改善していくことが可能となるのである。

さて、それではコンピュータは未来を覗く望遠鏡になり得るのかどうか考えてみよう。時々刻々変化する巨大で複雑な統合システムに対して、過去のデータを網羅的に蓄積し、また、リアルタイムに時系列データを集め、それらを解析することによって未来を完全に予測できるのか、と問われれば、答えはノーである。過去のデータは将来起こる可能性があるすべての状況を示してくれないため、単に得られたデータを統計的に解析しても未来を完全に予測することはできないのである。

それでは過去に起こったことがないような状況についても将来を予測する手段は本当はないのであろうか？筆者は、完全な予測は無理にせよ、起こり得るいくつかのシナリオを示したり、最良値や最悪値の形で起こり得る事象の範囲を示したりすることができる。そのためには、まず収集した時系列データから基本原理

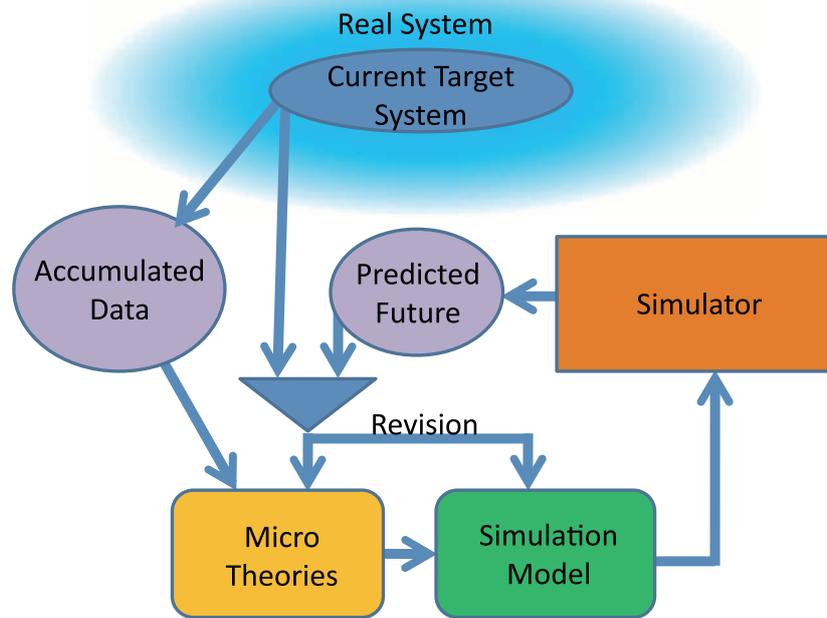


図-3 オープンシステムの問題解決とシミュレーション

(マイクロ理論，第一原理)を抽出する。これをもとに対象のシミュレーションモデルを作成し，前提条件（パラメータ）を与えてシミュレーションを行う。そして，まず，既知の事象に対してシミュレーションの結果が一致するかどうかを検証する。そして，シミュレーションモデルの正当性を十分に検証した後，将来に向けてのシミュレーションを行う。また，前提条件を変えてシミュレーションを行うことにより，起こり得るいくつかのシナリオを示したり，最良値や最悪値を示すことも可能である。

当然，予測と現実が合わないことも起こり得る。その場合は計算方法に誤りがないかどうかを徹底的に検討した後，理論や仮説が合っているところ，合わないところを解明し，新たなマイクロ理論を構築し，新たな計算法を確立し，この作業を繰り返す。時には，対象とするシステムを拡大する（すなわちもう1つ外側のシステムまでを対象としたシミュレーションモデルに変更する）必要が起こることもあるであろう。その場合にはそれを行う。これらを行うことによって，次第により確度の高い未来予測を行うことができるようになる（図-3）。

マクロモデルは抽象化されたモデルであり，システムの大まかな性質を知るのに適している。しかしながら，非線形性を含み，相転移を伴うようなシステムの未来を予測するには不適切であり，第一原理を用いたマイクロモデルを用いてシミュレーションを行わざるを得ない。ところがマイクロモデルを用いたシミュレーションは計算量が膨大で，いくらスーパーコンピュータの時代が来たからと言って，すべてをマイクロモデルでシミュレーションを行うことは不可能である。そのた

め，マイクロモデルをベースとしながらも，計算効率の改善のために状況に応じてマクロモデルを使う計算方法が開発されており，いくつかの問題解決に有効に使われるようになってきている。

スーパーコンピュータを利用したシミュレーションはすでに30年以上の歴史を持ち，数多くの物理現象の解明に用いられており，また，近年の地球温暖化予測などにも多大な貢献をしている²⁾。また，自動車の衝突シミュレーションや新材料の開発など，産業応用も始まっている。加えて，これまでは複雑すぎて挑戦されてこなかった生命・生物科学の分野への応用も始まっており，今後経済，社会のシミュレーションにおいても大きな貢献が期待されている。スーパーコンピュータを用いたシミュレーションはオープンシステムサイエンスの実践になくはならないツールであり，今後その応用範囲が広まるにつれ，重要性が飛躍的に増大すると考えられる。

これまでこのようなシミュレーション科学の分野は，そのほとんどが問題の対象分野の研究者たちによって確立されてきた。すなわち，長らくコンピュータサイエンスの主要分野だとは考えられてこなかったのである。筆者は，我々が21世紀において対応しなければならないオープンシステムの問題により深くかわかり，問題解決に積極的に貢献すべきであると考え。そのためには，シミュレーション科学がコンピュータサイエンスの重要分野であることを再認識し，解かねばならない問題を我々自身が理解し，スーパーコンピュータを用いて問題を表現し，解決することである。これにより，実際の応用を通して人類の未来に貢献することが可能となる。

また、これまで教育・研究が行われてきたコンピュータサイエンスの主要分野に加え、たとえば、数値計算やマルチエージェントシステムの並列・分散処理アルゴリズム、常に変化する対象に追従できるプログラミング言語やシミュレーションシステム、スーパーコンピュータのための超並列・超分散アーキテクチャやオペレーティングシステムなどの教育・研究を積極的に行うとともに、問題の対象分野とのダブルメジャーを積極的に推進することも重要であろう。

おわりに

本稿では、今後我々が解かねばならない地球環境、経済・社会、生命・健康、巨大情報インフラなど、時間的に変化する巨大で複雑な統合システムの問題に対する科学的方法論としてオープンシステムサイエンスを提唱した。そしてその実践にはコンピュータが必須であり、シミュレーションによって未来を高い確度で予測することも不可能でないことを述べた。また、そのために今後コンピュータサイエンスが担う役割についても議論した。

オープンシステムサイエンスの考えはソニーコンピュータサイエンス研究所³⁾やその他での研究⁴⁾において、考え方として、あるいは具体的な方法論としてすでに実践され、いくつもの成果を出している。そしてそれらの研究の成果がフィードバックされ、オープンシステムサイエンスの考えを洗練するために大いに貢献している。

オープンシステムサイエンスは、生きているあるいは稼働しているシステムに対する手法である。この手法を実践する科学者は外部観測者視点を取れない。言い方を換えれば、オープンシステムサイエンスでは科学者はちょうど医者が患者を治療するのと同様に学者であると同時に行為者である。科学の利用は科学者の責任の外にあると考えられてきたこれまでとは異なり、今後の科学者には専門性だけでなく、行為者としての責任を果たすための広い知識や知性が求められる。

参考文献

- 1) 所眞理雄 (編著)：オープンシステムサイエンス，NTT 出版，東京 (2009)；英訳は Open Systems Science, IOS Press, Amsterdam (2010).
- 2) 佐藤哲也：未来を予測する技術，ソフトバンク新書，東京 (2007).
- 3) 所眞理雄，由利伸子：天才・異才が飛び出すソニーの不思議な研究所，日経 BP 社，東京 (2009).
- 4) 所眞理雄：DEOS プロジェクト White Paper, JST/CREST 実用化を目指したデペンダブル・オペレーティングシステム研究領域，<http://www.dependable-os.net/ja/topics/file/20090904/whitepaper/White%20Paper%20Version%201.0J%2020090901.pdf> (和文, 2009)
<http://www.dependable-os.net/ja/topics/file/20090904/whitepaper/White%20Paper%20Version%201.0E%2020090901.pdf> (英文, 2009)
(平成 21 年 12 月 14 日受付)

所 眞理雄

Mario.Tokoro@jp.sony.com

(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所代表取締役社長。1988年慶應義塾大学理工学部助教授のときに同研究所を設立して取締役副所長を併任。同大教授、ソニー(株)執行役員上席常務などを経て現職。専門はコンピュータアーキテクチャ、オブジェクト指向計算、ネットワークプロトコル、科学技術論など。