

「システミックスと原子力」 総合討論

令和元(2019)年度 シンビオ社会研究会 第2回研究談話会
2019年10月25日
京都大学百周年記念時計台会館 2階 第Ⅲ会議室

オーガナイザ 榎木 哲夫 (京都大学工学研究科)

令和元(2019)年度 シンビオ社会研究会 第2回研究談話会
2019年10月25日 Tetsuo Sawaragi



最初に：「日本庭園」の例

- 日本庭園を賞するとき…
 - 個々の木や庭石、あるいは花のもつ特性を感知しながらも、われわれ人間が、それらの間に見られる「相互関連」、つまり「かかわり」から生じる「何ものか」を感じ取り、それを通じて全体に注目している。
 - 従来の要素還元主義パラダイムに立った分析論の特徴
 - 日本庭園にはさまざまな樹木やいろいろな形の庭石が多数配置されている。デカルト流の還元主義的論理によれば、庭を分解して木や石を調べれば庭の性質がわかるはずである。しかも、それはさらに推し進めて、木の成分、石の成分を調べれば庭の性質がわかるという論理になってしまう。
 - そんなことはないであろう！
 - システミックとは…
 - アリストテレス（BC384-BC322）：「全体は部分の総和よりも大である」
 - 創発的性質：個としては所有しない、全体という用語の中でだけ認識されるインビジブルな性質。
 - A.N.ホワイトヘッド（1861-1947）による「コンクレセンス（合生：ガッセイ） concrescence」。
- を特徴とする概念。



システミック思考 vs. システマティック思考

- それぞれ機能を異にするシステムが相互関連をもって全体を維持することに着目するシステム観をシステミック思考という。
- 旧来のシステム思考が、徹底的に対象を分解し、つじつまの合うところだけを組み立てていくシステマティックなシステム観であったのに対し、システミック思考は、対象それ自体の形成過程に配慮し、分解すること自体よりも、創発的全体性に注目していくのが特徴である。
- システマティック思考は、手順に則って整然ともれなく物事に対処することを指すが、システミック思考は、対象とするシステム（系）を全体として不可分な一体と捉える、ものの見方を指す。
- 自然界や生命体・社会組織のようなシステム(系)は、構成要素の単純な足し算に止まらず、それらの密接な相互作用が頻繁に繰り返されることによって、分かち難い固有の性質や働きを持つに至る。これは、自己組織化による創発（=emergence）と呼ばれるメカニズムである。



システミック・アプローチと原子力安全

by JANSI システム基盤部 安全文化G (2017.8.23)

<https://www2.nsr.go.jp/data/000202191.pdf>

- IAEA GSR Part2 におけるシステミック・アプローチの定義
 - 原文: An approach relating to the system as a whole in which interactions between human, technical and organizational factors are duly considered.
- 原子力発電も、大きく捉えれば「人(Human)」「技術(Technology)」「組織(Organization)」から構成された一つのきわめて複雑なシステムと考えることができる。
- 最終的に原子力安全というパフォーマンスを確保するには、HTOの相互作用を適切に(=duly)考慮して、システム全体としての性質や働きを見極めねばならない。
- 原子力発電のような複雑な事物を対象とする時、全体のありように目を向けず細分化した要素や部分の性質だけ見たり積み上げたりしてみても、その本質はつかめないし真に効果的な対策を施すことも難しい。
- 従来は、HF や機器・QMS上のエラーをつぶすための単発的かつ直線的な原因・対策の取組みが主であり、RCA(Root Cause Analysis)で組織要因を掘り下げる場合でも全体的な関係性への視点は薄かったことが否めない。例えばコミュニケーションの問題が指摘されても、リーダーシップやリソース 配分・業務プロセス等との関係性まで視野に収めた分析や対策は行われにくかった。
- このように、組織の性質や挙動への理解が浅く深い部分への洞察が不足していたために、福島第一の事故では組織の奥に潜む「慢心」が見逃されていた可能性がある。
- 安全文化の視点からは、システミック・アプローチは分析・実装の手法というより、基本思想ないし世界観と広く考える方が適切である。この思想を正しく展開すれば、安全文化は複雑な相互作用が交錯するいくつかのポイント(“ツボ”)とそうした相互作用の軸となるものに「大きく目付をして」、「大きく、そして緩やかに」対処することが望ましいことになる。



システマティック思考の系譜

- 20世紀初頭：フォード・システムに代表される F. テイラー（1856-1915）の科学的管理法の提唱を契機として起こったマネジメントサイエンス運動とともに、システマティック論理に基礎づけられた効率主義が重視され、産業界は大きな変革を遂げていく。
- システマティック論理の適用を通じた効率化の推進であるが、その中で精密さが追求されるとともに、次第に専門領域が細分化され固定化されていくことになる。
 - 経営工学（IE）、統計的品質管理（SQC）
 - オペレーションズ・リサーチ（OR）：意思決定・管理活動への数学的手法の導入
 - システム工学（SE）
 - 最適手段の発見とその経営への適用、科学的論理、実証、漸進的發展と改良、機能的専門化、仕事の分化、機能的審理と責任の重視。
- 20世紀の産業界は、生産活動内のそれぞれの機能を重視し、システマティック思考を基礎とした大量生産と効率主義に支配される。
- ある一面から見た因果関係の明白な変数間に成り立つ機能を重視した効率性。

システミック思考の系譜(1)

- 数理生物学者の L. フォン・ベルタランフィ（1901-1972）：ホメオスタティックな機能を重視するシステム観
 - 生物体は成分の流入と流出、生成と分解のなかで自己を維持しており、生きているかぎり、決して化学的、熱力学的均衡状態にはなく、それとは異なる定常状態にある。
 - ホメオスタシス：個と全体が相互作用しながら環境と調和を保って一定状態(定常状態)を維持していく過程。
- 経営工学者の P.B. チェックランド（1930-）：ソフト・システム思考
 - 合理的因果性の成り立つハードな関係のみを扱うシステム思考に対して、システムのもつ“ゆらぎ”を認め、あるいは積極的に“ゆとり”や“冗長性”を取り入れるシステム思考。
 - 状況の変化に対する適応力にまさる設計ができるとともに、複雑なシステムを対象にすることができる。
- 物理化学者の I. プリコジン（1917-2003）：散逸自己組織
 - 生物体内における細胞の連続的生成と破壊という同時的な同化・異化作用と同じく、多くのシステムは大域的安定状態（定常状態）のなかで自己を連続的に変化させるが、同時にその構造にほ独得の“ゆらぎ”があつて、それがシステム特有の臨界点を越えれば新しい状態に進化する。
 - そのシステムは均衡状態にはなく、つねに環境に対して開かれていて、そこからエネルギーを導入して使用することができ、それを通じて自己を変化させながら自らを維持するとともに、自己を越えて進むという特質も兼ねそなえている。

システミック思考の系譜(2)

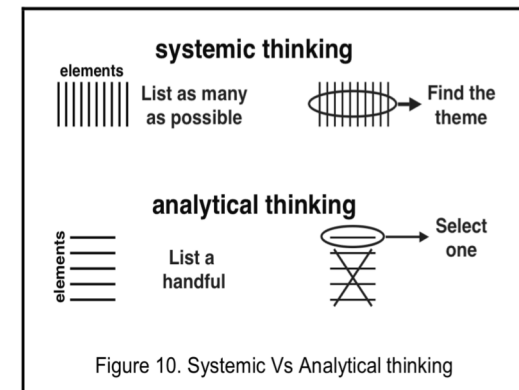
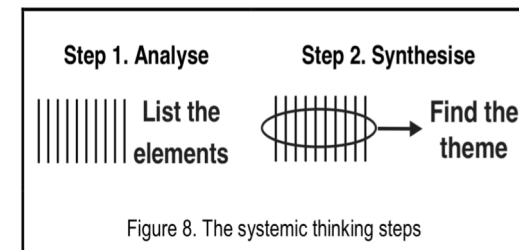
- 進化学者の E. ヤンツ（1929-1980）：生物進化における進化の条件（新総合説）の立場
 1. 進化するシステムは均衡状態ではなく、環境に対して開かれたシステムである。
 2. 進化するシステムは、つねに自己を変化させて一定状態（定常状態）を維持しているが、システム特有の臨界点を越えるとき自己を越えて進む。
 3. システム要素は自律的活動を通じて相互協力をする。
 4. システム要素の活動は相互補完的である。
 5. 進化は階層を越えて進む非決定論的な不可逆過程である。（C.H. ウォディントン（1905-1975）が追加）

システミック思考とは

- 人体を一つのシステムとして見るにしても、また、企業や社会を一つのシステムと見るにしても、いずれもその内部だけでなく、その環境との関連においても相互因果ループを形成していることに注目しなければならない。
- ホメオスタティックな機能は、そのようなループの多数を全体的に統合する“生きた生物”の持つ先天的な機能である。
- 企業や社会を、少なくとも“生きた人間”を中心に成り立つシステムと見ようとすれば、生物の持つホメオスタティックな機能の特質を見落としてはならない。
- システミック思考は、企業や社会を対象にするとき、あるいは生態系やそれを含む全体を対象にするとき、まさに生物のもつホメオスタティックな機能を重視しようとする考え方。

類似の概念との区別

- **System Thinking:** Thinking about how things interact with one another.
- **Systematic Thinking:** Thinking methodically.
- **Systemic Thinking:** A simple technique for finding system-wide focus/for gaining systemic (situation-wide) insights into complex situations and problems.
- **Conventional thinking techniques are fundamentally analytical. Systemic thinking is different – it combines analytical thinking with synthetical thinking.**
 - Analytical thinking is common – it's thinking about the parts or elements of a situation.
 - Synthetical thinking isn't that common – it's thinking about how those parts or elements work together.

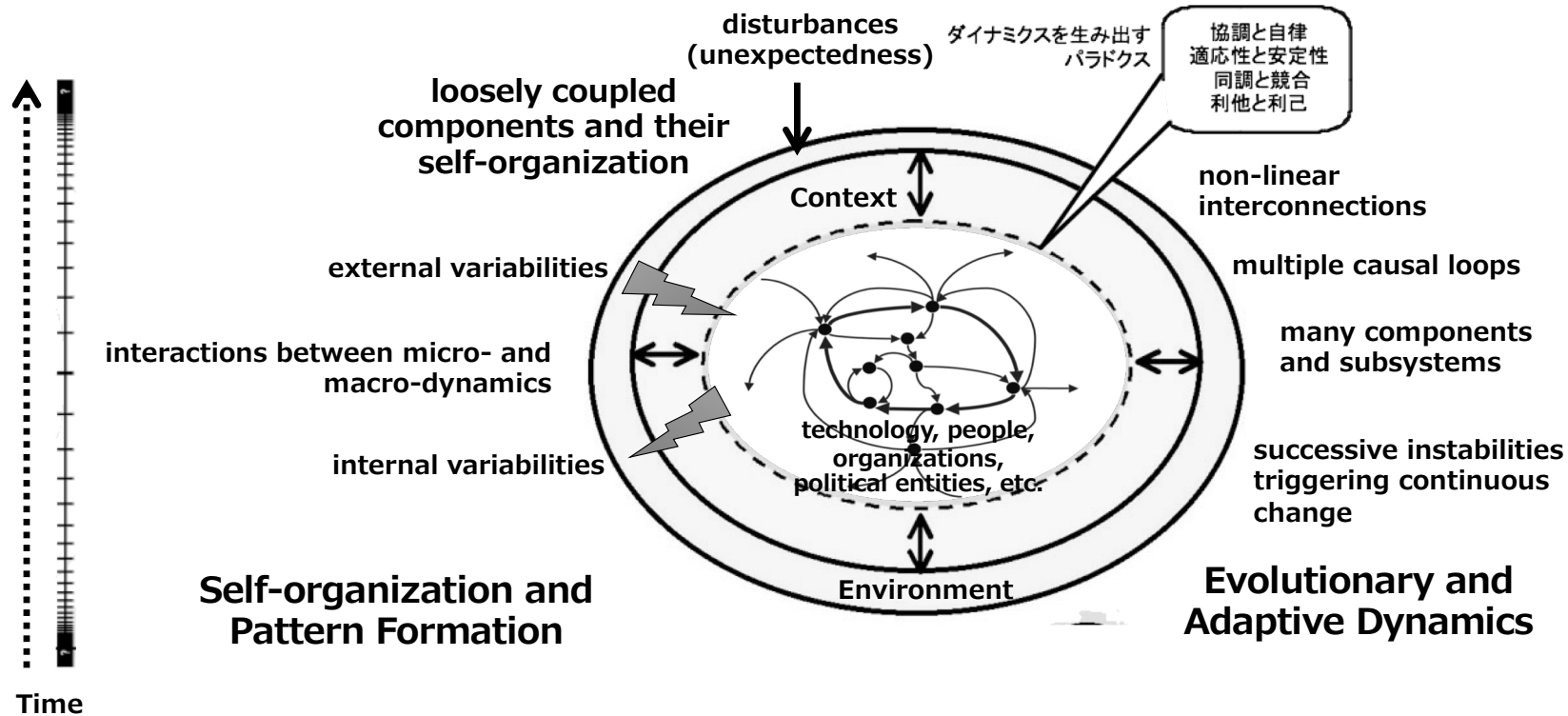


出典 : SYSTEMIC THINKING: a simple thinking technique for gaining systemic (situation-wide) focus presented by GARY BARTLETT at THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON THINKING "BREAKTHROUGHS 2001"
[http://www.probsolv.com/systemic thinking/Systemic%20Thinking.pdf](http://www.probsolv.com/systemic%20thinking/Systemic%20Thinking.pdf)

総合討論での話題提供：システムミックスの諸相

- 久郷 明秀 氏（原子力安全推進協会）：福島第一事故をシステムミックに捉える → “Systemic Approach”
 - 複雑な相互因果ループ（多重ループ）による分析。
 - 社会技術システムにおける因果ループは、多数の相互関連の中で成り立ち、工学システムに見られるように、一つの機能だけを対象にした固定的関係ではなく、しかも断続的ないしは間歇的で“目に見える”実体ではない。むしろ、生態学的性格を有するもので、“個と全体の関連の中で全体が成り立つ”。
 - 加算原理に基礎づけられた線形的な関係としてではなく、相互関連重視の新しい全体論を展開。
- 福田 啓介 氏（西日本旅客鉄道株式会社）：鉄道事業組織における作業の変容と定着をシステムミックに捉える → “Systemic Modeling”
 - ミクロとマクロの共進化（二重の力学系）。
 - 多くのシステムが定常状態の中で自己を連続的に変化させるが、同時にその構造には独特の“ゆらぎ”があり、それがシステム特有の臨界点を超えれば新しい状態に進化するという特性。
 - 安全は長期的に見れば必ずしも静態的パターンの継続として捉えられるものではなく、“ゆらぎ”をもつシステムが定常状態を維持しながらも、そのなかで生起する突発的变化を契機にその臨界点を超えて作業変容が改変されていくような不可逆過程の動態的パターンであることに着目した安全分析。
- 五福 明夫 氏（岡山大学）：予期せぬことをうまく処理できる自己組織能力をシステムミックに捉える → “Systemic Synthesis”
 - 予め手順書が用意されていない不測の事態が発生した場合に、システム要素の設計時には想定されていない機能も活用することにより、事態の収束を可能する代替の対応操作手順を生成する手法。
 - 創発的性質を生かしながら全体を維持し、時間の経過のなかで再組織化を進めつつ、全体的発展をとげる。

(参考) 榎木による“システミックス”の描像



- Universal principle for a design/redesign of large-scale systems not only purely technological systems, but also biological, social, organizational systems all of that are likely dynamic and adaptive in nature