

# シンセシオロジーの未来

吉川 弘之

シンセシオロジー誌が発刊 10 周年を迎えた。この 10 年の間に多くの構成型研究の成果の論文が同誌に発表された。またシンセシオロジーとは何か、構成型研究の構造はどのようなものか、その論文が社会にとって有用な知識になるための条件は何かなどに関する本質的な研究や提案も論文<sup>[1][2]</sup>として発表され、それは構成型研究を論文として書く者にとって貴重な指針を与えている。構成は有用なものを生み出して社会に恩恵をもたらす人にとって重要な知的行為であるばかりでなく、その結果が社会、そして地球上の自然に大きな影響を与える行為であることがますます顕著になり、しかもその影響が社会や自然に問題を起こす可能性も指摘されて構成的行為に関する問題意識も高まる中で、構成型研究という類のない研究が長い歴史を持つ科学研究と同様に、科学者間でまた社会で認知されることを願って発刊された本誌が 10 周年を迎えたこの時期に、改めてその意義を考えてみたい。

## 1 科学論文

私がある工学系学会の編集委員に初めてなったころ、次のようなことが言われていた。それは「ものを作っただけでは論文にならない」ということである。事実そのような論文は、これを理由にリジェクトされていた。そして、それはなぜかが議論されいろいろ言われる中で共通した見解は、作るという思索は「科学的でない」ということだったように思う。この考えは、論文として発表される研究はすべて科学的手法に従うべきであるということであったといえるであろう。実際に、人類の発明である機械、電子機器、材料等、世界に大きな影響を与えた数々の人工物は、科学の知識を使いししたが公式に認知された科学的手法によって作り出されたとは言えないし、事実、論文として世の中に示されたことはなく、人工物としてあるいは部分的には特許として世の中に現れる。例えば蒸気機関は論文として現れたのではなく実機として現れ、そして実際に使われた。科学は公的に認められた手法に依拠して研究が行われることによって、その成果が公的知識として認められるから論文として受け入れられる。しかし、知識の使用には公的に認知された方法があるとは言えないために、使用して得られた結果は科学研究の結果のように、公的知識としては認めら

れず、したがって論文としては受理できないというのが理由である。

科学的研究とはごく簡単に言えば、理解できない現象を前にして、背後にあるその現象を駆動している広く成立する原理を発見することと言える。発見した原理は、新しいものであるとき科学的法則になり得るものとして登録される。科学的知識とは法則の集合であり、科学全体としては法則の集合に体系を与えることが目的である。人類は長い歴史をかけて、この方法を発見したといえるであろう。理解できない現象をできるだけ仔細に観察し、観察結果を起こしている背後に何か一般的な原理が存在すると仮定し、その仮定によってその現象の説明を試みる。説明ができた時その原理が仮説と呼ばれ、法則の予備軍に採用される。仮説は他の現象によって覆されない限り仮説であり続けるが、法則群の体系の中に矛盾なく組み入れられるとそれが法則と呼ばれ、公的な存在となる。そして法則を使用した思索が正しいと認められる。

## 2 シンセシオロジーの先見性

一方、人類の行動に含まれる新しい機械装置を作る、新しい行動様式を採用する、制度を新設するなど、これらをここではまとめて「人工物を作る」と呼んでおくと、それらはいずれも人にとって意味のある現象を作り出すことである。この意味が人工物の機能と呼ばれるものである。この意味のある現象は、一般的には多様な要素的現象の合成である。選ばれる要素的現象は科学的な法則に依拠するものばかりでなく、経験的知識はもちろんのこと、着想、洞察、感性的直観、ある場合には社会的動機等によって集められ科学的には説明不可能なものも自由に採用される。このことは熱力学の法則が知られる前に蒸気機関が作られた例を考えれば自明であるが、現代でも情報系の導入による経済活動が効率化という人工的システムを支える諸現象の科学的法則を全部知っているわけではない。

このように我々が欲しいと思う機能を作り出すことはそれに必要な現象を選択し合成することであるが、使う現象の背後にある法則を知らなくても現象を知っていれば選択してよいし、また現象群を組み合わせる方法についての知識は体系化されていない。このように、人工物を作る過程を

駆動する方法を一般的なものとして記述できないというのが、機械を作っても論文が書けないということの理由である。

人類は多くの人工物を作る方法を厳密には知らない、あるいは科学のように判明な説明ができないということが、「人工物を上手に作るができない」理由であると著者は考える。今おびただしい人工物を作っているのに、それを上手でないということには理由がある。それは同じ意図のもとで、無数の異なったものを作ってしまう、作ったものの正当性の評価ができないということであり、結果的に評価を社会に任せるのであるが、人工物の氾濫が環境破壊を起こす例を見るまでもなく、上手であるとは言えないからである。

しかもただ下手だといっていればよい状態は過去のものとなった。人工物を作ることは人類に意図通りの恩恵を与えてきたから、これは人類繁栄の根拠である。しかし一方で人類にとっての共通の問題、その代表的なものは地球温暖化であるが、それ以外にも緊急に対応しなければならない問題を多く作り出した。それは意図しない機能を作ってしまう副作用と言えるもので、多くは地球の限界 (planetary boundary, J. Rockstrom<sup>[3]</sup>) と呼ばれるレジリエンスの視点での地球の包容力の限界を示す項目に含まれるが、資源枯渇、自然災害の増加等の世界的なもの、貧困、格差、飢餓、病気、短命等、そして対立や紛争等の地域的なものがある。これらの原因を見ると、これらはみな人間の行為の中にその根拠がある。科学的知識を応用する現代の競争的産業は地球上で不均一な技術レベルの分布を作り、格差を生んだ。貧困はその中で生まれる。人口増の下で行われた無制限に拡大する競争は、大気、海洋、生態系に影響し、結果として地球環境劣化を引き起こした。このことについて、現在人類は問題を認識し、温暖化については何十年とかかったものの、その対応についての世界的合意に到達している。また新しく提案された国連のSDGsは、地球温暖化のようにその背後の原理を合意して世界が行動するというものではなく、身近な問題現象を指摘してその解消を地域ごとに努めるという方法を採用している。

温暖化の場合は、生じてしまった不都合な現象を除去するために、二酸化炭素の排出量を抑制するという方針である。一方SDGsの場合は、未解決の問題を持つ地域に、同様な問題を持つ他の地域が解決した経験を生かして問題の解消に努めるという方針である。このように基本的には行動の抑制か、既知の知識の移動による解決を目指している。しかしこのような人工物を作ることが原因となって生じる現在の地球的問題を解決する方法として、既存の方法の抑制と地域的移動しかないのであろうか。

### 3 シンセシオロジーの哲学

近年になって大学教育を中心に、デザイン志向が話題になっている。このことはデザインの能力を高めるという社会の需要にこたえるというのが根拠であるが、そこには重要な意味があると著者は考える。デザインとは、我々工学者の間で考える開発や設計の範囲を超えて、上述した広い意味での「人工物を作る」行為を覆う概念であり、社会における多くの行動、例えば法律・政策の立案、経営の企画、芸術制作の構想、大学のポリシー、病気の治療、そして個人の人生設計も含めて、社会における諸行動の計画が含まれる。これが科学における分析的行為と対置される、構成的行為である。そして、これらの行為が「上手になる」ことが社会的目標として認知されたことを意味している。

このようにデザイン志向とは、構成的行為を暗黙に認めるのではなく人にとって重要なものであることを明示的に認めたいうえで対象化し、それについて考えることを要請している。とすれば、我々のシンセシオロジーは現在高まるデザインへの関心についてすでに10年の歴史を持ち、そこには貴重なデザインにかかわる多くの知見がすでに蓄積されているということができる。

シンセシオロジーに掲載された論文とはどのようなものか、著者はそれを発刊の数年後に調べたことがあるが、まずその紹介をする。

科学論文では、科学では対象が選択され、それによる現象が観測され、観測結果の分析によって既存法則によって説明されるか新しい法則が仮説として提案され、研究結果の応用に言及するという形をとっている。例えば生命科学では、生体の構成要素の働きが明らかになるという流れの中で、ある要素の生体現象における役割を解明し、その知識による病気の治療法を提案することになる。

科学論文では最後に言及する「知識の応用」が、シンセシオロジーでは社会によって求められているものとして最初に書かれる。まず社会がなぜそれを求めているかが述べられる。そしてそれを解決する科学的、技術的知識を探索し、不足の知識は新規の研究プロジェクトを立てて求める。あるいは自由に社会に出て隠れている知識を発掘する。これらのことを背景として、一つの仮説としてのシナリオが描かれるが、その記述が論理的であることと、意味の整合性が求められる。

このシナリオは仮説であり、社会の課題の提起と解決に関するもので、その仮説の実現が得られた結果が論文として記述されるが、仮説は独特な研究開発を誘発し、研究で得られた結果の有用性の確認をするが、書かれた論文には仮説の独創性と解決法の独創性が含まれる。

投稿された論文の構造は独特なものであり、その内容は

多岐にわたるが、研究の視点には共通性がある。その視点を簡単にカテゴリーとしてまとめると、新しい機能、それに伴うリスク、機能実現のための人工物(広義)のデザイン、デザインに基づく製造、固有の計測、そしてそれを社会に適用するための社会技術があり、各視点には独自の項目がある。論文によってその内容は多様であるが、調査の結果得られたカテゴリーをテンプレートとして各研究の視点をその項目とともに描き、その研究が該当する項目を指示することによって論文の意図の特徴を理解できる。例えば第1巻1号に掲載された不凍タンパクの論文<sup>[4]</sup>は図1のように書かれる。

この図1の視点とは、研究で実現するべきものであり、この研究では食材の質を落とさずに保存や輸送等のために必要な優れた冷凍法の開発という目標を、基礎研究で発見された科学的知識を使用して実現するというものであるが、そのために必要な視点がテンプレート上に示されている。このように表示すると、他の異なる目標を持つ研究との関係が可視化される。言い換えれば、構成的研究とは相互に関係のないものだと思われていたことが、実はそうでなく共通の独自の構造と必要知識を持っていることが理解される。科学の手法がそれを守った研究であることで信頼され論文として発表が可能になるという社会的規則があ

るのに構成的研究にはそれがないために論文誌がないという点は、このような例で改善される可能性が期待される。このことは本誌の小野、赤松、小林らの論文<sup>[1][2]</sup>によって詳細に論じられている。

ここでの視点が実現するべき項目であるというのは、当節に述べた広義のデザインにおける要求機能を意味している。それがテンプレートのような形式化が可能であることは、さらに進んで「すべての視点を網羅した要求の規則」を作り、目標機能の実現とともに前述の副作用を回避できる、前記の上手な構成的行為を期待してよいと思われる。これはシンセシオロジーの哲学であるといえる。

このことが可能になれば、副作用の除去は事後的な行動の抑制や知識の異動に変わり、行動のデザインそのものの中に埋め込むことができるはずである。これはこれから取り掛かるSDGsの計画では特に考慮すべきことである。そこでは多様な知識、技術が、新しい地域に適用されようとしているが、地域の特殊性の考慮なしに適用すれば、危険な副作用が生じることは予見されることであり、デザインの段階で副作用のリスクを排除することが必要条件である。

#### 4 一般デザイン学

ここで改めて、「ものを作っただけでは論文にならない」という科学の論理に依拠する論文の思想について考える。科学では公的な研究の方法が研究者の間で共有され、それに従ったことが論文になる条件であり、これが論文に書かれていることが正当性を持つことの根拠であった。それに対し、構成は方法が論理的であるとは認められていない要素である経験、直観、洞察、感性を含むから、結果の正当性は認められないというものである。

このことは少し説明を必要とする。科学研究はある現象を対象として雑音を排除した実験と、そのできるだけ精度の高い観測とに依拠して演繹的な論理に従う考察により結論を導出することになっている。観測の精度は必ず誤差を含むから、帰納的論理も併用される。ここまでの論文になるのであるが、さらに進んでその論文では実験が行われていない現象にまでその結果の適用範囲を広げて、法則であることを主張するときは仮説を提案することになるが、その時の思索は直観や洞察によるしかないといわれる。そこでは論理的には演繹や帰納は有効でなく仮説形成(abduction)である。この仮説形成は、間違いうる、すなわち可謬的である。このように科学研究で最も重大な仮説の提案は論理的には可謬的な仮説形成であり、この場合の科学者の思索は直観や洞察が主役である。

それでは構成的研究は科学とどこが違うのかと問うべき

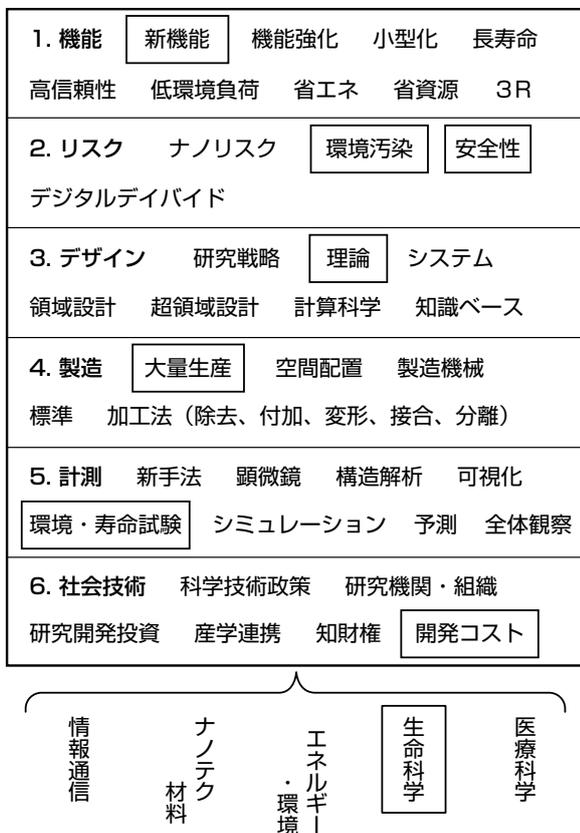


図1 構成的研究の視点

であろう。その答えは、「同じである」というものである。それでは論文にならないという主張が間違っているかと言えばそうではない。実は、科学研究で仮説形成によって提案される法則は、思索の過程でどの部分が仮説形成なのか明示的に示されている。そしてその仮説は、自分を含め、他の研究者の研究によって反論が出ない限り仮説は否定されない。そして多くの検証と、関連する法則との関係が整合的であることが崩れないことによって、次第に法則として認知される。もちろん新しい視点によって法則も書き換えられることはあり、それが科学の進歩である。

このような事情が科学にあるとして、同じような構成的研究が論文にならないといわれるのはなぜか。それは同じ仮説が、科学のように厳密な実験や観測によって確認されないことにある。科学の場合は限定された実験の範囲内でのみ確認されれば、それは暫定的に正しい仮説とされ、それが他の実験で覆されない限り仮説として生き延びる。しかし、人工物を作るという構成的行為の場合は、厳密な実験もいくらでも精度を高められる観測も不可能である。我々は習慣的に作られた人工物の正当性の第一条件として目的とする機能の実現を満たさなければならないと考えるが、この機能は、使用の場の浮動性、観測の不確実性のみならず、目的とする機能の解釈の曖昧性等により、正当性を決定的に言うことができない。その上に、科学における新しい事象への適用に対応する「予期せぬ機能」の出現の確認は非常に難しい。

現実には人工物の正当性の評価は、使用者のいる社会にゆだねられることになる。そして拒否されることなく使用が続くとき、正当であったと結論される。もちろん時代が変わり、評価の基準が変われば拒否されるが、それは科学において新しい理論が古いものを拒否するのと同じであるといつてよいであろう。

このことから、構成的研究が論文として受け入れられるようになるための戦略が生まれる。それは、目標としての機能の表現、その機能を実現するための要素化の過程、要素機能の実現のために用いる現象群、そしてこの現象群の合成など、目標の実現過程を明示し、どこに仮説形成が用いられたかも明らかにする。そしてその過程のいずれに対しても批判の可能性を保証する形式で表現するという戦略である。そしてこの批判を受けることのできる形式を持つ表現が、同じ専門の研究者を含め社会からのすべての反論に耐えた時、その構成結果が科学における仮説の地位を与えられるということである。ところで科学研究では説明できないといわれる現象を既存の法則で説明するものが多く、この場合は演繹論理が主役である。新法則の提案の時に仮説形成が問題となるが、構成的研究ではすべて

仮説形成の論理を使わなければならないので、科学論文よりも知的作業は格段に多くなる。

使用の場で受容か拒否かが判断されるときでも、その判断のために人工物を作る過程の論理構造などが明示的に表現されているとき、社会の判断が容易になることが期待される。科学的知識の使用では、例えばエネルギー問題で石油の燃焼が二酸化炭素を排出するという古くから知られた科学的知識を、目的機能のエネルギー抽出と関係がなくても明示しておくことにより、気候変動を研究する科学者に対して情報をより早く提供できたはずである。また最近の人間行動の情報技術による代替は、生産現場では効率を実験によって確認できるであろうが、家庭に情報技術を入れて生活環境をよくするという発想は直観であろう。その場合は特に、人間にとって外部情報が結合することの人間に与える影響は科学的に説明できていないということを明示し、その影響に対する評価が未確定であることを社会に示しておくことが必要となる。このような視点による明示は、シンセシオロジーの論文ではシナリオのほか、機能の予測によるリスクの推定などが書かれており、上記の観点からの問題について他にない考察がすでに行われていて貴重な論文である。

ここでの結論は、シンセシオロジーの執筆においてこの観点からの意識を明確にしていくことが大切であるということであるが、実はこの問題は構成とは何かを論じる一般デザイン学で扱われる課題であって、科学とは違う一般デザイン学の研究と、構成的研究の論文の形式を定めてゆくことが協調的に行われることが期待される。

## 参考文献

- [1] 小林直人, 赤松幹之, 岡路正博, 富樫茂子, 原田晃, 湯元昇: *Synthesiology*論文における構成方法の分析-研究の成果を社会につなげるための構成的方法論をめざして, *Synthesiology*, 5 (1), 36-52 (2012).
- [2] 小野晃, 赤松幹之, 小林直人: 構成型研究におけるシナリオ-シンセシオロジー誌掲載論文による検証の試み-, *Synthesiology*, 9 (1), 26-38 (2016).
- [3] J. Rockström, W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin III, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen and J. A. Foley: A safe operating space for humanity, *Nature*, 461, 472-475 (2009).
- [4] 西宮佳志, 三重安弘, 平野悠, 近藤英昌, 三浦愛, 津田栄: 不凍蛋白質の大量精製と新たな応用開拓-実用化を指向する蛋白質研究-, *Synthesiology*, 1 (1), 7-14 (2008).

---

**執筆者略歴**

吉川 弘之（よしかわ ひろゆき）

東京大学工学部にて、設計学、製造学、保全学を研究。設計学では設計過程を位相幾何学で記述する「一般設計学」を開拓し、知的CADの基礎を築く。製造学では製造業の共通基礎学問の存在を指摘して「国際知的製造プログラム（IMS）」を提唱し、10年にわたり主導。保全学では保全の一般構造を定義し、「保全ロボット（MOOTY）」を試作。2001年より産業技術総合研究所。理事長として研究経営10カ条に基づき、持続性産業への重心移動のための本格研究を実施する研究所の輪郭を産総研に確立した。1956年東京大学工学部卒、東京大学教授、東京大学総長、放送大学学長、日本学会議会議長、日本学術振興会会長、国際製造科学アカデミー（CIRP）会長、国際科学会議（ICSU）会長。現在、産業技術総合研究所最高顧問、科学技術振興機構研究開発戦略センター特任フェロー。

