

構成型研究におけるシナリオ：その役割と表現

— シンセシオロジー誌掲載論文による検証の試み —

小野 晃^{1*}、赤松 幹之²、小林 直人³

科学技術の方法によって社会的な価値を実現するために構成型研究が民間企業、公的研究機関、大学で行われている。シンセシオロジー誌は構成型研究のプロセスと成果を記述する学術論文誌として刊行されたが、編集委員会は著者に対して論文の中で研究のシナリオを記述することを要請してきた。この論文では分析型研究と対比して構成型研究の属性を考察し、またシナリオがもっている構造と性質を明らかにする。その上で、シンセシオロジー誌にこれまで掲載された論文を調査して、シナリオは構成型研究において中心的役割を果たし、それを科学技術の言葉で表現することが可能であることを示す。

キーワード：シンセシオロジー、論文、シナリオ、構成型研究

Scenario in synthetic-type research: its role and description

— An investigation from *Synthesiology* papers —

Akira ONO^{1*}, Motoyuki AKAMATSU² and Naoto KOBAYASHI³

Synthetic-type research is conducted by private companies, public institutes, and universities to realize societal value by scientific and technological methods. *Synthesiology* is a scientific journal that enables authors to describe the processes and results of this kind of research. Editors specifically request authors to describe their scenario for synthetic-type research. In this paper, the characteristics of synthetic-type research are compared with those of analytic-type research, and the structures and properties of synthetic-type research scenarios are clarified. From the investigation of papers published in *Synthesiology*, we show that the scenario plays a central role in synthetic-type research and can be expressed using scientific languages.

Keywords: Synthesiology, paper, scenario, synthetic-type research

1 はじめに

イノベーションを創出するために研究開発と社会的価値とを効果的に結び付けることが現代の科学技術関係者の強い関心事となっている。多くの研究開発が民間企業、公的研究機関、大学で行われているが、それらは分析型研究と構成型研究とに大別される。

分析型研究は、自然や存在物を要素に分解した上で、知識要素を発見しその体系化を図ることを主目的とするタイプの研究である。大学で行われている研究開発の多くが分析型研究である。一方構成型研究は、要素を統合して目的とするモノやコトを作り出そうとする（すなわち、構成しようとする）タイプの研究である。民間企業や公的研究機関で

行われている研究開発の多くが構成型研究である。

構成型研究は現に社会で多く行われているにもかかわらず、そのプロセスと成果を記述するための論文の形式は従来定まっていなかった。2008年に刊行されたシンセシオロジー誌は、構成型研究のプロセスと成果を記述する新しい学術論文誌である^[1]。刊行の趣旨は同誌の1巻1号に掲載されている「第二種基礎研究の原著論文誌」^[2]の中で詳述されているが、この論文ではそれを踏まえて構成型研究の中心的存在であるシナリオについて考察する。

構成型研究のシナリオについては2章において改めて定義するが、シナリオは社会的価値を科学技術的な方法で実現するための戦略とも言え、イノベーション創出の重要な

1 産業技術総合研究所 特別顧問 〒305-8560 つくば市梅園 1-1-1 中央第1、2 産業技術総合研究所 自動車ヒューマンファクター研究センター 〒305-8566 つくば市東 1-1-1 中央第6、3 早稲田大学 研究戦略センター 〒162-0041 新宿区早稲田鶴巻町 513 (120-4号館)

1. Special Emeritus Adviser, AIST Tsukuba Central 1, 1-1-1 Umezono, Tsukuba 305-8560, Japan * E-mail: ono.akira@aist.go.jp, 2. Automotive Human Factors Research Center, AIST Tsukuba Central 6, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8566, Japan, 3. Center for Research Strategy, Waseda University 513 Waseda Tsurumaki-cho, Shinjuku-ku 162-0041, Japan

Original manuscript received June 17, 2015, Revisions received January 17, 2016, Accepted January 18, 2016

ポイントである。しかしながら現行の科学研究の成果を記述する学術論文誌ではシナリオに言及することを要件としていない。また企業が発行する技術報告（技報）でもシナリオが正面から語られることは多くない。

シンセシオロジー誌の編集委員会は当初、シナリオが構成型研究で中心的役割を果たし、研究者はそれを言語的に（文章によって）また視覚的に（図によって）表現することは可能であろうという仮説を立てて出発した。そして編集委員会は著者に対してそれぞれの構成型研究のシナリオを論文中に記述することを要請してきたのであるが、このような要請は従来の学術論文誌では行われたことがない新しい試みと言えた。

シンセシオロジー誌は刊行以来8年を経過し、これまで100編を超える原著論文が掲載されたところである^[1]。我々はそれらの論文を調査して、シナリオが構成型研究において中心的役割を果たしているかどうか、またそれが論文の中でどのように言語化され描出されているかを調べ、編集委員会が当初立てた仮説が妥当であったかどうかの検証を試みる。

この論文の2章では分析型研究との対比を通して構成型研究の特徴を明らかにする。そして構成型研究ではシナリオがその中心的役割を果たすとの仮説を提示する。

3章では構成型研究のシナリオが共通の一般的性質をもつことを述べる。シナリオの基本構造を示すことにより、その言語化と描出が可能であるとの仮説を提示する。

4章ではシンセシオロジー誌にこれまで掲載された研究論文を調べて、構成型研究においてシナリオが中心的役割を果たしていることを確認し、またどのように言語化され描出されているかを示す。シナリオの表現形式にはいくつかの異なる類型が存在することを述べる。

5章ではシナリオが構成型研究の企画・立案、実施、評価の場面で有効に活用できる可能性を指摘する。

なお構成型研究において要素をどのような形で統合し研究目標を構成していくかという方法論的分析結果が、本誌の5巻1号の研究論文「Synthesiology 論文における構成方法の分析」^[3]に掲載されているので参照されたい。

2 構成型研究と分析型研究

科学は17世紀以来要素還元の方法、すなわち自然や存在物を階層化しより細かい要素に分解して理解する方法(分析的方法)によって著しい発展を遂げてきた。ところが20世紀末に至って地球環境問題に代表されるような複合的な課題に直面して、分析的方法だけでは対処できないことが広く認識されるに至った。

一方、技術は20世紀において科学の裏付けを得て大き

く進歩したが、技術開発が分析的方法だけで成し遂げられたのではないことも明白である。研究開発と社会的価値とを効果的に結び付けるような、要素還元の方法とは別の新たな研究開発の方法がいろいろと模索されている。この論文が提示する「構成型研究」もその一つである。

構成型研究のプロセスを考えてみる。構成型研究では、まず、実現すべき社会的に価値のあるモノないしコト(人工物)を想定する。次にそれらを実現するために必要な科学技術的な目標、すなわち構成型研究の研究目標を設定する。さらに研究目標を科学技術的な要件や要素技術に分解(ブレイクダウン)する。この論文では、構成型研究の研究シナリオ(「シナリオ」と略記する。)を「構成型研究の研究目標を要素に分解し、研究目標と要素との論理関係および要素間の論理関係を表現したもの」と定義する。シナリオには科学技術的事項だけでなく、研究実施に影響する法制度や社会慣行、人的ネットワーク、共同研究等の枠組的事項も含めることとする。

構成型研究の実施においてはシナリオに基づいて、最適のやり方で要素技術を選択、開発、統合、構成して研究目標を達成し社会的価値を実現していくといったプロセスが取られる。

本章では、「シナリオは構成型研究において中心的な役割を果たす」との仮説を提示する。なおこの仮説に関しては4章において、実際に書かれた掲載論文を基にして検証を試みる。

2.1 科学研究と技術開発のプロセス

本節では科学研究と技術開発を異なる概念として取り扱い、それぞれ独自の метод論をもつものとする。図1は上部に科学研究、下部に技術開発のプロセスと成果物を模式的に示したものである。

科学研究の対象は自然および存在物である。現在の科学界には物理、化学、生物、電気、機械、医学といった

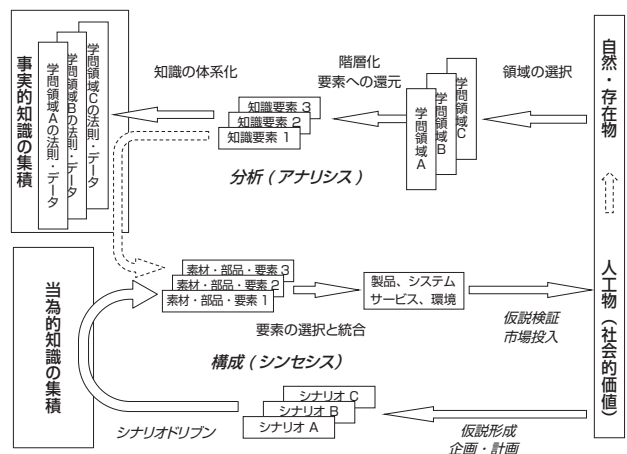


図1 科学研究と技術開発のプロセス

ような個別の学問領域が存在する。大学の理系の学生は学科の一つを選択することによって自己の勉学の領域を設定する。研究者も通常学問領域の一つを選択しそれを自己の専門領域とする。それぞれの学問領域には独自の自然への見方とアプローチの方法があり、それによって自然や存在物の特定の側面を切り取る。切り取られた側面におけるさまざまな現象を階層化し要素に還元することによってその学問領域における新たな知識要素を発見していく。さらに、発見された知識要素を相互に関係付けることによって知識を体系化し、それぞれの学問領域ごとに法則や公式を確立し、データを蓄積していく。この意味で科学研究の主流は要素還元の方法に基づく「分析型研究」と言えよう。

一方技術開発は、まず社会的な何らかの価値を作ろうとする人間の意志が発端にある。価値には製品やシステム等のモノだけでなく、サービスや方法等のコトも含まれる。また環境の保全や改変も含まれる。図1に示すように、社会的価値を実現するためのプロセスの最初の段階にシナリオの作成がある。

研究を実施する前の構想の段階でシナリオを作ることは仮説形成と言えよう。構成型研究はシナリオに基づいた（言い換えれば、シナリオドリブンの）形で必要な素材を選択し、部品・要素を製作し、目標とする製品やシステム、サービス、環境等を構成していく。このプロセスは「構成的方法」であり、技術開発は「構成型研究」と言えよう。

構成した人工物が当初目標とした社会的価値を実現しているかどうかの確認は仮説検証と言えよう。想定された社会的価値は、企業の場合であれば製品やサービスの市場への投入とそこから反応で検証されるであろう。研究機関や大学の場合であれば社会的価値は、出願特許、提案された共同研究、製作された試作品、構築されたデータベースとその公開、作成された技術基準とその標準化、開発された計量標準や標準物質とそれに基づいて提供される試験・校正サービス、作成された地質図幅とその公開、開発されたリスク評価方法と公開されたリスク評価結果等に対する社会や民間企業からの反応で検証されるであろう。

図1に示したようなプロセスで構成型研究が行われるとき、シナリオの良否は構成型研究全体の成否に大きく影響する。このことから、シナリオは構成型研究で中心的役割を果たすものと考えられる。これがこの論文が提示する第1の仮説である。

2.2 科学研究と技術開発の相互作用

本節では研究開発が社会的価値と効果的に結びついた歴史的事例から科学研究と技術開発の相互作用を見ておきたい。

科学は17世紀に西欧で生まれたが、技術はそれよりは

るか前の人類の誕生と同時に生まれたと考えられる。歴史的にはるかに先行していた技術開発と、ごく最近現れた後発の科学研究とは基本的に性質が異なるものであり、それらを効果的に相互作用させることはそれほど容易でない。現在各国政府の科学技術政策等を中心にして、さまざまな試みが世界中で行われているところである。

技術開発と科学研究の相互作用は19世紀には始まっている。代表的な事例は蒸気機関の発明と熱力学の発展である。図1の右端に破線の上向き矢印で示したように、蒸気機関として発明された人工物を、科学は「存在物」と認識しその研究対象に取り込んだ。その結果として得られた熱力学の知識要素と体系が、図1の左側にある破線の下向き矢印で示したように技術開発に影響を及ぼして、さまざまな熱機関の高度化を促した。この事例は科学が技術の成果を研究の対象に取り込み、その後科学が技術に裏付けを与えて両者ともに大きく発展した事例である。

20世紀には中性子と核分裂の科学研究と、核兵器や原子力発電の技術開発が強く関連している。また固体物理学における種々の科学的発見と、トランジスターを初めとするエレクトロニクスデバイスの発明とが同様の関係にある。

21世紀の例を挙げれば、ナノサイエンスとナノテクノロジーであろう。ナノサイエンスは当初電子顕微鏡による「観察の科学」とどまっていたが、走査型トンネル顕微鏡という技術上の発明により、原子の観測だけでなく操作を行ったり、ナノスケールでの加工や製造にも波及したりしてさまざまなナノ構造体が作られた。そして今度は逆に、それらが科学研究を刺激してナノサイエンスの一層の発展を促した。現在ナノサイエンスの裏付けを得てナノテクノロジーが急速に発展している。

生命科学と医療、農業にも同様の関係があるろう。

2.3 構成型研究の属性

構成型研究と分析型研究の属性を対比して表1に示す。分析型研究の属性は科学の発展の歴史の中で長い時間を掛けて明確にされてきた。表1の各属性はほぼ定説とみなしてよいであろう。一方構成型研究の方は明確に提示されたのはごく最近であることから¹⁾、その属性は十分に検討されたわけではない。従って以下に述べる見解は著者らの現時点でのものである。（今後時間を掛けてより明確になると期待される。）

表1の各項目に沿って順次説明する。

研究の方法に関してはその名称の通り、分析型研究が分析（アナリシス）であるのに対して、構成型研究は構成（シンセシス）である。研究の行為に関しては、前者が発見や解明であるのに対して、後者は発明や作成である。獲得する知識に関しては、前者は何が真実かという事実的知識で

表1 分析型研究と構成型研究の属性

属性	分析型研究	構成型研究
方法	分析（アナリシス）	構成（シンセシス）
行為	発見、解明	発明、作成
知識	事実的知識	当為的知識
動機	知的好奇心	社会的価値実現への意欲
シナリオ	周辺的存在	中心的存在
対象領域	単一の学問領域	複数の学問領域
解の一意性	唯一の解	複数の同等な解
重視する性質	知識の整合性と体系性	結果の社会的価値
オリジナリティ	知識の固有性	選択と構成の固有性
新規性	知識の新規性	選択と構成の新規性
評価	専門家によるピアレビュー	受益者によるメリットレビュー

あるのに対して、後者は何をどのようになすべきかという当為的知識である。

知識を獲得する動機に関しては、分析型研究が知的好奇心であるのに対して、構成型研究は社会的価値の実現に対する意欲である。研究のシナリオに関しては、前者では重視されず周辺的な存在であるのに対して、後者では最も重視される中心的存在である。研究が関与する学問領域に関しては、前者が単一の学問領域において専門性を先鋭化する傾向が強いのにに対して、後者では複数の学問領域に跨ることが普通で、要素技術は必要に応じてさまざまな領域から取り込む。

研究における解の一意性に関しては、分析型研究では真実は一つであり唯一の解があると信じられている。そこでは解の候補が複数残っているうちは未解決問題として研究を継続し、一つの候補に絞られた段階で研究を終了する。それに対して構成型研究では、通常複数の同等な解が存在する。解の間の優劣は、その時点における社会の状況や関連する他の技術の状況によって左右されるので、時代とともに変化する可能性をばらむ。

重視する性質は、分析型研究では知識間の整合性と知識の体系性であるのに対して、構成型研究では結果の社会的価値である。研究のオリジナリティと新規性に関しては、前者が既存の知識体系の上に付加した知識の固有性と新規性であるのに対して、後者では要素技術の選択と構成の方法の固有性と新規性である。

研究の評価に関しては、分析的研究では知識の整合性、体系性、固有性、新規性を判断できるような当該分野の専門家が評価する。研究論文の査読の場合には当該論文と

最も近い専門性を有する者によるピアレビューとなる。それに対して、構成型研究では研究成果から直接メリットを受ける者や、選択と統合の方法の固有性や新規性からメリットを受ける広い分野の研究者・技術者が評価を担当する。このように研究論文の査読の場合にはメリットレビューとなる。専門性が異なる他分野の研究者・技術者が査読に参加することはむしろ望ましい。

3 シナリオの構造と性質

本章では、構成型研究のシナリオが一般的にもつと考えられる性質を考察し、シナリオの内部構造と階層構造について述べる。これらに基づいて構成型研究において研究者はシナリオの言語化と描出が可能であろうとの仮説を提示する。この仮説に関しては4章で検証を試みる。

3.1 内部構造

図1においては構成型研究のプロセスを素材、部品、要素等という具体的な用語を使って表現したが、より一般的な用語を使ってシナリオの内部構造を描くことを試みる。第2章でシナリオを「構成型研究において研究目標を要素に分解し、研究目標と要素との論理関係および要素間の論理関係を表現したもの」と定義した。この定義から演繹的に、シナリオは基本的に図2のような内部構造をもつと推測する。図2はシナリオを描出するための基本的フォーマットということができ、構成型研究における研究目標と要素の間の論理関係を記述するためのツールとして利用することができる。

図2において右側から出発して左側へたどってみる。これは構成型研究におけるシナリオの抽出プロセスである。構成型研究においては社会的価値を想定した上で、それを実現するための研究目標を設定する。研究目標とは、構成型研究の結果生み出されることが期待される科学技術上の成果物である。研究目標はモノの実現であったり、サービ

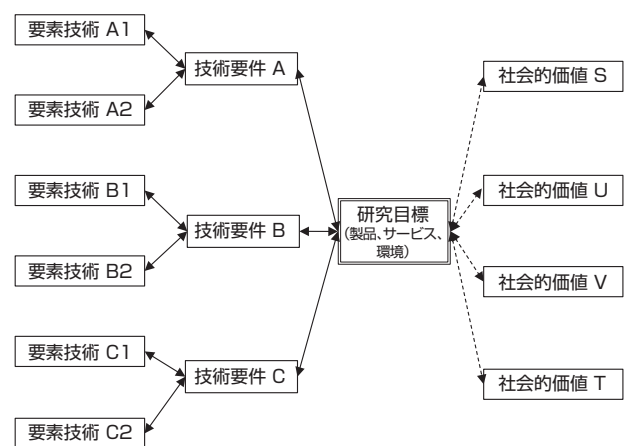


図2 シナリオの内部構造

スや方法等のコトの実現であったりもする。（それらをまとめて一般化製品と言うこともある。）

次に研究目標をブレークダウンして、必要な技術要件を設定する。技術要件とは具体的には、研究目標としたモノやコトに求められる機能や特性、安全性や寿命、またこれらを実現する製造方法等を指す。さらに技術要件をブレークダウンして必要な要素技術を設定する。要素技術とは、シナリオの基本単位である。

次に図2を左側から出発して右側へと逆にたどってみる。これはシナリオに基づいて構成型研究を実施するプロセスである。まず技術要件を考慮した上で、それに必要な要素技術を探し、過不足のないように最適に選択する。必要な要素技術で現在使えるものがない場合には、新たに開発する。次に技術要件を統合して研究目標を実現する。さらに実現された研究目標が、当初掲げた社会的価値に合致しているかどうか確認・検証を行う。

3.2 階層構造

構成型研究にはいろいろな規模のものがありうる。それに応じて構成型研究のシナリオも研究の初期段階における小規模で単純なものから、最終段階における大規模で複雑なものまでさまざまなレベルのものがある。大規模な構成型研究のシナリオは、図3に示すようなより小規模なシナリオからなる。このときシナリオは規模の大小にかかわらず、同じ形式の内部構造をもつ、すなわち互いに相似形であると考えられる。より小さなシナリオ群を包含してより大きなシナリオが形成されると考える。

階層構造の中では、小規模なシナリオのもとで設定した研究目標は、それを包含するより大きな規模のシナリオでは要素技術の一つとして扱われる。すなわちシナリオは全体が相似性をもつフラクタルな階層構造をもつと考えられる。

図2と図3に示したようにシナリオの内部構造と階層構造を設定するならば、構成型研究を行う研究者は自ら、研

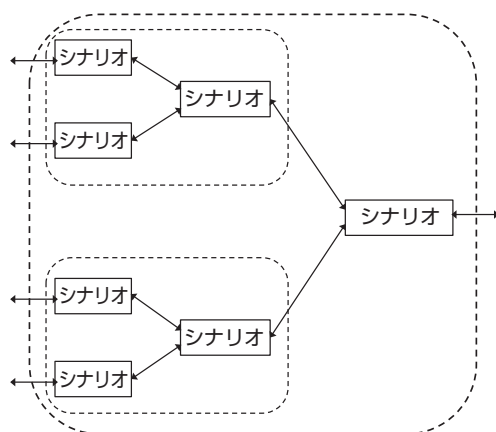


図3 シナリオの階層構造

表2 シンセシオロジー誌の研究論文の執筆要件

	項目	執筆要件
1	研究目標	研究目標（「製品」、あるいは研究者の夢）を設定し、記述する。
2	研究目標と社会とのつながり	研究目標と社会との関係、すなわち社会的価値を記述する。
3	シナリオ	研究目標を実現するための道筋（シナリオ・仮説）を科学技術の言葉で記述する。
4	要素の選択	研究目標を実現するために選択した要素技術（群）を記述する。また、それらの要素技術（群）を選択した理由を記述する。
5	要素間の関係と統合	選択した要素が相互にどう関係しているか、またそれらの要素をどのように構成・統合して研究目標を実現していったかを科学技術の言葉で記述する。

究目標と要素の間の論理関係を科学技術の言葉を用いて言語化し描出することは可能であろうと考える。これがこの論文が提示する第2の仮説である。

4 掲載論文に見るシナリオの表現

シンセシオロジー誌の編集委員会は著者に論文中で自己のシナリオを記述することを要請している。本章では著者がシナリオをどのように表現したかを掲載論文によって調べ、2章と3章で提起したシナリオに関する二つの仮説について検証を試みる。

4.1 記述の要請

表2はシンセシオロジー誌の編集方針¹⁴⁾で示されている研究論文の執筆要件（抜粋）である。この中で項目3「シナリオ」は同誌に最も特徴的なものである。このような形でシンセシオロジー誌は、構成型研究を行った著者に対して自己のシナリオを記述することを要請した。

4.2 共通的特徴

シンセシオロジー誌に掲載された論文調査と著者らへのインタビューにより、シナリオには技術分野によらない共通的な特徴がいくつか認められた。

4.2.1 シナリオの発生

研究が大きなプロジェクトに発展した場合でも、その最も初期の段階では一人の研究者の直感的な「思いつき」や「ひらめき」がシナリオ発生のきっかけとなることがしばしばある。思いつきやひらめきが、研究の進展や経験の深化とともに「可能性」へと変化し、さらに研究者自身の中で整理されて「確信」に成長する。さらに同僚たちとの議論はシナリオの「言語化」と「論理化」を促し、次第に第三者が理解可能な形に進化すると考えられる。

上記のシナリオ発生の初期過程においては、シナリオの原型は通常一人の研究者の頭の中で、言語化と論理化が

十分なされないまま熟成されていく。複数の研究者がシナリオに関与するような集団的作業は言語化以降である。言語化以前の状態ではシナリオを他者へ論理的に伝達する手段がなく、研究者個人の中でのいわゆる言い難いアイデアにとどまる。

4.2.2 シナリオの時間的发展

シナリオは研究の進展や研究グループ内での検討とともに発展し次第に精緻化されていく。シンセシオロジー誌の論文では通常著者が執筆している「その時点」におけるシナリオ、あるいは時間的に変化して最後に到達した「最終」シナリオが記述されることが多い。

一方研究プロジェクトが段階的に発展し、それとともにシナリオが発展的に変化していく様相を時間経過とともに記述する場合は、シナリオ間の関係は図3に示した階層構造をなすことがある。後発のプロジェクトは先発のプロジェクトの成果や経験を取り込んだ上で、社会的価値により接近した研究目標を掲げる。

4.2.3 大規模なシナリオ

多数の研究者が関わるような大規模な研究プロジェクトの場合には、研究の範囲が広くなりシナリオは階層構造をもつようになる。複数の技術要件が設定され、技術要件ごとに数人から十人程度の研究者グループが配置されるといった組織運営がとられることがある。またそれぞれの要素技術に対応して研究者が専任で張り付くといった形もありうる。大規模プロジェクトでは、図3に示すような階層構造をもつシナリオが作られることが多い。

4.2.4 シナリオの言語化

シンセシオロジー誌に掲載された論文の著者らにインタビューした結果次のような事例があることが分かった。実際に研究を進めているとき研究者は直感的、無意識的にシナリオをもっているが、それは必ずしも十分に言語化されておらず、記録に残っていない場合も多い。そのような場合シンセシオロジー誌の論文執筆を開始してみても初めて著者自身がシナリオを無意識的にもっていたことに気付くことがある。シンセシオロジー誌の論文には、無意識的にもっていたシナリオを改めて言語化、論理化したといったケースが少なからずあった。

研究を進める中で研究者がシナリオを言語化して記録していなかった場合、過去に遡ってシナリオを思い出し、その発展の過程を再現することはなかなか難しいようである。シナリオが時間的に変化し発展するとともに、過去のシナリオは研究者の記憶から消えてしまう傾向にある。

4.3 さまざまな表現形式

シンセシオロジー誌の論文の著者らがもっているシナリオの内部構造は基本的に図2に示すようなものと考えるが、

要素間の論理関係のどのような側面を強調してシナリオを表現するか、その形式は著者ごとに大きく異なっている。シンセシオロジー誌の論文で表現されたシナリオのいくつかが文献[5]に図示されている。我々はそれらを4つの特徴的な表現形式に類別した。

4.3.1 要素間の論理関係

シンセシオロジー誌の論文には、図2に示した内部構造の形式に基づいてシナリオの論理関係を表現したものが論文全体の約半数あり、多くを占める。そこでは要素技術と技術要件を互いに論理的に関係付け、それらを統合して研究目標に至るとしている。

シンセシオロジー3巻4号に掲載された「日本全土の元素分布の調査とその活用」^[6]はその典型的な例である。シナリオが図4に示されている。研究目標は、地殻表層の元素の分布を日本全土で調べ、元素分布図（地球化学図の一種）を作成・公開することであった。この地球化学図はヒ素、水銀、カドミウム等の有害物質による環境汚染の状況やその原因究明に使われることを意図したものである。

地球化学図はデータベースの一種であるので、このシナリオではデータベースが備えるべき技術要件として基本特性、網羅性、信頼性、ユーザー利便性、運用性の5項目を設定した。地球化学図が広く活用されるためにはそれぞれの技術要件に一定の水準が必要である。さらにその水準を満たせるような要素技術が図4に示すように13種類特定された。具体的な研究はこのシナリオに基づいて要素技術を開発したり、野外調査や分析作業を行ったりすることであった。

このプロジェクトの最大の論点は、技術要件の一つであるデータの網羅性であった。プロジェクトに参加する研究者の人数や研究期間に制約がある中で、最終的に10 km四方に1点という試料の採取密度を選択したが、そのよう

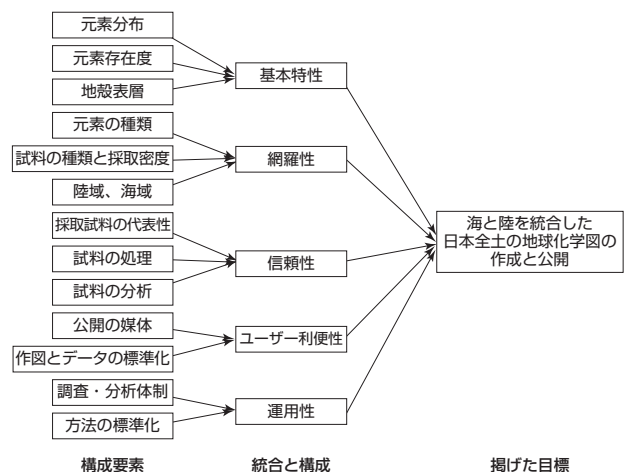


図4 日本全土の地球化学図の作成と公開のためのシナリオ（シンセシオロジー3巻4号、今井^[6]より）

な“希薄”な密度の地球化学図が利用者にとって意味のあるものになるかが問題となった。希薄な試料採取密度を判断してプロジェクトを開始し、シナリオに含まれるすべての要素技術と技術要件を一定の期間内で達成できるようにプロジェクト全体が運営管理された。このようにして陸と海を統合した日本全土の元素分布図を完成させた。この成果は、試料の採取密度の問題を克服して現在ユーザーに広く利用されるに至っている。

4.3.2 要素間の循環的關係

シンセシオロジー誌の論文には、技術要件や要素技術の間に存在する循環的な論理関係に着目した論文が全体の約12%ある。そこでは研究開発の時間的な流れをシナリオの中に取り込んでいる。産業界や社会のセクターを研究プロジェクトのステークホルダーに位置付け、研究の成果を順次ステークホルダーに提供しつつ、そこから得られた情報を新たな研究資源として活用しながら漸次研究開発を高度化していくという手法である。シンセシオロジー誌1巻1号に掲載された「個別適合メガネフレームの設計・販売支援技術」^[7]はその典型的な例であり、シナリオが図5に示されている。

人の頭と顔の形状（頭顔部形状）は個人ごとに大きく異なる。この点を考慮し、メガネのユーザーに対して個々人の頭顔部形状にベストフィットするメガネフレームを販売店が効率的に提供できるような仕組みを構築することがこの研究の目標であった。

技術要件に相当するものを4つ設定している。それらは、多数の人から得られた頭顔部形状データベース、メガネ販売店の店頭で行う顧客の頭顔部形状計測、メガネのサイズバリエーション設計、メガネをかけたときの顔の印象を顧客が自分で判断できるスタイル推奨サービスである。より多くの頭顔部形状データを保有していることが、よりの確かなメガネフレームを顧客に提供できる基盤であるので、頭顔

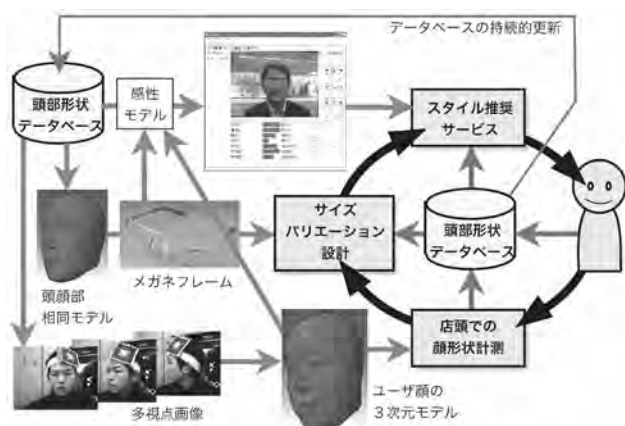


図5 個別適合メガネフレームの販売支援システムと要素技術（シンセシオロジー 1巻1号、持丸他^[7]より）

部形状データベースがこの研究の中心的存在として位置付けられている。

このシナリオでは、メガネ販売店とその顧客を研究のステークホルダーとして取り込み、作業とデータが研究者とステークホルダーとの間を循環的に回る仕組みとなっている。顧客がメガネ販売店を訪れるたびにその頭顔部形状データが追加されるので、データベースは漸次充実していく。このように頭顔部形状データベースを中心にして、他の技術要件を循環的に回していくというシナリオは構成型研究として独創的なものである。

4.3.3 要素の取捨選択

構成型研究では技術要件や技術要素を設定するにあたって、新たなアイデアを創出したり、既存の実例の中から最適のものを選択したりする。シンセシオロジー誌の論文には、選択の過程を記述した論文が全体の約13%ある。そこでは有力な複数の選択肢を比較検討し、それらの間の優劣を科学技術の立場から評価し、その上で著者らの意思決定の過程を記述している。

シンセシオロジー1巻1号に掲載された「不凍蛋白質の大量精製と新たな応用開拓」^[8]はその典型的な例であり、さまざまな選択肢と著者らの意思決定のプロセスを表現したシナリオが図6に示されている。

不凍蛋白質はそれが溶けることで水の融点さが下がる（すなわち0℃以下でも凍らない）という効果があり、寒冷地に生息する生物の体内に存在することが分かっている。不凍蛋白質を産業に応用することが望まれていたが、実用に供するのに十分な量が精製できないという制約に悩まされていた。著者らはこの状況を打開することを研究目標とし、シナリオの中で次の選択を行った。すなわち、不凍蛋白質を体内に有する多数の生物の中から魚類を選択した。次に遺伝子工学や化学合成の方法を取らずに、天然資源（魚類）から不凍蛋白質を精製するという選択を行った。また不凍蛋白質の原材料としては魚の血液を捨て、筋肉から精製する方法を選択した。これらの選択は、著者らの科学的

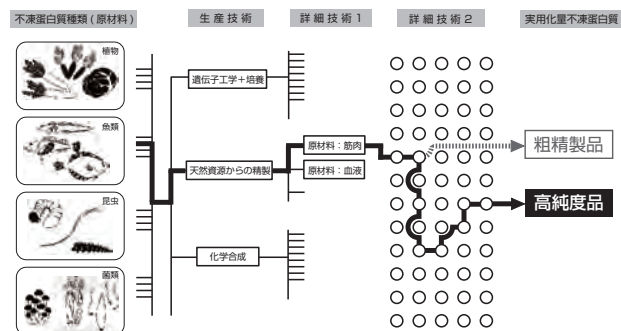


図6 不凍蛋白質の大量精製のシナリオ（シンセシオロジー 1巻1号、西宮他^[8]より）

な知見と直感によって行われたものである。結果的に北海道の漁港に水揚げされる大量の雑魚の筋肉から実用上十分な量の不凍蛋白質を精製することに成功し、民間企業と共同で産業化を試みている。

この論文は、研究の中でさまざまな選択肢がある時に、時流に乗った方法を必ずしも優先しないという姿勢、選択において必要となる科学的な根拠を得るために基礎研究を重視する姿勢がポイントであることを示唆している。

4.3.4 シナリオの時間変化

構成型研究の実施の途中で研究が思わぬ方向に進展したり、社会情勢が変化したり、新たな要素技術が出現したりすることによって、研究目標の変更を含むシナリオの大掛かりな修正が行われることがある。場合によってはプロジェクトが途中打ち切りになることもある。

長期にわたる構成型研究では、その期間内にシナリオが変化、展開していくことは当然であろう。シンセシオロジー誌には、シナリオの変化の様相が記述されている論文が全体の約20%ある。

図7はその一例で、実時間全焦点顕微鏡の製品化に至る構成型研究のシナリオである^[9]。当初は科学的興味から出発したアイデアが研究の進行とともに発展し、要素技術の進展や協力企業との対話の中で次第に研究目標が具体化、明確化して製品化に至った時間的経緯を記している。そこでは、構成型研究のダイナミズムを理解することができる。

4.4 表現の難しさ

掲載論文の中にはシナリオが必ずしも十分明確に記述されていないものがあるが、その背景には次のような状況があったと考えられる。

A) 編集委員会から各著者へシンセシオロジー誌の論文形式の趣旨説明が十分になされてなく、著者側として具体的なシナリオの記述方法がよく理解できないまま書き進めてしまった。

B) 構成型研究の論文形式はまだ定まってないことから、個々の編集委員によってシナリオに関する多様な考え方が併存している状況であった。

C) 査読者の査読基準が必ずしも統一されてなく、それぞれが多様な基準のもとで掲載可否の判断をした。

構成型研究の論文形式は検討が始まってから高々10年でまだ試行錯誤の段階にあることから、上記A)～C)の状況はやむを得ないことと考えられる。分析型研究を記述する現行の科学論文が、17世紀以来の長い年月をかけて現在の論文形式と査読基準を確立してきたことを考えれば、構成型研究の論文形式と査読基準が現状で未確立なのはある意味当然のことであり、今後の論文の積み上げと経験の蓄積の過程で徐々に解決されていくものと考えられる。

4.5 仮説検証の試み

シンセシオロジー誌の編集委員会は構成型研究に関する研究論文を投稿する著者にシナリオの記述を要請してきたが、それは2章と3章で述べたように、シナリオが構成型研究で中心的役割を果たし、かつそれを言語化し描出することは可能であろうとの仮説を前提とするものであった。これまでの掲載論文を調べることによってこれらの仮説の妥当性の検証を試みる。

シンセシオロジー誌への掲載論文は編集委員会の要請の通り、そのほとんどが明示的あるいは非明示的にシナリオに言及している。多くの論文でシナリオの記述のために独立した章が設けられたり、シナリオに特化した記述がなされたりしている。シナリオは構成型研究の全体を俯瞰し、それぞれの実施内容間の論理関係を説明している。

掲載論文のほとんどで、著者らがそれまでに他の学術論文誌で発表した研究論文が関連する参考文献として引用されている。シナリオは、著者らの過去の論文のいくつかを貫くような形で書かれている。シナリオはそれら複数の論文の関係を明確に描き出しており、また著者らの一連の研究の芯のような存在であることが推測される。事実著者へのインタビューから、シンセシオロジー論文を執筆することは、自己の一連の研究を総括する上で非常に役立つとの意見が多かった。

シンセシオロジー誌の掲載論文には、業界全体を巻き込むような大規模プロジェクトのシナリオから、研究者が一人で行っている小規模研究のシナリオまで多様な規模のものが記述されている。論文の中での著者の主張から推測すると、大規模プロジェクトと同等の重みで小規模研究においてもシナリオが記述されている。

掲載論文を読むと、もしシナリオに関連する記述を当該論文から削除してしまったら、研究の羅列のみになって、一連の研究を貫く芯が著者によってどのように意図された

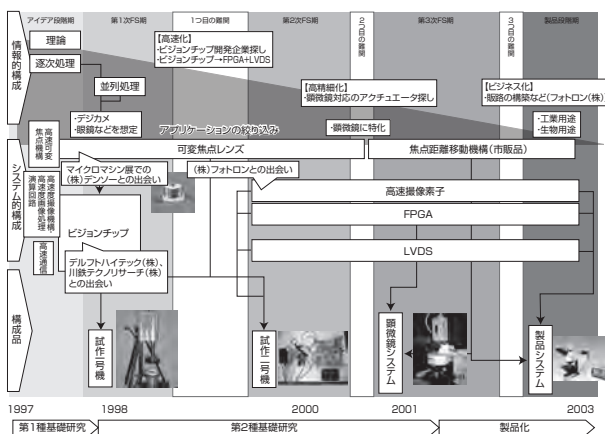


図7 構成の紆余曲折
(シンセシオロジー2巻4号、大場^[9]より)

かが分からなくなってしまう。その意味でシンセシオロジー誌の論文を特徴づけるものはシナリオであると言える。

以上のことから第1の仮説に関して、シナリオは構成型研究で中心的役割を果たしているとしてよいであろう。

シンセシオロジー誌の掲載論文の半数以上が、シナリオないしそれに相当するものを1枚ないし2枚の図に要約して描出している。図からは著者が構成型研究をどのようなシナリオで進めていったのか、その論理関係全体が概観できる。そして本文（テキスト）の中で研究目標と要素間の論理関係の詳細が記述されている。

シナリオを記述する際に、論文ごとに異なるが、科学技術的事項と枠組的事項を一定のバランスで記述している。論文によっては科学技術的事項のみを記述したものがある一方、枠組的事項に重点を置いたものもある。枠組的事項のうち最も多いものは共同研究に関するものである。その理由は構成型研究の多くが民間企業との共同研究で行われていることによる。このような重点の置き方の違いは、当該研究を行う上で最も重要なポイントがどこにあったのかという著者の見解の差から生じたものと想像される。

4.3節でシナリオは多様な形式で描出されることを述べた。図4は、図2のシナリオの内部構造がそのまま論理関係の表現形式になりうることを示している。また図5、図6、図7の3つの事例は図2とは異なる表現形式であるが、要素間の論理関係の特定の側面を強調したものになっている。この場合要素技術や技術要件は本文（テキスト）の中や他の図の中で記述されている。

掲載論文に見られるすべてのシナリオが、著者によって初めて記述されたという意味で、オリジナルな創出物である。さらに図5で示した事例は、要素間に独自の循環的關係を設定して新しい研究スタイルを創出している。シナリオの形態自体にも高いオリジナリティが認められる。

掲載論文の著者らによる座談会が2回開かれ、執筆に当たった経験が披露されている^{[10][11]}。また論文掲載後に著者が改めて構成型研究全体を記述した論説もある^[12]。これらもこの論文の仮説をサポートしていると言える。

以上のことから第2の仮説に関して、シナリオの表現形式は著者によってさまざまではあるものの、研究分野によらず、また研究の規模によらずに、その言語化と描出は可能であると言えるであろう。

5 シナリオの活用

シナリオが構成型研究の中心的存在であることから、さまざまな場面でシナリオが有効に活用できると期待される。構成型研究の企画・立案、実施、評価において、シナリオがどのように活用できるか、その可能性を以下に論

じる。またシナリオを社会に公開し関係者間で共有することによって、イノベーションを目指す研究開発のスピードが社会全体として格段に高まる可能性を示唆する。

5.1 研究計画の企画・立案

研究計画は、シナリオの全部あるいは一部を切り出して、一定のリソース（期間、予算、人員、機材）に合致するように再構築したものとみなすことができる。具体的にはシナリオは次のように活用することができる。

5.1.1 研究目的の設定

研究計画の企画・立案者は、シナリオ作成時に想定した社会的価値をベースにして、特定の研究目的に絞り込んだり、あるいは波及効果に敷衍したりして、社会的価値を研究計画の中に取り込むことができる。

5.1.2 ロードマップへの展開

研究計画の企画・立案者はシナリオに時間的優先順位を加味して研究計画線図（ロードマップ）に展開できる。

5.1.3 要素技術の開発

研究計画の企画・立案者はシナリオに基づいて、その各部分の役割を特定して研究プロジェクトの実施体制案を作ることができる。研究目標の達成に当たって足りない要素技術を特定し自ら開発するか外部に委託するか判断できる。

5.1.4 潜在的ステークホルダーとの対話

研究計画の企画・立案者は、同じ関心をもつ民間企業等の潜在的ステークホルダーにシナリオを提示して意見のフィードバックを受け、その改善に反映させられる。民間企業が研究実施に関心をもつ場合には、シナリオで想定されている相互の役割を特定して共同研究の可能性を議論できる。

5.1.5 リソースの見積もり

研究計画の企画・立案者はシナリオに基づいて、プロジェクト遂行に必要なリソース（人員、設備・機材、資金、時間）を確実に算定して所属機関や研究助成機関に申請できる。

5.2 研究の実施

5.2.1 研究実施体制の構築

研究の実施者はシナリオの各部分の役割に基づいて、過不足なく研究参加者を特定することができる。必要に応じて外部の共同研究相手先を選び、より大きな研究実施体制を組むことができる。

5.2.2 研究参加者の組織化

研究の実施者は、研究への参加者全員がシナリオを共有し、それぞれの位置付けと役割を認識していることを確認できる。産学官の共同研究であれば、組織を越えて参加主体がそれぞれの役割と相互の関係を明確に認識できる。

5.2.3 研究計画と体制の変更

研究の途中において中間評価等によりプロジェクトの実施計画を変える場合には、研究の実施者はシナリオ全体を柔軟かつ全体統合的に変更し、適切にプロジェクトを再構築することができる。

5.3 研究の評価

5.3.1 プロジェクトの評価

シナリオが明確に提示されていれば、研究資金の提供機関等の研究評価者は研究プロジェクトの申請段階で、シナリオに基づいて研究計画の合理性、革新性、実現可能性、リソース算定の妥当性等を的確に評価して採否を判断できる。

研究実施の半ばで中間評価が行われる場合には、研究評価者は当初のシナリオに照らして研究の進捗を評価したり、研究計画が変更される場合には状況や環境の変化に適合するように変更の是非を的確に判断したりできる。

研究実施の終了段階においても、研究評価者はシナリオに基づいて研究の実施状況と成果を評価できる。

5.3.2 シナリオの評価

シナリオは構成型研究の中心的存在であるがゆえに、シナリオの良否が構成型研究プロジェクトの成否に強く影響する。シナリオの良否の評価もプロジェクトの評価において重要である。シナリオ自体の合理性、革新性、実現可能性の評価の視点をここで述べておく。なお構成型研究のすべてが、その成果が社会的価値の実現と直接結びついていないわけではないので、図3に示すように、フラクタル的な階層構造の下位にある小規模なシナリオに関しては、いくつかの段階を経て最終的に社会的価値の実現や産業化に結びつく。社会的価値に至る「シナリオの連鎖」の妥当性も合わせて評価対象として考慮されるべきである。

シナリオの評価は具体的には次の視点からなされるべきであろう。

- a) 想定した社会的価値は、社会や産業の現状と将来動向から見て適切なものであるか。
- b) 設定した研究目標は、想定した社会的価値の実現に有効であり、不可欠なものであるか。
- c) 設定した研究目標を実現するためのシナリオは妥当なものであるか。さらに社会的価値の創出可能性は十分考慮されているか。
- d) 設定したシナリオは他のシナリオと比べて、課題をブレークスルーする可能性等の点で、明らかな優位性があるか。
- e) ブレークダウンした技術要件は、研究目標に対して過不足のないものであるか。
- f) 特定した要素技術は、対応する技術要件を満たすために過不足のないものか。
- g) 特定された要素技術は現状で十分入手可能か。

- h) 現状で入手可能でない要素技術に関して、自らの組織による開発あるいは他組織への委託開発の可能性は十分考慮されているか。

5.3.3 評価の質の向上

研究助成機関が助成する構成型研究においては、通常研究計画が申請書に記載されており、それが採択審査の対象となる。一方実際に行った研究の結果は終了報告書に記載される。申請書と終了報告書は別々の時期に別々の書類として提示されるため、申請から終了に至る全期間にわたる研究の妥当性や合理性を研究実施者自身が統合的に検証したり、研究助成機関側が統合的に評価したりするには少なからぬ努力が必要である。研究プロジェクトの申請時にシナリオが明確に提示されていたり、あるいは研究実施の途中でシナリオの変更が明確に提示されたりしているならば、研究プロセスと成果をよりの確に評価することができる。

研究の成否は研究成果の質と量で判断される。このとき成果の客観的な証拠として通常は学術論文誌に掲載された論文が用いられる。ところがこれらの学術論文誌のほとんどが分析型研究の論文形式を要請し、その評価尺度で査読する。このように研究プロジェクトが構成型研究であったとしても、その成果を分析型研究の尺度で評価するという事態になりかねない。

現状では学術論文誌に構成型研究の成果をそのまま発表する機会は極めて少ない。その理由は、現行の学術雑誌の多くが構成型研究の発表を想定していないことによる。また研究実施者自身が構成型研究のプロセスや成果をどのように表現してよいか理解していないことも理由の一つであり、学術論文誌の査読者が的確な評価尺度を必ずしも会得しているとは限らないことも大きな理由である。

構成型研究のプロセスと成果が客観的に記述され、論文としてシンセシオロジー誌をはじめとした諸雑誌に多く公開されるようになれば、明確に研究プロジェクトの評価が行える。シナリオの描出を含む構成型研究の積極的な論文発表が強く望まれる。

5.3.4 研究者の評価

研究論文の中でシナリオが記述されることで、構成型研究を遂行できる優れた研究者を見出し、その能力を評価することができる。また研究者自身もイノベーション創出のためにどのような能力を獲得すべきかを自己評価することができる。

構成型研究を行う際に研究者に要請される基本的な能力は次のようなものが考えられる。

- a) 新たな社会的価値（活用事例）を想定する能力
- b) 社会的価値に適合した研究目標を設定する能力

- c) 要素技術から研究目標までを俯瞰してシナリオを描出する能力
- c-1) 研究目標を実現するための技術的要件を社会の要求や制約等を考慮して、機能、特性、安全性、リスク等にブレークダウンする能力
 - c-2) 技術要件を構成するための要素技術を過不足なく特定する能力
 - c-3) 自己および自己の研究グループが強みをもつ要素技術を同定できるとともに、先行研究者の優れた要素技術を見出して選択する能力
 - c-4) 他の研究分野の研究結果から、自己の研究の要素技術として使えるものを見出して選択する能力
 - c-5) 未だに実現されてないキーとなる要素技術を自ら開発する能力

6 おわりに

シンセシオロジー誌に掲載された100編余りの研究論文を調査した結果、掲載論文の多くでシナリオが研究全体を俯瞰する要として機能を発揮していることが読み取れた。シナリオの記載の有無が、シンセシオロジー論文を他の学術論文と区別する最大の特徴となっている。また掲載論文の2/3近くでシナリオあるいはそれに相当するものが図を用いて視覚的に示されている。文章による記述も含めて、シナリオの言語的・視覚的表現が十分可能であることが確認された。

表現の巧拙は論文ごとに異なるが、今後シナリオの記述の経験を積み重ねていくことにより、表現形式はより洗練されていくものと思われる。今回はシンセシオロジー誌に掲載された100編余りの論文という限られた素材を対象とした仮説検証になったが、今後構成型研究の論文がより多く発表されていけば、改めて確実性の高い検証が可能になると期待される。

シンセシオロジー誌に掲載された論文が、他分野出身の査読者や読者にも理解可能な形で記述されていることは驚きである。分野ごとに細分化された現代の学術論文誌では、どの論文も他分野の読者には理解不可能なものがほとんどであるのに対して、シンセシオロジー誌の論文が、他分野の研究者・技術者が理解できる記述となっていることは注目に値する。構成型研究の表現形式が今後さらに進化し洗練されていけば、読者により理解しやすい論文となることが期待される。

著者へのインタビューでは、査読者との議論が有益であったとの意見が多く聞かれた。査読者の実名を公表して、著者との議論を論文末尾に掲載したことも新しい試みである。重要ではあるが著者が書き切れなかった論点を査読

者が指摘することで、読者にとって論文の理解度がより深まることが効果として挙げられる。

産総研では2000年代の前半に研究開発を第1種基礎研究、第2種基礎研究、製品化研究という3つにカテゴリー分けした上で、それらを同時かつ一貫して行う研究を本格研究と定義して実践してきた^[13]。これらのうち、第2種基礎研究と製品化研究は構成型研究であり、第1種基礎研究は分析型研究と言えるであろう。

構成型研究の成果は業界雑誌や企業ごとの技術雑誌(技報)で公開されてきた。しかしその中心的課題であるシナリオについては明示的に記述されることは少なかった。一方構成型研究のプロセスと成果を現行の学術雑誌に発表するときには、構成型研究の一部を切り出して分析型研究の表現形式に変換して査読基準に適合させるような「工夫」が行われてきた。そのような中では構成型研究のシナリオをそのまま記述することは困難であった。

構成型研究のシナリオが、シンセシオロジー誌だけでなく多くの学術誌において発表され公開されるようになれば、それはより広く社会で共有され財産となる。シナリオが異なる分野の間で共有されれば、そこを基点として分野を跨ぐ新たな融合研究が促進される。シナリオが産学官を跨いで共有されれば、そこを基点として組織間の連携が促進され産学官連携の実体が強化される。異なる分野や組織の間の連携はそもそも困難な要因が多いので、関係者間で全員が理解し納得できるようなシナリオが共有されれば、連携のレベルは格段に高まり、スピードは加速されると考える。

優れたシナリオを共有することにより、研究を実施する側も大きな利益を得ることができ、また研究を助成する側も確かな評価を通してより効果的な資金提供ができるようになるであろう。

イノベーションの時代には構成型研究の重要性がより増大する。優れた社会的価値が実現された研究の裏には優れたシナリオがあったはずである。それを公開し社会的な財産として共有することによって、研究開発と社会的価値をより効率的に結び付けられるようになると期待される。シナリオの共有によって産官学を問わず研究者や研究グループが相互に触発され、イノベーションに向けた研究開発が一段と加速されるような新しいステージに社会の仕組みが進化することが可能であろう。

謝辞

シンセシオロジー誌の構成型研究論文のシナリオに関して地質分野に関して有益な議論をしていただいた産業技術総合研究所富樫茂子氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] 産業技術総合研究所: 学術誌*Synthesiology* (シンセシオロジー), http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/synthesiology/index.html, 閲覧日2016-01-17.
- [2] 吉川弘之: 第2種基礎研究の原著論文誌, *Synthesiology*, 1 (1), 1-6 (2008).
- [3] 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, *Synthesiology*, 5 (1), 36-52 (2012).
- [4] シンセシオロジー編集委員会: 編集方針, *Synthesiology* 各号の末尾 (2008-), あるいはhttp://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/synthesiology/regulation.html
- [5] シンセシオロジー編集委員会: シンセシオロジー研究論文の執筆ガイダンス-要素技術、統合・構成シナリオの描き方 - 2012年4月, http://www.aist.go.jp/pdf/aist_j/synthesiology/synthesiology_guidance.pdf, 閲覧日2016-01-17.
- [6] 今井登: 日本全土の元素分布の調査とその活用, *Synthesiology*, 3 (4), 281-291 (2010).
- [7] 持丸正明, 河内まき子: 個別適合メガネフレームの設計・販売支援技術, *Synthesiology*, 1 (1), 38-46 (2008).
- [8] 西宮佳志, 三重安弘, 平野悠, 近藤英昌, 三浦愛, 津田榮: 不凍蛋白質の大量精製と新たな応用開拓, *Synthesiology*, 1 (1), 7-14 (2008).
- [9] 大場光太郎: 実時間全焦点顕微鏡の開発・製品化, *Synthesiology*, 2 (4), 264-275 (2009).
- [10] シンセシオロジー編集委員会: 新しい形式の論文を執筆して, *Synthesiology*, 1 (1), 66-73 (2008).
- [11] シンセシオロジー編集委員会: シンセシオロジー3周年記念座談会, *Synthesiology*, 4 (2), 115-120 (2011).
- [12] 駒井武: 技術開発におけるポートフォリオ構成と社旗実装, *Synthesiology*, 6 (3), 180-186 (2013).
- [13] 産業技術総合研究所: 第2種基礎研究を軸に本格研究へ, http://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/information/honkaku/leaflet.pdf, 閲覧日2016-01-17.

執筆者略歴

小野 晃 (おの あきら)

1969年東京大学理学部物理学科卒業。1974年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了(理学博士)。同年工業技術院計量研究所入所。2001年産業技術総合研究所に組織替えの後、計測標準研究部門長、理事、副理事長、2012年より特別顧問。専門分野は計量標準、標準化、計測技術。シンセシオロジー誌の創刊と編集、若手博士研究者の育成、ナノテクノロジーの国際標準化、温度標準・熱物性標準・リモートセンシング等の研究に従事。この論文では全体の構成と執筆を担当した。



赤松 幹之 (あかまつ ともゆき)

1984年慶應義塾大学工学研究科管理工学専攻博士課程修了(工学博士)。1986年工業技術院製品科学研究所入所。2005年産業技術総合研究所人間福祉工学研究部門研究部門長、2010年同所ヒューマンライフテクノロジー研究部門研究部門長。2014年11月より同所自動車ヒューマンファクター研究センター首席研究員。筑波大学システム情報系教授(連携大学院)、名古屋大学客員教授を兼務。本研究では、構成的研究の概念の具体化と科学技術における構成的研究の位置付け、シンセシオロジー誌の発刊意義および構成的研究論文の要件の具体化を担当した。



小林 直人 (こばやし なおと)

1973年京都大学理学部物理学科卒業、1978年京都大学工学研究科博士課程修了(工学博士)、同年工業技術院電子技術総合研究所入所。1997年より企画室長、量子放射部長を経て、2001年産業技術総合研究所光技術研究部門長、2003年同研究所理事、2009年4月より早稲田大学研究戦略センター教授。専門は光デバイス工学、半導体材料工学、量子ビーム工学、研究戦略・評価論等。この論文では構成型研究の位置づけ、意義、役割、使い方、作り方を考察した。



査読者との議論

議論1 全体評価

コメント (吉川 弘之: 科学技術振興機構)

この論文はシンセシオロジー誌に発表された論文に関する重要な課題を扱っており、今後本誌に投稿される論文の質的向上、および本誌の読者の理解にとって有用であると考えます。本誌に投稿される論文は実際に行われた研究開発に関して得られた構成に関する独自性を持つ知識の論文であるが、これらの synthesiological (構成的) な論文は、論文執筆の論理構造が伝統的に定められている一般の科学論文と異なり、その構造を執筆者自身が探りつつ論文を作成するという状況があり、その意味で、この論文のような投稿論文の調査に基づく論文の論理構造に関する検討は貴重なものである。

この論文は、100篇に至る発表論文の精査によって得られたevidenceの分析である。とすれば、発見された事実をまず述べ、それについての分析結果を示して、構成論文とはこのようなものと示せばよいということになる。しかしそれでは分析論文になってしまうとシンセシオロジー誌にふさわしくない。この論文では、構成論文のための論文の形式を本誌を計画した立場で仮説として提案し、100の論文を調べてその通りになっていることを実証し、仮説の正当性を実証するとともに、企画時には判明できなかった内容が豊富に得られて、シンセシオロジー論文の今後の作成に大きく寄与するという立場で読むことのできる論文となっている。ただの分析論文に仕上がった執筆者の意欲を大いに評価するとともに、感銘を受けている。

Vol.5No.1 小林論文との併読が望まれる。

コメント (湯元 昇: 産業技術総合研究所)

原稿の第1版では、構成型研究の方法論を分析型研究と対比しながら考察するとともに、構成型研究のシナリオの作り方をシンセシオロジー誌に掲載された研究論文の例を引きながら述べています。しかし、シンセシオロジー誌の「研究論文」とするには、独自性のある議論までは発展していないと思われます。

また、第2版では、仮説の提示と実際の検証を明示的にするため、大幅な原稿改訂を行われた執筆者の努力は高く評価されます。提示された2点の仮説(第1点:シナリオが構成型研究で中心的役割を果たすであろうということ。第2点:シナリオを言語的および視覚的に表現することが可能であろうということ。)は、シンセシオロジー誌を発刊するときに前提としたものであり、その検証には大きな意義があります。ただ、シンセシオロジー誌への掲載に当たっては、上記仮説を前提として著者らにシナリオの記述を要請していますので、シンセシオロジー誌の論文を対象として仮説を科学的に検証するためには、バイアスがかかっていることを前提とした慎重な議論が必要ではないでしょうか。

さらに、2次査読回答の中に記述されているシナリオが明確化されていない論文についての考察は、仮説の検証の意味で重要だと思いますので、是非、本文に入れていただけますようお願いいたします。

回答 (小野 晃)

原稿の第1版では表題にシナリオの「作り方」を入れて強調した形

としました。しかし、シナリオはそれぞれの研究者の独創的な創出物であり、作り方を第三者が容易に指南できるものではないと考えられることから、シナリオの「作り方」を強調すべきでないと考え、改訂を行いました。また、原稿の第1版では、「仮説の提示と実際の検証」を明示的に表現することが足りなかったと考え、4.5節「仮説検証の試み」を新たに設けて詳述しました。

構成型研究それ自体は長い歴史があるものの、その論文形式の検討はシンセシオロジー誌の発刊以来高々10年の歴史しかありません。現行の分析型の科学研究の論文形式は17世紀以来長い年月をかけて形成され、現在ではすべての科学者が了解する常識として確立しています。それと比べると構成型研究の論文形式はまだ確立されたというには程遠い段階にあり、普遍的な検証ができる状態に至っているとは思いません。従いまして、この論文が提示する二つの仮説が完全に検証されるにはさらなる長い年月がかかると思います。そのため「シンセシオロジー誌が試みた数年間の実績から何が言えるのか」というスタンスで改訂を行いました。

掲載論文には「バイアスがかかっている」ことに関して著者らの考えを述べます。本文に述べたように、一部の執筆者に対しては掲載済みの論文のシナリオの例を説明したりして、シナリオ抽出の参考になるように編集委員会として努めました。しかしながら仮説の検証についての本質的な論点は、編集委員会による要請があったかにかかわらず、論文の中でシナリオが構成型研究の中心的役割を「本来的に果たしている」か、また研究者がシナリオを記述ないし抽出することは「本来的に可能であった」と判断できるかであると著者らは考えます。シナリオの内容はすべて彼らの創意によるもので、編集委員会はシナリオの書き方の例を説明したに過ぎません。シナリオに関する章が論文中に設けられているかどうかといった形式によるのではなく、掲載論文の内容を読み込むことにより本来的に「可能であったかどうか」を判断することで仮説検証を行いました。

さらに、4.4節「表現の難しさ」を新たに設けて、掲載論文の中でシナリオが明確化されていないものについての考察を記載しました。

議論2 分析科学と構成科学の違い

コメント（吉川 弘之）

図1では、分析科学と構成科学の違いを述べているが、一般的に行われている説明との関係がわかりにくい。一般の説明では、分析は自然存在が与えられ、それを説明する学問領域を創出（法則の導出）あるいは発展（知識の充実）するものであり、一方構成は期待（価値）が与えられ、それを実現する存在（製品、サービス、方法等）の作り方を創出し、あるいは実際に作り出すものとされる。両者は論理的に共通部分を持つが、各論理の出現の順序が違う。構成のシナリオは仮説形成であり、分析での法則発見が仮説である。しかし分析では仮説形成の過程は論文に書かないこととなっている。構成科学でシナリオ部分に力点を置いて、それを説明することが一般の科学論文と違う重要な点であり、それが分析と構成の両科学を分ける大きな違いである。この点が見える図にしてほしい。

回答（小野 晃）

構成科学の仮説形成に関するご指摘はその通りと思います。それを踏まえて、図1を、分析型研究と構成型研究の対比がより明確に描かれている図に置き替えました。

議論3 シナリオの内部構造

質問（吉川 弘之）

図2では、シナリオ抽出と構成型研究の実施プロセスが同じ図の右からと左からとの流れに対応するとされている。説明は次のように読める。「図2のような関係図が既存のものとしてあって（おそらく要件や要素は膨大なデータになるであろう）、その中から慎重に選択す

る、次に選ばれた要素を集約して具体的な存在物としての製品を構成する。」さて、ここで質問。投稿論文において、この図のようなものが既存のデータによって与えられる定式化したシナリオ抽出の場であったのか。実際はそのようなデータなしに、シナリオ抽出の過程でこの図に相当するものが創出される例が多いのではないかと。定式化された一般的なものを作り上げることがシンセシオロジーの目的であるとすれば、各論文は例題としてのエビデンスであり、その集積で一般的な図2のフォーマットが決まるという点を強調してほしい。

回答（小野 晃）

シナリオの内部構造と論理関係を説明する図2は、この論文の著者らがシンセシオロジー誌の創刊とはほぼ同じ時期に、構成型研究のシナリオの定義から演繹的に導きだしたものです。同図はシナリオに含まれる研究目標と要素との間の論理関係を説明するための基本的なフォーマットと考えます。

ご質問にある『実際はそのようなデータなしに、シナリオ抽出の過程でこの図に相当するものが創出される例が多いのではないかと』とのご指摘ですが、実際はその通りだと思います。シンセシオロジーに掲載された論文は、子細に見ればどれ一つとして同じシナリオでは描かれていません。研究者によっては自己のシナリオを最も適確に抽出できる論理関係は必ずしも同図のフォーマットに限られるものではなく、さまざまな異なるフォーマットがあるということです。それらの事例は4.3節「さまざまな表現形式」で示した通りです。図2の基本フォーマットは、構成型研究の研究者が自己のシナリオを表現するときに参考になるものではないかと考えますが、最適のフォーマットは研究者ごとに異なりますので、今後フォーマットの事例を蓄積し類型化していくことは有用なことと考えます。

議論4 シナリオの定義と役割

コメント（吉川 弘之）

シナリオを明解に定義してほしい。また、シナリオの重要性は十分説明されているが、シナリオとは何をすることなのか明示的に述べられていないので、論文を読み進むうちに、シナリオとは何か、またなぜシナリオを書くことが必然的なのかについての理解が深まらない気がし始める。論文中に、シナリオの役割についての説明が十分あるが、これは効用を述べるもので、必然的に必要というところまでいれない。しかし論文を読み進んで4章に至り、例題とともに、シナリオの必然性に触れている。例えば「4.2.4 シナリオの言語化」において、記憶のために言語化の必要性が述べられているが、言語化は記憶だけでなく、価値や目標の表現にはそれに含まれるであろう要素間の論理関係がないので、シナリオという文章にしてそれを発見するのがシナリオ目的であるということも言われているのであって、なぜ文章としてのシナリオを書くかについての積極的な説明が明快に述べられていると、この論文、ひいては構成型論文の意義がよりよく理解されるように思われる。

回答（小野 晃）

第1版では、シナリオの定義が明確でなかったため、「構成型研究において、研究目標を要素に分解した上で、研究目標と要素との論理関係および要素間の論理関係を表現したもの」と定義し、2章前文に記述しました。

また、『なぜ文章としてのシナリオを書くか』の理由は、ご指摘のように、研究目標と要素の間の論理関係、および要素相互間の論理関係を明確に描き出すためと考えます。この点が欠如すると、シナリオは「思いつき」や「ひらめき」の域から脱せずに、第三者との議論や協力もうまく成立しないように思います。シナリオを上記のように定義したことで、読者にシナリオ作成の必然性が理解していただけると良いと思っています。この点を念頭に置いて全般的に改訂しました。