

シンセシオロジー（構成学）：知の統合を目指す学問体系

2009年12月に横断型基幹科学技術研究団体連合（横幹連合）が主催する第3回コンファレンスが東北大学で開催されました。その中に「シンセシオロジー（構成学）：知の統合を目指す学問体系」という特別企画のセッションを設けていただき、講演と総合討論を行いました。ここでは横幹連合のご了解を得て、基調講演の論文を再掲し、総合討論の概要をご報告します。

シンセシオロジー編集委員会



（開会挨拶）

鈴木 久敏（横幹連合副会長、筑波大学） 横断型基幹科学技術研究団体連合は、様々な専門分野しかも文理にまたがる学協会が自然科学と並ぶ技術の基礎である基幹科学の発展と振興を目指し、大同団結した組織です。2008年1月に産総研から学術ジャーナル『Synthesiology』が創刊されましたが、「自然についての知の獲得というこれまでの科学に加えて、科学的知見や技術を統合して社会に有益なものを構成するための学問の確立」という発刊の趣旨やジャーナルに載っている論文の方法論は、私ども横幹連合の考え方と非常に近いと思っております。

2009年1月に横幹連合、統計数理研究所（統数研）、産総研により、この分野をもっと組織立って振興していくことを目的に合同ワークショップを開催しました。この試みは非常に有意義であり、今回の第3回横幹連合コンファレンス特別企画のセッションにつながりました。

産総研の「基礎研究の成果を社会に生かす」ための構成的研究の方法について、そのエッセンスを産総研副理事長の小野晃様にご講演いただき、その後、赤松幹之様をコーディネーターに総合討論をしたいと思っております。

（講演）

小野 晃（シンセシオロジー編集委員長、産業技術総合研究所）（講演内容は本号のp.164～p.168に掲載した論文「シンセシオロジー（構成学）：構成的研究の方法と記述」

を参照してください。）

（総合討論）

赤松 幹之（シンセシオロジー編集幹事、産業技術総合研究所） 横幹連合で狙っていることの一つは「知の統合」だと思うのですが、我々の『Synthesiology』で扱っている構成的研究もいろいろな意味で「統合していく」ということで、共通したところを狙っているのではないかと思います。そこで本総合討論は、横幹連合と産総研、そして横幹連合のサポーターである統数研にも加わっていただき、横幹連合・統数研・産総研の三つ巴で議論していこうという企画です。

『Synthesiology』は多岐にわたる分野の論文が掲載されています。そのために議論が抽象的になってしまわないように、最初に、構成的研究の具体例として産総研の岸本充生さんから創刊号に掲載された論文「化学物質のリスク評価」について紹介していただきます。

そして、横幹連合の立場から、構成的研究が向かうべき方向についてどのように考えておられるかについて原辰次先生から、そして数理統計という観点も含めて田村義保先生からご意見をいただきます。また、小林直人先生からはSynthesiologyのシナリオのタイプについて解説いただき、その後、議論を進めたいと思っております。

（異なる種類のリスク比較を可能にする評価戦略）

岸本 充生（産業技術総合研究所） 論文の中身に入ると

いうよりも、「考え方」に焦点を当てて紹介したいと思います。私の研究が産総研の典型的な研究スタイルと言えるかどうかはさておき、研究する中で考えていたことが『Synthesiology』に書かせてもらうことによって、「あ、僕はこういうことを考えていたのだ」ということを後から非常に整理できた気がしています。



私の研究は化学物質のリスク評価ですが、工業的に生産されている約 10 万種あるという化学物質の日本におけるリスク対策の優先度をつけるためにどうすればいいかを考え、そのためには異なる化学物質のリスクの大きさを比較しなければいけない、ということになりました。

リスクは曝露量と毒性の大きさを掛け合わせることで表すことができますが、日本人全体の曝露量の分布がどうなっているかと、曝露量を増やすと発症確率がどのくらい増えるかという2つのデータを合わせてそれぞれの化学物質のリスクの大きさを見ていくこと、これが「必要な情報」になります。ところが、「必要な情報」に対して「入手可能な情報」が全然足りないことがわかりました。

曝露量に関しては、非常に曝露濃度の高い人の例はあります。例えば新築の家でのホルムアルデヒド濃度が非常に高い計測例や短期の1日平均値はたくさんあるのですが、しかし、我々が出したい長期の1年平均値や、季節間の変動を示すデータはほとんどなかった。毒性についても、「これ以下なら有害影響がない濃度」という無毒性量情報はあるものの、「このくらいの曝露量だったらこのくらい発症する」という用量反応関数のデータはなく、既存の要素技術はそのままでは使えないということで、独自に要素技術の開発、修正に着手しました。

では、「役に立たない」と私が判断した「既存の要素技術」は何かというと、これは論文を書いた後に考えてみたことも含まれていますが、化学物質のリスク評価が社会で必要になった当初のニーズを反映していたわけです。それは化学物質のスクリーニングという、膨大な数の化学物質の中からリスクの懸念がない物質を除去するということをやろうとしたときに出てきた要素技術だった。そのための方法論が探索され、高濃度の個人曝露とこれ以下なら安全であるという濃度を出して、「高濃度で大丈夫だったらこの物質は大丈夫ですね」という作業のための最適化した要素技術が開発されていったのです。

このようにして開発された要素技術は、繰り返し実践されることで確立され、ガイドラインやマニュアルができて、定着し、当初の化学物質のリスク評価の方法論が成立したわけです。

ところが、私たちがやろうとした「異なる種類の化学物質のリスク評価をする」というのは、ある意味、新しい社会ニーズなのです。これを既存の要素技術を使ってやろうとしても全

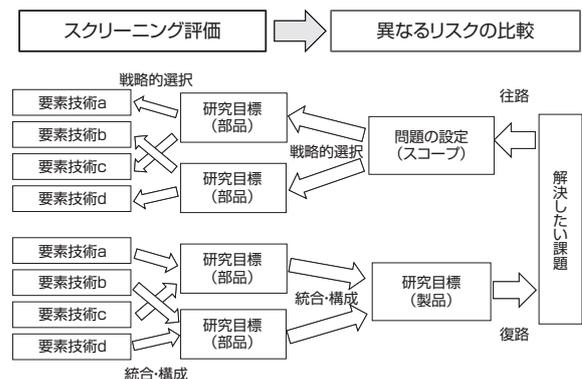
然合わない。既存の要素技術とは別の社会ニーズ、つまりスクリーニング評価に最適化された要素技術群だったので、新しいニーズでリスク評価をしようとしても、そのまま使えないというギャップがわかったということです。

そこで、原点に帰り、社会ニーズである「異なる種類のリスク比較」を可能にするためにどのような要素技術が必要なのかという方法論の探索を始めました。これは構成学の中で「再構成」といいます。曝露濃度の高い人だけを推計するのではなく、個人曝露量の推計の年間平均値の分布と環境中濃度の推計の日本全国の分布を探る、そして、これ以下なら安全であるという1点の値だけではなく、全体像を見ようとすると、最適化すべき要素技術がいろいろあることがわかります。それらを開発する、これが「要素技術の戦略的開発」です。次に、いったん開発したこれらの要素技術を統合して構成する。そうすると、新しい方法論が確立し、それを実践するという、「多様な要素技術の統合・構成」のフェーズになります。

このように、新しい方法論を開発し、異なる種類のリスクを比較するためのリスク評価を試みたというのが『Synthesiology』に書いた論文のエッセンスです。

その時に、私が考えたのは「専門分野の陥るワナ」ということです。大げさなタイトルですが、今存在する専門分野や研究テーマは、必ず過去の社会ニーズから導出されたものだろう、そうして形成された「専門分野」は、いつの間にか、その生い立ちから切り離され、独自の進化を遂げていく。例えば学会、専門家、ガイドライン、ジャーナル、科目、教科書ができて、自立してしまう。ところが、社会ニーズ、社会的価値は、常に変化し続けています。変化が激しい現代社会の中で、それらの専門分野はその存続自体が自己目的化して、いつの間にか社会ニーズから大きくかけ離れてしまうのではないかということを感じました。もちろん、私が話した既存の要素技術が役に立たないということではなく、それは化学物質のスクリーニングという目的には役に立つのだけれども、その他の目的に直接には役立たないということです。

化学物質リスク評価が解決したい課題の変化



私は、課題解決のために往路と復路があると考えています。構成学は統合・構成から研究目標（製品）という復路がメインなのですが、そのためには必ずすべての要素技術を一回見直すという戦略的選択があり、確立された技術をいかに組み合わせるのかという、往路をやったのかなと考えています。つまり、解決したい社会的な課題が変化したときには、このサイクルをもう一度回す、さらに解決したい課題が出てきたときにまた回す、ということをしていく必要があるのではないかと考えています。

(新しい学術の体系)

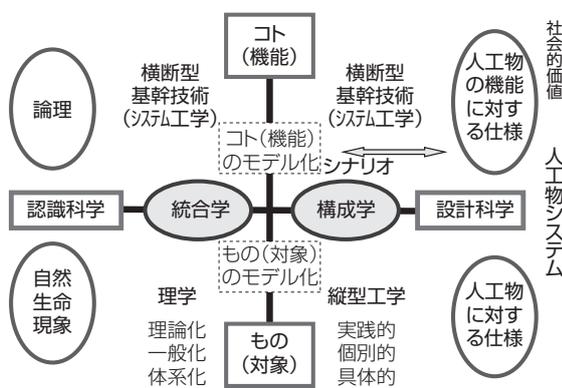
原 辰次（東京大学） 私は横幹連合の『横幹』という雑誌の編集委員長を2年ほど務め、今、日本学術会議の総合工学委員会「知の統合分科会」で、館委員長のもとで幹事をしています。横幹連合の活動も絡めて、考えたことを紹介したいと思います。



日本学術会議では、吉川先生が会長のときに「新しい学術の体系」ということで、認識科学と設計科学という枠組みが作られました。従来の「科学」が認識科学に当たりますが、それは科学のための学術であり、「あるものの探求」である。それに対して設計科学とは、従来、「技術」と言われていたものであり、これは社会のための学術であり、「あるべきものの探求」である。知的好奇心に基づいた学術と価値・目的に焦点を当てた学術、この2つは共に重要であり、新しい学術の体系である、ということです。

認識科学と設計科学があること、この軸と横幹連合の「もの」と「コト」という軸、この2つの軸で考えてみました。

「横断型基幹科学技術」と+「構成学」



学術会議で認識科学、設計科学と言っていたのは、我々から見ると「もの（対象）」というところに焦点を当てた考え方ではないか。認識科学とは自然や生命、現象を対象にした大ざっぱに言えば理学であり、理論化、一般化、体系化

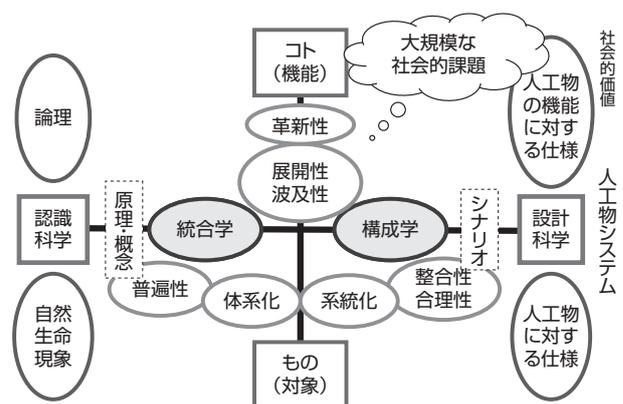
を目指しています。これに対して、設計科学は人工物システムであり、人工物を設計し、実現するということで、実践的、個別的、具体的というキーワードが挙げられますし、いわゆる機械や電気など縦型のディシプリンに基づく従来型の縦型工学が適合するかと思います。これらはどちらかというと「もの」だけ見えています。しかし、実際に人工物システムや社会に有用なシステムを作っていくためには、「もの」と「コト（機能）」の両方が必要です。理学や縦型工学は「もの(対象)」を正しく理解するという学問として明確に成り立っています。しかし、横断型基幹技術であるシステム工学やシステム理論が成り立つためには、「コト」における「もの」のスペクに相当するものを定義することが一つのポイントです。

では、構成学とは何だろうかと思ったときに、それは「もの」だけでなく、「コト」だけでもなくて、多分、真ん中を狙っているのではないかと。構成学に対置するものとして、横幹連合のもう一つのキーワードは「知の統合」なので、とりあえず「統合学」とすると、統合学と構成学が新しい認識科学、設計科学として、「もの」と「コト」を両輪とする中でうまく成り立っていけば、一つの姿になるのかなということを描いてみました。

私は、構成学は「シナリオ」が一つの大きなキーワードになるだろう、要するに、「シナリオドリブンな研究である」と考えました。我々が「もの」を対象とするとき、学問となるためには、対象に対するモデルを持ち、それに基づいて研究するのが科学技術の一つのスタンダードなやり方です。しかし、「コト（機能）のモデル化」は十分なされていないのではないかと気がします。したがって、我々が「もの」と「コト」が両輪だと言うならば、機能のモデル化をきちんと定義する必要があります。それらを踏まえて、シナリオは何かというと、このモデル化と人工物の機能に対する仕様を結ぶこと、ここをある意味で整合性良く、合理的につなげることだろうと思います。

評価についてですが、構成学や統合学では何を評価した

「統合学」と「構成学」における評価



らよいか。統合学とは、統合する新しい原理や概念を作り出し、それに基づいて普遍性を追求し、体系化していくことです。構成学は、整合性と合理性が重要です。バラバラになったものを一つにまとめ上げるという意味での整合性、もう一つはシナリオとして成り立つという意味での整合性であり、いわゆる論理の整合性とは違う意味合いです。「合理性」はもしかしたら「妥当性」と言うほうがいいかもしれません。岸さんの例は、単にリスク比較問題を解決するだけでなく、その方法論は他のところにも使えます。そこを系統化・一般化することによって普遍的になっていくと思います。新しい評価基準として、「こういう意味の整合性です」ということが定義できると、評価がきちんとできると思いますが、いずれにしてもシナリオがベースになっているということです。

もう一つ、我々が対象としているのは大規模かつ複雑な社会的な課題であるので、評価として「革新性があるかどうか、展開性や波及効果があるかどうか」ということを問わないといけないと思います。体系化や系統化、普遍性が持っているものがその領域にとどまらないためには、展開性や波及性をきちんと評価していくことが大事だということです。

NSF で支援の検討が行われているトランスフォーマティブ・リサーチとは、革新的な展開で科学を変貌させるということですが、これをベースにアメリカでは、予期しなかった展開や多分野への波及や新研究領域の創出を期待しています。ヨーロッパ型の融合は、チームを作って融合研究をして、そこからイノベーションを導くという、融合研究を通して何かを期待しようというものです。

これに対して、日本の場合の融合研究は必ずしもうまくいっていません。なぜかという、何か重点領域を決めると、それに真っ直ぐに向かった研究活動を行い、その問題解決だけを狙って、結果が出たか出ないかということをやります。そのときに本当に融合研究ができていくかどうかは怪しい。

このような状況の中で、我々としては、構成学、統合学によって、社会的な課題に対してもきちんとした学問的なアプローチでやっていく、それが展開性や波及効果を生んでいく、そういう絵が描ければいいなというふうに考えています。

(統計数理研究所と構成的研究)

田村 義保 (統計数理研究所) 「統計的データ解析」という言葉があるので、統計はアナリシスだと思っている方が多いかもしれませんが、逆でして構成学的なことが多いという気がしています。昔、統数研の例えば赤池先生のセメントの研究でいいますと、セメントキルンを安定に動かすために、既存の方法ではだめだったので、新しい統計的な制



御の方法を考え、成功されました。

院生の研究ですが、3月にドクターをとった院生が最初にやったのは「ネズミの呼吸中枢は脳のどこか」を探る研究です。数学がやたら好きで数学モデルばかり書いてしまって、医者に怒られました。なぜ怒られたかという、生理学を無視している。「そんな研究ではだめ」と医者が注意してくれたのですが、院生はショックを受けたようで、その研究をやめてしまいました。もう一人の院生は、ある制御関係の会社に入った人で、経験豊富な60歳。データは単に脳の切片を色素で染めて顕微鏡で見ただけなのですが、研究のツボを知っていた。既存的な数学の技術や統計学を使いますが、実際の問題をやっていたから、仮想的な数学にばかり走らずに、生理学と実際のモデル化がうまくいきました。ネズミの脳で失敗した学生は、その後、ネズミのアゴの骨の形を分析しました。これも既存の技術では形の数値化がうまくいかない。そこで彼は遺伝研でとったデータを活用し、モデル化もうまくいっているようです。

しばしば「融合研究はうまくいった試しはない」と言われますが、遺伝研と統数研の融合研究は結構うまくいっています。なぜかという、遺伝学と統計学はルーツが一緒ですし、遺伝学者と統計学者は相性が良いので融合がうまくいっています。

また、統数研には金融から来た学生も多いのですが、目的は「会社が損しない」ということです。どういうシナリオを書いて、どうやったら一番利益が上がるかということ、かなり難しい確率の微分方程式を使ってやっています。いろいろな要素技術を組み合わせますが、どれを選んだら一番いいかというシナリオモデルは統計学では一番大事なので、構成学的な考え方に統計学はかなり昔から合っていたのではないかという気がします。アナリシスと言っているのは、最終的なレベルのところを解析、分析すること、で、「どういふ分析をするか」ということは、やはり慎重に、統合しながら構成しているという感じです。

今、統計や情報系の方は、「データドリブン」という言葉が好きで、第4の科学は「データの科学」と言っているのですが、データのモデル化というとおかしいかもしれませんが、データを出している体系をどうモデル化するかということが一番大事なところですし、構成的研究にも合っていると思っています。

(構成方法の種類)

小林 直人 (早稲田大学) 私は専門が物理なので、構成といいながらどうしても分析的に考えてしまう傾向があるのですが、構成の方法もまず分析的に考えてみました。この図は『Synthesiology』



の1巻2号でMITのリチャード・レスター先生と議論したときに、私が提示したものです。掲載された論文を読んだり、執筆者と話したりして、論文上の構成方法のタイプがあるのではないかと思います、3つくらいに分けてみました。

構成方法のタイプ

1. アウフヘーベン型



2. ブレークスルー型



3. 戦略的選択型



1つ目は、ヘーゲルの弁証法を借りまして「アウフヘーベン（止揚）型」です。技術要素Aと技術要素Bという、異なったテーゼが統合され、新しいコンセプトが作り出されるタイプです。

2つ目は「ブレークスルー型」です。これは科学技術者はわりと得意なのですが、自分の要素技術が重要な鍵となる技術を生み出し、それに周辺要素を結合させると統合技術になり、ブレークスルーするというタイプです。実は本当はこのように簡単にはいかずなかなか難しいのですが、うまくいっている例もあります。

3つ目は「戦略的選択型」です。岸本さんから往路、復路という話がありましたが、私は岸本さんの論文を読んでこのタイプではないかと思いました。出口が先にあって、それを達成するためにいろいろな要素技術を選択・構成したというものです。この場合、要素技術の重要性は同等であっても、これらを選択・構成するための戦略性が必要です。

もちろん、この3つのタイプだけではなく、これら3つのタイプをさらに組み合わせる例もあると思いますし、実際にきれいにタイプ分けできるかというとなかなか難しいと思います。さらに重要なことはこの技術要素の構成の際に、何がエッセンシャルな主導理念なのかだと思います。

我々は『Synthesiology』の発刊の趣旨を理解して、論文を書いてくださいと皆さんにお願いしているのですが、構成の方法論はまだできていないと思っています。私が査読で執筆者にシナリオや要素技術の構成の重要性を説明したり、議論して、「それって、こういうことなんですか？」と聞くと、「あ、そうかもしれないですね。でも、そんなことは全然考えていませんでした」と言われます。このあたりは、原先生の言われ

た「構成学はシナリオドリブンな研究であり、機能のモデル化の定義が必要」という議論につながるのではないかと思います。まさにイノベーションの議論とほとんど一緒になってくるかもしれません。道のりは長いかもしれませんが、ひょっとすると我々は知の統合の方法論を得ることができるかもしれないなと思っています。

(質疑応答)

赤松 フロアから、これまでの4人のご発表に対して、質問やご意見はございますか。

(「人工物」の中に企業は入るのか)

フロア 素朴な質問なのですが、人工物の中に企業みたいなものも入っているのでしょうか。リスクの話がありました。リスクを回避して国民がメリットを受けるという考え方もありますが、企業も経営的課題や地震等々、多くのリスクに直面しています。リスクマネジメントの標準を調べたことがありますが、オーストラリアやニュージーランドをベースにした企業のリスクマネジメントの標準で重視されている方向は「リスクはチャンスである」ということです。企業がリスクを回避するだけでなく、それをチャンスにイノベーションをおこし、新しい企業価値を高めることも含むわけですね。その方法が他の企業に広がり、普及することによって、当面の企業価値が上がるだけでなく、社会全体にも還元されます。企業を基本にして検討すると、数理的なもの他にビジネスモデル的な、よくわからない世界が入って来るのですが、それは人工物システムの中にも含まれるのでしょうか。

岸本 公的研究機関の研究という意味で、日本全体で国民というお話をさせていただきましたが、「リスクはチャンスである」ということはすごくやっています。世の中で今後何がリスクになるかについて先取りし、手法を開発し、それを例えば標準化に持っていくことは日本の競争力につながります。それには、まず、「誰にとって」ということを明示化することが必要です。「企業にとって」を明示化すれば、そういう戦略が出てくるでしょうし、構成学的枠組みが適用できると思います。

原 私は図の中で「人工物システム」と書いていますが、それは学術会議で提示されたものです。我々が「コト」というものを考えたとき、それは社会システムや人間の営みを含むということで、もっと広い概念としてこれを捉えないといけないと思っています。

(知の統合の整理)

フロア 私は「知の統合」とか「構成」と言うときに、

対象となる「知」の構造にドメインの違うものがあることについて整理したほうが良いと思うのです。

まず、自然や物理世界など自然の摂理によって検証できるもの。次に、論理世界、シンキングワールドの話があって、これは数学であったりモデルであったりするもの。問題なのはいわゆる人間社会を扱うというタイプであって、これは意思や意味、価値が絡む話であり、やろうとしている我々自身が含まれている、しかも自然や工学を含んだ社会であるということです。まず3つのディメンションで知の統合を整理すべきだと思います。それらをつなぐタイプの統合は、野心的、あるいは問題を通じたアドホックな統合という新しいタイプの動きがあるかもしれません。

赤松 世の中にさんざんジャーナルがあるにもかかわらず、なぜまたジャーナルを出すのかという議論があったとき、事例の蓄積ということをやらないと理論化したところで使えるかどうかかわからない、研究そのものうまくいったデータを集めて学びとる形にしていかに得ないだろうと考えました。したがって、『Synthesiology』では、我々編集サイドと著者が構成的と考えるさまざまな研究が論文となっています。小林先生から紹介があったような研究の分類は試行的にやっていますが、今フロアからいただいたような観点からの分類整理も考えられます。ただ、まだ研究事例を集め始めた段階なので、あまり慌てずにじっくりと蓄積しながら検討していけば良いと考えています。

フロア 原先生の図（「横断型基幹科学技術」と「構成学」）はすごく興味深いのですが、一つ質問させていただきたいのは、自然現象は対象になっていたのですが、社会現象はどういうふうな位置付けになるのか。それは別の世界になるのか、自然現象と同等に社会現象もこの図で表すことができるのか。社会が外にあって、ここで蓄積した知識、構築した論理を別の社会というところである種の意味付けを持たせているのか。

私の考え方は、「科学といえども社会的な現象である」というのが前提です。社会は動いているし、科学も動いている。チャレンジングでおもしろいのはそのインタラクションだと思うのですが、それをこの中に表現していただくと横幹連合の良い部分が強くわかってくると思います。

もう一つ、“構成”は Synthesis という言葉が使われているのですが、複数のロジックで固めた塊があって、それをいかに一つのストーリーにするかというものですし、“統合”はもっと深い意味で、組み合わせて一つのものになるという話です。これまで様々な異分野融合が行われていますが、やはり難しい。現実的に可能なのは Synthesis のほうだと思うのです。

それが究極なところに行くと、ある種の統合が起こって新しいディシプリンができて、またグルグル回って新たなものにされるという形になるのかなと思います。

赤松 我々が『Synthesiology』でターゲットとしているのは「研究者の営み」です。したがって、その研究者を動かした社会背景というものがあるはずですが。岸本さんの研究も社会とのインタラクションによって行われた研究ということができます。これ以外にも、研究組織内の研究者間のインタラクション、研究者と産業界とのインタラクションなどが背景になっている研究が多いことは、『Synthesiology』の論文を読んでいると気付かされることです。出来上がったものだけを対象にするのではなく、社会とインタラクションしながら、ゴールの定義をきちんとし、そこを目指して、何を組み合わせていったらいいかということを考えていく、そのプロセスが研究者として大事です。これまではあまり意識せずにそれをやって来たのを、『Synthesiology』ではそれを論文として記述して行こうというのが狙いの一つです。そういう意味で“統合”という言葉をあえて使わずに、だんだん形作っていくというイメージを持って、“シンセシス”という言葉を使うことにしました。

きょうは、いろいろな形の議論ができたと思いますし、今後もお互いに切磋琢磨しながらやっていきたいと思っています。ありがとうございました。

（閉会挨拶）

木村 英紀（横幹連合会長、理化学研究所）2年ほど前に『Synthesiology』発刊の計画を伺って、これはすごい、やられたと正直、思いました。まさに我々が思っていたことをこれからおやりになるのだということで、出てきた結果も実にすばらしい。

吉川先生は、ディシプリンは学問が発展するために必要だが、必要悪とまで言い切り、研究者の情熱は、必ずそれを乗り越えて問題に肉薄するものであるという信念を持ち続けておられますが、きょう発表していただいた岸本さんは、まさにディシプリンの限界を身をもって体験され、それを乗り越え、すばらしい結果を出されたわけです。しかし、学会はディシプリンによってできており、それを相対化して必要悪と言ってしまおうと学会連合は存在しないという矛盾を抱えるのですが、バランスをとってその存在を認め、それを乗り越える情熱を持つ方向を求めているかなければいけないだろう。これは今後の学問の進展の必然的な方向性だろうと思います。

産総研という、すばらしい研究者を何千人も抱えているところがこういうことを始められたということで、我々は今後とも見守りたいし、学としての立場でできる限りサポートしていきたいと考えております。

シンセシオロジー（構成学）：構成的研究の方法と記述

小野 晃、赤松 幹之（産業技術総合研究所）

The Method and Description of Synthetic Researches

A. Ono, M. Akamatsu (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

Abstract— A new method and processes are provided with synthetic researches integrating elemental technologies to realize societal values. The synthetic researches are characterized in comparison to the analytical researches and are modeled in the cycling processes among the society, researchers and academic communities. A new description framework is given to write original scientific papers of the synthetic researches. It is now demonstrated by the publication of new scientific journal, *Synthesiology*, for the synthetic researches.

Index terms— Synthetic research, method, description, type two basic research, synthesiology

1 はじめに

科学は要素還元の方法をとることで17世紀以来著しい発展を遂げてきたが、21世紀に至って地球規模の環境のような複合的な問題に対しては、その方法だけでは対処できないことも強く認識されている。また20世紀に技術は科学の裏打ちによって大きな発展を遂げたが、要素還元論だけで技術が進歩してきたのではないことも自明である。

認識科学に対する設計科学、分析的な方法に対する構成的ないし統合的な方法、理学に対する工学などの対立する関係が議論される中で、最近、要素還元論とは異なる新たな科学の方法論がさまざまところで模索されているように見える。

この講演では科学技術の基礎的な研究開発において、分析的な方法だけでなく、構成的ないし統合的な方法が果たす役割に着目する。基礎的な研究開発が社会的な価値を生み出す過程において構成的な方法が重要であることを指摘し、そのような構成的研究の方法論を提示する。また構成的研究のプロセスと内容を記述するための新たな論文形式を提示する。ここで述べる構成的研究の方法論は2001年以降産総研において“本格研究”あるいは“第2種基礎研究”として議論され、実践されてきた¹⁾。また新たな論文形式は2008年に産総研から創刊された学術誌 *Synthesiology* において現実に試みられている²⁾。

2 基礎研究の新たな方法論

研究を基礎研究、応用研究、開発研究に分けることがしばしば行われるが、ここでは次の3つのフェーズに分けて考察する。

- 第1種基礎研究：自然を研究の対象とし、未知の現象を観察、実験、理論計算により分析して、事実的な知識を蓄

積し、さらに普遍的な法則や定理を構築する研究である。純粋基礎研究と同じフェーズにある。通常単一の専門領域の中で研究を行い、複数の専門領域に跨って行うことはまれである。研究は、研究者の学術的な好奇心によってドライブされる。

- 第2種基礎研究：複数の専門領域の知識を構成・統合して社会的価値を実現する研究である。何をどのようにすべきかという当為的な知識を蓄積し、方法論を構築する研究である。目的基礎研究や応用研究と同じフェーズにある。研究は、社会的な価値の実現への研究者の意欲でドライブされる。

- 製品化研究：上記二つの研究および実際の経験から得た成果と知識を利用し、新しい技術の社会での利用を具体化する研究。開発研究に相当するフェーズである。研究は、研究成果を社会の中で具体化することへの研究者の意欲でドライブされる。

- 本格研究：前記の第2種基礎研究を軸に、第1種基礎研究から製品化研究にいたるまで、一貫して連続的かつ同

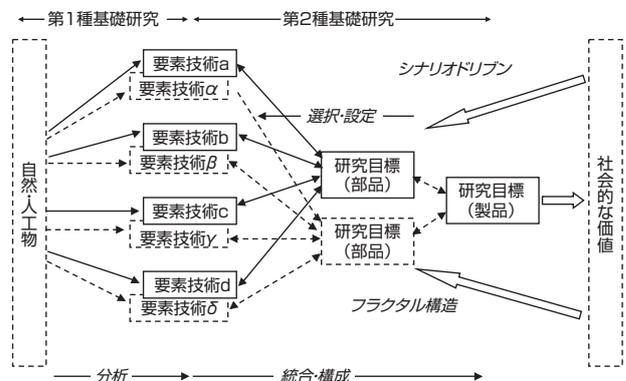


Fig. 1 Method of Type Two Basic Research

本論文は、2009年12月4日に行われた横幹連合第3回コンファレンスの特別企画セッションで発表した講演の予稿であり、横幹連合の許可を得て再掲したものである。

時並行的に進める研究である。通常グループあるいは組織として一体的に行われる。個々の研究者は通常本格研究のどこかの部分を担当するが、時間的に見れば第2種基礎研究から第1種基礎研究へ、あるいは第2種基礎研究から製品化研究へと移動したり、複数の研究を同時に行うこともある。

Fig. 1は第2種基礎研究の方法を図示したもので、第1種基礎研究との関係も合わせて描いている。第2種基礎研究では、第一に、社会的な価値をもつ研究目標を定める。研究目標は社会への出口に近いものもあれば、遠いものもあるが、いずれも社会的な価値との関係を明確に記述しなければならない。第二に、研究目標を科学技術の言葉を用いて研究課題にブレークダウンし、それらの課題を解決して目標を達成するためのシナリオを設定する。シナリオの設定では、課題解決のために用いる要素技術をいかに選択するかが重要になる。通常、要素技術は複数の異なる専門領域に跨る。第三に、要素技術を組み合わせ、それらを構成・統合して研究課題を解決しつつ研究目標の達成を試みる。

ここで注目すべきことは、このような構成的研究においては同じ研究目標に対しても、それを達成するためのシナリオは必ずしも一つに限られるわけではなく、複数存在しえることである。また最良と考えるシナリオも研究者ごとに異なるのが普通である。通常研究者は複数のシナリオを想定し、比較検討の結果最良と考えるものを設定する。シナリオが異なれば必然的に選択する要素技術も研究者ごとに異なったものになる。

研究者が選択する要素技術は、第1種基礎研究で得られた成果ないしは結論に基づくものである。複合的な研究目標を達成しようとする場合、すべての要素技術が単一の専門領域の中に存在することはまれである。むしろ通常は複数の専門領域から要素技術を選択する。既存の要素技術がそのままの形で第2種基礎研究に適用できる場合もあるが、多くの場合既存の要素技術の修正や改良をあわせて

行うことも必要になる。またシナリオに照らしてみても適切な要素技術がない場合には、研究者あるいは研究グループが自ら第1種基礎研究を行い、新たな要素技術を開発する場合も多いと考えられる。

第2種基礎研究を実施して一定の結論が得られた場合、当初定めた研究目標がどの程度達成されたかを評価した上で、一つのサイクルが完了する。第2種基礎研究は社会への出口に向けてさらにサイクルをくり返しつつ展開していくが、前のフェーズで得られた結論は次のフェーズで活用される。第2種基礎研究はどの場合にも上記のサイクルを構成しており、フラクタル構造を有していると考えられる。

以上述べた第2種基礎研究の諸性質を、第1種基礎研究と対比させて Table 1 に示す。

3 研究成果の社会還元

Fig. 2は基礎研究の成果をどのようなプロセスで社会に還元するかを描いたものである。現代社会では公的な資金が科学技術の研究に対して与えられる。公的な資金は、その提供者の意思を反映して研究実施機関に委託され、一定の契約のもとで研究者によって研究が行われる。研究成果は研究者によって研究論文として記述され、専門領域の学会に提出される。研究論文は学会で、ピアレビューと呼ばれる同じ分野の研究者による匿名の審査を経た後に学術論文誌に掲載されて公開され、学術と知識への貢献が認められる。

現実には現代の科学技術は多くの専門領域に細分化されている。通常細分化された個別の専門領域ごとに学会が組織され、学会は独自の学術論文誌を設ける。専門領域が細分化されればされるほど、研究論文を読んで理解するには特殊な用語と専門知識を必要とするため、研究成果を活用したいと思う社会の人々が容易に理解できるものとはなっていない。それだけでなく、他の専門領域の研究者からもほとんど参照不能なものとなっている。

Table 1 Characteristics of Type One and Type Two Basic Researches

	第1種基礎研究	第2種基礎研究
手法	分析(アナリシス)	構成・統合(シンセシス)
行為	発見、解明	発明、作成
対象の範囲	単一領域	複数領域
解の一意性	唯一解	複数の同等解
駆動力	学術的な好奇心	社会的な価値の実現
重視する性質	論理の整合性	解の有用性
オリジナリティ	解の飛躍性	方法の固有性
新規性	解の新規性	方法の新規性
評価の方法	ピアレビュー	メリットレビュー
評価の視点	整合性、飛躍性	有用性、固有性

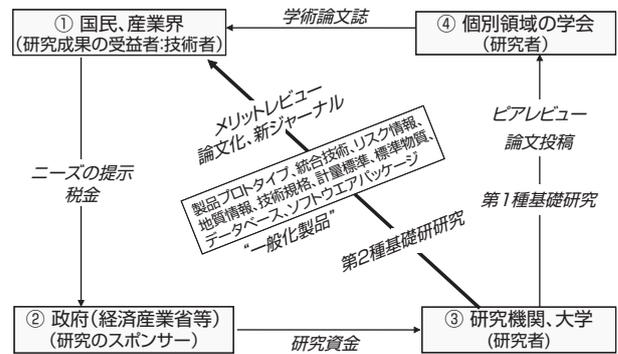


Fig. 2 Cycling process of research in the society

研究論文が学術論文誌に掲載されることは、研究者であることの最も基本的な要件であることから、研究者は全力で研究論文の執筆に取り組む。特にピアレビューアーと呼ばれる同じ専門領域の研究者に、自己の研究成果が価値あるものと評価されなくては学術論文誌への掲載が認められないために、研究者はしばしば自己の専門領域の研究者を納得させることを第一に想定して研究論文を書くことになる。研究者がこのような努力をすればするほど、皮肉なことに、研究論文は他の専門領域の研究者や一般の技術者には理解が困難な記述に陥っていく。このようにして、近年世界的にも多くの学術論文誌が発行され、発表される研究論文の数もうなぎのぼりの状況にあるが、公的資金で行われる基礎研究の成果は、資金の提供者のもとに直接還元されにくい状況は変わっていない。

ところがこのような状況の中でも、研究者によっては、個別の専門領域の学会を通さずに直接社会や産業界に成果を提供しているものがある。例えば公的研究機関が民間企業と共同研究を行って製品のプロトタイプを作るような場合には、研究成果を研究機関と企業が共有するよい機会となる。その他にも特許情報、リスク情報、地質情報などの情報や、技術規格や計量標準・標準物質などの公的な基準、ソフトウェアパッケージなども学会を通さずに直接利用者に届けられることが多い。

これらの成果は第2種基礎研究の代表的なものであり、社会に直接的な貢献をする点で価値が高い。ところがややもするとこれらの活動は、本来の研究活動とは別のサイドワークのように軽んじる傾向がある。さらに現状では第2種基礎研究の成果を研究論文として記述する方法論も媒体も確立されていないという状況にもある。第2種基礎研究のプロセスと成果を価値あるものと評価して、オリジナルな研究論文として発表できるような新たな論文形式を開発し、それらを掲載する新たな学術論文誌を刊行することは大きな意義があると考えられる。

4 新たな論文形式の開発

現代では研究者が、自己が行った研究のプロセスや内容を学術論文にまとめ、学術論文誌に発表することはごく当然のことと思われる。逆に研究論文を全く書かない研究者と言うのはそもそもありえないし、そのような場合はむしろ正当な研究者とは評価されない。しかしながら少し振り返ってみれば、現在我々が書いている科学技術の研究論文は、極めて限定された一定の形式のもとで書かれていることに気付く。

現在の科学の源流は17世紀の西欧にさかのぼるが、それ以来科学の方法には、ある事象が事実であるか否かを

判断するための実証主義が取り入れられている。研究者が研究論文を書く場合には、著者以外の他の研究者が追試をすることにより、その結果が論文で述べられている通りになるかどうかを検証できるだけの十分な情報を記述しなければならない。また事実として確認された事象間の論理的関係について考察し、法則や定理を構築していく。

このように現代の科学技術の研究論文には、著者がなぜその研究を始めたのか、どのような動機と意図をもっていったのか、なぜそのような決断をしたのかなど、“客観的”事象と関連のないことは書かないこととし、わずかに記述したとしてもそれを査読の対象にすることはなかった。その理由は、事實的知識の蓄積を第一の優先事項としてきた第1種基礎研究では、“客観的”事象の記述が重要であり、それだけで十分と言えたからであろう。しかしながら社会的な価値の実現を研究の動機とし、複数の同等なシナリオの中から一つを選択するような第2種基礎研究の場合、“客観的”事象を記述するだけでは研究の最も重要な部分を表現しきれない。

そこで第2種基礎研究の論文の構成を Table 2 のように考えた。これは Fig. 1 に示した第2種基礎研究の方法の各プロセスを研究の展開の順に並べたものである。論文のオリジナリティは、設定したシナリオの独自性と要素技術の統合・構成の方法の固有性にあると考える。ありていに言えば、同じ研究目標を掲げても、異なる研究者が行えば異なるシナリオが設定されるであろうし、異なる要素技術が選択されれば異なる統合・構成の方法が採られるであろう。それゆえにこれらは研究者に固有の“オリジナル”なものと考えられる。

また第2種基礎研究の論文には要素技術の詳細を繰り返して書く必要はない。それはすでに第1種基礎研究の成果として論文で発表されているものであろうから、参考文献に挙げて結果のみを記述すればよい。

5 新しい学術論文誌 *Synthesiology* の刊行

新たな論文形式と執筆要領を定めて、新しい学術論文誌

Table 2 Contents and features of *Synthesiology* papers
論文の構成

1	研究目標の設定
2	研究目標の社会的価値
3	シナリオの提示と要素の選択
4	要素間の関係付けとそれらの統合・構成
5	結果の評価と将来の展開

論文の特徴

オリジナリティ	設定したシナリオ 選択した要素、統合・構成の方法
参考文献	第1種基礎研究の結論は参考文献へ

Synthesiology^{3, 4)}を2008年に刊行した。1巻1号には6編の研究論文を掲載したが、それぞれの論文題名を以下に記す。

- ・不凍蛋白質の大量精製と新たな応用開拓
- ・高齢者に配慮したアクセシブルデザイン技術の開発と標準化
- ・高性能光学素子の低コスト製造へのチャレンジ
- ・異なる種類のリスク比較を可能にする評価戦略
- ・個別適合メガネフレームの設計・販売支援技術
- ・耳式赤外線体温計の表示温度の信頼性向上

論文題名にある、大量精製、標準化、低コスト製造、評価戦略、設計・販売支援技術、信頼性向上といったキーワードは、これまでの学術論文の題名にはほとんど使われないものであり、第2種基礎研究の論文の特徴がよく出ている。

*Synthesiology*の研究論文の査読は同じ専門領域の研究者が行うピアレビューとせず、大ぐくりした同じ分野から一人、他の分野からもう一人の研究者を充て、Table 1にある評価の視点からメリットレビューを行った。

また*Synthesiology*の特徴の一つであるが、掲載された論文のうしろに、著者と査読者との議論を載せて公開した。同時に査読者の氏名も公表した。第2種基礎研究の論文形式が十分に完成していない現段階では、著者と査読者との議論を公開した方が、今後論文形式を固めていく上で有用と判断したためである。読者からはこの議論が大変新鮮で面白いという感想が多く寄せられている。

*Synthesiology*を刊行してほぼ2年近くになるが、発行してみて分かった点がいくつかあるのでそれを紹介する。まず多くの著者から、今までの学術論文誌では書きたくても書けないことが今回書けた、と言う感想があった。研究者にとって、自己の研究目標の背景や理由、また研究遂行に当たって自己が採用したシナリオはむしろ公開し、他の研究者と議論したいという前向きな気持ちの現われと見ている。

つぎに査読者からは、シナリオに研究者固有のオリジナリティが良く出ているとの感想があった。一方で要素技術の構成や統合の様態は研究者ごとに多様であり、現時点で何らかの統一的な様態を描き出すことは難しいが、少しずつ類型化を進めていけるのではないかと予想している。一方ほとんどの査読者が驚きとした点は、専門領域が異なる研究者が書いたオリジナルな研究論文を読んで、内容を理解できただけでなく、一定水準の査読意見を提出できたことである。このようなことは現行の第1種基礎研究の学術論文誌ではありえないことで、*Synthesiology*の大きな特徴であり、広い読者層に受け入れられる可能性があるのではないかと受け止めている。

読者からは同じく、自己の専門とは異なる領域の研究を

理解し、知ることができたことを有益とし、参考になるとの意見が寄せられている。

地球環境問題をはじめとして複合的な研究課題が多く出てきている現代にあって、またオープンイノベーションといった新たな産官学連携が唱導されている中にあって、構成的研究の方法論は、その表現媒体でありかつ交流の場でもある*Synthesiology*とあいまって、一定の重要な役割を果たせるのではないかと考えている。

6 さらに議論に向けて

構成的研究においては有用性を重視するが、科学技術はそのおこりにおいて既に有用性がうたわれていた。現在我々が営んでいる自然科学研究の思想はフランシス・ベーコンに始まるが、自然を探求して発見・発明を行なうことによって人類は幸福になると主張されていた⁵⁾。それと同時に、自然科学は実証主義をとり、そのための方法として学術雑誌が確立したが、そこにおいては事実的知識としての検証が重視されることになった。その一方で、ベーコンが期待していた有用性については、研究社会ではその検証方法に手がつけられてこなかった。とはいえ、大発見、大発明という言葉があるように、社会は価値ある発見や発明を科学技術に期待している。その価値の基準の一つが有用性であると考えられるが、有用性の評価は容易ではない。社会へのインパクトという観点からは研究成果が市場にどれだけの影響を与えたかによって評価することが考えられるが、市場におけるダイナミックスは、既存権益や業界を守るための抵抗、流行また価格競争など、科学技術としての価値とは別のものによって大きく動かされることが多い。これらのこともあり、長い時間が経ってみないと市場での評価は定まらない。したがって、市場でのインパクトによって有用性をはかることは必ずしも適切ではない。

構成的研究を行って社会に成果を出していく時に、いわば漫然と要素技術を構成していく場合もあるが、十分な検討をしながら要素技術を構成していく場合もある。しかし、前者のように構成されたものは、偶然うまくいく場合もあるが、多くの場合には良い結果を生まないであろうことは想像にかたくない。したがって、後者のような研究の進め方が有用性をはじめとする価値を生み出すためには不可欠であろう。そこで、研究の進め方すなわちプロセスのことをシンセシオロジーではシナリオと呼んで、それを論文として記述することを求めている。しかしながら、その有用性をどのように考えるべきか、またその有用性を実現するためのシナリオがどうあるべきかは定かではない。

そこで、横幹連合、統計数理研究所、産業技術総合研究所との合同企画として、田村義保氏(統計数理研究所)、

原辰次氏(東京大学)、岸本充生氏(産業技術総合研究所)、小林直人氏(早稲田大学)をパネラーとして招いて、これらの課題について総合討論を行なう。まず始めに、構成的研究の具体例として、化学物質リスクの評価について岸本氏から解説し、シンセシオロジー論文の内容をパネラーや聴衆に理解いただきながら、知の統合という観点からみたシンセシオロジーについて原氏を中心にして議論を行なう。続いて、研究の有用性とは何か、またその有用性をどのように示すのかについて討論し、そのなかで科学的研究を社会的価値につなげるためのシナリオの評価をどのようにすべきであるか議論を行なう。そして、シナリオ構築や有用性評価のためのツールとしてのモデルおよびシミュレーション技術について、田村氏などを中心にしてその可能性を探る。さらに、これまでのシンセシオロジーに掲載された論文を俯瞰して、実施されてきたシナリオにはどのようなタイプがあ

るのかについて小林氏から案を提示いただき、それをもとにシナリオの類型化についての議論を行なう。これらをもとに、研究者の営みとしての知の統合を記述することの意味を明らかにするとともに、社会における研究の価値付けのための活動の今後の方向性を探る。

参考文献

- 1) 吉川弘之、内藤耕、産業科学技術の哲学、東京大学出版会(2005)
- 2) <http://www.aist.go.jp/synthesiology/>
- 3) 吉川弘之、*Synthesiology* 1-1、1/6 (2008)
- 4) *Synthesiology*、1-1 (2008)
- 5) 赤松幹之、井山弘幸、科学と社会あるいは研究機関と学術雑誌：歴史的回顧、*Synthesiology* 1-1、59/65 (2008)