

2C6 科学技術指標へのシステムズ・アプローチ：人間活動システムの測定論

○富澤宏之（科技厅・科学技術政策研）

本稿は、科学技術指標の体系化を中心とした理論的検討の報告である。科学技術指標の体系に関しては、既に我が国の研究グループによって「カスケード型科学技術指標体系」と呼ばれるものが開発されており^{11,12}、実際にこの指標体系を理論的基礎としたマクロ指標の報告書が作成されている^{13,14,15}。しかし、それは一つの考え方を示したものにすぎなかったため、当初より異なる視点からの指標体系を提案する余地があった。また、前述の指標体系の提案以降、科学技術指標に関する様々な取り組みが積み重ねられたため、特に指標の利用を通じたフィードバックをとり入れた見直しを行う意義が高まっている。本研究では、科学技術指標の体系の設計ではなく、体系化についての理論的基礎を固めることを目的としている。

1. 科学技術活動システム：科学技術指標とその対象

科学技術指標の対象は、一言で言えば「科学技術活動」、すなわち、科学技術に関する人間の活動や社会・文化である。科学技術指標に関する理論的検討にあたっての著者の基本的立場は、この科学技術活動を「システム」として捉える、というものである。どのような科学技術指標を用いる場合であれ、対象となる科学技術活動は、あるシステムとみることができ、さらにはそのように捉えることが適切である。このようなシステムを「科学技術活動システム」と呼ぶこととする。

科学技術活動に対して単にシステムという言葉当てはめたというだけでなく、「科学技術活動システム」の概念を導入することには、次のような方法論的な意義がある。すなわち、システムとはものの見方を含んだ概念であり、何かをシステムとして捉えるということは、現実世界の実在対象をある方法論にもとづいて加工して把握しようとするのである。実在を加工するということは、実在を恣意的に歪めることになるように思えるかもしれない。しかし、実在はかぎりなく内容豊富であり、他方人間の認識能力は有限であるから、認識には実在の単純化が不可避である。人間の認識とは本来そのようなものであると言ってもよいだろう。そうであるなら、明確な方法論を自覚的に適用し、対象を認識しようとすることは意味のあることといえよう。なお、このようなシステムの考え方は「ソフト」なものであり、システムを現実世界の存在とする「ハード」なシステム思考もある。

対象をシステムとして捉えることに関する以上のような考え方は、指標の概念ないし測定概念とどのように関係しているのだろうか。それを明確にするために、以下の三つの点を指摘しておきたい。第一に、測定の対象である実在は、やはりかぎりなく内容豊富であるから、指標によって示されうるのは、常に対象の一側面に過ぎない。第二に、測定の

対象は、具体物である場合もあるが、思考世界のなかで構築された抽象的なものである場合も多い。心理測定や社会測定においては、このような抽象的な対象（例えば知能）について測定を行うことが多く、このような抽象的な対象を「構成概念（constructs）」と呼ぶ。このような対象は直接の測定ができないため、間接的な測定が行われる。科学技術指標の場合も「科学技術活動」のもつ抽象性ゆえに、指標と対象との間には「構成概念」が介在している¹。第三の点は、第一と第二の点からの自然な帰結であるが、指標によって測りたいものと実際に測定可能なものとの間には、多くの場合、隔たりがあるということである。

このような「隔たり」に関する基本概念は「妥当性（validity）」と呼ばれる。「妥当性」とは、測定値が測定目標をどの程度満たしているかを示す概念であり、妥当性が高いことは、本当に測定したいものと実際に測定されるものとの隔たりが小さいことを意味している。心理測定や社会測定において妥当性の問題が基本的課題のひとつとなっているように、科学技術指標においても妥当性の確保は極めて重要である。なお、高い妥当性を確保するためには、測定したい特性は何かを明確にすること、測定の方法を適切であるようにすること（ただし妥当性に関係するのは測定の原理的な面であり、技術的な面は測定の信頼性に関わる）、そして、測定結果を何らかの外部基準と照らし合わせることによって妥当性を評価すること、などが必要である。

以上のような指標および測定に関する概念を、システムとして対象を捉えるアプローチのなかに位置づけてみよう。構成概念と呼ばれる抽象的な対象は、明らかに現実世界の実在ではなく思考世界の存在である。また、システムとして捉えられた対象も、もはや現実世界の実在ではなく、現実と比較できる一種のモデルである。この点では両者に共通性があるものの、次のような違いがある。すなわち、（代表的な例である「知能」がそうであるように）構成概念がどちらかという現実の限られた一側面を対象化したもので、しかも抽象度が高いのに対し、システムは「還元できない全体」であって、概して現実世界の広い範囲を対象化したものであり、しかも抽象化の程度は目的に応じて様々である。

以上の考察からも、科学技術活動システムには、その要素として抽象度の高い構成概念が含まれていることがわかる。そもそも「活動（activity）」とは実在というよりは抽象的概念であり、現実世界でそれに対応するのは「行為（action）」である²。したがって、実際に測定されうるのは「活動」や「構成概念」でなく、「行為」や操作可能な実在を通じた測定により指標が得られるのである。このことは、科学技術活動システムの完全な測定はありえないことを原理的に示している。しかし、できるだけ妥当性の高い指標の体系を構成していくための方法論が必要であり、ここまで述べてきたようなシステム論的な理解がその基礎となる。

¹ 例えば、代表的な科学技術指標である「研究開発費」の場合、測定対象は具体的な金額でもあるが、その測定にあたって本質的に重要な「研究開発」は、抽象的な概念である。また、「研究開発費」は、それ自体というよりは、例えば「研究開発活動のサイズ」を間接的に示す指標として用いられる場合もある。

2. 科学技術活動システムへのアプローチ：人工的抽象システムと人間活動システム

科学技術指標の対象である科学技術活動システムに対しては、いくつかのアプローチが考えられるが、次の二つに大別してみよう。ひとつは「人工的抽象システム」として捉えるアプローチであり、もうひとつは「人間活動システム」として捉えるアプローチである^{[9],[10]}。ピーター・チェックランドによれば、システムのクラスとして「自然システム」、「人工的物理システム」とともに、人間の精神の意図的な生産物である「人工的抽象システム」、さらには意志的存在としての人間が属する「人間活動システム」がある^{[6],[7]}。

「人工的抽象システム」については、科学の知識体系自体がその代表的な例であるが、特に社会科学や人間科学の場合、対象である人間や社会を「人工的抽象システム」として捉える点が特徴であり、社会科学や人間科学が“科学”たる所以であるといえる。「人工的抽象システム」はその名のとおりに抽象度が高く、特に“科学”の対象としてのそれは、内部的な論理整合性が重視される。複雑な現実世界のなかから抽出された普遍的原理に基づいて思考世界の中に構築されたシステムであり、人間や社会を合理的に把握するために用いられてきた。このようなアプローチの典型的な例は経済学に多く見られる。

一方、対象を「人間活動システム」として捉えるアプローチは、意志的存在としての人間を把握しようとするものである。このシステムも現実世界の中に存在するわけではなく思考世界の存在であるが、論理的整合性よりも人間活動のリアリティが優先される。意志的存在である人間の活動に普遍的原理はないため、このシステムでは論理的整合性を基礎とする思考が困難である。したがって、対象を「人間活動システム」と捉えようとすることは、従来の社会科学の方法論が通用しない場合が多くなることを意味している。

以上の二つの捉え方の相違は、測定および指標に関して、どのような影響をもたらすのであろうか。測定の段階では、二つのアプローチに違いはない。なぜなら、思考世界にどのようにシステムをつくったとしても、実際の測定は現実世界で行われるためである。しかし、何を測定するのかが選択する段階、および測定されたデータを解釈し指標とする段階においては違いが出てくる。「人工的抽象システム」の場合は、例えば人間の情動といった側面は無視される場合が多いなど、測定対象がより限定的になるであろうし、また、解釈の際には合理的な因果関係が重要になる。しかし、科学技術活動は人間の活動であり、必ずしも合理的な原理に支配されているわけではないので、本質的には「人間活動システム」として捉えられるべきである。指標化の目的によっては、あるいは部分的には、合理的な原理を導入するほうがよい場合もあるので、科学技術指標の対象の全体は「人間活動システム」として捉え、そのサブシステムや関連システムを必要に応じて「人工的抽象システム」として捉えることが適切であろう。

3. 科学技術活動システムへのアプローチ：学習過程

対象を「人間活動システム」として捉えつつも科学技術指標の妥当性を確保するためには、どのようにすべきなのだろうか。以下に、「ソフト・システムズ方法論」に範を求め

たアプローチのアウトラインを描いてみた。

ソフトシステムズ方法論は、ソフトシステムアプローチの典型的な方法論であり、現実世界（ただし認知された現実）とシステム思考の理論的世界とを分け、それらの相互作用という形で思考を進めていこうという方法論である。相互作用は二元論的なものでなく、システムズ (systems) という複数形の語が示すように、複数のシステムを用い、それらの相互作用を考える。そして、科学技術活動システムを対象とした指標の体系もまた、測定データを要素とするシステム（さらに詳しくは「人工的抽象システム」）である。個別の指標は複数組み合わせることにより新たな意味を生むという点で、システムの最も重要な特質である創発特性を持つ。ここで取り組むべき課題は、このシステムをいかに設計するかという最適化問題ではなく、むしろ絶え間なく改善を続ける学習過程 (learning process) をどのように設定するかという点にある。

その学習課程のひな形を、まず、単一の指標についての単純化した形で示す。「測定」の段階に加えて、測定の事前的段階および事後的段階という三段階に単純化した過程を考える。事前的段階とは、対象に関する知識・経験をまとめ、対象システムの仮設的構成や測定の目標の設定を行うことを指す。測定の段階は、測定の実施に加え、具体的な測定方法の選択や測定データの集計作業などを含むものである。事後的段階は、測定データの解釈と評価、そして現実との照合といったものである。各段階の結果は、必要に応じて前の段階にフィードバックされる。

このような過程を段階を追って適切に行うことができれば、妥当性と信頼性が高い指標が得られることが期待できる。このような考えによる測定の見本として、心理測定分野で「標準尺度」と呼ばれる方法論がある。しかし、科学技術活動の場合、このようなアプローチで得られる指標は限られるであろう。実際、よく用いられている科学技術指標のなかには、このような段階を経たのではなく、他の目的で得られたデータを解釈し評価していくなかで、次第に科学技術指標として用いられるようになったものもある²。フィードバックが重要な役割を果たしたのであり、第二段階、第三段階が先に行われ、その後で測定目標の設定（本来、第一段階に含まれる）が行われたのである。あるいは、フィードバックによって形成されるループに沿って、各段階が繰り返されるなかで、測定目標すら変化し、ある程度妥当性の高い指標が得られた、と見ることも出来よう。フィードバックのループは、妥当性の確保に対して極めて重要である。

以上は、単一の指標についての議論であり、複数の指標からなる体系の全体としての妥当性を確保しようとする場合の議論は、より複雑である。第一段階（とりあえずフィードバックのループを無視して線形の過程を考えている）において行われるべき作業として、「指標体系（指標システム）」の構成が必要となる。すなわち、単一の指標の場合は、測定目標を設定すればよかったのであるが、複数の指標の場合、相互の関係を明らかにす

² その実例は、*bibliometrics* や *scientometrics* の指標に多くみられる。

る必要がある。まさに「創発 (emergence)」というシステムの特性が必要とされるのである。

測定データの解釈、指標の評価と現実との照合は、妥当性の確保という観点からは「学習過程」のなかで最も重要な場面である。ここでも、指標が一つの場合にはない検討が必要である。例えば、指標の解釈は、個々の指標の解釈を単純に寄せ集めたただけでは全く不十分である。個別の指標相互の関係や、指標の組の背後にある潜在変数を探ることなく、複数の測定データが示す内容を適切に解釈できないし、複数の指標から作成される合成指標によって対象の全体としての把握を行うことが重要である。潜在変数の探索や合成指標の作成は、因子分析をはじめとする多変量解析手法によって可能となる。特に、因子分析（その拡張である共分散構造分析を含む）は、妥当性の確認を行う上で特別な地位を占める手法であることを指摘したい。

4. 今後の展望

前節でその概要を提示した、科学技術指標体系の妥当性を高めていくための学習課程については、「ソフト・システムズ方法論」の考え方を一層取り入れる余地がある。その場合、この方法論での各「ステージ」において、指標の妥当性をどのように確保していくかを明確にすることが有意義であると思われる。

妥当性の確保に関しては、指標が単一の場合と、指標体系の全体としての妥当性を問う場合で、大きく異なることを強調したい。本稿では、この点について十分に展開できなかったが、後者のような妥当性は、その確保だけでなく確認するだけでも極めて複雑で困難な問題である。著者が参加した因子分析を用いた多数の科学技術指標の組の潜在的構造に関する研究によれば、現在の科学技術指標の状況は、妥当性に関して理想からほど遠い状況にある^{[11],[12]}。そこで、人間の総合的判断を積極的に組み入れたアプローチ（できるだけ恣意性を排除する）が必要であると思われる。つまり、端的に云えば、得られた指標群の示す内容が現実とよく一致するかどうかを、専門家の目で総合的に判断する、といったものである。心理測定などの分野における個別の指標の測定でも、人間の総合的判断はなされているが、それはむしろできるだけ排除し、他の客観的な方法を用いるべきものとされている。しかし、科学技術指標体系に関しては、積極的かつ明示的にそのような人間の判断を組み入れ、絶え間なく改善を続ける学習過程を通じて、妥当性の確認・確保を図るべきであるように思われる。

謝辞

本稿の内容は、本稿の内容は、平澤冷 東京大学大学院総合文化研究科教授との議論に負うところが大きい。特に、科学技術指標の対象を「人間活動システム」として捉えるという構想は平澤教授の示唆に基づく。心よりお礼申し上げたい。

参考文献

- [1]. (財)新技術振興渡辺記念会, 「科学技術指標の開発に関する調査報告書」, 1985.
- [2]. 科学技術庁資源調査所, 「科学技術指標の開発に関する基礎調査」(中間報告), 1986.
- [3]. 科学技術政策研究所, 「体系科学技術指標」(NISTEP Report No.19), 1991.
- [4]. 科学技術政策研究所編, 「科学技術指標(平成7年版)」, 大蔵省印刷局, 1995.
- [5]. 科学技術政策研究所編, 「科学技術指標(平成9年版)」, 大蔵省印刷局, 1997.
- [6]. 富永健一, 「行為と社会システムの理論」, 東京大学出版会, 1995.
- [7]. ピーター・チェックランド, ジム・スクールズ(妹尾堅一郎 監訳), 「ソフト・システムズ方法論」, 有斐閣, 1994.
- [8]. ピーター・チェックランド(高原康亮, 中野文平 監訳), 「新しいシステムアプローチ」, オーム社, 1985.
- [9]. 平澤冷, 「叡知の復権」, 高度技術社会ニュース, 第38巻, 1993.
- [10]. 平澤冷, 「環境知のダイナミックスとインセンティブ連鎖の設計」, 『技術知の射程』(吉川弘之監修, 田浦俊春・小山照夫・伊藤公俊 編), 東京大学出版会, 1997.
- [11]. NIWA, H. TOMIZAWA, "A Trial of General Indicator of Science and Technology: Methodological Study of Overall Estimation of National S&T Activity", *Scientometrics*, Vol. 37, No.2, 1996, 245-265.
- [12]. Hiroyuki Tomizawa and Fujio Niwa, "Evaluating overall national science and technology activity: General Indicator of Science and Technology (GIST) and its implications for S&T policy", *Research Evaluation*, Vol. 6, August 1996, 83-92.