

システム思考と研究への姿勢

大阪工業大学大学院博士課程 3 年生 中西真悟

1. はじめに

近年、工学に求められる社会的要求の複雑さは、これまでに分類化された個々の工業技術のみだけでは対応しきれないほど強くなりつつある。このため、将来はその加速が想像できないほど増していき、人間の欲求を満たす快適生活の実現と、人間の英知による技術革新の戦闘は、より激しさを浮彫りにすることと考えられる。こうした背景の中において、各工学部門はこれまでの単なるもの作りの究極技術だけでは適応できなくなることを反省し、システムとして全体の調和を貴重とした工学体系への変貌を遂げようとしている。著者が大学 1 年(1988 年=昭和 63 年)のとき、こうした考え方の枠組みをとらえる方法として本学を退官された帆足教授より初めて学んだ記憶がある。帆足教授は各固有工学部門の発展過程をタテワリ工学と定義し、経営工学のような発展過程をヨコワリ工学として位置づけられたが⁽¹⁾、現在ではこの関係を用いると、タテワリ工学のヨコワリ化が始まっているといえるのではなからうか。これは図 1 の上位層の工学部門のように表現することができる。

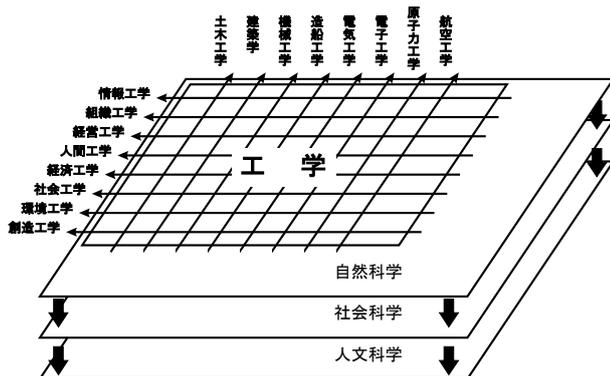


図 1 現代の工学体系の変革

ところで、図 1 に示すように経営工学を始めとする固有技術とは性質の異なる発展過程を経てきた工学部門は、これまでのシステム思考のイニシアティブを取り続けてきたが、各固有工学部門においてもこうしたシステム思考の応用がはじまり、その中から急速に新たなシステムの思想が生まれている。さらに、近年では社会科学や人文科学といった自然科学とは区別される科学にいたっても、図 1 に示すようにシステム思考の重要性が認識されつつあり、心理学などの分野では多変量解析の一分野として脚光を浴びている共分散構造分析⁽²⁾が積極的に用いられ、人文科学の分野では、百人一首に魔法の数理的な法則が発見されるように、名著の定義も明確にシステム化されてくる日もそう遠くないものと考えられる。

このため……(Why),
経営工学はこれから……(When),
どんな技術を……(What),
どの領域で……(Where),
どのように発展していくべきなのであるかを……(How),
我々は……(Who),
今再考しなければならない時点にきているのではないかと

考える。

そこで、本稿では著者が学生最後に自由に書ける機会をいただいたので、システム工学的な考え方を他の工学部門とも対比しながら全体の一端ではあるが独論し、これらからの進化する技術に適応するシステム工学・経営工学の視点と研究への姿勢を築こうとするものである。まず、伝統を重んじることを忘れずに従来の経営工学の基本的精神ともいえる定義を紹介する。また、これに相反して一般的なシステムの発想について紹介する。そして、この両者の考え方を踏まえた上で、工学設計上の意思決定を実施するためのシステム思考について読者にも鑑みていただきたく思う。しかし、ともするとそのために思想がぼやける恐れと、応用範囲による解釈の違いから誤解があるかもしれない。もちろん、このことを注意しながら論述を行うつもりではあるが、著者の力量不足のため、高い水準を維持しつつまとめきれなかった点をお断りする。

2. 経営工学の定義⁽¹⁾⁽³⁾

本章では、まず代表的な学会あるいはこれまで経営工学に貢献された先生方の経営工学あるいは IE に関する定義をいくつか紹介する。こうした定義に必ずしも縛られる必要はなく独自の考え方を持つべきだと思うが、共通の枠組みの考え方も必要であり、その答が以下の定義に存在するかもしれない。

「経営工学とは種々の経営システムの最適設計・改善・最適運用の工学」 ……浅居喜代治(元本学教授)。

「経営工学は、経済の発展と人類の福祉を目指して、社会や企業などの人間の組織的な諸活動を工学的立場から統合し、かつ推進するための管理技術の体系」

…日本学会会議、経営工学研究連絡委員会(1990)。
「経営工学は、経営システムや社会システムで起こる種々の問題を解決し、また、その最適設計および効率的運用を目的とした実践技術学」 ……帆足辰雄(元本学教授)。

「IE は工学のうちで、人・材料・設備の統合された諸方式を設計し、改善し、設定することを対象にし、統合された諸方式を設計・改善および設定する場合に生ずる結果を明示し、予測し、評価するために、工学上の分析や設計の原則と技法などを用いる」

…AIIE(American Institute of Industrial Engineers)。

「IE は規定の時間に最適の原価で望ましい数量、および品質の生産を達成するために、人・設備・資材を利用し、調整する技法と科学である」

…ASME(American Society of Mechanical Engineers)。

3. 意思決定システムとしての最適設計法⁽⁴⁾

3-1 システム工学と意思決定

システム工学の内容定義は、研究者によって若干差があり、必ずしも統一されていないが、そのほとんどは「システム工学とはシステムの開発、設計、運用などを合理的に行なうための方法論(思想と技術)である。」のように定義されているのではなからうか。

さらに、システム工学を具体化するためには、

- ・システム分析(system analysis)
- ・システム総合(system synthesis)

が主要なテーマとなる。システム分析は、システムの性能を

調べることであり、システムの感度解析もここに含めて考えられる。一方、システム総合とは、外的な要因と特性が与えられた場合、その特性が発現できるように内部の構造を決定することである。システム総合は広い意味での設計という概念に相当し、システムの規模によるが、当然多くの意思決定を含む。

また、意思決定するという事は、想像的思考能力も必要であることは、ごく当然のことではあるが、意思決定には、図2に示すように次の三つの思考能力の統合が必要とされている⁽⁶⁾。デザイナーが設計することを考えれば、システム設計の中にシステムの想像が包含されてもよいともいえる。さらに、直接システム設計には関係はないが、システムの想像をアイデアあるいは知的生産技術⁽⁶⁾と考えると、これらの管理技術や協調技術に関する考え方も重要である。

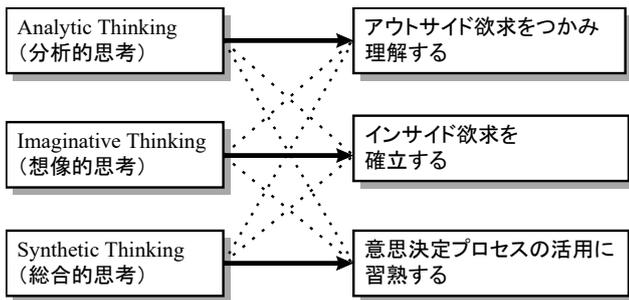


図2 思考能力と意思決定プロセスの関連⁽⁵⁾

3・2 システムと最適設計法 最適化問題を考えるとき、図3に示すように各種の制約を考慮することができる⁽⁷⁾。設計すべき対象に評価関数を決定し、いかに最小(あるいは最大)にするかということである。

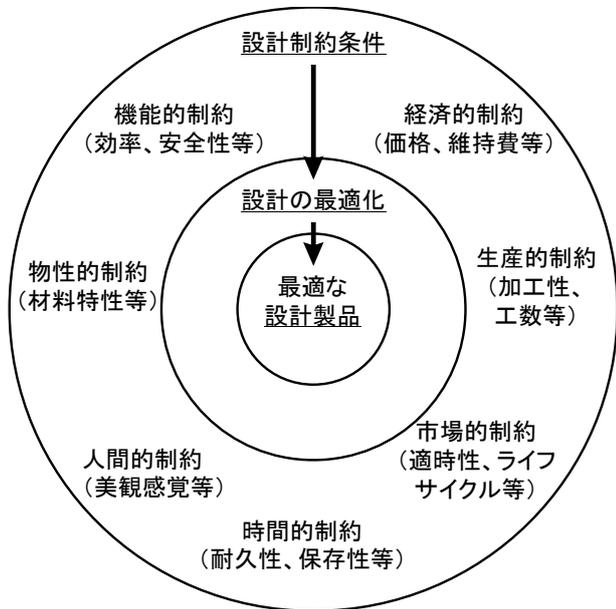


図3 最適設計問題⁽⁷⁾

ただし、このように最適化問題として定式化できるように、現実問題をシステム思考でとらえ、それを正確に数値モデルとして記述するには、かなりの難解な作業が必要であると考えられる。そこで、次のような意思決定に必要な質問項目⁽⁴⁾を考え、対策を立てるべきである。

(1) 何を(どのパラメータを)決めなければならないか。

- (2) 未知のパラメータと外的要因とはどのような相関関係があるのか。
- (3) システムにはどのような機能が要求され、どのような制約があるのか。
- (4) どのような基準により、システムの善し悪しが判断されるのか。
- (5) 最良の意思決定は、どのようにしてなされるのか。

これらの質問項目は、システム的设计だけではなく、計画・施工の各段階のすべての意思決定に共通するものであり、これらに対する答え(定量的である必要はない)が示されたとき、そのシステムは初めて意思決定の対象となる。

以上五つの質問項目に対する回答⁽⁴⁾は、次のようにそれぞれに対応する数理モデルとして説明される。

- (1) 変数を割り当てる。
- (2) システムを分析する数理モデルを変数の関数として表現する。
- (3) システムの挙動および出力の許容値を変数の関数として表現する。
- (4) 規準を選び、それを変数の関数として表現する。
- (5) 変数およびシステムの特性を考慮して決定手法を決める。

ところで、著者もシステムの最適設計問題および確率論的設計法に関する研究に取り組む一人であるが、この研究領域には、上記の質問の相関関係について、以下の議論⁽²⁾がなされてきたようである。

古くから、「各種の統計的手法が因果関係の解明に役立つか」という点については、否定的な意見が多い。二十世紀最大の統計学者として定評のあるフィッシャーは、1963年に、「変数間の相関係数を求めたとしても、どの変数が原因であるかについて何らかの先見の情報がない限り、因果関係の解明は一步も近づくことができない」と述べている。また、ピアソンは、「相関関係は因果関係よりいわば広義の概念で、因果関係は相関関係の極限である」と述べている。

しかしながら、統計的手法が因果関係の解明に役立たないと悲観的になることはなく、今日では多数の手法が存在する。という議論ではあるが、今日でもすべての研究領域で受け入れられているわけではないようであり、著者の分野でも、多くの研究者がこの問題に取り組んでいる⁽⁸⁾。

3・3 モデルの定義と意義 ここで、大学受験時代あるいは教養課程において学んだ物理学の中で有名なニュートンの万有引力の法則

$$\mathbf{F} = Gm \frac{M(\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_M)}{|\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_M|^3} \quad (1)$$

とクーロンの法則(静電場)

$$\mathbf{F} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q(\mathbf{r}_q - \mathbf{r}_Q)}{|\mathbf{r}_q - \mathbf{r}_Q|^3} \quad (2)$$

を思い出していただきたい⁽⁹⁾。どちらも相互に力の関係を示す法則として、科学者や技術者ならば一度は聞いたことのある有名な式であり、両者が同じ原理のモデルとして数理的に取扱えることは周知である。しかし、ここで注意していただきたいことは、モデルを作るときに考え方の相違である。このことは、意外とわすれられがちでかつ案外知られていないのではないと思われる。すなわち、両者は異なる性質を示すモデルであり、前者が遠隔作用によるモデルであり、後者

は近接作用によるモデルである。このような関係は、工学領域の多岐にわたる応用の中で存在する。したがって、モデルの構築の方法と数理の関係を我々は明確にして応用や開発を心がけなくてはならない。

3.4 システムのべき乗や重ね合わせと写像 本章の章題は、少し変わっている。多分著者の知るところでは、誰も論じないと思われる独断的な主張である。これは、システム a_i が正しくモデリングされていれば真(1), そうでないときを為(0)とすると、次のように導くモデル構築を行うことができる。すなわち

$$a_i = f(a_{i-1}) \quad (i=1, \dots, n)$$

$$f(\mathbf{a}) = \prod_{i=0}^n a_i \text{ or } a_i^n \equiv 1 \quad \therefore a_i = 1 \text{ or } 0 \quad (3)$$

である。式(3)は、システムモデル構築を行なうことが正しく行われれば、システム a_i を拡張してもシステム a_i としてモデル構築を同様に実施できるというものである。このような考え方を体系化する学問を、我々はシステム工学と呼んでいるのではなかろうか。

たとえば、図4に示すモデルは、式(3)をもととしたモデルである。この図の右側の図は、師岡⁽⁹⁾がIE技術者の研究範囲をイメージ化したものである。このとき、各工学部門の研究水準は高いが、細分化されているために研究範囲は決して広くはない。しかしながら、ヨコワリ化が始まると、研究領域だけでなく、周辺領域も研究対象のフィールドとなる。従来IE技術者とはこうした考え方を最初にもった工学を築き上げてきた。

ところで、これをもとに我々が所属する部門を固有工学と同じ視点で見るための写像を行なったとき、周辺に存在するものは、一体何であろうかと問うことができる。このとき、この問題に対する著者の回答は、これに関してもまたシステムである。この写像が行なわれたモデルを図4の右側に示している。もちろん、開システムではなく閉じてなければ構築できないため、3.2でも取上げたようにある種の制約条件を適用しなくてはならない。ここでもう一つ気になる点が、写像という概念である。我々はシステム工学の専門家として、モデルを抽象化するときには発生する非常に大切な技術であると考えられる。たとえば、システム制御に用いられるラプラス変換や統計工学で学んだ特性関数を導くフーリエ変換は工学の発展に大いに寄与したことは非常に重要であり、著者の研究領域である構造信頼性理論の標準化変換も、また写像ということに真剣に取り組んでいる⁽⁸⁾。

さらに、システムの写像とは単なる代数学の写像として認識されるだけではなく、非常に重要な意義を有している。すなわち、もう少し具体化した言葉を用いると、オブジェクト指向分析⁽¹⁰⁾の

- ・カプセル化(情報隠蔽, 抽象データ型)
- ・継承(インヘリタンス)
- ・多様性(ポリモフィズム)

といった重要な考え方を備えた写像などの意味を含めることができ、非常に興味深い。

結局、モデルの構築における表現できない部分を知ること、表現しないか見えないように写像して解決することは我々にとって特に大切な視点ではなかろうか。

4. 研究への姿勢

1+1はいくらだ? 多くの人は2と解答すると思われる。正解である。しかし、我々は次のことを学んだのではなかろうか。論理和であれば1+1=1, コンピュータの内部演算の2進数ならば1+1=10という解答である。著者が調べたところ、多くのことは結局1+1=1~10に収まるようである。もちろん、意味は全く違うが、こうした発想は案外研究を楽しむために大切ではなかろうか。生体システムを解明するために注目される細胞の内部機能の和は解が1だそうだが、知的吸収力を高める方法はOver 10を目指したいところである。さて、そのためには、研究への姿勢の枠組みを型破りするような積極的な行動と枠を正す行為が大切かと考えられるので、次の2節のことを取上げてみたい。

4.1 浮気のすすめ

昨年12月末、学位論文の提出を終えた著者は徐々に研究活動と離れていくなことを勉強しなす機会を得ることができた。そして、新しいことに挑戦することはもちろんであるが、思い出深い刺激を受けた文献や書籍にも埋もれる時間を楽しむことができた。その中の一つにこんな恥ずかしい経験をした。

著者は、修士課程に入学して間もない頃、すでに日本経営工学会は学部生の頃に入会していたので、指導教授の中易先生のすすめで新たに日本機械学会に入会することにした。当時、浮気性の著者にとってうれしいような疑問を感じるような新鮮な空気の中、はじめて送られた学会誌⁽¹¹⁾を手にした。このときの特集は「究極の生産工場」であった。この瞬間違和感なく著者は機械学会での研究活動にも興味を持つこととなり、今日まで非常にいんなことを吸収した。このように、他にも多くの学会の研究活動が大学院生と学部生の皆さんの知識を沸騰させてくれることかと思うので、是非とも広く知るヨコワリの重要性も認識してどんどん浮気して研究に役立てていただきたい。

ところで、上記の特集のとりまとめをされていたのが著者の学位論文の副査の亀島教授であったことを、今ごろになってはじめて知ったのである。ということで申し訳ないような光栄な気持ちで新年を迎えることができたのだ。広すぎるとか違うと思える研究分野も案外近い視点や共感を得ることができるのではないだろうか。大学院生の皆さんには

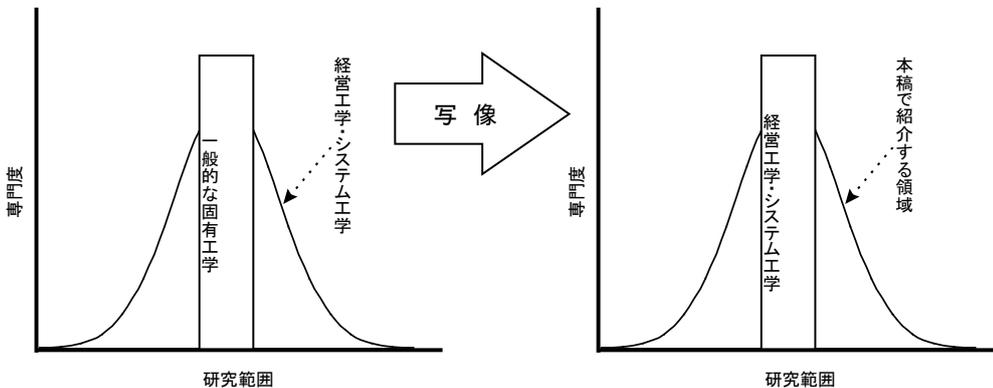


図4 我々の探求する学問領域

この特集を一度手にされることを希望したい。

4.2 師匠と弟子 この関係は、様々な社会の中で何か奥の深いことに取組むときに必ず誰も体験する人間関係である。かささぎを読む読者の大半は研究活動を通じて師弟関係を経験してきたか、経験している、あるいはこれから経験するのではないだろうか。

著者も中易秀敏教授と学部4年生のときに、6号館再建中の間の今はなき中央食堂で偶然向い合わせてうどんを食べたときの出会い依頼、師弟関係が始まった。そして大学院生活が始まって間もない頃にある一冊の雑誌を読むように手渡された記憶がある。特に研究上重要なことは全く載っていなかったのだが、その中に師弟関係の悲劇的決裂で有名なデーヴィとファラデーの記事⁽¹²⁾が載っていた。師匠のデーヴィは非常に弟子思いで有名で、時には悲劇的な結末を知らない人がいるくらいであるが、著者は中易先生の著者に対する寛大な対応に、いつもこの記事を思い出している。そこで、今回どうしてもこの文献を探したくなり、工大と摂大の図書館の職員の方のご協力を賜り、文献番号、著者、題目など何もわからない状態であったが、摂大の薬学部にある分館にてようやく見つけることができた。

著者は、もうすぐ学生生活にピリオドを打つとともに、これまでボスとして甘えてきた師匠 中易先生からも独立する。これからが本当に研究活動で共に共感し、批判しあえると期待しながらも、少し距離のある関係が始まることに不安である。そのためにも自分はいかにいい仕事をしていかななくてはならないことを実感する今日このごろである。そして感謝の気持ちを忘れないことを誓いたい。

5. むすび

本稿では、かなり広範囲におよぶ工学の中でのシステム思考とモデル構築そして学問へ取組む姿勢について著者なりの考えを論じてきた。したがって、何一つ実用面に関する話題提供をしていない。そこで、この応用面に関しては、読者各自が解決しなくてはならない問題に対して実践していただきたい。そのためには、まず積極的に浮気しながらいろん

な知識を修得し、体系的にものを考える機会をたくさん作っていただきたい。そして、満足のいく成果が収められた新たなシステム工学の技術を開発されることを期待する。また、最後にも少しふれたがどんなに世が進化しようとも人間の存在価値を犠牲にしない科学技術の発展を願いたい。その精神をこれまでどおり大切にするとともに時代の流れに柔軟に進化するために、著者も学問を志す一人として頑張っていきたい。

最後に、本学経営工学科を始め著者の学生生活を通じて実に多くの方のご指導、ご協力を賜ったことを付記して謝意を記したい。本当にありがとうございます。

参考文献

- (1) 帆足辰雄, “経営工学研究余話”, 本学最終講義資料, (1993).
- (2) 豊田秀樹・前田忠彦・柳井晴夫, 「原因をさぐる統計学(共分散構造分析)», 講談社, (1992), p. 217.
- (3) 師岡孝次, 「IEの手ほどき」, 日本経済新聞社, (1971).
- (4) 土木学会構造工学委員会, 「構造システムの最適化」, 土木学会, (1988), pp. 8-11.
- (5) 中島一, 「意思決定入門」, 日本経済新聞社, (1990), pp. 10-44.
- (6) 溝口文雄, 児西清義, 「チーム知的生産技術(グループウェア入門)», 講談社, (1992), pp. 202-204.
- (7) 日本機械学会, 「構造・材料の最適設計」, 技報堂出版, (1989), pp. 1-7.
- (8) 中西真悟・中易秀敏, “システム信頼性設計における標準化空間への設計点写像法”, 材料システム, Vol. 15, (1996), pp. 43-59.
- (9) 藤原邦男, 「物理学序論としての力学」, 東京大学出版会.
- (10) 村尾和宏, “ソフトウェア要求分析のアプローチ”, インターフェース, Vol. 20, No. 9, (1994), pp. 52-68.
- (11) 亀島敏二他, 日本機械学会誌, Vol. 95, No. 884, (1992).
- (12) 川崎勝, “恩師デーヴィとの愛憎劇”, 科学朝日, 5月号, (1992), pp. 95-99.