

システム科学技術の研究開発

科学技術振興機構（JST）の研究開発戦略センター（CRDS）では、システム科学技術推進委員会を設けて、システム科学技術研究として何を推進すべきかを検討してきました。研究領域が細分化に進むのに対して、システムとは統合することであることから、シンセシオロジーが目指しているところと共通しているものがあります。システム科学技術推進委員会を牽引されてこられた木村英紀上席フェローにお話を伺いました。

シンセシオロジー編集委員会



座談会出席者

木村 英紀	JST 研究開発戦略センター上席フェロー
小林 直人	産総研（シンセシオロジー副編集委員長）
赤松 幹之	産総研（シンセシオロジー編集幹事）

赤松 木村先生が推進されているシステム科学技術は、社会に科学技術を生かすという意味でシンセシオロジーと近い気がいたします。システム科学技術について、シンセシオロジーとシステム技術の関係、今後の社会課題を解決するために必要な技術についてお伺いしたいと思います。

小林 今回の東日本大震災や原発事故について、評価がまだ決まっていない段階ですので話題に取り上げるのは時期尚早な気もしますが、システムの問題がとても色濃く出ている事象に思えます。

木村 事実関係が今どれだけわかっているのかということではありますが、一つ、ロボットの問題が議論が挙がりました。海洋、宇宙、災害、原子力等の分野で用いられる極限作業ロボットを目標としたプロジェクト（1983～1990）があったのですが、それらが表立って投入されなかったのは技術の問題なのか、人の問題なのかということです。研究が要素技術に偏ってしまっています。「こういうことができる」ではだめで、システム技術が重要だということが明確になった一例と言えます。

小林 今回の原発事故では、ハードウェアとしてのシステム、ハードウェアと人の相互作用のシステム、政治も含めて人々がどう対応するかという人間群のシステム、この三

つのシステムそれぞれに問題があったのではないかと気がいたします。そういう意味で、システムとしての課題をきちんと抽出し、それへの対応の方法を考えることが今とても大切です。

科学技術システムは課題解決のためにある

赤松 JSTにおいて、システム科学技術を取り上げた背景と言いますか、なぜ、今、システム科学技術なのでしょう。

木村 現代は「システムの時代」と言っていると思います。現代はシステムの中であっふあっふしている状況です。そこにサイエンスとしての筋道をつけていくことが重要だと思いました。「システム技術」がシステムを解析・設計・実装するためのツール、「システム科学」はそれを普遍的な人工物の科学として体系化したものと考えれば、システム科学技術は複雑な社会に大規模なシステムを構築し発展させるためのものと言えます。

小林 システム科学技術とは、課題を解決するための科学技術ということですね。私達もシンセシオロジーの中で、目標が何かということを決め、それに対してどうシナリオを描いていくか、そのための構成方法は何かということを描述しています。漠然と、単に要素を組み合わせれば良いと

ということではありません。それがこの分野の科学の特徴だと思います。一方で、「設計科学」ということを木村先生も吉川先生もよく言われます。システム科学技術はそういう範疇にあると考えて良いでしょうか。

木村 まさに設計科学の一つだと思います。

赤松 「システム技術」ありき、なのですね。課題解決に必要なシステム技術があって、その基礎となるものがシステム科学だと。システムはそもそも課題解決のためのものだという事ですね。

小林 要素技術だけでは課題解決はできませんから、システムが必要ですね。日本は、システム科学技術、システム思考も含めてこの分野では弱いと言われますが、明治以来これまで百何十年、それなりに世界に伍してやってきたと思います。なぜ、システムの分野では弱いと言われるのでしょうか。

木村 ある特定のフェーズではとても強いと思いますし、日本のシステム科学技術が輝いていた時代もありました。例えば、1960～70年代にかけての新幹線システムや、電電公社のデータ通信用計算機 DIPS、製鉄所の年産1,000万トン一貫生産管理です。これらはシステム的な思考がないと作れないですね。

小林 私の専門分野の一つで言いますと、日本はわりと早い時期から光通信技術は進んでいます。なぜかと言うと、個別技術であるファイバー技術、半導体材料や光デバイス等の研究開発のポテンシャルが高く、その性能がとても良かったことと、ネットワークにしてシステムにするところまで世界に先駆けてもっていくことができたからです。新幹線も光ネットワークも、必ずしもキャッチアップ型ではないものを60年代から80年代初頭までに作り上げているというのは、とても興味深いです。

木村 あの時期は、システム技術は名実共に強かったと思います。私が学生の頃は数学が好きなやつが幅を利かせていましたし、そういう類の学科も大学にたくさんあって、時代精神に合っていたのではないのでしょうか。これは日本だけでなく、アメリカ等もそうだったかもしれません。しかし、80年代以降、要素技術の深掘りが極めて大きな価値をもつようになりました。

小林 世界のアカデミアがそちらの方向にいったということでしょうか。

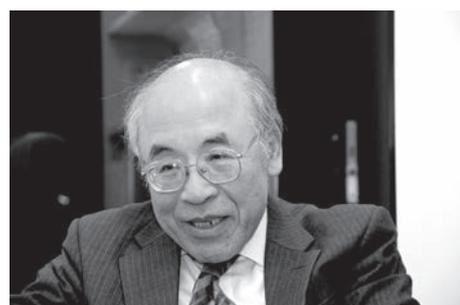
木村 日本だけでしょう。“ものづくり”という言葉が現れたのが90年代初めくらいですから、あの頃からです。まだ分析はできていないのですが、一つは、“驕り”でしょう。日本の製造業が世界を制覇しましたが、そのときに目立ったのは要素技術でした。要素技術において勝った、という認識があったのだと思います。

赤松 「勝った」理由が実はシステム技術だったというふうに認識しなかったわけですね。海外に輸出することが「勝った」基準になっている場合は、どうしても要素技術になります。

木村 鉄を例に挙げますと、60年代の半ばに日本で年産1,000万トンの一貫製鉄所が世界で初めてできました。それより前はUSスチールで500万トン程度だったので、一気に倍増しました。なぜ500万トンで抑えられていたかと言うと、システムが難しかったのです。鉄鋼は注文生産なので一品生産です。生産ラインを個々の注文品が追っていかねばいけなから、目視でやらざるを得なかったのですが、それを完全にコンピューターライズすることによって、スケールメリットが出ただけでなく、品質もはるかにいいものになりました。しかし、システム技術の貢献は結果として評価されませんでした。これは人事を見ればよくわかります。そういう人は役員になっていないですよ(笑)。日本の鉄が世界を制覇したのは品質が良かったからだ、鉄は素



小林 直人氏



木村 英紀氏

材産業として生きるのだというふうになってしまいました。他の業界もそうだと思います。

赤松 製造システムの価値でありながら、「もの」という要素的技術に帰着して、そこに価値があるのだと思ったということですね。

木村 あのころ日本人にそういう“驕り”があったということ、本質を見極めて、次に備えようという気がなかったのです。このまま日本は世界をずっと制覇し続けるだろう、そして経営も日本的経営が世界を制覇したというふうに思っていました。

日本の産業を転換するとき

小林 今回の大震災で、製造業は相当打撃を受けていると聞いています。1970年代初頭の石油ショックで、それまでの鉄鋼、造船等を中心とする重工業による高度成長は終焉し、産業の主体が自動車や電機産業に移ったと言われています。今は自動車もこのような状態ですし、将来EV(電気自動車)が主流になるとどうなるかわかりません。たぶんこの大震災を機に日本の産業は転換をする必要があるのだろうと思うのですが、まさにシステム科学技術をもう一度取り戻すときではないでしょうか。

赤松 とかく物事がうまくいかなかったときに、人災というふうには、人に原因を求めることが多いのですが、それはすごく危険です。人に帰着するというのは要素へ帰着するという思想です。震災からのリカバリーのときに、どこがミスをしたとか、ある1点にその問題点を帰着させて議論が進んでしまうということは、その発想自身がシステムの的を見えていないということです。

システム技術が輝いていた例として、新幹線のシステムを挙げられましたが、新幹線の技術面の開発をマネージしていた国鉄の島技師長が「ごく当たり前のこと。行き届いてものを考えることに尽きる」と言っておられます。新幹線を動かすために必要なものは何なのかということを考えてひ



赤松 幹之 氏

たすらちゃんと作ったという意味だと思います。その頃の優れた人は、当たり前のように、システムのものを考えて、ものを作っていたわけですね。ただ、「これがシステムなのだ」と言ってくれなかったために、それが伝わらなかったのです。当時は、“計算機システム”とおよそ同じ意味の言葉として使われ始めていたので、そこがシステムのものの考え方というふうに広まっていきませんでした。教育の中にうまく組み込まれなかった感じがします。

木村 システムという言葉もそんなに多用されなかったかもしれません。ただ、新幹線やNTT-DIPSはとても先進的でしたし、鉄鋼の1,000万トン一貫生産、これはシステム技術の勝利で、世界の先端を走っていました。“驕り”があったのでしようが、これからもう一度頑張ってやればいいのです。

赤松 過去を見てそこから何を学ぶかというときに、要素で勝っていたと思っていたために、課題の設定自身を要素に落としてしまいました。課題がシステムになっているのだということをお問わないと、いくら課題解決型とうたったところで解決できないということですね。

システム構築のための戦略研究が必要—やみくもにやらない

小林 「課題がシステムになっている」と言うのは、とてもいい分析ですね。システムというと、初めからある構造を設計して、それをロバストに作っていくものもありますし、部分最適化を自律分散的に作っていくようなシステムもあると思います。それは、まさに課題をどう解決するかによって違ってくると思うのですが、システムをデザインする方法論はさまざまにあるのでしょうか。

木村 部分的最適化に陥ってはだめです。自律分散にするにしても、あらかじめこういう自律分散にしようという事で設計しないとイケません。

私達が提案したのは「システム構築戦略研究が必要である」ということです。これはCRDSのシステム科学技術推進委員会の終わりのほうの議論で出てきたのですが、日本の科学技術に欠けているものです。私は制御屋ですが、制御系の設計では、大きなプラントにコントローラーをインプリメントするときに、やみくもにやりません。モデルベースと言って対象を徹底的に解析し、モデルを作って、コンピューターの中にそのモデルを入れて、パラメーターを最適に設計して、これでいいかというシミュレーションを何度もやって、いいとなったら実装するわけです。これが鉄則です。

ところが、我が国では、すぐに実証研究を始めます。要素技術について基礎研究はしますが、システム的なものについて基礎研究は必要ないと思っているのです。もちろん、あるフェーズで説得力をもたせるために実証研究は必要ですが、その前にやるべきことがあるのではないのでしょうか。実証研究をパッとやっても、一つのシナリオに関してこうなったというだけで、環境が変わったら全然別の話になります。徹底的にシステム構築戦略を練り、いろいろなシナリオを想定してからやるべきです。諸外国ではほとんどのケースでそうやっています。

赤松 ファンディングの話に少し絡んでしまうのですが、何かモノを作るというお金がつくれども、システムを設計したり、シミュレーションしたりするのに対して、お金がつきにくいですね。どうしても要素技術にお金がつきやすい傾向がありますね。なぜこの研究が必要なのか、どういうことに繋がるのか、というシナリオは重視されず、速さが何倍になるといった技術要素の性能指標を出さないと納得してもらえません。

木村 それは行政組織の大きなマイナスの伝統だと思いますね。

社会的期待に添う科学技術とは

小林 いわゆる学術論文誌は、世の中の学術水準の上に何か一つ新しい知識を加えることが評価されます。シンセオロジーでは、もちろん新しい知識は必要なのですが、何のためにどのような要素技術を選択し、それらの構成方法を構築したのかということも前提にして、その研究成果の社会という場での実用を目指すということが最終的な目標です。研究目標と社会とのつながり、シナリオ、そのためにどういう要素を選択して、それを統合して実現しようとしたかということを論文の必須アイテムに入れています。きょうのシステム科学技術の研究開発のお話に近い部分があるような気がします。

赤松 シンセオロジーでシナリオを書く部分は、対象なり、研究課題をいかにシステムとして見ていくかです。そもそも要素が一体どういう構造になっているかという部分に注目しています。

木村 システム科学技術は、さまざまな機能をもつ要素を統合して一つの全体機能の実現をうたっていますが、これはシステムの思考がとてもしない人ではないとできないですね。

第4期科学技術基本計画が課題解決型になっていることに対し、学会会議はとてもしないの念を発表しています。課題が与えられるということは科学者の自立性はどこにいくのか、という疑問です。課題解決型の科学技術の中で、科学者、技術者の自立性がいかに守られるべきかということですが、研究目標と社会のつながりを吉川先生は「社会的期待に添う科学技術」と言っています。そこは大きな問題提起ですね。

小林 そのためにも、まず戦略を考えなければいけないと思います。課題解決の課題は、自分達が設定する、そこにアプローチする方法は自由でいい、という考え方が重要だと思います。例えば、研究を社会との関係でレイヤーで考えた場合、基礎だろうが、応用だろうが、どのレイヤーにおいても、初めにみんなで合意した研究戦略を立てたら、それで研究成果は研究戦略との関係で評価すればいいのではないかというのが私の主張です。ですから、まず重要なことは「研究目標と社会のつながり」を研究戦略の中にきちんと埋め込んでおくことだと思います。

木村 科学技術はキュリオシティドリブンとプロジェクトオリエンティッドに分けられるわけがありません。科学研究の中に戦略は絶対ありますし、ある意味、どんな純粋科学技術でも課題を解決しているのです。

赤松 課題が生まれる前にキュリオシティがあって、おもしろいと思ったから課題にしているのであって、それを解決するという事は、そもそも自分が面白いと思ったことの構造がどうなっているかをブレイクダウンして考えていくことを系統的にやっているわけなのだけれども、そのことに気づいていないということですね。

木村 好奇心がない研究なんてないですものね。

システム構築戦略に必要な教育と法律

小林 昔は新幹線やDIPS等、日本にはそれなりにシステムのしっかりした部分がありましたが、システム思考あるいはシステムを考えるポテンシャルが下がってきてしまったというご指摘でした。今、私達に必要なことは何でしょうか。

木村 ものづくり基盤技術振興基本法が1999年にでき、ものづくり大学ができ、ものづくり基本白書を毎年出すことをあの法律は定式化したわけです。まさに世界の技術がシステム化、ソフトウェア化という「モノからコトへ」へいったときに、日本はそれと逆行したようなことになりま

した。ですから、今のこの時代に、私はシステム基盤技術振興基本法くらい、作るべきではないかと思うのです。

赤松 教育もあるかもしれませんね。研究室の博士課程の大学院生が教授から与えられたテーマをやっているようでは、課題を具体的にシステムとして理解するのは難しいでしょうね。

小林 国際機関や諸外国の政策を形成する中枢には PhD をもった人が大勢います。今、日本の中央省庁の行政官で PhD をもっている人は極めて少ないのではないのでしょうか。もう少し PhD のコースを充実させて、大学の教育自体を変えていかないといけないと思います。教育からいうと先生も変わらなければなりませんね。要素技術はもちろん重要なのですけれども、それをいかにシステム化するかというところが大切です、というふうにもっていけるといいですね。

構成学もシステム科学技術もスパイラルが重要

赤松 そうですね。システムを設計するということが、どういう順番でそのシステムを動かしていかを決めることにもなるので、いったん設計して、それで動かしていくことによって解決できることがたくさんあると思うのです。実世界とインタラクションしながらスパイラルしていくのです。

木村 全くそのとおりですね。私達も今回の災害でなぜシステムがうまく作動しなかったかを調べているのですが、最大のポイントは、防災という概念と救助が結びついていなかったのではないかという気がしているのです。スパイラルが動いていなかったのですね。一方で、災害救助特別措置法や災害救助法等、法律はいっぱいあって、そこではこういう災害が起こったら対策本部を立ち上げて、次にどうするというプロトコルはけっこう書かれているのですが、防災体制は時々刻々変わっていきます。人も移動するし、都市環境も変わっていくので、それらをアップデートしていかなければいけません。

災害が起こったら、まず地震のスケールと震源地がわかれば、第一次の被害予測をします。さらに情報が集まってくれば、被害予測を精密にしていく一方で、それをベースにして、どういう救助体制を組むか、これらをループで回すことが必要です。

赤松 正常の状態に対する防災はあるかもしれないけれども、大震災の後の状態に余震が来たときの防災は考えていないということは、スパイラルを回していないということ

ですね。

小林 木村先生がおっしゃったように、最初にモデルベースでアナリシスをして、シミュレーションしてシンセシスをするというプロセスを何回も回すことが重要ですね。

木村 そうです。シンセシオロジーは、研究が終わった後もスパイラルを回すのですか。

赤松 まだそこまで至っていません。世の中に出したときにその研究を評価する力が必要になってきます。要求仕様が出てきたらそれに対応するレベルではなく、その先に行かないといけない。1回スパイラルを回すと、制約条件が最初のレイヤーと全く変わっていくので、もう1回、設計し直さなければいけません。スパイラルを回すということはそういうことなのですね。

小林 社会実装は産業界を巻き込まないとだめですから、産業界のまさに実装した人たちが振り返って、その方法論の論文を出していただけるといいなと考えています。

システム科学技術は文理融合の促進剤

赤松 システム科学技術委員会活動は去年で一応終わりになって政策提言が出されましたが、こういう考え方なり、学問が伸びていくためにどんなことが重要だと考えておられますか。

木村 イノベーションの中にシステム科学技術を入れ込んでいくということですね。具体的に提案して、その中でちゃんと実績を作っていくのです。文科省にそういうことを担当する原課がないので、今、いろいろお話をしているところです。

小林 科学技術をシステムと考えると、いろいろな分野や異業種のシステム化が必要になってくると思います。大学で昔から文理融合が必要とか言われてはいるものの、なかなかうまくいきません。理系に比べると文系の社会科学系の先生方はあまりのってくれません。ただ、今後システムと考えると、今はたぶん理工学の分野だけの話だけではなくなっていますね。

木村 システムが文理融合の促進剤になる可能性はありますね。文のほうでもシステムというのは大問題になっています。社会システムとは一体何なのか、喧々囂々の議論を社会科学でやっています。

小林 欧米あるいはアジアで文理融合あるいはシステム科学技術の取り組みがうまくいっている例はありますか。

木村 オーストリアのIIASA（国際応用システム解析研究所：International Institute for Applied Systems Analysis）は70年代の初めにできましたが、そこは文理のどちらもいます。『成長の限界』が発表された後、当時の東西冷戦下で、協力できるテーマがないかということで、国連の肝入りで作られました。人口問題やCO₂の低減にも随分力を入れています。権威があるRAINS（越境大気汚染の輸送に関するシミュレーションモデル：Regional Acidification Information and Simulation）というモデルももっていますし、一つの成功例ですね。それから、中国もシステム科学は強いのです。科学院にシステム科学研究所がありまして、とても大きい。それと、複雑系研究所のメッカと言われるサンタフェ研究所は、物理学者だけでなく経済学者や社会学者もいます。日本には、システム科学の研究所はないですね。

小林 新幹線のような成功例が出るといいですね。あんなに大きくなくてもいいと思うのですが。

木村 ほんとうにそう思います。私が今提案したいのは、救援組織のシステム化、救助体制のハイテク化ですね。今度の災害以来、日本の科学技術は国際的に評価を下げました。救助システムの普遍的なものを作って、他の国にこういうふうによればいいということを示せばと思います。

赤松 対応できるシステムを作っておけば、どれが機能するかしないかということがわかります。システム化することによって、状況が変わったときに判断ができるはず。復興のプロセスを系統的にやれるといいですね。

小林 システム科学技術とシンセシオロジーはかなり重なっていると思っています。シンセシオロジーの論文を元に議論した中で、スパイラルやフィードバックがとても重要だというのが最近の私達の認識なのです。木村先生がおっしゃったように、初めからリジットに設計するだけではなく、システムでも回していくということが大切ですね。

木村 日本はいったん計画を立ててしまうと変えられません。この欠点を補って時間的な進化を担保する必要があります。

赤松 “課題研究”がキーワードだと思います。課題と言うと与えられたものというように思いがちなのですが、そんなことはなくて、自発的に課題を捉える力があって、それをシステムとしてブレイクダウンして初めて解決できる。構成学もシナリオを作る方法論を目指しているの、ねらっているところはすごく近いと思います。

木村 システム科学技術、構成学が存在感をもつことがこれからの科学技術においては求められます。産総研におけるシンセシオロジーのウケはどうですか。

赤松 認知度はまだまだかもしれませんが、3年前からイノベーションスクールというポストドクの教育を始めて、シンセシオロジーを教材にしています。ドクターを出たばかりの若手研究者に、研究全体の流れを捉えて、どうやって研究を構築していくか、そういう観点でものを見ることが大切だという話をすると、けっこう評判がいいのです。

木村 徐々に広がりつつあるということですね。JSTの中ではシステム科学技術に対する理解はまだまで、システムって研究になっているの？こんなものはやろうと思えばだれでもきるんじゃないの、というような考えの人は多いです。ただ、第4期基本計画の中にシステム科学技術が振興分野の対象に書かれたので、何かがこれから起こってくるだろうと思いますね。

小林 科学技術のあり方も、モデルベースでアナリシスをきちんとし、シミュレーションをして、その上で貴重なお金をつぎ込むというふうにしなないとはいけませんね。システム科学技術が広まることを期待しております。

この座談会は、2011年4月22日に東京都千代田区にある（独）科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センターにおいて行われました。

略歴

木村 英紀（きむら ひでのり）

1970年東京大学大学院工学系博士課程修了、工学博士。大阪大学工学部教授、東京大学大学院工学系研究科教授、理化学研究所生物制御システム研究チームリーダー等を経て、2007年より理研BSI-トヨタ連携センター長。横断型基幹科学技術研究団体連合監事、科学技術振興機構研究開発戦略センター首席フェロー。IFAC、IEEEフェロー、IEEE CSSよりGeorge Axelby Award、IFACよりPaper Prize Award等受賞多数。2011年IFAC（国際自動制御連盟）よりGiorgio Quazzaメダル受賞。