

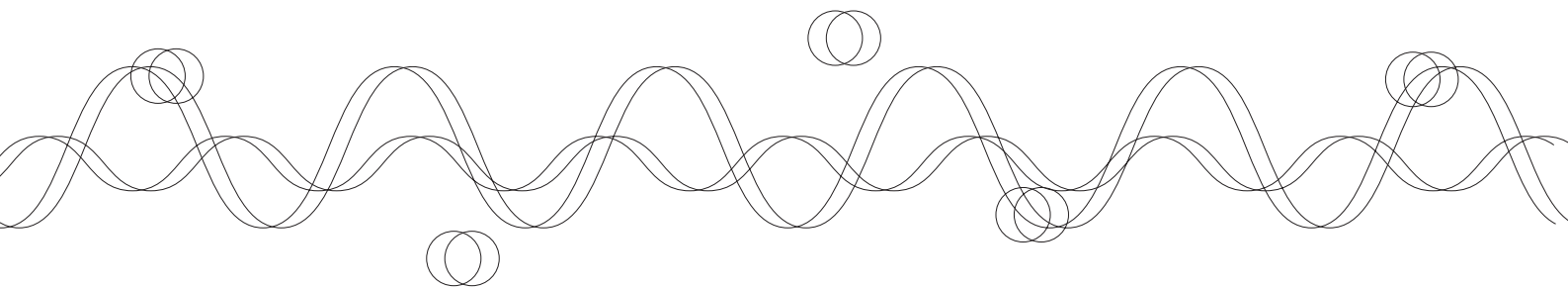
CRDS-FY2010-XR-01

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 主催

システム科学技術推進委員会記録

第1回 システム科学の展望

2010年2月24日開催



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター

Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

目 次

1. はじめに -----	1
2. 第1回委員会 概要 -----	2
2.1 第1回委員会 議事次第 -----	2
2.2 吉川センター長 講演概要 -----	3
2.3 木村上席フェロー 講演概要 -----	3
2.4 桑原特別顧問 ご講演概要 -----	4
2.5 出席委員 発言概要 -----	4
2.6 第1回委員会 参加者一覧 -----	6
2.7 システム科学技術推進委員会 委員名簿 -----	7
3. 第1回委員会 講演記録 -----	8
3.1 吉川センター長講演記録 -----	8
3.2 木村上席フェロー講演記録 -----	54
3.3 桑原特別顧問ご講演記録 -----	76
3.4 出席委員ご発言記録 -----	91

1. はじめに

独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）は、我が国において今後研究開発投資を行うべき研究領域、研究課題、及びその推進方策について提言することを目的に活動している。

現在の日本が抱える様々な問題を解決するには、細分化された科学分野の中で研究領域・課題を見出していくだけでは不十分であり、科学分野全体を俯瞰した上で、異なる分野を統合して問題解決に適用していくことが求められている。そのためには、人間・社会・人工物をシステムの視点から探求し、俯瞰的統合的な手法で課題を解決するための科学—システム科学が不可欠である。

システム科学ユニットは、このような問題意識の下に、システム科学の推進とシステム科学による効果的な分野の統合化をはかっていくこと目指し、2009年10月にCRDSに新設された。

「システム科学技術推進委員会」は、システム科学ユニットの活動の一環として開催するもので、有識者による議論を通じて下記を実施する。

- (1) 日本におけるシステム思考（システム科学）の弱さや、システム思考が弱いために生じている様々な問題の明確化
- (2) 問題を解決するための共通する理論や方法論の体系化、及び現代科学技術におけるシステム科学の位置づけの明確化

また、これらの結果を受けて、個別分野とシステム科学の協働のあり方や、システム科学の推進方策に関する政策提言の作成を目指す。

本記録は、委員会に参加する有識者の問題意識の共有化をはかることを主目的に、「システム科学の展望」というテーマの下に開催された、第1回委員会の内容を取りまとめたものである。

2. 第1回委員会 概要

2.1 第1回委員会 議事次第

日 時：2010年2月24日（水） 10：00～13：00

場 所：JST 研究開発戦略センター 2階大会議室

テーマ：システム科学の展望

プログラム

10:00～10:15

- ・ 開会挨拶 [木村上席フェロー]
- ・ 委員紹介 [事務局]
- ・ 配付資料確認 [事務局]

10:15～10:55

CRDS の活動とシステム科学 [吉川センター長]

10:55～11:25

システム科学の展望 [木村上席フェロー]

11:25～12:05

システム科学の必要性―産業界の視点から [桑原洋 日立製作所特別顧問]

12:05～13:00

- ・ 議論
- ・ 今後の予定等について [事務局]
- ・ 閉会挨拶 [木村上席フェロー]

2.2 吉川センター長 講演概要

- ◆ 2009 年 10 月に CRDS に社会的期待ユニットとシステム科学ユニットを新設した。その理由は、「わが国の要素技術は強いのに産業化につながらない、では何をすればよいか」という問題意識を込めたものである。タテワリの技術分野では解決できない統合的な役割を果たすことを目指す。
- ◆ システム科学は、実体（自然物・人工物）の分析（還元）および実体（自然物・人工物）の構成を行うことのできる方法を提供するものである。個別要素技術の“糊付け”の役割を果たすものと言える。
- ◆ システム科学は、パースによる科学の分類を踏まえると、精神技術と物質技術を結びつけるものとして位置づけられる。いわば meta-physics のようなものであり高い抽象性を持つ。
- ◆ 実世界を分割して行った結果として得られた要素は、その集合である実体を形づくる。設計学の視点では、これらが階層的に積み重なった構造によって実世界が形成されている。
- ◆ 要素を関係付けて人工物（現存しなかった機能）をつくるということは、不可逆な過程であり（組み合わせも）1 対 1 対応ではない。社会的期待に科学技術が応えるために、いま最も必要とされているのは、多数ある組み合わせから最適なものを選び出すことであり、ここにこそシステム科学（技術）の必要性がある。

2.3 木村上席フェロー 講演概要

- ◆ システム科学とは、Synthesis と Analysis を結びつける科学である。
 - ◆ システム科学は、1930 年代から 1940 年代にかけて確立された人工物に関する科学が源流である。数式を使うため自然科学に分類されてきたが、本質的には自然科学でも人文社会科学でもない新しい科学であり、人工物システムの論理解明を目指す。
 - ◆ なぜ人工物システムの論理解明が課題になるのか。システム化が、生産手段などの広域化・大規模化・複雑化に対処するための手段だからである。システム化の対象は、生産手段から消費製品へと広がった。
- コメント：人工物には社会も視野に入れ、社会をトランスフォームするという視点、意識を含めて行く必要がある（有本副センター長）

2.4 桑原特別顧問 ご講演概要

- ◆ システム技術とは何かは分かっていないが、要素技術を横串的に捉える技術が必要であることは漠然と認識されている。
- ◆ これまでのシステムエンジニアリングの事例を見ると、コンバインドサイクル（蒸気タービンとガスタービンの複合体）は日本からは生まれず、JR ダイアのシステム運用ソフトでの自律分散技術を、クラウドコンピューティングに発展できなかった。
- ◆ 目的を達しようという強力な意欲と、最適な妥協ができる知見が必要である。最適な妥協には全体が見えていることが求められる。
- ◆ システム技術とは、結局は異種技術を目的実現のために結集、統合し、そして目的を実現化する技術ではないか。
- ◆ 将来に向けて一般解を追求すると解を得るまでに何年もかかる。分析することは必要だがそれだけでは能動的なものは出てこない。産業界が切実に求めているのは、役に立つ（実用化できる）中間解を早く得ることである。これは産学連携を成功させるためにも必要なことである。

2.5 出席委員 ご発言概要

- ◆ 中間解を与えるほうが早道であるという解を与えることも、システム科学の役割である。これができないと一般解も出せないのではないか。
- ◆ 中間解を出すことと、普遍解の両方が必要なのではないか。
- ◆ 要素の関係性については、スタティックな把握だけでなく、ダイナミックスの解析や記述もキーになるだろう。
- ◆ 産業におけるシステムの課題にどう科学を提供できるかが重要な課題。
- ◆ 要素を組み立てていく際に、価値が不連続にぶれるポイントがある。それを科学的に解明したい。
- ◆ 抽象化することによって見えるものと見ないものが出てくる。（抽象化は敵か味方か）

- ◆ 人間の側から見ると、まだ選択できる要素技術が足りない。人間をよく知らなくてはならない。
- ◆ システム科学は、科学である以上、客観的な実証が可能なものである必要があるが、扱う対象が複雑すぎ、再現できない（科学的実証ができない）ものがあり、それでは論文も通らない。しかし、現実的問題に対処するには、やらざるをえない。
- ◆ 若手の研究者をまきこむためには、業績評価についても検討が必要である。
- ◆ 業績評価が論文によって行われるため、工学部でも真理探究、厳密解を出そうとしている。工学部では社会に役立つ中間解の提供を担うべきではないか。
- ◆ この委員会の議論をうけ、どういう研究システム、ファンディング制度にするかまで検討していくことが必要である。また、日本の危機のみならず、世界が変わろうとしているという動きも視野に入れなくてはならない。

(以 上)

2.6 第1回委員会 参加者一覧

氏名	所属機関	役職
講師		
桑原 洋	株式会社 日立製作所	特別顧問
委員		
岩橋 良雄	日鉄日立システムエンジニアリング(株)	代表取締役社長
丸山 宏	キヤノン(株) デジタルプラットフォーム開発本部	副本部長
赤松 幹之	(独)産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門	研究部門長
内田 健康	早稲田大学 理工学術院 電気・情報生命工学科	教授
倉橋 節也	筑波大学大学院 ビジネス科学研究科	准教授
三平 満司	東京工業大学 大学院理工学研究科 機械制御システム専攻	教授
杉原 正顯	東京大学 大学院情報理工学系研究科 数理情報学専攻	教授
津田 博史	同志社大学 理工学部 数理システム学科	教授
椿 広計	大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所・リスク解析戦略研究センター	センター長
出口 光一郎	東北大学 大学院情報科学研究科 システム情報科学専攻	教授
中村 佳正	京都大学 情報学研究科 数理工学専攻	教授
古田 一雄	東京大学 大学院工学系研究科 システム創成学専攻	教授
吉岡 真治	北海道大学大学院 情報科学研究科 コンピュータサイエンス専攻	准教授
大竹 暁	(独)宇宙航空研究開発機構	総務部長
JST内部委員		
吉川 弘之	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	センター長
有本 建男	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	副センター長
丹羽 邦彦	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー
事務局		
木村 英紀	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー
本間 弘一	(株)日立製作所 システム開発研究所	主管研究員
前田 知子	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー
武内 里香	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー
オブザーバ		
船橋 誠壽	特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合	事務局長・総務理事
植田 秀史	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	副センター長
石正 茂	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	室長

2.7 システム科学技術推進委員会 委員名簿

(2010年2月24日開催時)

氏名	所属機関	役職
産		
1 岩橋 良雄	日鉄日立システムエンジニアリング(株)	代表取締役社長
2 丸山 宏	キヤノン(株)デジタルプラットフォーム開発本部	副本部長
学		
3 赤松 幹之	(独)産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門	研究部門長
4 内田 健康	早稲田大学 理工学術院 電気・情報生命工学科	教授
5 倉橋 節也	筑波大学大学院 ビジネス科学研究科	准教授
6 三平 満司	東京工業大学 大学院理工学研究科 機械制御システム専攻	教授
7 杉原 正顯	東京大学 大学院情報理工学系研究科 数理情報学専攻	教授
8 津田 博史	同志社大学 理工学部 数理システム学科	教授
9 椿 広計	大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所・リスク解析戦略研究センター	センター長
10 出口 光一郎	東北大学 大学院情報科学研究科 システム情報科学専攻	教授
11 中村 佳正	京都大学 情報学研究科 数理工学専攻	教授
12 原山 優子	東北大学 大学院工学研究科 技術社会システム専攻	教授
13 古田 一雄	東京大学 大学院工学系研究科 システム創成学専攻	教授
14 安岡 善文	国立環境研究所	理事
15 吉岡 真治	北海道大学大学院 情報科学研究科 コンピュータサイエンス専攻	准教授
官		
16 大竹 暁	(独)宇宙航空研究開発機構	総務部長
17 市原 健介	(独)日本貿易振興機構	産業技術部長
JST関係者		
18 吉川 弘之	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	センター長
19 有本 建男	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	副センター長
20 黒田 昌裕	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー
21 丹羽 邦彦	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー
事務局		
22 木村 英紀	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー
23 本間 弘一	(株)日立製作所 システム開発研究所	主管研究員
24 前田 知子	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー
25 武内 里香	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー

3. 第1回委員会 講演記録

3.1 吉川センター長講演記録

システム科学の研究課題

吉川弘之

CRDS

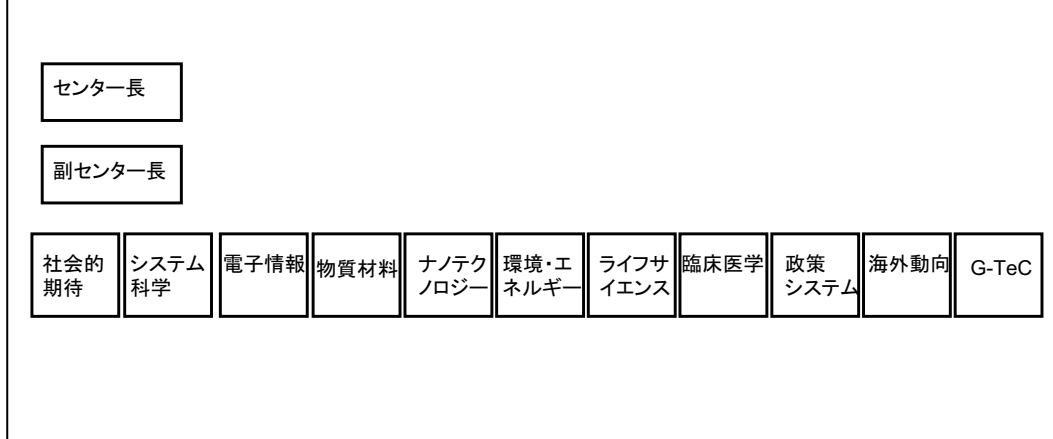
2010. Feb. 24

私はシステム科学の専門ではないので、特に基調講演的なことはできませんが、木村先生からこういう会を開くので、システム科学に対するいろんな思いを自由に話してくれということで、それなら話そうと思ったんですね。そこでちょっと考えたことというか、昔のことを思い出しながら、システム科学というのは一体どういうものなのかと、特にこのセンターのやっていることの紹介を含めながらお話ししたい。システム科学というのをつくらなければいけないと言い出したのは私なものですから、そういうことをお話してみたいと思います。

CRDS 組織 ～2009.3



CRDS 組織 2009.4 ～



CRDS、研究開発戦略センターというのは、ご存じのように、どういう研究課題が現在の日本で緊急なものとして取り上げられなければならないかを、科学技術のあらゆる分野で検討し提案するところです。そのための組織として、現在このようになっています。

ユニットには、責任者であるユニット長、上席フェローの方がそれぞれついていて、そこに何人かのフェローの人がいて、そこで各分野における研究状況というのを、まず我が国を主体に調べ、同時に世界的な状況も調べて、次にどういうふうな研究をしなけ

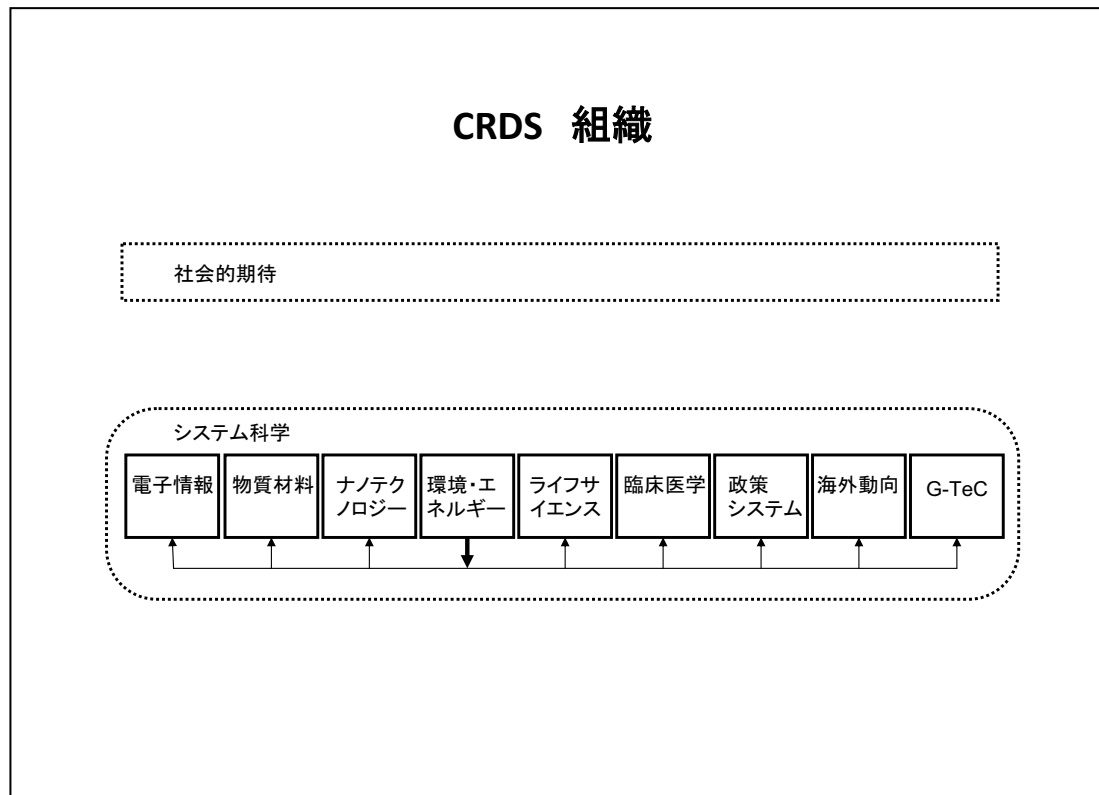
ればいけないのかというようなことを検討していきます。

その分野は、電子情報、これを見るとすぐ気がつくんですけども、総合科学技術会議あるいは科学技術基本計画等で決められた分野に対応しているんですね。電子情報、この2つが材料、ナノテクノロジーであり、環境であり、ライフサイエンスであると。こちらは特にそういった研究計画というのをつくる上で必要な現在の政策の問題とか海外動向とか、このG-Tecというのは国際比較ですね、これは前からやっている仕事がありまして、国際比較という。こういったものに分かれているわけです。

私は去年の4月からここへ来ました。この分類はきちんとしているのですが、我が国における科学技術の問題点というの、よく指摘されています。基礎研究は、特に科学技術基本計画、1996年に始まった国を挙げての基礎研究についてはかなり実績を高めてきて、研究成果が出てきたと。しかしながら、それが産業に結びつかない。あるいは、一方で、それと関係あるんでしょうか、要素技術は非常に優れている、あるいは生産技術は優れているんだけど、それが製品にまで高まって利益を上げる部分は外国にとられてしまうということがしばしば言われている。

それは一体何が理由なのかということを鋭く指摘されたのがここにおられる木村先生で、私はそれに共鳴したわけですね。何をすればいいのかというのは、それがこれからの課題なんですけれども、それをシステム科学というものに込めてみようかということなんです。実は今言ったようなことで、2つの新しいユニットをつくろうという提案を私どもはしたんです。1つは、社会的期待というもの、もう1つはシステム科学、この2つです。

きょうの話題はもちろんこちら（システム科学）ですけども、ついでにこういうことも申し上げておきたいです。科学研究が社会にどういうふうに進透していくかという、このプロセスは、現象的に見ると新しい発見、新しい原則がわかった、これを産業に使えるぞということで新しい産業を興す—こういうふうに見えるんだけど、実はより潜在的には、現代社会というのは、人類にとってやらなければならないこと、あるいは、地球にとってやらなければならないことがあって、それに向かって科学の基礎研究というのは向かうべきなのではないかということです。こういう2つのベクトルが当然あるわけです。



しかしながら、一体何が必要なのかということは、表層的に言うのは楽なんですね、例えば健康がほしいとか、快適な生活がほしいとか、あるいは、途上国との生活格差を縮めたいとか、そういったことはいっぱい見えているんですけども、そういったものをただ羅列するだけでは、それに対してどういう科学研究をすればいいのかということとは簡単には出てこない。そういうことで、1つの新しいコンセプトというか、よりシステムティックに考えるべき対象として、社会的期待（ソーシャル・ウィッシュ）という概念を一つきちんとつくるべきだと思うのです。

そういったものをまずやって、これは一体何なのかと。この社会的概念は幾つも水準があって、例えば我が国の高齢化、これはもう避けられないわけですから、高齢化、少子化という問題に対してどう対応するか。これを社会的期待というのはちょっと語弊がありますけれども、ある種の社会的な期待ですよね、これは動かすことができない社会的期待。それから、健康になりたいとか、豊かになりたいというのは、現代、現代人が持っている顕在的な期待。もう1つは、まだ見えない社会的期待というのがあるはずなんですね。例えば、気候温暖化というのが今非常に大きな問題になっていて、二酸化炭素の排出量を減らそうというのが世界中の合意になっています。これは期待といってもいいもので、そういった問題は科学者が発見するんですね。1950年間から気候変動に関する、特に温暖化ガスと気候変動に関する研究というのが進んできて、それによってい

ろんな温度変化が起こる、海流の変化が起こる、植生が変わる、そういったようなことがどんどん警告として発せられてくる。それをやろうやろうということになる。ですから、これは科学者が発見する社会的期待なんですね。これはだれがやるのかと。これは非常に難しい問題なんですけど、こういうのは研究して見いだすものではないだろうかと。特に持続性社会の問題は非常に大きくて、人類がまだ気がついていない、表層的に持っている期待だけではない、潜在的な期待というものを発見するという仕事が非常に大きいのではないかと。こういうことで社会的期待というのを出したんですね。

恐らくここには非常に多くの人文社会科学者の参入が期待されるわけで、人文社会科学と自然科学、工学、理工学というのが何とかして協力しなければいけないと言うんですけども、なかなかそれができない。その理由は、目的がはっきりしていないからで、一緒にやったら何が起こるのかということがわからないからなんですね。私どもは、むしろこういう問題設定をして、その下にいろんな協力体制をつくるというようなことも議論しております。こういう社会的期待というのを1つユニットとしてつくろうと。ですけれども、これはほかのユニットとは違うわけですね。これは後で述べます。

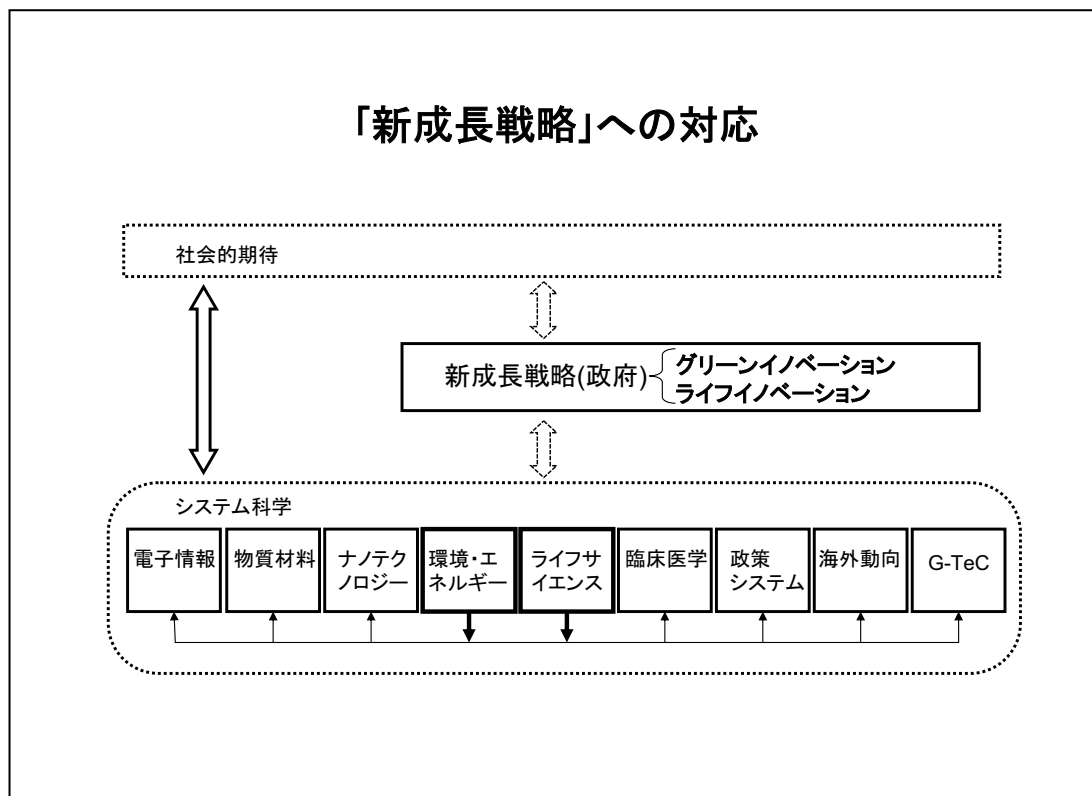
同じくシステム科学というのをつくって、このシステム科学というのは、非常にわかりにくい話なんですけれども、きょうは思い出話みたいのをするんですが、この話がある。これが非常に大事なことは間違いありません。それは昔から言われていたように、各ユニットがある意味で研究課題をつくっていくうちにどうしても縦割りになるんですね。縦割りになるということと、さっき申し上げた日本の産業はなかなか利益に結びつかないとか、あるいは、基礎研究が利益を生むような産業になかなかならないというようなことと、縦割りというのは非常に深い関係があるわけです。実際の社会に利益を生むものというのは、こういう分野個別ではないわけですね。ある意味では非常に統合された形でしか出てこない。そういった意味ではこういうことが必要なことは間違いないので、とにかくつくろうということでもあります。

しかしながら、システム科学とか社会的期待というのは、ユニットにただ横並びにしたのでは縦割りをふやすだけなので、それはまずいだろうと。社会的期待というのは全体と非常に深い関係がある。これは当然ですね。ですから、これはこれで研究するんですけども、この各研究課の、こちらをイネープリングというか、何かできることを提案するところだとすれば、こういったものに対してすべて関係してくる、横型ではないかということなんですね。

それから、もう1つ、特に最近になって環境エネルギー、よく見ると環境エネルギーだけ学問分野ではないわけですね。少なくとも伝統的な学問ではないということで。これまたみんな関係があるということで、これはちょっと付随的な話ですけども、こういう議論もしたわけです。各ユニットには環境エネルギー関係のリエゾンをつくって連絡を取り合おうと。そういうふうにしてなるべく横型にもっていこうという努力を始め

たわけです。その場合に一番大事なのは、システム科学というのは全体をカバーするものですから、全体をカバーするといっても全体をやるのではないので、システム科学の固有の仕事というのは一体何なのかということになるわけですね。

そこに最近になって、ご存じの「新成長戦略」というものが入ってきた。これは政府がはっきりと社会的期待が先導する科学技術研究という概念を明快に打ち出したわけですね。これは実は日本だけではなくて世界的傾向で、ご存じのようにEUの第7次フレームワーク計画というのは、第6次のところからそういうことが言われていて、第7次においてはかなり明快に社会的期待、目標として科学技術をどういうふうに使っていくかという話が述べられております。特に最近アメリカでもこういうことが非常に言われていて、社会的な目標を設定した上で科学研究をやることが大事だと言われ始めたわけです。

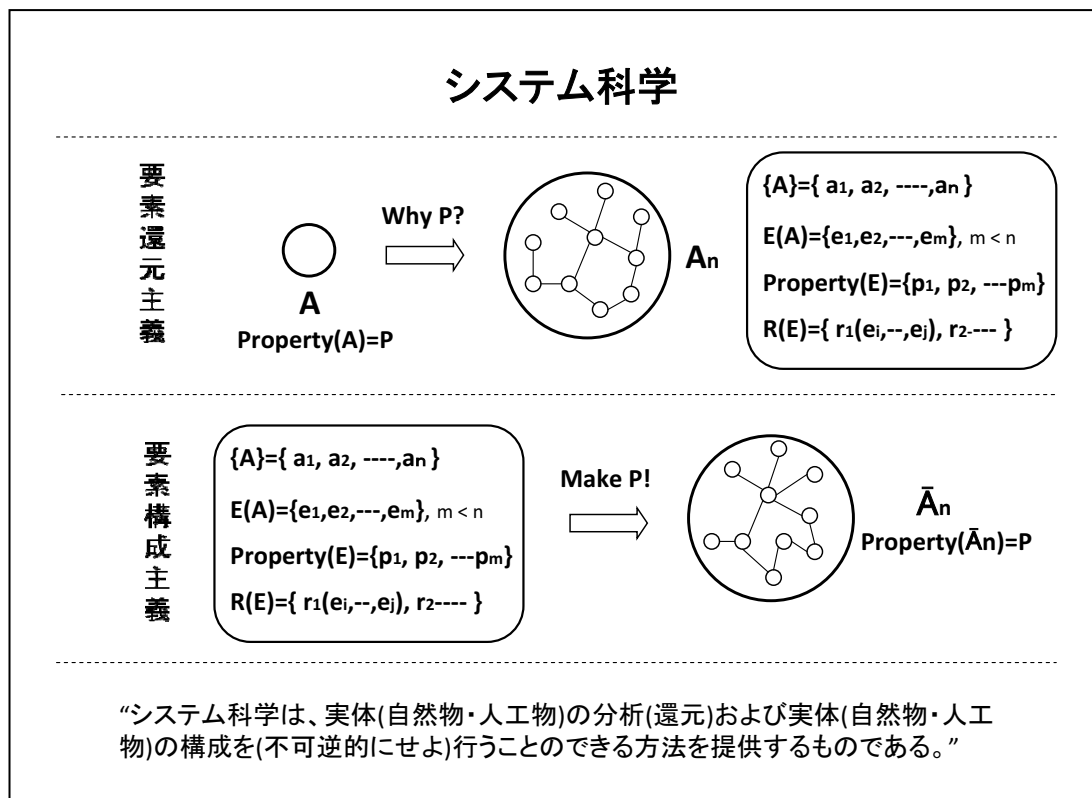


我々はそれに先駆けてこういうことをやっていたわけですが、特に我が国の政府が出した「新成長戦略」は2つの大きな話題が述べられていて、グリーンイノベーションとライフイノベーションだと言っているんですね。このことはいわば地球環境の持続性ということと、産業が利益を上げるということを重ねることなんだというわけで、こういった科学技術の新しい知見をどうやって産業に結びつけながら、同時に持続性、つまり温暖化防止、人間の健康維持、そういった問題に集約されるのではないかと。したがって、これは一種の社会的期待であって、すべての研究ユニットがここに結びついてこななければいけないと、こういう関係ができるわけです。

先ほども言ったようにここは既についているわけで、社会的期待の研究というものが細かくなればなるほど、どういう技術が必要かということがわかってくる。こちらは研究を調査し、その関係を調べれば調べるほど何ができるというのがわかってくる。その両者がここで、私どもはこれを「邂逅（エンカウンター）」と書いているんですが、両方のものが出会って、そこで1つの社会的期待にこたえる科学技術研究課題が出てくるんだと、この仕組みにしているわけですね。ちょうどここに社会的期待の1つとしてこれが入ってきたわけですから、非常に具体的な課題としてこういう問題が起こってきた。これがきょうの話の前提で、システム科学というのは全体を統合するということであります。

さっきの図とちょっと変わったのは、さっきは環境エネルギーがこうなっていたんで

すけれども、ライフイノベーションが入ってきたものですから、ライフサイエンスが中心になって、また1つのリエゾンをつくるというようなことをこれから提案しようかなと思っているんですけれども。こういった形で縦割り型の研究、研究そのものは縦割りにならざるを得ないわけですね、専門性からいって。しかしながら、それがイノベーションというものを通じて社会的期待にこたえていくというプロセスにおいては、この各ユニット、専門性のある研究がどういうふうに協力するのかということもあわせてCRDSでは考えていかなければいけないと、こういうふうなシナリオになっているわけです。



それで、システム科学というのは一体何なんだろう。これはむしろきょう皆様に伺いたいんですけども、こういうことなのかなと思います。要するに、システム科学は自然のものとか人工物の分析、これは還元ですね、分析をするものだ。同時にその実態を構成すると。できればこれは可逆的、実はこのシステムは可逆的ではないんですけども、そういったものなのかなという気がするんですね。要素還元主義というのがあって、これは物があって、ある性質を持っているとすると、なぜこういう性質があるのかというのを知るために、それを要素に分けて「どういう要素に分けられるか。各要素はどういうつながりを持つか」ということを調べます。各要素はどういうつながりが可能性としてあり得るか。そして、各つながりにはどういう性質があるか。それから、つながりの関係、こういったような幾つかの関係によってこれをわかったと考える。

その要素が標準的なものであれば、標準的なものから全体の機能が出てくるという仕組みがわかる。こういう構造主義的なものが要素還元主義なんでしょうが、要素構成主義というのは何かというと、これがわかっていたときに、それから性質Pというものをつくらうということなんですね。それはできると。どういうふうにできるかは問題ですが。できたものは多分同じPでも違うわけですね。というのは、我々の目的とする、性質というのはこの構造でしか実現できないという保証はないということです。私は昔からこの多様性に非常に興味があるんだけど、構造が違って同じ性質を出すということですよ。

例えば、よく出す例が、ペーパーウェイトで文鎮がほしいと思えば、それは何でもいいわけですね、コップでもいいし、本当の文鎮でもいいし。そういう意味では、我々の日常的に考える性質というのは、1つの性質の中に非常に多様な構造と要素を持っているということ言えば、この関係というのは可逆的ではない。すなわち1対1対応ではないということだけれども、反可逆的というんですかね。要素が分割し、要素還元ができるということは、要素構成もできるんだというような構造を持ったとき、私どもはそれをシステム科学と呼んでいいのか。

科学というのはこっちをやっているんですよね、普通の科学というのはこちらをやっているわけですから。こちらはこちらでまた別に設計とか着想とか、そういうことでやっているわけですね。それを結びつけるというのがシステム科学なのかと。やや言い過ぎなんですけれども、まずそう考えてみます。

システム科学の定義(未成熟)

現実存在を要素が作る構造として表現することと、要素を構造化して現実存在を作ることとが、いずれにも共通の要素と構造化規則を用いて行える方法をシステム的方法という。作られた現実存在は人工物である。システム的方法によって表現されたものをシステムという。システム的方法は以下のような性質を持つものとする。

1. 要素は有限個の種類からなる。要素間の関係の種類も有限とする。
2. 要素と関係は構造規則に従って構造体を作る。要素、関係、構造規則をシステムの記号系と呼ぶ
3. 各種類の要素および要素間関係は、種類ごとに定められたラベルが付けられる。
4. 現実存在を要素が作る構造として表現した時、その表現上にラベルを与えることによって、その現実存在固有の属性、機能、意味、価値などを論じることができなければならない。

ある性質を持つ人工物の集合は、その性質に対応する固有の記号系を持つ。しかし、すべての性質に通用する記号系があるとした時、そのような系の一般的性質についての知識をシステム科学と呼ぶ。

そうすると、システム科学の定義、これが一番苦しくて、未成熟とみずから反省しておりますけれども、要素は有限個の種類からなる、というのがシステムの出発点です。

これは一例だとお考えいただきたいんですが、こんなことで定義ができるんだろうか。伝統的にこういう定義はいっぱいあったと思うんですが、今言ったように分析と構成ですね、アナリシスとシンセシスというものが可逆的に行えるような方法論が究極のシステム科学なんだとすれば、こういうようなことになるのかな。要素は有限個の種類からなる。要素間の関係の種類も有限であると。要素と関係は構造規則に従って構造体をつくる。要素、関係、構造規則をシステムの記号系と呼ぶ。

これが有限だったら、各種類の要素及び要素間関係は、種類ごとに定められたラベルがつけられる、ここがちょっと曲者なんですがね、どんなラベルでもいいんだと。現実存在を要素がつくる構造として表現したとき、その表現上にラベルを与えることによって、現実存在固有の属性、機能、意味、価値などを論じることができる。これで初めて実用になるんですね、

ある性質を持つ人工物の集合は、その性質に対応する固有の記号系を持つと考えます。こういう性質を持ってほしいということですね。しかし、すべての性質に通用性があるとしたとき、そのような系の一般的性質について論じる知識をシステム科学と呼ぼうと。ですから、システムというものがあって、システム的方法があって、そのシステム的方法の体系がシステム科学だと。こういったことに1つのシステム科学を研究する大きな問題が存在している。中身はこれからいろんなことが出てきます。

Latent appropriateness of models (HY, 1987)

		U1	U2	U3	U4	U5
Traditional Methods	Natural language	4	1	1	0	0
	Drawing	0	0	4	0	0
Mathematical/ logical methods	Linear graph	0	0	3	0	0
	Labeled L.G.	3	1	3	1	1
	Automaton	1	4	1	4	4
	Predicate logics	3	4	1	4	4
	Production Rules	3	4	1	4	4
Information-processing methods	Geometrical models	0	0	4	4	0
	Relational database	2	4	2	4	2
	Frame	3	1	3	1	3

U1: Description of requirements(functions)

U2: Systematic operation of function

U3: Description of solution(attributes)

U4: Systematic operation of attributes

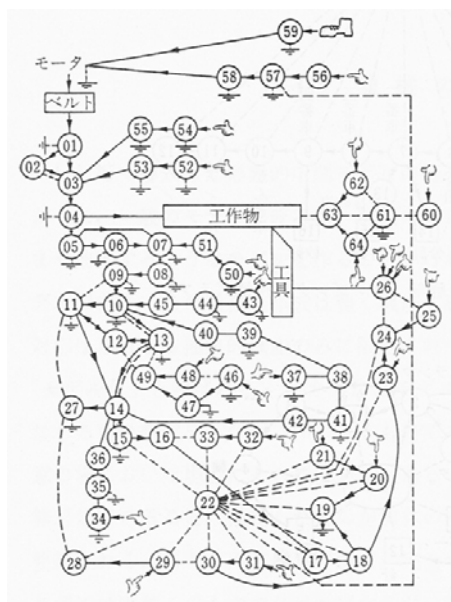
U5: Mapping between function and attributes

Scores: 4(good), 3(usable), 2(possible), 1(poor), 0(impossible)

これは大昔の話ですね。皆さんが生まれていたのかな、生まれてはいましたね(笑)。非常に昔の話なんですけれども、こういうことをやってみたんですね。我々はある対象、これをシステムと呼んでおりますが、対象を表現するのにいろんな方法があると。今はもっと新しい方法がいっぱいある、特にコンピュータによっていっぱい生まれたんですけれども、当時のコンピュータ技術というのは非常に低かったわけで、要するに自然言語ですね、これは機械の話ですから、自然言語とか図面、それから、線形グラフ、ラベルをつけたリニアグラフとか、オートマトンとか、それから、こういう論理系とか、あるいは、コンピュータの中で当時やられていた基幹モデルとかいったもの。こういったいろんな対象を表現することはたくさんあるわけですね。

それはどういう利点を持っているのか。要するに、今、アナリシスとシンセシスというのをやっていますから、さっきのプロパティPというものを表現できるということと、構造を表現できる、この両方ですね。そうしたときに、PかAか、Aそのもの、存在そのものかということで分けてみると、Pを表現できるというのがU1になっているわけです。これは何といても自然言語なんですね。自然言語が一番上手に表現できる。どういう機能を持っているのか、どういう性質を持っているのかというのは、自然言語であればほとんど上手に表現できます。例えば図面というのは表現できない。こういったようにそれぞれにいろんな特徴があるんですね。見ると、どうやらグラフというのは構造表現は得意である。ラベルをつけることによって何とかPを表現できると。

工作機械(旋盤)の固定複合体接続グラフ



全体:8本のパス(動力、信号)

切削機能:3本のパス

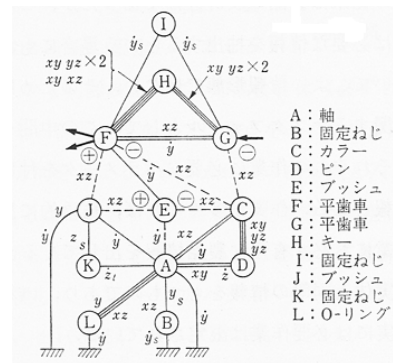
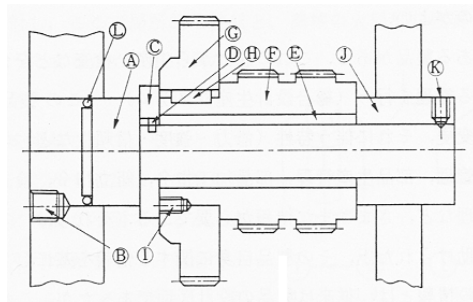
設定機能:5本のパス

(吉川弘之、信頼性工学、コロナ社、1979)

これはまた非常に古い話で、さっきのよりもっと古いんですけども、こういうようなのをかいたりしたわけです。これは工作機械の固定複合体接続グラフという、自分でも最近使わない言葉なんですけれどもね。これは、1つのノードというのは機械が固まっているわけですね。部品群が固まってお互いに動かない、そういうのを考えてみると、相互に動く部分というのはこんなにたくさんあって、動かせるというかな、動かない部分もあるんですけども、動かせるような部分がこれだけあって、それが相互に関係しています。

そのときに、少なくともこれだけかいただけで、動力とか信号が伝わるパスというのが可視的になってくるわけですね。これは機械の図面を見ているよりはるかにシステムの表現をしているということで、これで私は信頼性を論じたわけで、8本のパスが実際に切れれば故障だということなんです。あるいは、それが劣化すれば、そこに雑音が入ってくれば性能が落ちると、こういうような議論をするためのある意味では役に立つものと思っていました。

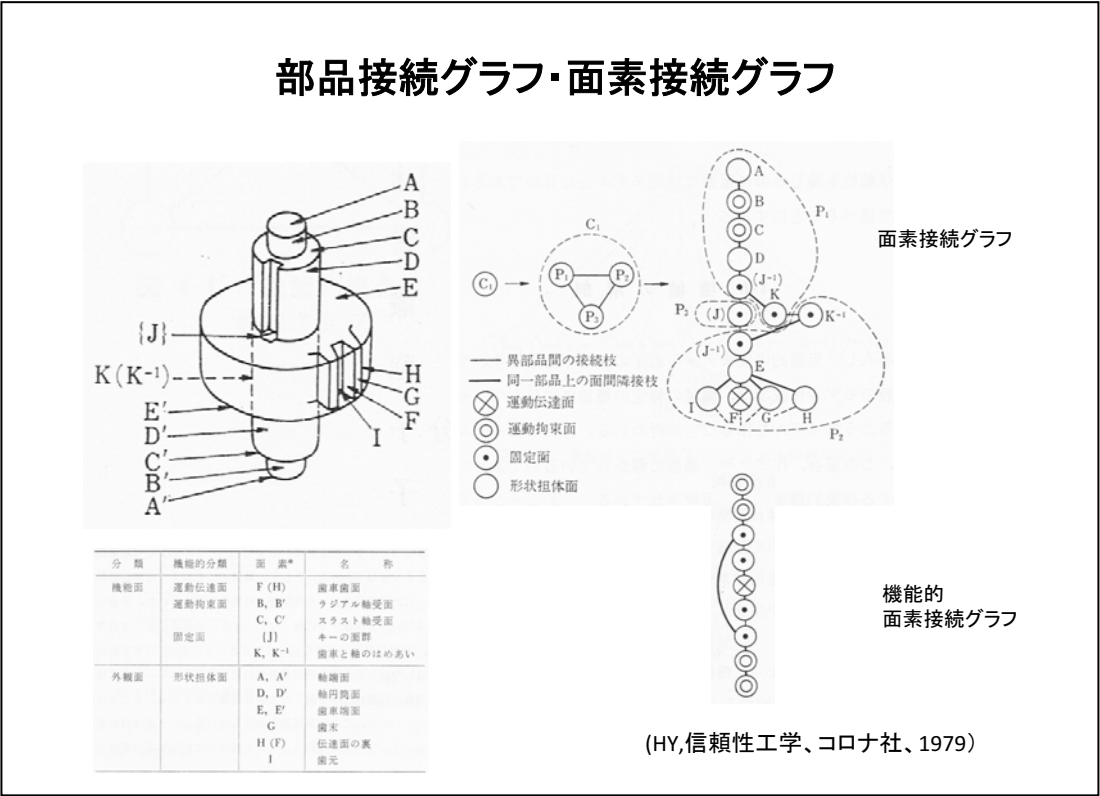
固定複合体(工作機械の一部)の部品接続グラフ



(HY,信頼性工学、コロナ社、1979)

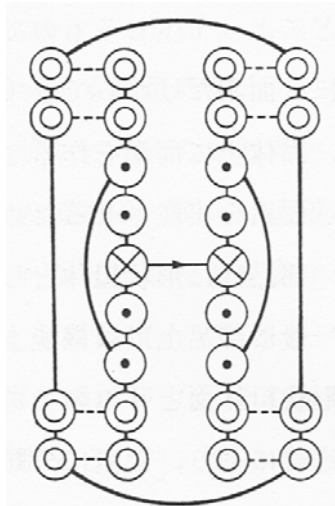
工作機械ですから、ここに削られるものがあるって、ここに削るものがあるって、それから動力がどこかにあるんですね、あ、ここですね、動力がここにあるって。この動力がこちらに伝わってきて、ここにはフィードバックの制御がいっぱい入っているんですけども、いわゆる制御系の表現とは違う。物の存在において絵をかいたということです。制御系というのは非常に立派なものであり、制御のご専門の方がいっぱいいらっしゃいます。制御も非常に立派な表現なんだけれども、例えばさっきのAですね、存在物に対する対応というのは、制御では消しているわけで、それはPをうまく表現する手段ですよ。ですから、そういった意味の一種の中間的な存在としてこういうものも要るのではなかろうか。

例えば、これは固定されているんですね。固定されたものを固定複合体と言っているんですけども、固定されたものを、今度は部品がどういうふうにつくっているかという、こういうふうになるんですね。これはお互いにどちら方向の固定をしているのか。回転を止めているとか、XY平面で力を受けているとか、そういう記号をかくと、これまたどこかが壊れればどういうふうな壊れ方をするというのが見えるとか、そういうことがわかる。あるいは、物をつくるときは、どこにどういう制度をはめ込めばいいかというような議論が、ここではできるわけですね。ですから、設計し、製造し、信頼性を評価するというのが、こういうものである程度表現できる。そういうところにシステム科学の目標というのがあるのかなという気がします。



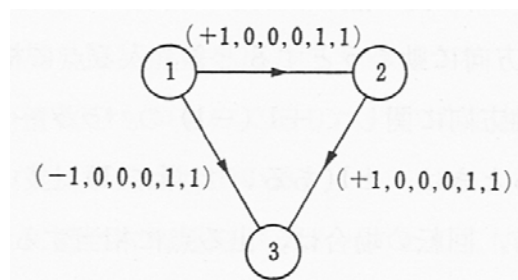
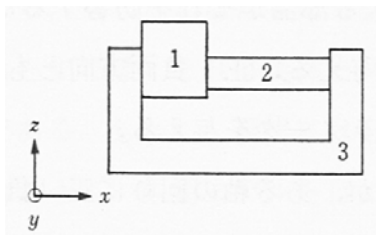
これは同じような図ですけれども、今度はこういう塊をこういうふうに面素でかいたわけですね。いろんな面素を持っている。これが全体の部品で、これは固定複合体ですよ、こういう固まったもので。その固まったものは3つの部品からできているんですね、軸とキーと歯車と。こういう形がある。それから、面素がこれだけある。こうかいていくと、これで議論したいこと、これで議論したいこと、これで議論したいことというのがいわば自由にできて、ある意味ではフレキシブルな表現形態になっているのかなということです。

歯車箱の機能的要素接続グラフ



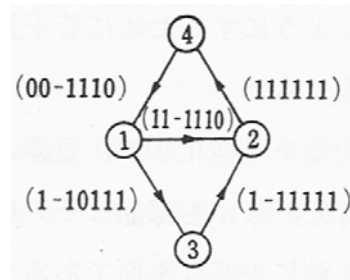
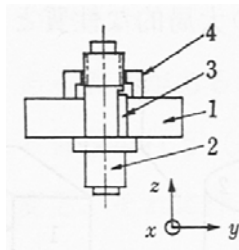
(HY,信頼性工学、コロナ社、1979)

部品接続グラフにおける固定関係



(HY,信頼性工学、コロナ社、1979)

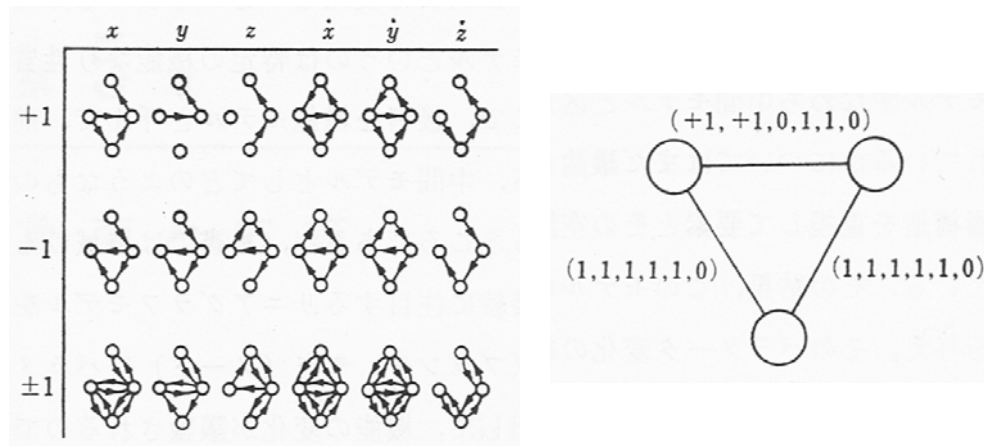
部品接続グラフにおける固定関係



(HY,信頼性工学、コロナ社、1979)

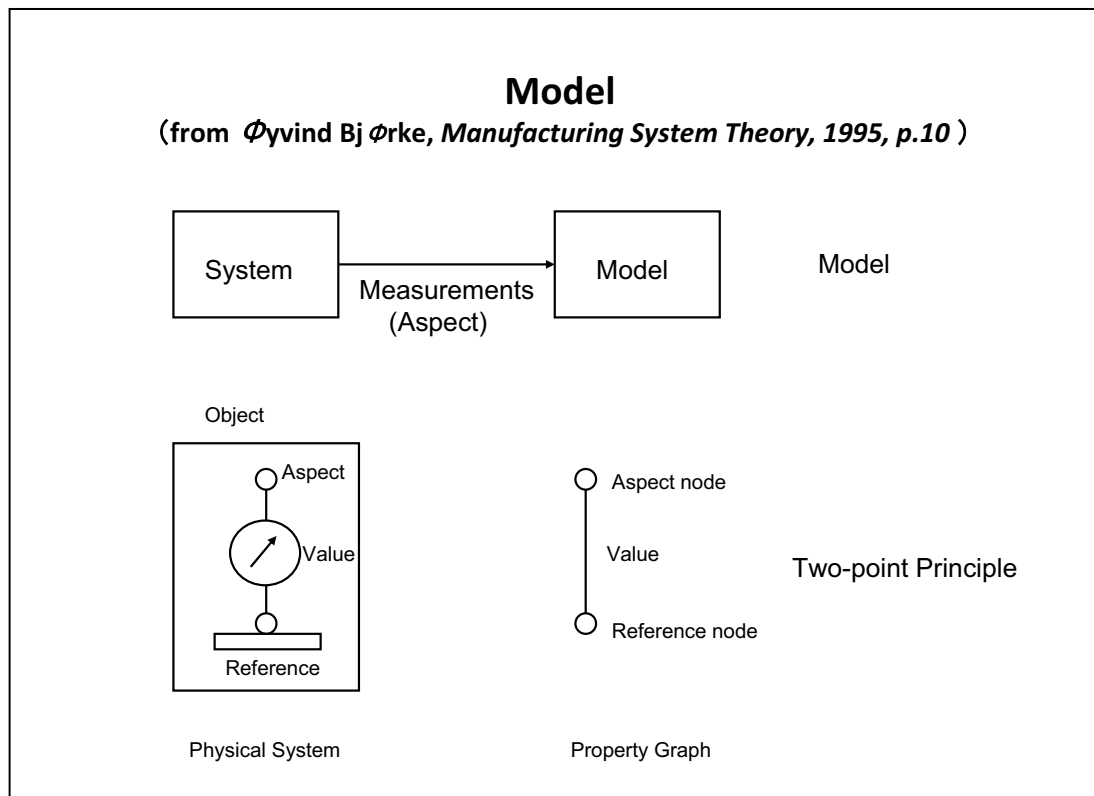
固定関係というのは、こういうラベルをつければ、この構造はどういう固定関係をしているのかがわかる。

複合体接続グラフにおける有効ループ群 (歯車列)



(HY,信頼性工学、コロナ社、1979)

これを見るとループが抜けているところがあるんですね。これはループは抜けていませんけれども。これは矢印がこっちですから、ループが存在しているんですね。ですから、こちら方向にはループは存在していますけれども、ほかは全部ループがない。ということは、これがぐずぐずだということですね、こっち方向では。そういうこともすべてわかるとか。そういったことがわかる。これは機械に限っているわけですが、機械という扱いにくいものもこうやれば扱えるのかなということですね。これは固定関係。こういういろんなラベルのつけ方によっていろんな性質がわかるということです。

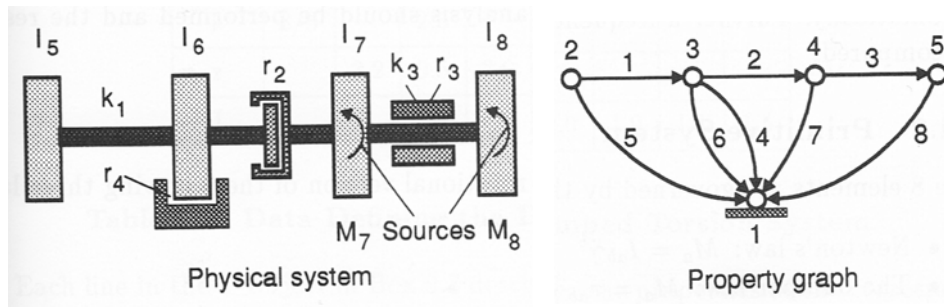


これはオイゲン・ビルケという私と同年のノルウェー人です。これまた古い話なんですけど、ノルウェーに私が1976年、77年に滞在していた時に一緒に研究した人なんですけれども、彼が非常に苦しんでようやく95年になって本を書いた。その本がありますけれども、彼は、今、私が言ったようなラベルというものに1つの体系的なものを与えるということで、物理的なシステムがあると、それはあるアスペクトで、アスペクトを指定するとそこに値が出てくると、これを一般系にするんですね。

そうしておいて、そのアスペクトとバリューをこういうふうなグラフであらわす。これを「プロパティグラフ」と彼は呼んだ。

Physical System and Property Graph

(from Øyvind Bjørke, *Manufacturing System Theory*, 1995, p.319)

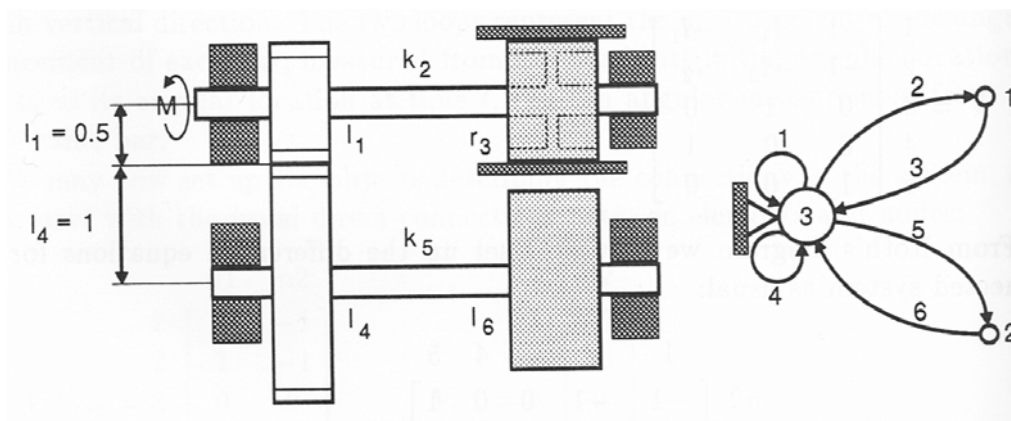


そうすると、これも機械的な構造ですね、こういう機械的な構造にプロパティグラフというのをかけて、このプロパティグラフというのによって、彼らはやはりこれも似たようなことを言うんですか、性能評価と製造方法と部品の公差、そういったものが全部この上で議論できるということです。もちろん強度計算もできる。そういう基本系としてこういうものを準備しようということをやったわけです。

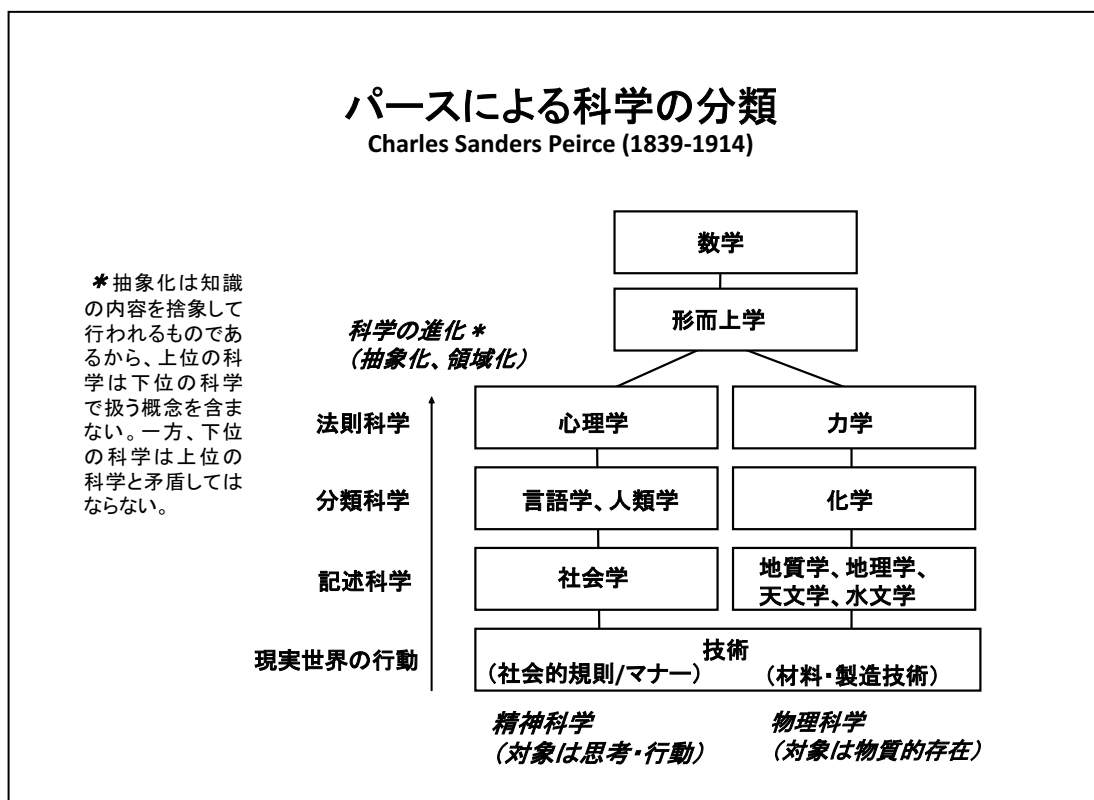
これは一種のシステム表現なのかという気がするんですね。

Dynamic System with Dual Transformer Connections

(from Øyvind Bjørke, *Manufacturing System Theory*, 1995, p.332)

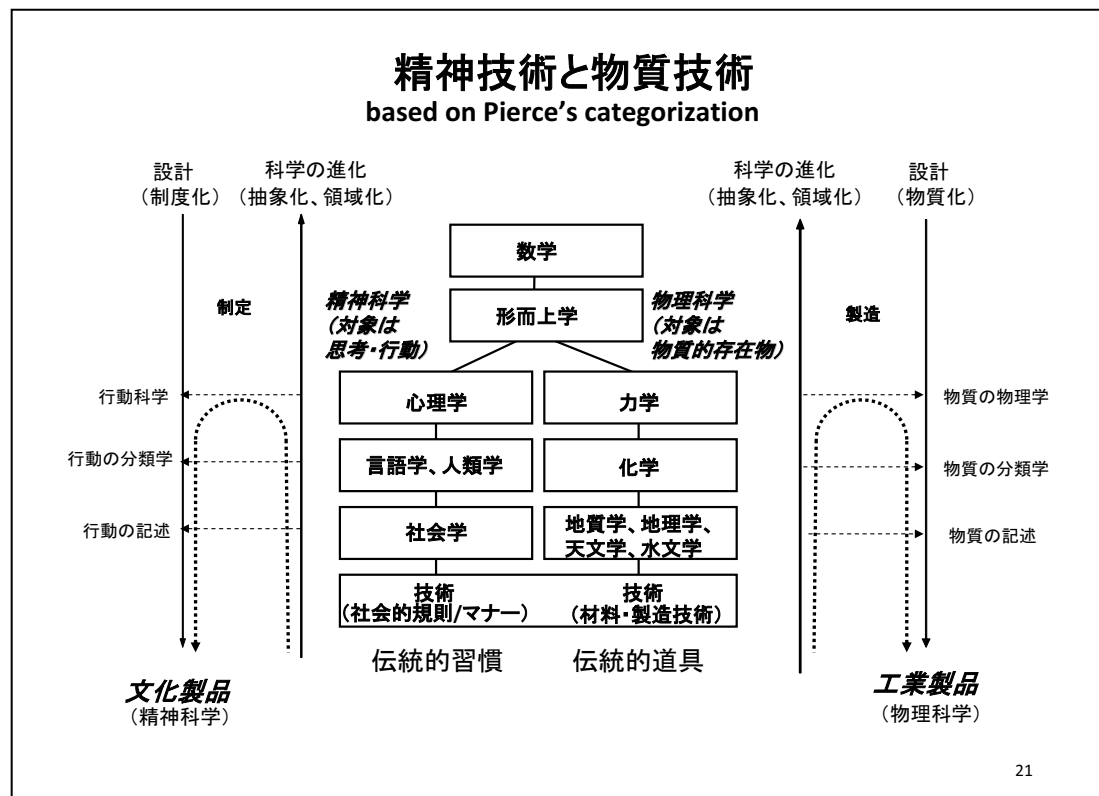


こんなやや複雑なものでもできる。



さて、そこで、今のようなことを大昔にやったんですが、システム科学というのがもしあるとすれば、それは学問の中でどういう位置づけになるのか。

これは、チャールズ・サンダース・パースという、もともと物理学だったけれども、科学哲学に走ったアメリカ人で、19世紀の終わりを生きた人なんですが、彼は学問の分類とか学問の進化ということに非常に興味を持っていて、何ページかを割いて彼の講義録みたいところに、この図はもちろんないんですけども、こういうことが書いてあります。まず、現実的な世界の行動があると。これは学問とかかわりなくある。一般に我々はそれを技術と呼ぶ。技術は2種類あって、ものを扱う技術と、マナーも技術だというんですね。これが一体化している。



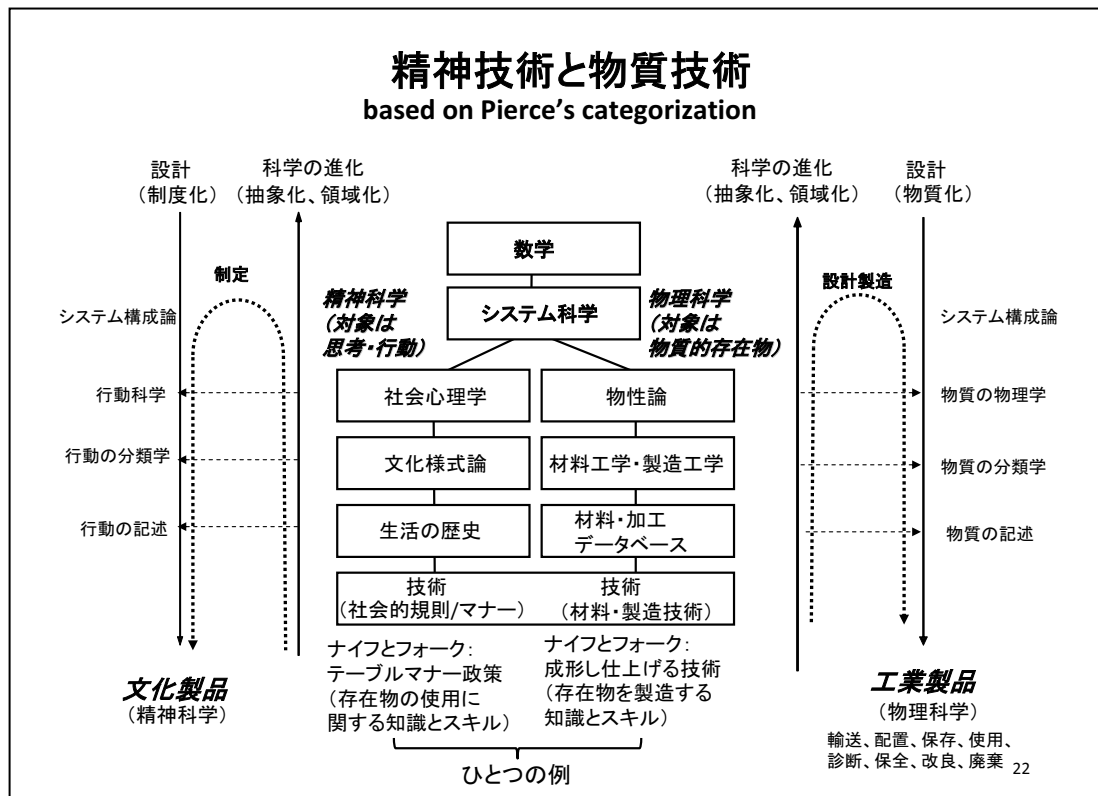
21

しかしながら、人間はこれを一体化して技術としていただけでは満足せずに2つの科学をつくってきた。1つは物理科学のフィジカルサイエンス、1つは精神科学、サイティカルサイエンス。これは余談ですけれども、私もサイティカルサイエンスというのを盛んに使っているんですけれども、あるアメリカ人に言わせると、サイティカルというのはウォンテッドと同じ意味だというんですね。だから使うのをやめろと言われているんだけれども、アメリカ人が使った言葉ですから、私は使っているんですが。いずれにしても、これは何と言っていいかわかりません、メンタルサイエンスというのも何か嫌なので、サイティカルという中立的な言葉を使いたいんですが、サイティカルサイエンスとフィジカルサイエンス。

サイティカルサイエンスのほうが、彼は社会学、言語学、心理学と、次第に学問の構造化を高めていくと言っています。社会学というのは記述科学だというんですね、あの社会はこうなっているとか。ご存じのように、『社会学』という立派なロバート・マートンの本を見ても、彼はアメリカの海兵隊の中の社会構造とか、そういうところを議論する。それはみんな記述的なんですね。そういう社会学というものがある。それに対してはっきり分類というものを明快にしたものがある、それは言語学、人類学だと。さらにそこにある種の法則が存在すると考えると心理学になってきますね。

こちらは我々の専門ではないんですけれども、こちらだけ考えると非常にわかりやすい。いわば地質学とか地理学とか、伝統的な天文学とか水紋学というのは一応記述学で、

現実に存在するものをそのまま記述しているわけですね。それに対して、彼は化学、ケミストリーは分類科学だと言っている。現在、科学というのはより法則科学に近くなっていますけれども、彼はそう思ったんでしょうね。科学というのは分類だと、物質を分類したんだ、元素を分類したんだと。それに対して力学というのは、現実性をみんな排除して、そのかわり力学という1つの体系、法則をつくったと。ある意味ではそうですね。彼は科学の進歩はこちらを向いていると、すなわち抽象化だと、こう言ったんですね。その上に、ここから先は彼はあまり議論していないんだけど、形而上学があり数学があると言ったわけです。



さて、これにもう少しこだわってみる。これがさっきの一番問題のシステム科学の使命である分析だけではなくてシンセシスする。構成もするということを考えたときには、この科学はどういう関係にあるのかということですね。構成をするということは、こういった学問的な、あるいは、法則的な知識を基にして現実の技術をつくるということですから、こっちからこっちへ戻ってくる話ですよ。いわば設計とか、こちらはサイティカル、精神科学で言えば制度化であり、物理科学で言えば物質科学ですからね。こういったものをこういうふうに考えるわけです。

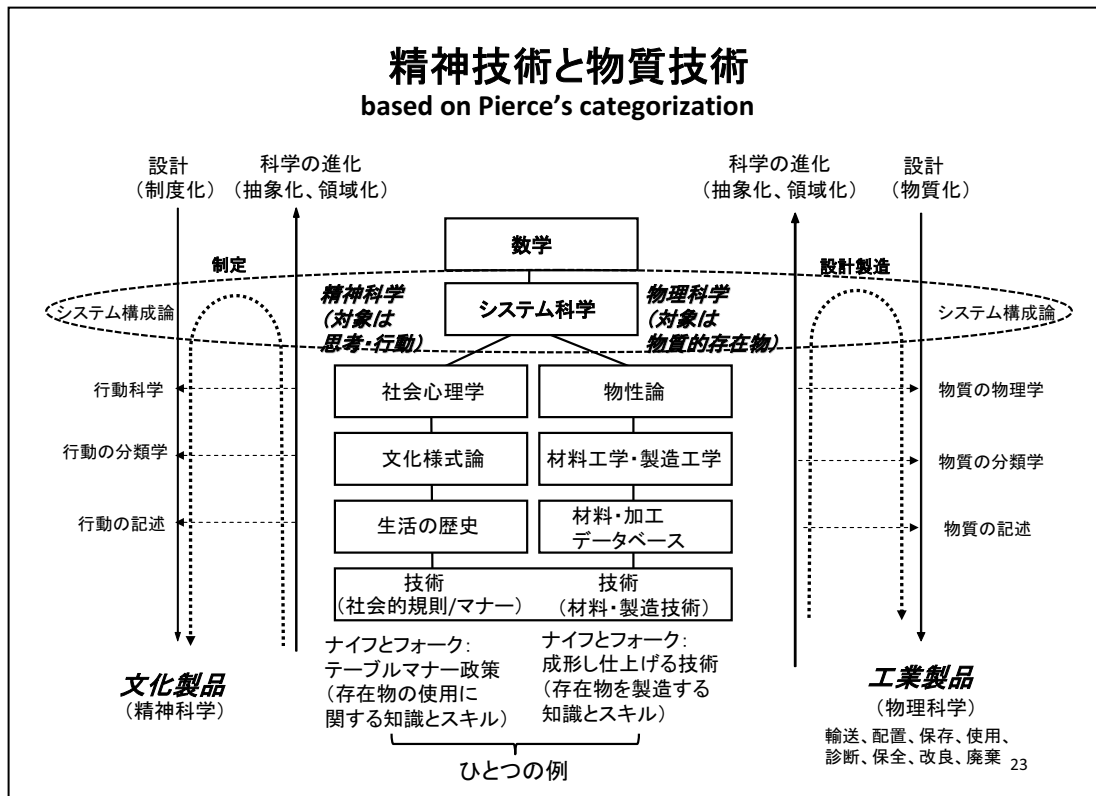
もう少し具体的な例で考えるとこういうふうになる。これはパースの例ではなくて私の例で、ナイフとフォークとで考えようというわけです。ナイフとフォークがない時代はどうしたかという、木の枝か何かで突ついて食べていた。そういうナイフとフォークの原型みたいなものがあつたわけですがけれども、仮に金属材料が出てきたとしましょう。それは熱に強くて、非常に鋭くて磨耗もしない金属のいい点をもっていて、金属の串ができたかもしれませんね。そういったことがあって、次第に材料もいいものが探せるようになる。それから、どうやって成形すればいいかという製造工学もできてくる。さっきのこの段階で言えば、これは技術で、これは記述で、これが分類で、これが法則性ということになるんですね。

恐らく最後は物性論によって、物性論をフォークをつくるのに使うか知りませんが、素晴らしいナイフとフォークができるわけですね。切れ味であるとか、サグリと

かが人間にとって有害かどうかなんていうことを全部きれいに整理し、そして、設計製造に入って、また戻ってきて、再びこの技術に至ると、こういうプロセスを経ている。もちろん、材料がいろいろ知られたならば、それを使っていいフォーク、ナイフをつくるという形がここになる。現在ここまで戻ることとはできるというわけです。

同じように、ナイフとフォークというのは、物をつくるだけではなくて、こういった生活の歴史によってだんだんとナイフとフォークの使い方、我が国ではこう使うんだ、外国はこうだとか、文化の様式の問題が出てくる。さらに最終的には社会心理学によって、どういうマナーがいいのかということが議論され、華麗な晩餐会の美しいナイフとフォークの使い方に関するマナーというのが成立してきた。その背後にはこういったものがあつたのではないか。

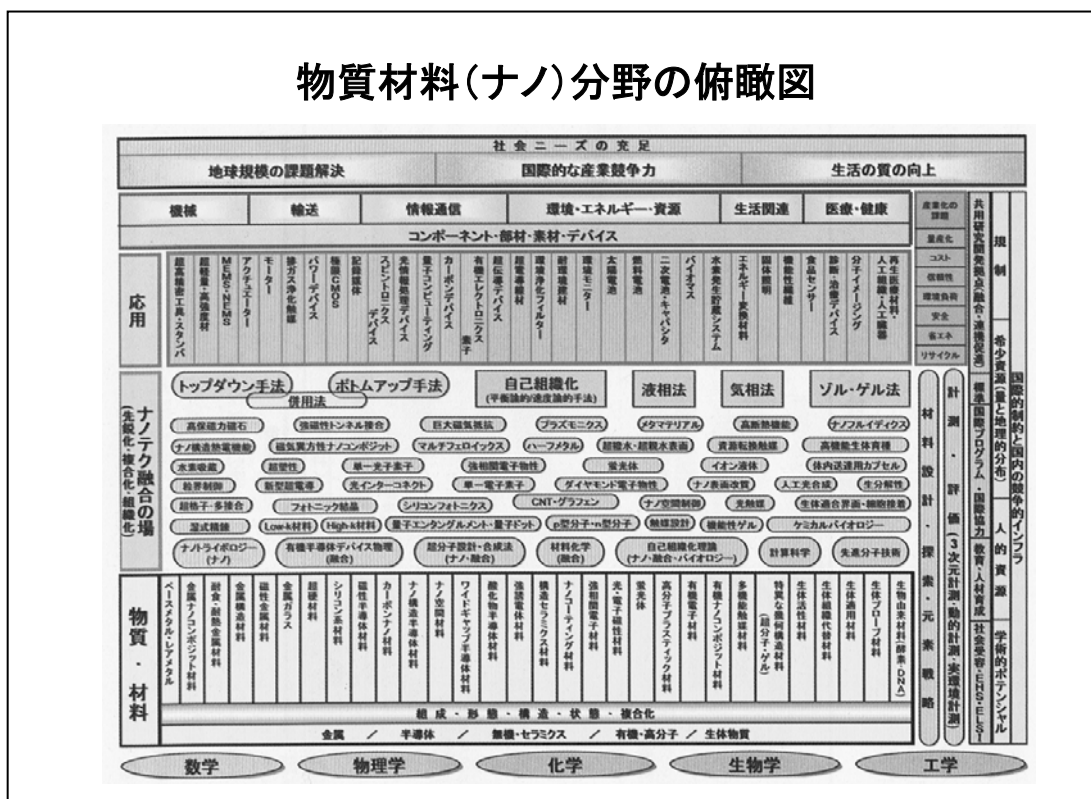
実際あつたどうかは知りませんが、例えばそういったものによって説明できるようなマナーというのはいいマナーですよ。そういったように、ナイフとフォークという簡単なものについても、物質科学と精神科学というものが、すばらしいナイフとフォークをすばらしいマナーで使うという、1つの現代的な状況が満されるために、こういったものがフルに使われる。これがいわば学問と社会的状況の関係だということになります。



そして、実はこれをやろうとしている。ここにシステム科学があるんですね。これは「メタフィジックス」とパースは呼んだ。ここは私が書いたんです。メタフィジックス、形而上学とシステム科学が同じだというのは反論もあるかもしれませんが、こういうところにはシステム科学というのは入ってこないですよ。ここにくる。ただし、対象は精神であっても物質でもあっても構わないわけです。機能を論じるというのは既に人間の価値観が入ってくるわけですね。そういったことも論じる。

同時に、それは非常に高い抽象性を持っていて、何に対しても適用できるわけですね。ですから、一種の形而上学なのかなと。だとすれば、私たちはこの非常に高い抽象水準におけるシステム科学というものをつくり、その精神及び物質におけるシステム構成論というのをつくったときに、システム科学が実用的なものとして使い得るものになっていくのではなかろうかと思います。そして、これが定義であるわけです。

物質材料(ナノ)分野の俯瞰図



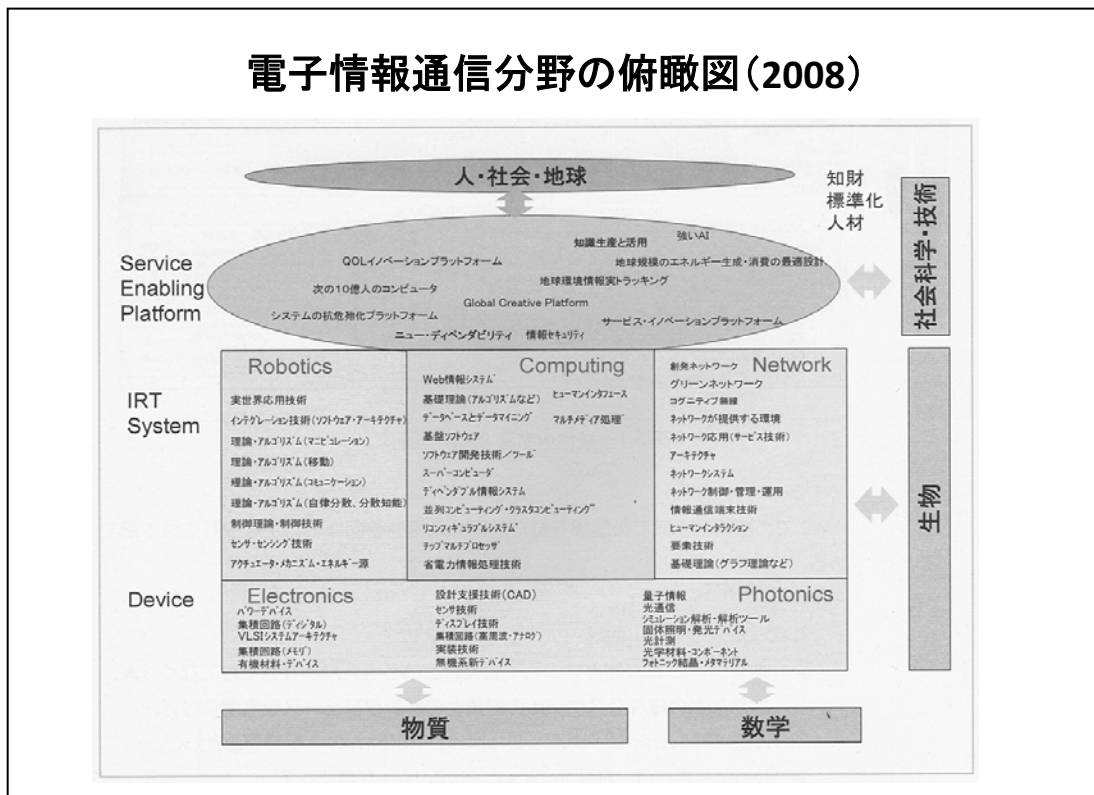
これは伝統的な我がCRDSの今までに築き上げた財産なんですけれども、物質材料のユニットではこういう俯瞰図というのをつくるんですね。これは研究の俯瞰図であって、どういう研究があるか。基礎研究のものとしては数学から物理学から工学まで存在している。そして、物質にはこういうものがあると。レアメタルとかシリコンとかカーボンとかずっと並んでいる。それについての研究というのは、ナノテクという形で物理、化学が融合するような構造を持っていますので、さまざまな新しい知見が出てくるんですね。

これはひとつひとつが既に研究課題になっているようなことで、ナノトライボロジーがあったり、フォトリソグラフィの結晶があったり、こういうひとつひとつの研究対象があって、その背後に1つの手法があってという具合にて並んでいるんです。俯瞰図というのはランダムにやったのではなくて、こういう手法別にある程度マップになっているわけです。そうしたときに応用がここに2つ登場して、こういった応用も可能であると。実は社会的期待というのはここにこういうふうに地球規模の問題解決、国際的な産業競争力、これは非常に可視的な社会的期待ですね。そういったものが書かれていて、その背後にこういう技術系が書かれている。こうやって俯瞰図というのは今までかいていたわけですよ。

もちろんこの基本的な考え方は正しいわけで、これをより正視化しようというんですね。それでは、この中で社会科学はどこに入ってくるかというのは今まで必ずしも議論されてこなかったということで、ここまでかくんだけれども、これをどういうふうにさ

らに、先ほど申し上げたように、これからやらなければならない3つの社会的期待がありましたね、動かしがたい社会的期待、顕在的な社会的期待、それから、潜在的な社会的期待。この3つを社会的な水準というんですけども、その水準の研究を進めるのに従って邂逅する、そういったものに対してこれが十分な構造を持っているかというところ、どうもまだそうではないということで、これをどういうふう書き換えるかというところにシステム科学の使命があるのではなかろうかというわけです。

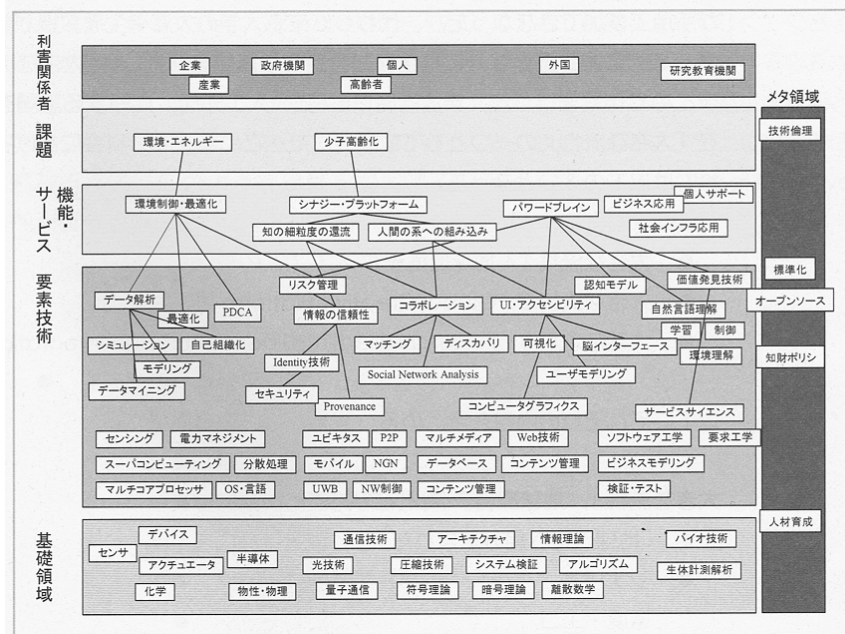
電子情報通信分野の俯瞰図(2008)



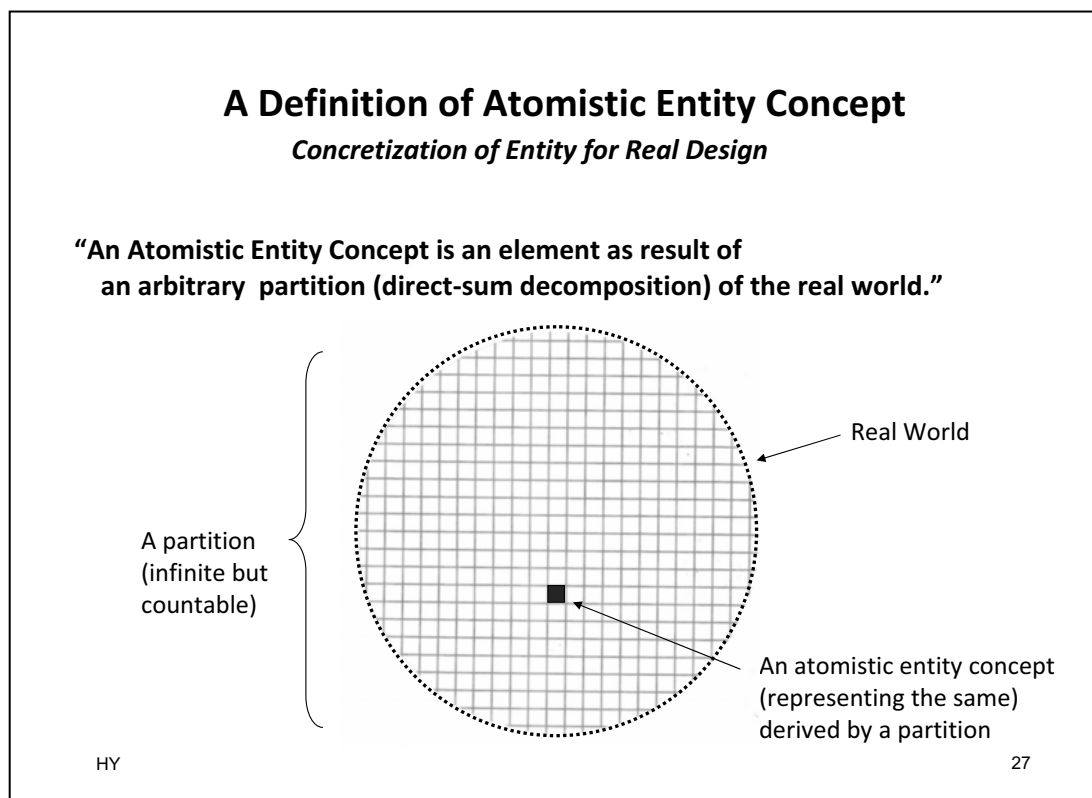
これは電子情報通信分野ということで、これも非常にわかりやすくかかれているんですけども、同じように物質とか数学とか基礎科学があって、エレクトロニクスに関するデバイスの基礎科学があり、システムの知見があり、最終的にはこういう社会的期待、これも一種の俯瞰図なんですね。私たちはこういう立派な俯瞰図を持っているわけで、この俯瞰図を、先ほど来繰り返すようにどうやって社会的期待に、ここがあいまいなんですね。これが非常にあいまいで、この結びつきがない。

これはなぜかという、どちらかという、何を研究しているかということで、何ができるかもしれないという、いわば想像図のような形で上がってきているんですね。ここがはっきりしていないということもあって、ここから先は、想像図は学問的でなくなってしまうんですね。この非常に高い学問性に比べて、このマップのかき方についてやや直感的なものが入ってきているというわけです。

電子情報通信分野の俯瞰図(丸山分科会2008)



そういった意味ではこれはやや進歩している。これは丸山さんという分科会がこういうのをおつくりいただいていたんですけども、こういったかなり具体的な技術がここにかかっているんですね。こういった俯瞰図もかけます。



さて、私は設計学というのをやっていて、ですからシンセシスというのは一体何なのかということを経長い間やっていて、最近は日曜日にぐらいいしか考えられませんが、最近考えたことは、物というの一体何なのかということなんですね。さっきのノードというのを考えていく、要素を考えていく。要素というの一体何なのかということですね。設計ではそれを実体と呼ぶんですね、物ですから。その実体集合というのを定義したんだけど、それを説明できない。実体のひとつひとつの点というの一体何なんだとうわけですね。

最近に至りまして、私は、実体というの全世界の直和分割であると定義をしたんです。これが全世界であるとすれば、それはどんなふうに切ってもいいわけです。切り終わったときこのひとつひとつが実体だと。これは間違いないというか、好きなように切っていいんですね。もちろん好きな切り方はいっぱいあって、例えば、非常に飛躍しますけれども、家具を部屋の中にどう配置するか、インテリアデザイン。そのとき家具というものはそれ以上変えてはいけないわけですから、家具ひとつひとつは実体になっているんですね。そして、システムというものは、並べた結果でき上がった部屋の構造だと、こういうふうを考える。そういう椅子や机が実体となる場合もありますし、これはマルチスケールと言われているんですけども、こういったようにまさに原子ひとつひとつが実体になる場合もある。さらにもっと細かい話もいっぱいある。

Hierarchy and Taxonomy for Partition

Hierarchy

Animal	Atom, molecule, cell, tissue, organ, individual, family, society
Machine	Atom, material, microstructure, component, assembly, machine, factory
Language	Phoneme, word, sentence, segment, passage, book

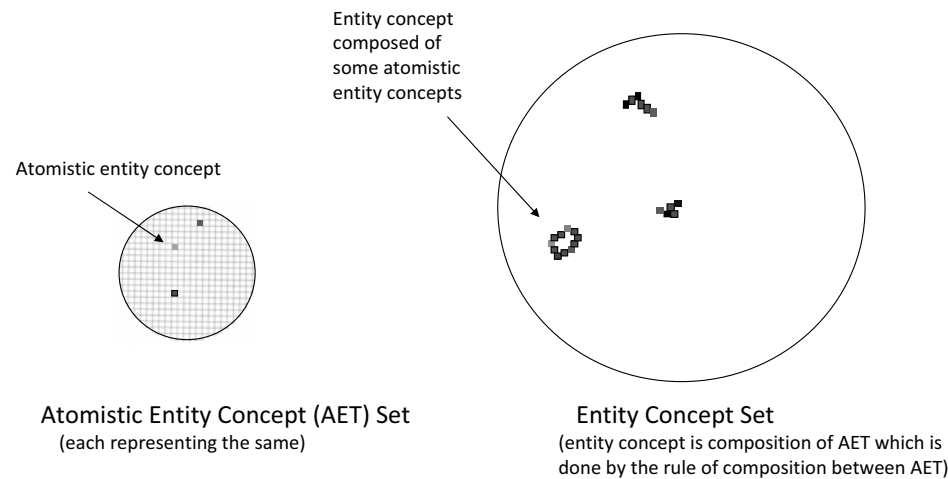
Taxonomy

Atom	Periodic table of elements by Dimitri Mendeleev
Animal/individual	Hierarchical classification by Calorus Linnaeus
Machine/component	Classification by Rouleaux
Language/word	None, verb, adjective, adverb, particle, conjunction
Language/book	Diversity owing to evolution? by Ferdinand de Saussure ~ Claude Hagege (Latin, Chinese, Japanese, English, French, - - -)

HY

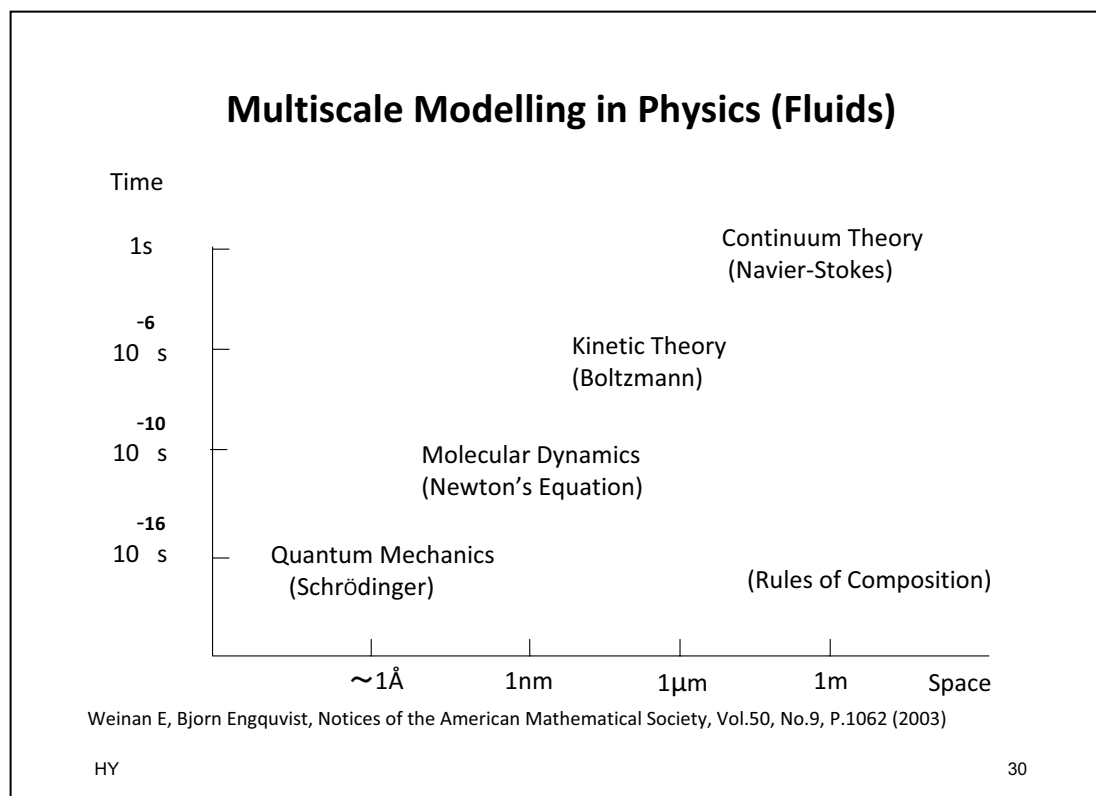
28

Entity Concept Composed of Atomistic Entity Concepts (that exist, existed and will exist owing to the rule of composition)



HY

29



これはある物理学者がつくった図ですけれども、こういうオーダーでは量子力学、シュレディンガーの方程式に従って量子力学が出てくる。こういうモレキュラー・ダイナミクスではニュートンの法則で動いている。こういう動的理論では熱ですね、これはボルツマンだと。それから、連続体ではナビコ・ストークス、これはマクロですよ。こういった構造で、考えている時間というのも、これは非常に細かい変動を論じるわけですね。こういったようにそれぞれ塊として議論している。

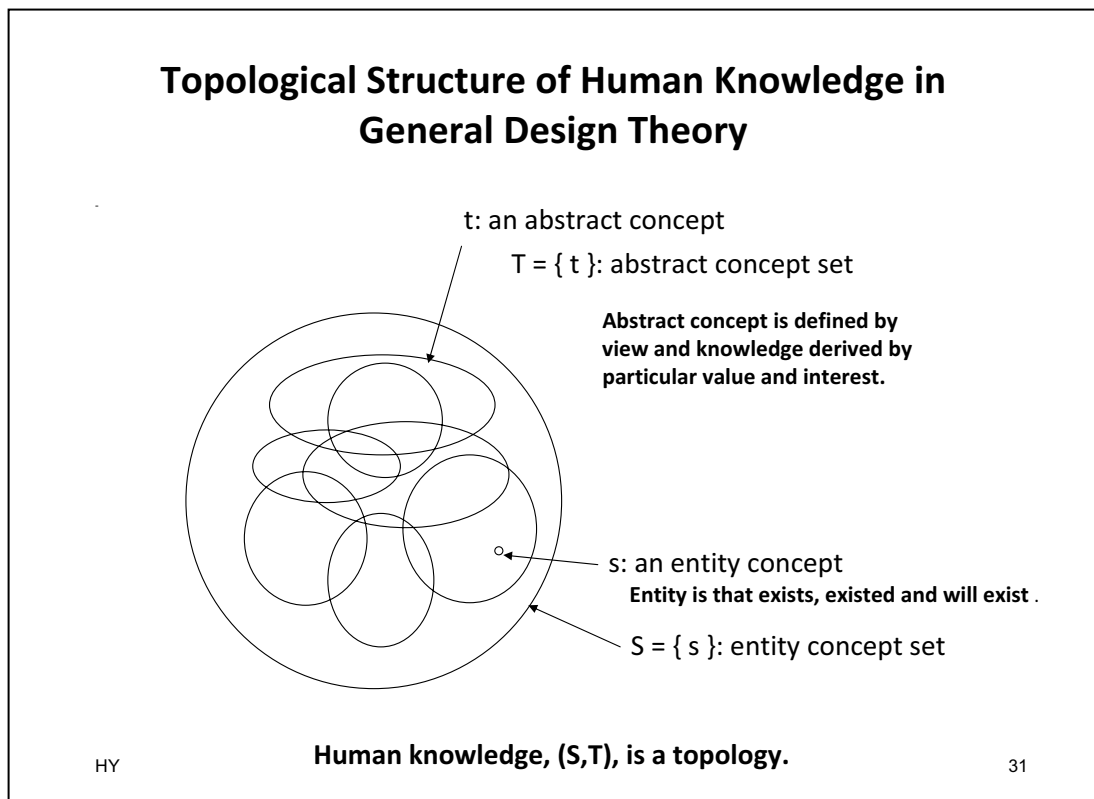
この背後には何を実体として指定し、その結果、実体間の関係によって、この場合はある意味では立派な力学ができていたわけですね。私たちのマクロの世界になると、例えばさっきの椅子と机というのは、そこに力学はもう存在しないんだけど、インテリアデザイナーというのは、自分自身の力学をもって一番美しい部屋をつくるわけですね。ですから、これは非常に似ているわけです、要素をどうやって構想することによって機能を発揮するかということにほかならないというわけです。

したがって、さっきのこれにもう一回戻って（スライド28）、これを自分で選ぶこと。これは大仕事なわけですね。何を指定するか。その指定したものによって、我々は学問の中ではいろいろなことをやっている。例えば、階層構造というのを知っていますよね。動物においては原子が分子になり、細胞になり、組織になり、器官になり、個人になり、家族になり、集団になり、社会になる。こういった階層というのを議論していて、ソサ

エティーになってくると社会学がやっているんでしょうね。この辺になると医学がやっている。この辺になると生物学者がやっているかもしれませんね。そういったようにそれぞれ手分けしてやっているわけですね。

システム科学というのは、再三繰り返しますが、そういったものを全部カバーしているわけですね。分子のシステム科学というのは多分ないですね。そうではなくて、もっといろんなものが扱えるようになる。機械でいえば、これも同じで、原子であり、材料であり、微構造であり、部品であり、組立品であり、機械であり、工場であると、こういうふうになっているんですね。これはソフトというか言語でもそうですよね。音素であり、単語であり、文章であり、それから、最後は本にいくわけですね。

こういったような構造を、例えばランゲージというものを解明していこうと思うと、これを全部対象にしなければならないわけですね。しかしながら、結局、音素を扱っている研究者と小説家とはお互いに全く連絡はないわけです。そうやって縦割りにして研究している。そういったものをひっくるめて何か議論しようというのがシステム科学のミッションだと。だんだんシステム科学の使命が重くなっていくわけで、これは木村先生の仕事が重くなっていくということですよね（笑）。私はシステム科学のユニットに属しておりませんので。そういうことでいろんな分類があるわけですね。こういうことなのかなと思っております。



さっきの話でいうと、全世界を直和分割によって定義した要素を組み合わせたものが実体で、それが実体集合というものをつくると。こういう1つの構造で、これはすべてさっきのハイラーキー、ハイラーキーではなくてもいいんですが、ハイラーキーをとってもみんなこういう構造になっていますよね。こういう形になっています。これが今度は要素になって、また新しいシステムをつくる。これがハイラーキーをつくっているわけです。

要素を関係付けて存在物(人工物)を作る:

Functional Requirement : An animal that is super

Decompose “super”

***{ runs fast,
sing nicely and
swims well.***

HY

32

これは設計の話なんだけれども、設計の話でこういう話がどういうふうに出るかという話をしてみるんですけども、これは大昔につくった例です。要素を関係付けて存在物をつくる。何かわからないけれども、例えばすばらしいスーパーな動物をつくりたいと。スーパーというのは非常に速く走って、上手に鳴いて、上手に泳ぐと。こういう動物をつくりたいといったときに何を考えるか。なかなかこういうのはいないんですね。

Respective Designs for the Decomposed Requirement



Run-fast



Sing-nicely



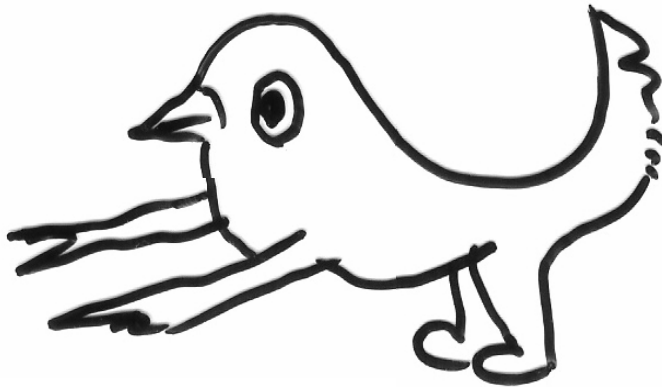
Swim-well

HY

33

小鳥はさえずるけれども、あまり上手に速くは走りませんし、泳ぐ鳥というのは鳴き声はあまり美しくないですね。アヒルだったりするわけですが。そういったようになかなかぴんとかない。ぴんとかないということは何か新しいものをつくらなければいけないということで、結局、走るのは犬で、鳴くのは鳥で、泳ぐのはカエルだと。

Entitative design : composition of Frog, Dog and Bird
Atomistic concept is “part of animal (organ)”.



HY

Frodird (an animal that satisfies the requirement)

34

では、その三者をうまくつなげればいいじゃないかということですね。走る部分は犬に任せよう。鳴く部分は鳥に任せよう、泳ぐ部分はカエルに任せようというので、犬と鳥とカエルというのを結びつけた、こういう動物だというわけです。ですから、これは要素を組み立てて、現存しなかった機能をつくり上げたという例ですよ。これが設計だと。

しかし、先ほどの要素に分解することはできるんですよ、例えば犬を持ってきて走る部分を選ぶことはできるんだけど、その部分をくっつけて1つのPをつくる、性質をつくるというときには、それは不可逆だと。

**Composition of Dog, Bird and frog
Atomistic concept is “animal (individual)”.**



Frog-dog-bird satisfies the requirement, but is not so sophisticated as frodird.

HY

35

可逆性がないといったのは、これもいいからなんですね。つくったものが必ずしも同じにはならない。

これは三者を部品に切らないで、このままをただくつつけただけですよ。鳴くときは鳥に鳴いてもらって、走るときは犬に走ってもらって、泳ぐときはカエルが走る。ただし、鳴いたら困るものですから、縛っておく。こういう構造で、これもまた機能を満たしているんですね。ですから、Pの実現というのはいわゆる写像ではない、1対1になっていないというのが根本的に非常に大きな問題で、これはシステム科学が一番大きくぶつかるところなのかなというのを、私の設計研究の体験から予告しているわけがあります。

Various Partition for Living Things

Atomistics

Rules of Composition

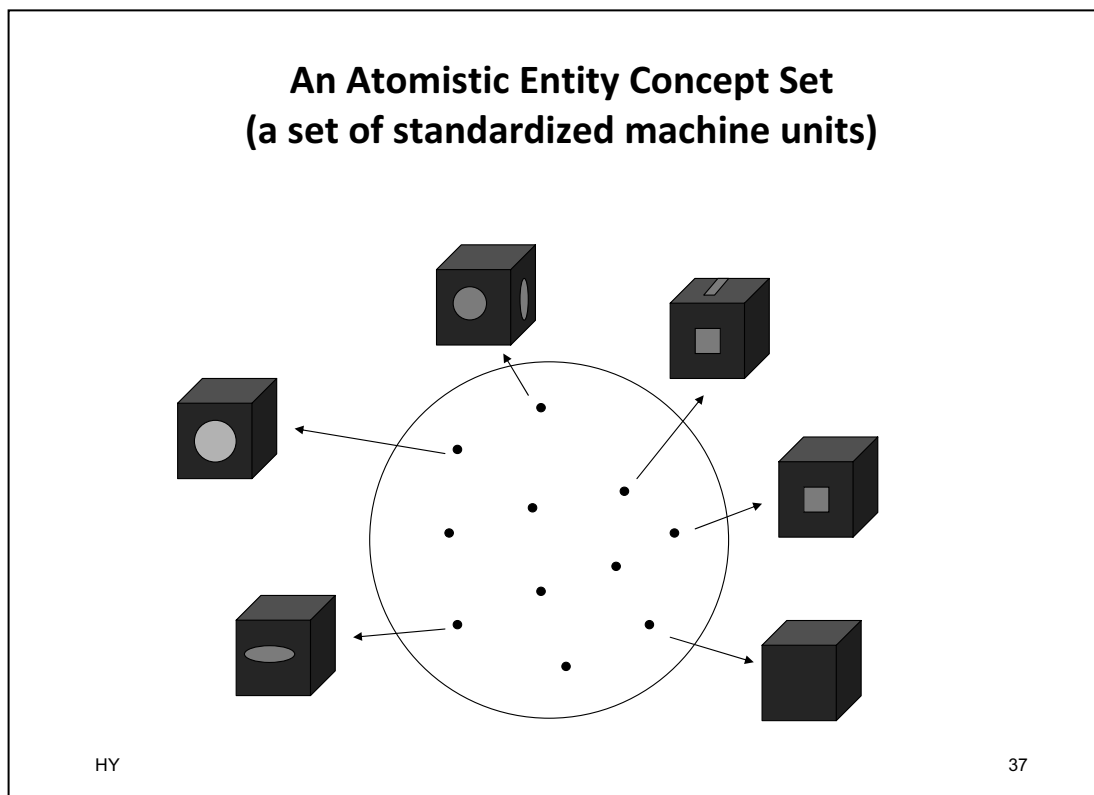
atom/molecule	chemical bond
cell	cell adhesion molecule
tissue	connecting tissue
organ	spatial contact
individual	communication
family	neighbour relations
community	local regulation
nation	international politics

HY

36

問題は、さっき言ったように最初のシステム科学の定義にある。要素があって、要素間の関係があると言ったんですけれども、要素があって、要素間の関係がある。これが原子であれば化学結合ですよね。それから、細胞であれば細胞間のアドフィージョン、これは現在非常によく研究されています。組織であれば、組織間の、これも一種の独特な細胞が存在するんですけれども、そういったようなコネクティング・イシューというのが存在する。器官であれば、生き物の器官というのはかなり自由にお互いにずれるんですよね。ですから、それは空間的なコンタクトにすぎない。

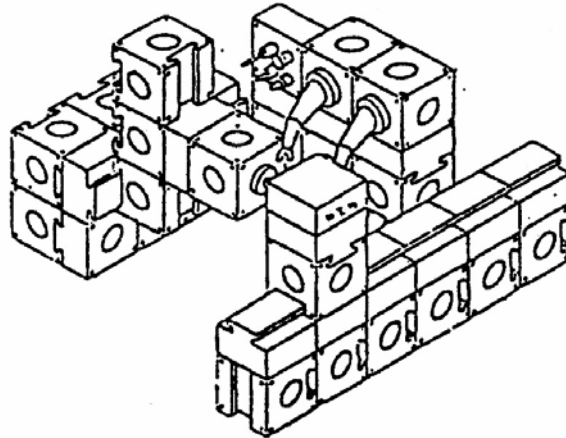
今度は、個人になれば、個人の関係というのは離れていて、コミュニケーションするということであり、こういったようないろいろな関係が存在しているわけです。この関係は自由にならないわけですよね。個人をくっつけるわけにはいかないですから、個人の関係というのは、言語とか、それ以外の信号によるコミュニケーションによるしかない。



こうやってある「アトミシティックス」と私どもは呼ぶんですが、原子体というのを。原子体を実体として選ぶと、その間の関係はおのずと定まってくる。これを探り出すことが非常に大事なことになりますよね。

Metamorphic Machine

(an entity = composition of standardized machine units)

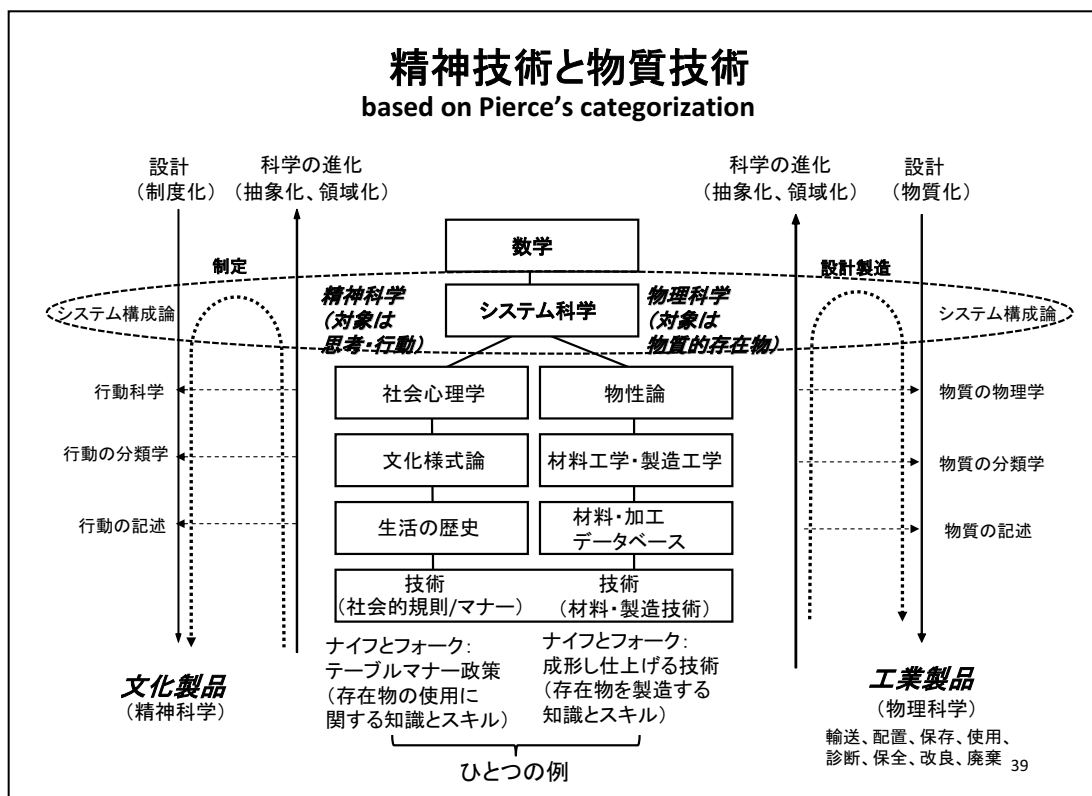


H.Yoshikawa(1984) "Flexible Manufacturing Systems in Japan"
Proceedings of the IFAC 9th World Congress, Budapest

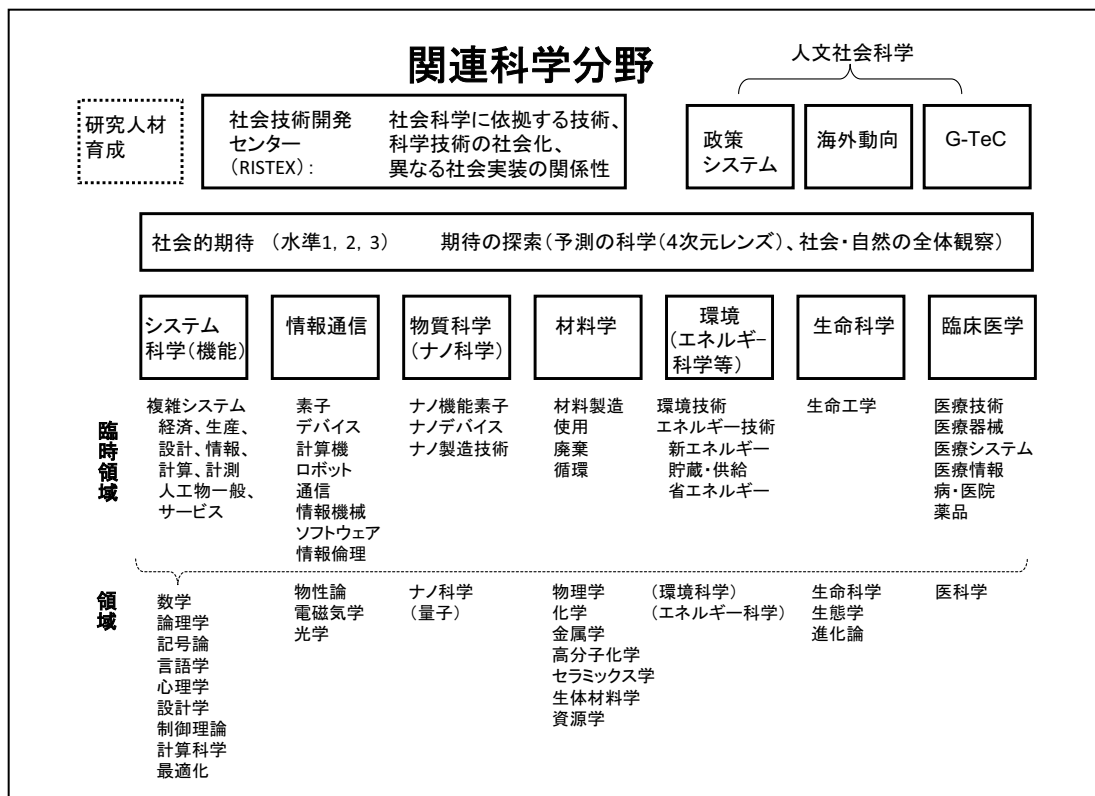
HY

38

これは一つの例なんですけれども、機械をつくるにしても、一番最初にお示した歯車とか軸とか、そういうことをやめてしまっ、こういう非常に単純なユニットにしてしまえば、できる工作機械というのはこういうものになるわけです。これも古い話なんですけれども、こういった機械をつくると、非常にフレキシブルで、工作機械でも旋盤になったり、フライス盤になったり、組み換えることによって自由に変えることができる、メタモルフィックな機械ができるわけです。こういったように、いわゆる原子と関係を指定することによって、実現体としてのA、その持つ機能Pというものは自在に変化する。その辺を体系的に扱うというのが現在の知識に欠けていて、それが最初に申し上げたシステムをつくるということについて、なかなか国家的習熟がない。研究は非常に進んできたんだけど、いい製品をやろうと思うと、何かわからない国にやられちゃうというのも、こういうところに一つの問題があるのかなという気がしているわけです。



結局、私たちのやろうとしているのはこれなんだということですよね。システム科学というのは、ここにある意味ではユニット、これはこっちで実現したほうがいいですね。



こういうユニットがあるんです。システムがここに書いてありますけれども、こういったものが全体を面倒みるというような構造になっている。そして、社会的期待というものとこれを糊づけするものとしてシステム科学というものが存在するのではなかろうかということなんです。

これはやや余談になりますけれども、この各科学にはこういう基礎科学というのが存在しているんですね。これをどういうふうに割りつけるかということが非常に大事で、研究を考えるにはこれを入れなければいけないということ。

さらに、社会技術開発センターというのがあって、有本さんがセンター長ですけれども、こういったものは社会的期待と非常に深い関係があるわけですから、ある意味ではこういったものが一体になって、ここに政策論的なものもありますけれども、そういったものが一体になっていろいろやっていく。そういうところの糊付けというものの理論がシステム科学の仕事なのかなということで、何も定義はしなかったんですけども、私の感想をお話して、話を終りにしたいと思います。

3.2 木村上席フェロー講演記録

システム科学の展望

木村 英紀

科学技術振興機構
研究開発戦略センター
上席フェロー

JST/CRDS システム科学技術推進委員会
2010/2/24

木村でございます。大変すばらしい吉川先生のお話の後、なかなか話しにくいです。システムというのは何かということ定義しようという試みは、これまで1930年代ぐらいいからやられていまして、皆さんご存じだと思うんですが、ベルタランフィーとかサイモンが試みています。それに比べますと、先ほど話された吉川先生の定義は、明らかに大きな進歩と、先生の前で失礼なんですけれども、いろんな意味で進歩しています。

これからの話の中でもちょっと出てきますが、まず吉川先生がおっしゃった、シンセシスからの学問であるということ、それから、各ディシプリンを横断する理念であることです。そういうことを先ほどおっしゃって、私もそのとおりだと思ひまして、大変興味深く聞きました。責任は重いですが何とか頑張ろうと思っております。これからお話しするのは、少し実際の、この委員会をどういうふうに運営していくかということに絡めたお話をさせていただこうと思ひます。

推進委員会の課題

- ① 現代科学技術におけるシステム科学技術の
位置づけを明らかにする
【システム科学技術は何か？何故必要か？】
- ② 日本のシステム科学技術の現状を分析する
【システム思考の欠落が何を引き起している
か？】
- ③ 日本のシステム科学技術の振興策を提示する
【科学技術政策として何をなすべきか？】
それぞれのテーマで提言を作成

まず、課題としては多分3つあると思います。

最初が、現代の科学技術においてシステム科学技術の位置づけを明らかにする。先ほど吉川先生のほうでかなり答えを出していただいたような気がしておりまして、システム科学技術とは何であり、なぜそれが必要かということですね。これは先ほどのお話でかなりはっきりして、半分ぐらい解けたというような気でおります。これもまた次の問題と絡めながら、少し具体化していくという作業は残っているかなと思っておりますが、きょうのお話で大変すっきりしたと思います。

2番目として、日本のシステム科学技術の現状を分析すると、欠落している。これも吉川先生のお話の中で幾つかヒントが既に出ておりまして、それに従って現実の産業あるいは科学技術の研究システムの中で何が起こっているのかということのを少し解明していきたいと思います。次回は日本のシステム情報産業を取り上げて、そこで起こっていることをまず手始めに考えていきたい。私どものユニットの中でも調査研究をある程度やっており、幾つか新しい視点を導き出せると思います。それだけではなくて、多分この後の桑原顧問のお話もこれに関係したことだろうと思っております。これが2番目です。

3番目として、ではどうしたらいいのかということですね。科学技術政策として何を

なすべきかということで、この3つが柱になると思います。

それぞれについて議論を深め、具体的な提言をしていきたいと考えております。

まずきょうは、1について、2、3については今後のこの委員会の議論の中で出てくると思いますので、特に1についてだけ、先ほどの吉川先生のお話に多少つけ加える形でお話をさせていただければと思います。

今後の委員会のテーマ

- ◎ 日本のソフトウェア産業の問題点
- ◎ 数理科学の現状と振興策
- ◎ 大規模複雑系の制御・・・環境・生物・通信
- ◎ 政策決定の合理的基盤とモデリング
- ◎ 環境モデルの検証とモデリングの科学
- ◎ 材料分野におけるシステムアプローチ
- ◎ 日本の技術文化の源流とシステム科学
- ◎ 日本の製造業におけるシステム思考の欠落
- ◎ 人工社会とマルチエージェントモデル

.....

各回サマリーを作成、6月にopen workshop
システム科学技術の俯瞰マップを発表

これが今後の委員会のテーマです。

次回がソフトウェア産業、次が数理科学です。これも吉川先生のお話の中で、数学の真下にシステム科学というのがありまして、数学とシステム科学というのは切っても切れない関係にあります。この現状と振興策。

それから制御、さらに政策決定の合理的基盤とモデリング、あるいは環境、それから、材料分野におけるシステムアプローチ。これが最近少しずつ脚光を浴びてまいりまして、これについての議論もしたいと思っています。

さらに、日本の技術文化の中にシステム科学の成長を阻む要因があるのではないかと、このようなこともいろいろ議論が出ておりまして、それについても少し集中して議論していきたいと考えております。

それから、日本の製造業におけるシステム思考。これはシステム産業ではなくて、製造業。これは桑原さんが核になって、さらに深めていくことになると思います。

それから、人工社会とマルチエージェントモデルについて、これは社会科学との共同

研究の一つの具体的な形として提案し、議論していきたいと考えております。

現状では一応これぐらいが、この委員会のメンバーの中でこういうお話をしてくださる方が含まれているという意味でアジェンダに上っております。

また、各回サマリーを作成してお配りしたいと思います。それから、きょうはクローズなんですけども、JSTの中で閉じておりますが、6月には少し開いた形でのワークショップをやりたい。

先ほど吉川先生のお話にもありましたが、他分野では俯瞰マップというのがつくられています、これをシステム科学についてつくる必要があります。これは非常に気の遠くなるような話でもあるんですけども、多分世界初めてのこの分野における俯瞰マップをつくっていききたいと、私どもは考えております。

分科会活動(予定も含む)

制御		すでにスタート
モデリング	...	ワークショップ1回開催
数理科学		近く発足予定
知の統合		横幹連合と連携
政策決定の合理性		
経営, PM		

それから、分科会活動ですが、既にスタートしているところもありまして、現状ではこの6つぐらいができるのではないかなと。制御とモデリングについては既にスタートしております。それから、数理科学は近く発足予定です。知の統合、これは横幹連合と連携してつくっていければと思っております。それから、政策決定の合理性、あるいは、経営やプロジェクトマネジメント、これについては委員の方々がまだ完全にノミネートされおらず社会経済の委員の先生に今お願いしているところですが、その先生を加えて最後の2つの分科会の活動を開始していただこうと思っております。

以上がこの委員会の今後やるべき具体的な課題の説明ですが、残りの時間で、3つの課題のうちの①について私の考えを少し述べさせていただこうと思います。

システム科学とは何か？ （とりあえずの定義）

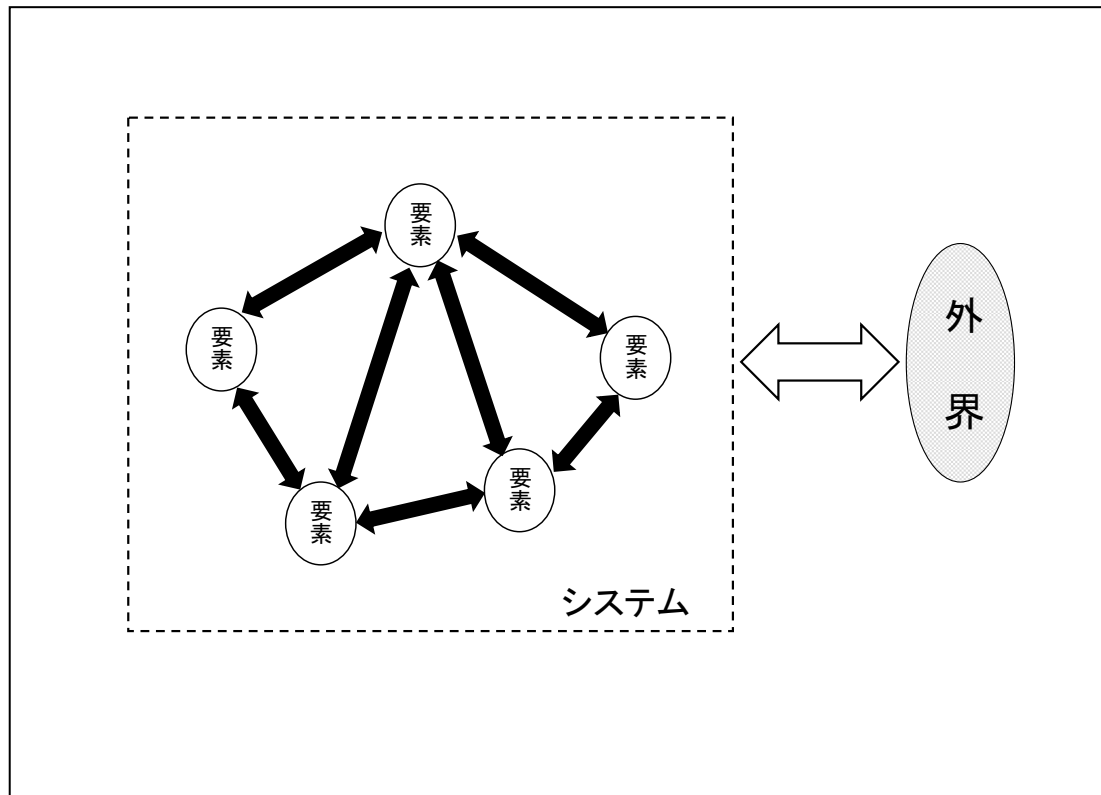
人工物をシステムの視点から探求し、俯瞰的統合的な手法で課題を解決するための科学

システム技術とは何か？ （とりあえずの定義）

要素の間の関係を重視し、それを通して全体の機能を認識、設計するための技術

システム科学とは何か。これはまさにこの委員会でこれから議論して、先ほどの吉川先生のご提案を含めまして、さらに議論を深めていきたいと思っております。吉川先生は自然も入れておられたんですけども、私はできたらこの委員会の活動は人工物に限りたいと考えております。人工物をシステムの視点から探求し、俯瞰的・統合的な手段で課題を解決するための科学として、ユニット発足にあたって暫定的に定義をいたしました。これは多分非常に不完全なものですし、格調があまり高くないので、先ほどの吉川先生のお話も加味して、システム科学の定義をしないといけないと思います。今後この委員会の中で詰めていきたいと考えております。

それから、システム科学と技術を一応分けて考えていますが、要素の間の関係を重視し、それを通じて全体の機能を認識、設計するための技術としてシステム技術を定義しております。これも非常に格調が低い定義ですが、とりあえずこういう形で委員にお願いしたり、ほかの方からシステム科学とシステム技術は何かと言われたときには、こういう形で答えていこうと思っております。今後はさらに深めていきたいと思っております。



これは、先ほどの吉川先生のお話もありましたが、要素の関係を非常に太く書いています。関係がどういう影響、外界に対してシステム全体の機能に与えるときに効いてくるのかという視点を重視して、全体を認識し、設計するという立場ですね。あまり上手い絵ではないのですが、こういう形で考えていこうと考えています。

システム科学の源流

- 「1930年代から40年代にかけて確立された人工物に関する科学（技術が生み出した科学）」が源流である。
 - 具体的には、システム工学、信頼性、最適化、生産設計、制御、ネットワーク、人間機械系、計算、言語と行動、予測と決定など。
- この一群の科学は、自然科学にベースをもつ伝統的な工学と役割を分担しつつ、車の両輪として現代技術を作り上げた。

まず、システム科学の源流についてお話したいと思うんですけども、これは1930年代から40年代にかけて確立された人工物に関する科学（技術）が生み出した科学が源流であると。人工物科学あるいは人工物工学というのが、吉川先生が30年以上前につくられた言葉でして、そこで使わせていただいています。

具体的には、システム工学と信頼性、最適化、生産、こういう一連の新しい科学がこの時期に集中して生まれたと、これは歴史的な事実です。

なぜこの時期に生まれたかということを考えますと、この時期に大量生産と大量消費というのが大規模に出現しまして、科学技術の対象が極めて複雑になりました。社会に科学技術が浸透していくにつれて、これまでの自然科学に頼っていた技術だけでは科学技術が発展しなくなってきた。発展しなくなるというか、沢山の新しい問題が生まれたと言ったほうがいいかもしれません。

それを解くためにこういうサイエンスが生まれました。

10年から20年の間に集中してこういう科学が一举に生まれたということは事実で、私はこれを「第三の科学革命」と呼んでいます。この一連の科学は自然科学にベースを持つ伝統的な工学と役割を分担する、車の両輪として現代技術をつくり上げたと考えております。我が国ではどちらかというと、伝統的な工学が科学技術の中でドミネートしすぎているという面があるのではないかということですね。

大量生産と大量消費の時代の到来…20Cはじめ 特にアメリカ

技術の社会への浸透はさまざまな新しい課題を生み出した。

例:ネットワーク

蒸気機関車の商用運転
 事故の続出（19C前半）
 電信の普及によって一応解決
 配電網の広域化
 予期しない負荷の変動により停電、周波数変動が発生
 当時の電気工学最大の課題（1930年代）
 ベネパー・ブッシュの微分解析機

例:制御

巨大船の変針
 化学工業の発展による物質の極限状態の保持
 工作機械の精度保障

例:設備投資の巨大化

市場調査の必要性
 品質管理

なぜ生まれたかということについての幾つかの背景をお話しますと、まずネットワークです。これは技術が社会に浸透するにつれて必ず生じてくる問題でして、まず蒸気機関が商用運転化されて鉄道網というのができた。ところが、最初は事故が続出しましたが、電信の普及によって一応解決した。どこでとまっているとか、全然通知がない場合には、単線ですから、来ないんだと思って、出発してしまいますと、途中でドンとぶつかるというような、今からは考えられないような事故が結構続出しているんですね。電信が普及したときに、真っ先にこの電信の需要先は鉄道会社だったという事実があります。これによって蒸気機関の鉄道網が事故なしで運用できるようになった。

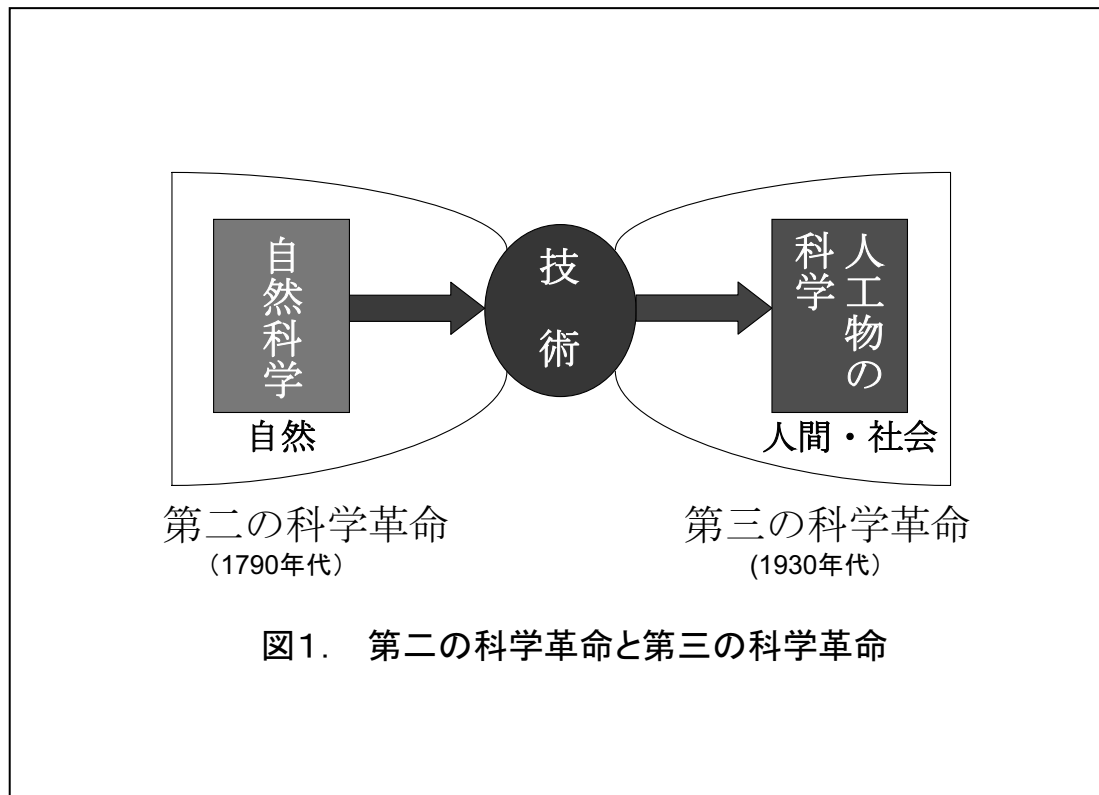
それから、配電網ですね。これは非常に大きいと思います。予期しない負荷の変動によって停電や周波数の変動が発生しました。特にアメリカで最も大規模な電力網ができました。そこで、使う人は勝手に使うんですけども、それに負荷変動が起こって、発電所が大恐慌を来しました。これは当時の電気工学の最大の問題で、微分解析器という、後のアナログコンピュータになった非常に大きな、今のスーパーコンみたいなものですね、この部屋全体ぐらいのコンピュータが当時MITでつくられております。こういうものが計算の科学化というのを進めたわけですね。

ネットワーク、それから制御の問題、それから設備投資の巨大化、こういう現象が次々に発生して、これまでの自然科学にベースを持って発達してきた技術では手に負えない問題が生じてきて、それを解くために技術の科学が生まれたのです。

表1. 第三の科学革命の主要な成果

1931	ブッシュの微分解析器
1931	ブリュンによる回路理論の数学化
1932	ヘイゼンのサーボ機構の理論
1935	ベルタランフィーの一般システム理論
1936	チューリングの機械計算の一般モデル
1940	オペレーションズ・リサーチの開始
1944	ノイマンのゲーム理論
1945	ボードのフィードバックの理論
1946	最初の汎用デジタル計算機 ENIAC
1948	ウィーナーのサイバネティックス
1948	シャノンの通信理論
1949	最初のプログラム内蔵式計算機 EDVAC

これは先ほど申し上げたベルタランフィーの一般システム理論、これは今や全く歴史的な産物になってしまったんですけれども、先ほど吉川先生のお話にもありましたけれども、システム理論というのが極めて重要になってきているということですが、このシステムに対してまともに挑戦するようなある種の形而上学のようなものは現在まだ出てきてないのではないかと思います。現代的なシステム理論ですね、これは大きな学問的な課題であろうと思っています。



今まで申し上げたことをまとめますと、技術というのは自然科学に基づいてずっと発達してきました。物質文明をつくり上げてきましたが、人間社会に浸透するにつれて、もう一つ別の科学を必要としてきた。これを人工物の科学あるいは科学技術と呼んでいいと思いますが、これがこういう形になってきた。自然科学と人工物の科学とが車の両輪になって技術を進めてきたわけですね。

これが1930年から後の科学技術の進展であったと思います。これを「科学革命」と呼んでいるんですけども、自然科学でも人文科学でもない新しい科学です。人工物の科学というのは、どちらかというと、数理を使うという意味では、数学を使うという意味では理系と思われる面があるんですけども、対象は全く違うんですね。自然ではない。自然というものも絡んできますけれども、自然科学でもないし、いわゆる社会科学でもない。不思議な科学といえます。

自然科学でも人文社会科学でもない 新しい科学

いろいろな呼び方がある。
サイバティックス、システム科学
人工物の科学、情報科学、横断型基幹科学技術

この科学は何を解こうとしているのか？

人工物システムの論理の解明

これが呼び名が決まっていはいないという意味で、アイデンティティーが持ちにくいんですけれども、この科学が現代の技術を牽引してきました。現代の技術に浸された生活をもたらした、現代の科学技術の牽引役であったことは明らかでありまして、例えば工学部のカリキュラムの戦後変遷を見ても、こういう科学が、例えば電気工学の熱力学とか流体力学とかいう、伝統的な技術の科目を次第に凌駕していく歴史であったということ、これも事実として示すことができます。ただし、それを総称して呼ぶ名がないんですね。システム科学と呼ぶのが一番適切かと思います。

情報科学は少し違う。これは縦型の傾向を強く持っています。あくまでも横型の科学技術に呼び名をつけるとすれば、我々はこれをシステム科学と呼ぼうと決意をしているわけです。これは何を解こうとしているのでしょうか。科学であるからは解くべき課題がなければいけない。これは先ほどの吉川先生のお話でも既に出てきておりますが、シンセシスとアナリシスとを結びつける、あるいは、アナリシスにベースを持ったシンセシスのサイエンス、こういう形でこの新しい科学を基礎づけることもできるだろうと思います。結局は、人工物システムの論理の解明であろうと考えます。

なぜ人工物システムの論理解明が課題になるのか？

産業競争力の視点から

- ・機械をはじめとする生産手段と経営を含む分配手段のシステム化（広域化、大規模化）
- ・生産と消費のギャップの拡大（景気変動、環境汚染）
- ・消費製品のシステム化（高機能化、複雑化）

**戦後65年の科学技術の進歩は、複雑化・高機能化・大規模化に対抗するシステム化の歴史であった。
前半は生産手段、後半は消費製品がその主な対象となった。**

なぜこれが必要なのか。これはちょっと市場の話になってしまいますが、産業競争力の視点からみます。なぜ人工物システムの論理を解明しなければならないかと言いますと、機械をはじめとする生産手段と経営を含む分配手段のシステム化が起こっている。システム化というのは広域化とか大規模化、複雑化というものに対抗する手段なんですね。そういう複雑で、目が回るような色々な機能、豊富な機能を何とかして組み上げるためにはシステム化が必要であると。したがって、この人工物システムの論理解明というのは非常に重要になってくるわけです。

それから、生産と消費のギャップの拡大、これは景気変動とか環境汚染とか不況とかいろいろ考えられます。これは生産と消費のギャップなんですね。これを経済学的に解明することも可能ですけれども、事実の点からも解明することができる。これもやはり人工物システムの論理解明が必要である。

それから、消費製品のシステム化。これが今まさに起こっているトヨタのリコールも含めて、複雑化が生産手段から消費製品に大きく移って、爆発的に複雑なものが出てきてしまっている。これもシステム化が必死で、システム化によって対抗しています。モジュール化とか、標準化、あるいはリスク管理というような形で、システム技術は必死でこれに対抗しています。だけど対抗しきれない面が出てきている。私はこの問題は現代技術の主戦場の一つだと思っています。残念ながら、そこで戦っている日本の姿が前線には見えないというのが非常に大きな問題だと思います。こういう意味でますます

この人工物システムの論理解明というのは課題になってきています。

戦後65年の科学技術の進歩は複雑化・高機能化・大規模化に対抗するシステム化の歴史でもあった。「であった」というのはちょっと言い過ぎで、「でもあった」ということです。こういう形で戦後技術を振り返ってみますと、非常にはっきりした一つの傾向が見えます。前半は、先ほど申し上げましたように、複雑化・高機能化・大規模化というのが生産手段の中で起こってきた。生産手段については、先ほど吉川先生のお話にありましたが、フレキシブルオートメーション、大規模・少品種から多品種・少量生産に移ったときにも非常に大きな複雑化の増大が起こったんですけれども、これはロボットの導入とかで何とか切り抜けてきた。

ところが、消費製品になったときに、今、お手上げの状況になっている。複雑化によるいろんな故障が起こりつつあるわけです。銀行合併に伴いATMの故障も一つだと思いますが、ここで論理解明が課題になるという一つのあらわれです。

※吉川センター長 拡大リーダー会議プレ
ゼン資料「持続性科学」8/26/2009より

現代の邪悪なるもの Evil

人口爆発と飢餓、
貧富の格差、
巨大都市の中の貧困、

地球環境の悪化、
人工システムの事故の巨大化
新種の感染症（HIV、鳥インフルエンザ、BSE）

民族間紛争、
テロリズム、

都会の中の孤独、
電子犯罪



今、現代の邪悪なるものが出現しつつある。
そしてそれらは過去の邪悪なるものと異質である。
そこには可視的な外敵がない。
しかし恐らく敵は人の意図や行動の中にあり、
それが人々が気づかぬうちに攻撃をかけて
くるのだ。これは可視的な外敵よりも戦うのが
難しい。我々はそれと戦う方法をもっていない。

技術間の矛盾、技術と社会の間の不調和、持続可能な開発の矛盾

その理由は何か？

13

これは吉川先生のスライドをそのままお借りしました。産業競争力と対照的なニーズ、現代の邪悪なるものですね。我々が直面している困難がたくさんあります。そのうちの一つが地球温暖化であります。こういうものは極めて複雑な形で起こっているわけです。何も分野ごとに起こるわけではなくて、分野とは無関係にこういう困難に我々は直面しているわけです。それは根が深く、実に複雑なものです。ですから、我々がどのように武装したらいいか。あらゆる分野の知識を糾合し、それを効率よくまとめ、統合し、戦わなければいけない。そこに先ほど申し上げたシステム、これは先ほど吉川先生がおっしゃったことの繰り返しになってしまいますが、システム技術の役割があるだろうと思っています。

製品の複雑化、大規模化、高機能化に対してシステム科学技術は次のような成果で対抗してきた。

システム化、自動化、モジュール化、
モデル化、標準化、ネットワーキング、
可視化、仮想化、IT化、システム統合 etc.

しかし複雑さの増大はシステム科学技術の進歩を超える勢いで進みつつある。（例）ソフトウェアの大爆発、トヨタの躓き

こういうシステム科学技術は、これまでそれなりに一生懸命頑張ってきたわけです。システム化、自動化、モジュール化、モデル化、標準化、ネットワーキング、可視化、仮想化、IT化、システム統合などが成果として生まれています。ほかにもたくさんあると思いますが、今の人の技術の主戦場と言っていると思います。ただし、複雑さの増大はシステム科学の進歩を超える勢いで進みつつある。消費製品になってきますと、どこで使われるかわからない、何が起こるかわからない。工場の設備ですと、あらかじめちゃんと環境を整えて変なことが起こらないようにできるし、使う人もプロフェッショナルです。ところが、消費製品は全く違う。自動車に乗る人は年齢層を問いません。

そういうことに対して、素人が様々な場で使うことに対してどんどんケアが進んできたのが商品の進歩なんですね。そのケアが進むたびに複雑性が増して、何が起こるかわからないという不確実さのリスクが増してきた。

技術の新しい主戦場のひとつになった「複雑さとの戦い」で日本の戦力は？

弱い！

- ・ 労働集約型技術が日本の技術のDNA
「密教」としての<匠の技信仰>が「顕教」としての先端
技術推進の足を引っ張る。普遍性への感度がきわめて低い
- ・ 「たて社会」が全体性への考慮を阻む傾向
たて型は社会だけでなく、研究者コミュニティでも極めて強い
業績評価、内向きの情緒的交流、実感伝承重視の教育 etc.
- ・ 数学の急速な弱体化と数理思考への拒否感の増大
- ・ ソフトウェアの技術基盤がほとんどない。
- ・ 科学技術政策のシステム科学への関心がほとんどない。
「ハコもの」行政の影響？（システム科学は巨大な実験は不要）
目に見えないものには投資しない？

今後この委員会でエビデンスベースで検証したい

そういうことに対してこういう対抗手段を持って戦ってきたわけです、現代技術は。残念ながら我が国はこういう科学については遅れている。これを、どういうふうにおくられて、なぜおくられて、それが何をもたらすかということがこれから先、この委員会の大きな課題であろうと思っております。

「複雑さとの戦い」で日本の戦力は弱い。これは色々なところで既に言われ始めております。労働集約型というのも一つ問題であるということは私自身の意見なんです。あとは、縦社会の問題ですね。それから、数学の急速な弱体化、ソフトウェア、これは結果か原因かよくわからないんですけども。それから、これもあえてこういうふうに、ちょっと言い過ぎかもしれませんが、私の個人的な意見として、この委員会でエビデンスベースで検証していきたいと考えております。

何をなすべきか？

今後のこの委員会の課題

**システム科学技術は「課題解決型
科学技術」(新成長戦略)の中核**

これが最後ですが、何をなすべきか、この委員会の課題。

「新成長戦略」というのが出されて、これに基づいて今後、第4期以降、ポスト3期の科学技術基本計画も策定されていくことになっているようではございますけれども、この中で「課題解決型科学技術」に科学技術政策の重点を移す、軸足を移すということが既にいろんなところでうたわれています。システム科学技術は、まさに課題解決型、本来もともと課題解決型なんですね。科学そのものが、科学が生まれたときから課題解決のための一つの大きな柱なのです。ただし、それが基礎研究ということで、科学技術そのものを発展させれば、いずれそれがイノベーションに結びつくであろうという、ある意味で受動的だったわけです。

それが課題解決型科学技術、本来、科学はそうであったんだけど、これを国の科学技術の戦略の中核に置くということは大変大きな発想の転換だろうと思いますし、重要なポイントであって、システム科学技術が果していかなければならない役割が今まで以上に大きくなったのではないかなと考えております。それをかいていると絵に描いた餅に終わってしまうのではないかと、またしても停滞に陥るのではないかと思います。課題解決型の中でシステム科学技術の発展を考えていかなければいけないだろうと思います。

システム思考

- ハウツーもので身につくものではない
- 人工物システム科学の深い素養
- 個別から普遍を抽出できる高い論理能力
- 見えないものを見る構想力
- 分野の壁を破る逞しい意欲

これは説明は省略いたします。

この新しい科学の視点に立つと、文と理の区別は重要ではなくなる。

要素を何にとるかで対象が決まる。科学を生み出す根拠は同一

要素	全体
機械	機械システム
機能	さまざまな製品
人間	社会、組織、市場
臓器	人間
国家	国際関係
企業	業界
組織	企業

文と理の区別も重要でなくなると。これは先ほど吉川先生がお話されたとおりですので、説明は省略いたします。

ちょっと駆け足になりましたが、これで私の話を終わらせていただきます。

<質疑応答>

○有本

ちょっと気になるのが、定義のところで、「人工物を」というところですね。この人工物の中には、物をつくるだけではなくて、例えば自動車というデリバリーのシステムとかインシュアランスとか、そういうものも含まれるはずですよ。というのは、3年前にIBMのパルミサロが主催したサントペテルブルグでのイノベーションの、これは産業界のリーダーが中心でしたけれども、そのときにたまたま私はインドのタタの上級副社長と一緒にいました。そのときにインドのタタの戦略は、10年先には必ずトヨタを追い抜くと。それはなぜか。インドの社会的なシステムと文化伝統の中で、自分たちの機械をつくるだけではなくて、社会のシステムを変える、それによって絶対に強くなるんだということを言ったんですか、これが非常に印象強く残っていましたね。

こういうときに必ずそれを、社会をトランスフォームというところを書いておかないと、何をやってわからなくなるのではないかと思って、ちょっと気になったものですから。まあ今後の議論だと思いますけれども。

○木村

ありがとうございます。

やはり社会が変わらないといけませんよね、最終的には。ということはもちろん私どもも考えておりますが、社会を変えるというのは、政治というのも絡んできますので、それを表に掲げるのはなかなか難しいかなと。その辺はいかがですか、逆にお伺いしたいです。

○桑原

でも、社会というのは人工物という定義でしょう。

○有本

多分そうだと思います。

○木村

ええ、社会も入っています。

○桑原 自然といったのは、いわゆる自然現象のような、そっちのほうの。だから、今あるのはほとんど人工物でしょ、理解は。

○木村 そうですね。吉川先生が人工物と言われるときは社会も入っていますよね。

○吉川 入っています。

3.3 桑原名誉顧問ご講演記録

今、吉川先生と木村先生のお話、大変感銘深く聞かせていただきました。なるほどと思いました。ただ、これからの進め方の中でぜひご配慮いただきたい点を感じたものですから、それを冒頭に申し上げたいと思います。

今の産学官連携というのは、私の理解はうまくいっていないということです。学は学でやって、産は産で別行動が起きているということが根本でしょう。したがって、このシステム技術もそれがあってはいけないと思うんですね。ですから、産業界の方々ももうちょっと広く参加するようにしていただきたいということも中にありますけれども。今、ご両人のお話を聞いていて、今のものの分析、系統化ということが一つ入っていて、吉川先生のものには、より木村先生のものより強く、将来への解の提供ということも入っていると理解しましたがけれども、今の解析と将来への道の定義がされるまでに何年かかるんだろうかと、これについては。私は伺っていて想像できませんでした。

ただ、産業界は今どういうふうになっているかというと、日本の成長戦略の中でシステムというのを欠いていくわけにはいかない。これは必ず知財で守らないと、あるいは、守れるものでないとだめだということで、恐らくきょうの私がこれから述べることと先生方がおっしゃったことの妥協点というか、実際の行動は役に立つ中間解を早く得るということでないと、産学連携は結ばれていけないと思ったので、ぜひ継続的にご配慮いただきたいと思います。

- ・ システム技術とはなにか？
 - * 定義が難しい/出来ていない、分かっていて難しいのか？そうではない、分かっていないのが現在の実体
 - * このままでは、先に進めない
 - * 漠然と何かある感触はある、技術の統合術か？各種の技術を使つての目的の構築か？これらを横串的に捉える技術があつていいとは思いますがそれが何か明確でない
- ・ システムエンジニアリングの事例
- ・ 実体をみて考えるのが近道であろう

さて、私の内容ですけれども、資料をごらんになったほうがいいかもしれませんが、システム技術というのは何かと。端的にいうとわかりません。ただ、3行目に書いてありますように、今よりも何かあつたほうがいいねと。あるいは、横串的にとらえる技術もあつていいなという気は非常に強くしているんですけれども、それは何かということが明快によくわかっていないということで、あまり論理的に考えていっても解が出ないと思います。また、学の方々にそういうことで進まれては困ると思うものですから、具体的なものを上げてご説明をしたいと思います。

産業界の目的は何かというと、入札に勝つことなんですよ。入札に負けたらもう終りなんです。それが今はいかに生涯ライフのコストも含めていいシステム提案ができるかということになってくるので、そこが出口なんですよ。それがまた成長戦略の出口であるべきだというふうに思うんですが。

1) コンバインドサイクル（蒸気タービンとガスタービンの複合体）

- * 蒸気タービンシステムの効率限界
- * ガスタービンの進化
- * 複合化により高い熱効率
- * 日本から生まれず
- * 熱設計の高度化

コンバインドサイクルというシステムがありまして、4行目に書いてあるように、これは日本から生まれてない。どういうものかと言いますと、蒸気タービンとガスタービンを混合して、複合化して、熱効率を大幅にあげようということです。私も火力をやっていたものですから、従来の蒸気タービンで効率を40%上げるなんて大変なもので、誤魔化しても41にしたいと思うぐらいの努力をしながら、中にはタービンの最終段の羽根をもっと長くして、エネルギーの回収をより効率よくやろうとかいろんなことがありましたけれども、コンバインドサイクルができてから、40で苦労していたのがあつと言う間に50を超えた。

当然のことながら、イニシャルコストは高いです。しかし、この効率の差は電力会社等のユーザーから見ると、とてもない魅力です。ですから、今、日本の火力関係というのはほとんどコンバインドサイクルになっています。なぜこれが日本から生まれなかったんだろうか。非常に残念でなりません。私の理解では、大幅な改善をしようという意欲がその分野の人たちの頭の中になかったということなんですね。

2) 量販企業

- * 在庫縮減（価値減、腐る、資金効率向上）
- * 最終顧客納入の即時化（工事があるものは工事を含めて）
- * 最適物流システムの構築、IT 高度化、物流コスト最適化
- * アルゴリズム開発、倉庫の最適箇所/規模設定、需要予測、発注/納入の高速化、入荷納期の即日化

2 番目は、いわゆるスーパーのような量販企業なんですけれども、ここでは個別のお名前を言うわけにいかないので伏せますが、有数なスーパー企業です。在庫を減らしたい。在庫が1日2日とあるたびに価値が落ちていくわけですね。生鮮食品は腐るし、資金効率、これは、全国に倉庫をおいて、ある量を蓄えておいて、デリバリーを即日やろうというような基本的な考えですから、資金効率もコストの中で占める比率が大きい、最終顧客にはすぐ納めたい、工事があつたってすぐやりたい、と。

そのためには、物流のシステムを最適に構築しなければいけません。これも、ITを高度に使うとか、受発注業務との直結のシステムをつくるとか、あるいは、トラックを含めた物流のコストをいかに頻度を減らして物流を確保するか、帰りの車を空にしないとか色々な中身があるわけです。こういう大きな物流のロジックは、特別なアルゴリズムを開発してやろうということで、大変すばらしいシステムができた。この中では、全国に配置されている倉庫をどこにどれだけ置いたらいいとかいう全国物流を含めて検討、解析がされて、提案されて、今動いています。これはこういうシステムですね。

3) JR 東の近郊線運転管理

- * 省力化
- * ダイヤ変更/事故時対応の容易化
- * システム運用ソフト構造の合理化（自律分散技術、オンライン変更の容易化、変更時に既存論理構造を維持）
- * ハードの価格低減、長い運用期間での順次高度化の確保（超高信頼ネットと PC の大巾活用、故障時の保守ポリシー設定）
- * 運転部門との調整

JRの皆さんお乗りになっている東京周辺の13線の列車の制御というのは、全部一つのシステムでやっています。ダイヤが変更、あるいは、事故時の列車変更のときに、人をかけてもとても対応に追いつかず、結局乗客に迷惑がかかるということが大きな問題となったので、それを自動化によって変えたわけです。

しかも、将来にわたって、当時はいわゆる他社の線との乗合というのはなかったんですが、そういうこともあるやもしれないから、あるいは、一列車で行き先が2つつながっているものが走るということもあるであろうから、そういうときに簡単にソフトの変更ができるようなソフト構造にしようということ等が議論されまして、皆さんご存じかもしれませんが、自律分散というシステムを、ハードのシステムのにも、あるいは、ソフトの構造論的にも採用して、今でもそれが有効に動いている。

残念ながら、自律分散を出したときに着目したのはIBMで、日本の企業はほとんど着目しない。それが今、クラウド等のものの原点になっているんですね。

ハードについては、コンピュータというのはどんどん進化しますねと、したがって、日立がつくるような高いコンピュータはもう使いたくないということで、パソコンでやろうとしました。パソコンが事故になったら、そこだけを入れ替えれば良いが、ネットがダウンしたらどうしようもない、ネットだけはとてつもなく高信頼の高速のものを張っていかうとしました。こんなことでやったのがシステムの内容ですね。

4) 鉄鋼トータルシステム

- * 大きくは製鉄技術の高度化（高炉動作の解析/制御、連続鋳造、メッキなど薄板処理の高速化、圧延の高速化、高精度化、総延長短縮）
- * 省エネ、省力（自動化）
- * 入出庫、ヤード管理などの合理化
- * これからは更なるエネルギー効率向上、CO₂ 削減

鉄鋼のシステムは、まず鉄鉱石からコークスを入れて、熱して銑鉄を出して、それを固めて、いわゆるインロットにして、後でそれを圧延していこうというものでした。これを高度化するには、全体の鉄のシステムそのものを変えなきゃだめだということで、鉄製造のありようというのを、非常に力を入れてお客様とやりました。典型的なのは連続鋳造ですね。高炉から出てくる鉄をそのまま圧延してしまおうと。今までは高炉から出た鉄は一遍冷まして塊にして、倉庫に入れておいて、それを再度引っ張り出して温めて、まずはたたいて、だんだん薄板にしていくというようなことをやっていたのを、連続的にやろうということですね。連続的にやったら途中でとまったら大変だということで、プロセスの高信頼化のために制御装置も、鉄の装置も非常に進化させて作りました。

省エネ、省力化という課題もありました。今、日本の鉄の省エネ、省力レベルというのは世界超一流です。しかしミタルが出てきて原料を全部押さえてしまい、これで彼らが膨大な利益を上げたんですね。そのときに日本はこれだけの技術を持っていながら非常に苦しんだ。今、ミタルは借入金の大きさでえらい収益を下げっていますが、そういうこともシステムの対象なんでしょう。いずれにしても、これから炭酸ガスの削減を含めて、コークスを使った高炉は炭酸ガスが多量に出ますから、これの原子力エネルギー化とかいろんなことが、システムで考えられていくと思います。

5) ユビキュタス社会

- * いろいろ云われているがシステムエンジニアリングが全くない
- * 最終本当にどうしたいのか、どうできるのか、経過をどう設計するのかなど、全く不明
- * 多くの人たち、組織が勝手にうごめいている
- * 一方、ここでは、格段に多くの科学の集結が不可欠であろう
- * 誰がやるのか

それから、ユビキタス社会。これはいろんな有名な先生方がいろんなことを言われているんですが、だれもトータル・エンジニアリングをやっていない、システム設計をやっていないのです。だから、方法にどうしたいのか、どうできるのかと。最終的な姿に近いところに持っていく経過をどう設計していくか。これは全部人あるいは社会が絡みますから、自然科学の人だけではだめです。にもかかわらず、多くの個別の人たちが勝手に動いている。だれがやるのかも決まっていない。こういうところは、システムの出番となるべき分野ですね。

6) 経営の高度化

- * これまでの経営は、直感的、他動的、非合理的
- * 最終は経営者の判断とすべきだが、可及的に合理的要素を注入したい（市場予測、競合他社の動き、リスクのあり方/評価、ビジネスモデル変化予測、新しい環境の把握）
- * 心理学を含む多くの異分野科学の統合が重要
- * これからの問題、今苦しい努力を続けている

それから、今取り組んでいるのは経営の高度化ということでございます。これまでの日本の企業はよくわかっていなくて、直感的、他動的、非合理的、だからこういう状況になっているんです。最後は経営者の判断とすべきでしょうけれども、可及的に合理的な要素を注入したいと考えています。今までの日本の市場予測というのは、アメリカがどうなっているか、欧州がどうなっているかということで、それにならえばというような。これからはそんなことではいけないんです。使う人たちの心理学的な分析も含めて、あるいは、その人たちは将来何をほしいと思っているかということ、積極的にオンラインの情報を集めるとか、いろんなことを混ぜて合理的要素を増やさないといけない。

リスクのあり方、あるいは、リスクは必ずありますから、それへの対処の方法とか、いろんなことをシステムの的に検討し、入れていかなければいけない。これもまた自然科学だけではなくて、人文社会系の先生方に入っていただきたい、木村先生にもお願いして色々やっているんですけども、産業界から見ると十分集まらないという状況です。先生方の中には、「私はこれをやっています、それ以上広げる気はありません」と、「私はまとめられるのは嫌です」というようなことを言われるんですね。

これらの事も、これからの日本のシステムを考えると解決すべき点であり、冒頭で申し上げたような実用化できる中間解の探索ではないかと思うんですね。

- ・ 共通に必要な要素は何か？
 - ＊ 目的を達しようという強力な意欲（最近退化している）
 - ＊ 最適な妥協が出来る知見
 - ＊ 目的別に基本アルゴリズム
 - ＊ 必要技術の統合・・・統括者、必要技術を集める仕組み、展開の仕組み、集められる人の意欲、動き安さ

以上6つの例を上げましたが、共通に何かあるのだろうか。これは産業界の問題ですが、一番重要なのは入札に勝つという目的を本当に達成しようという強力な意欲が原点だと思います。意欲がない限り何も起きないということで、最近この意欲は韓国とか中国に追い抜かれて、日本が非常に衰退しているということが一番気になっていきます。ここは再度工夫していかないといけないのではないかと思います。

ただ、システムというのは、先ほどいろいろ学問的な分析の話がありましたが、結局は最適な妥協なんですね。最適解では入札に勝てない。最適の妥協が入札に勝てるんです。そこができるには、妥協したということがわからないとだめなんですね。自分の妥協もあるし、お客さまにお願いする妥協もあります。だから、全体が見えてないと最適解というのは出てこない。そういうことで、全体が見えるということが非常に大事です。中には、目的別に基本アルゴリズムが必要、あるいは、モデリングとか、シミュレーションというようなことが必要なものはあります。ありますが、それはとてつもない大きなものではないということをよく理解しておいていただきたいと思うんですね。

重要なのは必要技術の統合、統合という言葉がいかどうか分かりませんが、必要技術を集めて一つのものに仕上げていくという行動そのものが非常に大事なのではなからうかと思うんですね。そうすると、だれか統括者がいて必要な技術を集めるという仕組みですね。必要な技術というのは産業界にもあるし、あるいは、学界により多くあると思うんですけども、必要な技術を集める、集められるという仕組み、それから、それを集めて、集めてというのは、必要な技術というのはそのまま使える技術もあるし、その考えをベースに目的とするものに変えていくという技術もあるし、あるいは、このシステムだったらこういうものを新たに開発しなければいけないという技術もあるんですね。そういうものをそういうふうに展開する仕組み。これは、技術を持っていて集められる人の意欲をどうやって高めていくか、動きやすさをどうやって確保していくか等々、この辺にシステムを実際にやっていくとい中間解の中核があるのではないかなと思っています。

・ 基幹技術はなにか

- * モデリング、シミュレーション、最適化、熱力学、流体力学などの基幹技術
- * 信頼性工学（ソフトの信頼性を含む）
- * コスト工学（将来価値評価なども含む）、
- * リスク管理（犯罪出現の可能性なども含む）
- * 人間系工学（人はどう動くか、感じるか、嫌がるか、快く受け入れるか）
- * システムの長期間での変貌、改築、保守などの問題への対応考察
- * 品質工学（妥協工学も含む）
- * システム構造学（目的へ向けての構造論など）
- * システム構築、進捗管理技術
- * 契約のあり方
- * などなど

次に、基幹技術が何かないかという、基幹技術は多くあります。しかしシステムによっては、あるものは使って、あるものは使わないということになります。モデリングとかシミュレーションというのは基幹技術として当然ありますが、流体力学のシミュレーションがあるからシステムが「ひゅう」とできるというような、システムはそんなものではないんですね。システムの一部にはなり得るでしょう。最適化とか熱等々もありますし、システムの長期の信頼性を確保するためにはということで、信頼性工学も大事でしょう。

あまり論じられていませんけれども、一番大事なのはソフトの信頼性。つまり、異常事態が出たときに、いかにそれを事前に想定して対応をとっているかということがソフトの信頼性の定義です。バグがあるとかないとか、それは当然の別項目ですね。JRで6時間以上ストを打つことはないということで設計したシステムが、8時間打たれてシステムがとまってしまったケースがあります。では、あらゆることに対応したシステムをつくるのかというと、そうではない。除いてあるケースが出たら、人も含めてこういうふうに対応を考えるということをして設計しておくことが本当のシステムの信頼性なんですね。

コストは現状コストだけではなくて、プラントというのは長く使われますから、原材料、あるいは、必要な薬品等々を含めた将来の価値をとらえるということが大事だし、そのほかリスク管理、特に人間工学、人はどう動くか、感じるか、嫌がるか、快く受けるかというようなことが、すべてのシステムに検討される事項でありましょう。

それから、品質工学。品質というのは妥協工学なんですね、ソフトの信頼性と似たような要素を持っていて、すべてに100点とれるのではない等々があります。

契約のあり方では、変な契約をすると、とんでもない保証事項を後で見いだして、大損害をするというようなこともあります。

・ 最後に

- ＊ システム技術とは、結局は異種技術を目的実現のために集結、統合し、そして目的を実現化する技術ではないか？
- ＊ 目的は個別的であり、一般解はほとんど存在しないのではないか？
- ＊ しかし、何かあってもいい気もする
- ＊ しかし、学問的な追求が先行するのは良しとしない、恐らく道を誤るであろう

最後に、システム技術とは、私の考えは異種の技術、異種というのは、これまたあまり簡単に言ってはまずいので、システムを設計しようとしている人からみて異種の技術ですね。その人が万能で全部知っていたらもう要らない。しかし、そういうことはありませんから、異種の技術を目的実現のために集結して、ある目的物をつくるということです。吉川先生のお話で社会的な期待というのがありましたけれども、僕らがやりたいのは、「あれを日本から出したい」ということなんですね。「あの期待にこたえるものを、システムを日本から出したい」ということです。

例えばレンタル制度もアメリカから出てきたでしょう。それから、最近話題になっている、いわゆる電力系統あるいは水の系統等々を対象にスマートグリッド、あんなの昔から日本はやっていたんですよ。しかし今の時代の目で世界を見ると、日本のものは島国の考えで使えませんが。また、もし日本人がやっていたら、「スマートグリッド」というような言葉はつけなかったでしょう。社会がどうやって受けて認めるかというときに、そういうこともシステムの一環であるべきなんですね。アメリカは大したものですよ。スマートグリッドというのが今、アメリカ発で世界に認められていることになっていますから。

それから、目的というのは、社会の期待とおっしゃったんですけれども、これは大きすぎると解がなかなか出てこない。目的というのは明確でないとシステムの解は出てこないんですね。したがって、目的は個別的でとらえていきたい。一般解というのは、私の理解では存在しない。学術的なまとめの一般解はできると思うんですね。木村先生も人工物の分析ということで論理立てて吉川先生のものも含めてやろうとされて、これは大変結構だと思うんですけれども、そこから能動的な攻める問題を与えられたときに、世界に初めて提案できるようなシステムができるということの間には非常にギャップがあるんですね。

ですから、問題解決型と木村先生はおっしゃったんですが、先ほどのお話の中では問題解決の手段が僕には見えませんでした。しかし、産業界はそれを求めているので、産

学連携をやっていくには、繰り返しのなりますけれども、時間がかかる学術的な研究の中に同時並行に中間解を議論していかないと。その中間解は時代とともに、学術の進化とともに進化していいと思うんですね。しかし、とりあえず使える中間解を議論していかないと、両者の関係がうまくいかないと思うんですね。繰り返しますけれども、その中間解というのは、私の意見は、異種の技術を目的に応じて統合・集結できる仕組み、あるいは、人の動きの仕組みをやっていかないとだめではないかなというふうに思います。

＊ 当面具体的なテーマがいくつもある

- 1) 省エネルギー型の海水淡水化システム
- 2) 高い変換効率を持つ太陽エネルギーの電力変換システム
- 3) 高効率 CO2 固定化システム
- 4) 色々な分野での新しいビジネスモデル
- 5) などなど

＊ システムは知識が不足すると競争に勝てる最適妥協点に到達しない

＊ 進め方を誤るとコスト、時間、人がかかる

＊ 今を正確に知ることも、あながち無視できそうにない

今ここに出ているのは、日本で今大きなテーマとなっているものです。

省エネ型の海水淡水化。海水淡水化は、皆さんご存じないかもしれませんが、すごい圧力をかけて浸透膜、海水を通すわけです。だから、とてつもないエネルギーが要るんです。ですから、海水淡水化は、大きなものをつくと IWPP といって、ウォーターだけではなくて、パワーのプラントを同時につくらないと、海水淡水化はできない。これはエネルギーをこんなことでいつまでもやっていいのかという議論が出てきていて、それに対するシステム提案がされていない。

こういう研究をやるんじゃないかと思って、例の2700億で産総研にヘッドになっていたただいてお願いしたんだけど、落とされましてね。日本はシステムをやるという意思がないと思わざるを得ない。

次も落とされました。高い変換効率を持つ太陽エネルギーの電力変換システムですね。太陽光だけではないんですよ、太陽光も含めて太陽エネルギーをやらないと、シリコンで17%なんて変換効率では全然話にならない。熱も使って。では、どういう技術があるか。ヒートポンプがいくかもしれないとか、あるいは、熱を集約して何千度にやれるようなシステムを東工大でやっていたり、いろいろあるんですね。そういうものを全部知っている人がいて、あるいは集めて、集まってもらって、どうやったら日本発のいいシステム提案ができるかというような議論はどこにもないんです。そういうことを具体的にやっていくことをしないと、システム論というのは空論で実益をもたらさない、出口がないということになります。そのほかに炭酸ガスの固定化とか、サービスを含めたモデル等々あることは皆さん想像していただけたと思います。

- ・ ともかく、まず、具体的な大きいテーマに関係の者が集結し研究開発を推進する具体例を存在せしめたい
- ・ 能力ある人材の育成のためにも、そうしたい

最後、「ともかく」と書いてあるところが大事で、具体的なテーマ、小さなテーマはメーカーは持っていますが、それはなかなか市民権を得にくいので、この科学技術業界で市民権を得られるような大きなテーマをとらえて、2つ3つと関係者が集まって推薦すると。結果が、目標は日本発の知財で守られた、世界で活用されるシステムをとというのが出口ですな。そういうことをやるということも。これだけやれという意味ではなくて、一方でそれをやりながら、吉川先生のお話あるいは木村先生のお話が進化していった、より実経験が先生方にも出てくるでしょうから、反映されて、日本のシステム技術というのが発展するという姿を見たいと。恐らくその間では人材教育というのが非常に期待される事項でありましょう。

以上でお話を終わります。ありがとうございます。

3.4 出席委員ご発言記録（発言者敬称略）

○岩橋

エンタープライズ系のIT業界に身を置いている者です。日本の80万の人を預かっている業界で、毎年新しい成人130万人のうちの少なからずの層をいただいているということです。ところが、ここに非常に問題があって、まさにきょう議論になっているシステムの考え方とか、こういうのが非常に落ちている。これだけをお預かりしているだけの貢献を我々業界として日本の国にできているのかという問題意識を持っています。

そういう意味でIT企業側からも、次回時間もいただけるようなので、その問題をお話したい。また、言葉の定義だとか新しいサイエンスが生まれるのは大いに結構であります。要は日本のどれだけの人にこういう考え方を刷り込み、どのレベルのことをどれだけ考える人間をつくるかということが目的ではないかと思っています。単に一般論が出てきて、こういうができたらいいいよねと言ってもあまり意味がない。要は、ビジネス戦争の世界で生きているので、国益のためにこういうことを考える人間を何人つくるんだと、そういうこともぜひ目的に置いていただいて議論できればなと期待しております。

○椿

まず、システム学自体をつくっていくというときに、先ほど桑原先生がおっしゃられたような「中間解を与えていくということの方が社会的に効率的である」ということも、システム学的に出てくる問題ではないかと思うんですね。ゼロ次近似でつないで、ある意味で不完全でも進めていく、一方を切っていくということ自体が、世の中を見ているとそうやったものの方がかなりうまく進んでいるということであって、こういうことに一般的な解を与えることがシステム学としてできるのではないかという印象を持っています。

システムの定義で、吉川先生おっしゃられたように階層性というものを考えた時、ある種の一連の条件、制約をつけて構造化まで進んでいくという道筋の中で、その制約条件なり、あるいはコンディション、属性と言われているものが価値に非常に依存している。価値は変化するから、システムも進化させなければいけない。ところが価値は進化するのではなくて、変化してまた元へ戻ってしまうかもしれないわけですが、それに対してどういう対応をするかということに関しての一般的な理論をつくっていくということも重要ではないかと思います。その上でシステムのパフォーマンスがどの段階で落ちて使い物にならないから、イノベーションが必要になるのか、イノベーションのタイミングというのはどういう時期に起きるべきなのかということに関してもある程度の解を出す必要があるのではないかと。私はこういうことに関しては、数理科学に対して期待が大きいです。

それから、もう一点ですが、私は統計屋なわけですがけれども、現代の問題というのは、吉川先生がおっしゃられた逆問題と言いますか、設計の中で一次解が出ないというだけではなくて、我々が扱わなければいけないアソシエーションの数が、オブザベーションよりも圧倒的に大きくなったために、順問題ですら、いわゆる認識の問題ですら一次解がなくなってしまった。そのために大変な習慣性、価値依存性ができてしまって、ややもするとそれが非常に邪悪なものに利用されるというようなことが起きているのではないかなというようなことすら感じるところです。

こういう現代の非常に複雑化したアソシエーションを扱うためのシステム科学の方法論、これ自身の攻め方とかストラテジーに関しても、中間解なり一次解というものをつくっていくというのは、それなりに重要ではないかというふうな印象を持ちました。

○出口

システム科学というもの、それから、システム思考、システムというものをどのようにとらえて等々については、かなりいろんなところで認識が、そのこと自体は高まっていると思います。私どもの大学でも、博士課程の人間が専門領域だけに幾ら高度になっても社会では役に立たないということを言い出しまして、高度イノベーション博士人材育成センターというのをつくりまして、さらに博士課程の人間にシステム思考を植え付けるということを標榜しています。

このセンターでは、システム思考とかシステムの考え方の重要性ということと、それをお化粧のように上につけて、彼らは「人間力」とかいうんですけれども、博士課程を出た人間の人間力が深まるとか、そういう言い方をするんですね。システム科学というのはそういうものではないんだということを言ってもなかなか通じない。一方で、システムの思考は非常に欠如してしまって、専門的な科学を高度にしても何してもどこかで通じない、齟齬が生じてうまくいっていないということの認識はいろんなところで高まっていると思います。先ほどの吉川先生はじめお三方のお話で、ますますこの定義を深めなければいけない、きちんとしたスタンスを提示しなければいけないということは強く感じた次第です。

もう一つ、システムというのをどうとらえるかについて、吉川先生、木村先生の話にあったように、色々なものの関係性が非常に大事で、システム科学を掘り下げていく一つの切り口として正攻法だと思います。スタティックにはそれでいいんですが、ダイナミズムみたいなのがどういうふうに関係しているか、関係性を分析し、固定化していくものだけで見えてくるのかなという気がしております。

僕の専門で言いますと、もともと計測の出身なんですけれども、計測においては昔からいろんなものを個別に測らなければいけない中で、たいへん高度な計測法がでてきている。一つひとつの事象ごとに専門家がライフルを撃つような計測法を開発して、それによって何かわかる。でも、1個1個をよく掘り下げていくともっと統一的な計測法が

あるのではないかと、計測の統一理論ということがずっと言われてきているんですけども、私の先輩でもまだ計測の統一理論に至らない。

そこで私自身は少し違うほうから考えてみました。計測というものが何を計測するか、物理量は少し置いて、情報を対象から獲得するんだ、情報がどう流れるんだ、そのときの情報量がどこの回路でどう流れていくんだということを解析していくと、計測というのは何をやっているのかが見えてきたという感じがするんです。さきほどのお話でも、もう少し量的なもの、一体何がどう流れて、それがシステムとしてどう生きていくんだという量的な解析にも少し踏み込んでいくと—情報が流れるというのは、システムにとってはキーの話だろうと思うので—そういう視点でダイナミズムをとらえていくともう少し見えてくるのではないかなと考えました。

○吉川

我々は研究側からシステムという問題を出しているわけですが、桑原さんから出された産業の問題が、ここでは一番議論しなければいけないことだと思います。とにかくシステム科学をやらなければいけないという動機は、まさに桑原さんがご指摘になった、現在の産業におけるシステム思考というのが不足しているということです。それをどういうふうに研究側から提供できるのかというのが、今日のこの委員会の話題であり、思いは同じなんですね。ですから、最初に私が申し上げたように、各分野がバラバラになっているということをどうやって統合するのかというのは、桑原さんの言葉によれば異種技術の利用ということにつながっているわけですし、思いは同じだということです。

もう一つ、これは思いは同じだと言っただけですが、非常に厳しいお話が桑原さんからありました。これは、いわゆる産業界というものに対する研究の世界の考え方というか、研究者がどういうふうに産業界をとらえるかということと、技術をどういうふうに生かせるかということについての、ある意味では考えの浅さというか、そういうもののご指摘があつて。これは我が国の研究界の問題点なんですね。正確な裏付けは別途必要でしょうが、研究者と一緒に何かやるということが制度的にも、研究界が持っている制度、大学の制度も含めて何か国内競争ばかりやっていて、一つのものをまともって世界に提供していくという、そういう方法論が全く欠落しているような気がして、これは研究の世界の大反省が必要だと思います。

私がシステム科学と言っているのはそのこともあるわけで、私は別のところでまだ第二種基礎研究なんていうことを言って、いわゆる研究者の研究というものがどうやって産業につながっていくのかという仕組みを、もうちょっと研究者として考える、そういうことが本当に必要だと思っておりますので、きょうの内容豊富な桑原さんのお話についてのコメントを皆様からもぜひ出していただくといいのではないかと思います。よろしくお願いします。

○丸山

今、キャノンに勤めていますが、昨年の10月まではIBMにいて、スマーター・プラネットというコンセプトを推進する係をやっておりました。スマーター・プラネットというのは何かというと、世の中が極めて複雑になっていくので、この複雑な世界での問題を解けるのはITでしょうと。ITでも、特に総合力を持ったIBMみたいな会社でしょうと、そういうようなマッピングについてだったんですが、前半部分は確かにそのおりで、世の中が極めて複雑になって、この複雑さを我々は何とか解かないといけないというところは、非常に共感するところがあります。

私はこのシステム科学に期待するところを3点お話したいと思います。

1つは、先ほどの吉川先生のお話の中で還元主義、構成主義というのがありましたが、要素に分けて、その要素が組み合わさっていくうちに、どこか価値が不連続に変わってまいるような気がするんですね。単に部品の寄せ集めではなくて、価値が不連続に変化する部分、そこがどこかということが科学的にわかってくると大変うれしいなというのが1点目です。

2点目は、今、出口先生のお話がありましたけれども、ダイナミズムの話があります。時間軸上で何が起きているかということのをうまく記述し、それをモデル化するための道具立てというのが私たちは弱いように思います。状態マシンとか伝達関数とかいろいろな道具立ては持っているわけですが、非常に複雑なものを、ダイナミズムを記述するのはまだまだ弱いような気がしまして、その辺が何とかならないかと。

それから、3点目は、サイエンスをやっている人というのは常に簡単化したいんですね。モデル化したい、抽象化したい。だけど、抽象化すると細かいところが見えなくなってしまって、そのためにいろいろ大きな問題が起きているという面があります。抽象化が敵なのか味方なのか、この辺については非常に大きな議論が必要なのではないかと思っていますので、この辺について解が得られるといいなと思っております。

○赤松

私は2つの立場でここにいるような気がしています。ひとつは、私の専門である人間工学の研究者としての立場、もうひとつは、産総研が2年ほど前につくりました「シンセオロジー」という雑誌の編集幹事としての立場です。この両方の観点で関係があるのではないかと思います。

最初の「人間工学」の立場から言えば、人間工学では人間にとって使いやすいものや、健康で快適な生活をするためのものや、環境をつくっていくという研究を行っています。そのために、まず人間をよく知らなければいけない。人間のことをちゃんと知ること、それを系統的に理解していくということは非常に大事で、吉川センター長が要素を組み合わせでシステムをつくるというお話をされていましたが、人間側から見て

必要なものは何なのかを考えていくと、要素が欠けていることが多いんですね。例えば「健康にするためにどんな技術が必要か」なんていう話をしたときに、既存の科学技術で準備されている個別の要素技術では満足できないことが多いんですね。そういう意味では、システムというのは、要素を組み合わせるだけではなく、同時に分析というか、認識科学としてのシステム科学みたいなものも必ず必要だというふうに思います。

人間工学は、また、サステナビリティということと関係あると私は思います。今の制度やシステムというのは、だんだん変わりつつありますけれども、たくさんものをつくって、その中でいいものだけが、人から受け入れられるものだけが、残っていくという、ある意味でたいへん無駄なことをやっている気がします。人に必要なもの、望まれるものだけをつくっていくということは、サステナビリティと関係あるのではないかと私自身は思っています。そういう意味で、人間工学の観点とシステム科学の観点とは共通性があり、これはまた、サステナビリティという点でも実はつながっているんだなと私自身は思っています。

もうひとつの立場はシンセシオロジーの立場です。「シンセシオロジー」は、吉川センター長がおっしゃった第二種基礎研究を、先生が産総研にいたときに提唱され、この研究成果をいかに社会に生かしていくかという活動を論文にしようということで、2年ほど前に発刊した雑誌です。「シンセシオロジー」とは「シンセシス」という言葉からの造語で、従来、分析的な研究というのは論文になりやすいけれども、構成的な研究というのはなかなか論文にしにくいので、そういうのを受け入れる論文誌をつくろうということで、その立ち上げから、編集幹事をやっています。この立場から言えば、システム的思考が日本の研究者に欠けているのではないかなと思います。それは、認識科学としてのシステム科学とも関係するのですが、物事の意味というのはそもそもシステムなんですよ。無意味という言葉は、物事がシステムになっていないということです。認識科学としてのシステム科学というのはかなり重要だと思っています。ところが、それが少なくとも日本の研究者には欠けているような感じがします。それはなぜかということを見ると、記述力というのが研究者に欠けているのではないかと。さっきの『シンセシオロジー』というジャーナルに、自分のやった研究のプロセスを書けというのが一つの大きなポイントなんですけれども、その書く力というのがそもそも足りない思っていて、それは文章力ということと関係あるのではないかと今、私は思っています。だから、システム的思考を獲得するためには、少なくともちゃんと文章を書ける力を育てるということも必要なことではないかなというふうに私は思っています。

○内田

私は制御システムの担当ということで、先ほど木村先生のお話にありましたように、第1回の分科会をやりました。制御システムとしてどういう課題があるだろうかということを議論しまして、具体的なものを何か絞ったわけではないんですが、環境というキ

ワード、それから、もちろん人間を含むシステムですね、そういうものを議論して、その中から課題を抽出するという形で進めていこうというふうに相談しています。

その中で、先ほど桑原先生の話の中でスマートグリッドというのが、当然ですけども、話題になりまして、おっしゃっていたとおり、日本では既に立派な配電網、信頼性の高い配電網があるし、情報通信も非常に立派なものがあって、これこそスマートグリッドであって、「もうやることはない」という話もあるんですけども、一方でCO₂の問題を解決しないといけないということになると、再生エネルギーとか、あるいは分散化とかそういうことで、逆にいうと今あるスマートグリッドを少し見直さないといけない、新しいものをつくらないといけないという時期にきているのではないかということ認識できたと思います。

例えば、日本は立派な風車だとか、比較的というと非常に性能の高い太陽電池をつくる技術は持っているんですが、一方で、非常にマクロにいうと、ビジネスモデルの話はすごく商社などでは進んでいるんですが、これをそのままにしておくと、またトヨタの問題みたいなことにならないように、そういうものを上手に技術としてつなげていくような制御システムを考えていくような方向が大事なということを話しました。

○倉橋

私自身は企業に長くエンジニアとして勤めておりまして、企業ではプラントの制御システムを開発していたんですけども、そのときに数千点、数万点ある制御ポイントをどう制御していくのかというのは人間の力を超えているところにあって、システム科学と呼ばれるものの恩恵を非常に受けていました。いかに簡単にうまく制御するのか、また分散システムとかも使いながらつくるということをやっており、それがシステム科学の出会いだったと思います。たまたま私のところは経営システム科学と、「システム科学」という名前がついているんですが、経営の問題、マネジメントの問題を、システムを使ってどう解決するのかということにかかわって、とても桑原特別顧問にお話できるような内容ではないんですけども、そういうことをしております。

システム科学についていろいろお聞きしていて思っていたんですけども、要素還元、要素構成というお話がございましたけれども、私は今社会システムということに関心を持っておりますが、そういうものを解決しようと思ったときには、基本的に複雑システムですので、要素を再構成したからといって同じものができるとは限らないんですね。ただし、ここまではできるということは感じるころがあります、モデル化という形をとりますけれども。そういう意味で、システム科学というのは非常に複雑で、解決困難で、認知も不可能なものをいかに見やすくするのかというところに一つの価値があるのではないかという感じがしています。トヨタのシステムなどもそうかもしれませんけれども、扱いやすくするということは、システム科学の一つかもしれないというふうに思っています。

たまたま私のところの学生さんの修士論文のことしのテーマが「談合の追求」、彼は会計検査院で談合を検査している人なのですが、「官製談合は正しい」という結論を出してしましましてね（笑）。先ほどお話もございましたが、契約のあり方とか、そういう社会システムを、システム科学を使ってよくよく見てみると、常識と思っていたことは本当は逆のことがあるのではないかということが見えてくると思っています。そのようなことを少しでも貢献できたらと考えています。

○三平

私自身は、システムとよりもどちらかというと狭義の制御という形で、品質状況がしっかりしているシステムに対して、どうやっていけばいいかというようなことをやってきました。その関係で、その関係の細かい数学なんかをやってきた人間ですので、今回のお話で、システムという形で要素にうまく分解して要素の関係という形でいろんなことをやっていくというのは、私にとっては非常に新しいところでありまして、非常に参考になったというふうに思っております。

その中で一つ、ちょっと気になったことがありまして。桑原先生が言われたように、中間解が必要だということで、ある程度ターゲットを決めて、一つの問題を解決していくということが大切だというお話があったということになります。それに関しましては、2年ほど前に、横断型基幹科学技術研究団体連合というところのシンポジウムに、私は外部の立場で出させていただきました。そのときには、横幹という立場の方と、ほかの基幹技術の学会の方々が集まられて、お互いに意見を言うという会合となったんですが、そのときにある大きな学会の会長の方が、「えっ、技術の統合、それだったら、うちはいっぱいやっているよ」と言われたんですね。

実はある問題提起がされて、それに対して解答を出すというのは、既存の縦型の団体でもそれなりにやっているような気がします。それは多分学会によるとは思うんですが、とにかく外へ広がっていきこうという思考の強い学会のような場合には、そういういろんなところをどんどん取り込んできて、これもおれの分野だよ、これもおれの分野だよといって、学会を広げていくという学会もあるのではないかと思います。いい悪いは別にしてあると思うんですね。そのときに、私が横幹の立場を外から見ていたときには、ただ単に集めるだけではなくて、それを統合するような何かの、数学に対応するような、先ほど吉川先生のお話で形而上学という話がありましたけれども、そういうところがないと横幹はやっていけないんだと、私自身を変えてくれたというところがあります。

今回は2つの軸で考えていきたいなと思っています。それは、中間解という意味での一つのテーマに対する解答を出していくということ。それを統合した一つの理論というか、ある昇華したものをやっていかないとシステム科学として成立しないのではないかなという意味で、中間解と、もしかするとすごく遠いところにあるかもしれない解の、

両方とも頭の仲に置きながら進めていけばいいのかと、今日話を聞いて思いました。

○杉原

所属は数理情報学専攻となっていますけれども、数理工学というような名前が昔は呼ばれていたものが、情報科学科ができましたものですから、このような名前になっております。私自身は、数学を使って何でもおもしろければやるというような感じで、今までいろいろやってきまして、統計などもやっておりましたし、今はシミュレーションもやっております。

今回は、数理科学に関して、皆さんはお聞き及びかもしれませんが、忘れ去られた科学、数学というのが話題になりましたけれども、それに関して、要するに“**of the people by the people for the people**”ですけれども、現在、数学者の、数学者による、数学者のための提言をしているんです。木村先生から、ぜひこういうシステム科学的な、さっき吉川先生もおっしゃいましたけれども、形而上学の上にある数学みたいな、より広い立場での数学という視点から、忘れ去られた数学を復帰させるというか、そういうようなことも考えてほしいということで、私の任務はそういうことを仰せつかっております。

今日いろいろお話をお伺いしまして、感想を少しだけ申し述べたいと思います。桑原様のお話に非常に感銘しましたが、私も常々そういうふうなことは思っていたこともありまして、大学の中でも特別講義を設定して、企業の方から何らかの成功事例ですね、お話にあった量販店とかそんな大きなものではございませんで、多少小さめでありますけれども、いろんなシステムの思考をすることによってあるものの効率が上がったとか、そういうことができているという事実を学生たちに教えていただくというような授業を持っております。学生たちに感想を聞くと、我々は常に最適解を求めるにはどうしたらいいかというようなことばかり教えておりますので、学生にとって非常に意義のある授業になっていると思います。大学の教員側も多少それに従った中間解みたいなものを求めるような授業もやるべきだなというふうに思いました。

もう一つ、システム思考が日本であまりうまくないというのは、手の器用さと相反するところがあると思います。日本人の場合は箱庭をつくることに非常な美を感じたりする。アメリカ人が箱庭をつくれようはずがないんですね。システムというのは大きな箱庭をつくっているみたいな感じだと思うんです。そのあたり、日本人はスケールアップした形で考えることはできるはずなので、そういうような方向性を何とか学生に教えながら、我々も意識しながらやっていく必要があるかなと思います。

それから、先ほどのスマートグリッドの話ですけれども、有名なのがインフレーション宇宙論ですね、同じ理論を日本人が言っている、結局ネーミングでとられてしまうんですね。さっきおっしゃったように、日本も実際にはやっているんだけど、それをああいいう名前で売り出すことによって向こうが主権を握ってしまうということが大き

いので、表現力というのも我々大学で学生に教える必要があるかなというのはすごく思っています。さっき文章力が必要だというようなお話が出て、そのあたりの教育がおくられてしまっているというのが我々の反省している点です。

○津田

私の専門はいわゆる金融工学です。あとは数理ファイナンス。ベースとなりますのは、統計学とか数学とか、そういったものを使って研究をしてきたということです。個人的には、長い間、民間の金融機関の研究所におりましたので、ある意味ではアカデミックスと、先ほどありました実務ベースですね、いかに実際にワークするようなものを考えるか、そういった両面をやってきたということと、あと私は元は理系で制御工学をやっておりましたので、共同研究で経済学部とかビジネススクールの先生ともやってきたということで、そういう意味で理系と文系の両方の側面からやってきたということが今回お役に立つことができるかと思っています。

少し気になったのは、私は元理系ですので、理系の人間がえてして陥りやすい面として、理系の技術的な面、科学を取り巻く社会的な構造とか、さらに金融、経済ですね、そこを見落とすとワークしないということがあります。昨今もサプライ問題で世界的に大きなダメージをこうむって、昨年の2月に、ご存じのように、日本の鉱工業生産指数が前年比でマイナス4割減ったということで、4割減るということは工場がとまるといった状況が生じていたということです。したがって、先ほどご指摘ありましたように、システム科学が対象とする人工物の中には会社も含まれる、したがって、エンジニアリング的なところだけではなくて、会社というのは資金調達がなければ、どんなにいいエンジニアリングがあっても、会社としてはつぶれてしまうということです。

昨今、ご存じのとおり、ある携帯電話会社がそういう状況に陥ったということがあります。システム科学といったときに、広い意味での日本としての新しい、会社の経営も含めて、そういった考え方、概念が少しでも出ればと思います。今回のトヨタ自動車もそうですけれども、違った意味のリスクマネジメントですね、そういった面での新たな考え方、日本的な前向きな着点というか、完全解は無理だと思うんですけれども、従来なかったものであれば非常にいいのではないかというふうに感じています。

もう少し社会全体な意味での視点からという意味では、文系的な金融経済を取り込んだ上での何らかの要素も考えた上で考えていくということが重要ではないかというふうに思いました。

○中村

先ほど情報科学は分野個別性が強いというお話でしたけれども、京都大学で情報学というのをつくったときは、従来の情報工学よりはもうちょっと広くて、実際は社会情報学とか認知科学とかいったものも含めたもので設計しましたので、そういう意味ではシ

システム科学と呼んでおられたものに少し近いものをねらっていました。

システム科学は、そういう名前の専攻が情報学の研究の中にもあるんですが、情報学の縮図のような専攻であるにもかかわらず、今一つ認知度が低くて、改組などの話が出ると真っ先にシステム科学を解体してとかいうよからぬ話が出てきまして、そういう意味でどこにもつけられてしまうことがあって、現場のほうへいくとかえってそれが特徴のなさみたいなものにつながってしまうところがあります。今日話を聞いていると、むしろシステム科学を中心に情報学を再構成すると言いますか、そういうふうな視点のほうはむしろ発展性があるのではないかというふうに感じた次第です。

私自身、専門分野は、いろんなところには応用数学と書いたりしていますけれども、きょうの吉川先生の製品から始まって法則科学へいくと、矢印ではまた製品に戻ってくるような、そういう流れとは別に、応用数学のほうは、数学のほうからおりてきて、法則科学のところまでくるんだけど、もう一回、最後、数学に戻っていくような、それが今までの数学観といいですか、応用数学観というのがあります。このように結局は数学に最後に帰っていくというのは、社会とか、あるいは、中間解を求めて、それが広く使われて知財で守られている状態だという、そういうものとは方向性が全然違うわけです。この委員会は社会に還元すると言いますか、役に立つような数学、数理科学のようなものをここから生み出すような、そういう仕掛けをつくっていただきたいというふうに強く感じた次第です。

私自身、JSTの「さきがけ」とか「SORST」の経験があるので、そのときの経験から言いますと、大学横断的な研究プロジェクトというものが、今のような個別性が強いような学問分野とか、大学とかいうものを飛び越えるような役割をいたしますので、複数の大学で応募して、一つのプロジェクトで、最後はアウトプットまでしっかり書かれているようなプロポーザルを選ぶような募集ができれば、その審査員とかアドバイザーに企業の方にもちゃんと入ってもらって、そのあたりの手綱をしっかり締めていただくような、そういうのがあれば大学といえども研究から、その出口まで一つのプロジェクトで一貫して進めていけるのではないかと思います。そういったものの誕生にかかわることができたら大変ありがたいと思っております。

○古田

東大のシステム創成学専攻は、2年前にできました新しい専攻です。ついこの間、木村先生の「ものづくり敗戦」を読ませていただきまして、私が教養学部において、学生をアジるときに使うネタと全く同じようなことを書いておられました。現状の問題に対する意識というのは私も非常に感じております。

1点だけ申し上げたいのは、システム科学といったときに、科学がついておりますので、客観科学というか、科学的な実証、客観的な実証が可能なものを扱うというのが、

普通の伝統科学のセンスだとそうなると思うんですね。ところが、システム科学が扱う対象の中には、余りにも複雑すぎて繰り返しがきかない、一回きりの現象、あるいは、実験はできない、それからデータも完全なものはないといったような、そういう対象が往々にしてあるわけです。そういうものを対象にして研究をやったところで、これは科学ではないと言われて論文も通らないと、そういうようなパターンが結構あり得るのではないかと思います。

しかし、現実の問題を解決するためには、そういう科学的、いわゆる伝統的な科学的実証には耐えないんだけど、何とかして合理的にその問題にチャレンジするということが必要になってくる。そのギャップを研究者としてどう埋めるのか。特に若い人たち、これから業績をつくらなければいけない若い人たちをどうやって巻き込んでいくのかというのは、非常に難しいし、私もちょっと苦慮しております。最近、私は社会系の問題を使うことが多いので、そういうパターンによく陥っております。そうなるくと、研究者は、丸山さんが言われたように、どうしても科学的実証に耐えるかまで単純化してしまいたくなるんですね。そのほうが楽です。

ところが、そうしてしまいますと、今度はリアルな問題解決にはほとんど役立たないような、そういう研究成果になってしまうというパターンが多いので、そのところをどういうふうに考えるかというのは、研究の評価、業績評価の問題とも絡んできますけれども、そういう点が、学术界としてチャレンジするためには、問題の一つのネックになっているのかなということを最近よく感じております。

○吉岡

コンピュータサイエンスというところにいますが、学生時代は精密機械というところで設計学をやっていました。そのころ、先ほどの吉川先生の話にもありましたけれども、知識みたいなものがあれば何となくできるというお話、それに対して、逆に、桑原さんが指摘されたように、実際に複数の領域がつながるといったときには、そのつながるための知識みたいなものもあらかじめ埋め込んでおけば、後で説明はできるんですけども、それ以上でもそれ以下でもないという形になってしまう。やや行き詰まったところというのを自分で感じていました。先ほどの吉川先生の話にあったように、ナチュラル・ランゲージみたいなところはやり表現力が高い。そういうところから得られる知識というのも非常に多くて、そういうことをしっかりやっていると、異なる領域をつなぐとかいうような話につながるのではないかとということもあり、現在は自然言語を中心にしたテキストマイニングとか、ナレッジマネジメントをやっています。

そういう中で、私の大学でもグローバルCOEとして分野連携という話があり、ナノの人たち、今までどちらかというとシステム科学的なアプローチで自分のやっていることを分析しなかった人たちの実験記録のデータというのがあるので、そこから役に立つ知識をどうにかして取り出そうという話をプロジェクトとしてやりましょうということ

になりました。1年ぐらいかけて話をしていくと、システム科学的に今まで自分たちは考えていなかったこと、先ほど手先が器用だというお話がありましたが、手先が器用だから実験条件を器用に変えて何となくやっていたことも、情報科学的なアプローチを使うと、こういうことを今までしてこなかったけれども、こういうふうにやったほうがよかったのではないかなということが分かってくる。

ただ、それも一回話してわかる話ではなくて、いろいろデータベースをつくったり何とかというのを半年なり1年なりつないでいくことによって、そういうことがわかっていく。こういう組み合わせをしていくことで知識というのが少しずつふえていくことができるのかなと思っています。そういう形で知識が幾つかの断片みたいな形で出てくることによって、隣の領域の知識が関係あるのではないかなというようなことが議論できる、桑原さんが求められているような異分野がつながるといような話につながるのではないかと思います。ただ、本当に知識のレベルまできっちり書けないとつなげないかという、それはまた違う話もあるだろうと思います。

次に別の話ですが、ゼネコンの人が、例えば工場をつくったときにどんな問題が起きる可能性があるかというような話が、最近では、プログラムマネジメントという、プロジェクトマネジメントよりもう一段高い、その周りにどのようなステークホルダーがいるとか、見えないリスクというものを、あらかじめ最初の段階で考えておくという形でリスクマネジメントの考え方が出てきている。まさに桑原さん最初におっしゃったように、どこまでが考えてあるリスクで、どこから先は考えていないものかというのをちゃんと考えないといけないのです。そういうようなことをやるときに、世の中、品質が必ずしもいいというわけではないですけども、膨大なテキストが現状では存在する。それがいいか悪いか、見つかった文書がいいか悪いかというのは別にして、こういう観点もあるんだということを教えてくれる、傍証になるような情報というのは世の中にたくさんあるというのが現状になっております。だから、そういうところをうまく、今使われているようなテキスト的な処理の考え方と、システム科学的とか、設計学的なものをうまくつなげていくと、何か新しいシステム科学への貢献みたいなものかできるのではないかと考えていますので、そういうことについて議論をさせていただければと考えています。

○大竹

私はこの中では行政のほうに身を置いていますから、立場は違いますけれども、お話を伺っていて、木村先生が言っているのは工学というのも同質の話ではないですかというのが私の感覚です。ただ、先ほど「新成長戦略」の話が出ていましたが、役所だけでなく、ここにいる先生方は違うと思いますが、大学の先生方は何をやっているかという、あそこに引っかけて金をとってこようとしている。「新成長戦略」はここ10年ぐらいで日本の経済を何とかしなくてはならないというものであるのだけれども、それに対

応している側は、これに引っかけておけばお金がつくと思って行動しているわけです。

これは非常に問題があるんだけど、そこには2つの問題があって、1つは、きょうここで議論する話ではないけれども、いわゆる要素還元的、固定的なサイエンス、理学的なものに対する日本の理解がないから、社会の理解もないから、そういうところで金をとらないと、財務省も含めてバツサリ切られて、研究ができなくなるという問題がある。それは別のところで議論したいと思います。

もう1つは、ギャップがあって、アカデミーの中での価値観は真理探求、これが多分99%近いのではないかな。ところが、社会の中では役に立つものをやる。これは高い。そのギャップというのはどうしてかという、工学部でちゃんと工学教育をしていないというのが私の印象で、工学部の先生方が真理を探求して、ちゃんとした厳密解を出そうとしている。あれは意味ないとは言わないけれども、工学の真髄は、先ほどおっしゃったように、ゼロ次解でも一次解でも、それでもものを実際に動かしてみて、やってみて、それでまた科学が別な意味での精密科学が進歩したら、そのゼロ次解をさらに進歩した解で置き換えていけばいい。

すべての大学の工学部を知っているわけではないですけども、存じあげている工学部というところへいくと、理学部とあまり変わらない研究をやっているし、先生方もそうやっている。政府にも非常に問題があって、座標軸が、さっきおっしゃったように、論文とか、それでしかやってないわけですね。論文だけで評価する方式は、やはり変えていかないといかんなと思います。長期的な問題と中期的な問題、短期的な問題を分けて考えていかなければならないから、こちらでまずおっしゃるように中間解というか、例えば、先ほど桑原先生がおっしゃったような話を実現するなら、どういうシステムをつくったらいいかという問題、それからあとは、人材育成は長期的な話で、もう一度、工学部は自信を持って工学部であってほしいというのが私の思いです。

○丹羽

私は、先ほど吉川センター長のお話の中にありましたユニットの中の電子情報通信ユニットを担当しております。そういう立場で今回参加しておりますが、2つの側面がありまして、1つは、先生方と同じような立場のシステム科学推進委員会の委員でもあると同時に、一方ではCRDSの一員でもありますので、この両方の立場をもって参加させていただきます。

今日のいろんなお話を聞きますと、これは非常にスコープが広い問題だということで、しかも、非常に多様な分野の先生方がいらっしゃっているということで、楽しみにしておりますが、その一方で中間解をリーズナブルな時間軸で出していくことも必要だということで、私の2つの立場からいうと、この研究会の運営も非常に難しいなと思っておりまして、その辺、できる限り、木村先生をサポートしていきたいと思っております。

○有本

副センター長の有本でございます。本日は大変ありがとうございました。私も大竹さんと同じように実務家ですので、あまり専門的なことは言えませんが、感じていることを、逆にこの議論を踏まえてどういう制度をつくるんだ、どういうファンディングのシステム、あるいは、評価の方法を法的なサポートに入れていくのかというところを考える立場にあらうかと思います。

特に、先ほど吉川先生言われましたけれども、21世紀グローバルCOEとかWPIとか、こういうファンディングが日本にとって本当にうまくいったのかどうかというところは反省しなければいけないだろうと思います。日本の社会とか日本の国民性に合っているのかどうか。お金がないときにはみんな一生懸命、信頼関係の下にやろうとしていたというところまで含めて、これは本質的に考えないといけないという時期にきているということが1つあります。

それから、先ほど木村先生が1930年代にこういう分野が猛烈な勢いで発展したという話がありましたが、実は10年前にアメリカの工学アカデミーが、20世紀の20大イノベーションというのをまとめて、本にしたんですね。これは後で見ていただければ分かるのですが、電気から始まって、明らかに社会にどれぐらいインパクトがあったかを書いている。世界が変わろうとしているから、こういうことをもう一遍やらないといけないのではないか、仲間うちだけではなくて、政治家とかにも何かにも伝わるように。こうした時代認識、そういうところをしっかりと議論していただきたいと思っています。

あとは、私の最近の経験で、つい一昨日までアメリカのカリフォルニアのサンディエゴで、『サイエンス』を出しているAAASの年次総会がありまして、そこには43カ国から1万人が参加して、世界のロイヤルソサエティーのプレジデントのマーチン・ルースとかトップが大勢来ましたが、語られていることは、インテグレーション、システム、それから、スマートグリッド。私が一番印象に残ったのはスマートグリッドで、ジェネレーション、トランスミッション、ディストリビューション、それから、カスタムとあったけれども、最終カスタムの1つである自動車が時間によってはリソースになるはずだと、ジェネレーターになるんだと。こういうビジョンが語られている。それが各セッションで盛んに語られているということはびっくりしました。

あとは、その3、4日前にバークレーに行った。なぜUCバークレーに行ったかというと、アメリカのエネルギー、環境のR&D政策が動き始めた。スティーブン・チューによって。大きなファンドがあって、若い優秀な連中がどんどん入っていく。大竹さんが言ったとおりで、日本はお金がついた途端に、みんなが群がってとるだけであって、ちゃんと本当に動いているかどうか。それはバークレーの先生方に聞いたら、7、8年かかったと。ずっとニーズ志向型で、最終の基礎科学のところまでやるように、ワークショップを何十回も開いた後、全体で1,500人ぐらいのトップリーダーがエネルギー、環境関係の方々が、産業界も含めて集まって、そういうネットワーク、プラットフォーム

をつくった上で、オバマ政権になって動き出した。だから、若い連中も安心して入って来られる。

日本だったら違いますよね。日本は、我々がつくって申しわけないけれども、5年たったら、金の終わりが縁の切れ目で、分野融合型対応をやったところで、根っこに戻ってしまう。根っこのない人たちは今フロートしています。大学のドクターコースでシステム思考型のものを教育するようなコースを入れたというけれども、大学の先生でだれが語れる人がいるんだということだと思います。

それから、同志社大学で京セラの前の会長、社長をやっておられた西口さんが提唱して、社会科学における産学連携の研究体制をつくろうということで、京都のオーナー系の企業のトップ、関西の有力大学の経済学者、経営学者が集まって、1日ばかりで大議論をやって、私も行司役で来てくれということで行ったときに愕然としたのは、経済学者とか経営学者は、さっきおっしゃったとおりで、自分の理論しか言わない。それも導入型で、私のほうがいいですよ。

経営のほうのはるかにいいですね、問題意識を広げている。しかし、みんな悩んでいる。どうやったら自分たちの経営が理論化して、次の世代に移転できるのかと。あるいは、世界にインベストしてもらおうとしたときに、問題意識はシャープなんだけれども、全然だめである。吉川先生は先ほど、これは木村先生だけのユニットではなくて総がかりでCRDSでやろうという話をされていました。まあ、どこまでできるかは別にして、それぐらいの問題意識を持った上で出発するということではないかと思っていますので、よろしく願いしたいと思います（笑）。

（以 上）

■編集担当 メンバー■

木村 英紀	上席フェロー	(システム科学ユニット)
本間 弘一	フェロー	(システム科学ユニット)
○前田 知子	フェロー	(システム科学ユニット)
武内 里香	フェロー	(システム科学ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2010-XR-01

システム科学技術推進委員会記録

第1回 システム科学の展望

平成 22 年 5 月 May 2010

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター システム科学ユニット
Systems Science Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒102-0084 東京都千代田区二番町 3 番地

電 話 03-5214-7487

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

©2010 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

