

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3回 社会と数理科学

2010年4月3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3回委員会 概要	3
2.1 第3回委員会 議事次第	3
2.2 甘利特別顧問 ご講演概要	4
2.3 杉原教授 ご講演概要	4
2.4 中村教授 ご講演概要	5
2.5 出席委員 ご発言概要	5
2.6 第3回委員会 参加者一覧	7
2.7 システム科学技術推進委員会 委員名簿	8
3. 第3回委員会 講演記録	9
3.1 甘利特別顧問 ご講演記録	9
3.2 杉原教授 ご講演記録	44
3.3 中村教授 ご講演記録	70
3.4 出席委員 ご発言記録	78

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。

本報告書は、システム科学の根幹にある数理科学／数理的思考の重要性及びこれまでの数学／数理科学振興策の問題点を明らかにすることを目的に、「社会と数理科学」というテーマの下に開催された、第3回委員会の内容を取りまとめたものである。

2. 第3回委員会 概要

2.1 第3回委員会 議事次第

日 時：2010年4月3日（土） 10:00～12:00

場 所：JST 研究開発戦略センター 2階大会議室

テーマ：社会と数理科学

プログラム

10:00～10:05

- ・ 委員紹介 [事務局] ※初回ご参加の委員
- ・ 配付資料確認 [事務局]
- ・ 第3回のテーマ設定について [木村上席フェロー]

10:05～10:45

数理科学の役割とその展望

[甘利 俊一 理化学研究所 脳科学総合研究センター 特別顧問]

10:45～11:15

数学振興策の現状と課題

[杉原 正顕 東京大学 情報理工学系研究科数理情報学専攻 教授]

11:15～11:25

今、数理科学に求められること—科学技術立国の再建のために—

[中村 佳正 京都大学 情報学研究科数理工学専攻 研究科長・教授]

11:25～13:00

- ・ 議論
- ・ 閉会挨拶 [木村上席フェロー]

2.2 甘利特別顧問 ご講演概要

- ◆ 数学は、どの動物にもある数量的な概念、空間的な概念に対して、人間の脳が抽象的、推論的に考えることができるようになった中で発生したものであり、人類の文化そのものである。
- ◆ ビッグバンによる宇宙の誕生によって物質とエネルギーが生じたが、偶然の産物として自己を複製する、情報を伴う物質、すなわち生命が生まれた。生命は進化の法則に従って多細胞化し、脳という情報処理に特化した器官ができた。人間の脳は文化を生み出したが、文化は脳（が持つ生体としての法則）とは異なる独自の法則を持っている。
- ◆ 人間の生み出した社会システムや人工物は、物質に還元して捉えるだけでは不十分であり、システムの捉え方や数理的な方法論を（本質的に）必要としている。
- ◆ 20 世紀の科学は、物理学、生物学、情報科学・工学と、それぞれが個別の原理を追求してきた。その中でも特に純粋数学は、高度に抽象的な体系をつくり、現実の問題から乖離してしまった。
- ◆ 一方で、20 世紀の後半、欧米では、数理科学を社会の様々な問題に適用しようとする動きが盛んになり、そのための研究拠点も形成された。しかし、日本では、こうした動きはほとんど見られず、また 2006 年の文科省科学技術政策研究所によるレポートが指摘するように、純粋数学についても危機的な兆候が現れている。
- ◆ 数学者が従来からの純粋数学の世界に安住するのではなく、また純粋数学から離れて応用科学だけを振興するのでもなく、システムの方法論の検討に数学者も産業界も参画できるような場を形成していくことが重要である。

2.3 杉原教授 ご講演概要

- ◆ これまでの数学振興策を振り返ると、研究所の設置や学科の再編などに際して、数理科学の振興も試みられたが、結果的には純粋数学が中心となってしまった。日本の純粋数学のレベルは高いと考えられていたが、2006 年の科学技術政策研究所の報告書「忘れられた科学—数学」によれば、それほど楽観視できない状況となっている。
- ◆ 文部科学省が九州大学に委託している調査では、他分野からの数学に対する期待が高いという結論となっているが、その具体的な内容は「アルゴリズム、統計

的モデリング、システム科学、暗号、最適化理論、ゲーム理論、制御理論など」
となっており、これらは数理科学の領域である。産業界と数学研究者の連携を
目指すには、提言案にある拠点形成においても、この点についての正しく認識して
おく必要がある。（シンポジウム“広がっていく数学—社会からの期待”の配付
資料等に基づく）

- ◆ 当委員会に「社会と数理科学」分科会が設置され、これまでに1回会合を持
った。分科会では、数理科学の分野がいっそう進化・拡大していること、数学的技
術に加え、数理モデリング、すなわち数学的な見方が現実の課題解決には貢献し
てきたこと、理論化・一般化することよりも経験や勘を重視する文化が数理的な
見方の浸透に障害となっているのではないか、といった点について議論した。

2.4 中村教授 ご講演概要

- ◆ 日本の科学技術を再建するには数理科学が必要である、というはっきりした方
向性を出す必要がある。要素技術の一個一個は強いが、統合するところ
が弱い。統合する力になるのが数理科学であり、これは「システム」というキーワ
ードで言いかえてもいいのかもしれない。
- ◆ 数理科学振興のための拠点には、2つのタイプが必要ではないか。1つは、統
合数理の拠点であり、バーチャルなもので良いが、この拠点が産業界と数学科両
方からの人材とか情報を得て、新たな数理科学の振興を図るスキームになる。
- ◆ もう一つは、数学科の中に機能数理を扱うような新たな専攻というかをつくり、
そこが産業界、社会に一步近づいたところで連携を図るというものである。機
能数理の拠点では、数理構造の美しさを探求するだけではなくて、問題を数理
的に記述する機能それ自体が数学として研究すべき対象であるという、そうい
うこれまでにない価値観を数学の中に置くことを目指す。

2.5 出席委員 ご発言概要

- ◆ 数理的思考の浸透と役に立つ数学者とは次元のちがう話ではない
→役にたつ姿を見える形にしていくこと、またそのプロセスでの協力関係の構築
を通じて、数理的思考が根付いていくのではないか。拠点形成は、そのための
場としての役割を果たす。

- ◆ 数理的思考は他分野でも役に立つのは確かである。優秀な数学者を集めて場を作ることと、優秀な人の横で旗振り役をする人がいて場を回すことが重要。
- ◆ フランスや中国では、最も優秀な人が数学に行くようになった。物事の全体をシステムの捉える必要性が理解できると数学の重要性が認識できるのではないか。また学校教育の場では、数学がわかるとクラスがまとまる、数学に躓くとその先がうまくいかないという話がある。
- ◆ 数学者が企業に入り、そこでまたいろいろ勉強してアカデミックに戻っていくという形がアメリカなどでは結構盛んである。
- ◆ 日本の問題点として、経営者に数学（の重要性）が理解できない方が多いという点がある。
- ◆ 今の企業経営者の問題意識はリスク管理にあり、そのために数理科学が使えるのではないという意識も持たれはじめている。
- ◆ 数理科学は産業の発展に非常に重要だが、（より役立たせるには）国民のポテンシャルを上げること、数理科学の哲学を生かしていくこと必要である。
- ◆ 工学のベースになる数学的な考え方や数学的な素養が非常に弱くなっているのではないか。その理由の1つとして、海外から導入した例えば解析用のソフトウェアはブラックボックスとなっており、そこで使われている数理モデルについて理解しようとしなくなっている事があるのではないか。工学部での数学教育の改善が必要ではないか。
- ◆ 人間の行動を対象とする分野では、使える数学、数理科学がない。新しい数学を作っていく必要がある。
- ◆ 数学は、我々がもともと持っている概念を抽象化したものなので、社会の関心の対象が人間や大規模なシステムになったとき、それを概念化する新しい学問としての数学をつくっていくというように捉えていくと、応用とか基礎とかいう問題ではなくて、我々が対象としている現象に対してどういう理論づけをしていくかという動きをしていくことが必要ではないか。
- ◆ 自分の関心のある現象に適用するためのモデルについては大学等でも教えているが、モデル化について体系的に教育しているところはないのではないか。
- ◆ 数学の本質はモデリングではないか。この点を早い段階で教育する必要がある。
- ◆ 数理科学や数学の学部で修了生、あるいは修士の修了生、博士が何をできる人なのか、どういう問題解決能力を持って何に貢献できるかを明示できるような仕組みが必要である。
- ◆ 数学のレベルを上げるにはトップとベースの両方を上げていく必要がある。

2.6 第3回委員会 参加者一覧

氏名	所属機関	役職
講師		
甘利 俊一	理化学研究所 脳科学総合研究センター	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
前山 淳次	株式会社 富士通エフサス	顧問
丸山 宏	キャノン(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 正顕	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
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
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
安岡 善文	国立環境研究所	理事
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
市原 健介	(独)日本貿易振興機構	産業技術部長
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
笠木 伸英	(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	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー
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
永野 博	(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
黒柳 拓男	文部科学省 研究振興局 基礎基盤研究課	

2.7 システム科学技術推進委員会 委員名簿

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 桑原 洋	(株)日立製作所	特別顧問
3 前山 淳次	株式会社 富士通エフサス	顧問
4 丸山 宏	キャノン(株)デジタルプラットフォーム開発本部	副本部長
学		
5 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
6 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
7 倉橋 節也	筑波大学大学院 ビジネス科学研究科	准教授
8 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
9 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
10 津田 博史	同志社大学 理工学部 数理システム学科	教授
11 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
12 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
13 中村 佳正	京都大学 情報学研究科 数理工学専攻	教授
14 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
15 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
16 安岡 善文	国立環境研究所	理事
17 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		
18 大竹 暁	(独)宇宙航空研究開発機構	総務部長
19 市原 健介	(独)日本貿易振興機構	産業技術部長
JST関係者		
20 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
21 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
22 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
23 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
24 笠木 伸英	(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		
25 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
26 本間 弘一	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー
27 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
28 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3回委員会 講演記録

3.1 甘利特別顧問 ご講演記録

JST システム科学技術推進委員会

数理科学の役割とその展望

甘利俊一
(理化学研究所脳科学総合研究センター)

皆さんおはようございます。

きょう出席の先生方は皆さんお忙しいので、日ごろ予算がどうの何がこうのと頭が痛くなっている偉い先生方にはのんびりとした話を聞かせようと思って、話を考えてきました。

数学は人類の文化である

バビロニアの数学

アラビア、中国、ギリシャ、日本の数学

ユークリッド幾何

脳の仕組み

数の概念—動物、チンパンジー— —人間:抽象思考

数学って何だろうというと、数学はもちろん人類の文化だったわけです。私も驚いたのですけれども例えばバビロニア、古代メソポタミアの遺跡なんかを調べてみると実は数学がある。今から 4000 年ぐらい昔の話です。どんな数学があるかという数字の列がずっと書いてあって、ずっと解読すると今みたいにきれいな形で書いていないから、実はピタゴラスの定理が成立する整数の一覧表が出てきます。要するに直角三角形ではこういう仕掛けが成立するというようなことをちゃんと体系的に認識していたというわけです。もちろんギリシャのユークリッド幾何学、幾何に限りませんがすばらしい論理の体系、あんなものが今から 2300~2400 年前にでき上がっていて、今見てもすごいわけです。どうしてこんなものができるのだろうか。そう言うことは脳がやっているんだ。それは当然です。

考えてみると、チンパンジーも数を認識し数えることができます。サルだってハトだってどっちにおいしいものがあるかってどっちが大きいかわかって見分けて大きい方に行くわけです。数量的な概念、空間的な概念というのが脳に備わってずっと脳が発展してきたのだけでも、人間になってこれを抽象的に考えることができるようになった。ですから我々は物事を抽象的に考えて、頭の中でシミュレーションをして、何が起こったか何か起こらなかったかこういうことができるわけです。こういうことから文化を築いてきました。

脳の仕組み ー考える喜び

抽象的思考

ゲーム、パズル

数学、文化

数理的思考 人類の脳の構造

思考の言語、発見的思考
科学の数理的表現一本質の表現

数学の歴史（バビロニア、インド、
ギリシャ、アラブ、中国、日本）

脳の構造というのはどういうことかという、やはり人間は集団を成して生活をしてきたわけで、お互い共同作業をするときに自分の考えていること、自分の意図を人に伝えなければいけません。それは何かというと自分の考えを自分で知ることだし、何が起こったら次どうなるんだと推論する能力です。たまたま今から大体 15 万年ほど前に今の原生人類がアフリカででき上がったと言われているのですけれども、そういう能力を持っていたために例えば言語というものをつくってそれを操ることができた。それから、人との共同作業をできるため要件の一つである、自分の意図を自分で知ること、同じく相手の意図を知ること、これは「心」と言われているもの、こういうものを持つに至りました。その同じ脳が実は数理的な思考ができて、それを数学として体系化できる能力を持っていたのです。

宇宙誌

ビッグバン: エネルギー・物質―天体―分子(秩序)
(137億年) **物理学、化学** エネルギーとエントロピー

生 命: 自己を複製し次世代に伝える物質の一形態
(36億年) **生命科学** 遺伝、分子機構、自己保存

脳・神経系: 環境の情報を利用、記憶、学習、判断、行動
(5億年) **神経科学**

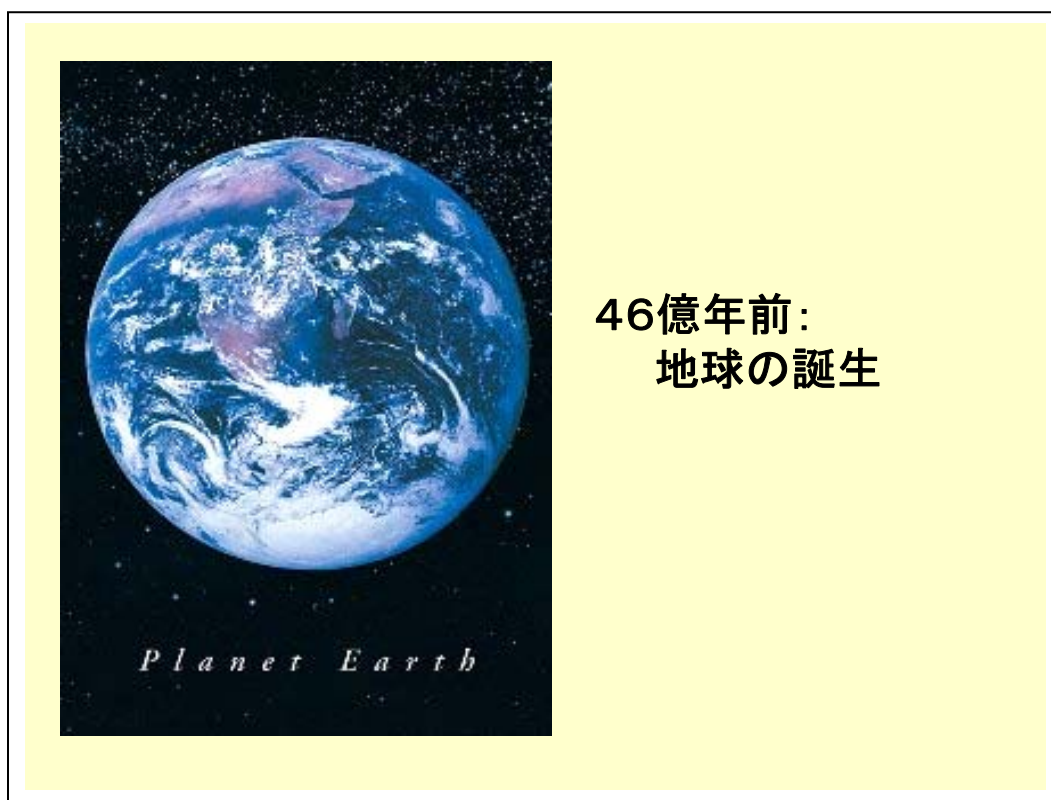
人 間: 心を持ち社会に生きる生命; 文化と社会
(20万年) **脳科学、情報科学、人間科学**



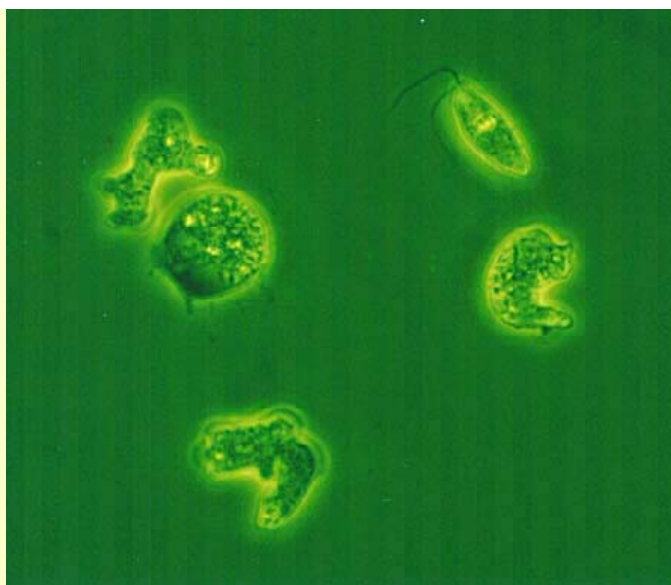
ビッグバン:エネルギー・物質—天体—分子(秩序)
(137億年) **物理学、化学** エネルギーと
エントロピー

そんな脳がどうしてできてきたというので、少し大げさですが、まずはビッグバンから始めないといけない。脳がどうしてでき上がったかを説明するのに、こんな大げさなことをする必要はないのかもしれませんが、まず、ビッグバンがあった。

今から 137 億年前、突如この世界に物質とエネルギーがあらわれた。その後は物質の法則に沿って自己展開していったわけです。初期の揺らぎが拡大し、星が生まれたり銀河が生まれたり、これは物質のエネルギーの法則だったわけです。



そういう法則に導かれて大体 46 億年前に地球が生まれた、こういうことになっています。地球も火の玉地球であったり全球凍結で全部氷に閉ざされた世界があったり、いろいろな歴史があるらしいのですが、そのうちに地上に非常に奇妙な物質が生まれた。



生 命: 自己を複製し次世代に伝える物質の一形態
(36億年) **生命科学** **進化の法則**

偶然の産物ですけれども、その物質が、自己を複製して同じ構造をまた次から次へと
つくり出す能力を持った物質だったわけです。それは当然情報を持っていないといけな
いわけです。



だから情報と物質とがある意味ここで合体したのです。その情報はDNA分子という形で物質上に記憶されているが、これを再生し自分と同じものをつくり出す装置が細胞です。これは非常に奇妙な物質なので、一遍こういうものができると何が起こるかという、いわゆる進化の法則ができてきます。つまり環境に対して生存により適したもの、これが突然変異などの揺らぎによって生じるとそちらがどんどん広がっていくわけです。あげくの果てに人間までできてしまった。これは進化の法則をある意味でそれまでの物質の法則、つまり物理学や化学がやっているものとは一段と違った観点、つまり情報が介入する法則でもあるわけです。



システム・情報の法則

多細胞生物

脳・神経系: 環境の情報を利用、記憶、学習、判断、行動
 (6億年) **神経科学**

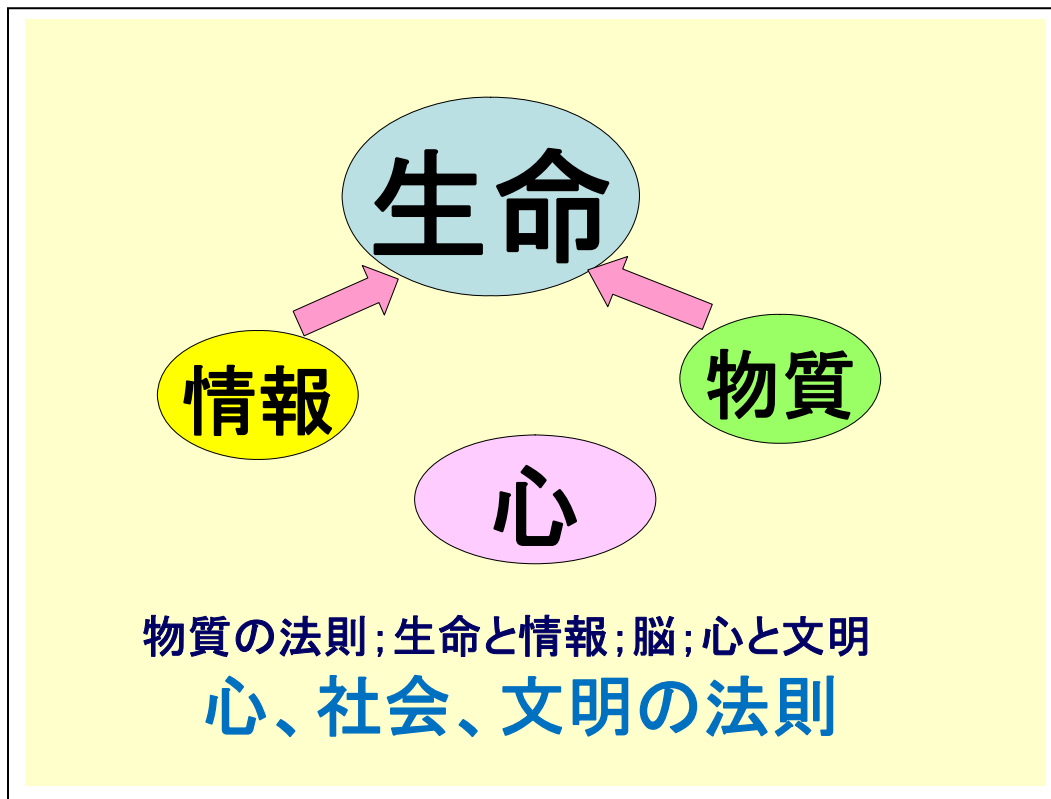
その進化の法則に導かれて多細胞生物というのができた。6億年ぐらい前です。3億年ぐらい前から6000万年ぐらい前まで例えば恐竜というのがこの世をのさばっていた。だけどいん石が落ちてきて地球環境の大激変があってそういうものが皆滅びて、そのときに身をひそめていたほ乳類なんていうへんてこりんなものが次の世代に躍り出てくる。あげくの果てに類人猿になり人間になるわけです。

類人猿、そして人間
人 間: 心と社会に生きる生命; 文化と社会
(10万年) **脳科学、情報科学、人間科学**



原始的な人類は大体 700 万年ぐらい前からあっただろう。100 万年ぐらい前にはもう火を使い道具を使い人類の系統が幾つもあらわれたのですが、原生人類というのが大体 15 万年ぐらい前にアフリカで出てきて、5～6 万年前に全地球に広がっていった。日本に来たのが大体 3 万年か 4 万年前ではないかと言われています。ここでこの多細胞な脳をつくったのです。細胞が共同して働いていくときに脳という特別な情報処理に特化した器官をつくる必要があった。したがって、ある意味では情報主導になっていくわけです。物質がもちろん脳を動かし情報をつくっているのだけれども、別の見方をすると情報が物質を使って自己展開していくというふうに見ることもできます。

そして人間に至るといわゆる文化が生まれます。特に大体 1 万年ぐらい前から農耕社会が定着して人類に余裕が出ると文化が生まれる。文化は文化で知識として継承されていくのです。文化の発展という話になりますと、ある意味で文化の発展は脳がやっているわけですが、脳を離れて独自の法則を持ちます。



だから我々が全宇宙この世界の文化を議論するときにももちろん物質の法則というのは非常に大切でそれは全世界を貫いている。だけどその次に生命の法則があつて、これは情報と物質が融合したものだ、その中でも脳の仕組みというのは非常に特殊な位置を占めている。それに加えて心の法則、文化がどう発展していくのか、社会が一体どうなっていくのか。

今は日本の社会といわず世界の文明はある意味で危機に瀕しているということを皆さん思っているわけですが、それはそういういわば形而上のものがどんどん自己発展していった、それを我々がいかに制御できるかということだと思います。「生命」「物質」「情報」「心」で、生命というのは物質と情報が結合したもので、その上にさらに心というのがあり、文明の法則を議論しなければいけない。

心の理論 ロボットに意識はあるか



京速コンピュータ
脳のシミュレーション

そうするとロボットはどうなるのか。これから先ロボットに例えば意識、心があるのかという話や、今ペタコンを日本でいろいろやっていますがこれがどの程度の力を持つのかという議論があるのですが、ここではやめにします。

物質—生命—人間

物質—生命—システム

物質、要素、情報

生命システム

工学システム(人工物)

方法論：数理科学、理論

ざっと言いますと、今の話は物質、生命、人間で、ある意味では物質の話と生命の話と情報の話を議論しないといけない。特に生命あたりから明確なシステムになっています。いろいろな要素が機能分担してシステムをつくる。人工物と言われている機械にしても社会システムにしても皆システムなわけです。その仕掛けを議論するのには幾ら物質の法則を解明していてもだめです。もちろんそれが実現するのは物質の上だから物質の法則が要らないということではないのです。物質に全部還元してできることではない。

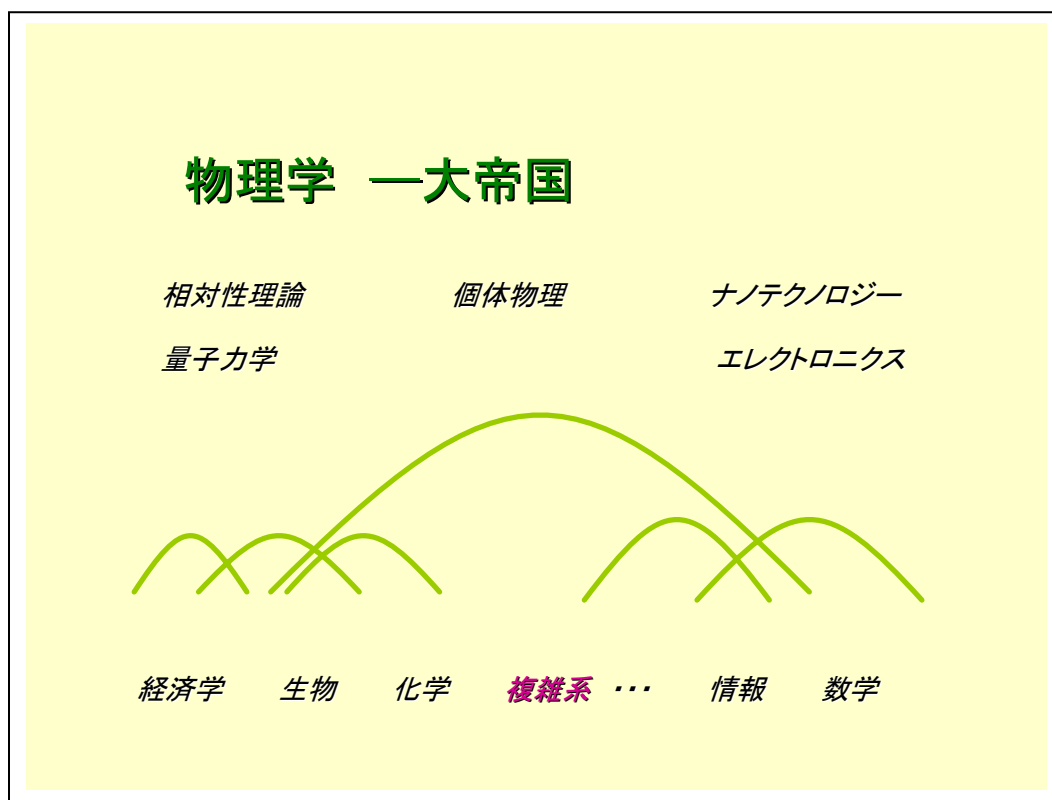
もちろん生命システムは生命という非常に独自のメカニズムを持っていますが、それ以外にも人工物いわゆる工学システムがあって、生命からシステムに至る分野では情報が主導しています。そのための方法論として実は数理科学、特に理論こういうものが一番重要なものになってくる。我々が数理科学を議論しようというのは、数理というのがおもしろくて我々が考えているとおもしろくて快感を覚えるというだけの話ではなくて、物質の発展の必然的な段階としてシステム、人工物、生命も含めてこういうものに数理的な方法論が今一番必要だ、こういうことを言いたいわけです。

20世紀 科学・技術

個別の原理、法則
細分化、深化

工学

20 世紀の科学というのは、どちらかといえばそれぞれが個別の原理を追求して非常に深いことをやった。



20 世紀前半から中ごろはまさに物理学大帝国で、世の中の人々が「物理学帝国主義」と言って、今でも物理学者が「そうだ、大帝国でいいんだ」と言っています。本当にすごいことをやったわけです。しかし物理学の方法論だけで全世界がカバーできるわけではもちろんない。

生物学 — 還元主義

博物学 分子生物学 遺伝子
バイオテクノロジー

種の多様性 生命の基本原理 構造と機能

脳・システムバイオロジー

生物学は例えば 20 世紀初頭は博物学で、ただただ分類してその仕組みの複雑さに感嘆していただけでした。それはすごいです。しかし 20 世紀半ばからその仕組みをもっともっと本格的な普遍的な原理として調べていく分子生物学ができ上がった。しかしその基本のメソドロジーはやはり還元主義にあったわけです。要素に還元して物質の法則として解明していく。これは必要なことであるのだけれども、生命をシステムとして見たときにそれだけで物事が解決がつくわけではない。何が必要かという情報であり、その情報の本質的な原理を見つける数理的な方法です。

情報科学・工学 —Gödel・Turingの呪

電話・無線

情報理論
サイバネティックス

インターネット

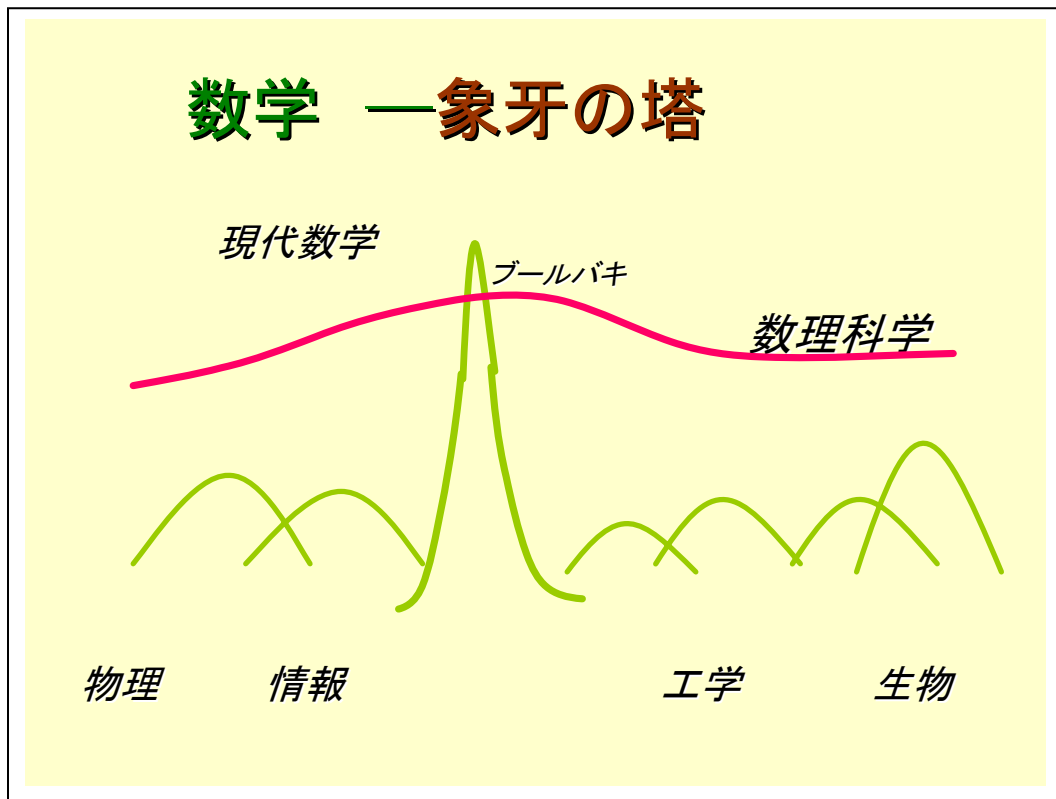
真空管

コンピュータ
トランジスタ

情報化社会

人工知能・ロボット・脳
バイオインフォマティックス

情報科学の情報の技術はもちろん 19 世紀後半から電話とか無線とかいろいろなものが出来ていたのですが、20 世紀半ばから情報が大事だという形で取り出して、これはウィーナーのサイバネティックスとかシャノンの情報理論もそうですが、情報を議論しようという話がありました。一方で、技術としてコンピュータが非常に進んだ。驚くべき進歩をとげたのですが、その基本的な原理は、ゲーデル、チューリングの、論理と記号ですべてが解決できるというやり方だったのです。それを実現したのがコンピュータですが、現実の情報はそれだけで動いているかということそんなことはないわけです。脳の情報も違うし我々の情報も違う。遺伝子情報だってああいう形には還元できない。そういう意味で情報についてももっと大きなシステム論的な考察が求められています。



そこで数学なのです。数学は4000年も昔からあったと言いました。体系としてもずっとあって、特にギリシャ時代の体系はすごかったし、日本だって江戸時代の和算は相当な程度には発展しました。ただ体系化できなかったという問題点はありました。20世紀に入ってそれまでの数学がいろいろな現実の現象、物理的な現象とか、そういうものを携えながら論理を磨いてきた、そして抽象的な体系をつくってきたのですが、ここまでできると現実の問題がない方がいい、つまり、論理の体系として好き勝手にやった方が高度な数学ができるのではないかというのが20世紀の数学者のある意味でのものの見方です。20世紀半ばにそれが極端に進んで、例えばブールバキズムというフランスの数学者集団がリードするような話ができ、抽象化を抽象化、皆さんはそれにより非常に高い山をつくり、山のてっぺんに僧院をつくり、そこに閉じこもってしまった。現実の問題はくだらん、そんな問題に目をくれるようではちゃんとした数学はできないというわけです。そんなことはない、本当は人間は数理的な思考が好きなことから、数理的な体系が生物でも工学でも情報でも全分野に貫徹していて、その上にちょこんとさらに抽象的な数学が立つべき姿なのに、断絶ができてしまったというわけです。

私も含めて皆さん現代数学を垣間見たいと言ってあの山を登り始めるわけです。そうするともう二合目か三合目で滑り落ちて、これはかなわんわいというわけです。ああいう断絶があると山を登るのも大変だし純粋数学者が山をおりようとしてもだめです。転げ落ちて自殺行為です。こういうカルチャーではいけないんだということです。

数理科学の危機

忘れられた科学—数学

20世紀数学の栄光と悲劇 日本の場合

実はこういうことは20世紀の半ばからブールバキの時代のころから言われていたのです。そのことが日本の場合には特にひどかったわけで、つい3～4年前に文科省の政策研究所から「忘れられた科学—数学」というレポートが出て、今日本の数学が危機に瀕している、それは純粋数学としての高みという意味からもかつての栄光は失われつつある。まして世界の動向で数理科学として現実の問題と携えてやっていくということも日本にはない、というレポートが出たわけです。

アメリカの戦略

大統領(Reagan)宣言(1986)

国家数学強調週間一毎年

mathematics awareness months (weeks)

数学と生物学、数学は全次元に、数学と海洋、数学と遺伝子、数学と美術、ネットワークの数学、数学と宇宙、数学とインターネット、数学と脳、数学と投票

IMA --Minnesota

PIMS--Berkeley

世界は何をやってきたかという、例えばアメリカはいろいろなことをやっているのですが、1986年に大統領宣言というのが出ました。どういう宣言かというと「国家数学強調週間」というのを毎年やらなければいけないというわけです。これは Mathematics Awareness Month ということで何週間かそういう形でいろいろなことをやろう。毎年毎年で、ある年はテーマとして「数学と生物学」「数学は全次元に」「数学と海洋」「数学と遺伝子」「数学と美術」「数学と脳」というのもありますし、「数学と投票」というものもありますが、そういうテーマを掲げては数学の重要性を世に広げる活動をやっていこうということを大統領宣言で出したのです。それを受けてアメリカではNSFとかが、数理科学の振興に対していろいろな研究センターといったものをたくさんつくっていくわけです。

ヨーロッパ

イギリス: Newton Institute

フランス: IHES

ドイツ: Oberwolfach

カナダ

Banff ネットワーク型

ヨーロッパの Newton Institute というとこれは純粋数学と物理の牙城だったのですが、これはケンブリッジにあるわけですが、これがやはり改装して数理科学という観点で物事をやっていかないといけない、もちろん純粋数学も含んでやらなければいけないといいますし、フランスの IHES、高等科学研究所、ここからフィールズ賞がじゃんじゃん出るというところもやはり数理科学いわゆる応用に目を向けてやらなければいけない。ドイツの Oberwolfach の数学研究所というのは、毎週毎週学者が集まってあるテーマで議論をするのですが、このテーマの半分以上は純粋数学ではない問題をずっと扱っています。カナダでも Banff にそういう数学研をつくったということで欧米はずっとこういうことをやってきたわけです。

日本がやってこなかったかということとはそんなことはなく、大昔、50 年ぐらい前かに日本でも数理学を本当にやらないといけないということが出て学者が議論しました。数理解科学の研究所を京大につくろうというわけです。そのときの宣言、どういう意図でどういことをやるのだという文章は今読んでも立派です。今出しても不思議がないことを言っているのだけど、できたらまず名前が「数理解科学」ではなくて「解析学」をやらなければいけない。「数理解析研究所」にぱっと変わりました。人員構成がほとんど純粋数学者を集めてほんの少しアプリケーションの部門を入れた。それはそれで純粋数学の研究所としては京大の数理解析研は世界的な大成功を上げました。大成功だったのですが、実は 20 世紀の半ばから提起された問題にこたえてこなかったということがあるわけです。

数理科学—20世紀

von Neumann: ゲーム、自己複製
Wiener: 予測、サイバネティクス
Shannon: 情報理論
Turing: 形態形成
Kalman: 現代制御論
Dantzig: 数理計画
 複雑系

では数理科学とは何のことを言っているのだと見ていきますと、例えば 20 世紀で見ますといろいろなものが出てきますけれども、von Neumann、これを数学者と言っていいのか物理学者というべきなのか、この人は何でもやっていますので「悪魔の申し子」と言われている大天才です。原爆をやったのももちろんこの人です。コンピュータもありました。しかしゲームの理論とかDNAが出る以前に自己複製というもののメカニズムこれが情報と絡んで非常に大事だということをやっています。

Wiener は数学者ですが、これはサイバネティクスということでシステムの基本的な原理を情報という立場からとらえなければいけないということをやりましたし、具体的には予測の理論とか信号処理とかいうことをやっている純粋数学者です。ところが人によると、Wiener はこんな変なことをしたからあれは数学ではないという人もいます。例えば広中平祐という日本の誇る数学者と話していると「甘利さん、Wiener は数学者じゃないよ」。とんでもない、あれはおれから見たら数学者で非常に難しいことをやっています。Wiener が書いた予測の理論というのは“Yellow Peril”と呼ばれていて、表紙がイエローでした。信号をやっている人が読んでびっくりして「こんな難しい議論をやらないといけないのか」というわけです。

Turing、これも純粋数学だったのですが純粋数学だけではなくて、これは例のゲーデルの話とかをやったのですが Turing もいろいろなことをやっています人工知能のいわば元祖でもありますし、それから生物の形態がどうできるかというのは Turing のア

アイデアがもちろんあります。もちろん Turing マシンのコンピュータの基本原理をやった人です。こういう人たちは純粋数学者、我々の仲間です。しかしいわゆるつまらない純粋数学の枠にとらわれずに、純粋数学がつまらないのではなくて枠がつまらないのですが、いろいろなことをやる。まさに数理なのだと思います。純粋数学出身でない方を見れば、Shannon が情報理論をやったし Kalman が現代制御論をつくりあげた。Dantzig という人が数理計画法をつくる。いろいろな人たちが欧米にいるのだけど、まことに残念なことにここに日本人の名前が一人も出てこないということです。

数理科学の分野

純粋数学

物理・化学

統計科学

数値解析、計算理学(シミュレーション)

情報理論、信号処理

数理生態学・パターン形成、複雑系

最適化、制御、機械学習

モデル論

数理科学の分野、分野というよりは方法だと思うのですが、分野としてはどういうことを含むかということ、もちろん純粋数学は含むし物理や化学だって数理的な考え方を使う。比較的分野に近く確立しているものとしては現代の統計科学がありますし、数値解析やいわゆる計算理学なんかもあるでしょう。情報理論、信号処理、制御こういう分野が非常に深く数理的な思考と体系をつくっているわけです。ライフ系では数理生態学それから今問題になっているのはDNAの発現とかシステムズバイオロジーこんなような問題。パターン形成とか機械学習とかいろいろなことがあって、非常に広い分野に関係しているのが数理科学です。

数理科学—応用数学

数理する心

数理科学と個別諸科学（分野と方法）
制御理論、情報理論、信号処理、最適化
生命系、数理脳科学

これは何かというと、数理科学というのは人間の脳に発して数理的に物事を考えて、その立場で体系化していきたい、こういう衝動なのです。私は「応用数学」という言葉は嫌いです。なぜ嫌いかというと、数学はもう既にできていて、それを下々に応用しましょうというニュアンスがどうしてもあるのです。数学の世界へ行くと純粋数学が女王で一番偉い、ちょっとできの悪いのは応用数学に行く、こういうニュアンスが暗にあるわけです。

数理科学と個別諸科学という話があります。ある意味では制御理論、情報理論、信号処理それから最適化、それから生命系でもいいのですが、こういうものはそれ自体は分野です。ただその分野が数理科学という目で非常に数学的な体系を持っていて、しかもそれが個別ではなくてたとえば制御理論、情報理論、信号理論、最適化もある意味では同じ根を持っている。相互に数理的な体系という意味で刺激をし合えて、その中から新しい発展が生まれてきます。そういう数理する心というものを中心に考えた現代の科学技術の政策なり施策なりが必要で、現代の科学技術を物質、生命、環境という対象、これは重要な対象ですからそれは結構ですが、そういう対象分けにしない、システムと数理という物の見方を強調していかないと全部がばらばらになってしまうということを申し上げたいのです。

数学、数理科学の勉強 教育の問題

数学科は何をすればよいのか？
どう再編するのか

今はどうなっているかというと、数学、数理科学の勉強を皆さんはどうやっているのだろう。木村先生は随分難しい数学を使っていますが、どういう勉強したかというと、独学でやったのです。ああいうことは、どこも教えてくれません。純粋数学に行っても教えてくれないのです。

私の勉強

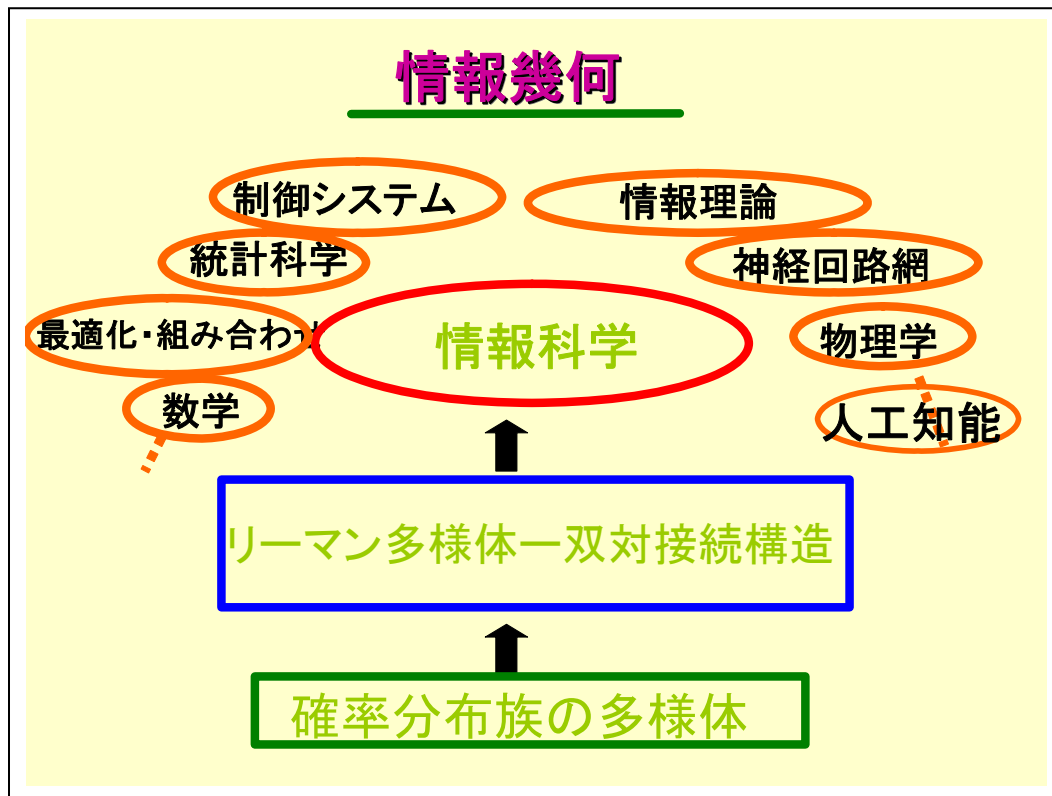
- **Van der Waerden, Modern Algebra**
- **J.A.Schouten , Ricci Calculus**
- **S.Lefschetz, Algebraic Topology**

私を例に挙げますと、大学院に入って1年のときに3冊の本を読みました。Van der Waerden の Modern Algebra、J.A.Schouten の Ricci Calculus、これは微分幾何の本です、それから S.Lefschetz の Algebraic Topology。これを独学で、昔は大学院はヒマでしたから大体このぐらい本を読んだらそれでいい。今の学生はかわいそうです。学生がかわいそうなのは先生もかわいそうなのです。雑用にこき使われて大学は崩壊寸前である、これではだめです。しかしそういう時代に好き勝手なことをやってきました。

研究のトピックス

- 回路のトポロジー — ホモロジー
- 物質空間の微分幾何
- 情報空間の微分幾何
- 神経回路網の理論 — 脳の数理理論
- 情報幾何 — 統計、システム、情報理論
- 学習の微分幾何 — 神経多様体
- 特異点の情報幾何
- 独立成分分析

回路のトポロジーとか物質空間の微分幾何とか、情報空間、神経回路網、機械学習もやりましたし、独立成分分析みたいなこともやりました。こうやってみると数理科学というのは方法なので、いろいろな方法に使える。いろいろな方法を持っていると違う対象分野に対して全く新しい見方ができる、これが強みになるんだというわけです。



情報幾何は、これも確率統計の話から出てきたのですが、その数理的な構造は例えば人工知能に使える、神経回路網に使える、最適化・組み合わせにも使えるというような話になって、方法という面では非常にユニバーサルティーがあるというわけです。今の一つの大きな問題は、つまり物理学は初めから数学的な枠組みを持ったが、生命科学は個別性が非常に強い、だから数学なんかに乗らないとずっと思われてきた。

生命科学と数理

バイオインフォマティクス
システムズバイオロジー
数理生態学
脳の数理

シミュレーション（＋？）

だけど生命の中に潜んでいる、生命が進化の過程で見出したシステムとしての可能性
こういうものが原理としては数理的な体系に当然乗る、そういう表現でできる。そうい
う表現をつくれば生命が全部わかるかというとなんか言わない。物理学だって、
ニュートンの法則がわかれば物質の運動は全部わかるのかと言われればそんなことは
ない。マイクを転がしてどう運動するか、こんなものはニュートン物理学では解けない
のです。近似的には解けるけれども現実には摩擦があり何がありこうであり多体問題な
わけです。しかしその中にまず原理として認識してその原理が実現する際にはどういう
制約があり、どういうふうに物事が複雑になっていくか、こういう構想をしていかなけ
ればいけない。生命の場合にもそういう態度が必要で、これからそれができてくるのだ
ろうというわけです。

システム科学技術と 数理科学の振興 日本で何をなすべきか

COE活動
CREST型活動
数理科学拠点の設立
数学科、数理科学科の本格的再編へ

そろそろ時間もきますので、システム科学技術と数理科学の振興で、今、日本で何をすべきかという話で、これから杉原さんと中村さんの話があるので具体的な話はそちらで議論をしてもらったらいいいと思います。J S Tがそれに非常にサポートしてくれるのは大変ありがたいことと思いますが、一つの大事な点というのはやはり日本の科学技術のあり方が基本としてこういう数理科学やシステム科学をどうとらえるかというわけです。

行動計画と提言—日本の状況

九大の提言：サポート、フィロソフィーを補う

第4次科学技術基本計画：green, life

：方法論、システム、数理

問題点：今までのやり方は駄目だった
—フィロソフィー

数学、数理科学、諸科学、技術

CREST：主査（産業界、数理科学、視野の広い人）

数理科学拠点

数ヶ所で競合・協調；連携数学科に設置、

運営は数理科学、産業界（予算：1—2億/年、10年、5ヶ所）

数学科の活用、教育体系の変革、諸科学の融合

今までの観点は物質、生命、エネルギー、環境というとらえ方です。それぞれが非常に重要なことはもちろん間違いないです。でもそうではなくて、そのための方法論としてシステム的な思考をとる、数理的な方法を解決する、これが実は科学技術にとって非常に重要で、日本のこれまで欠けていた点がそういう視点なのだ、それぞれの人が物質が非常に大事で、ニュートリノこそが一番大事だ、ゲノムが大事だ。それはそのとおりのかもしれません。だけどそれでいいのか。そういうことだけが蔓延してしまうと非常に困るので、こういう方法論的な手法というのは非常に大事だということを私はぜひ第四期科学技術基本計画の中で高々とうたってほしいと思います。実はお金は大してかかりません。数学に 100 億円の大金を出そうと言われても迷惑です。そういうことは言わないけれどもやはり理念としてそういうことがはっきりわからなければいけない。これが第一点です。

第二点。数理科学を活性化する必要があるということを言いました。今日本では数学科というのがあり、それからさっき言った情報にしても制御にしてもいろいろな個別の学科でやっているのですが、その間に物すごい断絶があって本当の数理科学は数学科では残念なことに全くやっていない。これが欧米と違うのです。そこをどう変えていくのかという話になるわけです。

一つの考え方は、数学科の純粋数学の偉い先生、象牙の塔のてっぺんの僧院にこもっている人たちにどんどん出てきてもらって、産業界と直結すればいいではないか。これ

はそんな易しいことではないしなかなか実らないです。そうではなくて、やはりシステム的な方法論があって共通の場で数学者も含めて何か場をつくっていく、こういうことがないと結局実らないのだろうと思います。

純粋数学の人と会って話をすると、皆偉い人です。いい人ばかりです。しかし歴史的に見れば、ここ 20 年ぐらい純粋数学の人たちは「数理科学研究会」に名前を変えたり「多元数理」に変えたりした。その試みはもっともっと広くやろうという数学者の善意から出て、数学者も危機感はひしひしと感じています。20 世紀型のものでは困る。しかし、それはほんの一部の先導的な数学者がそうやるけれども、大半の数学者は数学ここに安住している。そこを突き崩さないと今後 10 年 20 年うまくいかないだろう。本質的な再編が必要なのです。

一方、では純粋数学を全く無視して数理科学の振興をやればいいのかというと、これはもったいないのです。数学科というのは物すごく貴重な財産で、数学科に学生がずっといるわけです。潜在的に数理科学ができる物すごく優秀な集団がいる。これを無視したら絶対物事は運びません。そこをよく考えて、本質的には数学科というか数学界とかその構造をしっかりと変えていく、そのための数理科学が中核となった場をつくって、共同で物事をやっていくし、教育もある意味では共同でやっていく、そして学生にそういう目を向けていく。こういう施策がどうしても大事だと思います。

行動計画：永続拠点形成に向けて；数学科の抜本改革

全日本で何をするか

ーすべてのプログラム、拠点、団体が協力する

短期・長期滞在型の試行
セミナー・計画

政府への働きかけ：提言

長期的な見通しを持って短期的に今何をやるべきか。長期的な見通しだけでは全然話が実りませんから、今からいろいろ手をつけなければいけない。私は最近数学のグローバルCOEもいろいろいいことをやっていますし文部科学省から出した今度の調査にしても何にしても方向は皆同じなのですが、それを実らせる本当に成功させる施策が必要だ、その点を強く求めているとみな、画に描いた餅になってしまうと思います。

➤ コメント：

純粋数学が持つ牙城的な部分を変えていかないと、若い優秀な人材がドクターコースに進まなくなるのではないかと（有本副センター長）

3.2 杉原教授 ご講演記録

システム科学推進委員会
2010/4/3

数学振興策の現状と課題

目標

- ・(広い意味での)数学の発展
- ・数学的思考が科学技術に根付き浸透すること

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

1

今ご紹介にあずかりました杉原正顯でございます。どうぞよろしくお願いいたします。

タイトルは「数学振興策の現状と課題」ということで、先ほどは甘利先生は数学と数理科学を区別して使われていました。ここは「数学」といったときは数理科学も含めた割と広い形で使っています。数学そのものに関しては「純粋数学」であるとか「いわゆる数学」という形でもって区別して使っております。少し違うので申しわけありませんがお聞きいただければと思います。

数学の振興策というのを明確にしておいた方がいいというので書きましたが、目標としては一つは広い意味での数学の発展、純粋数学というよりは数理科学的なその分野の発展と、もう一つはそれをさらに裾野を広げて数学的思考が科学技術に根付き浸透することという意味で、単なる数理科学の分野だけではなくて産業界も含めた形で数理科学、先ほど甘利先生がおっしゃったようなシステムの考え方と数学を使った数理的な考えがより科学技術全体に浸透することも期待するという意味での振興策を意味しています。

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

.....

「社会と数理科学」
分科会

2

これは第1回目のキックオフミーティングのときに木村先生の方からご紹介があった委員会のテーマですが、二番目にある数理科学の現状と振興策ということで「社会と数理科学」分科会というのができました。きょうはそこで議論した内容についても言及します。

数学振興策の現状と課題Ⅰ

―九大の提言まで

3

前半は先ほど甘利先生の方から少しお話が出ましたが、九大の方から提言が出ていますのでそれに関するところまでを「Ⅰ」としてお話しします。

数学振興策の現状と課題！

数学振興策(過去)

1944年 6月 ●統計数理解析研究所設立

1963年 4月 ●京都大学に数理解析研究所設立

純粋数学の拠点

1995年前後 ●数学系の独立研究科の設置

数学から数理科学へ

東京大学大学院数理科学研究科

九州大学大学院数理学研究科 → 数理学研究院

名古屋大学大学院多元数理科学研究科

必ずしもそうならなかった

1995年前後 ●教養部廃止と再編

4

先ほど甘利先生から京都大学に数理解析研究所が設立されたという話がありました
が、実はそれよりももっと古く 1944 年に統計数理解析研究所が設立されています。
これもある意味では割と数理科学的な意識があったと思いますが、統計に比較的特化した
形で研究所が設立されています。それから 20 年後ですけれども先ほど甘利先生がおっ
しやった数理解析研究所が設立されました。

数理解析研究所の所長でいらした森正武先生は、私の先生でもあるのでお話を聞いた
ところによると、設立当初は数学界の彌永先生、皆さんご存じの方もいらっしゃると思
います、ビッグネームですけれども、彌永先生と森口繁一先生、高橋秀俊先生などがか
かわってこれをどうするかと議論されていたそうです。63 年の当初においては応用系
の講座も 2 講座、純粋数学が大きくて 3 講座ぐらいあって、事務室も別々にできていた
そうです。それがいつの間にか先ほど甘利先生がおっしゃったように純粋数学の拠点と
なってしまったということだそうです。このあたりはいろいろ議論があるかと思いますが、
現実には現在純粋数学の非常に立派な拠点になっているということです。

それから大分時代を経まして、1995 年ぐらいに数学科の独立研究科の設置というこ
とが起きました。これは教養学部の廃止と再編と密接に関連していて、数学の教養部
が廃止になるということでもととの学部の数学科と教養部が合体して何かしよう
ということで実は独立研究科ができるということが起きました。多分 3 つぐらいが一番大
きな独立研究科だと思います。東大の数理科学研究科、九大の数理学研究科、先ほど甘

利先生からお話があった名古屋大学の多元数理研究科というのができ上がりました。このときに文科省に出した書類には、どうも数学から数理科学へ、最適化とかいろいろ方法論的な数学の裾野を広げようということで書類上はそういうことが行われたようです。

実際に人事が行われた結果はどうだったのかというと、この中で多元数理というところでは、完全に純粋数学だけで占めました。計画数学のところには代数幾何学の先生が座っていたというような状況が起きていて、現在もそれに近い状況のままです。理念は非常に高く掲げられたのですが、現実にはなかなかうまく動かなかったという事実がこういうところにあらわれています。ですので、日本では理念的には数理研もそうですし、独立研究科の設置に関しても意識はされていたのですが現実にはそれがうまく機能しなかったという歴史があります。そのあたりがこれから振興していくときに多分一番問題になる点ではないかと思います。

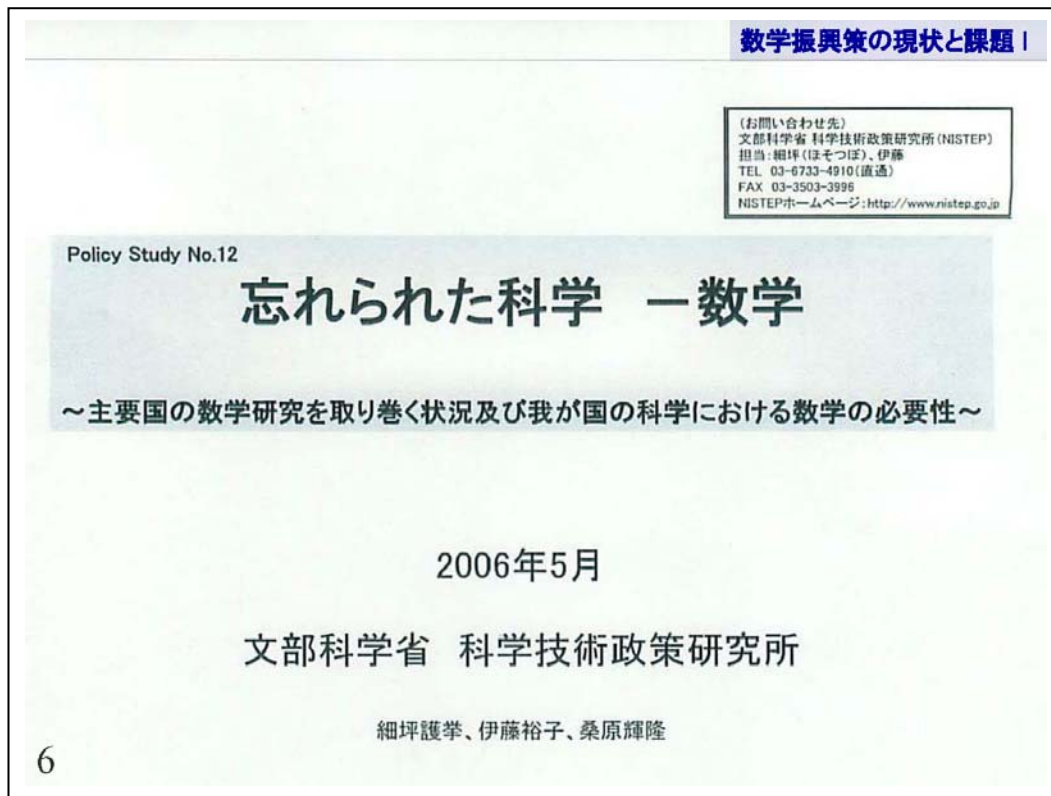
数学振興策の現状と課題！

数学振興策(最近～現在)

- 2003年度 ●COE 数学分野
日本学術振興会
- 2006年 5月 ●忘れられた科学－数学
文部科学省 科学技術政策研究所

5

その次、これはもう少し最近になって、2003年には数学分野があつてCOEが走り出しました。その次が文科省の科学技術政策研究所から「忘れられた科学－数学」というレポートが出ました。これはCOEとはある意味インディペンデントな形で出てきたような形になっています。



※文部科学省 科学技術政策研究所プレゼンテーション資料より転載

このレポートは、「主要国の数学研究を取り巻く状況及び我が国の科学における数学の必要性」というサブタイトルで、2006年5月に出ました。

内容は論文の数とか統計データに基づいて現状を分析しています。日本は比較的純粋数学でなくて応用数学系のところが非常に弱い、ただし定義が難しいので統計で数をカウントするのが難しいのですが、そういうデータをもとにして数学の必要性、欧米においては応用数学的なものが非常に進行しているのに、日本はそこが立ちおくられている。純粋数学に関しても大丈夫だと思っていたのだけど、それほど楽観視できるものではないというレポートです。

忘れられた科学 — 数学	数学振興策の現状と課題 I
	<Policy Study No.12>
5. 結 論	
1. 日本の数学研究を取り巻く状況 (1) 日本の数学研究費に関する状況は米国、フランス、ドイツと比べて最も厳しい模様 (2) 日本の数学博士取得者数は米国、フランス、ドイツと比べて少ない模様 (3) 米国などでは数学研究者が産業でも活躍している（日本は少ない？） 2. 数学研究の強力な振興の必要性 (1) 数学-他分野融合研究から得られる社会的利益は巨大であると推測され、日本でも数学-他分野融合研究を振興すべき。また、基礎となる数学自体の振興も必要 (2) 「モノや構造を支配する原理を見出す」観点から、数学によるイノベーションへの寄与の可能性があり、数学と産業、数学と他分野との共同研究実施に向けた検討や体制整備が必要 (3) 他国による数学研究成果に「タダ乗り」することはできない。広範な研究開発分野を振興している日本にとって、数学研究は他分野の発展にも必要 3. 日本の数学研究と科学技術振興のためにとるべき喫緊の対策の提案 (1) 施策の提案 ① 基礎的な数学研究を強力に振興するための政府研究資金の拡充 ② 数学と他分野との分野融合研究を推進するため、数学-他分野融合研究の推進拠点の構築 ③ 数学研究者と産業界との相互理解の促進、共同研究の実施について具体的な検討の実施 (2) 数学研究振興における留意点 ① 数学研究者の研究時間の確保と活発な意見交換のための場の確保 ② 数学研究においては図書や文献の量及び質が重要な意味を持つことの認識 ③ 基礎的な数学研究から短期間に具体的効果を求める性急さを避けること	
7	16

※文部科学省 科学技術政策研究所プレゼンテーション資料より転載

結論の部分で、今いったような話を書いています。

数学の研究費に関する状況は欧米に比べて厳しい状況にある。「模様」と書いておりますのは、数学の定義が各国によって違うので明確に言い切ることがなかなか難しいのです。日本の場合だとさきほど甘利先生もおっしゃったように、海外の場合は最適化の話とか制御も数学に入っているけれども、日本の場合必ずしもどうカウントしていいかわからない状況がありますので、研究費といってもそれほど明確に統計が出るわけではないので、「模様」という形で推測の部分を含んでいる書き方となっています。

二番目は、日本の数学博士取得者数は米国、フランス、ドイツと比べて少ない「模様」となっています。

この結果に基づいて2で、数学研究の強力な振興の必要性ということで、(1) 数学-他分野融合研究から得られる社会的利益は巨大であると推測され、日本でも数学-他分野融合研究を振興すべきである。それは応用系だけですけどもそうではなくて基礎となる数学自体も振興が必要だろう、純粋数学が大丈夫と思っていたが意外とそうでもなかったということです。

(2) はもう少し抽象的な話が役立つという話で、「モノや構造を支配する原理を見出す」観点から、数学によるイノベーションへの寄与の可能性があり、数学と産業、数学と他分野との共同研究実施に向けた検討や体制整備が重要である」という話です。それを実現するのにどうするかというと、一つはお金であるとか、研究拠点であるとか、共同研究を推進するような具体的施策とかいうことがうたわれております。

数学振興策の現状と課題 I

数学振興策(最近～現在)

- 2003年度 ●COE 数学分野
日本学術振興会
- 2006年 5月 ●忘れられた科学－数学
文部科学省 科学技術政策研究所
- 2007年10月 ●数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索
JST さきがけ(2007～2009年), CREST(2008～2010年)

これが出た後これに基づいて 2007 年 J S T で「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」ということで、さきがけが走り出し C R E S T が走り出しという状況が起きました。ただし応用系が弱いということに対する答えとしてはなぜ突然ブレークスルーに飛ぶのかなというところはあると思います。ヒットでいいのにいきなりブレークスルーを飛ばすというのでホームランをねらっているような感じのするところいきなり飛んでいるというのも奇異な感じがします。

数学振興策の現状と課題 I

戦略的創造推進事業 > CREST > 研究領域 > 数学

研究領域

戦略目標
「社会的ニーズの高い課題の解決へ向けた数学／数理科学研究によるブレークスルーの探索（幅広い科学技術の研究分野との協働を軸として）」(PDF:115KB)

研究領域名
数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索 [研究領域HP](#)

研究総括
西浦 廉政（北海道大学電子科学研究所 教授）

概要
本研究領域は、数学研究者が社会的ニーズの高い課題の解決を目指して、諸分野の研究者と協働し、ブレークスルーの探索を行う研究を対象とするものです。謂わば 21 世紀におけるデカルト流の数学的真理とベーコン流の経験則の蓄積との統合を目指すものです。
諸分野の例として、材料・生命・環境・情報通信・金融などが想定されますが、社会的ニーズに対応した新しい研究課題の創出と解決を目指すものであればこの限りではありません。

14-1.html (1/4) [2010/03/17 12:39:32]

9

※JST 戦略的創造推進事業 Web ページより転載

具体的な内容に関してはホームページからとってきました。

研究総括は北大の西浦先生で、概要は「本研究領域は、数学研究者が社会的ニーズの高い課題の解決を目指して、諸分野の研究者と協働し、ブレークスルーの探索を行う研究を対象とするものです。謂わば 21 世紀におけるデカルト流の数学的真理とベーコン流の経験則の蓄積との統合を目指すものです」、なかなかわかりにくい内容です。対象としてはここに書いてある材料・生命・環境・情報通信、これは第三期の科学技術のときに重要視されている分野がここに並んでいるという状況です。

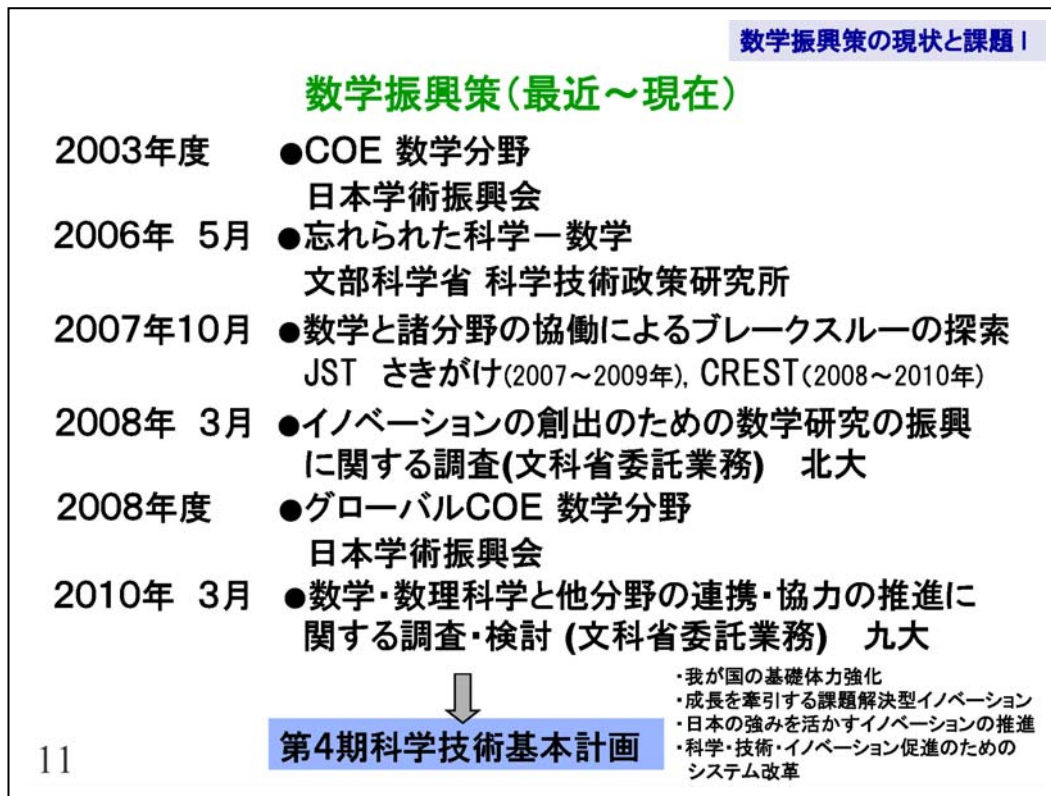
研究課題	数学振興策の現状と課題Ⅰ
数理医学が拓く腫瘍形成原理解明と医療技術革新	
研究代表者(所属)	
鈴木 貴（大阪大学大学院基礎工学研究科 教授）	
概要	
数理モデルを用いてがん病態生理発生メカニズムを解明するとともに逆問題研究と連動したがん診断技術を開発します。計算機と数学理論を用い、基礎医学実験に基づいたモデリング技法を確立することで、特に初期浸潤過程において細胞内生化学反応がサブセルの変形をもたらす仕組みを明らかにします。応用として、病態生理の予測、最適治療法選択・新薬開発ツールの提供、新しい動作原理による自動細胞診断を実用化します。	
研究課題	
生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御の新展開	
研究代表者(所属)	
小林 亮（広島大学大学院理学研究科 教授）	
概要	
現実の複雑な環境の中を、あたかも生物のごとく、柔らかくしなやかに動きまわることのできるロボットを創り出すためには、ロボットの身体に生物同様の大きな自由度を持たせ、かつそれを巧みに制御する必要があります。本研究では、アメーバ運動から歩行運動にいたるさまざまなロコモーション様式に通底する、しなやかな動きを生み出す制御のからくりを数理的に解明することにより、大自由度ロボットの自律分散的制御法の創出を目指します。	
10	10

※JST 戦略的創造推進事業 Web ページより転載

具体的にそのとき採択されたものがここにございます。見ていただくと状況がご理解いただけると思います。

「数理医学が拓く腫瘍形成原理解明と医療技術革新」ということで、大阪大学の鈴木先生ですが、数理モデルを用いてがん病態生理発生メカニズムを解明するとともに逆問題研究と連動したがん診断技術を開発します。計算機と数学理論を用い、「基礎医学実験に基づいたモデリング技法を確立することで、特に初期浸潤過程において細胞内生化学反応がサブセルの変形をもたらす仕組みを明らかにします。応用として、病態生理の予測、最適治療法選択・新薬開発ツールの提供、新しい動作原理による自動細胞診断を実用化します」という非常に壮大な、確かにこれができればブレークスルーになると思いますが、なかなか評価するのは難しいだろうということです。

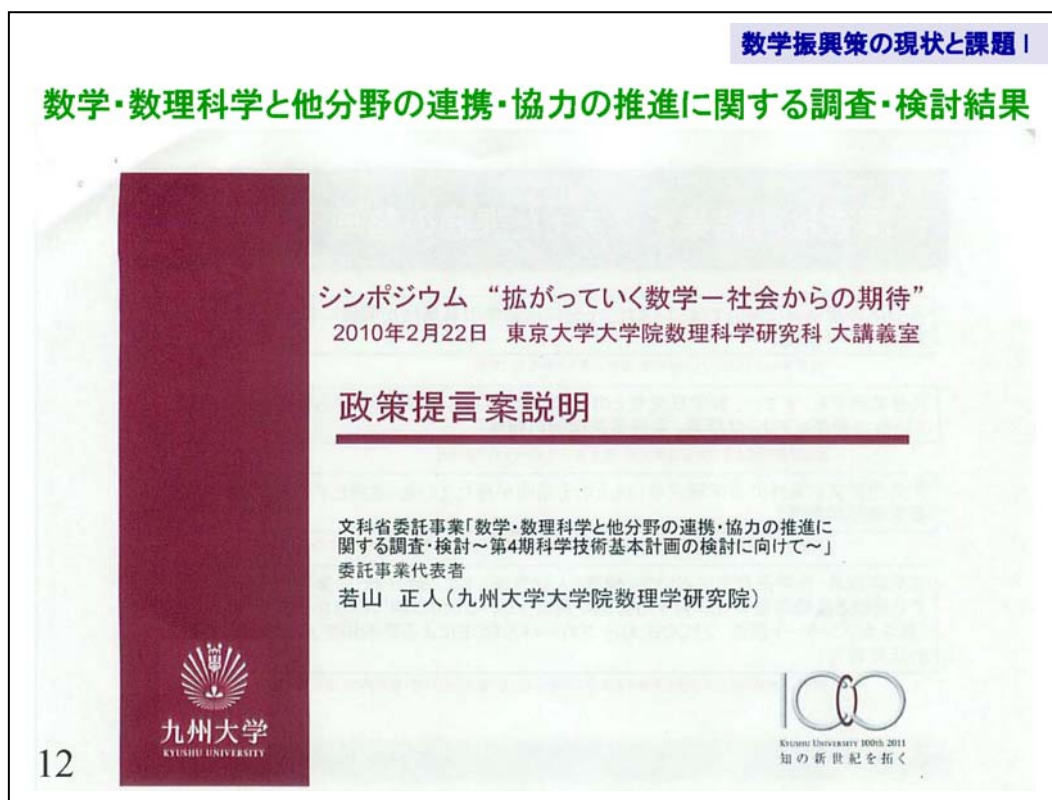
5年でどこまでできるかというのがなかなか難しいようなタイトルです。ほかも、これに近い形の研究内容が並んでいるような状況になっています。政策研が出した危機感に対する対応としてこれが適切かどうかというのはまさに議論していただくしかないと思うのですが、微妙な点があるなという感じがします。



その次「忘れられた科学－数学」に対応して文科省からまた同じような話ですが、「イノベーションの創出のための数学研究の振興に関する調査」というのが北大に依頼されています。

COEが終わりまして今度はグローバルCOEが立ち上がります。

さらにことしの3月に九大からレポートが出されますが、北大の話とある意味似ている部分がありますが「数学・数理科学と他分野の連携・協力の推進に関する調査・検討結果」というのでそのレポートが出ます。これに基づいて第4期科学技術基本計画にリンクして数学の振興をうたうという流れに今なっています。少し現状でこの九大の提言に関して申し上げます。



※シンポジウム “広がっていく数学—社会からの期待” プレゼンテーション資料より転載

これが2月の22日のシンポジウムで紹介された政策提言です。

数学振興策の現状と課題 I

数学・数理科学と他分野の連携・協力の推進に関する調査・検討結果

I. 調査検討結果を踏まえた課題の整理 今回調査から 1

● 今回の調査で明らかになった事項 (調査結果 ➡ 対処すべき課題等)

① 他分野研究者の7割近くが、今後「新たに」数学の力を借りる必要がある、借りたいと回答した。さらに、自らの専門分野に数学の力を導入すべきであり、そうしないと、日本の研究レベルは危ういものとなるとの意見が7割近くに上った。(他分野アンケート調査)

さらなる連携を推進する上でのボトルネック(数学研究者の時間的余裕不足、研究インフラの整備不足、活動への資金不足、評価などに関するインセンティブ不足、インターフェースを担うことができる高い数学能力を持つ人材の不足)が存在

② 現在、数学をバックグラウンドにもつ者を採用、或は、数学者と連携・協力している企業は少ない。企業内で活躍する数学研究者が極めて少ない。しかし、関心をもつ企業の増加の兆候は見えて取れる。(企業アンケート調査)

産業界へのキャリアパスが不足

③ 他分野研究者、新しい数学の展開を期待している。(他分野ヒアリング調査)

さらなる連携を推進する上でのボトルネック(数学研究者の時間的余裕、評価などに関するインセンティブ不足)が存在

④ 数学の基礎(学)力の重要性の指摘(他分野・企業ヒアリング調査)

⇒ 数学教育の強化を怠る⇒ 国民にとっての重大な損失。(i) 教育研究環境が劣化するなか、大学生の基礎学力向上を図る余裕がない。(ii) 多くの連携への意欲をもつ教員の思いが実現しづらい環境にある。その結果、数学をコアにした科学・技術の開発において先進諸外国に遅れをとり、将来的に国益を損なう危険がある。

13 九州大学 広がっていく数学—社会からの期待 2010年2月22日～23日

※シンポジウム“広がっていく数学—社会からの期待”プレゼンテーション資料より転載

まず調査の結果をここに総括しています。スキップしながらいきたいと思いますが、他分野の研究者、要するに産業との連携ということを意識していて、それぞれに関してアンケートをとった結果について総括しています。①は他分野研究者の7割近くが、今後「新たに」数学の力を借りる必要がある、借りたいというような意識があるというのが①です。産業界に関しても同じように、必ずしも連携をよくやっているわけではないけど期待しているというレポートになっています。

数学振興策の現状と課題！

数学・数理科学と他分野の連携・協力の推進！

Ⅰ 調査検討結果を踏まえた課題の整理

数学は不可欠であり、数学のニーズは高い。分野に応じ異なるが、必要とされる数学は、アルゴリズム、統計的モデリング、システム科学、暗号、最適化理論、ゲーム理論、制御理論などが挙げられている(他分野ヒアリング調査)。

① 他分野研究者の7割近くが、今後「新たに」数学の力を借りる必要がある、借りたいと回答した。さらに、自らの専門分野に数学の力を導入すべきであり、そうしないと、日本の研究レベルは危ういものとなるとの意見が7割近くに上った。(他分野アンケート調査)

さらなる連携を推進する上でのボトルネック(数学研究者の時間的余裕不足、研究インフラの整備不足、活動への資金不足、評価などに関するインセンティブ不足、インターフェースを担うことができる高い数学能力を持つ人材の不足)が存在

② 現在、数学をバックグラウンドにもつ者を採用、或は、数学者と連携・協力している企業は少ない。企業内で活躍する数学者が極めて少ない。しかし、関心をもつ企業の増加の兆候は見取れる。(企業アンケート調査)

産業界へのキャリアパスが不足

③ 他分野研究者、新しい数学の展開を期待している。(他分野アンケート調査)

さらなる連携を推進する上でのボトルネック(数学研究者の時間的余裕不足、研究インフラの整備不足、活動への資金不足、評価などに関するインセンティブ不足、インターフェースを担うことができる高い数学能力を持つ人材の不足)が存在

④ 数学の基礎(学)力の重要性の指摘(他分野・企業ヒアリング調査)

また将来も必要である数学として、業種による別は、ものの、数理計画法、アルゴリズム、暗号、数値解析、確率論、統計学、最適化、OR、グラフ理論、学習理論などが具体的に挙げられている(企業ヒアリング調査)。

14

ところがレポートのデータを詳しく見ますと、こういう文章が出ています。「数学は不可欠であり、数学のニーズは高い。分野に応じ異なるが、必要とされる数学は、アルゴリズム、統計的モデリング、システム科学、暗号、最適化理論、ゲーム理論、制御理論などが挙げられている」、ヒアリング調査の結果はこれです。

これをまとめたのが①だという形「他分野研究者の7割近くが、今後「新たに」数学の力を借りる必要がある」という文章で縮約されています。いわゆる数学科ではほとんどこういう分野を扱っていないにもかかわらず、こういう結論を引き出してしまっています。

数学を広く考えると実はうそではないです。甘利先生のおっしゃる「数理科学」という言葉で置きかえれば、確かに数理科学全体を振興するという意味では間違いのない期待だと思うのですが、現在のいわゆる数学科に期待されているという形でこれを使われるとかなり困ります。

それと同じことが産業界からのことについてもありまして、「業種による別はあるものの、数理計画法、アルゴリズム」同じような分野が出てくる。これに関してもやはり今申し上げたいいわゆる数学科では余り扱っていない分野がずらずらと並んでいる。

データをまじめに読めば確かにこのあたりのことは読み取れるはずではあるのですが、提言だけを読むと難しいのです。

数学振興策の現状と課題 I

数学・数理科学と他分野の連携・協力の推進に関する調査・検討結果

I. 調査検討結果を踏まえた課題の整理 今回調査から2

⑤日本の産業界においては、いまだ、十分には数学の有用性が明確になっていない。(企業アンケート調査)

産業界へのキャリアパスが不足、海外企業との競争力に課題

⑥産業界でも、すでに、数学研究者との連携を経験している企業は、さらなる連携を希求している。(企業ヒアリング調査、委託事業機関内報告)

数学活用成功事例等の周知不足、産業界へのキャリアパスが不足

⑦共同研究を海外の数学研究者にもとめる傾向が現れている(企業ヒアリング調査、委託事業機関内報告)

数学の需要の拡大に対応できる日本の研究体制の危機 ⇒ 日本の数学研究の空洞化を招くおそれ(日本の危機)

⑧数学教員・数学系教室において、研究・人材育成ともに、他分野・産業界との連携を推進する意欲と連携の重要性に対する認識が高まっている(10年前にはなかったであろうこと)。(数学会アンケート調査、21COE, GP, グローバルCOEによる若手研究人材育成計画とその活動報告)

研究・人材育成ともに連携を推進する気運が高まっている。数学と他分野・産業界との連携の好機

15



九州大学

広がっていく数学—社会からの期待 2010年2月22日～23日

※シンポジウム“広がっていく数学—社会からの期待”プレゼンテーション資料より転載

数学振興策の現状と課題 I

数学・数理科学と他分野の連携・協力の推進に関する調査・検討結果

Ⅱ. 具体的方策の提案

6

①「数学と諸科学分野及び産業界との連携の研究拠点の形成」 5拠点

②文部科学省は、数学・数理科学の諸科学・産業との連携により新たな技術シーズを探索するため、科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（さきがけ・CREST）の発展的継続を図る。数学の幅広い研究分野に関連する多様な申請を促すため、2件以上の研究領域の設定が望ましい。（⑧、⑨、⑫、A、B、F）

16

※シンポジウム“広がっていく数学—社会からの期待”プレゼンテーション資料より転載

これに基づいて具体的方策としては、数学と諸科学分野及び産業界との連携をして、先ほど期待されているわけだからそれにこたえましょうということです。数学は産業界とか他分野から期待をされているのだからそれにこたえる。こたえるための連携拠点みたいなものをつくる。5つぐらい、研究所をつくるわけではありませんけれどもそういう拠点をつくって、それを推進していこうという提言をされています。それと一緒にさきがけとかCRESTが走っていますのでそれを発展的に継承する。今は一つしか走っていませんがもう1件ふやしてくださいという提言になっています。

数学振興策の現状と課題 I

提案の問題点

Ⅱ. 具体的方策の提案

6

①「数学と諸科学分野及び産業界との連携の研究拠点の形成」 5拠点

②文部科学省は、数学・数理科学の諸科学・産業との連携により新たな技術シーズを探索するため、科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(さきがけ・CREST)の発展的継続を図る。数学の幅広い研究分野に関連する多様な申請を促すため、2件以上の研究領域の設定が望ましい。(⑧、⑨、⑫、A、B、F)

問題点: 諸科学分野や産業界が期待する内容を考えるとき、そもそも、現在の数学科の人々が連携ができるのか?

多分 No! → 内輪で選定、評価するといったことが起こり易い。

厳しい目をもった、産業界、数理科学に関して視野の広い人が中心となって運営すべき

17

今の「数学」を「数理科学」と読みかえると正しいご指摘ですし、連携しながら研究拠点をやって、広い意味での数学の発展と数理的な思考が科学技術に浸透するという意味では提言としては適切な提言と思いますが、ここに書きましたように、問題点として産業界が今の数学に期待する内容を考えるとき、そもそも九大を含めて現在の数学科の人たちがあの提言の中で本当に連携できるのかという疑問が残ります。

それができないとすると内輪で選定して評価するということが大いにして起こりやすいのですが、これは絶対避けなくてははいけません。先ほど甘利先生もご指摘になったように、日本は既にそういった連携とか数理的な思考を浸透させるという意味では諸外国にかなりおくれをとっているわけですから、再度またこれと同じことをやったのでは手おくれになるので、厳しい目で、もっと産業界、数理科学に関しての視野の広い方とかが、今の産業界の期待をきちんと数学もしくはその分野の方々に伝えて、それを実行させるという実効的なシステムをつくる必要があると思います。

数学振興策の現状と課題 II

—「社会と数理科学」分科会から

18

次に当委員会の活動の一環として数理科学の分科会を開きましたので、そこで議論していただいた話を紹介したいと思います。

委員は少し長老の方とかに入ってもらって、あとは先ほど出ていました産業界とか他分野の方々に期待するということで幅広い方々、それから企業の方にも入っていただいている議論していただきました。

数学振興策の現状と課題 II

分科会で指摘された「数学振興策」における重要な点 (数学振興の必要性は認めた上で)

0. 数学分野も深化拡大している.

1. 次の観点の重要性

数学(数理科学)が役に立っているのは

数学的技術 + 数理モデリング(≡ 数学的見方)

の故である(であろう)

今まであまり議論されて来なかった.

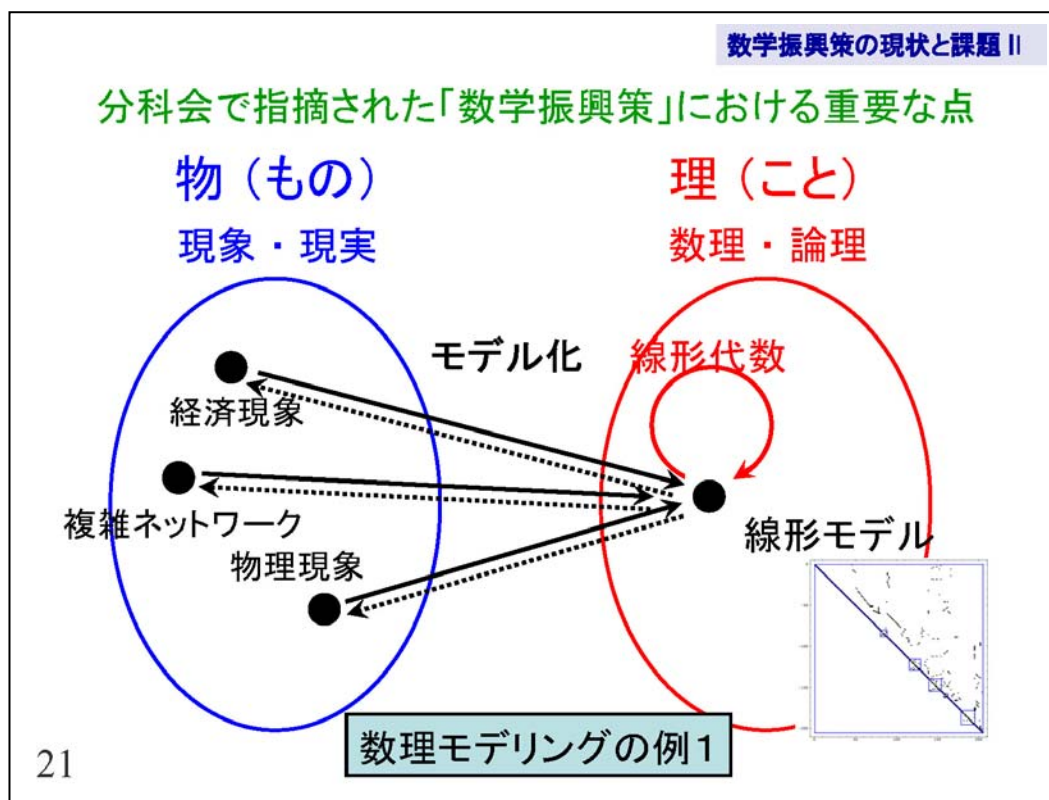
いわゆる数学科ではあまり教育されてこなかったもの

20

非常にたくさんの議論が出ましたが、まとめたのがこれです。

0としては数学分野、これは数理科学と読みかえていただく方がいいかもしれませんが、確かに進化しているし拡大していていろいろなことがされています。

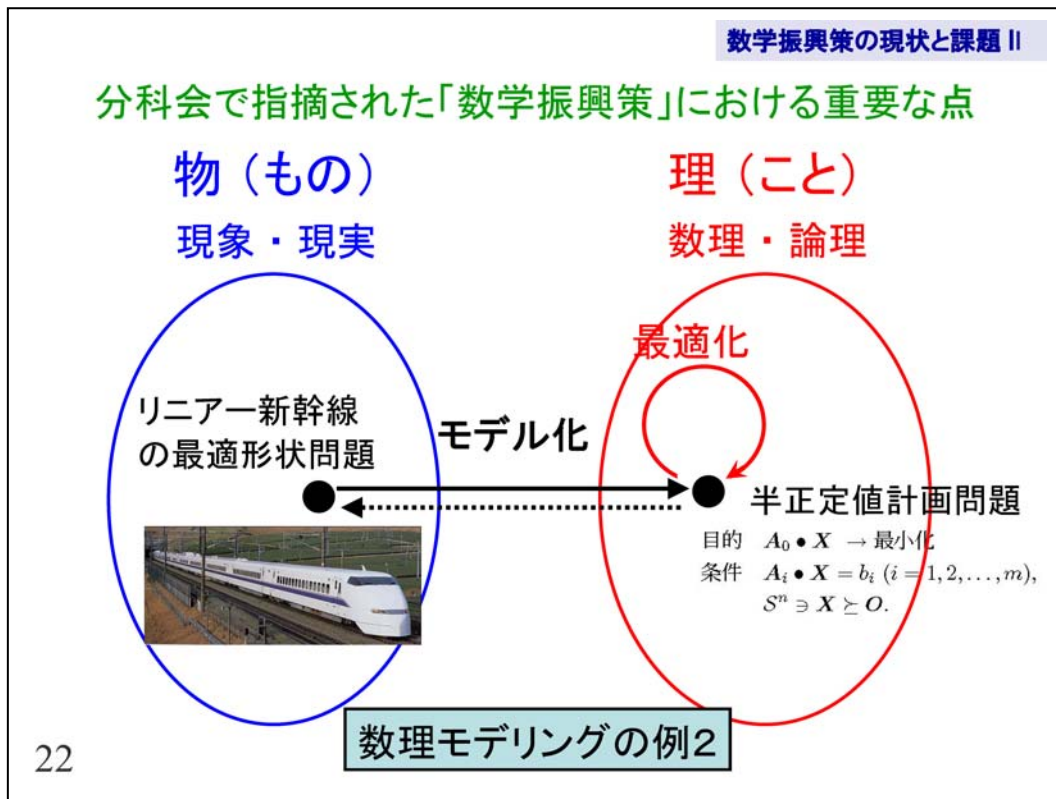
1として、次の観点の重要性で、数理科学が役立っているのは、数学的技術もさることながら数理モデリング的な視点、数学的見方です。さらにいろいろなものがあると思いますけれども、従来数学者自身が世の中に役立っているもしくは他分野から期待されているときは余り意識されなかった部分、ここのシステム科学においでの方は当然のこととでしかないと思うのですが、意外と数理モデリングあたりのことが数学科では余り教育されていませんでしたし、そういうところが割と欠落しているのではないかということが話の中に出てきました。



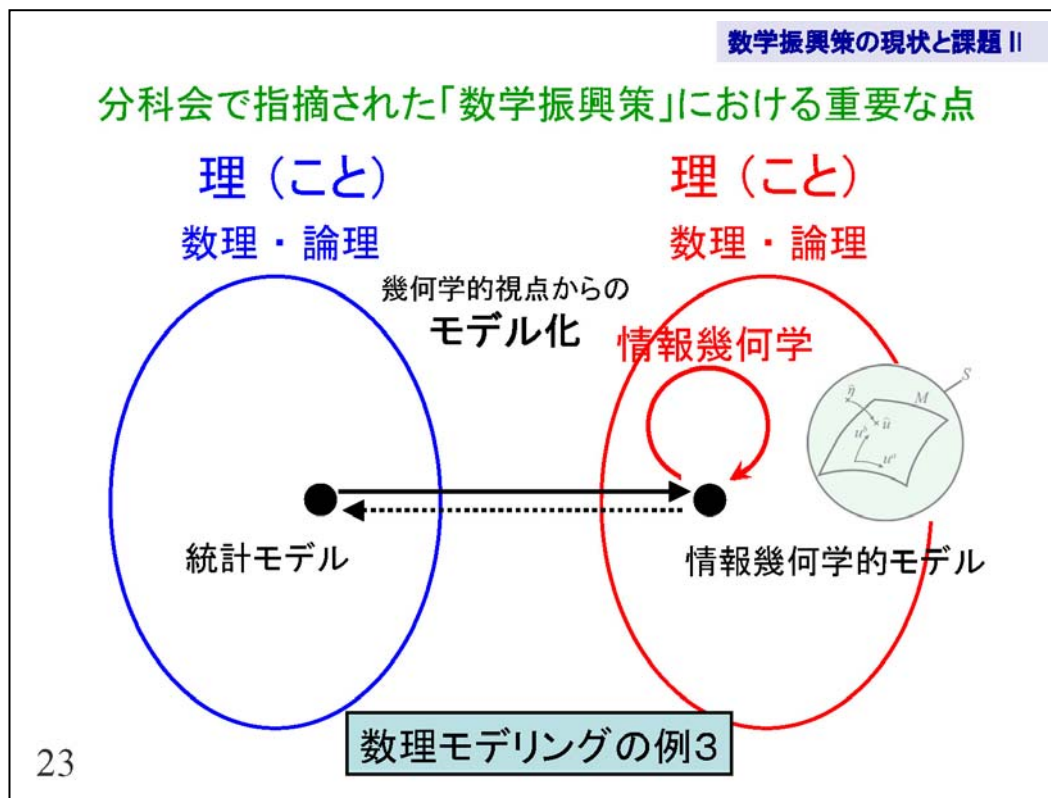
このモデリングに関しては、釈迦に説法かと思いますが、簡単な例を持ってまいりました。3つぐらいいろいろなレベルの例を申し上げたいと思います。

これは線形代数の話ですが、現実の世界から数理の世界へというので、例えば経済現象、複雑ネットワーク、物理現象というのが、こういう行列とかの線型モデルにモデリングされて、その上で線形代数が働いてそれをフィードバックをかけて現実の場に戻す。非常に現実的なお話で自明に近いのですが、実は数学家はここ（注：線形代数のループの中）をやっているんです。

さらに数学の世界は行列がない世界に入ります。ベクトル空間とかそういうのを線形写像という形で入って、この表現さえありません。だからこの上のレベルのところにいってしまって、この現象のところを完全に切り離れた形で数学の研究とかが進んでいくことがよくあります。そうすると産業界で何とかしようと思うと、産業界は当然ものの世界がかなり多いわけですから、数学科の学生は全くここを知らないまま、就職して何をしろと言われても、逆に産業界も困ると思います。そのあたりの問題意識がちょっと希薄なような気がします。



さらに技術的な面で言うと、リニア新幹線の最適形状問題などの割と新しい分野の線形計画をもっと複雑にしたものでも割とよく解けるということが現在わかっています。最適化手法がうまく働いてきます。



これは、先ほど甘利先生がおっしゃった情報幾何の話ですが、こちら側もものというよりは、数理とか論理の世界で、その中で統計のいろいろな分布の話があるときに、それを幾何学的に見て、平面と見ることによって、統計でいろいろなことをやられていることが幾何学的なピクチャーでもっていろいろなことを見るのが可能だというのがちょっと矮小化しているかもしれませんが、甘利先生の提唱されたある種の見方です。

実はこのパターンが、統計モデルだけではなくていろいろな場面でこのパターンが使える。それはまさに情報幾何学の力です。幾何学化することによって共通の情報幾何というツールでもっていろいろなことが見られる。まさにこのパターンを頭の中に持っていることによって数理的な見方ができて、いろいろなことを解釈できて、それが応用できるだろうということです。

数学振興策の現状と課題 II

分科会で指摘された「数学振興策」における重要な点
(数学振興の必要性は認めた上で)

0. 数学分野も深化拡大している.

1. 次の観点の重要性

数学(数理科学)が役に立っているのは

数学的技術 + 数理モデリング(≡数理的見方)

の故である(であろう)

今まであまり議論されて来なかった.

いわゆる数学科ではあまり教育されてこなかったもの

2. 目利き人材やコーディネーターの育成

3. 縦割りを好む文化が障害となる.

(一つのことを一生やっていくことが良いとする文化)

→理論が現実からどんどん離れていく

24 4. 理論より、経験や勘を重視する文化が障害となる.

こういうパターンがあるという認識のもとに教育が行われると非常に理想的だろうと思います。モデリングといいましても今言いましたようにモノから理論、理論から理論という分野の非常に広い意味で使っております。

そのほか、月並みではありますが、分科会で出た意見として、目利き人材やコーディネーターの育成とか、縦割りを好む文化で一つのことを一生やっていくことをよいとする文化とか、理論が現実からどんどん離れていくということもあって、そのために例えば現場では理論より経験や勘を重視するという文化が障害となってしまっている。2、3、4は数学に限らず、一般的に「理論対何とか」という場合ではよく言われている。こういった状況が起きています。

数学振興策の現状と課題 II

「数学振興策」に向けての行動計画と提言

3. 4. の障害を乗り越える(2. も)のためには、
見える形での分野横断的組織を作る必要がある！

組織： 数理科学研究拠点の設置 5拠点

(純粋数学, 学際数学, 産業数学が連携して研究する拠点)

数理モデリング(≡数理的見方)に関する院生教育も行う。

研究資金： CREST

科研費に学際数学, 産業数学分野を作る

→長期的に非常に重要.

厳しい目をもった, 産業界, 数理科学に関して視野の
広い人が中心となって運営すべき

25

これをどういうふうにして振興していくかというふうになると、3、4の縦割りのとか理論を重視しないという問題に実際見える形で役立っている様子を見せるとかそういうことをしないとだめだろうということで分野横断的、分野といっても今数学が純粋数学に偏っていて、先ほど甘利先生がおっしゃったように数理科学全体を横断するような組織をつくって、強力にその方向で研究を推進する必要があるだろうと思います。

組織という点では九大の提案と同じなのですが、数理科学研究拠点の設置をする。理想的には純粋数学の数理解析研究所に対して、それと直交する方向で学際数学、産業数学研究所というのができると、ある意味で両方の二つの勢力が拮抗しながら発展するということが可能なのですが、今の財政状況を考えるとそれは不可能でしょうから、先ほど甘利先生もおっしゃった数学科という非常に人材が豊富でありまたいろいろな組織もできている、それをうまく誘導しながらいけばいいかなと思います。特に先ほど申し上げた、モデリングに関する院生教育も行うという点が重要かと思います。

九大の場合は先ほどの提言の中で補足されていまして、インターンシップを積極的にやるということを書いています。企業に行って3カ月以上ぐらいインターンシップをしていっちゃいという話だそうです。確かに企業ではモデリングなしには、ただ数学的知識を持っているだけではだめですので、数学的技術を磨くと同時に数学的モデリング、その場でやられているようなことを身につけてくるということをするということだそうです。これは、実はインターンシップをやることによって、モデリングの部分がある

意味で外注しているということですが、本来は拠点でもってそういう教育ができるようなシステムをつくっていく必要があるのではないかと思います。

予算に関しては、これは細かな話になりますが科研費の数学という分野には代数、解析、幾何とその他、一般数学と書いてあるのですが、こういう分野は「その他」にしか該当しません。それから科研費の分野には最適化という分野はありません。今申し上げた、数理科学を振興しようとするときの基礎になるお金の流れができていないということもあるので、こういうものに関係するようなものをつくる必要があるだろう。そうすることによって基盤的な予算がつくことで長い目でその分野が発展し得ると思います。

また、最初の独立研究科ができたときの状況を見ると、拠点を適切に評価しかつ運営する方々が（研究者自身とは別に）やはり必要だろうと思います。拠点の運営を評価しうまく誘導していくようなシステムが、文科省かJSTの中ではわかりませんが、そういうシステムを適切に構築していくことによって初めてうまく機能していくだろうということです。

より具体的な話はまた中村先生の方からあると思います。よろしくお願いいたします。

3.3 中村教授 ご講演記録

今、数理科学に求められること

— 科学技術立国の再建のために —

中村 佳正

京都大学大学院情報学研究科研究科長
数理工学専攻

中村と申します。よろしくお願いします。

先日開催された分科会は「社会と数理科学」というタイトルでしたが、当然それは数理科学を使って社会をよりよいものにしていくという趣旨であると思いますが、ただ私がファンディングの話として考えた場合、そのような抽象的なものではなくて、やはり日本の科学技術を再建するには数理科学が必要であるとはっきりした色という方向性を出すというのが求められているのではなかろうかと思います。

分科会の中で印象に残るような発言がありました。アメリカの国際会議に出て、日本の電気電子分野の国際競争力は、現在では東南アジアの一国のレベルにまで落ち込んでしまっていることがわかった、というお話でした。それを聞きますと、私はその分野は余り詳しくないですし、他にも強い分野も幾つもあるとは思いますが、全体として日本の科学技術の力が非常に落ちているということです。これを踏まえて、数理科学でそこをどういうふうに再建を図るかということをここで考えたいと思った次第です。



これまでの経験・見聞

JST研究プロジェクト

＜さきがけ 2002-2005＞

特異値分解法の革新による
実用化基盤の構築(シ
ミュレーション技術の革新
と実用化基盤の構築:土
居範久研究総括)

＜発展研究 2006-2008＞

特異値分解法の革新による
情報処理基盤の構築
(物理・情報:三谷忠興研
究総括)

JSPS研究・教育プログラム

＜大学院GP 2006-2007＞

シミュレーション科学を支える高
度人材育成(実施取組責任者)

＜グローバルCOE 情報、電気、電 子分野 2007-2011＞

知識循環社会のための情報学
教育研究拠点(サブリーダー)

＜グローバルCOE 数学、物理学、 地球科学分野 2008-2012＞ 分野別審査・評価部会委員

私自身は情報学研究科の研究科長ですが、所属は数理工学専攻で、数学の研究者です。JSTには実は大変お世話になっておりまして、さきがけから発展研究にかけて6年半に及ぶ研究プロジェクトによって自分自身が育ててもらったという感謝の気持ちを持っています。一方、大学の方では、組織的な人材育成にもかかわっておりまして、大学院GPの代表者、グローバルCOEに関しては情報、電気、電子分野の拠点のサブリーダーを務めております。このあたりはこれまで中間評価あるいは事後評価も含めてすべてS評価をいただいています。グローバルCOEについては、公開されておりますように、数学・物理学・地球惑星科学分野の方の審査の専門委員もやっております。こういった立場でファンディングというものを通じて数学・数理科学の振興を考えてみたいと思います。



二つのことを申し上げます。一つは数学を専門とし、情報研究科にいて近年で一番悔しい思いをしたのがこの Google というものです。この Google はいろいろな要素技術の統合によって発表されたもので、こういうハードウェア的なことからネットワーク技術、そして杉原先生のところにちょっと出てきましたが線形代数の数値計算の話、さらには離散アルゴリズムと確率過程、こういった数理学、計算科学、計算機科学の要素技術の統合としてページランクの検索エンジンが設計開発されています。さらに驚くべきは、最初はどうやってこの会社は利益をあげているのかと思いましたが、一つのビジネスモデルとしてもすごく斬新であることです。こういうものが瞬く間に世界標準になってしまいました。最初はどういう技術がそこに使われているか公開されていなかったのですが、徐々に明らかになるにつれて、この日本の数理系の情報学あるいは情報科学からこういうものが出なかったことが非常に悔しいと思います。

数理科学への期待(1)

・ 問題解決のための統合型数理科学

（数学の普遍性に依拠し、細分化した要素研究から進んで、問題の本質を見抜いて要素研究を大胆に統合して行う研究）

・ 統合型数理科学の研究拠点を支援する

（数学科と連携した統合型数理科学の拠点形成を支援する）

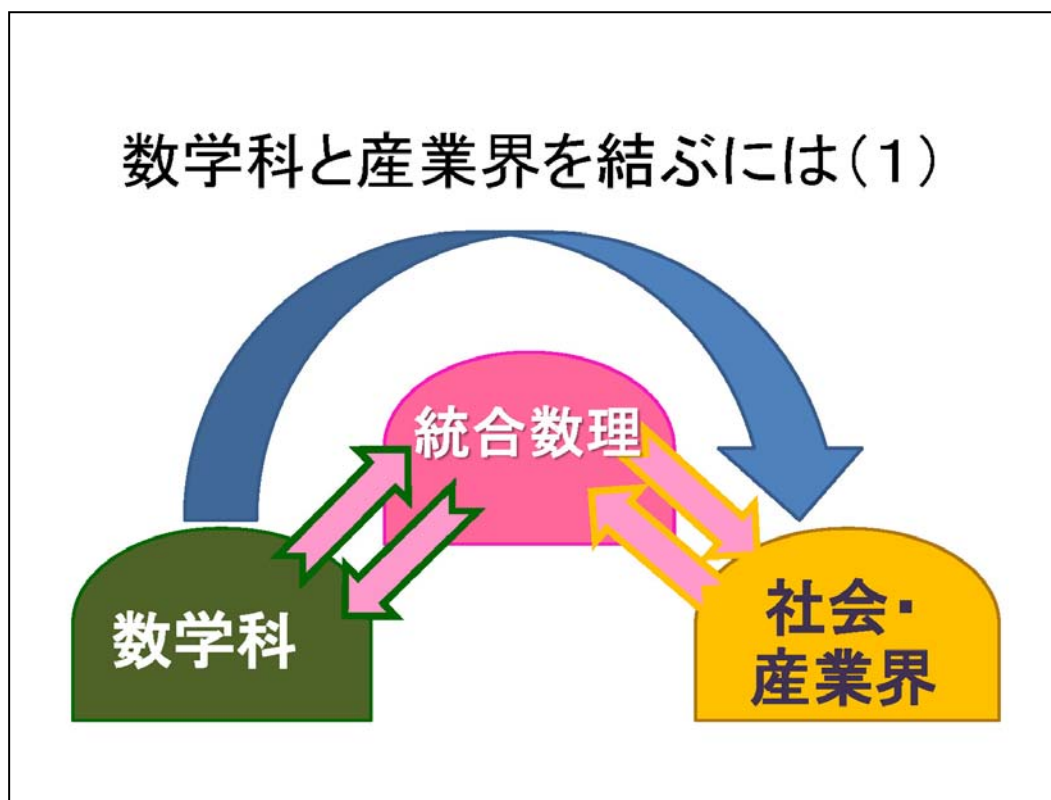
- ・ 参考1 微分幾何学と統計力学を用いた3次元ポアンカレ予想(トポロジーにおける未解決問題)の解決(Perelman 2003)
- ・ 参考2 Stanford大学におけるPageRankアルゴリズムの開発(2001)
- ・ 参考3 IT技術を駆使した電力エネルギーのネットワークの効率化であるスマートグリッド(2009)

こうしたことは恐らく産業界のいろいろなところにあるかと思いますが、Googleで見られますように統合型の数理科学、要素技術の一個一個は日本は強いのですが、これを統合するところが弱いのです。これは零戦、戦艦大和の時代からの悪い伝統かもしれませんが、そういったこと、日本の弱点と言われている部分ですが、これを統合する力になるのが数理科学の横断的な力、これは「システム」というキーワードで言いかえてもいいのかもしれませんが、ここを強くすることで科学技術立国の再建を図るのが最初のスキームです。

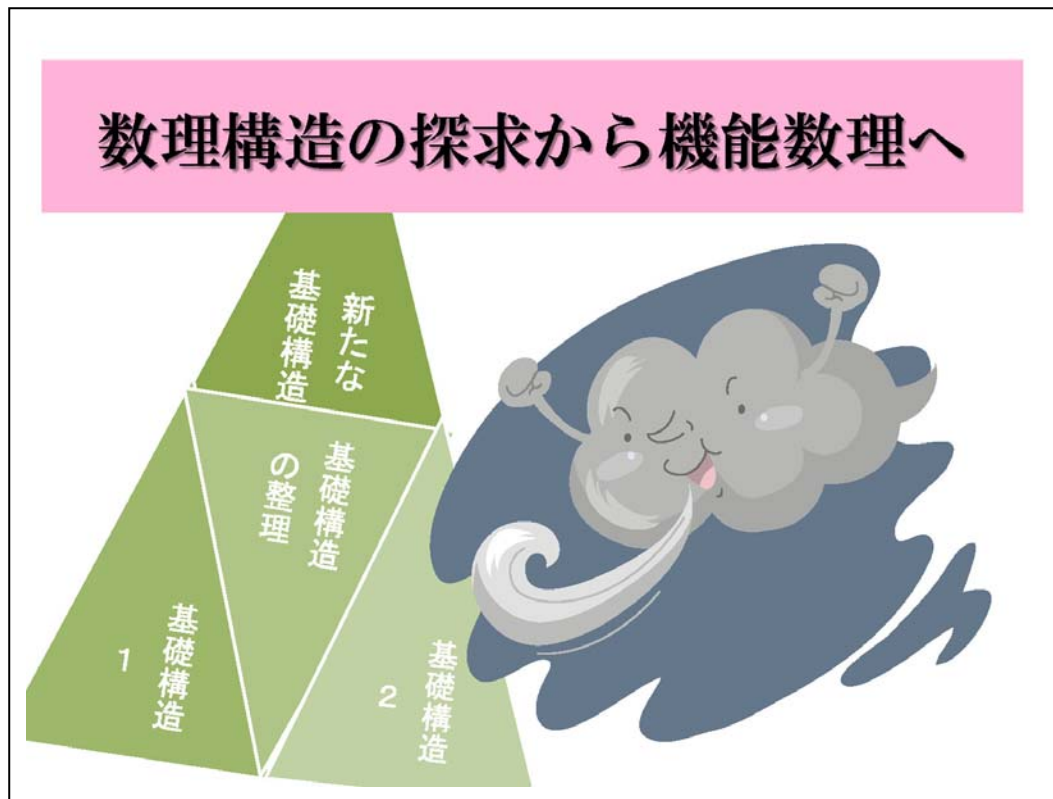
さきほど、ページランクアルゴリズムについて述べましたが、実は数学の中でも同じように、全く関係ないと思われた分野をうまく統合することによって従来の未解決問題を解決するというのが20世紀の後半、あるいは21世紀の初頭に次々と起きました。有名なものとしてはポアンカレ予想の解決があります。数学者にとってもこういった発想で新しいことができるということが最近だんだんとわかってきたはずですが。

最近、スマートグリッドというものをアメリカ大統領が提唱しました。これもネットワーク最適化を電力配送に応用し、さらには再生可能なエネルギーの循環に広げようというもので数理科学に基づく統合型の技術です。日本では前から考えていましたと言うのだけでも、しかしそれが新しい方向性を示すという政策的なことも含めて日本では表に出てこなかった。これも「社会と数理科学」における統合力の弱さの問題だと思います。

こういったことを背景に、先ほど5つの拠点というのが両先生の話に出てきましたが、少なくとも複数のこういう統合型数理科学の拠点が必要だと思います。

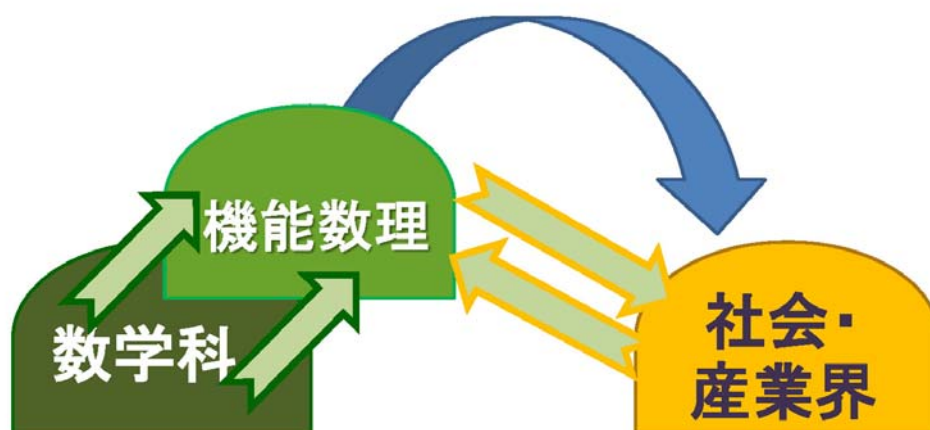


ではその拠点はどういう従来の組織との位置関係にあるのかというと、数学科にはもともとこういう視点がないので、数学科とは少し違うところに統合数理の研究拠点を置くほかはありません。現実的に考えますと、これはバーチャルなものになると思います。そこに数学科からも参加し、それ以外の分野からも参加して、産業界から期待が高いと言われております制御とかORとか最適化とか先ほどいろいろキーワードがありましたが、そういったところが中心となってつくる統合数理の拠点です。これが産業界と数学科両方からの人材とか情報を得て、新たな数理科学の振興を図る拠点形成のスキームになると思います。数学科を知るものとして、数学科から具体的にこんなふうにハイジャンプしていきなり産業界で役立つものが出てくるとは私にはとても思えませんので、やはり統合数理の拠点がが中心となって両者を結ぶという仕掛けが必要ではなかろうか、これが最初の視点です。



二つ目の提言ですが、これは甘利先生のお話に出てきた高い山、同じような色を使っているのも偶然ですが、やはり数学には造山活動というのがあって、みずから山を高くしようという方にどんどん気持ちが行きます。これは「数理構造」の探求ということで、数学者がもつ当然の価値観ですからそれはそれでいいので、これまで通り頑張っていけばいいと思います。ここで指摘したいのは、数理構造とは別に、数学にはもうひとつ「機能数理」の探求という側面があるということです。何かに作用してそれを変化させるような機能、それも、合理的で有効に働く機能です。数学が本来持っている優れた機能性を探究することもまた数学者が目標とすべきことですが、研究だけでなく、これまでの数学科ではそのような観点での人材育成は十分ではありませんでした。人材の供給源として数学科が万全でないと、数理科学に基づくイノベーションで日本が遅れをとることになります。数学科の中で機能数理の探求が広く認められるような、そういう数学科自体の革新も数理科学の振興の中には必要ではなかろうか。これは数理科学への期待を追い風にスライドのように外から風を吹かせているわけです。

数学科と産業界を結ぶには(2)



具体的には、数学科の中に機能数理を扱うような新たな拠点をつくり、産業界、社会に一步近づいたところで数学・数理科学と産業界の連携を図るというものです。そこからであれば距離が近くなっていますので、こういったジャンプもハイジャンプでなくてもいけるかもしれないということです。

九州大学の中に機能数理専攻というのがあります。恐らく同じような発想でつくった組織でなかろうかと思います。もしそうなら、意見は一致しています。

数理科学への期待(2)

・ 問題解決のための機能数理

（数理構造の探求という静的な数学観から一歩進んで、問題を数理的に記述する機能、問題を数理的に解決する機能を研究）

・ 機能数理の研究拠点を支援する

（数学科の中にある（数学科と連携した）機能数理の研究拠点形成を支援する）

- ・ 参考1 確率微分方程式のもつ経済変動の予測機能
- ・ 参考2 楕円曲線の有理点による暗号方式の探索
- ・ 参考3 組合せ数え上げを利用した分子化合物の分類
- ・ 参考4 離散可積分系による大規模行列特異値分解法の開発

機能数理を旗印とした拠点においてどういうことをやるのかということですが、具体例としてはキーワードだけ書きましたが、数学の中でも単なる構造上美しいからとか整っているからとかそれだけで研究すべきというものではなくて、問題を数理的に記述する機能とか、数理的に解決する機能とか、こういうところが数学にもちまらほあるわけですが、それ自体が数学として研究すべき対象である、そういう価値観を数学者の中に置くということです。数学者によっては従来と違った発想を求められていると感じる人も多いわけですが、数学の重要性を社会に説明するためには必要不可欠であるという考え方を、九大だけでなくその他の数学科においても本気で大事にしていっていただきたいという気持ちです。学部教育に手をつけない限り、卒業後に広い分野に出て行って、数学科で身につけた数学の考え方を使いこなしてみようとはなかなか思わないわけですから、従来型の数学科の中でイノベーション人材の育成を行うのは至難であると思います。言い換えれば、数理科学のあらたな拠点では、機能数理の探求を学部教育の真ん中に置く必要があります。

以上二つ具体的な視点について、拠点の中にはこういった発想のものを置いていただきたいということで発表させていただきました。ご静聴ありがとうございました。

3.4 出席委員 ご発言記録（発言者敬称略）

○有本

もう少し歴史的なところを追加してほしいと思います。2006年5月に科学技術政策研究所がこれを出す前に、1年前だと思いますが、あのころちょうど第3期の科学技術基本計画でいろいろな準備をしているときに、海外の人からたまたま、日本の数学とか応用数学についてどういう状況なんだということをRAND Corporationにも頼んだりして、そのときに強いメッセージが出たのです。純粋数学といえども日本は最近は落ちているのではないかと。あるいは若い人が入っていないということがありました。それで慌ててワークショップを開いて、そのときはありがたいことに広中さんも来てくれました。1年がかりで数学界に頼んで数学界にいろいろやっていただきました。そこから始まっているのです。要するに、基本計画をつくるときのいろいろなサーベイが今のここまでできているというところは歴史的な認識をして知っておいていただいた方がいいのではないかと思います。

○出口

数学とか数理思考を社会にエンベッドしていく、科学技術の土台にしていくことと、役に立つ科学者を育てることがちょっと混同されている気がします。特に九大のレポートは、お助けマンをどうやって育てて、役に立つ、要請があれば行って教えてあげましょう、こういうところをつくるんだ、または数理科学のエキスパートを育てればというのですが、数理思考そのものを社会にずっと浸透させていくという話は今のお話の中にあらわに出てこなかったのですが、その辺はどういうふうに切り分けてどう整理していくのですか。

○杉原

私の方でお答えいたします。

先ほどの講演スライドにあった3番目から4番目が、社会に数理的な思考が浸透するに当たっての障害の一つのキーポイントになっていて、その改善ためには、ある種の組織をつくり実際に数学が産業に浸透していく見える姿を示していく……。

○出口

その数学そのものが、現場の人が自分自身が数学を使う、数学が役に立つんだという体験をどんどん広めていかない限り、ある数学者が来てくれて助けてくれて、ああこれでやはり数学はうまくいくのだと言っても（社会に数理的思考は浸透していかないのではないか）。

○杉原

先ほど申し上げた横断的な組織というのは、産業界からも入ってもらいますし、産業数学と書いてあるのがそうですが、企業の中である程度少し数学のわかる方とかいろいろな方に入っていて共同運営した形でお互いに情報のやりとりをしながら、というイメージです。

○出口

今言われた「少し数学のわかる方」、その辺が一番まずいです。

○杉原

では「一般の方」と申し上げてもよろしいですが、毛嫌いしている方ではないという方が正確かもしれません。初めから「これは要らない」とおっしゃる方に来てもらっても話が進まないかもしれないので、まずはそういう方（毛嫌いしているのではない方）に来ていただいて、その方が会社に戻って、こう役に立つという形で何らかの形でそういう振興策をしていかない限り今のままではだめだろうということです。

数学科ですと数学の定理がなくてはドクターを出さないというふうになっていますが、ああいう組織をつくることによって、そこでコーディネーター的なことをやった方とかに関してもドクターを出していくということによって地位を上げていくということで割とうまく回る可能性があるのではないかという意味でも組織の設置を考えています。数学者から見たときは定理証明ではないかもしれないけれども、既にあるものを統合したことによって役立つとかそういうことをやったことでドクターが出るとかいうシステムができればいいかなという意味もあり、横断的組織ができればそういう思考も少しずつ浸透するのではないかという期待を持っているということです。

○原山

私もブルーバキ 100%の世界で学部でもって洗脳された人間ですが、経済の方に移ったという経験があります。やはり数理的思考というのはそこでも役に立ちますので、別の場でも役に立つのは実感しています。

それとは別に海外の体験談というのが幾つかあって、一つはフランスの I H E S の話をなされたのですが、あれは組織としてまさに場を形成しています。うまくいっている理由の一つというのがヘッドの人です。Bourguignon という方なのですが、彼が来る前と彼が来てから一新しました。そこでフィールズ賞をとる人が後から出てくるのですが、その前の段階の人をいかに戦略的に集めて場をつくるのと、それから彼自身が世界じゅうを回って資金を集めている。まさにフルタイムでコミットして、数学者として非常に優秀な方なのですが、それを横に置いて旗振り役をやっているという人がいるからこそ場が回って、やはり場を形成することが大事です。しかしそれだけでは不十

分だということを彼は主張しているのではないかと思います。

それから産業界での活用ですが、またフランスの例ですが、Saint-Gobain というガラスのメーカーがあります。そこには中央研究所があってももちろんガラス関係建材関係の研究をしています、ここに数学のチームが入っています。彼らバックグラウンドが数学 PhD の連中が入っています。その人たちのミッションは何かというと、研究所のほかの人の現場に行く、そこで何が自分たちとして貢献できるかを一緒に探るということをしています。具体的に何ができるかということはこれからやるところです。そういうきっかけをつくること自体が初めの一步だと思われるので、そういう複数の可能性というものをこれから見つけていくことが重要ではないかと思います。

○市原

フランスでは 10 年以上前から、かつては一番優秀な人は哲学に進んでいたのですが、一番優秀な人が数学に進むという事態になっていて、そういう人が今後国のリーダーとして出てくると思います。

中国で 10 年ぐらい前に聞いた話ですが、一番優秀な人はどの分野に進むのかと聞くと、やはり数学ということです。数学の世界に進んで IT で起業してお金をいっぱい使うのが皆の夢ですとあって、公称 13 億、本当は 15 億とか 20 億と言われていますが、その中の上澄みの一番上澄みの人が数学をやっています。

そんな中で日本の産業競争力を見たときに、量子コンピュータのように数学のアルゴリズムがなければ使いものにならないというものがある中で、産業界で一番優秀な人、ソフトの世界でもハードの世界でも数学以外、工学以外の分野の人でも一番優秀でとんがっている人の話を聞くと、どなたもとんがっている人に限って数学が一番大切だと言います。その中で、日本のソフトが弱いのも、システム思考たるモデル化の部分が弱いからではないかと。インドが何ですごいのかというと世界観がある。物事全体をとらえる能力に実は数学が通じていて、やはり日本の数学の振興は必要ですと、問題意識を持っている方は皆さんおっしゃいます。

それからトップの数学の話ではないのですが、学校で切れる子供は大体数学で引っかかる。数学がわかる算数がわかるように教えると教室が静かになるらしいです。立命館は学生を皆優秀に育てて送り出すということで有名ですが、やはり数学のわからないところ、場合によっては中学校まで戻るらしいです。そのかわり夏休みも一日もなく先生も全員つきあうという教育をして、それで学生は皆自分が行きたい分野に進学なり就職なりするように育てている話を聞きました。やはり数学の世界のトップの部分もそれからボトムの引き上げもこの国にとって今急務なのだと思います。

○津田

私が実際企業の中にいて現場のニーズに応じていろいろ数学問題を解いていきまし

た。数学問題と言ってもいわゆる統計的モデリングやハイテク化理論、制御、ニーズのありそうなことをやってきました。

そこで思ったのは、確かにハコをつくることもいいのですが、やはり実際数学者が企業に行って中に入り込み、そこでまたいろいろ勉強してアカデミックに戻っていく、そういうのがアメリカとかは結構盛んで、日本はカルチャーが違うかも知れませんがそこがうまくできない。どうしても分けてしまう。実際現場に来て現場のことを聞くとかなり難しい。数学のようにきれいな世界ではない問題が結構あるのでそこをどういうふうに解いていくかというのが結構問題です。

あと重要な問題点として、私がいたのは金融機関関係なのでそうかもしれないのですが、経営者の方が数学が理解できない方が多いという点があります。だから私の仕事としてはかなり莫大な説明をしないと上の人に理解してもらえないということがあり、数学のできる方でその企業の経営とか経営企画とか戦略とかリスクマネジメントという分野に活躍できるような人材を育てないと、結局その企業全体に対して数理科学が重要だという認識がなかなか出にくいのではないかと思います。経営から離れると難しいことをやっていたということになりがちで、結局組織の中に数理科学というのがうまく浸透していかないという感じがします。

少し話が変わりますが、金融関係というのはほとんど情報ですべて成り立っている世界なので、個人的には数理科学と非常に親和性があるのではないかというふうに感じています。そういう意味で金融も含めて、いろいろなマーケティングとか広告とか流通とかそういった意味でこれから数理科学の発展する余地がいろいろあるのではないかという気がします。ただ世界的に見てまだその分野は頑張れば日本も十分やっていけるのではないかという気が個人的にはしています。私の感想ですが、幾つか気になった点を申し上げました。

○丸山

産業界の動きとして、私の前いた会社IBMでは、2009年に「ビジネス・アナリティクス・アンド・オプティマイゼーション」という新しいサービスを開始しました。何を言っているかということ世の中に非常にたくさんのデータが出てくるので、そのデータをビジネスに生かすということをやります。全世界で4000名のコンサルタントと研究者を投入するということで、日本でも東京基礎研究所の10名の数理科学の研究者がそのビジネスに入っています。

大変おもしろいことなのですが、お客様のほとんどの問題は非常に簡単に解けます。研究者が入らなくていい。つまり4000名のコンサルタントにプラス百数十名の研究者、そういうピラミッドを用意すれば問題が解けていくというノウハウがあるのではないかというふうに思います。

こういう動きが既にあり、産業界はこういう方向に動いています。今までは数理科学

の人はどちらかという金融しかいなかったですが、実はこういう世界にもう入ってきているのだと思います。

こうした傾向を示すもう一つのデータとして、プライスウォーターハウスがCEOサーベイというレポートを毎年出しています。ことしのレポートの中では今の企業経営者の問題意識というのはリスク管理にあると、そのリスク管理をするのに数理科学が使えるのではないかというようなことを言っています。そういうのも一つの産業界の動きとしてとらえられたらいいと思います。

○岩橋

産業の人間として、冒頭におっしゃった数理科学は産業の発展に非常に重要だというのは、全くその通りだと同感していますし、それで国民のポテンシャルを上げないといけない。数学あるいは数理科学の世界で哲学ができ、その哲学を私たち産業界はいろいろ生かしているわけです。

きょう数学だけで議論するのはつまらないと僕は思っていて、産業界で応用するというのは数学の方程式とか理論もありますが、それは所詮道具です。そんなものをぼんと持ってきて役に立つわけではなくて、何かしようと思ったら鉄の世界ならメタラジーもあるし、人の心理とか人の集団での社会科学的動きとかそういうもので産業で使っているものがあるわけで、皆使っていないように言うけど、この40年間使えるものはたくさん使ってきました。産業界で使っていないというのは言い過ぎで、非常にたくさん使っている。ただそれでいいわけではないわけで、もっとそれをどうするかという議論は必要だと思います。

ただそのときに数学者の人が来て、「これ使え」なんてそんな世の中甘くないです。その道具をもっと周辺のことをいっぱい知っててもらわないと話にならないわけです。どんとこっちに構えられて「おれ数学知っているぞ」と言われても「もう帰って」という感じになります。だからそういう面での皆のポテンシャルを上げる、あるいはそのこの哲学を論理的に考えてもっと上げるのにどうするか。どこかにぼんと研究所ができたからといって行くような気は全く私はしません。日本の全体のポテンシャルを上げないと話にならないのです。そういう議論をもっとしていただくことが大事ではないかという気がします。

○笠木

きょう初めてこの委員会に出席して大変貴重なお話を伺いました。現在私は本務は東京大学の工学部にありまして、専門は機械工学ですがけれども、冒頭甘利先生のお話を伺って、私は流体力学にかなり関与してきたので、1960年代に流体力学ですと東大の理学部に今井功先生とか航空に谷一郎先生がおられて、京大の数理解析研究所に巽先生がおられて、そういう方々が流体力学を引っ張っておられました。60年代ぐらいまでは

よかったと思うのですが、70年代からある意味では先ほど述べられたような状況になり、実は工学分野の流体力学はどちらかというと我々の主導で引っ張ってきた。これは世界と一緒に歩いてきたのですが、一方で数学の方は全然離れていって、非常に古典的な単純な流れを解くとか解の存在性の議論とかそういうことばかりされていたので、それはそれで大事であったと思うのですが、ほとんど発展が見られなくて、東大の理学部からは流体力学の講座は消えました。この状況はたいへんまずくて、この間特にフランスとか欧米は基礎数学、純粋数学の方々ともものづくりの人たちの分野が非常にうまく連携していたし、学会でもそういうスペクトルの広い人たちが自由に出て議論して発展した、そういう経緯があります。

実は先ほどの議論を伺って一言申し上げたいと思ったのは、木村先生が本にも書かれたことですが、私が最近工学の分野にいますと工学自身のベースになる部分の数学的な考え方とか数学的な素養の部分が非常に弱くなっているのではないかと。例えば機械工学、私自身ですが、見ているとよくわかります。ある意味形はどんどんできてくるのですけれども、そのきちんとした考え方がない。これは実は数学だけではなくてごく基本的なところが弱くなっているところなのです。

土木もそうです。どんどんソリューションの方にいくあるいは社会プランニングにいったって、構造のきちんとした話が出てこなくなっている。これが建築とか電気とかいろいろな分野で起こっている。ではそういうものが必要でなくなったかということではなく、実はソフトウェアがどんどんできてきた。例えば構造解析のための暗室とか流体のフリーエージェントとかの非常に大型のソフトウェアパッケージとかが出てきて、日本でもそういうことを開発する動きがあったのですが、やはり人の層が薄くて、結局海外の人たち欧米のものに全部独占され現在それがデファクトになりました。

今の日本の工学部も産業界もそうだと思うのですが、ものづくりというのはこういうものに頼ってやっているのです。その中身をちゃんとわかっているかということではなくて、ほとんどブラックボックスになっていますから、グリッドを切るとかプレとかアフターのところで苦労しているだけで真ん中は完全にブラックボックスになって、そこを考える人はほとんどいないわけです。出てきたものが丸のみになっている。よく産業界の方々が計算した結果を持ってこられて「これどうでしょう、おかしいんです、合わないのだけどうなのだろう」。合わないはずです。全く変な数理モデルが入っているわけですから。そこを議論する人が非常に弱くなったわけです。国のファンドでもソフトウェアの開発推進というのは大きく行われているのですが、これは数理モデルの開発ではなく、数理モデルができているものをいかに汎用的なソフトウェアにするかという開発です。ですからどこまでいっても多分追いつかないです。

非常に重要なこととしては、先ほどの拠点をつくるということは大変重要で一つのロールモデルになると思うのですが、やはり具体的なものとのきちんとした連結ができて、まさしく何か新しいことがそこから生まれましたということを見せていただくことが必

要だと思います。そこで人が育ったりということがありますがこれは一つのロールモデルであって、考古学とか関連の社会とのインターフェースに近い分野の学術、産業にもっと普及するためには人を育てないといけない。大学の教育課程みたいなところにもっとコミットされているのではないかと、国の主導でいえばもっと数学をきちんと教えなさいということをお願いいただいてもいいのではないかと思います。

大学院の重点化で数理とか情報という研究科ができたのですが、例えば東大の場合ですと計数工学科は情報理工に比べて本当にいいのですか。私はそれはちょっと首をかしげざるを得ないのです。なぜ工学から抜けるのですか。逆に理学の数学と接点できたというのは大変大きな成果だと思うのですが、もっとそこを連続的に行き来できるようにしていただきたいと思います。それは研究科をつくったらできましたということではなく、逆にいうとコミットメントが誤ってしまったのではないかと。大変失礼なことを申し上げたかもしれませんが、その辺が大きい問題と思っていますし、工学部ではそういう数学的素養が落ちているということを本当に大学院に入ってくる人を見るとひしひしと感じます。それをぜひ何とかいい提案をされてぜひ改善を進めていただければいいと思いました。長くなりまして失礼しました。

○赤松

私自身は人間の行動が専門でそのモデリングをやっています。そういうことをやっていると、実は私が勉強不足かもしれないけれども、十分それに使える数学、数理科学がないという気持ちがあります。

先ほどからいろいろな議論がありますが、数学はちゃんとでき上がってそれを使うのが数理科学、甘利先生はそうではないという言い方をおっしゃっていた、それは大事で、数学は使うものではなくて、本来はこれからやらなければならないのは新しい数学をつくっていくことではないかと思います。

私どもは人間なので複雑系ですけれども、どうも使う数学のために数学をやっているのではなくて、これから我々が必要なシステム開発という観点で見たときに必要な数学をつくっていくというような観点でやっていくべきではないかなという感じがします。そうでないと、今まで数学屋さんがいてそれを使う人という二律の対比で融合しないというのは、どうしてもそういうところにあるのではないかなというふうに思います。

甘利先生もおっしゃいましたが、そもそも数学は我々がもともと持っている概念からそれを抽象化したのが数学ですから、関心の対象がシステムなり人間なり大規模なシステムというふうになったとき、それを概念化する新しい学問としての数学をつくっていくというふうに数学をとらえていくと、応用とか基礎とかいう問題ではなくて、我々が対象としている現象に対してどういう理論づけをしていくか、そういうふうな動きをしていくことが必要ではないかと思います。

○古田

皆さんが言われることを私も非常にもっともだと思うことばかりです。私は杉原先生の21ページのモデリングの図についてコメントしたいのですが、問題はモデル化というところをちゃんと教育して教えている、あるいは分野がないというのが結構問題であると感じています。もちろん純粋数学をやられている方は右側の世界でやられているので、モデル化のことについて左側の世界についてはほとんど関心がない方が残念ながら多いです。

それから現象を教えている方は、それを解く道具として右側のどの数理モデルが使えるのかということについては関心があるのですが、自分の関心のある現象に使えるモデルしかどうやってモデル化するのか教えていない。こういう多対1、実際は同じ現象でもいろいろなモデル化の仕方がありますので1対多の関係もあるのですが、そういうところについて統一的に教育している、あるいはその方法論を研究している人が非常に手薄なのではないかと思います。

工学部は現象側から迫るので、例えば流体にはこういう解き方があるという形でいくのですが、流体の解き方、数理モデルのつくり方というのはいっぱいあって、それが実は経済現象を解くのに使えりとか、工学系では経済現象と物理現象を一緒に教える講義はありませんので、そういうところがどうも弱いのかなという感じがしています。

○椿

まず一つ基盤ということに関しては、数理科学なり数学の学部で修了生なりあるいは修士の修了生、博士、そういう方が何をできる人なのか、どういう問題解決能力を持って何に貢献できるか。そのために数理科学諸分野というのはどういう位置づけになっているかということで明確に、先ほど言った融合的な組織や何かに関しての位置づけはそのとおりだと思うのですが、そういうことを明示して、杉原先生がおっしゃったようにそれに第三者の方々からも評価できるような仕組みというのを学部教育なり修士教育レベルでつくっておくというのが非常に大きなポイントになるのではないかと思います。解析学ができる幾何学ができるというのではなく、先ほどあったように数学自体が機能として社会に対して非常に重要な機能を持っているということがあるわけで、それを数学科の出身の方、数理科学の出身の方はそういう力を持っているものだというのが社会がきちんと認知できるようなことができたらいいなというのが一つあります。

実は大学の数学教育が非常に大変で、私がこの前から言っているようにビジネススクールで大学院の教育なのに夏休みに単数からやらないといけないという話がありますが、それは初中等教育にも相当な問題があるということは明らかです。日本人の社会人の学生さんに対しては本当に数学の教育を再点検する必要がありますが、インド人とかバングラデシュの人には何の必要もないのです。彼らは何でそんな数学できるのかというと、数学は役に立つから当然できないといけないという回答を常に言いま

す。それに比べると日本の数学はかなり社会から隔絶してしまった。初等中等教育においても隔絶してしまったというのはすごく問題意識を感じるところです。

産業界の方と議論しなければいけないと思っている点は、物事の考え方、論理的思考の中のかかなりの部分が数学的なものの見方があると思いますが、それ以外にさっき経験とか勘あるいは質的な考え方、定性的な考え方というものがもう一つシステム思考の中にまた位置づけられていて、これといわゆる甘利先生が情報ということを盛んに強調されておりましたが、それが数理だけの問題なのかあるいはプラスアルファがあるのか、その辺は私にもよくわからないところです。

○赤松

極論かもしれませんが、数学は本来はモデリングだと思うんです。中学とか高校で、数学ってそもそも物事をモデリングしているんですよ、という教え方をしとてあげる必要があると思います。うちの子供を見ている、ルールだけ習っている、それをどうやって使うかということしかやっていないので、覚えるのが難しいのです。でも、これは実はこういう現象のことをあらわしている、なぜこういう結果が出てくるか、それが合っているか間違っているかも、モデリングという概念があると分かりやすいのです。そもそも数学ってモデリングなんだよという教育を早いうちからやってあげるべきではないかなというふうに思っています。

○倉橋

やはり数学のレベルを上げるというのはトップを持ち上げるというのとベースのところを持ち上げる両方あって、二つやらなければいけないだろうと思います。

私はエンジニアとして働いていたときに、薬液混合のプラントの設計をやっている、数学とかを余りよく知らなくて、コンピュータでプログラムでアルゴリズムでやろうと思って、濃硫酸とか塩酸とかをまぜてやったプラントなのですけれども、随分失敗をして漏らしたりして大変でした。すごく時間がかかって大変だったのですが、しばらくしてその仕事が終わってほんの半年ぐらいしたときに、二十代の半ばぐらいでしたが放送大学で数理科学の授業、線形計画法をやっている、それをやってみたらあつという間に解けたのです。あんなに皆で苦労してプログラムをつくったのにあつという間に解けてびっくりしました。ちょうどエクセルのソルバーが出ていて、何だこんなところでできちゃうんだと思ってびっくりしたんです。それで初めて大事だと思ってもう一回数理科学とか数学の勉強を再開をしたという記憶があります。

上を持ち上げることはすごく大事ですが、そういう市井のエンジニアに対して小さな成功体験をたくさんつくり出してあげることでだんだんそういうふうなことが広がっていくということがあると思いますので、ぜひ一般のエンジニアが数理科学を使って問題解決できるといういろいろなことにアクセスしやすくしてあげる、フリーなソフトを

たくさん出してあげるとかもあるかもしれませんが、そんなことがすごく大事なのかなという感じが聞いて思いました。

○木村

いろいろ活発なご議論ありがとうございました。まず何よりも現在の科学技術、特に技術で数学的数理科学あるいは数学的な思考、我々の言葉で言えばシステム思考は非常に重要です。それなしには何もかも解けない、そういう傾向はさらに顕著になりつつある、強まりつつあるということをまずここで皆様方の共通認識として言うてくださったのだらうと思います。にもかかわらず、我が国はちょうどその逆方向にきている。60年代70年代ぐらいはまだよかった。今はどうなんだという話で、これは笠木先生その他のこれもまた共通認識ではなかったかと思います。

ではそれについてはそれなりの危機感があります。特に官の側、科学技術行政にもあって、ある種の施策がこれまで数年にわたってなされてきた。その現在のポイントは九州大学から出てくる、これは10年計画とも聞いておりますが長期計画が提案されようとしておりまして、それについてどう向き合うかということが次の課題です。これは非常に重要な課題であるということは先ほどの2点、現在の趨勢、それに反する日本のおくれという点から見て非常に重要であるということの認識をしていただいたと思います。

具体的には九州大学の方向性ときょうの皆様方から伺ったご意見の一番大きなギャップは、九州大学の方の提案は数学者が中核にある、そこに皆さん特に産業界寄ってきてと、産業数学の拠点というのはそういう形態になっています。はからずもそうになっています。私も2月でしたかに東大の駒場で行われました非常に大規模なシンポジウムに出席してパネラーとしても参加したのですが、そういう気配は濃厚です。

ところが、きょうここでご議論いただいたご意見の大勢はそれではないのだ、数学者も加わってほしいことは確かです。ただそれは **one of them** です。中核にはやはり数理科学あるいは産業界の方々、数学を必要とする人あるいは数学について非常にいろいろな見識の高い方を中核にして、数学者も一員としてそれに加わっていただくような組織がベストではないかというご意見を多分ほとんどの方からいただいたのではないかと思います。

そういう形での提案、そうしなければ日本の科学技術は今後大きな壁にぶつかるのではないかと、実は今もぶつかっているかもしれませんが、そういう形でひょっとしたらCRDSの九州大学の提言に補足する形になるのかどうなのか、どういう形になるかわかりませんが、その辺についてこれからCRDSの中で議論をどれだけできるかと考えていきたいところです。

○有本

個人的にもここ数年非常に関心を持ちながらある程度フォローしている立場、それからこの戦略センターの副センター長ということで吉川センター長がシステム科学というユニットをとにかくつくろうということで非常に強い意向でできたわけですが、ちょうどこの数年ばらばら動いてきたものを少し俯瞰的に見た上で次のフェーズに移るということ、行政的なサポートの仕方も、それこそいろいろな学会の動きもそうだと思いますけれども、それから多分学問的な方法論もそういう時点にきているのではないかなと思います。先ほど甘利先生がおっしゃった長期的な戦略を踏まえた上で短期のアクションをいろいろ積み上げていくということだと思います。

制度と精神の方は文化の問題とか人材の育成まで含めた問題であります、私は科学技術政策をずっとやってきて、行政の方ですが制度とかプログラムとか予算とかをいっばいつくったけれども、失敗したものは必ず精神が動いていないです。研究をやっている方が文化が変わらないというところで、これをどうにかして今までのここ10年ぐらいを踏まえた上で変えていくという時期にきているのではないかというふうに思います。吉川先生がいつも、この研究開発戦略センターというのは、文科省とかJSTだといわずに、日本全体のシームレスなプラットフォームのゆるいハブみたいな形で、ここに来ればいろいろなことが議論できるというものにしようじゃないかということをやらせていただいていると思っています。

もう一つは、やはりロールモデルとかいろいろな製品とかサービスの中にどう体化されているんだということをもうちょっとわかるようにしないと、これは地道な話であるのですがつくづくそれを感じた次第です。

私はこれは運動だと思っていますので、単なる予算案とかプログラムをつくるだけではなくて、運動しなければ精神も文化も変わりはないということではないかというふうに思っています。きょうは本当にありがとうございました。

（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-04

システム科学技術推進委員会記録
第3回 社会と数理科学

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.

