

学問と技術の統合

－ 横幹連合・統数研・産総研合同ワークショップ －

狭い技術分野に限定した研究開発だけでは、社会や学問の現代的要請に応えられないとの認識が強まっています。2009年1月19日(月)産総研臨海副都心センターにて、産総研シンセシオロジー編集委員会、特定非営利活動法人横断型基幹科学技術研究団体連合(横幹連合)、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(統数研)の3機関が合同で、「学問と技術の統合」に関するワークショップを開催しました。構成的研究方法論の理解や促進のために、また各機関の研究上の理念共有のために、本ワークショップにおける6名の講演概要を紹介します。

【日時】 2009年1月19日(月) 13:00～18:10

【会場】 産総研臨海副都心センター本館第1会議室

【議事】 司会進行 鈴木久敏(横幹連合副会長)

「構成的研究方法論(シンセシオロジー)とは」(小野晃、産総研副理事長)
「個別適合メガネフレームの製造・販売支援技術」(持丸正明、産総研副研究センター長)
「知の統合とは」(木村英紀、横幹連合会長)
「知の統合の研究事例」(鈴木久敏、横幹連合監事)
「知識社会におけるモデリング」(北川源四郎、統計数理研究所長)
「モデリングの研究事例」(樋口知之、統計数理研究所副所長)

「構成的研究方法論(シンセシオロジー)とは」

産総研副理事長・シンセシオロジー編集委員長
小野 晃

産総研では *Synthesiology* と名付けた学術誌を2008年1月に創刊し、季刊でオリジナル版と英語翻訳版を発行しています。電子ジャーナルとしてインターネットで見ることができます。この学術誌は、産総研の掲げる研究方法論の“本格研究”のうち、特に“第2種基礎研究”に焦点を当てて論文化したものを掲載しています。

第2種基礎研究は従来“応用研究”と呼ばれてきましたが、世間の関心を集める基礎的な研究段階(第1種基礎研究)での発明や発見が長いリードタイムを経て現実の製品となる段階(製品化研究)までの研究開発上の“死の谷”に相当します。この死の谷の期間を基礎研究と位置づけ研究していこう、そしてそれはどういうものであるのかをオリジナルな論文として著してみようということになったのです。

研究の展開に関して、時間の経過に沿って基礎から応用を経て開発に至るリニアモデルをよく見かけます。しかし、本格研究の視点で捉え直してみると、応用研究に当たる第2種基礎研究はたくさんの第1種基礎研究の成果に依存し、立脚しています。また、開発に相当する製品化研究からのフィードバックもあります。つまり研究展開は一方向で



はなく逆方向も同時に存在するというモデルです。このモデルでは研究の担い手である組織やグループ、個人も左から右へ行ったり、右から左へ行ったり、あるいはぐるぐる回ったりします。

このぐるぐる回る中で得られた研究成果は既存の学術誌にはなかなか投稿しにくいですし、何より方法論さえありません。しかし、これまで応用研究と言われてきたもの、実際は基礎研究を個別の分野に単に適用したものではなく、応用研究同士が影響しあい、互いに共有すべき大切な事柄があるのではないかと考えられ、そういう意味で汎用性とか普遍性をもった基礎研究の1つであると位置付け、それを“第2種基礎研究”と名付けました。

さて、イノベーションの推進に対しては社会でも大変関心がありますが、大事なのは予算や体制といった政策と、もう1つ研究あるいは研究者自身に関する問題です。特に産総研のような公的研究機関の、恐らく大学もそうだと思いますが、公的研究の成果を社会にどう還元していくかということは重要です。国民とか産業界という成果の受益者自身がニーズを提示し、政府の各省から税金の一部が研究資金として公的研究機関や大学に流れ、研究者はそこで活動して第1種基礎研究の成果を学会に論文投稿します。論文がピアレビューという査読を通過して学会に受け入れられれば学術論文として出ていきます。こういう社会還元のルー

トが職業人としての研究者の頭の中に定着しています。

ところが、実際には必ずしもこのルートだけではありません。学会を経由しないで国民や産業界に直接貢献する、あるいはいわゆる産学連携といった形もあります。例えば、企業との共同研究、スポンサーからの受託研究、これらは学会活動を経ずに報告書などが研究機関から直接ユーザーにいつているわけです。シンポジウム、セミナー、展示会というのがあります。このようなことについてこれまで研究者は、どうもこれは本来の研究ではない、あるいは研究の本道ではないと思ってきたのではないのでしょうか。やはり一流の学術誌に載らなければよい研究ではない、と思いつ込んできたように思います。

研究機関・大学と国民・産業界を直接結ぶ流れが第2種基礎研究の特徴です。ここには、要素技術ではなく統合した技術、かなりまとまった技術、リスク評価、計量標準や規格などさまざまな形のアウトプットがあります。これらも立派な研究であると位置付け、それを論文にし、研究者のオリジナリティを認め、プライオリティも認める手段として新しいジャーナルを作ったらどうかというところから始まりました。

現在我々の周りにある学術論文では科学における論理整合性、つまり事実を矛盾なく説明できることが求められています。それから新規性で、これも新たな事実や知見を創出することに価値があるというのが基本で、そのために、ピアレビューという専門家による査読制度が設けられました。学術雑誌ではプライオリティも重視されます。一方、有用性については必ずしも十分な検証を要求しませんでした。この制度はここ300年ほどの間大変うまく機能し、研究者はいち早く仕事をしよう、成果を出そうと一生懸命働き、今日に至っています。

しかし、この歴史ある制度はこれまでうまく回ってきた反面、その反作用とも言える“病理”も目立つようになってきました。論理整合性を過度に追求すると、事実を矛盾なく説明するためにどんどん狭い領域に入ってしまう。新規性を過度に重視すると、他の研究者との些細な違いを強調することに集中してしまう。それらの代償として、私たち研究者は有用性の検証努力を放棄してきたのではないかという気がします。ピアレビューについては、著者とピアレビューアーがあまりにも専門分野が近いものですから、その中での狭い問題しか査読の対象になっていません。我々がやってきた基礎研究の学術誌は、特定の学会の特定の分科会の人たちの間でしか興味をもたれなくなってしまい、国民や産業界からはひどく縁遠いものになってしまいました。

こういう中で、産総研では本格研究とか第2種基礎研究をやろうということになり、第2種基礎研究の方法論と

はどういうものかを考えました。そして本格研究を通してイノベーションを加速する、また、持続性のある社会を構築するために科学技術は何ができるのかという問いかけへの答えも出したいと考えてきました。

そもそも第2種基礎研究を記述する論文形式というのはこれまでありませんでした。自然とか人工物という研究の対象があり、それを主として分析(アナリシス)という手法でいろいろな結論を導き出すのは、今までの300年ぐらいの科学の歴史だと思います。これに対して第2種基礎研究というのは、研究目標が社会的な何らかの価値につながっているもので、その目標をどういうシナリオで実現していくのかをまず考え、必要な要素技術を選択・設定し、足りなければ自ら開発し、そしてそれらを統合あるいは構成しながら実現していくというものと考えます。この統合とか構成がsynthesisに相当しますので、それを新しい学術誌のタイトル *Synthesiology* に持ってきました。*Synthesiology* のポイントは、シナリオと統合・構成を書くことになります。

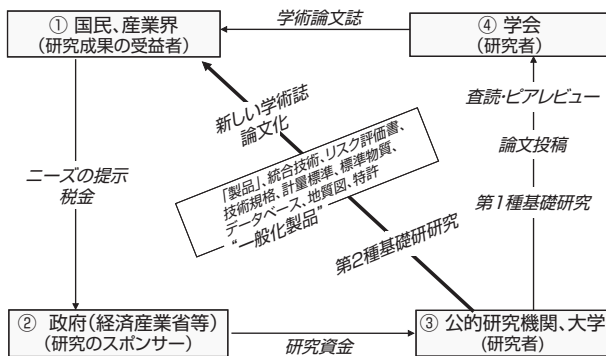
実は、シナリオは、今までの学術誌でもイントロダクションで書かれていました。イントロダクションでは、過去の研究の歴史を批判的に見て自分はどのような新しいアプローチをとったかを書くのですが、著者の見識がよく出ます。ただ、そこは査読の対象ではなく、どう書かれていようがさほど問われることなく済まされてきたと思います。*Synthesiology* ではそこをしっかりと書いてもらう、しかも、苦労話ではなく、合理的な科学技術の言葉でシナリオを書いてもらうことが大事です。シナリオをどう作ったかは研究者のオリジナリティでもあると思っています。同じ目標に対しても一人ひとりアプローチの仕方は異なりますので、要素技術をどう選択・統合したかにもオリジナリティがあるでしょう。*Synthesiology* 第1巻第1号に掲載された論文タイトルを見ていただきますと、「大量精製」とか、「標準化」、「低コスト製造」、「評価戦略」、「設計・販売支援技術」、「信頼性向上」など今までの論文とは一味違うことにお気づきいただけると思います。

Synthesiology に対してはいろいろな意見をいただいています。著者からは、「これまでの学術誌には書けないことが書けてよかった」と言われ、これは我々の狙いどおりでうれしく思っています。その一方で、なかなか書き方がわからないとも言われています。査読に関しては、分野が違って論文が理解できる、査読ができる、査読意見が出せるということが経験上わかってきました。工学、理学、薬学、農学と専門を分けることなく、あらゆる分野から読んで理解可能な形に書かれていることもわかりました。読者からは実名入りの査読者と著者との議論が新鮮だとか、アメリカの研究者から大変興味ある雑誌だとのメールをもらいま

した。産業界からもポジティブな意見をいただいています。

今後の *Synthesiology* の展開においては、論文を一層充実させ、産業界や大学の方々にも広めていきたいと考えています。他の学会、組織の皆さんとどのような関係を持ち、連携していくかは、今後の課題です。

研究成果の国民・産業界への還元プロセス



「個別適合メガネフレームの製造・販売支援技術」

産総研デジタルヒューマン研究センター副研究センター長
シンセシオロジー編集委員 持丸 正明

構成学の研究の論文化についてメガネフレームの設計・製造・販売を例にして述べたいと思います。このメガネフレームは個別適合を目指したのですが、要点は「あなただけ」を「だれにでも」です。



初めに産業化に伴って生活の質が向上すると我々の背が高くなることを指摘しておきます。明治以降、特に戦後、日本人の平均身長が伸びています。ただ全員の背が伸びたのではなく、実は今はいろいろな身長の人がいるという時代です。平均寿命の伸びも併せ考えてみると世代間での大きな身長差が生じている時代とも言えます。こうなると同じものを大量に作って大量に売ることができません。そこで私は「あなたの身体を測って合うものを作り提供しましょう」と考えました。そういうサイクルを回すと人の身体のデータが集まり蓄積できます。データが社会的に蓄積されると「あなただけ」から「だれにでも」に変えることができます。

私たちが目指すのはマスカスタマイゼーション (Mass Customization) で、多くの人の個別の注文に応じてものを作ることです。店と工場が一緒になっている、そんなスタイルです。メガネの例では、店で顔を測って、サイズに応じてメガネを選び、どのように似合うかをシミュレーションして、ファッション性とフィット性の両方を推奨できるものを

作ろうということになります。ただ、このシナリオの中にはいろいろな技術を含みますし、数多くの外部との共同研究が全部寄り集まっていますので、プロジェクト報告書としてまとめることができません。技術としては、まず測る、それをモデル化・統計処理し、ものを作って売る、その過程でデータを継続的に蓄積してデータバンク化する、そういうことです。それら全体の“構成”がシナリオになります。

かつて経済産業省の委託研究で開発した頭部形状計測システムは、短時間に精密に人の頭部を、しかもあごの下や耳の後ろなども測れます。12台のカメラを備えたとても大きな機械です。耳の後ろは、メガネのつるがかかるところでもとても重要です。測ったデータをモデル化しますが、データ自体は点群情報 (座標値) にすぎません。メガネ設計に活かすには解剖学的な情報やメガネとの相対的位置関係の情報を加える必要があります、そうすることにより、コンピュータで設計可能な状態になります。具体的にはメガネ設計に重要な特徴点を利用し、全体で 211 点、366 ポリゴンという多面体を構成します。どの人も 366 個のポリゴンで、何番目の点は必ずどこに対応するというのが全部一致していますからとても筋の良いデータになります。これで目鼻の距離を出したり、平均値や標準偏差を求めたりといった統計処理が可能になり、形状の個人差の分布図を表すこともできます。

実際に日本人男性 56 人の顔形状を計測し、第 1 軸に“頭部の奥行きと彫りの深さ”、第 2 軸に“顔の幅と眼窩の高さ”の情報を入れて 2 次元で分布図を作成してみると、これで 80 数%の個人差を表現できることがわかりました。情報を増やしていくと、5 次元で 90 数%になります。つまり耳の位置と骨の位置はメガネ設計に重要で、2 次元でも大きな特徴を捉えれば、相当な範囲の個人差をカバーできます。

このように統計処理したものに新たなサイズ分類を加え、メガネメーカーと共同してメガネフレームを作りました。その際、合理的な説明はできないのですが、メーカーにとって幾つ作れるのかはとても大事なもので、製造と流通にかかるコストを勘案しつつ、顔形状の特徴で個人差を 4 つのグループに分けました。どのグループについても出荷量が同じくらいになるよう調整されています。

次に、作ったメガネフレームの適合性評価を行いました。圧迫力とかずれ量、そしてフィット感を伴う心理評価です。新しいフレームは顔形状にぴったり合っているのです、圧迫力が小さくても、頭を振ってもずれたりしません。このことはメガネをかけたとき、古いフレームと新しいフレームとで受ける感じが劇的に違うことでわかります。しかし、驚いたことに総合的なフィット感になると予想したほどの違いが出

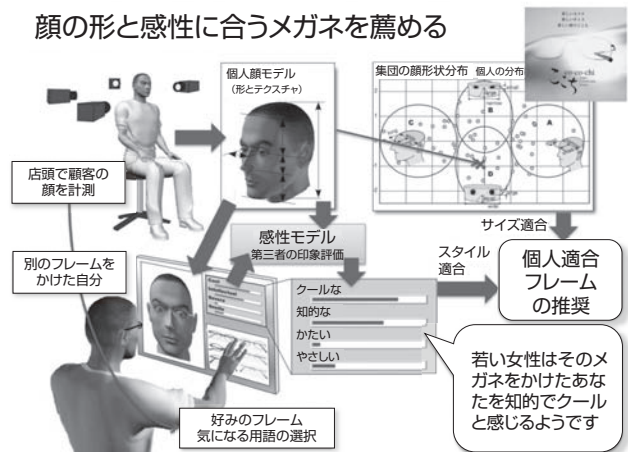
ません。日常生活で長い間メガネをかけてきた人は、新しいフレームの圧迫力の弱さが、逆に“もの足りなさ”を与えてフィット感を減じているようなのです。

新しいフレームを使ったメガネは実はもう商品化され売られています。売るときお客さんにどのメガネがいいか、どのように推奨するかを技術的な面から検討してみます。まず、メガネを必要としている人は一般的に視力が悪い人です。自分のメガネをはずしてしまうと、度のないガラスをつけたメガネフレームをいくらかけたところで、鏡に映る自分の姿をよく見ることはできません。そこでコンピュータグラフィックの自分の顔に別のメガネをかけて見てもらうこととなります。これ自体はそれほど難しくはありません。問題は、メガネをかけたときの“印象”です。しかも自分で感じる印象ではなく、第三者があなたを見たときの印象です。「そのメガネをかけると知的、クールに見えますよ」としゃべってくれるようにしたい。それは印象を得点化し、メガネをかけたときの物理量とともに数学的な感性モデルに落とし込むということです。

印象を表す言葉はたくさんありますが、類縁関係から整理して言葉のマップを作りました。それら言葉の中から「優しい－怖い」とか「明るい－暗い」、「おしゃれな－ダサイ」といった7対の言葉を選択し、メガネをかけた仮想顔にどう感じるか、ウェブ上でアンケート調査しました。するとメガネと仮想顔を持つ物理量と言葉の印象とはかなりの相関があります。メガネは「おしゃれな－ダサイ」や「若い－老けた」という印象に効いてきます。「優しい－怖い」や「明るい－暗い」はメガネよりも顔自体が支配的に影響するようです。

最終的にはいろいろなメガネを次々とつけかえて、印象を表す7対の言葉それぞれの相対的な印象度をディスプレイ上に示します。これはメガネ感性シミュレータと呼んでいます。ただし、このシミュレータは研究室用で、計測する部分まで含めると高額で場所を取ります。店頭には安く、小型で、簡単に操作できる、そういうものがが必要です。まだ店頭で稼働しているものはありません。顔形状のデータを収録した顔形状データベースから得た平均顔にお客さんの特徴を付加するとお客さんに“近い顔”を復元できます。それを基に個人に適合したメガネを勧められます。通常の商品より1.5倍くらいまでの価格なら購入してもよいという調査結果があり、個人が特定されなければ顔の形状データを利用してもらっても構わないという人が6割ほどいます。これはかなり“前向き”な数字だと思いますし、消費者がモノづくりの環の中に入ることを意味しています。

顔の形と感性に合うメガネを薦める



「知の統合とは」

横断型基幹科学技術研究団体連合会長

理化学研究所理研BSI-トヨタ連携センター長 木村 英紀

今日は「知の統合」についてお話し

させていただこうと思います。初めに形式的に「知の統合」とは何かということ

を文章で示したものを紹介します。日本

学術会議では「異なる研究分野の間

に共通する概念、手法、構造を抽出す

ることによってそれぞれの分野の間での知の互換性を確立

し、それを通してより普遍的な知の体系を作り上げること

を「知の統合」としていますが、これで十分かどうか。「知

の統合」には少なくとも2種類あります。1つは「還元的な

知の統合」、もう1つは「生成的な知の統合」で、両者は

相互補完的なものです。

ハーバード大学のウィルソンが1998年に『Consilience』

という本を出しました。意味は「ともに跳躍すること」で

す。本の副題は「知の統合」となっていて、ヒューウェル

が1840年の著書『帰納的諸科学の哲学』で述べた「跳躍

には統合が必要である」との表現がウィルソンの考える「知

の統合」にぴったり一致するとしてConsilienceを本の題

名にしたようです。ヒューウェルの時代は近代科学が発展

し、進歩がこのまま続けば完璧な世界に到達するだろうと

人々は楽天的でした。その一方、ケトラーは1833年に『社会物理学』

を著し、理想主義や楽観主義ではだめで、文

と理の乖離が深まったと主張しました。

脳科学者でもあるウィルソンは学問の進歩で新しい啓蒙

主義の時代を築くべきで、そのためには自然科学(サイエ

ンス)をベースにした「還元的な知の統合」が必要だと説

きました。脳の研究者には、脳科学の進歩が全てを解き

明かすとする“唯脳主義者”とも呼べる人がいます。ウィル



ソンはその一人で、彼の思想は唯物的、物質的であり、それは精神や文化にも及ぶとしています。脳の働きも物質過程や物質科学の言葉で記述できると考えているわけです。

「還元的な知の統合」に対して私たちが提唱するのが「生成的な知の統合」です。生成的ということで、新しい知、新しい知的活動の場、新しい技術、新しい産業を作り出す。そこに知の統合の根拠と目的を求めようというわけです。では還元主義とか「還元的な知の統合」とはどこが違うのか。

日本学術会議の2004年の報告書『新しい学術の体系』では、物質科学、生命科学、人文・社会科学などは秩序原理が異なるのだから、全てを脳とか物質に還元できないと述べています。むしろそれぞれが境界条件となり、多層構造をなしている。この多層構造をもとにした知の統合を考えなければなりません。

さて、知の統合とは“言うは易く行うは難し”です。既に学術の各分野には膨大な知の集積があり、その上に新しい知が積み上げられていきます。それらを全部学び取るのは不可能です。異分野の言葉を理解することさえ難しい。例えば、脳科学でIPLは下頭頂野、免疫学でIL-1といえはインターロイキン-1を指します。この略称がわかっていないと論文は読めない。このような状態で知の統合は可能なのか、とても深刻な問題です。

しかし、各分野が集積した知には、その分野の専門家が意識できない限界があり、その限界は、知の集積のある段階で他の分野の視点から明らかになるのです。すなわち専門性というものです。このとき科学の共通の言葉、数学（論理）があれば、また専門家が隣にいて聞くことができれば、限界をお互いに了解し合うことができます。

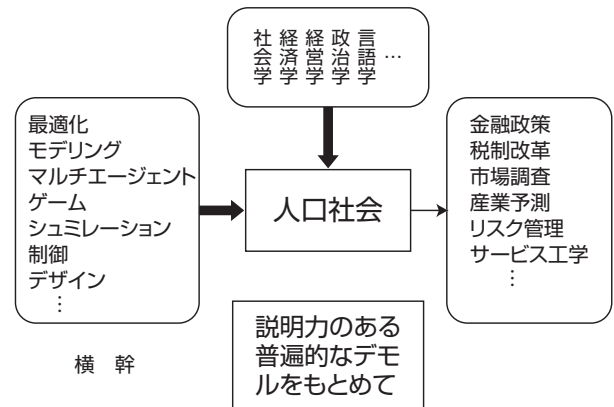
「存在の二分規定」ということがあります。質量と形相、物質と論理、「もの」と「こと」、構造と機能、ハードとソフトなどです。これらはある同じことがらを別の面から言っているわけですが、両者を結びつけるツールというべきものがあって、そのツールこそ「横断型基幹科学技術」であり、それにより知の統合も可能になるのではないかと考えています。

ではツールを借りてどのようにして知の統合を行うのか。伝統的な学問分野同士の間での結びつきは還元主義とおしの結びつきですから知の統合とは言いません。例えば、生物学と物理学から生物物理学が生まれましたが、この場合は物理学が生物学の一部を吸収して生まれました。このようなものではない、つまり生成的な組み合わせによって知の統合が起こり、大きな可能性を生むのだらうと思います。

サイバネティクスは巨大な知の統合の例です。伝統的な電気工学や人文分野の経済学、心理学に、新しい通信工

学、制御工学などが結びつき、その先に人工知能、ヒューマンインターフェース、行動科学、経済予測といったものが出てきました。電気工学と機械工学に制御工学が融合したメカトロニクスではロボット工学が生まれました。ライフサイエンスでは盛んに知の統合が起こっています。バイオインフォマティクスとか制御生物学です。計算論脳科学というものもあります。国土・都市、経営・経済においても知の統合は考えられます

人口社会という言葉があります。これは1つの「場」と呼べるもので、これを介して様々な学問が統合されて最適化、モデリングがスタンダードな技術のアプローチとなり、金融政策、税制改革、市場調査、リスク管理、サービス工学などにおける適切な新しい成果が得られるものと期待しています。これまでもいろいろなモデルがあって、例えば災害回避や交通シミュレーションで答えが導かれていますが、実際の政策にあまり使われることがなかったのは、目的のために、そのたびごとにモデルを作っていた、つまり、モデルに普遍性がなかったからです。人口社会では“エージェント”というものを公理的に定義し、そのエージェントの動きによっていろいろな現象が1つのモデルから出てくる。まさに文と理の融合が獲得できるのではないかと、それを横幹連合でやってみたいと思っています。



「知の統合の研究事例」

横断型基幹科学技術研究団体連合監事
筑波大学理事・副学長 鈴木 久敏

私は、学際とか融合、それらと横断との違いについて概念整理をし、次いで「知の統合」に関するインタビュー調査を踏まえた企業等の事例を報告します。最後に、まとめと提言をしたいと思っています。



まず、2つの基本的なディシプリンの周辺で、これまであ

まり重要視されていなかったようなところで、2つのディシプリンの知識をもって新しく何か研究が進められる領域が見つかってきたときに、そこを学際と言うのだろう。融合というのは、その学際領域が発展し自立して、1つの領域を作ってしまった状態を言うのだろう。そのように考えています。

では、横断（横断型基幹科学技術）とは何か。従来の縦型とも言える物理や機械や土木の分野に、統計や最適化や制御と言った異なる原理をもつ科学技術が横断を通すように使われる。するとそれは“領域フリー”の分野であり、横型分野とも横型学問とも呼べる、これが横断の1つ目の定義だろうと考えられます。吉川産総研理事長（当時）の唱える「領域無限定の科学」に相当するでしょう。

縦型と横型の接するところで新しい課題がずいぶんたくさん生まれていますが、この他にもあるのではないかと横幹連合の中で議論になりました。縦型の学問分野の知識を総合して何かを解決する、あるいは俯瞰してものを見る。融合をさらに広域化したような、マルチディシプリンの考え方は。これが横断の2つ目の定義です。さらに、縦型・横型それぞれの分野の知識や技術を融合・統合して、新しい社会的価値を生み出すとする学問を横断であると捉える第3の定義もあります。それを3つの軸で、第1軸に従来の縦型学問分野、第2軸に横型学問分野、第3軸に技術の社会化という軸で表すというのではないかと議論したのです。

ところで、最初は横型の学問という考えで集まったのが横幹連合でもあるのですが、横型の学問同士の融合もあるはずで、その原理は何か、それを社会的な価値へと高める、社会的なアウトプットを出すための技術があるだろうと考えるに至りました。そういうところこそ横断型基幹科学技術であると言うべきだとすると横型の学問というのは、横断型基幹科学技術の基礎科学であると認識されました。

知の統合の事例について、インタビュー調査をもとにして紹介します。1つは内閣府からの委託による「イノベーション戦略に係る知の融合調査」で、企業、大学、公的研究機関を含め、27の事例を調査しました。プロジェクトリーダーや経営幹部に、イノベーションがどうやって起こり、そこに知の融合・統合がどう関わったかということを探って報告書にまとめたものです。もう1つは横幹連合の中に作った「横断型人材育成推進」に関する調査研究会において、横断型人材がいた場合のイノベーションの成功例、横断型人材の能力や適性、企業内での横断型人材の育成などを約10の企業にインタビューをしてまとめている報告書です。

1例目はある電線メーカーにおける光ファイバーの開発事例で、ガラスをコアにした光ファイバーの製造に関するもの

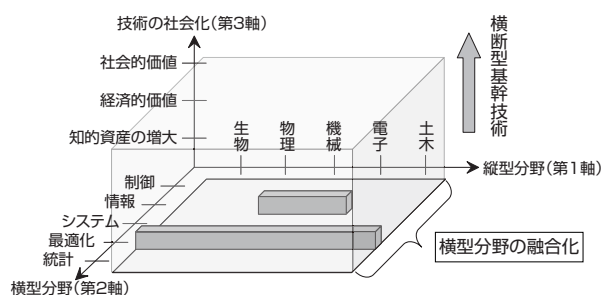
です。この開発で実際に役立ったのは実は樹脂系技術で、これにより長大かつ大量の光ファイバー製造が可能になりました。また、解析には自ら持っていたシミュレーション技術が活かされたようです。開発の中心人物の専門は電子工学で、業務上必要な技術としてガラスやセラミックスを独学で勉強したということで、このような人材がいてはじめて新しい技術が確立されたと言えます。また、製品ではなく商品、つまり“売れる”ものを作るという考え方が重要であって、要素技術、生産技術、商品開発技術のトータルでテーマを選定しています。マーケティングもポートフォリオ分析も研究ステージの管理も導入していますので、これらの知の総和が成功につながっています。

2例目はある電子機器メーカーでのデジタルカメラの開発事例です。従来の光学式カメラではできない新しい機能を付加するため、液晶モニターをつけたり、コンピュータにつなげるようにしています。デジタル化により小型化、低価格化もできました。このメーカーはもともと電卓やデジタル時計、電子辞書などを手がけていたのですが、画像には圧縮率の高いJPEGに着目し、また、技術者自身が市場に出かけてユーザーのニーズ調査をしたところ「撮った画像をその場ですぐ見たい」とのユーザーの意向がわかり、それならば液晶モニターをつけようという発想になったようです。コンピュータに画像を取り込める特徴を活かすため、商品としてのデジタルカメラをパソコン売り場で売り出したことも成功の一因と考えられます。異分野の知を導入することが必要なのだということがわかります。企業風土の点では、この会社にある「消費者の求める、消費者が喜ぶ製品を作る」という意識、異分野の技術者を含めて自由に討議できる雰囲気、技術者が商品の企画や開発にまで関わる体制が特徴として挙げられます。これにより横型の連携がとれ、複合型の技術を創出しやすくなり、成功につながったでしょう。

まとめてみますと、新たな課題の多くは縦と横の接点で起こっている、また、社会的な価値を創出することで課題

横断型基幹科学技術とは？

■ 縦型分野と横型分野の知識や技術を融合化・統合化して、社会的な価値を生み出す学問分野



を解決に導く、そして個別課題の解決に留まるのではなく、解決策の普遍化を目指すことが重要である、このように考えられます。ここまでいってはじめて横断型科学技術と呼べるのではないのでしょうか。その技術は縦型分野の単なる融合ではなく、融合化や統合化を促進する技術であるべきです。同時に、イノベーションを引き起こすには、この技術を支援することが重要になります。

「知識社会におけるモデリング」

統計数理研究所長

北川 源四郎

「モデリングとは何か」という仮題をいただきましたが、近年モデルの概念や考え方が変わってきているということを中心にお話します。情報社会では、多くの情報を持った方が勝ちと言われましたが、次第に“だれでも、いつでも、どこでも”大量の情報にアクセスできるようなユビキタス社会の時代になりつつあります。実際にこのようなユビキタス社会が実現すれば、情報自体には相対的な価値はなくなるわけですから、いかにその情報を活用して、目的に即した情報や知識を獲得していくかが勝負になってきます。



社会制度に関していえば、既に第二次世界大戦直後から資本主義社会は変質してポスト資本主義社会に移行したといわれています。P. E. ドラッカーは、ポスト資本主義社会における資源は、資本でも土地でも労働でもなくて知識である、つまり、ポスト資本主義社会は知識社会になると本の中で述べています。そういう意味で、今後知識社会に移行していく中で、科学的な方法が果たす役割を考えていく必要があります。

そこで社会における科学者の果たす役割を考えてみると、かつて経験と勘に頼っていたことに科学的な方法を適用してきたところがあったのではないかと思います。かつて匠が担った製鉄も今日では科学的に管理されていますし、熟練した漁師に尋ねた明日の天気も今や数値計算を使って予報しています。また、マネージメント、マーケティング、ファイナンスやリスク管理など勘に頼る面が強かった分野でも、科学的な方法が適用されるようになってきています。科学的発見自体を科学的にやろうという発見科学もありますし、サービスを科学的・工学的に考えようというサービスサイエンスも提唱されています。

科学の対象や方法論を考えて見ると、19世紀ころまでは知識とは普遍的真理に関するものでした。ところが19世紀半ばにダーウィンの『進化論』が出現して、普遍的真理

だけでなく進化的世界が考えられようになりました。その影響を受けて19世紀末にK.ピアソンは現実世界のあらゆるものを科学の対象とすべきということを主張し、それを実現するための科学の文法を提唱しました。方法の学としての統計学はその結果発展しました。統計学は確率論的世界観に基づき、実験科学あるいはデータ主導型の方法論の基盤となりました。数学が機械論的世界観のもとで、理論科学・原理主導型であるのとは対照的です。いずれにしても、科学の言語と科学の文法を19世紀までに確立して、それが20世紀の科学・技術の研究を主導してきたと言えます。さらに21世紀になると、普遍的真理、進化的世界、システム世界だけではなく、サイバー世界や人工物が科学研究の重要な対象になりつつあります。その背景には20世紀半ば以降の情報通信技術の急速な発達があります。

サイバー世界や人工物を扱うとき、従来の理論科学と実験科学という2つの方法論では複雑な非線形系や多変量系の理解や予測が難しいので、これをシミュレーションの方法で解こうという計算科学が生まれ、既にかなり確立しています。計算科学は理論主導型でありながら、科学者の直感や経験によらず計算機に依存する方法論で第3の科学とも呼ばれています。するとデータ主導型で計算機に依存する方法論も当然考えられるわけです。これは科学の分野にも社会の中にも蓄積されつつある大規模、大量、異種のデータを活用する科学的な研究法で、データ中心科学あるいは第4の科学と呼ばれています。ただし、データ中心科学が計算機依存型の帰納的方法であるとはいっても、研究の対象自体が変化していますので、計算機を用いて全部力づくでやるというものではありません。

研究の対象がサイバー空間となると、実体としては捉えられないし、予測や意思決定に有用な情報を求めようとするならば、そのための知識は必ずしも普遍的真理である必要はありません。モデルで言えば、実体の表現ではなく、対象の持つ機能を表したものになると考えられます。人によって着目する機能が異なれば、モデル自体もモデルの役割も大きく変わります。今日の知識社会においては、私たちは目的に応じて知識を獲得し、あるいは知識を発展させていくわけですが、モデルはそのための道具であり、推論の根拠を示すものといえます。モデルもその役割も場合に応じて変わるわけで、理論、知識、データ、目的などすべての情報を統合してモデルを作っていく必要があります。問題はどうすればそれが実現できるのかです。

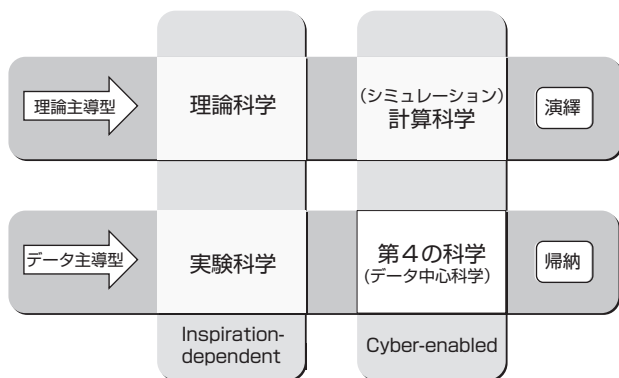
統計学の中では赤池先生が考案されたAICというモデル選択基準がとて有名です。モデルは近似であって、真のものは未知または存在しないという立場をとると、モデルは考えられた範囲でのベストなものを見つけることしかで

きません。したがって、知識やデータが増えるにつれてモデル自体を永続的に改良しなければならないこととなります。これはモデルによって知識が得られ蓄積されるとモデルが改良されること、つまり知識発展のスパイラルが構築されるということの意味します。

経済の季節調整という1つの歴史的例題を考えてみますと、ノンパラメトリックモデルでは n 個の観測値に対して、 $2n$ 個のパラメータがあって、従来の最小二乗法などでは意味のある解が得られません。赤池先生は観測値とパラメータの差の二乗の他に適当な重みをかけたペナルティ項を導入し、ベイズモデル的解釈で事前分布から事後分布を求める方法を提案しました。統計の分野では、実はいろいろな問題がベイズモデルで解けますし、時系列構造を持つ場合には状態空間モデルを使って解けるようになってきています。地下水観測井での地下水位データから地震の影響を抽出するという産総研との共同研究事例では、適度な物理的イメージのモデルとデータの情報の統合でいろいろなことがはっきりわかるようになりました。

これからのデータ中心科学としては大量のデータを使った予測と知識発見、リスク管理、人間も含めた実世界のシミュレーション、サービスサイエンスというところが重要になり、我々のグランドチャレンジになってくるだろうと思います。

第4の科学（データ中心科学）



「モデリングの研究事例」

統計数理研究所副所長
樋口 知之



いろいろな知識の統合の上で重要なのは知識発展のスパイラル構造を自然に達成する仕組みを持つことで、それによって絶え間ないイノベーションや価値の創造が起こるだろうと思います。まず、社会的な要請として個に特化し

た技術－個人化技術－の開発があります。それをいかに作っていくか。また、個人化技術とは一人ひとりに合わせるだけでなく、何らかの汎用性を持っていなければなりません。持丸さんの「あなただけ」を「だれにでも」ということです。これには統計的なモデル、ベイズモデルで対応できるのではないかと考えています。例えば、たくさんデータが手元にある時にどんなモデルがいいか、どのモデルを選ぶべきかというところから、いろいろな場面に対する柔軟性や汎用性を持ったモデル化に移っていく。この流れの1つにベイズモデルがあります。

ベイズモデルでは Y のデータを説明するパラメータ X に当該分野の“知識”という制約を加えます。知識はさまざまですが、ここでは統計モデルや確率モデルとして導入します。これはある意味で順問題ですから、 X を与えるとモデルを生成できますし、 Y も出てきます。この生成モデルを使って、ベイズの反転公式から事後分布を導けることが重要で、逆問題に解くことができるのです。さらに重要なのは元に戻って事前分布にすることができることです。これは非常に有用で、ベイズモデル自体が循環機能を持っていると言えます。スパイラル構造とかサイクルという言葉もありましたが、循環をどのようにして達成するのかをしっかりと捉えるのは知の統合の1つの策になるのではないかと考えます。

研究事例を少しご紹介します。1つ目はレストランのランチ売上予測です。日々10万円から30万円くらいの売上げになっています。これを Y というデータだとしていろいろな要因に分解します。例えば、週の何曜日だったか、天気はどうか、どういうイベントがあったかなど、現場の知識や当然取り込んだほうがいいと思われるものをどんどん取り込んでいきます。このときベイズモデルで統計モデルを扱っていますから、モデル自体の評価も行い、自然とスパイラル構造が達成できるようにします。

週効果のモデルでは祝日と日曜日は似ているのか、祝日の前日は金曜日か土曜日に似ているのか、そのようなことを単に数値で与えるのではなく、パラメータを用意しておきます。そのパラメータはイベントの開かれる場所ごとに違ったものにします。雨のパラメータも入れます。イベント効果として予想入場者数を入れると、売上げの予測能力は上がります。これらは1つ1つ個別化しているのですが、基本となるモデルには汎用性があります。

週効果、雨効果、イベント効果などを状態空間モデルに落として計算できます。逆問題を解くことになるのですが、知識を注入してベイズの定理を使って事後分布が出てくる、いろんなことに分解することができます。

長期的な効果という点では去年と今年は売上げがどれくらい違うか予測できますし、週のレベルでは曜日ごとの推

定もできます。近くにビジネス街があれば曜日によって、あるいは天気によって売上げが変わるだろうという店長の勘もパラメータの導入で数値的に出すことができます。普通、雨が降るとレストランの売上げは減りそうですが、レストランがビジネス街のビルに直結していると、雨の日にはわざわざ外に出ないでランチを食べたいという人がいますからかえって売上げが伸びる、そういう結果が得られます。ただし、予測能力が上がるといっても、外れる場合もなくはありません。近くに有名人が来てお客の流れが変わったとか、試食コーナーや弁当販売のあるイベントが開かれてランチを食べに来る人がいなかったとか。

もう1つ売上げに関連するのはマーケティング関係のコーザルデータのうち、セールスやチラシなど自らの意思で行える意思決定情報です。店内に商品を大量陳列したかどうか、書籍なら平積みしたのか、チラシを配ったのか、いろいろあります。スーパーマーケットで出口近くに商品がいっぱい並べてあると何となく安いように思っつい買ってしまふ、そんな効果が明らかにあります。実際に店に行って調べなくても、過去のやり方や周りのデータを総合的にみて、自分が持っていない情報を推論し、そして戦略を立てる。逆に言えば、価格と売上げのデータから、店がどんな販売方法をとったかを統計的に推測できます。

さて、天気予報や地球科学の分野でデータ同化という手法が使われています。データ同化とはシミュレーションとデータ解析をつなぐ技術で、ベイズモデルの枠組みでやれば自然な循環構造が達成できます。例えば、生命体データ同化というプロジェクトでは多様なタンパク質や発現のデータと生命のいろいろなレベルでのシミュレーションとをベ

イズモデルで統合します。さらに、それらを全部ベイズの統計モデルで書き下していますので、幾つものシミュレーションモデルが考えられる中で、どれが良さそうかを最尤法で評価・選択できます。他に、物理の分野で使われるシミュレーションで、境界条件がよくわからないが、だいたいこの辺かといったデータ自体の不確実性を推察することもデータ同化から行うことができます。

データ同化はベイズモデルに則っていますから循環構造があり、データ取得、パラメータ推定、モデルの作り直し、新しい実験計画の立案、仮説の提示、データの再取得と先へ進められます。とにかく循環が重要です。

知識の循環やモデルの改良についてお話してきましたが、最後に個別科学での人材養成がとても重要であることを指摘しておきます。専門が1つのT型、2つあるπ型、横向きのπ型と幾つかあります。雇用という観点からも人材養成は大事で、受益者・生活者の視点と目線を持ち、そして現場に興味ある人材ならば産業界にとっても魅力的ではないでしょうか。

絶え間ないイノベーションとデータ価値創造

