

《研究ノート》

数理工学の發展と社會科學への影響

杉田元宜

一 はしがき

『何を生産していたか』ということよりも『どのようにして生産していたか』ということが決定的である、というさる人の見方からすると、技術革命の進行している現代では、學問そのものの性格にも根本的な變革が起つてもよいのであろう。現代では、オートメーションの影響はまだそれほど目立ってはいないが、一度この方向に踏み切った以上生産技術や様式の變化は徹底的に進行するであらうし、新しい技術は『情報と制御』の自動機構として、その理論を華々しく展開している。その直接の影響を受けて、性格を大きく變えようとしているものの筆頭は應用數學または数理工学とでも稱すべき分野の發展である。世間では原子力問題を過大に重要視している。長い眼で見ると、原子物理や原子工学は人生にはかり知れない影響を及

ぼすであらう。しかし産業に對する直接の影響は、十年の先かも知れないし、こゝ當分はそれにそなえての準備に追われていく段階であらう。これに對して数理技術は今日ただちに社會や産業に直接關係をもつべき重大問題なのである。學術の培養は一種の迂回生産になるとしても、前者は當分は出血にとゞまるだろうが、後者の場合は十年の將來をみての迂回ではなく、明日にもその成果は直接フィード・バックしてくるので、このめだたない分野の開拓に對して大聲で關心をそゝりたいのである。

二 數學の使命とその變貌

私はある會合で、従來の數學は主として物理學などの中に包み込まれながら實際の問題に役立っていたが、これからは物理など自然科學を離れても、數學自身が生身のまゝで社會や工學に役立つようになる。もうそういう時代、下婢ではなく主人となる時代がきている。故に數學教育も、また數學者の社會に對する使命や心構えも、これからは一變しなければならぬ、と放言したことがある。

これからは數學も、數學教育も機械化され電子化されねばならない。しかしこれからは必ずしも従來のように機械や電子管回路の中に(implicitに)數學があるのではなく、逆(explicitに)數學のまゝに機械や電子管回路がはたらくの原則とする場合も生じてくる。たとえていうと、物理的な諸装置は、この場合は人形使いの太夫の役をつとめ、數學がうなるすじが

き(淨瑠璃)は制御テープの如く、そのすじがきどおりに人形を動かすのが情報と制御の諸装置で、人形を動かすかのよう⁽¹⁾に数学は社会や工学の対象に働きかけ、数理のまゝに動かそうとする。こうして新しい時代の数理を運用する専門家を、数理工学者と稱してもよいであろう。

これに對して東大工学部の森口教授は、自分はまさにその数理工学をやっている者であるといつて、この種の専門家はアメリカでは將來百萬人からの人材を要求するようになる、日本でも(今は日かけの存在でも)二十萬や三十萬の人材をそろえな⁽²⁾いと、オートメ下の新時代の社会は動いて行かなくなるであろう、と發言された。この會は科學技術教育に應ずる⁽³⁾數學教育のあり方を討論するのが目的で、私と工大の田中實氏(化學)は理科教育の方面から文句をつける立場にまわされたが、私が特に強調したのは、應用面から見ても數學は、最早昔日の姿のものではなく⁽⁴⁾なつた、ということである。

數學教育にあたっている人々の中には、世間の冷い視線を感ずるかのよう⁽⁵⁾に、一種のコンプレックスを告白⁽⁶⁾する人があ⁽⁷⁾る。それは『數學は役に立たん』という酷評と『嫌われものだ』という意識があるからである。數學は決して樂な勉強でもなければ、文學以上に面白いものでもない。面白いという人は少し性格に異常があるのかも知れない。人生に關りのなさそうな空理に無上の喜びを感ずるとすると、その人は修道僧でない以上何かの『つながり』を異常な銳さで直感しているのに違いない。所が昨今は情勢が變つてきたのである。即ち、数理が直接役に

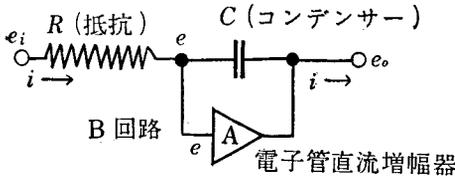
立ちはじめ、異常な神經を以てするのでなくとも、まじめさ⁽⁸⁾えあれば凡人にも数理と生活の結びつきが體得し易くなつてきたのである。

數學は役に立たん、という感じをあたえた一つの原因は、数理が物理その他の自然の法則性の中にとけこんで使われるので、この自然法則が生活に役に立つとき、數學の御利益は間接的だったのである。本人でなく代參では御利益もうすい。所がこれからは數學が生身で社会や工場とふれあうようになる。御利益のある所には信心もつのである。故に數學教師も自信を取戻さねばならないが、それと共に機械化され、電子化された近代的な手段に慣れ親しまなければならぬ。これからの数理は、時にはパルスの技術を利用したり、等價回路を組立てたり、数理の研究に實驗的な手段も使いこなさなければならぬ。また理科的な知識だけでは不十分で、工学の素養も持たなければならぬ。これが私の數學教育の諸先生につけた注文である。といつて私自身理論物理の白い塔に安住し、實驗技術にはうとく、工学面のことなど敬遠してきた人間で、この點で數學者と同罪で、人にお説教などするがらではないが、それではいけないと反省している。それで私も努力しますから、という含みで、他人に注文をつけたのである。

三 數學の機械化

新しい機械化の特色を示す一つはアナ・コン(アナログ計算機)でこれは單なるモデル計算機ではない。というのは、モデ

第1圖 積分装置の例



$$\text{電流: } i = \frac{e_i - e}{R} = C \frac{d}{dt}(e - e_0)$$

$e_i - e, e - e_0$ は電位差
A の増幅により

$$e_0 = Ae, e = \frac{e_0}{A}$$

$$\therefore \frac{1}{R} \left(e_i - \frac{e_0}{A} \right) = C \frac{de_0}{dt}$$

A ≫ 1 なる時は

$$e_i = -RC \frac{de_0}{dt}$$

$$e_0 = -\frac{1}{RC} \int e_i dt$$

故に B に e_i なる電圧を input としてあたえると A の e_0 なる output は e_i の積分になる ($-\frac{1}{RC}$ がかかったもの)。この e_0 を物理的に讀取るのである。

新しい技術の一つに、アナログ量 (連続量) を數値化 (デジタル化) したり、その逆過程を自在に行う装置がある。これを使って、アナログの缺點をデジタル化で補い、ただその加減乗除などの計算をアナログで高速度に行う工夫もされている (たとえば電気試験所)。私はこの方面の發展に關心をもっている。こ

報を介して交渉しあいながら、數理に忠實に従うように、物理量 e_i に對して e_0 を制御して行くのである。と云って現在のアナ・コンに缺點や弱點がないわけではない。しかし現實

過去に於ても經濟系の流體モデルなども考えられたが、しかし物理的には流量のような物理量を使うモデルでは、モデル特有の缺點 (野性) が避けられない。この點で電壓のような強度量を使う今日のアナ・コンは、モデルのようでも専ら經濟の數理に忠實になろうと努める特色をもった一種の家畜である。

ルでは自己の物理的な法則性を貫こうとし、その範圍でのみ數理にも忠實になろうとしているからで、物理的な都合では數理の方は犠牲にしかねない性質のものだからである。生物學や社會科學でモデルが敬遠される理由は、物理的な野性 (モデルの性質) のために本来の法則性 (またはその數理) が犠牲にされる危険がある點であろう。これに對して今日のアナ・コンは、『情報を介して交渉しあう』長所を利用して、例えば第1圖で、A の電子管による増幅は、電壓 e で制御されていて、 e は情報にあたり、増幅に必要な電力は他から供給されている。また A 回路の狀況はみだりに B 回路にはねかえらないので、情

の物理量 (アナログ量) を數理に忠實に従属するように飼馴して行く點が近代的なのである。そこで經濟のパラメーター間の相互關係が數式化できたとすると、これを適當にアナ・コンにかけて、その動向や經濟系の安定性などを計算することができる。所で慣れてくると數式を介することなく、直接經濟の數理をアナ・コンに反映させ、simulate (4) させる可能性も生じてくる。またその方が數理經濟學の從來の行き方よりも具體的で、初心者には近づき易いかも知れない。こういうモデル化の意義については先に述べたことがあるので、こゝでは省略する。

の両刀を自在に使いわけると、社會科學でも應用のひろい道が開かれるであろう。また自動的にサンプリングを行って最適條件を求めたり、工學でやるようなパルスの技術を巧みに使って、そのレスポンスから複雑な系の性質を知る手がかりを求めることなど、社會に對しても實用になるであろう。

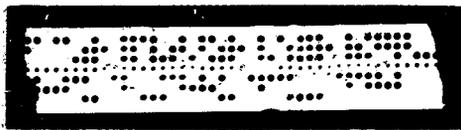
自動制御理論の方で、微分方程式と正面からとり組んでいた間は、これがネックとなつて發展が阻まれていた。經濟學の方でも好んで數理と正面からとり組んで、動きがとれないという事情はないであろうか。今次の大戦を契機として工學の方では、インディシャル・レスポンスを求めるとか、Nyquistの安定判別法とか、いろいろの便法が發達して長足の進歩をとげた。さらに最近ではアナ・コンの進歩により、制御系の *simulac* をつくり、これで非線型でも自在に扱えるようになった。この點も經濟の學徒の見逃してならない所であろう。なお世間では經濟系の自動制御モデルなどといっても、機械的な類推をしているのではなく、ただ(物理的直感のつけ易い)アナログ計算機として考えているだけの話と思つておけば宜しい。

四 論理の機械化

記號論理の如きは、役にも立たない道楽と考える人もあつたくらいで、かくいう私もかつてはその一人である。しかしオートメ時代のカラクリは、『論理を大脳から解放』して、機械化しはじめたのである。即ちある命題を適當に記號化し信號化(人間の言葉から機械の言葉に翻譯)すれば、ディジタル型の計算

機と同様の原理で論理演算を行わせることができる。電子式またはリレー型計算機(追記参照)やIBMの機械や目下話題の翻譯機など、この種の數學機械の例である。故に現代の數理工學は、高度に抽象的な數學をも消化し、實用化しようとしているが、決して實用一點張りの安物ではないのである。數理とか論理などいわば現實のカゲであるが、現在ではこのカゲを求める計測と、カゲである情報を處理する計算や論理判断の機械装置と、その情報に應じて現實を動かす制御とが、昔と比べものにならない程容易になったのが、進歩の原因である。この方面

第2圖



でテレタイプ(STO)とかフレクソライターなどその一例)の將來に私は注目している。というのは、統計資料の整理や會計報告など適當な記號をきめてタイプをうつと、清書されると同時に第2圖のような電信のテープがつくられ、送信もできて、これで自動的にIBMのカードや計算機のテープがパンチされるからである。社會科學の研究能率だつて機械化すれば飛躍的に高まるし、センスも近代化するのである。社會科學だからといって、舊態依然でよい、というものではなからう。仕方がないとあきらめたり、アグラをかいて安住していると、裝備の進んだ

外國の學問に今に壓倒されなくてもない。

従來は數學教育でも記號論理など問題にならなかつたが、將來は重要なものなるであらう(今では日科技速の講習教程にも出ている)。ただそれには従來の Boolean Algebra の抽象性を脱して、現實の血の通つた豊富な肉付きのものにしなければならぬ。その一つは論理演算の機械化を工夫し、これを教材として活用し、視覚にうたえて原理をのみこませる必要がある。もう一つはそこに出てくる A a などの記號の意味づけが大切である。これについて私は海上で使われる旗旒信號のことを連想するのである。故に適當な實例について信號簿をつくり、それを背景に論理演算を行つて見せると、數學の嫌いな學生の頭にも、實感をもつて抽象的な論理が浸透するのではあるまいか(むつかしいのは數理自體よりも、數式から現實への翻譯をすることなのである)。そのためには教材の整備と、それにふさわしい講座研究費がのぞまれるのである。

理科系に多い實驗講座の豫算は實驗を伴わない講座に比べて3倍になっている。數學も實驗講座になつていながら、本學としても數學關係の講座の増設に努めると、それだけ豫算は潤澤になる。また經營や會計の教科も教材の機械化を理由に實驗講座にする努力が必要であらう。

機械化が進んでも、生身の頭腦で計算や論理判斷をすることは、何時の世にも必要である。それは船舶の機械化時代でも、乗員の訓練に帆走やカタマーが必要なのと同じである。事務が機械化されても、學生時代に人生の潮流や風加減に對するセン

スを養うためにも、帆走に比すべき訓練をおろそかにしてはならないのである。他方數學の先生の中には、頭の訓練を重んずるのみならず、機械化に不熱心な人がないでもない。何も頂上まで他力で登ろうというのではない。踏臺を高くしようとするだけの話で、より高い臺の上ではやはり『背伸』は必要なのである。

他方事務や會計の機械化にあたっては、その方の専門家を動員し、學理と實務の體験を總括するそうである。これと同様に信號簿にしても海上生活の體験の上に生れたものであらう。この事實を教育の資料とすると、抽象的な論理數學にも生きた血が通うようになるであらう。テレタイプのカナ記號や書式にしても、その中に先輩の體験と苦心とがこもっていることを知らせるなら、數學の教室も重苦しい修道院ではなくなるであらう。

社會科學も新時代に入ると、裝備を新にしなければならぬ。他の諸科學でも同様で、私は昨年一〇月、國際酵素學會の京都會場で、Engelhardt 教授の講演を聞いて、あとで彼に論理演算の必要を強調した、それは酵素系の複雑な反應のからみあいを解析するのに、大脳による推論だけでは不安と限界があると思つたからである。社會科學でも同様であらう。機械裝備をすることによって、社會科學が社會科學でなくなるというものではない。軍隊が機械化したからといって、それは機械技師の仕事になつてしまふわけではないようなものである(しかし機械化しないと、能率が悪いだけでなく、舊陸軍のようにセン

スが古くなる。)さらに装備の變化によって戦術は變るが戦略はやたらに動くものではないといわれている。社會科學を進める戦略についても同様であろう。例えばハンニバルの侵攻の下に連敗の悲運にあえぐローマが、その海上兵力を本土作戦に對する協力で釘づけにすることなく、遠く敵據點をつくために海陸の大軍を送り、遂にスキピオをしてカルタゴ・ノバを攻略せしめた戦略は今日でも舊くはない。そして弩級戦艦時代の Mahan 提督が、合衆國海軍の戦略をたてる時、この史實をかみしめたといわれている。社會科學の場合も亦然りであろう。

五 情報理論

情報というのは現實のカゲであり、そのカゲを適當に信號化(翻譯)したある時系列である。物理的に見ると、それは本來は『時系列の特色を伝えるに足るだけのエネルギー』を持った微弱な作用であればよいわけであるが、適當な受信装置(信號を解讀し増幅する Power Modulator)があると、工學的に意味のある物理作用となり、大きい動力をも制御できる。こうして現代では情報と現實とが從來にない密接な結びつきをするようになつてゐる。

こゝで面白いのは、情報面から内容を捨象して、その形式面というか、時系列の複雑さの程度など計量する傾向が生じたことである。文樂の人形使いの映畫などみてみると、感心すると同時に毎分何ビットくらいの情報處理の能力になるのであるう、という感想がうかぶのである。ビット数を簡単にいうと、

複雑な事情や取扱うパラメーターを二〇の扉の先生のように、適當に二分割して、その何れかにイエス・ノーを對應させ、それに應じてパルス信號を送ったり、送らなかつたりすることに、この事情を表現するときの、『パルスの數』である、と考へて宜しい。複雑な内容になるときめるのに信號も厄介になるから、二〇ビットくらいではあたらなないことになる。オートメーションでは、計算センターのような高級中樞や現場の自動制御のような下級中樞などで適當に情報處理を配分しているが、この配分も宜しくやると全體としてのビット數が節約できるのである。これに對してすべての情報處理を高級中樞に集中しすぎると、不經濟になるのである。このような考へ方は政治組織や官僚機構、事務組織などにも適用できるに違いない。情報理論(Shannon や Wiener らによつて發達した)というものは、この時系列やパルスの前後の脈絡や意味内容を捨象して、その時系列に特有なある頻度でパルスを發する假想的な(マルコフ過程を辿る)情報源を考へ、これに對して、工學系の情報傳達や處理の能力を計算したり設計したりする理論で、戦時の暗號解讀や通信工學一般の技術として發達したものである。

六 結 論

情報と制御の形式面からすると、工場も人間の思考も、また社會のキャラクターもある共通の性質をもっている。この性質を究める學問が cybernetics であるが、それは社會についてはそ

(9)の生理的とも見られる一面を解析する形式論または機械論である。それは社會自體を研究する『實質的な科學』ではない、と
 いてよからう。そういう限界をおくことによって、工場と思
 考と社會に通ずる『雄渾なる(三位一體の)カラクリの理論』
 の長所が出てくるのではあるまいか。

機械論といったのは、現實に對應する記號が信號簿により固
 定されていること(みだりに變動したら、電話帳と同様役に立
 たない)、また生活目的を追求する人間の主體性や歴史を創り
 出す意欲は捨象してあるからである。

しかしこのような形式論や、その手足となる機械裝備やエレ
 クトロニックスが、社會科學の新兵器として威力を發揮するこ
 とは、疑いない所である。數理工學や數學機械論は cybern.
 の一面ともいえるし、狹義の『情報と制御の理論』だけでなく、
 ひろくLP (Linear programming) やOR (operations re-
 search) やその特例としての工程計畫なども含んでいる。今の
 所天地創造時の混沌を免れないが、やがて分化して體系だてら
 れるであらう。

オートメシオンとは何であらうか。未だ學者の説が一定しな
 いが、これを一定させるとすれば、學問のどの分野の人の役目
 になるのであらうか。オートメは技術發展に對應する新しい技
 術思想でもあり、かつ社會思想でもある。それはまず技術家の
 頭に自然發生的にみのもつたものではあるが、これを分析したり
 體系だてたりするのは社會科學の役目かも知れない。

形の上からはオートメに對して自動制御(情報とフィード・

バックによる制御)と、自動計算機または數學機械とtransfer
 machine があげられている(中山秀太郎、岩波新書)。私はこ
 れに對して『情報處理の上部構造が從來のカラクリから分離獨
 立し、下部構造と相まって機能を發揮しはじめたこと、また上
 部構造の情報處理機構の發展により、從來からの物質處理とエ
 ネルギー利用の合理化と共に、情報處理の面を加え、三位一體
 の合理化と經濟をはかり始めた』點をその特長と考えている。

(この考えは、電気試験所の寺尾博士に負う所が多い。)さき
 にあげた transfer machine は、どちらかというと下部構造
 的なもの、またフィード・バックは情報處理の一つの特色であ
 り、計算機は上部構造中での最高中樞とみておけばよい。

また人間追放は必ずしもオートメの眼目ではない。このこと
 は人間工學が cybern. の一つの問題になっていることでもわ
 かる。つまり人間をも體系の中にくりこんで(理想としては人
 間の性能にあわせて、快適にはたらせるように)その全體系を
 設計し再編成するのが新しい技術思想の夢(従って安直に實現
 されるとは限らない)なのである。

とするとオートメは技術思想としても一大革命である。それ
 は社會思想の上にも、また産業組織の上にも變化をもたらし、
 これを研究對象とする社會科學自體をも、またその研究を進め
 る手段、裝備をも一變させるであらう。

それと共に社會科學を修めた人は社會に出て、一方には數理
 技術者としての機能も果さなければならなくなる(追記参照)。
 というのは理工系の教育では社會の要求する(數十萬という)

多量の数理技術者を補給することはできない⁽¹⁴⁾、社会科学の素養がないと、数理技術を社会にあてはめる上に支障があるからで、またこういう数理は社会科学でも重要な地位をしめるようになるであろう。

(1) 近代技術でいうフィード・バックは情報の閉回路を指しているので、乱用すると混乱を生ずることがあるが、ここでは一應軽い意味に使ってある。

(2) 九大の柴垣教授を座長として、昨年一〇月一三日に工大で行われ、彌永、遠山、高橋(進一)の三教授や現場の高校側からも出席された。詳細はその方の機関誌に出るはずである。

(3) アメリカの悩みは理工系の出身者の数の不足で、それは学生生徒が数理的な課目を好まないからだといわれている。アメリカ社会の『華やかさ』が修道院に顔をそむけさせるので、人工衛星問題の悩みも根底は深酷である。

(4) 熟練すると等価回路(主として電気的なモデル)を見ただけで、その数学的特色が物理的直感で見當つてくらしい。私などにはできない藝であるが、物理学者は多少とも『生身のアナログ計算機』として、数理を超えた物理的直感を養っている。経済の数理を物理的な相似系に反映するときにも、この種の訓練が重要であろう。

なおアナ・コンを現実との対応のつきやすい形で使うとき、これを simulator といふ。
(5) 杉田、小林理研報告第7巻第1号、88頁。

(6) 杉田、一橋大学学術講座、昭和三二年一〇月八日講演。
(7) 電圧のような量を intensive な量(強度因子) 電流のような量を extensive な量(容量因子) という。

(8) time lag のあるような場合忠實に従えない悩みがあり、経済学に利用するときの大きい缺點になるらしい。

(9) 杉田、エレクトロニックスの社会科学への影響、一橋論叢第37巻第2号、90頁。

(10) A. Tustin, The Mechanism of Economic Systems.
(11) 例えば山田欽一教授の考案になる syllogiter の如き装置がある(一橋論叢第25巻第2号、51頁)。

(12) 信號簿は形式論理の有用性と限界をよく示している。我々は體驗を整理し分類して概念の信號簿を用意し、生じた事態に對してはそれにあてはめて考え、なるべく泥縄式に概念を形成したり、手旗信號式の非能率を避けている。しかし世の中が進んで新しい事態がふえると、ある限度内で信號簿を更新しなければならなくなる。
なお cybern. では Platon のアイデア説を機械化したような考え方が出てくるが、機械なら更新も必要だろう。

(13) 電気試験所の計算機回路では、論理数学を活用した獨創的な設計が行われている。複雑な Gostait の特色を『頭だけにたよって考える』ことには限界があるのである。

(14) 工学方面でも、従来の機械や電気の専門家以外に制御技術や system engineering, project engineering などが発達し、更に管理工学(または技術)として、管理や

經營の面に進出しようとしている。この人達や經營工学出の人と、會計學や經營學から出發した人々とで新しい型の人材が形成されるであろう。そして怠惰で時代おくれの人や、視野のせまい専門技術者をおしのけてゆくであろう。なお管理技術の文獻では、制御系のフィード・バック理論や、情報理論が底を流れている。通信工学ハンドブック、第12編1168頁茅野健氏記述参照。

【追記】 昨年の暮の一七日に學生と大和證券を見學して私の考えも大分變化した。それは外國品にたよらず、國産のCOMリレー計算機を見事に使いこなし、事務組織にとり入れ、IBMやRRに對抗できることを現實に示しているからで、私が見學の筆頭に大和を選んだのもそのためである。自分の住む家をアチラに注文し、下水の設備のない所に洋式便所などの設計を受入れ、またコタツが欲しいと老人に文句いわれたりするようなのが日本の現状で、このため不必要な高性能と莫大な外貨流出とおしつけられ、國內の計算機メーカーを口惜しがらせている。國産品なればこそメーカーと心も通い、改良の相談も日本語で通じ、ここまで使いこなせたのである。その苦心や設計が本學出を中心に、事務系の人々によってなされたことを考えても、商經方面の學徒が將來この方面を開拓しなけ

ればならないことがわかる。自分の書齋はやはり主人が設計しないと建築技師まかせにはできない。使う人とメーカーの話し合で、國産機の實用も、外國品の追放も可能となる。さらに使用者側の簿記會計の學理が筋金になっていて、その方針がたないともメーカーもどんなえらい技師も手のつけようがない。故に本學のような所は、メーカーや技術者と提携して、學理を以て指導しつつ、國産機の開拓にのり出すべき責任があるのである。

FACOMではカードの代りにテープを使う。これは自動工場のベルト・コンベヤーに相當し、パンチするのは、加工すべき材料の代りに情報(情況を記號に翻譯し、信號化したもの)を送り込み、これが繼電器回路で數値計算や照合、分類、集計その他の論理演算の自動加工をうけ、結果が印刷されて出てくる。この情報處理の機械化や自動化こそはオートメの核心で、現代技術の花形で、事務労働こそはオートメの最も入り易い所とされている。ここを外國品におさえられ、不自由を忍ばねばならないとすると、日本産業の死活にも關係する。私はこの點で、當事者の苦心と功績を如何に高く評價してもしすぎることはない、と感じたのである。

(一橋大學教授)