

六 若き獅子たち

R・ベルマンと数理科学

若き獅子たち

一九五八年五月、カリフォルニア大学のあるバークレイ下町の映画館で、「若き獅子たち」という映画をみたことがある。第二次世界大戦の西部戦線とアフリカ戦線とを舞台とし、一人はナチス・ドイツの軍人、もう一人はユダヤ系のアメリカの兵卒、主役はこの二人である。彼らはお互いにまったく縁もゆかりもない。ただ同じ時代に、この世界のどこかに生れてきただけである。彼ら青年はそれぞれ、その生れた社会に、その属する国に、忠実な市民として、この第二次世界大戦にまきこまれてゆく。つつましかな個人の思念、願望を無視し、ふみにじる大きな力が、彼らの運命をひきずってゆく。この二人が、この地上でいつか、どこかで一緒に会うという、約束はもともと



ベルマン Richard Bellman (一九一〇—)

一九二〇年八月二十六日、ニューヨーク市に生まる。一九四一年ブル
クリン・カレッジで学士、一九四六年プリンストン大学で博士号をとる。
一九四六年から一九四八年までプリンストン大学で助教授、一九四八
年から一九五二年まで、スタンフォード大学準教授、一九五二年から
昨年一九六五年九月まで、サンタ・モニカ市にあるランドソルコーポレ
ション研究所の研究員(数学)であった。現在は南カリフォルニア大
学で、数学、工学および医学の教授を併任している。この間、加州大
学工科大学客員教授(一九五六年)、米国数学会役員ないし委員となっ
て活躍している。現在氏が多くの学術誌、数学叢書類の編集者となっ
ている。

論文約四百編、著述は二十数種、モノグラフ七編におよぶ。(一九六六)

どこにもない。そうして第二次世界大戦の終末は近づいてくる。ナチス軍に属するドイツ将校は、他の主人公の属する米陸軍に追われてゆく。そうして二人の主人公が、この地上の同じ地点に、来て出会うということになるのだが、それは一方の主人公ドイツ将校が、まさに死に臨む最後の場面においてなのである。そうしてそれが映画のラスト・シーンでもある。

この二人は若い。彼らは、祖国を信じて疑わず、祖国のためにと、生命をととして、奮闘する雄々しいライオンだという意味なのであろう。たしかに雄々しくもみえる。がしかし、個々の人間の努力は、じつは小さいものであろう。大きな運命の星の下にあるのだらう。ラスト・シーンは、ドイ

ツ平原の荒涼たる夕暮れである。ところでライオンというと、私にもう一つ思い出すことがある。

一九五六年十二月、インド統計研究所滞在中のことである。同じ建物に住んでいたフィッシャー教授が、私へのクリスマスプレゼントとして、一端をライオンの頭をかたどった、ペーパー・ナイフをくださった。「これは何の意味でしようか」と、つい愚問にでよんだところ、先生いわく、「勇気をだして困難にたち向かうようにね。」先生の茶目気にはすっかり恐れいった。それ以来、身近に先生のいうところの「ライオン」はいないものかと思つて、内心気をつけるようになった。

いったい、学者を研究の道にかりたてゆくものは、何であろうか。その求めるものは未知のものであり、予想もつかぬものの探究である。それだからこそ、研究者の場合にはとくに、お互いに自由と創意とが、尊重されなければならないといわれている。この自由と創意があればこそ、研究者の個性が形成されてゆくのであろう。その中の優なるものが、フィッシャー先生の推奨するライオンということなのであろうか。しかしまた、個々の学者の業績が、いかに独創的にみえようと、これを大きく規定するものが、時代の底流として、どこかに潜んでいることが多いのも、また事実であろう。ライオンたちを走らせ、踊らせるものがあるのかもしれない。映画「若き獅子たち」は、私に忘れられない印象を残していった。

私はこれから、二、三の私より年少の親しい友を、若い獅子たちになぞらえて、これから語らうというのである。

ベルマン博士との会合

ベルマン教授を若き獅子ということにするが、彼はもう四十五歳である。はじめてお会いしたのは、一九五五年七月、ブラジル訪問の途中、ロスアンデルス市の日系人経営のホテルにおいてであった。そのとき彼は三十四歳、長身のみるからにスマートなセントルマンである。私のうけた第一印象は、動的計画法で高名の彼が、こんな若い男かということであった。

博士は、プリンストン大学でポツホナー教授、レッフシェフ教授について学んだということである。よく知られているように、博士の最初の著述は、常微分方程式の解の安定性に関するものである。この方面の研究者としての彼は、わが国の微分方程式の研究者の名前もよく知っている。そうしたことから、初対面の私どもの話題は、関数方程式からはじまったのである。

私は当時、推測過程論でいくつか論文を書いていたし、その発展をいつも心がけていた。この目的のために、動的計画法が、あるいは役に立つのではなからうかという期待もひそかにもってはいた。しかしその期待は、まったく漠然たるものにすぎなかった。一方、ベルマン博士の論文、著述から推察すると、彼自身、いわゆる数理統計学の理論の詳細な点に、深い関心をもつようにも見受けられなかった。このときの会談が、おもに関数方程式論についてであったのは、いわば当然の結果である。というのは私自身、本職の数理統計学との関連を離れても、関数方程式論そのもの

つも興味をもっていた。私は一九三四年から一九三九年までは、大阪大学で南雲道夫教授のもとにあったとき、約三年半ほどの期間、線型移動可能関数方程式の研究に没頭したことがあった。

ベルマン博士と会談したときの話題は、したがって、私にとっては、すでに十五年以前の昔の研究に関することであつた。とはいつても、プリンストン大学出身のこの俊才と、関数方程式の話をする機会をもつたものは、何といつてもそれなりに楽しかった。あのときのロスアンデルス飛行場の待合室の光景を今でもはつきり覚えてゐる。そうして、その夜おそく、私は南半球へのはじめの旅にたつた。それはわずか半日の短かい会合であつた。

関数方程式の思い出

関数方程式といへば、いうまでもなく、微分方程式も定差方程式も積分方程式も、このなかにふくまれる。このほかに組合せ関数方程式というものも、当時の私たちは、ふくめて考えていた。日本におけるこの方面の一つの有力な伝統は、東京大学吉江琢児教授の門下から生れてきたことは周知の通りである。微分方程式論一般については、ここではさて、何かより広義の関数方程式論とでもいふべきものを探求しようとする運動が、一九三四年より一九三八年まで、わが国にも顕著であつた。私の当時の狭い見聞のなかでも、南雲教授の線型作用素論もこの一例であらうし、福原満洲雄教授の固定点定理にも、積分方程式論の一般化にも、私などはそうした志向を感じたものである。

しかし、この私も、一九四一年以来、関数方程式の研究からまったく離れてしまった。

そうして、それから約十五年たったこのとき、異国の土地で、まったく新しい見地から関数方程式を展開している若いライオンを、ベルマンにおいてみたのである。その彼は、前人未踏の関数方程式を創って、その理論を發展させようとして意気こんでいる。彼の導入した関数方程式のよってきた来歴というのは、政策とか方略とか目標とかいう概念の現われ数学理論、現代流に言えば、計画数学の分野においてである。このことは、私たちにとってきわめて示唆的であった。というのは、一方、一九五〇年ごろには統計学においても、A・ワルトの統計的決定関数というのが、代表的な理論とみなされていた。もっともワルトの決定関数論が、果たして統計学の全分野をおおうにたるほどの広汎さと頑健さともつかいなかは、その当時から私は、批判的であったが、とにかく、ゲーム論の型式のなかで、統計的理論が組み立てられるだろうという時代風潮からすれば、ベルマンの関数方程式論との距離は、じつは意外に近かったともいえる。いわんや過程論のような場合には、多段決定過程など、両者の共通領域とも思われるものもないではない。動的計画法の内容を知るにつれて、推測過程論に熱中していた私は、非常な関心をもつようになったのである。それからずつとつづいている親しい接触には、そんなところに一つの原因があったのであろう。

それから交流

ベルマン博士を、その勤めているランド研究所に訪問することができたのは、一九五六年二月、アイオア大学の客員教授の役をおえて、私が帰国する途中、第二回の会合のときであった。ランド研究所へ行って驚いたのは、空軍の管轄下にあるということ、入口玄関にあたる場所に、ピストル武装をしている空軍の軍人が訪問者の応待にあたっていている。ベルマン博士を来訪するにつげると、やがて本人がここにあらわれ、その案内ではじめて彼の研究室へゆくことができた。到達してしまえば、あとは自由に話はできる。しかし大学に一生の大半を送った私にはなにか異様である。このとき、動的計画法に関する数多くの論文やモノグラフをいただいた。

第三回は、一九五八年五月、このときはプリンストン大学の半年の研究生活から帰国の途次であったが、私たち夫婦は、一週間近くサンタ・モニカのホテルに滞在し、ベルマン夫妻にご厄介になった。それからというものは、米国へゆくたびごとに、ベルマン博士に必ず会ったように記憶している。もっとも、いかめしいランド研究所は、三度しか訪れたことがない。博士と会った場所は、プリンストン大学、パークレイのカリフォルニア、UCLAなどである。

彼は、日本を訪問したいという希望をかねてからもっていたが、この年来の希望を今まで二度実現している。とくに、昨年八月、再度の来日の際には、かねての約束を守って、福岡に來られ、九

州大学で講演をし、私の家庭も訪ねられた。このとき、帰国したらランド研究所を辞任して、南カリフォルニア大学の教授になり、数学、工学、医学の三つの教室に兼任するのだということを洩らしていた。私も、率直に彼にすすめた。大学のアカデミックなアトモスフィアのなかでこそ、君の学問をのばしてゆくべきだといって、大学復帰を喜んだ。この十年間、彼はいまやかかくたくたる世界的名声をもつ数学者となった。数多くの著述は、わが国でも、数学、統計学、オペレーション・リサーチ、原子力科学、宇宙科学、制御工学、経営科学、いろいろの方面の人たちによって広く読まれている。

彼の著述の日本語訳も数点あらわれている。また二度の来訪によって、面識を広められている。欧州においても、ソ連においてもベルマン博士の業績は知れわたっている。ベルマン博士の著述の多くは、ロシア語に訳されているそうであるが、そのあるものは、原著よりもより豊富な参考文献のリストがあるのでベルマン博士によると、「自分もロシア訳をつかっている」そうである。

ベルマン博士はまた、現在特色ある一つの数学雑誌の編集者であり、また近年多くの分野から注目され、また広く普及しているある数学書の編集者である。この雑誌といいこの叢書といい、いかにもベルマンらしく、特色のある個性豊かな編集ぶりである。

そうした彼は、いつも新しい獲物を求めて、未踏の原野へとびこんでゆくたくましいライオンの習性をもつようである。

研究課題の連鎖につながるもの

ベルマン博士のいままでの研究を概観してみると、当然のことながら、この二十年のあいだに、研究問題が移り変わっている。同時に注目すべきことは、それらが各個きれぎれであるのではなく、互いに結びついて連鎖状になっているということである。研究問題の推移という点からみてゆこう。

① 動的計画法の確立 数理計画法というと、このなかには、まず線型計画法がある。これについて、二次計画法、さらに一般化した非線型計画法がこれにつづく。これと拡張方向を異にして、多段階の計画理論という観点から基本的なものが、この動的計画法なのである。

現在わが国の大学で、計画数学を講義するところでは、講義が動的計画法にまで必ずおよんでいることと思う。数理計画法のなかの一部門としての動的計画法の確立は、そのほとんどが、ベルマンの独創に負っている、といってもまず過言ではない。(文献(1))

② 制御過程論への応用 動的計画法がつけられた初期の段階では、そこで取り扱われた論題は、きわめて多岐にわたっていた。しかしそうしたなかから、やがて焦点がはっきりしてきた。そして制御過程にしばられてきた。制御過程となると、代表的な理論であるポントリヤギンの最大原理との比較は、当然関心事となるわけである。動的計画法は解の存在定理が与えられていないし、ポントリヤギン氏によれば、「厳密性に欠けるところがある」と著書においていっている。ベルマ

ン氏によれば、「ポイントリャーギン氏の最大原理の方法は、別に新しいことはない。少なくとも三十年以前から知られた方法でしかない」という。公平にいつて、一長一短があるというべきであろう。という意味は、有効な点では動的計画法はどうしても欠くことのできない特徴をもっている。

(文献(1))

③ 適応制御過程論 適応制御の段階にくと、制御理論が、従来の微分方程式論や変分法のわくをこえた形式化を必要とする理由がはっきりとしてくる。というのは、

(イ) 制御を行なおうとする主体が、制御のほどこされる対象に対して、どれだけの情報をもっているか。

(ロ) 制御を行ない、その結果を知ることによって、制御上有効などれだけの情報を得ることができるか。

(ハ) そうして得た情報を、それ以後の制御に、どういうふうに実際利用される仕組みになっているか。

(ニ) このような情報の質(精度および偏り、信頼性など)はどうであろうか。

この四つの問題をまともにとりあげてゆかなければならない。そうして、ここに至つては、統計学的接近ないしは情報理論の洗練をうけなければならぬように思われる。計画数学的な接近をふくむ動的計画法の方法が、有力となつてくるのは当然である。(文献(2))

④ 自己組織化系と人工知能の問題 適応制御や学習理論に関心をもつ現代の学者の、当然たち入ってゆかなければならない問題であるともいえる。ベルマン博士は動的計画法的な接近という立場をここでも貫いて、知能と決定とにおいて、逐次第一、第二、第三、……と順を追うて、無限にいたる段階にすすむプロセスの無限階程を提唱している。

この議論は、近年わが国でもやかましい創造性の問題にも関連がある。

互いに矛盾するいくつかの公理系とか、無作為抽出の公理系とかの思想もベルマンは提示している。従来個々の公理系は、提起された問題に正確な解答を間違えなく与えうるように選択されてきた。しかし人類が、複雑きわまりない事情の解明にたち向かうときには、完全にこれを形式化するのには、むしろ一般には不可能であるといった方が、真実に近いであろう。こういう場合には単一の公理系ではなく、いくつもの公理系を用意してかかるがよい。そのおのおのは、それぞれ当該現象系のある近似にはなっているが、しかしこれでたしかによい、というきめ手になる公理系は見当たらない。このような公理系をいくつも考えると、互いに矛盾するかもしれない。しかし、複雑な政治的、社会的ないし経済的な問題の範囲では、いわゆる論理的な結論へ結びつけようとすること自体が、妥当かどうかかわからないのである。しかし、こういう態度で臨むというのは、非合理性を許容しようというのではない。非合理性を、極度におしつめようとするものである。またここに、数学的実験の思想もみることができぬ。(文献(4))

⑤ 生物数理科学への道　ベルマン博士は動的計画法の方法を、生態系の問題にも心臓生理の解析の問題にもすでに適用して成果をあげている。彼のように、広汎な科学の分野にわたって、自分の開拓した方法の応用を試みる学者にしてみれば、これはあえて不思議なことでもない。(たとえば文献⑤および⑥)ところが、昨一九六五年秋、九州大学から米国へ帰ってから間もなく、私によこした手紙で、自分は近くバイオマテマチカルサイエンスの雑誌をつくり、編集者になるつもりである、というので意見を求めてきた。八月末九州大学にきていたとき、私は情報科学計画について、語ったことがあるので、私どもの関心事についても知ったうえでのことである。私は、情報科学と統計学との関係にふれた私の論文を紹介した。この見地からいうと、「重点のおき方に相違のあることは、指摘しなければならぬが、しかし貴君の進まれようとする目標は、きわめて近いものと思う」と書いており、その成功を期待するとのべた。本年二月一日、副編集者としてつぎの人たちに依頼したから貴君もよろしく、ということであった。

いまこうして、ベルマンが①から⑤まで進み来った道をあとづけてみると、それはじつに緊密に結びついて一本の道であることを見出すのである。私は最近、ウィーナーの歩んだ道を、たどってみて、研究課題が広汎にわたりながら、しかしまぎれもなく、それらが連鎖状につながっているのを、はっきりと見出すことができた。ベルマンの場合もこの感じがするが、ウィーナーの場合と同様なことを見出すのであるが、ベルマンの歩んだ道を、私自身の歩んだただどしい道とくらべて

みると、それはじつは、いくつかの個所において交錯しているのを、見出さないわけにゆかない。したがって深い関心をもって、彼のこれからの進路をみてゆかなければならない。

そうしてこうしたところに、現代という時代を共通にするからには、個々の学者の志向を、大きく規定しているなにかが、共通して存在しているらしい、ということが実感をもって迫ってくるのである。私たちは、やがてその共通したあるものをつきとめ、そうして、その支配と制約とをこえて、つぎの世紀につながる進歩の道を見出さなければなるまい。

研究室の日々

こうした彼をつくり出す、研究の日々はどうかであろうか。

「月曜日は、ニューヨークのガン研究所員やランドの研究所員とともに、ガン問題への数学の応用を議論する。人体の生体機能と生産会社間の取引との間には、あるアナロジが成立するらしい。このアナロジを追究すれば、対ガン薬剤の効果について知見を深めることができるかもしれない。電子計算機で、生物実験のシミュレーションを行なう見込みがたつかもされない。」

「火曜日には、ロス・アラモス国立研究所の数学者と議論をする。彼らは結局、原子炉の設計に、また原子力利用の航空機の製作に関係することになるのだろうか。」

「水曜日には、人工衛星の発射の数学問題を研究する。フィード・バック制御の問題なのだが、

人工衛星を軌道にのせることはできるが、その数理はまだ完全にはわかっていない。」

「木曜日には、電波および音波が、異なる媒質の多重層を伝播する様子を数学的に解明しようとする。それは南極のような、遠隔地とのラジオ通信にも、また火星や金星のまわりの大気構成について、人工衛星などから情報を得ようとする問題にも関係がある。」

「金曜日には、問題解決とは何か、という哲学的な問題を数時間にわたり、同僚と議論する。数学的な問題とは何か、問題が数学的であることを、どうして確かめることができるか、これは決しても好きでやっているわけではない。」(以上、文献⑦)

こうした幅広い関心、そうしてすぐれた数学的才能との結合、それがベルマン研究の特徴である。しかも多彩な活躍も、ほとんどすべては動的計画法の発展に寄与し、また逆にその応用によっている。そうして動的計画法の問題解決力は、電子計算機の応用によるところが多い。ベルマンは昨年来日したとき、ある講演のとき、「やがて十年以内に、数百個の連立微分方程式系を解くぐらひは、日常の作業になるだろう」といつていた。彼が上述の生物数理科学に主力をそそごうという意図は、これらの複雑な現象も数学的に型式化できるだろう、そうしてそれができたら、電子計算機で片づけられるのだ、という見通しもあつてのことであろう。(文献③)

時代の産物

ベルマン博士の数学は、たしかに時代の産物であることは、すでに読者も認められるであろう。そうして、その彼を、統計学者の列伝のなかに加えたわけについても、いままでの私の話からみて、まったくの我田引水でもないことを認められたであろうか。

ベルマン博士の歩みきたった道には、現代の科学・技術の問題も、現代の社会・経済の問題も影響を与えている。これらを解決するのに有力な方法を、彼は提供してきた。この彼ではあるが、友人としての率直な公開文(?)にたくして声援をおくっておきたいと思う。

「デックよ、若き獅子にたとえて失礼した。君は、ロケットに、原子炉に、人工衛星に、在庫管理に、ビジネス・ゲームに、現代の科学・技術の主な問題に関係してきた。こうした研究課題を君に与え、君の豊かな独創力をかりたてた現代を、ひとは輝かしい科学・技術の革新時代と称している。しかし、私たちは、いつか機会を得てこの現代というものの実体を、ゆっくり語り合おうではないか。ともかく僕は、昨年君が大学に復帰したことを心から喜びたい。学問の総合性、研究の自由、研究と教育との連結、この三つをとともに享有しうることが、君のこれからの学問の進展のために、どうしてもなくてはならないと僕は思うからだ。そこにこそ、現代の制約をこえる批判が生れることを期待したいからだ。昨年夏、君を板付飛行場へおくった自動車のなかで、福岡郊外

の悪い道路とトラックにあきれたのか、「日本では宇宙計画よりもまず道路計画だね」と君は思った。じつは、日本にはもっと悪い道路もある。アジア全体には、道路計画よりもまず計画せねばならぬものがある。ベルマン君、これからも何度でも日本に来て、よく見てくれたまえ。

私たちは、君の歩んでいる道を、いつも見ていたのだ。一九六七年創刊されるといって、「バイオマテマシカル・サイエンス」の第一号を、首をながくしてまっている。また数学教育についての君のご意見は、別刷りでは拝見したが、今度日本にこられたら、もっと多くの人たちと一緒に、お伺いしたいと思っている。」

G・ボックスと適応制御

ストックホルムの夕——はじめての会合

一九五七年八月、国際統計協会総会が、北欧スエーデンの首都ストックホルムで開かれた。アラスカのアンカレジから北極の上空を通過して、コペンハーゲンへ一気にとび、そうして少しの休憩のち、めざすストックホルムへゆくという航空コースは、そのときすでにできていた。私にはじめてのコースであり、はじめて見るヨーロッパである。そのうえ二度目の国際会議出席であったし、米国で八カ月暮したあとでもあったので、多少心に余裕のある見学旅行でもあった。こうした旅行