

# 数理工学を専攻して

三根 久



## 1. OR 導入の黎明期

昭和23年(1948年)春に筆者は京都大学理学部数学科を卒業したが、縁があって同年9月に大阪大学工学部通信工学教室 有線通信工学講座の喜田村研究室に勤務することとなった。有線工学の主たる研究目的は通信波形の伝送と電信電話の交換に関するものであるが、後者に関しては接点回路の構成理論と呼の理論とがある。我が国では、昭和9年(1934年)頃に世界に先駆けて接点回路(開閉回路)の研究が行われていたが、住友通信(現日本電気)におられた島津保次郎氏がMITで日本の独創的研究として接点回路理論を紹介された。そのときの聴衆の1人にClaude E. Shannonがいて、彼はそれがブール代数で説明されていることを知り、彼の修士論文としたのである。この研究は接点の直並列回路に関するものであったが、筆者はブリッジ回路のような非直並列回路の構成理論を研究することになり、グラフ理論を勉強していた。一方、交換機的设计については、数学的には、任意の加入者が他の任意の加入者に接続できるようなものを実現することが、必要十分であると考えられるが、しかし、工学的には任意の時点で何通話を保証できるかが問題である。この問題については、1909年にデンマークにおいてA. K. Erlangが電話交換施設の設計のために呼の理論として研究を完成していたものであり、彼の理論は待ち行列理論のケンドール記号では、 $M/M/s(s)$ に相当するものである。

ところが、第二次世界大戦後の1949年~1950年にかけて日本進駐軍総司令部(GHQ)のCivil Communication Section(CCS)は東京と大阪において日本企業の幹部を対象に、それぞれ8週間にわたり、いわゆるCCS講座を開講しIE, QC, ORなどの管理に関する専門領域の普及活動を行った。一方、ほぼ同時期に、進駐軍は我が国の主要都市に図書室を開設し最新の学術文献を提供してくれたので、我が国の研究者は戦中

戦後の世界の最前線の研究成果に接することができたのである。筆者は、その中で、1948年にShannonがBell System Technical Journalに「A Mathematical Theory of Communication」と題する論文を発表していることを発見し、直ちにその論文を熟読していわゆる情報理論の研究を開始した。この論文は、マルコフ連鎖の理論と確率論の大数の法則に基づいている。一方、N. Wienerの予測フィルタの理論と関連して、相関関数と電力スペクトルに関する知識が必要となり一般化調和解析に関する勉強をせざるをえなかった。当時、筆者は通信工学科出身の大学院学生であった藤沢俊男君(後の大阪大学基礎工学部長)と机を並べて、これらの研究成果の勉強をしていたのである。

このような状況の下で、大阪大学通信工学教室無線通信工学講座の宮脇一男助教授が真空管雑音の研究を開始しておられたが、Bell System Technical JournalのS. O. Riceの「Mathematical Analysis of Random Noise」が優れた研究成果であることにより、この論文の翻訳を企画され、第1部と第2部は筆者が、第3部と第4部は宮脇助教授が担当することになった。第1部はポアソン過程の理論であり、第2部は電力スペクトルと相関関数の理論である。この論文の翻訳は、昭和30年(1955年)12月に電気書院から単行本として出版された。

さらに、宮脇助教授はN. Wienerの「Cybernetics」に関心をもたれ、同好の大阪大学の医学部、大阪府立大学の経済学部、関西学院大学の文学部の諸先生方の協力をえて、昭和29年(1954年)に大阪工業会の支援の下に、サイバネクス研究会を発足させて同書の翻訳を完成したが、残念なことに版權を得ることはできなかった。そこで、宮脇一男先生は筆者と藤沢俊男君にはかり、このサイバネクス研究会を解消して、1956年に大阪工業会の庇護のもとに発展的にOR研究会に移行することとした。ORとは、最少の

(無形の「時間」なども含めた) 資源によって最大の成果をあげることであって、工学設計の本質そのものであり、我々工学部に籍を置くものとしてはエンジニアリングORを指向すべきであると考えて、大阪工業会の支援を受けることにしたのである。この頃には、筆者は情報理論の研究も一応の成果が得られていて、次の研究テーマを探る必要性を感じており、藤沢君も電気回路構成理論の研究から新しい研究分野の開拓を志していて、2人の意見が一致しORへの進出を考えていたのである。Morse & Kimballの“Methods of Operations Reserch”の第5刷(1954年6月出版)が日本に出回った頃である。また、筆者は

Moore, E. F. and C. E. Shannon : Reliable circuits using less reliable relays, J. of the Franklin Institute, Vol. 262, Pt. I, pp. 191 - 208, Pt. II, pp.281 - 297, 1956.

von Neumann, J.: Probabilistic logics and the synthesis of reliable organisms from unreliable components, Automata Studies, Princeton University Press, pp.43-98, 1956.

Moskowitz, F. and J. B. McLean : Some reliability aspects of system design, IRE Transactions on Reliability and Quality Control, PGRQC -8, pp.7-35, 1956.

の3つの論文が出されていることを知った。前2論文は情報理論の研究者が興味をもったものであるが、後の論文はアメリカの電気通信学会の研究専門委員会の論文であって、日本の電気通信学会にはこれに対応する研究専門委員会がなく、我が国では誰も研究していない専門領域として信頼性技術があることを知り、さっそく信頼性の研究を開始したのである。

ちょうどこの頃には、すでに大阪大学経済学部では目崎憲司経済学部長のもとで、横山 保、大沢 豊両先生を中心に経営科学としてのORの研究普及活動を展開されており、1955年11月7日に関西において経営科学協会設立総会が開催された。この協会の機関誌は学術雑誌の形態をとり本格的な印刷物として発行されている。1956年には、J. F. McCloskeyの著書「経営のためのOR」の訳書が目崎、横山、大沢の3氏によって刊行されている。

一方、東京においても活発にORの普及活動が展開されており、1957年には関西の経営科学協会は東京グループと合体して日本OR学会を設立することになり、

新しい学会の機関誌は経営科学協会発行のものを踏襲することとし、巻数、号数も引き継がれることになった。OR学会設立総会と同時に第1回の研究発表会が慶応義塾大学の三田キャンパスで開催されたが、筆者は多品種少量の生産在庫管理の一方法として“Simplified Production-Inventory Control Chart”と題する発表を行っているが、これはOR学会の論文誌JORSJ. Vol. 1, 1958に掲載されている。これより前、宮脇グループは我が国初の「オペレーションズ・リサーチ」の単行本を刊行することを企てて、OR学会創立と同時期の1957年5月15日の日付で共立出版より出版することができた。本書は11刷を数え、技術書としてはベストセラーであり1万部以上が発売され、10年後の1967年には改訂版が出されている。本書の前半のOR概論の部分は宮脇が担当し、後半の各論は筆者と藤沢が分担している。筆者は、それまでの研究の経緯から、待ち行列、動的計画法、在庫理論、統計的手法、情報理論、記号理論に基づく生産管理、設備更新の問題、モンテカルロ法などを執筆し、藤沢は、リニアプログラミング、ストカスチック・リニアプログラミング、ノン・リニアプログラミング、ゲームの理論、軍事ORなどを執筆している。

さらに、1957年9月25日の日付けで、宮脇先生を中心とする大阪工業会のOR研究会では、1955年4月に米国のケース工科大学(Case Institute of Technology)において開催された「ORに関する会議」の議事録を訳出し、「企業におけるオペレーションズ・リサーチ」と題する訳本を日本生産性本部から発行したが、この本が出版されてから吃驚したことに表題が「オペレーション・リサーチ」と「ズ」が欠落しており、我々の承諾なしに生産研究所長の「序文にかえて」というのが巻頭に挿入されていたのである。当時の認識はその程度であったのであろう。

## 2. ORの発展期

筆者は1958年の7月に大阪大学から防衛大学校に出向することになり、電気工学教室で有線通信工学の教育研究に従事することになった。ここでは、岸 尚氏をはじめ多くの先生方がORの研究を行っておられたし、防衛庁には多田和夫氏を中心に軍事ORを研究されていて、それらの方々から多くの知見を得ることができた。筆者は電気工学教室に所属していた関係で研究重点は信頼性に関するものであった。筆者の信頼性のそれまでの研究成果は、1959年の6月16-18日の間

ロスアンゼルスで開催されたIRE (現IEEE) の「回路理論と情報理論に関する国際シンポジウム」の招待論文“Reliability of Physical System”として発表されている。この論文では、システムの信頼度とそれを構成する素子の信頼度の関係が、動作状態と故障状態に着目すると2値論理関数として表されることと、それから信頼度の表現式を導く原理を示した。また、非直並列回路の信頼度表現をグラフ理論で導く方法、冗長構成により信頼度が向上できるための単調性の原理を指摘した。さらに、費用制限のもとで冗長構成の最適重複度を求める解法を示した。これは、非線形形の目的関数を最適にする整数計画問題であって、残念ながら、筆者の方法は準最適解しか導けないが、動的計画法によるよりも速く、現在に至るまで筆者よりも速い近似解法は求まっていない。筆者の単調構造の理論はアメリカではコヒーレントシステムと呼ばれている。

なお、防衛大学時代の仕事としてはパラメトロン計算機の設計と製作がある。これは当時として実用に供せられた最後の大学自作の計算機である。一方、多値論理および暗号理論に興味を持ったのもこの頃である。防衛大学校には5年間在職した後、1963年の8月に母校京都大学教授に採用され、工学部数理工学科計画工学講座を担当することになった。

数理工学科は1961年4月1日に開設されたものであって6講座で編成され、第1講座は応用数学、第2講座は制御数学、第3講座は計算機数学、第4講座は計画数学、第5講座は応用力学、第6講座は非線形力学を主たる内容としていた。当初の第4講座の開講科目は、OR、数理統計学、情報理論、品質管理であったが、筆者が着任してからは、数理統計学、OR、数理計画法、情報理論と改められた。なお、第4講座は、1963年に番号講座が専門領域を表す名称講座に改めるようになり計画工学講座となった。この講座は1961年の開設当初は佐佐木綱助教授(現京都大学名誉教授)が担当され、1962年に最初の卒研3名が、筆者の着任時には4名がすでに配属されていた。最初の修士課程の学生が大野勝久(現名古屋工業大学教授)と徳山博子(現静岡大学教授)の両君である。

最初の講義の内容をもとに「情報理論入門」を教科書として1964年に朝倉書店から出版したが、ORの講義体系については多数の資料を集めて勉強した成果が1966年に朝倉書店から出版された「オペレーションズ・リサーチ(上巻)、(下巻)」であって、両巻とも3

万部以上は売れたものである。共立出版の「オペレーションズ・リサーチ」の改訂は1967年のことであって、朝倉書店の本の内容が一部取り入れられており、筆者が主査となった工学博士の学位論文「鉄鋼業におけるOR(故菅原晟一氏)」、「電気通信事業における予備品配置の研究(大前義次氏)」が含まれている。

### 3. 京都大学における研究

筆者が数理工学科に着任した1963年の秋には、佐佐木助教授は交通土木学教室に配置換えとなり、1964年4月に名古屋工大卒の尾崎俊治君(現広島大学教授)が助手として採用されたが、翌年数理工学修士課程入学のため退職することとなった。1965年4月には長谷川利治助教授(現京大教授)が着任され、その後大野勝久助手、茨木俊秀助手が加わり計画講座のスタッフが揃ったのである。1972年に長谷川教授、茨木助教授(現京大教授)が計算機工学講座に配置換えとなり、計画工学講座には三根教授、大野助教授(現名古屋工業大学教授)、河合一助手(現鳥取大学教授)、福島雅夫助手(現京大教授)の体制ができた。計画工学講座における主な研究成果は次のようである。

#### 1) 待ち行列の理論

● 交通流の研究 三根、大野の待ち行列理論に基づいた交差点信号点滅による交通流の待ち現象の解析に関する一連の成果がある。また、高速道路における合流のための加速エリアの設計に関する三村猛君の修士論文はTransportation Science, vol. 3, 1969に掲載されている。

● 待ち行列の制御 三根、大野、飯島による「Stochastic Control of Inventory Process」は待ち行列理論に制御の概念を取り入れた試みとしては世界的に早く、1974年5月にイスラエルのテルアビブで開催された第20回経営科学国際会議(TIMSS)の招待論文となった。

● 通信ネットワークの解析 三根、長谷川、大野、宮原秀夫(現大阪大学教授)、塩山忠義(現京都工芸繊維大学教授)らによる一連の研究成果があげられる。

● 拡散近似による解析 木村俊一君(現北海道大学教授)の修士論文は本学会誌に採録されている。

#### 2) 数理計画法の分野

● 動的計画法 三根、大野による動的計画法の最適性の原理と分解原理との関連において同法の適用分野を拡大した。

● 非線形計画法 三根、大野、福島、野田竜夫(現

富山県立大学教授)らによる非線形計画問題に対する反復解法, 凸計画問題に対する考察など数多くの有効な最適化アルゴリズムを開発した。

●組合せ計画問題 三根, 茨木, 成久洋之(現岡山理科大学教授), 石井博昭(現大阪大学教授), 木瀬洋(現京都工芸繊維大学教授), 加藤直樹(現京都大学教授), 増山 繁(現豊橋技術科学大学助教授)らの組合せ最適化の多数の研究成果がある。

●マルコフ決定過程 三根, 尾崎, 田畑吉雄(現大阪大学教授)によるマルコフ決定過程における最適政策の導出に関しても有効な結論を得た。

### 3) 信頼性・安全性の研究

●冗長系の理論 三根は冗長システムに対して, 初めて単調構造の概念を導入し冗長性によるシステム信頼度の向上に関する公理系を見出し今日の冗長性理論の基礎を確立した。

●フェイル・セーフの理論 三根, 古賀義亮(現防衛大学校教授)はフェイル・セーフ・システム構成のための必要十分条件を見出し, フォルト・トレラント・コンピューティング・システムの研究の先鞭を付けた。

●シグナル・フローの理論の応用 三根, 尾崎はセミ・マルコフ理論のシグナル・フロー・グラフの導入が信頼性・安全性システム解析を容易にすることを明らかにし, 多くの未解決の問題を解決した。

●システムの安全性理論 三根, 尾崎, 朝倉立行(現三菱化成), 河合, 中川覃夫(現愛知工業大学教授), 大西匡光(現大阪大学助教授)らによるシステムの最適信頼性設計法, 多状態劣化システムの最適保全政策の決定などの研究成果は枚挙にいとまがなく, この分野において常に世界的な指導的役割を果たしている。

### 4) その他の研究

●教育分野へのORの適用 宮地 功(現岡山理科大学教授)による教育分野におけるORの適用例がある。

●公害規制モデルの提唱 三根, 吉田和男(現京都大学教授)による公害規制モデルもユニークな研究といえる。

●三値論理体系 三根, 長谷川, 古賀, 新谷恭将, 藤田志郎(元岡山理科大学教授), 島田良作(現徳島大学教授), 山本喜則(現高崎経済大学教授)らによ

る三値論理体系も世界的に評価の高い研究成果である。

### 4. 国際会議などの開催

#### ● ORAW

1967年にOR Around the World (ORAW) が京都の国際会議場で開催された。日本規格協会(当時のOR学会関西支部の事務局)の方が京都大学の筆者の研究室に來られて会場は予約されているので一切の運営を引き受けてくれ, そのために30万円が用意されているということであった。その他の情報は皆無であった。後で判明したが, アメリカのOR学会の会長の夫人が旅行代理店の社長で, スペイン, インド, 日本それにメキシコと観光旅行を兼ねたツアーが実施されたのであった。国際会議場の事務局では, そんな予算では開催は無理であるというのに, 頼み込んでとにかくORAWを開催することができた。

#### ● IFORS・TIMSの合同会議

OR合同国際会議を1975年に京都で開催することの可能性についての打診が行われたのは, 1972年の9月のことであった。同年12月の最初の会合以来4回にわたって京都国際会議場の業務課の方々と近畿日本ツーリストの京都外人旅行の方々とを交えて, 実行計画案を作成したが, その後のたびたびの東京での会合にもかかわらず, 本番の実施とほとんど変わらない案ができていたのである。ただし, Official Travel AgentとしてJTBが選ばれたが, Ladies' Programの基本計画はそのままJTBが引き継ぐことになった。

1973年の6月には, 筆者はTIMSの国際会議の下見を兼ねてテルアビブで論文発表を行っている。その際に, TIMSの会長M. Starrに軍事ORのセッションはつくらないで欲しい旨を申し入れたが, 実行プログラムにはそれが入っていたので, 筆者は当時の京都大学に展開されていた学生運動を考慮し, 京都委員会の委員長を辞退することになった。

この合同国際会議を円滑に実行するために100頁以上のマニュアルを作成し, 筆者の研究室の長谷川利治先生をはじめとするスタッフと大学院の院生たちによって無事に実施することができた。IFORSのバンケットの挨拶で森口繁一先生が, Mine Armyの活躍に感謝されたことは思い出に残ることであった。

#### ● 関西大学での日本OR学会の研究発表会の開催

日本OR学会の秋季研究発表会を関西支部で開催して欲しいということで, 関西大学の100周年記念会館

## 私のORライフ

が完成したばかりであったので、お引き受けすることとした。当時筆者の研究室には大学院修士課程の院生がM2に10名、M1に4名いたので、一研究室だけで運営できると考えたのである。この運営には、見市晃助手（現追手門学院大学助教授）、それに院生であった田中雅樹君（現住友金属和歌山製鉄所システム部）の強力な実行力なしには不可能であった。また、追手門学院大学の真庭 功教授から絶大の協力を得ることができたのは幸いであった。

## 5. おわりに

黎明期における関西でのOR活動は横山先生を中心とするグループと宮脇先生を中心とするグループとより始められていたが、1956年には宮脇先生の提唱でOR研究会が発足し、日本OR学会設立後には、1957年10月にOR研究セミナーが開催され、1959年6月にはOR研究会は関西OR協会と発展し、さらに活発に研究普及活動が展開されるようになった。これには井上文左衛門、関 和文、朝尾 正の諸氏をはじめ産業界から多数の方々が参加されていたのは注目に値する。

ORは、もちろん実践の専門領域である。筆者は、大阪大学に勤務していたときには、いくつかの中小企業とORの実践研究を行う機会があった。防衛大学校と、それに引き続き京都大学に移った当初は新しい研究室の確立に没頭しなければならず、OR実践の機会はないにも等しかったが、ようやく研究室の陣容も整ったときに大学紛争が起り、産学協同が非難の対象となった。しかし、結果的に筆者のライフワークとなった信頼性・保全性の専門領域では、(社)関西電子工業振興センターの支援を受けて信頼性委員会を1968年に発足させることができ、現在に至るまで340回を越える定例の会合を継続開催し活発な活動を展開している。この委員会の参加者は三洋電機(株)の品質保証部、シャープ(株)の商品信頼性本部、松下電器産業(株)の品質本部信頼性技術助成グループ、三菱電機(株)京都製作所および福岡製作所の品質保証部、オムロン(株)品質保証センタ、ホシデン(株)品質保証課、TOA(株)品質保証部、タバイエスペック(株)の研究開発部などの信頼性実務家より構成され、その代表的活動成果は例えば関西電子工業振興センター信頼性分科会編「故障をゼロにする信頼性技術」として日科技連出版社から出版されている。

最後に、筆者の40年以上にわたるORの研究に関しては、以上に述べた方々以外に多数の人達の協力を得ました。心から御礼申し上げます。

新時代のコンピュータ総合誌

隔月刊

# Computer Today

偶数月18日発売/905円

3月号・特集

## 脳科学とコンピュータ

—情報処理の新しいメカニズム—

脳神経とコンピュータ	甘利 俊一
培養神経細胞によるバイオチップの開発	榊原 学
人工網膜の開発とその情報処理	八木 透
脳の記憶のメカニズム	塚田 稔
[インタビュー]	
合成による解析、その後	合原 一幸

連載

SGML/XMLの入門から応用まで 続・アルゴリズムの道具箱 MacによるIPネットワークの構築 他

月刊誌

# 数理科学

毎月20日発売/952円

3月号・特集

## 数値解析

—新しい手法の開発と進展—

数値解析理論の進展	磯 祐介
非適切問題の視点からの数値解析	
流体問題の有限要素解析	田端 正久
抗力・揚力係数を精度良く求める	
偏微分方程式の数値解析と並列計算	野木 達夫
地球環境シミュレーターに向けて	
精度保証による数値解析	中尾 充宏
計算力学における数値解析	登坂 宣好
モデルと数値計算手法	
境界追跡法による移動境界問題の数値解析	木村 正人
渦の相互作用問題の数値解析	中木 達幸

最新刊のご案内

## 情報処理システム入門[第2版]

浦 昭二・市川照久共編 A5・312頁・1800円

## 数値計算の基礎—数値解法を中心に

藤野清次著 A5・208頁・1700円

## サイエンス社

〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷1-3-25

☎ (03)5474-8500 ㊚ (03)5474-8900

インターネットホームページ <http://www.bekkoame.or.jp/~saiensu>

\*表示価格は全て税抜きです。