

# 数理計画法：個人的回想

今野 浩



## 1. 会長時代を振り返って

40年間のOR人生の最終段階になって、「会長」という大役が降ってきた。歴代会長のお顔を思い浮かべてお断りするほうが賢明だと考えたが、そうしなかったのは、かねて若い人達に対して、“頼まれたことは断らないように”と連呼してきた人間として、ここで逃げるわけにはいかないと考えたからである。

就任が決まってからは、自分に何ができるかを考えてみた。やるべきことの第一は、決められた仕事（理事会の運営、研究発表会でのスピーチや表彰など）をきちんとこなすことである。60代半ばともなると、決められたことを決められたとおりにやるのは必ずしも容易ではない。しかしそれだけで済ませるわけにもいかないだろうと考え、「OR 40年」というタイトルのエッセイをOR誌に載せていただくことを思いついた。

年寄りの様々な体験を若い人たちにお伝えするのが目的であるが、このような企画を受け入れていただけたかどうか不安もあった。しかし杉野編集長（当時）の英断によって連載が実現し、多くの方（特にシニアの方々）から御支援をいただいた。一方では、“どうでもいいことを書き過ぎる”というお叱りの声もあったが、そのような批判は甘受することにした。

3つ目は、50周年記念事業の地ならしを行うことである。とは言っても、この件についてはほとんどすべてを高橋副会長にお任せし、私は「近藤賞」設立に向けての作業を行うことに専念した。そして青木会長、大山副会長、香田理事のお力添えで、今回のその企画

が実現したという次第である。

今後予想されるORの発展を視野に入れ、大きな賞を創設することによって研究者の意欲を高めるとともに、社会におけるORの知名度を高めることに役立てたいと考えているので、募金活動へのご協力をお願いする次第である。

4つ目の仕事は、前会長からの申し送り事項である会員増強活動である。90年代に入ってから毎年数十名の方が退会されたため、10年前に比べると会員数は2割近く減ってしまった。このトレンドを逆転すべくできる限りのことはやってみたが、思うような実績が上がったとはいえない。それどころか、私より上の世代の先輩たちが次々と退会されたことや、企業に勤める中堅の方々を失ったことは、誠に残念なことといわなくてはならない。

企業会員の退会の原因は、10年以上にわたる不況と、“ORは難しい上に役に立たない”という旧時代から受け継がれた言説が、ボディー・ブローになったからだと思われる。しかし時代は変わったのである。日本社会は長かった不況から抜け出し、企業業績は上向きに転じた。また「OR 40年」にも書いたとおり、ORは役に立たないどころか、組織が抱える問題の解決に“とても役に立つ”ものであることが実証されつつある。

企業や学生諸君に、ORが21世紀のキーワード「全体最適化」の旗手であることをアピールすることによって、学会の隆盛に繋げていただきたいものである。

## 2. 数理計画法の半世紀

### 2.1 80年代以前

線形計画法、2次計画法、ネットワーク・フロー理論、非線形計画法、整数計画法、動的計画法などを統

合する名称として、「数理計画法」という言葉が使われるようになったのは1960年代半ばである。

数理計画法の専門家を目指してスタンフォード大学に留学していた私は、1970年の夏、「国際数理計画法学会」設立に動き出したP. Wolfe, R. Cottle, M. Balinskiという大物たちから、日本からの役員選出について相談を受けた。このとき私は、森口・伊理両教授の名前を挙げたが、残念なことに実現には到らなかった（依頼はあったが、辞退されたのかもしれない）。

1970年代はじめ、計算機は10年前に比べて随分速くなっていたが、線形計画問題はともかく、実用規模の非線形計画問題や整数計画問題はうまく解けなかった。したがって、“ORは役に立たない”という批判に対して、説得力のある反論を行うのは容易なことではなかった。

私より上の世代にも、数理計画法の優れた研究者は何人もいた。しかしこれらの人達の中で（英文）論文を発表した人は、伊理・刀根両先生のほかには数人しかいない。この時代、英文論文の入力には大変な手間がかかったし、数理計画法の論文を載せてくれるジャーナルは、JORSJ, Operations Research, Management Science, Naval Research Logistics Quarterlyくらいしかなかったからである。

ところが1970年代に入って、茨木俊秀氏と小島政和氏の登場によって状況は一変した。茨木氏は分枝限定法、小島氏は相補性問題と不動点問題の分野でオリジナルな論文を量産した。どちらも世界の強豪たちがひしめき合った分野だから、ここでトップに位置する論文を発表し続けたのは大変なことである。

オリンピックの検舞台で、荒川静香選手や野口みずき選手の活躍を見るのは嬉しい。しかしそれは、自分がこれらの人と競合することは有り得ないことが分かっているからである。ところが同世代の茨木氏や6つ年下の小島氏がスターダムに乗ると、同業者として心穏やかではいられない。

1940年代末以来大発展した線形計画法は30年にわたって発展を続け、70年代半ばには10万変数を超える問題が解けるようになった。しかし、これ以上大規模な線形計画問題を解く必要はあるのか？ その一方で、非線形計画問題、整数計画法問題や組み合わせ最適化問題は、問題の本質的難しさからして、当分の間実用規模の問題が解けるようにならないだろう。数理計画法の応用を目指すエンジニアの前には、暗雲が漂

っていた。

この結果、優秀な若者たちはより新しい分野を目指した。しかし“数理計画法の父”と呼ばれるGeorge Dantzig教授は、依然としてより大きな線形計画問題を解くための研究に専念していた。それにははっきりとした理由があったのだが、若い優秀な学生たちはそれを醒めた目で見ている。

80年代半ばに起こったブレークスルーによって、われわれは超大型の線形計画法問題を解く方法を手に入れ、それによって数理計画法は新たな発展段階を迎えることになるのであるが、それについて書く前に、日本の数理計画法の発展に一大エポックを画した、東京での「第13回国際数理計画法シンポジウム」について触れておくことにしよう。

## 2.2 第13回国際数理計画法シンポジウム

1947年以来、3年に1回ずつ開催されてきたこのシンポジウムは、世界から1,000人近い研究者が集まるこの分野最大のお祭りである。

1979年の春、私は学会会長を務めるP. Wolfe博士から、3年後のシンポジウムを日本で開催してもらえないかと依頼され、その夏モントリオールで開かれる第10回大会で、日本招致プレゼンテーションを行うことになった。

しかし学会首脳の間では、1年以上前からボンで開催することがほぼ確定していたのである。そんなこととは知らない私は、ボン・グループの豪華なプレゼンテーションのあと、貧弱極まるスピーチで赤恥をさらした。

しかし若手研究者たちはこの屈辱をバネに、翌1980年に「数理計画法研究部会（RAMP）」を設立し、月に1回の研究会のほか年1回の大規模シンポジウムを開催した。この会合に参加すれば、1年の間に得られた大きな成果がすべて分かるようプログラムが組まれた。

このシンポジウムは現在に到るまで続いているが、ここには毎年100人を上回る研究者が集まって情報交換を行い、日本の数理計画法の発展に大きな役割を果たした。この集会は発足後も間もなく海外にも存在を知られるようになり、88年の第13回シンポジウムの日本開催を後押ししてくれた。

伊理委員長、刀根副委員長の下、私はシンポジウムの実働部隊の長を務めた。実行委員を引き受けていただいた30人のエンジニアは、誠にあてになる献身的

な人たちだった。おかげでこのシンポジウムは大成功を収め、Dantzig 教授から“これまで最も良くオーガナイズされたシンポジウムだった”というお褒めの言葉をいただくことになったのである。

1,000 人の参加者の中には、A. Hoffman, E. Balas, J. Edmonds, R. Karp といった大家を始め、世界の主力研究者のほぼ全員が含まれていた。これら一流の研究者たちは若手研究者に大きなインパクトを与え、これを契機に多くの人々が国際レベルの研究活動を開始した。この結果わが国は、アジアにおける数理計画法の中心としての地位を確保するとともに、ドイツ、オランダ、ハンガリーと並んで、米国に次ぐ一大勢力を抱えることになったのである。

日本の数理計画法がトップレベルにあることは、世界で認められている。特に茨木俊秀氏グループの組み合わせ最適化に関する研究、小島政和氏グループの内点法と半正定値計画法アルゴリズムとその拡張、藤重悟・岩田覚氏の劣加法関数の最小化、室田一雄氏の組合せ凸解析、福島雅夫・山下信雄・山下浩・矢部博氏らの非線形最適化アルゴリズム、水野真治・土谷隆氏らの内点法アルゴリズム、永持仁氏の組合せ最適化アルゴリズム、山本芳嗣・久野誉人氏らの大域的最適化アルゴリズムなどは、世界の最先端を行くものとして国際的に高い評価を受けている。

これらの人に続く若手研究者の実力も国際的なものである。このことは、久保幹雄・田村明久・松井知己氏が編集した「応用数理計画法ハンドブック」を見ればお分かりいただけるはずである。

### 2.3 内点法革命

数理計画法の専門家だけでなく一般市民をも驚かせたのは、80 年代半ばに出現したカーマーカーの「内点法」である。実行可能領域の相対的内部を經由して最適解を見つけ出す、“単体法より 100 倍速い方法”の出現によって、“これまで解くことができなかった巡回セールスマン問題のような難しい問題も一挙に解けるようになる”とニューヨーク・タイムズの一面で報じられ、世間の注目を集めた。

私が知る限り、有力新聞の一面に取り上げられた数学ニュースは、1976 年の「四色問題の解決」と、93 年の「フェルマー予想の解決」くらいのものである。

大型線形計画問題の解法として、内点法が単体法を上回る効率をもつことが確認されたのは 1987 年のことである。このあと、世界の有力な研究者たちが繰り

広げた競争は熾烈を極めたが、このプロセスで日本人研究者が示した実力は特筆すべきものがあつた。特に小島・水野・吉瀬氏らによる主・双対内点法は、OB1 というソフトウェアに実装され、超大型問題を解く上で驚異的効率を示した。

100 倍速い内点法の出現によって、単体法は過去のものになったのかといえばそうではない。R. Bixby らの手になる単体法ベースの CPLEX が改良に改良を重ね、内点法を追撃したのである。

80 年代の始め、大型ネットワーク・フロー問題を解く上で、単体法とネットワーク・フロー・アプローチの間で、追いつ追われつの激戦が繰返されたが、それを上回る熾烈な競争は両者のドッキングによって終了し、90 年代に入って線形計画法は新たな時代を迎えた。

10 年で 10 倍の法則はここで上方に修正され、05 年に出た CPLEX 10.0 は 88 年にリリースされた CPLEX 1.0 と比べると、数百万倍速くなっている。キー・プレーヤーをつとめた Bixby は、効率向上への寄与は計算機のスピードアップが 2,000 倍、アルゴリズム改良が 3,000 倍だと報告している。

ではこれほど速く線形計画問題を解く必要はあるのか？ 答はイエスである。巡回セールスマン問題をはじめとする NP 困難な組合せ最適化問題や、非凸型の最適化問題などを解くには、大型の線形計画問題を速く解くことが必要なのである（それについては後に改めて述べる）。

線形計画問題の最適条件を表す線形相補性問題が、主・双対内点法で速く解けるのであれば、非線形計画問題の最適条件であるカルーシュ・キューン・タッカー条件にこの方法を応用すれば、これらの問題も速く解けるかもしれない。

予想どおりこの方法は従来の様々な方法よりも速かった。こうして、90 年代には大規模な非線形計画問題が速く解けるようになった。この方法は数理システム社のソフトウェア NUOPT に組み込まれ、実用問題を解く上で強力な道具となっている。

### 2.4 線形計画法特許

内点法とともにやってきたのが、「アルゴリズム特許」というややこしい問題である。従来どの国でも、数学や人為的取り決め、ビジネスの方法などは特許の保護対象から外されてきた。これらについては、特許で保護するメリットよりデメリットの方が多いという

ことが、関係者の了解事項となっていたためである。しかし AT & T ベル研究所はカーマーカーの射影変換法とアフィン変換法に対して特許を申請し、これが 1988 年に米国で成立してしまったのである。

国際数理計画法学会に設置された委員会は、これに反対する報告書を発表した。国際学会が米国の特許政策に反対行動を起こすのは穏当でないという会長の意向で、学会として反対運動を起こすことはなかった。

一方、日本の特許庁は、1991 年に“単なる数学”であるとしてこの特許申請に対して拒絶査定を行った。ところが AT & T の抗議を受けた特許庁は 93 年に逆転公告を行い、日本でもこの特許が成立した。

私はこの特許が及ぼす悪影響を考え、特許庁に対して異議申し立てと無効審判請求を行い、それが却下されたあとは、東京高裁に対して無効審判取り消し請求を行った。

もしカーマーカー特許のような「数学アルゴリズム特許」が市民権を得たら、これまで順調に発展してきた数理計画法は窒息させられてしまう。これが私の心配だった。しかしこれを本気で心配した人は私だけだったようである。ちなみにある有力な研究者は、「そんなものは放っておけば良い」と断言した。

もしこの言葉に従っていれば、私は 3,000 時間をムダにすることはなかっただろう。実際一流の研究者たちは特許申請を行わなかったし、内点法のソフトを作っても AT & T から訴えられることはなかったのである。

特許を取っても事実上権利を行使することはできないし、カーマーカーが研究者コミュニティから村八分になったことからして、数学アルゴリズムに対する特許申請は、研究者としてのキャリアに与えるマイナスが大き過ぎる——。ほとんどの研究者がこう考えた結果、数理計画法は特許に煩わされることなく、順調に発展することができたという次第である。

一方、米国特許庁は、ソフトウェア特許のコロラリ一として、1998 年にビジネス方法特許なるものに市民権を与えた。その出発点となったのは、複数の銀行口座の管理を行うためのソフトウェア「ハブ・アンド・スポーク」特許であるが、これは従来特許にならないと考えられてきたビジネス方法そのものに特許を認めるものであり、世界各地で大論争を呼んだ。

数理計画法の資産運用への応用（すなわち理財工学）を研究する私は、ビジネス方法特許の出現を憂慮したが、ジャーナリズムはこのときも、“またまたア

メリカに出遅れた日本”という言葉で、ビジネス方法特許を後押ししたのである。この結果、2000 年には企業は思いつくありとあらゆるビジネス方法を申請したといわれる。

日本特許庁は、“従来行われてきたビジネス方法を、インターネット上で行うに過ぎない”という理由で、ハブ・アンド・スポーク特許を拒絶査定しているが、“何でも特許”の実現に向けてアメリカが邁進を続けていたのがこの時期である。

しかしここまで来ると、ヨーロッパ諸国がアメリカの特許行政に反対の声を挙げ始める。この声はアメリカ国内にフィードバックされ、アメリカ商務省は 2003 年にソフトウェア特許を厳しく批判する報告書を出している。そして「ヤング・レポート」から 20 年目にあたる 2004 年に出された、米国産業競争力委員会の「パルミサーノ・レポート」が、21 世紀の米国の基本方針を「コラボレーションによるイノベーションの実現」と規定し、アメリカ政府の特許政策に苦言を呈して以来、世の中の風向きは変わった。

この動きを受けて、経済産業省は 2005 年 6 月にソフトウェア特許見直し委員会を設立し、特許権の乱用を取締まる方針を打ち出している。この委員会に出席して分かったことは、わが国の産業界は 10 年前の時点でソフトウェア特許に否定的な立場を明らかにしていた、という事実である。

同じ頃われわれは OR 学会と東京工業大学の協賛の下で、「ソフトウェア/アルゴリズムの権利保護」というタイトルの日米シンポジウムを開催し、内外から 30 名の技術者と法律家を招いて 2 日間にわたる討議を行ったが、参加者の大勢はソフトウェア特許に対して否定的だった。

これに対して、知的財産権法の若手のチャンピオンと目される日本人法学者 A 氏は、技術者たちのソフトウェア特許反対意見を、法律を知らない人達のナイーブな意見に過ぎないと切り捨てた。ところがソフトウェア特許の見直しが始まるや否や、A 氏の師である大御所 N 教授は、“法学者はもともとソフトウェア特許には反対だった”と発言して私を驚かせたのである。

ひところ、ソフトウェア・パテントは技術が公開される分だけソフトウェア・ラテント、すなわち企業秘密として秘匿されるよりましかもしれないと述べ、筆者を落胆させたスタンフォード大学の D. Knuth 教授も、2005 年のインタビューでは、“ソフトウェア特許

は廃止されるべきだ”と明言している。

つまりここ2年の間に、世の中の流れは変わったのである。これから先、ORの研究者が「防衛のためのソフトウェア特許」を申請する必要性は少なくなったとっていいだろう。

## 2.5 整数計画法の大逆転

1970年代、私は整数計画法を勉強していた。「研究」ではなく「勉強」と書いたのは、他人の成果を吸収するのに精一杯で、新たな成果を生み出すための活動までには手が回らなかったためである。

von Neumannと同じくらい頭が良いというR. Gomoryと、20世紀のモンテ・クリスト伯爵ことE. Balas教授に心酔した私は、ゴモリー・グループとバラス・グループの論文を読みあさったが、“分かった感覚”でこれらの内容を理解するには到らなかった。“分かった感覚”がなければ、オリジナルな論文は書けない。

80年代初めに整数計画法から撤退したのは、この分野で戦っても勝ち目がないことが分かったのと、自分が生きている間に整数計画法が実用化されることはないだろうと考えたからである。

方向転換した私は、「大域的最適化法」と「金融工学」という分野で“身の丈にあった問題”を見つけ出し、久野誉人・白川浩氏らとの協力の下でいくつかの問題を解くことに成功した。ここで役に立ったのが、“完全に分かった”という自信をもった線形計画法だった。平均・分散モデルに代わる平均・絶対偏差モデル、線形乗法計画問題に対するパラメトリック単体法の応用などはこの代表例である。

しかし整数計画法は、私が撤退した80年代はじめに長い停滞期を脱しつつあったのである。1985年に発表されたE. Johnsonらの大規模スケジューリング問題の解法、Johnson=Padbergによる大規模巡回セールスマン問題の解法がその先駆けだった。

これらの解法の基礎となったのは、Gomory以来の切除平面法とBalas以来の分枝限定法を組み合わせた「分枝カット法」であるが、ここで重要な役割を果たしたのがG. Nemhauserらに“役に立たないORの代表”と批判された、Balas=Padbergらのファセット・カットであったことは興味深い。

“一般の整数計画問題が速く解けるようになった”という話を聞いたのは、2002年にサンノゼで開催されたINFORMS（米国OR学会）の創立50周年記念

研究発表会に参加したときである。このときJohnsonらは、口を揃えてCPLEXを使ってみろと薦めてくれたが、私は半信半疑だった。

これが事実であることを確認したのは、2003年になってからである。大域的最適化法を使って、5年がかりで取引コストの下でのポートフォリオ最適化問題を解くことに成功したわれわれは、同じ問題を0-1整数計画問題として定式化しなおしCPLEXで解いてみた。すると大域的最適化法よりずっと速く答えが出てきたのである。

予想を上回るハイ・パフォーマンスに驚いた私は、この分野に詳しい松井知巳氏に問い合わせた。するとそんなことは若手の間では常識だという。ではこのソフトはなぜそれほど速いのか？ その鍵は、遙か昔に理論倒れの代表として廃棄されたGomoryの切除平面法だと聞いて更にびっくり。そのあと私は、CPLEXの開発者であるBixby教授の講演を聞いて、それが正しいことを確認した。

もともとはネットワーク・フロー理論の研究者だったBixbyは、1980年代半ば以来線形計画ソフトの分野に転進し、CPLEXの開発を行ってきた人であるが、超大型線形計画問題を速く解いた実績をベースに、分枝カット法の精密なインプリメンテーションを行い、大型0-1整数計画問題を速く解くことに成功したのである。

米国の発明家レイ・カーツワイル博士の予想によれば、ムーアの法則は今後も20年以上にわたって続くという。同じコストで毎年2倍速く問題が解けるようになるのである。つまり10年後には、計算機は1,000倍速くなるということだ。そしてこれまでどおりのペースでアルゴリズムが1,000倍速くなれば、現在1年かかっている計算が10年後には1分以内で終わるようになるのだ。

G. Nemhauserは1993年にOperations Research誌上で、“10年前には誰も解けないと思っていた問題が解けるようになった”と書いた。その9年後の2002年、R. Bixbyは同じ誌上で全く同じことを書いた。実際、いまや（問題の構造にもよるが）1万変数の0-1整数計画問題が解けるようになったのである。

この結果、超大型のスケジューリング問題や配送問題、非凸型ポートフォリオ最適化問題などが実時間で厳密に解けるようになった。またこれらの困難な問題群に対するヒューリスティック解法も実用段階に入った。

しかしこのような事実を知る人はまだそれほど多くないようである。かく言う私自身も、これを身をもって実感するようになったのはここ2, 3年のことである。この事実を多くの人が知ることになれば、「サービス科学の旗手：OR」というキャッチフレーズが世の中に定着するだろう。

70年代に整数計画法に取り組んで討死にしかけた私は、当時は絶対に解けないと考えていた問題が鮮やかに解けることを知って、つくづく長生きして良かったと考えている。

しかし難しい問題はまだまだたくさん残されている。そして10年後にまた誰かが、Nemhauser や Bixby と同じことを書くことを期待しよう。

### 3. 最後に二言

残ったスペースで2つお願いごとを書いておこう。

(a) JORSJ について。私は72年の在庫理論論文から始まって、80年代に4編、90年代に8編の論文を JORSJ に載せていただいた。しかしここ10年に限って言えば、約60編のうち3編だけである。その理由の1つは、90年代以降（掲載料を要求しない）専門誌が増えたことである。

もう1つは、(私の専門分野に関して言えば) 審査が厳しくなったことである。

国際A級ジャーナルを目指す上では、この方針は正しい。実際昨今の JORSJ 論文のレベルの高さには注目すべきものがある。しかしその一方で、この方針は論文作成の“テクニック”を身につけていない若者や、新規参入者を排除する結果を招くことになるだろう。OR学会がより多くの研究者を招き入れる上では、もう少し審査基準を緩めてもいいのではないだろうか。

(b) OR誌について。OR誌は密度の濃い特集記事で高い評価を得ている。“SCMについて大体のことを知りたい、そういえばOR誌の特集記事があったはずだ”。こんなときにOR誌は誠に便利である。しかし新しい研究に手を出す気力が衰えた高齢会員の立場からすると、気楽に読める記事がもっと多いとありがたい。例えば、「OR40年実務家版」などである。

OR学会には、他の工学系学会と一味違った才人がたくさんいる。これらの人達の協力の下で、「シニア向けの企画」を検討していただきたいものである。