

ORの計算環境の現状と動向

関口 恭毅

1. はじめに

「計算できないということが1947年以前には最適化に対する関心が全くなかったことの主要な理由である」[2]と考えられていることを挙げるまでもなく、ORの道具としてコンピュータがこれまでも不可欠でありつけてきたことに異論はないであろう。と同時に、ORはマイクロコンピュータや通信装置の有効活用に多くの機会を提供するので、「コンピュータ/通信革命はMS/ORの進歩と社会的受容のための極めて強力な推進力である。」[5]

一方、意思決定支援のための情報通信技術（IT）の活用は意思決定支援システム（DSS）やエキスパートシステム（ES）の研究に顕著に現われているが、「意思決定者をDSSやESの構築に主導的な役割を果たすことで支援することが期待されたはずのORであるが、DSSやESの研究者はORが役に立たないと一致して述べている。」[6]これはORの立場からする情報システムの検討がこれまでは十分でなかったことを示している。

われわれをとりまくコンピュータ/通信の技術的環境が大きく変化した今、改めてORならびにORの研究にこれらの技術がどのように活用され、また、活用されようとしているかを整理してみることは有益であろう。

小論では、ORに関連するさまざまな活動を支援するITの活用を「ORの計算環境（CEOR）」の整備としてとらえる。次の節ではCEORの支援対象を明確にするためにORプロジェクトの過程

せきぐち やすき 北海道大学
経済学部
〒060 札幌市北区北9条西7丁目

をモデル化する。ついで、これを利用してCEORのためのさまざまな情報システムやソフトウェアを整理する1つの枠組みを提案する。ひきつづくいくつかの節ではこの枠組みにもとづいて各分野ごとに現状と動向を概説する。

2. CEORの支援対象

最初に、CEORの支援対象となるORの関係者と過程を検討するためにORプロジェクトの手順と各段階の主たる担当者を調べる。図1はAllenら[1]の提案になるV型構造のパラダイムを一般のORプロジェクトを意識して修正したものである。Allenらの提案は政策分析を主たる対象にしたものであるが、ITの利用が陽に表現され、また、OR手法を適用した後の解やモデルの検討段階が比較的大きな部分を占めるので、CEORの支援内容を検討するのに都合がよい。

このパラダイムでは図の左側に活動が、右側にその成果が左右対応するように書かれて、中央にはその担当者が示されている。左側の各活動と右側の成果を対応させ

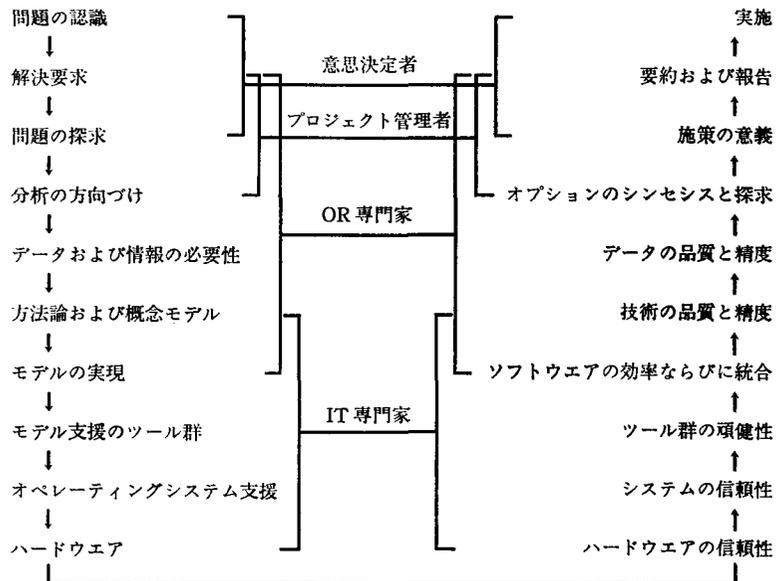


図1 ORプロジェクトの過程

れば、それらは上から下への階層を成している。この図の各階層はその上の階層の左側から作業の指示(要求)を受け取り、右側の成果を生み出すことによって、その上の階層がその右側の成果を作り出すのを支援する。さらに、各階層はその下の階層の左側の作業を規定し、その階層の右側にある成果によって支援されて、自身の右側にある成果を生む。

1人のOR専門家が実践家と研究者の両方の役割を同時に果たすことも多いが、本研究ではこれらを異なる活動として区別する。実践段階と研究段階では必要な支援内容が異なると考えられるからである。OR専門家とIT技術者の区別も同様に考える。IT技術者はORのためのさまざまなシステムを設計し、それを開発する。

図のパラダイムでは担当者は必要なスキルや役目を示す言葉として使われているのであって、ORプロジェクトの推奨すべき組織的分業を示したものではない。たとえば、意思決定者がスプレッド・シート(IT専門家の成果)を活用して自身で問題を分析し意思決定する場合、意思決定者はスプレッド・シートがカバーしないプロジェクト管理者やOR専門家の役割の限られた部分を自分自身で果たすことになる。したがって、意思決定者とプロジェクト管理者はここではORやITの素人と考えておく。

3. CEO R分類の枠組み

良好な計算環境を実現するにはネットワーク(通信)、マンマシン・インターフェース、データベース、PCやEWS、マルチメディア、オブジェクト指向パラダイムなどの急速に発展するITを利用できる。利用する技術の特徴によってCEO Rを分類整理することも可能である(たとえば、[19]、[8]を見よ)。しかし、ここではITの応用という観点ではなく、ORの効率化という観点からCEO Rを検討したいので別のアプローチをする。

すなわち、前節のV-パラダイムのどの階層のどの担当者を支援するかによってまず分類する。階層と担当者の組合せが支援対象と考えられる。支援内容は大きく2種類に分類できる。

(1) 作業支援：データの分析、計算処理、文書作成、通信などのOR過程上の情報処理作業を支援する。

(2) 情報支援：OR作業上で必要になるさまざまな情報(経営に関するデータ、ORのソフトウェア情報、ORの知識など)を提供する。

作業支援であっても、その結果は情報であるから、最

終的には情報を提供する。情報支援であっても、提供する情報を検索し書式を整えるには、何がしかの作業を伴う。したがってこの区別の境界は明確とは言い難い。しかし、どちらに重点が置かれているかが明確な場合が多いのもまた事実である。

図2はこれらの観点から分類した結果を示したものである。下線がついているのが情報支援であり、そうでないのが作業支援である。紙数の都合もあるので以下の節では各分類中の動向として注目される項目を選んで若干他より長めに解説することとする。なお、理解の助けのために各分類の例を1、2挙げているが、網羅的と言うにはほど遠いことをお断りしておく。

4. 非専門家向けのCEO R

まず、非専門家向けのCEO Rとしては、学びやすく使いやすいインターフェースを備えたさまざまな分析・決定支援システムを挙げることができる。

情報支援としてはいわゆる経営情報システム(MIS)による各種の情報提供や、各種の商用データベースの活用が挙げられる。意思決定支援システム(DSS)は非構造化問題を対象としており、意思決定者を情報的に支援するものと位置づけることができよう。

作業支援として、OR技法を活用して代替案の選択を自動化するものにGeoffrion [5]の言う埋め込みORがある。これは、なんらかのシステムの中に組み込まれたOR技法のロジックで意思決定を自動化するものであって、ロジックの結果を意思決定者が修正することは例外的な場合に限られるようなものである。野末[13]は首都圏の列車の利用者向けの案内システムにおける乗継ぎルート決定に最短経路アルゴリズムを使う方法を提案している。いわゆるMISやDSSにおいて構造化問題の解決を自動化した事例は埋め込みORである。本特集号で長谷川らは非線形計画法を埋め込んだ電力系統のセキュリティ制御システムを提案している。Geoffrionは日本製の家電製品にファジィ論理が組み込まれて大きな市場を獲得したことを引合いに出し、こうした家電や自動車などのハードウェアに一体化された埋め込みORに将来性があると指摘している。

対話型であるということが必ずしも非専門家向けを意味しないのが、近年のITの状況である。しかし、対話型ORという場合、エンドユーザー向けのインターフェースを有するソフトウェアを利用したエンドユーザー自身による、たとえば、What-if分析などを中心技法とす

る、ORという意味合いが強い〔たとえば、21〕。アニメーションや直感的モデリング技法を利用するシミュレーション[7,15]は最近特に注目される。本特集号で高野ら是对話的ORがグループの合意形成に有効なことを示している。

ORプロジェクトの管理者向けのCEOと考えられるシステムを見つけてはできなかった。ORプロジェクトの管理はCEOの対象として第1に挙げたいところであるが、ORプロジェクト管理の他のプロジェクト管理との相違を勘案した技法やシステムの開発は見あたらないようである。

5. OR実践者向けのCEO

ORの専門家はコンピュータに対する相当の知識をもつことが多く、それらのシステムの多くは使いやすさや学習の容易性の点では前節に挙げたものに比べてレベルの低いものが多い。統合的な支援環境を提供するものではなく、個々のOR実践者がさまざまなアプリケーション・ソフトウェアを使い分けなければならない。

既存のモデル、その分析技術や解法に関する知識は伝統的にはOR実践者の専門知識とされているが、これは情報支援として、データベースを整備するなどして強化することが望まれる。

OR技法や数値計画のさまざまなソフトウェアは伝統的なCEOである。実践者が解くべき問題のモデルを作成するのに利用するさまざまな分析用ツールやモデル化支援ソフトウェアはそうしたソフトウェアを利用するための準備段階を支援する。SAS, SPSS, Sなどのデータ解析ソフトウェア, IMSS[12]のような対話型モデル化支援システムなどはこの例である。本特集号で大内は知識の構造化をKJ法を利用して支援する方向からモデル化支援を検討している。Tomlin and Welch[20]は数値計画法のさまざまなパッケージへのデータ入力機能をモデル記述言語として5種類に分類整理している。数値計画パッケージへのデータ入力モデルの確定作業であるから、モデル化支援と考えてよい。

分析やモデル化にとって必要なデータの中には業務用のデータベースから得られるものも多い。そこで業務情報システムと分析やモデル化のためのソフトウェアを統

| | 非専門家 | | OR 専門家 | | IT 専門家 |
|--|---------------------------------|-----------|---|---|--|
| | 意思決定者 | プロジェクト管理者 | OR 実践者 | OR 研究者 | |
| 実施 要約および報告 施策の意義 オプションの シシシと探求 データの品質と精度 技術の品質と精度 ソフトウェアの 効率ならびに統合 ツール群の頑健性 | MIS DSS 埋め込み OR 対話型 OR | | モデル および解法 OR/数値計画 のソフトウェア 分析用ツールと モデル化支援 統合化支援 ツール モデル化言語 | 知識ベース ネットワーク化 数理的 ソフトウェア アルゴリズム の可視化 | 新ソフトウェア パラダイム OR プログラ ミング言語 OR プログラ ム ライブラリ |

図 2 CEO の分類枠組み

合するIDEA[9]やPLATFORM[16]などのシステムが有効である。統合化ツールとはこのようにORに必要なさまざまな情報処理機能を総合的に利用するのを支援するシステムである。標準化されたアプリケーションインターフェースをもつウィンドウズ・システムは潜在的な統合化ツールである。

モデルの作成はOR専門家のスキルに依存してきた。しかし、近年になって新しいアプローチが提案され、モデル化のプロセスを系統だて、さらに、モデルの検索やプログラム化なども含むモデルにもとづいた意思決定活動の統合的な支援/管理が指向されている。特に、データモデルとの親和性の高いモデル記述[11, 4, 22]やその処理系の研究は情報的世界像と一体化したモデル構築を指向しており、ORの過程全体を支援する総合的なCEOの基盤となることが期待される。[18]

6. OR研究者向けのCEO

OR研究者向けのCEOは、ORの研究活動を対象とする支援ソフトウェアである。ORは文字どおり「研究」であるが、それは事例研究とでもいうべきものである。OR関連の学術雑誌において大多数の論文が中心テーマとする数式モデルの分析、効率的解法の開発、新しいOR手法の開発などは「ORのための研究」というべきであり、ORそのものとは異なっている。研究が広域に展開され、しかも、急速に発展する現状では特にその支援の必要性が高まっていると考えられる。

OR研究者の情報支援に関する研究や提案は近年になってようやく活発になりつつある。次第に整備されてきた文献情報データベースが提供する書誌情報を越えた、より具体的なOR関連情報を提供するシステム、いわば

OR知識ベースが提案されている。たとえば、著者は順序づけアルゴリズムの研究者を支援するシステムCAMPを提案した[17]。また、Grunwald-Fortuin [6]はORエキスパート・システムの構築を提案している。これはさまざまな専門化した分野におけるORワーカーの専門知識集成にもとづいたシステムであり、以下のような仕事をするとしている。

- 潜在的に有効なモデルを提案する
- 以前の計算や比較の結果を再生する
- 以前に開発された近似的な定式化を再生する
- 当面の調査に関連する仕事に関する文献をたどる

このようなOR研究者向け職業的専用ツールを利用するCAOR (computer-aided OR) の実現可能性が高いと指摘している。

OR専門家のネットワークは、情報交換の重要な手段となる。たとえば、EJOR 誌のORソフトウェア交換プログラムや日本OR学会の会員メーリング・リストの整備などがある。Geoffrion [5]は、ネットワークは実践者にも有効な支援であり、この領域のあらゆる分野の人々との直接交流、ソフトウェアのダウンロード、特定テーマの検討グループ、ソフトウェアの調査や評価、情報源、対話的雑誌、会合の連絡、オンライン通信や報告などのさまざまなサービスを提供し得ることを指摘している。

研究活動には統計処理、代数計算、数値計算など多様な情報処理が必要である。これらの作業支援ツールとしてさまざまなソフトウェアやコンピュータが利用されてきた。数理的ソフトウェアとしてSAS, SPSS, Sなどのデータ解析ソフトウェア、Mathematica, Reduceなどの数式処理ソフトウェアを挙げることができる。この分野では問題やアルゴリズムの可視化/アニメーション技術が近年注目されつつある。大西ら[14]の分枝限定法における並列処理の可視化、感度分析アニメーション[8]などはその例である。

7. ORのIT技術者向けCEOR

IT技術者のためのCEOSは、OSの他の関係者のための情報システムを構築するための支援環境である。いうまでもなく特にORを指向してはいない多方面にわたるITがCEORのために有効に利用できる。しかし、ORはモデルの利用を特色とする問題解決アプローチであり、それに特徴的な支援環境も必要であろう。どのような開発環境を有するかは、どのようなCEORを指向

するかをその発想の段階で規定するからである。

たとえば、Geoffrion [4]は構造化モデリングのプロトタイプを記述するに先立って、その開発プラットフォームとなったFRAMEWORK IIIを概説している。そのアーキテクチャや機能がプロトタイプの設計を強く左右したからである。筆者がCAMPの開発プラットフォームとしてMainstayを採用したのも同様の理由による。これらは第4世代言語と呼ばれる新しいプログラミング・パラダイムの有効性を示している。

オブジェクト指向パラダイムを応用するアルゴリズム・インプレメンテーションの例[10]では高次関数(higher-order function)として分枝限定法を抽象的に定義し、そのインスタンスとして個々の分枝限定アルゴリズムを生成する方法を提案している。

S, JAMAX-S, MathematicaなどのソフトウェアはORのアルゴリズムに現われる標準的な情報処理の固まりを表わす命令語を含むプログラミング言語を有する。このような言語はCEORのソフトウェア開発を効率化するので、OR向けのプログラミング言語として位置づけることができよう。さらに、アルゴリズムをモジュールしてとらえ、その構成要素となるルーチンを特定の言語のライブラリ群として用意することで、プログラム開発を効率化する方向も考えられる。本特集号では加地はC++を利用して、ネットワーク・アルゴリズムのためのライブラリ群の整備を提案している。

8. 結 言

Geoffrion [5]は「コンピュータ・通信革命に便乗する」ことをMS/ORにとつての5つの絶好の機会の第一に挙げているが、そのためにはCEORの研究の発展が待たれる。CEORの研究は計算機科学や情報処理の研究でもあるから、ORの研究と位置づけるには、それが「ORのOR」になるような研究アプローチの確立が望まれる。

本研究は「ORの計算環境」研究部会を進める中で構想された。特に、同研究部会の幹事を勤められた北海道大学経済学部木村俊一助教授には図2の改善に有効な指摘をいただいたことに感謝する。また、本研究は一部北海道大学教育研究学内特別経費に依った。

参 考 文 献

- [1] Allen, P., B. Bennett, M. Carrillo, B. Goeller and W. Walker, "Quality in Policy

- Modeling," *Interfaces* **22** (1992) 70—85.
- [2] Dantzig, G. B., "Linear Programming," in : J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan and A. Schrijver (eds.). *History of Mathematical Programming* (North Holland 1991) 19—31.
- [3] Geoffrion, A. M., "Computer-Based Modeling Environments," *European Journal of Operational Research* **41** (1989) 33—43.
- [4] Geoffrion, A. M., "FW/SM: A Prototype Structured Modeling Environment," *Management Science* **37** (1991) 1513—1538.
- [5] Geoffrion, A. M., "Forces, Trends, and Opportunities in MS/OR," *Operations Research* **40** (1992) 423—445.
- [6] Grunwald, H. J. and L. Fortuin, "DSS and ES in the 'Information Organization' — Back to the Roots of OR," *European Journal of Operational Research* **41** (1989) 142—150.
- [7] Hoare, R. T. and R. J. Willis, "A Case Study of Animated computer Simulation in the Australian Mining Industry," *Journal of Operational Research Society* **43** (1992) 1113—1120.
- [8] Jones, C. V., "User Interfaces," in: E. G. Coffman et al. (eds.) *Handbooks in OR & MS* Vol.3 (Amsterdam: North-Holland 1992) 603—668.
- [9] 金子雅彦「一貫製鉄所における対話型OR—大規模なデータベースを対象としたモデリング—」オペレーションズ・リサーチ, 35巻8号 (1990) 471—474.
- [10] McKeown, G. P., V. J. Rayward-Smith and H. J. Turpin, "Branch-and-Bound as a Higher-Order function," *Annals of Operations Research* **33** (1991) 379—402.
- [11] Müller-Merbach, H., "Database-Oriented Design of Planning Models," *IMA Journal of Mathematics Applied in Business & Industry* **2** (1990) 141—155.
- [12] 中森義輝「対話型モデリング支援システム」オペレーションズ・リサーチ, 35巻8号 (1990) 457—460.
- [13] 野末尚次「列車乗継ぎ案内システムEST[®]の開発」*RTRI Report* 5巻7号 (1991) 43—48.
- [14] 大西克美, 榎原博之, 中野秀男「Sapal-BB: 並列分枝限定法に対するビジュアルセッションシステム」日本OR学会1992年春季研究発表会アブストラクト (1992) 232—233.
- [15] Pidd, M., "SKIM: a Simulation Sketchpad for Plant Design," *Journal of Operational Research Society* **43** (1992) 1121—1133.
- [16] Rowland, A. J. and N. K. Boudwin, "A Data and Model Management System in Exxon," in : G. Mitra, *Computer Assisted Decision Making* (North-Holland 1986) 253—259.
- [17] 関口恭毅「CAMP: 順序づけ分枝限定アルゴリズム設計支援システム」オペレーションズ・リサーチ 37巻11号 (1992) 550—554.
- [18] Shetty, B., H. K. Bhargava and R. Krishnan (eds.), *Annals of Operations Research (Model Management in Operations Research)*. J. C. Baltzer, AG. **38**; 1—4. (1992)
- [19] 新村秀一「数理計画法のパッケージ, 中間言語, パッケージ」オペレーションズ・リサーチ, 38巻3号 (1993) 124—130.
- [20] Tomlin, J. A. and J. S. Welch, "Mathematical Programming Systems," in: E. G. Coffman et al. (eds.) *Handbooks in OR & MS*. Vol.3 (Amsterdam: North-Holland 1992) 561—602.
- [21] Troutt, M. D., S. K. Tadishina and R. J. Clinton, "Interactive Optimization Aspects of Electronic Spreadsheet Models for Design and Planning," *Journal of Operational Research Society* **42** (1991) 349—355.
- [22] 渡辺昭夫「E—Rモデルによるモデル・デザイン・プロセスと構造化モデリングの比較」北海学園大学経済論集, 39巻1号 (1991) 33—47.