

OR の実践 —理論と産学連携

01401870 (株)数理モデリング研究所 野末 尚次 NOZUE Naotugu

1. はじめに

ORの実践というと、対象となる問題に適用可能な理論・モデルを探して、コンピュータで解くことと思う方が多いと思います。

しかし、このようなアプローチでは、実際の問題に対して、理論がシンプルすぎたり、計算時間が非常に掛かるなどの理由で使い物にならないという感想に至る場合が多々あります。

また、大学などで開発されるアルゴリズムも、実用上の制約が掴みきれないことと同時に、実用規模の問題に対するデータの作成・取得が困難なために、シンプルなモデルで小規模なテスト問題をターゲットに研究されています。

このような実務と理論の解離が悪循環して、実務家をOR(理論)から遠ざけているのが現状だと思います。

「何が悪いのでしょうか？」

結論を言えば、ORの実践は、理論やモデルの単なる応用ではなく、問題を解決するプロセス全体であるという認識に欠けていることだと思います。

実際の問題では、対象が複雑で全ての制約条件が明確ではなかったり、評価も複数の曖昧な基準がある場合が普通であり、単純な(答えの得られる)最適化問題に定式化することが困難な場合が多いのです。

このような問題は、「非構造的な問題」として認知されており、コンピュータによる計画案の自動作成を狙った開発を行って、失敗したケースが沢山あります。

人間の総合的・経験的・直感的な判断が必要なのです。

このような課題に対するアプローチとして、Simonにより提唱された「意思決定モデル」があります。

また、このアプローチを実践に応用するモデル化の考え方として、「制約ベースのアプローチ」があります。この考え方(実際のソフトウェア作成も含めて)では、後から制約の追加や削除が容易なため、メンテナンスも楽になります。

OR理論も、全体的な複雑なモデルを解決する際に、「緩和問題」として考えることにより、探索指針やモデルの縮約に対して非常に有効に利用できます。

従って、核になる部分を切り出した実用規模の緩和問題に

対する有効なアルゴリズムの開発は、全体の解決を促進する上でも、非常に重要です。

このような視点に立った産学連携は、実務・理論の双方にとって、非常にメリットがあると思います。

今回は、このアプローチの実践上の有効性、及び、この中のOR理論の役割の重要性について、筆者が実践してきた事例に基づいて紹介いたします。

2. 思考プロセス・モデル

人間の意思決定過程は、Simonによれば、次の3段階に分割されています。

1) 発見段階(Intelligence) : 関連情報の収集とそれに基づいた問題点の確認

2) 設計段階(Design) : 問題の定式化、可能解の生成、実現可能性のチェックによる代替案の設定

3) 選択段階(Choice) : 複数の代替案の中から1つの案の選択とそれに基づいた実行案の作成

このような流れを詳細にしたGPPS (Generalized Problem Processing) というモデル(下表)が提案されています。

問題が非構造的と呼ばれるのは、「設計段階に於いて、未だ明確に把握出来ない課題が残っていたり、また、選択段階に於いても、可能な代替案の範囲が確定できない様な状況が不可避的に発生する」場合で、企業の重要な意思決定の多くはこの範疇に属します。この非構造的な問題に対しては、コンピュータによる自動計画作成は不可能で、人間の直観的な洞察や経験的な知識に基づく総合的な判断が不可欠です。

筆者は、このGPPSを思考モデルとして、各種の意思決定支援システム(DSS)の開発を行っています。

- ・発見段階→ 制約条件の抽出、評価項目の抽出
- ・設計段階→ 制約伝播による不要な代替案の削除
- ・選択段階→ GUIによる複数の代替案の評価と選択

3. 人間の直感的な判断

非構造的な問題を解決するためには、人間の直感や経験に基づく判断が不可欠ですが、筆者等が開発した地理情報

システム(TRAMPS)の例で示す。

TRAMPSは、交通計画のベースとして、国勢調査等のメッシュ・データを分析・表示可能なシステムです。ここでは、東京圏60キロ四方の人口分布の500mメッシュ・データ(14400個)を表示しています。

	発見段階	設計段階	選択段階
データ収集	1) データ収集	4) 妥当性の検証	7) 実行可能性検証
データ加工	2) 問題認識	5) 分析	8) 実施案の作成
評価・選択	3) 概念モデル構成	6) 解決策の導出	9) 実施案の提案



図1では、500人単位で階層化して、各メッシュを着色表示してあります。都心部や鉄道沿線に人口が多いこと、また人口が少ない河川や皇居なども認識できます。

図2では、1000人単位で階層化した結果を示しています。この結果は、図1とは大変様子が異なり、山手通と環状7号線に挟まれた地域が人口の最も稠密な地域であることに気がつきます。これは、地図状に表示された人口分布のイメージに対して、経験的に保有している道路情報をマッピングすることにより、視覚をつ経由して、直感的に知識が抽出されたことを示しています。

この知識からは、東京で地震が発生したら、この地域で非常に大きな被害が発生する可能性が高いことを推定できます。これは国の防災計画でも指摘されていることです。

この14400個のメッシュデータを地図イメージにマッピングしなければ、このような知識を得ることは不可能でしょう。また、コンピュータで自動抽出しようとしても、人間が持っている経験知識が無くては、また、有ったとしても、このような結論を得ることは困難でしょう。

ORの実践では、有効な視覚情報の生成に時間を費やすことも重要で、最終的な結果の品質に大きな影響を与えます。

4. 制約ベース・モデル

一般的に、組合せ問題は、問題の規模に対して計算量が指数関数的増加するため、最適解を求めることは困難なケースが多くなります。

また、非構造的な問題の特徴でも述べたように、この種の問題では、ある評価基準の下で唯一の最適解が得られても、潜在的な条件等で実施できない可能性が高いこともあり、あまり有効ではありません。

むしろ、与えられた制約条件を満たし、比較的有効な複数の代替案が得られる方が実用上は役に立ちます。また、時間の経過と共に外界の条件が変わるので、解を修正する必要がありますが、出来るだけ元の解に近い解を生成することが要求されることも多く、このような機能も重要です。

制約ベースのモデル化では、抽出された制約条件群を満たす許容解を、数上げをベースに探索する方法を基本としており、処理形態上は、このような要望には対処し易い。

また、ソフトウェアの開発上も制約をベースに設計されるので、新たな制約の追加は容易です。

制約ベースの記述は、複雑な問題も非常にシンプルに表現できる場合が多いです。図3に典型的なスケジューリング問題の制約ベースによる定式化の例を示します。

問題：「作業順序に制約のあるN個の仕事をP人の作業者に割り当てる」

条件：一つの仕事を複数の作業者に割らない。

各仕事には、次に実行可能な仕事の集合がある。

各仕事には、着手開始時刻の制約がある。

この問題は、 $X[s]$ (s の次に行く仕事)と $Y[s]$ (s を行う人)という変数を導入することにより、非常に簡潔に表現できます。

変数の定義：仕事の集合Nに対して、以下の変数を定義する

$X[s]$: 番号sの仕事を行った作業者が次ぎに行く仕事の番号

$T[s]$: 番号sの仕事の開始時刻

$Y[s]$: 番号sの仕事を行った作業者の番号

制約条件の定義:

$X[s] \in A[s] \quad s \in N$ // $A[s]$ は、sの直後に実行可能な仕事の集合

$Y[s] \in P \quad s \in N$ // P は、作業者の集合

$Y[X[s]] = Y[s] \quad s \in N$ // sと $X[s]$ は、同じ作業者が担当

$T[X[s]] \geq T[s] + d[s] \quad s \in N$ // $d[s]$ は、sの作業時間

$X[s] \neq X[u] \quad s \neq u \quad su \in N$ // 仕事は、一人に割当

$a_s^{X[s]} \leq T[s] \leq b_s^{X[s]} \quad s \in N$ // 開始時刻の制約

この例からも分かるように、制約ベースの開発では、制約条件の追加・削除は非常に簡単です。従って、試行錯誤によるスパイラルな開発が可能です。

しかし、複雑な問題に対して、制約ベースで解を探索するには、場合によっては、不要な領域を事前に強力に削除する制約伝播ロジックを独自で開発する必要があります。

ここがキーポイントとなりますが、これには、OR関連のモデルの知識や理論の運用能力が非常に重要になりますので、産学連携が出来れば理想的です。

5. おわりに

今回の講演では、以下の点を中心に、私の開発事例を題材にして、お話をしたいと思います。

- 1) ORの実践に理論が有効である(緩和問題→全体的な見通し、)
- 2) 前提条件の把握の重要性(企業内の位置づけ→コスト、データの利用・作成の可否)、
- 3) モデル選択の重要性(思いつき→体系的な展開+過去の知恵の活用)、
- 4) 既存の理論の利用+拡張による問題解決(理論の展開能力の重要性)、
- 5) 産学連携の必要性と学会の役割

尚、このアブストラクトは、本学会誌の4月号に掲載予定の原稿を元に作成しておりますので、興味のある方は、ご参照ください。

また、下記の弊社ホームページにも関連文献があります。

(株) 数理モデリング研究所: www.math-model.co.jp