

問題定義の支援を起点とするモデル化環境の 実現可能性に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究は広い意味での問題解決のための科学的手法としてのオペレーションズ・リサーチ／経営科学（OR/MS）に着目する。最適化モデルを利用する OR/MS による問題解決を一連のプロジェクトと考えるとき、このプロジェクトの中で問題定義、ユーザ定義モデル、標準モデル、ソルバーモデル、およびこれらの具体例が構築される。具体例を含むか否かは抽象度の違いを意味し、具体例を含まない抽象度をクラスレベル、具体例を含む抽象度を具体例レベルと呼ぶ。これらを広義のモデルと呼ぶことにすると、OR/MS による問題解決では、クラスレベル、具体例レベル双方において様々なモデルが構築されるが、これらのモデルが構築され利用される一連のプロセスをモデリングライフサイクルと呼ぶ。モデル管理研究ではモデリングライフサイクルの全般的支援が重要な課題である。

OR/MS の主たる関心は、現実問題に応用可能な最適化モデルを構築すること、最適化モデルに対し、解法アルゴリズムを開発すること、解法アルゴリズムを具現化したソルバーを開発し、その性能を評価すること、の3つであるが、これらはモデリングライフサイクル全体の一部分にすぎない。

一方、鮑（1998）は、CAMMS と呼ばれる事例データベースによって、問題定義の構築を支援する仕組みを開発した。問題定義は、GERM アプローチに基づいた現実直面する問題の構造的記述である。鮑（1998）は、結合条件の概念を利用して、問題定義と最適化モデルとの対応関係を明示的にするアーキテクチャを提案した。しかし、個々の問題具体例で、その値が変わらない問題定義情報をのぞいて、CAMMS の記述対象はクラスレベルに限定されていること、また、CAMMS で扱われる最適化モデルは、問題定義との対応関係はきわめて単純であるものの、これまで管理研究で扱われた数理モデルにどのように結びつけるか、特にソルバー起動のためのデータをどのように準備し、ソルバーの起動を支援するかという問題については課題として残された。

そこで本論文では、鮑（1998）の GERM アプローチと、従来のモデル管理研究を、具体例レベルで橋渡しするアーキテクチャを開発する。次に、クラスレベル、具体例レベルの双方において、XML を援用した実行可能型の問題定義記述言語を提案する。さらに、ソルバーがターゲットとする数理モデル（ソルバーモデル）と、問題定義との対応から構築される数理モデル（ユ

ユーザ定義モデル)との独立性を維持するアーキテクチャにより、GERM アプローチが組合せ最適化モデルや離散型シミュレーションモデルをも扱うモデリングシステムに応用可能であることを明らかにする。

本研究では、GERM アプローチとよばれる問題定義で記述される構造的な記述から、ソルバーモデルを構築するためのアーキテクチャについて検討する。これまで OR/MS による問題解決で利用されるモデル化環境は、解くべき問題の数学的な構造が既知であることを前提として、ソルバーモデルを構築するためのソフトウェアが中心であり、数学的構造が既知になる以前のプロセスを支援するものではなかった。本研究のように問題定義を起点としたモデル化環境は、1) モデリングライフサイクルの上流工程の支援であること、2) 数理モデルとは独立した問題定義の支援であること、従って、3) 意思決定者や実務担当者と OR/MS 専門家の継続的なコミュニケーションを促進すること、4) 問題定義された問題の具体例のデータを構築する作業の支援も可能であること、の4つの側面から、その意義を評価することができる。

しかし、ソルバーモデルとして準備すべき情報を、問題定義とそのインスタンスから入手するためにはいくつかの困難が存在した。

第一に、現実世界に基づいて構築される数理モデルを、その解法アルゴリズムがターゲットとした数理モデルにうまく変換させなければならない。つまり、ユーザ定義モデルから標準モデルへの変換である。ユーザ定義モデルと標準モデルの対応規則は結合情報として整理することが可能である。結合情報は、線形計画問題など汎用で強力な解法が存在する分野の問題に対しては、代数的モデリングシステムのモデルトランスレータによって、その機能を代替できるものの、組合せ最適化問題のように汎用解法をもたない分野の問題に対しては標準モデルをうまく使い分けるために明示的に記述することが必要になる。つまり、MILP によるモデル化および求解が可能である場合を除いて、任意の組合せ最適化問題を Ibaraki (2000) の枠組みで扱われる標準問題に自動的に変換することは困難である。この場合、問題解決のプロセス毎に結合情報を準備しなくてはならない。結合情報には、ソルバーを起動する前に解空間を限定させる仕組みなど、解法アルゴリズムと同様な知的資産が含まれるから結合条件を構成するコストをかけるだけの意義は十分あると考えられる。また、結合情報が有効であるための要件を提示した。

第二に、鮑 (1998) では、問題定義と数理モデルを型属性と記号との組から構成される結合条件によって、両者を橋渡しすることを提案しているが、この仕組みでは、問題定義で記述された問題のインスタンスを数理モデルのインスタンスに対応付けするという問題を解決できなかった。それに対して本論文では、問題定義に含まれるオブジェクト型からそのインスタンスのデータスキーマを自動構築するアルゴリズムを明示し、結合条件をそのインスタンス表のヘッダーと記号の組によって表現することで、この課題を解決した。

第三に、クラスレベルで問題定義のオブジェクト型、ユーザ定義モデル、標準モデルが対応づけられていたとしても、具体例レベルで整合しているためには、まず問題定義構築の段階で、オブジェクト型の記述が矛盾なく完結していることと、次に、インスタンスの記述がオブジェクト型の記述と整合していることが要求される。代数的モデリングシステムの場合、モデル記述言語としての厳密な文法を定義することで、実行可能型の言語体系を構築し、自動的にモデ

ル記述の首尾一貫性，すなわちモデル型の記述が矛盾なく完結していることと，モデルインスタンスの記述が整合されていることを確認することができる。しかし，GERM アプローチでは，これまで，モデル記述の首尾一貫性を確認する方法は確立されていなかった。

本論文では，この課題に関し問題定義を記述するための XML すなわち XGERM を利用して，オブジェクト型およびインスタンスを記述することを提案した。モデル記述の首尾一貫性は XML の文脈では妥当性に対応することから，オブジェクト型の妥当性の要件は GERM の XML Schema，すなわち，XGERM Schema によって定義することができる。また，インスタンス・データの妥当性を定義する XML Schema はオブジェクト型の記述された情報から自動的に生成することが可能であることを示した。しかも，この妥当性を検証するためには，ソフトウェアをあらたに開発する必要はなく，既存の XML パーサーを利用することができる。

さらに，GERM による問題定義の応用事例として，最適化モデルだけでなく，離散型シミュレーションのモデルも定義できることを示した。

以上のように本研究は，問題定義からソルバーによる求解に至るまでのプロセス全体を自動化するための基本技術を確立した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 関 口 恭 毅

副 査 教 授 毛 利 峻 治

副 査 教 授 木 村 俊 一

学 位 論 文 題 名

問題定義の支援を起点とするモデル化環境の 実現可能性に関する研究

経営における情報技術の活用は近年ますます高度化し、加えて、経営は地球規模の激しい競争下にある。その環境も複雑化・多様化しており、いかに適切な意思決定を可能にするかが、重要な経営課題となっている。そのため数理的手法を活用する意思決定支援システムやそのモデル管理に関する研究が行われている。しかしこれまでのところ、現実の問題領域における問題認識と数理モデルによる問題表現の違いを明示的に取り扱う研究はきわめて少ない。その結果、実際問題と数理モデルとの対応関係の把握が難しい、現実の問題領域から得られるデータを数理モデルのデータへ変換する作業がブラックボックス化する、従って、数理モデルの解を現実の問題状況へ適用することの可否の判定が容易でないなどの課題が残されてきた。

これらの課題の解決するために、本論文は8つの章と付録から構成される。第1章は序論であり、上述のような本研究のスタンスと目的を述べ、現実の問題領域で認識された問題を、数理モデル構築に十分な詳細さで構造化して記述したものである「問題定義」を起点とする、意思決定支援のアーキテクチャを提案している。提案のアーキテクチャは、問題定義に対応して構築される数理モデル（ユーザ定義モデル）とそれを解くのに利用するコンピュータプログラム（ソルバー）が想定する数理モデル（標準モデル）を明示的に区別することに基礎を置くのであるが、第2章では、意思決定支援におけるモデル管理に関する先行研究を調査し、従来の研究対象が標準モデルの利用支援に限られていることを明らかにしている。

第3章では、最初に最適化モデルの本研究における一般形を示し、ユーザ定義モデルと標準モデルが共にそのバリエーションであることを述べる。次に、ユーザ定義モデルが問題定義との対応関係が明白な数理モデルであることから、そのような現実世界と直接的関連を持たない標準モデルとの意味的な違いを整理する。著者が提案するアーキテクチャでは、ユーザ定義モデルのパラメータと定数から、それと等価な標準モデルのパラメータや定数を求め、かつ、求めた標準モデルの解をユーザ定義モデルの解に変換することが必要である。そのために本論文では、両モデルのパラメータ、定数および変数の対応関係を示す「結合情報」を明示的に用意することを提案し、その上で、結合情報が満たすべき十分条件であるパラメータ条件、および、解条件を明らか

にしている。加えて、結合情報の内容となるモデル変換の各種の操作を整理している。

第4章では、最初に、ユーザ定義モデルを標準モデルから峻別する著者のアプローチが、特定の問題定義に対して複数の標準モデルの活用を可能にすることを明らかにする。これによって、組み合わせ最適化問題群を対象として既に提案されている、代表的な意思決定支援アプローチを強化するものであることを論述する。すなわち、効率的な解法を持つ標準モデルに定式化するには数理モデル作成のノウハウを駆使することが必要な場合があり、そのような場合には、ユーザ定義モデルを問題定義と標準モデルの間に介在させることによって、数理モデルと問題定義の関係が格段に理解しやすくなる。これは、ユーザ定義モデルと標準モデルの関係を、結合情報によって明示的に記述することの有用性を示している。

以上から、問題定義、ユーザ定義モデル、標準モデルの関係が確立されるが、現実世界の具体的問題に対する解を求めるためには、ユーザ定義モデルの数値例を確定するのに必要なデータを問題定義に則して収集整理し、それをユーザ定義モデルのパラメータ値に変換することが必要になる。その方法を論じたのが第5章である。ここでは、問題定義の構文規則を拡張 BNF 記法によって記述する。そして、これに基づいて問題定義を分析することによって、問題定義に記述されるすべての関連データのデータテーブルを定義する SQL 構文を自動的に生成する手順を開発する。これによって、問題定義に記述される関連データを保持するのに必要なすべてのデータ表の定義を自動生成することが可能になり、問題定義と適切に対応しているユーザ定義モデルのすべてのパラメータを特定するのに必要なデータをもれなく収集できることが明らかである。

ここまでの章では、最適化モデルを対象として論述されている。これに対して意思決定支援ではシミュレーションが利用されることも多い。第6章は離散型シミュレーション言語によるシミュレーションモデルとして記述される在庫問題や生産スケジューリング問題を、それぞれのシミュレーションモデルに対応する問題定義として記述できることを明らかにする。これは、離散型シミュレーションにおけるシミュレーションモデルが、ユーザ定義モデルに相当することを意味し、提案するアーキテクチャが最適化モデルばかりではなく、シミュレーションモデルにも有効であることを示す。

以上の各章で開発された方法、特に第5章で開発した手順は、問題定義が構文上首尾一貫していることを前提としている。そこで、第7章では、まず、問題定義の記述規則を XML Schema として記述しなおすことによって、問題定義が XML 文書として記述可能なことを示す。これは、XML 文書の構文的な整合性は既存の汎用ソフトウェアによって検証できることから、問題定義の構文的な整合性を自動的に検証する方法を与える。次いで、XML 文書として記述された問題定義から、その数値例に必要なデータの XML Schema を自動的に生成する手順を開発することによって、問題定義におけるデータ記述が、問題定義と構文的に整合することを自動的に検証する方法を与える。このことから、構文的に整合的な問題定義の作成が可能になる。したがって、それを用いて第5章の手法で必要なデータを過不足なく収集整理し、第4章の結合情報を利用して標準モデルのパラメータ、定数を生成し、これによってソルバーの起動して解き、再び結合情報を利用して、ユーザ定義モデルの解に変換するという、新しく提案された意思決定支援のアーキテクチャが実現可能で、かつ、有効なことが明らかにされた。

第8章は研究成果の総括と発展的課題を述べており、付録は、示された手続きのプログラムや

事例である。

要するに、本論文は、問題定義を起点として、現実の問題領域で収集されるデータを入力し、それを幾つかの段階を経由して数理モデルのソルバーで解き、その解を再び問題領域におけるデータに変換するという、一連の過程を含んだ新しいモデル化環境の実現の方法を示したものである。この研究成果は、モデル化環境の高度化に向かって一歩を進めたものであり、本論文の著者は博士（経営学）の学位を授与するに十分な学術的貢献を成したものと判断する。