

# モデリングのための覚え書き

久保 幹雄

## 1. はじめに

本稿は、筆者のサプライ・チェーン最適化に関する実務家の方々との共同研究で得た経験に基づく、モデリングについての覚え書きである。特に、モデリングを行うときの注意点について、陥りやすい落とし穴に名前を付け、さらに自分に対する戒めとしての十戒を示す。

本稿の構成は次のようになっている。

節2は、議論のための準備であり、モデルを分類する際の基準になる意思決定レベルについて述べる。

節3では、モデルを善し悪しを評価するための尺度について考える。

節4では、モデリングを行うときの注意点について考える。特に、陥りやすい落とし穴に名前を付け、さらにモデリングのための十戒として注意すべき項目をまとめる。

節5では、今後の展望について述べる。

## 2. モデルの分類

サプライ・チェーンのような大規模かつ複雑な対象に対処するためには、モデルを意思決定レベルの違いによって、ストラテジック（長期）、タクティカル（中期）、オペレーショナル（短期）に分けて考えるのが常套手段である。

ストラテジックモデルは、長期（1年から数年、もしくは数十年）の意思決定を支援するモデルであり、主な意思決定項目としては、工場の位置の決定、工場における生産ラインの配置ならびに生産能力の決定、部品ならびに原料の調達先決定、配送センタの位置の決定、などが挙げられる。

一方、オペレーショナルモデルは、短期（リアルタイムから日ベース、もしくは週ベース）の意思決定を

支援するモデルであり、生産スケジューリング、日々の輸・配送計画（ディスパッチング）、運搬車のスケジューリング、倉庫内でのピッキング順の決定などを行う。

タクティカルモデルは、上位のストラテジックレベルと下位のオペレーショナルレベルの意思決定を繋ぐために用いられるすべての中間モデルである。そのため、その守備範囲は、時には長期レベル、時には短期レベルに及ぶこともある。

## 3. モデルの評価尺度

モデルを評価するための尺度については、次のものが考えられる。なお、この尺度はアルゴリズムを評価するための尺度[1, 節10.5.4]をもとにしている。

**汎用性**：広い範囲の問題に対して適用可能なこと。特定の問題を解決するために、特別に拵えたモデルより、広い範囲の問題を扱えるモデルの方が望ましい。しかし、一般にはカスタマイズの作業によって主な収益を得ているソフトウェア産業においては、汎用性がおざなりになっているケースが多いように感じられる。また、汎用性にばかり注意していると第二の評価尺度である単純性が失われる場合が多いので、バランス感覚をもってモデルを設計する必要がある。

**単純性**：モデルの理解が容易で記述が簡単なこと。実務家はしばしば自分が理解できないモデルを使用することを嫌う。したがって、同じ問題を解決するために設計されたモデルなら、誰にでも理解がしやすく、かつ説明しやすいモデルが、より優れていると評価されるべきである。サプライ・チェーンに内在する色々なタイプのORモデルを眺めてみると、現在の段階でよく使われているのは、記述が容易なモデルが多いように感じられる。

**拡張の容易さ**：他の異なる種類の問題に対しても容易に拡張できること。実際問題では、付加条件の追加やモデルの変更が頻繁に起こるケースが多い。したがって、ある特定の問題にだけ適用できるのでなく、多

くぼ みきお

東京海洋大学 流通情報工学科

〒135-8533 江東区越中島2-1-6

少の変更により類似の他の問題にも適用できるモデルが実用上重要である。これを考える際には、モデルだけでなく、それを解くための方法論（もっと細かく言うとアルゴリズム）まで考える必要がある。

**新規性：**斬新なアイデアが含まれていること。これは論文が受理されるためには、最も重要な尺度の一つであり、最近では実務においても特許のノルマを達成するために重要な尺度となっている。ほとんどの場合が、従来の研究に対する調査不足のため、それほど新規である訳ではないが、人類の新しい一步を踏み出したという満足感は、研究者にとって重要であり、尊重されるべきである。

**重要性：**重要な問題のクラスを対象にしていること。重要な応用のたくさんある問題を抽象化したモデルは、応用の少ない（もしくは存在しない）問題を解くためのモデルと比べて、重要である。特に、論文を書くために作成されたモデルが氾濫することは、実務家がモデルを選択する作業を混乱させるだけであり、ORの発展のためには、むしろマイナスである。

#### 4. モデリングのための十戒

ここでは、自分がモデルを作成する際の注意をしている戒めをまとめておく。

##### 1. モデルを単純化せよ。ただし程々に。

実務家（特に重要な意思決定を行う人）にとって、中身が理解できないほど複雑化されたモデルを使うことには抵抗がある。ブラックボックスから出てきた結果だけを信用せよ、というのはあまりに乱暴である。そのため、ストラテジックもしくはタクティカルレベルの意思決定のためのモデルは、ある程度単純化されたものが望ましいと考えられる。

しかし、一方では実務上の重要な制約をすべて取っ払ったモデルではものの役には立たない。昔の笑い話に、牛のミルクの出を良くするための報告書が「球体の牛を考えよ。」から始まっていたという話があるが、過度に単純化・抽象化されたモデルがORの専門家の間ではよく見受けられる。これを、笑い話に因んで「丸い牛シンドローム」と呼ぶことにする。ある程度実際問題を単純化・抽象化したモデルは、問題に対する洞察を得るためには役に立つが、モデルを解析的に解くためのテクニックを披露するためだけに現実離れた単純化モデルを大量に作成することは、実務家を遠ざける一因になるので戒めるべきである。

##### 2. 小さなモデルから始めよ。ただし小さな問題例に対するテストだけで、大規模問題例の解決を請け負ってはいけない。

いきなり大規模なデータを入れたモデルを作成することは避けなければならない。モデリングの最初のフェイズでは、モデルの妥当性の検証を行う必要がある。大規模データを用いて妥当性の検証を行うことは、求解時間が膨大になるだけでなく、得られた結果が正しいかどうかの判定も難しくなる。最初は、結果も直感的に理解でき、(Excelなどの表計算ソフトウェアを補助とした)簡単な手計算で検証できる程度の、単純かつ小規模なモデルから始めるべきである。その後も、問題の規模を急に大きくするのではなく、徐々にデータ量を増やしていき、もうこれで大丈夫とお墨付きがついた後で、本当のデータを入れた大規模問題例に挑戦すべきである。

しかし、小規模な問題例に対するテストでうまくいったとしても、同じ手法が大規模問題例に対して、そのまま適用できると考えるのは大変危険である。特に、数理計画ソルバは、問題の規模がある一定の線を超えると、急激に計算時間がかかるようになることが多いので、注意を要する。

##### 3. データがとれないようなモデルを作成するなかれ。

しばしば、収集することが不可能であると思われるようなデータを含んだモデルを論文誌で見かけるが、そのようなモデルでは適用の際に大きな困難にぶつかり、多くの場合、絵に描いた餅で終わってしまう。これを「画餅症候群」と呼ぶ。ただし、現在は収集されていないが、何らかの努力によってデータが収集可能か、十分な近似となるデータを集められる場合は、例外である。例えば、在庫モデルにおける在庫費用、品切れ費用などは、一部の実務家からは収集不能なデータであると評されているが、品目の価値やその会社の資金調達力などから、十分な近似が得られるので、在庫モデルは有効なモデルであると結論づけられる。

##### 4. 手持ちのデータに合うようなモデルを作成するなかれ。

データ収集の手間を省くために、手持ちのデータだけを用いてモデルを設計してしまうことがよくある。「こんなデータが手元にあるけど何かできませんか？」という注文に安易に答えてしまうのではなく、必要なデータ項目を示して、「このようなデータが必要になるので、一緒に集めましょう！」と答えるべきである。

特に、ストラテジックレベルの意思決定においては、社内で得られるデータ以外の外部データも重要になる。また、手持ちの生データをもとにしたモデルを作成するのではなく、生データに適当な集約や補完などの処理を行った上で、モデルに入力するべきである。例えば、日々の需要データをもとに、倉庫の建設の可否を判断することなどはナンセンスである。

#### 5. 複雑なモデルは分割して解決せよ。ただし程々に。

しばしば、サプライ・チェーン全体を考慮したオペレーショナルモデルを作ってみたい欲求に駆られて、巨大なモデルを作成するという試みを見かけるが、往々にして失敗に終わるようである。サプライ・チェーンのような複雑で大規模な問題をモデル化するためには、それを細かく分解して、個別に対処するしか手がないのが現実なのである。特に、異なる意思決定レベルに属する問題は、別々のモデルとして表現して意思決定を行うべきであり、これは、次で述べる「異なる意思決定レベルを同一のモデルに押し込むなかれ」でも戒めている通りである。

しかし一方で、多くの費用はモデルの接続部で発生している。例えば、工場の出口から倉庫への輸送スケジュールと工場内の生産スケジュールを別々にモデル化していると、その接続部である工場の出口に大量の在庫が溜まってしまう。だからといって両者を同時に最適化することは現実的ではない。これは、工場内の生産を需要とリンクさせ、決められた基在庫レベルを維持するように生産最適化を行い、さらに工場と倉庫の間の輸送スケジュールは、輸送固定費用とサイクル在庫費用のトレードオフを考えた最適化モデルを用いることによって、部分モデルの組合せとして解くべきである。

#### 6. 標準モデルへの帰着を考えよ。

実際問題を解決する際に最初に考える（べき）ことは標準モデルへの帰着である。標準モデルを解くための手法が確立されている場合にはなおさらである。帰着のためには、ダミーの発想が役に立つ。ダミーとは、実際問題にはあらわれない、モデル化のための仮想のモデル構成要素である。例えば、供給量が需要量と合わない輸送モデルにおいては、供給量不足（もしくは超過）を吸収するためのダミーの供給地点（需要地点）を作成して、実際の需要地点（供給地点）との間に費用0のダミーの枝を引けば、教科書に載っている輸送モデルに帰着される。帰着のためのダミーの利用

は、コロンブスの卵であり、モデルの再利用やダミーを常に意識していないと、思いつかないことが多い（実際に、上の帰着例は、プロの最適化コンサルタントから聞かれて教えてあげたものである）。

逆に、なんでも手持ちのモデルに無理やり押し込めるのはよくない。帰着の際にモデルがどれだけ大きくなり、それによって解くためのアルゴリズムの計算量がどれだけ増大するかを念頭に置いて、「効率（センス）の良い」帰着を行うべきである。また、ある程度のカスタマイズは（特にオペレーショナルレベルの問題では）避けて通れない。このような場合には、標準モデルへの帰着をあきらめ、新たなモデルとして設計し直した方が早い場合がある。

#### 7. モデルを抽象化して表現せよ。ただし程々に。

モデルを再利用するためには、モデル間の類似性を見抜く力が重要になる。モデルをある程度抽象化して記述しておくことは、再利用の際に類似性を見つけやすくするためのコツである。例えば、サプライ・チェーンにおける小売店、倉庫、配送センタ、工場などは、すべてネットワークにおける点に抽象化できる。この抽象化によって、工場から倉庫へ輸送するモデルと、倉庫から小売店に輸送するモデルは、同一のモデルとして扱うことが可能になる。また、モノ（製品）が移動する経路が確定されている在庫モデルにおいては、モノと点は同一視して扱うことができるので、さらに抽象化して「品目」と呼ぶ。この抽象化によって、多品目・多在庫地点の在庫モデルは統一的に扱うことが可能になる。しかし、極度に抽象化されたモデルは、ものの役には立たない。これは、極度な単純化に対する戒めで述べた「丸い牛シンドローム」と同じ理由による。

#### 8. 異なる意思決定レベルを同一のモデルに押し込むなかれ。言い換えれば、森から脱出する際に木ばかり見るなかれ。

ストラテジックレベルの意思決定項目をサプライ・チェーン全体を通して最適化するモデルを作成する必要があるときに、日々の残業規則などを持ちだしてモデルを複雑化することなどが、この戒めを破っている代表例である。これを「木を見て森を見ないシンドローム」と呼ぶ。往々にして、現場で長年経験を積んできた人ほど、この症候群に陥りやすい。常に、一兵卒ではなく、戦略をたてる参謀の視点で、モデルを作成すべきである。

#### 9. 解くための手法のことを考えてモデルを作成せよ。

よ。

しばしば、作業のフロー（自動処理）をもとにして、サプライ・チェーンのモデルを作成しようという試みがなされるが、ほとんどの場合、解くための手法（アルゴリズム）がないために失敗に終わっているようである。また、解くための手法が、現場と同じ単純なルールにならざるを得ないほど複雑かつ大規模なモデルを作成したとしても、ルールベースで運用されている現場と同じレベルの結果しか出すことができないなら、このようなモデルは無意味である。アルゴリズム的な側面だけでなく、モデルに最適化すべきトレードオフ関係が内在されていないモデルは、最適化する意味がよく分からず、使えないモデルになってしまう。これは、企業体資源計画システム（ERP）に代表される多くの処理的情報技術<sup>1</sup>から派生したモデルで多くみられる現象である。

#### 10. 手持ちの手法からモデルを作成するなかれ。

これは特定の手法の研究者にありがちなことであるが、自分が研究している手法を試したいが故に、手法をベースとしてモデルを作成してしまいがちである。先に述べた「手法のことを考えてモデルを作成せよ」と矛盾するように見えるが、重要なことはバランスである。無理やりに、自分の研究に持ちこむことは戒めべきである。これを「我田引水シンドローム」と呼ぶ。特に、特定のアルゴリズムでうまく解ける範囲の応用を想定し、あたかも実際問題があるかのような記述をすることは、本当の問題を解きたい実務家から見ると興ざめである。実際の問題にあった手法を探し、例えそれが自分の研究の興味と違っても、その手法を採用する勇気が実際問題を解く際には重要になる。

幾つかの戒めは互いに相反するものであることに注

意されたい。要はモデリングのコツはバランス感覚であり、それがアート（職人芸）と言われるゆえんである。

## 5. おわりに

サプライ・チェーンには、様々なモデルが内在している。あるモデルは、確率論を基礎とし、別のあるモデルは数理計画を基礎とし、また別のあるモデルは、その両者を含んでいるといった具合である。通常、ORの研究者は、確率論、組合せ最適化、非線形計画など、縦割りの構造の中に身を置くため、別の分野のモデルについては無関心であるが、サプライ・チェーンのみならず、実務家に対するアドバイスをしようと思ったら、専門外の知識も多少持つておく必要がある。つまり、専門を深く掘り下げる研究者だけでなく、様々な分野に対する知識を一通り持っているゼネラリストが必要とされているのである。

また、新しいモデルは研究室にいてできるものではない。実務家との共同作業によって掘り起こし、共同研究によって磨き上げなければ、真に使えるモデルはできないことを肝に銘じるべきである。今後は、実務家と理論家の共同作業によって、本当に役に立つモデル（とそれを解決するための手法）が、たくさん学会で報告されるようになることを期待する。

最後に、多くの貴重なコメントをいただいた富士通総研の大西真人氏ならびに執筆の機会を与えてくれた成蹊大の池上敦子氏に感謝の意を表したい。

#### 参考文献

- [1] 久保幹雄, 田村明久, 松井知己: 応用数理計画ハンドブック, 朝倉書店, 2002.

<sup>1</sup> モデルを内在せず自動処理だけから構成されたシステムを処理的情報技術（IT）と呼んで、モデル経由のシステムである解析的ITと区別する。もちろん、ORで対象とするのは解析的ITである。