

モデリング&シミュレーションを適用する前提条件と適用プロセス

松本憲洋 (POSY Corp.)

はじめに:

システム・ダイナミクスによるモデリング&シミュレーションを、ビジネスにどのように適用するのかについて、システム・ダイナミクスに興味を持つというビジネス・パーソンの中で、いまだに議論されることがある。CADシステムを眼前にした建築家の集団が、このシステムを我々の設計業務にどのように適用するのだろうか、おしゃべりしているようなものである。

「モデル」とは言うまでもなく、対象を注目している視点から眺め、捨象と抽象により、その視点における本質的な「要素とその関係」を抽出し、その「要素とその関係」を再合成して得られる「システム」のことである。そのモデルを表現することを「モデリング」と言い、表現するためには表記法が必要になる。動的な挙動に特徴があるシステムを表現する表記法の一つとして、システム・ダイナミクスに内包されている表記法がある。

システム・ダイナミクスの創案者は、色々な名前でも呼んできたシステム・ダイナミクスの中に定性的な表記法も定量的な表記法も含ませているようであり、私などの初心者も、広義のシステム・ダイナミクスは、システムズ・シンキングと狭義のシステム・ダイナミクスを含んでいると言ったりして、はなはだややこしい。

そこで、広く認められている定義ではないが、ややこしさから逃れるために、「広義のシステム・ダイナミクス」を「システムのアプローチ」、「システムズ・シンキング」はそのまま「システムズ・シンキング(ST)」、「狭義のシステム・ダイナミクス」を「システム・ダイナミクス(SD)」と呼ぶことにしている。

「システムズ・シンキング(ST)」は、定性的な挙動を表現する表記法であり、因果関係図(CLD)と時系列挙動図(RM)と呼ばれるツールにより具体化されている。「システム・ダイナミクス(SD)ツール」は、挙動を定量的に表現する表記法とシミュレーション法とで組み立てられており、シミュレーションでは非線形連立常微分方程式に初期値を与えて構成要素の時系列を計算する。

結局、自分が直面しているビジネスの世界をSDでモデリングすると言うのは、日本語や英語のような自然言語で表現するのと同じことである。したがって、日常的に使い慣れている自然言語ではなく、何らかの学習を必要とするSDで表現する以上は、この方が分かりやすいとか、協働者との間で誤解を生まないとか、それにより自ら新しい発見が期待できるとかのメリットがなければならぬのは当然である。

では、SDによるモデルをビジネスにおいてどんなことに適用するのかというと、SDのモデリングを採用しなかった時にもやらねばならなかったことに対して、より合理的に好結果を期待して適用する、さらにSDを使うがゆえに実行できることに適用するのである。

したがって、自らのビジネスを日本語の文章で記述するとともに、SDによるモデリングで表現してみる。どちらが分かりやすいか。仮に、SDによるモデリングが分かりにくいとか、表現できないとかであるなら、まだシステムのアプローチを使えるまでに貴方の準備が整っていないだけである。

次に、SDモデルの表現の方が、ビジネスが分かりやすいと感じたなら、このモデルを作るときに注目した視点から、自らのビジネスのどんな問題を解決するかを考えてみる。このとき、「問題は何か」が出てこないようなら、ビジネスに携わる者としてモデリング以前の段階に貴方がいることを理解できるだろう。

以降では、モデリング&シミュレーションを開始して意味がある前提条件についてまず触れ、次に、SDによるモデリング&シミュレーションの適用プロセスについて、その流れと各段階の概要について述べる。

なお、本稿は、弊社で開催しているオリエンテーションコースの原稿の一部を編集し直したものである。

1. モデリング&シミュレーションの基本プロセス

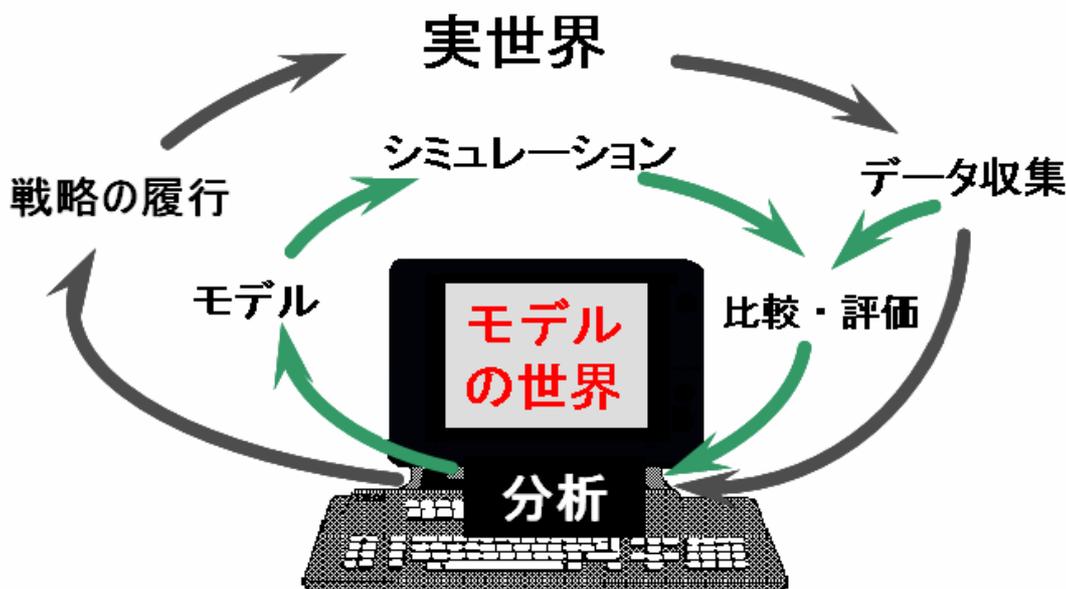
社会系で対象とする問題については、実世界と仮想世界(モデルの世界)の関係が、概ね以下の連携により説明される。

実世界 データ収集 評価 分析 抽象化された世界(モデルの世界) シミュレーション試行 (仮想経営) 比較 実世界のデータとシミュレーション結果との対応が悪い場合 分析に戻る

対応が良かった場合は;

戦略シミュレーション(モデル上での戦略の履行による検証)

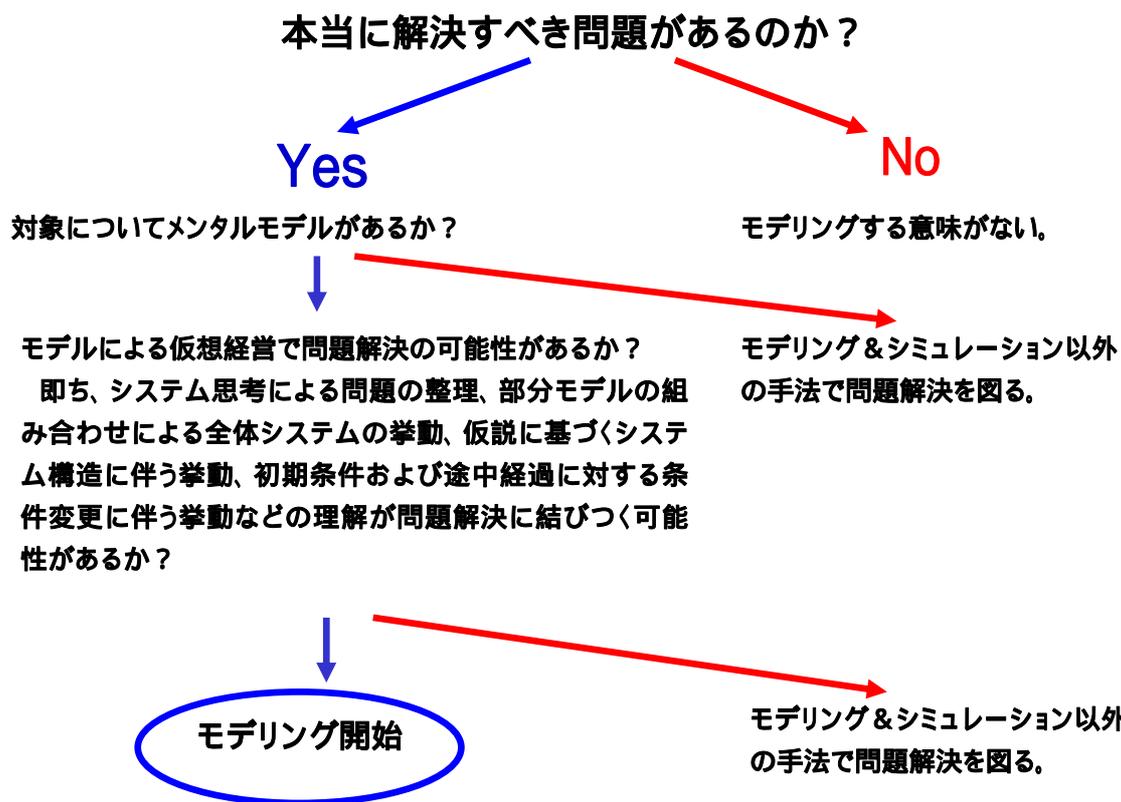
戦略シミュレーション結果を参考にして実世界で戦略の実行



2. SD モデリングを実施することを決定する前の自問自答

モデリングにおける捨象と抽象は、自然言語のドキュメントにたとえると、要約を作成するような作業であり、もともとのビジネスをある特定の視点で詳細に捉えて、分析・整理してその本質を抽出することである。これは、並大抵の能力・労力では実行できない。仮に、モデルを使わないで、従来の簡便な方法で問題が解決できる見通しが立つなら、現実的にはその方法を採用すべきである。

したがって、モデリング&シミュレーションを実施すると決める前に、以下に示す判断分岐を辿り、モデリング&シミュレーションの採用は“意味あり”との結論に達した場合のみ、実施を決定すべきと考えている。



3. ST/SD による問題分析と解決の標準的流れ

この節では問題分析・解決の流れの全体像を示し、次節でそのステップについて述べる。流れは次ページに示すように、「モデルの検証段階」と「戦略シミュレーションの段階」に分かれる。

(1) モデルの検証段階

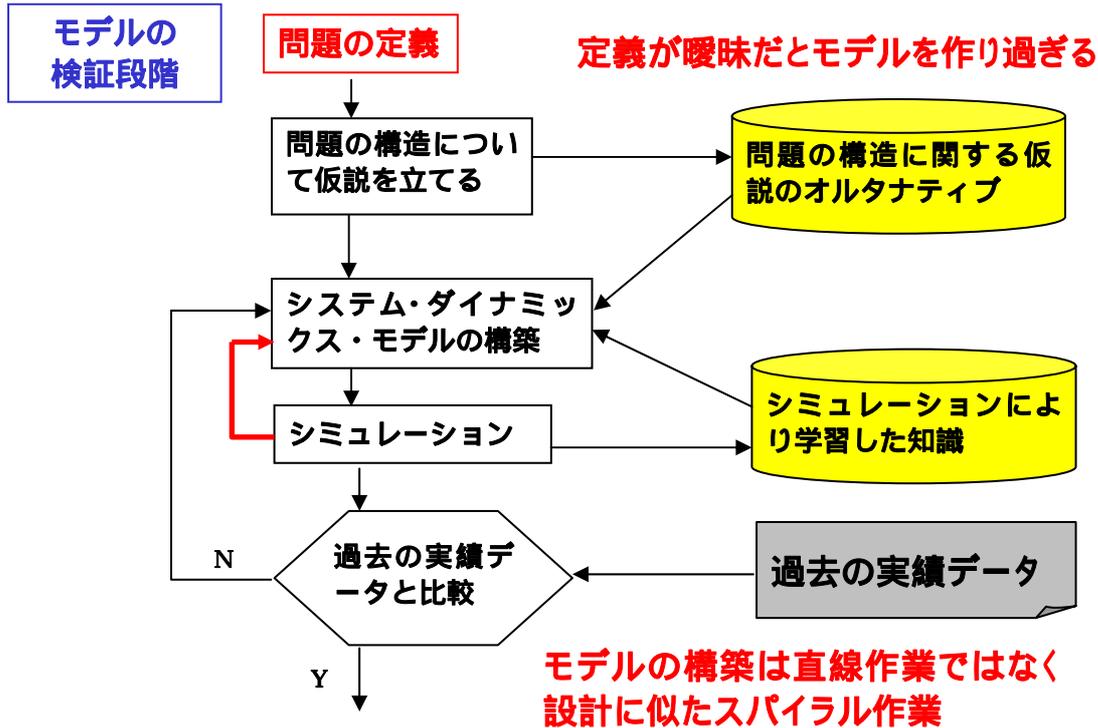
取り上げた対象システムの「問題」の定義を明確にして、問題解決の方向が“ぶれない”ことが最も重要である。次に、重要なことは、対象システムの構造について仮説を立てて組み立てることであり、構想力を必要とする。試作したモデルでシミュレーションを繰り返し、要素間の関係を把握し、過去の実績データあるいは類似システムのデータを引用しながら、モデルの改築を繰り返す。過去の実績などを説明できるモデルを最終的なモデルとして採用し、その適用条件を明示する。

(2) 戦略シミュレーションの段階

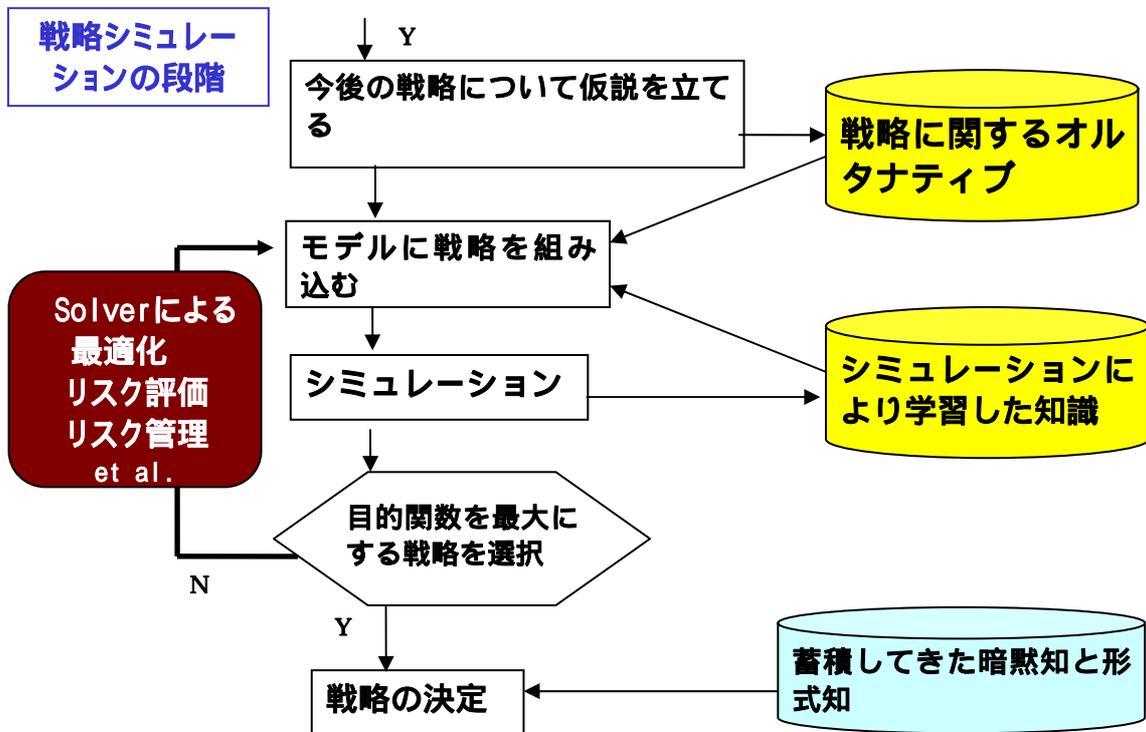
ビジネスには、上位の企業ポートフォリオ戦略から下位組織の運営戦略まで、多階層の戦略が存在するが、ここでは戦略レイヤーの特定をしないで説明する。

問題を解決して目標を達成するために仮説を立て戦略を立案する。この段階は、対象の業務ノウハウが不可欠であり、そのノウハウが整理されていて仮説を組み立てる上で活用されることが前提となる。この段階で、仮説に基づき、条件を変えて行うシミュレーション(感度分析を含む)は、仮想経営による仮説検証であり、この途中結果が新たな業務ノウハウとして蓄積される。

入力条件の確率分布が最終目的変数へ及ぼす確率的な影響とか、最小・最大などの最適値を得るための条件探索などを仮想経営(シミュレーション)の中で行うために、Solver 機能(最適化、リスク評価、リスク下の最適化)も活用する。



モデルの検証段階の流れ



戦略シミュレーションの段階の流れ

4. ST/SD による問題分析と解決のプロセス

モデルの設計・構築プロセスは他の設計プロセスと同様にリーマン面を辿るようなスパイラル状の作業プロセスだから、以下の番号どおりに一気に進むのではなく、行きつ戻りつすると考えている。

(1) 問題の認識から定義

問題を認識する視点が定まらず、その結果定義が不明確だと、モデルの構築段階で問題解決と関連の薄い部分まで作りこみ、結果としてモデルを作り過ぎてしまう傾向がある。

(2) 関連資料の収集

資料の収集に努力が必要であるが、集めた資料に含まれているからと言って問題と関係が薄い要素であるにもかかわらず、モデルに組み込むという愚を冒してはならない。

(3) 問題に関係する要素のリストアップと主要変数の決定

変数一覧から問題の定義とモデルの境界(後述)を参照しながら、主要変数を判断する。

モデルの目的にあまり関係しないものは排除し、不確かなものは脇に残しておく。

問題に関係する要素のリストアップについては様々な方法がある。

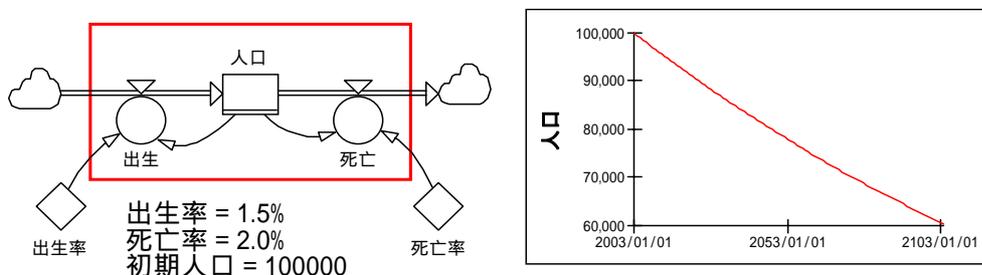
見落としとか、漏れを生じさせないためには、**ロジックツリー**が有効である。

専門知識と KJ 法

ブレインストーミングと KJ 法

原因究明のロジックツリーと対策追求のロジックツリー

モデルの境界については、問題の定義の段階から検討を始めるが、“問題に関係する要素のリストアップと主要変数の決定”のこの段階に合わせて方針を決定する。



例えば、上のモデルでは、出生率や死亡率は人口とは直接の関係がなく、モデルの外から与えられるものとしている。しかし、一般には、人口増加が産業を発展させ、社会インフラが整備され、社会環境が良くなって、出生率や死亡率が影響を受けるわけである。したがって、外から与えるのであるなら、上述の影響を外部で計算して与えなければならない。

決定されえた方針に沿って、モデルの内部に含まれシミュレーションにより決定される内生変数であるか、システムの外部から与える外生変数であるかを確認する。一般には、外生変数は定数で表される。

モデル構築においては視点をしっかり定め、問題の挙動を発生させることに関係している要素だけを用いて、モデルとして構築すべきである。

また、モデルの挙動が外生変数により極端に変化する場合には、モデルが内部的に主となる挙動を生成していないことになるので、その場合には内部のフィードバックループを見直すとか、外生変数をモデルの内部に取り込むなどの対策が必要である。

問題に関係する要素の種類について分類し、それを意識しながらリストアップする必要がある。

制御できる要素

問題を認識して定義した者が、決定できる要素

(= 制御可能要素 or 意思決定要素)

制御できないが関連がある要素

問題を認識して定義した者の力では変更したり決定できない要素

(= 制御不能要素 or 環境要素)

主要な要素間を仲介する要素

主要な要素である や 自身あるいは相互の関係付けにおいて、関係を具体的に表現する上で必要となる媒介役の要素

結果を評価するために基準となる要素

問題を認識して定義した者が、問題を解決したか否かを判断するために観察する要素

この要素を目的に合わせて最大 / 最小あるいは基準以上 / 以下などになるように、シミュレーションを活用して の条件の下で を調整する。

(4) 主要変数の時系列挙動図 (RM:リファレンス・モード) の作成

これらの図面により、主要変数間の相互影響が明確になり、モデル構築の仮説を組み立てる上で有効な情報となる。また、シミュレーション実施結果と比較したとき、その傾向の差が極端であるなら、モデルの構造設計における設計者の仮説に問題があることが推測される。

時系列挙動図の作り方;

自分自身の経験と予測による手描き (すなわち、メンタル・モデルの視覚化)

実データベースの実績値

.....

(5) 解決策の予測

取り上げた問題の業務に関する専門家として、現状での解決策を予測する。

この予測と予測にいたる思考過程が戦略シミュレーションの実験計画立案に役立つ。

(6) 主要要素の因果関係を確認

Causal Loop Diagram (CLD)

場合によっては、CLD がモデルの構築後に作られたり、あるいは作られないままにモデルが完成することがある。オブジェクト指向を導入した Ps Studio による SD モデルでは、モデルを単純化して因果関係を明確に表現できるので、CLD の作成を省略することができる場合が多い。

(7) 自然言語でモデルを作成

Verbal Model

日本語あるいは英語でシステムを表現すると厳密さがなくなるが、自然言語による表現は多くの人にとって取り掛かりやすいという側面を持っており、組織内の意識共有にはこの言語モデルは欠かせない。

また、曖昧であったにしても日本語ですら問題の構造を表現できないことを知り、設計者自身が自らの無能さに唖然とすることもある。

(8) モデルの構築

Causal L. と Verbal M. に基づきモデルを構築する。

主要変数以外のマイナーな変数を定義する。

部分的なモデルの構築と時系列挙動図等との比較により、妥当性を定性的に確認する。

なお、Verbal Model の内容からかけ離れる場合もあるが、問題解決に向けてモデルに対する視点が明確であれば構わない。

モデル構造の構築は、最も主要な部分の“レベル”を最初に配置するところから着手し、中心から周辺に向かって一定の塊のモデルを描く。モデルの式の定義は構造とは逆に、ある塊の構造の周辺の定数変数部分から中心部分に向かって定義していく。

Studio の中では単位を計算することにより式の論理性的のチェックが自動的に行われ、論理エラーに対して警告が表示される。

(9) モデルの検証(チューニング)

過去の実績等の実データとシミュレーション結果とが近づくよう、モデルを構成する変数の内で曖昧なものを調整する。

(10) 戦略シミュレーション

実験計画に基づく。問題の種類によって、シミュレーションの構成は異なる。

(11) 解決策の決定

実世界に適用すべき解決策としてモデルの構造の変更、すなわち組織の仕組み、あるいは規定の変更を主に決定する。(在庫の例など)また、モデルは実世界の対象を抽象化・捨象した物であるから、モデルでは無視されたマイナーな要素が多々ある。特に、社会系の問題においてはそれらを配慮する意味からも、この段階で人の経験、ノウハウなどを加味し、シミュレーション結果のみで全てを決することはしない。

(12) 実適用後の評価・フィードバック

対象毎にやり方は大幅に異なる。

5. SDツールによるモデル構築作業の原則

前述の(8)で触れた構築作業の具体的なポイントについて以下に整理する。

対象とするシステムを最もよく表現するステータスであるレベル要素をダイアグラム上に最初に配置する。

注)ステータスとはフローではなく、過去に蓄積されたストックであり、そのシステムの価値表現に関係している要素である。

最初のレベル要素の周りにフロー要素を配置して、中心から外に向かって、モデルの構造を構築する。要素の名前を順次記入する。

ほぼ、ダイアグラムの半枚から1枚分ごとに、要素の数式をプロパティ・ボックスの中で定義する。定義の順は、最初に外の定数、次にレベルの初期値、その後は、外から内側に向かって補助変数の数式を順次定義する。

単位については、定数とレベルの初期値の定義では入力するが、他では入力せず、Ps Studio による単位の自動計算に任せる。

ただし、プロパティ画面で、意識して単位を変更することもできる。

検証の終わっていないモデルを、実用に供することはできない。

部分的または全体的な検証を実施し、実用に当ってはその信頼の程度を説明できなければならない。

以上



鞆から仙酔島を望む