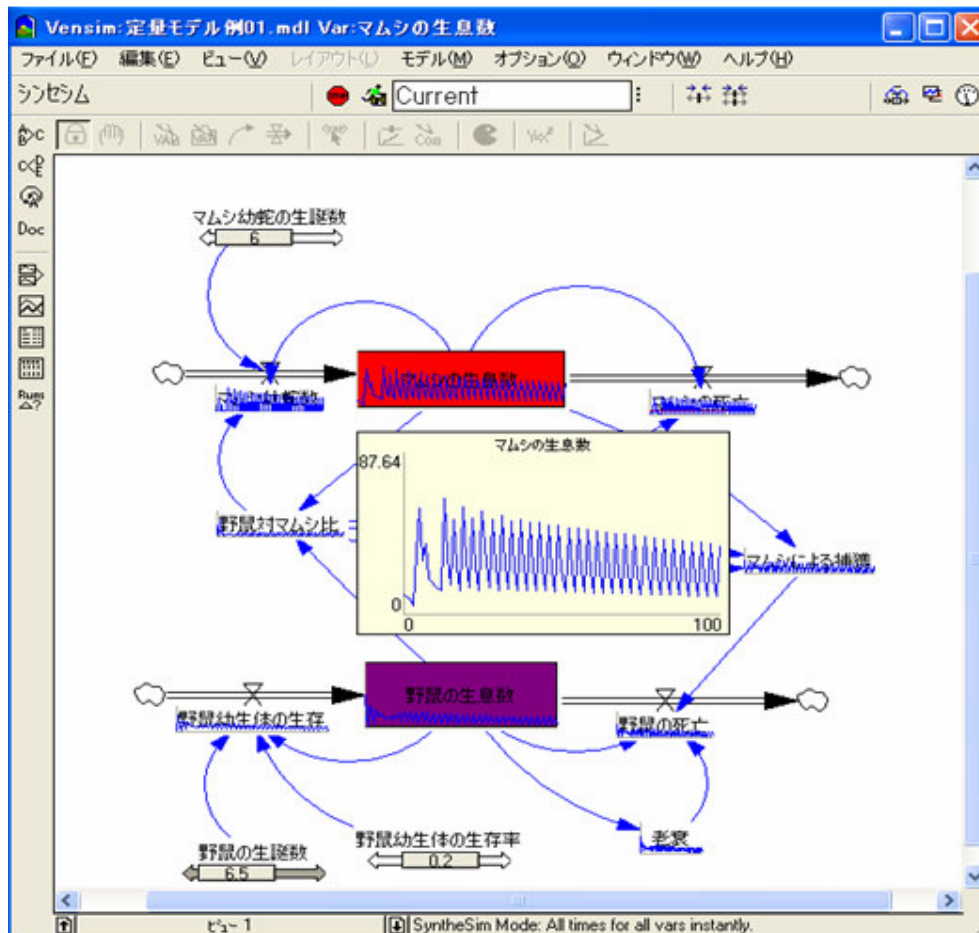


Vensim PLE入門



末武 透(日本未来研究センター)

(2008.12.15)

Vensim PLE 入門

目 次

はじめに	2
第 1 章：Vensim PLE の操作画面	
1. 日本語版環境の設定	4
2. Vensim PLE の画面	6
3. メイン・ツール・バー	8
4. モデル記述ツール	11
5. ステータス・バー	17
6. 分析ツール	19
7. 出力と印刷	24
8. 関数	25
第 2 章：モデル構築とシミュレーション	
9. 定性モデル構築と定性分析	28
10. 定量モデル構築と定量分析	31
参考資料	46
かこみ記事：見やすさは分かりやすさ	18

はじめに

本稿は、Vensim PLE (Vensim Personal Learning Edition)を使い、モデル作成とシミュレーション実行を行うための入門書として書かれたものです。従って、Vensim PLE の全ての機能やモデル構築に関する情報を網羅したものではありません。また、本稿は、MS-Windows XP における Vensim PLE 5.6d の動作環境を前提として 2007 年 3 月 31 日の時点で記載していません。Vensim PLE や MS-Windows のその後の変更などを反映していません。予めご承知おき下さい。操作マニュアルは Vensim PLE の動作画面から参照できますし、また、アクロバット・ファイルでも Ventana 社のホームページから提供されています。モデル構築に関するガイドブックについても、同じく Vensim PLE の動作画面から参照できますし、また、同社からアクロバット・ファイルでも提供されています。Vensim PLE の変更や詳しい解説なども含め、そちらをご参照下さい。

筆者の誤解や説明不足、あるいは記載ミスなどにより、この入門書にいろいろ不備や誤りがあるかも知れません。予めご容赦願います。もし、記述に疑問を感じた場合、是非、操作マニュアルやモデリング・ガイドを参照して下さい。また、最後に筆者のメール・アドレスも記載していますので、遠慮なくメールを下さい。返答が遅くなるかも知れませんが、なるべく返事を差し上げるようにしたいと思います。

本稿はシステム・ダイナミックスのソフトである Vensim PLE の操作に限定して記載されています。従って、システム・ダイナミックスについては簡単にしか触れられていません。システム思考やシステム・ダイナミックスに関する情報源や書籍を参考文献に挙げてありますので、システム思考やシステム・ダイナミックスについてはそちらを参照して下さい。

システム・ダイナミックスは、1950 年代にマサチューセッツ工科大学スローン経営大学院の教授であった、ジェイ・W・フォレスターによって開発された、社会開発や経済、経営、環境、IT 整備や情報セキュリティ、教育などにおける課題をシミュレーションにより解析し、最適なソリューションを提示する方法で、その対象となる先の分野の課題に対する考え方や定性分析の方法論がシステム・ダイナミックスを進化させた形で 1980 年代に、バリー・リッチモンドやピーター・センゲなどにより「システム思考」として開発されました。

Vensim PLE は、Ventana Systems 社により開発されたシステム思考及びシステム・ダイナミックス・モデリング支援ソフトであり、無料あるいは低額で配布されているものです。上位ソフトである Vensim Professional や Vensim DSS などに比べ機能は限られていますが、システム思考及びシステム・ダイナミックスの学習に必要な機能は十分備えています。フリー・ソフトなので、MIT スローン経営大学院など米国ではシステム思考、システム・ダイナミックスの教育や研修で広く使われています。我が国では、同志社ビジネス・スクールに於けるビジネス・モデリング教育等に使用されています。

Vensim PLE は、システム思考とシステム・ダイナミックスを同じソフトで取り扱える点も大きな特徴になっています。実務で直面するさまざまな問題や課題は、多くの場合、定性分析だけでも十分な洞察を得ることができます。また、定量分析を実施する前に、十分な定性分析を実施することはとても重要なことです。Vensim PLE には十分な定性モデリング機能がありますので、システム思考で取り扱う定性モデルの構築には Vensim PLE の機能で十分でしょう。ただし、計画策定などで厳密かつ詳細な計画を策定する必要があり、本格的な定量モデルを構築する必要がある場合には、Vensim PLE では機能が限られていますので、Vensim Professional 及び Vensim DSS の利用をお勧めします。

この非常に簡単な入門によって、Vensim PLE に慣れ、ファンになっていただくことを願っています。

本入門をベースに、ビデオ教材やパワーポイントによる自習学習教材を開発する予定です。また、本書では、システム思考やシステム思考でよく用いられるシステム原型、さらには、定量モデルの基本的な構造パターンなどについてはほとんど触れていませんので、これらの話題を解説するものとして、本書の姉妹編である「Vensim PLE 中級」の出版を企画しています。

不定期ですが、システム思考やシステム・ダイナミクスを紹介するセミナーを実施したいと考えています。システム思考やシステム・ダイナミクスについて詳しいことをお知りになりたい方は、筆者までご一報下さい。

最後に、本入門は、同志社大学山口薫教授の発案で筆者が開発したもので、開発に際しては、山口薫教授のみならず、同志社ビジネススクール門下生である早崎道人氏、中西宜之氏、蔵本篤氏などさまざまな関係者の支援を頂きました。ご支援いただいた関係者に対し深く感謝します。

また、記載の誤りなどは筆者が全て責任を負うものであり、文中の見解などは、筆者の個人的意見や見解であり、Ventana 社や日本未来研究センターの見解や意見を表したものではありません。

第 1 章 : Vensim PLE の操作画面

この章では Vensim PLE の機能及び使用できる関数について説明しています。

「1. 日本語版環境の設定」では、日本語環境に変更するやり方を説明しています。本稿が執筆された 2007 年 3 月 31 日の時点では、Vensim PLE はまだ全てが日本語化されたわけではありませんが、MS Windows 2000 及び XP で提供されている部分の「メニュー」に関しては日本語で表示することができます。ここでは、メニューを日本語で表示させるための日本語環境の設定について説明しています。

「2. Vensim PLE の画面」では、Vensim PLE の画面に表示されるメニューやツールについての概要を解説し、その後、モデル記述や分析などでよく使われるツールや機能について、節を改めて記載しています。この節は、そんなものかという理解でいいでしょう。

「3. メイン・ツール・バー」ではモデルを保存したりシミュレーションを実施する際に使うツールについて、「4. モデル記述ツール」と、「5. ステータス・バー」では、モデルを記述する際に使う記述ツールについて解説しています。

「6. 分析ツール」は、グラフや表でシミュレーション結果を表現したり、あるいは、モデルでの要素間のリンクを分析する際に使うツールについて解説しています。

そして、「7. 出力と印刷」では、シミュレーション結果のグラフや表を印刷したり、ファイルに出力、あるいはパワーポイントやワード文書などにコピーする方法を説明しています。

章の最後の節である「8. 関数」では、モデルを構築する際によく使われる関数について解説しています。

1. 日本語版環境の設定

Vensim PLE そのものは、<http://www.vensim.com/download.html> (2008 年 11 月 30 日時点)からダウンロードできます。ただし、ダウンロードし、インストールしても、そのままではメニューは英語環境なので、メニューを日本語に変えたい場合は以下の操作を実施して下さい。メニューが英語環境でもいいというユーザーは、この作業を実施する必要はありません。メニューが英語環境のままでも、Vensim PLE Version 5.6d では、モデルの変数名やコメントに日本語や全角文字を使用することができます。

以下、日本語版環境の設定手順です。

作業 1 : Vensim PLE のダウンロード

ダウンロードした Vensim PLE をフォルダーに展開します。この際、基底ディレクトリー C:からパスでフォルダーを作成しますが、パスと Vensim PLE を展開するフォルダーには日本語及び全角文字を使わないで下さい。Vensim PLE のダウンロードし、インストールする際に、特にディレクトリー選択しなければ、C:¥Program files が選択され、Vensim というフォルダーが自動的に作成され、ここにプログラム・ファイルが展開されると思います。例えば、筆者のパソコンでは、基底ディレクトリーC:の下にある C:¥Program files の中に Vensim というフォルダーが作成されています。

ここでは、C:¥Program files¥Vensim に Vensim PLE のプログラム・ファイルが展開されたとして解説します。

作業 2 : Japanese.vrf のコピー

Vensim の日本語化作業は、現在日本未来研究センターで進行中ですが、同センターにメール連絡すれば、テスト版の日本語メニュー用バッチファイルが無料で頂けます。メールアドレスは：sd-info@muratopia.org.

このバッチファイル Japanese.vrf を C:¥Program files¥Vensim にコピーして下さい。

作業 3: Vensim PLE の起動と日本語環境への変更

Vensim PLE を起動して下さい。筆者の PC 環境では、「スタート」ボタンから「すべてのプログラム」を選択し、「Vensim」→「Vensim PLE」を選択することで Vensim PLE の画面が開きます。メニュー・バーの「Option」から「Language」を選び、「Japanese」を選択します。すると「You must exit vensim and start it again to update all menus」というメッセージが表示されます。「OK」を選択し、一旦 Vensim PLE を終了します。

作業 4:日本語環境の再確認

再度 Vensim PLE を起動し、メニュー・バーの表示が日本語に変わっていることを確認して下さい。図 1 のようにメニューが日本語になっていれば成功です。

2. Vensim PLE の画面

図 1: Vensim PLE の画面 (全体)

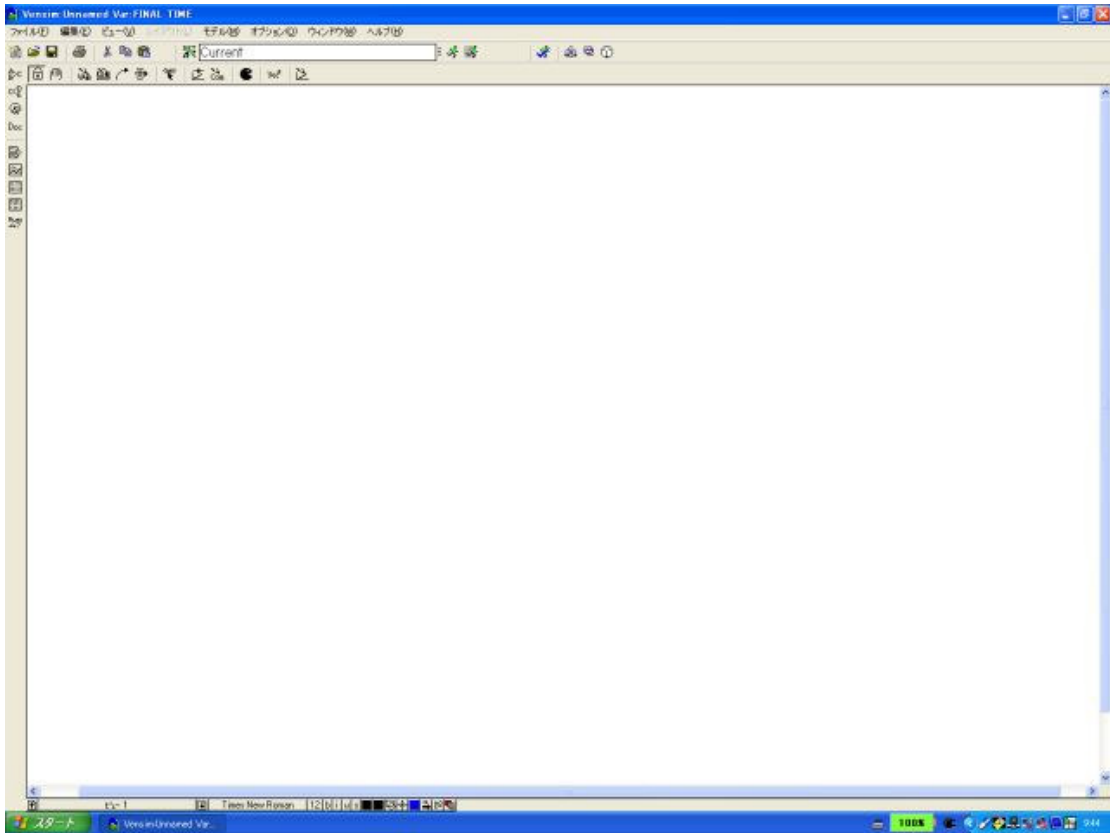
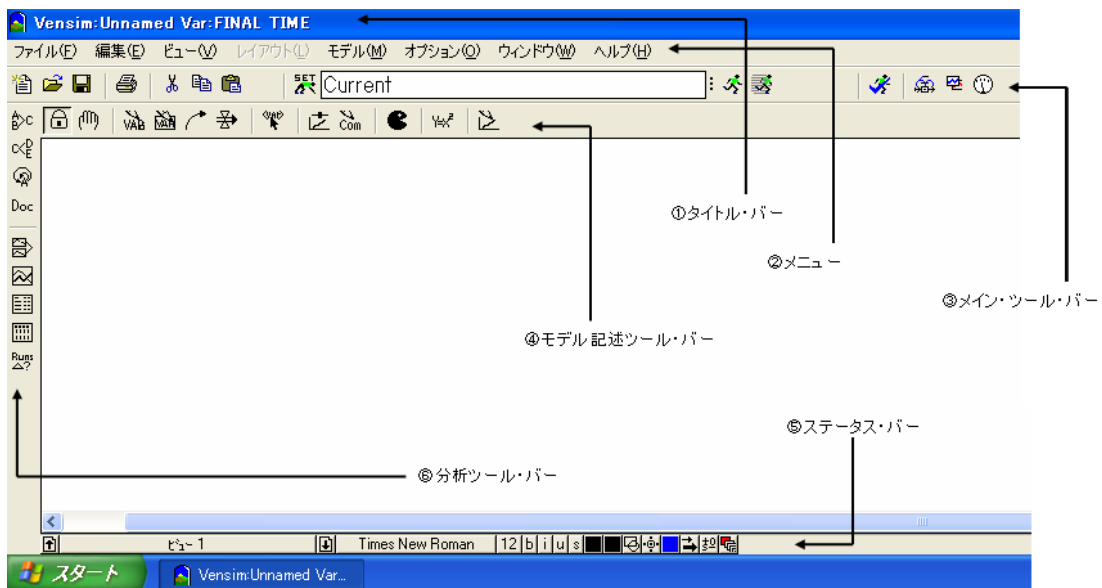


図 2: Vensim PLE の画面 (拡大)



Vensim PLE を開くと、図 1 のような画面が最初に現れます。この図では小さすぎて細部が見にくいので、図 2 に拡大した画面を示しました。図 1 の中央部がモデルを記述するスペースになっています。以下、順番に概説します。この節は、こんなものだという理解でいいでしょう。なお、③から⑥までは節を改めて解説していますので、この節では触れていません。

①タイトル・バー：

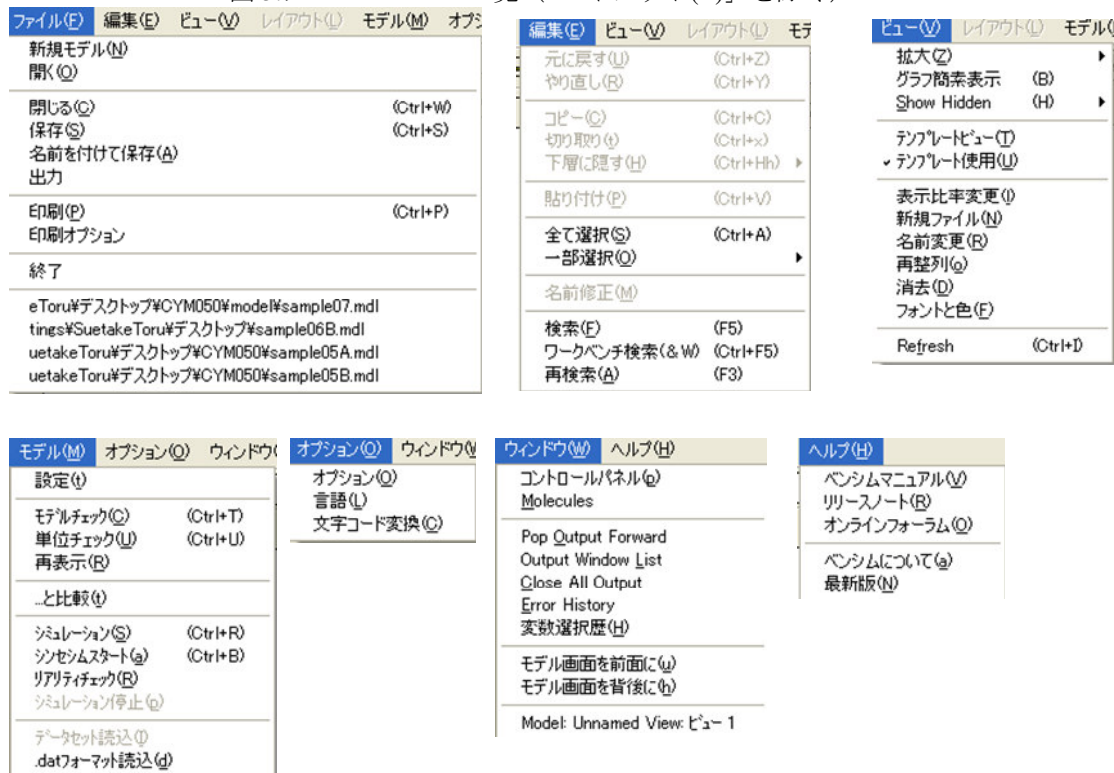
一番上のブルーの帯はタイトル・バーで、まだモデルが作られていない場合は、「Vensim: Unnamed Var: FINAL TIME」と記載されています。モデルが作成された場合、あるいは既存のモデルを開いている場合は、ここにオープンされたモデルのファイル名が表示されます。

②メニュー：

二段目は MS ウィンドウ機能によるメニューで、ファイルを開いたり閉じたり、印刷、あるいは表示方法などの選択ができます。「ファイル(F)」、「編集(E)」、「ビュー(V)」、「レイアウト(L)」に関しては特に目新しいものではないでしょう。「モデル(M)」ではシミュレーションの実施条件や単位のチェック、そしてシミュレーション実施ができます。実施条件の設定では、時間単位とシミュレーション期間を設定できます。同じことは、新規にモデルを構築する際に、「③メイン・ツール・バー」で、「新規ファイル」のツールを選択した場合にも可能です。さらには、もし設定していなければ、モデル構築が終了し、初めてシミュレーションを実施しようとする際にも同じ画面が現れ、実施条件の設定を要求してきます。

「ヘルプ(H)」の「ベンシムマニュアル(V)」からベンシムの操作マニュアルを呼び出すことができます。Vensim PLE に関する詳しい情報はこちらから参照して下さい。

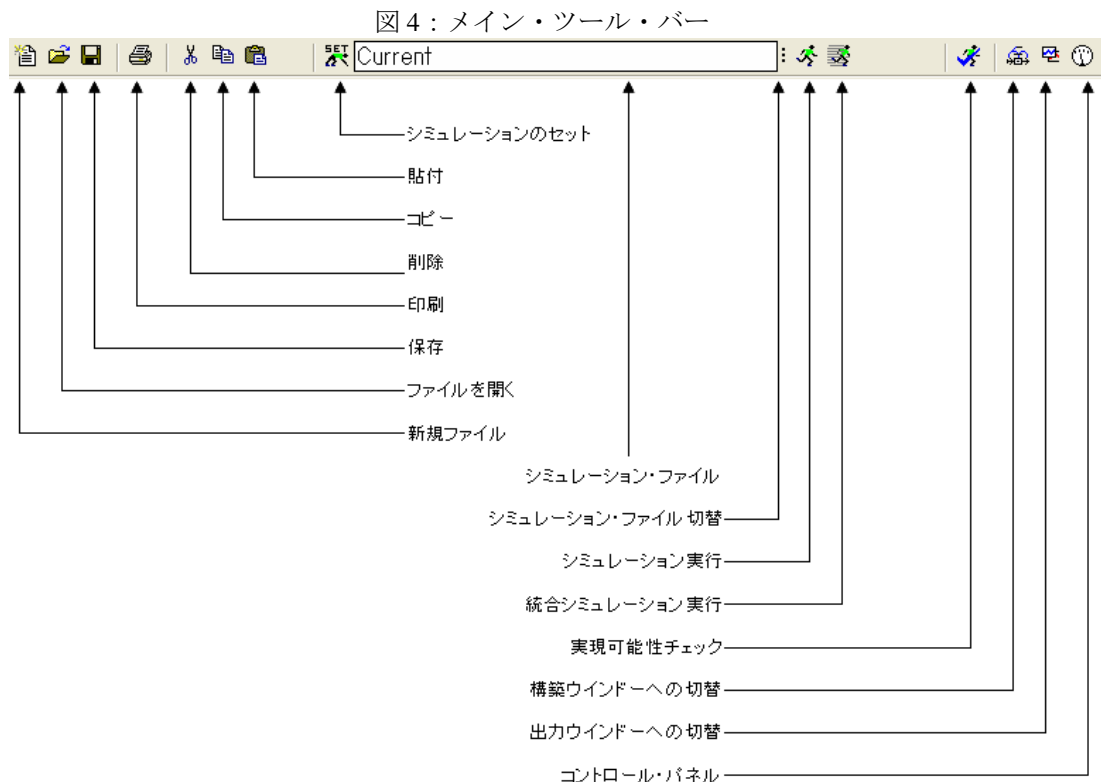
図 3:メニュー・バー一覧（「レイアウト(L)」を除く）




3. メイン・ツール・バー

三段目にあるバーで、左半分はウインドー機能によるもので、Vensim PLE に特異なものではありません。7 つのツール・バーが並んでいます。左から、「新規ファイル」、「ファイルを開く」、「保存」、「印刷」、「削除」、「コピー」、そして「貼付」です。同じことは、②のメニューからも実施できます。「新規ファイル」以外は、説明は省きます。

右半分はシミュレーション実行に際して使われるツールと実行するファイル名を表示するウインドーで、ツールの使い方は第 2 章でも解説されています。



 **新規ファイル**：新しくモデル・ファイルを作成する際に使用します。このツールをクリックすると、図 5 のシミュレーション実行条件設定画面が表示されます。同じことは、モデル・バーで「設定」を選択しても可能です。さらに、もし設定していなければ、モデル構築が終了し、初めてシミュレーションを実施しようとする際にも同じ画面が現れ、実施条件の設定を要求してきます。通常既存値がすでに設定されていて、時間単位は「month」、シミュレーション期間は 100 になっています。変更したい場合はここで変更します。


 **シミュレーションのセット**：開発者によれば、このアイコンは、短距離競走で「位置について」と、これから走り出す前の出発の合図を待っている競争者の姿なのだそうです。このアイコンをクリックすると、モデルのパラメータ（変数及び Lookup で設定したテーブル関数）がハイライトされます。これらのパラメータの値を変更してシミュレーションを実行すれば、新しいシミュレーション結果が得られます。但し、パラメータの変更そのものは一時的で、特に保存されません。

図 5:シミュレーション条件の設定

Current : シミュレーション・ファイル : このウィンドーには、シミュレーション実施結果を保存するシミュレーション・ファイル名が表示されます。デフォルトのシミュレーション・ファイル名は **Current** という名前が表示されます。

シミュレーション・ファイル切替え : シミュレーション・ファイルを表示しているウィンドーの横にあるこの点線をクリックして、シミュレーション・ファイル名を切り替えられます。同じモデルで、ただパラメータに設定した値だけを違えて、その結果を保存したい場合などでは、モデルの名称を変えることなく、シミュレーション結果だけをファイルとして保存できます。

シミュレーション実行 : シミュレーション実行を英語では **run** というので、このアイコンは、走っている人の姿なのだそうです。このアイコンをクリックすると、モデルがシミュレーションを開始し、シミュレーション・ファイルを作成します。すでに既存のシミュレーション・ファイルが存在する場合は、「dataset Current already exist. Do you want to overwrite it?」と、既存のシミュレーション・ファイルの内容を新しい実行結果で置換えるかどうか聞いてきます。もし、パラメータの設定を変えるなどのモデルの変更を行い、しかし前のシミュレーション結果を保存したファイルを残したいのであれば、新しいファイル名でシミュレーション結果を保存できます。

統合シミュレーション実行 : モデルのすべてのパラメータの値を、シミュレーションを中断させることなく変化させ、リアルタイムで感度分析を行う際に使います。統合シミュレーションを実行するとモデルの変数上にグラフの概略が表示されます。さらに、グラフにポインターを当てると、少し拡大したグラフが表示されます。この統合シミュレーション (SyntheSim) 機能は、Vensim ソフトに固有の最新技術です。



実現可能性チェック：モデルが実現性のある有用なものとなるような条件式を考え、それらの実現可能性を自動的にテストします。このチェックなしで動作するモデルであっても、途中で変数値がマイナスとなったり意味の無い極大値や極小値になり、現実的には実現不可能となる場合があります。これらを排除する条件式を定義して、その実現可能性を確認する際に用います。



モデル構築ウインドーへの切替え：Vensim PLE では、モデルを記述する画面と分析ツール（後述）を用いてグラフ等を出力する画面が自由に切り替えられます。画面が「出力ウインドー」表示になっていて、モデル記述画面に戻りたい場合に用います。



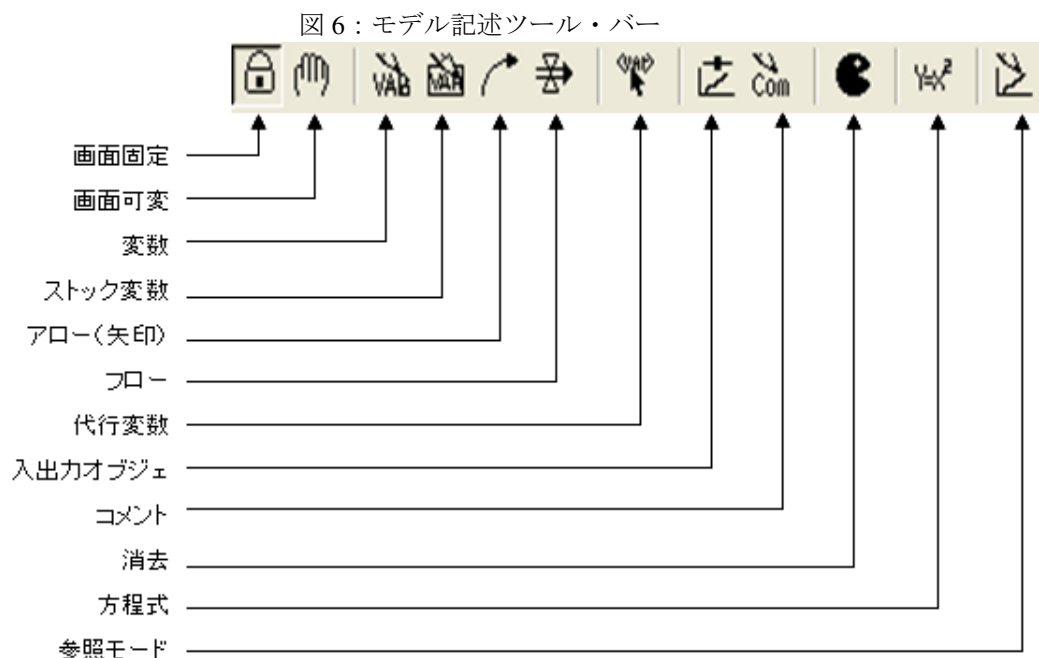
出力ウインドーへの切替え：Vensim PLE では、モデル構築ウインドーを選択するとグラフ等の出力画面が背後に隠されてしまいます。このボタンをクリックして、出力ウインドーを表示させることができます。





コントロール・パネル：Vensim PLE では、コントロール・パネルを使ってグラフを新規作成したり、表示させる変数とデータ・ファイルを選択することが出来ます。


4. モデル記述ツール

この節では、図 2 の中の 4 段目にある「④モデル記述ツール・バー」として示されたバーにあるツールを説明しています。ここでは、モデルを記述する際に使うツールが並んでいます。



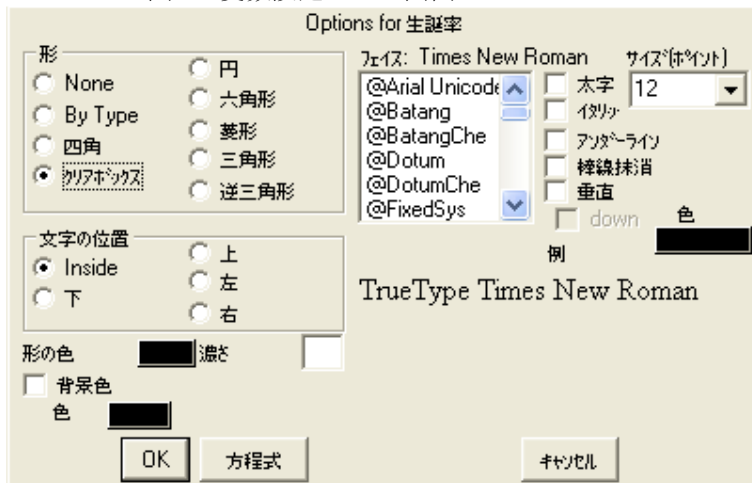
 **画面固定**：モデル記述画面を固定します。このモードでは、変数や矢印の位置を変更することや、変数にセットした数式などの変更はできません。不注意な操作などによりモデルの形が変わることを防止するために使われます。プレゼンテーションなどで、モデルを説明のためにカーソルでなぞるなどの作業がある場合には、この固定モードにしておくことが便利です。また、作業が一段落した後でも、モデルを不注意に触らないために、このモードにしておくことが有効です。


 **画面可変**：画面を自由に変更できます。モデルを見やすい形に変えるために、矢印の形や位置を変えたい、変数の位置を変えたい、あるいはコメントの位置を変えたいなどの場合に使います。

 **変数**：変数を設定するためのツールです。このツールだけでは、変数名の記述や変更だけしかできません。詳細に変数名を表示する字体やサイズ、色、枠などを決めたい場合は、右クリックで図 7 の変更ツールを呼び出し、変更して下さい。また、変数に数式や条件、あるいはコメントなどを入れたい場合は、「方程式」ツールで方程式設定画面に換えて設定します。ここで「変数」と呼んでいるものには定数（固定値）と変数（関数）の両方がありますが、モデル記述上では特に両者を区別はしていません。また、変数も数式で定義される関数とテーブルで指定されるテーブル関数がありますが、これも特に両者を区別していません。「方程式」ツールで定義されてはじめて変数の性質や値が決まります。変数名あるいはボックスの下に小さな丸で表されるハンドルが表示されますので、これで変

数の表示ボックスの大きさなどを変更できます。

図 7：変数設定ツール画面



 **ストック変数**：ストック変数を指定します。「変数」での解説で触れたように、このツールだけではストック変数名の記述や変更しかできません。右クリックをすると図 7 の変更ツールが現れますので、ストック変数名を表示する字体やサイズ、色、枠などを決めたい場合は、この変更ツールを呼び出し、変更して下さい。また、変数に数式や条件、あるいはコメントなどを入れたい場合は、「方程式」ツールで方程式設定画面に換えて設定します。特にストック変数で忘れてはならないのは、「方程式」ツールで初期値を設定することです。特に数式を変えない限り、Vensim PLE では、自動的にストックに流入したフローとストックから流出したフローの差が計算式として作成され、シミュレーションの際には、その差の積分値を計算します。変数名あるいはボックスの下に小さな丸で表されるハンドルが表示されますので、これで変数の表示ボックスの大きさなどを変更できます。


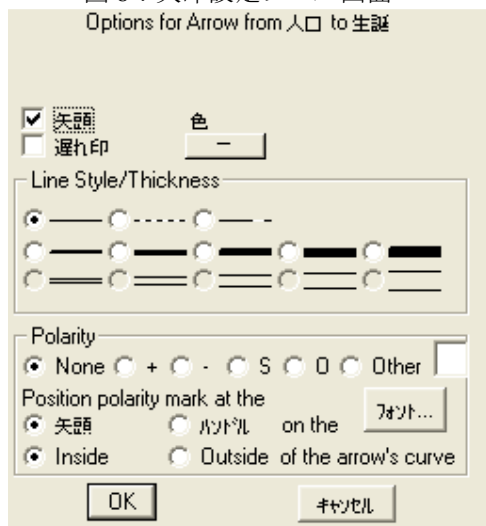



 **アロー (矢印)**：変数間の関係を示します。このままでは細線が変数間に引かれるだけです。矢印の太さや種類、色、あるいは遅延表示などを行う際には、右クリックを行い、図 8 の矢印設定ツール画面を呼び出し、変更して下さい。この画面で、矢印の先頭に極性記号をつけることができます。変数間の関係が正であれば「+」あるいは「S」(Same の略)を選びます。負であれば、「-」あるいは「O」(Opposite の略)を選びます。極性を矢印の先頭に指定する作業は、「⑤ステータス・バー」から「極性」ツールを選択することによっても可能です。矢印の中央部に小さな丸で表されたハンドルが表示されますので、矢印の曲率を、ハンドルを使って変更できます。

図 8 : 矢印設定ツール画面



 **フロー**：フロー変数を記述します。フロー変数は必ず、ストック変数に対して流入する、あるいは流出するように記載します。複数のフロー変数が 1 つのストック変数に流入するあるいは流出することも可能です。「変数」でも触れたように、このツールだけではフロー変数名の記述や変更しかできません。右クリックをすると図 7 の変更ツールが現れますので、フロー変数名を表示する字体やサイズ、色、枠などを決めたい場合は、この変更ツールを呼び出し、変更して下さい。また、変数に数式や条件、あるいはコメントなどを入れたい場合は、「方程式」ツールで方程式設定画面に換えて設定します。フロー変数は、定数（固定値）でもあるいは関数で定義される変数でも構いません。変数名あるいはボックスの下に小さな丸で表されるハンドルが表示されますので、これで変数の表示行間などを変更できます。

 **代行変数**：代行変数は、大きなモデルで表示が複雑すぎることを避ける場合や、モジュールに切り分けてモデルを構築する際に同じ変数を 2 度定義しないように、オリジナル変数の代行として使われる変数です。

 **入出力オブジェクト**：パラメータ値の入力用スライダーや出力用のグラフなどをモデル構築ウインドー上で設定するために使います。


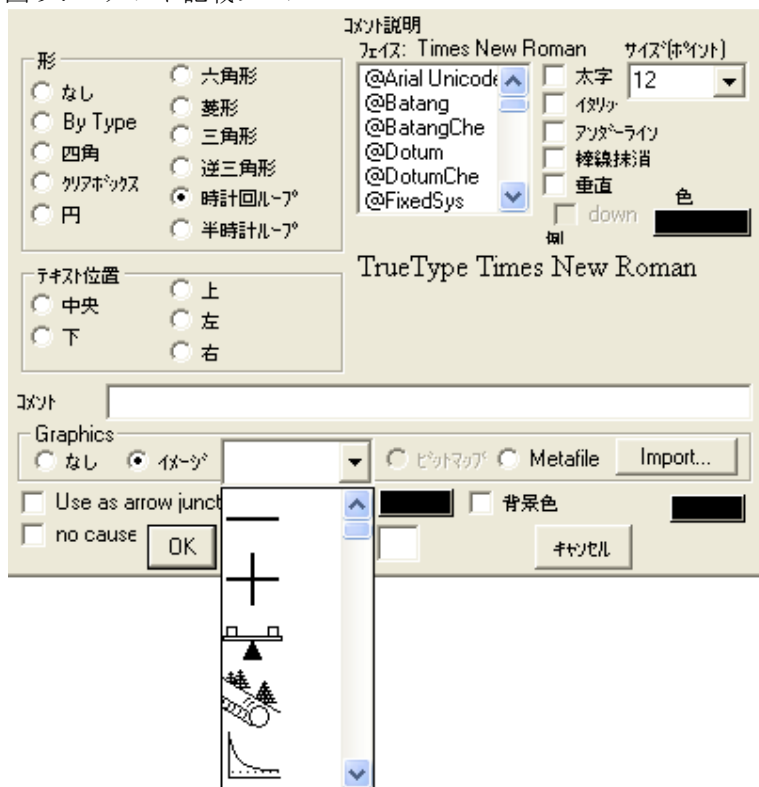


 **コメント**：コメントを記載するためのツールで、図 9 のようなコメント記載ツールが現れます。モデルの中にコメントや説明文を記載したり、あるいはフィードバック・ループ記載で、ループが正（増強ループ）なのか負（均衡ループ）なのかをイメージ表示する際に使用します。ループは「時計廻り」か、「反時計廻り」かが指定できます。「コメント」欄には自由にコメントを記載できます。また、「増強ループ」、「均衡ループ」の記述には、「Graphics」で「イメージ」を選べば、「-」、「+」、シーソー（均衡）、雪崩（増強）などの記号で記載することも可能です。

図 9 : コメント記載ツール



 消去 : アイコンはパックマンをイメージしたのだそうです。不要な変数や矢印などを消去する際に使用します。Vensim の特徴ですが、別のツールのアイコンを選ぶまでは同じツールのモードが継続しますので、不注意で必要な変数や関係までも消さないように注意して下さい。不注意を避けるには、小まめに保存することと、消去が終わったら、とりあえずすぐに画面可変ツールに切替えることです。万一過って消去した場合でも「編集」メニューから「元に戻す」を選択すれば、復元できます。

 方程式 : 変数を数式やテーブル関数で定義する際に使います。このツールを選び、定義したい変数を選択すると、図 10 の方程式定義ツール画面が現れます。ここには 4 種類の定義画面を表示しました。

- **ストック変数** : 右上の画面はストック変数の定義画面で、2 段目の「初期値」のボックスで初期値が設定されるようになっています。その他は変数の定義画面とあまり変わってはいません。なお、Vensim PLE では INTEG で示されたストックの定義にも数式を挿入できます。INTEG は「Integrate 積分する」という意味です。
- **定数** : 左上の画面は、変数や定数、フロー変数を定義するもので、最初の「=」で示されたボックスに数値を入れると定数になります。
- **変数及びフロー** : 同じく左上の画面で、「variables」の欄に表示された変数名を使って数式で定義します。変数を関数で定義したい場合は、中央にある「Functions」を選べば関数を選択することができます。「More」を選べば、and、or などの論理関数を選択できます。Vensim PLE で使うことができる関数については節を改めて解説していますので、そちらを参照して下さい。

- **テーブル関数**：タイプを「補助変数」及び「with Lookup」にし、「グラフ入力」を選ぶと、左下の入力画面が現れます。テーブル関数が完成すると、自動的に右下の「Lookup」の欄に示されたテーブルが作成されます。「= WITH LOOKUP」に引数となる変数名を指定します。

図 10：方程式定義ツール画面

The figure displays four screenshots of the Vensim PLE equation editor interface:

- Top Left:** 'Stock Variable Definition' (ストック変数の定義画面) for 'Mamushi's Birth' (マムシの生息数). The equation is $\text{INTEG}(\text{Mamushi's Birth} - \text{Mamushi's Death}, 10)$.
- Top Right:** 'Variable and Constant Definition' (変数及び定数の定義画面) for 'Mamushi's Birth' (マムシの生息数). The equation is $\text{DELAY FIXED}(\text{IF THEN ELSE}(\text{野鼠対マムシ比} > 10, ((\text{マムシの生息数}/2)/\text{マムシ幼蛇の生息数}), 0), 3, 0)$.
- Bottom Left:** 'Table Function Definition' (テーブル関数の定義画面) for 'Mamushi's Survival Rate' (マムシの遭遇確率). It shows a graph with a blue curve and a table of input-output pairs.
- Bottom Right:** 'Table Function Definition' (テーブル関数の定義画面) for 'Mamushi's Survival Rate' (マムシの遭遇確率). The equation is $\text{WITH LOOKUP}(\text{野鼠対マムシ比}, \text{KUP}(\text{野鼠対マムシ比}))$.

ここで「方程式」ツールを用いて、定数や変数を定義する際の注意事項を述べておきます。Vensim PLE ではこうした定義の入力は、画面上に表示された変数や数値等をクリックすることによって選択できます。直接入力によるタイプエラーは定義でのバグの原因となりやすいので、キーボードから変数名や関数名を直接入力しないように心がけて下さい。変数とその関係式をアローによるフローで図示すれば、あとはマウスとアイコン操作のみでプログラム（方程式）がほとんど記述できます。

また、数式（+、-、関数など）は必ず半角英文字です。全角ではエラーになります。

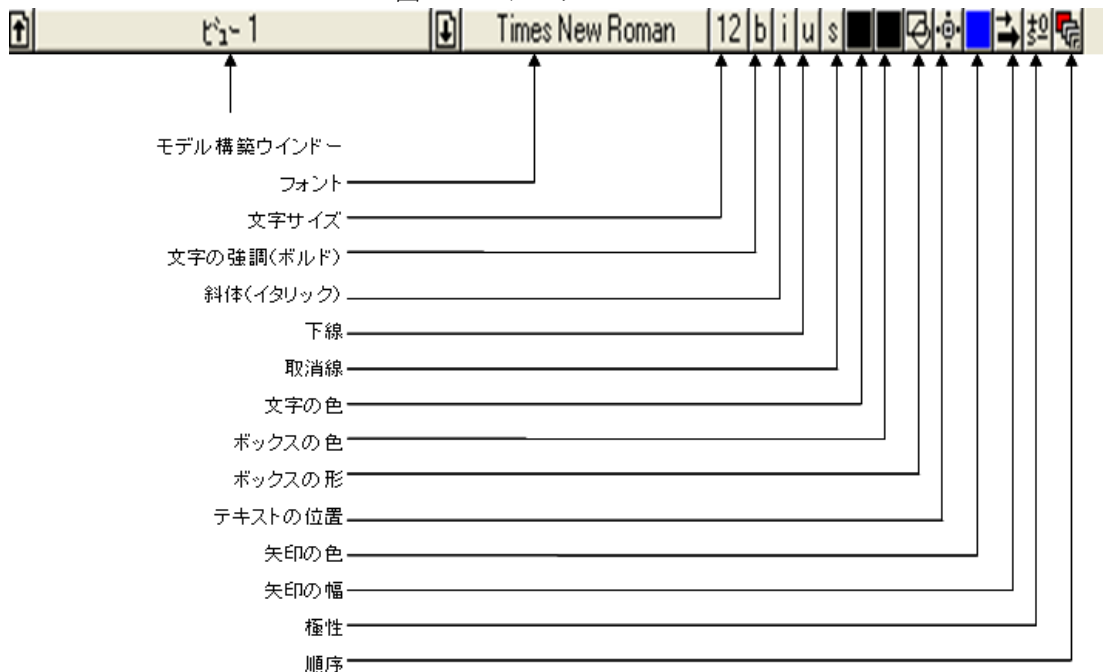


参照モード：参照モードは、モデルに外部データを入力し、モデル変数のデータとして利用したり、あるいはモデルの出力結果と実際のデータを参照する場合に利用できます。このモードを選んでパラメータ変数名をクリックすればすると「Do you want to convert パラメータ変数名 to a data variable?」と聞いてきます。「はい(Y)」を選ぶと、下記の画面に入力したデータがパラメータ変数の値として、シミュレーションで用いられます。一般変数名をクリックすれば、入力したデータがその変数名の参照データとして、デフォルトでは Preference Mode のファイル名（ファイル名は自由に選択可能）で保存されます。こうして作成した参照データは、モデルの出力結果と比較してモデルの有効性を判断したり、また

6. ステータス・バー

この節では、図 2 の中の「⑤ステータス・バー」として示されたバーにある、表示範囲やモデルでの因子の関係を示す、あるいは表示する変数名のフォントを変更するなどに使われるツールを説明しています。ただ、これらのツールのほとんどは、変数や矢印を描写する際に、変数や矢印にポインターを当て、左クリックし、変数や矢印の定義画面を呼び出し、そこから指定や変更を行うことでも可能です。

図 11：ステータス・バー



モデル構築ウインドー：Vensim PLE ではモデルをモジュールに切り分けたり、モデル記述部とグラフや表などによる表示部に分けて表示できます。また、モデルが大きすぎて一度に全部を表示できない場合、何画面目を表示しているのかという、表示されている画面の何号をこのウインドーに示しています。ここのウインドーの左右にある矢印で、表示部分を切換えることができます。

フォント：フォントを変えることができます。筆者はタイム・ニュー・ローマンを通常使っている関係で、ここには「Times New Roman」が表示されていますが、「MS 明朝」など他のフォントに変更可能です。変更ツールでは、変更したいオブジェクトを先に左クリックで選択し、それからこれらの変更ツールを選び、選択肢の中から選びたいものを選択します。

文字サイズ：文字サイズを変えることができます。初期値は 12 ポイントです。

文字の強調：文字をボールド（太字）などに変えることができます。

斜体：文字を斜体に変えることができます。

下線：下線を引くことができます。

取消線：取消線表示を行うことができます。

文字の色：文字の色を変更できます。複数のフィードバック・ループが混在する場合など、特に強調したいループを構成する変数の色を変えるなどの表現方法が有効です。

ボックスの色：ボックスの色を変更することができます。

ボックスの形：ボックスの形を変更できます。

テキストの位置：変数名のテキストの位置を変更できます。ボックスの中、左右、上下が指定できます。

矢印の色：矢印の色を変えられます。通常は青ですが、増強ループを青、均衡ループを赤などに色分けすることで表示を分かりやすくすることができます。

矢印の幅：矢印の太さなどを変更できます。強調したい関係や強調したいフィードバック・ループを記載する際に有効です。

極性：矢印の極性を定義できます。選択できるのは、「+」、「-」、「S」、「O」、「Y」、「N」です。矢印の先端を右クリックすると点線のボックスが表示されます。次に、このツールを選び、先の記号の1つを選択します。ちなみに、「矢印の極性」とは、変数と変数を結ぶ際に、関係を示すもので、一方の因子が増加すれば他方の因子も影響を受けて増加する場合を正、逆に、一方の変数が増加すると、他方の変数が影響を受けて減少する場合を負としています。

順序：画面の表示順序を前後に入れ替えることが出来ます。例えば、コメントボックスを作成してモデルに記述した場合に、モデル変数が隠されるような場合には、このツールを用いてモデル変数を前面にもってこることが出来ます。

見やすさは分かりやすさ：

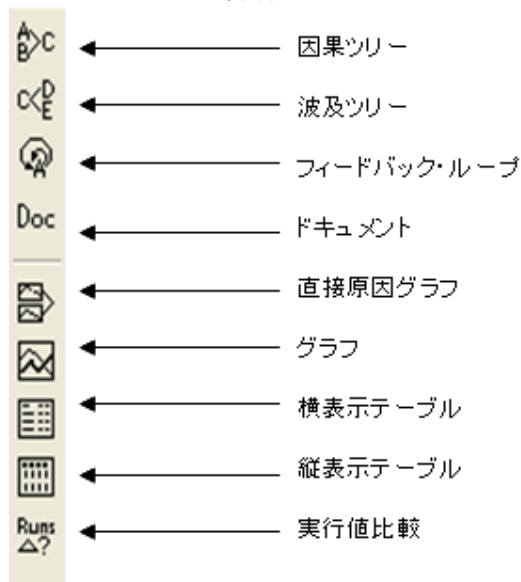
Vensim PLE には変数の文字の大きさ、字体、そして矢印の色や太さなどいろいろ変えられるようになってきました。これらの機能をうまく使って、モデルを見やすい表示にすることができます。見やすさは分かりやすさに繋がります。

人間が認知できるモデルの要素数はせいぜい 20 個止りでそれを超えると、複雑すぎて理解させることが困難になります。そこで、筆者のプレゼンでは、主要な要素だけに絞り込んで要素数を約 20 個以下に収めた概要モデルと、詳細に作成したモデルの 2 種類を作って、説明用にはもっぱら概要モデルを使うと共に、強調したいループや強調したい因子を色違いの太線や太線文字で表し、他の変数と区別することで、モデルを見やすく、かつ分かりやすくするように工夫しています。さらに、極性も、この中心となる部分や矢印だけに付け、残りの矢印は省くことでモデル表示が簡略化され、見やすくなります。モデルは詳細に記載すればするほどいいというのも事実ですが、説明用などでは逆に単純化した方がいいということも念頭に置いて、状況に合わせてモデルの表示方法を工夫することをお勧めします。

7. 分析ツール

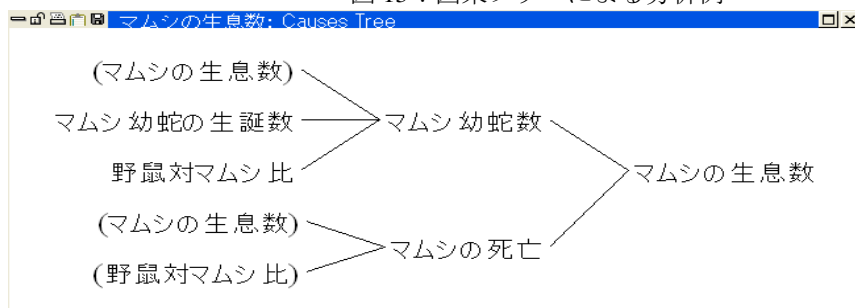
この節では、図 2 の中の「⑥分析ツール」として示されたバーにある、モデルを分析する、あるいは表やグラフでシミュレーション結果を表示する際になどに使われるツールを説明しています。

図 12：分析ツール・バー



A B C 因果ツリー：ある因子に関係している因子の関連図をツリーで表示します。モデル上で、因子を選び、このツールを選択すると、図 13 のような、因子に対して影響を与えている他の因子が対象としている因子に収束するツリーが表示されます。この因果ツリーを使って、因子にどのような他の因子が影響を及ぼしているかを分析することができます。もし、モデルが、自分が思うように動かない場合、こうして、因子間の関係をトレースすることで、モデル記載の誤りや不備などを発見することができます。

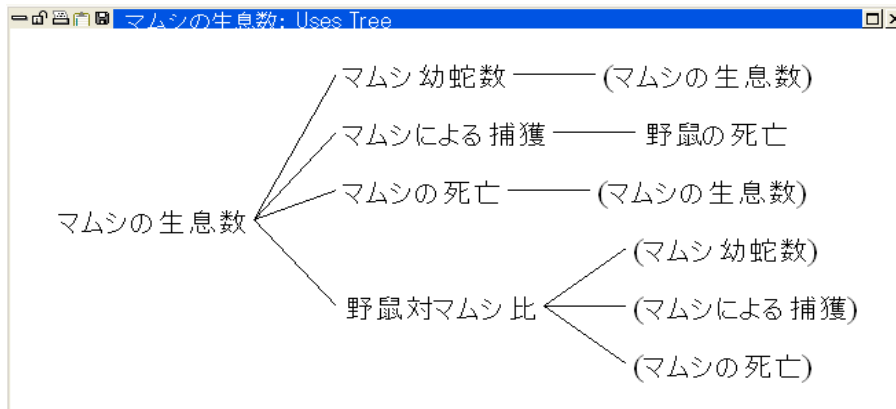
図 13：因果ツリーによる分析例



C D E 波及ツリー：これは因果ツリーと逆に、ある変数がどう他の変数に影響を与えているかを分析するものです。モデル上で、変数を選び、このツールを選択すると、図 14 のような、選択した変数から派生する他の変数への関係を展開したツリーが表示されます。この因果ツリーを使って、ある変数がどのような他の変数に影響を及ぼしているかを分析することができます。もし、モデルが、自分が思うように動かない場合、こうして、変数間の

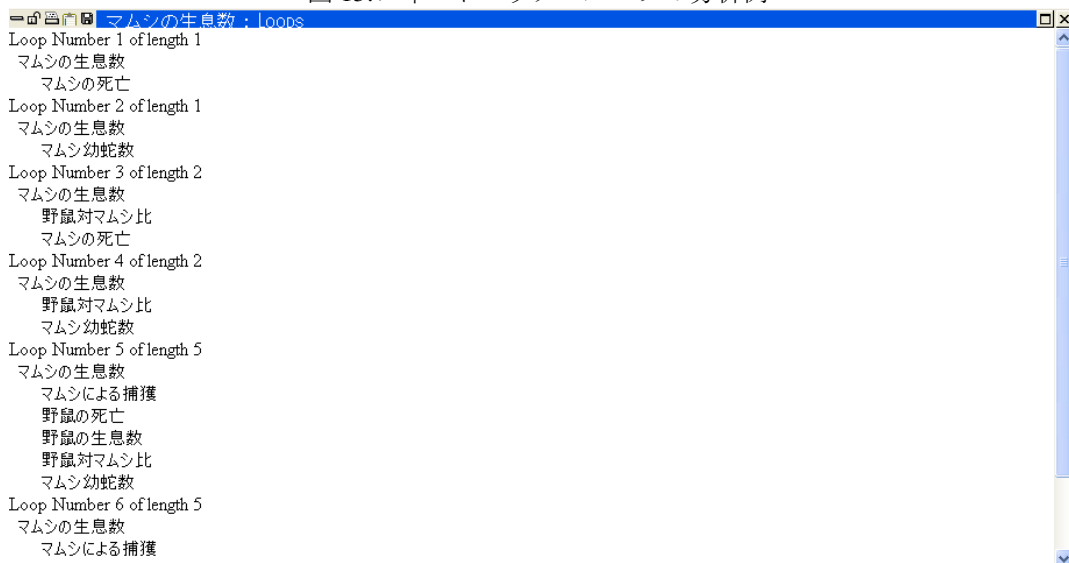
関係をトレースすることで、モデル記載の誤りや不備などを発見することができます。

図 14：波及ツリーによる分析例



🔍 フィードバック・ループ：これは、ある変数を含むフィードバック・ループをトレースするもので、その変数が関係しているフィードバック・ループが表示されます。モデル上で、変数を選び、このツールを選択すると、図 15 のようなフィードバック・ループとそれに関係している変数名が表示されます。このフィードバック・ループの分析を使って、ある変数がフィードバック・ループ上、どのように他の変数に影響を及ぼしているかを分析することができます。もし、モデルが、自分が思うように動かない場合、こうして、変数間の関係をトレースすることで、モデル記載の誤りや不備などを発見することができます。

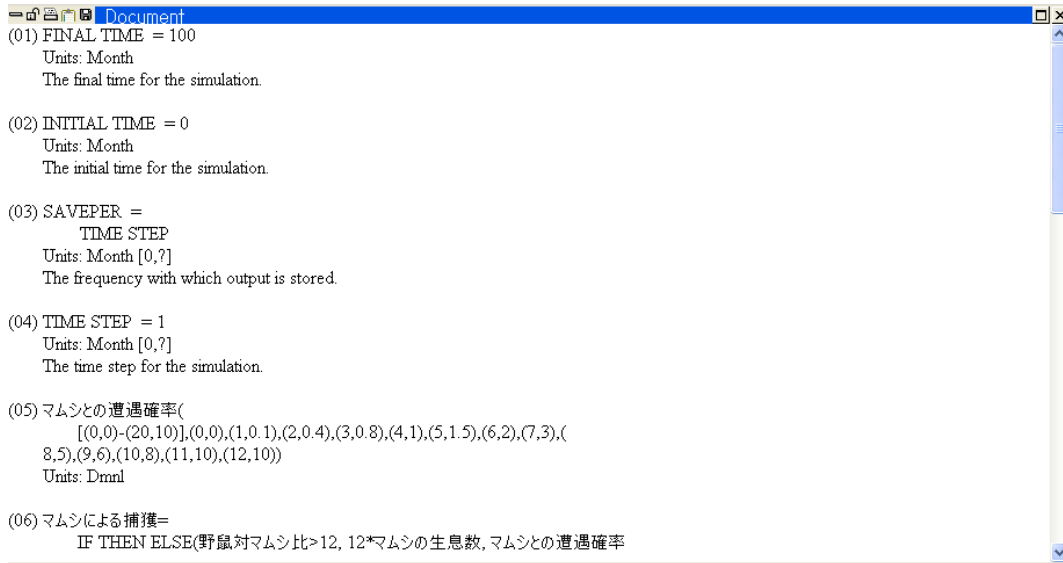
図 15: フィードバック・ループの分析例





Doc ドキュメント：モデルで定義したすべての変数、およびシミュレーションで使う時間変数等をすべて表示させることができます。モデル構築では、頻繁に変数を追加したり、アローを変更したり、定義を変更することがあります。こうした変更で犯しやすいうっかり定義ミスとして、符号や演算子の設定の間違い、条件設定を逆にしてしまったなどの定

義の誤りや、括弧の入れ違いによる計算の優先順序の定義間違い、関連する変数で矛盾する定義をしてしまったなどがあります。連立式では間違っていますが単独式としては論理的に間違っているわけではないので、計算されますが、当然、結果はおかしなことになってしまいます。一覧にして定義をトレースすることで、こういった変数に設定した定義の誤りなどを発見することもできます。

図 16：ドキュメント機能による表示例



 **直接原因グラフ**：ある変数とその変数の直接原因となっている変数を併せてグラフ表示できます。もし、2つの変数の関係が正であれば、一方の増加は他方の増加になるはずで
す。また、もし関係が負であれば、一方の増加は他方の減少になるはずで
す。

 **グラフ**：変数の変化をグラフ表示します。注目している変数を選択し、その動きを単
独でグラフ表示させ、その動きが、妥当であるかどうかをチェックする際に使用します。


 **横表示テーブル**：選択した変数のシミュレーション結果を横表示のテーブルで表示しま
す。

図 17：横表示テーブル例

Time (Month)	0	1	2	3	4	5
"マムシの生息数" Runs:	Current	ReferenceMode	マムシ1			
マムシの生息数	10	9	8.1	4.05	28.645	48.2805
: ReferenceMode	--					
: マムシ1	10	9	8.1	4.05	28.645	48.2805

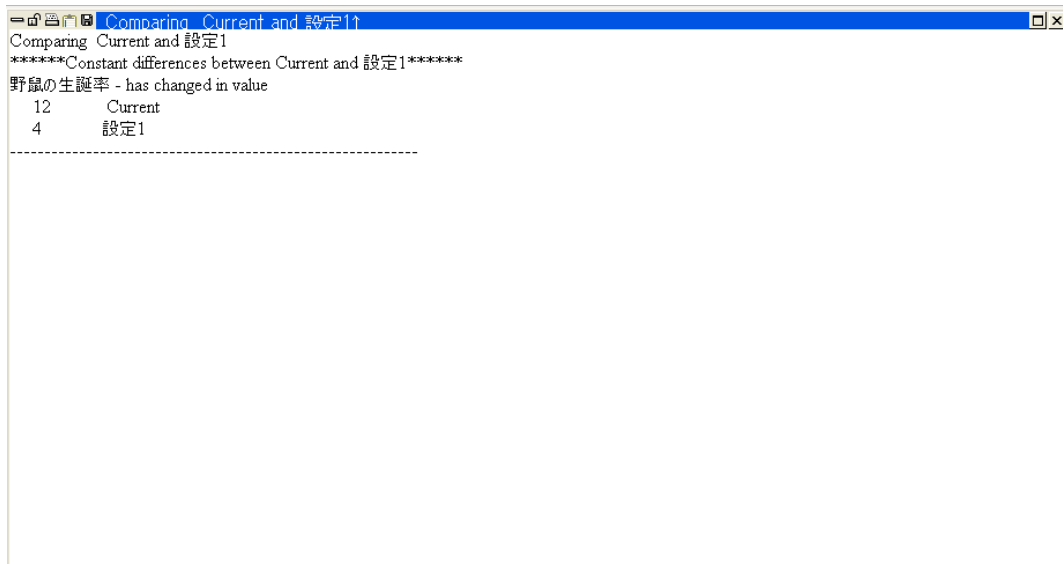
縦表示テーブル：これは先の表を縦にしたものです。

図 18：縦表示テーブル例

Time (Month)	マムシの生息数	マムシの生息数	--
0	数" Runs: 10	10	
1	Current 9	9	
2	Reference 8.1	8.1	
3	Mode 4.05	4.05	
4	マムシ1 28.645	28.645	
5	48.2805	48.2805	
6	24.1403	24.1403	
7	31.8512	31.8512	
8	15.9256	15.9256	
9	14.3331	14.3331	
10	12.8997	12.8997	
11	11.6098	11.6098	
12	10.4488	10.4488	
13	45.2365	45.2365	
14	22.6183	22.6183	
15	11.3091	11.3091	
16	36.3002	36.3002	
17	18.1501	18.1501	
18	9.07505	9.07505	
19	36.4404	36.4404	
20	18.2202	18.2202	
21	9.1101	9.1101	
22	30.8867	30.8867	

実行値との比較：過去のパラメータ変数に対する設定変更履歴を表示します。モデル記述中にはいろいろの変数の設定を変えシミュレーションして妥当性を確かめながらまた変更するといった作業を繰り返しますので、どう変更したかしばしば忘れてしまうことがあります。どう変更したかをトレースするために使います。

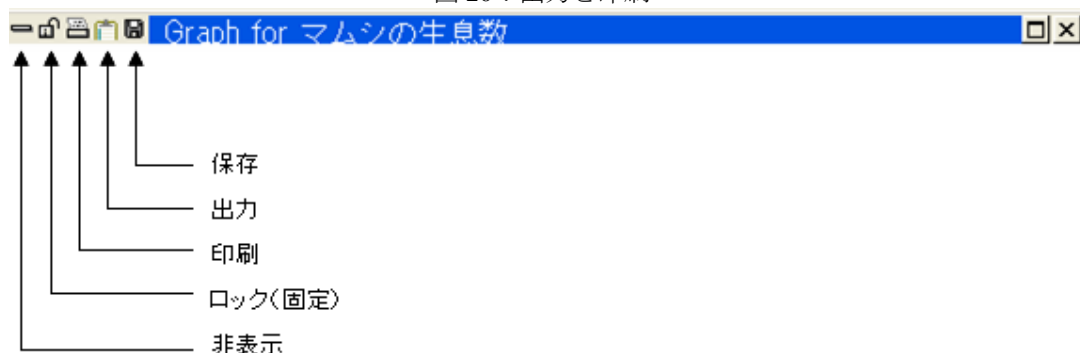
図 19 : 実行値との比較例



7. 出力と印刷

分析ツールやコントロール・パネルを使って、シミュレーション結果を表示したグラフや表を外部出力させることができます。グラフや表の上に図 20 に示したようなバーが表示されています。このバーにあるアイコンを使って、シミュレーション結果をエクセルに取り込むことや、パワーポイントやワードの文章に貼り付けることができます。

図 20：出力と印刷



印刷：シミュレーション結果を表示したグラフや表を印刷させることができます。

出力：シミュレーション結果を表示したグラフや表をウィンドウ・コンテンツとして出力させ、パワーポイントやワードの文章に貼り付けることができます。パワーポイントやワードの文章に貼付ける際には、パワーポイントやワード側で「編集(E)」から、「形式を選んで選択(S)」を選び、「図 (拡張メタファイル)」を選択して貼付けて下さい。

保存：分析ツールによる分析結果、シミュレーション結果を表示したグラフや表をウィンドウ・コンテンツとしてファイル保存します。フィードバック・ループ、ドキュメント、エラー・メッセージやワーニング・メッセージ、テーブルは txt ファイルとして、因果関係図及びグラフは wmf ファイルとして出力されます。特に、シミュレーション結果をテーブル形式で出力させた保存ファイルは、エクセルなどに取り込んで再加工したり、グラフ・ツールで表示を変えることができますので、プレゼンテーション資料を作成する際にとっても便利です。

8. 関数

この節では、モデルを記述する際に変数に設定する関数について記載しています。Vensim PLE では以下の算術関数と論理関数を使用することができます。なお、Vensim PLE では使用できる算術関数の種類が限られていますので、これ以外の関数を使いたい場合には工夫が必要です。例えば、三角関数で使用できるのは SIN（正弦）だけですので、COS（余弦）などを使う場合は SIN から周期をずらす、あるいは SIN から算式で求めるなどの工夫が必要です。

①絶対値：絶対値(x)を結果として出力します。値をマイナスにたくない場合に使います。
ABS({x})

②遅延：遅延した結果を出力します。4種類の遅延関数があります。初期値 (in) を (dtime) 時間だけ遅延させて出力します。

単純な遅れ：

DELAY FIXED({in} , {dtime} , {init})

指数 1 次遅れ：

DELAY1I({in} , {dtime} , {init})

単純な 3 次遅れ：

DELAY3({in} , {dtime})

指数 3 次遅れ：

DELAY3I({in} , {dtime} , {init})

③指数関数、対数関数：(x)の指数関数及び対数関数を出力します。

指数関数：

EXP({x})

対数関数：

LN({x})

④最小値、最大値：最大値あるいは最小値を出力します。

最大値：

MAX({x1} , {x2})

最小値：

MIN({x1} , {x2})

⑤除算計算

余り：除算で余りを出力します。(x)を (base)で割った余り (整数) が出力されます。

MODULO({x} , {base})

整数出力：小数点以下を切り捨て、整数出力します。

INTEGER({x})

ゼロ除算防止関数：

XIDZ, ZIDZ

これは除算に際し、ゼロで分子を割った場合、無限大にあることを避けるために、使用する関数です。XIDZ では、ゼロで除算した場合、指定した値を返す、ZIDZ はゼロで除算した場合は結果をゼロにします。

XIDZ (分子、分母、ゼロ除算時の値)

ZIDZ (分子、分母)

⑥パルス関数、ステップ関数：ある期間にパルスのようにある値を出力するのが **PULSE** 関数で、ある期間から出力を変更するのが **STEP** 関数です。ランプ関数は、ある期間からある期間まで、指定した傾き (slope) で徐々に増加させる関数です。

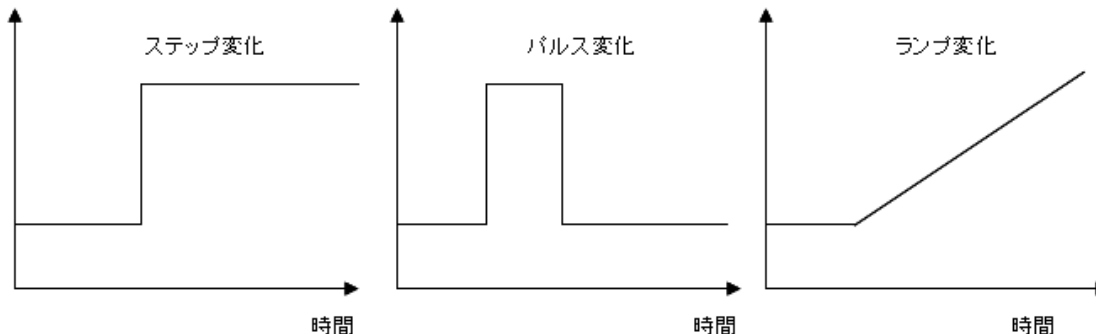
PULSE({start} , {duration})

PULSE TRAIN({start} , {duration} , {repeattime} , {end})

STEP({height} , {stime})

RAMP({slope} , {start} , {finish})

図 21：ステップ変化、パルス変化、ランプ変化



⑦乱数：乱数を発生させます。

RANDOM UNIFORM は最小値から最大値までの間で均一な乱数を発生させます。これに対して、**RANDOM NORMAL** は最小値から最大値まで、指定した平均値や標準偏差に従って偏らせた乱数を発生させます。

RANDOM NORMAL({min} , {max} , {mean} , {stdev} , {seed})

RANDOM UNIFORM({min} , {max} , {seed})

⑧三角関数：正弦関数のみが使えます。

SIN({x})

⑨平滑化関数：

単純な平滑化：

SMOOTH({in} , {stime})

3 次の平滑化

SMOOTH3I({in} , {stime} , {inival})

SMOOTHI({in} , {stime} , {inival})

⑩平方根：

SQRT({x})

⑪論理関数：

=, >, >=, <, <=, <>, :AND:, :OR:, :NOT:, :IGNOR:, :AT LAST ONCE:, :CROSSING:, :NA:, IF THEN ELSE などがあります。ここでは IF THEN ELSE のみを示します。

IF THEN ELSE(条件, 条件が真である時の値, 条件が偽である時の値)

第 2 章：モデル構築とシミュレーション

この章では、具体的にモデルを作成し、シミュレーションすることで、Vensim PLE の機能を理解し、操作に慣れる目的のために、簡単なモデルを取り上げ、Vensim PLE を使い、このモデルをどう作成するのか、そしてどうシミュレーションするのかの手順を示しています。また、併せて、システム・ダイナミクスの考え方についても解説しています。

システム・ダイナミクスでは、ただ無鉄砲に対象に取り組み、定量モデルを構築し、いきなりシミュレーションを行い、出た結果を鵜呑みするというやり方は行いません。最初に問題と考えていたことが実は本質的な問題ではなかったということがよくあるからです。まずは関連する情報を集め、対象を理解することが最初のステップです。

関連する情報を集めて、対象を理解しても、まだいきなりは定量モデルを構築し、シミュレーションを実行し、定量分析を行うわけではありません。まずは定性モデルを構築し、定性分析を行います。定性分析でもかなりの洞察を得ることができます。この定性分析の方法論はしばしば「システム思考」と呼ばれています。

残念ながら、定性モデルがそのまま定量モデルになり、定量分析を実施できるわけではありません。収集できるデータなどには限界があり、定量化できる部分が通常は限られてきます。また、定性モデルがカバーしている範囲を定量モデルで記述すると、モデル自体が複雑で巨大なものとなり、限られた時間や能力ではとても開発できないといったことも発生します。全てを定量的に知る必要がない場合もあります。そこで、定量モデルを構築する際には、定性分析の結果やすでに構築された定性モデルを基に、定量モデルで表現する範囲を決めます。また、定量モデルを構築するには多くの仮定が必要です。仮定を明確化し、その上で定量モデルを構築します。

次に、構築された定量モデルに過去のデータを当てはめたり、定数の値をいろいろ変えた結果を見て、妥当性を検証します。これが感度分析と呼ばれる作業です。こうして、定量モデルの妥当性が検証された後で、いろいろシミュレーションを実施し、定量分析をします。

ここでは、この流れに沿って、Vensim PLE を使って、定性モデルの構築と定性分析、そして定量モデルの構築と定量分析のやり方の例を説明しています。

9. 定性モデル構築と定性分析

9-1. モデルの対象

ここで取り上げているモデルが対象としている毒蛇の 1 種であるニホンマムシの生態に関する問題を最初に説明します。ニホンマムシは強力な毒をもつ蛇の一種で、食物連鎖の頂上に存在する動物です。胎生で、成蛇の雌は年に 1 度、約 4~5 匹の幼蛇を産み。成蛇のマムシは、蛙などの両生類、アカネズミ、ハタネズミなどの野鼠や小動物を餌にしています。絶食状態で約 2 ケ月生きるそうです。マムシは食料事情が良好であれば約 10 年間生存するそうです。ただ、近年の人口増加と開発による環境変化により、餌となる蛙、野鼠などの食料の減少、農薬の蓄積、そして人間が忌み嫌っているために、さらにはマムシ酒の原料として、発見されるとすぐに殺されたり、捕獲されることなどから生息数の減少が心配されています。ここでは、このニホンマムシの生息数の増加や変動要因を分析することとします。

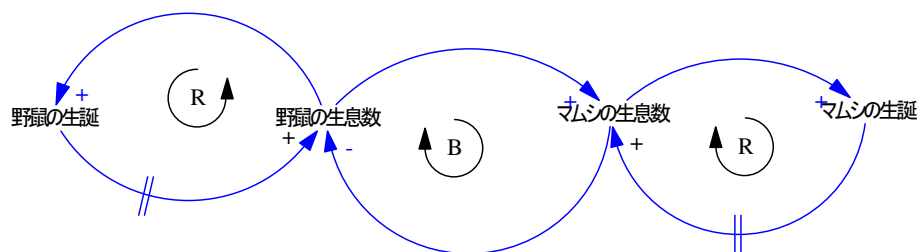
9-2. 定性モデル

図 22 に定性モデルのメインの部分を示しています（全体は図 23）。3 つのフィードバック・ループでモデルは構成されています。マムシの増加により餌となる小動物の捕獲が増え、このことから小動物の数が減少し、小動物の減少は時間遅れでマムシの食料事情を悪化させるので、マムシの生息数を減少させます。逆にマムシの生息数が減少すれば、天敵が少なくなったので、野鼠が増えます。ここまですべてが均衡ループになります（図 22 で中心が「B」と示された中央のループ。ちなみに B は balance : 均衡の略です）。

マムシ生息数が増加すれば産まれる幼蛇の数も増え、成長し成蛇になるマムシの数も増えます。この部分は増強ループになります（図 22 で中心が「R」と示された右のループ。ちなみに R は Reinforce : 増強の略です）。

事情は野鼠も同じで、野鼠の生息数が増加すれば生まれる野鼠も増え、生長し子供を生むことができる成体の野鼠の数も増えます（図 22 で中心が「R」と示された左のループ）。

図 22 : マムシの生存（定性モデル）




9-3. 定性モデルの構築

それでは、図 22 の定性モデルを構築してみましょう。


ステップ 01 : Vensim PLE を開く。

「スタート」→「すべてのプログラム」→「Vensim」→「Vensim PLE」。これで図 1 のような Vensim PLE の画面が立ち上がります。日本語入力バーで「ひらがな(H)」を選び、日本語入力できるようにセットしておきましょう。


ステップ 02 : シミュレーション条件の設定

図 2 の③のメイン・ツール・バーから「新規ファイル・アイコン」を選択します。図 5 の「シミュレーション条件の設定画面」が表示されますので、「OK」を選択します。定性モデルではシミュレーションを実行するわけではないので、この作業には矛盾を感じられるかも知れませんが、一種の通過儀礼のようなものと考えて下さい。

ステップ 03 : 変数の記載

変数を記載します。図 2 の④の「モデル記述ツール・バー」から、「変数アイコン」を選択します。すると画面にボックスが表示されますので、ボックス内に変数名を記入します。左クリックでどんどん変数名を記入するボックスが現れます。

ステップ 04 : アロー (矢印)


変数の間を矢印で結び付けましょう。図 2 の④の「モデル記述ツール・バー」から、「アロー・アイコン」を選択します。ポインタを始点の変数に当て、左クリックをして、一旦、マウスのクリックボタンから指を離します。そのままマウスを終点の変数に移動させ、再度左クリックを行います。こうして矢印で変数の間を結びつけることができます。矢印の中央にハンドリングのための小さな円が表示されますので、ここにポインタを当てドラッグすることで自由に矢印の曲率を変更できます。

「マムシの生誕」から「マムシの生息数」までの矢印には遅れ記号「//」が付いていません。矢印のハンドリングの円にポインタを当て、右クリックで「図 8 : 矢印設定ツール画面」を呼び出し、「遅れ印」にチェックマークを付け、「OK」のボタンを選んでクリックすると遅れ記号付きの矢印を描くことができます。

ステップ 05 : 矢印の極性

矢印の極性を指定しましょう。すでに接続されている変数の矢印の先端にポインタを当て、左クリックすると点線で囲まれたボックスが現れます。図 2 の⑤のステータス・バーから「極性」アイコンを選び、左クリックすると、選択できる極性の記号が一覧で表示されます。「+」あるいは「-」を選択し、右クリックすると選んだ極性を示す「+」あるいは「-」の記号が矢印の先端に表示されます。なお、同じ操作は、矢印にポインタを当て、左クリックし、「図 8 : 矢印設定ツール画面」を呼び出して、この画面のメニューに示された「Polarity」を選択し、その中から「+」あるいは「-」を選択するという操作でも可能です。モデル構築者によっては、+、-ではなく、S、O や Y、N を選ぶ人もいます。

ステップ 06 : ループのコメント記載

ループに増強ループなのか均衡ループなのかの区分を記載しましょう。まず、ポインタを、コメントを記載したい位置に持ってきておきます。通常はループの中央にポインタを置き、左クリックをします。次に、図 2 の④の「モデル記述ツール・バー」から、「コメント・アイコン」を選びます。すると、「図 9 : コメント記載ツール」が表示されますので、「形」では「時計廻ループ」を、「コメント」のボックスには「R」または「B」の文字を記入します。「OK」のボタンをクリックすると、コメントは、ポインタが最初に置かれていたループの中央に記載されます。なお、ちなみに、「R」は増強ループを、「B」は均衡ループを表現します。フィードバック・ループのコメントを「R」、「B」といった記載ではなく、「+」、「-」といった記載や、雪崩やシーソーなどの記号で表現してもかまいません。

10. 定量モデル構築と定量分析

図 22 の定性モデルをベースに定量モデルを構築してみましょう。定性モデルがそのまま定量モデルになるわけではなく、定量モデル構築では、定性モデルで表されたシステムをある意味で解釈することが必要です。また、定性モデルで漠然と仮定されていたことを、明確に仮定条件として設定することも必要です。さらには、モデルはモデル構築者の理解を表しただけのものであり、定量モデルが示すシミュレーション結果と言えども、真実であるとは限りません。全ての要素がモデルに取り込まれているわけではなく、シミュレーション結果はある仮定に基づいた計算結果であるに過ぎないのですが、しかし、仮定に基づいた、ある範囲を切り取っただけの世界や論理ではあっても、自分の理解や解釈を、きわめて論理的かつ定量的に説明することができます。この限界性は何もシステム・ダイナミクスに限った話ではなく、全ての定量分析の方法について言えることです。また、定性分析だけでは分からなかったことで、定量分析を実施してみて初めて分かることも多くあります。

10-1. 定量モデルの範囲の定義

定量モデル構築では、「9. 定量モデル」でも触れたように、まず、定性モデルのどの部分を定量モデル化するか決めます。この例では定量モデル図 23 のうちの図 22 で示した部分を定量モデルにする対象にしています。この作業を「定量モデル化の範囲の定義」と呼んでいます。図 23 はマムシの生態に関するほぼ全ての要因を含んでいますが、この定性モデルをそっくり定量モデルで表現するとモデルはかなり複雑になります。また、分かっていないことも増え、仮定が増えます。知りたいのがマムシの生息数の変化だけであれば、定量モデル図 23 のうちの図 22 で示した部分に絞って定量モデル化を行ってもいいわけです。厳密ではないのかも知れませんが、値が多少違っていても、生息数の傾向さえ正しければ、知りたいことを知ることができます。必要であれば、モデル構築中に範囲を広げたり、あるいは狭めたりすることもできますので、あまり厳密にモデル化の範囲に拘る必要はありません。モデルを構築し、シミュレーションを行うためには、最初に何をやろうとしているかを明確にしておく必要があり、範囲を決めることで、何をしようとしているかが明確化されます。

10-2. 仮定の明確化：

定量モデルを構築するために必要な仮定を明確化します。ここでは、以下のような仮定を行っています。ただ、これも、モデル構築を行っていく上で、必要に応じて仮定を変えたり、あるいはモデル構築中に仮定をさらに追加することもできますので、あまり厳密に考える必要はありません。モデルは仮説であり、仮説なので、仮定を明確にしておくことで、モデル化がやりやすくなります。

- ・ 1km 四方の森林地帯に生息するマムシと野鼠の数の関係を知ることが目的とする：
 - 従って、初期値としてマムシの生息数を 10 匹、野鼠の生息数を 500 匹とします。
 - 餌などの関係から、野鼠は無限に増えることはないので、1km 四方に生息する野鼠は約 2,000~3,000 匹止まりとする。これを超えるとハメルーンの笛吹きが現れ、野鼠をどこかに連れて行く。
- ・ マムシの幼蛇数：3 年間で成体に生育する。
- ・ マムシの成体数：対野鼠比が 10 以上であれば（年間 8 匹以上の野鼠を捕食でき）、雌は発情し、年間 6 個の卵を産み体内で育て、分娩する。成体数の半数が雌である。（実際には雄の方が多い）対野鼠比が 6 以下（年間 2 匹以下しか野鼠を捕食できない）であれば、2 年以内に餓死する。（つまり 2~3 ヶ月間は食わないでも生きら

れる)

- ・野鼠の生息数：1年で成熟し、2年目から雌は子供を生む。
生息数の半分は雌である。(実際には雄の方が多い)
雌は年間6匹の子供を産む。
野鼠の子供には天敵が多いので生存率を20%とする。
野鼠は5年間生存する。

10-3. 定量モデルの構築

それでは定量モデルを構築してみましょう。

ステップ01：モデル構築に必要な変数をリストアップする。

モデル構築に必要な変数をリストアップしましょう。定性モデルを説明する文章から、変数になるものをリストアップします。ここでは、以下のような変数をリストアップしました。それぞれ、対象としている物がどう変遷するかを変数名の並びで表現しようと考えれば、必要な変数がリストアップできます。ここもあまり厳密に考える必要はありません。モデル構築中に自由に変数を追加、あるいは削除できます。ただ、モデルを説明するキーワード(変数)を明確化することで、何をどう記述しようとしているかが明確化されます。

(1) マムシ

マムシの幼蛇が生まれ、マムシ成蛇になり、やがて死亡する。

マムシの栄養状態がマムシ生誕やマムシ死亡を決め、これは野鼠対マムシ比で定義される。

これをキーワードの並びで示すと：

- ・マムシ成体：
マムシの幼蛇数→マムシの生息数→マムシの死亡
野鼠対マムシ比、マムシ幼蛇の生誕数

(2) 野鼠

野鼠が生まれ成体になり、死亡する。

幼体には特に天敵が多いので、生誕数がそのまま成体にはなれない。そこで成体になれる数を生存率で定義する。

マムシに捕食される。捕食率はマムシとの遭遇確率で定義される。

これをキーワードの並びで示すと：

- ・野鼠：
野鼠幼生体の生存→野鼠の生息数→野鼠の死亡
野鼠の生誕数、野鼠幼生体の生存率、老衰、マムシによる捕食、マムシとの遭遇確率

(注：モデルの単純化のために、野鼠の幼体の天敵にはマムシも含めて全部まとめてしまい、生存率で定義しています。注目しているのはマムシであって野鼠ではないということでお許し願います。また、マムシの幼蛇には天敵はいないとしています。実際には、マムシ幼蛇は毒が少ないため逆に野鼠などにより捕食されることもあるそうです。)

ステップ02：ストック変数、フロー変数、定数、変数の区別

ストック変数、フロー変数、定数、変数の区分をします。ストック変数とは、蓄積される量を持つ変数のことで、これに対して、フロー変数は、ストック変数を変化させるものです。キーワードとしてステップ01でリストアップした変数の性格を、仮定を考慮しながら考えれば、ストックになる変数が分かります。一般的に、→で他の変数に流れ込まれ、さらに→で他の変数が流れ出す変数で、しかも蓄積されていくものです。次にそのストッ

クに直接影響を及ぼし、コントロールする変数がフローになります。残りは変数です。ここからさらに、定数とテーブル関数を抜き出します。残りが変数です。ここでは以下のように区分しました。定数、テーブル関数などの区別は最初の段階ではあまり厳密に考える必要はありません。モデル構築中に変数を定数として決めてしまいたいと思えば定数になり、変数を関数でうまく設定できない場合はテーブル関数を使って定義すればいいだけのことです。


表 1：変数

	区分	変数名
1	ストック	マムシの生息数、野鼠の生息数
2	フロー	マムシの幼蛇数、マムシの死亡、野鼠幼生体の生存、野鼠の死亡
3	変数	野鼠対マムシ比、マムシによる捕食、老衰
4	定数	野鼠の生誕数、マムシ幼蛇の生誕数、野鼠幼生体の生存率
5	テーブル関数	マムシとの遭遇確率


ステップ 03：Vensim PLE を開く。

「スタート」→「すべてのプログラム」→「Vensim」→「Vensim PLE」。これで図 1 のような Vensim PLE の画面が立ち上がります。日本語入力バーで「ひらがな(H)」を選び、日本語入力できるようにセットしておきましょう。

ステップ 04：シミュレーション条件の設定

図 2 の③のメイン・ツール・バーから「新規ファイル・アイコン」を選択します。図 5 の「シミュレーション条件の設定画面」が表示されますので、「OK」を選択します。


ステップ 05：ストック変数の記載

ストック変数を記載します。図 2 の④の「モデル記述ツール・バー」から、「ストック」アイコンを選びます。すると画面にボックスが表示されますので、ボックス内にストック変数名を記入します。左クリックでどんどん変数名を記入するボックスが現れます。全ての変数名を記入し終わったら、図 2 の⑤のステータス・バーから「文字サイズ」を選択し、12 ポイントから 10 ポイントに変えてみましょう。変数にポインターを当て右クリックすると変数名が反転します。「文字サイズ」のツール・アイコンにポインターを当て、右クリックすると、選択できる文字サイズの一覧表が表示されますので、10 ポイントを選択し、右クリックすると、変数名の表示が 12 ポイントから 10 ポイントに変わります。なお、同じ操作は、変数名にポインターを当て、右クリックし、「図 7：変数設定ツール画面」を呼び出して、この画面のメニューに示された「サイズ (ポイント)」を選択することでもできます。次の作業で、フロー変数をストック変数に接続しますので、ストック変数は間隔を十分空けて配置しましょう。

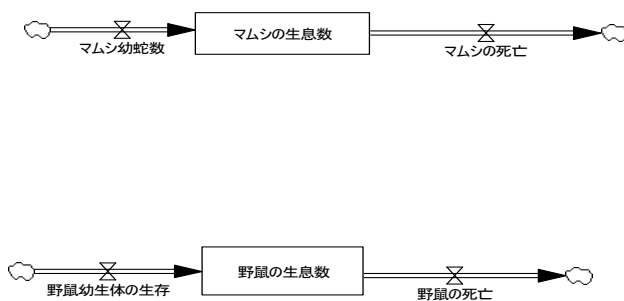
マムシの生息数

野鼠の生息数


ステップ 06 : フローの記載

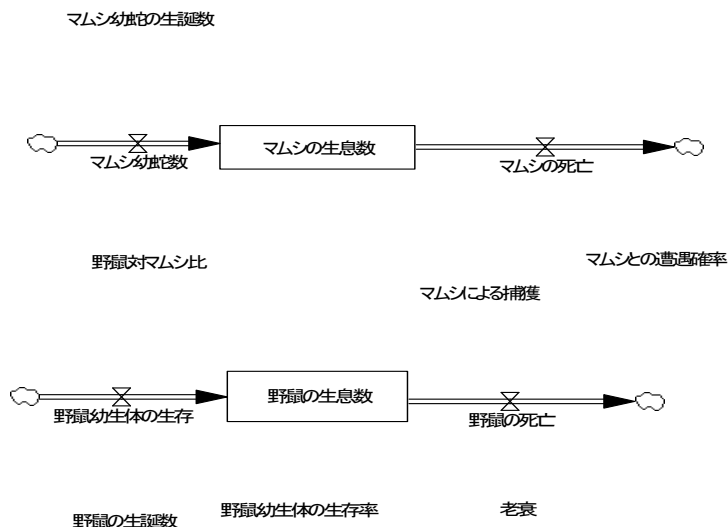
フロー変数を記載し、ストック変数と結び付けます。図 2 の④の「モデル記述ツール・バー」から、「フロー」アイコンを選びます。ストックに流入するフローを記載する場合は、ポインターをストック変数から離れた位置に置き、左クリックをしたら一旦マウスのクリックボタンから指を外し、次にストック変数のボックスの中にポインターを移動させ、左クリックを行うとフロー変数がストックに接続し、次いで、フロー変数名を記入するボックスが現れます。ボックス内にフロー変数名を記載します。

ストック変数から流出するフローを記載する場合は、先ほどとは逆に、先にポインターをストック変数のボックスの中に当て、左クリックをしたら一旦マウスのクリックボタンから指を外し、次にストック変数のボックスの外の適当な位置までポインターを移動させ、左クリックを行うとフロー変数がストックに接続し、次いで、フロー変数名を記入するボックスが現れます。ボックス内にフロー変数名を記載します。




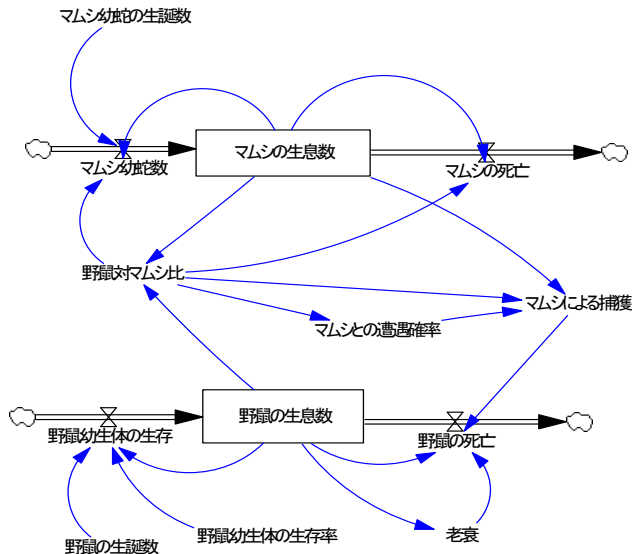
ステップ 07 : 変数の記載

残りの変数を記載します。この段階では定数やテーブル関数の区別をする必要はありません。図 2 の④の「モデル記述ツール・バー」から、「変数アイコン」を選択します。すると画面にボックスが表示されますので、ボックス内に変数名を記入します。左クリックでどんどん変数名を記入するボックスが現れます。




ステップ 08 : アロー (矢印)

変数の間をアロー (矢印) で結び付けましょう。図 2 の④の「モデル記述ツール・バー」から、「アロー・アイコン」を選択します。ポインターを始点の変数に当て、左クリックをして、一旦、マウスのクリックボタンから指を離します。そのままマウスを終点の変数に移動させ、再度左クリックを行います。こうして矢印で変数の間を結びつけることができます。矢印の中央にハンドリングのための小さな円が表示されますので、ここにポインターを当てドラッグすることで自由に矢印の曲率を変更できます。



ここまでの作業が完了すると上のような図が完成します。マムシの生息数→マムシ幼蛇数→マムシの生息数のフィードバック・ループや野鼠の生息数→野鼠幼体の生存→野鼠の生息数のフィードバック・ループが見られます。

ステップ 09 : 変数の定義

変数を定義します。図 2 の④の「モデル記述ツール・バー」から、「方程式」アイコンを選ぶと、未定義の変数が反転表示されます。定義したい変数を選択すると、図 10 の方程式定義ツール画面が現れます。ここでは、以下のようにそれぞれの変数に等式を記載しました。

・ストック関数：

マムシの生息数=マムシ幼蛇数-マムシの死亡、初期値 10

野鼠の生息数= 野鼠幼体の生存-野鼠の死亡、初期値 500

INTEG で示された欄には、通常は自動的に「マムシ幼蛇数-マムシの死亡」といった数式を Vensim PLE で作成してくれます。重要な点は、必ず初期値を設定することです。マムシの生息数の初期値は 10 匹に、野鼠は 500 匹に設定します。



・フロー変数：



マムシ幼蛇数=DELAY FIXED(IF THEN ELSE(野鼠対マムシ比>10, INTEGER((マムシの生息数/2)*マムシ幼蛇の生誕数), 0), 3, 0)
 マムシの死亡= IF THEN ELSE(マムシの生息数<1, 0, IF THEN ELSE(野鼠対マムシ比>6, INTEGER(マムシの生息数/10), INTEGER(マムシの生息数/2)))
 野鼠幼生体の生存= DELAY FIXED((IF THEN ELSE(野鼠の生息数>2000, 0, INTEGER(野鼠の生息数/2)*野鼠の生誕数*野鼠幼生体の生存率)), 2, 0)
 野鼠の死亡= IF THEN ELSE(マムシによる捕獲+老衰<野鼠の生息数, マムシによる捕獲+老衰, IF THEN ELSE(野鼠の生息数>マムシによる捕獲, マムシによる捕獲, 0))

生誕や死亡は、厳密にはコホートにすべきなのですが、ここでは簡易的に、生誕は遅延関数で、死亡での 10 年間の寿命は、成体数が十分の一つつ、5 年の寿命は 5 分の 1 一つ減少することとしています。簡易的にはこれでも十分です。

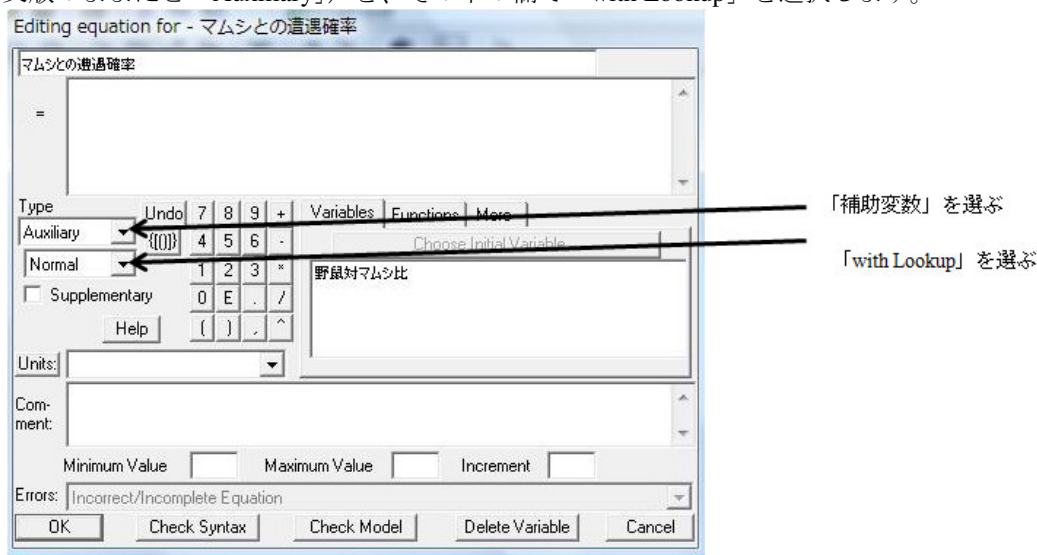
Variables の欄に自動的に関係する変数が現れますので、Functions で示されている関数、あるいは四則記号、論理記号などを使って「=」の欄に等式を記入します。Variables の欄に示されていない変数名を使ったり、あるいは 1 個でもここに示された変数を未使用にすると、「OK」ボタンを押しても、ボックスはすぐには閉じません。数式ボックスを閉じたい場合は、「OK」ボタンが「閉じる」に変わりますので、それをクリックするか「キャンセル」ボタンを選びます。ただし、変数の定義は未定義のまま残されます。括弧の数の間違いなど、等式にエラーがあった場合も同様です。特に変数を使用しなく、四則演算子だけでよければ、Variable から変数を選び、+、-、*、/などの四則演算子で関係を記述します。

・定数：

定数の指定は簡単です。ただ固定値を指定するだけです。ここでは、
野鼠の生誕数=6
マムシ幼蛇の生誕数=6
野鼠幼生体の生存率=0.2
としています。

・テーブル関数：

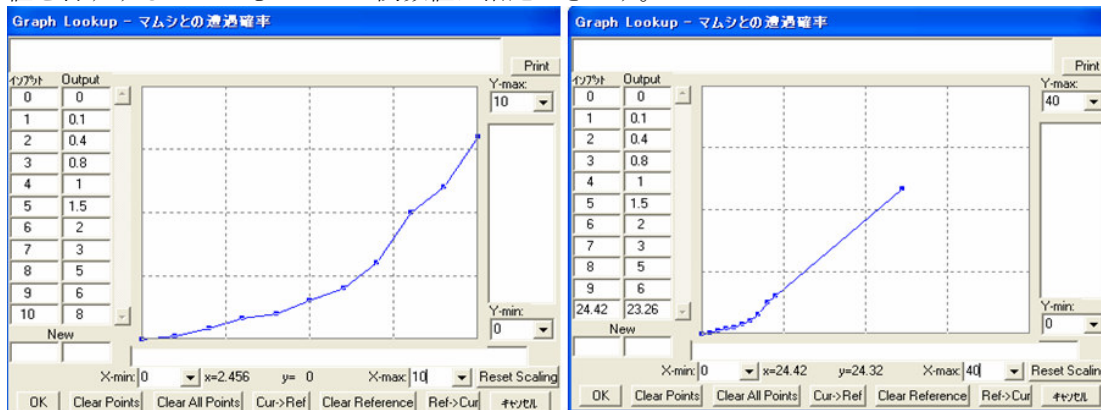
15 ページに記載があるテーブル関数は「with Lookup」という関数を使います。ただし、この関数は「Function」のメニュー・バーからは選ばれません。「Type」というメニュー・バーの 2 段目から選択します。このモデルでは、
マムシとの遭遇確率=WITH LOOKUP
(野鼠対マムシ比,
((0,0)-(40,40)),(0,0),(1,0.1),(2,0.4),(3,0.8),(4,1),(5,1.5),(6,2),(7,3),(8,5),(9,6),(24,23)))
としています。この定義の仕方ですが、変数定義画面の「タイプ」の欄で「補助変数」(英文版のままだと「Auxiliary」)を、その下の欄で「with Lookup」を選択します。



画面が変わり、「マムシとの遭遇率=」を定義する画面上の欄が「=」だけであったのが、「=WITH LOOKUP」に変わります。この欄に引数となる「野鼠対マムシ比」を指定します。これで、「野鼠対マムシ比」を引数とする「with Lookup」関数でマムシとの遭遇率が指定できたことになります。ただし、まだ具体的なテーブル関数値は指定されていません。そこで、画面中央にある「グラフ入力」(英文版だと「At Graph」)バーを使ってテーブル関数値を定義します。



画面中央左の「グラフ入力」(英文版だと「At Graph」)をクリックすると、グラフ表示画面が表示されますので、数値を入力する、あるいはポインターで指定します。すると下の画面で定義したような位置関数が自動的に作成されます。ポインター指定では、ポインターを始点に当て左クリックし、一旦指を離します。次に終点までポインターを移動させ、再度左クリックを行うと、始点と終点を結ぶ線が惹かれます。もちろん、入力値と Output 値を打鍵することでもテーブル関数値は指定できます。



ここでは、0 から 10 まではまじめにテーブル入力し、その後 Y-max と X-max を 40 に変更し、(10, 9)からポインターを(24,23)に近い位置までドラッグし、OK で一旦テーブル入力画面を閉じ、再度グラフ入力を行い、左のテーブル入力コラムで終点が(24,23)になるように加工しています。

テーブル関数値の入力が終了したら、「OK」を選びます。画面が定義の画面に戻ります。「Look up」の欄に打鍵したテーブル関数値が座標値で記載されています。



・その他の変数


野鼠対マムシ比=INTEGER(ZIDZ(野鼠の生息数, マムシの生息数))

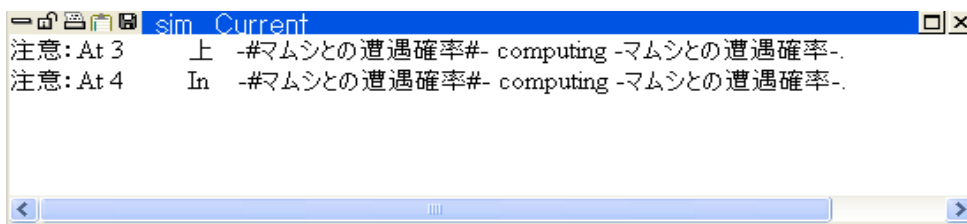
マムシによる捕獲=IF THEN ELSE(野鼠対マムシ比>24, INTEGER(24*マムシの生息数),
INTEGER(マムシとの遭遇確率*マムシの生息数))

老衰=IF THEN ELSE(野鼠の生息数<0, 0, INTEGER(野鼠の生息数/5))

このモデルはサンプルなので、関数の使い方を示すためや、ゼロ除算や小数出力などを嫌って、INTEGER や IF THEN ELSE、ZIDZ などを使っていますが、初心者はあまり拘る必要はありません。

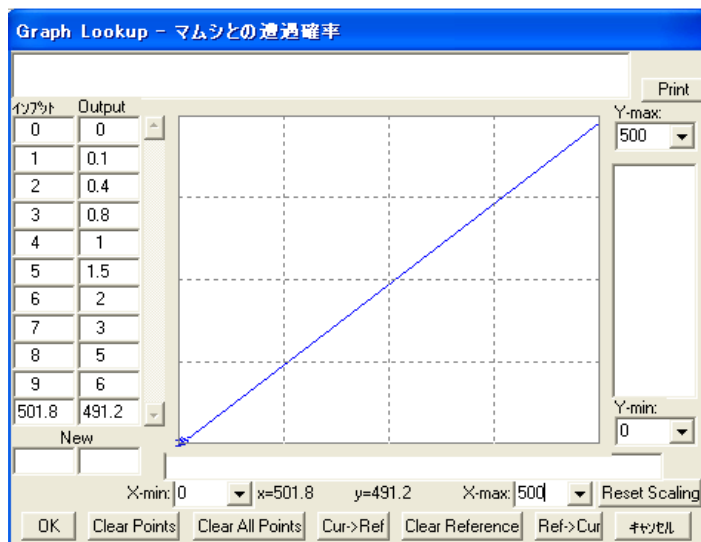
ステップ 10 : シミュレーション・ファイルの作成

図 2 の③の「メイン・ツール・バー」からシミュレーション実行ボタン  を選択すると、自動的にシミュレーション実施可能性のチェックが行われます。エラーがあればエラー・メッセージに、未定義や定義の誤りに関する情報が表示されますので、エラー・メッセージを参考に未定義や定義の誤りを修正します。エラーがなければ、current というシミュレーションを実施した結果が記録されたファイルが作成されます。



このモデルでは、上のようなワーニング・メッセージが表示されます。エラーではなく、

ワーニングなので、シミュレーションを実行できますが、原因を探りましょう。「mamushiの遭遇確率」の定義で、x 値には最大 24 までしか定義されていません。ところが、シミュレーションしてみると、x 値に 24 より大きい値が入り、計算しようとしてワーニングになったものです。x 値は「野鼠対mamushi比」で与えられ、テーブル関数の使用は 24 以下の場合に限られているので、問題はないのですが、ワーニングを無くするためにテーブル関数の定義を変えて見ましょう。



方程式の定義に戻り、「mamushiの遭遇確率」で、グラフ入力画面を開き、Y-max、X-max 共に 500 まで範囲を広げ、ポインターを使って(24, 23)を(500, 490)近くまで拡張定義します。再度、シミュレーション実行を行って下さい。今度は、ワーニング・メッセージは出ないはずで。

ともかくも、これで一応、モデルは構築できました。「定量モデル例 01」という名称を付けてデスクトップに保存しておきましょう。次は分析に移ります。

10-4. 感度分析

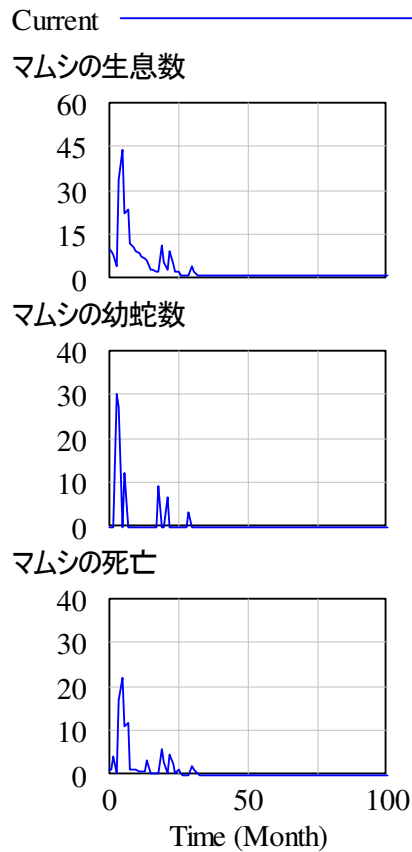
構築したモデルの妥当性をシミュレーション結果のグラフから検証し、次に入力値をいろいろ変えて感度分析を行います。

ステップ 01 : 妥当性チェック

モデル構造の妥当性、特にフィードバック・ループが当初の目論見通りに記載されているかのチェックを実施します。

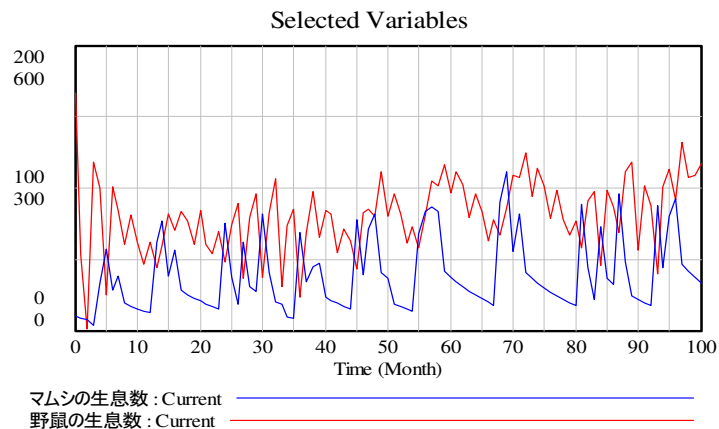
図 21 の定性モデルでは、「mamushiの生誕」→「mamushiの生息数」の増強ループがあります。「mamushiの生息数」にポインターを当て左クリックして反転させ、図 2 中の「⑥分析ツール」の中の直接原因グラフを選び、このループの記載が妥当であるかどうかを確認します。「mamushiの幼蛇数」→「mamushiの生態数」の関係は「+」なので、この 2 つの変数が同じような増減パターンであれば妥当であることが分かります。

図 24：直接原因グラフによる変動パターンのチェック



複数の変数を同一グラフ上に重ねて表示できます。「マムシの生息数」→「野鼠の生息数」は負の関係です。「マムシの生息数」にポインターを当て、左クリックし、シフト・キーを押したままポインターを「野鼠の生息数」に移動し、左クリックします。2つの変数が選ばれ反転表示します。図 2 中の「⑥分析ツール」の中の「ファイル」のアイコンを選ぶことで2つの変数を重ねて表示できます。「マムシの生息数」と「野鼠の生息数」の増減パターンが逆になっていれば妥当であることが確認できます。

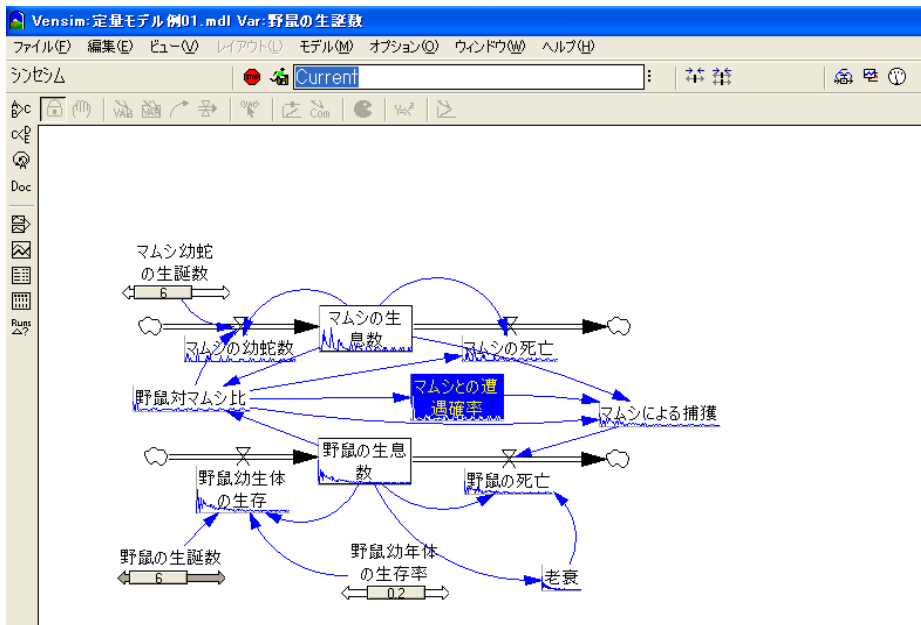
図 25：単独グラフによる変動パターンのチェック



ステップ 02：総合シミュレーションの実行

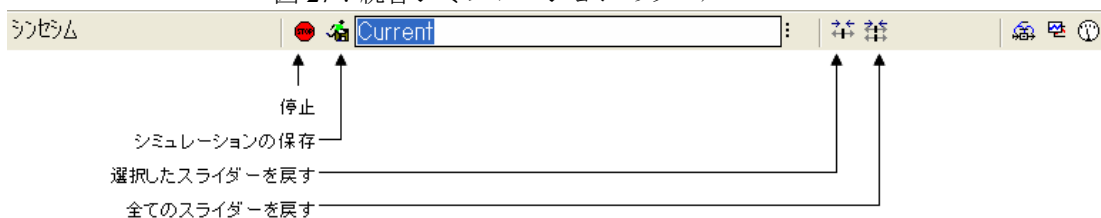
図 2 の③の「メイン・ツール・バー」から「総合シミュレーション実行」のアイコンを選択します。すると、図 26 のような総合シミュレーションの画面が表示されます。

図 26：総合シミュレーション



画面 3 段目に総合シミュレーションのツール・バーが表示されます。

図 27：総合シミュレーションのツール・バー



テーブル関数が反転表示されます。スライダーはポインターを使って変更できます。野鼠の生誕数に示されたスライダーを左右に移動させ、野鼠の生誕率である年間 6 匹を増減させると、マムシの成体数などがそれに伴って変化することが分かります。この変化を見て、変数の変化が妥当かどうかを検討します。また、ポインターをグラフの上に当てると、少し拡大したグラフが表示されます。

●で示される停止ボタンを選択することで、元の画面に戻すことができます。

総合シミュレーションのツール・バーの機能は以下の通りです。





停止：元のモデル記述画面に戻すことができます。



シミュレーションの保存：スライダーを使って変更したシミュレーションの結果を出力

します。出力されるファイル名を変えることで、設定を変えシミュレーションした結果をそれぞれファイルに保存できます。

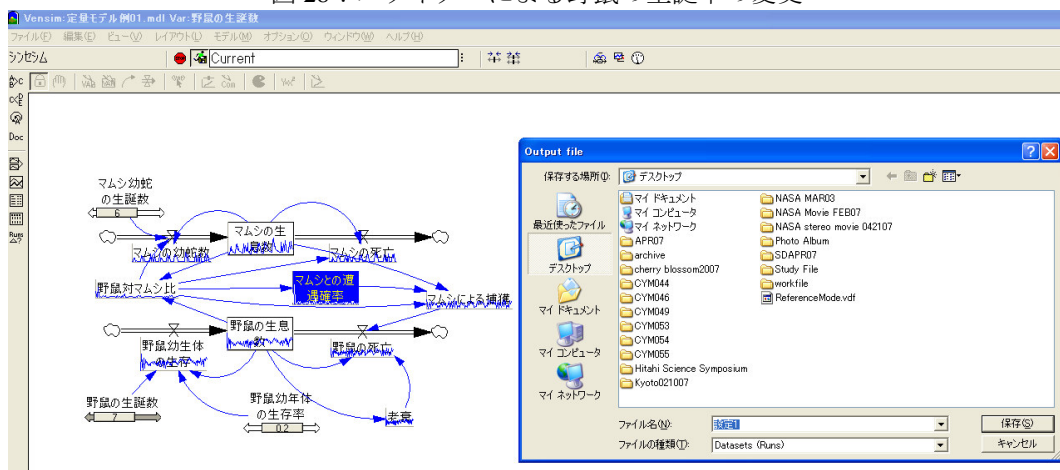
 選択したスライダーを戻す：感度分析でいろいろスライダーを使って値を変えますが、このツールで、選択した変数に設定されているスライダーを初期値に戻します。もしさないと、current は最後に変更した変数値のままなので、初期値でシミュレーションした結果がグラフに表示されない状態になってしまいます。

 全てのスライダーを戻す：感度分析でいろいろスライダーを使って値を変えますが、このツールで、全てのスライダーを初期値に戻します。

ステップ 03：感度分析

ここではいろいろ条件を変えて感度分析を行います。図 26 の画面で、「野鼠の生誕数」のスライダーを移動させ、それぞれ、「7」、「8」、に変えて、「シミュレーションの保存」を選択し、ファイル名を「設定 1」、「設定 2」として保存します。

図 28：スライダーによる野鼠の生誕率の変更




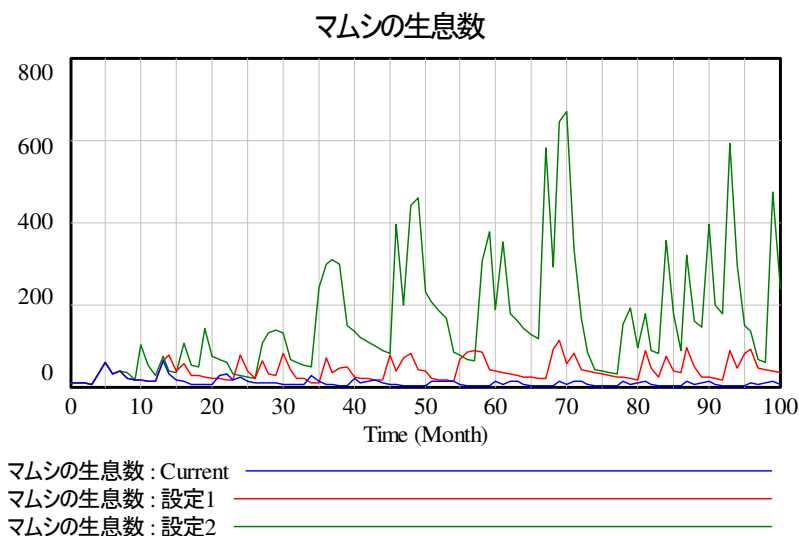
保存は、シミュレーション感度分析バーの、「シミュレーションの保存」ツール  を選択することで保存画面が呼び出されますので、ファイル名を指定して保存します。野鼠の生誕数を初期値の 6 匹に戻し、再度、分析ツールからグラフを選び、「mammothの生息数」をグラフ表示させてみましょう。

図 29：感度分析



野鼠の生誕数が 6 匹では減衰し、7 匹で持続し、8 匹では発散する傾向が見られますが、基本的なパターンはほぼ同じで、特に異常な振る舞いは見られませんので、モデルは一応妥当であると考えられます。マムシの生息数には上限値を設けていませんから、もし、例えば、マムシの生息数がある時点から 600 匹のまま変化しないといった変化を示せば異常であり、どこかで定義ミスを犯している可能性があります。

感度分析では、他にも初期値を変えてみるなどで、シミュレーション結果を確かめながら仮定として定めた事項などの妥当性を検証します。

10-5. 定量分析

定量モデルやシミュレーション結果は一応妥当であると認められますので、定量分析を行ってみましょう。

まず、「図 24：直接原因グラフによる変動パターンのチェック」から、マムシの増強ループが確かめられています。また、「図 25：単独グラフによる変動パターンのチェック」から、捕食者であるマムシと被捕食者である野鼠の均衡ループの関係が確かめられています。

ここまでは定性分析の結果を再確認しただけですが、図 29 のマムシの生息数の変化を見ると、約 10 年の周期で変動していることが見られます。また、生息数の上限値のようなものも何となくありそうということが分かります。こういったことは定量分析を行ってみて初めてわかる事実です。

ここでは触れられていませんが、他にもいろいろ条件を変えてシミュレーションしてみてください。ここでは野鼠の生誕率しか変化させませんでした。マムシ幼蛇の生誕数を変化させてみたり、死亡率を変化させてみることもできます。あるいは、野鼠幼生体の生存率を変えてみることもできます。このように融通無碍である点がシステム・ダイナミックスによる定量シミュレーションの醍醐味です。

以上、非常に簡単に Vensim PLE の機能や使い方を説明してきました。なお、シミュレーションの単位を「年」ではなく、「Time (month)」になったままであることをお詫びしておきます。ただし、ここで紹介したモデルの時間単位の想定は、「年」で、従って、マムシの生息数などは、年間の誕生数や死亡数です。読み替えて下さい。

この節の最初にも少し触れましたが、モデルは解釈であり、定量モデルについても仮定の上で作ったいわば架空世界です。例に挙げたマムシの生態モデルでも、野鼠に関しては主対象としていなく、マムシの生息数をシミュレーションする上で必要なもので取り上げているだけなので、野鼠の食料事情の変化、生息環境の変化などはモデルに取り入れていません。その上で、マムシの生息数をシミュレーションしているのですから、ずいぶん乱暴な議論なわけです。乱暴を承知で、このようなモデルを作り、シミュレーションしてみると、このような簡略化したモデルでも、野鼠の出生率にマムシの生息数が影響される状況や、変化に何やらパターンがあることが分かります。このように定量分析を行うと、対象を数量的に把握できるだけでなく、それ以外にもいろいろ新しい知見があります。これがシステム・ダイナミクスによる分析の醍醐味です。

蛇が嫌いという人にとって、サンプルとして取り上げたマムシの生息数モデルは不愉快かも知れません。お詫び申し上げます。適切な例ということで取り上げるモデルについていろいろ悩んだのですが、たまたま、あるコミュニティの村おこしのためのミーティングに参加する機会があり、マムシ捕りの名人がいて、マムシ酒を村の名産品にできないかという話が出ました。いろいろ話しをするうちに、一体マムシの生息数はどうなっているのだろうという話になり、このミーティングで用いたモデルをサンプルのようなモデルをつくりました。この入門書で取り上げたモデル例ではこのモデルをベースにしました。

11. 参考資料

(1) Vensim に関する情報やモデル例

- 1) Vensim PLE ソフト及びマニュアルのダウンロード先 <http://www.vensim.com/download.html>
 ここから、Vensim PLE や Vensim、Vensim DSS などのソフトのダウンロードを行うことができます。Vensim PLE は無料ですが、その他は有料です。また、アクロバット・ファイル形式の操作マニュアルやモデリング・ガイドもダウンロードできます。特にモデリング・ガイドラインにはモデル例が豊富に紹介されていますので是非参考にして下さい。
- 2) Vensim PLE を使ったモデルなどの情報源 <http://www.vensim.com/resource.html>
 Vensim に関する製品情報などが記載されています。ここにはその他の情報源に関するリンクもあります。後述の MIT の Road Map などへのリンクもここに張られています。
- 3) アリゾナ州立大学のカークウッド教授が書いた、Vensim PLE のチュートリアル（英文）
<http://www.public.asu.edu/~kirkwood/sysdyn/SDRes.htm>
 アリゾナ州立大学のカークウッド教授が、学生のために執筆した非常に簡単な入門書です。
- 4) トム・フィードマンのモデル・ライブラリー。 <http://www.metasd.com/models/index.html>
 フィードマンが、自分が集めたモデルのライブラリーを公開しています。

(2) システム・ダイナミクスの入門書や入門コース

- 5) Radzicki, Michael, *Introduction to System Dynamics*, Department of Energy,
<http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/index.html>
 モデルは残念ながら Vensim PLE で記載されているわけではありませんが、システム・ダイナミクスの歴史やエネルギー・モデルの紹介などとても分かりやすい入門書になっています。
- 6) MIT, *Road Maps: A guide to System Dynamics*, MIT,
<http://sysdyn.clexchange.org/road-maps/rm-toc.html>
 古典とでも言うべきシステム・ダイナミクスの入門教材集で、MIT でのシステム・ダイナミクスの授業のシラバスを基に体系的に記載されたものです。入門教材とは言え、全部をマスターすると上級レベルになります。
- 7) Starman, John, “*Busyness Dynamics*”, Irwin, 2000
 システム・ダイナミクスでは一番有名な教科書です。

(3) システム思考の入門書など

- 8) Senge, Peter, *The Fifth Discipline: The art and practice of the learning organization*, Doubleday, New York, 1990
 「最強組織の法則—新時代のチームワークとは何か」 守部信行訳、徳間書店、1995 の邦訳があります。
- 9) Peter Senge et al, *The Fifth Discipline Fieldbook*, Doubleday, 1994
 システム思考や組織学習について触れられている書物で、システム原型についても分かりやすい解説が記載されています。
- 10) Kim, Daniel and Virginia Anderson, *Systems Archetypes Basics: From Story to Structure*, Pegasus Communications, 1998
 システム原型の解説書です。「システム・シンキング」伊藤武志訳、日本能率協会マネジメントセンター、2001 の邦訳があります。
- 11) 枝廣淳子、小田理一郎、「なぜあの人の解決策はいつもうまくいくのか？」東洋経済新報社、2006。

(4) 筆者の連絡先

ts178051@yahoo.co.jp

(5) 日本未来研究センターの連絡先

sd-info@muratopia.org

ご連絡いただければ、テスト版の日本語メニュー用バッチファイルや、本入門で取り上げた定量モデル、「定量モデル例 01」を無料で差し上げます。ダウンロードの後、実行ファイルを作成すれば、実際にシミュレーションすることができます。

なお、URL やメールアドレスは、2007 年 3 月 31 日付けのものです。

NGO 法人日本未来研究センターについて：

NGO 法人日本未来研究センターは日本の未来について研究するために創設された研究及び研究成果の普及を目的とする機関です。

現在は 2 つの研究・普及事業の柱があり、1 つは日本の未来について研究する未来学研究グループです。もう一つはシステム・ダイナミクス・グループで、ここではシステム・ダイナミクスを活用した地域開発などの研究や地域開発などへの参画、システム・ダイナミクスやシステム思考の普及啓蒙にも努めていて、現在、以下のような事業を計画しています。

- 1) システム思考、システム・ダイナミクスの普及啓蒙セミナーの実施
 - ・初等・中等教育関係者向けのシステム思考、システム・ダイナミクス入門セミナー
 - ・社会人向けのシステム思考、システム・ダイナミクス紹介セミナー
 - ・企業向けシステム思考、システム・ダイナミクス紹介セミナー
- 2) システム思考、システム・ダイナミクスの適用に関するコンサルテーション
 - ・企業向けコンサルテーション
 - ・非営利組織向けコンサルテーション
- 3) システム思考、システム・ダイナミクスに関する研究・開発
 - ・初等・中等教育用システム思考・システム・ダイナミクス教材の開発
 - ・地域開発
 - ・組織開発
- 4) 出版
 - ・初等・中等教育向け教材
 - ・システム思考、システム・ダイナミクスに関する普及書
 - ・研究成果
- 5) Vensim の販売や製品紹介、導入支援
- 6) その他システム思考、システム・ダイナミクスに関連する研究活動への支援、協力